论文

地磁暴侵害我国高铁和油气管道的观测研究

刘连光*, 葛小宁, 王开让, 宗伟, 刘春明

华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206

* E-mail: liulianguang@ncepu.edu.cn

收稿日期: 2015-11-16; 接受日期: 2016-01-18; 网络出版日期: 2016-02-25

国家高技术研究发展计划(编号: 2012AA121005)和国家自然科学基金(批准号: 41374189, 51577060)资助项目

摘要 为研究地磁暴会不会对中低纬地区的铁路和输油气管道的安全造成严重的影响, 通过对我国高铁地磁暴地磁扰动(GMD)侵害的观测实验和油气管道侵害的调研, 获得了 GMD 侵害京港客运专线鹤壁东站电气系统的地磁感应电流(GIC)和西气东输管道的管地电位(PSP)的数据. 本文分析了高速铁路和油气管道观测数据与观测点附近地磁台地磁数据的相关性, GMD 侵害铁路和油气管道的物理过程和响应机制与公共电网遭受到 GMD 侵害的异同, 以及所观测的 GMD 侵害事件对高铁电气设备安全和油气管道腐蚀的可能影响. 结果表明, 2015 年 3 月 18 日和 6 月 23 日地磁暴在京港客运专线鹤壁东站轨道电路回路产生的 GIC 最大值分别为 1.30 和 1.80 A, 中、小地磁暴产生的 PSP 会超过油气管道的阴极保护装置的启动限值; 说明纬度的高低只是地面管网地磁暴灾情、灾害的影响因素之一, 高铁电气系统和油气管道的构成及结构的影响是主要原因, 地面管网系统的地磁暴影响是全球性的问题.

关键词 地磁暴, 高速铁路, 油气管道, 安全风险, 防灾减灾

1 引言

随着人类社会的发展, 涌现了很多大型或大规模的新技术系统; 同时, 这些新技术系统遭受到各种自然灾害的侵害和外力破坏的防护也成了重要的研究课题. 其中, 太阳剧烈活动引发的地球空间暴对卫星、导航通信等天基系统, 以及地磁暴对地面电网、高铁和油气管道等地基系统的影响是目前了解不够的自然电磁干扰的问题之一. 在地基系统方面, 由于地磁暴引起加拿大魁北克和瑞典马尔默电网的大停电, 以及北欧和北美国家大量输电线路和变压器、无

功补偿等装置的跳闸事故^[1-3], 北欧和北美国家对地磁暴的地磁扰动(geomagnetic disturbance, GMD)的感应地电场及其在电网产生的地磁感应电流(geomagnetically induced current, GIC), 以及 GIC 流过电网变压器等设备的衍生效应都开展了大量的研究^[4-6]. 其中, 在电网 GIC 的驱动机制上, 高纬国家认为, 高磁纬地区的 GMD 与极光电集流有关, 驱动 GMD 的极光电集流东西向流动, 地电场也为东西向, 由此得出结论: GMD 在东西走向的输电线路中产生的 GIC 大^[5].

受上述理论的影响, 以及南北极极区的基本地

引用格式: 刘连光, 葛小宁, 王开让, 等. 地磁暴侵害我国高铁和油气管道的观测研究. 中国科学: 技术科学, 2016, 46: 268-275

Liu L G, Ge X N, Wang K R, et al. Observation studies of Encroachment on High-speed railway and oil & gas pipelines by geomagnetic storms in China (in Chinese). Sci Sin Tech, 2016, 46: 268-275, doi: 10.1360/N092015-00279

磁场强, 太阳活动的扰动地磁场也强是众所周知的事实, 因此很多人认为, 电网等地面技术系统的 GMD 灾害是高纬地区的问题和东西走向的导电系统才会受到严重的干扰. 受国外理论的影响, 针对中低纬国家电网 GIC 的研究起步晚. 2000 年, 针对我国的西电东送、全国联网发展战略, 华北电力大学提出并研究我国规划建设的大规模西电东送电网会不会存在 GIC, 会不会对未来电网的安全构成严重的威胁. 随着研究的深入, 获得了地磁暴侵害广东和江苏等电网 GIC 的观测数据^[7], 发现了我国存在南北向地电场比东西向地电场更大的现象^[8,9], 以及导线电阻小是未来电网 GIC 大的原因^[10], 揭示了双电压等级电网 GIC 的相互作用与影响的特征与规律^[11]. 这些研究成果, 完善了地磁暴侵害电网的科学理论, 证明了我国未来大电网存在地磁暴灾害的风险, 灾害防御已得到国家相关部门重视.

