

予应力混凝土及部分予应力混凝土

# 结构构件计算实例

苏清洪

一九九一年七月

## 告 读 者

由于专业技术资料，特别是专业性较强的技术资料，发行面小，就造成了作者与读者之间的沟通渠道阻塞。这种状况，不利于技术经验的交流，因而也不能有效的贯彻科学技术为社会主义建设服务的精神。为了改变这一现状，我们尝试着推出了一些土木工程方面的技术交流资料。本着为生产实践服务，为基层土木技术工作者服务的宗旨、先后铅印了：

A-101：《钢筋混凝土结构构件计算实例》、A-102：《公路小桥涵洞设计计算实例》、A-103：《公路桥涵地基基础设计计算实例》、A-104：《公路路基路面工程设计计算实例》、A-105：《公路工程概算预算计算实例》，以及B-101：《预应力混凝土及部分预应力混凝土结构构件计算实例》、B-102：《公路路线设计计算实例》、B-103：《公路工程施工组织设计及实例》、B-104：《公路路基路面工程质量监理》、B-105：《公路工程概预算》等技术资料，在行业内部交流。由于这些资料服务目的明确，专业剪对性强，加之作者都是一些既有扎实理论基础，又有丰富实践经验的专家，所以深受公路、铁路、市政建设、林业勘察及工民建等部门的土木技术工作者，特别是设计、施工和养护管理等生产第一线的土木技术工作者和以上专业本科、专科和中专学生的欢迎，并给予了较高的评价。

为了克服因专业对口性强而印刷份数少的矛盾，我们千方百计降低印刷成本，致使交流数量达到3—5百份就能及时印出供应读者，这样就增强了资料供应的快速性与灵活性，切实为作者与读者之间做好沟通工作。此外，在征订、发邮和信息反馈方面，我们都本着认真负责的态度，力求做好服务工作，保证订户所购资料及时到手，遗失补寄，决不有誤。总之，我们坚持社会效益第一，为生产第一线服务的原则，做好这一技术交流工作。

为了更广泛的吸收广大读者对这些技术交流资料的批评，指正和对这方面工作的建议和指导，希望读者不吝赐教，以期共同做好这一工作。来信可寄：湖南长沙，410076：长沙交通学院9—204信箱，杨红旗收。我们必定将有关信息及时转达给作者，并作出认真的答复。

# 前 言

本计算实例的依据为以下规范

《钢筋混凝土结构设计规范》 TJ 10-74

《混凝土结构设计规范》 GBJ 10-89

《建筑结构荷载规范》 GBJ 9-87

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTJ023-85

《公路预应力混凝土桥梁设计规范》 1978

有的计算实例同时使用了TJ10-74和GBJ10-89两种规范，以便对照两者的计算区别。

为方便与规范条文进行对照，算式中均注明了计算根据的规范条文号。

限于笔者水平，错误之处在所难免，敬请读者指正。

# 目 录

<p>一、教室<math>10.8 \times 1.5\text{m}</math>预应力混凝土双T版            ..... 1            (TJ10-74《钢筋混凝土结构设计规范》)            (一)截面几何特性计算..... 1            (二)纵肋计算..... 1            (1)预应力损失及预应力合力位置..... 2            (2)使用阶段纵肋跨中截面强度验算... 3            (3)使用阶段纵肋跨中截面抗裂度验算            ..... 3            (4)施工阶段纵肋的应力验算..... 4            (5)使用阶段纵肋挠度验算..... 6            (6)施工阶段纵肋上拱度验算..... 6            (7)使用阶段纵肋斜截面剪力验算..... 6            (三)板面计算..... 7            (1)悬臂边板..... 7            (2)连续中板..... 7            (四)吊钩及吊装验算..... 8            (1)吊钩..... 8            (2)吊装阶段验算..... 8</p>	<p>三、部分预应力混凝土公路梁桥..... 18            (JTJ023-85《公路钢筋混凝土及预应力            混凝土桥涵设计规范》)            (一)截面尺寸及材料..... 18            (二)截面特性计算..... 18            (三)荷载横向分布系数计算..... 20            (1)跨中(G-M法)..... 20            (2)支点(杠杆法)..... 24            (四)恒载内力计算..... 24            (1)组合前主梁(自重)..... 24            (2)现浇层重..... 25            (3)组合后桥面系重..... 25            (4)主梁恒载组合..... 25            (5)主梁恒载内力计算..... 25            (五)活载内力计算..... 25            (1)1/2截面..... 25            (2)1/4截面..... 26            (3)支点截面..... 27            (六)内力组合..... 28            (七)跨中截面钢筋布置..... 28            (八)跨中截面强度计算..... 29            (1)全部恒载完成后..... 29            (2)组合截面强度..... 29            (九)使用条件下正截面应力验算..... 29            1. 预应力损失计算..... 29            (1)钢束布置及截面特性..... 29            (2)孔道摩阻损失..... 34            (3)锚具回缩损失..... 34            (4)弹性压缩损失..... 34            (5)松弛损失..... 34            (6)混凝土收缩徐变损失..... 34            (7)截面组合前有效实力..... 39            (8)跨中消压弯矩作用下截面各阶段应力            ..... 39            (9)使用条件下跨中截面开裂后应力验算            ..... 41            (十)变形验算..... 42            (十一)裂缝宽度验算..... 43</p>
<p>二、教室<math>10.8 \times 1.5\text{m}</math>预应力双T版..... 9            (GBJ10-89《钢筋混凝土结构设计规范》)            (一)截面几何特性计算..... 9            (二)纵肋计算..... 9            (1)预应力损失及预应力合力位置..... 10            (2)使用阶段纵肋跨中截面承载力验算            ..... 12            (3)施工阶段纵肋跨中截面抗裂度验算            ..... 12            (4)施工阶段纵肋的应力验算..... 13            (5)使用阶段纵肋挠度计算..... 15            (6)施工阶段纵肋上拱度计算..... 15            (7)使用阶段纵肋斜截面剪力验算..... 15            (三)板面计算..... 16            (1)悬臂边板..... 16            (2)连续中板..... 16            (四)吊钩及吊装验算..... 17            (1)吊钩..... 17            (2)吊装阶段验算..... 17</p>	

