

ICS 23.040.10; 87.020

P 94

备案号: 43164—2014

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0315—2013

代替 SY/T 0315—2005

钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范

Technological specification of external fusion bonded epoxy coating
for steel pipeline

2013—11—28 发布

2014—04—01 实施

国家能源局 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 熔结环氧粉末外涂层的涂敷施工及质量检验	5
7.1 工艺文件	5
7.2 工艺性试验	5
7.3 涂敷施工	5
7.4 生产过程质量检验	6
7.5 外涂层型式检验	8
8 涂层的修补和重涂	8
8.1 修补	8
8.2 重涂	8
9 成品管的标志、装运和贮存	9
9.1 标志	9
9.2 贮存	9
9.3 装运	9
10 现场补口及质量检验	9
10.1 一般规定	9
10.2 表面处理	10
10.3 补口涂敷施工	10
10.4 补口质量检验	10
11 下沟回填	10
12 涂敷生产的健康、安全和环境保护	10

SY/T 0315—2013

13 竣工文件	11
附录 A (规范性附录) 环氧粉末的固化时间试验	12
附录 B (规范性附录) 环氧粉末及其涂层的热特性试验	14
附录 C (规范性附录) 涂层的耐阴极剥离试验	17
附录 D (规范性附录) 涂层的抗弯曲性能试验	19
附录 E (规范性附录) 涂层的抗冲击性能试验	21
附录 F (规范性附录) 涂层的孔隙率测定试验	23
附录 G (规范性附录) 涂层的附着力测定	25
附录 H (规范性附录) 涂层的耐磨性试验	26
附录 I (规范性附录) 弯曲后涂层的耐阴极剥离试验	28
附录 J (规范性附录) 涂层的耐化学腐蚀试验	29

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准是根据油标委字〔2011〕10号文的要求，对石油行业标准 SY/T 0315—2005《钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层技术规范》进行修订。本标准在修订过程中按照 GB/T 1.1 的要求，结合 SY/T 0315—2005 自 2005 年 11 月实施以来的应用实践经验进行修订。与 SY/T 0315—2005 相比，主要区别如下：

- 标准名称修改为《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》；
- 将范围中钢质管道定义为钢质直管及热煨弯管；
- 将范围中经过涂敷的钢管的工作温度和环境定为 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 的埋地或水下环境；
- 增加了双层熔结环氧粉末外涂层的涂层结构、涂料性能、涂敷施工要求、涂层质量检验项目及验收指标要求；
- 在环氧粉末涂料性能中给出了胶化及固化时间的具体指标；
- 在涂层质量指标中增加了 28d 附着力试验项目及质量指标；
- 增加了涂敷生产前，对环氧粉末涂层进行 28d 阴极剥离和 28d 附着力的检验要求；
- 在生产过程质量检验中对直管及热煨弯管除锈质量和锚纹深度检测频率分别作了规定；
- 在生产过程质量检验中增加了对钢管表面灰尘度、涂层固化百分率的检测要求；
- 在生产过程质量检验中分别对单、双层的涂层厚度检测方法作了详细规定；
- 在外涂层型式检验中对弯管的抽检频率给出了具体要求；
- 增加成品管下沟回填的规定。

本标准由石油工程建设专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油天然气管道科学研究院、中国石油天然气管道工程有限公司。

本标准主要起草人：张瑛、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。

本标准代替 SY/T 0315—2005。

SY/T 0315—2005 的历次版本发布情况为：

- SY/T 0315—1997。

钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范

1 范围

本标准规定了钢质管道熔结环氧粉末外涂层的技术要求。

本标准适用于钢质管道（包括钢质直管及热煨弯管，以下简称钢管）单层、双层结构熔结环氧粉末外涂层的设计、施工及检验。经过涂敷的钢管可用于工作温度为 $-30^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的埋地或水下环境，其他工况可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1408.1 绝缘材料电气强度试验方法 第1部分：工频下试验

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、相对密度的测定

GB/T 5330 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 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 18570.2 涂敷涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第2部分：清理过的表面上氯化物的实验室测定

GB/T 18570.3 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第3部分：涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定（压敏粘带法）

GB/T 19001 质量管理体系 要求

GB 50369 油气长输管道工程施工及验收规范

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

SY/T 4113 防腐涂层的耐划伤试验方法

3 一般要求

3.1 产品订货要求

订购防腐钢管时，应提供下列资料：

- a) 钢管的材质、数量、外径、壁厚、长度，其中热煨弯管还应提供角度、曲率半径及直管段长度。
- b) 钢管的执行标准或规格牌号。

- c) 涂层的等级和厚度。
- d) 管端预留段长度。
- e) 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，应接受任何必要的审查以确认防腐厂对本标准的符合性，并拒收任何不合格的产品。

4 环氧粉末外涂层结构

单层环氧粉末外涂层为一次成膜结构。双层环氧粉末外涂层由内、外两种环氧粉末涂料分别喷涂一次成膜而构成。单层环氧粉末外涂层的最小厚度应符合表 1 的规定，双层环氧粉末外涂层的最小厚度应符合表 2 的规定。

表 1 单层环氧粉末外涂层厚度

序号	涂层等级	最小厚度
		μm
1	普通级	300
2	加强级	400

表 2 双层环氧粉末外涂层厚度

序号	涂层等级	最小厚度		
		μm		
		内层	外层	总厚度
1	普通级	250	350	600
2	加强级	300	500	800

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 环氧粉末涂料应由供货商提供每一牌（型）号环氧粉末涂料的产品说明书、质量证明书及具有资质的第三方检验机构出具的环氧粉末涂料及涂层性能检测报告等有关技术资料。环氧粉末涂料交

