

文章编号:1673-2049(2007)01-0017-04

商业大楼火灾后的加固处理

余志武¹,何红霞¹,余峰²

(1. 中南大学 土木建筑学院,湖南 长沙 410075; 2. 湖南中大建科土木科技有限公司,湖南 长沙 410075)

摘要:对某商业大楼在火灾后的结构性能进行了检测,通过分析检测结果,综合评定了结构的受损情况,制定了具体的加固修复方案:采用自密实混凝土增大截面法加固受损梁、柱结构;对楼板采用现浇楼面板置换受损的空心板或浇注自密实混凝土形成叠合板的加固方法;对墙体采用钢丝网-高性能修补砂浆的加固方法。另外,详细介绍了加固流程和加固工艺。结果表明:加固后的工程完全能够满足使用要求,该方法对火灾后的结构加固提供了参考。

关键词:火灾;加固流程;加固工艺;增大截面法;自密实混凝土

中图分类号:TU375.4

文献标志码:A

Strengthening Process of Commercial Building After Conflagration

YU Zhi-wu¹, HE Hong-xia¹, YU Feng²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, Hunan, China;

2. Hunan Zhongdajianke Civil Engineering and Technology Ltd, Changsha 410075, Hunan, China)

Abstract: Investigation into the structure performance of a commercial building was carried out after conflagration. Through analyzing the test results of inspections, a synthetical evaluation was made of the degree of damages of the structure. The corresponding schemes of strengthening and repairing the damaged structures were proposed, including reinforcing damaged beams and columns by the method of augmented section with self-compacting concrete, replacing the damaged hollow slab by cast in site concrete slabs, forming sandwich slabs with self-compacting concrete and walls with high performance composite cement mortar laminating by mesh reinforcement. Otherwise, the strengthening flow process and technology were introduced in details. The results show that the structure after reinforcement has completely functions and can meet needs of the application. It offers reference for future researches on the structural reinforcement after conflagration.

Key words: conflagration; strengthening flow process; strengthening technology; augmented section method; self-compacting concrete

0 引言

火灾造成的危害极其严重,它不仅会造成人员伤亡、基础设施损害,还能造成整个城市生产的紊乱,负面影响极大。数据表明,世界上大多数国家的

火灾损失都占国民经济总值的0.2%以上,火灾造成的死亡率可占人口总死亡率的0.002%^[1]。纵观世界各国火灾发生规律,建筑火灾一般要占火灾总数的60%左右,而居住建筑火灾在建筑火灾中所占的比例更高。钢筋混凝土结构在居住建筑中使用范

收稿日期:2007-01-08

基金项目:国家自然科学基金项目(50578162);湖南省自然科学基金项目(03JJY3089)

作者简介:余志武(1955-),男,湖南临湘人,教授,博士生导师,工学硕士,E-mail:zhwyu@mail.csu.edu.cn。

围广泛,其耐火性能较钢结构和木结构优越^[2-4]。当火灾延时长不长、火场温度不高时,其对混凝土结构的损伤可以忽略不计;但当火灾延时长、火场温度较高时,混凝土结构的火灾损伤不可忽略,应及时进行鉴定并提出处理方案,以保证结构的安全性、使用性和耐久性;对于火灾损伤严重的混凝土结构,在鉴定的基础上,应进行加固或拆除,但由于国际建筑结构灾害工程学刚刚起步,现行建筑结构火灾后的检测与加固工作尚不规范,对火灾后建筑物进行有效的、科学的检测和加固具有很重要的理论和实际意义。火灾对建筑物的破坏通常具有很多不确定因素,火灾作用下,构件内部形成不均匀温度场,使建筑物各个部分的损伤各不相同,对于结构损伤严重的部位,需要采取针对性的加固措施;对于结构只经受轻微损伤的部位,只需采用合适的加固措施。由于加固方法和加固措施具有多样性和复杂性,有些结构损伤部位甚至还具有隐蔽性,只有在后面的加固施工过程中才能完全暴露出来,加固方案也需要做相应的更改,具有突变性,因此需要对火灾后建筑物进行有效、安全的鉴定和加固。