(十二)斜截面强度计算.....	43	(八)使用阶段刚度验算.....	105
(1)截面尺寸校核.....	43	(九)施工阶段计算.....	106
(2)斜截面抗剪强度计算.....	43	(十)预应力钢筋张拉验算.....	109
(十三)剪应力及主应力验算.....	46	(十一)端部锚固区承压计算.....	110
(十四)牛腿钢筋计算.....	46	<b>六、24m后张法屋架下弦.....</b>	<b>112</b>
(1)45°斜截面抗拉强度.....	46	(GBJ10-89《混凝土结构设计规范》)	
(2)最弱斜截面验算.....	50	(一)预应力钢筋数量计量.....	112
(3)垂直截面.....	50	(二)使用阶段抗裂度验算.....	112
(十五)锚下局部承压验算.....	51	(三)张拉时混凝土应力验算.....	114
(十六)桥面板钢筋计算.....	51	(四)端部局部承压强度验算.....	114
(1)恒载内力.....	51	<b>七、先张法预应力空心楼板.....</b>	<b>115</b>
(2)汽车内力.....	52	(GBJ10-89《混凝土结构设计规范》)	
(3)挂车内力.....	52	(一)截面代换.....	115
(4)荷载组合及配筋.....	52	(二)正截面承载力计算.....	116
<b>四、12m后张法预应力混凝土T形等截面吊车</b>		(三)使用阶段正截面抗裂度计算.....	117
<b>梁.....</b>	<b>53</b>	(四)使用阶段变形验算.....	118
(TJ10-74《钢筋混凝土结构设计规范》)		(五)施工阶段的校核.....	119
(一)内力计算.....	53	<b>八、15m后张法预应力混凝土薄腹双坡物面</b>	<b>梁.....</b>
(二)钢筋拟定.....	57	(GBJ10-89《混凝土结构设计规范》)	<b>120</b>
(三)截面几何特性计算.....	57	(一)内力计算.....	120
(四)使用阶段跨中正截面抗裂度计算.....	57	(二)截面几何特征值计算.....	120
(五)使用阶段离梁端0.65m斜截面抗裂度		(三)正截面承载力计算.....	122
计算.....	63	(四)斜截面承载力计算.....	123
(六)使用阶段强度安全度计算.....	66	(五)正截面抗裂验算.....	124
(七)使用阶段疲劳强度计算.....	69	(六)斜截面抗裂验算.....	125
(八)使用阶段刚度验算.....	73	(七)施工阶段验算.....	127
(九)施工阶段验算.....	74	(八)变形验算.....	127
(十)预应力钢筋张拉验算.....	76	(九)局部承压验算.....	128
(十一)端部锚固区局部承压计算.....	77	<b>九、预应力混凝土园管涵.....</b>	<b>129</b>
<b>五、12m后张法预应力混凝土T形等截面吊车</b>		(JTJ023-85《公路钢筋混凝土及预应力	
<b>梁.....</b>	<b>79</b>	混凝土桥涵设计规范》)	
(GBJ10-89《混凝土结构设计规范》)		(一)恒载计算.....	129
(一)内力计算.....	79	(二)活载计算.....	129
(二)钢筋拟定.....	83	(三)荷载组合.....	130
(三)截面几何特性计算.....	85	(四)截面性质计算.....	131
(四)使用阶段跨中正截面抗裂计算.....	85	(五)a截面强度和裂缝计算.....	124
(五)使用阶段离梁端0.65m斜截面抗裂度		(六)b、d截面强度和裂缝宽度验算.....	133
计算.....	92	(七)c截面强度和裂缝宽度验算.....	134
(六)使用阶段正截面承载力计算.....	96	(八)基底应力验算.....	135
(七)使用阶段疲劳强度计算.....	100		

十、29.16m公路预应力简支T梁桥.....	137
(《公路预应力混凝土桥梁设计规范》1978)	
(一)、设计资料及主梁截面尺寸的拟定	137
(二)、截面内力计算.....	139
(一)主梁恒载内力计算.....	139
(二)主梁活载横向分布系数计算.....	141
(三)活载内力计算.....	145
(四)内力汇总表.....	153
(三)、钢束面积的估算及其布置.....	154
(一)跨中截面钢束的估算与确定.....	154
(二)钢束布置.....	155
(三)钢束重心计算.....	156
(四)钢束长度计算.....	158
(四)、主梁截面特性的计算.....	160
(一)截面面积及惯性矩的计算.....	160
(二)梁截面对重心轴的静矩计算.....	162
(五)、预应力损失的计算.....	163
(一)预应力钢束与管道壁之间的摩阻损失	$\sigma_{s1}$ ..... 166
(二)锚具变形、钢筋回缩引起的应力损失	$\sigma_{s2}$ ..... 167
(三)混凝土弹性压缩引起的应力损失 $\sigma_{s5}$	..... 168
(四)传力锚固应力 $\sigma_v$ 及由它产生的梁内	预应力..... 168
(五)预应力刚束松弛引起的应力损失 $\sigma_{s5}$	..... 168
(六)混凝土收缩和徐变引起的应力损失 $\sigma_{s5}$	..... 171
(七)由 $\sigma_{s5}$ 和 $\sigma_{s6}$ 损失而消失的梁内预应力	..... 172
(八)每根钢束预应力损失汇总表.....	172
(六)、梁截面强度验算.....	172
(七)、应力验算.....	176
(一)验算预应力钢束中的最大应力.....	176
(二)混凝土法向应力的验算.....	177
(三)使用阶段混凝土剪应力和主拉应力验	算..... 178
(四)吊装应力验算.....	184

