

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.06.032

基于统计分析的贵州省已建刚构桥设计参数研究

郭伟,杨志军,郑兴贵

(贵州省智恒交通设计院有限公司,贵州 贵阳 550004)

摘要:为研究贵州省已建刚构桥的常用设计数据,文中收集到166座桥梁数据,从总体概况、边主跨径比、箱梁截面数据、材料含量等指标进行分析,随着现行规范的修编,设计上一些新理念的出现,该文相关分析数据可为后续新建刚构桥设计提供重要的实际应用参考。

关键词:公路桥梁;已建刚构桥;设计数据;分析研究

中图分类号:U448.23

文献标志码:A

0 引言

1988年,主跨188 m的洛溪大桥建成通车^[1]。至此,中国进入刚构桥时代已有30多年。特别是处于山岭重丘区、地形起伏较大的贵州省,以近10座/年的速度发展,主跨跨径通常为100~250 m,最大跨径290 m^[2],最大墩高达195 m^[3],最小曲线半径620 m^[4]。

正是由于刚构桥采用墩梁固结,不设支座,具有双肢墩削峰作用,维护费用低、跨越能力强、整体受力性能良好^[5],施工中采用挂篮悬臂浇筑、辅助措施费用不会因跨径增大呈非线性增长等优点^[6],在地形

起伏较大的贵州省得到广泛应用^[7-8]。文中共收集到贵州省166座公路刚构桥数据,进行常用设计数据分析研究,相关结果可为后续刚构桥的新设计提供重要的实际应用参考。

1 收集桥梁概况

收集到数据的166座桥梁中,由于篇幅原因未列出各自参考资料,同时部分资料数据不全,后面的分析研究以收集到该参数的桥梁为依据,部分桥梁概况如表1所示。

表1 部分刚构桥概况

桥名	主桥布置/m	设计速度/ (km·h ⁻¹)	主梁混凝 土强度	主墩混凝 土强度	支座竖向承 载力/MN	伸缩缝变 形量/mm	主桥最大 纵坡/%	主桥最大 横坡/%
都柳江1号大桥	80+2×150+80	100	C50	C40	3.5	480	1.83	单向2
都柳江2号特大桥	90+170+90	100	C50	C40	3.5	320	2.00	单向2
老王田大桥	70+130+70	80	C50	C50	5.0	160	2.60	单向2
沙银沟大桥	68+120+68	80	C50	C50	4.0	240	3.50	单向4
陶家沟大桥	70+120+120+70	80	C50	C40	5.0	240	1.00	单向3
严家湾大桥	55+100+55	80	C50	C40	4.0	240	0.70	单向3
黄平大桥	73+3×135+73	80	C50	C50	4.0	240	0.50	单向2
竹林坳特大桥	98+180+98	80	C55	C40	5.0	320	2.60	单向2
黄泥堡大桥	68+120+68	80	C50	C40	4.0	240	3.00	单向2
舞阳河特大桥	115+2×180+100	80	C55	C50	7.0	480	1.40	单向2

收稿日期:2022-12-22

基金项目:贵州省交通运输厅科技项目(编号:2017-123-013)

