

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2021.12.019

# 基于美国规范的机场高架桥抗震分析

谢 峰, 王卫东, 舒鹏宇, 孙先峰

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510600)

**摘 要:** 在美国规范下,为研究机场站前高架桥的地震反应性能,分析桥梁下部结构的影响,达到指导高架桥设计的目的,以某东南亚机场高架桥为研究对象,利用有限元软件建立三维模型,分析其非常规墩柱尺寸对整体桥梁结构地震反应的影响,并对桥梁进行延性抗震设计验算。结果表明:采用上大下小的变截面圆柱墩,主梁采用宽度为 32.8 m 的整体式箱梁,通过验算控制截面,得出墩底是较为薄弱的截面。其内容可为其它类似桥梁抗震工程提供借鉴。

**关键词:** 机场高架桥;美国桥梁规范;抗震

**中图分类号:** U442.5+5

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2021)12-0061-03

## 0 引 言

在国家大力推进“一带一路”的重大战略的背景下,中国企业深入践行“一带一路”倡议,有效落实“海外优先”指导思想,充分彰显中国企业品牌实力,海外业务新签合同额、营业收入每年都大幅增加。其中,中国企业承建各个国家机场的业务也越来越多,随之带来更多的机场高架桥业务。机场高架桥由于其桥宽较宽,墩柱较少,桥梁抗震设计存在着一定的特殊性。在美国规范下,研究探讨高架桥特点的抗震设计方法具有研究意义。

与中国桥梁抗震规范不同,美国规范中,对桥梁结构按单一水准设防和一阶段设计。目标可以归纳为:设计地震下,桥梁不发生倒塌。本文以某东南亚机场高架桥为研究对象,利用有限元软件建立三维模型,分析整体桥梁结构地震反应的影响,并对桥梁进行延性抗震设计验算。

## 1 工程概况

某东南亚国家新建一大型机场,是其国内重要投资项目之一。其中机场高架桥是机场中必不可少的组成部分,其安全性和经济性对机场平稳运营有着直接的影响。高架桥总长 546.755 m,桥梁一共五联,其中站前段第三联跨度布置为 9 m × 18 m,总长为 162 m。整跨同宽,宽度为 32.8 m。在桥梁方案阶段,为了造型美观,采用双柱墩,桥墩采用变截面圆柱

墩,尺寸上大下小。墩柱横向间距 18 m,见图 1。在分联墩与桥台处设置伸缩缝和支座,其余桥墩与梁固结。

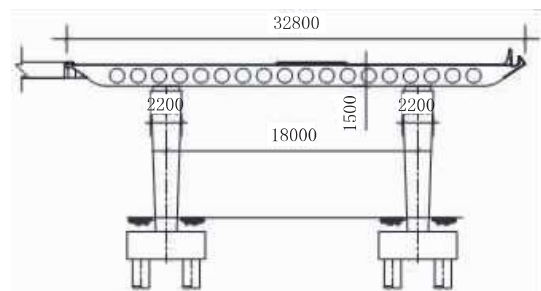


图 1 桥梁结构横断面(单位:mm)

## 2 抗震计算模型

在美国抗震设计中,一直对桥梁采用性能抗震设计理念,其中以位移控制为主,同时对关键截面进行强度复核<sup>[1]</sup>。

根据 1 s 周期对应的设计地震动加速度谱值 SD1,将高架桥的抗震设计划分为 C 类,短周期设计反应谱加速度参数 SDS 为 0.266g,长周期设计反应谱加速度参数 SD1 为 0.123g,场地分类为 E 类,响应修正因子 R=5。

地震输入按在 75 年内超越概率为 7% 的情况下,进行了线性多模态反应谱分析。各个模态的组合模式采用 CQC 方法<sup>[2]</sup>。结构阻尼比取为 0.05。经过计算,得到的桥梁地震纵向效应  $E_x$ ,桥梁地震横向效应  $E_y$ ,桥梁地震竖向效应  $E_z$ 。地震效应采用两种组合方式:(1)  $E_x+0.3E_y+0.3E_z$ ; (2)  $0.3E_x+E_y+0.3E_z$ 。

