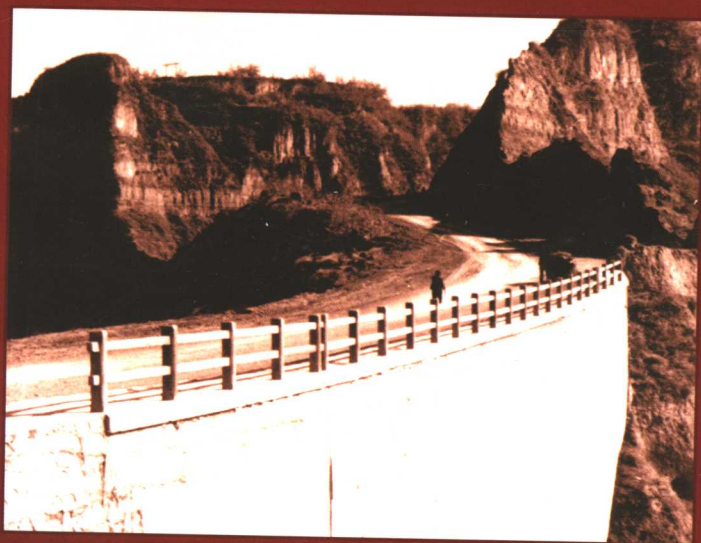


公路圬工桥涵设计规范

(JTG D61-2005)

应用算例

© 袁伦一 鲍卫刚 李扬海 编著



人民交通出版社

China Communications Press

《公路圬工桥涵设计规范》

(JTG D61—2005)

应用算例

袁伦一 鲍卫刚 李扬海 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)应用算例。本书列有石砌拱桥、石砌拱涵、石砌桥墩、混凝土桥墩和混凝土箱形拱五个算例,基本包括了常用的各类圬工桥涵设计。

图书在版编目(CIP)数据

公路圬工桥涵设计规范(JTGD61-2005)应用算例 / 袁伦一, 鲍卫刚, 李扬海编著. —北京: 人民交通出版社, 2005.10

ISBN 7-114-05812-8

I. 公… II. ①袁… ②鲍… ③李… III. 公路桥—桥涵工程—设计规范—中国 IV.U448.142.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第120075号

书 名:《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)应用算例

著 作 者: 袁伦一 鲍卫刚 李扬海

责任编辑: 张征宇

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 9.5

插 页: 1

字 数: 150 千

版 次: 2005年11月 第1版

印 次: 2005年11月 第1次印刷

印 数: 0001~4000 册

书 号: ISBN7-114-05812-8

定 价: 26.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)(简称《规范》)已经交通部批准实施。为了便于应用该《规范》,特编著此书供设计参考。本算例中凡涉及作用部分,以《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)(简称《通规》)为准。本算例内还采用了《公路钢筋混凝土及预应力混凝土设计规范》(JTG D62—2004)(简称《JTG D62—2004》)内关于橡胶支座设计和伸缩装置的有关规定,用于箱形拱桥上建筑板式结构的设计。本算例关于拱桥和拱涵的计算,参用了1994年《公路桥涵设计手册—拱桥》和1978年《公路设计手册—拱桥》(简称《1994年手册》和《1978年手册》)的公式和计算用表。本书算例1石砌拱桥、算例2石砌拱涵、算例3石砌桥墩,均列有基底的验算;由于地基的设计目前仍沿用1985年《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)(简称《JTJ 024—85规范》)和1989年《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)(简称《JTJ 021—89规范》),所以本书关于地基的算例仍采用上述两本规范的规定和荷载组合。

新规范的实施尚需在设计实践中进一步完善,本书对于规范条文的理解和应用也需在实践中经历考验,希望读者提出宝贵意见。

编著者
2005年8月

目 录

第1章 等截面悬链线空腹式石砌拱桥(算例1)	1
第1节 拱圈计算	1
1 设计资料	1
2 确定拱轴系数 m	3
3 不计弹性压缩的自重水平推力 H'_g	6
4 弹性中心位置和弹性压缩系数	6
5 自重效应	6
6 《规范》第5.1.4条第1款拱的强度验算用的公路—I级 汽车荷载效应	7
7 《规范》第5.1.4条第1款拱的强度验算用的人群荷载效应	12
8 温度作用效应	12
9 《规范》第5.1.4条第2款拱的整体“强度—稳定”验算 用的荷载效应	13
10 拱脚截面直接抗剪强度验算用的荷载效应	14
11 拱圈作用效应标准值汇总	16
12 拱圈截面强度验算	18
13 拱圈整体“强度—稳定”验算	23
14 拱脚截面直接抗剪验算	25
第2节 桥台计算	27
1 基本资料	27
2 桥台设计几何尺寸	27
3 桥台台身自重及其顶上的汽车和人群荷载	29
4 拱脚的作用效应对台身底的竖向力和偏心弯矩	32
5 台身后土侧压力	33
6 台身底作用效应汇总	35
7 台身底截面承载能力极限状态验算	35
8 地基承载力验算	38
9 基础稳定性验算	40
第2章 石砌拱涵(算例2)	41
第1节 拱圈计算	41

