

钢结构防火设计规范及要点探讨

金明学

中国煤炭科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘要：通过深入探讨钢结构建筑的特点、火灾中的脆弱性及防火设计的重要性。钢结构以其高强度、轻量化、施工周期短和空间灵活性等优势，在现代建筑中占据重要地位。然而，火灾高温下钢材力学性能急剧下降，使得钢结构面临严峻考验。详细阐述了钢结构防火设计原则与目标，包括提高耐火极限和确保火灾时建筑结构的安全性。通过解析防火设计规范及要点，特别是主体结构构件和门架结构维护构架的防火设计，以及防火涂料的种类、施工要点与质量监控，为钢结构建筑的防火设计提供全面指导。

关键词：钢结构；防火设计；规范；要点

1 钢结构建筑的特点

钢结构建筑凭借其独特优势，在现代建筑领域中占据重要地位，呈现出诸多鲜明特点。第一，钢结构具备高强度特性，钢材的抗拉、抗压和抗剪强度均十分出色，能够承受巨大的荷载。与此同时，钢结构的重量相对较轻，相较于传统的混凝土结构，在满足同等建筑规模与荷载要求时，钢结构可大幅减轻建筑物自身重量，通常能减轻约30%-50%。第二，钢结构建筑展现出显著优势。钢结构构件可在工厂进行标准化加工制作，生产效率高且质量稳定。运至施工现场后，通过焊接、螺栓连接等方式能够快速组装成型。与传统建筑施工方式相比，可有效缩短施工周期，一般能缩短1/3-1/2的时间。以一座中型商业建筑为例，采用钢结构施工可能只需1-2年即可完工，而混凝土结构则可能需要2-3年。这大大加快项目的建设进度，使建筑能够更快投入使用，为业主创造经济效益。第三，钢结构建筑还具备良好的空间灵活性。钢材的可塑性强，能够设计出各种复杂的造型与大跨度空间。例如，许多大型体育馆、展览馆等建筑，利用钢结构实现了无柱大空间，内部空间开阔、通透，可根据使用需求灵活划分功能区域，满足多样化的使用场景，提升建筑空间的利用效率^[1]。钢材的韧性好，在地震发生时，钢结构能够通过自身的变形吸收和消耗地震能量，有效降低地震对建筑物的破坏程度，提高建筑物的抗震可靠性，为人员生命和财产安全提供更好的保障。

2 钢结构在火灾中的脆弱性及防火设计的重要性

在火灾的严峻考验下，钢结构的脆弱性暴露无遗。钢材的力学性能对温度极为敏感，当火灾发生，温度急剧攀升，在300℃左右时，钢材的强度便开始显著下降，弹性模量也随之降低。一旦温度达到600℃，其强度和刚度会骤减至常温下的三分之一甚至更低。此时，钢结构

构件极易发生变形、扭曲，承载能力大幅削弱，难以支撑建筑物的重量，进而引发整体结构的坍塌。从实际案例来看，众多火灾事故中，钢结构建筑往往在短时间内就出现严重损毁。如2001年美国“9·11”事件中，世贸双塔遭受飞机撞击并引发大火，钢结构在高温作用下迅速软化，最终导致两座摩天大楼轰然倒塌，造成极其惨重的人员伤亡和财产损失。这些惨痛的教训深刻揭示了钢结构在火灾中的脆弱处境。因此，钢结构的防火设计显得至关重要。科学合理的防火设计能够有效延缓钢结构在火灾中的升温速度，降低其强度损失速率，为人员疏散、消防救援争取宝贵的时间，最大限度保障生命财产安全。

3 钢结构防火设计原则与目标

3.1 提高钢结构的耐火极限

耐火极限是衡量钢结构在火灾中抵御能力的关键指标，它表示钢结构在标准耐火试验条件下，从受到火的作用时起，到失去承载能力、完整性或隔热性为止的这段时间。一方面，选用优质的防火保护材料至关重要。例如，厚型防火涂料，其涂层厚度一般在8-50mm，主要由无机绝热材料和粘结剂等组成。在火灾发生时，涂层会迅速膨胀，形成一层厚厚的隔热层，有效阻挡热量向钢材传递，从而显著提高钢结构的耐火极限，通常可使耐火极限提升至1.5-3小时。另一方面，合理的结构设计也能辅助提高耐火极限。通过优化钢结构的受力形式，减少应力集中区域，使钢材在火灾高温下更均匀地承受荷载，避免因局部受力过大而提前失效，间接提升整体的耐火性能^[2]。

3.2 确保火灾时建筑结构的安全性

在火灾场景中，建筑结构需维持一定的完整性与稳定性，以防止结构坍塌。这要求从多个维度进行考量与

设计。首先,在结构布局上,合理划分防火分区,利用防火墙、防火卷帘等设施将建筑内部空间分隔成相对独立的区域。这样,一旦某个区域发生火灾,火势便能被有效控制在该防火分区内,避免蔓延至其他区域,保障整个建筑结构不至于因大面积火灾而瞬间失去稳定。其次,对于关键的承重构件,如柱子、主梁等,要重点加强防火保护措施。这些构件承担着建筑的主要荷载,一旦在火灾中受损,极易引发连锁反应,导致结构整体坍塌。通过采用防火包封、安装防火板等方式,为承重构件提供可靠的防护,确保其在火灾规定时间内能够持续正常工作,支撑建筑结构,维持建筑的整体安全性,为人员疏散和消防救援创造安全的环境。

