

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50923 – 2013

钢管混凝土拱桥技术规范

Technical code for concrete-filled steel tube arch bridges

2013 – 11 – 01 发布

2014 – 06 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

钢管混凝土拱桥技术规范

Technical code for concrete-filled steel tube arch bridges

GB 50923 - 2013

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 4 年 6 月 1 日

中国计划出版社

2013 北 京

中华人民共和国国家标准
钢管混凝土拱桥技术规范

GB 50923-2013



中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

北京世知印务有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 3.75 印张 94 千字

2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷



统一书号: 1580242 · 161

定价: 23.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 210 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《钢管混凝土拱桥技术规范》的公告

现批准《钢管混凝土拱桥技术规范》为国家标准，编号为 GB 50923—2013，自 2014 年 6 月 1 日起实施。其中，第 7.4.1、7.5.1 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2013 年 11 月 1 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2011 年工程建设标准规范制定、修订计划〉的通知》(建标〔2011〕17 号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本规范。

本规范主要技术内容包括:总则、术语和符号、材料、基本规定、持久状况承载能力极限状态计算、持久状况正常使用极限状态计算、结构与构造、钢管拱肋制造、焊接施工、防腐涂装施工、钢管拱肋架设、管内混凝土的浇注、其他构造施工、养护。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由福州大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议,请寄送福州大学土木工程学院(地址:福州市闽侯大学城学园路 2 号,邮政编码:350108)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:福州大学

中建海峡建设发展有限公司

参 编 单 位:深圳市市政设计研究院有限公司

四川省交通运输厅公路勘测设计研究院

广西壮族自治区公路桥梁工程总公司

交通运输部公路科学研究院

长沙理工大学

长安大学

武汉理工大学

哈尔滨工业大学

武船重型工程有限公司

主要起草人:	陈宝春	吴平春	韦建刚	吴庆雄	牟廷敏
	陈宜言	陈光辉	丁庆军	阮家顺	张建仁
	查晓雄	张劲泉	刘永健	焦安亮	
主要审查人:	郑皆连	黄 侨	范文理	彭元诚	马 磊
	徐 勇	赵林强	曹 瑞	龙 跃	

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	材 料	(9)
3.1	钢材	(9)
3.2	混凝土	(10)
3.3	钢管混凝土	(10)
3.4	其他材料	(11)
4	基本规定	(12)
4.1	一般规定	(12)
4.2	作用	(13)
4.3	结构计算	(14)
5	持久状况承载能力极限状态计算	(16)
5.1	一般规定	(16)
5.2	拱肋强度计算	(17)
5.3	拱肋稳定计算	(21)
5.4	吊索和系杆索计算	(26)
6	持久状况正常使用极限状态计算	(27)
7	结构与构造	(28)
7.1	结构形式	(28)
7.2	主拱	(29)
7.3	拱座与立柱	(32)
7.4	吊索和系杆索	(32)

7.5	桥面系	(33)
8	钢管拱肋制造	(34)
8.1	钢管加工制作	(34)
8.2	钢管拱肋组装	(34)
8.3	钢管拱肋质量检验	(35)
9	焊接施工	(39)
10	防腐涂装施工	(42)
11	钢管拱肋架设	(44)
11.1	一般规定	(44)
11.2	钢管拱肋架设与质量检验	(44)
12	管内混凝土的浇注	(46)
12.1	一般规定	(46)
12.2	管内混凝土的浇注施工	(47)
12.3	管内混凝土浇注后质量检验	(48)
13	其他构造施工	(49)
13.1	一般规定	(49)
13.2	吊索与系杆索的安装与质量检验	(49)
14	养 护	(51)
14.1	养护的基本规定	(51)
14.2	检查与评定	(51)
14.3	结构养护	(57)
	本规范用词说明	(60)
	引用标准名录	(61)
	附:条文说明	(63)

Contents

1	General Provisions	(1)
2	Terms and Symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Materials	(9)
3.1	Steel	(9)
3.2	Concrete	(10)
3.3	Concrete-Filled Steel Tube	(10)
3.4	Other Materials	(11)
4	Basic Requirements	(12)
4.1	General Requirements	(12)
4.2	Actions	(13)
4.3	Structural Calculation	(14)
5	Calculation of Ultimate Limit State in Persistent Situation	(16)
5.1	General Requirements	(16)
5.2	Arch Rib Strength Calculation	(17)
5.3	Arch Rib Stability Calculation	(21)
5.4	Suspender and Tie Cable Calculation	(26)
6	Calculation of Serviceability Limit States in Persistent Situation	(27)
7	Structure and Detailing	(28)
7.1	Structure Forms	(28)
7.2	Main Arch	(29)

7.3	Arch Seat and Spandrel Column	(32)
7.4	Suspender and Tie	(32)
7.5	Deck System	(33)
8	Fabrication of Steel Tube Arch Rib	(34)
8.1	Fabrication of Steel Tube	(34)
8.2	Assembling of Steel Tube Arch Rib	(34)
8.3	Quality Inspection	(35)
9	Welding	(39)
10	Anticorrosion Coating	(42)
11	Erection of Steel Tube Arch Rib	(44)
11.1	General Requirements	(44)
11.2	Erection and Inspection of Steel Tube Arch Rib	(44)
12	Filling of Concrete in Arch Tube	(46)
12.1	General Requirements	(46)
12.2	Filling of Concrete in Arch Tube	(47)
12.3	Quality Inspection	(48)
13	Construction of Other Structures	(49)
13.1	General Requirements	(49)
13.2	Installation and Quality Inspection of Suspender and Tie Cable	(49)
14	Maintenance	(51)
14.1	Basic Requirements of Maintenance	(51)
14.2	Inspection and Evaluation	(51)
14.3	Maintenance of Structures	(57)
	Explanation of Wording in This Code	(60)
	List of Quoted Standards	(61)
	Addition: Explanation of Provisions	(63)

1 总 则

1.0.1 为满足桥梁工程建设的需要,使钢管混凝土拱桥的设计、施工和养护等技术工作符合安全可靠、耐久适用、技术先进、经济合理的要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于城市桥梁与公路桥梁中钢管混凝土拱桥的设计、施工与养护。

1.0.3 钢管混凝土拱桥的设计、施工与养护除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 钢管混凝土拱桥 concrete-filled steel tube (CFST)
arch bridge

以圆形钢管混凝土为基本单元所形成的拱肋为主要承重结构的桥梁。

2.1.2 钢管混凝土拱肋 CFST arch rib

主要承重单元为钢管混凝土的拱肋。

2.1.3 钢管拱肋 steel tube arch rib

钢管内未填充混凝土的拱肋。

2.1.4 管内混凝土 concrete in tube

浇注在钢管内的混凝土,又称核心混凝土。

2.1.5 钢管混凝土构件 CFST member

在钢管内浇注混凝土,并由钢管和管内混凝土共同承担荷载的构件。

2.1.6 单圆管拱肋 single tube arch rib

截面为单个圆钢管混凝土的拱肋。

2.1.7 哑铃形拱肋 dumbbell shape arch rib

截面由上下两个单圆钢管混凝土和两块连接钢腹板组成的拱肋。

2.1.8 桁式拱肋 truss arch rib

由上下钢管混凝土弦杆通过腹杆组成桁式的拱肋。

2.1.9 钢管混凝土格构柱 CFST laced column

由若干钢管混凝土主肢和空钢管缀件组成的柱子。

2.1.10 刚架系杆拱 rigid-frame tied arch

拱肋与桥墩固结,以系杆索的预加力来平衡拱部分水平推力的结构。

2.1.11 下承式刚架系杆拱 rigid-frame tied through arch

全部桥面系悬挂在拱肋以下的刚架系杆拱。

2.1.12 中承式刚架系杆拱 rigid-frame tied half-through arch

由多跨组成,主跨为中承式,两端边跨为上承式悬臂半拱,系杆索锚固在边跨端部的刚架系杆拱,又称飞鸟式拱或飞燕式拱。

2.1.13 约束效应系数 confinement or hooping coefficient

反映钢管对核心混凝土约束效应的系数,又称约束套箍系数。

2.1.14 钢管初应力 initial stress or preloading of steel tube

因钢管构件先于管内混凝土施工而在钢管混凝土组合作用形成前作用于钢管中的纵向正应力,又称钢管混凝土初应力。

2.1.15 初应力度 initial stressing ratio or preloading ratio

钢管初应力与其钢材屈服强度的比值。

2.1.16 计算合龙温度 computational closure temperature

管内混凝土形成设计强度时,通过换算确定的钢管混凝土拱肋温度内力为零时所对应的截面平均温度。

2.1.17 相贯节点 intersection joint

主管和支管直接通过相贯线焊接的节点。

2.1.18 脱粘 debonding

由温度荷载、管内混凝土收缩等非施工质量原因形成的管内混凝土与钢管之间微小程度脱离的现象。

2.1.19 脱粘率 debonding rate

钢管混凝土横截面上产生脱粘区域对应圆心角与整个截面角度的比值,又称脱粘角度率。

2.2 符 号

2.2.1 荷载和荷载效应

N ——截面轴向力设计值;

N_1, N_2 ——分配到哑铃形拱肋两个肢管上的轴向力值；

M ——截面弯矩设计值；

M_1, M_2 ——分配到哑铃形拱肋两个肢管上的弯矩值；

N_s ——轴向压力组合设计值；

S ——荷载效应的组合设计值；

R ——构件承载力设计值；

$R(\cdot)$ ——构件的承载力函数；

V_1 ——腹杆所受轴力设计值。

2.2.2 材料指标

$(EA)_{sc}$ ——钢管混凝土拱肋截面整体压缩设计刚度；

$(EI)_{sc}$ ——钢管混凝土拱肋截面整体弯曲设计刚度；

$(EA)_{sc1}$ ——钢管混凝土毛截面压缩设计刚度；

$(EI)_{sc1}$ ——钢管混凝土毛截面弯曲设计刚度；

$(EA)_{sc2}$ ——单肢钢管混凝土毛截面压缩设计刚度；

$(EI)_{sc2}$ ——单肢钢管混凝土毛截面弯曲设计刚度；

E_c ——混凝土弹性模量；

E_s ——钢材弹性模量；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；

f_d ——材料强度设计值；

f_{vd} ——钢材抗剪强度设计值；

f_s ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_y ——钢材强度标准值；

G_c ——混凝土剪切变形模量；

G_s ——钢材剪切变形模量；

N_0 ——钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度设计值；

N'_0 ——考虑脱粘影响的钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强

度设计值；

N_0^i ——拱肋截面各肢钢管混凝土截面轴心抗压强度设计值；

N_{0i} ——桁式拱肋第 i 根弦杆轴心抗压强度设计值；

N_{01} ——钢管混凝土单圆管截面偏心抗压强度设计值；

N_{02} ——钢管混凝土单圆管偏心受压构件稳定承载力设计值；

N_D ——钢管混凝土哑铃形和格构柱构件截面轴心抗压强度设计值；

N_{D1} ——钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心抗压强度设计值；

N_{D2} ——钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心受压稳定承载力设计值；

N_l^i ——与钢管混凝土主肢共同承担荷载的连接钢板的抗压强度设计值；

f_{tpk} ——吊索或系杆索的抗拉强度标准值；

α ——钢管混凝土拱肋受截面均匀温度作用时轴线方向的线膨胀系数；

α_s ——钢材线膨胀系数；

α_c ——混凝土材料线膨胀系数；

ρ_s ——钢材密度；

μ_c ——混凝土泊松比；

μ_s ——钢材泊松比；

σ ——吊索或系杆索应力；

σ_0 ——钢管初应力。

2.2.3 几何参数

a_d ——几何参数设计值；

A_b ——一个节间内各平腹杆面积之和；

A_c ——钢管内混凝土的截面面积；

A_d ——一个节间内各斜腹杆面积之和；

A_{fs} ——连接钢板的截面面积；

A_s ——钢管的截面面积；

A_{sc} ——钢管混凝土构件的组合截面面积；
 A_{sl} ——拱肋截面钢材面积；
 A_{cl} ——拱肋截面混凝土面积；
 a_i ——钢管混凝土格构柱单根柱肢中心到虚轴 $y-y$ 的距离；
 b_i ——钢管混凝土格构柱单根柱肢中心到虚轴 $x-x$ 的距离；
 D ——钢管外径；
 d ——拉索直径；
 e_0 ——截面偏心距；
 f ——拱的矢高；
 f_1 ——桥面系以上拱肋的矢高；
 h_1 ——哑铃形截面、格构柱截面受弯面内两肢中心距离；
 h_2 ——哑铃形截面腹板高度；
 H ——拱肋截面高度；
 r ——截面计算半径；
 i ——截面回转半径；
 I_s ——混凝土截面惯性矩；
 I_g ——钢管截面惯性矩；
 I_{sc} ——钢管混凝土组合截面惯性矩；
 I_{sl} ——钢材截面惯性矩；
 I_{cl} ——混凝土截面惯性矩；
 l ——构件长度；
 L ——拱桥计算跨径；
 l_0 ——构件的计算长度；
 l_{01} ——拱肋净跨径；
 L_0 ——拱肋的等效计算长度；
 L_d ——吊索长度；
 L_z ——拱肋节段的直线段长；
 l_{0x} ——构件对 X 轴的计算长度；
 l_{0y} ——构件对 Y 轴的计算长度；

l_1 ——格构柱柱肢节间距离；
 l_2 ——哑铃形截面腹板加劲构造间沿拱肋方向的距离；
 r_c ——钢管内混凝土横截面的半径；
 S_g ——拱轴线长度；
 t ——钢管壁厚或混凝土初凝时间；
 T ——计算合龙温度；
 T_0 ——附加升温值；
 T_{28} ——钢管内混凝土浇注后 28d 内的平均气温；
 ϵ_b ——界限偏心率；
 θ ——拱肋两节段间折角；
 Δ ——支管间隙。

2.2.4 计算系数及其他

β ——钢管初应力度；
 ξ_0, ξ ——钢管混凝土约束效应系数设计值、标准值；
 ρ ——构件偏心率；
 ρ_c ——钢管混凝土截面含钢率；
 χ ——计算系数；
 μ ——柔度系数；
 μ_0 ——钢管混凝土拱肋汽车荷载冲击系数；
 γ_0 ——桥梁结构重要性系数；
 η_1 ——单肢钢管混凝土和整个构件截面抗弯刚度之比；
 φ ——稳定系数；
 φ_e ——偏心率折减系数；
 λ ——钢管混凝土构件的名义长细比；
 λ_n ——相对长细比；
 λ^* ——钢管混凝土格构柱的换算长细比；
 λ_1 ——钢管混凝土格构柱单肢名义长细比；
 λ_x, λ_y ——钢管混凝土格构柱对 X 轴、对 Y 轴的名义长细比；
 α ——有初应力的钢管混凝土极限承载力计算时，考虑长细

- 比影响的系数；
- f_0 ——钢管混凝土拱桥的一阶竖向频率；
- k_c ——钢管混凝土承载力徐变折减系数；
- K_p ——初应力度影响系数；
- k_1 ——荷载系数；
- k_2 ——行车道系数；
- k_3 ——轴心抗压强度设计值换算系数；
- K_1 ——钢管混凝土承载力脱粘折减系数；
- K ——换算长细比系数；
- K' ——换算长细比修正系数；
- m ——有初应力的钢管混凝土极限承载力计算时，考虑偏心率影响的系数；
- n ——桁式拱肋弦杆数；
- V ——输送泵的额定速度；
- Q ——管内混凝土浇注方量。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 钢管混凝土拱肋中的钢管宜选用质量等级为 B 级及以上的碳素结构钢或低合金高强度结构钢,其质量要求应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

3.1.2 钢管可采用卷制焊接管或无缝钢管。当满足卷制要求时,宜采用直缝焊接管。

3.1.3 钢材的主要强度指标应按表 3.1.3 采用。

表 3.1.3 钢材强度指标

钢号	厚度或直径 (mm)	设计值(N/mm ²)		标准值 f_y (N/mm ²)
		抗拉、抗压和抗弯 f_s	抗剪 f_{sd}	
Q235	≤16	190	110	235
	>16~40	180	105	225
	>40~100	170	100	215
Q345	≤16	275	160	345
	>16~40	270	155	325
	>40~63	260	150	295
Q390	≤16	310	180	390
	>16~40	295	170	370
	>40~63	280	160	350

3.1.4 钢材的物理性能指标可按表 3.1.4 采用。

表 3.1.4 钢材的物理性能指标

弹性模量 E_s (N/mm ²)	剪切变形模量 G_s (N/mm ²)	线膨胀系数 α_s (1/℃)	密度 ρ_s (kg/m ³)	泊松比 μ_s
2.06×10^5	7.90×10^4	1.20×10^{-5}	7.85×10^3	0.30

3.2 混 凝 土

3.2.1 钢管混凝土拱肋的管内混凝土等级不应低于 C30,宜为 C40~C60。

3.2.2 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 3.2.2 采用。混凝土剪切变形模量 G_c 可按表 3.2.2 中弹性模量 E_c 的 40% 采用,混凝土泊松比 μ_c 可取为 0.2。

表 3.2.2 混凝土强度和弹性模量(N/mm²)

强度种类 强度等级	轴心抗压强度		轴心抗拉强度		弹性模量 E_c
	标准值 f_{ck}	设计值 f_{cd}	标准值 f_{tk}	设计值 f_{td}	
C30	20.10	14.30	2.01	1.43	3.00×10^4
C35	23.40	16.70	2.20	1.57	3.15×10^4
C40	26.80	19.10	2.39	1.71	3.25×10^4
C45	29.60	21.10	2.51	1.80	3.35×10^4
C50	32.40	23.10	2.64	1.89	3.45×10^4
C55	35.30	25.30	2.74	1.96	3.55×10^4
C60	38.50	27.50	2.85	2.04	3.60×10^4

3.3 钢管混凝土

3.3.1 钢管与管内混凝土的匹配可按下列材料组合选用:

- 1 Q235 钢配 C30~C40 强度等级混凝土。
- 2 Q345 钢配 C40~C60 强度等级混凝土。
- 3 Q390 钢配 C60 或 C60 以上强度等级混凝土。

3.3.2 钢管混凝土构件的钢管壁厚不应小于 8mm。钢管的外直径 D 与壁厚 t 之比宜为 $35 \times (235/f_y) \sim 100 \times (235/f_y)$,钢材强度标准值 f_y 取值应符合本规范表 3.1.3 的规定。

3.3.3 钢管混凝土约束效应系数设计值 ξ_0 不宜小于 0.60,截面含钢率 ρ_c 宜为 0.04~0.20。 ξ_0 、 ρ_c 应按下列公式计算:

$$\xi_0 = \frac{A_s f_s}{A_c f_{cd}} \quad (3.3.3-1)$$

$$\rho_c = \frac{A_s}{A_c} \quad (3.3.3-2)$$

式中： ξ_0 ——钢管混凝土约束效应系数设计值；

ρ_c ——钢管混凝土截面含钢率；

A_s ——钢管的截面面积(mm^2)；

A_c ——钢管内混凝土的截面面积(mm^2)；

f_s ——钢板(材)抗拉、抗压和抗弯强度设计值(N/mm^2)；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm^2)。

3.4 其 他 材 料

3.4.1 吊索和系杆索的高强钢丝宜采用 $\phi 5\text{mm}$ 或 $\phi 7\text{mm}$ 热镀锌钢丝,其强度标准值不宜低于 $1670\text{N}/\text{mm}^2$,性能要求应符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌钢丝》GB/T 17101 的规定。

3.4.2 吊索和系杆索的钢绞线宜采用高强低松弛预应力镀锌或其他防护钢绞线,其强度标准值不宜低于 $1860\text{N}/\text{mm}^2$,性能要求应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。

3.4.3 吊索和系杆索的锚具及连接件的钢材应选用优质碳素结构钢或合金结构钢,性能要求应符合国家现行有关标准的规定。吊索与系杆索所用防护材料不得含有对钢材有腐蚀作用的成分。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,按分项系数的设计表达式进行设计。

4.1.2 钢管混凝土拱桥应按下列两类极限状态进行设计:

1 承载能力极限状态:对应于钢管混凝土拱或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。

2 正常使用极限状态:对应于钢管混凝土拱或其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。

4.1.3 钢管混凝土拱桥应按持久状况承载能力极限状态和持久状况正常使用极限状态进行设计。

4.1.4 钢管混凝土拱桥抗震设计应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01 的规定。

4.1.5 钢管混凝土拱桥中钢结构和钢构件之间的连接,包括施工阶段管内混凝土达到设计强度前的钢管拱结构,其承载力、变形和稳定性能均应按桥梁钢结构进行设计与计算,并应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.6 钢管混凝土拱桥设计时应根据地形地质、交通运输条件和其他建设条件,确定指导性的施工方案、主要施工步骤、质量要求和施工中允许的不平衡荷载,并应明确结构体系转换的顺序及采取的措施。

4.1.7 钢管混凝土拱桥设计时应按主要施工阶段进行计算。施工阶段的计算应包括下列内容:

1 拱肋构件的运输、安装过程中的应力、变形和稳定计算。

2 与拱肋形成有关的附属结构的计算。

3 拱肋形成过程中自身的应力、变形和稳定计算。

4 成桥过程中桥梁结构的应力、变形和稳定计算。

4.1.8 施工计算中,应计入施工中可能出现的实际荷载,包括架设机具和材料、施工人群、桥面堆载以及风力、温度变化影响力和其他施工临时荷载。施工阶段结构弹性稳定特征值不应小于4.0。

4.1.9 钢管混凝土拱肋、横撑、立柱、桥面系主梁等,应进行满足使用期间检查和养护维修要求的设计。

4.1.10 钢管混凝土拱桥的钢结构应依据桥位处的大气腐蚀环境进行防腐设计,其免维修周期不应小于15年。防腐体系宜根据桥梁所处环境及不同部位进行设计,不同防腐体系的钢材表面除锈等级、表面清洁度、表面粗糙度等指标要求应符合现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722的规定。

4.1.11 钢管混凝土拱桥的防水、排水和其他结构的耐久性要求应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.12 钢管混凝土拱桥施工前,对各关键工序,应制订专项施工技术方案和安全技术方案。

4.1.13 大跨径钢管混凝土拱桥应进行施工监测与控制,拱的轴线、内力、吊索与系杆索拉力、钢管应力等应满足设计要求。

4.2 作 用

4.2.1 钢管混凝土拱桥的荷载分类、效应组合与荷载计算,除应符合本规范规定外,还应根据工程性质的不同,符合现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11或《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定。

4.2.2 钢管混凝土拱肋的汽车荷载冲击系数 μ_0 可按下式计算:

$$\mu_0 = 0.05736f_0 + 0.0748 \quad (4.2.2)$$

式中: f_0 ——钢管混凝土拱桥的一阶竖向频率(Hz)。

4.2.3 钢管混凝土拱受温度变化影响产生的变形值或由此而引起的次内力,应根据桥位处气温、桥梁结构和施工设计等因素计算确定。材料线膨胀系数和作用标准值可按下列规定取用:

1 钢管混凝土拱肋受截面均匀温度荷载时轴线方向的线膨胀系数 α 可按下列式计算:

$$\alpha = \frac{\alpha_s A_s + \alpha_c A_c}{A_s + A_c} \quad (4.2.3-1)$$

式中: α_s ——钢材线膨胀系数,取 $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$;

α_c ——混凝土材料线膨胀系数,取 $1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。

2 计算钢管混凝土拱因截面均匀温度变化引起外加变形或约束变形时,应以计算合龙温度 T 为基准温度,考虑最高和最低有效温度的荷载效应。

3 合龙温度 T 可按下列式计算:

$$T = T_{28} + \frac{D - 0.85}{0.2} + T_0 \quad (4.2.3-2)$$

式中: T_{28} ——钢管内混凝土浇注后 28d 内的平均气温($^\circ\text{C}$);

D ——钢管外径(m);

T_0 ——考虑管内混凝土水化热荷载的附加升温值,为 $3.0^\circ\text{C} \sim 5.0^\circ\text{C}$,冬季取小值,夏季取大值;混凝土强度等级低于 C40 时,在此基础上减去 1.0°C 。

4 最高与最低有效温度可取当地最高与最低气温。

4.2.4 计算钢管混凝土拱因管内混凝土收缩而产生的变形值或由此而引起的次内力时,管内混凝土收缩可采用实测值或按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62的规定计算。

4.3 结构计算

4.3.1 钢管混凝土拱桥的结构计算应包括静力计算、稳定计算、动力计算和节点疲劳计算等。结构计算图式、几何特性、边界条件

应反映实际结构状况和受力特征。

4.3.2 当刚架系杆拱进行有限元计算时,宜将上部结构、下部结构与基础作为整体。

4.3.3 钢管混凝土拱肋截面整体压缩设计刚度 $(EA)_{sc}$ 与弯曲设计刚度 $(EI)_{sc}$ 应按下列公式计算:

$$(EA)_{sc} = E_s A_{s1} + E_c A_{c1} \quad (4.3.3-1)$$

$$(EI)_{sc} = E_s I_{s1} + 0.6 E_c I_{c1} \quad (4.3.3-2)$$

式中: $(EA)_{sc}$ ——钢管混凝土拱肋截面整体压缩设计刚度(N);

$(EI)_{sc}$ ——钢管混凝土拱肋截面整体弯曲设计刚度($N \cdot mm^2$);

A_{s1} ——拱肋截面钢材面积(mm^2);

A_{c1} ——拱肋截面混凝土面积(mm^2);

I_{s1} ——钢材截面惯性矩(mm^4);

I_{c1} ——混凝土截面惯性矩(mm^4)。

4.3.4 钢管混凝土拱肋截面回转半径 i 宜按下列公式计算:

$$i = \sqrt{(EI)_{sc1} / (EA)_{sc1}} \quad (4.3.4-1)$$

$$(EI)_{sc1} = E_s I_{s1} + E_c I_{c1} \quad (4.3.4-2)$$

式中: i ——截面回转半径(mm);

$(EA)_{sc1}$ ——钢管混凝土毛截面压缩设计刚度(N),可按本规范公式(4.3.3-1)计算;

$(EI)_{sc1}$ ——钢管混凝土毛截面弯曲设计刚度($N \cdot mm^2$)。

5 持久状况承载能力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.1 钢管混凝土拱桥应按承载能力极限状态的要求,对结构与构件进行强度和稳定性验算。

5.1.2 持久状况承载能力极限状态计算时,钢管混凝土拱桥的安全等级应根据其重要性、桥梁结构破坏可能产生后果的严重程度以及工程性质进行划分,并应符合现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 和《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定。

5.1.3 钢管混凝土结构与构件的承载能力极限状态应按下列公式计算:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.1.3-1)$$

$$R = R(f_d, a_d) \quad (5.1.3-2)$$

式中: γ_0 ——桥梁结构重要性系数,对安全等级为一级、二级、三级的结构或构件应分别取 1.1、1.0、0.9;桥梁抗震设计不考虑结构的重要性系数;

S ——荷载效应的组合设计值,应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 或《城市桥梁设计规范》CJJ 11 的规定,其中汽车荷载应计入冲击系数;

R ——构件承载力设计值;

$R(\cdot)$ ——构件的承载力函数;

f_d ——材料强度设计值;

a_d ——几何参数设计值。

5.1.4 钢管混凝土拱肋强度计算应包括拱肋各组成构件,稳定计算应包括各组成构件与拱肋整体。对桁式拱肋的钢管混凝土弦管,当单肢一个节间的长细比 λ_1 小于或等于 10 时,承载力计算可

仅进行强度计算,并应符合本规范第 5.2.2 条~第 5.2.5 条的规定;当 λ_1 大于 10 时,承载力计算应进行稳定计算,并应符合本规范第 5.3.3 条的规定。 λ_1 的计算应符合本规范公式(5.3.9-3)~公式(5.3.9-5)的规定。

5.2 拱肋强度计算

5.2.1 拱肋强度计算时,截面的内力可采用弹性理论计算。对组成哑铃形或桁肋的钢管混凝土单圆管构件,其内力可由有限元计算结果或截面内力分配计算确定。当采用截面内力分配计算哑铃形截面各肢的内力且上、下两肢相同时(图 5.2.1),各肢的内力可按下列公式计算:

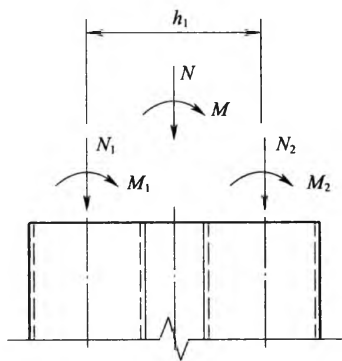


图 5.2.1 哑铃形拱肋内力计算示意图

$$M_1 = M_2 = \eta_1 M \quad (5.2.1-1)$$

$$N_1 = \left[\frac{1}{2} + \frac{(1-2\eta_1)}{h_1} \frac{M}{N} \right] N, N_2 = \left[\frac{1}{2} - \frac{(1-2\eta_1)}{h_1} \frac{M}{N} \right] N \quad (5.2.1-2)$$

$$\eta_1 = \frac{1}{2 + 0.5h_1^2\chi} \quad (5.2.1-3)$$

$$\chi = \frac{(EA)_{sc2}}{(EI)_{sc2}} \quad (5.2.1-4)$$

$$(EI)_{sc2} = E_s I_s + E_c I_c \quad (5.2.1-5)$$

式中: M ——截面弯矩设计值($N \cdot mm$);

N ——截面轴向力设计值(N);

M_1, M_2 ——分配到两个肢管上的弯矩值($N \cdot mm$);

N_1, N_2 ——分配到两个肢管上的轴向力值(N);

η_1 ——单肢钢管混凝土和整个构件截面抗弯刚度之比;

h_1 ——哑铃形截面受弯面内两肢中心距离(mm);

χ ——计算系数;

I_c ——混凝土截面惯性矩(mm^4);

I_s ——钢管截面惯性矩(mm^4);

$(EA)_{sc2}$ ——单肢钢管混凝土毛截面压缩设计刚度(N),按本规范公式(4.3.3-1)计算;

$(EI)_{sc2}$ ——单肢钢管混凝土毛截面弯曲设计刚度($N \cdot mm^2$),按本规范公式(4.3.4-2)计算。

5.2.2 钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度应按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_s \leq N_0 \quad (5.2.2-1)$$

$$N_0 = k_3 (1.14 + 1.02\xi_0)(1 + \rho_c) f_{cd} A_c \quad (5.2.2-2)$$

式中: N_s ——轴向压力组合设计值(N);

N_0 ——钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度设计值(N);

ξ_0 ——钢管混凝土的约束效应系数设计值,按本规范公式(3.3.3-1)计算;

ρ_c ——钢管混凝土截面含钢率,按本规范公式(3.3.3-2)计算;

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm^2);

k_3 ——轴心抗压强度设计值换算系数。当钢管壁厚 $t \leq 16mm$ 时, $k_3 = 1.0$ 。当钢管壁厚 $t > 16mm$ 时, Q235 钢和 Q345 钢, $k_3 = 0.96$; Q390 钢, $k_3 = 0.94$ 。

5.2.3 对有脱粘影响的钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度设计值 N'_0 应按下列公式计算:

$$N'_0 = K_t N_0 \quad (5.2.3)$$

式中: N'_0 ——考虑脱粘影响的钢管混凝土单圆管截面轴心抗压强度设计值(N);

K_t ——钢管混凝土承载力脱粘折减系数,拱顶截面取 0.90,拱跨 $L/4$ 截面取 0.95,拱脚截面取 1.00,中间各截面的系数取值可用线性插值法确定。

5.2.4 钢管混凝土单圆管截面偏心抗压强度设计值 N_{01} 应按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_s \leq N_{01} \quad (5.2.4-1)$$

$$N_{01} = \varphi_e N_0 \quad (5.2.4-2)$$

式中: φ_e ——偏心率折减系数,按本规范第 5.2.5 条的规定计算;

N_{01} ——钢管混凝土单圆管截面偏心抗压强度设计值(N)。

5.2.5 钢管混凝土单圆管偏心抗压强度的偏心率折减系数 φ_e 应按下列公式计算:

当 $\frac{e_0}{r_c} \leq 1.55$ 时:

$$\varphi_e = \frac{1}{1 + 1.85 \frac{e_0}{r_c}} \quad (5.2.5-1)$$

当 $\frac{e_0}{r_c} > 1.55$ 时:

$$\varphi_e = \frac{1}{2.50 \frac{e_0}{r_c}} \quad (5.2.5-2)$$

式中: e_0 ——截面偏心距(mm);

r_c ——钢管内混凝土横截面的半径(mm)。

5.2.6 钢管混凝土哑铃形截面和格构柱截面轴心抗压强度设计值 N_D 应按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_s \leq N_D \quad (5.2.6-1)$$

$$N_D = \sum (N_0^i + N_t^i) \quad (5.2.6-2)$$

$$N_i^1 = A_{fs} f_s \quad (5.2.6-3)$$

式中: N_D ——钢管混凝土哑铃形和格构柱构件截面轴心抗压强度设计值(N);

N_0^1 ——拱肋截面各肢钢管混凝土截面轴心抗压强度设计值(N),按本规范公式(5.2.2-2)计算;

N_i^1 ——与钢管混凝土主肢共同承担荷载的连接钢板的极限承载力设计值(N);

A_{fs} ——连接钢板的截面面积(mm²)。

5.2.7 钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心抗压强度验算时,轴向压力组合设计值 N_s 应分别取截面轴向力最大设计值和对应于截面弯矩最大设计值的轴力值,并按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_s \leq N_{Dl} \quad (5.2.7-1)$$

$$N_{Dl} = \varphi_e N_D \quad (5.2.7-2)$$

式中: N_{Dl} ——钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心抗压强度设计值;

φ_e ——偏心率折减系数,哑铃形构件按本规范第5.2.8条的规定计算,格构柱按本规范第5.2.9条的规定计算。

5.2.8 钢管混凝土哑铃形构件的偏心率折减系数 φ_e 应按下列公式计算:

当 $\frac{e_0}{2i} \leq 0.85$ 时:

$$\varphi_e = \frac{1}{1 + \frac{2.82e_0}{2i}} \quad (5.2.8-1)$$

当 $\frac{e_0}{2i} > 0.85$ 时:

$$\varphi_e = \frac{0.25}{\frac{e_0}{2i}} \quad (5.2.8-2)$$

式中: e_0 ——哑铃形构件截面的偏心率(mm)。

5.2.9 钢管混凝土格构柱的偏心率折减系数 φ_e 应按下列公式计算:

当 $\frac{e_0}{h_1} \leq \epsilon_b$ 时:

$$\varphi_e = \frac{1}{1 + \frac{2e_0}{h_1}} \quad (5.2.9-1)$$

当 $\frac{e_0}{h_1} > \epsilon_b$ 时:

$$\varphi_e = \frac{\xi_0}{(1 + \sqrt{\xi_0} + \xi_0) \left(\frac{2e_0}{h_1} - 1 \right)} \quad (5.2.9-2)$$

$$\epsilon_b = 0.5 + \frac{\xi_0}{1 + \sqrt{\xi_0}} \quad (5.2.9-3)$$

式中: ϵ_b ——界限偏心率;

h_1 ——格构柱截面受弯面内两肢中心距离(mm);

e_0 ——格构柱截面的偏心距(mm)。

5.2.10 钢管混凝土桁式拱肋腹杆所受轴力设计值 V_1 应取实际轴力或按下式计算结果取其较大值:

$$V_1 = \sum_{i=1}^n N_{0i} / 60 \quad (5.2.10)$$

式中: V_1 ——腹杆所受轴力设计值(N);

n ——桁式拱肋弦杆数;

N_{0i} ——桁式拱肋第 i 根弦杆轴心抗压强度设计值(N),按本规范公式(5.2.2-2)计算。

5.2.11 哑铃形与桁式拱肋除了弦杆钢管混凝土构件外,还应应对腹板或腹杆、平联等其他拱肋组成构件和连接构造进行受力计算。

5.2.12 钢管混凝土节点和空钢管节点应按钢管节点进行节点连接承载力计算,并应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定。

5.3 拱肋稳定计算

5.3.1 钢管混凝土拱桥应进行空间稳定性计算,弹性稳定特征值不应小于 4.0。计算时拱肋截面整体压缩设计刚度和弯曲设计刚

度应按本规范第 4.3.3 条的规定计算。

5.3.2 钢管混凝土拱肋的面内整体稳定承载力可将其等效成梁柱进行验算。单圆管拱肋、哑铃形拱肋和桁式拱肋可分别等效成单圆管构件、哑铃形构件和格构柱。等效梁柱的计算长度可按表 5.3.2 的规定计算,等效梁柱的两端作用力可取拱跨 $L/4$ 截面处的弯矩与轴力。

表 5.3.2 拱肋的等效计算长度

拱 结 构	等效计算长度 L_0
三铰拱	$0.58S_g$
双铰拱	$0.54S_g$
无铰拱	$0.36S_g$

注: S_g 为拱轴线长度。

5.3.3 钢管混凝土单圆管偏心受压构件稳定承载力设计值 N_{02} 应按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_s \leq N_{02} \quad (5.3.3-1)$$

$$N_{02} = \varphi \varphi_e N_0 \quad (5.3.3-2)$$

式中: N_{02} ——钢管混凝土单圆管偏心受压构件稳定承载力设计值(N);

φ ——稳定系数,按本规范第 5.3.5 条的规定计算;

φ_e ——偏心率折减系数,按本规范第 5.2.5 条的规定计算。

5.3.4 钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心受压稳定承载力设计值 N_{D2} 应按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_s \leq N_{D2} \quad (5.3.4-1)$$

$$N_{D2} = \varphi \varphi_e N_D \quad (5.3.4-2)$$

式中: N_{D2} ——钢管混凝土哑铃形构件和格构柱偏心受压稳定承载力设计值(N);

φ_e ——偏心率折减系数,哑铃形构件按本规范第 5.2.8 条的规定计算,格构柱按本规范第 5.2.9 条的规定计算。

5.3.5 稳定系数 φ 应按下列公式计算：

$$\text{当 } \lambda_n \leq 1.5 \text{ 时: } \varphi = 0.658 \lambda_n^2 \quad (5.3.5-1)$$

$$\text{当 } \lambda_n > 1.5 \text{ 时: } \varphi = \frac{0.877}{\lambda_n^2} \quad (5.3.5-2)$$

式中： λ_n ——相对长细比，按本规范公式(5.3.6)计算。

5.3.6 钢管混凝土柱的相对长细比 λ_n 应按下列公式计算：

对单圆管和哑铃形柱：

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y A_s + f_{ck} A_c + A_c \sqrt{\rho_c f_y f_{ck}}}{E_s A_s + E_c A_c}} \quad (5.3.6-1)$$

对格构柱：

$$\lambda_n = \frac{\lambda^*}{\pi} \sqrt{\frac{f_y A_s + f_{ck} A_c + A_c \sqrt{\rho_c f_y f_{ck}}}{E_s A_s + E_c A_c}} \quad (5.3.6-2)$$

式中： λ ——钢管混凝土单圆管柱、哑铃形柱的名义长细比，分别按本规范第 5.3.7 条和第 5.3.8 条的规定计算；

λ^* ——钢管混凝土格构柱的换算长细比，按本规范第 5.3.10 条的规定计算。

5.3.7 钢管混凝土单圆管柱的名义长细比 λ 应按下列公式计算：

$$\lambda = 4l_0 / D \quad (5.3.7)$$

式中： l_0 ——计算长度；

D ——钢管外径。

5.3.8 钢管混凝土哑铃形柱的名义长细比 λ 应按下列公式计算：

$$\lambda = l_0 / i \quad (5.3.8)$$

5.3.9 钢管混凝土格构柱对 X 轴和 Y 轴的名义长细比 λ_x 和 λ_y 、单肢名义长细比 λ_1 应按下列公式计算：

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{\sqrt{\sum(I_{sc} + b_i^2 A_{sc}) / \sum A_{sc}}} \quad (5.3.9-1)$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{\sqrt{\sum(I_{sc} + a_i^2 A_{sc}) / \sum A_{sc}}} \quad (5.3.9-2)$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{\sqrt{I_{sc}/A_{sc}}} \quad (5.3.9-3)$$

$$A_{sc} = A_s + A_c \quad (5.3.9-4)$$

$$I_{sc} = \frac{\pi D^4}{64} \quad (5.3.9-5)$$

式中: λ_x, λ_y ——钢管混凝土格构柱对 X 轴和 Y 轴的名义长细比;

l_{0y}, l_{0x} ——钢管混凝土格构柱对 Y 轴、 X 轴的计算长度;

λ_1 ——钢管混凝土格构柱单肢名义长细比;

A_{sc} ——单根柱肢的组合截面面积;

I_{sc} ——单根柱肢的组合截面惯性矩;

A_s, A_c ——柱肢钢管横截面总面积和管内混凝土横截面总面积;

a_i, b_i ——单根柱肢中心到虚轴 $y-y$ 和 $x-x$ 的距离 ($i=1, 2$)

(图 5.3.9)。

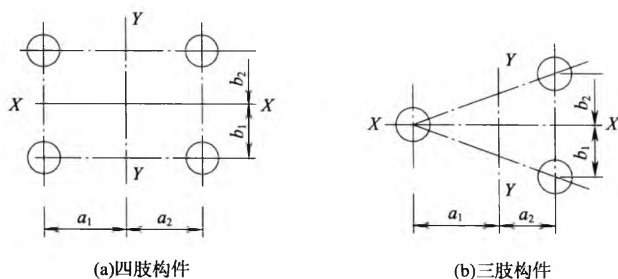


图 5.3.9 格构柱柱肢距离示意图

5.3.10 钢管混凝土格构柱的换算长细比 λ^* 应按下列公式计算:

$$\lambda^* = K'\lambda_y \quad \text{或} \quad \lambda^* = K'\lambda_x \quad (5.3.10-1)$$

$$K' = \begin{cases} 1.1K & K\lambda \leq 40 \\ K\sqrt{1 + \frac{300}{(K\lambda)^2}} & K\lambda > 40 \end{cases} \quad (5.3.10-2)$$

$$K = \sqrt{1 + \mu} \quad (5.3.10-3)$$

$$\mu = \begin{cases} \frac{(E_s I_s + E_c I_c)}{l_1^2 (E_s A_d)} \left(2.83 + \frac{1}{A_b} \right) & \mu \leq 0.5 \\ 0.5 & \mu > 0.5 \end{cases} \quad (5.3.10-4)$$

