

# 火灾后混凝土结构修复方案研究

张莉

江苏省建筑工程质量检测中心有限公司, 江苏 南京 210028

**[摘要]**随着国内建筑行业技术水平的不断提升,在解决工程建设过程中疑难问题的同时,大量的新工艺、新方法、新材料也在不断出现,施工现场因建筑材料燃烧、电线短路等引发的火灾问题也在近几年陆续发生,造成了严重的人员伤亡和经济损失。为了确保建筑后续的正常施工和设计使用寿命,在建工程火灾后构件的修复工作显得尤为重要。文章结合1个过火后混凝土框架结构地下室,对火灾原因进行分析,对过火区域构件进行初步和详细评级,采取增大截面法和置换法对相关过火构件进行修复。

**[关键词]**火灾;评级;修复;增大截面;置换

DOI: 10.33142/sca.v5i7.7876

中图分类号: TU375

文献标识码: A

## Study on the Repair Plan of Concrete Structure after Fire

ZHANG Li

Jiangsu Testing Center for Quality of Construction Engineering Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210028, China

**Abstract:** With the continuous improvement of the technical level of the domestic construction industry, while solving the difficult problems in the construction process, a large number of new processes, new methods and new materials are also emerging. Fire problems caused by burning of building materials and short circuit of electric wires at the construction site have also occurred in recent years, causing serious casualties and economic losses. In order to ensure the subsequent normal construction and design service life of the building, the repair of the components of the project under construction after fire is particularly important. Based on a basement with concrete frame structure after fire, the paper analyzes the fire causes, carries out preliminary and detailed rating of the components in the fire area, and adopts the increased section method and replacement method to repair the related fire components.

**Keywords:** fire; grade; repair; increase the section; replacement

### 引言

房屋建筑受到火灾作用的影响,会导致其使用寿命缩短,房屋安全性、耐久性降低,为保障房屋后续安全使用,需采取技术措施进行处理。结构修复技术可显著提高灾后建筑物的稳定性,使建筑物的各方面性能得到显著提升,灾后建筑物的鉴定和修复技术在现在和将来会有广阔的应用前景。采用以下两种方法对本文案例工程进行修复。

#### (1) 增大截面修复法

增大截面修复法是在实际工程中比较常见的一种修复方法,它是将钢筋通过植筋的方式连接到既有结构构件的外侧,绑扎钢筋骨架,浇筑混凝土,使既有构件新旧混凝土紧密、可靠的粘结成整体,从而增加既有构件的承载能力,提高其侧向刚性<sup>[1]</sup>。王伟<sup>[2]</sup>对既有构件修复后新旧混凝土接触面的长期使用性能问题,采用了不同粘结形式的混凝土筒支梁进行抗疲劳试验,在对构件因疲劳过程产生的刚性退化进行研究的基础上,对疲劳计算理论公式进行验证,并推算出修复后构件的预计使用寿命。王振领<sup>[3]</sup>对后浇混凝土与原构件结构面的粘结特性、抗剪切性能、后植锚筋的锚固性能等进行了深入研究,通过荷载试验进行验证。

#### (2) 置换混凝土法

置换混凝土法,即用新混凝土置换不满足要求的老旧

混凝土以提高构件安全性、使用性。国内外大量试验表明:置换新混凝土时,原基材混凝土仍然具有一定的活性,构件表面处理后暴露出坚硬的结构层,为了加强置换的混凝土与既有混凝土之间的结合能力,需对原基材混凝土进行处理,新注入的混凝土胶体才会渗透进去。修复所采用的混凝土强度需高于火灾后构件,并且不小于C25<sup>[4]</sup>。

刘雄<sup>[5]</sup>研究了大断面混凝土构件局部更换方法,解决了常规托梁换柱全断面更换混凝土构件施工难度大、工艺繁琐、成本高等问题。石健<sup>[6]</sup>深入研究了高层建筑剪力墙置换的关键技术,提出的免支撑置换方法操作简单、减少工期,具有广泛的工程应用价值。

### 1 项目概况

某在建工地主体采用地上19层剪力墙结构,裙楼采用地上4层框架结构,2层地下室,工人在地下室进行钢筋电焊作业时,产生高温焊渣落下引燃可燃物,起火燃烧物主要为塑料模板和木制模板,过火10小时左右,用水和液氮对着火部位进行灭火。该工程地库按后浇带划分为26个区段,详见图1所示。发生火灾时,该工程负二层结构已全部施工完成,负一层1-11段、1-13段、1-12段、1-16段、1-8段南侧、1-9段西侧混凝土已浇筑,1-5段、1-15段梁板钢筋已绑扎。



