●行业综述

3PE管道防腐在国内十年的实践

尹国耀[1]，雷胜利[2]

（1. 中国石油西北管道公司，西安 710021；2. 宝鸡石油钢管有限责任公司，陕西 宝鸡 721008）

摘　要： 介绍了国外3PE防腐技术的开发、应用以及我国3PE防腐设备的引进、吸收、国产化的发展过程和在石油天然气管道建设中的使用情况。阐述了3PE防腐标准的制订过程，埋地钢质管道防腐采用3PE结构的可靠性。在市场经济条件下，对3PE防腐采用的原料质量和要求、现用标准存在的问题、涂敷工艺过程的质量控制等提出了意见和建议。

关键词： 石油天然气管道；3PE防腐技术；防腐材料；性能指标

中图分类号： TE988.2　**文献标识码：** A　**文章编号：** 1001-3938(2007)01-0008-03

1　发展简史

20世纪80年代初，德国曼内斯曼公司推出了该公司研究所与巴斯夫化学工业公司共同研制的3层结构聚烯烃防腐涂层（MAPEC结构），该防腐层集中了熔结环氧粉末（FBE）和挤压聚烯烃涂层的性能优势，克服了两种涂层单独使用时性能上的不足。它首先在欧洲广泛应用，深受用户好评，是使用最多的管线涂层体系。在北美，有关学者指出，熔结环氧涂层在近期内将会继续占有主导地位，但是会逐渐与改进的挤压聚烯烃涂层体系和多层涂层体系（环氧粉末－挤压聚烯烃体系）分享管线防腐市场。

中国石油天然气集团公司于1994年夏决定引进3PE涂敷作业线和涂敷技术，用于即将开工的陕京输气管道和库鄯输油管道的外防腐涂层。同年12月，由中石油基建局、管道局、四川石油设计院、西北管道指挥部专家联合组团赴美国、意大利、土耳其等国考察3PE涂敷作业线。1995年5月，由辽河油建一公司负责招标从加拿大根劳公司引进了我国第一条3PE涂敷作业线，1996年初投入正常生产。1996年意大利索克萨姆公司与哈尔滨塑料六厂合资建设的朔州防腐厂经改造于5月投入正常生产。西北管道指挥部与港商合资从荷兰引进的3PE涂敷作业线，于1996年在宝鸡亚东防腐公司建成投产，至此，3PE防腐在中国得到关注和应用。从涩宁兰管道建设开始，通过招标，加之3PE防腐材料全部国产化，3PE防腐的预制价格大幅下降，从此开始了国内3PE防腐广泛应用的时代，迄今已有20000 km埋地钢管外防腐采用3PE涂层。

目前国内已有数十条3PE涂敷作业线，具有加工ϕ25～ϕ2800 mm钢管3PE涂层的能力，加工方式既有缠绕式，也有圆模包覆式。缠绕式分上缠绕和下缠绕；圆模包覆式中，负压包覆已在一些作业线上使用，较好地解决了焊缝两侧空洞问题。

随着3PE涂层在国内大规模的推广使用，与之配套的补口材料也迅速发展。从采用3PE防腐初期的陕京管道、库鄯管道进口国外辐射交联聚乙烯热收缩带，发展到西气东输工程和陕京二线工程以国产辐射交联3层结构、辐射交联热收缩套带为主，国外进口为辅的局面。以四川西普公司为代表的热收缩材料生产商采用反应型热熔胶的3层结构补口带，除热性能不如3PE外，其它性能已接近3PE。国内著名厂家生产的热收缩带已经解决了固定片滑移问题，一经粘上，热收缩带完全可以与热收缩套一样周向均匀烘烤，不用担心固定片下发生头尾滑移，彻底解决了用热收缩套发生的被盗割、内层热熔胶被污染的问题。

2　标准制定和可靠性研究

2.1　标准制定

中油工程技术研究院在引进3PE涂敷技术

万方数据

初期,于1995年4月参照DIN30670—1991和NFA49—710(1988年3月版)编制了中国第一个3PE涂敷施工验收规范Q/BT003—1995,用于陕京管道、库鄯管道建设。同年升级为行业标准SY/T4013—1995,经过几年工程建设的经验总结与实践,2001年改版为SY/T0413—2002,并于2002年8月1日起实施。

