T/CECS xxx-202x

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面防护技术规程

Technical specification for protection of concrete surface of railway bridge under strong solar radiation

（**征求意见稿**）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

XXX出版社

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面防护技术规程

Technical specification for protection of concrete surface of railway bridge under strong solar radiation

**T/CECS xxx－202x**

主编单位：中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月XX日

中 国 X X出 版 社

202X年 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕13号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分7章和4个附录，主要技术内容包括：总则、术语、材料、设计、施工、质量检验、安全、卫生和环境保护等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会防水防护与修复专业委员会归口管理，由中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请寄送中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所（地址：北京市海淀区大柳树路2号，邮政编码：100081）。

**主编单位:**中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所

**参编单位:**××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

**主要起草人:**××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

**主要审查人:**××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

**目 次**

[1 总则 2](#_Toc18985)

[2 术语 4](#_Toc20732)

[3 材料 6](#_Toc18029)

**[3.1 性能要求 6](#_Toc3986)**

**[3.2 包装与储运 9](#_Toc8747)**

[4 设计 10](#_Toc8439)

**[4.1 一般规定 10](#_Toc16062)**

**[4.2 涂装体系设计 11](#_Toc7445)**

**[4.3 构造要求 12](#_Toc27320)**

[5 施工 13](#_Toc28575)

**[5.1 一般规定 13](#_Toc21320)**

**[5.2 施工工艺 14](#_Toc12709)**

**[5.3 成品保护 16](#_Toc6452)**

**[5.4 维修管理 17](#_Toc15998)**

[6 质量检验 19](#_Toc20203)

**[6.1 一般规定 19](#_Toc8247)**

**[6.2 主控项目 19](#_Toc23116)**

**[6.3 一般项目 21](#_Toc16654)**

**[6.4 判定原则 21](#_Toc12538)**

[7 安全、卫生和环境保护 22](#_Toc2830)

**[7.1 安全、卫生 22](#_Toc31740)**

**[7.2 环境保护 22](#_Toc30117)**

[附录A 涂装材料的型式检验 24](#_Toc1410)

[附录B 涂层体系的耐紫外老化性能测试 25](#_Toc30931)

[附录C 涂层体系附着力的现场测定 26](#_Toc10709)

[附录D 涂层体系光学性能的现场检测 28](#_Toc23266)

[用词说明 29](#_Toc3252)

[引用标准名录 30](#_Toc13508)

[条 文 说 明 33](#_Toc7853)

Content

[1 General principles 2](#_Toc18985)

[2 Term 4](#_Toc20732)

[3 Materials 6](#_Toc18029)

**[3.1 Performance requirement 6](#_Toc3986)**

**[3.2 Packaging, storage and transportation 9](#_Toc8747)**

[4 Design 10](#_Toc8439)

**[4.1 General provisions 10](#_Toc16062)**

**[4.2 Coating system design 11](#_Toc7445)**

**[4.3 Construction detail 12](#_Toc27320)**

[5 Construction 13](#_Toc28575)

**[5.1 General provisions 13](#_Toc21320)**

**[5.2 Construction technology 14](#_Toc12709)**

**[5.3 Finished products protection 16](#_Toc6452)**

**[5.4 Maintenance management 17](#_Toc15998)**

[6 Quality inspection 19](#_Toc20203)

**[6.1 General provisions 19](#_Toc8247)**

**[6.2 Dominant item 19](#_Toc23116)**

**[6.3 General items 21](#_Toc16654)**

**[6.4 Judgment criteria 21](#_Toc12538)**

[7 Safety, hygiene, and environmental protection 22](#_Toc2830)

**[7.1 Safety and hygiene 22](#_Toc31740)**

**[7.2 Environmental protection 22](#_Toc30117)**

[Appendix A Type inspection of coating materials 24](#_Toc1410)

[Appendix B UV aging resistance test of coating system 25](#_Toc30931)

[Appendix C On-site determination of adhesion of coating system 26](#_Toc10709)

[Appendix D On-site testing of optical properties of coating system 28](#_Toc23266)

[Explanation of wording 29](#_Toc3252)

[List of quoted standards 30](#_Toc13508)

[Addition：Explanation of provisions 33](#_Toc7853)

**1 总 则**

**1.0.1** 为规范强太阳辐射环境下铁路桥梁表面控温防护技术的工程应用，保证工程质量，做到安全可靠、绿色环保、耐久适用、经济合理，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系的设计、施工及质量检验。

**1.0.3** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面防护技术的应用，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术 语**

**2.0.1** 强太阳辐射环境 strong solar radiation environment

太阳总辐射年辐照量不小于5500 MJ/m2的环境。

**2.0.2** 控温防护涂装体系 thermal controlled protective coating system

用于减小由强太阳辐射引起的桥梁混凝土表面温度波动和内外温差，以降低长期服役条件下混凝土开裂风险的防护涂装体系。

**2.0.3** 渗透性环氧封闭底漆 epoxy penetrating sealing primer

由环氧树脂和固化剂组成，可渗入混凝土基材表面，具有封闭基材孔隙和增强涂层粘接作用功能的低粘度双组分底层涂料。

**2.0.4** 无溶剂环氧腻子solvent-free epoxy putty

以环氧树脂、固化剂和填料等组成的具有基材找平、修复补强、隔离腐蚀介质功能的双组份无溶剂型高触变性腻子。

**2.0.5** 隔热中间漆 thermal-insulation intermediate coating

以合成树脂为基料，与隔热功能填料及助剂等配制而成，具有低导热系数，可以达到隔热保温效果的中间层涂料。

**2.0.6** 反射隔热面漆 reflective thermal-insulation topcoat

以合成树脂为基料，与功能性颜填料及助剂等配制而成，具有高太阳光反射比、高半球发射率、低导热系数的面层涂料。

**2.0.7** 热反射面漆 thermal reflective topcoat

以合成树脂为基料，与功能性颜填料及助剂等配制而成，具有高太阳光反射比、高半球发射率、常规导热系数的面层涂料。

**2.0.8** 太阳光反射比 solar reflectance

在300 nm～2500 nm的可见光和近红外波段内，反射的与入射的太阳辐射能通量的比值。

**2.0.9** 近红外反射比 near infrared reflectance

在780 nm～2500 nm的近红外波段内，反射的与入射的太阳辐射能通量的比值。

**2.0.10** 半球发射率 hemispherical emittance

热辐射体在半球方向上的辐射出射度与处于相同温度的全辐射体（黑体）的辐射出射度的比值。

**2.0.11** 与参比黑板的隔热温差 thermal insulation temperature difference with reference plate

在相同辐射光源的照射下，参比黑板与测试试板背向光源一侧表面温度的差值。

**3 材 料**

**3.1 性能要求**

**3.1.1**强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系中使用的底漆宜为无溶剂渗透性环氧封闭底漆，其产品质量应符合表3.1.1的技术要求。

**表3.1.1 无溶剂渗透性环氧封闭底漆的技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 1 | 容器内状态 | 色泽均匀，无沉淀、无结块 | JG/T 335-2011 |
| 2 | 黏度（mPa·s） | ≤800 | GB/T 2794-201323°C±1°C |
| 3 | 不挥发物含量（%） | ≥96 | GB/T 1725-2007105°C±2°C，180min±5min |
| 4 | 干燥时间（h） | 表干时间 | ≤5 | GB/T 1728-202023°C±1°C |
| 5 | 实干时间 | ≤8 |
| 6 | 附着力（MPa） | ≥4，或混凝土底材破坏 | GB/T 5210-2006 |
| 7 | 耐碱性 | 无粉化、气泡、龟裂、剥落 | GB/T 9274-1988 饱和 Ca(OH)2，10d |

**3.1.2** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面防护涂装体系中使用的中间漆宜为隔热中间漆，其产品质量应符合表3.1.2的技术要求。

**表3.1.2 隔热中间漆的技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 1 | 容器内状态 | 色泽均匀，无沉淀、无结块 | JG/T 335-2011 |
| 2 | 干燥时间（h） | 表干时间 | ≤2 | GB/T 1728-202023°C±1°C |
| 3 | 实干时间 | ≤24 |
| 4 | 附着力（MPa） | ≥0.4 | GB/T 5210-2006 |
| 5 | 拉伸强度（MPa） | ≥1.0 | GB/T 528-2009 |
| 6 | 拉断伸长率（%） | ≥80 |
| 7 | 耐冲击性（cm） | ≥50 | GB/T 1732-2020 |
| 8 | 导热系数（W/(m·K)） | ≤0.08 | GB/T 32064-2015 |

