

## 国内外环氧粉末外涂层标准对比

张圣光<sup>1</sup>, 刘文汇<sup>2</sup>, 石晨镭<sup>1</sup>, 王刚<sup>1</sup>

(1. 山东胜利钢管有限公司, 山东 淄博 255082; 2. 威士伯(上海)企业管理有限公司, 上海 200436)

**摘要:** 简要介绍了钢管环氧粉末外涂层工艺; 重点对比分析了 SY/T 0315—2013 和加拿大 CSA Z 245.20—2014 在适用范围、性能要求、生产控制和质量检测等方面的差异。对于 28 d 阴极剥离和 28 d 附着力等检测周期较长的项目, SY/T 0315—2013 的做法比较容易实施; 对于粉末性能和实验室涂敷试件涂层质量检测结果的时效性, 以及生产过程中的型式检验中的界面污染控制, SY/T 0315—2013 没有相关要求。

**关键词:** 管道; 防腐; 涂层; 熔结环氧粉末; 标准; 对比分析

**中图分类号:** TG154.5; T-65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2311(2017)02-0069-05

## Comparison between Domestic and Foreign Standards for Epoxy Powder External Coating

ZHANG Shengguang<sup>1</sup>, LIU Wenhui<sup>2</sup>, SHI Chenlei<sup>1</sup>, WANG Gang<sup>1</sup>

(1. Shandong Shengli Steel Pipe Co., Ltd., Zibo 255082, China;

2. Valspar (Shanghai) Business Management Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

**Abstract:** Briefed here in the article is the epoxy powder external coating process for steel pipes. Focused on is a comparative analysis between the Chinese standard SY/T 0315—2013 and the Canadian standard CSA Z 245.20—2014, involving such aspects as applicable scope, performance requirement, production control, and quality inspection, etc. It is identified via the analysis that for items that need a rather long inspection cycle like 28 d cathodic disbanding and 28 d adhesion, etc. it is relatively easy to adapt the method as described under SY/T 0315—2013, and that for the timeliness of the results from inspections of the powder performance, and the coating quality of the specimen in the lab, and for control of the interfacial contamination in the type inspection during the production process, there is no requirement as specified under SY/T 0315—2013.

**Key words:** piping; anti-corrosion; coating; fusion bond epoxy powder; standard; comparative analysis

环氧粉末是一种热固性的环保型涂料, 高温固化后形成高分子量交联结构, 具有优良的化学防腐性能和优秀的机械性能。该涂料无溶剂, 无污染, 粉末可回收利用, 自 1961 年由美国开发成功后, 被广泛应用于陆上、埋地、水下、海底等管线的防腐保护。我国自 20 世纪 80 年代起, 引进该防腐技术, 在诸多大型油气管道成功应用<sup>[1-4]</sup>。关于管道的外涂层防腐技术规范, 加拿大 CAS Z 245.20《Plant-Applied External Fusion Bond Epoxy Coating

for Steel Pipe》、美国 NACE RP 0394《Application, Performance, and Quality Control of Plant-Applied, Fusion-Bonded Epoxy External Pipe Coating》与 API RP 5L9《External Fusion Bonded Epoxy Coating of Line Pipe》、德国 DIN 30670《Polyethylen Coatings of Steel Pipes and Fittings—Requirements and Testings》、澳大利亚 AS/NZS 3862《External Fusion-Bonded Epoxy Coating for Steel Pipes》、我国 SY/T 0315《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》与 GB/T 23257《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》等对单层环氧粉末、双层环氧粉末、三层聚烯烃涂层有详细的技术要求<sup>[5]</sup>。加拿大 CSA Z 245.20—2014 和我

