

# Research on the Mechanism and Prevention of Cracking and Cavitation of Non-expansive Fireproof Coatings for Steel Structures

Ke Zhao Bugao Chen Li Ji

Power Construction Corporation of China East China Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311100, China

## Abstract

Non-expansive fireproof coatings for steel structures often have quality problems such as cracking and hollowing during construction due to their thick thickness. This paper analyzes the main causes of quality problems through research on the mechanism of quality problems, takes targeted control measures, summarizes quality control points, and applies practical construction to effectively control the occurrence of quality defects such as cracking and hollowing.

## Keywords

non-expansive fireproof coating; mechanism research; quality control

## 钢结构非膨胀型防火涂料开裂、空鼓机理研究及防治

赵轲 陈步高 汲丽

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 311100

## 摘要

钢结构非膨胀型防火涂料, 由于厚度较厚, 在施工中常出现开裂、空鼓等质量问题, 论文通过对质量问题发生的机理研究, 分析造成质量问题发生的主要原因, 有针对性地采取控制措施, 总结质量控制要点、应用的实际施工, 有效控制开裂、空鼓质量缺陷的发生。

## 关键词

非膨胀型防火涂料; 机理研究; 质量控制

## 1 工程背景

### 1.1 工程概况

东川再就业特色产业园位于云南省昆明市东川区, 建筑物以钢结构厂房为主, 层数以一层和二层为主, 采用门架或钢框架结构, 层高 6~10m, 生产类别为丙类, 结构耐火等级为二级, 总建筑面积约 13 万 m<sup>2</sup>。钢柱、钢梁截面为 H 型或箱型, 材质为 Q355B, 在工厂焊接而成。

### 1.2 设计要求

钢构件防腐涂层做法为抛丸除锈后 3 遍环氧富锌底漆 (每层干膜厚度 40 μm) + 2 遍环氧云铁中间漆 (每层干膜厚度 40 μm), 由于构件外做防火涂料, 防腐面漆取消。钢构件耐火极限为: 钢柱 2.5h, 钢梁 1.5h, 楼梯 1.0h, 屋顶承重构件、屋面水平支撑、系杆 1.0h。所选用的钢结构防火

涂料与防腐油漆之间应进行相容性试验, 试验合格后方可使用。防火涂料最低要求: 膨胀型钢结构防火涂料的涂料厚度不应小于 1.5mm, 非膨胀型钢结构防火涂料的涂料厚度不应小于 15mm。

## 2 防火涂料

施涂于建筑物和构筑物钢结构构件表面, 能形成耐火隔热保护层, 以提高钢结构耐火极限的涂料叫做钢结构防火涂料, 其分为膨胀型和非膨胀型两类, 其产品均应通过国家检测机构检测合格, 方可使用<sup>[1]</sup>。室内裸露的钢结构构件和有装饰要求的钢结构, 当规定其耐火极限在 1.5h 及以下时, 宜选用膨胀型钢结构防火涂料。室内隐蔽钢结构、高层全钢结构及多层厂房钢结构, 应当规定其耐火极限在 1.5h 以上时, 应选用非膨胀性钢结构防火涂料 (见表 1)。本工程选用非膨胀型钢结构防火涂料, 防火涂料的粘结强度 ≥ 0.04MPa、抗压强度 ≥ 0.3MPa、干密度 ≤ 500kg/m<sup>3</sup>、热导率 ≤ 0.1160 (0.1kcal/m · h · °C),

【作者简介】赵轲 (1992-), 男, 中国河南杞县人, 本科, 工程师, 从事土木工程研究。

耐水性满足 24h 试验后,涂层应无起层、发泡、脱落线型,且隔热效率衰减量应 ≤ 35%。

表 1 非膨胀性钢结构防火涂料性能

| 项目                      | 指标          |                     |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| 粘结强度 (MPa)              | ≥ 0.04      |                     |
| 抗压强度 (MPa)              | ≥ 0.3       |                     |
| 干密 (kg/m <sup>3</sup> ) | ≤ 500       |                     |
| 耐水性 (h)                 | ≥ 24        |                     |
| 耐冻融循环性 (次)              | ≥ 15        |                     |
| 耐火极限                    | 涂料厚度 (mm)   | 15、20、30、40、50      |
|                         | 耐火时间不低于 (h) | 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 |

