

# 环氧/聚脲复合涂层结构在长输管道上应用的可行性

刘小平, 郑超, 邱建军

(北京碧海舟腐蚀防护工业股份有限公司, 北京 100029)

**摘要:**通过对现行几种管道防腐涂料技术标准的对比分析,着重对聚脲和环氧粉末涂层的耐阴极剥离性能进行了展示和比较,提出了环氧粉末涂层作为底层,聚脲涂料作为面层的新的埋地管道涂层结构,并对这种结构的抗低温弯曲、抗冲击性、抗划伤性、热水附着力、层间附着力,抗阴极剥离性能进行了试验,提出了这种新结构在长输管道上应用的可能性。

**关键词:**管道涂料;聚脲涂料;阴极剥离

**中图分类号:** TG174.46

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-748X(2012)增 2-0005-04

## 0 引言

利用埋地管道对油气资源进行长距离的输送被认为是现代社会里一种经济可靠的运输方式,作为第五种运输方式,具有汽车、火车、船运等方式不可比拟的优点。而为了保证埋地管道的长期安全运行,利用涂层与阴极保护技术对其进行防护是一种必要且可行的方案。从管道涂层的发展历史来看,先后经历过石油沥青、煤焦油瓷漆、聚乙烯缠带、融结环氧粉末(FBE)和三层聚乙烯(PE)为主的防腐蚀涂层结构。其中的融结环氧粉末和三层聚乙烯涂层成为新世纪以来应用最为广泛的长距离埋地管道防腐蚀涂层。而我国自西气东输工程以来,三层结构逐渐成为长输管道防腐蚀涂层的首选。

三层聚乙烯的防腐蚀涂层结构是指以融结环氧粉末作为底层,胶粘剂作为中间层,挤出聚乙烯作为最外层的管道涂层防腐蚀结构。由于这种涂层结构结合了融结环氧粉末和聚乙烯涂层的优点,因此具有优异的抗冲击性、电绝缘性、耐候性和抗阴极剥离性。

但是在过去的 15 年中,发现了三层结构涂层有大面积剥离的现象<sup>[1]</sup>和补口涂层严重剥离而完全失效的案例,而且失效涂层的强电绝缘性屏蔽了管道阴极保护电流,因此引起了严重的管道腐蚀。

喷涂聚脲技术来源于 1970 年的聚氨酯、聚脲弹性体的反应注射成型,后来该项技术与材料被扩大到涂装领域,利用其瞬间固化,快速反应的特点成为一种新型的涂料种类。在防水、防腐蚀、耐磨、海

洋及海岸设施、高铁、地坪等方面得到了广泛的应用,国内也制定了相应的如 GB/T 23446—2009 喷涂聚脲防水涂料、HG/T 3831—2006 喷涂聚脲防护涂料等产品标准。而后来出现的聚天门冬氨酸酯聚脲涂料则在耐候性、附着力方面有了进一步提高,使用期也具有了选择的可能性。

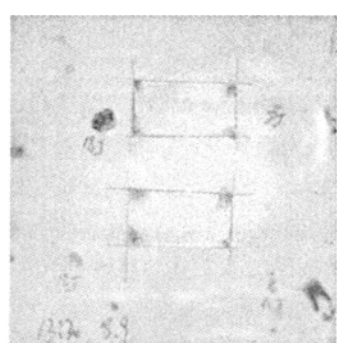
聚脲涂料应用在管道上的技术优点主要包括如下几方面:

- (1) 100%固含量,无有机溶剂挥发,符合环保要求;
- (2) 快速固化,几秒胶凝,管道连续喷涂不流淌,适合流水作业线施工;
- (3) 可厚涂,涂层致密无缝,焊缝影响小;
- (4) 力学强度高,搬运、吊装、运输、回填过程中不易损伤;
- (5) 优异的抗化性;
- (6) 可以低温固化,施工温度范围宽;
- (7) 介电强度高;
- (8) 可采用同种材料进行现场补口,补口搭接处附着力、密封性好;
- (9) 新的聚天门冬氨酸酯聚脲涂料具有可调的固化速度和优异的耐候性。

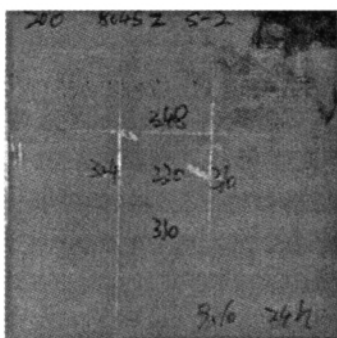
## 1 聚脲管道涂料和环氧管道涂料的实际性能对比

现行有关熔结环氧粉末涂层和三层结构管道防腐涂层的标准有《SY/T 0315—2005 钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层技术规范》,《Q/CNPC 埋地钢质管道双层熔结环氧粉末外涂层技术规范》,《SY/

