

一体化检修计划优化管理系统的研究及实现

谢丽荣¹, 杨乐勇¹, 吴炳祥¹, 罗亚洲²

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 2. 华北电网公司电力调度通信中心, 北京 100001)

摘要:提出一体化检修计划优化管理系统。该系统对检修计划进行评估、优化、基态、静态、暂态和动态多维度一体化安全校核, 通过基于电网运行经验专家库、评估指标分析、静态暂态动态校核等进行全过程检修计划优化辅助决策。检修计划优化调整贯穿整个编制过程。实现了年度、月度、日前多周期及各周期多时段的检修计划优化管理, 通过对电网日前及多未来模型的本地存储管理, 在计划优化校核过程中自动匹配应用当前及未来多个网络模型。

关键词:检修计划优化调整; 负荷供应充裕度; 发电容量损失; 安全校核; 多模型应用

中图分类号: TM73

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2012)01-0001-04

电网规模化发展后, 电网设备达到相当规模的水平, 设备种类千差万别, 各类设备的运行环境和运行情况差异也较大, 其生命周期和检修周期不尽相同。另外, 电网在迅速发展过程中存在大量基建和技改的需要, 为了保证电网按时、保质、保量的完成建设工作, 电网运行过程中需要多次、不定性的进行设备停电和方式调整以配合基建和技改工作, 加大了电网运行方式安排和电网调整控制的难度。目前的检修计划管理办法对检修计划执行方式下的电网是否满足供电安全和供电质量要求缺乏定量化的分析手段, 无法快速捕捉各种检修方案下可能存在的静态、动态和暂态安全潜在风险, 难以对检修计划进行优化分析和安排。针对上述情况, 结合考虑各类因素, 提出了一体化检修计划优化管理系统的研究。梳理各类设备检修计划工作需求, 充分考虑未来发展的需要, 合理采纳目前国内外在检修管理、优化等领域的经验和新技术, 合理、科学地安排年度、月度及日检修计划。

1 系统方案

该系统主要实现对检修计划进行评估、优化、基态、静态、暂态和动态多维度一体化安全校核, 实现了基于电网运行经验专家库、评估指标分析、静态暂态动态校核的全过程检修计划优化辅助决策, 校核检修计划的可行性安排。检修计划优化调整贯穿整个编制过程, 实现了年度、月度、日前多周期及各周期多时段的检修计划优化管理, 通过对电网日前及多未来模型的本地存储管理, 在计划优化校核过程中自动匹配应用当前及未来多个电网模型。一体化检修计划优化管理系统是一项非常复杂的系

统工程, 需要从其他系统接入电网模型、负荷预测数据、检修申请等信息, 达到整合数据资源, 实现检修计划优化管理的目标, 提高电网设备检修安排水平。

系统总体结构如图1所示, 主要包括检修计划制定模块、检修计划申请审批模块、人机界面和管理平台模块等组成。检修计划制定模块完成年、月、日检修计划的制定、安全校核及优化, 检修申请审批模块实现检修计划网络申请和发布、检修计划的审批流转和统计, 人机界面和管理平台模块为工作人员提供友好的人机界面、管理其他模块的运行。

根据电力系统实际运行需求, 检修计划编制周期分为年度、月度、日前3类。

年度检修计划编制结果用于指导运行单位申报月度检修申请, 运行单位在申报月度检修计划时, 可以选择已经批准的年度检修计划, 自动重用检修工期和检修内容等信息, 如果时间调整, 则表示原年度检修计划需要变更。如果申报月度检修计划时没有选择年度检修计划, 则表示检修申请在年度计划中未考虑, 为新增检修申请。在月度检修计划中, 保留对应年度检修计划的检修单号。

月度检修计划编制结果用于指导运行单位申报日前检修申请, 运行单位在申报日前检修计划时, 可以选择已经批准的月度检修计划, 自动重用检修工期和检修内容等信息, 如果时间调整, 则表示原月度检修计划需要变更。如果申报日前检修计划时没有选择月度检修计划, 则表示检修申请在月度计划中未考虑, 为新增临时检修申请。

由于年度、月度和日前检修需要分别申请, 因此年度检修计划不直接用于月度检修计划编制, 月度检修计划也不直接进入日前检修计划编制。

2 检修计划编制流程设计

针对不同的检修计划编制周期, 总体业务流程

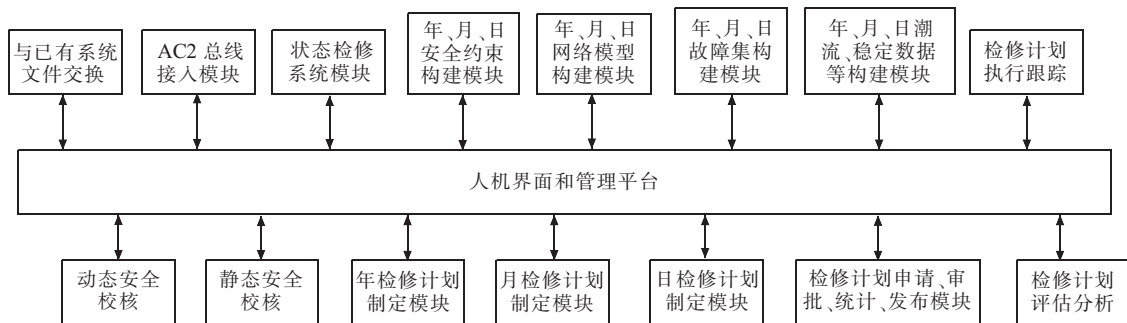


图 1 系统总体结构示意图

大致相同,检修计划制定流程如图 2。

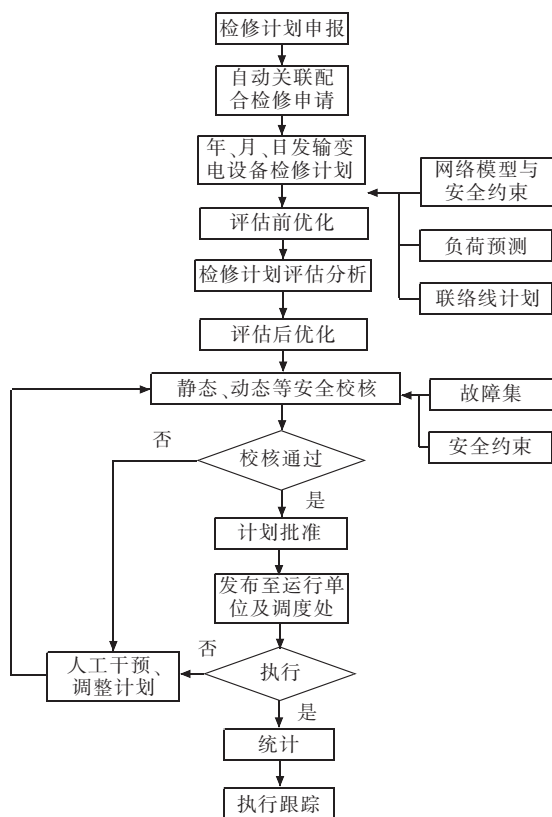


图 2 检修计划制定流程

2.1 数据准备

(1) 检修计划、状态检修信息输入。检修申请信息、输变电设备状态检修信息能输入系统。在检修申请中,检修主体的选择范围包括机组、线路、变压器、开关、电容电抗器。检修申请的内容包括:检修编号、设备名称(检修主体名称)、对应月度检修计划单号(新增检修申请编号为空)、检修开始时间、检修工期、最早开始时间、最迟结束时间、检修影响容量等。

(2) 负荷预测信息输入。负荷预测系统的负荷预测信息(包括系统负荷预测和母线负荷预测)能输入系统。

(3) 联络线计划数据的输入。联络线计划数据能够输入系统。

(4) 当前或未来电网模型输入。当前或未来电网模型能输入系统,结合实际基建投产信息,并可人工调整。

以上信息均能自动保存至数据库,在计划编制时根据时间筛选出编制日期的检修计划,然后自动匹配相应时间的电网模型、方式数据、系统负荷预测、母线负荷预测、联络线计划,构建潮流计算数据,并启动检修计划预评估与优化计算。

2.2 检修计划评估与优化

对于提交来的检修计划,首先进行评估前的优化,过滤掉一些明显不满足安全性的问题,然后进行基于负荷供应充裕度和等效发电容量损失的安全评估,根据安全评估结果进一步优化,并给出优化辅助决策,调整检修计划或者负荷指标,在此基础上进行安全校核。日前检修计划编制优化空间较小,因此只在月、年等周期进行优化分析。

2.3 安全校核

通过初始检修计划制定发电计划后,进行静态、动态、暂态的全维度多时段的安全校核,并输出校核结果,为检修计划制定和运行提供建议。安全校核的数据由典型方式数据、稳定数据构建模块自动生成,可人工干预。

2.4 审批发布及执行跟踪

检修计划通过安全校核后,需要提交到调度业务数字支撑系统审批,审批通过后的检修计划需要在一体化检修计划优化管理系统中备案,在检修计划执行完成后,同样要将实际执行信息由调度业务数字支撑系统提交到一体化检修计划优化管理系统备案。另外,该系统还能够为其他系统以电子文档的形式发布已经确定的检修计划。

3 关键技术研究

3.1 检修计划评估分析

一体化检修计划优化管理系统的主要目的就是在保障设备安全的情况下,合理组织电网输变电检修和发电设备检修,充分保障用电需求。通过对设

备检修计划进行优化调整,尽可能提高电网输电能力,提高发电可用容量。

母线负荷供应充裕度^[1]反映检修对母线负荷需求供应能力和供电可靠性的影响,评价在设定的检修计划模式下,各母线负荷需求供应的充足程度。对母线负荷供应充裕度的评估落实到每一个母线负荷节点上。母线负荷供应充裕度计算分时段进行。已知基态潮流下,在每一时段考虑相应的待评估的检修计划,根据支路有功对负荷有功的灵敏度^[2,3],计算在支路热稳定限值下母线负荷裕度。如日检修计划的母线负荷供应充裕度评估可以分24个时间点进行,即每小时评估一个断面。

电力系统实际运行中,发输电设备检修有可能造成实际可用发电能力^[4]的降低。等效发电容量损失衡量由于发电或输电设备检修,而造成实际可用发电能力降低。等效发电容量损失是综合考虑发电、输电检修和负荷需求的一个综合指标。对等效发电容量损失进行评估,可避免在负荷高峰时段检修以及同一输电通道上多个输电设备同时检修,同时鼓励发、输电设备同时检修。

发电容量损失的计算分时段进行。如日检修计划编制中的发电容量损失评估,可以分24个时段进行,得到24个等效发电容量损失值,通过比较每个时段检修计划的变化,分析得到每个检修计划所引起的等效发电容量损失的变化。

3.2 多周期多维度检修优化辅助决策

检修优化^[5]辅助决策包括基于电网运行经验专家库、评估指标分析、静态暂态动态校核的全过程检修计划优化辅助决策。基于电网运行经验专家库的优化辅助决策,根据实际电网运行经验给出检修计划的优化调整建议。例如:检修应与系统负荷配合,在系统负荷较小时进行;检修不应过于集中,应尽量错开;保障500 kV主网、地区电网安全运行等原则。通过基于电网运行经验专家库的优化辅助决策过程,可以过滤掉一些明确不能满足安全性能指标的检修计划,并对其执行时间进行自动调整。基于评估指标分析的优化是根据负荷充裕度评估的结果,如果某一时段的负荷充裕度不足,根据负荷充裕度评估的原理,必定是某一条或几条输电支路的输电功率逼近或超过该支路的热稳定限值造成发电量不能供应到此负荷,称该种支路为母线负荷供应充裕度不足的相关支路。在该时段的检修与该输电支路有一定的相关性,称之为检修对负荷供应充裕度的灵敏度,该灵敏度越大,则检修对此输电支路影响越大,进而对该负荷的供应充裕度影响越大。通过找出对负荷供应充裕度的灵敏度大的检修计划,给出影

响负荷供应充裕度不足的负荷的检修计划,并给出相应的检修计划调整建议。在基态和静态安全校核过程中,通过自动调整机组开停机和发电出力来优化检修计划的安排,若存在不能消除的 $N-1$ 越限且机组不再具备调整能力,则自动计算灵敏度,给出检修计划优化调整信息。暂态动态校核过程中,如果电网存在失稳的情况,会给出调整机群、地区电压调整等辅助决策,例如某一机群增加出力或降低出力对抑制电网失稳有效等。

3.3 全维度检修计划安全校核

根据各计算时段系统负荷预测、联络线计划、已安排检修计划和待安排检修计划,自动形成相应时段的网络拓扑和发电计划,进行基态潮流分析和 $N-1$ 安全分析。如果出现基态越限,自动优化调整机组发电或启停来消除越限,若越限无法消除,则自动计算给出越限对检修的灵敏度,给出优化调整信息;基态校核通过后进入 $N-1$ 校核,自动调整机组发电或启停来消除越限,若存在无法消除越限,则自动计算检修计划对越限的灵敏度,给出优化调整辅助决策信息。

在静态安全校核基础上,使用各时段潮流断面,对检修计划进行动态和暂态安全校核,分析可能导致失稳的预想故障及可能失稳的机组和母线组合。

3.4 基于多电网模型的检修计划安全分析与优化

电力系统实际运行中,电网设备拓扑关系会随着检修等工作的进行而发生变化。因此,在进行日、月、年各周期的检修计划安全分析和优化时,采用了多种典型电网模型以适应电网拓扑关系的变化。在检修计划的评估分析模块、优化辅助决策模块、静态和动态安全校核模块中都涉及到多电网模型的应用,各个模块采用相同的模型匹配原则,保证各模块模型应用的同一性。

4 应用

该系统在某区域电网中得到应用。从调度数字支撑系统获取检修申请,从已有模型拼接系统获取区域电网模型和网络拓扑数据,从负荷预测系统获取系统负荷预测,从计划管理系统获取联络线计划等。通过对基础数据进行整合,构建潮流计算断面,在此基础上进行检修计划安全评估和检修计划安全校核,根据安全评估和校核结果提出优化辅助决策。该系统对该区域电网的检修计划编制工作给出了指导性建议,提高了系统运行的安全性。

5 结束语

在对输电设备检修计划和发输电设备配合检修

计划的安全评估分析和优化辅助决策上进行了一体化检修计划优化管理系统的研究,提出了基于负荷供应充裕度和等效发电容量损失的安全评估分析理论和实现方案,并基于安全评估分析结果给出检修计划优化辅助决策,在完成检修计划优化调整后,进行检修计划的静态、动态、暂态安全校核,降低检修计划对电网安全运行的影响,对合理安排和优化电网运行方式提供技术支持,提高电力市场环境下的调度能力,更好地实现资源优化配置。该系统目前在华北电网调度中心取得了很好的效果,通过一体化检修计划优化管理系统的建设,提高了设备检修的计划性及设备检修时间的利用率,增强了设备检修相互之间的配合,在保证电网安全稳定运行的前提下,将电网调整在最优的运行水平。

参考文献:

- [1] 刘 升,周京阳,潘 毅.基于直流灵敏度法的节点间可用输电能力计算[J].华北电力技术,2008(10):1-6.
[2] 丁 明,罗初田.电力系统可靠性指标的灵敏度分析[J].合肥

工业大学学报,1990,13(3):72-81.

- [3] 邱永生,刘焕志,李 扬.区域间可用输电能力计算的灵敏度分析法[J].继电器,2005,33(2):21-25.
[4] Transmission Transfer Capability. A Reference Document for Calculating and Reporting the Electric Power Transmission Capability of Interconnected Electric Systems[Z]. North American Electric Reliability Council, 1995.
[5] 舒 隽,张粒子,黄弦超.市场环境下中长期发输电协调检修计划优化[J].电力系统自动化,2007,31(2):27-31.

作者简介:

谢丽荣(1980),女,河北冀州人,工程师,从事电力系统安全分析和优化的研究工作;
杨乐勇(1985),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统静态安全校核相关内容的研究;
吴炳祥(1983),男,福建泉州人,工程师,从事计算机信息处理工作;
罗亚洲(1978),男,吉林双辽人,本科,从事电力系统生产运行与管理工作。

Research and Implementation of Integrative Optimal Management System of Outage Schedule

XIE Li-rong¹, YANG Lei-yong¹, WU Bing-xiang¹, LUO Ya-zhou²

(1.NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210061,China;

2.Power Dispatching and Communication Center of North China Power Grid Corporation, Beijing 100001,China)

Abstract: Integrative optimal management system of outage schedule is proposed in this paper. This system provides assessment, optimization, and multi-dimensional and integrative security correction including static, transient and dynamic check of outage schedule. The system realizes whole process outage schedule optimizing assistant operation decision through experience and expertise database, analysis of evaluation index, multi-dimensional security check. Optimization and adjustment of outage schedule exists in the whole process. The system realizes multi period optimization management of daily, monthly and yearly outage schedule. And the system auto-matches day-ahead and multiple future models in the process of check and optimization through local store management of day-ahead and multiple future models.

Key words: outage schedule optimal management; load supply adequacy; generation loss; security check; multiple model application

未来十大新能源(1)

(1) 太阳能。人类对太阳能的利用有着悠久的历史。我国早在 2000 多年前的战国时期,就知道利用钢制四面镜聚焦太阳光来点火;利用太阳能干燥农副产品。发展到现代,太阳能的利用已日益广泛,它包括太阳能的光热利用,太阳能的光电利用和太阳能的光化学利用等。太阳能的利用有被动式利用(光热转换)和光电转换两种方式。太阳能发电是一种新兴的可再生能源利用方式。

(2) 风能。在自然界中,风是一种可再生、无污染而且储量巨大的能源。随着全球气候变暖和能源危机,各国都在加紧对风力的开发和利用,尽量减少二氧化碳等温室气体的排放,保护人类赖以生存的地球。风能的利用主要是以风能作动力和风力发电两种形式,其中又以风力发电为主。

(3) 水能。水能是一种可再生能源,是清洁能源,是指水体的动能、势能和压力能等能量资源。广义的水能资源包括河流水能、潮汐水能、波浪能、海流能等能量资源;狭义的水能资源指河流的水能资源,是常规能源,一次能源。

(4) 核能。利用核反应炉中核裂变所释放出的热能进行发电的方式。它与火力发电极其相似。只是以核反应炉及蒸汽发生器来代替火力发电的锅炉,以核裂变能代替矿物燃料的化学能。除沸水堆外,其他类型的动力堆都是一回路的冷却剂通过堆心加热,在蒸汽发生器中将热量传给二回路或三回路的水,然后形成蒸汽推动汽轮发电机。

基于厂级调度的发电厂优化控制

景乾明¹, 郝 飞², 刘吉臻³

(1. 甘肃电力公司, 甘肃 兰州 730050; 2. 南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211100;
3. 华北电力大学, 北京 110000)

摘 要:为了实现发电厂单元机组有功的经济分配和保证区域电压质量,适应厂网分开和经济调度的要求,结合直调方式下的系统设计和设备配置,将厂级负荷分配模块集成到电厂的电气网络监控系统中,与系统中原有的电厂侧电压无功控制系统,构成火电厂综合优化控制系统,2 个模块在实现自身功能的同时,也可以互相交换信息,实现有功的经济调度和无功的优化分配;同时为了使调度端获取更多的电厂侧的信息,在监控系统中建立了基于 CIM 的励磁系统模型,更好地保证了电厂侧 AVC 控制的准确性和安全性。

关键词:厂级控制;负荷分配;电压无功控制;网络监控系统;励磁系统

中图分类号: TM621.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0665(2012)01-0005-04

随着厂网分开、竞价上网等一系列改革措施的实施,发电端将拥有更大的自主权来实现全厂的优化控制。而实现全厂优化控制,首先必须改变电网对机组的调度方式,即由直调改为厂级调度。对于电厂而言,接收中调总的有功指令和电压目标值,根据各台机组的实际运行情况进行经济分配。厂级负荷分配是根据电网的负荷要求和全厂各机组的实际运行工况,在线拟合机组煤耗量与负荷的特性曲线,实施计算各机组的经济负荷,并将结果作为机组的目标负荷调节值直接送至协调控制系统,实现全厂总负荷在各机组之间的实时分配^[1];电厂侧电压无功控制系统则是接收中调实时下发的母线电压目标指令,结合本地实测母线及全厂各发电机组的运行情况,按照既定的分配策略将系统所需要的无功合理分配给相应机组,快速准确的跟踪中调的电压指令目标值,提高火电厂高压母线的电压水平,改善地区电网电能质量^[2]。在以往的系统中这 2 个系统完全独立,分别安装在监控信息系统(SIS)和电气网络监控系统(NCS)中,这样的配置当电厂侧从直调改为厂级调度时,将加大施工的难度,而将这 2 个优化系统放在一起可以最大限度地实现两者的信息交互,更好地进行有功和无功的优化。

1 发电厂综合优化控制系统结构

厂级控制设计的重点与常规控制有很大的不同,它关注的重点是整个厂的整体控制结构、操作点和被控变量的选取、设计和实现。在设计中包含了 2 个设计理念,一是至上而下,一是自底而上^[3,4]。发电厂综合优化控制系统的结构如图 1 所示。按照厂级控制的方法将其分为 4 个控制层次,分别为

EMS 的调度层控制、NCS 的监控层控制、包含厂级负荷分配和电压无功控制优化控制层以及处于底层的常规控制层。

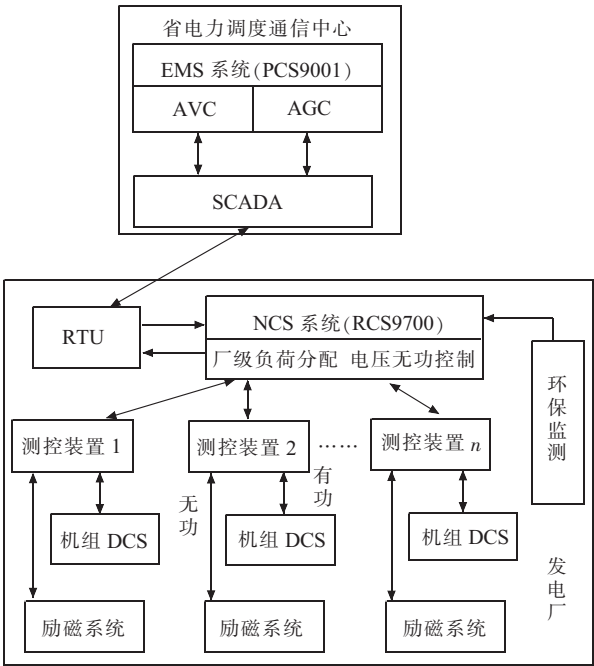


图 1 发电厂综合优化控制系统结构

调度层中安装了自动发电控制系统(AGC)和自动电压控制系统(AVC),负责电网的有功和无功的自动调节;NCS 监控层负责接收中调下发的有功指令和电压目标指令,同时采集发电厂电气控制需要的数据,以及厂级负荷分配进行优化计算的必需数据和电厂侧电压无功控制系统所需要的数据,并将优化结果下发给下位机,实现闭环控制,NCS 系统采用 RCS-9700 系统,它是基于 SCADA/EMS 一体化平台开发而成;厂级负荷分配和电压无功控制系统都作为高级应用模块嵌入在 NCS 系统中;下位机的测控装置可同时满足 NCS 系统对有功和无功

的调节,实现常规控制层的控制要求。励磁系统是电厂侧 AVC 的最终执行端,在 NCS 中建立励磁控制系统的结构。励磁系统是电厂侧 AVC 的系统模型,将有助于提高 AVC 控制的准确性和安全性,将更多的励磁系统的信息上送给调度端。同时系统还可将环保监测数据接入到 NCS 系统中,作为厂级负荷分配评价各台机组的环境保护指标的一个因素。

2 厂级负荷分配与电压无功优化控制

2.1 厂级负荷分配

厂级负荷优化分配的研究大部分都建立在机组煤耗特性曲线的基础上,煤耗曲线的准确性直接影响厂级负荷优化分配的实用化,因此需要根据机组的运行情况实时更新各台机组的煤耗曲线。采用反平衡法计算机组的发电标准煤耗率 b_i 和标准煤耗量 B_i 的公式如下所示^[5]:

$$b_i = \frac{q_i}{Q_0 \eta_i} \quad (1)$$

$$B_i = p_i b_i = \frac{p_i q_i}{Q_0 \eta_i} \quad (2)$$

式中: q_i 为第 i 台机组的热耗率; Q_0 为标准煤的低位发热量; η_i 为第 i 台机组的锅炉效率; p_i 为第 i 台机组的输出功率。 p_i 可以从发电机采集接入 NCS 系统中, q_i, Q_0, η_i 则可以通过 DCS 取得;此外,各台机组的实时燃煤量也需要送到 NCS 系统中。根据这些数据就可以完成各机组煤耗量与负荷特性曲线的在线拟合和实时修正。由于各台机组的环保监测数据接入到 NCS 系统,在制定分配策略时可以适当考虑机组烟气中二氧化硫、氮氧化物的浓度以及排烟量等信息,形成更加全面的机组功率分配策略。

在直调方式下,发电厂各机组的有功指令是中调通过 RTU 发送给各台机组的 AGC 测控装置,测控装置再将其转换成 4~20 mA 模拟信号输出给机组的 DCS。当发电厂由机组的直调方式改为厂级负荷分配时,而负荷分配软件采用嵌入 NCS 系统的方案,那么原来直调方式下的 AGC 配置可以完全保持不变,只需将中调下发的总厂级负荷指令通过 RTU 送给 NCS 系统,然后厂级负荷分配软件再根据各个机组的实际运行情况将负荷指令分配给各台运行机组的协调控制系统。这样既可节省改造成本,又可实现发电厂机组负荷的厂级分配。

2.2 电压无功优化控制

发电厂电压无功优化控制是保证区域电网电压质量和无功平衡,提高电网可靠性与经济性必不可少的措施。基于 RCS-9700 发电厂网络监控系统实

现发电厂电压无功控制系统,可最大限度利用 NCS 的数据和信息采集,利用现有 NCS 的设备进行监视和控制。系统具体的实现过程为:省调 AVC 系统将电厂的优化电压值以命令的方式下发到电厂的 AVC 系统中,AVC 决策单元通过在线辨识获取整个电厂的系统阻抗,结合电厂本地实测母线电压和省调下发的电压命令值,计算出电厂端所要增加或减少的无功总量。根据当前机组的运行情况,考虑机组的各种约束限制,得到可控机组的运行信息,然后根据既定的分配策略,在各机组间进行无功的合理分配。可以选择采用等功率因数控制、相似视在功率、等无功备用、相似调整裕度 4 种控制分配策略。

2.3 厂级负荷分配与电压无功控制的协调

该系统设计的一个优势就在于厂级负荷分配系统与电厂侧 AVC 系统的数据交互,由于 2 个应用模块都集成在 NCS 平台上,因此可以共享网络上的所有数据,两者的计算和分析结果被对方直接使用。除此之外,由于将环保监测的数据接入到 NCS 系统中,系统可以实时获取各台机组排烟量、二氧化硫以及氮氧化物的信息,通过在线辨识得到各台机组有功、无功与这些环保监测数据的简单模型,从而可以实现对其的预测,预测值可只作为参考值,也可参与到 2 个应用模块的策略计算,形成约束条件。励磁系统是电厂 AVC 控制中的最终执行端,而调度系统的模型都是按照公共信息模型(CIM)标准建立,为了保证 AVC 控制的准确性和安全性,方便与调度端系统进行信息交互,有必要在 NCS 系统中建立基于 CIM 的励磁系统模型。

3 基于 CIM 的励磁系统控制

IEC61970-301 标准定义了能量管理系统的应用程序接口(API),CIM 作为此标准中的重要组成部分之一,规定了 API 的语义。在 CIM 中同步电机模型与其他模型的简化关系如图 2 所示。从图中可以看到与同步电机紧密相关的励磁系统,并没有包含在 CIM 中。为了在电厂侧 AVC 控制系统中更多地获取励磁系统的信息,方便调度端获取励磁系统模型信息,同时也能更好地保证 AVC 控制的安全性,有必要在 CIM 中建立励磁系统的模型。

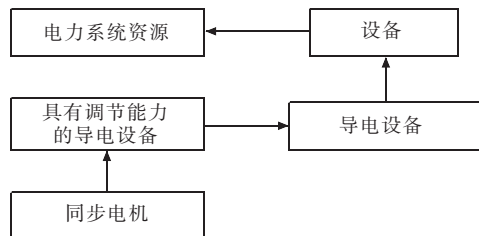


图 2 CIM 中的同步电机模型

3.1 基于 CIM 的励磁系统模型

在现有的 CIM 中,包含的控制和调节信息的类都从调节设备类中派生而来,每个调节设备类和 1 个控制类相关联,控制类包括了和控制相关的所有描述;此外,1 个设定的调节计划也是调节设备类不可缺少的部分,如图 3 所示。因此,可以将励磁系统模型与原有 CIM 的关系表述如下:励磁系统类从调节设备类派生出来,这样就可以继承有关控制信息的描述,同时在模型中加入了调节计划的描述。

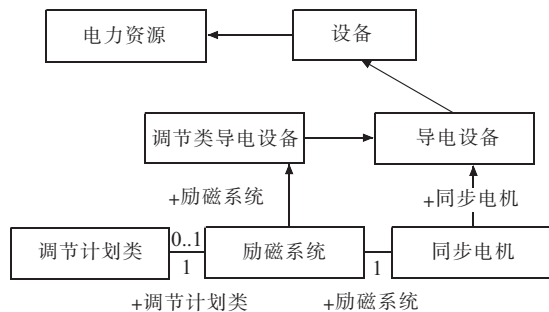


图 3 励磁系统模型在 CIM 中的描述

根据 CIM 面向对象的建模方法和建模准则,结合励磁系统的结构及系统特点,建立励磁系统的详细模型^[6],其关系图表述如图 4 所示。励磁系统根据励磁方式不同分为他励励磁系统和自励励磁系统,前者需要交流副励磁机来提供励磁电流,因此要建立 1 个励磁机类;后者除了通过变压器从发电机端或厂用母线取得励磁电流外,还通过变流器从发电机中性点侧或出线侧获得励磁电流,借用 CIM 中的变压器类,并专门建立 1 个变流器类。此外,无论是他励系统,还是自励系统,都有整流器,因此需要建立 1 个整流器类;对于励磁系统的控制调节,电力系统中普遍采用 AVR+PSS 的控制模式,自动电压调节器实现了励磁电压的自动调节,电力系统稳定器借助于励磁调节器控制励磁机的输出,来阻尼同步电机的功率振荡,因此需要建立自动电压调节器类和 1 个电力系统稳定器类。至此完整的励磁系统模型就建立完毕,可以将其应用到电厂侧 AVC 控制系统中。

3.2 基于 CIM 励磁模型的电压无功控制

在发电厂综合优化控制系统中,厂级负荷优化分配模块进行 10 多年的发展和研究,无论从算法还是模型都已经相当完善;而电厂侧 AVC 控制系统还有很多方面值得深入研究。在电厂 AVC 控制中,执行机构是发电机的励磁系统,励磁系统是由一些典型的控制环节组成,其中还存在一些非线性环节,如限幅环节、励磁机的饱和等,控制器采用简单的 PI 控制^[7],在 AVC 软件中建立励磁系统动态模型的模型库,模型库包含了主要励磁系统的动态模型,

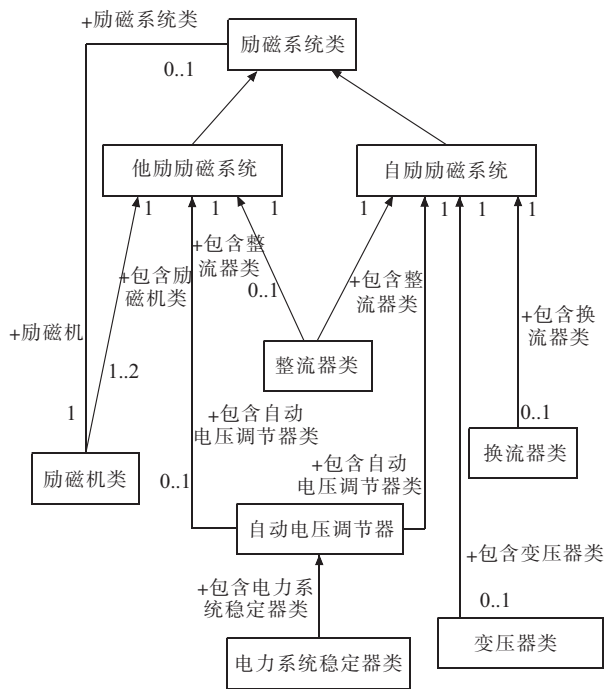


图 4 励磁系统模型的详细描述

对于不同电厂的励磁系统,可以通过选择相匹配的模型来确定 AVC 系统的动态模型,结合 CIM 的励磁系统模型,通过对模型的离线学习和在线辨识获取模型各个环节的参数。然后再根据参数来确定 AVC 模型控制系统的关键参数,如系统反馈系数、发电机反馈系数、系统阻抗、无功调节量等^[8],这样就可以获得励磁系统完整的数学模型。基于 CIM 的励磁系统模型为整个过程提供了运算和存储的载体。利用励磁系统的模型,进一步开发电厂 AVC 的仿真系统,使运行人员通过这样的系统更加了解电厂 AVC 的控制方式和执行情况,建立起电厂电压无功控制的培训仿真环境。

4 结束语

发电厂综合优化控制系统是将原来 SIS 中的厂级负荷分配和 NCS 中的电厂侧 AVC 控制系统,统一放在 NCS 监控系统平台上,作为 NCS 系统的 2 个高级应用模块。该设计的优点体现在:(1) 当发电厂由中调直调方式改为厂级负荷分配时,该设计方式可以最大限度地节省改造费用和成本,更好地利用原来的设备,同时也降低了改造的难度。(2) 2 个模块在完成各自功能的同时,还可以相互交换信息,从而提高各自的控制和优化水平。采用一体化的设计思想,使得信息的获取和命令的执行更加顺畅。(3) 在电厂 AVC 中嵌入励磁系统的控制模型,通过辨识方法获取更加准确的模型参数,为 AVC 系统关键参数的设置提供依据;在励磁系统模型的基础上,开展电厂 AVC 的仿真培训功能,使运行人员

能更好地理解认识和认识系统的运行和事故处理。

参考文献:

[1] 曹文亮,王兵树,高建强,等.火电厂厂级负荷优化分配软件设计[J].电力系统自动化,2004,28(5):80-83.
[2] 郝 飞,黄 凯,刘吉臻,等.电厂侧自动电压控制系统研究及应用[J].现代电力,2009,26(6):62-65.
[3] 郝 飞,刘吉臻,谭 文.厂级控制的研究及在发电厂中的应用[J].江苏电机工程,2010,29(1):16-20.
[4] TRUS L.Studies on Plant wide Control [D].Department of Chemical Engineering Norwegian University of Scinence and Technology,2000.
[5] 李政林,张根保,吴 鸿.基于 SIS 的火电厂实时负荷优化分配的研究[J].现代电力,2004,21(1):6-10.
[6] 徐剑峰,王康元.基于 CIM 的励磁系统建模[J].机电工程,

2007,24(8):76-79.
[7] 陆春良,竺士章,陈新琪.发电机励磁系统实测建模与应用[J].电力系统自动化,2004,28(2):73-77.
[8] 郝 飞,黄 凯,刘吉臻,等.电厂侧电压无功控制系统分析研究[C].电网电能质量控制与检测学术交流会,2009.

作者简介:

景乾明(1965),男,甘肃通渭人,高级工程师,从事电力生产技术管理工作;
郝 飞(1980),男,辽宁丹东人,硕士研究生,从事调度自动化及 AVC 优化控制研究工作;
刘吉臻(1951),男,山西岚县人,教授,从事大机组智能优化控制、火电厂综合自动化研究工作。

Optimal Control of Power Plant Based on Plant Level Dispatching

JING Qian-ming¹, HAO Fei², LIU Ji-zhen³

(1.Gansu Electric Company, Lanzhou 730050,China; 2. Nanjing Nari-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211100,China;
3.North China Electric Power University, Beijing 110000,China)

Abstract: In order to achieve the economic distribution of the plant's power and ensure area voltage quality, and meet the requirements of deregulation and economic dispatch, a collaborative optimization control system is proposed in this paper. Combining the system design of direct transfer mode and equipment configuration, this system is constructed with electrical network monitoring system integrated of plant level load distribution module and original plant's voltage reactive control system. The system can not only realize the function of itself, but also exchanges information with each other to achieves active power economic dispatch and reactive power optimization distribution. In order to obtain more information from power plant side, excitation system model based on CIM is built in network monitoring & control system, which guarantees the accuracy and security of AVC control on the power plant side.

Key words: plant wide control;load dispatch;voltage and reactive power control;network monitoring & control system; excitation system

下 期 要 目

- 600 MW 超临界机组真空下降诊断分析
- 分母线保护在智能变电站中的应用
- 江苏电网中长期机组组合问题研究
- 江苏分区电网低频低压减载方案适应性分析
- 南京热电厂 600 MW 超临界供热汽轮机及供热系统设计特点
- PMU 数据在控制中心的集成应用
- 无锡 220 kV 西泾智能变电站关键技术
- 智能变电站光纤差动保护同步性能测试方法研究
- IEC 61850 在高压直流输电系统中的应用
- 智能变电站状态监测技术及应用

广 告 索 引

泰州供电公司	封面	《江苏电机工程》协办单位	前插 6、7
宿迁电力设计院有限公司	封二	《江苏电机工程》协办单位	前插 8、9
南京南瑞继保电气有限公司	前插 1	扬州浩晨电力设计有限公司	(黑白) 文前 1
江苏省电力公司、江苏省电机工程学会	前插 2、3	国网电科院江苏南瑞淮胜电缆有限公司	封三
江苏省电力公司电力科学研究院	前插 4、5	南京南瑞集团有限公司	封底

二次设备时间同步状态在线监测系统研究

李 澄,陈 颢,宁 艳
(江苏方天电力技术有限公司,江苏 南京 211102)

摘 要:针对变电站二次设备时间同步状态的现状,分别提出了常规变电站和智能变电站二次设备时间同步状态在线监测方案及具体的实施过程。根据提出的方案,介绍了同步监测系统的设计方法,包括同步监测装置和监视后台的结构、原理及具体功能。

关键词:二次设备;时间同步;监测系统

中图分类号:TM762

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2012)01-0009-03

随着网络和装机容量的日益扩大,电力系统运行方式日趋复杂,系统内线路或主变发生故障时,将引起系统内相关的主设备保护、后备保护或相邻保护等多个保护的相继动作跳闸。为了分析整个事故的发生及演变过程,自动化系统记录的事件时标起着关键作用,为此各变电站内系统二次设备时间同步的正确性非常重要^[1,2]。变电站中通过配置时钟同步系统来保证事件时标的正确性。另外,为了监视时钟同步系统的运行情况,江苏电网还建立了时钟设备时间同步监测网络,对时间同步系统的运行状况实时监测^[3]。目前对变电站大量的二次设备对时状态还没有有效的监视手段,只能到现场检查二次设备的时间同步情况。

由于技术发展和设备更新的原因,变电站现存的二次设备种类复杂,型号繁多,对时间同步监测主要存在的问题有:(1)传统以及智能站二次设备都未设计时间同步状态监视功能和接口,必须找到不修改现有设备,实现同步监视的方法。(2)各种二次设备的通信接口、规约不同。同步监视获得二次设备装置的时间数据,必须通过通信接口,通信接口、规约不同阻碍了同步监视的实现。(3)时间真实性问题。二次设备有很多是多处理器/板结构的,装置内部同样有时间同步系统,简单监视装置时间并不真实反映事件时标时间的同步状态。为了实现有效、可行二次设备时间同步状态在线监测,根据不同的二次设备对象,设计了分别适用于常规变电站和智能变电站的站内二次设备时间同步监测方案,然后各变电站以统一的接口接入时间同步监测系统。

1 常规变电站监测方案

目前,常规变电站大多采用基于以太网的网络 103 协议完成二次设备与主站间的通信,早期的设

备采用基于 485 的 103 协议或基于以太网的其他协议,为了能适应所有现场的情况,对常规变电站二次设备时间同步的监测设计了 2 种方案:二次设备定时模拟事件方案和开关量遥信方案。

1.1 二次设备定时模拟事件方案

该方案基于网络 103 协议,利用该协议的 UDP 组播信号量、事件信息的发布功能,通过定时发送带时标事件报文来实现二次设备的时间同步状态检测,其具体过程如下:

- (1) 同步监测装置加入二次设备的广播组;
- (2) 受监测的二次设备按照固定的间隔模拟信号变位,每间隔连续发送 3 次具有时标的特定开关量报文;
- (3) 同步监测装置以收到特定事件报文内的时标作为基准时间 T_1 ,以接收到报文的时间作为报文的精确时间 T_0 ;
- (4) 同步监测装置将 T_0 和 T_1 发送到监视后台。监视后台通过比较 T_0 和 T_1 的差值来判断二次设备的时间准确性。

由于报文传输需要时间,当装置已同步时,该方案并不能确保 T_0 和 T_1 的差值为 0,经过实际设备试验及统计,报文传输时间通常小于 0.15 ms,偶尔 T_0 和 T_1 的差值会大于 8 ms,由于二次设备事件时标精度要求通常为 1 ms,为此监测后台采用统计方法,过滤由于传输延迟导致误差较大的数据点,综合分析后才判定二次设备事件同步的状态。

该方案只需在变电站增加同步监测装置,无需增加额外的物理接线和网络,也不改动现有的系统结构,工程实施简单,工作量小且能够满足绝大部分设备的监测要求,用户较容易接受。

由于该方案需要对二次设备软件进行小的修改,对已投运的变电站实现同步监测存在一定困难,为此该方案适合新建常规变电站时使用。

1.2 开关量遥信方案

为满足变电站改造要求以及对高精度要求设备的时间同步监测,设计了开关量遥信方案,如图 1 所示。具体过程如下:

- (1) 同步监测装置与二次设备均独立与时间同步系统时钟对时;
- (2) 同步监测装置在规定时刻 T_0 通过硬接线向二次设备发送对时监测脉冲信号;
- (3) 二次设备受监测脉冲触发生成带时标的事件,该事件包含二次设备时间 T_1 ;
- (4) 监测装置通过通讯接口监测二次设备通讯报文,解析带时标的事件报文提取二次设备时间 T_1 ;
- (5) 根据 T_0 和 T_1 的差值,监视后台进行统计和分析。

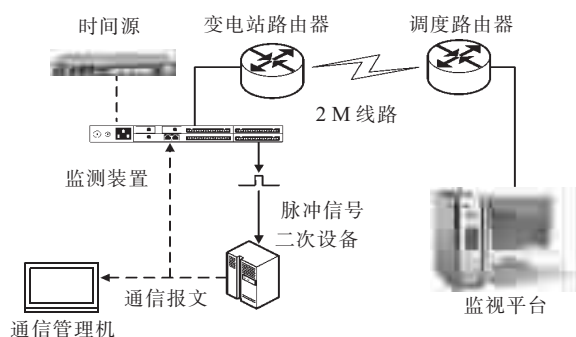


图 1 常规变电站开关量遥信方案

该方案采用实际遥信量触发事件,得到精确时标,可以满足高精度同步监测的要求。另外实施时不需要改动已投运设备的功能,通过 485/以太网 UDP 侦听特定报文即能实现同步监测,该方案适合于已投运变电站的改造,缺点是改造工作量较大,相同较复杂。

2 智能变电站监测方案

目前智能变电站正逐渐成为主流,智能站全站采用 IEC 61850 标准,过程层数据以 GOOSE 报文形式通过交换机网络传输^[4-6]。因此,利用智能站过程层网络的便利条件,用传统变电站模拟事件方案的方法设计了智能站二次设备时间同步监测方案,如图 2 所示。

- (1) 同步监测装置接入过程层网络;
- (2) 二次设备定时发送带时标的 GOOSE 报文;
- (3) 监测装置接收 GOOSE 报文并进行解析,以收到 GOOSE 报文的时间作为基准时间 T_0 ,以报文中数据集中指定字段的时标为二次设备时间 T_1 ;
- (4) 根据 T_0 和 T_1 的差值,监视后台进行统计和分析。

IEC 61850 标准中要求 GOOSE 的处理传输时间小于 4 ms,为此 T_0 和 T_1 的时差理论上小于 4 ms

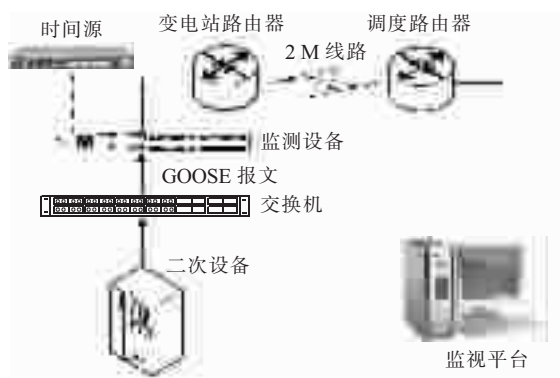


图 2 智能变电站二次设备定时模拟事件方案

(实测 GOOSE 处理传输时间一般小于 2 ms),为此,在智能变电站中采用该方法实现时间同步监测性能较传统站更有保证;另外,GOOSE 是智能变电站的基本功能,实现同步监测一般不需要修改二次设备的软件,仅需修改配置即可。

3 同步监测系统的实现

同步监测系统由分布在各变电站的同步监测装置和监视后台组成。

同步监测装置负责站内二次设备时间同步监视,屏蔽每个站具体的同步监视实现方案,以统一的通信规约与监视后台通信;另外,同步监测装置还完成站内时钟设备时间同步的监测。

监视后台系统完成所有二次设备同步状态的分析 and 判断以及各变电站时钟设备时间同步的监测。

3.1 同步监测装置

同步监测装置的结构如图 3 所示,其主要功能如下:

- (1) 与站内时间同步系统接口。同步监测装置需要监视站内时间同步系统的状态,也需要用标准时间打硬件时标,从而与二次设备时间进行比较。
- (2) 侦听 UDP/GOOSE,捕获二次设备响应的带时标的事件报文、以及 GOOSE 报文,由硬件记录所接收报文的时标,保证时间监测尽可能的精确。这个以太网接口不实现 TCP/IP 栈,仅接收而不发送报文,二次设备网络的安全性不会受影响。
- (3) 侦听 485 线路报文,实现早期设备的串口 103 报文的侦听,用于传统站开关量遥信方案。
- (4) 准确时刻开出信号输出。利用光耦以及固态继电器(根据二次设备物理接口而定)在精确时刻发送同步测试脉冲,为保证输出精确性,每组输出还可补偿线路延迟。
- (5) 与二次设备时间同步监测后台接口。此网络接口实现 TCP/IP 栈,但不与 UDP/GOOSE 侦听口有软件/硬件上的关联,保证跨站内/站外网络的隔离。

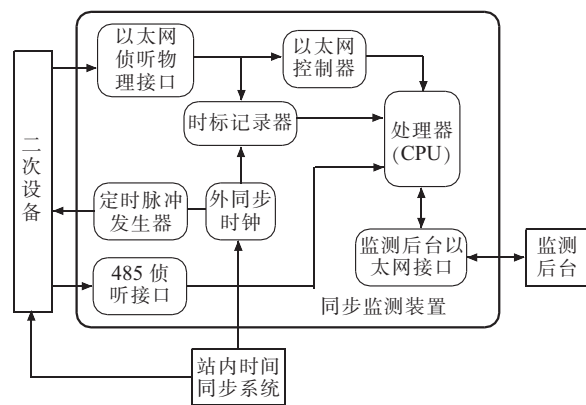


图 3 同步监测装置结构

3.2 同步监视后台

监视后台可以在变电站、地调和省调分级部署，实现对配置的站内 GPS 时钟的时间同步状态和站内二次设备对时状态进行检测，并对历史数据进行统计、分析，绘制数据曲线图。

监视后台与监测装置之间采用 TCP/IP 的通信方式，通信规约为自定义格式。其中监视后台作为客户端，监测装置作为服务端，两者采取长连接的通信方式。

监视后台根据监测装置上传的监测数据与基准时间源的偏差值，显示二次设备对时状态的有效性，并可以按照指定的时间段、监测设备和二次设备分别或组合查询。同时，还可以根据二次设备的型号等参数，从各角度对二次设备的对时精度进行分析并绘制相应的曲线图。

监视后台接收到监测装置上传的二次设备时间 T_1 和基准时间 T_0 并进行差值计算，若连续 $n(n \geq 3)$ 个差值超过设定值时，则判定此二次设备的对时状态有误，并给出告警信息。某二次设备的对时精度曲线如图 4 所示。从图中可以看出，有 2 点的时间偏差值较大。但是由于这 2 点并没有连续出现，因此可以判断，该二次设备对时状态正常。

4 结束语

目前，变电站二次设备时间同步状态尚未实现

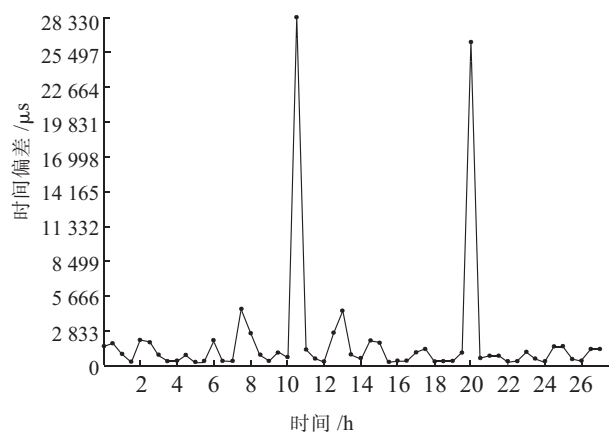


图 4 二次设备对时精度曲线

在线监测功能。本文根据常规变电站和智能变电站的不同特点分别给出了各自的二次设备时间同步状态的在线监测方案及具体的实施过程。还介绍了方案中同步监测系统的实现方法，包括同步监测装置和监视后台的结构、原理及具体功能。

参考文献：

[1] 李 澄,黄 伟,吴 刚. 数字化变电站新技术特点及应用[J]. 江苏电机工程,2007,26(S1): 8-10.

