

# 电气化铁路电能质量监测系统设计方案研究

罗剑波,徐军,左萍,陈泓,赵莉  
(国网电力科学研究院,江苏南京210003)

**摘要:**总结了电气化铁路(简称电铁)电能质量监测系统研究现状,针对我国电铁电气特性指出了我国电铁电能质量监测系统研究和应用中存在的问题,同时,结合我国智能电网发展和电铁电能质量监测系统具体应用要求,呈现了对电铁电能质量监测系统进行了系统设计和研究的成果。

**关键词:**电气化铁路;电能质量监测系统;监测终端;通信网络;数据中心

中图分类号:TM76

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)04-0028-04

近年来,电气化铁路(简称电铁)由于具有运输能力大、消耗能源少、环境污染小、运营成本低等突出优点在我国得到了迅猛发展。到2010年全国铁路营业里程将达到9万km以上,电气化率达到45%以上<sup>[1]</sup>。然而,电力机车由于采用单相、整流供电方式,运行时从电网吸收工频功率,同时又向电网注入了谐波和负序电流,再加上其负荷具有冲击性和沿线分布广的特点<sup>[2]</sup>,对电网的影响日益突出。有关部门经过测试得出结论:目前与电气化铁路供电相关的电网普遍存在谐波和负序电流超标现象,电气化铁路负荷呈现不规则波动性<sup>[1]</sup>。这种影响具体到电网中会引起电网自动化设备的误触发、电力设备和材料损耗增大、芯片等高科技产品合格率下降,等<sup>[3]</sup>。因此,迫切需要在电铁地区建立一套功能完善的电能质量实时监测系统,为有效实施电能质量治理打下技术基础。

## 1 电铁电能质量监测系统的研究现状

### 1.1 有关电能质量监测的标准

#### 1.1.1 国际标准

国际上有关电能质量的定义和规范主要有两个标准体系。一是由IEC(国际电工委员会)指定的IEC61000系列,另一个是IEEE(美国电气和电子工程师协会)制定的IEEEStd519、IEEEStd1100、IEEEStd1159等系列。IEC主要从电磁兼容和相互干扰的角度考虑,对电磁干扰及其对电能质量的影响进行分类。IEEE根据电压扰动的变化幅值、持续时间、频谱范围等特征进行分类<sup>[3]</sup>。

#### 1.1.2 国内标准

我国目前为止已经制定了6项主要电能质量国家标准。包括《供电电压允许偏差》、《电力系统频率允许偏差》、《三相电压允许不平衡度》、《电压波动和闪变》、《暂时过电压和瞬态过电压》和《公用电网谐

波》。另外,在2005年制定了《电能质量监测设备通用要求》<sup>[4]</sup>,以对日渐增多的相关监测设备进行基本的规范。

### 1.2 国内外电能质量监测的研究现状

#### 1.2.1 国外现状

由于电能质量直接关系到工业生产和社会用电,电能质量在美国等工业发达国家很早就引起人们重视。电铁作为影响电能质量的主要原因之一,它的不断发展也就要求电能质量监测和治理的技术日臻完善。虽然,各个国家和地区电铁接入电网的方式各有不同,但对电能的质量需求是一致的。所以,一方面,电能质量产品特别是监测终端产品不断涌现,得到了应用广泛,并逐渐采用了统一的数据交互标准<sup>[11,12]</sup>;另一方面,在电能质量监测方面也涌现了一批比较著名的企业或研究机构,比如:美国电科院(EPRI)、美国电能标准实验室(PSL)、美国电力士公司(Dranetz-BMI)、瑞典联合电力公司(UniPower)、以色列Elspec公司等,它们在电能质量监测和治理方面取得了不少成果。

#### 1.2.2 国内现状

相对于发达国家,我国电铁电能质量监测系统起步较晚,但发展迅速。2000年以来,我国多个省市电网先后对辖区内包括电铁沿线的电网安装了电能质量监测终端,建设了电能质量监测平台,这些平台利用先进的通信和网络技术,吸取了国际上的成熟经验,取得了一定的监测效果;也涌现出了一批企业和实验室对电铁电能质量做深入研究,制定标准,拥有了一些自主知识产权的产品。

