Q/CNPC

中国石油天然气集团公司企业标准

Q/CNPC 38—2002

埋地钢质管道双层熔结环氧粉末外涂层技术规范

Technical specification of external dual－layer fusion bonded epoxy powder coating for buried steel pipe

2002－01－30 发布　　2002－06－01 实施

中国石油天然气集团公司　发布

目　次

前言 …… Ⅱ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　一般规定 …… 1
4　双层环氧粉末外涂层结构和类型 …… 2
5　材料 …… 2
5.1　钢管 …… 2
5.2　环氧粉末 …… 2
6　双层环氧粉末涂层涂敷 …… 3
7　质量检验 …… 4
7.1　涂敷前检验 …… 4
7.2　涂敷过程质量检验 …… 4
7.3　外涂层钢管的出厂检验 …… 5
7.4　外涂层钢管的型式检验 …… 5
8　涂层的修补、复涂及重涂 …… 6
9　成品管的标记、装运和贮存 …… 6
9.1　标记 …… 6
9.2　装运 …… 6
9.3　贮存 …… 7
10　涂敷生产的安全、卫生和环境保护 …… 7
11　补口、下沟和回填 …… 7
11.1　现场补口及质量检验 …… 7
11.2　下沟、回填 …… 8
12　交工资料 …… 8
附录A　（规范性附录）环氧粉末的胶化时间 …… 9
附录B　（规范性附录）环氧粉末挥发分含量的测定——失重法 …… 10
附录C　（规范性附录）环氧粉末的粒度 …… 11
附录D　（规范性附录）双层环氧粉末涂层的抗弯曲性能试验 …… 12
附录E　（规范性附录）双层环氧粉末涂层的抗冲击性能试验 …… 13
附录F　（规范性附录）双层环氧粉末涂层的耐划伤性能试验 …… 14

前　言

在本标准的编制过程中，编制组成员广泛收集了国外相关标准和技术资料，以对双层环氧粉末涂层的应用技术研究成果为基础，以 DUKE 国际能源公司、ARCO 公司和 PARAGON 公司各自针对不同工程制定的三个双层环氧粉末涂层技术标准为采标对象，结合国内管道建设的实际条件、双层环氧粉末涂层的现场应用经验和多次室内测试的结果进行编写。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F 均为规范性附录。

本标准由中国石油管道公司管道科技研究中心提出。

本标准由石油工程建设施工专业标准化委员会归口。

本标准起草单位：中国石油管道公司管道科技研究中心。

本标准参加起草单位：中油管道防腐工程有限责任公司、中国石油天然气集团公司工程技术研究院。

本标准主要起草人：冯庆善、杜秀玲、王德增、穆铎、于洪波、何炜。

本标准经中国石油天然气集团公司授权，由中国石油管道公司科技研究中心负责解释。

埋地钢质管道双层熔结环氧粉末外涂层技术规范

1 范围

本标准适用于以双层环氧粉末涂层作为钢质管道外涂层的设计、施工及验收。经过涂敷的管体可用于地下或水下，工作温度为－30℃～100℃。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GBJ 87 工业企业噪声控制设计规范

GB 7692 涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及通风净化

GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级

JB/T 6570 普通磨料磁性物含量测定方法

TJ36 工业企业设计卫生标准

SY/T 0315 钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术标准

SY 0401 输油输气管道线路工程施工及验收规范

ASTM D 4138 用破坏法测量保护涂层系统的干薄膜厚度的方法

ASTM G 12 钢质管道涂层厚度无损测量的试验方法

钢管双层环氧粉末外涂层的设计、涂敷及验收除应符合本标准外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

3 一般规定

3.1 订购防腐管时，业主应向防腐厂提供下列资料：

a）钢管数量、外径、壁厚、外壁表面状态及长度；

b）钢管标准或规格牌号；

c）涂层的总厚度及各层厚度要求；

d）管端预留端长度；

e）复涂涂层的检测次数。

3.2 必要时，订购要求还应包括下列内容：

a）附加的表面预处理；

b）业主的工厂检验；

c）额外增加的试件；

d）额外增加的标记；

e）装运的要求；

f）贮存的要求；

g）附加的实验室涂层试件；

h）其他特殊要求。

3.3 下列各项必须经业主和防腐厂双方同意：

a）在常规生产过程中，管体有缺陷而不能去除的钢管的处理方法；
b）涂敷施工场地以外的业主检验场所；
c）钢管外表面锚纹深度测量的备选方法；
d）表面有缺陷钢管的处理方法；
e）漏点超过预定限制时采用的修补方法；
f）管段试件的长度；
g）附加的重复测试方案；
h）其他可选用的修补剂料；
i）带涂层钢管的复涂。