[2] 张 斌,倪益民,马晓军,等. 变电站综合智能组件探讨[J]. 电力系统自动化,2010,34(21):91-94.

[3] 鲁东海,孙纯军,王晓虎. 智能变电站中在线监测系统的设计[J]. 电力自动化设备,2011,31(1):134-137.

[4] 张清枝,左群业,何 刚,等. 智能变电站网络对时测试研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(21):237-240.

[5] 梁国坚,段新辉,高新华. 数字化变电站过程层网络方案[J]. 电力自动化设备,2011,31(2):94-98.

[6] 樊 陈,倪益民,沈 健,等. IEEE1588 在基于 IEC 61850-9-2 标准的合并单元中的应用[J]. 电力系统自动化,2011,35(6): 55-59.

作者简介：

李 澄(1970),男,江苏无锡人,高级工程师,从事数字化变电站与时钟同步领域技术研究工作;

陈 颢(1987),男,湖北钟祥人,工程师,从事数字化变电站与时钟同步领域技术研究工作;

宁 艳(1983),女,辽宁铁岭人,工程师,从事数字化变电站与时钟同步领域技术研究工作。

Study on On-line Monitoring System of Time Synchronous State of Secondary Equipment

LI Cheng, CHEN Hao, NING Yan

(Jiang Su Frontier Electric Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: According to the present situation of the secondary equipment synchronous state, on-line monitoring scheme and concrete implement process of traditional sand smart substation are proposed respectively in this paper. Based on the proposed scheme, design method of synchronous monitoring system is introduced which includes structure, principle and function of synchronous monitoring device and monitoring background.

Key words: secondary equipment, time synchronization, monitoring system

一起风电线路跳闸故障的分析

崔晓祥¹, 高 磊², 刘孝刚¹

(1.江苏省电力公司检修分公司, 江苏 南京 211102;
2.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘 要:针对某风电厂线路 A,B 相开关在无保护动作情况下跳闸进行了分析。通过对相关二次回路进行排查分析, 找出了事故发生的原因, 并提出了相应的反事故措施。

关键词:风电场; 误动作; 反事故措施

中图分类号: TM726

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0012-02

近年来,全球可再生能源的利用率逐年增长,越来越多的风力发电机组的接入,对电网运行的安全性和稳定性产生了重大的影响,因此,风电场故障的分析排查显得尤为重要。针对江苏地区发生的一起风电线路跳闸故障,进行了详细的调查和分析,并对风电场运行提出了相关的反事故措施。

1 事故情况简介

2011 年 4 月 1 日 17 时 30 分,某风电场侧 2W33 线路 A,B 相开关在无保护动作情况下跳闸,200 ms 之后南自 PSL603 保护后备三相跳闸动作,跳开 C 相开关。对侧变电站 2W33 开关未跳闸。此风电场一次接线如图 1 所示。

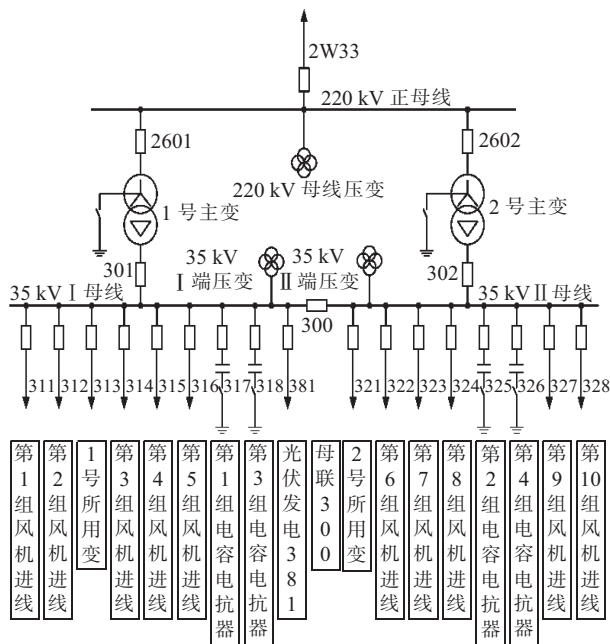


图 1 某风电场一次接线

故障过程中主变故障录波、线路故障录波、线路保护装置均启动了故障录波,依照时间先后顺序动作过程如下:

(1) 17:17:20:062, 35 kV II 母出线 B 相发生单相接地, 35 kV II 母的 B 相电压下降为零, A, C 相电压升高;

(2) 17:17:20:065, 2W33 跳位继电器 A, B, C 三相开入均出现几次抖动;

(3) 17:17:20:108, 在无保护动作的情况下, 2W33 线路发生 A, B 两相跳闸, 电流消失, 此后 2W33 线路的 C 相运行;

(4) 17:17:20:311, 南自 PSL603 保护非全相后备保护动作, 发三相跳闸命令, 并于 17:17:20:353 跳开 C 相断路器。至此 200 MW 风电场失去与变电站的联系, 孤网运行;

(5) 由于 35 kV II 母出线某处发生 B 相接地短路, 故障一直未切除, 造成 A, C 两相电压处于持续高位。17:17:20:455 开始, C, A 两相相继对地放电, 发生 A, B, C 三相短路故障; 且故障电流是由 35 kV I 段母线往 35 kV II 段母线供给, 2 台主变 35 kV 侧电流大小相等方向相反, 故障电流达 1.85 kA。

(6) 17:17:20:575 风机进线 324 开关和 327 开关跳开, 故障电流消失 (如图 2 所示)。

(7) 此后, 风电场内 35 kV 母线电压持续升高, 二次值达 68 V, 并出现了功率震荡。

2 故障现象查找

(1) 35 kV 线路 B 相发生单相接地后 3 ms, 在 2W33 开关位置接点的开入信号上观察到了明显的干扰现象; 44 ms 后, 2W33 A, B 相开关无保护跳闸, 此时 2W332 套线路保护均未动作, 未发跳闸命令; A, B 相开关跳闸后 200 ms, 南自 PSL603 保护后备保护非全相保护动作发三跳令, 跳开 C 相。35 kV 的单相接地故障最后发展为三相短路故障, 于单相接地后 0.5 s 由 327, 324 开关切除故障。

(2) 许继操作箱合闸位置灯和运行灯被击穿, 经查操作箱总线背板有灼烧痕迹, 灼烧点在第一、二

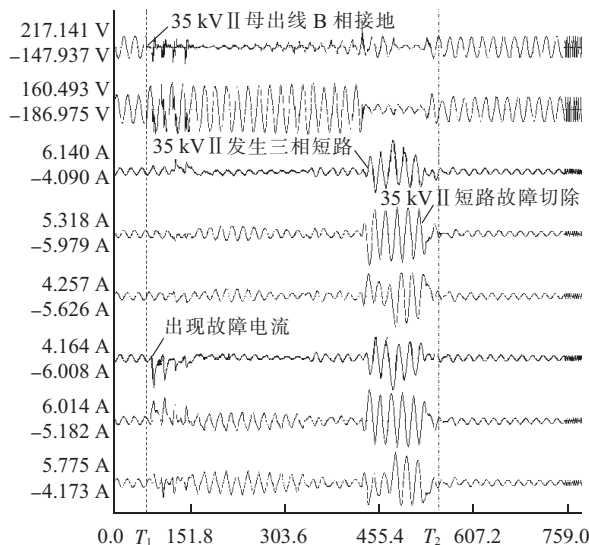


图2 故障录波图

路开关操作正电源之间。

(3) 接地变 Zn/Yn11 接线, 35 kV 侧中性点经消弧线圈接地, 为动态电容补偿方式, 由消弧线圈自动调谐控制柜控制。经查发现直流接触器有电弧灼烧痕迹, 直流励磁线圈外皮烧焦。

从上述现象可以看出, 当 35 kV II 母出线发生单相接地故障时, 暂态过电压是引起直流接触器直流线圈烧毁的原因。

3 故障原因分析

(1) 首先判断此故障是否保护误动作。2W33 线路开关 A、B 相在区外故障时发生跳闸^[1], 此时 2 套线路主保护均正确判断无出口跳闸, 因此不是保护误动; 而操作箱发现灼烧痕迹, 据此判断应是操作箱直接出口跳闸。

(2) 调查该风电厂历次类似故障跳闸事故发生, 许继操作箱均有原件破坏, 且录波波形中开关量有扰动出现, 据此初步判定为大功率交流电气量侵入, 致使操作箱发生内部电弧闪络或继电器抖动, 导致操作箱误出口跳闸。

(3) 由于近 2 次跳闸事故均由 35 kV 一次系统故障引发, 考虑站用 400 V 动力电源可能在故障时造成与直流系统的绝缘破坏而导致交流电侵入直流系统, 于是锁定排查对象为操作箱屏内和就地开

关端子箱内交直流电缆之间的绝缘性能。用 500 V 绝缘摇表检查未发现交直流电缆间有绝缘破坏, 但发现第一、第二路操作正电源间绝缘差, 仅有 75 k Ω 直阻, 试验表明, 第一、第二路操作正电源串电。

(4) 第二阶段对许继操作箱进行了内部检查, 发现两路操作正电源接入的背板插件在拔出后两路正电源没有交叉, 在插入背板后即出现串电现象, 于是排查总线背板是否有沟通回路。拆卸总线背板发现在第一、第二路操作正电源印刷板间有电弧灼烧痕迹。

(5) 接地变消弧线圈直流接触器有电弧灼烧痕迹, 经现场查看, 消弧线圈接触器设计为直流控制(电源取自直流 II 段母线)和交流控制(电源取自动力电源)2 个接触器并列运行方式, 当 35 kV 发生单相接地故障后, 保护单元通过接触器将阻尼电阻短接。由于较大的容性接地电流导致直流接触器短接阻尼电阻时拉弧, 灼烧到直流励磁线圈, 导致大功率交流电气量侵入风电场直流母线, 在绝缘薄弱点放电。这是导致该起跳闸的直接原因。

4 建议采取的相关反事故措施

(1) 去除消弧线圈直流接触器, 改用 2 个交流接触器(电源分别取自 2 台接地变的交流系统)。

(2) 因接触器多次出现弧光闪络现象, 风电场与消弧线圈厂家和设计院需要充分沟通, 拿出合适的整改方案。

(3) 在 35 kV II 母 B 相发生单相接地短路之前, $3U_0$ 就达到 12.3 V, 因此应对变电站的 $3U_0$ 进行监视, 预防故障的发生。

参考文献:

[1] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.

作者简介:

崔晓祥(1979), 男, 江苏兴化人, 工程师, 从事电力系统继电保护方面的工作;

高磊(1982), 男, 湖南郴州人, 工程师, 从事电力系统继电保护方面的工作;

刘孝刚(1971)男, 山东青岛人, 高级工程师, 从事电力系统继电保护运行管理工作。

Analysis on a Fault of Wind Power Line Trip

CUI Xiao-xiang¹, GAO Lei², LIU Xiao-gang¹

(1. Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch, Nanjing 211102, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: A trip accident happened between A and B phase of a wind power plant line is analyzed which is under the condition of unprotected action. Through investigation and analysis of the related secondary circuit, cause of the accident is found, and then relevant anti-accident measures are proposed.

Key words: wind farm; misoperation; anti-accident measures

二次系统状态检修技术在智能变电站中的应用

仲伟宽,徐 敏,孙天宇,谢铁明
(无锡供电公司,江苏 无锡 214000)

摘 要: 智能变电站虽然减少了传统二次电缆的长度,但也带来了难于对智能二次设备进行有效地监视和分析的问题,以往的二次检修方式已无法满足智能二次设备的运维要求。在提出问题的同时,介绍了 220 kV 西泾智能变电站的二次系统组网结构,并结合 2 个二次系统检修案例,说明在智能变电站采取二次状态检修模式的必要性。

关键词: 二次系统;状态检修;智能变电站

中图分类号: TM63

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0014-02

220 kV 西泾智能变电站是一座完整意义上的智能化变电站,采用大量新技术、新设备,全站采用 IEC 61850 标准^[1]实现二次装置信息交互数字化、标准化,利用光纤实现二次装置互联互通,极大简化了二次接线。然而,尽管减少了二次电缆,较大程度避免了传统二次回路问题,但由于全光纤互感器、网络交换机、SMV 采样机制、GOOSE 快速报文机制等新设备、新技术的大规模应用,一些新的回路问题也由此产生,而常规的检修方法已无法使用。因此,必须研究新的方法和手段监视并分析保护的状态和动作行为。

1 西泾变二次系统组网结构

西泾变在逻辑功能上由站控层、间隔层和过程层三层设备组成,并应用分层、分布、开放式的以太网实现连接,整个二次系统体系为“三层两网”结构^[2],即由站控层网络实现站控层设备和间隔层设备的连接,由过程层网络实现间隔层设备和过程层设备的连接,如图 1 所示。

2 西泾变二次系统状态检修案例

2.1 案例一

2011 年 1 月 24 日上午 10 时 40 分,西泾变出现“2 号主变 A 套保护闭锁”、“110 kV 母线保护闭锁”信号。现场发现,2 号主变中压侧光电流互感器(OCT)合并单元中 AD2 的 B 相电流显示为 0。

由于 2 号主变间隔过程层组网方式为直采网跳^[3]方式(如图 2 所示),即采样回路为:OCT→OCT 前置单元→间隔合并单元→保护装置。从图中可见,采样异常与上述 4 个环节都可能有关,为了缩小故障排查范围,必须借助其他设备和手段。

在西泾变工程中,设置了网络报文记录分析仪(以下简称网络分析仪),通过分析各层的报文,实

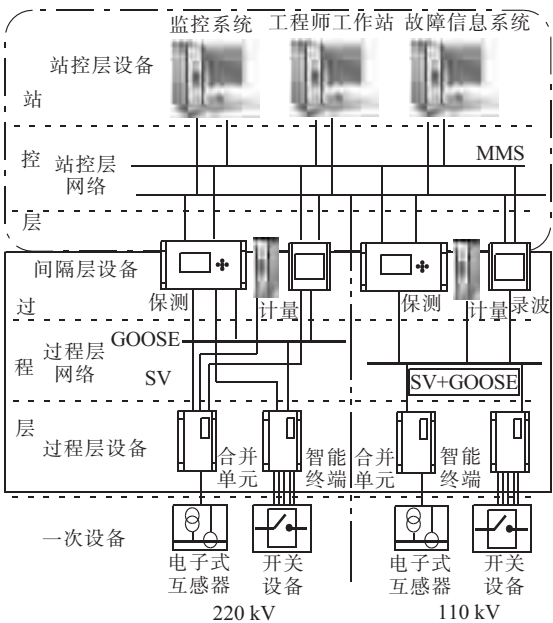


图 1 西泾变“三层两网”示意图

时监视通信网络和所有智能装置的运行状况并及时对异常进行报警,提供离线分析功能以判断故障点。检修人员对 2 号主变中压侧 OCT 合并单元的异常时间段内的报文进行了分析,发现 2 号主变中压侧 OCT 合并单元中 AD2 的 B 相电流采样通道频繁报“通道 5 状态字有变化”,并且从报文解析中发现“通道 5”(即 AD2 的 B 相电流通道)数值为 0。这说明合并单元接受到的数据即为 0,排除主变保护装置故障可能。进一步分析,若合并单元有故障,不可能仅有一相电流数据异常(三相数据均由一根采样光纤传输),即排除合并单元故障,亦排除两者之间光纤回路异常,初步判断可能为 OCT 一次问题,亦或为 OCT 前置单元故障。

后经 OCT 厂家人员现场检查,确定为 OCT 前置单元故障,系前置单元中的转换模块故障导致,更换该模块后恢复正常,消除了隐患。

2.2 案例二

西泾变自投运后,主变 PCS978 保护测控装置、

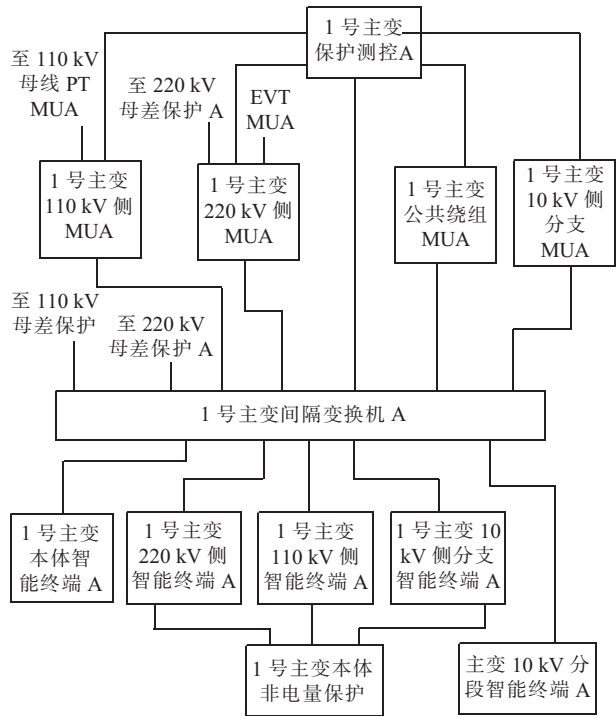


图2 西泾变主变过程层网络结构

线路PCS931保护测控装置在一、二次设备均无操作的情况下,频繁报“某某刀闸闭锁”、“某某刀闸解锁”信号,即存在对控制对象的联锁逻辑的计算结果有变位的情况,出现的周期大约为0.5 h。

针对此现象,研究了PCS900保测一体装置的五防联锁逻辑发现:参与联锁逻辑的信号来源分为3类:本间隔的过程层智能终端(过程层GOOSE传递)、其他间隔的保护测控设备(站控层GOOSE传递)、与此联锁逻辑相关的GOOSE链路的健康状态。由于一次设备并无操作,主变间隔保测装置、智能终端均正确反映一次设备位置、状态(无任何间隔层设备报变位信息),造成异常的原因很可能为GOOSE链路的健康状态,当相关传递GOOSE信号的链路出现问题时,联锁逻辑将会闭锁其对应的逻辑门。由图2可以看出,主变间隔的开关、闸刀位置均由主变间隔各侧智能终端(智能操作箱)采集,并以GOOSE形式通过主变间隔交换机传送至主变保测装置,由于保测装置、智能终端、传输光纤均无异常,初步判断站控层交换机为真正原因。据此,制定了检修方案。

步骤a:全面分析监控系统和保护装置的历史变位和告警记录。

步骤b:根据出现变位的时刻,调取网络分析仪的报文。

步骤c:跟踪联锁程序,在变位时刻确定出参与联锁计算的信号,判定原因。

采取步骤a分析时,分析了监控系统的历史变

位报文,信号报闭锁和解锁时刻,没有任何间隔层设备报变位信息。继之分析装置的历史报告,发现存在站控层GOOSE断链的信息,GOOSE断链说明保测装置接收的GOOSE周期报文有丢失的情况。

采取步骤b分析时,调取变位时刻的网络分析仪报文,发现GOOSE报文丢失的情况。

GOOSE报文丢失存在2种可能:一是交换机丢失,另一是此GOOSE链路的保护测控装置没有发送。经过多次分析,保护测控装置GOOSE发送正常,应是交换机丢弃GOOSE报文而导致。继续分析,发现站控层网络有每秒10万包左右的UDP报文^[4](2台监控系统数据库同步用,如图3所示,判断可能由于瞬时的报文冲击使交换机因负荷率高,影响GOOSE链路通信。关闭该报文端口,观察1 h左右,GOOSE报文丢失现象消失。后使用交换机的配置功能,将此同步数据包限制在站控层的中心交换机1-7、1-8口运行,且不影响其他业务端口运行,缺陷消除。

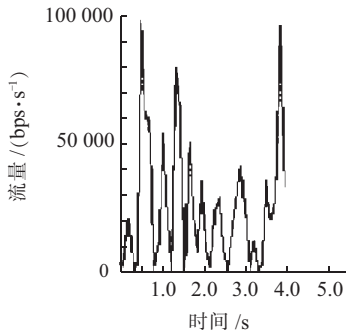


图3 站控层中心交换机GOOSE报文负荷流量

3 结束语

通过上述案例可以看出,由于智能变电站“三层两网”的结构,使之对GOOSE、SMV链路健康状态十分依赖,对于这种非传统的二次回路异常,仅采用传统的检修方法是无法快速准确处理的,必须采取新设备及新方法,例如智能化的监控系统(如网络分析仪、智能装置本身的自检功能等)、报文解析软件等。另外,从提高检修效率和设备可靠性方面考虑,开展二次设备状态检修较能满足智能化变电站的运行维护要求。

参考文献:

[1] IEC 61850,Communication networks and system in substation [S].2004.
[2] 吴在军,胡敏强.变电站通信网络和系统协议 IEC 61850 标准分析[J].电力自动化设备,2002,22(11):70-72.
[3] 鞠 阳.数字化变电站的网络通信模式[J].电力系统保护与控制,2010,38(1):92-95.
[4] 谢希仁.计算机网络[M].北京:电子工业出版社,2003.

雷电屏蔽模型在线路雷击分析中的应用

温生¹, 马勇², 周志成²

(1.南京供电公司 江苏南京 210041; 2.江苏省电力公司电力科学研究院 江苏南京 211103)

摘要: 绕击是输电线路雷击跳闸的主要原因, 研究雷电屏蔽模型对线路雷电绕击计算及分析具有重要意义。详细阐述了几何法、电气几何模型法和物理模型法在绕击计算中的特点和应用条件, 并对 220 kV 输电线路典型杆塔进行了绕击耐雷性能计算分析和比较。结果表明, 几何法来源于小模型试验, 与实际应用有一定差距; 电气几何模型和物理模型计算得到的结果基本一致, 都具有较强的工程应用性。

关键词: 雷电屏蔽模型; 几何法; 电气几何模型法; 物理模型法; 绕击

中图分类号: TM863

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2012)01-00016-05

据统计, 220 kV 及以上输电线路雷电绕击跳闸次数占雷击跳闸总数的 90% 以上, 雷电绕击是输电线路雷击跳闸的主要原因。输电线路发生雷电绕击跳闸主要是因雷电屏蔽失效造成的。雷电屏蔽是指通过设置避雷针、避雷线或者其他接闪装置, 避免地面建筑物或者其他接地物体遭受直击雷的危害。利用雷电屏蔽分析模型可针对某一个具体的保护对象, 确定该对象最佳的接闪装置配置方案, 对其屏蔽系统可能存在的屏蔽失效率进行评估^[1-3]。目前, 雷电屏蔽分析模型主要分为三大类: 几何法、电气几何模型法、物理模型法。

1 几何法

几何法是通过模拟试验结合运行经验建立起来的一种划分避雷针和避雷线保护范围的分析方法。由于雷云放电受很多偶然因素的影响, 通常几何法确定的避雷针和避雷线保护范围是指具有 0.1% 雷击概率的空间范围^[1,4]。

单支避雷针的保护范围如图 1(a) 所示, 在高度为 h_x 的水平面上, 其保护半径 r_x 为:

$$\begin{cases} r_x = (h - h_x) \cdot p & h_x \geq h/2 \\ r_x = (1.5h - 2h_x) \cdot p & h_x \leq h/2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: h 为避雷针的高度, m; h_x 为被保护物体的高度, m; p 为高度影响系数 ($h_x \leq 30$ m 时, $p=1$; $30 < h \leq 120$ m 时, $p=5.5/\sqrt{h}$)。

对于单根避雷线, 其保护范围如图 1(b) 所示, 在高度为 h_x 的水平面上, 其保护区域 r_x 为:

$$\begin{cases} r_x = 0.47(h - h_x) \cdot p & h_x \geq h/2 \\ r_x = (h - 1.53h_x) \cdot p & h_x \leq h/2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: h 为避雷线的高度, m; h_x 为被保护物体的高度, m; p 为高度影响系数。

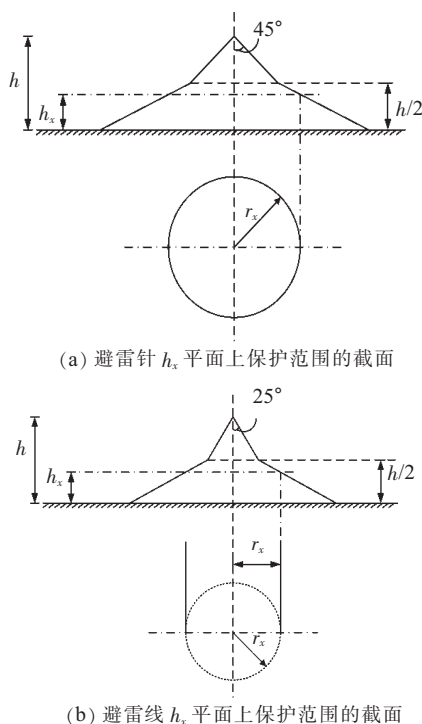


图 1 几何法确定避雷针和避雷线的保护范围

由于几何法是在实验室条件下小模型试验得出的结果, 与雷击真实的物理背景存在一定差异, 可作为工程中的屏蔽设计方法。

2 电气几何模型法

电气几何模型利用击距概念使雷电屏蔽成为几何参数和电气参数相结合的分析模型, 其将地闪放电特性与被保护物体的结构尺寸联系起来。该模型主要基于 2 个基本假设: (1) 由雷云向地面发展的先导放电通道头部到达被击物体的临界击穿距离——击距以前, 击中点是不确定的。(2) 击距的大小与先导头部电位有关, 因而与先导通道的电荷密度有关, 根据理论研究和实验, 击距与雷电流幅值有如下关系^[4,5]:

$$r_x=a\cdot I^b+c$$

(3)

式中: r_x 为击距,m; I 为雷电流幅值,kA; a,b,c 为系数。

自电气几何模型提出以来,Gold ,Whitehead, Armstrong,Brown 和 Mousa 等人为击距公式的修正开展了大量的工作,不断完善了击距公式,其主要结论如表 1 所示^[4-6]。

表 1 不同学者和组织提出的击距和吸引半径公式

击距公式	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Gold	3.3	0.78	0
Young's	27.0	0.32	0
Armstrong & Whitehead	6.7	0.80	0
朱木美	6.855	0.693 2	0
Mousa	8.0	0.65	0
IEEE Group	10.0	0.65	0
吸引半径公式	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Eriksson	0.84 <i>h</i> ^{0.6}	0.7 <i>h</i> ^{0.02}	0
Dellear & Garbagnati	0.028 <i>h</i>	1	3 <i>h</i> ^{0.6}
Rizk	4.27 <i>h</i> ^{0.41}	0.55	0

注:*h*为建筑物高度。

避雷针屏蔽示意图如图 2(a)所示。避雷针是基于避雷针屏蔽模型(如图 2(b)所示)建立的。220 kV 输电一般都架设有避雷线,其雷电绕击的电器几何模型示意图如图 2 (c)所示。电器几何模型确定线路绕击暴露空间的基本思想:雷电下行先导头部自雷云向地面发展,在其未达目的物临界击穿距离(击距)之前,其击中点是不确定的,若雷电下行先导先落入某地面物体击距范围内,即向该物体放电最终击中该物体。若假设雷电流幅值为 I_i 的下行先导,其可能的定位点为图 2 (c)中曲线 $C_iB_iA_iD_i$,弧段 $\widehat{C_iB_i}$ 和 $\widehat{B_iA_i}$ 分别为以避雷线和导线为圆心,以击距 r 为半径的圆弧;直线 A_iD_i 为平行于大地、高度为击距 r 的直线。则若先导定位于弧段 $\widehat{C_iB_i}$ 将击中避雷线,定位于弧段 $\widehat{B_iA_i}$ 将击中导线,定位于直线段 A_iD_i 将击

中大地,则弧段 $\widehat{B_iA_i}$ 被称为导线暴露弧段, D_i 被称为导线暴露距离。若线路处于良好屏蔽,则导线暴露弧和暴露距离长度将随着雷电流幅值的增加而减少;当暴露弧或者暴露距离减小至 0 时,对应此时的雷电流幅值为最大绕击电流 I_m ,雷电流幅值大于此值的下行先导将不再绕击导线^[5,6]。

电气几何模型不同于单纯的几何法,其是在现场观测的基础上结合理论研究建立的分析模型,通过线路几何结构、保护角和地形等参数分析线路绕击特性。引入击距的概念简化了雷击选择的最后过程,但击距的定义和取值依赖于现场观测数据的支撑和修正,故电气几何模型具有很强的工程应用性。

3 物理模型法

20 世纪 50 年代以来,随着雷电观测、长间隙放电研究的进展以及放电击中点选择性影响因素的试验研究,下行地闪发展的基本物理过程已逐渐被认识。地闪是一种超长空气间隙放电,其空气间隙击穿过程主要包括:电极先导起始和发展、接地体上迎面先导的起始和发展、上下行先导间的相对运动和最后跃变过程。

物理模型在雷电观测数据的基础上,通过合理的假设和物理抽象,建立数学模型模拟下行地闪发展和最后击中点选择的整个物理过程。在雷击地面物体过程中,地面目的物上行先导的起始以及随后上下行先导间的相对运动在决定物体的引雷能力或吸引半径中发挥重要的作用。物理仿真模型包括:下行先导模型、迎面先导起始判据、迎面先导和下行先导的相对发展模型以及最后击穿判据等部分^[6-8]。

3.1 Eriksson 模型

Eriksson 根据 Gold 提出的 25 kA 雷电流对应约 1 C 通道电荷量,并根据其在南非所开展的雷电观测结果,建立模型:

$$I=29.4Q^{0.7}$$

(4)

式中: I 为回击电流峰值,kA; Q 为地闪通道的电荷

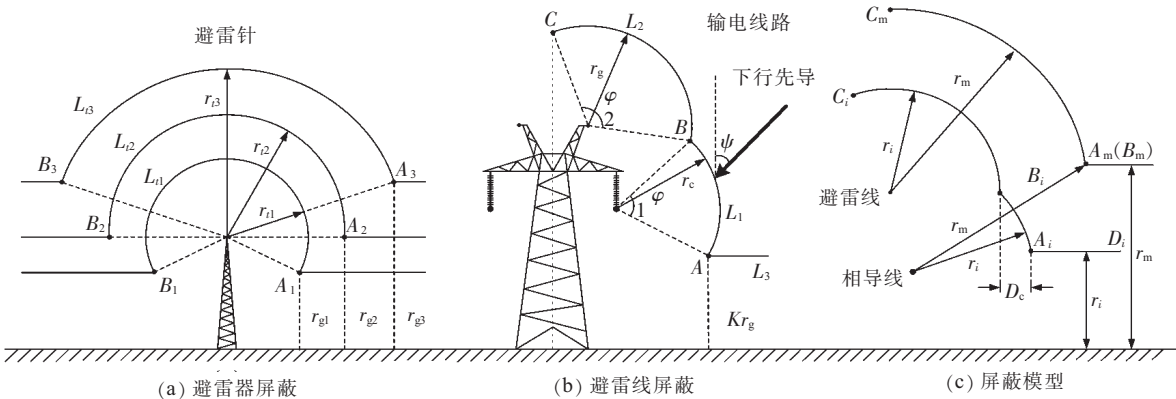


图 2 电气几何模型分析示意图

量, C 。

假设雷云高度为 5 km, Eriksson 建立了下行先导模型, 采用临界电晕半径法作为迎面先导的起始判据。与电气几何模型不同的是, Eriksson 认为即使下行先导落入击距范围内, 地面物体也不一定会成为雷击目的物, 只有地面物体产生迎面先导后, 与下行先导相遇, 地闪最后击中该物体, 否则地闪击中大地^[6,7]。

通过引入下行先导速度 v_{down} 和上行先导速度 v_{upward} 之比 K_v , 可以得到如图 3 中实线所示的不同相对运动速度比下的迎面先导拦截范围的曲线, 该曲线与击距曲面交点确定的范围即为该物体的吸引半径 R_a 。

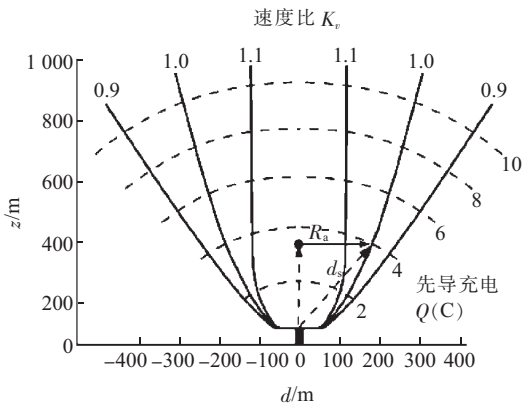


图 3 Eriksson 模型示意图

3.2 Dellear & Garbagnati 模型

下行先导中总电荷量与雷电流幅值相关, 电荷均匀分布。考虑下行先导有分支现象, 地面目的物的上行先导起始主要受邻近一条先导分支通道影响, 取下行先导头部几十米的通道电荷密度 $100 \mu\text{C}/\text{m}$; 下行先导头部前方流注扩展范围为空间场强大于 $300 \text{ kV}/\text{m}$ 区域, 下行先导沿最大场强方向传播^[7,8]。

上行先导起始条件为具有临界电晕半径的电极的电晕起始条件, 对于线形物, 临界电晕半径为 10 cm ; 对于棒型物, 临界电晕半径为 35 cm ; 上行先导通道线电荷密度为 $100 \mu\text{C}/\text{m}$, 上行先导前方流注扩展的范围为空间场强大于 $500 \text{ kV}/\text{m}$ 的区域, 上行先导沿最大场强方向传播^[7,8]。

下行先导与上行先导相对发展速度之比在 1~4 之间变化, 当上行先导刚起始时, $v_{\text{descend}}/v_{\text{upward}}=4.0$; 当达到最后跃变条件时, $v_{\text{descend}}/v_{\text{upward}}=1.0$; 最后跃变条件为: 当上下行先导前方流注相遇或者下行先导前方流注抵达地面物体^[7,8]。

3.3 Rizk 模型

Rizk 针对目的物上行先导起始判据这一问题, 通过大量的实验, 提出适于复杂间隙结构的先导起始判据, 对于棒型物其先导起始判据为:

$$U_i = \frac{1556.0}{1 + \frac{3.89}{h}} \quad (5)$$

式中: U_i 为下行先导在棒头部处感应电位, kV ; h 为棒型物的高度, m 。对线性物其先导起始判据为^[7,8]:

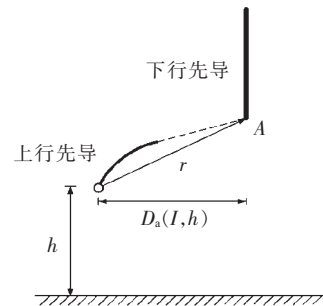
$$U_i = \frac{2247.0}{1 + \frac{5.15 - 5.49 \ln r}{h \ln(2h/r)}} \quad (6)$$

式中: U_i 为下行先导在导线处感应电位, kV ; h 为线形物的高度, m 。

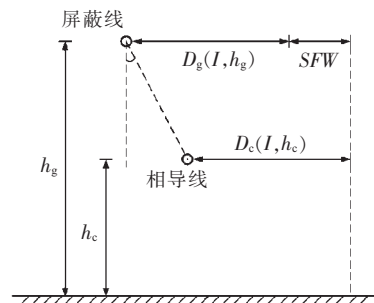
假设下行先导始终垂直发展, 从地面目的物上产生的上行先导始终朝向下行先导的头部发展; 当下行先导头部高度低于上行先导仍未发生最后跃变时, 判定下行先导将不会与此条上行先导相遇; 上下行先导间的速度比取为 1.0; 当上下行先导间或者下行先导头部与地面物体表面间平均场强达到 $500 \text{ kV}/\text{m}$ 时, 发生最后跃变。基于上述观点, Rizk 首先建立了单导线的仿真模型, 如图 4 (a) 所示, 仿真模型包括: 下行先导、迎面先导起始和发展以及最后跃变等几个阶段^[7,8]。根据单导线仿真结果提出导线吸引半径 $D_a(I, h)$ 的概念, 其为导线高度和雷电流幅值的函数。如图 4 (b) 所示, 对于输电线路可分别计算出避雷线吸引半径 $D_g(I, h_g)$ 和导线吸引半径 $D_c(I, h_c)$, 则导线的暴露距离为:

$$SFW = D_c(I, h_c) + (h_g - h_c) \tan \alpha - D_g(I, h_g) \quad (7)$$

式中: SFW 为暴露距离, m ; α 为保护角, $(^\circ)$; h_g 为避雷线高度; h_c 为地线高度。



(a) 仿真模型



(b) 吸引半径

图 4 Rizk 模型示意图

4 案例分析

近年来,江苏某些 220 kV 输电线路每年都发生雷电绕击故障,属于雷电易击线路。据统计数据可知,线路塔型主要采用鼓形塔 FTSS1 和猫头塔 ZT2,如图5 所示。按照几何法计算,三相导线均在避雷线的保护范围之内(即发生绕击的概率为 0.1%)。采用几何模型、电气几何模型和物理模型分别计算杆塔的绕击性能,如表(2—4)所示,其中电气几何模型分别选用了 Armstrong & Whitehead 和 IEEE Group 推荐的击距公式,物理模型采用了 Rizk 模型的先导判据。

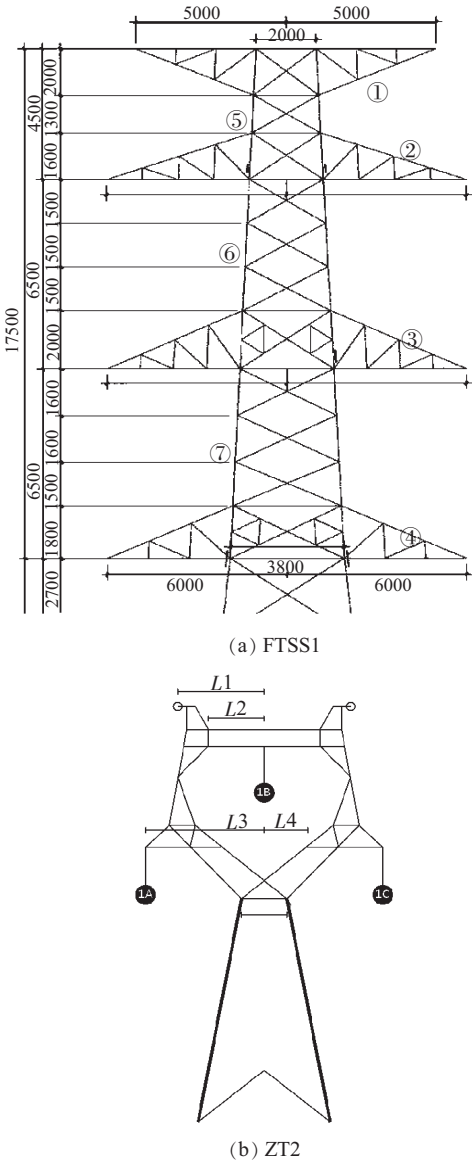


图 5 220 kV 交流线路典型杆塔示意图

由计算结果可知:

- (1) 几何法所得结果,各相导线均在避雷线保护范围,因为该方法来源于小模型试验,其保护范围是相对的,对实际工程指导作用有限;
- (2) 电气几何模型法计算结果主要取决于导线

表 2 几何模型法计算导线各相绕击性能结果

塔形		对应高度水平面上 避雷线的保护范围 /m	导线与避雷线 的水平距离 /m	计算 结果
FTSS1	上相	1.71	1	屏蔽
	中相	4.18	1.2	屏蔽
	下相	6.65	1	屏蔽
ZT2	边相	3.84	2	屏蔽
	中相	4.27	4	屏蔽

表 3 电气几何模型法计算导线各相绕击性能结果

塔形	导线 位置	Armstrong & Whitehead $a=6.7, b=0.8, c=0$		IEEE Group $a=10, b=0.65, c=0$	
		最大绕击 电流 / kA	绕击率 / [次·(百公 里·年) ⁻¹]	最大绕击 电流 / kA	绕击率 / [次·(百公 里·年) ⁻¹]
FTSS1	上相	14.12	0.016 80	14.12	0.015 98
	中相	8.91	0.001 73	8.03	0.001 29
	下相	6.67	0.000 50	5.73	0.000 19
ZT2	边相	10.68	0.009 89	10.01	0.007 31
	中相	0	0	0	0

表 4 物理模型 Rizk 先导判据计算导线各相绕击性能结果

塔形	导线位置	Rizk 模型	
		最大绕击 电流/kA	绕击率 / [次·(百 公里·年) ⁻¹]
FTSS1	上相	16.64	0.230 63
	中相	7.07	0.035 33
	下相	0.6	0.000 66
ZT2	边相	11.69	0.085 97
	中相	0	0

和避雷线的空间位置以及选用的击距公式,公式参数虽有差异,但结果差别不大;

(3) 物理模型法考虑了雷电发展的过程,计算结果稍偏保守,建模与计算较复杂,但结果基本与电气几何模型相似;

(4) 电气几何模型法和物理模型法的计算结果都表明鼓形塔的上相保护角最大,绕击概率最大,下相则相对较小,猫头塔中相不会绕击,所得基本规律一致。

5 结束语

(1) 电气几何模型是将地闪放电特性与被保护物体的结构尺寸联系起来的雷电屏蔽模型,并得到大量的长距离间隙放电试验验证,各模型参数都具有较强的工程应用性;

(2) 物理模型是在雷电观测数据的基础上,通过合理假设和物理抽象,建立数学模型模拟下行地闪发展和最后击中点选择的整个物理过程,较为真实反映了雷击过程,也能应用于线路雷击故障分析;

(3) 电气几何模型和物理模型都较好分析了线路雷击故障原因。电气几何模型成功的重要原因之一是建立的雷电屏蔽分析模型基本符合工程实际。现有的物理仿真模型在数学上过于复杂,应适当简化仿真模型,并将物理仿真模型的计算结果不断修正电气几何模型,建立适用性更为广泛的雷电屏蔽分析模型。

参考文献:

- [1] CURRIE J R, CHOY L A, DARVENIZA M. Monte Carlo Determination of the Frequency of Lightning Strokes and Shielding Failures [J]. IEEE Transactions Power Apparatus Systems, 1971,90:2305-2312.
- [2] ERIKSSON A J. An Improved Electrogeometric Model for Transmission Line Shielding Analysis [J]. IEEE Transactions on Power Delivery. 1987(2):871-886.
- [3] GOLD R H, LEE W R. Death by Lightning [J]. Proc IEE, 1976, 123:1163-1180.
- [4] MOUSA, A M, SRIVASTAVA, K D. The Lightning Performance of Unshielded Steel-structure Transmission lines [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1989, 4 (1):437-445.

- [5] RIZK, F A M. Modeling of Transmission Line Exposure to Direct Lightning Strokes [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990, 5 (4):1983-1997
- [6] DELLEAR L, GARBAGNATI E. Lightning Stroke Simulation by Means of the Leader Progression Model [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 06 (1):2009-2022.
- [7] ARMSTRONG H R, WHITEHEAD, E R. Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding [J]. IEEE Transactions Power Apparatus Systems, 1968(1):270-281.
- [8] TAKATOSHI Shindo, ISAMU Kishizima, TOSHIO Suzuki. Flashover Characteristics of Air Gaps Under Partly Chopped Waves [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 3(4):1887-1891.

作者简介:

温 生(1981),男,内蒙古集宁人,工程师,从事输电线路管理工作;
马 勇(1986),男,湖北襄樊人,助理工程师,从事过电压与绝缘配合、防雷与接地等工作;
周志成(1977),男,湖南株洲人,博士,从事高电压技术研究及管理工作。

Application of Lightning Shielding Model for Analyzing Lightning Stroke of Transmission Line

WEN Sheng¹, MA Yong², ZHOU Zhi-cheng²

(1. Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210041, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Shielding failure is the principal cause of lightning trip fault on transmission line, so it is very important to study the lightning shielding model for the calculation and analysis of the lightning shielding. This paper elaborates on the characteristics and application conditions of Geometric Method, Electro Geometric Models and Physical Models in detail. Then lightning protection performance of shielding failure on 220kV transmission line with three different models are analyzed and compared with. The results indicate that Geometric Method derived from small model experiment has a certain distance with practical application. Results obtained by Electro Geometric Models and Physical Models are in substantial agreement, so both are with highly practicability.

Key words: lightning shielding model; geometric method; electro geometric model; physical model; shielding failure

(上接第15页)

作者简介:

仲伟宽(1980),男,江苏无锡人,工程师,从事电力系统二次检修工作;
徐 敏(1972),女,江苏无锡人,工程师,从事电力系统二次设

计工作;

孙天宇(1974),男,江苏无锡人,从事电力系统二次检修工作;
谢铁明(1984),男,江苏无锡人,助理工程师,从事电力系统二次检修工作。

Application of CBM Method on Secondary System in Smart Substation

ZHONG Wei-kuan, XU Min, SUN Tian-yu, XIE Tie-ming

(Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214000, China)

Abstract: Though smart substation reduces the amount of traditional secondary cables, it also brings the problem of effectively monitoring and analysis with smart secondary devices which are equipped in smart substation. Traditional maintenance mode of secondary system can't meet the requirements of smart devices' operation and maintenance. The structure of secondary system in 220 kV Xijing smart power station is introduced in this paper. Two CBM (Condition Based Maintenance) cases are combined to illustrate the necessary of adopting CBM in secondary system in smart substation.

