



T/CECS G XXXX: 2019

中国工程建设协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization (CECS)

公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥 技术规程

(征求意见稿)

Technical Standards for Highway Hollow Web Continuous
Rigid Frame Bridge

中国工程建设标准化协会公路分会 发布
Issued by China Committee of Highway Engineering
Standardization (CECS G)

中国工程建设协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization (CECS)

公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥 技术规程

Technical Standards for Highway Hollow Web
Continuous Rigid Frame Bridge

T/CECS G XXXX: 2017

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司
发布机构：中国工程建设标准化协会公路分会

施行日期：2019 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

2019 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会“中建标公路[2017]071 号”文《关于开展 2017 年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》的要求，中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥技术规程》的制定工作。

编写组在总结公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥设计及施工技术和相关科研成果的基础上，以完善和提升公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥设计及施工技术为核心，以推广应用该桥型结构为目的，完成了本规程的编写工作。

本规程分为 10 章，主要内容包括总则、术语与符号、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、持久状况和短暂状况构件的应力计算、构造规定、施工技术、施工监控。

本规程第 1、2、3 章由彭元诚、宗昕、朱玉起草，第 4 章由丁少凌起草，第 5 章由刘新华起草，第 6、7、8 章由吴游宇、陈楚龙起草，第 9 章由张鸿、陈超华、孙晓伟、杨金龙、樊孝富、李文杰起草，第 10 章由陶路、彭旭民、王天亮起草。

本规程是基于通用的工程建设理论及原则编制，仅适用于通用情况，对于某些特定专项应用条件，若其适用性及有效性未经资深专业人员验证，则不宜采用或参照本规程中相关条文。因标准内容会随版本更新作修订，其他单位、团体及个人须审慎参照或引用本规程相关条文。标准使用过程中产生的一切后果，其责任概由标准使用方承担，中国工程建设标准化协会公路分会不负任何法律责任。

请各有关单位在使用过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理部门，联系人：陈楚龙（地址：湖北省武汉市经济技术开发区创业路 18 号，邮编 430056；传真：027-84214330，电子邮箱：372647108@qq.com），以便修订时参考。

主 编 单 位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：中交第二航务工程局有限公司

中铁大桥科学研究院有限公司

主 编：彭元诚

主要参编人员：宗 昕 朱 玉 丁少凌 刘新华 吴游宇 陈楚龙 张 鸿

陈超华 孙晓伟 杨金龙 樊孝富 李文杰 陶 路 彭旭
民 王天亮

主 审：张子华 冯鹏程

参与审查人员：梅世龙 吴华金 沈永林 付克俭 裴炳志 梁立农 杨耀铨
向 彤 吴劲兵

参 加 人 员：

征求意见稿

目 录

1 总 则.....	- 1 -
2 术语与符号.....	- 2 -
2.1 术语.....	- 2 -
2.2 符号.....	- 5 -
3 材料.....	- 7 -
3.1 混凝土.....	- 7 -
3.2 钢筋与钢材.....	- 7 -
4 基本规定.....	- 8 -
4.1 一般规定.....	- 8 -
4.2 梁的计算.....	- 9 -
4.3 耐久性设计要求.....	- 9 -
5 持久状况承载能力极限状态计算.....	- 11 -
6 持久状况正常使用极限状态计算.....	- 12 -
7 持久状况和短暂状况构件的应力计算.....	- 13 -
8 构造规定.....	- 14 -
8.1 一般规定.....	- 14 -
8.2 基本结构体系与形式.....	- 14 -
8.3 其他结构体系与形式.....	- 15 -
8.4 总体设计参数.....	- 16 -
8.5 主梁设计.....	- 17 -
8.6 主墩设计.....	- 22 -
8.7 基础.....	- 22 -
8.8 下挠控制.....	- 23 -
9 施工技术.....	- 24 -
9.1 总体施工工艺.....	- 24 -
9.2 一般规定.....	- 24 -
9.3 上弦 0#, 下弦 0#、1#块施工.....	- 25 -
9.4 下弦箱梁挂篮结合临时扣索施工.....	- 25 -
9.5 上弦节段施工.....	- 27 -

9.6 上下弦交汇段施工.....	- 27 -
9.7 其余节段及合龙段施工.....	- 28 -
9.8 质量控制.....	- 28 -
9.9 试验测试.....	- 29 -
9.10 施工控制.....	- 30 -
10 施工监控.....	- 32 -

征求意见稿

1 总 则

1.0.1 为规范公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥设计，按照技术先进、安全可靠、耐久适用、经济合理的原则，在现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）和《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的基础上，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于跨径 150m 至 350m 的大跨径公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥的设计，主跨大于 350m 的空腹式连续刚构桥仅供参考。

1.0.3 本规程按照现行国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》（GB/T50283）规定的设计原则编制。主要符号和术语参照现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）、《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）采用。

1.0.4 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥结构设计及施工，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 极限状态 limit states

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时，此特定状态为该功能的极限状态。

2.1.2 可靠度 degree of reliability

结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。

2.1.3 设计基准期 design reference period

在进行结构可靠性分析时，考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所采用的基准时间参数。

2.1.4 设计状况 design situation

结构从施工到使用的全过程中，代表一定时段的一组物理条件，设计时必须做到使结构在该时段内不超越有关的极限状态。

2.1.5 材料强度标准值 characteristic value of material strength

设计结构构件时采用的材料强度的基本代表值。该值可根据符合规定标准的材料，取其强度概率分布的 0.05 分位值确定。

2.1.6 材料强度设计值 design value of material strength

材料强度标准值除以材料强度分项系数后的值。

2.1.7 作用 action

施加在结构上的集中力或分布力，如汽车、结构的自重等，称为直接作用，也称为荷载；引起结构外加变形或约束变形的原因如地震、基础不均匀沉降、温度变化等，称为间接作用（不宜称为荷载）。两者统称为作用。

2.1.8 作用效应 effects of actions

结构对所受作用的反应，称为作用效应。如由作用产生的结构或构件的轴向力、弯矩、剪力、应力、裂缝和变形等。

2.1.9 作用标准值 characteristic value of an action

作用的主要代表值，其值可根据设计基准期内最大值概率分布的某一分位值确定。

2.1.10 作用设计值 design value of an action

作用标准值乘以作用分项系数后的值。

2.1.11 作用频遇值 frequent value of an action

结构或构件按正常使用极限状态短期效应组合设计时，采用的一种可变作用代表值，其值可根据任意时点（截面）作用概率分布的 0.95 分位值确定。

2.1.12 作用效应组合 combination for action effects

结构上几种作用分别产生的效应的随机叠加。

2.1.13 安全等级 safety class

为使桥涵具有合理的安全性，根据桥涵结构破坏所产生后果的严重程度而划分的设计安全等级。

2.1.14 结构重要性系数 coefficient for importance of a structure

对不同安全等级的结构，为使其具有规定的可靠度而采用的作用效应附加的分项系数。

2.1.15 分项系数 partial safety factor

为保证所设计的结构或构件具有规定的可靠度，在结构极限状态设计表达式中采用的系数。分为作用分项系数和材料分项系数等。

2.1.16 作用短期效应组合 combination for short-term action effects

正常使用极限状态设计时，永久作用标准值与可变作用频遇值效应的组合。其中可变作用频遇值为可变作用标准值与频遇值系数的乘积。

2.1.17 作用长期效应组合 combination for long-term action effects

正常使用极限状态设计时，永久作用标准值与可变作用准永久值效应的组合。其中 可变作用准永久值为可变作用标准值与准永久值系数的乘积。

2.1.18 高性能混凝土 high performance concrete

桥用混凝土的常规材料、常规工艺，在常温下，以低水胶比、大掺量优质掺和料和较严格的质量控制制作的高耐久性、高尺寸稳定性、良好工作性及较高强度的混凝土。

2.1.19 悬浇施工 cast-in-place cantilever construction

悬浇施工是指从墩顶已经浇筑混凝土的块件两侧开始，使用挂篮在悬臂状态下对称平衡地逐段向跨中进行梁段混凝土浇筑，待混凝土达到一定强度后，张拉预应力钢筋，然后前移挂篮、模板等，进行新的梁段施工，使梁体不断伸出接长的一种施工方法。