与电网的问题相比, 由于油气管道内外壁涂有绝缘涂层, 绝缘涂层无损伤时与大地绝缘, 遭受 GMD 侵害的响应机制及其物理效应与电网不同^[12], 北美和北欧国家对油气管道的 GMD 效应也开展了很多的研究, 包括获得了输气管道的 GIC 数据和提出了分析计算的方法^[12], 但研究的深度远不如电网深入. 在 GMD 侵害铁路的研究上, 国外很早就有 GMD 侵害铁路信号系统并导致其异常的报告, 文献[13~16]分别报道 1921 年地磁暴侵害纽约市 125 街中央铁路信号系统, 1982 年地磁暴造成瑞典南部铁路信号灯“闪红”现象, 1996 年地磁暴使俄罗斯北部铁路某区段铁路车站信号集中闭塞系统(SCB)异常, 2000 年地磁暴导致俄罗斯北部 Nyandoma 铁路区段轨道电路异常. 这些铁路信号异常的研究报道, 都是对 GMD 数据与发生异常的时间对比分析, 证明铁路信号的异常与地磁暴的 GMD 有关, 并没有获得过 GMD 侵害铁路信号系统 GIC 的实测数据.

一方面, 根据我国电网的研究, 中低纬电网 GIC 的驱动机制与高纬不同; 另一方面, 我国管网电气技术系统构成上与国外不同. 其中, 高铁高低压电气系统及其设备采用贯通式地线综合接地是我国高铁电气系统独有的设计特点^[17], 由于接地点多, 为 GIC 提供了更多的流通路径, 我国的油气管道也有类似的设计特点. 与高纬国家相比, 我国地处中低纬、地磁暴的 GMD 相对弱是客观现实, 但会不会与我国电网的问题一样, 因其独有的设计特点使地磁暴侵害的

风险增大是需要研究的课题. 2015 年 1 月, 在京港客运专线鹤壁东站系统中, 安装了与电网 GIC 检测原理相同的成熟装置^[18], 获得了 2015 年 3 月 18 日和 6 月 23 日地磁暴侵害我国高铁的 GIC 监测数据, 本文结合地磁暴侵害我国西气东输管道的管地电位(pipe-soil potentials, PSP)数据, 分析了地磁暴对我国高铁和输气管道的影响.

2 高铁观测方案

我国设计的高铁电气系统及其电气设备采用贯通式地线综合接地^[17], 接地点多、系统复杂, 制定地磁暴侵害高铁电气系统 GIC 的观测方案, 首先需要研究确定高铁电气系统的 GIC 的流通路径.

2.1 GIC 的流通路径

高铁牵引网的供电方式包括由直接供电、自耦变压器(AT)供电、吸流变压器(BT)供电等多种供电方式. 本文研究的京港客运专线的鹤壁东站的牵引网采用 AT 供电方式, 根据牵引网的一、二次电气设备的接地点分布情况, 研究、绘制的牵引供电系统的 GIC 流通路径如图 1 所示, 鹤壁东站供电系统区间的轨道电路中的 GIC 流通路径的如图 2 所示.

