ICS 23.040.10；87.020
P 94
备案号：16429—2005

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0315—2005
代替 SY/T 0315—1997

钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层技术规范

Technological standard of FBE external fusion bonded epoxy coating for steel pipeline

2005－07－26 发布　　2005－11－01 实施

国家发展和改革委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　一般要求 …… 1
3.1　产品订货要求 …… 1
3.2　质量保证要求 …… 2
3.3　标准的符合性 …… 2
4　环氧粉末外涂层结构 …… 2
5　材料 …… 2
5.1　钢管 …… 2
5.2　环氧粉末涂料 …… 2
6　涂料及涂层质量确认 …… 4
6.1　熔结环氧粉末涂料质量确认 …… 4
6.2　熔结环氧粉末涂层质量确认 …… 4
7　环氧粉末外涂层的涂敷施工 …… 4
7.1　工艺性试验 …… 4
7.2　涂敷施工 …… 5
7.3　生产过程质量检验 …… 5
7.4　型式检验 …… 6
8　涂层的修补和重涂 …… 6
8.1　修补 …… 6
8.2　重涂 …… 6
9　成品管的标记、装运和储存 …… 6
9.1　标记 …… 6
9.2　装运 …… 7
9.3　贮存 …… 7
10　现场补口及质量检验 …… 7
10.1　补口区域的表面清理 …… 7
10.2　补口喷涂施工 …… 7
10.3　质量检验 …… 7
11　涂敷生产的安全、卫生和环境保护 …… 8
12　交工文件 …… 8
附录A(规范性附录)　环氧粉末的固化时间试验 …… 9
附录B(规范性附录)　环氧粉末及其涂层的热特性试验 …… 11
附录C(规范性附录)　涂层的耐阴极剥离试验 …… 14
附录D(规范性附录)　涂层的孔隙率测定试验 …… 16
附录E(规范性附录)　涂层的抗弯曲性能试验 …… 17
附录F(规范性附录)　涂层的抗冲击性能试验 …… 19

附录 G(规范性附录) 涂层的附着力测定 …… 20
附录 H(规范性附录) 弯曲后涂层的耐阴极剥离试验 …… 21
附录 I(规范性附录) 涂层的耐化学腐蚀试验 …… 22
附录 J(规范性附录) 涂层的耐磨性试验 …… 23

前　言

本标准是根据国经贸厅行业［2003］22号文件《关于下达2003年行业标准项目计划的通知》的要求，对SY/T 0315—1997《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术标准》的修订。本标准在修订过程中按照GB/T 1.1的要求，与加拿大最新版本的国家标准CAN/CSA－Z245.20－02的一致性程度是非等效，结合SY/T 0315—1997自1998年6月实施以来的应用实践经验进行修订。与前版相比，主要区别如下：

——修订了抗弯曲试验温度的要求；

——修订了环氧粉末及涂层生产试验的要求；

——删除了下沟和回填的内容和要求；

——删除了复涂的内容和要求；

——增加了弯曲后的涂层耐阴极剥离试验要求；

——增加了工艺性试验的要求；

——增加了建立符合ISO 9000体系要求的质量管理体系和HSE体系的要求；

——增加了对钢质热煨弯管熔结环氧粉末外涂层的有关技术要求；

——修订了交工文件的要求。

本标准的附录A、附录B、附录C、附录D、附录E、附录F、附录G、附录H、附录I和附录J均为规范性附录。

本标准由中国石油天然气管道科学研究院提出。

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：中国石油天然气管道科学研究院。

本标准主要起草人：张瑛、许传新、权忠奥、侯同瑞、焦如义。

本标准由中国石油天然气管道科学研究院负责解释。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——SY/T 0315—1997。

钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层技术规范

1 范围

本标准规定了以熔结环氧粉末涂料作为成膜材料的埋地钢质管道外涂层的要求。

本标准适用于钢质管道单层结构熔结环氧粉末外涂层的设计、施工及验收。经过涂敷的钢管可用于工作温度为－30℃～100℃的埋地或水下管道设施。

钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层的设计、施工及验收除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

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。

GB/T 1408.1 固体绝缘材料电气强度试验方法 工频下的试验

GB/T 1410 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法

GB/T 4472 化工产品密度、相对密度测定通则

GB/T 5330—2003 工业用金属丝编织方孔筛网

GB/T 6554 电气绝缘用树脂基反应复合物 第2部分：试验方法 电气用涂敷粉末方法

GB 7692 涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及其通风净化

GB/T 8923—1988 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级

GB/T 18570.2 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 清理过的表面上氯化物的实验室测定

