

高烈度地震区某高铁简支梁桥圆端形实体墩设计

王 勇

(中铁第五勘察设计院集团有限公司 桥梁设计院, 北京 102600)

摘要:铁路标准跨度简支梁桥体量大,所设计的标准桥墩既要安全适用,又要经济合理,同时还要便于设计应用、方便施工并有利于铁路工务部门后续的维修养护。在现行高速铁路桥墩通用图的基础上,进一步阐述了高烈度地震区高速铁路简支梁桥标准实体墩的设计原则、边界条件和桥墩设计方法,并对地质参数的取值进行了原理介绍,尤其深入说明了桥墩总刚度上限的重要意义,最终设计出了一套适用性强、便于参考并与整个项目相匹配的简支梁标准实体墩,为类似标准设计提供了借鉴。

关键词:高烈度地震;标准桥墩;总刚度;设计

中图分类号:U441 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2022)02-0015-05

0 引言

铁路行业通用参考图是根据国家铁路发展规划、综合考虑全国各地建设项目特点而编制的,具有较好的经济性及较强的包容性,能适用于国内大部分铁路工程项目,为铁路工程建设及后续管养的标准化、科学化提供了极大便利^[1]。现行高速铁路实体桥墩通用参考图包含了 $A_g \leq 0.2g$ 、 $T_g \leq 0.55$ s的桥墩^[2],能满足大部分高铁桥梁建设需要。但是,中国幅员辽阔,工程场地条件差异大,部分高速铁路桥梁需穿越 $A_g > 0.2g$ 或 $T_g > 0.55$ s的场址,因此,需要编制一套能适用于高烈度地震区、长周期的桥墩参考图^[3]。

1 项目概况

某高速铁路穿银川—河套地震带,存在长大段落走行于 $A_g = 0.3g$ 、 $T_g \leq 0.45$ s及 0.65 s的高烈度地震区,区段线路长93.8 km,其中,桥梁合计24.07 km(19座),桥长占线路长度的25.7%, $T_g \leq 0.45$ s的墩台占比约88%, 0.45 s $<T_g \leq 0.65$ s的墩台占比约12%;实体墩占比约75.2%,占比大。

2 设计原则

(1)桥墩轮廓外形应与现行通用图相似,以利于本项目同类型桥墩统一协调,保证桥梁整体造型美观。

(2)桥墩高度范围 $3\text{ m} \leq H \leq 20\text{ m}$ 。

(3)分别按 T_g 为 0.45 s及 0.65 s 2种情况设计,并尽量减少桥墩类型,不同场地特征周期的墩身尺寸宜统一,可通过不同的配筋方案增强其适应性。

(4)墩身承载力需满足高烈度地震区的所有工况,但亦需经济合理。

(5)标准设计成果列出的桥墩总刚度适用值上限,应按墩身为素混凝土构件计算,但该值应有足够的富余,以保证多次重复荷载后,即便墩身混凝土弹性模量降低,桥墩总刚度仍能满足列车安全运行^[4]。

(6)设计荷载。恒载、活载、风荷载及长钢轨纵向轨道力等均按现行《铁路桥涵设计规范》执行^[5];地震力按现行《铁路工程抗震设计规范》执行。

收稿日期:2021-12-20 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.20210273

基金项目:中铁第五勘察设计院集团有限公司科研开发计划项目(T5Y2018-B06)

作者简介:王勇(1984—),男,高级工程师,研究方向为桥梁设计。E-mail:229058510@qq.com

王勇.高烈度地震区某高铁简支梁桥圆端形实体墩设计[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2022,35(2):15-19.

