

钢结构防火涂料对建筑结构耐火性能的影响

王力慢

旗童科技（北京）有限公司 北京

【摘要】随着建筑行业的蓬勃发展，钢结构凭借其强度高、重量轻、施工便捷等优势，在各类建筑中得到广泛应用。钢结构耐火性差这一短板，极大地制约了其进一步发展。本文聚焦于钢结构防火涂料这一关键领域，深入探究其对建筑结构耐火性能的影响。通过分析不同类型防火涂料的特性与作用机制，并结合详实的试验数据，揭示其在显著提升钢结构耐火时长、有效延缓结构失效方面的关键作用，为建筑防火设计提供极具价值的参考。

【关键词】钢结构；防火涂料；耐火性能；建筑结构；防火设计

【收稿日期】2025 年 2 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.202500087

The influence of steel structure fireproof coating on the fire resistance performance of building structure

Liman Wang

Qitong Technology (Beijing) Co., Ltd, Beijing

【Abstract】 With the booming development of the construction industry, steel structures have gained widespread application in various buildings due to their high strength, light weight, and ease of construction. However, the poor fire resistance of steel structures has significantly hindered their further development. This article focuses on the critical area of fireproof coatings for steel structures, delving into their impact on the fire resistance performance of building structures. By analyzing the characteristics and mechanisms of different types of fireproof coatings, and combining detailed experimental data, it reveals their crucial role in significantly extending the fire endurance of steel structures and effectively delaying structural failure, providing highly valuable references for fire protection design in buildings.

【Keywords】 Steel structure; Fireproof coating; Fire resistance performance; Building structure; Fire protection design

引言

在现代城市建设高速发展进程中，火灾事故频繁发生，给生命财产安全带来巨大威胁。钢材在高温下强度迅速衰减的特性，使其在火灾中极易丧失承载能力，导致建筑坍塌。钢结构防火涂料作为提升钢结构耐火性能的关键技术手段，其性能优劣直接关系到建筑消防安全。深入研究钢结构防火涂料对建筑结构耐火性能的影响，对推动建筑防火技术发展、保障建筑安全具有重要意义。

1 防火性能难题

现代建筑追求大跨度、高空间，钢结构因质轻、

强度高备受青睐。钢材在高温下力学性能急剧下降，极易变形坍塌。钢材的力学性能与温度密切相关，当温度达到 300℃时，钢材的屈服强度开始显著下降；温度升至 500℃左右，钢材强度几乎损失殆尽。在火灾场景中，未采取有效防火措施的钢结构，15 分钟内强度便大幅降低^[1]。某大型商业综合体在一次火灾中，由于钢结构未进行有效防火保护，在火势蔓延后短时间内，钢结构构件迅速升温变形，导致建筑局部坍塌，造成严重的人员伤亡和财产损失，严重威胁建筑安全与人员生命财产，钢结构防火成为亟待解决的关键问题。

作者简介：王力慢（1983-）男，汉，河北，大专，研究方向为建筑工程技术。

从建筑设计角度来看,传统建筑设计长期以来更侧重于建筑外观造型的独特性与使用功能的完备性,在这一过程中,对钢结构的防火设计重视程度明显不足。在众多项目案例里,设计阶段存在诸多问题。部分设计师由于对防火涂料相关知识掌握不够全面,在防火涂料选型时,未能依据钢结构所处环境、预期耐火时长等关键因素进行精准抉择;在厚度计算方面,也因采用的计算方法不够科学或对计算参数取值有误,致使最终确定的防火涂料厚度不合理,进而在实际应用场景中,防火涂料难以契合钢结构的耐火需求。在施工环节,不规范操作屡见不鲜。以涂层厚度为例,施工人员在喷涂过程中,因操作手法不熟练、施工设备调试不当等原因,导致涂层厚度不均匀,有的部位过厚造成材料浪费,有的部位过薄则无法达到防火标准;喷涂质量方面,存在漏喷、气泡、流坠等问题,这些瑕疵严重破坏了防火涂料涂层的完整性与致密性,极大地影响了其防火性能。当下建筑功能愈发复杂,集商业、办公、居住等多种功能于一体的综合性建筑大量涌现^[2]。这种功能的复合化使得建筑内部电气设备增多、人员流动密集、可燃装修材料使用量大,火灾荷载随之不断攀升。火灾发生时,高温、高热环境对钢结构的防火性能提出了更为严苛的要求,进一步凸显了钢结构防火问题的严峻性。

