

ICS 93.080

P66

备案号:

DB32

江苏省地方标准

DB 32/ T XXXX—XXXX

波形钢腹板组合结构桥梁设计与施工规范

Design and Construction Code of Prestressed Concrete Composite Bridges with
Corrugated Steel Webs

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

江苏省质量技术监督局 发布

目 次

前言 V

1 总则 1

 1.1 一般规定 1

 1.2 设计部分 1

 1.3 施工部分 1

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 材料 5

 4.1 基本要求 5

 4.2 混凝土 5

 4.3 普通钢筋与预应力筋 5

 4.4 钢材 5

5 基本设计规定 6

6 总体构造设计 6

 6.1 主梁 6

 6.2 波形钢腹板 7

 6.3 连接件 8

 6.4 横隔板 9

 6.5 波形钢腹板与横隔板的连接 9

 6.6 内衬混凝土 9

 6.7 预应力体系 9

 6.8 转向块与转向器 10

 6.9 耐久性措施 10

7 整体设计 10

 7.1 一般规定 10

 7.2 持久状况承载能力极限状态计算 11

 7.3 持久状况正常使用极限状态计算 12

8 横向设计 13

 8.1 横向抗弯设计 13

 8.2 桥面板纵向抗剪设计 14

9 波形钢腹板设计 15

 9.1 一般规定 15

 9.2 波形钢腹板设计 15

 9.3 波形钢腹板之间的连接计算 17

9.4	波形钢腹板与翼缘板的焊接计算	18
9.5	内衬混凝土的验算	19
10	连接件设计	20
10.1	一般规定	20
10.2	连接件抗剪承载力计算	20
10.3	连接件抗角隅弯矩计算	23
11	波形钢腹板制作	25
11.1	一般规定	25
11.2	切割与制孔	25
11.3	边缘加工和矫正	26
11.4	波形钢腹板的成型	26
11.5	预处理、组拼与连接	27
11.6	波形钢腹板工厂涂装	27
12	波形钢腹板现场施工	28
12.1	一般规定	28
12.2	波形钢腹板的运输与保存	29
12.3	波形钢腹板的安装与定位	29
12.4	波形钢腹板焊接连接	30
12.5	波形钢腹板安装焊缝处的防腐处理	31
12.6	波形钢腹板高强度螺栓连接	31
12.7	波形钢腹板现场涂装	31
12.8	栓钉连接件施工	32
12.9	开孔钢板连接件的施工	32
12.10	嵌入型连接件的施工	33
12.11	角钢连接件的施工	33
12.12	波形钢腹板竣工验收质量标准	33
13	满堂支架施工方法	33
13.1	适用范围	33
13.2	基本要求	34
13.3	模板、支架工程	34
13.4	波形钢腹板施工	34
13.5	混凝土浇筑	34
13.6	预应力筋施工	34
13.7	施工质量要求	34
14	预制吊装施工方法	35
14.1	适用范围	35
14.2	基本要求	35
14.3	预制梁的制作	36
14.4	预制梁的运输与保存	36
14.5	预制梁的现场安装	36

14.6 施工质量要求 36

15 悬臂现浇施工方法 36

15.1 适用范围 36

15.2 基本要求 37

15.3 挂篮 37

15.4 波形钢腹板施工 37

15.5 混凝土浇筑 38

15.6 预应力筋施工 38

15.7 合龙段施工 38

15.8 支座安装 39

15.9 施工质量要求 39

16 顶推施工方法 39

16.1 适用范围 39

16.2 基本要求 40

16.3 预制场地 40

16.4 顶推导梁 41

16.5 梁段预制及养护 41

16.6 梁段施加预应力 41

16.7 梁体顶推方法及装置 42

16.8 施工质量要求 42

本规范用词说明 43

附录 A 国内代表性波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁实例 45

前 言

本标准按GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定编写。

本标准由江苏省交通运输厅提出并归口。

本标准主要起草单位：苏交科集团股份有限公司、东南大学

本标准参与起草单位：南京重大路桥建设指挥部、南京市公路建设处、南京工业大学、中交第二公路工程局有限公司

本标准主要起草人：张建东、万水、刘朵、王乔、邓文琴、李勇、章登精、陈玉良、杜亚江、张元文、武加恒、蔡周利

波形钢腹板组合结构桥梁设计与施工规范

1 总则

1.1 一般规定

1.1.1 本规范适用于我省公路、城市波形钢腹板组合结构桥梁的设计与施工。铁路、水利、建筑等行业用波形钢腹板构造物可参照执行。

1.1.2 波形钢腹板组合结构桥梁的设计与施工除应符合本规范的规定外，尚应符合现行国家和行业有关标准的规定。

1.1.3 除常规梁式桥外，其它结构类型的波形钢腹板组合结构桥梁在进行结构分析、设计、施工之前，宜进行必要的试验和研究，以确定相关设计方法和施工工艺。

1.2 设计部分

1.2.1 本规范按照国家标准 GB/T 50283、GB 50153 规定的设计原则制定。

1.2.2 本标准采用的设计基准期为 100 年。

1.2.3 波形钢腹板组合结构桥梁应进行以下两类极限状态设计：

- a) 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；
- b) 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。

1.2.4 波形钢腹板组合结构桥梁应根据不同种类的作用（或荷载）及其对桥梁的影响、桥梁所处的环境条件，考虑以下三种设计状况，并进行相应的极限状态设计：

- a) 持久状况：桥梁建成后承受自重、汽车荷载等持续时间很长的状况。该状况下波形钢腹板组合结构桥梁应作承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
- b) 短暂状况：桥梁施工过程中承受临时性作用（或荷载）的状况。该状况下波形钢腹板组合结构桥梁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。
- c) 偶然状况：在桥梁使用过程中偶然出现的状况。该状况波形钢腹板组合结构桥梁只作承载能力极限状态设计。

1.2.5 按持久状况承载能力极限状态设计时，桥梁结构的设计安全等级的划分应符合 JTG D60 或 CJJ 11 的规定。

1.2.6 波形钢腹板组合结构桥梁应根据其所处环境条件和设计使用年限要求进行耐久性设计且应符合现行国家标准及行业标准的有关规定。

1.3 施工部分

1.3.1 波形钢腹板组合结构桥梁施工中，材料和工程质量应符合 JTG F80-1 和 JTG/T F50 的要求，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。

1.3.2 波形钢腹板成型、制造、涂装、试验、检验等技术要求应符合 JT/T 784 的规定。

1.3.3 对特殊大跨径波形钢腹板组合结构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监控。

2 规范性引用文件

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

GB/T 700	碳素结构钢
GB/T 714	桥梁用结构钢
GB/T 1228	钢结构用高强度大六角头螺栓
GB/T 1229	钢结构用高强度大六角螺母
GB/T 1230	钢结构用高强度垫圈
GB/T 1231	钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
GB/T 1591	低合金高强度结构钢
GB/T 3632	钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副
GB/T 3633	钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件
GB/T 10433	电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
GB/T 14370	预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 18593	熔融结合环氧粉末涂料的防腐蚀涂装
GB 50017	钢结构设计规范
GB 50153	工程结构可靠性设计统一标准
GB 50205	钢结构工程施工质量验收规范
GB/T 50283	公路工程结构可靠度设计统一标准
GB/T 50917	钢-混凝土组合桥梁设计规范
CJJ 11	城市桥梁设计规范
CJJ 166	城市桥梁抗震设计规范
JGJ 81	建筑钢结构焊接技术规程
JGJ 92	无粘结预应力混凝土结构技术规程
JTG B01	公路工程技术标准
JTG/T B02-01	公路桥梁抗震设计细则
JTG D60	公路桥涵设计通用规范
JTG/T D60-01	公路桥梁抗风设计规范
JTG D62	公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG/T F50	公路桥涵施工技术规范
JTG F80-1	公路工程质量检验评定标准
JT/T 722	公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JT/T 784	组合结构桥梁用波形钢腹板
TB 10212	铁路钢桥制造规范
TB/T 1527	铁路钢桥保护涂装

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 波形钢板 Corrugated steel web

被加工成波纹形状的结构用钢板（图1）。

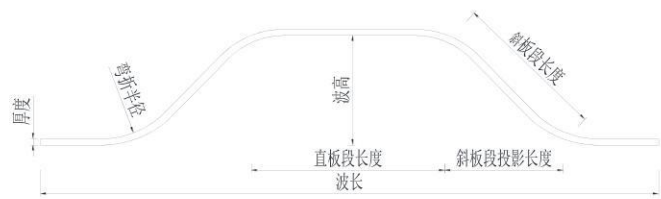


图 1 波形钢板形状示意图

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

采用波形钢板作腹板并通过连接件使混凝土顶、底板与波形钢腹板共同受力的钢—混凝土组合梁（图2）。

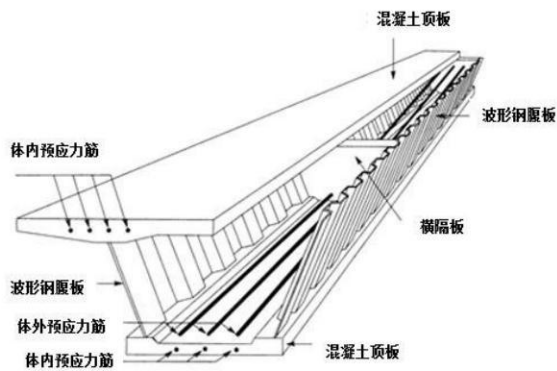


图 2 波形钢腹板预应力混凝土组合梁示意图

3.3 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（图3-a）。

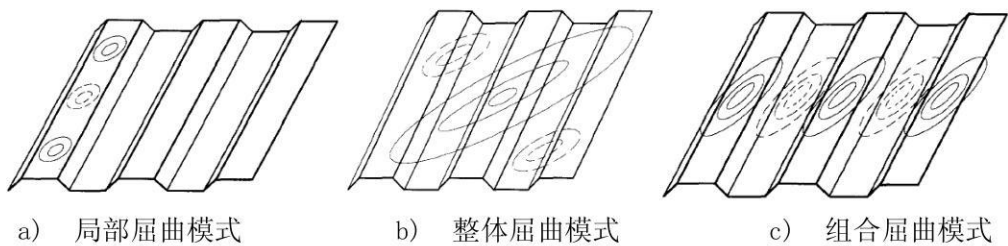


图 3 波形钢腹板屈曲示意图

3.4 整体屈曲 Global buckling

波形钢腹板整体的屈曲（图3-b）。

3.5 组合屈曲 Combined buckling

局部屈曲与整体屈曲复合形成的屈曲形式（图3-c）。

3.6 角隅弯矩 Corner moment

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

3.7 连接件 Shear connector

使混凝土与波形钢腹板共同受力的构造部分(图4)。

3.8 嵌入型连接件 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(图4-a)。

3.9 翼缘型连接件 Flange shear connector

在波形钢腹板上下端焊接翼缘板，再在其上安装栓钉、销孔角钢或开孔板混凝土销等，使混凝土与波形钢腹板共同受力的连接件。

3.10 双开孔钢板连接件 Twin PBL shear connector

属于翼缘型连接件的一种，通过两块开孔钢板与孔内横向贯穿钢筋使混凝土与波形钢腹板共同受力的连接件(图4-b)。

3.11 单开孔钢板+栓钉连接件 Single PBL and studs shear connector

属于翼缘型连接件的一种，通过开孔钢板与栓钉连接件使混凝土与波形钢腹板共同受力的连接件(图4-c)。

3.12 角钢连接件 Angle plate shear connector

属于翼缘型连接件的一种，通过焊接在钢翼缘板上的角钢、U形钢筋、纵向贯穿钢筋使混凝土与波形钢腹板共同受力的连接件(图4-d)。

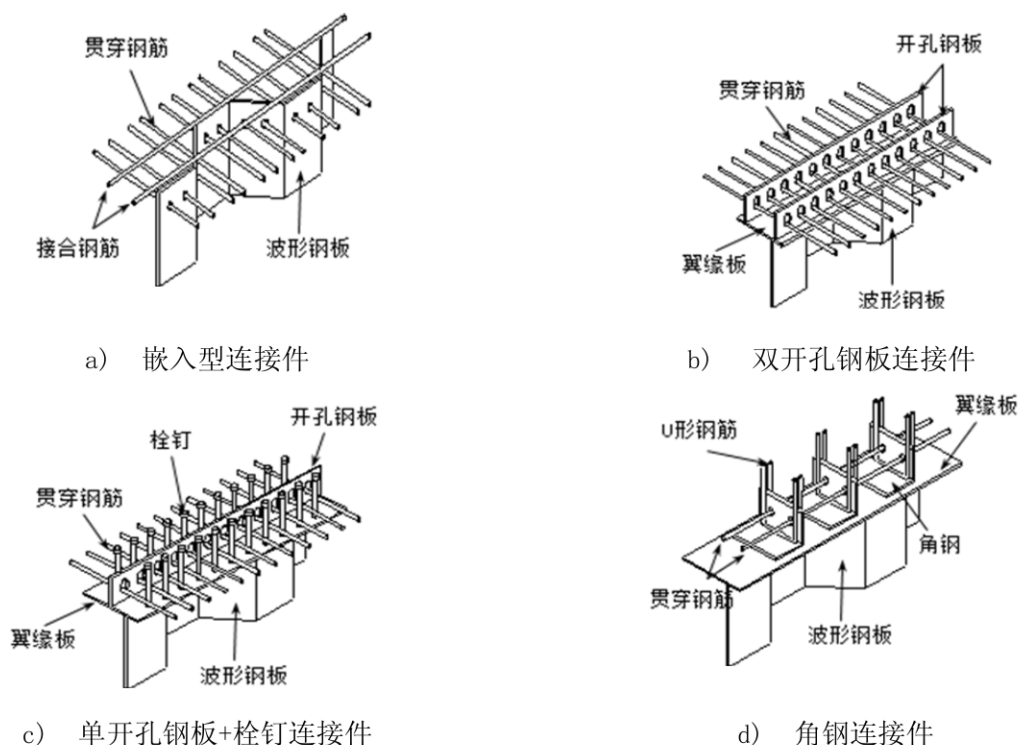


图4 波形钢腹板与混凝土顶、底板常用的连接方式

3.13 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形成的圆柱体与横向贯穿钢筋共同起作用而形成的抗剪连接件。

