

装配式桥梁桥墩通用图的计算要点

马巧巧

(上海同豪土木工程咨询有限公司, 上海市 200092)

摘要: 近几十年, 装配式桥梁在高速公路中仍占主导地位。若遇到大量复杂地形, 桥梁设计师会面临工作量剧增、复杂、繁琐、特异性高、容易出错的问题, 施工单位也面临结构种类过多、模板不能重复利用、很难保证施工质量与工期的困境, 此时装配式桥梁通用图很好地解决了这个问题。介绍了装配式桥梁桥墩通用图计算时需要注意的一些要点、难点, 例如如何合理地确定桥墩适用范围、计算工况、如何考虑计算长度等, 并提供了相应的解决方法。总结了一些套用通用图、分联、联内墩高组合的经验, 以为其他桥梁设计师在桥墩计算上提供一些思路。

关键词: 通用图; 桥墩计算; 适用范围; 联内墩高组合; 最大墩高差; 计算长度

中图分类号: U443.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0132-04

Calculation Essentials of Standard Drawings for Fabricated Bridge Piers

MA Qiaoqiao

(Shanghai Tonghao Civil Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: In recent decades, the fabricated bridges still dominate in expressway construction. If encountering a large number of complex terrains, the bridge designers will face problems such as a sharp increase in workload, complexity, intricacy, high specificity and a tendency to make mistakes, and the construction units are also confronted with the predicament of an excessive variety of structures, inability to reuse formwork, and difficulty in ensuring construction quality and schedule. At this time, the standard drawings of fabricated bridges can solve this problem better. Some key points and difficulties required for attention in the calculation of standard drawings for fabricated bridge piers are introduced, such as how to reasonably determine the scope of application of piers, calculate the working conditions, and how to consider the calculation length. The corresponding solutions are provided, and some experience in applying standard drawings, split couplings, and combining pier heights within couplings are summarized, which hopes to provide some ideas for other bridge designers in pier calculations.

Keywords: standard drawings; pier calculation; scope of application; combination of pier height within couplings; maximum pier height difference; calculation length

0 引言

“要想富, 先修路”, 为了促进经济发展, 满足日益增加的运输需求, 一座座高速公路拔地而起。而高速公路沿线总会经过各种农田、山地、河谷、山崖等地貌, 这时就需要修建桥梁, 考虑到采用现浇混凝土工艺施工难度大且成本支出也较高, 高速公路一般会采用预制施工方法, 结构简单、机械施工成熟, 可有效降低施工难度, 保证施工效率, 降低施工成本。

高速公路桥梁设计中, 上部结构、下部结构类型

的选择是主要设计内容。本着安全可靠、经久耐用、经济合理等原则, 上部结构一般会选择跨越能力较好的T梁或小箱梁作为首选。而桥梁下部结构的设计与施工质量是整个桥梁质量的根本与关键, 且造价占大比重, 进度更是整个桥梁工程的控制因素^[1], 因此, 合理的下部结构设计至关重要。为保证施工进度和质量, 下部结构设计时, 会尽量选择结构简单、施工难度低的桥墩类型, 例如圆柱墩、矩形墩、薄壁墩等, 同时还要尽量合并或减少桥墩种类(含类型不同、尺寸不同), 这无疑增加了设计难度。

为减少桥梁设计师繁重、反复的设计工作, 某地区某院根据新规范重新设计了一套标准跨径的通用图, 以期指导院内桥梁设计师, 同时也可为其其他桥梁行业工作者提供一些思路。

收稿日期: 2024-06-03

作者简介: 马巧巧(1990—), 女, 学士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

1 通用图概况

这套通用图适用于24.5、26.5、34 m三种路基宽度,上部结构为20、30、40 m的简支或连续T梁/小箱梁,斜交角度 0° 、 15° 、 30° ,桥台类型为桩柱式台、肋板台、座板台、U台4种,桥墩类型为圆形双柱式桥墩、方形双柱式桥墩、实心桥墩、等截面空心桥墩4种。上部、下部结构连接采用板式橡胶支座。技术指标如下:

- (1)结构设计安全等级:一级;
- (2)道路等级:高速公路,设计速度100、120 km/h;
- (3)汽车荷载等级:公路—I级;
- (4)抗震等级:抗震设防烈度包括Ⅵ度($0.05g$)、Ⅶ度($0.1g$)两种,场地类别Ⅱ类,特征周期0.35 s;抗震设防类别为B类;
- (5)环境作用等级:桩基、承台、地系梁采用I—C级;盖(帽)梁、墩柱、柱间系梁采用I—B级。

