

文章编号:2095—0411(2015)04-0059-04

套管中主管道的腐蚀与防护研究进展

刘 波,杨 燕,王树立,代文杰,冯旻祎,王志锴

(江苏省油气储运技术重点实验室(常州大学),江苏 常州 213016)

摘要:埋地套管中主管道的腐蚀防护一直是管道腐蚀领域研究的热点之一。分析了套管内部主管道发生腐蚀的两种成因,分别对早期使用聚氨酯泡沫、珍珠岩、岩棉和热沥青这 4 种不同填充材料利弊进行叙述,同时对目前普遍应用的牺牲阳极法的优缺点和安装注意事项加以阐述。介绍了利用固体电解质和气相缓蚀剂这两种新型保护方法在减缓主管道腐蚀方面的主要技术和存在的问题,并对以上各种方法进行总结并给出建议。

关键词:埋地套管;腐蚀防护;牺牲阳极;气相缓蚀剂

中图分类号:TE 988

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095—0411.2015.04.011

Review on Corrosion and Protection of Pipeline in Casing

LIU Bo, YANG Yan, WANG Shuli, DAI Wenjie, FENG Minyi, WANG Zhikai

(Jiangsu Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Technology, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

Abstract: Buried cased-pipeline corrosion protection has been one of the focuses in pipeline corrosion field. The paper analyzes two corrosion factors in casings. The advantages and disadvantages for four different filling materials, polyurethane foam, perlite, rock wool and hot asphalt, are explained. The widely used method of sacrificial anode is also explained for its advantages and disadvantages, as well as considerations of its installation. Two new methods, solid electrolyte and volatile corrosion inhibitor, to mitigate corrosion are described in detail. At last, some summaries and recommendations of the above methods are also given.

Key words: buried casing; corrosion protection; sacrificial anode; volatile corrosion inhibitor

目前,国内外解决油气管道腐蚀问题最为经济有效的手段是防腐涂层和阴极保护技术,二者共同构成联合保护体系,而长输管道在阴极保护技术方面最主要的是强制电流法。当埋地管道穿越河流、铁路和公路时,为了避免外界作用对管道的损伤,按照现行的油气管道穿越工程设计规范,穿越铁路或二级及二级以上公路时,应在套管或涵洞内敷设穿越管段^[1]。由于套管对阴保电流及检测信号的屏蔽,使得套管处管道的腐蚀防护与检测技术成为管

道安全运行和完整性评价的最大挑战之一。美国一公司对其国内 2 733 处有套管段的管道进行腐蚀检测,发现有 271 处管道受到腐蚀,而且这些腐蚀点的深度在 20%~80%(管道壁厚)之间^[2]。近几年逐渐兴起的数值模拟技术为阴极保护计算提供了新的途径,杜艳霞^[3]、董亮^[4]、李丹丹^[5]等利用模拟技术对长输和区域管道阴极保护电位有深入的研究,SONG F. M.^[6]等人利用 comsol 分析了套管内管道的电位分布情况。由于套管内管道现场检测困

收稿日期:2015-01-04。

基金项目:江苏省科技厅资助项目(BY2014037-33)。

作者简介:刘波(1991—),男,陕西榆林人,硕士生。通讯联系人:王树立(1957—),E-mail:ws1@cczu.edu.cn

难,所以更多的防护技术在不断地改进,虽然这些技术并非完美适用,但对减缓管道腐蚀、确保安全运行意义重大。

1 腐蚀原因分析

1.1 套管与主管道之间有电解质存在

在套管穿越段施工现场,套管和管道在回拖过程中难免会有部分土壤或水分进入环形空间内,亦或是随着管道运行时间的推移,套管两端密封不严,使得地下水渗入环形空间内^[7]。王川^[8]等认为主管道与套管之间有电解质,能够与阴极保护电源形成一个闭合导电回路,那么阴极保护电流就能对套管内的主管道起到保护作用,套管不会产生屏蔽作用,套管长度对阴极保护效果没有影响。孙慧洁^[9]等认为环形空间内有电解质时,套管可视为土壤介质的一部分,阴极保护电流从套管外壁流入,从套管内壁流出,再从主管道外部流入,主管道将受到很好的阴极保护。SONG F. M.^[10]通过对美国国内套管穿越处的腐蚀原因研究分析,认为套管内电解质的存在对管道阴极保护有一定的辅助作用,可以控制腐蚀的发生。但由于套管内的水位会随着地下水位季节性的波动,这就很容易使得管道涂层在气液交界处发生腐蚀,所以套管内电解质的不稳定存在,增加了管道发生腐蚀的机率。