2 涂料作用机制

钢结构防火涂料通过物理和化学作用提升耐火性能。膨胀型防火涂料受热膨胀形成多孔碳质泡沫层,隔绝热量传递;非膨胀型防火涂料则依靠自身低导热性和高熔点,在钢材表面形成致密保护层^[3]。膨胀型防火涂料在火灾高温作用下,涂层中的成碳剂、催化剂和发泡剂发生化学反应,形成具有隔热性能的泡沫碳层。这种泡沫碳层的导热系数极低,能够有效阻止热量向钢材传递,从而延缓钢材的升温速度。

非膨胀型防火涂料主要由难燃性或不燃性的无机材料组成,如硅酸盐、磷酸盐等。这些材料在高温下能够形成坚硬的玻璃状或陶瓷状保护层,阻挡热量传递和火焰侵袭。其作用机制主要是依靠材料本身的低导热性和高熔点,在火灾中形成稳定的保护层,减缓钢材的温度上升。在实际应用中,非膨胀型防火涂料常用于对耐火极限要求较高的钢结构构件,如高层钢结构建筑的柱体,能够在火灾中长时间保持钢结构的完整性和承载能力。

防火涂料成分中的阻燃剂、成膜剂等协同作用,有效延缓钢材升温速度,延长钢结构在火灾中的承载时间。阻燃剂,如含氮、磷、卤等元素的化合物,在高温环境下会发生热分解反应,释放出二氧化碳、氮气等不燃性气体。这些气体如同在火源周围筑起一道屏障,稀释了可燃气体浓度,降低了氧气与可燃气体的接触概率,进而抑制燃烧反应的剧烈程度,减缓火势蔓延^[4]。成膜剂通常为合成树脂或天然高分子材料,在涂料干燥过程中,分子间相互交联,形成连续且致密的保护膜。这层保护膜不仅紧紧附着在钢结构表面,增强涂层的附着力,防止在日常使用中因摩擦、震动等因素脱落,还具备一定的抗冲击性能,在火灾中能抵御掉落物体的撞击,维持涂层完整性。不同类型的防火涂料,如厚型、薄型和超薄型,因其性能特点和适用场景各异,适用于不同的建筑环境和钢结构构件。厚型防火涂料由于涂层较厚、耐火极限高,适合用于隐蔽工程或对外观要求不高的大型钢梁、钢柱;薄型和超薄型防火涂料则凭借其美观、涂层薄等优势,常用于对建筑外观有较高要求的钢结构部位。合理选择和搭配防火涂料,能够充分发挥其防火性能,提升建筑结构的耐火性能。

3 性能提升验证

大量试验与工程实践表明,合理涂装防火涂料可显著提升钢结构耐火性能。经测试,喷涂符合标准的防火涂料后,钢梁耐火极限可从 0.25 小时提升至 1.5 小时甚至更长。在实验室条件下,通过模拟标准火灾升温曲线,对涂装不同类型防火涂料的钢梁进行耐火性能测试^[5]。结果显示,喷涂超薄型膨胀防火涂料的钢梁,在经过 1.5 小时的高温作用后,其变形量仍在允许范围内,而未涂装防火涂料的钢梁在 0.25 小时左右就出现了明显的弯曲变形,丧失承载能力。这些试验数据直观地证明了防火涂料对提升钢梁耐火性能的显著效果。

在实际建筑工程领域,诸多应用防火涂料的钢结构建筑于火灾来临时,尽显卓越的结构稳定性,切实为人员疏散与消防救援争取到了极为宝贵的时间。以某大型体育馆为例,其主体结构采用钢结构,并且均匀喷涂了厚型非膨胀防火涂料。在一次突发的意外火灾中,场馆内瞬间火势凶猛,滚滚浓烟弥漫。得益于防火涂料发挥的强大保护作用,钢结构构件即便在长时间处于高温烘烤的极端环境下,依旧保持

稳固状态^[6]。这使得场馆内人员能够有条不紊地按照预定疏散路线进行撤离,消防救援人员也得以顺利开展灭火与救援工作,从而成功避免了重大人员伤亡和巨额财产损失。在国内外的建筑工程实践里,类似这样因防火涂料发挥关键作用而保障建筑安全成功案例数不胜数,有力地证实了防火涂料在实际应用中的显著有效性。