(7)荷载组合。按现行高铁桥墩通用图的组合执行^[2]。

3 边界条件

3.1 主要技术标准

铁路等级:高速铁路。

正线数目:双线,线间距 4.6 m。

轨道类型:有砟轨道,局部地段采用 CRTSI 型板式无砟轨道。

速度目标值:250 km/h。

设计荷载:ZK 活载。

3.2 线路平面条件

直线、曲线,最小曲线半径 $R=3\ 000\text{ m}$ 。

3.3 梁型

采用通桥(2016)2229 直、曲线有砟及无砟轨道梁,且含设、不设声屏障 2 种情况。

结合以往设计经验并参考现行通用图设计成果,本标准墩设计直接选用墩顶恒载最大情况时的梁型,即 32 m 曲线、声屏障有砟轨道梁。墩顶恒载为^[6-7] $N=(G_{\text{梁重}}+F_{\text{孔梁二期恒载}})=7\ 134\text{ kN}$ 。

3.4 支座类型

选用本项目特殊设计的、适用于 $A_g=0.3g$ 的球型钢支座。

3.5 地质条件及基本参数

本项目 $A_g=0.3g$ 、 $T_g=0.45\text{ s}$ 地区的地质主要为深厚粉土、硬塑黏性土,场地类别为一区、Ⅲ类场地; $T_g=0.65\text{ s}$ 地区的地质主要为深厚湿陷性黄土区,场地类别为三区、Ⅲ类场地。

为便于标准设计,计算时先假定了模拟的地质参数^[8],见表 1。

表 1 标准墩设计时的地质参数

T_g/s	地层参数						
	基本承载力	容重	地基系数比例系数	桩周极限摩阻力	内摩擦角	修正系数	修正系数
	σ_0/kPa	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$m/(\text{kPa}\cdot\text{m}^{-2})$	f_i/kPa	$\Phi/(^{\circ})$	K_2	K'
0.45	160	19	10 000	53	15	2.5	1.0
0.65	160	19	12 000	60	20	5.0	2.5

给定地层参数,主要是为了便于匹配桥墩总刚度、计算地震力,以得到合理的墩身尺寸及配筋方案。但该地质参数不唯一,可在相应场地类别中任意取值,因为本设计的目的是要得到墩身容许承载力和容许总刚度,地层仅为条件之一,通过调整基础样式,亦可匹配出所需的桥墩总刚度。

3.6 地震信息

设计地震 $A_g=0.3g$,场地特征周期 $T_g=0.45\text{ s}$ 、 0.65 s 。

4 桥墩总刚度上限估算

4.1 总刚度上限的意义

(1)保证铁路安全的需要。为铁路桥墩设定总刚度下限^[9]是铁路桥不同于公路、市政桥的特点之一,只有当桥墩拥有一定的刚度,才能保证桥上列车运行安全、舒适。基于此,广大铁路桥梁设计人员十分关注桥墩总刚度,避免其低于下限。这在非地震工况控制设计时是合理的,但当地震力控制设计时,采用标准设计的桥梁还应保证桥墩总刚度不宜过大,否则会因过大的刚度而使桥墩承受超过其允许承载力的地震力而使结构受损,危及铁路运营安全。桥墩总刚度受基础、墩自身刚度影响,其被允许的下限值较易控制,当最小刚度控制设计时,可以增大桩间距、增加桩根数或加大桩径;反之,桥墩实际总刚度往往因基础承载力的需要而自然很大,极可能因大刚度而产生的较大地震力,超出标准墩的适用范围。

(2)确定标准桥墩配筋方案的必要条件。震区铁路桥下部结构受地震力控制设计,抗震是设计工作

的重中之重,而桥墩所受地震力的大小又与其总刚度正相关^[10]。故设计标准墩时,应首先拟定桥墩总刚度上限值,该刚度确定后,桥墩所承受的设计地震力即基本确定,然后再由该地震力反算墩身配筋,使桥墩承载力略大于其实际承受的设计地震力即可。在桥梁工点设计中,只要桥墩设计总刚度不超过标准设计给定的限值,该标准墩即可直接利用;否则,桥墩会因实际受力较大而导致标准墩不适用。

