

公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥 施工规范

Construction code of prestressed concrete composite bridges with corrugated steel
webs in the highway

2020 – 03 – 31 发布

2020 – 05 – 01 实施

山东省市场监督管理局 发布

目 次

前言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 基本规定..... 4

5 材料..... 4

 5.1 混凝土..... 4

 5.2 钢材..... 4

 5.3 普通钢筋与预应力筋..... 4

6 波形钢腹板制造..... 4

 6.1 一般规定..... 4

 6.2 波形钢腹板加工..... 4

 6.3 波形钢腹板工厂涂装..... 5

 6.4 波形钢腹板运输与存放..... 5

7 波形钢腹板施工..... 6

 7.1 波形钢腹板安装与定位..... 6

 7.2 波形钢腹板纵向连接..... 6

 7.3 波形钢腹板的工地防腐涂装..... 7

8 连接件的施工..... 7

 8.1 栓钉连接件的施工..... 7

 8.2 开孔钢板连接件的施工..... 7

 8.3 嵌入型连接件的施工..... 8

 8.4 角钢连接件的施工..... 8

9 预应力施工..... 8

 9.1 一般规定..... 8

 9.2 施工准备..... 8

 9.3 预应力张拉..... 9

 9.4 张拉应力的控制..... 9

 9.5 孔道压浆及封锚..... 9

10 预制吊装施工..... 10

 10.1 一般规定..... 10

 10.2 预制梁的制作..... 10

 10.3 预制梁的运输与保存..... 10

10.4 预制梁的现场安装.....10

11 满堂支架现浇施工.....10

11.1 一般规定.....11

11.2 模板与支架工程.....11

11.3 波形钢腹板施工.....11

11.4 混凝土浇筑.....11

11.5 预应力施工.....11

12 悬臂浇筑施工.....11

12.1 一般规定.....11

12.2 墩顶梁段 0 号块施工.....12

12.3 挂篮安装.....12

12.4 波形钢腹板安装.....13

12.5 预应力施工.....13

12.6 挂篮前移及拆除.....13

12.7 连接件施工.....14

12.8 钢混结合部施工.....14

12.9 钢筋安装.....14

12.10 边跨段现浇施工.....14

12.11 合龙段施工.....15

13 错位悬臂浇筑施工.....15

13.1 一般规定.....15

13.2 挂篮安装.....15

13.3 行走系统.....15

13.4 挂篮前移与拆除.....16

14 施工质量控制.....16

14.1 抗剪连接件焊接.....16

14.2 波形钢腹板现场施工.....17

14.3 预制吊装施工.....18

14.4 满堂支架现浇施工.....19

14.5 悬臂浇筑施工.....20

附录 A（规范性附录） 本规范用词说明.....21

附录 B（资料性附录） 条文说明.....22

前 言

本规范按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本规范由山东省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本规范起草单位：山东高速高广公路有限公司、东南大学、山东大学、山东省路桥集团有限公司。

本规范主要起草人：徐庆军、万水、姜竹昌、岳宏智、曹洪亮、张峰、吴士乾、陈旭、尹永胜、刘洪成、段莹、刘玉梅、邢向军、陈伟、张越、于旻、蔡瑞瑞、牛传同、张好、王冠、高华睿。

公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥施工规范

1 范围

本规范规定了公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的材料、构造以及施工等内容，城市桥梁可参照执行。

本规范适用于公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的施工与质量控制，并与相关国家标准与行业标准配合使用。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- 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 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范
- GB 50661 钢结构焊接规范
- CJJ/T 272 波形钢腹板组合梁桥技术标准
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG/T D64—01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范
- 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 第一册 土建工程
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- 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
- TBJ 214 铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁 prestressed concrete composite box girder with corrugated steel webs

由预应力混凝土顶板、底板与波形钢腹板通过抗剪连接件组合而成，共同受力的钢-混凝土组合梁（图1）。

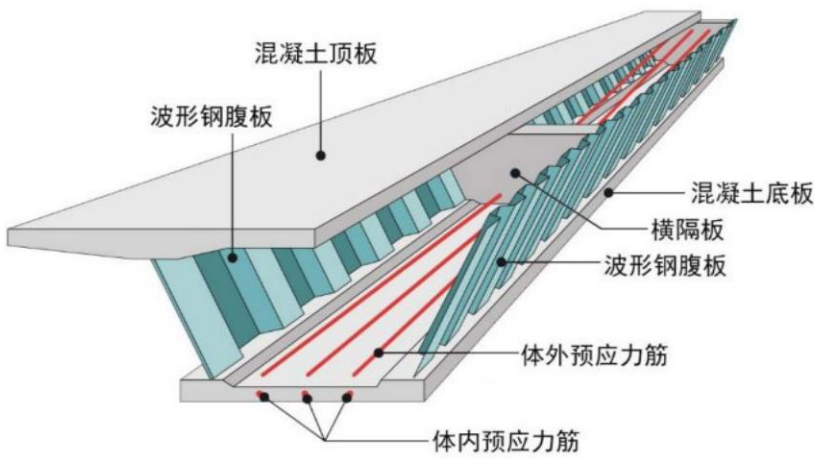


图1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁示意图

3.2

波形钢腹板 corrugated steel web

被加工成波折或波纹形状，作为箱梁或工字梁腹板构造的钢板。波形钢腹板一般有1600型、1200型和1000型三种型号（图2），厚度宜为9 mm~40 mm。

单位为mm

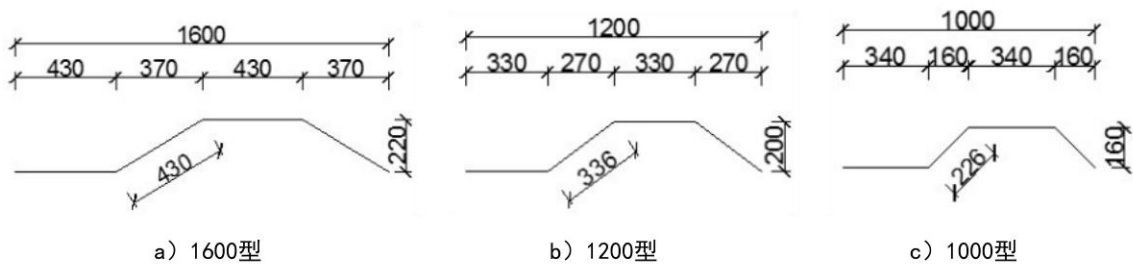


图2 波形钢腹板形状示意图

3.3

抗剪连接件 shear connector

用于连接波形钢腹板与混凝土顶底板并传递两者之间的纵向剪力、横向弯矩，抵抗两者相对滑移与竖向分离，保证两者共同工作的部件（图3）。

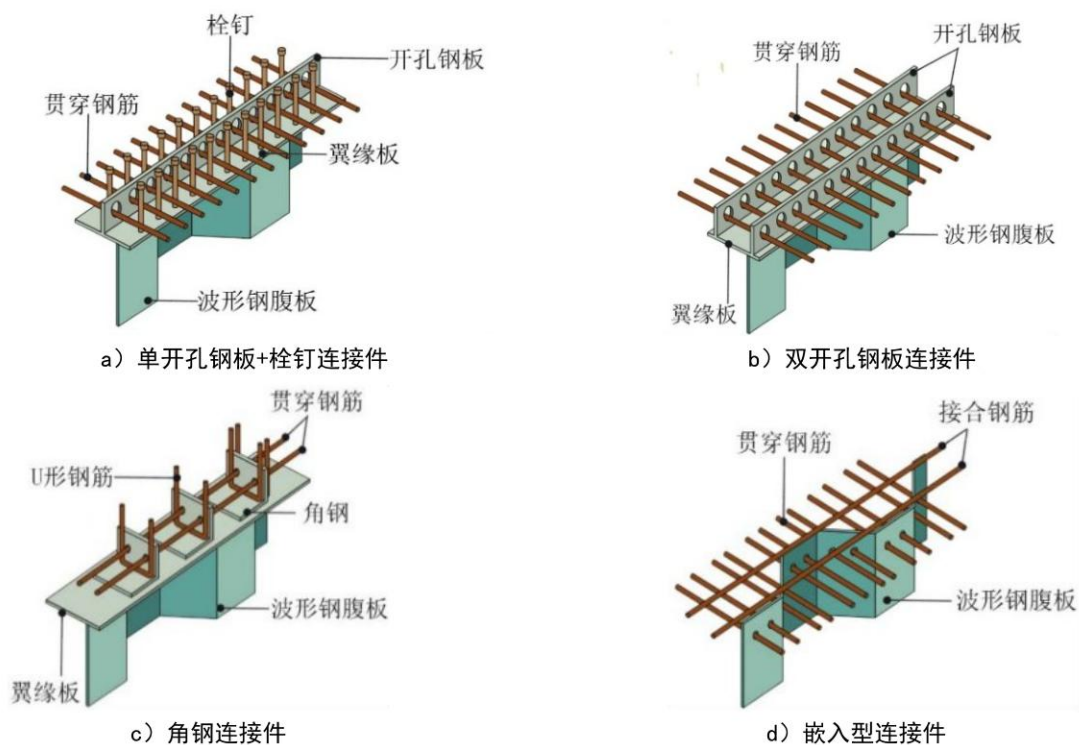


图3 常用抗剪连接件

3.4

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、角钢或开孔钢板与贯穿钢筋等，使混凝土与波形钢腹板共同受力的连接件（图3-a、b、c）。

3.5

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，与混凝土共同受力的连接件（图3-d）。

3.6

内衬混凝土 concreteliner

在波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥支点附近一定范围内的波形钢腹板内侧设置的，并用连接件与波形钢腹板紧密连接的钢筋混凝土。