式中： λ^* ——换算长细比；

K' ——换算长细比修正系数；

K ——换算长细比系数；

μ ——柔度系数；

A ——柱肢截面换算面积；

A_d ——一个节间内各斜腹杆面积之和；

A_b ——一个节间内各平腹杆面积之和；

λ ——钢管混凝土格构柱的名义长细比(λ_x 或 λ_y)，按本规范公式(5.3.9-1)或(5.3.9-2)计算；

l_1 ——格构柱柱肢节间距离。

5.3.11 对钢管混凝土轴压构件和偏心率 $\rho \leq 0.3$ 的偏压柱，其承受永久荷载引起的轴压力占全部轴压力的 30% 及以上时，截面轴心抗压强度设计值 N_0 应乘以混凝土徐变折减系数 k_c 。徐变折减系数 k_c 应按表 5.3.11 的规定取值，偏心率 ρ 应按下列公式计算：

$$\rho = \frac{e_0}{r} \quad (5.3.11-1)$$

$$r = 2i - t \quad (5.3.11-2)$$

$$r = 2i \quad (5.3.11-3)$$

式中： r ——截面计算半径，单圆管、哑铃形柱按公式(5.3.11-2)计算，格构柱按公式(5.3.11-3)计算；

t ——钢管壁厚。

表 5.3.11 徐变折减系数 k_c

名义长细比 λ	永久荷载所占比例(%)		
	30	50	70 及以上
$40 \leq \lambda \leq 70$	0.90	0.85	0.80
$70 < \lambda \leq 120$	0.85	0.80	0.75

注：表中名义长细比 λ 应按本规范第 5.3.7 条～第 5.3.9 条的规定计算；表内中间值可采用线性内插法求得。

5.3.12 钢管混凝土拱稳定承载力计算中，计入初应力影响时，按本规范公式(5.2.2-2)计算的截面轴心抗压强度设计值 N_0 应乘以初

应力度影响系数 K_p 。初应力度影响系数 K_p 应按下列公式计算：

$$K_p = 1 - 0.24am\beta \quad (5.3.12-1)$$

$$a = \frac{\lambda}{80} \quad (5.3.12-2)$$

$$\beta = \frac{\sigma_0}{f_y} \quad (5.3.12-3)$$

$$m = 0.2\rho + 0.98 \quad (5.3.12-4)$$

式中： K_p ——初应力度影响系数；

a ——考虑长细比影响的系数；

m ——考虑偏心率影响的系数；

β ——钢管初应力度；

λ ——构件的长细比，按本规范第 5.3.7 条～第 5.3.10 条的规定计算；

σ_0 ——钢管初应力，在截面上不均匀时，取截面平均应力；

f_y ——钢管强度标准值，取值应符合本规范表 3.1.3 的规定；

ρ ——构件偏心率，按本规范公式(5.3.11-1)计算。

5.4 吊索和系杆索计算

5.4.1 吊索和系杆索设计宜按现行行业标准《公路斜拉桥设计细则》JTG/T D65-01 中对斜拉索的技术要求执行。

5.4.2 吊索的应力应满足下式要求：

$$\sigma \leq 0.33f_{tpk} \quad (5.4.2)$$

式中： σ ——吊索的应力(N/mm²)；

f_{tpk} ——吊索的抗拉强度标准值(N/mm²)。

5.4.3 系杆索的应力应满足下式要求：

$$\sigma \leq 0.5f_{tpk} \quad (5.4.3)$$

式中： σ ——系杆索的应力(N/mm²)；

f_{tpk} ——系杆索的抗拉强度标准值(N/mm²)。

6 持久状况正常使用极限状态计算

6.0.1 钢管混凝土拱桥的持久状况设计应按正常使用极限状态的要求,采用荷载的短期效应组合、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,对构件的应力、挠度进行验算,各项计算值不应超过本规范规定的各相应限值。各种组合中,汽车荷载效应可不计冲击系数。

6.0.2 钢管混凝土拱肋应设置预拱度。拱肋预拱度值的计算与设置可按现行行业标准《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61 的规定执行。

6.0.3 钢管混凝土结构或构件变形计算中,混凝土徐变系数在无可靠实测资料时可按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定计算。

6.0.4 钢管混凝土拱肋的挠度计算,按短期效应组合并消除结构自重产生的长期挠度后,在一个桥跨范围的正负挠度绝对值之和的最大值不应大于计算跨径的 $1/1000$ 。

6.0.5 持久状况下钢管混凝土拱肋的钢管应力不宜大于 $0.8f_y$ 。

7 结构与构造

7.1 结构形式

7.1.1 钢管混凝土拱桥主要结构体系可分为上承式[图 7.1.1 (a)]、中承式[图 7.1.1 (b)、(c), 图(c)中桥面系未示]和下承式[图 7.1.1 (d)、(e), 图(d)中桥面系未示]。当地质、地形条件许可时,宜选择推力拱。下承式拱不宜采用简支拉索拱结构。

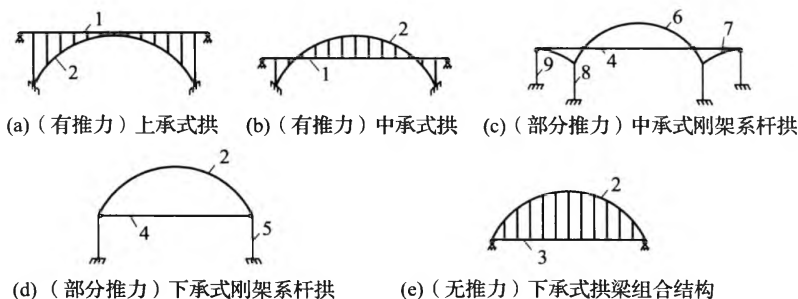


图 7.1.1 钢管混凝土拱桥主要结构体系

1—桥面系;2—拱肋;3—系梁;4—系杆;5—桥墩;6—主拱肋;

7—边拱肋;8—主墩;9—边墩

7.1.2 钢管混凝土拱桥的主拱矢跨比宜为 $1/3.5 \sim 1/6.0$ 。

7.1.3 钢管混凝土中承式刚架系杆拱桥,边跨与中跨跨径之比宜为 $1/4.0 \sim 1/5.5$,边跨拱肋与中跨拱肋的矢高之比宜为 $1/3.5 \sim 1/4.5$,边跨拱肋矢跨比与中跨拱肋矢跨比之比宜为 $1/1.1 \sim 1/2.0$ 。

7.1.4 多跨钢管混凝土拱桥宜设置单向推力墩或采用其他抗单向推力措施。单向推力墩宜每隔三跨至五跨设置一个。下承式多跨连续刚架系杆拱的系杆宜各跨独立锚固。

7.2 主 拱

7.2.1 钢管混凝土拱肋的截面形式应根据跨径、桥宽与车辆荷载等级等进行选择。截面形式可采用单圆管、哑铃形和桁式(图 7.2.1)。

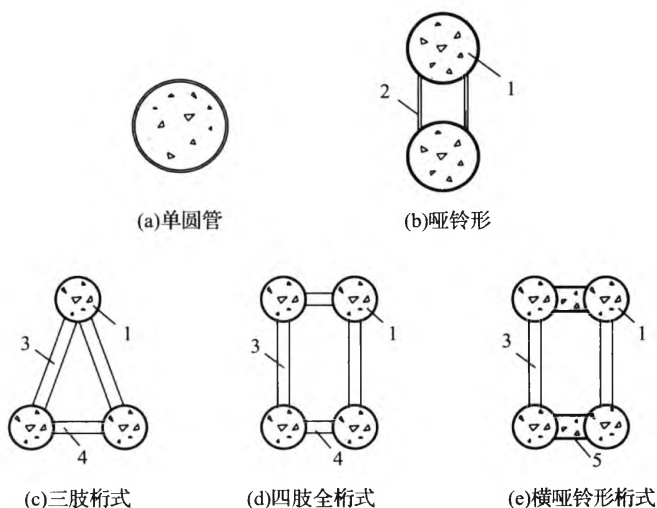


图 7.2.1 钢管混凝土拱肋截面类型

1—弦管;2—腹板;3—腹杆;4—平联杆;5—平联板

7.2.2 对跨径不大于 300m、采用哑铃形或四肢桁式(四肢全桁式和横哑铃形桁式)等高度截面的钢管混凝土拱桥,拱肋截面高度 H 可按式(7.2.2)估算,四肢桁式拱肋的宽度可采用 $0.40H \sim 0.75H$ 。变高度截面的桁拱,拱顶和拱脚截面高度可分别按式(7.2.2)计算值的 80% 和 1.4 倍~1.5 倍取用。

$$H = k_1 k_2 \left[0.2 \left(\frac{l_{01}}{100} \right)^2 + \frac{l_{01}}{100} + 1.2 \right] \quad (7.2.2)$$

式中: H ——拱肋截面高度(m);

l_{01} ——拱肋净跨径(m);

k_1 ——荷载系数,公路Ⅰ级或城—A级取 1.0,公路Ⅱ级或城—B级取 0.9;

k_2 ——行车道系数,当设计车道为 2 或 3 时取 0.9;当设计车道为 4 时取 1.0;当设计车道为 6 时取 1.1。

7.2.3 钢管混凝土拱的拱轴线应根据桥梁跨径和受力情况选择,宜为抛物线或拱轴系数为 1.2~2.8 的悬链线。当采用悬链线时,其拱轴系数 m 对上承式宜为 1.2~2.8,对中承式不宜大于 1.9,对下承式不宜大于 1.5。

7.2.4 钢管混凝土拱肋钢管外径宜为 600mm~1300mm。哑铃形截面的弦管管径可采用 $0.35H \sim 0.46H$ 。等高度桁式截面的拱肋弦管直径可采用 $0.18H \sim 0.30H$,随拱肋高度的增大可取用低值。

7.2.5 哑铃形截面中两块腹板间应设置加劲构造。加劲构造间沿拱肋方向的距离 l_2 不应大于 3 倍的腹板高度 h_2 (图 7.2.5)。

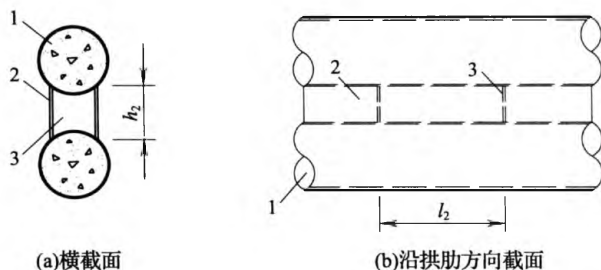


图 7.2.5 哑铃形截面拱肋腹板加劲构造示意图

1—弦管;2—腹板;3—加劲构造

7.2.6 横哑铃桁式截面中两块平联板间应采用加劲板等构造措施。当无斜杆时,两根平联杆间的距离宜为平联长度的 1.5 倍~3.0 倍。

7.2.7 桁式拱肋的吊杆或立柱宜设置在弦杆与腹杆的节点处。拱肋在吊杆、立柱等截面处,应进行局部加劲。

7.2.8 提篮拱的拱肋内倾角宜为 $5^\circ \sim 12^\circ$ 。

7.2.9 拱肋横撑(风撑)可采用空钢管结构。

7.2.10 钢管混凝土拱桥管结构中主管与支管应满足构造要求。支管钢管与主管钢管直径比宜为 $0.40 \sim 0.60$ ，壁厚比宜为 $0.55 \sim 1.00$ ，支管与主管的面积比不宜小于 0.25 。桁式拱肋的主管（钢管混凝土弦杆）可在节点处设置内栓钉。

7.2.11 钢管混凝土拱桥管结构的节点构造（图 7.2.11）应符合下列规定：

1 支管与主管宜采用相贯线直接焊接连接，支管不得穿入主管。

2 钢管节点宜采用间隙节点，支管间隙 Δ 不应小于相邻两支管壁厚之和且不应小于 50mm 。

3 支管轴线宜交于节点中心[图 7.2.11(c)]。当不能满足时，支管轴线可不交于主管轴线，但其节点偏心范围 e 宜控制在 $-0.55D \sim +0.25D$ 之间。

4 主管与支管之间夹角 θ 宜为 $30^\circ \sim 90^\circ$ 。

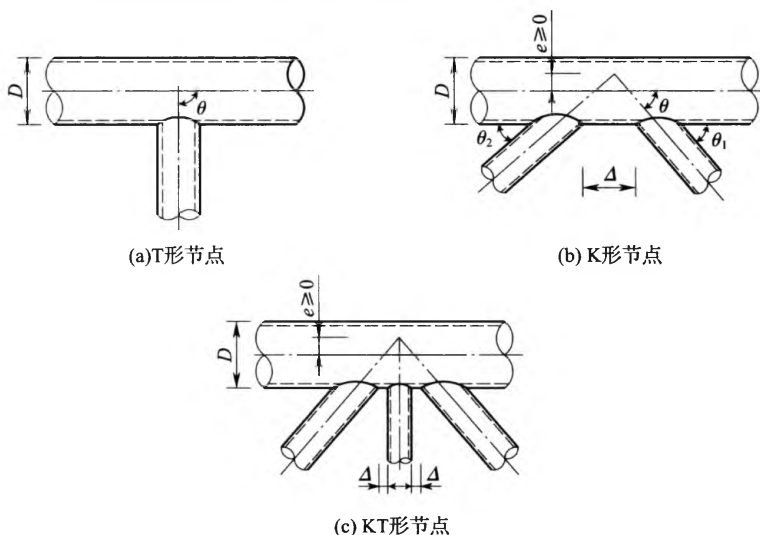


图 7.2.11 管结构的节点构造示意图

7.2.12 对分段安装的拱肋，各拱段接头间应设置临时定位设施。

当拱肋钢管对接或合龙采用焊接连接时,应采取措施保证焊缝的质量。对节段间的临时连接,可采用法兰盘配螺栓连接或其他可靠方式连接。当采用内法兰盘连接时,法兰盘构造应具有使管内混凝土连成一体的通透性。

7.2.13 钢管混凝土拱肋施工时应在空管阶段完成合龙。合龙口宜选在结构对称处。对无支架施工的大跨径拱肋宜采用瞬时合龙。

7.2.14 钢管混凝土拱肋固结于拱座的构造应采用埋入式,埋入长度应满足锚固要求。对单圆管或哑铃形拱肋,埋入长度应大于1倍的拱肋高度。对桁式拱肋,受压弦杆埋入拱座的长度应大于弦杆管径的1倍;对受拉弦杆,其埋入长度应根据计算确定。当拉力超出设计限值时,可通过在钢管表面设置剪力钉或其他刚性剪力连接件增强其锚固能力。

7.2.15 钢管混凝土拱肋应设置灌注管内混凝土的构造,并应采取相应的补强措施。

7.3 拱座与立柱

7.3.1 拱座宜为钢筋混凝土结构。拱座构造应能满足拱肋的固结要求,并应有足够的强度与抗裂性能。可在拱脚埋入段的钢管外缘设置螺旋箍筋,在拱座内拱脚截面下宜设置2层~4层分布钢筋网。

7.3.2 立柱与钢管混凝土拱肋间宜设置柱脚。

7.4 吊索和系杆索

7.4.1 钢管混凝土拱桥的吊索与系杆索必须具有可检查、可更换的构造与措施。

7.4.2 吊索与系杆索的设计应满足施工时的安装与张拉空间的要求,并应对使用时检查、养护和换索进行设计。

7.4.3 吊索的上下端锚具宜露出结构外。当锚具设置于结构内时,应满足锚具的安装空间和检查、养护的要求。吊索和系杆索应具有防水、排水措施,桥面处吊索预埋管上端应伸出桥面结构

100mm~150mm,伸出口应封闭。

7.4.4 吊索锚具应满足抗疲劳性能要求,吊索上下端的预留孔道宜填充防腐材料。外露的锚具应设防护罩,防护罩内宜注入油脂或其他防护材料进行封锚处理。

7.4.5 系杆索宜选用具有热挤 PE 保护层的预应力钢绞线或平行钢丝索。钢绞线系杆索可采用环氧喷涂钢绞线或镀锌成品索体。

7.4.6 系杆索锚具根据系杆长度可采用冷铸锚。当系杆索锚具采用夹片锚时,应有防止失锚装置。

7.4.7 系杆索可采用系杆箱防护。系杆箱应具有防水、排水性能,并应设检查口。系杆索的预埋管应伸出结构 150mm~200mm。外露的系杆索锚具应设置防护罩。

7.4.8 吊索与系杆索锚固处应有可扩散局部集中应力,并将吊索与系杆索索力传给受力结构的构造措施。吊索与系杆索不宜穿过主拱等主要受力结构。当无法避免时,应采取保证主拱受力性能的补强措施。

7.5 桥 面 系

7.5.1 中承式和下承式拱桥的悬吊桥面系应采用整体性结构,以横梁受力为主的悬吊桥面系必须设置加劲纵梁,并应具有一根横梁两端相对应的吊索失效后不落梁的能力。

7.5.2 中承式和下承式拱的悬吊桥面系宜在拱梁相交处设置横向限位装置。不承受水平拉力的悬吊桥面系的加劲纵梁不应与其端部结构或主拱固接。

7.5.3 中承式拱桥面系肋间横梁的设置不应影响主拱结构的连续性。桥面系与拱肋之间的结构设计应防止因变形不同引起的结构损伤。

7.5.4 悬吊桥面系的桥面板与横梁之间,在桥面伸缩装置附近可设置支座,其余不宜设置支座。伸缩缝附近的小支座应具有可更换条件,且宜采取限位或固定等防止脱落的措施。

8 钢管拱肋制造

8.1 钢管加工制作

8.1.1 焊接钢管宜采用自动焊接。钢管焊接成型后应进行校圆。

8.1.2 钢管相贯坡口应采用相贯线切割机加工成型,坡口尺寸应由焊接工艺试验评定确认,并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求。

8.2 钢管拱肋组装

8.2.1 钢管拱肋组装前,应根据设计要求以及材料、工艺、运输、吊装等因素确定其制作的节段长度。

8.2.2 当钢管拱肋采用弧形钢管拼接时,每节弧形钢管的轴线不应出现 S 形;当采用分段直线代替曲线时,折点应在计入预拱度后的拱轴线上,由于制作误差引起的钢管弯曲的方向应与拱轴的弯曲方向一致。

8.2.3 弯管宜采用加热顶压方法。实施前应进行钢管弯曲工艺评定试验及首节段弯管验收,在确定弯曲度时应计入回弯的影响。弯曲后的管节应在空气中缓慢冷却,不得用水骤冷。弯管时,不应出现鼓泡及拉薄等现象。

8.2.4 钢管拱肋节段组装应在胎架上进行。胎架应满足下列要求:

1 宜采用长线放样,若条件限制,应满足至少三个相邻吊装节段按 1:1 放样的要求。

2 肋架表面应设拱肋轮廓线、轴线、角尺线、水平线、吊杆或立柱定位线、横撑定位线以及节段端口检查线等标记。

8.2.5 节段组装前应按图纸核对零件编号、外形尺寸和坡口方向。节段宜采用连续匹配组装的工艺,每次组装节段的数量不应少于3段。节段组装时,应计入结构温度的影响。

8.2.6 哑铃形钢管拱肋的单节段制造和多节段预拼可采用单层侧卧法。桁式钢管拱肋单节段制造和多节段预拼可采用双层侧卧法,大跨径的钢管桁式拱肋多节段预拼可采用立拼法。

8.2.7 钢管拱肋组装前,对填充混凝土的钢管的内表面,设计未要求进行防腐涂装时,应采取防锈措施;对不填充混凝土的钢管的内表面,应按设计要求进行除锈与防护。

8.2.8 拱肋节段在所有部件装配好并经几何尺寸检查合格后,方可进行组装焊接,焊后应复检尺寸。吊杆锚箱、横撑短接头及节段间连接法兰等构件的安装应在拱肋装焊结束后定位安装。

8.2.9 钢管拱肋制作过程中,应按设计要求设置吊点、扣点、防混凝土倒流的截止阀、混凝土压注孔、排气孔、排渣孔等设施;对钢管上预留的混凝土压注孔、排气孔等,可在工厂开孔,也可在拱肋安装好后在工地开孔。开孔留下的盖片均应编号并妥善保管或点焊在原位上。开孔盖板应在混凝土强度达到设计值的50%后,按设计要求原位对接。焊接应平整光滑,不得突出和漏焊,不得烧伤混凝土。