Key words: secondary system; condition based maintenance; smart substation

基于 IEC 61850 的变电站系统配置工具设计与实现

任 翔,周心亮
(国网电力科学研究院,江苏 南京 210003)

摘 要:介绍了基于变电站配置描述语言(SCL)的模型构成以及 SCL 的语法结构,明晰了配置模型的生成规范和格式要求,从工程配置的实际需求出发,对配置工具预期实现的功能和操作方式进行了分析和梳理,借鉴基于 MVC 的界面软件开发思路,以保持功能模块的相对独立性和可复用性为依据,在跨平台的开发环境 QT4.5.3 下,设计并实现了一种基于 IEC 61850 的变电站系统配置工具。工程实际应用证明,该配置工具完全能满足变电站系统的配置需求。

关键词:IEC 61850; 变电站配置描述语言; 模型; 配置工具; MVC

中图分类号:TM76 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0021-03

IEC 61850 标准中定义了基于 XML 的变电站配置描述语言(以下简称 SCL 语言),用于描述变电站系统,即变电站自动化系统和变电站(开关场)本身及其之间的相对关系^[1]。更清楚地说,是提供并规定了一种统一的、简洁的、易于理解的配置文件格式,用于描述以下三方面信息:(1) 变电站的功能结构和一次设备间拓扑关系;(2) 变电站自动化系统中智能电子设备(IED)的功能;(3) 变电站的通信系统。最终,利用这些文件实现变电站自动化系统和智能电子设备的配置,并完成不同厂家设备以及系统之间兼容的信息和数据交互,从而为实现站内设备的互操作提供基础性支持。文中基于 SCL 语言的变电站系统配置模型及其实现方法,设计并实现一种系统配置工具。

1 变电站系统配置模型

基于 SCL 的配置模型可由以下 5 个部分模型组成。

- (1) 头部分(Header):包含 SCL 模型的版本、修订信息以及名称映射等信息。
- (2) 变电站:用于描述变电站的功能结构、主元件、电气连接等一次设备信息。
- (3) IED:结构化描述了站内 IED 的对象模型,主要包含逻辑设备、逻辑节点、数据对象等。
- (4) 通信系统:主要包括逻辑子网和 IED 接入点的通信参数。
- (5) 数据类型模板:提供了 IED 中逻辑节点、数据对象、数据属性等数据类型的模板信息。

其中,变电站和 IED 模型是相对层次化的结构模型,完整的 SCL 配置模型的结构如图 1 所示。而 SCL 本身的语法结构遵循 XML Schema 的规定,即每个 SCL 元素均从根元素类型派生而来^[2],包含若

干属性和若干子元素,基本语法结构如图 2 所示。

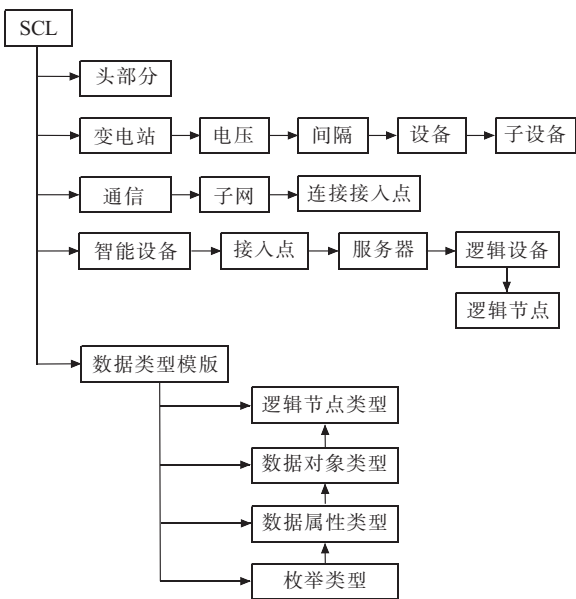


图 1 SCL 配置模型结构

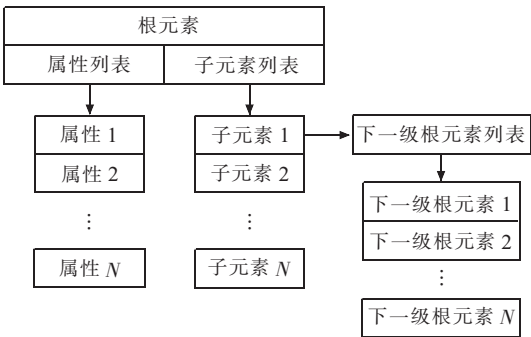


图 2 SCL 基本语法结构

根据实现功能和提供者的不同,在变电站系统的实际配置工作中涉及到如下 4 种 SCL 配置文件。

- (1) ICD 文件:由 IED 设备制造商在设备出厂时提供,用于描述 IED 的一般能力,包含 Header、IED 和数据类型模版三部分模型信息。
- (2) SSD 文件:多数情况下由设计单位在完成变电站一次系统的设计后给出,用以描述变电站一

次系统的拓扑结构和设备信息。

(3) SCD 文件:由系统集成商在完成全站系统配置后生成,包含了变电站的全部配置信息。

(4) CID 文件:可由系统集成商完成全站 SCD 后提取,也可由 IED 设备制造商得到 SCD 后自行生成,描述了 IED 实例化后的配置信息。

2 模型配置方法

一般情况下,由设备制造商根据出厂 IED 实际具备的功能,借助 IED 模型配置工具,生成 IED 的模型文件 ICD,提供给系统集成商,再由系统集成商统一使用系统配置工具将全站 IED 的 ICD 文件作系统级的集成,主要工作是配置全站各层次的通信系统,以及实例化 IED 的相关参数,真正实现各 IED 的定制功能,在形成 SCD 模型文件之后,系统集成商输出各个 IED 的 CID 文件,或提供 SCD 文件给设备制造商,由其形成 CID 文件,并下载完成 IED 设备的最终配置。

至于 SSD 文件,在当前的工程实践中,应该说尚未发挥应有作用。主要是因为系统集成商大多无法根据 SSD 文件提取出 SCD 文件中所需的变电站一次系统相关信息,且作为文件提供者的设计单位也很难给出符合标准的 SSD,系统集成商通常只有手动配置此类信息至 SCD 模型中^[3]。实际模型配置方法如图 3 所示。

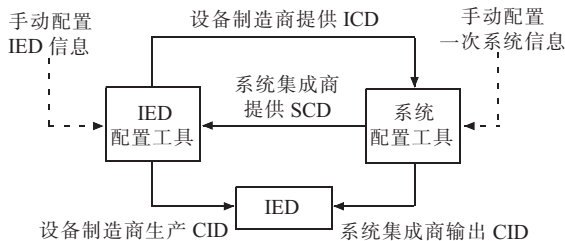


图 3 模型配置方法

3 系统配置工具的设计实现

3.1 功能分析

通过以上分析可归纳出系统配置工具所需具备的两大类功能。

(1) 文件级操作功能:对基于 SCL 的模型配置文件进行新建、导入、导出和校验,主要包括构建初始的 SCD 模型或解析 SCD 文件生成 SCD 模型,解析 ICD 文件后提取信息并入 SCD 模型,从 SCD 模型中提取信息生成 CID 文件,生成 SCD 文件以及在文件导入导出时进行 Schema 语法校验。

(2) 界面编辑功能:通过树状、表状和列表视图配合呈现 SCD 模型的全部信息,并可对相关数据信息进行可视化的编辑操作,将编辑操作的结果更新

至 SCD 模型中。

3.2 模块设计

该配置工具在 QT4.5.3 下进行开发,Qt 是跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架,具有优良的跨平台特性,完全支持面向对象的设计,并提供丰富的 API,能有效地提高程序的开发效率。

程序模块划分为主程序和 SCL 解析器两部分,其中,SCL 解析器实现各类 SCL 模型的数据解析处理和有效性校验,以动态链接库(DLL)的形式封装后供主程序调用,以保证其独立性和复用性。

主程序借鉴 MVC 的设计思想可划分为 3 个部分^[4]:模型部分用于当前配置中的 SCD 模型管理;界面部分实现工具中所有界面功能;控制部分是模型和界面联系的桥梁,触发两者之间的信息交互,并实现其他辅助操作。各模块功能如图 4 所示。

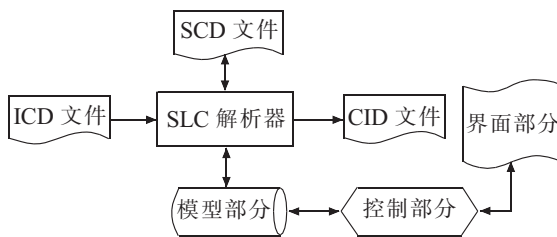


图 4 模块功能示意

3.3 SCL 解析器

SCL 解析器提供了通用的 SCL 模型解析和校验功能,并具备较为完整的外部接口,以实现 SCL 模型与文件之间的交互,在其内部主要封装有以下几个类。

(1) CSaxHandler 类:用于处理基于 SAX2.0 的 XML 文件解析,该类继承自 xercesc 中提供的 DefaultHandler 类,并重新实现了其中一些事件处理函数,其中 SAX2.0 是基于事件机制的 XML 标准处理接口 API,而 xercesc 则是一种开源的 XML 语法分析器,在解析 XML 时,解析到特定位置时会调用相应的函数生成 SCL 模型中特定的类对象实例,以此更新 SCD 模型,其他需用到 xercesc 中的类还包括 SAX2XMLReader、XMLReaderFactory 等;

(2) CSCLHandler 类:实现 SCD 模型与 SCL 文件的操作接口,并对 SCD 模型中各数据管理功能进行封装,主要功能有加载 XML 文件并创建模型(loadXmlFile)、导入 icd 文件并添加至模型中(importIcdFile)、从现有模型中导出指定 IED 对应的 CID 文件(exportCidFile)、保存修改后的 SCD 文件(saveScdFile)等。

(3) CSCLFactory 类:是 SCL 中各数据模型的工厂类,主要功能是在解析 SCL 文件过程中,根据解析到的不同内容创建相应的 SCL 数据类。

(4) SCL 数据类:根据 SCL 语法和模型结构定义的各种 SCL 数据类,每个类的实例对应 SCL 模型结构中一个节点实例,如 CtBase、CtSCL、CtHeader、CtCommunication、CtIED 等。

3.4 模型部分

模型部分主要实现 CSCDHandler 类,该类提供 SCD 模型的各种访问接口,如:获取 CtHeader 节点实例指针、获取 CtCommunication 节点实例指针、获取指定 CtIED 节点实例指针、获取指定 CtLDevice 节点实例指针、获取指定 CtLN 节点类指针等。

3.5 界面设计

配置工具的主界面采用三分屏的模式,即左、中、右功能区。

(1) 左侧工作区:通过树形视图显示 SCD 模型各层次节点,考虑到 SCD 模型中 IED 节点规模和显示更新的效率,故只展开至 LD 节点这一层级。

(2) 右侧工作区:通过树形视图显示 SCD 模型内数据源信息,主要是指 GOOSE 配置信息,并提供拖拽功能,以便于 IED 中 GOOSE 信息的配置操作。

(3) 中间工作区:以 Tab 页分别显示指定 LD 的 LN、DataSet、控制块和 Inputs 等分类信息。

界面程序中主要包括以下几类。

(1) CTreeWidgetItem 类:继承自 QTreeWidgetItem 类,用于构建左右侧树状视图中的节点项,并封装了用于访问指定节点的父节点和子节点的函数,如:获取父节点名称、删除子节点等。

(2) UTreeWidget 类:继承自 QTreeWidget 类,用于构建左右侧树状视图,对于右侧树状视图,还增加了鼠标点击拖拽功能,该功能通过重新 mousePressEvent (QMouseEvent *e)、mouseMoveEvent(QMouseEvent *e)和 mouseReleaseEvent(QMouseEvent *e)等事件处理函数来实现。

(3) CTable 类:继承自 QTableWidget 类,用于构建中间工作区 Tab 页中的表状视图,也增加了拖放功能,该功能则是通过重新实现 dragEnterEvent

(QDragEnterEvent *e)、dropEvent (QDropEvent *e)和 dragMoveEvent(QDragMoveEvent *e)等事件处理函数来实现。

3.6 控制部分

借助 QT 的信号-槽机制,能较为简便地实现界面与模型之间的交互,控制部分中最主要的是 USlotHandler 类,该类在主程序中只存在一个单实例,实例中实现了各种用于界面和模型交互响应的槽函数。

4 结束语

该配置工具开发完成后,已实际应用于工程配置中。实践证明,能满足当前工程环境中的配置需求,有效降低了配置工作难度,提升了工作效率,保证了配置准确性,发挥了应有的作用。

考虑到后期 SSD 文件的应用,建议还需进一步对功能进行完善,以实现变电站一次系统信息自动配置。此外,通过界面拖放功能的使用,能相对简便地进行 GOOSE 信息的配置,但在节点容量较大或通信系统较为复杂的情形下,仍有较大的工作量需手动完成,下一步的工作是如何提供更加高效的配置方式,以实现 GOOSE 信息的快速配置。

参考文献:

- [1] IEC/TC57, IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations[S].2004.
- [2] 周邴飞,张海滨,徐石明,等.IEC 61850 工程组态中的统一建模技术研究[J].江苏电机工程,2007,26(S1):72-74.
- [3] 王松,宣晓华,周华.基于 IEC 61850 变电站自动化系统的系统组态研究[J].继电器,2008,36(3):48-50,74.
- [4] 王映辉,王英杰,王彦君,等.基于 MVC 的软件界面体系结构研究与实现[J].计算机应用研究,2004,(9):188-190,193.

作者简介:

任翔(1980),男,江苏南京人,工程师,从事变电站自动化系统的研发工作;

周心亮(1986),男,江苏江都人,助理工程师,从事变电站自动化系统技术调试工作。

Design and Implementation of Substation System Configuration Tool Based on IEC61850

REN Xiang, ZHOU Xin-liang

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: By analyzing the model structure and the syntax structure of substation configuration description language (SCL), generating standards and format requirements of the configuration model are made clear. Proceeding from the actual requirement of engineering configuration, the expected function and operation mode of configuration tool are analyzed. Referring to the development idea of MVC interface software, in order to remain the relative independence and the reusability of the functional modules, a substation system configuration tool based on IEC 61850 is designed and achieved under the development environment of QT4.5.3. The practical application shows that this configuration tool can completely satisfy the requirements of substation system.

Key words: IEC61850; substation configuration description language (SCL); model; configuration tool; MVC

雷电波对电力系统行波故障测距法的影响分析

张欣,雷震,许栋栋
(江苏省电力公司,江苏南京 210024)

摘要:行波法由于其稳定和准确性,广泛应用于电力系统。雷电波是影响行波故障测距的重要因素之一,通过对雷电波故障进行仿真,比较了非故障性雷击和故障性雷击的特点。仿真实验结果表明,合理利用双端测距原理对雷击故障进行测距具有较高精度。

关键词:行波故障测距;影响因素;雷电波

中图分类号:TM755

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0024-04

输电线路故障测距技术具有极大的经济效益和社会效益,是近年来国内外电力生产和科研部门密切关注的研究课题。行波法因其稳定和准确性在电力系统中广泛应用。在实际运行过程中,电网的各种干扰都会给行波故障测距带来很大的影响,因此考虑各种干扰情况下的行波故障测距非常必要。在江苏,雷电是导致电力系统故障的主要原因之一,而雷电波又是影响行波故障测距的重要因素之一,非故障性雷击和故障性雷击对行波故障测距产生的影响也不同。因此研究雷电波对行波故障测距的影响特别有针对性。应用 ATPdraw 分别建立了非故障性雷击和故障性雷击作用在线路上的模型,进行仿真并应用 Matlab 对仿真数据进行处理,分析了雷电波对行波故障测距的影响。

1 行波法概述

1.1 行波法分类

行波法^[1-3]是利用故障时在测量端量测到的故障点产生的故障行波进行故障定位。故障行波可以通过互感器获得,通常电压互感器获取高频电压行波的效果较差,而电流行波可通过电流互感器较好地获取,故目前一般采用电流行波进行故障定位。目前,行波法有多种测距原理,主要分为单端法和双端法^[4]。

单端测距方法只需在线路一侧安装定位装置,通过检测故障行波在故障点或对端母线与测量端传播的时间差,结合行波波速进行故障定位,行波在输电线路以接近光速的速度进行传播。该法设备投资少,实现简单,测距精度较高,但存在波头识别等困难,可靠性需要进一步提高。

双端测距方法利用故障点产生的故障行波到达两测量端母线的时差进行故障定位。只需检测到两测量端母线的初始行波,由于初始行波幅值较

大,容易检测,故该法可靠性较高,但在两测量端均需安装测距装置,且需建立通信通道,硬件投资大,经济性较差。文中主要应用双端法进行仿真计算。

双端法的原理如图1所示,只需要利用到达M、N端的初始行波。

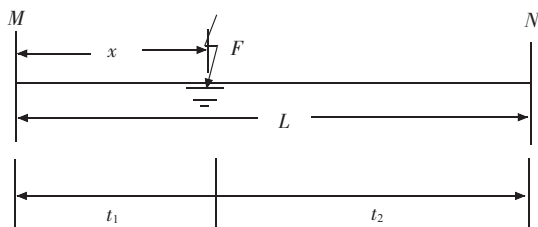


图1 双端行波故障测距原理

图1中,F点发生故障后,产生向M、N端传播的行波,令M测量母线端检测到初始波头的时刻为 t_1 ,N测量母线端检测到初始波头的时刻为 t_2 ,则可得故障距离 x :

$$x = \frac{L - (t_1 - t_2)v}{2} \quad (1)$$

双端法的一个关键是精确测定 t_1 以及 t_2 ,这需要M、N端的数据同步,GPS接收模块的电力系统同步时钟实现精确秒同步,这使得线路两端的时间同步误差平均不超过 $1\mu\text{s}$,而由此产生的绝对测距误差不超过150m。

行波法的突出优点是测距精度高,一般测距误差为 $\pm 200\text{m}$ 以内,最大测距误差不超过 $\pm 500\text{m}$ 。目前,行波法在电网中已有较丰富的运行经验,且现场运行效果较好,随着行波测距理论及其测距装置的不断发展完善,行波法将在电网中应用更加广泛。

1.2 行波故障测距算法

行波测距算法的一个关键因素是行波波头的识别和检测,双端法对故障波头的检测比较容易,而单端法由于干扰因素较多,对波头的识别比较困难,目前的行波测距算法主要有相关分析法、小波模极大值法、匹配滤波器法、极大似然估计法等。其中相关

法主要利用波形相似原理,由于互相关函数中的相关峰与行波波头相对应,故可借助互相关函数来识别波头,根据相关峰之间的时间差来进行故障定位。目前小波模极大值法应用较为广泛,根据突变信号对应的模极大值之间的时间差来进行故障定位。

目前,故障测距方法主要是基于 ATP-EMTP 等一些软件的仿真来验证的,很少考虑实际的故障行波情况,即没有太多的干扰因素。实际线路中存在着大量的干扰,比如信号采集设备噪声、雷电波、断路器和隔离开关的操作等都会给行波故障测距带来很大的影响。

2 雷电波对行波故障测距的影响

2.1 雷电对电网的影响

在多雷地区,往往会造成大气过电压,对电网的安全造成影响。大气过电压中的感应雷过电压对电网影响较小,而直击雷过电压产生的雷电流较大,对电网的干扰较大,甚至会造成输电线路故障。

直击雷过电压分为:直击、反击、绕击 3 种,其中反击产生的过电压比较严重。

标准双指数雷电波^[6]模拟雷击线路时产生的雷电流波形如下式所示:

$$i = AI_L (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (2)$$

式中: A 为常数; I_L 为雷电流的幅值; α 为衰减系数; β 为衰减系数。

2.2 雷电波对行波故障测距的影响

当雷击较轻,不产生闪络时,其不会对测距系统造成破坏,但由雷击所引起的雷击电流可能会对装置产生干扰,引起装置的误启动,特别当雷击和故障时间比较接近时,测距装置可能来不及再次启动,故障信息就被忽略掉,影响了测距装置的可靠性,因此,测距装置在设计时要考虑这个因素,尽量缩短死区时间。

当线路受到雷击并出现故障时,测量到的波形较为复杂,因为其既包括雷击电流,也包含故障电流。通常,若发生闪络,将出现在雷击后不久,两者出现的时间可近似视为一致,这时可采用双端法进行故障定位,精度影响不大。若闪络出现在雷击发生的一段时间之后,可利用检测到的故障行波,通过获取其首波头抵达测量端的时间,对双端法进行检验。

通常,变电所内都安装抗雷线圈,而抗雷线圈会对测距产生影响,因此,常在其周围安装互感器,帮助完成测距工作。且当避雷器发生放电时,可能会引起测距装置的误启动,因为此时的情况与避雷器出现短路情况相似,因此,应该采取措施予以避免。

雷击故障主要分为:雷电波直击电气设备和雷

电波沿线路侵入。通常来讲,第二种情况更为常见,也是本文讨论的主要对象。雷击导致故障情况^[6,8]下,一般会出现如下 4 种情况:

(1) 雷电波强度较弱,没有导致输电线路故障,称之为轻型雷击。轻型雷击虽然不会破坏测距系统,但是可能会引起测距装置误动,由于存在测量死区,当测距装置误动后若立即发生输电线路故障,测距装置将不能正确作出反应,对电力系统的安全运行将产生影响。

(2) 大部分情况下,当雷击输电线路时将产生闪络,且发生在雷击点,在这种情况下,可采用双端法定位闪络点,也即检测出雷击输电线路的位置。

(3) 在雷电波的影响下,输电线路发生闪络故障,但闪络点并未发生在雷击点,而是在线路绝缘较薄弱的地方发生。此时,线路上由雷电波产生的行波源将与闪络产生的行波源混迭在一起,使得行波较为复杂,难以准确故障定位。

(4) 雷击输电线路时产生闪络,但不是发生在雷击点,而是在雷电波传播至某一绝缘较弱的线路点发生一相闪络,在另一处的另一相导致闪络。在此种情况下,输电线路存在 3 个行波源:雷电波的行波源、闪络在不同地点的两相分别产生的行波源。3 个行波源混迭在一起,在情况(3)的基础上进一步增加了行波故障测距的难度。

在绝大多数情况下,雷击点和线路闪络点二者相距很远情况的几率是比较小的,因此主要讨论情况(1)和(2)。如果出现(3)情况,可以利用保存下来的故障行波,区分出累计产生的行波和闪络产生的行波,采用双端法确定雷击点的位置和闪络点的位置。出现(4)时,则需将双端测距方法和单端测距方法结合,测出雷击点和 2 个不同闪络点的位置。

3 仿真分析

针对实际运行的不换位同杆并架双回线,使用 ATP-EMTP 建立模型仿真,通过 Matlab 编程对非故障性雷击和故障性雷击 2 种情况的数据进行处理。仿真时采用的故障测距模型如图 2 所示。

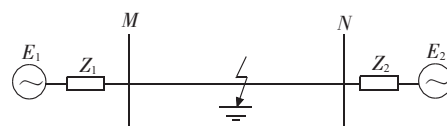


图 2 故障测距模型

选取雷电通道波阻抗 400Ω , 仿真频率为 1 MHz , 雷击发生在 1 ms , 仿真时间为 5 ms 。基于小波应具有线性相位, 且是某一平滑函数的一届导数的原则, 采用 3 次 B 样条小波进行故障测距, 该小波可以通过改变参数(m,p)灵活的调节尺度分析。

3.1 非故障性雷击

建立的非故障性雷击模型如图 3 所示。

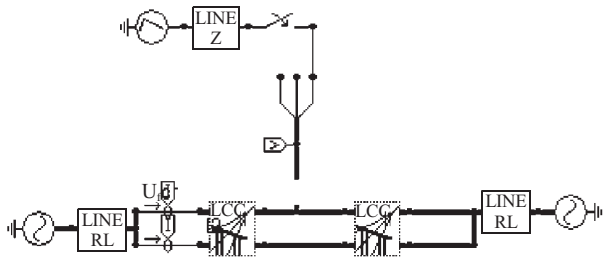


图 3 非故障性雷击模型

利用已建模型对线路上发生非故障性雷击时的情况进行仿真，得到的电流暂态行波如图 4 所示。当雷击在线路上没有造成故障时，线路上暂态电流中高频分量含量丰富，包括雷击点的初始雷电波和对端母线、相邻母线的反射波。由于雷击线路并没有造成故障，无故障点反射波，因此除线路末端外，在线路其他部分发生雷击所造成的结果基本相同。

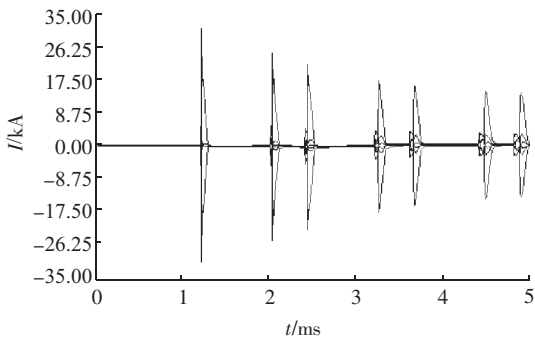


图 4 非故障性雷击时双回线六相电流暂态行波

3.2 故障性雷击

建立的故障性雷击模型如图 5 所示。利用已建模型对线路上发生故障性雷击时的情况进行仿真，得到的 M 端和 N 端电流暂态行波如图 6 所示。

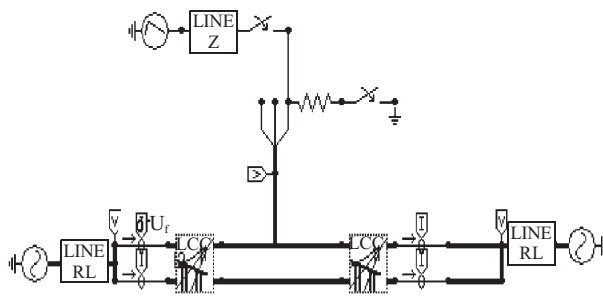
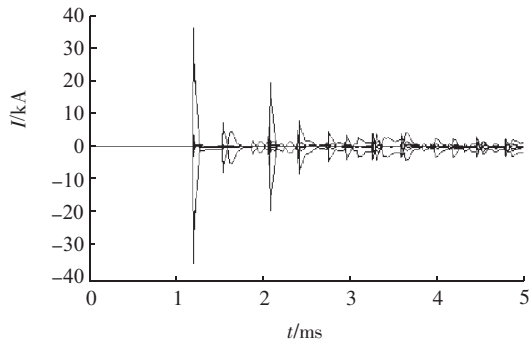


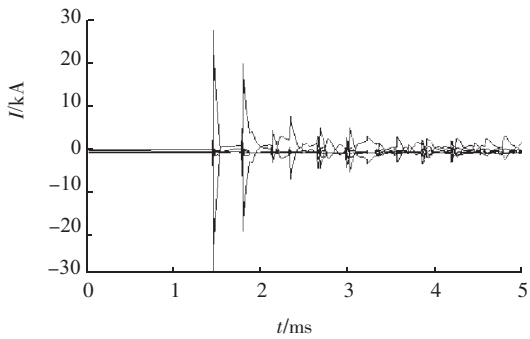
图 5 故障性雷击模型

由图 6 可知，雷击造成线路故障时，由雷电流和工频附加源引起的暂态电流初始行波波头高频含量丰富，随后的行波中，则低频分量远大于高频分量。文中假定雷击导致闪络故障与输电线路发生雷击基本同时发生，故输电线路故障位置的确定仍然可以采用双端法。

应用 Matlab 编程仿真，对 EMTP 产生的波形数



(a) M 端电流暂态行波



(b) N 端电流暂态行波

图 6 故障性雷击时 M 和 N 端电流暂态行波

据进行处理，得到故障距离 M 端母线为 40 km 时的反相行波 α 模极大值的图像，如图 7 所示。

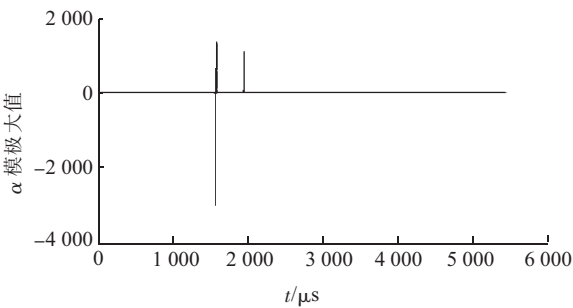


图 7 反相行波 α 模极大值图像

图 7 中，第一个模极大值为非零点的时刻是暂态行波到达 M 端母线的时刻，右侧的模极大值为非零点的时刻是暂态行波到达 N 端母线的时刻。根据双端测距原理，通过双端行波测距方法计算当线路发生雷击故障时，雷击发生在不同距离下的测距结果，如表 1 所示。

表 1 线路故障时不同故障距离下的测距结果

故障距离 /km	测距结果 /km	误差 /%
40.0	39.9	0.25
70.0	69.9	0.14
100.0	100.5	0.05
120.0	120.0	0
150.0	151.4	0.90

可见，利用双端测距原理测得的雷击情况下的电力系统行波故障点基本都在误差范围内。

4 结束语

基于电力系统行波测距的原理,分析了雷电波对电力系统行波故障测距产生的影响,按雷击发生的4种状况进行分析,仿真其中2种情况,比较发现,非故障性雷击线路上暂态电流中高频分量含量丰富,线路状况和未发生雷击时基本相同;故障性雷击产生的故障行波中初始高频含量丰富,随后的行波中低频分量则远大于高频分量。利用两端故障测距原理测量故障,得出的结果基本在误差范围内,但在故障点距离一母线端较远时误差较大。

雷电波故障测距中,虽然故障点和闪络点不一致的概率很低,但是仍有研究的必要。如何结合两端测距法和单端测距法对闪络点和故障点不一致的2种情况进行测距有着较为重要的意义。本文对雷电波故障进行仿真测距时,大部分测距结果精度均较高,满足实际应用的需求,但在故障点距离母线端较远时误差较大,有必要对其进行分析,改进两端测距原理,提高测量精度。

参考文献:

[1] 陈 平,葛耀中,徐丙垠.利用故障线路分闸暂态行波的故障测距研究[J].电力系统自动化,2004,28(1):53-58.
[2] 陈 平,葛耀中,徐丙垠,等.现代行波故障测距原理及其在

实测故障分析中的应用——A型原理[J].继电器,2004,32(2):3-18.

[3] 陈 平,葛耀中,徐丙垠,等.现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——D型原理[J].继电器,2004,32(3):14-17.

[4] 覃 剑,葛维春,邱金辉,等.输电线路单端行波测距法和双端行波测距法的对比[J].电力系统自动化,2006,30(6):92-95.

[5] 王 钢,李海锋,赵建仓,等.基于小波多尺度分析的输电线路直击雷暂态识别[J].中国电机工程学报,2004,24(4):139-144.

[6] 覃 剑,葛维春,邱金辉,等.影响输电线路行波故障测距精度的主要因素分析[J].电网技术,2007,31(2):28-35.

[7] 董杏丽,葛耀中,董新洲.行波保护中雷电干扰问题的对策[J].中国电机工程学报,2002,22(9):74-78.

[8] 郭宁明,覃 剑,陈祥训.雷击对行波故障测距的影响及识别[J].电力系统自动化,2008,32(5):76-79.

作者简介:

张 欣(1978),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统调度工作;
雷 震(1979),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统调度工作;
许栋栋(1980),男,江苏丹阳人,高级工程师,从事电力系统调度工作。

The Influence Analysis of Lightning Wave on Traveling Fault Location Method in Power System

ZHANG Xin, LEI Zhen, XU Dong-dong

(Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024,China)

Abstract: Travelling wave method is widely used in power system because of its stability and accuracy. Lightning wave is one of the important factors which affect the traveling wave fault location. In this paper, the lightening strike fault is simulated, and the characteristics of non-failure lightening and failure lightening are compared with each other. Finally, the outcome of simulation experiment proves that, using two-terminal location to locate the failure lightening has high precision.

Key words: traveling wave fault location; influence factors; lightning wave

未来十大新能源(2)

(5) 地热。地球上火山喷出的熔岩温度高达1 200~1 300℃,天然温泉的温度大多在60℃以上,有的甚至高达100~140℃。这说明地球是一个庞大的热库,蕴藏着巨大的热能。

(6) 绿藻。当石油和天然气耗尽时,氢也许是一种理想的燃料,问题在于要找到一个廉价地生产氢燃料的方法,科学家称,这个问题的答案可能是一种普通的池塘绿藻。目前,1 L绿藻培养液可以生产出3 mL/h氢气。研究人员认为,绿藻生产氢气的效率至少可以提高100倍,而这一点有待于技术的进一步提高。

(7) 氢能。氢能在21世纪有可能在世界能源舞台上成为一种举足轻重的二次能源。它是一种极为优越的新能源,其主要优点有:燃烧热值高,每千克氢燃烧后的热量约为汽油的3倍,酒精的3.9倍,焦炭的4.5倍。燃烧的产物是水,是世界上最干净的能源。资源丰富,氢气可以由水制取,而水是地球上最为丰富的资源,演义了自然物质循环利用、持续发展的经典过程。

(8) 可燃冰。可燃冰是未来洁净的新能源。它的主要成分是甲烷分子与水分子。其形成与海底石油、天然气的形成过程相仿,而且密切相关。埋于海底地层深处的大量有机质在缺氧环境中,厌气性细菌将有机质分解,最后形成石油和天然气(石油气)。

500 kV 串补设备 MOV 温度实时模拟与保护算法研究

王德昌¹,周启文¹,方太勋¹,孙 健¹,章耀辉²

(1.南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211102;

2.安徽省电力公司马鞍山供电公司,安徽 马鞍山 243011)

摘 要:串联补偿(简称串补)串补系统中金属氧化物限压器(MOV)温度的实时模拟是其正常工作以及串补重投的前提。根据简化的 MOV 热模型,采用数字式串补保护装置对 MOV 温度进行实时模拟,测量了实际 MOV 的温度特性,通过调整相关参数即可保证 MOV 实时模拟温度与实际 MOV 温度吻合并有一定的裕度。结果表明,MOV 实时模拟算法能够为 MOV 温度保护提供可靠的依据。

关键词:串联补偿; MOV 温度保护; 实时模拟; MOV 热模型

中图分类号: TM773

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0028-03

由于串联补偿(简称串补)能够显著提高输电能力,其投资相对于架设新的输电线路(尤其在偏远山区)要小得多。而我国的能源分布结构决定了必须进行超高压远距离输电,目前串补技术已经相当成熟,因此近年来越来越多的串补系统在我国投入运行,而串补控制保护技术被几个厂家垄断,但投运后仍有误动,因此有必要对串补控制保护技术进行深入研究。在串补系统中,金属氧化物限压器(MOV)对限制电容器组两端过电压起着重要的保护作用。由于 MOV 始终跨接在电容器组两端^[1],当线路故障导致电容器过电压时,MOV 将其过电压限制在设定的保护水平之内,自身吸收能量,温度升高。但考虑到投资成本,MOV 的容量不可能配置得太高,主要依据是躲开远景年区内故障时 MOV 在一定时间内吸收的最大能量,并保留足够裕度。串补保护系统中一般都配置 MOV 高电流保护、能量保护、温度保护以及不平衡保护,串补保护通过测量 MOV 电流和 MOV 一分支电流实现上述保护(MOV 电压不易测量)。当上述保护动作后,串补保护通过光纤发点火命令点燃火花间隙,同时发旁路命令将旁路开关合闸,并根据故障的严重程度判断是否将串补系统重新投入运行。

1 MOV 温度保护配置

目前国内外各串补保护生产厂家的 MOV 温度保护配置基本相同,即分别配置 MOV 高温保护和 MOV 高温闭锁重投^[2-5],一般 MOV 高温保护定值大于高温闭锁重投定值。

考虑到 MOV 在区内故障时吸收能量较快,MOV 电流的采样率及程序中断频率均为 10 kHz,保证 MOV 相关保护的判断速度。

借鉴常规线路保护启动+保护的動作模式,串补保护亦采用启动+保护的動作模式,即配置启动板 DSP 和保护板 DSP,两 DSP 板分别对采样的 MOV 电流进行处理,并根据与实际 MOV 相对应的伏安特性曲线插值得到对应的电压,进而计算出 MOV 吸收的能量。只有当启动板和保护板都动作时,串补保护装置才能发出合闸命令。

1.1 MOV 温度保护

当 MOV 由于多次区外故障吸收能量而使温度持续升高,或区内经大过渡电阻故障,线路保护切除故障时间较长时,MOV 温度保护可能动作。当 MOV 温度高于高温保护定值时,即将串补系统三相旁路,并根据故障的严重程度是否触发火花间隙。MOV 高温保护定值可根据 MOV 生产厂家给定的其能够承受的最高温度考虑一定的裕度来确定。

1.2 MOV 高温闭锁重投保护

当串补系统由于 MOV 高温保护动作而三相旁路时,串补系统永久闭锁,不允许串补系统自动重投,直到 MOV 温度降低到高温闭锁重投定值以下才允许运行人员手动将串补系统投入运行。

高温闭锁重投定值可以根据 MOV 生产厂家给定的技术参数并考虑实际串补系统的过电压程度来确定,保证串补系统在该定值下重投时,如果串补系统重投于故障,MOV 能够再次吸收一定容量的能量并有一定的裕度。MOV 温度保护的動作逻辑如图 1 所示。

2 MOV 温度算法

为实现 MOV 温度保护,需要根据当前 MOV 温度进行判断。最理想的办法是在 MOV 内部放置温度传感器,直接测得温度并将其传送到保护设备中,但由于串补系统中 MOV 布置在高压绝缘平台

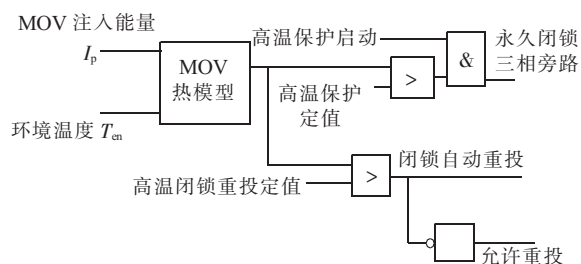


图 1 MOV 温度保护逻辑

上,且由多支并联跨接在电容器组两端,当电容器组过电压时 MOV 内部处于高电压、大电流的状态,传感器放置在内部存在绝缘、过热等问题,并不安全,且在每个 MOV 柱中都装配温度传感器不太现实。因此研究人员希望通过模拟计算能实时正确获取 MOV 的内部温度,目前采用较多的也相对较为可行的方法是对 MOV 进行物理建模分析,建立 MOV 热模型,通过热模型计算得到 MOV 的实时温度。

文献^[6]提出了一种 MOV 热模型。该模型以热学为基础,考虑了温度的传导、对流以及辐射,根据该模型可以比较准确地计算出 MOV 内部阀片的温度,但是其难点在于模型太过复杂,涉及的参数非常多,有些参数不易确定。而一般的保护装置中考虑到动作快速性的要求,任务中断频率非常高,过多的计算量将大量占用 DSP 的任务资源。

为此对该温度模型进行了一定的简化,根据文献^[7,8]所述,阳光辐射使 MOV 工作温度仅上升 $1.5 \sim 2.9^\circ\text{C}$,影响不大,因此可忽略阳光辐射的影响。简化后的热模型如图 2、图 3 所示。

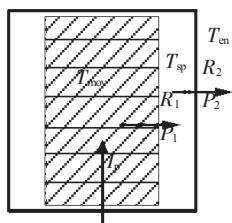


图 2 MOV 热交换示意图

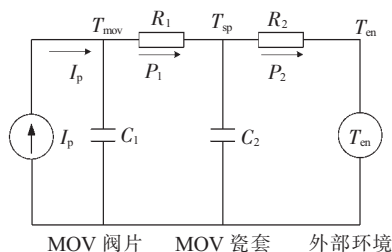


图 3 MOV 热模型的简化电路

图中: T_{mov} 为 MOV 阀片温度; T_{sp} 为阀片与内壁之间温度; T_{en} 为外部环境; I_p 为通过 MOV 电流注入阀片的能量; P_1 为从阀片流出的热量; P_2 为从 MOV 流出的热量; R_1 为阀片内部之间的热阻; C_1 为

阀片的热容; R_2 为 MOV 与外部环境之间的热阻; C_2 为瓷套(或复合材料外套)的热容。

从图 3 可以得到如下 4 个公式:

$$T_{mov} = \frac{(I_p - P_1) \Delta t}{C_1} \quad (1)$$

$$P_1 = \frac{T_{mov} - T_{sp}}{R_1} \quad (2)$$

$$T_{sp} = \frac{(P_1 - P_2) \Delta t}{C_2} \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{T_{sp} - T_{en}}{R_2} \quad (4)$$

式中: Δt 为时间常数。通过上述公式即可实时计算得到 MOV 阀片的温度。

3 MOV 温度特性试验

为了验证上述简化 MOV 热模型的合理性,选取了某支 MOV 单元作为试品,该单元内部阀片并联柱数为 3,单柱 MOV 阀片串联数为 23,阀片尺寸 $D99 \times 44.6 \text{ mm}$,重约 1.82 kg,外套为复合绝缘材料。

3.1 MOV 温升特性试验

为使测量具有一定代表性,分别对 3 个阀片进行测量,采用接触式热电偶对 MOV 阀片表面温度进行测量,但由于温升试验不是绝热过程,因此在温度稳定(约 1min)时 MOV 吸收的能量有一定的损失,因此测量出的温升系数有一定的误差。

考虑到实际应用中温升系数必须准确,而通过式(1)计算可以得到阀片的温升系数。

一般 MOV 阀片材料 ZnO 的热容^[7,8]为 $0.5 \sim 0.52 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$,而 ZnO 的密度 $\rho = 4.71 \sim 5.6 \text{ g/cm}^3$,我国为 5.53 g/cm^3 ,因此根据阀片的尺寸易得到阀片的热容 C_1 ,通过式(1)即可求得阀片的温升^[9,10]。

由上述可知,通过式(1)可以计算出单个阀片的温升系数(考虑绝热),即:

$$K = \frac{\Delta E}{\Delta T} = m \times C_{MOV}$$

式中: K 为温升系数; ΔE 为绝热吸收能量; ΔT 为绝热 MOV 阀片温升; m 为 MOV 阀片质量; C_{MOV} 为 MOV 阀片的热容。计算得到的温升系数 $910 \sim 946 \text{ J/}^\circ\text{C}$ 与生产厂家给定的温升系数 $968 \text{ J/}^\circ\text{C}$ 很接近。

3.2 MOV 温度实时模拟试验

将温度传感器放置在距离顶端 1/3 到 1/2 之间的阀片中间,2 个温度传感器分别放置在 2 个并联 MOV 柱中。升压设备向 MOV 单元内注入大量能量,MOV 的温度上升到 120°C 左右,然后将升压设备撤除,使 MOV 在环境温度(环境温度为 16°C)中自然散热,记录 MOV 散热过程中温度的变化。

通过数字式串补保护装置来实现上述简化 MOV 热模型,通入一定的 MOV 电流,使 MOV 温度升高到 120℃(环境温度通过温度探头测量输入保护装置),实时模拟 MOV 温度(环境温度校正后为 16℃),将实测 MOV 温度数据与模拟数据进行对比,如图 4 所示。结果表明,保护装置模拟得到的 MOV 散热特性曲线与实测数据吻合,表明通过简化的 MOV 热模型计算阀片温度能够用于实际串补 MOV 温度保护。

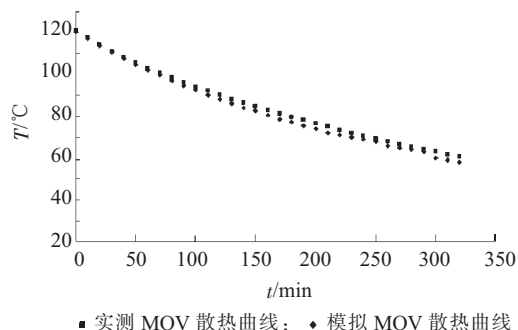


图 4 模拟 MOV 散热曲线与实测散热曲线对比

4 固定串补控制保护实现

根据国内用户习惯,将固定串补保护与控制功能分开,控制系统采用在数字化变电站常用的断路器测控装置实现串补所有开关刀闸的控制及连锁功能,配合监控后台实现顺控功能。

保护装置独立配置,并配置启动和保护 DSP 板,使保护动作更加可靠,保护程序基于可视化编程,程序维护更加方便,中断频率最高达到 10 kHz。保护装置所有模拟量采用全数字量传输,与电子式 CT 配合使用,其采样率达到 10 kHz,详细如图 5 所示。设计的间隙触发装置(GTD)与激光供能装置和保护装置形成闭环系统,实时对触发回路进行检测,并根据保护分别配置 2 套独立的 GTD。

串补保护装置通信机控制装置通信均采用 IEC61850 协议,方便与未来数字化变电站接口,配合远动装置还能实现远方对串补进行顺控操作,实现串补站无人值守。

5 结束语

通过实测 MOV 的散热特性,将简化后的热模型通过数字式串补保护可视化编程实现,并记录下模拟的 MOV 散热特性曲线,对比发现串补保护模拟的 MOV 散热特性曲线与实测数据吻合并有一定的裕度;验证了简化的 MOV 热模型能够用于实际串补保护系统中,可以为 MOV 温度保护提供较为准确的 MOV 实时温度,保证 MOV 持续安全可靠地工作。该简化热模型适用于不同厂家生产的

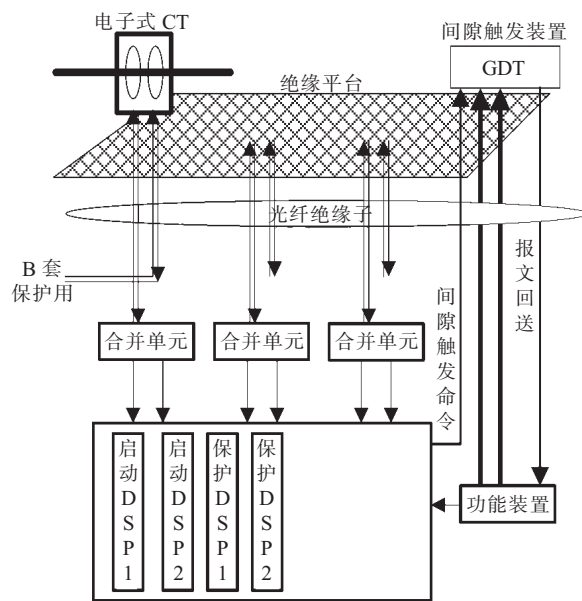


图 5 固定串补保护实现

MOV 产品,只需根据实测 MOV 散热特性曲线相应调整热阻 R_1, R_2 以及热容 C_1, C_2 即可,不需要重新建模。新设计的数字式串补保护装置与电子式互感器配合使用,采用全光纤传输;启动+保护的動作模式使得保护更加可靠;高采样率和中断频率使串补保护动作更加迅速。

参考文献:

- [1] 安德森 P M, 法墨 R G. 电力系统串联补偿 [M]. 周孝信, 等译. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 王 奇, 王海军, 李妍红. 砚山 500 kV 固定串补控制保护装置 RTDS 动态性能试验与系统短路试验研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 118-124.
- [3] 祝 谦, 刘相枪. 平果可控串补本体保护介绍 [J]. 电网技术, 2004, 28(16): 73-77.
- [4] 赵淑珍, 于德明, 李 钢. 大房双回 500 kV 线路蔚县串补站二次系统及试验 [J]. 华北电力技术, 2002(3): 5-8.
- [5] 曾 玉, 汪 建. 500 kV 河池串补站控制保护系统的设计与实现 [J]. 继电器, 2005, 33(10): 75-78.
- [6] LAT M V. Thermal Properties of Metal Oxide Surge Arresters [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1983, 102(7): 2194-2202.
- [7] 王秉钧. 金属氧化物避雷器 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [8] 高新疆, 邓世建. 金属氧化物避雷器温度检测方法的研究 [A]. 第十七届全国煤矿自动化学术年会、中国煤炭学会自动化专业委员会学术会议论文集 [C], 2007.
- [9] 吴维韩, 何金良, 高玉明, 等. 合成套氧化锌限压器的热特性研究——第一部分: 限压器热特性研究的有限元方法及其散热特性 [J]. 中国电机工程学报, 1996(2): 110-113.
- [10] 何金良, 吴维韩, 高玉明, 等. 合成套氧化锌限压器的热特性研究——第二部分: 阀片功率损耗的模型及限压器的热稳定性能 [J]. 中国电机工程学报, 1996(2): 114-118.

