

高烈度区曲线连续梁减隔震设计

尹臻

(上海市政工程设计有限公司, 上海市 200092)

摘要:以乌鲁木齐市安宁渠路(机场段)道路改线工程为工程背景,采用减隔震设计方法,对E2地震作用下高烈度区曲线连续梁结构进行非线性时程分析,并以Midas/Civil 2019(v2.2)软件为工具,进行地震反应分析与验算。所得结果可对该类桥梁的减隔震设计提供有益参考。

关键词:高烈度区;曲线连续梁;非线性时程分析;减隔震设计

中图分类号:U442.5+5

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2021)05-0083-04

0 引言

桥梁工程作为具备跨越连接能力的结构形式,在城市交通体系中扮演着不可或缺的角色。地震造成的桥梁破坏不仅会影响人类的交通出行和社会经济发展,而且会对震后的救援工作带来极为不利的影响,导致地震次生灾害的加速发展^[1]。

在城市日新月异的发展过程中,由于道路专业平面线性需要,曲线连续梁这种桥梁结构形式越来越多地出现在现代城市交通系统中,比如城市立交、机场枢纽和城市生态环形步道桥等。

乌鲁木齐市地处地震基本烈度8度区,属于地震高烈度地区,同时曲线连续梁是应用非常广的一种桥梁结构形式。因此,本文以乌鲁木齐市安宁渠路(机场段)道路改线工程为工程背景,采用数值模拟方法,进行高烈度区曲线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

本文依托安宁渠路(机场段)道路改线工程,主桥跨径为35 m+35 m的2跨等截面连续钢箱梁桥,位于曲线半径 $R=100$ m的道路平面上(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35 m+35 m的2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。

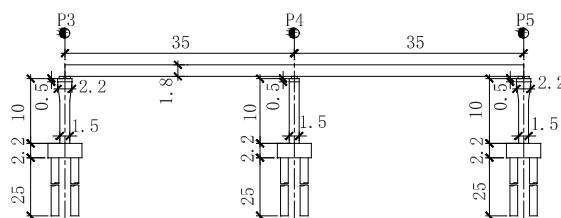


图1 主桥立面图(单位:m)

主桥和引桥上部结构梁高均为1.8 m。截面如图2所示。

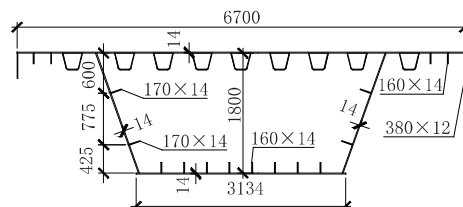


图2 主桥和引桥横断面图(单位:mm)

