

# 钢筋混凝土预应力连续箱梁现浇支架方案设计探讨

薛 海<sup>1</sup>, 万建银<sup>2</sup>

(1.江苏省南京市公路管理处, 江苏南京 210008; 2.江苏淮阴水利建设集团有限公司, 江苏淮阴 223005)

**摘 要:** 该文通过对宁连、宁通公路马汉河大桥混凝土箱梁现浇支架施工过程的分析 and 总结, 初步探索和总结了钢筋混凝土预应力连续箱梁现浇支架设计、施工的技术要点。

**关键词:** 钢筋混凝土; 预应力; 连续箱梁; 现浇支架; 设计方案

**中图分类号:** U448.213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)06-0086-04

## 0 引言

马汉河大桥位于南京市六合区, 是宁连、宁通公路主干线上跨越马汉河的一座大桥, 上部结构为 36 m + 54 m + 36 m 的三跨钢筋混凝土等截面预应力连续箱梁(见图 1、图 2), 下部结构为灌注桩基础, 水下承台, 双柱式桥墩, 桥台为桩顶盖梁式桥台, 桥面宽 13.5 m; 设计荷载为汽 - 20、挂 - 100 级。

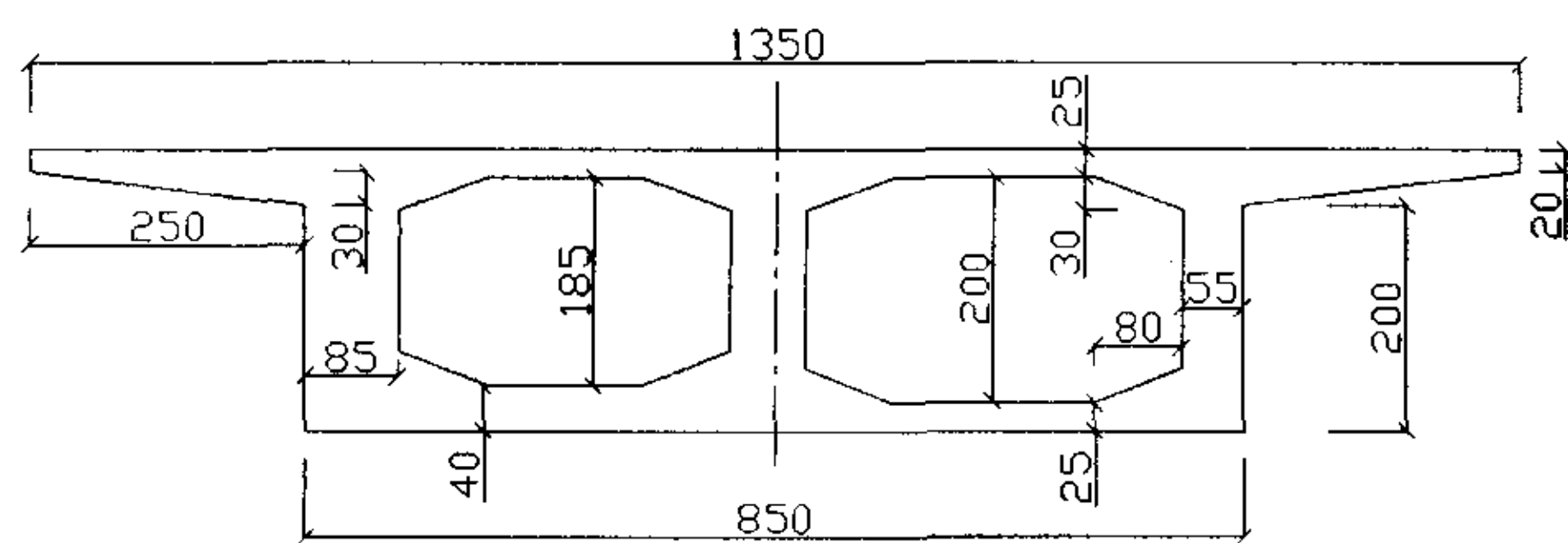


图 1 箱梁横断面(单位:mm)