PSS2A 低频段振荡抑制效果验证方法

余振¹,郭春平²,安宁³

(国电南瑞科技股份有限公司,江苏南京,210061)

摘 要:随着区域电网逐渐互联,系统发生在 1 Hz 以下的低频振荡所占比例越来越高,并且发生了发电机励磁系统投入电力系统稳定器(PSS)后在一些运行方式下产生负阻尼的现象。针对目前常见 PSS 试验方法不能对低频段振荡的抑制效果进行验证,提出了在机端电压上叠加正弦扰动信号的试验方法。现场试验验证表明,该试验方法合理有效。

关键词:电力系统稳定器;低频振荡;励磁系统

中图分类号:TM712 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0031-03

随着全国各省、各地区电网的快速发展以及电网之间的联网输电,电力系统低频振荡的现象时有发生,特别是西电东输工程以及三峡机组的建成发电,低频振荡的频率有向 0.15 Hz 或更低发展的趋势。因此,要求电网中有更多的中、大型机组投入电力系统稳定器(PSS)^[1]。2010 年大唐某电厂曾经发生了 0.8 Hz 的低频振荡,事后检查发现,当时电网侧和电厂侧正常,没有故障情况发生,后来在该低频值下对该机组采用负载阶跃试验进行再次验证,PSS2A 所提供的阻尼是正确的。针对该事故现象,有必要对 PSS2A 在系统 1 Hz 以下的低频振荡抑制验证方法进行讨论分析。

1 PSS2A 原理

为了防止在发电机原动机出力变化速率较快时,PSS 输出过大而导致发电机无功变化超出允许的范围,目前 PSS 通常采用加速功率型 PSS2A 模型,如图 1 所示。

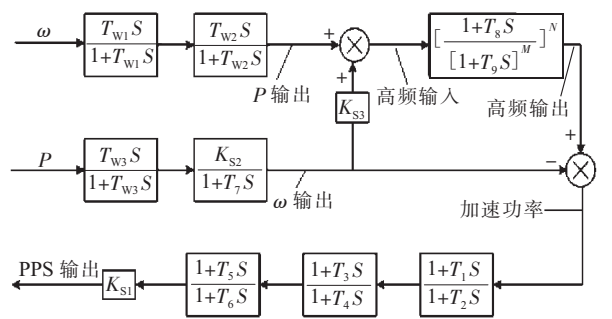


图 1 PSS2A 模型

图中, ω 为发电机轴的旋转角速度; P 为发电机的电磁功率;高频输入为机械功率; $T_{w1} \sim T_{w4}$ 为隔直时间常数; K_{s1} 为 PSS 放大系数; K_{s2}, K_{s3} 为电功率通道系数; $T_1 \sim T_6$ 为超前及滞后时间常数; T_7 为惯性时间常数; T_8, T_9 为高阶滤波器的时间常数; M, N 为高阶滤波器的阶数。

根据发电机转子运动方程:

$$2H \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta P_M - \Delta P_E = \Delta P_a \tag{1}$$

式中: H 为发电机转动惯量; P_M 为机械功率; P_E 为电气功率; P_a 为加速功率; ω 为发电机轴的旋转角速度。写成频域的形式:

$$2HS\Delta\omega = \Delta P_M - \Delta P_E \tag{2}$$

$$\Delta\omega + \frac{\Delta P_E}{2HS} = \frac{\Delta P_M}{2HS} \tag{3}$$

角速度信号和电磁功率信号的积分组合形成机械功率积分信号。该信号与电磁功率积分信号的差即为加速功率积分信号。

$$\frac{\Delta P_M}{2HS} - \frac{\Delta P_E}{2HS} = \frac{\Delta P_a}{2HS} \tag{4}$$

以加速功率积分信号作为输入的 PSS 理论上没有反调现象。当进行机械功率调节时,电磁功率跟随机械功率变化,因此加速功率积分信号很小,PSS 基本不动作;当系统扰动引起电磁功率变化时,机械功率变化较小,加速功率积分信号基本上等于负的电磁功率积分信号,PSS 发挥作用抑制功率振荡^[2,3]。

2 高阶滤波环节对振荡的影响

图 1 模型中有 2 个输入量,分别是电磁功率 P 和转速 ω ,其中 P 可以通过机端电压和机端电流直接计算出来,一般都很准确;而 ω 的直接测量较为困难,需要通过软件进行计算,计算过程中通常要用到交轴电抗,而交轴电抗事实上为一个变值,很难获得,因此 ω 输入可能在部分频段计算不太准确,则经过两阶隔直环节(T_{w1}, T_{w2})后,再与 P 通道输出相加后得出的机械功率积分信号就可能不准确。

图 1 中的 T_8, T_9 构成的高阶滤波环节,其目的是滤除 ω 通道产生的噪声,其理想特性应该是在低频段增益为 1,相角为 0,而在高频段增益为 0,但实际中不可能,只能取得近似的效果,给 PSS2A 在过渡区带来了一些负面影响,所以 T_8, T_9 参数的设计影响

PSS 在过渡区频带内的作用效果。 $T_8=0.2\text{ s}$, $T_9=0.1\text{ s}$, $M=5$, $N=1$ 对抑制轴系扭振有好处; $T_8=0.6\text{ s}$, $T_9=0.12\text{ s}$, $M=5$, $N=1$ 对减少反调有好处。仿真后该环节的相频幅频特性如图 2 和图 3 所示。

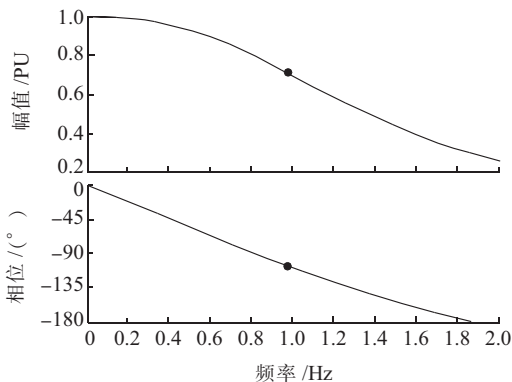


图 2 $T_8=0.2\text{ s}$, $T_9=0.1\text{ s}$ 高阶滤波环节伯德图

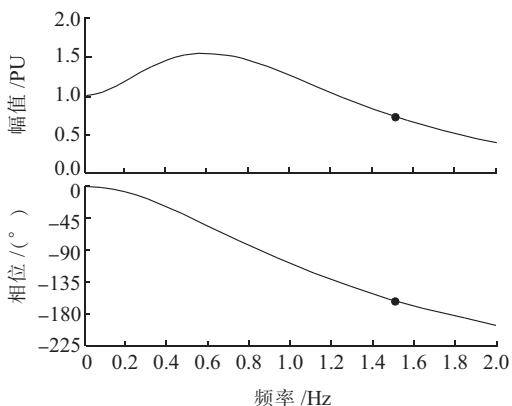


图 3 $T_8=0.6\text{ s}$, $T_9=0.12\text{ s}$ 高阶滤波环节伯德图

图 2 中 $T_8=0.2\text{ s}$, $T_9=0.1\text{ s}$ 时截止频率为 0.987 Hz, 图 3 中 $T_8=0.6\text{ s}$, $T_9=0.12\text{ s}$ 时截止频率为 1.53 Hz, 因此对于较高频率的波动通过该环节后被大幅度衰减, 这样对 P 通道输出和 ω 通道输出的相加, 在高频段就有可能被滤掉, 使高阶滤波环节的输出值很小, 此时 PSS2A 模型就近似于 PSS1A 模型。因此在 PSS 的超前滞后环节 ($T_1 \sim T_6$) 补偿准确的前提下, 对于 1 Hz 以下的振荡, P 通道和 ω 通道二者的相加会有较大的输出, 如果机械功率积分信号的计算不准确, 会导致加速功率的计算不正确, 那么 PSS2A 的抑制效果低频段与高频段相比较会较差, 可能达不到 PSS 试验导则所要求的阻尼比。而对于 1 Hz 以上的振荡, 即使机械功率积分信号的计算不准确, 由于高频滤波的作用, 会使加速功率的计算较为准确, PSS2A 抑制系统振荡效果应该不错。

3 PSS2A 低频抑制效果验证方法分析

根据《电力系统稳定器整定试验导则》^[4], PSS2A 的效果检验有 3 种方法: 负载阶跃响应效应、无故障切除系统扰动效应和改变发电机组转动

惯量计算低频段 PSS2A 作用效应。因为后 2 种校验方法现场操作不便, 所以现场一般都采用负载阶跃响应试验来验证 PSS2A 抑制效果。但是, 采用负载阶跃试验引起的发电机振荡频率一般较高, 通常在 1 Hz 以上, 此外发电机的振荡频率值不易确定, 所以对于 1 Hz 以下的低频段采用该法一般不容易验证。为了验证 PSS2A 抑制 1 Hz 以下的低频振荡效果, 可以采用在机端电压或电压给定值上叠加一正弦扰动信号来验证, 根据 PSS2A 要抑制的振荡频率值, 可以调节叠加的正弦扰动信号的频率来实现, 通过这种方法可以很方便地验证出 PSS2A 在系统 1 Hz 以下任意具体低频值的抑制效果。

为了验证以上所提方法的可行性, 在国电南瑞科技股份有限公司所研制的励磁调节器上进行试验, 采用在电压给定值上叠加正弦扰动信号, 抑制频率分别是在 1 Hz 和 0.7 Hz, 其录波波形如图 4 和图 5 所示。

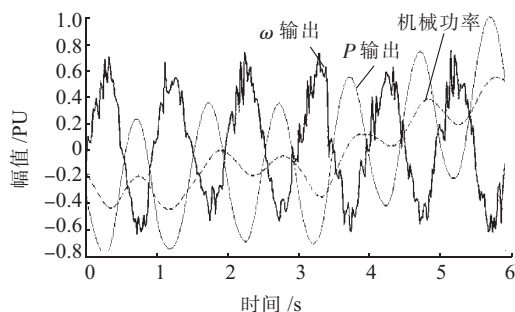


图 4 1.0 Hz 扰动录波曲线

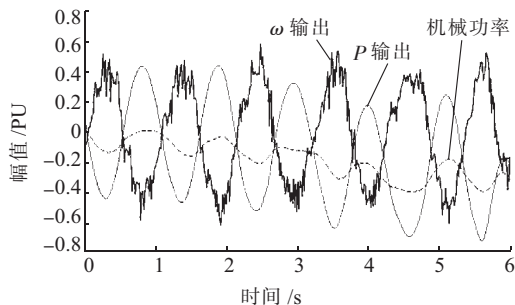


图 5 0.7 Hz 扰动录波曲线

从图 4 和图 5 看出, P 通道输出与 ω 通道输出大小基本相等, 相位对应相反, 两者相加后基本抵消, 即合成后机械功率较小, 高频滤波输出 (机械功率) 应远小于 P 输出 (电磁功率), 则高频滤波输出减去 P 输出的差值 (加速功率) 的计算也较为准确。试验结束后, 比较有 PSS 和无 PSS 的振荡峰峰值之比, 如图 6 所示, 投入 PSS 时有功峰峰值明显小于 PSS 退出时的值, 表明 PSS 对于 0.7 Hz 的振荡产生了抑制的效果。

需要注意的是, 由于不同频率下对应的 PID+PSS 幅频特性不同, 因此输入正弦信号时, 不同频率所需的信号大小也不同, 在该机振荡频率附近尤其

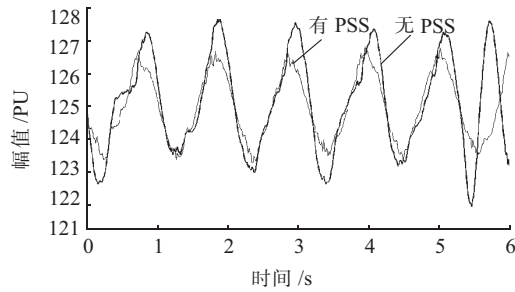


图 6 0.7 Hz PSS 投退录波曲线

需要注意,逐渐增加正弦信号量,使观察到的有功功率曲线基本为正弦波且波动明显大于机组扰动,同时保证无功功率波动在许可的范围内。所加的正弦波最小频率只需到系统振荡模式最低频率即可。

4 结束语

近年来电网低频振荡时有发生,通过目前通常采用的电压阶跃试验方法并不一定能完全验证出 PSS2A 对系统在 1 Hz 以下的低频振荡抑制效果,而

且对这方面讨论的文献也不多见,鉴于此情况,希望对 1 Hz 以下的 PSS2A 抑制效果验证方法能够提供一定的借鉴和思路。

参考文献:

- [1] 方思立,朱 方.电力系统稳定器的原理及其应用[M].北京:中国电力出版社,1996.
- [2] 许其品,胡先洪,陈小明.双输入电力系统稳定器实现方法探讨[J].水电自动化与大坝监测,2008,32(5):8-11.
- [3] 方思立,苏为民.电力系统稳定器配置、构成、参数计算及投运试验[J].中国电力,2004(10):8-13.
- [4] Q/GDW143—2006,电力系统稳定器整定试验导则[S].

作者简介:

余 振(1983),男,江苏南京人,工程师,从事发电机励磁系统研究工作;

郭春平(1981),男,河南安阳人,工程师,从事发电机励磁系统研究工作;

安 宁(1985),男,河北石家庄人,助理工程师,从事发电机励磁系统研究工作。

A Method of Verifying the PSS2A Model on Low-frequency Oscillation Damping

YU Zhen, GUO Chun-ping, AN Ning

(NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210061,China)

Abstract: Along with the interconnection of regional power grid, the percent of low-frequency oscillations below 1Hz is increasing. And sometimes negative damping phenomenon can happen after PSS installed in generator's excitation system under certain operation mode. This paper points out that normal test methods of PSS cannot verify the effect of suppressing low-frequency oscillations, and gives a test method of superposing a sinusoidal perturbation signal on generator's terminal voltage. Results of field tests show that this method is reasonable and effective.

Key words: power system dynamic stability; low-frequency oscillation; excitation system

(上接第 30 页)

作者简介:

王德昌(1982),男,河南开封人,硕士,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作;

周启文(1977),男,湖北鄂州人,工程师,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作;

方太勋(1973),男,湖北随州人,高级工程师,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作。

孙 健(1986),男,陕西西安人,硕士,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作;

章耀辉(1981),男,安徽安庆人,本科,从事超高压线路的维修工作。

Studies on Real Time Simulation and Protection Algorithm of the MOV Temperature for 500 kV Series Compensation System

WANG De-chang¹, ZHOU Qi-wen¹, FANG Tai-xun¹, SUN Jian¹, ZHANG Yao-hui²

(1.Nanjing Nari-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102,China;

2.Anhui Electric Power Company Maanshan Power Supply Company, Maanshan 243011,China)

Abstract: In the series compensation system, the Metal Oxide Varistor (MOV) temperature's real-time simulation is the basis of its properly working and SC (series compensation) reinserting. According to the simplified thermal model of MOV, the MOV's temperature is simulated in real time by using digital Series Compensation (SC) protection device. And the MOV's temperature characteristic is also measured at the same time. Related parameters can be adjusted to guarantee the simulation temperature dovetail with the actual one and some margin to be left. Results show the MOV real-time simulation can provide reliable support for the MOV temperature protection.

Key words: series compensation; MOV temperature protection; real-time simulation; MOV thermal model

高速信号完整性分析及设计在继电保护装置中的应用

甘云华,周华良,夏雨,汪世平,邹志杨

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司,江苏南京210003)

摘要:结合新一代高压继电保护 ARP-300 系列装置的研制过程,介绍了高压继电保护装置核心 CPU 板的基本功能及其组成,提出了当前新技术条件下继电保护装置在硬件设计与开发过程中所面临的高速信号完整性问题。通过对核心 CPU 板上关键电路中关键信号的仿真与分析,阐述了关键信号的布线规则设置及实现方法。CPU 板卡上具体信号的实际波形测试结果以及对继电保护装置系统性的电磁兼容试验结果表明,对核心 CPU 板在板级硬件设计阶段所进行必要的信号完整性分析与设计工作,对提高系统硬件研发的一次成功率、提高继电保护装置运行的稳定性和可靠性具有重要的作用。

关键词:信号完整性;分析与设计;高速信号;高压继电保护;可靠性

中图分类号:TM773

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0034-05

特高压输电技术以及智能电网技术的发展必然要求有先进的智能保护装置来支撑^[1-3]。近年来,在国家电网公司特高压输电项目的带动下,继电保护技术的发展不断加速,继电保护与现代控制理论、电力电子技术和远程通信技术的结合日益密切^[4-6],这些新的应用使得继电保护设备的主 CPU 工作时钟频率不断提高,外设接口不断丰富,系统集成度和布线密度不断加大。对硬件设计工程师来说,在继电保护装置研发过程中,传统的电路设计方法不再适用,而仅仅依靠经验来完成设计已不足以保证产品的合格率和可靠性,信号线的信号质量将成为产品硬件设计能否成功的关键。因此,要提高装置研发的效率和产品的可靠性,进而提高系统硬件研发的一次成功率,必须在板级设计阶段对系统关键信号进行详细的分析与设计。文中所述的高速信号完整性分析及设计方法已在 ARP-300 系列高压继电保护装置研发过程中实际使用,并在项目的高效快速研发中发挥了重要的作用。

1 装置的系统组成

ARP-300 系列高压继电保护装置核心 CPU 板由高性能的 CPU 和数字信号处理器 (DSP) 组成,CPU 实现保护装置的总启动元件和人机界面及后台通信功能,DSP 完成所有的保护算法和逻辑功能。保护装置采样率为每周波 24 点,在每个采样点对所有保护算法和逻辑进行并行实时计算,使得装置具有很高的固有可靠性及安全性。系统采用的关键芯片及资源有:

(1) CPU 芯片采用 Freescale 公司的带协处理器功能的高性能 PowerPC【MPC8321】,系统主频

333 MHz,片外 RAM 使用 DDR2 内存【DDR2 时钟为 266 MHz】,同时支持 3 个独立 MAC 的 100 Mbps 以太网接口;

(2) DSP 芯片采用 ADI 公司的高性能浮点 DSP【ADSP21469】,系统主频 400 MHz,内置 5 MbitsSRAM,片外 RAM 使用 DDR2 内存【DDR2 时钟为 200 MHz】。

系统结构如图 1 所,系统以 CPU 和 DSP 芯片为核心,两处理器均有扩展外部 DDR2 高速存储器,数据线和地址线的布线密度大,时钟信号速率高;CPU 扩展的 3 路以太网接口信号采用差分对走线,对线路阻抗控制有特殊要求。如果在硬件设计初期对这些问题处理不当,就会引发信号失真,导致多种错误的发生,造成系统达不到预期的设计效果甚至部分模块无法正常工作。解决这一问题比较有效的方法就是对系统进行信号完整性设计。

2 信号完整性设计

2.1 信号完整性

信号完整性是指信号线上的信号质量。通常,数字逻辑电路的频率达到或者超过 50 MHz,而且工作在这个频率之上的电路占整个系统的 1/3 以上,就可以称其为高速电路^[7]。在高速电路设计中,信号完整性对系统的影响主要体现在:时序裕量是系统在高低温下稳定运行的保障之一;电平裕量对于电路的电磁干扰的抗扰度有保障;减小信号回路面积大大削弱了信号环路的天线效应,一方面提高了电路对高频电磁场的抗扰度,同时也降低了电路对外发射的强度。影响信号完整性的因素主要包括反射、串扰、延时等。在高速电路设计中,随着时钟频率提高,信号边沿变陡,信号在器件之间的同步时间就会缩短,要满足所有门延时必须在越来越短的时间预算

收稿日期:2011-09-06;修回日期:2011-10-13

南瑞集团科技资助项目(JT09001-JB)。

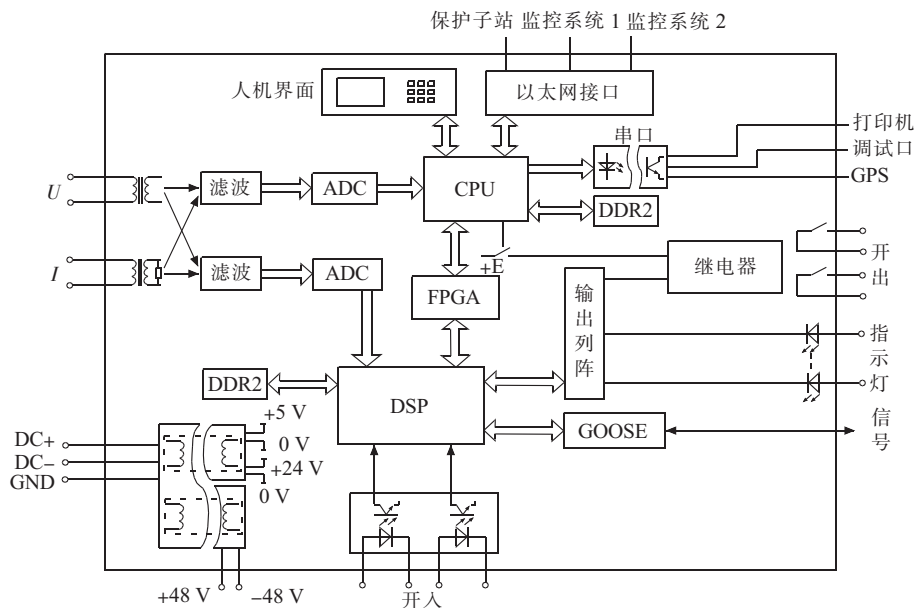


图 1 系统结构

中实现,稍有不慎都可能导致器件时序或模块功能的混乱。

产生上述信号完整性问题的主要原因包括信号走线过长、总线结构走线之间不等长、信号走线安全间距不够以及信号传输路径上的阻抗不匹配等。通过对系统进行信号完整性分析与仿真,可以对相邻平行信号线进行耦合分析,确定信号线之间的安全预期间距或平行布线长度,减小串扰对信号造成的危害。另外通过对不同匹配电阻的扫描分析对比,可以寻求信号传输路径上阻抗端接匹配的最优化,抑制反射现象的发生。阻抗匹配是解决大部分信号完整性问题的重要手段,所以有必要介绍一下传输线的特征阻抗。

2.2 特征阻抗

高速电路设计中,信号走线的分布参数效应使其寄生电感和寄生电容不能被忽略,必须将信号走线当作传输线来处理。特征阻抗是传输线的一个重要特性^[8]。传输线主要有 2 种形式:微带线和带状线,其中微带线分为表面微带线和嵌入式微带线,带状线分为对称带状线 and 不对称带状线。典型的表面微带线 and 对称带状线的特征阻抗 Z_0 的近似计算公式分别如式(1)和(2)所示^[9]:

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \times \ln \frac{5.98H}{0.8W + T} \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \ln \frac{1.9 \times (2H + T)}{0.8W + T} \quad (2)$$

式中: ϵ_r 为绝缘介质介电常数; H 为导线至参考平面之间的介质厚度; W 为导线宽度; T 为导线厚度。在选定基材后, ϵ_r 变化很小,板厚和层压工艺决定 H

变化, T 由铜箔厚度和加工工艺确定。由此可见,控制调整线宽是设计人员控制 Z_0 最直接和最有效的方法。

传输线的 Z_0 与印制板层叠设计密切相关。本文设计的 CPU 板对特征阻抗参数进行了理论计算,同时结合 PCB 加工厂家的工艺加工能力,确定采用 8 层结构板,并采用了如图 2 所示的叠层设计。

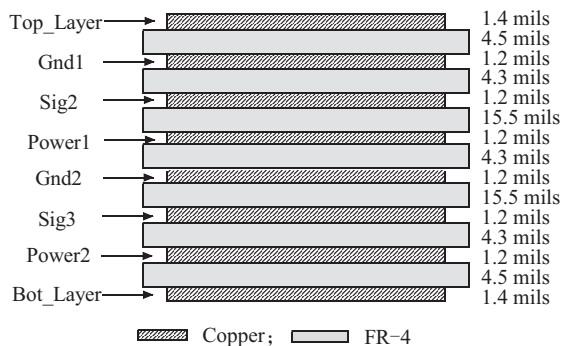


图 2 PCB 叠层结构

该系统中 CPU 主频为 333 MHz,DSP 芯片主频为 400 MHz,片外 RAM 使用 DDR2 内存,DDR2 时钟频率达到 200 MHz 及以上,时钟信号的质量直接影响整个系统的性能,因此时钟信号走线长度的控制、与相邻信号之间的干扰以及信号传输路径上的阻抗匹配是系统分析设计的重点;同时 DDR2 的地址线 and 数据线由于时序要求严格,需要控制网络之间的安全间距 and 数据组间等长,但由于系统布线密度较大,需综合考虑空间和信号完整性问题。另外系统扩展有 3 个独立 MAC 的 100 Mbps 以太网接口,采用差分对走线方式,对其进行阻抗控制以及等长匹配也是系统设计的关键。如对上述问题处理不当,

容易造成信号传输路径上阻抗失配,引起反射、不同网络之间相互干扰和电路误触发或时序混乱,降低信号传输的质量,影响系统性能,导致系统无法正常工作。该系统中最为关键的信号处理点就是以上所述 CPU 和 DSP 的外部存储器 DDR2 以及高速以太网差分对的处理,下面就针对这 2 个关键点做具体的分析和设计。

3 关键信号分析

3.1 DDR2 时钟信号线

系统中 CPU 和 DSP 均有扩展外部 DDR2 高速存储器,由于两者具有一定的共性,文中仅以 DSP (ADSP21469)和 DDR2(MT47H64M16)连接为例进行分析。MT47H64M16 芯片时钟信号由 ADSP21469 提供,由于信号速率较高,考虑表层布线,并采用抗干扰能力较强的差分对形式走线,信号拓扑结构如图 3 所示,TL_MS 表示差分传输线,微带线结构, R_1 和 R_2 为源端匹配电阻。

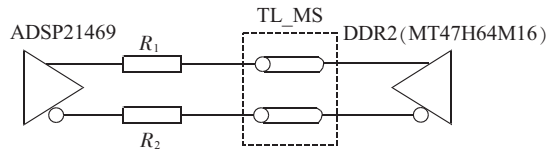


图 3 时钟信号拓扑图

采用 Cadence 软件信号完整性分析模块,调入 ADSP21469 和 MT47H64M16 的 IBIS 行为级模型后,整体提取差分对网络拓扑结构在 SigXplorer 环境下进行仿真。采用图 2 的叠层设计,参考差分线阻抗为 $100\ \Omega$ 控制要求,差分微带线结构中线宽为 5.5 mil,线间距 11 mil。采用点对点无匹配连接的情况下,在源端施加 200 MHz 周期激励,仿真波形如图 4(a)所示,信号存在较严重的变形,这是由于信号在传输路径上的阻抗不连续点发生反射造成的,因此必须考虑在电路设计过程中加入匹配电阻。设计中采用在源端串接电阻的匹配方式,施加相同的激励源后仿真波形如图 4(b)所示,信号传输延时 227 ps,传输速度约为 0.56 倍光速。由仿真结果可知串接匹配电阻后,信号得到明显改善。通过使用软件 sweep 功能对不同匹配电阻进行扫描优化,可以确定电路中的较优匹配阻值,该仿真案例中匹配电阻在 $40\ \Omega$ 左右,信号波形达到设计要求,实际电路中考虑电阻标称值,采用 $33\ \Omega$ 匹配电阻。

3.2 以太网差分信号线

系统主要采用以太网接口与外部实现通信,以太网接口芯片为 Broadcom 公司的 BCM5241,信号主要以差分对形式进行传输。差分线作为传输高速信号的有效载体,对其进行阻抗控制和匹配非常关

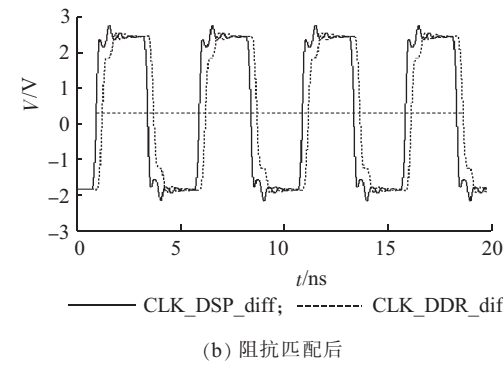
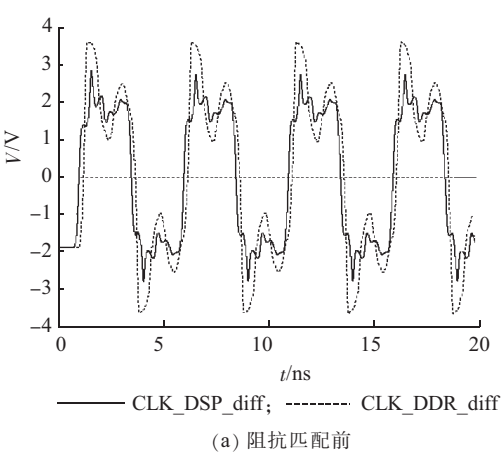


图 4 时钟信号波形

键。根据系统差分线阻抗为 $100\ \Omega$ 的控制要求,参照文中 2.2 节的叠层设计,计算得各信号层差分信号布线要求,如表 1 所示。

表 1 差分信号布线规则

信号层	差分线宽 /mil	线间距 /mil
Sig 1	5.5	11
Sig 2	4.2	9
Sig 3	4.2	9
Sig 4	5.5	11

差分线阻抗控制的一致性可以保证信号在传输过程中不易发生失真变形,但仅通过设置合适的布线宽度和线间距还不足以保证阻抗的连续性,从 3.1 节的分析中得知,必须在传输路径上对信号进行正确的端接匹配,以达到抑制或消除信号反射的目的。此外差分对的正负两端应尽量做到等长以抑制共模干扰。综合器件指导手册、阻抗设计要求及经验规则,对以太网接口差分的确认采用如下布线规则: (1) 线宽/线间距为 5.5 mil/11 mil (PCB 板外层); (2) 差分对两根走线等长误差为 $<25\ \text{mil}$ 。

按上述规则指导完成布线后,还可能存在一些信号完整性问题,如端接电阻阻值匹配不够理想,信号之间的串扰等。通过布线后仿真可对设计进行优化,做到使整个设计的信号完整性问题减到最少。

3.3 DDR2 数据与地址总线

由以上分析可知,DDR2 的数据和地址总线布

线同样需要进行阻抗控制和匹配,除此以外,由于CPU和DSP对DDR2进行读写操作时,对各信号的时序要求比较严格,因此在设计中对不同信号的走线长度要进行控制。通常总线各位数据线需进行等长匹配设置,而为了避免信号反射等问题进行的端接匹配会使高速总线被电阻等无源器件分成好几段Net,这时等长控制最原始的做法就是对每段进行控制,比较繁琐。Cadence公司Allegro软件中解决这个问题的办法就是借助Xnet这一概念,即把连续的几段由无源器件连接的Net合称为一段Xnet,如图5所示。

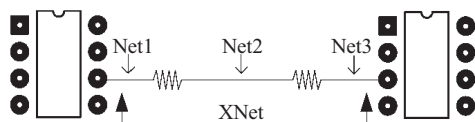


图5 Xnet示意图

通过赋予无源器件ESpice模型,Net1、Net2和Net3会自动合成为1个Xnet,这样在软件的规则约束管理器中设置等长规则时只需对整个Xnet设置规则,无需对每一小段进行等长匹配处理。

总线的等长匹配有2种,分别为全局等长和局部等长。如图6所示。

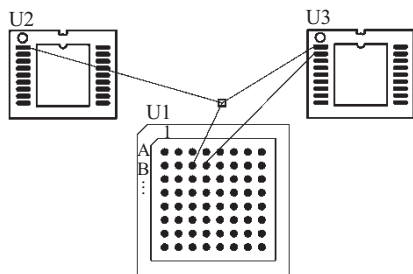


图6 等长示意图

图中U1.B3到U3.1和U1.B4到U3.2的走线设置等长属于全局等长,一般数据总线或地址总线的不同位之间的走线等长属于这种形式。另外图6中T型连接点到U2.1和U3.1的走线设置等长属于局部等长,对于多片存储器共享数据和地址总线时属于这种形式,这种等长的设置和网络的拓扑结构有关。为避免传输线效应,减小信号组之间的串扰,走线应尽可能短,同时还要兼顾各信号之间的时序要求。综合考虑布线空间和信号质量,该系统中数据和地址总线布线要求如下:

- (1) 数据和地址线单线总长度控制在2 000 mil以内;
- (2) 内层线宽4.6 mil,外层线宽6.8 mil,总线组内部间距>6 mil,总线组与其他走线之间的间距为>20 mil;
- (3) 总线之间等长误差<20 mil。

规则设置以后,对于等长的控制可以使用Allegro软件的蛇形走线工具,根据实时显示的走线长度确保总线等长匹配的精确性。布线完成后同样需要进行后仿真,通过分析仿真结果对一些规则进行优化,以使系统满足设计要求。

4 实际电路测试

根据上述的设计规则制作了CPU板的印制电路板和样机,并进行了实际测试。对单板通过Agilent Technologies公司的MSO7104A混合信号示波器进行测试,测得与ADSP21469相连的MT47H64M16时钟信号波形如图7所示。信号波形无振荡,上升时间为0.66 ns左右,满足CPU及DDR2的系统工作要求,CPU和DSP的DDR2内存均能正常稳定工作,进一步验证了设计前信号完整性分析与仿真的正确性和有效性。

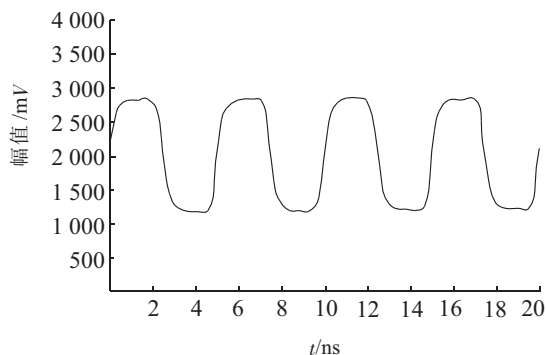


图7 时钟信号波形

同时,基于此CPU板的保护整装置在国网电力科学研究院进行了多项试验,均按照最高级指标要求进行,主要针对性的测试项目包括:

- (1) 高温试验,按GB/T 2423.2—2001(IEC 60068-2-2:1974)标准,+55℃下16 h;
- (2) 低温试验,按GB/T 2423.1—2001(IEC 60068-2-1:1990)标准,-25℃下16 h;
- (3) 快速瞬变干扰试验,按GB/T 14598.10—2007(IEC 60255-22-4)标准IV级,电源、开入开出、交流:4kV,2.5 kHz,5/50 ns;通信端子:2 kV,5 kHz,5/50 ns;
- (4) 电磁发射试验,按GB/T 14598.16—2002(GB 9254-2008、CISPR 22:2006)标准,B级辐射骚扰限值,30~230 MHz 准峰值30dB(μV/m),230~1 000 MHz 准峰值37dB(μV/m);
- (5) 静电放电试验,按GB/T 14598.14—1998(IEC 60255-22-2)标准IV级,接触放电:8 kV,空气放电:15 kV。

在整个试验测试过程中,CPU和DSP的DDR2内存均可可靠工作,以太网口可靠通信,装置运行稳

定。此外，装置完成的电磁发射试验，按 GB/T 14598.16—2002 (GB 9254—2008、CISPR 22:2006) B 级辐射骚扰限值进行，测试曲线如图 8 所示，结果如表 2 所示。该指标满足国外工程需求，进一步证明了在系统硬件设计阶段进行信号完整性分析与设计的正确性和可行性。

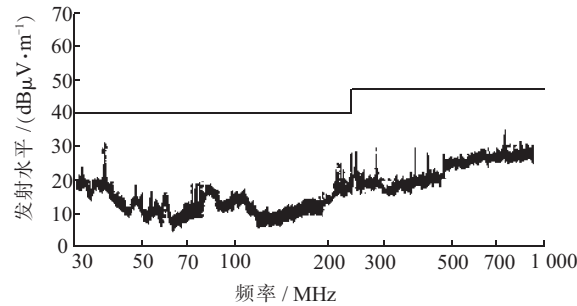


图 8 电磁发射测试曲线

表 2 电磁发射测试结果

频率 /MHz	天线极化方向	读数 / (dBμV·m ⁻¹)	与限值差 /dB	3 m 限值 / (dBμV·m ⁻¹)	是否超过限值
1 000	水平	38.6	8.4	47.0	否
38	垂直	28.9	19.1	40.0	否

5 结束语

针对电力系统保护装置发展过程中，系统芯片工作频率的不断提高和信号边沿的不断缩短等带来的问题，以新一代高压继电保护 ARP-300 系列装置硬件设计为平台，提出在硬件板级设计阶段引入高速信号完整性分析与设计方法，通过信号完整性分析指导器件布局、布线规则设置和阻抗匹配等。实际板卡的信号完整性测试结果表明，系统反射、串扰等信号完整性问题得到了有效控制，证明文中应用的高速信号完整性分析与设计方法正确，设计规则合理有效；同时对含有该 CPU 板的整装置进行了电磁兼容实验，系统可靠工作，进一步验证了该设计方

法的正确性和可靠性。最后需要说明的是，高速信号完整性分析内容较深，本文仅对继电保护装置硬件研发过程中的信号完整性问题做了初步的探讨，对信号完整性分析与设计还有很多新方法及技巧有待今后进一步深入研究。

参考文献：

[1] 陈德树,唐 萃,尹项根,等.特高压交流输电继电保护及相关问题[J].继电器,2007,35(5):1-3.

[2] 刘成君,张恺凯.数字化变电站及其对继电保护的影响[J].电工电气,2010(4):4-7.

[3] 邵宝珠,王优胤,宋 丹.智能电网对继电保护发展的影响[J].东北电力技术,2010 (2):11-13.

[4] 徐 政,卢 强.电力电子技术在电力系统中的应用[J].电工技术学报,2004,19(8):23-27.

[5] 李峰峥,杨曙年,喻道远,等.继电保护中光纤通信技术应用[J].电力自动化设备,2007,27(2):75-79.

[6] 刘 青,王增平,郑振华.基于 MAS 的含 FACTS 元件输电线路自适应协调配合方案的研究[J].华北电力大学学报,2009,36(1):15-19.

[7] 周润景,袁伟亭. Cadence 高速电路板设计与仿真[M].北京:电子工业出版社,2006.

[8] BOGATIN E.信号完整性分析[M].李玉山,李丽平,等译.北京:电子工业出版社,2005.

[9] IPC-2251,Design Guide for the Packaging of High Speed Electronic Circuits[S].2003.

作者简介：

甘云华(1983),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统自动化技术研究工作；

周华良(1980),男,江苏吴江人,工程师,从事电力系统控制保护平台技术的研究工作；

夏 雨(1976),男,湖北武汉人,工程师,从事电力系统控制保护平台技术的研究工作；

汪世平(1980),男,湖北英山人,工程师,从事电力电子与电力传动工作；

邹志杨(1980),男,广东梅州人,工程师,从事电力系统继电保护装置电磁兼容与可靠性研究工作。

Application of High-Speed Signal’s Integrity Analysis and Design in Device Development of Relay Protection

GAN Yun-hua, ZHOU Hua-liang, XIA Yu, WANG Shi-ping, ZOU zhi-yang
(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The basic function and composition of kernel CPU board is introduced according to the design process of new generation high-voltage relay protection ARP-300 series. In new technical condition, the integrity problem of high-speed signal during the hardware design and development is presented. By simulating and analyzing the key signal of the key circuit, the corresponding wiring constraints and realization is explained in detail. Finally, the actual waveforms of kernel signal and the electromagnetic compatibility experiments of device indicate that during hardware design of kernel CPU board the signal integrity analysis improves the primary success rate of system hardware development and plays a very important role in enhancing working stability and reliability of relay protection devices.

Key words: signal integrity; analysis and design; high-speed signal; high-voltage relay protection; reliability

±800 kV 郑州换流站户内直流开关场设计

邓广静,邵俊伟,王宏斌
(江苏省电力设计院,江苏 南京,211102)

摘 要:首先分析了±800 kV 郑州换流站直流开关场接线与主要电气设备参数,并进行优化。然后计算站址污秽等级,确定直流设备爬电比距,为降低设备外绝缘,将极母线设备户内布置,通过计算直流开关场空气间隙,结合设备布置,给出了户内开关场推荐尺寸。最后配合阀厅布置特点,户内直流开关场与阀厅一列,呈极对称布置。该结果对郑州换流站的设计具有一定的指导意义。

关键词:直流换流站;融冰接线;爬电比距;户内直流开关场

中图分类号:TM721.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0039-03

为满足河南电网“十二五”及以后负荷快速增长的供电要求,结合哈密地区风电、煤电资源丰富的特点,1 回哈密—河南±800 kV 特高压直流工程将在 2012 年建设。±800 kV 郑州换流站是哈密—河南特高压直流工程的受端站,站址污秽等级较高,直流开关场电气设备制造难度大。在已投运直流输电工程中通过复合绝缘或户内开关场来降低设备外绝缘^[1,2],但电压等级仅为±500 kV,尚无±800 kV 的设计运行经验。文中推荐±800 kV 极母线电气设备采用户内布置方式,以减小设备爬电比距,并通过计算直流空气间隙,提出户内开关场设计尺寸及直流开关场的布置方式,对±800 kV 郑州换流站的设计具有重要的指导意义。

1 直流开关场接线

1.1 直流开关场电气主接线

双极直流开关场接线相对比较简单,以满足系统基本运行方式为原则。直流开关场的设备主要包括平波电抗器、直流滤波器、直流测量装置、避雷器、冲击电容器、PLC、开关设备、母线和绝缘子等。典型的±500 kV 双极直流开关场接线如图 1 所示,郑州换流站直流开关场接线如图 2 所示。

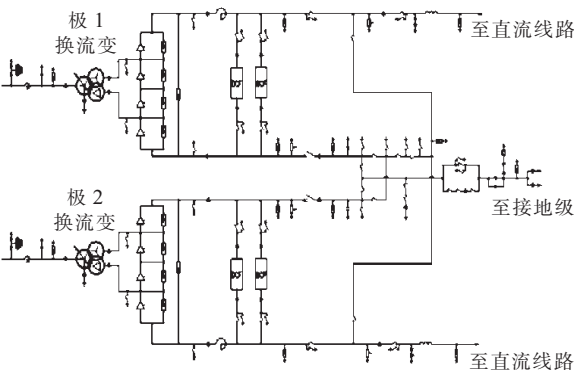


图 1 典型±500 kV 双极直流开关场接线

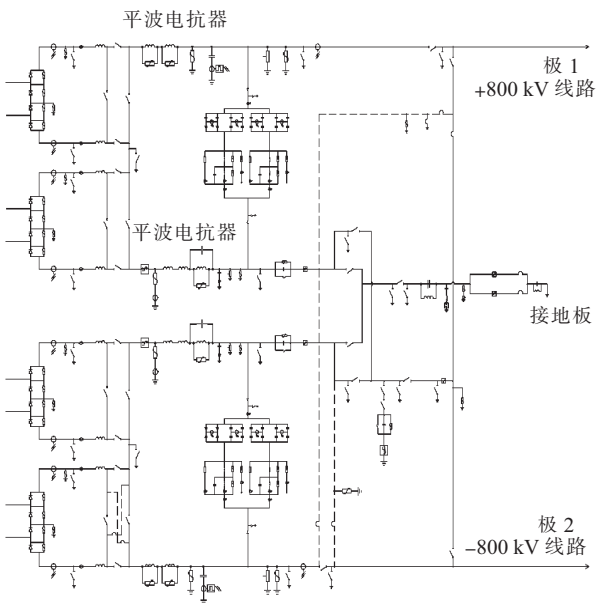


图 2 郑州±800 kV 换流站直流开关场接线

与典型±500 kV 双极直流开关场接线相比,±800 kV 郑州换流站采用旁路开关接线。由于阀组采用每极 2 个 12 脉动阀组串联接线,每个 12 脉动阀组均并联一个旁路开关回路,以提高直流系统可靠性。旁路开关回路由旁路断路器、旁路隔离开关以及之间的 2 组隔离开关组成。

1.2 直流融冰接线

利用极 1 高端阀组和极 2 高端阀组并联,使融冰模式下线路的输送电流提高,相当于 2 个单极 400 kV 金属回路运行方式并联;由于晶闸管阀的单向导通性,要使负极性的极 2 高端阀组并联到正极性的极 1 高端阀组,需要增加极 2 高端阀组的极性转换隔离开关和并联运行隔离开关。

郑州换流站输送功率为 7 500 MW,额定电流达到 4 687.5 A。每极高端 12 脉动换流器并联运行在 400 kV 直流电压下,融冰时直流电流为 4 687.5×2=9 375 A。

图2中虚线部分即直流融冰接线,需额外增加引线4条,隔离开关5台,由于融冰接线并不常用,因此利用4个常开可连接断口和1个常闭可拆卸断口代替隔离开关以节省投资。

2 直流开关场主要电气设备

2.1 平波电抗器

平波电抗器用来抑制直流开关场或直流线路所产生的陡波冲击波进入阀厅,使换流阀免于遭受过电压而损害。从限制故障电流上升率,平抑直流电流的纹波,防止直流低负荷时的电流续断综合考虑,郑州换流站可采用每极装设电感量为300 mH的平波电抗器。根据过电压的估算结果,若电感量为300 mH的平波电抗器都装设在直流极线上,过电压水平较高,为降低设备绝缘水平,推荐将平波电抗器分别串接在极母线和中性母线上,并紧靠阀组安装。在极母线和中性母线各装2台75 mH干式电抗器串联。

2.2 直流滤波器

直流滤波器接在平波电抗器后的极线与阀组相连接的中性线上,以滤去直流侧谐波,减少直流输电线路对邻近通信线路的干扰,直流滤波器的接线,应保证滤波器的投切,不中断和降低直流输电功率,因此,在滤波器高低压侧均配有隔离开关,并且高压侧隔离开关具有在正常运行情况下投切的能力。为方便检修,在滤波器两侧均设有接地刀。郑州换流站按每极装设2组双调谐直流滤波器考虑,为节省投资,2组直流滤波器的高压侧和低压侧共用1组隔离开关。

2.3 直流隔离开关

该工程可采用双柱水平旋转开闭式隔离开关或双柱垂直开启式架式隔离开关,其中直流耐压以及直流滤波器隔离开关应具有带电投切的能力,为直流开关制造的关键技术。

2.4 直流支柱绝缘子

由于直流电压下特有的静电力的作用,绝缘子表面积污比交流情况下严重,支柱绝缘子需要具有较高的污闪电压和较好的积污特性。支柱绝缘子主要有瓷质和表面硅橡胶合成材料2种材料。受目前厂家生产能力限制,±800 kV直流支柱绝缘子采用纯瓷外绝缘的方案几乎不可能,而复合绝缘机械强度较差,目前±800 kV特高压直流工程中广泛采用瓷绝缘子表面涂RTV涂料,机械强度和爬距都能满足设计要求,耐污能力大致接近于瓷质的1.3倍。支柱绝缘子伞形结构有大小伞及深棱伞2种,大量试验表明,相邻伞间距的比值为3.15时,伞伸出和

伞间距均为95 mm的深棱型绝缘子具有最佳的污闪特性^[3,4]。

3 污秽等级与绝缘配合

3.1 污秽等级

根据《河南电网外绝缘污秽区域分布图(2007年版)》,郑州换流站大孟站址所在地区的污秽水平均为D级,属重度污区。

根据河南省电力科学研究院提供的站址附近500 kV官祥线(官渡变到祥符变)与大孟站址最短距离约15 km的污秽数据,其交流等值盐密为0.22~0.57 mg/cm²,灰密为1.04~2.23 mg/cm²,基本达到了IV级污秽水平,因此郑州换流站交流爬电比距按31 mm/kV设计。

直流爬电比距可按交流爬电比距的1.8~2.0倍简单计算^[5]。因此郑州换流站直流爬电比距按60 mm/kV设计。

3.2 直流侧空气间隙计算

换流站直流侧空气间隙主要考虑直流、交流、雷电和操作冲击合成电压的作用。确定与直流电压水平相应的空气间隙时,操作冲击是比雷电冲击重要的决定因素^[6]。对于一个标准的间隙,正的雷电冲击击穿电压至少比正的操作冲击击穿电压高30%。

设计空气间隙时需要各种换流站真型雷电波、操作波放电电压特性曲线。为了较准确的计算直流侧空气间隙,不仅需要架空软导线、管型硬母线与构架之间的放电特性曲线,而且需要带电电气设备(均压环)与构架之间的放电特性曲线。如果采用户内直流场,还需要管型硬母线对墙的放电特性曲线。

文中按照国际大电网会议(CIGRE)提供的计算方法计算。空气间隙50%冲击放电电压为:

$$u_{50} = \frac{K_a K_1 u_p}{(1 - n\sigma)} \quad (1)$$

式中: u_{50} 为间隙的冲击(操作、雷电)电压波形下的50%的闪络电压; K_a 为气象修正系数; K_1 为裕度系数,对操作和雷电冲击分别为1.2和1.25; u_p 为避雷器相应的(操作、雷电)冲击波保护水平; σ 为间隙的冲击(操作、雷电)放电电压变异系数。

对于操作冲击最小净空距离为 U_{50} :

$$U_{50} = k \times 500 \times d^{0.6} \quad (2)$$

式中: d 为净空距离,m; k 为表示电极形状特性的间隙系数,导线对板 $k=1.15$,导线对导线 $k=1.3$,棒对棒 $k=1.4$ 。

根据国内对±800 kV直流工程系统过电压初步研究提出的换流站设备绝缘水平值^[7],郑州换流站

±800 kV 设备操作冲击绝缘水平取 1 600 kV, 操作冲击放电电压变异系数取 6%。郑州换流站海拔小于 1 000 m, 环境温度不高于 40 ℃, 气象修正系数为 1。经计算, 郑州换流站直流场最小空气间隙如表 1 所示。

表 1 郑州换流站直流场最小空气间隙

间隙系数 k	设备安装位置 /mm
1.15	8 270
1.3	6 742
1.4	5 958

4 直流户内开关场设计

4.1 采用直流户内开关场降低污秽等级

如 3.1 节所述, 如郑州换流站极母线设备, 隔离开关、平波电抗器、支柱绝缘子按照爬电比距 60 mm/kV 选择设备, 仅极母线设备绝缘件的闪距高度就达到 $816 \times 60 / 3.15 = 15.54$ m, 结构高度更高, 同时平波电抗器绝缘件还要承受重达几十吨的重量, 隔离开关操作力较大, 设备制造非常困难。

在三常直流输电工程的政平换流站采用户内直流场之前, 英法海峡直流输电工程的英国侧已经采用户内直流场。考虑郑州换流站站址污秽等级高, 推荐采用户内开关场, 由于极母线电压等级为±800 kV, 极低端及中性线设备电压等级低 (最高 400 kV), 将±800 kV 极母线设备户内布置, 其余户外布置。直流户内开关场设备爬电比距参照政平换流站采用 25 mm/kV, 瓷件最小高度 8 m。隔离开关、支柱绝缘子厂家目前的生产能力都能满足。

4.2 直流户内开关场的布置

户内开关场电气设备按照单层布置, 母线采用支持管母线, 极母线与阀厅一列式布置, 设备间连线采用管母。考虑对地场强的要求, 户内设备及管母线高度按 16 m 设计, 结合表 1 计算结果并考虑一定裕度, 户内直流场净高按 25 m 设计。

户内开关场极母线电气设备除旁路隔离开关、旁路断路器、直流滤波器外均采用单列布置, 由表 1, 安全距离按 9 m 控制。目前各生产厂家的干式平波电抗器直径可以控制在 5 m 以内, 因此平波电抗器距两边墙至少 14 m。

另外由图 2 可见, 800 kV 旁路隔离开关、旁路断路器需与极母线隔离垂直和平行布置, 考虑一定的安装维护空间, 户内开关场宽度按 38 m 设计。长度按需要布置的设备总长度控制。

±800 kV 直流滤波器高压电容器数量较多, 电容器塔高度达到 24 m 左右, 悬吊式安装, 构架高度

达 36 m 左右。将 800 kV 电容器分为 0~500 kV 和 500~800 kV 2 个塔串联考虑, 2 个塔构架高度基本一致, 构架高 25 m。将电容器塔房间与户内开关场组成联合建筑, 呈凸字形建筑结构。

郑州换流站采用阀厅面对面布置, 即两极高端阀厅布置在直流场两侧, 低端阀厅背靠背布置在直流场中间, 场地总宽度达到 285 m。户内开关场与阀厅采用一列式布置, 从高端阀厅引出的穿墙套管直接插入到户内开关场。这样布置的特点是与设备连接简单清晰, 极母线设备沿着出线方向布置, ±400 kV 电气设备及极中性线设备布置在两栋户内直流场中间, 利于平波电抗器的噪声限制。

5 结束语

根据郑州换流站站址附近的污秽数据, 计算直流开关场设备爬电比距按 60 mm/kV 选择, 户内开关场设备爬电距离按 25 mm/kV 选择。直流户内开关场净高及宽度需充分考虑直流最小空气间隙及设备外廓, 建议户内开关场与直流滤波器的电容器塔室组成联合建筑, 呈凸字形建筑结构, 以利于整个直流场按极对称布置, 降低设备噪声。

建议进行直流污秽试验以得到郑州换流站站址的直流污秽数据, 从而更加精确计算直流爬电比距, 以指导工程建设。

参考文献:

[1] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 马为名, 聂定珍, 曹燕明, 等. 特高压直流换流站系统优化设计[J]. 高压技术, 2010, 36(1): 26-30.

[3] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ±800 kV 6 400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 1-8.

[4] 范建斌, 宿志一, 李武峰, 等. 高压直流换支柱绝缘子和套管伞形结构研究计[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(21): 1-6.

[5] 郭贤珊, 宿志一, 乐 波. 特高压直流换流站支柱绝缘子设计[J]. 电网技术, 2007, 31(24): 1-6.

[6] GB/T311.3—2007, 绝缘配合第 3 部分: 高压直流换流站绝缘配合程序[S].

[7] 聂定珍, 马为民, 郑 劲. ±800 kV 特高压直流换流站绝缘配合[J]. 高压技术, 32(9): 75-79.