**3.1.3** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系中使用的腻子宜为无溶剂环氧修补腻子，其产品质量应符合表3.1.3的技术要求。

**表3.1.3 无溶剂环氧修补腻子的技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 1 | 腻子外观 | 无结皮和搅不开的硬块 | HG/T 3354-2003 |
| 2 | 细度（μm） | ≤100 | GB/T 1724-2019 |
| 3 | 不挥发物含量（%） | ≥99 | GB/T 1725-2007105°C±2°C，180min±5min |
| 4 | 下垂度（mm） | 0 | GB/T 13477.6-2002腻子层厚度14mm |
| 5 | 实际干燥时间（h） | ≤8 | GB/T 1728-202023°C±1°C |
| 6 | 24h抗压强度（MPa） | ≥60 | GB/T 2567-200823°C±1°C |
| 7 | 附着力（MPa） | ≥5，或混凝土底材破坏 | GB/T 5210-2006 |
| 8 | 可操作时间（min） | ≥50 | GB/T 7123.1-200523°C±1°C |
| 9 | 负荷变形温度（℃） | ≥55 | GB/T 1634.2-2019使用0.45MPa弯曲应力的B法 |

**3.1.4** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系中使用的面漆宜为反射隔热面漆或热反射面漆，其产品质量应符合表3.1.4的技术要求。

**表3.1.4 面漆的技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 反射隔热面漆 | 热反射面漆 |
| 1 | 外观性能 | 容器内状态 | 色泽均匀，无沉淀、无结块 | JG/T 335-2011 |
| 2 | 涂膜外观 | 涂膜平整、颜色均匀 |
| 3 | 明度（L\*） | 40≤L\*≤80 | GB/T 11186.2-1989 |
| 4 | 涂膜颜色 | 灰色 | GB/T 11186.2-1989GB/T 3181-2008 |
| 5 | 光泽（60°） | ≤30 | － | GB/T 9754-2007 |
| 6 | 对比率 | ≥0.95 | GB/T 23981.1-2019 |
| 7 | 耐污性 | 0级或1级 | GB/T 9780-2005 |
| 8 | 基本性能 | 不挥发物含量（%） | ≥60 | GB/T 1725-2007105°C±2°C，180min±5min |
| 9 | 主剂溶剂可溶物氟含量（%） | ≥22 | HG/T 3792-2014 |
| 10 | 适用期（h） | ≥2 | GB/T 31416-201523°C±1°C |
| 11 | 干燥时间（h） | 表干 | ≤2 | GB/T 1728-202023°C±1°C |
| 12 | 实干 | ≤24 |
| 13 | 细度（μm） | ≤70 | ≤35 | GB/T 1724-2019 |
| 14 | 拉伸强度（MPa） | ≥5 | ≥10 | GB/T 528-2009 |
| 15 | 断裂伸长率（%） | 20~80 |
| 16 | 附着力（MPa）a | ≥5，或混凝土底材破坏 | GB/T 5210-2006 |
| 17 | 反射隔热性能 | 太阳光反射比 | ≥L\*/100-0.11 | ≥L\*/100-0.13 | JG/T 235-2014GB/T 11186.2-1989 |
| 18 | 污染后太阳光反射比保持率（%） | ≥85 | JC/T 1040-2020 |
| 19 | 近红外反射比 | ≥L\*/100+0.05 | ≥L\*/100 | JG/T 235-2014GB/T 11186.2-1989 |
|  | 半球发射率 | ≥0.86 | JG/T 235-2014 |
| 20 | 导热系数（W/m·K） | ≤0.15 | － | GB/T 22588-2008 |
| 21 | 与参比黑板的隔热温差（℃） | ≥15 | ≥12 | JC/T 1040-2020 |

**注：a**面漆的附着力测试应在涂覆有对应涂装体系底漆的混凝土试件上进行。

**3.1.5** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系应符合表3.1.5的技术要求。

**表3.1.5 控温防护涂装体系的技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 1 | 力学性能 | 耐冲击性（cm） | ≥50 | GB/T 1732-2020 |
| 2 | 弯曲试验（mm） | ≤2 | GB/T 6742-2007 |
| 3 | 耐久性能 | 耐紫外老化性 | 人工紫外加速老化1500h后，无变色、粉化、开裂，太阳光反射比变化率≤5%，拉伸强度保持率≥80%；人工紫外加速老化3000h后，无变色、粉化、开裂，太阳光反射比变化率≤5%；人工紫外加速老化6000h后，无变色、粉化、开裂 | 参照本规程附录B |
| 4 | 耐酸性  | 无粉化、起泡、开裂、剥落 | GB/T 9274-198850g/L H2SO4，10d |
| 5 | 耐碱性 | 无粉化、起泡、开裂、剥落 | GB/T 9274-1988饱和Ca(OH)2，10d |
| 6 | 耐水浸泡性 | 无粉化、起泡、开裂、剥落 | GB/T 1733-1993饮用水，10d |
| 7 | 耐湿冷热循环性 | 无粉化、起泡、开裂、剥落 | JG/T 25-201710个循环 |

**3.2 包装与储运**

**3.2.1** 底漆、腻子、中间漆和面漆的包装应符合现行国家标准《涂料产品包装通则》GB/T 13491的规定，包装上应注明生产厂家、地址、产品型号、生产日期、产品标准和保质期，面漆还应注明明度值、太阳光反射比和污染后太阳光反射比保持率。

**3.2.2** 底漆、腻子、中间漆和面漆均应贮存在通风、阴凉干燥的室内仓库中，远离火源，防止日光直接照射且冬季贮存温度不宜低于5℃。贮存过程中产品包装不得启封，并应符合贮存条件要求。

**3.2.3** 底漆、腻子、中间漆和面漆应按照种类分类，分批堆放，并应遵照先进先出的原则。

**3.2.4** 底漆、腻子、中间漆和面漆在运输过程中应选择合适的运输车辆，避免剧烈晃动和碰撞，防止暴晒、防潮、防雨，运输过程中产品包装不得破损。

**3.2.5** 底漆、腻子、中间漆和面漆均应在其保质期内使用。超过保质期的产品应按照标准规定重新进行检验，检验通过后方可继续使用。

**4 设 计**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 强太阳辐射环境下的铁路桥梁混凝土结构应进行表面控温防护专项设计。专项设计应以降低混凝土结构开裂风险，保障铁路桥梁混凝土结构服役寿命为基本设计原则，以控制混凝土结构因太阳辐射作用而引起的温度变化和温度应力为主要手段。

**4.1.2** 强太阳辐射环境作用等级应根据不少于最近5年的太阳总辐射年辐照量并结合表4.1.1中的等级划分确定。

**表4.1.1 强太阳辐射环境作用等级的划分**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强太阳辐射环境作用等级 | 太阳总辐射年辐照量（MJ/m2） | 参考地区 |
| R1 | ≥5500＜6340 | 河北西北部、山西北部、陕西北部、内蒙古中东部、宁夏中部、甘肃中部、青海东部、云南大部和新疆南部 |
| R2 | ≥6340＜7150 | 西藏东部和北部、青海大部、四川西部、甘肃北部、内蒙古中西部、宁夏北部和新疆南部 |
| R3 | ≥7150 | 西藏西部和南部 |

