

地铁“建桥合一”车站结构抗震性能分析

刘亚南

(中铁第一勘察设计院集团有限公司城建院,710043,西安//工程师)

摘 要 为了有效控制地铁“建桥合一”结构在不同抗震设防水准下的损伤状态,基于性能的抗震设计方法,以多层次和个性化两大结构抗震设计理念为出发点,研究结构的性能水平与设防水准之间的关系,进而提出“建桥合一”结构的5级抗震设防水准,设定5个结构性能等级,建立5个抗震设防等级与3个设防目标的矩阵图。选取某“建桥合一”地铁车站作为案例,模拟分析其抗震塑性发展规律,得出“建桥合一”结构抗震的薄弱环节是底层墩柱和站厅层边跨纵梁,应重点分析框架柱的抗震性能的结论。

关键词 地铁车站;建桥合一;抗震设防

中图分类号 U231.4; TU973.3⁺¹

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.06.024

Analysis on Seismic Performance of Integral Station-Bridge Frame Structure

LIU Yanan

Abstract In order to effectively control the structural damage of the integral station-bridge under different seismic fortification conditions, a performance-based seismic design method is adopted, which starts from the multiple-level and individualized seismic design concepts, the relationship between the structural performance level and the waterproofing standard are studied. Then, the seismic waterproof level of magnitude 5 is proposed, 5 structural performance levels, 5 seismic defense degrees and the matrix diagram of 3 fortification targets are established. Based on a practical case of integral station-bridge structure, the development law of seismic plasticity is simulated and analyzed, the result shows that the bottom pier column and the side span longitudinal beam of station hall are the weakest points, therefore, the seismic behavior of frame columns should be mainly analyzed.

Key words metro station; integral station-bridge structure; seismic fortification

Author's address China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

基于性能的结构抗震设计的出发点是结构的抗震性能分析^[1]。设计者依据业主要求,从不同的设计标准出发,将结构抗震性能分为不同级别,从而

确定合理的抗震目标,采取合理的构造措施。

基于性能抗震设计的基本思想是把结构在可能发生的所有地震作用下的最大响应均控制在性能目标之内^[2]。为实现这一目标,就需要在3级抗震设防标准的基础上进一步细化,以实现“建桥合一”结构的多层次和个性化设计思想^[3]。

1 基于性能的抗震设计研究内容

基于性能的抗震设计,其研究内容一般包括确定设防水准、确定性能等级、确定性能指标、确定分析方法、制定抗震设计规范等方面。

1.1 抗震设防水准

本水准的设防参数根据客观的设防环境和已定的设防目标,并考虑具体的社会经济条件来确定。目前,国内外所使用的地震编码通常依据地震的重现周期或发生概率来确定地震设防水准^[4]。其中《建筑抗震设计规范》和《城市轨道交通结构抗震规范》均采用3级抗震设防水准,前者以50年为基准期,后者以100年为基准期。对于“建桥合一”结构^[5],本文以上述规范为基础,结合《城市轨道交通结构抗震规范》,对抗震设防水准提出建议值,如表1所示。

表1 “建桥合一”结构地震设防水准建议值

地震类别	地震设防水准	基准期/年	超越概率/%	重现期/年
多遇地震	水准1	50	63	50
偶遇地震	水准2	50	40	100
罕遇地震	水准3	50	10	475
稀有地震	水准4	100	10	970
		50	5	970
极罕地震	水准5	50	2~3	2 475

1.2 抗震性能水准

抗震性能水准是当具有一定超越概率的地震发生时,预设的结构能承受的最大损伤程度^[6]。研究表明:构件变形与结构的操作程度密切相关。结合文献[7-8],对“建桥合一”结构抗震性能水准的定性描述如表2所示。

表2 “建桥合一”结构抗震性能水准划分建议表

性能水准	结构性能状态
功能完好	结构和非结构构件不损坏或轻微损坏,不需要修复,保证其正常使用功能,结构处于弹性阶段
轻微破坏	个别结构构件需要少量修复,短期内应能恢复其正常使用功能,结构局部进入弹塑性工作阶段
中等破坏	个别结构构件屈服,非线性变形增大
严重破坏	结构保持稳定,承载力完全发挥,但已达到不可修复程度
接近倒塌	多数结构构件破坏,但不应出现局部或整体倒塌,结构处于弹塑性工作阶段

抗震性能指标的确定在很大程度上取决于大量的地震破坏经验和试验分析^[9]。综合众多研究成果,本文建议的“建桥合一”结构以层间位移角为评价指标,其量化限值如表3所示。

