

桥梁计算示例集

拱桥（二）

钟圣斌 主编
陈祥宝 主审

人民交通出版社

桥梁计算示例集

Qiaoliang Jisuan Shiliji

拱桥(二)

钟圣斌 主 编

陈祥宝 主 审

人民交通出版社

(京)新登字 091 号

桥梁计算示例集

拱 桥(二)

钟圣斌 主编

陈祥宝 主审

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

怀柔县黄坎印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 12.75 插页: 1 字数: 312 千

1989 年 12 月 第 1 版

1991 年 9 月 第 1 版 第 3 次印刷

印数: 12401—20400 册 定价: 6.40 元

ISBN 7-114-00719-1

U · 00422

内 容 提 要

本示例集包括三个计算示例，均按当前最新标准《桥涵设计规范》编写。示例侧重当前拱桥施工中常用的施工方法。例一：悬链线箱形拱桥设计计算示例；例二：箱形拱桥转体施工验算示例；例三：箱形拱桥悬臂施工验算示例。

前 言

《桥梁计算示例集》是结合近年来我国公路桥梁工程实践中出现的新内容，并根据1985年交通部标准公路桥涵新规范而编写的。

本书是桥梁计算示例集中的一个分册——《拱桥(二)》。书中收集的三个示例全是箱形拱桥的内容，即：悬链线箱形拱桥设计计算示例、箱形拱桥转体施工验算示例、箱形拱桥悬臂施工验算示例。

例一对悬链线箱形拱桥设计计算示例分为运营阶段的设计计算和无支架施工验算两大部分。在第一部分中考虑了拱轴线偏离的影响，在第二部分中对箱肋吊装配筋、施工加载程序设计和主要索具进行了验算。

例二对箱形拱桥转体施工的主要转体装置和转体过程中的结构受力进行了验算，并提供了计算结构安装内力用的PC-1500A平面杆系有限元程序。

例三对箱形拱桥悬臂施工各阶段的结构构件进行了内力与挠度计算以及施工中体系转换的受力计算，并对形成桁架拱之后的安装过程进行了加载程序验算。

本书对于从事公路桥梁工作的专业人员和生产设计人员有一定的参考价值。

也可作为在校学生课程设计和毕业设计时的参考书。学生通过对本书的学习，可以加深对桥梁工程基本理论和重要概念的理解，熟悉具体工程设计的内容、步骤和方法等，将理论和实际紧密的联系起来。

本书例一由湖南大学钟圣斌编写，西安公路学院顾懋清副教授审核。例二由重庆交通学院董明编写，西安公路学院陈祥宝教授审核。例三由重庆交通学院瞿光义编写，西安公路学院顾懋清副教授审核。全书由钟圣斌主编，陈祥宝教授主审。

由于我们水平有限，缺点错误在所难免，切望读者批评指正。

编 者

1988年5月15日

目 录

例一、悬链线箱形拱桥设计计算示例

第一部分 运营阶段的设计计算

一、设计资料及基本数据	1
二、主拱圈截面几何要素的计算	1
(一)主拱圈横截面设计	1
(二)箱顶微弯盖板弓形面积的几何性质	1
(三)箱形拱圈截面几何性质	2
三、确定拱轴系数	3
(一)上部结构构造布置	3
(二)上部结构恒载计算	5
四、拱圈弹性中心及弹性压缩系数	13
五、主拱圈截面内力验算	14
(一)结构自重内力计算	14
(二)活载内力计算	24
(三)温度变化、混凝土收缩、徐变的内力	25
六、主拱圈正截面强度验算	29
(一)正截面受压强度验算	29
(二)正截面受剪强度计算	29
七、主拱圈稳定性验算	32
八、裸拱圈的强度和稳定性验算	33
九、拱圈竖向刚度验算	34

第二部分 施工阶段的验算

一、箱肋吊装配筋验算	37
(一)箱肋截面几何要素计算	37
(二)箱肋吊装内力计算	40
(三)箱肋吊装截面配筋验算	50
(四)裸肋强度与稳定性验算	57
二、箱形肋拱施工加载程序设计计算	61
(一)初拟加载程序	61
(二)绘制验算截面的内力影响线	61
(三)各加载阶段的内力计算	62
(四)截面强度验算	81
(五)绘制施工加载程序详图	81

