

# 动力荷载下城市主干道高架桥结构抗震性能研究

杨尚

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为研究振动荷载作用下不同配比钢筋砼柱的抗震性能, 室内制备 4 种不同箍筋率、轴压比条件下钢筋砼柱并对其展开抗震试验。结果表明, 钢筋砼柱的承载能力随轴压比升高而增强, 抗压强度相对提高 37.73%; 塑性变形能力随轴压比升高而变弱, 极限位移相对降低 34.90%; 多芯高强钢筋砼柱的刚度随配筋率增大而增大, 但增幅较小; 高轴压比钢筋砼柱的刚度大幅高于低轴压比钢筋砼柱。

**关键词:** 桥梁; 高架桥; 城市主干道; 抗震性能; 动力荷载

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)01-0109-03

中国地震灾害频发, 对房屋建筑及交通工程安全的影响很大, 尤其是高空建筑和高架桥梁。为改善房屋工程、交通工程中钢筋砼结构的抗震性能, 学者们提出利用改良砼、CFRP 加筋等方案, 如高传超等利用新型波纹侧板方钢管加固砼柱, 指出新型复合材料的滞回曲线较常规钢筋砼更饱满, 耗能性能更佳; 何国瑞等利用数值模拟分析方法对钢管一珊瑚一砼柱展开抗震性能研究, 发现其具有更好的抗震性能; 贺学军等指出采用自锁碳纤维布对钢筋砼结构进行加固, 能有效缓冲结构核心区纵筋的黏结滑移, 改善结构的抗震耗能性能。但对于利用多重复合钢筋配置提升钢筋砼柱抗震性能的研究较少。该文依托湖南省长沙市芙蓉大道快速化改造工程, 通过室内低周反复荷载试验对多芯高强钢筋砼柱展开抗震性能研究, 并对不同配筋率和不同轴压比条件下砼芯柱的滞回曲线、骨架曲线、刚度退化特征及能耗特征进行分析, 研究配置方式对高强钢筋砼柱抗震性能的提升效果。

## 1 工程概况

长沙市芙蓉大道快速化改造工程见图 1。根据工程现场勘察及相关资料, 该项目非涉铁段桩号为 K3+700—K5+000、K9+500—K16+520, 长 8.32 km, 施工内容包括道路工程、隧道工程、桥梁工程、交通工程、排水工程、交叉工程、照明工程、景观亮化和绿化工程、涉铁保护、临时工程、部分管线迁改工程等。标段内共设置桥梁 2 座、632.38 m, 双向六车道, 桥面宽 24.0 m, 横断面布置形式为 0.5 m 防撞护栏+11.25 m 机动车道+0.5 m 中央隔离护栏+

11.25 m 机动车道+0.5 m 防撞护栏。根据长沙地震局调查结果, 长沙在过去 50 年共计发生 288 次大大小小的地震。受车辆荷载振动的影响, 桥梁也易发生破坏。因此, 研究振动荷载下桥梁的动力响应特征具有重要意义。

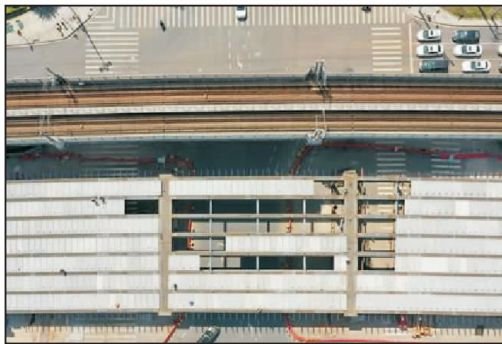


图 1 长沙市芙蓉大道快速化改造项目

## 2 模型试验设计

### 2.1 试样制备

采用强度等级为 C50 的商品砼、HRB400 级钢筋作为基础材料制备多芯高强钢筋砼柱试件, 参照 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》和 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》分别对砼和钢筋原材料展开基础力学性能试验, 得到砼的平均立方体抗压强度为 54.3 MPa。共设计 4 种不同高强度砼多重复合芯柱, 钢筋砼柱底部截面梁尺寸为 700 mm×600 mm, 高 1 400 mm, 顶部截面尺寸为 400 mm×400 mm, 内芯半径为 140 mm。根据相关规范, 计算得到不同砼芯柱的箍筋间距、配筋率及轴压比等参数(见表 1)。

表1 多芯钢筋砼柱的设计参数

试件编号	外 芯	内 芯	箍筋 间距/ mm	纵筋 配筋 率/%	体积 配箍 率/%	轴压 比
DC-100	无	无	100	2.84	1.67	0.18
DC-S-100	有	无	100	3.57	1.88	0.18
DC-D-100	有	有	100	3.91	1.95	0.18
DC-D-H-100	有	有	100	3.91	1.95	0.48

## 2.2 试验设备与流程

试验研究对象为不同配筋率、不同轴压比下钢筋砼柱。利用 MTS150 液压伺服设备进行加载,该设备最大可实现 2 000 kN 轴向加载;利用 MTS 作动器对钢筋砼柱的变形进行监测,同时在试件表面及箍筋表面粘贴应变片并利用东华公司应变仪进行监测(见图 2)。试验采用位移控制模式对钢筋砼柱进行分级增量振动加载,每级荷载下振荡次数为 1 个循环,其中第一级荷载为 2 mm,每级增量为 2 mm,直到总位移达到 10 mm,此后将每级加载的位移差调整至 10 mm 并继续逐级加载。荷载超过峰值荷载点并再次达到峰值荷载的 85% 时停止试验,整理试验数据。

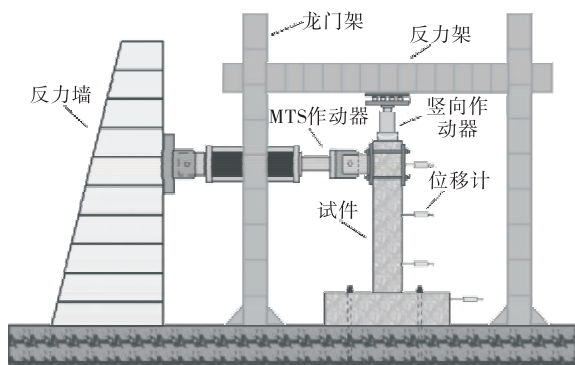


图2 试验设备

## 3 试验结果与分析

### 3.1 滞回曲线特征分析

图3为高强砼多芯柱抗震试验滞回曲线。由图3可知:在分级加载振动试验条件下,多芯钢筋砼柱的滞回曲线均表现出典型的砼柱结构滞回曲线特征,滞回曲线整体呈“梭”形,饱满度较高,无明显“捏拢”现象;钢筋砼柱具有较强的塑性变形能力,结构的低周反复荷载试验性能好,能较好地吸收地震荷载产生的能量;轴压比对砼芯柱滞回曲线特征的影响

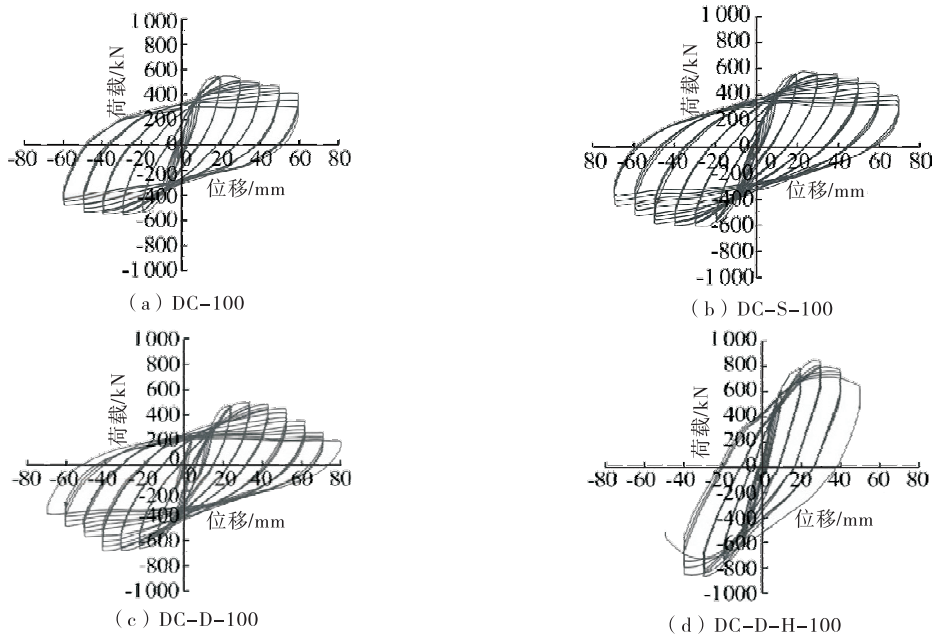


图3 各砼芯柱滞回曲线

响明显,高轴压比试件的承载能力更强,但其滞回环面积较小,表明高轴压比条件下多芯钢筋砼柱的承载力提高但抗震性能变差。

### 3.2 骨架曲线分析

图4为不同配置方式的多芯钢筋砼构件的骨架

曲线,表2为试件特征点试验结果。由图4、表2可知:钢筋砼柱在弹性阶段后其骨架曲线呈线性,而达到钢筋的屈服点后,构件内部钢筋开始屈服,构件整体仍然持续硬化,荷载水平依旧提高;随着荷载的持续增大,构件整体达到峰值,构件端部砼开始破裂、

