

北石槽燃气门站的雷击事故分析及防雷措施研究

□ 北京燃气集团有限公司 (100035) 高顺利 李夏喜 张永昭 王欣玮

□ 清华大学深圳研究生院 (518055) 闫石 梅红伟 王黎明

摘要: 本文介绍了北京燃气北石槽门站的雷击事故情况。包括防雷设备的基本情况,雷击事故发生的过程及其发生机理及该次雷击事故发生的主要原因。针对该燃气门站现有的防雷设施提出了相应的改造措施,并借助仿真计算优化设计了避雷针在门站内安装的数量及位置。

关键词: 燃气门站 雷击事故 防雷措施 避雷针 优化设计

Research on Reason and Protection Measure of Lightning Accident on Beishicao Gas Gate Station

Gao Shunli, Li Xiaxi, Zhang Yongzhao, Wang Xinwei, Yan Shi, Mei Hongwei, Wang Liming

Abstract: In this paper, the lightning accident happened on Beijing Beishicao gas gate station was introduced in detail. The situation of lightning protection equipments and the processes of lightning accident were investigated earnestly, the reason of this accident was analyzed and some lightning protection measures to reduce the probability of occurrence of lightning accidents were also put forward. Considering the station without lightning rod, the work to analyze the protection area of lightning rods was carried out by computer simulation and the optimization design of the lightning rods in this station was also proposed.

Keywords: Gas gate station lightning accident lightning protection measure lightning rod optimization design

1 引言

随着我国经济迅速增长,城市中的燃气需求也在随之增大,燃气工程的规模和数量在逐年增加^[1]。而近年来北京地区雷暴天气出现的频率和雷暴的强度在逐渐增大^[2],燃气站受雷击的概率也随之增大,自然也加大了对燃气站内重要设备和建筑的防雷要求。^[3]目前,由于燃气站的相关防雷设施及要求没有得到及

时完善,燃气站的雷击事故频繁发生,因此对燃气站防雷问题的研究变得十分重要和迫切。

近年来,北京燃气集团下属多个燃气门站出现了雷击事故。2013年北京燃气集团王四营附近管道受巨大的冲击雷电流影响,造成管道接头处绝缘圈击穿、金属管道部分融化,出现了燃气局部泄漏的事故。2013年8月北京燃气集团阎村门站遭到雷击,造成站内多处计量通讯设备被击毁,造成了站内流量计、电

脑、对讲机等弱电系统及管道上超声流量探测装置的损坏,造成了很大的经济损失。除上述两起事故之外,北京燃气集团下属的通州门站、采育门站和北石槽门站均发生了雷击事故。可见雷击事故频发并不是偶然原因造成的,而是在燃气站的防雷设计中存在一定的问题,不能满足燃气站的防雷要求。燃气站多数远离城区,分布在荒郊野外,且由于燃气站的特殊性,一旦发生雷击事故,则可能造成燃气泄漏,甚至有爆炸的危险^[4]。所以针对现有雷击事故进行分析,得到其事故原因,并提出应对措施有重要的意义。

燃气集团由于专业领域的不同,对燃气站的防雷问题研究并不充分,针对燃气站的防雷设计水平依旧较低。而电力系统中雷电防护一直是重点研究的问题,也已经取得了一些成果,并有变电站防雷的相关标准^[5]。而燃气站目前使用的标准为GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》^[6],实践证明不能完全满足燃气站的防雷要求。因此,有必要对燃气站的防雷问题进行深入研究,增强燃气站的整体防雷能力,并制定相关的企业标准,为今后新建及改造燃气站提供技术参考^[7-10]。

本文详细研究了北石槽门站发生雷击事故的原因,并根据现场情况提出了相应的改造措施。针对北石槽站是新建站且在此次雷击事故发生时还在施工过程中特点,调研了其事故发生的过程及事故现象,分析其事故产生的原因^[11-12];同时针对其现有的防雷装置找出燃气站在防雷方面存在的问题和缺陷,提出了北石槽燃气门站防雷改造的详细措施。

2 北石槽门站雷击事故情况

2.1 雷击事故概述

雷击事故发生于2014年7月1日晚。雷击事故发生时,站内工作人员未观察到站内有明显的落雷点,但雷击却造成了整个燃气门站的停电。同时,该雷击事故也造成了动力计量控制箱插卡式电表损坏,主电缆绝缘损坏,主控室内流量计算机9台损坏,站区内气体分析仪主电路板损坏,站区内多个压力表和温度表损坏,直接经济损失200余万元。

