

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.02.014

不同冷却方式下四面受火钢筋混凝土柱的力学性能

袁广林 宋永娟 张先扬 张玉明

(中国矿业大学建筑工程学院 ,江苏 徐州 221008)

摘要 :对四面受火钢筋混凝土柱在经历不同加热温度(250℃ ,450℃ ,650℃) 不同冷却方式(喷水与自然冷却)情况下的力学性能进行了试验研究 ,分析了高温后冷却方式对钢筋混凝土柱耐火极限和承载力的影响 .结果表明 ,受热温度和冷却方式对高温后钢筋混凝土柱的极限承载力有较大影响 .随着温度的升高 ,钢筋混凝土柱的承载力逐渐降低 ,且不同的冷却方式对其承载力均有影响 ,与自冷柱相比 ,喷水冷却加剧了钢筋混凝土柱正截面承载能力的退化 .

关键词 :冷却方式 ;四面受火 ;钢筋混凝土柱

中图分类号 :TU528.01 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)02-0190-04

近年来 ,随着钢筋混凝土结构在现代建筑中的广泛应用 ,国内外有关学者对其抗火性能进行了一系列研究^[1-8] ,特别是针对混凝土梁、柱等构件在火灾作用下的受力和变形问题已取得不少研究成果^[9-12] .但由于影响混凝土结构耐火性的因素很多 ,破坏机理复杂 ,目前对四面受火钢筋混凝土柱经历不同冷却方式的性能研究还很少 .另外 ,由于真实火灾与实验室模拟火灾有较大差距 ,火灾后的冷却方式有较多种类 ,使得试验和理论分析难以深入进行 .基于此 ,本文研究了不同加热温度、不同冷却方式、不同偏心加载对四面受火钢筋混凝土柱的变形以及承载能力的影响 .

1 试验概况

1.1 试验柱的制作及分组

混凝土材料采用石灰岩骨料 ,粒径 5 ~ 20 mm ,水泥为普通硅酸盐水泥 ,强度等级 32.5 .混凝土配合比为 1:0.55:1.75:2.98(水泥、水、砂、石质量比) ,28 d 抗压强度为 27.6 MPa .试件采用 $\varnothing 12$ mm 的钢筋 ,其屈服强度为 365 MPa ,极限强度为 550 MPa .

试验共采用 14 根钢筋混凝土柱 ,其中 12 根进行高温试验 ,2 根用于常温下对比试验 ,试验模型见图 1 .钢筋混凝土柱高 1800 mm ,每根柱的端部预埋 10 mm 厚的钢板 ,以避免端部出现局部受压破坏 .高温柱共分为 2 组 ,第 1 组 6 根柱 ,受热后自然冷却 ;第 2 组 6 根柱 ,受热后喷水冷却 .所有试验柱编号如表 1 所示 .

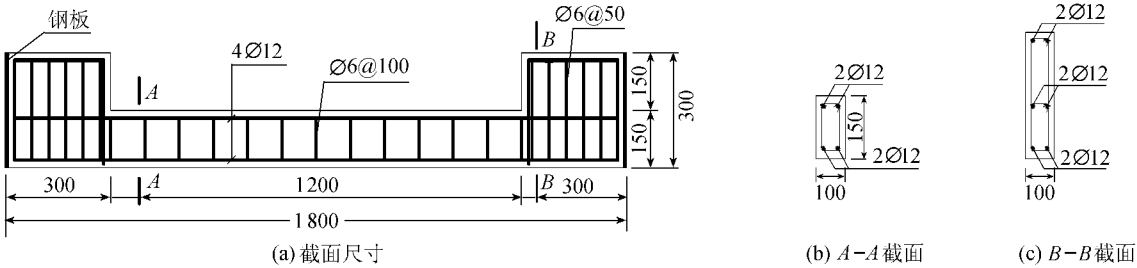


图 1 钢筋混凝土柱截面尺寸及钢筋布置(单位 :mm)

Fig. 1 Dimensions and layout of RC columns

1.2 试验设备和仪器

加热试验采用的电加热炉为中国矿业大学建筑结构与材料实验室研发的GWD-01型加载柱高温加热

收稿日期 :2008-04-14

基金项目 :国家自然科学基金(50478100)

作者简介 :袁广林(1965—)男 ,河南洛阳人 ,教授 ,博士 ,主要从事混凝土结构与材料抗火研究 .

炉,其功率为 12 kW,最高温度可达 1 100℃.