综上所述,为了保证铁路桥梁安全,桥梁工点设计时,铁路桥墩除了满足总刚度下限要求外,还应控制其刚度上限,并应在标准墩设计中明确该上限值,以便于工点设计人员引用标准设计参考图。

4.2 估算的总刚度上限

本标准墩仅为本项目而设,故其总刚度上限应能适应本项目相应场地下的所有情况^[11]。标准桥墩具有通用性,为保证其适用性强、便于设计应用和施工,不同高度的桥墩,其外轮廓尺寸、截面配筋方案宜一致^[12]。故,设计标准墩时,关键是确定控制的桥墩即最高桥墩(即墩高 $H=20\text{ m}$ 时)的墩身尺寸及配筋方案。相应地,确定总刚度时,也应首先确定最高桥墩的总刚度上限。

根据初步设计成果,统计了本线全部 $A_g=0.3g$ 、 $T_g=0.45\text{ s}$ 和 $T_g=0.65\text{ s}$ 的桥墩,得到了实际设计的最高墩总刚度;标准墩总刚度应以统计得出的刚度为基准,适当留有富余后即可作为刚度上限。统计 $H=20\text{ m}$ 时桥墩实际设计总刚度及拟定的上限值见表 2。

表 2 按实际工点统计的最高桥墩($H=20\text{ m}$)总刚度及拟定刚度上限值

T_g/s	工点设计值/ $(\text{kN}\cdot\text{cm}^{-1})$		拟定上限值/ $(\text{kN}\cdot\text{cm}^{-1})$		富余/ $\%$	
	K_x	K_y	K_x	K_y	K_x	K_y
0.45	689	1 844	780	2 000	13.2	8.5
0.65	675	1 720	750	1 950	11.1	13.4

由表 2 可知,拟定的最高墩总刚度限值已远超刚度下限,不会发生因疲劳荷载作用而使桥墩刚度降低至低于下限的情况。

5 桥墩设计

5.1 墩身尺寸

在参考现行类似标准桥墩通用图的基础上,为了满足本项目支座安装尺寸的需要,垫石平面尺寸由常用的纵向长度 $\times$ 横向长度由 $2.4\text{ m}\times1.2\text{ m}$ 调整为 $2.48\text{ m}\times1.5\text{ m}$,经反复研究比选,最终确定桥墩尺寸为:墩顶、墩颈纵向长度 $\times$ 横向长度分别为 $3.2\text{ m}\times7.8\text{ m}$ 、 $2.3\text{ m}\times6.0\text{ m}$,墩身纵横向均按 45:1 放坡。桥墩构造见图 1。

5.2 墩身配筋

由前述分析可知,当墩顶荷载已知,墩身尺寸及最高桥墩总刚度上限确定后,位于特定震区的桥墩设计地震力即基本确定,最后再由该地震力反算墩身配筋即可^[13-14]。

经多轮试算,本标准墩最高墩竖向主筋配置方案为:当 $T_g=0.45\text{ s}$ 时,墩底截面配置 106 束双根一束 $\Phi25$ 钢筋(HRB400),其中,单侧圆端侧设 31 束 $\Phi25$ 钢筋,束筋中心距 14.8 cm;单侧夹直线段设 22 束 $\Phi25$ 钢筋,束筋中心距 15 cm;为节约投资、充分体现墩身实际受力需要,自墩底向上 8 m 段采用双根一束布筋,再上的墩身采用单根一束布筋。当 $T_g=0.65\text{ s}$ 时,只需将 $T_g=0.45\text{ s}$ 工况下的钢筋直径调整为 $\Phi28$ 即可。

5.3 桥墩总刚度上限

最高桥墩的方案确定后,其余桥墩即可按既定的配筋方案、相应的墩高反算总刚度,其上限值以墩身钢筋最大拉应力接近其容许值为判断条件,即 $\sigma_{s,\min}\leq[\sigma_s]=315\text{ MPa}$ (注:混凝土压应力一般不控制设计),由此得出各墩总刚度上限值,见表 3。为了验证标准墩的适用性,表 3 亦给出了工点桥墩设计总刚