作者简介:郭伟,男,硕士,高级工程师.E-mail:598055028@qq.com

续表 1

桥名	主桥布置/m	设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	主梁混凝土强度	主墩混凝土强度	支座竖向承载力/MN	伸缩缝变形量/mm	主桥最大纵坡/%	主桥最大横坡/%
冷水沟大桥	80+150+80	80	C50	C40	5.0	240	3.50	单向 3
都柳江大桥	81.8+150+81.8	80	C50	C50	5.0	240	0.55	单向 2
得代大桥左幅	75+140+75	80	C55	C50	4.5	240	2.20	单向 2
得代大桥右幅	80+140+80	80	C55	C50	4.5	240	2.50	单向 2
大坑河大桥	65+120+65	30	C55	C40	3.0	160	3.00	0.00
牛长河特大桥	96.8+180+96.8	80	C55	C50	5.0	320	2.60	单向 2
坪子上特大桥	96+180+96	80	C50	C50	5.0	320	2.48	单向 2
银厂河特大桥	96+180+96	100	C55	C50	7.0	560	1.90	单向 2
水巴岩大桥	81.8+150+81.8	80	C50	C50	5.0	240	3.00	单向 2
蛇头特大桥	86.8+160+86.8	80	C50	C50	5.0	240	0.61	单向 2
关塘大桥	81.8+150+81.8	80	C50	C50	5.0	240	1.27	单向 2
龙津大桥	40+60+40	60	C50	C50	7.0	160	3.49	单向 2
污河昔大桥	80+150+150+80	100	C50	C40	3.5	480	3.00	单向 2
九昔大桥	80+150+80	100	C50	C40	3.5	320	3.00	单向 2
归屯大桥	65+120+65	100	C50	C40	3.0	320	3.00	单向 3
高晒溪大桥	80+150+80	100	C50	C40	3.5	320	3.00	单向 2
八吉溪大桥	80+150+80	100	C50	C40	3.5	320	3.00	单向 2
柳川大桥	48+82+48	20	C50	C40	2.5	160	0.00	双向 1.5
洛旺河大桥	72.5+125+72.5	30	C50	C50	3.5	240	0.00	双向 1.5
楠木渡大桥	55+100+55	30	C50	C50	2.5	240	0.00	双向 1.5
岩架大桥	62+105+62	20	C50	C50	3.0	240	0.00	双向 1.5
仙人脚板大桥	65+120+65	80	C50	C40	2.5	240	0.40	单向 2
高洞子大桥	65+120+65	80	C50	C40	2.5	240	2.02	单向 2
石板溪大桥	65+2×120+65	80	C50	C40	2.5	240	2.20	单向 2
红岭高架桥	75+3×130+75	120	C50	C50	3.0	320	1.83	单向 2
马水河特大桥	110+3×200+110	80	C50	C40	6.0	480	1.46	单向 2
新田坡特大桥	106+3×200+106	100	C55	C50	7.0	480	2.30	单向 2
长滩河特大桥	106+2×200+106	100	C55	C50	7.0	320	2.30	单向 2
柿花寨特大桥	85+2×160+85	100	C55	C50	5.5	320	2.30	单向 2
息烽河大桥	73.65+135+73.65	80	C50	C50	4.0	240	1.30	单向 2
黑泥沟大桥	65+120+65	80	C50	C40	4.0	160	1.98	单向 4
新站大桥	81+3×150+81	80	C55	C50	7.0	320	0.50	单向 3
打见河大桥	73.8+135+73.8	80	C55	C50	5.0	240	2.20	单向 2
岩头河大桥	53+128+92	30	C50	C50	4.0	240	0.00	双向 1.5
思南乌江二桥	85+150+85	40	C50	C50	6.0	240	1.00	双向 2
赤水市复兴大桥	50+90+50	30	C50	C50	3.5	160	2.00	双向 1.5
虎跳河特大桥	120+4×225+120	80	C60	C50	5.0	480	1.70	单向 2
北盘江特大桥	82.5+220+290+220+82.5	80	C55	C50	4.0	720	0.50	单向 2

166座桥梁中,大部分位于高速公路上,设计荷载在2004年之前采用汽车-超20级、挂车-120,之后采用公路-I级,设计速度根据路线指标为80 km/h或100 km/h。地震动峰值加速度为0.05g、0.1g和0.15g(对应老抗震规范基本烈度6度、7度),设防类别由最大单跨确定分为A类和B类。

箱梁混凝土采用C50、C55、C60,主墩混凝土采用C40、C50,承台和桩基采用C25、C30。所在路线纵坡大部分小于3%,桥面横坡在直线桥上以单向2%、双向1.5%、双向2%最为常见,曲线桥上由横向超高确定,最大横坡不超过4%。

收集到数据的桥梁中,按主跨跨径分类如图1所示,其已建刚构桥常用跨径范围为140~160 m,以主跨150 m、160 m两种跨径为主,其次是120 m、200 m两种常用跨径。

