

装配式钢结构建筑专用防火涂料研发与应用

钟波*, 张泽江, 葛欣国, 何世家, 黄浩

应急管理部四川消防研究所, 四川 成都

Email: zhongbo_scfri@163.com

收稿日期: 2020年11月9日; 录用日期: 2020年12月24日; 发布日期: 2020年12月31日

摘要

为了解决现有钢结构防火涂料现场施工影响整体工程周期的问题, 本文研发了一种装配式钢结构建筑专用预涂装防火涂料, 检测得到其粘结强度达1.49 MPa, 涂层厚度4.5 mm时耐火极限2.31 h。通过对涂料粘结强度、抗冲击性能、弯曲性能及耐火极限等指标的测试分析, 初步提出了装配式钢结构建筑专用预涂装防火涂料的性能要求。以某装配式钢结构厂房为应用对象, 开展了预涂装钢结构防火涂料的应用示范。结果表明, 预涂装防火涂料的钢构件在运输、吊装过程中质量良好, 无开裂脱落现象, 满足预期的产品性能要求。

关键词

装配式钢结构, 防火涂料, 预涂装, 耐火极限

Development and Application of Fireproof Coatings for Fabricated Steel Structures

Bo Zhong*, Zejiang Zhang, Xinguo Ge, Shijia He, Hao Huang

Sichuan Fire Research Institute of MEM, Chengdu Sichuan

Email: zhongbo_scfri@163.com

Received: Nov. 9th, 2020; accepted: Dec. 24th, 2020; published: Dec. 31st, 2020

Abstract

In order to solve the problem that the existing steel structure fireproof coating affects the overall project cycle, this paper developed a pre-painted fireproof coating special for prefabricated steel structure buildings, and the bond strength was 1.49 MPa and the fire resistance limit is 2.31 h

*通讯作者。

when the coating thickness was 4.5 mm. Through the test and analysis of the coating's bonding strength, impact resistance, bending performance and fire resistance limit, the performance requirements of the pre-painted fireproof coating for fabricated steel structure buildings are initially proposed. Take a prefabricated steel structure workshop as the application object, the application demonstration of pre-painted steel structure fireproof coating is carried out. The results show that the steel components pre-painted with fireproof coatings are of good quality during transportation and hoisting, without cracking and falling off, and meeting the expected product performance requirements.

Keywords

Fabricated Steel Structure, Fireproof Coating, Pre-Painted, Fire Resistance

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2017年3月,住房和城乡建设部一次性印发《“十三五”装配式建筑行动方案》、《装配式建筑示范城市管理办法》、《装配式建筑产业基地管理办法》三大文件,全面推进装配式建筑发展。然而,目前还未形成与装配式钢结构建筑相配套的防火保护体系,现有防火保护主要在现场施工完成。为了加速我国建筑工业化的进程,亟需解决钢结构防火涂料现场施工影响整体工程周期的问题。

钢结构建筑的防火保护方法多种多样,其中涂装防火涂料具有施工简单、方便、自重轻、防火效果好等特点,是最理想、最可靠、最实用的防火保护方法之一[1][2]。钢结构防火涂料是指涂覆在钢材表面的一类功能性工程材料的总称,在一般情况下它能起到装饰作用,当火灾发生时能够阻止燃烧或对燃烧迅速扩展起到延滞作用,从而使人们有充分的时间进行火灾扑救工作。钢结构防火涂料按分散介质可分为水性钢结构防火涂料和溶剂型钢结构防火涂料,水性钢结构防火涂料则是以水性聚合物作为成膜物质、以水作为分散介质的一类防火涂料[3]。与溶剂型钢结构防火涂料相比较,水性防火涂料具有减少挥发性有机物(VOC)排放量,减少能耗,降低涂料在生产、施工、应用等环节中对人体的危害和对环境的污染的优点[4]。

目前,国内水性钢结构防火涂料研发仍处于起步阶段,国产水性钢结构防火涂料耐火极限很少能达到60 min以上。而国外的水性钢结构防火涂料则已有多年的技术储备,如阿克苏诺贝尔 Interchar 1120干膜厚度2 mm时,耐火极限可以达到120 min;佐敦 Steelmaster 60 WB干膜厚度2 mm时,耐火极限可以达到120 min;PPG 庞贝捷 Steelguard FM 585干膜厚度2 mm时,耐火极限可以达到90 min。另外,国内生产的水性钢结构防火涂料还普遍存在着涂膜耐水性差、产品稳定性差等缺点和问题。因此,研制一种理化性能好、耐火性能优异、产品稳定性高且能用于装配式钢结构构件的工厂预涂装的水性钢结构防火涂料具有重要的实际应用价值[4]。

2. 预涂装钢结构防火涂料研发

2.1. 防火涂料配方

水性防火涂料通常选用亲水性的水溶性树脂或水分散性的聚合物乳液作为基料。聚合物乳液是水性

防火涂料的主要成膜物质,乳液需要对基材具有良好的附着力、耐久性和耐水性。乳液对发泡剂、成炭剂、脱水成炭催化剂、颜填料等起粘结作用,当涂膜干燥固化后,附着在基材表面形成坚韧、牢固、均匀的涂层。涂层的膨胀发泡、耐燃性、耐水性、耐化学品性和粘结强度都与乳液的性能和质量有关。乳液选择需要考虑以下几个方面:(1)基料乳液与基材有较强的粘结性,防止膨胀层脱落影响耐火性能;(2)基料乳液需要绿色环保,不含或仅含较低量的挥发性有机物(VOC);(3)基料乳液对基材无腐蚀性,具备较强的耐候性,以增强涂层对基材的有效保护时间以及稳定性;(4)基料乳液应具备一定的协助膨胀阻燃体系发泡以及残炭量,基料的软化温度和膨胀温度应相匹配,确保膨胀效果[5][6]。

通过系统研究丙烯酸类、醋酸类树脂等成膜物质对防火涂料粘结强度及发泡倍率等的影响,并采用共混与共聚改性配制适宜于预涂装钢结构防火涂料的成膜物质,最终确定了以丙烯酸和醋酸共聚改性乳液为成膜物质的配方体系;采用两种成炭剂协效配合提供足够多的含碳量以及羟基以提高膨胀炭层的强度;采用纳米无机材料改性技术对功能性助剂进行处理,提高了涂料与钢结构的粘结性能,改进了涂料的韧性;采用钛白粉、氧化铈、含氮阻燃剂等作为预涂装钢结构防火涂料的填料,通过对填料的分析和比例的调节,提高了水性钢结构防火涂料的抗烧蚀能力。根据表1所示的配方,先将水和各种助剂加入到塑料烧杯中,搅拌均匀后,再依次加入钛白粉(TiO_2)、聚磷酸铵(APP)、三聚氰胺(ME)和季戊四醇(PER)等,进行高速研磨分散,加入乳液后,在800 r/min的条件下分散30 min,得到防火涂料。

Table 1. The experimental formula for fireproof coating

表 1. 防火涂料实验配方

物质	质量比
水	15%~25%
助剂	2%~5%
TiO_2	8%~12%
膨胀阻燃体系	45%~55%
乳液	20%~25%

2.2. 水性钢结构防火涂物理化性能

在研发水性钢结构防火涂料过程中,针对不同成膜物质,采用相同配方体系制备了防火涂料,通过粘结强度测试,得到了防火涂料与钢材的粘结机制主要有附着破坏与内聚破坏两种。最终,本文制备的水性钢结构防火涂料采用了醋酸共聚改性乳液作为成膜物质,涂料与钢材的粘结机制为内聚破坏,粘结强度较高。将制备好的水性钢结构防火涂料进行了一系列理化性能测试,测试结果如表2所示,从表中可以看出,该涂料的粘结强度达1.49 MPa,是GB14907-2018中规定值0.15 MPa的约10倍。国际知名的同类产品如阿克苏诺贝尔的Interchar1120型水性钢结构防火涂料,耐火极限2 h,粘结强度1.32 MPa,但无相关的装配式钢结构建筑预涂装防火涂料方面的应用。

2.3. 涂料的耐冲击性能与抗弯曲性能

采用落锤实验仪测试了本文制备的水性钢结构防火涂料涂层的耐冲击性能。将1 kg重的落锤固定于导管的同一高度,让其垂直下落冲击涂覆防火涂料的钢片,观察涂层的变化情况。测试后的钢片样品照片如图1所示。从图中可以看出,涂料在受到冲击后,涂层被破坏的面积集中在冲击部位,未向周边扩散,便于减少后续的修补工作量。同时,将涂覆涂料的钢片样品分别弯曲 5° 和 10° ,钢片表面涂层如图2所示,弯曲 5° 后,涂层基本保持原样,而弯曲 10° 后,涂层表面仅出现少许细微的裂纹,表明涂料抗弯曲