在雷击事故发生的过程中,通过当天现场值班人员描述此次雷击事故没有观测到明确的直击雷过程,

从而排除了燃气站遭受直接雷击的可能。

基于该次雷击事故造成了一系列设备的损坏,初步判断应该是雷电过电压通过电源线路侵入造成的。因为,只有通过电源线侵入的雷电过电压才可能危害到站内不同地区多处设备的损坏。

2.2 现场勘测情况

由于雷击事故造成了多处设备损坏,通过对现场设备的勘测了解其接地系统的连接方式,从而可以分析出雷电过电压产生的原因及其侵入方式,进而分析整个雷击事故的发生机理。

室外系统勘测主要从动力计量控制电表入手,动力计量控制电表如图1所示。从图1中可以看出,插卡式电表从内部烧毁,柜门被烧黑。且电表损毁严重,使用剩余磁场测试仪对电表上各金属部分进行测量,发现其均有较高的剩余磁场,综合现场情况判定电表处为第一雷击放电点。证实了雷击过电压是通过主电源线路侵入整个燃气场站的。



图1 电表损毁情况及剩余磁场测试

如图2所示:雷击事故造成了380V主电源电缆绝缘损坏,可以看到主电缆上出现了金属导线外露的情况,主电缆位于计量控制电表下方。使用万用表测量主电缆的漏电情况,测得其相间电压均为200V左右,这说明零线存在短路情况,需要对电缆进行更换,并做好接地处理。

雷击事故造成燃气管线上附着温度传感器、压力传感器、超声流量探测器损坏。此次雷击事故造成了上述3种设备大量损坏,燃气站遭受了重大损失,且上述3种设备均通过信号电缆与主控室内部流量计算



图2 主电缆损坏情况

机相连,管道设备的损坏会对室内设备造成影响。

如图3所示:针对燃气站内监控系统,该雷击事故主要造成了主控室内流量计算机损坏(主控室内共有流量计算机10台,其中1台完好,2台完全损坏,7台无数据显示)。



图3 流量计损坏情况

另外,在此次雷击事故中,气体分析设备的主电路板也严重损坏。气体分析设备主电路板位于室内设备箱中,其实物详见图4。

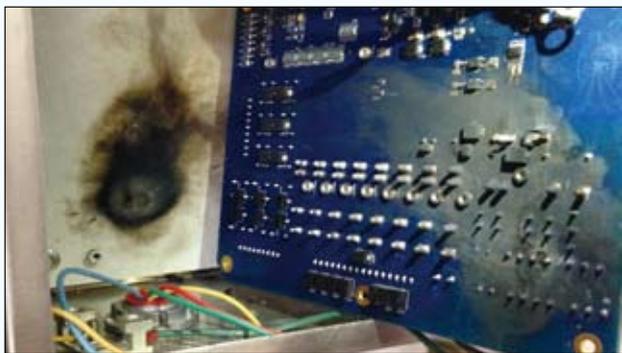


图4 气体分析仪损坏情况

通过现场检测,电路板主要烧毁部分为220V电源接口处,且烧毁较为严重,墙体也有明显烧灼迹象。且电路板上保险丝烧毁,初步判断雷电过电压沿电源线路侵入,在电路板电源接口处发生强烈的放电,造成了电路板损坏。

3 雷击事故原因分析

3.1 外部防雷原因

首先,由于站内并未观测到直接雷击,所以,可以判断雷电过电压是感应雷电过电压。

可能的原因为线路上的感应电压或雷击到其他线路上的雷电侵入波过电压。由于插卡式电表从内部烧毁,且其金属部分均有较高的剩余磁场,所以动力计量控制电表处为第一放电点^[13]。雷电波通过电源线路侵入整个燃气场站,造成了场站内设备的大面积损坏。通过现场勘测我们可以发现,电表箱内保护器并没有被接入线路,如图5所示。所以雷电过电压在电表处强烈放电,烧毁电表。



