

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.12.020

# 高烈度区大跨连续梁延性抗震设计

尹 臻

(上海市政工程设计有限公司, 上海市 200092)

**摘 要:**以乌鲁木齐市北站路(八钢公路-机场高速)建设工程为工程背景,采用延性抗震设计方法,对高烈度区大跨连续梁结构在 E1 地震作用下采用反应谱分析,在 E2 地震作用下采用非线性时程分析,以 Midas Civil 2019(v2.2)软件为工具,进行地震反应分析与验算,对该类桥梁的延性抗震设计提供了有益的参考。

**关键词:**高烈度区;大跨连续梁;反应谱分析;非线性时程分析;延性抗震设计

中图分类号: U442.5+5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0070-05

## 0 引言

在快速发展的当代社会,大跨连续梁这种桥梁结构形式已越来越多的出现在城市交通系统中。跨路口节点桥、跨河桥和跨铁路节点桥等大跨连续梁如雨后春笋般不断涌现。

乌鲁木齐市地处地震高烈度地区,同时大跨连续梁是应用非常广的桥梁结构形式。因此,本文以乌鲁木齐市北站路(八钢公路-机场高速)建设工程为工程背景,采用数值模拟方法,进行高烈度区大跨连续梁的地震反应分析与验算。

## 1 工程背景介绍及有限元模型

### 1.1 工程概述

本文主桥跨径为 60 m+60 m 的两跨等截面连续钢箱梁桥,位于道路直线段上,见图 1。主桥两侧各建一联引桥作为后续结构。两侧引桥跨径均为 60 m+60 m 的两跨等截面连续钢箱梁桥,位于直线段上。上部结构均采用 Q345qE 钢材,下部结构均采用混凝土材料。

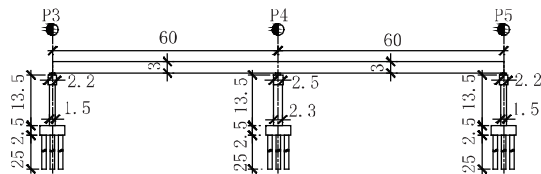


图1 主桥立面图(单位:m)

主桥和引桥上部结构梁高均为 3.0 m。截面见图 2。

全桥支承体系布置示意图 3。图 3 中:GD 代表固定支座;DX 代表单向活动支座;SX 代表双

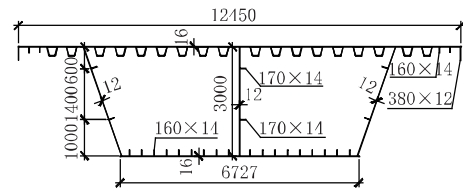


图2 主桥和引桥横断面图(单位:mm)

向活动支座。

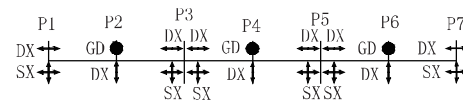


图3 全桥支承体系布置示意图

桥墩盖梁、墩柱和承台均采用矩形实心混凝土截面。中墩桥墩盖梁断面尺寸为 2.5 m×2.5 m,墩柱断面尺寸为 2.3 m×2.3 m,承台断面尺寸为 6.6 m×11 m;边墩桥墩盖梁断面尺寸为 2.2 m×2.5 m,墩柱断面尺寸为 2.3 m×1.5 m,承台断面尺寸为 6.6 m×11 m,见图 4。桥梁基础均为钻孔灌注桩群桩基础,桩基布置见图 5。中墩墩柱配筋见图 6,边墩墩柱配筋见图 7,桩基配筋见图 8。

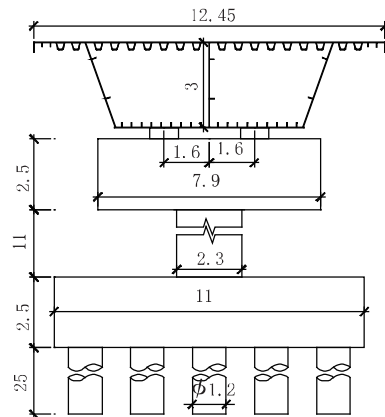


图4 中墩和边墩布置图(单位:m)

