

钢结构防火涂料技术在洛阳文化基础设施建设项目中的应用要点分析

冯冠兰

中铁十五局集团城市建设工程有限公司

摘要: 钢结构因其强度高、可塑性强、结构韧性高的特性,是当前最主要的建筑类型之一,在当前的建筑行业中得到了广泛的推广和应用。但是目前建筑的高度和跨度在跨越式的增加,建筑的使用功能也越来越复杂,对钢结构的安全性和稳定性提出了更高的要求。目前应用最广泛的钢结构防火措施就是在钢结构表面涂刷防火材料,当建筑发生火灾时,防火涂料可以降低钢结构热传导速度,延缓钢结构因为高温发生结构性破坏的时间,为建筑内人员的疏散和救灾灭火赢得宝贵的时间,有效降低建筑火灾带来的。本文以洛阳文化基础设施建设项目中钢结构防火涂料施工为例,介绍了钢结构防火涂料技术防火原理、防火涂料的种类,并对钢结构防火涂料的施工要点及质量控制进行详细的分析研究,希望对同类型的建筑项目的钢结构防火涂料施工有所帮助和借鉴。

关键词: 钢结构防火涂料; 施工要点; 质量控制

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.036

引言

钢结构在现代建筑中扮演着十分重要的角色,在建筑行业得到了广泛的应用,钢结构建设的主要材料是各种型号的钢材,钢材不易燃烧,但是热传导性较高,当钢材温度处于 $250^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 时,钢材屈服强度显著降低,当钢材温度超过 600°C 时,会发生塑性变形,失去强度及承载力。而在建筑发生火灾的条件下,只需很短的时间温度就上升到钢材失效的临界温度,钢结构由于受到建筑的压力发生变形损坏,而建筑也会因为失去支撑而发生坍塌。为延长建筑钢结构在建筑发生火灾时温度达到临界温度的时间,必须采取相应的防火隔热措施,提高建筑钢结构的耐热性。目前建筑钢结构最常见的防火隔热措施就是在建筑钢结构表面涂刷防火涂料,这种建筑钢结构的防火隔热措施具有建设施工的便捷性较高、重量轻不会对钢结构的整体性能产生影响、防火隔热效果好、不受钢结构构建形状和位置的影响、建设施工成本较低的特点,在目前建筑钢结构防火防腐上得到了广泛的应用。

一、钢结构防火涂料技术的防火原理

钢结构防火涂料技术就是在钢结构的表面涂刷或者喷涂一层防火涂料形成具有耐火隔热性能的保护层,当建筑发生火灾时避免火焰直接灼烧钢结构,降低钢结构的热传导性能,延长钢结构温度达到临界温度和钢结构性能衰减的时间,为建筑内的人员疏散和灭火救灾提供宝贵的时间。钢结构防火涂料技术的灭火原理主要包括以下几个要点: 1) 防火涂料形成的耐火隔热层可以将火焰与钢结构分隔开,火焰不能直接灼烧钢结构。2)

防火涂料是由难燃或者不燃性材料制作而成,热传导性较低,非膨胀性防火涂料涂刷到钢结构表面时可以形成厚度较高的耐火隔热层,膨胀性防火涂料在高温的条件下会在钢结构表面形成比较厚的耐火泡沫,可以有效延长钢结构温度提升到临界温度的时间。3) 防火涂料在高温的条件下,会吸收周围热量,释放出水蒸气或者其他不可燃气体,可以有效降低钢结构周围的温度,稀释钢结构周围的氧气,使钢结构周围形成火焰的真空,进一步隔离火焰与钢结构。

二、钢结构防火涂料的分类

钢结构的防火涂料的分类方式较多,根据防火机理的不同可以分为膨胀型防火涂料和非膨胀型防火涂料,按照涂层厚度的不同可以分为厚涂型防火涂料、薄涂型防火涂料和超薄型防火涂料,本文按照防火机理的不同介绍防火涂料。

(一) 膨胀型防火涂料

膨胀型防火涂料的防火机理是当涂料表面受到火焰灼烧而温度急剧升高时,膨胀型防火涂料中的发泡性成分会发生分解形成一定厚度的发泡层,将建筑钢结构与周围的火焰分隔开,防止火焰直接灼烧钢结构。膨胀型防火涂料的防火性能是通过其中的发泡成分实现的,发泡成分主要包括碳源、发泡剂和有机氮化合物等,可以单独使用,也可以由几种搭配组成。其中薄涂型防火涂料和超薄型防火涂料都属于膨胀型防火涂料。

