
中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

《公路波形钢腹板组合桥梁技术规程》
Technical Specifications for Highway Composite Bridges with
corrugated webs

征求意见稿及条文说明

交通运输部公路科学研究院

二〇一九年五月

目 录

第一章 总则	2
第二章 术语和符号	3
2.1 术语.....	3
2.2 符号.....	4
第三章 材料	7
3.1 混凝土.....	7
3.2 钢筋.....	7
3.3 钢材.....	7
第四章 基本规定	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 作用及作用组合.....	10
4.3 设计原则.....	11
第五章 总体构造要求	12
5.1 截面形式.....	12
5.2 波形钢腹板.....	12
5.3 抗剪连接件.....	13
5.4 横隔板.....	14
5.5 内衬混凝土.....	15
5.6 预应力体系.....	15
5.7 转向块与转向器.....	15
5.8 耐久性构造措施.....	15
第六章 整体设计	17
6.1 一般规定.....	17
6.2 承载能力极限状态计算.....	17
6.3 正常使用极限状态计算.....	19
6.4 横向计算.....	22
第七章 构件设计	23
7.1 波形钢腹板设计.....	23
7.2 抗剪连接件设计.....	26
7.3 内衬混凝土设计.....	33
7.4 横梁及横隔板设计.....	34
7.5 转向块设计.....	34
7.6 体外预应力设计.....	34
7.7 混凝土桥面板设计.....	35
第八章 波形钢腹板制作.....	39
8.1 一般规定.....	39
8.2 切割与矫正.....	39
8.3 成型与组拼.....	39
8.4 涂装与存放.....	40
第九章 构件现场施工	42
9.1 一般规定.....	42

9.2 波形钢腹板施工.....	42
9.3 连接件施工.....	46
9.4 预应力施工.....	48
第十章 施工方法	49
10.1 一般规定.....	49
10.2 满堂支架施工.....	49
10.3 悬臂现浇施工.....	50
10.4 预制吊装施工.....	52
10.5 顶推施工.....	55
10.6 RW 悬臂施工.....	56
第十一章 施工质量验收评定标准.....	59
11.1 一般规定.....	59
11.2 波形钢腹板安装质量验收标准.....	59
11.3 波形钢腹板涂装质量验收标准.....	60
11.4 连接件质量评定标准.....	60

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2017 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2017〕031 号）的要求，交通运输部公路科学研究所承担《公路波形钢腹板组合桥梁技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

本标准制订的指导思想、原则和主要技术内容是：总结我国多年来公路波形钢腹板组合桥梁科技成果和工程经验，借鉴国内外相关标准规范的先进技术方法，遵照“全面、实用、客观”的指导原则，针对公路波形钢腹板组合桥梁的设计和施工技术进行了规定和说明，力求进一步规范公路波形钢腹板组合桥梁的设计施工作。

编写组在总结已有波形钢腹板桥梁设计与施工经验和有关研究成果的基础上，参考国内外相关标准，制定了本规程的征求意见稿。本规程的征求意见稿包括 11 个章节。其中，第 1 章为本规程的总则，规定了本规程的编制目的、适用范围、主要内容和执行相关标准的要求；第 2 章为术语和符号，规定了本规程常用的术语和符号含义；第 3 章为材料；第 4 章为基本规定，包括一般规定、作用及作用组合及设计原则；第 5 章到第 11 章分别针对总体构造要求、整体设计、构件设计、波形钢腹板制作、构件现场施工、施工方法和施工质量验收评定标准进行了详细的规定和说明。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究所负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或交通运输部公路科学研究所（地址：北京市海淀区西土城路 8 号，邮编：100088，电子邮箱：623151019@qq.com），以便修订时参考。

主 编 单 位：

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

主要审查人员：

第一章 总则

1.0.1 为规范公路波形钢腹板组合桥梁的设计和施工，使其符合安全、耐久、适用、环保、经济和美观的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路波形钢腹板组合桥梁的设计、施工与质量检验等。

条文说明：本条明确了本规程适用的具体范围与对象。本规程适用于各等级公路波形钢腹板组合桥梁的设计、施工与质量检验等。市政、铁路等其它行业的波形钢腹板组合桥梁可参照执行。

1.0.3 本规程规定了公路波形钢腹板组合桥梁的材料、构造、结构分析、计算、制造、施工及施工质量验收评定等内容。

1.0.4 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，设计寿命及设计基准期均为 100 年。

1.0.5 公路波形钢腹板组合桥梁的设计与施工除应符合本规程外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

第二章 术语和符号

2.1 术语

1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁 Prestressed concrete composite girder with corrugated steel webs

由预应力混凝土顶底板与波形钢腹板通过抗剪连接件组合而成能共同受力的钢-混凝土组合梁。

2 波形钢腹板 Corrugated steel webs

被加工成波折或波纹形状，作为组合结构桥梁腹板的钢板。

3 局部屈曲 Local buckling

波形钢腹板在一个平板条内（折痕与折痕之间）的屈曲。

4 整体屈曲 Global buckling

波形钢腹板在两个及以上连续的平板条内（折痕与折痕之间）屈曲的形式。

5 组合屈曲 Interactive buckling

局部屈曲与整体屈曲复合形成的屈曲形式。

6 角隅弯矩 Corner moment

恒载与活载作用下，在波形钢腹板与组合箱梁顶板、底板连接部产生的腹板面内的嵌固弯矩。

7 内衬混凝土 Inner lining concrete

波形钢腹板组合梁桥在墩顶附近波形钢腹板内侧设置的混凝土。

8 组合腹板段 Girder segment with composite webs

设置内衬混凝土的波形钢腹板组合桥梁节段。

9 埋入型连接件 Embedded shear connector

在波形钢腹板上焊接纵向接合钢筋、开孔设横向贯穿钢筋并埋入混凝土中，使其与混凝土共同受力的连接件。

10 混凝土剪力销 Concrete shear pins

把混凝土注入开孔的钢板，使孔中填充的混凝土圆柱体与周边混凝土成为一体而形成的抗剪连接件。

11 贯穿钢筋 Steel bar through pin-hole

穿过开孔钢板销孔的钢筋，分纵向和横向两种。

2.2 符号

2.2.1 几何参数相关符号

A_m ——箱梁薄壁中心线所围面积；

h_m ——箱梁顶板与底板中心线之间的距离；

b_m ——箱梁顶板和底板处波形钢腹板中心线之间距离的平均值；

ω_τ ——波形钢腹板因剪切变形产生的挠度；

A_w ——波形钢腹板的有效剪切面积；

h_w ——波形钢腹板的高度；

a_w ——波形钢腹板直板段长度；

b_w ——波形钢腹板斜板段投影长度；

c_w ——波形钢腹板斜板段长度；

h ——组合梁高度；

A_e ——单位长度混凝土桥面板内横向钢筋总面积；

L_s ——桥面板纵向受剪界面的长度；

b_e ——混凝土桥面板的有效高度；

S_{0c} ——混凝土桥面板对组合截面中和轴的面积矩；

I_0 ——组合梁截面换算截面惯性矩；

l_{cs} ——混凝土收缩变形或温差引起的纵向剪力计算传递长度；

I_y ——单位长度波形钢腹板绕高度方向的惯性矩；

I_x ——单位长度波形钢腹板绕纵桥向的惯性矩；

I_c ——内衬混凝土最小厚度截面惯性矩；

b_c ——内衬混凝土最小厚度；

S ——混凝土顶板或底板对截面中性轴的面积矩；

I ——组合梁截面的惯性矩；

2.2.2 材料性能相关符号

f_{pd} —— 预应力索的抗拉屈服强度；

G —— 波形钢腹板的剪切模量；

E_c —— 混凝土的弹性模量；

f_{td} —— 混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{cd} —— 混凝土轴心抗压强度设计值；

$f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值；

2.2.3 作用与作用效应相关符号

T_d —— 作用效应基本组合下计算截面的扭矩设计值；

M_u —— 横向抗弯承载力设计值；

V —— 由荷载产生的剪力设计值；

$\bar{V}$ —— 由单位荷载产生的剪力；

V_{ld} —— 作用（或荷载）引起的单位梁长混凝土桥面板内纵向受剪界面的纵向剪力；

V_{lRd} —— 单位梁长混凝土桥面板内纵向受剪界面抗剪承载力设计值；

V_d —— 形成组合作用之后，作用于组合梁的竖向剪力；

V_k —— 作用效应标准组合下单箱的截面竖向剪力设计值；

Q_d^e —— 抗剪强度计算时，波形钢腹板与箱梁顶、底板连接处的单位长度水平剪力设计值；

Q_k^e —— 抗滑移计算时，波形钢腹板与箱梁顶、底板连接处的单位长度水平剪力设计值；

σ_{pu} —— 体外预应力钢筋的极限设计值；

σ_{pe} —— 体外预应力钢筋的有效预应力；

τ_{cr} —— 波形钢腹板组合屈曲临界剪应力；

$\tau_{cr,L}$ —— 波形钢腹板局部屈曲临界剪应力；

$\tau_{cr,G}$ —— 波形钢腹板整体屈曲临界剪应力；

$\tau_{cr,L}^e$ ——弹性局部屈曲临界剪应力；

$\tau_{cr,G}^e$ ——弹性整体屈曲临界剪应力；

τ_f ——波形钢腹板直角角焊缝在剪力作用下产生的剪应力；

σ_M ——由横向弯矩产生的正应力；

σ_{tp} ——内衬混凝土的主拉应力；

σ_c ——内衬混凝土的轴向压应力；

τ_c ——内衬混凝土的剪应力。

2.2.4 计算系数及其他符号

α ——修正系数；

k_v ——剪切修正系数；

ζ ——波形钢腹板的形状系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

k ——波形钢腹板局部屈曲系数；

β ——波形钢腹板整体嵌固系数；

δ ——波形钢腹板波高板厚比；

第三章 材料

3.1 混凝土

3.1.1 混凝土的材料参数应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的有关规定执行。

3.1.2 波形钢腹板混凝土组合梁桥上部结构的混凝土强度等级不应低于 C50。

3.2 钢筋

3.2.1 波形钢腹板组合桥梁所采用的普通钢筋与预应力筋应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的相关规定。

3.2.2 普通钢筋选型要求：

波形钢腹板组合桥梁所采用的普通钢筋应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定采用。

3.2.3 预应力钢筋选型要求

波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁所用的预应力筋应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定采用。

3.3 钢材

3.3.1 结构钢材应满足强度、塑性、韧性和可焊性的要求，选用时应综合考虑结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方法、钢材厚度及工作环境等因素。

3.3.2 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁用的钢材宜采用质量等级 C 级或以上级别的碳素结构钢、低合金高强度结构钢或桥梁用结构钢，其质量要求应符合 GB/T 700、GB/T 1591 和 GB/T 714 的规定，钢材的强度设计值和物理特性指标按 GB 50917 规定执行。

3.3.3 对于需要验算疲劳的焊接结构，应符合下列规定：

对于需要验算疲劳的焊接结构的钢材，应符合 GB 50017 相关要求。钢材的强度设计值和物理性能指标均应按 GB 50017 执行。

3.3.4 钢板（材）的主要强度指标应按下表采用。

表 3.3.4 钢材的设计用强度指标 MPa

钢材	钢材厚度或	强度设计值	屈服强度	抗拉强度
----	-------	-------	------	------

牌号		直径 (mm)	抗拉、 抗压、 抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{cc}	f_y	f_u
碳素 结构 钢	Q235	≤ 16	215	125	320	235	370
		$> 16, \leq 40$	205	120		225	
		$> 40, \leq 100$	200	115		215	
低合 金高 强度 结构 钢	Q345	≤ 16	305	175	400	345	470
		$> 16, \leq 40$	295	170		335	
		$> 40, \leq 63$	290	165		325	
		$> 63, \leq 80$	280	160		315	
		$> 80, \leq 100$	270	155		305	
	Q390	≤ 16	345	200	415	390	490
		$> 16, \leq 40$	330	190		370	
		$> 40, \leq 63$	310	180		350	
		$> 63, \leq 100$	295	170		330	
	Q420	≤ 16	375	215	440	420	520
		$> 16, \leq 40$	355	205		400	
		$> 40, \leq 63$	320	185		380	
		$> 63, \leq 100$	305	175		360	
	Q460	≤ 16	410	235	470	460	550
		$> 16, \leq 40$	390	225		440	
		$> 40, \leq 63$	355	205		420	
		$> 63, \leq 100$	340	195		400	

3.3.5 高强度螺栓、螺母、垫圈的技术条件应符合 GB/T 1231 或 GB/T 3632、GB/T 3633 的规定。

3.3.6 栓钉连接件的材料应符合 GB/T 10433 的规定。

征求意见稿

第四章 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 公路波形钢腹板组合桥梁主体结构的设计使用年限应按现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）确定。

4.1.2 波形钢腹板组合桥梁应按以下两类极限状态进行设计：

（1）承载能力极限状态：对应于桥梁结构达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位状态，包括构件和连接件的强度破坏、疲劳破坏，波形钢腹板丧失稳定及结构倾覆；

（2）正常使用极限状态：对应于桥梁结构达到正常使用或耐久性的某项限值的状态，包括影响结构、构件正常使用的变形、振动及影响结构耐久性的局部破坏。

4.2 作用及作用组合

4.2.1 波形钢腹板组合桥梁设计所采用的作用及作用效应组合应按现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）执行。

4.2.2 波形钢腹板和连接件的承载能力极限状态计算应采用作用的基本组合，正常使用极限状态计算应采用作用的标准组合。

4.2.3 波形钢腹板组合桥梁温度梯度效应计算时可仅考虑混凝土顶板的温度变化。

4.2.4 波形钢腹板组合桥梁汽车荷载冲击力的计算可按现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）进行。

4.2.5 桥面板车辆荷载效应的计算应满足如下要求：

（1）当桥面板的计算跨径不大于 6m 时，桥面板可根据支撑情况按单向板、悬臂板或双向板进行计算，也可使用平面框架模型进行分析。车辆荷载的分布宽度应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定；

（2）当采用平面框架模型进行分析时，截面的宽度可取 1 个波形钢腹板波长，波形钢腹板与顶板、底板结合部可作刚接处理，波形钢腹板截面可根据一个波长的面积和抗弯刚度等效成工字形截面；