1.2 套管与主管道之间发生电气连接

套管与管道之间发生电气连接,造成这种原因可能是由于包扎填充物的铁丝连接、牺牲阳极的脱落搭接或是由于绝缘垫片的消解使得管道或套管发生机械变形接触。这些情况打破了原来套管与管道之间绝缘的条件,使管道发生屏蔽效果。朴贞花^[11]等认为在套管内外表面的金属与电解质界面的电压降,造成部分电流损耗,套管内主管道的保护水平将低于套管;张珂^[12]等认为当长输管道与套管短路,中间无导电介质时,套管外部处于阴极保护状态。套管外部阴极保护效果与套管外防腐层的性能、强制电流设备输出电流有关。

2 主要防护措施及优缺点

2.1 早期防护方法

我国在 20 世纪 70 年代对穿越大型河流的管道采取钢质复壁管,中间灌注水泥砂浆的保护方式;在

穿越公路和铁路时采用钢筋混凝土套管保护,但套管两端未采取任何措施。到了 80 年代,对新建的管道穿越段,采用钢质套管来保护管道,中间填充保温材料,用油麻丝封堵套管两端,最初的保温材料为聚氨酯泡沫或珍珠岩保温材料,后期改用为岩棉包扎^[13],考虑到保温和防腐方面,采用套管内灌注热沥青,两端封堵的措施^[14]。早期在套管处的保护方式有许多弊端,后期在整改中发现许多问题:

1) 由于灌注口或油麻丝封堵端密封不严,使得地下水进入套管内,聚氨酯泡沫在水中发生水解,而珍珠岩由于吸水率高也使得管道腐蚀加速。

2) 由于岩棉是用铁丝包扎,到后期会出现套管与管道间搭接的可能,致使搭接处严重腐蚀。

3) 用热沥青灌注的套管,虽然在防腐方面比较好,但有存在部分位置未填充完全的可能,而且后期通过在线检测发现腐蚀部位在填充或未完全填充的地方都会出现,所以其防腐效果并非完美,同时也会使这段管道今后出现无法抽出的现象。

早期在套管内的填充材料由于受到当时技术的限制,四种材料都存在各自的利弊,如何扬长避短,保证施工质量也是施工方面需要加强的地方。

2.2 牺牲阳极法

由于套管段管道的特殊地理位置,使得对该处的管道进行检测、维修和更换变得更加困难。为了解决套管对阴保电流的屏蔽现象,特别是钢质套管更为突出,现行规范建议套管内的管道可采用牺牲阳极进行保护,俞彦英^[15]通过实验模拟验证了套管中安装牺牲阳极对于减缓屏蔽影响、提高保护效果有重要作用。目前使用的的主要是带状阳极和镯式阳极^[16],带状阳极具有一定的柔软性,可以以一定的角度缠绕在管道外表面,并且每段进行一次点焊;镯式阳极适用于套管内狭小的空间,其安装方式是根据管道口径的大小分为整体式镯式阳极和拼装式镯式阳极。

在理想状态下,套管与管道之间用绝缘材料支撑,套管两端全封闭,牺牲阳极运行良好,但根据现场资料表明,随着管道运行时间的推移,这种理想状态往往会被打破。在后期整改中发现:

1) 在对牺牲阳极和管道焊接点的处理时,如果现场坡口没有做好,那么焊接点就成为防护层薄弱的环节,一旦发生腐蚀,那么腐蚀速率就会加快。

2) 由于镯式阳极厚度薄,半径大,而且质量重,质地坚硬,所以为了防止其安装时以及管道重压对

管道涂层完整性的破坏,应在镯式阳极安装时在管道与阳极间加橡胶垫或其它绝缘支撑,这样既可以起到保护防护层的作用又可以增强其绝缘性能。

3)要确保安装牢固,防止脱落,一旦与套管接触,那么套管内表面就相当于防腐层有个很大的漏点而被保护,这样就会造成阳极的急速损耗,达不到预期的寿命;或者使得主管道与套管之间搭接,造成阴保电流的散失,严重时会使套管前后处一定距离的管道达不到阴极保护的标准。