2.1.20 0 号块 start element

位于墩顶的一个起始梁段常被称为 0 号块，其长度应满足施工挂篮的空间需求，一般采用支架现场浇筑来完成。

2.1.21 挂篮 movable suspended scaffolding

与已成梁段牢固连接并悬出已成梁段的施工操作平台。在挂篮上可以进行模板支、拆，钢筋绑扎，混凝土浇筑和预应力张拉等作业。梁段施工完毕后，挂篮能够前移，开始下一梁段的施工。

2.1.22 托架 corbel

墩顶梁段及附近位置梁段施工，浇筑悬浇部分时利用墩身预埋件与型钢或万能杆件拼制联结而成的支架。

2.1.23 合龙段 closure segment

为使同一桥跨内的两个不同的悬浇梁段或支架现浇梁段与悬浇梁段成为连续整体，最后浇筑施工的梁段称为合龙段。

2.1.24 体系转换 system transition

施工中对双悬臂梁受力体系状态在确保设计线型的前提下转化为连续梁或连续刚构受力体系的过程。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

C30——表示立方体抗压强度标准值为 30MPa 的混凝土强度等级；

f_{ck} 、 f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} 、 f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{vk} 、 f_{vd} ——混凝土、砌体直接抗剪强度标准值、设计值；

f_{sk} 、 f_{sd} ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f_{pk} 、 f_{pd} ——预应力钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f'_{sd} 、 f'_{pd} ——普通钢筋、预应力钢筋抗压强度设计值；

E_c ——混凝土受压弹性模量；

G_c ——混凝土剪变模量；

E_s ——普通钢筋的弹性模量；

E_p ——预应力钢筋的弹性模量。

2.2.2 作用效应

N_d ——计入作用分项系数后的轴向力设计值；

M_d ——计入作用分项系数后的弯矩设计值；

V_d ——计入作用分项系数后的剪力设计值。

2.2.3 几何参数

A ——截面面积；

A_l ——局部承压面积；

A_b ——局部承压计算底面积；

W ——截面弹性抵抗矩；

S ——截面面积矩；

e ——轴向力的偏心距；

s ——截面重心至偏心方向截面边缘的距离；

i ——弯曲平面内截面的回转半径；

r ——圆形截面半径； h ——矩形截面高度； b ——矩形截面宽度；

l ——构件支点间长度或跨径；

l_0 ——构件计算长度；

l_n ——净跨径。

2.2.4 计算系数

γ_0 ——结构重要性系数。

3 材料

3.1 混凝土

3.1.1 预应力混凝土空腹式连续刚构桥各部分构件的混凝土材料，其强度等级、标准值、设计值、弹性模量、剪切模量，应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的规定取用。

3.1.2 预应力混凝土空腹式连续刚构桥的混凝土强度等级不宜低于 C50，提倡采用高性能混凝土。

3.2 钢筋与钢材

3.2.1 钢筋混凝土及预应力混凝土构件所采用的普通钢筋与预应力钢筋类别、设计强度、标准强度和弹性模量，应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的规定取用。

3.2.2 结构用钢材的力学及化学指标应满足现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）、《桥梁用结构钢》（GB/T 714）的要求。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 本规程适用于公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥的设计、施工及监控。

4.1.2 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥主体结构的设计基准期和实际使用年限应根据现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）确定。

4.1.3 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥结构应进行以下两类极限状态设计：

1 承载能力极限状态：对应于桥梁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。

2 正常使用极限状态：对应于桥梁及其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状 态。

4.1.4 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥应考虑以下四种设计状况及其相应的极限状态设计：

1 持久状况：桥梁建成后承受自重、车辆荷载等持续时间很长的状况。该状况桥涵应作承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

2 短暂状况：桥梁施工过程中承受临时性作用（或荷载）的状况。该状况桥涵应作承载能力极限状态设计，必要时才作正常使用极限状态设计。

3 偶然状况：在桥梁使用过程中可能遇到的撞击等状况。该状况桥涵一般只进行承载能力极限状态设计。

4 地震状况：在桥涵使用过程中遭受地震时的情况，在抗震设防地区必须考虑地震状况，应做承载能力极限状态设计。

4.1.5 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥结构设计内容应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）4.1.2 条执行。

4.2 梁的计算

4.2.1 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥梁的计算除应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）4.3 款执行外，尚应考虑以下内容：

1 横向分析时，可以按框架模型计算（图 4.2.1-1），有条件时宜采用空间实体单元模型计算。除考虑常规作用外，还宜计入箱室内外温差及顶板梯度温差的影响。

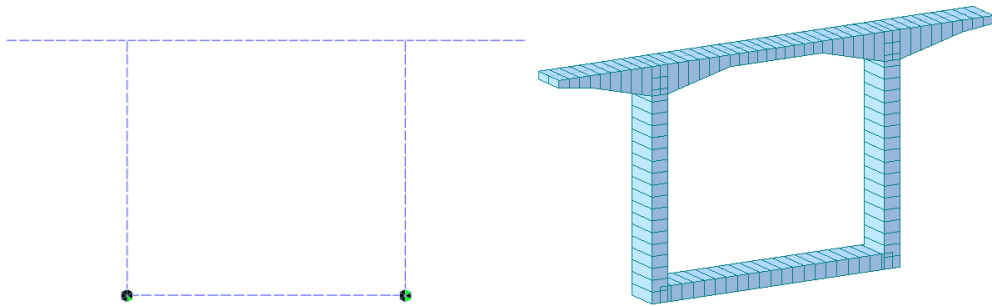


图 4.2.1-1 横向框架计算模型

2 顶板可按 A 类预应力构件进行计算，有条件时可按全预应力构件进行各项验算；按照钢筋混凝土构件的要求验算腹板和底板裂缝宽度和极限承载能力。

3 上、下弦的汇合处必须按照实际的构造尺寸来建立空间实体模型，以模拟出该处的主拉、压应力的分布。

条文说明

横向分析建模时，对箱梁纵向取一个单位长度，顶板、底板及腹板均按照梁单元布置，两个悬臂端施加集中荷载，底板两端施加约束。

上、下弦的汇合处是整桥的一个关键点，其构造多变、受力复杂，杆系计算不能反映出该汇合点处真实的受力状态。

4.3 耐久性设计要求

4.3.1 公路空腹式连续刚构桥的设计使用年限应符合现行《公路工程技术标准》（JTG B01）的规定。

4.3.2 公路空腹式连续刚构桥构件根据其表面直接接触的环境应按现行《公路钢

筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）表 4.5.2 的规定确定所处环境类别。

4.3.3 各类环境下混凝土强度等级最低要求和钢筋最小保护层厚度应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3-1 混凝土强度等级最低要求和钢筋最小保护层厚度 c (mm)