GB/T 19001 质量管理体系 要求

GBJ 87 工业企业噪声控制设计规范

GBZ 1 工业企业设计卫生标准

JB/T 6570 普通磨料 磁性物含量测定方法

3 一般要求

3.1 产品订货要求

3.1.1 订购防腐管时，买方应向防腐厂提供下列资料：

a) 执行标准编号和发布年号（SY/T 0315—2005）。

b) 钢管数量、外径、壁厚及单根长度。

c) 钢管执行的标准或规格牌号。

d) 涂层的级别或厚度。

e) 管端预留段长度。

f) 抗弯曲试验温度（－30℃或－18℃或0℃）。

3.1.2 必要时，订货要求还可包括下列内容：

a) 附加的表面预处理。

b) 买方的工厂检验内容。

c）额外增加的试件。

d）额外增加的标记。

e）装运的要求。

f）储存的要求。

g）附加的实验室涂层试件。

h）其他特殊要求。

3.2 质量保证要求

防腐厂和原材料生产厂应按照 GB/T 19001 的要求，建立适宜的质量保证体系。

3.3 标准的符合性

防腐厂应严格按照本标准的相应条款执行，应允许买方进行任何必要的审查以确认防腐厂对标准的符合性，并拒收任何不合格的产品。

4 环氧粉末外涂层结构

环氧粉末外涂层为一次成膜结构。环氧粉末外涂层的最小厚度应符合表 1 的规定。最大厚度可由买方在订货时规定。

表 1 环氧粉末外涂层厚度

序号	涂层级别	最小厚度 μm
1	普通级	300
2	加强级	400

5 材料

5.1 钢管

5.1.1 准备涂敷的钢管应符合国家或行业现行有关标准或订货条件的规定。

5.1.2 钢管生产商应提供钢管的质量证明书和合格证。

5.1.3 防腐厂应逐根对钢管进行外观检查，外观应符合国家或行业现行有关钢管标准或订货条件的规定。

5.2 环氧粉末涂料

5.2.1 环氧粉末涂料应有生产厂家提供的产品说明书、出厂检验合格证、质量证明书和检测报告等有关技术资料，证明其产品符合 5.2.2 的要求。交货时，在其外包装上应清楚地标明下列内容：

a）生产厂名。

b）产品名称。

c）材料质量。

d）产品型号、批号。

e）产地。

f）贮存温度。

g）生产日期、有效期等。

5.2.2 对每一牌（型）号的环氧粉末涂料，生产厂家应在厂家质保体系规定时间内，向防腐厂提供由具有检验资质的第三方出具的符合表 2 及表 3 要求的环氧粉末涂料及实验室涂层性能检验报告。

表 2 环氧粉末涂料的性能

序号	试验项目	质量指标	试验方法
1	外观	色泽均匀，无结块	目测
2	固化时间，min	应满足买方要求	附录 A
3	胶化时间，s	应满足买方要求	GB/T 6554
4	热特性	符合粉末生产厂给定的指标	附录 B
5	不挥发物含量，%	≥99.4	GB/T 6554
6	粒度分布，%	150μm 筛上粉末≤3.0 250μm 筛上粉末≤0.2	GB/T 6554
7	密度，g/cm^3	1.3～1.5	GB/T 4472
8	磁性物含量，%	≤0.002	JB/T 6570
注：230℃时，固化时间宜不超过 1.5min；胶化时间宜为 8s～30s。			

表 3 实验室涂敷试件的涂层质量指标

序号	试验项目	质量指标	试验方法
1	外观	平整、色泽均匀、无气泡、无开裂及缩孔，允许有轻度桔皮状花纹	目测
2	热特性	符合粉末生产厂给定特性	附录 B
3	28d 耐阴极剥离，mm	≤8.5	附录 C
4	24h 或 48h 耐阴极剥离，mm	≤6.5	附录 C
5	粘结面孔隙率等级，级	1～4	附录 D
6	断面孔隙率等级，级	1～4	附录 D
7	抗 3°弯曲（订货规定的最低试验温度±3℃）	无裂纹	附录 E
8	抗 1.5J 冲击（－30℃）	无漏点	附录 F
9	24h 附着力，级	1～3	附录 G
10	弯曲后涂层 28d 耐阴极剥离	无裂纹	附录 H
11	电气强度，MV/m	≥30	GB/T 1408.1
12	体积电阻率，Ω·m	$\geq 1\times10^{13}$	GB/T 1410
13	耐化学腐蚀	合格	附录 I
14	耐磨性（落砂法），L/μm	≥3	附录 J

5.2.3 环氧粉末涂料应密封保存，且在装运、储存过程中保持干燥、清洁。防腐厂应按照环氧粉末生产厂推荐的温度和湿度条件储存环氧粉末涂料。

6 涂料及涂层质量确认

6.1 熔结环氧粉末涂料质量确认

6.1.1 在熔结环氧粉末涂料用于涂敷生产前，每生产批（批量不超过50t）环氧粉末涂料应至少取样一次进行检验，其指标应符合表2的要求。

6.1.2 当测试结果中有一项试验不满足表2要求时，应再从该批产品中取两个追加样品重新进行试验。当两个重复试验均满足规定要求时，该批量粉末可使用；若两个重复试验之一（或两者）不满足规定要求，则该批粉末不能使用。

6.2 熔结环氧粉末涂层质量确认

6.2.1 钢管涂敷生产之前，应由具有检测资质的实验室通过实验室涂敷试件按表3中第4，5，6，7，8，9项的内容对环氧粉末涂层性能进行测试，结果应符合表3的要求。当环氧粉末生产厂、配方和生产地点三项之一或多项发生变化时，应对涂层质量重新进行确认。

6.2.2 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，其尺寸应符合相应试验方法的要求。

b）试件表面应进行喷射清理，其除锈质量应达到GB/T 8923—1988中要求的Sa2½级，锚纹深度应在40μm～100μm范围内。

c）涂敷的固化温度应按照环氧粉末生产厂的推荐值确定，且不得超过275℃。

d）试件上环氧粉末涂层的厚度应为350μm±50μm。

6.2.3 实验室涂敷试件的质量指标应符合表3的规定。

6.2.4 当测试结果中有一项试验不满足表3要求时，应在该批产品中追加两个样品按规定重新进行试验。在两个重复试验均满足规定要求时，该批量粉末应予接受；当两个重复试验之一（或两者）不满足规定要求时，该批量粉末应予拒收。

