天然气长输管道与高压送电线路设施靠近段的安全措施分析

施纪 卫[1], 冯 琦[2], 杨 英[2], 顾伯通[2]

(1. 陕西省天然气公司, 陕西 西安 710016; 2. 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 介绍了靖西天然气输气管道在建设过程中与高压送电线路设施的矛盾问题, 分析了高压线对输气管道的影响机理和后果, 根据现有的有关规定和实际经验提出了安全保护措施。

关键词: 天然气管道; 高压电线; 安全措施; 分析

文章编号: 1006-5539(2006)04-0043-04 文献标识码: B

靖西天然气输气管道于 1997 年建成投产, 承担着向西安及沿线地区供气的重要任务。2003 年根据下游用户发展需求开始建设靖西天然气管道二线工程, 原靖西一线与二线基本处于同一走廊带, 但是在延安地区, 一线所处的川道内由于地形狭窄、河流弯曲、高速公路、铁路、油气管道、地方发展等基础设施日益增多, 二线在部分地段为躲避由于地形狭窄带来的矛盾, 选择了走山梁的线路方案, 但是又带来了管道与高压电线的相对位置之间的矛盾。由于山梁位置有限, 高压送电线路处于山梁正中, 从而造成管道与高压送电线路设施局部间距太小。

关于交流高压送电线路(以下简称送电线路)对输油(气)等地下金属绝缘管道(以下简称管道)的影响问题, 国内有关部门虽作了一些工作, 也有一些规定, 但现有规范、规定是否合理仍需进一步论证。随着电力和油(气)工业的发展, 长距离、大容量输电、输油(气)工程不断出现, 送电线路与管道在同一走廊通过的情况时有发生。长距离、大口径输油(气)管道一般都直接埋地、管壁有绝缘防腐层、有阴极保护, 当送电线路与地下金属管道交叉或平行接近时, 对管道可能产生危险影响和腐蚀影响; 当管道距电力线路较近时可能危及送电线路的安全运行。因此应充分认识其危害性, 根据其影响机理, 制定出相应的防护对策, 对双方设施的安全运行均有好处。

1 影响途径和可能后果

送电线路影响来源于送电线路的电压、电流所建立的电场和磁场和入地电流产生的地电位升。当送电线路与管道交叉或平行接近时, 通过电压产生的电影响(容性耦合)、电流产生的磁影响(感性耦合)和入地电流产生的地电位升影响(阻性耦合), 在管道上将产生一定的感应电压和感应电流, 可能引起危害运行维护人员的生命安全、损坏设备、击穿绝缘层、产生电弧烧伤管壁、引起火灾等危险, 或引起绝缘层剥离、干扰腐蚀控制设备正常工作、当交流电流密度≥50A/m^2 引起腐蚀电流直接加速腐蚀等影响。

1.1 持续感应影响

送电线路正常运行情况下, 由于送电线路各导线对管道几何不对称和不平衡电流的存在, 通过感性耦合, 将在与之平行接近的管道上产生持续的感应电压。当感应电压超过一定值时, 对管道可能产生如下影响:

a. 对运行维护或其他接近人员发生电击危险, 危害生命安全。

b. 对没有阴极保护等腐蚀控制设备的管道, 因管道绝缘层剥离或通过绝缘漏点产生腐蚀电流, 直

收稿日期: 2005-08-15

作者简介: 施纪卫(1970-), 女, 陕西西安人, 高级工程师, 学士, 主要从事天然气长输技术管理工作。电话: (029)86156008。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

接加剧管道的腐蚀。

c. 对设有阴极保护等腐蚀控制设备的管道，通过影响腐蚀控制设备的正常工作，间接加剧管道的腐蚀。

1.2 瞬时感应影响

送电线路发生接地故障情况下，导线中的故障电流通过感性耦合，将在与之平行接近的管道上感应产生幅值较高、作用时间短的感应电压，当感应电压超过一定值时，可能产生危害运行维护人员的生命安全、损坏设备、击穿绝缘、产生电弧烧伤管壁、引起火灾、甚至对送电线路自身造成破坏等影响。

送电线路遭受雷击情况下，入地电流产生电弧或通过阻性耦合产生地电位升，对与之靠近的管道可能产生上述影响。

管道施工过程中，若施工机具与送电线路特别接近，存在直接触电的危险。

2 现有的相关规定

2.1 对危险影响的有关规程和资料

目前，我国现行的涉及到送电线路对管道影响内容的规定主要有 SY 0007－1999《钢质管道及储罐腐蚀控制工程设计规范》第 6.2.3 条要求不应小于表 1 的规定[1]。

