

文章编号: 1000-8241(2013)05-0553-05

油气管道场站雷电与静电的防护措施

李磊¹ 邓勇² 杨菊梅¹ 肖斌²

1. 甘肃省气象局, 甘肃兰州 730020; 2. 中国石油西南管道兰州输油气分公司, 甘肃兰州 730020

摘要: 油气管道的雷电和静电防御是一项复杂的系统工作, 包括直击雷防护、电涌防护、接地及等电位防护等措施。以兰郑长输油管道(甘肃段)场站防雷防静电工作为例, 应用综合防雷与防静电理论, 采用模拟雷电流等效电路的方法, 通过详细的电路分析与数值计算, 对隐患产生的后果进行评估, 为油气管道场站的接地、等电位、屏蔽、电涌与静电防护提供了全面的整改方案。采用该整改方案近3年来, 兰郑长输油管道(甘肃段)无任何雷电与静电事故发生, 完善的安全措施最大限度地避免了事故的发生, 为管道的安全运营提供了可靠的技术保障。(表3, 图2, 参10)

关键词: 油气管道; 场站; 雷电; 静电; 防护

中图分类号: TE88

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2013.05.022

Countermeasures against lightning and static electricity in stations of oil and gas pipelines

Li Lei¹, Deng Yong², Yang Jumei¹, Xiao Bin²

1. Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou, Gansu, 730020

2. Lanzhou Oil and Gas Transmission Sub-company, PetroChina Southwest Pipeline Company, Lanzhou, Gansu, 730020

Abstract: Protection from lightning and static electricity of oil and gas pipeline is a complex system, the measures taken include direct lightning protection, surge protection, grounding and equipotential protection and something like that. Lightning and static electricity protection for the stations of oil pipeline in Lanzhou-Zhengzhou-Changsha Pipeline (the pipeline sections in Gansu Province) is taken as a research case, comprehensive theory of lightning and static electricity protection and simulation of equivalent circuits for lightning current are used and detailed circuit analysis and numerical calculation are introduced to assess the results caused by hazards, aiming at providing a comprehensive rectification program to the grounding, equipotential, shielding, power surge and electrostatic protection of the stations of oil and gas pipelines. The rectification program has been used for three years, during which the Lanzhou-Zhengzhou-Changsha Pipeline (Gansu pipeline section) has had no lightning or static electricity accidents, for which complete safety measures minimize accidents to provide a reliable technical guarantee to the safe operation of pipelines. (3 Tables, 2 Figures, 10 References)

Key words: oil and gas pipelines, station, lightning, static electricity, protection

油气管道的场站和阀室属于易燃易爆的重点场所, 存在可燃气体泄漏的可能, 一旦雷电与静电在装置上产生火花, 易发生火灾和爆炸事故。同时, 由于管道设施的自动化程度越来越高, 弱电设施的防护也更加迫切。以兰州—郑州—长沙输油管道(甘肃段)为例, 按照相关技术要求对设备的防雷防静电状况进行检查与检测, 及时发现其存在的安全隐患, 提出了经济合理的整改措施, 有效避免或减轻了雷电及静电事故造成的损失。

1 管道概况

兰郑长输油管道设施自动化程度高, 管理模式先进, 是目前我国最长的一条成品油管道工程。其中, 兰郑长输油管道(甘肃段)场站4座, 阀室14座, 干线长377 km, 设计压力6.3~14 MPa、管径508~660 mm, 支线管道设计压力和管径与干线相比较小; 该管段地处黄土高原、黄土丘陵区、秦岭等复杂地形, 经过多处保护区、矿区等, 需穿越多条大中型河流和山体隧道,

并数次跨越铁路、公路。场站内大量布设可燃气体报警仪、温度传感器、压力传感器、电动阀控制单元等自动化装置,这些装置容易产生感应雷,造成火花放电或雷电流窜入站控室损坏设备等事故。

通过对兰郑长输油管道(甘肃段)2009—2011年的防雷防静电检测,得到易发生雷电与静电的隐患点(表1):①管道投产初期相对管道正常运行后,事故隐患多出50%;同时,直击雷防护装置及接地网事故隐患相对较多。②在常规检测时,发现的事故隐患点大多在电气装置与金属穿线管接地处,这是设备维护维修时所造成。③在管道运行中,隐患数量逐年降低,但每年隐患发生的部位均不同。