7 环氧粉末外涂层的涂敷施工

7.1 工艺性试验

7.1.1 正式生产前，应通过工艺性试验确定工艺参数，直至涂层的厚度和涂敷温度达到要求，记录此工艺参数，并按此工艺参数制作管段试件，按照表4的项目由具有检验资质的实验室进行检测并出具检测报告。

表4 外涂层钢管的型式检验项目及验收指标

序号	试验项目	验收指标	试验方法
1	24h耐阴极剥离	≤11.5mm	附录C
2	断面孔隙率，级	1～4	附录D
3	粘结面孔隙率，级	1～4	附录D
4	24h附着力，级	1～3	附录G
5	抗2.5°弯曲（订货规定的最低试验温度±3℃）	无裂纹	附录E
6	抗1.5J冲击（－30℃）	无漏点	附录F

7.1.2 涂层质量应符合表4的验收指标要求，检测合格后方可正式施工。

7.2 涂敷施工

7.2.1 钢管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附着在钢管外表面的油、油脂及任何其他杂质清除干净。

b) 对于海运和临海地区的钢管，应按GB/T 18570.2规定的方法，做表面盐分测定，如果测定值超过20mg/m²的标准时，应用含有清洁剂的清洁水清洗。

c) 喷（抛）射除锈前，应预热钢管驱除潮气，管子表面温度应保持高于露点温度至少3℃，但在喷（抛）射处理与检测期间应低于150℃。

d) 喷（抛）射除锈后，应将钢管内外表面残留的钢丸/砂粒和外表面锈粉微尘清除干净。

e) 对可能影响涂层质量的表面缺陷应进行修理，使表面完全满足涂敷施工的要求。对于无法清除缺陷的钢管，应与买方协商取得一致的处理意见。

f) 钢管外表面喷（抛）射除锈等级应达到GB/T 8923—1988中规定的Sa2½级。表面锚纹深度应在40μm～100μm范围内，并按7.3要求进行检测，使管子外表面完全符合涂敷施工的要求。

g) 钢管表面预处理后8h内应进行喷涂。当出现返锈或表面污染时，必须重新进行表面处理。

h) 若买方另有要求，在涂敷前应按买方的要求进行表面预处理。

7.2.2 涂敷温度和固化时间及涂层厚度应符合下列规定：

a) 应监测环氧粉末涂敷之前瞬间的钢管外表面温度，并把温度控制在粉末生产商的推荐范围之内，但最高不得超过275℃。

b) 固化时间应符合环氧粉末涂料生产厂的要求。

c) 涂层的最大厚度应符合买方要求；当买方无特殊要求时，涂层最小厚度应符合表1的要求。

7.2.3 钢管两端预留段的长度应按订货要求。预留段表面不得有涂层。

7.3 生产过程质量检验

7.3.1 预处理后目测检查

表面预处理之后，应对每根钢管是否有表面损伤和可能引起涂层针孔的表面缺陷进行目测检查。对可能导致涂层漏点的表面缺陷，应打磨掉，且打磨后的壁厚不应小于规定值。有损伤的钢管应按照买方的意见拒收或予以修整。

7.3.2 表面除锈质量和锚纹深度检测

7.3.2.1 应采用GB/T 8923—1988规定的方法检测钢管表面预处理后的除锈质量，除锈等级应达到GB/T 8923—1988中规定的Sa2½级。连续生产时，应逐根检测钢管表面除锈质量。

7.3.2.2 应采用锚纹深度测试仪、锚纹拓印膜或买方认可的相应方法检测钢管外表面锚纹深度。连续生产时，应至少每4h检测两根钢管的外表面锚纹深度。

7.3.3 涂敷温度检测

涂敷前钢管表面的加热温度必须控制在环氧粉末生产厂推荐的温度范围内，从生产开始起至少应每小时记录一次温度值。

7.3.4 涂层外观检测

应逐根进行目测检查，外观要求平整、色泽均匀、无气泡、无开裂及缩孔，允许有轻度桔皮状花纹。

7.3.5 漏点检测

7.3.5.1 应利用电火花检漏仪在涂层完全固化且温度低于100℃的状态下，对每根钢管的全部涂层做漏点检测，检测电压以5V/μm计，测量电压按最小厚度计算。检漏仪应至少每班校准一次。

7.3.5.2 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1.0个；当钢管外径大于或等于325mm时，平均每平方米外表面漏点数不超过

0.7个。经过修补的防腐层应对修补处进行漏点检测。当漏点超过上述规定时，或个别漏点的面积大于或等于250cm²时，应按8.2的规定进行重涂。

7.3.5.3 应确认成品管无漏点。

7.3.6 厚度检测

涂层厚度检验应使用磁性涂层测厚仪，在涂敷管表面温度降到测厚仪允许的温度时，沿每根钢管轴向随机取三个位置，测量每个位置圆周方向均匀分布的任意四点的涂层厚度并记录，其厚度应符合表1及订货的要求。当测得的某一点的厚度值低于最小厚度要求时，应对受此影响的钢管沿轴向以1m的间隔逐段检测，若测得的平均值不符合要求或某一点的厚度值低于要求的最小厚度值50μm以上时，应按8.2的规定重涂。涂层测厚仪应至少每班校正一次。

7.4 型式检验

7.4.1 每批连续生产的环氧粉末外涂层钢管每种管径、壁厚每工作班（最多间隔12h）应截取一个长度为500mm左右的管段或同等生产工艺条件下的试验管段按表4中的各项指标进行测试。热煨弯管环氧粉末外涂层连续生产的抽检频率按订货要求。