3.14 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。

3.15 转向块 Deviation block

用于体外预应力筋集中弯转(上、下弯和平弯)的钢筋混凝土构件。

3.16 转向器 Deviator

用于体外预应力筋集中弯转(上、下弯和平弯)的器件。

3.17 内衬混凝土 Lining concrete

波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁在墩顶附近一定范围内,在波形钢腹板内侧设置的混凝土。

3.18 组合腹板段 Girders with composite webs

设置内衬混凝土的梁段。

4 材料

4.1 基本要求

波形钢腹板组合结构桥梁中所使用的材料性能应符合现行的国家标准和行业标准。

4.2 混凝土

4.2.1 混凝土的材料参数应按 JTG D62 的有关规定执行。

4.2.2 波形钢腹板组合结构桥梁上部结构的混凝土强度等级不应低于 C40。

4.3 普通钢筋与预应力筋

波形钢腹板组合结构桥梁所用的普通钢筋与预应力筋应按 JTG D62 的规定采用。

4.4 钢材

4.4.1 结构钢材要满足强度、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。

4.4.2 波形钢腹板组合结构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。

4.4.3 波形钢腹板及其连接件焊接材料的选用应与主体钢材相匹配。

4.4.4 焊缝强度设计值应按 GB 50017 规定执行。

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

4.4.6 栓钉连接件的材料应符合 GB/T 10433 的规定。

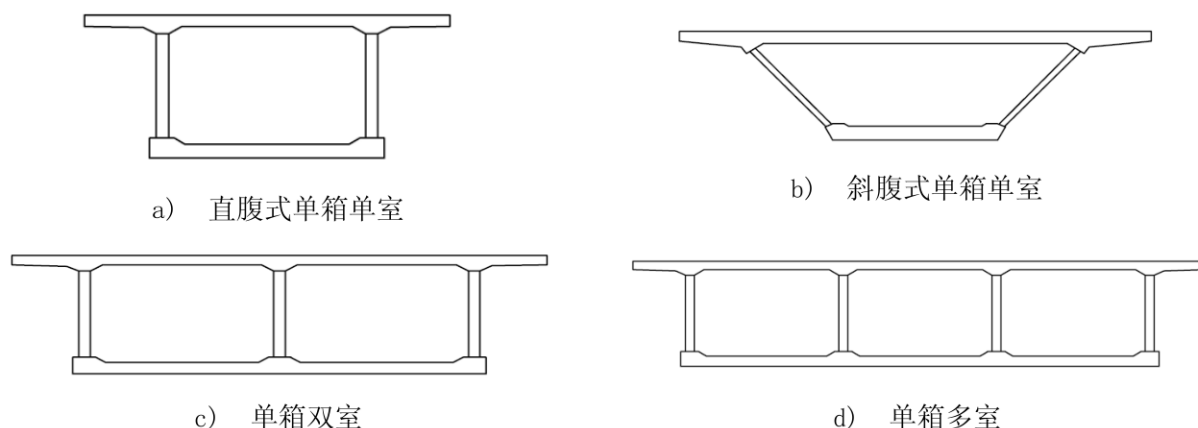
5 基本设计规定

- 5.1.1 波形钢腹板组合结构桥梁设计方法可参考普通预应力混凝土桥梁规范 JTJ D60 设计。波形钢腹板、连接件、体外预应力及细部构造设计应符合本规范的规定。
- 5.1.2 波形钢腹板预应力混凝土组合梁可用于梁桥、斜拉桥、悬索桥等结构体系。
- 5.1.3 波形钢腹板组合结构桥梁设计中采用的作用及作用效应组合应按 JTJ D60 或 CJJ 11 执行。
- 5.1.4 弯桥在采用波形钢腹板预应力混凝土组合梁时，应对其抗扭性能进行验算，保证其抗扭承载力符合设计要求。
- 5.1.5 当弯桥和独墩桥采用波形钢腹板预应力混凝土组合梁时，应进行上部结构抗倾覆计算，同时在作用效应的标准组合下，单向受压支座不应处于脱空状态。
- 5.1.6 对于扭矩较大的斜、弯、宽波形钢腹板组合结构桥梁，应根据 JTJ D62 的规定进行箱梁顶、底板的斜截面抗裂验算，验算箱梁顶、底板斜截面主拉应力时应计入扭转剪应力的作用，扭转剪应力应采用作用效应的标准组合。
- 5.1.7 波形钢腹板预应力混凝土组合梁及其桥面板应符合 JTJ D62 的构造规定。
- 5.1.8 当采用波形钢腹板作为施工承重件进行施工时，应对波形钢腹板施工阶段的强度和稳定进行验算。
- 5.1.9 大跨径波形钢腹板组合结构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。
- 5.1.10 波形钢腹板组合结构桥梁的抗震设计应依据 JTJ/T B02-01 或 CJJ 166 等相关规范进行。
- 5.1.11 大跨径波形钢腹板组合结构桥梁采用减隔震设计时，减隔震装置的构造宜简单并考虑减隔震系统的可维修性、可更换性。
- 5.1.12 波形钢腹板组合结构桥梁的抗风设计应依据 JTJ/T D60-01 等相关规范进行。

6 总体构造设计

6.1 主梁

- 6.1.1 波形钢腹板组合结构桥梁梁高设计可参经常规预应力混凝土桥梁按跨径选定，在同等跨径情况下，梁高宜比预应力混凝土桥梁略高。
- 6.1.2 根据桥面宽度不同，波形钢腹板组合结构桥梁可采用图 5 所示的单箱单室、单箱多室、多箱单室，亦可采用斜腹板作成倒梯形或采取外（内）撑加强顶板、悬挑板。



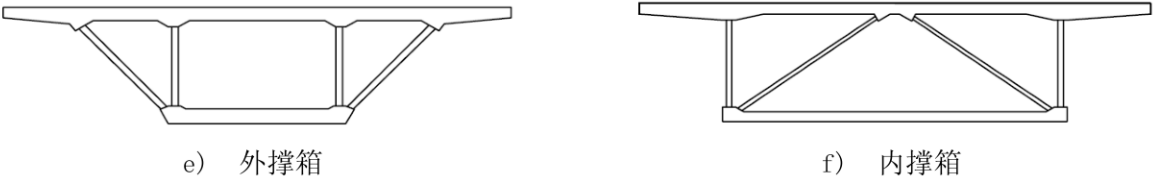


图 5 波形钢腹板组合结构桥梁典型截面图

- 6.1.3 波形钢腹板组合结构桥梁的截面总体尺寸可参照常规预应力混凝土桥梁的设计，跨径 50m 以下时，宜采用等截面波形钢腹板组合结构桥梁；跨径 50m 及以上时，宜采用变截面波形钢腹板组合结构桥梁，支点梁高宜取为跨径的 $1/16\sim 1/17$ ，跨中梁高宜取为跨径的 $1/30\sim 1/33$ 。
- 6.1.4 波形钢腹板组合结构桥梁顶板、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。
- 6.1.5 波形钢腹板组合结构桥梁根据顶、底板与波形钢腹板连接形式的不同，在顶、底板与腹板连接处宜采用必要的梗腋处理。

6.2 波形钢腹板

6.2.1 波形钢腹板型号宜采用图 6 所示的 1000 型、1200 型、1600 型三种型号。波形钢腹板的其它构造细节应符合 JT/T 784 的有关规定。40m~150m 跨径连续梁，宜选用 1600 型波形钢腹板。当使用图 6 所示形状以外的波形钢腹板时，应考虑加工、运输、安装、节段长度、腹板厚度的变化及节段间的连接等因素。

单位：mm

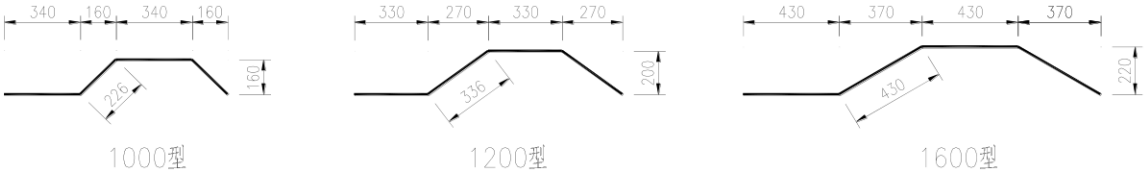


图 6 波形钢腹板几何尺寸

- 6.2.2 波形钢腹板的厚度宜小于 40mm，且不宜小于 8mm。
- 6.2.3 波形钢腹板的冷弯加工弯曲半径不宜小于 15 倍的板厚。
- 6.2.4 波形钢腹板的连接形式和构造尺寸由承载力要求和连接施工的可操作性决定。
- 6.2.5 波形钢腹板现场工地连接分为焊接连接和高强螺栓连接。焊接连接根据连接形式可分为对接焊接和角焊接，如图 7 所示；高强螺栓连接分为单面摩擦连接和双面摩擦连接，如图 8 所示。

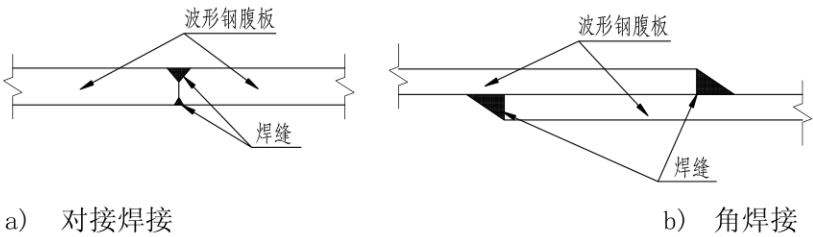


图 7 焊接连接形式

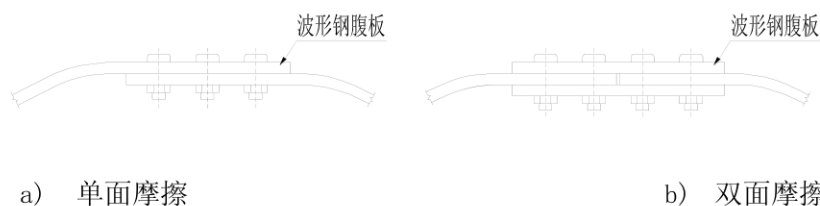


图 8 高强螺栓连接形式

6.2.6 在不同厚度的波形钢腹板连接中, 应从波形钢腹板的一侧或两侧做成坡度不大于 1:4 的斜坡。当板厚相差不大于 4mm 时, 可不作斜坡。

6.3 连接件

6.3.1 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。波形钢腹板与混凝土顶、底板连接件的构造除应符合本标准规定外, 还应符合现行国家标准及行业标准的有关要求。

6.3.2 波形钢腹板与混凝土顶、底板连接件形式常见的形式包含嵌入型连接件(见图 4-a)、双开孔钢板连接件(见图 4-b)、单开孔钢板+栓钉连接件(见图 4-c)、角钢连接件(见图 4-d)及栓钉连接件等。如采用其他连接方式, 应经试验验证其可靠性和抗疲劳性。

6.3.3 波形钢腹板与混凝土顶、底板的连接, 应能够可靠传递作用于其连接部的桥轴方向水平剪力, 应能抵抗因车辆荷载所导致的与桥轴成直角方向的桥面板角隅弯矩, 以保证桥梁运营期间的安全性。

6.3.4 波形钢腹板与混凝土顶、底板的连接, 应保证其正常使用时不发生过大的相对滑移。

6.3.5 连接部必须密封并实施恰当的防腐蚀处理。

6.3.6 嵌入型连接中波形钢腹板斜板段的投影面积($A_1 = \text{埋深} \times \text{波高}$)不应小于板腋有效承压面积($A = b_0 \times h_0$)的 1/5 (见图 9)。

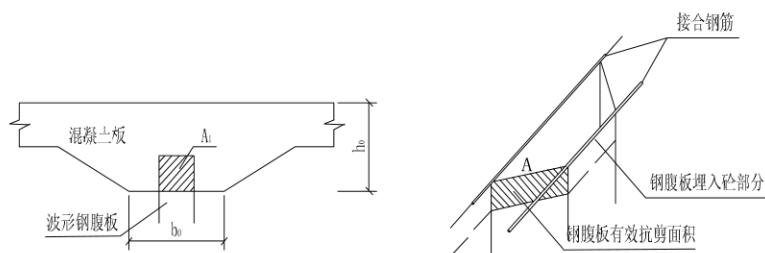


图 9 嵌入型连接件斜板段投影面积示意

6.3.7 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁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。

6.3.8 当波形钢腹板与梁底板采用翼缘型连接件时, 可在连接件的翼缘板上设置出气孔以确保翼缘板下的混凝土浇筑密实。

6.3.9 连接件的翼缘板与开孔钢板应符合下列规定:

- 翼缘板的厚度不宜小于 16mm, 开孔钢板厚度不宜小于 12mm;
- 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;
- 孔与孔的中心间距不宜大于 500mm, 可取 150mm~250mm;
- 孔距钢板边缘的净距不宜小于孔中心距的一半;

- e) 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。
- 6.3.10 当波形钢腹板与混凝土桥面板间剪力方向不明确或者有较大的掀起力时宜布置栓钉连接件。
- 6.3.11 栓钉连接件应符合下列规定：
 - a) 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；
 - b) 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；
 - c) 栓钉连接件沿主要受力方向中心间距不应超过 300mm；
 - d) 栓钉连接件的外侧边缘距翼缘板边缘的距离不应小于 20mm。

6.4 横隔板

- 6.4.1 为保证波形钢腹板组合结构桥梁的抗扭刚度，应以合适的间距设置横隔板。
- 6.4.2 波形钢腹板组合结构桥梁应在支点处以及在底板或体外预应力索纵向折线折角处设置横隔板。横隔板间距应根据桥梁的扭转和畸变效应确定。横隔板最大间距不宜超过 20m。
- 6.4.3 当横隔板兼作体外索的锚固或转向装置时，应满足体外索的张拉、锚固、换索要求。

6.5 波形钢腹板与横隔板的连接

- 6.5.1 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。
- 6.5.2 波形钢腹板与横隔板可通过栓钉连接件、开孔钢板连接件等进行连接。
- 6.5.3 波形钢腹板与端横梁的连接方式有翼缘型连接(图 10)和嵌入型连接(图 11)两种类型。