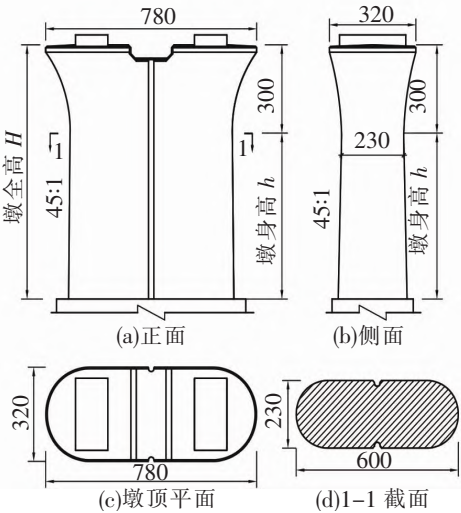


图 1 桥墩构造图(单位:cm)

度,并与刚度上限进行对比。

表 3 桥墩总刚度上限及工点桥墩设计总刚度比较

墩高 H/m	$T_g=0.45\text{ s}$						$T_g=0.65\text{ s}$					
	总刚度上限/ ($\text{kN} \cdot \text{cm}^{-1}$)		工点设计值/ ($\text{kN} \cdot \text{cm}^{-1}$)		((上限-实际)/ 实际)/%		总刚度上限/ ($\text{kN} \cdot \text{cm}^{-1}$)		工点设计值/ ($\text{kN} \cdot \text{cm}^{-1}$)		((上限-实际)/ 实际)/%	
	K_x	K_y	K_x	K_y	K_x	K_y	K_x	K_y	K_x	K_y	K_x	K_y
7	7 482	12 085	—	—	—	—	11 109	24 785	—	—	—	—
8	4 026	11 204	2 909	5 622	38.4	99.3	7 091	14 796	1 994	3 276	255.6	351.6
9	2 913	10 295	2 449	5 009	18.9	105.5	5 214	13 331	1 549	2 444	236.6	445.5
10	2 383	9 394	2 102	4 524	13.4	107.7	2 468	7 330	—	—	—	—
11	2 159	8 228	1 689	3 794	27.8	116.9	1 575	6 657	1 290	2 493	22.1	167.0
12	1 837	7 505	1 668	3 994	10.1	87.9	1 367	5 950	—	—	—	—
13	1 692	6 138	1 446	3 558	17.0	72.5	1 317	5 470	—	—	—	—
14	1 556	4 456	1 377	2 395	13.0	86.1	1 160	4 434	1 081	2 610	7.3	69.9
15	1 416	4 345	931	2 253	52.1	92.9	1 103	4 062	927	2 420	19.0	67.9
16	1 309	3 960	992	2 596	31.9	52.6	978	3 664	848	2 199	15.3	66.6
17	1 198	3 692	913	2 471	31.3	49.4	959	3 375	724	1 723	32.5	95.9
18	1 084	3 404	742	1 915	46.1	77.7	858	3 122	—	—	—	—
19	974	3 410	703	1 896	38.6	79.9	822	3 085	734	1 824	12.0	69.1
20	885	3 105	689	1 844	28.5	68.4	745	2 819	675	1 720	10.4	63.9

注:①由于钢筋为标准直径建材,且配筋时束筋间距又不宜太碎,故由实际配筋修正的最高墩总刚度上限与拟定值略有出入;②当墩高 $H \leq 6\text{ m}$ 时,即便桥墩总刚度达到墩自身刚度,钢筋最大应力也远小于其容许值,即此时的总刚度上限即为墩自身刚度,但已无实际意义,表 3 未计列;③个别工点桥墩设计总刚度为空值的,表示工点中没有该高度的桥墩。

