

文章编号: 1006-5539(2004)04-0022-03

埋地钢质管道外防腐涂层技术的应用比较

杜 森¹, 梁 波², 文士豪², 栗 静²

(1. 四川天驰油气工程建设有限责任公司, 四川 成都 610017;
2. 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司, 四川 成都 610051)

摘 要: 采用外防腐涂层技术可以保证长输管道在预期的使用寿命内不产生由于外腐蚀而引起的功能损失。埋地钢管的外防腐可采用沥青防腐层、煤焦油瓷漆防腐层、聚乙烯胶粘带防腐层、熔结环氧粉末防腐层、二层结构聚乙烯防腐层、三层结构聚烯烃防腐层等技术。各种防腐涂层根据生产使用的要求在材料和结构上都有新的发展, 呈现改性和复合相结合的趋势。合理地选用防腐涂层应根据可靠性、施工工艺和经济性等因素进行综合考虑。

关键词: 管道; 防腐; 沥青; 环氧; 聚乙烯

中图分类号: TE988. 2 **文献标识码:** A

0 引言

对于输送油气的长输管道和油气田集输管网, 管道外防腐层技术的采用和施工质量直接关系到管道的安全运行和使用寿命。由于管道穿越地区往往地形复杂, 土壤性质千差万别, 对于管网需要采取不同的外防腐措施。控制金属腐蚀的技术大致可分为四类: 镀层与涂层、阴极保护、缓蚀剂、电偶腐蚀控制。在油气管网建设中, 使用最多的是外涂层技术与阴极保护技术。防腐涂层必须满足以下几点要求: a) 与金属有良好的粘结性; b) 电绝缘性能好; c) 防水, 化学稳定性高; d) 耐热, 有较高的机械强度和韧性, 可避免在施工过程中碰撞而损坏; e) 结构紧密, 完整无孔。

随着管道建设向沙漠、沼泽、冻土和海洋等苛刻环境的延伸, 要求防腐层能够满足更加苛刻的环境和工艺条件, 并且有更长的使用年限。近年来, 国内外在管道防腐层材料和技术方面都取得了快速进步, 新材料、新工艺和新设备不断出现。目前用于埋地管道外防腐的材料和技术主要有: 沥青防腐层、煤焦油瓷漆防腐层、聚乙烯胶粘带防腐层、熔结环氧粉末防腐层、二层结构聚乙烯防腐层、三层结构聚烯烃

防腐层技术等。本文就普遍使用的管道外涂层防腐技术及其应用现状作一分析比较。

1 涂层防腐技术

1.1 沥青涂层

石油沥青的主要成分为烷烃类物质, 在管道防腐的应用中具有悠久的历史。它吸水率很小, 几乎不溶于水, 对酸、碱、盐都有一定的抗蚀能力; 即使形成很薄的膜也能防止水份透过; 沥青在液态时有较好的附着力和流平性, 一旦冷却后就固化成膜, 由液态变固态其体积收缩涂膜致密, 不产生溶剂挥发形成的气孔; 成膜几乎不依靠氧化、聚合等化学反应, 不存在固化剂、稀释剂添加不当, 化学反应不完全而影响涂层性能的弊病。因此, 石油沥青防腐层埋在土壤中比较稳定, 屏蔽性及抗阴极剥离强度也较好。石油沥青防腐层的主要缺点是涂层机械强度低, 不耐植物根刺, 热稳定性差。目前在油气大口径管道中几乎都不再使用石油沥青进行防腐。

聚氨酯沥青是 20 世纪 90 年代末发展较快的埋地管线外用涂料之一^[1]。美国、加拿大和中东等地区在很多工程中都采用了这种涂料。该涂料的优点是既可在正常情况下施工, 也可在环境温度为 0℃

收稿日期: 2003-12-08; 修回日期: 2004-01-09

作者简介: 杜 森(1973-), 女, 重庆人, 助理工程师, 西南石油学院检测专业毕业, 主要从事工程项目管理工作。电话: (028) 86011741。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

左右顺利施工。它不含溶剂,利于环保,一次成膜厚,施工效率高,涂层坚韧,表面光洁,附着力优良,耐磨性强,在耐微生物腐蚀和抗植物根茎方面也效果较好,不过这种外防腐工艺需要有较高的施工技巧和专用设备。

1.2 煤焦油瓷漆(CTE)

