

DB51

四川省地方标准

DB51/T 1992—2015

钢筋混凝土箱型拱桥技术规程

2015 - 07 - 08 发布

2015 - 10 - 01 实施

四川省质量技术监督局

发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 总则 1

4 术语和符号 3

5 材料 6

6 计算基本规定 12

7 承载能力极限状态计算 14

8 正常使用极限状态计算 20

9 构造 21

10 施工 27

11 质量验收 34

前 言

根据四川省质量技术监督局川质监函〔2014〕100号《关于下达2014年度地方标准制（修）订项目立项计划的通知》的要求，以交通运输部科技项目“山区大跨径钢筋混凝土箱型拱桥设计与施工关键技术研究”、四川省交通科技项目“基于强劲骨架的钢筋混凝土箱型拱桥关键技术研究”等科研项目成果为支撑，通过攀枝花白沙沟大桥、广元昭化嘉陵江大桥等工程实践的积累，制订了《钢筋混凝土箱型拱桥技术规程》。

本规程主要包括总则、术语和符号、材料、计算基本规定、承载能力极限状态计算、正常使用极限状态计算、构造、施工和质量验收等内容。

本规程由四川省质量技术监督局审查批准，四川省交通运输厅负责管理，四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院负责具体技术内容的解释。各有关单位在执行过程中如有意见和建议，请函告四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院（地址：成都市武侯横街1号，邮编：610041），以便修订时参考。

主编单位：四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

参编单位：四川公路桥梁建设集团有限公司

清华大学

四川大学锦城学院

主要起草人：牟廷敏、王潇碧、熊国斌、韩林海、梁健、曹瑞、黄平、范碧琨、周孝军。

主审人：庄卫林、谢邦珠。

钢筋混凝土箱型拱桥技术规程

1 范围

本规程规定了钢筋混凝土箱型拱桥术语和符号、材料、承载能力极限状态计算、正常使用极限状态计算、构造、施工和质量验收等。

本规程适用于钢筋混凝土箱型拱桥设计、计算、施工与质量验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG/T B02-01 公路桥梁抗震设计细则

JTG/T D60-01 公路桥梁抗风设计规范

3 总则

3.1 为规范公路钢筋混凝土箱型拱桥建造技术，确保工程质量，使钢筋混凝土箱型拱桥符合安全可靠、适用耐久、经济合理、技术先进的要求，特制订本规程。

3.2 本规程适用于主拱采用无支架施工法的钢筋混凝土箱型拱桥设计、施工与质量验收。

条文说明

主拱无支架施工法包括主拱缆索吊装、主拱劲性骨架外包钢筋混凝土、主拱转体合龙和悬臂浇筑主拱合龙的施工方法。

3.3 钢筋混凝土箱型拱桥采用以概率理论为基础的极限状态设计法，应进行以下两类极限状态设计：

3.3.1 承载能力极限状态

对应于钢筋混凝土箱型拱桥及其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。

3.3.2 正常使用极限状态

对应于钢筋混凝土箱型拱桥及其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。

3.4 钢筋混凝土箱型拱桥应根据不同种类的作用（或荷载）及其对桥梁的影响、桥梁所处的环境条件，按以下四种状况进行相应的极限状态设计：

3.4.1 持久状况

桥梁建成后承受自重、车辆等荷载的状况。应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

3.4.2 短暂状况

桥梁施工过程中承受临时性作用的状况。应进行承载能力极限状态设计，必要时进行正常使用极限状态设计。

3.4.3 偶然状况

桥梁在服役期内可能偶然出现异常的状况。应进行承载能力极限状态设计，必要时进行正常使用极限状态设计。

3.4.4 地震状况

桥梁在遭受地震作用时的状况，在抗震设防地区应计入地震设计状况。应进行承载能力极限状态设计，必要时进行正常使用极限状态设计。

3.5 钢筋混凝土箱型拱桥设计时，应提出主拱的施工方法、施工步骤和成拱体系转换工艺，规定拱上加载程序。

条文说明

主拱施工方法、施工步骤、成拱体系转换工艺和拱上加载程序影响到拱桥总体布局、构造设计、施工与使用安全，因此设计时应总体考虑施工过程的关键技术。

3.6 应结合地形条件及运输条件，论证主拱成拱方法，编制转体或缆吊与扣挂体系的施工工艺组织设计文件，并报请主管单位或专家审查后实施。

条文说明

主拱施工的缆索吊装法、悬臂浇筑法、劲性骨架法，其临时安装设施均包含缆吊体系及扣挂体系，而转体施工法只包含扣挂体系。因此，缆吊与扣挂体系应进行专门的施工组织设计和审查。

3.7 钢筋混凝土箱型拱桥设计使用年限应为 100 年，吊索、系杆索的设计使用年限应为 20 年，吊索、系杆索锚固设计必须符合可检查、可维修和可更换的需要。

3.8 钢筋混凝土箱型拱桥设计、施工和验收，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家或行业现行有关标准的规定。

条文说明

作用（或荷载）及其组合应符合现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）的规定；钢筋混凝土和预应力混凝土构件的设计应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定；钢管混凝土构件的设计应符合现行《公路钢管混凝土拱桥设计细则》（报批稿）的规定；结构抗震设计应符合现行《公路桥梁抗震设计细则》（JTG/T B02-01）的规定；桥梁抗风设计应符合现行《公路桥梁抗风设计规范》（JTG/T D60-01）的规定；工程质量应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）、《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205）和《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）的规定。

当桥梁有承受重载、煤气或电力管线过桥等特殊要求时,应符合专门规范的规定或制订专门技术要求。

4 术语和符号

4.1 术语

4.1.1 钢筋混凝土箱型拱桥

主拱采用钢筋混凝土材料形成箱型截面作为主要承重结构的桥梁。

4.1.2 施工环境温度

主拱制作或安装时现场的温度。

4.1.3 预拱度

为抵消主拱施工阶段恒载累计竖向变形及部分活载竖向变形产生的总挠度,而在施工和制造主拱时所预留的与总挠度方向相反的校正量值。

4.1.4 组合截面主拱

受力截面为钢管混凝土或钢与钢筋混凝土复合成共同受力组合截面的主拱。

4.1.5 分环浇筑法

劲性骨架外包拱圈混凝土时,为减轻劲性骨架的负荷,通过计算确定的沿拱圈纵向分次浇筑合龙的方法,主拱外包混凝土每一次浇筑合龙称为分环浇筑法的一环。

4.1.6 分段浇筑法

浇筑劲性骨架混凝土拱圈时,为使拱圈内力和变形均衡,将拱圈每环沿纵向对称、均衡分段浇筑,每一分段称为分段浇筑法的一个工作面。

4.1.7 分环分段浇筑法

根据主拱骨架和已浇混凝土截面的强度、刚度和稳定性,将骨架外包混凝土分成多环、每环多段浇筑完成的施工方法。

4.1.8 分环连续浇筑法

通过调整扣索索力,实现主拱从拱脚到拱顶单环纵向一次连续浇筑完成骨架外包混凝土的施工方法。

4.1.9 主拱斜拉扣挂法

采用临时锚碇、扣塔、锚索、扣索扣住主拱形成斜拉扣挂体系,利用扣索调整主拱标高、轴线变形的施工方法。

4.1.10 拱段缆索吊装法

采用缆索、起吊索与两岸临时锚碇、吊塔形成吊装体系,起吊和安装主拱节段的施工方法。

4.1.11 主拱转体施工法

采用斜拉扣挂法扣住已悬臂浇筑的钢筋混凝土主拱，利用专用挂篮悬臂浇筑下节段，直至钢筋混凝土主拱合龙的施工方法。

4.1.12 主拱悬臂浇筑法

采用斜拉扣挂法扣住已悬臂浇筑的钢筋混凝土主拱，利用专用挂篮悬臂浇筑下节段，直至钢筋混凝土主拱合龙的施工方法

4.1.13 主拱劲性骨架法

采用无支架法架设主拱钢管混凝土或型钢骨架，再利用劲性骨架分环分段浇筑外包混凝土形成主拱的施工方法。

4.1.14 主拱强劲骨架法

在劲性骨架法基础上，通过提高钢管混凝土骨架的强度和刚度并与主拱共同受力，减少浇筑拱圈混凝土的分环次数（ ≤ 3 次），以缩短工期、降低施工难度的施工方法。

4.2 符号

4.2.1 作用和作用效应

N ——主拱组合截面轴向承载力设计值；

R ——构件承载力设计值；

S ——作用（或荷载）效应的组合设计值；

N_{cr} ——主拱欧拉临界力；

N_{sc} ——钢管混凝土骨架截面的轴压承载力；

N_{rc} ——钢筋混凝土截面的轴压承载力；

N_{sc}^t ——截面受压较小边或受拉区圆钢管混凝土的承载力；

N_{sc}^{cu} ——截面受压较大边或受压区圆钢管混凝土的抗压承载力；

4.2.2 材料指标

E_s ——钢材弹性模量；

E_c ——混凝土弹性模量；

E_{sc} ——钢管混凝土组合弹性轴压模量；

G_c ——混凝土剪切模量；

G_{sc} ——钢管混凝土组合弹性剪切模量；

μ_c ——混凝土泊松比；

α ——线膨胀系数；

f_y ——钢材的屈服强度；

f_{sd} ——钢材的抗拉、抗压、抗弯强度设计值；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{sc} ——钢管混凝土组合轴心抗压强度设计值；

τ_{sc} ——钢管混凝土组合抗剪强度设计值；

$\overline{K}$ ——桥墩抗推刚度；

K ——主拱抗推刚度。

4.2.3 几何参数

A_{sp} ——钢管混凝土钢管的截面面积；

A_{cp} ——钢管内混凝土的截面面积；

A ——主拱全截面面积；

A_s ——受拉区纵向钢筋截面面积；

A'_s ——受压区纵向钢筋截面面积；

D ——主管外径；

T ——主管壁厚；

i ——主拱截面回转半径；

e_0 ——主拱计算截面最大偏心距；

L ——主拱的计算跨径；

L_0 ——主拱的净跨径；

L_a ——主拱拱轴线长度；

S_0 ——拱轴线等效计算长度；

λ ——构件长细比；

H ——主拱计算截面全高；

h_i ——钢管混凝土骨架上下弦的中心距；

B ——主拱截面全宽；

δ_s ——主拱设计预拱度值；

δ_g ——主拱钢管混凝土劲性骨架的计算预拱度值；

δ_c ——钢筋混凝土主拱的计算预拱度值。

4.2.4 计算系数及其它

α_s ——截面的含钢率；

ξ ——钢管混凝土的约束效应系数标准值；

ξ_0 ——钢管混凝土的约束效应系数设计值；

μ ——钢管混凝土拱桥汽车荷载冲击系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_e ——抗震调整系数；

K_g ——当主拱采用钢管混凝土劲性骨架法成拱时，其骨架的预拱度非线性修正系数；

K_c ——钢筋混凝土主拱的预拱度非线性修正系数。

5 材料

5.1 混凝土

5.1.1 钢管混凝土骨架法主管内灌注的混凝土应采用自密实补偿收缩混凝土，其强度等级宜为 C50～C100。主拱骨架外包混凝土宜采用强度等级不大于 C60 的桥梁高性能混凝土。

5.1.2 自密实补偿收缩混凝土性能指标应符合下列要求：

1 力学性能：应符合设计要求。

2 体积稳定性：密闭环境下混凝土自由膨胀率应控制在 $2 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$ ，其稳定收敛期应小于 60d。