7.4.2 若测试结果不符合表4的要求，应立即调整涂敷工艺参数。同时，在该不合格试验段与前一合格试验段之间，追加两个试件，重新测试。当两个重做的试件均合格时，则该区间内涂敷过的成品管可以通过验收。若重做的两个试件中有一个不合格，则应将前一个试验合格的成品管到该不合格试验管件之间的所有产品均视作不合格；或者在买方同意的情况下，应将这一批管子再进一步重复试验，根据对最先和最后两根管子试验结果满足规定要求的比例，来确定这一批管子中可以接受的份额和不合格份额。以后的生产仍按7.4.1的要求抽取管段试件进行测试。

7.4.3 不合格产品应按8.2的规定进行重新涂敷。

7.4.4 买方订货有要求时，按订货要求的频率抽取试验管段。

8 涂层的修补和重涂

8.1 修补

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、裂纹、污垢和其他杂质及松脱的涂层必须清除掉。

b）将缺陷部位根据修补材料供应商的要求打磨成粗糙面。

c）用干燥的布或刷子将灰尘清除干净。

d）直径小于或等于25mm的缺陷部位，应用环氧粉末生产厂推荐的热熔修补棒或双组分液体环氧树脂涂料或买方同意使用的同等物料进行局部修补。

e）直径大于25mm且面积小于250cm²的缺陷部位，可用环氧粉末生产厂推荐的双组分液体环氧树脂涂料或买方同意使用的同等物料进行局部修补。

f）修补材料应按照厂家推荐的方法贮存和使用。

g）所修补涂层厚度应满足7.2.2的要求。修补情况应予以记录。

8.2 重涂

检验中厚度不合格、漏点数量超过允许修补范围或型式检验不合格的外涂层钢管，应进行重涂。重涂时，应将钢管加热到不超过275℃，使涂层软化，然后将全部涂层清除掉，再进行喷（抛）射处理。重涂应按第7章的要求进行，重涂后应按第7章的规定重新进行质量检验。重涂管子的检验情况应予记录。

9 成品管的标记、装运和储存

9.1 标记

经质量检验合格的环氧粉末外涂层钢管应在外壁距管端400mm处作出标记，标明钢管的规格、

编号、材质、等级、生产厂名称、执行标准及外涂层的类型、等级、防腐管编号、检验员代号、涂敷厂名称、涂敷日期、执行标准等。

9.2 装运

9.2.1 涂敷过的成品管运输时应使用不损坏涂层的吊具吊装，并应轻吊轻运，避免损伤钢管及涂层。

9.2.2 在操作过程中，涂层被损坏，经漏点检测后，应按照第8章的要求进行处理。

9.2.3 涂敷过的每根成品管应套上不少于3个隔离垫圈，避免彼此间接触。垫圈的尺寸和位置应按订货要求。

9.3 贮存

9.3.1 防腐厂应按照买方的要求提供堆放场地和贮存设施、方法的详细说明。

9.3.2 涂敷过的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。

9.3.3 在室外堆放时，防腐管底部应采用两道以上柔性支撑垫，支撑的最小宽度为200mm，其高度应高于自然地面100mm。直管防腐成品管的堆放层数应符合表5的要求。弯管防腐成品管的堆放层数应符合表6的要求。

表5 直管成品管堆放层数

管径 DN，mm	$DN<200$	$200\leqslant DN<300$	$300\leqslant DN<400$	$400\leqslant DN<500$	$500\leqslant DN<600$	$DN\geqslant 600$
最大堆放层数	10	7	6	5	4	3

表6 弯管成品管堆放层数

管径 DN，mm	$DN<400$	$400\leqslant DN<600$	$600\leqslant DN<800$	$DN\geqslant 800$
最大堆放层数	4	3	2	1

9.3.4 成品管露天堆放时间不宜超过6个月，超过6个月应采用不透明遮盖物覆盖。

10 现场补口及质量检验

10.1 补口区域的表面清理

10.1.1 钢管表面的补口区域在喷涂之前应去除油污和各种杂质，再进行喷（抛）射除锈处理，其除锈等级应达到GB/T 8923—1988要求的Sa2½级，锚纹深度应在40μm～100μm范围内。

10.1.2 抛（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毛。

10.2 补口喷涂施工

10.2.1 现场补口宜采用与管体相同的环氧粉末涂料进行静电喷涂。喷涂应在试压前进行。

10.2.2 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。试验管段应使用与施工管线相同的钢管。

10.2.3 采用感应式加热器将补口处管体加热到规定温度，补口加热允许温差为±5℃，然后进行喷涂。要求喷涂厚度与管体涂层平均厚度相同，并与管体涂层搭边不小于25mm。

10.3 质量检验

10.3.1 对每天补口施工的第一道口，喷涂后应进行现场附着力检验。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°角的平行线，形成一个平行四边形。要求各条刻线必须划透涂层。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。如果涂层成片状剥离，应调整喷涂参数，直至

成碎末状剥离为止。

10.3.2 外观质量检测：目测，涂层表面应平整光滑，不得有明显流淌。

10.3.3 厚度检测：用涂层测厚仪在焊口两侧补口区上、下、左、右位置共8点进行厚度测量。其最小厚度不得小于管体涂层的最小厚度。若有小面积厚度不满足要求，可打毛后用粉末厂家规定的涂料进行修补；若厚度不满足要求的面积超过补口表面积的1/3，则应剥除涂层重新按补口工艺进行操作。