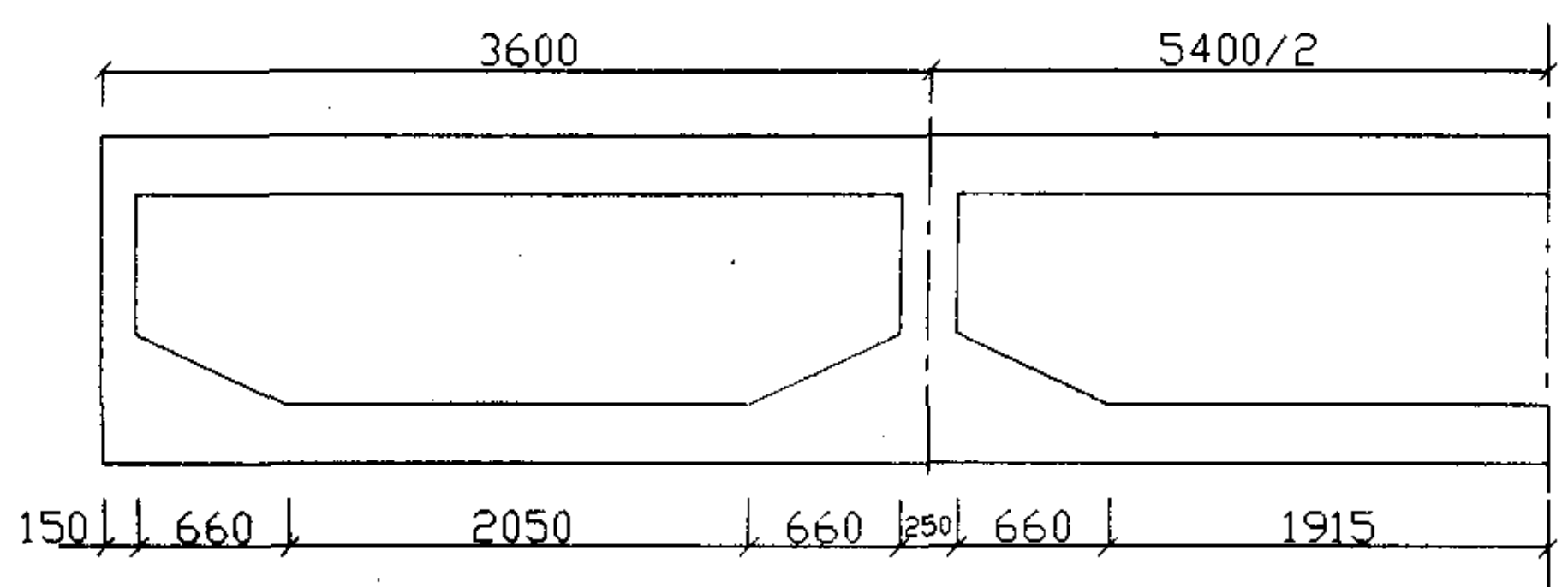


图 2 箱梁纵剖面(单位:mm)

该桥上部结构施工采用整体支架一次现浇, 现浇支架采用钢管桩支点, 上铺设贝雷桁架梁形成平台, 在平台上搭设碗扣式网络支架。由于马汉河为五级航道, 施工期要保持通航, 中跨要留足 26 m 宽度的通航孔。两侧边跨跨中各设一支点, 因此, 贝雷桁架梁按七跨等截面连续梁设计。