加载试验在 PWS-500 型电液伺服试验机中进行,采用圆滚轴支座加载.钢筋混凝土柱的跨中挠度和轴向变形均采用 YHD-100 位移计测量,所有数据采用 TDS303 数据采集仪采集,试验柱加热冷却时内部测点的温度采用数显调节仪进行读数.

1.3 柱的加热与冷却试验

试验柱的加热速度为 10℃/min,试验温度分别为 250℃、450℃ 和 650℃.试验柱内部温度通过柱内部埋置的热电偶得到.热电偶布置见图 2.在试验过程中,可以观察到以下现象:炉温为 250℃时,明显看到水蒸气从试验柱中逸出,且试验柱加热面的颜色比常温柱稍深;450℃时,水蒸气达到最大,之后逐渐减少,试验柱加热面颜色呈浅红色,且出现少许热裂纹;喷水冷却后,试验柱的冷却面出现几条新的热裂纹,且原热裂纹有所发展;650℃时,水蒸气基本消失,试验柱加热面的颜色呈暗红色,且出现较多的热裂纹;浇水冷却后,热裂纹表面有白色流体痕迹.

1.4 加载装置及加载制度

试验柱采用几何对中.加载时为了保证偏心的准确,试件两端设置了特别加工制作的加荷板.加荷板由高强钢材制成,在其上设置了凹槽.试验装置见图 3,加载方式及仪表布置见图 4.

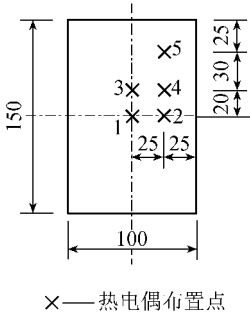


图 2 柱截面内热电偶布置(单位:mm)

Fig. 2 Layout of thermocouple in RC columns



图 3 加载设备原图

Fig. 3 Loading equipment for RC columns

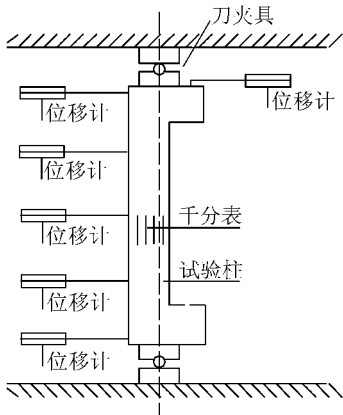


图 4 加载方式及仪表布置示意图

Fig. 4 Loading modes and layout of meters

试验采用单调静力分级加载制度,每级荷载取 10 kN.试验柱在经历了高温、冷却以及加载 3 个阶段后,其受力性能发生了如下变化:(a)所有的钢筋混凝土柱都是压弯破坏,且柱受压区混凝土明显被压碎.(b)随着温度的升高,高温后自然冷却试验柱表面产生更多的裂缝,而喷水冷却试验柱的裂缝有更大的开展.

2 试验结果分析

2.1 高温及冷却试验

试验柱截面升温 and 降温阶段各测点温度-时间变化关系曲线见图 5(图中标号为热电偶布置点,见图 2).从图 5 前段的升温曲线可见,100℃之前,试验柱各测点的温度上升很快,100℃以后,温度上升速度逐渐减慢;从降温曲线可见,冷却段试验柱内部各测点温度下降速度比上升速度明显减慢,喷水冷却柱在喷水冷却后温度陡然下降,下降到 50℃左右时速度开始变缓,此时与自然冷却柱降温相似.

2.2 加载试验

2.2.1 试验柱的极限荷载

钢筋混凝土柱高温冷却后的极限荷载试验结果见表 2.由表 2 可以看出,大偏心自然冷却试验柱 ZD250、ZD450、ZD650 的

表 1 试验柱编号

Table 1 Grouping of RC columns

加热方式	冷却方式	编 号	
		大偏心 ($e = 105\text{ mm}$)	小偏心 ($e = 35\text{ mm}$)
常温	自然冷却	CD0	CX0
		ZD250	ZX250
	喷水冷却	SD250	SX250
		ZD450	ZX450
	自然冷却	SD450	SX450
		ZD650	ZX650
四面加热	喷水冷却	SD650	SX650

表 2 偏心受压柱的极限荷载

Table 2 Ultimate loads of RC columns			
编号	极限荷载 p_u/kN	编号	极限荷载 p_u/kN
CD0	117	CX0	237
ZD250	107	ZX250	207
SD250	89	SX250	197
ZD450	84	ZX450	176
SD450	74	SX450	170
ZD650	59	ZX650	119
SD650	54	SX650	113