1 工程概况

某商业大楼南北长约84 m,东西长约60 m。该楼东、西、北边为钢筋混凝土框架与部分砖墙承重结构,中部为2层底框抬2层砖混结构;南边为3层框架抬1层砖混结构,其建筑面积约24 000 m²。1986年竣工并投入使用。

2005年9月,该商业大楼发生火灾,第2层火灾损伤最严重,第1层部分区域被烧损,第3层以上除第3层楼面外,有局部过火现象。在第2层火灾严重部位,原空心楼板和混凝土结构柱都严重破坏。由于该商业大楼位于市区中心,因抢救及时,它只是一部分发生了火灾,而不是所有楼层都破坏严重,拆除重建的成本过高,因此,业主召集专家组讨论,并一致同意对其进行加固恢复,继续商业使用。

2 检测 results 和加固方法

2.1 梁、柱

现场检测表明,该商业大楼所有受损柱均位于第1层和第2层,受损梁均位于第2层和第3层。受损严重的梁、柱情况见图1。

由图1可以看出:梁、柱一些部位表面已有贯通裂缝,混凝土被烧后表面疏松,角部剥落,表面部分起鼓,柱角部分混凝土爆裂、露筋,大部分柱烧伤深

度达20~30 mm,在严重损坏部位,混凝土爆裂,烧伤深度达到30~50 mm,钢筋外露。由于梁和柱中的混凝土破坏严重,对混凝土进行强度检测已经没有实际意义。

根据检测结果和实际情况,专家组一致决定对梁和柱采用自密实混凝土增大截面法和外包复合砂浆钢丝网进行加固,外包混凝土采用C30自密实混凝土进行浇注,梁、柱加固见图2~4。



(a)梁



(b)柱

图1 火灾后梁、柱破坏情况

Fig. 1 Damage Situation of Beams and Columns After Conflagration

2.2 板、墙

第3层楼板的损伤比框架梁、柱严重得多,损伤情况见图5。

由图5可以看出,楼板底部混凝土已普遍疏松,大面积脱落;大部分空心板出现孔洞,预应力钢筋外露、松弛。空心板基本丧失承载能力,并发生了弯曲。钢筋混凝土预应力空心板是承受火灾最薄弱处。楼板受损严重的主要原因是:①火灾时空心板直接承受火荷载,迎火面的楼板受高温后弯曲变形,与楼板上部荷载造成的弯曲变形相叠加,受力极为不利^[5];②楼板的厚度比较小,其钢筋混凝土保护层厚度也较薄,对板筋的保护作用甚微;③火灾时,在高温作用下,空心板中钢筋强度下降很快,钢筋与混凝土之间的黏接力下降,从而使楼板的截面抵抗弯

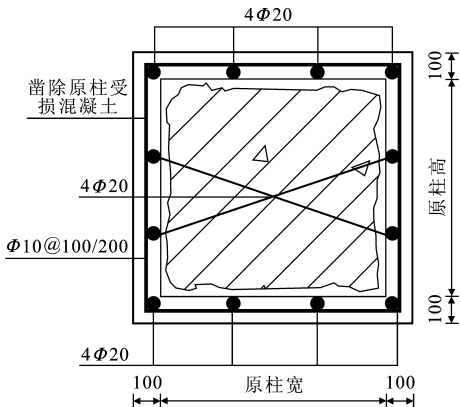


图 2 自密实混凝土加固柱(单位:mm)
Fig. 2 Reinforcing Column with Self-compacting Concrete(Unit:mm)

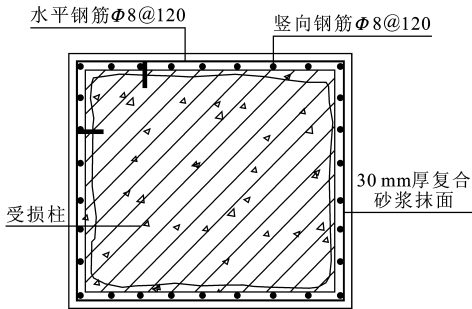


图 3 钢丝网-高性能修补砂浆加固柱
Fig. 3 Reinforcing Column with High Performance Repairing Mortar and Reinforcement Mesh