### 1.2 有限元模型

主梁、盖梁、墩柱和承台均采用梁单元模拟。主

收稿日期: 2020-05-29

作者简介:尹臻(1989—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

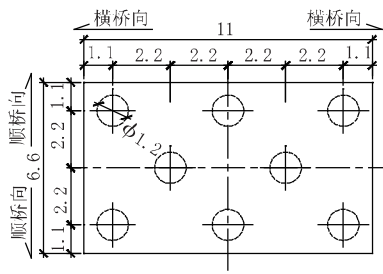


图5 桩基布置图(单位:m)

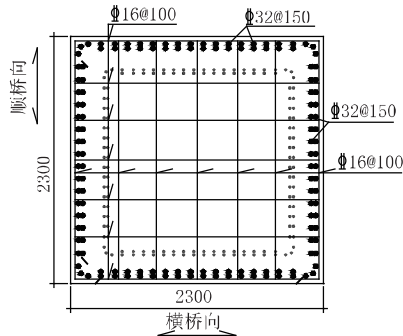


图6 中墩墩柱配筋图(单位:mm)

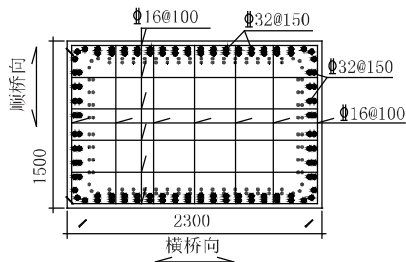


图7 边墩墩柱配筋图(单位:mm)

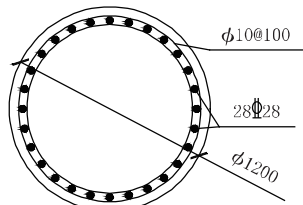


图8 桩基配筋图(单位:mm)

梁单元质量和二期恒载均以线荷载形式加在主梁单元上,盖梁、墩柱和承台单元质量以赋予材料质量的形式加在各自单元上。

本文桥梁基础采用桩基础,等代土弹簧的刚度采用m法计算,8桩承台基础计算结果详见表1。支承系统采用抗震球型钢支座,主桥支座型号详见表2。

在非线性模型的延性墩柱中,因墩底存在较大弯矩,因此在墩底处需设置集中塑性铰考虑墩柱屈服后的性能,本文采用多段折线模型对其进

表1 桥梁群桩基础六弹簧刚度表

位置	$u_1/(kN \cdot m^{-1})$	$u_2/(kN \cdot m^{-1})$	$u_3/(kN \cdot m^{-1})$	$r_1/(kN \cdot m \cdot rad^{-1})$	$r_2/(kN \cdot m \cdot rad^{-1})$	$r_3/(kN \cdot m \cdot rad^{-1})$
8桩承台基础	3.60E+06	3.54E+06	2.01E+07	2.36E+08	8.98E+07	5.54E+07

表2 主桥支座型号表

墩号	支座位置	支座型号
P3	前进方向左侧	KQGZ 20000DX/±150 mm
	前进方向右侧	KQGZ 20000SX/±150 mm
P4	前进方向左侧	KQGZ 30000KN-GD
	前进方向右侧	KQGZ 30000KN-DX/±150 mm
P5	前进方向左侧	KQGZ 20000DX/±150 mm
	前进方向右侧	KQGZ 20000SX/±150 mm

行模拟。

根据上述模拟方法,以Midas Civil 2019(v2.2)软件为建模工具,建立全桥有限元基准模型,见图9。

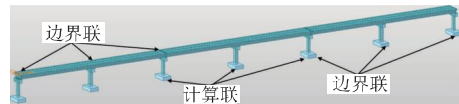


图9 全桥空间动力计算模型

## 2 地震动输入

### 2.1 目标反应谱

本桥地震基本烈度为8度,水平向地震动峰值加速度A为0.20g,抗震设防类别为乙类。场地类别为II类,所属的设计地震分区为2区,特征周期 $T_g$ 为0.40s。根据《城市桥梁抗震设计规范》<sup>[1]</sup> 5.2节得出的目标反应谱见图10。

