

火灾损伤之后混凝土构件损伤等级检测评估

孟祥瑞 李铭玉

新疆生产建设兵团建设工程质量检测中心有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：火灾后混凝土构件的损伤等级评估不能只依据烟熏颜色或局部剥落判断，受火历程、构件受力位置、保护层劣化、钢筋暴露状态和残余承载性能共同决定后续使用、修复、加固或停用处置。本文识别受火信息采集、外观裂缝辨认、无损检测、材料强度推定和等级划分边界之间的递进关系，构建以外观损伤、受损层厚、回弹值、超声声速和残余承载能力为核心的综合判定思路。轻微表面损伤与较高残余性能可归入低等级处置，剥落露筋、声速明显降低和承载折减叠加时应进入加固或停用等级。

【关键词】：火灾损伤；混凝土构件；损伤等级；检测评估；残余承载力

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.058

引言

混凝土构件经历火灾后，表层水化产物分解、骨料热膨胀、保护层爆裂和钢筋升温会改变截面刚度与受力路径。梁板受拉区、柱端约束区、节点核心区及楼板负弯矩区的损伤后果并不相同，现场评估若只记录黑灰、开裂和剥落，容易低估深部温度作用对承载性能的影响。火灾后工程结构鉴定通常要求先确认结构体系、受火范围和构件重要性，再开展外观、无损、钻芯或局部剔凿等检测。本文重点应放在检测链条是否完整、指标是否能够指向损伤等级、等级结论是否对应明确处置措施，而不是单纯罗列检测项目。

1 火灾后混凝土构件检测评估基础

1.1 构件受火历程现场细节信息采集

火灾后混凝土构件检测的第一项信息是受火历程。燃烧物类型、持续时间、通风条件、喷水冷却方式和构件所在楼层会影响温度峰值与降温速度，梁底、板底、柱角和节点边缘常形成不同的温度梯度^[1]。现场踏勘应把火源位置、烟熏边界、爆裂范围、掉落碎块厚度和钢筋外露长度记录到构件编号下，同一构件的受火面、背火面和端部约束位置分开描述。若抢险清理已经改变现场，应以构件残留痕迹、消防水流方向和相邻构件变色情况补充判断，避免把局部烟熏误认为整体受火。

1.2 构件外观裂缝材料劣化识别

梁底受拉区纵向裂缝、柱角斜裂缝和板底网状裂缝具有不同的损伤含义，裂缝宽度、走向和贯通程度必须与构件受力区对应解释。受拉区纵向裂缝贯通时，残余刚度可能已经下降；保护层片状剥落并露出钢筋时，钢筋与混凝土之间的黏结条件需要重点核查^[2]。混凝土高温后颜色由灰白、浅红、褐灰到深灰的变化，可作为温度作用的辅助线索，但颜色受骨料、烟灰和喷水冷却影响较大，不能单独决定等级。回弹值下降、超声声速降低和钻芯强度折减若与剥落层厚同向出现，外观损伤才

具备进入较高等级的证据强度。

1.3 火灾后检测评估依据等级划分边界

等级划分边界应同时包含安全性、适用性和修复可行性。I级构件通常只出现烟熏、轻微色变或浅表裂缝，承载路径未被破坏；II级构件存在局部剥落、裂缝扩展或材料指标下降，修复后可恢复使用；III级构件出现较深受损层、钢筋局部外露或残余性能明显不足，需要加固后再使用；IV级构件则对应严重剥落、变形、钢筋屈曲、节点破坏或承载储备不足。等级边界不宜机械套用单一数值，重要构件、连续构件和承重转换部位应采用更保守的判定口径。

2 混凝土构件损伤等级测度与评估

2.1 火灾损伤现场检测执行概况

现场检测宜按“普查—详查—复核”展开。普查阶段覆盖全部受火区域，记录构件编号、位置、受火面、裂缝、剥落、露筋和变形；详查阶段在梁端、柱脚、板跨中和节点核心区布置回弹、超声、钢筋保护层厚度和碳化层厚测点；复核阶段针对等级临界构件补充钻芯、局部剔凿或荷载路径分析^[3]。检测执行中最容易出现偏差是测点只靠近可见损伤处，导致无损指标过度代表局部极值；另一类偏差是只在烟熏区域布点，忽略梁柱节点背火侧的应力重分布。图1所示流程把受火历程、外观检查、无损检测、残余性能和等级评估连接为连续链条。



图1 火灾后混凝土构件检测评估框架

图 1 中, 受火历程限定检测范围, 表观检查识别裂缝、剥落和露筋, 无损检测把回弹、声速和局部热像信息转换为残余性能结论, 等级评估环节给出处置结论。

2.2 混凝土构件残余性能核心特征

残余性能评价应把材料层面和构件层面区分开。材料层面关注抗压强度、弹性模量、超声声速、回弹值和受损层厚, 构件层面关注截面有效高度、钢筋温度痕迹、黏结条件、挠度、裂缝恢复能力和节点约束^[4]。钻芯强度可以校核材料折减, 但取芯位置会削弱构件截面, 数量和位置应避开高应力区; 超声检测能反映内部均匀性, 却对钢筋密集区和裂缝走向敏感。检测结论应说明指标之间的一致性, 指标矛盾时应优先复查测点条件。图 2 展示损伤指标与残余承载力之间的关系。