图5 保护器连接情况

另外由于燃气站内电源系统为临时搭建,如图6所示,没有设置完善的接地系统,这是造成主电缆及燃气站内部设备损坏的重要原因^[14]。当雷电波侵入时,过电压无法从大地泄流,沿着主电源电缆继续侵入燃气站,并在主电缆处放电,造成主电缆损坏。

雷电波沿电源线路侵入燃气站内,造成燃气站内管线上附着温度变送器、压力变送器及超声流量探测器损坏。主要原因为新建燃气管道与下设接地网没有良好的电气连接,雷击在管道上产生了较高的过电



图6 主配电箱

压,通过管道侵入到设备中,从而造成设备大量损坏。管道上附着的弱电设备工作电压均为24V,雷电波沿管道传播,过电压造成多个计量设备损坏。所以应该完善管道的接地情况,将管道与下设接地网进行可靠的电气连接,从而起到保护管道上附设备的作用^[5]。

而根据流量计算机的损坏情况,电源模块没有损坏,而损坏的主要是温度压力变送器的传输模块。因此,在雷击事故发生时,雷电流在信号电缆中产生感应过电压,造成流量计算机损坏,这也是该燃气门站雷击事故经济损失最大的部分。

3.2 内部防雷原因

燃气站内的流量计算机是损坏次数最多,造成经济损失最大的设备。且由于流量计算机必须24h不间断工作,该设备频繁损坏也会对正常的生产过程造成重大的影响。流量计柜中的数据传输电缆配有信号电涌保护器,但流量计算机依旧出现了大规模的损坏现象。根据流量计算机的冲击破坏试验,得出在加装现有浪涌保护器的情况下,当冲击电流幅值超过400A时,残压在48V以上,此时流量计算机便会损坏。说明了现有浪涌保护器的保护效果不好,且流量计算机的耐压水平较低。流量计算机的频繁损坏也是由流量计本身耐压水平低的特点决定的。

根据现场的检测结果来看,室内等电位连接正常,且流量计算机电源侧未出现损坏情况,说明雷电过电压是由信号线路侵入流量计算机,造成设备损坏。通过勘测是由于信号电缆在铺设过程中管道侧未加装浪涌保护器,且电缆在接地中存在问题,没有满足内屏蔽层单端接地,外屏蔽层双端接地的要求,造

成电缆出现较高的感应过电压,损坏设备。

另外燃气站电源侧、主控室配电柜内、与气体分析设备前端均未加装浪涌保护装置,这也是造成雷电波侵入及设备损坏的主要原因。且北石槽门站为临时站点,配电柜在使用过程中并未接地,且临时站点配套防雷设施不完善造成的。其中未设防雷接地是最主要的原因^[6]。

4 避雷针优化设计

北石槽站为新建门站,站内新建两根等高的避雷针,现对避雷针保护范围进行优化设计。通过燃气场站设计图及北石槽门站的卫星图进行综合分析,北石槽门站呈矩形,南北方向长度为100m,东西方向长度为116m,且避雷针设计高度为25m。根据GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》,燃气门站属于第二类防雷建筑,其滚球半径如表1所示:

表1 滚球半径参数表

防雷建筑类别	滚球半径 h_r (m)
第一类	30
第二类	45
第三类	60

在计算避雷针保护半径的过程中,对于双支避雷针设其距离为D,分为两种情况:

当 $D \geq 2\sqrt{h(2h_r-h)}$ 时,使用两个独立避雷针进行计算;当 $D \leq 2\sqrt{h(2h_r-h)}$,需要使用两支等高的避雷针算法进行计算。

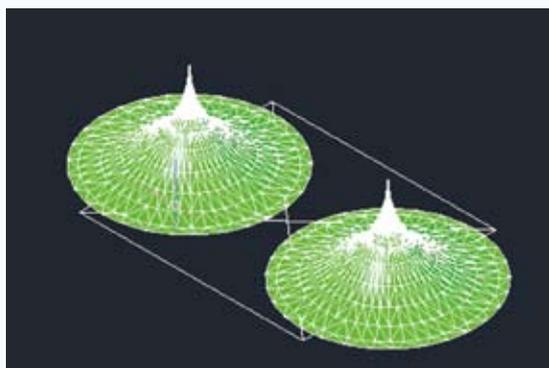


图7 北石槽门站的卫星图

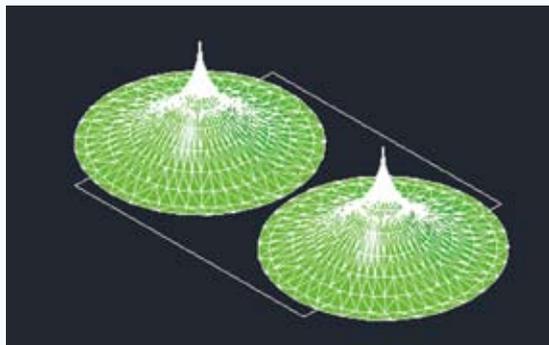
通过比例尺进行测量，门站南北方向长度为100m，东西方向长度为116m，门站呈矩形装。