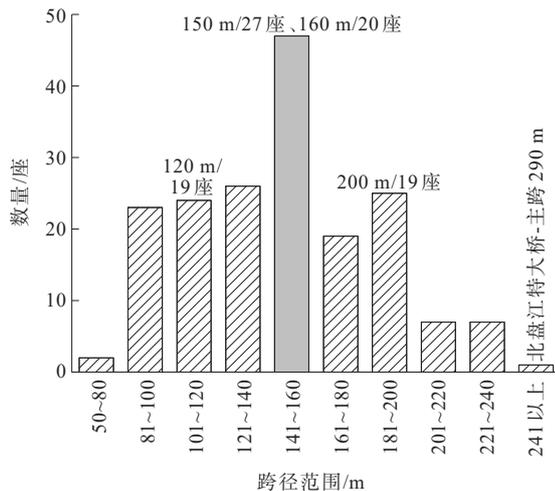


图1 收集桥梁跨径范围

支座设计最大竖向承载力与边跨长度拟合曲线关系不明显,相关系数为0.596,如图2所示,其选型还与结构超静定次数、主梁主墩竖向刚度比等因素有关,设计常用最大竖向承载力为4 MN、5 MN。伸缩缝最大伸缩量与主桥一半跨径相关,拟合曲线为 $y=0.924x+103.726$,相关系数为0.735,如图3所示,同时还与受影响引桥的长度、温度等因素有关。

2 边主跨径比

边主跨径比取决于全桥的总体布置与受力状态,同时还受分孔造价、自然地形条件、地质地貌等因素影响^[9],大部分主桥对称布置,少部分受地形原

因采取非对称布置,如思南岩头河大桥[跨径布置为(53+128+92)m]^[10]。文中收集的三跨连续刚构桥有135座,四跨及以上有45座,其边主跨径比如图4、5所