(六)施工加载挠度计算	81
三、缆索吊装计算	85
(一)吊装系统的布置及吊具的主要规格	85
(二)主索计算	88
(三)起重索计算	93
(四)牵引索的计算	94
(五)扣索计算	95
例二、箱形拱桥转体施工验算示例(净跨径:70m)	
一、设计资料	105
二、转盘尺寸拟定	105
三、转动体系重心位置确定及环道强度验算	107
(一)计算墩身自重对墩尾的弯矩值	107
(二)计算拱肋及扣索自重对墩尾的弯矩值	108
(三)转动体系重心位置确定及环道强度验算	108
四、70m拱肋安装内力计算	110
(一)计算图式	110
(二)截面特性计算	110
(三)节点坐标计算	111
(四)各杆件单位长度重量计算	112
(五) EA 、 EI 值	114
(六)数据准备	115
(七)内力计算结果	115
五、拱肋强度验算	117
六、起动力及转动牵引力计算	124
七、我国采用转体施工的部分桥梁	124
八、电算源程序	125
例三、箱形拱桥悬臂施工验算示例	132
一、设计资料与基本构造	132
二、施工方法简述	134
三、设计依据和参考资料	134
四、验算程序	135
五、安装中段拱肋时托架的设计与计算	135
六、中段拱肋搭接处悬臂牛腿的计算	140
七、安装阶段拱桁架自重产生的内力及挠度计算	142
八、起吊框构时拱桁架产生的内力及挠度计算	155
九、安装过程中墩、台立墙截面强度验算	160
十、悬臂拼装拱桁架的连接件设计与计算	164
十一、顶、底板加载过程中拱桁架的内力及强度验算	169
十二、顶、底板加载过程中拱桁架的稳定验算	193

例一、悬链线箱形拱桥设计计算示例

第一部分 运营阶段的设计计算

一、设计资料及基本数据

1. 设计标准

设计荷载：汽车-20级，挂车-100，人群荷载 3.5kN/m^2 ；

净跨径： $l_0 = 70\text{m}$ ；

净矢高： $f_0 = 10\text{m}$ ；

桥面净空：净-7+2 $\times$ (0.25m+1.50m 人行道)。

2. 主要构件材料及其数据

拱顶填土包括桥面的平均高度 $h_d' = 0.5\text{m}$ ，材料容重 $\gamma_1 = 22\text{kN/m}^3$ ；

护拱及拱腔为1号砂浆砌片石， $\gamma_2 = 23\text{kN/m}^3$ ；

腹拱圈为20号混凝土预制圆弧拱， $\gamma_3 = 24\text{kN/m}^3$ ；

腹拱墩为20号钢筋混凝土矩形截面排架式墩， $\gamma_4 = 25\text{kN/m}^3$ ；

主拱圈为30号钢筋混凝土组合箱形截面， $\gamma_5 = 25\text{kN/m}^3$ 。

3. 设计依据

(1)交通部标准《公路桥涵设计通用规范》，人民交通出版社，1985年，简称“桥规021”；

(2)交通部标准《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》，人民交通出版社，1985年，简称“桥规022”；

(3)交通部标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》，简称“桥规023”；

(4)《公路设计手册—拱桥》上、下册，人民交通出版社，1978年，简称“拱桥”；

(5)《公路双曲拱桥设计施工技术规范》，人民交通出版社，1975年，简称“双规”。

二、主拱圈截面几何要素的计算

(一)主拱圈横截面设计

拱圈截面高度按经验公式估算

$$H = \left(a + \frac{l_0}{b} \right) K = \left(60 + \frac{7000}{100} \right) \times 1 = 1.3\text{m}$$

拱圈由七个各为1.4m宽的拱箱组成，全宽 $B_0 = 9.8\text{m}$ 。箱顶板采用微弯板，拱圈横断面的构造如图1-1所示。整个设计按全宽进行，其横截面的计算顺序为全宽的大矩形减去边箱外腹的凹梯形减去箱内空矩形减去箱内弓形加上箱底板内角。为了使下面各式计算简便，先将微弯板下弓形块的各几何要素求出供计算应用。

(二)箱顶微弯盖板弓形面积的几何性质

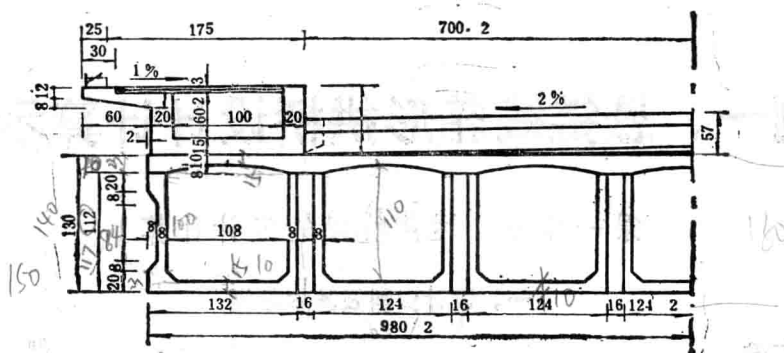


图 1-1

净矢跨比: $D_0 = \frac{f_0}{l_0} = \frac{0.08}{1.08} = \frac{1}{13.5}$

净半径: $R_0 = \frac{l_0}{2} \left(\frac{1}{4D_0} + D_0 \right) = \frac{1.08}{2} \times \left(\frac{1.08}{4 \times 0.08} + \frac{0.08}{1.08} \right) = 1.8625\text{m}$