构件类别	梁		墩台身		承台、基础	
设计使用年限	100 年		100 年		100 年	
	混凝土强度	保护层厚度	混凝土强度	保护层厚度	混凝土强度	保护层厚度
I 类-一般环境	C50	30	C40	30	C35	30
II 类-冻融环境	C50	35	C40	35	C35	35
III 类-近海或海洋氯化物环境	C50	45	C40	40	C35	35
IV 类-除冰盐等其他氯化物环境	C50	45	C40	40	C35	35
V 类-盐结晶环境	C50	45	C40	40	C35	35
VI 类-化学腐蚀环境	C50	45	C40	40	C35	35
VII 类-磨蚀环境	C50	45	C40	40	C35	35

4.3.4 空腹式连续刚构桥应采取下列耐久性技术措施应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）4.5.4 条的规定执行。

4.3.5 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥在设计时，应提出相应的施工方法、施工步骤及体系转换的程序。

4.3.6 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥设计应积极稳妥地应用新技术、新材料和新工艺。

4.3.7 公路预应力混凝土空腹式连续刚构桥除应符合本技术规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 持久状况承载能力极限状态计算

空腹式连续刚构桥与常规的连续刚构桥类似,主要区别在于前者增加了空腹段的设计计算内容。所有持久状况承载能力计算均按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)第5章执行。

条文说明

对空腹段的上、下弦视作普通位置处的主梁,进行上述各项计算;根据空腹段的尺寸配置、承压效应及预应力设置情况,亦可能需对下弦按偏压构件进行计算。

征求意见稿

6 持久状况正常使用极限状态计算

空腹式连续刚构桥与常规的连续刚构桥类似,主要区别在于前者增加了空腹段的设计计算内容。所有持久状况正常使用极限状态计算均按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)第6章执行。

条文说明

对空腹段的上、下弦视作普通位置处的主梁,进行上述各项计算;根据空腹段的尺寸配置、承压效应及预应力设置情况,亦可能需对下弦按偏压构件进行计算。

征求意见稿

7 持久状况和短暂状况构件的应力计算

1 空腹式连续刚构桥与常规的连续刚构桥类似,主要区别在于前者增加了空腹段的设计计算内容。所有持久状况和短暂状况构件的应力计算均按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)第7章执行。

2 持久状况主梁正截面压应力的计算与控制除按照现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)第7.1.5条相关条文执行外。还应控制在最不利荷载组合下,正截面最大压应力不宜大于 $0.45f_{ck}$ 倍,最小压应力储备宜不小于 1MPa,跨中下缘的最小压应力储备宜不小于 1.5MPa。

条文说明

对空腹段的上、下弦视作普通位置处的主梁,进行上述各项计算;根据空腹段的尺寸配置、承压效应及预应力设置情况,亦可能需对下弦按偏压构件进行计算。

8 构造规定

预应力混凝土空腹式连续刚构桥一般为特大跨径预应力混凝土桥梁，构造规定除应满足现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）第9章规定外，尚应满足如下条文。

8.1 一般规定

8.1.1 预应力混凝土空腹式连续刚构桥总体设计应根据桥梁建设条件、通航要求、建设规模、技术标准、景观环境、交通流量预测以及水利、电力、环保等部门的具体要求，对结构体系、桥跨布置、桥梁宽度等进行综合研究，合理确定总体设计方案。

8.1.2 总体设计应充分考虑地形、地质、水文、桥型结构、施工组织等特点和要求，保证结构安全、可靠。

8.1.3 总体设计应考虑抗风、抗震及高墩稳定的要求，并根据需要进行必要的专题研究。

8.1.4 桥梁平面设计宜采用较高的平曲线技术指标，在主桥范围内不宜设置曲线。

8.1.5 桥梁纵断面设计的各项技术指标应符合路线布设的规定，主桥主跨应避免布置在凹曲线中，宜布置在凸曲线内。

8.1.6 桥梁横断面布置应符合现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的相关要求。

8.2 基本结构体系与形式

8.2.1 预应力混凝土空腹式连续刚构桥主要由桥墩、空腹段上弦、空腹段下弦、实腹段箱梁等四部分组成。桥墩可分双肢墩和单柱墩两种形式，大跨度空腹式连

连续刚构桥多采用双肢墩，单柱墩多用于空腹式连续梁桥或较小跨径的情形，如图 8.2.1 所示。

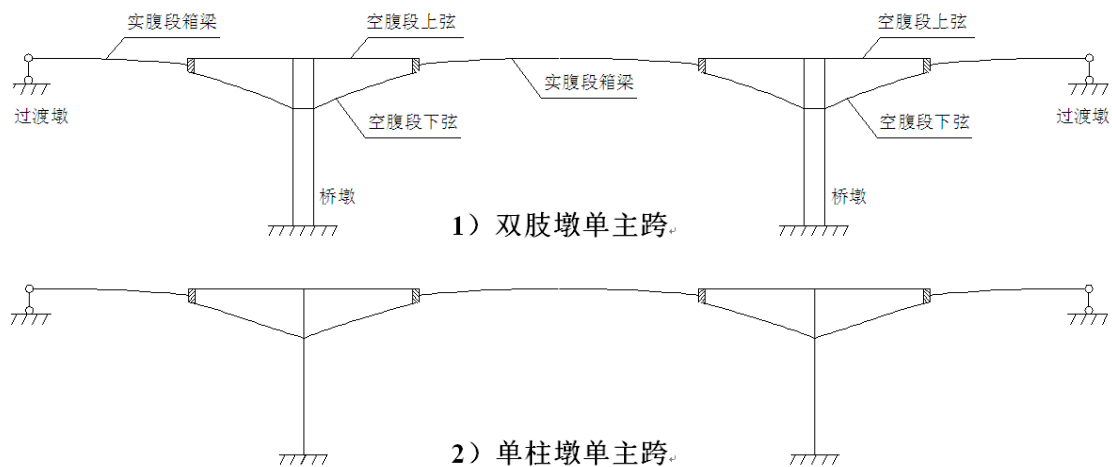


图8.2.1 空腹式连续刚构桥结构体系

8.2.2 预应力混凝土空腹式连续刚构桥结构体系按跨数可分为单主跨、多主跨。

8.2.3 边中跨的比例宜控制在 0.52~0.60。应控制梁端支座不出现负反力，并有适当的压力储备。

8.3 其他结构体系与形式

8.3.1 空腹式连续刚构可与常规悬臂施工的连续刚构组合，形成组合空腹式连续刚构体系，如图 8.3.1 所示。

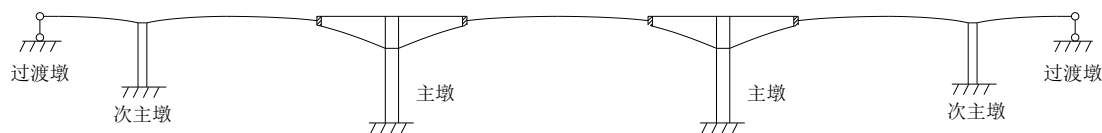


图8.3.1 组合空腹式连续刚构

8.3.2 组合空腹式连续刚构体系，次主墩的名义跨径与主跨之比宜为 0.4~0.6，边跨与次主墩的名义跨径之比宜为 0.52~0.65。次主墩的名义跨径，系指次主墩作为常规悬臂施工的连续刚构时的跨径，为次主墩的最大悬臂长度 $\times 2$ +次主墩的 0 号块长度+合龙段长度。

8.3.3 空腹式连续刚构可采用单个主墩、无主跨的形式，形成单主墩空腹式连续刚构体系，如图 8.3.3 所示。单主墩空腹式连续刚构的名义主跨跨径，为主墩的最大悬臂长度 $\times 2$ +主墩的 0 号块长度+合龙段长度。

