

陕京输气管道的雷电危害及防治

姚 伟* 葛艾天 韩宪荣

(北京天然气集输公司)

姚 伟 葛艾天等:陕京输气管道的雷电危害及防治,油气储运,2000,19(9) 14~17。

摘 要 陕京输气管道采用挤塑聚乙烯三层结构外防腐覆盖层,其防腐绝缘性能优异,但雷害对该管道的危害却很严重。介绍了雷害对管道的危害及主要表现,提出了防治措施,即采用一级雷电防护装置——浪涌吸收型通流避雷器及二级泄放通道——PN 结正向降压复合型泄放通道,该雷电防护装置的安装确实起到了泄放雷电、保护管道及其附属设施的作用。

关键词 输气管道 阴极保护 雷电危害 防治措施

陕京输气管道西起陕西省靖边县,东至北京市石景山衙门口,干线全长 847.8 km,在琉璃河设分输站分输至河北省永清县,该支线长 64.8 km,管径 660 mm,材质为 X60,为大口径、长距离输气管道。三期工程完成后,年输气量可达 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。陕京输气管道共设 10 座阴极保护站,站间距在 70~110 km 不等,管道主体全部采用挤塑聚乙烯三层结构外防腐覆盖层(以下简称三层 PE)。阴极保护系统运行两年后,全线只需要开通 3 座阴极保护站,保护电位设定值为 $-1.45 \text{ V} \pm 0.05 \text{ V}$ (正常通电未消除土壤 IR 降),全线保护电流为 1.1 A 左右,平均保护电流密度为 $5.82 \times 10^{-4} \text{ mA/m}^2$,根据文献[1]提供的数据:聚乙烯涂层的钢制管道阴极保护平均电流需要量为 $0.005 \sim 0.01 \text{ mA/m}^2$ 。陕京输气管道自 1997 年 9 月投产以来,经过两年多的运行证明,三层 PE 防腐层具有优异的防腐绝缘性能,是目前防腐绝缘性能最好的外防腐层之一。优异的绝缘性能在有效地防止管道腐蚀的同时也带来了国内长输管道从未遇到的新问题——雷电的危害及其防护。

一、雷电的形成及其对管道的影响

1、雷电和雷击的原理

当雷云在天空中形成时,其中包含了相对低速运动的密集电荷,可以在雷云下方大面积的地球表

面形成一个静电场,电场在地面、设备以及其它物体的表面感应出相反的电荷^[2]。地面感应电荷的分布随雷云的移动而发生位移并能迅速集结,尤其是在感应正电荷区域内的较高物体或是物体上曲率较大的地方,更容易集结大量的感应电荷,从而形成一个或数个地面电荷中心。

当云内电荷增大到一定强度后会产生流光,促使负电荷加速在云层下部聚集,当场强增大到一定程度,空气被击穿,形成下击先导而不断向地面轰击,地面电荷的分布随之发生巨大变化,此时地面上较高、曲率较大的物体上感应电荷不断加强,最后产生迎面先导(尖端效应),与下击先导联通形成云、地之间的电离通道,电荷在瞬间猛烈地中和,从而破坏了电场。此时由于地电荷的中和作用,产生一个很强的地电流流向冲击点,即直击雷的主放电过程。整个过程一般在百分之几秒内完成。

有时雷击并不在最高点发生,这与当时现场的具体位置、材料引起的电场分布和电荷分布有关。除了直击雷击之外,由雷击引起的电场的突然变化,会使相对远离直接雷击区的设备或构筑物突然放电,甚至出现二次火花,这种感应电荷或火花通常在有绝缘的金属体处出现。开始时,金属体由于感应而充电,并以无害的低速通过它本身的高电阻对地放电。当附近出现闪电时,这些受约束的电荷就会突然向地放电产生间接闪电电流。

万方数据

2、雷电对管道的影响

图 1 为管道的等效电路。雷电对管道的影响有以下几种情况。

(1) 管道架空部分和地面部分(如跨越管道、站场管道和工艺设施), 相对于整个埋地管道而言都是优良的接闪器, 在附近空中有雷云存在的条件下, 可能形成一个感应电荷中心, 从而遭受直击雷的威胁。