圆心角及正弦、余弦值:

$$\sin \varphi_0 = \frac{l_0}{2R_0} = 0.2899$$

$$\cos \varphi_0 = 1 - \frac{f_0}{R_0} = 0.9571$$

$$\varphi_0 = \arcsin \varphi_0 = 16^\circ 51' 14.18''$$

弓形面积: $A = \frac{1}{2} (2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0) R_0^2 = 0.057852\text{m}^2$

弓形面积的重心到其圆心的距离

$$y = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sin^3 \varphi_0}{2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0} = 1.81456\text{m}$$

绕重心轴的惯性矩

$$I_0 = \frac{4\varphi_0 - \sin 4\varphi_0}{16} R_0^4 - Ay^2 = 0.000025544\text{m}^4$$

(三)箱形拱圈截面几何性质

截面积

$$A = 9.8 \times 1.30 - 2 \times \frac{1}{2} \times (0.56 + 0.72) \times 0.08 - 7 \times 1.08 \times 1.02 -$$

$$7 \times 0.057852 + 14 \times \frac{1}{2} \times 0.08 \times 0.08$$

$$= 4.5662\text{m}^2$$

绕箱底边缘的静面矩

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.30^2 - 2 \times \frac{0.56 + 0.72}{2} \times 0.08 \times \left(\frac{0.72}{2} + 0.20 \right) \\
 &\quad - 7 \times 1.08 \times 1.02 \times \left(\frac{1.02}{2} + 0.10 \right) - 7 \times 0.057852 \times [(1.12 + 0.08) \\
 &\quad - (1.8625 - 1.81456)] + 14 \times \frac{1}{2} \times 0.08 \times 0.08 \times \left(0.10 + \frac{1}{3} \times 0.08 \right) \\
 &= 3.0590 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

主拱圈截面重心轴

$$y_{\text{下}} = \frac{S}{A} = 0.6699 \text{ m}$$

$$y_{\text{上}} = 1.30 - y_{\text{下}} = 0.6301 \text{ m}$$

主拱圈截面绕重心轴的惯性矩

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} \times 9.8 \times 1.3^3 + 9.8 \times 1.3 \times \left(0.6699 - \frac{1.30}{2} \right)^2 - 2 \times \frac{1}{12} \\
 &\quad \times 0.08 \times \left(\frac{0.56 + 0.72}{2} \right)^3 - 2 \times \frac{1}{2} \times 0.08 \times (0.56 + 0.72) \times \left(0.6699 \right. \\
 &\quad \left. - \frac{0.72}{2} - 0.20 \right)^2 - 7 \times \frac{1}{12} \times 1.08 \times 1.02^3 - 7 \times 1.08 \times 1.02 \times \left(0.6699 \right. \\
 &\quad \left. - 0.10 - \frac{1.02}{2} \right)^2 - 7 \times 0.000025544 - 7 \times 0.057852 \times (0.6699 - 1.15206)^2 \\
 &\quad + 14 \times \frac{1}{36} \times 0.08 \times 0.08^3 + 14 \times \frac{1}{2} \times 0.08^2 \times (0.6699 - 0.1267)^2 \\
 &= 1.017212 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

主拱圈截面绕重心轴的回转半径

$$r_w = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 0.4720 \text{ m}$$

三、确定拱轴系数

(一)上部结构构造布置

上部结构的构造布置如图1-2所示。

1. 主拱圈

假定 $m = 2.24$ ，相应的 $\frac{y_{1/4}}{f} = 0.22$ ， $\frac{f_0}{l_0} = \frac{1}{7}$ ，查“拱桥”表(III)-20(6)得

$$\sin \varphi_j = 0.55525, \cos \varphi_j = 0.83169, \varphi_j = 33^\circ 43' 38''$$

主拱圈的计算跨径和计算矢高

$$l = l_0 + 2y_{\text{下}} \sin \varphi_j = 70 + 2 \times 0.6699 \times 0.55525 = 70.7439 \text{ m}$$