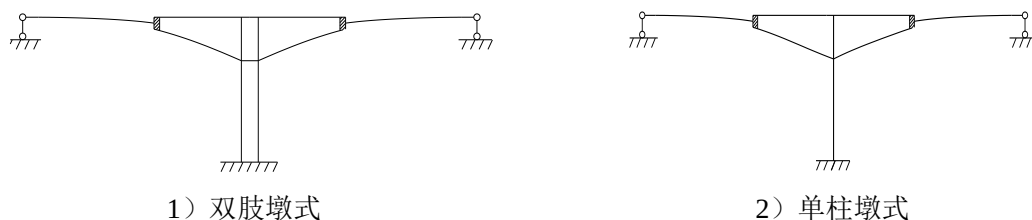


图8.3.3 单主墩空腹式连续刚构

8.4 总体设计参数

8.4.1 空腹式连续刚构桥的总体结构参数有：主跨跨径 L 、空腹段下弦梁底与实腹段梁底曲线、根部总高度 H 、下弦梁高 h_1 、上弦梁高 h_2 等，具体见图 8.4.1，设计应根据结构的安全性和经济性进行综合比选。

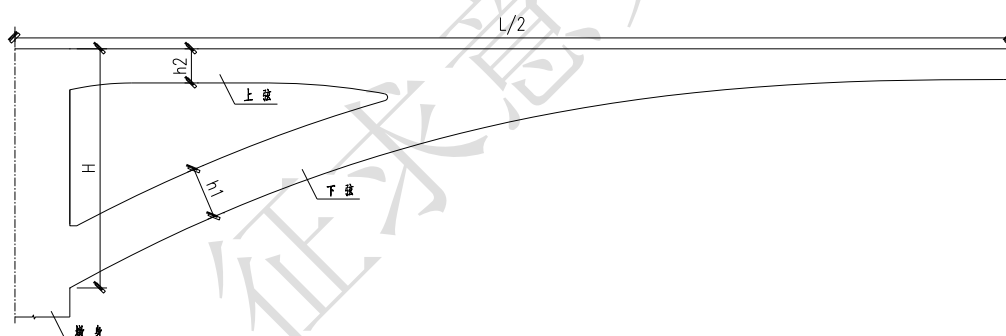


图8.4.1 空腹式连续刚构参数示意图

8.4.2 空腹段下弦梁底与实腹段梁底宜按一致的幂次曲线变化，梁底曲线幂次 β 的取值范围为 2.5~3.5。

8.4.3 根部总高度 H 为空腹段下弦梁底与桥墩的相交点至墩顶桥面的距离，宜取值 $L/7 \sim L/8$ (L 为主跨跨径或名义主跨跨径)。

8.4.4 空腹段下弦可采用等高度梁，梁高 h_1 宜取值 $L/40 \sim L/50$ (L 为主跨跨径或名义主跨跨径)。

8.4.5 空腹段上弦梁高 h_2 应综合考虑上弦结构受力及纵向预应力布置的需要,宜取值 $L_s/10 \sim L_s/15$ (L_s 为空腹段上弦长度,近似取上、下弦汇合后第一个节段分界线至 0 号块中心线间距离)。

8.4.6 主跨跨中梁高可取 $L/50 \sim L/70$ 。

8.4.7 空腹段下弦与上弦汇合处应采用圆弧曲线过渡, 并应作好该角隅处的构造设计。

8.5 主梁设计

8.5.1 结构构造要求

1 预应力混凝土空腹式连续刚构上下弦汇合处构造方案应受力明确, 构件之间的衔接应做到传力顺畅, 力线方向变化的部位应设置必要的过渡段。如图 8.5.1-1 所示, 主梁实腹与空腹设置过渡段及横隔板, 空腹上弦箱梁底板及下弦顶板应设置必要的过渡。

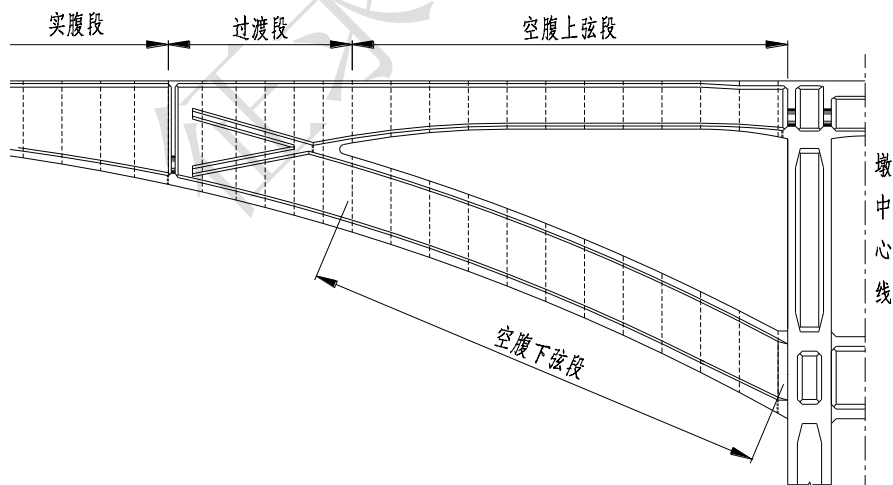


图 8.5.1-1 主梁实腹与空腹设置过渡段构造示意图

2 上弦主梁及整体式主梁截面型式

可供采用的截面型式很多, 箱型截面是主要截面型式。根据桥梁的跨径、宽度、支撑型式等方面确定横桥向是否分幅布置及每箱内设置的室数等。为便于施工, 上弦主梁及整体式主梁宜采用直腹板, 箱梁底宽按照横向受力需要控制并兼

顾与下弦协调。箱梁截面如图 8.5.2-2 所示。

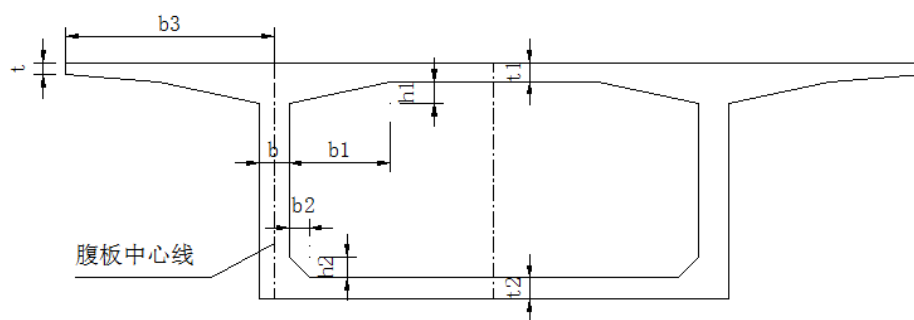


图8.5.2-2 上弦主梁及整体式主梁截面

3 下弦主梁截面型式

下弦主梁截面型式应与上弦协调，并结合上、下弦汇合角隅节点的受力要求进行构造设计，无悬臂的箱型截面是主要截面型式。为便于施工，下弦主梁主梁宜采用直腹板。

8.5.3 底板、顶板、腹板、加腋、齿板等细部尺寸

在满足结构安全度的前提下，尽可能轻型化，应在满足现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁设计规范》（JTG3362）中对承载能力极限状态和正常适用极限状态的要求下，对断面细部尺寸进行控制。

1 箱梁底板厚度 t_2

当采用悬臂浇筑或悬臂拼装施工方法时，底板应提供足够大的承压面积，并随着箱梁负弯矩的增大而逐渐加厚。跨中底板厚度还应满足配置一定数量的合龙钢束和钢筋的构造要求，底板最小厚度 32cm。

2 箱梁顶板厚度 t_1

顶板厚度不宜小于 28cm。

3 箱梁腹板厚度 b

跨中腹板厚度宜不小于 45cm，墩顶根部厚度根据计算及构造取值，腹板变厚可 1~2 次完成，每次通过 1~2 个节段过渡，过渡长度同时满足不小于 12 倍的腹板厚度差。

4 加腋

加腋的高度及宽度均不宜小于 0.3m，其中上夹腋一般为 $h_1:b_1=1:1\sim 1:6$ ，根据需要可多次改变斜率，下夹腋一般 $h_2:b_2=1:1$ 。

5 翼缘端部厚度 t 及腹板中心至翼缘边缘宽 b_3

翼缘端部厚度 t 不小于 18cm，腹板中心至翼缘边缘宽 b_3 不宜超过两侧腹板中心间距的 0.45 倍。

6 齿板

齿板宜紧靠腹板布置，远离腹板侧竖边宜斜布，见图 8.5.2-3 中齿板 1；当齿板设于远离腹板时，齿板断面采用梯形断面，见图 8.5.2-3 中齿板 2。

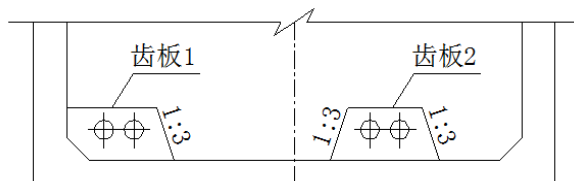
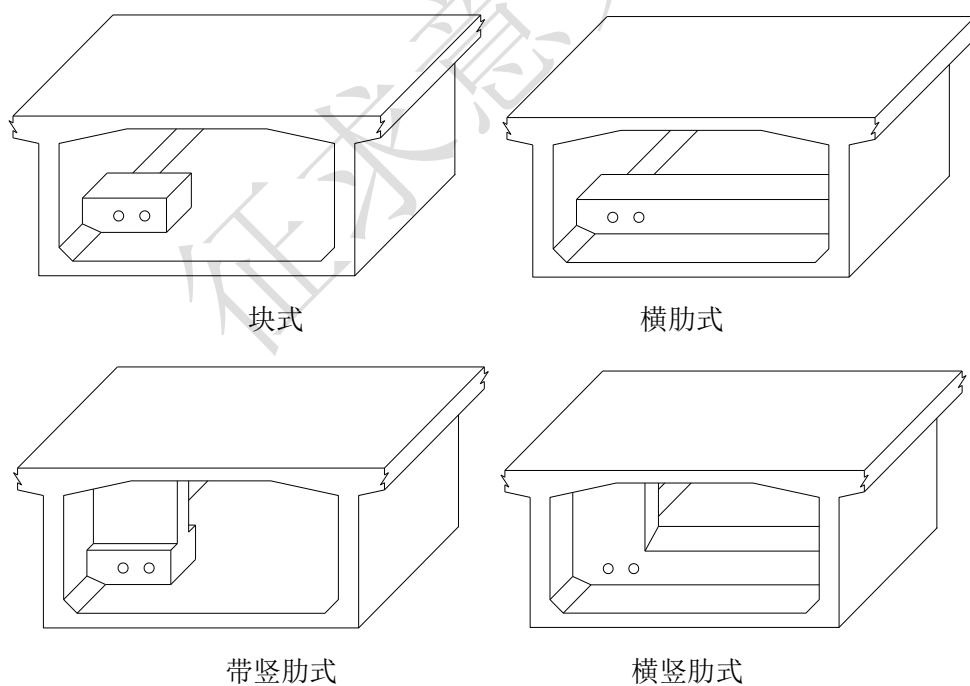
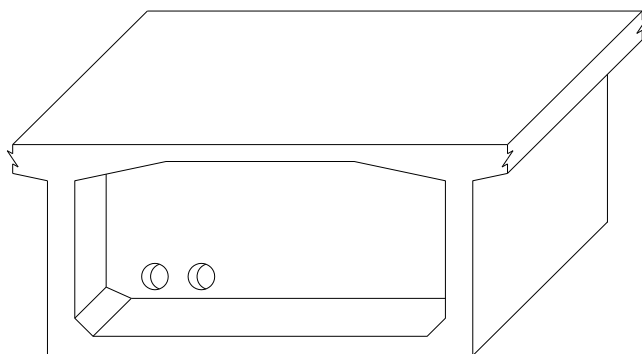


图8.5.2-3 箱梁截面示意

7 体外预应力转向块

体外预应力转向块分为：块式、横肋式、带竖肋式、横竖肋式，及横隔板式，可根据受力需要选取，宜采用可有效减小自重的小截面形式，构造形式见图 8.5.2-4。





横隔板式

图8.5.2-4 体外预应力转向块形式示意图

8 结构设计应预留供检查或维护的通道

应在底板及横隔梁位置设置检修人洞，人洞不宜过大，满足检修人员可以带检修设备通过即可，人洞处应设置足够的加强钢筋。

条文说明

箱梁顶板厚度主要考虑两个因素，满足桥面板横向抗弯的要求及满足布置纵、横向预应力钢束的要求，本结构纵向钢束规格大，需要保护层厚度大。确定箱梁顶板厚度一般考虑两个因素，满足桥面板横向抗弯的要求及满足布置纵、横向预应力钢束的要求。顶板最小厚度28cm。

箱梁腹板的主要功能是承受结构的弯曲剪应力与扭转剪应力所引起的主拉应力。同时还需考虑钢束管道的布置、混凝土的浇筑要求及锚下局部应力要求。为了减小自重，腹板厚度从跨中向根部逐步加宽，以承受箱梁根部附近较大的剪力，据此控制跨中腹板厚。

平面尺寸既要满足局部抗压要求，同时齿板中心距结构物边缘的距离也要满足张拉设备的尺寸要求，当预应力张拉总吨位较大时，应采用空间程序分析进行尺寸控制。

8.5.4 预应力设计

1 主梁宜采用三向预应力体系。三向预应力设计宜考虑空腹式预应力混凝土连续刚构主梁和主梁与刚构固结墩的空间应力分布规律进行配束。

2 空腹式预应力混凝土连续刚构其上下弦汇合至主梁实腹段、空腹与墩顶0号块衔接部位应力应结合局部应力分析进行纵、横、竖向预应力的合理配置。

3 当计算所需纵向预应力钢束较多，在箱梁断面内布置局促时，宜采用大吨位钢绞线体系，尽可能靠近腹板布束，并应保证局部受力安全性。预应力钢束布置力求构造合理，线形简洁，根据受力需要尽量采用直线或大半径平竖弯布置且