自 19 世纪末以来,煤焦油瓷漆(CTE)保护层被广泛地应用于防护地下和海底管线的腐蚀。早期应用的 CTE 涂层由煤焦油和矿物填充剂组成,主要成分为芳烃类物质,化学性质较稳定。煤焦油瓷漆具有粘结性好、吸水率低、抗微生物侵蚀、抗植物根茎穿透、抗烃类侵蚀、溶解等优点。它的缺点是抗土壤应力与热稳定性较差,毒性较大。传统的煤焦油瓷漆已很少有工程再使用。

CTE 涂层系统目前已发展出多层结构,可通过选择恰当的 CTE、底漆和加强包裹层来设计经济有效的 CTE 涂层方案。Reilly 公司利用环氧树脂的粘接性能和 CTE 的防水性能开发了一套环氧树脂/CTE 涂层系统。该系统底漆采用高浓度、低粘度、快速弥合的双组分环氧树脂,表层采用玻纤增强的 CTE。这些改进使得 CTE 涂层系统具有更大的适应性,更好的操作特性以及更大的适应环境温度范围,可在 $-28 \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的工况下工作^[2]。

1.3 熔结环氧粉末(FBE)

20 世纪 70 年代以来,在全世纪已经有超过 $10 \times 10^4\text{ km}$ 的管线用 FBE 涂层来减缓腐蚀,在国外管道上以北美地区应用最为广泛。熔结环氧粉末是一种热固性材料,由环氧树脂和各种助剂制成,它通过加热熔化、胶化、固化,附着在金属基材的表面,使用温度可达 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。它形成的表面涂层具有粘接力强、硬度高、表面光滑、不易腐蚀和磨损、抗阴极剥离等优点。但它也存在一些自身的缺点:如防水性较差,不耐尖锐硬物的冲击碰撞,施工运输过程中,很难保证涂层不被破坏,现场修补困难,且涂敷工艺严格。

熔结环氧也发展出双层结构,即在 FBE 基础涂层的外部进行二次涂层^[3]。该体系底层采用常规熔结环氧粉末涂料,用作防腐蚀保护;面层为增塑剂的环氧粉末体系,用于机械保护。由于两层涂层的固化官能团类似,进行的是化学交联,不产生层间分离,故防腐性能得到极大的改善。当操作条件恶劣,地质构造是影响涂层选择的主要因素时,可选择耐

磨损的双层 FBE 作为外防腐系统。

1.4 聚乙烯胶粘带

北美和欧洲于 20 世纪 60 年代开始使用聚乙烯胶粘带作为防腐层。聚乙烯胶粘带防腐体系是由一道底漆、一层内防腐带、一层外保护带构成。具有极好的耐水性及抗氧化性能,吸湿率低;绝缘性好,抗阴极剥离,耐冲击,耐温范围广,在 $-30 \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用性能稳定。聚乙烯胶粘带的防腐质量主要取决于胶-膜界面的粘接力。采用无溶剂胶粘剂用热压复合技术将处于热状态下的聚乙烯基膜和无溶剂胶粘液在一定压力下粘合,可使聚乙烯胶粘带粘基力强并且稳定,防腐层质量得到保证。但它抗土壤应力的能力不好,特别在高温下,因粘接力差和致密性好而产生阴极屏蔽。

针对聚乙烯胶粘带存在的不足,美国中央制塑公司发展了以聚丙烯增强纤维为背材,并涂敷一层橡胶改性沥青的冷缠胶带。该防腐系统在传统聚乙烯胶粘带的基础上还具有粘接力强、与背材粘结性好、抗冲击性好和与阴极保护匹配好等特点,在北美、南美及国内一些管道工程中都有选用。

1.5 二层结构聚乙烯

欧洲从 1965 年开始用两层结构的聚乙烯进行防腐蚀,到目前为止国内油田和各地采用此种覆盖层的防腐蚀管道已超过上万公里。两层结构的聚乙烯防腐层底层采用胶粘剂,外层为聚乙烯。聚乙烯具有抗冲击性能好、水汽渗透率低、绝缘电阻率高、埋地使用寿命长,耐化学介质侵蚀性能好等优点。但是聚乙烯是非极性材料,不能直接与钢管粘结,必须采用既粘钢管又粘聚乙烯的胶粘剂将钢管表面与聚乙烯连接成一体。一旦粘结失败,对输送介质温度高于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的管道,阴极保护处理不好,有产生应力开裂的危险。