从图 1 可看出, 牵引网电气系统中的 GIC 会流过牵引变压器低压 25 kV 绕组、AT 所的自耦变压器和钢轨回路的扼流变压器, 如果牵引网系统中的 GIC 量值过大, 这些变压器可能因 GIC 发生直流偏磁现

图 1 (网络版彩图)牵引供电系统 GIC 流通路径

图2 (网络版彩图) 轨道电路回路 GIC 流通过程

象。从图2可以看出, 轨道电路中的 GIC 会流过轨道电路的扼流变压器, 如果轨道电路的 GIC 过大, GIC 通过扼流变压器可能会对轨道电路系统的轨道继电器造成影响, 导致铁路信号异常, 发出错误信号。

2.2 高铁的观测方案

公共电网在变电站监测 GIC 及衍生干扰。在变压器的中性点采集 GIC 信号, 在变压器的器身采集振动和噪声信号, 采集变压器各绕组的电流和电压计算谐波及无功波动等衍生干扰^[18]。即, GIC 及其衍生干扰的检测可在一座变电站内完成, 开展衍生干扰观测实验方便, 容易实现。从图1和2可看出, 与公共电网的 GIC 及衍生干扰的观测实验相比, 包括对流入高铁系统电气设备的 GIC 及其衍生的干扰进行全面的观测是非常困难。因为, 两座牵引变电站之间的距离一般为 40~50 km, 两个 AT 所间距在 10 km 左右, 由于距离远, 采用现有的公共电网监测装置, 尤其在 AT 所变压器安装采集 1~20 mA 信号的传感器, 对高铁系统中的 AT 所的变压器开展 GIC 衍生干扰观测难以实现。因此, 制定了只监测 GIC 的观测方案。

由于高铁电气设备沿铁路的沿线分布, 牵引变压器、自耦变压器和扼流变压器等设备之间的距离比较远, 以及高铁电气系统的 GIC 流通过程复杂, 如何用一台监测装置采集到更多的信息, 尤其是流过图1和2中主设备的 GIC 是监测方案制定的重要问题。经对高铁电气系统一次和二次设备布置现场考察, 确定了在牵引变电站集中接地箱检测 GIC 的方案。

鹤壁东站牵引变电站的集中接地箱汇集了连接两条轨道的扼流变压器中点引线、保护线 PW、贯通接地线和牵引回流导线接地点, 并与牵引变压器低压绕组中点接地点相连。经分析, 在接地箱可检测流

过图1牵引变压器低压 25 kV 绕组、AT 所自耦变压器和轨道电路扼流变压器的 GIC。据此, 设计了在接地箱中安装 8 个霍尔传感器的 GIC 检测技术和监测装置设计方案, 包括对公共电网中广泛应用的 GIC 及衍生干扰监测装置改造方案, 将原装置的两路 GIC 采集通道扩大为 8 路, 去掉了原装置的 22 路衍生干扰采集通道的功能, GIC 采集通道的采样率仍为 1 次/s。

新设计的监测装置 8 路 GIC 采集通道包括:

(1) 对牵引站两供电臂 4 台牵引变压器, 监测变压器 25 kV 低压绕组接地点的 GIC, 对应图1中的监测点 1。每台变压器占用装置的 1 路采集通道, 共占用 4 路监测通道, 设通道的编号为 1~4。该观测数据可用于分析牵引变压器的衍生干扰及其影响。

(2) 安装在接地箱中的 PW 保护线取样传感器, 用于检测保护接地线中的 GIC, 监测装置的通道编号为 5 号通道。5 通道与图1监测点 2 对应。

(3) 接地箱中的钢轨轨道电路回路的取样传感器, 用于检测钢轨回路回路的 GIC, 监测数据可用于分析 GIC 对钢轨回路扼流变压器的影响。检测通道的编号为 6 通道。6 通道与图1监测点 4 相对应。

(4) 接地箱中的接地铜排上的取样传感器, 用于检测流入接地网综合接地线的 GIC。检测通道编号为 7 号通道。通道 7 对应图1中的监测点 5。

(5) 接地箱中的 AT 所回路的取样传感器, 用于检测流入流出 AT 所自耦变压器的 GIC。检测通道的编号为 8 号通道。通道 8 对应图1中的监测点 3。

3 高铁的观测数据分析

改造后的装置先经实验室测试和试验, 于 2015 年 1 月 22 日, 完成了在京港客运专线鹤壁东站牵引变电站(35.78°N, 114.32°E)的安装和调试, 目前已获得 2015 年 3 月 18 日和 6 月 23 日两次大地磁暴侵害鹤壁东站电气系统的 GIC 数据。