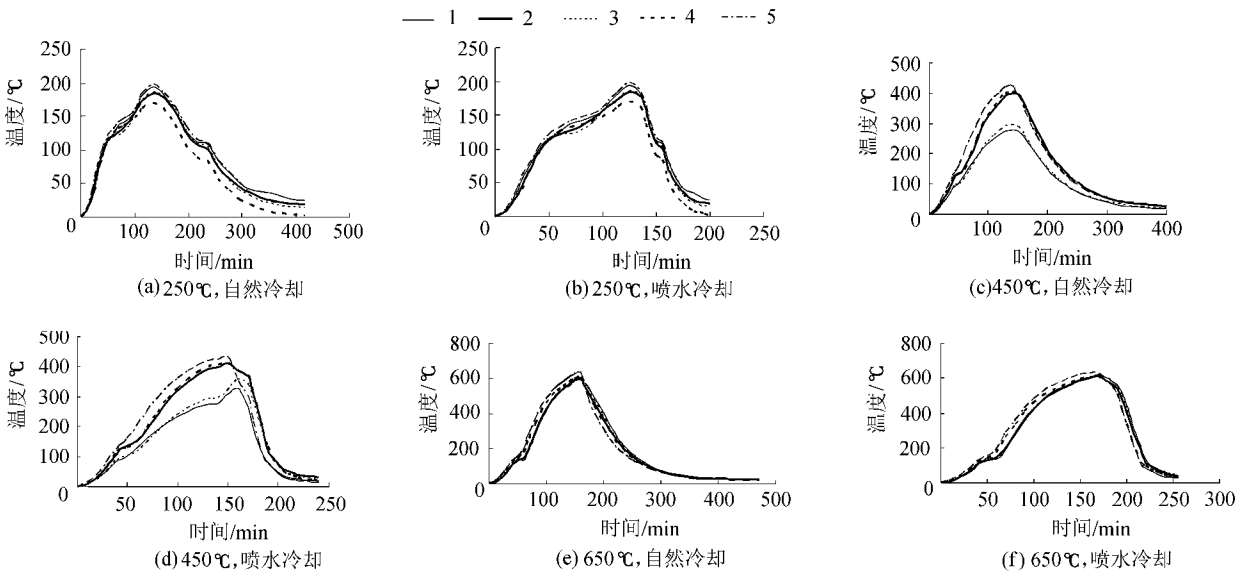


图 5 试验柱截面温度-时间变化关系曲线

Fig. 5 Relationship between temperature and time of RC columns

极限荷载分别是参考柱CD0的0.915倍、0.718倍、0.504倍;小偏心自然冷却试验柱ZX250、ZX450、ZD650的极限荷载分别是参考柱CX0的0.873倍、0.743倍、0.502倍,说明火灾造成钢筋混凝土柱承载力的退化是明显的。

对于喷水冷却试验柱,随着受热温度的升高,柱的极限荷载逐渐降低。大偏心喷水冷却试验柱SD250、SD450、SD650的极限荷载分别是参考柱CD0的0.761倍、0.632倍、0.462倍;小偏心喷水冷却试验柱SX250、SX450、SX650的极限荷载分别是参考柱CX0的0.831倍、0.717倍、0.477倍。由此可见,喷水冷却加剧了四面受火钢筋混凝土柱承载能力的退化。其主要原因为高温后,钢筋混凝土柱突然受冷水作用,导致混凝土内外温度不均匀,形成内外温度差而产生温度应力场。混凝土表面收缩,导致结构损伤和裂缝开展,令强度下降,造成喷水冷却后试验柱承载力下降比自然冷却试验柱要多。

2.2.2 试验柱的挠度

试验柱高温自然冷却和喷水冷却破坏时的最大挠度见表3。由于火灾作用造成钢筋混凝土柱承载力急剧下降,从而使破坏时的极限挠度也相应减小。

表 3 偏心受压柱高温后最大挠度

Table 3 Largest deflections of RC columns after high temperatures

	mm													
编号	CD0	ZD250	ZD450	ZD650	SD250	SD450	SD650	CX0	ZX250	ZX450	ZX650	SX250	SX450	SX650
ω	34.7	32.4	28.8	19.8	27.4	25.2	19.9	18.2	16.8	16.7	14.0	15.1	12.7	9.96