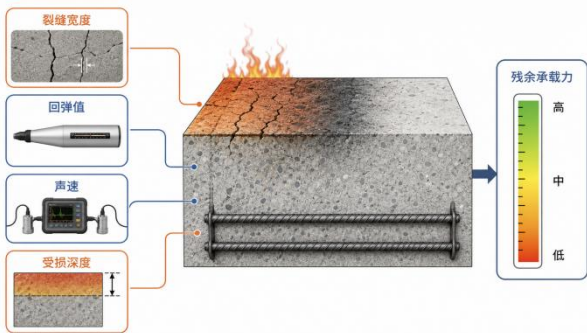


图 2 火灾损伤指标与残余承载力关系

图 2 中, 受火面裂缝宽度和受损层厚反映表层削弱, 回弹值与声速分别从表面硬度和内部连续性描述材料劣化, 右侧残余承载力标尺把这些指标收束到构件性能结论。

2.3 温度作用影响损伤指标变化分析

温度作用对混凝土损伤指标的影响具有层次性。低温烟熏阶段主要改变表面颜色和含水状态, 中高温阶段会引起水化产物分解、孔隙扩展和骨料界面开裂, 高温急冷则可能放大表层爆裂与微裂缝连通^[5]。回弹值反映表层硬度, 对受火面脱水和碳化状态敏感; 超声声速反映波传播路径完整性, 对内部裂缝和界面损伤更敏感; 受损层厚把温度影响转换为截面削弱量。多指标分级阈值应同时约束损伤等级、材料劣化和构件残余性能。表 1 按参数化方式列出多指标等级判别关系。

表 1 火灾后混凝土构件损伤等级参数化判别表

损伤等级	裂缝宽度 /mm	受损层厚 /mm	回弹折 减值	声速折 减值	残余承 载比
I 级	0.10	8	0.92	0.94	0.90

II 级	0.30	18	0.80	0.84	0.78
III 级	0.60	35	0.65	0.70	0.62
IV 级	1	55	0.48	0.55	0.45
节点重点 复核	0.40	28	0.72	0.76	0.70
露筋重点 复核	0.80	45	0.55	0.62	0.52

表 1 中, III 级的受损层厚/mm 为 35、残余承载比为 0.62, IV 级的裂缝宽度/mm 为 1、声速折减值为 0.55, 说明层厚扩展和残余性能降低同时出现时, 等级应向加固或停用方向收紧。

2.4 构件损伤等级综合量化评估方法

综合量化评估不宜把所有指标简单平均。承重梁柱、转换构件和节点核心区应提高残余承载力与钢筋黏结状态的权重, 普通楼板和非关键次梁可适当强化裂缝、剥落和使用功能指标。当表观损伤轻微但残余性能较低时, 应追查高温深部作用或截面削弱; 当表观损伤较重但残余性能仍较高时, 也不能直接放行, 应确认剥落修复、耐久性恢复和钢筋防护是否可实施。等级结论必须对应继续使用、修复后使用、加固后使用或停用拆除。图 3 展示表观损伤和残余性能共同作用下的等级矩阵。

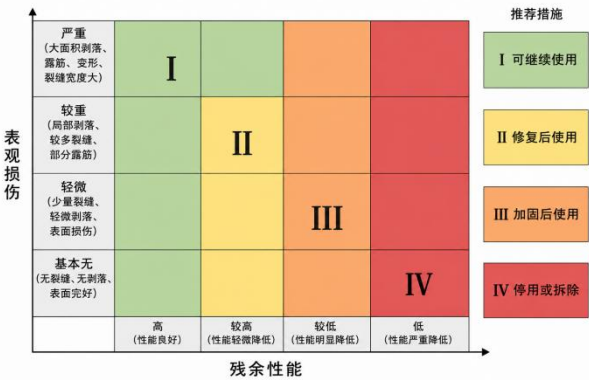


图 3 火灾后混凝土构件损伤等级评估矩阵

图 3 中, 残余性能从高到低变化、表观损伤从基本无到严重变化, I 级、II 级、III 级和 IV 级分别对应继续使用、修复后使用、加固后使用以及停用或拆除。

3 结语

火灾损伤之后混凝土构件损伤等级检测评估, 应从受火历程、表观损伤、无损检测、材料劣化和残余承载能力五个方面建立连续证据链。受火信息决定检测范围, 裂缝、剥落和露筋

决定初步等级,回弹值、声速和受损层厚校正材料损伤,残余承载能力最终约束处置结论。轻微表面损伤可进入修复或继续使用判断,剥落扩展、钢筋暴露和承载力下降叠加时应采用加固、限制使用或停用拆除。后续工程应用中,等级结论还需结

合构件重要性、荷载路径和修复可达性复核,避免用单一外观现象替代结构安全判断。复核结果应留存构件编号、测点位置和处置依据。

参考文献:

- [1] 张弼伟.钻芯-超声对测法判定混凝土构件烧伤深度的实践应用[J].山西建筑,2024,50(12):39-41+65.
- [2] 范然森.某商场火灾灾后钢筋混凝土构件损伤鉴定[J].安徽建筑,2023,30(7):164-165+188.
- [3] 刘运房,郭庆,侯晋杰,等.局部火灾对高层住宅混凝土构件的影响[J].山西建筑,2022,48(12):66-69+73.
- [4] 阚有好.建筑工程火灾后混凝土结构检测鉴定方法分析[J].中国房地产业,2026,(18):102-105.
- [5] 张志浩,杨勇.某建筑火灾后混凝土结构检测鉴定[J].水利技术监督,2026,(5):24-26.