HEMPEL

当前钢桥防腐涂装技术中几个热点问题的讨论

李荣俊 林绍基 李华刚

赫普(中国)有限公司工业防护部

2009.09.02

HEMPEL

提 纲

1,关于涂装设计
2,当前钢桥涂装三个配套涂层之比较
3,关于富锌涂料与喷Zn/Al
4,关于云铁中间漆
5,表面处理的重要性
6,关于钢桥涂装的质量管理与质量检验

HEMPEL

1,关于钢桥涂装设计

- 涂装设计依据
- 钢桥涂装主要标准

HEMPEL

2,当前钢桥涂装三个配套涂层之比较

HEMPEL

桥梁聚氨酯经典配套-1

---- 应用于虎门大桥、鹅公岩大桥、南京二桥、南京三桥、润扬桥、苏通桥、小湾桥、昂船洲大桥、济南黄河三桥等

表面处理等级：Sa2.5；腐蚀环境：C4-C5 ；预计防护年限 15-20年（Ri3，1% 锈蚀）

涂 层	配套1		配套2	
	油漆名称	干膜厚度（微米）	油漆名称	干膜厚度（微米）
底层	无机富锌底漆*	75	环氧富锌底漆	80
封闭层	环氧封闭漆	25	/	/
中间层	环氧(云铁)漆	150	环氧(云铁)漆	150
面 层	聚氨脂面漆	2×40	聚氨脂面漆	2×40
总干膜厚		305	总干膜厚	310

*或采用金属喷镀Zn/Al

HEMPEL

钢箱梁外表面聚合硅氧烷配套-2

---- 应用于重庆菜园坝大桥、朝天门大桥、石板坡桥等

表面处理等级：Sa2.5；腐蚀环境：C4-C5 ；预计防护年限 25-30年（Ri3，1% 锈蚀）

涂 层	油漆名称	干膜厚度（μm）
底 层	无机富锌底漆*	75
封闭层	环氧封闭漆	25
中间层	环氧云铁漆	120
面 层	聚合硅氧烷面漆	2×50
总干膜厚		295

*或采用金属喷镀Zn/Al

HEMPEL

钢箱梁外表面氟碳配套3

----应用于杭州湾大桥、西候门大桥、青岛海湾大桥等

表面处理等级：Sa2.5；腐蚀环境：C4-C5 ；预计防护年限 25-30年 (Ri3，1% 锈蚀)

涂　层	油漆名称牌号	干膜厚度（μm）
底　层	老人牌无机富锌底漆*	75
封闭层	老人牌环氧封闭漆	25
中间层	老人牌环氧(云铁)漆	150
面　层	老人牌氟碳面漆	2×40
总干膜厚		305

*或采用金属喷镀Zn/Al

三种面漆性能对比

老人牌聚氨酯、氟碳、聚硅氧烷三种涂料主要性能定性对比表

项目	聚氨酯面漆 55210	聚硅氧烷面漆 55000	氟碳面漆 555CN
特征键及键能	C-C (358千焦耳/摩尔)	Si-O (446千焦耳/摩尔)	F-C (460.2千焦耳/摩尔)
保光性	++	+++	++++
保色性	++	++++	++++
防腐性	++	++++	+++
市场业绩	++++	+	+
环保、安全健康及VOC含量	++ 较高VOC：440g/L	++++ 低VOC：160g/L、高固分、不含异氰酸酯、低气味，属于环境友好型！	+ 高VOC：517g/L
施工性能（固化期）	+++	++++	++

3,关于富锌涂料与喷Zn/Al

★ 关于富锌底漆最新标准

HG/
底漆-报批稿 7.0

关于富锌漆标准

标准	分类	锌含量 (%)	其它
HG/T 3668-2000	1型有机 2型无机	1型有机≥70% 2型无机≥80%	抗冲击：无机锌≥25cm 无机锌≥50cm
TB/T 1527-2004	水性无机富锌，干膜中锌含量≥90% 防滑无机富锌抗滑移系数：≥0.55(初始)、≥0.45(6个月时)		
TB/T 2772-1997	只规定用环氧富锌，锌含量≥80%、 耐弯曲≯2mm，		
GJB 4063-2000	舰船富锌防锈底漆通用规范		
ISO12944 Section5	≥80% 如15360、 17360、15350、15780、15700		
SSPC PAINT 20 -2002	Ⅰ型 无机 Ⅱ型 有机	干膜中锌粉含量： 1级 ≥85%、 2级 77-85%、 3级 65～77%	
HG/T 3668-2009 （报批稿）	Ⅰ型 无机 Ⅱ型 有机	●不挥分中锌含量： 1级≥80% 2级≥70% 3级≥60%；	●耐盐雾 1000h 720h 500h ●抗冲击 无机锌/有机锌 ≥50cm ●耐水性 通过 240h ●附着力(Mpa) 无机锌≥3 有机锌≥ 6

