

天然气处理厂接地材质选择探讨

甘立勇 沈泽明 江兵 刘海禄

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘要:合理选择接地材质是保障接地系统可靠性的关键因素,为了优化接地材质的选择,对比分析了钢、铜两种材质的接地性能以及对其它埋地金属管线的影响。在理论分析和实际案例的基础上,提出天然气处理厂内变电站接地系统采用铜接地、其它区域采用钢接地的优化措施。该方法能有效提高接地系统的可靠性,降低变电站接地电阻值,削弱接地材质对埋地金属管线的影响,具有良好的稳定性、经济性,可以广泛应用于天然气处理厂接地系统设计中。

关键词:天然气处理厂;腐蚀;接地;铜接地体;镀锌扁钢

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2014.05.022

0 前言

天然气处理厂接地系统是用于防雷防静电接地、工作接地和保护接地的重要设施,是设备稳定运行以及设备和人员安全的根本保障。接地系统长期安全稳定运行的关键在于选择品质优良的接地材料和各接地体可靠的连接,目前国内外使用的接地材质主要有两种:以美国为代表的部分西方国家主要采用铜接地体;包括我国在内的大多数国家主要采用钢接地体。近年来,国内电力行业大型变电站逐步引入了铜接地系统并取得了良好的运行效果^[1-2]。因此,深入探讨并合理改进天然气处理厂接地系统十分必要。

1 接地材质性能分析

1.1 导电性能及热稳定性

铜和钢导电性能及热稳定参数见表1。

表1 铜与钢的导电及热稳定参数

材质	20℃时电阻率/ ($\Omega \cdot \text{mm}$)	熔点/℃	短路时最高允许温度/℃
铜	17.24×10^{-6}	1 083	450
钢	138×10^{-6}	1 510	400

从表1可看出,在截面相同时,铜电导率是钢电导率

的8倍,铜在短路时最高允许温度比钢高,铜的热稳定性比钢好。

1.2 耐腐蚀性

自然界中,大多数金属是以化合态即离子状态存在的,通过炼制从离子状态转变为原子状态。但金属有回归自然状态(离子状态)的本性,金属从原子变为离子的过程就是金属的腐蚀^[3]。天然气处理厂接地系统中,腐蚀会使接地网无法正常工作,并可引发严重事故。例如电气故障时金属设备外部可能带电,威胁工作人员人身安全;或者在出现雷电流时若不能通过接地网及时泻流,强电流有可能导致设备故障,影响生产运行^[4]。金属腐蚀典型图见图1。

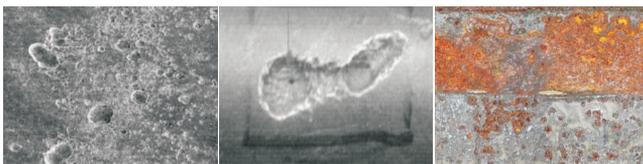


图1 金属腐蚀典型图

接地体在土壤里发生的腐蚀主要是化学腐蚀及电化学腐蚀,腐蚀速度受材料固有特性、土壤电阻率、含水量、含氧量、酸碱度、电解质、杂散电流等因素影响,同种金属对不同的介质有不同的腐蚀性能。

收稿日期:2014-01-16

基金项目:中国石油天然气集团公司重点工程资助项目(S 2010-14 E)

作者简介:甘立勇(1986-),男,四川达州人,工程师,硕士,主要从事电气设计工作。

由于钢的自然电位较铜低,而钢的化学性质比铜更活泼,因此在碱性环境中钢的腐蚀速度比铜快。为减少钢的腐蚀,目前通用的办法是在钢表面镀上电位更低的锌,虽然对延缓钢腐蚀有一定作用,但钢连接部位经过高温电弧焊接后镀锌层将被破坏,仍无法解决钢在土壤中快速“点腐蚀”的问题。国内部分大型站场的钢接地系统在碱性环境中运行 10 a 左右便会出现较严重的腐蚀现象,表现为接地连接点断裂、部分设备引下线未与主网相连、接地扁钢严重锈穿等。腐蚀后的钢接地系统电阻值部分高达几十欧姆,远超过设计值^[5]。