**4.1.3** 表面控温防护专项设计应充分考虑桥梁各部位受到的太阳辐射特点，对于不同部位分别设计相应的控温防护涂装体系，保证控温防护的均衡性和经济性。设计中尚应考虑涂装的修补和维护的便利性，不同涂装体系之间应具备兼容性。

**4.1.4** 表面控温防护专项设计应包括下列内容：

1 强太阳辐射环境作用等级；

2 表面控温防护涂装体系类型、材料种类，涂装道数及厚度；

3 构造要求；

4 涂装体系的设计使用年限；

5 涂层外观；

6 涂装部位、面积；

7 施工工艺。

**4.1.5** 表面控温防护专项设计中所使用的材料应满足本规程第3章中对应材料的技术要求。

**4.1.6** 表面控温防护涂装体系的设计使用年限不应低于25年。

**4.2 涂装体系设计**

**4.2.1** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系可由底漆、腻子、中间漆和面漆中的全部或部分组成，其中应包含底漆和面漆。

**4.2.2** 涂装体系的设计应综合考虑强太阳辐射环境作用等级、涂装部位和涂装体系特点等因素，用于高作用等级强太阳辐射环境的涂装体系可在低于该作用等级的强太阳辐射环境下使用。

**4.2.3** 强太阳辐射环境下的铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系的设计可根据表4.2.1选用。

**表4.2.1 强太阳辐射环境下的铁路桥梁混凝土表面****控温防护涂装体系**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 强太阳辐射环境作用等级 | 桥梁涂装部位 | 涂装方案 | 最小涂装道数（MNOC）及额定干膜厚度（NDFT） |
| 热反射面漆 | 反射隔热面漆 | 隔热中间漆 | 腻子a | 底漆 |
| MNOC | NDFT(mm) | MNOC | NDFT(mm) | MNOC | NDFT(mm) | MNOC | NDFT(mm) | MNOC | NDFT(mm) |
| R1 | 上部结构 | 1 | 1 | 60 | － | － | － | － | － | － | 1 | 60 |
| 2 | － | － | 1 | 60 | － | － | － | － | 1 | 60 |
| 下部结构 | 1 | 1~2 | 80 | － | － | － | － | 1 | 160 | 1~2 | 100 |
| 2 | － | － | 1~2 | 80 | － | － | 1 | 160 | 1~2 | 100 |
| R2 | 上部结构 | 1 | 1~2 | 120 | － | － | － | － | － | － | 1 | 60 |
| 2 | 1 | 60 | － | － | 1 | 80 | － | － | 1 | 60 |
| 3 | － | － | 1~2 | 120 | － | － | － | － | 1 | 60 |
| 下部结构 | 1 | 2 | 160 | － | － | － | － | 1 | 160 | 1~2 | 100 |
| 2 | 1 | 60 | － | － | 1~2 | 120 | 1 | 160 | 1~2 | 100 |
| 3 | － | － | 2 | 160 | － | － | 1 | 160 | 1~2 | 100 |
| R3 | 上部结构 | 1 | 1~2 | 100 | － | － | 1~2 | 120 | － | － | 1 | 60 |
| 2 | － | － | 2 | 160 | － | － | － | － | 1 | 60 |
| 下部结构 | 1 | 1~2 | 100 | － | － | 2 | 160 | 1 | 160 | 1~2 | 100 |
| 2 | － | － | 2~3 | 240 | － | － | 1 | 160 | 1~2 | 100 |

注：a如遇混凝土表面孔洞坑洼等明显缺陷时，应用腻子修补平整。

**4.2.4** 底漆、腻子、中间漆和面漆宜选用同一厂家的产品。当选用不同厂家产品时，应注意涂层间的匹配性，涂装体系性能应满足本规程第3.1.5条的要求。

**4.2.5** 涂装体系厚度可依据强太阳辐射环境作用等级、桥梁各部位接受太阳光照射方式以及修补与复涂的便利程度在一定范围内调整。对于梁顶面和侧面、墩身、桥塔和拱圈等直接受到太阳光照射的部位，设计厚度应符合表4.2.1的要求。对于梁底面、承台等在全部或部分日照时段内不易被太阳光直接照射的部位，涂层设计厚度值可适当降低，但不宜低于表4.2.1中规定的设计厚度值的70%，且面漆厚度不应小于60mm。

**4.3 构造要求**

**4.3.1** 进行强太阳辐射环境下的铁路桥梁混凝土结构表面控温防护专项设计时，应考虑如下构造设计：

1. 应合理设计桥面排水系统，防止积水和雨水沾污涂层，影响涂装体系的控温防护效果；

2. 应设置必要的涂装体系检查和维修通道或装置，通道或装置应能够保证涂装作业不出现死角；

3.当需要对墩身或梁标示时，标示应采用具有相同反射隔热效果的面漆涂刷或采用标示牌隔空固定在结构上；

4. 在结构缝隙处，应对缝隙侧面距离受光照面不少于2倍缝隙宽度的深度范围内进行涂装；

5. 钢-混接合部位应采用与主体结构相同的底漆。对于无接触的盖板下的混凝土可只涂刷一道底漆；对于紧密结合的钢、混结合处，应进行密封处理，最后应按相邻部件配套体系设计的面漆整体对结合部位进行表面涂装。

**5 施 工**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系的施工应由具有相关施工资质的企业开展。施工前应根据工程特点和要求，对施工方法、工艺参数要求、施工平台、质量控制与检验、安全与环保措施等内容制定专项施工方案。

**5.1.2** 施工单位应根据涂装体系和工艺要求选择合适的涂装方式，结合实际涂装面积及施工损耗确定备货量。

**5.1.3** 现场使用的各项材料的性能应满足本规程和相关标准的要求。所有进场的涂装材料应提供由合格检测机构出具的产品性能检测报告并应经现场复检合格后方可使用。

**5.1.4** 涂装施工应在桥梁混凝土结构验收合格后进行，涂装基材混凝土应密实、平整。当基材出现蜂窝、气孔、裂缝、疏松等现象时，应先进行修补。

**5.1.5** 涂装施工的环境条件应符合产品说明书的要求和下列规定，对于特殊环境下的涂装施工，应先根据产品供应商提供的涂装要求进行试涂装，应确保能满足本规程第3.1.5条的涂装体系技术要求后才可大面积涂装。

1. 若产品说明书对涂装环境温度和相对湿度未作规定，环境温度宜在5℃～30℃之间，相对湿度不应大于85%，基材表面温度应高于周围空气露点温度3°C以上，且不宜超过40°C。

2. 雨雪天不得施工。涂装施工过程中，若突遇雨雪天气，应立即停止涂装作业。待雨雪停后，应先确认材料失效区域，并对失效区域的残留材料进行打磨清理，按照涂装工艺进行返工。

3. 应尽量避免在强烈阳光照射下施工，实际风力超过5级或风速超过8m/s时，不宜使用喷涂。

4. 在施工过程中应加强对于非涂装部位的遮蔽，防止被涂料污染。

**5.1.6** 施工作业平台应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80的规定，平台应稳定、牢固、可靠。

**5.1.7** 施工单位应根据各项施工步骤的要求配备足够的施工人员、施工机具及计量器具，每次施工完应清理现场，不留杂物并确保施工安全。

1. 基面处理的主要施工机具为角磨机、抛光机、吹风机和高压水枪等。

2. 底漆及基面缺陷修补的主要施工机具为搅拌桶、电动搅拌器、辊筒、油灰刀、抛光机、吹风机等。

3. 中间漆和面漆涂装的主要施工机具为搅拌桶、电动搅拌器、辊筒、毛刷、空压机、喷枪、无气喷涂机等。

4. 施工过程中使用的计量器具主要有电子天平和电子称等，施工过程中应对于施工人员配备足够数量的劳保用品。

**5.1.8** 施工前宜由施工单位组织施工人员按施工工艺要求进行样板试验,以确定施工工艺参数。样板宜选择典型部位，涂装面积宜为10m2~20m2，经相关方检查检验合格后进行后续施工。

**5.2 施工工艺**

**5.2.1** 涂装施工应按图5.1规定的工序进行：

检验

检验

底漆涂装及腻子刮涂

中间漆和面漆涂装

成品保护

施工准备

基面处理

检验

不合格

不合格

不合格

**图5.1 控温防护涂装施工工序**

**5.2.2** 基面处理施工时，应符合下列规定：

合格

合格

合格

1. 对表层油污、锈迹、霉菌、苔藓等污染物可使用中性清洗剂进行擦洗，擦洗后应用清水冲干净。

2. 对表层劣化层使用角磨机进行打磨，彻底清除疏松结构。打磨后应目视表面无旧面，露出新鲜的混凝土面，无明显的高低台阶痕迹，表面基本平整无凹坑。

3. 基面清理干净后，可使用高压水冲洗待涂装区域，彻底清除表面积灰。最终基面应达到清洁、平整的状态。清洗完成后至涂覆前，应设置明显标记禁止靠近，避免表面再污染。涂装前基材表面应保持干燥。

**5.2.3** 无溶剂环氧渗透底漆涂装施工时，应符合下列规定：

1. 底漆涂装前，使用吹风机或扫把等工具进一步清理涂装区表面灰尘及其他异物。检查涂装区域无其他杂物影响施工。清理后表面清洁干燥，手触无灰尘。清理检查合格后，应采用美纹纸、防污布等对于临近涂装区域的非涂装部位进行覆盖，防止其被涂装材料污染。

2. 无溶剂环氧渗透底漆涂装应在混凝土表面干燥、洁净，无潮湿痕迹条件下进行，涂装时混凝土基材含水率应在10%以下。

3. 无溶剂环氧渗透底漆应严格按产品说明确定配比配制，各组分混合后应立即使用并在产品规定适用期内用完。

4. 底漆宜使用辊涂或喷涂的方式涂装。涂装时应从内向外，从高到低，从起点向终点单向涂装，进入涂装区的人员应佩戴防护装备，避免涂装区域再污染。涂装应保证涂装区覆盖完全，涂层厚度均匀，无积料，无露底，由质检员负责检查。底漆未干燥前严禁在已涂装区的表面进行其他操作或放置物品等，以防出现质量问题。