3.7

组合腹板段 girder segment with composite webs

设置内衬混凝土的波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥节段。

3.8

钢混结合部 steel-concreteconnectionpart

使钢构件与混凝土构件相互结合、共同受力的部分。

4 基本规定

- 4.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。
- 4.2 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥施工应有健全的质量保证体系，对施工质量实施全过程控制。
- 4.3 采用超出本规范规定的新技术、新工艺、新材料、新设备的工程项目，应提前做试验研究和论证工作，保证工程施工顺利进行。
- 4.4 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥施工前，应编制专项施工方案，明确安全及应急保障措施。
- 4.5 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥施工过程中，应做好环境保护和水土保持工作，并做到安全文明施工。
- 4.6 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥采用悬臂施工时应进行施工监控。

5 材料

5.1 混凝土

- 5.1.1 混凝土的材料性能、参数应符合 JTG 3362 和 JTG/T F50 的有关规定。
- 5.1.2 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥上部结构的混凝土强度等级不宜低于设计等级。

5.2 钢材

- 5.2.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥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、GB/T 714 和 JTG D64 的规定。
- 5.2.2 翼缘板、连接件及焊接材料的材质应与主体钢材相匹配。
- 5.2.3 栓钉连接件的材料应符合 GB/T 10433 的规定。

5.3 普通钢筋与预应力筋

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥所用的普通钢筋与预应力筋应符合 JTG 3362 的规定。

6 波形钢腹板制造

6.1 一般规定

- 6.1.1 波形钢腹板制造前应按设计文件和 JT/T 784、JT/T 722、GB 50205 的要求，编制制造工艺指导书。
- 6.1.2 波形钢腹板应由具有相应资质的厂家加工制造。
- 6.1.3 构件安装前，应保证外观平整，无裂缝、锈蚀、毛刺、凹坑、变形等缺陷。
- 6.1.4 波形钢腹板防腐涂装应符合 JT/T 722 的规定，且出厂前应完成第一层面漆的涂装。

6.2 波形钢腹板加工

- 6.2.1 波形钢腹板的加工制造应满足设计文件和本规范的要求。
- 6.2.2 制造前测量人员应对连接件的位置进行准确的测量放样。波形钢腹板的放样应考虑理论与实际成型尺寸的差异，号料时宜整板下料。

- 6.2.3 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、位置应符合设计要求，加工尺寸偏差应小于 2 mm。
- 6.2.4 采用翼缘型抗剪连接件的波形钢腹板，其下翼缘板应开有出气孔。
- 6.2.5 在工厂或工地首次焊接前，或材料、工艺在施工过程中有变化时，必须分别进行焊接工艺评定试验，出具焊接工艺评定报告。
- 6.2.6 波形钢腹板应按波长整体模压成型或连续模压成型，波形钢腹板的纵向连接应采用对接埋弧焊接。
- 6.2.7 波形钢腹板与翼缘板的焊接、开孔钢板与翼缘板的焊接应采用熔透焊或坡口焊，并符合 JT/T 784 的规定。
- 6.2.8 波形钢腹板加工完成后，应进行出厂验收，并按板块设计编号进行核对，出具质量检验合格证及材料的质量证明。
- 6.2.9 波形钢腹板的冷弯加工半径一般应不小于板厚的 15 倍，当满足表 1 所示的夏比摆锤冲击试验的要求，且化学成分中的氮含量不超过 0.006 %，波形钢腹板的冷弯加工半径亦可做成板厚的 7 倍或 5 倍以上。夏比摆锤冲击试验应符合 GB/T 229 的相关要求。

表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	试验方法
>150	≥7 t	夏比摆锤冲击试验
>200	≥5 t	

注：表中t为板厚。

6.3 波形钢腹板工厂涂装

- 6.3.1 涂装前处理：
- a) 涂装前应采用抛丸或喷砂工艺，对波形钢腹板表面进行二次前处理，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；
 - b) 前处理合格后 4 h 内应进行涂装作业，否则应再次进行前处理。
- 6.3.2 涂装环境：
- a) 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。室内涂装时的环境温度宜在 5 ℃～30 ℃之间，相对湿度不应大于 80 %；
 - b) 现场涂装时，不得在雨天、有扬尘大风、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 4 h 内应加以保护，免受雨淋。
- 6.3.3 底层防护配置及涂装。底层涂装宜配置高附着力、具备屏蔽或阴极保护功能的涂层体系。
- 6.3.4 中层涂装应具备屏蔽封孔功能，应采用环氧云铁或环氧厚浆漆等。中层涂装应采用高压无气喷涂方式。
- 6.3.5 面层涂装。面层涂装可采用聚氨脂类、聚硅氧烷类或氟碳类面漆。应采用高压无气喷涂方式。面层涂装宜分成二层，第一层在工厂涂装，第二层安装后整体涂装。
- 6.3.6 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。

6.4 波形钢腹板运输与存放

- 6.4.1 波形钢腹板运输方案应由具备相应资质的运输单位编制。
- 6.4.2 运输、存放过程中波形钢腹板可采用多层叠放的形式，但不宜超过 5 层，每层之间应设置支垫。

- 6.4.3 在钢板表面涂装完全干透，且完成涂装面成品保护措施后，方可进行搬运。
- 6.4.4 波形钢腹板从加工厂运往工地后，应按编号集中堆放、覆盖。
- 6.4.5 波形钢腹板在施工现场储存时，宜保证干燥通风、地基坚固，并设置防护隔离。支垫高度不宜低于 5 cm。

7 波形钢腹板施工

7.1 波形钢腹板安装与定位

- 7.1.1 波形钢腹板起吊安装前，应编制作业指导书。
- 7.1.2 波形钢腹板安装应设置临时支撑架，在安装前应对临时支架、支撑、吊机等临时结构进行强度、变形、稳定性验算。
- 7.1.3 波形钢腹板安装前，应在底模板上标记出底板钢筋位置及波形钢腹板位置。
- 7.1.4 波形钢腹板吊装应符合下列要求：
 - a) 吊装前，应保证钢丝绳、吊钩符合要求；
 - b) 吊装前，应保证波形钢腹板编号正确、无变形；
 - c) 吊装前，应做好波形钢腹板定型加固；
 - d) 吊装应缓慢进行，吊件起吊离地后，应暂停顿，确保吊件挂钩稳妥后，再继续吊装；
 - e) 吊装过程中，应按指挥信号作业，严禁私自起吊；
 - f) 六级及以上大风、雷雨、大雾、沙尘暴天气时禁止起吊作业。
- 7.1.5 波形钢腹板吊装时应采用专用夹具。
- 7.1.6 波形钢腹板定位坐标系应与桥梁测量控制网一致，按照平面坐标和高程进行空间定位。
- 7.1.7 波形钢腹板吊装时，宜设置临时吊架和支撑，波形钢腹板之间相对位置应采用支架定位。
- 7.1.8 多箱室波形钢腹板安装，宜按照先边腹板，后中腹板的安装顺序进行。

7.2 波形钢腹板纵向连接

- 7.2.1 波形钢腹板节段间的连接可采用高强度螺栓连接法、贴角焊接法、对接焊接法、高强度螺栓与贴角焊接相结合的方法等。
- 7.2.2 波形钢腹板焊接连接应符合下列要求：
 - a) 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；
 - b) 焊接前应进行焊接工艺评定试验，焊接施工时的技术要求应符合 GB 50661 的规定，工地焊缝检验应按 GB/T 11345 与 JTG/T F50 执行。并应采用钢丝砂轮对焊缝进行除锈，且焊接应在除锈后 24 h 内进行；
 - c) 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；
 - d) 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℃，相对湿度应小于 80 %；在箱梁内焊接时应有通风防护安全措施；
 - e) 在波形钢腹板现场焊接完后，应在 48 h 内进行焊缝的防腐涂装。
- 7.2.3 高强度螺栓连接应符合下列要求：
 - a) 高强度螺栓宜选用大六角头螺栓。高强度螺栓、螺母及垫圈的外形尺寸公差、技术条件、运输、保管以及储存应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 和 GB/T 3632 的规定；
 - b) 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；

- c) 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；
- d) 高强度螺栓长度应与拼装图的规定一致。高强度螺栓不得强行敲入，全桥穿入方向应一致。被栓合的板束表面应垂直于螺栓轴线；
- e) 高强度螺栓应按一定顺序施拧。施拧时，不得采用冲击拧紧、间断拧紧，不得在雨中作业；
- f) 采用扭矩法、转角法的施拧方法和终拧扭矩值应符合 JTG/T F50 和 TBJ 214 的规定。

7.3 波形钢腹板的工地防腐涂装

- 7.3.1 波形钢腹板涂装质量评定应符合 JT/T 722 的规定。
- 7.3.2 在运输、安装过程中遭碰撞、划伤等造成防腐涂装缺陷时，应及时进行防腐涂装修复。
- 7.3.3 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。
- 7.3.4 涂装前应先对焊缝表面及焊接区域进行处理，清除表面的锈迹、焊渣、氧化皮、油脂等污物后方可进行涂装。
- 7.3.5 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 %。
- 7.3.6 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。
- 7.3.7 波形钢腹板纵向节段间采用高强度螺栓连接时，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进行。
- 7.3.8 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 %。采用环氧类漆涂装时，环境温度不得低于 10 ℃；采用聚氨酯漆和氟碳面漆涂装时，环境温度不得低于 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 4 h 内应采取措施保护涂装层，避免遭受雨淋。

8 连接件的施工

8.1 栓钉连接件的施工

- 8.1.1 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。
- 8.1.2 栓钉连接件表面需要经过表面处理，应无锈蚀、氧化皮、油脂和毛刺等缺陷。其杆部表面不应有影响使用的裂缝。
- 8.1.3 抗剪连接件与混凝土结合部位，不宜进行防腐涂装。
- 8.1.4 栓钉连接件施工应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。
- 8.1.5 混凝土振捣时应避免振捣棒直接接触栓钉。