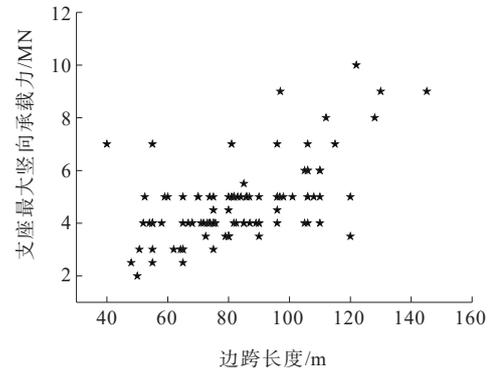


图2 支座最大竖向承载力

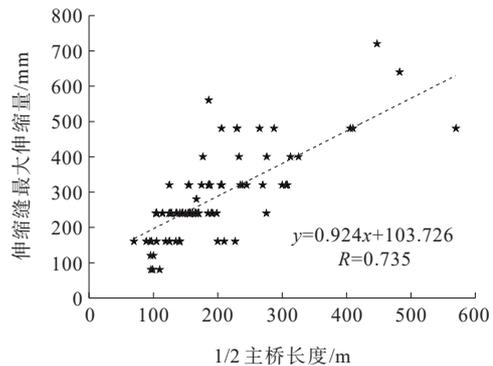


图3 伸缩缝最大伸缩量

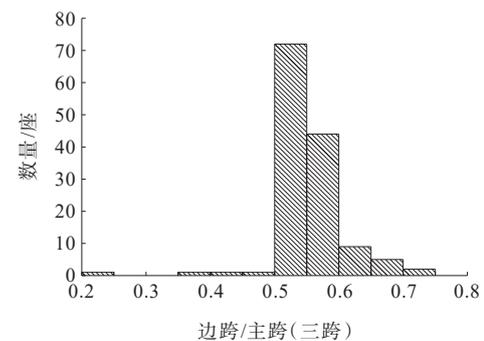


图4 三跨刚构桥边主跨径比

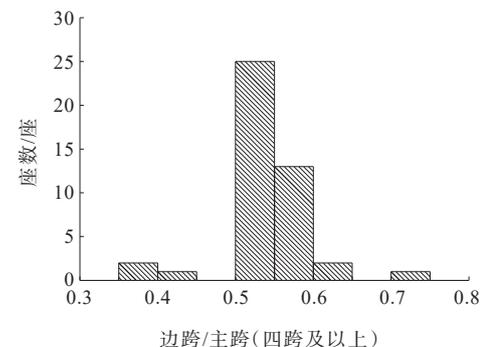


图5 四跨及以上刚构桥边主跨径比

示。两者均常用边主跨径比 0.5~0.55,三跨连续刚构桥边主跨径比均值为 0.553、四跨及以上为 0.541。

3 箱梁截面数据

已建刚构桥大部分采用单幅分离布置,单箱单室断面,考虑施工方便采用直立式腹板而未采用受力性能和视觉效果较好的斜置式腹板。

3.1 梁底线形

大部分刚构桥采用变高度截面形式,其梁高沿纵向变化的形式有抛物线、圆曲线和样条曲线。文中收集的刚构桥除一座小跨径桥梁[跨径组合为(40+60+40)m,圆曲线半径 253.63 m]采用圆曲线外,其余均采用抛物线形式。抛物线指数越大,箱梁易在 1/4 跨附近产生斜向受拉裂缝,指数越小,则导致底板受曲线钢束径向力崩裂的可能性越大^[11-12],所以设计时会在两者之间权衡,常用的抛物线指数依次为 1.8 次、2 次、1.5 次和 1.6 次,且指数大小与主跨跨径无明显关系,如图 6 所示。

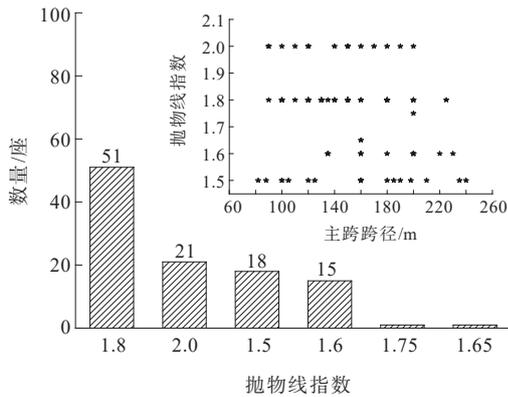


图 6 梁底曲线指数

3.2 箱梁高度

当主跨跨径确定后,箱梁高度是刚构桥的一个重要设计参数,文中按箱梁根部高度和箱梁跨中高度分别研究,它们均与主跨跨径呈线性关系,如图 7、8 所示。

根据分析结果,箱梁根部高度与主跨跨径的关系为 $y = 0.058x + 0.404$,相关系数为 0.936,实际工程中建议取值 $h_{根} = L/16.4$;跨中梁高与主跨跨径的关系为 $y = 0.015x + 0.985$,相关系数为 0.872,实际工程中建议取值 $h_{中} = L/45.8$,箱梁根部、跨中高