（3）当箱内桥面板按简支板计算时，汽车荷载作用下其跨中弯矩宜取相同计算跨径的简支板跨中弯矩的 90%；

(4) 对于多室截面、多箱截面、桥面板计算跨径超过 6m 的单箱单室截面以及带有横梁的桥面板,宜采用三维有限元方法计算。

条文说明:波形钢腹板组合箱梁,其腹板刚度较小,跨中弯矩有增大的倾向,约为简支板跨中弯矩的 90%。在实际工程中,由日本道路工团施工的本古桥,其桥面跨中弯矩即是按 90%的简支板跨中弯矩设计的。对于多室截面、多箱截面以及桥面板计算跨径超过 6m 的单箱单室截面以及带有横梁的桥面板,上述方法均不再适用,有必要采用三维有限元方法计算桥面板在车辆荷载作用下的效应。

4.3 设计原则

4.3.1 波形钢腹板组合桥梁应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)进行组合梁和桥面板的承载能力极限状态计算和正常使用极限状态计算。

4.3.2 波形钢腹板组合桥梁的设计计算理论和方法可参考混凝土桥梁,波形钢腹板、连接件、体外预应力筋及细部构造设计应符合本规程的相关规定。

4.3.3 弯桥在采用波形钢腹板组合桥梁时应对其抗扭性能进行充分研究,保证其抗扭承载力符合设计要求。

4.3.4 波形钢腹板组合桥梁的抗震设计应依据现行 JTG/T B02-01 等相关规范进行。

4.3.5 波形钢腹板组合桥梁的抗风设计应依据现行 JTG/T D60-01 等相关规范进行。

第五章 总体构造要求

5.1 截面形式

5.1.1 波形钢腹板组合桥梁主梁梁高宜比同等跨径的常规混凝土桥梁主梁梁高略高。对于连续梁桥，中支点梁高可取为跨径的 $1/15 \sim 1/19$ ，跨中梁高可取为跨径的 $1/32 \sim 1/40$ 。

5.1.2 波形钢腹板组合桥梁截面形式可采用工字组合式、箱形组合式或槽型组合式等，其中箱形组合梁截面形式主要包括：单箱单室、单箱单室钢底板、单箱双室、单箱多室、多箱单室，亦可采用斜腹板或采取外（内）撑加强顶板和悬挑板。

5.1.3 大跨径波形钢腹板组合桥梁顶板、底板的厚度应根据预应力布置及结构受力要求来确定，顶板厚度不宜小于 250mm，底板厚度不宜小于 220mm。

5.2 波形钢腹板

5.2.1 波形钢腹板按波长宜采用 1000 型、1200 型、1600 型三种型式。小跨径桥宜选用小型号波形钢腹板，大跨径桥宜用大型号波形钢腹板。跨径大于 40m 的连续梁（刚构），宜选用 1600 型波形钢腹板。波形钢腹板的其它构造细节应符合《组合结构桥梁用波形钢腹板》(JT/T 784)的相关规定。

5.2.2 波形钢腹板厚度宜取 9~40mm。

5.2.3 波形钢腹板之间的连接接头可采用高强度螺栓连接、对接焊缝连接和角焊缝搭接连接等形式。

5.2.4 波形钢腹板与横隔板的连接宜满足如下要求：

（1）波形钢腹板与端横梁和横隔板的连接方式应根据端横梁横隔板形状、结构受力、横梁配筋、经济性、耐久性等因素综合考虑后确定。

（2）波形钢腹板与横隔板可通过栓钉连接件、开孔钢板连接件等方式进行连接。

（3）波形钢腹板与端横梁的连接方式有翼缘型连接(图 5.1)和埋入型连接(图 5.2)两种类型。

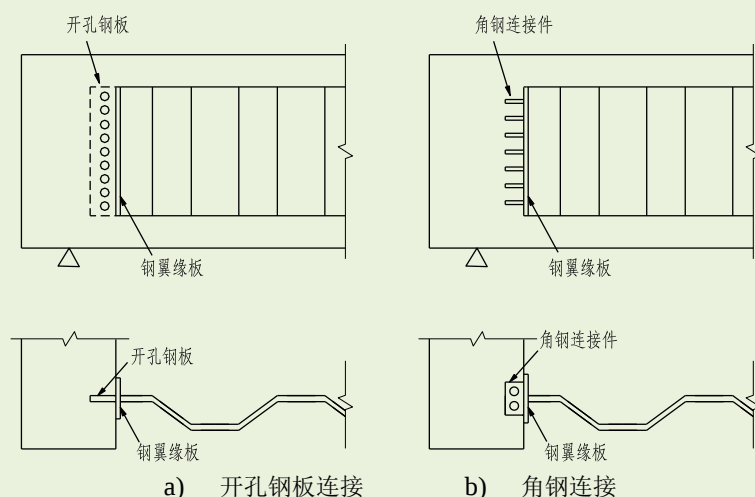


图 5.1 翼缘型连接

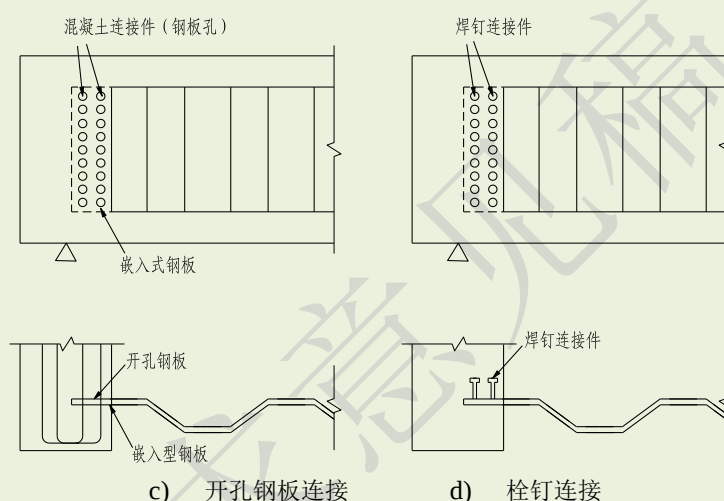


图 5.2 埋入型连接

5.3 抗剪连接件

5.3.1 波形钢腹板与混凝土顶、底板连接件形式的选取应考虑构造的合理性、施工可行性、结构耐久性等因素。

5.3.2 波形钢腹板与混凝土顶板连接件形式宜采用双开孔钢板连接件、栓钉连接件及埋入式连接件，波形钢腹板与混凝土底板连接件形式宜采用角钢连接件、槽钢连接件、单开孔钢板+栓钉连接件、埋入式连接件及栓钉连接件等。如采用外包式连接件或其他连接方式，应经试验验证其可靠性和抗疲劳性。

5.3.3 波形钢腹板与混凝土底板的连接区域应采取密封、防腐措施，并设置排水横坡。

5.3.4 采用翼缘型连接件时，为防止焊接部位的疲劳破坏，连接件的翼缘板纵向连接间应留一定的间隙，同时波形钢腹板顶面应切圆角，以避免焊缝与翼缘板焊

缝相交。

5.3.5 连接件的翼缘板与开孔钢板应符合下列规定：

- (1) 翼缘板的厚度不宜小于 16mm，开孔钢板厚度不宜小于 12mm；
- (2) 开孔钢板孔径应大于贯穿钢筋直径与集料最大颗粒直径的 2 倍之和，可取 45mm~60mm；
- (3) 孔与孔的中心间距不宜大于 500mm，可取 150mm~250mm；
- (4) 孔距钢板边缘的净距不宜小于孔中心距的一半；
- (5) 贯穿钢筋应采用 HRB400 及以上强度级别的钢筋，直径不宜小于 16mm，贯穿钢筋直径应与钢板开孔直径相匹配。

5.3.6 栓钉连接件应符合下列规定：

- (1) 栓钉的长度不应小于栓钉直径的 4 倍，有拉拔作用时不宜小于栓钉直径的 10 倍。
- (2) 栓钉纵桥向的中心间距不应小于 6 倍的栓钉直径，且不小于 100mm；横桥向的中心间距不应小于 4 倍的栓钉直径且不小于 50mm。
- (3) 栓钉连接件沿主要受力方向中心间距不应超过 300mm。
- (4) 栓钉连接件的外侧边缘距翼缘板边缘的距离不应小于 20mm。

5.3.7 栓钉布置间距及栓钉连接件的外侧边缘与翼缘钢板边缘的距离应满足《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01)要求。

5.4 横隔板

5.4.1 跨间横隔板可作为转向构件设置于体外预应力钢筋的纵向折线转角处，但构造上应满足体外预应力钢筋的张拉、锚固与换索要求。

5.4.2 波形钢腹板组合梁桥跨间应设置一定数量的横隔以保证其整体抗扭刚度。

5.4.3 横隔板可采用混凝土板墙式与钢、混凝土横撑式。混凝土板墙式横隔板可与体外索的锚固块、转向块设为一体。

5.4.4 混凝土板墙式横隔板与波形钢腹板可不连接或在波形钢腹板平幅段采用栓钉等连接。

5.4.5 采用波形钢腹板工字梁作为施工承重构件的工法施工时，波形钢腹板工字钢梁横隔板形式宜为钢横撑式。

5.5 内衬混凝土

5.5.1 支点附近波形钢腹板高度超过 5m 时，应设置内衬混凝土以承受较大的剪力，如截面形式为单箱双室或者单箱多室截面，外侧腹板宜在内侧布置内衬混凝土，内衬腹板可在腹板两侧均布置内衬混凝土。

5.5.2 支点附近组合腹板段长度不宜小于支点处梁高的 1.5 倍，内衬混凝土厚度应根据其抗剪承载力和斜截面抗裂验算确定，但最薄处不宜小于 20cm。

5.5.3 组合腹板段内衬混凝土应根据抗裂验算结果确定是否设置竖向预应力筋。竖向预应力筋可采用精轧螺纹钢筋或钢绞线。

5.5.4 内衬混凝土宜采用栓钉与波形钢腹板连接。

5.6 预应力体系

5.6.1 波形钢腹板组合桥梁宜采用体内、体外预应力筋混合配束的预应力体系。体内预应力筋主要承担一期恒载，体外预应力筋主要承担二期恒载及活载等。预应力筋的布置数量及形式应根据结构受力、桥梁施工方法确定。

5.6.2 体外预应力锚具的选用应符合 GB/T 14370 的要求。使用可更换或多次张拉的锚具时，预应力筋应预留能够再次张拉的工作长度。

5.7 转向块与转向器

5.7.1 波形钢腹板组合桥梁转向块结构形式主要有锚固块型、竖肋板型、横肋板型及横隔板型四种，设计时应考虑波形钢腹板刚度相对较小等因素，合理选用专项结构形式。

5.7.2 转向块的构造形式应根据结构受力、体外预应力筋布置方式、转向器等因素进行选择，在结构上应满足体外预应力钢筋向主梁的传力要求以及承受周边构件传来的荷载的要求。

5.7.3 转向块内应设置两种钢筋，即围住单个转向器的内环筋和沿转向块周边围住所有转向器的外封闭箍筋。内环筋离转向器上缘的距离不小于 25mm，直径不大于 20mm；外封闭箍筋在竖直方向高于内环筋的净距不小于 50mm；内环筋和外封闭箍筋沿转向器纵向布置的间距不小于 100mm。

5.8 耐久性构造措施

5.8.1 涂装系统设计应综合考虑桥梁所处的腐蚀环境、涂层设计使用年限、涂层维修性能等因素，并符合现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)的规定。

5.8.2 波形钢腹板内外表面、翼缘型连接件外露于混凝土的部分应进行防腐涂装。

5.8.3 波形钢腹板纵向节段间采用高强螺栓连接时，波形钢腹板搭接面应进行无机富锌漆涂装。

5.8.4 高强螺栓连接及焊接连接施工后应及时进行防腐涂装。

5.8.5 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥底板与波形钢腹板结合处可做成不小于2%的斜坡，并用硅胶等止水材料密封，防止雨露水渗入(见图 5.3)。

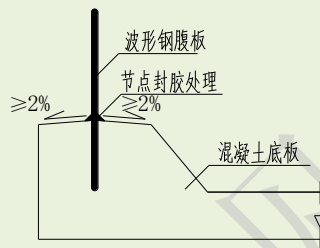


图 5.3 横向排水示意

5.8.6 端横梁与波形钢腹板连接部位采用硅胶等止水材料密封，防止雨露水渗入。

第六章 整体设计

6.1 一般规定

6.1.1 波形钢腹板组合桥梁按以下假定进行结构分析：

- (1) 波形钢腹板与混凝土顶、底板共同工作，不会发生相对滑移或剪切连接破坏；
- (2) 波形钢腹板不承受轴向力，纵向弯曲时忽略波形钢腹板的纵向弯曲作用，弯矩仅由混凝土顶、底板构成的截面承担；
- (3) 组合梁纵向弯曲时符合平截面假定；
- (4) 剪力由波形钢腹板承担且剪应力沿波形钢腹板高度方向均匀分布。

6.1.2 波形钢腹板组合桥梁整体设计应进行承载能力极限状态验算和正常使用极限状态验算。

6.1.3 应在考虑组合桥梁构造、受力、边界条件等特性的基础上，构建能反映桥梁实际受力状况的结构计算模型。

6.1.4 对于扭矩较大的弯、斜、宽波形钢腹板组合桥梁，应根据 JTG D62 的规定进行组合梁顶板、底板的斜截面抗裂验算，验算时组合梁顶板、底板斜截面主拉应力应计入扭转剪应力的作用，扭转剪应力的计算应采用作用的标准组合。

6.1.5 转向块应做成能将体外预应力钢筋的转向力顺利传递到主梁的结构，转向块及其周围的构件应能安全地抵抗转向力作用。

6.2 承载能力极限状态计算

6.2.1 波形钢腹板混凝土组合桥梁的正截面抗弯承载力验算应按现行 JTG D62 的规定执行。

6.2.2 波形钢腹板持久状况承载能力极限状态抗剪强度与剪切稳定验算应采用现行 JTG D60 规定的作用效应的基本组合。波形钢腹板的剪应力应同时计入剪力、扭矩及预应力的竖向分力产生的效应。其中剪力包括预应力的二次效应，扭矩可取汽车荷载最不利偏载情况下的组合设计值。抗剪强度与剪切稳定验算时预应力效应的分项系数不利时取 1.2，有利时取 1.0。

