

基于 Pushover 方法的双柱墩高架车站抗震性能分析

李 鸿

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:以某双柱墩高架车站为研究对象,通过反应谱分析发现结构 Y 方向的抗倾覆比值系数小于 X 方向。应用 Pushover 方法对车站结构 Y 方向的抗震性能进行分析,结果表明该车站结构满足结构弹塑性的相关要求,结构 Y 方向超强系数大于 2,结构最先在二层柱端产生塑性铰,首层双柱产生塑性铰的时间相对滞后。基于 Pushover 的分析方法能反映结构弹塑性表现,为设计提供依据。

关键词:双柱墩;Pushover;抗震性能;超强系数

中图分类号: TU31

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)01-0201-03

0 引 言

基于国家城镇化水平、规模的不断提高和扩大,城市轨道交通的发展逐渐成为解决交通拥堵问题和提高人民生活水平的一种重要选择。高架车站作为轨道交通车站中的一种结构形式,具有投资成本低、建设周期短、景观效果好的特点。双柱墩高架车站以其占地面积少、可利用道路中央分隔带、对现状交通影响小的优势,成为路中高架车站的首选方案。

双柱墩高架车站首层受用地影响,通常在结构二层的横向进行双侧大悬挑。首层双柱墩作为结构的关键受力、传力构件,其受力特性有必要进一步分析。文中阐述了基于 Pushover 方法进行结构抗震分析的基本原理,以一个工程案例为分析对象,对双柱墩高架车站结构的抗震性能进行评估。

1 工程概况

某双柱墩路中高架车站首层为架空层,框架结构长度 120 m,宽度 21.6 m。车站沿长度方向设置一条变形缝,缝宽 140 mm,将车站上部结构分为长度为 47.93 m 和 71.93 m 两部分,此次以 71.93 m 部分为研究对象。纵向柱距 12 m,首层层高 10.45 m,二层层高 6.0 m。首层柱墩截面尺寸为 1.7 m × 1.7 m,首层盖梁截面尺寸为 2.0 m × 2.4 m,盖梁在双柱墩横向悬挑长度为 5.5 m,二层柱截面尺寸为 0.9 m × 0.9 m,二层主要框架梁截面尺寸为 0.8 m × 1.4 m,结构模型如图 1 所示。工程位于 7 度抗震设防区,场

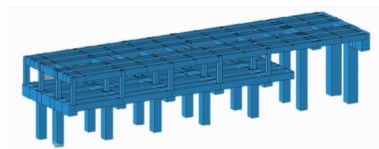


图 1 结构模型图

地特征周期为 0.65 s。一层楼面恒荷载取 3.5 kN/m²,活荷载取 4.0 kN/m²;二层楼面恒荷载取 2.0 kN/m²,活荷载取 4.0 kN/m²;填充墙荷载根据墙实际高度按容重为 8.0 kN/m³ 计算取值。

2 反应谱分析

在 pkpm2010-V4 中采用振型分解反应谱法进行多遇地震作用下的反应分析,重力荷载代表值取结构和附加构件的自重标准值与可变荷载标准值之和,即 1.0 恒载 +0.5 活载。钢筋强度等级为 HRB400,首层墩柱、盖梁混凝土强度为 C50,其余构件混凝土强度为 C35。计算得到的结构前 3 阶振型及周期见表 1,楼层抗倾覆力矩见表 2。

表 1 振型及周期

振型	周期 /s	方向
1	0.594	X
2	0.540	Y
3	0.496	扭转

表 2 抗倾覆力矩

工况	抗倾覆力矩 $M_r / (\text{kN} \cdot \text{m})$	倾覆力矩 $M_{ov} / (\text{kN} \cdot \text{m})$	比值 M_r / M_{ov}
X 向地震	4.43×10^6	1.11×10^5	40.0
Y 向地震	4.45×10^5	1.09×10^5	4.1

由于结构的平面布置特性,长宽比大,导致结构 X 方向和 Y 方向抗倾覆能力差异较大。多遇地震作

收稿日期: 2020-05-27

作者简介:李鸿(1988—),男,硕士,工程师,从事结构设计工作。

用下的常规设计计算,采用弹性设计不能求到结构真实的最大承载力。利用基于 Pushover 的分析方法对 Y 方向进行静力弹塑性分析,计算结构的整体超强系数^[1-2]。

从以往的地震震害和试验研究总结可知,结构实际的抗震承载能力通常要大于其设计的抗震承载能力,称之为超强。部分国外规范中,如美国 IBC^[3]、欧盟抗震规范 EC8^[4]等已进行考虑。我国的《建筑工程抗震性能设计通则》(CECS 160:2004)^[5]也提到了结构超强的概念。