平竖弯尽可能复合。

4 在剪力较大区域，顶板纵向预应力钢束宜下弯至腹板内锚固，或将底板纵向预应力钢束通过腹板上弯锚固，弯起角度尽可能趋近 45° ，锚固位置尽可能靠近腹板上、下端。

5 超长悬浇预应力束，可采用在墩顶位置一分为二，交叉锚固的方式，见图 8.5.4。

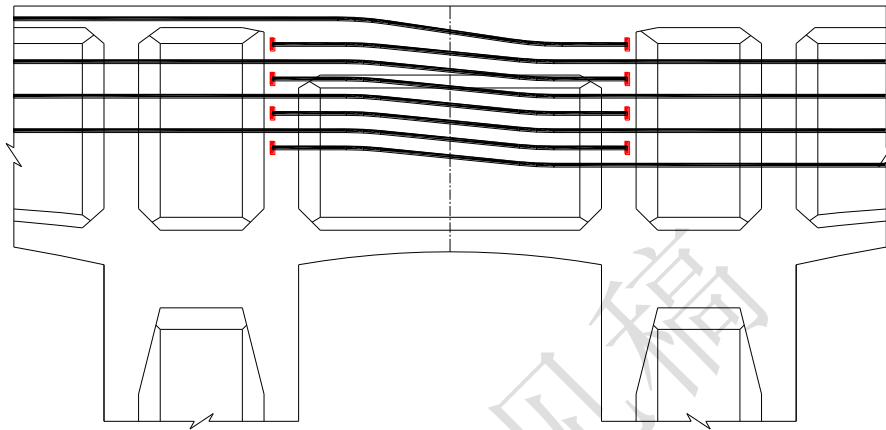


图 8.5.4 超长预应力束交叉锚固示意图

6 竖向预应力体系应可靠有效，采取有效措施减少预应力损失，上、下弦汇合处梁高较大，可采用钢绞线竖向预应力，下弦宜布设竖向预应力。

7 应根据受力需要，合理设置横向预应力，并与纵向、竖向预应力构造布置相协调。横向预应力宜采用钢绞线体系，翼缘悬臂端部较大，满足圆锚布设时，横向预应力优先考虑圆锚体系。

8 主梁内宜设置可在后期张拉的体外预应力，根据运营观测情况适时张拉调整，后期备用纵向调整束的用量不宜低于设计抵抗正负弯矩钢束量的 5-10%。

9 当体内纵向预应力布置空间不足时，可考虑采用体内、体外混合配束方法，体外束无支撑长度不宜大于 7.5m。

10 箱梁顶、底、腹板预应力钢束弯折处，齿板与顶底板交汇处的钢束曲线段，预应力通过的曲线梁区宜设置 U 形或闭合的防崩裂钢筋，并应钩在最外侧钢筋上。

11 位于齿板与顶、底板交汇处的预应力曲线段宜增大混凝土保护层厚度。齿板钢筋设计按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG3362）第 9.4.20 条规定执行。

12 预应力混凝土连续刚构主梁 0 号块竖向预应力应延伸至墩柱以下适当位置。

13 腹板内缘净距大于 4.5m 的箱梁顶板宜设横向预应力, 超过 6m 且底板较薄梁段宜在底板设置横向预应力或加劲肋, 间距按计算确定。

条文说明

预应力钢筋弯折、锚固及腹板预应力对拉区域、主梁实腹与空腹过渡段、空腹与墩顶 0 号块衔接部位应配置足够的构造钢筋。

桥梁服务期, 预应力效应在各种因素影响下, 可能导致超过设计预期的损失, 从而造成对结构受力和变形的不利影响, 体外束提供了调整的可能, 有效延长桥梁耐久和服务期。

8.6 主墩设计

墩身通常采用双肢薄壁墩; 当墩高较高时, 也可采用高独柱墩, 或下部采用整体式, 上部采用双肢薄壁的形式。

条文说明

一方面要满足在各种荷载作用下其强度、刚度和稳定性的要求, 另一方面其柔度要能适应由于混凝土收缩、徐变和温度变化等引起的纵向变形。根据墩身顺桥向宽度确定墩身截面采用空心还是实心断面。

8.7 基础

基础如采用钻孔灌注桩群桩加实体承台形式, 除应按现行《公路桥涵地基与基础规范》(JTG D63) 进行外, 尚应注意以下事项:

8.7.1 承台顶、底面高程通航孔桥墩的承台顶、底面高程应满足防撞要求, 不应使墩身、钻孔桩因直接受到船舶撞击而破坏, 还需满足防洪评价的要求。

8.7.2 当基础位于腐蚀环境中, 主筋净保护层厚度除满足相关规范要求外, 宜适当放大。

8.8 下挠控制

8.8.1 应根据主梁宽跨比并考虑不同外荷载下的剪力滞效应，通过结构分析合理控制箱梁外侧翼缘板的长度和底板宽度（腹板间距），在保证主梁各截面预应力钢束布置空间及满足抗弯、抗剪、抗扭承载能力的前提下，适当控制顶底板及腹板厚度，采用长翼缘板，适当减小底板宽度，以减轻结构自重。

8.8.2 在主跨超过 250m 的情况下，结合工程造价及施工运输条件，主梁跨中的部分梁段可采用钢结构或钢混组合结构以减轻结构自重。

条文说明：

降低过长悬浇（或悬拼）梁段混凝土收缩徐变及过长预应力钢束的松弛效应，有效控制长期荷载作用下主梁跨中下挠。

8.8.3 设置后期张拉的体外预应力钢束，可以根据需要在成桥通车后分期、分批张拉。建议后期张拉的体外预应力钢束按不少于纵向预应力的 15%~20%配置。

9 施工技术

9.1 总体施工工艺

预应力混凝土空腹式刚构桥梁空腹区由上、下弦梁段及部分墩身组成，上弦箱梁与下弦斜腿采用异步施工工艺，即先施工下弦斜腿，再施工上弦箱梁，下弦斜腿超前于上弦箱梁多个施工节段（具体超前节段数量需通过计算确定）。下弦斜腿采用挂篮悬浇，上弦箱梁采用支架现浇，上下弦交汇后，将下弦挂篮移至上弦进行施工，施工工艺流程如下图所示。

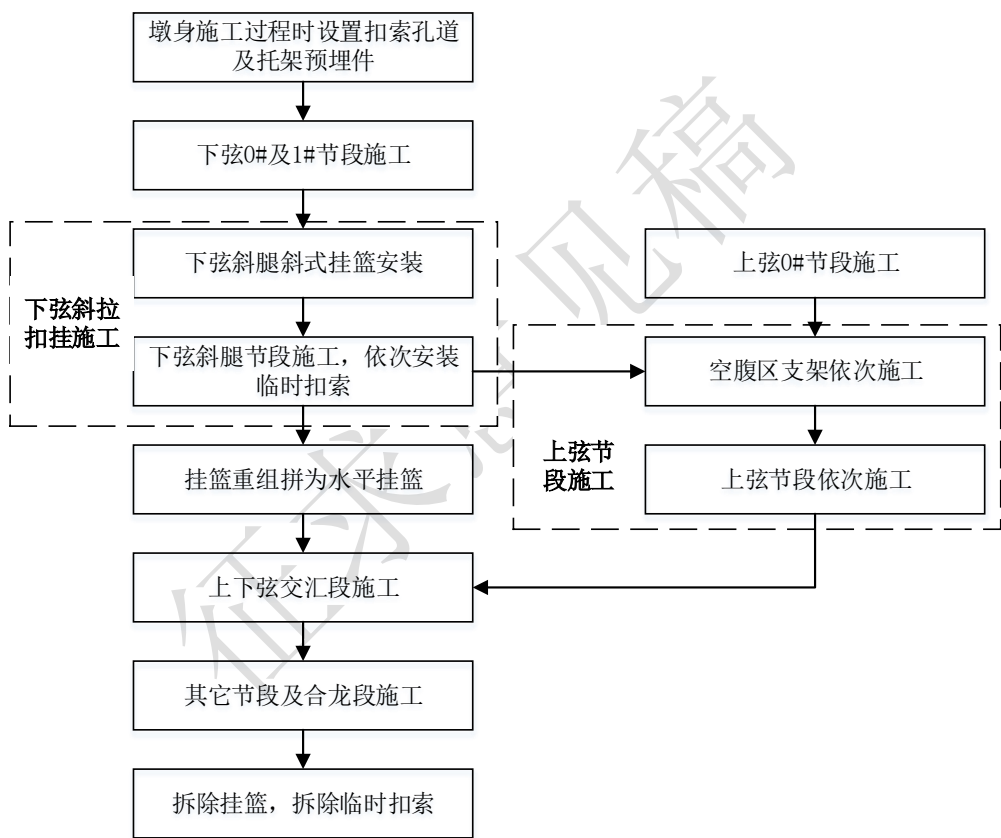


图 9.1 空腹式刚构桥上部结构施工工艺流程图

9.2 一般规定

9.2.1 施工前，应针对下弦悬臂浇筑、临时扣索张拉、挂篮前移、线形调整、上弦支架浇筑等关键工序，编制详细的施工组织设计方案，并严格按照经审查批准的施工组织设计方案进行施工。