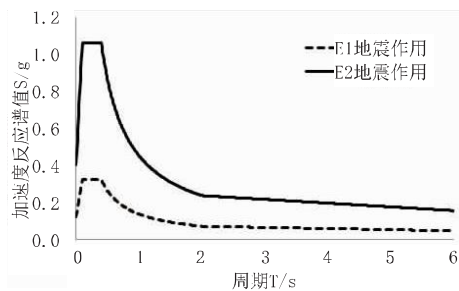


图10 水平向加速度反应谱

### 2.2 加速度时程

根据上节给出的目标反应谱生成人工波,并与目标反应谱拟合较好的地震波中选取人工波,本文选取3组并取最大值(见图11~图13)。

## 3 E1地震作用下地震反应分析与抗震验算<sup>[2,3]</sup>

本项目计算方法采用多振型反应谱法,振型

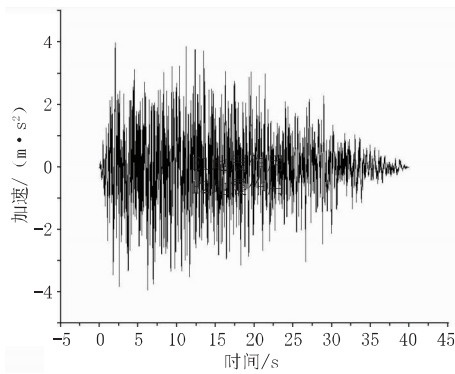


图 11 1号地震波加速度时程图

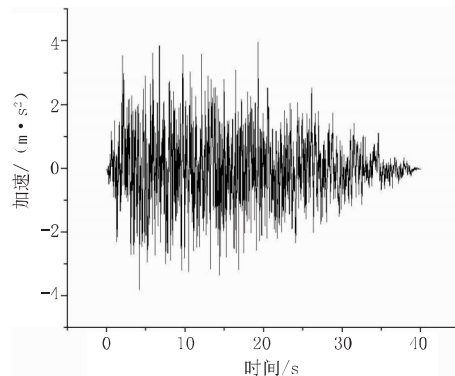


图 12 2号地震波加速度时程图

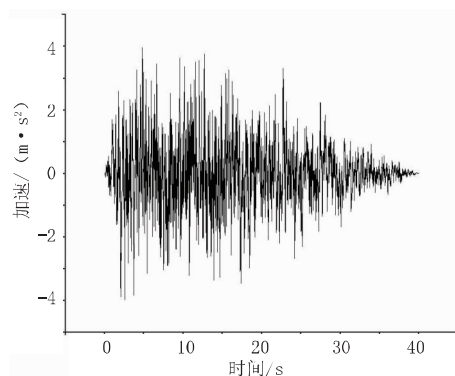


图 13 3号地震波加速度时程图

组合方法采用 CQC 法。

### 3.1 地震反应

基于建立的所有构件均采用毛截面空间动力计算模型,对桥梁结构在 E1 地震作用下进行反应谱分析,得到结构关键截面地震内力见表 3。

表 3 桥墩纵桥向和横桥向关键截面内力表

墩号	截面位置	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)
P3 纵桥向	墩底	61.9	523.8	5 948.6
P4 纵桥向	墩底	1.5	3 019.2	40 255.3
P5 纵桥向	墩底	61.9	523.8	5 948.6
P3 横桥向	墩底	0.6	1 679.1	24 646
P4 横桥向	墩底	1.5	2 306.1	36 063.9
P5 横桥向	墩底	0.5	1 679.1	24 646

### 3.2 抗震验算

根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)7.2.1 条规定,验算桥墩的强度。

(1)恒载内力以及最不利荷载组合计算出的各墩的恒载内力以及恒载与地震内力最不利组合见表 4。

表 4 纵桥向和横桥向各桥墩关键截面最不利内力组合表

墩号	截面位置	轴力/kN			弯矩/(kN·m)		
		恒载轴力	地震轴力	最不利轴力	恒载弯矩	地震弯矩	最不利弯矩
P3 纵桥向	墩底	9 343	62	9 281	0	5 949	5 949
P4 纵桥向	墩底	9 251	2	9 249	0	40 255	40 255
P5 纵桥向	墩底	9 343	62	9 281	0	5 949	5 949
P3 横桥向	墩底	9 343	1	9 343	0	24 646	24 646
P4 横桥向	墩底	9 251	2	9 249	0	36 064	36 064
P5 横桥向	墩底	9 343	1	9 343	0	24 646	24 646

