

JTG

中华人民共和国强制性行业标准

JTG 3361—2025

公路圬工桥涵设计规范

Specifications for Design of Highway Masonry Bridges and Culverts

2025-07-24 发布

2025-10-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据《交通运输部关于下达 2016 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》(交公路函〔2016〕234 号)的要求,由中交公路规划设计院有限公司承担《公路圬工桥涵设计规范》(JTG 3361—2025)(以下简称“本规范”)的修订工作。

本规范在总结国内圬工桥涵相关科研成果和建设经验的基础上,借鉴国内外相关标准规范,通过广泛征求意见和研讨后修订而成。

本规范根据《公路工程标准体系》(JTG 1001—2017)的定位进行编写。本次修订提高了材料的等级要求,删除了干砌砌体、半细料石等方面的技术要求;增加了片石混凝土的技术要求;增加了圬工桥涵的设计使用年限,强化了圬工桥涵的耐久性设计要求;完善了拱桥、墩台的计算及构造要求,删除了加筋土桥台的技术要求;简化了涵洞的计算及构造要求。

本规范修订后包括 7 章和 2 个附录:1 总则、2 术语和符号、3 材料、4 基本规定、5 拱桥、6 墩台、7 涵洞,附录 A 石材试件强度的换算系数及石砌体分类、附录 B 预拱度的计算与设置。

本规范由袁洪、赵君黎负责起草第 1 章,赵君黎、冯芑、李文杰负责起草第 2 章,袁洪、高原、冯芑负责起草第 3 章及附录 A,胡大琳、陈峰负责起草第 4 章,江大兴、袁宏波、谭邦明负责起草第 5 章及附录 B,王卿、刘榕、夏齐勇负责起草第 6 章,李会驰、孙耀宗负责起草第 7 章。

请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见,函告本规范日常管理组,联系人:孙耀宗(地址:北京市东城区东四前炒面胡同 33 号,中交公路规划设计院有限公司,邮政编码:100010;电话:010-57507723;电子邮箱:sssohpd@hpdi.com.cn),以便下次修订时参考。

主 编 单 位: 中交公路规划设计院有限公司

参 编 单 位: 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

长安大学

湖南省交通规划勘察设计院有限公司

湖北省交通规划设计院股份有限公司

中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司

主 编: 袁 洪

主要参编人员: 赵君黎 冯 芑 李文杰 李会驰 江大兴 胡大琳

王 卿 袁宏波 孙耀宗 高 原 谭邦明 刘 榕
夏齐勇 陈 峰

主 审：庄卫林

参与审查人员：彭元诚 于 光 梁立农 陈 冉 王笃文 张志新
王瑞雪 邓运祥 张 强 张少青 钟明全 秦大航
田克平 徐 岳 母进伟 周 卫 吴有铭 李克非
陈双全 吴志刚 刘东旭 欧阳平 徐 君 罗吉智
陈宝春

参 加 人 员：胡书晨

交通运输部信息公开
浏览专用

目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	材料	5
3.1	强度等级	5
3.2	设计指标	6
4	基本规定	16
4.1	计算	16
4.2	构造	25
4.3	耐久性设计要求	26
5	拱桥	30
5.1	一般规定	30
5.2	计算	31
5.3	构造	39
6	墩台	42
6.1	一般规定	42
6.2	梁桥墩台	44
6.3	拱桥墩台	48
7	涵洞	50
7.1	一般规定	50
7.2	计算	50
7.3	构造	51
附录 A	石材试件强度的换算系数及石砌体分类	52
附录 B	预拱度的计算与设置	53
	本规范用词用语说明	56

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路圬工桥涵设计，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建公路中圬工桥涵和改扩建公路中新建圬工桥涵(含拼接新建部分)的设计。

1.0.3 公路圬工桥涵设计应遵循安全、耐久、适用、环保、经济和美观的原则。

1.0.4 公路圬工桥涵设计应充分吸收成熟经验，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备和新工艺。

1.0.5 公路圬工桥涵的结构设计应采用以概率理论为基础、按分项系数表达的极限状态设计方法。

1.0.6 公路圬工桥涵设计除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 圬工桥涵 masonry bridge and culvert

以砌体结构或现浇素混凝土结构作为主要受力构件的桥梁或涵洞。

2.1.2 砌体结构 masonry structure

采用石材或混凝土预制块等砌块通过砂浆或小石子混凝土砌筑形成的结构。

2.1.3 现浇素混凝土结构 cast-in-situ plain concrete structure

原位支模浇筑而成的无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。

2.1.4 石材软化系数 softening coefficient of stone

石材试件在含水饱和状态下与干燥状态下单轴抗压强度的比值。

2.1.5 抗冻性指标 frost resistance index

试件在规定试验条件下指定物理力学参数降低或损失至规定值的冻融循环次数。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

a_k 、 a_d ——几何参数标准值、设计值；

C——混凝土强度等级；

E_c ——混凝土受压弹性模量；

E_m ——砌体受压弹性模量；

F——石材抗冻性指标等级；

f_{ck} 、 f_{cd} ——石材、混凝土、砌体轴心抗压强度标准值、设计值；

f_d ——材料强度设计值；

f_{tk} 、 f_{td} ——砌体轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{tmk} 、 f_{tmd} ——石材、混凝土、砌体弯曲抗拉强度标准值、设计值；

f_{vk} 、 f_{vd} ——混凝土、砌体直接抗剪强度标准值、设计值；
 G_c ——混凝土剪切模量；
 G_m ——砌体剪切模量；
 M ——砂浆强度等级；
 MU ——石材强度等级。

2.2.2 作用组合及其效应

H_d ——水平推力设计值；
 M_d ——弯矩设计值或拱脚截面处的计算弯矩；
 N_d ——轴向力设计值；
 N_k ——轴向力标准值；
 $R(\cdot)$ ——构件承载力设计值函数；
 S ——作用组合的效应设计值；
 V_d ——剪力设计值。

2.2.3 几何参数

A ——截面面积；
 A_b ——局部承压计算底面积；
 A_c ——混凝土受压区面积；
 A_l ——局部承压面积；
 b ——矩形截面宽度；
 b_c ——矩形截面受压区宽度；
 e ——轴向力的偏心距；
 e_c ——受压区混凝土法向应力合力作用点至截面重心的距离；
 h ——矩形截面高度；
 h_c ——矩形截面受压区高度；
 i ——弯曲平面内截面的回转半径；
 L ——跨径；
 l ——构件支点间长度；
 l_0 ——构件计算长度；
 l_a ——拱轴线长度；
 r ——圆曲线半径；
 s ——截面或换算截面重心至偏心方向截面边缘的距离；
 W ——截面弹性抵抗矩；
 x —— x 方向截面重心至偏心方向截面边缘的距离；
 y —— y 方向截面重心至偏心方向截面边缘的距离；
 β ——长细比或矢跨比；

φ_b ——拱脚处拱轴线的切线与水平线的夹角；

φ_m ——拱顶、拱脚的连线与水平线的夹角。

2.2.4 计算参数

m ——截面形状系数或悬链线拱拱轴系数；

α ——与砌缝材料强度等级有关的系数；

β ——局部承压强度提高系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_B ——构件的长细比修正系数；

φ ——砌体偏心受压构件承载力影响系数，或混凝土弯曲平面内轴心受压构件弯曲系数；

μ_f ——摩擦系数。

3 材料

3.1 强度等级

3.1.1 石材、混凝土、砂浆的强度等级应按下列规定划分：

- 1 石材：MU120、MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30。
- 2 混凝土：C40、C35、C30、C25、C20。
- 3 砂浆：M20、M15、M10、M7.5。

条文说明

公路圬工桥涵的常用材料见表 3-1。与《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005) (以下简称《JTG D61—2005 规范》)相比，从圬工桥涵的结构安全耐久考虑，取消了 C15 混凝土和 M5 砂浆的规定；石材和砂浆的强度等级及其符号与现行《砌体结构设计规范》(GB 50003)的规定基本相同。

表 3-1 公路圬工桥涵的常用材料

结构类型	常用材料
砌体结构	砌块：细料石、粗料石、块石、片石等石材，预制混凝土块； 砌缝材料：水泥砂浆、小石子混凝土
现浇素混凝土结构	现浇片石(卵石)混凝土，素混凝土，配筋率不满足钢筋混凝土最小配筋率要求的混凝土

3.1.2 石材、混凝土、砂浆的强度等级应按下列规定确定：

- 1 石材的强度等级应按边长为 70mm 的标准立方体试件的抗压强度 (MPa) 确定；当采用非标准立方体试件时，应按本规范附录 A 的规定进行换算。
- 2 混凝土的强度等级应按边长为 150mm 的标准立方体试件的抗压强度 (MPa) 确定。
- 3 砂浆的强度等级应按边长为 70.7mm 的标准立方体试件的抗压强度 (MPa) 确定。

条文说明

石材强度等级根据现行《公路工程岩石试验规程》(JTG 3431) 的规定确定；砂浆强

度等级根据现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420)的规定确定;混凝土强度等级根据现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)的规定确定。

3.1.3 圬工桥涵构件的材料最低强度等级应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 圬工桥涵构件的材料最低强度等级

结构类别		石材	混凝土		砂浆	小石子混凝土
			现浇	预制块		
拱圈	大、中桥	MU50	C25	C30	M10	C20
	小桥、涵洞				M7.5	
墩台及基础	大、中桥	MU40	C25	C30	M7.5	C20
	小桥、涵洞	MU30	C20	C25		

注：1. 大、中、小桥及涵洞的划分应符合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)对单孔跨径的规定。
2. 涵洞中盖板用混凝土强度等级应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)对钢筋混凝土结构的有关规定。

3.1.4 石砌体应选用无明显风化的天然石材砌筑，其分类宜按本规范第 A.0.2 条的规定采用。混凝土预制块砌体各项规格、尺寸宜与细料石砌体一致。

3.2 设计指标

3.2.1 石材的强度设计值应按表 3.2.1 的规定采用。

表 3.2.1 石材的强度设计值(MPa)

强度类别	强度等级						
	MU120	MU100	MU80	MU60	MU50	MU40	MU30
轴心抗压 f_{cd}	11.78	26.49	21.19	15.89	13.24	10.59	7.95
弯曲抗拉 f_{tmd}	2.18	1.82	1.45	1.09	0.91	0.73	0.55

条文说明

《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)(以下简称《JTJ 022—85 规范》)规定石材的抗压极限强度为棱柱体的极限强度，其值取 200mm 立方体强度的 0.7 倍。本规范采用的试件尺寸为 70mm 立方体，需乘以 0.7 的石材强度等级换算系数(见表 A.0.1)。石材轴心抗压强度的分项系数为 1.85，石材轴心抗压强度设计值为：石材强度等级 $\times 0.7 \times 0.7 \times 1/1.85 = 0.265 \times$ 石材强度等级。《JTJ 022—85 规范》规定石材弯曲抗拉极限强度为其标号的 0.06 倍，弯曲抗拉强度的分项系数为 2.31，石材弯曲抗拉强度设计值为：石材强度等级 $\times 0.06 \times 0.7 \times 1/2.31 = 0.0182 \times$ 石材强度等级。

3.2.2 圬工桥涵用混凝土的强度设计值应按表 3.2.2 的规定采用。

表 3.2.2 圬工桥涵用混凝土的强度设计值(MPa)

强度类别	强度等级				
	C40	C35	C30	C25	C20
轴心抗压 f_{cd}	15.64	13.69	11.73	9.78	7.82
弯曲抗拉 f_{tmd}	1.24	1.14	1.04	0.92	0.80
直接抗剪 f_{vd}	2.48	2.28	2.09	1.85	1.59

条文说明

圬工桥涵用混凝土的轴心抗压强度设计值,按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)(以下简称《JTG 3362—2018 规范》)规定的混凝土轴心抗压强度设计值乘以 0.85。

圬工桥涵用混凝土的弯曲抗拉强度设计值,采用《JTG 3362—2018 规范》规定的混凝土轴心抗拉强度设计值乘以系数 0.5,再乘以受拉区塑性影响系数 γ 。 γ 值随截面不同而变,现取常用截面平均值 1.5。所以混凝土弯曲抗拉强度设计值为《JTG 3362—2018 规范》混凝土轴心抗拉强度设计值乘以 0.75($=0.5 \times 1.5$)。

根据 1975 年、1995 年和 1999 年的铁路规范,纯剪容许应力取容许弯曲抗拉应力的 2 倍,本规范混凝土直接抗剪强度设计值与弯曲抗拉强度设计值的比值仍沿用此值。

3.2.3 砂浆砌体的强度设计值应符合下列规定:

- 1 混凝土预制块砂浆砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} 应按表 3.2.3-1 的规定采用。

表 3.2.3-1 混凝土预制块砂浆砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} (MPa)

砌块强度等级	砂浆强度等级				砂浆强度
	M20	M15	M10	M7.5	0
C40	7.70	6.57	5.45	4.89	1.92
C35	7.20	6.15	5.10	4.57	1.80
C30	6.67	5.69	4.72	4.24	1.67
C25	6.08	5.20	4.31	3.87	1.52
C20	5.44	4.65	3.85	3.46	1.36

- 2 块石砂浆砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} 应按表 3.2.3-2 的规定采用。当砌块为粗料石时,在表 3.2.3-2 数值基础上乘以 1.2;当砌块为细料石时,在表 3.2.3-2 数值基础上乘以 1.4。

表 3.2.3-2 块石砂浆砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} (MPa)

砌块强度等级	砂浆强度等级				砂浆强度
	M20	M15	M10	M7.5	0
MU120	8.42	7.19	5.96	5.35	2.10
MU100	7.68	6.56	5.44	4.88	1.92
MU80	6.87	5.87	4.87	4.37	1.72
MU60	5.95	5.08	4.22	3.78	1.49
MU50	5.43	4.64	3.85	3.45	1.36
MU40	4.86	4.15	3.44	3.09	1.21
MU30	4.21	3.59	2.98	2.67	1.05

3 片石砂浆砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} 应按表 3.2.3-3 的规定采用。

表 3.2.3-3 片石砂浆砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} (MPa)

砌块强度等级	砂浆强度等级				砂浆强度
	M20	M15	M10	M7.5	0
MU120	1.97	1.68	1.39	1.25	0.33
MU100	1.80	1.54	1.27	1.14	0.30
MU80	1.61	1.37	1.14	1.02	0.27
MU60	1.39	1.19	0.99	0.88	0.23
MU50	1.27	1.09	0.90	0.81	0.21
MU40	1.14	0.97	0.81	0.72	0.19
MU30	0.98	0.84	0.70	0.63	0.16

4 砂浆砌体的轴心抗拉强度设计值 f_{td} 、弯曲抗拉强度设计值 f_{lmd} 和直接抗剪强度设计值 f_{vd} 应按表 3.2.3-4 的规定采用。

表 3.2.3-4 砂浆砌体的轴心抗拉、弯曲抗拉和直接抗剪强度设计值 (MPa)

强度类别	破坏特征	砌体种类	砂浆强度等级			
			M20	M15	M10	M7.5
轴心抗拉 f_{td}	齿缝	规则砌块砌体	0.104	0.090	0.073	0.063
		片石砌体	0.096	0.083	0.068	0.059
弯曲抗拉 f_{lmd}	齿缝	规则砌块砌体	0.122	0.105	0.086	0.074
		片石砌体	0.145	0.125	0.102	0.089
	通缝	规则砌块砌体	0.084	0.073	0.059	0.051
直接抗剪 f_{vd}	—	规则砌块砌体	0.104	0.090	0.073	0.063
		片石砌体	0.241	0.208	0.170	0.147

注：1. 砌体龄期为 28d。
2. 规则砌块砌体包括块石砌体、粗料石砌体、细料石砌体、混凝土预制块砌体。

5 施工阶段砂浆尚未硬化的新砌砌体的抗压强度可按砂浆强度为零时的设计值取用。

条文说明

砂浆砌体抗压强度设计值按照《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)(以下简称《GB 50003—2011 规范》)的取值原则,采用标准值除以材料分项系数 γ_f 得出。砌体的抗压强度采用根据范围较为广泛的系统试验归纳得出的经验公式进行计算。砌体的抗压强度平均值 f_m 、抗压强度标准值 f_k 、抗压强度设计值 f_d 的计算公式如下:

$$f_m = k_1 f_1^a (1 + 0.07 f_2) k_2 \quad (3-1)$$

$$f_k = (1 - 1.645 \delta_f) f_m \quad (3-2)$$

$$f_d = f_k / \gamma_f \quad (3-3)$$

式中: f_1 ——块体的强度(MPa);

f_2 ——砂浆的强度(MPa);

a ——与块体高度有关的参数,见表3-2;

k_1 ——随砌体中块体类别和砌筑方法而变化的参数,见表3-2;

k_2 ——低强度等级砂浆砌筑的砌体强度修正系数,见表3-2;