性能较好, 可以适应钢构件装配后的应力状态。

Table 2. Physical and chemical properties of fireproof coatings for steel structures
表 2. 钢结构防火涂料理化性能

序号	检验项目	标准条款号	技术指标	检验结果
1	在容器中的状态	GB 14907-2018 5.2.1 6.4.1	经搅拌后呈均匀细腻状态或稠厚流体状态, 无结块	符合要求
2	干燥时间(表干)/h	5.2.1 6.4.2	≤12	5
3	初期干燥抗裂性	5.2.1 6.4.3	不应出现裂纹	无裂纹
4	粘结强度/MPa	5.2.1 6.4.4	≥0.15	1.49
5	pH 值	5.2.1 6.4.8	≥7	8
6	耐水性/h	5.2.1 6.4.9	24 h 试验后, 涂层应无起层、发泡、脱落现象, 且隔热效率衰减量≤35%	24 h, 符合要求, 衰减量 8%
7	耐冷热循环性/次	5.2.1 6.4.10	15 次试验后, 涂层应无开裂、剥落、气泡现象, 且隔热效率衰减量≤35%	15 次, 符合要求, 衰减量 8%
备注	1、涂层厚度检验结果的扩展不确定度 $U = 0.1 \text{ mm}$, $k = 2$; 2、该普通钢结构防火涂料耐火性能试件的涂层构造依次为 XH-1003 省工型环氧富锌防锈底漆、防火涂料、企业自备面漆; 3、基准隔热效率(涂层厚度 1.94 mm): 88 min。			



Figure 1. Damage degree of samples after impact test

图 1. 冲击实验后样品破坏情况

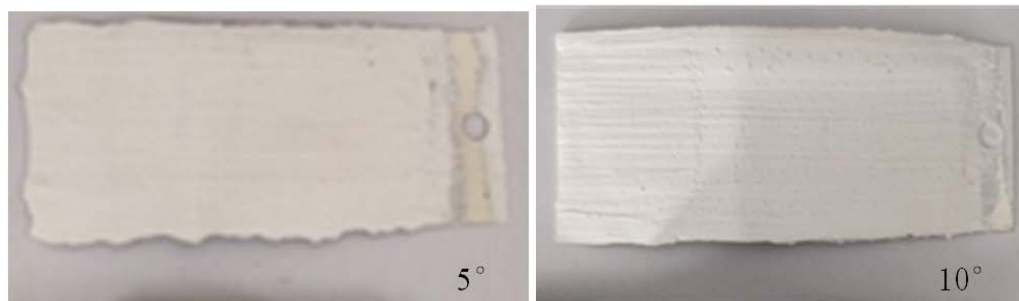


Figure 2. Appearance of samples after bending test

图 2. 弯曲实验后样品表现情况

2.4. 耐火试验

将试制好的水性钢结构防火涂料样品送至国家防火建筑材料质量监督检验中心,按照 GB 14907-2018《钢结构防火涂料》中规定的防火涂料耐火极限测试方法,采用 36b 热轧工字钢作为试验基材,将防火涂料施工于工字钢表面(4.5 mm),按规定养护后,在燃烧试验炉上进行试验,试验过程中加载保持 207 kN 不变,如图 3 所示。图 4 为耐火试验后测得的钢结构防火涂料发泡情况,用标尺测得的防火涂料发泡厚度约为 12 cm。根据最终的检测结果,该防火涂料耐火极限 2.31 h。