3.1 3 月 18 日数据分析

数据分析结果表明, 北京时间 2015 年 3 月 18 日 5~7 时, 8 个通道的通道 6 和 7 的数据有明显起伏变化, 该时段 8 个通道的数据如图3所示。为便于分析, 图3水平坐标分别用北京时(BT)和世界时(UT)进行标注。从图3可看出, 除通道 6 和 7 数据

图3 2015年3月18日GIC监测装置8路通道的监测数据

明显变化外, 3月18日6:30, 通道1和3数据有大小相等、方向相反的脉冲电流, 课题组针对该电流做了大量分析, 除与马陵山地磁台(34.70°N, 118.45°E)地磁数据水平分量比较外, 提取了装置3月18日前后2天该时段的数据作比较, 前后2天数据无起伏性变化。

当8节和16节编组列车进入所监测的供电臂时, 牵引供电系统中牵引网的交流额定工作电流会超过1000和1500 A, 为检测准直流的GIC, 监测装置滤除了交流成分的信号。为保证高铁列车的安全, 高铁一般情况下不安排在夜间运营, 以及鹤壁东站不是京港客运专线始发和终点车站, 深入的调查了解到, 在3月18日5~7时段内, 鹤壁东站供电臂没有列车通过, 不存在列车对数据的干扰问题。在图3数据中, 3月18日6:30在通道1和3出现的不明原因脉冲干扰, 经分析与地磁暴的GMD干扰无关。

据中国科学院空间环境研究预报中心报道, 2015年3月17~18日(UT), 地球磁场发生了剧烈的扰动, K_p 指数达到8, 地磁Dst指数下降至-200 nT以下, 是第24太阳活动周以来最强的一次地磁暴。其中, 北京时间2015年3月18日5~7时段, 地磁暴每小时Dst指数为-160, -190和-226 nT。用文献[8]方法分析

装置通道6和7数据与马陵山地磁台地磁数据水平分量和水平分量变化率数据的相关性, 以及根据装置数据的形态、时间、列车情况与地磁数据的比较, 可确定通道6和7的数据波动是地磁暴的GMD产生的GIC, 通道7为流入大地的GIC, 不会对图1系统的设备造成影响, 通道6的GIC的最大值为1.3 A。

3.2 6月23日数据分析

据中国科学院空间环境研究预报中心的预报, 受2015年6月18, 19和21日爆发的多个日冕物质抛射(CME)事件的共同影响, 预计22~23日将发生中等以至大地磁暴。因该次太阳活动事件是2015年的首次太阳质子事件, 并且是多个CME的共同作用, 课题组对该次事件非常关注, 及时对监测装置和马陵山地磁台的观测数据进行收集和处理分析, 本次事件数据处理把监测装置数据的时间转化为了世界时。数据的分析结果表明, 同样是监测装置通道6和7的数据有明显的波动, 与马陵山地磁台地磁数据的水平分量 H 及其变化率有显著相关性。其中, 2015年6月23日0~24时(UT)时段, 马陵山地磁台 H 分量数据和监测装置通道6和7数据分别如图4~6所示。与扼流变压器有关的通道6的GIC最大值为1.8 A。

图4 2015年6月23日(UT)马陵山地磁台 H 分量数据(采样频率1 Hz)