收稿日期: 2006-08-02

作者简介: 薛海(1973-), 男, 江苏淮安人, 工程师, 从事公路工程建设、施工管理工作。

## 1 受力分析

### 1.1 荷载计算

根据箱梁截面变化情况, 将梁体划分为 13 个节段, 依据《公路桥涵施工技术规范》的规定, 计算出箱梁现浇的荷载及组合情况(如表 1)。

表 1 全桥总施工荷载

节段	节段长度(m)	混凝土重量(kN/m)	模板重量(kN/m)	支架自重(kN/m)	验算刚度用(kN/m)	施工荷载(kN/m)	计算强度用(kN/m)
0# 墩	1.5	598	8.6	34	640.6	10	650.6
1	6.6	346.32	18.8	34	399.22	10	409.22
跨中 2	20.05	276.12	19.2	34	329.32	10	339.32
3	6.6	346.32	18.8	34	399.22	10	409.22
1# 墩	2.5	598	8.6	34	640.6	10	650.6
4	6.6	346.32	18.8	34	399.22	10	409.22
跨中 5	38.3	276.12	19.2	34	329.32	10	339.32
6	6.6	346.32	18.8	34	399.22	10	409.22
2# 墩	2.5	598	8.6	34	640.6	10	650.6
7	6.6	346.32	18.8	34	399.22	10	409.22
跨中 8	20.05	276.12	19.2	34	329.32	10	339.32
9	6.6	346.32	18.8	34	399.32	10	409.22
3# 墩	1.5	598	8.6	34	640.6	10	650.6
合计	126	39005	1544.8	4284	44834	1260	46094

注: 表中施工荷载包括施工人员荷载、施工机具以及混凝土冲击荷载等, 按 10 kN/m 考虑。

考虑到墩顶部位的荷载全部由桥墩承担, 因此, 由上表画出贝雷桁架梁荷载分布图(见图 3)。

### 1.2 支点反力及弯矩计算

计算模型按七跨连续梁考虑, 根据图 3 所示, 为偏于安全考虑, 贝雷桁架梁的荷载按支点处的最大荷载计算, 即  $q = 409.22$  kN/m, 采用力矩分配法进行计算, 绘出贝雷桁架梁剪力分布图和弯矩分布图(见图 4、图 5)。

由图 4、图 5 可以看出, 在通航孔支点 A、B

是不美的, 水生物不仅消除污染物, 也给城市带来很多的享受。把防洪河道污水治理建成社会、经济、自然复合的生态系统, 用这样的生态设计观念

才能做到城中有山水, 城市水系随处可见, 城市绿化系统相连, 我们的城市才会有特色。



处,贝雷桁架梁弯矩和剪力最大,即  $M_{\max}=-18\,961\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,  $Q_{\max}=5\,321\text{ kN}$ ;另外,可以计算出 A、B 支点处支点反力也最大,即  $N_{\max}=8\,435\text{ kN}$ 。

2 临时支点设计

2.1 通航孔支点设计

根据桥位处的地质条件及本桥的结构形式,通航孔支点采用三排  $\Phi 500$  钢管桩,每排 7 根,按横向间距 2.0 m、纵向间距 2.5 m 均布,钢管桩入土深度 7 m(见图 6)。

2.1.1 钢管桩容许承载力验算

钢管桩的允许承载力计算公式为:

$[P]=1/K(UL\tau_P+A\sigma_R)n$

式中:K——安全系数,取 1.5

U——钢管周长

L——桩在局部冲刷线以下的有效深度,取 6.5 m

$\tau_P$ ——桩壁土的平均极限摩阻力,取 60 kPa

$\sigma_R$ ——桩尖部位土的极限承载力,取 2 200 kPa

A——钢管桩的截面积

n——钢管桩的根数

将  $U=1.57\text{ m}$ ,  $K=1.5$ ,  $L=6.5\text{ m}$ ,  $A=0.196\text{ m}^2$ ,  $\tau_P=60\text{ kPa}$ ,  $\sigma_R=2\,200\text{ kPa}$ ,  $n=21$  代入公式:

$[P]=1/K(UL\tau_P+A\sigma_R)n=(1.57\times 6.5\times 60+0.196\times 2\,200)\times 21/1.5=14\,609\text{ kN}>N_{\max}=8\,435\text{ kN}$

说明通航孔支点钢管桩满足承载力的要求。

2.1.2 钢管桩的稳定计算

钢管的柔度系数计算公式为:

$\lambda=\mu L/r$

式中:L——压杆计算长度,按无横向联系考虑,取 9.7 m

$\mu$ ——压杆的长度系数,按两端铰支考虑,取 1

r——钢管的回旋半径,  $r=(D^2+d^2)^{1/2}/4=(500^2+484^2)^{1/2}/4=174(\text{mm})$

将  $\mu=1$ ,  $L=9.7\text{ m}$ ,  $r=174\text{ mm}$  代入公式:

$\lambda=\mu L/r=1\times 9.7\times 1\,000/174=56<\lambda_s=60$  属短粗杆,按强度验算即可

将  $N_{\max}=8\,435\text{ kN}$ ,  $n=21$ ,  $A=12\,359\text{ mm}^2$  代入公式  $\sigma=N_{\max}/nA$