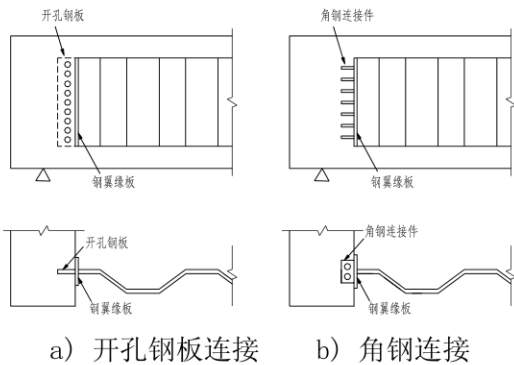


图 10 翼缘型连接

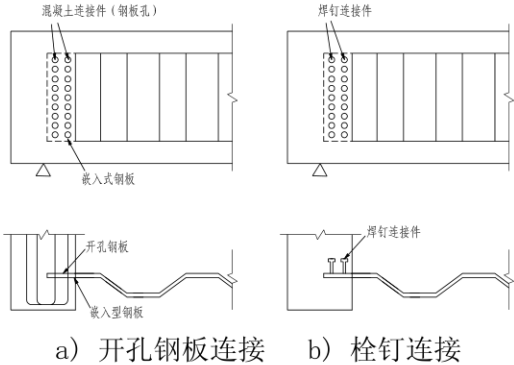


图 11 嵌入型连接

6.6 内衬混凝土

- 6.6.1 支点附近的波形钢腹板高度较高时，应在波形钢腹板内侧设置内衬混凝土，形成组合腹板。组合腹板段顺桥向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。
- 6.6.2 内衬混凝土宜采用栓钉与波形钢腹板连接。

6.7 预应力体系

- 6.7.1 波形钢腹板组合结构桥梁宜采用体内、体外预应力筋共用的预应力体系。体内预应力筋宜主要承担一期恒载，体外预应力筋宜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。

- 6.7.2 体外预应力筋宜在索体上以适当的间隔设置防振装置。
- 6.7.3 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。
- 6.7.4 体外预应力筋在转向块处的弯折转角不应大于 15° ，转向块鞍座处最小曲率应符合 JGJ 92 的有关规定。

6.8 转向块与转向器

- 6.8.1 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。
- 6.8.2 转向块设计时宜考虑增加体外预应力索的可能性，预留备用孔，以便在特殊需要时采用。
- 6.8.3 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。

6.9 耐久性措施

- 6.9.1 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 JT/T 722 的规定。
- 6.9.2 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。
- 6.9.3 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。
- 6.9.4 高强螺栓连接及焊接连接施工后应及时进行防腐涂装。
- 6.9.5 波形钢腹板组合结构桥梁底板与波形钢腹板结合处可做成 2% 的横向排水斜坡，并用硅胶等止水材料密封，防止雨露水渗入（见图 12）。

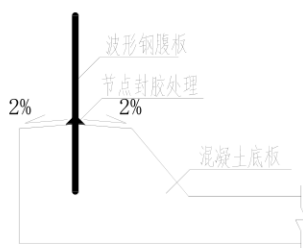


图 12 横向排水示意

- 6.9.6 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。

7 整体设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 计算模型应基于波形钢腹板组合结构桥梁构造、受力作用、边界条件等做适当等效模拟，结构模型应反映桥梁的实际受力情况。
- 7.1.2 波形钢腹板组合结构桥梁作杆系结构的抗弯受力分析时，主梁仅考虑混凝土顶底板的有效截面进行截面特性的计算（见图 13）。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。

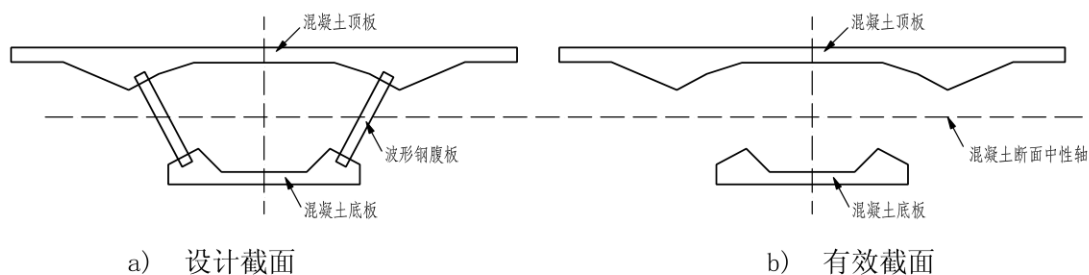


图 13 组合梁有效截面示意图

7.1.3 在对波形钢腹板组合结构桥梁内力计算时，仅考虑混凝土顶、底板温度变化的影响，不考虑波形钢腹板的影响。

7.2 持久状况承载能力极限状态计算

7.2.1 波形钢腹板组合结构桥梁的承载能力应按以下基本假定进行计算：

- 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。
- 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。
- 组合梁纵向弯曲时符合平截面假定。
- 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。

7.2.2 波形钢腹板组合结构桥梁按承载能力极限状态进行验算时，作用的效应（其中汽车荷载应计入冲击系数）应采用其组合设计值；结构材料性能采用其强度设计值。

7.2.3 波形钢腹板组合结构桥梁的正截面抗弯承载力验算应按 JTG D62 的规定执行。

7.2.4 波形钢腹板组合结构桥梁腹板的抗剪承载力验算应按本规范 9.2 条的规定执行。

7.2.5 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。

7.2.6 波形钢腹板组合结构桥梁的体内、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(1)和式(2)计算：

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_{pu} \leq f_{pd} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

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；

f_{pd} ——预应力索的钢筋拉屈服强度。

7.2.7 波形钢腹板预应力混凝土箱梁的抗扭惯性矩可按式(3)计算：

$$J_t = \frac{4A_m^2}{\left[\frac{h_m}{n_s t_3 (1+\alpha)} + \frac{b_m}{t_1 (1-\alpha)} + \frac{h_m}{n_s t_4 (1+\alpha)} + \frac{b_m}{t_2 (1-\alpha)} \right]} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

J_t ——抗扭惯性矩；

A_m ——箱梁截面面积， $A_m = h_m \times b_m$ ， h_m 为顶板与底板中心线之间的距离； $b_m = (b_1 + b_2) / 2$ ，

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(图 14);

n_s ——钢材与混凝土的剪变模量比, $n_s = G / G_c$;

t_i ——各部件的厚度;

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

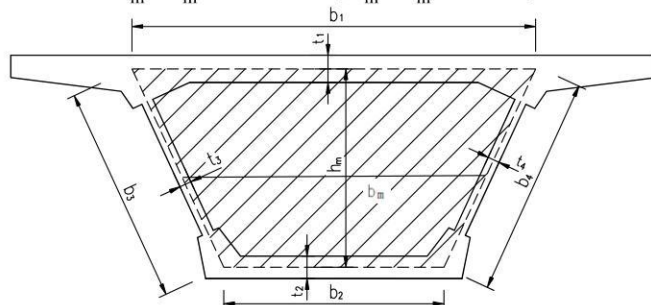


图 14 抗扭惯性矩计算图

7.2.8 波形钢腹板组合结构桥梁可按(4)式进行上部结构抗倾覆验算:

$$r_{qf} = \frac{S_{bk}}{S_{sk}} \geq 2.5 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

r_{qf} ——抗倾覆稳定系数;

S_{bk} ——使上部结构稳定的作用效应标准组合;

S_{sk} ——使上部结构倾覆的汽车荷载(含冲击作用)效应标准值。

7.3 持久状况正常使用极限状态计算

7.3.1 正常使用极限状态下,应考虑采用作用(或荷载)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。对波形钢腹板组合结构桥梁的混凝土顶、底板的抗裂和挠度进行验算,汽车荷载可不计冲击系数。

7.3.2 波形钢腹板组合结构桥梁顶、底板混凝土的抗裂验算按 JTG D62 中进行。

7.3.3 波形钢腹板组合结构桥梁的挠度验算应符合 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(5)~(7)计算。

$$\omega_\tau = \int \frac{k_v \cdot V \cdot \beta_i \cdot \bar{V}}{G \cdot A_w} dx \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$A_w = h_w \cdot t_w \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\beta_i = h_w / h \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

ω_τ ——波形钢腹板因剪切变形产生的挠度;

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;

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 ——钢材的剪变模量；
 A_w ——波形钢腹板的有效剪切面积；
 h_w ——波形钢板的高度；
 t_w ——波形钢板的厚度；
 η ——形状系数， $\eta=(a_w + b_w)/(a_w + c_w)$ ；
 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。

7.3.4 按持久状况设计的波形钢腹板组合结构桥梁，应对其使用阶段的顶、底板的法向应力和预应力筋的拉应力进行计算。计算时作用（或荷载）取其标准值，汽车荷载效应考虑冲击系数。

7.3.5 波形钢腹板组合结构桥梁顶、底板混凝土的压应力及预应力钢筋的拉应力计算应按 JTG D62 中规定进行。

7.3.6 波形钢腹板组合结构桥梁在施工阶段的验算应按 JTG D62 中有关规定进行。

8 横向设计

8.1 横向抗弯设计

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

8.1.2 波形钢腹板组合结构桥梁中的端横梁一般为预应力混凝土构件，其横向分析可按普通预应力混凝土梁结构的分析方法进行计算。

8.1.3 根据不同要求，波形钢腹板组合结构桥梁的横向分析可采用平面框架模型或三维有限元模型。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。

8.1.4 用平面框架模型进行分析时，可将横截面简化成由顶底板与腹板组成的箱梁框架计算模型进行受力计算，波形钢腹板与顶、底板结合部做刚接处理，将波形钢腹板的重心间距视为腹板间距。

8.1.5 平面框架分析中，波形钢腹板的等效单位长度横向抗弯刚度 D_x 可按式(8)计算：

$$D_x = EI_x \cdots \cdots \cdots (8)$$

式中：

- D_x ——等效单位长度横向抗弯刚度；
 E ——钢材的弹性模量；
 I_x ——单位长度波形钢腹板绕纵桥向的惯性矩，按式(27)计算。

8.1.6 车辆作用的横向内力计算可按以下步骤进行：

- 确定所需计算的截面，进行车辆最不利纵横向布置；
- 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；
- 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；
- 应用平面杆系有限元程序进行箱梁横向内力计算，将顶板中点的弯矩值乘以 1.1 进行修正（其余弯矩值保持不变）。

8.1.7 横隔板、桥面板、底板等各截面的极限承载力、抗裂、变形、应力等内容应满足 JTG D62 的相关要求。

8.2 桥面板纵向抗剪设计

8.2.1 桥面板的构造要求应符合 JTG D62 的有关规定。

8.2.2 桥面板设置承托时，其外形尺寸及构造(图 15)应符合下列规定：

- 当承托高度在 80mm 以上时，应在承托底侧布置横向加强钢筋；
- 承托边至连接件外侧的距离不得小于 40mm，承托外形轮廓应在由最外侧连接件根部起的 45° 角线的界限以外；
- 承托中横向钢筋下部水平段距连接件上翼缘应小于 50mm，剪力连接件抗掀起端底面高出横向钢筋的距离 h_{e0} 不得小于 30mm，横向钢筋间距不应大于 $4h_{e0}$ 且不应大于 300mm。

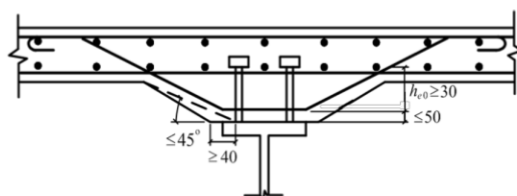


图 15 承托构造图

8.2.3 混凝土桥面板单位长度板内横向钢筋总面积不得小于式(9)的规定：

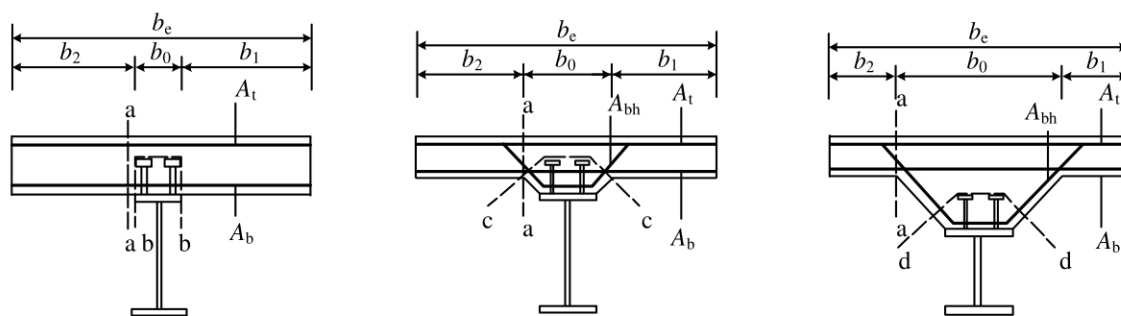
$$A_e f_{sd} / L_s > 0.8 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

A_e ——单位长度上在垂直于主梁方向上的钢筋截面面积；

f_{sd} ——横向普通钢筋强度设计值。

L_s ——纵向受剪界面的长度，按图 16 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；



A_t ：混凝土板顶部单位长度内垂直于主梁方向的钢筋面积总和； A_b ：混凝土板底部单位长度内垂直于主梁方向的钢筋面积总和； A_{bh} ：混凝土承托底部单位长度内垂直于主梁方向的钢筋面积总和。

图 16 混凝土翼板纵向受剪控制界面

8.2.4 梁承托及混凝土板纵向抗剪承载力应符合按式(10)的规定：

$$V_{ld} \leq V_{lRd} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

v_{ld} ——作用（或荷载）引起的混凝土板单位长度内纵向抗剪界面上的纵向剪力；

v_{lRd} ——混凝土板单位长度内纵向抗剪承载力，按照第 8.2.5 条的规定计算确定。

8.2.5 单位长度内纵向界面抗剪承载力设计值按式(11)及(12)计算，取两者的较小值：

$$v_{lRd} = 0.7b_f f_{td} + 0.8A_e f_{sd} \dots\dots\dots (11)$$

$$v_{lRd} = 0.25b_f f_{cd} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

b_f ——纵向抗剪界面在垂直于主梁方向上的长度，按图 15 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；

f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

A_e ——单位长度上在垂直于主梁方向上的钢筋截面面积，按图 15 和表 1 取值；

f_{sd} ——普通钢筋的抗拉强度设计值；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值。

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	$2A_b$	$2(A_b+A_{bh})$	$2A_{bh}$