(二) 非膨胀型钢结构防火涂料

非膨胀型钢结构防火涂料主要用于室内钢结构的防火,这就要求其除了具备防火性能外,还需要同时具备一定的装饰性,非膨胀型钢结构防火涂料按照其燃烧性能又可以分为难燃型防火涂料和不燃型防火涂料。难燃型防火涂料主要有乳胶类防火涂料和含难燃助剂的防火涂料两种,由于乳胶本身就是一种难燃型物质,只需在乳胶中加入无机颜料就制成了乳胶类防火涂料。含难燃助剂的防火涂料在进行制作时需要先将基料做难燃处理,后再加入难燃助剂形成含难燃助剂的防火涂料。

(三) 膨胀型防火涂料和非膨胀型防火涂料的差别

膨胀型防火涂料和非膨胀型防火涂料的差别主要有以下几个差别: 1) 组成成分不同,膨胀型防火材料的基料是有机树脂,发泡成分中含有发泡剂、阻燃剂、成碳剂等成分,非膨胀型防火涂料的主要成分是无机绝热材料。2) 反应方式不同,膨胀性防火涂料在受到高温时自身会发生膨胀,形成原涂层厚度100多倍的多孔炭质层,非膨胀型防火涂料是利用涂料本身的绝热性能和受到高温时部分成分的蒸发、分解而吸收钢结构周围的热量实现降温隔热。3) 隔热效用不同,膨胀性防火涂料是利用多孔炭质层将火焰和钢结构的分隔开来,阻挡

外部热源向钢结构传递热量，非膨胀型防火涂料除了可以将火焰与钢结构分隔开来，还可以消耗火灾的热量。

三、洛阳文化基础设施项目简介

洛阳文化基础设施建设项目位于河南省洛阳市伊滨区开元大道以南、立雪路以北、文化东街以西、文化西街以东。是一座设施完善，功能合理的综合性甲级剧院，主要包括 1500 座大剧院、1000 座音乐厅、会议中心以及地下停车场、人防工程、地面广场等配套设施设备等。

本工程总占地面积为：117991m²，总建筑面积 93345m²，结构长280m，宽126m，地上6层，地下一层（局部地下3层），建筑高度为52m。施工钢材总用量为11000t，项目设计的防火等级为一级，需要涂刷防火涂料的部位包括大剧院/音乐厅外圈钢柱、钢梁、钢楼梯、屋面层桁架、架构层钢结构、中庭斗拱朱构钢构件及钢屋盖等。

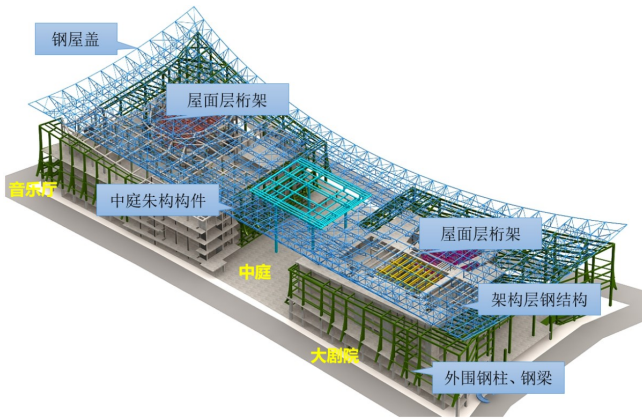


图1 项目平面及钢结构示意图

根据《钢结构防火涂料》GB14907-2018要求本工程防火涂料厚度根据规范以及型式认可证书确定最终涂层厚度，具体要求如下表所示。

表1 钢结构防火分布及要求

构件及部位	耐火极限 (h)	涂料类型	涂层厚度
钢柱（人字柱）、两侧小斗拱柱	3.0	非膨胀型	25mm
音乐厅23.0标高屋面桁架、大剧院26.2标高屋面桁架、大剧院34.7标高台塔层钢梁、转换钢梁（梁上抬柱）	3.0	非膨胀型	30mm
一般带面钢梁、构架层梁	2.0	非膨胀型	30mm
一般楼面梁，马道、栅顶等吊挂钢构，构架层圆管斜杆，斗拱梁	2.0	膨胀型	>2.5mm
钢楼梯、顶部大屋盖钢构件	1.5	膨胀型	>1.5mm
幕墙支撑钢结构	室内	同主体结构要求	
	室外	不做防火涂料	

四、钢结构防火涂料的涂刷要求

（一）防火涂料涂层的理化性能、特点

1) 防火涂料涂层的黏结强度大于等于0.15Mpa，受到钝器的撞击后防火涂料涂层出现凹陷，不会出现开裂、脱落等现象。2) 防火涂料涂层晾干后的密度小于等于550Kg/m³。3) 防火涂料涂层的表面干燥的时间小于等于24小时。4) 防火涂料涂层不会腐蚀钢结构的钢材，防火涂料成分中没有石棉。4) 防火涂层浸渍在水中24小时，防火涂料涂层不会出现起层、发泡、剥落现象。5) 经过15次冷热循环后，防火涂料涂层不会出现开裂、起泡、剥落现象。