8.2 开孔钢板连接件的施工

- 8.2.1 开孔钢板连接件应由专业钢结构加工厂制造，孔径偏差不得大于 1 mm，孔位偏差不得大于 2 mm。
- 8.2.2 混凝土骨料最大粒径不宜大于贯穿钢筋至孔周边的距离。
- 8.2.3 贯穿钢筋直径和材料应符合设计要求，使用前应按批次进行相应的试验检验。贯穿钢筋加工长度偏差不得大于 5 mm。
- 8.2.4 贯穿钢筋安装及定位应符合设计和下列要求：

- a) 对于不设承托的混凝土板,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,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) 贯穿钢筋安装偏差不应超过 5 mm;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。

8.2.5 使用开孔板连接件的顶板和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。

8.3 嵌入型连接件的施工

- 8.3.1 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,焊缝等级不低于二级。
- 8.3.2 在波形钢腹板与混凝土底板交接界面上应采取防水密封措施,并设置排水横坡。

8.4 角钢连接件的施工

- 8.4.1 角钢连接件应由专业钢结构加工厂制造,孔径偏差不得大于 1 mm,孔位偏差不得大于 2 mm。
- 8.4.2 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 预应力施工

9.1 一般规定

- 9.1.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的预应力施工除符合本规范要求外,应符合 JTG/T F50 的规定。
- 9.1.2 预应力工程在施工前应根据结构特点和受力特性,制定符合设计要求的专项施工方案。
- 9.1.3 转向器安装时应严格根据设计位置定位,空间位置偏差控制在 10 mm 以内。
- 9.1.4 成品索的端头均应设有牵引装置,并设置放线架固定索盘,可利用卷扬机牵引成品索缓慢解盘放索并穿过对应的预留索孔。牵引过程中,应采取保护措施防止索体护套受到损伤。在体外索进入锚固端的预埋管之前,应剥除两端 PE 层,满足张拉后 PE 层进入密封筒 200 mm~400 mm。
- 9.1.5 密封油脂应根据桥位处的气候条件进行调配,保证油脂具有良好的流动性和渗透性。

9.2 施工准备

- 9.2.1 纵向、横向和竖向预应力工程的工艺流程、机具设备、锚具夹片应符合设计要求和 JTG/T F50 规定。
- 9.2.2 施加预应力所用的机具设备及仪表进场后应经法定计量机构标定,专人使用和管理,定期维护和校验。张拉机具设备应与锚具配套使用。
- 9.2.3 千斤顶与压力表重新标定的条件:
 - a) 使用时间超过 6 个月;
 - b) 张拉次数超过 300 次;
 - c) 使用过程中千斤顶或压力表出现异常情况;
 - d) 千斤顶检修或更换配件。
- 9.2.4 锚具、夹具进场时,应有出厂合格证和质量证明书核查其锚固性能类别、型号、规格和数量。同时,应进行静载锚具性能及硬度试验,并出具质量证明书。
- 9.2.5 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。
- 9.2.6 成品拉索的外表面不应有划痕,锚具的外表面镀锌层不得有损伤。

9.2.7 体外索单根穿索前，应在桥面设置钢绞线放线架、导向轮和切割工作平台，牵引过程中不得产生弯折，转向时应通过导向轮实现。

9.3 预应力张拉

9.3.1 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。

9.3.2 刚构墩处的竖向预应力筋应先于纵向预应力筋张拉。

9.3.3 纵向预应力筋应两端对称、从外向内左右同步张拉。

9.3.4 横向预应力筋应在梁体两侧交替单端张拉，宜从已施工端按顺序进行。每一节段悬臂端的最后一根横向预应力筋，应在下一节段横向预应力筋张拉时进行张拉。

9.3.5 体内预应力张拉应符合下列要求：

- a) 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 7 d。张拉前应进行孔道摩阻力试验；
- b) 预应力筋张拉前，应清理锚具，疏通压浆孔；检查锚垫板与预应力管道是否垂直；检查锚垫板处混凝土质量，并进行油泵及千斤顶调试，保证张拉时压力平稳；
- c) 张拉方案须经审批且完成技术交底后，由专业技术工人操作。工作锚板、千斤顶、工具锚安装应同轴紧贴。

9.3.6 体外索张拉应符合下列要求：

- a) 采用千斤顶进行整体张拉时，应在整体两端对称同步张拉，并测量每一级的伸长值；
- b) 在进行单根张拉时，体外索钢绞线宜采用先单根安装和初应力张拉，再进行分级、对称和同步整体张拉的方法；
- c) 多跨连续梁桥中，相邻两跨体外索钢绞线张拉力的差值应符合设计文件的要求。

9.4 张拉应力的控制

9.4.1 预应力筋张拉前，应进行张拉控制应力调整计算及确认，并计算每一束（根）预应力筋的理论伸长值，作为张拉时与预应力筋的实际伸长值比对依据。

9.4.2 体外索的张拉控制应力应符合设计要求。施工中应考虑锚圈口预应力损失。

9.4.3 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应符合设计要求。在设计无规定时，实际伸长值与理论伸长值的差值应控制在 $\pm 6\%$ 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。

9.4.4 体外索张拉时，初应力设为张拉控制应力的 10 %~25 %，伸长值从初应力时开始量测。索的实际伸长值应累计初应力计算伸长值。

9.4.5 在体外索中，单束张拉后各钢绞线索力的离散误差不宜超过 $\pm 2\%$ ；整体张拉完成后，各钢绞线索力的离散误差不宜超过 $\pm 1\%$ 。

9.4.6 体外索的张拉应对称、均衡、分级进行，并派人检查张拉过程中各转向器处索体保护套的完整性，变形较大时必须停止张拉，待原因排除后再进行施工。

9.5 孔道压浆及封锚

9.5.1 孔道压浆方法应符合设计要求及 JTG/T F50 的规定。

9.5.2 孔道压浆应在预应力筋张拉后 48 h 内完成。竖向预应力孔道应从最低点开始压浆。同一孔道压浆，应连续一次完成压浆。因故中断压浆不能连续施工时，应用高压水冲洗干净后重新压浆。

9.5.3 压浆时，浆体温度应在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。冬季压浆过程中及压浆后 3 d 内，梁体混凝土温度不应低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，否则应采取预热和保温措施。夏季压浆当气温高于 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，应在夜间气温较低时进行。

9.5.4 压浆过程中,宜采用真空辅助压浆工艺,工艺中采用的真空泵应能达到 0.10 MPa 的负压力。孔道压浆顺序应为先下后上。

9.5.5 水泥浆试件应在压浆地点随机取样制作 3 组,2 组试件按标准养护条件养生,以测定抗压和抗折强度;另 1 组随梁体进行同条件养护。

9.5.6 封锚混凝土性能和强度等级应符合设计要求。压浆完成后,应及时对锚固端按设计要求进行封闭保护或防腐处理,需要封锚的锚具,应在压浆完成后对梁端混凝土凿毛并将其周围冲洗干净,设置钢筋网浇筑封锚混凝土;封锚应采用与结构同强度的混凝土。

9.5.7 体外预应力束张拉完成后,锚具应设置全密封防护罩、防护罩内灌注油脂或其他可清洗的防腐材料。

10 预制吊装施工

10.1 一般规定

10.1.1 本章节适用于波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的预制吊装施工方法。

10.1.2 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。

10.1.3 梁体安装前,墩、台支座垫板必须稳固。

10.1.4 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。

10.1.5 梁体之间的接缝填充材料的规格和强度,应符合设计要求。

10.2 预制梁的制作

10.2.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁的预制场地与预制台座,应符合 JTG/T F50 的有关规定。

10.2.2 钢筋、模板及预应力的施工应符合 JTG/T F50 的有关规定。

10.2.3 预制梁顶、底板混凝土宜同期浇筑,养生期间应加强顶、底板混凝土裂缝观测。

10.2.4 波形钢腹板的施工应符合本规范第 7 章的有关规定。

10.2.5 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。

10.3 预制梁的运输与保存

10.3.1 预制波形钢腹板预应力混凝土组合梁的运输与保存应符合 JTG/T F50 的有关规定。

10.3.2 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。

10.4 预制梁的现场安装

10.4.1 预制梁的安装施工应符合 JTG/T F50 的有关规定。

10.4.2 预制梁吊装可采用钢丝绳兜底吊装或预埋吊耳吊装两种方式。

10.4.3 预制梁就位后,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。

10.4.4 在全孔预制梁安装就位后,应按设计要求及时浇筑接头混凝土。

10.4.5 波形钢腹板预应力混凝土预制梁整孔运输、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并进行预压;支座体系转换必须符合设计规定。

10.4.6 在预制波形钢腹板预应力混凝土组合梁的安装过程中,应加强对梁体混凝土的裂缝观测。

11 满堂支架现浇施工

11.1 一般规定

11.1.1 本章节适用于波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的满堂支架现浇施工方法。

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

11.2 模板与支架工程

11.2.1 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的现浇施工可使用满堂支架或梁式支架。

11.2.2 施工支架应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。

11.2.3 在波形钢腹板外侧宜设靠架，在波形钢腹板内侧宜设可调拉杆。靠架与可调拉杆应具有一定的刚度。

11.2.4 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：

- a) 支架承受施工荷载时的弹性变形；
- b) 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；
- c) 由于支架基础下沉而产生的非弹性变形。

11.2.5 当在软弱地基上设置满布现浇支架时，应对地基进行处理，使地基的承载力满足现浇混凝土的施工荷载要求，浇筑混凝土时地基的沉降量不宜大于 5 mm。

11.2.6 应通过预压的方式，消除支架地基的不均匀沉降和支架的非弹性变形并获取弹性变形参数，或检验支架的安全性。预压荷载宜为支架需承受全部荷载的 1.05~1.10 倍，预压荷载的分布应模拟需承受的结构荷载及施工荷载。

11.2.7 支架变形和地基沉降应符合设计要求和 JTG/T F50 的规定。

11.3 波形钢腹板施工

11.3.1 波形钢腹板现场施工应符合本规范第 7 章有关规定。

11.3.2 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节段刚度而定，安装顺序宜从一端向另一端顺序安装，并及时纠偏焊接。