**5.2.4** 无溶剂环氧修补腻子主要用于对于基面的孔洞坑洼等明显缺陷进行修补，修补腻子施工时，应符合下列规定：

1. 无溶剂环氧修补腻子施工应在底漆实干后进行。

2. 无溶剂环氧修补腻子应严格按照厂家产品说明确定配比配制，并使用机械搅拌按照规定比例充分混合均匀后方可使用。

3. 无溶剂环氧修补腻子混合后应一次用完，超出可施工时间后严禁再次重复使用。未用完的材料应密封保存作为弃用品妥善处理，不得随意丢弃。

4. 使用无溶剂环氧修补腻子进行基面缺损修补时，应先进行作业面分格，每个作业面可用铲刀对或抹刀沿固定方向满刮一遍，批刮时应保证腻子密实，腻子与底漆间应粘接牢固，排除明显气泡。

5. 修补腻子干燥后应用砂纸或砂板打磨平整、平滑无明显批痕和砂痕。应待检查合格后再进行后续涂装。

**5.2.5** 隔热中间漆涂装施工时，应符合下列规定：

1. 中间漆涂装施工应在底漆或腻子实干后进行。

2. 中间漆应严格按照厂家产品说明确定配比，并使用机械搅拌器将混合后的中间漆充分搅拌均匀。

3. 中间漆涂装施工前应对基面进行清洁，除去浮尘等。

4. 正式涂装前应试涂装，根据施工方法、施工季节、环境温湿度等条件对于涂料的粘度及涂装过程中的走枪或涂刷速度等工艺参数进行调节，以实现较好的涂装效果。

5. 中间漆涂装施工可采用喷涂、刷涂或辊涂的方式进行。采用辊筒和毛刷进行涂装施工时，每次蘸料后宜在匀料板上来回滚匀。施工时涂膜不应过厚或过薄,应充分盖底，不透虚影，表面应均匀。采用喷涂时，喷枪嘴应垂直于表面，喷枪保持在距混凝土表面距离30cm左右，匀速单向喷涂，控制湿膜厚度在“最大湿膜厚度”范围内（一般不超过150μm），严禁连续往复喷涂，避免转向处涂层过厚。应从高到低依次进行涂装。涂装时应保证涂装区覆盖完全，涂层厚度均匀，无积料，无露底、无流挂。

6. 当涂装多道涂料时，涂装间隔时间不宜超过12小时。每一道涂装完成后，应使用湿膜厚度规检查厚度。湿膜厚度不足的地方，可在下一道漆喷涂时加厚补偿。对于平整度差或厚度不足的地方，应进行补喷。

**5.2.6** 面漆涂装施工时，应符合下列规定：

1. 面漆涂装应在前一道底漆、腻子或中间漆实干后方可进行。

2. 面漆涂装与前一道底漆、腻子或中间漆的涂装间隔不宜超过3天。如间隔时间过长或遇下雨或结露时，可额外辊涂界面剂以增强结合力。

3. 面漆涂装前，可使用吹风机清理涂装区表面灰尘及其他异物，清理后应表面清洁干燥，手触无明显灰尘。

4. 面漆施工时如由多人配合操作，应沿同一方向涂装，并注意处理接茬部位。

5. 面漆施工应由混凝土结构自上而下，先细部后大面，分段应以混凝土结构分隔缝、阴阳角等为分界线。

6. 同一桥墩、桥台或同跨桥身应使用同批号面漆且宜在同一天内完成涂装，施工后色泽应一致。

面漆涂装的其它要求同本规程第5.2.5条。

**5.3 成品保护**

**5.3.1** 在喷涂时应注意对已涂表面的保护。刚喷涂的新涂层，24小时内不宜接触液体，且应避免风雨及烈日，宜在作业区采用合适的遮挡，同时不能影响新涂层正常的通风透气。为防止污染，对于不能确定喷涂时间的，并且已有涂层已经表干，应在24小时以后再进行尚未完成的涂装作业。

**5.3.2** 交叉作业时应有预防交叉作业相互污染的保护措施。对可能存在飞鸟驻停的区段，应设置驱鸟装置或做好涂层保护。对于野生动物出没地区，应做好防撞击保护或采用临时隔离屏障或护栏。

**5.3.3** 当环境温度低于10℃、空气湿度较大、表干时间超过2h时，应采取措施提高工件温度、降低空气湿度及加大空气对流。

**5.3.4** 对被污染的部分，应在涂层材料未干时及时清除。

**5.4 维修管理**

**5.4.1** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面的控温防护涂层应按照桥梁结构运营管理单位的规定由具有检测资质的单位进行定期检査，并应对劣化程度进行评定，评定可依据现行国家标准《色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识》GB/T 30789系列标准中的规定执行。

**5.4.2** 在下列情况下应选择合适的控温防护涂装维修或重涂方式：

1.当涂层因意外造成局部伤损、脱落或龟裂时应进行局部修补涂装。局部涂层严重损坏应及时清理后进行修补涂装；

2. 当涂膜处于2~3级开裂，或2~3级剥落，或2~3级起泡时，可在去除损坏涂层后，打磨处理和彻底清洁表面，进行维护涂装；

3. 当涂膜处于3级以上开裂，或3级以上剥落，或3级以上起泡时，如果损坏贯穿整个涂层，则应进行彻底的表面处理后，进行重新涂装；

4. 当控温防护涂层服役使用超过设计使用年限时，应进行彻底的表面处理后，进行重新涂装。

**5.4.3** 局部修补涂装时，应先先用铲刀和砂纸清理损坏区域周围松散的涂层，延伸至周边未损坏区域，边缘应修成坡口，并根据控温防护涂装设计，按原涂装体系进行涂装。修补涂装部位干膜总厚度不应小于原涂装干膜的厚度。

**5.4.4** 维护涂装应用机具清理劣化区域及周围疏松涂层，并延伸至未劣化区域，形成50 mm~80 mm坡口，并对于基面重新进行表面处理达到要求，然后涂装相应的底涂层、中间漆层、腻子层和面涂层。如要保证涂层表面效果，可在面漆修补后，对于维护涂装部位附近的面漆进行整体涂装。

**5.4.5**重新涂装之前，应对于整个桥梁结构或构件涂层失效程度进行调查评估和确认，包括原使用涂层材料及配套方案、耐久性年限、实际使用年限、环境作用等级、漆膜厚度、附着力、劣化程度等级等。

**5.4.6** 重新涂装使用的涂装体系的防护等级不应低于原涂装体系，必要时可根据环境作用等级和耐久性要求等选择防护等级更高的控温防护涂层体系。

**5.4.7** 重新涂装时应将旧防护涂层完全除去，并对基面重新进行表面处理，重涂施工要求应满足本规程5.2中规定。

**5.4.8** 涂层的维修涂装所使用的涂层宜采用与原涂层相同的产品体系，只对面漆或面漆和中间漆进行修补时，宜采用原品牌相同产品，不能使用原产品时，应先进行小样板的涂层相容性试验。

**5.4.9** 原有涂层铲除时，应做好必要的防护和环保措施，应有效收集涂层垃圾和减小粉尘污染。

**5.4.10** 维修涂装的质量应满足本规程的质量检验要求。

**6 质量检验**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 涂层的检查人员应获得相应的涂层质量检查员资格。

**6.1.2** 强太阳辐射环境下控温防护涂装工程检验应提交质量控制文件和保证资料，施工全过程控制文件应做到真实、准确，不应有涂改和伪造。

**6.1.3** 涂料产品进入施工现场后，应根据相关规定在监理单位或建设单位监督见证下，由施工单位有关人员现场取样，做见证取样检验。

**6.1.4** 应对下列内容进行隐蔽工程检验，并应有详细文字记录和必要图像资料：

1 基材及表面处理；

2 底漆层施工；

3 腻子层施工；

4 中间漆施工。

**6.1.5** 强太阳辐射环境下控温防护涂装体系专项工程的竣工检验应提供如下资料，并应纳入竣工技术档案：

1 强太阳辐射环境下控温防护涂装体系的设计文件、设计变更及专项设计审查文件；

2 符合本规程第5.1.1条要求且通过审批的专项施工方案；

3 材料的产品合格证、出厂检验报告、有效期内的型式检验报告及进场检验记录等；

4 材料进场抽检复验报告；

5 施工记录、隐蔽工程检验记录；

6 检验批检验记录；

7 质量问题处理记录；

8 现场抽样检测报告；

9 其他涉及涂层质量的相关记录。

**6.2 主控项目**

**6.2.1 涂料产品的进场检验**

涂料进场后，应检查产品出厂的质量合格证、出厂检验报告及有效期内的型式检验报告。

反射隔热涂装体系材料尚应按批次进行抽样复验，复验项应不少于表6.2.1中规定的检验项。复验应为见证取样送检。每种涂料每批次应不多于3t为一个检验批，不足3t的应划分为一个检验批。