9 波形钢腹板设计

9.1 一般规定

9.1.1 波形钢腹板的验算应包括波形钢腹板剪应力验算、屈曲稳定性验算以及波形钢腹板之间的连接验算。

9.1.2 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。

9.1.3 因波形钢腹板承受的纵桥向轴力很小，在波形钢腹板之间的连接验算中可以忽略轴向力的作用。

9.2 波形钢腹板设计

9.2.1 波形钢腹板的验算应包括持久状况承载能力极限状态抗剪强度与剪切稳定验算和持久状况、短暂状况正常使用极限状态剪应力验算。

9.2.2 波形钢腹板的剪应力应同时计入剪力、扭矩以及其与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。

9.2.3 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。

9.2.4 波形钢腹板持久状况、短暂状况正常使用极限状态剪应力验算应采用 JTG D60 规定的作用效应的标准组合。

9.2.5 波形钢腹板的承载能力极限状态抗剪强度应符合式(13)~(15)要求：

$$\gamma_0(\tau_{md} + \tau_{td}) \leq f_v \dots\dots\dots (13)$$

$$\tau_{md} = \frac{V_d - V_p}{h_w t_w} \dots\dots\dots (14)$$

$$\tau_{td} = \frac{T_d}{2A_m t_w (1 + \alpha)} \dots\dots\dots (15)$$

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;

τ_{td} ——扭矩产生的剪应力设计值;

f_v ——钢板的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;

V_d ——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;

V_p ——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;

T_d ——作用效应基本组合下计算截面的扭矩设计值。

A_m 、 t_w 、 α ——按式(3)计算。

9.2.6 波形钢腹板正常使用极限状态剪应力应符合式(16)~(18)要求:

$$\tau_{mk} + \tau_{tk} \leq 0.625 f_{yv} \dots\dots\dots (16)$$

$$\tau_{mk} = \frac{V_k - V_p}{h_w t_w} \dots\dots\dots (17)$$

$$\tau_{tk} = \frac{T_k}{2A_m t_w (1 + \alpha)} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

τ_{mk} ——剪力与预应力的竖向分力产生的剪应力设计值;

τ_{tk} ——扭矩产生的剪应力设计值;

f_{yv} ——波形钢腹板剪切屈曲强度标准值, 取屈曲强度的 $1/\sqrt{3}$;

V_k ——作用效应标准组合下计算截面单块波形钢腹板的剪力设计值;

T_k ——作用效应标准组合下计算截面的扭矩设计值;

9.2.7 波形钢腹板的承载能力极限状态组合屈曲应符合式(19)~(20)要求:

$$\gamma_0 (\tau_{md} + \tau_{td}) \leq \tau_{cr} \dots\dots\dots (19)$$

$$\tau_{cr} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\tau_{cr,L}^4} + \frac{1}{\tau_{cr,G}^4} \right)^{\frac{1}{4}}} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

τ_{cr} ——用于计算波形钢腹板组合屈曲临界剪应力的函数;

$\tau_{cr,L}$ ——波形钢腹板局部屈曲临界剪应力, 按 9.2.8 条计算;

$\tau_{cr,G}$ ——波形钢腹板整体屈曲临界剪应力，按 9.2.8 条计算；

9.2.8 波形钢腹板局部（整体）屈曲临界剪应力 $\tau_{cr,L}$ ($\tau_{cr,G}$) 按式(21)~(28)计算：

$$\begin{cases} \tau_{cr,L}(\tau_{cr,G}) = f_v & \lambda_s \leq 0.6 \\ \tau_{cr,L}(\tau_{cr,G}) = [1 - 0.614 \times (\lambda_s - 0.6)] \cdot f_v & 0.6 < \lambda_s \leq \sqrt{2} \\ \tau_{cr,L}(\tau_{cr,G}) = f_v / \lambda_s^2 & \sqrt{2} < \lambda_s \end{cases} \dots\dots\dots (21)$$

$$\lambda_s = \sqrt{f_v / \tau_{cr,L}^e} \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{或 } \lambda_s = \sqrt{f_v / \tau_{cr,G}^e} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

λ_s ——折算板宽厚比，计算 $\tau_{cr,L}$ 时，按式（22）计算，计算 $\tau_{cr,G}$ 时，按式(23)计算；

$\tau_{cr,L}^e$ ——弹性局部屈曲临界剪应力，按式(24)~(25)计算：

$$\tau_{cr,L}^e = \frac{(k \pi^2 E)}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 \dots\dots\dots (24)$$

$$k = 4 + 5.34(h_w / a_w)^2 \dots\dots\dots (25)$$

式中：

$\tau_{cr,G}^e$ ——弹性整体屈曲临界剪应力，按式(26)~(28)计算：

$$\tau_{cr,G}^e = \frac{36\beta(EI_y)^{\frac{1}{4}}(EI_x)^{\frac{3}{4}}}{h_w^2 t_w} \dots\dots\dots (26)$$

$$I_x = t_w^3 (\delta^2 + 1) / (6\eta) \dots\dots\dots (27)$$

$$I_y = \frac{t_w^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots (28)$$

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；

I_x ——单位长度波形钢腹板绕纵桥向的惯性矩；

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。

9.3 波形钢腹板之间的连接计算

9.3.1 高强度螺栓的抗剪承载力设计值应按式(29)计算：

$$N_v^b = 0.9n_f \cdot \mu \cdot P \dots\dots\dots (29)$$

式中:

N_v^b ——螺栓的抗剪承载力设计值;

n_f ——传力摩擦面数;

P ——高强度螺栓的预拉力,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(30)的要求:

$$N \geq \frac{V_d}{N_v^b} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

N ——螺栓个数。

9.3.2 波形钢腹板直角角焊缝在剪力作用下,其剪应力按式(31)计算:

$$\tau_f = \frac{V_f}{0.7h_f \sum l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (31)$$

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;

V_f ——焊缝承受的竖向剪力设计值;

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸;

$\sum l_w$ ——焊缝的计算长度之和,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,按 GB 50017 取值。

9.4 波形钢腹板与翼缘板的焊接计算

9.4.1 在承载力极限状态下,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 17 进行以下等效。

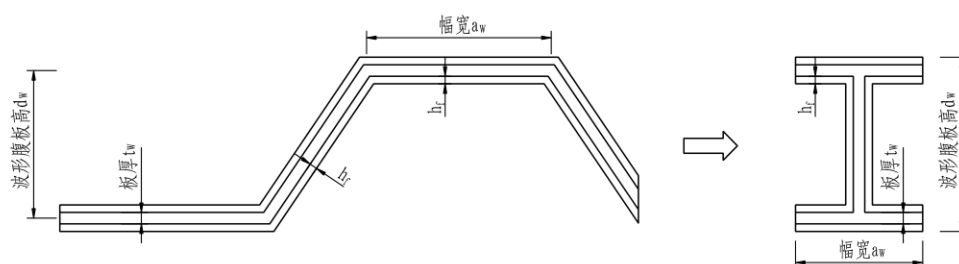


图 17 角焊缝计算等效图

9.4.2 纵桥向的验算按照式(32)进行:

$$\tau_f = \frac{2Q_d^c}{0.7h_f \sum l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (32)$$

式中:

τ_f ——水平剪力产生的剪应力；

Q_d^c ——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，按式(38)计算；

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸；

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

9.4.3 横桥向的验算按照式(33)进行：

$$\sigma_M = \frac{6M_u}{\sum l_w (0.7h_f)^2} \leq f_f^w \dots\dots\dots (33)$$

式中：

σ_M ——由横向弯矩产生的正应力；

M_u ——横向抗弯承载力设计值。

9.4.4 合成应力验算应满足式(34)要求：

$$\left(\frac{\tau_f}{f_f^w} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_M}{f_f^w} \right)^2 < 1 \dots\dots\dots (34)$$

9.5 内衬混凝土的验算

9.5.1 内衬混凝土应进行承载能力极限状态斜截面抗剪承载力验算和正常使用极限状态斜截面抗裂验算。

9.5.2 内衬混凝土承担的剪力可按式(35)计算：

$$V_{cd} = \frac{G_c \cdot A_c}{G_c \cdot A_c + G \cdot A_s} \cdot V \dots\dots\dots (35)$$

式中：

V_{cd} ——内衬混凝土承担的剪力设计值；

G_c ——内衬混凝土的剪变模量；

A_c ——内衬混凝土的平均截面面积；

G ——波形钢腹板的剪变模量；

A_s ——波形钢腹板的有效抗剪截面面积，可根据式(6)计算；

V ——剪力设计值。

9.5.3 根据内衬混凝土承担的剪力值，对弯起钢筋及箍筋进行配置，其斜截面的抗剪承载力计算按 JTG D62 规定采用。

9.5.4 内衬混凝土主拉应力可按式(36)及式(37)计算，并应满足 JTG D62 的规定：

$$\sigma_{tp} = \frac{1}{2} (\sigma_c - \sqrt{\sigma_c^2 + 4\tau_c^2}) \dots\dots\dots (36)$$

$$\tau_c = \frac{V_{cd} \cdot S_c}{b_c \cdot I_c} \dots\dots\dots (37)$$

式中：

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，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；
 V_{cd} —— 内衬混凝土承担的剪力设计值；
 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；
 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。

10 连接件设计

10.1 一般规定

10.1.1 波形钢腹板组合结构桥梁抗剪连接件的选用，应保证波形钢腹板与混凝土板有效结合并共同承担作用。

10.1.2 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。

10.2 连接件抗剪承载力计算

10.2.1 对于单箱单室或多箱单室截面，波形钢腹板与顶、底板连接处的单位长度水平剪力按照式(38)、式(39)计算：

$$Q_d^e = \frac{(V_d - V_p)S}{2I} \dots\dots\dots (38)$$

$$Q_k^e = \frac{(V_k - V_p)S}{2I} \dots\dots\dots (39)$$

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；
 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；
 V_k —— 作用效应标准组合下单箱的截面竖向剪力设计值；
 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。

10.2.2 波形钢腹板与混凝土顶板、底板的连接件的抗剪强度应符合式(40)要求：

$$\gamma_0 Q_d^e \leq Q_{pu} / s \dots\dots\dots (40)$$

式中：

- Q_{pu} —— 连接件的水平抗剪承载力设计值，按式(41)~(43)、式(46)、式(50)、式(52)计算；
 s —— 连接件纵桥向间距，对于嵌入型连接件取 0.5 倍波形钢腹板波长。

10.2.3 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 Q_{pu1} 、混凝土剪力销抗劈裂承载力 Q_{pu2} 以及开孔钢板孔间抗剪承载力 Q_{pu3} 的最小值：

a) 混凝土剪力销抗剪承载力设计值按式(41)计算:

$$Q_{pu1} = n_p \{ 1.4(d_p^2 - d_s^2) f_{cd} + 1.2 d_s^2 f_{sd} \} \dots\dots\dots (41)$$

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, 双开孔钢板连接件应取 2。

b) 混凝土剪力销抗劈裂承载力设计值按式(42)计算:

$$Q_{pu2} = 7.5 n_p f_{cd} d_p t \dots\dots\dots (42)$$

式中:

t ——开孔钢板厚度(mm)。

c) 开孔钢板孔间抗剪承载力设计值按式(43)计算:

$$Q_{pu3} = n_p f_v d_j t \dots\dots\dots (43)$$

式中:

f_v ——钢板抗剪强度设计值;

d_j ——开孔钢板的孔净距(mm)。

10.2.4 双开孔钢板连接件抗滑移应符合式(44)及式(45)要求:

$$Q_k^c \leq 2 Q_{sa} / s \dots\dots\dots (44)$$

$$Q_{sa} = 0.154 \pi \times 10^{-3} [0.677 f_{cu,k} (d_p^2 - d_s^2) + d_s^2 f_{sk}] - 35.367 \dots\dots\dots (45)$$

式中:

Q_{sa} ——单个开孔钢板连接件销孔的抗滑移水平剪力限值(kN);

f_{sk} ——贯穿钢筋抗拉强度标准值(MPa);

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa);

10.2.5 单开孔钢板+栓钉连接件的水平抗剪承载力可取单个开孔钢板连接件与栓钉抗剪承载力之和。

单个开孔钢板水平抗剪承载力设计值按 10.2.3 条计算, 栓钉水平抗剪承载力设计值 Q_{pu}^c 按式(46)计算:

$$Q_{pu}^c = 0.43 n A_s \sqrt{E_c f_{cd}} \leq 0.7 n A_s \gamma f \dots\dots\dots (46)$$

式中:

Q_{pu}^c ——栓钉水平抗剪承载力设计值(N);

n ——栓钉的排数, $n \leq 4$;

A_s ——栓钉截面面积(mm²);

γ ——栓钉材料抗拉强度最小值与屈服强度之比;

E_c ——混凝土弹性模量(MPa);

f ——栓钉抗拉强度设计值(MPa)。

10.2.6 单开孔钢板+栓钉连接件抗滑移应符合式(47)~(49)要求:

$$Q_k^e \leq (Q_{sa} + nQ_{sa}^c)/s \dots\dots\dots (47)$$

$$Q_{sa}^c = 8.4 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}} d^2 \quad (H/d \geq 5.5) \dots\dots\dots (48)$$

$$Q_{sa}^c = 1.538 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}} dH \quad (H/d < 5.5) \dots\dots\dots (49)$$

式中:

Q_{sa}^c ——单个栓钉的抗滑移水平剪力限值(kN);

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa);

n ——栓钉的排数, $n \leq 4$;

d ——栓钉直径(mm);

H ——栓钉长度(mm);

10.2.7 嵌入型连接件水平抗剪承载力按式(50)计算:

$$Q_{pu} = 0.6f_{cd}A_l + \mu f_{sd}A_s \dots\dots\dots (50)$$

式中:

A_l ——波形钢腹板斜板段的投影面积 (图 9);