1.6 三层结构聚烯烃

三层 PE 是 20 世纪 80 年代欧洲研制成功并开始使用的,它是将 FBE 良好的防腐蚀性能、粘结性、高抗阴极剥离性和聚烯烃材料的高抗渗性、良好的机械性能和抗土壤应力等性能结合起来的防腐蚀结构,一经问世就在许多工程上得到了应用,尤其在欧洲国家,其应用呈不断上升的趋势。三层 PE 的底层为环氧涂料,中间层为聚合物胶粘剂,面层为聚烯

烃。胶粘剂可采用改性聚烯烃,它含有接枝到聚烯烃碳键主链上的极性基团。这样,胶粘剂既可与表面未改性的聚烯烃相融,又可利用极性基团与环氧树脂固化反应。这种组合特点是,三种涂层之间能达到最佳粘结强度,而各层的性能和特性使三层涂料得到互补。它的特点在于造价高,工艺复杂。

2 防腐涂层的选用

保证长输管道在预期的使用寿命内不产生由于外腐蚀而引起的功能损失是对涂层的基本要求。美国腐蚀工程师协会(NACE)认为,只有根据具体工程条件,结合管道的设计寿命、环境条件、运行参数、施工工艺和费用等进行综合设计,才能选出适合的防腐材料。国内管道工程防腐层的选择根据技术、经济、施工、业主的承受能力和要求等多方面考虑,一般应遵循下列原则:

2.1 技术可靠

外防腐层必须具有良好的绝缘性,抗阴极剥离强度,足够的机械强度和良好的稳定性,以及能够适应管线所处的自然环境,包括恶劣的地质、腐蚀环境以及输送工艺等方面要求^[4]。对于各类涂层性能

定性的比较如表1所示,具体的性能指标随厂商和牌号的不同而有所区别。

表1 各类防腐涂层技术性能比较

涂层种类	粘结力	抗水性	机械强度	抗土壤应力	热稳定性	阴极保护相容性
石油沥青	+	+	-	+	-	++
煤焦油瓷漆	+	++	-	+	-	++
熔结环氧	+++	-	+	+++	+++	++
聚乙烯胶粘带	++	++	+	+	+	+
二层结构聚乙烯	++	+++	+++	++	++	++
三层结构聚烯烃	+++	+++	+++	+++	+++	++

注:+++优良,++良好,+一般,-差

2.2 施工可行

在满足技术可靠的前提下,防腐涂层应考虑在工程特定环境下施工的可行性。一般应注意以下几方面:防腐层应能适应工程所在地区的地形、交通等条件的要求,以免在多次转运中碰撞受损;适应工程所在地气候影响和土壤环境;管道现场补口的可操作性等。各类涂层的操作性和适用环境如表2所示。

表2 各类防腐涂层工艺与适用环境比较

涂层种类	涂敷工艺	补口操作	适用环境
石油沥青	热涂	简单	对覆盖层性能要求不高,地下水位较低的一般土壤。如沙土、壤土
煤焦油瓷漆	热涂	容易	大部分土壤环境,人烟稀少和沙漠、戈壁地区和水位高、植物根茎茂盛、生物活动频繁的沼泽或灌木地区
熔结环氧	静电喷涂	较复杂	大部分土壤环境,特别适用于粘质土壤
聚乙烯胶粘带	热涂/冷涂	简单	大部分土壤环境,特别适用于土壤应力破坏作用较大的地区
二层结构聚乙烯	热涂	较复杂	大部分土壤环境,特别是机械强度要求高、土壤应力破坏作用较大的地区
三层结构聚烯烃	静电喷涂+包覆	复杂	各类环境,特别使用于对覆盖层机械性能、耐土壤应力及耐渗水要求较高的环境,如碎石、石方段、植物根系发达地区

2.3 经济合理

经济合理性受多方因素制约,表现在长输管道防腐层选用上更为明显。一般应考虑以下因素:在满足沿线环境条件(如地形、地质、土壤腐蚀性等)的前提下,应选用长期经济性好的覆盖层;所谓长期经济性应包括施工时一次投资与长期运营费用(阴极保护、管理、维护、大修)。以石油沥青为对照基础,

各类涂层的一次投资相对造价比较如表3所示。

表3 各类防腐涂层的相对造价比

涂层种类	石油沥青	煤焦油瓷漆	熔结环氧	聚乙烯胶粘带	二层结构聚乙烯	三层结构聚烯烃
相对价格	1.0	1.05	1.13 (单层)	1.08	1.20	1.30

(下转第36页)