材料性能应符合本规程第3章的规定并满足设计文件要求。

**表6.2.1 涂料产品进场复验项**

|  |  |
| --- | --- |
| 涂层 | 检验项 |
| 底漆 | 容器内状态、不挥发物含量、干燥时间、附着力 |
| 修补腻子 | 外观、不挥发物含量、干燥时间、附着力 |
| 中间漆 | 容器内状态、干燥时间、附着力 |
| 反射隔热面漆/热反射面漆 | 容器内状态、不挥发物含量、干燥时间、太阳光反射比、近红外反射比、半球发射率、附着力 |

**6.2.2 涂层厚度**

施工中应随时检查湿膜厚度以保证涂层干膜厚度满足设计要求。涂层膜厚度应按现行国家标准《色漆和清漆 漆膜厚度的测定》GB/T 13452.2的规定进行测试。干膜厚度可允许有20%的测点读数低于设计值，但每一测试点的读数均应不低于设计值的80%。平均涂层厚度达不到设计要求时，应加喷涂装一道，应按照产品说明书的规定要求进行。涂层最大厚度不宜超过设计厚度的2倍。

检验方法：机械法。

检查数量：应以构件为检测单元，在涂装过程中应对每道涂层的厚度以及完整的涂装体系涂层厚度进行检验，每个检测单元应随机选取5个基准面。

**6.2.3 涂装体系的附着力**

涂装体系的附着力可按现行标准《色漆和清漆拉开法附着力试验》GB/T 5210-2006的关规定进行试验，测试结果应满足本规程3.1条的规定。

检验方法：应按本规程附录C执行。

检测数量：应以每5个同类构件为检测单元，每个检测单元应随机选取3个检验点。

**6.2.4 涂层体系的光学性能现场检测**

涂装体系的光学性能可按现行行业标准《建筑反射隔热涂料》JG/T 235-2014的有关规定采用便携式太阳光反射比测试仪、色差计进行测试，测试结果应满足本规程3.1条的规定

检验方法：应按本规程附录D执行。

检测数量：应以每个构件为检测单元，每个检测单元应随机选取3个检验点。

**6.3 一般项目**

**6.3.1 基面处理情况**

 处理后的混凝土基材应密实、平整。无蜂窝、气孔、裂缝、疏松等现象，表面清洁、无灰尘、无污渍、无明显色差。

检验方法：观察、表面触摸。

检查数量：全数检查。

**6.3.2 底漆、腻子、中间漆、面漆施工质量**

每道涂装材料施工均应保证涂装区覆盖完全，无积料、无露底、无流挂。不应有起泡、气孔、裂纹、剥落，外观光泽度饱满、无明显色差。腻子平整、平滑无明显批痕和砂痕，表面无灰尘。

检验方法：目测观察。

检查数量：全数检验。

**6.4 判定原则**

**6.4.1** 涂装材料进场时若复验结果全部合格，则判整批合格。若有一项技术要求不合格时，则应双倍抽样检验该项目，若仍不合格，则判该批不合格。

**6.4.2** 施工完成后的涂装检测结果应全部满足本规程3.1的要求。检测结果有一项及以上指标不满足要求时，应在现场处理至合格后方可进入下道工序。

**7 安全、卫生和环境保护**

**7.1 安全、卫生**

**7.1.1** 涂装作业安全、卫生应符合国家现行标准《涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化》GB 6514、《涂装作业安全规程 安全管理通则》GB 7691、《涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及其通风净化》GB 7692的有关规定。

**7.1.2** 涂装作业场所空气中有害物质不应超过表7.1.1规定的允许浓度。

**表7.1.1 施工现场有害气体、粉尘的允许浓度**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 物质名称 | 允许浓度（mg/m3) | 物质名称 | 允许浓度（mg/m3) |
| 二甲苯 | 100 | 丙酮 | 400 |
| 甲苯 | 100 | 溶剂汽油 | 300 |
| 苯乙烯 | 40 | 含50％～80％游离二氧化硅粉尘 | 1.5 |
| 乙醇 | 1500 | 含80％以上游离二氧化硅粉尘 | １ |
| 环己酮 | 50 | － | － |

**7.1.3** 施工现场应远离火源，不可堆放易燃、易爆和有毒物品。

**7.1.4** 涂料仓库及施工现场应有消防水源、灭火器和消防工器具，并应定期检査。消防道路应保持畅通。

**7.1.5** 参加涂装作业的操作和管理人员，施工前必须进行安全技术培训，应持证上岗。施工人员应正确穿戴工作服、口罩、防护镜等劳动保护用品，劳保用品应具备生产合格证。

**7.1.6** 所有电器设备应绝缘良好，临时电线应选用绝缘性能良好的电缆，工作结束后应切断电源。

**7.1.7** 工作平台的搭建应符合有关安全规定。高空作业人员应具备高空作业资格。

**7.2 环境保护**

**7.2.1** 现场进行涂装作业时，应符合以下规定：

1. 应根据当地环保要求，编制具体的环保施工技术措施、监控措施和应急处理方法。

2. 应遵照国家和地方的清洁生产和文明生产的要求，保持施工现场清洁，对产生的所有废弃物应按环保要求收集、分类并交由有环境垃圾处理资质的企业妥善处理。

3. 施工现场严禁焚烧各类废弃物。

**7.2.2** 本规程所涉及的所有品种材料的VOC及其他有害物质含量均应符合现行国家标准《工业防护涂料中有害物质限量》GB 30981和《建筑胶粘剂有害物质限量》GB 30982的规定并应满足国家和地方的关于涂料和胶粘剂的VOC排放量的限量标准要求。

**附录A 涂装材料的型式检验**

**A.0.1** 涂装材料的型式检验及评定标准应符合本附录的相关规定。

**A.0.2** 涂装材料的型式检验项目应包括本规程第3.1.1至3.1.4条规定的全部项目。具备下列情况之一时，应进行材料的型式检验：

1. 在正常生产情况下，三年一次；
2. 新产品或者产品转厂生产的试制定型鉴定时；
3. 产品主要原材料及用量或生产工艺有重大变更，可能影响产品质量时；
4. 产品停产半年后，恢复生产时。

**A.0.3** 涂层系统的型式检验项目应包括本规程第3.1.5条规定的全部项目。具备下列情况之一时，应进行系统的型式检验：

1. 在正常生产情况下，三年一次；
2. 系统组成确定或者系统中涂层材料被替换时。

**A.0.4** 涂装材料的组批和抽样应以3t为一批，不足3t也应作为一批，应按GB/T 3186的规定进行抽样，抽样量可根据检验需要而定。

**A.0.5** 涂装材料的单项检验结果的判定应按现行国家标准《数值修约规则与极限数值的表示和判定》GB/T 8170-2008中修约值比较法的规定进行。当检验结果全部符合3.1中所列的全部技术要求时，应判定该试验样品符合本规程要求。若存在一项不符合的情况，应从该批产品中抽取双倍样品对不合格项进行复检，复检结果符合3.1中所列技术要求时，可判定该批产品符合本规程要求，否则应判定该批产品不符合本规程要求。

**附录B 涂层体系的耐紫外老化性能测试**

**B.0.1** 涂层体系的紫外老化性能测试及评定标准应符合本附录的相关规定。

**B.0.2** 涂层体系的紫外老化性能测试试板制备应按照行业标准《建筑反射隔热涂料》JG/T 235-2014 第6.3条的规定进行。

**B.0.3** 先测定涂层试板的初始太阳光反射比，然后按照规定的耐人工气候老化试验条件进行人工气候老化试验，完成规定老化时间后，再按行业标准《建筑反射隔热涂料》JG/T 235-2014的规定测定老化后试板的太阳光反射比。

**B.0.4** 耐人工气候老化试验条件：

1. 循环模式：20h干燥，4h冷凝；
2. 荧光紫外灯类型：UVB-313；
3. 辐照度：0.71 W/ m2；
4. 黑板温度：干燥60℃±2℃，冷凝50℃±2℃。