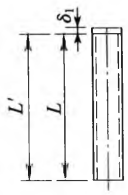
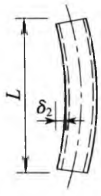
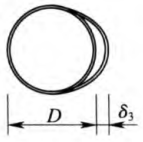
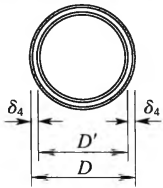
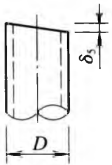
8.2.10 拱肋节段组装定位中心线(拱轴线)与组装场地中心线重合的允许偏差宜为 $\pm 3.0\text{mm}$,端口和节段长度检查线重合的允许偏差宜为 $\pm 3.0\text{mm}$ 。

8.2.11 当施工中需在钢管拱肋开孔和焊接临时结构时,应经过施工设计,具有相应的结构补强措施。当割除钢管拱肋上的施工临时钢结构时,不应伤及钢管拱肋。

8.3 钢管拱肋质量检验

8.3.1 钢管构件外形尺寸允许偏差应符合表8.3.1的规定。

表 8.3.1 钢管构件外形尺寸允许偏差(mm)

序号	检查项目	示意图	允许偏差
1	长度 δ_1		$\delta_1 \leq \pm 3.0$
2	纵向弯曲 δ_2		$\delta_2/L \leq 1/1000$ 且 $\delta_2 \leq 5.0$
3	椭圆度 δ_3		$\delta_3/D \leq 1/500$ 且 $\delta_3 \leq 5.0$
4	直径 δ_4		$\delta_4 = (D - D')/2$ $\delta_4/D \leq \pm 1/500$ 且 $\delta_4 \leq \pm 5.0$
5	管端不平度 δ_5		$\delta_5/D \leq 1/500$ 且 $\delta_5 \leq 3.0$

注:管端不平度中的 δ_5 指加工之后的钢管端部平面与施工详图的端部平面之差。

8.3.2 拱肋节段出厂应具备完整的验收资料。经检验合格后的拱肋节段方可吊运出厂。

8.3.3 钢管拱肋节段组装允许偏差应符合表 8.3.3 的规定。

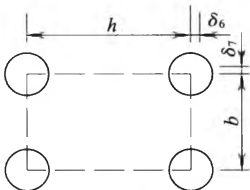
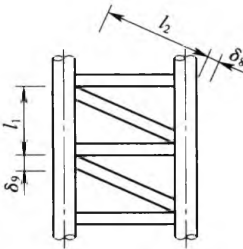
表 8.3.3 钢管拱肋节段组装允许偏差 (mm)

序号	检查项目	允许偏差
1	钢管中距	± 5.0
2	内弧偏离设计弧线	8.0
3	每段拱肋内弧长	$+0.0, -10.0$
4	节段对接错边	1/10 壁厚且不大于 2.0
5	节段平面度	3.0
6	竖杆节间长度	± 2.0

8.3.4 钢管混凝土桁式拱肋的节段组装除应符合本规范表 8.3.3 的规定外,还应符合下列规定:

- 1 弦杆、竖腹杆、斜腹杆的轴线应处于同一平面上,竖腹杆、斜腹杆的轴线交汇与设计的偏差值不应超过 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 2 竖腹杆之间、平联之间的间距偏差不应超过 $\pm 5.0\text{mm}$ 。
- 3 管肢组合和缀件组合允许偏差应符合表 8.3.4 的规定。

表 8.3.4 管肢组合和缀件组合允许偏差 (mm)

序号	检查项目	示意图	允许偏差
1	管肢组合: h 为长方向尺寸, δ_6 为长方向偏差; b 为宽方向尺寸, δ_7 为宽方向偏差		$\delta_6/h \leq 1/1000$ $\delta_7/b \leq 1/1000$
2	缀件组合: l_1 为两管肢间距, δ_8 为管肢间缀件偏差; l_2 为两缀件间距离, δ_9 为两缀件间偏差		$\delta_8/l_1 \leq 1/1000$ $\delta_9/l_2 \leq 1/1000$

8.3.5 钢管拱肋吊装节段预拼装的允许偏差应符合表 8.3.5 的规定。

表 8.3.5 钢管拱肋节段预拼装允许偏差

序号	检 查 项 目	允 许 偏 差
1	节段水平长度	$\pm 5.0\text{mm}$
2	预拼总长	$\pm 5.0\text{mm}$
3	拱肋内弧线偏离	$\pm 8.0\text{mm}$
4	节段端口环缝对接错边量	1/10 壁厚且不大于 2.0mm
5	缝口间隙	2.0mm
6	坡口角度	$\pm 5^\circ$

9 焊接施工

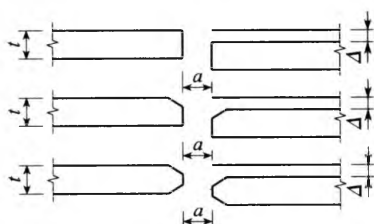
9.0.1 钢管、钢管拱肋和辅助构件制作中的焊接,应满足钢结构焊接工艺的具体要求,应制订焊接施工相应的焊接方法、技术要求、焊缝检验方法和检验手段。

9.0.2 对首次采用的钢材、焊接材料、焊接方法、焊前预热、焊后热处理等,应在焊接性能试验和焊接工艺试验的基础上根据现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求进行焊接工艺评定。

9.0.3 焊接材料和工艺的选择应保证焊接接头的强度和韧性指标与母材匹配,并应满足设计要求。

9.0.4 钢管对接焊缝的允许偏差应符合表 9.0.4 的规定。

表 9.0.4 对接焊缝允许偏差(mm)

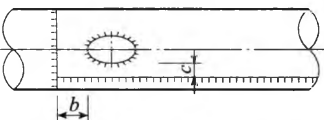
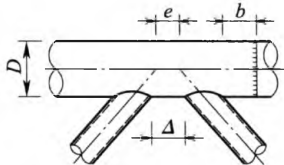
序号	检查项目	示意图	允许偏差
1	对口错边 Δ		$t/10$ 且不大于 2.0
2	间隙 a		1.0

9.0.5 当钢管拱肋每个吊装节段内包含若干制作节段时,宜先在胎架上对接成整体,并应采取措施满足规定的精度要求。制作节段间应有临时连结,并应用定位板控制焊缝间隙;钢管对接的环焊缝施焊应对称进行,且不得采用堆焊。

9.0.6 焊接应采取能减少焊接变形和残余应力的工艺措施。钢管相贯线焊缝应进行焊缝修磨和锤击,并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

9.0.7 钢管拱肋制造中应避免焊缝多次相交。当主管采用直焊缝钢管时,对于环焊缝、纵焊缝和节点的相贯线焊缝,焊缝交叉点避让措施应符合表 9.0.7 的规定。

表 9.0.7 焊缝交叉点避让措施

序号	检查项目	示意图	规定值
1	焊缝间距 L (mm)		$L \geq D$ 或 $L \geq 1000$ (D 为钢管直径)
2	错缝间距 l (mm) (沿弧长方向)		$l \geq 5t$, 且 $l \geq 200$ (t 为钢管壁厚)
3	焊缝间隙 b, c (mm)		$b \geq 80$ $c \geq 80$
4	腹杆间隙 Δ 、 腹杆轴距 e 、 焊缝间隙 b (mm)		$\Delta \geq 50$ $b \geq 80$ $e \leq D/4$ (D 为钢管直径)

9.0.8 焊缝质量检验应符合设计要求,设计没有明确要求的焊缝质量检验应符合本规范的规定。

9.0.9 钢管混凝土拱肋所有焊缝均应进行外观检测。碳素结构钢宜在焊缝冷却到环境温度、低合金结构钢宜在完成焊接 24h 后进行外观检测。无损检验应在外观检测合格且焊接 24h 后进行。焊缝的外观检测应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的规定。

9.0.10 拱肋钢管的卷管纵向对接焊缝、环向对接焊缝,应按现行

行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 规定的焊缝质量等级Ⅰ、Ⅱ级检验方法进行检验,并应全部进行超声波检验。对纵环向焊缝 T 型接头,还应抽取其数量的 10%,按现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 进行射线Ⅱ级检验,焊缝内部质量应达到Ⅱ级,检验范围为纵向、环向各 250mm~300mm。

9.0.11 哑铃形截面中钢管与腹板的角焊缝、腹板之间的对接焊缝、钢管桁式拱肋中主管与支管间的相贯线焊缝等,应按现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 规定的焊缝质量等级Ⅱ、Ⅲ级检验方法进行检验,并应全部进行超声波检验。对无法进行超声波探伤的角焊缝,应按现行行业标准《无损检测 焊缝磁粉检测》JB/T 6061 的规定进行 100% 的磁粉探伤检验。

9.0.12 对进行局部探伤的焊缝,当发现裂缝较多或有其他缺陷时,应延长探伤范围,直至焊缝全长。

9.0.13 经射线和超声波两种探伤方法检查的焊缝,均应达到各自标准。

9.0.14 当外观检测和探伤结果有不允许的缺陷时,应进行焊缝修磨及返修焊。焊缝修磨及返修焊应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的规定。

10 防腐涂装施工

10.0.1 钢管混凝土拱桥中钢构件的防腐涂装施工应符合设计要求,并应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的规定。

10.0.2 防腐涂装施工前应进行涂装工艺设计并试涂。对重要的桥梁和处于易腐蚀环境的桥梁,应进行涂层工艺试验。涂层工艺试验宜包括中性盐雾试验、人工加速老化试验和涂层附着力试验等,其中底漆耐盐雾试验、面漆人工加速老化试验可作为型式检测项目,并提供检测报告。

10.0.3 防腐涂装施工前应按设计要求进行表面净化与粗化处理。表面处理等级检验应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 中照片目视比较评定的规定。表面粗糙度的检验应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第2部分:磨料喷射清理后钢材表面粗糙度等级的测定方法 比较样块法》GB/T 13288.2 的规定。

10.0.4 涂料涂层干膜厚度和湿膜厚度的检测应符合现行国家标准《色漆和清漆 漆膜厚度的测定》GB/T 13452.2 的规定。涂料涂膜固化干燥后的干膜厚度测定,85%测点的厚度应达到设计厚度,其余15%测点的厚度不应低于设计值的85%。

10.0.5 热喷涂金属涂层应采用磁性测厚仪测量涂层厚度。测量方法应符合现行国家标准《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》GB/T 11374 的规定,测点位置应符合现行国家标准《热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金》GB/T 9793 的规定。85%测

点的厚度应达到设计厚度,其余 15%测点的厚度不应低于设计值的 85%。

10.0.6 涂料涂层附着力检验应符合现行国家标准《色漆和清漆 漆膜的划格试验》GB/T 9286 划格试验的规定或《色漆和清漆 拉开法附着力试验》GB/T 5210 拉开试验的规定。

10.0.7 热喷涂金属涂层的附着力检验应符合现行国家标准《热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金》GB/T 9793 栅格试验或拉伸试验的规定。试验结果在方格形切样内不应出现金属涂层与基底剥离的现象。

10.0.8 防腐涂装质量检验应符合设计要求。对设计没有明确要求的,检验项目应符合表 10.0.8 的规定。

表 10.0.8 钢材表面防腐涂装检验项目

序号	检 查 项 目		规定值或允许偏差
1	除锈清洁度		不低于 Sa2.5(St3)
2	粗糙度 (μm)	外表面	70~100
		内表面	40~80
3	总干膜厚度(μm)		不小于 150(室外涂装)或 125(室内涂装), 允许偏差为 -25~0
4	每层干膜厚度(μm)		允许偏差为 -5~0

11 钢管拱肋架设

11.1 一般规定

11.1.1 钢管拱肋架设可采用斜拉扣挂悬臂拼装法、转体法等无支架施工法以及支架施工法。拱肋架设施工前,应在设计架设方案的基础上进行施工方案设计。

11.1.2 施工方案设计中应验算吊装过程拱肋构件、安装过程中拱肋及其临时辅助设施组成的结构在各种工况下的强度、变形和稳定性。拱肋架设过程的受力计算可采用弹性理论。稳定计算时,弹性稳定特征值不应小于 4.0。

11.1.3 钢管拱肋架设前应进行下列准备工作:

- 1 检查构件的几何尺寸、焊接质量、表面腐蚀及预拼情况。
- 2 检查施工设计确定的起吊设施和扣挂点结构。
- 3 检查墩台的断面尺寸、预埋件位置,复测拱座起拱线处高程、跨距。
- 4 清除拱肋表面及管内的杂物,设置有关测量和监控的标志与元件。
- 5 完成现场拱肋安装焊接工艺评定。

11.2 钢管拱肋架设与质量检验

11.2.1 钢管拱肋正式架设前,应对吊装设备系统进行不小于施工设计荷载的负荷运行试验。

11.2.2 钢管拱肋吊点的位置应经结构本身的承载力和稳定性计算确定。

11.2.3 钢管拱肋节段吊装就位后,应立即进行校正,并应采取保证稳定性的措施。

11.2.4 当钢管拱肋无支架施工时,由拱肋与临时结构组成的受力体系应满足强度、刚度与稳定性的要求,并应符合下列规定:

1 当采用夹片锚时,张拉端应有防止低应力状态下锚具退锚的措施。当采用钢丝绳作扣(锚)索时,扣(锚)索强度安全系数不应小于3;当采用钢绞线、高强钢丝作扣(锚)索时,扣(锚)索强度安全系数不应小于2。

2 扣塔塔顶宜设风缆。塔高应能满足扣(锚)索倾角的要求。扣塔宜采用标准钢杆件或型钢拼装。

3 锚锭应能满足安全传递和锚固扣(锚)索拉力的要求,并应方便扣(锚)索收紧、放松、锚固。

4 当双肋或多肋悬拼时,纵桥向两相邻拱肋节段内宜有横撑联系;当无永久横撑时,宜设置临时横撑。拱肋与临时结构可通过设置横向风缆等措施满足结构横向稳定要求。

11.2.5 当钢管拱肋具备合龙条件时,应选择温度相对稳定的时段尽快合龙。

11.2.6 钢管拱肋合龙后解除施工辅助措施的体系转换过程,应按施工计算所规定的程序,有序、对称、均匀地进行。在整个过程中应跟踪观测拱肋轴线和标高的变化,采取措施及时调整,使成拱后的轴线满足设计要求。

11.2.7 拱肋安装完成并解除所有临时支承后的精度应符合表11.2.7的规定。

表 11.2.7 钢管拱肋架设实测项目

序号	检 查 项 目	允 许 偏 差(mm)
1	轴线偏位	$L/6000$
2	拱圈高程	$\pm L/3000$
3	对称点高差	$L/3000$
4	拱肋接缝错边	1/10 壁厚且不大于 2.0

注:L为跨径。

12 管内混凝土的浇注

12.1 一般规定

12.1.1 拱肋管内混凝土的浇注顺序应按设计提出的施工程序进行。单根钢管混凝土拱肋宜一次性连续对称浇注完成。

12.1.2 采用泵送顶升法施工的管内混凝土宜采用自密实补偿收缩混凝土,其配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 和《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的规定,并应满足下列要求:

1 混凝土含气量应小于 2.5%,初凝时间应大于完成浇筑一根钢管所需的时间。

2 入泵时坍落度范围宜为 20cm~26cm,扩展度宜控制为 50cm~65cm,T500 时间宜控制为 5s~20s,V 形漏斗通过时间宜控制为 10s~25s,U 形箱填充高度试验宜大于 30cm。

3 如泵送顶升施工在 6h 内完成,宜控制 3h 坍落度损失小于 3cm;如泵送顶升施工在 10h 内完成,宜控制 3h 坍落度无损失,5h 坍落度损失宜小于 3cm。

4 密闭环境下钢管内混凝土自由膨胀率宜控制为 $0\sim6\times 10^{-4}$,其稳定收敛期宜为 60d 内。

12.1.3 管内混凝土的力学性能试验应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定;混凝土的体积稳定性试验应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定,并应进行在密闭环境下的混凝土收缩性能和抗压强度试验;混凝土的强度评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定;混凝土的质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》

GB 50164 的规定。

12.1.4 管内混凝土浇注前应进行下列准备工作：

- 1 复查钢管拱肋焊接质量、几何尺寸、高程和拱轴线。
- 2 检查进场的设备与材料，并确认质量和数量符合要求，其中输送泵宜备有备用泵。
- 3 进行浇注演练，开展拌和设备与输送泵的联动试车。
- 4 为施工用电提供双回路供电或备用发电机组。
- 5 清洗钢管内壁。

12.1.5 应根据设计要求，选择气温相对稳定的时段浇注混凝土。浇注混凝土时环境气温应大于 5°C 。当泵送顶升环境气温高于 30°C 时，宜采取措施降低钢管温度。

12.2 管内混凝土的浇注施工

12.2.1 管内混凝土的浇注施工宜采用泵送顶升法，顶升段顶端宜设置长度大于 1.5m、直径大于 15cm 的出浆管，出浆管下端不应伸入主管内。

12.2.2 泵送顶升法施工前宜进行泵送试验。宜根据泵送高度、距离、输送速度计算最大泵送压力及泵送功率，选用输送泵的型号规格和与之相匹配的混凝土拌和设备。输送泵的额定扬程应大于 1.5 倍浇注顶面高度。输送泵额定速度宜满足下式要求：

$$V \geq 1.2Q/t \quad (12.2.2)$$

式中： V ——输送泵的额定速度 (m^3/h)；

t ——混凝土初凝时间 (h)；

Q ——要求浇注的混凝土方量 (m^3)。

12.2.3 泵送顶升管内混凝土时，应由拱脚至拱顶两端对称均衡地泵送顶升，管内混凝土宜一次性连续泵送顶升或分段接力一次泵送顶升浇筑完成，浇注过程中拱肋变位不应超过设计限值。

12.2.4 同一拱肋中下一条钢管的管内混凝土浇注应在前一条钢管的管内混凝土强度满足设计规定的强度要求后进行。当设计无

规定时,前一条钢管的管内混凝土的强度不宜低于混凝土 28d 强度的 80%。

12.2.5 管内混凝土浇注过程中应对钢管拱肋外表面进行清洗,管内混凝土浇注完成后,应将钢管的所有开孔封闭。

12.3 管内混凝土浇注后质量检验

12.3.1 管内混凝土填充密实度检测可采用人工敲击与超声波检测相结合的办法,并应符合下列要求:

1 检测次数不少于 3 次,宜为浇注 7 天后、28 天后和验收前。

2 人工敲击检查可沿钢管周边选取等距离的若干点,从拱脚往拱顶进行。人工敲击检查结果异常时,应加大检测密度,确定超声波检测范围。

3 超声波检测发现异常时,应进行钻孔复检。

12.3.2 当检测发现钢管混凝土拱肋脱粘(角度)率大于 20%或脱粘空隙厚度大于 3mm 时,应对脱粘处进行钻孔压浆补强处理。

12.3.3 钢管拱肋混凝土浇注实测项目应符合表 12.3.3 的规定。

表 12.3.3 钢管拱肋混凝土浇注实测项目

序号	检 查 项 目	规定值或允许偏差	
1	混凝土强度	满足设计要求	
2	轴线偏位(mm)	$L \leq 60\text{m}$	10
		$L = 200\text{m}$	30
		$L > 200\text{m}$	40
3	拱圈高程(mm)	$\pm L/3000$ 且不大于 ± 50	
4	对称点高差(mm)	$L/3000$ 且不大于 40	

注: L 为跨径;当 L 在 60m~200m 之间时,轴线偏位允许偏差可用线性内插法确定。

13 其他构造施工

13.1 一般规定

13.1.1 其他构造施工包括吊索、立柱、系杆索、桥面系、支座、伸缩装置、桥面防水、桥面铺装、护栏与栏杆等的施工,宜在拱肋钢管内混凝土达到设计强度后进行。

13.1.2 其他构造施工除应符合本章规定外,尚应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的有关规定。

13.2 吊索与系杆索的安装与质量检验

13.2.1 吊索和系杆索及其锚具应由专业生产厂家制造,并应有产品合格证书。

13.2.2 吊索、系杆索产品的包装、运输和堆放贮存均应确保拉索无损、无蚀、无变形,其技术条件及要求宜符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365 及其他相关标准的规定。

13.2.3 每根成品索均应有标志,标志设置应符合下列规定:

1 索端锚具连接筒处应标明该索编号和规格。

2 两索端均应挂有产品标牌,并应注明制造厂家、产品名称、工程名称、生产日期、索编号、规格、长度和重量及合格证。

13.2.4 计算系杆索的切割长度时,应计入下列因素的影响:

1 系杆索在拱肋两端的锚固处的位置偏差、桥面高程偏差带来的影响,系杆索两端足够的张拉工作长度。

2 系杆索安装因垂度引起的增量,采用应力下料时的延长量,应计入应力下料时的温度与设计温度之差引起的拉索伸缩量和拉索设计张拉延伸量。

13.2.5 系杆索的长度切割时,丈量的钢尺应经过标定,并按 50N 的张拉力拉尺丈量;对下料索应进行 10min~15min 施力持续预拉,预拉力可取为设计恒载的 1.1 倍~1.5 倍,量值可使用频率计、压力传感器或带压力表的千斤顶进行测定和控制。

13.2.6 吊索与系杆索的安装方法应根据桥高、索长、索径、索的刚柔程度及施工现场的起重设备状况综合选用。

13.2.7 吊索与系杆索安装时,不得磕碰、敲击损坏锚具,不得损伤拉索的保护层,不得压、弯、折索体。保护层如有损伤,应及时修补。安装过程中,应保持索体与锚具的整洁,不得附着腐蚀物质,不得扭转,并应采取防火措施。