在自身固有抗腐蚀特性上,铜接地网在碱性土壤中不存在上述腐蚀现象,其表面附着性极强的氧化物(铜绿)会阻断铜内部腐蚀,在碱性环境中铜的腐蚀速度约为钢的 10%~20%^[6]。

武汉大学曾于 2001 年 10 月将刷有导电防腐涂层的铁片、镀锌铁片、紫铜片三种试件串联,置于 10% 浓度的硫酸中,用 6 V 直流恒定电压进行了电解腐蚀试验。在通电 3 h 后,三者电解腐蚀率分别为:刷有导电防腐涂层的铁片 34 g/m²·h、镀锌铁片 575 g/m²·h、紫铜片 571 g/m²·h。由此可得出,在酸性环境中,铜与镀锌铁片的防腐性能相近。

通过以上分析,在碱性土壤中铜固有的耐腐蚀性能优于钢,而在酸性土壤中铜与镀锌铁片的耐腐蚀性能相近。

2 对埋地金属管线的影响

阴极保护防腐(牺牲阳极保护)是现行的防腐技术中一项重要的措施,原理为:任何金属都有其固有的电极电势 E_q ,采用电极电势较低的金属作为牺牲阳极,通过失去自身电子,形成腐蚀电流,以达到保护电极电势高的金属不被氧化的目的^[7]。牺牲阳极保护原理见图 2。

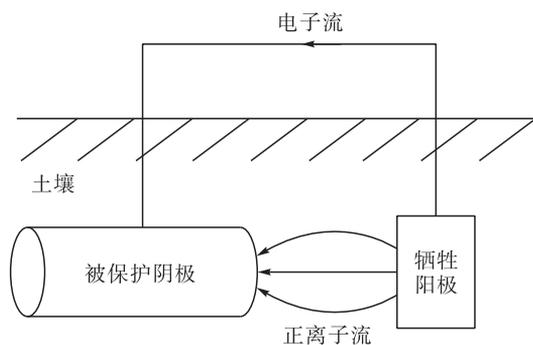


图 2 牺牲阳极保护示意图

钢的电极电势 $E_q = -0.447$ V, 铜的电极电势 $E_q = 0.342$ V。若采用铜接地体,在其附近存在金属管线时,一旦形成电气通路,由于金属管线电势更低,作为牺牲阳极失去电子,而铜接地网由于固有的高电势得到电子而被保护,见图 2。若在这种工况下长期运行,金属管线将被严重腐蚀,对管道的安全运行构成严重威胁。即使

站场设有强制电流阴极保护装置,采用外加电流保护金属管线,由于铜接地网的存在,也将大幅提高阴极保护电流,增加设备负担,见图 3。文献^[8]详细描述了国内某站场采用铜接地网后对金属埋地管线及阴极保护设备带来的困扰,并在整改方案中将所有铜接地网更换为钢接地网。

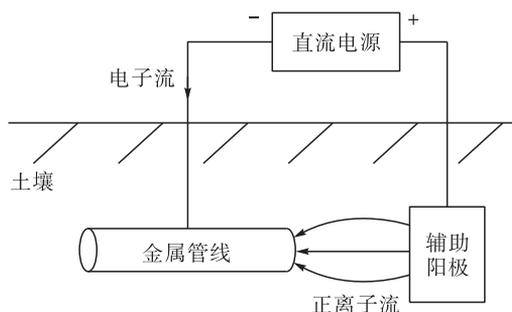


图 3 金属管线强制阴极电流保护示意图

钢接地网与金属管线电势基本一致,不会发生明显的电化学反应^[9-10]。而目前接地材料中普遍使用的热镀锌钢材,由于锌的电极电势 $E_q = -0.762$ V,比铁更低,对就近的金属管线能起到阴极保护作用。