3.4 数值修约方法：除非本标准另有要求，观测和计算所得的数值应修约，小数点后取一位数，其后四舍五入。

3.5 质量保证项目文件：防腐厂应按照 ISO 9000 系列标准中相关标准要求，具有现行的质量保证项目文件。

3.6 标准的符合性：防腐厂应严格执行本标准中的规定，应允许业主进行任何必要的审查测试来确定防腐厂对标准的符合性，业主有权拒收任何不符合本标准的材料。

4 双层环氧粉末外涂层结构和类型

4.1 双层环氧粉末外涂层为复合涂层结构，由防腐型环氧粉末底层和抗机械损伤型环氧粉末面层一次喷涂成膜完成。

4.2 钢质管道环氧粉末涂层厚度应符合管道工程的设计规定；设计无规定时，可根据涂层使用条件参照如下规定选用：

a）普通级涂层厚度要求：涂层总厚度大于或等于 620μm，适用于一般敷设环境条件，其中涂层的底层最小厚度为 250μm，面层最小厚度为 370μm。
b）加强级涂层厚度要求：涂层总厚度大于或等于 800μm，适用于特殊敷设环境条件，其中涂层的底层最小厚度为 300μm，面层最小厚度为 500μm。
c）如业主对涂层厚度有特殊要求，则可依据粉末厂家推荐的厚度要求，但底层与面层的厚度比例宜控制在 1:2～1:1.5 之间。

4.3 底层、面层使用的粉末应为同一厂家提供的配套产品。

5 材料

5.1 钢管

5.1.1 准备涂敷的钢管应符合国家现行标准的规定或业主指定的规格特性。

5.1.2 防腐厂家应逐根对钢管外表面进行检查，钢管表面不允许存在油污、乳化液和其他污物。

5.2 环氧粉末

5.2.1 环氧粉末生产厂家应提供产品说明书、出厂检验合格证和质量证明书等有关技术资料。

5.2.2 环氧粉末交货时，环氧粉末应包装完好。在其外包装上应清楚地标明执行标准、生产厂名、粉末的名称、型号、批号及生产日期、有效期等。防腐厂应按照环氧粉末生产厂推荐的温度和湿度条件贮存环氧粉末。

5.2.3 底层和面层用环氧粉末的性能应符合表 1 的规定。

5.2.4 对每一批到货的不同型号的环氧粉末，在使用前都应按表 1 的项目进行检查，其性能达到验收质量要求时，方可使用。

表 1 底层、面层环氧粉末的性能

试验项目	质量指标	试验方法
固化时间	≤3min 且符合环氧粉末生产厂家给定特性	SY/T 0315—97 附录 A
胶化时间	≥12s 且符合环氧粉末生产厂家给定值的±20%	附录 A
挥发分含量 质量分数	≤0.6%	附录 B
粒度分布 质量分数	150μm 筛上粉末≤4%	附录 C
	250μm 筛上粉末≤0.2%	
热特性	符合环氧粉末生产厂家给定特性	SY/T 0315—97 附录 B
磁性物含量	≤0.002%	JB/T 6570

6 双层环氧粉末涂层涂敷

6.1 涂层的生产适用性必须通过具有国家计量认证资料的实验室测试，实验室测试的试件和试验结果应达到 6.2 的要求。当粉末型号、涂层结构和粉末生产厂家中有一项发生变化时，应对涂层重新进行测试。

6.2 实验室涂敷试件的制备及测试应符合下列规定：

a) 试件基板应为低碳钢。

b) 试件表面应进行喷射清理，其除锈质量应达到 GB/T 8923 要求的 Sa2.5 级。表面的锚纹深度应在 40μm～100μm 范围内，并符合环氧粉末生产厂推荐的要求。

c) 涂层涂敷的固化温度应按照环氧粉末生产厂的推荐值，且不得超过 260℃

d) 试件上涂层总厚度应为普通级厚度要求。

e) 对实验室涂敷试件进行的测试应符合表 2 的规定。

表 2 实验室试件的涂层质量要求

试验项目	质量指标	试验方法
热特性	符合粉末生产厂给定特性	SY/T 0315—97 附录 B
24h 或 48h 阴极剥离	≤6mm	SY/T 0315—97 附录 C
28d 阴极剥离	≤8mm	SY/T 0315—97 附录 C
底层断面孔隙率	1 级～4 级	SY/T 0315—97 附录 E
底层粘结面孔隙率	1 级～4 级	SY/T 0315—97 附录 E
24h 或 48h 附着力	1 级～2 级	SY/T 0315—97 附录 H
0℃或－30℃，抗 2°弯曲 （根据工程要求选定试验温度）	无裂纹	附录 D
抗 10J 冲击	无针孔	附录 E
30kg 耐划伤性	划伤深度≤350μm 无漏点	附录 F

