

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqfh.240202

地震区排架桥墩空心盖梁可行性研究初探

熊伦, 王逊, 张贤霖

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要: 排架柱式桥墩在国内外中小跨径尤其是预制装配式桥梁中应用非常广泛。而对于山区高烈度地震区,在历次破坏性地震中该类桥梁桥墩震害普遍较严重。降低桥墩盖梁自身结构自重可降低桥梁墩柱结构的地震响应。在保证足够盖梁支撑宽度、防止“落梁”破坏的前提下,对排架桥墩盖梁进行“挖空”处理,从而减少盖梁自身结构自重。通过与常见的实心截面盖梁对比分析,对该新型结构形式的可实施性进行了初步探讨。

关键词: 地震;排架桥墩;空心;盖梁

中图分类号: U443.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)02-0121-04

Preliminary Study on Feasibility of Hollow Bent Cap for Bent Piers in Earthquake Regions

XIONG Lun, WANG Xun, ZHANG Xianmu

(Sichuan Transportation Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

Abstract: Bent column piers are widely used in small and medium-sized span bridges, especially in prefabricated assembly bridges at home and abroad. For the high-intensity seismic areas in mountainous areas, the damage to bridge piers of this type of bridge is generally severe in previous destructive earthquakes. The seismic response of pier column structure can be reduced by reducing the self-weight of pier bent cap structure. On the premise of ensuring the sufficient support width of bent cap and preventing the damage of “falling beam”, the bent cap of bent pier is “hollowed out” to reduce the self-weight of the bent cap structure. The implementability of the new structure is preliminarily discussed through the comparison and analysis with the common solid-section bent caps.

Keywords: earthquake; bent pier; hollow; bent cap

0 引言

双柱式、三柱式、多柱式排架桥墩结构作为我国中小跨径公路桥梁、城市高架桥梁中常见的下部结构桥墩形式,其抗震性能决定着整座桥梁的安全性^[1-2]。对于地震动峰值加速度为0.10g及以上的高烈度区桥梁,在桥梁下部结构设计过程中往往其抗震性能设计控制着全桥结构设计。根据桥梁抗震概念设计理论,当地震发生时,桥梁上部结构重量、质量惯性力的大小将决定作用于桥梁下部结构作用力的大小,越“笨重”的上部结构桥梁传递到下部结构的地震作用力通常就越大。对于高烈度地震区桥梁设计,应尽量降低桥梁自身结构重量。而当上部结构重量再无优化空间时,可进一步降低下部结构自身重量来降低地震作用,比如对桥墩盖梁自身进行

轻量化处理。

目前解决盖梁轻量化主要有两个方向,其一是立足于材料本身,采用轻质、高强的新型材料,如高性能混凝土、高标号混凝土等。该类材料主要应用在结构受力关键部位,“好钢用在刀刃上”,比如结构受拉、疲劳、易损、预制结构的接缝位置,以及与钢结构形成钢混组合截面等。在通过配置普通钢筋、预应力钢束形成钢筋混凝土或预应力混凝土构件上优势不明显。诸如在桥墩盖梁这类大体积混凝土构件中,其发挥不出应有的力学性能优势,并且其对施工设备、人员要求较高、造价较昂贵。

其二是优化盖梁结构构造形式,主要针对盖梁断面形式进行优化调整^[3]。对于盖梁断面构造形式轻量化设计目前常用的方式主要将常规的实心矩形断面调整为T型、箱型截面。其中陈德铭于1997年针对多跨简支梁桥在设计中采用了T形截面盖梁^[4],该断面形式目前多在我国西南山区地震高烈度区桥梁中推广使用。而箱型盖梁截面主要应用于

收稿日期: 2024-02-27

作者简介: 熊伦(1989—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

城市桥梁,在预制装配式、大尺寸断面盖梁中应用较广^[5-6]。

本文对盖梁轻量化研究方向仅为优化盖梁结构断面形式,材料上依然采用常见的、易获取的普通钢筋混凝土。

1 设计空心盖梁的目的和意义

根据目前现行的《公路桥梁抗震设计规范》(JTJ/T 2231-01—2020)(以下简称“抗震规范”)^[7],第11.2.1条关于一级抗震措施的构造规定:上部结构梁端距离盖梁边缘的水平距离 a 主要受上部结构单联联长、最大跨径及下部结构平均墩高控制。当桥梁孔跨布置确定后,梁端距离 a 的最小值即可确定。而盖梁顶面支撑总宽度 b 主要由前后两侧梁1、梁2梁端与盖梁边缘距离 $a_{梁1}$ 、 $a_{梁2}$ 组成。梁端距离 a 确定后盖梁顶面总宽度 b 即可确定,见图1。