表1 2009—2011年兰郑长管道雷电静电事故隐患点分布情况

年份	隐患点/个						
	电力装置	穿线管	接地排	接闪器	屋面装置	SPD安装	接地网
2009	74	66	23	12	8	6	2
2010	42	59	9	0	1	2	1
2011	21	17	2	0	3	1	0

2 雷电事故原因

由于油气管道所经路线较长,场站和阀室的地理位置大多处于空旷偏僻地带,且场站内的金属装置较多,因此遭受雷击的概率相对较大;油气管道输送介质均为易燃易爆物质,生产区绝大部分是Ⅰ级爆炸危险区,少数属于Ⅱ级爆炸危险区,一旦发生雷电、静电事故,将会带来巨大的经济损失,且恢复生产难度高^[1];场站和阀室的自动化水平越来越高,如传感系统、自动化管理控制系统、监控系统等,在雷电环境中,当电气线路的金属导体上产生的过电压超过设备耐受水平时,就会造成终端设备损坏;管道介质流速较高、压力较大,介质与管壁之间摩擦极易产生静电。

3 防护措施

3.1 直击雷防护

3.1.1 建筑物

在油气管道场站办公区内,建筑物是直击雷防护的主要对象之一,其接闪器一般为接闪带。根据有关规范要求,接闪带宜使用圆钢,其最小直径为8 mm,但为了预留富裕量,直径一般为10 mm或12 mm;圆钢

之间的焊接使用搭接焊,其工艺要求为搭接长度不小于圆钢直径的6倍(双面施焊)或12倍(单面施焊)^[2],且焊接面应与地面垂直,以防焊接部位积聚雨水而发生腐蚀。接闪带的拐角部位应呈规则的圆弧状,因为在其接闪时,拐角处会产生很强的机械力,若呈直角形状,就会有崩断的危险。接闪带的引下线一般是建筑物立柱主筋,其焊接要求同接闪带。根据兰郑长输油管道(甘肃段)2009—2011年的检测资料,接闪带的常见隐患有断裂、锈蚀、焊接不规范、引下线偏少等,其中焊接长度达不到规范要求、焊接不规范等较为突出,超过直击雷隐患的80%。

3.1.2 突出屋面的金属装置

突出屋面的金属烟囱、天线、通风管等金属设施应以最短的距离与接闪带连接,连接材料应当能承受雷电冲击电流,宜采用4 mm×40 mm的扁钢^[3],焊接应符合规范要求且质量可靠。当金属物不能承载接闪电流时,应为其单独设立接闪杆,二者均需与接地装置做电气连通,连接材质的截面积应满足泄流要求。

3.1.3 生产区金属构筑物

高杆灯、放空管、油罐顶防护栏、工艺设备的顶端等装置,实质上是接闪器的不同表现形式。由于设备顶端的壁厚一般超过4 mm,足以承受雷击而不至于被击穿,所以不用单独设立避雷针,但每台设备底端应可靠接地以就近泄流。生产工艺区除了储罐外,多数设备的外表特征极易形成雷电接闪,但无法承载接闪任务,且这些设备上安装有电子仪器,因此应重视其直击雷防护工作。

3.2 电磁感应防护

3.2.1 成因分析

①接闪带的接闪感应。直击雷防护装置上绑扎或在反击距离内布设电气线路是一种容易被忽视的隐患,一旦接闪器接闪,在电气线路上会瞬间产生极高的瞬态感应电压^[4],并向线路两端传递,必然造成两端电子设备受损。②间接接闪感应。即使建筑物不接闪,当临近建筑物发生雷击接闪或雷云较低时,也同样会通过闪电感应或静电感应的形式在电气线路上产生过电压。在屋檐或室外其他部位架空布设的电气线路,也存在此类隐患。

3.2.2 防护措施

3.2.2.1 屏蔽和接地

使油气管道场站的电气线路处于金属穿线管的保

护之下,可有效降低感应过电压(图1):当电气线路在金属穿线管的保护之下时,线路所处的雷电防护分区从LPZ0区(非直击雷防护区)变为LPZ1区(第一屏蔽防护区),管壁由于自身被感应会在内侧产生与外侧极性相反的电磁场,从而相互抵消,使线路中的感应电流得到衰减。