T 0413—2002 埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准》,《GB/T 23257—2009 埋地钢质管道聚乙烯防腐层》,有关聚脲防护涂层的标准有《HG/T 3831—2006 喷涂聚脲防护涂料》和《Q/CNPC—GD 0273—2006 钢质管道聚脲涂层技术规范》等。对比这些标准的指标参数可发现:聚脲涂料和环氧粉末涂料,三层聚乙烯结构管道涂料在机械物理性能、电性能、抗化性方面差别不大,主要差别有可能出现在热水附着力和抗阴极剥离性能方面,因此将粉末环氧涂料和聚天门冬氨酸酯聚脲涂料在 300~500  $\mu\text{m}$  的涂层厚度下进行了试验比较,如图 1 所示。



(a) 聚脲涂层



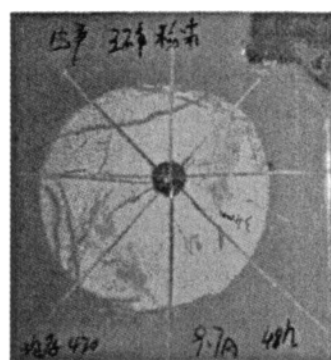
(b) 环氧粉末涂层

图 1 聚脲涂层(白)和环氧粉末涂层(绿)热水附着比较

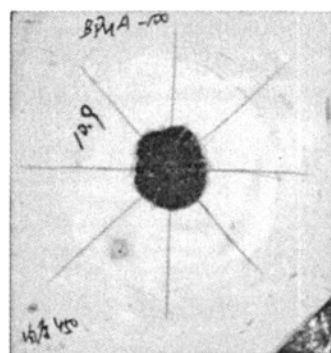
从图 1 中可看出,75  $^{\circ}\text{C}$  热水附着力方面,聚天门冬氨酸酯聚脲涂料也表现出了很好的性能,虽然在热水中涂层表现出了变软现象,但撬剥法附着力仍然为 1 级。

而 48 h 阴极剥离指标,如图 2,两种涂层差别却比较明显,虽然聚天门冬氨酸酯聚脲涂料符合聚脲防护涂料抗阴极剥离小于 15 mm 的技术要求,但是 10.9 mm 的结果比起环氧粉末涂料的 3.4 mm 显然有点偏大。

李荣光<sup>[2]</sup>等人对喷涂聚脲涂层的耐阴极剥离性能进行了研究,探讨了聚脲涂料在金属上的阴极剥离机理,分析了金属表面、聚脲/金属界面附着力、聚



(a) 环氧粉末涂层



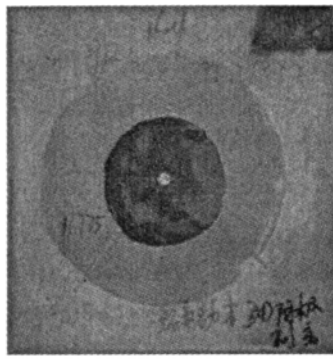
(b) 聚脲涂层

图 2 聚脲涂层和环氧粉末涂层 65  $^{\circ}\text{C}$ , 48 h 阴极剥离效果比较

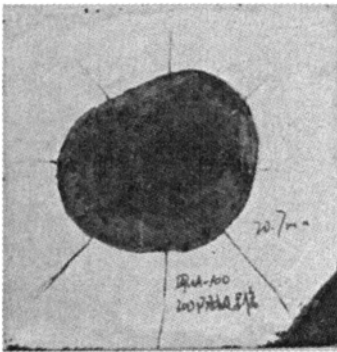
脲涂料配方对聚脲涂层的耐阴极剥离性能的影响,文中提供的不同配方的阴极剥离数据为大于等于 25 mm, 20 mm 和 14.5 mm。孙晶<sup>[3]</sup>等人研制的低温管道 TPUA 改性聚脲补口涂料的不同配方的阴极剥离数据分别为大于等于 20 mm, 18 mm 和 4.1 mm。朱杰<sup>[4]</sup>等人在《刚性聚脲在金属管道上的应用》一文给出的聚脲涂层阴极剥离数据为 5 mm。

以上数据均为 65  $^{\circ}\text{C}$ 、48 h 阴极剥离数据,但在《GB/T 23257—2009 埋地钢质管道聚乙烯防腐层》标准中,在保留《SY/T 0413—2002 埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准》中的大部分指标要求的同时,增加了环氧粉末底漆 65  $^{\circ}\text{C}$ 、30 天阴极剥离小于 15 mm 的指标项,而对于整个防腐层来说,增加了最高使用温度下 30 天阴极剥离小于 15 mm 的指标项,另外对 48 h 阴极剥离指标也从 8 mm 降低为 6 mm。在此之后出现的各管道工程设计规格书中,几乎全部出现了 65  $^{\circ}\text{C}$ 、30 天阴极剥离项目要求。此时,环氧粉末涂层与聚天门冬氨酸酯聚脲涂层的阴极剥离效果见图 3。