标准制定之初,根据中国的实际情况,聚乙烯原料以高密度聚乙烯为主,维卡软化点定为不小于110℃;外防腐层的厚度按以低、中密度聚乙烯为主的德国标准DIN30670—1991来确定。极大地提高了3PE防腐层的抗冲击强度,保证了陕京管道和库鄯管道的施工质量,SY/T0413—2002又将3PE防腐层的剥离强度、抗冲击的指标大幅度提高,并明确规定了聚乙烯专用料中的碳黑含量,保证了3PE防腐层的机械强度和耐候性能,并加大了补口剥离强度抽测频次,为保证管道外防腐涂层的质量做出了贡献。

2.2 可靠性研究

针对采用3PE涂层在国内发生的争论,中油工程技术研究院受北京华油天然气有限公司委托,完成了《陕京输气管道外防腐3层结构聚乙烯涂层安全评价研究》。该项研究包括从国外文献收集到北京华油天然气有限公司2001~2003年进行的管线外防腐层开挖检查和不开挖检查的结果分析,以及陕京管道未用完露天堆放在华北石油钢管厂2年和6年的3PE防腐管性能检测,得出如下结论:

(1)目前国内外对防腐层应用效果评价很好,对其使用中产生缺陷的报道很少。报道的主要缺陷有漏点、剥离、阴极剥离、阴极保护屏蔽、剥离防腐层膜下腐蚀等,而且大部分有关缺陷的报道还停留在理论推测阶段,如资料中提到阴极保护屏蔽的问题,到目前还没有关于防腐层实际运行中出现阴极保护屏蔽的实例报道。经过多年的实践表明,随着使用年限的增加,出现缺陷最少的涂层系统是FBE/挤压聚乙烯3层结构防腐系统。

(2)通过对欧洲聚乙烯防腐层30年应用史的回顾,虽然理论上剥离防腐层下会发生腐蚀或应力腐蚀开裂,但目前还没有发生剥离防腐层下出现膜下腐蚀或应力开裂的案例。在德国曼内斯曼研究所,曾经进行了长期的防腐层实验室试验,以模拟防腐层实际应用效果。腐蚀试验环境有土壤、水,试验主要检查应力腐蚀开裂问题,其试验方法是把有缺陷的聚乙烯防腐层钢管置于腐蚀条件和应力条件下,腐蚀环境为含有$NaHCO_3$的沙土环境,温度70℃,管地电位为-430~-680 mV,钢管表面以不同方式预处理,所有钢管均带压循环。试验结束,防腐层缺陷周围或多或少都有剥离,但剥离区未发现腐蚀。表面无氧化皮的钢管未出现应力开裂;表面有氧化皮的钢管出现了开裂,裂纹最大深度0.2 mm,可能是由应力腐蚀造成。由此得出结论,彻底的表面处理是防止应力开裂的有效手段。

(3)陕京管道2003年开挖763 m长管段,3PE防腐层共有破损点4个。由破损点的缺陷形式可以看出,防腐层的破损均是由硬物划伤所致。对3PE直管和冷弯管3个探坑检查,共检测17处剥离强度,其中5处剥离强度值低于70 N/cm,最小剥离强度30 N/cm,其余部位最小剥离强度120 N/cm,最大剥离强度200 N/cm。产生原因为陕京管道是国内首次采用3PE涂敷技术,涂敷商的涂敷水平有限,对工艺过程的控制能力相对较差,可能导致个别管道的涂敷工艺设置不当造成防腐层粘结力差。防腐层剥离强度低只是个别部位,而且只要防腐层无破损,也不会造成管道腐蚀。

(4)1999年和2003年对华北石油钢管厂露天存放的陕京管道剩余防腐管进行了抽测,其防腐层的性能基本没有下降,尤其是华龙公司采用齐鲁聚乙烯生产的防腐管,存放6年后各项指标仍符合现行标准SY/T0413—2002规定,说明3PE防腐层确实具有优良的耐久性和抗老化性能。

综合调研情况和陕京管道的检测结果,3PE防腐层的主要缺陷应是施工过程中的机械损伤。

3 尚需解决的问题

3.1 热煨弯管防腐

第一批采用3PE外防腐层的陕京管道和库鄯管道,热煨弯管的外防腐涂层分别采用进口TEK-RAP冷缠胶带和进口3M公司液体环氧外缠中央制塑聚丙烯增强纤维胶带保护两种方式,以后的工程有采用热收缩套虾米搭接、单层FBE外缠胶带保护等多种形式的防腐方式,但综合性

万方数据

能都达不到3PE的防腐水平,造价却高了许多。热煨弯管究竟采用何种方式防腐,已成为设计、施工、运行管理者急需解决的一个问题,如果这个问题不彻底解决,热煨弯管将成为3PE外防腐涂层系统的瓶颈。