11.3.3 波形钢腹板定位时，其标高应与桥梁纵坡一同调整。

11.3.4 波形钢腹板两侧及翼缘板上宜设置临时支撑。

11.3.5 波形钢腹板安装应设置精确定位装置。

11.4 混凝土浇筑

11.4.1 混凝土浇筑及养护应符合 JTG/T F50 的有关规定。

11.4.2 混凝土浇筑时横向应两侧对称浇筑，纵向应从梁跨中向墩顶方向对称浇筑，全部浇筑应在混凝土初凝前完成。

11.4.3 混凝土底板的布料可按先底板、再承托、最后连接部的顺序进行。

11.4.4 混凝土顶板浇筑时应先将顶板与腹板相连部位的混凝土填满捣实，然后从两侧悬臂向中间对称浇筑混凝土。

11.5 预应力施工

预应力施工应符合 JTG/T F50 和本规范第 9 章的有关规定。

12 悬臂浇筑施工

12.1 一般规定

12.1.1 本章节适用于波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的悬臂浇筑施工方法。

12.1.2 悬臂浇筑前，应对当前施工节段的高程、轴线进行复核，符合设计要求后，方可进行下一步施工。

12.1.3 悬臂施工时应应对梁及波形钢腹板的姿态进行监控。

12.1.4 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥悬臂浇筑施工的其它要求与质量标准应参照 JTG/T F50 和 JTG/T D64—01 执行。

12.2 墩顶梁段 0 号块施工

12.2.1 墩顶梁段 0 号块可采用落地支架或托架施工，支（托）架形式应结合桥墩高度和断面大小，基础情况及梁体悬臂长度，墩底地形、地质、水文和交通情况，上部结构荷载情况等经综合比选后确定。

12.2.2 支架的制作与安装应符合 JTG/T F50 第 5 章的相关要求。

12.2.3 0 号块大体积混凝土的施工应提前制订专项施工技术方案，并应对混凝土采取温度控制措施；大体积混凝土可分层、分块浇筑，分层、分块的尺寸宜根据温控设计的要求及浇筑能力合理确定。

12.2.4 墩顶梁段 0 号块混凝土浇筑过程中应对支架及地基的变形进行量测监控，发现异常时应采取应急措施。

12.2.5 墩顶梁段 0 号块临时固结采用精轧螺纹钢时，应在墩顶梁段达到设计强度后及时张拉，张拉力应符合设计要求。

12.2.6 墩顶梁段 0 号块预应力施工除应符合 JTG/T F50 第 7 章的规定外，尚应符合下列要求：

- a) 预应力管道的安装定位应准确，备用管道和长束的管道应采取措施保证其在使用时的有效性；
- b) 对竖向预应力孔道，压浆时应从下端的压浆孔压入，压力宜为（0.3~0.4）MPa，且压入的速度不宜过快。

12.2.7 永久支座应在墩顶梁段底模安装前安装，并应符合下列要求：

- a) 支座的安装位置和方向应符合设计要求；
- b) 支座安装前应进行检查，确认规格、类型和外观质量。

12.2.8 桥墩与主梁间宜在永久支座两侧的箱梁腹板处设置临时支座。临时支座应符合下列要求：

- a) 临时支座应具有承重能力强、稳定性能好和易拆除的特点；
- b) 每一个桥墩上设置临时支座的数量、承载能力以及结构尺寸等，应根据梁底宽度及腹板数量经设计计算确定；
- c) 临时支座应在 0 号节段底模安装前完成；
- d) 各临时支座顶面高程应符合设计要求，临时支座不得低于永久支座，两者顶面高差不应大于 2 mm；
- e) 临时支座应在边跨合龙后拆除。

12.3 挂篮安装

12.3.1 0 号节段施工时，须按挂篮施工设计要求设置预留孔和预埋件。挂篮安装前应进行检查，符合要求后方可进行挂篮安装。

12.3.2 构件的外观尺寸及质量应由设计、制造、安装和施工单位进行一次联合检查，确认合格后方可进行吊装。

12.3.3 在施工中，挂篮后锚点设计应加强验算。

12.3.4 吊装前，应调试、准备好吊装机具，清理好 0 号节段顶面，并应精确标明桥梁的轴线、高程控制点和支撑位置。

12.3.5 挂篮安装宜按以下流程：挂篮进场验收→主桁架走行系统安装及定位→前、后上横梁安装→吊带（杆）安装→底篮前后横梁安装→底篮纵梁及平联安装→底模板拼装及固定→底篮提升固定→翼缘板及内顶模板系统安装。

12.3.6 挂篮安装应符合下列要求：

- a) 挂篮安装前，应根据施工现场环境、起重机械性能、位置和吊装物件情况等，编制安装方案和操作安全技术细则，并对施工作业人员进行技术交底；
- b) 挂篮在现场拼装后，应全面检查其安装质量，并应进行模拟荷载试验，符合挂篮设计要求后方可正式投入使用；
- c) 支点与连接纵梁、前后上横梁焊接牢固之前，应采取临时稳固措施；
- d) 挂篮所使用的预留孔应准确设置，并保持孔道垂直；
- e) 构件吊装前，应确定构件的吊装重心，合理确定吊点位置；
- f) 起重吊装作业时必须严格执行有关安全操作规程；
- g) 主桁吊装到位后，必须先安装后锚固。各吊带（杆）连接销轴和插销必须按规定安装齐全到位，并在检查确认合格后方可进行下一道工序施工；
- h) 挂篮应在墩顶现浇段施工完成后安装，并应在挂篮尾部采取措施保证施工安全，挂篮的支脚必须调平。

12.3.7 挂篮四周应设置操作平台及围栏，操作平台下应设置安全网，人员上下应采用安全扶梯。

12.3.8 挂篮的主要参数及其它安装要求应参照 JTG/T F50 执行。

12.4 波形钢腹板安装

波形钢腹板安装应符合本规范第7章的要求。

12.5 预应力施工

预应力施工应符合 JTG/T F50 和本规范第9章的有关规定。

12.6 挂篮前移及拆除

12.6.1 挂篮前移前应做好下列准备工作：

- a) 测量标出已施工节段的轴线及高程，并宜按间距不大于 0.5 m 测量标出移位位置横向标线，应观测和保证 T 构两侧挂篮同步对称前移；
- b) 铺设滑道或安放滚轮箱等走行设施；
- c) 应详细检查挂篮的结构状态和各部位连接情况并做好记录，对发现的缺陷应及时整改、纠正；
- d) 解除挂篮主桁架后锚和前支点处的锚固，或增设后锚走行保险纵梁；
- e) 安装并调试前移动力装置。

12.6.2 挂篮前移应符合下列要求：

- a) 桥墩两侧挂篮必须在节段的纵向预应力筋张拉完毕后同步移动，并应设专人指挥；
- b) 挂篮前移应根据不同移动方式（滑动式、滚轴式、支架滚轮等）、驱动动力（千斤顶和液压驱动走行）的操作要求进行，应保持主桁处于水平状态。挂篮前移不得使用卷扬机钢丝绳作为牵引动力；
- c) 挂篮移动就位时轴线偏差不应大于 5 mm；
- d) 挂篮移动时前后端应有牢固可靠的防倾覆、防溜走的保护措施。

12.6.3 挂篮拆除应按设计要求进行，两侧荷载偏差不得大于设计允许值。挂篮拆除一般应在浇筑节段的位置拆除，也可退到 0 号节段进行拆除。

12.6.4 挂篮拆除应按照挂篮安装顺序倒置进行。

12.6.5 挂篮施工完成后，预留孔应逐一填筑密实。

12.7 连接件施工

12.7.1 连接件的施工应符合本规范第8章的要求。

12.7.2 施工中应做好连接件的防护，避免受到碰撞导致损坏。

12.7.3 混凝土浇筑前，应检查连接件的安装质量。连接件周边的普通钢筋安装过程中，严禁损伤波形钢腹板和连接件。

12.7.4 嵌入式抗剪连接件，必须采取有效措施保证嵌入深度。

12.8 钢混结合部施工

12.8.1 钢混结合部施工前应制定详细的施工方案，明确结合部的管控重难点。

12.8.2 钢混结合部严禁出现混凝土脱空、不密实现象。对浇筑空间复杂、配筋较密的结合部，必要时可调整混凝土配合比设计。

12.8.3 钢混结合部的混凝土浇筑前，应清除波形钢腹板及连接件上的污垢，保持表面清洁。

12.8.4 混凝土浇筑过程中，应保证钢混结合部混凝土的密实性。

12.9 钢筋安装

12.9.1 钢筋安装应符合 JTG/T F50 和 JTG F80/1 规定。

12.9.2 钢筋安装时，禁止弯折和割除焊钉，必要时可调整普通钢筋位置。

12.9.3 贯穿钢筋应保证布设位置准确、牢固，严禁与开孔板焊接，同时应防止混凝土振捣施工时出现位移。

12.10 边跨段现浇施工

12.10.1 边跨现浇宜采用支架法施工，遇到高墩、深水、深谷及地质不良的环境，无法架设支架，可采用托架等方式。

12.10.2 支架应具有足够的强度、刚度和稳定性。支架基础应具有足够的承载力，不得出现不均匀沉降。支架基础类型、面积和厚度应根据支架结构型式、受力情况、地基承载力等条件确定。

12.10.3 边跨段施工过程中，应采取完善的临时排水设施，确保支架基础的稳定。

12.10.4 底模安装完成后应对支架进行静载预压，预压荷载应符合设计要求。预压加载部位及顺序应与边跨梁段施工时支架实际受力状况相匹配。

12.10.5 支架拆除时间应根据设计要求确定，设计无要求时宜在边跨合龙段预应力钢束施工完毕后拆除。

12.10.6 支架拆除除满足设计要求外，还应从梁体挠度最大处的支架节点开始按横桥向同步卸落，然后逐步向两端对称、均匀的卸落相邻支架节点，并应符合下列要求：

- a) 在支架开始拆除前，应明确规定落架设备的每一次卸落量；
- b) 落架应分级对称循环进行，宜按先跨中后两边的顺序进行循环落架；
- c) 拆除吊架时，应先制定拆架专项措施，并严格按照其规定进行落、拆架施工作业；
- d) 拆除满堂式支架时，应遵循自上往下、后搭先拆原则进行施工。