张圣光(1981—), 男, 工程师, 质量总监, 主要从事钢管的无损检测、理化检测、防腐等技术管理工作。

国 SY/T 0315—2013 是应用比较广泛的两个最新版的技术规范, 本文将对其进行详细比较。

国内 SY/T 0315—2013 经历了 1997、2005 两个版本, 标准规定了工作温度为 $-30\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的钢质管道熔结环氧粉末外涂层的技术要求, 适用于钢质管道(包括钢质直管及热煨弯管)单层、双层结构熔结环氧粉末外涂层的设计、施工及检验<sup>[6]</sup>。加拿大标准协会 2014 年发布了 CSA Z 245.20 的最新版本, 该标准针对埋地或水下环境的工厂涂覆的钢质管道, 对涂料的性能要求、施工应用、检测、储运等提出了详细的要求<sup>[7]</sup>; 其涂层结构体系按照玻璃转变温度和多层组合模式进行划分, 没有对工作温度进行明确规定, 目前该标准被广泛使用于南北美、日本、韩国、东南亚等国外市场。本文主要从钢质管道(直管)涂敷企业的角度出发, 对比这两个标准在涂料及涂层质量控制、工艺性试验控制和涂敷过程质量控制三个阶段的要求, 并提出实施建议, 以供参考。

## 1 涂敷工艺简介

钢管环氧粉末外涂敷的最终质量取决于环氧粉末的质量和涂敷过程的控制。基于环氧粉末外涂敷的工艺流程如图 1 所示, 其质量控制可大致分为粉

末质量控制和涂敷过程控制两部分。按照 SY/T 0315—2013 标准的要求, 粉末质量控制包括审核粉末供货商提供的第三方检验机构检验报告、涂敷企业取样送检进行涂料及涂层的质量再确认和进行工艺性试验, 涂敷过程控制中需要在预热、除锈、加热、涂敷等各过程严格执行工艺要求并形成检查记录。与 SY/T 0315—2013 相比, CSA Z 245.20—2014 标准在各环节的控制侧重点和控制指标有所区别。

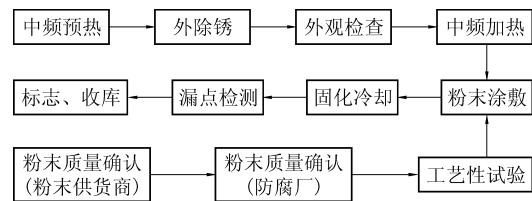


图 1 基于环氧粉末外涂敷的工艺流程

## 2 涂料及涂层质量控制

### 2.1 涂料供货商粉末质量确认

环氧粉末涂料及涂层的各项性能指标满足标准和订货要求时方可用于涂敷生产<sup>[8-11]</sup>。分析研究 SY/T 0315—2013、CSA Z 245.20—2014 标准要求, 对比环氧粉末涂料性能指标和实验室涂敷试件的涂层质量指标, 具体结果见表 1~2。

表 1 环氧粉末涂料性能指标对比

检测项目	SY/T 0315—2013			CSA Z 245.20—2014	
	单层	双层		单层 <sup>②</sup>	多层
		内层	外层	1A、1B	
外观	色泽均匀, 无结块	色泽均匀, 无结块	色泽均匀, 无结块	-	-
固化时间/min	$\leq 2, a^{\text{①}}$	$\leq 2, a$	$\leq 1.5, a$	$a$	$a$
胶化时间/min	$\leq 30, a$	$\leq 30, a$	$\leq 20, a$	$a(1\pm 20\%)$	$a$
热特性	反应放热量 $\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$\geq 45, a$	$\geq 45, a$	$\geq 45, a$	$a$
	玻璃化转变温度 $T_g/^\circ\text{C}$	$\geq$ 最高使用温度+40	$\geq$ 最高使用温度+40	$\geq$ 最高使用温度+40	$a$
不挥发物含量/%	$\geq 99.4$	$\geq 99.4$	$\geq 99.4$	$\leq 0.5/0.6^{\text{③}}$	$a$
粒度分布/%	150 $\mu\text{m}$ 网筛上粉末 $\leq 3.0$	150 $\mu\text{m}$ 网筛上粉末 $\leq 3.0$	150 $\mu\text{m}$ 网筛上粉末 $\leq 3.0$	$a$	$a$
	250 $\mu\text{m}$ 网筛上粉末 $\leq 0.2$	250 $\mu\text{m}$ 网筛上粉末 $\leq 0.2$	250 $\mu\text{m}$ 网筛上粉末 $\leq 0.2$		
密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	1.3~1.5, $a\pm 0.05$	1.3~1.5, $a\pm 0.05$	1.4~1.8, $a\pm 0.05$	$a\pm 0.05$	$a\pm 0.05$
磁性物含量/%	$\leq 0.002$	$\leq 0.002$	$\leq 0.002$	-	-