(八)、梁端锚固区和局部承压验算...	184
(一)抗裂性验算.....	185
(二)锚下配置间接钢筋,混凝土局部承压	强度验算..... 185
(九)、变形验算.....	186
(一)确定钢束曲线方程式和建立挠度微分	方程..... 187
(二)1#梁预加力产生的反拱度和外荷下挠	度的计算..... 189
十一、通用于钢筋混凝土、部分预应力混凝	土受弯构件正常使用状态的计算方法介绍
.....	192
1、混凝土的应力应变关系.....	192
2、预应力钢材的松弛.....	194
3、未开裂截面应力应变计算.....	194
4、开裂截面性质计算.....	195
5、构件预压区边缘消压及截面开裂后的	内力计算..... 196
6、随时间变化的应力应变关系.....	197
7、裂缝宽度和变形验算.....	198
8、计算实例.....	199
十二、几种常用徐变预应力损失计算对比	..... 206
① Trost—Baznt法(T—B法).....	207
②徐变换算截面法(C—T法).....	207
③现行桥规(JTJ023—85)法.....	208
④现行建规(GBJ10—89)法.....	208
⑤部分预应力混凝土设计建议法.....	208
⑥本文建议方法.....	208

# 一、教室 10.8 × 1.5m 预应力混凝土双T板

设计规范: TJ10-74 钢筋混凝土结构设计规范

材料: 40# 混凝土

碳素钢丝:  $\phi^S 5, R_y^b = 1600 \text{ MPa}$

冷拔低碳钢丝:  $\phi^b 4, R_y^b = 75 \text{ MPa}$

计算中以括符(如 [90] 等)表示规范条号。

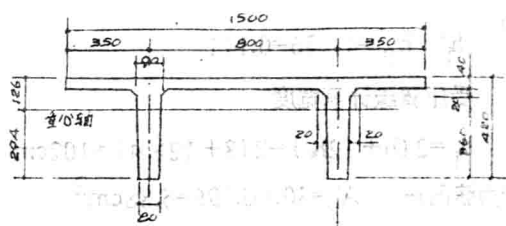


图1-1 截面尺寸

截面面积  $A = 4 \times 150 + 2 \times \frac{8+9}{2} \times 36 + 2 \times \frac{9+13}{2} \times 2 = 600 + 612 + 44 = 1256 \text{ cm}^2$

平均厚  $\delta = 1256 / 150 = 8.38 \text{ cm}$

每延米重  $g = 0.1256 \times 2500 = 314 \text{ kg/m}$

自重  $G = 314 \times 10.8 = 3.4t$

面积矩  $S = 600 \times 2 + 612 [2 + 4 + \frac{36(9+2 \times 8)}{3(9+8)}] = 1200 + 14472 + 217 = 15889 \text{ cm}^3$

重心位置  $Y_{\text{上}} = 15889 / 1256 = 12.6 \text{ cm}$

$Y_{\text{下}} = 42 - 12.6 = 29.4 \text{ cm}$

惯性矩  $J = [1/12 \times 150 \times 4^3 + 150 \times 4 \times (12.6 - 2)^2]$

$+ 2 \{ \frac{2^3 (13^2 + 4 \times 13 \times 9 + 9^2)}{36(13+9)} + \frac{9+13}{2} \times 2 [12.6 - 4 - \frac{2(13+2 \times 9)}{3(13+9)}]^2 \}$

$+ 2 \{ \frac{36^3 (9^2 + 4 \times 9 \times 8 + 8^2)}{36(9+8)} + \frac{9+8}{2} [29.4 - \frac{36(8+2 \times 9)}{3(8+9)}]^2 \}$

$= 68216 + 2596 + 140747 = 211559 \text{ cm}^4$

抵抗矩

$W_{\text{上}} = 211559 / 12.6 = 16790 \text{ cm}^3$

$W_{\text{下}} = 211559 / 29.4 = 7196 \text{ cm}^3$

(二) 纵肋计算

拟定的配筋图见图1-3

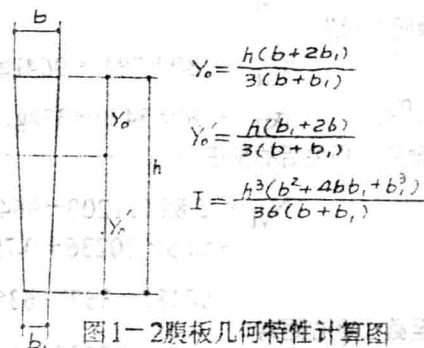


图1-2 膜板几何特性计算图

[90]:  $\phi^S 5, \sigma_k = 0.7R_y^b = 0.7 \times 16000 = 11200 \text{ kg/cm}^2$

$\phi^b 4, \sigma_k' = 0.7R_y^b = 0.7 \times 7000 = 4900 \text{ kg/cm}^2$

荷载计算

活载

$0.8 \times 200 = 160 \text{ kg/m}^2$  [荷规6.7]

地面粉刷

$0.02 \times 2000 = 40 \text{ kg/m}^2$

吊平顶(灰板条)