### 1.3 对我国电铁电能质量监测系统的认识

我国电铁用电具有2个显著特点:一是区别于国际上常用的单独供电网方式,多数通过电铁沿线的牵引变电站与220kV或110kV电网相连,电网其他用户受电铁影响更为紧密,电能质量监测系统的覆盖面也更为广泛;二是我国幅员辽阔,一条电铁

往往串连数个省份,而我国电网是以省(直辖市)为单位进行建设和维护,这就决定了全面的电铁电能质量监测系统的建设难度更大、管理更为复杂。

针对上述2个特点以及国内在电铁电能质量监测系统的应用和研究情况,(1)到目前为止国内对电铁电能质量监测系统虽然有了一定的研究,但从具体的应用实际来看,作为完整的实时监测系统在工程实践中并不多见,还存在不少问题。(2)一套完整的电铁电能质量监测系统通常应该包含三大主要部分——监测终端、通信网络和数据中心及其应用(系统结构如图1所示)。监测终端分布于电铁沿线需要监测的各个节点(主要是一些牵引电站、电网供电用变电所),对线路的电能质量进行持续的监测;通信网络将各监测终端的监测数据汇总到数据中心进行存储;数据中心提供在线的实时数据访问,历史数据存储,数据分析和电能质量情况报告,为进一步进行电能质量的治理提供决策;同时,各个部分应该配有相应的功能或应用才能够真正实现电铁电能质量监测和治理。

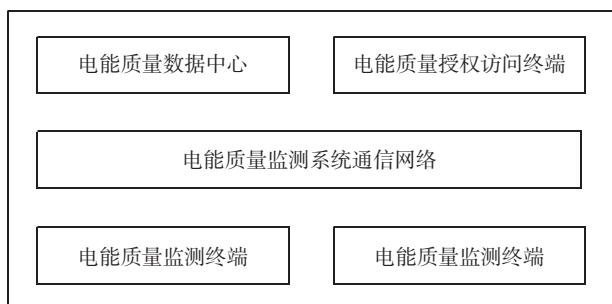


图1 电铁电能质量监测系统结构

## 2 我国电铁电能质量监测系统存在的问题

### 2.1 数据采集

数据采集是电铁电能质量监测系统的第一步,是监测系统中采集终端的最主要功能。《电能质量监测设备通用要求》要求监测终端能够监测到2~25次的谐波,谐波电压和电流的测量精度最高需分别小于额定值的0.05%和0.15%。目前国内大部分监测设备都能达到最高测量精度和谐波次数要求。

虽然谐波是包括电铁应用的电能质量监测的主要测量对象,但是很多情况下暂态的电能质量现象的重要性不容忽视。随着电网工业用电负载日益复杂,暂态的电能质量事件逐渐频繁。而现有的电能质量监测设备多数仅达到《电能质量监测设备通用要求》中相应的不算苛刻的标准。相比而言,国外许多的监测设备这方面的指标很突出,如可监测到500次谐波和短暂的暂态事件,这样更有利于分析复杂突发事件的产生原因。以目前的电子信息技术基础,

高指标的采集要求不难达到,相信在不远的将来,我国相应产品这方面的性能会不断提高并达到国际先进水平。

### 2.2 数据同步

在国家标准框架内,电能质量监测的同步采集不是必需要求。但作为区域电网的在线数据监测系统,电能质量监测系统除了电能质量采集和分析功能外,还可提供区域范围内的暂态故障或暂态电能质量事件的全面数据。一旦发生故障,监测系统数据中心或授权的访问终端即可将数据取出进行分析。而现有的故障记录仪往往孤立分布于各站,当故障发生后,需经过复杂的步骤和很长的时间才能对有关线路的故障波形有全面的了解。如果能实现同步高速采样,将大大减少故障定位、分析以及采取应对措施的时间,从而减少不必要的损失<sup>[5]</sup>。