1 设计资料	41
2 拱圈几何参数	42
3 自重效应	42
4 公路—I级汽车荷载效应	45
5 土侧压力作用效应	45
6 拱顶和拱脚作用效应汇总	49
7 拱圈截面强度验算	49
8 拱脚截面直接受剪验算	52
第2节 涵台计算	53
1 设计资料	53
2 台后土侧压力	53
3 台顶土自重	54
4 台身底作用效应	54
5 台身底作用效应设计值及台身底承载力验算	56
6 拱脚下缘处台身上端水平截面直接抗剪验算	60
7 涵台基底承载力验算	61
8 基础稳定性验算	63
第3章 石砌桥墩(算例3)	65
1 上部结构	65
2 公路—I级汽车荷载及人群荷载	65
3 墩帽和墩身自重	66
4 墩身底竖向荷载效应标准值	67
5 风荷载	67
6 纵向力	69
7 墩身底截面按承载能力极限状态验算	70
8 地基承载力验算	79
9 桥墩稳定性验算	82
第4章 混凝土桥墩(算例4)	84
1 竖向力较大时计算1	84
2 竖向力较大时计算2	85
3 偏心距较大时计算1	86
4 偏心距较大时计算2	88
第5章 等截面悬链线混凝土空腹式箱形拱桥(算例5)	89
第1节 拱圈计算	89
1 设计资料	89

2	拱圈几何力学性质	89
3	确定拱轴系数	92
4	不计弹性压缩的拱自重水平推力 H'_g	95
5	弹性中心位置、弹性压缩系数和拱自重弹性压缩水平推力	95
6	自重效应	96
7	公路—I级汽车荷载效应	96
8	《规范》第 5.1.4 条第 1 款拱的强度验算用的人群荷载效应	102
9	温度作用和混凝土收缩作用效应	103
10	《规范》第 5.1.4 条第 2 款拱的整体“强度—稳定”验算用的荷载效应	105
11	拱脚截面直接抗剪强度验算用的荷载效应	107
12	拱圈作用效应标准值汇总	109
13	拱圈截面强度验算	110
14	拱圈整体“强度—稳定”验算	117
15	拱脚截面直接抗剪验算	119
第 2 节	拱上建筑立墙计算	121
1	墙顶及其上支座的抗推刚度	121
2	P0 ~ P7 联计算	122
3	P1 立墙承载能力验算	127
4	P1 立墙偏心距计算	130
5	P1 立墙构造钢筋	131
6	P1 立墙橡胶支座验算	131
7	P7 ~ P7' 联计算	135
8	拱上建筑的支座布置和构造钢筋	136
9	拱上建筑伸缩装置计算	136
附录 A	关于《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的作用效应组合及各项系数应用简介	139
附录 B	拱轴系数计算用表	142

第 1 章 等截面悬链线空腹式石砌拱桥 (算例 1)

第 1 节 拱 圈 计 算

1 设计资料(图 1.1-1)

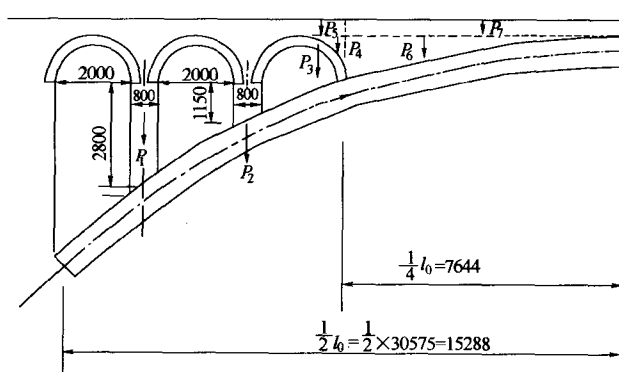


图 1.1-1 半拱尺寸图(尺寸单位:mm)