3 工作性能：其各项指标应符合表 5.1.2 的要求。

表 5.1.2 自密实补偿收缩混凝土工作性能

泵送灌注时间 (h)	坍落度 (cm)		扩展度 (cm)		U 型箱 填充高度 (cm)	V 型漏斗 通过时间 (s)	T ₅₀ 时间 (s)	初凝 时间 (h)	终凝 时间 (h)
≤6	入泵 20~26	3h: ≥18	入泵 50~65	3h: ≥40	≥30 无障碍	10~25	5~20	12~18	14~20
6~10		5h: ≥18		5h: ≥40				16~22	18~24

4 外加剂选择：应掺加高性能减水剂和膨胀剂。选用的高性能减水剂应具有保塑、缓凝的功能，减水率应大于 25%，且制备的混凝土拌和物含气量应小于 2.5%。选用的膨胀剂应对混凝土工作性能影响小、膨胀性能稳定，水中限制膨胀率 7d 大于 0.05%、空气中（温度（20±2）℃，相对湿度（60±5）%）21d 大于 0%。

条文说明

自密实补偿收缩混凝土工作性能，其评价指标根据《自密实混凝土应用技术规程》（CECS203:2006）的性能测试方法，采用坍落扩展度法测试流动性能，用 V 形漏斗法测试黏稠性和抗离析性，用 U 形箱法测试自填充性。测试的混凝土工作性能指标应符合本条规定。

试验研究表明，钢管内混凝土在密闭环境下的膨胀率应在 60d 内稳定收敛，有利于施工控制和桥梁结构的稳定。当密闭环境下钢管内混凝土自由膨胀率在 $2 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$ ，含气量小于 2.5% 时，钢管内混凝土容易密实。如果密闭环境下混凝土中膨胀剂掺量高，自由膨胀率过大，就会影响混凝土的工作性能、力学性能和结构稳定性能。

主管内混凝土一般采用泵送顶升灌注，依靠混凝土的自重而密实，因此，混凝土应具有良好的自密实性能。如果初始坍落度小于 20cm、扩展度小于 50cm、T₅₀ 时间大于 20s、V 型漏斗通过时间大于 25s、U 型箱填充高度小于 30cm，则混凝土的工作性能不能符合自密实性能要求；混凝土坍落度大于 26cm、扩展度大于 65cm、T₅₀ 时间小于 5s、V 型漏斗通过时间小于 10s，则混凝土粘聚性不良，容易离析而堵管或分层，影响混凝土均匀性。工程实践表明，如果泵送顶升灌注 6h 内完成，则控制 3h 坍落度宜大于 18cm，扩展度大于 40cm，初凝时间 12~18h，终凝时间 14~20h；如果泵送顶升灌注 10h 内完成，则 3h 坍落度应无损失，控制 5h 坍落度宜大于 18cm，扩展度大于 40cm，初凝时间 16~22h，终凝时间 18~24h。

在泵送压力作用下，混凝土中气体会部分逸出，积聚在钢管和混凝土之间形成气膜，造成钢管和混凝土脱粘，所以对混凝土含气量作出要求。

5.1.3 主拱骨架外包混凝土应具有抗裂性能高、缓凝时间长、流动性好的性能。

- 1 力学性能：应符合设计强度等级要求。
- 2 抗裂性能：抗裂等级应大于 II 级。
- 3 工作性能：其各项指标应符合表 5.1.3 要求：

表 5.1.3 主拱骨架外包混凝土工作性能

浇筑时间 (h)	坍落度 (cm)		扩展度 (cm)		T ₅₀ 时间 (s)	初凝 时间 (h)	终凝 时间 (h)
≤6	入泵 20~23	3h: ≥18	入泵 45~60	3h: ≥40	5~20	≥6	≤8
6~10		5h: ≥18		5h: ≥40		≥10	≤12

4 外加剂选择：采用的高性能减水剂应具有保塑、缓凝和增韧的功能，外加剂的减水率应大于 25%。

5 纤维：宜掺加 0.8~1.0kg/m³ 聚丙烯腈纤维和 35~45kg/m³ 多锚点带压痕的碳素冷拔钢丝切断型的钢纤维。

条文说明

薄壁、箱大、挖空率高的钢筋混凝土箱型结构，在各种荷载作用下易开裂。因此，尽可能采用强度等级较低的混凝土和各种材料防裂措施，避免主拱箱型结构产生裂纹。

5.1.4 混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、轴心抗压强度设计值 f_{cd} 、轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 、轴心抗拉强度设计值 f_{td} 、弹性模量 E_c 应按表 5.1.4 采用。混凝土的剪切模量 G_c 可按表 5.1.4 中弹性模量 E_c 的 0.4 倍采用，混凝土的泊松比 μ_c 可采用 0.2。

表 5.1.4 混凝土强度和弹性模量 (MPa)

混凝土强度等级		C50	C60	C70	C80	C90	C100
标准值	轴心抗压 f_{ck}	32.4	38.5	44.5	50.2	55.7	61.2
	轴心抗拉 f_{tk}	2.65	2.85	3.00	3.10	3.13	3.15
设计值	轴心抗压 f_{cd}	22.4	26.5	30.5	34.6	38.5	42.2
	轴心抗拉 f_{td}	1.83	1.96	2.07	2.14	2.16	2.17
弹性模量 $E_c (\times 10^4)$		3.45	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00

5.2 钢管混凝土

5.2.1 钢管混凝土构件应符合下列要求：

- 1 钢管外径不宜大于 700mm；
- 2 钢管混凝土主拱的主管壁厚不宜小于 10mm；
- 3 钢管径厚比 (D/T) 不宜大于 100；
- 4 含钢率 a_s 宜取值为 0.06~0.20，其值应按式 (5.2.1-1) 计算：

$$a_s = \frac{A_{sp}}{A_{cp}} \quad (5.2.1-1)$$

式中： a_s ——钢管混凝土截面含钢率；

A_{sp} ——钢管混凝土钢管的截面面积，m²；

A_{cp} ——钢管内混凝土的截面面积，m²。

5 约束效应系数标准值 ξ 不宜小于 0.6，其值应按式 (5.2.1-2) 计算：

$$\xi = \frac{A_{sp} f_y}{A_{cp} f_{ck}} \quad (5.2.1-2)$$

式中： ξ ——钢管混凝土的约束效应系数标准值；

f_y ——钢材的屈服强度，MPa；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值，MPa。

条文说明

为使钢管与钢管内混凝土具有统一的力学特征和变形协调性能，并符合主拱外包混凝土及成桥后共同受力性能需要，钢管混凝土的含钢率、径厚比、约束效应系数等应符合规定指标要求。

5.2.2 钢管混凝土设计强度应采用组合轴心抗压强度 f_{sc} ，其值应按式 (5.2.2-1) 计算：

$$f_{sc} = (1.14 + 1.02\xi_0) f_{cd} \quad (5.2.2-1)$$

式中： f_{sc} ——钢管混凝土组合轴心抗压强度设计值，MPa；

ξ_0 ——钢管混凝土的约束效应系数设计值，按式 (5.2.2-2) 计算：

$$\xi_0 = \frac{A_{sp} f_{sd}}{A_{cp} f_{cd}} \quad (5.2.2-2)$$

f_{sd} ——钢管的抗拉强度设计值，MPa；

f_{cd} ——钢管内混凝土的轴心抗压强度设计值，MPa。

5.2.3 钢管混凝土弹性模量应采用组合弹性轴压模量 E_{sc} ，其值应按表 5.2.3 取值。

表 5.2.3 组合弹性轴压模量 E_{sc} ($\times 10^4 \text{MPa}$)

钢材牌号		Q345						Q390					
混凝土 强度等级		C50	C60	C70	C80	C90	C100	C50	C60	C70	C80	C90	C100
a_s	0.06	3.99	4.46	4.93	5.38	5.81	6.24	3.87	4.31	4.75	5.16	5.56	5.96
	0.07	4.23	4.70	5.17	5.62	6.05	6.48	4.12	4.57	5.00	5.41	5.81	6.21
	0.08	4.47	4.95	5.42	5.86	6.29	6.72	4.38	4.82	5.25	5.67	6.07	6.47
	0.09	4.71	5.19	5.66	6.10	6.53	6.97	4.63	5.07	5.51	5.92	6.32	6.72
	0.10	4.95	5.43	5.90	6.35	6.78	7.21	4.88	5.32	5.76	6.17	6.57	6.97
	0.11	5.19	5.67	6.14	6.59	7.02	7.45	5.14	5.58	6.01	6.43	6.83	7.22
	0.12	5.44	5.91	6.38	6.83	7.26	7.69	5.39	5.83	6.27	6.68	7.08	7.48
	0.13	5.68	6.15	6.62	7.07	7.50	7.93	5.64	6.08	6.52	6.93	7.33	7.73
	0.14	5.92	6.40	6.87	7.31	7.74	8.17	5.89	6.34	6.77	7.19	7.59	7.98
	0.15	6.16	6.64	7.11	7.55	7.98	8.41	6.15	6.59	7.03	7.44	7.84	8.24
	0.16	6.40	6.88	7.35	7.80	8.23	8.66	6.40	6.84	7.28	7.69	8.09	8.49
	0.17	6.64	7.12	7.59	8.04	8.47	8.90	6.65	7.10	7.53	7.95	8.34	8.74
	0.18	6.89	7.36	7.83	8.28	8.71	9.14	6.91	7.35	7.79	8.20	8.60	9.00
	0.19	7.13	7.60	8.07	8.52	8.95	9.38	7.16	7.60	8.04	8.45	8.85	9.25
	0.20	7.37	7.85	8.32	8.76	9.19	9.62	7.41	7.86	8.29	8.71	9.10	9.50

注：当含钢率 a_s 为中间值时， E_{sc} 采用线性插值法求得。

5.2.4 钢管混凝土组合抗剪强度设计值 τ_{sc} ，其值应按式（5.2.4）计算：

$$\tau_{sc} = (0.422 + 0.313a_s^{2.33})\xi_0^{0.134}f_{sc} \tag{5.2.4}$$

式中： τ_{sc} —钢管混凝土组合抗剪强度设计值，Mpa；

a_s —钢管混凝土截面的含钢率；

ξ_0 —钢管混凝土的约束效应系数设计值；

f_{sc} ——钢管混凝土组合轴心抗压强度设计值，MPa。

5.2.5 钢管混凝土剪切模量应采用组合弹性剪切模量 G_{sc} ，其值应按表 5.2.5 取值。

表 5.2.5 组合弹性剪切模量 G_{sc} ($\times 10^4$ MPa)