则  $\sigma=N_{\max}/nA=8\,435\text{ kN}/(21\times 12\,359\text{ mm}^2)=32.5(\text{MPa})<[\sigma]=140(\text{MPa})$

说明通航孔支点钢管桩满足压杆稳定和强度要求。

2.2 1#、2# 墩支点设计

利用 1#、2# 墩水下承台作基础,在桥墩两侧各布设 12 根  $\Phi 273$  钢管。

2.3 压杆稳定计算

钢管的柔度系数计算公式为:

$\lambda=\mu L/r$

式中:L——压杆计算长度,按无横向联系考虑,

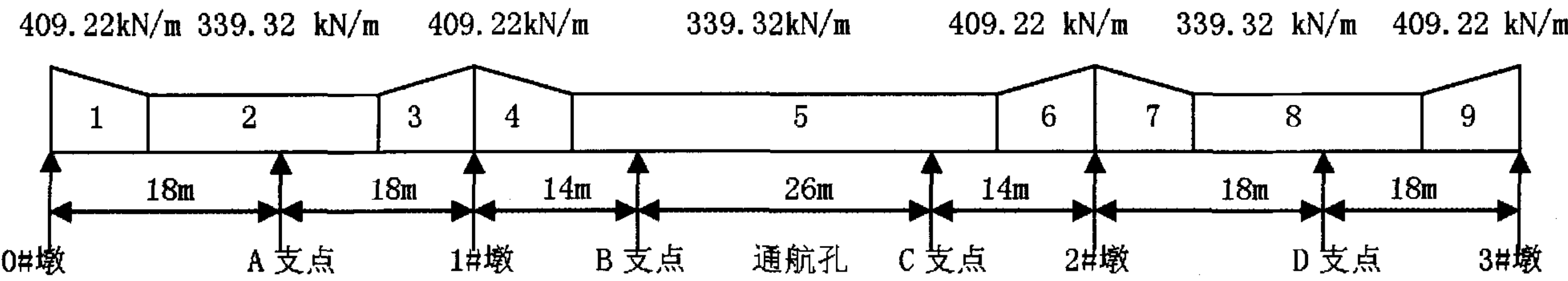


图 3 贝雷桁架梁荷载分布图

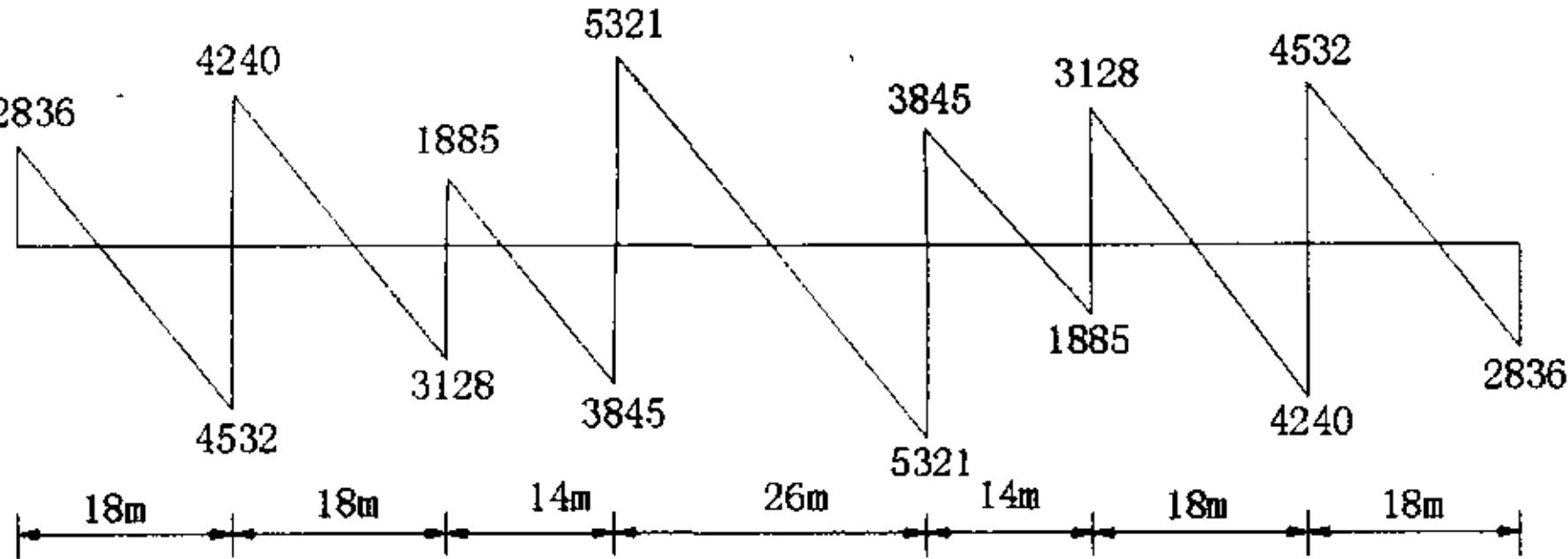


图 4 贝雷桁架梁剪力分布图(单位:kN-m)

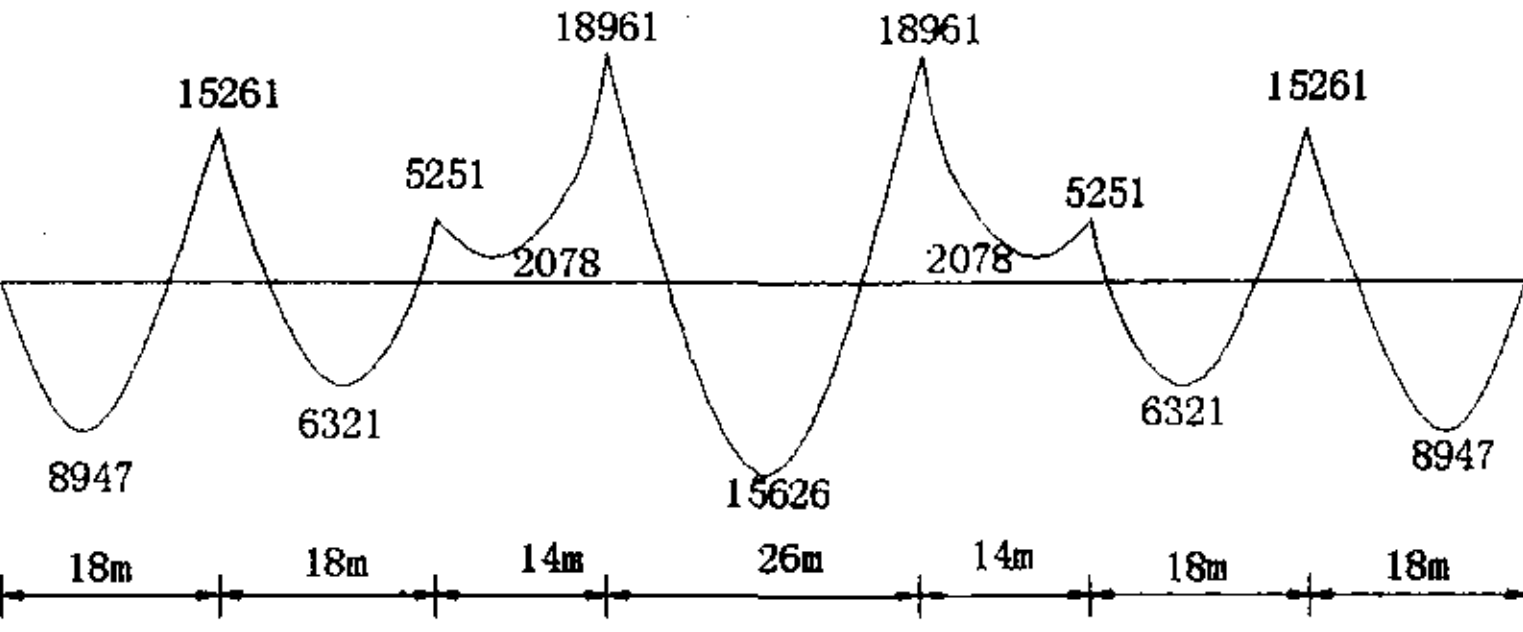


图 5 贝雷桁架梁弯矩分布图(单位:kN-m)