剥落,钢筋砼构件整体承载力开始下降。随着配筋的增加,钢筋砼柱构件的承载能力与变形能力均逐渐增强,其峰值荷载与极限变形不断增大,但提升幅度较小,表明多重复合芯对钢筋砼柱的力学性能具

有一定提升作用;高轴压比条件下钢筋砼柱试件的承载力明显增大,相对与同配筋率的试件其峰值荷载提高 37.73%,但塑性变形能力随轴压比增大而降低,极限位移相对降低 34.90%。

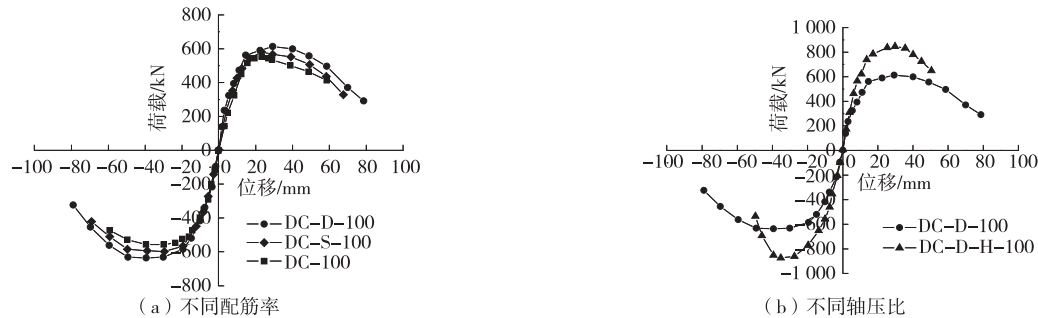


图 4 各砼芯柱骨架曲线

表 2 各砼芯柱特征点试验结果

试件编号	破坏形态	屈服荷载/ kN	屈服位移/ mm	峰值荷载/ kN	峰值点位移/ mm	极限荷载/ kN	极限位移/ mm
DC-100	弯剪破坏	484.79	13.03	550.95	25.34	468.30	62.38
DC-S-100	弯剪破坏	517.48	14.78	591.13	23.70	502.46	68.79
DC-D-100	弯剪破坏	554.12	17.73	622.56	39.47	529.17	82.23
DC-D-H-100	剪切破坏	743.43	16.04	857.44	27.89	728.82	53.53

3.3 刚度退化特征分析

图 5 为不同钢筋砼柱构件的刚度退化曲线。由图 5 可知:在加载初期,钢筋砼柱的刚度迅速下降,在振动荷载作用下,砼产生很大横向变形,钢筋砼柱表面产生剥落,构件内部产生一定程度裂隙且损伤程度不断提高。随着损伤程度的提高,构件刚度退化速率不断降低。配筋对钢筋砼柱构件的初始相对刚度产生一定影响,随着钢筋砼柱配筋率的增大,初始刚度逐渐降低;在整个试验过程中,低配筋率的多芯钢筋砼柱的刚度始终低于高配筋率的多芯钢筋砼柱。轴压比对多芯高强钢筋砼柱刚度的影响大于配筋率的影响,高轴压比试件的刚度大幅高于低轴压比试件。

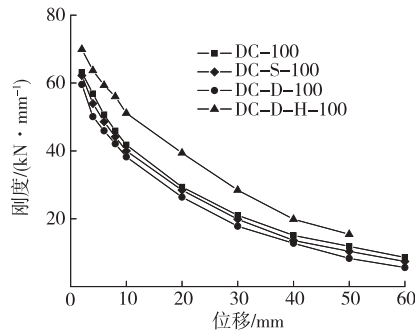


图 5 各砼芯柱刚度退化曲线

4 结论

(1) 多芯钢筋砼柱的滞回曲线整体呈“梭”形,饱满度较高,钢筋砼柱具有较强的塑性变形能力,结构的低周反复荷载试验性能好,能较好地吸收地震荷载产生的能量。

(2) 随着轴压比的增大,多芯钢筋砼柱试件的承载能力增强,抗压强度相对提高 37.73%;塑性变形能力降低,极限位移相对减小 34.90%;滞回曲线的滞回环面积变形减小,抗震性能降低。

(3) 多芯高强钢筋砼柱的刚度随配筋率增大而增大,但增幅较小;高轴压比砼柱的刚度大幅高于低轴压比砼柱。多芯钢筋砼柱刚度随位移增大不断减小,且减小速度趋于平稳。

参考文献:

[1] 何定国.高层混凝土建筑抗震结构设计要点分析[J].低碳世界,2021,11(1):108-109.  
[2] 张新军,李博林,赵俊杰.超大跨度部分地锚式斜拉桥抗震结构体系研究[J].浙江工业大学学报,2021,49(1):39-46.  
[3] 王思维.独塔斜拉桥抗震分析[J].山西建筑,2021,47