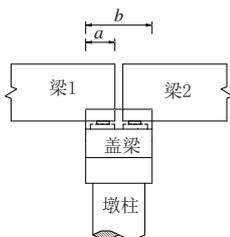


图1 盖梁支撑宽度立面示意图

根据抗震设计规范,为满足抗震措施、构造要求,对于地震基本烈度较高的桥址区,防止桥梁上部结构在地震作用下由于支撑宽度不足而发生“落梁”破坏,盖梁在设计时则应酌情提高 b 值大小。在盖梁顶面宽度 b 提高后,将导致盖梁截面面积增加,从而导致盖梁结构自身重量增加。这与降低桥墩地震响应而需降低盖梁尺寸的轻量化处理思路相“冲突”。

通过将矩形实心盖梁断面调整为“T形”“箱型”断面后,可为上部结构提供足够的支撑总宽度,且可降低盖梁结构自身的重量。但T形盖梁为提高截面抗弯能力,梁高相较于矩形实心盖梁梁高要高,对桥下景观效果有一定影响;同时T形盖梁桥墩在桥墩与盖梁连接处为异型结构,施工时需采用异型模板,模板施工、钢筋绑扎等将影响施工进度。而箱型截面盖梁由于箱内模板施工较困难,仅能适用于截面尺寸较大的盖梁,大多应用于城市高架桥的大悬臂盖梁,而对于排架式桥墩,由于盖梁结构自身尺寸较小,施工人员难以进入盖梁箱型内部,内部施工临时模板难以取出,在小尺寸的排架桥墩盖梁中难以推广应用。

2 空心盖梁的实施方案

针对目前山区高烈度地震区桥梁常用的排架桥墩,由于其盖梁部分位置截面利用率不高,参考T型盖梁,并结合城市桥梁盖梁箱型截面的思路,在保证盖梁截面外轮廓不变的前提下,对矩形断面内部进行局部“掏空”处理,形成空心构造。“掏空”方式不采用箱型而采用圆形,圆形截面内膜采用一次性轻质高强硬塑管,管体可采用常用的PVC材料,圆管两端采用硬质塑料板封闭形成内部空腔,圆管内模一次性永久使用,内模不再取出回收,与钢筋一体成型后再浇筑混凝土形成空心盖梁,见图2。

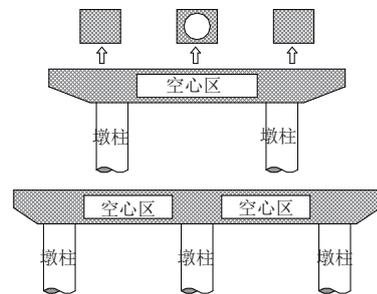


图2 双柱、三柱空心盖梁方案示意图

相比于T形截面,该矩形空心构造外观简洁,不影响桥下景观,施工更简单方便。且两者截面处理方式是一样的,一种是在截面两侧进行“外掏空”,另一种是在截面内部进行“内掏空”,重点是提高截面利用率,尽可能去掉盖梁截面“冗余”部分,形成支撑宽度较宽、面积较小的截面,进而降低自身重量。

对于空心截面盖梁方案,盖梁内部塑料管模板的造价与所掏空部分所节约的混凝土造价基本相当,因此该方案不会因设置内模板而带来工程投资规模的增加。由于减轻了盖梁结构自重,相应盖梁配筋和预应力钢束的布置可减少,从而可减少盖梁造价。

在桥梁上部结构荷载作用下,排架桥墩盖梁悬臂根部以及盖梁与墩柱交接区附近盖梁会承受较大的剪力作用,若在该区域将截面掏空,由实心调整为空心,则会降低盖梁该区域截面相应抗剪承载能力,因此对于双柱、三柱、多柱式的排架桥墩盖梁,截面挖空区域宜设置在柱间盖梁段;而空心部分所采用的塑料管模板大小可根据盖梁抗弯承载力、抗裂验算等经详细分析后进行设计。