图1 地库分区图

## 2 现场踏勘

经现场初步踏勘,此次火灾造成该工程地下室较大面积混凝土柱、剪力墙、楼面梁、板面混凝土脱落、露筋,部分混凝土楼板被烧穿,钢管脚手架、钢柱、钢梁、后浇带等部位钢筋明显变形,部分塔吊基础节过火,塑料模板和过火较重的区域木制模板基本全部烧毁。在相对较轻的过火影响区域内,木制模板尚未完全烧毁或未受到明显影响,混凝土构件表面有烟熏痕迹,构件表面未见明显混凝土脱落和露筋现象,详见图2~5所示。



图2 柱混凝土剥落露筋典型图 图3 墙混凝土剥落露筋典型图



图4 梁混凝土剥落露筋典型图 图5 楼板混凝土剥落露筋典型图

## 3 火灾后构件评级

选取富有代表性的4个过火区域进行构件初步评级,其中1-8段、1-11段采用塑料模板,为起火点,2-2段、2-7段采用木制模板。对上述区域的支撑系统进行拆除,以满足现场检查条件。

### 3.1 外观检查

现场全面检查上述4个区域混凝土构件表面的油烟烟灰、表观质量、混凝土脱落、露筋、裂缝变形等情况,现场对混凝土柱、墙、梁、板构件灾后的损伤状况进行仔细检查。对构件表面的混凝土颜色进行记录;标记混凝土脱落的构件,记录脱落部位、大小、深度;备注混凝土构件露筋现象,记录其露筋的严重程度;记录混凝土裂缝等

内容。结果显示,1-8段、1-11段构件混凝土脱落、露筋、裂缝变形情况比2-2段、2-7段严重,具体内容详见表1。

表1 混凝土构件灾后外观检查汇总表

序号	区段	构件类型	构件总数	表面油烟烟灰	混凝土脱落	混凝土露筋	裂缝变形
1	1-8段	混凝土柱	32	32	29	19	/
2		混凝土墙	51	49	48	46	/
3		混凝土梁	158	158	147	112	10
4		混凝土板	142	141	140	112	/
5	1-11段	混凝土柱	47	47	44	32	/
6		混凝土墙	24	24	24	24	/
7		混凝土梁	129	128	128	120	8
8		混凝土板	109	109	109	109	/
9	2-2段	混凝土柱	21	21	3	/	/
10		混凝土墙	33	33	27	16	/
11		混凝土梁	110	110	98	43	6
12		混凝土板	61	61	61	20	/
13	2-7段	混凝土柱	41	33	10	/	/
14		混凝土墙	5	4	/	/	/
15		混凝土梁	22	22	11	2	2
16		混凝土板	48	48	46	16	/

### 3.2 构件初步评级

根据构件外观检查和结构检测结果,对1-8段、1-11段、2-2段、2-7段内所有过火构件进行初步评级,结果显示,1-8段、1-11段构件大部分评为III、IV级,2-2段、2-7段大部分构件评为IIa、IIb、III级,1-8段、1-11段构件受损情况比2-2段、2-7段严重,详见表2~5。

表2 1-8段混凝土构件灾后初步评级汇总表

序号	构件类型	构件详细评级					总计
		I	IIa	IIb	III	IV	
1	混凝土柱	0	3	10	15	4	32
2	混凝土墙	2	1	2	27	19	51
3	混凝土梁	0	11	35	109	3	158
4	混凝土板	1	1	28	69	43	142
5	汇总	3	16	75	220	69	383
6	占比	0.78%	4.18%	19.58%	57.44%	18.02%	100%

表3 1-11段混凝土构件灾后初步评级汇总表

序号	构件类型	构件详细评级					总计
		I	IIa	IIb	III	IV	
1	混凝土柱	0	3	12	30	2	47
2	混凝土墙	0	0	0	12	12	24
3	混凝土梁	1	0	8	74	46	129
4	混凝土板	0	0	0	47	62	109
5	汇总	1	3	20	163	122	309
6	占比	0.33%	0.97%	6.47%	52.75%	39.48%	100%

**表4 2-2段混凝土构件灾后初步评级汇总表**

序号	构件类型	构件详细评级					总计
		I	IIa	IIb	III	IV	
1	混凝土柱	0	18	3	0	0	21
2	混凝土墙	0	6	11	16	0	33
3	混凝土梁	0	12	55	43	0	110
4	混凝土板	0	0	41	20	0	61
5	汇总	0	36	110	79	0	225
6	占比	0	16%	48.89%	35.11%	0	100%