注: ① $a$ 为符合粉末生产商给定值。②对于环氧粉末涂层, 体系 1A 的  $T_g < 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 体系 1B 的  $T_g > 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。③CSA Z 245.20—2014 标准中, 测试项目为挥发物含量。

通过对比性能指标要求和标准条款的相关要求, 可知两个标准在粉末性能要求存在以下不同:

(1) 对于检验机构的要求不同。SY/T 0315—

2013 规定, 环氧粉末及涂层性能检测应由具备资质的第三方检验机构进行; CSA Z 245.20—2014 没有强制要求进行第三方检验, 但规定环氧粉末和

表 2 实验室涂敷试件的涂层质量指标

检测项目	SY/T 0315—2013		CSA Z 245.20—2014		
	单层	双层	单层		多层
			1A	1B	
外观	平整、色泽均匀、无气泡、无开裂及缩孔, 允许轻度橘皮状花纹	平整、色泽均匀、无气泡、无开裂及缩孔, 允许轻度橘皮状花纹	-	-	-
热特性	$\Delta T_g/^\circ\text{C}$	$\leq 5$	$\leq 5$ (内层、外层)	$\leq 5$	$\leq 5$
	固化百分率/%	$\geq 95$	$\geq 95$ (内层、外层)	-	-
耐阴极剥离 辐射半径/mm	条件: 65 $^\circ\text{C}$ , 24 h	-	-	$\leq 6.5$	$\leq 6.5$
	条件: 65 $^\circ\text{C}$ , 48 h	$\leq 6.5$	$\leq 6.5$	-	-
	条件: 65 $^\circ\text{C}$ , 28 d	$\leq 15.0$	$\leq 15.0$	-	-
抗弯曲性能	3 $^\circ$ 弯曲, 无裂纹	2 $^\circ$ 弯曲, 无裂纹	2.5 $^\circ$ , 无裂纹	1.5 $^\circ$ , 无裂纹	1.5 $^\circ$ , 无裂纹
抗冲击性能/J	1.5(-30 $^\circ\text{C}$ ), 无漏点	10(23 $^\circ\text{C}$ ), 无漏点	-	-	1.5/3.0, 无漏点
断面孔隙率等级	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4
黏结面孔隙率等级	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4
24 h 附着力等级	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3
28 d 附着力等级	1~3	1~3	-	-	-
耐划伤(30 kg)/ $\mu\text{m}$	-	$\leq 350$ , 无漏点	-	-	-
耐磨性(落砂法)/( $\text{L}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ )	$\geq 3$	-	-	-	-
电气强度/( $\text{MV}\cdot\text{m}^{-1}$ )	$\geq 30$	$\geq 30$	-	-	-
体积电阻率/( $\Omega\cdot\text{m}$ )	$\geq 1\times 10^{13}$	$\geq 1\times 10^{13}$	-	-	-
弯曲后涂层耐阴极剥离(28 d)	2.5 $^\circ$ , 无裂纹	1.5 $^\circ$ , 无裂纹	-	-	-
耐化学腐蚀	合格	合格	-	-	-