μ ——系数, 取 1.0;

f_{sd} ——接合钢筋的抗拉强度设计值;

A_s ——接合钢筋的面积。

10.2.8 嵌入型连接件在波形钢腹板斜板段处的混凝土应力应符合式(51)计算要求:

$$\frac{Q_k^e s}{0.25A_l + 0.05A} \leq 0.8f_{cu,k} \dots\dots\dots (51)$$

式中:

s ——连接件纵桥向间距;

A_l ——波形钢腹板斜板段的投影面积, 如图 9;

A ——板腋有效承压面积, 如图 9。

10.2.9 角钢连接件的水平抗剪承载力按式(52)计算:

$$Q_{pu} = f_{cd}A_{as}/1.5 \dots\dots\dots (52)$$

式中:

A_{as} ——角钢承压面积 (图 18)。

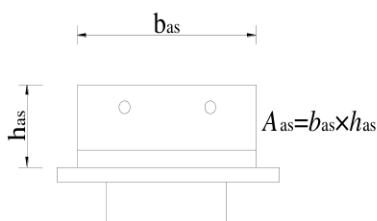


图 18 角钢连接件承压面积计算图

10.2.10 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(53)计算：

$$F_h = sQ_d^e \dots\dots\dots (53)$$

式中：

Q_d^e ——角钢连接件承受的单位长度水平剪力设计值，按式(38)计算。

10.2.11 栓钉连接件的水平抗剪承载力和抗滑移分别按 10.2.5、10.2.6 条计算，但不考虑开孔钢板的作用。

10.3 连接件抗角隅弯矩计算

10.3.1 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。

10.3.2 双开孔钢板连接件承受的角隅弯矩应符合式(54)要求：

$$M_d \leq n_p b_p Q_{pu} \dots\dots\dots (54)$$

式中：

M_d ——角隅弯矩设计值；

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；

Q_{pu} ——单个开孔钢板件抗剪承载力设计值，按 10.2.3 条计算。

10.3.3 单开孔钢板+栓钉连接件、栓钉连接件承受的角隅弯矩(图 19)应符合式(55)及式(56)要求，：

$$M_d \leq n_s b_s T_d \dots\dots\dots (55)$$

$$T_d = 1.283 H^2 \sqrt{f_{cd}} \leq \frac{\pi}{4} d^2 f \dots\dots\dots (56)$$

式中：

M_d ——角隅弯矩设计值；

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；

T_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 ——栓钉抗拉强度设计值(MPa)。

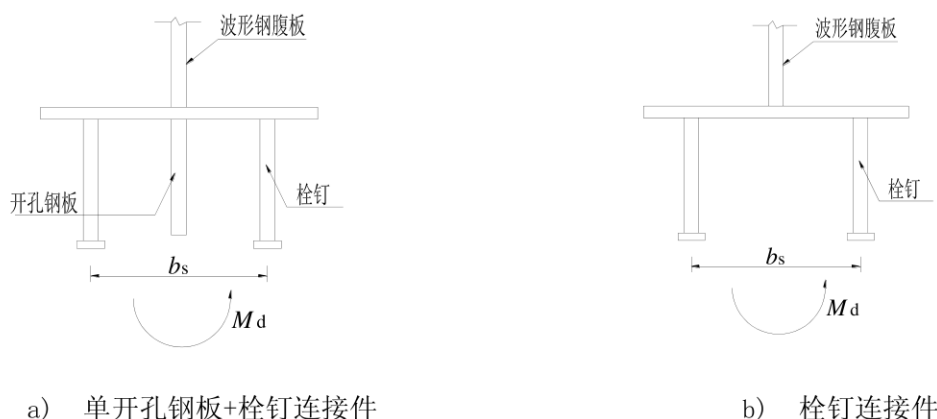


图 19 作用于单开孔钢板+栓钉连接件及栓钉连接件的角隅弯矩

10.3.4 角钢连接件承受的角隅弯矩(图 20)应符合式(57)~式(60)要求:

U形钢筋不与角钢焊接:

$$M_d \leq A_s f_{sd} B_s / \sqrt{3} \dots\dots\dots (57)$$

$$M_d \leq 2A_u B_u f_u \dots\dots\dots (58)$$

$$M_d \leq 2u_u l_u B_u R_u \dots\dots\dots (59)$$

U形钢筋与角钢焊接:

$$M_d \leq A_s f_{sd} B_s / \sqrt{3} + \min(2A_u B_u f_u, 2u_u l_u B_u R_u) \dots\dots\dots (60)$$

式中:

A_s ——贯穿钢筋面积;

f_{sd} ——贯穿钢筋抗拉强度设计值;

B_s ——贯穿钢筋间距;

A_u ——单根 U 形钢筋截面面积;

B_u ——U 形钢筋的轴间距;

f_u ——U 形钢筋抗拉强度设计值;

u_u ——U 形钢筋截面周长;

l_u ——U 形钢筋锚固长度;

R_u ——U 形钢筋与混凝土粘结强度设计值, 应根据试验确定。

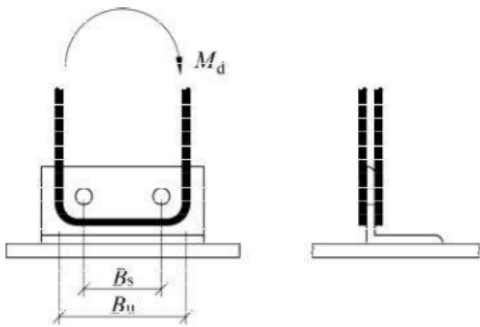


图 20 角钢连接件抗角隅弯矩计算图示

11 波形钢腹板制作

11.1 一般规定

- 11.1.1 波形钢腹板制作前应按 TB 10212、JT/T 784、JT/T 722、GB 50205、设计文件和本标准要求，编制制作工艺指导书，确保制作和运输任务的完成。
- 11.1.2 波形钢腹板的放样，应考虑理论与实际成型尺寸的差异以便采购，号料时宜整板下料，以减少波形钢腹板为接高而产生的焊接。
- 11.1.3 制作前测量人员应对连接件的位置进行准确的测量放样。
- 11.1.4 连接件材料应符合设计及相关标准要求，连接件加工时，翼缘板、开孔板、角钢的外形、尺寸、位置应符合设计尺寸要求，加工尺寸偏差应小于 2mm。

11.2 切割与制孔

- 11.2.1 下料前应对平直度未达标的钢板进行冷矫正。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。机械剪切仅适用于厚度小于 10mm 且剪切后的边缘需再加工的钢板，手工切割仅适用于次要零件且切割后边缘需再加工的钢板。锚固孔采用数控等离子切割，切割后应对孔边进行倒边处置。
- 11.2.2 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。
- 11.2.3 切割前应将钢料面上的浮锈、污物清除干净。钢料应放平、垫稳，割缝下面应留有空隙。
- 11.2.4 切割的其它技术要求按照 TB 10212 的规定执行。
- 11.2.5 螺栓孔应采取钻孔工艺，不得采用冲孔、气割孔，制成的孔应成正圆柱形，孔壁表面粗糙度不大于 25μm，孔缘无损伤不平，无刺屑。
- 11.2.6 螺栓孔的孔径允许偏差为+0.7mm；孔壁垂直度允许偏差不大于 0.3mm。
- 11.2.7 螺栓孔距允许偏差应符合表 2 规定，有特殊要求的孔距偏差应符合设计文件的规定。

表 2 螺栓孔距允许偏差

定位方法	检查项目	允许偏差（mm）	说明
用钻孔样板、数控机床	两相邻孔距	±0.4	
	构件极边孔距	±1.0	
	两组孔群中心距	±1.0	
	孔群中心线与杆件中心线的横向偏移	2.0	

号钻的孔	两相邻孔距	±1.0	包括用分离式样板分别对线钻孔的孔群
	极边及对角线孔距	±1.5	
	孔中心与孔群中心线的横向偏移	2.0	

- 11.2.8 钻孔应采用数控钻床或标准钻孔样板，并优先选用数控钻床钻孔。
- 11.2.9 采用标准样板钻孔时，应采用冲钉定位，冲钉数不得少于两个。
- 11.2.10 用标准钻孔样板依次钻足孔径的零件，卡料厚度应保证最底层零件栓孔质量，不得超过允许偏差。
- 11.2.11 钻头直径应符合规定，磨完后的钻头，应先在废料上试钻孔，经检查合格后方可在零部件上钻孔。
- 11.2.12 钻孔时，应经常用试孔器检查孔径精度。
- 11.2.13 采用配钻及扩孔工艺时，其孔距不受表 2 的制约。

11.3 边缘加工和矫正

- 11.3.1 切割后需焊接的边缘应进行机械焊接坡口加工，不要求焊接但属气割的边缘应进行边缘机械加工。机加工零件的边缘加工深度不得小于 3mm，加工面表面粗糙度 Ra 不得低于 25μm；顶紧传力面的粗糙度 Ra 不得低于 12.5μm；顶紧加工面与板面垂直度偏差应不小于板厚的 1%，且不得大于 0.3mm。
- 11.3.2 边缘加工的允许偏差应符合 TB 10212 的规定。
- 11.3.3 使用锯割和自动等离子切割的部件边缘，在不要求焊接处，可不进行边缘加工。
- 11.3.4 钢板矫正应采用冷矫。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材厚度负允许偏差的 1/2。
- 11.3.5 钢板矫正的技术方法及允许偏差按 TB 10212 的规定。

11.4 波形钢腹板的成型

- 11.4.1 波形钢腹板的成型应采用冷成型，成型工艺分为模压法和冲压法（也称折弯法）。
- 11.4.2 模压法：利用液压机与波形近似截面的模具进行一次性成型的方法(图 21)。

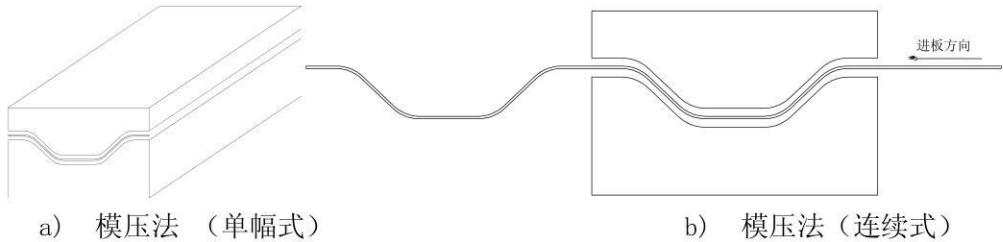


图 21 普通模压法

- 11.4.3 冲压法（也称折弯法）：利用折弯机多次反复折压成型的方法(图 22)。

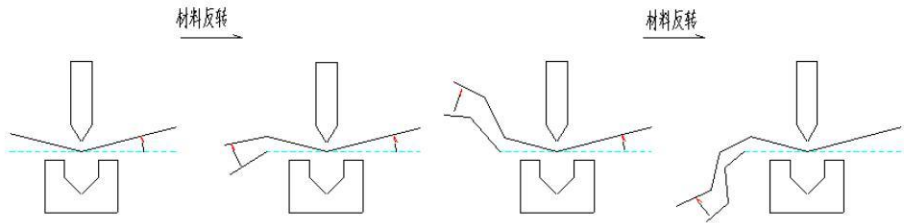


图 22 冲压法

11.4.4 成型角度

- a) 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。
- b) 当满足表 3 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 3 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)	试验方法
>150	≥7t	夏比摆锤冲击试验
>200	≥5t	

11.5 预处理、组拼与连接

- 11.5.1 组拼前应对波形钢腹板进行抛丸预处理。波形钢腹板应在抛丸预处理后 24h 内进行组拼。
- 11.5.2 组拼前，波形钢腹板应经检验合格，在待焊区域或距焊缝边缘 30mm~50mm 以内的部位，应清除下料毛刺、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。
- 11.5.3 波形钢腹板的组拼应在作业车或标准钢胎膜上进行，组拼角度应考虑波形钢腹板焊接时的变形量。平台或胎膜要求牢固平整以保证波形钢腹板组拼精度。
- 11.5.4 波形钢腹板波段之间的纵向连接方式宜采用对接焊接。
- 11.5.5 波形钢腹板为接高而进行的工厂水平连接应采用对接焊接，不宜使用螺栓连接。
- 11.5.6 波形钢腹板节段与节段间的连接通常有：高强度螺栓连接法、角焊接法、对接焊接法等。
- 11.5.7 波形钢腹板之间的连接方式，设计和制造时应选择能以工厂焊接为主、减少现场焊接和涂层修复作业量的连接方式。

11.6 波形钢腹板工厂涂装

11.6.1 涂装前处理

- a) 涂装前应采用抛丸或喷砂的工艺，对波形钢腹板表面应进行二次除锈，将表面氧化皮和铁锈以及其它杂物清除干净，油污脱脂应采用化学分解去除法，不建议采用灼烧法。
- b) 前处理达标后 4h 内应进行涂装作业，否则应再次进行前处理。

11.6.2 涂装准备

涂装前应制作两块300mm×150mm×6mm薄板，焊成300mm×300mm×6mm的板，用与钢腹板相同的涂料和喷涂方法，做成喷漆样板，经检查确认平板区和焊缝区各项检验指标均合格后，方可进行喷涂作业。

11.6.3 涂装环境

除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。涂装时的环境温度宜在 5℃~30℃之间，相对湿度不应大于80%。不得在雨天、有扬尘风、蚊虫多、钢材表面有潮气、结露、涂漆后表面易产生气泡时涂装；涂装后4h内应加以保护，免受雨淋。

11.6.4 底层防护配置及涂装

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：

- a) 重防腐粉体涂装系列：主要有通用粉体环氧类、熔融结合性重防腐粉体环氧类涂层（符合 GB/T 18593 的规定）。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；
- b) 铝和锌防腐系列：主要有喷铝、喷锌和喷涂锌铝合金涂层。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。
- c) 富锌系列：主要有有机类富锌、无机类富锌涂料。应采用高压无气喷涂方式。不建议采用水性富锌涂料。

11.6.5 中层防护配置及涂装

中层防护配置及涂装应满足以下要求：

- a) 中层防护宜配置具备屏蔽封孔功能的涂层体系，主要有环氧云铁、环氧厚浆漆等。应采用高压无气喷涂方式。
- b) 以重防腐粉体涂装系列做为底层涂装的，不需单独再实施中层涂装。