6.2.3 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥可按(6.1)式进行上部结构抗倾覆验算：

$$r_{\text{qf}} = \frac{S_{\text{bk}}}{S_{\text{sk}}} \geq 2.5 \dots\dots\dots (6.1)$$

式中：

r_{qf} ——抗倾覆稳定系数；

S_{bk} ——保持上部结构稳定的作用效应标准组合；

S_{sk} ——产生上部结构倾覆的汽车荷载（含冲击作用）效应标准值。

抗倾覆验算的汽车荷载及其组合应符合下列规定：

- （1）验算倾覆稳定的汽车荷载应采用 JTG D60 的车道荷载，集中荷载标准值应乘以 1.2 的系数；
- （2）汽车荷载横向应按相应规范的最不利位置布置，多车道桥梁汽车荷载产生的效应不得折减；
- （3）汽车荷载应计入冲击作用；
- （4）计入风荷载与汽车荷载的共同作用。

6.2.4 抗剪连接件承载力验算：

（1）栓钉连接件的抗剪承载力设计值应根据下列公式确定：

单个栓钉连接件的抗剪承载力设计值由公式(6.2)及(6.3)确定，取两者中的较小值。

当发生栓钉剪断破坏时：

$$Q_{\text{pu}}^{\text{c}} = 1.1 A_s f_{\text{std}} \left(\frac{E_{\text{c}}}{E_{\text{s}}} \right)^{0.2} \left(\frac{f_{\text{cu}}}{f_{\text{std}}} \right)^{\text{c}} \dots\dots\dots (6.2)$$

当发生混凝土压碎破坏时：

$$Q_{\text{pu}}^{\text{c}} = 0.43 \eta A_{\text{std}} \sqrt{E_{\text{c}} f_{\text{cd}}} \dots\dots\dots (6.3)$$

式中：

Q_{pu}^{c} ——栓钉水平抗剪承载力设计值(N)；

A_{std} ——栓钉截面面积(mm²)；

f_{std} ——栓钉抗拉强度设计值(MPa)。当栓钉材料性能等级为 4.6 级时，取 $f_{\text{std}} = 400$ (MPa) ；

E_c 、 E_s ——混凝土和栓钉的弹性模量(MPa);

f_{cu} 、 f_{cd} ——混凝土的立方体抗压强度和轴心抗压强度设计值(MPa);

η ——群钉效应折减系数。对于 C50 混凝土, $\eta = 0.016l_d/d + 0.80$ (l_d 为栓钉纵向间距, d 为栓钉直径, 单位 mm); 对于 C55、C60 混凝土, $\eta = 0.013l_d/d + 0.84$ 。当 $l_d/d \geq 13$ 时, 不考虑群钉效应, 取 1.0。

栓钉连接件的抗滑移应符合式(6.4)~(6.6)的要求:

$$Q_k^e \leq Q_{sa}^c / s \dots\dots\dots (6.4)$$

$$Q_{sa}^c = 8.408 \sqrt{f_{cu,k}} d^2 \quad (H/d \geq 5.5) \dots\dots\dots (6.5)$$

$$Q_{sa}^c = 1.538 \sqrt{f_{cu,k}} dH \quad (H/d < 5.5) \dots\dots\dots (6.6)$$

式中:

Q_{sa}^c ——单个栓钉的抗滑移水平剪力限值(N);

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa);

d ——栓钉直径(mm);

H ——栓钉长度(mm)。

6.2.5 转向与锚固结构验算

转向块应进行抗拉承载力计算和抗剪承载力计算, 计算方法可参照 JTG/T J22 的规定执行。

6.3 正常使用极限状态计算

6.3.1 在正常使用极限状态下, 应考虑作用的短期效应组合、长期效应组合或短期效应组合并考虑长期效应组合的影响。

6.3.2 体外预应力筋计算

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥体内预应力筋的张拉控制应力及预应力损失按 JTG D62 的规定执行。

条文说明: 本条指出, 体外预应力钢绞线的预应力损失可参照 JTG D62 中关于体内预应力钢筋的规定计算, 但计算摩擦损失的位置仅考虑转向装置和锚固装置管道, 管道壁摩擦系数与管道每米局部偏差对摩擦的影响系数宜根据试验确定。

6.3.3

波形钢腹板持久状况承载能力极限状态抗剪强度与剪切稳定验算应采用 JTG D60 规定的作用效应的基本组合。波形钢腹板的承载能力极限状态抗剪强度应符合式(7.1)~(7.3)要求:

$$\gamma_0(\tau_{md} + \tau_{td}) \leq f_v \dots\dots\dots (7.1)$$

$$\tau_{md} = \frac{V_{d1} - V_{p1}}{h_w t_w} \dots\dots\dots (7.2)$$

$$\tau_{td} = \frac{T_d}{2A_m t_w (1 + \alpha)} \dots\dots\dots (7.3)$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数;

τ_{md} ——剪力与预应力的竖向分力产生的剪应力设计值(MPa);

τ_{td} ——扭矩产生的剪应力设计值(MPa);

f_v ——钢板的抗剪强度设计值(MPa);

V_{d1} ——作用效应基本组合下计算截面单块波形钢腹板的剪力设计值(N);

V_{p1} ——作用效应基本组合下预应力对计算截面单块波形钢腹板产生的竖向分力标准值(N);

T_d ——作用效应基本组合下计算截面的扭矩设计值(N·mm);

A_m ——箱梁薄壁中心线所围面积(mm²), $A_m = h_m \times b_m$, h_m 为顶板与底板中心线之间的距离(mm); $b_m = (b_1 + b_2) / 2$, 其中 b_1 、 b_2 分别为顶、底板处波形钢腹板中心线之间的距离(mm)(图 7.1);

t_w ——箱梁横截面各部件的厚度(mm);

α ——修正系数, $\alpha = 0.4h_m / b_m - 0.06 \geq 0$, 且当 $h_m / b_m < 0.2$ 时, $\alpha = 0$ 。

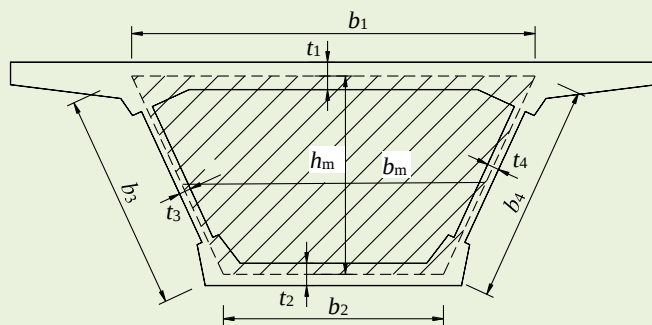


图 7.1 波形钢腹板组合梁桥扭转惯性矩计算图

6.3.4 连接件抗滑移与应力验算

抗剪连接件应进行承载能力极限状态抗剪强度计算和正常使用极限状态下的抗滑移和应力计算。其中承载能力极限状态抗剪强度计算应采用作用的基本组合，正常使用极限状态计算应采用作用的标准组合。

6.3.5 挠度验算

(1) 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥一般用于弹性分析时的刚度计算截面如图 5 所示。主梁弯曲、轴向刚度仅以混凝土顶底板组成的有效截面进行计算(如图 5 b)所示)，剪切刚度则仅以波形钢腹板有效截面进行计算(如图 6.1 c)所示)。而计算单元、边界条件和荷载的施加等可参考普通预应力混凝土桥梁；

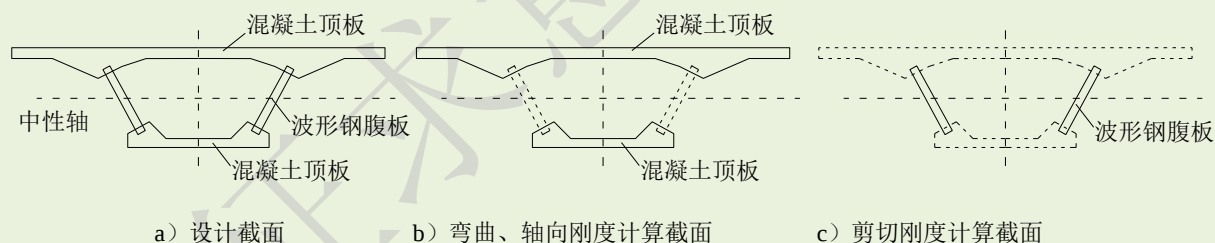


图 6.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁有效截面示意图

(2) 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的挠度验算可采用结构力学方法进行计算，且应符合 JTG D62 中规定。计算中应考虑波形钢腹板剪切变形对挠度的影响，波形钢腹板因剪切变形产生的挠度按式(6.10)~(6.12)计算。

$$\omega_{\tau} = \int \frac{k_v \cdot V \cdot \beta_i \cdot \bar{V}}{G \cdot A_w} dx \dots\dots\dots (1.10)$$

$$A_w = h_w \cdot t_w \cdot \zeta \dots\dots\dots (6.12)$$

$$\beta_i = h_w / h \dots\dots\dots (6.13)$$

式中：

ω_{τ} ——波形钢腹板因剪切变形产生的挠度(mm);

k_v ——剪切修正系数, 可取 $k_v=1$;

V ——由荷载产生的剪力设计值(N);

β_i ——波形钢腹板的剪切分担率;

$\bar{V}$ ——由单位荷载产生的剪力;

G ——波形钢腹板的剪切模量(MPa);

A_w ——波形钢腹板的有效剪切面积(mm²);

h_w ——波形钢腹板的高度(mm);

t_w ——波形钢腹板的厚度(mm);

ζ ——波形钢腹板形状系数, $\zeta=(a_w+b_w)/(a_w+c_w)$;

a_w ——波形钢腹板直板段长度(mm);

b_w ——波形钢腹板斜板段投影长度(mm);

c_w ——波形钢腹板斜板段长度(mm);

h ——组合梁高度(mm)。

6.4 横向计算

6.4.1 横向计算包括横隔梁、桥面板、底板及波形钢腹板与顶底板连接的横向抗弯计算。

6.4.2 根据不同要求, 波形钢腹板组合桥梁的横向分析可采用平面框架模型或者三维有限元模型。桥面板跨径超过 6m 及单箱多室截面的横向分析应采用三维有限元模型进行分析。

6.4.3 车辆作用的横向内力计算可按以下步骤进行:

- (1) 确定所需计算的截面, 进行车辆最不利纵横向布置;
- (2) 确定板的有效分布宽度: 将箱梁外伸悬臂板视作固支悬臂板; 将中部顶板视作简支于两腹板的简支板; 根据 JTG D62 中的规定确定车轮荷载在板上的有效分布宽度;
- (3) 根据有效宽度范围, 得出截面沿纵向单位箱梁上的作用荷载;

第七章 构件设计

7.1 波形钢腹板设计

7.1.1 对于组合腹板段的波形钢腹板应按波形钢腹板承担全部剪力设计，且剪应力沿腹板高度方向均匀分布。

7.1.2 波形钢腹板的承载能力极限状态抗剪强度应符合本规范 6.3.3 的要求。

7.1.3 波形钢腹板的承载能力极限状态组合屈曲应符合式(7.4)~(7.5)要求：

$$\gamma_0(\tau_{md} + \tau_{td}) \leq \tau_{cr} \dots\dots\dots (7.4)$$

$$\tau_{cr} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\tau_{cr,L}^4} + \frac{1}{\tau_{cr,G}^4}\right)^{\frac{1}{4}}} \dots\dots\dots (7.5)$$

式中：

τ_{cr} ——波形钢腹板组合屈曲临界剪应力(MPa)；

$\tau_{cr,L}$ ——波形钢腹板局部屈曲临界剪应力(MPa)，按 7.1.4 条计算；

$\tau_{cr,G}$ ——波形钢腹板整体屈曲临界剪应力(MPa)，按 7.1.4 条计算。

7.1.4 波形钢腹板局部（整体）屈曲临界剪应力应符合式(7.6)~(7.8)求：

$$\begin{cases} \tau_{cr,L}(\tau_{cr,G}) = f_v & \lambda_s \leq 0.6 \\ \tau_{cr,L}(\tau_{cr,G}) = [1 - 0.614 \times (\lambda_s - 0.6)] \cdot f_v & 0.6 < \lambda_s \leq \sqrt{2} \\ \tau_{cr,L}(\tau_{cr,G}) = f_v / \lambda_s^2 & \sqrt{2} < \lambda_s \end{cases} \dots\dots\dots (7.6)$$

$$\lambda_s = \sqrt{f_v / \tau_{cr,L}^e} \dots\dots\dots (7.7)$$

$$\text{或 } \lambda_s = \sqrt{f_v / \tau_{cr,G}^e} \dots\dots\dots (7.8)$$

式中：

λ_s ——折算板宽厚比，计算 $\tau_{cr,L}$ 时，按式 (7.7) 计算，计算 $\tau_{cr,G}$ 时，按式(7.8)

计算；

$\tau_{cr,L}^e$ ——弹性局部屈曲临界剪应力(MPa)，按式(7.9)~(7.10)计算：

$$\tau_{cr,L}^e = \frac{(k \pi^2 E)}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 \dots\dots\dots (7.9)$$

$$k = 4 + 5.34(h_w/a_w)^2 \dots\dots\dots (7.10)$$

式中：

$\tau_{cr,G}^e$ ——弹性整体屈曲临界剪应力(MPa)，按式(7.11)~(7.13)计算：

$$\tau_{cr,G}^e = \frac{36\beta(EI_y)^{\frac{1}{4}}(EI_x)^{\frac{3}{4}}}{h_w^2 t_w} \dots\dots\dots (7.11)$$

$$I_x = t_w^3 (\delta^2 + 1) / (6\zeta) \dots\dots\dots (7.12)$$

$$I_y = \frac{t_w^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots (7.13)$$

式中：

k ——波形钢腹板局部屈曲系数；

ν ——波形钢腹板的泊松比；

β ——波形钢腹板整体嵌固系数，取 1.0；

I_y ——单位长度波形钢腹板绕高度方向的惯性矩(mm⁴/mm)；

I_x ——单位长度波形钢腹板绕纵桥向的惯性矩(mm⁴/mm)；

δ ——波形钢腹板波高板厚比，取 $\delta = d_w/t_w$ ， d_w 为波形钢腹板波高， t_w 为波形钢腹板厚度；

ζ ——波形钢腹板的形状系数。

7.1.5 波形钢腹板之间的连接计算

(1) 高强度螺栓的抗剪承载力设计值应按式(7.14)计算：

$$N_v^b = 0.9n_f \cdot \mu \cdot P \dots\dots\dots (7.14)$$

式中：

N_v^b ——螺栓的抗剪承载力设计值(N)；

n_f ——传力摩擦面数；

P ——高强度螺栓的预拉力(N)，按 GB 50017 取用；

μ ——摩擦面的抗滑移系数，按 GB 50017 取用。

连接处使用的螺栓个数应满足式(7.15)的要求:

$$N \geq \frac{V_{dl}}{N_v^b} \dots\dots\dots (7.15)$$

式中:

N ——螺栓个数。

(2) 波形钢腹板直角角焊缝剪应力按式(7.16)计算。

$$\tau_f = \frac{V_f}{0.7h_f \sum l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (7.16)$$

式中:

τ_f ——波形钢腹板直角角焊缝在剪力作用下产生的剪应力(MPa);

V_f ——焊缝承受的竖向剪力设计值(N);

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸(mm);

$\sum l_w$ ——焊缝的计算长度之和(mm), 对每条焊缝取其实际长度减去 $2h_f$;

f_f^w ——角焊缝的强度设计值(MPa), 按 GB 50017 取值。

7.1.6 波形钢腹板与翼缘板的焊接计算

(1) 在承载能力极限状态下, 应对焊接连接纵桥向和横桥向的合成应力进行验算。波形钢腹板与翼缘板的角焊缝可按图 7.2 进行以下等效。

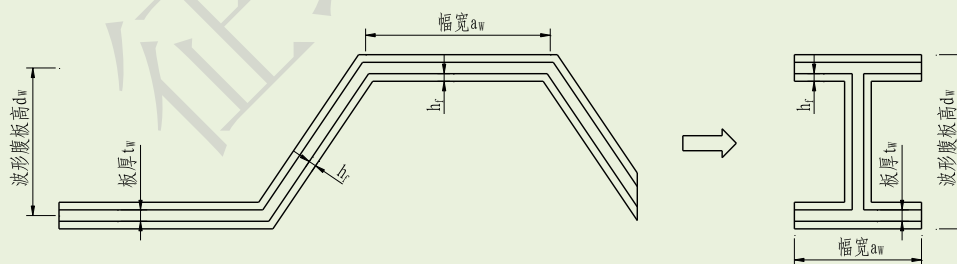


图 7.2 角焊缝计算等效图

(2) 纵桥向的验算按照式(7.17)进行:

$$\tau_f = \frac{2Q_d^e}{0.7h_f \sum l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (7.17)$$

式中:

τ_f ——水平剪力产生的剪应力(MPa);

Q_d^e ——波形钢腹板与箱梁顶、底板连接处的单位长度水平剪力设计值

(N)，按式(40)计算：

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸(mm)；

$\sum l_w$ ——焊缝的计算长度之和(mm)，对每条焊缝取其实际长度减去 $2h_f$ 。

(3) 横桥向的验算按照式(7.18)进行：

$$\sigma_M = \frac{6M_u}{\sum l_w (0.7h_f)^2} \leq f_f^w \dots\dots\dots (7.18)$$

式中：

σ_M ——由横向弯矩产生的正应力(MPa)；

M_u ——横向抗弯承载力设计值(N·m)。

(4) 合成应力验算应满足式(7.19)要求：

$$\left(\frac{\tau_f}{f_f^w} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_M}{f_f^w} \right)^2 < 1 \dots\dots\dots (7.19)$$

7.2 抗剪连接件设计

7.2.1 对于单箱单室或多箱单室截面，波形钢腹板与顶板、底板连接处的单位长度水平剪力可按下式计算：

$$Q_d^e = \frac{(V_d - V_p)S}{2I} \dots\dots\dots (7.20)$$

$$Q_k^e = \frac{(V_k - V_p)S}{2I} \dots\dots\dots (7.21)$$

式中：

Q_d^e ——抗剪强度计算时，波形钢腹板与箱梁顶、底板连接处的单位长度水平剪力设计值(N/mm)；

Q_k^e ——抗滑移计算时，波形钢腹板与箱梁顶、底板连接处的单位长度水平剪力设计值(N/mm)；

V_k ——作用效应标准组合下单箱截面的竖向剪力设计值(N)；

- V_d ——作用效应基本组合下单箱截面波形钢腹板的剪力设计值(N);
- V_p ——作用效应基本组合下预应力对单箱截面产生的竖向分力标准值(N);
- S ——混凝土顶板或底板对截面中性轴的面积矩(mm³);
- I ——组合梁截面的惯性矩(mm⁴)。

7.2.2 双开孔钢板连接件的水平抗剪承载力设计值 Q_{pu} 应取混凝土剪力销抗剪承载力设计值 Q_{pu1} 、混凝土剪力销抗劈裂承载力设计值 Q_{pu2} 以及开孔钢板孔间抗剪承载力设计值 Q_{pu3} 的最小值:

(1) 混凝土剪力销抗剪承载力设计值按式(7.22)计算:

$$Q_{pu1} = n_p \{ 1.4(d_p^2 - d_s^2) f_{cd} + 1.2 d_s^2 f_{sd} \} \dots\dots\dots (7.22)$$

式中:

d_p ——钢板开孔直径(mm);

d_s ——贯穿钢筋直径(mm);

n_p ——开孔钢板连接件的排数。双开孔钢板连接件中, 当两个开孔钢板之间的距离大于开孔钢板高度的 1.5 倍时, n_p 取 2。

(2) 混凝土剪力销抗劈裂承载力设计值按式(7.23)计算:

$$Q_{pu2} = 7.5 n_p f_{cd} d_p t \dots\dots\dots (7.23)$$

式中:

t ——开孔钢板厚度(mm)。

(3) 开孔钢板孔间抗剪承载力设计值按式(7.24)计算:

$$Q_{pu3} = n_p f_v d_j t \dots\dots\dots (7.24)$$

式中:

f_v ——钢板抗剪强度设计值(MPa);

d_j ——开孔钢板的孔净距(mm)。

7.2.3 栓钉连接件的水平抗剪承载力设计值按下式计算:

单个栓钉连接件的抗剪承载力设计值由公式(7.25)及(7.26)确定,取两者中的较小值。

当发生栓钉剪断破坏时:

$$Q_{pu}^c = 1.1 A_s f_{std} \left(\frac{E_c}{E_s} \right)^{0.2} \left(\frac{f_{cu}}{f_{std}} \right)^{0.2} \dots\dots\dots (7.25)$$

当发生混凝土压碎破坏时:

$$Q_{pu}^c = 0.43 \eta A_{std} \sqrt{E_c f_{cd}} \dots\dots\dots (7.26)$$

式中:

Q_{pu}^c ——栓钉水平抗剪承载力设计值(N);

A_{std} ——栓钉截面面积(mm²);

f_{std} ——栓钉抗拉强度设计值(MPa);

E_c 、 E_s ——混凝土和栓钉的弹性模量(MPa);

f_{cu} 、 f_{cd} ——混凝土的立方体抗压强度和轴心抗压强度设计值(MPa);

η ——群钉效应折减系数。对于 C50 混凝土, $\eta = 0.016 l_d / d + 0.80$ (l_d 为栓钉纵向间距, d 为栓钉直径, 单位 mm); 对于 C55、C60 混凝土, $\eta = 0.013 l_d / d + 0.84$ 。当 $l_d / d \geq 13$ 时, 不考虑群钉效应, 取 1.0。

7.2.4 单开孔钢板+栓钉连接件的水平抗剪承载力设计值可取单个开孔钢板键与栓钉抗剪承载力设计值之和。单个开孔钢板键水平抗剪承载力设计值可按 7.2.2 条计算但式中 n_p 取 1.0。

7.2.5 当埋入式连接件满足构造要求时, 其水平抗剪承载力可按下式计算:

$$Q_{pu} = 0.6 f_{cd} A_1 + \mu f_{sld} A_s \dots\dots\dots (7.27)$$

式中:

A_1 ——波形钢腹板斜板段的投影面积(mm²) (图 7.3);

μ ——系数, 取 1.0;

f_{sld} ——接合钢筋的抗拉强度设计值(MPa);

A_s ——接合钢筋的面积(mm²)。

埋入型连接中波形钢腹板斜板段的投影面积(A_1 =埋深×波高)不应小于板腋有效承压面积($A=b_0 \times h_0$)的 1/5(见图 7.3)。

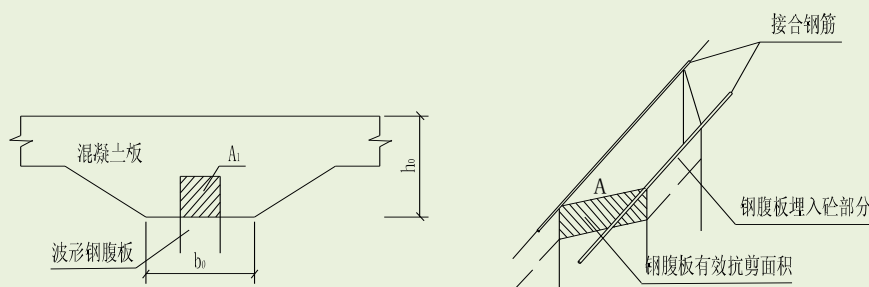


图 7.3 埋入型连接件斜板段投影面积示意

条文说明：本条给出了埋入式连接件抗剪承载力计算公式。

7.2.5 角钢连接件的水平抗剪承载力可按下式计算：

$$Q_{pu} = f_{cd} A_{as} / 1.5 \dots\dots\dots (7.28)$$

式中：

A_{as} ——角钢承压面积(mm^2) (图 7.4)。

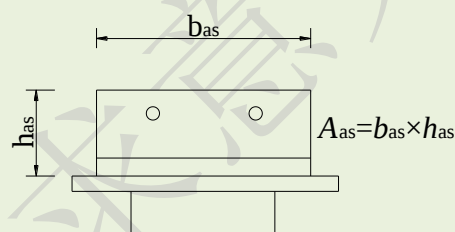


图 7.4 角钢连接件承压面积计算图

角钢连接件中，角钢与翼缘板的连接焊缝应进行纵向水平力承载力验算，连接焊缝承受的水平剪力按式(7.29)计算：

$$F_h = s Q_d^e \dots\dots\dots (7.29)$$

式中：

F_h ——连接焊缝承受的水平剪力(N)；

Q_d^e ——角钢连接件承受的单位长度水平剪力设计值(N/mm)，按式(7.20)计算。

条文说明：本条给出了角钢连接件抗剪承载力计算公式。

7.2.6 槽钢连接件的水平抗剪承载力可按下式计算：

单个槽钢抗剪连接件的受剪承载力设计值应由下列公式确定：

$$N_v^c = 0.26(t + 0.5t_w)l_c \sqrt{E_c f_c}$$

式中：

t ——槽钢翼缘的平均厚度（mm）；

t_w ——槽钢腹板的厚度（mm）；

l_c ——槽钢的长度（mm）。

槽钢连接件通过肢尖肢背两条通长角焊缝与钢梁连接，角焊缝按承受该连接件的受剪承载力设计值 N_v^c 进行计算。

条文说明：本条给出了槽钢连接件抗剪承载力计算公式。

7.2.7 连接件抗角隅弯矩计算

（1）采用双开孔钢板连接件、单开孔钢板+栓钉连接件、角钢连接件和栓钉连接件时，应进行连接件的抗角隅弯矩计算。

（2）双开孔钢板连接件承受的角隅弯矩应符合式(7.30)要求：

$$M_d \leq n_p b_p Q_{pu} \dots\dots\dots (7.30)$$

式中：

M_d ——角隅弯矩设计值(N·m)；

n_p ——与角隅弯矩对应板宽内的开孔钢板数量；

b_p ——开孔板的间距(mm)；

Q_{pu} ——单个开孔钢板件抗剪承载力设计值(N)。

（3）单开孔钢板+栓钉连接件、栓钉连接件承受的角隅弯矩(图 7.5)应符合式(7.31)及式(7.32)要求，：

$$M_d \leq n_s b_s N_d \dots\dots\dots (7.31)$$

$$N_d = 1.283H^2 \sqrt{f_{cd}} \leq \frac{\pi}{4} d^2 f_{std} \dots\dots\dots (7.32)$$

式中：

M_d ——角隅弯矩设计值(N·m)；

n_s ——与角隅弯矩对应板宽内的单排栓钉数量;

b_s ——栓钉间距(mm);

N_d ——栓钉抗拉承载力设计值(N);

H ——栓钉长度(mm);

f_{cd} ——混凝土抗压强度设计值(MPa);

d ——栓钉直径(mm);

f_{std} ——栓钉抗拉强度设计值(MPa)。

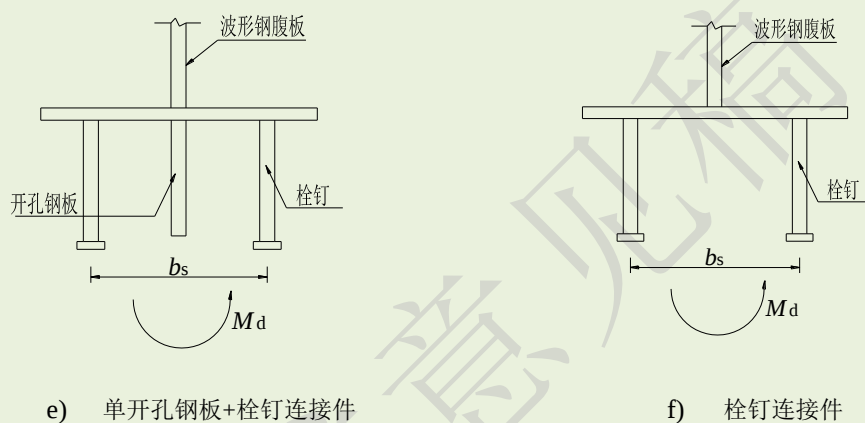


图 7.5 作用于单开孔钢板+栓钉连接件及栓钉连接件的角隅弯矩

(4) 角钢连接件承受的角隅弯矩(图 7.6)应符合式(7.33)~(7.35)要求:

U形钢筋不与角钢焊接:

$$M_d \leq A_s f_{sd} B_s / \sqrt{3} \dots\dots\dots (7.33)$$

$$M_d \leq 2A_u B_u f_u \dots\dots\dots (7.34)$$

$$M_d \leq 2u_u l_u B_u R_u \dots\dots\dots (7.35)$$

U形钢筋与角钢焊接:

$$M_d \leq A_s f_{sd} B_s / \sqrt{3} + \min(2A_u B_u f_u, 2u_u l_u B_u R_u) \dots\dots\dots (7.36)$$

式中:

A_s ——贯穿钢筋面积(mm²);

f_{sd} ——贯穿钢筋抗拉强度设计值(MPa);

B_s ——贯穿钢筋间距(mm);

A_u ——单根 U 形钢筋截面面积(mm²);

B_u ——U 形钢筋的轴间距(mm);

f_u ——U 形钢筋抗拉强度设计值(MPa);

u_u ——U 形钢筋截面周长(mm);

l_u ——U 形钢筋锚固长度(mm);

R_u ——U 形钢筋与混凝土粘结强度设计值(MPa)，应根据试验确定。

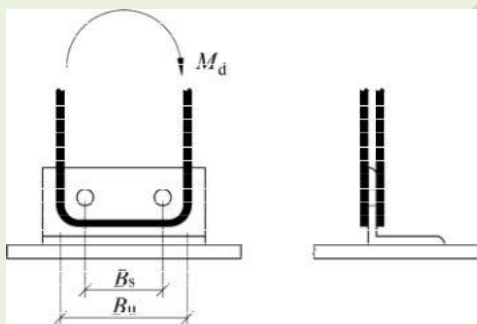


图 7.6 角钢连接件抗角隅弯矩计算图示

7.2.8 连接件疲劳计算

(1) 抗剪连接件应根据下列公式进行疲劳验算

$$\gamma_{Ff} \Delta N_p \leq \Delta N_L / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (7.37)$$

$$\Delta N_p = N_{p,max} - N_{p,min} \dots\dots\dots (7.38)$$

式中:

γ_{Ff} ——疲劳荷载分项系数，取1.0;

γ_{Mf} ——疲劳抗力分项系数，对重要构件取1.35，对次要构件取1.15;

ΔN_p ——抗剪连接件按疲劳荷载模型计算得到的剪力幅(N);

ΔN_L ——连接件疲劳容许剪力幅(N);

$N_{p,\max}$ 、 $N_{p,\min}$ ——无限疲劳寿命验算的疲劳荷载模型按最不利情况加载于影响线得出的最大和最小剪力(N)。

(2) 抗剪连接件的疲劳荷载模型, 采用 JTG D60 规定的等效车道荷载形式, 其集中荷载为 $0.7P_k$, 均布荷载为 $0.3q_k$, 集中荷载标准值 P_k 和均布荷载标准值 q_k 应按 JTG D60 相关规定取值, 计算时应考虑多车道的影响, 横向多车道系数按 JTG D60 的相关规定计算。

(3) 抗剪连接件的疲劳容许剪力幅应符合下式规定:

$$\Delta N_L \leq 0.2 N_v^c \dots\dots\dots (7.39)$$

式中:

N_v^c ——连接件的抗剪承载力设计值(N)。

7.3 内衬混凝土设计

7.3.1 内衬混凝土应根据 JTG D62 进行正常使用极限状态斜截面抗裂验算要求以及承载能力极限状态抗剪承载力要求。

7.3.2 内衬混凝土主拉应力可按式(7.40)~(7.41)计算:

$$\sigma_p = \frac{1}{2}(\sigma_c - \sqrt{\sigma_c^2 + 4\tau_c^2}) \dots\dots\dots (7.40)$$

$$\tau_c = \frac{V_{cd} \cdot S_c}{b_c \cdot I_c} \dots\dots\dots (7.41)$$

式中:

σ_p ——内衬混凝土的主拉应力(MPa);

σ_c ——内衬混凝土的轴向压应力(MPa), 轴向压应力按内衬混凝土平均厚度计算;

τ_c ——内衬混凝土的剪应力(MPa);

V_{cd} ——内衬混凝土承担的剪力设计值(N);

S_c ——内衬混凝土最小厚度截面, 剪应力计算点外侧部分对中性轴的面积矩(mm³);

I_c ——内衬混凝土最小厚度截面惯性矩(mm⁴);

b_c ——内衬混凝土最小厚度(mm)。

7.4 横梁及横隔板设计

7.4.1 横梁设计要求：

(1) 为使波形钢腹板混凝土组合桥梁具有足够的刚度，必须以合适的间距来配置横梁和横隔板。

(2) 锚固横梁、转向横梁宜采用实体有限元模型进行分析并根据应力结果进行配筋。

7.4.2 横隔板设计要求。

(1) 横隔板间距应根据桥梁的扭转和畸变效应确定。

(2) 当将横隔板与转向块设计成一体时，除进行通常的荷载所引起的截面应力验算之外，对于体外索的锚固与弯折所导致的局部应力，也必须进行验算。

7.5 转向块设计

7.5.1 混凝土转向块设计。

(1) 转向块应做成能将体外预应力钢筋的转向力顺利传递到主梁的结构。另外，转向块及其周围的构件必须是能安全地抵抗转向力的结构；

(2) 转向块应进行抗拉承载力计算和抗剪承载力计算，计算方法可参照 JTG/T J22 的规定执行。

7.5.2 钢转向块设计

(1) 转向块应做成能将体外预应力钢筋的转向力顺利传递到主梁的结构。另外，转向块及其周围的构件必须是能安全地抵抗转向力的结构；

(2) 转向块应进行抗拉承载力计算和抗剪承载力计算，计算方法可参照 JTG/T J22 的规定执行。

7.6 体外预应力设计

7.6.1 体外预应力筋的预应力损失可参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)中关于体内预应力钢筋的规定计算，但计算摩擦损失的位置仅考虑转向装置和锚固装置管道，管道壁摩擦系数与管道每米局部偏差对摩擦的影响系数宜根据试验确定。

7.6.2 体外预应力钢绞线的张拉控制应力不应超过 $0.6 f_{pk}$ 且不应小于 $0.4 f_{pk}$ ，当要求部分抵消预应力损失而进行超张拉时，张拉控制应力限值可提高 $0.05 f_{pk}$ 。

7.6.3 持久状况体外预应力钢绞线的最大拉应力应符合下式规定：

波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁的体内、体外预应力索应作为抗拉钢筋来进行截面抗力计算，体外预应力钢筋的极限应力设计值应按照式(7.42)~(7.43)计算：

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe} \dots\dots\dots (7.42)$$

$$\sigma_{pu} \leq f_{pd} \dots\dots\dots (7.43)$$

式中：

σ_{pu} ——体外预应力钢筋的极限设计值(MPa)；

σ_{pe} ——体外预应力钢筋的有效预应力(MPa)；

f_{pd} ——预应力索的抗拉屈服强度(MPa)。

7.7 混凝土桥面板设计

7.7.1 桥面板设计弯矩

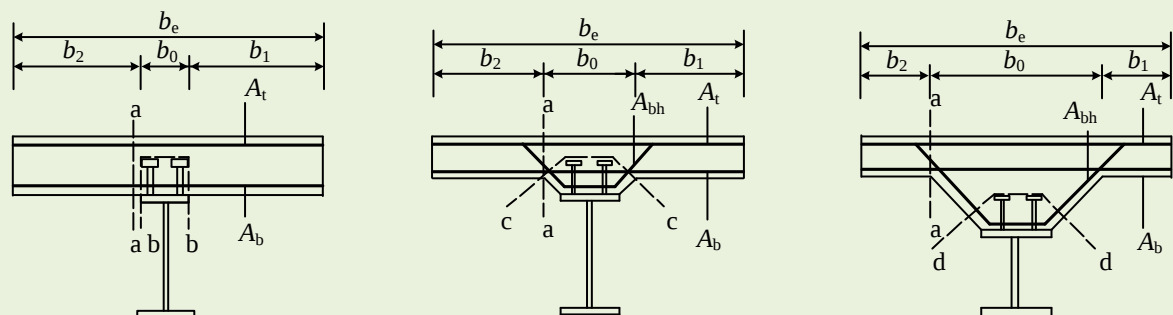
(1) 由活载产生的弯矩原则上应考虑桥面板的支撑状态、形状、荷载状况，根据薄板理论进行计算；

(2) 由恒载产生的弯矩，可以将箱梁看作是考虑其各部件厚度变化的由波形钢腹板、混凝土顶底板组成的箱形框架来计算。计算中应考虑混凝土桥面板预应力索次内力；

(3) 桥面板横向弯矩的计算应满足本规范 6.4 节的要求。

7.7.2 桥面板纵向抗剪计算

(1) 波形钢腹板预应力混凝土组合梁承托及桥面板纵向抗剪承载力验算时，应分别验算图 7.7 所示的纵向受剪界面 a-a、b-b、c-c 及 d-d。



A_t ——混凝土桥面板顶部附近单位长度内钢筋面积的总和 (mm^2)； A_b ——混凝土桥面板底部单位长

度内钢筋面积的总和 (mm²)； A_{bh} ——承托底部单位长度内钢筋面积的总和 (mm²)。

图 7.7 混凝土翼板纵向受剪控制界面

(2) 单位长度混凝土桥面板内横向钢筋总面积应满足式(7.44)要求：

$$A_e f_{sd} / L_s > 0.8 \dots\dots\dots (7.44)$$

式中：

A_e ——单位长度混凝土桥面板内横向钢筋总面积 (mm²/mm)，按图 8 和表 1 取值；

f_{sd} ——横向钢筋的抗拉强度设计值 (MPa)；

L_s ——桥面板纵向受剪界面的长度 (mm)，按图 8 所示的 a-a、b-b、c-c 及 d-d 连线在抗剪连接件以外的最短长度取值；

0.8 ——系数 (MPa)。

表1 单位长度内在垂直于主梁方向上的钢筋截面面积 A_e

剪切面	a-a	b-b	c-c	d-d
A_e	$A_b + A_t$	$2A_b$	$2(A_b + A_{bh})$	$2A_{bh}$

(3) 波形钢腹板混凝土组合梁承托及混凝土桥面板纵向界面抗剪承载力应符合式(7.45)的要求：

$$V_{ld} \leq V_{lRd} \dots\dots\dots (7.45)$$

式中：

V_{ld} ——作用（或荷载）引起的单位梁长混凝土桥面板内纵向受剪界面的纵向剪力(N/mm)；

V_{lRd} ——单位梁长混凝土桥面板内纵向受剪界面抗剪承载力设计值(N/mm)。

(4) 作用（或荷载）引起的单位梁长混凝土桥面板内纵向受剪界面的纵向剪力 V_{ld} 应符合以下规定：

1 单位梁长内 a-a 纵向受剪界面的纵向剪力按式(7.46)计算：

$$V_{ld} = \max \left\{ V_1 \frac{b_1}{b_e}, V_1 \frac{b_2}{b_e} \right\} \dots\dots\dots (7.46)$$

式中：

b_e ——混凝土桥面板的有效高度(mm)，见图 8；

b_1 、 b_2 ——凝土桥面板左右两侧在 $a-a$ 界面以外的有效宽度(mm)，见图 8；

V_1 ——单位梁长钢梁与混凝土桥面板的截面纵向剪力(N/mm)。

2 单位梁长内 $b-b$ 、 $c-c$ 、 $d-d$ 纵向受剪界面的纵向剪力按式(7.47)计算：

$$V_{1d} = V_1 \dots\dots\dots (7.47)$$

3 单位梁长的界面纵向剪力应按下列要求进行计算：

1) 由竖向剪力引起的单位梁长的界面纵向剪力按式(7.48)计算：

$$V_1 = \frac{V_d S_{0c}}{I_0} \dots\dots\dots (7.48)$$

2) 由预应力束集中锚固力、混凝土收缩变形或温差引起的纵向剪力：

预应力束在梁跨中间锚固，锚固点前后均传递纵向剪力按式(7.49)计算：

$$V_1 = \frac{V_t}{l_{cs}} \dots\dots\dots (7.49)$$

预应力束在梁跨中间锚固，锚固点前(预应力作用区段)传递剪力或梁端部锚固：

$$V_1 = \frac{2V_t}{l_{cs}} \dots\dots\dots (7.50)$$

式中：

V_d ——形成组合作用之后，作用于组合梁的竖向剪力(N)；

V_t ——预应力束集中锚固力、混凝土收缩变形或温差的作用在混凝土桥面板中产生的纵向剪力(N)；

S_{0c} ——混凝土桥面板对组合截面中和轴的面积矩(mm³)；

I_0 ——组合梁截面换算截面惯性矩(mm⁴)；

l_{cs} ——混凝土收缩变形或温差引起的纵向剪力计算传递长度(mm)，取主梁间距和主梁长度的1/10中的较小值。

(5) 单位长度内纵向界面抗剪承载力设计值按式(7.51)~(7.52)计算，并取两者的较小值：

$$v_{lRd} = 0.7b_f f_{td} + 0.8A_e f_{sd} \dots\dots\dots (7.51)$$

$$v_{lRd} = 0.25b_f f_{cd} \dots\dots\dots (7.52)$$

式中：

b_f ——桥面板纵向受剪界面在垂直于主梁方向上的长度，按图 7.7 所示的 $a-a$ 、 $b-b$ 、 $c-c$ 及 $d-d$ 连线在连接件以外的最短长度取值(mm)；

f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值 (MPa)；

f_{sd} ——横向钢筋的抗拉强度设计值 (MPa)；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa)。

第八章 波形钢腹板制作

8.1 一般规定

8.1.1 波形钢腹板主要采用低合金高强度结构钢、碳素结构钢和桥梁用结构钢等，钢材材质应符合相应规范和设计要求。

8.1.2 钢材表面质量应符合 GB/T 14977 的规定。

8.2 切割与矫正

8.2.1 下料前应对平直度未达标的钢板进行冷矫正。矫正后的钢料表面不应有明显的凹痕或损伤，划痕深度不应大于该钢板厚度负允许偏差的 1/2。

8.2.2 碳素结构钢在环境温度低于-20℃，低合金结构钢在环境温度低于-15℃时，不得进行切割加工。

8.2.3 切割前应将钢料表面上的浮锈、污物清理干净，钢料应放平、垫稳，割缝下面应留有空隙。

8.2.4 厚度小于或等于 20mm 的钢板应采用数控等离子水下切割，钢板厚度大于 20mm 的宜采用数控火焰切割。

8.3 成型与组拼

8.3.1 波形钢腹板的成型应采用冷成型。厚度大于或等于 14mm 的钢板，应采用无牵制模压法成型；小于 14mm 的钢板可采用普通模压法成型，不宜采用冲压法成型。