涂层性能测试时间应在涂敷之前 365 天以内。

(2) 粉末性能要求差异。SY/T 0315—2013 对环氧粉末要求比较严格, 在符合生产商给定值的基础上增加了限制, CSA Z 245.20—2014 对环氧粉末的要求主要以粉末生产商的规范为准。SY/T 0315—2013 增加了外观和磁性物含量的要求<sup>[6-7]</sup>。CSA Z 245.20—2014 中规定了测定挥发物含量的两种方法: 采用 CSA Z 245.20—2014 附录 12.3 滴定法, 挥发物含量最大 0.5%; 采用附录 12.4 烘干法, 挥发物含量最大 0.6%。其中, 挥发物最大含量 0.6%的要求与 SY/T 0315—2013 是一致的, 只是描述的方式不同。

(3) 涂层质量要求差异。SY/T 0315—2013 针对抗弯曲指标的要求略低于 CSA Z 245.20—2014, 其他指标均比 CSA Z 245.20—2014 的要求严格或保持一致。SY/T 0315—2013 增加了外观、28 d 附着力、耐划伤、耐磨性、电气强度、体积电阻率、弯曲后涂层耐阴极剥离(28 d)和耐化学腐蚀等多项

要求。CSA Z 245.20—2014 对防滑涂层的表面粗糙度进行了单独规定(表面粗糙度 $>50\ \mu\text{m}$ )。

(4) 差示扫描量热分析法(Differential Scanning Calorimeter 法, 即 DSC 法)的差异。两个标准在升温速度方面规定一致; CSA Z 245.20—2014 中的要求更详细, 粉末和涂膜对  $T_g$  点的取点位置是不同的; SY/T 0315—2013 对  $T_g$  点取的是  $T_{g\text{Onset}}$  点(即  $T_g$  起始点), CSA Z 245.20—2014 取的是  $T_{g\text{Half}}$  点( $T_g$  中间点)。值得一提的是, 不同版本的 CSA Z 245.20 标准对 DSC 有不同的规定, 但要求越来越趋于合理, 也越来越贴近生产实际。

## 2.2 防腐厂粉末质量确认

环氧粉末到达防腐厂后, 防腐厂应取样进行粉末质量的再确认, 确认时机包括涂敷前和涂敷过程中, 确认内容包括粉末性能指标和实验室涂敷试件质量。下面按照确认时机对比两个标准的要求差异。

(1) 涂敷前确认。SY/T 0315—2013 规定, 每批(批量不超过 30 t)粉末应至少取样一次, 并制备

实验室涂敷试件,由具有资质的第三方检验机构进行。其中,环氧粉末性能应符合表1所有项目的指标要求,实验室涂敷试件应符合表2中第5~16项的指标要求。CSA Z 245.20—2014规定,每批取样后,粉末只需进行胶化时间测试,实验室涂敷试件选择进行表2中第2、4、7、8、9、10、11项的检测项目。

(2) 生产过程中确认。SY/T 0315—2013规定,每批(批量不超过30 t)实验室涂敷试件,检测项目包括中阴极剥离(65 ℃, 48 h)、抗弯曲、附着力(24 h)、耐划伤。CSA Z 245.20—2014无此项要求。

(3) 核心指标控制。反应放热量 $\Delta H$ 作为涂料活性指标成为必检项,而CSA Z 245.20—2014中并未强行规定。随着原材料的发展,作为防腐性能核心指标的阴极剥离指标也越来越受到重视,SY/T

0315—2013在引入双层防腐体系的同时也纳入了阴极剥离指标,特别规定了对每批钢管(批量不超过30 t)的涂层的长期阴极剥离做检测。因CSA Z 245.20—2014主要针对防腐体系,在标准中未对涂层的热特性做强行要求。