10.3.4 漏点检测：用电火花检漏仪，以5V/μm的直流电压对补口处涂层进行100%检测，如有漏点，应按第8章的要求进行修补。

11 涂敷生产的安全、卫生和环境保护

涂敷生产的安全、卫生和环境保护应符合以下要求：

a) 防腐厂应建立HSE（健康、安全和环境）管理体系。

b) 涂敷生产的安全、环境保护应符合GB 7692的要求。

c) 除锈、喷涂过程中各种设备产生的噪音，应符合GBJ 87的有关规定。

d) 除锈、喷涂车间空气中粉尘含量不得超过GBZ 1中的有关规定。

e) 喷涂区域的电气设备应符合国家有关爆炸危险场所电器设备的安全规定，电器设备应整体防爆，操作部分应设触电保护器。

f) 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措施。

g) 各岗位工作人员应配备相应的劳动保护用品。

12 交工文件

交工文件应包括：

a) 质量检验报告。除非订货单中规定买方放弃检验报告，防腐厂应向买方提供7.1和7.3要求的项目的质量检验报告。

b) 防腐管出厂合格证。

c) 修补记录。

d) 买方要求的其他有关技术资料。

附 录 A
（规范性附录）
环氧粉末的固化时间试验

A.1 设备

本试验需要的设备应符合下列要求：

a）电热板：温度精度为±3℃。

b）金属板：尺寸为150mm×150mm×25mm。

c）接触式温度计。

d）计时器。

e）拉延板（形状见图A.1）。

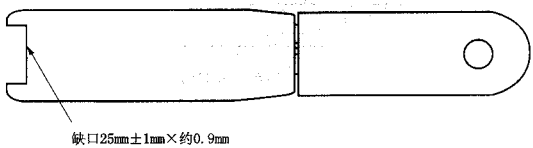


图 A.1 拉延板

f）镊子（小钳子）。

g）刮刀。

h）通用小刀。

i）差示扫描量热仪（DSC）。

A.2 试验步骤

试验步骤如下：

a）加热金属板并保持温度在230℃±3℃。

b）在金属板上用拉延板把环氧粉末迅速铺开，涂敷成一层薄膜，使膜厚在300μm～400μm之间，当金属板上的粉末开始熔化时，立即起动计时器开始计时。

c）趁涂膜未完全胶化之前，用一把通用小刀或刮刀在膜上将涂膜划分为10条带状，如图A.2所示。

d）经过30s±3s以后，用通用小刀或刮刀取下第1条涂膜带，并立即淬入冷水中。

e）每经过30s±3s，重复一次上款中的操作。注意应按从最初拉延开始的先后顺序取下、淬冷并按顺序摆放。

f）使用一台“差示扫描量热仪”（DSC），按附录B的要求，测定ΔT_g（玻璃化温度的变化值）或转化百分率C。

g）按粉末生产厂的规定，绘出时间对ΔT_g或时间对转化百分率的曲线。

A.3 试验报告

试验报告包括以下内容：

a）环氧粉末批号。

b）对应 ΔT_g 为 2℃的时间或对应 99%转化率的时间（s）。

c）试验日期。

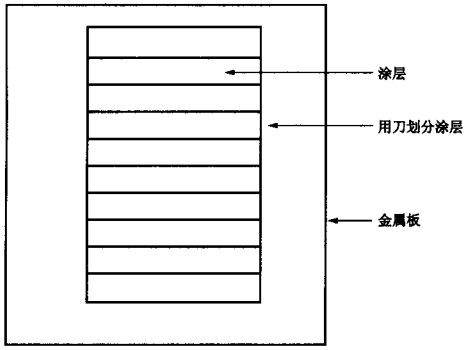


图 A.2　涂层平板划线

附 录 B
（规范性附录）
环氧粉末及其涂层的热特性试验

B.1 范围

本试验适用于测定环氧粉末及涂层的玻璃化转变温度（T_g）和反应热（ΔH）以及涂层的转化百分率（C）。

B.2 设备

本试验需要的设备应符合如下规定：

a）带制冷设备的差示扫描量热仪（DSC仪）。

b）分析天平：精确到0.1mg。

c）试样密封器。

d）带盖铝制试样皿。

B.3 试验步骤

试验步骤如下：

a）取10mg±1mg的环氧粉末或涂层作试样，放入预先称好的试样皿中，盖上盖子密封试样并称量，试样的质量精确到0.1mg。

b）将试样和参照物放入以干燥惰性气体保护的差示扫描量热仪测量池中。

c）对环氧粉末试样，按下列操作程序完成其热扫描：

1）以20℃/min的速率对试样加热，从25℃±5℃加热到70℃±5℃，然后将试样急冷到25℃±5℃。

2）以20℃/min的速率对同一试样加热，从25℃±5℃加热到285℃±10℃，然后将试样急冷到25℃±5℃。

3）以20℃/min的速率对试样加热，从25℃±5℃加热到150℃±10℃。

d）对涂层试样，按下列操作程序完成其热扫描：

1）以20℃/min的速率对试样加热，从25℃±5℃加热到110℃±5℃，在110℃时保持1.5min，然后将试样急冷到25℃±5℃。

2）以20℃/min的速率对同一试样加热，从25℃±5℃加热到285℃±10℃，然后将试样急冷到25℃±5℃。

3）以20℃/min的速率对试样加热，从25℃±5℃加热到150℃±10℃。

B.4 试验结果

试验结果应按以下要求计算：

a）对应于B.3 c）中的2），3）与B.3 d）中的2），3）所得的每一个热扫描线，确定其相应的T_g值，这些值是在低温端的外推基线与曲线转折点处的切线交点上。此外，还要确定相应的反应放热量ΔH（见图B.1和图B.2）。