由表 3 可知,所设计标准墩能够适用于本项目高烈度地震区实体墩简支梁桥,结构具有足够的安全度。

6 结束语

在吸收、借鉴现行铁路桥墩通用图的基础上,忽略行业熟知的、常规设计中关于荷载和具体计算内容的介绍,以桥墩总刚度为抓手,设计了高烈度地震区某高铁简支梁桥标准实体墩。得出以下结论:

(1)对于本项目高烈度地震区实体墩简支梁桥,所设计标准墩适用性较好,各墩、各方向均有富余,且总体上纵向富余小、横向富余大。

(2)对于最大墩高 $H=20\text{ m}$ 的桥墩, $T_g=0.45\text{ s}$ 、 0.65 s 时的标准墩纵向刚度富余量分别为 28.5%、10.4%,但存在 $10\text{ m} \leq H \leq 14\text{ m}$ 的桥墩富余量较小的情况。

(3)随着墩高增加,桥墩纵、横向总刚度上限值均逐渐变小,但由于地震力与墩高、刚度并非线性相关,桥墩总刚度与墩高亦非线性相关,又由于工点地质条件的随机性,因而出现了 $10\text{ m} \leq H \leq 14\text{ m}$ 的桥墩富余量较小的情况。

(4)桥墩纵向总刚度较横向富余量大,说明工点桥墩主要受纵向地震力控制;标准墩横向刚度较大,主要原因为:为了使桥墩拥有足够的纵向承载力,墩身配筋较多,而该配筋方案自然使得桥墩横向

参 考 文 献

- [1]蔡建业. 某境外铁路中小跨度桥梁桥式适应性研究[J]. 铁道建筑技术, 2019(1):98-101.
- [2]中国铁路总公司. 铁路工程建设通用参考图时速 250 公里高速铁路圆端型实体桥墩[M]. 北京:中国铁路总公司, 2017.
- [3]李晓波. 铁路简支梁桥墩抗震简化算法与有限元法对比研究 [J]. 铁道标准设计, 2021(8):77-82.
- [4]国家铁路局. TB 10092—2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [5]国家铁路局. TB 10002—2017 铁路桥涵设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [6]中国铁路总公司. 铁路工程建设通用参考图时速 250 公里高速铁路预制有砟轨道后张法预应力混凝土简支箱梁[M]. 北京:中国铁路总公司, 2016.
- [7]中国铁路总公司. 铁路工程建设通用参考图时速 250 公里高速铁路预制无砟轨道后张法预应力混凝土简支箱梁[M]. 北京:中国铁路总公司, 2016.
- [8]国家铁路局. TB 10093—2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [9]中华人民共和国铁道部. TB 10015—2012 铁路无缝线路设计规范客[S]. 北京:中国铁道出版社, 2013.
- [10]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50111—2006 铁路工程抗震设计规范(2009 年版)[S]. 北京:中国计划出版社, 2009.
- [11]吴文华. 客货共线铁路 T 梁桥圆端型空心墩参考图总体设计[J]. 铁道标准设计, 2016(2):66-70.
- [12]陈慧. 铁路桥梁圆端型空心墩的设计[J]. 铁道标准设计, 2009(4):77-99.
- [13]黄棠,王效通. 结构设计原理[M]. 北京:中国铁道出版社, 1986.
- [14]陈兴冲,张永亮,丁明波,等. 少筋混凝土重力式桥墩抗震设计方法研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(3):76-80.

Design of Round End Solid Pier of Simple Supported Beam Bridge in High Speed Railway in High Seismic Regions

Wang Yong

(Bridge Design Department of China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Corporation, Beijing 102600, China)

Abstract: The standard girder bridge for railway is massing, therefore, technical requirements of the standard pier such as safety and quality, reasonable cost, easy in use, convenient to construct, favorable maintenance for railway engineering department are needed. Then based on the current high speed railway general purpose graph of the pier, the design principles, boundary, design method, especially the theory of geological parameters and significance about pier general stiffness were expounded further. The pier purpose graph which can be used in the project conveniently was designed finally, which could provide guidance for similar standard design.

Key words: high seismic; standard pier; general stiffness; design