12.10.7 支架卸落过程中发现集中荷载节点出现异常情况时，应立即停止落架并及时采取加固措施保证安全。

12.10.8 边跨非对称梁段在次边跨未合龙工况下进行悬臂浇筑时，应符合下列要求：

- a) 应在 T 构非施工端设置配重，配重可采用水箱加重或砂袋加重等方法，配重重量应符合设计要求，当设计无要求时应与边跨悬臂浇筑梁段施工荷载相同；

- b) 配重加载应与边跨悬臂浇筑梁段施工同步进行，T 构两端施工荷载的实际不平衡偏差不得大于设计允许数值。

12.11 合龙段施工

- 12.11.1 合龙段施工前，应制定专项施工技术方案。
- 12.11.2 合龙顺序应按设计要求进行。
- 12.11.3 合龙节段施工宜采用吊架法。
- 12.11.4 合龙段波形钢腹板的安装应符合本规范第 7 章的规定。
- 12.11.5 浇筑前各悬臂端应附加配重。可采用水箱配重，浇注过程中分级放水卸载。
- 12.11.6 边跨合龙段预应力张拉后，方可解除临时固结。
- 12.11.7 临时固结解除过程中应注意观测各梁段的高程变化，如有异常情况，应立即停止作业，找出原因。
- 12.11.8 临时固结解除过程中应避免损坏墩身、支座垫石及箱梁混凝土。

13 错位悬臂浇筑施工

13.1 一般规定

- 13.1.1 本章节适用于波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的错位悬臂浇筑施工方法。
- 13.1.2 采用错位悬臂浇筑施工法前，应对施工全过程进行受力分析及稳定性分析。
- 13.1.3 施工期关键受力部位应进行局部安全性验算。
- 13.1.4 施工中，可对波形钢腹板上翼缘板荷载作用部位进行加强。
- 13.1.5 应在波形钢腹板安装检验合格后进行行走系统的安装、行走和悬臂施工作业。
- 13.1.6 波形钢腹板与顶板宜采用双开孔钢板连接件进行连接。
- 13.1.7 上下翼缘板的焊接应采用全熔透对接焊。

13.2 挂篮安装

13.2.1 错位悬臂现浇施工法的挂篮应根据桥梁结构特点、施工工艺和施工整体要求进行专门设计，挂篮整体构造除应满足 JTG/T F50 要求外，还应符合下列要求：

- a) 应充分考虑承重系统、吊挂提升系统、行走系统、模板系统的整体设计，避免相互干扰；
- b) 应在波形钢腹板间设置临时支撑；
- c) 悬吊形式宜采用吊杆或吊带；
- d) 行走系统前、后支点一般应支承在波形钢腹板翼缘板上的开孔钢板之间，并宜设置减少挂篮前移阻力的装置；
- e) 模板设计应充分考虑错位同步施工的要求。

13.2.2 挂篮安装准备工作应符合下列要求：

- a) 0 号节段施工时，须按挂篮施工设计要求设置预留孔和预埋件，挂篮安装前应进行检查，符合要求后方可进行挂篮安装；
- b) 挂篮安装前须由设计、制造、安装和施工单位对各个构件的外观尺寸及质量进行一次联合检查，确认合格后方可进行吊装；
- c) 安装前应调试、准备好吊装机具，清理好 0 号节段顶面，并应精确标明桥梁的轴线、高程控制点和支撑位置。

13.3 行走系统

- 13.3.1 采用错位悬臂现浇施工的行走系统应进行专项设计，满足施工整体性能要求。
- 13.3.2 系统的行走装置应尽量利用上翼缘开孔板连接件构造特点进行临时固定。
- 13.3.3 行走系统及模板系统的安装应符合下列要求：
- a) 行走系统及模板安装前，应根据施工现场环境、起重机械性能、位置和吊装物件情况等，编制实施性吊装方案和操作安全技术细则，并对施工作业人员进行技术交底；
 - b) 支点与连接纵梁、前后上横梁焊接牢固之前，应采取措施临时稳固，避免施工过程中倾覆；
 - c) 行走系统及模板系统拼装完成后，必须按图纸认真检查，特别是各个结点、销子、锚杆的连接情况，保证稳妥可靠；
 - d) 行走装置所使用的预留孔，应准确设置，并保持孔道垂直；
 - e) 构件吊装前，应确定构件的吊装重心，合理确定吊点位置；
 - f) 起重吊装作业必须由专职人员统一指挥，高处作业人员应系牢安全带、戴好安全帽；
 - g) 主桁吊装到位后，各吊带吊杆连接销轴和插销必须按规定安装齐全到位，并由专人检查确认合格后才可进行下一道工序施工；
 - h) 行走系统及模板系统应在 1#块波形钢腹板安装完成后对称安装，并应在行走系统尾部采取措施保证施工安全，行走系统的支脚必须调平；
 - i) 行走系统及模板系统组装完毕，应全面检查安装质量并复核挂篮轴线、高程；
 - j) 行走系统使用前，应进行行走性能和静载试验；
 - k) 行走系统及模板系统四周应设置操作平台及围栏，操作平台下应设置安全网，人员上下应采用安全扶梯。

13.4 挂篮前移与拆除

- 13.4.1 挂篮前移前应做好下列准备工作：
- a) 测量标出已施工节段的轴线及高程，并宜按间距不大于 0.5 m 测量标出移位位置横向标线，以观测和保证桥墩两侧挂篮同步对称前移；
 - b) 铺设滑道或安放滚轮箱等走行设施；
 - c) 应详细检查挂篮的结构状态和各部位连接情况并做好记录，对发现的缺陷应及时纠正；
 - d) 解除挂篮主桁架后锚和前支点处的锚固，拴好安全绳；
 - e) 安装并调试前移动力装置。
- 13.4.2 挂篮系统前移时，除满足上述要求外，承重钢腹板间必须设置临时横撑。
- 13.4.3 挂篮系统前移应符合下列要求：
- a) 桥墩两侧挂篮必须在节段的纵向预应力筋张拉完成后同步移动，并应设专人指挥；
 - b) 挂篮前移应根据不同移动方式（滑动式、滚轴式、支架滚轮等）、驱动动力（倒链、千斤顶和液压驱动走行）的操作要求进行，应保持主桁处于水平状态。挂篮前移不得使用卷扬机钢丝绳作为牵引动力；
 - c) 挂篮移动就位时轴线偏差不应大于 5 mm；
 - d) 挂篮前移时，宜在其后方设置控制其滑动的装置或在滑道上设置止动装置；前移就位后，应立即将后锚固点锁定，防止倾覆。
- 13.4.4 拆除行走系统应按照安装顺序倒置进行。

14 施工质量控制

14.1 抗剪连接件焊接

- 14.1.1 波形钢腹板连接件的焊接工艺应符合下列要求：
- a) 连接件的钢材和焊接材料应符合 GB 50661 的规定；
 - b) 栓钉连接件的材料、机械性能以及焊接要求应满足 GB/T 10433 的规定。
- 14.1.2 波形钢腹板连接件的焊接工艺评定应符合下列要求：
- a) 连接件应执行严格的焊接工艺评定，满足设计和 GB 50661 的要求。
 - b) 栓钉在施焊前，应进行与现场条件相似的焊接实验，确定合适的施焊时间和电流大小。

14.2 波形钢腹板现场施工

- 14.2.1 波形钢腹板外观质量、尺寸偏差、制造质量控制应根据设计要求和 JT/T 784 的有关规定执行。
- 14.2.2 波形钢腹板现场焊接接口的无损检测应满足下列要求：
- a) 不论接口形式如何，应先对接口线的全长进行肉眼观测；
 - b) 焊缝应按照 GB/T 11345 的规定进行超声波探伤检查。
- 14.2.3 波形钢腹板安装质量应满足下列要求：
- a) 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；
 - b) 焊缝应平滑，无裂纹、未溶合、夹渣、未填满弧坑、焊瘤等外观缺陷。
- 14.2.4 波形钢腹板的定位应符合表 2 的要求。

表2 波形钢腹板的定位要求

项次	项目	允许偏差	备注
1	波形钢腹板轴向偏位(mm)	±5	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)	±5	间距 2 m 量 3 处
3	内外侧波形钢腹板高差(mm)	±5	间距 2 m 量 3 处
4	波形钢腹板垂直度	1/500	间距 2 m 量 3 处
5	波形钢腹板纵桥向坡度	1/500	间距 2 m 量 3 处

注：此表格为参考斜拉桥结合梁工字梁悬臂拼装制定。

- 14.2.5 波形钢腹板的连接应符合表 3 的要求。

表3 波形钢腹板的连接要求

序号	项目		规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	钢腹板高程(mm)		±10	水准仪或钢尺
2	钢腹板中心距(mm)		±20	尺量：检查两腹板中心距
3	钢腹板横断面对角线差 (mm)		±30	尺量：检查两端断面
4	钢腹板拱度 (mm)		+10, -5	拉线用尺量：检查跨中
5	钢腹板 连接	焊缝尺寸	符合设计要求	量规：检查全部
		焊缝探伤		超声：检查全部
		高强螺栓扭矩	±10 %	测力扳手：检查 5 %，且不少于 2 个