b）对于涂层，用下列公式计算出T_g值的变化：

$$\Delta T_g = T_{g4} - T_{g3}$$

式中：

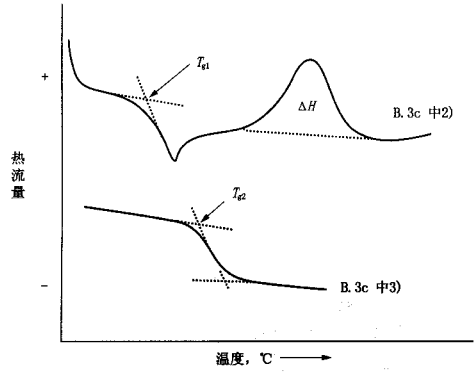


图 B. 1　对环氧粉末热扫描

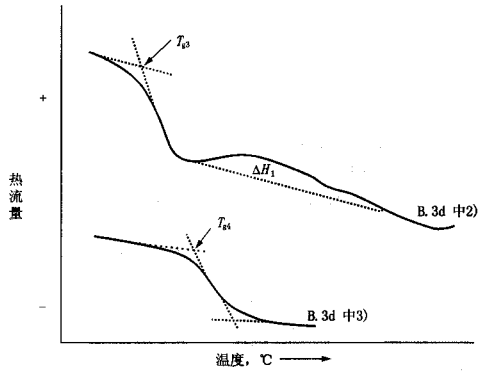


图 B. 2　对涂层热扫描

ΔT_g——T_g值的变化，℃；

T_{g3}——由 B. 3 d）中的 2）热扫描得到的 T_g值，℃；

T_{g4}——由 B. 3 d）中的 3）热扫描得到的 T_g值，℃。

c）对于涂层，用下列公式计算出转化百分率：

$$C=\frac{\Delta H-\Delta H_1}{\Delta H}\times 100\%$$

式中：

C——转化百分率，%；

ΔH——由 B. 3 c）中的 2）热扫描得到的反应放热量，J/g；

ΔH_1——由 B. 3 d）中的 2）热扫描得到的反应放热量，J/g。

B.5 试验报告

试验报告包括以下内容：

a) 环氧粉末批号。

b) 差示扫描量热仪的型号。

c) 对于环氧粉末，报告 T_{g1}，T_{g2}和 ΔH 值。

d) 对于涂层，报告 T_{g3}，T_{g4}，ΔH_1和 C 的值。

e) 试验日期。

附 录 C
（规范性附录）
涂层的耐阴极剥离试验

C.1 设备

本试验需要的设备应符合下列规定：

a）可调直流稳压电源。

b）热板或烘箱：温度精度为±3℃。

c）盛有石英砂的钢制浅盘。

d）甘汞电极。

e）铂丝或碳电极。

f）内径75mm±3mm塑料圆筒。

g）3%的NaCl溶液。

h）通用小刀。

C.2 试件要求

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。试件数为3件。

C.3 试验步骤

a）本试验应使用经确认没有漏点的试件，电火花检漏仪最低检漏电压应为1800V。

b）在试件的中心钻一个直径3.2mm的盲孔，透过涂层，露出钢基板。

c）把塑料圆筒中心对准盲孔放在试件上，并用密封胶粘好，不应漏水。

d）往筒内注入至少300mL的预先加热到试验温度的NaCl溶液，并在筒上作出液面位置标记。将电极插入溶液中与直流电源的正极连接，再将裸露盲孔的试件与负极连接。

e）施加电压于试件（对甘汞参比电极为负），在下列一种或多种试验条件下，保持温度不变：

1）1.5V，20℃±3℃，28d。

2）1.5V，65℃±3℃，48h；或3.5V，65℃±3℃，24h。

试验过程中，按需要添加蒸馏水以保持液面高度。

f）上述试验周期结束后，拆除电解槽，取下试件，将其在空气中冷却到20℃±3℃。在开始断开电源起的1h内，对试件的耐阴极剥离性能进行测试。

g）以盲孔为中心，用小刀划出放射线，如图C.1所示。线应划透涂层达到基底，并且从盲孔算起，延伸距离至少达到20mm。

h）用刀尖从盲孔处开始，插入涂层下面，以水平方向的力沿射线方向撬剥涂层，直到涂层表现出明显的抗撬剥性能为止。

i）从盲孔边缘开始，测量各个撬剥距离，并求其平均值，即为该试件的阴极剥离距离。

C.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a）环氧粉末的批号。

b）平均剥离值。

c）试验日期。

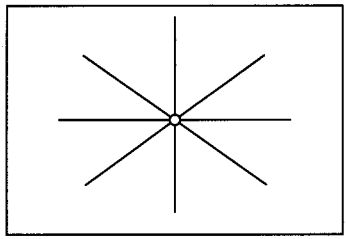


图 C.1　在试件上划透涂层的放射线

附 录 D
（规范性附录）
涂层的孔隙率测定试验

D.1 设备

本试验需要的设备应符合如下规定：

a）体视显微镜。

b）台虎钳或专用弯曲机。

c）干冰或冷冻箱。

d）通用小刀。

D.2 试件要求

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

a）将试件冷却到－30℃以下，并在台虎钳或专用弯曲机上折弯到约 180°。

b）在弯曲的试件上撬下一块涂层，并放大 40 倍观察涂层的孔隙率。

c）按图 D.1（自上而下依次为 1 级～5 级）和图 D.2（自上而下依次为 1 级～5 级）中所示的等级图评定试件的孔隙率等级。

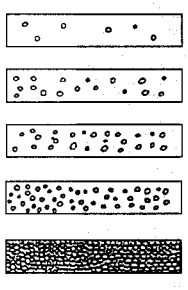


图 D.1 涂层粘结面孔隙率等级

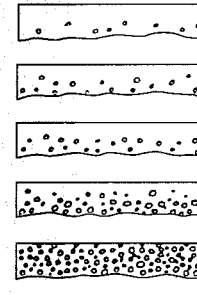


