

# 中洲大桥现浇箱梁支架设计与施工

叶代成<sup>1</sup> 张照华<sup>2</sup>

(1 厦门百城建设投资有限公司 厦门 362000 2 厦门中平工程监理咨询有限公司 厦门 362000)

**摘要:**中洲大桥整联现浇箱梁支架采用钢管贝雷梁柱式结构, 施工需要解决支架体系的设计、验算以及施工要点。实际采用12米跨贝雷拼装简支梁结构, 双排管桩中支墩, 振动锤打设管桩, 在受力分析基础上确定贝雷梁布置方式, 并在对支架进行预压和观测的基础上提出加强措施。实践证明支架的设计与施工可行。

**关键词:**现浇箱梁 钢管贝雷架 施工 观测

## 1 工程概况

厦门中洲大桥位于厦门同安湾海域, 全长1540米。桥梁上部构造由西至东采用 $(5 \times 35) + (4 \times 35) + (5 \times 35) + (4 \times 35) + (4 \times 35) + (5 \times 35)$ 六联预应力混凝土等截面连续箱梁; 桥梁横向按左、右两幅分离设置, 桥面宽 $2 \times 14.5\text{m}$ , 采用单箱单室, 纵、横双向预应力混凝土斜腹板等截面连续箱梁, 梁高2m, 箱梁顶板宽14.5m, 底板宽6.8m, 顶板厚0.25m, 底板厚0.25m, 腹板厚0.45m, 两侧悬臂长为3.572m和3.549m, 在桥墩支点截面和桥台端支点截面设置横梁。

海上支架采用钢管贝雷架, 箱梁采用整联现浇施工工艺。

## 2 支架设计

### 2.1 总体设计

现浇支架采用钢管贝雷架梁柱式结构, 立柱采用 $\phi 610 \times 8\text{mm}$ 钢管, 钢管上布置2 I 36a工字钢作横梁, 横梁上布置6组12排贝雷纵梁。贝雷纵梁用国产“321”贝雷片拼装而成, 两排一组, 用支撑架连接, 贝雷纵梁均作简支布置。

### 2.2 钢管支撑设计

箱梁跨径 $L=35$ , 每跨支架跨中设两道中支墩, 中支墩采用双排钢管桩, 每道中支墩设置 $2 \times 6$ 根钢管桩, 中间间距为1.6米。钢管桩底部焊接桩尖, 以增加单桩承载力和便于后期钢管桩的拔出。墩旁钢管桩落在承台砣面上, 每排架

在承台断面外左、右侧分别加打桩1根以增强稳定性。

双排钢管桩间焊接横向及斜向剪力撑, 增大桩身稳定性, 横撑、剪力撑均采用10号槽钢制作。

钢管桩施工时采用DZ45型振动锤沉桩, 承载力按贯入度和钢管入土深度双控, 确保满足要求。

### 2.3 贝雷梁设计

贝雷纵梁为 $12\text{m}+9\text{m}+12\text{m}$ 的三跨简支梁结构。横截面贝雷片布置为一组150贝雷片+一组45贝雷片+一组150贝雷片+150贝雷片+45贝雷片+150贝雷片, 贝雷片最大跨径按照11.0米计算, 如图1。