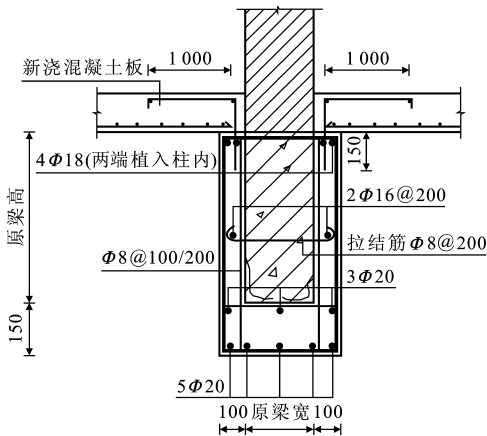


图 4 加固梁(单位:mm)
Fig. 4 Reinforcing Beam(Unit:mm)

矩降低,刚度下降,挠度增加,裂缝增多。随着火灾温度的升高和火灾时间的持续,楼板的裂缝不断发展,塑性变形剧增,使其很快被烧坏。对于完全受损的楼板,加固时采用现浇楼面板置换受损空心板的方法;对于损伤不是很严重的楼板,采用叠合楼板的加固方法。

火灾后,发现第 3 层有些墙体逐渐出现了裂缝,



图 5 火灾后楼板破坏情况
Fig. 5 Damage Situation of Floors After Conflagration

并且裂缝不断发展,而且大多数裂缝都贯穿墙体两面,最大裂缝宽度达20 mm,裂缝走势和分布规律不明显,但水平方向裂缝很少,开始裂缝发展较快,后面裂缝发展缓慢。经专家组分析,可能是由于整个框架在火灾后受损不均匀,从而引起受力不均所造成的。墙体加固采用钢丝网-高性能修补砂浆加固法。该商业大楼经过加固处理后,裂缝不再发展。

3 加固流程

3.1 结构卸荷

(1)施工前应对加固梁、柱进行卸荷处理。卸荷除出于施工安全考虑外,最主要是通过卸荷消除或有效地减小梁、柱应力变形,使已屈服的钢筋弹性变形部分得以恢复,让补强部分与原结构共同进入工作状态,以提高结构耐久性。

(2)根据荷载分布,卸荷所用支撑应满足压杆稳定强度的要求。该商业大楼加固工程采用满堂脚手架法将荷载间接传至地面,能降低原结构的应力水平指标 β ,并能够提高新增混凝土与钢筋的强度利用系数 α_c 和 α_s ,使承载力大幅度提高,对结构加固非常有利^[6]。

3.2 梁、柱加固

钢筋混凝土梁、柱都采用外包钢筋混凝土增大截面法加固,但在加固过程中模板和原有构件之间的空隙较小,而且其间还分布有钢筋,采用普通混凝土不能一次加固成型,并且无法进行振捣,很难实现密实填充,混凝土质量得不到保证。为了克服这些困难,采用自密实高性能混凝土进行浇注。

自密实混凝土是一种新型高性能混凝土,是在大幅度提高普通混凝土性能的基础上采用现代混凝土技术制作的混凝土。自密实混凝土拌和物具有良好的工作性、优异的抗离析性,即使在密集配筋条件下浇注仅依靠混凝土自重作用无需振捣作业便能均

匀密实填充模型^[7]。由于自密实混凝土无需振捣,并且选用了最大粒径为10 mm的粗骨料,使混凝土拌和物能顺利通过模板和原构件之间的空隙,保证了混凝土的质量,加固后的柱外观见图6。