设计荷载 公路—I级汽车荷载,人群荷载 3kN/m^2

桥面净宽 净7m附 $2 \times 0.75\text{m}$ 人行道

净跨径 $l_n = 30\text{m}$

净矢高 $f_n = 6\text{m}$

净矢跨比 $f_n/l_n = 1/5$

拱圈厚度 $d = 0.8\text{m}$

拱圈宽度 $b = 8.5\text{m}$

主(腹)拱顶填土高度 $h_c = 0.5\text{m}$

拱圈材料重力密度 $\gamma_1 = 24\text{kN/m}^3$

拱上建筑材料重力密度 $\gamma_2 = 24\text{kN/m}^3$

路面及填料(包括路面、腹拱的护拱和填料)重力密度 $\gamma_3 = 20\text{kN/m}^3$

腹拱净跨径 $l_{n1} = 2\text{m}$

腹拱厚度 $d_1 = 0.3\text{m}$

腹拱墩顶宽 $b_1 = 0.8\text{m}$

腹拱墩底宽 $b_2 = 0.8\text{m}$

自拱脚起第 1 个腹拱墩平均高度 $h_1 = 2.8\text{m}$

自拱脚起第 2 个腹拱墩平均高度 $h_2 = 1.15\text{m}$

拱圈材料 M10 砂浆砌 MU60 块石

拱圈材料抗压强度设计值 $f_{cd} = 4.22\text{MPa}$

拱圈材料抗剪强度设计值 $f_{vd} = 0.073\text{MPa}$

拱圈材料弹性模量 $E_m = 7300\text{MPa}$

假定拱轴系数

$m = 3.5, \gamma_{1/4}/f_0 = 0.2$ ($\gamma_{1/4}$ 为拱轴线 1/4 拱跨处坐标, f_0 为计算矢高)

拱轴线拱脚处切线与水平线交角

$$\varphi_s = \tan^{-1} \frac{5164.91}{1000} \times \frac{1}{5} = 45.929^\circ [\text{《1994 年手册》附表(III)-2}]$$

$\sin \varphi_s = 0.7185, \cos \varphi_s = 0.6955, x = 0.8 \times 0.6955 = 0.556\text{m}, y = 0.8 \times 0.7185 = 0.575\text{m}$ (x, y 为拱脚处, 拱厚的水平和竖向投影长度)

计算跨径 $l_0 = l_n + d \sin \varphi_s = 30 + 0.8 \times 0.7185 = 30.5748\text{m}$

计算矢高

$$f_0 = f_n + \frac{d}{2} (1 - \cos \varphi_s) = 6 + \frac{0.8}{2} \times (1 - \cos 45.929^\circ) = 6.12178\text{m}$$

计算矢跨比 $f_0/l_0 = 6.12178/30.57480 = 1/4.994$

拱轴线长度

$$L_s = \frac{1}{\nu_1} l_0 = 1.10797 \times 30.575 = 33.876\text{m} \left[\frac{1}{\nu_1} \text{见《1994 年手册》附表(III)-8} \right]$$

拱圈几何性质见表 1.1-1。

拱圈几何性质表

表 1.1-1

截面号	γ_1/f_0	γ_1 (m)	$\cos \varphi$	$\frac{d'}{2} = \frac{d}{2 \cos \varphi}$ (m)	$\gamma_1 - \frac{d'}{2}$ (m)	$\gamma_1 + \frac{d'}{2}$ (m)	x (m)
1	2	3	4	5	6	7	8
拱脚 0	1.00000	6.12178	0.69554	0.57509	5.54669	6.69687	15.28739
1	0.80192	4.90918	0.75345	0.53089	4.37829	5.44007	14.01344
2	0.63483	3.88629	0.80583	0.49638	3.38991	4.38267	12.73949
3	0.49443	3.02679	0.85144	0.46979	2.55700	3.49658	11.46554
4	0.37708	2.30840	0.88977	0.44955	1.85885	2.75795	10.19159
5	0.27978	1.71275	0.92093	0.43434	1.27841	2.14709	8.91764

续上表

截面号	y_1/f_0	y_1 (m)	$\cos \varphi$	$\frac{d'}{2} = \frac{d}{2\cos \varphi}$ (m)	$y_1 - \frac{d'}{2}$ (m)	$y_1 + \frac{d'}{2}$ (m)	x (m)
拱跨 1/4 6	0.20000	1.22436	0.94552	0.42305	0.80131	1.64741	7.64369
7	0.13569	0.83066	0.96437	0.41478	0.41588	1.24544	6.36974
8	0.08520	0.52158	0.97837	0.40884	0.11274	0.93042	5.09579
9	0.04721	0.28901	0.98835	0.40471	-0.11570	0.69372	3.82184
10	0.02076	0.12709	0.99499	0.40201	-0.27492	0.52910	2.54789
11	0.00516	0.03159	0.99877	0.40049	-0.36890	0.43208	1.27395
拱顶 12	0	0	1.00000	0.40000	-0.40000	0.40000	0