货时应提供出厂检验合格证并应在外包装上清楚地标明生产厂名、产品名称、型号、批号、产地、储存要求及生产日期、有效期等内容。

5.2.2 环氧粉末涂料及涂层的各项指标应符合表 3 及表 4 的要求。实验室涂敷试件的制备应符合 6.2.1 的要求。

表 3 环氧粉末涂料的性能指标

序号	项目		性能指标			试验方法
			单层环氧粉末涂料	双层环氧粉末涂料		
				内层	外层	
1	外观		色泽均匀, 无结块			目测
2	固化时间 (230℃ ± 3℃) ^a min		≤2, 且符合粉末 生产商给定范围	≤2, 且符合粉末 生产商给定范围	≤1.5, 且符合粉末 生产商给定范围	附录 A
3	胶化时间 (230℃ ± 3℃) ^a s		≤30, 且符合粉末 生产商给定范围	≤30, 且符合粉末 生产商给定范围	≤20, 且符合粉末 生产商给定范围	GB T 6554
4	热特性	ΔH J/g	≥45, 且符合粉末 生产商给定特性			附录 B
		T ₀₂ ℃	≥最高使用温度 + 40			
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, 且符合粉末 生产商给定值 ±0.05	1.3~1.5, 且符合粉末 生产商给定值 ±0.05	1.4~1.8, 且符合粉末 生产商给定值 ±0.05	GB T 4472
8	磁性物含量 %		≤0.002			JB T 6570

^a 对于低温固化环氧粉末涂料, 试验温度应根据产品特性确定。

表 4 实验室涂敷试件的涂层质量指标

序号	项目		性能指标		试验方法
			单层涂层	双层涂层	
1	外观		平整、色泽均匀、无气泡、 无开裂及缩孔, 允许有轻度 橘皮状花纹	平整、色泽均匀、无气泡、无开 裂及缩孔, 允许有轻度橘皮状 花纹	
2	热特性	$ \Delta T_c $ ℃	≤5	≤5 (内层、外层)	附录 B
		固化百分率 %	≥95	≥95 (内层、外层)	
3	阴极剥离 (65℃, 48h) mm		≤6.5	≤6.5	附录 C
4	阴极剥离 (65℃, 28d) mm		≤15	≤15	附录 C
5	抗弯曲 (订货规定的最低试验 温度 ±3℃)		3°弯曲, 无裂纹	2°弯曲, 无裂纹	附录 D

表 4 (续)

序号	项目	性能指标		试验方法
		单层涂层	双层涂层	
6	抗冲击 J	1.5 (-30℃), 无漏点	10 (23℃), 无漏点	附录 E
7	断面孔隙率 级	1~4	1~4	附录 F
8	黏结面孔隙率 级	1~4	1~4	附录 F
9	附着力 (24h) 级	1~3	1~3	附录 G
10	附着力 (28d) 级	1~3	1~3	附录 G
11	耐划伤 (30kg) μm	—	≤ 350 , 无漏点	SY/T 4113
12	耐磨性 (落砂法) L/ μm	≥ 3	—	附录 H
13	电气强度 MV/m	≥ 30	≥ 30	GB/T 1408.1
14	体积电阻率 $\Omega \cdot \text{m}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	GB/T 1410
15	弯曲后涂层耐阴极剥离 (28d)	2.5°, 无裂纹	1.5°, 无裂纹	附录 I
16	耐化学腐蚀	合格	合格	附录 J

5.2.3 双层环氧粉末涂层的内、外层环氧粉末涂料应使用同一生产商的配套产品, 并有明显色差。

5.2.4 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涂料生产商推荐的温度和干燥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 在环氧粉末涂料用于涂敷生产前, 每批 (批量不超过 30t) 粉末应至少取样一次, 由具有资质的第三方检验机构进行检验, 其性能应符合表 3 的要求。同一批次的原材料, 可进行不定期的批内抽查复检, 以保证同一批材料的稳定性。

6.1.2 当检验结果中有一项试验不满足表 3 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, 则该批粉末不应使用。

6.2 熔结环氧粉末涂层质量确认

6.2.1 熔结环氧粉末涂层质量确认应通过制备实验室涂敷试件进行, 实验室涂敷试件的制备及检验应符合下列规定:

- 试件基板应为低碳钢, 其尺寸应符合相应试验方法的要求。
- 试件表面应进行喷射清理, 其除锈质量应达到 GB/T 8923.1 中要求的 Sa2^{1/2} 级, 锚纹深度应在 40 μm ~100 μm 范围内。

- c) 涂敷的固化温度应按照环氧粉末涂料生产商的推荐值确定，且不应超过 275℃。
- d) 试件上单层环氧粉末涂层的厚度应为 $350\mu\text{m} \pm 50\mu\text{m}$ ；双层环氧粉末涂层的厚度为：内层厚度应大于或等于 $250\mu\text{m}$ ，外层厚度应大于或等于 $350\mu\text{m}$ ，总厚度应大于或等于 $600\mu\text{m}$ 。

6.2.2 涂敷生产前，应抽取环氧粉末涂料样品制备实验室涂敷试件，由具有资质的第三方检验机构按表 4 中第 3 项～14 项的试验项目进行环氧粉末涂层性能的检验，结果应符合表 4 的要求。当环氧粉末涂料的生产厂、牌型号和生产地点任何一项发生变化时，应对涂层质量重新进行确认。

6.2.3 生产过程中，每批（批量不超过 30t）粉末涂料应至少取样一次样品，制备实验室涂敷试件涂敷试件按表 4 中第 3 项、第 5 项至第 9 项和第 11 项的试验项目进行环氧粉末涂层性能的检验，结果应符合表 4 的要求。

6.2.4 当检验结果中有一项试验不满足表 4 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，该批环氧粉末可使用；若两个重复试验之一（或两者）不满足规定要求时，该批环氧粉末不应使用。

7 熔结环氧粉末外涂层的涂敷施工及质量检验

7.1 工艺文件

正式生产前，防腐厂应将涂敷作业过程形成工艺文件。文件应包含下列内容：

- a) 原材料的完整信息，包括生产厂的数据单、质量控制、推荐涂敷做法和检验报告。
- b) 钢管表面缺陷的检验及其表面污物的清除方法。
- c) 钢管表面预处理方法。
- d) 钢管加热及温度控制要求。
- e) 涂敷工艺。
- f) 质量保证体系和记录表单。
- g) 涂层缺陷的修补方法。
- h) 仪器校准方法及校准频次明细。
- i) 钢管原始标识的传递规定及防腐管的标识规定。