3 天然气处理厂接地材质选择

为便于选择天然气处理厂接地系统材料,根据以上内容,将钢、铜两种材质的性能进行对比,见表 2。

表 2 钢与铜的接地性能及经济性对比

材质	导电性	耐腐蚀性(碱性土壤中)	耐腐蚀性(酸性土壤中)	对埋地金属管线的影 响	热稳定系数	经济性 / (元·t ⁻¹)
钢	一般	一般	一般	无	70	4 400
铜	导电率为钢的 8 倍	腐蚀速 度为钢 的 20%	与钢 相近	严重影响 金属埋地 管线	210	43 200

从表 2 可看出,铜的各接地性能均优于钢,但由于铜固有电极电势高,会加速埋地管线的腐蚀。天然气处理厂装置区中存在大量埋地金属管线,国外一些工程在使用铜接地网的同时,站场内采用大量阴极保护装置及增设绝缘接头等措施以降低铜对埋地金属管线的影响,但附加设备及工程量都大幅提高,且铜的价格远高于钢。

大量使用铜接地网时还需考虑材质对环境的影响,全世界对水资源中的铜含量均有严格控制,对钢材中主要的铁元素则没有规定。因此,天然气处理厂接地系统不适合大规模使用铜材。

变电站作为整个天然气处理厂的电力中枢,当出现短路故障时,将产生高达数万安培的短路电流经接地线路流入大地。根据电力行业的相关规定^[11],变电站接地

系统必须满足热稳定校验:

$$S_g \geq \frac{I_g}{c} \sqrt{t_e}$$

式中: S_g 为接地线的最小截面, mm^2 ; I_g 为流过接地线的短路电流稳定值, A, 根据系统 5~10 a 发展规划, 按系统最大运行方式确定; c 为接地材料的热稳定系数, 根据材料的种类、性能及最高允许温度和短路前接地引下线的初始温度确定; t_e 为短路的等效持续时间, s。

以上参数中变电站的 I_g 、 t_e 为确定值, 接地材料热稳定系数 $c_{\text{铜}}=70$, $c_{\text{钢}}=210$, 为满足热稳定校验, 变电站接地系统采用钢材时截面至少为铜材的 3 倍。同时考虑到电阻率的影响, 在满足接地系统电阻值时钢接地系统的规模更远高于铜接地系统。

另一方面, 由于建筑物内钢筋的对地电位与铜相近, 对周边铜接地网几乎不产生影响, 将加速钢接地网的腐蚀。GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》中明确指出: 在敷设与土壤中的接地体连接到混凝土基础内起基础接地体作用的钢筋或钢材情况下, 土壤中的接地体宜采用铜或镀铜或不锈钢导体。

通过以上分析, 天然气处理厂接地系统宜主选钢材; 而变电站的接地系统从长期运行的可靠性及安全性考虑, 铜接地系统有明显优势。

4 应用案例

在某气田 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 商品气产能建设工程中, 天然气处理厂的接地系统成功地将钢、铜两种接地材质结合在了一起。该工程建设地区地理环境以沙漠为主, 部分地表肉眼能见白色盐碱, 土壤为强碱性, 腐蚀性较强, 接地材质的选择直接关系到接地系统的安全运行。