（二）防火涂料整体涂装要求

本项目钢结构根据耐火极限检测报告及防火涂料相关要求如下：

1、钢结构钢柱的耐火极限为3小时，防火涂料的涂层厚度大于等于25mm。

2、大剧场观众厅屋盖钢梁、钢桁架、大剧院主舞台台塔钢梁、音乐厅屋盖钢梁、钢桁架、马道、栅顶、吊挂钢构耐火极限2.0小时，涂层厚度不小于2.5mm。

3、钢楼梯、顶部大屋盖耐火极限1.5小时，涂层厚度不小于1.5mm。

4、室外或露天部分的钢结构构件防火涂料涂层选用室外型防火涂料进行涂刷。

5、防火涂料与防腐涂料应相容、匹配。

6、防火涂料基层应该保持清洁，防火涂料应具有好的变形能力和黏结性，应采用合适的界面剂保证防火涂料与构件的黏结性。

7、防火涂料涂装应按照防火涂料的使用要求进行，钢结构构件不能出现结露，涂刷完成后4小时内不能浸水，不能受到撞击。

8、非膨胀型防火涂料保护，室内防火涂料抗压强度：≥0.4Mpa；室外防火涂料抗压强度：≥0.6Mpa；在涂层内设置与钢构件连接的玻纤网格布。

五、本项目防火涂层施工的要点

（一）施工前钢结构基层的检查清理

1) 对钢结构表面的污垢、锈迹进行清理，保持钢结构的干净整洁，没有泥沙、灰尘、水渍、油污。2) 锈迹清理干净后需对钢结构构件按照原来防锈漆的涂刷要求进行补漆，补漆的漆膜必须保持完整，完成补漆后再次对钢结构的基层进行检查，合格后方可进行防火涂料的涂刷工作。3) 若钢结构构件上的防锈漆中的成分与防火涂料中的成分会发生反应而导致防锈漆与防火涂料失效，则不能直接在防锈漆上涂刷防火涂料，应在防锈漆上先涂刷一层界面漆，然后再涂刷防火涂料。4) 对混凝土与钢结构混合浇筑的钢结构构件进行防火涂料的涂刷时，应等待混凝土完全凝固后方可进行防火涂料的涂刷作业，避免因为混凝土凝固时对钢结构压力的变化而影响防火涂料与钢结构构件之间的附着力，影响防火涂料涂刷的质量。

（二）防火涂料的检验存储

1) 防火涂料入库前必须对防火涂料的型号、品牌、生产日期、颜色、合格证、出厂检验报告、保质期

进行查验, 保证其与采购合同要求一致, 检查生产日期和质保期, 确保在使用有效期内, 检查其外观是否有破损。2) 严格进场防火涂料的材料报审、见证取样制度, 每一批防火涂料进场, 必须填写《材料进场报审表》, 经监理及相关单位验收合格, 并按每使用100t或不足100t薄型防火涂料应抽检一次黏结强度; 每使用500t或不足500t的厚型防火涂料应抽检一次黏结强度和抗压强度标准要求见证取样送检, 经复试合格方可使用。3) 对防火涂料进行存储时应单独存放在一个区域, 如无法进行单独存放, 不能和影响防火涂料使用性能的材料堆放在一起, 不同批次, 不同生产日期的防火涂料不能混合堆放。3) 防火涂料在出库之前应再次核检验查生产日期和质保期确保其在使用的有效期内。

(三) 防火涂料的配料

1) 根据钢结构防火涂层的涂刷要求, 在进行大规模配料之前应该先进行少量的涂刷试验, 根据试验结果确定防火涂料的配料参数及工艺, 后在进行大规模的配置。2) 在进行配料时应该进行充分搅拌, 使各种物质能够混合均匀, 防止防火涂料出现沉淀。3) 不同批次的防火涂料的黏稠度存在一定的差异, 采用的涂刷工艺不同对防火涂料的黏稠度也有不同的要求, 因此在进行配料时应根据实际情况加入一定量的稀释剂, 添加量不得超过配料总量的5%。