结构超强系数 R_d 定义为结构实际的最大水平承载能力 V_u 与设计的水平承载能力 V_d 的比值:

$$R_d = \frac{V_u}{V_d} \quad (1)$$

3 静力弹塑性分析

3.1 能力谱法

静力弹塑性分析方法,即 Pushover 分析方法是进行对结构进行弹塑性分析的重要方法之一。沿结构高度方向按照一定的加载形式施加水平位移或水平荷载,并通过荷载加载工况对结构进行控制,从而使结构达到目标性能点或出现倒塌破坏。在分析计算过程中,结构各层的变形、构件的屈服和破坏顺序都能清晰地展示出来。通过静力弹塑性分析,可以得到结构在对应地震作用下的力与变形的曲线,从而可以进一步得到结构性能点。目前我国主要能力谱法分析法,美国应用技术委员会《混凝土建筑抗震评估和修复》报告(ATC40)^[6]、FEMA400^[7]中对其有相关描述。由设计加速度反应谱经过变换得到需求谱,由结构推覆分析得到的弹塑性曲线经过变换得到能力谱,两条谱曲线的交点即为结构的性能点,由性能点计算得到结构的目标位移,如图 2 所示。FEMA400 给出构件各种状态下的塑性限值,如图 3 所示,B 点位置表示构件进入屈服状态,出现塑性铰,CD 段表示构件破坏,E 点位置表示结构无法继续承载。结构的性能状态分为三个:IO 为直接居住极限状态,LS 为安全极限状态,CP 为防止坍塌极限状态,与各状态对应的横坐标为弹塑性位移的限值。

3.2 分析步骤

采用 midas Gen 程序进行分析的主要步骤如下:

- (1)建立三维分析模型,定义混凝土和钢筋材料。
- (2)施加荷载,进行多遇地震作用下的计算。
- (3)结构设计,进行截面配筋。

(4)定义铰特性值,并将定义后的铰分配给相应的单元。

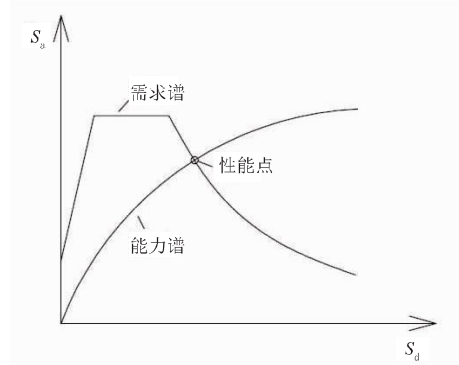


图 2 结构性能点

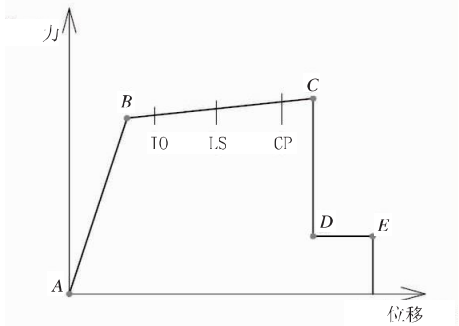


图 3 构件性能标准

(5)定义 Pushover 工况,本文采用位移控制。

(6)计算分析并进行结果处理。

(7)结合计算结果调整模型,如不满足规范要求,重复以上步骤直至满足。

Pushover 分析^[8]可确定罕遇地震作用下结构潜在的破坏形式,求得最先破坏的薄弱部位,进而对薄弱部位进行调整和优化,使结构达到预定的性能目标。

3.3 分析结果

由结构反应谱计算得到 V_d 为 9 811 kN,由 Pushover 计算得到 V_u 为 40 070 kN,根据结构超强系数的定义公式,计算得到结构的超强系数 R_d 为 4.0。根据相关文献^[9]推荐的钢筋混凝土框架结构超强系数应不小于 2,故该结构的超强系数满足要求。

经 Pushover 分析计算,结构在性能点处的各层层间位移角见表 3。

表 3 结构性能点状态下的层间位移角

楼层号	层间位移角	
	多遇地震	罕遇地震
1	1/2 205	1/288
2	1/1 773	1/231

多遇地震作用下,结构顶点位移为 8.0 mm,小于规范中的弹性位移限制 $[u_e] = 16\ 450 \times 1/550 = 29.9$ (mm),结构最大层间位移角满足 $1/2\ 000 < [1/550]$ 。罕遇地震作用下,结构顶点位移为 62.0 mm,小于规范中的弹塑性位移限制 $[u_p] = 16\ 450 \times 1/50 = 329$ (mm),结构最大层间位移角满足 $1/230 <$