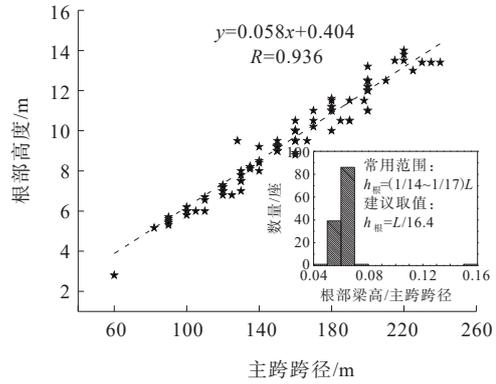


图 7 箱梁根部高度

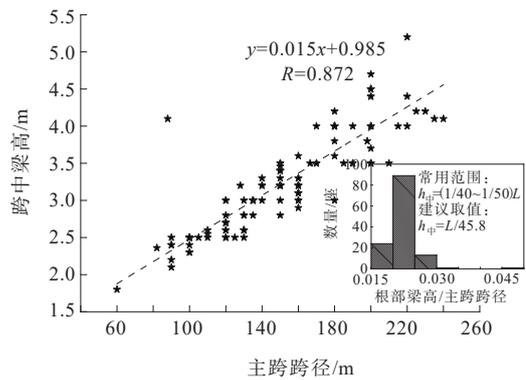


图 8 箱梁跨中高度

度与主跨跨径的相关系数均较高,具有较高的可信度,其他变截面处梁高按抛物线指数方程进行拟合。

3.3 箱梁悬臂参数

剪力滞效应对箱梁截面有着重要影响,悬臂长度与顶板宽度比是其重要的调节参数。文中收集的桥梁中,如图 9、10 所示,箱梁单侧悬臂长度与顶板宽度比集中为 0.22~0.24,均值为 0.229。悬臂端厚常用数值依次为 0.2 m、0.15 m、0.18 m,根厚以 0.7 m 居多。同时,悬臂参数还与外界活载、箱梁横向配筋、构造要求等因素有关。

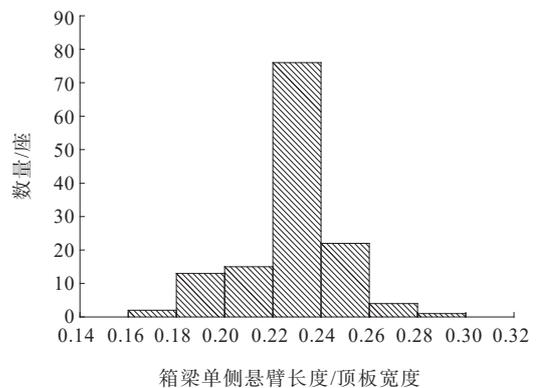


图 9 箱梁单侧悬臂长度/顶板宽度

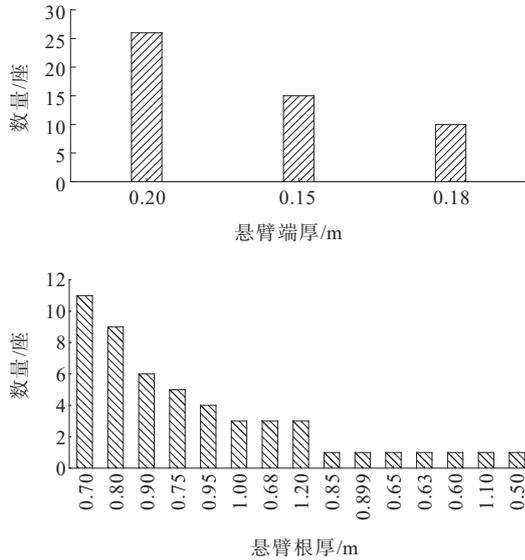


图10 箱梁悬臂厚度

3.4 顶板厚度

顶板厚度主要取决于恒载、活载产生的横向弯矩和剪力。 $0^\#$ 块处由于墩梁固结、受力复杂,此处主要满足钢筋和钢束的截面构造要求,文中主要分析标准截面的最小顶板厚度(实际工程中顶腹板相交处到横向跨中处顶板厚度是线性渐变),如图11所示,箱梁横向跨中顶板厚度常取0.28 m,其次是0.3 m。

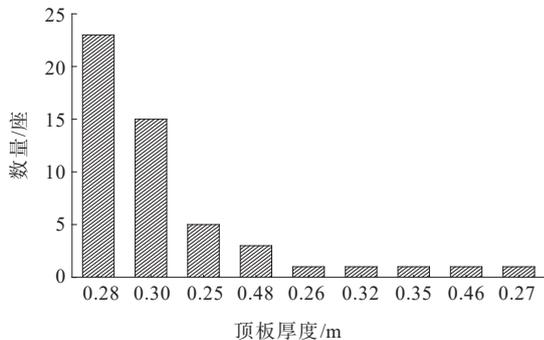


图11 箱梁顶板厚度

3.5 底板厚度

同理, $0^\#$ 块处由于构造复杂,钢筋或钢束穿越较多,此处底板厚度仍主要是满足截面构造要求。其他梁段箱梁底板厚度除考虑钢筋和钢束穿越外,还受恒载、施工荷载影响^[9],如跨中向根部方向,纵向弯矩从正向变为负向,即根部底板将会承受压应力。据文中收集桥梁,标准截面的底板厚度从跨中向根部按前述梁底曲线指数变化,跨中底板厚度常为0.32 m,如图12所示;根部底板厚度 y 与根部梁高 x 呈一定相关性,如图13所示,两者关系为 $y =$