作者简介:

邓广静(1979), 男, 安徽淮北人, 工程师, 从事电气一次设计研究工作;

邵俊伟(1977), 男, 江苏南通人, 工程师, 从事电气一次设计研究工作;

王宏斌(1982), 男, 山东淄博人, 工程师, 从事电气一次设计研究工作。

数字化保护采样值接口模块设计与实现

胡 国,姚德泉,张宏波,吴 海
(国网电力科学研究院 / 南京南瑞集团公司,江苏 南京,210003)

摘 要:数字化变电站中保护装置采样由自我控制的模拟数据(AD)采样转变为间接的通讯获取。分析了这种转变对保护采样值(SV)接口模块研发的新要求,建立了 SV 模型,分析了其映射实现并研究了采样及采样同步技术。最后对基于大型可编程逻辑器件(FPGA)及同步串口(SPORT)总线技术研制的 SV 单元模块软、硬件结构进行了设计说明,该模块可根据装置需要多重配置,适用于各种类型数字化保护。

关键词:数字化保护;采样值;时钟同步;采样同步;可编程逻辑器件;同步串口

中图分类号:TM73;TM764**文献标志码:**B**文章编号:**1009-0665(2012)01-0042-04

数字化变电站中,电压、电流等信息采集由数字式互感器和合并单元配合完成实现数据共享,保护装置信息由合并单元通信输入,针对外部信息通道的不确定性,信息数据冗余性,信息到达的不均匀性,通信延时不一致及外部数据异常等特性,文中对保护装置信息采集模块进行研发。建立了符合工程应用的保护采样值(SV)模型,分析了其映射实现并研究了同步技术及其实现,最后描述了 SV 接口模块的软硬件结构。该模块与保护模块独立运行,可根据装置需要多重配置,适用于不同类型数字化保护。采用此 SV 接口保护装置已在洛川 750 kV 智能变电站挂网试运行。

1 SV 模型

IEC61850 标准要求装置必须建立模型,过去 SV 信息经常不在装置模型中体现,而是工程人员自己沟通后配置各自的 SV 配置文件。由于保护装置需要与多个合并单元或多个通道通信,且每个合并单元的通道内容顺序都不一致,导致了外部信息通道的不确定性。SV 信息不体现在装置模型中不利于系统集成商系统集成与通道拉线配置。因而国家电网颁布的《IEC 61850 工程继电保护应用模型》中对 SV 模型和实施规范就做出了明确要求。

SV 模型的建立满足了 IEC 61850 标准要求,确切描述了信号的含义。模型作为 SV 连线的依据,有助于系统集成。

IEC 61850 标准采用面向对象的建模方法对整个电力系统进行统一建模,其建立了完整的分层数据对象模型。基本信息模型包括访问点(AP)、服务器(server)、逻辑设备(LD)、逻辑节点(LN)、数据(DATA)及数据属性(DataAttribute)。每个信息单元都由属性和服务组成。

1.1 SV 模型的建立

按照 IEC 61850 面向对象的建模方法和国家电网《IEC 61850 工程继电保护应用模型》建立单个 SV 网络模型示意如图 1 所示。对于多个独立 SV 网络再增加访问点即可。

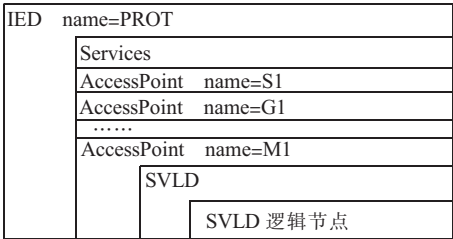


图 1 SV 模型示意图

图中:M1 为保护装置中 SV 访问点;SVLD 为保护 SV 逻辑设备,其逻辑节点根据保护设定。以单母线 24 间隔母线差动保护为例,其 SV 相关逻辑节点如表 1 所示。表中逻辑节点类在 IEC 61850 标准和国家电网《IEC 61850 工程继电保护应用模型》作了明确规定和建模。

表 1 SV 相关逻辑节点

逻辑节点	逻辑节点类
管理逻辑节点(Inputs 部分定义了该装置输入的 SV 连线)	LLN0
物理设备逻辑节点	LPHD
间隔 1 A 相保护电流互感器	TCTR
间隔 1 B 相保护电流互感器	TCTR
间隔 1 C 相保护电流互感器	TCTR
.....	
间隔 24 A 相保护电流互感器	TCTR
间隔 24 B 相保护电流互感器	TCTR
间隔 24 C 相保护电流互感器	TCTR
母线 A 相电压互感器	TVTR
母线 B 相电压互感器	TVTR
母线 C 相电压互感器	TVTR
采样输入(额定延时等)	GGIO
SV 告警	GGIO

1.2 SV 映射及实现

尽管 IEC 61850-9-2 支持向 MMS 映射, 支持对采样数据集的修改和直接访问数据。但由于 MMS 的复杂性, 在 SV 传输这部分暂不进行实现, 目前实现SV 传输都直接映射数据链路层。在有了《智能变电站继电保护技术规范》标准后, IEC 61850-9-1 标准基本不采用, 当前 SV 传输主要是 IEC 61850-9-2 及 IEC 60044-8 的实现。

IEC 61850-9-2 采用基于 ISO/IEC 8802-3 的以太网帧结构, 其中 IEC 61850-9-2 采样值 APDU 采用与基本编码规则(BER)相关的 ASN.1 语法对通过 ISO/IEC 8802-3 传输的 SV 信息进行编码。APDU 映射报文结构如图 2 所示。其中 SV 序列值内容由数据集决定。

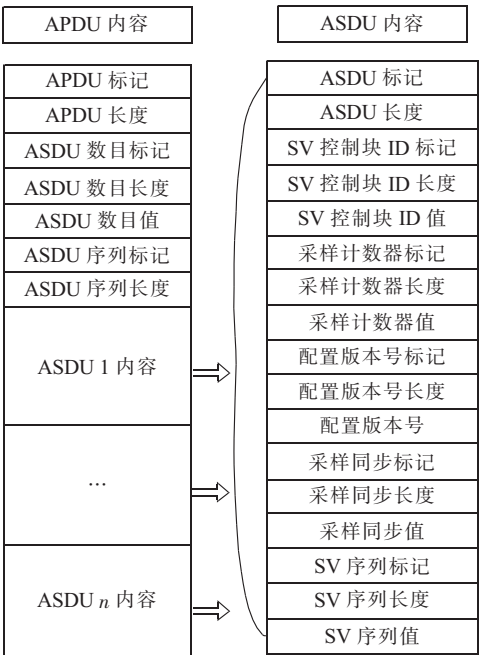


图 2 IEC 61850-9-2 MSV 中 APDU 格式

IEC 60044-8 链路层选择 IEC 60870-5-1 的 FT3 格式,采用曼彻斯特编码。应用层国网扩展报文参见国网公司《智能变电站继电保护技术规范》。

2 同步技术及实现

由于外部采样频率高于装置频率且采样频率可能不一致,决定了保护装置必须重采样。而重采样时间的选取一般以该装置时钟为基准。对于点对点通信模式, 由于每帧信息仅含有一个采样点数据, 保护装置可对该采样点打上该装置的时间戳。而组网 IEC 61850-9-2 信息, 由于一帧报文可能含有多个采样点信息, 只能通过报文中采样计数标识采样点时间, 故而要求装置时间与外部时钟同步。

2.1 时钟同步

标准^[1]要求保护装置应不依赖于外部对时系统

实现其保护功能,对于点对点通信保护装置可以不依赖于外部时钟, 但对于采用 IEC61850-9-2 协议组网保护测控装置,在有效利用统一网络情况下装置时钟网络可能与 SV 网络复用, 如何提高同步的精度及可靠性,在同步源丢失情况下最大限度实现保护功能等新的问题需要研究。

当前与 SV 网络复用对时采用 IEC61588 V2。一般采用专用硬件在以太网媒体访问控制层(MAC)打时间戳并结合软件处理运算得出当地时间偏移,通过硬件进行时钟补偿和同步,同步精度可以达到亚微秒级^[2]。

2.2 采样同步

由于合并单元采集频率(一般 4 K)高于装置数据处理频率(一般 1 K 或者 1.2 K),各合并单元数据到达装置时间不一致且一帧数据中可能包含多次采样信息, 另外单个 SV 模块有可能处理不了所有信息,需要多个 SV 模块处理等原因,如何实现装置采样的同步,满足保护模块处理能力及保护装置的快速性要求值得研究。另外由于数据采集,通信过程中受到干扰后不可避免地出现数据异常或无效的情况,处理不当可能引起保护的不正确行为,需要研究如何实现在数据异常情况下最大限度消除对保护本身的影响。

由于外部输入采样频率可能不一致且信号输入频率大于保护处理数据频率,需要将采样频率统一到保护处理频率,并且需要将数据重采样至同一时刻。一般采用插值方法进行同步处理,该接口采用拉格朗日插值实现采样同步,其插值精度满足保护要求^[3]。

由于需要对高采样频率信号采样数据低通滤波,而不同频率低通滤波将引起不同的附加延时^[4],另外外部合并单元数据到达保护装置的延时也不一致,既要保证采样数据的同步性,又要最快速度向保护输送数据以保证保护的速动性要求,重采样时间选择成为了关键。

2.2.1 重采样时间

有些保护装置为保证数据同步采用增加预留缓冲区间方法在全部信息到达之后进行重采样^[5],而保护速动性要求数据到达之后尽快进行重采样,该接口重采样时间通过程序自动计算获取最快重采样时间。装置采样同步时序如图 3 所示。合并单元 1 在 samp 时刻采集的数据在 S_1 时刻向保护装置发送, 总共经过 $T_{n1}(L_1-S_1)$ 延时在 L_1 时刻到达保护装置接口 1, 信号经过低通滤波后产生滞后时间 T_{d1} ,再考虑到合并单元报文时间间隔 T_{11} 和相对裕度 T , 对本地时间重采样时刻选为该 4 个时间的总和。

在获取 SV 通信延时及采样信号频率情况下, 可以计算出各个 SV 模块相对本地时刻的重采样时刻为:

$$T_s=\max_{\text{osisn}}T_{ri}+\max_{\text{osisn}}T_{di}+\max_{\text{osisn}}T_{ui}+T \tag{1}$$

式中: T_{ri} 为第 i 个信号到达保护通信延时; T_{di} 为根据第 i 个信号采样频率算出的低通滤波延时; T_{ui} 为根据第 i 个信号报文通信频率算出的报文间隔时间; T 为延时裕度。装置综合各接口模块, 相对本地时刻的重采样时刻:

$$T_s=\max_{\text{osisn}}T_{si} \tag{2}$$

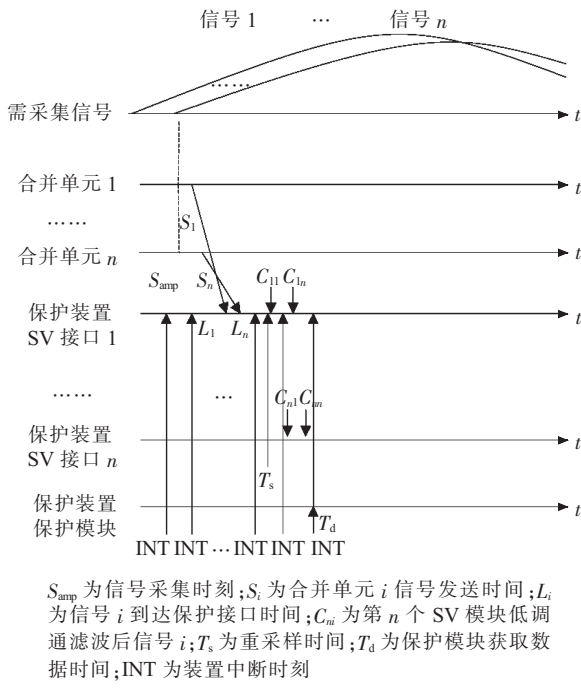


图 3 采样同步示意图

2.2.2 采样同步实现

对于外部报文点对点输入, 模块硬件对报文到达时刻打上本地时间戳^[2], 该时间减去延时时间即为采样实际时刻, 低通滤波后, 通过上节得到的重采样时间, 对外部采样数据进行拉格朗日插值以实现采样同步。

对于接收组网 IEC 61850-9-2 报文, 由于输入信号频率大于保护装置信号频率, 仍需要进行重采样处理。可以将报文中采样计数转换为时间, 在保护装置与时钟同步时可以认为该时间为本地时标轴上时间, 即可进行插值计算。若保护装置时钟丢失, 在装置失步情况下, 由于本地时钟与外部时钟不一致, 将不能直接进行重采样, 这将造成保护性能的丢失。对于这种情况, 可采用外部数据调整时钟的办法保证后备保护仍能起作用。具体做法为判断主 SV 接口模块外部数据是否同步, 若同步则根据该同步计数调整装置的中断, 即可保证装置与外部数据基本

同步。该方法虽不能保证保护使用数据是与绝对实际时间相对应的数据, 但是可以保证是同一时刻数据, 使保护在该种情况下最大程度发挥作用。

对于外部采样数据品质异常或报文丢失, 若出现单点采样数据出错, 对拉格朗日插值采用降阶处理, 其精度满足一般保护计算精度要求^[3], 对于外部输入连续多点出现数据异常, 才将数据置为无效。采用该方法, 在采样偶尔出错或通信偶尔丢帧或报文传输延时偶尔异常时, 保护逻辑仍可正常运行, 有效避免保护瞬时闭锁, 延时开放可能带来的保护拒动。

3 软件及硬件设计

由 SV 接口模块采集、处理保护所需数据传送到保护模块, 对于信号量或外部通信端口较多的情形, 装置可以配置多个 SV 接口模块。SV 接口模块硬件采用低功耗, 32 位高性能 DSP, 利用大容量可编程逻辑器件 (FPGA) 技术及同步串口 (SPORT) 总线技术设计。单个模块硬件原理如图 4 所示。

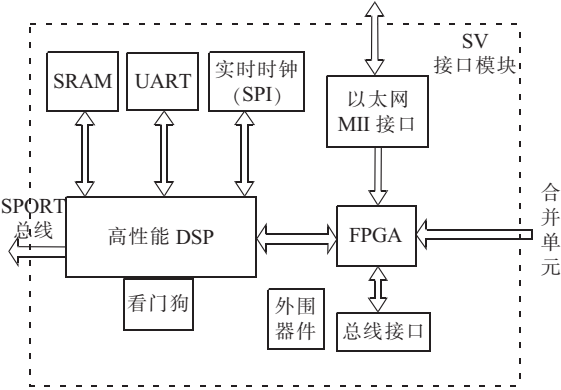


图 4 硬件框图

FPGA 主要完成外围器件控制, 实现对外部 IEC 60044-8, IEC61850-9-2 和 IEEE 1588 报文进行硬件解码, 解码同时锁存当前系统时钟, FPGA 总线接口用于各 SV 模块之间信息交互, SPORT 总线用于 SV 接口模块向保护模块传送数据。

SV 接口模块软件主要结构框架如图 5 所示。

装置同步模块: 读取 IEC 1588 报文和时钟进行逻辑处理, 对装置时钟进行同步。

低通模块: 对采集的原始信号进行低通滤波。

板件调度模块: 各个 SV 接口模块调度, 如主从时钟, 异常情况下重采样时间计算等。

重采样模块: 完成信号窗的选取、插值及品质异常等处理。

输出模块: 传送实时采集信息到保护模块。

信息交互模块: 各个 SV 接口模块之间信息交互, 如板件的异常信息等。

利用上述方案研制的 SV 接口模块, 其配置灵

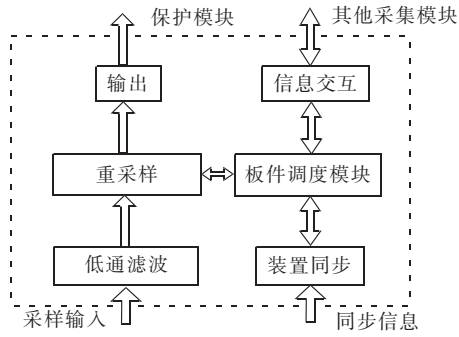


图 5 软件框架图

活，仅将传统保护的采样独立出来，不影响保护算法，减少了保护模块修改时间及修改带来的不确定性；缩短了固定设置重采样时间带来的数据滞后性，例如对于保护装置 24 点中断，外部信号 4 K 频率输入，重采样时间选在中断时刻情形下，采用该种方案设计，将使得保护获取到的数据提前 500 μs 左右。

4 结束语

文中对数字化变电站中保护 SV 接口关键技术与实现进行了研究与设计，建立了接口模型，分析了其映射实现，研究了时钟同步、采样及采样同步技术。最后采用大型 FPGA 及 SPORT 总线技术研制出该模块。使用该接口模块的保护装置于 2011 年在我国电压等级最高的智能变电站 750 kV 洛川变变

电站试运行，除为保护装置及时正确动作提供数据，对合并单元采样数据异常，通信异常等问题能及时响应，其运行稳定，各项技术参数令人满意。

参考文献：

[1] Q/GDW441—2010, 国家电网公司. 智能变电站继电保护技术规范[S].
[2] 胡 国,唐成虹,徐子安,等.数字化变电站新型合并单元的研制[J].电力系统自动化,2010,34(24):51-54.
[3] 曹团结,尹项根,张 哲,等.通过插值实现光差动保护数据同步的研究[J].继电器,2006,34(18):4-8,26.
[4] 吴崇昊,陆于平,徐光福,等.适用于母线保护的电子互感器采样频率转换算法[J].电力系统自动化,2007,31(3):79-82.
[5] 蒋雷海,陈建玉,俞拙非,等.数字化保护采样数据处理方案[J].电力系统自动化,2010,34(17):42-44.

作者简介：

胡 国(1977),男,江西抚州人,工程师,从事变电站综合自动化及嵌入式软件在电力系统内应用的相关研究与开发工作;
姚德泉(1982),男,江苏连云港人,助理工程师,从事变电站综合自动化工作;
张宏波(1975),男,吉林伊通人,工程师,从事嵌入式软件在电力系统内应用的相关研究与开发工作;
吴 海(1978),男,江苏江都人,工程师,从事电力系统自动化开发工作。

Research on Sampling Value Interface module for Digital Protection devices

HU Guo, YAO De-quan, ZHANG Hong-bo, WU Hai

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: In digital protection, sampling methods changed by self-AD samples for indirect communication. This paper analyzes new requirements caused by shift to the protection of research and development of sampling value interface module. Though establishing sampling value models, analyzes its mapping and synchronization sampling techniques. At last software and hardware structure of sampling unit module based on large FPGA and SPORT technology is introduced. The module can apply to different types of digital protection according to appliance needs and multiple configurations

Key words: digital protection; sampling value; clock synchronization; sample synchronism; FPGA; synchronous serial interface

(上接第 41 页)

Design of DC Indoor Switch Yard of ±800 kV Zheng Zhou Converter Substation

DENG Guang-jing, SHAO Jun-wei, WANG Hong-bin

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

Abstract: The connections of DC switch yard and parameters of main electrical equipment of ± 800 kV Zheng Zhou converter substation are analyzed and optimized in this paper. Then the pollution class of substation is calculated and specific creepage distance of DC equipment is determined. In order to decrease the equipment's external insulation, the air gap of DC switch yard is calculated and indoor switch yard dimension is suggested combining with equipment placement. Considering of the characteristics of valve hall, the placement of indoor switch yard and valve hall is designed to be symmetric layout. This design can be a reference for instructing Zheng Zhou converter substation's design.

Key words: DC converter substation; thawing connection; creepage distance; DC indoor switch yard

智能变电站的合并单元仿真系统研究

张祥文¹, 缪文贵², 杨洪涛¹

(1. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061)

摘 要: 研究智能变电站的合并单元(MU)仿真系统的需求, 提出一个完全基于软件、通过配置和仿真系统能够在 PC 机上模拟出多路 MU, 可以模拟出多路电气量的幅值、相角和故障时间点, 发出的快速采样值报文完全满足延时要求, 为装置的调试提供了方便。仿真系统还可以读取故障录波的 COMMTRADE 文件进行回放, 为智能变电站的事故分析提供了支撑。

关键词: 智能变电站; 合并单元; 仿真系统

中图分类号: TM762

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0046-03

近年来, 随着 IEC 61850 标准的研究和推广以及智能变电站的建设, 人们对智能变电站的认识渐渐统一到三层架构上: 智能化的一次设备、网络化的二次设备和自动化的运行管理系统。采样 IEC 61850 标准的智能变电站在逻辑上分为三层, 即过程层、间隔层和站控层, 目前过程层的实现依赖于电子式互感器和合并单元(MU)。为此, 国际电工委员会制定了相关的国际标准 IEC 60044/7/8 和 IEC 61850-9-1, 定义和描述了电子式互感器与 MU。MU 的主要功能^[1]是对同步采集的三相电流、三相电压输出信息汇总, 并按照一定的格式输出给二次设备。MU 是智能变电站的重要组成部分^[2], 二次设备的研制和调试也需要大量的 MU 信号, 尤其是高压主变保护需要 3 或 4 路 MU 信号。采用 MU 仿真系统可以极大降低开发成本、减少物理装置的接线和缩短开发周期。采用仿真系统可以灵活模拟各种数据, 发出快速采样值报文到二次设备, 检测二次设备能否正确响应, 为相关装置的开发和调试提供了便利。

1 MU 相关标准

MU 用于连接电子式互感器与保护测控等二次设备, 同步采集 7 路电流信号和 5 路电压信号, 为二次设备提供时间一致的电流和电压数据, 它接入的信号包括电子式互感器输出的数字化采样值信号、智能化开关设备的开关信号和传统互感器的模拟信号。IEC 61850-9-1^[3]引用了 IEC 60044-7/8^[4], 通过特定通信服务映射将 MU 的单向多路点对点串行通信链路映射到以太网的数据链路层。

1.1 物理层

MU 与二次设备的连接可采用光纤传输系统。考虑并解决电磁兼容性的问题, 也可选择基于铜质

材料的传输系统。

1.2 链路层

地址域由全部为“1”组成的以太网广播地址作为目标地址的缺省值, 然而作为一个可选性能, 目标地址应当是可配置的, 例如, 通过改变多播传送地址可以借助交换机将 MU 与间隔层设备连接。为了区分与保护应用相关的强实时高优先级的总线负载和低优先级的总线负载, 采用了符合 IEEE 802.1Q 的优先级标记。优先级标记头的结构如图 1 所示。

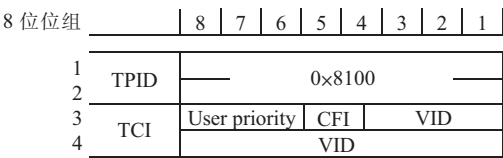


图 1 优先级标记头的结构

基于 ISO/IEC 8802-3 MAC 子层的以太网类型由 IEEE 注册。以太网类型值为 88-BA(16 进制)。

1.3 表示层

采用了 ASN.1 对采样值进行 BER 编码, 编码格式为 TLV。

1.4 应用层

应用协议数据单元(APDU)被递交到传输缓冲区以前将若干个应用服务数据单元(ASDU)连接成 1 个 APDU, APDU 结构如图 2 所示。被连接为 1 个 APDU 的 ASDU 的数目可通过配置参数进行定义并且与采样速率有关。

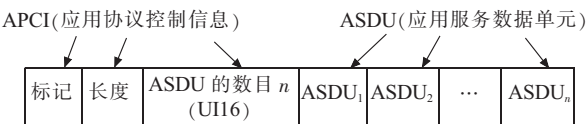


图 2 APDU 结构

根据 ISO/IEC 8825-1 的要求在帧前增加了 1 个 ASN.1 标记和长度作为应用协议控制信息(APCI)的一部分。根据 ASN.1 基本编码规则, 这个标记描述了 1 个 8 位位组串并且被定义为 0x80。为了保证

与所述的另外的采样值信息组合时数据的一致性,用于模拟量采样值信息的 ASN.1 语法定义如下:

```
IEC 61850 DEFINITIONS
IecSavPdu::=CHOICE{ 9-1-Pdu  [0]
IMPLICIT OCTET STRING,    --9-1
APDU 采用
savPdu  [1] IMPLICIT SavPdu,
-- 为 9-2 的 APDU 保留
-- 其他值待定义      }
```

2 MU 数字仿真设计

目前在调试智能二次设备时需要接 CT 和 PT 到 MU,然后再接到二次设备,尤其需要同时接入多路 MU 数据时非常麻烦,给开发调试带来不便,为此设计了纯软件的 MU 仿真系统,仿真系统结构如图 3 所示。

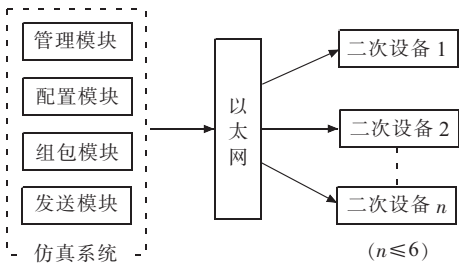


图 3 仿真系统结构

仿真系统设计为能支持模拟同时发送 6 个 MU 数据,以采样速率 $S_R=5\ 000$ 点(100 点×50 Hz),每个 APDU 包含 4 个 ASDU 而不含状态量数据集为例:最大的报文长度 $T_L=26$ 字节以太网报头+4 字节优先级标记+8 字节以太网型 PDU + 2 字节 ASN.1 标记 / 长度 + 2 字节块数目 +46 字节通用数据集×4+96 位帧间隔=1 904 位。

保留 10% 的裕度,模拟 6 个 MU 所需带宽为: $(5\ 000 \div 4) \times 1\ 904 \times 1.1 \times 6 = 15.708\ \text{Mbps} < 100\ \text{Mbps}$,理论上,100 Mbps 以太网接口满足带宽要求。

仿真系统包含 4 个重要模块:管理模块、配置模块、组包模块和发送模块。

2.1 管理模块

管理模块的功能主要包括:参数文件的新建、打开、保存,自适应 COMMTRADE 文件和自定义文件 2 种格式。用例的新建、用例的修改、用例的删除、用例的导入导出、用例的生成以及用例的运行,每 1 个用例都对应 1 个完整的仿真需求。当 1 个用例运行时先初始化必要的参数,然后读取 COMMTRADE 文件或配置模块生成的数据文件,最后调用组包模块和发送模块发送报文。

2.2 配置模块

配置模块的主要功能是对仿真的数据源进行参数配置,对应每个配置文件可配的参数有 MU 的数目,时间段数,每个时间段的时间,目的端的 MAC 地址和 LDname,每个 APDU 包含的 ASDU 的数目,以及每个 MU 每个时间段的额定相电流、额定相电压、额定中线电流、额定延时、保护用相电流(幅值和相角)、测量用相电流(幅值和相角)、中线电流(幅值和相角)、相电压(幅值和相角)、中线电压(幅值和相角)和母线电压(幅值和相角)、采样频率、状态字 1 和状态字 2。这些参数都配置好后给组包模块提供数据源,也可以生成文件本地保存方便以后重复使用。

2.3 组包模块

组包模块的主要功能是读取数据源文件,按照参数配置生成周期性的交流量数据,每个目的 MAC 地址对应 1 个模拟 MU,读取相应的参数和流量数据组成 ASDU,给每个 ASDU 打上编号后组成 APDU 帧,然后给每个待发送包打上时间标记,最后依次从每个模拟 MU 中取出对应的包组成 1 个待发送的包序列。

2.4 发送模块

发送模块主要功能是完成包序列的发送,因为要发送的数据量很大,且实时性要求高,一般的 PC 机系统无法直接实现,所以开发了基于 WpdPack 开发包的驱动去控制系统的 CPU 内核,使时间的分辨率达到微秒级,驱动网卡按照待发送包序列中每包对应的时间标记直接发送包序列。控制包体系结构是由 1 个核心的包过滤驱动程序、1 个底层的动态连接库 Packet.dll 和 1 个高层的独立于系统的函数库 Libpcap 组成。底层的包捕获驱动程序为 1 个协议网络驱动程序、通过对 NDIS 中函数的调用为 windows 提供类似于 UNIX 系统下 Berkeley Packet Filter 的捕获和发送原始数据包的能力。Packet.dll 是对这个 BPF 驱动程序进行访问的 API 接口,同时有 1 套符合 Libpcap 接口的函数库。控制包通过对内核的排他性占用,使多任务的操作系统只执行发包的单任务来保证实时性。时间本应同步的多个模拟 MU 产生的微秒级的时间延时在二次设备的许可之内,一起发到网络上的数据包都有各自的目的 MAC 地址,因此这些数据包可以顺利到达对应的二次设备。

3 应用示例

下面用仿真系统模拟带桥变压器主保护所需要的 4 个 MU。

以常见的每个周期采 100 点,每个 APDU 包含

4 个 ASDU 为例,那么每个数据包的间隔为 $4 \times 20 \text{ ms}/100=0.8 \text{ ms}$,3 个时间段分别对应正常状态、故障状态和故障恢复,设置 4 侧的 MAC 地址依次为 01-0c-cd-04-01-01(MU1)、01-0c-cd-04-01-02(MU2)、01-0c-cd-04-01-03(MU3)、01-0c-cd-04-01-04(MU4)。

通过第三方的协议分析软件抓包分析,按照发送顺序抓包所得发送报文间隔如图 4 所示,时间为相对上一包的时间差(s),根据目的 MAC 可见,对于编号相同的数据包 MU4 与 MU1 之间最大的时间延时为 $0.000021 \text{ s}+0.000029 \text{ s}+0.00003 \text{ s}=80 \mu\text{s}$ 。

图 4 发送报文间隔

MU1 一侧数据包队列的发送间隔降序排列如图 5 所示,其最大间隔 0.809 ms ,MU1 一侧数据包队列的发送间隔升序排列如图 6 所示,其最小间隔 0.790 ms ,这两个时间间隔和标准的 0.8 ms 的误差仅为 $10 \mu\text{s}$ 。

图 5 发送间隔降序排列

MU2,MU3,MU4 的数据包队列中时间间隔最大误差分别为 $10 \mu\text{s}$, $9 \mu\text{s}$, $5 \mu\text{s}$ 。实验表明时间延时和网络带宽和 CPU 的处理能力有关系。

可见,MU 仿真系统所模拟的多路报文在性能上非常出色,在实验室二次设备的开发和调试过程

图 6 发送间隔升序排列

中完全可以替代实际的 MU 装置。

4 结束语

MU 仿真系统能够准确的按照 IEC61850 标准模拟出多路 MU 发出的采样值报文,而且在延时许可范围内完全可以达到 MU 装置的性能。MU 仿真系统是用纯软件的方式实现了 MU 的功能,可以减少 MU 装置和交流源需求,节约了成本,在装置调试过程中减少接线,方便灵活的参数配置大大缩短了开发周期,为二次设备和智能变电站提供了灵活方便的调试手段。

参考文献:

- [1] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等.一种遵循 IEC 61850 标准的合并单元同步的实现新方法[J].电力系统自动化,2004,28(11):57-61.
- [2] 梁晓兵,周捷,杨永标,等.基于 IEC 61850 的新型合并单元的研制[J].电力系统自动化,2007,31(7):85-89.
- [3] IEC 61850-9-1,Communication Networks and Systems in Substations: Part 9-1:Specific Communication Service Mapping—Sampled Values over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link[S].2003.
- [4] IEC 60044-8,Instrument transformers: Part 8 electronic current transducers[S].2002.

作者简介:

张祥文(1980),男,安徽天长人,工程师,从事电力系统自动化方面的工作;

缪文贵(1975),男,江苏海安人,高级工程师,从事电力系统自动化方面的工作;

杨洪涛(1981),男,湖北襄阳人,工程师,从事电力系统自动化方面的工作。

Research of Merging Unit (MU) Emulation System Based on Intelligent Substation

ZHANG Xiang-wen¹, MIAO Wen-gui², YANG Hong-tao¹

(1.State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003,China;

2.NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210061,China)

Abstract: The requirements of merging unit (MU) emulation system of intelligent substation are studied in this paper. Based on software and configuration, MU emulation system can simulate multiple MUs simultaneously on personal computer, and simulate electrical vectors' amplitude, phase angle and fault time. The sampled values of packets satisfy requirements of rated delay time, which greatly facilitates the debugging of devices. In addition, MU emulation system can read COMMTRADE files to send packets, which provides the support for the failure analysis in intelligent substation.

Key words: intelligent substation;merging unit;emulation system

电力机车谐波与无功功率仿真分析

关巧莉¹,孙 健²,王宝安¹

(1.东南大学电气工程学院,江苏 南京,210096;2. 江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京,211103)

摘 要:提高非线性系统无功功率计量的准确性是提高电力系统电能质量管理和安全运行的需要。介绍了电力机车的系统结构和功能,在 Matlab 中建立仿真模型,分析电力机车的电流和电压谐波含量。通过几种典型的无功功率测量算法测量电力机车的无功功率,仿真结果表明 Hilbert 算法和傅氏算法的测量结果相对误差较小,无功功率计量的准确性较高,而均方根算法的测量误差较大。

关键词:谐波分析;Matlab;电力机车;无功功率仿真

中图分类号:U264 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0049-03

随着电气化铁路的发展,电力电子装置和非线性负载大量使用,谐波已影响到电网和设备的安全运行,因此须对非线性负载的谐波特性进行具体分析。目前正弦电路中无功功率的概念及计算公式已经非常清晰,但在非正弦电路中无功功率的定义及计算公式还处于探讨和研究阶段。由于非正弦条件下无功功率的定义尚无明确的界定,使得无功功率的测量也一直受到人们广泛的关注。目前常用的无功功率测量算法是基于 Budeanu 频域无功功率定义的,主要的测量算法有:均方根算法、傅氏算法、Hilbert 变换测量算法。

在电力机车等非线性负载快速发展的今天,传统的电磁式跨相电能表和基于基波移相 90° 原理制成的电能表已呈现出缺点,即在含有大量谐波的情况下,这 2 种电能表的误差较大,无法准确测量非线性系统的无功功率,继而给电网的电能质量管理及安全运行带来一定的影响。因此采用合理的非正弦无功功率理论以及研究更先进的无功功率测量技术成为一种发展趋势。目前还鲜有对电力机车等非线性负载进行无功功率测量的研究。以韶山 8 型电力机车为例,采用 Hilbert 算法、均方根算法和傅里叶算法测量电力机车的无功功率,仿真可见,相对于 Hilbert 变换算法,傅氏算法的测量误差较小而均方根算法的测量误差大,可作为中频炉、变频器等非线性负载无功功率测量的参考。

1 电力机车的结构和基本模型的构建

韶山 8 型电力机车属于交-直传动相控电力机车,主电路由整流回路和牵引回路组成。整流回路输出直流电压 U_d 供给牵引电机,从而驱动机车行驶。电力机车主变压器为三绕组变压器,用来改变输入电压等级,供给整流电路。整流电路包括 4 个

二极管和 6 个晶闸管,基本连接方式参照图 1。机车的运行工况与整流回路晶闸管的导通角及机车主变牵引绕组的投入数目密切相关,通过改变晶闸管的导通角或牵引绕组数目即可以控制机车运行于不同的工况。韶山 8 型电力机车的主要电路结构如图 1 所示。

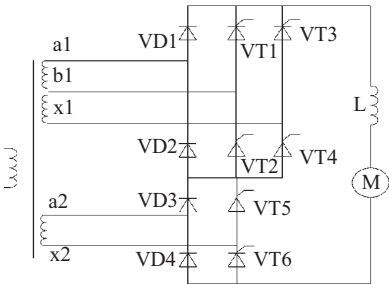


图 1 韶山 8 型电力机车主电路结构

图中:L 为平波电抗器;M 为牵引电动机电枢绕组;a1-x1 和 a2-x2 为牵引绕组。韶山 8 型电力机车采用晶闸管相控整流电路,整流采用多段桥式整流。通过牵引绕组的投入与晶闸管相控角的变化来实现输出电压的调节。

文献[1]分析了 SS8 型电力机车电路的工作原理和特性,文献[2]研究典型电力机车的负荷构成特性及比重,得出电力机车的负荷特性主要是由牵引回路的特性决定的。文献[3]以 SIMULINK 为工具建立了交流牵引供电系统的仿真模型,并将其应用于负荷投运和故障 2 种状态下对继电保护装置的影响。文献[4]建立了一种电力机车牵引工况下的简化数学模型,定量计算了机车产生的谐波电流。由文献[5]可知,当牵引电机工作于某一稳态运行点时,其电气特性可以用电阻描述,阻值由电机本身结构特性和转速决定。因此电动机车负载可以用一电阻等效替代,根据此在 Matlab 中建立了基本模型,如图 2 所示。

在基本模型中牵引变压器输出侧电压为 35

kV，牵引变压器的阻抗与牵引网阻抗折和为 $RL1$ ， $R_1=1\ \Omega$ ， $L_1=0.1\ \text{H}$ ，负载侧平波电抗器和电力机车负载折合为 RL ， $R=0.2\ \Omega$ ， $L=20\ \text{mH}$ 。

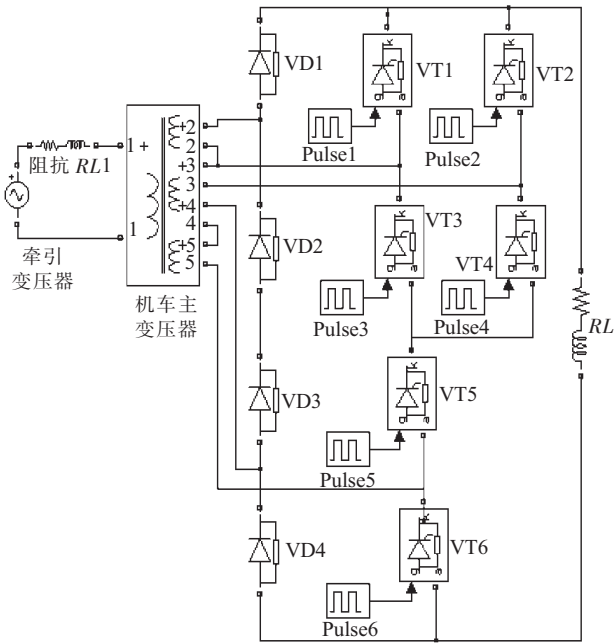


图2 韶山8型电力机车的基本模型

2 电力机车的谐波分析

2.1 基于FFT变换的电流谐波分析

根据图2，韶山8型电力机车的仿真模型使用MATLAB/SIMULINK中的电流测量模块即可得到输入电流波形如图3所示，对输入的电流波形进行FFT分析结果见表1。

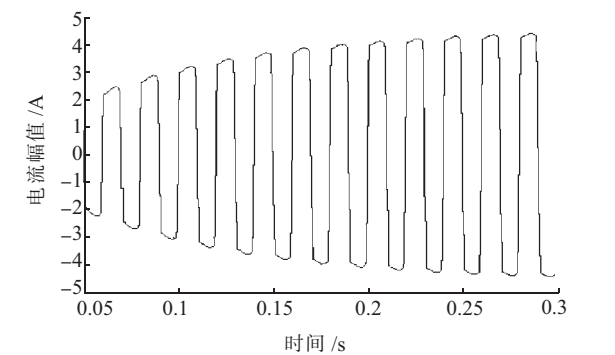


图3 电力机车输入电流波形

通过FFT分析可以得到电力机车的输入电流各次谐波含量，该输入侧电流中3,5,7,9次谐波含量较大,基波电流值为5.748 A,电流谐波畸变率为33.90%，谐波电流值为1.948 6 A,基波电流在总的电流中所占比例为74.68%，谐波电流所占比例为25.32%。

2.2 基于FFT变换的电压谐波分析

根据图2，韶山8型电力机车的仿真模型使用

表1 电力机车输入侧电流的谐波含量分析

谐波次数	谐波含量 / %	谐波次数	谐波含量 / %
1	100	11	1.66
2	1.28	12	1.23
3	29.34	13	0.97
4	1.40	14	1.06
5	14.20	15	0.75
6	1.48	16	0.91
7	7.24	17	0.63
8	1.48	18	0.77
9	3.52	19	0.60
10	1.39	20	0.64

MATLAB/SIMULINK中的电压测量模块即可得到输入电压波形如图4所示，对输入电压波形进行FFT分析结果见表2。

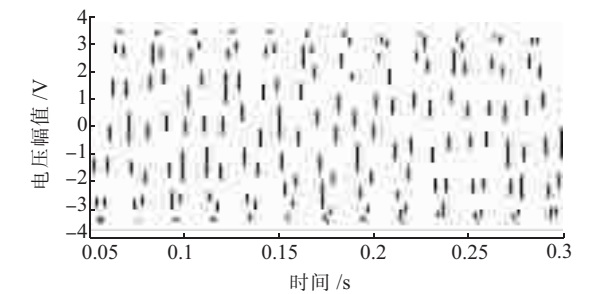


图4 电力机车输入电压波形

表2 电力机车输入侧电压的谐波含量分析

谐波次数	谐波含量 / %	谐波次数	谐波含量 / %
1	100	11	0.09
2	0.01	12	0.08
3	0.45	13	0.06
4	0.03	14	0.08
5	0.36	15	0.06
6	0.05	16	0.07
7	0.26	17	0.05
8	0.06	18	0.07
9	0.16	19	0.06
10	0.07	20	0.07

对电力机车输入侧电压进行FFT得到谐波各次含量见表2,由分析知基波电压为35.29 kV,电压谐波畸变率为0.91%，谐波电压为321.1 V,基波电压在总的电压中所占比例为99.10%，谐波电压所占比例为0.90%。

3 电力机车的无功功率分析

3.1 仿真模型的建立与仿真

采用3种无功功率测量算法即均方根算法、傅里叶算法和Hilbert算法进行仿真。

均方根算法主要利用功率三角形定理，通过对电压、电流值进行采样，得到离散的电压、电流值,再

对电压有效值、电流有效值、有功功率以及视在功率进行计算,最后通过功率三角形定理计算出无功功率,这种算法考虑了谐波的状况,但是概念比较模糊,没有明确的物理定义,且其计算所得到的无功功率没有方向性,但其测量算法比较简单。

傅里叶算法是通过对电压、电流进行傅里叶分解,得到各次谐波的电压、电流有效值及其相位差,再通过将各次谐波的无功功率相加得到整个系统的无功功率。傅里叶算法的最大特点就是计算量大,运算速度慢,实时性不好,但是理论上该方法误差为 0。

Hilbert 变换算法属于软件实现的数字移相,能够对电压各次谐波成分进行精确的 90° 移相,并保持谐波幅值不变。当电压信号移相 90° 后,可以采用有功测量的方法来进行无功测量。这种算法与傅里叶算法相比,运算速度快,实时性比较好。Hilbert 算法是目前使用较多的一种测量算法,且测量误差较小,测量结果较精确。

电力机车的无功功率测量步骤为:通过电压和电流测量模块测量仿真模型得到谐波电压和电流的采样值,输入到工作区 Workspace 之后,结合无功功率的 3 种测量算法仿真得到非线性系统的无功功率。具体模型如图 5 所示,图中 C-M 为电流测量模块,V-M 为电压测量模块,其他元件及参数见图 1。

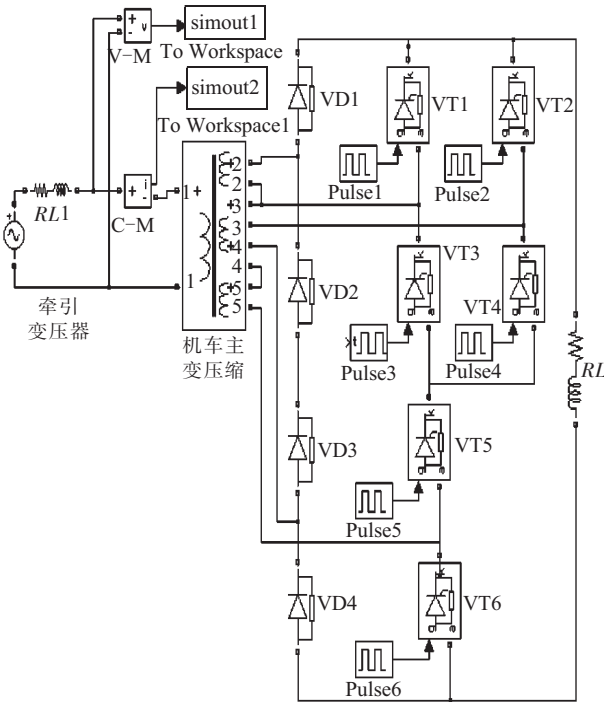


图 5 电力机车的无功功率基本仿真模型

3.2 仿真结果

在 Hilbert 算法、傅里叶算法和均方根算法 3 种不同测量算法下,电力机车的无功功率仿真结果如

表 3 所示。由于 Hilbert 算法测量无功功率的精度较高,文中将 Hilbert 算法的仿真结果作为参考进行误差比较,仿真时间为 1 个电源周期,傅氏算法考虑到 80 次谐波。

表 3 无功功率仿真结果

算法	无功功率 /Var	相对误差 / %
Hilbert 变换算法	33 881	
傅氏算法	33 882	-0.00295
均方根算法	34 203	-43

由表 3 可知,对于电力机车无功功率的测量,相对于 Hilbert 算法,傅氏算法的误差较小而均方根算法的测量误差较大。由此可见,均方根算法在测量含有高次谐波的负载无功功率时测量误差较大。通过傅里叶分析可以得到电机车前 20 次谐波的无功功率,如表 4 所示。

表 4 前 20 次谐波的无功功率

谐波次数	无功功率 /Var	谐波次数	无功功率 /Var
1	34 107	11	-0.000 2
2	-0.000 0	12	-1.000 0
3	-134.00	13	-1.000 0
4	-0.000 0	14	-1.000 0
5	-52.000	15	-0.000 0
6	-1.000 0	16	-1.000 0
7	-19.000	17	-0.000 0
8	-1.000 0	18	-1.000 0
9	-6.000 0	19	-0.000 0
10	-1.000 0	20	-0.000 0

由表 4 可以看出,傅里叶分解算法计算电力机车总的无功功率为 33 882 Var,其中前 20 次谐波的无功功率为 33 885 Var,在总的谐波无功功率中所占比例为 100.01%,20 次以上的谐波无功功率所占比例较小。

4 结束语

通过对电力机车电压和电流谐波特性分析可知,非线性负载电力机车的电流畸变较大为 33.90%,电压畸变较小为 0.91%。使用 Hilbert 算法、均方根算法和傅里叶算法测量电力机车的无功功率的仿真实验结果表明,傅氏算法的测量误差较小而均方根算法的测量误差较大。由于 Hilbert 算法和傅里叶算法是在对电压电流采样后,进行移相滤波或傅里叶变换,通过简单的数值计算测量无功功率,从而避免了均方根算法中通过测量计算电压、电流的有效值和有功功率、实在功率计算无功功率所带来的误差。

参数不同变压器并列运行时负荷分配计算

黄明华,李红,伏祥运,衡思坤

(江苏省电力公司连云港供电公司,江苏 连云港 222004)

摘要:结合地区实际,分析了多种不同情况下变压器并列时的负荷计算,推导出负荷分配和环流功率的计算公式,并根据推导的计算公式,利用 Visual Basic 6.0 编制计算程序。采用该计算程序进行算例分析,结果表明计算精度能够满足工程需要。

关键词:变压器;并列;变比;环流

中图分类号: TM76

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0052-04

随着经济的发展,社会对电能的需求量越来越大,原有的变压器容量已经不能满足现有用电的要求,主变增容是解决该问题的有效手段。增容后的变压器短路电压百分比、分接头档位及变比经常存在一定的差异。变电所在操作过程中常常需要将变压器短时并列。根据变压器运行规程的规定,变压器并列时要求其变比、短路电压百分比和连接组别相同。短路电压百分比不同将造成并列变压器功率分配不合理;变比不同时将造成并列变压器之间产生较大的环流,容易造成并列变压器过负荷^[1]。鉴于变压器存在参数及变比等方面的差异,变压器在并列前需要进行核算,确保并列后主变均不超过功率限额。

变压器参数不匹配时的变压器并列问题已有报道^[2-4],但研究多针对2台双绕组变压器的并列问题。然而,在实际运行过程操作过程中经常涉及三绕组变压器与两绕组变压器的并列、2台三绕组变压器中、低压侧并列等较为复杂的情况。另外,目前的研究多仅对变比不同的环流进行计算。而在实际运行过程中,不能仅仅通过环流大小作为变压器能否并列的依据,负荷大小以及变压器的短路电压百分比差异也将给主变的负荷分配带来较大的影响。因此针对本地区的实际情况,对变压器并列后的负荷分配进行深入分析,编制相应的计算软件,以实现快速有效的计算校核。

1 2台变压器并列运行负荷分析

图1(a)给出2台两绕组变压器并列的情况,其中 T_1, T_2 为2台参数及分接头档位存在差异的变压器,2台主变所带负荷为 $P+jQ$, 设2台主变的容量分别为 S_1, S_2 。

图1(b)给出了相应的等效电路, $X_1, 1:k_1$ 为 T_1 的短路阻抗及分接头在某一档位时的变比; 同样,

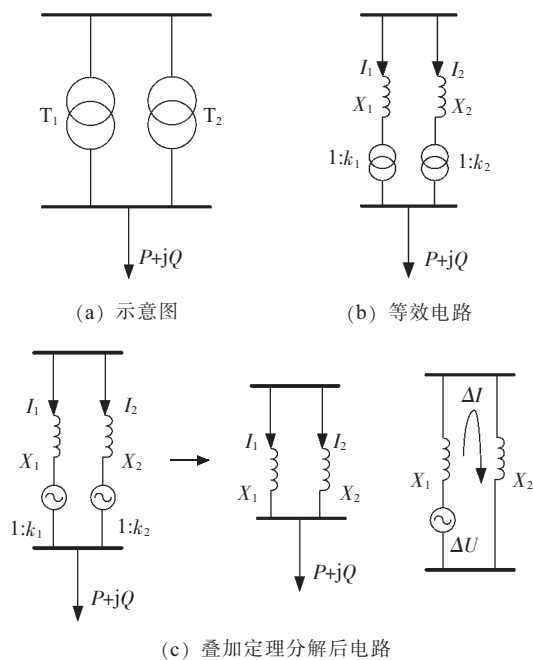


图1 2台双绕组变压器并列运行

$X_2, 1:k_2$ 为 T_2 的短路阻抗及分接头在某一档位时的变比。为分析方便,认为短路阻抗为常数,忽略档位变化对其影响。

根据叠加定理,2台主变并列后的负荷可以近似看作是变比相同时负荷分配与变比不同时造成环流之和,如图1(c)所示。设高压侧母线电压为 U , 可以分别求出2台变压器的分配负荷和环流功率 Q_h 如下所示:

$$\begin{cases} P_{1f} + jQ_{1f} = \frac{X_2/S_2}{X_1/S_1 + X_2/S_2} P + jQ \\ P_{2f} + jQ_{2f} = \frac{X_1/S_1}{X_1/S_1 + X_2/S_2} P + jQ \end{cases} \quad (1)$$

$$Q_h = \Delta I \dot{U} = \frac{\Delta \dot{U}}{X_1 + X_2} \dot{U} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 k_2 (X_1 + X_2)} |\dot{U}|^2 \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可以得到2台主变并列后的负荷分别为:

$$\begin{cases} P_1 + jQ_1 = \frac{(P + jQ)X_2/S_2}{X_1/S_1 + X_2/S_2} - \frac{(k_1 - k_2)}{k_1 k_2 (X_1 + X_2)} |\dot{U}|^2 \\ P_2 + jQ_2 = \frac{(P + jQ)X_1/S_1}{X_1/S_1 + X_2/S_2} + \frac{(k_1 - k_2)}{k_1 k_2 (X_1 + X_2)} |\dot{U}|^2 \end{cases} \quad (3)$$