全桥支承体系布置示意图如图3所示。支座均采用高阻尼隔震橡胶支座。

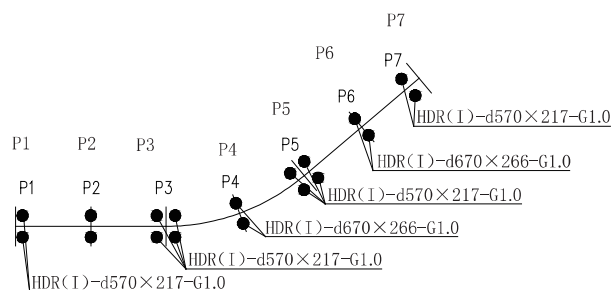


图3 全桥支承体系布置示意图

桥墩墩柱均采用单柱花瓶墩,承台均采用矩形实心混凝土截面。所有桥墩断面尺寸均为1.5 m×2.0 m,承台断面尺寸均为5.2 m×5.6 m,如图4所示。

桥梁基础均采用钻孔灌注桩群桩基础。所有桥墩基础布置形式均为整体式承台下连接纵向2排,每排

收稿日期:2020-10-05

作者简介:尹臻(1989—),男,本科,工程师,从事桥梁设计及桥梁抗震研究工作。

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 0.40 s 。

根据规范得出的目标反应谱见图9。

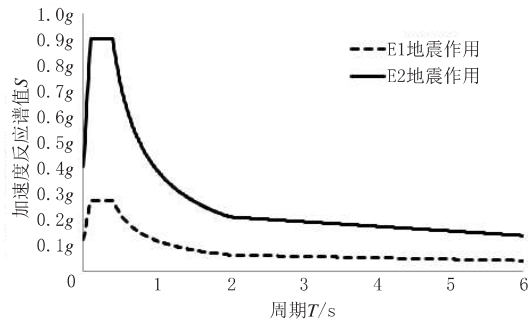


图9 水平向加速度反应谱

2.2 加速度时程

根据上节给出的目标反应谱生成人工波,并从与目标反应谱拟合较好的地震波中选取人工波。本文选取1号~3号3组地震波并取最大值,3组地震波加速度时程图见图10~图12。

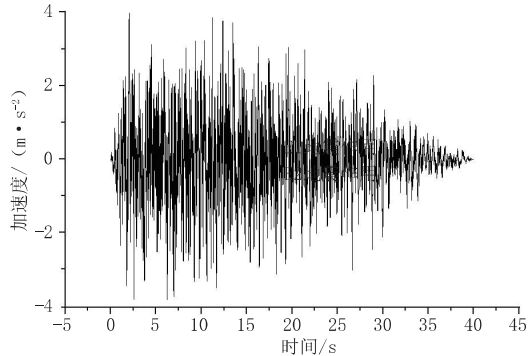


图10 1号地震波加速度时程图

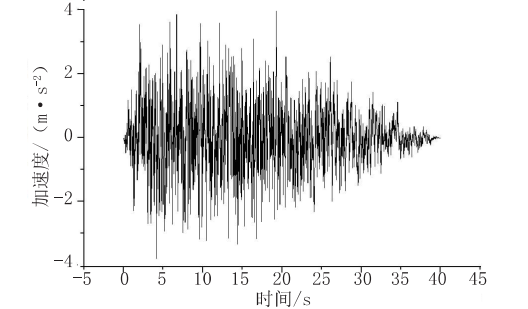


图11 2号地震波加速度时程图

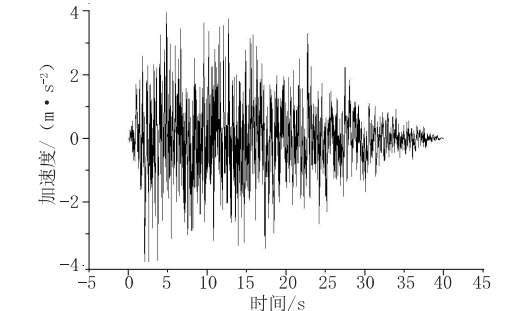


图12 3号地震波加速度时程图

2.3 地震动输入方向

本文地震反应分析中,考虑水平方向和竖向的地震输入。对于曲线桥梁,分别沿相邻2桥墩连线方向和垂直于连线水平方向进行多方向地震输入,以确定最不利地震水平输入方向^[2]。本文地震水平输入方向见表4。

表4 地震水平输入方向表

方向	相邻桥墩	桥墩连线方向 角度/(°)	垂直桥墩连线方向 角度/(°)
方向一	P3、P4	10.027	100.027
方向二	P4、P5	30.080	120.080

3 E2 基于非线性时程的地震反应分析与抗震验算^[4-5]

3.1 非线性动力计算模型

本文采用非线性动力时程分析法,建立减隔震桥梁的非线性动力模型。考虑高阻尼隔震橡胶支座的非线性力学特性,其恢复力模型采用双线性模型。

3.2 地震反应

采用前述3组地震加速度时程分别进行水平向和竖向输入,对建立的动力计算模型进行非线性时程分析,地震反应分析结果取3组时程结果的最大值。表5~表7分别列出了各桥墩墩柱关键截面内力、承台底内力以及高阻尼隔震橡胶支座响应的最大值。

表5 各桥墩关键截面地震切向和法向内力表

桥墩	截面 位置	轴力/kN		剪力/kN		弯矩/(kN·m)	
		切向	法向	切向	法向	切向	法向
边墩	墩底	1 189	1 189	931	1 362	8 498	12 825
中墩	墩底	1 817	1 817	1 076	1 122	9 292	9 112