(2) 当上空形成雷云时, 其下方大面积的地面形成一个静电场, 埋地管道也同大地一样表面感应出相反的电荷, 当电荷积累到一定程度而又具备了放电条件时, 会出现一次强烈的放电过程, 此时, 云电荷迅速消失, 地电荷变为零。但是, 由于三层 PE 优异的绝缘性能, 管道感应电荷的泄放速度很慢, 一旦发生管道的局部放电, 其它部位的感应电荷也将随之发生猛烈的对地消散过程, 于是在管道内形成一股强大的电流(即通常所说的浪涌)。对于管道绝缘层电阻较低的情况, 浪涌会通过绝缘层的漏点大量消散, 不会产生很大的破坏力; 而对于绝缘层性能很好的管道, 当这种浪涌不能通过绝缘层本身的漏点快速泄放入地时, 管道上有绝缘或接触不良的部位就产生高电压, 引起二次放电。这是陕京输气管道设备、设施遭受雷电破坏的主要原因。

(3) 金属管道本身是一个良导体, 很容易成为较大的直击雷电的泄放通道而发生雷击现象。

(4) 通过现场的观察和分析, 管道不仅会感应正雷(即管道上富集正电荷), 还会感应负雷(即管道上富集负电荷), 正雷和负雷对管道, 特别是阴极保护设备的运行存在着不同的影响。

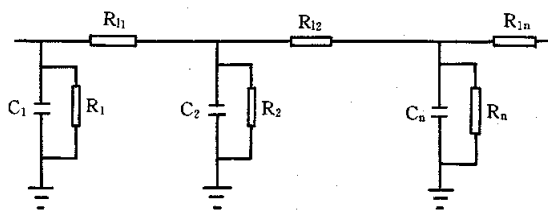


图 1 管道等效示意图

二、雷害的主要表现

1、雷害的主要表现

(1) 阴极保护设备受损

陕京输气管道全线 10 座阴极保护站的阴极保

护设备(PS—2T 防蚀电源)先后多次不同程度地受损, 受损的组件为: R—70 放电管、160 V/0.1 μ 电容, 线径 2 m/m 的空心电缆, BZW30—130 瞬间电压抑制器, 容量 15 A 的保险丝等。在受损最严重的紫荆关阴极保护站(位于河北省易县紫荆关), 不仅上述元件均先后遭受破坏, 而且防蚀电源控制面板上耐压 500 V/10 A 的接线柱也发生部分融化变形。另外, 安装于管道和接地之间的 0.1 μ /400 V 的旁路电容也曾发生过热而烧毁外绝缘层(聚氯乙烯)的现象, 但电容本身未被击穿短路。

(2) 绝缘法兰的绝缘性能降低

1998 年雷雨季节, 通过陕京输气管道调控中心监测到三岔(山西省五寨县)和郝家寨 II 号(山西省浑源县)两个干线 RTU 阀室电位偏低, 经现场检查发现, 这两座站个别绝缘法兰的绝缘性能降低。

(3) 雷雨季节触摸管道会感觉到电震

1998 年雷雨季节, 维修人员在更换管道表面温度变送器的探头时, 触摸管道感到电震。

2、对雷害的认识

阴极保护设备通过阴极电缆和测量电缆与管道直接连通, 是管道上直击雷和感应雷所产生的雷电电流最方便和直接的泄放通道。设备本身配备的用于高电压、大电流保护元件的受损和可明显感觉到的管道表面的电震具备了雷电对陕京输气管道造成危害的可能性。

三、陕京输气管道的防雷技术

目前, 石油行业对雷电的防治, 特别是在金属储油罐的雷电防护技术上已取得了一定的成果, 管道行业也研制出了具有防雷功效的牺牲阳极以及防雷电池等雷电防护装置。这些装置均采取接地或电气连通, 提供适当的电荷消散手段, 以消除或降低雷电的危害。

1、采用雷电防护装置原则

陕京输气管道在秋季投产, 直到第二年的雷雨季节才全面暴露出雷电对管道的严重危害, 因此, 上述管道防雷手段在施工上具有一定的难度, 更主要的是, 三层 PE 管道实现阴极保护所需的保护电流密度极低, 防雷电池安装数量少, 起不到应有的作用; 如果大量安装, 又很可能造成对最大保护电位的钳制, 使得保护电位无法调节。同时, 直接接地也存