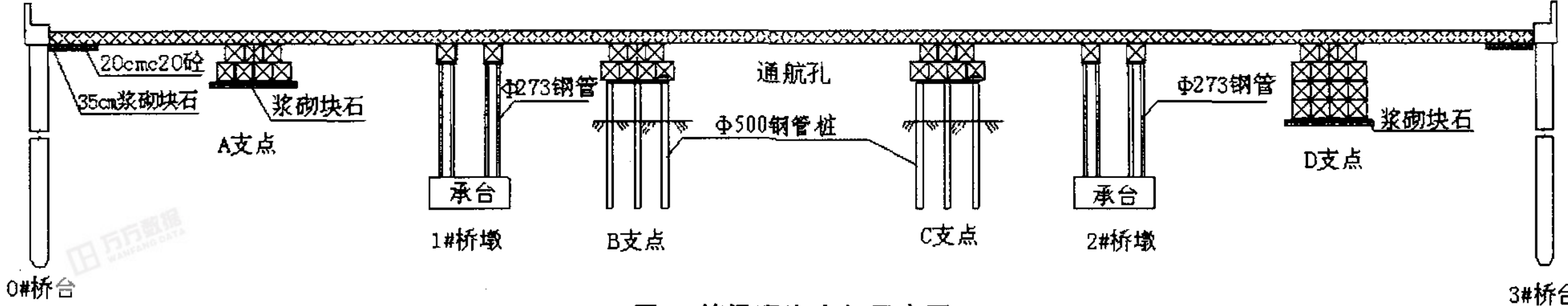


图 6 箱梁现浇支架示意图



取 9.7 m

$\mu$ ——压杆的长度系数,按两端铰支考虑,取 1

$r$ ——钢管的回旋半径, $r=(D^2+d^2)^{1/2}/4=(273^2+260^2)^{1/2}/4=94(\text{mm})$

将  $\mu=1, L=9.7 \text{ m}, r=94 \text{ mm}$  代入公式

则  $\lambda=\mu L/r=1 \times 9.7 \times 1\,000/94=103 > \lambda_p=100$   
属细长杆,用欧拉公式计算钢管临界力, $P_{cr}=\pi^2 EI/(\mu L)^2$

将  $E=2.1 \times 10^5 \text{ MPa}, \mu=1, L=9.7 \text{ m}, I=4.83 \times 10^4 \text{ cm}^4$  代入公式

则  $P_{cr}=\pi^2 EI/(\mu L)^2=3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11} \times 4.83 \times 10^{-5}/(1 \times 9.7)^2=1\,062 \text{ (kN)} > N_{max}/n=8\,435 \text{ kN}/24=351.5 \text{ (kN)}$

满足压杆稳定的要求,验算钢管的强度即可。

$\sigma=N_{max}/nA=8\,435 \text{ kN}/(24 \times 5\,439 \text{ mm}^2)=64.6 \text{ (MPa)} < [\sigma]=140 \text{ (MPa)}$

说明 1#、2# 墩支点钢管满足压杆稳定和强度要求。

## 2.4 边跨跨中支点

边跨跨中支点在岸上,用贝雷片搭设即可,不需要验算。

## 3 贝雷桁架梁的设计

贝雷桁架梁由贝雷片销接连成整体,贝雷片截面力学参数见表 2。

表 2 贝雷桁架构件截面性质表

截面组成	截面积 (cm)	允许弯矩 (kN-m)	允许剪力 (kN)	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$h_x$ (cm)	$W_x$ (cm <sup>3</sup> )
弦杆 2 × [10	25.48			396.6	10	79.4
贝雷桁架片	50.96	788.2	245.2	250 500	150	3 570
上下加强桁片	101.92	1 687.5	245.2	577 434	170	7 699

### 3.1 按纯弯压状态下的强度设计

在纯弯压状态下,所需贝雷桁架梁的排数为:

$N=M_{max}/\zeta[M]=18\,961/0.8 \times 1\,687.5=14 \text{ (排)}$

式中:  $\zeta$ ——贝雷桁架梁的不均匀系数,取 0.8

$N$ ——贝雷桁架的排数

$M_{max}$ ——贝雷桁架梁的最大弯矩(kN-m)

$[M]$ ——单排单层上下加强贝雷片允许弯矩(kN-m)