随着防火涂料技术的不断发展和创新,新型防火涂料在性能提升方面取得了更大的突破。一些前沿的防火涂料采用了先进的纳米技术与特殊的化学配方,不仅显著提升了耐火极限,相较于传统产品有了质的飞跃,还具备环保、耐候等优良性能。在实际应用中,这些新型防火涂料能够在高温环境下迅速膨胀,形成一层致密且稳定的隔热炭化层,有效阻止热量向钢结构传递。通过对多个大型建筑项目中这些新型防火涂料的长期应用和监测发现,其在提升钢结构耐火性能中由于采用了环保原料,大大降低了对环境的影响。而且,其出色的耐候性使得在长期风吹日晒、雨淋雪蚀等恶劣自然条件下,依然能保持良好的防护效果,从而有效延长了钢结构的使用寿命。这些丰富且详实的实践成果进一步有力地证明了合理应用防火涂料是提升钢结构建筑耐火性能的可靠途径。

4 应用与优化

为充分发挥防火涂料作用,需科学选择涂料类型与施工工艺。根据建筑使用功能、火灾危险等级等因素,精准匹配涂料性能指标;施工过程中严格把控喷涂厚度、均匀度等环节。在建筑设计阶段,应根据建筑的使用性质和火灾危险等级,选择合适的防火涂料类型^[7]。对于人员密集的公共建筑,由于火灾时人员疏散难度大,应选用耐火极限高、可靠性强的防火涂料;而对于一般的工业建筑,则可根据实际需求选择性价比更高的防火涂料。要准确计算防火涂料的喷涂厚度,确保其能够满足钢结构的耐火要求。施工过程中的质量控制是保证防火涂料性能的关键环节。在喷涂过程中,要严格控制喷涂设备的参数,保证涂层厚度均匀一致。采用高压无气喷涂设备时,应合理调整喷涂压力和喷嘴口径,确保涂料能够均匀地附着在钢材表面。要加强施工人员的培训和管理,提高其操作技能和质量意识。施工完成后,还需对防火涂层进行严格的质量检测,包括涂层厚度检测、附着力检测等,确保防火涂层符合相关标准和设计要求。

加强对防火涂料耐久性研究,开发更环保、高效、

长效的产品,推动钢结构建筑防火技术持续进步。随着环保要求的不断提高,研发环保型防火涂料成为行业发展趋势。新型环保防火涂料采用水性溶剂替代传统的有机溶剂,减少了挥发性有机化合物的排放,对环境更加友好^[8]。通过对防火涂料配方的优化和改进,提高其耐候性和耐久性,使其在长期使用过程中能够保持良好的防火性能。未来,随着科技的不断进步,防火涂料将朝着智能化、多功能化方向发展,如结合传感技术实时监测涂层状态,为建筑防火安全提供更可靠的保障。

5 结语

钢结构防火涂料是保障建筑结构耐火性能的关键。在现代建筑发展中,火灾隐患始终存在,钢结构的防火安全至关重要。未来,随着科技发展,防火涂料将朝着智能化、多功能化方向迈进,如结合传感技术实时监测涂层状态,实现对火灾隐患的早期预警。需进一步探索新材料、新工艺,提升防火涂料与钢结构的适配性,开发更环保、高效、长效的产品。通过不断创新与发展,为建筑安全筑牢更可靠的防火屏障,推动建筑行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 朱义洋,耿海宁,李宗刚,等.地聚物轻质防火涂料制备及其防火性能研究[J/OL].硅酸盐通报,1-13[2025-04-19].
- [2] 祝丽明.钢结构抗火性能分析与防火设计优化研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(06):112-114.
- [3] 吴润泽,丁晓明,杨兆瑞.探析无溶剂环氧防火涂料施工要点与常见缺陷防治[J].涂层与防护,2025,46(03):28-33.
- [4] 田瑞霞,张宇,陈学军,等.防锈底漆对室内钢结构防火涂料粘结强度的影响研究[J].粘接,2025,52(03):17-20.
- [5] 马晓林.纳米涂层绿色材料在建筑防火性能中的应用[J].佛山陶瓷,2025,35(03):30-32.
- [6] 陈国庆,杨延玉,裴海平.钢结构防火涂料的性能与应用[J].江苏建材,2025,(01):134-135.
- [7] 汪伟.功能梯度钢结构防火涂料耐火性能的梯度检测技术研究[J].佛山陶瓷,2025,35(02):82-84.
- [8] 邵玉涛.国内建筑钢结构防火涂料标准的探讨[J].大众标准化,2025,(02):125-127.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS