

建筑钢结构火灾后检测与评估研究进展

孙屹立, 刘晓明

(山东鲁勘集团有限公司, 山东 济南 250104)

摘要 建筑钢结构作为现代建筑的重要组成部分, 其火灾后的检测与评估一直是结构工程领域的重要课题。随着城市化进程的加快, 钢结构建筑因其轻质、强度高、抗震性能优越等优点而得到广泛应用。然而, 火灾作为一种常见的灾害形式, 对钢结构建筑的安全构成了严重威胁。本文认为开展建筑钢结构火灾后的检测与评估研究, 对于确保建筑结构的完整性、指导灾后修复和加固工作具有重要意义。

关键词 建筑钢结构; 火灾; 构件材料性能检测; 钢结构变形检测; 结构连接检测

中图分类号: TU317

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.039

0 引言

近年来, 国内外学者在建筑钢结构火灾后的检测与评估方面取得了显著进展。从火灾温度的模拟、钢材力学性能的评估到结构整体承载力的判定, 研究者们不断探索新的理论和方法, 以提高评估的准确性和可靠性。然而, 这一领域的研究仍面临诸多挑战。例如, 火灾温度的精确模拟受到多种因素的影响, 如室内空间大小、布局、通风情况等, 导致模拟结果与实际火灾温度存在偏差。钢结构在火灾中的受热方式和程度不同, 会导致其力学性能和连接节点的性能发生显著变化, 这些变化如何准确评估仍是当前研究的难点。

1 建筑钢结构的特点

钢结构作为一种现代建筑中广泛采用的结构形式, 其特点显著且优势突出, 为建筑行业的发展带来了革命性的变化。首先, 钢结构材料以其高强度和优异的韧性著称, 相较于传统的木材、砌体和混凝土材料, 钢结构能够根据实际应用场景的需求进行强度设定, 这确保了结构在不同条件下的稳定性和安全性。这种定制化设计不仅提升了结构的承载能力, 还使得钢结构在承受极端天气和自然灾害时表现出更高的可靠性^[1]。钢结构的可塑性极高, 其制造过程不受特定结构和形状的限制。这意味着建筑师和工程师可以充分发挥创意, 根据建筑的实际需求和场地条件, 灵活设计并制造出符合要求的钢结构。这种灵活性不仅体现在建筑外观上, 更体现在结构的抗震性能上。钢结构建筑因其良好的抗震性能, 在地震多发地区尤为受欢迎, 其结构可靠性远超传统建筑。在装配方面钢结构展现出了极大的便捷性。由于钢结构部件可以拆解和移动,

施工人员可以根据现场作业环境, 灵活调整安装顺序和工艺, 从而大大缩短施工周期。这种高效的装配方式不仅降低了施工成本, 还提高了建筑的整体质量。钢结构材料具有极高的环保性和可重复利用性。与混凝土结构在拆毁时只能进行毁坏不同, 钢结构部件在拆除后可以轻松拆取并重新利用, 这不仅节约了资源还减少了建筑垃圾的产生, 符合现代社会的可持续发展理念。

2 火灾后钢结构性能变化

研究火灾对钢结构性能的影响是一项复杂而关键的任务, 在建筑安全领域占据重要地位。钢材作为建筑行业的常用材料, 尽管具备高强度和轻质等特性, 但其耐火性却相对薄弱。钢构件表面温度达到约 150 °C 时, 其性能即开始受影响, 此时常需采用隔热板等措施来减轻温度升高对钢材性能的损害^[2]。温度持续上升, 钢材性能将发生明显变化。温度一旦超过 300 °C, 钢材的强度和屈服强度会显著降低, 这意味着钢材抵抗外力的能力大幅减弱。在 400 °C 至 600 °C 的温度区间, 钢材的屈服强度大幅下降, 对结构整体稳定性构成重大威胁。温度超出 650 °C 时, 钢材的强度和刚度几乎完全丧失, 钢结构基本失去承载力。因此, 火灾中钢结构能承受的最大火焰温度通常被限定在 650 °C 左右。火灾过后, 钢结构还需面对诸多其他问题。高温火焰会导致钢结构热膨胀变形, 此变形不仅威胁结构整体稳定性, 还可能致使建筑物火灾后倒塌。此外, 火灾过程中钢结构自身结构和形状的变化可能导致连接节点松动或失效, 使得构件间连接失效。这种连接问题将严重削弱结构整体性能, 使钢结构在

火灾中更易因连接松动、构件变形及材料强度下降而丧失承载力，最终导致建筑坍塌。

3 建筑钢结构火灾后检测与评估要点

3.1 构件材料性能检测

在钢结构建筑安全评估领域，构件材料性能检测发挥着核心作用，尤其对于火灾后的结构性能评估，其重要性显而易见。钢结构材料性能检测涵盖化学成分分析与力学性能测试两大核心环节，为火灾后钢结构状态的全面评估奠定了科学基础^[3]。

化学成分分析作为钢结构性能检测的基石，对受损严重的钢结构建筑尤为关键。通过精准的化学成分测定，可掌握钢材中各类合金元素的配比，进而推测钢材在火灾中的行为及性能变迁。此检测手段助力工作人员深入理解火灾对钢结构材料的影响，为后续的力学性能测试提供重要依据。

力学性能测试则是评判火灾后钢结构承载力的要害。它主要涉及屈服强度、抗拉强度、弹性模量及延伸率等关键参数的测试。这些参数能直观展现火灾后钢材的力学性能变化，辅助人员判断钢结构是否仍具备足够的承载性能。鉴于火灾温度及火情的复杂性，仅凭温度估算难以准确评估构件的力学性能损失。因此，实践中常采用火灾后钢材直接取样分析或依据同种材料加热冷却后的性能变化进行推测，以确保评估结果的精准可靠。

材料性能检测不仅为火灾后钢结构承载力评估提供了科学依据，也为后续的修复加固工作提供了重要参考。通过全面的性能测试，工作人员可准确把握火灾对钢结构材料的影响程度，从而制定出更科学合理的修复加固方案，保障钢结构建筑火灾后的安全稳固。故而，在钢结构建筑安全评估中，构件材料性能检测的重要性不容小觑^[4]。

3.2 钢结构变形检测

钢结构变形检测是评估火灾后建筑安全性的重要环节，其检测内容主要包括水平位移、竖向挠度等关键指标。火灾对钢结构的影响复杂多变，不仅可能导致材料强度的下降，还会引发结构形态的变化，如翘曲、挠度增加、倾斜、侧向位移以及弯曲程度的加剧。因此，对钢结构进行变形检测，是判断其是否仍能满足设计要求和安全标准的关键步骤。

在实际检测中通常采用高精度全站仪、经纬仪以及水准仪等先进仪器，对钢结构在火灾后的变形情况

进行精确测量。这些仪器能够提供高精度的测量数据，帮助工作人员准确捕捉到钢结构在火灾中的变形特征。随后将检测结果与规范允许限值进行对比，以评估钢结构的变形程度是否超出了安全范围。同时，为了更全面地了解火灾对钢结构的影响，工作人员还会将检测结果与先前未受火灾影响的变形程度进行对比，从而分析出火灾后钢结构的材料形变程度。这一过程不仅要求检测人员具备扎实的专业知识和丰富的实践经验，还需要他们具备高度的责任心和严谨的工作态度^[5]。任何微小的测量误差都可能对评估结果产生重大影响，进而影响到后续的结构修复和加固工作。因此，在进行钢结构变形检测时，工作人员必须严格遵守相关规范和标准，确保检测结果的准确性和可靠性。通过科学的变形检测，工作人员可以为火灾后钢结构的修复和加固提供有力的数据支持，确保建筑在修复后能够满足安全性和稳定性的要求。

3.3 结构连接检测

钢结构火灾后的倒塌事故往往与连接节点的失效密切相关，其中开焊、节点连接损伤、铆钉及螺栓变形等问题尤为突出，这些问题会导致结构整体出现显著的变形和位移，进而危及建筑安全。因此，对钢结构连接节点的检测是火灾后结构评估中不可或缺的一环，它直接关系到结构整体的稳定性和安全性^[6]。

在火灾后的实际检测工作中应关注钢结构连接节点的外观状况，通过细致的目视检查，初步判断是否存在明显的损伤或变形。对于采用高强螺栓连接的部位需进行扭矩复核，以确保螺栓的预紧力是否满足设计要求，从而判断其连接是否可靠。而对于设计要求焊缝全熔透的焊接节点，则需采用更为先进的无损检测技术，如超声波检测、磁粉检测、射线检测和渗透检测等，这些技术能够深入焊缝内部，发现潜在的缺陷和损伤，为评估焊缝质量提供有力依据。为了更深入地了解火灾对钢结构连接节点的影响，工作人员还可以选取具有代表性的节点进行取样分析。通过对节点的应力状态进行测试，工作人员可以判断其是否超过了钢材的强度极限，进而评估节点的承载能力。在试验过程中工作人员还应密切观察节点的变形情况、焊缝的完整性以及连接件的松动程度等，以便及时发现并排除潜在的安全隐患^[7]。

3.4 钢结构承载力的判定

在评估火灾后钢结构的安全性能时，对结构承载

力的判定是至关重要的环节。为了获得准确的安全性评估,工作人员首先需要参照建筑物的原始设计图纸,对受灾的钢结构进行精确建模。这一步骤是后续分析的基础,它确保了工作人员的评估工作能够紧密贴合实际结构状态^[8]。在建模完成后需结合火灾后的材料性能、连接构造、位移变形等检测分析结论,对受灾后的钢结构承载能力进行重新计算。这一过程中,工作人员必须充分考虑火灾对结构造成的多方面影响,包括但不限于位移、变形、材料性能的退化以及连接构造的削弱。这些因素都可能对构件的截面尺寸、承载力以及整体结构体系产生不利影响。在进行承载力验算时应着重分析这些影响因素如何具体作用于结构,并据此对结构承载能力进行修正。通过对比修正后的承载能力与规范限值要求,工作人员可以对火灾后钢结构的承载能力做出准确判定。

4 建筑钢结构火灾后检测与评估未来展望

建筑钢结构火灾后的检测与评估领域,尽管已取得了一定的进展,但仍面临诸多挑战与未来发展方向。火灾温度的精确模拟是评估火灾对钢结构影响的基础。当前,我国普遍采用国际 ISO 834 标准升温曲线来计算火场温度,但这一模型基于理想化条件,且等效曝火时间的确定存在困难,导致计算结果与实际火灾温度存在偏差。因此,未来研究应致力于开发更加符合实际火灾条件的升温曲线模型,考虑室内空间大小、布局、通风情况、可燃物数量、种类及堆放状态等多种因素,以提高火灾温度模拟的准确性。我国现有的钢结构鉴定标准虽然规定了火灾后构件及结构的检测内容及评定程序,但在具体检测技术和方法上缺乏详细指导,特别是对火灾后钢结构连接节点的现场检测与鉴定内容规定不足,这限制了评估工作的深入进行。因此,未来有必要丰富和完善钢结构鉴定标准,明确各项检测内容的适宜技术和方法,加强对连接节点的检测与鉴定,以提高评估的全面性和准确性。

在火灾后的钢结构评估工作中,钢材力学性能的准确判定占据着举足轻重的地位。当前,业界主要采用取样拉伸试验和表面硬度试验等方法来检测火灾后钢材的力学性能。取样拉伸试验以其高度的精确性在业界得到了广泛应用,它能够直接反映钢材在火灾后的抗拉强度、屈服强度等关键力学性能指标。然而,这种试验方法需要对结构进行局部切割取样,无疑会对结构造成不可逆的损伤,这在许多实际场景中是不可接受的。表面硬度等非破损或微破损试验方法则因

其对结构的无损或轻微损伤特性而备受青睐。然而,这类方法在精确度方面存在一定的局限性,难以全面、准确地反映钢材在火灾后的真实力学性能。因此,如何在不损伤结构的前提下,提高非破损或微破损检测的准确度,成为当前研究的重要课题。通过开发更为先进的非破损或微破损检测技术,如超声波检测、磁记忆检测等,这些技术具有对结构无损或轻微损伤、检测速度快、操作简便等优点。同时应深入研究火灾对钢材力学性能的影响机制,建立更为精准的力学性能预测模型,以进一步提高非破损或微破损检测的准确度,为火灾后钢结构的准确评估提供有力支持。

5 结束语

建筑钢结构火灾后的检测与评估研究是一个复杂而重要的课题。近年来,国内外学者在这一领域取得了显著进展,但仍面临诸多挑战和未解决的问题。未来,我们需要继续深入研究火灾对钢结构性能的影响机制,探索更加准确、可靠的评估方法和技术。同时,加强跨学科合作,将材料科学、结构力学、火灾科学等领域的最新研究成果应用于钢结构火灾后的检测与评估中,以提高评估的准确性和实用性。此外,还需要关注灾后修复和加固技术的发展,为受损钢结构的快速恢复提供有力支持。通过这些努力,我们将能够更好地保障钢结构建筑在火灾后的安全性和稳定性。

参考文献:

- [1] 赵云丽,李冉.考虑风险极限的建筑钢结构抗震延性检测仿真[J].计算机仿真,2024,41(08):562-566.
- [2] 吴朝阳,韩宝,于征.超声波技术在建筑钢结构对接焊缝缺陷检测中的应用[J].工程建设与设计,2024(15):206-208.
- [3] 陆明.超声检测在建筑钢结构焊缝无损检测中的应用[J].中国高新科技,2024(07):118-120.
- [4] 曹园.基于BP算法的装配式建筑钢结构表观病害检测[J].太原学院学报:自然科学版,2024,42(01):7-12.
- [5] 邵富强.基于红外热成像的建筑钢结构连接柱焊接质量检测方法[J].焊接技术,2024,53(01):126-130.
- [6] 文建伟.超声检测技术在建筑钢结构焊接中的应用研究[J].中国建筑装饰装修,2023(21):88-90.
- [7] 周祥.建筑钢结构焊缝常见缺陷及磁粉检测方法分析[J].江西建材,2023(05):116-117.
- [8] 胡海天,刘伯奇,赵鑫.高速铁路客站建筑钢结构检测现状与展望[J].铁道建筑,2023,63(04):94-98,103.