图5 2015年6月23日(UT)监测装置通道6数据

图6 2015年6月23日(UT)监测装置通道7数据

4 管道的观测数据分析

2013年2月,中国工程院能源与矿业学部的《我国应对复杂电磁脉冲环境威胁战略研究》院士科技咨询重点项目,对电网和油气管网的地磁暴危害开展了调研、咨询和研讨,并于2014年12月向国务院呈报了《关于加强油气管网和电网地磁暴灾害防御的建议》报告,建议开展电网灾害防御和管道影响测评研究.虽然我国尚未对油气管道的GIC进行过实际的监测,但工程院咨询项目调研,获得了2012~2014年9次中小地磁暴侵害我国西气东输管道引发的管地电位的监测数据.其中,2012年10月1日UT00:00至2012年10月1日UT12:00时段陕京二线输气管道霸州阀室(39°06'N, 116°24'E)的PSP数据和该次地磁暴的Dst指数变化数据如图7所示.按我国《地磁暴强度等级》(GB/T 31160-2014)国家标准^[19],引发该阀室附近管道PSP变化的地磁暴属中等地磁暴,不是等级特别高的大地磁暴.

图7 陕京二线管道PSP和地磁暴Dst变化数据

为防护各种交直流杂散电流对管道造成的金属腐蚀损伤,国内外都有管道杂散电流检测及防护的相关标准.其中,我国埋地钢质管道直流干扰防护技术标准GB 50991-2014规定^[20]:管道PSP正向偏移20 mV时可确认有直流电流干扰,管道PSP正向偏移100 mV时必须采取排流或其他防护措施.从图8可

看出,只要有一定数值的地磁 Dst 指数变化,都存在管道 PSP 变化.其中,在地磁暴由第一阶主相转到第二阶主相阶段,即由-22 nT 下降至-119 nT 的过程中, PSP 发生剧烈的波动,该时间段 PSP 波动最大值达 160 mV,远超 PSP 偏移达到 100 mV 应采取措施排流的限值. PSP 观测数据表明,地磁暴对我国管道的影响需要研究.

地磁暴对公共电网安全的影响已有大量的研究,灾害防御已得到生产与科研单位的关注.在本质上,虽然高铁电气系统属电力系统范畴,但从图 1 和上述观测数据可看出,两者受到侵害的效应不同:公共电网规模大,电网导线的直流电阻小,公共电网的 GMD 灾害风险主要在大电网^[10],电网 GIC 的特征规律清楚,而高铁电气系统遭受 GMD 侵害的情况更复杂,包括系统中 GIC 的流通过程、响应机制,影响低压信号系统,受列车运行影响和电气设备的构成等都与公共电网不同.对油气管道,目前已认知的影响是 GIC 会加速管道的腐蚀、降低使用寿命,在科学问题上,虽然金属管道也是导体,但由于埋地管道的内外壁涂有绝缘涂层,受 GMD 侵害的感应电场机理及其效应(包括 GIC 和 PSP)与电网不同^[21],以及油气管道有管道长短、口径大小和管壁薄厚等结构和构成上的差异等.因此,如果再考虑空间和大地条件等因素的影响,搞清楚地磁暴对大面积高铁和油气管道安全的影响是多学科交叉难题不是一项简单的任务.

5 结论与讨论

(1) 在全球中低纬国家中,我国首先获得过地磁暴的 GMD 侵害广东、江苏电网的 GIC 观测数据^[7],本文在国内外首先获得的 GMD 侵害高铁鹤壁东站轨道电路系统的 GIC 观测数据,以及本文收集的陕京二线输气管道霸州阀室的 PSP 数据,再次证明了地磁暴对地面管网系统的影响不只是高纬国家的问题.另外,虽然以及同次地磁暴的 GMD 的强度相对弱,但由于我国世界上首先新建了一些大工程,如 1000 kV 交流特高压大电网,纬度跨越非常大的高速

铁路和大规模的西气东输管道, GMD 影响已是重要课题.

(2) 2015 年 3 月 18 日和 6 月 23 日两次地磁暴在鹤壁东站轨道电路中产生的 GIC 最大值分别为 1.3 和 1.8 A. 文献[22]根据假设 GIC 大小对轨道电路扼流变压器影响的研究表明,与电力变压器相比,由于扼流变压器容量小, 1.5 A 的 GIC 就会使扼流变压器铁心饱和,导致扼流变压器绕组电流下降,以及绕组负载电压降低,如果低于信号继电器的返回电压,继电器将失磁导致发送错误信号.本文针对我国高铁电气系统开展的 GMD 侵害观测实验,在整个高铁电气系统设置了多个监测点,只在轨道电路系统获得了 GIC,也是对 GMD 侵害高纬国家铁路现象的证明.