- 14.2.6 波形钢腹板的安装应符合表 4 的要求。

表4 波形钢腹板的安装要求

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	跨径 L (mm)		± (5+0.00015L)	全站仪或钢尺：测两支座中心线距离
2	全长 (mm)		± 15	全站仪或钢尺
3	波形钢腹板中心距 (mm)		± 3	尺量：检查两波形钢腹板中心距
4	横截面对角线差 (mm)		4	尺量：检查两端截面
5	拱度 (mm)		+ 10, - 5	水平仪测量：检查跨中
6	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
7	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

14.2.7 波形钢腹板的现场涂装应符合 JT/T 722 和表 5 的要求。

表5 波形钢腹板的涂装要求

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10 m²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。

14.3 预制吊装施工

预制吊装法施工允许误差应符合表6的要求。

表6 预制吊装法施工允许误差

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 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	

表6 预制吊装法施工允许误差（续）

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
4	高度 (mm)	梁、板	±5	尺量：检查3个截面
		箱梁	0, -5	
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	2 m直尺：每侧面每10 m梁长测1处
7	横系梁及预埋件位置(mm)		5	尺量：每件

14.4 满堂支架现浇施工

14.4.1 满堂支架现浇施工允许偏差应符合表7的要求。

表7 满堂支架现浇施工允许偏差

序号	检查项目		规定值或允许偏差	检查频率		检查方法
				范围	点数	
1	轴线偏位 (mm)		10	每跨	3	用经纬仪测量
2	梁板顶面高程 (mm)		±10		3~5	用水准仪测量
3	断面尺寸 (mm)	高度	+5, -10		1~3个断面	用钢尺量
		宽度	±30			
		顶、底板厚度	+10			
4	长度 (mm)		+5, -10		2	用钢尺量
5	横坡 (%)		±0.15		1~3	用水准仪测量
6	顶板平整度 (mm)		±5		≥15处	用3 m靠尺检查
7	底板平整度 (mm)		±3		≥15处	用3 m靠尺检查

14.4.2 满堂支架现浇梁段施工质量应符合表8的要求。

表8 满堂支架现浇梁段实测项目

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 JTG/T F50 检测
2△	轴线偏位 (mm)	±跨径/10000	全站仪或经纬仪；纵桥向检查2点
3	顶面高程 (mm)	±10	水准仪：检查3~5处

表8 满堂支架现浇梁段实测项目（续）

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
4△	断面尺寸（mm）	高度	+5，-10	尺量：每跨检查 2～3 个断面
		顶宽	±30	
		底宽	±20	
		顶、底板厚	+10	
5	横坡（%）		±0.15	水准仪：检查 3 处
6	预埋连接件位置（mm）		5	尺量：每件
7	平整度（mm）		8	2 m 直尺：检查竖直、水平两个方向，每侧面每 10 m 梁长测 1 处
△表示重要项目。				

14.5 悬臂浇筑施工

14.5.1 悬臂浇筑梁段施工质量应符合表 9 的要求。

表9 悬臂浇筑梁段实测项目

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 JTG/T F50 检测
2	轴线偏位（mm）	$L \leq 100$ m	10	全站仪或经纬仪：每个节段检查 2 处
		$L > 100$ m	$L/10000$	
3	顶面高程（mm）	$L \leq 100$ m	±20	水准仪：每个节段检查 2 处
		$L > 100$ m	± $L/5000$	
		相邻节段高差	10	尺量：检查 3~5 处
4	断面尺寸（mm）	高度	+5，-10	尺量：每个节段检查 2 处
		顶宽	±30	
		底宽	±20	
		顶、底板厚	+10	
5	合龙后同跨对称点高程差（mm）	$L \leq 100$ m	20	水准仪：每跨检查 5~7 处
		$L > 100$ m	$L/5000$	
6	横坡（%）	±0.15		水准仪：每节段检查 1~2 处
7	平整度（mm）	8		2 m 直尺：检查竖直、水平两个方向，每侧面每 10 m 梁长测 1 处

14.5.2 桥梁应通过施工监控确保大桥施工完成后，线形和内力符合设计要求，并应接近设计成桥状态。应对梁体主要断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，分析相关因素对箱梁应力的影响。

附 录 A
(规范性附录)
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”。

4. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：

采用“可”。

附 录 B
(资料性附录)
条文说明

编制说明

在本规范编制过程中,编制组对国内外公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥施工技术文件及工程应用现状进行了广泛的调查研究,认真总结了这类桥梁的施工经验。为便于施工与监理人员使用本规范,编制组按本规范的章节顺序编制了条文说明。本条文说明仅供使用者理解规范的条文参考。

1 范围

2016年交通部颁布《国务院关于钢铁行业化解过剩产能实现脱困发展的意见》，交通运输部十三五规划中也明确提出加快桥梁工业化的发展。在此背景下，结合山东省桥梁建设的实际及试点工程项目特点，制定本规范。规范规定了公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的材料、施工与验收等内容。

本规范适用范围为公路桥梁，市政桥梁、铁路、水利、建筑等行业用波形钢腹板构造物由于其工程特点对结构尚有其它要求，可参照执行。

波形钢腹板预应力混凝土箱梁主要包括混凝土构件、钢腹板构件以及连接件三种构件，其施工和验收除应符合本规范外，尚应符合国家现行混凝土结构、钢结构及组合结构有关标准的规定。

2 规范性引用文件

本章列出了规范中所引用的规范性文件。

3 术语

本章节根据现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T50083并结合具体情况，列出了非常用但与波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁有关的术语，以达到概念解释与表达统一的目的。对于较常用的以及国家现有标准已有的术语，依据《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1—2009），本规范不再列出，可参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）、《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG/T D64）、《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/T D64—01）等规范相关规定。

4 基本规定

本章节规定了公路波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥施工组织设计、施工方案和质量保证体系所需要的基本要求。

实施性施工组织设计、人员培训及技术交底、施工测量、一般施工流程、挂篮施工、模板和支架工程等，应符合JTG/T F50的规定。

5 材料

5.2 钢材

波形钢腹板桥梁用的结构钢主要有：碳素结构钢（GB/T 700）、低合金高强度结构钢（GB/T 1591）、桥梁结构钢（GB/T 714），以及焊接结构用耐候钢（GB/T 4172）。其中，碳素结构钢质量等级有A、B、C和D四种，桥梁上只用C级和D级。低合金高强度结构钢有A、B、C、D和E五种，桥梁钢只用C、D、E三种。在选用时，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、钢材厚度和工作环境等。

5.3 普通钢筋与预应力筋

现行行业标准《波形钢腹板组合梁桥技术标准》（CJJ/T 272）中关于波形钢腹板预应力混凝土箱梁的材料中增加了HRBF400、HRB500、HRBF500三个牌号的钢筋。新增钢筋的抗拉强度设计值以及HRBF400、钢筋的抗压强度设计值均根据1.2的材料分项系数得到，而HRB500、HRBF500强度较高，其抗

压强度的发挥受限于混凝土应力达到抗压强度时的应变，因此其抗压强度设计值为400 MPa，小于其抗拉强度设计值415MPa。HRB235、HRB335钢筋已被淘汰。

6 波形钢腹板制造

目前国内外常用的波形钢腹板形状主要与三种：1600型、1200型、1000型。1200型和1000型一般用于40米以下的小跨径桥梁，或因施工运输条件所限需较短的波长与波幅的桥梁。60米以上的桥梁多采用1600型。

6.3.3这种涂层体系主要有以下两类：

- a) 铝和锌防腐系列：主要有喷铝、喷锌和喷涂锌铝合金涂层。宜采用电弧热喷涂方式，不宜采用热镀锌工艺做为涂装层；
- b) 富锌系列：主要有有机类富锌、无机类富锌涂料。宜采用高压无气喷涂方式，不宜采用水性富锌涂料。

7 波形钢腹板施工

7.1 波形钢腹板的安装与定位

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的首块波形钢腹板定位对后续波形钢腹板的安装影响很大，所以定位精度最为关键。后续波形钢腹板定位前对前续波形钢腹板的定位进行复测，是为了方便对定位偏差进行修正。

8 连接件的施工

8.1 栓钉连接件的施工

栓钉连接件中，栓钉规格有 $\Phi 10$ mm、 $\Phi 13$ mm、 $\Phi 16$ mm、 $\Phi 19$ mm、 $\Phi 22$ mm和 $\Phi 25$ mm等多种。波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥抗剪连接件常用的是 $\Phi 19$ mm、 $\Phi 22$ mm栓钉。栓钉的外观质量和力学性能以及焊接瓷环尺寸均应符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》（GB/T 10433）的规定。

8.3 嵌入型连接件的施工

在波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥中，波形钢腹板与混凝土桥面板的连接部位十分重要。当波形钢腹板与混凝土底板连接部位采用嵌入式连接件连接时，由于波形钢板被直接埋入混凝土底板，雨水或露水等有可能从钢混界面处流入，造成钢板的锈蚀。所以，对于嵌入式连接件施工后，在钢混交界处应采用防腐密封措施。

9 预应力施工

我国体内束的实现方式大都是在结构体内预埋管道，待结构混凝土达到设计强度后，穿体内索索体，并张拉，而后在管道内灌注砂浆，从而使体内束与结构混凝土一起形成预应力混凝土结构。体内束成孔材料主要用塑料管、塑料波纹管以及金属波纹管。当采用塑料波纹管成孔时，要满足《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》（JT/T 529）的规定；采用金属波纹管成孔时，要满足《预应力混凝土用金属波纹管》（JG 225）有关规定。同时，应注意质量检查。