图6 柱加固后的外观

Fig. 6 Appearance of Columns After Reinforcement

由图6可以看出,加固后的梁、柱表面光滑、密实,没有孔洞,混凝土密实,实际测量得到的混凝土强度值大于C30的,说明达到了加固效果。

3.3 楼板加固

(1)第2层预制板由于第1层基本未着火,板底没有受损,故先人工用小锤将板底抹灰层凿除,界面处理后,再喷射高性能修补砂浆20 mm。

(2)第3层预制板由于大多数已严重破坏,且根据对外观较好的预制板抽样试验结果可知,其均未达到规范要求的质量标准,因此决定拆除全部预制板,改为现浇板。

(3)第3层部分楼板由于没有完全破坏,如采用现浇板来替代原楼板既需要大量工时,又浪费原材料,是一种不科学的加固方法。由于自密实混凝土有良好的流动性能,具有自流平的特点,对这些楼板的加固采用在原楼板上相隔1 m处钻孔径为15 cm的圆孔,在原楼板下支模,然后从圆孔中浇注C30自密实混凝土,和原楼板形成叠合板的加固方法。在浇注自密实混凝土的过程中,从圆孔中可以看到自密实混凝土流动。浇注完成后,新浇注的自密实混凝土和原楼板已经形成了一个整体,达到了加固效果。

3.4 墙体加固

在加固完梁、柱和楼板后,对第3层开裂墙体进行了加固,墙体的加固采用了两边布钢丝网、对拉筋固定、喷射高性能修补砂浆的加固方法。

4 加固工艺

建筑物的加固不同于建筑物的新建,其施工工

艺复杂、精细,因此在加固施工前制定了相应的加固工艺,对工人进行了必要的培训,以保证施工质量。由于结构梁、柱属于承重结构,是加固的关键部位,加固工程量大,针对这部分加固制定了具体的施工工艺:

(1)原构件表面处理。对需要加固的梁和柱,自上而下依次凿除抹灰层,凿除因火损伤而疏松的混凝土层,凿除过程中用力应均匀,注意保护受损的梁和柱,不致因用力过猛而使原构件损伤,如梁和柱某些部位的混凝土完全烧伤,不能用力凿除受伤的混凝土,只需用手把表层完全疏松的混凝土除去,再用钢丝刷清理干净。凿除疏松的混凝土后,用清水冲洗构件表面,除去灰尘直至干净为止。

(2)植筋。钻孔时,先用墨线弹出钻孔位置,再用钢筋定位仪测量钢筋,采用电锤打孔,依次从下至上,打孔时应注意使用电锤上的孔深测量装置,使各孔深均匀一致,达到设计要求深度即可。遇钢筋时必须移位,不要将原有钢筋打断;若构件钢筋严重外露,采用加固钢筋和原钢筋焊接。

(3)浇注自密实混凝土。支模完毕后浇注自密实混凝土1 h前,应再次用水清洗构件,使构件老混凝土吸水饱和,自密实混凝土应在保持其高工作性、自流平稳状态未消失前完成浇注,不得延误时间。浇注速度不宜太快,应连续浇注,不留置施工缝。

(4)拆模、养护。由于施工期间已经进入冬季,气温在10℃以下,因此规定拆模时间必须大于24 h,必要时延长至36 h。拆模后,应及时洒水养护,前7 d应该保持混凝土表面处于湿润状态;7 d后,应1 d养护3~6次,使自密实混凝土吸水饱和,直至养护到14 d。

5 结 语

(1)根据对检测结果的分析,采用自密实混凝土增大截面法加固受损梁、柱结构,恢复了框架结构的承载力;采用整体现浇楼面板置换受损的空心板和采用自密实混凝土浇注形成叠合板的加固法,提高了建筑物的整体刚度;采用钢丝网-高性能修补砂浆加固方法提高了墙体的抗裂性。

(2)火灾后建筑结构情况复杂,其检测鉴定、加固设计及加固施工是一项系统工程。由于火灾的不确定性,安全施工需要重点考虑,在施工期间,各方人员要对每个构件的每道加固工序共同验收及确认,验收合格后方可进行下道工序,以确保工程质

(下转第25页)