7.2 工艺性试验

7.2.1 正式生产前，防腐厂宜采用相同规格的钢管进行工艺性试验，以确定工艺参数。按此工艺参数涂敷防腐管并截取试件，由具有资质的第三方检验机构按表 5 的要求进行检验并出具检验报告。

7.2.2 涂敷过程中钢管温度应控制在环氧粉末涂料生产商的推荐范围内，且不应超过 275℃，并满足钢管的加热温度限制。

7.2.3 防腐管试件的涂层性能应符合表 5 要求，之后方可正式涂敷施工。

7.3 涂敷施工

7.3.1 涂敷施工应按照工艺性试验确定的工艺参数进行。

7.3.2 钢管表面预处理应符合下列要求：

- a) 钢管外表面涂敷之前，应采用适当的方法将附着在钢管外表面的油、油脂及其他杂质清除干净。
- b) 对于海运、临海及高盐分地区的钢管，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 $20\text{mg}/\text{m}^2$ 时，应用清洁水清洗至合格。
- c) 喷（抛）射除锈前，当钢管表面温度低于露点温度以上 3℃ 时，应预热钢管驱除潮气。

- d) 钢管外表面喷（抛）射除锈等级应达到 GB/T 8923.1 中规定的 Sa2^{1/2} 级。表面锚纹深度应在 40 μ m~100 μ m 范围内，并按 7.4 的要求进行检测。
- e) 喷（抛）射除锈后，应将钢管内外表面残留的钢丸（砂粒）和外表面微尘清除干净。钢管外表面的灰尘度不应低于 GB/T 18570.3 规定的 2 级质量要求。
- f) 对可能影响涂层质量的表面缺陷应进行修理，使表面质量满足涂敷施工的要求。
- g) 钢管表面预处理后 4h 内应进行喷涂。出现返锈或表面污染时，应重新进行表面处理。
- h) 若另有其他要求，在涂敷前应增加相应的表面预处理措施。

表 5 涂层检验项目及性能指标

序号	项目	性能指标		试验方法
		单层涂层	双层涂层	
1	热特性 $ \Delta T_c $ ℃	≤5	≤5 (内层、外层)	附录 B
2	耐阴极剥离 (65℃, 24h) mm	≤8	≤8	附录 C
3	抗弯曲 (订货规定的 最低试验温度 ±3℃)	2.5°, 无裂纹	普通级: 2°, 无裂纹	附录 D
			加强级: 1.5°, 无裂纹	
4	抗冲击 J	1.5 (-30℃), 无漏点	普通级: 10 (23℃), 无漏点	附录 E
			加强级: 15 (23℃), 无漏点	
5	断面孔隙率 级	1~4	1~4	附录 F
6	粘结面孔隙率 级	1~4	1~4	附录 F
7	附着力 (24h) 级	1~3	1~3	附录 G
8	耐划伤 μ m	—	普通级 (30kg): ≤350, 无漏点	SY/T 4113
			加强级 (50kg): ≤500, 无漏点	

7.3.3 涂敷温度、固化时间及涂层厚度应符合下列规定：

- a) 涂敷前钢管温度应控制在工艺试验确定的范围之内。
- b) 固化时间应符合所用环氧粉末涂料的要求。
- c) 双层环氧粉末涂敷时，外层涂敷应在内层胶化完成前进行，且应保证外层环氧粉末涂料所要求的固化温度。
- d) 涂层最小厚度应符合表 1 或表 2 的要求。

7.3.4 钢管两端预留段的长度应符合订货要求。预留段表面不应有涂层。

7.4 生产过程质量检验

7.4.1 表面预处理后目测检查

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漏点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或损伤，应按相关规定进行处理。

7.4.2 除锈质量检测

应采用 GB/T 8923.1 规定的方法逐根检测钢管外表面除锈质量。除锈等级应达到 GB/T 8923.1 中规定的 Sa2 $\frac{1}{2}$ 级。

7.4.3 锚纹深度检测

应采用锚纹深度测试仪、锚纹拓印膜或其他适宜的方法检测钢管外表面锚纹深度。直管应至少每 2h 检测 1 次外表面锚纹深度；弯管应至少每 10 根检测 1 次外表面锚纹深度。

7.4.4 灰尘度检测

应按 GB/T 18570.3 规定的方法检测钢管外表面的灰尘度，灰尘度等级不应低于 2 级质量要求；直管应至少每 2h 检测 1 次外表面灰尘度；弯管应至少每 10 根检测 1 次外表面灰尘度。

7.4.5 盐分检测

必要时，应按 GB/T 18570.2 规定的方法，对钢管外表面进行盐分测定，测定值不超过 20mg/m² 为合格。

7.4.6 涂敷温度检测

应逐根监测涂敷前钢管外表面的加热温度，且应控制在工艺性试验确定的温度范围内。至少应每小时记录一次温度值。

7.4.7 涂层外观检测

应逐根进行目测检查，外观应平整、色泽均匀、无气泡、无开裂及缩孔，允许有轻度橘皮状花纹。

7.4.8 漏点检测

7.4.8.1 应采用电火花检漏仪在涂层完全固化且温度低于 100℃ 时，对每根钢管的全部涂层做漏点检测，检测电压按最小涂层厚度乘以 5V/ μm 计算确定。检漏仪应至少每班校准一次。

7.4.8.2 漏点数量在下列范围内时，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。经过修补的涂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 $2.5 \times 10^4 \text{ mm}^2$ 时，应按 8.2 的规定进行重涂，并按第 7 章的要求进行质量检验。