钢材牌号		Q345						Q390					
混凝土 强度等级		C50	C60	C70	C80	C90	C100	C50	C60	C70	C80	C90	C100
a_s	0.06	1.20	1.30	1.40	1.49	1.58	1.66	1.17	1.26	1.35	1.43	1.51	1.59
	0.07	1.30	1.40	1.50	1.59	1.67	1.76	1.26	1.35	1.44	1.53	1.61	1.68
	0.08	1.39	1.49	1.59	1.68	1.77	1.85	1.36	1.45	1.54	1.62	1.70	1.77
	0.09	1.49	1.59	1.68	1.77	1.86	1.94	1.45	1.54	1.63	1.71	1.79	1.86
	0.10	1.58	1.68	1.78	1.87	1.95	2.03	1.54	1.63	1.72	1.80	1.87	1.95
	0.11	1.68	1.77	1.87	1.96	2.04	2.13	1.63	1.72	1.80	1.88	1.96	2.03
	0.12	1.77	1.87	1.96	2.05	2.13	2.22	1.73	1.81	1.89	1.97	2.04	2.12
	0.13	1.87	1.96	2.05	2.14	2.22	2.31	1.82	1.90	1.98	2.06	2.13	2.20
	0.14	1.96	2.06	2.15	2.23	2.31	2.40	1.91	1.99	2.07	2.14	2.21	2.29
	0.15	2.06	2.15	2.24	2.32	2.40	2.49	2.00	2.08	2.15	2.23	2.30	2.37
	0.16	2.16	2.24	2.33	2.41	2.50	2.58	2.09	2.16	2.24	2.31	2.38	2.45
	0.17	2.25	2.34	2.42	2.51	2.59	2.67	2.18	2.25	2.32	2.40	2.46	2.53
	0.18	2.35	2.43	2.52	2.60	2.68	2.76	2.27	2.34	2.41	2.48	2.55	2.61
	0.19	2.45	2.53	2.61	2.69	2.77	2.85	2.36	2.43	2.49	2.56	2.63	2.70
	0.20	2.55	2.62	2.71	2.78	2.86	2.94	2.45	2.51	2.58	2.65	2.71	2.78

注：当含钢率 a_s 为中间值时， G_{sc} 采用线性插值法求得。

5.2.6 钢管混凝土的线膨胀系数 α 应取 1.2×10^{-5} 。

条文说明

外包拱箱混凝土之前，钢管混凝土的钢管外表面直接暴露于大气中，且钢管内混凝土对钢管的轴向约束较小，因此，选用钢材的线膨胀系数 α 作为钢管混凝土的取值

6 计算基本规定

6.1 一般规定

6.1.1 钢筋混凝土箱型主拱应采用有限元法进行强度、刚度、稳定性和动力性能的分析。

1 钢筋混凝土箱型主拱应采用静力方法计算内力和累计变形。按照极限承载能力公式，对主拱进行强度验算。

2 钢筋混凝土箱型主拱整体稳定与动力特性，应建立全桥空间模型进行分析，包括主拱、桥面系、吊杆、立柱、系杆等全桥各构件。

3 当跨度大于 200m 时，还应计入几何、材料非线性影响。

条文说明

根据实践经验，主拱跨度小于 200m 的钢筋混凝土箱型拱桥不计入几何、材料非线性影响，按弹性理论计算能够符合桥梁安全需要。主拱跨度大于 200m 的钢筋混凝土箱型拱桥，由于建造数量少、经验积累不足、非线性影响较大，建议主拱结构计算时计入几何、材料非线性影响。

6.1.2 无铰拱和双铰拱的计算可不考虑拱上建筑与主拱圈的联合作用。

6.1.3 特大跨径和大跨径拱桥的主拱在各种作用（或荷载）组合下的受力阶段，宜为小偏心受压构件，应通过计算优化主拱拱轴系数。

6.1.4 主拱在施工过程中，应验算各施工阶段的截面强度、刚度和稳定性。

6.1.5 多跨无铰拱桥应按连拱计算，当桥墩抗推刚度 $\bar{K}$ 与主拱抗推刚度 K 之比大于 37 时，可按单跨拱桥计算。其中桥墩抗推刚度 $\bar{K}$ 与主拱抗推刚度之比 K 分别按式（6.1.5-1）、（6.1.5-2）计算：

$$\bar{K} = \frac{\delta_{11}}{\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2} \quad (6.1.5-1)$$

$$K = \frac{1}{\delta'_{22}} \quad (6.1.5-2)$$

式中： δ_{11} 、 δ_{21} 、 δ_{12} 、 δ_{22} ——墩顶固结时墩的常变位；

δ'_{22} ——无铰拱的常变位。

6.1.6 钢筋混凝土主拱悬臂浇筑计算时，应计入扣挂体系的变形对主拱成拱过程强度、刚度和稳定性的影响。

6.1.7 进行钢管混凝土强劲骨架法成拱的钢筋混凝土主拱计算时，应计入骨架对强度、刚度和稳定性的影响。

6.1.8 进行转体主拱合龙的施工计算时，应建立半跨主拱、平衡配重、扣挂结构等总体计算模型，计算主拱转体时转动体系的强度、刚度和稳定性。

条文说明

转体施工的稳定性除包括纵横向稳定性外，特别注意转体过程的平衡稳定性计算。

6.2 特殊规定

6.2.1 钢筋混凝土箱型主拱的活载冲击系数 μ ，应按式(6.2.1)计算。当计算结果 $\mu < 0.05$ 时，取 $\mu = 0.05$ 。

$$\mu = \frac{18}{40 + L_0} \quad (6.2.1)$$

式中： L_0 ——主拱的净跨径，m。

条文说明

目前对桥梁的动力特性进行了许多的试验和理论研究，但是关于车辆行驶对钢筋混凝土拱桥产生的动力特性的认识仅限于一些桥梁动载测试或一些数值分析，而冲击系数影响因素多，各因素影响程度差别较大，研究成果缺乏系统性。具体表现为：

(1) 许多国家将“冲击系数”随 L 加大递减的倾向，不符合实际。尤其是对于在设计年限内，因受各种病害因素影响而整体刚度受削减，结构承载力降低的旧桥，其荷载动力效应仍较明显。

(2) 现有规范对桥面不平整因素考虑不足，国内目前桥面状况更差，如果不考虑桥面不平整因素，对冲击系数的规定属偏于不安全。

(3) 桥梁的强迫振动是比较复杂的，从影响因素看，主要有激振力、激振力频率、桥梁本身固有频率、桥梁跨度以及激振力和桥梁振动的耦合作用关系。激振力属荷载本身的固有因素。桥梁本身固有频率主要跟桥梁的材料特性、刚度、质量分布、结构组成形式有关；激振力频率及激振力和桥梁振动的耦合作用关系则与桥面的不平整度息息相关。因此，桥梁的“冲击系数”跟桥梁跨度、桥面的不平整度、桥梁目前的实际刚度、材料性质等因素均有关。因此，现行行业规范仅考虑结构基频是不够全面的。

(4) 冲击系数随着结构和截面位置的不同而不同。在车辆荷载作用下，中承式、下承式拱桥的钢筋混凝土拱肋和桥面的振动幅度是不一样的。对主拱的拱脚、四分点和跨中截面的冲击系数也是不一样的。

(5) 在桥面平整度较好的条件下，行车速度对钢筋混凝土拱桥的冲击系数影响较小。

(6) 钢筋混凝土拱桥的冲击系数在桥梁的使用年限内，并不是一个定值。随桥梁服役期的增长，结构的整体性逐渐变差，导致钢筋混凝土拱桥的自振频率和冲击系数随着变化。

结合国内学者对钢筋混凝土拱桥的冲击系数的研究成果，基于现代交通车辆荷载大、行车速度高，与铁路列车行驶冲击系数接近，因此，采用铁路规范推荐的冲击系数计算公式。对特大跨度的拱桥，桥面平整度对主拱冲击系数的影响显著，不同吊索长度、不同桥梁宽度等多种因素相互影响，为了桥梁安全和计算简便，参考国内外相关规范，规定大跨拱桥冲击系数最小值不小于0.05。

6.2.2 钢筋混凝土箱板主拱的活载横向分配系数应按“刚性横梁法”计算；钢筋混凝土箱肋主拱的活载横向分配系数应按“杠杆法”计算。

条文说明

主拱横截面为单箱单室或单箱多室整体浇筑的结构称为箱板拱；主拱横截面为两个或多个单箱单室或单箱多室结构，并由满足构造要求的横联连接，称为箱肋拱。试验研究表明：钢筋混凝土箱板主拱活

载横向分配系数按“刚性横梁法”计算内力、箱肋主拱活载横向分配系数按“杠杆法”计算内力与模型测试数据一致，并得到按空间板壳、梁有限元计算分析结果的验证。

6.2.3 主拱的等效计算长度应按式下列规定采用：

$$\text{三铰拱： } S_0 = 0.58L_a \quad (6.2.3-1)$$

$$\text{双铰拱： } S_0 = 0.54L_a \quad (6.2.3-2)$$

$$\text{无铰拱： } S_0 = 0.36L_a \quad (6.2.3-3)$$

式中： S_0 ——主拱拱轴线的等效计算长度；

L_a ——主拱拱轴线的长度。

6.2.4 采用钢管混凝土强劲骨架成拱时，主拱截面承载力应由钢管混凝土骨架截面和外包钢筋混凝土截面共同承担，主拱拱顶段截面组成应符合下列要求：

- 1 钢管混凝土骨架截面与主拱截面面积之比不应小于 6%；
- 2 钢管混凝土骨架截面与主拱组合截面承载力之比不应小于 20%。

6.2.5 钢筋混凝土拱桥设计时，主拱偏心距应符合式（6.2.5-1）的要求。

$$e_0 \leq \frac{2i^2}{H} \quad (6.2.5-1)$$

式中： e_0 ——主拱计算截面的最大偏心距，其值应按式（6.2.5-2）计算：

$$e_0 = \max \left\{ \frac{M_{\max}}{N}, \frac{M}{N_{\min}} \right\} \quad (6.2.5-2)$$

H ——主拱计算截面的高度。

条文说明

计算式（6.2.5-2）中 $\frac{M_{\max}}{N}$ 、 $\frac{M}{N_{\min}}$ 中各参数指同一计算截面最大弯矩与其对应的轴力和该截面最

小轴力与其对应的弯矩。

7 承载能力极限状态计算

7.1 一般规定

7.1.1 钢筋混凝土箱型拱桥主拱应按偏心受压构件进行承载力计算。

7.1.2 钢筋混凝土箱型主拱的承载能力极限状态计算时，其安全等级应为一级。

7.1.3 钢筋混凝土箱型主拱承载能力极限状态计算应符合式（7.1.3）的要求：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (7.1.3)$$

式中：\$S\$——作用效应的组合设计值；

\$R\$——构件承载力设计值；

\$\gamma_0\$——桥梁结构的重要性系数或抗震调整系数；不计地震荷载时，该值为桥梁结构的重要性系数，取 \$\gamma_0=1.1\$；计地震荷载时，该值为抗震调整系数，即取 \$\gamma_0=\gamma_e=0.75\$，当仅计算竖向地震作用时，抗震调整系数 \$\gamma_e=1.0\$。

7.1.4 采用钢管混凝土强劲骨架法成拱的钢筋混凝土主拱，其承载力应按式（7.1.4）进行验算。

$$N = f(N_{sc}, N_{rc}) \quad (7.1.4)$$

式中：\$N\$——主拱组合截面的轴压承载力；

\$N_{sc}\$——钢管混凝土骨架截面的轴压承载力，按式（7.2.2-1）计算；

\$N_{rc}\$——钢筋混凝土截面的轴压承载力，按式（7.2.1-2）计算。

条文说明

采用钢结构的强劲骨架用钢量高、经济性差，且无研究研究成果和实践经验，因此本规程的强劲骨架是指采用钢管混凝土结构。钢管混凝土强劲骨架法成拱的钢筋混凝土主拱，应计入钢管混凝土骨架对主拱组合截面承载力的贡献，主拱组合截面为钢管混凝土骨架截面和钢筋混凝土截面之和。

7.1.5 计算偏心受压构件正截面承载力时，应考虑构件在弯矩作用平面内的挠曲对轴向力偏心矩的影响，即将偏心矩 \$e_0\$ 乘以偏心矩增大系数 \$\eta\$。