6.3 在正式生产前，防腐厂应按照正常生产程序进行预生产试验，试验合格后方可正式生产。预生产试验的所有检测项目应包括所有在 7.1～7.3 中所要求的项目，对于破坏性试验涂敷试件应进行对涂层的 24h 或 48h 阴极剥离、抗弯曲及附着力等性能的测试，测试内容和结果应符合表 3 的要求。当防腐厂、原材料、涂层结构和生产地点中四项之一或者多项发生变化时，应按本条的规定对涂层重新进行测试。

6.4 表面预处理应符合下列要求：

a) 钢管外表面涂敷之前，必须采用适当的方法将钢管外表面的油、油脂及任何其他污物、杂质清除干净。

b) 通过海洋运输的钢管，应对其外表面进行盐分含量检查。如果外表面盐分含量超过 50mg/m^2，应用磷酸或去离子水进行处理。在磷酸或去离子水处理后应测量外表面的剩余盐分含量，每班至少要测量两次，盐分含量不应超过 50mg/m^2。

c) 喷（抛）射除锈前，应预热钢管，驱除潮气，预热温度为 40℃～60℃。

d) 钢管外表面喷（抛）射除锈应达到 GB/T 8923 中规定的 Sa2.5 级。钢管表面的锚纹深度应在 40μm～100μm 范围内，并符合环氧粉末生产厂的推荐要求。

e) 喷（抛）丸除锈后，应将钢管外表面残留的锈尘清除干净，钢管外表面不允许有灰尘等污染物的存在。钢管表面预处理后 4h 内应进行喷涂。当钢管表面出现返锈或表面受污染时，必须重新进行表面预处理。

f) 若业主有特殊要求，在涂敷前应按业主的要求进行表面预处理。

6.5 涂敷和固化温度及涂层厚度应符合下列规定：

a) 钢管外表面的涂敷温度，必须符合环氧粉末所要求的温度范围，但最高不得超过 260℃，预热温度应用红外线测温仪 IR 进行连续检测，并应使用测温笔或接触式高温计进行温度控制。对钢管进行加热的热源不允许对钢管表面产生污染。

b) 涂敷外涂层时，固化温度、固化时间和延迟时间应符合厂家提供的技术规定。

c) 涂层总厚度和各层最小厚度应符合 4.2 的要求。

6.6 钢管两端预留段的长度宜为（85±5）mm，预留段表面不得有涂层。若业主有要求时，应符合业主的有关规定。

6.7 预热后的钢管先用第一组静电喷枪喷涂底层粉末，然后用第二组静电喷枪直接喷涂面层粉末。面层粉末应在粉末厂家要求的延迟时间内用第二组静电喷枪喷涂在底层上。底层及面层总厚度应达到 4.2 设计要求。涂层充分固化后，用水使钢管及时冷却。

6.8 喷涂时，如两种粉末使用同一回收装置，则回收的粉末经过严格的除磁性物和筛选，达到表 1 中磁性物含量要求后可进入面层粉末喷枪，与面层粉末混合的回收粉末量不得超过新加面层粉末总量的 10%。如业主或粉末厂家有特殊要求，应按特殊要求执行。

7 质量检验

7.1 涂敷前检验

涂敷前，应对要使用的环氧粉末按批号至少取样一次，按照附录 A 的方法进行胶化时间测试，其质量指标应符合表 2 的要求。

7.2 涂敷过程质量检验

7.2.1 表面预处理之后，应对每根钢管进行目测检查，对可能导致涂层漏点的表面尖角、毛刺应打磨掉，不合格的钢管应剔除。

7.2.2 采用适当的方法检测钢管表面预处理后的除锈质量和锚纹深度。表面除锈等级应达到 GB/T 8923 中规定的 Sa2.5 级。正常生产时，表面锚纹深度应每班至少测量两次，每次测量两根，宜采用锚纹拓印法进行测试，钢管表面的锚纹深度应在 40μm～100μm 范围内。

7.2.3 涂敷前的钢管表面预热温度必须控制在环氧粉末生产厂推荐的范围之内，每小时至少应记录一次温度值。外层涂层应在内层固化之前涂敷，两层粉末涂敷的间隔时间必须控制在环氧粉末生产厂推荐的范围之内。

7.2.4 涂敷后至冷却之前的钢管温度应予以控制，从开始涂敷起至少每小时测量并记录一次。

7.2.5 对每次开始生产的第一根管，应随机测量 12 个点的总厚度和各层厚度值并做记录。如果涂层厚度没有达到业主或本标准要求，则需要调整工艺参数重新涂敷，直到达到要求为止，并记录工艺参数。正常生产后每 2h 用多功能涂层测厚仪按照 ASTM D 4138 的要求在管端涂层边缘随机测量两层的厚度一次。应对每一根钢管进行总厚度的测量，所有的测量数据都应记录。