3.2 环氧粉末质量有待提高

自2001年起,因招标引发的价格战导致环氧粉末售价偏离正常水平,其直接反映结果是:①3PE涂敷生产线的上粉率下降到85%以下;②单层FBE涂层的上粉率下降,涂层漏点多、易受损伤,此问题已出现在国内某重点工程中。对于3PE防腐,目前尚未发现问题,几年之后是否会出现粘结力不足的问题,还难以预料,但牺牲质量来换取价格优势是不可取的。

3.3 聚乙烯专用料

聚乙烯专用料的总体质量是好的,目前用户要求提高硬度(比如西气东输工程和陕京二线工程,将压痕硬度指标分别从不大于0.2 mm和0.3 mm提高到不大于0.1 mm和0.2 mm)和减少运输、施工环节中产生的外伤。从西气东输飞行检查的结果看,一些厂家的聚乙烯挥发物含量没有很好控制,造成涂敷过程中气泡较多,当气泡发生在管端时,就形成小翘边,此次陕京二线发现的翘边管就有气泡因素。

3.4 严格涂敷工艺、把好质量关

国内各防腐厂抛丸处理后只注意除锈效果和锚纹深度,对清洁后的钢管粉尘仅满足于吹扫,对钢管表面残存的微尘既不重视又不检验,粉尘附着过多,将严重影响环氧粉末对钢管的长期附着力。引进3PE涂敷技术初期,由于涂敷经验不足,当年陕京管道翘边现象严重,后经摸索,找出翘边主要原因是内接头耗热量大,导致管端温度太低而造成的。陕京二线发生的34根翘边管中,有几根就是因涂敷厂取消内接头,两根管端头相互错位,压辊没有实现周向全压实所致;为便于端头处理,管端包纸无可非议,但陕京二线出现的34根翘边管中多数为包纸不当造成的缺陷,有的是包纸宽度超过预留头长度,有的是包纸时化学粘剂滴在管面上,有的是操作工的手汗造成管面局部污染所致。从全长850 km的陕京二线看,3PE防腐管的涂敷质量是好的,但34根防腐管出现翘边现象也引起了业主的高度重视,两次组织专家到现场逐根对翘边防腐管进行鉴别,花去大量人力物力,对此各防腐厂必须引起高度重视。

3.5 进一步完善标准

SY/T0413—2002标准的基本框架来源于德国标准DIN3067—1991,国外标准对原材料的性能基本上不做详细要求,但对处于转型期的中国来讲,信誉问题还没有取得根本的好转,对原材料提出更详细又便于检验的项目显得十分重要,建议标准中应调整以下几项指标:

(1)胶层厚度上下限。按SY/T0413—2002标准中表2.0.2的规定为170~250 μm,对于圆模包覆作业线,这一厚度值没有问题;对缠绕作业线,这一厚度范围就无法保证了。缠绕作业线挤出的是薄膜片材,其厚度若必须大于170 μm,则搭边部分肯定超过250 μm。如果要满足目前行业标准要求,胶层挤出时,片材的厚度不应大于60 μm,采用多层搭接才能满足行标要求,否则胶层厚度就不能保证为170~250 μm。因此,胶层厚度的上下限值至少应相差一倍。

(2)共聚胶的名称与指标。目前我国3PE防腐用胶实际为接枝胶,共聚胶实际上是3PE防腐第一代胶粘剂,它是聚乙烯与丙烯酸酐接枝的产物,所以应该称为接枝胶更为恰当;目前行业标准SY/T0413—2002中,共聚胶的指标只有4项,不能全面反映胶的工艺性能,至少应增加拉伸强度和断裂伸长率两项指标,以确保胶的加工性能。

(3)聚乙烯热老化性能指标。SY/T0413—2002中聚乙烯耐热老化性能需做100天或200天试验。在生产过程中要抽样检查聚乙烯性能时,这项实验周期太长,无操作性可言,能否采用热氧化诱导期代替值得研究。如果能改用氧化诱导期代替传统的热老化性能测试,将极大地缩短抽样检验的时间。同样耐环境应力开裂F50改为F0是否可以缩短检验周期也应探索。

4 结 论

10年来,在我国防腐界科研、设计、涂敷、原料生产单位的共同努力下,实现了3PE防腐原料、涂敷设备全部国产化。并且涂敷钢管已出口欧洲、亚洲和非洲一些国家,近年来也开始了3PE原料的生产。3PE涂层以其优异的性价比为越来