考虑到箱梁横向荷载在腹板和两侧肋板处较大,因此,贝雷桁架梁在该处各增加一排,取  $N=17 \text{ (排)}$ 。

### 3.2 按横力弯曲状态下的强度校核

由图 4 和图 5 可以看出,在贝雷桁架梁的所有断面中,通航孔支点截面弯矩和剪力最大,故选该截面进行强度校核,选取离形心轴 65 cm 处(该

处为贝雷片上弦杆下缘,称为 A 点)和离形心轴 75 cm 处(该处为加强杆与贝雷片上弦杆交界处,称为 B 点)两点进行强度校核。

在横力作用下,计算点的正应力  $\sigma$  和剪应力  $\tau$  为

$$\sigma=M_{max} Y/nI \quad \tau=Q_{max} S/nId$$

式中:  $M_{max}$ ——贝雷桁架梁最大弯矩

$Y$ ——A 点距中性轴的距离

$I$ ——截面惯性矩

$Q_{max}$ ——贝雷桁架梁最大剪力

$S$ ——计算点水平线以上截面积对中性轴的静矩

$d$ ——计算点处截面宽度

(1) 计算横力作用下 A 点的正应力和剪应力

将  $M_{max}=18\,961 \text{ kN-m}, I=577\,434 \text{ cm}^4, Y=0.65 \text{ m}, n=17$  代入公式  $\sigma=M_{max} Y/nI$

则  $\sigma_A=M_{max} Y/nI=(18\,961 \times 10^3 \times 0.65)/(17 \times 577\,434 \times 10^{-8})=125.55 \text{ (MPa)}$

将  $Q_{max}=5\,321 \text{ kN}, S=50.96 \times 10^{-4} \times 0.75=38.22 \times 10^{-5} \text{ cm}^5, I=577\,434 \text{ cm}^4, d=0.75 \text{ m}, n=17$  代入公式  $\tau=Q_{max} S/nId$

则  $\tau_A=Q_{max} S/nId=(5\,321 \times 10^3 \times 38.22 \times 10^{-5})/(17 \times 577\,434 \times 10^{-8} \times 1.06 \times 10^{-2})=19.54 \text{ MPa}$

按第四强度理论校核:

则  $\sigma_4=(\sigma_A^2+3\tau_A^2)^{1/2}=130.03 \text{ MPa} < [\sigma_w]=210 \text{ MPa}$

(2) 计算横力作用下 B 点的正应力和剪应力

将  $M_{max}=18\,961 \text{ kN-m}, I=577\,434 \text{ cm}^4, Y=0.75 \text{ m}, n=17$  代入公式  $\sigma=M_{max} Y/nI$

则  $\sigma_B=M_{max} Y/nI=(18\,961 \times 10^3 \times 0.75)/(17 \times 577\,434 \times 10^{-8})=144.86 \text{ (MPa)}$

将  $Q_{max}=5\,321 \text{ kN}, S=25.48 \times 10^{-4} \times 0.8=20.38 \times 10^{-5} \text{ cm}^5, I=577\,434 \text{ cm}^4, d=0.80 \text{ m}, n=17$  代入公式  $\tau=Q_{max} S/nId$

则  $\tau_B=Q_{max} S/nId=(5\,321 \times 10^3 \times 20.38 \times 10^{-5})/(17 \times 577\,434 \times 10^{-8} \times 1.06 \times 10^{-2})=10.42 \text{ (MPa)}$

按第四强度理论校核:

则  $\sigma_4=(\sigma^2+3\tau^2)^{1/2}=145.98 \text{ (MPa)} < [\sigma_w]=210 \text{ (Mpa)}$

以上验算结果说明:17 排贝雷桁架梁满足箱梁现浇的设计强度要求。

### 3.3 贝雷桁架梁的抗剪强度校核

每排贝雷桁架梁的最大剪力为

$Q=Q_{max}/17=5\,321 \text{ kN}/17=313 \text{ (kN)} > [Q]=245.2 \text{ (kN)}$

说明贝雷纵梁的抗剪强度不足,因此,在支点



范围内应采用 10 号槽钢制作成加劲立柱焊接在上下弦杆之间,以增加桁架的抗剪强度。

#### 4 贝雷桁架梁的刚度校核

贝雷桁架梁在荷载作用将产生弹性和非弹性变形,下面分别计算通航孔贝雷桁架梁的弹性和非弹性变形产生的挠度。

##### (1) 非弹性挠度

贝雷桁架之间采用销接,根据经验公式,其产生的非弹性挠度为:

$$f_{1\text{中}} = 0.05 \times (n^2 - 1) / 3 = 0.05 \times 80 / 3 = 1.33 (\text{cm})$$