13.2.8 系杆索的张拉顺序、张拉控制与索力调整应符合设计的规定。

13.2.9 系杆索自由段采用支架变向时,应采用滚动支架。

13.2.10 吊索与系杆索的调索应按设计或监控要求进行。在桥面铺装前,吊索标高应按设计要求再进行一次检测。

13.2.11 吊索与系杆索安装质量实测项目应符合表 13.2.11-1 和表 13.2.11-2 的规定。

表 13.2.11-1 吊索的制作与安装实测项目

序号	检 查 项 目	规定值或允许偏差
1	吊索长度(mm)	$\pm L_d/1000$ 且不大于 ± 10
2	吊索拉力	符合设计要求

注: L_d 为吊索长度。

表 13.2.11-2 系杆索安装实测项目

序号	检 查 项 目	规定值或允许偏差
1	张拉应力	符合设计要求
2	张拉伸长率(%)	符合设计要求,设计无要求时 ± 6

14 养 护

14.1 养护的基本规定

14.1.1 钢管混凝土拱桥应进行预防性养护和日常养护。

14.1.2 钢管混凝土拱桥应以每座桥为单位建立技术档案。档案内容应包括桥梁主要技术资料,设计资料,施工竣工资料,养护技术文件,历次检查、测试、维修加固资料等。档案资料应纳入相应的桥梁管理系统,并宜电子化和数字化。

14.1.3 除钢管混凝土主拱、吊索与系杆索等结构与构件的养护应按本章的规定进行外,其他结构及附属构造物的养护还应根据桥梁使用性质,符合现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99或《公路桥涵养护规范》JTG H11 的相关规定。

14.2 检查与评定

14.2.1 钢管混凝土拱桥检查按深度可分为经常检查、定期检查和特殊检查,按内容可分为整体检查、结构与构件检查和附属结构物检查等。

14.2.2 大跨径和特大跨径钢管混凝土拱桥应建立固定可靠的桥梁检测基准点和结构观测点,并确保各检测项目所获得的信息准确可靠。桥梁检测基准应定期进行复核。

14.2.3 钢管混凝土拱桥检查除应符合本章的规定外,还应根据使用性质,符合现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 或《公路桥涵养护规范》JTG H11 的规定。

14.2.4 钢管混凝土拱桥的技术状况应按使用性质,根据现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 或《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 的规定进行评定。

14.2.5 钢管混凝土拱桥的经常检查每月不宜少于一次,汛期和台风期应加强检查。

14.2.6 经常检查可采用目测方法,配以简单工具进行测量与记录,当场填写桥梁经常检查记录表,记录所检查项目的缺损类型,估计缺损范围及养护工作量,提出相应的小修保养措施。

14.2.7 经常检查中如发现桥梁重要部(构)件出现明显病害缺陷时,应及时向上级部门报告。

14.2.8 钢管混凝土拱桥整体状况的经常检查可采用目测法,检查应符合下列规定:

- 1 拱肋、桥面系整体结构线形应平顺、无异常变形。
- 2 结构应无异常的竖向振动或横向摆动。

14.2.9 钢管混凝土主拱结构的经常检查可采用目测法,检查应符合下列规定:

- 1 应检查主拱钢结构防腐体系损坏范围与程度。
- 2 主拱钢结构主要焊缝和螺栓连接应正常。
- 3 中承式拱拱肋与桥面系相交处的防护与结构应正常。
- 4 系杆索锚固区混凝土不得有裂缝、积水。
- 5 拱座混凝土结构不得有开裂情况。

14.2.10 吊索、系杆索的经常检查可采用目测法,检查应符合下列规定:

- 1 吊索(尤其是短吊索)的偏位应正常。
- 2 吊索、系杆索两端的锚固部位与结构相交部位的防水性能、紧固状况和锈蚀情况应正常。
- 3 吊索、系杆索索体的防护体不得出现开裂、破损等情况。
- 4 系杆索不得出现松弛,吊索的振动应正常,减振措施(两端阻尼减振器)不得损坏失效。

14.2.11 桥面系、人行道、系杆箱等结构的经常检查可通过目测和人体感受,检查支承情况、结构的外观情况和振动情况等。

14.2.12 钢管混凝土拱桥的定期检查包括常规定期检查与结构

定期检测。定期检查应符合下列规定：

1 常规定期检查应每年一次，可根据桥梁实际运行状况和结构类型、周边环境等情况增加检测次数。

2 结构定期检测的时间间隔，跨径等于或大于 200m 的宜为 1 年～2 年，关键部位可设仪器监控测试，跨径小于 200m 的宜为 2 年～3 年。

3 常规定期检查与结构定期检测可合并进行。

14.2.13 常规定期检查可由养护单位自检，也可委托具有相应资质和能力的单位承担。结构定期检测应由具有相应资质和能力的单位承担。

14.2.14 定期检查宜采用无损检测。有损检测应选择对结构受力影响小的部位进行，并应在检测后采取有效措施予以恢复。定期检查应安排在有利于检查的气候条件下进行。

14.2.15 常规定期检查除目视观察外，还应采用专用的测量仪器和设备，在经常检查内容的基础上，接近或进入各被检部件，检查其功能及其缺损状况。常规定期检查应包括下列内容：

1 现场校核桥梁基本状况资料。

2 当场记录各部件缺损状况，做出技术状况评价。

3 实地判断缺损原因，确定维修范围及方式。

4 对难以判断损坏原因和程度的部件，提出结构定期检测或特殊检查(专门检查)的要求。

5 对损坏严重、危及安全运行的状况，提出暂时限载限速等交通管理建议。

6 根据检查结果，进行桥梁技术状况的评定，并确定下次检查的时间。

7 形成常规定期检查报告。

14.2.16 钢管混凝土主拱结构的常规定期检查应包括下列内容：

1 用敲击法检查拱肋钢管与混凝土有无脱粘或脱空及其范围与程度。

2 用量测工具检测主拱钢结构防腐保护的损坏范围与程度。

3 用目测法检查主拱钢结构的焊缝和螺栓的锈蚀程度,用敲击法检查螺栓的松紧情况。

14.2.17 吊索与系杆索常规定期检查宜通过打开吊索与系杆索两端锚固的防护罩等方式,抽检锚头、垫板的工作性能、防腐措施与锈蚀情况;也可通过打开吊索与系杆索的防护体,抽检索体的锈蚀与损伤情况。

14.2.18 结构定期检测应在常规定期检查内容的基础上进行。结构定期检测应包括下列内容:

1 测试拱肋与桥面系的结构动力特性。

2 对常规定期检查中发现管内混凝土与钢管有脱粘现象的,用超声波全面检查拱肋脱粘情况。

3 用超声波抽检主拱钢结构主要焊缝的质量。

4 抽检吊索与系杆索的索力。

5 检测钢结构、混凝土结构等腐蚀程度。

6 进行常规定期检查中提出的结构构件检测、材料取样试验。

7 采用专用仪器测量桥面线形、拱肋线形等。

14.2.19 结构定期检测应根据桥梁跨径、规模、结构特点、桥龄、交通量、桥梁技术状况评定、自然环境以及桥梁临时封闭对交通与社会的影响,制订详细计划。计划应包括采用的测试技术与组织方案。

14.2.20 当结构定期检测中抽检的结构或构件不符合设计要求时,应扩大检测范围直至全面检测。

14.2.21 结构定期检测外业工作完成后,应在综合分析基础上,形成检测报告。结构定期检测报告应包括下列主要内容:

1 桥梁进行结构定期检测的原因。

2 结构定期检测的方法和评价结论。

3 结构使用限制,其中包括荷载、速度、机动车通行或车道数限制。

4 进一步检测、桥梁静动载试验、承载能力评定的建议。

5 养护、维修、加固措施的建议。

14.2.22 对大跨径、特大跨径和重要的钢管混凝土拱桥,可建立长期在线监测监控系统进行桥梁管养。

14.2.23 特殊检查包括专门检查和应急检查,应由具有相应资质和能力的单位承担。

14.2.24 特殊检查应采用仪器设备,通过现场勘查、试验等手段和科学分析方法,查明桥梁病害及其原因、破损程度和现有承载力等,进行桥梁技术状况评定,并应提出相应的维修、加固、改造和交通管理措施。

14.2.25 钢管混凝土拱桥在下列情况下应进行专门检查:

1 需进行吊索、系杆索等构件更换的桥梁。

2 需对桥面系进行维修加固的桥梁。

3 当定期检查难以判明损坏的原因及程度,或结构定期检测提出需专门检查的桥梁。

4 为提高或达到设计荷载等级而需进行维修、加固、改造和扩建的桥梁。

5 达到或超过设计年限,需延长使用时间的桥梁。

6 根据现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 的规定,被评定为不合格的Ⅰ类城市桥梁;被评定为D级或E级的Ⅱ类~Ⅴ类城市桥梁;根据现行行业标准《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 的规定,技术状况评定为四类、五类的公路桥梁。

14.2.26 专门检查内容应根据检查的目的与要求进行,检查报告应包括下列主要内容:

1 概述检查的一般情况,包括桥梁的基本情况,检查的组织、时间、背景和工作过程等。

2 桥梁技术状况的描述,包括现场调查、试验与检测项目及

方法,检测数据以及与大桥建成时或最近的定期检查的数据分析比较结果,桥梁技术状况评定等。

3 详细阐述检查部位损坏的原因及程度,并提出结构部件和总体的维修、加固或改造的建议。

14.2.27 钢管混凝土拱桥在下列情况下应进行应急检查:

1 钢管混凝土拱肋遭受车辆、漂流物或船舶等撞击,应以拱肋为重点进行应急检查。

2 吊索或系杆索遭受车辆等撞击或桥上发生 8 级以上大风后,应以吊索或系杆索为重点进行应急检查。

3 桥上发生火灾后,应以伸缩装置、吊索与系杆索的防护,过桥管线和过火范围及其附近的结构与构件为重点进行应急检查。

4 吊索或系杆索出现破断、桥面系落梁等事故后,应对桥梁整体进行应急检查。

5 钢管混凝土拱桥整体或局部结构在遭受洪水、流冰、滑坡、地震、漂流物或船舶撞击后,或因超重车辆通过或其他异常情况影响而造成损害时,应以受损结构和构件为重点对桥梁整体进行应急检查。

14.2.28 应急检查内容应根据检查的目的与要求进行,检查报告除应包括本规范第 14.2.26 条规定的内容外,还应包括下列内容:

1 灾害或突发事件的描述。

2 受损部位或构件材料的物理、化学性能测试结果与原因分析。

3 结构强度、刚度和稳定性、整体性能、功能状况等鉴定结果。

4 维修、加固与改造的建议。

5 桥梁抗灾能力的评估与防灾减灾的建议。

14.2.29 对特殊检查后不满足使用要求的钢管混凝土拱桥,在维修加固之前,应采取限载、限速或封闭交通的措施,并应继续监测桥梁结构的变化。

14.3 结构养护

14.3.1 钢管混凝土主拱结构应保持钢结构表面清洁,节点、吊点、焊缝等易污部位的污垢应清除。

14.3.2 主拱结构的涂装体系应保持完好。在经常检查中,若发现防腐涂层有现行行业标准《铁路钢梁涂膜劣化评定》TB/T 2486 所列的涂膜劣化等级 2 级及以上的漆膜破损时,应按下列要求及时进行处理:

1 当劣化类型为 3 级粉化时,应清除涂层表面污渍,采用细砂纸除去粉化物,然后覆盖两道相应面漆。

2 当旧涂层未锈蚀,劣化类型为 2 级~3 级,有起泡、裂纹或脱落现象时,应采用手动工具或电动工具清理损坏区域周围疏松的涂层,并延伸至未损坏的涂层区域 50mm~80mm 坡口,局部补涂相应底漆和面漆。

3 当旧涂层锈蚀,劣化类型为 2 级~3 级时,应清除松散的涂层。旧涂层表面清理应达到 P St3 级,然后局部涂装相应防锈底漆和相应中间漆、面漆。

4 当原喷锌或铝层发生锈蚀,劣化类型为 2 级~3 级时,应除去松动的涂料涂层和锌或铝涂层,钢表面锈蚀清理应达到 Sa2.5 级。对电弧喷锌或铝涂层清理部位,可改涂特制环氧富锌防锈底漆两道,然后涂装相应中间漆和面漆。

14.3.3 钢管混凝土主拱结构的涂装面层宜每 3 年~5 年重新涂装一次。

14.3.4 当防腐涂装体系达到设计寿命期或破损严重时,应重新进行防腐涂装的设计与施工。对城市或污染严重地区的桥梁,可根据实际情况提高对防腐涂装体系的要求。

14.3.5 对拱座处于常水位以下的钢管混凝土拱桥,每年丰水期来临之前,宜对主拱采取专门的防锈措施。

14.3.6 应保持钢结构栓接或焊接的正常状态。当发现异常情况

时,应分析产生的原因,提出消除措施,制订结构修补加固方案。

14.3.7 钢结构焊接修复工作进行前,应确定修复工艺。修复工作应由专业技术人员承担。修复完毕后应进行无损检验,确定原焊缝缺陷已消失,否则应重新修补。焊缝修补次数不应超过两次。

14.3.8 吊索与系杆索的锚头、护筒、索体应保持清洁和干燥。吊索上锚头若漏水、渗水应及时用防水材料封堵,下锚头若漏水、积水应及时将水排出并封堵水源。系杆箱应保持清洁和干燥,发现积水应及时排出,并采取措施防止积水。

14.3.9 应定期更换锚具锚杯内的防护油。当发现防护油渗漏时,应对渗漏部位实施封堵,并补注防护油。

14.3.10 应定期更换钢护筒与套管连接处的防水垫圈与阻尼垫圈,连接处应进行防水处理。

14.3.11 吊索与系杆索的防护应经常养护。当索体护套出现开裂、漏水、渗水时,应及时处理。当油脂渗漏时,应对渗漏部位进行堵塞。

14.3.12 当吊索或系杆索出现松弛情况时,应及时查明原因,并采取调索或更换的措施。

14.3.13 吊索与系杆索出现下列情况之一时应进行更换:

- 1 吊索与系杆索达到产品使用寿命。
- 2 锚头出现裂缝或破损。
- 3 索体护套出现老化与破损且难以修复。
- 4 索体出现腐蚀、断丝,遭受撞击或意外损坏,且无法修复。
- 5 定期检查或特殊检查认为需更换。

14.3.14 短吊索的更换周期可短于其他吊索,并可通过更换下来的短吊索检查吊索的内部情况和材料性能。

14.3.15 吊索与系杆索更换时应采用技术先进、质量可靠的产品。

14.3.16 吊索与系杆索更换工程宜由原设计单位进行方案与施工图设计。更换设计标准不应低于原设计标准。

14.3.17 吊索更换时,原吊索的拆除应在无应力状态下进行。

14.3.18 系杆索更换过程中,宜保持总索力不小于原设计索力。系杆换索不得采用突然释放应力的办法进行。

14.3.19 吊索与系杆索更换工程应由专业施工队伍实施。

14.3.20 桥面系结构的支座应经常养护。支座垫层上的积水应及时清除。钢构件应保持清洁,防止锈蚀。当出现下列情况时,应及时维修:

1 支座与梁底、支座与砂浆垫层之间的接触面不平整时,应予以调平。

2 梁体位移及转角受阻碍时,应解除约束,恢复其自由变形。

3 支座组件有损坏时,应予以维修、更换。

4 支座脱落时,应及时补上,并设置限位或固定措施。

14.3.21 对中承式、下承式钢管混凝土拱桥仅有横梁无加劲纵梁的悬吊桥面系,宜根据桥梁使用状况进行加固改造。加固改造后的结构应具有一根横梁两端相对应的吊索失效后不落梁的能力。

14.3.22 拱座应清洁干燥,及时排除积水;当拱座外包混凝土出现褶皱、龟裂、裂纹时,宜进行水泥砂浆涂抹、压浆封闭,或凿除裂损部位进行修复;当拱座混凝土出现裂缝时,应采取措施进行处理。

14.3.23 伸缩缝应经常清扫;排水系统应保持畅通;人行道、栏杆、防护栏、照明设施、交通标志等功能应正常。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

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:

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:

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,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《钢结构设计规范》GB 50017
- 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《色漆和清漆 漆膜厚度的测定》GB/T 13452.2
- 《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323
- 《色漆和清漆 拉开法附着力试验》GB/T 5210
- 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1
- 《色漆和清漆 漆膜的划格试验》GB/T 9286
- 《热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金》GB/T 9793
- 《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》GB/T 11374
- 《涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第2部分:磨料喷射清理后钢材表面粗糙度等级的测定方法 比较样块法》GB/T 13288.2
- 《桥梁索用热镀锌钢丝》GB/T 17101
- 《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365

《城市桥梁设计规范》CJJ 11
《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99
《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166
《无损检测 焊缝磁粉检测》JB/T 6061
《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722
《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02 - 01
《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61
《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62
《公路斜拉桥设计细则》JTG/T D65 - 01
《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50
《公路桥涵养护规范》JTG H11
《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21
《铁路钢梁涂膜劣化评定》TB/T 2486

中华人民共和国国家标准

钢管混凝土拱桥技术规范

GB 50923 - 2013

条文说明

制 定 说 明

《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013,经住房和城乡建设部 2013 年 11 月 1 日以第 210 号公告批准发布。

本规范制订过程中,编制组进行了大量钢管混凝土拱桥设计、施工、养护情况的调研,开展了徐变、刚度、初应力、温度等问题的专题研究,总结了我国在钢管混凝土拱桥设计、施工、养护上的实践经验,同时参考了国外技术法规、技术标准,许多单位和学者提供了卓有成效的意见和建议。

为了便于广大设计、施工、监理、科研、学校等单位有关人员在使使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《钢管混凝土拱桥技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	(69)
2	术语和符号	(71)
3	材 料	(72)
3.1	钢材	(72)
3.2	混凝土	(73)
3.3	钢管混凝土	(73)
3.4	其他材料	(74)
4	基本规定	(75)
4.1	一般规定	(75)
4.2	作用	(77)
4.3	结构计算	(78)
5	持久状况承载能力极限状态计算	(80)
5.1	一般规定	(80)
5.2	拱肋强度计算	(81)
5.3	拱肋稳定计算	(82)
5.4	吊索与系杆索计算	(84)
6	持久状况正常使用极限状态计算	(85)
7	结构与构造	(87)
7.1	结构形式	(87)
7.2	主拱	(88)
7.3	拱座与立柱	(90)
7.4	吊索和系杆索	(90)
7.5	桥面系	(91)
8	钢管拱肋制造	(93)

8.1	钢管加工制作	(93)
8.2	钢管拱肋组装	(93)
8.3	钢管拱肋质量检验	(94)
9	焊接施工	(95)
10	防腐涂装施工	(97)
11	钢管拱肋架设	(98)
11.1	一般规定	(98)
11.2	钢管拱肋架设与质量检验	(98)
12	管内混凝土的浇注	(99)
12.1	一般规定	(99)
12.2	管内混凝土的浇注施工	(102)
12.3	管内混凝土浇注后质量检验	(102)
13	其他构造施工	(104)
13.1	一般规定	(104)
13.2	吊索与系杆索的安装与质量检验	(104)
14	养 护	(105)
14.1	养护的基本规定	(105)
14.2	检查与评定	(105)
14.3	结构养护	(107)

1 总 则

1.0.1 钢管混凝土拱桥具有跨越能力强、施工方便、造型美观等优点,自1990年以来在我国得到了大量的应用,积累了丰富的工程经验;同时,开展了大量的科学研究,取得了系列的研究成果。为规范钢管混凝土拱桥的设计、施工和养护,确保工程质量和桥梁使用性能,在总结已有研究成果与工程经验的基础上,制定本规范。

对钢管混凝土拱桥提出“安全可靠、耐久适用、技术先进、经济合理”的要求,是综合了现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和《城市桥梁设计规范》CJJ 11 对公路桥梁与城市桥梁的要求而提出的。

1.0.2 本规范适用于我国城市桥梁与公路桥梁中钢管混凝土拱桥的设计、施工与养护。钢管混凝土有圆形截面、方形截面和其他截面形式的。圆形钢管混凝土由于平面形状为轴对称,受力性能好,钢管加工容易,因而在钢管混凝土拱桥中应用最广泛,理论研究与应用较为成熟。因此,本规范适用的对象主要是以圆形钢管混凝土拱肋为主要承重结构的桥梁。

1.0.3 本规范依据国家现行标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068、《公路工程结构可靠度设计统一标准》GB/T 50283、《城市桥梁设计规范》CJJ 11、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的原则制订。

本规范主要针对的是钢管混凝土拱桥中的钢管混凝土拱肋等特殊结构,其他结构,如桥面系、墩台与基础等钢结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构的设计计算与验算,应符合公路或城市桥梁相应的设计、施工与养护规范标准的要求,如现行行

业标准《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ 025、《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 和《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 等。材料和施工质量验收应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1 和《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 等的要求。