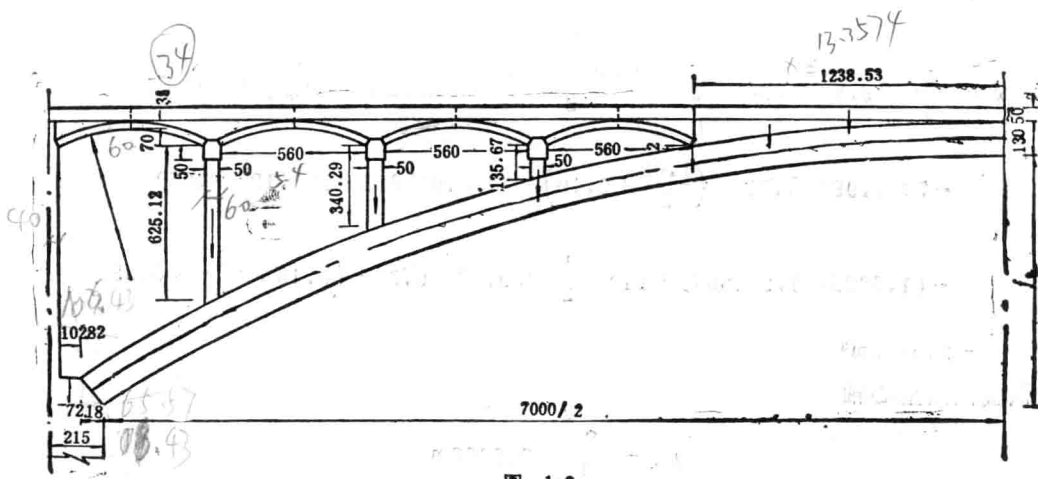


图 1-2

$$f = f_0 + y_{\text{下}}(1 - \cos \varphi_j) = 10 + 0.6699 \times (1 - 0.83169) = 10.1128\text{m}$$

拱脚截面的水平投影和竖向投影

$$X = H \cdot \sin \varphi_j = 1.3 \times 0.55525 = 0.7218\text{m}$$

$$Y = H \cdot \cos \varphi_j = 1.3 \times 0.83169 = 1.0812\text{m}$$

将拱轴沿跨径24等分，每等分长 $\Delta l = \frac{l}{24} = 2.9477\text{m}$ ，每等分点拱轴线的纵坐标 $y_1 =$

[表(III)-1值] $\cdot f$ ，相应的拱背曲面坐标 $y'_1 = y_1 - \frac{y_{\text{上}}}{\cos \varphi}$ ，拱腹曲面坐标 $y''_1 = y_1 +$

$\frac{y_{\text{下}}}{\cos \varphi}$ 。具体数值见表1-1，具体位置见图1-3所示。

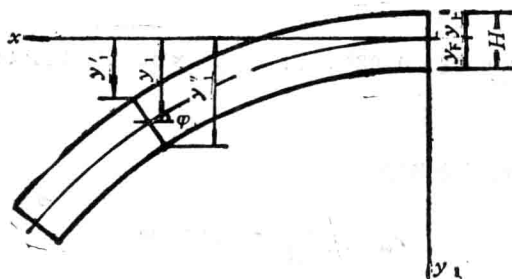


图 1-3

2. 拱上腹孔布置

从主拱两端起拱线起向外延伸2.15m后向跨中对称布置四对圆弧小拱。腹拱圈厚 $d' = 0.35\text{m}$ ，净跨径 $l'_0 = 5.6\text{m}$ ，净矢高 $f'_0 = 0.7\text{m}$ ，座落在宽为0.5m的钢筋混凝土排架式腹拱墩支承的宽为0.6m的钢筋混凝土盖梁上。腹拱拱顶的拱背和主拱拱顶的拱背在同一标高。

腹拱墩墩中线的横坐标 l_x 以及各墩中线自主拱拱背到腹拱起拱线的高度 $h = y_1 + y_{\text{上}} \times \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi}\right) - (d' + f'_0)$ 分别计算如表1-2。