三种富锌底漆性能对比---1

序号	项目	无机富锌底漆	环氧富锌底漆	水基富锌底漆
1	表面处理	Sa 2.5或Sa 3级	Sa 2.5	Sa3级
2	最大干膜厚度	<175 微米	<80 微米	<200 微米
3	防腐性	++++	+++	++++
4	耐热性	++++	++	++++
5	导电性	++++	++	++++
6	耐溶剂性	++++	++	++++
7	附着力	++++	+++	+++

三种富锌底漆性能对比--2

序号	项目	无机富锌底漆	环氧富锌底漆	水基富锌底漆
8	配套性	++++	+++	++
9	对施工环境的要求	+	++	+++
10	施工性	++++	+++	++
11	固化条件	≥-10℃(冬用型)	-10～40℃	≥10℃
12	维修困难度	++	+	+++
13	经济性	++	+	++++
14	其它	需加喷封闭漆	不需加喷封闭漆	需加喷封闭漆

富锌涂料与金属热喷涂比较

序号	项目	无机/有机富锌涂料	热喷锌/铝
1	防腐机理及防腐性	阴极保护，+++	阴极保护 ， ++++
2	施工难度	+，施工方便	+++，施工难度较大
2	表面处理	Sa2～3, Ra40 ～ 75μm +++	Sa3，Ra 75μm ++++
3	工艺装备	高压无气喷涂机	高耗能成套装置
4	维修难度	+，现场维修简便	++++，现场很难维修
5	经济成本	++	++++
6	附着力	+++	++，在大载荷下金属覆盖层和铁基体易分离和剥落
7	在桥梁上业绩	++ ++	++

HEMPEL

4,关于云铁中间漆

中间漆的主要功能是增加漆膜厚度，以增强漆层体质。作为底/面之间的过渡层，在涂层配套正确的前提下，具有提高层间附着力的作用 。国内最常用的是环氧厚浆漆，而在桥梁等重防腐工程中，。两者均以耐蚀树脂为主要成膜物质，分别以云母氧化铁和玻璃鳞片为防锈颜料，再加入其它助剂而组成的厚浆型涂料。

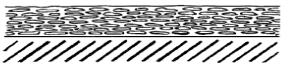


图1 云母氧化铁(MIO)在涂层中的分布示意图

- 关于云铁含量：
- 英国标准 BS 5493（the protective coating system）
- ●云铁在涂料颜填料中所的占比例----作为防腐涂料的分级依据！
- 云铁在涂料的颜填料中含量≥80%（W/W）
- 试验表明云铁含量过低，很难发挥其屏蔽效果，其防腐效果与不用云铁的中间漆区别不大。

- ●云铁机理： ①屏蔽效应，延长外界腐蚀性介质渗透路径；
- ②耐紫外线幅射：强烈吸收300～100 nm 紫外光线；
- ③一定的粗糙度：附着力补强与促进作用。

HEMPEL

5,涂装前表面处理的重要性！

★关于表面处理：在重防腐涂装中表面处理的重要性
——— 虽说是“老生常谈”，但，仍然是：

决定重防腐涂层质量诸多因素中的首要因素！

表面处理主要参数：①表面清洁度（包括除锈、除油、除盐、除灰尘）
②表面粗糙度

HEMPEL

表面处理相关标准

★常用国际标准

ISO12944-4:1998 色漆和清漆 ---用保护漆体系对钢结构的防腐保护
第4部分 表面类型与表面处理

美国钢结构涂装协会 SSPC-SPCOM 表面准备技术规范 表面准备评述*

★常用国内标准

GB/T8923-1998 涂装钢材表面锈蚀等级和除锈等级 （eqv 国际标准ISO 8501-1:1988）
GB /T13288-1998 表面粗糙度比较样板抛（喷）丸、喷砂加工表面(eqv 国际标准ISO 8503- 2 :1995)
GB/T18838.1-2002 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理用金属磨料的技术要求
GB/T17850.1-2002 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理用非金属磨料的技术要求
GB/T18839.1-2002 涂覆涂料前钢材表面处理 表面处理方法 总则
GB/T18839.2-2002 涂覆涂料前钢材表面处理 表面处理方法 喷射清理
GB/T18839.3-2002 涂覆涂料前钢材表面处理 表面处理方法 手工和动力工具清理
GB/T13312-1991 钢铁件涂装前除油程度检验方法（验油试纸法）（JB/Z 236-85）