11.6.6 面层防护配置及涂装

面层防护配置及涂装应满足以下要求：

- a) 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。
- b) 面层涂装采用液态涂料涂装的，主要有聚氨脂类（含近类的丙烯酸）、氟碳类等。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。

11.6.7 涂装面成品保护

根据不同的成品保护要求，可采用粘贴有粘性的塑料薄膜的罩膜保护法；或临时涂刷一层漆膜的保护方法，在最终面漆涂装前，临时涂刷的漆膜应能被清除。

12 波形钢腹板现场施工

12.1 一般规定

- 12.1.1 波形钢腹板安装应进行施工过程控制，保证其内力、变形、线形及高程符合设计要求。
- 12.1.2 安装前应对临时支架、支撑、吊机等临时结构本身在不同受力状态下的强度、刚度、稳定性进行验算，对波形钢腹板应按板块设计编号进行核对并查验产品出厂合格证及材料的质量证明书，并应对桥梁的墩台顶面高程、中线及各孔跨径进行复测，误差在允许偏差内方可安装。
- 12.1.3 波形钢腹板安装时，不得在现场对其进行未被批准的临时性的焊接和切割作业。
- 12.1.4 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。
- 12.1.5 波形钢腹板施工除满足本标准外，尚应符合 JTG/T F50 有关规定。
- 12.1.6 安装前对连接件进行外观检查，其外观应平整、无裂缝、毛刺、凹坑、变形等缺陷。
- 12.1.7 浇筑混凝土之前，应对连接件的位置进行检查；混凝土在施工振捣时应保证连接件的位置不发生偏移，必要时应采取临时措施保证施工过程中连接件的位置，若超出允许偏差应及时进行纠正。
- 12.1.8 应保证连接件周围混凝土的密实性，保证连接件周围的混凝土满足设计要求的强度。

12.1.9 翼缘板与混凝土连接一侧的表面不得有油漆，在浇筑上翼缘板混凝土之前，应清除铁锈、焊渣、泥土和其他杂物。

12.2 波形钢腹板的运输与保存

12.2.1 为了确保波形钢腹板的顺利运输，应在设计阶段充分考虑合理的构件尺寸（长·宽·高）、重量以及运输路径等。

12.2.2 在运输和保存过程中采用多层叠放的形式，底层钢板支撑在外形相同的混凝土存放垫上，最多不宜多于5层。

12.2.3 为妥善保护防腐涂装层，应在钢板表面涂装完全干透后进行搬运，且宜粘覆一层保护膜。

12.2.4 波形钢腹板从加工厂运往工地后，集中按编号堆放，待现场需安装时，由小型平板车运输，为减小起吊时变形，宜将波形钢腹板腹板竖直安放于平车上，拉好揽风，防止倾倒。

12.2.5 波形钢腹板运输和保存过程中的支点位置，应考虑尽可能减少波形钢腹板的变形。

12.2.6 采用嵌入型连接件时，由于波形钢腹板面外刚度较小，在运输过程中应采用适当的措施防止变形。

12.3 波形钢腹板的安装与定位

12.3.1 波形钢腹板吊装应注意如下事项：

- a) 吊装施工人员必须持证上岗；
- b) 吊装前，必须检查钢丝绳、吊钩是否符合要求，不符合要求时更换；
- c) 吊装前必须检查确认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；
- d) 吊装前应做好波形钢腹板定型加固以确保不因吊装导致波形钢腹板变形；
- e) 吊装应缓慢进行，吊件起吊离地后，应暂停顿，观察吊件挂钩是否稳妥，确认无误后，再继续吊装；
- f) 吊装过程中，应按指挥信号作业，严禁未得到指挥信号时，私自起吊；
- g) 吊装时，在吊装设备作业范围内禁止人员进入、停留；
- h) 六级及以上大风、雷雨天气时禁止起吊作业。

12.3.2 波形钢腹板吊装时应采用专用夹具，事先充分考虑其重心位置来确定吊点位置，以控制吊装过程中的变形。

12.3.3 波形钢腹板顶底板贯穿钢筋的安装在钢腹板定位前完成，同时注意底板纵向钢筋的绑扎次序，以免妨碍贯通钢筋安装。

【条文说明】波形钢腹板安装施工工艺流程可参照图 23 执行。

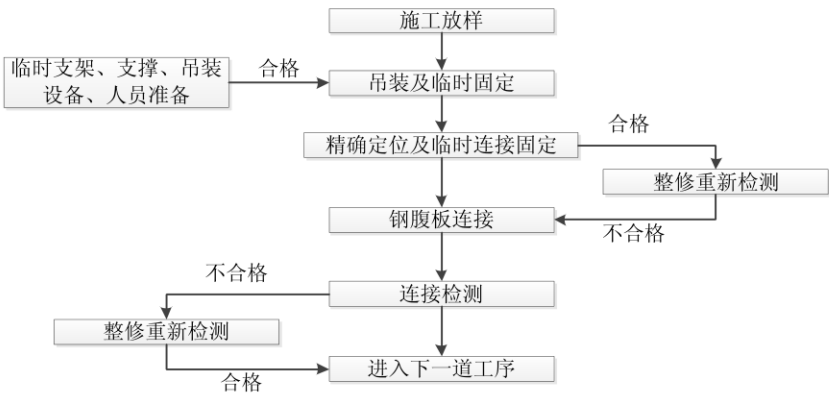


图 23 波形钢腹板安装施工工艺流程图

12.3.4 波形钢腹板定位包括平面定位和标高定位，应满足下列要求：

- 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；
- 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；
- 波形钢腹板的定位标准应符合表 4 要求；
- 波形钢腹板的安装质量按表 5 控制。

表 4 波形钢腹板定位标准

项次	检查项目	允许偏差	备注
1	波形钢腹板轴向偏位	10mm	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	5mm	间距 2m 量 3 处
3	内外侧波形钢腹板高差	10mm	间距 2m 量 3 处
4	波形钢腹板垂直度	1/500	间距 2m 量 3 处
5	波形钢腹板纵桥向坡度	1/500	间距 2m 量 3 处
6	波形钢腹板定位高度	5mm	内外侧波形钢腹板分别测量
注：此表格为参考斜拉桥结合梁工字梁悬臂拼装制定。			

表 5 波形钢腹板安装检查项目和误差范围

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	全长(mm)		±15	全站仪或钢尺
2	波形钢腹板中心距(mm)		±3	尺量：检查两波形钢腹板中心距
3	横截面对角线差(mm)		4	尺量：检查两端截面
4	拱度(mm)		+10, -5	水平仪测量：检查跨中
5	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
6	焊接	焊缝尺寸	符合设计要求	量规：检查全部
		焊缝探伤		无损探伤：检查全部

12.4 波形钢腹板焊接连接

12.4.1 波形钢腹板节段之间的焊接连接，应在梁段就位、固定、并经检查合格后方可进行施焊。

12.4.2 工地焊接前应做工艺评定试验，施焊应严格按已评定的焊接工艺进行。焊接前对接头坡口、焊缝间隙和焊接板面高低差等进行检查，并应采用钢丝砂轮对焊缝进行除锈，且工地焊接应在除锈后 24h 内进行。

12.4.3 工地焊接时应设立防风、防雨设施，遮盖全部焊接处。工地焊接的环境要求为：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。

12.4.4 焊接施工时的技术要求应符合 JGJ 81 的要求，工地焊接接缝检验应按 JTG/T F50 进行。

12.4.5 在钢腹板现场焊缝焊接完后，需要对钢腹板的偏位进行复合校正，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。

12.5 波形钢腹板安装焊缝处的防腐处理

波形钢腹板施工现场涂装修复：底层涂刷有机富锌底漆代替工厂喷铝层，其它中层和面层做法不变，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。

12.6 波形钢腹板高强度螺栓连接

12.6.1 高强度螺栓宜选用大六角头螺栓。高强度螺栓及螺母、垫圈的外形尺寸公差及技术条件，其运输、保管及储存应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定。

12.6.2 高强度螺栓连接的摩擦面应按照 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。

12.6.3 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。

12.7 波形钢腹板现场涂装

12.7.1 涂装前准备

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。

12.7.2 现场涂装

- a) 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。
- b) 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。
- c) 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仅进行底漆涂装。

12.7.3 现场涂装检验

波形钢腹板涂装质量检验应符合 TB/T 1527 和表 6 的要求。

表 6 波形钢腹板防护涂装检验要求

序号	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	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%
2	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
		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
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
注：项次3的检查频率按设计规定执行，设计未规定时，每10m ² 测3~5个点，每个点附近测3次，取平均值，每个点的量测值如小于设计值应加涂一层涂料，每涂完一层后，应检测干膜总厚度。				

【条文说明】波形钢腹板现场涂装工艺流程可参考图 24 进行。

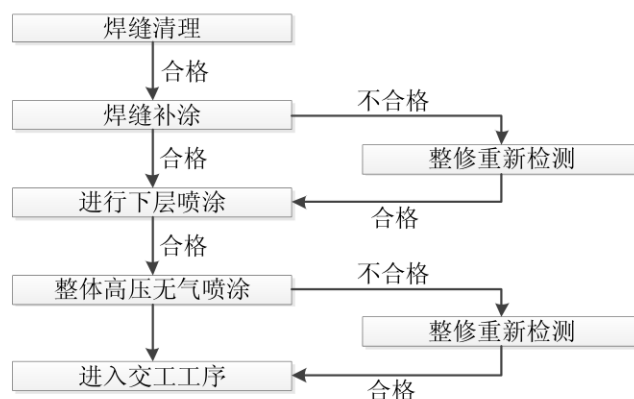


图 24 波形钢腹板的现场涂装工艺流程图

12.8 栓钉连接件施工

- 12.8.1 栓钉连接件的材料、机械性能以及焊接要求应符合 GB/T 10433 的规定。
- 12.8.2 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。
- 12.8.3 栓钉连接件表面可不需要经过表面处理。
- 12.8.4 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严格按照设计要求进行控制。
- 12.8.5 栓钉连接件施工必须在焊接工艺试验且各项试验数据检验合格后正式实施。
- 12.8.6 栓钉表面应无锈蚀、氧化皮、油脂和毛刺等。其杆部表面不允许有影响使用的裂缝。
- 12.8.7 混凝土振捣时应避免振捣棒直接接触栓钉。

12.9 开孔钢板连接件的施工

- 12.9.1 开孔钢板成型及翼缘板、钢板开孔、焊接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。
- 12.9.2 贯穿钢筋至孔周边的距离不宜小于混凝土骨料最大粒径。
- 12.9.3 贯穿钢筋直径和材料应符合设计要求，使用前应以批次控制进行相应的试验检验。贯穿钢筋加工尺寸偏差不大于 5mm，并要求顺直。
- 12.9.4 贯穿钢筋安装及定位应符合设计要求并可通过下述措施来保证：
 - a) 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；
 - b) 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；
 - c) 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；
 - d) 贯穿钢筋安装偏差不应超过 5mm。偏差量可通过钢筋周边至孔周边的距离以及相邻钢筋间距进行控制。
- 12.9.5 使用开孔板连接的顶、底板混凝土应有良好的工作性、和易性、流动性，必要时可采用自密实混凝土；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。
- 12.9.6 配置顶、底板混凝土的粗骨料宜采用 5mm~20mm 连续级配碎石，最大粒径不得超过 25mm，混凝土强度应满足设计要求。

12.9.7 宜进行工艺试验验证混凝土配合比及性能，并在贯穿钢筋、钢板预留孔、混凝土的相互结合程度满足设计传力要求的前提下确定施工工艺。

12.10 嵌入型连接件的施工

- 12.10.1 嵌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。
- 12.10.2 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。

12.11 角钢连接件的施工

- 12.11.1 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。
- 12.11.2 贯穿钢筋应居中于预留孔，安装偏差不应超过 5mm。
- 12.11.3 角钢连接件的 U 形钢筋与角钢的焊接连接应在现场完成。
- 12.11.4 浇筑混凝土时应保证孔内及角钢连接件周边混凝土浇筑密实。

12.12 波形钢腹板竣工验收质量标准

波形钢腹板竣工验收质量标准应按GB 50205的有关规定执行。

13 满堂支架施工方法

13.1 适用范围

适用于中小跨径（一般80m以下）波形钢腹板组合结构桥梁的现浇施工。
【条文说明】满堂支架法施工流程可参考图 25 所示流程执行。

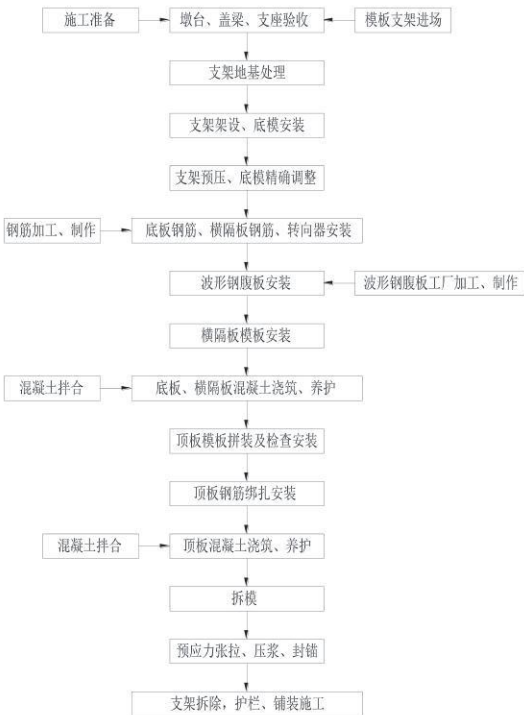


图 25 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁满堂支架法施工流程示意

13.2 基本要求

13.2.1 所用的水泥、砂、石、水、外掺剂及混合材料的质量和规格，必须符合有关规范要求，并按规定的配合比施工。

13.2.2 支架和模板的强度、刚度和稳定性，应符合 JTG/T F50 有关规定。

13.2.3 支架变形和地基沉降应符合设计和相关规范要求。

13.2.4 波形钢腹板须在支架上进行充分固定，防止混凝土浇筑时产生变形。

13.2.5 预埋件的预埋和固定应符合设计和相关规范要求。

13.3 模板、支架工程

13.3.1 施工支架搭设应考虑波形钢腹板就位、平面纠偏、高度调整、倾斜度的控制设施。波形钢腹板外侧可设一定刚度的靠架，在波形钢腹板内侧设可调拉杆。

13.3.2 靠架与可调拉杆的刚度可适当加大，以控制波形钢腹板加载后产生局部变形，或混凝土浇筑时导致波形钢腹板上浮，影响标高控制效果。

13.4 波形钢腹板施工

13.4.1 波形钢腹板现场施工应符合本规范第 12 章有关规定。

13.4.2 波形钢腹板的安装在底板钢筋绑扎后、顶板钢筋绑扎前，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。