2.3 固体电解质法

按照现行套管与管道之间绝缘的安装方法,由于金属表面没有连续电解质的存在,使得强制电流阴极保护技术无法对处于气相环境等特殊腐蚀环境下的管段进行保护。中科院上海硅酸盐研究所发明了一种快离子导体的固体电解质,该种固体电解质能实现在气相环境下金属的阴极保护,其原理是在被保护金属表面涂一层导电固体电解质 CK,再在 CK 上涂一层 KC 电子导电涂料起辅助阳极作用,把电源的负极接到被保护金属上,正极接通 KC 层,这样就实现了被保护金属的阴极保护效果。万德立^[17]等研制出一种固体电解质涂料,将该涂料均匀地涂在金属管道外表面,就可以为电子提供通路,实现特殊管段的阴极保护。该固体电解质极化池共有三层,底层是被保护金属阴极,中间是固体电解质涂层,上层是面接触式阳极涂层。万家瑰^[18]以固体电解质涂层为导电层,石墨导电涂料为阳极涂层,石墨为参比电极,进行原油储罐底板外侧的气相阴极保护,确定了固体电解质、导电涂料的配方。郭光伟^[19]利用新型合成树脂与固体电解质填料配制成固体电解质涂料,在被保护金属表面构造一层连续的涂膜,提供气相环境中阴极保护电流的离子导电通路,在固体电解质涂膜的外表面涂覆具有电子导电功能的辅助阳极涂层。该技术已在部分油田储罐罐壁和罐顶实现,并且有良好的防腐效果和经济效益,其优点在于造价低廉,施工简单,阴保无死角等,所以在套管处采用该技术有广阔的应用前景。利用固体电解质可以实现特殊环境下金属管线的阴极保护,但同时会存在以下缺点:

1)能否利用传统的外检测手段来检测管道的完整性,以及发现破损点后如何合理规范地修复仍然是个问题。

2)当该管段的阳极层达到使用寿命后,如何更换阳极层也未有明确的规范建议。

3)当特殊管段某些位置如果出现第三方的破坏,比如整圈涂层和阳极剥离后,那么就会影响到该位置以后管线的阴极保护情况。

4)如果单独对套管穿越段实施该技术,那么其经济适用性是否可观合理有待考究。

2.4 气相缓蚀剂法

套管内主管道的腐蚀主要是由于套管内进入水或土壤,其内部可能存在的 3 种腐蚀环境分别是:金属表面被迁移入或最初安装时遗留的水和土壤覆盖的液相与固相界面;在蒸气与液/固界面的加速腐蚀区;暴露于大气环境腐蚀条件下的气相空间。气相缓蚀剂的使用在工业上已超过 30 年^[20]。利用气相缓蚀剂减缓套管内主管道的腐蚀早在 2000 年就有成功的案例,NACE 出版了题为“关于阿拉斯加管道过路套管使用缓蚀剂”的文章^[21],详细介绍了纵贯阿拉斯加输油管线的众多套管处应用气相缓蚀剂的情况。

目前,在套管与管道之间的环形空间内使用气相缓蚀剂主要有两种技术:在环形空间直接使用气相缓蚀剂,并用电阻式腐蚀探针监测防腐效果;在套管环形空间内填充凝胶,同时有大量缓蚀剂成分在其中。

1)在环形空间内直接使用气相缓蚀剂时应确保环形空间内有足够的剂量,这样缓蚀剂分子才能运移穿过土壤、碎屑等到达腐蚀表面,有效控制腐蚀。腐蚀监测探针能够由通气孔下放到输送管表面上,并有屏蔽防护措施可以防止探针敏感元件与输送管的直接接触^[22]。使用通气孔管帽或者特制的双通止回阀来控制空气的进入,保证套管正常的呼吸。

2)在套管与主管道环形空间内填充材料,以实现阴保电流流至管道表面。国内早在 1991 年时,丁友^[23]等人就通过实验,筛选出产品名为 Y-7 型电解质作为试验注入介质,该电解质要求有良好的极化性能、低腐蚀性、无毒无污染、有一定的电阻值、来源充足,经济合理,便于施工等特点,经过一系列的测试和现场试验,认为该电解质满足以上要求,可以很好地解决套管内管道的腐蚀问题。

2011 年美国 Cortec 公司研发出一种商品名为 Corro Logic VpCI 填充剂^[24],该产品既可以控制管道的腐蚀,又可以防止水等杂质进入环形空间,使用时可以在很短时间从水一样的粘度迅速转化为高粘度的凝胶,完全填充套管内的环形空间。同时在该凝胶中添加大剂量高效缓蚀剂,能够保证缓蚀剂分子运

移到涂层被破坏或剥离的腐蚀部位,对其长期实现有效的腐蚀控制。高粘度的凝胶能够防止水分和氧气进入套管内,最重要的是允许阴保电流流至管道表面,以减缓管道的腐蚀。同样把电阻式腐蚀探针安装管道表面,并浸没在填料中,由通风口引出。利用该技术可以随时监测套管穿越处主管道的腐蚀情况,同时也能为管道完整性的检测提供必要的的数据。

利用气相缓蚀剂能够从根本上解决套管内主管道的腐蚀问题,但同时应注意以下问题:①套管内使用气相缓蚀剂,其缓蚀剂的类型、剂量以及使用环境都需合理规范;②由于气相缓蚀剂部分产品有毒性,所有应考虑使用高效低毒和高稳定性的产品;③应定时检测数据,以防由于缓蚀剂的消耗减少而造成管道的腐蚀状况。