在很大的缺陷。由于它的存在,地面电荷能够迅速向管道集结,使管道成为电荷集中的中心而更易受到雷害。较理想的雷电保护装置应至少具备以下功能。

- (1)阻隔大地感应电荷;
- (2)具有合适的电荷消散通路;
- (3)具有持续的小电流消散通道,即具有缓冲放电的功能。

根据陕京输气管道的特点,采用两级雷电(杂散电流)泄放系统,即电荷持续消散系统——浪涌吸收型通流避雷器和 PN 结正向压降复合型泄放通道。

2、雷电保护装置

(1)浪涌吸收型通流避雷器

①原理

当管道上的感应电压达到某一个阈值时,持续通道自动开通,主动泄放电荷,保持管道上感应电荷的低水平。这种装置的主要元件是以氧化锌为主的金属氧化物压敏电阻、电解质限流系统和绝缘间隙。几个压敏电阻一起构成梯度放电通道,它们具有很好的非线性,即在一定的电压(一般为 3~5 V)下,泄漏电流可以小于 1 mA;而一旦超出了这个电压范围,它的电阻就会降到很小,使电流迅速流过,电压迅速降低到工作电压。电解质限流系统可以使感应电流以一定的速度泄放,避免了瞬间大电流放电可能产生的危害。同时,该装置具有极高的绝缘性能,感应电荷无法通过它被引入管道,而管道上通过其它途径被引入的电荷,在达到一定阈值时便可通过该通道引入地下。

②金属氧化物压敏电阻的参数

U_{1mA} :通过的直流或脉冲峰值电流为 1 mA 时的压敏电阻端电压,陕京输气管道 U_{1mA} 的下限值选为 50 V;

通流容量:雷电保护装置在 5 min 内受 8/20 μ s 波形的冲击电流冲击 10 次的条件下,保证 U_{1mA} 的变化范围不超过 100% \pm 10% 的最大电流幅值;

漏电流:当两端施加 1/2 U_{1mA} 直流电压时,压敏电阻内流过的电流,该参数应控制在 50 μ A 以下。

上述参数选择的原则是,实际发生浪涌的能量必须小于压敏电阻的浪涌容量,结合考虑浪涌的复现率,压敏元件不能长时间过热,表面温度应控制在不大于环境温度 4 $^{\circ}$ C 的范围内。

③一级雷电防护装置的安装

一级雷电防护装置的安装只需将其跨接在管道

和地(接地电阻小于 10 Ω)之间,管道上超过其电压阈值的各种电流便会通过它泄放到大地,从而使管道以及与之电连通的设施、设备免受高电压、大电流的冲击,同时又能使管道上的正常工作电流、电压、电位得到保留。陕京输气管道 10 座带 RTU 阀室使用该值为 5 kA 的雷电防护装置各一套,10 座阴极保护站选用该值为 2 kA 的雷电防护装置各两套。

陕京输气管道清管站(阴保站)的站内工艺管网与进出站干线管道分别由两个绝缘接头进行电绝缘,在每一个清管站安装两套雷电防护装置,分别位于站场的上游侧(进站)和下游侧(出站)侧,由于每座阴极保护站进、出站均有足够容量的阴极输出电缆,站内又有接地电阻小于 5 Ω 的安全接地网可以利用,因此清管站的雷电防护装置安装在站两侧的阴极输出电缆和站内接地之间(见图 2)。

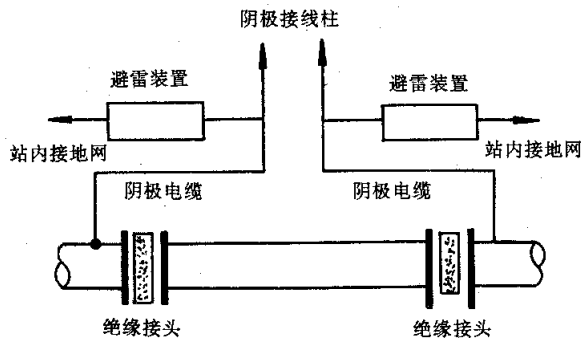


图 2 阴极保护站雷电防护装置安装图

为了进行阴极保护电位数据采集,陕京输气管道每座 RTU 阀室内都有与管道相连的阴极线作为 SCADA 系统的信号输入,因此,只需要用不小于 5 mm² 的铜芯线将雷电防护装置安装在阴极线和站场接地网之间便可完成雷电防护装置的安装(见图 3)。

(2)PN 结正向压降复合型泄放通道

在安装了第一级浪涌型通道避雷器后,管道及相关的设备、设施都受到了保护。但是陕京输气管道仍不时受到 60 V 以下的泄放剩余电压的影响,特别是在雷雨季节,剩余电压影响管道的情况更加频繁发生,当管道感应到负雷时,管地电位可在瞬间超过恒电位仪的 -1.5 V 设置^[3],达到或超过管地电位的满量程 -3 V,此时,恒电位仪即使将保护电流降低为零也不能使管地电位正常,仪器呈误差报警状态。当管道感应正雷时,管道电位明显向正电位偏