表 1 交流电力系统的各种接地装置与埋地管道间的水平距离表

电压等级/kV	接地形式		
	临时接地/m	铁塔或电杆接地/m	电站、变电所接地/m
10	0.5	1.0	5.0
35	1.0	3.0	10.0
110	3.0	5.0	15.0
220	5.0	10.0	30.0

注：不考虑两线一地输电线路。

管道电位允许值，见表 2。

表 2 管道电位允许值表

序号	管道电位允许值/V	影响类型
1	65	持续
2	1 000	瞬时

根据管道电位允许值提出的平行走线的极限长度，见表 3。

表 3 平行走线的极限长度表

平行间距/m	极限长度/km
10	0.42
100	0.9
500	3.3
900	10
1 000	20
＞1 000	无限制

当平行长度超过极限长度或交叉角小于 55° 时，需协商采取加装接地极等保护措施将管道电位降至 65 V 或 1 000 V 以下。

2.2 对腐蚀影响的有关规程

SY 0007－1999《钢质管道及储罐腐蚀控制工程设计规范》第 6.2.1 条对交流电干扰腐蚀程度，提出可采用管道交流电干扰电位按表 4 指标进行判定[1]。

表 4 土壤腐蚀程度判定表

土壤类别	严重性程度/级别		
	弱	中	强
	判断指标/V		
碱性土壤	＜10	10～20	＞20
中性土壤	＜8	8～15	＞15
酸性土壤	＜6	6～10	＞10

当腐蚀程度达到“中”甚至“强”时，需采取排流保护或其它措施，使腐蚀程度降至“弱”。

送电线路正常运行时，对设有阴极保护等腐蚀控制设备的管道，管道上的感应电压不应影响腐蚀控制设备的正常工作。

3 防护对策

3.1 管道局部改线方案

考虑到铁塔建设在先，从管道及电力线路双方的长期安全运行考虑，尽量保持管道与 330 kV 高压线路保持 15 m 的距离；与 110 kV 高压线路保持 5 m 的距离。

3.2 改变高压铁塔接地体方案

管线由于受地形的限制，当不能满足安全距离时，应与电力主管部门商议改变接地体方案，可以通过改变高压输电线路铁塔接地装置位置及敷设方向；降低杆塔接地电阻；杆塔接地装置与管道之间埋

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

设屏蔽线等措施以降低送电线路故障和遭受雷击情况下的入地电流产生电弧或通过阻性耦合产生地电位升。

a. 当送电线路与管道交叉或平行接近,管道及附属设备至 110 kV 杆塔接地装置边缘的水平间距＜5 m,至 330 kV 杆塔接地装置边缘＜15 m 时(见图 1~4),可采取以下措施:

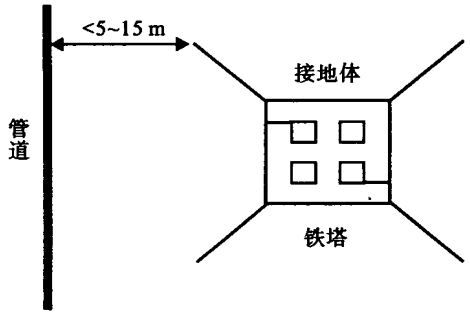

图 1　现场接地形式与管道位置关系

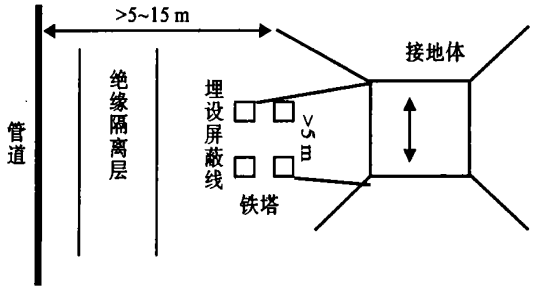

图 2　将接地装置引至远离管道的地方敷设

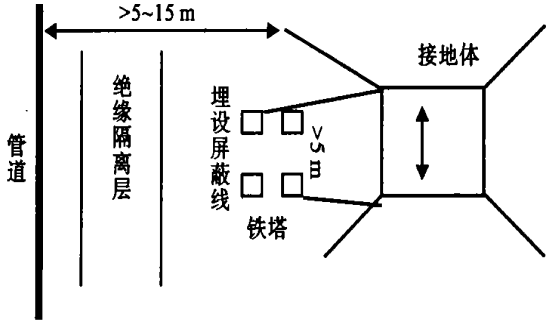

图 3　改变杆塔接地装置的敷设形式和方向(方式一)