3 总结及建议

国内外管道公司正在加强管道完整性管理的实施计划,而由于套管段管道的特殊位置使得人们对其保护方式、监测手段以及风险评估等方面越加重视。利用不同的防护措施减少套管中管道的腐蚀,减少运行中存在的安全隐患。

1)牺牲阳极法是目前国内套管段主管道的主要阴极保护方式,但是当套管内出现故障后,比如管道外表面有凝析水或是套管内进水或土壤后,其保护作用存在缺陷,应在保证套管端口持久密封的同时定时检测管内数据,掌握腐蚀动态及时修复。

2)固体电解质法和气相缓蚀剂法虽然未在国内套管段全面实施应用,但二者在工业方面发展较快,且国外已有部分套管段实施应用,所以二者有广阔的应用前景,应在新建的套管段加以考虑。

3)套管内主管道的腐蚀状况监测是保证管道安全运行的重点之一,由于套管内未安装参比电极,所以利用电阻式探针或其他监测设备实时监测数据可以了解腐蚀动态,以期减少安全事故的发生和不必要的经济损失。

4)以上所述的各种防护措施各有优缺点,如何在施工现场保证施工质量的规范合理以及后期严格管理方面都是现实工作中需要解决的问题。

参考文献:

- [1]刘嵬辉,张怀法,赵炳刚,等. 油气输送管道穿越上程设计规范 GB 50423-2007 [S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [2]SONG F M. Statistical analysis of external corrosion anomaly data of cased pipe segments[C]// Corrosion. Houston, Texas: NACE, 2009.
- [3]蒋卡克,杜艳霞,路民旭,等. 阴极保护数值模拟计算中阳极边界条件选取研究[J].腐蚀科学与防护技术,2013,25(4):287-292.
- [4]董亮,杜艳霞,路民旭,等. 油气输送站场内外阴极保护系统间干扰数值模拟[J].石油学报,2013,34(2):393-400.
- [5]李丹丹,毕武喜,祁惠爽,等. 交叉并行管道阴极保护干扰数值模拟[J].油气储运,2014,33(3):287-291.
- [6]SONG F. Development of cased-pipeline corrosion model and its validation with experimental data[C] // Corrosion. Houston, Texas: NACE, 2014.
- [7]孙雁伯,陈华. 油气管道短距离定向钻套管穿越公路技术[J].管道技术与设备,2010(2):37-39.
- [8]王川. 埋地套管对主管阴保效果的研究[J].油气田地面工程,2007,26(6):11-12.
- [9]孙慧洁,王文化. 套管对埋地燃气管道阴极保护电流屏蔽探讨[J].煤气与热力,2014,34(4):46-48.
- [10]SONG F M. Study investigates damage to cased pipeline segments[J].Oil & Gas Journal, 2009,4(6):56-63.
- [11]朴贞花,袁庚,童高田,等. 埋地套管中钢质燃气管道的腐蚀与防护[J].煤气与热力,2005,25(5):21-23.
- [12]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.
- [13]何悟忠. 套管内主管道的腐蚀问题[J].油气储运,2000,19(1):22-24.
- [14]林冬孝,叶芬,何崇伟,等. 钢套管内金属管道的腐蚀及防护[J].油气储运,2007,26(7):49-50.
- [15]俞彦英. 套管腐蚀及屏蔽影响现场实验及其检测方法[J].管道技术与设备,2006(1):31-34.
- [16]张延丰. 套管穿越处的阴极保护[J].石油化工腐蚀与防护,2000,17(4):45-47.
- [17]万德立,于志华. 以固体电解质实现的阴极保护技术[J].腐蚀与防护,2005,26(5):208-211.
- [18]万家琨. 原油储罐底板外侧阴极保护技术[J].化工机械,2009,36(4):360-362.
- [19]郭光伟. 储罐罐顶气相阴极保护技术的研究[D]. 天津:天津大学,2001.
- [20]TIM W. Corrosion inhibitor solutions for proactive control of corrosion inside cased pipeline crossings[J].Cortec Supplement to M P, 2012,40(6):1-6.
- [21]ERNEST W K. Use of corrosion inhibitors on the Alaska pipeline[J].Cortec Supplement to M P, 2001,40(1):8-15.
- [22]JAMEY H, JERRY D. Corrosion rate monitoring in pipeline casings[C]//Corrosion. Houston, Texas: NACE, 2013.
- [23]丁友,沈允清. 在钢质套管与输油管道环形空间内充填电解质的阴极保护试验[J].油气储运,1991,10(1):58-64.
- [24]LEN J K. Development and application of a new solution for mitigation of carrier pipe corrosion inside cased pipeline crossings [C]//Corrosion. Houston, Texas: NACE, 2014.

(责任编辑:殷丽莉)