δ_f ——砌体强度变异系数;

γ_f ——砌体材料分项系数。

表3-2 砌体抗压强度平均值公式中的各系数

序号	砌体种类	k_1	a	k_2
1	块石(毛料石)	0.79	0.5	当 $f_2 < 1.0$ 时, $k_2 = 0.6 + 0.40 f_2$
2	片石(毛石)	0.22	0.5	当 $f_2 < 2.5$ 时, $k_2 = 0.4 + 0.24 f_2$

注:表中 k_2 在表列条件之外均等于1。

根据《砌体结构通用规范》(GB 55007—2021)(以下简称《GB 55007—2021 规范》)第3.4.1条,因水泥砂浆和易性、保水性较差,采用强度等级小于M5.0的水泥砂浆砌筑时,其砌体抗压强度设计值应乘以系数0.9,M5.0以上水泥砂浆可不调整。但考虑到砌体结构离散性较大以及桥梁与建筑运营环境的差异,仍沿用《JTG D61—2005 规范》的规定,统一乘以折减系数0.9,偏于安全。

1 混凝土强度等级采用《JTG 3362—2018 规范》规定,所以当用于本条条文说明的公式时,需换算为石材强度等级,例如, $C25 = MU1.28 \times 25 = MU32$,所以以 $f_1 = 32\text{MPa}$ 代入公式。混凝土预制块砌体,根据以往规范按细料石考虑,即以块石砌体抗压强度设计值乘以1.4;与《JTG D61—2005 规范》相比,细料石的抗压强度系数由1.5改为1.4,表中数值有所下降。

2 块石(毛料石)砌体抗压强度设计值参照《GB 55007—2021 规范》表2.0.3和《GB 50003—2011 规范》第4.1.5条,按施工质量控制等级为B级考虑,分别取变异系数 $\delta_f = 0.17$ 、材料分项系数 $\gamma_f = 1.6$ 。考虑水泥砂浆折减系数0.9,块石(毛料石)砌体

抗压强度设计值取为：

$$f_d = \frac{0.9f_k}{1.6} = f_m(1 - 1.645\delta_f) \times \frac{0.9}{1.6} = 0.405 2f_m \quad (3-4)$$

3 片石(毛石)砌体抗压强度设计值参照《GB 55007—2021 规范》表 2.0.3 和《GB 50003—2011 规范》第 4.1.5 条,按施工质量控制等级为 B 级考虑,分别取变异系数 δ_f 为 0.24、材料分项系数为 1.6。考虑水泥砂浆折减系数 0.9,片石(毛石)砌体抗压强度设计值取为：

$$f_d = \frac{0.9f_k}{1.6} = f_m(1 - 1.645\delta_f) \times \frac{0.9}{1.6} = 0.340 4f_m \quad (3-5)$$

4 砌体的抗压性能远比抗拉、抗弯和抗剪性能好,所以通常砌体结构都用于受压构件,但在公路工程中也有像挡土墙和轻型桥台等受拉、受弯、受剪的情况,所以本规范仍列出上述各项指标。根据《GB 55007—2021 规范》表 2.0.3,规则块材砌体(包括混凝土预制块、块石砌体)的拉、弯、剪的变异系数取为 $\delta_f = 0.2$,片石(毛石)砌体的变异系数取为 $\delta_f = 0.26$ 。这样可以通过如下砌体的平均强度计算公式得出各类砌体拉、弯、剪的强度标准值和设计值。

各类砌体轴心抗拉强度平均值 f_{tm} ：

$$f_{tm} = k_3 \sqrt{f_2} \quad (3-6)$$

各类砌体弯曲抗拉强度平均值 f_{tmm} ：

$$f_{tmm} = k_4 \sqrt{f_2} \quad (3-7)$$

各类砌体抗剪强度平均值 f_{vm} ：

$$f_{vm} = k_5 \sqrt{f_2} \quad (3-8)$$

式中： k_3 、 k_4 、 k_5 ——计算系数，见表 3-3。

表 3-3 砌体轴心抗拉、弯曲抗拉、直接抗剪强度平均值(MPa)及计算系数

砌体种类	$f_{tm} = k_3 \sqrt{f_2}$	$f_{tmm} = k_4 \sqrt{f_2}$		$f_{vm} = k_5 \sqrt{f_2}$
	k_3	k_4		k_5
		沿齿缝	沿通缝	
规则块材砌体	0.069	0.081	0.056	0.069
片石砌体	0.075	0.113	—	0.188

规则块材砌体：

$$f_k = (1 - 1.645\delta_f)f_m = (1 - 1.645 \times 0.2)k \sqrt{f_2} = 0.671k \sqrt{f_2} \quad (3-9)$$

片石砌体：

$$f_k = (1 - 1.645\delta_f)f_m = (1 - 1.645 \times 0.26)k \sqrt{f_2} = 0.572k \sqrt{f_2} \quad (3-10)$$

根据《GB 55007—2021 规范》第 3.4.1 条,采用强度等级小于 M5.0 的水泥砂浆砌筑时,其砌体抗拉强度设计值和抗剪强度设计值应乘以系数 0.8, M5.0 以上水泥砂浆可不调整。同样出于安全考虑,本次修订仍保留 0.8 的折减系数。

采用的材料分项系数为 1.6,考虑水泥砂浆折减系数 0.8,规则块材砌体和片石砌

体轴心抗拉、弯曲抗拉、直接抗剪强度设计值为：

规则块材砌体：

$$f_d = \frac{0.8}{1.6} f_k = 0.335 5k \sqrt{f_2} \quad (3-11)$$

片石砌体：

$$f_d = \frac{0.8}{1.6} f_k = 0.286 2k \sqrt{f_2} \quad (3-12)$$

式中： f_m ——概括代表砌体抗拉、拉弯、抗剪强度平均值；

f_k ——概括代表砌体抗拉、拉弯、抗剪强度标准值；

f_d ——概括代表砌体抗拉、拉弯、抗剪强度设计值；

k ——概括代表 k_3 、 k_4 、 k_5 ，视相关荷载效应采用。

砌体拉、弯、剪破坏基本形式为：

(1) 砌体受拉时有三种破坏形式：沿齿缝，沿块体和竖向灰缝，沿水平通缝。其中前两种受力情况类同，仅破坏形式不一，砌体抗拉强度设计值取两者较小者，在规范内则称“齿缝”。水平通缝虽有一定的黏结力，但很不稳定、可靠，所以本规范不列入其抗拉强度设计值，也不允许在设计中出现通缝受拉。

(2) 砌体受弯拉时有三种破坏形式：砌体在竖向受弯时，水平通缝截面受拉破坏，如轻型桥台受台背土压力和上部结构偏心压力，使轻型桥台前面水平通缝受拉[图 3-1 a)]；砌体在水平方向受弯时，有沿齿缝破坏和沿块体及竖向灰缝破坏两种，其受力情况类同，但破坏形式不一，砌体抗拉强度设计值取两者较小者，在规范内则称“齿缝”，如后肋式挡土墙的挡土面板，即为水平方向受弯[图 3-1b)]。

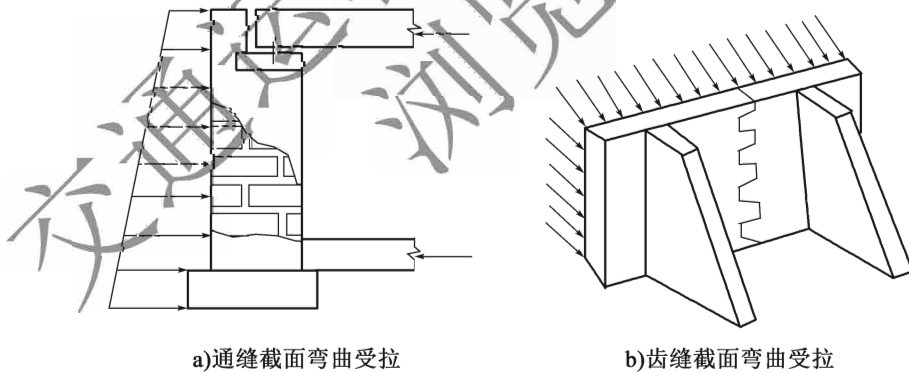


图 3-1 砌体弯拉破坏形式

(3) 砌体受剪时有三种破坏形式：通缝抗剪、齿缝抗剪和阶梯形抗剪。根据试验，上述三种破坏形式的抗剪强度基本一样，所以本规范“直接抗剪”不再分述破坏特征。

3.2.4 小石子混凝土砌块石、片石砌体的强度设计值应分别按表 3.2.4-1 ~ 表 3.2.4-3 的规定采用，并应符合下列规定：

1 对轴心抗压强度设计值，当砌块为粗料石时，在表 3.2.4-1 数值基础上乘以 1.2；当砌块为细料石时，在表 3.2.4-1 数值基础上乘以 1.4。

2 对轴心抗拉、弯曲抗拉和直接抗剪强度设计值,当砌块为粗料石时,在表 3.2.4-3 数值基础上乘以 0.7;当砌块为细料石时,在表 3.2.4-3 数值基础上乘以 0.35。

表 3.2.4-1 小石子混凝土砌块石砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} (MPa)

石材强度等级	小石子混凝土强度等级				
	C40	C35	C30	C25	C20
MU120	13.86	12.69	11.49	10.25	8.95
MU100	12.65	11.59	10.49	9.35	8.17
MU80	11.32	10.36	9.38	8.37	7.31
MU60	9.80	8.98	8.12	7.24	6.33
MU50	8.95	8.19	7.42	6.61	5.78
MU40	—	—	6.63	5.92	5.17
MU30	—	—	—	—	4.48

表 3.2.4-2 小石子混凝土砌片石砌体的轴心抗压强度设计值 f_{cd} (MPa)

石材强度等级	小石子混凝土强度等级		
	C30	C25	C20
MU120	6.94	6.51	5.99
MU100	5.30	5.00	4.63
MU80	3.94	3.74	3.49
MU60	3.23	3.09	2.91
MU50	2.88	2.77	2.62
MU40	2.50	2.42	2.31
MU30	—	—	1.95

表 3.2.4-3 小石子混凝土砌块石、片石砌体的轴心抗拉、弯曲抗拉和直接抗剪强度设计值 (MPa)

强度类别	破坏特征	砌体种类	小石子混凝土强度等级				
			C40	C35	C30	C25	C20
轴心抗拉 f_{td}	齿缝	块石砌体	0.285	0.267	0.247	0.226	0.202
		片石砌体	0.425	0.398	0.368	0.336	0.301
弯曲抗拉 f_{tmd}	齿缝	块石砌体	0.335	0.313	0.290	0.265	0.237
		片石砌体	0.493	0.461	0.427	0.387	0.349
	通缝	块石砌体	0.232	0.217	0.201	0.183	0.164
直接抗剪 f_{vd}	—	块石砌体	0.285	0.267	0.247	0.226	0.202
		片石砌体	0.425	0.398	0.368	0.336	0.301

条文说明

有关公式和数据说明如下:

(1) 小石子混凝土砌块石砌体的抗压强度标准值, 按下列公式计算:

$$f_{ck} = [0.45k_1k_2f_1^{0.5}(1+0.26f_2^{0.8})](1-1.645\delta) \quad (3-13)$$

式中: f_{ck} ——砌体抗压强度标准值(MPa);

k_1 ——砌块规格系数, 块石为 1.0, 粗料石为 1.2, 细料石为 1.4;

k_2 ——砌体岩性系数, 脆性破坏岩石为 1.0, 塑性破坏岩石为 1.5, 本规范表 3.2.4-1 按脆性破坏岩石确定;

δ ——变异系数, 取 0.15;

f_1 ——石材强度等级(MPa);

f_2 ——小石子混凝土强度等级(MPa)。

设计值为标准值除以材料分项系数 1.6, 即块石砌体抗压强度设计值为:

$$\begin{aligned} f_{cd} &= [0.45k_1k_2f_1^{0.5}(1+0.26f_2^{0.8})] \times (1-1.645\delta) \times \frac{1}{1.6} \\ &= 0.21185f_1^{0.5}(1+0.26f_2^{0.8}) \end{aligned} \quad (3-14)$$

(2) 小石子混凝土砌块石砌体的直接抗剪强度标准值, 按下列公式计算:

$$f_{vk} = k\sqrt{f_2}(1-1.645\delta) \quad (3-15)$$

式中: f_{vk} ——砌体直接抗剪强度标准值(MPa);

k ——与砌块规格有关的系数, 取 0.098;

δ ——变异系数, 取 0.16;

f_2 ——小石子混凝土强度等级(MPa)。

小石子混凝土砌块石砌体直接抗剪强度设计值为其标准值除以材料分项系数 $\gamma_f = 1.6$, 即块石砌体直接抗剪强度设计值为:

$$f_{vd} = 0.098\sqrt{f_2}(1-1.645 \times 0.16) \times \frac{1}{1.6} = 0.045129\sqrt{f_2} \quad (3-16)$$

按表 3-3, 砂浆砌块石砌体 $k_3 = k_5$, 即砂浆砌块石砌体轴心抗拉与直接抗剪同值; 弯拉(沿齿缝)/直接抗剪 = $k_4/k_5 = 0.081/0.069 = 1.174$, 弯拉(沿通缝)/直接抗剪 = $k_4/k_5 = 0.056/0.069 = 0.8116$, 现移用于小石子混凝土砌块石砌体, 则其弯拉(沿齿缝)设计值和弯拉(沿通缝)设计值分别为块石砌体直接抗剪设计值的 1.174 倍和 0.8116 倍。

(3) 小石子混凝土砌片石砌体的抗压强度, 仍沿用以往规范采用的 1964 年 11 月四川省交通厅公路勘察设计院《小石子混凝土砌体试验研究》推荐的抗压极限强度公式, 其设计值为抗压极限强度除以《JTJ 022—85 规范》砌体安全系数 γ_m (相当于现材料分项系数 γ_f) = 2.31。

小石子混凝土砌片石砌体抗压极限强度公式为:

$$R_a = \beta A R_1 \left(1 - \frac{0.14}{0.16 + \frac{R_2}{2R_1}} \right)$$

(3-17)

$$A = \frac{10 + R_1}{10 + nR_1}$$

(3-18)

式中： R_a ——轴心抗压极限强度(MPa)；
 β ——片石折减系数，取0.8；
 R_1 ——石材标号；
 R_2 ——混凝土强度标号；
 n ——系数，视石材标号而定，见表3-4。

表 3-4 n 值

石材标号	≤50	60	80	100
片石砌体 n 值	3.9	3.7	2.7	2.7

以上公式和表均适用于200mm立方体石材试件，标号以试件强度表示。如采用70mm立方体试件，等级以试件强度表示，则等级应乘以0.7换算为标号。如120级石材，以标号84按上述公式计算其轴心抗压极限强度值。现在混凝土采用强度等级，将其换算为标号按上述公式计算，其相互关系为C30 = #32，C25 = #27，C20 = #22。

小石子混凝土砌片石砌体的直接抗剪、轴心抗拉、弯曲抗拉强度设计值(均为齿缝)，根据长安大学公路学院提供的公式确定： $f_{vd} = \frac{1}{1.6} \times 0.188 \sqrt{f_2} (1 - 1.645 \times 0.26)$ ；
 $f_{ld} = f_{vd}$ ； $f_{lmd} = 1.16 f_{vd}$ 。

3.2.5 混凝土和砌体的受压弹性模量、线膨胀系数、收缩率和摩擦系数，应分别按表3.2.5-1～表3.2.5-4的规定采用。混凝土和砌体的剪切模量 G_c 和 G_m 应分别取其受压弹性模量的0.4倍。

表 3.2.5-1 混凝土的受压弹性模量 E_c (MPa)

混凝土强度等级	C40	C35	C30	C25	C20
弹性模量 E_c	3.25×10^4	3.15×10^4	3.00×10^4	2.80×10^4	2.55×10^4

表 3.2.5-2 砌体的受压弹性模量 E_m (MPa)