本规范的内容均是基于近 20 年来国内外钢管混凝土拱桥理论研究成果和工程实践经验而提出的较为成熟的设计方法和最基本的施工、养护技术要求。当实际工程中钢管混凝土拱桥的受力状况、材料性能、施工、养护方法等基本技术条件与本规范的编制依据有出入时,则需根据具体情况通过试验分析或专项科研等方式加以解决。

2 术语和符号

本规范的基本术语和符号主要依据国家现行标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132 和《道路工程术语标准》GBJ 124的规定采用。

本章仅将本规范中出现的、人们比较生疏的术语与符号列出。术语的解释,其中有部分是国际公认的定义,但大部分则是概括性的涵义,并非国际或国家公认的定义,术语的名称不是标准化名称;同时,还给出了相应的推荐性英文术语,仅供引用时参考。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 钢管混凝土拱肋中的钢管一般采用 Q235 和 Q345 钢 B 级或 B 级以上的钢材制成。据统计分析,在 2005 年之前建成的钢管混凝土拱桥中,采用 Q235 钢和 Q345 钢的分别约为 21% 和 79%;2005 年后建成的钢管混凝土拱桥中,则基本采用 Q345 钢 (93.5%)。

按照钢材种类,Q235 属于碳素结构钢,Q345 属于低合金高强度结构钢,其基本技术特征和质量等级应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的要求,因此规定拱肋钢管的质量要求应符合上述规范的规定。

3.1.2 用于钢管混凝土拱肋的钢管有卷制焊接管和无缝钢管,其中无缝钢管的管径较小,单价也较高,通常仅用在小管径且用量不大的构件上,如桁肋的腹杆。满足卷制要求时,宜采用卷制焊接管。卷制焊接管有直缝焊接管和螺旋焊接管。螺旋焊接管主要由生产承受径向压力的输送管厂家生产,且在制作拱肋时易与其他焊缝交叉,所以不推荐采用,而推荐采用直缝管。

3.1.3 钢材的分组和指标取值考虑了钢管混凝土拱桥中钢管常用的钢号与板厚。钢材强度设计值 $f_s = f_y / \gamma_R$, 其中 f_y 为强度标准值, γ_R 为材料分项系数。根据现行国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》GB/T 50283 的规定,公路桥梁的可靠指标应大于一般建筑结构。表 3.1.3 中,抗拉、抗压和抗弯强度的抗力分项系数 $\gamma_R = 1.25$; 抗剪强度设计值与抗拉、抗压和抗弯强度设计值的换算关系为: $f_{vd} = f_s / \sqrt{3}$ 。

3.1.4 本条主要来源于现行国家标准《钢结构设计规范》

GB 50017—2003中的表 3.4.3。

3.2 混 凝 土

3.2.1 钢管混凝土拱肋的管内混凝土强度等级通常选用 C30～C60。据统计,在 157 座桥例样本中,采用 C40 和 C50 的占了绝大多数(92.0%);只有 1997 年以前修建的 6 座小跨径的桥例采用了 C30 混凝土,仅占 3.8%;C60 及以上的也不多,不到 5%。为了保证钢管混凝土构件具有良好的力学性能,并具有较好的经济性,管内混凝土等级不宜过低。反过来,管内混凝土等级也不必过高,因为管内混凝土在钢管套箍作用下承载力已有较大提高,且 C60 及以上等级的混凝土制备难度会因为强度与工作性能等要求的提高而急剧上升。

3.2.2 本条来源于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 第 4.1 节的内容。尽管目前钢管混凝土实际工程中管内混凝土以 C40、C50 为主,但考虑到规范编制的完备性、实际工程对材料要求的多样性以及与相应国标的衔接性,在此条文中引用了 C35、C45、C55 等不常用混凝土的材料指标。

3.3 钢管混凝土

3.3.1 钢管混凝土作为一种组合材料,应从受力性能、经济性等方面考虑两种材料之间的合理匹配。本条推荐了目前工程上常用的三种匹配,其中 Q235 钢配 C30 级或 C40 级混凝土和 Q345 钢配 C40 级、C50 级或 C60 级混凝土这两种最常用,Q390 钢配 C60 级及以上混凝土极少用。

3.3.2 钢管最小壁厚的规定是为了保证钢管焊接质量。已建成的钢管混凝土拱桥,钢管拱肋直径一般不小于 500mm,壁厚不小于 8mm。

钢管径厚比的规定是考虑结构受力要求和经济性。径厚比太大时,钢管容易发生局部屈曲;径厚比太小则含钢率太高,经济性

下降,而且对于大管径的钢管,管壁太厚也会给卷管和焊接工作带来不利因素。目前已建钢管混凝土拱桥的径厚比一般为40~100。

3.3.3 约束效应系数设计值和含钢率的规定是为了发挥钢管对混凝土的套箍作用。

对于约束效应系数,统计分析表明,在78座桥例中约有73%(57座)的约束效应系数大于0.6;福建省工程建设地方标准《钢管混凝土结构技术规程》DBJ 13-51-2003规定此值不宜小于0.6。本条规定约束效应系数不宜小于0.6。

对于含钢率,据对113座桥例的统计,96.5%的桥例拱肋截面的含钢率为0.04~0.2。现行行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085-1999规定常用的含钢率为0.04~0.2;现行行业标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》JCJ 01-89的规定:对于Q235钢含钢率宜采用0.04~0.16,对于Q345钢或Q390钢含钢率宜采用0.04~0.12。综合上述数据,本条推荐钢管混凝土构件的截面含钢率为0.04~0.20。

3.4 其他材料

3.4.1~3.4.3 根据我国钢管混凝土拱桥的工程实践,参照现行行业标准《公路斜拉桥设计细则》JTG/T D65-01-2007中对斜拉索的要求,对钢管混凝土拱桥中(柔性)吊索和系杆索的索体材料的技术要求提出了所应执行的规范或标准。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1~4.1.3 参照现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004和《城市桥梁设计规范》CJJ 11—2011的有关规定制订。

4.1.4 本规范中的钢管混凝土拱桥,既有公路桥梁,又有城市桥梁;公路钢管混凝土拱桥的抗震设计应符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01,城市钢管混凝土拱桥的抗震设计应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166的规定。

研究表明,钢管混凝土拱桥较之圬工和钢筋混凝土拱桥具有更好的抗震性能。在抗震设计方面,它与一般桥梁结构相同,应满足现行行业标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01—2008或《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166—2011的要求。在抗震计算方面,与其他桥梁结构的计算方法相同,主要不同之处在于钢管混凝土拱肋进入材料非线性后的材料本构关系。但大量的实桥设计计算中,钢管混凝土拱肋在地震荷载下未进入材料非线性阶段,结构内力甚至小于车辆荷载作用下的内力。所以,本规范未对抗震计算中钢管混凝土材料非线性材料本构关系做详细的规定。

4.1.5 钢管混凝土拱桥中的钢结构和钢构件之间的连接,显然应按桥梁钢结构进行设计与计算。此外,施工阶段管内混凝土达到强度前,即钢管混凝土组合结构形成之前,拱肋的受力为钢管结构,其承载力、变形和稳定也应按桥梁钢结构进行设计与计算,除考虑其自身自重外,还应考虑管内混凝土达到设计强度前的自重和其他施工荷载;在管内混凝土达到设计强度后,才能按钢管混凝土

土结构进行验算。同时,在钢管混凝土中、下承式拱桥中广泛采用的柔性吊杆(吊索)和系杆(系杆索),虽也属于钢结构,但考虑其特殊性,本规范在第 5.4 节和第 7.4 节单独给出了设计中计算与构造的相关规定。

4.1.6~4.1.8 相对于其他桥型来说,拱桥的施工难易程度与费用,与施工方法有很大的关系,因此,设计时要考虑施工方案。拱在施工过程中的受力与施工完成后的受力有很大的不同,设计时应应对施工重要阶段进行受力计算。拱桥成桥后的受力与施工过程的受力密切相关,从结构设计的角度来说,设计时也要进行施工受力计算。因此,对设计单位在进行钢管混凝土拱桥设计时的施工计算提出了要求。第 4.1.7 条中规定的与拱肋形成有关的附属结构包括拱铰、扣点和拱段接头等。

4.1.10 对于金属材料构件,如钢管拱肋、吊索与系杆索,要考虑防腐措施。对于其他材料的结构防腐,应考虑桥梁所在处的环境,采取必要的防腐措施。

4.1.12 钢管混凝土拱桥施工关键工序主要有钢管拱肋、系杆索和吊索等主要构件的制作、安装、防腐以及钢管拱肋管内混凝土泵送、系索与吊索安装等。第 4.1.6 条~第 4.1.8 条规定的设计单位进行的施工计算只是原则性的、关键工序的计算,不能代替施工单位所要进行的施工设计和施工计算,因为后者要更详细和更具针对性。本规范第 4.1.6 条~第 4.1.8 条规定的原则也适用于施工单位所进行的施工计算。此外,本规范第 11.1.2 条也对钢管拱肋架设方案的计算做了规定。钢管混凝土拱桥其他各阶段的施工计算,无特殊之处,本规范未做具体规定,应按国家有关规范的规定执行。由于城市桥梁目前无专门的施工技术规范,实际施工计算中主要执行现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50。

4.1.13 由于计算模型、材料特性、混凝土收缩徐变、温度变化等与实际情况的偏差,大跨径钢管混凝土拱桥施工过程中,结构的实际受力状况与理论计算可能存在着较大的偏差。因此,需要进行

施工过程的监测监控。

4.2 作 用

4.2.2 研究表明,钢管混凝土拱桥桥面系的汽车荷载冲击系数与钢管混凝土拱肋的汽车荷载冲击系数不尽相同。桥面系的汽车荷载冲击系数,可根据桥面结构特性按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004 的规定计算。本条给出的是钢管混凝土拱肋的汽车荷载冲击系数,在无精确计算值时,跨径 80m~300m 的钢管混凝土拱桥一阶竖向频率 f_0 可按 $133/L$ 估算(L 为钢管混凝土拱桥计算跨径)。

4.2.3 钢管混凝土拱肋由钢管与混凝土组成,截面均匀温度变化引起的变形计算采用组合线膨胀系数。

结构温度计算的基准温度是结构受到约束时的结构温度,或者说是结构形成时温度变形为零和超静定结构温度次内力为零时的温度。对于钢拱、石拱、混凝土拱等全截面同时施工的结构,合龙温度即基准温度。然而,钢管混凝土拱肋在施工中钢管与管内混凝土受到约束的时间不同,截面刚度与强度是逐步形成的,因此不存在对应于施工某一时刻(如空钢管拱肋合龙)的基准温度。当混凝土达到强度形成钢管混凝土结构时,受水泥水化热影响和环境温度的影响,已在钢管内和混凝土内累积了应力,拱肋也有了相应的温度变形,因此空钢管的合龙温度不能视为钢管混凝土拱的基准温度,为此应采用计算合龙温度作为基准温度。所谓计算合龙温度是指以管内混凝土形成强度(即拱肋形成钢管混凝土组合截面)时所对应的截面平均温度值和温度变形值,反算温度变形为零(对于超静定拱,此时温度次内力为零)时所得的截面平均温度值。同时,钢管混凝土由于截面的构成、材料、尺寸等与其他材料的结构有所不同,因此,结构的有效温度也有其自身的特性。

钢管混凝土拱的计算合龙温度、有效温度可根据桥位处的气象资料和桥梁结构由数值计算求得。本条给出的简化计算方法综

合了福州大学等单位的研究成果。

4.2.4 常规的混凝土结构暴露在大气环境中,除了混凝土自身的水化反应引起收缩外,还存在由于混凝土水分丢失而引起的干燥收缩。对于钢管混凝土中的管内混凝土,外包钢管使其处于密闭环境中,与大气环境没有发生湿度交换,混凝土自身的化学收缩是主要因素,干燥收缩不存在或者极小,可忽略不计。管内混凝土的收缩已进行了一些试验研究,但试验结果具有较大的离散性,还未形成共识性较高的计算方法。从现有的试验结果来看,其应变一般在 $250\mu\epsilon$ 以下,远小于普通混凝土的 $500\mu\epsilon\sim 550\mu\epsilon$ 。我国现有的桥梁行业规范中,尚无钢管混凝土拱桥设计计算的内容,工程设计中有的仍沿用现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTJ 021—89 对钢筋混凝土结构收缩影响力计算的规定,按降温 $15^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 计算,由于这种计算方法是以暴露于大气环境中的混凝土收缩量等效成温降来计算的,高估了管内混凝土收缩的影响力。现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ 023—89 第 6.2.7 条关于混凝土收缩应变终极值计算的规定,考虑了混凝土所处环境的湿度影响。钢管混凝土拱肋中,管内混凝土处于密闭状态的,可按湿度环境为 $70\%\sim 90\%$ 时计算(该规范表 6.2.7 中实际取值为 80%),较之按降温 $15^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 计算相对合理,所以作此规定。

4.3 结构计算

4.3.2 刚架系杆拱是在钢管混凝土拱桥中新出现的桥型,它是一个上下部结构与基础共同受力的整体结构,在计算中应考虑其结构特点。当基础采用桩基础时,地基土荷载可用弹簧模拟或其他可靠的方法计算。计算系杆索的张拉力时,计算模型中可将系杆索的轴向刚度置于无穷大,抗弯刚度置于无穷小。施加了系杆索张拉力的结构的受力计算,应将系杆索刚度置于实际刚度计算结构内力和系杆索的附加力,计算时应考虑系杆索的张拉力。

4.3.3 设计计算中,拱肋截面刚度的取值不同对荷载效应(如内力、变形、动力特性等)的计算结果均有影响。对于钢管混凝土结构的刚度,目前国内外有关规范的规定不尽相同。一般而言,压缩刚度基本不考虑对混凝土刚度的折减,而弯曲刚度考虑到混凝土开裂的可能,对混凝土部分进行了不同程度的折减。综合国内外有关规范和本规范编制组对钢管混凝土单圆管、哑铃形和桁式拱肋刚度计算取值的研究,对混凝土部分的弯曲刚度取 0.6 的折减系数,与试验值吻合程度较好且偏于安全。

5 持久状况承载能力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.2 钢管混凝土拱桥桥梁安全等级的确定,可参照现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004 第 1.0.9 条和第 1.0.11 条的规定或现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11—2011 第 3.0.2 条和第 3.0.14 的规定执行。

5.1.3 本条参照现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004 第 5.1.5 条的规定编写。

5.1.4 对钢管混凝土拱桥承载能力极限状态的计算,本规范主要针对钢管混凝土拱肋、吊索和系杆索,其他结构与构件的承载力计算参照相关规范执行。钢管混凝土拱的持久状况承载能力极限状态计算分为强度和稳定两部分,分别见本规范第 5.2 节和第 5.3 节。

对于钢管混凝土单圆管拱肋,拱肋的组成就是圆钢管混凝土,组成构件与整体结构一致,强度与稳定计算的对象是一致的,显然稳定承载力不大于强度承载力,所以如果稳定计算满足要求则强度计算自然也满足要求。对于哑铃形与桁式拱肋,组成构件指钢管混凝土弦杆及其连接构件,整体结构是指将这些构件组成的一个结构,整体上视为一根杆件。对于哑铃形拱肋,由于腹板为连续构造,约束了单根钢管混凝土的横向变形,因此对于其中的钢管混凝土弦杆构件只需进行强度计算,而不需要考虑稳定计算。而对于桁式拱肋,弦杆只在节点处受到腹杆的约束,因此对于其钢管混凝土弦杆,应考虑节间内弦杆长细比问题。如果长细比 $\lambda \leq 10$,可只进行第 5.2 节规定的强度计算,否则应进行第 5.3 节规定的稳定计算。

5.2 拱肋强度计算

5.2.1 拱肋构件截面的内力可采用弹性理论计算。在内力计算时,如果将哑铃形截面或钢管混凝土拱肋截面当作一根杆件计算,应将计算出来截面的内力分配到各根钢管混凝土构件上,进行单根钢管混凝土构件的强度验算。桁式截面高度较大,弦管分配到的弯矩较小,所以可以直接采用桁式截面进行内力分配。但对于哑铃形构件,由于其截面高度较小,如果不考虑每根钢管混凝土分配到的弯矩,假定各管只承受轴力,没有考虑偏心对承载力削弱的影响,计算结果将偏于不安全。哑铃形截面一般由上下截面相同的两肢组成。

5.2.2 目前国内外有关规范中对于钢管混凝土轴心抗压强度 N_c 的计算,可分为考虑紧箍作用和不考虑紧箍作用两大类,我国的规范均考虑紧箍作用。本规范编制组对众多的计算方法进行了分析,结果表明,由于这些计算方法均建立在大量的试验研究基础之上,所以计算结果相差不大。本条文采用的计算方法,主要基于其具有形式简单、参数适用范围广的特点。我国有关规范中,采用该计算方法的有现行行业标准《公路钢管混凝土拱桥设计规范》JTG/T D65—2012、《拱形钢结构技术规程》JGJ/T 249—2011以及福建省工程建设地方标准《钢管混凝土结构技术规程》DBJ/T 13—51—2010。

5.2.3 钢管混凝土组合结构在力学性能方面的主要优势是钢管对管内混凝土的套箍作用和管内混凝土对钢管向内变形的阻止作用。钢管与管内混凝土结合紧密,是其优势充分发挥的保证。然而,大量工程实践表明,钢管与混凝土之间经常会出现界面分离的现象。界面分离现象可分为两种,一种是由于施工质量引起的较大程度的脱离,可称之为脱空;另一种是由于混凝土收缩、温度变化等非质量原因引起的两者之间粘结力的丧失,可称之为脱粘。脱粘处的空隙厚度一般较为均匀且不大,以拱顶截面出现为多,拱脚截面极少。本规范第 12.3.2 条对管内混凝土浇注后的质量检验提出“当检测发现钢管混凝土拱肋脱粘(角度)率大于 20%或脱

粘空隙厚度大于 3mm 时,应对脱粘处进行钻孔压浆补强处理”。本条考虑脱粘对承载力的影响计算是针对脱粘(角度)率不大于 20%或脱粘空隙厚度不大于 3mm 的情况。

5.2.4.5.2.5 钢管混凝土单圆管偏心率折减系数的计算,参照《钢管混凝土结构设计施工规程》CECS 28:90 第 4.1.3 条以及现行行业标准《钢管混凝土结构设计施工规程》CECS 28:2012 第 5.1.3 条制订。

5.2.6 钢管混凝土哑铃形和横哑铃形桁肋截面轴心抗压强度除钢管混凝土构件外,还应考虑与钢管混凝土主肢共同承担荷载的连接钢板的作用。对于传统的哑铃形截面,两缀板内(腹腔内)填有混凝土,其对轴压承载力的贡献率约为 5%,受弯时贡献率更小,加上其施工质量(浇注密实度)较难保证,因此本规范中偏安全地不考虑腹腔内混凝土对构件强度的贡献。

5.2.10 钢管混凝土桁式拱肋腹杆除承受整体结构的剪力外,还承受立柱或吊杆施加的局部力。其内力取实际结构内力和将桁式拱肋等效成格构柱来考虑腹杆承受的轴力的较大值。

5.2.12 目前对钢管混凝土节点的疲劳性能与承载力已开展了一些研究。研究表明,钢管混凝土节点由于主管内填充有混凝土,其承载能力、节点刚度和疲劳性能较之于空钢管节点均有不同程度的提高。然而,鉴于节点的重要性和该研究尚不成熟,本条偏于安全地规定按钢管节点计算。

5.3 拱肋稳定计算

5.3.1 拱作为以受压为主的结构,需要进行稳定计算。拱的稳定问题按失稳方向可分为面内失稳与面外(空间)失稳,按失稳类型可分为极值点失稳和分支点失稳。钢管混凝土拱的面内稳定以极值点失稳为主,本规范中将其等效成钢管混凝土梁柱进行整体稳定承载力的计算,本节中其他条文都是有关这一计算的规定。对于空间失稳,由于拱所受的面外荷载较小而面内荷载较大,因此其

失稳类型更接近于分支点失稳。本条文主要是针对空间稳定的计算。

分支点失稳可以通过特征值求解求得,当考虑材料为线弹性时,称之为弹性稳定问题。由于弹性失稳没有考虑材料非线性和几何大变形问题,为结构真实稳定承载力的上限,因此要求有较大的稳定系数(弹性失稳的荷载与设计荷载之比值)。本规范参考国内外大量的规范与钢管混凝土拱桥的研究结果,规定弹性稳定系数不应小于 4.0。

特大跨径的钢管混凝土拱,材料非线性或几何大变形或双重非线性对结构的整体稳定影响较大,一般还应进行考虑非线性的极值点稳定计算。

5.3.2 大量研究结果表明,拱肋的面内整体稳定承载力可将其等效成梁柱进行计算。

5.3.3、5.3.4 钢管混凝土偏心受压构件稳定承载力采用了偏心率折减系数与稳定系数相乘的计算方法,计算方法较为简单,便于工程应用。

5.3.5~5.3.10 钢管混凝土柱稳定系数计算方法,将钢管混凝土单圆管、哑铃形和格构柱的稳定系数统一起来,通过相对长细比对三种截面形式的钢管混凝土柱均考虑了材料对稳定系数的影响,对于钢管混凝土格构柱,换算长细比采用了将有关系数相乘的形式,使之更加合理。