**表5 2-7段混凝土构件灾后初步评级汇总表**

序号	构件类型	构件详细评级					总计
		I	IIa	IIb	III	IV	
1	混凝土柱	8	23	10	0	0	41
2	混凝土墙	1	4	0	0	0	5
3	混凝土梁	0	11	9	2	0	22
4	混凝土板	0	2	30	16	0	48
5	汇总	9	40	49	18	0	116
6	占比	7.76%	34.48%	42.24%	15.52%	0	100%

### 3.3 结构检测

#### 3.3.1 混凝土强度及碳化深度检测

根据初判结果,抽取20%III、IV级构件,10%I、IIa、IIb级构件,采用钻心法现场取样,采用压力试验机进行混凝土芯样抗压强度检测,检查芯样碳化深度、损伤深度、裂缝状况等。部分III、IV级构件在现场取样过程中芯样存在裂缝或断裂现象,为无效芯样,所抽取芯样的碳化深度普遍在1~3mm左右。

试验结果显示,该工程部分梁、板混凝土强度比设计值低1-2个等级,部分柱、墙混凝土强度比设计值低1-3个等级,部分混凝土构件混凝土强度等级低于C20,I级构件的混凝土强度等级符合设计图纸要求,1-8段、1-11段构件受损情况比2-2段、2-7段严重,具体结果详见表6。

**表6 混凝土构件抗压强度汇总表**

区域	初步评级	取样数量	混凝土抗压强度换算值					无效芯样
			≥设计等级	低1个等级	低2个等级	低超过3个等级	<C20	
1-8段	I	2	2	/	/	/	/	/
	IIa	4	3	1	/	/	/	/
	IIb	16	3	9	4	/	/	/
	III	88	/	23	37	23	3	5
	IV	28	/	4	6	11	5	7
1-11段	I	2	2	/	/	/	/	/
	IIa	2	2	/	/	/	/	/
	IIb	4	2	2	/	/	/	/
	III	66	7	33	15	5	/	6
	IV	50	/	13	16	11	6	10

区域	初步评级	取样数量	混凝土抗压强度换算值					无效芯样
			≥设计等级	低1个等级	低2个等级	低超过3个等级	<C20	
2-2段	IIa	8	2	6	/	/	/	/
	IIb	44	10	27	7	/	/	/
	III	32	3	18	6	2	/	3
2-7段	I	2	2	/	/	/	/	/
	IIa	8	7	1	/	/	/	/
	IIb	10	3	5	2	/	/	/
	III	8	2	/	3	1	/	2

#### 3.3.2 钢筋力学性能试验


**图6 芯样破损典型照**
**图7 芯样断裂典型照**

选择部分III、IV级构件,每个构件选取3组纵向受力钢筋,选择部分I、IIa、IIb级构件,每个构件选取1组纵向受力钢筋,采用实体构件截取钢筋的方法,将截样钢筋带回实验室进行力学性能试验<sup>[7]</sup>。截样前做好卸载保护措施,截样后及时对钢筋进行等强度补焊。

试验结果显示截样钢筋力学性能均符合设计图纸要求,部分钢筋重量负偏差超限,高温作用对1-8段、1-11段、2-2段、2-7段混凝土构件受力钢筋力学性能影响不显著,对物理性能有影响,详见表7所示。

**表7 钢筋力学性能、物理性能汇总表**

初步评级	取样数量	抗拉强度		屈服强度		最大力总延伸率		重量偏差	
		符合	不符合	符合	不符合	符合	不符合	符合	不符合
I	3	3	/	3	/	3	/	3	/
IIa	4	4	/	4	/	4	/	4	/
IIb	4	4	/	4	/	4	/	4	/
III	8	8	/	8	/	8	/	7	1
IV	4	4	/	4	/	4	/	2	2

### 4 修复方案选择

该项目为在建工地,对受损严重的混凝土柱、板,以及强度等级不高于C20的混凝土构件,综合考虑业主诉求、建筑使用功能、修复后建筑耐久性等因素,采用置换混凝土方式进行修复,对其余受损严重的混凝土墙、梁采用增大截面方式进行修复<sup>[8]</sup>。

### 5 修复方案技术保障

#### 5.1 增大截面修复法技术保障

(1) 对混凝土构件进行卸载,并进行临时支撑;

(2) 凿除构件表面烧损层, 将未过火混凝土凿毛、清理, 这将直接影响新旧混凝土的整体性;

(3) 植筋绑筋, 用钢筋扫描仪对钢筋进行定位, 保证钻孔时避开钢筋, 保证钻孔直径和钻孔深度, 下端需在基础上锚固, 上端需在楼面梁板上锚固, 竖向构件上增加纵向受力钢筋;