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 \frac{e_0}{h_0}} \left(\frac{S_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (7.1.5-1)$$

$$\zeta_1 = 0.2 + 2.7 \frac{e_0}{h_0} \leq 1.0 \quad (7.1.5-2)$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \frac{S_0}{h} \leq 1.0 \quad (7.1.5-3)$$

式中：\$\eta\$——偏心受压构件轴向力偏心矩增大系数；

\$S_0\$——主拱拱轴线的计算长度，应按 6.2.3 条取值；

L_a ——主拱拱轴线的长度；

ζ_1 ——荷载偏心率对截面曲率的影响系数；

ζ_2 ——构件长细比对截面曲率的影响系数。

条文说明

对主跨小于 200m 的拱桥，按一阶理论进行静力分析，其计算内力和变形与实际结构吻合。对主跨大于 200m 的拱桥，仅按一阶理论进行计算分析，而不考虑非线性的影响，忽略了附加弯矩和增大的拱轴向位移。计算内力、变形与主拱实际内力、变形差别较大。参照压弯杆分析引用的增大系数，将按一阶理论得到的拱的弯矩和挠度增大。

模型试验研究表明，荷载形式及大小对弯矩增大系数的影响规律为：①集中力荷载对弯矩增大系数值的影响较小；②径向均布荷载和竖向均布荷载对其影响较大；③随着荷载的增加，用有限元软件计算的弯矩增大系数呈线性增加。

7.2 主拱承载能力极限状态计算

7.2.1 普通截面主拱

1 将箱形截面主拱简化为矩形截面主拱（图 7.2.1），保持截面抗弯刚度不变，简化后的截面等效宽度按式（7.2.1-1）计算，而等效矩形截面的面积仍采用原箱型截面面积，弯矩作用平面内正截面抗压承载力按式（7.2.1-2）～（7.2.1-6）计算：

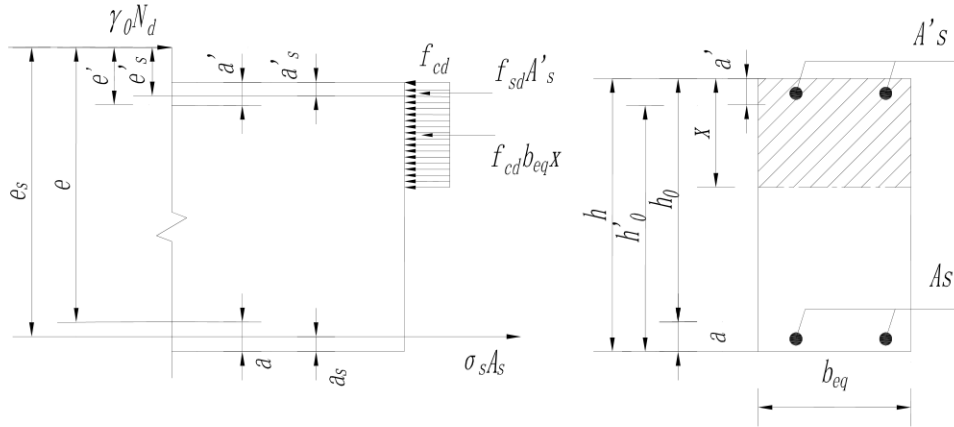


图 7.2.1 等效矩形截面弯矩作用平面内正截面抗压承载力计算简图

$$b_{eq} = 12I / h^3 \quad (7.2.1-1)$$

$$N_{rc} = f_{cd} b_{eq} x + f_{sd} A_s' - \sigma_s A_s \quad (7.2.1-2)$$

$$M_{rc} = f_{cd} b_{eq} x \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{2} \right) + f_{sd} A_s' \left(\frac{h}{2} - a_s' \right) + \sigma_s A_s \left(\frac{h}{2} - a_s \right) \quad (7.2.1-3)$$

$$\gamma_0 N_d \leq N_{rc} \quad (7.2.1-4)$$

$$\gamma_0 N_d e \leq M_{rc}$$
 (7.2.1-5)

$$e = \eta e_0$$
 (7.2.1-6)

式中： b_{eq} ——等效矩形截面宽度，m；

I ——箱型截面惯性矩， m^4 ；

h ——箱型截面高度，m；

A_s ——受压较小边或受拉边纵向钢筋截面面积， m^2 ；

A_s' ——受压区纵向钢筋截面面积， m^2 ；

M_{rc} ——钢筋混凝土截面的抗弯承载力， $kN \cdot m$ ；

N_d ——轴向力的组合设计值， kN ；

M_d ——相应于轴向力的弯矩组合设计值， $kN \cdot m$ ；

e ——轴向力作用点至截面重心轴考虑偏心距放大系数后的距离，m；

e_0 ——轴向力对截面重心轴的偏心距， $e_0 = M_d / N_d$ ；

σ_s ——受拉钢筋应力，应按式（7.2.1-7）计算：

$$\sigma_s = \varepsilon_{cu} E_s \left(\frac{\beta h_0}{x} - 1 \right) \text{ 且 } -f_{sd}' \leq \sigma_s \leq f_{sd}$$
 (7.2.1-7)

h_0 ——截面受压较大边边缘至受拉边或受压较小边纵向钢筋合力点的距离（ $h_0 = h - a$ ）；

β ——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值，应按表 7.2.1-1 取用；

表 7.2.1-1 系数 β 值

系数	混凝土强度等级						
	$\leq C50$	C55	C60	C65	C70	C75	C80
β	0.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74

ε_{cu} ——截面非均匀受压时，混凝土的极限压应变，当混凝土强度等级为 C50 及以下时，取

$\varepsilon_{cu} = 0.0033$ ；当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\varepsilon_{cu} = 0.003$ ；中间强度等级用线性插值法。

2 弯矩作用平面外（垂直于弯矩平面）的正截面抗压承载力计算，不考虑弯矩的作用，但应考虑稳

定系数 φ 的影响, 其值应按式 (7.2.1-8) ~ (7.2.1-9) 计算。

$$N'_{rc} = 0.9\varphi(f_{cd}A + f_{sd}A_s') \quad (7.2.1-8)$$

$$\gamma_0 N_d \leq N'_{rc} \quad (7.2.1-9)$$

式中: N'_{rc} ——面外正截面抗压承载力, kN;

φ ——轴压构件稳定系数, 应按表 7.2.1-2 取用。

A ——主拱箱型截面面积, 当纵向钢筋配筋率大于 3% 时, 应扣除钢筋截面积, 即采用

$$A_n = A - A_s' - A_s。$$

表 7.2.1-2 钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数

S_0/i	≤ 28	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97
φ	1	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.7	0.65	0.6	0.56
S_0/i	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	174
φ	0.52	0.48	0.44	0.4	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

注: 表中 i 为截面最小回转半径。

条文说明

箱型拱桥主拱应折算为“1”形截面偏心受压构件进行计算, 即按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 中第 5.3.6 条计算。但考虑拱桥基本为小偏心受压构件, 可简化为抗弯刚度相等的矩形截面, 而等效矩形截面的面积仍采用原箱型截面面积。经试设计计算, 该简化方法与按“1”形截面偏心受压构件计算结果相比更偏于安全, 且计算方法简单, 可以采用。

7.2.2 组合截面的主拱

1 钢筋混凝土截面的轴压承载力 N_{rc} , 应按式 (7.2.1-2) 计算; 钢筋混凝土截面的抗弯承载力 M_{rc} , 应按式 (7.2.1-3) 计算。

2 钢管混凝土骨架截面的轴压承载力 N_{sc} 、抗弯承载力 M_{sc} , 应根据图 7.2.2 分别按式 (7.2.2-1)、(7.2.2-2) 计算:

$$N_{sc} = \frac{(N_{sc}^{cu} \pm N_{sc}^t)h_i}{2e_0} \quad (7.2.2-1)$$

$$M_{sc} = N_{sc}e_0 \quad (7.2.2-2)$$

当 N_{sc}^t 为拉时取“+”号, 当 N_{sc}^t 为压时取“-”号。

式中： N_{sc}^t ——受压较小边或受拉边圆钢管混凝土承受的荷载（kN），按式（7.2.2-3）计算：

$$N_{sc}^t = \sigma_{sc} A_{sc}^t \quad (7.2.2-3)$$

N_{sc}^{cu} ——受压较大边圆钢管混凝土的抗压承载力（kN），按式（7.2.2-4）计算：

$$N_{sc}^{cu} = \frac{f_{cd}}{E_c} \cdot E_{sc} \cdot A_{sc}^{cu} \quad (7.2.2-4)$$

A_{sc}^{cu} ——受压较大边钢管混凝土组合截面面积， m^2 ；

A_{sc}^t ——受压较小边或受拉边钢管混凝土组合截面面积， m^2 ；

σ_{sc} ——受压较小边或受拉边钢管混凝土应力，按式（7.2.2-5）计算：

$$\sigma_{sc} = \varepsilon_{cu} E_{sc} \left(\frac{\beta h_{sc}}{x} - 1 \right) \text{ 且 } -f_{sd}' \leq \sigma_{sc} \leq f_{sd} \quad (7.2.2-5)$$

h_{sc} ——受压较小边或受拉边钢管混凝土中心至截面顶部的距离，m；

h_i ——钢管混凝土骨架上下弦的中心距，m。

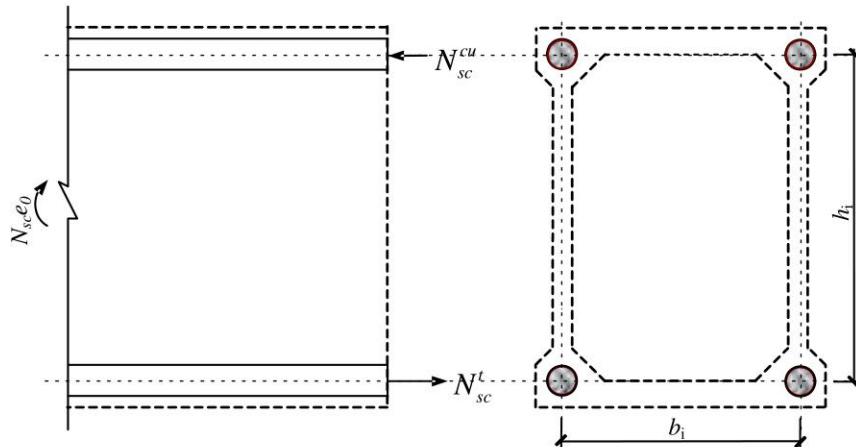


图 7.2.2 组合截面主拱正截面偏心受压承载力计算简图

3 组合截面的承载力，应按式（7.2.2-6）～（7.2.2-9）计算：

$$N = N_{sc} + N_{rc} \quad (7.2.2-6)$$

$$M = M_{sc} + M_{rc} \quad (7.2.2-7)$$

$$\gamma_0 N_d \leq N \quad (7.2.2-8)$$

$$\gamma_0 N_d e \leq M \quad (7.2.2-9)$$

7.2.3 当主拱的偏心距不符合 6.2.5 条的规定时，应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 的钢筋混凝土大偏心受压构件进行强度验算。