天然气处理厂是该工程的主体部分, 规模庞大, 占地面积约 0.7 km^2 , 厂内设置了 1 座 220 kV 总变电站, 8 座 10 kV 分变电站。经计算, 厂区内 220 kV 总变电站接地装置水平接地干线采用 $\Phi 18 \text{ mm}$ 铜包钢圆线, 垂直接地采用 $\Phi 25 \text{ mm}$ 、长度 3 m 的铜包钢接地体。10 kV 分变电站水平接地干线采用 120 mm^2 铜绞线, 垂直接地采用 3 m 铜制防腐等离子接地体。水平接地线埋深 0.8 m, 接地极顶端高出接地干线 0.1 m, 接地体联接处采用放热熔接方式。除变电站外其余场所水平接地干线采用 $50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 镀锌扁钢, 在地下焊接处增刷沥青以起到保护作用, 垂直接地体采用 $L 50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$ 的镀锌角钢。铜与钢两种接地网通过变电站四周设置的接地检测井连接为一个整体, 见图 4。

在接地检测井内, 铜材与钢材采用接线端子及螺栓与接地端子板相连, 接地检测井见图 5。由于两种接地网

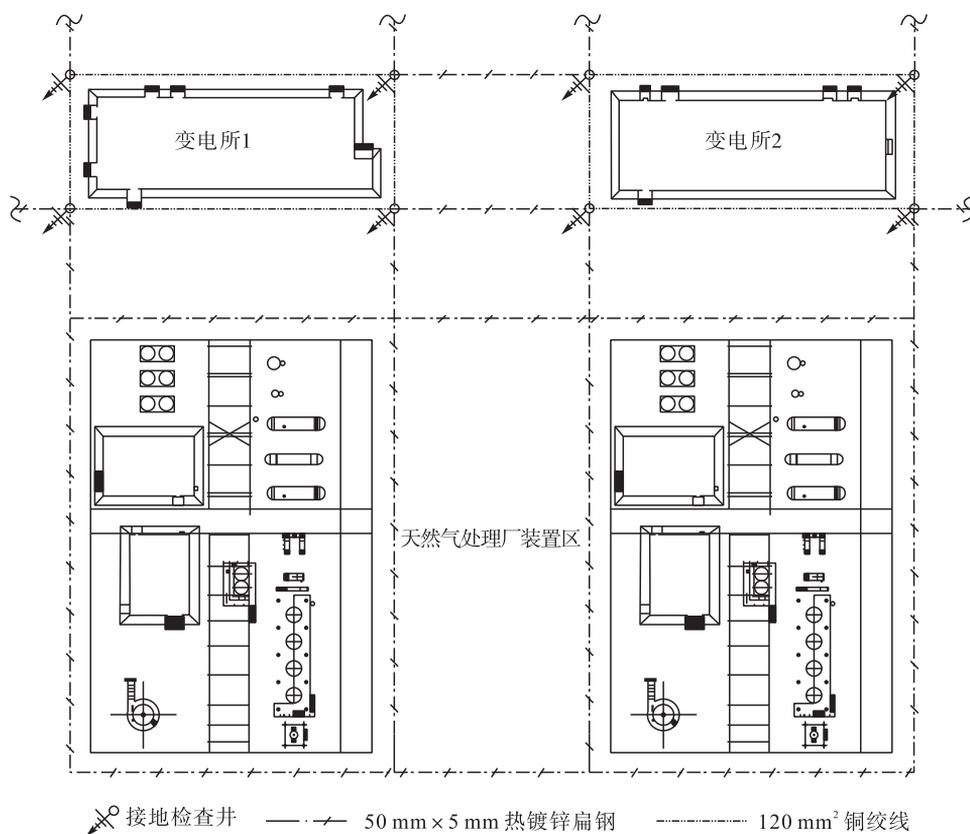


图 4 处理厂接地系统示意图

连接点位于地面以上,不存在电解质,能最大程度消除不同材质间的腐蚀现象;另一方面,施工在接地线安装完成后,通过对接地端子板采取增刷黄油,用塑料胶带扎紧等防护措施,增强其抗腐蚀性。