注:(1)本表截面半拱分为 12 段,与《1994 年手册》附录图 III-1 对照,本表截面号的 2 倍为《1994 年手册》附录图 III-1 的截面号,例如本表截面号 2,附录图 III-1 内为截面号 4。

(2)第 2 栏自《1994 年手册》附录(III)表(III)-1 查得;第 4 栏自附录(III)表(III)-2 查得 $\tan \varphi$,再求 $\cos \varphi$ 。

参考文献:《公路桥涵设计手册,拱桥(上册)》(1994 年),以下简称《1994 年手册》。

由于为矩形板拱,横桥向又无偏心,计算可取每米拱宽。

2 确定拱轴系数 m

拱轴系数按假定尺寸验算,先求拱的自重压力线在拱跨 1/4 点的纵坐标 $y_{1/4}$ 与矢高 f_0 的比值 $y_{1/4}/f_0$,如该值与假定值 0.2($m = 3.5$)符合,则可确定作为拱轴系数;否则,另行假定拱轴系数,直至假定与验算结果相符。 $y_{1/4}/f_0$ 可按下式求得:

$$y_{1/4}/f_0 = \sum M_{1/4} / \sum M_s \quad (1-1)$$

式中: $y_{1/4}$ ——拱轴线拱跨 1/4 点的弯矩;

f_0 ——拱轴线计算矢高;

$M_{1/4}$ ——自拱顶至拱跨 1/4 部分的自重力对拱跨 1/4 点弯矩;

M_s ——自拱顶至拱脚部分的自重力对拱脚的弯矩。

计算参见表 1.1-2 及其说明和图 1.1-1,并取每米拱宽进行。

半拱自重及其对拱跨 1/4 点拱脚弯矩表

表 1.1-2

部分	自重编号	自重力 (kN)	自重力作用点至 拱跨 1/4 点力臂 (m)	$M_{1/4}$ (kN·m)	自重力作用点 至拱脚力臂 (m)	M_s (kN·m)
1	2	3	4	5	6	7
拱圈	—	半拱 325.561	—	565.637	—	2345.722

续上表

部分	自重编号	自重力 (kN)	自重力作用点至 拱桥 1/4 点力臂 (m)	$M_{1/4}$ (kN·m)	自重力作用点 至拱脚力臂 (m)	M_s (kN·m)
腹拱、腹拱墩、填料等	1	127.46	—	—	2.113	269.323
	2	95.78	—	—	4.913	470.567
	3	13.01	—	—	7.049	91.707
	4	7.25	—	—	7.323	53.092
	5	13.00	—	—	6.963	90.519
实腹填料	6	61.15	1.911	116.858	9.555	584.288
	7	76.44	3.822	292.154	11.466	876.461
合计	—	719.651	—	974.649	—	4781.679

表 1.1-2 计算说明:

(1)拱圈部分产生的自重力 P 、 $M_{1/4}$ 、 M_s 值,可自本书附录 B 表 B-1 查算。

$$P = 0.55458 l_0 d \gamma_1 = 0.55458 \times 30.575 \times 0.8 \times 24 = 325.561 \text{ kN}$$

$$M_{1/4} = 0.031514 l_0^2 d \gamma_1 = 0.031514 \times 30.575^2 \times 0.8 \times 24 = 565.637 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_s = 0.13069 l_0^2 d \gamma_1 = 0.13069 \times 30.575^2 \times 0.8 \times 24 = 2345.722 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2)腹拱、腹拱墩及其上填料等自重集中传布。腹拱墩集中荷载计算如下:

(a) $P = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$, 式中, W_1 、 W_2 、 W_3 分别为腹拱墩上的腹拱拱圈、填料及路面自重,可自本书附录 B 表 B-3 查算; W_4 为腹拱墩自重,按实际尺寸计算。各腹拱墩集中荷载计算如下(图 1.1-1):

$$P_1 = 1.0839 \gamma_2 + 0.9845 \gamma_3 + 1.4 \gamma_3 + \frac{1}{2} (b_1 + b_2) h_1 \gamma_2 = 1.0839 \times 24$$

$$+ 0.9845 \times 20 + 1.4 \times 20 + \frac{1}{2} (0.8 + 0.8) \times 2.8 \times 24 = 127.46 \text{ kN}$$

$$P_2 = 1.0839 \gamma_2 + 0.9845 \gamma_3 + 1.4 \gamma_3 + \frac{1}{2} (b_1 + b_2) h_2 \gamma_2 = 1.0839 \times 24$$

$$+ 0.9845 \times 20 + 1.4 \times 20 + \frac{1}{2} \times (0.8 + 0.8) \times 1.15 \times 24 = 95.78 \text{ kN}$$

腹拱墩作用力对拱脚的力臂为:

P_1 腹拱墩

$$e_1 = l_1 + 0.5 b_1 - \frac{d}{2} \sin \varphi_s = 2.0 + 0.5 \times 0.8 - \frac{0.8}{2} \times 0.7185 = 2.113 \text{ m}$$

P_2 腹拱墩

$$e_2 = 2l_1 + 1.5b_1 - \frac{d}{2}\sin\varphi_s = 2 \times 2.0 + 1.5 \times 0.8 - \frac{0.8}{2} \times 0.7185 = 4.913\text{m}$$

上式中, l_1 为腹拱净跨径, b_1 为墩宽度。

(b) 靠近拱顶的半个腹拱及其上填料重量, 可按本书附录 B 表 B-4 查算。

$$\text{半个腹拱拱圈 } P_3 = 0.5420\gamma_2 = 0.5420 \times 24 = 13.01\text{kN}$$

$$\text{半个腹拱填料 } P_4 = 0.3627\gamma_3 = 0.3627 \times 20 = 7.25\text{kN}$$

$$\text{半拱路面 } P_5 = 0.650 \times 20 = 13.00\text{kN}$$

P_3 、 P_4 、 P_5 作用力对拱脚力臂分别为:

$$\begin{aligned} e_3 &= \left[\left(n - \frac{1}{2} \right) l_1 + (n-1)b_1 - \frac{d}{2}\sin\varphi_s \right] + A \\ &= \left[\left(3 - \frac{1}{2} \right) \times 2 + (3-1) \times 0.8 - \frac{0.8}{2} \times 0.7185 \right] + 0.736 = 7.049\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_4 &= \left[\left(n - \frac{1}{2} \right) l_1 + (n-1)b_1 - \frac{d}{2}\sin\varphi_s \right] + B \\ &= \left[\left(3 - \frac{1}{2} \right) \times 2 + (3-1) \times 0.8 - \frac{0.8}{2} \times 0.7185 \right] + 1.010 = 7.323\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_5 &= \left[\left(n - \frac{1}{2} \right) l_1 + (n-1)b_1 - \frac{d}{2}\sin\varphi_s \right] + C \\ &= \left[\left(3 - \frac{1}{2} \right) \times 2 + (3-1) \times 0.8 - \frac{0.8}{2} \times 0.7185 \right] + 0.650 = 6.963\text{m} \end{aligned}$$

以上计算式中, n 为半跨主拱的腹拱孔数, A 、 B 、 C 可自附录 B 表 B-4 查得。

(3) 实腹部分填料及路面部分的自重, 在左半桥拱跨 1/4 点以右至拱顶一段, 由抛物线荷载 P_6 与矩形荷载 P_7 组合而成。

$$(a) \text{ 抛物线荷载 } P_6 = \frac{1}{3} \cdot \frac{l_0}{4} h_6 \gamma_3 = \frac{1}{3} \times \frac{30.575}{4} \times 1.2 \times 20 = 61.15\text{kN},$$

式中: $h_6 = (\gamma_{1/4} - d'_6/2) + d/2 = 0.8013 + 0.8/2 = 1.2013\text{m}$ (括号内数值见表 1.1-1, d 为主拱圈厚)

$$\begin{aligned} \text{抛物线荷载作用点, 对拱脚, } e_{6,s} &= \frac{l_0}{2} - x_6 = \frac{l_0}{2} - \frac{3}{4} \times \frac{l_0}{4} = \frac{5}{16} \times l_0 = \\ &= \frac{5}{16} \times 30.575 = 9.555\text{m}; \text{对拱跨 } 1/4 \text{ 点, } e_{6,1/4} = \frac{l_0}{4} - x_6 = \frac{l_0}{4} - \frac{3}{4} \cdot \frac{l_0}{4} = \frac{1}{16} l_0 = \\ &= \frac{1}{16} \times 30.575 = 1.911\text{m}. \end{aligned}$$

$$(b) \text{ 矩形荷载 } P_7 = \frac{l_0}{4} \cdot h_c \gamma_3 = \frac{30.575}{4} \times 0.5 \times 20 = 76.438\text{kN} (h_c \text{ 为拱}$$

顶填土厚度)

矩形荷载作用点, 对拱脚 $e_{7,s} = \frac{l_0}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{l_0}{4} = \frac{3}{8} \times 30.575 = 11.466\text{m}$; 对

拱跨 1/4 点 $e_{7,1/4} = \frac{l_0}{8} = \frac{30.575}{8} = 3.822\text{m}$ 。

表 1.1-2 说明完。

按表 1.1-2 内数值计算拱轴系数

$$\frac{y_{1/4}}{f_0} = \frac{\sum M_{1/4}}{\sum M_s} = \frac{974.649}{4781.679} = 0.204$$