$55 \text{ kg/m}^2$

自重

$314 \text{ kg/m}^2$

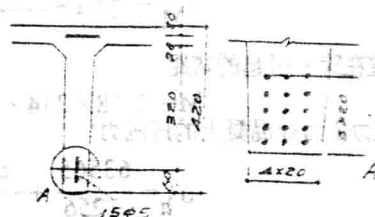


图1-3

纵肋配筋图

$$q = (160 \times 1.5) + [(40 + 55) \times 1.5 + 314] = 240 + 457 = 697 \text{ kg/m}$$

$$h_0 = 42 - 6 = 36 \text{ cm}$$

$$[45]: h'_1/h_0 = 4/36 = 0.111$$

受压翼缘计算宽度

$$b'_1 = 2(b + 12h'_1) = 2(8 + 12 \times 4) = 102 \text{ cm}$$

$$\text{预应力筋面积: } A_y = 30 \times 0.196 = 5.88 \text{ cm}^2$$

$$A_y = 6 \times 0.126 = 0.756 \text{ cm}^2$$

$$\text{跨中弯矩: } M = 1/8 \times 697 \times 10.78^2 = 10125 \text{ kg-m}$$

(1) 预应力损失及预应力合力位置

张拉端锚夹具变形引起的损失

$$[96] \text{ 台座长 } l = 100 \text{ m}$$

$$\text{单根钢丝锥形锚具 } \phi^{S5}: \lambda = 1 \text{ cm}$$

$$\phi^{b4}: \lambda = 0.5 \text{ cm}$$

$$\phi^{S5}: \sigma_{s1} = \lambda / l E_g = 1 / 10000 \times 1.8 \times 10^6 = 180 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi^{b4}: \sigma_{s1} = 0.5 / 10000 \times 1.8 \times 10^6 = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{自然养护 } \sigma_{s3} = 0$$

钢丝应力松弛引起的损失

[95] 一次张拉

$$\phi^{S5}: \sigma_{s4} = 0.07 \sigma_k = 0.07 \times 11200 = 784 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi^{b4}: \sigma_{s4} = 0.07 \times 4900 = 343 \text{ kg/cm}^2$$

第一批预应力损失:

$$\phi^{S5}: \sigma_{sI} = 180 + 784 = 964 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi^{b4}: \sigma_{sI} = 90 + 343 = 433 \text{ kg/cm}^2$$

第一批预应力损失后的预压力:

$$N_{yI} = 5.88(11200 - 964) + 0.756(4900 - 433)$$

$$= 5.88 \times 10236 + 0.756 \times 4467$$

$$= 60188 + 3377 = 63565 \text{ kg}$$

预压力至截面重心距离:

$$Y_{yI} = 29.4 - \frac{60188 \times 6 + 3377 \times 40}{63565} = 29.4 - 7.8 = 21.6 \text{ cm}$$

自重在跨中引起的弯距:

$$M = 1/8 \times 314 \times 10.78^2 = 4561 \text{ kg-m}$$

预应力合力处混凝土的压应力:

$$\sigma_h = \frac{63565}{1256} + \frac{63565 \times 21.6^2}{211559} - \frac{456100 \times 21.6}{211559} = 50.6 + 140.2 - 46.6$$

$$= 144.2 \text{ kg/cm}^2$$



[92] 混凝土达70%强度时放松应力

此时  $R' = 0.7R = 280$  并

$$\sigma_h / R' = 144.2 / 280 = 0.515$$

混凝土收缩徐变引起的损失

$$[98] \quad \sigma_{s5} = \frac{2100 - 1350}{0.1} \times 0.015 + 1350 = 1463 \text{ kg/cm}^2$$

应力损失全部完成后预应力值:

$$\phi^{s5}: \sigma_y = 10236 - 1463 = 8773 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi^{b4}: \sigma'_y = 4467 - 1463 = 3004 \text{ kg/cm}^2$$

应力损失完成后混凝土预压力:

$$N_y = 5.88 \times 8773 + 0.756 \times 3004 = 51585 + 2271 = 53856 \text{ kg}$$

预压力重心位置:

$$Y_y = 29.4 - \frac{51585 \times 6 + 2271 \times 40}{53856} = 29.4 - 7.4 = 22 \text{ cm}$$

(2) 使用阶段纵肋跨中截面强度验算

$$[102] \quad \sigma'_{ya} = R_y - (\sigma'_k - \sigma'_s) = 3600 - (-3004) = 6604 \text{ kg/cm}^2$$

$$[105] \quad R_y A_y = 12800 \times 5.88 = 75264 \text{ kg}$$

$$\therefore R_{\omega i l} b_i h_i + \sigma'_{ya} A'_y = 290 \times 102 \times 4 + 6604 \times 0.756 = 118320 + 4993 = 123313 \text{ kg} > R_y A_y$$

\therefore 按宽度为  $b_i$  的矩形截面计算:

$$[104] \quad X = \frac{R_y A_y - \sigma'_{ya} A'_y}{R_{\omega i l} b_i} = \frac{75264 - 4993}{290 \times 102} = 2.4 \text{ cm}$$

$$\therefore K = \frac{R_{\omega i l} b_i X (h_i - X/2) + \sigma'_{ya} A'_y (h_i - a'_y)}{M}$$

$$= \frac{290 \times 102 \times 2.4 (36 - 2.4/2) + 4993 (36 - 2)}{1012500}$$

$$= 2.6 > 1.05 \times 1.50 = 1.575 \text{ (安全)} \quad [23]$$

(3) 使用阶段纵肋跨中截面抗裂度验算

荷载产生的下边缘应力:

$$\sigma = \frac{M}{W_F} = \frac{1012500}{7196} = 140.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (拉)}$$

顶压力在下边缘产生的应力

$$\sigma_h = \frac{N}{A} + \frac{N Y}{W_F} = \frac{53856}{1256} + \frac{53856 \times 22}{7196} = 42.9 + 164.6$$
$$= 207.5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{(压)}$$

[122]  $K_f \sigma < \sigma_h + r_s R_f$

(附录三)  $r_s = 1.75$

$$K_f = \frac{\sigma_h + r_s R_f}{\sigma} = \frac{207.5 + 1.75 \times 25.5}{140.7} = 1.79 > 1.25 \quad (\text{安全}) \quad [27]$$

(4) 施工阶段纵肋的应力验算

$$\sigma_{h\text{上/下}} = \frac{N_y}{A} \pm \frac{N_y Y_y}{W_{\text{上/下}}} \pm \frac{M_{\text{自重}}}{W_{\text{上/下}}}$$