图 D.2 涂层断面孔隙率等级

D.4 试验报告

试验报告应包括如以下内容：

a）环氧粉末的批号。

b）断面孔隙率等级。

c）粘结面孔隙率等级。

d）试验日期。

附 录 E
（规范性附录）
涂层的抗弯曲性能试验

E.1 设备

本试验需要的设备应符合如下规定：

a）压力试验机。

b）弯曲芯轴。

c）冷冻箱。

E.2 试件要求

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。

E.3 试验步骤

试验步骤应符合如下规定：

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粉末生产商规定的最低弯曲试验温度：－30℃或－18℃或0℃的±3℃范围内，并至少保持1h。

b）如图 E.1 所示，将试件放在一个平面上，测量试件厚度（t），该值为试件的钢管壁厚和内弧弦高之和。

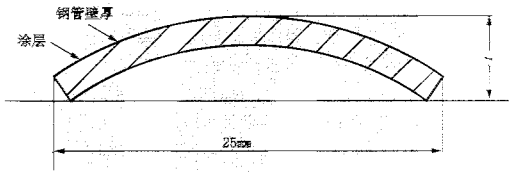


图 E.1 抗弯曲试验试件厚度的确定

c）用下列公式求出芯轴半径：

芯轴对应于单位管径长度弯曲 3°时：

$$R = 18.60t$$

芯轴对应于单位管径长度弯曲 2.5°时：

$$R = 22.42t$$

式中：

R——要求的芯轴半径，mm；

t——试件厚度，mm。

d）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该在从冷冻箱中取出 30s 之内完成，折弯速率应保持整个过程在 10s 内。

e）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。

E.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a）环氧粉末的批号。

b）规定的弯曲角度。

c）是否有裂纹。

d）试验日期。

附 录 F
（规范性附录）
涂层的抗冲击性能试验

F.1 设备

本试验需要的设备应符合如下规定：

a）冲击试验机：直径 16mm 的球形冲头，1kg 落锤。

b）用于管段试件的弧面砧：其半径为 40mm，硬度为 55HRC±5HRC。

c）用于实验室试件的平面砧：硬度为 55HRC±5HRC。

d）木垫块：其尺寸最小为 600mm×600mm×600mm，其顶面为硬木。

e）电火花检漏仪或湿海棉漏点探测仪。

f）冷冻箱。

F.2 试件尺寸

实验室涂覆试件尺寸约为 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。

F.3 试验步骤

试验步骤应符合下列规定：

a）将试件放入冷冻箱，冷却到 -30℃±3℃，并在这一温度范围内保持最少 1h，将冷却后的试件放入冲击试验机，并将砧块对正。

b）以至少为 1.5J 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冷冻箱中取出后 30s 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）将试件升温到 20℃±5℃，若使用电火花检漏仪，则使用电压应调至 1750V±250V；若使用湿海棉漏点探测仪，则电压应调至 67.5V±4.5V。

F.4 试验报告

试验报告包括以下内容：

a）环氧粉末的批号。

b）使用的冲击能量值（J）。

c）电火花检漏仪使用的电压值。

d）漏点数。

e）试验日期。

附 录 G
（规范性附录）
涂层的附着力测定

G.1 设备

试验设备应符合如下规定：

a）可控温慢速烘箱或耐腐蚀的水浴。

b）烧杯。

c）温度计。

d）通用小刀。

G.2 试件要求

试验室涂覆试件尺寸约为 100mm×100mm×6mm。管段试件尺寸为 100mm×100mm×管壁厚度。试件数为 3 件。

G.3 试验步骤

试验步骤如下：

a）每次试验在浸泡试件之前先把新鲜水预热到 75℃±3℃。把试件放入烘箱或水浴，用预热的水充分淹没试件，在 75℃±3℃下浸泡至少 24h，然后取出试件。

b）当试件仍温热时，立即用小刀在涂层上划一个大约 30mm×15mm 的长方形，透过涂层到达基底板，然后在空气中自然冷却到 20℃±3℃。在取出试件后 1h 内从长方形的任一角将刀尖插入涂层下面，以水平方向的力撬剥涂层，连续推进刀尖直到长方形内的涂层全部撬离或涂层表现出明显的抗撬性能为止。