* 本例中出现的[表(Δ)-Δ(Δ)值]或[表(Δ)-Δ值]，均为“拱桥”下册相应表格的数值。

主拱圈几何性质表

表1-1

截面号	x	$\frac{y_1}{f}$	y_1	$\cos\varphi$	$\frac{y_{上}}{\cos\varphi}$	$\frac{y_{下}}{\cos\varphi}$	$y_1 - \frac{y_{上}}{\cos\varphi}$	$y_1 + \frac{y_{下}}{\cos\varphi}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	35.3720	1.000000	10.1128	0.83169	0.7576	0.8055	9.3552	10.9183
1	32.4243	0.817929	8.2716	0.86414	0.7292	0.7752	7.5424	9.0468
2	29.4766	0.659458	6.6690	0.89242	0.7061	0.7507	5.9629	7.4197
3	26.5290	0.522284	5.2818	0.91661	0.6874	0.7309	4.5944	6.0127
4	23.5813	0.404416	4.0898	0.93693	0.6725	0.7150	3.4173	4.8048
5	20.6336	0.304140	3.0757	0.95370	0.6607	0.7024	2.4150	3.7781
6	17.6860	0.220000	2.2248	0.96728	0.6514	0.6926	1.5734	2.9174
7	14.7383	0.150774	1.5247	0.97806	0.6442	0.6849	0.8805	2.2096
8	11.7907	0.095456	0.9653	0.98637	0.6388	0.6792	0.3265	1.6445
9	8.8430	0.053243	0.5384	0.99252	0.6349	0.6750	-0.0965	1.2134
10	5.8953	0.023521	0.2379	0.99673	0.6322	0.6721	-0.3943	0.9100
11	2.9477	0.005859	0.0593	0.99919	0.6306	0.6704	-0.5713	0.7297
12	0	0.000000	0	1.00000	0.6301	0.6699	-0.6301	0.6699

注：第3栏查表(III)-1；第5栏查表(III)-20(6)。

腹拱墩高度计算表

表1-2

项 目	l_x	$\xi = \frac{2l_x}{l}$	$k\xi$	$y_1 = \frac{f}{m-1}(\operatorname{ch} k\xi - 1)$	$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2fk}{l(m-1)}\operatorname{sh} k\xi$	$\frac{1}{\cos\varphi} = \sqrt{\operatorname{tg}^2\varphi + 1}$	h
1° 立柱	30.83	0.87216	1.2608	7.3875	0.5408	1.1369	6.2512
2° 立柱	24.65	0.69688	1.0074	4.5004	0.3955	1.0754	3.4029
3° 横墙	18.45	0.52160	0.7540	2.4302	0.2758	1.0373	1.3567
4° 腹拱座	12.4677	0.35247	0.5095	1.0816	0.1773	1.0156	0.0218
空、实腹段分界线	12.3853	0.35015	0.5062	1.0674	0.1760	1.0154	0.0077

由 $\frac{f_0}{l_0} = \frac{1}{8}$ ，查“拱桥”上册表3-1得

$$\sin\varphi_0 = 0.470588; \cos\varphi_0 = 0.882353; \varphi_0 = 28^\circ 04' 20''$$

腹拱拱脚的水平投影和竖向投影

$$X' = d' \sin\varphi_0 = 0.35 \times 0.470588 = 0.1647\text{m}$$

$$y' = d' \cos\varphi_0 = 0.35 \times 0.882353 = 0.3088\text{m}$$

(二)上部结构恒载计算

恒载计算，首先把桥面系换算成填料厚度，然后按主拱圈、横隔板、拱上空腹段、拱上实腹段以及腹拱推力共五个部分进行。

1. 桥面系

桥面系包括栏杆、人行道构造和附设的管路。栏杆每幅长3.40m，栅板分三部分预制，如图1-4所示。

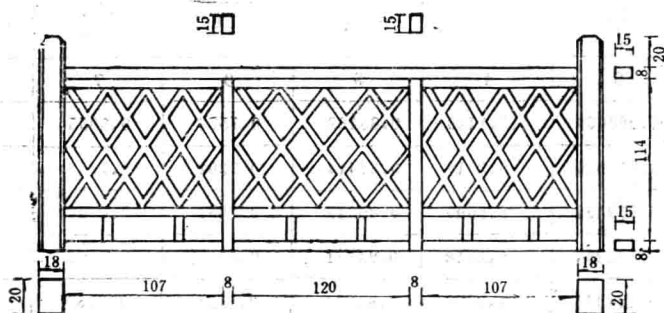


图 1-4

(1) 每侧栏杆的重量*

中栅	$0.041 \times 25 = 1.025 \text{ kN}$
边栅	$2 \times 0.0244 \times 25 = 1.22 \text{ kN}$
立柱	$0.0852 \times 25 = 2.13 \text{ kN}$
中底枋	$0.0144 \times 25 = 0.36 \text{ kN}$
边底枋	$2 \times 0.01284 \times 25 = 0.642 \text{ kN}$
扶手	$\frac{0.042 \times 25 = 1.050 \text{ kN}}{\Sigma = 6.427 \text{ kN}}$