第一批预应力损失后:

$$N_{y1} = 63565 \text{ kg}$$

$$Y_{y1} = 21.6 \text{ cm}$$

(i) 跨中截面

$$\sigma_{h\text{上}} = \frac{63565}{1256} - \frac{63565 \times 21.6}{16790} + \frac{456100}{16790} = 50.6 - 81.8 + 27.2 = -4 \text{ kg/cm}^2 \text{ (拉)} < 0.7R_f = 0.7 \times 25.5 = 17.8 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{可})$$

$$\sigma_{h\text{下}} = 50.6 + \frac{63565 \times 21.6}{7196} - \frac{456100}{7196} = 50.6 + 190.8 - 63.4 = 178 \text{ kg/cm}^2 < 0.7R_w = 203 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{可})$$

(ii) 1/4跨截面:

$$M_{\text{自重}} = 3/32ql^2 = 3/32 \times 314 \times 10.78^2 = 34200 \text{ kg-m}$$

$$\sigma_{h\text{上}} = 50.6 - 81.8 + 342000/16790 = -10.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (拉)} < 17.8 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{可})$$

$$\sigma_{h\text{下}} = 50.6 + 190.8 - 342000/7196 = 193.9 \text{ kg/cm}^2 < 203 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{可})$$

(iii) 支座截面

$$M_{\text{自重}} = 0$$

设碳素钢丝的锚固长度与冷拔低碳钢丝同:

$$\text{由 (125)} \quad l_c = 80d = 40 \text{ cm}$$

取支座截面至梁端距离为

$$a = 1/2 (\text{墙厚} / 2 - 1) = 1/2 (37/2 - 1) = 8.8 \text{ cm}$$

预压力为 (见图1-4):

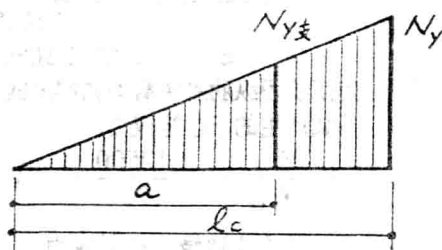


图1-4 锚固区压力变化

$$N_{y支} = \frac{N_y \cdot a}{l_c} = \frac{63565 \times 8.8}{40} = 13984 \text{ kg}$$

$$\sigma_{h上} = 13984 / 1256 - 13984 \times 21.6 / 16790$$

$$= 11.1 - 18.0 = -6.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ (拉)} < 17.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (可)}$$

$$\sigma_{h下} = 11.1 + 13984 \times 21.6 / 7196 = 11.1 + 42.0 = 53.1 \text{ kg/cm}^2 < 203 \text{ kg/cm}^2 \text{ (可)}$$

(IV) 距支座  $l_c$  截面

$$M_{自重} \approx \frac{g l}{2} l_c = \frac{314 \times 10.78}{2} \times 0.4 = 677 \text{ kg-m}$$

增设非预应力钢筋: (大于最小配筋率值)

上翼纵向  $\phi 8 @ 150$  (在  $b'_1 = 102 \text{ cm}$  内有  $6 \phi 8$ )

肋下:  $2 \phi 12$  (两肋共  $4 \phi 12$ )

$$A_{lc} = A + n A_g$$

$$= 1256 + \frac{2.1 \times 10^6}{3.3 \times 10^5} \times 6 \times 0.503 + \frac{2.0 \times 10^6}{3.3 \times 10^5} \times 4 \times 1.131$$

$$= 1256 + 19 + 27 = 1302 \text{ cm}^2$$

$$S_c = 15889 + 19 \times 2 + 27 \times (42 - 3.5) = 16966 \text{ cm}^3$$

$$Y_{上c} = 16966 / 1302 = 13 \text{ cm}$$

$$Y_{下c} = 42 - 13 = 29 \text{ cm}$$

$$J_c = [800 + 150 \times 4 (13 - 2)^2 + 19 \times (13 - 2)^2]$$

$$+ 2 \left\{ 7.25 + \frac{9 + 13}{2} \times 2 \left[ 13 - 4 - \frac{2(13 + 2 \times 9)}{3(13 + 9)} \right]^2 \right\}$$

$$+ 2 \left\{ 33010 + \frac{9 + 8}{2} \times 36 \left[ 29 - \frac{36(8 + 2 \times 9)}{3(8 + 9)} \right]^2 + 27(29 - 3.5)^2 \right\}$$

$$= 75699 + 2873 + 170548 = 249120 \text{ cm}^4$$

$$W_{上c} = 249120 / 13 = 19163 \text{ cm}^3$$

$$W_{下c} = 249120 / 29 = 8590 \text{ cm}^3$$

$$Y_{yc} = 29 - 7.8 = 21.2 \text{ cm}$$

$$\sigma_{h上c} = 63565 / 1302 - 63565 \times 21.2 / 19163 + 67700 / 19163$$

$$= 48.8 - 70.3 + 3.5 = -17.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (拉)} < 17.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (可)}$$

(5) 使用阶段纵肋挠度计算

(127、128):

$$B = E_h J_c = 3.3 \times 10^5 \times 211559 = 6.98 \times 10^{10} \text{ kg-cm}^2$$

$$B_d = 0.85B = 5.93 \times 10^{10} \text{ kg-cm}^2$$

短期荷载挠度(恒+活)

$$A_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{B_d} = \frac{5}{384} \times \frac{697 \times 10.78^4 \times 10^6}{5.93 \times 10^{10}} = 2.07 \text{ cm} (\downarrow)$$