4 钢结构防火设计规范及要点

4.1 防火设计依据与标准

钢结构防火设计建立在一系列全面且严谨的依据与标准之上,这些规范是保障建筑消防安全的核心准则。国内,《建筑设计防火规范》GB50016作为基础性规范,依据建筑的使用性质、规模大小以及人员密集程度等因素,清晰划分不同的耐火等级,从一级到四级,对钢结构建筑的整体防火性能提出明确要求。例如,医院、学校这类人员流动性大且疏散难度较高的建筑,多被要求达到一级或二级耐火等级,这意味着钢结构构件必须具备与之匹配的较高耐火极限。而《建筑钢结构防火技术规范》GB51249则专门针对钢结构特性,从防火材料的选用、防火构造的具体做法到防火涂层的质量验收等方面,都给出详细且专业的指导。

4.2 主体结构构件的防火设计

主体结构构件承载着建筑的主要荷载,其防火设计直接关乎建筑在火灾中的稳定性与安全性。钢柱作为竖向承重的关键构件,在火灾高温下一旦丧失承载能力,极易引发建筑整体垮塌。依据相关规范,厚型防火涂料是钢柱常用的防火保护措施。这类涂料主要由无机绝热材料,如膨胀蛭石、珍珠岩等,与有机或无机粘结剂混合而成。当火灾发生,温度升高,厚型防火涂料的涂层会迅速膨胀,形成厚度可达几十毫米的蜂窝状隔热层,有效阻挡热量向钢柱内部传导。涂层厚度需依据钢柱所需达到的耐火极限精确计算确定,一般在25-50mm之间,如此便能确保钢柱在1.5-3小时甚至更长时间内保持稳定承载能力。钢梁主要承受楼面或屋面传来的横向荷载,其防火设计需兼顾防火效果与结构性能。薄型或超薄型防火涂料成为钢梁的理想选择。薄型防火涂料涂层厚度通常在3-7mm,超薄型则小于3mm。它们在火灾时会发生膨胀,形成致密的泡沫炭化隔热层,不仅能有效隔

热,因其轻薄的特性,对钢梁自身重量增加有限,不会过多影响结构的力学性能^[3]。同时,这两类涂料在高温下具备一定柔韧性,能够适应钢梁在火灾中因受热产生的弯曲变形,持续为钢梁提供可靠的防火保护,保障其在规定耐火时间内正常工作。在节点部位,由于应力集中现象明显,且连接方式复杂,仅依靠防火涂料难以满足防火需求。此时,需采用防火板进行加强防护。防火板具有良好的耐高温、高强度性能,通过合理的安装方式,如采用专用连接件将防火板紧密固定在节点处,可有效提升节点的耐火性能,确保在火灾中节点部位不先于构件其他部位失效,维持结构传力路径的畅通与完整。

4.3 门架结构维护构架的防火设计

门架结构维护构架中的檩条和系杆虽并非承担主要结构荷载,但在火灾场景下,其作用不可小觑。檩条作为屋面结构的重要组成部分,承担着屋面荷载并将其传递至门架主体结构。当屋面发生火灾时,若檩条过早因高温失去承载能力,可能导致屋面局部或大面积坍塌,进而影响整个建筑的稳定性。对于设有保温隔热层的屋面,且檩条处于防火分区内部,在满足相关规范要求的前提下,可适当降低其防火保护标准。例如,若屋面采用的保温材料为难燃或不燃材料,且防火分区划分合理,檩条的耐火极限要求可适当降低。当檩条位于火灾风险较高区域,如紧邻易燃物仓库或处于化工企业等火灾隐患较大的环境中,或者其对建筑整体稳定性具有较大影响时,必须采取有效的防火保护措施。通常可通过涂刷防火涂料,使其达到1-1.5小时的耐火极限要求,以保障在火灾初期屋面结构的完整性。在火灾发生时,高温可能导致系杆强度下降,若系杆失效,门架结构在平面外方向的稳定性将受到严重威胁,极易发生侧向失稳破坏。一般情况下,对于对结构稳定性至关重要的系杆,需依据建筑的耐火等级进行针对性防火设计。对于耐火等级较高的建筑,系杆应通过涂刷防火涂料、包裹防火织物等方式,提升其耐火性能。在实际工程中,可根据系杆的受力特点和所处环境,合理选择防火保护材料与方式,确保系杆在火灾期间能够持续发挥维持门架结构平面外稳定的作用,防止因维护构架的破坏引发主体结构连锁反应,保障建筑在火灾中的整体安全。