(3) 从图 1 可看出,本文制定的监测方案,能有效检测流过牵引网的牵引变压器、AT 所的自耦变压器和轨道电路扼流变压器的 GIC.但为什么观测实验没有在牵引变压器和自耦变压器中检测到 GIC,或者说为什么观测实验只在轨道电路回路中检测到了 GIC,以及轨道电路回路的直流电阻是多少,以致更大的地磁暴的 GMD 在轨道电路回路会产生多大的 GIC,这些大家关注的问题不是本文都能解决的,是需要对 GMD 侵害轨道电路的响应机制、影响效应以及系统的参数作精细的分析才能解决的问题.

(4) 国内外还没有针对中低纬油气管道 GIC 实测数据的报道,但本文所获得的我国西气东输管道的 PSP 监测数据表明,即使是中小地磁暴的 GMD 也会在管道上产生很大的 PSP 变化,这是一个非常值得重视的问题.因为,我国西气东输等管道的单位长度的直流电阻,比 1000 kV 输电线路的单位长直流电阻还要小,由于管道的安装等外力损伤,以及管道的绝缘涂层老化等原因,管道的绝缘涂层存在漏点在所难免,即使是在两个漏点之间存在很小的电位差,也会在管道中产生很大的 GIC,如果管道的阴极保护失效或排流措施不利,中等地磁暴甚至小地磁暴都可能造成管道的 GIC 腐蚀.2013 年底我国油气管道的总长已达 12×10^4 km,未来管道建设规模巨大,研究管道的 GIC 和避免 GIC 腐蚀有很大的经济效益.

致谢 对评审专家提出的问题及修改意见表示感谢.

参考文献

- 1 Kappenman J G, Albertson V D. Bracing for the geomagnetic storms. IEEE Spectrum, 1990, 27: 27-33