砌体种类	砂浆强度等级			
	M20	M15	M10	M7.5
混凝土预制块砌体	$1\,700f_{cd}$	$1\,700f_{cd}$	$1\,700f_{cd}$	$1\,600f_{cd}$
粗料石、块石及片石砌体	7 300	7 300	7 300	5 650
细料石砌体	22 000	22 000	22 000	17 000
小石子混凝土砌体	$2\,100f_{cd}$			

注： f_{cd} 为砌体轴心抗压强度设计值。

表 3.2.5-3 混凝土、砌体的线膨胀系数和收缩率

种类	线膨胀系数($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	收缩率(mm/m)
混凝土	10	—
混凝土预制块砌体	9	-0.2
细料石、粗料石、块石、片石砌体	8	—

注：1. 砌体的收缩率指由达到收缩允许标准的块体砌筑 28d 的砌体的收缩系数，亦可采用当地可靠的试验数据。
2. 混凝土的收缩率可按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)规定的混凝土收缩应变变计算。

表 3.2.5-4 砌体的摩擦系数 μ_t

材料种类	摩擦面情况	
	干燥	潮湿
砌体沿砌体或混凝土滑动	0.70	0.60
砌体沿木材滑动	0.60	0.50
砌体沿钢滑动	0.45	0.35
砌体沿砂或卵石滑动	0.60	0.50
砌体沿粉土滑动	0.55	0.40
砌体沿黏性土滑动	0.50	0.30

3.2.6 片石混凝土应符合下列规定：

- 1 片石掺量不应多于其体积的 20%，片石厚度宜为 150 ~ 300mm。
- 2 片石强度等级应高于混凝土强度等级和本规范第 3.1.3 条规定的石材最低强度等级。
- 3 片石混凝土的各项强度、弹性模量和剪切模量可按同强度等级的混凝土采用。当强度等级高于 C30 时，不宜选用片石混凝土。

条文说明

这里的片石混凝土是指在混凝土中掺入片石后进行浇筑，一般用于重力式墩台、实腹式拱桥填料等填心部位。片石选用质地坚硬、密实、耐久、无裂纹和无风化的石料，质量要求参照现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG 3650)的规定。近年来，贵州等地优化了片石混凝土结构的建造方法，采用先干砌片石、再浇筑自密实混凝土形成整体结构的工艺，并取得了较好的效果。

3.2.7 小石子混凝土中的粗集料粒径可根据砌缝宽度调整，但不宜大于 20mm。

条文说明

本条参照现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG 3650)的规定。

4 基本规定

4.1 计算

4.1.1 公路圬工桥涵结构按承载能力极限状态计算时,应采用下列表达式:

$$\gamma_0 S \leq R(f_d, a_d) \quad (4.1.1)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,按现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的规定,一级、二级、三级设计安全等级分别取用1.1、1.0、0.9;

S ——作用组合的效应设计值,按现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的规定计算;

$R(\cdot)$ ——构件承载力设计值函数;

f_d ——材料强度设计值;

a_d ——几何参数设计值,可采用几何参数标准值 a_k ,即设计文件规定值。

4.1.2 砌体(包括砌体与混凝土组合截面)受压构件,在本规范表4.1.6规定的受压偏心距限值范围内的承载力应按式(4.1.2)验算:

$$\gamma_0 N_d < \varphi A f_{cd} \quad (4.1.2)$$

式中: N_d ——轴向力设计值;

A ——构件截面面积,组合截面按强度比换算,即 $A = A_0 + \eta_1 A_1 + \eta_2 A_2 + \cdots$, A_0 为标准层截面面积, A_1 、 $A_2 \cdots$ 为其他层截面面积, $\eta_1 = f_{cd1}/f_{cd0}$ 、 $\eta_2 = f_{cd2}/f_{cd0} \cdots$, f_{cd0} 为标准层轴心抗压强度设计值, f_{cd1} 、 $f_{cd2} \cdots$ 为其他层轴心抗压强度设计值;

f_{cd} ——砌体或混凝土轴心抗压强度设计值,应按本规范第3.2.2~3.2.4条的规定采用;对于组合截面,应采用标准层轴心抗压强度设计值;

φ ——砌体偏心受压构件承载力影响系数,按本规范第4.1.3条的规定计算。

条文说明

本条计算公式适用于砌体轴心受压和偏心受压构件。其中, φ 值既考虑了偏心影响,也考虑了构件的长细比影响。

4.1.3 砌体偏心受压构件承载力影响系数 φ 可按式(4.1.3-1) ~ 式(4.1.3-3)计算:

$$\varphi = \frac{1}{\frac{1}{\varphi_x} + \frac{1}{\varphi_y} - 1} \quad (4.1.3-1)$$

$$\varphi_x = \frac{1 - \left(\frac{e_x}{x}\right)^m}{1 + \left(\frac{e_x}{i_y}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 + \alpha\beta_x(\beta_x - 3) \left[1 + 1.33 \left(\frac{e_x}{i_y}\right)^2\right]} \quad (4.1.3-2)$$

$$\varphi_y = \frac{1 - \left(\frac{e_y}{y}\right)^m}{1 + \left(\frac{e_y}{i_x}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 + \alpha\beta_y(\beta_y - 3) \left[1 + 1.33 \left(\frac{e_y}{i_x}\right)^2\right]} \quad (4.1.3-3)$$

式中: φ_x 、 φ_y ——分别为 x 方向和 y 方向偏心受压构件承载力影响系数;

x 、 y ——分别为 x 方向、 y 方向截面重心至偏心方向的截面边缘的距离, 如图 4.1.3 所示;

e_x 、 e_y ——轴向力在 x 方向、 y 方向的偏心距, $e_x = M_{yd}/N_d$ 、 $e_y = M_{xd}/N_d$, 其值不应超过本规范表 4.1.6 及图 4.1.6 所示 x 方向、 y 方向的规定值, 其中 M_{yd} 、 M_{xd} 分别为绕 x 轴、 y 轴的弯矩设计值, N_d 为轴向力设计值, 如图 4.1.3 所示;

m ——截面形状系数, 圆形截面取 2.5, T 形或 U 形截面取 3.5, 箱形截面、矩形截面及两端设有曲线形或圆弧形的矩形墩身截面取 8.0;

i_x 、 i_y ——弯曲平面内的截面回转半径, $i_x = \sqrt{I_x/A}$ 、 $i_y = \sqrt{I_y/A}$, I_x 、 I_y 分别为截面绕 x 轴和绕 y 轴的惯性矩, A 为截面面积; 对于组合截面, A 、 I_x 、 I_y 应按弹性模量比换算, 即 $A = A_0 + \psi_1 A_1 + \psi_2 A_2 + \dots$, $I_x = I_{x0} + \psi_1 I_{x1} + \psi_2 I_{x2} + \dots$, $I_y = I_{y0} + \psi_1 I_{y1} + \psi_2 I_{y2} + \dots$, A_0 为标准层截面面积, A_1 、 $A_2 \dots$ 为其他层截面面积, I_{x0} 、 I_{y0} 为标准层绕 x 轴和绕 y 轴的惯性矩, I_{x1} 、 $I_{x2} \dots$ 和 I_{y1} 、 $I_{y2} \dots$ 为其他层绕 x 轴和绕 y 轴的惯性矩; $\psi_1 = E_1/E_0$ 、 $\psi_2 = E_2/E_0 \dots$, E_0 为标准层弹性模量, E_1 、 $E_2 \dots$ 为其他层的弹性模量; 对于矩形截面, $i_y = b/\sqrt{12}$ 、 $i_x = h/\sqrt{12}$, b 、 h 如图 4.1.3 所示;

α ——与砌缝材料强度等级有关的系数; 对于砌缝材料采用砂浆和小石子混凝土的砌体, 或采用组合截面的构件, $\alpha = 0.002$; 对于砂浆强度为 0 的砌体, $\alpha = 0.013$;

β_x 、 β_y ——构件在 x 方向、 y 方向的长细比, 按本规范第 4.1.4 条的规定计算, 当 β_x 、 β_y 小于 3 时取 3。

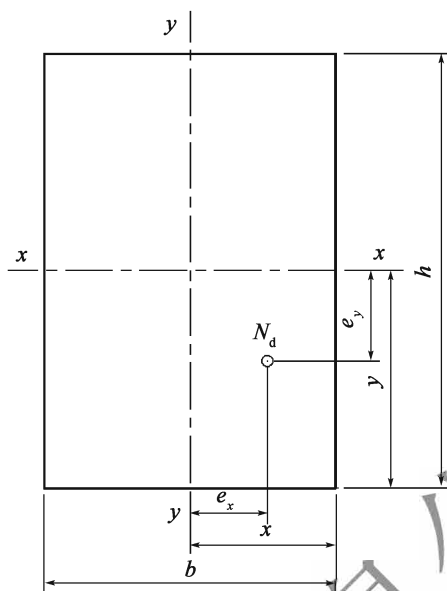


图 4.1.3 砌体偏心受压构件

条文说明

本条式(4.1.3-1)沿用《JTG D61—2005 规范》的规定,该公式由长安大学公路学院根据尼克勤(N. V. Nikitin)对混凝土构件提出的半经验半理论公式整理转换后确定(参见论文《无筋砌体双向偏心受压构件承载力计算》,长安大学学报 2005 年 1 期)。尼克勤公式见式(4-1):

$$N_d \leq \frac{1}{\frac{1}{N_{uxd}} + \frac{1}{N_{uyd}} - \frac{1}{N_{uod}}} \quad (4-1)$$

式中: N_d ——构件轴向力设计值;

N_{uxd} 、 N_{uyd} ——分别为轴向力作用于 x 轴、 y 轴,考虑相应承载力影响系数 φ (偏心影响系数和长细比影响系数)后的偏心受压承载力设计值; $N_{uxd} = \varphi_x A f_{cd}$, $N_{uyd} = \varphi_y A f_{cd}$, 其中 A 为构件截面面积, f_{cd} 为抗压强度设计值;

N_{uod} ——不计长细比影响的轴心受压承载力设计值, $N_{uod} = A f_{cd}$ 。

把 N_{uxd} 、 N_{uyd} 和 N_{uod} 代入式(4-1), 分子、分母分别乘以 $A f_{cd}$, 便得式(4-2):

$$N_d \leq \frac{A f_{cd}}{\frac{1}{\varphi_x} + \frac{1}{\varphi_y} - 1} \quad (4-2)$$

式(4-2)中, $\frac{N_d}{A f_{cd}} = \varphi$, 即式(4.1.3-1)。

本条式(4.1.3-2)或式(4.1.3-3)内, 等号右边第一项是砌体偏心受压影响系数。建

筑行业对于矩形截面构件，其原公式见式(4-3)：

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{e}{i}\right)^2} \quad (4-3)$$

为了适用于公路桥梁构件截面边界条件，将分子项改为 $1 - (e/y)^m$ ，即为《JTJ 022—85 规范》中的式(3.0.2-2)。

4.1.4 计算砌体偏心受压构件承载力影响系数 φ 时，构件长细比 β_x 、 β_y 可按式(4.1.4-1)、式(4.1.4-2)计算：

$$\beta_x = \frac{\gamma_\beta l_0}{3.5 i_y} \quad (4.1.4-1)$$

$$\beta_y = \frac{\gamma_\beta l_0}{3.5 i_x} \quad (4.1.4-2)$$

式中： γ_β ——不同砌体材料构件的长细比修正系数，按表4.1.4-1采用；

l_0 ——构件计算长度，按表4.1.4-2采用；拱的纵、横向计算长度按本规范第5.2.8条的规定确定。

表 4.1.4-1 长细比修正系数 γ_β

砌体材料类别	γ_β
混凝土预制块砌体或组合截面构件	1.0
细料石砌体	1.1
粗料石、块石、片石砌体	1.3

表 4.1.4-2 构件计算长度 l_0

直杆构件及其两端约束情况	l_0
两端固结	$0.5l$
一端固结、一端为不移动的铰	$0.7l$
两端均为不移动的铰	$1.0l$
一端固定，一端自由	$2.0l$

注： l 为构件支点间长度。

条文说明

本条参照《GB 50003—2011 规范》第5.1.2条。当构件为等截面时，截面回转半径 i_x 、 i_y 与本规范第4.1.3条一致；当构件为变截面时，采用等代截面的回转半径。对变截面拱圈，按照本规范第5.2.8条的条文说明确定；对截面变化不大的圬工桥墩，采用平均截面的回转半径。

4.1.5 现浇素混凝土偏心受压构件，在本规范表 4.1.6 规定的受压偏心距限值范围内的承载力应符合下列规定：

1 假定受压区的法向应力图形为矩形，其应力应取混凝土抗压强度设计值，受压区面积 A_c 应按轴向力作用点与受压区法向应力的合力作用点相重合的原则确定，如图 4.1.5 所示。受压承载力可按式(4.1.5-1)验算：

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi f_{cd} A_c \quad (4.1.5-1)$$

2 对于单向偏心受压构件，受压区高度 h_c [图 4.1.5a)]应按式(4.1.5-2)确定，矩形截面的受压承载力可按式(4.1.5-3)验算；当构件弯曲平面外长细比大于弯曲平面内长细比时，尚应按轴心受压构件验算其承载力。

$$e_c = e \quad (4.1.5-2)$$

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi f_{cd} b (h - 2e) \quad (4.1.5-3)$$

式中： N_d ——轴向力设计值；

φ ——弯曲平面内轴心受压构件弯曲系数，按表 4.1.5 采用；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值，按表 3.2.2 采用；

A_c ——混凝土受压区面积；

e_c ——受压区混凝土法向应力合力作用点至截面重心的距离；

e ——轴向力的偏心距；

b ——矩形截面宽度；

h ——矩形截面高度。

表 4.1.5 混凝土轴心受压构件弯曲系数

l_0/b	<4	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
l_0/i	<14	14	21	28	35	42	49	56	63	70	76	83	90	97	104
φ	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72	0.68	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.44

注：1. l_0 为计算长度，按表 4.1.4-2 采用。

2. i 为截面回转半径。

3. 计算 l_0/b 或 l_0/i 时， b 或 i 的取值：对于单向偏心受压构件，取弯曲平面内截面高度或回转半径；对于轴心受压构件及双向偏心受压构件，取截面短边尺寸或截面最小回转半径。

3 对于双向偏心受压构件，受压区高度和宽度[图 4.1.5b)]应按式(4.1.5-4)和式(4.1.5-5)确定，矩形截面的偏心受压承载力可按式(4.1.5-6)验算：

$$e_{cy} = e_y \quad (4.1.5-4)$$

$$e_{cx} = e_x \quad (4.1.5-5)$$

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi f_{cd} (h - 2e_y) (b - 2e_x) \quad (4.1.5-6)$$

式中： φ ——轴心受压构件弯曲系数，按表 4.1.5 确定；

e_{cy} ——受压区混凝土法向应力合力作用点在 y 轴方向至截面重心距离；
 e_{cx} ——受压区混凝土法向应力合力作用点在 x 轴方向至截面重心距离；
 e_y ——轴向力在 y 轴方向的偏心距；
 e_x ——轴向力在 x 轴方向的偏心距。

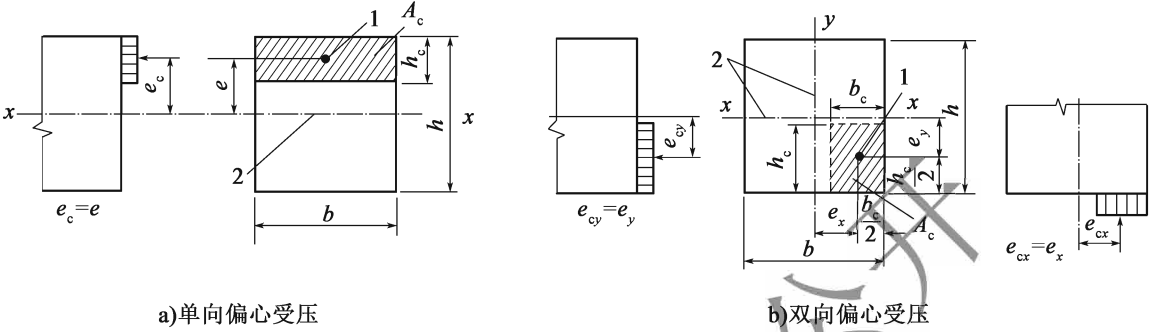


图 4.1.5 现浇素混凝土偏心受压构件

1-受压区重心，即法向压应力合力作用点；2-截面重心轴； h_c 、 b_c 矩形截面受压区高度、宽度

条文说明

现浇素混凝土构件和砌体构件的偏心受压承载力计算，如按弹性状态，两者可采用同一计算方法。如果进入塑性状态，两者并不一致。砌体是由砌块用砂浆衬垫黏结而成；现浇素混凝土则相对较为匀质，其整体性较好。所以在塑性状态，砌体的承载力计算公式不适用于混凝土结构。根据试验分析，偏心受压混凝土构件进入塑性状态，可以认为受压区的法向应力图形为矩形，受压应力的合力点与轴向力作用点重合。因此，可以根据受压区面积重心离截面重心轴的距离为 $e_c = e$ 得到受压区面积。1975 年版《公路桥涵设计规范》附录 3-2(三)、苏联《铁路、公路、城市道路桥涵设计规范》(CH 200-62)第 566 条、《混凝土结构设计标准(2024 年版)》(GB/T 50010—2010)第 D.2.1 条，都采用这种方法。可见，这个方法在国内外均用于混凝土偏心受压构件进入塑性状态的强度计算。