### 3 工艺性试验

工艺性试验用于确定工艺参数的符合性。SY/T 0315—2013规定从涂敷钢管上截取试件送具备资质的第三方检验机构进行检测;CSA Z 245.20—2014没有对检验机构进行要求。CSA Z 245.20—2014在工艺性试验中,增加了耐阴极剥离(28 d, 20/65/95 ℃)、弯曲后涂层阴极剥离(28 d)、附着力等级(28 d, 75/95 ℃)等测试项目,以保证涂层的长期黏结性能<sup>[12-15]</sup>。工艺性试验性能指标对比见表3。

表3 工艺性试验性能指标对比

检测项目	SY/T 0315—2013		CSA Z 245.20—2014		
	单层	双层	单层		多层
			1A	1B	
热特性/℃	≤5	≤5(内层、外层)	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Cure- $\Delta T_g$ /℃	-	-	≤5	≤5	内层测试≤5
耐阴极剥离 辐射半径/ mm	条件: 24 h, 65 ℃	≤8	≤6.5	≤6.5	≤6.5
	条件: 28 d, 20 ℃	-	≤8.5	≤8.5	≤6.5
	条件: 28 d, 65 ℃	-	≤20	-	≤20
	条件: 28 d, 95 ℃	-	-	≤20	≤20
抗弯曲性能	2.5°, 无裂纹	普通级: 2.0°, 无裂纹 加强级: 1.5°, 无裂纹 <sup>①</sup>	3.0°, 无裂纹	2.0°, 无裂纹	2.0°, 无裂纹
抗冲击性能/J	1.5(-30 ℃), 无漏点	普通级: 10(23 ℃), 无漏点 加强级: 15(23 ℃), 无漏点 <sup>①</sup>	1.5(-30 ℃), 无漏点	1.5(-30 ℃), 无漏点	1.5/3.0, 无漏点
弯曲后阴极剥离(28 d)	-	-	2.5°	1.5°	1.5°
断面孔隙率等级	1~4	1~4	1~4	1~4	除防滑层外 1~4
黏结面孔隙率等级	1~4	1~4	1~4	1~4	内层测试 1~4
24 h附着力等级	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3
28 d附着力 75 ℃等级	-	-	1~3	1~3	1~3
28 d附着力 95 ℃等级	-	-	-	1~3	1~3
耐划伤/ $\mu\text{m}$	-	普通级: ≤350; 加强级: ≤500 <sup>②</sup>	-	-	-

注: ①以涂层厚度来区分涂层等级。②对于级别为普通级的涂层,用30 kg(即300 N)的力,划厚度≤350  $\mu\text{m}$ ,无漏点;对于级别为加强级的涂层,用50 kg(即500 N)的力,划厚度≤500  $\mu\text{m}$ ,无漏点。

## 4 涂敷过程质量控制

### 4.1 涂层的修补及重涂

两个标准都对漏点的个数及修补方式进行了规

定。SY/T 0315—2013要求,管径外径<325 mm时,平均漏点个数不超过1.0个/m;管径≥325 mm时,平均漏点个数不超过0.7个/m<sup>2</sup>。CSA Z 245.20—2014

则将管径范围界定为 355.6 mm。漏点个数超出上述要求时需对钢管进行修补, 并按照  $5 \text{ V}/\mu\text{m}$  计算的电压对修补处进行漏点检测, 出厂的成品管涂层应无漏点; 对漏点个数超过上述规定或个别漏点面积  $\geq 250 \text{ cm}^2$  的防腐管需要进行重涂, 且在扒皮时钢管的加热温度不应超过  $275 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

#### 4.2 型式检验

连续生产时, 同一规格环氧粉末外涂层钢管应每班截取一定长度的管段进行型式检验, 其目的是确定涂敷工艺的稳定性。对比可知, 两个标准在型式检验测试项目方面基本相同, SY/T 0315—2013 在耐阴极剥离 24 h、 $65 \text{ }^\circ\text{C}$  方面要求更高, 而 CSA Z 245.20—2014 增加了界面污染  $\leq 30\%$  的要求。