(四) 喷涂作业施工要点

1) 喷涂原则: 施涂顺序一般是先上后下, 先难后易, 先左后右, 以保持涂层的厚度均匀一致, 不漏浆、不流坠为准。2) 喷涂参数: 在进行喷涂作业时, 喷枪的喷嘴与需喷涂面之间的距离应该保持在25厘米到30厘米之间, 喷嘴与喷涂面之间的夹角保持在90度左右, 喷涂气压应保持0.4~0.6Mpa, 喷枪顺延着喷涂面进行平行移动。3) 阳角喷涂: 在进行钢结构的阳角防火涂料喷涂时, 应先从阳角的端部自上而下或者从左到右进行垂直喷涂, 然后在进行水平喷涂。4) 阴角喷涂: 在进行阴角的防火涂料喷涂时, 应该先从角的两边自上而下进行垂直喷涂, 然后在进行水平喷涂, 喷涂时喷嘴与阴角的顶部之间的距离可以适当的加大, 避免出现防火涂料的坠流。5) 喷涂环境: 温度在5~35℃之间, 当气温低于5℃或高于35℃时, 一般不宜施涂, 湿度不宜大于90%, 构件表面无结霜、结露情况。6) 如果防火涂料的涂层在干燥固化的过程中出现粉化或者黏结不牢固、涂层的厚度小于国家标准和设计要求中任意一项的85%、涂层连续1米以上厚度均未达到国家标准和设计要求应重新进行防火涂料的喷涂。

六、本项目钢结构防火涂料喷涂质量控制要点

(一) 防火涂料的质量控制要点

1) 防火涂料原材料进场检查生产厂家资质、质量证明书、合格证、检验报告使用说明书等是否符合图纸设计及施工规范的要求, 见证取样复试合格方可用于现场施工。2) 涂层的厚度应该符合国家标准和设计要求中, 厚度不得小于国家标准和设计要求厚度的85%, 且厚度不足部分的长度不得超过1米, 在5米范围内不得出

现两处厚度不达标的情况。3) 涂层应该布满需要涂刷防火涂料的钢结构构件的基面, 不能出现漏涂、漏底现象。4) 防火涂料的涂层不能有裂纹, 如果出现少量的裂纹, 裂纹的宽度不得超过1毫米。5) 防火涂料涂层与钢结构构件基面之间、各个防火涂料涂层之间不能出现空鼓、脱层和松散现象, 应该黏结牢固。6) 涂层表面光滑平整, 没有凸起或者下陷。

(二) 防火涂料涂刷作业质量控制要点

1) 建立完善的质量保证制度, 明确施工各方的质量责任, 严格按照钢结构防火涂料的涂刷要求进行涂刷作业。2) 现场涂刷作业的质量员, 对施工过程中的进行严格的质量把控, 确保防火涂料的涂刷作业的每一个环节都符合国家相关质量标准和项目的设计要求。3) 在进行防火涂料的涂刷作业之前, 质量技术人员应该对相关作业人员进行培训, 合格后方可上岗进行防火涂料的涂刷作业。4) 施工作业现场的风速、湿度不符合涂刷作业要求时不能进行防火涂料的涂刷作业, 现场施工人员应该做好温度、湿度、风速的实时监测, 在涂刷作业时对可能会涂刷作业现场造成污染的物品进行清理, 如无法进行则需要进行遮挡防护。5) 在防火涂料的涂刷作业之前应该对防火涂料的规格型号、生产日期、合格证、材料配比进行确认, 都符合要求后方可进行涂刷作业。6) 如果出现质量事故应立即停止涂刷作业, 待事故原因查明, 做好改进预防措施后, 先对已经出现问题的部位进行返修, 检查合格后方可继续进行涂刷作业。7) 为了保证防火涂料涂层的厚度达到要求, 现场施工人员应该随时进行涂层厚度的检验, 确保防火涂料涂层的涂刷均匀。8) 现场质量人员应该对涂刷作业的每一个环节都做好质量检查记录并留存, 方便日后查验。9) 进行质量检查的计量器具应该定期进行校验, 校验合格后方可继续使用, 严禁使用没有经过校准、超过校准有效期的校验工具进行涂层质量检测、验收工作。

结束语

钢结构已经成为当前建筑必不可少的组成部分, 现阶段解决钢结构的不耐高温的手段和技术多种多样, 综合防火性能、建设施工成本等因素, 涂刷防火涂料是目前最常用的防火手段。通过该工程的实施, 掌握了防火涂料施工的一般方法并形成施工技术流程总结, 为后续处理类似结构工程防火涂料施工提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 杨伯忠, 周昱, 陈鑫. 钢结构防火涂料应用中存在的几个问题[J]. 消防技术与产品信息, 2006, (1): 25-27.
- [2] GB51249-2017, 建筑钢结构防火技术规范[S].
- [3] 李兵, 陈道政. 钢框架结构抗火反应分析与研究[J]. 山西建筑, 2009, 35(1): 78-79.
- [4] 刘岩, 刘长财. 浅析钢结构厂房建筑防火设计[J]. 企业技术开发, 2010, 29(09): 55+58.
- [5] 北京市建筑设计研究院. 建筑结构专业技术措施[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.