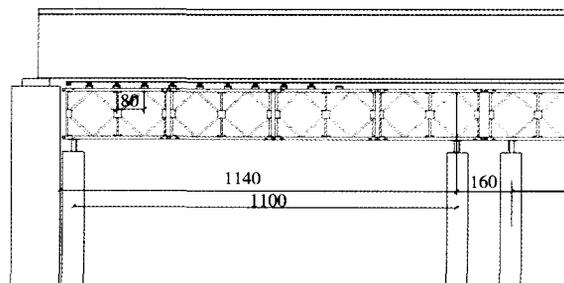


图1 箱梁支架布置纵向示意图

## 3 支架力学验算<sup>[1]</sup>

考虑箱梁横隔梁荷载主要作用在墩顶, 因此, 验算时取具有代表性的跨中断面计算, 在横桥向上根据贝雷片的分布图, 按图2所示分区, 取各区的荷载进行验算。

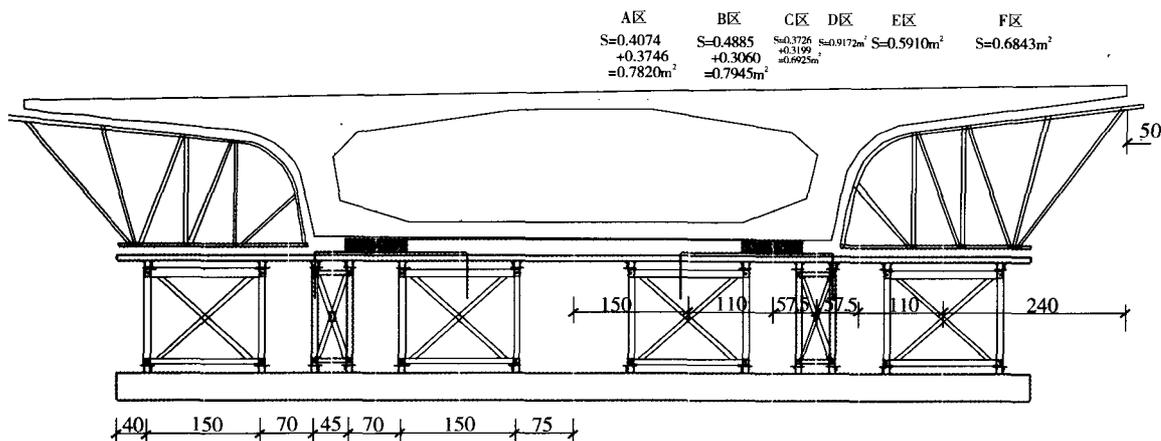


图2 箱梁支架横断面图

### 3.1 荷载计算

(1) 新浇混凝土自重取26 kN/m<sup>3</sup>，则各区混凝土的自重为：

$$F_A = 0.7820 \times 26 = 20.3 \text{ kN/m}$$

$$F_B = 0.7945 \times 26 = 20.7 \text{ kN/m}$$

$$F_C = 0.6925 \times 26 = 18.0 \text{ kN/m}$$

$$F_D = 0.9172 \times 26 = 23.9 \text{ kN/m}$$

$$F_E = 0.6843 \times 26 = 17.8 \text{ kN/m}$$

$$F_{\text{合}} = 116 \text{ kN/m}$$

(2) 侧模、底模、内模及格栅木按1.5 kN/m<sup>2</sup>计；

(3) 贝雷自重按2kN/m计；

(4) 施工人员、料具等施工荷载取0.5 kN/m<sup>2</sup>；

(5) 泵送混凝土时产生的冲击荷载、振捣混凝土时产生的荷载共取1.5 kN/m<sup>2</sup>

因此，作用在贝雷梁上的均布荷载(1) -

(5) 组合为：

$$Q_A = 20.3 + (1.5 + 0.5 + 1.5) \times 1.5 + 2 = 27.6 \text{ kN/m}$$

$$Q_B = 20.7 + (1.5 + 0.5 + 1.5) \times 1.1 + 2 = 26.6 \text{ kN/m}$$

$$Q_C = 18.0 + (1.5 + 0.5 + 1.5) \times 0.575 + 2 = 20.0 \text{ kN/m}$$

$$Q_D = 23.9 + (1.5 + 0.5 + 1.5) \times 0.575 + 2 = 27.9 \text{ kN/m}$$

$$Q_E = 15.4 + (1.5 + 0.5 + 1.5) \times 1.1 + 2 = 21.3 \text{ kN/m}$$

$$Q_F = 20.7 + (1.0 + 0.5 + 1.5) \times 1.1 + 2 = 27.0 \text{ kN/m}$$

$$Q_{1/2\text{合}} = 150.4 \text{ kN/m}$$

### 3.2 贝雷梁弯矩验算

$$\text{最大弯矩 } M_{\text{max}} = ql^2/8 = 27.9 \times 11.0^2/8 = 422.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