假定 $m = 3.5$, 相应的 $y_{1/4}/f_0 = 0.2$, 上述计算值为 0.204, 较为接近, 拱轴系数可用 $m = 3.5$ 。

3 不计弹性压缩的自重水平推力 H'_g

$$H'_g = \sum M_s / f_0 = 4781.679 / 6.123 = 780.937\text{kN}$$

4 弹性中心位置和弹性压缩系数

弹性中心离拱顶距离 y_s , 可自《1994 年手册》附表(III)-3 求得。

$$y_s / f_0 = 0.32765, y_s = 0.32765 f_0 = 0.32765 \times 6.122 = 2.006\text{m}$$

按《1994 年手册》公式(4-18), 由于弹性压缩引起的弹性中心的赘余力

(推力为正, 拉力为负)为: $\Delta H_g = -\frac{\mu_1}{1+\mu} H'_g$ 。系数 μ_1 和 μ 可自《1994 年手册》附表(III)-9 和附表(III)-11 求得。

$\mu_1 = 11.2017 \times \left(\frac{r}{f_0}\right)^2 = 11.2017 \times \left(\frac{I}{A}\right) \frac{1}{f_0^2} = 11.2017 \times \frac{1}{12} \times 1.0 \times 0.8^2 \times \frac{1}{6.123^2} = 0.01594$ (以上计算取每米拱宽, I 为弯曲平面内截面惯性矩, A 为截面面积, 11.2017 为表内系数, r 为截面绕 x 轴回转半径, f_0 为计算矢高)。

$$\begin{aligned} \mu &= 9.22091 \times \left(\frac{r}{f_0}\right)^2 = 9.22091 \times \left(\frac{I}{A}\right) \frac{1}{f_0^2} \\ &= 9.22091 \times \frac{1}{12} \times 1.0 \times 0.8^2 \times \frac{1}{6.123^2} = 0.01312 \end{aligned}$$

5 自重效应

1) 拱顶截面(12 号截面)

$$y = y_1 - y_s = 0 - 2.006 = -2.006\text{m} [《1994 年手册》公式(4-25)]$$

$$\cos \varphi = 1.0 (\text{表 1.1-1})$$

计入弹性压缩的水平推力

$$H_g = H'_g \left(1 - \frac{\mu_1}{1 + \mu} \right) = 780.937 \times \left(1 - \frac{0.01618}{1 + 0.01332} \right) = 768.465 \text{ kN}$$

$$\text{轴向力 } N_g = H_g / \cos \varphi = 768.465 / 1.0 = 768.465 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{弹性压缩弯矩 } M_g &= (\gamma_1 - \gamma_s) \Delta H = -2.006 \times \left(-\frac{\mu_1}{1 + \mu} H'_g \right) = -2.006 \times \\ &\left(-\frac{0.01618}{1 + 0.01332} \times 780.937 \right) = 25.014 \text{ kN} (\Delta H \text{ 为弹性压缩水平推力}) \end{aligned}$$

本例假定拱轴线符合不考虑弹性压缩的压力线,自重作用下仅有弹性压缩弯矩。

2) 拱脚截面(0号截面)

$$\gamma = \gamma_1 - \gamma_s = 6.12178 - 2.006 = 4.11578 \text{ m} (\gamma_1 \text{ 见表 1.1-1})$$

$$\cos \varphi = 0.69554 (\text{表 1.1-1})$$

计入弹性压缩的水平推力

$$H_g = H'_g \left(1 - \frac{\mu_1}{1 + \mu} \right) = 780.937 \times \left(1 - \frac{0.01618}{1 + 0.01332} \right) = 768.465 \text{ kN}$$

$$\text{轴向力 } N_g = H_g / \cos \varphi = 768.465 / 0.69554 = 1104.847 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{弹性压缩弯矩 } M_g &= (\gamma_1 - \gamma_s) \Delta H = 4.11578 \times \left(-\frac{\mu_1}{1 + \mu} H'_g \right) \\ &= 4.11578 \times \left(-\frac{0.01618}{1 + 0.01332} \times 780.937 \right) \\ &= -51.322 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

6 《规范》第 5.1.4 条第 1 款拱的强度验算用的公路—I 级汽车荷载效应

公路—I 级汽车荷载加载于影响线上,其中均布荷载为 $q = 10.5 \text{ kN/m}$;集中荷载 P_k 当计算跨径 l_0 为 5m 时, $P_k = 180 \text{ kN}$,当 l_0 为 50m 及以上时, $P_k = 360 \text{ kN}$,当 l_0 在中间值时,用直线插入法, $P_k = 180 + \frac{360 - 180}{50 - 5} (l_0 - 5) = (160 + 4l_0) \text{ kN}$, l_0 以米计,适用于 $5 \text{ m} \leq l_0 \leq 50 \text{ m}$ 。本例 $P_k = (160 + 4 \times 30.575) = 282.3 \text{ kN}$ 。