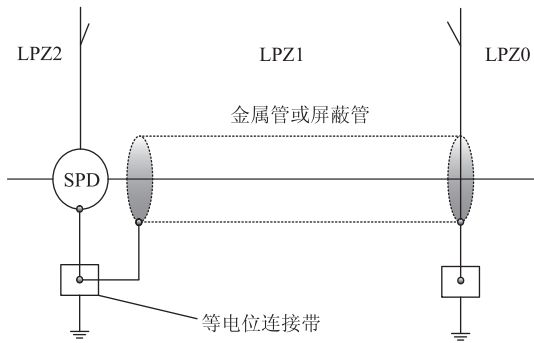


图1 电气线路电磁感应防护示意图

衡量屏蔽效果的好坏一般采用屏蔽效能,即电磁场中同一地点无屏蔽时的电磁场强度与加屏蔽体后的电磁场强度之比:

$$SE=20 \lg \frac{|E_1|}{|E_2|} \quad (1)$$

或者:

$$SE=20 \lg \frac{|H_1|}{|H_2|} \quad (2)$$

式中:SE为屏蔽效能,dB; \overline{E}_1 、 \overline{E}_2 分别为屏蔽前后的电场强度,V/m; \overline{H}_1 、 \overline{H}_2 分别屏蔽前后的磁场强度,A/m。

可采用电磁场测试仪测量 \overline{E} 、 \overline{H} 数值,然后再根据式(1)和式(2)计算,结果表明:金属管接地的屏蔽效能比不接地的屏蔽效能好1倍。在具体施工中,架空线路最有效的保护方式就是屏蔽和接地,且金属管应两端接地,并在入户处加装相应的电涌保护装置,使雷电流进一步得以泄放^[6];同时,线路与接闪器或引下线的距离应超过3m,以防止旁侧闪络。在青海省某输气管道场站就曾发生由于监控线路未屏蔽入户导致雷云在线路上感应出过电压,从而造成击穿监控主机键盘起火事故。

3.2.2.2 等电位连接和接地

油气管道生产区的电气传感设备较多,如温度变送器、压力变送器等,这些电气设备直接与站控室设备通过通信电缆连接^[7]。如果这些传感设备等电位连接状况不良,感应电流会沿着线路串入站控室烧毁设备。因此,应将传感器的接地点分别与穿线管、电缆铠装层和接地排进行等电位连接,连接的多股铜线线径不小

于6mm²,这样不但实现了设备的电气接地,还利用金属穿线管与铠装层对电气线路起到了较好的电磁屏蔽作用^[8]。

3.3 电涌保护器

虽然已经对油气管道场站进行了直击雷和电磁感应防护,但当遭到雷击或遭受雷电电磁感应时,雷电流会窜入电源和弱电系统,导致设备损坏,因此应在设备前端加装电涌保护装置(SPD)。其作用是限制瞬态过电压和分泄电涌电流,以保护后续设备,其选型和安装方法对保护效果的影响较大。

3.3.1 浪涌保护器的选型

电源SPD承担了雷击能量45%的泄流任务,因此其选型要求严格。油气管道场站总配电室SPD为第一级,处于LPZ0区与LPZ1区的交接部位,其放电电流不小于80kA;UPS前端的SPD为第二级,放电电流不小于40kA;用电设备前端为第三级,放电电流不小于20kA^[4]。在高杆灯内安装的SPD往往被设计人员误认为是第三级,因其是用于保护终端用电设备,但高杆灯内的线路处于LPZ0区与LPZ1区的交接部位,此外高杆灯一般位于场站内,是至高点,遭受雷击的概率相对较高,雷电流通过照明设施窜入电源系统的概率和强度也最大。因此,高杆灯内安装的SPD应按照第一级的参数进行选型,即放电电流不小于80kA。由于RTU阀室的年预计雷击次数相对较低,SPD的放电电流不小于20kA即可,但在外电引入情况下,由于存在架空电源线路,雷电流侵入几率增大,放电电流应适当增大。

由于受雷击感应的风险较大,架空引入室内的通信、监控线路在入户处的端口应安装与之传输信号相匹配的SPD。一旦线路上有过电压,SPD可以迅速泄放雷电流,而不至于击毁后续设备。将此类线路穿金属管埋地,并将屏蔽管两端可靠接地,也可以大大削弱感应雷电流的强度。

3.3.2 技术要求及隐患

SPD连接线的规格与长度($h=h_1+h_2$)严重影响对油气管道场站的保护效果(图2a),在泄流过程中,电子设备两端的电压 U_e 为SPD连接线上产生的压降与SPD的残压 U_r 之和:

$$U_e=U_a+U_r+U_b \quad (3)$$

$$U_e=U_r+hL\frac{d_1}{d_1} \quad (4)$$

式中： U_a 为 SPD 相线连接线 (h_1) 上压降，kV； U_b 为 SPD 地线连接线 (h_2) 上的压降，kV； h 为 SPD 连接线路总长度，m； L 为连接线路分布电感， $\mu\text{H}/\text{m}$ ； d_1 为雷电冲击电流波头的变化值，kA； d_t 为雷电流波头时间 (雷电流从 10% 增加到 90% 所需时间的 1.25 倍^[2])，s。