HEMPEL

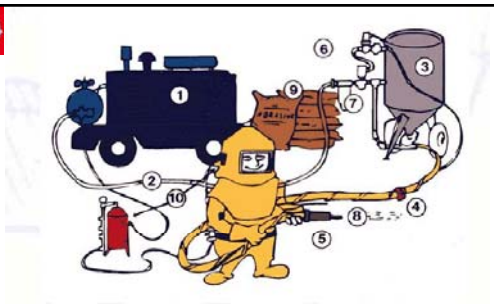
常用表面处理方法

- 机械处理
- 化学处理
- 火焰处理

★其中，机械处理
- –喷砂处理
- –扫砂处理
- –湿喷砂处理
- –高压水处理
- –手工处理
- –机械打磨处理

HEMPEL

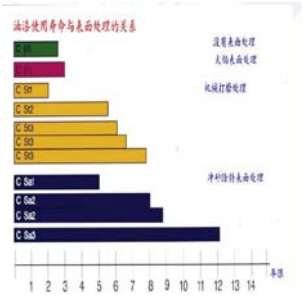
喷砂迄今仍是最佳工艺选择！

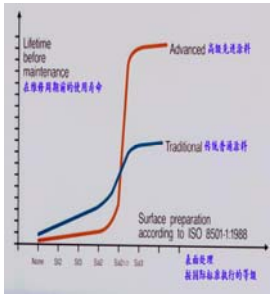


注： 1. 空气压缩机 2. 配有阀门的气管和连接器
3. 便携式喷砂机(储砂罐) 4. 外接快速连接器的抗静电喷砂管
5. 高效文丘里喷嘴 6. 气流微调控制阀
7. 湿气分离器 8. 高压空气和磨料流
9. 磨料 10. 头盔和纯化空气罐

HEMPEL

表面处理与涂层使用寿命关系





资料来源：SSPC

常用表面处理检测工具



6,关于钢桥涂装的质量管理与质量检验

★钢桥涂装现场质量管理

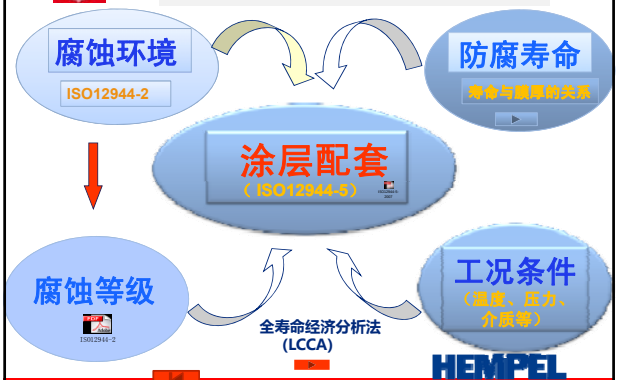
★钢桥涂装现场质量检验

桥梁检测

HEMPEL



2.1 钢桥防腐涂装设计依据



我国桥梁涂装主要国家行业标准

TB/T 1527 -2004	铁路钢桥保护涂装
TB/T 2772 -1997	铁路钢桥用防锈底漆供货技术条件
TB/T 2773 -1997	铁路钢桥用面漆、中间漆供货技术条件
TB/T2486-1994	铁路钢梁涂膜劣化评定
JT/T 722-2008	公路桥梁钢结构防腐涂装技术规范
JT/T 694-2007	悬索桥主缆防腐涂装技术条件
JT/T 695-2007	混凝土桥梁结构表面涂层防腐 技术条件件
HG/T 3656-1999	钢结构桥梁漆
HG/T 3668-2009	富锌底漆（报批稿）
HG/T2660-1995	各色聚氨酯磁漆（双组份）
HG/T3792-2005	交联型氟树脂涂料（溶剂可溶物氟含量≥18%）
GB/T9793-1997	金属和其它无机覆盖层 热喷涂 锌、铝及其合金
GB/T9793-1997	热喷涂 金属件表面预处理通则