拱圈宽度为 8.5m,承载双车道公路 I 级汽车荷载,每米拱宽承载均布荷载 $2 \times 10.5 / 8.5 = 2.471 \text{ kN/m}$,承载集中荷载 $2 \times 282.3 / 8.5 = 66.424 \text{ kN}$ 。本桥填料厚度为 0.5m,按《通规》第 4.3.2 条,不计汽车冲击力。

1) 拱顶截面

为了加载公路—I 级均布荷载,拱顶截面考虑弹性压缩的弯矩及与其相应的轴向力的影响线面积,可自《1994 年手册》附表(III)-14(75)查得,其

值为:影响线面积 $M = [\text{表值}] l_0^2 = [\text{表值}] \times 30.575^2 = [\text{表值}] \times 934.831$; 相应的轴向力影响线面积 $N = [\text{表值}] l_0 = [\text{表值}] \times 30.575$ 。

为了加载公路—I级集中荷载,拱顶截面不考虑弹性压缩的弯矩影响线坐标及与其相应的轴向力(拱顶即为水平推力)的影响线坐标可自《1994年手册》附表(III)-13(46)和附表(III)-12(10)分别查取最大正负弯矩(绝对值)影响线坐标和相应的水平推力影响线坐标,其值为:弯矩影响线坐标 $M' = [\text{表值}] l_0 = [\text{表值}] \times 30.575$; 相应的水平推力影响线坐标 $H_1 = [\text{表值}] \times l_0/f_0 = [\text{表值}] \times 30.575/6.123 = [\text{表值}] \times 4.993$ 。

上述计算数值见表 1.1-3。

注:《1994年手册》对于均布荷载可采用影响线面积,而且考虑了弹性压缩,它适用于老荷载标准的等代荷载,也适用于新荷载标准的均布荷载。《1994年手册》对于集中荷载,可采用影响线坐标,但此坐标值不考虑弹性压缩,因此应再计弹性压缩影响。

拱顶截面弯矩及其相应的轴向力影响线面积和坐标 表 1.1-3

影 响 线			正 弯 矩	负 弯 矩
均布荷载	考虑弹性压缩	弯矩影响线面积	0.00772×934.831 = 7.217	-0.00430×934.831 = -4.020
		相应轴向力影响线面积	0.35781×30.575 = 10.940	0.28659×30.575 = 8.762
集中荷载	不考虑弹性压缩	弯矩影响线坐标	0.05565×30.575 = 1.701 (24号截面)	-0.01100×30.575 = -0.33633 (10号截面)
		相应水平推力影响线坐标	0.23331×4.993 = 1.165 (24号截面)	0.11018×4.993 = 0.55013 (10号截面)

注:《1994年手册》附表(III)-14考虑了弹性压缩,这在2004年《通规》颁布以前,利用等代荷载计算荷载效应是够用的。在2004年《通规》新的公路荷载标准规定以后,公路—I级(或II级)含有集中荷载,当用于集中荷载计算荷载效应时,没有考虑弹性压缩的附表,所以只有用不考虑弹性压缩的影响线坐标附表(III)-13和附表(III)-12。计算时弹性压缩影响可另计。

a) 拱顶截面正弯矩

均布荷载作用下考虑弹性压缩的弯矩

$$M_{\max} = 2.471 \times 7.217 = 17.833 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

相应的考虑弹性压缩的轴向力 $N = 2.471 \times 10.940 = 27.033 \text{ kN}$

集中荷载作用下不考虑弹性压缩的弯矩

$$M'_{\max} = 66.424 \times 1.701 = 112.987 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

相应的不考虑弹性压缩的水平推力 $H_1 = 66.424 \times 1.165 = 77.384 \text{ kN}$

弹性压缩附加水平推力

$$\Delta H = -\frac{\mu_1}{1+\mu} H_1 = -\frac{0.01618}{1+0.01332} \times 77.384 = -1.236 \text{ kN}$$

弹性压缩附加弯矩

$$\Delta M = (\gamma_1 - \gamma_s) \Delta H = (0 - 1.991) \times (-1.236) = 2.461 \text{ kN}$$

考虑弹性压缩后水平推力 $H = H_1 + \Delta H = 77.384 - 1.236 = 76.148 \text{ kN}$

考虑弹性压缩后弯矩

$$M_{\max} = M'_{\max} + \Delta M = 112.987 + 2.461 = 115.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

b) 拱顶截面负弯矩

均布荷载作用下考虑弹性压缩的弯矩

$$M_{\min} = -2.471 \times 4.020 = -9.933 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