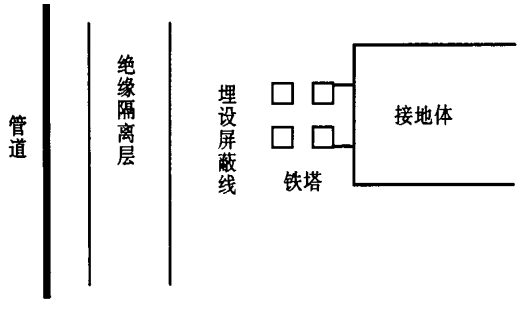

图 4　改变杆塔接地装置的敷设形式和方向(方式二)

a)对新建送电线路可调整其路径或杆塔位置,地线改为良导体;对新建地埋管道也可修改路径;

b)调整送电线路杆塔接地装置的敷设方向或改变接地装置形式或将接地装置引至远离管道的地方;

c)与高压电力线路杆塔接地装置接近时,对其产生的电位为:

$$U = IR\,r/(r+s) \qquad (1)$$

式中　R——接地电阻,Ω;

U——距接地装置等效半径 s 处的电位,V;

I——通过接地装置的电流,A;

r——接地装置的等效半径,m;

s——距接地装置等效半径的距离,m。

根据公式(1)可以看出,当入地电流不变时,将管道附近杆塔接地电阻降低,可以降低地电位升,理论上讲电阻为零,电位也就为零,但这是不可能的,现实中我们可以将杆塔接地电阻作到很低,变电站甚至可以作为 0.5 Ω,但接地电阻越低,其费用就越高,但接地电阻越低后,故障时该处的入地电流会增大,电位会升高,这是一个相互抵消的过程。我们知道接地装置上的电位最高,距离接地体越远,地电位就越低,只要距管道处的电位不超过其耐压值 1 000 V(加强绝缘后＞1 000 V)就行,因此增大接地体与管道间的距离才是解决问题最根本的途径,但接地电阻设计多少合适,这与送电线路遭受雷击时的雷电流大小和送电线路单相接地故障时杆塔的入地电流大小有关,前者无法测定只能估计,后者可以通过网孔法逐基杆塔计算出来。因此,管道附近的杆塔接地电阻满足规程要求值即可,同时将与本基铁塔临近的两基铁塔的接地体通过增加接地长度,接地电阻降低到 5 Ω以下,让电力线故障电流和雷电流尽量从远离管道的杆塔接地体入地,以增加其分流效果;另外管道方面应通过安装绝缘隔离层提高其耐压值,安装屏蔽网或采取排流等措施以降低管道处的地电位。

b. 当送电线路与管道平行接近时,送电线路边导线至管道及附属设备的水平间距在开阔地区不应小于 1.0 倍杆塔高,在拥挤地段不应小于 10 m;至管道的通风接管或放空接管的水平间距不应小于 30 m。不能满足要求时,可采取以下措施:

a)对新建送电线路可调整其路径或杆塔位置,地线改为良导体;对新建地埋管道也可修改路径;

b)改变管道通风接管、放空接管位置。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

c. 当送电线路与管道平行接近，管道上的持续感应电压超过 60 V 容许值时，可采取以下措施：

a)对新建送电线路可调整其路径或杆塔位置，地线改为良导体；对新建地埋管道也可修改路径；

b)在没有强制电流阴极保护的管道上加设接地极或将管道分段绝缘。

d. 当送电线路与管道平行接近，管道上的瞬时感应电压超过 1 000 V 容许值时，可采取以下措施：

a)对新建送电线路可调整其路径或杆塔位置，地线改为良导体；对新建地埋管道也可修改路径；

b)限制送电线路单相接地短路电流，投资较大；

c)提高电力线继电保护性能，缩短送电线路接地故障时间，110 kV 电力线故障切断时间小于 0.5 s，330 kV 电力线故障切断时间小于 0.3 s，投资较大；

d)在没有强制电流阴极保护的管道上加设接地极或将管道分段绝缘。

e. 当送电线路对无腐蚀控制设备管道的腐蚀程度达“中”甚至“强”时，可采取以下措施：

a)对新建送电线路可调整其路径或杆塔位置，地线改为良导体；对新建地埋管道也可修改路径；

b)加强管道绝缘防腐性能；

c)在管道上加设排流保护、阴极保护或其它保护措施。

f. 当送电线路影响管道的阴极保护等腐蚀控制设备的正常工作时，可采取以下措施：

a)对新建送电线路可调整其路径或杆塔位置，地线改为良导体；对新建地埋管道也可修改路径；

b)调整管道腐蚀控制设备的工作参数；

c)调整管道腐蚀控制设备的保护范围；

d)加强管道绝缘防腐性能。

3.3 绝缘中间层隔离加金属屏蔽网的方案

如管道与调整后的水平接地体之间的距离仍不能满足其安全距离要求时，还须采取在接地体与管道间安装环氧玻璃布层压布板，进行绝缘中间层隔离；并用角钢与扁钢组成的金属屏蔽网环形包围接地体进行电疏导及屏蔽的方案。此方案具体措施如下：