条文说明：成型工艺分为模压法和冲压法。模压法分为无牵制模压法和普通模压法。本条给出了波形钢腹板成型的主要方法，并根据不同厚度规定了成型方法。

8.3.2 成型角度应满足下列要求：

- (1) 波形钢腹板加工成型时转角半径一般应不小于板厚的 15 倍；
- (2) 当满足表 8.3.1 所示的夏比冲击试验的要求，且化学成分中的氮含量不超过 0.006%，波形钢腹板加工成型时转角半径亦可做成板厚的 7 倍或 5 倍以上。若是在与轧制成直角方向处进行冷弯加工时，则应当采用压延直角方向的夏比冲击试验吸收能量的值。

表 8.3.1 冷弯加工半径与冲击韧性的吸收能量值

冲击韧性-吸收能量(J)	冷弯加工半径(mm)
>150	$\geq 7t$
>200	$\geq 5t$

8.3.3 波形钢板的组拼应满足下列要求：

(1) 组拼前，波形钢板应经检验合格后清除在待焊区域或距焊缝边缘 30mm~50mm 以内的范围内的下料毛刺、尘土、油污、熔渣、水分、铁锈和氧化皮等有害物，使其表面显露出金属光泽；

(2) 波形钢板组拼应在胎膜或工作台上进行，组拼角度应考虑波形钢板焊接时的变形量。胎膜和平台要求牢固平整，应有足够的刚度，以保证波形钢板组立精度；

(3) 波形钢板应在组拼后 24h 内焊接。

8.4 涂装与存放

8.4.1 波形钢板涂装前应采用抛丸或喷砂工艺对波形钢腹板进行二次除锈，不建议采用灼烧法，且处理达标后 4h 内应进行涂装作业，否则应再次进行前处理。

条文说明：本条规定了波形钢腹板涂装前的一些必要准备工作及相关要求。

8.4.2 波形钢板涂装前的准备工作及环境应符合《组合结构桥梁用波形钢腹板》JT/T 784 相关规定。

条文说明：本条主要规定了钢板涂装前应制作喷漆样板，经检验确认各项指标合格后方可进行喷涂作业。且强调了处现场修复及最后整体面漆可在现场作业外，其余涂装均应在工厂进行。

8.4.3 波形钢腹板成型、制造、涂装、试验、检验等技术要求应符合《组合结构桥梁用波形钢腹板》JT/T 784 的规定，且出厂前应完成基础涂装。

8.4.4 钢腹板涂装材料应具有良好的附着性、耐蚀性，具有出厂合格证和检验资料，并符合耐久性要求。

8.4.5 波形钢腹板的涂装，宜采用长效型的涂层体系配置，一次维护年限为 15 年~30 年，整体保护年限为 50 年及以上。

8.4.6 波形钢腹板的底层涂装应满足：

底层涂装宜配置高附着力的具屏蔽或阴极保护功能的涂层体系，主要有以下三类：

(1) 重防腐粉体涂装系列：应采用静电喷涂及热喷涂方式，并加热使涂层固化。

采用热喷涂工艺可一次性涂装；

(2) 铝和锌防腐系列：应采用电弧热喷涂方式，不宜采用热镀锌工艺做为涂装层，不应采用冷镀锌工艺作为涂装层；

(3) 富锌系列：应采用高压无气喷涂方式。不建议采用水性富锌涂料。

条文说明：本条针对波形钢腹板的不同底层涂装方法，提出了涂装厚度取值范围要求。重防腐粉体涂装系列主要包括通用粉体环氧类、熔融结合性重防腐粉体环氧类涂层，熔融结合性重防腐粉体环氧类涂层应符合《熔融结合环氧粉末涂料的防腐蚀涂装》(GB/T 18593)的规定。铝和锌防腐系列主要包括喷铝、喷锌和喷涂锌铝合金涂层。富锌系列主要包括有机类富锌、无机类富锌涂料。

8.4.7 波形钢腹板的中层涂装宜采用环氧云铁或环氧厚浆漆等，涂装总厚度宜控制在 $80\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ ，每层喷涂厚度宜在 $40\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$ 。

8.4.8 面层防护配置及涂装应符合下列规定：

(1) 面层防护宜配置具备耐候及防化学腐蚀功能的涂层体系，面层防护采用粉体涂装的，宜配置聚酯等面层体系，应采用静电喷涂及热喷涂方式，并加热使涂层固化。底层也采用粉体涂装的，面层可一次性或在底层未固化前涂装；

(2) 面层涂装采用液态涂料涂装的。应采用高压无气喷涂方式。面层液态涂料涂装宜分成二层，一层在工厂涂装，最后一层安装修复后整体涂装。

条文说明：液态涂料主要有聚氨脂类（含近类的丙烯酸）、氟碳类等。

8.4.9 波形钢腹板叠放成熟不宜超过五层，每层钢腹板应支撑在与其外形相同的木块或混凝土存放垫上，避免波形钢腹板的整体变形。

第九章 构件现场施工

9.1 一般规定

9.1.1 波形钢腹板组合梁的施工质量应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 中关于钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥的相关规定以及表 9.1.1 的规定。

表 9.1.1 波形钢腹板组合梁施工质量标准度

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	波形钢腹板中心距(mm)	± 3	尺量：检查两波形钢腹板中心距
2	横断面对角线差(mm)	± 4	尺量：检查两端断面
3	扭曲(mm)	每米 ≤ 1	安装前置于平台，四角中有三角接触平台，用尺量另一角与平台间隙

9.1.2 波形钢腹板安装过程中，未经批准不得进行临时性的焊接和切割作业。

9.1.3 公路波形钢腹板组合桥梁施工除满足本规程外，尚应分别符合《城市桥梁工程施工与质量验收规范》(CJJ2)及《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定。

9.2 波形钢腹板施工

9.2.1 波形钢腹板运输过程中应加强支撑、固定牢固，防止变形或倾覆。

9.2.2 波形钢腹板运输、安装过程中不得损伤、表面不得有锈蚀。

9.2.3 波形钢腹板安装前，可在底模板上标记出底板钢筋位置及波形钢腹板位置，避免底板钢筋与波形钢腹板的下翼缘连接件互相干扰。

9.2.4 波形钢腹板安装应制定详细的施工工艺并宜进行施工过程控制，保证其内力、变形等符合设计要求。

9.2.5 波形钢腹板吊装应符合下列要求：

- (1) 吊装前检查钢绳、吊钩是否符合要求，不符合要求时即时更换；
- (2) 吊装前检查波形钢腹板编号是否正确、是否变形，如变形，应矫正后才可吊装；
- (3) 吊装前做好波形钢腹板定型加固，确保不因吊装导致波形钢腹板变形；
- (4) 吊装应缓慢进行，吊件起吊离地后，应暂停顿，观察吊件挂勾是否稳妥，

确认无误后，再继续吊装；

(5) 吊装过程中，应按指挥信号作业，严禁未得到指挥信号私自起吊；

(6) 吊装时，在吊装设备作业范围内禁止人员进入、停留；

(7) 六级及以上大风、雷雨天气时禁止起吊作业。

9.2.6 波形钢腹板拼装过程中应减少相邻钢腹板接缝偏差，避免钢腹板连接发生转角错位且贴合错口不宜超过 2mm，波形钢腹板的定位质量应符合表 9.2.6 的规定。

表 9.2.6 波形钢腹板定位标准

项次	项目	规定值或允许偏差	备注
1	波形钢腹板轴线偏位(mm)	± 10	内外侧波形钢腹板分别测量
2	内外侧波形钢腹板间距偏差(mm)	$\pm 5\text{mm}$	间隔 2m 量 3 处
3	内外侧波形钢腹板高差(mm)	$\pm 10\text{mm}$	间隔 2m 量 3 处
4	波形钢腹板横桥向垂直度	1/500	间隔 2m 量 3 处
5	波形钢腹板纵桥向坡度	1/500	间隔 2m 量 3 处

9.2.7 波形钢腹板的工地防腐涂装应满足下列要求：

(1) 波形钢腹板涂装质量评定应符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)的规定；

(2) 涂装层数和漆膜厚度应符合设计要求。防腐涂料应有良好的附着性、耐蚀性，底漆应具有良好的封孔性能；

(3) 涂装前应先对焊缝表面及焊缝两边进行处理，清除表面的锈迹、焊渣、氧化皮、油脂等污物，直至表面呈现出均匀金属光泽。进行表面处理的质量检查，合格后方可进行涂装；

(4) 焊缝处的涂装修复应先清理烧蚀区域，再涂刷富锌底漆，中层和面层按原涂装方案执行。各层修复厚度为原设计厚度的 120%；

(5) 涂装完成后，波形钢腹板表面有光泽，颜色均匀，不应有露底、漏涂与涂层剥落、破裂、起泡、划伤等缺陷；

(6) 波形钢腹板纵向节段间采用高强螺栓连接时，波形钢腹板搭接面宜采用无

机富锌底漆涂装。波形钢腹板的二次涂装应在桥梁主体施工完成后及时进行；

(7) 涂装施工时，杆件和梁段表面不应有雨水或结露，相对湿度不应高于 80%；环境温度对环氧类漆不得低于 10℃，对聚氨酯漆和氟碳面漆不得低于 5℃；六级及以上大风、雷雨、大雾、沙尘暴天气时禁止进行涂装施工。涂装后 4h 内应采取措施保护涂装层，避免遭受雨淋。

9.2.8 波形钢腹板纵向连接采用焊接时应满足下列要求：

- (1) 波形钢腹板节段之间的焊接连接，应在节段就位、固定并检查合格后进行；
- (2) 焊接前应做焊接工艺评定试验，施焊应严格按已评定的焊接工艺进行，焊接前应对接头坡口、焊缝间隙和焊接板面高差等进行检查，并应采用钢丝砂轮对焊缝进行除锈，且焊接应在除锈后 24h 内进行；
- (3) 焊接材料应根据焊接工艺评定确定，焊丝、焊剂、焊条的化学性能应与波形钢腹板母材材质相匹配；
- (4) 焊接时应设立防风、防雨设施。焊接的环境要求为：风力小于 5 级，温度应高于 5 摄氏度，相对湿度应小于 85%，在箱梁内焊接时应有通风防护安全措施；
- (5) 焊接施工时的技术要求应符合《钢结构焊接规范》（GB 50661）的要求，工地焊接接缝检验应按《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）进行；
- (6) 在钢腹板现场焊缝焊接完后，应对钢腹板的偏位进行复核校正，并在焊接完成 24h 后进行焊缝第三方检测，合格后方可进行下道工序。

9.2.9 波形钢腹板现场焊接接口的无损检测应满足下列要求：

- (1) 应对接口线的全长进行肉眼观测；
- (2) 在顶板和底板附近部分，焊缝检查应采用超声探伤方法，探伤部位为焊缝两端各 250mm~300mm；
- (3) 对于对接接头，应通过超声探伤试验进行内部缺陷检查，且焊缝等级应满足《组合结构桥梁用波形钢腹板》(JT/T 784)要求。

9.2.10 波形钢腹板纵向连接采用高强螺栓连接时应满足下列要求：

- (1) 高强度螺栓宜选用大六角头螺栓。高强度螺栓、螺母及垫圈等应符合本规范 3.3.5 条相关规定；

(2) 高强度螺栓连接的摩擦面应按照《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205) 的要求进行防滑处理。安装前应复验出厂所附试件的抗滑移系数, 合格后方可进行安装;

(3) 高强度螺栓的施工预拉力应符合设计要求。高强度螺栓连接副应按出厂批号复验扭矩系数, 每批号抽验不少于 8 套, 其平均值和标准偏差应符合设计要求。设计无要求时平均值应为 0.11~0.15, 其标准偏差应小于或等于 0.01。复验数据应作为施拧的主要参数;

(4) 高强度螺栓长度应与拼装图的规定一致。高强度螺栓应顺畅穿入孔内, 不得强行敲入, 穿入方向应全桥一致。被栓合的板束表面应垂直于螺栓轴线, 否则应在螺栓垫圈下面加垫斜坡垫板。高强度螺栓不得作为临时安装螺栓;

(5) 施拧高强度螺栓应按一定顺序, 宜从板束刚度大、缝隙大之处开始, 大面积节点板应由中央向四周边缘辐射进行, 最后拧紧端部螺栓, 并应在当天施拧完毕。施拧时, 不得采用冲击拧紧、间断拧紧, 不得在雨中作业;

(6) 用扭矩法拧紧高强度螺栓连接副时, 初拧、复拧和终拧应在同一个工作日内完成。初拧扭矩应由试验确定, 一般可取终拧值的 50%, 初拧后应对每一个螺母用敲击法检查。终拧方法可选用扭矩法或转角法, 并在施工中填写记录;

(7) 转角法的施拧方法和终拧扭矩值应符合《铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定》(TBJ 214) 的规定。

9.2.11 波形钢腹板的工地防腐涂装应满足下列要求:

(1) 波形钢腹板的现场涂装应在桥梁主体施工完成后及时进行;

(2) 波形钢腹板焊缝处的涂装修复应在清除焊接时烧蚀区域的涂装后, 涂刷富锌底漆, 中层和面层的涂装做法不变, 修复宽度以焊接施工时不破坏相邻涂层为准, 各层修复厚度应以原设计厚度的 120% 为准;

(3) 波形钢腹板涂装面可采用喷雾、刷涂或粘贴薄膜等方法进行保护, 混凝土浇筑时不得将水泥浆及混凝土粘附到涂层上;

(4) 涂装完成后, 波形钢腹板表面有光泽, 颜色均匀, 不应有露底、漏涂与涂层剥落、破裂、起泡、划伤等缺陷;