4.1.6 砌体和现浇素混凝土的单向和双向偏心受压构件的受压偏心距 e 限值应按表 4.1.6 取值；当受拉一边设置不小于截面面积 0.05% 的纵向钢筋时，混凝土结构单向或双向偏心受压构件的受压偏心距限值可按表内规定值增加 0.1s。

表 4.1.6 受压构件的受压偏心距限值

作用组合	偏心距 e 限值	作用组合	偏心距 e 限值
基本组合	$\leq 0.6s$	偶然组合	$\leq 0.7s$

注：表中 s 值为截面或换算截面重心至偏心方向截面边缘的距离，如图 4.1.6 所示。

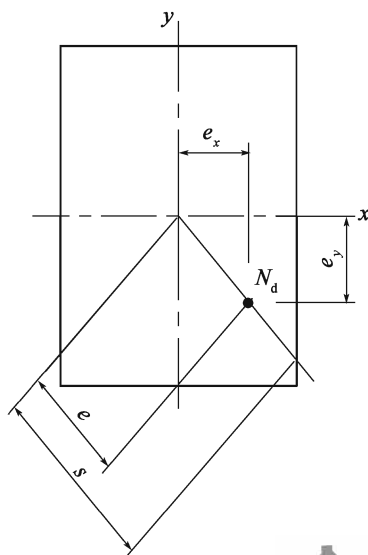


图 4.1.6 受压构件的受压偏心距

条文说明

偏心距限值的确定是按照承载能力极限状态考虑的。当偏心距较小时，由于圬工结构的弹塑性性能，截面应力呈曲线分布，但全截面受压。随着偏心距逐渐增大，截面上离轴向力较远一侧边缘的压应力减小，并由受压逐步过渡到受拉；在近轴向力侧边缘，压应力则有所提高；当受拉边缘的应力大于圬工材料的弯曲抗拉强度时，将产生裂缝。随着裂缝的开展，受压面积逐渐减小，荷载对实际受压面积的偏心距也逐渐减小，使该受压部分具有局部受压性质，此时承载力有所提高。《GB 50003—2011 规范》第 5.1.5 条规定轴向力偏心距不应超过 $0.6y$ (y 为单向偏心时截面重心至偏心方向截面边缘距离，下同)。

圬工结构容许出现裂缝，但裂缝宽度需要予以控制。正常使用极限状态采用荷载标准值，其值约为极限荷载的 0.5~0.6 倍。所以，可以将极限荷载的 0.5~0.6 倍时出现裂缝的偏心距作为偏心距的限值。原西南建筑研究所在 20 世纪 70 年代的砖砌体试验结果显示，当 $e \geq 0.7y$ 时，加载至 0.7 倍极限荷载出现裂缝；原第三铁路设计院的混凝土矩形截面试验结果显示，当 $e = 0.6y$ 时，加载至 0.565 倍极限荷载出现裂缝。

从结构的抗倾覆稳定安全系数 $K = y/e$ 来分析，根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019) 第 5.4.3 条的规定，使用阶段 $K \geq 1.3 \sim 1.5$ ，对应于 $e \leq 0.67y \sim 0.77y$ ，施工阶段 $K \geq 1.2$ ，对应于 $e \leq 0.85y$ 。

从抗压强度、裂缝、稳定三个方面综合考虑，确定了表 4.1.6 的偏心距限值。

4.1.7 当轴向力的偏心距 e 大于本规范表 4.1.6 规定的偏心距限值时，构件承载力应按式(4.1.7-1)、式(4.1.7-2)验算。

单向偏心：

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi \frac{A f_{\text{tmd}}}{\frac{Ae}{W} - 1} \quad (4.1.7-1)$$

双向偏心：

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi \frac{A f_{\text{tmd}}}{\frac{Ae_x}{W_y} + \frac{Ae_y}{W_x} - 1} \quad (4.1.7-2)$$

式中： N_d ——轴向力设计值；

A ——构件截面面积，组合截面应按弹性模量比换算为换算截面面积；

W ——单向偏心时，构件受拉边缘的弹性抵抗矩，组合截面应按弹性模量比换算为换算截面弹性抵抗矩，可按本规范第4.1.3条的规定计算；

W_y 、 W_x ——双向偏心时，构件 x 方向受拉边缘绕 y 轴的截面弹性抵抗矩和构件 y 方向受拉边缘绕 x 轴的截面弹性抵抗矩，组合截面应按弹性模量比换算为换算截面弹性抵抗矩，可按本规范第4.1.3条的规定计算；

f_{tmd} ——构件受拉边缘材料的弯曲抗拉强度设计值，按本规范表3.2.2、表3.2.3-4和表3.2.4-3的规定采用；

e ——轴向力偏心距；

e_x 、 e_y ——双向偏心时，轴向力在 x 方向和 y 方向的偏心距；

φ ——砌体偏心受压构件承载力影响系数或混凝土弯曲平面内轴心受压构件弯曲系数，按本规范第4.1.3条和第4.1.5条的规定确定。

条文说明

当构件截面的轴向力比较小而偏心距 e 超过了本规范表4.1.6规定的限值时，截面受拉边承受的拉应力有可能小于弯曲抗拉强度设计值。在这种情况下，按本条规定进行设计，理论上结构将不会出现开裂，也不需要通过限制偏心距来控制结构裂缝。

4.1.8 混凝土局部承压的承载力应按式(4.1.8-1)、式(4.1.8-2)验算：

$$\gamma_0 N_d \leq 0.9 \beta A_l f_{\text{cd}} \quad (4.1.8-1)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} \quad (4.1.8-2)$$

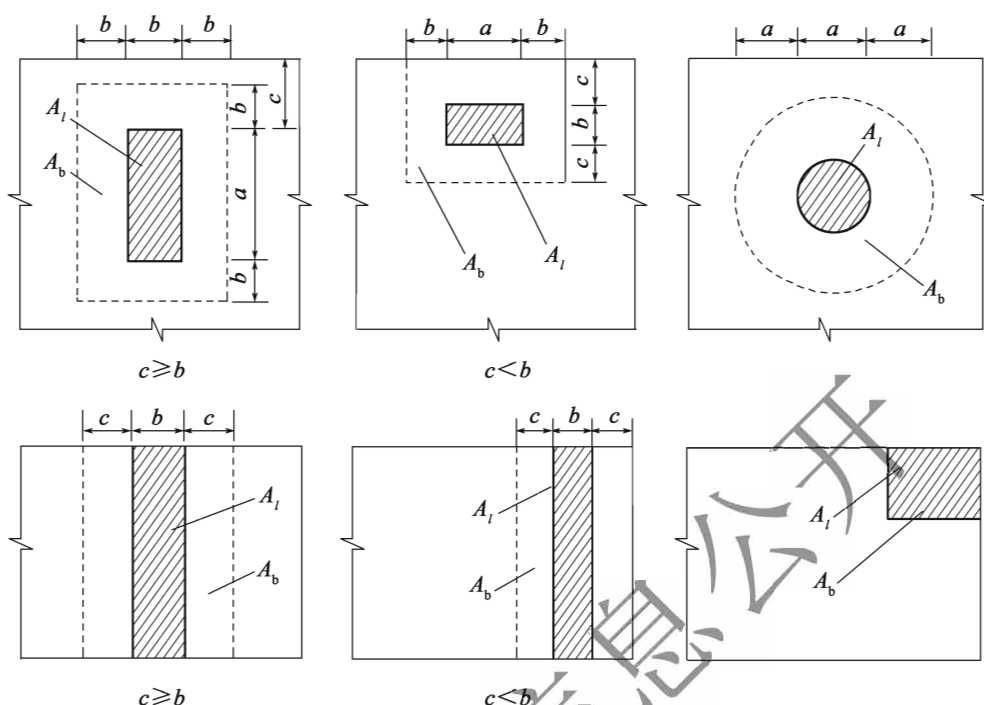
式中： N_d ——局部承压面积上的轴向力设计值；

β ——局部承压强度提高系数；

A_l ——局部承压面积；

A_b ——局部承压计算底面积，根据底面积重心与局部承压面积重心相重合的原则，按图4.1.8确定；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值，按本规范表3.2.2采用。

图 4.1.8 局部承压计算底面积 A_b

条文说明

本条用于混凝土截面局部承压验算。式(4.1.8-1)与《JTG 3362—2018 规范》式(5.7.1-1)基本一致,其中乘以0.9是为了适当提高混凝土结构的安全度;《混凝土结构设计标准(2024年版)》(GB/T 50010—2010)附录D第D.5.1条也有类似考虑。

4.1.9 受弯构件的正截面承载力应按式(4.1.9)验算:

$$\gamma_0 M_d \leq W f_{tmd} \quad (4.1.9)$$

式中: M_d ——弯矩设计值;

W ——截面受拉边缘的弹性抵抗矩,组合截面应按弹性模量比换算为换算截面受拉边缘弹性抵抗矩;

f_{tmd} ——构件受拉边缘材料的弯曲抗拉强度设计值,按本规范表3.2.1、表3.2.2、表3.2.3-4和表3.2.4-3采用。

4.1.10 直接受剪的砌体构件或混凝土构件抗剪承载力应按式(4.1.10)验算:

$$\gamma_0 V_d \leq A f_{vd} + \frac{1}{1.4} \mu_f N_k \quad (4.1.10)$$

式中: V_d ——剪力设计值;

A ——受剪截面面积;

f_{vd} ——砌体或混凝土直接抗剪强度设计值，按本规范表 3.2.2、表 3.2.3-4 和表 3.2.4-3 采用；
 μ_f ——砌体的摩擦系数，混凝土预制块砌体取 $\mu_f=0.6$ ，石砌体取 $\mu_f=0.5$ ；
 N_k ——与 V_d 取值工况对应的受剪截面的轴向力标准值。

4.1.11 对多阶段受力的组合截面构件，应分别验算各阶段的承载能力。

4.2 构造

4.2.1 圬工桥涵的构造应满足结构正常使用极限状态的性能要求。

条文说明

公路圬工桥涵的常用结构见表 4-1。圬工桥涵在正常使用极限状态的功能要求，一般由相应的构造措施来保证。本规范第 5 章、第 6 章和第 7 章根据结构特点进一步细化了相关构造要求。

表 4-1 公路圬工桥涵的常用结构

常用结构		适用范围
拱桥		石砌拱桥、混凝土预制块砌拱桥、现浇素混凝土拱桥
墩台	重力式墩台	地基承载力较高且较浅地基上的墩台
	轻型墩台	中小跨径桥梁，不包括流速大并夹有大量泥沙或可能有船舶、冰、漂流物撞击河流上的中小跨径桥梁
	组合式墩台	中小跨径拱桥
涵洞	盖板涵	过水面积较大的明涵或暗涵，跨径较小时用石盖板、跨径较大时用钢筋混凝土盖板
	拱涵	跨越深沟或高路堤的涵洞，山区石料丰富时用石拱涵

4.2.2 对于现浇素混凝土单向偏心或双向偏心受压构件，构造钢筋的纵向配筋率之和不宜大于 0.5%，且截面单侧纵向配筋率不宜大于 0.2%，钢筋直径、间距及保护层厚度应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 的规定。

条文说明

工程实践中为防止混凝土构件产生局部强度破坏，在主拱圈拱脚截面上缘、腹拱墩下端等局部位位置配置构造钢筋以改善构件受力；在主拱圈、桥墩等构件表面配置分布钢筋以防止收缩开裂。构造钢筋的数量一般按截面纵向配筋率之和不大于 0.5% 且截面单侧不大于 0.2% 控制，构造箍筋或分布筋数量及构造符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 的规定。

4.2.3 砌体结构的局部承压处宜设置混凝土承压层。混凝土承压层应符合下列规定：

- 1 抗压强度设计值不应低于砌体抗压强度设计值。
- 2 厚度不宜小于 200mm。
- 3 构造钢筋宜按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 的规定布置。

条文说明

为了增强承压面的整体性，确保压应力有效扩散，在砌体墩帽、台帽等局部承压部位需要设置一定厚度的混凝土承压层，并配置间距为 100~200mm、直径为 8~12mm 的构造钢筋网。

4.2.4 圬工桥涵的抗震构造应符合现行《公路工程抗震规范》(JTG B02) 和《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01) 的有关规定。

4.3 耐久性设计要求

4.3.1 圬工桥涵的设计使用年限应符合现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 的规定。

4.3.2 圬工桥涵所处的环境类别宜按表 4.3.2 划分。

表 4.3.2 圬工桥涵所处的环境类别

名称		符号
一般环境	大气环境	I _a
	潮湿环境	I _b
冻融环境		II
近海或海洋氯化物环境		III
除冰盐等其他氯化物环境		IV
盐结晶环境		V
化学侵蚀环境		VI
磨蚀环境		VII

条文说明

结构耐久性问题是指在不同环境作用下结构出现形体损伤，内外的物理化学作用导致材料强度降低、结构有效承载截面减小，降低结构功能，影响桥涵设计预期使用年限。

圬工桥涵在携带颗粒打击的自然风下，出现风化作用；在南方，砌体结构风化严重

的部位多出现在接近地面干湿交替区；在潮湿环境下，结构因渗水而丧失一部分强度，设计时需要考虑材料软化系数的问题。

北方冬季严寒，风化主因多为冻融情况，严寒地区地处潮湿环境的结构会发生反复冻融，砌体表面会出现疏松、剥落，减少有效截面尺寸，导致砌体承载能力下降。

此外，砌体内部存在可溶性盐会发生泛霜的问题，可溶性盐的主要来源为原来存在于砌体内部的可溶性盐和外界可溶性盐的侵入；当砌体中含有足够多的水分时，可溶性盐就会溶解，随着内部水分的蒸发，会在砌体表面析出、结晶并沉积，出现斑点状或成片的白色结晶，导致砌体表面疏松、剥落。

砌体所处环境存在酸性或硫酸盐物质可能发生化学侵蚀的问题，在硫酸盐介质侵蚀下，砂浆内部因出现结晶型、石膏型或钙矾石型膨胀性腐蚀物而受到内部膨胀应力，导致砂浆开裂、强度下降。

本条关于环境类别划分主要根据圬工结构特点，考虑在不同环境作用下出现的耐久性问题成因及需要采取的耐久性措施不同确定。

4.3.3 圬工桥涵的材料耐久性设计应满足表 4.3.3 的基本要求，并宜按环境类别选用表 4.3.3 中的补充要求。

表 4.3.3 圬工桥涵的材料耐久性设计要求

环境类别			基本要求		补充要求	
			砌体结构的砌块、砌缝	现浇素混凝土结构的混凝土	砌体结构的石材	现浇素混凝土结构的混凝土
一般环境	大气环境	I _a	石材、混凝土、砂浆的强度等级	强度等级、配合比、氯离子含量、碱含量、硫酸盐含量	—	—
	潮湿环境	I _b			软化性能	抗渗性能
冻融环境		II			抗冻性能	抗冻性能
近海或海洋氯化物环境		III			—	电通量或氯离子扩散系数
除冰盐等其他氯化物环境		IV			—	电通量或氯离子扩散系数
盐结晶环境		V			抗硫酸盐结晶干湿循环性能	抗硫酸盐结晶干湿循环性能
化学侵蚀环境		VI			—	—
磨蚀环境		VII			耐磨性能	耐磨性能

4.3.4 砌体结构的材料耐久性设计要求应符合下列规定：

1 在环境类别 I_a 下，石材、混凝土和砂浆的强度等级应符合本规范第 3.1.3 条的规定。在其他环境类别下，石材、混凝土和砂浆的强度等级宜在本规范第 3.1.3 条规定的基础上至少提高一个等级。在冻融环境下，砌体墩台表面应选用强度等级不低于 MU50 的石材，混凝土墩台应采用强度等级不低于 C30 的混凝土。