- 2 Kappenman J G. Geomagnetic storms and their impact on power systems. *IEEE Power Engineering Review*, 1996, 16: 5–8
- 3 Wik M, Viljanen A, Pirjola R, et al. Calculation of geomagnetically induced currents in the 400 kV power grid in southern Sweden. *Space Weather*, 2008, 6: S07005
- 4 Boteler D H, Pirjola R J, Nevanlinna H. The effects of geomagnetic disturbances on electrical systems at the Earth's surface. *Adv Space Res*, 1998, 22: 17–27
- 5 Bolduc L, Langlois P, Boteler D, et al. A study of geomagnetic disturbance in Quebec. I. Genral results. *IEEE T Power Deliver*, 1998, 13: 1251–1256
- 6 Gaunt C T, Coetzee G. Transformer failures in regions incorrectly considered to have low GIC-risk. In: *Power Tech, 2007 IEEE Lausanne*. 807–812
- 7 刘连光, 刘春明, 张冰, 等. 中国广东电网的几次强磁暴影响事件. *地球物理学报*, 2008, 51: 976–981
- 8 Liu C M, Liu L G, Pirjola R, et al. Calculation of GIC in mid-low-latitude power grids based on the plane wave method: A preliminary case study. *Space Weather*, 2009, 7: S04005
- 9 Liu C M, Liu L G, Pirjola R. Geomagnetically induced currents in the high voltage power grid in China. *IEEE T Power Deliver*, 2009, 24: 2368–2374
- 10 Guo S X, Liu L G, Pirjola R J, et al. Impact of EHV power system on geomagnetically induced currents in UHV power system. *IEEE T Power Deliver*, 2015, 30: 2163–2170
- 11 刘连光, 王开让, 郭世晓, 等. 双电压等级电网 GIC 的相互作用特征. *中国科学: 技术科学*, 2015, 45: 1311–1320
- 12 Boteler D H. Distributed-source transmission line theory for electromagnetic induction studies. In: *Supplement of the Proceedings of the 12th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility*, 1997. 401–408
- 13 Ptitsyna N G, Kasinskii V V, Villoresi G, et al. Geomagnetic effects on mid-latitude railways: A statistical study of anomalies in the operation of signaling and train control equipment on the East-Siberian Railway. *Adv Space Res*, 2008, 42: 1510–1514
- 14 Wik M, Pirjola R, Lundstedt H, et al. Space weather events in July 1982 and October 2003 and the effects of geomagnetically induced currents on Swedish technical systems. *Ann Geophys*, 2009, 27: 1775–1787
- 15 Eroshenko E A, Belov A V, Boteler D, et al. Effects of strong geomagnetic storms on Northern railways in Russia. *Adv Space Res*, 2010, 46: 1102–1110
- 16 Belov A V, Gaidash S P, Eroshenko E A, et al. Influence of the great geomagnetic disturbances on the northern railways operating. In: *Proceeding of the 2nd European Space Weather Week*, Nov, 2005, Noordwijk, Netherlands, 2005
- 17 张德凌. 客运专线综合接地系统中贯通地线的几点思考. *铁道通信信号*, 2010, 46: 19–21
- 18 王颖, 刘春明, 刘连光, 等. 电网地磁感应电流(GIC)在线监测系统的研究. *电力系统及其自动化*, 2009, 33: 112–115
- 19 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 地磁暴强度等级. *GB/T 31160-2014*. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2014
- 20 中国石油管道公司沈阳调度中心, 中国石油管道沈阳技术分公司. 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准. *GB 50991-2014*. 北京: 中国计划出版社, 2014
- 21 刘连光, 张鹏飞, 王开让, 等. 基于大地电导率分层模型的油气管网地磁暴干扰评估方法. *电网技术*, 2015, 39: 1556–1561
- 22 卞丽丽, 刘连光, 蒋智化, 等. 轨道电路扼流变压器的磁暴侵害效应仿真研究. *中国铁路*, 2012, 51: 59–62

Observation studies of encroachment by geomagnetic storms on high-speed railways and oil-and-gas pipelines in China

LIU LianGuang, GE XiaoNing, WANG KaiRang, ZONG Wei & LIU ChunMing

State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

In order to study whether geomagnetic storms will cause huge impact on high-speed railways and oil-and-gas pipelines in low latitudes, observation experiments and investigations are performed on high-speed railways and oil-and-gas pipelines in China which suffered from geomagnetic disturbance (GMD). The geomagnetically induced currents (GIC) in the electric system of Hebi East Railway Station of Beijing-Hong Kong Dedicated Passenger Line and the pipe-soil-potential (PSP) in pipelines of the West-East natural gas transmission project are obtained. This paper analysed the correlation between the observed data in the high-speed railway, oil-and-gas pipelines and the geomagnetic data from the geomagnetic observatory near the observed point. We also made comparisons between the high-speed railway, oil-and-gas pipeline and the public power grid, regarding the similarities and differences of GMD encroachment in physical processes and response mechanisms. And the possible effects of the observed GMD on the safety of high-speed railways and the corrosion of oil-and-gas pipelines are analysed. The results indicated that the maximum GIC in the track circuit of Hebi East Railway Station of Beijing-Hong Kong Dedicated Passenger Line during two geomagnetic storms are 1.30 and 1.80 A respectively on March 18 and June 23, 2015; also, the pipe-soil-potential (PSP) generated by small and medium geomagnetic storms exceeded the threshold value of cathodic protection devices for the oil-and-gas pipelines. Results proved that the configuration and structure of the grounded system, such as the structure of a high-speed railway electric system or an oil-and-gas pipeline system, could be a more important factor than the latitude in determining the severity of its geomagnetic storm disaster. Therefore, the disaster caused by geomagnetic storms in grounded network systems is a global problem.

geomagnetic storm, high-speed railway, oil-and-gas pipelines, security risk, disaster prevention and mitigation

doi: 10.1360/N092015-00279