万方数据

●行业综述

高性能输送管线钢

王仪康[1]，潘家华[2]，杨 柯[1]，单以银[1]
（1. 中国科学院金属研究所，沈阳 110016；2. 中国石油天然气管道局，河北 廊坊 065000）

摘 要：鉴于管道工业将面临建设输送原油、成品油、粉煤浆、天然气等多种形式管线的高潮，对输送管线用钢发展前沿问题，如根据应变设计（strain design）原则在地质状况不稳定地区或深海建设管线用高抗变形管线钢；建设输送粉煤浆管线用抗冲蚀（anti-erosion）管线钢；建设长距离输送天然气管线用X100/X120级管线钢；能够大幅度提高厚壁管线钢管环焊热影响区韧性的含氧化钛质点管线钢；用于X100/X120级管线钢的新型高强度焊接材料以及防止高压输气管线发展延性断裂等问题做了综合论述。

关键词：高变形性能管线钢；浆体输送管线钢；X100/X120级管线钢；高强度管线钢焊接材料；延性断裂

中图分类号：TG113.2 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-3938(2007)01-0011-06

0 前 言

2004年，我国对石油的总需求量已经达到2.9×10^8 t，需求量位居世界第二位。对石油产品需求的急剧增长已经成为制约我国经济发展的瓶颈。如何能够通过管道经济有效地输送天然气和石油（原油和成品油）成为亟待解决的问题。预计在“十一五”规划期间，我国油气输送管道工业面临着敷设数万千米西气东输、西油东送、国内成品油管线网、海上油气田水下输送油气管线等多种形式管线的建设任务，对管线钢的总需求量将达到千万吨以上，对其性能的要求也势必是多样化的。此外，输送粉煤浆等浆体管线也将有所发展。为此，本文综合论述现代发展高性能输送原油和天然气管线钢的状况和对其性能的要求，供我国冶金、制管和管道行业参考。

1 输油（流体）管线用钢

现代高性能管线用钢可以按输送流体（原油、成品油、粉煤浆等）和气体（天然气、二氧化碳和长距离超高压天然气和流体混输）分为两大类。其中，输油管线的管径一般不超过900 mm，管材强度级别要求根据管径大小选X52～X65钢级，对这种用途的管线钢的性能要求主要集中在保证焊接（焊管埋弧焊和施工现场环焊）性能方面。为了保证其焊接性能，使用在低碳－锰钢（$w(C)\leq0.1\%$，$w(Mn)\leq1.5\%$）的基础上加有微量铌（$w(Nb)\leq0.05\%$）和钛（$w(Ti)\leq0.015\%$）的管线钢。对这种管线钢的显微基体选择，一般使用珠光体＋铁素体基体（见图1）。但是在水下或酸性环境敷设管线，国外也有选用针状铁素体/贝氏体的先例。

越多的部门接受，不但中石油广泛采用，中海油、城镇燃气管道也在迅速推广使用，为中国的埋地钢质管道外防腐技术赶上世界先进水平做出了重要贡献。但是，还有许多工作要做，需科研、设计、涂敷、原料生产各单位继续努力，进一步提高3PE防腐的质量，为埋地钢质管道长期安全运行提供可靠的保障。

作者简介：尹国耀（1941－），男，河北泊头市人，教授级高级工程师，国家有突出贡献专家，长期从事石油管道设计，施工运营管理工作。

收稿日期：2006－02－05

万方数据

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

3PE管道防腐在国内十年的实践

作者： 尹国耀， 雷胜利， YIN Guo-yao， LEI Sheng-li
作者单位： 尹国耀,YIN Guo-yao(中国石油西北管道公司,西安,710021)， 雷胜利,LEI Sheng-li(宝鸡石油钢管有限责任公司,陕西,宝鸡,721008)
刊名： 焊管 ISTIC
英文刊名： WELDED PIPE AND TUBE
年，卷(期)： 2007，30(1)
引用次数： 1次

相似文献(1条)

1. 会议论文 刘吉良 3PE防腐管生产中常见的质量问题 2006

3PE防腐技术具有防腐性能好,抗机械强度高等优点,3PE防腐管生产中常见的质量问题有管端翘边、气泡、水击点、花皮、杂质、等现象.影响翘边的主要原因是环氧粉末、生产工艺、钢管的弯曲度、防腐管的堆放等.为保证防腐管的质量应不定期地对原材料进行抽检,生产中调整好工艺参数.

引证文献(1条)

1. 贾建波.冯俊忠.原兵发.张小宁 工程防腐涂层设计与涂料选择[期刊论文]-现代涂料与涂装 2007(11)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hg200701002.aspx

下载时间：2010年3月27日