5.3.11 本条参考现行行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999 第 6.2.6 条制订。根据本规范编制组的统计,按 0.36 拱轴线弧长折减计算长度,一般情况下单圆管、哑铃形和桁拱的名义长细比范围分别为 60~120、40~90 和 40~90。因此,徐变影响折减系数中构件名义长细比的范围应为 40~120。而现行行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999 第 6.2.6 条的应用范围为 50~120,分析表明,将其外推至长细比为 40 的情况是可行的。所以,本规范表 5.3.11 中名义长细

比的应用范围取为 40~120。

5.3.12 钢管混凝土拱肋的施工顺序是先安装空钢管拱肋,然后再向管内浇注混凝土。在管内混凝土形成强度之前,钢管拱肋要承受自重与管内混凝土的自重荷载,因此在钢管与混凝土作为组合结构共同承受荷载之前,空钢管中已产生了初应力和初应变,这就是钢管混凝土拱桥中拱肋钢管的初应力问题,简称初应力问题。研究表明,钢管的初应力和初应变缩短了钢管混凝土的弹性阶段,使其提前进入弹塑性阶段,对稳定极限承载力有较大的影响,而对截面强度影响较小。所以,本规范在拱肋结构整体稳定计算中考虑了初应力的影响,而在拱肋强度计算中没有考虑此影响。钢管混凝土拱肋中的初应力随截面的变化而变化,拱肋等效成钢管混凝土梁柱计算时,由于其内力是取 $1/4$ 跨截面处的内力,所以初应力应取 $1/4$ 跨截面处的初应力。有弯矩荷载时,同一截面中不同点的初应力值也不同,取平均值计算。

5.4 吊索与系杆索计算

5.4.2 钢管混凝土中、下承式拱桥的吊杆主要采用高强、柔性的钢索(吊索)。吊索受力中活载占较大的比例,工作环境与斜拉桥中的斜拉索类似,要求吊索有较高的抗疲劳性能。同时,由于吊索在整个桥梁造价中所占的比例不大。因此,为降低吊索中的应力幅,提高其安全性,根据我国近年的工程经验,吊索计算中取用了 3.0 的安全系数,比斜拉桥中斜拉索的 2.5 高一些。

5.4.3 系杆用于拱梁组合体系和刚架系杆拱中。对于钢管混凝土拱梁组合体系中的预应力混凝土梁和钢梁系杆,可按预应力结构和钢结构计算。本条的对象系杆索,为预应力拉索,只受拉不受弯,主要用于刚架系杆拱中。由于系杆索为总体受力构件,恒载所占的比例较大,活载引起的应力幅值较小,其疲劳问题没有吊索突出,更接近于预应力体外索的受力。因此,其安全系数取 2.0,比吊索的小。

6 持久状况正常使用极限状态计算

6.0.1 本条参照现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ D62—2004 第 6.1.1 条的规定而制订。具体的荷载效应组合可按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTJ D60—2004 第 4.1.7 条的规定执行。

6.0.3 大量工程实践表明,管内混凝土由于处于密闭养护状态,它的徐变特性与普通混凝土有着较大的不同,对此已进行了大量的研究。大量试验研究表明,ACI 209R-92 徐变模型计算结果与管内混凝土的徐变规律较为吻合,福建省工程建设地方标准《钢管混凝土拱桥技术规程》DBJ/T 13-136—2011 在钢管混凝土拱桥徐变计算中推荐采用 ACI 209R-92 徐变模型计算。然而,分析结果表明,采用 ACI 209R-92 徐变模型和采用 CEB-FIP 90 徐变模型计算的钢管混凝土拱的徐变变形相差不大。考虑到我国桥梁工程师习惯于使用现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ D62—2004 推荐的 CEB-FIP 90 徐变模型进行结构的徐变计算,因此,本规范规定在无可靠的实测资料时,可采用该计算方法。由于管内混凝土处于密闭状态,计算时一般取环境相对湿度为 90%。

6.0.4 挠度是正常使用极限状态中的一个重要指标,原《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》JTJ 022—85 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ 023—85 对圬工拱桥和钢筋混凝土拱桥的挠度限值规定分别为计算跨径的 $1/1000$ 和 $1/800$ 。现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ D62—2004 取消了拱桥挠度限值的规定;现行行业标准《公路圬工桥涵设计规范》JTJ D61—2005 沿用《公路砖石及混凝土桥

涵设计规范》JTJ 022—85,规定“在一个桥跨范围的正负挠度的绝对值之和的最大值不应大于计算跨径的 $1/1000$ ”。本条参照现行行业标准《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61—2005 规定而制订。

相关研究表明,挠度限值并不能有效地控制钢管混凝土拱桥的振动。对于有人行功能的桥梁,可通过舒适度指标来反映人体对振动的感觉。舒适度指标与桥梁的速度、加速度、频率等参数有关。

6.0.5 本规范在钢管混凝土拱的设计计算中采用的是极限状态法,本条规定是为了在正常使用极限状态中控制钢管的应力处于弹性阶段,考虑了一定的安全储备后限值取 $0.8f_y$ 。在钢管应力计算中除了内力产生的应力外,还包括由于组合截面产生的非线性自应力部分,如混凝土收缩、徐变等引起的应力。大量的工程实践经验表明,限制值取钢材的容许应力 f_s 为计算指标,如 $0.8f_s$,则该限制值将控制设计并导致钢材用量的急剧上升,失去钢管混凝土作为组合结构的意义,同时这种规定也背离极限状态法设计计算原则。

7 结构与构造

7.1 结构形式

7.1.1 钢管混凝土拱桥结构体系非常丰富,结构形式的分类有多种方法。按照车承形式可分为上承式、中承式和下承式。按照主拱对下部结构是否有水平推力,又可分为有推力拱、无推力拱(拱梁组合)和部分推力拱(刚架系杆拱)。本条以车承形式分类为主,并对推力情况进行附加说明,给出了常见的五种结构形式。除此五种外,还有一些其他结构形式,如桁架拱、桁式组合拱、(简支)拉索拱、斜拉飞鸟式拱、刚构-柔拱组合桥等,其中一些结构体系受力(如简支拉索拱)并不合理,宜慎重采用。

推力拱能充分发挥拱的优势,而无推力或部分推力拱需要索或其他受拉构件来平衡拱的水平推力,因此条文规定当“地质、地形条件许可时,宜选择推力拱”。

拉索的强度高,抗拉刚度小,活载将引起拱较大的水平变形,使支座与伸缩装置承受较大的活载作用产生的水平力和反复变形,耐久性较差。已建的这类桥梁已出现较多的病害,因此宜慎重采用。

7.1.2 钢管混凝土拱的矢跨比建议是根据已建桥梁的统计数据总结得出的。本规范编制组对 282 座桥例的统计分析表明,已建钢管混凝土拱桥的矢跨比主要集中在 $1/6 \sim 1/3.5$ 之间,其中 $1/5 \sim 1/4$ 之间占到总数的 70% 以上,其中上承式钢管混凝土拱桥的矢跨比主要为 $1/4 \sim 1/6$,中承式为 $1/3.5 \sim 1/5$,下承式为 $1/4.5 \sim 1/5.5$ 。

7.1.3 钢管混凝土中承式刚架系杆拱(也称飞鸟拱或飞燕拱),是通过锚固于两边跨端部的拉索来平衡主跨大部分水平推力的拱结

构(部分推力拱),也称自平衡拱或自锚式拱。主跨一般为一跨,与两边跨半拱构成三跨连续结构。也有少量的桥主跨为两跨或三跨的,与两边跨构成四跨或五跨的结构。这种桥型跨越能力较大,造型也较美观,且能应用于地质条件较差的情况,因此得到了较多的应用。按恒载平衡的设计原则,初步设计时,可采用下列简化的恒载基本平衡方程式计算考虑各参数之间的关系:

$$\frac{g_{s1}L_1^2}{8f_1}f_2 - \frac{g_{s2}L_2^2}{2} = 0 \quad (1)$$

式中: L_1, L_2 ——主跨、边跨跨径;

f_1, f_2 ——主跨、边跨矢高;

g_{s1}, g_{s2} ——主跨、边跨的恒载集度。

7.1.4 本条规定主要是为了防止多孔拱桥的连拱破坏。对于多孔连续刚架系杆拱的系杆索,各孔独立锚固除了可防止连拱破坏外,还有利于避免相邻拱跨施工的相互干扰。

7.2 主 拱

7.2.1 根据我国大量的钢管混凝土拱桥的工程实践,本条给出了常用且较为合理的几种拱肋截面形式。对于哑铃形拱肋,早期的截面在腹腔内填有混凝土,浇注混凝土时易发生爆管事故。研究表明,腹腔内的混凝土对截面极限承载力的贡献很小,因此提出了腹腔内不填混凝土的新型哑铃形截面形式。它免去了浇注腹腔内混凝土的工序,从根本上消除了爆管事故的隐患,这种截面形式提出后,在新建桥梁中得到了广泛的应用。因此,本条在截面形式中只给出了腹腔内不填充混凝土的哑铃形截面形式,而没有给出腹腔内填充混凝土的哑铃形截面形式。

多管截面有三管、四管、六管,其中四管应用最多,三管次之,六管极少,故六管未在图 7.2.1 中列出。对于四肢桁式,早期多采用横哑铃形桁式,其上、下弦为两个横哑铃形截面,腹杆为钢管桁片,其平联内混凝土浇注也存在类似竖哑铃形截面的问题。其后

又发展了混合式的桁式截面,即上弦采取横哑铃形,下弦两根钢管采用钢管下平联联结,但应用不多,目前已基本不用,故图 7.2.1 中也未列出。近年来,四肢全桁式截面有较多采用的趋势。这种拱肋弦杆采用钢管混凝土构件,腹杆和平联均采用钢管。它较之横哑铃形桁式截面,由于取消了钢管间的横向缀板和缀板内的混凝土而采用缀条,节省了用钢量和混凝土用量,减轻了自重,使钢管混凝土拱桥具有更强的跨越能力。同时,由于各肢以受轴向力为主,更易于采用钢管混凝土理论进行计算。三肢桁式截面,据不完全统计目前共有 14 座桥例,远小于四肢桁式。

7.2.2~7.2.4 推荐的钢管混凝土拱桥的拱轴线、拱肋截面高度、弦管管径等,均是根据我国大量的工程实践分析总结得出的。

7.2.5 本条参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 8.4.2 条对缀板柱的构造规定而制订。

7.2.6 横哑铃桁式截面中的平联板间通常会采用拉杆、螺栓或加劲板等构造,以加劲板效果为佳,其主要目的是防止在充填混凝土时发生爆管事故。

7.2.7~7.2.9 对主拱结构的横向构造的规定,是根据我国大量的钢管混凝土拱桥的工程实践总结得出的。

7.2.10 大跨径钢管混凝土拱桥多采用桁式拱肋,其钢管混凝土节点是结构受力的关键部位。对于受较大轴压力的支管,可采用钢管混凝土构件。在有关文献统计的 80 余座桥例中,支管与主管直径比为 0.40~0.60 的占 81% 以上;支管与主管壁厚比为 0.55~1.00 的占 78%;支管与主管面积比不小于 25% 的占 87%。

需要指出的是,桁式拱肋的主管(钢管混凝土弦杆)可通过设置内栓钉,加强钢管与管内混凝土的共同作用,加强主管与支管的共同作用。

7.2.11 本条参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 等有关规范对钢管节点构造提出了要求。图 7.2.11 中 $e \geq 0$ 标示的是 e 的正负取值方向。

7.2.12 钢管拱肋吊装节段的高空连接是钢管混凝土拱结构施工质量的控制因素。它多采用焊接连接,但高空焊接受条件限制,质量保证较地面施焊的难,也难以进行射线探伤,故提出应有可靠的措施保证其质量,如采用带有内衬板的接头。节段间的临时连接常用的有内法兰盘和外法兰盘两种。为减小泵送时的阻力,保证管内混凝土密实且连成一体,内法兰盘构造应具有相当的通透性。

7.2.15 管内混凝土浇注构造主要有两拱脚附近的浇注口、拱顶的隔仓板及其两端的排浆管等。这些构造应由设计文件给出,在拱肋制作时实现。浇注口位于浇注段的下方,一般与拱肋成 30° 左右的夹角;排浆口位于浇注段的顶端,本规范第 12.2.1 条对其构造有相应的规定。这些开口部位在结构上应予以补强,并在施工完成后修复。

7.3 拱座与立柱

7.3.1 本条提出拱座的构造要求,系参照现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004 的要求制订。

7.3.2 立柱与钢管混凝土拱肋间设置柱脚,是为了便于立柱的安装、立柱与拱肋之间力的传递。

7.4 吊索和系杆索

7.4.1 我国近几十年修建的中、下承式拱桥基本上采用高强的拉索作为悬吊桥面系的吊杆,用高强的拉索作为系杆,称之为吊索与系杆索。吊索与系杆索为易损构件,使用寿命短于主结构,我国近年来发生的多起中、下承式拱桥的事故,吊索破坏是其最主要的原因。因此,除了在设计中应采取防水、防腐构造与措施外,必须具有可检查与可更换的构造与措施。

7.4.3、7.4.4 根据我国钢管混凝土拱桥的工程实践,参照现行行业标准《公路斜拉桥设计细则》JTG/T D65 - 01—2007 中对斜拉

索的要求,对锚具的构造提出了要求。

7.4.7 系杆索在已建的拱桥中大部分采用系杆箱防护,也有个别桥梁的系杆索直接暴露于大气中,主要是考虑系杆箱防水、排水性能不好时会加速系杆索的锈蚀。实践表明,直接暴露于大气中的系杆索保护层更易老化,所以推荐采用系杆箱防护。当然,系杆箱应具有良好的防水、排水性能,并设有检查口进行日常检查与养护。

7.5 桥面系

7.5.1 中、下承式拱桥具有悬吊桥面系。下承式拱梁组合结构的桥面系一般为以纵梁(系梁)受力为主的整体结构,而下承式刚架系杆拱、中承式刚架系杆拱和(有推力)中承式拱的悬吊桥面系,过去多采用以横梁受力为主且无加劲纵梁的结构。这种桥面系结构,桥面板支承于横梁之上,横梁简支于吊索,结构的内部与外部均无多余的约束,传力途径也是单一的,结构的整体强健性(robustness,鲁棒性)较差。当吊索破坏后,易产生横梁和桥面板的坠落,导致车毁人亡的严重后果。我国近年来发生的多起中、下承式拱桥的恶性事故,均是采用此类桥面系的中、下承式拱。因此,在加强吊索安全性的同时,加强桥面系的强健性,是杜绝中、下承式拱桥发生恶性事故的结构保证。

整体性桥面结构有整体板梁桥面系、格子梁桥面系、U肋加劲的钢箱梁等。对于以横梁受力为主的桥面系,则可通过加劲纵梁来实现其整体性。无论采用何种桥面系结构,均应具有一对吊索(指一根横梁相对应的两端的吊索)失效后不落梁的能力,以避免发生车毁人亡的事故。

当前国际上结构安全设计理念已从过去以保证结构在设计荷载作用下不出现破坏为主,发展为还需保证结构具有足够的整体强健性,具有在偶然状况下避免发生灾难性破坏的能力。

7.5.2 下承式刚架系杆拱和中承式拱的悬吊部分的桥面系属于

飘浮体系,采取横向限位措施有利于限制其整体横向变形、提高桥面系的横桥向刚度。下承式拱梁组合结构的桥面系一般为整体结构,采用横向限位措施也有利于结构抗震,能起到防落梁的作用。

不承受水平拉力的悬吊桥面系的加劲纵梁,其作用是加强桥面系的整体强健性,如果将其与端部结构或主拱固接则改变了结构的受力状况,加劲纵梁及其端部固结构造也易因受拉而破坏。

7.5.3 钢管混凝土主拱是桥梁的主要受力结构,应保持其结构的连续完整。桥面系结构与主拱结构温度和其他荷载引起的变形可能不同,结构设计时应避免在两者相交处因温度变化引起不同构件之间的碰撞而造成结构的损伤。

7.5.4 中、下承式拱桥的悬挂桥面系,桥面板一般采用桥面连续或结构连续,除伸缩缝处及必要时临近跨因要满足伸缩变形外,桥面板下都不宜设置支座。如果设置支座,将带来以下问题:

(1)其数量众多,施工调平困难。

(2)桥面板自重不大,小支座在汽车荷载作用下,极易易位或滑落,引起桥面的不平整,而脱落支座的重新安装和破损桥面板的维修难度较大(因为结构为连续或桥面为连续)。

(3)不平整的桥面不仅影响服务功能,还将增大车辆的冲击作用,引起伸缩装置等桥面构造的进一步破坏。

将桥面板与横梁直接接触,不设支座,施工时不存在体系转换问题,还可以通过结构设计使桥面板参与横梁的受力。对于必须设置的少量的小支座,需通过限位或固定等措施来防止其脱落。

8 钢管拱肋制造

8.1 钢管加工制作

8.1.2 钢管混凝土桁式拱肋中相贯接点的焊接质量与支管的端口放样、下料加工精度密切相关,所以要求采用易于保证质量的自动切割机加工。

8.2 钢管拱肋组装

8.2.2 钢管拱肋节段制作轴线可采用曲线状钢管拼接成设计曲线(曲线法),也可采用直线状钢管拼接成折线代替设计曲线(以折代曲法)。采用以折代曲法制作时,应避免分段直线代替曲线产生较大的受力误差。

8.2.3 钢材热加工后,如果在空气中缓慢冷却,加热区钢材的韧性几乎不下降;而采用浇水骤冷,则加热区钢材就有明显的脆化现象,因此规定不得用水骤冷。

8.2.4 钢管拱肋组装胎架,又称拼装台座或放样台。为保证吊装单元在空中顺利对接,每个吊装单元在地面的组装胎架上应与前后两个吊装单元的拱肋钢管接口进行调校,因此拼装台座要求满足至少三个相邻吊装段按 1:1 放样的要求。

8.2.6 钢管混凝土桁式拱肋采用双层侧卧法施工简单,但无法反映自重荷载下的变形因素。当跨径较大时(如主拱跨径不小于 200m),自重荷载下的结构变形较大,采用立拼法能够反映自重作用下的变形因素,效果较好。

8.2.7 钢管内表面的除锈防护在形成拱肋节段后难以处理,所以本条规定应在钢管拱肋组装前进行处理。对充填混凝土的钢管内表面,一般设计不要求进行防腐涂装。为保证钢管内壁与核心混

凝土紧密粘结,在浇注管内混凝土前应将钢管内的油渍等污物清除干净。对于制作后长时间置于易腐环境的钢管拱肋构件,即使设计不要求涂装,也应采取简单的油漆等措施,防止其严重锈蚀。

8.2.11 钢管是钢管混凝土拱肋的主要组成部分,开孔和焊接均会对其产生不利影响,施工中应尽量避免在拱肋上的开孔和焊接。本条是对于确实需要的开孔和焊接所做的规定。

8.3 钢管拱肋质量检验

8.3.1 本条主要综合国家现行标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628—2010、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011 等有关规定而制订。这些规定对同一偏差的限制并不完全相同,考虑到钢管构件的制作是整个拱肋形成的源头,为避免施工偏差累积,保障施工质量,因此本条制订时遵循了从严的原则。

8.3.3 本条主要依据现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1—2004 中的表 8.8.6-1 而制订。

8.3.4 本条对钢管混凝土桁式拱肋节段组装中的弦杆、竖杆、斜腹杆等构件之间的关系提出了要求。其中管肢组合和缀件组合允许偏差参考了现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628—2010 中表 4.2.8 的规定。

8.3.5 本条对钢管拱肋吊装节段预拼装提出了精度要求。

9 焊 接 施 工

9.0.2 焊接工艺评定是保证钢结构焊缝质量的前提条件,所以,应通过焊接工艺评定选择最佳的焊接材料、焊接方法、焊接工艺参数、焊后热处理方法等,以保证焊接接头的力学性能达到设计要求。对于所有参与钢管混凝土拱桥施工的单位,凡其首次使用的钢材、焊材及改变焊接方法、焊后热处理等,均应进行焊接工艺评定,其主要力学性能均应达到设计要求。工艺评定合格后写出正式的焊接工艺评定报告和焊接工艺指导书,根据工艺指导书及图样的规定,编写焊接工艺。根据焊接工艺进行焊接施工,以保证焊接接头力学性能达到设计要求。

9.0.5 为满足规定的精度要求所采取的措施主要有匹配、工装设计和预拼装等。

9.0.6 钢管相贯线焊缝进行焊缝修磨和锤击,是为了减小焊接残余应力,缓解节点疲劳问题。

9.0.7 交叉焊缝对结构的抗疲劳性能不利,这一不利因素除设计中应考虑外,施工中也应尽量避免。本条给出了对环焊缝、纵焊缝及节点处的相贯焊缝交叉点的避让方式。

9.0.9 本条参照现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011第 19.6.1 条和第 19.6.2 条的规定而制订。