考虑不均匀系数1.2，则

$$M = 506.4 \text{ kN} \cdot \text{m} < [M] = 788.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q = 27.9 \times 11.0 \times 1.2/2 = 184.1 \text{ kN} < [Q] = 245.2 \text{ kN}$$

满足要求。贝雷梁允许弯矩、剪力、挠度允许值由生产厂家提供。

### 3.3 贝雷梁刚度验算

$$L = 11.0 \text{ m}$$

$$f = 5ql^4/384EI$$

$$= 5 \times 27.9 \times 11000^4 / (384 \times 2.1 \times 10^5 \times 20500 \times 10^4) = 10.1 \text{ mm} < 11000/400 = 27.5 \text{ mm}$$

满足要求。

### 3.4 横梁验算

横梁由2 I 36a工字钢组成，各贝雷梁作用在横梁上的力如图3所示，2I36a的  $W_x = 1750 \times 10^3 \text{ mm}^3$ ， $A_{\text{腹板}} = 7200 \text{ mm}^2$ 。

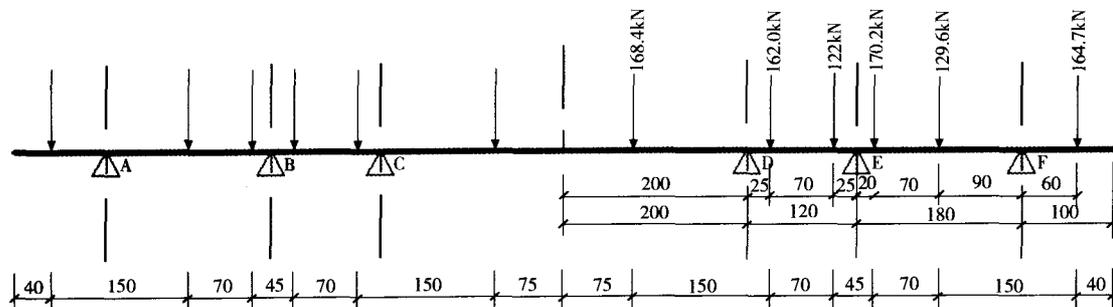


图3 横梁作用力示意图

## (1) 悬臂部分

$$M_f = 98.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 56.5 \text{ MPa} < [\sigma] = 145 \text{ MPa}$$

$$R_f = 164.7 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = 22.9 \text{ MPa} < [\tau] = 85 \text{ MPa}$$

满足要求。

## (2) EF梁段

$$\text{由 } M_{\max} = 2Pa^2b^2/L^3 \text{ 得 } M_{\max} = 32.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 18.6 \text{ MPa} < [\sigma] = 145 \text{ MPa}$$

$$R_f = 83.7 \text{ kN} \quad R_e = 216.1 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = 30.0 \text{ MPa} < [\tau] = 85 \text{ MPa}$$

满足要求。

## (3) DE梁段

$$M_{\max} = 29.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 16.8 \text{ MPa} < [\sigma] = 145 \text{ MPa}$$

$$R_e = 161.1 \text{ kN} \quad R_d = 122.9 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = 22.4 \text{ MPa} < [\tau] = 85 \text{ MPa}$$

满足要求。

## (4) CD梁段

$$M_{\max} = 64.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 36.8 \text{ MPa} < [\sigma] = 145 \text{ MPa}$$

$$R_d = 168.4 \text{ kN} \quad R_c = 168.4 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = 23.4 \text{ MPa} < [\tau] = 85 \text{ MPa}$$