2 在浸水或年平均相对湿度平均值大于 80% 的潮湿地区，圬工桥涵主体结构用石材软化系数应不低于 0.85。

3 在冻融环境中，圬工桥涵主体结构用石材的抗冻性能应符合表 4.3.4 的规定；砂浆的抗冻性能应不低于所用石材。

表 4.3.4 石材的抗冻性能

冻融环境	抗冻性指标		质量损失 (%)	强度降低 (%)
	设计使用年限 ≤50 年	设计使用年限 100 年		
微冻地区	F25	F35	≤5	≤20
寒冷地区	F35	F50		
严寒地区	F50	F75		

注：1. 冻融环境按当地最冷月平均气温划分为微冻地区、寒冷地区和严寒地区，其平均气温分别为：-3 ~ 2.5℃、-8 ~ -3℃和 -8℃以下。

2. 抗冻性试验方法按现行《公路工程岩石试验规程》(JTG 3431)的规定进行。

条文说明

冻融环境下，圬工表面易于冻损、风化，所以对砌体墩台表层材料强度等级作了下限规定，混凝土墩台一般为整体浇筑，故对其主体材料强度等级作了规定。

关于软化系数的要求参照《砌体结构通用规范》(GB 55007—2021)第 2.0.5 条制定。

石材及混凝土材料受水浸湿后，冬季冻结，春季溶解，引起材料风化侵蚀。如水气充满于材料内部气孔，则因冻结膨胀有可能使孔壁破裂而导致材料破损。参照《砌体结构通用规范》(GB 55007—2021)第 3.2.5 条，规定了冻融环境的抗冻性能要求。

砂浆材料作为砂浆砌体的重要组成部分，若出现质量问题，将会危及结构使用和安全，因此对砂浆提出了不低于石材抗冻性能的要求。砂浆抗冻性能根据现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420)的规定确定。

4.3.5 现浇素混凝土结构的材料耐久性设计要求应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的规定。

4.3.6 圬工桥涵的耐久性构造应遵循可检查、可维修的设计原则。

4.3.7 圬工桥涵的耐久性构造应符合下列规定：

- 1 应预设维护及更换部件的操作空间。
- 2 应设置完善的防排水系统。
- 3 石砌拱桥可根据耐久性需要对石材外露表面刷涂防水、防风化涂料。
- 4 强烈流冰、泥石流或漂浮物河流中的墩台表面应选用强度等级不小于 MU60 的石材或 C40 混凝土预制块镶面，镶面砌体的砂浆强度等级应不小于 M20。

5 现浇素混凝土结构可按现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的规定，采取必要的防腐蚀附加措施。

条文说明

从多地调研反馈意见来看，均存在石料材质不均匀、强度差别大、石料风化严重等现象。从石拱桥检测、维修、加固收集资料来看，圯工拱桥的许多病害都与排水不畅有关，拱上填料受水浸泡、强度降低，引起桥面沉降变形开裂，侧墙外鼓倾斜，完善的防排水系统能显著减少圯工拱桥的水致病害。

采用砂岩等抗风化能力弱的石材修建石拱桥时，需要根据耐久性要求对石材外露表面刷涂防水、防风化涂料，如位于库区拱桥，受水库淹没的干湿交界部位拱圈应该增设相关防护措施。

镶面石材或混凝土预制块用于保护墩台，当墩台表面受损时便于更换，不致影响邻近部位。

当工程所处环境恶劣又无相似工程经验可以借鉴，或工程的设计标准高、构件尺寸和形状受限时，有必要在满足现浇素混凝土结构材料耐久性设计要求的基础上，对结构采取防腐蚀附加措施，进一步提高其耐久性。防腐蚀附加措施根据现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的规定选用。

5 拱桥

5.1 一般规定

5.1.1 圬工拱桥应根据公路功能和技术等级,考虑因地制宜、就地取材、便于施工和养护等要求进行设计,可采用石砌拱桥、混凝土预制块砌拱桥和现浇素混凝土拱桥。

条文说明

《JTG D61—2005 规范》中圬工拱桥包括了石砌拱桥、混凝土预制块砌拱桥、现浇素混凝土拱桥、钢筋混凝土箱形拱桥和肋拱桥,本次修订将钢筋混凝土箱形拱桥和肋拱桥归入钢筋混凝土结构,其设计按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)执行。

5.1.2 圬工拱桥的总体设计应符合下列规定:

- 1 圬工拱桥主要构件及构造应受力明确。
- 2 圬工拱桥的矢跨比宜采用 $1/8 \sim 1/4$ 。采用支架法施工的悬链线拱,其拱轴系数 m 宜采用 $1.15 \sim 3.50$ 。
- 3 软土地基上不宜修建圬工拱桥;当必须采用拱式结构时,宜采用三铰拱。
- 4 基本地震动峰值加速度为 $0.2g$ 及以上地区,不宜修建圬工拱桥。
- 5 圬工拱桥应根据当地气候环境,明确合理的合龙温度范围。严寒地区修建圬工拱桥宜采用低温合龙。

条文说明

圬工拱桥的主体结构以受压为主,具有承载能力高、受力明确、刚度大等特点,因此拱桥主要构件及构造的设计需适应这一受力特点。

拱的矢跨比除根据地形、地基条件选择外,还要考虑施工的难易程度。矢跨比越大则拱轴系数 m 值越大,拱脚段施工较困难。矢跨比大于 $1/4$ 的拱尽管水平推力相对较小,但拱轴线较长,对稳定不利。矢跨比小于 $1/8$ 的拱水平推力较大,弹性压缩和收缩、温度变化效应也增加,对拱圈和墩台受力不利。从结构强度和稳定因素综合考虑,除小跨径桥涵外,矢跨比为 $1/6 \sim 1/5$ 较为合适。

悬链线多用于中、大跨径的排架式和空腹式圬工拱桥，因拱上建筑日趋轻型化，拱上建筑自重接近于均布荷载，所以拱轴系数 m 不建议采用过大值。

圬工拱桥因水平推力作用对地基要求较高，墩台水平、竖向变位会产生较大的拱圈附加内力，因此软土地基上不适宜修建拱桥。三铰拱属外部静定结构，温度变化、墩台变位等原因引起的变形不会在拱内产生附加内力，所以软土地基上必须采用拱式结构时，采用三铰拱较好。

汶川、芦山地震中，圬工拱桥的震损率高于钢筋混凝土拱桥。相关研究表明，拱圈的轴压比较大、延性较差，且圬工材料抗拉强度低，无约束裂缝的机制，一旦开裂较易形成通缝，导致结构严重受损甚至失效。

严寒地区的拱桥，由于温度变化剧烈，气温下降导致在弹性中心产生水平拉力，增加拱顶正弯矩和拱脚负弯矩（绝对值），所以拱圈需要在低温合龙，以减少降温产生过大的温度作用效应。

5.1.3 多孔跨径总长不小于 100m 或单孔跨径不小于 40m 的圬工拱桥应进行安全风险评估，并应根据设计要求制定严格的施工控制标准，开展施工过程监控。

条文说明

本条系参照《关于在初步设计阶段实行公路桥梁和隧道工程安全风险评估制度的通知》（交公路发〔2010〕175 号）和现行《公路桥梁施工监控技术规程》（JTG/T 3650-01）的规定制定。

5.2 计算

5.2.1 圬工拱桥应进行结构的静力分析和稳定分析，施工阶段和成桥运营状态下结构的强度、刚度和稳定性应满足要求。

5.2.2 圬工拱桥的整体受力分析应采用合理的结构计算模型，几何特性、边界条件与作用分布应反映实际结构状况和特征，并应符合下列规定：

1 整体受力分析时，宜不考虑主拱圈与排架式拱上建筑的联合作用，可考虑主拱圈与拱式拱上建筑的联合作用。

2 拱上建筑结构验算应考虑主拱圈变形的影响。

3 主拱圈受力应考虑拱上建筑传递荷载横向不均匀的影响。

4 多跨拱桥应按连拱计算。当桥墩抗推刚度与主拱抗推刚度之比大于 37 时，可按单跨拱桥计算。

5 单跨拱桥两拱脚截面形心连线的纵坡大于 3% 时，应考虑正拱斜置影响。

条文说明

2 主拱圈变形对拱上结构承载力的影响参考了《拱式拱上结构钢筋混凝土拱桥极限承载力分析》(胡大琳, 陈祥宝, 1994)。

3 排架式拱上建筑恒载(包括立柱排架和梁板、桥面铺装、护栏等自重)由立柱排架传递到主拱圈, 其横向分布是不均匀的; 实腹式和空腹式拱上建筑恒载(包括拱上填料、侧墙、桥面铺装、护栏等自重)通过拱上横墙、侧墙、拱上填料传递到主拱圈, 其横向分布也是不均匀的。主拱圈恒载计算需考虑上述不均匀分布因素。实腹式拱桥或拱上建筑为拱式结构的空腹式拱桥, 由于其纵横向整体性较好, 一般将活载均匀分布于全宽考虑; 拱上建筑为简支板(梁)体系的排架式拱桥, 除采用墙式墩, 且活载布置不超过拱圈宽度范围外, 需要考虑活载的横向不均匀分布, 特别是拱上排架墩采用大悬臂盖梁时, 活载的不均匀分布尤为显著。

4 连拱按单拱计算的判别条件参照了《公路桥涵设计手册: 拱桥(上册)》(1978年版)表7-5, 抄录如表5-1。

表 5-1 连拱按单拱计算判别条件

要求计算精度 β	0.95	0.90	0.85	0.8
D	>37	>17.1	>10.3	>7.1

上表中精度 β 系指连拱按单拱计算时, 连拱计算推力与按单拱计算推力的比值; D 为多孔无铰拱桥桥墩抗推刚度与主拱抗推刚度的比值。

按王国鼎《拱桥连拱计算》第一章第一节, 等跨连拱拱桥的桥墩抗推刚度为拱圈刚度的38倍时, 拱桥按单孔固定拱计算, 其活载效应偏差在5%以内。

多跨拱桥当墩台基础采用桩基础时, 基础变形(水平位移、竖向位移、转角)通过桥墩放大后对拱桥上部结构影响较大, 此时桥墩的抗推刚度采用组合抗推刚度。

5 单跨拱桥因地形、地质、路线纵坡等因素影响而采用正拱斜置时, 根据原湖南长沙湘江大桥试验资料和四川原川黔公路赶水大桥(70m跨径拱桥)计算资料, 当两拱脚截面形心连线的纵坡不大于3%时, 其计算结果与正拱平置计算结果相差不超过5%, 因此作本条规定。

5.2.3 圬工拱桥应进行拱轴线优选。对于中小跨径圬工拱桥, 拱轴线可按照与不考虑弹性压缩的结构自重压力线在拱顶、1/4拱跨、拱脚五点重合确定。

条文说明

优选拱轴线时, 可以采用数解法算出拱跨1/4点不考虑弹性压缩时的自重压力线坐标, 然后选择拱轴系数, 做到全拱五点与拱轴线重合; 但是, 在其他各点是有偏离的, 在拱脚至拱跨1/4点附近一段, 压力线多数点在所选择的拱轴线下, 在拱跨1/4点附近至拱顶一段, 则多数在上面。如果考虑上述偏离影响, 相关的计算表明, 拱脚多发生正弯矩, 拱顶多发生负弯矩, 与设计荷载作用下的拱脚、拱顶弯矩正好相反。所

以,如果偏离不大,在上述情况下不考虑偏离影响,对于拱顶、拱脚都不会有不利影响。大跨圬工拱桥可以采用有限元计算对拱轴线进行优化,使拱轴线与拱圈特定荷载(一般取恒载+1/2活载)压力线接近,以减少拱圈各截面轴向力偏心距。

5.2.4 圬工拱桥计算采用的作用应符合下列规定:

- 1 混凝土收缩应变应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)的规定计算,砌体收缩应变按本规范表 3.2.5-3 的规定计算。
- 2 拱桥应考虑汽车荷载冲击作用。当拱上填筑砂砾石等透水性材料且填筑厚度(包括路面厚度)不小于 0.5m 时,可不计汽车荷载冲击作用。
- 3 其他作用应按现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的规定取用。

5.2.5 圬工拱桥计算采用的作用组合及其效应应符合下列规定:

- 1 作用组合及其分项系数应按现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的规定取用。
- 2 当采用车道荷载计算拱的正弯矩时,各截面的折减系数宜按表 5.2.5 取用。

表 5.2.5 正弯矩折减系数

截面	跨径 L (m)		
	$L \leq 60$	$60 < L < 100$	$L \geq 100$
拱顶、1/4 拱跨	0.7	直线内插	1.0
拱脚	0.9	直线内插	1.0
其他截面	直线内插		

- 3 计算拱圈的混凝土收缩影响时,混凝土收缩作用效应可乘以 0.45 的折减系数。
- 4 计算拱圈的温度变化影响时,温度作用效应可乘以 0.7 的折减系数。
- 5 拱脚截面处风力或离心力的作用效应可按本规范第 5.2.6 条的规定计算。

条文说明

采用车道荷载计算拱的正弯矩时,各截面的折减系数与现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)钢筋混凝土拱桥的相关规定一致。

本条第 3、4 款沿用《JTJ 022—85 规范》考虑混凝土和砌体的徐变影响。《JTJ 022—85 规范》第 4.2.8 条的条文说明论述了相关文献对这两款的分析,这里不再赘述。

(1) 徐变作用下混凝土收缩效应折减系数

混凝土的徐变与收缩关系密切。混凝土的收缩引起混凝土应力,混凝土因受力而产生塑性变形即徐变。假设徐变和收缩应变在拱外缘及内缘均相等,由此徐变和收缩在弹性中心处产生水平推力。

设:

ε_n ——混凝土最终收缩应变值;

$\varepsilon(t)$ ——在时间 t 时的混凝土收缩应变值;

φ_n ——混凝土徐变终止时的徐变系数;

$\varphi(t)$ ——在时间 t 时的混凝土徐变系数。

张树平《预应力混凝土结构》(1959 年版)第 117 页称“徐变系数-时间”与“收缩应变-时间”曲线甚为相似。因此,在时间 t 时混凝土的收缩应变为:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_n \frac{\varphi(t)}{\varphi_n} \quad (5-1)$$

由于混凝土最终的收缩应变值 ε_n ,在弹性中心所引起的水平位移 $\Delta\varepsilon$ 为:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_n L \quad (5-2)$$

式中: L ——拱的计算跨径。

由于混凝土收缩,在弹性中心处水平推力 H_n (图 5-1)为:

$$H_n = -\frac{\Delta\varepsilon}{\delta_{22}} = -\frac{\varepsilon_n L}{\delta_{22}} \quad (5-3)$$

式中: δ_{22} ——在弹性中心处由于单位水平力引起的水平位移。

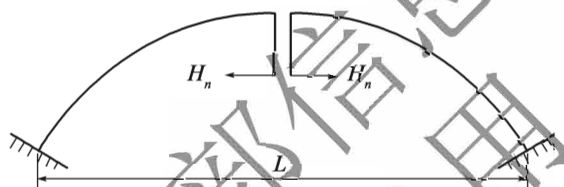


图 5-1 考虑徐变后的混凝土收缩在弹性中心的水平推力

现在分析同一时间内混凝土徐变和收缩相互作用的情况。当 $t \rightarrow \infty$, $\varphi(t) \rightarrow \varphi_n$ 时,张树平《预应力混凝土结构》(1959 年版)得到如下解析式:

$$H(t)_{\infty} = H_n \left(\frac{1 - e^{-\varphi_n}}{\varphi_n} \right) = \eta H_n$$

$$\eta = \frac{1 - e^{-\varphi_n}}{\varphi_n} \quad (5-4)$$

式中: H_n ——不考虑徐变影响的混凝土收缩在弹性中心处产生的水平推力;

$H(t)_{\infty}$ ——考虑徐变影响后,由混凝土收缩在弹性中心处产生的水平推力;

φ_n ——混凝土徐变系数终极值。

混凝土徐变系数终极值,与水泥品种和强度等级、水灰比、水泥浆含量、截面尺寸、空气相对湿度、加载龄期等有关,本规范参照苏联《铁路、公路、城市道路桥涵设计规范》(CH 200-62)和第六届国际预应力混凝土会议的建议,取 $\varphi_n = 2.0$,按式(5-4),得 $\eta = 0.45$ 。这个数值适用于我国大部分年平均相对湿度 55% ~ 80% 地区;对于干旱地区,则偏于安全。