7.2.6 应利用电火花检漏仪在涂层温度低于 100℃ 的状态下，对每根钢管的全部涂层做漏点检测，检测电压为 5V/μm。

7.3 外涂层钢管的出厂检验

环氧粉末外涂层钢管的产品检验应包括涂层外观质量、涂层总厚度、底层厚度、面层厚度和漏点的检验，各项检验应按下列要求进行：

a) 外涂层的外观质量应逐根检查。外观要求平整，色泽均匀，无气泡开裂及缩孔，允许有轻度桔皮状花纹。

b) 应使用多功能涂层测厚仪测量各层厚度，使用磁性测厚仪测量总厚度。每根钢管沿长度方向随机取三个位置，测量每个位置圆周方向均匀分布的任意四点的防腐层总厚度并记录，结果应符合 4.2 的要求，不符合涂层厚度要求的应重涂。为确保底层与面层涂层的厚度符合要求，应至少每 20 根管在管端涂层边缘测量各层厚度一次。

c) 应用电火花检漏仪对钢管外涂层进行逐根检查，漏点数量在下述范围内时，可按 8.1 的规定进行修补：当钢管外径小于 325mm 时，平均每米管长漏点数不超过 0.5 个；当钢管外径等于或大于 325mm 时，外表面平均每平方米漏点数不超过 0.3 个。

当漏点超过上述数量时，或个别漏点的面积大于或等于 250cm^2 时，应按 8.3 的要求对该钢管进行重涂。

7.4 外涂层钢管的型式检验

7.4.1 每批连续生产双层环氧粉末外涂层钢管 10km 及以上的，投产后，应在 500m，5000m 及 10000m 处截取长度为 500mm 左右的管段试件（或试验管段），做表 3 中的各项指标测试，以后每 10000m 处截取一次管段试件（或试验管段）。每批连续生产环氧粉末外涂层钢管 10km 以下的，可由防腐厂与业主协商确定抽样频率。

表 3 外涂层钢管的型式检验项目及验收指标

试 验 项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
24h 或 48h 阴极剥离	≤6mm	SY/T 0315—97 附录 C
底层断面孔隙率	1 级～4 级	SY/T 0315—97 附录 E
底层粘结面孔隙率	1 级～4 级	
24h 或 48h 附着力	1 级～2 级	SY/T 0315—97 附录 H
0℃或－30℃，抗 2°弯曲（普通级涂层厚度，根据工程要求选定试验温度）	无 裂 纹	附录 D
0℃或－30℃，抗 1.5°弯曲（加强级涂层厚度，根据工程要求选定试验温度）	无 裂 纹	
抗 10J 冲击（普通级涂层厚度）	无 针 孔	附录 E
抗 15J 冲击（加强级涂层厚度）	无 针 孔	

表 3（续）

试 验 项 目	质 量 指 标	试 验 方 法
30kg 耐划伤性 （普通级涂层厚度）	划伤深度≤350μm 无漏点	附录 F
50kg 耐划伤性 （加强级涂层厚度）	划伤深度≤500μm 无漏点	

7.4.2 若试验结果不符合表 3 要求，应立即调整涂敷工艺参数。同时在该不合格试验管段与前合格试验管段之间，追加两个试件，重新测试。当两个重做试验的试件均合格时，则该区间内涂敷过的钢管可以通过验收。若重做的两个试件中有一个不合格，则应将前个试验合格试验管段到该不合格试验管段之间的所有产品均视做不合格。以后重新进行的生产应按 7.4.1 的要求抽取试验管段进行测试。

7.4.3 不合格产品应按 8.3 的要求重涂。

8 涂层的修补、复涂及重涂

8.1 采用局部修补的方法来修补涂层缺陷时，应符合下列要求：

a）缺陷部位的所有锈斑、鳞屑、污垢和其他杂质及松脱的涂层必须清除掉。

b）将缺陷部位打磨成粗糙面。

c）用干燥的布、干燥的压缩空气和刷子将灰尘清除干净。

d）在管道下沟前发现的受机械损伤厚度减薄的涂层，应根据受损处保留涂层的厚度决定是否修补。如保留涂层的厚度达到原涂层厚度的 70%以上，则可以不修补。如在防腐厂或大型河流穿越管表面发现的任何损伤都应进行相应的处理。如业主有特殊要求，按照特殊要求处理。

e）直径小于或等于 25mm 的缺陷部位，应用环氧粉末生产商推荐的热熔修补棒、双组分环氧树脂涂料或业主同意使用的同等物料进行局部修补。

f）直径大于 25mm 且面积小于 250cm^2 的缺陷部位，可用环氧粉末生产厂推荐的双组分环氧树脂涂料或业主同意使用的同等物料进行局部修补。

g）所修补的涂层应满足 7.3 的相关要求。

8.2 如果钢管涂层的底层厚度达不到 4.2 的要求，不允许复涂，应按 8.3 的要求进行重涂；如底层厚度达到要求而面层厚度达不到要求应进行复涂，复涂时应按要求喷涂外层粉末。