$0.073x + 0.378$,相关系数为0.613,实际工程中建议根部底板厚度取根部梁高的1/9。

3.6 腹板厚度

箱梁腹板与顶底板一起,形成整体框架,其尺寸主要受竖向剪应力和扭转剪应力影响,同时还受钢束构造影响,如顶腹板交接处往往设置梗腋,以满足钢束空间布置要求,且承受顶腹板固结处负弯矩。实际工程中标准截面常常是几个节段腹板采用同一数值,不同数值在1~2节段之间线性渐变。文中收集的箱梁跨中腹板厚度与梁高、梁宽无明显关系,常采用0.5 m、0.4 m两种腹板厚度,如图14所示。

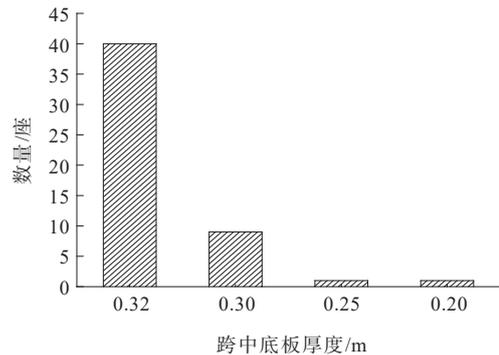


图12 箱梁跨中底板厚度

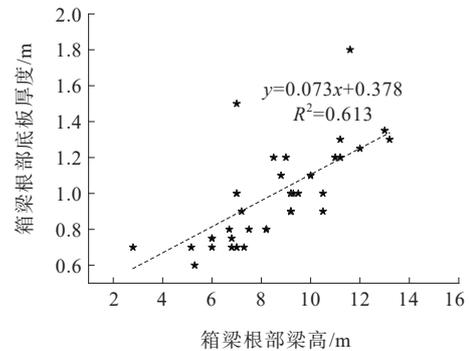


图13 箱梁根部底板厚度

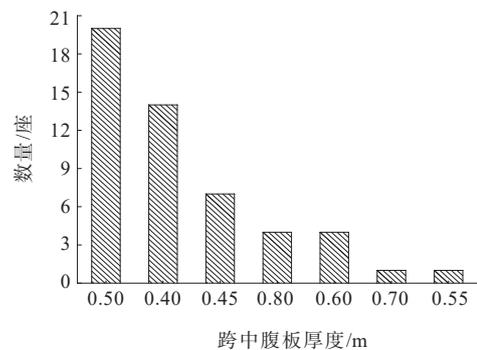


图14 箱梁跨中腹板厚度

4 材料含量

刚构桥的主要材料是混凝土和钢材,文中主要从主梁单位面积混凝土含量、主梁钢筋含量、主墩钢筋含量等方面分析研究,结果如图 15~18 所示。

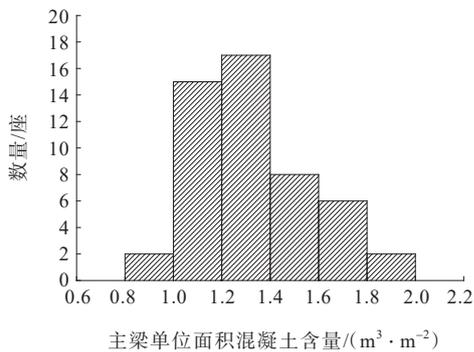


图 15 主梁单位面积混凝土含量

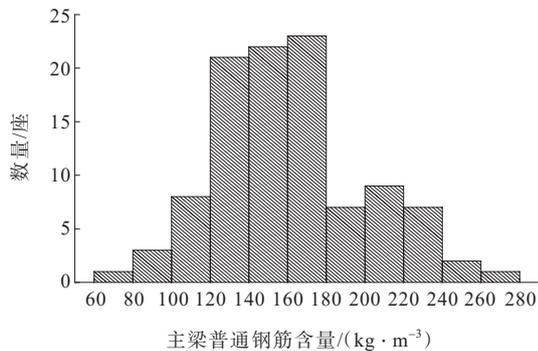


图 16 主梁普通钢筋含量

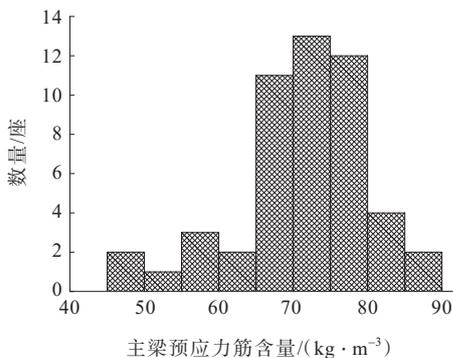


图 17 主梁预应力筋含量

主梁单位面积混凝土含量(主梁混凝土体积与桥面面积之比)常用范围为 $1.0 \sim 1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$,统计均值 $1.343 \text{ m}^3/\text{m}^2$;主梁普通钢筋含量(主梁普通钢筋重量与主梁混凝土体积之比)常用范围为 $120 \sim 180 \text{ kg}/\text{m}^3$,统计均值 $160.755 \text{ kg}/\text{m}^3$,换算主梁单位面积