(2) 徐变作用下温度变化效应折减系数

温度变化不像混凝土收缩那样持续进行,它是年复一年反复进行的。根据老化理论,随着混凝土龄期的增长,计算温度变化时的徐变影响将削弱。计算徐变对温度影响时, H. E. 吉卜西曼《预应力钢筋混凝土桥梁理论与计算》建议徐变系数 φ_t (其中 t 为温

度)采用徐变系数终极值 φ_n 的 0.25 倍, 此时按式(5-4), $\eta=0.787$ 。

(3) 以上为徐变对混凝土拱的影响。至于对石砌体和混凝土预制块砌体拱桥, 其灰缝的塑性变形与混凝土徐变性质类似, 所以, 上述折减系数也适用于石砌体和混凝土预制块砌体拱桥。

5.2.6 拱脚截面处风力或离心力的作用效应可按下列假定近似计算:

1 拱圈视作两端固结的水平直梁, 其跨径等于拱的计算跨径, 全梁平均承受风力或离心力, 计算梁端弯矩 M_1 。

2 拱圈视作下端固结的竖向悬臂梁, 其跨径等于拱的计算矢高, 悬臂梁平均承受 $1/2$ 拱跨的风力, 梁的自由端承受 $1/2$ 拱跨的离心力, 计算固结端弯矩 M_2 。

3 拱脚截面处的计算弯矩 M_d 为 M_1 、 M_2 在垂直于曲线平面内拱脚截面上的投影之和:

$$M_d = M_1 \cos \varphi_b + M_2 \sin \varphi_b \quad (5.2.6)$$

式中: φ_b ——拱脚处拱轴线的切线与水平线的夹角($^\circ$)。

条文说明

计算桥上横向风力时, 需先将全桥所受风力总和 F_{wh} 求出, 在假定的两端固结的水平直梁上满布均布荷载为 $q_{1w} = F_{wh}/L$ (L 为计算跨径), 其固结端弯矩为 $M_{1w} = q_{1w}L^2/12$; 在假定的竖向悬臂梁上满布均布荷载为 $q_{2w} = F_{wh}/2f$ (f 为计算矢高), 其固结端弯矩为 $M_{2w} = q_{2w}f^2/2$ 。

计算离心力时, 需将全桥车辆离心力 P 求出, 作用于两端固结的水平直梁上的均布荷载为 $q_{1c} = P/L$, 其固结端弯矩为 $M_{1c} = q_{1c}L^2/12$; 作用于竖向悬臂自由端的集中荷载为 $P/2$, 其固结端弯矩为 $M_{2c} = Pf/2$, $M_1 = M_{1w} + M_{1c}$, $M_2 = M_{2w} + M_{2c}$, 代入本条式(5.2.6)即可得垂直于曲线平面的拱脚截面弯矩 M_d 。

5.2.7 拱圈应验算各阶段的截面承载能力, 并应符合下列规定:

1 砌体截面的强度可按本规范第 4.1.2~4.1.4 条和第 4.1.6 条、第 4.1.7 条的规定验算, 计算时可不计长细比 β_x 、 β_y 对受压构件承载力的影响, 即 β_x 、 β_y 取 3。

2 混凝土截面的强度可按本规范第 4.1.5~4.1.7 条的规定验算, 计算时可取混凝土轴心受压构件弯曲系数 φ 为 1.0。

5.2.8 拱圈应按本规范第 4.1.2~4.1.7 条的规定进行整体稳定验算, 并应符合下列规定:

1 按式(4.1.4-1)和式(4.1.4-2)计算砌体构件长细比 β_x 、 β_y 和按表 4.1.5 查取混凝土轴心受压构件弯曲系数 φ 值时, 拱圈弯曲平面内的纵向计算长度 l_0 可按表 5.2.8-1 的规定采用; 无铰板拱拱圈弯曲平面外的横向计算长度 l_0 可按表 5.2.8-2 的规定采用。

表 5.2.8-1 拱圈弯曲平面内的纵向计算长度

三铰拱	双铰拱	无铰拱
$0.58l_a$	$0.54l_a$	$0.36l_a$

注： l_a 为拱轴线长度。

表 5.2.8-2 无铰板拱拱圈弯曲平面外的横向计算长度

矢跨比	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
计算长度	$1.167r$	$0.962r$	$0.797r$	$0.577r$	$0.495r$	$0.452r$	$0.425r$	$0.406r$

注： r 为圆曲线半径，当为其他曲线时，可近似取 $r = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{4\beta} + \beta \right)$ ，其中 β 为矢跨比， L 为计算跨径。

2 拱的轴向力设计值可按式(5.2.8)计算：

$$N_d = \frac{H_d}{\cos\varphi_m} \quad (5.2.8)$$

式中： N_d ——拱的轴向力设计值；

H_d ——拱的水平推力设计值；

φ_m ——拱顶、拱脚的连线与水平线的夹角(°)。

3 拱的轴向力偏心距可取与水平推力计算时同一荷载布置的拱跨 1/4 处弯矩设计值 M_d 除以 N_d 。

4 当考虑拱上建筑与拱圈的联合作用时，砌体拱可不考虑纵向长细比 β_y 对构件承载力的影响系数 φ_y ，即取 $\beta_y = 3$ ；混凝土拱可不考虑纵向稳定折减，取纵向轴心受压构件弯曲系数 $\varphi = 1.0$ 。

5 当板拱拱圈宽度大于或等于 1/20 倍的计算跨径时，砌体拱可不考虑横向长细比 β_x 对构件承载力的影响，即取 $\beta_x = 3$ ；混凝土拱可不考虑横向稳定折减，取横向轴心受压构件弯曲系数 $\varphi = 1.0$ 。

条文说明

拱圈是等截面或变截面曲杆，拱圈每个截面的弯矩 M 、轴向力 N 、偏心距 e ($e = M/N$) 都是变数。为了使直杆偏心受压公式适用于拱，参照《JTG D61—2005 规范》第 5.1.4 条规定，分列为拱的截面强度验算和整体稳定验算。

1 将拱换算为直杆，拱的纵向(弯曲平面内)与横向(弯曲平面外)的换算系数不同，其换算为直杆的计算长度分别推导如下：

(1) 拱的纵向计算长度

按《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—99)第 5.2.13 条，拱的纵向(弯曲平面内)稳定计算长度 l_0 按式(5-5)计算：

$$l_0 = \pi \sqrt{\frac{8f}{kL}} \cdot L \quad (5-5)$$

式中： L ——拱的跨径；

f ——拱的矢高；
 k ——按表 5-2 取用。

表 5-2 拱的纵向稳定计算长度 l_0

类型	$f/L=0.1$			$f/L=0.2$			$f/L=0.3$		
	k	l_0	l_0	k	l_0	l_0	k	l_0	l_0
无铰拱	60.7	$0.36L$	$0.36l_a$	101.0	$0.39L$	$0.36l_a$	115.0	$0.45L$	$0.37l_a$
双铰拱	28.5	$0.53L$	$0.53l_a$	45.5	$0.59L$	$0.54l_a$	46.5	$0.71L$	$0.58l_a$
三铰拱	22.5	$0.59L$	$0.59l_a$	39.6	$0.62L$	$0.57l_a$	46.5	$0.71L$	$0.58l_a$

注： l_a 为拱轴线长度。

式(5-5)源于苏联《铁路、公路、城市道路桥涵设计规范》(CH 200-62)第 206 条及第 411 条或 1965 年李国豪主编的《桥梁结构稳定与振动》第 87 页，是按抛物线拱受均布荷载的临界水平推力公式推导出来的。由于公路拱桥线形、截面多样，荷载也非均布荷载，所以偏安全地将上述公式用于平均轴向力作用下的纵向稳定验算。根据表 5-2，拱圈纵向稳定计算长度，三铰拱、双铰拱和无铰拱分别取用 $0.58 l_a$ 、 $0.54 l_a$ 和 $0.36 l_a$ 。这些规定值，自 20 世纪 50 年代以来，一直为砖、石、混凝土拱所用，1975 年《公路桥涵设计规范》延伸用于钢筋混凝土拱和钢拱。为了验证这些规定值，1975 年《公路桥涵设计规范》第 5.18 条条文说明用圆弧拱受径向均布荷载的临界荷载比较，其计算值如表 5-3。

表 5-3 拱的纵向稳定计算长度(圆弧拱径向均布荷载)

矢跨比	1/10	1/5	1/3
无铰拱	$0.356l_a$	$0.362l_a$	$0.378l_a$
双铰拱	$0.508l_a$	$0.516l_a$	$0.540l_a$
三铰拱	$0.595l_a$	$0.585l_a$	$0.580l_a$

表 5-3 是按拱的临界平均轴向力推导来的，其值与本规范规定的计算长度接近。

(2) 拱的横向计算长度

根据《公路桥涵设计手册：拱桥(上册)》(1978 年版)式(9-12)，圆弧无铰拱在均布径向荷载作用下的横向稳定临界力为：

$$N_{cr} = kE \frac{I_y}{r^2} \quad (5-6)$$

式中： I_y ——拱圈截面绕竖轴(y 轴)的惯性矩；

r ——拱半径；

E ——拱材料弹性模量；

k ——系数，其值与圆弧拱的圆心角 α (以弧度计)有关，见表 5-4。

表 5-4 系数 k

α/π	0.25	0.50	1.00
k	60.1	12.6	1.85

令式(5-6)中的 N_{cr} 等于上下铰接的直杆临界力 $N_{cr} = \pi^2 E \frac{I_y}{l_0^2}$, 由此可解出 $l_0 = r\pi \sqrt{\frac{1}{k}}$, 各种矢跨比的无铰板拱的横向稳定计算长度 l_0 如本条表 5.2.8-2 所示。

1975 年《铁路工程技术规范》第二篇第 2-317 条, 对于拱的横向(弯曲平面外)稳定, 建议近似地将拱视为长度等于拱轴长度的直杆进行计算。

2 关于变截面拱圈在拱的整体稳定验算中的截面取值问题, 可以采用拱的换算等代截面惯性矩方法: 将半个拱圈弧长取直为一简支梁, 再取一跨径相同的等截面简支梁, 在两者跨径中央加载一单位集中力, 当该点挠度彼此相等时, 后者的惯性矩即视为该拱的换算等代截面惯性矩。变截面拱圈一般取等宽变高, 或取变宽等高。由于宽度或高度必有一个在全拱为定值, 另一个值通过求得的惯性矩反求得出。

3 当拱圈宽度等于或大于 1/20 倍的计算跨径时, 可不考虑横向长细比影响或横向稳定。这项规定一直为公路、铁路规范所采用。

5.2.9 拱上建筑计算应符合下列规定:

1 拱上建筑采用排架式结构时, 其构件计算应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 3362)的有关规定。

2 拱上建筑采用拱式结构时, 横墙、腹拱计算可按本规范第 4 章的有关规定执行, 侧墙计算可按《公路路基设计规范》(JTJ D30—2015)中挡土墙章节的有关规定执行。

5.2.10 持久状况正常使用极限状态下, 圬工拱桥应采用汽车荷载(不计冲击作用)和人群荷载的频遇组合计算拱圈的竖向挠度, 在一个桥跨范围内拱圈正负挠度绝对值之和的最大值不应大于计算跨径的 1/1000。

条文说明

此项规定自 1975 年《公路桥涵设计规范》一直沿用。拱桥由于荷载引起的正负挠度的最大绝对值之和一般产生在拱跨的 1/4。本次修订按现行《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60)规定, 调整了作用组合的提法。

5.2.11 圬工拱桥设计应提出合理的施工方法和施工程序要求, 并应符合下列规定:

- 1 宜采用支架法施工。
- 2 主拱圈及拱上建筑砌筑或安装时, 纵、横向应保持对称均衡施工。
- 3 当需要裸拱卸架时, 应根据施工顺序对裸拱进行截面强度和稳定性验算。

条文说明

拱桥的施工方法大体上分为有支架施工和无支架施工两大类, 圬工拱桥基本上采用

有支架施工。

圬工拱桥主拱圈及拱上建筑的施工顺序和加载方式对拱架及主拱圈受力会产生较大影响，主拱圈及拱上建筑施工加载要求对称和均衡。“对称”包括纵向和横向对称，使主拱受力稳定。“均衡”要求加载重量不要过于集中，施工荷载压力线偏离拱轴线不要过多，使拱圈截面轴向力偏心距较小。多孔拱桥还要考虑连拱作用影响。

采用支架法施工时，因度汛等原因需提前拆除支架，裸拱圈需承担拱上建筑荷载和临时施工荷载，需根据拱上建筑施工顺序、最不利受力情况及拱脚的支承条件，对裸拱进行截面强度和拱的整体稳定验算，验算截面需根据实际情况确定。

5.2.12 预拱度的设置应符合下列规定：

- 1 设计预拱度应考虑主拱圈和拱上建筑自重、温度变化、混凝土收缩徐变、墩台位移等作用的影响。
- 2 施工预拱度应在设计预拱度基础上，结合施工条件考虑地基沉降、支架变形等作用的影响。
- 3 预拱度可按本规范附录 B 的规定计算。

条文说明

本条明确了设计预拱度和施工预拱度的概念与内涵。设计预拱度是为了消除结构在自身恒载、活载、温度变化、混凝土收缩徐变、墩台位移等各种因素作用下的累计变形对成桥线形的影响，圬工拱桥因恒载占比较大，活载引起的变形较小，设计预拱度计算时对活载产生的拱顶变形可以忽略。施工预拱度则是在设计预拱度基础上再叠加施工现场考虑支架变形等因素引起的竖向变形总量。

5.3 构造

5.3.1 空腹式圬工拱桥的腹拱应符合下列规定：

- 1 中、小跨径拱桥宜在半跨的 $1/2 \sim 2/3$ 范围内设置腹拱。
- 2 腹拱跨径宜采用主拱圈跨径的 $1/15 \sim 1/8$ 。
- 3 腹拱靠近墩台的一孔应做成二铰拱或三铰拱；大跨径拱桥根据跨径和当地温度变化情况，宜将靠近拱顶的腹拱做成二铰拱或三铰拱。
- 4 腹拱铰上的侧墙、人行道、栏杆等均应设置伸缩缝或变形缝。

条文说明

空腹式拱桥拱上建筑布置(腹拱跨径、个数、实腹段长度)对主拱圈的受力影响较大，本条对此作了必要的规定。空腹式拱桥的拱上建筑、腹拱拱铰上面的侧墙、人行道、栏杆设置伸缩缝或变形缝有利于主拱圈适应温度变化、混凝土或砂浆收缩，也有利

于拱上建筑适应主拱圈的弹性与非弹性变形,避免拱上建筑产生裂缝。

5.3.2 排架式拱上建筑可采用连续桥面,应加强柱底垫梁的刚度和强度,端腹孔的梁或板在墩台支承处宜设置滑动支座。

条文说明

对于排架式拱上建筑,梁或板搁于墩台顶面时,需要设置活动支座,以适应主拱变形,避免因主拱变形而导致支承处墩台开裂。

5.3.3 圬工拱桥的拱上填料应根据公路技术等级、结构形式、使用功能要求确定,并宜符合下列规定:

- 1 空腹式拱桥宜采用低强度等级的混凝土。
- 2 实腹式拱桥可采用砂砾石等透水性材料。

条文说明

既有圬工拱桥桥面铺装开裂、下沉及侧墙外鼓开裂病害较多,这与拱上填料透水性差、排水不畅有很大关系,特别是空腹式拱上建筑横墙顶两个腹拱之间的三角形部位因填料压实困难造成桥面不均匀沉降变形。空腹式拱桥的拱上填料采用低强度等级混凝土填筑,有益于改善拱圈受力、减少拱上侧墙开裂变形、消除路面病害。实腹式拱桥的拱上填料用料多,可以采用透水性填料,如砂卵砾石,也可以采用轻质混凝土,如泡沫混凝土,以节省造价。

5.3.4 多孔圬工拱桥应根据使用要求及施工条件设置单向推力墩或采取其他抗单向推力措施,单向推力墩宜每隔3~5孔设置一个。

条文说明

多孔拱桥连拱作用显著,一孔坍塌将导致邻孔受损,甚至全桥损毁。所以,根据基础的安全性及施工设备情况,设置全拱恒载单向推力墩或临时施工制动墩是必要的。根据以往经验规定了每3~5孔设置一个承受一孔拱桥自重的单向推力墩。