采用有限元软件 Midas civil 进行三维模型模拟见图 2。桥墩与主梁固结,交接墩处设置滑动支座。

收稿日期: 2021-08-22

作者简介: 谢峰(1983—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

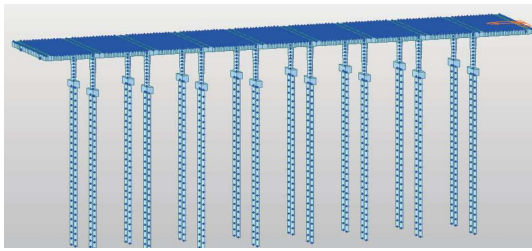


图2 高架桥三维计算模型

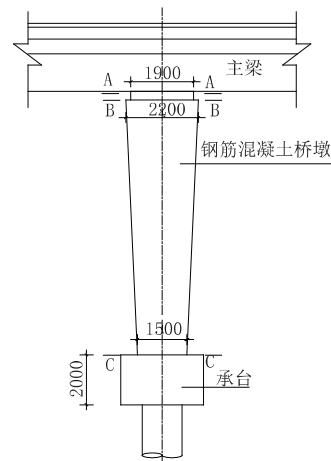


图4 桥墩一般构造图(单位:mm)

### 3 高架桥抗震结构设计

#### 3.1 桥梁墩柱 $M-\varphi$ 曲率分析

在美国规范中,桥墩截面的抗弯能力采用截面积分的方法进行  $M-\varphi$  曲率分析,目标是在地震作用组合下,可发生轻微损伤,基本不影响车辆通行,具体是指地震组合弯矩(考虑轴向力的影响)小于截面的等效屈服弯矩。

根据静力平衡原理和相容性假定<sup>[3]</sup>,由有限元软件(如UCFyber)计算得到截面的  $M-\varphi$  曲线,从而根据式(1),可以得到截面的等效惯性矩  $I_{\text{eff}}$ 。并且在三维建模时,采用等效惯性矩。

$$I_{\text{eff}} = \frac{M_y}{\varphi_y E_c} \quad (1)$$

其中桥墩混凝土按需求划分单元,钢筋单独作为一个单元,见图3。其中根据截面尺寸以及配筋情况,对高架桥桥墩三个控制截面的抗弯强度和抗剪强度进行验算。三个控制截面A、B、C位置见图4。A截面直径为1.9 m,B截面直径为2.2 m,C截面直径为1.5 m。

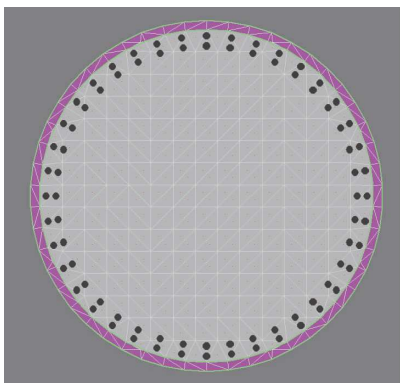


图3 桥墩截面网格划分

#### 3.2 桥墩墩顶位移验算

美国规范中,桥墩的纵向或横向位移应满足:

$$\Delta P_u < 0.25\phi M_n^{[4]}$$

式中: $\Delta$  为墩的相对位移点相对于固定点的位移,m; $\Delta_e$  为弹性地震分析计算的位移,m; $T$  为基本振型的周期,s; $P_u$  为桥墩上的轴向荷载,kN; $\phi$  为柱的抗弯系数; $M_n$  为墩的轴向荷载下计算的墩的屈服弯曲强

度,kN·m。

根据计算公式,验算见表1。

表1 桥墩墩顶位移验算表

位置	$\Delta/m$	$P_u/kN$	$M_n/(kN\cdot m)$	$\Delta P_u/(kN\cdot m)$	$0.25\phi M_n/(kN\cdot m)$	$\Delta P_u < 0.25\phi M_n$
P1	0.27	10 727.2	27 430	2 574	6 171.8	OK
P2	0.27	10 858.8	27 210	2 651	6 122.3	OK
P3	0.27	11 011.5	27 260	2 663	6 133.5	OK
P4	0.27	11 115.1	27 410	2 730	6 167.3	OK
P5	0.27	11 116.6	27 410	2 730	6 167.3	OK
P6	0.27	11 007.9	27 260	2 665	6 133.5	OK
P7	0.27	10 860.6	27 210	2 646	6 122.3	OK
P8	0.27	10 727.2	27 440	2 577	6 174.0	OK

根据计算结果,在地震作用下,高架桥固结墩共同承担地震力。各个纵向固定墩的位移能力满足规范要求,延性能力满足位移能力需求。

#### 3.3 桥墩在地震作用下的强度验算

剪切破坏作为脆性破坏,在结构设计中是必须避免的。为保证当桥墩中的塑性铰达到最大抗弯承载力时,桥墩不发生剪切破坏,需进行抗剪承载力验算见表2。由于结构对称,给出其中一侧4个桥墩的承载力验算。