每延米桥长的栏杆重*

$$g = \frac{6.427 \times 2}{3.68} = 3.493 \text{ kN/m}$$

(2) 人行道构件 (图1-1)

a. 人行道块件, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

$$\left[0.05 \times 0.3 + \frac{1}{2} (0.07 + 0.15) \times 0.6 + 0.2 \times 0.75 + 1.0 \times 0.75 + 0.2 \times 0.8 \right] \times 25 \times 2 = 27.05 \text{ kN/m}$$

b. 人行道板, $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

$$1.50 \times 0.03 \times 24 \times 2 = 2.16 \text{ kN/m}$$

c. 人行道板下填砂层, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$$1.50 \times 0.02 \times 18 \times 2 = 1.08 \text{ kN/m}$$

d. 人行道块件内水管及含水重, 铸铁容重为 78.5 kN/m^3 , 水的容重为 10 kN/m^3 , 水管内径为 $\phi 35 \text{ cm}$, 外径为 $\phi 36 \text{ cm}$ 。

$$\left[2\pi \times \frac{0.355}{2} \times 0.01 \times 78.5 + \pi \times \frac{0.35^2}{4} \times 10 \right] \times 2 = 3.6752 \text{ kN/m}$$

e. 人行道块件里填砂砾石或装电缆, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$$\left[1.0 \times 0.60 - \pi \times \frac{0.36^2}{4} \right] \times 18 \times 2 = 17.9356 \text{ kN/m}$$

每延米桥长人行道构件重

$$\Sigma = 51.9008 \text{ kN/m}$$

* 按法定计量单位规定, “重量”应为重力, 全书相同。

(3) 拱顶填料及沥青表层面重, $r = 22 \text{ kN/m}^3$

$$\frac{1}{2} (0.50 + 0.57) \times 2 \times \frac{7}{2} \times 22 = 82.39 \text{ kN/m}$$

以上三部分恒载由拱圈平均分担, 则换算容重为 $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ 的计算平均填料厚度为

$$h_d = (3.4930 + 51.9008 + 82.3900) \div 9.80 \div 22 = 0.6391 \text{ m}$$

2. 主拱圈

$$P_{0-12} = [\text{表(III)} - 19(6) \text{ 值}] A \gamma_5 l = 0.52764 \times 4.5662 \times 70.7439 \times 25 = 4261.0992 \text{ kN}$$

$$M_{1/4} = [\text{表(III)} - 19(6) \text{ 值}] \times \frac{A \gamma_5 l^2}{4} = 0.12564 \times 4.5662 \times 70.7439^2 \times 25 \times \frac{1}{4}$$

$$= 17944.8929 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_i = [\text{表(III)} - 19(6) \text{ 值}] \times \frac{A \gamma_5 l^2}{4} = 0.51236 \times 4.5662 \times 70.7439^2 \times 25 \times \frac{1}{4}$$

$$= 73179.2847 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3. 横隔板

横隔板的设置受箱肋接头位置的控制, 必须先确定接头位置后再按箱肋轴线等弧长布置横隔板。

(1) 箱肋有关几何要素

a. 箱肋截面积 (图 1-5)

$$A' = 2 \times 0.08 \times 1.12 + 1.08 \times 0.1 + 2 \times \frac{1}{2} \times 0.08 \times 0.08 = 0.2936 \text{ m}^2$$

b. 箱肋截面静矩

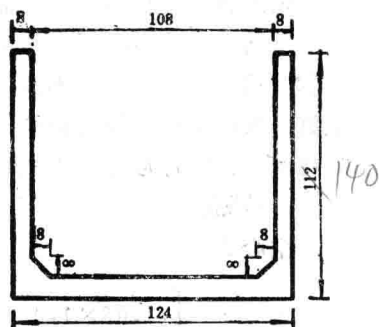
$$J' = 2 \times 0.08 \times 1.12 \times \frac{1.12}{2} + 1.08 \times 0.10 \times \frac{0.10}{2}$$

$$+ 2 \times \frac{1}{2} \times 0.08 \times 0.08 \times \left(\frac{1}{3} \times 0.08 + 0.10 \right)$$

$$= 0.10656 \text{ m}^3$$

c. 截面重心距箱底的距离

$$Y'_{\text{下}} = \frac{J'}{A'} = 0.363 \text{ m}$$



d. 箱肋计算跨径

$$l' = l_0 + 2y'_{\text{下}} \sin \varphi_j = 70 + 2 \times 0.363 \times 0.55525 = 70.4031 \text{ m}$$

e. 箱肋轴线弧长

$$S' = 2 \times 0.52764 l' = 74.2950 \text{ m}$$

(2) 确定箱肋接头、设置横隔板

a. 确定接头位置

箱肋分三段吊装合拢, 接头宜选在箱肋自重作用下弯矩值最小的反弯点附近, 即 $\xi = 0.35 \sim 0.37$ 之间, 此处相应的弧长为 (图 1-6)