5.3.5 软土地基上修建三铰拱时,宜选用适应墩台变位和轻型的上下部结构,并应加强拱脚截面的局部承压能力;施工方法宜采用早期脱架施工。

条文说明

软土地基由于地基变形相对较大,对拱脚受力较为不利,其局部承载能力需要适当加强,可以采取增设一些钢筋和箍筋等措施。软土地基修建拱桥时,为使拱圈随着安装

砌筑的进程逐步地适应地基变形，一般采用早期脱架施工。

5.3.6 在严寒地区，混凝土圬工拱桥应在拱顶底面及拱脚上下缘增设钢筋网，拱脚截面上缘、下缘钢筋伸入拱座应不小于钢筋的锚固长度。

条文说明

严寒地区低温对主拱圈及拱上建筑受力不利，需设置局部钢筋进行加强处理。

5.3.7 处于基本地震动峰值加速度不小于 $0.1g$ 地区的圬工拱桥，除应满足现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01)的要求外，尚应符合下列规定：

- 1 墩台基础宜置于基岩上。
- 2 砌体结构的墩台及拱圈，其砂浆最低强度等级应提高一级。
- 3 混凝土无铰拱宜在拱脚处拱圈下缘配置适当的钢筋，钢筋伸入墩(台)拱座内的长度不应小于钢筋锚固长度，且不宜小于拱脚截面高度的1.5倍。
- 4 空腹式拱桥的腹拱拱座襟边宽度应不小于0.2m。

条文说明

本条是基于四川汶川地震、芦山地震和九寨沟地震中圬工桥涵震害资料及本次修订所开展的“圬工桥涵抗震优化措施研究”提出的圬工拱桥抗震构造要求。说明如下：

1 相关的震害调查表明，桥址区区域内的场地土类别对拱桥的抗震性能有重大的影响。

位于汶川映秀附近国道213线的洱沟拱桥为跨径70m空腹式浆砌混凝土预制块板拱，采用重力式桥台扩大基础，桥位处地震实际烈度达XI度。该桥在地震中虽出现较为严重的局部破损，但其主拱圈却基本保持完整。详细调查表明，洱沟拱桥桥址区区域内基岩裸露，场地类别为I类，而省道105北川至青川段线路的垮塌拱桥桥址区覆盖层较厚，为II、III类场地。

汶川地震中，有多座中小跨径圬工拱桥垮塌，但也有多座位于XI度地震区的石拱桥没有垮塌，调查发现这些没有垮塌的拱桥基础均置于基岩上。通过对桥台高差较大的拱桥震害程度对比，发现桥台高的震害相对严重一些。

2、3 汶川、芦山地震震害调查发现圬工砌体砌缝脱落、压碎的现象较多，现浇混凝土拱桥拱脚部位主拱圈存在开裂甚至剪切错位。因此，地震区桥梁圬工砌体砂浆强度需要适当提高以有利于抗震，混凝土拱桥拱脚连接需要适当加强。故本条第2、3款对砌体砂浆强度、拱脚局部加强作了相关规定。

4 在多座空腹式拱桥的震害调查中发现，腹拱是上承式拱桥的易损部位。白水河大桥、曲河大桥等腹拱和拱上横墙均出现了开裂、变形等震害，尤其是与桥台相接的腹拱和靠近拱顶的腹拱，因(错位)变形较大，极易受损。因此，本条第4款提出了腹拱拱座襟边宽度要求，防止腹拱从拱座上错落。

6 墩台

6.1 一般规定

6.1.1 墩台应满足强度和稳定性要求，并应考虑构造和便于施工及养护的要求。

6.1.2 位于强烈流冰河流的桥墩应在其迎冰面设置破冰棱。破冰棱的构造应符合下列规定：

- 1 破冰棱的设置范围应高出最高流冰水位 1.0m，低于最低流冰水位时冰层底面以下 0.5m。
- 2 破冰棱的倾斜度(竖:横)宜为 3:1 ~ 10:1。
- 3 迎冰面应采用尖端或圆端形。
- 4 破冰棱与桥墩应构成一体。从破冰棱顶面至基底或承台底范围内混凝土墩身不应设置水平施工缝；当不可避免时，应在接合面内设置竖向加强钢筋。

条文说明

- 2 破冰棱的倾斜度(竖:横)较小时，有利于冰块凭借自重下压破碎。

6.1.3 桥台的沉降缝、伸缩缝与防排水系统设计应考虑地质、气候与施工等因素，并应符合下列规定：

- 1 位于非岩石类地基的桥台，台身沉降缝间距宜取 10 ~ 15m，台身与“八”字形翼墙之间宜设缝分开。
- 2 现浇素混凝土桥台台身及基础的伸缩缝间距宜取 5 ~ 10m。
- 3 桥台背面与填料之间应设置防水层，并设置盲沟等排水设施；侧墙、翼墙及台身应设置排水孔，排水孔的数量及位置应根据台后渗水情况合理布设，排水孔向墙外倾斜的坡度不宜小于 4%，进水口应设置反滤层；桥台周边地表应设置截水、排水设施。

条文说明

非岩石地基修建“八”字形翼墙桥台，桥台与翼墙设缝分开，有利于应对地基不均匀沉降。据了解，东北地区现浇混凝土桥台台身沿长度发生收缩裂缝较多，如施工时沿长度分段且相隔浇筑，可以减少裂缝。

根据调查, 圬工桥台由于排水不畅、积水导致沉降、开裂等病害较多, 需要加强防水排水设计。桥台排水一般采用透水性良好的回填料, 回填料顶部采用不透水性材料封闭。

6.1.4 空心墩台应设置壁孔, 涉水空心墩台壁孔的设置应符合下列规定:

- 1 最底层壁孔应位于最低设计水位以下或墩底附近。
- 2 最高设计水位以下的壁孔应保证进水、排水畅通。

条文说明

空心墩台设置壁孔主要用于通风。水中空心墩台如不设壁孔, 将使墩台壁承受静水压力, 外部水通过墩台壁向内部渗透, 使混凝土受损。此外, 如果基础底面以下是透水地基, 河水还会对墩台身和基础产生浮力, 不利于稳定。因此, 空心墩壁需设壁孔。

6.1.5 现浇素混凝土墩身台身宜设置表层钢筋网, 其截面面积在水平和竖直方向均应不小于 $250\text{mm}^2/\text{m}$, 钢筋直径不应小于 6mm , 间距不宜大于 400mm 。

6.1.6 持久状况下墩台沉降应符合下列规定:

- 1 相邻桥墩或桥台间的不均匀沉降差不应使桥面形成大于 0.2% 的附加纵坡。
- 2 对于超静定结构, 桥墩或桥台间的不均匀沉降差应满足结构受力要求。
- 3 墩台沉降的计算应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 的有关规定。

6.1.7 墩台浅基础的埋置深度应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 的有关规定, 基础压力扩散角应按表 6.1.7 的规定取用。

表 6.1.7 基础压力扩散角

类别	砌体基础	混凝土基础
压力扩散角	$\leq 35^\circ$	$\leq 40^\circ$

条文说明

圬工基础扩散角的取值规定, 基本沿用《JTJ 022—85 规范》, 说明如下:

(1) 均布荷载在圬工砌体内的压力分布近似于梯形, 在深度 h 处, 其长度为 $(a + 2 \times 1.57h)$, 见图 6-1。如梯形面积以同面积的矩形代替, 则其长度为 $(a + 2 \times 0.79h)$, 此时扩散角为 38° 。因此, 就圬工本身而言, 其内部压力传布的扩散角不大于 38° 。

(2) 当圬工内压力传至地基时, 地基承压应力的图式与压力大小、基底尺寸、土的压缩性、基础埋深有关, 有马鞍形、抛物线形、哑铃形等。在计算地基承压压力时, 一般

采用文克尔假定，即地基变形与地基应力成正比，也就是用弹性材料力学公式计算地基承压应力。这说明地基的计算应力与实际应力图式并不完全一致。所以，地基应力对圬工基础的反力及由此引起的圬工内应力计算，很难做到准确。此外，基础台阶襟边部分作为短臂深梁，其应力分布图式也不同于一般浅梁。

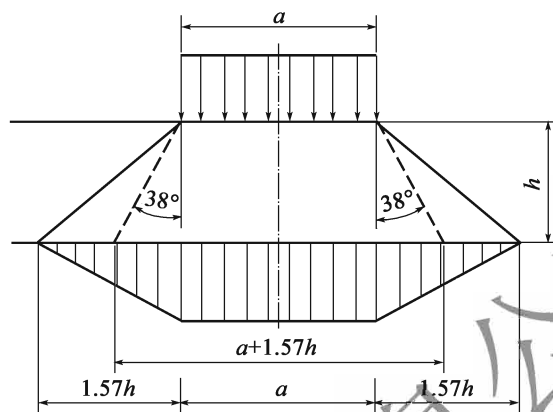


图 6-1 砌体压力分布
a-压力面宽度

(3)根据以上原因，圬工基础的扩散角不仅要反映圬工内部的压力分布，而且要考虑地基反力对襟边的作用。因此，为了简化计算，本规范对于不同圬工，规定了扩散角的限值，在此限值以内，基础襟边受力可以不作验算。

6.1.8 当桥台锥坡和护坡采用浆砌或干砌砌体铺砌时，其砌体厚度不宜小于 0.30m。铺砌层下宜设置厚度不小于 0.10m 的粗砂、砂砾或碎石垫层。锥坡上宜设置人行检修踏步。

条文说明

桥台锥坡设置踏步可以方便养护人员从桥面行走至桥下对墩、台身及基础进行检测、养护、维修。

6.2 梁桥墩台

6.2.1 墩帽和台帽的构造应符合下列规定：

- 1 墩帽和台帽的厚度，大桥不应小于 0.5m，中桥、小桥不应小于 0.4m。
- 2 墩帽和台帽的出檐宽度宜为 0.05 ~ 0.10m。
- 3 墩帽和台帽宜采用钢筋混凝土结构，其钢筋构造宜符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)的规定。
- 4 墩帽和台帽的支座位置处应设置支座垫石。支座垫石的平面尺寸应相对于支座底板边缘外展出 0.1 ~ 0.2m；支座垫石高度应满足支座更换需要。

条文说明

墩、台帽采用砌体结构时，在支座集中反力及冲击作用下易沿砌缝开裂，墩、台帽采用钢筋混凝土结构能抑制裂缝或破损，防止雨水渗入，有效保障墩台的耐久性。

6.2.2 支座边缘至墩、台身顶部边缘的距离(图 6.2.2)应根据墩台构造形式及上部结构的施工方法确定，其最小距离宜符合表 6.2.2 的规定。

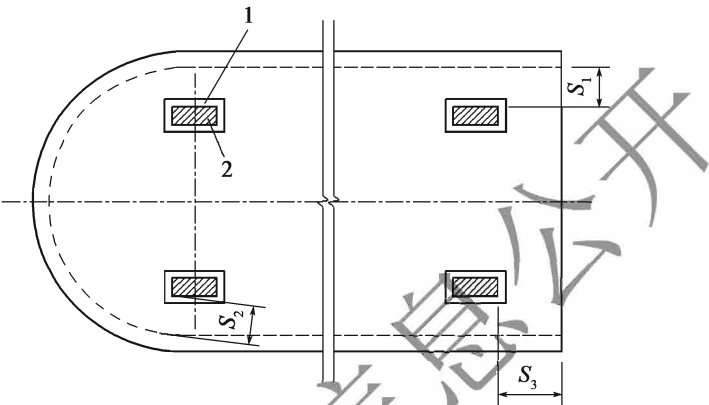


图 6.2.2 支座边缘至墩、台身顶部边缘的距离
1-支座垫石；2-支座

表 6.2.2 支座边缘至墩、台身顶部边缘的最小距离

跨径 (m)	顺桥向最小距离 S_1 (m)	横桥向最小距离(m)	
		圆弧形端头 S_2 (自支座边角算起)	矩形端头 S_3
$40 \leq L < 150$	0.25	0.25	0.40
$20 \leq L < 40$	0.20	0.20	0.30
$5 \leq L < 20$	0.15	0.15	0.20

注：当采用钢筋混凝土或预应力混凝土悬臂墩帽时，可不受本表限制，应根据施工、养护和支座更换要求确定。

6.2.3 实体桥墩的构造应符合下列规定：

- 1 侧坡坡度(竖：横)可采用 20：1～30：1，小桥可采用直坡。
- 2 墩身顶宽宜符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 实体桥墩墩身顶宽

小桥		中桥	大桥
轻型桥台(满足本规范第 6.2.6 条)	其他桥台		
$\geq 0.6\text{m}$	$\geq 0.8\text{m}$	$\geq 1.0\text{m}$	根据上部结构类型确定

条文说明

实体桥墩的底宽，需计算确定。根据经验，其值约为墩身高度的 1/6～1/5，砌体桥墩取较大值，混凝土桥墩取较小值。

6.2.4 U形桥台的构造和计算应符合下列规定：

1 前墙顶面宽度不宜小于 0.5m，且台帽以下任意水平截面的宽度不宜小于该截面至墙顶高度的 0.4 倍，如图 6.2.4 所示。

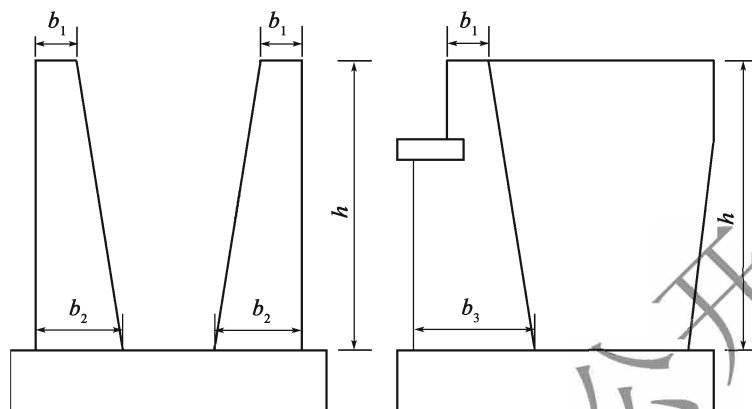


图 6.2.4 U形桥台尺寸示意

注： $b_1 \geq 0.5\text{m}$ ； b_2 符合表 6.2.4 的规定； $b_3 \geq 0.4h$ 。

2 侧墙顶面宽度不宜小于 0.5m，且任意水平截面的宽度宜符合表 6.2.4 的规定，如图 6.2.4 所示。

表 6.2.4 U形桥台侧墙任意水平截面的宽度

侧墙材料	桥台内填料	
	中、粗砂或砂砾	其他填料
片石砌体	$\geq$ 截面至墙顶高度的 0.35 倍	$\geq$ 截面至墙顶高度的 0.40 倍
块石、粗料石砌体或混凝土	$\geq$ 截面至墙顶高度的 0.30 倍	$\geq$ 截面至墙顶高度的 0.35 倍

3 当两侧墙宽度之和不小于同一水平截面前墙全长的 0.4 倍时，可按 U 形整体截面验算截面强度、稳定性、地基承载力及偏心距。

4 前墙设有沉降缝或伸缩缝时，分隔的前墙和侧墙墙身或基础应分别按独立墙验算截面强度、稳定性、地基承载力及偏心距。

5 前墙顶面宜设置钢筋混凝土垫梁，其厚度不宜小于 0.3m 且应满足伸缩装置安装的需要，也可将台帽及以上前墙设置为 L 形整体式混凝土台帽。

条文说明

U 形桥台前墙顶面与梁端之间设置伸缩装置，受车辆冲击较大，易出现砌体松散或混凝土开裂破损等病害，故需要设置一道钢筋混凝土垫梁增加抗冲击能力。U 形桥台台口高度范围内的前墙与台帽构成混凝土整体构件，既方便施工，又提高了抗冲击能力。

6.2.5 埋置式桥台或岸墩截面强度和稳定验算时，桥台或岸墩后填土的土侧压力宜采用主动土压力，同时可考虑桥台或岸墩前溜坡的主动土压力作用。当溜坡可能被冲刷时，不应计入溜坡的土压力作用。