从图 3 中可见,粉末涂层的阴极剥离值为 11.775 mm,满足标准要求,而天门冬氨酸酯聚脲涂层的阴极剥离值为 20.7 mm,远远超过 15 mm 的



(a) 环氧粉末涂层



(b) 聚脲涂层

图3 聚脲涂层(白)和环氧粉末涂层(绿)的65℃、30天  
阴极剥离效果对比

表1 环氧粉末底层+聚天门冬氨酸酯聚脲面层复合结构与其他涂层性能对比

	双层熔结环氧粉末涂层	聚乙烯三层结构防腐涂层	环氧粉末底层+聚脲面层复合涂层
涂层厚度	620~800 μm	1.8~3 mm	620~800 μm
抗弯曲	无裂纹 (-30±3℃, 2°)	聚乙烯无开裂 (-30±3℃, 2.5°)	无剥离、无开裂 (-30±3℃, 3°)
抗冲击	10 J 无漏点 (23±2℃)	≥8 J/mm (23±2℃)	10 J 无漏点 (23±2℃)
30 kg 耐划伤性	划伤深度≤350 μm 无漏点	—	划伤深度 270 μm 无漏点
50 kg 耐划伤性	划伤深度≤500 μm 无漏点	—	划伤深度 500 μm 无漏点
附着性能	—	剥离强度≥100 N/cm (20±5℃) 剥离强度≥70 N/cm (50±5℃)	拉开法附着力 15.52 MPa (20±5℃)
热水附着力	1~2级 (75±3℃, 24 h)	环氧涂层≤2级 (75±3℃, 48 h)	1级 (75±3℃, 48 h)
30 d 阴极剥离	≤8 mm (1.5 V, 20±3℃)	≤15 mm (1.5 V, 65±3℃)	8.2 mm (1.5 V, 65±3℃)
48 h 阴极剥离	≤6 mm 1.5 V, 65±3℃	≤8 mm 1.5 V, 65±3℃	3.5 mm 1.5 V, 65±3℃
电气强度	—	≥25 MV/m	27.4 MV/m
体积电阻率	—	≥1×10 <sup>13</sup> Ω·m	3.6×10 <sup>13</sup> Ω·m
耐化学腐蚀	—	合格	合格
补口材料推荐	与管体相同的环氧粉末涂料	环氧树脂/辐射交联聚乙烯套(带)	与管体相同的聚脲材料

标准要求值。而喷涂聚脲涂料则未见资料报道。可见,在新标准下,聚脲涂料的耐高温长期阴极剥离指标将成为其成为长输管道防腐涂料的一大难题。

## 2 环氧粉末涂料底层+聚脲涂料面层的管道涂层结构

由于双层融结环氧粉末涂层的户外长期耐晒性不好,而三层聚乙烯管道防腐层结构容易出现焊缝空鼓或焊缝涂层厚度减薄,挤出聚乙烯层容易出现剥离和胶粘剂漏涂,剥离后的涂层会对阴极保护形成屏蔽,补口质量较难控制等缺点,在这种防腐层结构过去大量的应用中出现一些问题后,新的涂层系统或解决办法逐渐引起人们的关注和兴趣。如将三层聚乙烯结构中的聚乙烯施工法由挤出法改为聚乙烯粉末喷涂法而形成的高性能复合涂层系统,已在北美一些地区被使用<sup>[1]</sup>。

而环氧粉末涂料底层上覆盖聚脲涂料面层也不失为一种可能的改进方式,由环氧粉末涂料提供长期抗阴极剥离性能和附着力,由聚脲涂层提供抗冲击、抗磨损、耐候等保护功能。

表1为三种涂层结构的性能对比。

从表 1 中可看出,环氧粉末底层+聚天门冬氨酸酯聚脲复合涂层展示出了优异的耐低温弯曲性能, $(-30\pm 3)^\circ\text{C}$  条件下的抗  $3^\circ$  弯曲通过,抗冲击性为 10 J,热水附着力为 1 级,如图 4。而 30 kg 和 50 kg 抗划伤性方面,这种复合涂层也表现出了优异的性能,分别为  $270\ \mu\text{m}$  和  $500\ \mu\text{m}$ ,满足双层结构环氧涂层的标准要求。