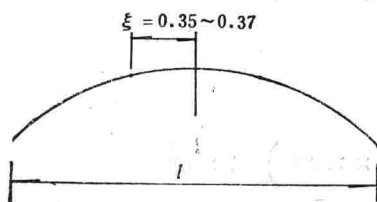


图 1-6

图 1-5

$$S_I' = \int_0^{\xi} \sqrt{1 + \eta^2 \text{sh}^2 k \xi} d\xi \times \frac{l'}{2} = (0.35176 \sim 0.37207) \times \frac{l'}{2}$$

$$= 12.3822\text{m} \sim 13.0974\text{m}$$

式中, $\int_0^{\xi} \sqrt{1 + \eta^2 \text{sh}^2 k \xi} d\xi$ 值根据 ξ 值从附表1-1内插算得。如 $\xi = 0.35$ 时

$$\int_0^{\xi} \sqrt{1 + \eta^2 \text{sh}^2 k \xi} d\xi = \frac{0.377149 - 0.334826}{0.37500 - 0.33333} \times (0.35 - 0.33333) + 0.334826$$

$$= 0.35176$$

b. 布置横隔板

横隔板沿箱肋中轴线均匀设置, 取板间间距 $\Delta l' = 2.56\text{m}$, 中段箱肋设 11 道横隔板, 端横隔板到接头中线的距离为 0.3m , 则中段箱肋弧长之半为

$$S_{II}/2 = \frac{1}{2} \times (2.56 \times 10 + 2 \times 0.3) = 13.1\text{m}$$

则接头位置刚好在 $\xi = 0.37$ 处。

端段箱肋弧长

$$S_I = \frac{1}{2} (S' - S_{II}) = \frac{1}{2} \times (74.2950 - 26.2) = 24.0475\text{m}$$

端段箱肋设 10 道横隔板 则端横隔板距起拱面的长度为

$$\Delta S = S_I - 2.56 \times 9 - 0.3 = 0.7075\text{m}$$

(3) 横隔板与接头加强部分的重量

横隔板厚均为 0.06m 。靠拱脚的一块为实心板 其余均为空心板, 其平面尺寸如图 1-5 所示。接头处两相邻横隔板之间以及拱脚截面至第一块横隔板之间的箱底板和两侧板均加厚 0.10m 加强后的断面尺寸如图 1-7 所示。

a. 横隔板重

空心的

$$P = \left[(1.08 \times 1.02 - 0.68 \times 0.62) + 4 \times \frac{1}{2} \right.$$

$$\times 0.08^2) \times 0.06 + 4 \times \frac{1}{2}$$

$$\times 0.08^2 \times 1.02] \times 25 \times 7$$

$$= 9.5592\text{kN}$$

实心的

$$P = \left(1.08 \times 1.02 \times 0.06 + 4 \times \frac{1}{2} \times 0.08^2 \times 1.02 \right) \times 7 \times 25$$

$$= 13.8516\text{kN}$$

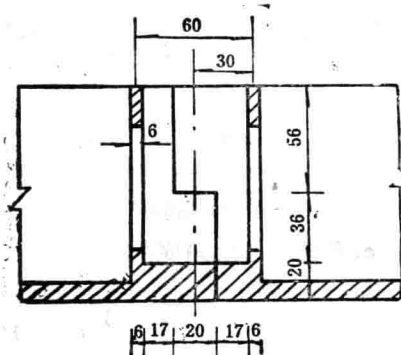


图 1-7

b. 中接头加强部分

$$P = \left[2 \times 0.1 \times 0.54 \times 1.02 + 0.1 \times 0.54 \times (1.08 - 2 \times 0.1) - 4 \times \frac{1}{2} \times 0.08^2 \right. \\ \left. \times 1.02 \right] \times 7 \times 25 = 25.3092 \text{ kN}$$

c. 拱脚加强段

$$P = \left[0.1 \times 2 \times 1.02 \times 0.6775 + 0.1 \times 0.6775 \times (1.08 - 2 \times 0.1) - 2 \times \frac{1}{2} \times 0.08^2 \right. \\ \left. \times 1.02 \right] \times 7 \times 25 = 33.4779 \text{ kN}$$

d. 各集中力作用线的横坐标

各集中力作用线的横坐标 l_x , 可以根据 $\int_0^{\xi} \sqrt{1 + \eta^2 \text{sh}^2 K \xi} d\xi = S_x + \frac{l'}{2}$ 值从附表 1-1

查得 ξ 值, 再由 $l_x = \frac{l'}{2} \times \xi$ 求得。 l_x 的值和各集中力分别对 $\frac{l}{4}$ 和拱脚截面的力臂见表 1-3。