#### (2)墩柱抗弯承载力

材料强度采用设计值,计算得关键截面抗弯承载力(等效屈服弯矩)见表 5。

表 5 纵桥向和横桥向各桥墩关键截面抗弯承载力验算表

墩号	截面位置	最不利轴力/kN	最不利弯矩/(kN·m)	抗弯承载力/(kN·m)	验算结果
P3 纵桥向	墩底	9 281	5 949	26 610	通过
P4 纵桥向	墩底	9 249	40 255	51 710	通过
P5 纵桥向	墩底	9 281	5 949	26 610	通过
P3 横桥向	墩底	9 343	24 646	37 700	通过
P4 横桥向	墩底	9 249	36 064	51 710	通过
P5 横桥向	墩底	9 343	24 646	37 700	通过

#### (3)验算

由表 5 可以看出,各桥墩关键截面抗弯承载力均满足规范。

## 4 E2 地震作用下延性构件地震反应与抗震验算<sup>[2,3]</sup>

本项目桥墩为延性构件,按《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)7.3.1 条,E2 地震作用下需进行延性构件变形验算。

### 4.1 延性构件地震反应

E2 地震作用下,利用非线性时程方法计算出各桥墩纵、横桥向墩顶位移和塑性铰区域的塑性转角见表 6。

### 4.2 E2 地震作用下延性构件抗震验算

计算得到各墩墩顶容许位移和塑性铰区域的最大容许转角见表 7。

表6 E2地震作用下桥墩纵、横桥向墩顶位移和塑性铰区域的塑性转角

墩号	墩顶位移/m	墩底转角
P3 纵桥向	0.079	0.000 535
P4 纵桥向	0.212	0.000 618
P5 纵桥向	0.079	0.000 535
P3 横桥向	0.141	0.000 338
P4 横桥向	0.179	0.000 214
P5 横桥向	0.141	0.000 338

表7 桥墩纵、横桥向墩顶容许位移和塑性铰区域的最大容许转角

墩号	$\Phi_y/(m^{-1})$	$\Phi_x/(m^{-1})$	$L_p/m$	$\theta_u/rad$	$\Delta_u/m$
P3 纵桥向	0.002 7	0.072 1	1.362	0.047 2	0.771 9
P4 纵桥向	0.001 8	0.044 5	1.362	0.029 1	0.479 3
P5 纵桥向	0.002 7	0.072 1	1.362	0.047 2	0.771 9
P3 横桥向	0.001 9	0.043 2	1.362	0.028 1	0.475 6
P4 横桥向	0.001 8	0.044 5	1.362	0.029 1	0.479 3
P5 横桥向	0.001 9	0.043 2	1.362	0.028 1	0.475 6

由表6和表7可以看出,E2地震作用下各桥墩纵、横桥向墩顶位移和塑性铰区域的塑性转角能力满足要求。

## 5 能力保护构件计算与验算<sup>[2,3]</sup>

根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)6.6节规定:(1)在E2地震作用下,如结构未进入塑性,桥梁基础和支座的内力设计值可采用E2地震作用的计算结果;(2)桥梁基础和支座作为能力保护构件设计时,其弯矩和剪力设计值,应取与墩柱塑性铰区域截面超强弯矩所对应的弯矩和剪力值。其中,承台底的内力设计值需考虑承台的贡献进行计算。

### 5.1 桥墩屈服性判断

E2地震作用下,利用反应谱方法计算出各桥墩的地震内力用以判断各墩屈服情况,见表8。

表8 E2地震作用下桥墩屈服情况

墩号	方向	等效屈服弯矩/(kN·m)	E2地震弯矩/(kN·m)	是否屈服
P3	纵桥向	27 870	19 503.6	不屈服
P4		53 840	131 984.5	屈服
P5		27 870	19 503.6	不屈服
P3	横桥向	40 290	80 806.5	屈服
P4		53 840	118 242.3	屈服
P5		40 290	80 806.5	屈服