满足要求。

## (5) 各支点反力

$$R_f = 248.4 \text{ kN} \quad R_e = 346.5 \text{ kN} \quad R_d = 322.1 \text{ kN}$$

3.5 支撑在承台上的  $\phi 600 \times 6\text{mm}$  钢管验算

$A = 11191 \text{ mm}^2$ , 钢管立柱最大自由长度  $6.595 \text{ m}$ , 钢管自重  $5.79 \text{ kN}$ 。2 I 36a 工字钢自重  $14.2 \text{ kN}$ 。

$$\text{钢管承受的最大压力 } N = 346.5 + 14.16 \times 1.5/6 + 5.79 = 350.0 \text{ kN}$$

$$\text{回转半径: } i = 210 \text{ mm}$$

最高的钢管按  $6.6 \text{ m}$  计, 则  $\lambda = 6600 / 210 = 31.4$ , 查《钢结构设计规范》<sup>[2]</sup>附录C-2, b类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi = 0.930$

$$\sigma = 350000 / (0.930 \times 11191) = 33.6 \text{ N/mm}^2 < [\sigma] = 140 \text{ N/mm}^2$$

因此, 钢管立柱满足要求。

## 3.6 钢管桩单桩承载力验算

根据支座反力验算钢管桩最大受荷  $R_{\max} = R_e = 34.65 \text{ t}$ , 根据振动锤贯入度-荷载曲线, 在贯

入度小于  $5 \text{ mm/min}$  时, 单桩承载力达到  $47.8 \text{ t}$ , 故承载力满足要求。

## 4 施工

## 4.1 钢管桩施打

(1) 采用  $50 \text{ t}$  履带吊机结合  $DZ45$  型振动锤施打钢管桩。先在上用拉线定位钢管桩位置, 然后用振动锤夹紧钢管, 吊机吊运至打设位置, 开启振动锤, 管桩即随振动锤激振力进入土层。

(2) 管桩打入采用入土深度与贯入度双控, 以贯入度为主。在贯入度小于  $5 \text{ mm/min}$  时, 继续激振  $3 \text{ min}$ , 测量入土深度。计算单桩承载力达  $47.8 \text{ t}$  时理论上应入土  $4.8 \text{ m}$ , 如入土深度达到要求, 则完成管桩施打; 如入土深度小于  $4.8 \text{ m}$ , 则继续激振  $2 \text{ min}$ , 至贯入度稳定在  $5 \text{ mm/min}$  之下则停止施打。

## 4.2 横梁安装

每排钢管桩施打完成后通过切割或补接调整好管桩顶面高程, 在管桩顶部焊  $8 \text{ mm}$  厚钢板后安装  $2 \text{ I } 36\text{a}$  横梁, 横梁与立柱上钢板焊接固定。

## 4.3 贝雷梁架设

每跨贝雷梁组装完成后整体吊装至横梁上, 跨间贝雷梁断开, 形成简支梁结构。

## 4.4 连接加固

(1) 将双排钢管桩逐根用  $10$  号槽钢焊接连成整体, 包括横向连接、纵向连接、剪刀撑焊接等;

(2) 将每榀贝雷梁用  $U$  型箍固定在横梁工钢上;

(3) 在贝雷梁间加横向连接将贝雷梁连成整体。

## 5 预压与观测

## 5.1 观测数据

按设计方案搭设支架, 在搭设完成  $3$  天后采用  $1.1$  倍施工荷载进行预压并观测钢管、贝雷梁的沉降、变形, 数据如表1:

表1 沉降观测数据

项目	单位	数值
中支墩钢管最大沉降量	mm	11
贝雷梁最大挠度	mm	6
钢管柱最大侧向位移	mm	4
钢管柱最大纵向位移	mm	5

## 4.2 观测结果分析

观测显示加荷后支架总体稳定性较好,贝雷梁挠度及钢管柱沉降量在预期范围内,但钢管柱存在一定的纵向及侧向位移。

## 4.3 加强措施

为增强钢管柱整体稳定性,决定在中支墩支撑钢管柱间设 $2 \times 2$ 根水平钢管,采用 $\phi 273\text{mm}$ 螺旋钢管焊接,将支架立柱连成整体;在每跨支撑钢管外加打一根抗侧向位移钢管并与支撑钢管连成整体。

## 5 小结

2007年8月7日成功进行了左幅第六联箱梁混凝土浇筑,混凝土施工过程中进行了支架变形和稳定性监测,施工过程中支架稳定性良好,沉降、位移数据均在控制范围内,实践证明支架设

计施工方案合理可行,水上现浇箱梁支架采用钢管贝雷结构有较好的安全可靠。

支架搭设前需要进行力学验算,在浇筑前要进行预压,通过观测判定支架稳定性。

支架施工应严格遵守设计施工方案,保证钢管桩的贯入度和入土深度,做好横梁、贝雷梁安装的细部处理和钢管桩之间的连接加固。

### 参考文献

- [1] 周水兴,等. 路桥施工计算手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2003
- [2] GB50017-2003, 钢结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003
- [3] GB50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002
- [4] JTJ041-2000, 公路桥涵施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2000
- [5] GB5007-2002, 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002

(上接第12页)

## 3.2 止浆环

原设计止浆环为穿孔Q235钢板上焊接一10cm长钢管,钢管外套气囊,并在气囊外用3mm厚橡胶保护,钢管内钢绞线间以环氧充填。施工时,在穿索到位后向气囊充气,压迫外裹橡胶紧贴孔壁,以达到止浆的目的。实际施工中发现,由于钻孔孔壁不平滑,遇到尖利岩石棱角时,容易划破气囊,造成漏浆,使锚固段过长。后止浆环改用高弹尼龙止浆袋,注浆时先向止浆袋中注浆,注浆满时浆液自动流向锚固段,在止浆环处形成混凝土塞,紧贴岩壁,达到止浆目的。实践证明,这种方法简便易行,节省材料,同时由于减少了向气囊充气这个环节,对加快工程进度也有一定的作用。

## 3.3 外锚头

在边坡岩体较破碎或全、强风化岩体边坡,采用纵横向布置的钢筋混凝土外锚梁,将单个锚墩的张力分散,不仅避免了局部应力集中,减小了因预应力施加而使岩体产生过大的变形,而且对整个边坡的稳定有利。

## 3.4 锚索方向

龙滩左岸进水口边坡为反向层状结构岩体,锚索孔的最佳孔向是垂直岩体层面,将不稳岩体

通过预应力锚索与深部稳定岩体连接为一个整体,以提高边坡整体稳定性。为此最佳孔向应为仰孔,但当锚索孔孔向为仰孔时,不能保证注浆的密实度,从而影响到锚固力的正常发挥,故锚索孔造孔方向选为俯斜孔,与水平面成 $10 \sim 15$ 度俯角,锚索穿过岩石层面与深部稳定岩体连接为一个整体。

## 3.5 钻孔

锚索钻孔过程中,在含有大量裂隙或破碎的岩体中,为保证钻孔顺利进行和锚固段具有足够的承载力,并避免锚固段注浆时浆液流失,应进行固结固壁灌浆。

## 3.6 锁定吨位

考虑到锚具夹片的回缩及锚索与孔壁的摩擦等都会对锚索的预应力产生一定的损失,为了保证锚索的设计锚固力,在选择锚索锁定吨位时按锚索设计锚固力的10%考虑。

## 4 结语

根据现场监测结果,龙滩工程边坡预应力锚索满足规范和设计要求。锚索施加于边坡后,边坡位移明显减缓并趋于稳定,锚索工作状态良好。以预应力锚索作为主要加固措施,对改善边坡稳定性及加快工程进度起了较大的作用。