7.4.8.3 出厂的成品管涂层应无漏点。

7.4.9 钢管预留段长度检测

钢管两端预留段的长度应逐根进行测量，结果应满足订货要求。

7.4.10 厚度检测

7.4.10.1 单层环氧粉末涂层厚度检测时，应使用涂层测厚仪，在涂敷后的钢管表面温度降到测厚仪允许的温度后进行厚度测量。连续涂敷直管时，每班涂敷的前 5 根钢管应逐根测量，之后每 20 根至少测量一根涂层厚度并记录。涂敷弯管时，应逐根测量涂层厚度并记录。测量时，沿钢管轴向随机取 3 个位置，测量每个位置圆周方向均匀分布的任意 4 点的涂层厚度。对于焊接管，应有 1 个测量点在焊缝上。检测结果符合表 1 的要求为合格。涂层测厚仪应至少每班校准 1 次。

7.4.10.2 双层环氧粉末涂层总厚度检测应按 7.4.10.1 的规定测量并记录,检测结果符合表 2 的要求为合格。

7.4.10.3 双层环氧粉末涂层的内、外层厚度检测。每班生产的第一根防腐管,应使用多层测厚仪在钢管端部涂层上任取 1 点测量内、外层的厚度并记录。连续生产时,应至少每 20 根钢管检测 1 次内、外层的厚度并记录。内、外层厚度应符合表 2 的要求。当总厚度符合要求,内层或外层厚度小于规定的最小厚度值 $50\mu\text{m}$ 以上时,应按 8.2 的规定重涂。测量后应对涂层的损坏处按要求及时进行修补。

7.4.10.4 涂层厚度不合格的钢管应按 8.2 的规定重涂。

7.4.11 涂层固化度检验

应每班至少抽取 1 根钢管,按附录 B 的方法进行涂层固化度(以玻璃化转变温度的变化值表示)检验,玻璃化转变温度的变化值 ΔT_g 应不大于 5°C 。双层环氧粉末涂层应分别检测内层、外层的固化度。当抽检钢管的涂层固化度不合格时,应加倍抽检。若仍有不合格,应对当班涂敷的钢管进行逐根检验,涂层固化度不合格的钢管应予以重涂。

7.5 外涂层型式检验

7.5.1 连续生产时,每种管径、壁厚环氧粉末外涂层直管应每班(最多间隔 12h)截取 1 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 5 中的各项指标进行测试。

7.5.2 连续生产时,每种管径、壁厚环氧粉末外涂层弯管,应在 50 根、100 根、400 根内各抽取 1 个弯管或同一生产工艺条件下的弯管样管,以后每 300 根抽取 1 个,按表 5 中的各项指标进行检验。

7.5.3 若检验结果不符合表 5 的要求,则在该不合格检测钢管与前一合格检测钢管之间,追加 2 个试件,重新检验。当 2 个重做的试件均合格时,则该区间内涂敷的涂层为合格。若仍有 1 个不合格,则该区间的所有涂层均视作不合格。

7.5.4 不合格产品应按 8.2 的规定进行重新涂敷。

8 涂层的修补和重涂

8.1 修补

8.1.1 采用局部修补的方法修补涂层缺陷时,应符合下列要求:

- 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应清除。
- 将缺陷部位根据修补材料生产商的要求打磨成粗糙面,打磨及修复搭接宽度不小于 10mm。
- 用干燥的布和刷子将灰尘清除干净。
- 直径小于或等于 25mm 的缺陷部位,应采用粉末生产商推荐的双组分无溶剂液体环氧树脂涂料或热熔修补棒进行局部修补;直径大于 25mm 且面积小于 $2.5 \times 10^4 \text{mm}^2$ 的缺陷部位,应采用环氧粉末涂料生产商推荐的双组分无溶剂液体环氧树脂涂料进行局部修补。
- 修补材料应按照厂家推荐的方法储存和使用。
- 修补处涂层总厚度应满足表 1 或表 2 的要求,并以按最小涂层厚度乘以 $5V/\mu\text{m}$ 计算的检测电压对修补处进行漏点检验。修补情况应予以记录。

8.2 重涂

涂层厚度不合格、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,可将钢管加热,使涂层软化,将全部涂层清除掉。加热温度不应超过 275°C ,并满足钢管的加热温度限制。也可采用其他方式清除不合格涂层。重涂及重涂后质量检验应按第 7 章的要求进行。

9 成品管的标志、装运和贮存

9.1 标志

经质量检验合格的环氧粉末外涂层钢管，宜在管外壁距管端 400mm 处做出标志，至少应标明下列内容：防腐管编号、规格、材质、防腐厂名称、执行标准、弯管的角度及曲率半径、外涂层类型、生产日期等。防腐过程中应保留钢管内壁标志。

9.2 贮存

成品管贮存应符合以下要求：

- 涂敷过的成品管应按规格分开堆放，并应排列整齐、有明显标记。涂层检验不合格的钢管不得与成品管混放。
- 多层堆放时，直管底部应采用 2 道以上（弯管底部 3 道以上）柔性支撑垫起，支撑的最小宽度为 200mm，其高度应高于自然地面 150mm。各层之间应加柔性隔离垫，避免损伤涂层。
- 成品管的堆放层数应符合表 6 或表 7 的要求。
- 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。

表 6 直管成品管堆放层数

管径 D_N mm	$D_N < 200$	$200 \leq D_N < 300$	$300 \leq D_N < 400$	$400 \leq D_N < 500$	$500 \leq D_N < 600$	$600 \leq D_N$
最大堆放层数	10	7	6	5	4	3

表 7 弯管成品管堆放层数

管径 D_N mm	$D_N < 400$	$400 \leq D_N < 600$	$600 \leq D_N < 800$	$800 \leq D_N$
最大堆放层数	4	3	2	1

