

水上现浇等截面箱梁单跨钢管贝雷支架中贝雷选型与适应性研究

彭云涌, 左雁*, 罗英

(中建五局土木工程有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要:贝雷选型和布置是支架设计的关键。该文从标准布局(贝雷横距为 0.45 m/0.9 m)加强型双层贝雷梁强度、刚度容许条件入手,以箱梁支点腹板厚为自变量,基于现浇箱梁高(腹板高)与跨径的近似关系,运用理论推导,编制单跨钢管立柱+加强型双层贝雷支架选型表格,并指出该类支架适应最大现浇箱梁跨径不宜大于 35 m。结合工程案例,运用 Midas 有限元分析验证其准确性,可为水上单跨现浇箱梁加强型双层贝雷快速选型、标准化设计提供参考。

关键词:水上现浇箱梁;加强型双层贝雷;快速选型;贝雷材料容许值

1 引言

水上现浇钢管立柱+加强型双层贝雷(以下简称贝雷)支架采用单跨简支结构,其计算跨度较大,且与现浇箱梁净跨径相近。该支架体系利用承台作支点,不仅省去了振桩锤费用,更避免了现浇完成后钢管桩入土部分无法拔出回收的问题,可确保材料重复周转、节省施工工期,在水上、软土区现浇箱梁中应用广泛。

目前,此类支架设计依靠经验居多,特别是贝雷布置在初拟后可能还需要经过多次试算,效率低。该文重点梳理常规跨径水上现浇箱梁贝雷梁选型与布置,并运用 Midas/Civil 有限元计算分析,验证该文思路

的准确性,供同类支架设计标准化、选型快速化参考。

2 贝雷选型关系推导

由钢管立柱+双层加强型贝雷传力途径可知,贝雷横向布置与箱梁横断面密切相关。为了减少试算,根据贝雷(0.45 m/0.9 m)横距、容许承载力、截面特性,运用材料力学求得贝雷选型。

常规跨径现浇箱梁支点腹板厚 $b_0=0.6\sim0.9\text{ m}$,而贝雷标准横距为 0.45 m,腹板下布置 $n=(0.6\sim0.9\text{ m})/0.45\text{ m}+1=2\sim3$ 排贝雷。根据《装配式公路钢桥多用途使用手册》,贝雷支架几何特性、容许承载力及相关参数如表 1 所示。

表 1 贝雷几何特性及容许承载力

| 结构构造 | 截面惯性矩/ cm^4 | 弯矩容许值/ $(\text{kN}\cdot\text{m})$ | 剪力容许值/ kN | 自重/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$ |
|----------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|
| 双排双层(加强) | 459 255.2 | 6 750.0 | 490.5 | 4.82 |
| 三排双层(加强) | 6 894 390 | 9 618.8 | 698.9 | 7.08 |

设箱梁高为 H ,支点腹板宽度为 b_0 ,贝雷计算跨径为 L ,贝雷自重为 G_0 ,并假定(现浇箱梁自重+箱梁模板自重)=(支点截面×混凝土湿重×箱梁跨径),取混凝土重度为 26.5 kN/m^3 。

其余计算取值为:施工人员、机具荷载标准值:3.0

kPa;振捣混凝土荷载标准值:2.0 kPa。

强度验算时,荷载集度:

$$q_{ud1}=1.2\times26.5Hb_0+1.2\times G_0+1.4\times(3+2)\times0.45=31.8Hb_0+1.2G_0+3.15$$

刚度验算,支点腹板荷载集度:

收稿日期:2020-05-12

作者简介:彭云涌,男,大学本科,高级工程师, E-mail:13123613@qq.com

* 通信作者:左雁,男,硕士,高级工程师, E-mail:380632084@qq.com

$q_{fd1}=26.5Hb_0+G_0=26.5Hb_0+G_0$

则由弯矩验算条件: $q_{ud1}\leqslant 8[M]/L^2$,得:

$$Hb_0\leqslant\{8[M]/L^2-(1.2G_0+3.15)\}/31.8\quad(1)$$

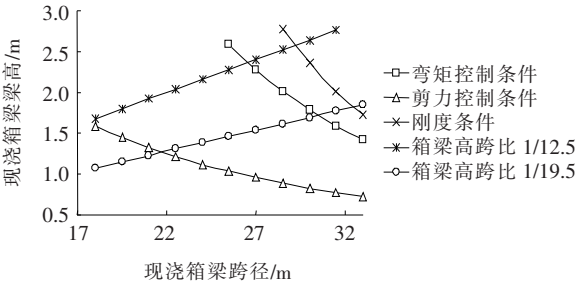
由剪力验算条件: $q_{ud1}\leqslant 2[Q]/L$,得:

$$Hb_0\leqslant\{2[Q]/L-(1.2G_0+3.15)\}/31.8\quad(2)$$

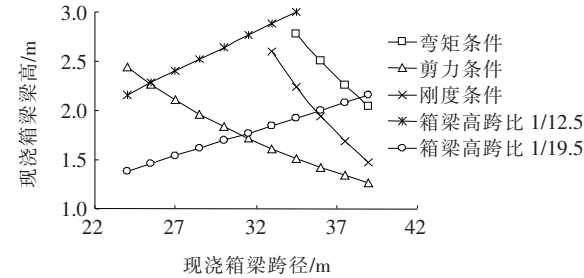
由刚度验算条件: $([L/400])$, $q_{fd1}\leqslant 384EI\cdot L/(400\times 5L^4)=0.192\lambda EI/L^3$,得:

$$Hb_0\leqslant(0.192EI/L^3-G_0)/26.5\quad(3)$$

贝雷应同时满足式(1)~(3)。常规跨径现浇箱梁高 H 与跨径 L_0 : $H/L_0=1/12.5\sim 1/19.5$, 令 $b_0=0.6/0.65/\cdots/0.90\text{ m}$, 式(1)~(3)可转化为 H 与 L_0 的函数关系。因篇幅限制仅示意支点腹板厚为 0.9 m 双排双层、支点腹板厚为 0.6 m 三排双层 H 与 L_0 的关系图。如图 1 所示。



(a) 双排双层(加强)贝雷适应跨径(支点腹板 0.9 m)



(b) 三排双层(加强)贝雷适应跨径(支点腹板 0.6 m)

图 1 贝雷适用跨径与现浇箱梁高度示意

由图 1 可知:贝雷适用跨径的范围可划分为 3 个区间:

直接适用区间①:该区间最大适应跨径,由抗剪承载力控制,贝雷不需额外加强。

加强适用区间②:该区间必须加强支点贝雷腹杆;最大适应跨径则根据腹板支点厚度,由抗弯或由刚度控制。

不适用区间③:跨径位于该区间,则贝雷梁因抗弯不足或者刚度不足,不能适应。

以图 1(b)支点腹板厚 0.6 m 三排双层贝雷为例,当现浇箱梁跨径 $L>25.4\text{ m}$,须加强抗剪后采用;当

现浇箱梁跨径 $L>35.7\text{ m}$ 后,刚度条件无法满足,则不适应。

根据上述思路,表 1、2 列出 $b_0=0.6、0.65、\cdots、0.90\text{ m}$ 时,贝雷适应现浇箱梁跨径区间及控制条件。

表 2 双排双层贝雷——现浇箱梁跨径区间划分

| 腹板厚/m | 直接适应①/m | 加强适应②/m | 不适用③/m | 加强适应②最大跨径控制条件 |
|-------|------------------|-------------|------------------|----------------|
| 0.60 | $\leqslant 21.3$ | (21.3,32.5) | $\geqslant 32.5$ | 刚度控制(与支点腹板厚无关) |
| 0.65 | $\leqslant 20.5$ | (20.5,32.5) | $\geqslant 32.5$ | |
| 0.70 | $\leqslant 19.8$ | (19.8,32.5) | $\geqslant 32.5$ | |
| 0.75 | $\leqslant 19.1$ | (19.1,32.2) | $\geqslant 32.2$ | |
| 0.80 | $\leqslant 18.6$ | (18.6,31.6) | $\geqslant 31.6$ | 弯矩控制 |
| 0.85 | $\leqslant 18.0$ | (18.0,31.0) | $\geqslant 31.0$ | |
| 0.90 | $\leqslant 17.5$ | (17.5,30.5) | $\geqslant 30.5$ | |

表 3 三排双层贝雷——现浇箱梁跨径区间划分

| 腹板厚/m | 直接适应①/m | 加强适应②/m | 不适用③/m | 加强适应②最大跨径控制条件 |
|-------|------------------|-------------|------------------|----------------|
| 0.60 | $\leqslant 25.4$ | (25.4,35.7) | $\geqslant 35.7$ | 刚度控制(与支点腹板厚无关) |
| 0.65 | $\leqslant 24.5$ | (24.5,35.7) | $\geqslant 35.7$ | |
| 0.70 | $\leqslant 23.6$ | (23.6,35.7) | $\geqslant 35.7$ | |
| 0.75 | $\leqslant 22.9$ | (22.9,35.7) | $\geqslant 35.7$ | |
| 0.80 | $\leqslant 22.2$ | (22.2,35.7) | $\geqslant 35.2$ | |
| 0.85 | $\leqslant 21.6$ | (21.6,35.7) | $\geqslant 34.7$ | 弯矩控制 |
| 0.90 | $\leqslant 21.0$ | (21.0,35.7) | $\geqslant 34.1$ | |

综合表 1、2 可知:

(1) 支点腹板厚 $\leqslant 0.70\text{ m}$ 时,贝雷最大适用跨径受到刚度条件控制;当支点厚度 $>0.70\text{ m}$ 时,贝雷最大适用跨径受弯矩容许值控制,由于最大适应跨径控制条件不同,导致贝雷支架适用性受限。

(2) 常规跨径现浇箱梁跨径超过 35 m 后,单跨钢管立柱+双层加强型贝雷不适应。

3 案例验证

3.1 依托工程及支架设计

福建泉州台商投资区海湾大道二期工程上跨白奇湖采用 $3\times 30\text{ m}$ 等截面现浇箱梁桥,桥位处水深约为 5 m ,淤泥深厚约为 30 m ,若在水中设置支架中墩,则无法回收,造成浪费。