8 正常使用极限状态计算

8.1 一般规定

8.1.1 正常使用极限状态的计算，应采用作用的短期效应组合、长期效应组合或短期效应组合并计入长期效应组合的影响。

8.1.2 正常使用极限状态的计算，钢筋混凝土主拱应进行变形验算。

8.1.3 钢筋混凝土箱型拱桥的主拱，正常使用阶段不宜出现拉应力。

8.1.4 变形与预拱度

8.1.5 钢筋混凝土箱型主拱在车道荷载（不计冲击力）作用下的最大竖向挠度（正负挠度绝对值之和）

不应大于 $\frac{L_0}{1000}$ ；桥面梁（板）的最大竖向挠度不应大于 $\frac{L_0}{800}$ 。

8.1.6 钢筋混凝土箱型主拱的变形应根据线弹性理论的方法计算。

8.1.7 钢筋混凝土箱型主拱成桥时的恒载变形总量，应根据拟定的成拱方法，由施工各阶段的恒载变形累计而成。

条文说明

无支架钢筋混凝土箱型主拱成桥状态的恒载变形总量，应根据主拱成拱方法和拱上加载程序，累计各施工阶段的计算变形，而不是一次成桥的恒载变形量。

8.1.8 钢筋混凝土箱型主拱应设置预拱度，计算预拱度值应为主拱恒载累计变形、1/2 活载挠度与混凝土徐变挠度之和；计入非线性影响后，主拱的实际预拱度宜按公式 (8.2.4) 计算。对于跨度小于 50m 的拱桥，主拱预拱度宜设置在 $(1/400 \sim 1/600) L$ 范围内。

$$\delta_s = K_g \delta_g + K_c \delta_c \quad (8.2.4)$$

式中： δ_s ——主拱设计实际预拱度值，m。

K_g ——当主拱采用钢管混凝土劲性骨架法成拱时，其骨架的预拱度非线性修正系数：

50m < L ≤ 100m 时取 1.08；100m < L ≤ 150m 时取 1.14；150m < L ≤ 220m 时取 1.19；220m < L ≤ 340m 时取 1.23；L > 340m 时取 1.28；当主拱采用其它施工方法成拱时取为 0。

δ_g ——主拱钢管混凝土劲性骨架计算预拱度值，m。

K_c ——钢筋混凝土主拱的预拱度非线性修正系数。50m < L ≤ 100m 时取 1.00；100m < L ≤ 150m 时取 1.05；150m < L ≤ 220m 时取 1.10；220m < L ≤ 340m 时取 1.15；L > 340m 时取 1.20。

δ_c ——钢筋混凝土主拱的计算预拱度值，m。

条文说明

采用钢管混凝土劲性骨架法成拱的钢筋混凝土拱桥，最终变形包含劲性骨架成拱过程的累计变形和

外包钢筋混凝土、拱上加载阶段的累计变形，因此预拱度设置应分为两项式。当采用其它施工方法成拱时，则忽略钢管混凝土劲性骨架这部分的变形。

钢管混凝土劲性骨架法成拱的钢筋混凝土主拱，施工过程钢管混凝土的弹性模量取为终极值且应力水平较高，钢管混凝土存在“脱空”、初应力、节点塑性变形和不合理的施工加载程序等原因，引起计算预拱度小于实际变形；钢筋混凝土主拱，存在混凝土徐变、弯曲开裂和不合理的施工过程加载程序等原因，引起计算预拱度小于实际变形。因此，提出了钢筋混凝土主拱的非线性修正系数。

8.1.9 桥面梁（板）的预拱度应计入主拱、吊索及桥面梁（板）的变形。

8.2 动力特性

8.2.1 主拱跨径大于 200m 或宽跨比小于 1/20 的钢筋混凝土箱型拱桥，应计算桥梁动力特性。当设有人行道时，宜使结构频率避开人感频率，人感频率范围可取 2.5~3.5Hz。当有可靠研究资料和桥梁具体要求时，也可以由设计者自行确定人感频率范围。

条文说明

钢筋混凝土箱型主拱的动力特性包括横向、竖向自振频率和振型，反映了桥梁的总体刚度。主拱跨径大于 200m，或宽跨比小于 1/20 的钢筋混凝土拱桥，主拱纵向，或者横向较柔，在地震、风荷载和车辆等动荷载作用下，振动明显，影响桥梁的使用。

8.2.2 主跨跨径大于 200m 的中承式或下承式钢筋混凝土箱型拱桥，应按现行《公路桥梁抗风设计规范》（JTG/T D60-01）的要求，对主拱、吊索、桥面梁的施工过程进行抗风验算。

9 构造

9.1 一般规定

9.1.1 按桥面的位置，钢筋混凝土箱型拱桥可以分为上承式拱桥、中承式拱桥、下承式拱桥。按拱座承载能力，可设计为有推力拱桥和无推力拱桥。

条文说明

根据地形条件，在山区峡谷地区或水深流急 U 型河谷段上，一般采用上承式或中承式拱桥，且采用有推力拱桥较多；在平原地区跨越通航河流，一般采用下承式或中承式系杆拱桥，且采用无推力拱桥较多。

9.1.2 桥型、桥跨和成拱方法的选用应符合下列要求：

- 1 根据桥位区的地形地貌、水文条件和地质条件，选择桥型、桥跨、下部构造、施工方法，进行施工总体场地布置和施工组织设计。
- 2 根据桥位区的运输条件，选择适用的成拱方法。
- 3 桥型、桥跨的选择应符合通航要求，施工方案应充分考虑航道、船只通行安全。
- 4 主拱成拱方法包含劲性骨架法、缆索吊装法、转体施工法、悬臂浇筑施工法或几种方法的组合。

9.1.3 主拱矢跨比宜采用 1/3.5~1/7；主拱拱轴线宜采用悬链线；主拱拱轴系数宜采用最小弯矩能量法进行优化。

条文说明

优化计算拱轴系数的目标是降低主拱弯矩值。

9.1.4 主拱拱轴系数及主拱截面尺寸优化时，应首先确定拱上立柱、盖梁、桥面梁及桥面系的跨度和构造等尺寸。

条文说明

拱轴系数的优化主要是恒载作用下，主拱压力线与截面形心吻合，因此，主拱上的立柱、盖梁、桥面梁及桥面系的重量确定后，优化确定的主拱拱轴系数及拱圈截面尺寸才是准确合理的。

9.1.5 起拱标高的确定应符合下列要求：

1 平原区和山区通航河流起拱标高宜按通航条件论证确定；非通航河流的山区拱桥，起拱标高宜按线位、地形和地质条件确定；主拱拱脚淹没区起拱标高的确定，应兼顾洪水、船只和漂浮物对主拱安全的影响。

2 有推力的主拱，应根据拱座处地质覆盖层厚度调整起拱标高和主拱跨径。

3 多跨拱桥应根据单向推力墩的设置要求确定起拱标高。

条文说明

拱座处的地质条件和地基承载力是决定起拱位置的重要因素。当两岸拱座处地质覆盖层较厚时，可适当调整起拱标高和主拱跨径，减少拱座地基开挖数量。

9.1.6 主拱拱圈截面形式应符合下列要求：

1 主拱采用箱型肋拱时，拱肋间应设置横撑，立柱、横撑处的拱箱内应设置横隔板。拱肋高度宜为 $\frac{L_0}{100} + (100 \sim 120) \text{ cm}$ ，拱肋宽度宜大于 200cm。

2 主拱采用箱型板拱时，宜由多个箱室组成，拱箱内应设置横隔板。拱箱高度宜为 $\frac{L_0}{45} \sim \frac{L_0}{70}$ ，可按式 (9.1.6) 进行计算选取。

$$H = \frac{L_0}{80} + \Delta \quad (9.1.6)$$

其中： L_0 ——主拱的净跨径，m。

Δ ——取为 0.7~1.5m。

主拱箱型板拱的全宽不宜大于 12m；主拱采用预制箱型板拱时，其单箱宽度宜为 1.4~1.7m。

条文说明

采用两条或多条分离的平行拱肋组成箱型肋拱时，拱肋间设置刚性横撑是为了保证拱肋横向的整体性和结构的整体刚度。箱型板拱拱箱内设置横隔板是为了保证主拱的局部稳定和抗扭能力。

9.1.7 主拱截面高度应结合拱轴系数优化确定。当主拱跨度大于 200m 时，主拱箱型截面可采用顶底板变厚度或截面变高度的构造。

9.2 主拱构造

9.2.1 当桥梁宽度大于 13m 时，宜选用箱型肋拱的主拱构造。当跨度大于 200m 时，箱型肋拱间应设置足够的横向连接构造。

条文说明

主拱间设置足够的横向连接构造，保证主拱箱肋符合稳定和动力性能的要求。

- 9.2.2 主拱箱型截面的挖空率宜为 50%~70%，预制拱箱顶、底板最小厚度宜大于 15cm，腹板厚度宜大于 10cm。当箱型主拱被洪水淹没时，除设专用排气孔外，还应设水流进出孔，孔径不得小于 8cm。
- 9.2.3 主拱与拱座和拱上立柱的连接构造钢筋，其钢筋锚固长度不应小于 40d 和拱脚截面高度一半的较大值，且钢筋切断率小应于 50%。
- 9.2.4 预制箱拱的横向接头，宜设置成现浇式，且应设置刚强的连接构造，严禁出现现浇死角。预制拱箱的纵向接头，宜设置成型钢连接，再现浇混凝土。
- 9.2.5 主拱采用预制拱箱时，拱箱间宜增加符合图 9.2.5 规定的抗剪连接构造。拱箱间应采用与主拱相同强度等级的自密实高流动性能的补偿收缩混凝土。

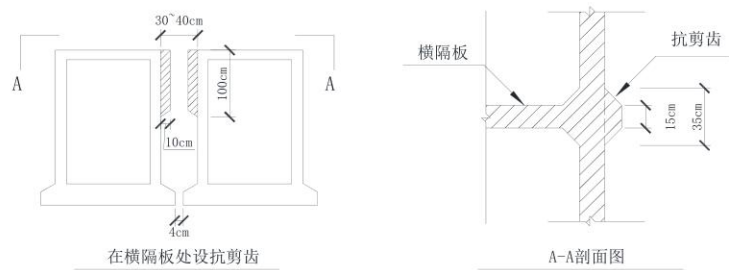


图 9.2.5 抗剪连接构造示意图

- 9.2.6 主拱箱内横隔板宜在立柱处和立柱之间设置；拱肋间横撑应以满足主拱横向稳定性和动力性能为原则进行设置；横撑对应的拱箱内必须设横隔板。
- 9.2.7 采用拱架或劲性骨架浇筑成拱的现浇箱型主拱，宜选用不多于 3 环浇筑完成；主拱现浇的每工作面宜具备 3 节段的模板数量。
- 9.2.8 预制主箱拱室内倒角尺寸不宜小于 10×10cm，现浇主箱拱室内倒角尺寸不宜小于 20×20cm，且均应设置倒角钢筋，倒角钢筋直径不应小于 16mm。
- 9.2.9 钢管混凝土强劲骨架法成拱的主拱构造应符合以下规定：
- 1 主管的径厚比不宜大于 100；
 - 2 主管管内混凝土等级宜高于 C50，外包混凝土等级宜低于 C60；
 - 3 当主拱腹板厚度大于 40cm 时，腹杆可采用钢管；腹板厚度不大于 40cm 时，腹杆应采用型钢；
 - 4 腹杆宜选用“N”型、“K”型或“米”型的低强度结构钢材；
 - 5 主管外包混凝土厚度不宜低于 10cm，并应设置足够的环向钢筋。