2 2 台三绕组变压器并列运行负荷分析

2 台三绕组变压器中、低压侧同时并列时的电路如图 2 所示,中压侧负荷为 $P_{L2} + jQ_{L2}$, 低压侧负荷为 $P_{L3} + jQ_{L3}$, 变压器参数如表 1 所示。

表 1 变压器参数说明

T ₁		T ₂	
参数	符号	参数	符号
短路电压 % (高-中)	u_{112}	短路电压 % (高-中)	u_{212}
短路电压 % (高-低)	u_{113}	短路电压 % (高-低)	u_{213}
短路电压 % (中-低)	u_{123}	短路电压 % (中-低)	u_{223}
容量	S_1	容量	S_2

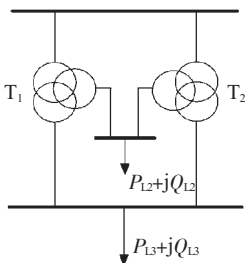
为分析方便, 首先将 T₂ 的参数折算为以 S₁ 为基准的标么值:

$$\begin{cases} u'_{212} = u_{212} S_1 / S_2 \\ u'_{213} = u_{213} S_1 / S_2 \\ u'_{223} = u_{223} S_1 / S_2 \end{cases} \quad (4)$$

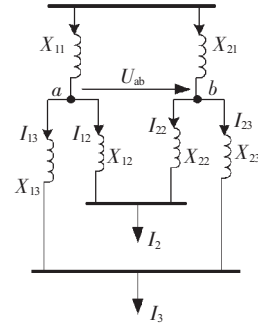
利用上表中变压器参数及式(4)中折算后的数据, 可以计算出图 2(b)中等效电路中的参数:

$$\begin{cases} X_{11} = \frac{1}{200} (u_{112} + u_{113} - u_{123}) \\ X_{21} = \frac{1}{200} (u'_{212} + u'_{213} - u'_{223}) \\ X_{12} = \frac{1}{200} (u_{112} + u_{123} - u_{113}) \\ X_{22} = \frac{1}{200} (u'_{212} + u'_{223} - u'_{213}) \\ X_{13} = \frac{1}{200} (u_{113} + u_{123} - u_{112}) \\ X_{23} = \frac{1}{200} (u'_{213} + u'_{223} - u'_{212}) \end{cases} \quad (5)$$

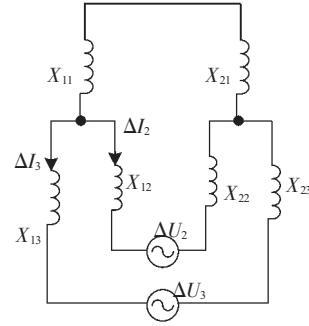
在不考虑变比差异的情况下, 求解主变负荷分配。由图 2(b)中等效电路, 根据电流电压定律可以



(a) 接线图



(b) 负荷分配等效电路



(c) 考虑变比不同时的等效电路

图 2 2 台三绕组变压器并列运行

列写如下方程:

$$\begin{cases} -(\dot{I}_{12} + \dot{I}_{13})X_{11} + (\dot{I}_{22} + \dot{I}_{23})X_{21} = \dot{U}_{ab} \\ X_{13}\dot{I}_{13} - X_{23}\dot{I}_{23} = \dot{U}_{ab} \\ X_{12}\dot{I}_{12} - X_{22}\dot{I}_{22} = \dot{U}_{ab} \\ \dot{I}_{12} + \dot{I}_{22} = \dot{I}_2 \\ \dot{I}_{13} + \dot{I}_{23} = \dot{I}_3 \end{cases} \quad (6)$$

求解可得:

$$\dot{I}_{13} = \frac{(CX_{21} - AX_{22})\dot{I}_2 + [C(X_{21} + X_{23}) + AX_{23}]\dot{I}_3}{BC + AD} \quad (7)$$

式中: $A = X_{11} + X_{21}$; $B = X_{11} + X_{21} + X_{13} + X_{23}$; $C = X_{12} + X_{22}$; $D = X_{13} + X_{23}$ 。将式(7)代入式(6)可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_{23} = \dot{I}_3 - \dot{I}_{13} \\ \dot{I}_{21} = (X_{22}\dot{I}_2 - X_{23}\dot{I}_3 + D\dot{I}_{31})/C \\ \dot{I}_{22} = \dot{I}_2 - \dot{I}_{21} \end{cases} \quad (8)$$

忽略 X_{11}, X_{21} 上的电压, 式(7)两侧乘高压侧母线电压 U 后可化简为:

$$P_{13} + jQ_{13} = \frac{(CX_{21} - AX_{22})(P_{L2} + jQ_{L2})}{BC + AD} + \frac{[C(X_{21} + X_{23}) + AX_{23}](P_{L3} + jQ_{L3})}{BC + AD} \quad (9)$$

同样方法可以求得 T₁, T₂ 中、低压侧的其他功率, 在此计算公式不一一给出。

图 2(c)给出了考虑变比不同时等效电路, T_1 的高-中变比为 $1:k_{1hm}$, 高-低变比为 $1:k_{1hl}$; T_2 的高-中变比为 $1:k_{2hm}$, 高-低变比为 $1:k_{2hl}$ 。设 高压侧电压为 U_h 。计算环流可得:

$$\begin{cases} \Delta I_2 = \frac{\Delta \dot{U}_2 (X_{1\Sigma} + X_{3\Sigma}) + \Delta \dot{U}_3 X_{1\Sigma}}{X_{1\Sigma} X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma} X_{3\Sigma} + X_{2\Sigma} X_{3\Sigma}} \\ \Delta I_3 = \frac{\Delta \dot{U}_2 X_{1\Sigma} + \Delta \dot{U}_3 (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}{X_{1\Sigma} X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma} X_{3\Sigma} + X_{2\Sigma} X_{3\Sigma}} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $\Delta \dot{U}_2 = \frac{k_{2hm} - k_{1hm}}{k_{1hm} k_{2hm}} U_h$; $\Delta \dot{U}_3 = \frac{k_{2hl} - k_{1hl}}{k_{1hl} k_{2hl}} U_h$; $X_{1\Sigma} = X_{11} + X_{21}$; $X_{2\Sigma} = X_{12} + X_{22}$; $X_{3\Sigma} = X_{13} + X_{23}$ 。

式(10)两侧乘高压侧电压后可得环流功率:

$$\begin{cases} Q_{h2} = \Delta I_2 U_h \\ Q_{h3} = \Delta I_3 U_h \end{cases} \quad (11)$$

利用式(9)和式(11)可计算出并列变压器各侧功率。

3 三绕组变压器和两绕组变压器并列分析

1 台三绕组变压器和 1 台两绕组变压器并列时的接线和等效电路如图 3 所示。利用上节所述方法, 根据变压器 T_1 参数计算出 X_{11}, X_{12}, X_{13} ; 将变压器 T_2 的短路电压折算到以 T_1 容量为基准的标么值 X_2 。设 T_1 的高-中变比为 $1:k_{1hm}$, 高-低变比为 $1:k_{1hl}$; T_2 变比为 $1:k_2$; 高压侧电压为 U_h 。

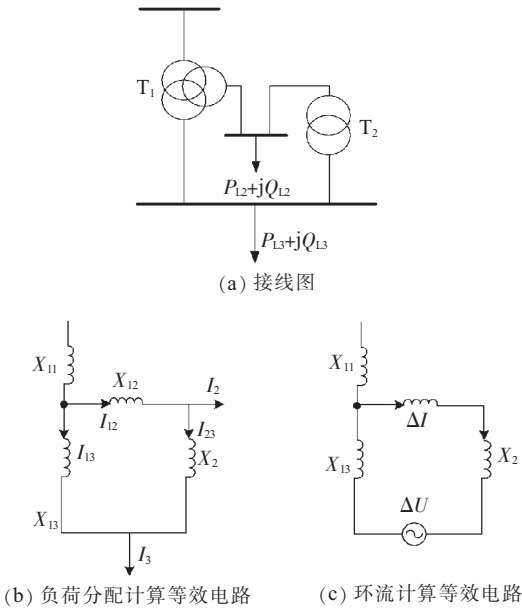


图 3 三绕组和两绕组变压器并列运行

根据等效电路图可得方程:

$$\begin{cases} \dot{I}_{13} X_{13} = \dot{I}_{12} X_{12} + \dot{I}_{23} X_2 \\ \dot{I}_{12} - \dot{I}_{23} = \dot{I}_2 \\ \dot{I}_{13} + \dot{I}_{23} = \dot{I}_3 \end{cases} \quad (12)$$

上式求解得:

$$\dot{I}_{13} = \frac{\dot{I}_2 X_{12} + (X_2 + X_{12}) \dot{I}_3}{X_{12} + X_2 + X_{13}} \quad (13)$$

将式(13)代入式(12)可求得 T_1, T_2 各侧负荷电流。利用上节方法可计算出相应功率。

由图 3(c)可以计算环流为:

$$\Delta \dot{I} = \frac{\Delta \dot{U}}{X_{12} + X_2 + X_{13}} = \frac{(k_{1hl} - k_2 k_{1hm}) U_h}{k_2 k_{1hm} k_{1hl} (X_{12} + X_2 + X_{13})} \quad (14)$$

上式两侧同乘 U_h 可得环流功率:

$$Q_h = \Delta \dot{I} U_h \quad (15)$$

将主变压器各侧分配负荷和环流功率叠加可以得出综合考虑变压器参数和变比不同时变压器并列的实际功率。

4 程序设计及应用

根据上述分析, 利用 Visual Basic 6.0 编写变压器并列时负荷计算程序。图 4 给出了计算程序的主界面。



图 4 计算程序主界面

计算后以记事本文档格式给出 2 台变压器不同档位下并列时的无功功率环流。同时, 该程序还可以在给定的负载情况下, 计算变比不同时变压器并列后的变压器的功率。计算条件为:

1 号主变变比为 $(110 \pm 8) \times 1.25\% : 10.5$, 2 号主变变比为 $(115 \pm 8) \times 1.25\% : 10.5$; 1 号主变短路阻抗为 10%, 2 号主变短路阻抗为 11%。计算结果见表 2。

表 2 计算结果

总负荷 / (MW, MVar)	分接头档位		变压器负荷 / (MW, MVar)	
	1 号	2 号	1 号	2 号
50+j10	9	9	26+j16	24-j6
50+j30	9	9	26+j26	24+j4
50+j30	5	9	26+j15	24+j15

5 结束语

文中结合本地区特点, 变压器参数及变比不同时, 对 2 台两绕组变压器并列、2 台三绕组变压器并

列及 1 台三绕组和 1 台两绕组变压器并列时变压器的负荷计算方法进行了分析,详细推导了其计算公式。根据推导的计算公式,利用 Visual Basic 6.0 编制计算程序。

参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心.电网调度运行实用技术问答[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 张德本,陈 慧,罗树权.2 台变压器并列环流计算[J].电工技术,2002(4):17-18.
- [3] 李志平,王彦峰.有载调压分接头不匹配的变压器并联运行分析[J].广东输电与变电技术,2006(1):61-64.

- [4] 魏 涛,张洪涛,袁卫国,等.2 台电压比相近的变压器并列运行优化分析[J].河南电力,2008(2):29-31.

作者简介:

黄明华(1960),男,江苏灌云人,工程师,从事电力工程的监督管理、输变电工程验收工作;
李 红(1980),女,江苏连云港人,工程师,从事电网规划、设计及分析等相关工作;
伏祥运(1977),男,江苏赣榆人,高级工程师,从事电力系统调度运行、电力系统分析等工作;
衡思坤(1963),男,江苏徐州人,高级工程师,从事中压电网接地方式、电力设备管理等动作。

Calculation of Load Allocation for Various Transformers Paralleled Operation

HUANG Ming-hua, LI Hong, FU Xiang-yun, HENG Si-kun
(Lianyungang Power Supply Company, Lian Yungang 222004, China)

Abstract: Based on the actual situation, load calculation when transformers are operated in parallel under different conditions is studied. The calculation formulas of load allocation and circulating current are deduced, and then an applied computer program is developed based on Visual Basic 6.0. Application in practice shows that the calculation accuracy of the program can meet operation practice requirements.

Key words: transformer; parallel; ratio; circumfluence current

(上接第 51 页)

经过傅里叶分析各次谐波的无功功率可以看出在电力机车中低次谐波的无功功率较大而高次谐波的无功功率较小,可作为中频炉、变频器等非线性负载无功功率测量的参考,具有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] 李 伟,朱 凌,马志国.基于 Matlab/Simulink 的 SS8 型电力机车供电系统建模与仿真[J].大功率变流技术,2009(6):6-10.
- [2] 张广东,李欣然.基于 SIMULINK 的电力机车负荷特性仿真研究[A].中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会论文集(下册)[C]. 2008.
- [3] SHENOY U J, SHESHADRI K G, PARTHASARATHY K, et al. MATLAB/PSB Based Modeling and Simulation of 25 kV AC Railway Traction System. A Particular Reference to Loading

and Fault Conditions [C]. 2004 IEEE Region 10 Conference, 2004.

- [4] 李建华,豆风梅,夏道止.韶山 IV 型电力机车谐波电流的分析计算[J].电力系统自动化,1999,23(16):10-13.
- [5] 李欣然,张广东,朱湘友,等.基于 SIMULINK 的电力机车负荷特性研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2009,36(5):42-46.

作者简介:

关巧莉(1986),女,安徽宿州人,硕士研究生,从事电能质量方面的研究工作;
王宝安(1978),男,江苏扬州人,讲师,从事电能质量方面的研究工作;
孙 健(1978),男,安徽人,工程师,从事电测计量与测试技术方面的研究工作。

Harmonics Analysis and Reactive Power Simulation Analysis of Electric Locomotives

GUAN Qiao-li¹, SUN Jian², WANG Bao-an¹

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Improving the accuracy of measurement of nonlinear systems' reactive power can meet the requirements of improving power quality management and safe operation. System structure and function of electric locomotive is introduced in this paper. Simulation model is built in Matlab to analyze its current and voltage harmonic content. The reactive power of electric locomotives is measured by several typical measurement algorithms. The simulation results show that the relative error is small by Hilbert algorithm and Fourier algorithm while measurement of reactive power is accurate, and measurement error of RMS algorithm exist big error.

Key words: harmonics analysis; Matlab; electric locomotives; reactive power simulation

基于规约编码和缓存的智能用电数据处理技术

陶晓峰

(国网电力科学研究院 / 南京南瑞集团公司, 南京 210061)

摘 要:针对智能用电信息采集系统的数据集中采集、数据项和用户数量大的特点,提出了一种基于编码的算法并结合缓存技术的批量数据入库的新技术。先对采集的数据项进行预编码,运用 P/T 映射技术将数据项和存储字段关联并映射到缓存中,通过内存寻址方式先缓存数据,再定时批量提交到数据库,减少了数据库的操作频率,提高了系统的数据入库效率和稳定性,介绍了其中的主要功能模块以及关键技术的实现。

关键词:编码;缓存;映射技术;智能用电

中图分类号:TP311

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0056-02

为了大幅提升用户用电体验,实现电力用户用电信息采集系统建设“全覆盖、全采集、全预付费”的总目标,对于大型智能用电信息集成采集系统来说,其要求采集的数据项和用户数越来越多,采集频率也将越来越快,对采集系统的采集模块提出了更高的要求。系统的数据源主要存在以下 2 种对采集造成影响的情况:一是需要采集的数据项可能会分别存到不同的数据表中,二是这些分项数据项并不是在同一时间片上采集的。如果每采集 1 个数据项都做 1 次数据库操作会增加数据库读写频率,从而造成数据库性能下降。因此设计高效数据处理技术对采集效率和系统性能提升都有重要作用。

1 采集数据项编码体系架构

1.1 采集数据项概述

根据 Q/GDW376.1—2009^[1]的功能规范,智能用电采集系统的采集数据项非常多,规范中定义的一类数据有 22 组共 170 多项,二类数据有 28 组共 200 多项。几乎覆盖了所有低压抄表和负控的所有数据项。为了满足智能电网的应用要求,对于一些重要数据项需要实现高频度的实时采集。

1.2 数据项编码和处理体系架构

现设计一种将采集对应的数据项通过一定编码规则产生对应的编码项方法,通过配置将编码项关联到该数据项需要存储的表和字段,然后将这些配置信息形成相应的缓存结构,采集的数据分别对应到不同的缓存结构,最后由入库模块通过解析将数据批量入库。这样就能大大提高入库效率。具体技术架构如图 1 所示。

1.3 编码机制

为了减少数据解析模块和数据库入库模块之间的交互,系统设计了一种通用的数据项编码方

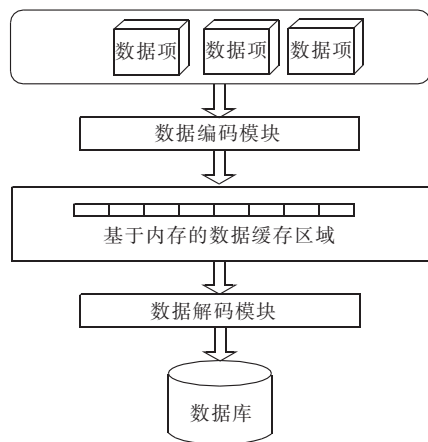


图 1 基于编码和缓存的数据处理架构

法,即将每个数据项根据其对应的规约、数据属性、数据项类型等生成唯一的特征编码,在系统中通过配置将这些数据项编码和数据库中的存储字段相关联,减少数据库表跟程序代码的耦合,提高系统灵活性,各模块之间的数据交互也采用这种编码进行交互,有效提高系统数据的传输效率和处理速度。

2 编码数据缓存方法

2.1 P/T 映射技术

P/T 映射技术是用来解决多数据项和跨表存储数据模型的方案,将数据的编码项和数据库表的具体字段建立相应的对应关系,目的就是将应用层和数据库层进行解耦,达到数据库存储结构有变化可以不用反映到应用层上。使用 P/T 映射技术可以通过在内存中对数据模型的存储和重构,一方面可以实现数据项和数据模型的映射关系,另一方面也解决了数据模型映射的可扩展性,对以后增加的数据项和数据模型可以通过 P/T 映射技术实现自动映射,开发人员不必考虑具体的数据项存在哪张数据表的某个字段,大大简化了程序的编写工作,提高了系统的可维护性、可扩展性和可重用性^[2]。

2.2 数据缓存原理

针对智能用电采集系统的数据采集特点:数据项多、用户数多、采集时间比较离散等。系统的批量数据入库处理模块,采用了基于数据项编码的数据缓存机制,其原理类似于内存寻址方式,数据入库模块将数据表结构映射到内存中,保存相应的数据索引和数据类型等基本信息。由数据编码模块将采集来的数据转化成编码项和数值,根据编码项通过索引算法算出偏移量,找到该数值存储的数据区,最后通过写数据操作把数值存到对应的数据区。数据入库模块可以根据索引和数据类型等基本信息迅速地通过读数据操作将数据值转化为对应的存储结构,从而提高数据库入库效率和减少数据库的IO操作次数。具体原理如图2所示。

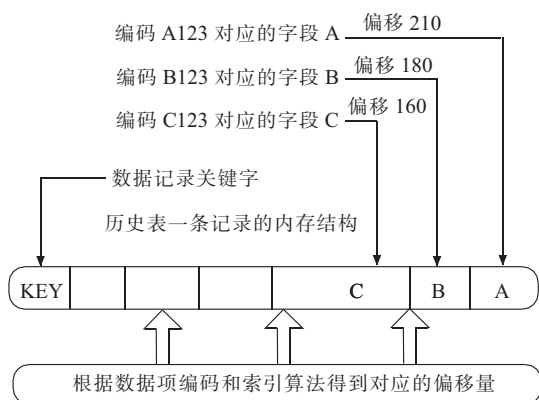


图2 基于编码的数据缓存原理

3 数据入库优化

数据库是信息系统的核心部分,高效、安全和可扩展的数据入库模块是系统的关键。由于每个SQL语句都要执行很多次,尽量让该SQL的散列值在内存块中存在,数据入库模块先对数据库的数据表的信息预先进行SQL的初始化拼装,避免SQL的硬解析,这样有利于提高数据库的SQL语句的执行效率^[3]。由入库线程定时通过数据解码模块,解析出不同数据表的批量数据记录,先将数据记录插入到数据库的临时表中,再通过MERGE语句进行批量入库,其比传统的先判断再选择插入或更新的方式要快很多,而且易于使用,提高了数据入库效率。

4 数据入库容错机制

为了提高系统运行的稳定性,数据入库模块提供了一个基于LOCAL缓存的容错机制,主要针对以下2个方面:一是针对用电采集系统数据流量突发性增长情况,即在某个很短的时间段可能会有超过系统设计正常处理能力的情景;二是如果数据库临时出现故障时,系统能尽量减少停运时间。为此,

设计了LOCAL缓存机制,先把数据通过文件先缓存到本地,作为虚拟内存的延伸。定时由轮询处理线程对数据库状态进行监测,如果出现数据库发生故障或者缓存数据库记录太多的情况,数据入库容错模块把缓存数据按一定的格式进行序列化,序列化后的数据按时间和数据表分类生成数据文档存储在本采集服务器上^[4]。一旦数据库恢复后数据文档处理模块将数据文档进行反序列化,反序列化后的数据提交给数据入库线程批量入库^[5]。这样出现上述情况时,就能尽可能地避免系统停机,保证采集服务器正常运行;系统还能正常进行数据采集,不会出现一些实时数据丢失的情况,提高了系统的可用率。处理流程如图3所示。

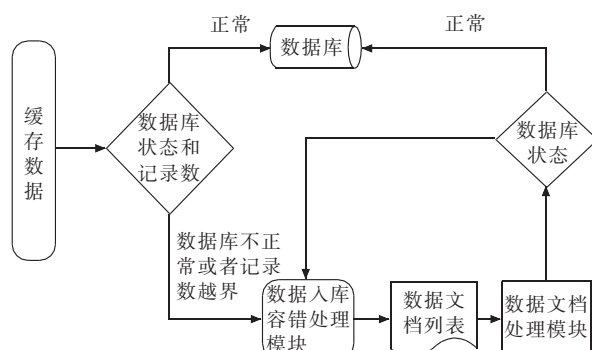


图3 数据入库容错机制流程

5 结束语

该技术针对智能用电信息采集系统的通信规约数据项多、用户数特别庞大的特点,提出了数据项编码化的思想,并运用数据缓存预处理技术,大大提高了数据处理效率。现场实际投运后发现处理能力有了明显提高,对整个智能用电信息采集系统的数据稳定采集和入库起到了关键作用。

参考文献:

- [1] Q/GDW376.1—2009, 电力用户用电信息采集系统通信协议:主站与采集终端通信协议[S].
- [2] 曹晋彰,朱传柏,刘波,等.基于公共信息模型的电网智能调度编码体系研究与实现[J].电力系统自动化,2011(2):43-47.
- [3] SHASHA D,BONNET P.数据库性能调优:原理与技术[M].孟小峰,李战怀,等译.北京:电子工业出版社,2004.
- [4] 周功业,吴伟杰,陈进才.一种基于对象存储系统的元数据缓存实现方法[J].计算机科学,2007(10):146-148.
- [5] 卢成均.缓存机制及其在数据存取层中的应用模型研究[J].计算机应用与软件,2008(12):172-174.

作者简介:

陶晓峰(1977),男,江苏张家港人,工程师,从事智能用电采集系统的设计和开发工作。

(下转第60页)

电网跨区实时告警功能的设计与实现

杨 菲
(常州供电公司,江苏 常州 213003)

摘 要:电网跨区实时告警功能实现了调控系统告警服务在Ⅲ区应用的拓展。通过对电网跨区实时告警均衡、同步、客户端安装功能的研究,将变电所实时告警数据通过 Web 网页方式发布到 Internet 上,供合法局域网用户浏览和查询。这不仅使变电所的投运调试工作变得更为便捷,而且保障了 I 区的网络安全。

关键词:告警功能;Web 网页;OPEN3000;跨区

中图分类号:TM769

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0058-03

随着国网公司推进大运行体系建设,保障国家电网安全、经济、优质、高效运行,公司开始优化调度功能,建立变电设备运行集中监控业务与电网调度业务高度融合的一体化调控体系。因此,调度自动化 OPEN3000 系统应用急需进行相应拓展,使其不仅能为电网调度、变电运行远程监视、操控及实现无人值班提供技术保障,同时也为相关部门掌握电网实时情况提供信息支持。文中利用 Web 技术的开放性、标准性、独立性和嵌入式技术的高可靠性,分别在 I、Ⅲ区数据库服务器中对数据传输端口、传输规范上进行相应设置,实现电网跨区实时告警功能,通过横向隔离装置开辟了数据传输通道,选择实时信息传输方式,实现了信息传输的实时性。

1 设计目标

以往数据访问主要有以下 3 种方式。

方法一。通过厂站一次接线图浏览,可以快速把握各个变电所的整体情况,但针对实时信号动作的具体信息,在查询上没有好的方法。

方法二。通过告警查询模板,可以查询相关信号动作的历史信息,但由于使用人员无法定制查询,现有告警查询所列内容往往过于全面,每个部门都需要剔除大量平时并不关心的冗余数据。

方法三。通过直连电力调度数据网安全 I 区的实时工作站进行浏览查询是现有最好的手段,但受资源限制(数据通道、硬件设备等),且使用面较窄,常州供电公司能在 I 区查询实时信息的仅限于自动化维护、调度以及监控中心人员,对用户操作技能要求也较高。考虑到告警数据变化频繁,采用 AJAX 技术和 XML 生成方法来实现快速的局部数据交换。同时考虑服务器运行的稳定性,在安全Ⅲ区安装配置双 Web 服务器的主备机制,各配置一个浮动地址,提高了对外 Web 服务的可靠性。

文中以无人值守变电站为监视对象,主要完成 Web 发布系统实时告警的设计,主要功能为将变电所实时告警数据通过 Web 网页方式发布到 Internet 上,供合法公司局域网用户浏览和查询。I 区和Ⅲ区分别配置主备服务器,下面为配置文件。

```
web_service.sys
[SPECIFY_NET_CARD]
specify_net_card=0
net_card_name=en1
switch_ip=192.1.21.9 /I 区主服务器所对应的 IP 地址 /
net_card_name=en2
switch_ip=192.1.21.29 /I 区备服务器所对应的 IP 地址 /
web01-1=172.23.102.67 /Ⅲ区主服务器所对应的 IP 地址 /
web02-1=172.23.102.72 /Ⅲ区备服务器所对应的 IP 地址 /
[BIND_TO_HOST]
shift_by_app=32768000
host_name_1=web01-1
shift_ip_1=172.23.102.67
host_name_2=web02-1
shift_ip_2=172.23.102.72 - host.ini
172.23.102.67 作为访问入口
0 web01-1
1 web02-1
172.23.102.72 作为访问入口
-1 web01-1
0 web02-1
```

2 I 区向Ⅲ区发布的方式

常州地区信息发布采用 MINI-Web 和 SVG-Web 2 种方式,用户可以根据需要选择浏览方式。

MINI-Web发布功能全面,基本与I区工作站相仿,容易扩展,轻松发布应用程序,程序版本一致,同一源代码,但需要修改浏览器默认设置,下载多、安装慢、资源消耗大,端口多(防火墙设置)。SVG-Web发布使用方便,B/S模式,浏览器默认设置一个端口,功能实现比较困难,不可以重用已有代码和模块。其发布流程如图1所示。

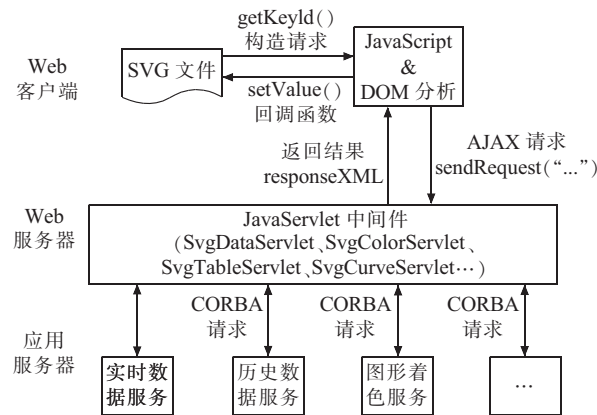


图1 SVG-Web 发布流程

功能实现后必将有大量客户进行浏览,因此,均衡访问用户的个数也非常必要。这2种发布方式均有均衡用户的功能。

3 I区和III区同步问题

为了实现告警功能的实时性,通过可靠、有效的数据同步机制,保证2台Web服务器实时数据、实时模型、历史数据与安全I区一致。用户浏览告警数据的真实、有效。Web服务器历史数据的同步在III区完成,避免由于Web服务器数据库表空间越限等问题导致数据在安全I区的堆积,提高安全I区可靠运行,如下图2所示。

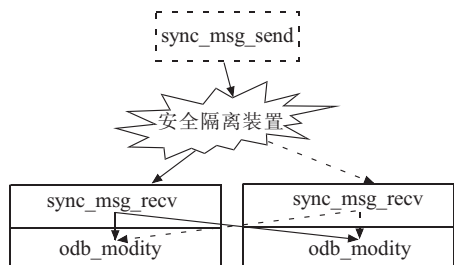


图2 I区和III区同步示意图

3.1 实时数据同步

实时数据同步主要是处理动态数据,包括遥信、遥测值和状态以及计算结果等。因数据表中只有部分域是不停变化的,所以实时数据同步采用部分域同步的方法,不传送整表的内容,仅将关键字与动态数据相关域读出来传送到III区再写到实时库中。

Web服务器实时数据同步时,由安全I区应用主机发送进程 sync_rt_send 每5s从实时库中读取

实时数据,SCADA、PAS主、备应用都配置有该进程,但是只有主应用进程进行数据发送工作。由先接收到I区数据的III区对应应用的转发进程 sync_rt_recv,接收前述发送进程发出的实时数据,主、备Web服务器相应应用写入进程 sync_rt_write 接收 sync_rt_recv 进程发出的实时数据,并将其实际写入相关应用的实时库中,通过上述方式实现Web服务器实时数据同步。

3.2 实时模型同步

电网模型同步主要是处理实时库的模型更新操作。通过将模型更新报文传送到III区,由III区的模型更新进程进行处理,从而实现III区实时库中电网模型同步。同时从可靠性考虑,在安全I区设立一个定期的全同步机制,也就是将各应用实时库中的所有表全部同步。

实时模型同步时,安全I区应用主机发送进程 sync_modify_send 接收模型修改信息,为了保证发送的正确性,采取了文件缓存机制,即使一段时间链路故障,恢复后仍可保证故障期间的模型修改能够发布到Web子系统。此进程可以在配置文件中配置任意需要同步的消息通道,并不局限于模型同步消息。sync_modify_recv 消息转发进程,接收上述发送进程发出的修改信息,并通过消息总线发送给III区SCADA、PAS主、备应用修改进程 odb_modify,修改相关应用的实时库模型。

3.3 商用数据库同步

商用数据库同步包括电网模型更新、采样数据、告警信息等由安全I区向Web服务器同步,同时由于图形、报表等文件存在于商用库中,所以商用库同步也包含了对图形文件、报表文件的同步。常州能量管理系统系统数据同步是通过安全I区主数据库服务器向其他数据库服务器同步和复制数据,在该复制机制框架下,将安全I区数据同步复制机制中增加一路复制,复制程序对这一路进行特殊处理,由直接执行改为通过物理隔离向III区发送复制请求。

安全I区 DB_SERIVCE 主机发送进程 db_replicate 读取主数据库服务器数据复制信息,并调用传输功能动态库向外发送。由先接收到I区数据的III区对应应用进程 db_rep_recv,接收前述发送进程发出的商用库信息,并将其写入相应的商用库复制目录后,由写入进程 db_replicate 根据前述接收进程所写文件实际对商用库执行更新,通过该方式实现2台Web服务器历史数据同步。

4 客户端实现

4.1 应用程序的安装

库户端一般都用 Windows 系统,需安装 Java1.4 版本、Tomca 和用 JAVA 控件新增告警窗程序。

4.1.1 Windows 下安装 Java1.4 版本

Windows 操作系统一般都没有安装 java, 或安装的版本不是 1.4, 推荐全新安装 Java1.4。安装步骤如下: 从版本库中 open2000e_tool\web_software\java\windows 处获取安装程序 j2sdk1_4_2_08-windows-i586-p.exe; 双击安装程序弹出安装界面, 安装过程比较简单, 基本选择默认设置, 一路 next 下去即可完成安装, 默认安装在 c:\j2sdk1.4.2_08 下, 也可以改变安装路径; 安装完成后需要新建 JAVA_HOME 环境变量并修改 Path 变量。

4.1.2 Windows 下安装 Tomcat

从常州调控系统 open3000 版本库 open2000e_tool\web_software\tomcat 下获取 tomcat.tar 安装包。把 tomcat.tar 解压到 D:\ 目录下, tar xvf tomcat.tar (PC 上 open2000e\bin 目录下也有 tar.exe 命令, 不建议使用 WinRAR 等解压) 新建 CATALINA_HOME 环境变量并修改 Path 变量。

4.1.3 JAVA 控件新增告警窗程序

借助公司原有 III 区调度 SCADA 网页浏览系统, 用 JAVA 控件新增告警窗程序。用户只需重新打开一次调度 SCADA 网页, 让页面缓存重新读取新的控件, 将设置文件拷贝至本机指定目录即可正常浏览。

4.2 按责任区划分

根据需求侧重点的不同, 将告警窗显示内容按行政区域(监控中心及各个操作班、金坛、溧阳)、告警来源、告警类型等进行分类。通过责任区划分的方式, 让每个部门进入相应的责任区进行操作, 告警窗中只显示该部门所关心的相关信号告警动作。

5 结束语

2010 年 8 月 18 日, 公司原属于变电工区的监控中心正式并入调度中心, 因此操作班和监控中心已不属于同一个部门。变电运行人员想获知现场告警信息, 本需要在变电运行操作班增加 OPEN3000 工作站。电网跨区实时告警功能的设计与实现后, 变电所各个操作班要了解变电所运行情况时, 只需在普通 PC 机上进行插件, 就可以在 III 区进行浏览。至此, 变电所的投运调试工作也变得更为便捷, 而且 I 区的网络安全也有了重要的保障。

参考文献:

- [1] 程汉湘. 电力电子技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 李天阳, 郭剑虹. 集中中心告警数据处理技术和方法[J]. 电力系统自动化, 2010(22): 113-116.

作者简介:

杨 菲(1980), 女, 江苏常州人, 工程师, 从事电力自动化运行与维护工作。

Design and Realization of Trans-regional Real-time Alarm Function of Power Grid

YANG Fei

(Changzhou Power Supply Company, Changzhou 213003, China)

Abstract: Trans-regional real-time alarm function of power grid achieves the application expansion of alarm service of dispatching & monitoring system in zone III. Based on the research of the functions of balance and synchronization of trans-regional real-time alarm and the client machine installation, real-time alarm data of substations can be released to the Internet by Webpage upload method, and which can be browsed and inquired by legal LAN clients. Above of these make substation's operation and debugging easier, and ensure the network safety of zone I.

Key words: alarm function; webpage; OPEN3000; trans-region

(上接第 57 页)

Smart Electricity Consumption Data Processing Technology Based on Protocol of Encoding and Cache

TAO Xiao-feng

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210061, China)

Abstract: According to the characteristics of smart electricity consumption data acquisition system: centralized data acquisition, large quantity of data items and customers, a new batch data loader technology is proposed which is based on coding algorithm and cache technology. The acquisition data items are precoded and then mapped into the cache data area using P / T data mapping technology, and batch submitted to the database at scheduled time to reduce the operation frequency of the database. The algorithm greatly enhances the system's data storage efficiency and stability. Finally, the main function modules and the realization of key technologies are introduced.

Key words: encode; cache; mapping technology; smart electricity consumption

具备快速合解环功能的备自投分析

张 勇,姚建光,俞晓荣,邹逸云
(江苏省泰州供电公司电力调度中心,江苏 泰州 225300)

摘 要:随着地区电网规模的不断扩大,短路故障电流不断增大,威胁着电网的稳定,电网的分区运行势在必行,而如何确保电网在跨区合环调电时保护不发生误动就成为一个难题。结合 110 kV 新区变电站采用的具备快速合解环功能的新型备自投装置,对该问题展开了分析,并提出了具体的解决方案和运行操作要求。

关键词:电网分区运行;合环调电;快速合解环

中图分类号:TM762 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0061-03

2011 年 3 月,为适应即将开始的泰州电网南北分区运行模式,泰州电网第一台具备快速合解环功能的新型备自投装置在 110 kV 新区变投运。

1 备自投装置的快速合解环功能介绍

新区变采用具备快速合解环功能的备自投装置通过采集 1DL,2DL,3DL 断路器位置,自动选定合环方式。合解环方式一:1DL,3DL 在合位,2DL 在跳位,如图 1 所示;合解环方式二:2DL,3DL 在合位,1DL 在跳位,如图 2 所示;合解环方式三:1DL,2DL 在合位,3DL 在跳位,如图 3 所示。

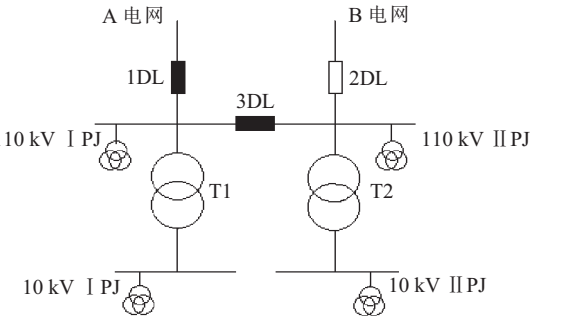


图 1 合解环方式一

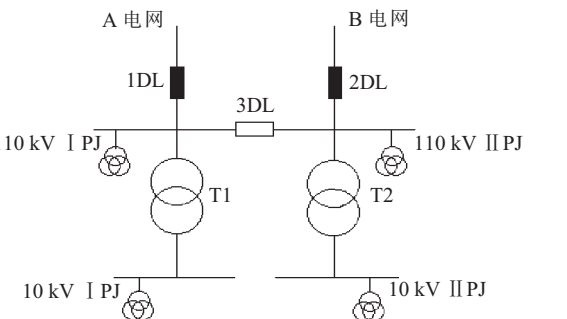


图 2 合解环方式二

1.1 合解环方式一动作过程

- (1) 合环过程。装置充电完成后,当合环允许开入从 0 变 1,经合环延时 $T_{\text{合}}$ 合 2DL 开关。
- (2) 解环过程。经 0.5 s 延时,不满足 1DL,

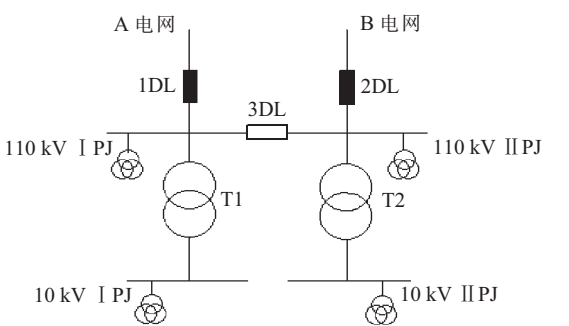


图 3 合解环方式三

- 2DL,3DL 在合位或 I 母、II 母有压,则跳 2DL 并报合环失败报文;确认 2DL 在合位,同时 1DL,3DL 在合位,I 母、II 母有压,延时 $T_{\text{分}}$ 跳 1DL(3DL)。
- (3) 反向切换。经 0.5 s 延时,若 1DL(3DL)在合位,且 0.5 s 后仍有流($0.04I_n$),则跳 2DL 并发合环失败报文;若 1DL(3DL)在合位,但经 0.5 s 延时后 1DL(3DL)无流,则发开关位置异常告警信号;若 I 母、II 母无压且 2DL 无流,经 0.5 s 延时合 1DL(3DL),确认 1DL(3DL)在合位,同时 2DL,3DL(1DL)在合位,I 母、II 母有压,则经 0.2 s 延时跳 2DL 并发合环失败报文。

1.2 合解环方式二动作过程

- (1) 合环过程。装置充电完成后,当合环允许开入从 0 变 1,经合环延时 $T_{\text{合}}$ 合 1DL 开关。
- (2) 解环过程。经 0.5 s 延时,不满足 1DL,2DL,3DL 在合位或 I 母、II 母有压,则跳 1DL 并报合环失败报文;确认 1DL 在合位,同时 2DL,3DL 在合位,I 母、II 母有压,延时 $T_{\text{分}}$ 跳 2DL(3DL)。
- (3) 反向切换。经 0.5 s 延时,若 2DL(3DL)在合位,且 0.5 s 后仍有流($0.04I_n$),则跳 1DL 并发合环失败报文;若 2DL(3DL)在合位,但经 0.5 s 延时后 2DL(3DL)无流,则发开关位置异常告警信号;若 I 母、II 母无压且 1DL 无流,经 0.5s 延时合 2DL(3DL),确认 2DL(3DL)在合位,同时 1DL,3DL(2DL)在合位,I 母、II 母有压,则经 0.2 s 延时跳

1DL 并发合环失败报文。

1.3 合解环方式三动作过程

(1) 合环过程。装置充电完成后,当合环允许开入从0变1,经合环延时 T_{th} 合 3DL 开关。

(2) 解环过程。经 0.5 s 延时,不满足 1DL, 2DL, 3DL 在合位或 I 母、II 母有压,则跳 3DL 并报合环失败报文;确认 3DL 在合位,同时 1DL, 2DL 在合位, I 母、II 母有压,延时 T_{ff} 跳 1DL(2DL)。

(3) 反向切换。经 0.5 s 延时,若 1DL(2DL)在合位,且 0.5 s 后仍有流(0.04In),则跳 3DL 并发合环失败报文;若 1DL(2DL)在合位,但经 0.5 s 延时后 1DL(2DL)无流,则发开关位置异常告警信号;若 I 母、II 母无压且 2DL 无流,经 0.5 s 延时合 1DL(2DL),跳 2DL 并发合环失败报文;若 I 母无压、II 母有压且 3DL 无流,经 0.5 s 延时合 1DL(2DL),确认 1DL(2DL)在合位,同时 3DL, 2DL(1DL)在合位, I 母、II 母有压,则经 0.2s 延时跳 3DL 并发合环失败报文。

可见,备自投的快速合解环功能是通过断路器合分闸的程序化操作来完成快速合解环,并在合解环过程中通过相关断路器位置、电流、电压的变化来判别操作是否成功,操作过程中任一环节出现问题,装置都将自动进行反向切换,恢复至合环前状态,所有中间过程都遵循“先合后分”原则,确保不失电。

2 合环时线路保护可能误动作的原因分析

电网分区运行在减小系统短路容量的同时,也造成了大量的变电站及线路的上级电源来自南北两区^[1]。110 kV 新区变为终端馈供 GIS 变电站,接线方式如图 4 所示。1DL, 2DL 合位, 3DL 分位。

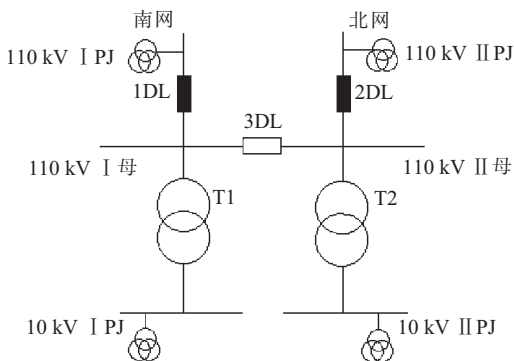


图 4 新区变接线方式

电网运行方式改变,南北网需进行合解环操作:(1) 合上 3DL(合环);(2) 拉开 1DL(解环)。其中对侧南网、北网的 110 kV 线路保护的 III 段定值都为 7.16Ω , 2.2 s (按躲过最大负荷电流原则整定, CT 变比 600/5), 对应的一次电流值为 967.7 A。在合解环操作过程中,由于南北网的电压差及相角差较

大,最恶劣情况下最大的合环潮流将达 1 030 A,对应线路保护的二次测量阻抗为 6.73Ω ,小于线路距离 III 段保护的 III 段定值;同时考虑拉合断路器所必需的操作时间,预估合环潮流的持续时间为 30 s 左右,远大于线路距离 III 段保护的 III 段动作时间。因此,在合解环操作时,新区变对侧的 110 kV 线路保护可能误动作出口,造成新区变全站停电的事故。

3 合环时线路保护可能误动作的解决方案

分区电网合环时潮流过大,是由分区电网的运行方式、电气元件参数、系统阻抗等因素决定的,因此只能通过缩短合解环时间来解决距离 III 段保护误动作的问题。即只要把操作过程中合环潮流的持续时间由 30 s 降低至 2.2 s 以下,对侧 110 kV 线路保护的 III 段就不可能误动作。人工操作是不可能完成的,而通过备自投的快速合解环功能,则完全可以达到要求。通过计算得出,从装置发出合环命令到解环成功的总耗时为:

$$T_1 = T_{\text{th}} + 0.5 \text{ s} + T_{\text{ff}} + T_k \quad (1)$$

式中: T_{th} 为装置合环延时; T_{ff} 装置解环延时; T_k 为断路器固有分闸时间。其中合环潮流持续时间为:

$$T_2 = 0.5 \text{ s} - T_h + T_{\text{ff}} + T_k \quad (2)$$

式中: T_h 为断路器固有合闸时间。从装置发出合环命令到合解环失败,然后反转到初始状态的最长总耗时为:

$$T_3 = T_{\text{th}} + 0.5 \text{ s} + T_{\text{ff}} + 1 \text{ s} + 0.2 \text{ s} + T_k \quad (3)$$

其中合环潮流最长持续时间为:

$$T_4 = 0.5 \text{ s} - T_h + T_{\text{ff}} + 1 \text{ s} + 0.2 \text{ s} + T_k \quad (4)$$

从继电保护整定原则来说,应考虑最恶劣情况,以 $T_4 \leq (2.2 \text{ s} - \Delta t)$ 作为整定依据(Δt 为保护配合时间级差),即 $-T_h + T_{\text{ff}} + T_k + \Delta t \leq 0.5 \text{ s}$ 。以目前 110 kV 弹簧机构的断路器来说, T_k 和 T_h 肯定小于 0.1 s,而一般取 $\Delta t = 0.3 \text{ s}$,所以只要整定 $T_{\text{ff}} \leq 0.2 \text{ s}$,装置的合解环速度就能满足时间要求,从而将合解环操作时线路保护可能误跳闸的风险减小到零。

4 新型备自投装置的运行操作要求

4.1 对调度操作任务票及相关管理规定的修订

备自投功能的停、启用按调度指令执行,调度下达的停、启用备自投指令仅指备自投功能的退出与投入。快速合解环功能正常时停用。在合解环操作过程中,由当值调度员根据电网潮流情况决定是否使用快速合解环功能进行操作。

4.2 对电压二次回路的改造

在新区变备自投装置的调试过程中,发现装置合解环总是失败,然后反向切换到初始状态。这是

由于装置在合解环过程中出现了电压二次回路状态与一次设备状态不一致的情况造成的。

新区变是 GIS 变电站,只有线路压变而没有母线压变,所以电压二次回路比较特殊,它通过线路压变串联进线断路器辅助接点来提供母线电压,如图 5 所示。这样的电压二次回路接线方式,必然存在如果电压二次不并列,当进线断路器 1DL 或 2DL 在分位,110 kV I 或 II 母将二次失压的情况。

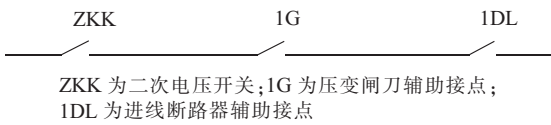


图 5 GIS 变电站电压二次回路

对照前述的合解环方式三动作过程,新区变备自投装置在合上 3DL 跳开 1DL 后,虽然此时两段母线的一次电压没有消失,但是由于合解环操作前 110 kV 二次电压并列开关置于“解列”位置。所以出现了 110kV I 母二次无压的情况,导致装置反向切换,合解环失败。

而在合解环操作前将 110 kV 二次电压并列开关置于“并列”位置是不允许的。因为在合解环操作前,110 kV 母联 3DL 断路器在分位,一次不合环而二次并列,电压二次回路中产生的差流会烧毁电压二次回路中的继电器。为了解决该矛盾,必须对新区变的电压并列回路进行改造。即在电压并列回路串联了母联断路器 3DL 辅助接点,如图 6 所示。

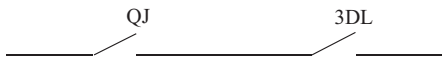


图 6 改造后的电压二次并列回路

合解环操作前,将电压二次并列开关 QJ 置于“并列”位置,但此时电压二次回路并未真正并列,因为母联断路器 3DL 在分位,3DL 断路器辅助接点是打开的;而当备自投装置动作合 3DL 后,辅助接点闭合,此时电压二次回路才真正并列。当备自投继续动作跳开 1DL 后,虽然 1DL 的线路电压无法接入成为 110 kV I 母二次电压,但由于电压二次回路是

并列的,所以 110 kV I 母并不会出现二次失压,备自投装置就能成功完成整个合解环过程。

对于只装设线路压变而没有母线压变的变电站来说,新型备自投装置要实现快速合解环的功能,电压二次并列回路必须具备通过母联断路器辅助接点实现自动解并列的功能,确保电压二次回路状态与一次设备状态一致,否则装置在合解环过程中会出现母线二次电压消失,从而导致合解环失败。

而对于装有母线压变的常规变电站来说,新型备自投装置要实现快速合解环的功能,对电压二次并列回路没有特殊要求。因为备自投装置在合解环过程中的任何时刻,断路器都遵循“先合后分”的原则,任何一段母线二次电压都不可能消失,电压二次回路状态与一次设备状态始终一致。

5 结束语

泰州电网第一台具备快速合解环功能的新型备自投装置在 110 kV 新区变投运使用以来,完全消除了新区变在南北电网之间跨区合环调电时保护可能误动作的隐患。下一步将逐步对可能进行跨区合环调电的变电站的备自投装置进行更换改造,消除电网安全隐患,确保电网安全稳定运行,为泰州经济社会发展提供坚强的电力保障。

参考文献:

[1] 应夏曦,纪 良.常州电网分区运行对地区配网跨区合解环操作的影响及其对策[J].电力设备,2008,9(1):65-68.