图5 接地检测井

该工程中通过钢、铜两种接地材质的合理使用,避免了接地网埋地金属管线腐蚀,提高了电力中枢变电站的接地可靠性,对整个天然气处理厂的长期安全运行具有重要意义。

5 结论

a) 在碱性环境中,铜的接地性能及耐腐蚀性均优于钢,酸性环境中二者耐腐蚀性相近。

b) 铜的固有电极电势比钢更高,将加速附近埋地金属管线腐蚀,且价格远高于钢材。

c) 天然气处理厂中装置区存在大量埋地金属管线,不宜使用铜接地系统。而变电站规模较小,周围埋地金属管线较少,且对接地的可靠性要求较高,更适合使用铜接地系统。

参考文献:

- [1] 卫银忠,宁玉宝.铜接地网在变电所中的应用[J].华东电力,2005,33(6):65-68.
Wei Yinzong, Ning Yubao. Application of Copper Grounding Network in Substation [J]. East China Electric Power, 2005,33(6): 65-68.
- [2] 邓华,郑曲直.昆明供电局220kV普吉变电站接地网改造[J].云南电力技术,2004,32(1):45-47.
Deng Hua, Zheng Quzhi. Retrofit of 220kV Ji-pu Substation Grounding Network in Kunming Power Supply Bureau [J]. Yunnan Electric Power, 2004,32(1): 45-47.
- [3] 杨道武,朱志平,周琼花.电化学与电力设备的腐蚀与防护[M].北京:中国电力出版社,2004.
Yang Daowu, Zhu Zhiping, Zhou Qionghua. Corrosion and Protection of Electrochemical and Electrical Equipment [M]. Beijing: China Electric Power Press. 2004.
- [4] 徐重力,李勇,王小强,等.500kV杭东变铜接地网的施工[J].浙江电力,2000,19(2):64-65.
Xu Zhongli, Li Yong, Wang Xiaoqiang, et al. Construction of the Copper Ground Netting for 500 kV Hangdong Transformer Substation [J]. Zhejiang Electric Power, 2000, 19(2):64-65.
- [5] 陈岳定,陈超杰,郑东润,等.上海地区变电站接地网改造[J].华东电力,2004,32(3):36-38.
Chen Yueding, Chen Chaojie, Zheng Dongrun, et al. Retrofit of Substation Grounding Network in Shanghai Area [J]. East China Electric Power, 2004,32(3): 36-38.
- [6] 刘兴华.变电站铜材接地网的应用效果分析[J].供用电,2008,25(2):34-36.
Liu Xinghua. Analysis on Application Effect of Substation Grounding Network with Copper Material [J]. Distribution & Utilization, 2008, 25(2): 34-36.
- [7] 胡士信,孟宪级,徐快,等.阴极保护工程手册[M].北京:化学工业出版社,1999.
Hu Shixin, Meng Xianji, Xu Kuai, et al. Cathodic Protection Manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press. 1999.
- [8] 葛艾天,刘权,陈国桥.铜接地系统对输油气站场埋地管道影响[J].天然气与石油,2010,28(2):15-17.
Ge Aitian, Liu Quan, Chen Guoqiao. Influence of Copper Grounding System on Buried Pipeline of Oil and Natural Gas Station [J]. Natural Gas and Oil, 2010,28(2): 15-17.
- [9] 张珂,史国福,宁尚锋,等.钢质套管对埋地管道阴极保护的影响[J].腐蚀与防护,2007,28(11):580-582.
Zhang Ke, Shi Guofu, Ning Shangfeng, et al. Influence of Steel Casing on Cathodic Protection of Buried Pipeline [J]. Corrosion & Protection, 2007,28(11): 580-582.
- [10] 李海坤,谢涛,王颖,等.区域阴极保护实践与分析[J].天然气与石油,2013,31(2):73-75.
Li Haikun, Xie Tao, Wang Ying, et al. Practice and Analysis on Regional Cathodic Protection [J]. Natural Gas and Oil, 2013,31(2):73-75.
- [11] DL/T 621-1997,交流电气装置的接地[S].
DL/T 621-1997, Grounding for AC Electrical Installations [S].