9.0.10、9.0.11 卷制焊接管的卷管对接焊缝、钢管的纵向对接焊缝对结构受力性能影响很大,一般又都采用自动焊,所以按现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011 中焊缝质量等级 I 进行超声波探伤和射线探伤检验,既是必要的,也是可能的。高空吊装节段拼装、合龙等接头处高空焊接的焊缝,虽然也很重要,但由于受条件的限制,射线探伤检验较为困难,所以没有强

制规定执行。为保证现场焊接连接的可靠性,当拱肋钢管对接或合龙采用焊接连接时,应有可靠的措施保证焊缝的质量。

现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011对采用不同探伤方法(超声波探伤、射线探伤和磁粉探伤)检验的焊缝质量等级、检验方法、检验部位等都有比较详细和明确的规定,但在缺陷等级评定方面,只给出了超声波探伤的缺陷等级评定,对其他两种探伤方法没有给出具体的规定。条文综合了现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011 和其他规范的相关规定,对焊缝检验和评定提出了要求。

10 防腐涂装施工

10.0.8 本条综合了国家现行标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1—2004 第 8.9.2 条、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 第 14.2.2 条(强制性条文)以及《建筑钢结构防腐技术规程》JTJ/T 251—2011 第 5.3.1 条的内容而制订。

11 钢管拱肋架设

11.1 一般规定

11.1.1 根据统计,钢管拱肋的架设除小跨径的钢管混凝土拱桥外,一般采用无支架施工法,其中以斜拉扣挂悬臂拼装法应用最多。由于钢管混凝土拱桥的设计受力是根据设计单位提出的施工架设方法来计算的,所以施工组织设计应在设计单位提出的施工架设方案的基础上进行。

11.1.2 钢管拱肋架设的施工组织设计计算中,包含了拱肋构件吊装过程的计算和拱肋安装过程直至合龙的计算。拱肋构件吊装过程的计算,除了构件本身的受力外,采用缆索吊机吊装时还应计算缆索系统的受力。由于钢管拱肋在合龙之前并不是拱结构,所以一般需要其他辅助措施来承担其自重或与其共同受力,因此拱肋安装过程的计算对象为被安装的拱肋和施工辅助构造组成的施工受力结构,如斜拉扣挂悬臂法安装中由拱肋、扣(锚)索系统、风缆系统等组成的施工受力结构,转体施工中由拱肋、转动机构和支撑结构组成的施工受力系统等。

拱肋安装计算一般以弹性理论计算,对于特大跨径桥梁,也可采用非线性方法计算。

11.2 钢管拱肋架设与质量检验

11.2.5 相关研究表明,钢管混凝土拱的基准温度主要与管内混凝土成型时间段内的大气温度与管径大小有关,空钢管拱肋的合龙温度对其影响较小。钢管拱肋安装合龙温度选择温度相对稳定的时段,主要是为使钢管拱肋合龙后的连接受温度变化的影响尽可能小。

11.2.7 本条参照现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1—2004 第 8.8.6 条制订。

12 管内混凝土的浇注

12.1 一般规定

12.1.1 管内混凝土浇注时,湿混凝土的荷载由钢管拱肋承担。拱肋各部分混凝土的浇注顺序对拱肋施工过程和成桥后的受力均有影响,设计时的结构受力计算是按设计提出的浇注顺序进行的,因此规定施工时也应按此顺序进行。为保证管内混凝土的质量,管内混凝土宜一次性连续浇注完成。如果设计提出了分仓或分段浇注,则设计中考虑了构造措施,并已在钢管拱肋制作时实现。如果设计为一次性连续浇注,而施工单位在施工组织设计时提出要来分仓或分段浇注,则必须征得设计与监理单位的同意,进行必要的设计变更并在拱肋制作中实现。此外,浇注过程如因特殊原因(如停电或泵送设备故障等)而造成管内混凝土无法连续泵送顶升时,应开孔放掉管内混凝土上层浮浆,凿除松散的混凝土,露出新鲜粗糙的混凝土面,在已灌入管内混凝土初凝之前,在开孔处重新接管继续泵送顶升完成;或在混凝土强度达到设计强度的80%以上后,从开孔处重新开始后续浇注,直至完成。

12.1.2 目前,我国钢管混凝土拱桥施工中管内混凝土的浇注以泵送顶升法为主。采用这种方法施工时,对管内混凝土的品质有特殊的要求。相关研究表明:

(1)管内混凝土强度等级一般较高,而水胶比是影响混凝土强度的主要因素之一,因此水胶比不宜过大。

(2)由于钢管是封闭的,当混凝土含气量较高时,在泵送压力作用下,混凝土中气体会部分逸出,在钢管和混凝土之间形成气膜,当这种气体不能排除或者混凝土的膨胀变形不能弥补气膜时,将造成钢管和混凝土脱粘,降低钢管对混凝土的套箍作用,因此提

出控制混凝土含气量在 2.5% 以下的要求。

(3) 泵送顶升要求混凝土具有高流动性、优良抗离析性及填充性、坍落度经时损失小和缓凝。其中前四项属于自密实性的要求, 根据我国现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283, 自密实性的要求可采用坍落扩展度试验、V 形漏斗试验和 U 形箱试验方法进行检测。如果坍落度小于 20cm、扩展度小于 50cm、T500 时间大于 20s、V 形漏斗通过时间大于 25s、U 形箱填充高度试验小于 30cm, 则混凝土的工作性能不易满足自密实特性; 若坍落度大于 26cm、扩展度大于 65cm、T500 时间小于 5s、V 形漏斗通过时间小于 10s, 则泵送顶升施工过程中, 因混凝土的黏聚性不良, 易造成混凝土胶凝浆体与粗集料分离, 导致堵管和管内混凝土不匀质, 影响钢管混凝土承载能力。因此, 制备的管内混凝土入泵坍落度宜控制为 20cm~26cm, 扩展度宜控制为 50cm~65cm, T500 时间宜控制为 5s~20s, V 形漏斗通过时间宜控制为 10s~25s, U 形箱填充高度试验宜大于 30cm。T500 为扩展时间, 是用坍落度筒测量混凝土坍落度扩展时, 自坍落度筒提起时, 至拌和物坍落扩展度面直径达到 500mm 的时间。

混凝土的经时坍落度损失和初凝及终凝时间由浇筑泵送顶升的所需时间决定。混凝土泵送顶升浇注施工时, 混凝土与钢管壁的摩擦阻力以及法兰盘对混凝土的阻力, 使得中心部分混凝土上升速度比边部混凝土快, 并向边部不断扩散而形成“栓流”, 而当混凝土接近拱顶段时则呈斜截面层叠推进, 所以混凝土在钢管内向上运动过程中并非全截面整体推移模式, 而是存在混合过程, 初始灌入钢管内的混凝土并不一定保持在钢管内混凝土的最前端。因此, 设计制备的混凝土不必强调在整个浇注施工过程中一直保持良好的流动性。通过大量的试验研究和工程应用总结: 如泵送顶升施工在 6h 内完成, 宜控制混凝土 3h 坍落度损失小于 3cm; 如泵送顶升施工在 10h 内完成, 宜控制混凝土 3h 坍落度无损失, 5h 坍落度损失宜小于 3cm; 初凝时间大于完成浇注一根钢管

所需的时间,则混凝土能满足钢管混凝土拱桥泵送顶升自密实施工要求。

(4)早强是让混凝土尽早形成强度和参与受力,以缩短空钢管拱受力时间,并加快施工进度。

(5)为了防止或减轻钢管壁与混凝土的脱粘,制备混凝土时宜掺入适量膨胀剂,补偿混凝土的收缩,并使混凝土具有微膨胀性能。

目前工程实际中,管内混凝土多采用微膨胀混凝土,效果依具体情况而变。也有些工程没有采用微膨胀混凝土。所以对管内混凝土是否采用自密实补偿收缩混凝土,本规范没有强制要求,而是推荐采用。

12.1.3 本规范提出根据现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082—2009 而不是现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009 进行密闭环境下混凝土的体积稳定性能(收缩率或自由膨胀率)检测,是因为后者要求混凝土试件脱模后放入水中养护 14d,此后再转入空气中养护 14d,测试其限制膨胀率。这种评价混凝土体积稳定性方法的测试条件与钢管混凝土所处的实际环境大不相同(钢管内混凝土处于密封条件下,与外界基本上没有水分交换),不能真实反映钢管内混凝土的体积变化情况。管内混凝土在密闭环境下的膨胀率宜在 60d 以内稳定收敛,以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为 $0\sim6\times10^{-4}$,含气量小于 2.5%时,管内混凝土密实,且混凝土与钢管不易发生脱粘现象。如果设计的密闭环境下混凝土自由膨胀率过大,则一方面易造成混凝土中膨胀剂掺量高,影响混凝土的工作性能和力学性能,另一方面不利于材料稳定性的控制。

12.1.5 当环境气温高于 30℃ 时,为避免管内混凝土坍落度损失过快,造成混凝土堵管,宜采取措施降低钢管温度,如盖湿麻袋或浇水等。

12.2 管内混凝土的浇注施工

12.2.1 管内混凝土的施工采用泵送顶升法,既高效又能够通过顶升使混凝土密实而免除了振捣,因此泵送顶升法已成为我国钢管混凝土拱桥施工的基本方法。当排浆管离隔舱板太近时,在泵送顶升过程中由于隔舱板发生变形易堵塞排浆管,无法排出浮浆;当排浆管离隔舱板太远时,拱顶隔舱板附近的浮浆和气泡也不易排出,易造成拱顶混凝土与钢管壁脱粘。因此,排浆管与隔舱板的适宜距离为1m左右。排浆管不应插入主拱钢管内,否则会造成排浆管附近的主拱管内气泡、浮浆不易排出而导致混凝土与钢管壁脱空。因此,在拱顶设置排浆管时不应将排浆管插入管内。

12.2.2 试泵是为了在大量施工实践经验的基础上,针对具体情况,更好地制订和把握泵送工艺。根据我国大量的工程实践经验,泵送施工过程应保持输送泵储料斗内混凝土量不少于料斗容量的一半,且不反泵;泵送混凝土施工在排浆管排出合格混凝土后宜停止3min~5min,然后继续泵送2个~3个行程,以增加拱顶混凝土的密实度;全部混凝土泵送完成后,关下压注口的倒流截止阀,待混凝土终凝后拆除倒流截止阀。

12.2.5 管内混凝土浇注完成后将钢管的所有开孔封闭,是为了防止管内水分蒸发。

12.3 管内混凝土浇注后质量检验

12.3.1 根据现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011第15.8.3条的要求,钢管内混凝土应饱满,混凝土与管壁紧密结合。实践表明,人工敲击是检测管内混凝土填充密实度的有效方法,可用质检专用的3号钢锤进行敲击检查。需要指出的是拱脚处受固端的影响,敲击时发出的声音与其他部分会有所不同。

12.3.2 对钢管混凝土拱肋的脱粘,当程度较轻(脱粘率不大于

20%且脱粘空隙厚度不大于 3mm)时,对结构性能影响较小且压浆补强施工难度较大,因此可暂不进行压浆补强,但应密切注意其发展情况,发展到一定程度应进行压浆补强;而当钢管混凝土拱肋脱粘(角度)率大于 20%或脱粘空隙厚度大于 3mm 时,钢管与混凝土的脱粘对钢管混凝土的刚度和承载能力削弱影响较大,且此时压浆补强施工难度也降低了,应进行压浆处理。研究结果表明,对发生脱粘的钢管混凝土采用压浆处理后,钢管混凝土原有的力学性能基本恢复。

针对钢管混凝土的不同脱粘程度,可采取不同的压浆材料。当脱粘厚度较大时,压浆材料可采用由水泥、硅灰、膨胀剂、高效减水剂等原材料制备的与混凝土具有相同强度等级的无收缩水泥浆;当脱粘厚度较小时,压浆材料可采用由环氧树脂、增塑剂、稀释剂、固化剂等原材料制备的与混凝土具有相同强度等级的化学灌浆材料。压浆处理后应将钻孔补焊封固。补强浆液的强度应不低于管内混凝土的设计强度。压注进浆口应位于不密实部位的最低处,出浆口应位于最高处。

12.3.3 本条参照现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1—2004 第 8.8.6 条和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011第 15.8.5 条的规定而制订。

13 其他构造施工

13.1 一般规定

13.1.1、13.1.2 本章主要涉及采用高强钢材的柔性、拉索类的吊索与系杆索的施工,其余构造的施工与其他桥梁相同,应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011 的有关规定。

13.2 吊索与系杆索的安装与质量检验

13.2.5 对下料索进行 10min~15min 施力持续预拉是为了消除系杆索的非弹性延伸量。

13.2.9 采用滚动支架,系杆索拉力的摩擦损失较小。

13.2.11 本条参照现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1—2004 第 8.8.7 条和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011 第 15.8.5 条的规定制订。

14 养 护

14.1 养护的基本规定

14.1.2 桥梁技术档案的建立是养护工作的基础。由于技术档案的建立没有专门的章节,故在此对其内容给出规定。

14.1.3 钢管混凝土拱桥按照使用性质,城市桥梁应依照现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99—2003 相关规定进行养护,公路桥梁应按照现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11—2004 的相关规定进行养护。然而,上述两本规范中,涉及钢管混凝土拱桥的内容不多,针对性与系统性不足。本章根据钢管混凝土拱桥结构的主要特点和使用过程中暴露出来的主要病害,针对钢管混凝土主拱、吊索与系杆索等结构与构件制订相关的规定。

14.2 检查与评定

14.2.1 本规范将检查按深度分为三类,即经常检查、定期检查和特殊检查,与现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11—2004 中的名称一致,与现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99—2003 中的经常性检查、定期检测和特殊检测,大同小异。为了后面叙述方便,又按照内容将其分为整体检查、结构与构件检查和附属结构物检查等。

14.2.2 桥梁检测基准主要有高程基准和平面基准,它们由一系列的基准点组成基准系统,是桥梁变形检测的依据,必须进行定期检测,以确保检测数据的准确性。钢管混凝土拱桥结构的固定测点根据桥梁规模、桥型、结构特点设定,常见的观测点有拱肋的拱顶、1/4 点和拱脚截面处、拱座、墩(台)处、吊索或立柱等。

14.2.5~14.2.7 参照现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11—2004第3.2.1条~第3.2.3条制订。

14.2.8 对桥梁状况的整体检查和宏观判断,是桥梁检查中首要的任务,为避免检查工作中只注意具体结构与构造,而忽视整体状况的评判,故规定本条。

14.2.9 钢管混凝土主拱结构包括拱肋与横撑。主拱钢结构焊缝检查时要特别注意桁式拱肋管节点的相贯焊缝,因为其焊接质量较难控制,且抗疲劳性能较弱,是检查的重点。

14.2.11 中、下承式钢管混凝土拱桥中的悬吊桥面系部分,通常采用桥面板或小T梁置于横梁上的桥面系,由于桥面板的跨径较小、自重较轻,桥面板在伸缩缝处的小支座在车辆动力荷载作用下易于脱落,因此是检查的一个重点。

14.2.12、14.2.13 现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99—2003中将定期检测分为常规定期检测与结构定期检测,而现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11—2004 无此细分。本规范参照现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99—2003,将定期检查分为常规定期检查与结构定期检测,并对它们的频率按桥梁的跨径大小做了规定,既考虑了必要性,也考虑了实际执行的可行性。

常规定期检查,借助简单的检测设备便可完成,可由养护单位自检,也可委托具有一定资质的专业单位进行,检查的频率大些。结构定期检测,需要一些专门的仪器设备和高水平的检测队伍,因此规定由有资质的单位完成,检查的频率相对也小些。一般来说,结构定期检测是在常规定期检查的基础上进行的,因此当常规定期检查与结构定期检测在同一年内进行时,可将两者合并进行。

14.2.16 敲击法检测拱肋钢管与混凝土脱粘的方法参见本规范第12.3.1条的条文说明。

14.2.23、14.2.24 现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11—2004中将特殊检查分为专门检查和应急检查,而现行

行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99—2003 无此细分。本规范参照现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11—2004 第 3.1.1 条的规定制订。

14.2.25 本条第 1 款、第 2 款是根据已有钢管混凝土拱桥在使用过程中反映出来的特点制订的。

14.2.27 本条第 1 款～第 4 款是针对钢管混凝土拱桥的特点规定的。其中,大风等级采用蒲福风力等级标准划分。风灾灾害等级一般可划分为 3 级:

(1)一般大风:相当 6 级～8 级大风,主要破坏农作物,对工程设施一般不会造成破坏。

(2)较强大风:相当 9 级～11 级大风,除破坏农作物、林木外,对工程设施可造成不同程度的破坏。

(3)特强大风:相当于 12 级及以上大风,除破坏农作物、林木外,对工程设施和船舶、车辆等可造成严重破坏,并严重威胁人员生命安全。

14.2.28 钢管混凝土拱桥应急检查报告除应有专门检查报告的内容外,还需要对桥梁所受灾害的原因、影响范围等进行描述,如风灾对于吊索的影响。为了分析吊索的振动,应记录桥上风力、风速、风向、温度和湿度等资料。同时,对于根据应急检查结果,还应进行桥梁抗灾能力的鉴定,并提出今后防灾减灾的建议,以提高桥梁的抗灾能力。

14.3 结 构 养 护

14.3.1、14.3.2 涂装面层清洁无污垢、无破损是防腐涂装体系达到设计寿命的重要保证,为此,对其保洁与日常养护进行了规定。

14.3.3 涂装面层的定期重涂对保证涂装体系整体作用与寿命具有极其重要的作用,除日常的小修小补外,一般宜每 3 年～5 年重新涂装一次,对于处于非腐蚀环境且涂装质量较好的桥梁,可根据实际情况选择稍长的重新涂装时间间隔。

防腐涂装体系进行整体重新涂装设计时,可采用原设计,但不必限定于原设计,可根据实际需要和防腐体系的技术进步,选择更合适的防腐涂装体系,如将原一般防腐涂料体系改为重防腐涂料体系,或将原重防腐涂料体系改为热喷涂防腐体系等。同时,对于城市或污染严重地区的桥梁,可根据实际情况提高对防腐涂装体系的要求,如设计寿命、防腐效果等。

14.3.6 主拱结构的连接是结构的易损部位,应保持其正常状态。连接出现异常情况,可能是施工质量,也可能是设计缺陷或使用过程中的因素引起的。对于后者如果只简单地进行修复,不能根本地解决问题。钢结构在使用期间的连接修复,是在受荷载作用下的,与制作时无应力或小应力状况不同,且受施工条件限制,往往难以达到原设计的要求。因此,除修复外,一般还要采取一定的结构加固措施。

14.3.8~14.3.11 吊索与系杆索的防护是养护工作的重点,因此对其做出详细的规定。索体护套出现开裂、漏水、渗水未造成严重锈蚀时,可剥开已损坏的护套,将已潮湿的钢索吹干,对已生锈的钢索做好防锈处理,再涂刷防护漆及防护油,并用玻璃丝布或其他防护材料包扎严密。

14.3.13 高强吊索与系杆索属易损构件,难以与桥梁主体结构同寿命,因此其更换就成为养护工作的重要内容之一。早期修建的钢管混凝土中、下承式拱桥,吊索与系杆索多采用黑钢丝、灌水泥砂浆保护的钢束,实践表明其防腐性能较差,目前许多采用这种拉索的桥梁都进行了换索。

14.3.14 短吊索的受力复杂,较之其他吊索更易损坏,所以规定其更换周期可以短于其他吊索。同时,通过更换下来的短吊索来检查吊索的内部情况和材料性能,以对全桥的吊索状况进行推断,为是否进行吊索全面更换提供依据。

14.3.15 吊索与系杆索的技术在不断发展之中,更换时不必局限于原设计的产品。近年来针对钢管混凝土中、下承式拱桥的吊索

与系杆索新产品不断地研发出来与投入市场,早期设计的黑钢丝、灌水泥砂浆保护的吊索与系杆索应采用新产品替换。当然,采用新产品时既要考虑其技术先进性,同时也要注重考察其实际应用的质量可靠性。

14.3.17 吊索更换时,如原设计没有考虑更换措施,可采用强大的钢丝绳从拱肋上吊下兜住横梁,待原吊索承担的荷载全部转移到钢丝绳后,将原吊索换下。

14.3.20 由本规范第 14.2.11 条的条文说明可知,中、下承式钢管混凝土拱桥中的悬吊桥面系部分的小支座病害较多,因此本条针对性地提出养护要求。对于桥面系的其他养护内容,本规范未给出具体规定,应按照第 14.1.3 条规定,根据桥梁使用性质,分别执行现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG H11 或《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 的相关规定。

14.3.21 早期修建的钢管混凝土中、下承式拱桥,其悬挂桥面系多为以横梁受力为主、无加劲纵梁的结构,整体性与动力性能较差,且在吊索出现破断时易造成严重的后果。因此,宜根据桥梁使用状况进行加固改造。加固改造的方法主要是加设加劲纵梁,如加设钢管桁架纵梁等。

S/N:1580242·161



9 158024 216103 >



统一书号: 1580242·161

定 价: 23.00元