本没有区别,主要区别在于互通匝道的建设长度及互通布局占地。扣除主线占地及工程规模后,不同互通方案的占地规模、工程造价见表1,匝道工程规模见表2。总体而言,在占地规模方面,喇叭形最大,部分苜蓿叶形其次,集中式菱形最小,集中式菱形互通比部分苜蓿叶形互通节约占地约32 780 m<sup>2</sup>、比喇叭形互通节约占地约58 173 m<sup>2</sup>;在工程规模方面,喇叭形工程规模最大、造价最高,菱形和部分苜蓿叶形基本相当,喇叭形比菱形、部分苜蓿叶形互通增加投资约1 500万元。

表1 不同互通方案占地规模、工程造价对比

互通形式	占地规模/m <sup>2</sup>	工程造价/万元
喇叭形	101 846.72	5 670.14
集中式菱形	43 673.36	4 095.78
部分苜蓿叶形	76 453.37	4 165.19

表2 不同互通方案匝道工程规模对比

互通形式	匝道宽度/m	匝道路基长度/km	匝道桥梁长度/km
喇叭形	9.0	1.17	0.00
	16.5	0.73	0.18
集中式菱形	9.0	2.05	0.00
	16.5	0.00	0.00
部分苜蓿叶形	9.0	1.33	0.21
	16.5	0.30	0.00

### 3 结论

综上,在互通转换效率、地形适应性、占地规模、工程造价等方面,3种互通形式各有优劣。喇叭形互通与被交道路仅1处平面交叉,交通组织最简单,但工程规模、占地均较大;菱形互通占地较灵活,尤其是集中式菱形互通占地小,但对互通区域地形条

件要求较苛刻;部分苜蓿叶形互通工程规模较小,但存在2处环形匝道,对进出高速公路的效率有一定限制。高速公路与等级低、交通量小的低等级公路交叉采用匝道与被交道路平交的互通方案时,需根据不同情况选择适用的互通形式:

(1) 在未来土地政策越来越收紧的趋势下,喇叭形互通存在占地大、造价高等劣势,一般情况下宜慎用。

(2) 相对而言,菱形、部分苜蓿叶形互通占地小、造价低,宜根据地形条件等实际情况灵活选用。如互通区域地形条件允许,宜优先选用占地最小的集中式菱形互通;当某象限受限不能采用菱形互通时,可采用部分苜蓿叶形互通。

### 参考文献:

- [1] 中国公路工程咨询集团有限公司.公路立体交叉设计细则:JTG/T D21—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [2] 李建士,巩琛.基于综合效益比较的枢纽互通立交选型研究[J].公路与汽运,2019(4):152—154.
- [3] 闫岑.金利至蔄岗段互通立交改扩建方案探讨[J].公路与汽运,2020(5):125—127+132.
- [4] 叶云,黄磊.高速公路多肢交汇枢纽互通交通设施设置研究[J].公路与汽运,2020(2):50—51.
- [5] 林艾.高速公路新建互通立交施工区交通组织设计优化:以宁淮高速新建金马高速互通立交施工区交通组织为例[D].南京:东南大学,2019.
- [6] 杨伟.高速公路枢纽互通式立交设计探讨[J].四川建筑,2019,39(3):95—96.

收稿日期:2021—04—16

\*\*\*\*\*

(上接第111页)

(3):133—135.

- [4] 丛宇,钟燕,褚云朋,等.某多层RC框架结构抗震加固研究[J].山西建筑,2021,47(2):44—46.
- [5] 郭晓云,唐永明,陈杰.FRP对砌体结构抗震加固的研究进展[J].防灾科技学院学报,2020,22(4):36—42.
- [6] 高传超,邹响,王城泉,等.新型波纹侧板一方钢管混凝土柱抗震性能试验研究[J].建筑钢结构进展,2020,22(6):84—90.
- [7] 何国瑞,郑云,吴迈.钢管珊瑚混凝土柱—钢梁外加强环节点抗震性能有限元分析[J].混凝土与水泥制品,2020(8):75—80.

- [8] 贺学军,张金凤,周朝阳,等.自锁碳纤维布间接加固混凝土框架中节点的抗震性能[J].中南大学学报(自然科学版),2017,48(4):1065—1072.
- [9] 中国建筑科学研究院.普通混凝土力学性能试验方法标准:GB/T 50081—2002[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [10] 钢铁研究总院,济南试金集团有限公司,宝山钢铁公司等.金属材料 室温拉伸试验方法:GB/T 228—2002[S].北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2002.

收稿日期:2021—03—10