长期荷载下的挠度:

$$(129、76、77) \quad \mu' = 0 \quad \theta = 2$$

$$\Delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{B_c} = \frac{\Delta_1 B_d}{B_d \cdot M / (M_c \theta + M_d)} = \Delta_1 / M (M_c \theta + M_d)$$

$$= 2.07 (457 \times 2 + 240) / 697 = 3.4 \text{ cm} (\downarrow)$$

全部预应力损失完成后的反拱:

$$\Delta_3 = \frac{1}{8} \cdot \frac{Ml^2}{E_h J_c} = \frac{1}{8} \times \frac{53856 \times 22 \times 10.78^2 \times 10^4}{6.98 \times 10^{10}} = 2.5 \text{ cm} (\uparrow)$$

$$\therefore \Delta = \Delta_2 - 2\Delta_3 = 3.4 - 2 \times 2.5 = -1.6 \text{ cm} (\uparrow) < 1/300 \text{ (可)}$$

(6) 施工阶段纵肋上拱度计算

放松预应力筋时混凝土的弹性模量

$$E_h = \frac{10^6}{2.2 + 330 / (0.7 \times 400)} = 2.96 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

预压力产生的上拱度:

$$(130) \quad \Delta_1 = \frac{1}{8} \times \frac{63565 \times 21.6 \times 10.78^2 \times 10^4}{2.96 \times 10^5 \times 211559} = 3.2 \text{ cm} (\uparrow)$$

自重挠度

$$\Delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{314 \times 10.78^4 \times 10^6}{2.96 \times 10^5 \times 211559} = 0.9 \text{ cm} (\downarrow)$$

放松预应力筋时跨中上拱度

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = 2.3 \text{ cm} (\uparrow)$$

(7) 使用阶段纵肋斜截面剪力验算

$$Q = 1/2 ql = 1/2 \times 697 \times 10.78 = 3757 \text{ kg}$$

[53]:

$$Q_h = 0.07 R_a b h_0 = 0.07 \times 230 \times (9 + 8) / 2 \times 2 \times 36 = 9853 \text{ kg}$$

$$KQ = 1.55 \times 3757 = 5823 \text{ kg} < 9853 \text{ kg}$$

∴按构造设置箍筋: [85]

双肢  $\phi 6@250$

(三) 板面计算

(1) 悬臂边板

荷载情况一:

活载:

$$200\text{kg}/\text{m}^2$$

地面:

$$40\text{kg}/\text{m}^2$$

板重:

$$0.04 \times 25 \omega = 100\text{kg}/\text{m}^2$$

$$340\text{kg}/\text{m}^2$$

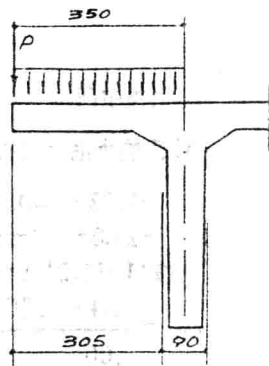


图1-5 悬臂边板荷载

$$M_1 = 1/2 \times (340 \times 0.305^2) = 15.8\text{kg}-\text{m}$$

荷载情况 =:

施工集中荷载

$$p=150\text{kg}$$

$$M_2 = 150 \times 0.305 + 340 - 200 \times 0.305^2 \times 1/2 = 45.8 + 6.5 = 52.3\text{kg}-\text{m}$$

∴应按  $M=52.3\text{kg}-\text{m}$  配筋

[附表8]

$$A_s = \frac{KM}{bh^2R_w} = \frac{1.4 \times 5230}{100 \times 2^2 \times 290} = 0.063$$

$$\zeta = 0.06 + \frac{0.07 - 0.06}{0.067 - 0.058} (0.063 - 0.058) = 0.066$$

$$A_g = \zeta bh_s \cdot \frac{R_w}{R_g} = 0.066 \times 100 \times 2 \times \frac{290}{2400} = 1.6\text{cm}^2/\text{m}$$

配置  $\phi 6@200 + \phi 6@400$  ( $A_g = 1.98\text{cm}^2/\text{m}$ )

(2) 连续中板

$$l = 1.05l_0 = 1.05(80 - 9) = 74.6\text{cm}$$

荷载情况一:

活载:

$$200\text{kg}/\text{m}^2$$

板重:

$$100\text{kg}/\text{m}^2$$

地面:

$$40\text{kg}/\text{m}^2$$

$$340\text{kg}/\text{m}^2$$

$M_1$  简支一边板恒载

$$= 1/8 \times 340 \times 0.746^2 - 1/2 \times 140 \times 0.305^2$$

$$= 23.6 - 6.5 = 17.1\text{kg}-\text{m}$$

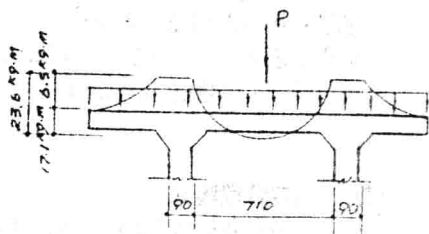


图1-6 连续中板荷载

荷载情况二:

施工集中荷载

150kg

$M_2 \approx$  恒+活一边板恒载

$$= 1/8 \times 140 \times 0.746^2 + 1/4 \times 150 \times 0.746 - 1/2 \times 140 \times 0.305^2$$

$$= 28.0 + 9.7 - 6.5 = 31.2 \text{ kg-m}$$

$\therefore$  按  $M=31.2 \text{ kg-m}$  配筋

$$A_s = \frac{14 \times 3120}{100 \times 2^2 \times 290} = 0.0376$$

$\zeta \approx 0.04$

$$A_{sg} = 0.04 \times 100 \times 2 \times \frac{290}{2400} = 0.97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

配  $\phi 6 @ 200$  (一直一弯)

( $A_{sg} = 1.41 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

(四) 吊钩及吊装验算

(1) 吊钩 起模前用千斤顶在两端顶松, 考虑模板吸附力为  $100 \text{ kg/m}^2$

吸附力:  $(0.42 \times 4 - 2 \times 0.04 + 1.5) \times 10.78 \times 100 = 3340 \text{ kg}$