横隔板的横坐标与力臂计算表

表 1-3

集中力编号	S_x	ξ $\int_0^{\xi} \sqrt{1 + \eta^2 \text{sh}^2 K \xi} d\xi = \frac{2S_x}{l_{\text{肋}}}$	ξ	$l_x = \frac{l_{\text{肋}}}{2} \cdot \xi$	力 臂	
					$\frac{l}{4} - l_x$	$\frac{l}{2} - l_x$
1*	2.56	0.072724	0.072706	2.5594	15.1266	32.8126
2*	5.12	0.145448	0.145326	5.1157	12.5703	30.2563
3*	7.68	0.218172	0.217755	7.6653	10.0207	27.7067
4*	10.24	0.290896	0.289925	10.2058	7.4802	25.1662
5*	12.8	0.363620	0.361680	12.7317	4.9543	22.6403
6*	13.4	0.380665	0.378447	13.3219	4.3641	22.0501
7*	15.96	0.453389	0.449578	15.8258	1.8602	19.5462
					$\Sigma = 56.3764$	
8*	18.52	0.526113	0.520060	18.3069		17.0651
9*	21.08	0.598837	0.589779	20.7611		14.6109
10*	23.64	0.671561	0.658557	23.1822		12.1898
11*	26.20	0.744285	0.726224	25.5642		9.8078
12*	28.76	0.817010	0.792745	27.9059		7.4661
13*	31.32	0.889734	0.857742	30.1939		5.1781
14*	33.88	0.962458	0.921321	32.4319		2.9401
						$\Sigma = 249.4363$
15*	36.44	1.035182	0.983115	34.6072		0.7648
0*	0	0	0	0	17.6860	35.3720
中接头	13.1	0.372143	0.370071	13.0271	4.6589	22.3449
拱脚加强段	36.79375	1.045231	0.991558	34.9044		0.4676

4. 拱上空腹段

(1) 腹孔上部 (见图1-8)

腹拱圈外弧跨径

$$l_{\text{外}} = l'_0 + 2d' \sin \varphi_0 = 5.6 + 2 \times 0.35 \times 0.470588 = 5.9294 \text{ m}$$

腹拱圈内弧半径

$$R_0 = \frac{l'_0}{2 \sin \varphi_0} = \frac{5.6}{2 \times 0.470588} = 5.9500 \text{ m}$$

腹拱圈重

$$\begin{aligned} P_a &= 2\varphi_0 R d' \gamma_3 B_0 = 2 \times 28^\circ 04' 20'' \times \frac{\pi}{180} \times \left(5.95 + \frac{0.35}{2} \right) \times 0.35 \times 24 \times 9.8 \\ &= 494.0781 \text{ kN} \end{aligned}$$

腹拱上面的护拱重 (“重” 应为重力, 下同)

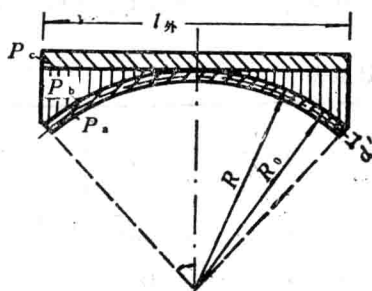


图 1-8

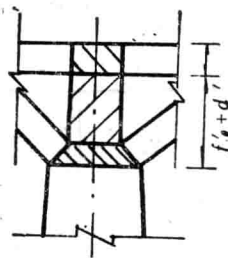


图 1-9

$$\begin{aligned} P_b &= (2 \sin \varphi_0 - \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 - \varphi_0) R^2 \gamma_2 B_0 \\ &= \left(2 \times 0.470588 - 0.470588 \times 0.882353 - 28^\circ 04' 20'' \times \frac{\pi}{180} \right) \times \left(5.95 + \frac{0.35}{2} \right)^2 \times 23 \times 9.8 \\ &= 304.4046 \text{ kN} \end{aligned}$$

填料及桥面系重

$$P_c = l_{\text{外}} h_d \gamma_1 B_0 = 5.9294 \times 0.6391 \times 22 \times 9.8 = 817.0118 \text{ kN}$$

腹拱墩起拱线以上部分重 (见图1-9)

$$\begin{aligned} P_d &= \{ (0.6 - x') y' \gamma_4 + [(f' + d' - y') \gamma_2 + h_d \gamma_1] (0.6 - 2x') \} \cdot B_0 \\ &= \{ (0.6 - 0.1647) \times 0.3088 \times 25 + [(1.05 - 0.3088) \times 23 + 0.6391 \times 22] \times (0.6 - 2 \times 0.1647) \} \times 9.8 \\ &= 115.4271 \text{ kN} \end{aligned}$$

一个腹拱总重量

$$\begin{aligned} P &= \sum P_i = 494.0781 + 304.4046 + 817.0118 + 115.4271 \\ &= 1730.9216 \text{ kN} \end{aligned}$$

(2) 腹孔下部 (见图1-10)