8.3 如果钢管外涂层型式检验不合格，则必须进行重涂。如果涂层漏点的数量或个别漏点的面积超过 7.3 的规定，应进行重涂。重涂时，应将钢管表面加热到不超过 275℃，使涂层软化，然后刮去涂层，再进行喷（抛）射处理，重涂前必须将全部涂层清除干净。重涂应按第 6 章的涂敷要求进行，重涂后应按第 7 章的质量要求进行质量检验。

9 成品管的标记、装运和贮存

9.1 标记

经质量检验合格的外涂层钢管应在其外壁两端 1m 处做出标记，标明钢管规格、材质、生产厂名称，外涂层的类型、等级、防腐管编号、涂敷厂名称、生产日期、执行标准等，并向用户提供出厂合格证。

9.2 装运

9.2.1 成品管应用尼龙吊带轻吊、轻运，防止撞击变形和机械损伤。

9.2.2 装运时，应防止长钢管产生较大的弯曲而损伤外涂层。

9.2.3 在操作过程中钢管被损坏，应按照所使用钢管的技术要求或标准进行处理。

9.2.4 在操作过程中涂层被损坏，应按照第 8 章的要求进行处理。

9.2.5 涂敷过的每根成品管都应套上隔离垫圈。垫圈的尺寸和位置应以堆放时被保护涂层不受损坏为原则。

9.3 贮存

9.3.1 防腐厂应按照业主的要求提供堆放场地和贮存设施、方法的详细说明。

9.3.2 成品管应按涂层类型及钢管规格分开堆放，并应排列整齐，有明显标识。涂层检验不合格的钢管不得与成品管混放。在室外堆放时，场地应设立垫木、土台等管托，其高度应高于自然地面 150mm，管托间距 4m。如预计存放时间超过六个月，则应考虑增加防晒措施。防腐管堆放层数应符合表 4 的要求。

表 4 成品管堆放层数

管径 D mm	$D<200$	$200\leqslant D<300$	$300\leqslant D<400$	$400\leqslant D<600$	$600\leqslant D<800$	$D\geqslant 800$
最大堆放层数	10	8	6	5	4	3

10 涂敷生产的安全、卫生和环境保护

10.1 涂敷生产的安全、环境保护应符合 GB 7692 的要求

10.2 钢质管道除锈、喷涂生产过程中，各种设备产生的噪音应符合 GBJ 87 的有关规定。

10.3 除锈、喷涂车间空气中粉尘含量不得超过 TJ 36 的规定。

10.4 除锈及喷涂作业中所有机械设施的旋转和运动部位均应设有防护罩等安全保护设施。

10.5 环氧粉末喷涂区的电气设备应符合有关规定。

11 补口、下沟和回填

11.1 现场补口及质量检验

11.1.1 现场补口宜采用与管体相同的环氧粉末进行热喷涂。喷涂必须在水压试验前进行，以免因钢管内存水而无法加热到环氧粉末要求的固化温度。如业主有要求，可以采用无溶剂液体环氧涂料和三层热收缩套（带）补口。

11.1.2 钢管表面的补口区域在喷涂之前必须进行喷射除锈处理，其表面质量应达到 GB/T 8923 要求的 Sa2.5 级。处理后的表面不应有油污。

11.1.3 喷射除锈后必须清除补口处的灰尘和水分，同时将焊接时飞溅形成的尖点修平，并将管端补口搭接处 15mm 宽度范围内的涂层打磨粗糙。

11.1.4 双层环氧粉末涂层补口喷涂的工艺参数及质量检验按以下要求确定：

a) 在补口施工开始前应以拟定的喷涂工艺，在试验管段上进行补口试喷，直至涂层质量符合第 7 章的要求。

b) 对每天补口施工的头一道口，喷涂后应进行现场附着力检验和厚度检验。附着力检验的方法是：喷涂后待管体温度降至环境温度，用刀尖沿钢管轴线方向在涂层上刻划两条相距 10mm 的平行线，再刻划两条相距 10mm 并与前两条线相交成 30°的平行线，形成一个平行四边形。要求各条刻线应划透涂层。然后，把刀尖插入平行四边形各内角的涂层下，施加水平推力。如果涂层呈片状剥离或两层之间剥离，应调整喷涂参数，直至涂层呈碎末状剥离为止。厚度检验应按 11.1.4d）的要求进行。

c) 采用感应式加热器将补口处管体加热到规定温度，允许偏差为 ±5℃，然后按照双层环氧粉末

涂层喷涂工艺要求进行喷涂。要求喷涂厚度与管体涂层要求厚度相同，并与管体涂层搭边不小于25mm。

d）补口后，应对每道口的外观、厚度及漏点进行检测，并做出记录。

1）外观质量：目测，涂层表面应平整光滑，不得有明显流淌现象。

2）厚度检测：用涂层测厚仪绕焊口两侧补口区上、下、左、右位置共8点进行总厚度测量，其最小值不得小于管体涂层的最小厚度。若有小面积厚度不够，可打毛后用双组分环氧涂料进行修补；若厚度不够处的面积超过钢管补口区表面积1/3，则应重新喷涂。每班应对补口涂层进行一次底层、面层厚度检查，如底层厚度达不到厚度要求，再随机抽查一处；如底层厚度达到最小要求，则该班喷涂厚度合格；如底层厚度达不到最小要求，则该班补口施工不合格，按照8.2规定处理，或与业主协商解决。