同步采样的基础是时钟同步技术,同步源主要有GPS、北斗和铯时钟等。像国网电科院的PowerGTS时钟同步系统等高可靠的同步系统如也逐渐成为电网的必要配置。因此,只要业内认识到同步采样的潜在价值,该功能将很快得到实现。

### 2.3 数据简约

数据简约是指在大量的数据中只提取有用的信息,使后续处理的数据量尽量降低。由于电力通信资源有限,减少设备的通信开销是必须要考虑的问题。由于电铁电能质量监测系统的每个监测终端都是连续在线的监测一条或多条线路的电流电压数据。未经简约处理的数据将会给通信网络带来巨大的压力。所以目前国内绝大部分监测终端遵从国家标准,最小数据上传间隔为3s,至少上传该时间间隔内的电能质量数据的最大值,终端保存至少15d的关键数据。

而国际上先进的电能质量监测终端在数据简约上已经实现了很大的突破。Elspec的G4000电能质量监测终端能够将原始采样数据实现1000:1压缩率进行保存。这种技术可以带来如下收益:准确记录暂态电能质量事件的完整过程,而不是只记录结果;为上文提到分布式系统的暂态故障提供数据存储的可行性;大大减少通信带宽占用;在合理的存储成本下可以就地保存长期(如1年)的电能质量数据,减少设备维护成本。

设备的低成本、高效率 and 智能化是智能电网发展的要求。相信在我国如此广阔的电铁应用领域下,数据简约和监测终端上的其他智能化的技术将得到快速发展。

### 2.4 网络结构

我国现有的电铁电能质量监测系统的通信网络

物理上都是基于电力专用的业务数据网。监测终端通常通过以太网、E1、Modem 等接口接入安装站点的数据网,数据中心在调度端从数据网接收各站的电能质量信息。

在网络实现原理上,各系统根据需求和实现条件采用了多种方式。如江西的浙赣电铁电能质量监测系统采用 CORBA 网络架构和 OPC 控制协议;云南某电能质量监测系统采用了三层网络结构和基于 WEB 的访问协议;广东某电能质量监测系统采用了国际上成熟的 PQView 访问软件和 PQWeb 访问协议<sup>[3,7,8]</sup>。

电铁电能质量监测系统通常有各省电网公司建设,采用网络技术和数据管理手段不尽相同,在互连和统一管理上存在较大的困难。即使在省内,不同时期建立的电能质量监测系统互连性也不能得到保证。

## 2.5 数据应用

同网络结构一样,各省的电能质量监测系统的数据集中和分析软件也各具特色。在电能质量数据的文件格式上,有自定义的格式,也有采用国际上通用的 PQDIF 格式<sup>[10]</sup>;在数据库的组织上,有采用 Oracle 的,也有采用 IBM DB2 的;在电能质量的分析上,都具备谐波和其他电能质量现象的分析功能但在分析密度、实时性等指标也各有不同。

除了上述的不同之外,数据中心的分析也有共同的发展趋势。如使用国际通用的文件交换格式;通过 Web 进行数据访问;采用成熟的商用数据库进行管理;对电能质量现象进行更深入分析和报告。这些趋势多数在国外的分析软件种已经是基本的内容,一方面说明我国电能质量的监测分析水平和国外还有一定差距,另一方面说明正向国际先进水平靠近作出努力。

## 3 我国电铁电能质量监测系统的设计

### 3.1 采集终端

未来的采集终端将能够实现完全自主知识产权化,具备国际先进水平的数据采集和处理技术。并且作为智能电网的重要数据节点,它不仅具备电能质量的收集能力,同时能够实时、同步的捕捉各种暂态电能质量事件和其他线路故障事件;能够长期保存经简约处理的电能质量数据;能够动态的投入或退出监测网络。

图 2 是所研究的智能监测终端的原理框图。该终端以高比率波形数据压缩、实时电能质量计算、高精度同步采样为主要核心内容;支持数字化变电站的 IEC61850 接口标准;内置 WEB 服务器以方便接入监控网络;直观显示当前电流、电压波形;实时计