表3 “建桥合一”结构抗震性能水平与层间位移角关系

结构性能水平	立即使用	可使用	修复后使用	生命安全	防止倒塌
层间位移角限值	1/550	1/400	1/250	0.02	0.04

1.3 抗震性能目标

由性能水准和性能目标的对应关系^[12],结合《城市轨道交通结构抗震规范》中设防目标分类的规定,

提出“建桥合一”结构抗震性能水平矩阵,如表4所示。

表4 “建桥合一”结构抗震性能水平矩阵

地震类别	结构性能目标		
	设防目标甲级	设防目标乙级	设防目标丙级
多遇地震	功能完好	功能完好	功能完好
偶遇地震	轻微破坏	功能完好	功能完好
罕遇地震	中等破坏	功能完好	功能完好
极罕地震	严重破坏	轻微破坏	功能完好
极罕地震	接近倒塌	中等破坏	轻微破坏

2 案例分析

2.1 工程概况

某市地面岛式站台地铁车站采用“建桥合一”结构体系的四柱框架结构。车站总长126 m,其结构1层高7.65 m,2层高层为1.6 m。

工程的抗震设防类别为重点设防类,设防烈度为7度,设计地震分为三组,Ⅱ类场地,特征周期0.45 s,抗震等级为二级。该工程由梁、柱、板(用刚性板模拟)3种构件单元组成,分别包括358个节点、572个梁单元、279个板单元。其框架柱具体配筋如表5所示。

表5 框架柱配筋表

柱号	截面宽/mm	截面高/mm	全部纵筋	角筋	宽边一侧中部筋	高边一侧中部筋	箍筋类型号	箍筋
KZ1	1 200	1 200		4 ϕ 36	21 ϕ 36	12 ϕ 36	8 \times 6	ϕ 12@100
KZ2	1 200	1 200		4 ϕ 36	17 ϕ 36	12 ϕ 36	8 \times 6	ϕ 12@100
KZ3	900	900		4 ϕ 32	12 ϕ 32	8 ϕ 32	6 \times 6	ϕ 12@100
KZ4	800	800		4 ϕ 32	8 ϕ 32	8 ϕ 32	6 \times 6	ϕ 12@100
KZ5	400	400	8 ϕ 28				3 \times 3	ϕ 10@100
KZ6	400	400	8 ϕ 25				3 \times 3	ϕ 10@100

2.2 结构性能分析

结合经济效益和实际工程考虑,应使结构在罕遇地震作用下处于稳定。为防止在整体破坏之前产生局部破坏,除对结构的层间位移角限值进行预设外,还需要判断结构梁柱的塑性铰状态,得出结构的屈服机制和可能发生破坏的薄弱位置。铰状态对应的性能如表6所示。其中:level 1表示塑性铰还处于弹性阶段;level 2表示塑性铰已达到屈服状态;其余则表示各构件不同的延性:level 3对应立即使用状态(Immediate Occupancy),level 4对应生命安全状态(Life Safety),level 5对应倒塌状态(Collapse Prevention)。

由表6可知,要满足本文预设的结构性能水平,在罕遇地震作用下结构塑性铰发展状态应不超过level 3,并选用该等级作为结构的性能水平标准。

表6 铰状态对应性能

铰状态等级	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
对应性能	弹性	进入塑性	立即使用	生命安全	倒塌

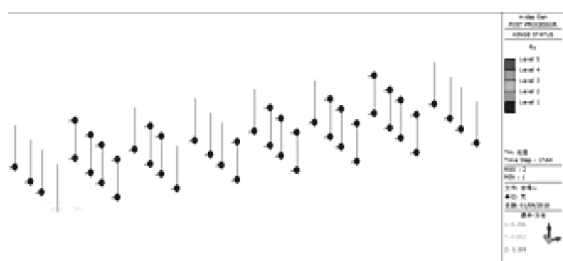
2.2.1 地震动选取

按建筑场地类别和设计地震分组选用实际强震记录和人工模拟的加速度时程,选择周期相近的地震动。

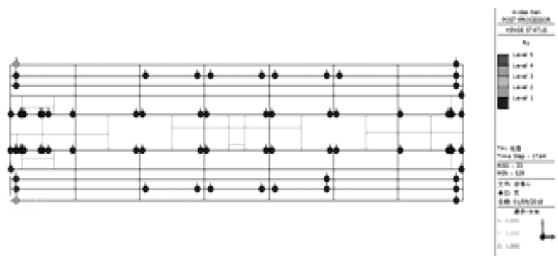
2.2.2 自振特性分析

在“建桥合一”结构模型中,单元类型选择梁-柱,材料选择混凝土,铰类型都选择骨架。对于滞回模型,梁、柱铰分别选择克拉夫模型和随动硬化模型。选取峰值加速度 P 对自振特性进行分析。