[1/50]。结构满足多遇地震和罕遇地震作用下二阶段设计目标。

经 Pushover 分析得到结构最先出现塑性铰的步骤数为第 19 步,查看对应步骤数下的结构构件塑性铰情况,塑性铰在二层柱底端,如图 4 所示,对应二层的层间位移角为 1/280。随着结构加载的进行,首层出现塑性铰的步骤数为第 21 步,查看对应步骤数下的结构构件塑性铰情况,塑性铰在首层柱底端,如图 5 所示,对应首层的层间位移角为 1/315。

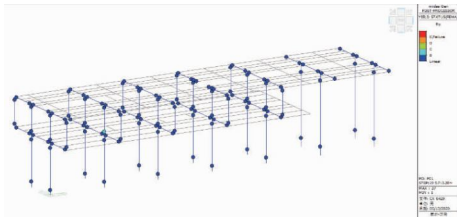


图 4 柱塑性铰(第 19 步)

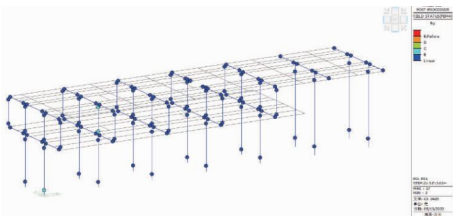


图 5 柱塑性铰(第 21 步)

通过计算结果分析可以得到,塑性铰最先在二层柱端产生,随着推覆位移的逐步增大,二层柱端产生塑性铰的范围扩大,首层柱端也开始产生塑性铰,首层柱端塑性铰的出现较二层滞后。

4 结 语

通过反应谱计算分析发现结构在 X 方向、Y 方

向两个方向抗倾覆能力存在差异,应用基于 Pushover 的分析方法对结构在大震作用下进行弹塑性分析,发现结构超强系数大于 2,结构最先在二层柱端出现塑性铰,随着加载的进行,首层柱端开始出现塑性铰,结构首层关键双柱的塑性铰出现相对滞后。性能点位置层间位移角满足弹塑性规范规定的要求,结构不会出现首层先破坏的现象。利用 Pushover 方法能快速得到分析结果,对结构在方案选型、初步设计具有较好的指导作用。根据塑性铰出现的顺序,进一步对结构薄弱部位进行调整和优化,对类似高架车站结构分析具有参考意义。

参考文献:

- [1] Uang C M. Establishing R (or R_n) and C_d factors for building seismic provisions[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1991, 117(1): 19-28.
- [2] Whittaker A, Hart G, Rojahn C. Seismic response modification factors[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1999, 125(4): 438-444.
- [3] IBC International building code[S]. International Code Council Inc (formerly BOCA, ICBO and SBCCI), 2006, 4051: 60478-5795.
- [4] Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance[S]. 2005.
- [5] CECS 160: 2004, 建筑工程抗震性态设计通则[S].
- [6] ATC 40. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings[R]. Redwood City: Applied Technology Council, 1996.
- [7] FEMA 440. Improvement of nonlinear static seismic analysis-procedures[R]. Washington DC: Federal Emergency Management Agency, 2005.
- [8] 叶燎原, 潘文. 结构静力弹塑性分析(Pushover)的原理和计算实例[J]. 建筑结构学报, 2000, 21(1): 37-43.
- [9] 翟长海, 谢礼立. 钢筋混凝土框架结构超强研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(1): 101-106.

(上接第 193 页)

(3) BIM 道路工程设计计算和输出, 可通过计算机软件调用实现高精度、快速计算, 自动化输出全方位图纸并能实时变动。

(4) 道路工程设计建模能够进行 3D 路线设计、平纵横设计, 得出最佳横断面过渡方案, 最终达到快速道路整体建模的目的。

参考文献:

- [1] 宋战平, 肖珂辉, 成涛, 等. 基于 BIM 技术的隧道全生命周期管理及应用研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2020, 52(1): 47-53.

- [2] 汪斌. 基于 BIM 技术的道路三维设计方法研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.
- [3] SHIM C S, YUN N R, SONG H H. Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridge[J]. Procedia Engineering, 2011, 4: 95-99.
- [4] 王良国, 张建, 刘建华, 等. 基于 WBS 的云茂高速公路金林隧道 BIM 应用研究[J]. 湖南交通科技, 2020, 46(1): 114-118.
- [5] 王小宁, 方笑, 刘天成. 基于 BIM 的平塘特大桥工程质量控制技术[J]. 公路, 2019, 64(9): 36-39.
- [6] 徐开华, 王黎明. BIM 技术在公路工程中的应用浅析[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(4): 172-174.
- [7] 孙梦梦. BIM 技术在道路工程施工阶段进度管理中的研究与应用[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019.