移,管地电位可瞬间为零甚至为正,恒电位仪为维持设定的 -1.5 V 的管地电位而大幅度加大保护电流输出,当超出仪器的过流设定值时,仪器呈过流报警状态,输出全部关断。有时,来自管道的瞬间电流可达到 10 A 以上,仪器熔断器会发生熔断而造成阴极保护站不能正常运行。因此,采用了非压敏电阻型的二级雷电(杂散电流)泄放通道,即 PN 结正向压降复合型泄放通道。

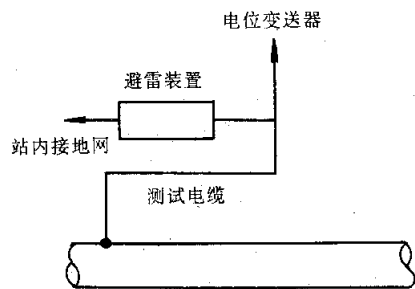


图 3 RTU 阀室雷电防护装置安装图

四、雷电防护系统的性能检测及效果分析

1、性能检测

雷电防护系统对管道及相关设施、设备的安全起到关键的保护作用,应该在雨季前、后对其性能进行检测,确保性能完好。根据其技术特点开发研制了该系统的性能检测装置,该装置能够模拟 600 V 的感应雷电,检查方法为在避雷装置的管道和接地之间瞬间施加 600 V 电压,然后测量检测装置的剩余电压,剩余电压为 60 V 时则说明管道避雷装置能够泄放 60 V 以上的高电压,达到性能指标的要求。

2、雷电防护系统效果分析

陕京输气管道于 1998 年 8 月全线完成了管道雷电防护装置的安装,建立起管道雷电防护系统。通过该系统一年来的运行情况,特别是经过 1999 年雷雨季节的考验,沿线各站场与管道电连通的设施、设备未发生过受高电压、大电流冲击破坏的现象。

通过对阴极保护设备运行的现场观察,也验证了管道雷电防护装置的雷电防护作用。1998 年 10 月 10 日,陕京输气管道山西输气处技术人员在位于山西省神池县的神池清管站进行阴极保护设备日常

检修,中午 12 时,清管站所处地区出现雷雨天气。现场观察发现,雷击发生时,阴极保护控制台管地电位指示陡降至零,输出电流指示陡升至 4 A (正常状态时输出电流为 0.5 A 左右),随即恢复,重复数次,历时达一个多小时。上述情况充分说明了两个问题:一是雷电对管道的影响(危害)确实存在,并能够在较长一段时间内在管道上产生浪涌;二是陕京输气管道的雷电防护装置确实起到泄放雷电、保护管道及其附属设施的作用。另外,通过陕京输气管道的 SCADA 系统对阴极保护系统运行情况的监控,也多次发现上述现象,更加证实了上面的两点结论。

为了进一步研究雷电对管道的危害及防治技术,1999 年 5 月中旬,为每一个雷电防护装置试验性安装了雷电计数器(FK—1 型雷电计数器)。到 1999 年 8 月初,靖边首站记录到防护装置先后放电 22 次,琉璃河站记录到 20 次放电。这进一步证明了雷电对于陕京输气管道存在着不可忽视的危害。同时也验证了陕京输气管道雷电防护技术的有效性。

(文中涉及管道电位均指管道对 Cu/CuSO_4 参比电极电位)。

参 考 文 献

1. 赖敬文(译):阴极保护简明手册(第五版),四川石油设计院(成都),1997。
2. 防止静电、闪电荷杂散电流引燃的措施 API RP 2003(第五版),石油工业出版社(北京),1994。
3. 余蓉蓉:地下金属管道的腐蚀与防护,石油工业出版社(北京),1998。

(修改稿收到日期:2000-05-08)

编辑:吕 彦

• SAFETY & FIRE CONTROL •

Yao Wei, Ge Aitian *et al*: **Lightning Hazard and its Elimination in Shaanxi—Beijing Gas Transmission Pipeline**, *OGST*, 2000, 19(9) 14~17.

The hazard of lightning to pipeline and CP stations in Shaanxi—Beijing gas transmission pipeline is introduced. In the paper, a countermeasure against the lightning hazard has been taken, that is, the protection device, consisting of a first lightning eliminating device, called lightning surge eliminating arrester, and second drainage channel, called PN-joint positive potential drop drainage channel, has been used along the pipeline. The actual operating result has shown that this protection device can effectively prevent the pipeline and CP devices from lightning hazard.

Subject Headings: gas transmission pipeline, cathodic protection, lightning hazard, protection measure