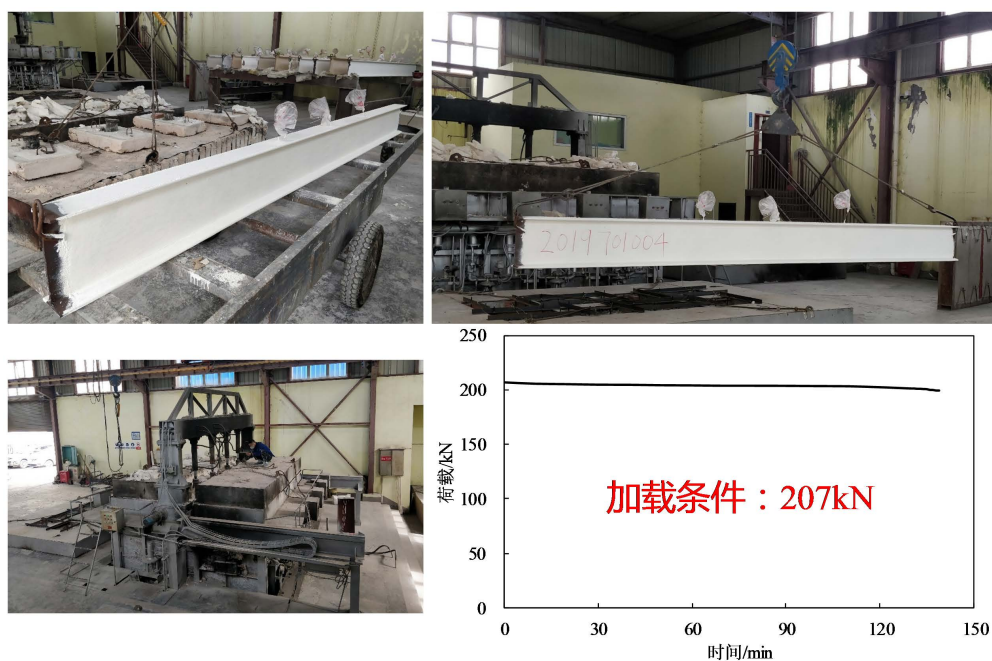


Figure 3. Fire resistance test of fireproof coating for steel structures

图 3. 钢结构防火涂料耐火性能试验



Figure 4. Foaming situation of fireproof coating after fire resistance test

图 4. 耐火试验后钢结构防火涂料发泡情况

3. 某装配式钢结构厂房应用示范

为了将本文研发的预涂装钢结构防火涂料推广应用于装配式钢结构建筑,选取某装配式钢结构厂房为应用对象,通过在钢构件工厂施工预涂装钢结构防火涂料、钢构件运输至工地现场(距钢构件工厂 300

公里左右)、钢构件现场装配化施工等流程,完成了装配式钢结构厂房的防火保护应用示范,并对整个过程中预涂装钢结构防火涂料的性能进行了跟踪。图 5 所示为钢构件加工厂进行预涂装钢结构防火涂料施工,每一遍涂刷厚度 0.3~0.4 mm,总涂刷厚度 4.5 mm。在完成主体部分的防火涂覆工作后,对垫木支座部位进行补喷防火涂料,如图 6 所示。待预涂装防火涂料的钢构件养护 1 周后,对构件吊装部位包覆珍珠棉,运输至 300 公里远的工地现场进行装配化施工,如图 7 所示,施工过程中不可避免会有部分碰撞引起涂料脱落,采用研发的快干修复防火涂料进行修补。



Figure 5. Pre-painting fireproof coating in the factory
图 5. 钢构件工厂预涂装防火涂料



Figure 6. Re-spraying fireproof coating on hidden parts of steel components
图 6. 钢构件隐蔽部位补喷防火涂料



Figure 7. On-site assembly of steel components with pre-painted fireproof coating
图 7. 预涂装钢结构防火涂料构件现场装配化施工

4. 结论

本文采用以丙烯酸和醋酸共聚改性乳液为成膜物质的配方体系研发了一种水性钢结构防火涂料, 该防火涂料可以在钢构件加工厂进行预涂装。通过某装配式钢结构厂房防火保护应用示范, 验证了产品的可靠性。主要得出以下结论:

(1) 预涂装钢结构防火涂料同时具有优良的粘结性能、耐冲击性能、抗弯曲性能及耐火性能, 适用于装配式钢结构建筑的专用防火保护;

(2) 预涂装钢结构防火涂料在应用过程中的运输、吊装等环节质量良好, 无开裂脱落现象。

致 谢

感谢国家重点研发计划项目(2018YFC0807600)及“特殊结构建筑防火阻燃材料”(2018YFC0807602)课题对本文研究工作的资助。

参考文献

- [1] 张赟. 膨胀型水性防火涂料的研究[J]. 现代涂料与涂装, 2000(5): 12-14.
- [2] 覃文清, 李风. 钢结构防火涂料现状及发展趋势[J]. 装饰装修材料, 1998(5): 12-13.
- [3] 张建军, 曾嘉伟, 史聪灵, 等. 室内超薄膨胀型钢结构防火涂料的研制及防火机理分析[J]. 消防技术与产品信息, 2017(2): 8-12.
- [4] 刘芳, 孙令, 廖炳新, 等. 水性超薄膨胀型钢结构防火涂料的制备与性能[J]. 涂料工业, 2009, 39(4): 18-21.
- [5] 范方强. 水性超薄型钢结构防火涂料的制备及防火作用机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [6] 王朋. 超薄型防火涂料组分间协同作用研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2016.