2.2.3 试验柱的轴向变形

试验柱高温自然冷却和喷水冷却的荷载-轴向变形曲线见图6。从图6可以看出:试验柱的轴向变形随着荷载的增加而逐渐变大,并且喷水冷却试验柱的变形量大于自然冷却试验柱。

3 结 论

a. 高温作用下,钢筋混凝土柱承载力急剧下降,从而使破坏时的挠度也相应的减小。当钢筋混凝土柱为小偏心时,极限挠度明显小于大偏心情况,因此高温设计时应优先考虑小偏心柱。

b. 火灾造成了钢筋混凝土柱轴向变形减小。由于高温后,混凝土变酥,钢筋强度有所下降,所以柱的轴向极限变形也随之减小。

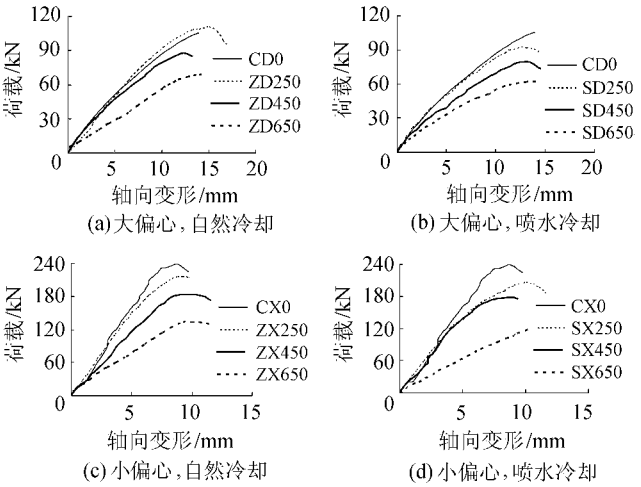


图 6 高温后试验柱荷载-轴向变形曲线

Fig. 6 Relationship between load and axial deformation of RC columns after being subjected to high temperatures

c. 随着温度的升高,钢筋混凝土柱的极限承载力逐渐降低,且不同的冷却方式对其承载力均有影响:自然冷却条件下钢筋混凝土柱的承载能力有所降低,而喷水冷却条件下的承载能力降低较多,即喷水冷却加剧了钢筋混凝土柱承载能力的退化。

参考文献:

- [1] 阎慧群,王清远.高温下及高温后钢筋混凝土结构性能评述[J].重庆建筑大学学报,2003,25(3):110-119.
- [2] 李延和,闵明保.火灾后建筑结构受损程度的诊断方法[J].南京建筑工程学院学报,1995,34(3):7-14.
- [3] 李延和,闵明保,卢锡鸿.火灾后钢筋混凝土受弯构件承载力计算[J].建筑结构,1991(4):56-60.
- [4] 胡海涛.高温时高强混凝土压弯构件的试验研究及理论分析[D].西安:西安建筑科技大学,2002.
- [5] 过镇海,时旭东.钢筋混凝土的高温性能及其计算[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [6] 王健,胡海涛.高温后钢筋混凝土材料性能的研究[J].青岛理工大学学报,2006,27(5):17-21.
- [7] 袁广林,郭操,李庆涛,等.高温后冷却环境对钢筋混凝土黏结性能的损伤[J].中国矿业大学学报,2005,34(5):605-608.
- [8] 袁广林,郭操.高温后钢筋混凝土黏结性能试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(3):290-294.
- [9] 胡海涛,董毓利.三面高温时高强混凝土轴心受压柱强度和变形试验研究[J].建筑结构,2004,34(1):48-50.
- [10] LIE T T, BARBAROS C. Method to calculate the fire resistance of circular reinforced concrete columns[J]. ACI Material Journal, 1991, 88(12):84-91.
- [11] LIE T T, IRWIN R J. Method to calculate the fire resistance of reinforced concrete columns[J]. ACI Material Journal, 1991, 90(7):52-60.
- [12] 唐贵和,黄金林.不同受火方式下钢筋混凝土柱耐火极限研究[J].广东土木与建筑,2006(12):8-11.

Mechanical behaviors of RC columns subjected to fire on four sides under different cooling gypes

YUAN Guang-lin, SONG Yong-juan, ZHANG Xian-yang, ZHANG Yu-ming

(School of Architecture & Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The mechanical behaviors of RC columns subjected to fire on four sides were studied under different high temperatures (250℃, 450℃, 650℃) and cooling methods (by air and by water). The effect of the cooling methods applied after high temperatures on the fire resistance and ultimate bearing capacity of RC columns was analyzed. The test results indicate that the heating temperature and the cooling methods have a great influence on the ultimate load bearing capacity of RC columns. With the increase of temperature, the ultimate load bearing capacity of RC columns gradually decreases. Different cooling types all have an influence on the ultimate load bearing capacity of RC columns. The ultimate load bearing capacity of RC columns cooled by water is lower than that of RC columns cooled by air.

Key words: cooling method; subjected to fire on four sides; RC column