根据卫星图的测量结果（图中红点标注），两避雷针的间距为105m， $2\sqrt{h(2h_r-h)}=88.622m$ ，所以两避雷针使用独立的滚球法进行计算分析^[7]。

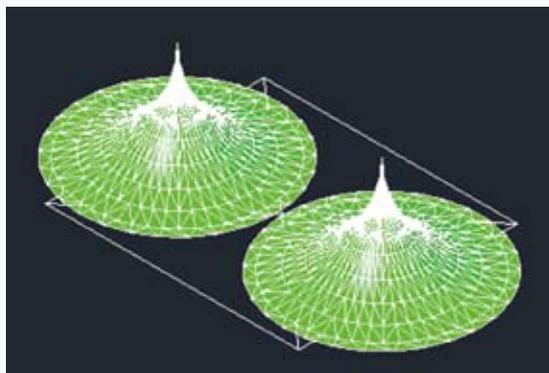
仿真结果如图8所示，当避雷针高度为20m时，避雷针在地面的保护半径为37.417m；当避雷针高度为25m时，避雷针在地面的保护半径为40.311m；当避雷针高度为30m时，避雷针在地面的保护半径为42.426m；



(a) 避雷针高20m



(b) 避雷针高25m



(c) 避雷针高30m

图8 燃气站避雷塔保护范围

根据仿真计算结果可以得出当避雷针高度为25m时，在地面的保护半径为40m，基本可以覆盖站内的重要设备，当避雷针高度为20m时场站中心区域不能覆盖；而当避雷针高度为30m时，覆盖半径仅增大2m，效果不明显。所以场站内25m的双支避雷针保护范围满足要求。

针对25m的避雷针，避雷针在 h_x 高度的水平保护半径计算结果如表2所示。

表2 不同保护高度的水平保护半径

被保护物高度 h_x (m)	水平保护半径 r_x (m)
3	24.15
6	17.86
9	13.31
12	9.72
15	6.77

从仿真计算结果可以看出，目前站内采用的25m的避雷针塔就可以覆盖整个燃气场站，且在不同高度保护范围均能覆盖站内重要建筑和设备。

5 燃气站防雷改造措施

5.1 外部改造措施

在电源系统安装浪涌保护器，在电源系统安装3级浪涌保护器，在主电源进线端安装第一级，各配电安装第二级，在重要设备处安装第三级，从而起到保护电原系统免受雷电浪涌的侵入。并做好电源设备的防雷接地。

针对燃气站围墙上的摄像头、路灯、站内红外安防装置、摄像头等设备在其上方增加接闪装置，在地下加设单独的接地桩，要求接地电阻小于4欧姆，使用接地体对接地桩及环网进行必要的连接^[18]。