作者简介:

张 勇(1978),男,江苏泰州人,工程师,从事调度专业管理的工作;
姚建光(1982),男,江西宜春人,工程师,从事继电保护整定的工作;
俞晓荣(1979),女,江苏泰州人,工程师,从事调度运方管理的工作;
邹逸云(1983),女,江苏泰州人,工程师,从事调度运方管理的工作。

Analysis and Operations on Automatic Transfer Relay with Function of Quick Close and Open Loop

ZHANG Yong, YAO Jian-guang, YU Xiao-rong, ZOU Yi-yun
(Tai Zhou Power Supply Company, Tai Zhou 225300,China)

Abstract: With the expanding of regional power grids, power grid's stability is threatened by the increasing fault current, which makes it necessary to operate power system in partitions. But it is very difficult to ensure the relay's actions correct with the load transferred after the power grid partition operation. Based on the automatic transfer relay with quick closed-open loop function which was used in Xin-qu substation, how to ensure the relay's actions correct is discussed in this paper. Finally, some detailed solutions methods and operating requirements are proposed.

Key words: power grid partition operation; load transfer on closed loop; quick close and open loop

基于3G技术组建电能质量监测系统的研究

汪茂盛¹, 师 魁², 王 巍²

(1. 西昌供电公司生技部, 四川 西昌 615000; 2. 南京灿能电气自动化有限公司, 江苏 南京 211100)

摘 要:结合西昌地区的实际情况,给出了一种借助于3G技术和虚拟专用网(VPN)技术组建区域电能质量监测系统的方案,实用表明该方案是可行的,可供光纤以太通信网不具备或不可靠的电网电能质量监测网的构建参考。

关键词:电能质量监测;3G技术;虚拟专用网(VPN)

中图分类号:TM930.9

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0064-03

近年来,随着电网负荷结构和类型的复杂化,以及太阳能、光伏发电等分布式电源并网容量的增加,电网电能质量污染问题,特别是局部电网电能质量严重恶化状况^[1],日益引起各级电力部门的重视。开展电能质量在线监测,建设覆盖全网的电能质量监测系统已成为目前掌握电网电能质量状况的重要手段,也是各级电力部门电能质量工作的重点和目标^[2]。部分省区电力公司借助于发达的电力信息广域网,已经组建了各种类型的电能质量监测系统,有些还颇具规模;但国内尚有不少地区,由于地域状况和地理环境的特殊性,电力系统 Ethernet 有线光纤网络建设欠发达,已经成为制约这些地区组建电能质量监测系统的关键因素。此外,众多针对企业用户自备变电站电网接入点进行电能质量监测而安装的监测终端装置,将其纳入供电部门电能质量监测管理的范围,一直是供电公司电能质量管理部门工作的目标,同时也为广大企业用户更加有效地使用好监测终端装置提供了可能。但这项工作在很多地方久未开展或者开展不成功,究其原因,没有通信信道无法组网当属关键。

无线网络通信技术的发展为这个问题的解决提供了很好的途径,特别是近年来飞速发展的3G技术以其高信号覆盖率、稳定的通道保证、成熟的技术应用提供了一种全新的无线高速通信方式。文中结合西昌地区实际应用案例,阐述了在光纤以太通信网不具备或不可靠的电网区域,借助于3G技术和3G网络运营商(中国电信)所提供的服务,以及虚拟专用网(VPN)技术,组建区域电能质量监测系统的综合解决方案,并介绍了系统实际建立后的运行情况。

1 研究背景

西昌地处四川省西南部,区内多山,地理状况尤为复杂,电力系统信息广域网络建设相对欠发

达。根据国网公司已颁布的《电力二次系统安全防护方案》文件规定,并且参考其他省区电能质量监测工作的要求和实施情况,电能质量监测系统通信网一般部署在安全区Ⅲ,而西昌境内很多110 kV及以上电压等级变电站在安全Ⅲ区没有通信信道,或者信道资源非常紧张,需要另外铺设专用光纤;即使有些变电站在电力信息广域网安全区Ⅲ有可供电能质量监测装置使用的通信资源,由于网络构架相对薄弱,人为、天气等多种因素也常常导致通信中断,并且很多中断现象是永久性的,必须依靠现场检修才能恢复通信,复杂的地理状况又为检修工作带来诸多不便。

西昌供电公司的电能质量监测工作起步在国内是较早的,上个世纪末,由于西昌卫星发射中心对供电质量的高要求,供电公司就开展了有针对性的电网电能质量监测。2005年以后,在四川省电力试验研究院的支持和帮助下,实施了西昌供电公司“区域电网电能质量在线监测系统”研究项目,但最终未能取得预期成果,主要原因就是无法保证监测系统网络的正常建立和运行。

2 研究依据

3G技术的发展和3G网络及服务的普及,为西昌这样电力系统通信网络欠发达地区开展电网电能质量监测工作提供了可靠的通信保障基础。

3G是指第三代移动通信技术,是将无线通信与国际互联网等多媒体通信结合的新一代移动通信系统^[3]。与GPRS无线通信技术不同,3G无线通信的速度和可靠性有了质的飞跃,能更好地在全球范围内实现无缝漫游,满足建立电能质量监测系统海量数据实时、稳定传输的需要。

经过近年来的快速发展,3G技术以其高信号覆盖率、稳定的通道保证、成熟的技术应用为电力系统提供了一种全新的无线高速通信方式,并且已经在远程抄表、实时视频监控、智能配电系统监控等专业

领域得以应用,为大流量的数据传输提供稳定可靠、高带宽高通信速率的通信保障。利用 3G 无线通信技术实现电力系统中的数据传输,将是智能电网的重要发展方向。

VPN 定义为通过一个公用网络(通常是因特网)建立一个临时的、安全的连接,是一条穿过混乱的公用网络的安全、稳定的隧道^[4]。VPN 依靠 Internet 服务提供商(ISP)和其他网络服务提供商(NSP),在公用网络中建立专用的数据通信网络^[5]。所谓虚拟,是指用户不再需要拥有实际的长途数据线路,而是使用 Internet 公众数据网络的长途数据线路;所谓专用网络,是指用户可以为自己制定一个最符合自己需求的网络。

由于 VPN 是在 Internet 上临时建立的安全专用虚拟网络,用户就节省了租用专线的费用,在运行的资金支出上,除了购买 VPN 设备,用户所付出的仅仅是支付一定的上网费用。

3 解决方案

该研究项目拟采用 3G 无线网络服务商提供的网络资源和通信服务来实现构建电能质量监测网络,在具体实施上拟使用 VPN 方案来实现电能质量监测数据通过 3G 网络进行传输。根据目前 NSP 提供的网络服务和 VPN 服务,构建系统可采用以下 2 种方案。

方案一: NSP 提供网络及 VPN 服务(如图 1 所示)。

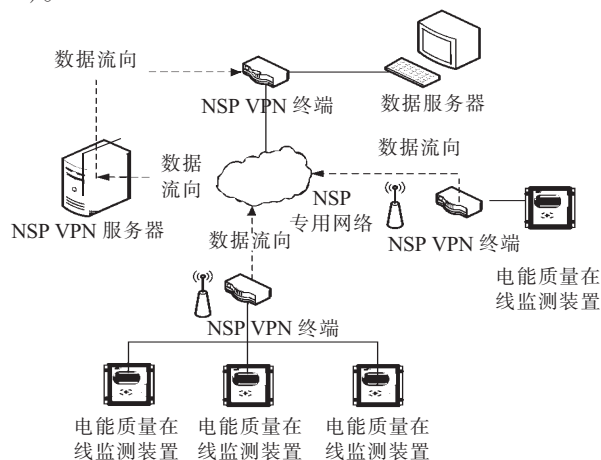


图 1 方案一示意图

该方案下 NSP 不仅提供 Internet 网络资源和服务,而且提供实现 VPN 解析的服务器设备、终端设备用于建立 VPN 网络。NSP 提供的整套 VPN 方案能够很好地保证网络的可靠性和数据传输的稳定性,并且通过技术手段保证用户只能访问 VPN 中的设备和服务器,而不能访问 Internet 资源,这就大大减少了网络上的数据传输和带宽占用。

该方案的费用主要来自 NSP 的 VPN 服务器设备及 VPN 终端的租用费用。

方案二: NSP 负责提供网络服务, 第三方负责 VPN 解析服务(如图 2 所示)。

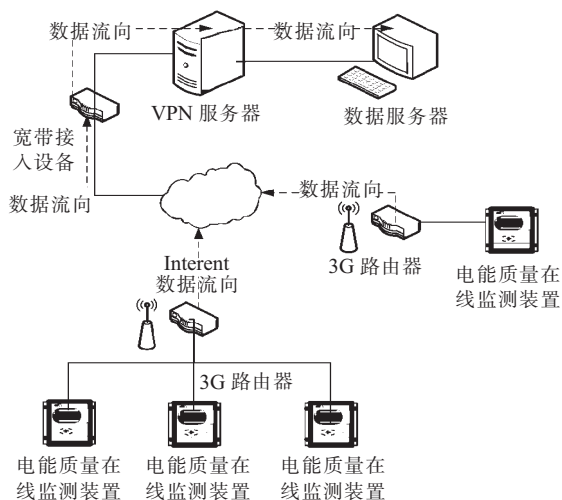


图 2 方案二示意图

该方案下 NSP 仅提供 Internet 网络接入。VPN 服务器以及 VPN 终端设备由用户自己提供和负责维护,另外由第三方借助 NSP 的 Internet 接入服务,提供 VPN 解析服务将 Internet 上的 VPN 服务器、VPN 终端设备组成 VPN。第三方是指提供 VPN 解析服务的专业网站,而不再是 NSP 本身。该方案下,VPN 的稳定性主要由第三方保证。用户自己管理 VPN 服务器,可以灵活自主地控制接入 VPN 的用户身份和数量。

该方案的费用主要来自 VPN 服务器和 3G 路由器的采购费用、VPN 服务器的网络租用费用以及 VPN 终端的上网费用。

4 实施应用

西昌供电公司在电能质量监测产品厂家的配合下,选择方案二,组建了完全基于 3G 技术的西昌电网电能质量监测系统。监测系统围绕西昌卫星发射中心供电网及西昌地区电铁牵引站供电网,设置 8 个电能质量监测点,目前 8 个监测点已经全部投入运行。监测系统数据中心服务器及 VPN 服务器均设置在四川省电力科学研究院谐波监测站,西昌供电公司工作人员外网计算机连接上 Internet 后,通过 VPN 服务器与数据中心服务器建立连接,浏览和读取变电站监测装置监测数据。安装在变电站侧的电能质量监测终端装置,通过 3G 网络终端设备及 3G 网络服务器连接上 Internet,通过 VPN 服务器接入监测系统数据中心服务器。

服务器初期由设备厂家在 Internet 上通过远程桌面的方式登录服务器维护整个系统，此外，

Internet 上的任何一台计算机使用经过 VPN 服务器授权的身份远程连接 VPN 服务器后,均可以通过 IE 浏览器访问数据中心服务器,浏览和调取各监测点电能质量监测数据。

结合目前所使用的电能质量监测装置情况,统计数据按照 1MIN 为统计间隔,另外考虑足够的事件波形数据等其他数据的容量,经过统计计算,1 个电能质量监测点与主站进行数据传输,24 h 产生的流量总和不超过 25 M,1 个月的数据总流量就不超过 750 M,选择四川电信公司 800 M/月的 3G 上网套餐较为合适,这样一个电能质量监测点全年的 3G 网络使用费用只有 600 元,并且随着 3G 网络的发展和各 NSP 之间的竞争,3G 网络使用方面的费用还会降低。

2010 年 9 月底,系统开始投入试运行,西昌供电公司正好承担“嫦娥二号”卫星发射期间保供电的任务。以往卫星发射之前,为保障西昌卫星发射中心供电的电能质量,都要请四川省电力试验研究院谐波监测站的工作人员携带便携式电能质量分析仪到变电站现场进行测试,既浪费了人力财力,又无法保证测试的连续性,在现场接线进行测试还对卫星发射期间的供电保障带来一定的不安全因素。这次基于 3G 无线网络的电能质量在线监测系统建立后,从根本上改变了以往的工作方式,大大提高了工作效率,也保证了西昌卫星发射中心电网电能质量的全天候实时监测。“嫦娥二号”卫星成功发射后,将系统根据现场装置监测数据生成的电能质量指标参数趋势图和综合分析报表与西昌卫星发射中心监测数据进行综合对比,几个主要参数的结果完全一致,证实了数据的有效性。

几个月以来的连续运行表明,四川地区中国电信 3G 无线网络的可靠性比较高,即使是在地理位置相对偏远的川西地区,偶尔出现 3G 网络信号变弱导致网络通信速率变低或网络中断的问题,通过

调整系统主站平台与监测终端装置之间的数据传输方式,也未对系统正常运行造成太大的影响。基于 3G 无线网络的电能质量在线监测系统数据中心服务器中的监测数据非常完整,证明了该方案的有效性和可行性。

5 结束语

基于 3G 技术组建电能质量监测系统,是 3G 技术应用于电力行业的一种有益尝试,不同地区在建立电能质量监测系统时,可根据实际情况,结合现有电力有线通信网络和 3G 无线网络两方面,建设电力系统电能质量监测网通信体系。另外,3G 技术应用于组建电能质量监测系统的尝试,也为目前条件下电力系统有线通信网络欠发达地区的其他各种类型智能系统的建设指明了一条切实可行的途径,电力行业要在 3G 通信方面开展广泛的研究,积累经验,为电力系统 3G 通信时代做好准备。

参考文献:

- [1] 肖湘宁.电能质量分析与控制[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 徐永海,肖湘宁.电力市场环境下的电能质量问题[J].电网技术,2004(22):16-18.
- [3] 廖晓滨,赵 熙.第三代移动通信网络系统技术的应用及演进[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [4] 金汉均.VPN 虚拟专用网安全实践教程[M].北京:清华大学出版社,2010.
- [5] 迪波斯.防火墙与 VPN 原理与实践[M].北京:清华大学出版社,2008.

作者简介:

- 汪茂盛(1982),男,重庆荣昌人,工程师,从事电力系统电网电压无功管理和电网谐波分析工作;
- 师 魁(1980),男,河南周口人,工程师,从事电力系统自动化产品的市场营销和技术支持工作;
- 王 巍(1981),男,江苏南京人,硕士,从事电能质量监测系统软件的研究与开发。

Research on the Construction of Power Quality Monitoring System Based on 3G Technology

WANG Maosheng¹, SHI Kui², WANG Wei²

(1. Xichang Power Supply Company, Xichang 615000, China;

2. Nanjing Shining Electric Automation Co.Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: Based on the actual situation of Xichang, a construction framework of area power quality monitoring system is proposed, which is combined with the 3G technology and virtual private network (VPN). The feasibility of the monitoring system is demonstrated by its application, which can be a useful reference when there is lack of fiber ethernet communication network or reliable power quality monitoring system.

Key words: power quality monitoring; 3G technology; virtual private network (VPN)

新型单相多功能电能表的设计

王梦玲¹, 邱益农²

(1.南京供电公司,江苏 南京 210008;2.江苏联宏自动化系统工程有限公司,江苏 南京 210036)

摘 要:利用 ATT7025 单片机,结合 LonWorks 控制网络技术,开发设计了一种集遥控、遥信、遥测及定时控制于一体的单相电子式多功能电能表,该表具有 LonWorks 双绞线或 LonWorks 电力线或 RS485 多种通信接口;简要描述了单相电子式多功能电能表的系统结构,并阐述了 LonWorks 控制网络技术和 ATT7025 微处理器各自的特点和优势。

关键词:控制网络技术;通信接口;多功能;电能表

中图分类号:TM933.4

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0067-02

随着大型公共建筑智能化的进一步推广,市场急需符合 Lonworks 技术标准的各种电能表。目前绝大部分单相电能表不同时具备测量、遥控、定时控制及过流或过载保护等功能,且几乎都是 RS485 通信接口,其存在以下不足:不支持多种通信介质;只能是总线式拓扑结构;通信距离短、节点容量小,抗干扰能力差;只能是主从式通信。本文采用 LonWorks 技术,结合 ATT7025 微处理器设计了一种能实现测量、遥控、定时控制及过流或过载保护于一体的单相多功能电能表。

1 LonWorks 控制网络技术

LonWorks 是由美国 Echelon 公司开发的一种完整的、全开放的、互操作性强、可靠性高、成熟的分布式控制网络技术,它支持多种通信介质包括双绞线、电力线、无线(RF)、红外(IR)、同轴电缆和光纤;常用的双绞线传输速率达 78 Kbps/S,传输距离达 2 700 m;电力线传输速率 5.4 Kbps/S,传输距离 300 ~ 30 km;支持多种网络拓扑(包括总线型、星型、环型、自由拓扑),在同一个网域内,还可以通过中继器、网桥、路由器将多个网段或子网联接成一个大的网域,一个网域内可支持 3 万多个节点;LonWorks 技术的核心是 LonTalk 通讯协^[1],该协议提供一整套完善的通信服务,使装置中的应用程序能在网上对其他装置发送和接收报文而无须知道网络拓扑、名称、地址或其他装置的功能,所有采用 LonWorks 技术的产品都遵循 LonTalk 通信协议,因此不同厂家生产的带 LonWorks 接口的产品都可以很方便地接入同一个 LonWorks 网络系统中去。

2 新型单相电能表设计原理

单相电子式多功能电能表的原理如图 1 所示,其硬件包括 ATT7025 单片机、LonWorks 通信接口

模块、RS485 通信接口、红外通信单元、电源、电压和电流采样电路、实时时钟单元、LCD 显示单元、脉冲输出单元、输出控制单元、掉电检测单元、系统容错处理单元。

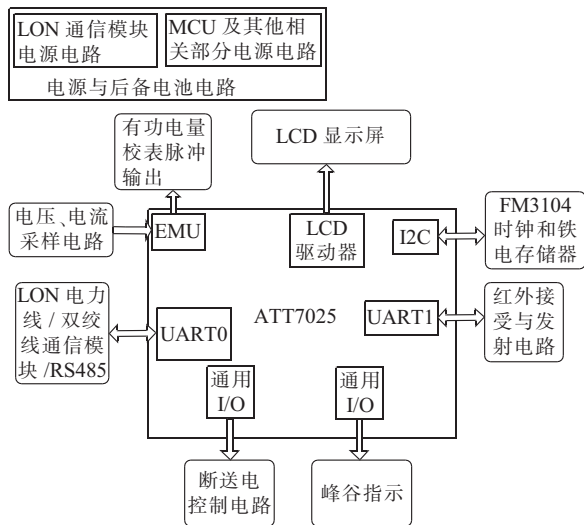


图 1 单相电子式多功能电能表设计原理

2.1 单片机 ATT7025

在该单相电能表的设计中,选择了 ATT7025 单片机作为产品的核心。ATT7025 是带 MCU 的多功能单相电表芯片,该 IC 片内集成了单相计量 MEU、MCU(兼容 8052)、LCD 驱动器、一路 SPI 接口、一路 I2C 接口、两路 UART 通信口、多路 IO 口;片内含有 32 K 字节 FLASH 程序存储器,256 字节内部数据寄存器,1 K 字节外部数据寄存器;可充分利用其各个功能,最大限度地降低成本。

2.2 EMU

ATT7025 片内集成的单相电能计量单元(EMU)具有测量有功电能、无功电能、电压、电流、有功功率、无功功率等电参数功能,能满足作为多功能电力监控终端的要求,同时具备有功、无功电量脉冲输出口。电流采用锰铜电阻片,直接串在电流回路中的采样方式;电压采用电阻分压的采样方式。

2.3 UART0 和 UART1

该电能表既能接入 LonWorks 双绞线或 LonWorks 电力线网络,又能接入 RS485 总线网络,采用同一外壳结构设计。尤其在 LonWorks 通信模块设计中将 LonWorks 双绞线与电力线通信模块设计成接口完全兼容的结构,接口之间的切换非常方便灵活,可适应不同场合的应用。

LonWorks 通信模块与 ATT7025 通过串行口进行通信和数据传输, LonWorks 通信模块定时从 ATT7025 读取各种参数和数据,包括电参数、电参数超限报警、时间、日期、输出状态、定时时间等,协议转换后数据以 LonWorks 输出网络变量或输入网络变量的形式输出;通过输入网络变量可远程控制电能表的断送电、或定时控制断送电等。

2.4 断送电控制

该电能表具有断送电控制功能,采用大容量的磁保持继电器,最大支持 60 A 的电流容量,从而可实现预付费控制功能、过流或过载保护功能、定时控制功能、远程控制功能。

3 软件设计

单相电能表软件系统包括程序初始化及主程序、定时器处理模块、显示控制处理模块、通信命令处理模块、电参数运算及储存模块、电量结算处理模块以及系统自检与软件抗干扰处理模块。整个程序是通过查询方式执行的,通过查询电表事件发生的条件情况,判断电能表事件是否发生,来执行相应的操作,这种执行方式只要保证 MCU 的执行速度足够快,是能够保证事件响应的时效性的。

电能表的工作过程:每次上电要进行系统初始化,初始化包括对 ATT7025 单片机定时器、串行口、中断等工作方式的设定,写入时钟及铁电存储芯片 FM3104 的控制字。新电能表的初次工作要对 X25045 初始值设定,包括电能表表号的设置、时段的设置、时钟的设置、存储地址的分配等。该系统设置了 3 个时段,单片机每秒从时钟芯片 FM3104 中读取时钟值,然后根据存储芯片中预先设置好的时

段,分析该时刻属于哪个时段,根据相应的时段把电能存储在 ATT7025 的 RAM 存储器中,然后电能每累计够 1 kW·h 便写入到 FM3104 相应的地址中。16 位液晶显示器轮流显示时段与电能信息。若有通信请求将采用中断方式与上位机进行数据通信。若停电,将执行掉电保护程序。

4 新型单相电子式多功能电能表特点

新型电能表可以测量电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数;能设置电压、电流、功率、电量预设门限值与超上、下限报警功能;能远程输出控制、有过流过载保护、能够定时控制。这些功能普通电能表均不具有。通信方面,新型电能表有 LonWorks 双绞线接口或电力线接口或 RS485 接口而普通电能表只有 RS485 接口。总之,该新型电能表是真正实现了集测量、遥控、定时控制及过流或过载保护于一体的多功能电能表。

5 结束语

新型单相电子式多功能电能表集测量、遥控、定时控制及过流或过载保护于一体,适应了建筑能源管理系统建设的要求和国家电网配电网建设战略的信息化、数字化、自动化、互动化的要求,及时、准确、全面反映用户用电的相关信息;提出了电能表的自保护功能的新技术,解决了电能表的多种形式的自动停送电的功能,提高了电能表计的通信网络化功能,为电力用户管理在高级应用方面打下了基础。目前已在多个建筑能源管理系统中获得了实际的应用。

参考文献:

- [1] 李秀梅,华洪涛.LONWORKS 网络——开放的、互可操作的控制网络[J].科技资讯,2007(7):174-175.

作者简介:

王梦玲(1973),女,陕西大荔人,工程师,从事电力电表的研究、设计和鉴定工作;

邱益农(1969),男,江苏丹阳人,高级工程师,从事自动化仪器仪表的研究、设计和鉴定工作。

Design of New Single Phase Multi-functional Electric Energy Meter

WANG Meng-ling¹, QIU Yi-nong²

(1.Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008,China;2.Jiangsu lianhong Automation Co.Ltd.,Nanjing 210036,China)

Abstract: Based on the ATT7025 MCU and LonWorks control network technique, a single phase electric multi-function energy meter is designed, which is integrated with functions of remote control, communication, measurement and time control. Various communication interfaces can be utilized in this new energy meter, such as LonWorks twisted-pair, LonWorks power line, or RS485. The system structure is briefly described and the characteristics and advantages of the LonWorks control network technique and ATT7025 micro-processor are proposed in this paper.

Key words: control network technique; communication interface; multi-function; electric energy meter

某 340 MW 机组凝汽器改造试验分析

马兰香, 韦红旗

(东南大学能源与环境学院, 江苏 南京, 210096)

摘要:凝汽器的换热效果对机组经济性有很大的影响。以某电厂 340 MW 机组凝汽器为研究对象, 分析了主汽轮机凝汽器和循环水系统在运行过程中存在的问题和原因, 提出了主机凝汽器全面改造的方案。改造前后试验数据的结果表明, 机组以及凝汽器的各项性能指标都有明显提高, 经济效益显著。

关键词:汽轮机; 凝汽器; 改造; 性能试验; 经济性分析

中图分类号:TK264.1^{†1}

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0069-03

凝汽器的换热效果对机组经济性有很大的影响, 目前国内有很多老式凝汽器, 由于设计年代早, 管束排列方式落后, 又经过多年运行, 冷却管腐蚀泄漏严重, 其换热效果已严重影响整个机组的安全经济运行^[1]。因此, 对老式凝汽器进行改造不仅可以提高电厂的效益, 而且符合我国节能减排的发展要求。通过对国内某电厂 340 MW 机组凝汽器改造试验及其结果进行分析, 并对其改造效果进行评价, 对于其他电厂凝汽器改造具有一定的参考价值。

1 凝汽器设备概述及运行存在问题

1.1 设备概述

某电厂 340 MW 机组为前苏联哈尔柯夫汽轮机制造厂生产的 K-320-23.5-4 型冲动式、超临界、一次中间再热、单轴三缸、双排汽、凝汽式汽轮发电机组, 1994 年 9 月投产。2008 年对通流部分进行了改造, 以提高机组的经济性和出力, 改造后型号为 N340-23.54/540/540。

机组原主机凝汽器型式为 K-17120, 冷却面积为 17 120 m², 冷却水管材料为白铜, 水室、端盖及端部管板材料为碳钢, 进入凝汽器的额定蒸汽量为 568.6 t/h, 循环水额定流量为 33 985 t/h, 循环水设计温升为 8.9 °C, 凝汽器设计压力为 4.81 kPa, 设计传热端差为 3.3 °C, 循环水系统为开式循环, 循环水取自长江。

1.2 运行存在问题及原因分析

主汽轮机凝汽器与循环水系统在运行过程中主要存在下列问题:

(1) 由于主机凝汽器投用年限已达 15 年以上, 凝汽器铜管泄漏严重且泄漏根数呈快速增加趋势, 被迫进行封堵, 导致凝汽器换热面积不足, 机组排汽压力提高, 从而严重影响机组的安全经济运行。此外, 由于采用添加木屑堵漏, 凝汽器胶球清洗

装置投用后, 凝结水水质迅速变差, 致使目前凝汽器胶球清洗装置无法正常投用, 导致管束内壁清洁状况较差, 进一步影响了机组真空与经济性。

(2) 长期以来主机凝汽器、小汽轮机凝汽器循环水系统不匹配, 易发生主机凝汽器“抢水”、小汽轮机凝汽器缺水的问题, 危及小汽轮机以及整个机组的安全投运。因此, 运行中有意增加主机凝汽器进口循环水门的节流, 导致主机循环水流量不足、主机经济性降低。为保证主机、小汽轮机安全、经济运行, 运行工作量较大。而将小汽轮机排汽直接引入主机凝汽器, 则可以简化系统, 增加运行的灵活性^[2]。

(3) 由于汽轮机通流部分进行了改造, 机组容量由原先的 320 MW 增加到 340 MW, 加上取消小汽轮机凝汽器后小汽轮机排汽将直排主机凝汽器, 使得原主机凝汽器更加不能满足热负荷的要求。

2 凝汽器改造内容

2.1 主机凝汽器改造

主机凝汽器改造内容主要包括: 基于耐腐蚀性能、机械性能与造价等多种因素, 冷却水管采用不锈钢管材 PT304; 为防止管内壁结垢, 保证凝汽器安全, 同时满足主机凝汽器换热要求, 选用 D25×0.6 mm 不锈钢光管, 换热面积为 19 600 m²; 为保证汽阻小, 热负荷分布均匀, 流场分布合理, 管束布置方案选择“教堂窗”式布管方案; 为保证水室水力流场平衡, 减少冷却管管端冲蚀, 减少循环水流动阻力, 水室全部更换为弧形水室^[3]。改造后的凝汽器型式为 N-19600, 有效冷却面积为 19 600 m², 循环水额定流量为 33 985 t/h, 冷却水管材料为不锈钢 PT304, 水室、端盖材料为碳钢, 端部管板材料为复合钢板, 循环水系统为开式循环, 循环水取自长江。

2.2 小汽轮机凝汽器改造

小汽轮机排汽直排主机凝汽器改造内容主要包括: 取消小汽轮机凝汽器以及相应的凝结水管道和

系统;小汽轮机排汽采用 D_N2400 管道直排主机凝汽器,增加 D_N2400 的真空蝶阀;设计、增加排汽管道、真空蝶阀的支撑、悬吊、膨胀等构件、部件,增加相关热工测点(同时取消部分原有热工测点);部分其他蒸汽管道进入主机凝汽器的接口改动。

3 改造前后试验与分析

试验参照 ASME PTC6-2004^[4]、DL/T 1078-2007^[5]、HEI 9-1995^[6]等标准进行。试验前、后各进行常用的高、中、低 3 种发电负荷(320 MW,270 MW,220 MW),循环水泵采用单机单泵组合方式。

采用 HEI 方法计算,即利用 HEI 表面式凝汽器标准中提供的表格、曲线,由试验水速与冷却管管径,计算它们对应的基准传热系数;根据进口水温计算水温修正系数;根据管材与壁厚计算相应的修正系数;根据凝汽器试验数据计算其在试验工况下的实际总传热系数;最后根据实际总传热系数除以基准传热系数、除以水温修正系数、除以管材/壁厚修正系数,可以得出凝汽器管束清洁系数(注:HEI 标准中计算出的清洁系数,实际上包含了管束布置修正系数)。

将改造前后试验数据修正至同一运行条件,即主蒸汽压力、温度和再热蒸汽温度修正至额定参数;循环泵前仓水位、循环水进水温度修正至改造后试验参数。

3.1 主机凝汽器改造前后经济性分析

表征凝汽器性能的主要指标有:凝汽器真空、凝汽器端差、凝结水过冷度^[7]。

凝汽器真空提高,同样多的蒸汽在汽轮机中的做功量将增加。凝汽器真空降低 1 kPa,会使汽轮机的汽耗量增加 1.5%~2.5%^[8]。凝汽器真空取决于循环水温度和循环水流量,循环水温度由环境决定,循环水流量取决于循环水泵出力及循环水管路特性。在极限真空内提高凝汽器真空,将提高凝汽器真空后机组发电功率增量与为提高凝汽器真空所耗循环水泵功率增量之差最大时的真空称为凝汽器最佳真空^[9]。

凝汽器端差为凝汽器排汽压力对应的饱和温度与凝汽器循环水出口温度之差。凝汽器端差取决于凝汽器单位蒸汽负荷、传热系数和循环水流量,在单位蒸汽负荷和循环水流量一定的情况下,端差增大往往是由于凝汽器管束内表面清洁系数降低及汽侧积存过量空气所致。凝汽器端差增大会使真空恶化,从而降低机组的经济性。

凝结水过冷度指的是凝结水温度低于汽轮机排汽压力下饱和温度的值。凝结水过冷度增大会造成

煤耗增多,一般过冷度增加 1℃,发电厂的燃料消耗量增加 0.1%~0.15%^[9];此外,凝结水过冷度增大会使凝结水中溶解氧量增多,引起管道腐蚀。此次改造签订的保证指标如下:

(1) 凝汽器真空。在 340 MW 额定工况、真空严密性优良、循环水进水温度 20℃条件下,当循环水流量为 33 985 t/h 时,凝汽器背压不大于 4.8 kPa;当循环水流量为 28 000 t/h 时,凝汽器背压不大于 5.4 kPa;当循环水流量为 22 000 t/h 时,凝汽器背压不大于 6.5 kPa。

(2) 凝汽器端差。在 30%到最大可能运行工况的整个负荷范围内,凝汽器端差不大于 2.7℃(循环水水温 20℃)。

(3) 凝结水过冷度。在 30%到最大可能运行工况的整个负荷范围内,凝结水过冷度不大于 0.5℃。

改造前、后单机单泵运行方式下的机组主要热力参数对比如表 1 所示。

从表 1 中可以看出,改造后高、中、低 3 个负荷凝汽器的压力分别为 7.06 kPa,6.39 kPa,5.78 kPa,根据 HEI 标准,修正至循环水流量为 33 985 t/h、循环水进水温度为 20℃、额定热负荷条件下,凝汽器压力修正值分别为 4.77 kPa,4.77 kPa,4.77 kPa,均优于保证值;

改造后高、中、低 3 个负荷凝汽器端差分别为 2.43℃,2.10℃,1.77℃,根据 HEI 标准,修正至循环水流量为 33 985 t/h、循环水进水温度为 20℃、额定热负荷条件下,凝汽器端差修正值分别为 2.54℃,2.54℃,2.50℃,均优于保证值;

改造后高、中、低 3 个负荷凝汽器凝结水过冷度分别为-0.85℃,-1.15℃,-1.1℃,均优于保证值。

在上述运行条件下机组发电标准煤耗率平均下降了 13.13 g/(kW·h)(为此次改造的总效益,已考虑到小汽轮机排汽直排主机凝汽器带来的效益),节能效益非常显著。但是,上述结果是将试验参数修正至改造后循环泵前仓水位、循环水进口温度为 25.77℃的条件下(该水温比较高)的。由于该次大、小汽轮机凝汽器改造主要在水温下有效益,而在低水温条件下效益很小甚至没有。按实际年平均效益为上述数值的一半即 6.56 g/(kW·h)、年平均发电 15 亿 kW·h 计,年平均节约标准煤:15×10⁸×6.56/106=9 840 t。考虑到长江水位的变化、水质的影响以及其他因素,保守计算该项目年平均效益应在 7 400 t 标准煤以上,经济效益显著。

3.2 小汽轮机排汽直排主机凝汽器的经济性分析

小汽轮机直排主机凝汽器相对保留小汽轮机凝汽器的主要指标如表 2 所示(3 个负荷点的平均

表 1 改造前后机组主要参数对比(修正后)

序号	项目	改造前			改造后		
		工况 1	工况 2	工况 3	工况 1	工况 2	工况 3
1	汽轮机功率 /kW	221.7	274.75	317.4	225.97	270.63	315.39
2	主机循环水流量 /(t·h ⁻¹)	22 384	22 384	22 384	30 920	30 920	30 920
3	小汽轮机循环水流量 /(t·h ⁻¹)	2 244	2 244	2 244			
4	主机排汽压力 /kPa	8.82	10.84	12.99	5.78	6.39	7.06
5	小汽轮机排汽压力 /kPa	9.93	12.55	16.22	6.02	6.67	7.39
6	主机凝汽器端差 /℃	7.41	9.10	10.63	1.77	2.10	2.43
7	小汽轮机凝汽器端差 /℃	10.00	12.32	14.97			
8	主机凝汽器循环水温升 /℃	10.19	12.53	14.62	7.95	9.44	10.95
9	小汽轮机凝汽器循环水温升 /℃	9.91	12.23	14.85			
10	主机凝汽器过冷度 /℃	0.17	1.19	0.46	-1.1	-1.15	-0.85
11	小汽轮机凝汽器过冷度 /℃	-0.46	-0.37	-0.24			
12	主机凝汽器热负荷 /kW	264 769	325 525	379 994	285 551	338 778	393 047
13	小汽轮机凝汽器热负荷 /kW	25 822	31 840	38 680			
14	发电热耗率 */[kJ·(kW·h) ⁻¹]	8 558.3	8 547.2	8 570.3	8 223.8	8 216.3	8 178.5
15	发电标准煤耗率 */[g·(kW·h) ⁻¹]	318.9	318.5	319.3	306.4	306.1	304.7

* 均为机组初参数修正后的数据。发电热耗率由于 3 个负荷下的凝汽器背压不一样,故与热力计算书上的变工况发电热耗率(修正至同一背压)变化趋势不一致。

值)。将上述水温范围内的总节能效益进行平均,其平均值为 2.375 g/(kW·h),由于在水温 14℃以下时,效益很小甚至没有,而水温在 14℃以下的时段约占半年(11 月至次年 4 月),因此应以半年计算,按年平均发电 15 亿 kW·h 计,该单项改造的年效益为:15×108×2.375/106×0.5=1 780 t 标准煤。考虑到长江水位的变化、水质的影响以及其他因素,保守计算该单项改造的年平均效益应在 1 300 t 标准煤以上,经济效益显著。

表 2 小汽轮机直排主机凝汽器相对保留小汽轮机凝汽器的主要指标

项目	主机凝汽器循环水进水温度 /℃				
	27	23.5	20	16.5	13
主机凝汽器压力降低 /kPa	0.97	0.81	0.67	0.55	0.45
小汽轮机排汽压力低 /kPa	4.46	3.76	3.14	2.84	2.55
降低主机凝汽器压力而提高的效益 /[g·(kW·h) ⁻¹]	-2.85	-2.93	-2.29	-0.78	0.15
小汽轮机排汽压力降低而提高的效益 /[g·(kW·h) ⁻¹]	-0.55	-0.53	-0.51	-0.51	-0.52
循泵电功率减少而提高的效益 /[g·(kW·h) ⁻¹]	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11
合计 /[g·(kW·h) ⁻¹]	-3.51	-3.57	-2.91	-1.40	-0.48

4 结束语

凝汽器是电厂热力循环系统中的重要设备,对整个电厂的安全经济运行有很大影响。本文对某

340 MW 机组凝汽器改造及其试验进行了分析,结果表明主机凝汽器改造后,其传热性能提高、传热面积富裕量大,同时,小汽轮机凝汽器取消、排汽直排主机凝汽器,彻底解决了长期以来主机凝汽器进口门严重节流运行的问题,改造后可以大幅提高主机循环水流量,降低主机背压,提高机组的经济性。这 2 项改造经估算其年平均效益在 7 400 t 标准煤以上,经济效益十分显著。

参考文献:

[1] 王 鹏,王进仕,邵 珺. 330 MW 机组凝汽器改造及其经济性分析[J]. 汽轮机技术,2010,52(1):71-73.
[2] 吴季兰. 汽轮机设备及系统[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
[3] 王 伟. 华能南京电厂 1 号机组凝汽器改造[J]. 科技纵横,2009(12):167-168.
[4] ASME PTC6—2004,汽轮机性能试验规程[S].
[5] DL/T 1078—2007,表面式凝汽器运行性能试验规程[S].
[6] HEI 9—1995, Standards for Steam Surface Condensers[S].
[7] 王学栋,王学同,陈义森. 老式凝汽器运行现状分析与节能改造[J]. 汽轮机技术,2007,49(4):308-311.
[8] 康 松,杨建明,胥建群. 汽轮机原理[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
[9] 沈士一,庄贺庆,康 松,等. 汽轮机原理[M]. 北京:中国电力出版社,1998.

作者简介:

马兰香(1987),女,江苏苏州人,硕士,从事火力发电机组性能优化方面的试验与研究;

韦红旗(1966),男,安徽六安人,副教授,从事火力发电机组性能优化、设备改造相关试验研究及教学工作。

(下转第 74 页)

某 600 MW 机组低压加热器疏水不畅原因分析及处理

钱宇峰

(江苏利港电力有限公司,江苏 江阴 214444)

摘要:针对利港电力有限公司三、四期 600 MW 机组 3 号低压加热器出现的疏水异常问题,对其危害性及问题产生的原因进行了分析,找到了问题产生的原因是疏水管道布置不够科学,以及运行中加热器水位没有合理控制,对运行中加热器水位调整控制后,低加疏水系统运行基本稳定。并提出下一步重新布置管路的改进方案。

关键词:低压加热器;疏水;加热器水位

中图分类号: TM621

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0072-03

利港电力有限公司三、四期工程的 4 台 600 MW 超临界汽轮发电机组,选用上海汽轮机有限公司生产的超临界单轴,三缸四排气、一次中间再热、凝汽式机组;其低压回热系统采用 4 台上海动力设备有限公司生产的卧式低压加热器(其中 1 号、2 号低加为共壳体复合式,内置于凝汽器),加热器疏水采用逐级自流方式,即 4 号低加疏水流向 3 号低加,3 号低加疏水流向 2 号(2 号 A 和 2 号 B)低加,2 号低加疏水流向 1 号(2 号 A 流向 1 号 A,2 号 B 流向 1 号 B)低加,1 号 A 和 1 号 B 分别流向高低压凝汽器。

1 疏水异常的现状

按设计,机组在正常工况下运行时,3 号低加正常疏水调门开度应在 80%~85%之间调节,而危急疏水调门仅在加热器发生泄漏或正常疏水调门不能正常工作的情况下才参与调节;机组在低负荷工况下运行时,危急疏水调门在负荷降至 30%之前不应该开启。目前 4 台机组正常运行时,5 号、6 号、7 号机组的 3 号低加正常疏水调整门,负荷高于 300 MW,调门开度都在 35%左右,危急疏水调门保持关闭。负荷低于 300 MW,需稍开危急疏水调门控制水位。而 8 号机组 3 号低加在负荷低于 500 MW 时,正常疏水调门全开的情况下,危急疏水调门仍需参与调节,一直有 20%的开度,才能控制加热器水位。疏水不畅通的情况最严重。

2 危害分析

加热器疏水不正常,不但降低了机组的经济性,还影响了机组的安全运行,甚至还会引起设备损坏事故。

2.1 对机组经济性的影响

从经济角度分析,疏水不从正常疏水排出口排

出,将造成加热器疏水冷却段部分失效,加热器功能未得到充分利用,导致加热效率降低^[1]。同时部分疏水潜热未完全被凝水吸收,而直接进入凝汽器,被循环水带走,增加了损失,降低了机组真空,这些因素都会增加汽轮机的热耗率,从而降低了机组效率。

2.2 对机组安全性的影响

3 号、2 号低压加热器是机组低压回热系统的重要组成部分,正常情况下是由正常疏水调节阀通过加热器的水位信号,自动调节不同负荷的流量,保持加热器水位在正常范围;而危急疏水阀仅在加热器水位高时自动开启,以保证加热器在正常水位运行。而在疏水异常情况下,正常疏水管路没有正常工作,正常疏水阀为全开,没有达到原设计意图(调节控制水位),反而危急疏水阀充当调节阀(正常或是危急)出现机械故障或者控制故障,加热器内水位无法得到有效控制,将影响整个低压加热器疏水系统的正常运行^[1],甚至影响主机的安全运行。

3 原因分析

3.1 加热器疏水压差的影响

根据 600 MW 机组热平衡图,低加疏水系统疏水量是逐级增加的,而设计压差却逐级减小。实际运行中,3 号、2 号低加的抽汽压力和热平衡图有较大差别,且压差更小,而疏水量也存在不稳定性。运行中随着负荷的减小,压差减小,若整个低加疏水管系及加热器本体因安装或运行中稍有不慎,均会导致阻力增加,造成加热器疏水系统出现异常情况。

3.2 加热器本体结构的影响

加热器的工作流程为:蒸汽由加热器壳体上部的蒸汽进口管进入壳体内,经挡汽板和导流板的分配和导向,蒸汽和主凝汽器排出。本级疏水和上级来的疏水积聚在过壳体的下部被虹吸到疏水冷却段,经疏水冷却段的中间隔板而作曲线流动,被主凝结水进一步冷却,最后由正常疏水管引出。加热器的结

构(如图 1 所示)设计特点:

(1) 过热蒸汽冷却段。过热蒸汽冷却段是利用从汽轮机抽出的过热蒸汽的一部分显热来提高凝结水温度;位于凝结水出口流程侧,并有包壳板密闭。采用过热蒸汽冷却段可提高离开加热器的凝结水温度,使其接近或略高于抽汽压力下的饱和温度。

(2) 凝结段。凝结段是利用蒸汽冷凝时的潜热加热凝结水,一组隔板使蒸汽沿着加热器长度方向均匀分布。进入该段的蒸汽在隔板导向下,流向加热器的尾部。位于壳体两端的排气接管可排除非凝结气体。因为非凝结气体的积聚减少有效面积,降低传热效率并造成腐蚀。

(3) 疏水冷却段。疏水冷却段是把离开凝结段的疏水的热量传给进入加热器的凝结水,而使疏水降至饱和温度以下。疏水温度的降低使疏水流向下一级压力较低的加热器时,在管道内发生汽化的趋势得到减弱。保持一定的疏水水位,使疏水冷却段密闭。疏水进入该段,由一组隔板引导流动,从疏水出口管疏出。

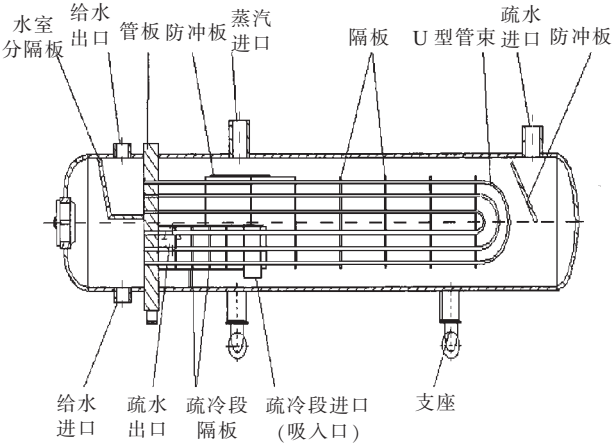


图 1 加热器结构示意图

再由加热器水位示意图(如图 2 所示)可知,正常水位在加热器中心线下 518.5 mm,高水位线在正常水位线上 38 mm 处,刚好不淹没最下排管子,低水位线在正常水位线下 38 mm 处,此时疏水刚好浸没疏水冷却段入口。另外,正常疏水口在加热器中的位置较高(疏水管中心线距加热器中心线 154.5 mm),要想让疏水从正常疏水出口排出,疏水冷却段异常水位至少应淹没正常疏水出口,以利于在疏水冷却段内形成虹吸。而按照现有控制逻辑,当水位未灌到正常疏水口时,事故疏水阀已开启,因而无法形成虹吸。另外,疏水冷却段中的空气按设计由疏水管排向凝汽器,如果此条管路有堵塞(无法形成水封),则空气无法被排出,同样使虹吸无法建立。

3.3 疏水管道布置的影响

综合上述分析,疏水管道的布置对加热器疏水

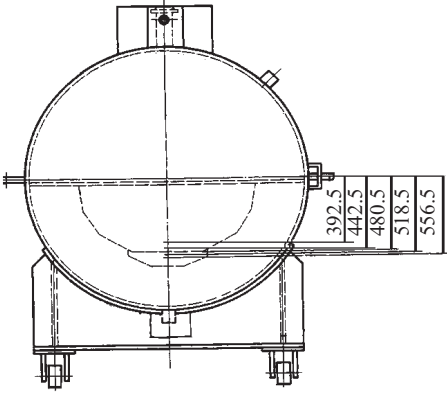


图 2 加热器水位示意图

的正常运行也存在影响,疏水管道的最佳布置要求阻力尽量小,且连续向下倾斜,中间最好不要存在水封部分。但从现场布置来看,3 号低加正常疏水管路阀门和弯头数量较多,单路管道的弯头数量有 14 个,且管道太长,过长的管道和过多的弯头大大增加了疏水的阻力;另外,布置上还存在两处垂直向上管段,进入 2 号低加之前疏水管由标高 7.4 m 向上抬高至少 3 m 后进入加热器,这不仅增加了阻力,使 3 号低加冷却段的空气无法顺利排出,从而影响整个疏水系统的正常运行。

4 处理方案

要解决低压加热器疏水不畅通的问题,可从两方面入手。第一,检查校验各个低压加热器运行水位,是否在正常水位运行,并进行调整。第二,对正常疏水管路进行改进,尽量降低标高,减少管路阻力。首先,要检查的是低压加热器的运行正常水位。正常水位就是设计中的最佳水位,在加热器的总图和加热器水位指示板上都清楚标明了。热态的最佳水位需要在运行中调整确定。当加热器达到运行工况并稳定运行时,尽可能保持在正常水位,通过疏水调节阀控制水位。一般允许水位偏离正常水位上下 38 mm。超出该范围会影响加热器运行。在正常水位以下 38 mm,即低水位。低于此水位时,对于这种有疏水冷却段的加热器,会使疏冷段进口露出水面,而使蒸汽进入该段,会破坏疏冷段的正常工作而造成故障。容易造成疏水端差的增大;由于蒸汽泄漏,蒸汽潜热损失,使加热器性能恶化;在疏冷段进口和整个段内造成冲蚀性危害,将使管子损坏。根据现场加热器本体的水位指示板标示值以及加热器总图标明的正常水位高度,在加热器水位计面板处标定正常水位值、低水位值及高水位值,以便调整水位时观察。在 8 号机组正常启动后,检查正常疏水管路有振动,加热器内有汽水两相流水锤声,检查发现低加水位偏低。与正常疏水畅通的 7 号机 3 号低加相比水位

低了 70 mm。说明加热器水位偏低,造成疏冷段入口露出水面,破坏虹吸,蒸汽进入疏水管路,造成正常疏水不畅通。况且长期低水位运行对加热器也不利,容易导致泄漏。调整水位后,8 号机 3 号低加疏水不畅严重的问题得到解决。3 号低加两个正常疏水调门由原来 100% 全开,降到目前 35% 左右开度,危疏调门在负荷高压 300 MW 以前都保持关闭。与其余 3 台机组基本一致。目前 3 号低加运行水位比就地标定的正常水位值略低,根据加热器端差情况还可作进一步调整,以观察各个负荷下疏水情况。

另外在加热器运行水位控制到位的情况下,还可以对正常疏水管路布置进行改进,进一步解决疏水不畅的问题。结合现场管路等布置实际情况,本着只要能达到效果,尽量少作改动的原则,改造时尽量利用现有条件,尽量减小疏水管道阻力,减少疏水系统的疏水阻力,让系统能正常运行。

现场检查管路布置,由于 2 号低压加热器疏水入口位于凝器南侧,而 3 号低加位于凝器北侧,管道在布置上不得已绕行而导致疏水管道长度长、弯头数量多,且爬升较高。布置到凝器西南角后,为了避开低旁管路,又再次爬升了一段,影响较大。利用机组检修机会,将该处疏水管道进行重新布置,避开低旁管道在下方穿过,并减少了弯头的使用,以减小管路阻力,使布置更为合理。以 8 号机 3 号低加为试

验进行管路改进,效果良好,其他 3 台机组也陆续进行了改进,较好解决疏水不畅的问题。

管路及低加水位调整后,目前高于 300 MW 负荷,均不用开启危机疏水调门控制加热器水位,为使负荷低于 300 MW 时,2 号低加至 1 号低加正常疏水也可以保持畅通,在之前已经将疏水管路作了合理改进,缩短管路,降低了标高,疏水不畅问题有所改进,在更低负荷下,疏水不畅仍然存在。考虑到低负荷 2 号低加至 1 号低加压差相当小,在水位调整到位的情况下,低负荷时疏水情况就不再多作考虑。

5 结束语

由此可见,影响低加正常疏水的因素除加热器本体结构的原因外,还与管道布置情况有很大关系,为保证整个疏水系统有足够的压差,应尽可能减少疏水流程的阻力,并且需要保证加热器水位在正常水位附近运行。

参考文献:

- [1] 张灿勇. 火电厂热力系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

作者简介:

钱宇峰(1981),男,江苏无锡人,助理工程师,从事电厂设备管理工作。

Analysis and Disposal of Low Pressure Heater Drainage Issues in 600 MW Power Plant

QIAN Yu-feng

(Jiangsu Ligang Power Generation Co.Ltd., Jiangyin 214444, China)

Abstract: Focusing on the drainage issues which occurred in #3 low pressure heaters of 3rd and 4th 600 MW power plant, this paper analyzes the damage as well as the relevant causes in detail. The analysis results show that the main reason is that the drainage pipes have not been reasonably arranged and the water level in the heater has also not been effectively controlled. After adjustments are implemented, a stable low pressure heater drainage system has been constructed. The further reform scheme aiming at a more reasonable arrangement is also proposed.