条文说明

钢筋混凝土箱型拱桥外包混凝土强度等级过高，胶凝材料用量过大，易引起箱型结构开裂而降低耐久性，因此，规定了强劲骨架外包混凝土的最高强度等级低于 C60。主管外设置足够的环向钢筋是为了提高钢管与混凝土的锚固能力。

- 9.2.10 悬臂法浇筑的主拱构造应符合以下规定：

- 1 优化拱上荷载、减轻主拱重量；
- 2 拱脚处的地形条件应符合搭设支架浇筑第一主拱节段的条件；

- 3 两岸地质具备设置安全、经济的扣挂锚碇的条件；
- 4 应根据扣挂体系的承载能力，确定主拱现浇分段长度，同时，分段重量应相对均衡；
- 5 主拱上的施工扣点，应设置在腹板和隔板交叉处。

9.3 拱上结构

9.3.1 拱上结构应整体性好、自重轻、刚度大，宜选用连续结构体系或简支结构体系。

9.3.2 上承式拱桥的拱上结构跨度宜为 $L_0/12 \sim L_0/17$ ，中、下承式拱桥的拱上结构跨度宜为 $L_0/20 \sim L_0/30$ 。

9.3.3 拱上立柱可采用钢筋混凝土结构、钢-混组合结构或钢结构，拱上立柱的横向截面外形可采用板式、双柱式或多柱式结构。

9.3.4 上承式拱桥的拱上立柱，与主拱的连接应设置刚强的横向垫梁和纵横向倒角，并配置足够的钢筋，立柱主钢筋应伸入主拱 40d 或 1.5m 的较大值。与盖梁的连接应设置横向倒角和倒角钢筋，立柱主钢筋应伸入盖梁 40d 或 1.5m 的较大值。

条文说明

设置刚强的垫梁是为了分配立柱的集中力，并加强主拱横向整体性，垫梁的钢筋间距一般小于 20cm、直径大于 16mm；倒角钢筋直径一般大于 16mm。

9.3.5 上承式拱桥的拱上结构，采用的钢-混组合结构或钢结构立柱与主拱、盖梁连接的部位应设置成过渡连接构造，其构造宜符合图 9.3.5 的构造规定。

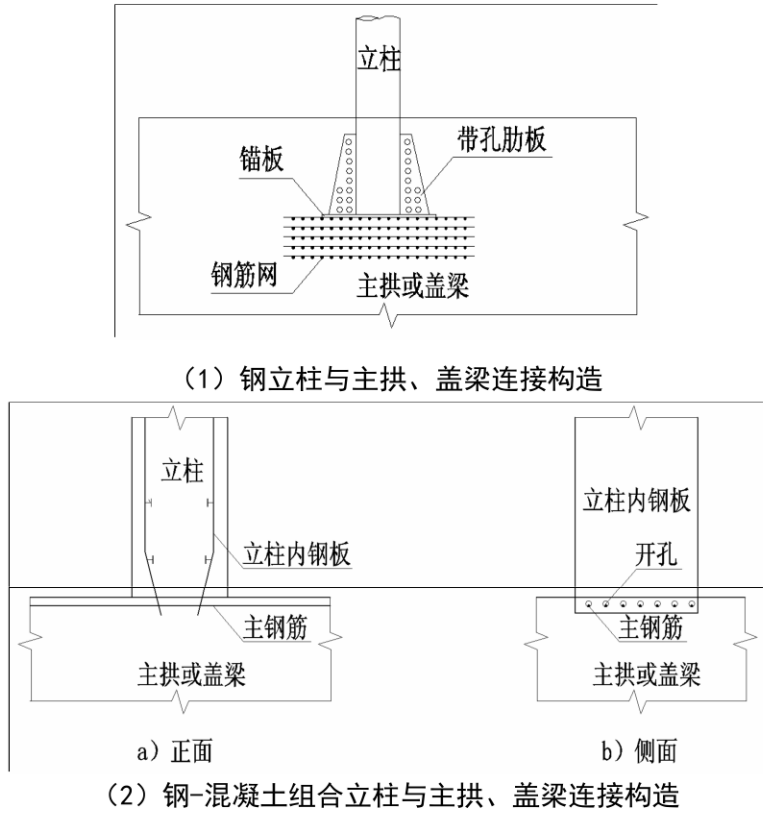


图 9.3.5 拱上立柱与主拱、盖梁的连接构造示意图

9.3.6 上承式拱桥的立柱构造结构，其稳定性应大于主拱的整体稳定性。

条文说明

上承式拱桥的拱上结构，其立柱的截面尺寸、壁厚、横撑数量等构造尺寸应根据有限元计算分析确定其稳定性不小于主拱的整体稳定性。

9.3.7 拱上结构的盖梁或吊杆横梁，宜选用钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢-混组合结构或钢结构中的整体性好和工程造价低的结构形式。

9.3.8 桥面系构造应符合下列要求：

- 1 桥面板可选用钢筋混凝土、预应力混凝土、钢-混组合结构或钢结构中的自重轻、总体造价（合理）的结构。
- 2 钢筋混凝土桥面板的纵、横向湿接缝构造应传力可靠、施工简单。
- 3 宜选用自重轻、防撞性能好的防撞护栏。
- 4 支座垫石高度应符合更换支座时净空要求。
- 5 单孔拱桥，宜在两岸交界墩顶设置伸缩缝；当两岸引桥较短时，可将伸缩缝设在桥台处。多孔拱桥，宜在每个交界桥墩顶设置伸缩缝。

9.4 拱座与墩台构造

9.4.1 拱座应置于地基完整、地质良好的位置；当采用箱型肋拱时，宜采用分离式钢筋混凝土拱座；当箱型板拱的钢筋混凝土拱座宽度大于 10m 时，应在拱座横向的桥轴线位置设置变形缝，应保证座帽构造连续。

9.4.2 拱座应按设计尺寸开挖，采用不立模直接浇筑拱座混凝土。

条文说明

采用不立模直接浇筑拱座混凝土，是为了提高拱座与地基的完整结合，将拱座承受的各向力均衡的传递给地基。

9.4.3 当地质条件不符合拱座的竖向承载力要求时，可设置竖撑；当地质条件不符合拱座的水平和竖向承载力要求时，可设置斜撑或设置斜撑和竖撑；当需要设置水平撑才能符合拱座推力要求，且设置水平撑造价较高时，可重新进行跨径、桥型和拱座总体方案的比选。

条文说明

设置拱座水平撑，开挖难度大、混凝土浇筑困难，质量无法保证，工程造价高，一般不设置水平撑。

9.4.4 多跨主拱的钢筋混凝土实体桥墩，其顶宽宜为主拱主跨的 $L_0/15 \sim L_0/30$ ，墩身两侧可按墩高的 $1/20 \sim 1/30$ 放坡；单向推力墩的构造尺寸应根据计算确定。

9.5 耐久性措施

9.5.1 钢筋混凝土箱型拱桥的耐久性措施包括结构的整体性、支座与伸缩缝的长效性、吊索与系杆索的耐久性、混凝土结构的防裂性、附属工程的可靠性等措施设计。

9.5.2 吊索、系杆索应采用经过环氧喷涂、环氧填充或镀锌防腐处理的平行钢丝或钢绞线成品索，其构造应符合可检查、可维修和可更换的要求。

9.5.3 钢筋混凝土结构宜采用合理的水泥用量、掺加纤维材料或配置防裂钢筋网，同时，注重养护，保证湿接缝连接可靠。

条文说明

试验研究表明，采用低水胶比的混凝土、掺加钢纤维或聚丙烯腈纤维、在构件的高应力区配置防裂钢筋网片可有效抑制裂纹的发生，同时，加强混凝土的养护可以降低混凝土构件的干燥收缩，阻止表面裂纹的发生。湿接缝设计的可实施性是提高耐久性的重要内容之一，只有当施工质量符合设计要求时，湿接缝的结构构造才能符合耐久性要求。

9.5.4 伸缩缝的耐久性措施设计宜符合下列要求：

- 1 伸缩缝宜设置在结构体系发生变化、竖向位移相对较小、纵向位移相对较大的位置；
- 2 伸缩缝的位移量应包括温差变形、混凝土收缩徐变变形、墩台位移变形、活载制动力引起的变形等内容；
- 3 设计伸缩缝的安装温度，应与结构总体计算一致；
- 4 不宜采用具有转折型的伸缩缝装置，整体变形应均衡协调；
- 5 采用的伸缩缝橡胶条，应具有抗老化、抗硬物穿刺的性能；
- 6 防撞护栏的伸缩缝处应设置盖板。

9.5.5 根据桥面梁的总体构造，合理布置支座的类型与位置；支座应设置纵横向定位、防尘和防水装置；支座橡胶应具有抗老化、抗剪切变形的能力。

条文说明

根据桥面梁的变形量，选择滑动支座或橡胶支座；根据结构的支承情况，选择支座的位置；现代桥梁承受的交通量大、车速快，在行车震动及温度等影响下，支座容易移位和脱落，同时，垃圾、污物等填充支座后，将限制主梁的变形，因此，应设置专用的定位、防尘和防水装置。

9.5.6 伸缩缝处的桥面系及栏杆、防撞护栏处应设置防水和排水装置；桥台、拱座应设置施工阶段和使用阶段的防水和排水构造；桥面排水不得污染和腐蚀桥梁结构，并符合环保要求。

9.5.7 主拱、桥面梁宜设置检查通道，吊索、系杆索应设置检修和更换平台。

10 施工

10.1 一般规定

10.1.1 钢筋混凝土箱型主拱成拱方法包括缆索吊装法、劲性骨架法、转体施工法、悬臂浇筑法或几种方法的组合。

10.1.2 钢筋混凝土箱型拱桥施工前,应编制施工组织设计文件,并按批准的施工组织设计和施工实施细则进行施工,其主要内容至少符合下列要求:

- 1 施工现场的总体规划 and 布置;
- 2 施工总体方案的比较和论证,其中应包括关键施工工序的计算比较和论证;
- 3 施工进度流程的规划和资源调配;
- 4 根据施工过程中存在的安全风险,制定安全操作细则;
- 5 根据施工组织设计文件,编制施工实施细则。

条文说明

影响施工组织设计的因素包括:桥梁结构型式、地形地质条件、交通状况、气候环境、水文条件、企业资源和设计规范要求等因素,在充分考虑这些因素的基础上,结合计算成果,进行施工方案的安全、适用、经济性论证。施工安全细则的制定应保护人员、桥梁结构和施工措施的安全,对各种安全隐患作出充分的风险估计并制定适当的规避措施,防患于未然。

10.1.3 钢筋混凝土箱型主拱及拱上结构的施工加载程序应对称、均衡、同步,成拱前应采取措施避免主拱产生有害的振动。

10.1.4 钢筋混凝土箱型主拱及拱上加载,应进行全过程施工监测和控制。

条文说明

钢筋混凝土箱型拱桥成拱过程监控与安全措施是实现设计目标、符合规范要求的关键,其主要内容包括主拱在各种状态时结构的变形、应力与稳定,并对测试数据进行分析与评价,提出主拱施工加载适时调整建议,使主拱安装的精度严格控制在设计允许的范围。