一般来说，连接线的分布电感约为 $1 \mu\text{H}/\text{m}$ ，以 $8/20 \mu\text{s}$ 波形雷电流为例，如果电子设备保护端的耐压为 4 kV，选用 U_p 为 3.6 kV 的 SPD 保护设备。当 SPD 流过的雷电流峰值为 20 kA (U_r 约为 2 kV)、SPD 连接为 1 m 时， U_e 达到 4.5 kV，超过了电子设备的耐压值；但当连接线的长度为 0.5 m 时， U_e 为 3.25 kV，则可以保护电子设备的安全运行。因此，SPD 两端连接线的长度对其保护性能影响较大：导线的压降随着电气线路长度的加长、分布电感的增加及电流变化率的提高而增大。SPD 连接线的长度宜短、线径宜大，这是由于线路分布电感与导线截面积成反比：

$$L = kN^2h/S \quad (5)$$

式中： k 为磁导率系数； N 为线路圈数； S 为连接线截面积， m^2 。

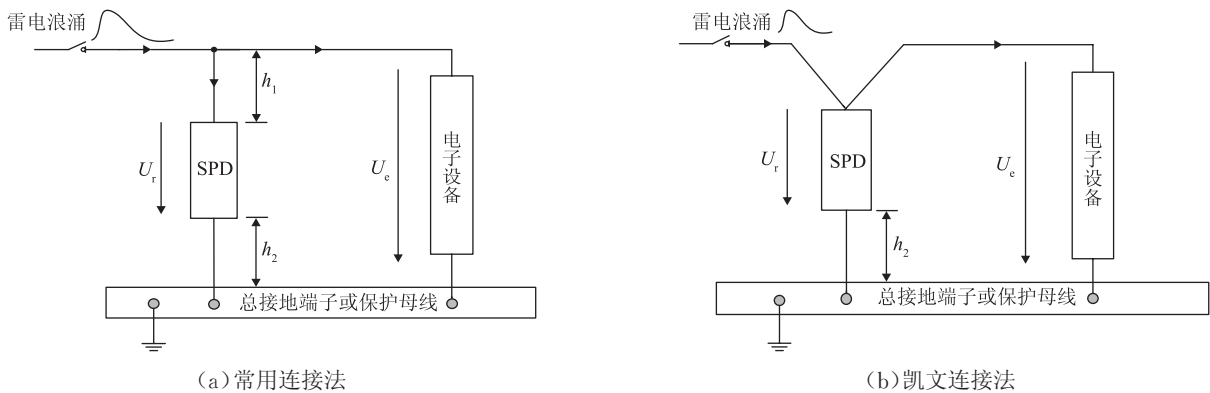


图 2 SPD 连接线的接法示意图

3.4 接地装置

无论是直击雷、电磁感应还是浪涌防护都离不开接地装置，其是过电流最终的泄放区域。油气管道场站和阀室的接地装置为垂直与水平的联合接地系统，其中垂直接地体选用铜包钢、锌包钢材料的较多，其耐腐蚀性和导电性较好；水平接地体将垂直接地体相互连接形成接地网。垂直接地体的间距不小于其长度的 2 倍，埋设深度大于 0.5 m，应埋设在土壤湿度较稳定的土层 (冻土层)，以使地网接地性能不随季节的变化而受到影响，且焊接部位应做良好的防腐处理。由于雷击泄流时可能会对地面上的工作人员造成地电位反击，因此接地装置要避免布设在建筑物的入口或人行

因此，在交变情况下，若将线路螺旋缠绕，分布电感会呈圈数的二次方增大，这样会大大抬高设备两端的瞬态过电压，这是施工过程中常见的安装隐患。因此，各级 SPD 的连接导线应平直，其相线与地线的总长度应小于 0.5 m，线径的最小截面积随着 SPD 级别的不同而变化 (表 2^[4])。

当连接线路总长度 ($h=h_2$ ，其中 $h_1=0$) 不能满足小于 0.5 m 的要求时，可采用降低 SPD 两端电压的方法，即采用凯文接法 (图 2b)。由于 SPD 相线连接线与 SPD 并非串联状态， $h_1=0$ ，故 $U_a=0$ ，使用电设备两端的电压就剩 U_r 与 U_b 的和，加在用电设备端的电压相应降低。但是，这种接法在使用铝排的大型配电柜施工中有一定难度。