(5) 波形钢腹板涂装质量尚应符合现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 相关规定。

9.3 连接件施工

9.3.1 连接件固定前，应对连接件安装精度进行检查验收，固定后尚应检查连接件焊接质量及临时固定措施，保证混凝土浇筑振捣时不发生偏移。

9.3.2 栓钉连接件施工应满足下列规定：

- （1）栓钉连接件的材料、机械性能以及焊接要求符合现行《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定；
- （2）设置栓钉连接件的翼缘钢板应采取有效措施，保证焊接变形控制在规定范围内；
- （3）栓钉焊接过程中，翼缘板横向最大焊接变形不得超过 1mm，翼缘板纵向最大焊接变形 1m 范围内不得超过 1mm。
- （4）栓钉连接件施工必须在进行焊接工艺试验且各项试验数据检验合格后正式实施；
- （5）栓钉连接件表面可不进行处理，但应无锈蚀、氧化皮、油脂和毛刺等缺陷且杆部表面不允许有影响使用的裂缝；
- （6）钢构件运输、安装过程中不得触碰和损伤栓钉连接件；
- （7）连接部位的普通钢筋安装时，禁止弯折和割除栓钉，必要时可调整普通钢筋位置。

9.3.3 开孔钢板连接件施工应满足下列规定：

- （1）开孔钢板成型及翼缘板与开孔钢板焊接应在专业钢结构加工厂进行，加工后孔径偏差不得大于 1mm，孔位偏差不得大于 2mm，外形尺寸偏差不得大于 2mm；
- （2）贯穿钢筋材料进场后，应按钢筋材料进行进场检验验收，合格后方可使用；
- （3）对于不设承托的混凝土板贯穿钢筋可在模板安装完成后穿入贯穿钢筋，并利用普通钢筋进行精确定位；对于设置承托的混凝土板贯穿钢筋安装，可以先穿入贯穿钢筋，后安装模板，并利用普通钢筋进行精确定位；
- （4）贯穿钢筋至孔周边的距离不宜小于混凝土骨料最大粒径；
- （5）贯穿钢筋应居中于预留孔，安装偏差不应超过 5mm 且垂直于开孔板，并定位牢固。

9.3.4 型钢板连接件施工应满足下列规定：

(1) 型钢连接件包括角钢连接件和槽钢连接件等，安装前根据设计构造特点确定合理的安装顺序和工艺，安装过程中应避免型钢与普通钢筋位置发生冲突；

(2) 角钢连接件应在专业钢结构加工厂进行，严格按设计要求实施，孔径偏差不得大于 1mm，孔位偏差不得大于 2mm；

(3) 连接型钢安装应严格控制钢梁顶面高程，不得采用填塞焊形式调整连接件高程；

(4) 贯穿钢筋应居中于预留孔，安装偏差不应超过 5mm；

(5) 角钢连接件的 U 形钢筋与角钢的焊接连接应在现场完成。

9.3.4 埋入式连接件施工应满足下列规定：

(1) 埋入型连接件的接合钢筋与波形钢腹板的焊接连接应在工厂内完成，焊缝等级为二级；

(2) 在波形钢腹板与混凝土底板交接界面上应采取密封措施防水、防结露（如埋设止水带或嵌缝密封胶），并设置排水横坡；

(3) 埋入式连接件埋入混凝土部分无需涂装或只涂一层底漆即可。

9.3.5 连接件处混凝土施工应满足下列规定：

(1) 组合梁顶、底板与钢腹板之间采用开孔钢板连接件时，混凝土粗骨料宜采用 5mm~20mm 组合级配碎石，最大粒径不得超过 25mm；

(2) 采用栓钉连接件时，混凝土振捣时应避免振捣棒直接接触栓钉；

(3) 采用开孔钢板连接件的组合梁顶、底板混凝土应具有良好的工作性、和易性、流动性；混凝土振捣应选择较小功率和直径的插入式振动棒，振捣时应避免触碰连接件。浇筑混凝土应保证孔内及连接件周边混凝土浇筑密实，当钢筋布置密集难以振捣时，可采用自密实混凝土；

(4) 底板采用翼缘式连接件时，应在翼缘钢板上设孔用于混凝土振捣密实和排气，保证钢板下的混凝土浇筑密实，当采用外包式连接件时，应优化混凝土配合比，避免混凝土离析；

(5) 混凝土浇筑过程中应保证连接件周围的混凝土密实性。对竖直布置栓钉的部位宜采用平板式振捣器，对侧向布置栓钉的部位宜选用较小直径的插入式振捣棒，棒体距离栓钉端部应不小于 30mm，在保证振捣效果的前提下，避免触碰栓钉造成损坏；

(6) 混凝土原材料除应满足现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 对水泥、集料、水、外加剂、混合材料的具体要求外，尚应针对连接件构件对混凝土浇筑带来的影响，采取相应措施保证混凝土密实度、强度和耐久性；

(7) 连接件处混凝土宜保温保湿养护 7d 以上。

9.4 预应力施工

9.4.1 波形钢腹板组合桥梁的预应力施工除符合本规程要求外，应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的规定。

9.4.2 预应力筋张拉应符合设计规定。设计未规定时，应在混凝土达到设计强度的 90%、弹性模量达到 90%后进行，且混凝土的龄期不宜小于 7d。

9.4.3 纵向预应力筋应两端对称、左右同步张拉。张拉顺序应为先腹板再顶板后底板，从外向内左右对称进行。预施应力过程中应保持两端的伸长量差控制在 5% 以内。

9.4.4 体外索采用应力控制方法张拉时，以伸长值进行校核，实际伸长值与理论伸长值的差值必须符合设计要求。

条文说明：本条对纵向预应力的张拉顺序提出要求，设计无规定时，实际伸长值与理论伸长值的差值控制在 $\pm 6\%$ 以内，否则暂停张拉，待查明原因并采取措
施予以调整后，方可继续张拉到位。

第十章 施工方法

10.1 一般规定

10.1.1 中小跨径波形钢腹板组合桥梁施工可采用满堂支架、预制装配、顶推等方法施工。

10.1.2 大跨径波形钢腹板组合桥梁宜采用常规悬臂施工法及波形钢腹板自承重(RW)悬臂施工法,其节段划分长度宜为波形钢腹板波长的整数倍。

10.1.3 当采用波形钢腹板作为施工承重构件的工法施工时,应对波形钢腹板施工阶段的强度和稳定进行计算。

10.1.4 波形钢腹板组合桥梁施工及材料使用应满足现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的相关规定。

10.1.5 大跨径波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁桥悬臂施工应进行施工组织设计,并按规定经审批后实施。

10.1.6 大跨径波形钢腹板组合桥梁的施工应实施全过程控制,宜由具有相应资质的单位进行施工监控。

10.2 满堂支架施工

10.2.1 满堂支架施工采用的模板、支架应满足以下规定:

- (1) 模板、支架工程符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定;
- (2) 支架施工具备波形钢腹板就位、平面纠偏、高度调整、倾斜度控制的设施;波形钢腹板外侧设一定刚度的靠架,在波形钢腹板内侧设可调拉杆;
- (3) 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁的现浇可使用满布支架或梁式支架,满布支架宜采用碗扣式、轮扣式、门式或扣件式等钢管材料,波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁支架宜采用型钢、钢管和贝雷桁片等材料;
- (4) 支架本身具有足够的强度、刚度和稳定性,以及具有足够的纵、横、斜三个方面的连接杆件来保证支架的整体性能,构件应力安全系数应不小于 1.3,稳定安全系数应大于 1.5。对高度超过 8m 的支架,应对其稳定性进行专项安全论证,确认无误后方可施工;
- (5) 支架的弹性、非弹性变形及基础下沉产生的变形应满足施工后梁体设计标高的要求;

10.2.2 支架应预留施工预拱度，在确定施工预拱度值时，应考虑下列因素：

- (1) 支架承受施工荷载时的弹性变形；
- (2) 超静定结构由于混凝土收缩、徐变及温度变化引起的挠度；
- (3) 加载后由于构件接头挤压和卸落设备压缩所产生的非弹性变形挤压值；
- (4) 由于恒载及活载作用结构所产生的挠度；
- (5) 由于支架基础下沉而产生的变形。。

10.2.3 混凝土浇筑应满足以下规定：

(1) 混凝土浇筑及养护应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的相关规定；

(2) 混凝土顶、底板的现浇，一般应先浇跨中区再浇墩顶区，以免沉降对梁体的影响；

(3) 整体浇筑时应采取措施，防止梁体不均匀下沉产生裂缝，若地基下沉可能造成梁体混凝土产生裂缝时，应分段浇筑。

10.2.4 波形钢腹板施工应满足下列规定：

(1) 波形钢腹板现场施工应符合本规范 9.2 节相关规定；

(2) 波形钢腹板的安装在底板钢筋绑扎后、顶板钢筋绑扎前实施，波形钢腹板宜分段安装，分段长度视吊装能力与波形钢腹板阶段刚度定，安装顺序宜从一端向另一端顺序安装，并及时纠偏焊接，以免误差累积。

10.3 悬臂现浇施工

10.3.1 施工前应根据波形钢腹板组合桥梁结构特点和受力特性确定施工工序和工艺，确保施工期结构受力安全。

10.3.2 波形钢腹板组合桥梁采用悬臂施工法施工时，其节段划分长度宜为波形钢腹板波长的整数倍。

10.3.3 悬臂现浇施工采用的挂篮除应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的规定外，还应满足以下规定：

(1) 挂篮结构尺寸应满足波形钢腹板吊装空间要求，如采用挂篮进行波形钢腹板吊装和安装时，可在挂篮上部平杆上设置曲线滑道和电葫芦装置；

(2) 挂篮悬臂施工时，应考虑锚固件对混凝土和波形钢腹板产生的不利影响。

10.3.4 波形钢腹板施工应满足以下规定：

- (1) 悬臂浇筑施工时波形钢腹板的施工应满足本规程第 9.2 节中的相关规定；
- (2) 为保证 0#块波形钢腹板首次定位安装精度，应在墩顶中横梁处预埋劲性骨架或采用其它可靠措施。

10.3.5 混凝土浇筑应满足现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定，波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁悬臂浇筑施工法实测项目见表 10.3.1，误差应在允许范围内。

表 10.3.1 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁悬臂浇筑施工实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 检测
2	轴线偏位 (mm)	L≤100m	10	全站仪或经纬仪：每个节段检查 2 处
		L>100m	L/10000	
3	顶面高程 (mm)	L≤100m	±20	水准仪：每个节段检查 2 处
		L>100m	±L/5000	
		相邻节段高差	10	尺量：检查 3~5 处
4	截面尺寸 (mm)	高度	+5, -10	尺量：每个节段检查 1 个截面
		顶宽	±30	
		底宽	±20	
		顶底板厚	+10,-0	
5	合龙后同跨对称点高程差 (mm)	L≤100m	20	水准仪：每跨检查 5~7 处
		L>100m	L/5000	
6	横坡 (%)	±0.15		水准仪：每节检查 1~2 处
7	平整度 (mm)	8		2m 直尺：检查竖直、水平方向，每侧面每 10m 梁长测一处
注：L为梁跨径。				

10.3.6 预应力筋施工除应满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定外，还应满足以下规定：

- (1) 体外索进场时应分批验收，对质量证明书、包装、标志和规格等进行检查；
- (2) 预应力筋张拉应符合设计规定。设计未规定时，应在混凝土达到设计强度的 90%、弹性模量达到 90%后进行，且混凝土的龄期不宜小于 7d；
- (3) 预应力筋张拉顺序应符合设计要求。当设计无具体要求时，应按先纵向、后横向的顺序进行预应力筋张拉；
- (4) 纵向预应力筋应两端对称、左右同步张拉，预施应力过程中应保持两端的

伸长量基本一致。

10.3.7 合龙段施工除应满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定外,还应满足以下规定:

- (1) 合龙段施工前,应制定专项施工技术方案,经评审通过后方可实施;
- (2) 浇筑前各悬臂端应附加配重,保证合龙段施工时混凝土始终处于稳定状态。可采用水箱配重,浇注过程中分级放水卸载;
- (3) 应力跟踪测量应对梁体主要截面应力观测值与理论值进行比较,研究体系转换过程中的应力变化,分析其他因素对箱梁的影响。

10.3.8 施工期变形控制应满足以下规定:

- (1) 波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥采用悬臂浇筑施工时,在施工全过程应对每一施工节段的轴线、高程及预拱度等,进行严格监测和控制;
- (2) 波形钢腹板制作前,应按照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)确定施工预拱度,波形钢腹板的加工需考虑施工预拱度的影响;
- (3) 悬臂浇筑施工前,应根据结构设计参数和每一节段计划施工进度、施工时环境温度、混凝土龄期、所用挂篮的结构类型及重量等施工技术参数,进行悬臂浇筑节段施工预拱度计算,作为每一节段立模标高计算依据和全桥桥梁线形控制依据;
- (4) 在每一节段悬臂浇筑施工过程中,应监测挂篮行走前后、混凝土浇筑前后和预应力筋张拉等工况时的标高(挠度)变化情况,与理论计算值进行比较分析,合理调整下一施工节段的立模标高;
- (5) 挂篮立模标高调整后,相邻节段接缝应连接严密。当与前端标高偏差较大时,应逐步调整,保证梁体线形平顺;
- (6) 悬臂节段轴线、高程测量监控工作,应重视气温变化的影响。轴线、高程测量工作宜在早晨日出前的固定时段进行,避免由于梁体变形与气温变化不同步(变形滞后约 2~3h)影响测量结果评估。当悬臂端较长时,宜组合进行 48 小时高程随气温变化情况观测。

10.4 预制吊装施工

10.4.1 模板系统设计及安装应满足以下规定:

- (1) 模板系统设计应考虑模板使用的通用性及模板周转性;

(2) 模板在出厂前应进行拼装验收，合格后方可使用；

(3) 预制梁浇筑前，应对模板系统空间位置和安装质量进行验收，验收合格后方可使用。

10.4.2 预制梁的制作应满足以下规定：

(1) 波形钢腹板组合梁钢筋笼制作施工前，应针对部分入模及整体入模两种方式的优缺点进行权衡，选择合适的钢筋笼成型及入模方案；

(2) 钢筋、模板及预应力的施工应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的有关规定；

(3) 对大型波形钢腹板预应力混凝土组合梁的预制场布置、预制和存放台座的设置，应进行专门的荷载计算并进行专项设计，经审批后方可实施。

10.4.3 预制波形钢腹板组合梁钢筋笼制作应满足以下规定：

(1) 混凝土顶底板钢筋笼的制作应在专用胎架上完成，制作前应合理确定钢筋绑扎顺序；

(2) 钢筋笼若采用整体入模方式，需有专用区域或胎架用以顶底板钢筋笼与波形钢腹板的组合，该胎架除应与顶底板钢筋笼绑扎胎架综合考虑设置，还需具备波形钢腹板初定位功能；