由表3可见,通过该精制系统的处理,汽油硫醇含量降到了指标以下,成品汽油博士试验完全通过(阴性),产品质量能满足汽油出厂的要求。

4.2 经济效益和社会效益

根据延炼实业集团公司两套催化装置汽油精制系统目前的运行水平,对其各项物耗计算见表4。

表4 运行费用核算表

项目	单价	单耗 (/吨汽油)	费用 (元·t ⁻¹)
纯碱	1 500 元/t	72.2 g/t	0.11
催化剂用量	1 000 元/kg	0.083 g/t	0.08
压缩空气	0.22 元/Nm ³	0.36 Nm ³ /t	0.08
电耗/kw·t ⁻¹	0.40 元/kw·h	0.82 kw·h/t	0.33
原料汽油			
维修费用			0.10
总计			0.70

由表4可见, MERICATSM工艺脱除催化汽油中的硫醇,其处理成本每吨汽油仅需0.70元,与无碱脱臭-II型的加工成本1.8元/t相比,降低1.10元/t,如果按延炼实业集团公司全年生产催化汽油 55×10^4 t计算,仅运行成本每年就可节约近60.5万元。同时因采用MERICATSM工艺使装置碱液消耗量下降,碱渣排放量大为减少,这对环境的保护和改善也有着积极的意义。

(上接第24页)

3 结语

随着材料科学和加工工艺的进步,防腐涂层技术将会越来越先进。由于涂层防腐性能往往与其造价成正比,根据工程质量要求选择技术经济性好的防腐层是目前普遍的选择。防腐层的选择原则上应根据管道沿线的人文、地理条件和工程的性质而定。然而,考虑到施工及维修的方便,也不宜在同一管道上采用多类型的防腐层。如在西气东输工程中,根据沿线不同地段的特点,和管道在国民经济中的重要性,从干线和支线全部采用三层PE。最后需要明确的是,整体管道的防腐体系包括钢管的质量、防腐

5 结束语

MERICATSM纤维膜技术通过在延炼实业集团公司两套催化装置近一年的应用,以其高效的脱硫效果、较少的占地面积、简单的工艺流程和低廉的加工成本,在实际运行中占有明显的优势,主要体现在以下几方面:

- 工艺流程简单,操作简便,处理弹性大。
- 脱硫醇效果明显,经处理后的汽油,硫醇含量均小于 $10 \mu\text{g/g}$,产品质量达到出厂要求。
- 该技术节省投资,节约占地,施工周期短,每套装置的改造仅用8~10 d时间,尤其适宜在旧装置上改造。
- 该系统运行成本低,处理每吨汽油仅需0.70元,具有良好的经济效益。
- 该工艺使装置碱液消耗量大大降低,减少了碱渣排放量,对保护环境有利。

参考文献:

- [1] GB 17930-1999, 车用无铅汽油[S]. -.
- [2] 蒋忠平, 吴嗣哲, 孟昭慷, 等. 延炼70万吨/年汽油精制初步设计方案[Z]. 北京: 中京工程设计软件技术有限公司, 2001.
- [3] MERICHEM. Merichem chemicals & refiner & services llc, MERICATSM 技术手册[Z]. 北京: MERICHEM, 2002.

层的选用、钢管表面的处理、防腐层与阴极保护系统的综合设计等环节,而单靠选择最好的防腐层并不一定能得到最好的防腐效果。

参考文献:

- [1] 胡宝芹, 于德梅. 聚氨酯沥青防腐涂料的发展概述[J]. 化工新型材料, 2003, 11-12: 16.
- [2] Roder W R. Coal tar enamel the protective pipeline coating of the past, present and what's new[R]. Ottawa: NACE National Corrosion Conference, 2000.
- [3] Kehr J A. FBE pipeline and rebar corrosion coatings[R]. Ottawa: NACE National Corrosion Conference, 2000.
- [4] Wilmott M, Highams J, Ross R. Coating and thermal insulation of subsea or buried pipelines[J]. Journal of Protective Coatings & Linings(JCPL), 2000, 17(11): 47-54.

OIL & GAS TRANSPORTATION AND STORAGE

Summary on Application of Sensitivity Analysis to Transportation and Storage Optimization Design

Zhou Hao, Wang Yuchun (Southwest Oil College, Chengdu, Sichuan, 610500, China) **NGO**, 2004, 22(4): 1-3

ABSTRACT: In sensitivity analysis of optimization design, mainly the effect of small changes from parameters and variables in optimization models is analyzed on the optimal solutions, which plays an important role in application of this technology to engineering practices. Described is the feasibility of application of this technology to optimization design of oil and gas transportation and storage. Introduced are development of the sensitivity analysis technology in optimization design, its basic theory and methods. Analyzed are the importance, wide prospects, direction and existing problems of application of this technology to optimization design of oil and gas transportation and storage engineering.