9.3 装运

成品管运输应符合以下要求：

- 成品管装卸时应使用柔性吊带，轻吊轻运，避免互相撞击而损伤管口及涂层。
- 每根成品管都应加装隔离垫圈，避免彼此间接触。垫圈的尺寸和位置应以堆放时涂层不受损坏为原则。
- 成品管运输时，各成品管管体之间、管口之间、管体与管口之间以及成品管与车厢底部和侧面厢体之间，均应放置柔性隔离垫，同时用捆绑带扎紧，以免涂层在运输中受损。
- 成品弯管应采用适宜的运管车运输，运管车宜采用专用支架，单管长度方向捆绑不应少于 2 道，并加带橡胶的木制垫块、楔块等防滑。
- 在操作过程中，涂层被损坏，经漏点检测后，应按第 8 章的要求进行处理。

10 现场补口及质量检验

10.1 一般规定

10.1.1 熔结环氧粉末外涂层钢管采用环氧粉末静电喷涂方式补口施工时，应符合本标准的规定。

10.1.2 采用其他补口方式时，应执行相关的技术规定。

10.2 表面处理

10.2.1 补口区域应去除油污和各种杂质。

10.2.2 当钢管表面温度低于露点温度以上 3℃ 时，应对补口区域进行预热。

10.2.3 应采用喷射除锈方式对补口区域钢管进行表面处理，除锈等级应达到 GB/T 8923.1 中规定的 Sa2½ 级，表面锚纹深度应在 40μm~100μm 范围内。

10.2.4 喷射除锈后应将补口处残留的钢丸（砂粒）和灰尘清除干净，灰尘度等级不应低于 GB/T 18570.3 规定的 2 级质量要求，并将焊接时飞溅形成的尖点修平。管端补口搭接处 15mm 宽度范围内的涂层应打成粗糙面。

10.3 补口涂敷施工

10.3.1 环氧粉末涂料静电喷涂补口施工应在管道试压前进行。

10.3.2 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。

10.3.3 应采用感应式加热器将补口处管体加热到规定温度，加热温度不应超过 275℃，并满足钢管的加热温度限制，然后进行喷涂。喷涂厚度应达到管体涂层厚度要求，并与管体涂层搭接不小于 25mm。

10.4 补口质量检验

10.4.1 环氧粉末涂料静电喷涂补口质量应进行外观、厚度、漏点及附着力检验。

10.4.2 外观应逐道口目测检查，涂层表面应平整光滑。

10.4.3 应采用涂层测厚仪在补口部位上、下、左、右均匀选取 8 点（其中至少应有 2 点在焊缝处）进行涂层厚度测量，厚度不小于管体涂层最小厚度要求为合格。若有局部厚度不符合要求时，可打磨后用环氧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。

10.4.4 应采用电火花检漏仪对每道焊口补口处涂层进行 100% 检测，检测电压按最小涂层厚度乘以 5V/μm 计算确定，如有漏点，应按第 8 章的要求进行修补。

10.4.5 应对每班每天施工的第一道口进行附着力检验。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，涂层以碎末状剥离为合格。

11 下沟回填

11.1 熔结环氧粉末外涂层钢管下沟前，应采用电火花检漏仪对钢管全部涂层进行检漏。检测电压按最小涂层厚度乘以 5V/μm 计算确定。如有漏点，应修补至合格，并填写记录。

11.2 熔结环氧粉末外涂层钢管的下沟回填应符合 GB 50369 的规定。

12 涂敷生产的健康、安全和环境保护

12.1 涂敷生产的安全、环境保护应符合 GB 7692 的要求。

12.2 除锈、喷涂过程中各种设备产生的噪声，应符合 GBJ 87 的有关规定。

12.3 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。

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

12.5 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。

12.6 各岗位工作人员应配备相应的劳动保护用品。

13 交工文件

交工文件应包括如下内容：

- a) 成品管出厂合格证。内容包括：生产厂名称及厂址、产品名称、产品规格、涂层等级及厚度、检验员编号等。
- b) 环氧粉末涂料的质量证明书、合格证及复检报告。
- c) 环氧粉末涂层的质量检验报告。
- d) 型式检验报告。
- e) 修补记录。

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 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 金属板，尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。
- c) 接触式温度计。
- d) 计时器。
- e) 拉延板（形状如图 A.1 所示）。
- f) 镊子（小钳子）。
- g) 刮刀。
- h) 通用小刀。
- i) 差示扫描量热仪（DSC）。

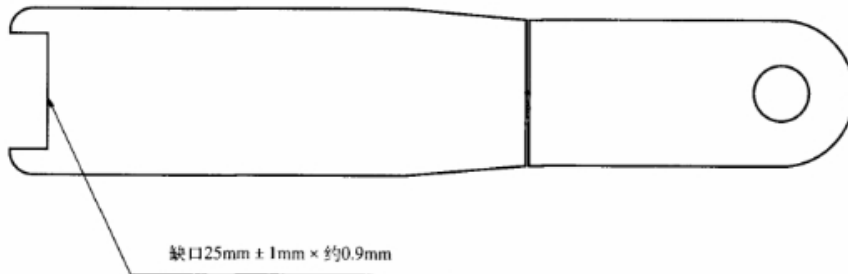


图 A.1 拉延板

A.2 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 加热金属板并保持温度在 $230^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- 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 $300\mu\text{m} \sim 400\mu\text{m}$ 之间，当金属板上的粉末开始熔化时，立即启动计时器开始计时。
- 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 $30\text{s} \pm 3\text{s}$ 以后，用通用小刀取下第1条涂膜带，并立即淬入冷水中。
- e) 每经过 $30\text{s} \pm 3\text{s}$ ，重复一次本条 d) 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。