(1)当 $P=0.2g$ 时,构件塑性发展情况如图1所示。框架梁柱基本处于弹性阶段,站厅层纵梁和站台层角柱极少数出现塑性铰。



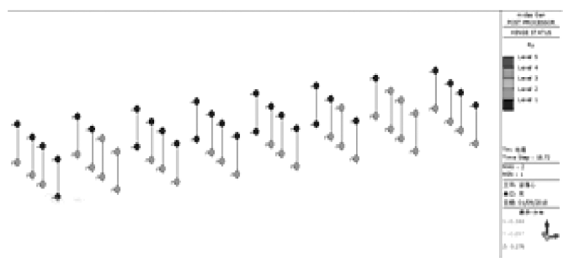
a) 站厅层柱



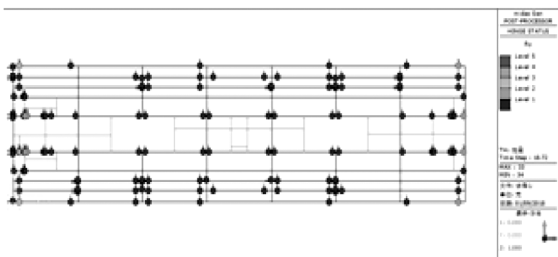
b) 站厅层梁

图1 Rengong 1波作用下构件塑性发展($P=0.2g$)

(2) 当 $P=0.4g$ 时,构件塑性发展情况如图2所示:大量站厅层柱发生屈服,站台层发生屈服的角柱量也增加,站厅层两端的框架纵梁也出现了屈服。



a) 站厅层柱



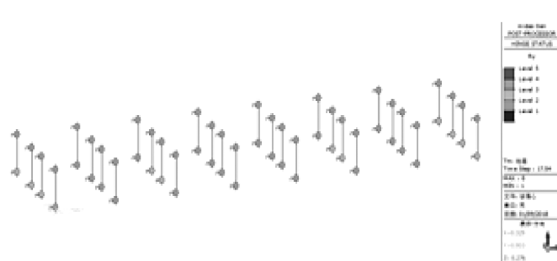
b) 站厅层梁

图2 Rengong 1波作用下构件塑性发展($P=0.4g$)

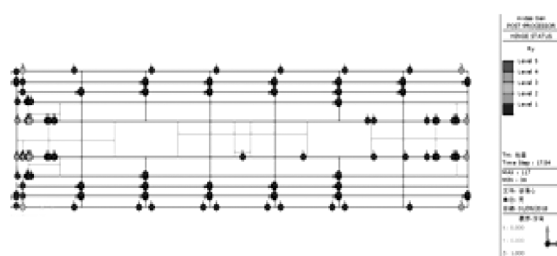
(3) 当 $P=0.6g$ 时,构件塑性发展情况如图3所示。

(4) 当 $P=0.8g$ 时,构件塑性发展情况如图4所示。

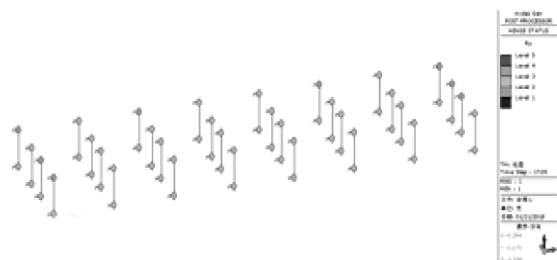
由图2~4可以看出,随着地震动的进一步加强,构件的塑性状况也随之加深,但仍集中在站厅层柱体结构处,所有的柱体都发生屈服。塑性铰发展状态最大至 level 4。其中:柱铰基本都是 level 2 和 level 3 状态;梁铰上出现 level 4 状态,超出预期设定的塑性铰状态目标。



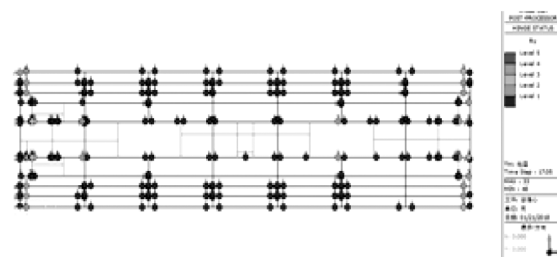
a) 站厅层柱



b) 站厅层梁

图3 Rengong 1波作用下构件塑性发展($P=0.6g$)

a) 站厅层柱



b) 站厅层梁

图4 Rengong 1波作用下构件塑性发展($P=0.8g$)

2.2.3 案例总结

通过上述对结构构件发展规律的讨论,可得“建桥合一”结构的屈服机制如下:

(1) 建筑结构的受力形态为“强柱弱梁”,而“建桥合一”结构则不同,其结构的塑性铰主要集中在墩柱位置。

(2) 与桥梁结构相比,“建桥合一”结构的纵桥向塑性铰出现在墩柱的上下端,而墩底固结的多墩柱钢构桥纵桥向塑性铰仅出现在墩柱的顶部。

(3) “建桥合一”结构的薄弱环节为底层墩柱和

站厅层边跨纵梁。

3 结语

本文采用多层次设防的思想来研究“建桥合一”结构的抗震设防水准、抗震性能和性能指标,主要研究结果有:

(1) 根据国内外的规范和研究成果,提出了“建桥合一”结构的5级抗震设防水准。

(2) 结合现有研究基础上,给出了“建桥合一”结构性能的5个等级,可采用单层构件失效状态作为结构抗震设计计算和地震灾害评估的参考。

(3) “建桥合一”结构中框架柱进入塑性阶段的比例较高,应重点分析框架柱的抗震性能。

参考文献

- [1] 杨成.结构动力分析在基于性能的抗震工程中的应用[D].成都:西南交通大学,2010.
- [2] 付涛.基于IDA的“站桥合一”小型高铁车站抗震性能评估[D].北京:北京交通大学,2015.

- [3] 凌玉芳.广州南站双线V构连续梁设计[J].铁道标准设计,2017,61(2):50.
- [4] 吴奎.中低速磁浮桥建合一车站结构振动分析探讨[J].铁道标准设计,2017,61(11):127.
- [5] 刘韧.“建桥合一”结构在客货共线铁路旅客站房中的应用探讨[J].铁道建筑,2016(10):35.
- [6] 罗晓峰.独柱式城市高架桥抗震分析与设计方法研究[D].杭州:浙江大学,2015.
- [7] 郭建虎.基于位移的高速铁路连续梁桥抗震设计方法研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [8] 李冲.中小跨径梁桥基于性能的抗震设计方法研究[D].南京:东南大学,2015.
- [9] 苏锦峰.地铁高架独柱型车站结构设计探讨[J].工程与建设,2015(3):328.
- [10] 朱志辉,官斌,余志武,等.列车—“站桥合一”大型客运站耦合振动响应分析[J].中国铁道科学,2014,35(5):38.
- [11] 韩丽丽.浅谈城市轨道交通高架车站的抗震计算[J].建筑技术与设计,2014(16):685.
- [12] 黄刚.昆明南火车站结构设计研究[J].铁道标准设计,2013(6):136.

(收稿日期:2018-06-06)

(上接第106页)

用效率最大,同时段场贴近接轨车站布置,可使物业开发人流享受到高效的城市轨道交通服务。

(2) 单车站接轨的出入段线通过S曲线或灯泡线接入,贴近接轨车站,但段场工艺流程、效率较贯通式低。

(3) 其他车站段场布置型式的运营服务水平相对前两种型式较低。

段场上盖物业开发是城市轨道交通发展的趋势。因而,从建设规划线站位选址开始,就应该规划好接轨车站、出入段线及段场的布置型式,考虑物业开发经济效益最大化,以避免后期为提升物业价值

而调整线站位所引起工作的反复。

参考文献

- [1] 邱鸣.地铁车辆段总平面布置方案设计探讨[J].铁道标准设计,2015(8):178.
- [2] 肖中岭.地铁车辆段及综合基地物业开发模式探析[J].都市轨道交通,2010(12):48.
- [3] 张雄.论地铁车辆段总平面设计的特点及其优化[J].铁道工程学报,1999(3):91.
- [4] 广州地铁设计研究院有限公司.广州市轨道交通十八号线初步设计[R].广州:广州地铁集团有限公司,2016.

(收稿日期:2018-08-06)

铁路候补购票服务扩大到全部列车

5月22日起,12306网站在前期试点的基础上,将铁路候补购票服务扩大到所有旅客列车。候补购票服务是指在通过12306网站和APP购票时,如遇所需车次、席别无票,可自愿按日期、车次、席别、预付款提交购票需求,售票系统自动排队候补,当对应的车次、席别有退票时,系统自动兑现车票,并将购票结果通知购票人。2018年12月27日开始,铁路部门在12306网站选取2019年春运期间部分能力紧张方向列车的长途区段,开展候补购票服务试点,减少旅客在购票需求没有得到满足时,耗费大量时间和精力反复查询余票。中国铁路总公司有关部门负责人表示,候补购票功能是铁路部门坚持以人民为中心的发展思想,为旅客提供更加安全方便快捷的购票服务,有利于及时掌握旅客出行需求,科学组织列车开行,让运力安排更加精准、旅客购票有更好体验。候补购票服务具体流程,可通过铁路12306网站查询。

(摘自新华社北京2019年5月22日电,记者樊曦报道)