10.1.5 根据设计合龙温度和制定的施工进度计划,预测主拱合龙时间段和实际合龙温度区间,进行主拱预制、加工和安装等过程中温度差的修正。

条文说明

施工单位进场后,根据设计提供的气候条件和当地气象站掌握的桥址处历史和近期的气象资料,进行全年温度规律分析,结合设计合龙温度与实际合龙温度差,在主拱预制、劲性骨架加工和主拱安装(包括悬臂浇筑)等过程中,对主拱长度进行温度的修正,保证主拱在预测的合龙时间段内及时合龙。主拱安装的最大悬臂状态,应避开灾害性天气,否则,应采取有效的预防措施,确保施工安全。

10.1.6 本规程未涉及的施工规定或与《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)矛盾时,应遵照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)执行。

10.2 施工计算

10.2.1 应按主拱成拱和拱上加载两阶段进行主拱施工过程计算;多孔拱桥施工过程计算,应计入连拱效应的影响。

10.2.2 各阶段所形成的结构体系应进行内力、稳定和抗风性能分析,并应验算体系中构件的强度和刚度。

10.2.3 主拱成拱的各阶段,应以安装体系为计算模型,验算该体系中各构件的强度、刚度、稳定性和抗风性能,并应符合下列要求:

1 吊装法包括斜拉扣挂体系和缆索吊装体系,按不同的施工阶段,应对两个体系的扣索、锚索、扣塔(吊塔)、锚碇体系进行结构分析和强度、刚度、稳定验算;

2 采用转体施工法安装主拱时,应对扣索、锚索、扣塔、转盘体系、牵引体系、锚碇体系、转体过程中主拱等构件的稳定性进行分析,同时对构件强度、刚度进行验算;

3 劲性骨架的成拱包括吊装法或转体法,劲性骨架的外包混凝土施工中,应对钢和混凝土构件分别进行各阶段的强度、刚度和稳定性验算;

4 悬臂浇筑法采取的斜拉扣挂体系,应同时包括挂篮在各阶段的强度、刚度和稳定性验算。

条文说明

本条中提出的安装体系,是指斜拉扣挂体系、缆索吊装体系、转动体系等施工安装主拱的结构体系。

应对采用的主拱安装体系建立整体计算模型,根据施工过程分别计算主拱、安装体系各构件的强度、刚度和稳定性。

10.2.4 主拱成拱线形应进行拟合设计,主拱合龙后应符合主拱一次落架的设计线形要求。

10.2.5 主拱线形控制应符合下列要求:

1 主拱预制、加工或悬臂浇筑的线形应为主拱设计线形与预拱度之和;

2 主拱成拱的理论线形应为主拱预制、加工或悬臂浇筑线形与成拱后一次落架的自重挠度之差;

3 主拱安装、悬臂浇筑线形应为主拱温度修正线形与节段安装、悬臂浇筑线形调整值之和;

4 节段安装线形调整值的计算应以主拱成拱理论线形为控制目标,根据安装或悬臂浇筑结构体系在安装或悬臂浇筑过程中主拱线形变化量,进行主拱成拱线形拟合计算,并确定节段安装或悬臂浇筑线形调整值。

条文说明

本条中的安装指预制主拱、劲性骨架主拱的架设过程。悬臂浇筑主拱指采用斜拉扣挂法悬臂浇筑主拱圈的施工过程。转体法成拱线形的控制符合本条1、2款要求即可。

10.2.6 主拱成拱线形拟合应按下列规定计算:

1 主拱节段安装、悬臂浇筑过程中的挠度 d_y 应按式 (10.2.6-1) 计算:

$$d_y = d_{y1} + d_{y2} \quad (10.2.6-1)$$

式中 d_{y1} ——节段安装、悬臂浇筑过程产生的累计挠度, m;

d_{y2} ——解除扣索或支点产生的挠度, m。

2 主拱节段安装、悬臂浇筑线形调整值 δ_e 应按式 (10.2.6-2) 计算:

$$\delta_e = D_y - d_y \quad (10.2.6-2)$$

式中 D_y ——主拱成拱一次落架时的自重挠度, m;

d_y ——主拱节段安装、悬臂浇筑过程中的挠度, m。

条文说明

由于主拱制造、安装和悬臂浇筑过程中, 实际调整 δ_e 等操作存在误差, 实际成拱线形与理论线形不一致, 但其差值应符合设计要求。如果 $D_y = d_y$, 则节段安装、悬臂浇筑调整值为 0, 即主拱制造线形就是主拱安装和悬臂浇筑线形。但主拱制造为无应力状态下的线形, 除采用满堂支架安装主拱外, 其余现有安装因主拱自重作用, 应为有应力状态, 故 $D_y \neq d_y$ 。在制造线形的基础上, 加上安装、悬臂浇筑调整值 δ_e , 其线形变化量为 $D_y = \delta_e + d_y$, 主拱合龙并解除扣索、支架后, 即为主拱成拱的理论线形。

10.2.7 钢管混凝土劲性骨架主管内混凝土的灌注原则和施工计算应符合下列要求:

1 主拱主管内混凝土灌注应根据主拱跨度、主管直径及地形条件等因素, 选择连续或接力一次性灌注, 其顺序应符合两岸对称、上下游均衡的原则。

2 主管混凝土宜达到设计强度且龄期大于 4 天后, 再灌注下一根主管。

3 主拱钢管结构合龙后, 钢管混凝土灌注顺序应通过加载计算来确定。当对主拱各主管进行初应力验算时, 应只计入钢管成拱阶段及浇注管内混凝土阶段产生的内力总和, 主管的最大初应力 σ_0 不大于

$0.65f_{sd}$ 。

10.2.8 应在主拱最后浇筑的混凝土达到设计强度后, 再进行拱上结构安装。

10.2.9 拱上立柱、吊索横梁 (或盖梁)、桥面梁、二期恒载的加载程序应符合下列要求:

1 主拱线形的均衡对称;

2 符合强度及稳定要求的前提下,主拱截面偏心距应符合本规程第 6.2.5 条的要求。

10.3 吊装法

10.3.1 主拱吊装法适用于深水、深谷、通航河道或需在汛期进行主拱安装的建设条件。

10.3.2 吊装法的缆索吊装体系和斜拉扣挂体系,对于预制主拱节段和劲性骨架节段的安装,其吊装与扣挂两种体系的承载能力相近。对于悬臂浇筑完成的主拱,斜拉扣挂体系的强度与刚度要求较高,吊装体系的吊重不宜超过 10t。

10.3.3 吊、扣体系的临时锚碇,根据地质条件和桥梁结构设计特点,宜按预应力岩锚、隧道锚、桩锚和重力式锚碇的顺序,遵循安全、经济的原则进行选择。

10.3.4 吊、扣塔宜采用万能杆件、型钢、钢管混凝土构件组成,根据主拱安装线形控制原则和吊、扣能力,可选择吊、扣塔一体或吊、扣塔分离铰接的结构体系。吊、扣塔位置的选择应结合交通运输和地质条件、充分利用桥梁墩台等因素综合考虑。

10.3.5 扣挂体系的扣索、锚索宜选用钢绞线,其安全系数不应小于 2.0;吊装体系的主索、吊索等宜选用钢丝绳。

10.3.6 扣点设计应结合主拱构造特点由设计单位完成。预制吊装主拱和悬臂浇筑主拱的扣点应设置在横隔板与腹板的交接处,劲性骨架法和转体施工法成拱的钢筋混凝土主拱应设置在桁架节点处。

10.3.7 当扣索、锚索在扣塔处的夹角相近时,可选择在锚碇处张拉锚索;当扣索、锚索在扣塔处的夹角相差较大时,可选择在扣塔处张拉。

10.3.8 施工控制宜采用预抬高法,以一次落架的主拱线形为目标,经过主拱变形的多次迭代拟合计算,减少扣索、锚索的索力调整次数。

10.4 劲性骨架法

10.4.1 主拱跨度大于 200m 的钢筋混凝土拱桥宜选用劲性骨架的成拱方法;劲性骨架可采用钢管混凝土或型钢的桁式结构主拱骨架。

10.4.2 劲性骨架法包括普通骨架法和强劲骨架法,强劲骨架宜采用钢管混凝土桁式结构的主拱骨架。

条文说明

采用强劲骨架成拱方法可以减少外包混凝土循环次数、缩短工期、提高整体性。由于钢管混凝土承载能力高、刚度大,近年来,多座大跨钢筋混凝土箱型拱桥采用了钢管混凝土强劲骨架的成拱方法。