### 5 结 语

(1) 对于 28 d 阴极剥离和 28 d 附着力等检测周期较长的检测项目, SY/T 0315—2013 要求在前期实验室涂敷试件中进行, 而 CSA Z 245.20—2014 要求在工艺性试验的管段上进行。对于实际订货和生产而言, SY/T 0315—2013 的做法比较容易实施。

(2) 在粉末性能和实验室涂敷试件涂层质量检测结果的时效性方面, CSA Z 245.20—2014 进行了明确规定, 而 SY/T 0315—2013 中没有相关要求。对于环氧粉末而言存在质量保证期, 建议采用 SY/T 0315—2013 标准在订货中进行相关要求。

(3) 在生产过程中的型式试验的界面污染控制方面, CSA Z 245.20—2014 做了详细控制要求, 因为界面状态很大程度上决定了涂层质量。对于 SY/T 0315—2013, 未对该项目进行要求, 且未规定钢管上进行 28 d 阴极剥离和 28 d 附着力检测。建议在采用 SY/T 0315—2013 标准时, 应严格控制钢管表面的光洁度、锚纹深度、灰尘度、加热温度等, 必要时采用相关标准进行测量验证, 确保实际生产过程中涂层质量合格。

(4) 在 DSC 测试方法上, 对  $T_g$  点的要求, 无论是 ISO 21809-2: 2014《石油管道熔结环氧粉末外防腐层技术标准》还是 CSA Z 245.20—2014 取点

都以  $T_{g\text{Half}}$  点为准。希望加快标准的修订, 与国际接轨。

### 6 参考文献

- [1] 胡士信, 廖宇平, 王冰怀. 管道防腐层设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 魏亮. 长输管线防腐技术的研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2015.
- [3] 胡志勇, 吴明, 富鑫, 等. 某长输管道防腐保温设计方案[J]. 当代化工, 2015, 44(3): 583-586.
- [4] 李平舟. 解读钢结构管道的防腐和涂装概要[J]. 上海煤气, 2015(5): 24-29.
- [5] 崔志刚. 管道防腐环氧粉末涂料国内外标准综述[C]//中国粉末涂料与涂装年会会刊, 2012: 130-132.
- [6] 国家能源局. SY/T 0315—2013 钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范[S]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [7] Canadian Standards Association. CSA Z 245.20 Series—2014 Plant-applied external fusion bond epoxy coatings for steel pipe[S]. 2010.
- [8] 祁光明. 用于长输管线防护的双层 FBE 熔结型环氧粉末涂料研究与制备[D]. 苏州: 苏州大学, 2011.
- [9] 中国涂料工业协会, 涂料产业技术创新联盟. 中国涂料行业“十三五”规划[J]. 中国涂料, 2016, 31(3): 1-12; 2016, 31(4): 23-38.
- [10] 刘泽曦. 中国粉末涂料行业发展现状之 2014[J]. 中国涂料, 2015, 30(12): 7-20, 45.
- [11] 邓桂芳. 防腐涂料发展趋势分析[J]. 化学工业, 2015, 33(2/3): 28-32, 37.
- [12] 潘红丽, 赵晋云, 张丰, 等. 管道熔结环氧粉末外涂层标准对比分析[J]. 油气储运, 2013, 32(5): 545-549.
- [13] ISO 21809-9: 2014 Petroleum and natural gas industries—External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems—Part 2: single layer fusion-bonded epoxy coatings[S]. 2014.
- [14] 赵利, 赵岑, 陈春林, 等. 管道涂敷用低温固化型熔结环氧粉末研究及应用进展[J]. 石油工程建设, 2016(2): 70-73.
- [15] 毕学振. 熔结环氧粉末涂料涂层的失效分析[J]. 涂料技术与文摘, 2016, 37(3): 2-9, 18.

(收稿日期: 2016-08-17; 修定日期: 2016-12-27)

欢迎订阅“中国期刊方阵”双效期刊·钢管(双月刊)