表6 承台底最大地震切向和法向内力响应表

桥墩	轴力/kN		剪力/kN		弯矩/(kN·m)	
	切向	法向	切向	法向	切向	法向
边墩	1 305	1 305	1 526	2 090	10 401	15 646
中墩	1 964	1 964	1 778	2 055	11 548	12 035

表7 支座切向和法向的最大地震响应表

桥墩	剪切变形/m		剪力/kN	
	切向	法向	切向	法向
边墩	0.066	0.099	208	282
中墩	0.089	0.098	322	327

3.3 抗震验算

根据《城市桥梁抗震设计规范》第9.4.1条和第9.4.2条的规定,E2地震作用下,桥梁墩台与基础的

验算,应将减隔震装置传递的水平地震力除以 1.5 的折减系数,并与恒载内力进行组合,得到各控制截面的最不利内力。对于高阻尼隔震橡胶支座,E2 地震作用下产生的剪切应变必须在 250%以下,并应校核其稳定性。

在进行 E2 地震作用下抗震验算时,本桥的荷载组合主要是恒载与地震荷载的组合。由于桥墩墩柱为偏心受压构件,其恒载与地震作用的最不利组合为:(1)轴力为恒载轴力减去地震轴力;(2)弯矩为恒

载弯矩与地震弯矩之和。

3.3.1 桥墩抗弯验算

计算出的各墩恒载内力以及恒载与地震内力最不利组合见表 8,表中的地震弯矩考虑了减隔震装置传递的水平地震力除以 1.5 的折减系数。

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)中偏心受压构件承载能力计算公式,计算出的各墩柱关键截面抗弯承载能力见表 9。

表 8 各桥墩关键截面切向和法向最不利内力组合表

桥墩	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	
		切向	法向	切向	法向	切向	法向	切向	法向	切向	法向	切向	法向
边墩	墩底	2 776	2 776	1 189	1 189	1 587	1 587	377	303	5 665	8 550	6 042	8 853
中墩	墩底	3 185	3 185	1 817	1 817	1 368	1 368	0	26	6 194	6 075	6 194	6 101

表 9 地震作用下墩柱切向和法向抗弯强度检算表

桥墩	截面位置	最不利轴力 /kN		最不利弯矩 /kN		抗弯承载力 /kN		验算结果
		切向	法向	切向	法向	切向	法向	
边墩	墩底	1 587	1 587	6 042	8 853	23 260	30 000	通过
中墩	墩底	1 368	1 368	6 194	6 101	23 170	29 890	通过

由表 9 可知,在最不利轴力作用下,各墩柱关键截面抗弯承载力均满足规范要求。

3.3.2 基础

根据表 6 中承台底最大内力响应的计算结果,考虑减隔震装置传递的水平地震力除以 1.5 的折减系数后,计算出单桩最不利内力地震响应,与单桩恒载内力组合后,验算单桩在最不利轴力作用下的抗弯承载力。各墩最不利单桩抗弯承载能力验算结果见表 10。

表 10 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
切向	边墩	-922.7	277.9	2 349	通过
	中墩	-1 081	304.9	2 309	通过
法向	边墩	-1 330	340.2	2 243	通过
	中墩	-1 039	291.4	2 319	通过

3.3.3 支座

表 11 列出了各墩上最不利支座位移验算结果。

4 结 语

本文以乌鲁木齐市安宁渠路(机场段)道路改线

表 11 地震作用下支座变形

主轴方向	墩号	支座剪切变形 /m	支座容许剪切变形 /m	验算结果
切向	边墩	0.066	0.275	通过
	中墩	0.089	0.325	通过
法向	边墩	0.099	0.275	通过
	中墩	0.098	0.325	通过

工程为工程背景,采用减隔震设计方法,对 E2 地震作用下高烈度区曲线连续梁结构进行非线性时程分析,并以 Midas /Civil 2019(v2.2)软件为工具,进行地震反应分析与验算,对该类桥梁的减隔震设计提供了有益的参考。

参考文献:

- [1] 张弓强.试论地震灾害对经济社会发展的影响[J].灾害学,2012,27(1):121-124.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ 166—2011:城市桥梁抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. JT/T 842—2012:公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座[S].北京:人民交通出版社,2013.
- [4] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震[M].2版.北京:人民交通出版社,2011.
- [5] 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.