自重:  $3380 \text{ kg} / 6720 \text{ kg}$

(注:  $6720 \text{ kg} < (\text{恒} + \text{活})$ , 故不再验算强度)

按三个吊钩同时受力考虑:

$$P = 6720 / 3 = 2240 \text{ kg}$$

[226]

$$A_g = \frac{KP}{R_g \cdot n} = \frac{4 \times 2240}{2400 \times 2} = 1.87 \text{ cm}^2$$

用  $\phi 16$  ( $A_g = 2.011 \text{ cm}^2 > 1.87 \text{ cm}^2$ )

埋深  $30d = 30 \times 1.6 = 48 \text{ cm}$

实际可埋深  $42 - 2 = 40 \text{ cm}$ , 差  $8 \text{ cm}$ ,

故加设  $2\phi 14$  短筋 ( $l=80 \text{ mm}$ )

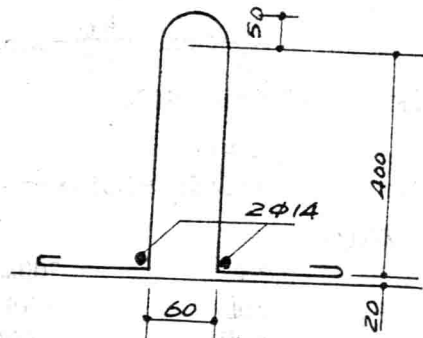


图1-7 吊钩尺寸

(2) 吊装阶段验算

起吊点距梁端  $1.5 \text{ m}$ , 动力系数  $1.5$  [16]

截面上边缘混凝土最小应力:

$$\sigma_{h \text{ 上支座}} = -6.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ (拉)}$$

起吊悬臂自重弯矩 (下式中第二项为  $10 \text{ cm}$  厚, 端头板自重弯矩)

$$M = 1/2 \times 314 \times 1.5^2 \times 1.5 + (0.42 \times 1.5 - 0.1256) \times 0.1 \times 2500 \times (1.5 - 0.05) \times 1.5$$

$$= 530 + 272 = 802 \text{ kg-m}$$

吊点截面边缘混凝土最小应力

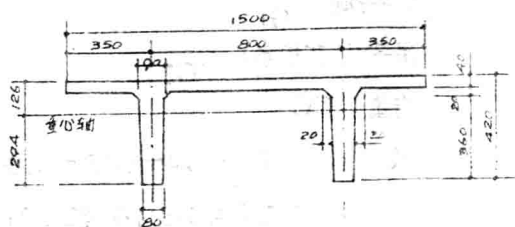
$$\sigma_{h \text{ 上}} = -6.9 - (80200 / 16790) = -11.7 \text{ kg/cm}^2 < R_1 = -21.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (安全)}$$

## 二、教室 10.8 × 1.5m 预应力混凝土双T板

设计规范: GBJ10-89 混凝土结构设计规范

材料: C40、碳素钢丝  $\phi 5$ ,  $f_{py} = 1070 \text{ N/mm}^2$

冷拔低碳钢丝  $\phi 4$ ,  $f_{py} = 460 \text{ N/mm}^2$



计算中以括符(如 [4、2、1] 等)表示规范条号。

(一) 截面几何特性计算 (近似取  $A_n = A_n$ ,  $L = I_n$ ) 图2-1 截面尺寸

$$\text{截面积 } A_n = 4 \times 150 + 2 \times \frac{8+9}{2} \times 36 + 2 \times \frac{9+13}{2} \times 2 = 600 + 612 + 44 = 1256 \text{ cm}^2$$

$$\text{平均厚 } \delta_n = 1256 / 150 = 8.38 \text{ cm}$$

$$\text{每延米重 } g = 0.1256 \times 25 = 3.14 \text{ kN/m}$$

$$\text{自重 } G = 3.14 \times 10.8 = 33.9 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{面积矩 } S_n &= 600 \times 2 + 612 \left[ 2 + 4 + \frac{36(9+2 \times 8)}{3(9+8)} \right] \\ &= 1200 + 14472 + 217 = 15889 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

重心位置

$$Y_{n上} = 15889 / 1256 = 12.6 \text{ cm}$$

$$Y_{n下} = 42 - 12.6 = 29.4 \text{ cm}$$

惯性矩

$$\begin{aligned} I_n &= \left[ 1/12 \times 150 \times 4^3 + 150 \times 4 \times (12.6 - 2)^2 \right] + 2 \left\{ \frac{2^3 \times (13^2 + 4 \times 13 \times 9 + 9^2)}{36(13+9)} + \frac{9+13}{2} \times 2 \left[ 12.6 - 4 - \frac{2 \times (13+2 \times 9)}{3 \times (13+9)} \right]^2 \right\} \\ &\quad + 2 \left\{ \frac{36^3 \times (9^2 + 4 \times 9 \times 8 + 8^2)}{36 \times (9+8)} + \frac{9+8}{2} \times 36 \times \left( 29.4 - \frac{36(8+2 \times 9)}{3(8+9)} \right)^2 \right\} \\ &= 68216 + 2596 + 140747 = 211559 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

抵抗矩

$$W_{上} = 211559 / 12.6 = 16790 \text{ cm}^3$$

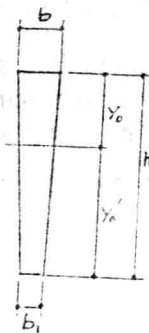
$$W_{下} = 211559 / 29.4 = 7196 \text{ cm}^3$$

(二) 纵肋计算

配筋图见图2-3

$$[3.4.2] ] \phi 5, \sigma_{con} = (0.70 + 0.05) f_{ptk} = 0.75 \times 1570 = 1177.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi 4, \sigma'_{con} = (0.65 + 0.05) f_{ptk} = 0.7 \times 700 = 490 \text{ N/mm}^2$$



$$Y_c = \frac{h(b+2b_1)}{3(b+b_1)}$$

$$Y_{c1} = \frac{h(b_1+2b)}{3(b+b_1)}$$

$$I = \frac{h^3(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{36(b+b_1)}$$