10 预制吊装施工

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥预制吊装施工流程可参考图1所示执行。

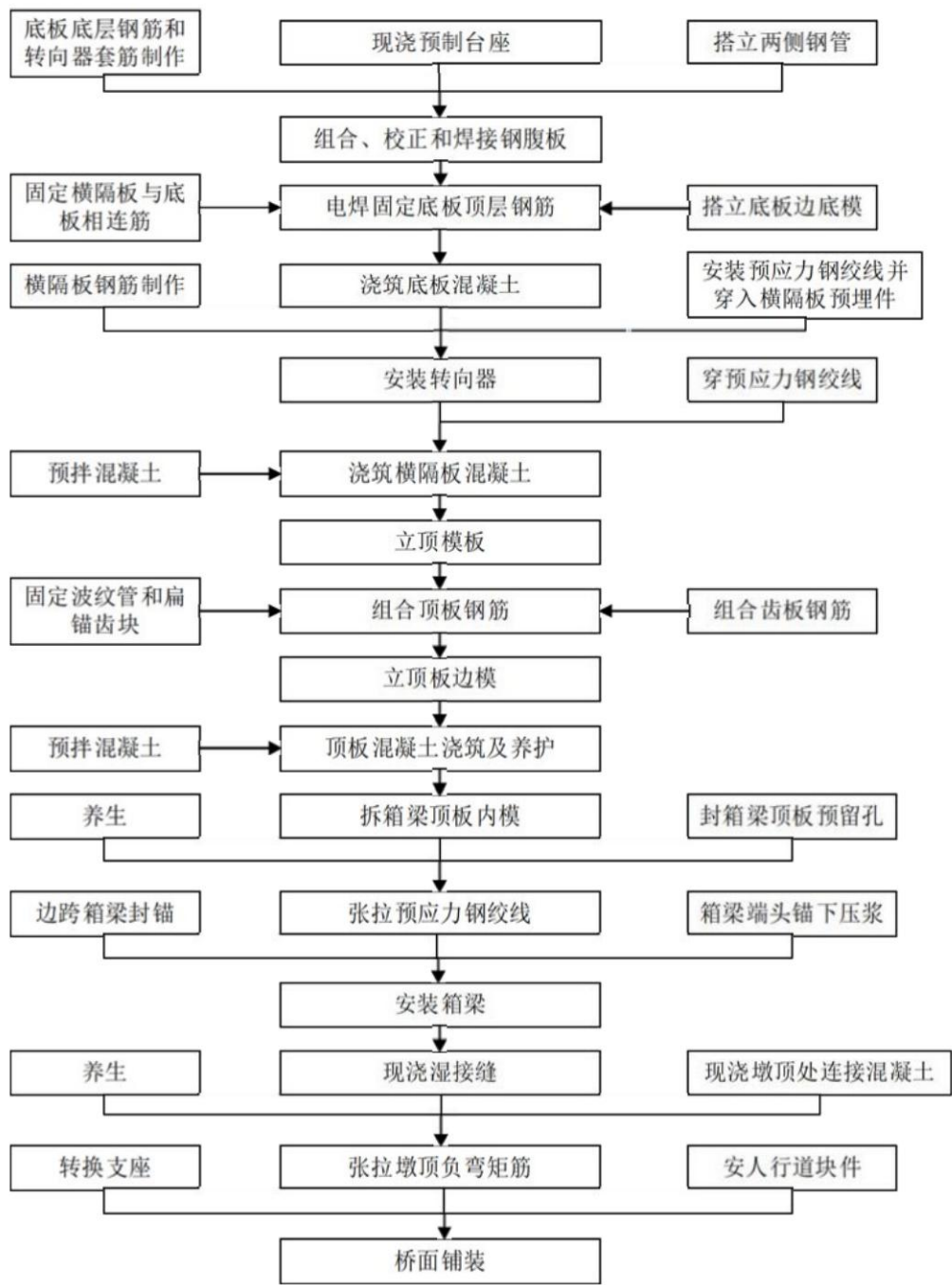


图 1 预制吊装施工流程

11 满堂支架现浇施工

- 11.2.1 满堂支架宜采用碗扣式、轮扣式、门式或盘扣式等钢管构件，组合梁支架宜采用型钢、钢管和贝雷桁片等构件。
- 11.3.4 可沿桥梁纵向每隔3 m~5 m设置一道支撑。通过外撑杆、拉杆螺丝、内支撑和大头楔等工具将钢腹板组合并焊接。焊接时宜挂线作业，及时校正钢腹板位置，保持钢腹板各向线形顺直。
- 11.3.5 波形钢腹板的定位可采取以下措施：
- 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 3 m~5 m，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。

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥满堂支架现浇施工流程可参考图2所示执行。

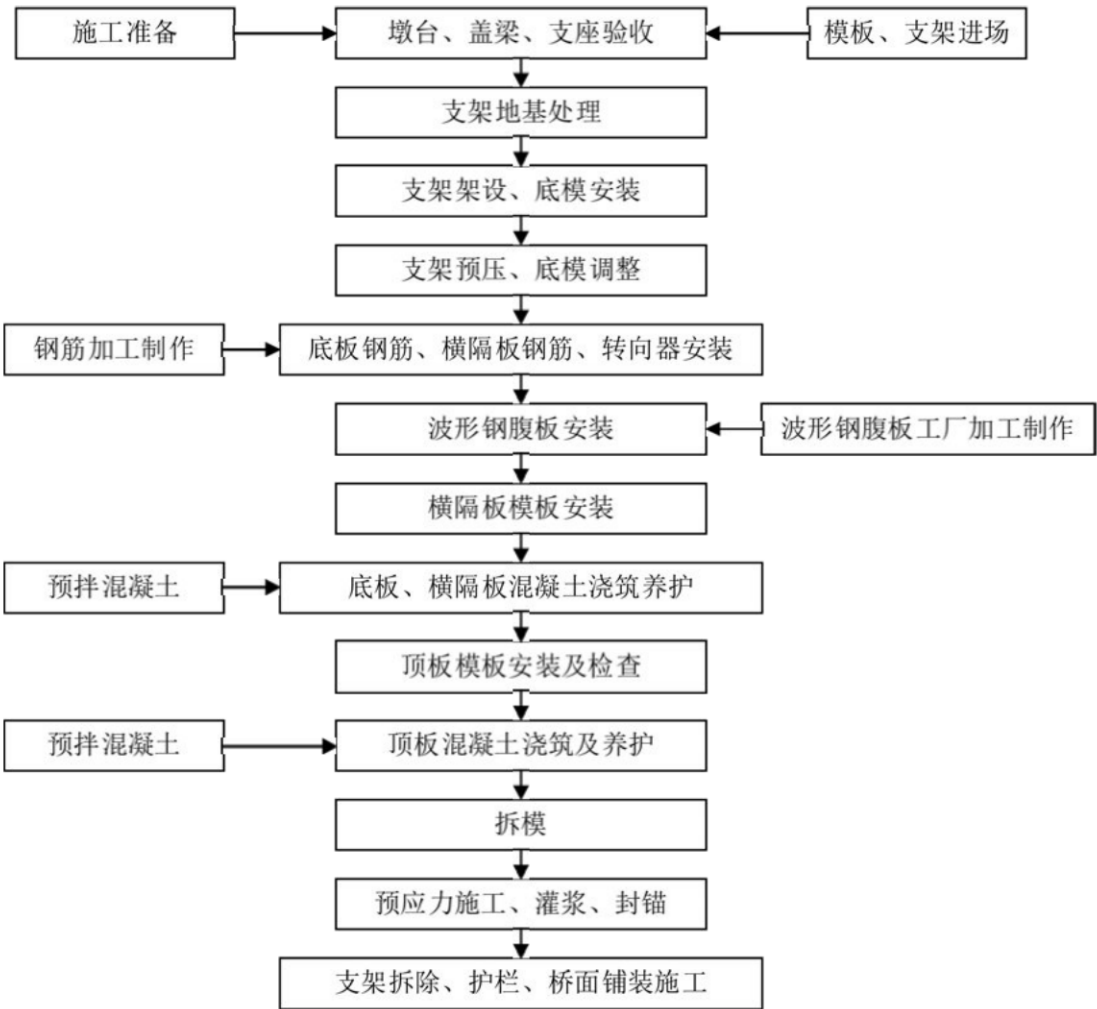


图 2 满堂支架现浇施工流程

12 悬臂浇筑施工

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥悬臂浇筑施工的作业区为第n节段，如图3所示。在该节段上进行波形钢腹板安装、立模、配筋、混凝土浇筑以及预应力张拉。

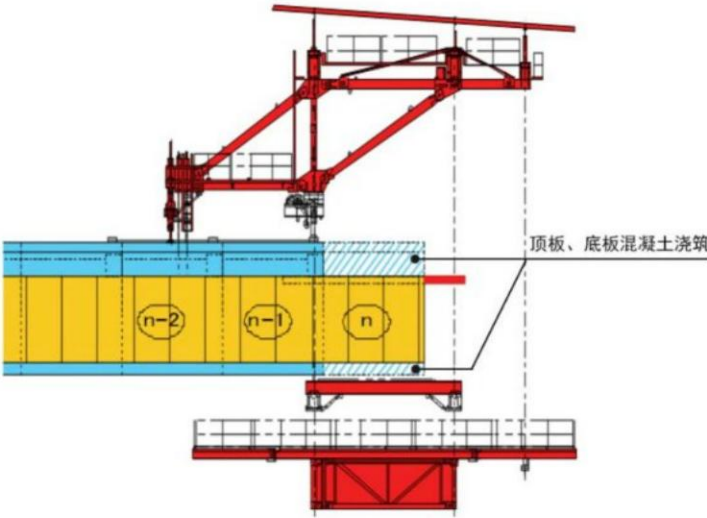


图3 悬臂浇筑施工示意

12.6.4 挂篮拆除顺序一般为：底模→内、外侧模→滑梁→吊杆及吊带→前横梁→横联→主桁架→滑动装置→走行轨道→清理场地。

12.8.4 保证钢混结合部混凝土密实性的措施如下：

- 混凝土浇筑过程中，应保证连接件周围混凝土的密实性。在翼缘型连接件与底板连接区域，应充分振捣，确保翼缘板下的混凝土浇筑密实；对钢筋较为密集的结合部，宜采用较小直径的振捣棒或采用自密实混凝土，必要时可采用附着式振捣器；
- 对直立栓钉，宜采用平板式振捣器；对侧立栓钉，宜选用较小直径的插入式振捣棒，避免触碰栓钉造成损坏；
- 浇筑内衬混凝土时，可采用自密实混凝土及附着式振捣器振捣，保证混凝土的密实性。