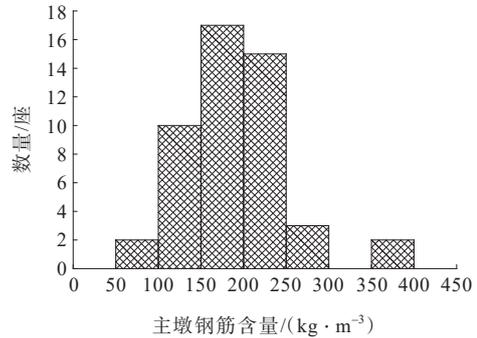


图 18 主墩钢筋含量

钢筋含量统计均值为 $215.894 \text{ kg}/\text{m}^2$;主梁预应力筋含量(主梁预应力筋和精轧螺纹钢与主梁混凝土体积之比)常用范围为 $65 \sim 80 \text{ kg}/\text{m}^3$,统计均值 $71.176 \text{ kg}/\text{m}^3$;主墩钢筋含量(主墩钢筋重量与主墩混凝土体积比)常用范围为 $150 \sim 250 \text{ kg}/\text{m}^3$,统计均值 $192.604 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

5 设计新变化

中国最早的刚构桥已运营 30 多年,随着刚构桥病害的出现及运营状态的改变,设计中有如下几个方面的变化:

(1) 材料方面。混凝土强度呈增大趋势,如文中统计的虎跳河特大桥^[13],主梁采用 C60。合龙段混凝土强度比其他节段高一等级,以实现早期混凝土强度高的要求。同时普通钢筋随现行规范的修编已用到 HRB400 及以上。

(2) 预应力方面。当箱梁横向受力满足要求时,只设置纵、竖两向预应力。竖向预应力从早期的精轧螺纹钢(常用直径 32 mm)过渡到预应力钢绞线(长束)与精轧螺纹钢(短束)的组合,目前全部竖向常设置为预应力钢绞线形式^[14-15]。

(3) 支座方面。早期常设置为盆式橡胶支座,目前设置为受力性能更优越的球形钢支座^[16];伸缩缝从模数式过渡到养护维修更方便的钢梳齿式^[17-18]。

6 结论

通过对 166 座贵州省已建刚构桥的分析研究,可得出如下常用设计数据:

(1) 山区刚构桥常用主跨跨径依次是 150 m、

160 m、120 m、200 m,支座最大竖向承载力常设计为4 MN、5 MN两种类型,伸缩缝最大伸缩量与主桥一半跨径的关系为 $y = 0.924x + 103.726$ 。