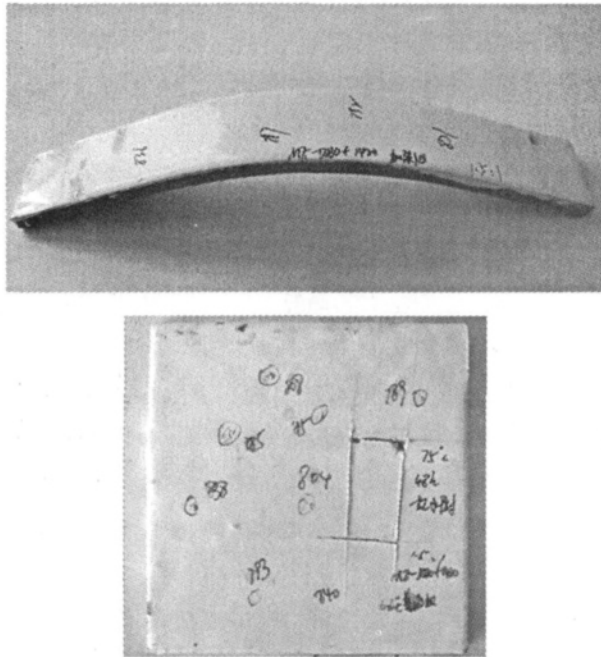


图 4 环氧粉末涂层+聚脲涂层低温弯曲、热水附着力和抗冲击试验图

图 5 所示为环氧粉末涂料底层上涂覆聚天门冬氨酸酯聚脲涂料的一些性能参数,由拉开法附着力数据来看,聚脲涂层和环氧粉末具有优异的附着力,拉开法附着力平均值为  $15.52\ \text{MPa}$ ,破坏形式为环氧胶粘剂内聚破坏,说明聚脲涂料和环氧粉末涂料具有优异的层间附着力。从  $65^\circ\text{C}$  30 天阴极剥离数据来看,这种复合结构也表现出了优异的性能,阴极剥离数据为  $8.2\ \text{mm}$ ,满足严苛标准的要求。

其他的涂层抗化学品性能、电绝缘性能,这种新的涂层结构也满足三层结构涂层标准的要求。

从涂层补口材料和技术来看,三层聚乙烯涂层推荐环氧底漆外罩辐射交联聚乙烯热收缩套(带)的三层结构。但由于主管线外层聚乙烯的低极性表面,环氧底漆或热收缩套(带)的热熔胶对聚乙烯表面的附着力很难让人满意,这也导致了新管线投运后即发生补口涂层失效的案例。而环氧粉末底层+聚脲面层的这种涂层结构的补口材料可采用环氧粉

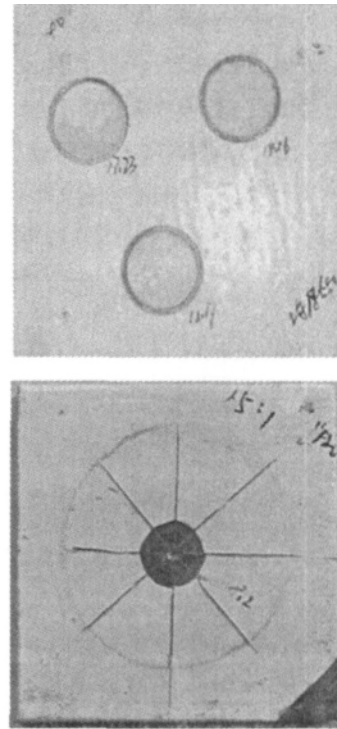


图 5 环氧粉末涂层+聚脲涂层附着力和阴极剥离效果图

末(或无溶剂环氧)+聚脲涂层的结构,补口材料与主体管道相同,补口搭接处涂层附着力优异,质量较为可靠。因此,从这几方面来看,这种新的涂层结构具有一定的应用前景。

### 3 结论

综上所述,双层熔接环氧粉末涂层、三层聚乙烯管道防腐涂层结构在新世纪的管道建设工程里得到了广泛的应用,而聚脲涂层也在防腐蚀、防水等领域具有良好的业绩,考虑管道涂料应用的实际情况,结合这两种涂料的优点,对现有涂层体系出现的问题进行改进是一种有益的尝试和探讨。

#### 参考文献:

- [1] Shiwei William Guan. Layer of protection-new challenges and developments in pipeline coatings[C]//管道工程防腐及补口技术交流会论文集,2010-07-06.
- [2] 李荣光. 聚脲涂层耐阴极剥离性能研究[J]. 油气储运,2008,27(3):33-35.
- [3] 孙晶. 低温管道 TPUA 改性聚脲补口涂料的研制[C]//2009 中国(北京)首届喷涂聚脲峰会论文集,2009:203-207.
- [4] 朱杰. 刚性聚脲涂层在金属管道上的应用[C]//中国聚氨酯工业协会第十二次年会论文集:184-185.