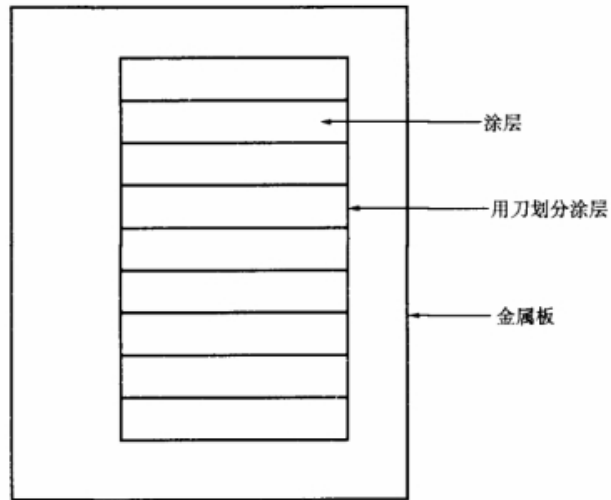


图 A.2 涂层平板划线

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°C 的时间或对应 99% 转化百分率的时间 (s)。
- c) 试验日期。

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 $10\text{mg} \pm 1\text{mg}$ 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差示扫描量热仪的以干燥惰性气体保护的测量池中。
- c) 对环氧粉末试样，按下列操作程序完成其热扫描：
 - 1) 以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率对试样加热，从 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 加热到 $70^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，然后将试样急冷到 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。
 - 2) 以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率对同一试样加热，从 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 加热到 $285^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，然后将试样急冷到 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。
 - 3) 以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率对试样加热，从 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 加热到 $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 。
- d) 对涂层试样，按下列操作程序完成其热扫描：
 - 1) 以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率对试样加热，从 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 加热到 $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，在 110°C 时保持 1.5min，然后将试样急冷到 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。
 - 2) 以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率对同一试样加热，从 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 加热到 $285^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，然后将试样急冷到 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。
 - 3) 以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率对试样加热，从 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 加热到 $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 。

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) 和 3) 与 B.3 d) 中的 2) 和 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 (如图 B.1 和图 B.2 所示)；

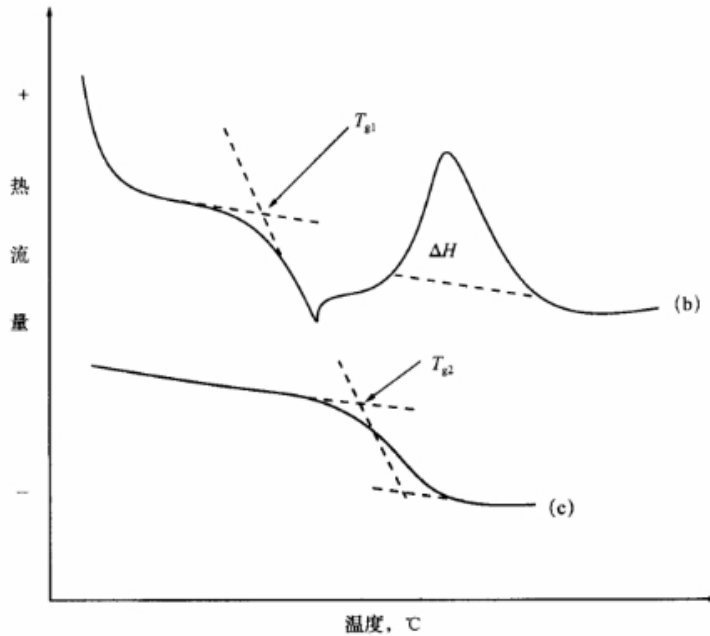


图 B.1 对环氧粉末热扫描

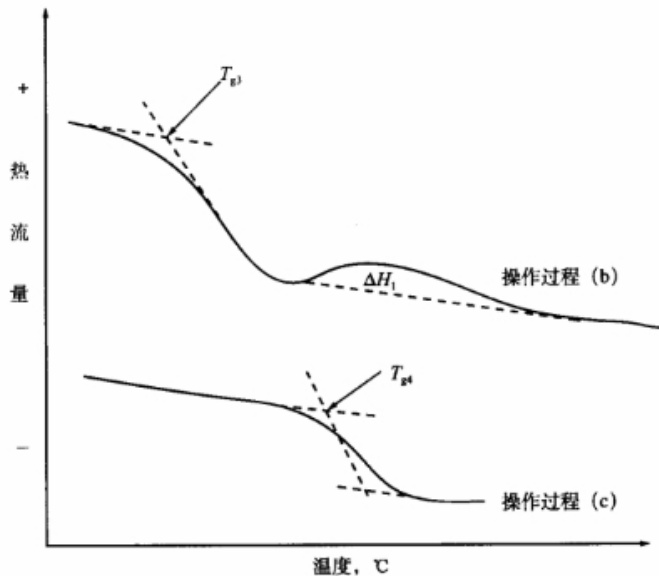


图 B.2 对涂层热扫描

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:

ΔT_g —— T_g 值的变化, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_{g3} ——由 B.3 d) 中的 2) 热扫描得到的 T_g 值, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_{g4} ——由 B.3 d) 中的 3) 热扫描得到的 T_g 值, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

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，用百分数表示；

ΔH ——由 B.3 c) 中的 2) 热扫描得到的反应放热量，单位为焦耳每克 (J/g)；

ΔH_1 ——由 B.3 d) 中的 2) 热扫描得到的反应放热量，单位为焦耳每克 (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_{g1} 、 T_{g2} 、 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 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 甘汞电极。
- d) 铂丝或碳电极。
- e) 内径 $75\text{mm} \pm 3\text{mm}$ 塑料圆筒。
- f) 3% 的 NaCl 溶液。
- g) 通用小刀。

C.2 试件要求

实验室涂敷试件尺寸约为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 6\text{mm}$ 。管段试件尺寸约为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times$ 管壁厚度。试件数为 3 件。

C.3 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 本试验应使用经确认没有漏点的试件，检漏电压应为 $5\text{V}/\mu\text{m}$ 。
- b) 在试件的中心钻一个直径 3.2mm 的盲孔，透过涂层，露出钢板。
- c) 把塑料圆筒中心对准盲孔放在试件上，并用密封胶粘好，应不漏水。
- d) 往筒内注入至少 300mL 的预先加热到试验温度的 NaCl 溶液，并在筒上做出液面位置标记。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) 试验过程中，按需要添加蒸馏水以保持液面高度。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 ， $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，28d。
 - 2) 1.5V ， $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，48h；或 3.5V ， $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，24h。
- 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 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。在开始离开热源起的 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。