9.2.2 箱梁混凝土应进行最佳配合比的设计与试验；钢材、扣索、锚具等均须按相关技术规范的要求验收。

9.2.3 下弦挂篮应根据斜腿角度进行专项设计，压载试验合格后方可使用。

9.2.4 上弦支架立柱位置应根据下弦箱梁结构形式、扣索布置方式等合理布置。

9.2.5 施工过程中，特别是合龙前后，应掌握桥址处历史气象资料和近期的天气预报资料，避开可能突发的灾害性天气。

9.3 上弦 0#，下弦 0#、1#块施工

9.3.1 支架设计与施工应满足下列要求：

- 1 模板、支架设计符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTF/T F50）。
- 2 上弦 0#块及下弦 0#、1#块宜采用托架法对称施工，托架施工完成后按要求进行预压。
- 3 施工平台应满足安全施工要求，主要包括支架安装作业平台、通道、端模安装及张拉平台。

9.3.2 预应力钢筋施工应满足下列要求：

预应力钢筋施工技术要求见《公路桥涵施工技术规范》（JTF/T F50）7.2 条。

9.3.3 混凝土施工应满足下列要求：

- 1 混凝土具备良好的和易性、流动性，满足泵送要求。
- 2 养护期间，混凝土强度达到 2.5MPa 前，不得承受人员及施工荷载。

9.4 下弦箱梁挂篮结合临时扣索施工

9.4.1 挂篮设计与施工应满足下列要求：

- 1 挂篮设计需适应大倾角特点，同时需适应下弦 0#、1#块狭小的操作空间，

宜采用不对称三角形挂篮。

2 挂篮在下弦箱梁 0、1#段上拼装前，必须在加工厂内试拼，以确保挂篮的整体性能满足设计使用要求。

3 为了检验实际承载能力和安全可靠，并获得相应荷载下的弹性和非弹性变形，为箱梁悬浇施工控制提供参考数据，应对挂篮进行预压。挂篮宜按照最大荷载的 0→50%→100%→120%三级加载，反向卸载。

4 待下弦施工完后，拆除下弦挂篮，分块吊装至上弦节段，但留下下弦挂篮底篮、外侧模及内模，并将底篮临时锚固在下弦底板上，上弦继续施工至交汇段。

9.4.2 临时扣索施工应满足要求：

1 预埋管道的施工

墩柱和下弦箱梁内的临时扣索预埋管道可采用预应力塑料波纹管加工制作。

2 扣索制作与安装

临时扣索宜采用钢绞线。钢绞线下料长度等于理论长度加 2 米工作长度。分束绑扎成捆，便于安装。钢束安装避免扭曲，不得有死弯，不得沾有油渍，钢绞线伸出梁体两端长度相同。

3 扣索张拉

扣锁张拉时机和顺序应符合设计要求。

4 扣索的拆除

扣索在全桥合龙后拆除，拆除时对称进行，拆除顺序与安装顺序相反。

条文说明：

墩柱及下弦箱梁施工时进行波纹管预埋。注意在扣索于墩柱出口处设置类似止动箍的构造，保证剪断扣索时的施工安全。下弦箱梁扣锁张拉端位置，需设置锚固槽口，锚固槽口根据扣索角度进行设置，槽口锚固面必须与扣索呈 90° 夹角。扣索的锚点为扣索延长至该下弦断面的延长点。

扣锁张拉时机：对应下弦梁段龄期不小于 7 天且混凝土强度达到设计要求 90%，同时对上弦梁段龄期不少于 5 天后。通过计算确定扣索张拉力，两端对称、均匀张拉，宜一次张拉到位。扣索张拉完成后，在 24h 内进行下弦扣索管道的压浆（只对下弦箱梁内管道进行压浆）。并切除施工段扣索工作长度进行封锚，进行下一道工序施工。

下弦箱梁梁体内扣锁不拆除，在顶板处切割，切割后进行封闭处理。

9.4.3 下弦箱梁存在仰角，混凝土施工过程中注意浇筑顺序，应由低向高进行，注意对称浇筑。

9.5 上弦节段施工

9.5.1 支架设计与施工应满足下列要求：

- 1 上弦箱梁采用钢管支架法浇筑时，支架系统主要由立柱钢管、柱间联系、扶墙撑、柱脚、埋件等组成。支架应进行专项设计。
- 2 下弦斜腿施工时，精确安装柱脚预埋件，完工后将埋件清理干净，防腐处理。
- 3 立柱垂直度须满足要求，测量验收合格后，方可进行其它构件安装。
- 4 下弦挂篮前移后，自下至上安装对应钢管支架，立柱垂直度、钢结构间连接满足设计要求。
- 5 立柱顶设置卸荷装置，满足模板卸落要求。

9.5.2 上弦箱梁一般采用定型模板施工，亦可采用支承于钢管支架上的移动模架进行施工。

条文说明：

上弦箱梁若采用移动模架法施工，支架在设计时须进行对应工况计算。在满足支架立柱钢管独立对已浇段进行有效支撑的前提下，既要实现箱梁侧模在各施工节段的纵向移动，又要实现底模在各施工节段间的纵向移动周转，侧模纵向移动方便稳定，且在结构设计中满足上弦箱梁与斜腿汇合后的水平挂篮悬浇施工的模板要求。

9.6 上下弦交汇段施工

9.6.1 上弦挂篮由下弦挂篮拆除后利用塔吊及上弦设置的卷扬机配合转移至上弦拼装而成。

9.6.2 由于上下弦交汇段箱梁截面较高，宜分两次进行混凝土浇筑，施工缝处混凝土面做好凿毛接缝处理。

9.7 其余节段及合龙段施工

9.7.1 上下弦交汇段施工完成后，继续使用挂篮施工其余节段。根据箱梁高度变化，调整模板尺寸。

9.7.2 合龙段施工应满足下列要求：

1 箱梁合龙段施工是控制全桥受力状况和线形的关键工序，其合龙顺序、温度和工艺都必须严格控制。全桥合龙由边至中对称进行，边跨及中跨合龙利用挂篮进行施工，施工时根据实际结构重量调整配重，使其满足设计的要求。

2 在合龙段施工前，应将箱梁顶面及内箱的材料设备，对于不需要的材料设备要全部清理。

3 在一天中温度最低时间段（温度相对恒定）并且在两小时之内浇筑完成。混凝土浇筑过程中，要安排专人不断根据混凝土浇筑情况对配重进行同步等效卸载。

4 在合龙段两端平衡重设置完成以及其它准备工作就绪后，即进行中跨合龙段的顶推，选择一天中温度变化较小，且是一天中最低温度时间对箱梁进行顶推，顶推过后立刻锁定刚性连接。