KEY WORDS: Sensitivity analysis; Optimization design; Design variable; Oil and gas pipeline

Summary on Overall Evaluation Method of Multiple Options for Oil & Gas Pipeline Design

Wen Tao, Wang Yuchun (Southwest Oil College, Chengdu, Sichuan, 610500, China) **NGO**, 2004, 22(4): 4-7

ABSTRACT: The long distance oil & gas pipeline projects have such characteristics as high tech, large investments and high risk, so it is very important to make decision scientifically for the schemes. Since the 90's in 20th century, due to application of the fuzzy set theory, gray system and element analysis, a set of relatively complete overall evaluation methods of multiple options has formed gradually, which applies to oil & gas pipeline design. Summarized and expounded are all these existing methods.

KEY WORDS: Oil & gas pipeline design; Option; Fuzzy mathematics; Gray system; Evaluation

Summary on Application of Neural Network Technology to Transportation and Storage Engineering

Duan Shanning, Wang Yuchun (Southwest Oil College, Chengdu, Sichuan, 610500, China) **NGO**, 2004, 22(4): 8-11

ABSTRACT: Artificial Neural Network is a rapidly developing algorithm in recent years and has been used in many domains. Described are application of multi-layer perceptron network, radial basis functional network and wavelet basis functional network to data analysis and identification in intelligent inspection of pipelines, application of feed forward neural network to decision and evaluation of integrated pipeline fiduciary level, application of natural gas consumption forecast based on adaptive feed forward forecast mode and adaptive functional link forecast mode, and application of Hopfield neural network to pipeline optimization design. It can be seen that Neural Network will certainly become an important technique for solving engineering problems in transportation and storage.

KEY WORDS: Neural Network; Oil & natural gas pipeline; Analysis and identification; Decision and evaluation; Forecast; Optimization design

Study on Filtering Media of New Filter

Li Xi, Huang Dong, Guo Yi (China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2004, 22(4): 12-15

ABSTRACT: Described is the aim of study on filtering media of new filter. Compared are the advantages and disadvantages of these media through experiments at site. In these experiments 5 of media are chosen and performance test has been carried out. The dust concentration and classing efficiency of the media are obtained after passing filter tube. Analysis and comparison are made on the performance of these media.

KEY WORDS: Filter; Filtering; Filtering media; Filtering element

CORROSION AND CORROSION PROTECTION

Discussion on Potential Distribution Law of Cathodic Protection on Tank Bottom Plate

Ma Weiping, Zhang Guozhong (Huadong Oil University S&T and Construction Engineering College, Dongying, Shandong, 257061, China)

Liang Changhua, Zhang Dapeng (China Petrochemical Pipeline S&T Co. Dongying Initial Oil Transportation Station, Dongying, Shandong, 257067, China)

Li Baidan (Daqing Oil Field Com. Co. Institute, Daqing, Heilongjiang, 163453, China)

An Zhenshan (Qin-Jing Oil and Gas Transportation Branch Co., Qinhuangdao, Hebei, 066600, China) **NGO**, 2004, 22(4): 18-21

ABSTRACT: The mathematics model of tank bottom cathodic protection is established. Used is a representative hypothesis of current density distribution, simulated is the protective potential of 2 kind of deep well anode cathodic protection systems and the calculated results are compared with analytical formula and spot data. By this method, multiple tanks and multiple deep well anodes can be studied to accurately calculate the differences of the tank bottom protective potentials.

KEY WORDS: Mathematics model; Cathodic protection; Assistant anode; Protective potential; Rule; Polarization

Application Comparison of External Protective Coating on Buried Steel Pipeline

Du Miao (Sichuan Tianchi Oil and Gas Engineering Construction Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610017, China)

Liang Bo, Wen Shihao, Li Jing (PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch, Chengdu, Sichuan, 610051, China) **NGO**, 2004, 22(4): 22-24

ABSTRACT: Application of external protective coating can prevent long-distance steel pipelines from corroding in their expected service life. Asphalt, coal tar enamel, fusion-bonded epoxy, polyethylene tape, 2-layer PE and 3-layer PE coatings may be used for corrosion control of underground pipelines. Material and structure of each coating are being improved to meet the requirements of application and compound coatings are popularly selected. Reasonable selection of coatings shall depend on reliability, construction techniques and costs.

KEY WORDS: Pipeline; Corrosion control; Asphalt; Epoxy; Polyethylene