### 3 质量问题及分析

现场防火涂料施工完成后经试验检测发现涂层存在开裂、空鼓甚至脱落现象,且多存在于顶层及外排立柱。本项目采用石膏基非膨胀型钢结构防火涂料,其具有干密度低、凝结速度快的优点,缺点是耐水性差,耐候性差。根据型式试验报告,当满足其耐火极限 2.5h 时,防火涂料涂层厚度不应小于 27mm,考虑该材料凝结速度快的优点,现场施工采用分两次喷涂的方式进行,每次喷涂时间间隔不小于 5h。

为保证防火涂料施工质量,查明质量问题发生的原因,我方成立 QC 小组并请相关专家现场勘验咨询,分析发生质量问题的原因,并探讨防治的方法。最终从“人、机、料、法、环”等五个方面采用因素分析法确定造成开裂、空鼓、脱落质量问题的原因主要为:①施工工艺原因;②雨水及阳光暴晒的影响;③防火涂料与防腐涂料粘结力差。

#### 3.1 施工工艺原因

每层防火涂料喷涂时间间隔 5h,间隔时间过短;分两次喷涂,每层涂装的厚度为 13~14mm,厚度过大,再由于东川光照充足,气候干燥、多风,就导致了涂层表面先行干燥凝结,涂层中的水分挥发不出来,涂装表面涨缩应力增大,造成涂层开裂,甚至由于水蒸气压力过大导致局部空鼓。其次,据现场勘验,发现钢柱下方约 2m 位置处存在裂缝较多,同时下方约 2m 范围内防火涂料下坠现象,导致涂层表面张力不一致,从而导致裂缝的发生<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 雨水及阳光暴晒的影响

防火涂料施工在 5~7 月之中,正处于东川地区雨季,常常夜间下雨,白天天晴,处于厂房外围的钢结构立柱在这种雨水和高温的反复交替作业过程中,在防火涂料尚未完全达到强度前,导致涂料含水饱和,水分蒸发不及时,涂层表面和钢构件接触面温差较大,从而产生涨缩裂缝、局部空鼓甚至是局部脱落等质量问题。

#### 3.3 防火涂料与防腐涂料粘结力差

所选用的涂料应在施工前未进行与防腐涂料的相容性试验,相容性试验合格后方可进行涂装施工作业。防火涂层施工前,钢构件的表面或存在油漆破损未修补、雨露水未擦

干、灰尘未擦除、油污未清理等原因,导致防火涂料与钢构件空鼓现象。

### 4 施工工艺方法

我项目部通过以成立“QC 小组”的方式,通过开展 QC 活动,针对以上分析的质量问题发生的主要原因,采取相对应的措施,通过加强对钢构件表面清洁处理,减少喷涂厚度,分三次喷涂,增加喷涂间隔时间,对成品采用防晒、防雨遮盖措施,选用相容性材料等技术措施,改善施工工艺,形成工艺方法,经过现场实施验证,此施工工艺在本项目大大减少了相应质量问题的发生,取得了十分不错的控制效果。

#### 4.1 防火涂料配合比试验与检测

严格按照防火涂料说明书及型式试验报告内容进行配料,按照防火涂料和水 1 : 1 的比例现场机械充分搅拌,搅拌至无气泡冒出,无结块,使材料稠度均匀适宜,并送试验室针对防火涂料样品进行耐火极限、粘结强度、热导率等参数进行复试试验。

##### 4.1.1 钢结构防火涂料粘结强度试验方法

将待测涂料按说明书规定的施工工艺施涂于 70mm × 70mm × 70mm 的钢板上,非膨胀型防火涂料厚度 δ 为 8~10mm。抹平,放在常温下干燥后将涂层修改成 50mm × 50mm,再用环氧树脂将一块 50mm × 50mm × 15mm 的钢板粘结在涂层上,以便试验时装夹。

将准备好的试件装在试验机上,均匀连续加荷载直至涂层破裂为止。

粘结强度按下式计算:

$$f_b = \frac{F}{A}$$

式中,  $f_b$  为粘结强度, MPa; F 为破坏荷载, N; A 为涂层与钢板的粘结面面积, mm<sup>2</sup>。

##### 4.1.2 钢结构防火涂料涂层厚度的测定

使用由针杆和可滑动的圆盘组成的测针,圆盘始终保持与针杆垂直,并在其上装有固定装置,圆盘直径不大于 30mm,以保证完全接触被测试件的表面。如果厚度测量仪不易插入被插材料中,也可使用其他适宜的方法测试。测试时,将测厚探针垂直插入防火涂层直至钢基材表面上,记录标尺读数,如图 1 所示。