相应的考虑弹性压缩的轴向力 $N = 2.471 \times 8.762 = 21.651 \text{ kN}$

集中荷载作用下不考虑弹性压缩的弯矩

$$M'_{\min} = -66.424 \times 0.33633 = -22.340 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

相应的不考虑弹性压缩的水平推力

$$H_1 = 66.424 \times 0.55013 = 36.541 \text{ kN}$$

弹性压缩附加水平推力

$$\Delta H = -\frac{\mu_1}{1+\mu} H_1 = -\frac{0.01618}{1+0.01332} \times 36.541 = -0.584 \text{ kN}$$

弹性压缩附加弯矩

$$\Delta M = (\gamma_1 - \gamma_s) \Delta H = (0 - 1.991) \times (-0.584) = 1.163 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

考虑弹性压缩水平推力 $H = H_1 + \Delta H = 36.541 - 0.584 = 35.957 \text{ kN}$

考虑弹性压缩弯矩

$$M_{\min} = M'_{\min} + \Delta M = -22.340 + 1.163 = -21.177 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2) 拱脚截面

为了加载公路—I级均布荷载,拱脚截面考虑弹性压缩的弯矩及其相应的轴向力的影响线面积,可自《1994年手册》附表(III)-14(75)查得,其值为:弯矩影响线面积 $M = [\text{表值}] \times l_0^2 = [\text{表值}] \times 30.575^2 = [\text{表值}] \times 934.831$;相应轴向力影响线面积 $N = [\text{表值}] \times l_0 = [\text{表值}] \times 30.575$ 。

为了加载公路—I级集中荷载,拱脚截面不考虑弹性压缩的弯矩坐标及与其相应的水平推力和左拱脚反力(因拱脚轴向力,在集中荷载作用下,需水平推力与左拱脚反力合成)的坐标,可自《1994年手册》附表(III)-13(50)、附表(III)-12(10)和附表(III)-7(10)分别查取最大正负弯矩(绝对值)影响线坐标、相应的水平推力影响线坐标和左拱脚反力影响线坐标,其值

为:弯矩影响线坐标 $M' = [\text{表值}] l_0 = [\text{表值}] \times 30.575$; 水平推力影响线坐标 $H_1 = [\text{表值}] \times l_0 / f_0 = [\text{表值}] \times 30.575 / 6.123 = [\text{表值}] \times 4.993$, 左拱脚反力影响线坐标 = [表值]。

上述数值计算如表 1.1-4 所示。

拱脚截面弯矩及其相应的水平推力和左拱脚反力影响线面积和坐标

表 1.1-4

影响线			正弯矩	负弯矩
均布荷载	考虑弹性压缩	弯矩影响线面积	0.02084×934.831 $= 19.482$	-0.01354×934.831 $= -12.658$
		相应轴向力影响线面积	0.45309×30.575 $= 13.853$	0.35436×30.575 $= 10.835$
集中荷载	不考虑弹性压缩	弯矩影响线坐标	0.05572×30.575 $= 1.704$ (截面号 17')	-0.05763×30.575 $= -1.762$ (截面号 7)
		相应水平推力影响线坐标	0.19914×4.993 $= 0.99431$ (截面号 17)	0.06557×4.993 $= 0.32739$ (截面号 7)
	—	相应左拱脚反力影响线坐标	0.29396 (截面号 17')	0.93709 (截面号 7)

a) 拱脚截面正弯矩

均布荷载作用下考虑弹性压缩弯矩

$$M_{\max} = 2.471 \times 19.482 = 48.140 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

相应的考虑弹性压缩的轴向力 $N = 2.471 \times 13.853 = 34.231 \text{ kN}$

集中荷载作用下不考虑弹性压缩的弯矩

$$M'_{\max} = 66.424 \times 1.704 = 113.186 \text{ kN}$$

相应的不考虑弹性压缩的水平推力

$$H_1 = 66.424 \times 0.99431 = 66.046 \text{ kN}$$

弹性压缩附加水平推力

$$\Delta H = \frac{-\mu_1}{1+\mu} H_1 = \frac{-0.0168}{1+0.01332} \times 66.424 = -1.061 \text{ kN}$$

弹性压缩附加弯矩

$$\Delta M = (y_1 - y_s) \Delta H = (6.122 - 1.991) \times (-1.061) = 4.383 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

考虑弹性压缩后水平推力 $H = H_1 + \Delta H = 66.424 - 4.383 = 62.041 \text{ kN}$

考虑弹性压缩后弯矩

$$M_{\max} = M'_{\max} + \Delta M = 113.186 - 4.383 = 108.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$