(2) 边主跨径比常用范围0.50~0.55,三跨刚构桥边主跨径比均值为0.553、四跨及以上为0.541。

(3) 梁高沿纵向变化常用的抛物线指数依次为1.8次、2次、1.5次和1.6次,指数大小与主跨跨径无明显关系。

(4) 箱梁根部高度与主跨跨径的关系为 $y = 0.058x + 0.404$,相关系数为0.936,实际工程中建议取值 $h_{\text{根}} = L/16.4$;跨中梁高与主跨跨径的关系为 $y = 0.015x + 0.985$,相关系数为0.872,实际工程中建议取值 $h_{\text{中}} = L/45.8$ 。

(5) 箱梁单侧悬臂长度与顶板宽度比集中为0.22~0.24,均值为0.229。悬臂端厚、根厚常用数值依次为0.2 m、0.7 m。

(6) 箱梁标准截面横向跨中顶板厚度常取0.28 m,其次是0.3 m;底板厚度从跨中向根部按梁底曲线指数变化,跨中底板厚度常为0.32 m,根部底板厚度建议取根部梁高的1/9;腹板厚度与梁高、梁宽无明显关系,跨中常采用0.5 m、0.4 m两种腹板厚度。

(7) 主梁单位面积混凝土含量、主梁普通钢筋含量、主梁预应力筋含量、主墩钢筋含量统计均值依次为 $1.343 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 、 $160.755 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $71.176 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $192.604 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(8) 目前设计中刚构桥材料强度呈增大趋势,竖向设置为预应力钢绞线,常用球形钢支座与钢梳齿型伸缩缝。

参考文献:

[1] 吴瑞霞.桥梁加固技术综述及广州洛溪大桥加固应用[J].

广西大学学报(自然科学版),2009,34(S1):268-270.

- [2] 宗昕,彭元诚,吴游宇,等.北盘江特大桥结构设计[J].公路,2010,55(8):22-26.
- [3] 杨光强,何飞.赫章特大桥195 m超高墩构造设计[J].中外公路,2014,34(2):152-156.
- [4] 杨万旭,韩玉.沙银沟大桥两个空间问题分析[J].西部交通科技,2006(4):56-58.
- [5] 王会利,谢常领,秦泗凤,等.中国连续刚构桥的调查与分析[J].中外公路,2019,39(2):129-134.
- [6] 周军生,楼庄鸿.大跨径预应力混凝土连续刚构桥的现状和发展趋势[J].中国公路学报,2000,13(1):31-37.
- [7] 曲春升,陆从飞,彭运动.山区大跨连续刚构桥设计思路探讨[J].公路,2017,62(11):88-90.
- [8] 何飞,周礼平,范磊.贵州山区在役连续刚构桥发展现状调查与分析[J].中外公路,2015,35(3):120-123.
- [9] 刘效尧,徐岳.(公路桥涵设计手册)梁桥[M].2版.北京:人民交通出版社,2011.
- [10] 郑兴贵,陶路,陈进芬.思南岩头河大桥设计[J].世界桥梁,2014,42(3):5-10.
- [11] 韦锋,杨洋,苏成,等.华南地区混凝土刚构桥典型病害调查及分析[J].中外公路,2018,38(1):95-98.
- [12] 刘昀.预应力混凝土箱梁桥腹板开裂参数影响分析[J].中外公路,2021,41(5):116-119.
- [13] 黄寒梅.龙津大桥V型墩及上部梁段施工技术[J].佳木斯职业学院学报,2019(6):230-231.
- [14] 曾照亮,王勇,张安国.高墩大跨超长联连续刚构桥设计[J].公路工程,2008,33(4):103-104,113.
- [15] 刘山洪,钱永久.大跨PC箱梁桥腹板裂缝的控制研究[J].重庆交通学院学报,2005,24(4):19-22.
- [16] 伍波,杨家玉,石永燕,等.大跨径连续刚构桥的常见病害与设计对策[J].公路交通技术,2005,21(S1):109-111.
- [17] 鲍薇,高静青.球型钢支座的设计研究与思考[J].铁道勘察,2012,38(3):68-71.
- [18] 马进,彭运动.大跨径桥梁伸缩缝全寿命设计体会[J].公路,2011,56(4):19-25.