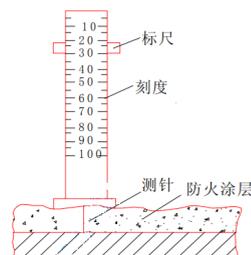


图 1 测针测厚原理图

钢框架结构的梁和柱的防火涂层厚度测定,在构件长度内每隔3m取一个截面,对于梁和柱在所选择的位置中,分别测出6个和8个点。分别计算出他们的平均值,精确到0.5mm。

#### 4.2 钢结构表面处理

防火涂料喷涂前,应对钢构件表面进行外观检查,钢构件的表面如有油漆破损未修补、雨露水未擦干、灰尘未擦除、油污未清理等现象应及时处理,经自检、专检合格后方可进行防火涂料喷涂作业。

#### 4.3 第一遍喷涂

对喷涂作业周边不需要喷涂的部位用薄膜覆盖包裹,以免对已完成品造成污染。防火涂料边配边用,应在30min内使用完。喷涂作业应采用压送式喷涂机,喷枪口直径宜为5~12mm,空压机压力宜控制在0.4~0.6MPa,喷枪口应垂直于工作面,与钢构件表面距离宜为30~50cm,喷涂厚度应控制在8~10mm,分3遍喷涂完成。

#### 4.4 第二遍、第三遍喷涂

第一遍涂层完成24h,待防火涂料干后,再按照施工配合比进行第二遍喷涂,每层涂层厚度应控制在8~10mm,上下分层分片循环喷涂,注意观察涂料粘结情况,最终要厚度均匀,并且控制好表面平整度。第三遍喷涂在第二遍喷涂表干后,按第二遍喷涂方法进行作业。

### 5 检查验收

施工完成后,应先组织项目技术、试验人员进行自检。将测厚探针垂直插入防火涂料层直至钢材基面,记录标尺读数,每个截面取对称两点提取检测数值,如果厚度不足则进行补喷或者铲掉重新喷涂。当裂缝数量大于3条或者裂缝宽度大于0.5mm时,应铲掉重新喷涂。当涂层粘结不牢、空鼓现象时,应铲掉重新喷涂。通过工艺改进,钢结构防火涂

料喷涂质量得到大大改善,达到表面厚度均匀、无流坠、无空鼓、开裂外观标准。

### 6 质量控制重点

①对进场材料进行复试试验,每使用500t或不足500t时应取样验证一次抗压强度和粘结强度试验。严格按照试验配比配料,搅拌至均匀稠厚流体状态,无结块。

②钢构件喷涂作业前,应先处理构件基面,确保钢材表面无锈蚀、无漏喷、无油污、无尘土、无雨露水。

③控制喷涂环境的温、湿度,湿度不超过85%为宜,温度宜保持在5℃~35℃,同时应保持空气的流通性,风速不大于5m/s。

④喷涂时喷枪头与构件表面垂直,控制好距离与空压机压力,并用测厚探针随时检测喷涂厚度,保证厚度满足耐火极限要求且厚度均匀。

⑤防火涂料不得有漏涂、脱层、空鼓、松散、乳突、浮浆等缺陷,一旦出现及时处理。

### 7 结语

针对本工程钢结构厚型防火涂料施工中出现的开裂、空鼓等主要质量问题,我项目部通过以成立“QC小组”的方式,从质量问题发生的机理研究开始,对质量问题的发生采取有效的控制措施,通过不断反复的实践,从实践中发现问题并解决问题,从而有效防止开裂、空鼓等质量问题的发生,取得了良好的施工效果,为后续项目钢结构厚型防火涂料的施工提供借鉴和思考<sup>[1]</sup>。

#### 参考文献

- [1] GB14907-2018 钢结构防火涂料[S].
- [2] CECS 24:90 钢结构防火涂料应用技术规范[S].
- [3] 郭贵平.钢结构厚型防火涂料裂纹、空鼓和脱层的防治[J].建设监理,2011(8):82-83.