为节省成本、缩短工期,拟采用双层加强型单跨贝雷梁钢管支架。项目箱梁高 1.8 m,支点腹板厚为 900 mm,无中横隔板。依托工程箱梁高跨比:1.8/30=1/16.67 \in (1/12.5~1/19.5),根据表 2 可知,支点腹板厚为 900 mm,现浇箱梁跨径 30 m 属于三排双层加强型(21.0,35.7) m 区间,即腹板底可采用三排双层贝雷布置,具体布置可根据腹板位置适当微调。如图 2 所示。

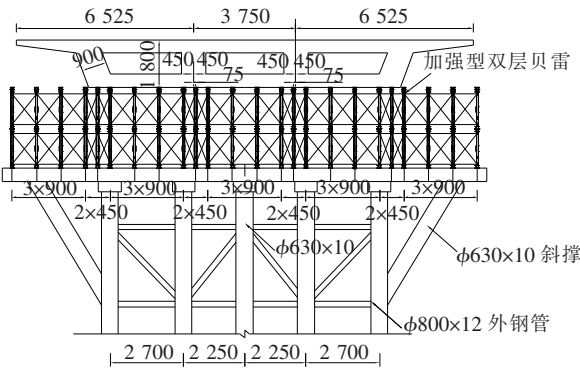


图 2 海湾大道水上 3×30 m 现浇箱梁(墩顶) 支架布置(单位:mm)

(1) 钢管立柱采用 $\phi 630\times 10$ mm(内)/ $\phi 800\times 12$ mm(最外侧),柱间系采用 2[20a 型钢焊接,最外侧钢管与分配梁采用 $\phi 630\times 10$ mm 钢管斜撑,水平倾斜角度为 60°。

(2) 钢管柱上部横向分配梁采用 3HN500×200 型钢。

(3) 底模分配梁采用 [20 型钢,倒扣在贝雷梁顶部,间距 ≤ 400 mm。

3.2 有限元计算结果

根据设计方案、材料特性及荷载取值(箱梁荷载据实取,模板取为 3.5 kPa),运用 Midas/Civil 建立支架有限元模型,贝雷支架计算跨径为 26 m。为验证该思路,建模时未考虑支点处竖向腹杆加强。

根据相关规范,拟定计算工况如下:
强度验算:1.2×(混凝土自重+支架自重+模板自重)+1.4×(施工人员、机具荷载标准值+振捣混凝土荷载标准值)。

刚度验算:1.0×(混凝土自重+支架自重+模板自重)。

计算结果如表 4 所示。

表 4 贝雷梁计算结果(未考虑支点抗剪加强)

| 项目 | 最大组合应力/MPa | 最大组合剪应力/MPa | 弦杆最大内力/kN | 腹杆最大内力/kN | 最大变形值/mm |
|-----|------------|---------------|--------------|-----------|-----------------|
| 计算值 | 290.7 | 87.5 | 379.0 | 272.0 | 32.3 |
| 容许值 | 310.0 | 180.0 | 560.0 | 210.0 | 26 000/400=65.0 |
| 备注 | 抗剪需加强 | 87.5/180=0.49 | 379/560=0.67 | 抗剪需加强 | 0.496 |

表 4 表明:贝雷梁弯曲组合应力、变形值均满足受力要求且仅需对支点腹杆加强,贝雷布置符合标准化、快速化要求,具有合理安全储备。

4 结论

以常规跨径水上现浇箱梁采用单跨钢管立柱+加强型双层贝雷支架为研究对象,研究加强型双层贝雷选型与适应性,得到结论如下:

- (1) 以箱梁腹板底贝雷布置这个关键,通过力学推导,编制“单跨钢管立柱+加强型双层贝雷支架”选型表格,可用于该类支架快速设计。
- (2) 常规跨径现浇箱梁跨径 ≥ 35 m,单跨钢管立柱+双层加强型贝雷不适应。
- (3) 通过贝雷梁容许值反算及 Midas 有限元计算结果对比,可知贝雷梁容许值计算结果偏于保守。

参考文献:

[1] 刘云霄.大型跨江大桥水中支架施工方案的研究与应用[D].安徽理工大学硕士学位论文,2018.

[2] 王琛,黄修平.连续拱桥施工方案比选研究[J].中外公路,2018(1).

[3] 景川,郭新菊.高空大跨径膺架钢管+贝雷支架支承体系施工[J].施工技术,2019(3).

[4] 李风云.双肢格构柱——贝雷梁模板支撑体系空间力学行为分析[D].重庆大学硕士学位论文,2014.

[5] 黄绍金,刘陌生.装配式公路钢桥多用途使用手册[M].北京:人民交通出版社,2001.

[6] 高安荣,张建军,李松,等.鄂东长江大桥超宽箱梁现浇支架设计与施工[J].桥梁建设,2009(z1).

[7] 刘金辉,杨秀武.利红公路盐中高速跨线桥加宽现浇箱梁碗扣支架方案设计与验算[J].中外公路,2017(6).

[8] 广东省交通运输厅.广东省高速公路工程设计标准化论文集[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.