ISO12944-5----
腐蚀环境、使用寿命和漆膜厚度的关系

防腐寿命（设计）	C2	C3		C4		C5-I	C5-M	
		其它	Zn	Zn	其它		其它	Zn
低 2-5年	80	120	-	160	200	200	-	-
中 5-15年	120	160	-	200	240	240（Zn）	300	240
高 >15年	160	200	160	240	280	320	320-400 -500	320- 400

一个新的工程设计思想：
LCCA----全寿命经济分析法

"全寿命经济分析法"（Life Cycle Cost Analysis），或译为"寿命周期成本分析法"。其基本思想是：

在设计施工阶段： 是选择 "事先防护"？

还是选择 "坏了再修"？

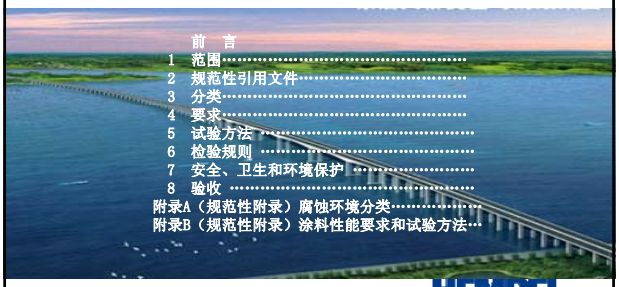
通过经济预算与分析比较决定施工方案，对工程的"全寿命"负责到底，避免"短期行为"给后人带来的麻烦和巨大的经济损失。

- 举例说明：
  - ★某混凝土桥梁工程处于氯盐腐蚀环境中，钢筋混凝土结构设计寿命为40年，前期实施了防护措施，主要是采用钢筋阻锈剂和涂料外防护，附加费用仅为0.85美元/m²（混凝土桥面）；若前期不采取防护措施，那么15～20年开始修复，40年内累积维修费用为4.8美元/m²，是前者附加费的5.65倍。
  - ★来自北海海上油田的经验表明，采用高性能涂料，如改性环氧漆、富锌漆、玻璃鳞片涂料、聚氨酯涂料和聚硅氧烷涂料等，根据LCCA分析，总的费用可以节省25 - 40%。
- 所以，对于工程结构涂装须采用具有"量身定做"的超强耐久性的涂层配套系统。

3，JT/T 722-2008《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》

本标准适用于公路桥梁钢结构防腐涂装，其它应用领域的桥梁钢结构或类似条件下的钢结构防腐涂装也可参照执行。

JT-T722-2008 7.0 Document



JT/T 722-2008《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》

3 分类

3.1 涂层体系保护年限分类

- 在涂层体系保护年限内，涂层95%以上区域的锈蚀等级不大于ISO 4628规定的Ri2级，无气泡、剥落和开裂现象。
- 按保护年限分为两类：
  - ——普通型，（10～15）年；
  - ——长效型，（15～25）年。

3.2 腐蚀环境分类： 腐蚀环境分类符合ISO12944-2的要求

3.3 涂装部位分类：

3.4涂装阶段分类 按涂装阶段分为三类：

- 初始涂装：新建桥梁的初次涂装（包含二年缺陷责任期内的涂装）；
- 维修涂装：桥梁在其运营全过程中对涂层进行的维修保养；
- 重新涂装：彻底的除去旧涂层、重新进行表面处理后，按照完整的涂装规格进行的涂装。

钢桥腐蚀环境级别界定

一般说来，钢桥所处的腐性环境，按ISO 12944评估，大多处于C4与C5等级之间：

- C1：轻 具有中性大气内部保温的建筑物
- C2：较轻 较轻污染的大气，基本是乡村地区如仓库、体育馆等
- C3：中等 城市和SO_2等工业大气污染，具有低盐分的沿海地区

C4 ： 工业区与带轻量盐雾介质沿海区域

C5—1： 潮湿热和严重污染工业区

C5—M： 带较严重盐雾介质的沿海区域

（可参考国标GB/T15957-1995 大气环境腐蚀性分类）

JT/T 722-2008桥梁涂层配套体系

JT/
T722桥梁涂层配套体系表

5，当前桥梁防腐用三种高档面漆之比较

①高档面漆的发展

旭硝子公司： 三氟乙烯-烃基乙烯基醚共聚物
大金公司： 四氟乙烯-烃基乙烯基醚共聚物

氟碳

脂肪族聚氨酯

聚合硅氧烷

芳香族聚氨酯→脂肪族聚氨酯→聚脲

环氧硅氧烷与丙烯酸硅氧烷的区别

②三种高档面漆 ----涂料化学原理

聚氨酯：

$$n\ OCN\text{-}R\text{-}NCO + n\ HO - R' - OH \longrightarrow [\ CONH\text{-}R\text{-}NHCO\text{-}OR' - O\ ]_n$$