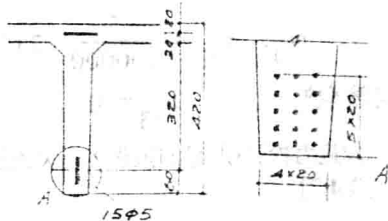


图2-3 纵肋配筋图

荷载计算 [荷规 GBJ9-87, 以下同]

[荷规 2.2.3.3.1.1]

活载 $C_{Q1}$	2kN/m <sup>2</sup>
地面粉刷 $C_{G1}$	0.02 × 20 = 0.4kN/m <sup>2</sup>
吊平顶 (灰板条) $C_{G2}$	= 0.55kN/m <sup>2</sup>
自重 $C_{G3}$	0.0838 × 25 = 2.10kN/m <sup>2</sup>
故 $C_G = 0.4 + 0.55 + 2.10 = 3.05$	kN/m <sup>2</sup>

永久荷载效应 [荷规 2.2.3]

$$M_1 = 1/8 \gamma_G C_G l_0^2 = 1/8 \times 1.2 \times (1.5 \times 3.05) \times 10.8^2 = 80.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

可变荷载效应

$$M_s = 1/8 \times 1.4 \times (1.5 \times 2) \times 10.8^2 = 61.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V = 1.5 \times (1.2 \times 3.05 + 1.4 \times 2) \times 10.8 \times 1/2 = 565.12 \text{ kN}$$

$$h_0 = 42 - 6 = 36 \text{ cm}$$

[4.1.7]  $h_f'/h_0 = 4/36 = 0.111 \geq 0.1$

$$\therefore b_t' = 2 \times (b + 12h_f') = 2(8 + 12 \times 4) = 102 \text{ cm}$$

预应力钢筋面积

$$A_p = 30 \times 0.196 = 5.88 \text{ cm}^2$$

$$A_p' = 6 \times 0.126 = 0.756 \text{ cm}^2$$

(1) 预应力损失及预应力合力位置

张拉端锚夹具变形引起的损失

[3.4.8] ] 台座长 = 100m

单根钢丝锥形锚具:  $\phi 5 - a = 10 \text{ mm}$ ,

$\phi 4 - a = 5 \text{ mm}$

$$\phi 5, \sigma_{l1} = \frac{a}{l} E_s = \frac{10}{100000} \times 2.0 \times 10^5 = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi 4, \sigma_{l1}' = \frac{5}{100000} \times 2.0 \times 10^5 = 10 \text{ N/mm}^2$$

自然养护  $\sigma_{l3} = 0$

钢丝应力松弛引起的损失 (一次张拉)

[3.4.7]

$$\phi 5, \sigma_{l4} = \psi \left( 0.36 \frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.18 \right) \sigma_{con}$$

$$= 1 \times (0.36 \times 1177.5 / 1570 - 0.18) \times 1177.5 = 106 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi 4, \sigma_{l4} = 0.085 \sigma_{con} = 0.085 \times 490 = 42 \text{ N/mm}^2$$



第一批预应力损失:

$$\phi 5: \sigma_{II I} = 20 + 106 = 126 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi 4: \sigma_{II I} = 10 + 42 = 52 \text{ N/mm}^2$$

第一批预应力损失后的预压力

[3.4.6]

$$\begin{aligned} N_{PI} &= 588(1177.5 - 126) + 75.6(490 - 52) \\ &= 588 \times 1051.5 + 75.6 \times 438 \\ &= 618282 + 33113 = 651.395 \text{ kN} \end{aligned}$$

预压力至截面重心距离:

$$e_{pn} = 294 - \frac{618282 \times 60 + 33113 \times 400}{651395} = 294 - 77 = 217 \text{ mm}$$

自重在中跨的弯距:

$$M = 1/8 \times 3.14 \times 10.78^2 = 45.612 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

预压力合力处混凝土的压应力 [3.4.5-4]

$$\begin{aligned} \sigma_{pc} &= \frac{N_{PI}}{A_n} \pm \frac{N_{PI} \cdot e_{pn}}{I_n} y_n \\ &= \frac{651395}{125600} \pm \frac{651395 \times 217 \times (294 - 60)}{211559 \times 10^4} - \frac{45.612 \times 10^6 \times (294 - 60)}{211559 \times 10^4} \\ &= 5.19 + 15.63 - 5.04 = 15.78 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{pc} &= \frac{651395}{125600} - \frac{651395 \times 217(126 - 20)}{211559 \times 10^4} + \frac{45.612 \times 10^6 \times (126 - 20)}{211559 \times 10^4} \\ &= 5.19 - 7.08 + 2.28 = 0.38 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

[3.4.11] ] 混凝土收缩、徐变损失 ([3.4.4])  $f'_{cu} = 0.75 f_{cu}$

$$\phi 5: \sigma_{15} = \frac{45 + 220 \sigma_{pc} / f'_{cu}}{1 + 15 \rho}$$

$$\text{其中 } \rho = \frac{A_p + A_s}{A_n} = \frac{588}{125600} = 0.00468$$

$$\therefore \sigma_{15} = \frac{45 + 220(15.78 / 0.75 \times 40)}{1 + 15 \times 0.00468} = 150.18 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi 4: \rho' = 75.6 / 125600 = 0.0006$$

$$\therefore \sigma'_{15} = \frac{45 + 220(0.38 / 0.75 \times 40)}{1 + 15 \times 0.0006} = 47.36 \text{ N/mm}^2$$

应力损失全部完成后有效预应力值

$$\phi 5: \sigma_{pe} = 1051.5 - 150.18 = 901.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi 4: \sigma'_{pe} = 438 - 47.36 = 390.6 \text{ N/mm}^2$$

预应力筋的有效预压力