3）漏点检测：用电火花检漏仪以5V/μm的直流电压对补口区涂层进行检测，如有漏点，应按第8章的要求进行处理。

e）不允许使用回收粉末。

11.1.5 如采用双组分无溶剂液体环氧涂料补口，补口施工工艺应满足厂家和业主的技术要求，补口涂层的厚度应同主体涂层的总厚度相同，性能应达到表3要求的阴极剥离、附着力、抗弯曲和抗冲击共四项检验项目的验收指标。

11.1.6 如采用三层热收缩套（带）补口，补口施工工艺应满足厂家和业主的技术要求，底漆涂敷最小厚度为100μm，热收缩套（带）对底漆钢和主体粉末的剥离强度最小为60N/cm，剥离方式应为内聚剥离。

11.2 下沟、回填

11.2.1 补口全部验收合格后，在管线下沟前，必须按SY/T 0401有关规定进行全线再检测。如发现损伤处，应按第8章的要求进行处理，合格后方可回填。

11.2.2 回填应按有关要求进行。

11.2.3 回填后，应使用地面音频检漏仪进行全线检测，发现漏点必须进行修补。

12 交工资料

12.1 环氧粉末的质量证明书、合格证及有关测试项目的复验报告。

12.2 修补、补口材料等的质量证明书、合格证及有关测试项目的复验报告。

12.3 环氧粉末外涂层生产过程中质量检验报告及钢管外涂层质量检验报告。

12.4 外涂层生产质量证明书，内容包括：工程名称、工程编号、粉末名称及型号、涂层质量指标、技术负责人、质量负责人等。

12.5 安装前涂层检验资料。

12.6 补口记录及检验资料。

12.7 回填前涂层检验资料。

12.8 地面检漏及修补、复涂、重涂资料。

12.9 用户要求的其他技术资料。

附 录 A
（规范性附录）
环氧粉末的胶化时间

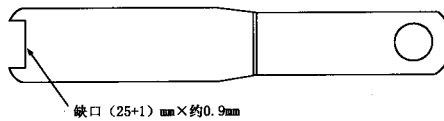
A.1 本试验需要的设备如下：

a）电热板，温度控制精度在±3℃；

b）可放在电热板上加热的金属板；

c）秒表或电子计时器，可测量到0.1s的间隔；

d）拉延板（形状见图A.1）。



图A.1 拉延板

A.2 试验步骤：

a）本试验应做3次，取其结果的平均值。

b）加热金属板并保持温度在（205±3)℃，把环氧粉末置于拉延板末端25mm槽宽处，手持拉延板，使其与金属板约成45°，以平稳移动使环氧粉末迅速涂敷在金属板上，从而形成一条宽约25mm的舌状环氧粉末带，固化后的膜厚为300μm～400μm。当金属板上的粉末开始熔化时，立即开始计时。

c）在拉延板上轻施压力，重复地移动拉延板，使其通过熔化了的环氧粉末。当拉延板只接触已熔化的粉末，不再接触金属板时，停止计时。

A.3 试验报告应包括如下内容：

a）环氧粉末的批号；

b）试验日期；

c）胶化时间，s。

附 录 B
（规范性附录）
环氧粉末挥发分含量的测定——失重法

B.1 本试验需要的设备如下：

a）烘箱，温度控制精度±3℃；

b）天平，精确到0.001g；

c）干燥器；

d）试样容器。

B.2 试验步骤：

a）称量试样容量，精确到0.001g，取约10g环氧粉末放入容器内，再称量容器与环氧粉末，精确到0.001g。

b）将容器连同粉末放入烘箱中，在温度（105±3)℃下烘2h。然后取出容器，放入干燥器中使之冷却，当温度降到（20±3)℃时，称量；再放入干燥器，间隔1h10min后重复称量，直到相邻两次称得的质量相差不超过0.001g为止，记下此数值。

c）用式（B.1）计算挥发分含量：

$$M = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \qquad \cdots\cdots(B.1)$$