行桥梁结构的模态参数的识别方法,并用该方法对一钢管混凝土拱桥进行了识别,得到了比较理想的结果。

该方法也有一定的局限性。由于该方法应用的前提是环境激励为白噪声,与实际情况并不相符,导致识别的结果与实际结构有一定的偏差;同时,实际识别证明,阻尼比在影响识别结果。从稳定图中可以看出,大多数点都满足频率和振型的稳定,而阻尼稳定的情况较少。笔者认为,阻尼本来就是一个还没有研究彻底的物理量,只是根据假设的理论进行识别的,所以结果不理想,建议在稳定图中将阻尼比的限制取消。该方法不失为一种识别结构模态参数的有效方法,具有一定的应用前景。

参考文献:

References:

- [1] PEETERS B,DEROECK G. Reference-based Stochastic Subspace Identification for Output-only Modal Analysis[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 1999,13(6):855-878.

(上接第 20 页)

量和施工安全。另外,设计人员应根据构件实际烧伤状况随时调整和改进原加固设计构造细节,保证加固质量。

(3)商业大楼加固完毕后,进行了加固后检测,检测结果表明,加固的各项指标均满足设计要求,达到了预期的加固效果。

参考文献:

References:

- [1] 霍 然,胡 源. 建筑火灾安全工程导论[M]. 北京:中国科学技术大学出版社,1999.
HUO Ran, HU Yuan. Introduction of Safe Engineering for Building Fire[M]. Beijing: University of Science and Technology of China Press, 1999.
- [2] 靳 飞,李国强. 全盛期室内火灾参数化模型的参数随机性[J]. 建筑科学与工程学报,2006,23(4):44-48.
JIN Fei, LI Guo-qiang. Parameters Randomness of Parametric Model of Fully-developed Compartment Fire [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006,23(4):44-48.
- [3] 申爱琴,朱建辉,王晓飞,等. 聚合物改性超细水泥修补混凝土结构物微裂缝的性能及机理[J]. 中国公路学报,2006,19(4):46-51.

- [2] PEETERS B,DEROECK G. Reference-based Stochastic Subspace Identification in Civil Engineering[J]. Inverse Problems in Engineering,2000,8(1):47-74.
- [3] VANOVERSCHEE P,DEMOOR B. Subspace Identification for Linear Systems: Theory-implementation-applications[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,1996.
- [4] 傅志方. 振动模态分析与参数识别[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
FU Zhi-fang. Vibration Modal Analysis and Parameter Identification[M]. Beijing: China Machine Press, 1990.
- [5] WARD H,STEFAN L,PAUL S. Modal Analysis Theory and Testing[M]. Leuven: KUL Press, 1997.
- [6] CHANG J, ZHANG Q W, SUN L M. Application of Improved Stabilization Diagram in Modal Parameter Identification by Stochastic Subspace Identification [C]//ISHMII. Proceedings of the 2nd International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure. London: Taylor & Francis Group, 2005:863-868.

- SHEN Ai-qin, ZHU Jian-hui, WANG Xiao-fei, et al. Performance and Mechanism of Polymer Modified Superfine Cement for Microcrack Mending of Concrete Structure[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(4):46-51.
- [4] 陈拴发,郑木莲,王秉纲. 粉煤灰混凝土应力腐蚀特性试验研究[J]. 中国公路学报,2005,18(3):14-17.
CHEN Shuan-fa, ZHENG Mu-lian, WANG Bing-gang. Experimental Research on Stress Corrosion Character of Fly-ash-cement Concrete[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005,18(3):14-17.
- [5] 张小云. 某厂房火灾事故后结构鉴定与加固设计[J]. 山东建筑工程学院学报,1997,12(2):25-29.
ZHANG Xiao-yun. Inspection and Design for Reinforce of Factory After Fire[J]. Journal of Shandong Institute of Architecture and Engineering, 1997,12(2):25-29.
- [6] 万墨林,韩继云. 混凝土结构加固技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
WAN Mo-lin, HAN Ji-yun. Technology of Structure Reinforcement for Concrete[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1995.
- [7] CCES 02—2004, 自密实混凝土设计与施工指南[S].
CCES 02—2004, Guide to Design and Construction of Self-compacting Concrete[S].