13.4.3 波形钢腹板定位时，其标高应与桥梁纵坡一同调整。

13.4.4 波形钢腹板在支架上的安装步骤应根据具体工程设定，也可参照以下步骤执行：

- a) 安装波形钢腹板前，应在底模板上标记出底板钢筋位置及波形钢腹板位置，以保证横隔板位置准确，避免底板钢筋与波形钢腹板的下翼缘连接件互相干扰。
- b) 多箱室波形钢腹板安装，可按照先边腹板，后中腹板的顺序进行。

13.4.5 波形钢腹板安装精确定位可参照以下步骤执行：

- a) 宜在波形钢腹板底部设临时千斤顶调整标高，上下翼缘板上设置可调支撑脚，微调波形钢腹板位置和线形。
- b) 宜在波形钢腹板顶端每隔 3m~5m，设置横拉或横撑的定位钢管，把每一块钢腹板准确地调整到图纸设计位置。
- c) 自检合格后按规定程序进行验收，验收合格方可进行连接工作。

13.5 混凝土浇筑

13.5.1 混凝土浇筑及养护应符合 JTG/T F50 的有关规定。

13.5.2 混凝土浇筑时横向要两侧对称浇筑，纵向从梁跨中向墩顶方向对称浇筑，防止浇筑过程中墩顶位置出现裂缝，全部浇筑在混凝土初凝前完成。整体浇筑时应采取措施，防止梁体不均匀下沉产生的裂缝。

13.5.3 当顶板混凝土浇筑临近结束时，严格控制其顶面的标高。箱梁顶面混凝土应压实抹平，并在其初凝前进行拉毛处理。去除浮浆和油污，以提高与混凝土调平层的结合。

13.6 预应力筋施工

预应力筋施工应符合 JTG/T F50 的有关规定。

13.7 施工质量要求

波形钢腹板组合结构桥梁满堂支架的施工质量应符合JTG/T F50的相关要求。

14 预制吊装施工方法

14.1 适用范围

适用于小跨径（一般30m以下）波形钢腹板组合结构桥梁的顶推施工。

【条文说明】预制吊装施工流程可参考图 26 所示流程执行。

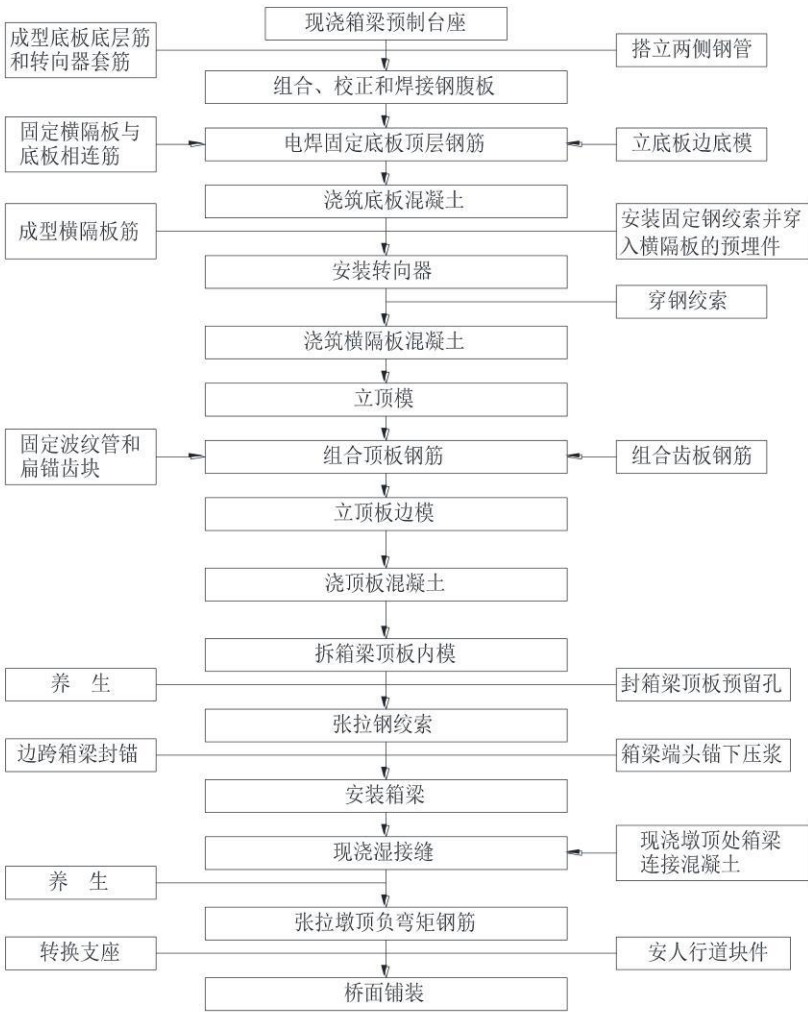


图 26 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁预制吊装施工流程图

14.2 基本要求

- 14.2.1 所用的水泥、砂、石、水、外掺剂及混合材料的质量和规格，必须符合有关规范要求，并按规定的配合比施工。
- 14.2.2 梁体在吊装移出预制底座时，混凝土的强度不得低于设计要求的吊装强度；梁体安装时，支承结构（墩台、盖梁、垫石）的强度应符合设计要求。
- 14.2.3 梁体安装前，墩、台支座垫板必须稳固。
- 14.2.4 梁体就位后，梁端支座应对位，梁底与支座以及支座与垫石应密贴，否则应重新安装。
- 14.2.5 梁体之间的接缝填充材料的规格和强度，应符合设计要求。

14.3 预制梁的制作

- 14.3.1 预制场地与预制台座的要求应符合 JTG/T F50 的有关规定。
- 14.3.2 钢筋、模板及预应力的施工应符合 JTG/T F50 的有关规定。
- 14.3.3 波形钢腹板的施工应符合本规范第 12 章的有关规定。
- 14.3.4 预制梁制作时应充分考虑波形钢腹板剪切变形引起的梁体挠度变化。

14.4 预制梁的运输与保存

- 14.4.1 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 JTG/T F50 的有关规定。
- 14.4.2 预制梁在运输的过程中，应注意保护波形钢腹板的表面涂装层。

14.5 预制梁的现场安装

- 14.5.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁的安装施工应符合 JTG/T F50 的有关规定。
- 14.5.2 预制梁吊装前应做好工艺设计，并进行吊装工况下结构应力和变形计算，确保吊装过程中结构安全。
- 14.5.3 吊点应设置在设计支承线、具有横隔板位置，梁上的吊点以 4 个为宜。
- 14.5.4 波形钢腹板预应力混凝土斜、弯预制梁安装时，必须对预制梁的弯曲应力进行验算。
- 14.5.5 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整体化。梁体就位后应按设计要求及时浇筑接头混凝土。
- 14.5.6 大型波形钢腹板预应力混凝土预制组合梁整孔运输、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。
- 14.5.7 预制波形钢腹板组合结构桥梁安装过程中，应经常对构件混凝土进行裂缝观测。

14.6 施工质量要求

波形钢腹板组合结构桥梁预制吊装的施工质量应符合 JTG/T F50 的有关规定。

15 悬臂现浇施工方法

15.1 适用范围

适用于大跨径（一般为 80m~250m）波形钢腹板组合结构桥梁的悬臂现浇施工。

【条文说明】悬臂现浇施工流程可参考图 27 所示流程执行。

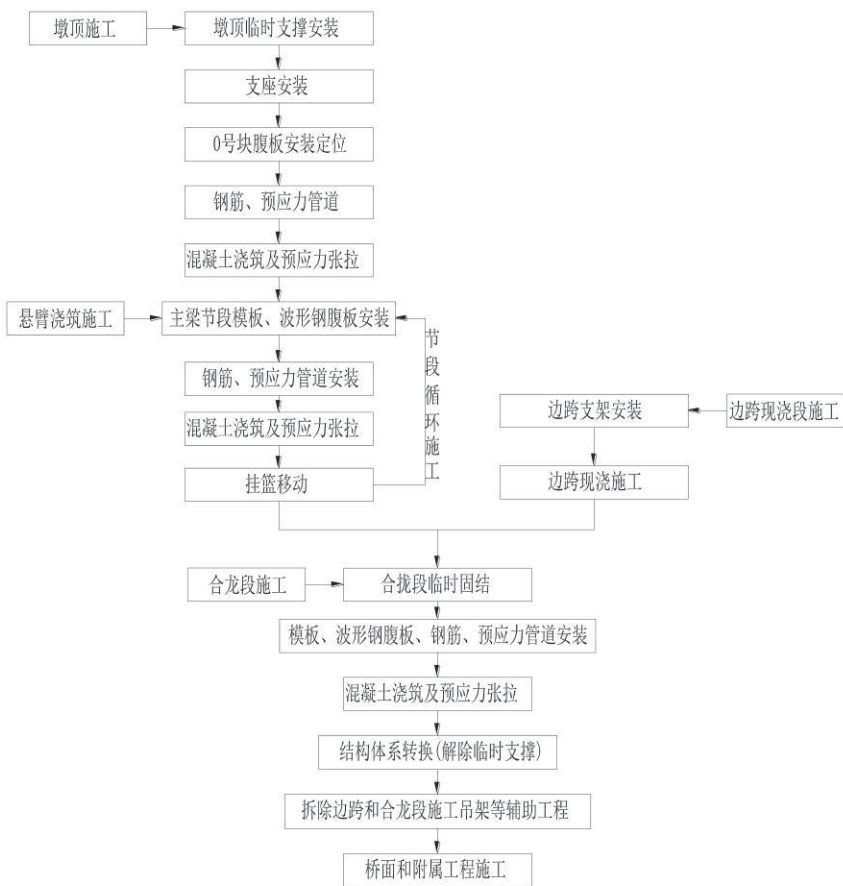


图 27 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁悬臂现浇法施工方法示意图

15.2 基本要求

- 15.2.1 所用的水泥、砂、石、水、外掺剂及混合材料的质量和规格，必须符合有关规范要求，并按规定的配合比施工。
- 15.2.2 悬臂浇筑前，必须对桥墩根部（0 号块件）的高程、轴线作详细复核，符合设计要求后，方可进行下一步施工。
- 15.2.3 悬臂浇筑施工宜对称、平衡进行，各悬臂阶段预拱度应考虑混凝土收缩徐变的影响。
- 15.2.4 在施工过程中，应严格控制裂缝，一旦出现，须查明原因并采取适当措施。
- 15.2.5 悬臂段新旧混凝土须保证充分的粘结性能，应对接缝处混凝土进行拉毛等处理。
- 15.2.6 合龙时，应考虑两侧梁体的高差及温度的影响，选择一天中气温最低且稳定的时段内进行施工。

15.3 挂篮

- 15.3.1 挂篮结构必须经过设计计算，具有足够的强度、刚度和稳定性，且应符合 JTG/T F50 的相关要求。
- 15.3.2 挂篮设计时，应预留波形钢腹板的吊装设备与空间，锚固部位应考虑抗剪连接件的影响。
- 15.3.3 波形钢腹板可作为挂篮承重结构，应通过结构计算确定。

15.4 波形钢腹板施工

- 15.4.1 波形钢腹板现场施工应符合本规范第 12 章有关规定。

15.4.2 波形钢腹板的悬臂安装可参照以下步骤执行：

- a) 波形钢腹板起吊、安装；
- b) 波形钢腹板定位；
- c) 设置临时支撑固定内外侧波形钢腹板使之成为整体，并应留有可调整余地。

15.4.3 波形钢腹板起吊系统宜采用塔吊起吊，将波形钢腹板运输至塔吊吊点正下方，起吊纵向移动至设计位置，转换吊点至手拉葫芦，通过松、紧四角手拉葫芦精确定位安装。

15.4.4 波形钢腹板应根据横向坐标、纵向坐标和竖向坐标进行空间定位，定位精度应符合本规范第12章有关规定。

15.4.5 悬臂施工时，波形钢腹板截面须设置横向临时固定措施，以减少悬臂施工时波形钢腹板的变形。

【条文说明】横向临时固定措施可参考图28所示流程执行。

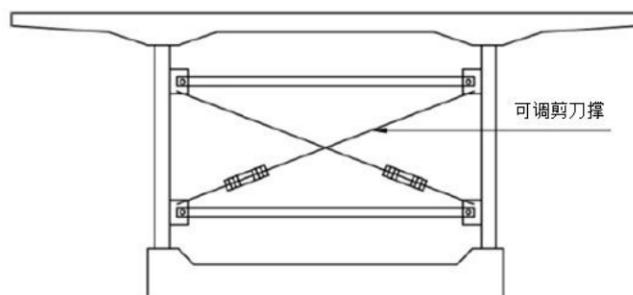


图 28 波形钢腹板截面临时固定措施

15.4.6 波形钢腹板在合龙段的安装可参照以下步骤执行：

- a) 测量合龙段的实际尺寸，合龙段波形钢腹板根据现场实际长度精确确定；
- b) 调整合龙段两端的标高至符合设计要求；
- c) 锁定合龙段；
- d) 将波形钢腹板吊装就位，按设计连接方式与合龙口两侧钢腹板有效连接；
- e) 焊接波形钢腹板的安装焊缝。

15.5 混凝土浇筑

15.5.1 悬臂段混凝土的浇筑应符合 JTG/T F50 有关规定，应对梁体主要截面应力观测值与理论值进行比较，观测体系转换过程中的应力变化。

15.5.2 波形钢腹板组合结构桥梁悬臂浇筑施工的质量应符合 JTG/T F50 有关规定。

15.5.3 现浇段混凝土的浇筑应符合本规范第13章满堂支架施工有关规定，且靠近边墩(台)宜的先浇，逐段向合龙段靠拢，并逐渐调整现浇梁段的标高，使合龙高差在允许误差范围之内。浇筑混凝土前应确保支架与梁底之间能相对滑动，使边跨合龙时现浇段能随原浇筑 T 构自由伸缩，避免混凝土拉应力过大。