式中：

M——挥发分含量；

B——容器及粉末初始质量，g；

C——容器及粉末最终质量，g；

A——空容器质量，g。

B.3 试验报告应包括如下内容：

a）环氧粉末的批号；

b）试验日期；

c）挥发分含量。

附 录 C
（规范性附录）
环氧粉末的粒度

C.1 本试验需要的设备如下：

a）带有真空吸尘器的气流喷射筛分器及150μm和250μm的筛网；

b）天平，精确到0.01g。

C.2 试验步骤：

a）称出筛子和一个筛网的质量，精确到0.01g；取约20g的环氧粉末放到筛网上并称出粉末的质量，精确到0.01g；做好记录。

b）将筛子放入筛分器中，盖上，关紧。起动筛分器，使其工作3min±10s，然后打开盖子。

c）取出筛子并称出其质量，精确到0.01g。

d）用式（C.1）计算筛网上环氧粉末的百分率：

$$P = \frac{F - L}{M} \times 100\% \qquad \cdots\cdots(C.1)$$

式中：

F——筛子、网和筛上粉末的总质量，g；

L——筛子和网的原始质量，g；

M——放到筛网上的粉末初始质量，g；

P——筛上粉末百分率。

e）用另一个筛网重做。

C.3 试验报告应包括如下内容：

a）环氧粉末的批号；

b）试验日期；

c）每种尺寸筛网的筛上粉末百分率。

附 录 D
（规范性附录）
双层环氧粉末涂层的抗弯曲性能试验

D.1 本试验需要的设备应符合下列规定：

a）压力试验机；

b）弯曲芯轴；

c）冷冻箱。

D.2 实验室涂敷试件尺寸约为 200mm×25mm×6mm，管段试件尺寸约为 200mm×25mm×管壁厚度，其中 200mm 为管段轴向尺寸。试件数为 3 件。

D.3 试验步骤应符合下列规定：

a）涂层边缘应光滑，以消除任何潜在的应力升高点。将试件放入冷冻箱内，冷却到（0±3)℃或（−30±3)℃，并保持至少 1h。

b）将试件放在一平面上，测量试件厚度 T，该值为试件的钢管壁厚和内弧弦高之和。

c）用式（D.1）求出芯轴半径，该芯轴对应于单位管径长度弯曲 2°：

$$R_1 = 28.1T \qquad \cdots\cdots(D.1)$$

式中：

R_1——要求的芯轴半径，m；

T——试件厚度，m。

d）用式（D.2）求出芯轴半径，该芯轴对应于单位管径长度弯曲 1.5°：

$$R_2 = 37.7T \qquad \cdots\cdots(D.2)$$

式中：

R_2——要求的芯轴半径，m；

T——试件厚度，m。

e）将试件放在选定曲率半径的芯轴上进行弯曲试验，每个试件的弯曲过程应在从冷冻箱中取出的 30s 之内完成，折弯速率应保持整个过程在 10s 内完成。

f）将上述试件加温到（20±5)℃并保持此温度至少 2h。在此后的 1h 内，目测试件是否有裂纹。

g）按照上述相关条件进行四点弯曲试验也是被允许的。最大弯曲角度 θ 用式（D.3）计算。

$$\theta = \frac{360}{\pi} \cdot \frac{T}{2R_3 + T} \qquad \cdots\cdots(D.3)$$

式中：

θ——产生裂纹时的最大弯曲角度，rad；

T——试件厚度，m；

R_3——弯曲试件内表面弯曲半径，m。

D.4 试验报告应包括以下内容：

a）规定的折弯角度；

b）是否有裂纹；

c）试验日期。

附 录 E
（规范性附录）
双层环氧粉末涂层的抗冲击性能试验

E.1 本试验需要的设备有：

a）冲击试验机：球形冲头直径 25mm；

b）用于管段试件的弧面砧，其半径为 40mm，硬度 HRC 为 55±5；

c）木垫块，其尺寸最小为 600mm×600mm×600mm，其顶面为硬木；

d）电火花检漏仪；

e）恒温箱。

E.2 实验室涂敷试件尺寸约为 100mm×100mm×6mm，管段试件尺寸约为 100mm×100mm×管壁厚度。每组试件为 3 件。

E.3 试验步骤应符合下列规定：

a）将试件放恒温箱，温度控制到（23±2)℃，并保持至少 1h，将恒温后的试件放入冲击试验机，并将垫块对正。

b）以至少为 10J 或 15J 的冲击能量冲击试件 3 次，各个冲击点相距至少为 50mm，三次冲击应在试件从恒温箱中取出后的 60s 之内完成。球形冲头最多冲击十次后，应转到一个未使用过的位置。当总冲击次数达到 200 次以后，应更换冲头。

c）冲击试验结束后，检查试件针孔。检漏电压为 5V/μm。

E.4 试验报告包括以下内容：

a）使用的冲击能量值；

b）电火花检漏仪使用的电压值；

c）针孔数；

d）试验日期。

附 录 F
（规范性附录）
双层环氧粉末涂层的耐划伤性能试验

F.1 本试验需要的设备应符合下列规定：

a）HS－2001 型耐划试验机：R－33、20°终端角、直径为 25mm 半球头的碳钢划伤头、最多使用划伤次数为 10000 次、相当于最大 50kg 的重物；

b）检漏仪；

c）划痕深度仪：精度 0.001mm，测试探头接触点直径 1.8mm。

d）压力测定仪：精度 0.1kg。

F.2 实验室涂敷试件尺寸约为 100mm×100mm×6mm，管段试件尺寸约为 100mm×50mm×管壁厚度。试件数为 3 件。试验室试样要做四条划痕，管段试验要做两条划痕。