算电能质量稳态和暂态事件。

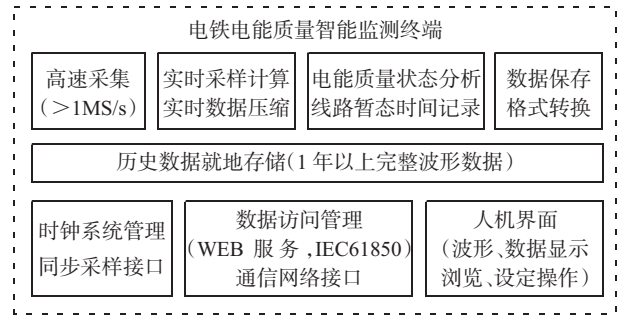


图 2 电铁电能质量监测终端原理框图

### 3.2 通信网络

未来的通信网络将不再局限与某省的一个电铁沿线范围,而是可以跨省互连;网络不再局限于电铁电能质量的监测,而是与城市电网、工业集中区等领域的电能质量监测融合,实现最少投入,最多产出。网络的结构将更加安全,网络监测节点、访问节点、数据中心节点的配置也更加灵活,不再局限于一省一目的一中心,而是根据不同时期的多种监测需求,动态布置。

图 3 是本文所研究的监测系统网络的结构框图。网络方式可以是因特网、电力系统综合数据网、拨号网络等,或者是多种方式的组合;监测终端根据需要配置于电铁沿线全段或局部,同时兼容其他应用如城市电网和工业集中区的监测终端;数据中心可配置一个或多个,可自动进行数据库的同步更新;可根据运行或故障分析需要通过授权终端随时对某监测终端和整个系统进行实时监测或事件分析。

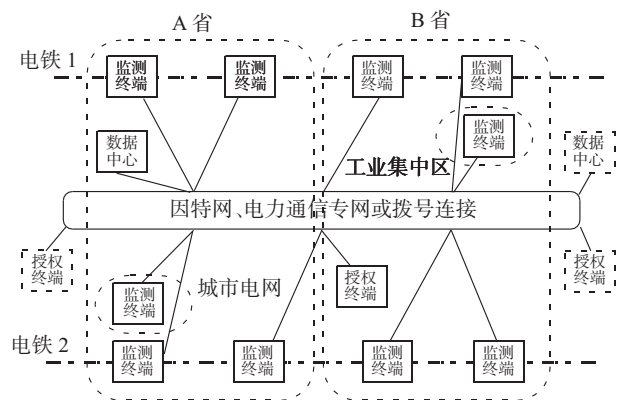


图 3 电铁电能质量监测网络框图

### 3.3 数据中心

未来数据中心的主要特点是标准化和应用化。标准化的文件交互格式、网络访问协议、数据库接口、电能质量的分析过程和输出报表。在兼容国际标准的基础上,也可以发展适合我国电网需求的、具有自主知识产权的电能质量有关标准。同时,结合实际需求开展各种应用研究,提高对电能质量的监测和治理水平。

图4是所研究的监测系统数据中心的功实现层次结构图。由于监测终端具有一段时间保存监测数据的能力,数据中心可定期或实时访问各监测终端,以适应不同的通信带宽条件。数据库保存监测网络的原始线路波形数据和国家标准规定的关键电能质量数据,根据不同的业务需要进行提取;通信层的WEB客户端负责对各监测网络的数据访问和参数设置,WEB服务器端负责网络上授权的终端对数据库进行访问;业务层除了具有完整的区域电能质量分析和报告的常规功能,还有区域电网暂态事件的综合分析能力(基于智能监测终端的同步数据采样),可自动在暂态事件发生后进行有关节点数据的收集、分析和报告。