9.8 质量控制

9.8.1 原材料质量控制

施工过程中，原材料需做进场检验，确保使用材料满足设计及规范要求。

9.8.2 挂篮质量控制

通过计算确定挂篮各构件型号及尺寸，按照设计要求进行加工及安装，挂篮制作完毕后，进行预压，消除非弹性变形，施工过程中加强挂篮各系统及装置的检查，确保挂篮正常运行。

9.8.3 现浇支架质量控制

通过计算确定支架各构件型号、位置及尺寸，上弦支架预埋件位置及尺寸符合设计要求，预埋件钢板需保持水平，且不影响主体结构尺寸，支架采用焊接时

应满足钢结构焊接工艺技术的具体要求，采用法兰连接时，应满足钢结构紧固件连接技术的具体要求。

9.8.4 扣挂系统质量控制

注意临时扣索位置控制、张拉力控制，以及张拉节段混凝土龄期控制。

9.8.5 钢筋质量控制

钢材、扣索、锚具都必须按设计技术指标进行采购，按有关检验标准严格检验，按相关技术规范和要求施工。

9.8.6 模板质量控制

模板强度、刚度、稳定性及平整度需满足设计及规范要求；且模板接缝需紧密，避免漏浆；检查腹板、翼缘板模板尺寸，以及牢固状况，确保结构尺寸。

9.8.7 混凝土（施工及养护）质量控制

应进行最佳配合比的设计与试验，特别注意施工过程中，混凝土和易性的控制，同时加强混凝土养护。

9.9 试验测试

9.9.1 挂篮安装完毕后，应根据最大施工荷载的 1.2 倍进行试压，消除非弹性变形和测试挂篮的弹性性能。

9.9.2 上弦现浇支架及模板施工完后，应进行试压，消除非弹性变形。

9.9.3 临时拉索应在施工前制作试验索，并进行静载破断试验。

9.9.4 应对箱梁高性能混凝土进行最佳配合比的设计与试验，确保混凝土强度。

9.9.5 钢材、扣索、锚具都必须按有关检验标准严格检验。

9.10 施工控制

采用斜拉扣挂方法施工空腹式刚构桥施工控制工作主要包括斜腿三角区控制、悬臂施工控制、连续刚构合龙控制。

9.10.1 斜腿三角区控制

- 1 在施工过程中埋设应力测点，对主梁及斜腿应力加强监测，并严格控制施工荷载的重量及作用位置，避免产生不利影响。
- 2 施工过程中对各节段的位移加强控制，并对扣索索力进行定期观测。
- 3 对斜腿支架及扣索拆除合理拆除时间进行计算预测。

9.10.2 悬臂施工控制

悬臂施工控制主要措施如下：

- 1 建立全桥关键截面应力、线形及温度场适时监测系统，当应力、线形出现偏差时及时预警，施工控制采取线形和应力双控。
- 2 施工过程中选择若干预应力束进行孔道摩阻试验，以确定预应力参数，准确计算预应力损失量，保证施工过程结构安全。
- 3 施工过程中对主梁和上、下弦温度场进行适时监测，各施工阶段的线形测量应在晚上 7 点之后和黎明前之间进行，以消除局部温差造成的与设计值的偏离。

9.10.3 连续刚构合龙控制

对于大桥主桥合龙段监控主要内容有以下几个方面：

- 1 根据施工进度及施工要求，在合龙段施工前加强控制措施、加密合龙口等关键部位应力、线形、温度监测频率。
- 2 对合龙口进行全天 24 小时连续温度场监测，以保证在全天最低温时间段浇筑合龙段混凝土，避免接头裂纹的产生。
- 3 根据实测参数，对合龙口进行参数影响性分析，并合理修正计算模型进行细化计算，精确计算合龙口合龙所需的顶推力、顶推量及合龙段混凝土换重荷载等合龙参数，保证施工精度及安全、可控性。
- 4 合龙段平衡配重安装、合龙吊架安装及拆除和合龙口顶推过程中，加密观

测主梁高程、水平位移及应力场观测，保证合龙精度及施工安全。

征求意见稿

10 施工监控

10.0.1 空腹式连续刚构施工监控计算应包括设计符合性计算、参数敏感性分析、施工仿真与跟踪计算、成桥运营状态验算、施工工序优化计算，并结合实际施工方案与结构特殊性，必要时增加局部模型计算分析。

10.0.2 施工监控计算应至少提供以下结果：

- 1 施工阶段主梁、桥墩控制截面变形；
- 2 空腹区各阶段扣索索力、支架内力、主梁线形变化及应力；
- 3 施工阶段主梁、桥墩控制截面应力；
- 4 主梁预拱度设置参数；
- 5 主墩预抬高量参数；
- 6 合龙时，结构配重、顶推等合龙参数；
- 7 跟踪计算模型的运营阶段计算成果。

10.0.3 空腹区施工前应采用单因素法分析扣索力、梁段自重、支架内力对空腹区结构应力的影响，根据主梁容许应力包络确定各因素的控制指标。

10.0.4 合龙顶推计算宜综合考虑合龙温度、收缩徐变的影响，以消除成桥状态下各墩顶水平位移为原则，合理确定顶推量及顶推力参数。

10.0.5 空腹式连续刚构施工监测应包括应力监测、线形监测、索力监测及温度监测。

10.0.6 应力监测断面与测点布置应结合施工过程中结构最不利应力包络进行布置，同时兼顾运营期结构监测要求，监测断面与测点布置应满足但不限于以下要求：

- 1) 空腹区下弦主梁至少包含1#节段（后端）、下弦 $L/2$ 、空腹合龙节段等部位应力控制断面。
- 2) 主梁应力监测截面应包含主梁1号梁段（后端）、 $L/4$ 、 $L/2$ 的附近应力控制断面，多跨、多幅桥梁应力监测断面可适当减少；

- 3) 主墩应力监测截面应包含墩身底部附近的应力控制截面，监测点布置于顺桥向的两墩壁，每个截面的测点不应少于4个。
- 4) 应用于运营期应力监测断面全桥至少2个1号梁段、1个跨中应力监测断面；
- 5) 监测点布置于控制截面上、下缘，1号梁段、 $L/2$ 断面的测点不应少于6个，其它断面的测点不应少于4个。

10.0.7 空腹区施工前应实测混凝土容重，施工阶段测试各节段浇筑与扣索张拉工况下的主梁线形与应力、扣索力、支架应力是否与计算目标一致。

10.0.8 主梁合龙阶段施工监测应包括各项推工况下的结构温度、合龙口总位移变化、墩顶偏位变化、梁端位移变化等参数。

10.0.9 施工过程应在关键阶段对线形基准点进行复核与联测。各主墩的主梁施工至0号梁段、 $L/4$ 、 $L/2$ 、 $3L/4$ 阶段，应对各主墩线形基准点进行联合测量。主梁每次合龙前2~3个梁段时，对合龙口两侧的主墩基准点及主梁悬臂梁段前端标高进行联合测量。

10.0.10 应用于运营期桥面高程监测断面应按纵向间距不大于20m设置断面，应包含支点、跨中、四分点断面，每个断面不少于2个永久监测点。

10.0.11 应设置主梁梁端位移测点，以用于合龙顶推施工过程中主梁纵向位移，并用于运营期线形工作以观测温度、收缩徐变引起的主梁纵向伸缩变形。