### 5.2 墩柱超强弯矩计算

能力保护构件计算和验算的前提是要计算各塑性铰区域超强弯矩,计算结果见表9。

表9 屈服墩墩底塑性铰截面超强弯矩表

主轴方向	墩号	抗弯承载力/(kN·m)	超强弯矩/(kN·m)
纵桥向	P4	61 940	74 328
横桥向	P3	45 870	55 044
横桥向	P4	61 940	74 328
横桥向	P5	45 870	55 044

### 5.3 支座

支座根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)7.4.6条的规定,球型活动支座需要进行支座滑动水平位移的验算,球型固定支座需要进行支座水平力的验算。计算联各桥墩上支座的验算结果见表10和表11。

表10 各墩上球型支座纵向性能验算表

墩号	支座水平位移/cm	支座容许滑动水平位移/cm	支座水平力设计值/kN	支座容许承受的水平力/kN	水平位移验算	水平力验算
P3	13.32	15.00	—	—	通过	—
P4	—	—	5 386	6 000	—	通过
P5	13.32	15.00	—	—	通过	—

表11 各墩上球型支座横向性能验算表

墩号	支座水平位移/cm	支座容许滑动水平位移/cm	支座水平力设计值/kN	支座容许承受的水平力/kN	水平位移验算	水平力验算
P3	—	—	3 989	4 000	—	通过
P4	—	—	5 386	6 000	—	通过
P5	—	—	3 989	4 000	—	通过

### 5.4 基础

#### (1)单桩最不利内力

根据非线性时程计算结果,承台底纵桥向和横桥向最不利内力见表12,与恒载内力进行组合,组合最不利内力,组合结果见表13。

表12 E2地震作用各桥墩承台底纵桥向和横桥向最不利内力

承台位置	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)
P3 纵桥向	274.5	4 433.0	32 800.1
P4 纵桥向	0.0	7 164.8	90 016.6
P5 纵桥向	274.5	4 433.0	32 800.1
P3 横桥向	1.0	5 767.4	67 239.1
P4 横桥向	1.4	7 164.8	90 016.6
P5 横桥向	1.0	5 767.4	67 239.1

表 13 E2 地震作用各桥墩承台底纵桥向和横桥向  
最不利组合内力

墩号	恒载内力			最不利内力组合			
	轴力 /kN	剪力 /kN	弯矩 / (kN·m)	最大轴力 /kN	最小轴力 /kN	剪力 /kN	弯矩 / (kN·m)
P3 纵桥向	9 346	0	0	9 620	9 071	4 433	32 800
P4 纵桥向	10 403	0	0	10 403	10 403	7 165	90 017
P5 纵桥向	9 346	0	0	9 620	9 071	4 433	32 800
P3 横桥向	9 346	0	0	9 347	9 345	5 767	67 239
P4 横桥向	10 403	0	0	10 405	10 402	7 165	90 017
P5 横桥向	9 346	0	0	9 347	9 345	5 767	67 239

## (2)最不利单桩抗弯承载力验算

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)<sup>[4]</sup>的相关规定,考虑最不利组合,根据实际的桩基础截面配筋,计算桩身的抗弯承载力,从而验算最不利单桩抗弯强度,验算结果见表 14。

## 6 结 论

本文以乌鲁木齐市北站路(八钢公路-机场

表 14 各桥墩单桩最不利截面抗弯能力验算表

主轴方向	墩号	最小轴力 /kN	弯矩需求 / (kN·m)	抗弯承载力 / (kN·m)	验算结果
纵桥向	P3	-1 686	552.4	2 900	通过
	P4	-5 820	991.8	1 265	通过
	P5	-1 686	552.4	2 900	通过
横桥向	P3	-2 636	1 011	2 610	通过
	P4	-3 744	1 232	2 181	通过
	P5	-2 636	1 011	2 610	通过

高速)建设工程为工程背景,采用延性抗震设计方法,对高烈度区大跨连续梁结构在 E1 地震作用下采用反应谱分析,在 E2 地震作用下采用非线性时程分析,以 Midas Civil 2019(v2.2)软件为工具,进行地震反应分析与验算,对该类桥梁的延性抗震设计提供了有益的参考。

## 参考文献:

- [1] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].
- [2] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 周良,李建中.城市桥梁抗震设计算例[M].北京:人民交通出版社,2017.
- [4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

电话:021-55008118 传真:021-55008850 投稿及联系邮箱:cdq@smedi.com