完善燃气站内管道与接地网的可靠电气连接，将站内各个接地网整体连接，在控制室铺设接地网，并于现有接地网整体连接，以改善燃气站的整体接地水平^[19]。

5.2 内部改造措施

完善室内设备的等电位连接及接地布置。配电室

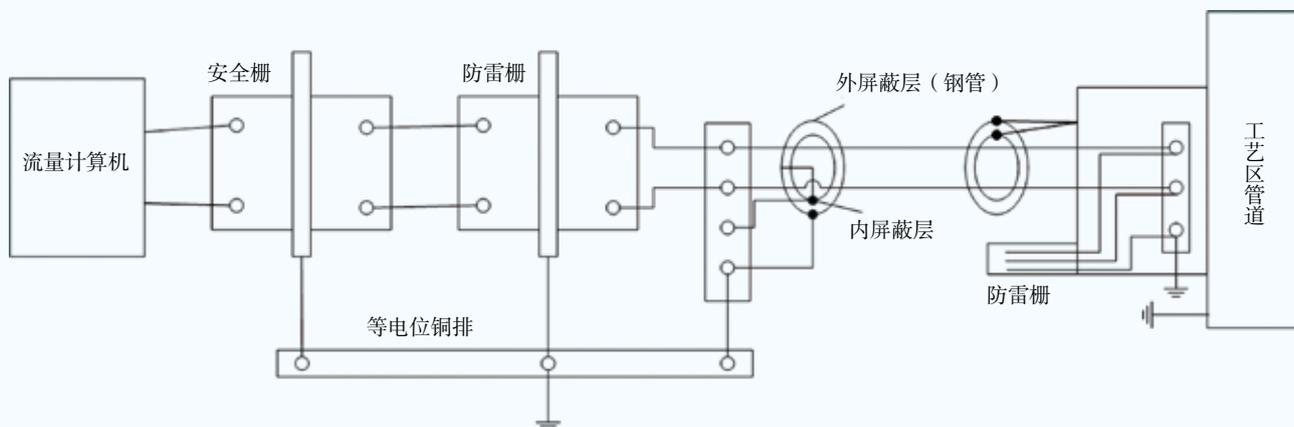


图9 电缆接线方式

内的UPS及电池组需要外壳接地，室内插座地线需可靠连接，在流量计柜中使用防雷插座。完善室内等电位连接网络与地网的连接，完善工艺区与控制室电缆铜皮及外部铁管的合理接地方式^[20]。电缆接线方式及室内安全栅防雷栅连接顺序如图9所示，同时保证室内设备之间、避雷塔与控制室之间有一定的安全距离。

根据目前的调研结果，燃气站内目前浪涌保护器安装情况不理想，整个燃气站几乎没有安装浪涌保护器，在工艺区信号传输系统中，仅在控制室机柜内设备进线端安装了防雷栅，且防雷栅效果不佳，未能对流量计算机有效保护。主控室内机房流量计柜内配有交流电源电涌保护器、直流电源电涌保护器和信号电涌保护器。操作台内有一根用于数据传输的电缆，并配有信号电涌保护器。需要使用现有二合一或者三合一的浪涌保护器代替且需要根据各个楼层、机房、门卫等二次配电的容量对浪涌保护器及终端设备的电气参数进行选型。对站内重要设备（如流量计算机）的信号传输单独安装信号浪涌保护设备。

6 结论

(1) 通过调研现场雷击事故的情况，得出了北石槽门站雷击事故主要原因是雷电过电压从主电源系统侵入燃气站，造成站内大量设备损坏。

(2) 外部设备大量损坏的主要原因为设备电源测没有安装浪涌保护器，雷电流通过其电源线倾入，造成整个设备损坏。

(3) 内部设备损坏原因也主要为未安装浪涌保护器，站内弱电系统耐压水平较低，雷电过电压通过线路侵入站内，损坏设备。

(4) 针对事故原因提出了改造其接地系统、改善电缆的连接方式、加装电源浪涌保护器、信号浪涌保护器等措施来提高该燃气门站的防雷效果。

注：基金资助项目：国家自然科学基金（51377093）、北京燃气集团科技项目

参考文献

- 董宏理, 韩振华. 规范燃气工程建设行为 提高燃气工程管理水平[J]. 城市燃气, 2001; 01: 22-23
- 扈海波, 李京校, 潘进军. 北京地区雷电灾害风险评估方法与应用[J]. 气象, 2012; 08: 1004-1011
- 夏红光, 李红志. 变电站雷电防护与雷击事故分析[J]. 智能建筑电气技术, 2007; 04: 92-93
- 王敏蓉, 李晶晶, 徐东等. 城镇燃气站防雷设计技术评价要点[A]. 中国气象学会.S13 第十届防雷减灾论坛——雷电灾害与风险评估[C]. 中国气象学会, 2012: 4
- 王春杰, 祝令瑜, 汲胜昌等. 高压输电线路和变电站雷电防护的现状与发展[J]. 电瓷避雷器, 2010; 03: 35-46
- 杨红, 关俊华, 杜鹏培. 浅析天然气门站防雷设计技术评价[J]. 农业与技术, 2013; 01: 140
- 陈立琴. 防雷接地系统在燃气工程中的研究与应用[J].