(4) 构件表面刷界面剂、安装并固定模板、浇筑微膨胀细石混凝土;

(5) 对修复后的构件混凝土进行养护, 待强度达到设计要求可拆模的强度后, 进行拆模<sup>[9]</sup>。

## 5.2 置换混凝土法技术保障

该工程中部分过火严重混凝土构件的强度达不到20MPa, 需要整体置换修复, 部分混凝土构件受高温作用不均匀, 局部区域混凝土强度达不到20MPa, 对于此类构件可采用局部置换的方法<sup>[10]</sup>。应当选择专业化、具备丰富经验的技术工人进行施工作业和现场管理工作, 以保证置换修复作业的工程质量, 置换作业可分段进行, 上一阶段修复后的混凝土强度 $\geq 0.8$ 倍设计值时, 方可进行下一阶段的修复工作, 同时在修复过程中需要采取以下技术措施<sup>[11]</sup>。

(1) 对拟置换构件的上部楼层进行充分卸载, 构件周围设置可靠支撑;

(2) 采用电稿凿除过火严重区域构件的混凝土, 避免主要受力钢筋的破坏, 清理粘连在钢筋表面的混凝土, 用清水洗净钢筋表面的浮灰, 将弯曲的钢筋拉直, 重新扎牢牢固;

(3) 相邻构件表面凿毛, 露出混凝土基层, 刷界面剂;

(4) 支模施工, 采用木模板和对拉螺栓固定, 采用发泡剂将模板拼接处封堵密实, 防止水泥浆外溢, 浇筑混凝土, 控制混凝土的浇筑速度, 振捣均匀, 确保节点核心区等钢筋较密区域混凝土浇筑密实;

(5) 混凝土拆模、养护, 待混凝土强度达到拆模要求后, 及时拆模, 对置换后的构件进行覆盖熟料膜和洒水养护。

## 6 结语

在建工地火灾后的修复工作, 工序复杂, 难度较大, 一方面要保障工程的后续施工进度, 另一方面也要确保修复后结构的安全使用寿命, 因此要选择最优的修复方案,

缩短建设工期, 减少成本投入, 同时, 施工人员的技术水平和经验直接影响最终的修复效果和工程的质量、耐久性。本文通过对过火区域构件进行现场检查、检测, 对过火区域的构件进行评级, 结果显示, 火灾作用造成构件混凝土脱落、露筋、变形开裂, 构件混凝土强度降低, 墙板等薄壁构件受损更为严重, 采用木制模板区段的构件损伤较轻, 采用塑料模板区段的构件损伤较重, 最后, 结合工程的特殊性和修复方案的适用性, 本文采用增大截面法和置换混凝土法对过火构件进行修复<sup>[12]</sup>, 为类似工程提供参考。

## [参考文献]

- [1]熊建勇. 高大模板支设施工技术[J]. 建筑技术开发, 2013, 40(5): 55-57.
- [2]王伟. 增大截面修复构件长期性能试验研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- [3]王振领. 新老混凝土粘结理论与试验及在桥梁修复工程中的应用研究[D]. 陕西: 西南交通大学, 2006.
- [4]付玮. 对火灾后钢筋混凝土结构基于火温和材料性能的检测鉴定及加固修复[D]. 江苏: 南昌大学, 2015.
- [5]刘雄. 混凝土局部分期置换法在结构修复中的应用研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2011.
- [6]石健. 高层剪力墙结构免支撑置换混凝土修复技术研究[D]. 山西: 长安大学, 2021.
- [7]黄志伟. 建筑物火灾后结构检测鉴定与加固研究[J]. 低碳世界, 2017(19): 179-180.
- [8]卜良桃, 李易越, 刘雄. 分期置换混凝土框架柱工程实例[J]. 工业建筑, 2011, 41(10): 119-122.
- [9]李彦辉, 张志伟, 李东勤, 等. 置换混凝土法在剪力墙加固中的应用[J]. 河北建筑工程学院学报, 2020(3): 38.
- [10]舒志坚. 房屋建筑的质量鉴定与加固处理[J]. 丽水学院学报, 2005, 27(2): 5.
- [11]易承波. 中间楼层剪力墙分阶段拆除置换施工新技术研究[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(4): 76-78.
- [12]吴文龙. 常见混凝土结构加固方法的优选及施工要素[J]. 福建建设科技, 2020(6): 3.

作者简介: 张莉(1981.6-), 女, 毕业院校: 东南大学; 所学专业: 土木工程; 就职单位: 江苏省建筑工程质量检测中心有限公司; 目前职称: 高级工程师。