表 2 SPD 的连接线最小截面积与电源级别、类型的关系

电源级别	类型	截面积 / mm^2	
		相线	接地端
第一级	开关型或限压型	16	25
第二级	限压型	10	16
第三级	限压型	6	10
第四级	限压型	4	6

道下方，其间的水平间距应不小于 3m ^[4]。由于高杆灯的接闪概率较大，所以其接地装置一定要独立布设，以防止雷电流反串入其他设备，造成一些等电位连接状况不良的设备之间产生火花。

接地装置的电阻与该地域的土壤电阻率成正比，其关系可简化为：

$$R = \frac{\rho}{2\pi a} \quad (6)$$

式中： R 为接地电阻， Ω ； a 为接地体布设系数，取值与其材质、深度、数量等因素相关； ρ 为土壤电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ 。

因此，使用等量的接地体在不同地域的接地电阻不同。在设计油气管道阀室的接地装置时，要根据其

所在区域的土壤电阻率确定接地装置的数量,否则会导致高土壤电阻率地区的阀室接地电阻达不到设计要求,这也是阀室接地系统设计常见的隐患。

接地电阻值是衡量一个接地装置优劣的重要指标,油气管道上常见的接地电阻值一般有4种(表3)。油气管道场站大多为联合接地,其接地电阻应不大于表3中要求的最小值,也就是4 Ω 。但是,避雷针等采用独立接地体的装置,其接地电阻不应大于10 Ω 。

表3 油气管道常见接地电阻的类型与数值要求

接地电阻类型	电阻值/ Ω
防雷	<10
电气	<4
防静电	≥ 100
通信天线	<5

3.5 等电位连接

防雷防静电检测结果显示,油气管道场站等电位连接事故隐患的比例极高,在所有隐患中占90%。等电位连接是防止电磁感应和电位反击的有效措施,即使相邻设备均接地良好,但由于接地线路阻抗的不同,在相等的雷电流下两种设备会产生不同的电位,从而造成击穿放电。

工艺设备的等电位连接是一项重要而又繁琐的工作,其目的是使用金属材料连接相邻的设备,使其电气连通,在一端瞬态电位抬高时,两个设备间的电位差仍为0,从而避免产生火花。油气管道场站金属储油罐的等电位连接十分重要,这是由于油罐产生的油气极易起火,微弱的电火花就会造成火灾事故。在储罐内部,浮船与罐壁的等电位连接尤为重要,浮船需上下活动且具有密封装置,静电在浮船上易聚集,当达到放电临界电压时,就会对罐壁进行放电,从而点燃油气造成火灾;在遭受雷电的情况下,若受到雷击或是感应,罐壁上电位抬升,如果浮船未与罐壁连通或连接不可靠,罐壁电压会击穿与浮船间的缝隙造成火花放电。浮船与罐壁的等电位连接要兼顾雷电和静电要求,连接线采用截面积超过25 mm²的铜芯软绞线,连接点应超过2处^[9],宜对称布设,且连接部位要定期进行紧固和除污。在储罐外部,呼吸阀、阻火器等装置处于相对较高点,若阀门或法兰盘的螺栓少于5根,应使用金属导体对其进行等电位连接,但不同于一般的法兰盘跨接,由于此处的跨接线可能作为直击雷引下线,所以线径应按照引下线的规格要求选取。其他电气设备、金

属穿线管等均需与罐壁做可靠的等电位连接,如果电气设备未处于灌顶护栏的防护之下,应做避雷短针对其进行直击雷防护。

3.6 静电泄放装置

3.6.1 人体静电的防护

为了泄放身体所携带的电荷,在进入油气管道场站生产场所前,应触摸接地金属部件对其进行静电泄放。生产区的入口处均要求布设人体静电泄放装置,其接地电阻小于100 Ω ^[10]。某些油气管道场站直接将静电泄放球的立柱固定于需安装的位置,并未设立接地装置。根据接地电阻检测数据,在土壤较湿润地区,可以满足静电泄放要求。但我国北方一般少雨干旱,尤其在秋冬季节,气候干燥,土壤含水量很少,其接地电阻超过100 Ω 。因此,应单独设立一根垂直接地体与静电泄放装置相连。如果直接静电泄放装置与周围的基础地网距离较近,首选的方法是将二者相连,不仅静电泄放效果较好,且十分经济。