(3) 混凝土顶底板内预应力管道应具有足够的强度和刚度，且应按要求布置定位钢筋，使其在混凝土浇筑完成后能保持原有形状；

(4) 顶底板钢筋绑扎时，还需兼顾各种预埋件、钢混连接件的布置，避免发生冲突。

10.4.4 预制波形钢腹板组合梁钢筋笼吊装入模应满足以下规定：

(1) 采用部分入模时，顶底板钢筋笼、波形钢腹板均应设置吊点，宜采用多点起吊；

(2) 采用整体入模时，需对左右两道波形钢腹板进行加固，并在顶底板钢筋笼内设置多个吊点，起吊时宜将波形钢腹板夹持在中间，且尽量避免钢筋笼与波形钢腹板之间的临时焊接；

(3) 需在整体钢筋笼入模后采取合理的措施控制顶板钢筋笼入模后的变形。

10.4.5 混凝土浇筑施工应满足以下规定：

(1) 混凝土浇筑前，应对预制模板内表面进行打磨清理，然后在匹配面及模板

表面均匀涂刷对混凝土无害并便于清洗的水性脱模剂；

(2) 混凝土浇筑前，还需检查波形钢腹板、预应力管道、体外束转向器、其他预留孔的定位情况；

在浇筑上翼缘板混凝土之前，应清除翼缘板与混凝土连接表面铁锈、焊渣、泥土和其他杂物；

(3) 浇筑过程中应严格控制混凝土坍落度，且混凝土的浇筑时间不应超过混凝土的初凝时间。

10.4.6 波形钢腹板预应力混凝土预制组合梁的运输与保存可参考《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的有关规定。

10.4.7 预制梁的现场安装除应满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定外，还应满足以下规定：

(1) 波形钢腹板预应力混凝土组合梁就位后，应及时设置保险垛或支撑，将梁固定并用钢板与先安装好的梁体预埋横向联结钢板焊接，防止倾倒，待全孔安装完毕后，再按设计规定使全孔梁、板整体化。梁、板就位后应按设计要求及时浇筑接头混凝土；

(2) 波形钢腹板预应力混凝土斜、弯预制梁的安装，必须对预应力混凝土梁在吊装时的弯曲应力进行验算；

(3) 对于整孔安装的大型波形钢腹板预应力混凝土预制组合梁，运输、安装时必须配备足够吨位的起吊运输设备，如对梁体有先简支后连续的设计要求时，安装时应设临时支座，且临时支座必须预压到 1.0 倍以上的设计荷载；支座体系转换必须符合设计规定，以防止在转换过程中造成梁体开裂；

(4) 装配式波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁安装施工过程中，应经常对构件混凝土进行裂缝观测，若发现裂缝超过规定或有继续发展的趋势时，应及时分析和查明原因，采取有效措施；

(5) 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁预制吊装法施工允许误差见表 10.4.1。

表 10.4.1 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁预制吊装法施工安装允许误差

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 检测

2	梁长度 (mm)			+5, -10	尺量: 每梁
3	宽度 (mm)	干接缝 (梁翼缘、板)		±10	尺量: 检查 3 处
		湿接缝 (梁翼缘、板)		±20	
		箱梁	顶宽	±30	
			底宽	±20	
4	高度 (mm)	梁、板		±5	尺量: 检查 3 个截面
		箱梁		+5, -0	
5	截面尺寸 (mm)	顶板厚		+5, -0	尺量: 检查 3 截面
		底板厚			
		腹板或梁肋			
6	平整度 (mm)			5	2m 直尺: 每侧面每 10m 梁长测 1 处
7	横系梁及预埋件位置 (mm)			5	尺量: 每件

10.5 顶推施工

10.5.1 选择梁段预制场地时, 除应考虑 10.4.2 条有关规定执行外, 还应注意下列事项:

(1) 预制场地应设在桥台后面桥轴线的引道或引桥上, 当为多联顶推时, 为加速施工进度, 可在桥两端均设预制场地, 从两端相对顶推;

(2) 预制场地的长度应考虑梁段悬出反压段的长度、梁段底板与顶板预制长度、导梁拼装长度和机具设备材料进入预制作业线的长度; 预制场地的宽度应考虑梁段两侧施工作业的需要;

(3) 预制场地上空宜搭设固定或活动的作业棚, 其长度宜大于 2 倍预制梁段长度, 使梁段作业不受天气影响, 并便于混凝土养护;

(4) 在桥端路基上或引桥上设置台座时, 其地基或引桥的强度、刚度和稳定性应符合设计要求, 并应做好台座地基的防水、排水措施, 以防沉陷。在荷载作用下, 台座顶面变形不应大于 2mm;

(5) 预制场内在台座后方, 应设置波形钢腹板起吊安装台移动式门吊, 便于调整安装波形钢腹板。

10.5.2 梁段预制及养护应满足以下规定:

(1) 模板宜采用钢模板, 底模与底架联成一体并可升降, 底模两侧应设置波形钢腹板调整就位的靠架系统, 内模板采用在可移动的台车上加上安装的升降旋转整体模板。模板应保证刚度, 制作精度应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T

F50)的规定；

(2) 波形钢腹板现场施工应按本规范 9.2 节相关规定执行；

(3) 钢筋工作和预应力管道安装除应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的规定外，还应注意顶底板钢筋加工时与波形钢腹板连接件的匹配。横桥向任一相邻钢筋间距偏差应小于 3mm，每 10 个间距总和，偏差不应超过 5mm；

(4) 应根据环境温度、水泥品种、外加剂、施工进度要求以及对混凝土性能的要求，提出养护方案，总体养护时间不宜少于 14d，对梁段外立面混凝土宜采用喷湿或其他适宜的方式进行养护。

10.5.3 梁段混凝土浇筑应符合本规范 10.4.5 条中相关规定。

条文说明：一般而言，梁段模板、钢筋、预应力管道、波形钢腹板、滑道、预埋件等应经检查签认后方可浇筑混凝土。

10.5.4 梁段施加预应力应符合以下规定：

(1) 梁段预应力束的施工除应按照设计规定执行外，其施工的技术要求还应满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)有关规定；

(2) 在桥梁顶推就位后需要拆除的临时预应力束，张拉后不应灌浆，锚具外露多余预应力钢材不必切除；

(3) 梁段间需连接的永久预应力束，应在两梁段间留出适当空间，用预应力束连接器连接，张拉后用混凝土填塞。

10.5.5 梁体顶推方法及装置应满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的相关规定。

10.5.6 顶推施工过程中应注意以下项目：

(1) 墩台和临时墩承受竖直荷载和水平推力所产生的竖直、水平位移；

(2) 桥梁顶推过程中，主梁和导梁控制截面的挠度和轴线偏移；

(3) 桥梁顶推过程中，波形钢腹板的应力变化；

(4) 滑动装置的静摩擦系数和动摩擦系数；

(5) 观测的结果应随时记录、整理，如超过设计规定限值，应分析原因，采取措施纠正。

10.6 RW 悬臂施工

10.6.1 采用 RW 悬臂施工应满足的基本规定：

(1) 施工前针对施工过程建立实体有限元模型进行全过程受力及稳定性分析，必要时可对波形钢腹板上翼缘板荷载作用部位进行加强，确保施工期关键受力部位安全性。

(2) RW 悬臂施工应在波形钢腹板安装检验合格后方可进行行走系统的安装、行走和悬臂施工作业。

(3) 波形钢腹板宜采用常规起重设备或专用吊架进行吊装和定位。

(4) 波形钢腹板与顶板的连接件宜采用双开孔钢板连接件进行连接。

(5) 上下翼缘板的焊接应采用全熔透对接焊，以确保 RW 悬臂施工期相邻波形钢腹板连接部位受力安全。

10.6.2 采用 RW 悬臂施工时，尚应满足下列规定：

(1) 在充分考虑承重系统、吊挂提升系统、行走系统、模板系统的整体设计基础上，避免相互干扰；

(2) 主承重梁利用波形钢腹板，应在波形钢腹板间设置临时支撑，确保波形钢腹板的纵向及横向刚度；

(3) 悬吊形式采用吊杆或吊带；

(4) 行走系统前、后支点一般应支承在波形钢腹板上翼缘板及开孔钢板之间，并宜设置减少挂篮前移阻力的装置；

(5) 模板设计应充分考虑错位同时施工的要求。

10.6.3 RW 悬臂施工浇筑标准节段应分为 N-1 段顶板、N 段底板、N+1 段波形钢腹板三个独立施工面。一般施工流程是：

(1) N 节段挂篮就位；

(2) N-1 节段顶板钢筋施工；N 节段底板钢筋施工；N+1 节段波形钢腹板安装、连接；

(3) N-1 节段顶板混凝土浇筑、养护、脱模；N 节段底板混凝土浇筑、养护、脱模、混凝土连接面凿毛处理；

(4) N-1 节段预应力筋张拉，挂篮前移；

(5) 如此往复进行下一个悬臂节段施工。

10.6.4 RW 悬臂施工采用的行走系统应符合以下规定：

-
- (1) 采用 RW 悬臂施工的行走系统应进行专项设计，满足施工整体性能要求；
 - (2) 行走装置应利用上翼缘开孔板连接件构造特点进行临时固定；
 - (3) 行走系统前移时，除满足上述要求外，承重钢腹板间必须设置临时横撑，确保行走安全；
 - (4) RW 悬臂施工期间，波形钢腹板之间的临时横撑形式宜采用桁架式，且应在上下两端各布置一道；
 - (5) 在拆除行走系统及模板时，应按照安装顺序倒置进行。

条文说明：主承重梁利用波形钢腹板，应在波形钢腹板间设置临时支撑，确保波形钢腹板的纵向及横向刚度等。

10.6.5 混凝土浇筑应满足以下规定：

- (1) 波形钢腹板组合梁顶、底板混凝土浇筑应符合设计要求及《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)相关规定；
- (2) 采用 RW 悬臂施工时，混凝土浇筑前应测量波形钢腹板的垂直度，以防混凝土浇筑时引起较大的腹板侧向变形。

10.6.6 施工期变形控制应满足以下规定：

- (1) 采用 RW 悬臂施工时，除需满足 10.3.8 条相关规定外，尚应重点关注挂篮荷载及浇筑混凝土底板时对结构线形的影响；
- (2) 采用 RW 悬臂施工时，波形钢腹板定位应考虑施工过程中各阶段变形的累计值。

第十一章 施工质量验收评定标准

11.1 一般规定

波形钢腹板组合桥梁施工过程中，工程质量和质量评定验收应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）、《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80-1）、《组合结构桥梁用波形钢腹板》（JT/T 784）、《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205）等规定，机械设备、试验及监测仪器等也应符合现行有关标准的规定。

11.2 波形钢腹板安装质量验收标准

11.2.1 波形钢腹板采用的钢材和焊接材料的品种、规格、化学成分及力学性能必须符合设计和有关技术规范的要求，具有完整的出厂质量合格证明，并经制作厂家和监理工程师复检合格后方可使用。

11.2.2 波形钢腹板节段制作实测项目应符合表 11.2.1 规定。

表 11.2.1 波形钢腹板节段制作实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	权值
1Δ	节段长	(mm)	±3	尺量，2 点	2
2Δ	波形钢腹板高	(mm)	±2	尺量，2 点	2
3	波高	(mm)	±3	尺量，3 点	1
4	平面挠曲量	(mm)	±3	尺量，2 点	1
5	翼缘板宽及开孔 锚固板高	(mm)	±2	尺量，4 点	1
6	腹板高方向平整度	(mm)	±H/750	尺量，3 点	1
7	翼缘板平整度	(mm)	±L/1000	尺量，上下各 2 点	1
8	翼缘板垂直度	(mm)	±b/200	尺量，上下各 2 点	1
9	波长	(mm)	±3	尺量，2 点	1

11.2.3 外观检定要求：

（1）波形钢腹板的内外表面不得有凹陷、划痕、焊疤、电弧擦伤等缺陷，边缘应无毛刺。

(2) 焊缝均应平滑，无裂纹、未溶合、夹渣、未填满弧坑、焊瘤等外观缺陷，预焊件的装焊应符合设计要求。

11.3 波形钢腹板涂装质量验收标准

11.3.1 防锈涂装的材料的品种、规格、技术性能指标必须符合设计和技术规范要求，具有完整的出厂质量合格证明书，并经防护涂装施工单位和监理工程师复检合格后方可使用。

11.3.2 波形钢腹板防护涂装主要实测项目如表 11.3.1 所示。

表 11.3.1 波形钢腹板防护涂装实测项目

序号	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	备注
1Δ	除锈清洁度		符合设计规定，设计未规定时内表面取 Sa2.5，外表面取 Sa3。	比照板目测：100%	3
2Δ	粗糙度 μm	外表面	70~100	按设计规定检查，设计未规定时，用粗糙度仪检查，每段检查 6 点，取平均值。	2
		内表面	40~80		
3	总干膜厚度 μm		符合设计要求	漆膜测厚仪检查	1
4	附着力 MPa		符合设计要求	划格或拉力试验：按设计规定频率检查。	1

11.3.3 外观检定要求：

涂层表面完整光洁，均匀一致，无破损，气泡、裂纹、针孔、凹陷、麻点、挂流和皱皮等缺陷。

11.4 连接件质量评定标准

11.4.1 连接件在运输、安装过程中应采取可靠措施防止构件变形、碰撞或损坏漆面。

11.4.2 连接件质量评定主要实测项目如表 11.4.1 所示。

表 11.4.1 连接件实测项目

项次	项目	规定值或允许偏差	检验方法和频率	权值
1	开孔板孔位偏差(mm)	±2	尺量：每段检查2点	1
2Δ	开孔板孔径偏差(mm)	±2	尺量：每段检查4点	2

3	焊钉位置偏差(mm)		±2	尺量：每段检查4点	1
4Δ	连接	焊缝尺寸	符合设计要求	量规：检查全部	2
		焊缝探伤		超声：检查全部	3
		高强螺栓扭矩	±10%	测力扳手：检查5%，且不少于2个	

11.4.3 外观检定要求：

无碰伤或擦痕，焊缝均应平滑，无裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、焊瘤等外观缺陷。

征求意见稿