本文仅介绍T梁及小箱梁配套的桥墩通用图的计算要点,桥台暂不介绍。

2 桥墩计算要点

2.1 计算内容

桥墩计算依据为国家现行有关规范、规程及技术标准。桥墩分为盖梁、墩柱、承台、桩基、系梁等部位,均采用钢筋混凝土结构。

桥墩计算分为静力、抗震计算2部分。

静力计算时,桥墩各部位需进行持久状况承载能力极限状态计算、持久状况正常使用极限状态计算、短暂状况构件的应力计算。

抗震计算时,根据《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)^[2],抗震设防烈度Ⅵ度($0.05g$)、抗震设防类别B类,抗震设计方法为3类,应满足相关构造和抗震措施的要求,可不进行抗震分析和抗震验算;抗震设防烈度Ⅶ度($0.1g$)、抗震设防类别B类,抗震设计方法为1类,应进行E1和E2地震作用下的抗震分析和抗震验算,并应满足桥梁结构抗震体系的要求以及相关构造和抗震措施的要求。

2.2 计算要点

具体桥梁设计中,最难的是要结合地区实际情况、地形地貌等来选择上部结构、下部结构类型,一旦选定,就可按部就班地进一步优化构造、配筋、优化施工方案等。而通用图设计中最大的难点就在于

缺乏真实的地质地形、周边构筑物、河流、农田等信息,不能有依据地规划路线、分联布孔,只能人为设定。本次桥墩计算时,路线采用直线、最小半径不大于400 m的圆曲线两种包络,跨径采用标准化跨径。

路基宽度、上构类型、跨径、孔数、斜交角度、上构结构形式、桥墩类型、墩高、支座类型等不同均会影响桥墩受力情况。变量太多,组合出来的一联桥梁的种类至少有上千种,无疑给包络计算增加了难度,这就需要先对结构种类和计算工况进行归并和取舍。归并,是为了减少桥墩尺寸的种类、配筋的种类,能包络大部分工况即可。取舍,是摒弃掉部分不常用的工况,避免因特殊情况导致尺寸加大、配筋增加,造成不必要的浪费。

确定通用图构造时已经做了大量的归并取舍工作,下面简单介绍下桥墩计算时需要另外考虑的关键点。

(1)路基宽度

26.5 m和24.5 m下的桥墩构造基本一致,仅盖梁尺寸、双柱墩间距有点区别,另考虑到路基宽度较大时,上构恒载活载都较大,恒载较大地震影响也会相应增大,基本可以用26.5 m计算包络24.5 m。后每个跨径每个墩柱类型都建了一个24.5 m的比对模型,结果表明,静力计算时大部分工况都可以包络,局部一两个工况不能包络时也仅超5%以内,而抗震计算则可以完全包络。34 m的桥墩构造与26.5 m的均不同,不能归并。

(2)斜交角度

斜交角度不同,但恒载、活载、地震力均差不多,对墩柱基础的影响可忽略,仅需考虑对盖梁的影响。该结论已通过比对模型验证。

(3)上构类型

T梁和小箱梁,恒载、温度效应、收缩徐变效应、风荷载等效应均不一致,因此静力计算时不能归并,但抗震计算时恒载效应突出,可以用T梁包络住小箱梁。该结论已通过比对模型验证。

(4)上构结构形式

简支结构恒活载在竖向受力上比较均匀,连续结构中间墩处会更不利。另连续结构的梁体整体升降温、收缩徐变、制动力、风荷载均比简支结构大,通过支座传给下部结构的水平力也大,因此选择连续结构进行计算。

(5)跨径与孔数

高速公路上,考虑到行车舒适性,两孔连续梁比

较少见,且因其中间墩承受了上构传递的大部分水平力,往往会让结构又粗又壮,因此两孔时一般采用简支结构,故本次仅计算3孔以上连续梁。一联梁长越大,桥面活载、梁体整体升降温、收缩徐变、制动力均越大,分配到桥墩的力就越大,考虑经济性影响,取联长150 m左右来进行包络计算,跨径组合为4×40 m、5×30 m、7×20 m。

(6) 支座类型

支座采用板式橡胶支座,既有足够的竖向刚度、良好的转动弹性,又有较大的剪切变形以满足上部结构的水平位移。而且其构造简单、安装方便、价格低廉、养护简便、易于更换,因此广泛应用于公路中的中小型桥梁。另外,板式橡胶支座的水平刚度比盆式支座小,地震来临时,可延长结构的周期,减小地震作用。