Key words: low pressure heater; drainage; heater water level

(上接第 71 页)

Analysis on Reform Experiment of Condenser in 340 MW Power Plant

MA Lan-xiang, WEI Hong-qi

(School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The heat exchange performance of condensers has significant effect on the plant economy. A condenser of one 340 MW thermal power plant is analyzed in the paper to figure out the issues associated with the condenser and the circulating water system. Based on the obtained conclusion, a comprehensive reform scheme is proposed. The comparison results show that the performance indexes of the condenser and the power plant have been markedly improved, and a higher economic benefit has been achieved.

Key words: steam turbine; condenser; reform; performance experiment; economy analysis

南热 600 MW 超临界机组回转式空气预热器改造

张 光
(江苏南热发电有限责任公司, 江苏 南京 210035)

摘 要:南热 2×600 MW 超临界机组自投运以来排烟温度一直居高不下。分析了 1 号机组空气预热器进、出口运行参数,指出空气预热器的传热效果较低是其主要原因,综合比较了 3 种改造方案,最终采取方案一,即更换热端传热元件板型对空气预热器进行了改造。运行结果表明,锅炉排烟温度降低约 10 ℃,提高了传热效果和锅炉效率。
关键词:回转式空气预热器;传热元件;排烟温度;锅炉效率
中图分类号:TK223.3⁺4 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0075-03

传热元件是影响回转式空气预热器传热效果的关键因素,传热效果偏低,冷风和高温烟气不能较好进行热交换,使得排烟温度增加,热一、二次风温均较低,从而导致锅炉效率降低^[1]。因此,提高空气预热器的传热效果,可以降低排烟温度,提高热一、二次风温度,有效提高锅炉效率,降低发电煤耗,提高机组经济性。

1 设备概述

江苏南热发电有限责任公司(简称南热)2×600 MW 超临界机组 HG-1965/25.4-YM5 型锅炉是哈尔滨锅炉厂有限责任公司(简称哈锅)设计、制造的。锅炉为一次中间再热、超临界压力变压运行带内置式再循环泵启动系统的直流锅炉,单炉膛、平衡通风、固态排渣、全钢架、全悬吊结构、π 型布置。锅炉岛为露天布置。锅炉同步安装 SCR 脱硝装置。锅炉设计煤种为神府煤,校核煤种为淮南煤。

南热 2×600 MW 超临界机组锅炉空气预热器采用哈锅预热器公司生产的三分仓回转式空气预热器,型号为:31.5-VI(T)-1850-SMR 空气预热器。传热元件分两层布置,热端传热元件采用 0.5 mm

厚碳钢钢板,DU3 板型布置,热端所有传热元件高度为 950 mm;冷端传热元件采用 0.8 mm 钢板两面涂搪瓷,涂搪瓷后总厚度为 1.2 mm,DFC 板型布置,冷端所有传热元件高度 900 mm。冷、热端传热元件均采用模式布置,共分 48 小仓,与冷、热端扇形板形成双、三密封。

2 运行情况分析

南热 1 号机组于 2010 年 1 月 21 日通过 168 h 试运行,投运后一直存在排烟温度较高的问题。2010 年夏季,排烟温度经常达到 150 ℃以上,最高达 170 ℃,严重影响脱硫系统的安全运行,同时使得锅炉效率降低,发电煤耗增加。对 1 号锅炉在 2010 年 04 月~12 月期间 A/B 侧空气预热器进口和出口的相关参数进行统计,如表 1 所示。从表 1 可看出,空气预热器进口烟温基本正常,而排烟温度相对较高,热一、二次风温则相对较低,由此推断空气预热器的传热效果较低。2010 年 6 月邀请江苏方天电力技术有限公司对 1 号机组进行了性能试验,燃用接近设计煤种的燃煤的条件下(如表 2 所示),试验结果和设计工况进行了对比(如表 3 所示)。

表 1 改造前空气预热器进口和出口相关参数

月份	A 侧空预器						B 侧空预器					
	进口烟温/℃	出口烟温/℃	进口一次风温/℃	出口一次风温/℃	进口二次风温/℃	出口二次风温/℃	进口烟温/℃	出口烟温/℃	进口一次风温/℃	出口一次风温/℃	进口二次风温/℃	出口二次风温/℃
4	338	142	26	299	17	266	335	142	26	301	17	264
5	337	146	34	300	25	263	329	145	35	300	25	260
6	329	148	35	293	27	264	319	148	35	293	27	261
7	326	150	41	292	32	266	316	148	42	292	32	263
8	333	152	42	300	33	267	323	151	42	300	33	265
9	322	142	37	288	28	258	311	141	37	287	28	255
10	327	140	30	291	21	262	319	139	30	291	21	259
11	331	137	25	294	16	262	322	136	26	293	16	259
12	320	138	19	288	11	256	311	117	20	275	11	250

表 2 设计煤种和性能试验用煤的煤质资料

序号	名称	设计煤种	性能试验煤种
1	收到基碳 /%	61.88	52.29
2	收到基氢 /%	3.40	3.30
3	收到基氧 /%	10.78	7.94
4	收到基氮 /%	0.8	0.57
5	收到基硫 /%	0.44	0.52
6	收到基水 /%	13.6	20.24
7	空干基水 /%	3.68	8.52
8	收到基灰分 /%	9.10	14.98
9	收到基低位发热量 /(kJ·kg ⁻¹)	23 470	19 190

表 3 设计工况和性能试验结果对比

序号	名称	设计工况	性能试验
1	预热器二次风进口温度 /℃	23	25.5
2	预热器一次风进口温度/℃	23	35
3	空气预热器入口/℃	360	344
4	预热器出口一次风温度/℃	336.7	307
5	预热器出口二次风温度/℃	309.4	281
6	排烟温度(修正前)/℃	125	144
7	A/B 空预热器漏风率/%	6/6	5.07/4.18

由表 3 可知，在 BRL 工况下,A/B 空气预热器漏风率较小，空气预热器进口烟气温度低于设计值 16℃,排烟温度反而高出设计值 19℃,空气预热器出口一次风温低于设计值近 30℃,出口二次风温低于设计值 28.4℃。而且哈锅空气预热器热端采用 DU3 板型,该板型阻力小,传热效果相对较差。可见，造成排烟温度高的主要原因是空气预热器传热元件的传热效果不好,没有达到设计要求。

3 改造方案的选择

为了降低排烟温度,提高锅炉效率,对空气预热器进行改造调整。由于电厂燃煤煤质变化较大,为保证制粉系统较高的一次风混合温度，预热器旋转方向仍然采用顺转方式（即空气侧旋转时先经过一次风,再经过二次风的旋转方向）。通过与哈锅预热器公司设计人员多次沟通，针对南热现场实际情况提出以下 3 种改造方案。

方案一：更换热端传热元件，保留冷端传热元件,不对预热器内部结构进行改造。

具体改造内容:将 DU3 板型、高度 950 mm 的热端传热元件改为 FNC 板型、高度 1 000 mm 的传热元件。原 DU3 板型元件每台炉(2 台预热器)重量为 183 t,更换后 FNC 板型重量约为 222 t,换热面积(8 万 m²)增加 20%左右。更换板型后,可使空气流通过路增加还能起到扰流作用。该方案可在改造前排烟温度基础上有效降低 10℃以上。

费用:更换的 FNC 板型元件由哈锅预热器公司供货,费用约 220 万元 / 台,原 DU3 板型可由哈锅预热器公司回购,回购费用在 30 万~40 万元 / 台,施工安装费用约 30 万~40 万元 / 台。每台炉实际改造费用约为 220 万元。

施工工期:由于该方案仅需更换热端传热元件,不需要对预热器内部结构做出改变，所以施工难度小,周期短。每台炉施工工期约为 15 d。

方案二：更换热端传热元件，保留冷端传热元件,并对预热器内部结构做出改造。

具体改造内容:将原有 DU3 板型、高度 950 mm 的热端传热元件改为 FNC 板型、高度 1 100 mm 的传热元件。原 DU3 板型元件每台(2 台预热器)重量为 183 t,更换后 FNC 板型重量约为 248 t。更换后传热元件重量增加,换热面积增加,并且由于板型原因可使空气流通过路增加还能起到扰流作用。可在改造前排烟温度基础上有效降低 15℃左右。

但由于增加传热元件高度超过设计值，需对预热器内部结构进行改造，将热端扇形板高度提升 100 mm,部分零件也需重新制作。例如:扇形仓加高焊接钢板,转子径向密封片、中心筒密封片、轴向密封片、转子密封角钢、旁路密封角钢等重新加工、制作。增加其改造费用和施工难度。

费用:更换的 FNC 板型元件由哈锅预热器公司供货,成本费用在 245 万元 / 台,原有 DU3 板型可由哈锅预热器公司回购,包括施工安装费用约 60 万元 / 台,需改造零部件成本费用约 50 万元,故每台实际改造费用约为 320 万元。

施工工期：由于该方案不仅需更换热端传热元件,还需要对预热器内部结构进行改造,所以施工难度大,周期长。每台炉施工工期为 36 d 左右。

方案三:降低冷端传热元件高度,更换热端传热元件板型并增加热端传热元件高度。

由于是脱硝机组，更容易造成预热器冷端低温腐蚀,所以在正常排烟温度时,冷端传热元件高度不能低于 813 mm 的设计下限，目前冷端传热元件高度为 900 mm,且材质为搪瓷钢板,已满足并接近设计高度,不宜改造。

如果采用降低冷端元件高度来增加热端传热元件高度,在不改变扇形仓高度的前提下,改造难度较高,工作量较大。有 2 种改造办法:办法一,需将所有热端元件抽出并拆掉周向隔板，再重新焊接周向隔板装入更换后的热端元件盒;办法二,与方案二内容基本相同。以上 2 种办法,在施工时间和难度上都较高。另,更换冷端传热元件成本较高,而该方案不仅需要更换冷端传热元件，而且热端元件也需如方案

一或方案二进行更换和改造,总体费用巨大。

以上 3 种方案的总结对比如表 4 所示。综合比较,结合 2011 年的 1 号机组 C 级检修工期,选择改造方案一。

表 4 改造方案对比

	方案一	方案二	方案三
内容	更换热端传热元件板型,并增加 50 mm 元件高度	更换热端传热元件板型,并增加 150 mm 元件高度,需对预热器内部进行改造	降低冷端搪瓷元件高度,更换热端元件板型,增加热端元件高度,对预热器内部进行改造
优点	费用较低,施工周期短	排烟温度降低较多(15℃)	排烟温度降低较多。
缺点	排烟温度降低相对低(10℃)	费用较高;施工难度大,施工周期长	费用巨大;施工难度大,施工周期长;可行性低

4 改造效果

2011 年 2 月 8 日~3 月 1 日,南热 1 号机组进行了一次 C 级检修,利用检修机会,对空气预热器按照方案一进行了改造。改造后效果明显:排烟温度平均降低约 10℃,热一次风温提高约 25℃,热二次风温提高约 30℃。空气预热器改造后,对 1 号锅炉在 2011 年 3 月~6 月期间 A/B 侧空气预热器进、出口的相关参数进行统计,如表 5 所示。

为了更好地评估空气预热器改造的效果,选取 1 号机组相对运行工况较为相近(1 号机组平均负荷均在 530 MW)的 2010 年 5 月和 2011 年 5 月的运行参数进行比对分析。

表 5 改造后空预热器进口出口相关参数

月份	A 侧空预器						B 侧空预器					
	进口烟温/℃	出口烟温/℃	进口一次风温/℃	出口一次风温/℃	进口二次风温/℃	出口二次风温/℃	进口烟温/℃	出口烟温/℃	进口一次风温/℃	出口一次风温/℃	进口二次风温/℃	出口二次风温/℃
3	336	125	22	316	14	289	335	125	23	312	14	285
4	346	136	29	325	20	298	345	136	29	323	21	295
5	342	138	34	322	27	296	349	136	35	325	27	294
6	336	138	37	316	29	293	342	134	38	317	29	289

参考文献:

[1] 冯俊凯,沈幼庭. 锅炉原理及计算[M]. 北京:科学出版社, 1995.

(1) 2010 年 5 月 1 号机组空气预热器出口烟温平均为 145℃,2011 年 5 月 1 号机组空气预热器出口烟温平均为 136℃,锅炉排烟温度降低 9℃。

(2) 2010 年 5 月 1 号机组空气预热器进、出口烟温差平均为 187℃,2011 年 5 月 1 号机组空气预热器进、出口烟温差平均为 209℃,空气预热器进、出口烟温差提高约 22℃。

(3) 2010 年 5 月 1 号机组空气预热器出口热一次风温平均为 299℃,2011 年 5 月 1 号机组空气预热器出口热一次风温平均为 323℃,空气预热器出口热一次风温提高 24℃。

(4) 2010 年 5 月 1 号机组空气预热器出口热二次风温平均为 259℃,2011 年 5 月 1 号机组空气预热器出口热二次风温平均为 294℃,空气预热器出口热二次风温提高 35℃。

5 结束语

南热 1 号机组进行空气预热器改造后,提高了热端传热元件的传热效果,锅炉排烟温度降低约 10℃,热一次风温、热二次风温均有所提高,达到了预期目标,提高了机组运行的经济性和安全性。在经济性方面,排烟温度降低 10℃,可提高锅炉热效率 0.5%,降低供电煤耗约 1.66 g/(kW·h),年节约标准煤约 4 695 t(年等效满负荷运行时间按 6 600 h,燃煤按 5 000 kCal/kg 计),约合人民币 470 万元/年。在安全性方面,排烟温度的降低,可减轻高温烟气对脱硫系统运行的危害。

作者简介:

张 光(1980),男,江苏南京人,助理工程师,从事锅炉技术管理工作。

Reform Scheme for Rotary Air Preheater of 600 MW Supercritical Power Plant

ZHANG Guang

(Jiangsu Nanre Thermal Power Generation Co. Ltd., Nanjing 210035, China)

Abstract: The exhaust gas temperature of two 600 MW supercritical power plants has always been too high since they were put into operation. After analyzing the operational parameters of the air preheater in #1 power plant, this paper figures out that the poor heat transfer performance is the main reason. Three reform schemes are compared, and Scheme 1, which means to change the type of heat transfer components, is finally adopted. The operation results show that the exhaust gas temperature has been decreased by 10℃, and a better boiler efficiency has been obtained.

Key words: rotary air preheater; heat transfer component; exhaust gas temperature; boiler efficiency

某亚临界锅炉受热面超温原因分析及对策

宋春涛
(江苏省新能源开发有限公司,江苏 南京 210005)

摘 要:分析了某亚临界锅炉受热面超温的原因,探讨了在锅炉设计、系统优化、设备选型、运行调整等方面的对策和措施,有的已经在实际工作中付诸实施,有的还在方案论证和完善之中,期望通过一系列的改进措施,从根本上解决锅炉受热面超温的问题,避免设备损坏。
关键词:锅炉受热面;超温;燃烧器;燃烧调整
中图分类号:TK229**文献标志码:**B**文章编号:**1009-0665(2012)01-0078-04

某火力发电厂一期工程为 2 台 600 MW 机组,1 号、2 号机组分别于 1998 年 11 月及 1999 年 6 月投产,汽轮机为美国西屋公司产品,锅炉为美国 B&W 公司产品。锅炉的型式为亚临界、一次再热、自然循环、平衡通风、单汽包、半露天布置煤粉炉,配有 6 台 MPS-89G 型磨煤机。锅炉燃烧方式采用对冲方式,6 套制粉系统对应 36 只 DRB-EI-XCL 燃烧器。设计煤种为神府烟煤,属于易结渣煤种,具有严重的玷污性。锅炉主汽温采用减温水调节,再热汽温正常情况下采用尾部烟道挡板调节,事故情况下可通过减温水调节。过热蒸汽采用两级喷水汽温调节,一级减温器(粗调)位于屏式过热器进口,二级减温器(细调)位于屏式过热器出口,再热蒸汽减温器位于低温再热器进口。

该发电厂的锅炉自投产以来,一直存在炉膛出口烟温偏高,过热器减温水量偏大,同时高温再热器部分管屏在高负荷下存在超温的问题。针对以上问题,曾多次会同国内相关研究所及美国 B&W 公司进行燃烧调整工作,采用了增加炉膛区域吹灰器等改造方案,虽取得了一定效果,但都未能从根本上解决问题。该锅炉高温过热器壁温报警定值为 570 ℃,高温再热器壁温报警定值为 584 ℃。在实际运行中,高温过热器总体壁温分布情况相对平缓,在制粉系统调整较好的情况下机组稳定运行时高温过热器超温运行的情况相对较少。而高温再热器壁温分布则呈两边高中间低的“马鞍形”,主要在第 15 屏和第 70 屏附近的高再管屏易容易发生超温的情况。

1 影响锅炉炉膛出口烟温的因素

锅炉炉膛出口烟温是锅炉设计的重要参数之一,直接反映了锅炉炉膛尺寸选择是否合理,对锅炉的安全经济运行有着重要的影响。若炉膛出口烟

温过高,表明炉内烟气放热量少,容易引起锅炉受热面结焦,也容易导致炉膛出口及其后受热面超温。若炉膛出口烟温过低,则表明炉内烟气放热量大,可能导致锅炉过、再热汽温达不到额定值,影响机组运行的经济性。锅炉校核计算中对炉膛出口烟气温度的计算公式如下^[1]:

$$\theta''=\frac{T_a}{M(\frac{\sigma_0\alpha_1\psi FT_a^3}{\varphi B_j\overline{VC_p}})^{0.6}+1}$$

式中: θ'' 为炉膛出口烟温,℃; T_a 为理论燃烧温度,K; B_j 为计算燃料消耗量; M 为经验系数,与燃料的性质、燃烧方法和燃烧器布置的相对高度等因素有关; F 为炉膛中总的辐射受热面积; $\overline{VC_p}$ 为炉膛中的平均烟气热容量; σ_0 为波尔兹曼常数; α_1 为炉膛黑度; ψ 为水冷壁热有效系数; φ 为保热系数。

从上式可知,锅炉实际运行中理论燃烧温度 T_a 偏低、炉膛辐射受热面积 F 过小、燃烧器至屏底高度过小、水冷壁玷污导致热有效系数 ψ 过低等因素均会导致炉膛出口烟温上升。

2 炉膛出口温度高原因分析

机组投产初期对炉膛出口烟温进行测量,发现实际运行值比设计值高约 100 ℃。炉膛出口烟温高导致过热器减温水量偏大,调试初期 600 MW 时减温水量高达 300 t/h,远超过原设计值 86 t/h。同时高温过热器及高温再热器部分管屏在高负荷下存在超温的问题。

通过分析可知,导致该电厂炉膛出口烟温高的原因是 B&W 公司锅炉炉膛尺寸设计偏小,由于 DRB-EI-XCL 燃烧器采用了分级燃烧降低 NO_x 的技术,延长了煤粉在炉内的燃烬时间,造成锅炉炉膛出口烟温比设计值偏高,从而导致了锅炉减温水量偏大,金属受热面易发生超温的问题。

3 防止或减轻锅炉受热面超温的对策

3.1 锅炉燃烧调整

1999 年 10 月 2 号炉小修后,进行了燃烧调整试验,取得了一定的效果。经燃烧调整后机组在 600 MW 运行时,过热器减温水量降至 200 t/h 左右,再热器减温水量减少至 0。所完成的燃烧调整工作主要有:煤粉细度调整、对燃烧器滑动挡板及内、外二次风叶片角度调整、锅炉变煤种试验。

3.1.1 煤粉细度调整

煤粉细度对于锅炉燃烧的经济性及制粉系统的电耗有重大影响,煤粉愈细,在锅炉内燃烧时的不完全燃烧损失就愈小,但对制粉设备而言,却要消耗较多的电能,磨煤机的磨损量也要增大。反之,较粗的煤粉虽然制粉电耗较小,但不可避免地会使锅炉不完全燃烧损失增大。因此锅炉运行应选择最经济的煤粉细度,使不完全燃烧损失和制粉能耗之和最小。

查煤粉细度 R_{90} 推荐曲线(如图 1 所示),该厂燃用煤种的 R_{90} 推荐值为 25%。为试验煤粉细度变化对锅炉燃烧经济性影响,在 600 MW 工况下进行煤粉细度调整试验,对运行磨煤机的分离器折向挡板进行了调整试验,如表 1 所示。试验结果表明,煤粉细度变化对该厂锅炉各项热损失及效率影响甚微,但当采用较细的煤粉细度时过热器和再热器壁面温度相对较低,从图 2 及图 3 可知,当 $R_{90}=15\% \sim 20\%$ 时,金属壁温要低一些,过热器大部分壁温点可降低 10~15℃。

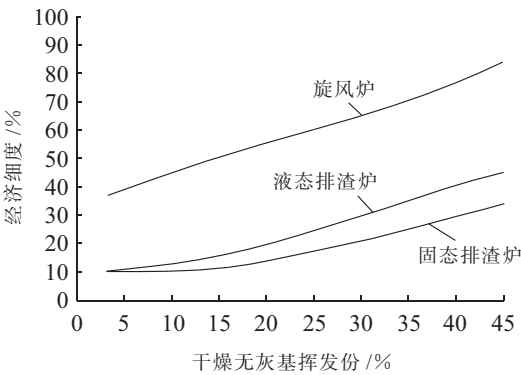


图 1 锅炉经济煤粉细度曲线

3.1.2 燃烧器滑动挡板及内、外二次风叶片角度调整

要降低炉膛出口烟温,缓解锅炉受热面超温的问题,需加大锅炉炉膛的吸热量,这可以通过对燃烧器进行调整,强化燃烧初期的剧烈程度来实现。

该厂锅炉燃烧器是 B&W 的第二代 DRB-EI-XCL 型低 NO_x 双调风旋流燃烧器,该燃烧器采用了测风和调风技术。现场调试中根据位于内、外二次风入口的环形毕托管测得二次风流量信号,调节二次

表 1 600 MW 负荷不同煤粉细度下锅炉性能测试结果

项目	R_{90}		
	25%	15%~20%	30%~35%
表盘氧量 A 侧/%	2.44	3.19	2.90
表盘氧量 B 侧/%	2.34	2.51	2.85
实测氧量 A 侧/%	3.23	4.75	3.99
实测氧量 B 侧/%	2.81	3.25	3.27
排烟氧量 A 侧/%	5.35	6.12	5.67
排烟氧量 B 侧/%	3.55	4.00	3.92
排烟氧量平均/%	4.45	5.06	4.79
排烟 CO A 侧/%	0.008 4	0.008 5	0.007 8
排烟 CO B 侧/%	0.118 8	0.059 6	0.070 0
排烟 CO 平均/%	0.063 6	0.034 0	0.038 9
排烟 NO_x A 侧/%	0.018 8	0.019 1	0.020 0
排烟 NO_x B 侧/%	0.018 6	0.019 7	0.020 0
排烟 NO_x 平均/%	0.018 7	0.019 4	0.020 0
排烟温度/℃	148.09	148.32	151.2
飞灰/%	1.16	1.09	1.75
排烟热损失/%	5.91	6.01	6.05
化学未完全燃烧热损失/%	0.26	0.15	0.16
固体未完全燃烧热损失/%	0.08	0.16	0.13
锅炉效率/%	93.38	93.33	93.29

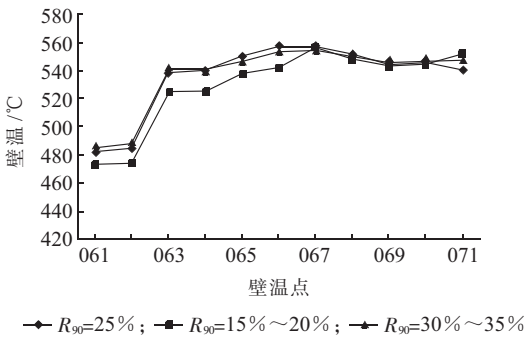


图 2 煤粉细度对高过出口段壁温的影响

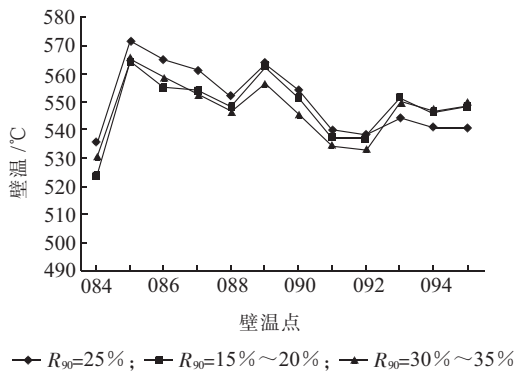


图 3 煤粉细度对高再出口段壁温的影响

风滑动挡板来均匀分配各燃烧器的二次风量。内、外二次风调节叶片的角度决定了内、外二次风与煤粉的混合程度和稳定煤粉气流的着火,其中外二次风是主流。按 B&W 运行手册要求,内二次风叶片角度影响煤粉的着火距离,一般不大于 45°,否则火焰

稳定性降低,外二次风叶片角度变化将改变燃烧器火焰的形状,外二次风角度一般小于 60° 。

在试验过程中,先调节同层燃烧器滑动挡板,使各燃烧器二次风量接近相等,然后改变内、外二次风叶片角度,试验过程中注意燃烧器着火情况的变化以及锅炉减温水量及各段受热面壁温的变化。图(4—7)给出了相应试验结果。

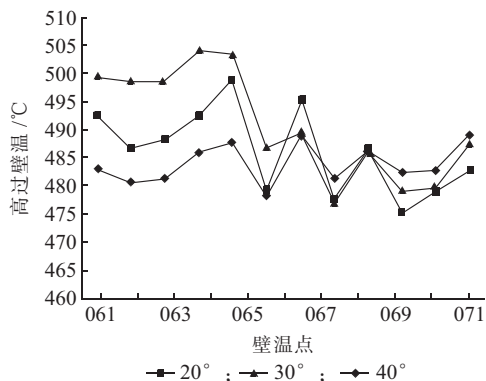


图4 内二次风叶片角度对高过壁温的影响

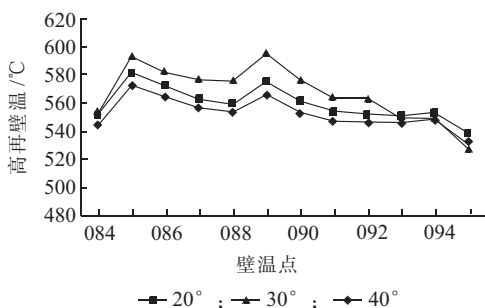


图5 内二次风叶片角度对高再壁温的影响

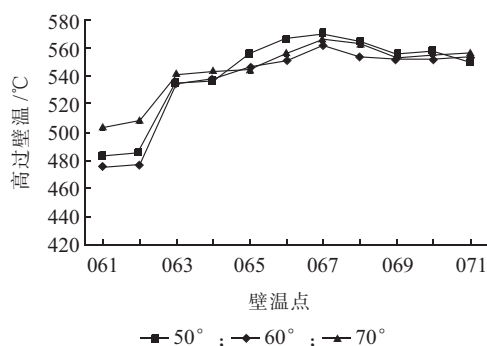


图6 外二次风叶片角度对高过壁温的影响

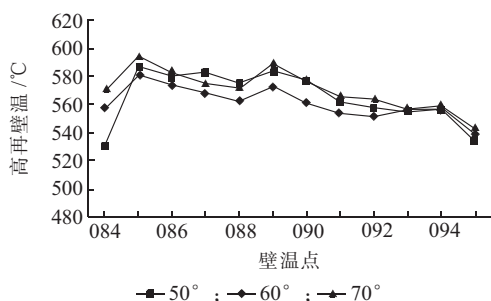


图7 外二次风叶片角度对高再壁温的影响

从图4和图5可知,内二次风挡板开度为 40° 时过热器和再热器壁温较低,安全性相对较好。从

图6及图7可知,当外二次风挡板开度为 60° 时高温过热器和高温再热器壁温数值较低,安全性较好。

3.1.3 锅炉变煤种试验

考虑到锅炉煤种变化也可能对锅炉运行主要参数,如炉膛出口烟温、减温水量、各段受热面的壁温分布情况产生较大的影响。该厂多次进行了变煤种试验,并对全炉膛进行清洗,但试验结果表明锅炉超温情况无根本好转。

3.2 锅炉设备改造

3.2.1 增加锅炉炉膛区域吹灰器

由于神华烟煤飞灰中的CaO含量较高($>20\%$),具有极强的结污性,原先布置的吹灰器吹灰效果不佳。为此电厂在原有30支炉膛吹灰器的基础上又增加了42支炉膛及燃烧器区域吹灰器,以消除原先锅炉吹灰存在的死区,通过增加炉膛的清洁度来增加其吸热量,从而达到降低炉膛出口烟温、缓解过、再热器超温的目的。实践表明改造后锅炉出口烟温有所下降,过热器减温水量下降了近30 t/h,对于缓解锅炉过、再热器超温起到了一定的作用。

3.2.2 燃烧器改造

根据B&W公司建议,2003年5月对DRB-EI-XCL燃烧器的一次风喷嘴中加一旋流器,使一次风由直流变成旋流,如图8所示,且旋转方向与二次风相反,以促进一、二次风的混合,使得煤粉在燃烧初期通过对二次风的卷吸得到足够的氧气和热量,提高燃烧强度和火焰中心温度,缩短煤粉燃烬距离,从而达到增加炉膛吸热,降低炉膛出口烟温,减少减温水量和降低高温过热器、再热器管屏管壁温度的目的。燃烧器改造后,锅炉满负荷时炉膛出口烟温下降 50°C ,取得了一定的效果。

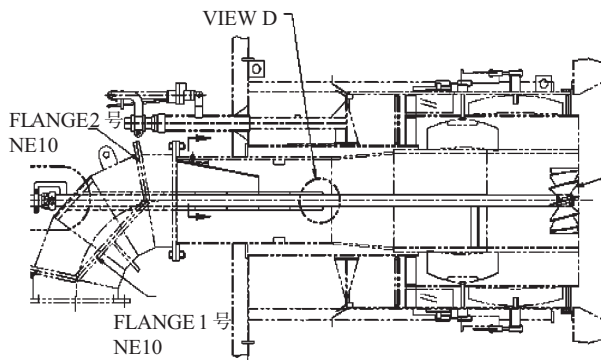


图8 加装一次风旋流叶片后的燃烧器剖面图

3.2.3 再热器部分管屏安装绝热材料

该厂先后对部分容易超温的再热器管屏进行了绝热处理试验。首先选用在部分管子表面喷涂氧化铝陶瓷粉末的方法,发现降温效果不明显;后来又选择两片低温再热器管屏用硅酸铝保温材料及不锈钢板包裹,投入运行后发现效果比较明显,可降低壁温

约15℃,于是又用同样的方法对低温再热器区10片管屏进行了处理,达到了一定的效果。但该方法影响烟气流通面积,导致排烟温度升高,将带来一些不可预测的问题,此外保温材料在烟道内的寿命较短也是个问题。

3.3 下一步改进措施

以上调整和改造在一定程度上改善了锅炉受热面的超温现象,但还未能完全解决锅炉高过、高再的超温问题,拟从以下方面做进一步改进。

3.3.1 增加磨煤机出口动态分离器

目前该厂采用的MPS-89型磨煤机仅有固定缩孔,难以在线进行各粉管的流量偏差调节,在冷态风量标定偏差不大时热态煤粉流量偏差仍较大。同样在磨煤机煤粉取样过程中发现磨煤机出口各粉管取样重量差异大,煤粉细度差别也较大,这说明磨煤机出口煤粉均匀性较差,如表2所示。

表2 1号B磨煤粉取样分析

磨别	冷标系数	取样总量/g	$R_{90}/\%$	$R_{200}/\%$
B1	28.51	136	20.3	2.3
B2	28.24	222	39.1	2.52
B3	27.97	72	14.57	2.3
B4	28.58	168	25.57	2.34
B5	25.49	84	10.27	0.91
B6	28.39	82	4.62	0.39

注:运行工况B磨出力44.69t/h,一次风量88t/h,出口温度75℃,差压2.67kPa,电流96A。

同层各燃烧器粉量分配不均匀,会造成各个燃烧器二次风量和煤粉量的配比偏离最佳值,这对于整个锅炉的燃烧工况影响较大,将直接影响炉膛火焰的不均匀性及充满度,减少水冷壁的辐射吸热,导致锅炉蒸发量减少,炉膛出口烟温升高。目前已联系

磨煤机制造厂家拟改用动态分离器,以减少煤粉管粉量及细度偏差的问题,从而达到合理配风,提高火焰充满度、降低炉膛出口烟温、减少高过、高再受热面超温的目的。

3.3.2 进行锅炉受热面通道部分改造

由于该厂锅炉高温再热器超温问题的规律性很强,且仅表现在部分管屏上。若烟气侧调整不能解决这一问题,可考虑在蒸汽侧进行受热面改造,通过短接易超温管屏,增加易超温管屏的蒸汽流量来达到降低管壁温度的目的。由于蒸汽侧改造可以通过热力校核计算来预测改造后的结果,改造风险较小。北仑港电厂1号炉高温再热器部分管屏由于蒸汽侧流量偏差存在超温问题,后按上海交通大学提供的方案进行改造,短接超温部分的高温再热器管道,减少该部分再热器管的吸热量,最终解决了再热器超温的问题。鉴于此,该厂也可考虑对再热器超温管屏进行热力校核计算,确定受热面改造方案。

4 结束语

总之,该型锅炉炉膛出口烟温偏高、受热面容易超温的原因是原设计的炉型和所选用的燃烧器不对应,锅炉炉膛尺寸偏小,而用分级燃烧的燃烧器需要较大尺寸的炉膛。要解决这一问题,目前已进行了一系列的改进措施,而待更彻底的整改方案实施后方能从根本上解决这一问题。

参考文献:

[1] 范从振.锅炉原理[M].北京:中国电力出版社,1998.

作者简介:

宋春涛(1972),男,江苏海门人,工程师,从事新能源发电项目管理工作。

Analysis and Solution of Overheating Issues Occurred in Heating Surfaces of Subcritical Boiler

SONG Chun-tao

(Jiangsu New Energy Development Co.Ltd., Nanjing 210005, China)

Abstract: Based on the analysis of overheating issues occurred in heating surfaces of one subcritical boiler, several measures that may be valuable for boiler design, system optimization, equipment selection and operation adjustment are proposed. Some of the measures have been applied, while the others are still under argumentation. It is desired that the issues can be solved thoroughly using the improvement measures to avoid the further damage of devices.

Key words: heating surface; overheating; combustor; combustion adjustment

欢迎投稿 欢迎订阅

智能电能表发展历程及应用前景

郭兴昕¹, 贾 军², 郭晓艳², 纪 峰¹, 沈秋英¹

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 陕西安康供电局, 陕西 安康 725000)

摘 要: 简叙了电能表的起源, 并根据电能表的结构原理和功能特点, 将我国电能表发展历程归纳为感应式交流电能表、电子式交流电能表、电子式多功能电能表以及智能电能表 4 个阶段, 并介绍了智能电能表作为用电信息采集系统的终端设备提供的采集数据在智能电网中的应用前景。

关键词: 电能表; 发展历程; 智能电能表; 采集数据; 应用前景

中图分类号: TM933

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0082-03

电能表是一种累计发出或消耗电能量的计量仪表, 主要用于供电企业与电力客户、各大电网关口或发电厂与电网变电所之间结算有功和无功电能, 以及用于供电企业统计线损、网损。电能表的出现和发展已有一百多年历史, 随着科学技术的飞跃发展, 电能表已从感应式交流电能表发展到电子式交流电能表, 再到电子式多功能电能表, 截止目前到智能电能表, 我国电能表正朝着信息互动化、用电智能化的方向发展。

1 电能表的起源

最早的电能表是德国人艾迪生在 1880 年用电解原理制成直流电能表, 即安时计。到了 1888 年, 交流电的发现和运用对电能表的发展提出了新的要求, 意大利科学院的物理学家弗拉里斯提出用旋转磁场的原理来测量电能量。1889 年, 匈牙利岗兹公司一位德国人布勒泰制作成总重量为 36.5 kg 的世界上第一块感应式电能表。1905 年出现了增加非工作磁路改进成 90° 的方法, 使电能表的各项参数有了很大提高。随后性能较好的高导磁材料的出现, 大大减轻了电能表的质量并缩小了其体积, 每只表的质量降到了 1.5~2 kg, 而且降低了其功率消耗。上世纪 30 年代开始, 电能表采用铬钢、铝镍合金代替原来的钨铜, 并通过降低电能表转盘的转速来降低其损耗, 同时改善了电能表的负荷特性。当时, 国外的感应式电能表的过负荷能力达到 600% 以上, 而且采用双宝石轴承和磁力轴承, 电能表寿命延长至 15~30 年。至此, 感应式电能表在电能计量中已经得到了广泛的应用。

2 智能电能表发展历程

智能电能表作为智能电网的终端设备, 代表着未来节能型智能终端的发展方向。智能电能表是由

收稿日期: 2011-08-31; 修回日期: 2011-10-09

传统电能表逐步发展起来的。我国电能表发展到智能电能表, 大致经历了 4 个发展阶段。

2.1 感应式交流电能表

从上世纪 20 年代开始, 我国各发电厂、供电部门和用电客户均采用国外进口和国产的感应式单、三相交流有功电能表。

2.1.1 结构原理

感应式交流电能表采用带有电流、电压铁芯线圈, 利用三磁通电磁感应原理使圆盘转动, 以机械计数器显示方式累加记录有功电量。

2.1.2 功能特点

- (1) 利用三磁通电磁感应原理使圆盘转动, 以机械计数器显示方式累加记录电量;
- (2) 功能单一, 具有有功或无功电能计量功能;
- (3) 频率范围窄, 非线性负载计量误差大;
- (4) 结构简单、安全、准确度不高;
- (5) 负载电流范围小, 过载能力低;
- (6) 安装垂直度要求高, 电能表倾斜度应 $\leq 3^\circ$ 。

2.2 电子式交流电能表

20 世纪 60 年代末, 日本发明了时分割乘法器并提出了其功率测量原理, 实现了全电子化电能计量装置, 日本横河株式会社生产了 2885 型数字功率变换器, 受到全世界的关注。在这个原理基础上, 我国研制出单相和三相电子式数字功率电能标准表。随着电子技术的进一步发展, 模拟-数字转换技术和大规模集成电路的逐步完善, 促使各种性能和功能的电子式电能表逐步成为电能计量的主力军。

2.2.1 结构原理

电子式交流电能表是以微电子电路为基础, 将被测电压、电流接入电能表后, 经乘法器、P/f 转换、计数显示控制输出一个电能计量标准脉冲, 当输入功率改变时, 输出脉冲也跟着改变, 经微处理器、在时间上再累加(积分)起来就可测得电能值。

2.2.2 功能特点

(1) 以微电子电路为基础,完成电能计量的计算功能;

(2) 功能较多,可实施多时段、多费率、预付费电能计量;

(3) 频率范围宽,负载误差曲线平坦;

(4) 适应于模块化制造工艺,准确度较高;

(5) 负载电流范围宽,过载能力达8倍以上;

(6) 安装垂直度要求不高;

(7) 具备通信功能,便于抄表及通信。

2.3 电子式多功能电能表

从本世纪初开始,发展了一种新型的集多种计量要求与多种功能于一体的电子式单、三相多功能电能表,不仅可减少电能表数量、减少安装电能表屏数,同时可以减小TA二次实际负载、提高TA的计量精度,特别是变电所的旁路开关、互馈线路的电能计量。

2.3.1 结构原理

电能表工作时,A,B,C三相电压、电流经取样电路分别取样送到计量芯片进行处理,CPU将处理后的数据根据需要送至显示部分、通信部分等数据输出单元。

2.3.2 功能特点

(1) 采用专用计量芯片,完成电能计量的计算功能;

(2) 能计量正反向有功、无功电能、四象限无功电能,可设置费率;

(3) 最大需量测量功能;

(4) 事件记录功能;

(5) 清零、电量冻结功能;

(6) 负荷记录功能;

(7) 瞬时电气参量测量功能。

2.4 智能电能表

随着全球性智能电网和国家电网公司电力用户用电信息采集系统的建设,电能表不再仅作为单一计费仪表而存在,正向智能化、系统化、模块化和多元化的系统终端发展。随着自动抄表系统与负荷控制系统逐步合并升级成用电信息采集系统,并向高级量测体系(AMI)过渡,智能电能表作为信息系统内部最末端的设备,已成为最具发展潜力的电工仪器仪表产品之一^[1]。

智能电能表是智能电网的智能终端,已经不是传统意义上的电能表,智能电能表除了具备传统电能表基本用电量的计量功能以外,为了适应智能电网和新能源的使用,其还具有信息存储及处理、实时监测、自动控制、防窃电、多种数据传输模式的双向数据通信等功能,支持双向计量、阶梯电价、分时电

价、峰谷电价等实际需要,也是实现分布式电源计量、双向互动服务、智能家居、智能小区的技术基础。

2.4.1 结构原理

智能电能表由测量单元、数据处理单元、通信单元等组成,是属于多功能电能表范畴,但又不同于一般的多功能表电能表,因为它本身含有功能较强的微控制器(MCU),就像一台小型的电脑一样,自动化和智能化的功能更丰富、更强大^[2]。

2.4.2 功能特点

(1) 具有多功能表所有特性;

(2) 有费控功能,可通过CPU卡、射频卡、载波、公网等方式实现费控;

(3) 统一费控智能电能表信息交换安全认证;

(4) 事件记录功能更加完善;

(5) 通信方式多样,支持信息互动;

(6) 可实施阶梯电价功能。

3 智能电能表应用前景

随着国家坚强智能电网建设的进展,作为用户端的智能电能表的需求也会大幅度地增长。根据国家电网公司的要求,建设“全覆盖、全采集、全费控”的采集系统,居民用户信息采集得到大规模应用。2009年国家电网公司制订了12项国家电网公司智能电能表企业标准,统一电能表型式及功能要求。国家电网公司智能电能表大规模集中招标也于2009年年底启动,截止今年9月,国家电网公司已组织开展9次智能电能表集中招标,单相电能表招标总数量达9967万只,三相电能表招标总数量达912万只。在今后几年,国网公司将以每年4~5个招标批次的固定模式集中招标智能电能表。

作为用电信息采集系统的终端设备,智能电能表是最基础的数据来源。智能电能表可采集的数据包括有功、无功正向、反向电能量数据;电压、电流、频率、功率、功率因数等一系列的负荷记录;有功、无功正向、反向各费率时段最大需量数据;定时冻结、瞬时冻结、日冻结、约定冻结数据;失压、断相、失流、逆相序、掉电、需量清零、编程、校时、远程控制拉闸、开表盖、电表清零等事件记录数据。

随着电力用户用电信息采集的深入,智能电能表提供的采集数据也必将在智能电网中得到深层次运用。在不久的将来,将在信息社会中发挥更大的作用,具有广阔的应用前景。

3.1 配电网状态估计

目前,配网侧的潮流分布信息通常很不准确。随着电力系统规模的不断扩大,电力工业管理体制市场化进程的加快,对估计预测精度的要求也越来越

高。通过在用户侧增加测量节点,将获得更加准确的负载和网损信息,从而避免电力设备过负载和电能质量恶化。通过将大量测量数据进行整合,可实现未知状态的预估和测量数据准确性的校核^[3]。

3.2 电能质量和供电可靠性监控

无论从电网运行的需要考虑,还是从供电用户的需要考虑,加强对电能质量和供电可靠性的监控都十分必要。采用智能电能表能实时监测电能质量和供电状况,从而及时、准确地响应用户投诉,并提前采取措施预防电能质量问题的发生。

3.3 用户侧负荷分析建模及预测

基于智能电能表所获得的用户侧基础信息和用电信息,可以对各类用电分别进行典型性分析、趋势分析;并且在完成各负荷类型特性分析的基础上,结合气象因素对不同类型或者不同用户的历史负荷数据分别进行相关因素分析及主成分分析;并在此基础上建立合理的负荷预测模型,对用户侧的负荷进行中短期预测;再加入社会、经济、政治等因素后,建立相应的预测模型,利用组合法可以实现对用户侧的负荷进行预测。

3.4 防窃电平台建设

根据不同低压配电网络的拓扑结构以及智能电能表采集数据的种类和性质,可以提出网络防窃电平台的系统框架。有效防止窃电以及破坏电能计量设备行为的发生。对随时发生的计量设备故障和运行安全隐患,可通过即时上传计量参数、故障现象等信息,方便计量人员及时准确地判断和处理设备故障和事故隐患。

3.5 用户能量管理

通过智能电能表采集的信息,可以构建用户能量管理系统,从而为各种用户提供能量管理的服务,在满足室内环境控制(温度、湿度、照明等)的同时,尽可能减少能源消耗,实现节能减排的目标。

4 结束语

智能电网的建设必将淘汰所有感应式电能表及功能简单、不具备分时分分类计量、双向计量、双向通信功能的电子式电能表。取而代之的是功能完善的智能电能表。智能电表的大量使用将会使得智能电网的节能、高效、安全的性能得到更充分的体现。

参考文献:

[1] 薛昌波,周飞龙. 智能技术在电能计量领域的展望[J]. 中国计量,2010(4):31-33.
[2] 李保玮. 智能电表简介[J]. 新技术新产品,2010(3):70-73.
[3] 孙 杰. 智能电表在智能电网中的应用分析[J]. 中国新技术新产品,2010(21):155.

作者简介:

郭兴昕(1981),女,陕西安康人,工程师,从事电力计量终端质量评估方法研究工作;
贾 军(1971),男,陕西安康人,工程师,从事变电运行检修工作;
郭晓艳(1977),女,陕西安康人,工程师,从事变电运行检修工作;
纪 峰(1981),男,江苏南京人,工程师,从事电力计量终端质量评估方法研究工作;
沈秋英(1979),女,江苏吴江人,工程师,从事用户侧负荷预测研究工作。

Development and Application Prospect of Smart Electricity Meter

GUO Xing-xin¹, JIA Jun², GUO Xiaoyan², JI Feng¹, SHEN Qiu-ying¹

(1.Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Shaanxi Ankang Power Supply Bureau, Ankang 725000,China)

Abstract: The origin of electric energy meter was introduced in this paper firstly. According to the structural and functional characteristics of electric energy meters, the development process can be classified into four phases: inductive AC electric energy meter, electronic AC electric energy meter, electronic multi-functional electric energy meter and smart electric energy meter. Application prospects of acquisition data in smart grid provided by smart electric energy meters are discussed, where those meters act as the terminal equipment of electricity consumption acquisition system.

Key words: electric energy meter; development process; smart electric energy meter; acquisition data; application prospect

未来十大新能源(3)

(9) 微生物。世界上有不少国家盛产甘蔗、甜菜、木薯等,科学家利用微生物发酵,可将它们制成酒精,用其稀释汽油所配制的乙醇汽油,功效可提高 15%左右,而且制作酒精的原料丰富,成本低廉。科学家还研究成功利用微生物制取氢气,开辟了能源的新途径。

(10) 潮汐能。因月球引力的变化引起潮汐现象,导致海水平面周期性地升降,因海水涨落及潮水流动所产生的能量成为潮汐能。潮汐能是以势能形态出现的海洋能,是指海水涨潮和潮落形成的水的势能。