5 钢结构防火涂料的应用与选择

5.1 防火涂料的种类

钢结构防火涂料根据其涂层厚度和性能特点,主要分为厚型、薄型和超薄型三类。厚型防火涂料,又称非膨胀型防火涂料,涂层厚度通常在8-50mm之间。这类涂料主要由无机绝热材料如膨胀蛭石、珍珠岩、硅酸铝

纤维等作为骨料,搭配无机粘结剂制成。其防火原理基于自身的低导热性,在火灾发生时,能形成较厚的隔热层,有效阻挡热量向钢结构基体传递,从而延长钢结构的耐火时间,一般可使钢结构构件的耐火极限达到1.5-3小时甚至更久,常用于对耐火极限要求较高的大型建筑钢柱、钢梁等构件的防火保护^[4]。

薄型防火涂料涂层厚度在3-7mm,超薄型防火涂料涂层厚度小于3mm。这两类涂料均属于膨胀型防火涂料,主要由基料、阻燃剂、成炭剂、发泡剂等组成。在火灾高温作用下,涂层中的发泡剂受热分解产生大量不燃性气体,使涂层迅速膨胀发泡,形成数倍乃至数十倍于原涂层厚度的泡沫炭化隔热层。这层泡沫结构疏松,导热系数极低,能显著延缓热量向钢结构传导的速度,为钢结构提供高效的防火保护。薄型和超薄型防火涂料不仅防火性能优良,而且涂层轻薄,对钢结构的自重增加较小,同时在高温下具备一定柔韧性,可适应钢结构在火灾中的变形,广泛应用于各类建筑钢结构的梁、板、檩条等构件。

5.2 防火涂料的施工要点

5.2.1 表面处理与底漆喷涂要求

首先需对钢结构表面进行除锈处理,采用手工除锈、机械除锈或化学除锈等方法,将钢材表面的铁锈、油污、氧化皮等杂质彻底清除干净,使钢材表面露出金属光泽,达到相应的除锈等级标准,一般要求达到Sa2.5级或St3级。除锈完成后,应尽快喷涂底漆,底漆可选用环氧富锌底漆、无机富锌底漆等具有良好防锈性能的涂料。底漆的作用不仅在于防锈,还能增强防火涂料与钢结构表面的附着力。底漆喷涂应均匀,无漏喷、流挂等现象,涂层厚度需符合设计要求,一般干膜厚度在40-80μm之间。

5.2.2 防火涂料的涂刷厚度与层数控制

对于厚型防火涂料,通常采用喷涂方式施工,应根据设计要求的耐火极限,通过多次喷涂达到规定厚度。每遍喷涂厚度不宜过大,一般控制在5-10mm,以免出现空鼓、脱落等现象。每遍喷涂间隔时间应根据涂料产品说明书确定,待前一遍涂层基本干燥固化后,再进行

下一遍喷涂。薄型和超薄型防火涂料可采用喷涂、刷涂或辊涂等方式施工。涂刷时应遵循少量多次原则,控制每遍涂刷厚度,薄型防火涂料每遍涂刷厚度约为0.5-1.5mm,超薄型每遍涂刷厚度约为0.2-0.5mm。通过多遍涂刷达到设计规定的总厚度,一般薄型防火涂料总厚度在3-7mm,超薄型在小于3mm。施工过程中,应使用测厚仪随时检测涂层厚度,确保符合设计要求。

5.2.3 施工过程中的质量监控与验收标准

在材料进场环节,严格检查防火涂料的产品合格证、检验报告、生产日期等,确保材料质量符合标准要求。施工过程中,重点检查表面处理质量、底漆喷涂质量、防火涂料涂刷厚度与层数、涂层外观质量等。涂层外观应平整、光滑,无明显裂缝、空鼓、脱落等缺陷。防火涂料施工完成后,需进行验收。依据相关标准规范,对钢结构构件的耐火极限进行抽样检验,可采用现场实体火灾试验或基于标准升温曲线的模拟试验等方法。同时,检查防火涂料的粘结强度、抗压强度等物理性能指标,确保各项指标均符合设计和规范要求,验收合格后方可投入使用。

结束语

综上所述,钢结构防火设计是确保建筑安全的关键环节。通过科学合理的防火设计,可以有效提升钢结构在火灾中的耐火性能,延缓结构破坏进程,为人员疏散和消防救援赢得宝贵时间。随着建筑技术的进步和防火材料的不断创新,钢结构防火设计将更加完善,为构建更加安全、可靠的建筑环境贡献力量。

参考文献

- [1]索朗旺扎.钢结构建筑防火设计探究[J].中国建筑金属结构,2020(11):76-77.
- [2]高德志.陈辉.建筑钢结构防火设计的规范理解与软件应用[J].建筑结构,2021,51(13):79-86,78.
- [3]王尧.建筑钢结构防火设计分析与研究[J].建筑技术研究,2022,5(2):51-53.
- [4]曹云清.大跨度钢结构建筑防火设计分析[J].包装世界,2022(4):133-135.