**B.0.5**人工气候老化后太阳光反射比变化率按式（1）计算：

$c\_{2}=\frac{ρ\_{0}−ρ\_{2}}{ρ\_{0}}×1$00% （1）

式中：

c2—人工气候老化后太阳光反射比变化率，%；

r0—初始太阳光反射比；

r2—人工气候老化后太阳光反射比。

结果取3块试板的算数平均值，精确至1%。

**附录C 涂层体系附着力的现场测定**

**C.0.1** 涂层体系附着力的现场测定方法及评定标准应符合本附录的相关规定。

**C.0.2** 附着力现场检测应采用粘结强度检测仪，应符合现行行业标准《数显式粘结强度检测仪》JG/T 507的有关规定。

**C.0.3** 钢标准块的形状可根据实际情况选用方形或圆形。方形钢标准块的尺寸应为40 mm×40 mm；圆形钢标准块的直径应为50 mm；钢标准块的厚度不应小于20 mm，且应采用45号钢制作。

**C.0.4** 涂层体系附着力检验应以每5个同类构件涂层为一个检验批，不足5个也应为一个检验批。每个检验批应取不少于一组3个检验点，检验点之间的间隔不应小于10 m。

**C.0.5** 检验点应在涂层面选取，涂层面应用砂纸轻轻打磨并清理干净，砂粒粒度宜为400号，打磨不应造成露底。

**C.0.6** 钢标准块的粘合面应做打磨和清理处理，并用快速固化的高强双组份环氧胶粘剂把钢标准块粘合到处理好的涂层上，不宜使用丙烯酸类胶粘剂。

**C.0.7** 胶粘剂硬化后，应用美工刀或其他刀具沿钢标准块周边进行切割。

**C.0.8** 粘结强度检测仪应按照使用说明书正确安装，以均速度连续加荷，破坏时间应控制在1min内，应记录破坏时的荷载值,并观察其破坏形式。

**C.0.9** 附着力应按下式计算：

$P=F/A$ （1）

式中：

P—试件的附着力（MPa）；

F—试件破坏时的荷载值（N）；

A—钢标准块的粘合面面积（mm2）。

结果取3块试板的算数平均值，精确至1%。

**C.0.10** 若破坏形式为钢标准块的粘合面有75%及以上的面积粘附着混凝土代表混凝土内聚破坏，可判为混凝土内聚破坏。若破坏形式为钢标准块的粘合面只有75%以下的面积粘附着混凝土，则应根据附着力与规定值比较判定。

**C.0.11** 当组内每一试件的破坏形式或附着力均合格时，应评定该组为检验合格组；若组内仅有一个试件的破坏形式或附着力均不合格时，允许在该组附近涂层面重新做一组检验，如检验结果均达到要求，仍可评定该组为检验合格组。

**C.0.11** 若在重做检验试验中，仍有至少一个试件达不到要求，则应评定该组为检验不合格组。

**附录D 涂层体系光学性能的现场检测**

**D.0.1** 涂层体系的光学性能的现场检测及评定标准应符合本附录的相关规定。

**D.0.2** 现场检测应采用现行行业标准《建筑反射隔热涂料》JG/T 235-2014中的光谱法或辐射积分法采用便携式太阳光反射比测试仪进行测试，仲裁判定时应选用光谱法。

**D.0.3** 涂层体系每一批次现场检测应随机选择3组测样，每组至少选择3个测点，每个测点间隔不宜小于500mm。

**D.0.4** 每个测点应同时检测太阳光反射比、近红外反射比和明度值，每组应测定至少3次，并将测试结果的算术平均值作为本组检测值。

**D.0.5** 检测点应表面干燥并避免阳光直接照射，涂层表面应干燥，表面质感或拉毛凸起不应大于2.0mm。

**D.0.6** 每组太阳光反射比、近红外反射比现场检测值应不低于设计值的90%。

# 用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1** 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

**2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”， 反面词采用“不应”或“不得”。

**3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

**4** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**引用标准名录**

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

GB 30981-2020 工业防护涂料中有害物质限量

GB 30982-2014 建筑胶粘剂有害物质限量

GB/T 528-2009 硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定标准

GB/T 1634.2-2019 塑料 负荷变形温度的测定 第2部分：塑流和硬橡胶

GB/T 1724-2019 色漆、清漆和印刷油墨 研磨细度的测定

GB/T 1725-2007 色漆、清漆和塑料不挥发物含量的测定

GB/T 1728 漆膜、腻子膜干燥时间测定法

GB/T 1732-2020 漆膜耐冲击测定法

GB/T 1768-2006 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法

GB/T 2567-2008 树脂浇铸体性能试验方法

GB/T 2794-2013 胶黏剂黏度的测定 单圆筒旋转黏度计法

GB/T 3181-2008 漆膜颜色标准

GB/T 3186-2006色漆、清漆和色漆与清漆用原材料取样

GB/T 5210-2006 色漆和清漆拉开法附着力试验

GB/T 7123.1-2005 胶粘剂适用期和贮存期的测定

GB/T 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 9274-1988 色漆和清漆 耐液体介质的测定

GB/T 9286-1998 色漆和清漆 漆膜的划格试验

GB/T 9754-2007 色漆和清漆 不含金属颜料的色漆漆 的色漆漆膜的20° 60°和85°镜面光泽的测定

GB/T 9780-2005 建筑涂料涂层耐沾污性试验方法

GB/T 11186.2-1989 漆膜颜色的测量方法 第二部分颜色

GB/T 13477.6-2002 建筑密封材料试验方法 第6部分：流动性的测定

GB/T 13491《涂料产品包装通则》

GB/T 17671-2021 水泥胶砂强度检验方法（ISO法）

GB/T 22588-2008 闪光法测量热扩散系数或导热系数

GB/T 23981.1-2019 色漆和清漆 遮盖力的测定 第1部分：白色和浅色漆对比率的测定

GB/T 25261 建筑用反射隔热涂料

GB/T 30789.1-2015 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第一部分：总则和标识体系

GB/T 30789.2色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度 第二部分：气泡

GB/T 30789.4 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度 第四部分：开裂

GB/T 30789.5色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度 第五部分：剥离

GB/T 30789.6-2015 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第6部分：胶带法评定粉化等级

GB/T 30789.7-2015 色漆和清漆 涂层老化的评价缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第7部分 天鹅绒布法评定粉化等级

GB/T 31416-2015 色漆和清漆多组分涂料体系试用期的测定 样品制备和状态调节及试验指南

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准

TB 10005 铁路混凝土结构耐久性设计规范

TB 10092 铁路桥涵混凝土结构设计规范

JG/T 25-2017 建筑涂料涂层耐温变性试验方法

JG/T 235-2008 建筑反射隔热涂料

JGJ/T 259 混凝土结构耐久性修复与防护技术规程

JG/T 335-2011 混凝土结构防护用成膜型涂料

JT/T 695 混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件

JC/T 1040 建筑外表面用热反射隔热涂料

HG/T 2458-93 涂料产品检验、运输和贮存通则

HG/T 3354-2003 各色环氧脂腻子

HG/T 3792-2014 交联型氟树脂涂料

HG/T 4341-2012 金属表面用热反射涂料

CCES 01 混凝土结构耐久性设计与施工指南

T/CECS 746 混凝土耐久性修复与防护用隔离型涂层技术规程

中国工程建设标准化协会标准

强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面防护技术规程

T/CECS xxx－202x

**条 文 说 明**

**制 定 说 明**

根据【关于印发《2022年第一批协会标准制定、修订计划》的通知】（建标协字[2022]13号文）的要求，标准编制组经广泛调查研究，参考了国家相关标准，同时借鉴和吸收国内外近年来防辐射隔热涂料设计与施工的实际工程应用经验，并在广泛征求意见的基础上，通过反复讨论、修改和完善，制定了本规程。

为便于有关人员在使用本规程时正确理解和执行条文的规定，本规程编制组按章、节、条的顺序编制了条文说明，对条文的目的、依据以及有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供读者作为理解和把握条文规定的参考。

**目 次**

[1 总则 35](#_Toc25112)

[2 术语 37](#_Toc18098)

[3 材料 38](#_Toc5491)

[4 设计 40](#_Toc20230)

[5 工艺 42](#_Toc18225)

[6 质量检验与验收 44](#_Toc20134)

[7 安全、卫生和环境保护 45](#_Toc28282)

**1 总 则**

**1.0.1** 随着混凝土结构表面涂装应用的发展和相关行业标准的颁布实施，国内的混凝土表面涂层防护技术逐步完善、规范。随着国家“一带一路”、“交通强国”、完善区域交通网布局等战略举措实施，在青海、西藏、四川等高海拔地区的基础设施建设规模空前。高原地区海拔高，纬度较低，空气相对稀薄且洁净度高，导致日照时间长且大气层对太阳辐射的吸收、反射和散射均大大削弱。太阳总辐射年辐照量可达5000 MJ/m2~8000 MJ/m2，较同纬度平原地区平均高2000 MJ/m2~3000 MJ/m2，属于典型的强太阳辐射环境。在这种环境下，混凝土结构将承受更加剧烈的大温差、更加频繁的温度交变和更加严苛的极端干燥等作用，极易因温差应力、干缩应力及温度疲劳应力产生微裂纹甚至贯穿裂缝等破坏性损伤，混凝土结构长期耐久服役面临严峻考验。因此，有必要对混凝土进行表面防护以削弱强太阳辐射环境引起的耐久性加速损伤和劣化现象。

目前已经证明有一定效果的防护措施有涂覆防护涂层或使用隔热毡等材料进行控温防护处理。在良好的施用状态下，采用上述技术手段可有效降低强太阳辐射条件下混凝土结构的表面温度，减小阴阳面温差和温度梯度，削弱温度疲劳作用，降低开裂风险。为规范控温防护涂装的技术要求，保证工程质量，做到技术先进、安全使用、经济合理、环境保护，编制组经深入调查研究，认真总结工程实践经验，参考国内外先进标准，严谨地制定了适用于强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土的控温防护涂装应用需要满足的材料、设计、工艺、质量检验与验收、安全、卫生和环境保护等要求的技术规程。

**1.0.2** 明确了规程的适用范围。

**1.0.3** 强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土的控温防护涂装的应用涉及材料采购、设计、工程施工和竣工检验等很多方面，因而规定除应符合本规程外，尚应符合现行国家、行业等有关标准的规定。

**2 术 语**

**2.0.1** 强太阳辐射环境的基本定义，主要根据地区的太阳总辐射年辐照量确定，采用多年平均值（一般取30年平均）。太阳辐射对于混凝土的化学结构影响并不显著，其对于混凝土结构的耐久性影响主要基于太阳辐射引起的温度交变效应带来的温度疲劳应力，因此在太阳总辐射年辐照量较大的地区，其温度交变效应和温度疲劳应力均更为明显，需要进行表面控温防护涂装以增强混凝土结构的耐久性。

**2.0.2** 控温防护涂装体系主要使用于桥梁混凝土结构表面，在传统混凝土防护涂层的基础上附加了较强的太阳辐射反射和发射能力，可以降低太阳辐射引起的混凝土表面温度变化，增强混凝土结构在强太阳辐射条件下的耐久性，为新型的混凝土防护涂层体系。

**2.0.6~2.07** 控温防护涂装体系的面漆有反射隔热面漆和热反射面漆两种，反射隔热面漆中含有部分隔热填料，导热系数较低，控温性能更佳，为哑光表面。而热反射面漆则不含隔热填料，仅具有反射性能，为高光表面，柔性更佳。

**3 材 料**

**3.1 性能要求**

**3.1.1**随着环境保护越发受到社会的重视，环保政策逐渐出台完善，使用具有低VOC含量的涂装体系是混凝土防护涂层的最重要的发展方向，为此本规范中规定了在强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系中使用的底漆宜为无溶剂渗透性环氧封闭底漆，在具备强渗透能力，增强体系粘接性能的基础上，可将底漆施工过程中的VOC排放量将低到40 g/L以下，环保性能极好。无溶剂体系的黏度为主要技术难点，因此对于黏度进行了规定，此外为保证在混凝土基面的长期使用性能，对于底漆的耐碱性也进行了规定。

**3.1.2** 隔热中间漆具有极低的导热系数，对于需要较强隔热性能的使用场景是可以采用的技术措施。本规程中依据现行国家标准《建筑用反射隔热涂料》GB/T 25261中对于隔热中间漆的规定对其容器内状态、干燥时间、附着力、拉伸强度、断裂伸长率、耐冲击性和导热系数等性能进行了要求，对于导热系数取1级隔热中间漆的性能指标，拉伸强度和断裂伸长率则参考弹性型隔热中间漆的规定。

**3.1.3** 无溶剂环氧腻子固化成型后作为隔绝介质交换的隔离层、兼具修复混凝土表面缺陷和保护混凝土基体的功能，应当具有比混凝土更高的抗压强度、与混凝土良好的粘结能力和优异的工作性能。按照现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB50728明确环氧结构胶的设计使用年限可达50年，满足防护涂层的使用年限要求。无溶剂环氧腻子应具备以下特点：

（1）不含挥发性溶剂，有害物质含量满足现行国家标准；

（2）施工性能佳，可立面或仰面薄批施工，不流淌；

（3）本体强度及与混凝土的粘结强度高；

（4）外观细腻美观，打磨性能好；

（5）耐热变形能力强，变形温度高。

**3.1.4** 由于铁路桥梁混凝土结构的设计使用寿命往往在100年以上，因此其防护涂装的使用寿命越长越好。在目前的涂层技术体系中，引入了大量氟元素和C-F键的氟碳涂料无疑是耐久性最强，使用寿命最长的涂料，因此使用其作为强太阳辐射环境下铁路桥梁混凝土表面控温防护涂装体系中的面漆是最为合适的。本规程参照现行行业标准《交联型氟树脂涂料》HG/T 3792，以及反射隔热涂料相关现行国家标准《建筑用反射隔热涂料》GB/T 25261、现行行业标准《建筑反射隔热涂料》JG/T 235和《建筑外表面用反射隔热涂料》JC/T 1040中的相关规定对于涂层体系面漆的外观性能、基本性能和反射隔热性能做出了规定。其中热反射面漆的强度更高、细度更低，同时为高光体系。而反射隔热面漆则具有更优秀的反射隔热性能，且为低光泽体系。两种控温防护涂层体系面漆均应具有如下特点：

（1）为避免高明度体系对于列车司机等人员的炫目效果而带来的行车风险，涂层面漆应具有与混凝土外观颜色相近的中低明度值，并具有较强的对比率和耐污性；

（2）防护涂层面漆需要具有较高的太阳光反射比、近红外反射比和半球发射率，尤其是在与混凝土色接近的中低明度范围内，这可以有效降低太阳辐射在混凝土表面的光热转化，有效降低强太阳辐射引起的温度效应；

（3）涂层面漆需要与桥梁混凝土基面具有足够强的粘接能力以保证在后续长期服役过程中的牢固粘接；

（4）防护涂层由于需要承受较为频繁的温度效应引起的混凝土疲劳形变作用，因此需要具有较好的强度和一定的韧性以避免在服役过程中出现涂层开裂的现象；此外涂层体系应具有适中的断裂伸长率以保证在服役过程中当混凝土结构出现开裂现象时，可以起到遮盖小裂缝保持美观，显露大裂缝消除隐患的作用。

**3.1.5** 对于控温防护涂装体系应进行整体的性能测试，除观察相容性外，性能测试主要集中于涂层整体力学性能和耐久性能，其中由于强太阳辐射环境下的紫外线强烈，因此在紫外老化项目中使用UVB-313光源代替了常用的UVA-340光源进行试验。

**3.2 包装与储运**

**3.2.2** 涂装材料一般为易燃易爆危险化学品，因此在贮存时务必注意环境条件，通风贮存，并避免高温和火源。

**3.2.4** 涂装材料的运输必须使用具有危险化学品运输资质的车辆进行，以防止运输途中可能产生的危险。

**3.2.5** 对于双组份涂装材料，在密封完好，贮存条件合适的条件下可以保证较长时间不变质，因此即使超过保质期，在经过检验后仍可使用。

**4 设计**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 强太阳辐射环境下防护涂装系统的最终设计目的是为了提高铁路桥梁混凝土的耐久性。因此，对于强太阳辐射环境的防护设计应通过尽量控制温度变化的方式实现对温度应力的限制。

**4.1.2** 强太阳辐射环境作用等级的划分直接关系到本标准的适用范围。目前，国内外对此并无相关规定。太阳辐射量随纬度、海拔、海陆、季节等条件变化，考虑我国地理、气候特点，采用年太阳辐射量作为强太阳辐射环境指标。对强太阳辐射环境进行分级是为了便于更经济、合理的进行防护涂装体系的设计。设计阶段应根据不少于最近5年记录的该地区全年日照时数和太阳光年辐射量并结合4.1.1的指标要求确定辐射等级。下图给出的是我国从1999年（东部地区2007年）到2015年记录的长期平均太阳辐射水平。