15.6 预应力筋施工

预应力筋施工应符合 JTG/T F50 有关规定。

15.7 合龙段施工

15.7.1 应测量箱梁顶面标高及轴线，连续测试温度影响偏移值，观测合龙段在温度影响下梁体长度的变化。

15.7.2 合龙顺序应按设计要求进行，设计无要求时，一般先边跨，后次中跨，再中跨。多跨一次合龙时，必须同时均衡对称地合龙。合龙时，桥面上设置的所有临时荷载均应与监控单位和设计单位协商决定。

15.7.3 连续梁合龙段长度及体系转换应符合设计规定，将两悬臂端内合龙口予以临时联结，联结注意事项如下：

- a) 复查、调整两悬臂端合龙施工荷载，使其对称相等，如不相等时，应用压重调整。
- b) 检查梁内预应力钢束是否张拉完成。
- c) 复测、调整中跨、边跨悬臂的挠度及两端的高差。
- d) 观测了解合龙前的温度变化与梁端高程及合龙段长度变化的关系。
- e) 合龙前应在两端悬臂预加重，并于浇筑混凝土过程中逐步撤除，使悬臂挠度保持稳定。合龙宜在一天中最低气温时完成。合龙段的混凝土强度等级可提高一级，以尽早张拉。合龙段混凝土浇筑完成后，应加强养护，悬臂端应覆盖，防止日晒。

15.7.4 体系转换及支座反力调整，应按设计程序要求施工。

15.8 支座安装

15.8.1 支座安装应按规范 JTG/T F50 有关规定执行。

15.8.2 支座安装前应进行检查，确认规格、类型和外观质量，合格后方可安装使用。

15.8.3 永久支座应在底模安装前安装，边跨端支点梁段施工时，应设置临时支座或对永久支座采取保护措施，以保护永久支座在边跨合拢施工中不遭破坏。

15.9 施工质量要求

波形钢腹板组合结构桥梁悬臂浇筑的施工质量应符合 JTG/T F50 的有关规定。

16 顶推施工方法

16.1 适用范围

适用于中小跨径（一般40~60m）等高截面波形钢腹板组合结构桥梁的顶推施工。

【条文说明】顶推施工流程可参考图 29 所示流程执行。

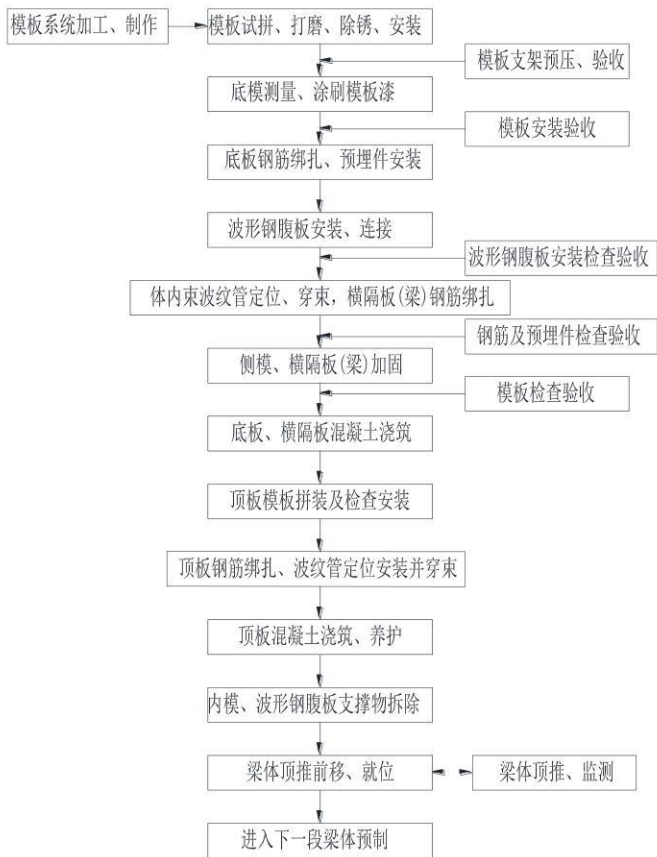


图 29 波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁顶推施工方法示意图

16.2 基本要求

- 16.2.1 可用波形钢腹板加上下翼缘板作为导梁进行顶推施工。
- 16.2.2 台座和滑道组的中线必须在桥轴线或其延长线上。
- 16.2.3 导梁应在地面试装后，再在台座上安装，导梁与梁身必须牢固连接。
- 16.2.4 千斤顶及其他顶推设备，在施工前应仔细检查校正，多点顶推必须确保同步。
- 16.2.5 顶推过程中，须设专人观测墩台沉降、墩台位移及梁的偏位、导梁和梁挠度等资料，提供观测数据。
- 16.2.6 顶推及落梁程序正确，若梁体出现裂缝，应查明原因，在采取措施后，方可继续顶推。

16.3 预制场地

- 16.3.1 选择梁段预制场地时，除应考虑 14.2.2 条有关规定执行外，还应注意下列事项：
 - a) 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。
 - b) 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。
 - c) 预制场地上空宜搭建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。

- d) 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。
 - e) 在预制场内台座后方，可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。
- 16.3.2 台座的轴线应与桥梁轴线的延长线重合，台座的纵坡应与桥梁的纵坡一致。台座施工的允许偏差如下：
- a) 轴线偏差：5mm；
 - b) 相邻两支承点上台座中滑移装置的纵向顶面标高差：2mm；
 - c) 同一个支承点上滑移装置的横向顶面标高差：1mm；
 - d) 台座（包括滑移装置）和梁段底模板顶面标高差：2mm。

16.4 顶推导梁

- 16.4.1 可用最前沿一跨波形钢腹板作施工导梁，利用上翼缘板作导梁的上缘，利用下翼缘板作导梁的下缘并以混凝土突缘加强其承压能力。
- 16.4.2 顶推过程中导梁下缘要承受较大的纵向压力和支架的集中支承力，混凝土突缘可用高强纤维混凝土做成，顶推完成后此突缘作为底板的一部分。
- 16.4.3 导梁的两侧波形钢腹板间应安装强劲的支撑系统，以确保顶推过程中导梁不发生横向扭曲。
- 16.4.4 在顶推过程中，应注意防止临时设施损坏波形钢腹板涂装。
- 16.4.5 为保证导梁顺利迎墩，导梁前方宜设置钢制牛腿。

16.5 梁段预制及养护

- 16.5.1 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 JTG/T F50 的规定。
- 16.5.2 波形钢腹板现场施工应按本规范第 12 章有关规定执行。
- 16.5.3 钢筋工作和预应力管道安装除应符合 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。

16.5.4 梁段混凝土浇筑

- 16.5.5 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。
- 16.5.6 混凝土的材料要求、配合比设计、搅拌、运输、浇筑等的具体要求，可参照 JTG/T F50 的有关规定执行。在必要时可使用早强水泥或掺入早强减水剂，以提高早期强度，缩短顶推周期。
- 16.5.7 梁段工作缝的接触面应凿毛，并洗刷干净，或采用其他可加强混凝土接触的措施。
- 16.5.8 混凝土可采用两次浇筑，第一次浇筑主梁底板，第二次浇筑主梁顶板。支座位置处的隔板，在整联梁顶推到位并完成解联后，进行浇筑，振捣时应避免振动器碰撞预应力筋管道、预埋件等。
- 16.5.9 第一梁段前端设置导梁端的混凝土浇筑，应注意振捣密实，导梁的中心线与水平位置应准确平整。

16.6 梁段施加预应力

- 16.6.1 梁段预应力束的布置、张拉次序、临时束的拆除次序等，应严格按照设计规定执行。其施工的技术要求应按照 JTG/T F50 有关规定执行。
- 16.6.2 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。

16.6.3 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。

16.7 梁体顶推方法及装置

梁体顶推方法及其装置应按JTG/T F50的有关规定执行。

16.8 施工质量要求

波形钢腹板组合结构桥梁顶推的施工质量应符合JTG/T F50的有关规定。

本规范用词说明

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”；
表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附录 A 国内代表性波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁实例

A.0.1 国内代表性波形钢腹板预应力混凝土组合桥梁实例见附表A。

附表 A 国内代表性波形钢腹板组合结构桥梁实例

编号	桥名	结构形式	跨径布置/m	施工方法	单幅桥宽/m	竣工年份	省份
1	光山浚河桥	4跨先简支后连续箱梁	4×30	预制吊装	16	2005	河南
2	淮安长征人行桥	3跨连续梁	18.5+30+18.5	满堂支架	7	2005	江苏
3	青海三道河桥	简支箱梁	1×25	满堂支架	12	2006	青海
4	大堰河桥	简支箱梁	1×25	满堂支架	9	2006	重庆
5	宁波甬新河桥	3跨连续梁	24+40+24	满堂支架	50.4	2006	浙江
6	东营银座B桥	简支箱梁	1×38	满堂支架	7	2007	山东
7	三道河桥	简支箱梁	1×50	满堂支架	11	2008	青海
8	郭守敬桥	3跨连续梁	17+35+17	满堂支架	30	2009	河北
9	钢铁路桥	3跨连续梁	17+35+17	满堂支架	36	2009	河北
10	梁庄路桥	3跨连续梁	17+35+17	满堂支架	35	2009	河北
11	邢州路桥	3跨连续梁	17+35+17	满堂支架	35	2009	河北
12	浦东中环线立交匝道桥	2跨连续梁	45+45	满堂支架	8.2	2010	上海
13	李家河桥	3跨连续梁	20+30+20	满堂支架	16	2010	湖南
14	大广高速6号桥	6跨连续梁	20+4×25+20	预制吊装	8	2010	河北
15	百隆高速桥	简支箱梁	1×40	满堂支架	12.75	2010	广西
16	卫河大桥	3跨连续梁	47+52+47	满堂支架	15.25	2010	河南
17	鄄城黄河大桥	14跨连续梁	70+11×120+70	悬臂施工	13.5	2011	山东
18	新密溱水河大桥	3跨无背索斜拉桥	30+70+30	满堂支架	50	2011	河南
19	南京四桥滁河大桥	3跨连续梁	58+96+58	悬臂施工	16	2012	江苏
20	广州绕城公路鱼窝头桥	3跨连续梁	35+50+35	满堂支架	10.5	2012	广东
21	金马高速东阳立交桥	3跨连续梁	30+40+30	满堂支架	12.75	2012	江苏
22	南京东绕城玉春桥	3跨连续梁	30+40+30	满堂支架	8	2012	江苏
23	准兴高速景家湾大桥	5跨连续刚构	44+3×80+44	悬臂施工	12.75 (14.5)	2013	内蒙古
24	准兴高速长虫沟大桥	5跨连续刚构	44+77+80+77+44	悬臂施工	13 (17.25)	2013	内蒙古
25	杭州德胜东路桥	3跨连续梁	45+75+45	悬臂施工	25	2013	浙江
26	台中4号线大里溪桥	5跨连续梁	99+3×145+99	满堂支架	25.8	2013	台湾
27	桃花峪黄河大桥	3跨连续梁	75+135+75	悬臂施工	16.55	2013	河南

编号	桥名	结构形式	跨径布置/m	施工方法	单幅桥宽/m	竣工年份	省份
28	邢台南水北调大桥	3跨连续梁	70+120+70	悬臂施工	14.01	2013	河北
29	草桥沟桥	3跨连续梁	22+36+22m	满堂支架	28	2013	山东
30	郑州常庄干渠桥	9跨连续梁+10跨连续梁	(9×50) + (9×50+40)	顶推施工	12.75	2014	河南
31	东营河桥	3跨连续梁	15+30+15	满堂支架	20	2014	山东
32	内乡县张家庄天桥	2跨连续梁	2×40	预制吊装	7	2014	河南
33	跨北引水渠桥	3跨连续梁	42.5+56+42.5	满堂支架	24	2014	河南
34	巴中恩阳河桥	3跨连续梁	51+90+51	悬臂施工	18	在建	四川
35	兰州小砂沟桥	4跨连续刚构	57+2×100+57	悬臂施工	13	在建	甘肃
36	头道河大桥	3跨连续刚构	72+130+72	悬臂施工	12.75	在建	四川
37	合肥跨南淝河大桥	3跨连续梁	95+153+95	悬臂施工	26	在建	安徽
38	井冈山经开区深圳桥	3跨连续梁	61+8+61	顶推施工	17	在建	江西
39	深圳东宝河桥	3跨连续梁	88+156+88	满堂支架	16.25	在建	广东
40	虹云桥	3跨连续梁	75+130+75	悬臂施工	12	在建	四川
41	西咸高速 K115+300 天桥	2跨连续梁	2×30	满堂支架	8	在建	陕西
42	西咸高速 K50+312.9 天桥	2跨连续梁	2×30	满堂支架	5.5	在建	陕西
43	郑州南三环紫宸路桥	3跨连续梁	40+77+40	悬臂施工	13	在建	河南
44	运宝黄河大桥	矮塔斜拉桥+连续刚构+连续梁	110+2×200+110+48+9×90+48	悬臂施工	34	在建	山西
45	叶盛黄河大桥	7跨连续梁	70+5×120+70	悬臂施工	12.75	在建	宁夏
46	宝鸡市清水河大桥	7跨连续刚构	65+5×120+65	悬臂施工	16	在建	陕西
47	宝汉高速堡子沟天桥	2跨连续梁	2×40	满堂支架	6.5	在建	陕西
48	南昌朝阳大桥主桥	6塔斜拉桥	79+5×150+79	悬臂施工	45.84	在建	江西
49	港珠澳前山河特大桥	3跨连续梁	90+160+90	悬臂施工	15.75	在建	广东
50	朝阳沟特大桥	4跨部分斜拉桥	58+118+188+108	悬臂施工	35	在建	河南
51	湖州南浔区应界桥	3跨连续梁	52+90+52	悬臂施工	13.75	在建	浙江

注：截止至2014年12月31日