6.2.6 轻型桥台应满足表 6.2.6 规定的适用条件，并应符合下列规定：

- 1 台身与桥轴线垂直线的交角不应大于 15° ，台墙厚度不宜小于 0.6m。
- 2 台墙上端与上部结构间应可靠铰接，可采用直径不小于 20mm 的钢销连接。相邻台(墩)墙之间下端应设置支撑梁，如图 6.2.6 所示；当基础嵌入较完整的岩层时，可不设支撑梁。
- 3 支撑梁应设于铺砌层或冲刷线以下，间距宜为 2.0 ~ 3.0m。位于外侧的支撑梁应平行于桥轴线，位于中间的支撑梁应垂直于桥台。支撑梁的截面尺寸(宽度×高度)，采用钢筋混凝土构件时不宜小于 0.2m × 0.3m，采用混凝土或块石砌筑时不宜小于 0.4m × 0.4m。
- 4 轻型桥台可设八字墙、一字墙或边柱带耳墙。

表 6.2.6 轻型桥台适用条件

梁桥	单孔跨径(m)	总长(m)	孔数
简支梁桥	≤ 13	—	—
连续梁桥	—	≤ 20	≤ 3

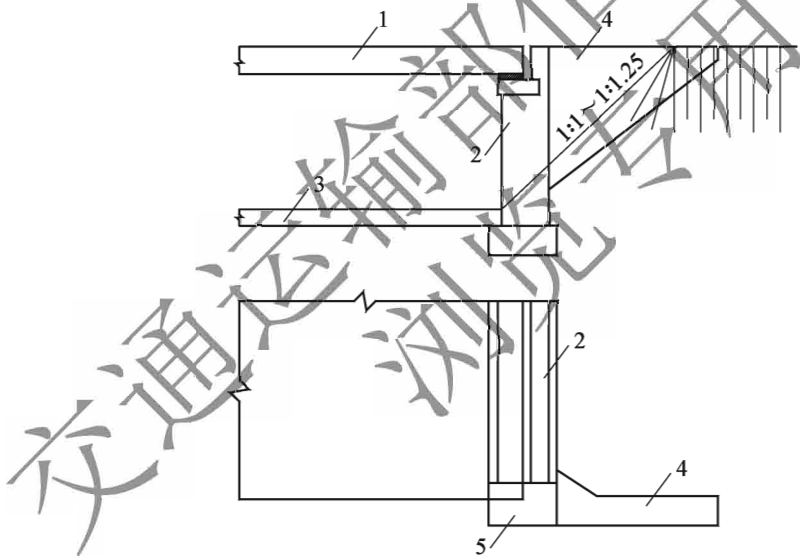


图 6.2.6 轻型桥台的支撑

1-上部结构；2-轻型桥台；3-支撑梁；4-耳墙；5-边柱

条文说明

轻型桥台适用于小跨径的圬工桥台。轻型桥台上部结构过长，因其与墩台均为铰接，上部结构因混凝土收缩和温度升降而产生的伸缩量将增大，将会导致桥头路桥衔接处发生凹凸现象，同时对台身及铰结构受力不利。

本节取消了加筋土桥台的相关规定。目前，加筋土桥台实际应用已较少，且易出现

变形、鼓肚、垮塌等病害。若部分地区仍有使用需要，可以参照《JTG D61—2005 规范》并按照《公路路基设计规范》(JTG D30—2015) 中加筋土挡土墙的相关规定进行设计。

6.3 拱桥墩台

6.3.1 除单向推力桥墩外，等跨拱桥实体桥墩的构造宜符合下列规定：

- 1 混凝土桥墩的顶宽可取拱跨的 $1/25 \sim 1/15$ ，石砌桥墩的顶宽可取拱跨的 $1/20 \sim 1/10$ ，均不宜小于 0.8m 。
- 2 墩身侧坡坡度(竖:横)可按 $20:1 \sim 30:1$ 设置。

6.3.2 拱桥桥台可采用 U 形桥台、内填砂砾材料的空心桥台或组合式桥台等，并应符合下列规定：

- 1 U 形桥台的侧墙尺寸及计算可按本规范第 6.2.4 条的有关规定执行。
- 2 组合式桥台的构造及计算宜按本规范第 6.3.3 条的有关规定执行。
- 3 台后土侧压力宜采用主动土压力。

6.3.3 中、小桥可采用由桩基础或沉井基础与前台、后座构成的组合式桥台(图 6.3.3)，并应符合下列规定：

- 1 前台与基础宜按承担拱的竖向力进行设计；后座宜按承担台后主动土压力、拱的水平推力并计入后座基底摩阻力进行设计。后座稳定性验算应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 的有关规定，基底摩阻力分项系数应取 0.9 。
- 2 前台和后座之间应设置密切贴合且可自由沉降的隔离缝。
- 3 计入沉降后的后座基底高程应低于拱脚截面下缘高程。
- 4 前台桩基应考虑后座竖向荷载等因素引起的负摩阻力，其计算可按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 的有关规定执行。
- 5 地基土质较差时，应采取措施防止后座不均匀沉降引起的前台后倾。

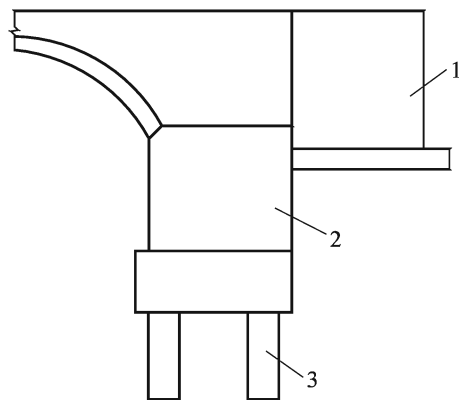


图 6.3.3 组合式桥台
1-后座；2-前台；3-桩基

条文说明

组合式桥台能够解决拱桥的推力问题，为竖桩修建拱桥桥台提供了解决方案，自20世纪70年代以来被广泛采用。

组合式桥台的计算一般采用本条所列的静力平衡法。如果设计时有确切的计算参数，如侧向地基系数、竖向地基系数、地基剪切系数等，也能够采用变形协调法，计入桩基或沉井承担的水平力，并考虑因拱脚位移引起的拱圈附加内力。

1 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)对墩台稳定验算的作用分项系数均取为1.0。拱桥对桥台的水平推力主要靠台后土侧压力及基底摩阻力来平衡，桥台水平位移对拱圈附加内力影响较大，故对基底的摩阻力分项系数降低取用。

2 组合式桥台的前台与后座之间隔离缝两侧结构物的接触面，要求先期完成的结构表面光洁细致，然后涂以隔离油脂，将先期完成的结构表面作为后期结构的模板，以保证接触面两边紧密接触又可相互自由沉降。

3 要求组合式桥台的后座基底高程低于拱脚截面底缘高程，是基于水平力向后传递时将向下扩散的考虑。

4 组合式桥台需要注意桩基周围地基沉降引起的负摩阻力，施工时需要控制填土速度。

6.3.4 台后长度不小于3倍台高范围内的填土应在拱圈合龙前完成，台后填土应分层夯实，其压实度(重型击实试验)不应小于96%，并应做好台后填土防护工程。

条文说明

水流对台后填土的侵蚀或冲刷作用，将影响桥台的安全和使用效果，因此需要切实做好台后填土的防护工程。

7 涵洞

7.1 一般规定

7.1.1 涵洞应根据公路功能和技术等级、排水系统、水利规划、农田排灌等要求，并考虑因地制宜、就地取材、便于施工和维护等进行设计。

7.1.2 应根据车辆荷载、结构重力和填土重力等作用及其组合效应，进行涵洞洞身和洞口结构的受力验算。

7.1.3 涵洞设计应提出合理的施工方法和施工程序要求，洞身两侧土的回填应符合下列规定：

- 1 回填应在洞身砌体砂浆或混凝土强度达到设计值的85%以上后进行。
- 2 洞身两侧应对称回填，回填长度每侧不应小于洞身填土高度的1倍。
- 3 回填应采用分层夯实，压实度(重型击实试验)应不小于96%。

7.2 计算

7.2.1 盖板涵的计算应符合下列规定：

1 横断面受力分析时，整体式基础的涵台宜按台身上端与盖板铰接、台身下端与基础固接进行计算，分离式基础的涵台可按台身上端与盖板铰接、台身下端与基础铰接进行计算；盖板受力宜按两端简支的板考虑，可不计入涵台传递的水平力。

2 涵台轴线方向受力分析时，宜将涵台身、一字墙和基础一起按弹性地基梁计算。

7.2.2 拱涵的计算应符合下列规定：

1 拱圈宜按无铰拱计算，可不考虑曲率、剪切变形、弹性压缩、温度作用和混凝土收缩的影响。

2 涵台宜按恒载与全孔或半孔车辆荷载及其单侧水平推力的作用组合进行计算。

条文说明

参照现行《公路涵洞设计规范》(JTG/T 3365-02)，分别规定了盖板涵和拱涵的上部

结构、涵台结构、洞口结构和地基基础的计算分析要求。

7.2.3 整体式涵洞基础底面地基土的承压应力，可根据轴线方向填土高度不同分段计算。

条文说明

涵台压力在基础内的分布及地基的承压力图式，可以参阅本规范第 6.1.7 条的条文说明。涵洞的跨径较小(小于 5m)，基础高度相对较大，加之涵洞以均匀对称的恒载为主，因此，可以认为整体式涵洞基础是刚性的整体，地基沉降比较均匀，地基承压力近似平均分布。

7.3 构造

7.3.1 盖板涵的构造应符合下列规定：

- 1 盖板两端与涵台的间隙可采用小石子混凝土密实填塞，小石子混凝土的强度等级不应低于 C20。
- 2 盖板涵采用分离式基础时，分离式基础及支撑梁宜采用浆砌块(片)石或混凝土，涵底宜采用砂浆砌片石铺砌。

7.3.2 拱涵的构造应符合下列规定：

- 1 拱圈宜采用等截面圆弧拱，矢跨比不宜小于 1/4。
- 2 护拱可采用浆砌片石、素混凝土。
- 3 拱上侧墙和涵底铺砌可采用浆砌片石。
- 4 拱背及台背应设防水层，并应设置泄水孔或盲沟等排水设施。

条文说明

本条系参照现行《公路涵洞设计规范》(JTG/T 3365-02)的规定制定。

7.3.3 除岩石地基上的涵洞外，涵洞沉降缝的设置应符合下列规定：

- 1 宜每隔 4 ~ 6m 设置一道，可根据涵洞涵底纵坡及地基情况确定。
- 2 应贯通洞身断面。
- 3 涵洞斜交斜做时，其方向应与路线方向一致；涵洞斜交正做时，其方向应与洞身轴线方向垂直。
- 4 沉降缝应采用弹性不透水材料填塞。

7.3.4 在涵洞出入口处，石砌翼墙的外露面和石拱圈的端侧面应镶面并勾缝。涵洞各部位的镶面砌块及砂浆的强度等级，应不低于同部位砌体结构的材料强度等级。

附录 A 石材试件强度的换算系数及石砌体分类

A.0.1 石材试件强度的换算系数应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 石材试件强度的换算系数

立方体试件边长 (mm)	200	150	100	70	50
换算系数	1.43	1.28	1.14	1.00	0.86

A.0.2 石砌体分类应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 石砌体分类

项目	分类			
	细料石	粗料石	块石	片石
砌块厚度	200 ~ 300mm			≥150mm
砌块宽度	1.0 ~ 1.5 倍的厚度			—
砌块长度	2.5 ~ 4.0 倍的厚度		1.5 ~ 3.0 倍的厚度	—
外形	方正的六面体		大致方正	—
表面凹陷深度	≤10mm	≤20mm	—	—
砌筑方法	错缝砌筑		每层石材高度大致相当， 错缝砌筑	砌筑时敲去其尖锐凸出部分， 平稳放置，可用小石块填塞空隙
砌筑缝宽	≤10mm	≤20mm	—	—

条文说明

石材强度等级系数参照《GB 50003—2011 规范》并结合行业特点制定，石砌体分类删除了半细料石及其相关规定。

附录 B 预拱度的计算与设置

B.0.1 采用支架法施工的圬工拱桥，拱顶的预拱度宜按下列规定计算：

1 主拱圈及拱上建筑自重产生的拱顶弹性变形 δ_{u1} 可按式 (B.0.1-1)、式 (B.0.1-2) 计算：

$$\delta_{u1} = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + f^2}{f} \cdot \frac{\sigma}{E_g} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\sigma = \frac{H_g}{A \cos \varphi_m} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中：L——主拱圈计算跨径；

f——主拱圈计算矢高；

E_g ——主拱圈材料受压弹性模量；

H_g ——主拱圈及拱上建筑自重产生的水平推力；

σ ——主拱圈及拱上建筑自重产生的平均压应力；

φ_m ——拱顶与拱脚连线与水平线的夹角；

A——主拱圈截面面积，变截面拱可取平均截面面积。

2 主拱圈温度变化产生的拱顶弹性变形 δ_{u2} 可按式 (B.0.1-3) 计算：

$$\delta_{u2} = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + f^2}{f} \cdot \alpha |t_1 - t_2| \quad (\text{B.0.1-3})$$

式中： α ——主拱圈材料线膨胀系数；

t_1 ——年平均温度；

t_2 ——封拱时温度。

3 对于整体施工的主拱圈，混凝土主拱圈由混凝土收缩和徐变产生的拱顶竖向变形 δ_{u3} 可按 $(t_1 - t_2) = -15^\circ\text{C}$ 采用式 (B.0.1-3) 计算；对于分段施工的主拱圈， δ_{u3} 可按 $(t_1 - t_2) = -5 \sim -15^\circ\text{C}$ 采用式 (B.0.1-3) 计算。

4 墩、台水平位移产生的拱顶竖向变形 δ_{u4} 可按式 (B.0.1-4) 计算：

$$\delta_{u4} = \frac{L}{4f} \cdot \Delta l \quad (\text{B.0.1-4})$$

式中： Δl ——主拱圈拱脚相对分离水平位移值。

5 支架弹性变形引起的拱顶竖向变形 δ_{u5} 可按式(B.0.1-5)计算：

$$\delta_{u5} = \frac{\sigma h}{E_z} \quad (\text{B.0.1-5})$$

式中： σ ——拱架立柱受载后的压应力；

h ——立柱高度；

E_z ——立柱材料的弹性模量。

6 拱顶的预拱度宜按可能产生的各种变形量相叠加，可按表 B.0.1 的规定进行组合。

表 B.0.1 拱顶预拱度的组合

项目	拱顶竖向变形的组合
设计预拱度	δ_{u1} 、 δ_{u2} 、 δ_{u3} 、 δ_{u4}
施工预拱度	δ_{u1} 、 δ_{u2} 、 δ_{u3} 、 δ_{u4} 、 δ_{u5}

注： δ_{u1} 、 δ_{u2} 、 δ_{u3} 、 δ_{u4} 、 δ_{u5} 的取值以拱顶上挠为负值，拱顶下沉为正值。

条文说明

本次修订取消了《JTG D61—2005 规范》中的无支架施工规定，按支架法施工计算和设置拱桥的预拱度。

1 《JTG D61—2005 规范》未考虑施工支架预压要求，因此存在支架、砂筒、基础的非弹性变形，《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)已明确要求支架预压，这部分变形可通过支架的荷载预压消除。

2 设计单位一般提供设计预拱度，施工支架结构设计是施工单位编制的施工组织设计的重要组成部分，施工单位能够准确计算支架的弹性变形，施工预拱度不再存在按经验估算的情况，因此本次修订取消了《JTG D61—2005 规范》施工预拱度可按跨径的 $l/800 \sim l/600$ 估算的规定。

3 在通常情况下，自重、混凝土收缩徐变、水平位移(向拱脚外侧)、支架弹性变形引起的 δ_{u1} 、 δ_{u3} 、 δ_{u4} 、 δ_{u5} 使得拱顶下沉，取值为正；本规范第5.1.2条的条文说明指出“拱圈需要在低温合龙，以减少降温产生过大的温度作用效应”，即($t_1 > t_2$)，拱圈温度变化引起的 δ_{u2} 使得拱顶上升，取值为负。

B.0.2 预拱度应根据上述各项因素产生的挠度曲线反向设置，可根据经验按下列方法之一设置：

1 可按式(B.0.2)规定的抛物线法设置：

$$\delta_x = \delta_u \left(1 - \frac{4x^2}{L^2}\right) \quad (\text{B.0.2})$$

式中： δ_x ——与拱顶距离为 x 处的预加高度；

- δ_u ——主拱圈拱顶预拱度，按本规范第 B.0.1 条的规定计算；
 L ——主拱圈计算跨径。
- 2 可按推力影响线的比例设置。
 - 3 对于不对称拱桥或坡拱桥，可按拱的弹性挠度反向比例设置。

交通运输部信息公开
 浏览专用

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本规范中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。