**4.1.3** 应充分考虑相同构件不同日照条件下或相同构件不同部位在相同日照条件下受到不同程度的辐射时的温度变化特点，避免同一构件在同一时段因受热不均匀出现温度差异导致的开裂。

**4.1.6** 强太阳辐射环境下通常工程保养维护难度较大，为保证控温防护涂层的免维护和少维护，本规程中使用氟碳涂料作为控温防护涂层的面漆体系，其耐久性较强，服役年限达到25年甚至更高年限完全可以实现。

**4.2 涂装体系设计**

**4.2.1** 在控温防护涂层体系中，底漆可渗透基材增强粘接，可极大增强涂层体系的附着力，因此为涂层设计中必须包含的组分。面漆起到耐候、隔离、控温防护等作用，是涂层中最重要的功能组分，因此也是涂层设计中必须包含的组分。腻子主要用于缺陷和疏松较多的基面进行修补，隔热中间漆则主要用于增强体系隔热性能，因此属于可选组分。

**4.2.3** 在桥梁结构混凝土中，上部结构主要指桥梁梁体和塔柱上部，以预制结构为主，混凝土质量较好，因此往往不需额外基面修补，底漆用量较少；混凝土强度等级也较高，因此抗外界干扰能力较强，防护涂层可以相对较薄。而下部结构则以桥梁墩台为主，主要为现浇结构，混凝土质量一般，因此往往需要基面修补，并底漆消耗量较大。混凝土强度等级也相对较低，因此需要涂层具有更强的控温防护能力，涂层厚度更大。

**4.2.5** 考虑控温防护涂装的经济性，在太阳光直射较少的区域，可适当降低涂层的厚度。

**4.3 构造要求**

**4.3.1** 应该根据铁路桥梁混凝土结构的构造特点和需求，对于控温防护涂层在特别构造区域进行专门的构造设计，以保证涂装时和涂装后的工程质量。

**5 工艺**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 涂装作业为专业性较强的施工种类，施工质量对于最终涂层的性能和效果具有很大的影响，因此必须由具有专业资质的施工单位进行，并编写详细的施工方案。

**5.1.4** 基材混凝土是影响涂层质量的基本因素，对于桥梁混凝土结构，其表面有可能出现多种缺陷和裂缝，这对于涂层后续的外观状态，防护功能和耐久性均有较大影响，因此对于涂装缺陷应先按照现行标准对于基材混凝土进行修补。

**5.1.5** 涂装过程中环境温湿度对于涂料的施工影响较大，尤其是无溶剂环氧渗透底漆和无溶剂环氧修补腻子。因此，需注意环境温度，高温或是低温环境下均要与产品厂家确认施工工艺。

**5.1.8** 对于不同的涂装工程对象，所处施工环境条件和基材的施工质量不同，导致施工的方式和材料的用量均有所差别。因此在大面积施工前，应由施工单位组织施工人员按施工工艺要求进行样板试验，以确定具体的施工工艺参数、工程质量样板检测。样板试验应经甲方和监理按本规程规定检验合格后，方可组织施工单位进行大面积施工。

**5.2 施工工艺**

**5.2.1** 涂装施工应按基面处理、底漆涂装、腻子修补、中间漆涂装、面漆涂装的工序进行。其中，若不涉及部分工序，则可直接进入下一道工序。

**5.2.2** 为了涂装后混凝土结构的整体防护性能和美观效果，应对于桥梁混凝土基面进行处理，主要为表层疏松部位去除以及不平整处打磨。处理可使用角磨机、磨光机等机具进行。

**5.2.3** 底漆施工前应注意观察和测试基面含水量，若基面含水量较高则可能在后期引起涂层起鼓脱落等现象。无溶剂环氧底漆为双组份材料，必须按照规定配比配制，配比偏离会引起固化速率、固化物性能等发生较大变化。由于无溶剂环氧底漆黏度较大，因此建议使用辊涂方式进行施工，喷涂对于机器设备要求较高，且有可能产生管路堵塞。

**5.2.4** 为保证底漆粘接性能，无溶剂环氧修补腻子的施工应在底漆固化完全后进行。无溶剂环氧腻子为双组份材料，必须按照规定配比配制，配比偏离会引起固化速率，固化物性能等发生较大变化。无溶剂环氧腻子材料属于环氧胶泥类面处理材料。无溶剂环氧腻子材料的施工可按相关规定中的表面处理法进行。由于修补腻子的触变性能较强，因此在施工后表面往往残留有批痕和砂痕，面漆无法直接掩盖，因此需用砂纸或砂板打磨。

**5.2.5~5.26** 隔热中间漆及面漆涂装施工需在前一道实干后进行以确保施工质量。隔热中间漆及面漆为双组份材料，必须按照规定配比配制，配比偏离会引起固化速率，固化物性能等发生较大变化。大面积喷涂应采用高压无气喷涂施工；不适宜采用高压无气喷涂的地方，可釆用空气喷涂或刷涂、辊涂施工。涂料施工过程中应保证周围环境的清洁，尤其避免不同种类涂料互相污染。

**5.3 成品保护**

控温防护涂层施工完成后的成品保护非常重要，它关系到使用期间内的隔热功能是否能很好地得到发挥。本节的保护措施不仅是针对涂层施工完成后的成品保护，而且也是针对涂层施工过程中每道工序完成后的成品保护。

**5.3.1** 涂层材料均为双组份材料，需要一定的干燥及固化时间，期间不宜接触液体，并应保证通风透气。

**5.4 维修管理**

**5.4.2** 根据涂层损伤程度对于控温防护涂层的维修涂装分为局部修补涂装、维护涂装和重新涂装三种，在工程管理、施工方式和材料等进行了区分。

**5.4.3** 局部修补涂装针对涂层轻度损伤进行，通常仅在去除损伤涂层后再使用原涂装材料进行修补涂装即可。

**5.4.4** 维修涂装所针对的病害较为严重，因此去除旧涂层的面积更大，在维修涂装的过程中应尽量使用原有涂装体系，由于涂装面积较大，因此应注意新涂装涂层与原涂装涂层间的外观差别。

**5.4.5~5.4.7** 重新涂装工程量较大，因此施工前应进行详细的评估和确认，可采用原有设计体系或根据原涂装体系的服役情况重新选择防护体系。重新涂装前应将旧涂层全部去除后并重新进行基面处理。

**6 质量检验与验收**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 涂层的检查人员应具有一定的涂装检查经验，并经过相关的培训，获得由国内或国外相关机构授予的检验员资格证书。

**6.1.2** 控温防护涂装工程的施工全过程中应保留有详细的文件和资料。

**6.1.4** 应及时进行隐蔽工程检验，以防止被下步工序覆盖后留有内部缺陷。

**6.1.5** 需纳入竣工技术档案的技术资料。

**6.2 主控项目**

**6.2.1** 原材料的优劣是工程质量好坏的决定因素之一。混凝土防护涂料生产企业众多，同一种类的产品各生产企业又有众多的商标牌号，其性能也各有差异。由于新产品、新材料不断出现，供应厂商应提供产品质量合格证、质量技术指标及检测方法和质量检验报告。涂料检测分为型式检验和进厂检验，进场检验项目要求检验操作简便，检测时间较短，可以快速确认涂料产品的涂装性能。

**6.2.2** 涂膜厚度是涂层体系的重要指标，对于其防护性能、耐久性、耐碰撞、耐刮擦等性能均有极大影响，因此是在施工过程中的最重要控制指标之一。

**6.2.3** 附着力是控温防护涂层在使用年限内不脱落、不起壳，有效起到控温、隔离、防护等效用的重要质量指标。

**6.2.4** 控温防护涂层的光学性能是其起到控温防护作用的最重要性能，因此需要对其进行重点监测。

**6.3 一般项目**

基面处理状态和各道涂层的施工情况需在控温防护涂层施工过程中进行监测并记录。

涂装过程有时会持续很长时间，为了保证整体涂装效果，可在施工涂装过程中进行随机检验。

**7 安全、卫生和环境保护**

**7.1 安全、卫生**

涂装作业需要保证周围环境的安全与卫生，具体作业应符合国家现行标准《涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化》GB 6514、《涂装作业安全规程 安全管理通则》GB 7691、《涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及其通风净化》GB 7692和《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212的有关规定。

**7.2 环境保护**

施工过程中产生的各类废弃物必须严加管理并妥善处理。

涂装过程中VOC释放是最严重的环境污染源，应确保涂料中VOC含量符合相关规定，以减少VOC对人员和环境的影响。