a. 中间层绝缘隔离层安装。范围在与接地体距离小于 15 m 的管段＋2 m 延伸的管段。采用规格为 1 220×2 470 mm、厚度≥35 mm 的环氧玻璃布层压布板，贴近管道安装。环氧玻璃布层压布板应作竖式错叠安装，搭接约 50 mm；上部应高出管顶 600 mm。

b. 外层屏蔽网安装。采用 1 根 L 50×6 mm、长 3 m 的角钢垂直打入地下，角钢以距接地体大于 4.0 m 的间距将接地体环形包围，并采用 2 根间隔 1 m 的 25×6 mm 的扁钢做连接线在水平方向将各角钢焊接连通好，组成一个环形包围接地体的外层屏蔽网，屏蔽网应围至接地体与管道的距离大于安全距离处。屏蔽网两端的角钢应密集布置，各用间隔为约 0.3 m 的 4 根角钢构成，以其有比中间段更低的电阻，将电流疏导到远处；中间的角钢间隔不宜大于 1 m。

c. 对未施工的该段管道须采用混凝土套管，利用其套管内的绝缘支撑块和环形空间内的空气起进一步的绝缘作用，套管两段应密封。

d. 该段管道宜采用三层 PE 加强级防腐层，并在顶入套管前仔细检漏，并对漏点做好修补。

e. 在设置有环氧玻璃布层压布板的地面上方应竖危险警示标志桩及避免耕作损坏到环氧板。

3.4 临时接地措施

为保证施工中施工人员的人身安全，与靠近段相连管道的施工中，应按SY/T 0032－2000《埋地钢质管道交流排流保护技术标准》的要求[2]，在管道上采取临时接地措施。具体规定为：长度为 300 mm 与大地绝缘的管道两段应单独设临时接地极；长度超过 300 mm 与大地绝缘的管道，应从一端开始，每隔 300 mm 设 1 个单独的临时接地极。临时接地极的接地电阻为 30 Ω。另外现场施工人员应有绝缘靴、手套等安全措施，并避免在雷雨天作业，保证人身安全。临时接地措施在下沟后回填前，必须拆除其与管道的连接，并修补好管道防腐层的破损点，以避免阴极保护电流的流失，造成阴极保护系统失效。

3.5 平行段的排流措施

对管道与铁塔平行靠近的管段除采取上述保护措施外，还应采取排流保护措施，即通过管线每公里处的测试桩均安装一处长度大于 20 m 的带状锌阳极，这样，既可对管道上感应的高压起排流作用，将管道上感应的高压泄放掉，使管道交流电压低于 65 V；又可对该段起阴极保护作用，防止腐蚀的发生。

（下转第 56 页）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（上接第 46 页）

4 存在的主要问题

送电线路正常运行和接地故障时，通过感性耦合在管道上引起的感应电压与很多因素有关，除送电线路自身电气特性、几何尺寸、感应电流（导线中的正常工作电流、不平衡电流或故障电流）、相互间距、平行接近长度、交叉角、大地电导率等因素外，还有管道的直径和壁厚、管材的电阻率和磁导率、单位长度的对地电阻和电容等管道的电气特征参数。而管道的电气参数不仅与管材、防腐层、结构、附属设施、施工工艺和水平、运行维护水平、运行时间等因素有关，还与随地段和时间而变化的环境状况因素有很大关系。这样，管道的电气特征参数不能通过计算来较准确地确定，而只能进行实测。然而，实测管道参数不但工作量大、不易实施，况且得到的只是实测的那一段管道、那一时刻的参数。所以，按一定假设条件计算出的感应电压值与实测值相比，出入较大，即是说，在当前的工程设计中，要较准确地预估管道上通过感性耦合引起的感应电压是很困难的，由于前述容许标准是为解决工程中遇到的实际问题而提出来的，除部分引用现有的行业标准外，大部分系根据工程设计经验和参照相关资料而提出，因此，有待进一步开展全面、深入的工作。

参考文献：

[1] SY 0007-1999，钢质管道及储罐腐蚀控制工程设计规范[S]．

[2] SY/T 0032-2000，埋地钢质管道交流排流保护技术标准[S]．