F.3 试验步骤应符合下列规定：

a）用 ASTM G 12 中规定的校准过的涂层厚度测量仪测量涂层的厚度，报告中应记录涂层的平均厚度和标准偏差，应在试样被划伤的区域进行厚度测量。

b）将试样放置在一个标准（23±2)℃、相对湿度（50±5)%的试验室条件下，至少放置 2h 后取出测试。因为试验结果往往受试验温度的影响，所以每个试件的测试要求在 5min 内完成。

c）将划伤试验仪固定在拉力试验装置的底支撑架上。校准及平衡拉力试验仪。将划伤试验仪的控制索连结在拉力试验仪上，保证在连结前控制索没有相互绞合。除了控制索和支架的质量外，确保拉力试验仪不受力，调整拉力试验仪使其平衡到此质量。

d）将试样固定在划伤实验仪的试样台上。涂层面应向上，面对施力点。如试件为平板试件，要充分保证试件测试平面同滑杆保持平行；如测试试件为弧型管段试件，则要保证样品的长轴应和拉力方向平行，调整钢质垫片与水平线，使涂层表面和测试平台平行，同时必须保证划针垂直于将划伤点处的弧切面，将碳钢棒触及试件表面并施加相当于 30kg 或 50kg 的重物。将压力测定仪直接放置在划伤头的正下方，精确测量施加在划针上的压力，压力范围为±0.1kg。小心地降低支撑架到试样测试区域，检查支撑架的水平位置，将其调整到水平。然后将支撑架升高，离开试样表面。

e）调整拉力试验仪上的控制开关，使在测试中试样每边的运动在 12mm 以内，测试区域长约为 7.6cm。降低支撑架使划伤头停靠在试样涂层表面。

f）设定拉力试验方法，使拉力试验仪的加头向上移动，带动涂层试件以 25.4cm/min 的速度在划头下移动。在支撑架上施加一定的力以保证试验台的稳定。试验完成时，将拉力试验仪的十字头返回到初始位置，移去支撑架上的力并升起支撑架，使划头离开试件表面。

用不锈钢线刷清除掉划头上的涂层残余，用柔软的刷子或压缩气源除去试件上多余的涂层。

在另一位置再做一次测试，测试区应距前一次划痕至少 6.4mm。将试件固定在新位置，保证它稳定并如上所述水平。

g）将试件从划伤测试仪上取下，除去表面上多余的涂层，将试件放在一个平稳的工作台上，以便进行下一步测量。在距各条划痕起始点 12mm 处各做一标记，连接各标记做一条垂直于划痕的线穿过每一条划痕，用这条线作为参考点。划两条相距为 12mm 的平行线划过涂层，穿过试件的三条线将作为测试的参考点。将划痕厚度仪放在涂层表面，将接触点直接放置在划痕前的非破坏涂层区域，调节零点。沿着划痕手动调节划痕深度仪，确保接触点落入划痕底部。V 型坡口不应接触划痕，而应在划痕两边移动。记录划线与划痕交叉处的划痕深度。重

复上述步骤对每个划痕进行测量。

注：涂层厚度和试件几何形状的不同都可能导致读数的误差，这是因为在读数时，V型坡口不能提供一个连续的测量，这时可以将测量仪放在划痕末端，将接触点放在未破坏的涂层表面上，预先调节的零点可以理想地认为还是其零点位置。如果读数超过±0.05mm，就有必要将接触点换一个位置重新校正零点。要保证在深度测量前，使测量仪的零点设置在规定的范围内。

h）试件在经过深度测定后，就可以进行漏点测试，这是为了鉴定划伤测试施加的力对涂层的影响，漏点测试可以使用高电压检测仪。高压检测仪检测电压应根据未破坏的涂层厚度来设置，电压值为5V/μm。这时可以使用橡胶电极，在进行漏点测试前，都应用尖刀或剃刀除去任何由于划伤测试带来的毛刺，避免在涂层上产生漏点。

F.4 试验报告应包括以下内容：

a）规定的重物质量；

b）涂层类型、总厚度、各层厚度和划伤深度；

c）检测电压和是否有漏点；

d）试验日期。