##### (2) 弹性变形挠度

$$\begin{aligned} f_2 &= L^2 (0.104 \, 2 q l^2 - M) / 8 E I n \\ &= 26^2 \times (0.104 \, 2 \times 409.22 \times 10^3 \times 23.2^2 - 18 \, 961 \\ &\times 10^3) / (8 \times 577 \, 434 \times 10^{-8} \times 2.1 \times 10^{11} \times 17) = 0.040 \, 5 \\ &(\text{M}) = 4.05 (\text{cm}) \end{aligned}$$

$$f = f_{1\text{中}} + f_2 = 5.38 \, \text{cm} < L/400 = 26/400 = 6.50 \, \text{cm}$$

说明贝雷桁架梁的刚度满足设计要求。

#### 5 施工要点

(1) 支架搭设完成后,必须要进行等载预压,一方面消除贝雷桁架梁及临时支点的非弹性变形,另外,更主要的是通过预压实测支架的弹性挠度值,为箱梁底板的立模高程提供依据。

(2) 由于施工荷载横向分布是不均匀的,即在箱梁肋板及腹板处较大,两侧翼缘板处较小,因此贝雷桁架梁的布置在肋板及腹板处应加密,缘翼板处间距可适当加大;另外,还应加强贝雷桁架梁的横向联系,以提高其横向刚度。

(3) 由于贝雷桁架梁是按七跨连续梁的受力模型计算的,连续梁的特点是充分利用荷载在支点产生的负弯矩来减少和平衡跨中的正弯矩,因此,在箱梁混凝土浇筑过程中,应对称、分层、分坯均衡浇筑,力求符合支架设计的计算模型。

#### 6 结语

在连续箱梁的施工过程中,现浇支架的设计方案直接影响工程施工的进度、质量、安全和经济效益,因此,设计一个科学合理的支架施工方案尤为重要。

## 辽宁省中部城市群交通将建两小时公路圈

辽宁中部城市群交通将要实现六个“一体化”,建成两小时公路圈。2007 年,七城市将共同编制《辽宁中部城市群交通一体化合作协议规划》,重点建设沈阳至抚顺、沈阳至辽阳、沈阳至营口等城市的快速通道。

要完善和优化公路网络、全力打造以沈阳为中心的辽宁中部城市“一网两环六射”(一网即辽宁中部城市公路网;二环为沈阳绕城高速公路和辽宁中部城市环线高速公路;六射为沈铁、沈通、沈抚、沈丹、沈大、京沈高速公路)高速公路主骨架,实现两小时公路圈。此外,还将在协调机构、公路网、市场、交通信息、政策等五方面实现“一体化”。

## 上海智能交通信息服务系统进入测试期

上海交通大学网络计算中心日前传出消息,一项名为“智能交通信息服务(i-tis)”的技术,现已取得阶段性成果,有望在 2007 年底投入使用,为市民出行“出谋划策”。

智能交通信息服务(itis)建立在网络技术基础之上,全市有 3 000 辆出租车和 1 000 辆公交车装有 gps 全球定位系统,它们便是该系统的“情报员”。根据“情报员”提供的位置、车速等数据,参与网络试验的多台电脑会“联手”进行海量计算,便能精确地算出道路畅通情况。

因此,该系统不仅可以实现电子地图浏览及道路在线查询,还能提供实时路况“点播”。只要在搜索框里输入路名,附近道路两个方向的交通状况就会显示出来,时速 10~50 km,依次显示为紫、红、橙、黄、绿 5 种颜色,孰堵孰畅,一目了然。4 000 辆车的数据支持一个交通服务系统,这样的规模在全世界来说都是不多见的。

智能交通信息服务集合了上海 32 920 个路段的交通信息,即时更新,应用前景十分广阔。