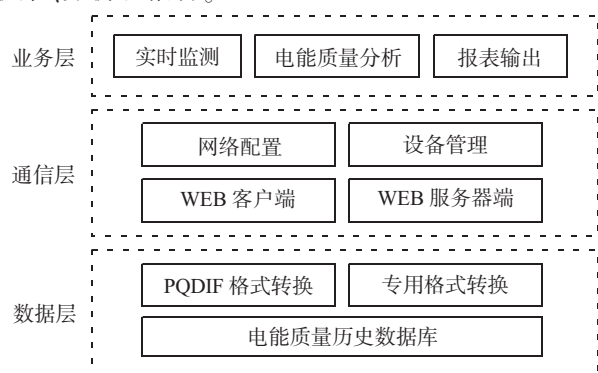


图4 电铁电能质量数据中心层次结构

### 3.4 电能质量

在智能的监测终端、先进的通信网络、规范的数据中心的支持下,在不断完善的电能质量监测标准的指导下,未来的电铁电能质量监测将能实现跨省、跨线甚至全国范围内的统一布局和管理。通过对全面的电能质量监测数据的分析,电铁的电能质量问题治理也将更加合理和深入。

## 4 结束语

随着我国经济社会的快速发展,电铁的发展势头越来越猛,电铁电能质量监测系统的需求也就会越来越迫切。以我国现有技术水平而言,多数监测系统还处于研究和应用的初步阶段,但发展势头良好。作为保障电网安全运行的重要监测环节,作为智能

电网的重要组成部分,电铁电能质量监测系统需要系统的设计和研究、需要不断的完善,更重要的是要不断地得到应用和推广,在应用中发展、在应用中完善,从而使我国在该领域的技术能力和知识产权实力迅速达到国际领先水平。

### 参考文献:

- [1] 周胜军,于坤山,冯满盈,等. 电气化铁路供电电能质量测试主要结果分析[J]. 电网技术, 2009, 33(13):55-57.
- [2] 电力工业部电力规划总院. 电力系统设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [3] 李新中,上官帖,孙 昊. 浙赣电铁的谐波负序对江西电网的影响分析[J]. 华中电力, 2005, (3).
- [4] GB/T 19862-2005, 电能质量监测设备通用要求[S].
- [5] 罗剑波,秦自力,朱文旭.DPR型故障录波器的设计思想[C]. 2004 全国电力系统自动化学术交流研讨会论文集.
- [6] 陈 健. 基于 ARM+DSP 的电能质量在线监测装置的研制[D]. 东南大学, 2003.
- [7] 马玉林,覃剑永,李辉杰. 基于 PQDIF 的集成式电能质量监测系统的研究与应用[J]. 广西电力, 2009(2).
- [8] 陈明金,陆 达,牛媛媛. 电能质量在线分析系统的设计与实现[J]. 计算机与现代化, 2009(4):99-102 1006-2475(2009)04-0099-04.
- [9] 任志莲,高全成,周 晖,等. 电气化铁路的电力需求预测[J]. 中国能源, 2009, (3).
- [10] IEEE P1159.3/D9, Recommended Practice for Transfer of Power Quality Data[S].
- [11] SHORT T A. Distribution Reliability and Power Quality [M]. ISBN 978-7-111-24040-2.
- [12] SANTOSO S.等, Characterization of Distribution Power Quality Events with Fourier and Wavelet Transforms[J]. Power Delivery, 2000, (2).

### 作者简介:

罗剑波(1963-),男,江苏泰州人,研究员级高级工程师,主要从事电网安全稳定技术研究工作;

徐 军(1976-),男,江苏盐城人,助理工程师,主要从事电网安全稳定技术研究工作;

左 萍(1962-),女,湖南人,高级工程师,从事稳定技术研究工作;

陈 涵(1978-),男,黑龙江哈尔滨人,助理工程师,主要从事电网安全稳定技术研究工作;

赵 莉(1983-),女,江苏南京人,助理工程师,主要从事电网安全稳定技术研究工作。

## Research of Power Quality Monitoring System in Electric Railway Area

LUO Jian-bo, XU Jun, ZUO Ping, CHENG Xiong, ZHAO Li

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The research of Power Quality Monitoring System in Electric Railway is introduced, and some research and application problems of the system are pointed out, according to the electric characteristics of Electric Railway in China. At the same time, combined with the demands of China Smart Grid development and the system's application, some results in system designing and researching of Power Quality Monitoring System in Electric Railway are presented.

**Key words:** electric railway; power quality monitoring system; monitoring terminal; communication network; data center