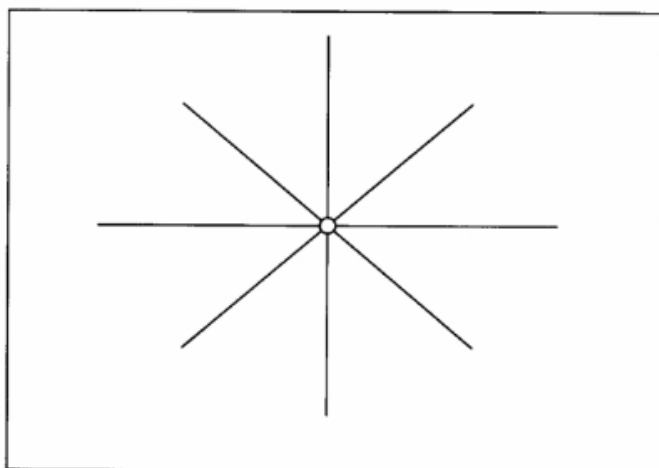


图 C.1 在试件上划透涂层的放射线

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。

附录 D
(规范性附录)
涂层的抗弯曲性能试验

D.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。

D.2 试件要求

实验室涂敷试件尺寸约为 $200\text{mm} \times 25\text{mm} \times 6\text{mm}$ ，管段试件尺寸约为 $200\text{mm} \times 25\text{mm} \times$ 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

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规定的最低弯曲试验温度： -30°C 或 -18°C 或 0°C 的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 范围内，并至少保持 1h。
- b) 如图 D.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。

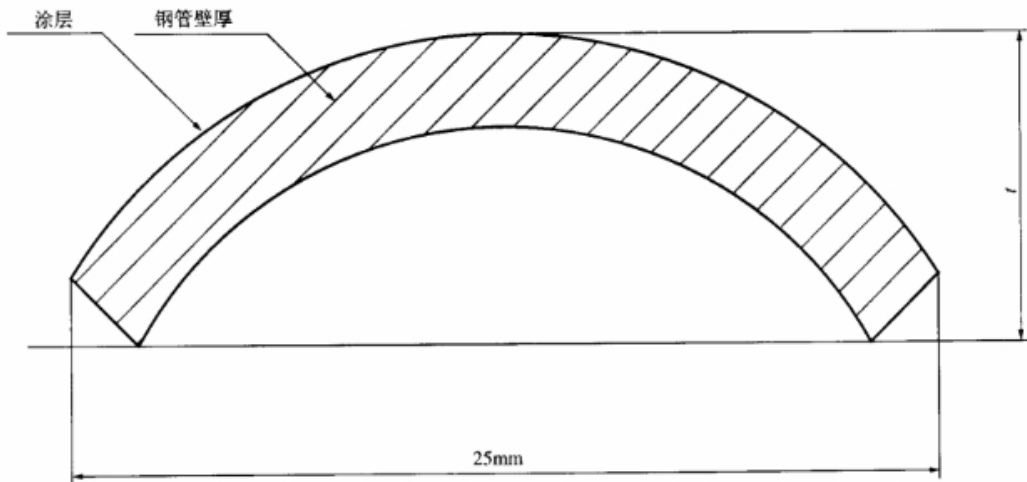


图 D.1 抗弯曲试验试件厚度的确定

- 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： $R = 22.42t$ 。

芯轴对应于单位管径长度弯曲 2° 时： $R = 28.15t$ 。

芯轴对应于单位管径长度弯曲 1.5° 时： $R = 37.70t$ 。

式中：

R ——要求的芯轴半径，单位为毫米（mm）；

t ——试件厚度，单位为毫米（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的 30s 之内完成，折弯速率应保持整个过程在 10s 内。
- e) 上述试件温度回升到 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 并保持至少 2h。在此后的 1h 内，目测试件是否有裂纹。

D.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 E
(规范性附录)
涂层的抗冲击性能试验

E.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 或 25mm 的球形冲头，1kg 或 2kg 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绵漏点探测仪。
- f) 恒温箱。

E.2 试件尺寸

实验室涂覆试件尺寸约为 150mm × 150mm × 6mm，管段试件尺寸约为 150mm × 150mm × 管壁厚度。试件数为 3 件。

E.3 试验步骤

E.3.1 单层环氧冲击试验步骤应符合下列规定：

- a) 将试件放入恒温箱，冷却到 $-30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，并在这一温度范围内保持至少 1h，将冷却后的试件放入冲击试验机，并将木垫块对正。
- 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。3 次冲击应在试件从冷冻箱中取出后的 30s 之内完成。球形冲头最多冲击 10 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 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，若使用电火花检漏仪，则使用电压应调至 $1750\text{V} \pm 250\text{V}$ ，若使用湿海绵漏点探测仪，则电压应调至 $67.5\text{V} \pm 4.5\text{V}$ 。

E.3.2 双层环氧冲击试验步骤应符合下列规定：

- a) 将试件放入恒温箱，温度控制到 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，并在这一温度范围内保持最少 1h，将恒温后的试件放入冲击试验机，并将木垫块对正。
- 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。3 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 10 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 $5\text{V}/\mu\text{m}$ 。

E.4 试验报告

试验报告包括以下内容：

- a) 环氧粉末的批号。

SY/T 0315—2013

- 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 F

(规范性附录)

涂层的孔隙率测定试验

F.1 设备

本试验需要的设备应符合如下规定：

- 体视显微镜。
- 台虎钳或专用弯曲机。
- 干冰或冷冻箱。
- 通用小刀。

F.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。

F.3 试验步骤

试验步骤如下：

- 将试件冷却到 -30°C 以下，并在台虎钳或专用弯曲机上折弯到约 180° 。
- 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。
- 按图 F.1（自上而下依次为 1 级至 5 级）和图 F.2（自上而下依次为 1 级至 5 级）中所示的等级图评定试件的孔隙率等级。