3 案例分析

选取西南山区桥梁设计中常用的排架桥墩盖梁

断面,对于上部结构跨度为40 m的预制预应力混凝土简支T梁,桥宽16.8 m;下部结构为双柱式排架桥墩,盖梁采用矩形断面,梁高 $H=1.9$ m,盖梁宽度 $B=2.3$ m;盖梁墩柱间距为9.65 m,盖梁总长16.85 m,盖梁跨度组成为 3.6 m + 9.65 m + 3.6 m;对中跨区域断面设置为圆形空心截面,空心区圆形截面直径采用1.5 m,空心区域设置总长度为6.85 m,见图3、图4。盖梁采用C35混凝土,截面顶底侧均配置直径为32 mm的双层纵向HRB400钢筋,箍筋采用8肢直径为12 mm的HRB400钢筋,箍筋纵向标准间距为15 cm,加密区间距为10 cm。为便于比较,空心断面与实心断面普通钢筋配置保持一致。

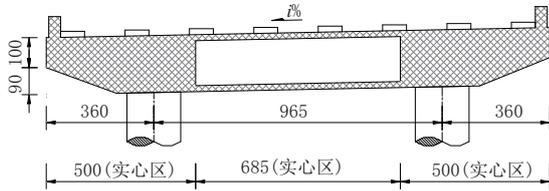


图3 盖梁立面布置示意图(单位:cm)

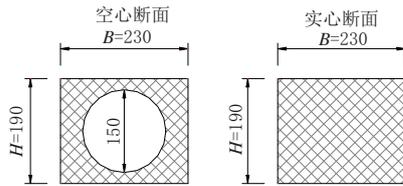


图4 盖梁横断面示意图(单位:cm)

3.1 结构静力分析

采用软件MIDAS Civil对盖梁进行计算模拟,模型中盖梁采用梁单元进行模拟,材料按线弹性计。永久作用主要考虑上部结构及盖梁自重;活载主要考虑车载及温度等。上部结构自重按集中力作用施加于各支座位置处。计算模型中将盖梁简化为跨径布置为 3.6 m + 9.65 m + 3.6 m的连续梁。

在正常使用极限状态下,盖梁截面裂缝宽度验算详见表1。对于实心盖梁截面,在桥墩-盖梁连接处截面顶缘最大裂缝宽度为0.185 mm,在盖梁跨中底缘最大裂缝宽度为0.198 mm,均小于0.2 mm,满足规范要求;对于空心盖梁截面,顶缘最大裂缝宽度为0.185 mm,底缘最大裂缝宽度为0.144 mm,裂缝宽度验算满足规范要求,最大裂缝位置与实心断面一致。对比实心、空心截面裂缝宽度可知,空心截面盖梁跨中截面裂缝宽度显著小于实心截面,仅约实心截面73%,即将截面挖空后,截面裂缝宽度显著降低。

在承载力极限状态下,盖梁截面最大、最小弯矩见图5、图6及表2,截面最大、最小弯矩所对应截面能力需求比见表3。由于仅对盖梁跨中区段截面进

表1 盖梁截面在荷载作用下最大裂缝宽度 单位:mm

项目	顶缘	底缘
实心断面	0.185	0.198
空心断面	0.185	0.144

行挖空处理,由图5、图6可知,盖梁悬臂段及墩梁连接区在荷载作用下的截面弯矩值差异较小;对于跨中截面,截面最大弯矩、最小弯矩差异较大,且空心截面弯矩数值均小于实心截面。对比表2、表3数据可知,将盖梁由实心调整为空心截面后,跨中截面能力需求比由1.31增加至1.37,提高了截面的安全富裕度,截面承载能力得到改善。

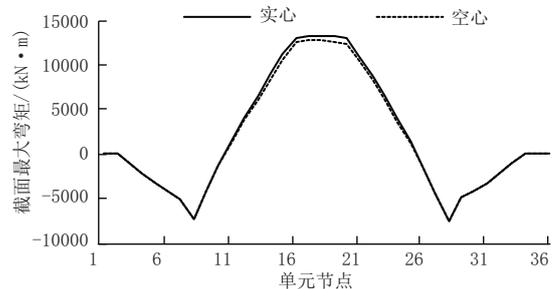


图5 持久状况正截面最大弯矩值

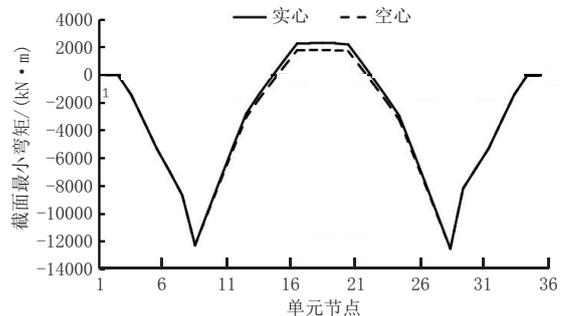


图6 持久状况正截面最小弯矩值

表2 盖梁截面在荷载作用下截面弯矩 单位:kN·m

项目	最大弯矩		最小弯矩	
	跨中	墩梁结点	跨中	墩梁结点
实心断面	13 334.6	-7 228.2	2 315.1	-12 268.3
空心断面	12 724.9	-7 228.2	1 799.8	-12 268.3