(7) 桥墩类型及墩高

一座桥梁是一个整体,里面的每一个部位都是相互关联相互影响的,一座桥梁中某一联的某一个墩类型或墩高改变,至少会影响本联的水平力分配,甚至会影响邻联、整桥。

一联中若各个桥墩的墩高都差不多,这时桥墩类型、墩高都相近,桥墩刚度也相近,上构水平力分配就会比较均匀,每个墩承受的弯矩和剪力就会比较接近,桥墩尺寸或配筋就会比较经济。但若遇到高差变化激烈的地形,例如盆地、河谷、山崖等,一联内纵桥向总会出现不同墩高、不同类型的桥墩,甚至会出现横桥向不同高差的情况。

为方便理解,将一联连续梁中需要验算的桥墩称为验算墩,其他墩称为非验算墩。考虑计算工况时,优先确定验算墩的类型尺寸,再去考虑联内其他非验算墩的类型尺寸。要得到验算墩的最不利工况,需要先确定联内的墩高组合,这是难点中的难点。

验算墩最不利,即分配到联内最大的纵向水平力,要求联内非验算墩的合成刚度均小于验算墩。通用图中墩柱的尺寸和墩高基本符合“墩柱越高,刚度越小”的原则,因此一般情况下,验算墩均为联内最矮墩。

2.3 计算工况

桥墩计算采用桥梁博士 V4.4 进行计算,并采用“MIDAS Civil 2020”对典型模型进行控制性校核。

静力计算是将上部结构的水平力通过支座与桥墩的合成刚度^[3]进行分配后,对验算墩单独建模;抗

震计算采用整联建模;两者的验算对象均为验算墩。

这次桥墩计算,既要充分考虑其通用性、易实践性,又要考虑其经济性(尺寸合理、配筋率合适),所以在确定桥墩适用范围、计算工况时要更合理。

为了得到验算墩的最不利工况,所采用的上部结构类型、跨径组合、联内墩高组合如下。

(1) 上部结构类型及跨径组合

结构类型采用连续 T 梁和小箱梁,跨径组合按最大联长控制,分别为4×40 m、5×30 m、7×20 m。墩柱及基础验算均采用正交建模控制,仅盖梁需补充斜交工况。

(2) 联内考虑顺桥向、横桥向墩高差

本套通用图中,连续梁过渡墩处放置滑动板式橡胶支座,连续墩(中间墩)处放置普通板式橡胶支座,鉴于滑动支座能承受的水平力有限,验算时偏保守不考虑过渡墩的作用。

最初考虑的验算墩最不利工况,是允许联内同时出现的纵横桥向最大墩高差均出现在验算墩上,此时非验算墩均按最大墩高取值,具体工况示意图1。但这种工况验算墩要想计算通过,要么是纵横桥向最大墩高差都很小,要么是该墩配筋率很高,或者需要增大尺寸。而且这种工况实际中并不多见,因此需对这种计算工况进行优化。

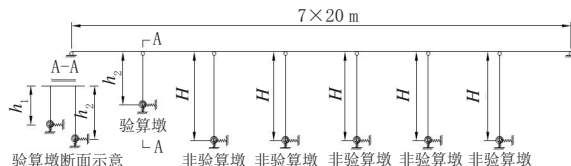


图1 纵横桥向最大墩高差均在验算墩上的工况示意图

桥墩适用范围要合理,尺寸配筋都要合适,最终确定按下列两种不利工况控制计算:工况一是假定联内只有一个矮墩(验算墩),只考虑最大顺桥向墩高差进行计算,见图2;工况二是假定联内至少有两个矮墩,其中一个矮墩顺桥向、横桥向均存在高差(验算墩),另一个矮墩横桥向等高(非验算墩),见图3。为了得到验算墩的最不利,假定验算墩均为联内次边墩。

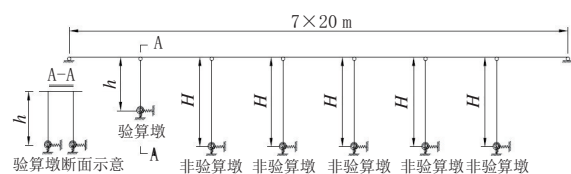


图2 工况一示意图

通过对工况一和工况二的包络计算,最终确定了桥墩的适用范围,具体如下:

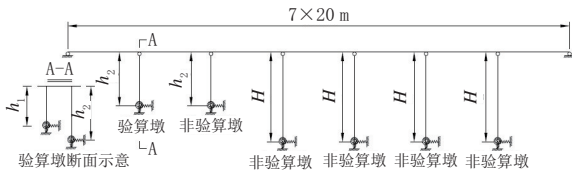


图3 工况二示意图

验算墩为圆形双柱式桥墩、方形双柱式桥墩时,若验算墩(墩高 h)是联内最矮墩,该墩不允许出现横桥向墩高差,联内最高墩墩高 $H \leq h + h_a$;若验算墩(矮柱墩高 h_1 高柱墩高 h_2)非联内唯一的矮墩,该墩允许出现横桥向墩高差 $h_2 - h_1 \leq h_b$,联内最高墩墩高 $H \leq h_2 + h_a$ 。

验算墩(墩高 h)为实心桥墩、等截面空心桥墩时,联内最高墩墩高 $H \leq h + h_a$ 。

其中 h_a 为联内中间墩最大纵桥向墩高差, h_b 为联内中间墩最大横桥向墩高差,不同桥墩类型的每一种构造尺寸,都需确定各自的 h_a 、 h_b 。

桥梁设计师在套用该套通用图时,需特别关注联内桥墩类型、墩高组合,若一联内的中间墩同时出现多种尺寸或类型,应对每个墩进行检查,保证每个墩的顺桥向、横桥向墩高差都在范围内。若超出范围,可考虑调整分联,仍不能解决时,建议补充计算。

2.4 其他关键原则

墩柱、桩基都属于偏心受压构件,验算时要考虑屈曲失稳的影响。静力计算时,可通过计算长度来考虑;抗震计算时,需考虑 $P-\Delta$ 效应,即考虑桥墩几何非线性对结构内力的影响。

2.4.1 受压构件的计算长度

静力计算时,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)^[4]第5.3.9和6.4.4条规定,考虑构件计算长度 l_0 对承载力、裂缝计算的影响。

受压构件的计算长度 $l_0 = k \times l$,式中 k 为计算长度换算系数, l 为构件支点间长度。根据构件两端的约束情况,计算长度换算系数 k 的取值原则如下。

(1)顺桥向按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)附录E规定取值,“一端固定、一端仅有水平弹性约束”,按条文说明E-17迭代求解更为精确的计算长度换算系数。

(2)横桥向双柱式墩因横桥向盖梁、系梁与墩柱形成门架效应,计算长度一般在0.75~1.05,统一取1;墙式墩:可按墩顶自由考虑,统一取2。

(3)不能忽略邻联和基础刚度对顺桥向计算长度的影响^[5]。

顺桥向计算长度取值,在考虑邻联对中间联抗推刚度的影响时,计算长度系数一般可减少13%~20%,偏保守按10%考虑;在考虑地基刚度对计算长度系数的影响时,排架基础偏保守在理想刚性地基计算长度系数的基础上乘以1.1的安全系数,群桩基础刚度较大,可不考虑其影响。

2.4.2 受压构件的 $P-\Delta$ 效应

抗震计算时,《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)第6.2.9条规定:当墩柱的计算高度与矩形截面短边尺寸之比大于8时,或墩柱的计算高度与圆形截面直径之比大于6时,应考虑 $P-\Delta$ 效应。本套通用图偏保守均考虑墩柱的 $P-\Delta$ 效应。

3 结语

本文总结了装配式桥梁(T梁/小箱梁)配套的桥墩通用图计算时遇到的一些难点和解决方法,得出了以下结论:

(1)静力计算时,上部结构整体升降温、收缩徐变、风荷载、制动力等,都会产生较大的水平力,对下部结构的影响不可忽略。上部结构水平力的分配可根据本联内桥墩与支座的合成刚度进行分配,因连续梁过渡墩处设置滑动支座,可不考虑邻联墩台刚度的影响。

(2)静力或抗震工况下,要验算某个墩的受力情况,要从整桥整联去考虑该墩受到的水平力,不能简单地用支座摩阻力去计算。

(3)本文提供了分联的思路。综合考虑行车舒适性和经济性,联长不宜过长过短。分联时,有条件应尽量让各个墩柱的类型、墩高相近,这样每个墩的受力会更均匀,可有效减小构造尺寸、配筋,更经济。当纵桥向地势起伏较大时,应尽量控制一联内纵桥向最大墩高差不要太大,可把墩高剧烈变化的墩放在过渡墩位置,合理调整分联。若纵横桥向地势起伏都较大时,一联内尽量不要同时出现纵横桥向最大墩高差,纵桥向可通过合理分联减少高差,横桥向尽量不设置或者减少高差,尽量使每个墩的合成刚度接近。

(4)通用图构造、配筋都是配套的,套用时不能随意修改,且通用图都有其适用范围,不能生搬硬套,若超出适用范围,应补充计算。

(下转第156页)