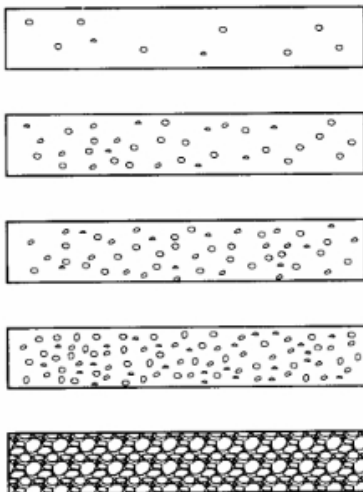


图 F.1 涂层黏结面孔隙率等级

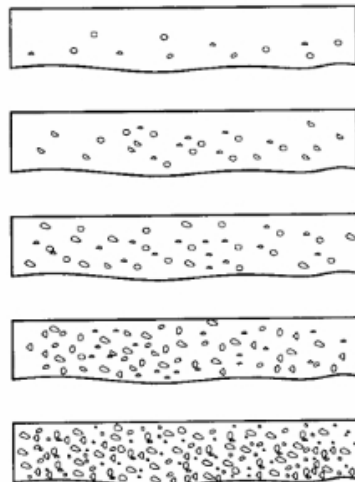


图 F.2 涂层断面孔隙率等级

F.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) 断面孔隙率等级。
- c) 黏结面孔隙率等级。
- d) 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) 可控温烘箱或耐腐蚀的水浴。
- b) 容器。
- 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 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 6\text{mm}$ ，管段试件尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times$ 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 $75^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 。把试件放入烘箱或水浴，用预热的水充分淹没试件，在 $75^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 下浸泡至少 24h，然后取出试件；如果需要，可以在同样温度下，将试件浸泡 28d，然后取出进行试验。
- b) 当试件仍温热时，立即用小刀在涂层上划一个大约 $30\text{mm} \times 15\text{mm}$ 的长方形，透过涂层到达基板，然后在空气中自然冷却到 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 。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)
涂层的耐磨性试验

H.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 要求的 GFW 0.850/0.355（平纹）～GFW 0.600/0.250（平纹）（R40/3 系列）（20 目至 30 目）。
- c) 磁性测厚仪：分度值 $2.0\mu\text{m}$ 。
- d) 尺子：300mm。
- e) 量杯：2000mL。
- f) 秒表：精度 0.01s。

H.2 试件要求

实验室涂敷试件尺寸为 $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times 4\text{mm}$ ，管段试件尺寸为 $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times$ 钢管壁厚，数量均不少于 2 个。

H.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实验机的漏斗中，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° ），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 $25\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。
 - 2) 将约 1L 石英砂倒入落砂实验机漏斗中，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_0 。
- c) 落砂试验应按下列方法进行：
 - 1) 重复本条 b) 中 1) 的操作，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 $400\text{L} \pm 2\text{L}$ 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) 用另一试件重复本条 b) 和 c) 的操作。
- e) 石英砂经过 25 次试验，即应更换。

H.4 耐磨值的计算

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 $0.5L/\mu\text{m}$ 。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，单位为升每微米 ($L/\mu\text{m}$)；
- δ_1 ——磨损前涂层厚度，单位为微米 (μm)；
- δ_2 ——磨损后涂层厚度，单位为微米 (μm)；
- V——石英砂体积，单位为升 (L)。

H.5 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 涂层耐磨值 ($L/\mu\text{m}$)。
- b) 试验日期。

附 录 I
(规范性附录)
弯曲后涂层的耐阴极剥离试验

I.1 设备

本试验需用的设备应满足附录 C 和附录 D 要求，此外还需要一个内径 $25\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的塑料圆筒。

I.2 试件要求

I.2.1 试件形状、尺寸如图 I.1 所示，试件厚度应为 $6.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，试件数量至少 2 个。

I.2.2 试件涂层应无针孔。

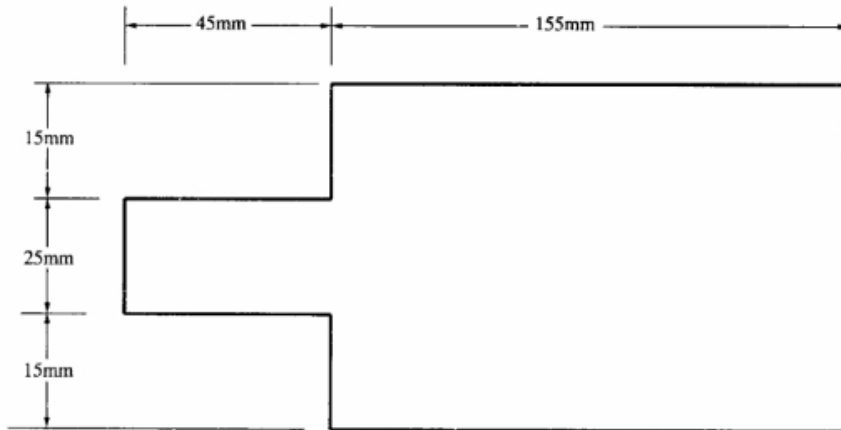


图 I.1 弯曲后涂层的耐阴极剥离

I.3 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 按照附录 D 的各项的要求，在 $-30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的温度下将试件弯曲成：单层弯曲 2.5° ，双层弯曲 1.5° 。
- 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。

I.4 报告

报告应包括如下内容：

- a) 环氧粉末的批号。
- b) 试验日期。
- c) 是否有裂纹。

附录 J
(规范性附录)
涂层的耐化学腐蚀试验

J.1 浸泡介质

本试验所需浸泡介质应符合表 J.1 的规定。

表 J.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	..

J.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。

J.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 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，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，取出试件并观察其涂层是否有脱色、隆起、软化、起泡爆皮、开裂、剥离、附着力降低等现象。

J.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 以后涂层的情况。
- b) 试验日期。