聚氨酯涂料的发展

从芳香族聚氨酯→脂肪族聚氨酯→……

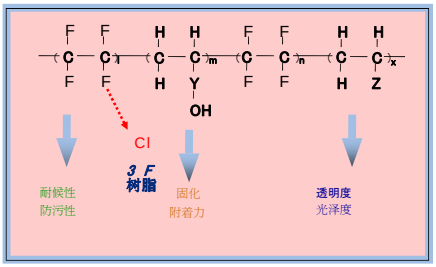
- 单组份潮气固化型
- 双组份羟基聚氨酯
- 水性聚氨酯
- 高固体/无溶剂聚氨酯

迄今，聚氨酯配套涂层仍在重防腐涂装中唱主角！

无机富锌底漆/环氧封闭漆/环氧云铁中间漆/聚氨酯面漆
环氧富锌底漆/环氧云铁中间漆/聚氨酯面漆

氟碳

以聚四氟乙烯作为主要成份---- ZEFFLE GK (大金公司)



固化机理：含-NCO多异氰酸交联剂与含-OH的4F树脂反应而固化成膜。

关于氟碳涂料(常温固化型)

F-C键能
465 (KJ/mol)
溶剂可溶物中氟含量
HG/T3792：18%

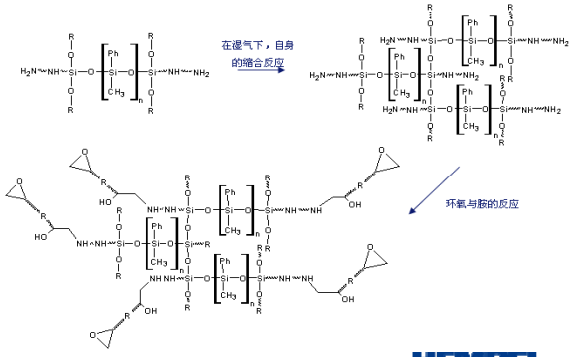
- 优异的耐候性 ----- 保光、保色
- 化学惰性
- 耐腐蚀性

目前存在的缺点：固含量偏低（40～50%）、VOC含量偏高《>500g/L》及少量游离异氰酸酯！

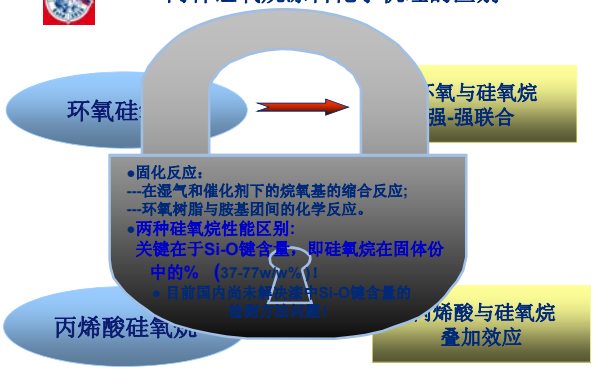
高固体份氟碳涂料

水性氟碳涂料与氟碳粉末

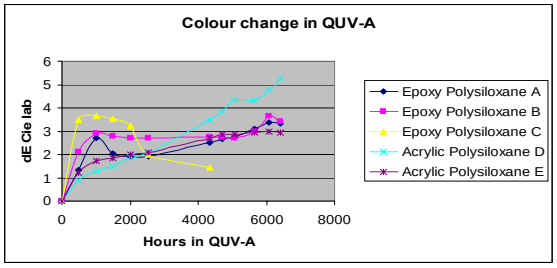
环氧聚硅氧烷



两种硅氧烷涂料化学机理的区别

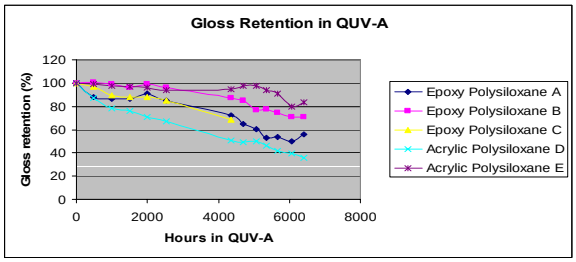


两种聚硅氧烷面漆
加速老化试验(QUV-A)--保色性



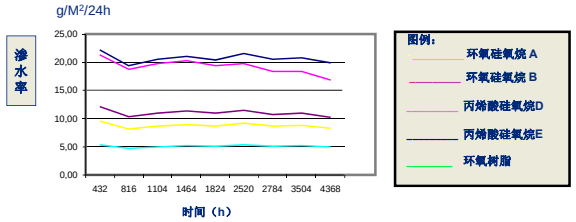
环氧聚硅氧烷品种A
环氧聚硅氧烷品种B
丙烯酸聚硅氧烷品种E
} 性能很相似！

两种聚硅氧烷面漆
加速老化试验(QUV-A)--保光性



试验结果表明：低改性的丙烯酸聚硅氧烷面漆（品种E）的保光性最好，其次是环氧聚硅氧烷面漆（品种B），高改性的丙烯酸聚硅氧烷面漆（品种D）的保光性最差（但是会比聚氨酯面漆好）因此，不能够断定丙烯酸聚硅氧烷面漆通常会比环氧聚硅氧烷面漆具有更好的或更坏的保光性。具体产品具体分析！