10.4.3 钢管混凝土强劲骨架法,其钢结构的设计、加工、制造、拼装和验收必须符合相关规范的规定。

10.4.4 强劲骨架外包混凝土宜分为三环或两环、4~8 个工作面进行浇筑。主拱外包混凝土的每工作面应至少具备相邻三节段的模板数量。

条文说明

相邻三节段是指主拱同一工作面的已浇筑、在浇筑、待浇筑三个节段。

10.4.5 强劲骨架外包混凝土的预留施工缝位置宜符合图 10.4.5-1~图 10.4.5-3 的规定。

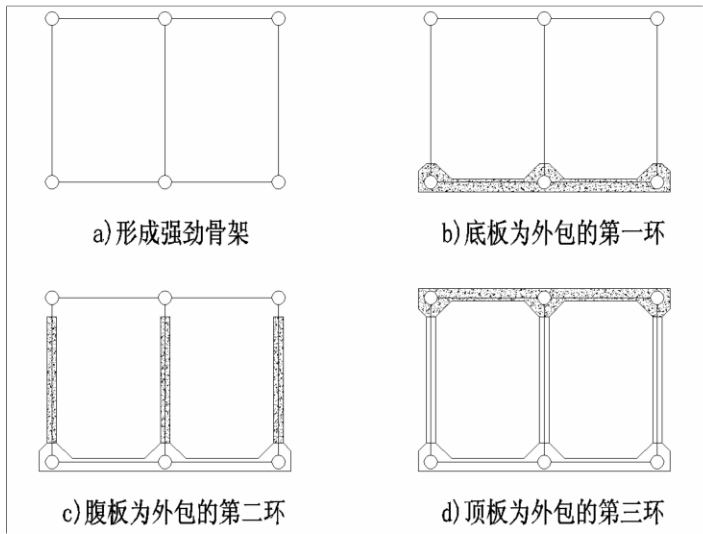


图 10.4.5-1 三环外包主拱混凝土的施工缝位置示意图

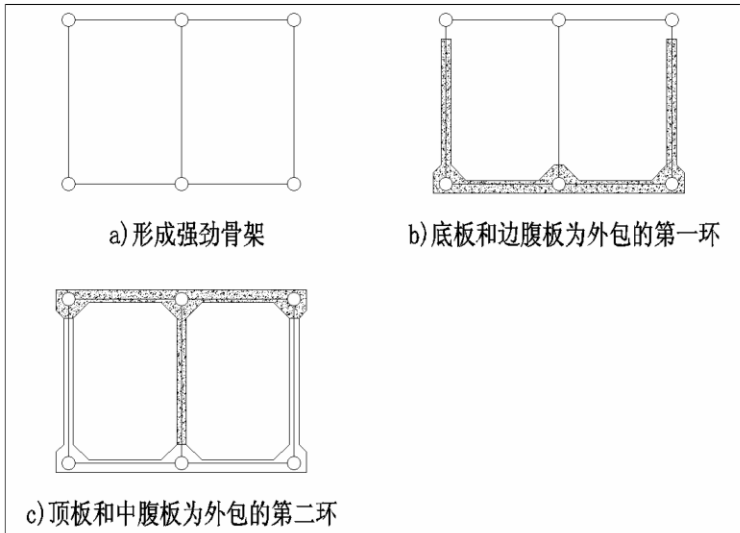


图 10.4.5-2 两环外包主拱混凝土的施工缝位置示意图（1）

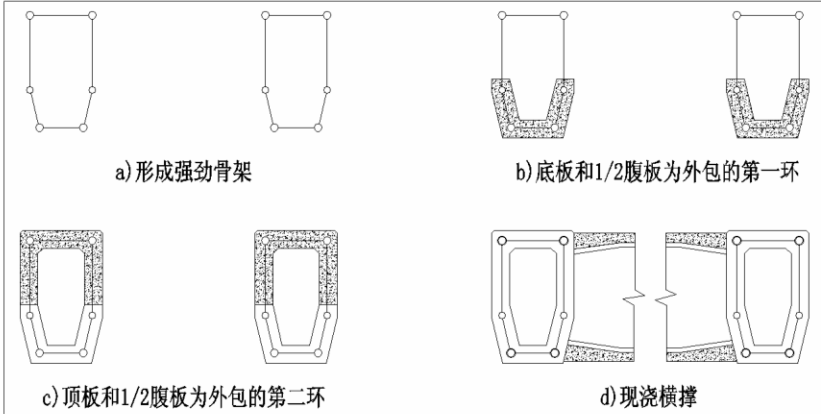


图 10.4.5-3 两环外包主拱混凝土的施工缝位置示意图（2）

10.4.6 强劲骨架法外包混凝土，可采用从拱脚到拱顶分环连续浇筑的工艺，应符合下列要求：

- 1 主拱骨架的 $L_0/6$ 附近设置钢绞线扣索，其索力随浇筑过程而张拉或放松；
- 2 优化扣索索力的计算，降低主拱骨架和先浇混凝土截面的拱顶、拱脚正负弯矩的峰值；
- 3 主拱单环内的模板宜一次安装完成；
- 4 施工控制应以监测主拱变形为主，同时监测主拱应力变化。

10.5 转体施工法

10.5.1 主拱的转体成拱方法适用于桥址处谷深流急、桥下铁路或公路交通繁忙、两岸无法布置缆索体系的建设条件。本规程转体施工法仅指主拱竖转或主拱的平转成拱方法。

10.5.2 主拱的平转体系应包括上下转盘、半跨主拱、扣索、扣塔、锚索、平衡重(含配重)和平转牵引体系。宜利用桥梁构件本身兼作上下转盘、扣塔、平衡重等结构。

条文说明

主拱的平转施工方法是利用设置在拱座或桥台上的球面铰、转轴或转盘等可转动的体系，将在桥轴线两岸搭设半跨拱架现浇或组拼的主拱，通过平面旋转到设计位置的施工方法，其优点在于施工设备少、两岸干扰小、不影响船只通航和车辆通行。

10.5.3 主跨大于 200m 的钢筋混凝土箱型主拱，宜采用劲性骨架平转合龙，再外包混凝土形成主拱的施工方法；主跨小于 200m 的钢筋混凝土箱型主拱，宜采用钢筋混凝土底板或腹板与部分骨架形成的复合结构主拱，或采用钢筋混凝土开口箱形主拱，先平转合龙，再浇筑混凝土形成全截面主拱的施工方法。

条文说明

主拱转体的轻型化将简化转动体系构造、减少平衡配重、降低平转风险，因此，应兼顾结构安全、总体经济和风险最低的原则，反复优化主拱构造，降低转体重量。

10.5.4 钢筋混凝土箱型拱桥的平转施工，宜采用环道、撑脚与中心转轴相结合的上下转盘转动结构体系，上下转盘间的支承受力体系应以中心转轴为主，环道、撑脚为辅。

条文说明

钢筋混凝土箱型肋拱，应在上转盘设置横向预应力束，将拱肋传递到环道、撑脚上的内力分配到中心转轴上。

10.5.5 主拱竖转是利用桥台、扣塔、扣索等结构，将附着在地面制作（或竖直制作）的半拱绕拱脚铰转至设计标高的施工方法。主拱竖转成拱方法适用于地形较平坦、搭设支架成本高、主拱跨度较大的建设条件。

10.5.6 劲性骨架法成拱的钢筋混凝土箱型拱桥，根据建设条件可选择劲性骨架竖转就位，再平转合龙骨架的成拱方法。

条文说明

主拱跨度小于 200m 的钢筋混凝土箱型拱桥，一般不采用劲性骨架成拱方法，如果采用竖转钢筋混凝土主拱就位，转体重量大、转动过程中主拱易受拉开裂，因此一般不宜采用竖转施工方法。主拱跨度大于 200m 的钢筋混凝土箱型拱桥，一般采用劲性骨架成拱方法。在地形较平坦、搭设支架成本高的建设条件下，主拱劲性骨架采用竖转就位，可以提高施工安全、降低总体成本和风险。

10.5.7 主拱竖转施工时，宜利用桥梁构件本身兼作竖转的平衡配重、锚索的锚碇、扣塔等结构。主拱竖转的拱脚铰宜选用柱铰或球铰，当选用球铰时，应设置足够的主拱拱脚段横向连接构造，铰的接触面应密贴、受力应均匀。

10.6 悬臂浇筑法

10.6.1 悬臂浇筑法是利用斜拉扣挂体系，从拱脚第二个节段开始，采用挂篮逐段悬臂浇筑主拱，直至拱顶合龙的成拱方法。悬臂浇筑法适用于施工预制场地受限、跨越深谷、桥下船只通航或车辆通行繁忙的建设条件。

10.6.2 主拱的悬臂浇筑体系由悬浇挂篮和扣挂体系组成。悬浇挂篮应由承重系统、行走系统、支反力系统、止推系统、工作平台及防护系统等构成；扣挂体系应由扣点、扣索、扣塔、锚索、锚碇和张拉平台等构成。

条文说明

扣挂体系的构造应符合本规程 10.3.3～10.3.8 条的规定。

10.6.3 主拱拱脚第一节段应采用支架法或刚性吊架法浇筑完成，应采用提高支架或吊架刚度、延长混凝土凝结时间、掺加纤维或防裂钢筋网、加强降温和养护等措施防止混凝土开裂。

10.6.4 悬浇挂篮的构造形式、支承反力形式、杆件连接方式、走行机构等构造宜符合图 10.6.4 的构造规定。

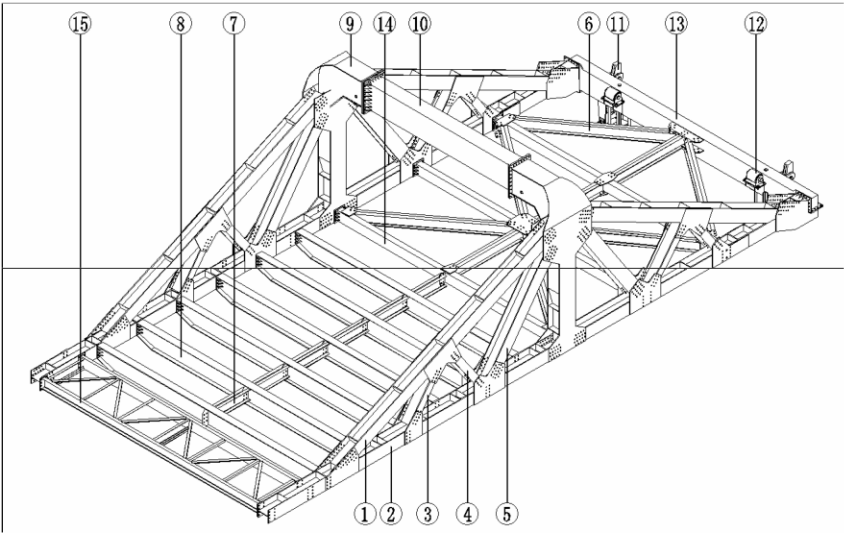


图 10.6.4 悬浇挂篮构造示意图

- (1)上弦杆 (2)下弦杆 (3)前小拉杆 (4)前撑杆 (5)后大拉杆 (6)斜撑 (7)小纵梁 (8)前横梁 (9)挂钩
(10)挂钩横向联系 (11)抗剪臂 (12)行走反力轮 (13)后横梁 (14)中横梁 (15)前平台横梁

条文说明

主拱悬浇挂篮各构件的构造要求，承重系统由底篮、三角形侧桁架、挂钩和挂钩横联构成；底篮由两片三角形侧桁架、前横梁、后横梁、中横梁和斜撑构成。行走系统主要由走船、行走轨道、千斤顶、

精轧螺纹钢、反力轮及导向轮等构成。支反力系统主要由挂钩球铰及后横梁上的楔形反力钢板支座等构成。止推系统主要有抗剪臂、轨道止推牛腿、挂钩撑杆等构成。

10.6.5 主拱悬臂浇筑的工艺流程为：搭设扣挂体系→支架或刚性吊架浇筑拱脚段→张拉扣索、脱架→安装悬浇挂篮→绑扎钢筋→安装模板→浇筑混凝土→张拉扣索、脱模→移动并安装挂篮→……→两岸对称分节段浇筑主拱直至合龙→两岸对称均衡分级放松扣、锚索的索力，其悬臂浇筑主拱工艺流程应符合图 10.6.5 的规定。

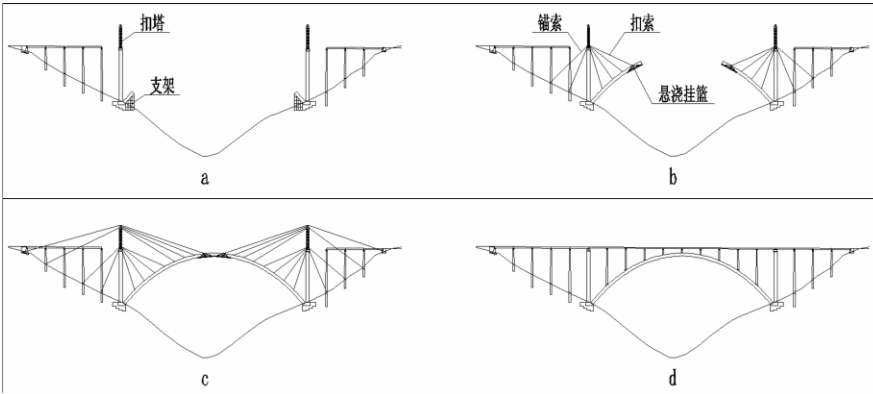


图 10.6.5 主拱悬臂浇筑的工艺流程

条文说明

主拱拱脚第一节段现浇完成后，将拱脚段扣挂于交界墩盖梁（或桥台）上，通过锚索平衡扣索的水平力，再安装（或移动）主拱悬浇节段的挂篮，将其支承于已浇筑的主拱节段上并调试挂篮的线形和标高，绑扎主拱节段钢筋并安装模板，浇筑节段混凝土养护至设计强度，张拉扣、锚索于交界墩盖梁或扣塔上，挂篮前移就位并进行下一节段施工，如此循环直至主拱合龙。待合龙段混凝土达到要求的强度后，拆除悬浇挂篮，由拱顶向拱脚逐级放松扣、锚索，直至扣、锚索完全放松并拆除，从而完成主拱悬臂浇筑施工。

11 质量验收

11.1 钢筋混凝土箱型拱桥，施工和成桥质量验收应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）和《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）的规定。

11.2 强劲骨架法成拱的钢管内，强度等级大于 C60 的混凝土，其混凝土质量和钢管混凝土密实度等各项指标，应符合《公路钢管混凝土桥梁质量检验评定指南》（2011 年试行版）的规定。