c）按下列分级标准评定长方形内涂层的附着力等级：

1）1 级——涂层明显地不能被撬剥下来。

2）2 级——被撬离的涂层小于或等于 50%。

3）3 级——被撬离的涂层大于 50%，但涂层表现出明显的抗撬性能。

4）4 级——涂层很容易被撬剥成条状或大块碎屑。

5）5 级——涂层成一整片被剥离下来。

G.4 试验报告

试验报告包括以下内容：

a）环氧粉末的批号。

b）附着力的级别。

c）试验日期。

附 录 H
（规范性附录）
弯曲后涂层的耐阴极剥离试验

H.1 设备

本试验需用的设备应满足附录 C 和附录 E 要求，此外还需要一个内径 25mm ± 2mm 的塑料圆筒。

H.2 试件

实验室涂敷的无针孔试件，试件厚度应为 6.4mm ± 0.2mm，并大致切割成图 H.1 中所示形状。

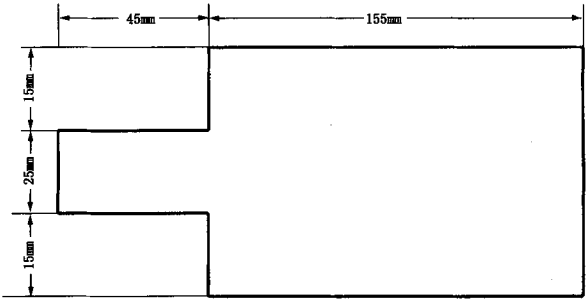


图 H.1 弯曲后涂层的耐阴极剥离

H.3 试验步骤

试验步骤如下：

a）按照附录 E 的各项的要求，在 −30℃ ± 3℃的温度下将试件弯曲成 2.5°。

b）按照附录 C 中适合本试验的要求，对已弯曲的试样进行 28d 的耐阴极剥离试验。

c）取下试验槽 24h 之内，目测试件的被试部位是否出现裂纹。

H.4 报告

a）环氧树脂粉末的批量号。

b）试验日期。

c）是否有裂纹。

附 录 I
（规范性附录）
涂层的耐化学腐蚀试验

I.1 浸泡介质

本试验所需浸泡介质应符合表 I.1 的规定。

表 I.1 试验使用的介质

试 剂	pH 值
稀盐酸	2.5～3.0
10%氯化钠加稀硫酸	2.5～3.0
10%氯化钠水溶液	—
蒸馏水	—
5%氢氧化钠水溶液	—
等质量的碳酸镁和碳酸钙饱和水溶液	—

I.2 试件要求

实验室涂敷试件尺寸约为 200mm×25mm×6mm，各边缘部位都应覆盖住，不得裸露基底。每种介质浸泡试件数至少 3 件。

I.3 试验步骤

试验步骤应按下列要求进行：

a）将试件竖着放入浸泡容器内，加入足够的介质，使试件长度的一半淹没于其中。

b）盖好容器盖，保持温度 20℃±3℃，经过 90d，并保持原来的液面高度；如液面有所下降，应添加适量的蒸馏水。

c）试验周期结束后，取出试件并观察其防腐层是否有脱色、隆起、软化、起泡爆皮、开裂、剥离、附着力降低等现象。

I.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a）在各种介质中浸泡 90d 以后防腐层的情况。

b）试验日期。

附 录 J
（规范性附录）
涂层的耐磨性试验

J.1 设备

本试验需要的设备应符合如下要求：

a）落砂耐磨试验机。

b）石英砂：粒度范围为 GB/T 5330—2003 要求的 GF W0.850/0.355（平纹）～GF W0.600/0.250（平纹）（R40/3 系列）（20 目～30 目）。

c）磁性测厚仪：分度值 2.0μm。

d）尺子：300mm。

e）量杯：2000mL。

f）秒表：精度 0.01s。

J.2 试件要求

试验室涂敷试件尺寸为 120mm×120mm×4mm。管段试件尺寸为 120mm×120mm×钢管壁厚。数量均不少于 2 个。

J.3 试验步骤

试验步骤应符合如下规定：

a）仪器应按下列方法校正：

1）将一定体积的石英砂倒入落砂耐磨试验机的漏斗中，打开落砂插板，调整机座，使砂流中心位于落砂导管中心处（从两个角度观看，砂流都与导管成一直线）。

2）将一定体积的石英砂倒入落砂耐磨试验机的漏斗中，调整落砂插板的开度，将流量为 2L 的石英砂所用时间控制在 21s～23.5s，并记下落砂插板此时的开度位置。

b）试件涂层应按下列方法测厚：

1）将试件放到试验支架上，并与垂直导管成 45°角（对管段试件，应使其轴线与直导管成 45°角），调整导管口中心与试件表面的垂直距离（在导管垂直方向上）为 25mm±2mm。

2）将约 1L 石英砂倒入落砂试验机漏斗中，拉开插板到校正的开度位置使落砂冲击试件表面，用笔标出直径约 20mm～30mm 的圆形冲击区。

3）用磁性测厚仪测量冲击区内的涂层厚度，至少均匀测量 5 点，并用 5 点厚度的算术平均值代表磨损前的涂层厚度（δ_1）。

c）落砂试验应按下列方法进行：

1）重复 J.3 b）中的 1）操作，并使冲击区中心与导管中心对正。

2）将称量过体积的石英砂倒入试验机漏斗中，打开落砂插板至校正时的开度位置，使石英砂冲击在试件表面上，不断补充石英砂，直到累计体积达 400L±2L 为止立即插上插板。

3）取出试件，用磁性测厚仪测出冲击区内涂层剩余厚度的最薄点，以该点为中心，画一个直径为 4mm 的圆，在该圆内均匀测量 5 点（含圆心点），计算 5 点的算术平均值，代表试件磨损后的涂层厚度（δ_2）。

d）用另一试件重复本款 2）～3）的操作。

e）石英砂经过 25 次试验，即应更换。

J.4 耐磨值的计算

应按下式计算涂层的耐磨值：

$$A=\frac{V}{\delta_1-\delta_2}$$

式中：

A——涂层耐磨值，L/μm；

δ_1——磨损前涂层厚度，μm；

δ_2——磨损后涂层厚度，μm；

V——石英砂体积，L。

涂层的耐磨值用平行试验两个试件耐磨值的算术平均值表示，精确到一位小数。

平行试验两个试件的耐磨值允许误差不大于0.5L/μm。

J.5 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a）涂层耐磨值（L/μm）；

b）试验日期。