两种聚硅氧烷面漆
耐水性（渗水率）对比曲线

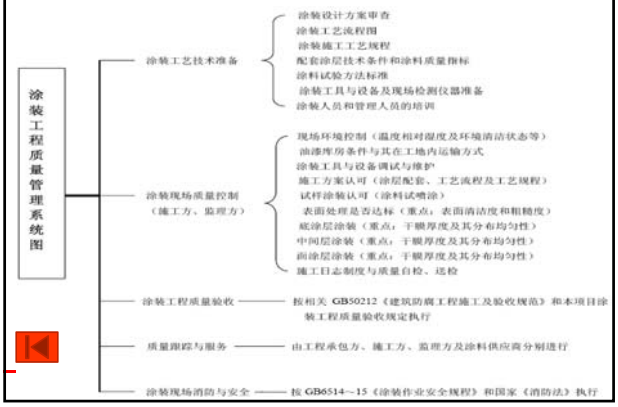


结论：渗水率最低的是环氧树脂和环氧硅氧烷A、B
渗水率较高的是丙烯酸环氧硅氧烷E、D

两种聚硅氧烷面漆的性能比较表

项目 \ 品种	环氧聚硅氧烷（品种A）	环氧聚硅氧烷（品种B）	环氧聚硅氧烷（品种C）	丙烯酸聚硅氧烷(品种D)	丙烯酸聚硅氧烷（品种E）
体积固体含量	84%	86%	90%	72%	76%
QUV-A保色性（6500 hrs.）	dE = 3	dE = 3	dE = 2	dE = 5	dE = 3
QUV-A 保光性（6500 hours）	55%	70%	50%	35%	80%
拉伸性	37 MPa	27 MPa	>27 MPa	25 MPa	36 MPa
柔韧性（弯曲性）	1.7%	3.6%	1.1%	1.6%	1.8%
NACE热循环实验	很好	–	–	龟裂	很好
水浸后的粘结性	好–	好	–	直接涂在钢铁上，不合格	直接涂在钢铁上，不合格

★涂装工程现场质量管理


涂装工程质量管理系统图
涂装工艺技术准备
涂装设计方案审查
涂装工艺流程图
涂装施工工艺规程
配套涂层技术条件和涂料质量指标
涂料试验方法标准
涂装工具与设备及现场检测仪器准备
涂装人员和管理人员的培训
涂装现场质量控制（施工方、监理方）
现场环境控制（温度相对湿度及环境清洁状态等）
油漆库房条件与其在工地内运输方式
涂装工具与设备调试与维护
施工方案认可（涂层配套、工艺流程及工艺规程）
试样涂装认可（涂料试喷涂）
表面处理是否达标（重点：表面清洁度和粗糙度）
底涂层涂装（重点：干膜厚度及其分布均匀性）
中间层涂装（重点：干膜厚度及其分布均匀性）
面涂层涂装（重点：干膜厚度及其分布均匀性）
施工日志制度与质量自检、送检
涂装工程质量验收
按相关 GB50212《建筑防腐工程施工及验收规范》和本项目涂装工程质量验收规定执行
质量跟踪与服务
由工程承包方、施工方、监理方及涂料供应商分别进行
涂装现场消防与安全
按 GB6514—15《涂装作业安全规程》和国家《消防法》执行