12.11.4 合龙段波形钢腹板的安装可参照以下步骤执行：

- 测量合龙段实际尺寸，确定波形钢腹板长度；
- 调整合龙段两端的标高至符合设计要求；
- 锁定合龙段；
- 将波形钢腹板吊装就位；
- 焊接波形钢腹板。

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥悬臂浇筑施工流程可参考图4所示执行。

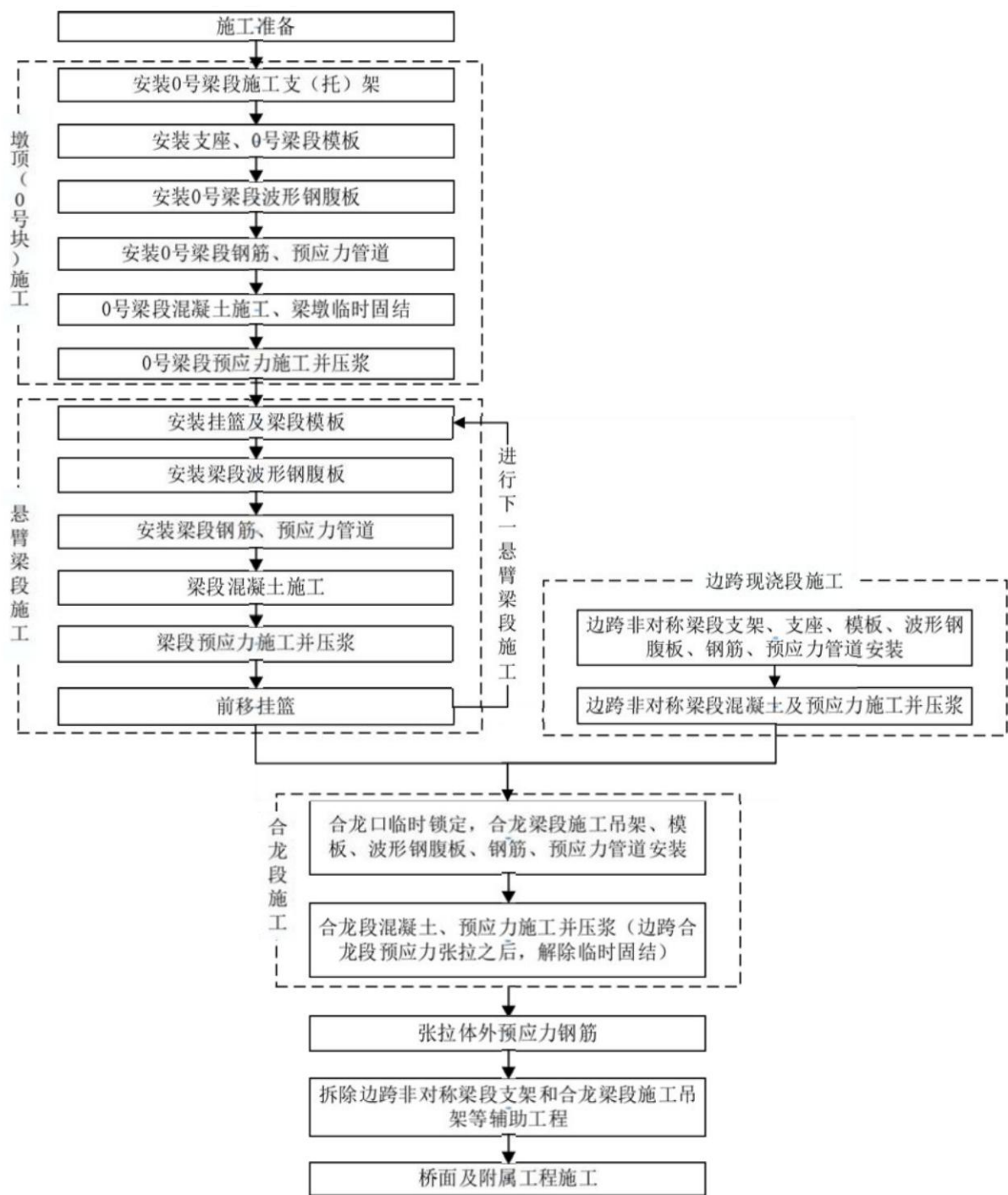


图 4 悬臂浇筑施工流程

13 错位悬臂浇筑施工

错位悬臂浇筑施工方法是将标准节段分为 $n-1$ 段顶板、 n 段底板、 $n+1$ 段波形钢腹板三个独立施工面(图5)

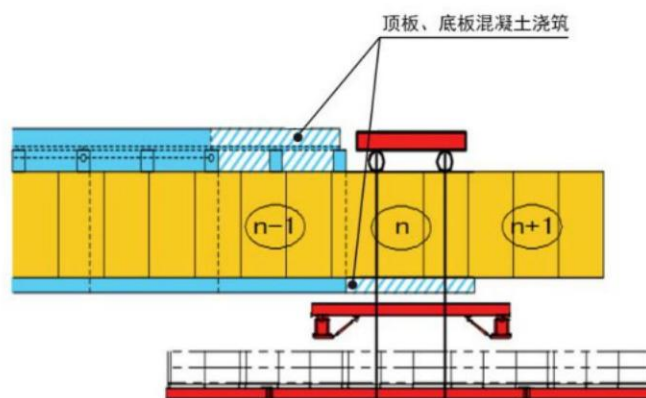


图5 错位悬臂浇筑施工示意

错位悬臂浇筑施工方法的一般施工流程如下：

- n 节段挂篮就位；
- 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；
- 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；
- n-1 节段预应力筋张拉，挂篮前移；
- 如此往复进行下一个悬臂节段施工。

波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥错位悬臂浇筑施工流程可参考图6所示执行。在错位施工时，波形钢腹板承受荷载，应进行施工过程控制，保证其内力和变形符合设计要求。

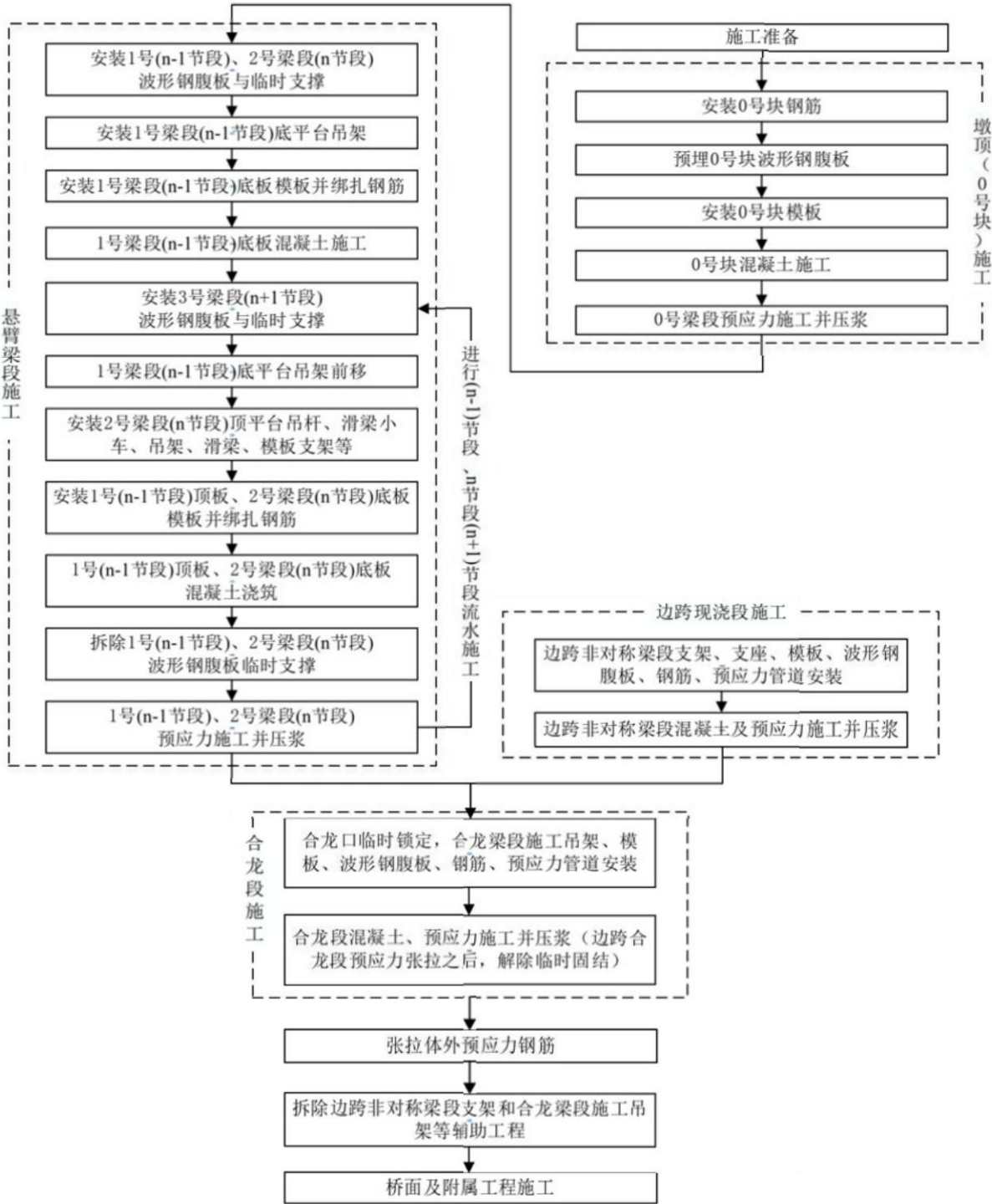


图 6 错位悬臂浇筑施工流程