表2 纵向地震作用组合下抗剪承载力验算

位置	轴力(小)	剪力	弯矩	抗剪承载力	$V_u/V$	
P5	1.9 m	5 840	1 233	11 890	8 396	6.8
	2.2 m	5 858	1 239	11 460	8 492	6.9
	1.5 m	6 468	1 287	1 685	7 158	5.6
P6	1.9 m	5 617	1 580	14 785	7 876	5
	2.2 m	5 635	1 586	14 233	7 773	4.9
	1.5 m	6 249	1 634	2 512	6 087	3.7
P7	1.9 m	5 611	1 550	14 757	7 884	5.1
	2.2 m	5 630	1 557	14 215	7 784	5
	1.5 m	6 252	1 604	2 230	6 294	3.9
P8	1.9 m	6 068	1 721	16 161	7 709	4.5
	2.2 m	6 089	1 727	15 560	7 562	4.4
	1.5 m	6 725	1 775	2 667	6 071	3.4

从桥墩顺桥向验算结果表中可以看出在设计地震作用下:桥墩塑性铰区抗剪强度满足规范要求。

### 3.4 桩基验算

美国规范中,对在地震作用下需要其保证完全弹性的构件称为能力保护构件<sup>[5]</sup>。本桥将桩基作为能力保护构件,由墩底断面的等效屈服弯矩计算得到的超强弯矩,对桩基抗弯能力进行能力保护验算,桩基抗弯承载力采用与本文3.1中墩柱相同方法计算得到,并考虑了轴力影响,验算结果见表3。

表3 纵向地震作用组合下桩基抗弯能力验算

位置	桩径/m	轴力	超强弯矩	抗弯承载力	$M_u/M$
P5	1.2	3 234	5 015	5 515	1.1
P6	1.2	3 125	5 034	5 511	1.1
P7	1.2	3 126	5 085	5 511	1.1
P8	1.2	3 363	5 041	5 521	1.1

由验算结果表可以看出,桩基均处于弹性范围,满足设计要求。

## 4 结 语

经过对高架桥在美国规范的抗震验算,得出以下结论。

(1)在地震作用下,由于P1~P8号墩与主梁固结,

共同承担地震力,解决因为固结墩过少而导致固结墩受到地震力过大,可能出现的剪切脆性破坏的情况。

(2)在对桥墩三个控制截面的抗剪验算过程中,墩底位置由于截面较小,抗剪承载力较小,是相对薄弱的地方。

(3)在现有的美国规范下,各桥墩的位移能力满足抗震设防要求,且具有足够的抗剪能力,抗震性能满足抗震设防标准。

(4)桩基作为能力保护构件,在桥墩超强弯矩作用下,处于弹性范围。

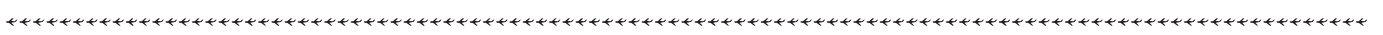
### 参考文献:

[1] Caltrans, MEMO to designers 20-1[EB/OL].<http://www.dot.ca.gov/des/techpubs/manuals/bridge-memo-to-designer/page/section-20/20-1.pdf>. [2017-10-29].

[2] [4] R.A.Imbsen. AASHTO guide specifications for LRFD seismic bridge design, Report to AASHTO T3 Subcommittee [R]. Washington, DC, 2007.

[3] 曾宁焯, 宋晓东. 浅谈 Caltrans 桥梁抗震规范[J]. 四川建筑, 2019(5): 132-135.

[5] 殷鹏程, 叶爱君. 中美规范比较探讨桥梁结构抗震体系[J]. 工程抗震与加固改造, 2009(3):2.



(上接第40页)

### 参考文献:

[1] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].

[2] JTG D64—2015, 公路钢结构桥梁设计规范[S].

[3] 林道锦. 嘉绍大桥刚性铰结构设计及力学性能研究[C]// 中国公路学会桥梁和结构工程分会 2011 年全国桥梁学术会议论文集. 浙江上虞: 人民交通出版社, 2011: 624-630.

[4] 胡海波, 熊劲松. 武汉天兴洲高铁两用长江大桥滑板式铰轴支座技术[J]. 桥梁建设, 2010(6): 6-8.

[5] 岳澄, 石九州. 新型铰轴钢支座力学性能的实验研究[J]. 桥梁建设, 2007(2): 25-27.

[6] 陶海, 巩春领. 一种完全式拱铰的设计与分析[J]. 上海公路, 2006(2): 24-26.