表3 盖梁截面在荷载作用下截面能力需求比

项目	最大弯矩		最小弯矩	
	跨中	墩梁结点	跨中	墩梁结点
实心断面	1.31	2.79	7.53	1.64
空心断面	1.37	2.79	9.64	1.64

3.2 结构抗震分析

采用有限元软件MIDAS Civil对排架式桥墩进行抗震分析。墩柱采用直径1.8 m的圆柱墩,桩基采用直径为2 m的圆形摩擦桩,墩高为15 m,桩长为20 m,桩基位于卵石层地基上。场地类别为II类,桥梁为B类桥梁,特征周期为0.45 s,地震烈度为VIII度,地震

动峰值加速度为0.20g。采用m法计算桩土共同作用,采用反应谱法对墩柱进行抗震计算。

表4 墩柱截面在地震作用下载面内力

项目	墩底截面	
	弯矩/(kN·m)	轴力/kN
实心盖梁	6 746.4	1 879.3
空心盖梁	6 688.4	1 838.0

不同盖梁截面形式的双柱排架桥墩在地震作用下墩底截面内力值见表4,通过表4对比分析可知,将盖梁截面调整为空心后,墩底截面弯矩、轴力均有所降低,分别下降0.9%、2.2%,即将盖梁调整后可改善下部结构桥墩的受力状况,可提高桥梁的抗震性能。

3.3 经济效益分析

对于空心、实心盖梁,在上述案例中普通钢筋配置保持一致,即对于两种类型盖梁,钢材用量是一致的,仅对混凝土用量进行比较。实心盖梁C35混凝土共计68.77 m³,调整为空心断面后C35混凝土共计56.67 m³,即单个盖梁可节约C35混凝土12.10 m³,效果显著。对于规模较大的项目,盖梁数量往往达到数百个甚至上千个,整体经济效益更加显著。

4 结 语

本文提出一种新型的盖梁构造形式,对于高烈度地震区的排架柱式桥墩,可在不改变盖梁外观、保

证盖梁有足够支撑宽度前提下,可防止上部结构在地震等水平荷载作用下发生“落梁”破坏,又能减少盖梁自身结构重量,从而降低下部结构墩柱的地震作用输入,从而可降低工程项目投资,且施工时无需额外配置机具、灵活方便。同时盖梁降低重量后,不但能降低自身造价,还能降低下部结构的外部作用,降低下部结构的钢筋配置,可进一步降低工程投资。

本文对高烈度地震区排架桥墩盖梁的空心构造形式仅进行了理论分析,对盖梁的承载力、抗裂等问题进行了数值模拟计算,尚未在实际工程中进行应用。下一步可结合施工工序以及空心区盖梁顶底板的局部受力性能研究等进行优化构造设置和钢筋布置,选取合适的工点桥梁进行试点应用。

参考文献:

- [1] 石岩,李军,秦洪果,等.桥梁双柱式排架墩抗震性能研究进展述评[J].中国公路学报,2021,34(2):134-154.
- [2] 孙治国,司炳君,陈灿,等.山区桥梁排架抗震能力评价方法[J].振动与冲击,2015,34(18):1-6.
- [3] 胡自忠,何科,郭钢江.装配式高架桥盖梁轻型化研究初探[J].城市道桥与防洪,2021,271(11):90-92.
- [4] 陈德铭.钢筋砼T形盖梁设计[J].福建建筑,1997,55(4):18-19.
- [5] 李凌志,罗锋,周骏.宽幅窄墩倒T盖梁结构空心优化研究[J].低温建筑技术,2023(5):112-116.
- [6] 陈赛锋.预制装配式空心盖梁在绍兴智慧快速路中的应用[J].上海公路,2023(1):25-27.
- [7] JTG/T 2231-01—2020,公路桥梁抗震设计规范[S].

(上接第114页)

- [D].天津:河北工业大学,2022.
- [10] 曾维成,钱正富,沈慧,等.强震作用下中小跨径梁式桥梁的抗震性能[J].公路,2022,67(8):221-225.
- [11] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].

- [12] JT/T 4—2019,公路桥梁板式橡胶支座[S].
- [13] JTG/T 2231-01—2020,公路桥梁抗震设计规范[S].
- [14] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].