3.6.2 装卸区域的静电防护

由于油品装卸时的高速流动会产生较多静电,且车辆运行本身也会产生静电,因此静电泄放夹是油品装卸区域的必备装置。若单独设立静电泄放接地装置,静电泄放地网与基础地网之间的接地电阻将会存在差异,这会使车辆和输油管道之间产生电位差,进而生成静电火花。最好的处理措施是将静电夹的连接端直接接至管道法兰或阀门的螺栓,另一端再与装卸油品的车辆可靠连接,这样车辆和管道均处于同一电位水平,在装卸油品时可避免电位差,使用能检测接地状况的静电接地仪器效果更理想。

4 结束语

油气管道是一个地域跨度大、电子设备与精密仪器仪表密集的综合系统,只有将其所处地域的地理环境、气象条件与综合的防雷防静电防护技术相结合才能确保其安全运行。针对油气管道场站存在的常见隐患,提出了直击雷、感应雷与静电等防护方法。但雷电的表现形式复杂多变,无法完全真实地监测每次雷击或者静电,只有充分考虑设备自身特点,结合管道及其场站所处地理、气候因素,灵活应用防护措施才可达到较为理想的效果。

(下转第565页)

Yuan Longchun, et al: Feasibility analysis on the development of electromagnetic heater for pipelining crude oil

源利用效率。因此,发展该技术将会带来更大的经济效益和社会效益。

电磁加热技术是一项成熟的技术,将电磁加热技术应用在原油加热炉上,不存在不可克服的技术难题。且电磁加热炉的运行成本在一定条件下低于原油加热炉的运行成本。电磁加热炉系统更简单,附属系统设备更少,操作更方便,自动化程度更高,不会对环境产生污染,对原油加热技术而言是一场技术革新,在生产运行上是可行的。

参考文献:

- [1] 钱家麟. 管式加热炉[M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2005: 352, 524-527.
- [2] 区志航. 长江电力研究报告[J]. 高科技与产业化, 2011(7): 33-36.

[3] 张海澜. 厨房器具与设备[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007: 247.

[4] 陈信义. 大学物理教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 213.

(收稿日期: 2012-07-03; 编辑: 杜娟)

作者简介: 袁龙春, 工程师, 1979年生, 2002年毕业于四川大学机械设计与制造专业, 现主要从事加热炉的设计研发、制造、安装和维护工作。

电话: 15950669223; Email: yuanlch@126.com

Yuan Longchun, engineer, born in 1979, graduated from Sichuan University, mechanical design and manufacturing, in 2002, engaged in the design, development, manufacture, installation and maintenance of heaters.

Tel: 15950669223, Email: yuanlch@126.com

(上接第 557 页)

参考文献:

- [1] 欧清礼. 石化生产装置防雷与电涌防护的探讨[J]. 石油化工自动化, 2005(4): 1-3.
- [2] 林维勇, 黄友根, 焦兴学, 等. GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [3] 刘全桢, 刘宝全, 孙立富, 等. GB 15599-2009 石油与石油设施雷电安全规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [4] 王德言, 李雪佩, 宏育同, 等. GB 50343-2004 建筑物电子信息系统防雷技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [5] 叶向东. 石油化工仪表系统防雷工程设计(I)[J]. 石油化工自动化, 2008(2): 1-9.
- [6] 叶向东. 石油化工仪表系统防雷工程设计(II)[J]. 石油化工自动化, 2008(3): 6-10.
- [7] 王祥, 王朝晖. 石油化工行业电力电子系统防雷要点[J]. 石油化工自动化, 2008(3): 89-90.
- [8] 苗济国. 石油化工厂控制室防雷设计的探讨[J]. 石油化工自动化, 2002(3): 5-6.

[9] 孙金伯. 关于储罐防雷标准的探讨[J]. 中国设备工程, 2008(3): 17-18.

[10] 王学良, 刘学春, 黄克俭, 等. QX/T 110-2009 爆炸和火灾危险环境防雷装置检测技术规范[S]. 北京: 气象出版社, 2009.

(收稿日期: 2012-04-16; 编辑: 李在蓉)

作者简介: 李磊, 工程师, 1979年生, 2003年毕业于兰州理工大学计算机专业, 现主要从事防雷防静电技术研究工作。

电话: 13893428204; Email: lileimq@163.com

Li Lei, engineer, born in 1979, graduated from Lanzhou University, computer, in 2003, engaged in the research of protection technology against lightning and static electricity.

Tel: 13893428204, Email: lileimq@163.com