

ICS 号
中国标准文献分类号

团体标准

T/CHTS XXXXX-XXXX

公路波形钢腹板-混凝土桥梁节段预制 拼装施工技术指南

Technical guide for segmental prefabrication and assembly of highway
corrugated steel web-concrete bridges

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国公路学会 发布

团体标准

公路波形钢腹板-混凝土桥梁节段预制拼装
施工技术指南

Technical guide for segmental prefabrication and assembly of highway
corrugated steel web-concrete bridges

T/CHTS XXXXX-20XX

主编单位：南京市公共工程建设中心

发布单位：中国公路学会

实施日期：××××年××月××日

××××××××(出版单位)

前 言

本指南是在总结节段预制拼装波形钢腹板连续梁桥建造关键技术研究成果和工程实践经验基础上编制的。

本指南按照《中国公路学会标准编写规则》（T/CHTS 10001）编写。共分为9章，主要包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、波形钢腹板制造、节段梁预制、节段梁安装、施工监控、质量控制与检验。

本指南由南京市公共工程建设中心提出，受中国公路学会委托，负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题与建议，反馈至南京市公共工程建设中心（地址：江苏省南京市建邺区江心洲街道梅子洲路69号；邮编：210019；联系电话：025-85658272；电子邮箱：673582506@qq.com），供修订时参考。

主编单位：南京市公共工程建设中心

参编单位：中交公路规划设计院有限公司

中交第二航务工程局有限公司

中铁宝桥集团有限公司

主要起草人：×××、×××、×××

主要审查人：×××、×××、×××

目次

1、 总则.....	1
2、 术语和符号.....	2
3、 基本规定.....	4
4、 材料.....	6
4.1 混凝土.....	6
4.2 钢筋.....	6
4.3 预应力材料.....	6
4.4 结构钢材.....	7
4.5 焊钉.....	7
4.6 焊接材料.....	7
4.7 涂装材料.....	7
4.8 混凝土接缝连接材料.....	7
5、 波形钢腹板制造.....	9
5.1 一般规定.....	9
5.2 波形钢腹板零件加工.....	9
5.3 波形钢腹板结构制作.....	9
5.4 波形钢腹板预拼装.....	10
5.5 波形钢腹板涂装.....	10
6、 节段梁预制.....	12
6.1 一般规定.....	12
6.2 钢筋与预埋件.....	12
6.3 模板与支撑.....	13
6.4 波形钢腹板安装及定位.....	14

6.5 混凝土工程.....	15
6.6 吊装、移运及堆存.....	17
7、节段梁安装.....	19
7.1 一般规定.....	19
7.2 悬臂拼装法.....	20
7.3 逐跨拼装法.....	23
7.4 波形钢腹板现场连接.....	24
7.5 体外预应力施工.....	24
8、施工监控.....	25
8.1 施工测量.....	25
8.2 施工监控.....	25
9、质量控制与检验.....	29
9.1 波形钢腹板制造.....	29
9.2 波形钢腹板节段梁预制.....	29
9.3 波形钢腹板节段梁安装.....	30
用词说明.....	32

1 总则

1.0.1 为了推广公路波形钢腹板-混凝土桥梁节段预制拼装施工的标准化，使工程项目符合安全可靠、技术先进、经济合理、环保节能的要求，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于公路波形钢腹板-混凝土桥梁节段预制拼装施工管理及质量控制，主要内容包括波形钢腹板-混凝土桥梁节段预制拼装施工的基本规定、材料、波形钢腹板制造、节段梁预制、节段梁安装、施工监控、质量控制与验收等内容。

1.0.3 公路波形钢腹板-混凝土桥梁节段预制拼装工程施工除应符合本指南的规定外，尚应符合有关法律法规及国家、行业现行有关标准的规定。

中国公路学会标准征求意见稿

2 术语和符号

2.0.1 波形钢腹板 corrugated steel web

被加工成波纹形状的结构并用于箱梁腹板的钢板。

2.0.2 埋入式连接件 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部件。

2.0.3 开孔钢板连接件 plate shear connector with openings

通过开孔钢板与孔内横向贯穿钢筋使混凝土顶板或底板与波形钢腹板共同受力的连接部件。

2.0.4 角钢连接件 angle iron shear connector

通过角钢、U 型钢筋、纵向贯穿钢筋使混凝土顶板或底板与波形钢腹板共同受力的连接部件。

2.0.5 零件 part

零件是组成构件的最小单元：波形钢腹板、开孔板、翼缘板、剪力钉、钢筋等。其中波形钢腹板、开孔板、翼缘板为主要零件，其余为次要零件。

2.0.6 单元件 single element

根据波形钢腹板的结构特征，由开孔板、翼缘板组焊形成的部件定义为单元件。

2.0.7 波形钢腹板结构 corrugated steel web structure

按照设计图纸节段划分，将波形钢腹板、开孔板、翼缘板、剪力钉及钢筋等组焊成整体，参与组合箱梁的预制，这个构件定义为波形钢腹板结构。

2.0.8 波形钢腹板节段梁 precast segmental beam with corrugated steel webs

在工厂分节段预制完成，腹板由波形钢腹板结构替代的混凝土梁体。

2.0.9 短线匹配预制 short line matching prefabrication

将一跨箱梁分成若干短节段，考虑混凝土收缩、徐变、预拱度等影响因素，将每榀梁段的成桥整体坐标转换为预制厂局部坐标，以待浇梁段为基准，调整已制前一相邻匹配梁段平面位置及标高，在预制台座的固定模板系统内逐榀匹配、流水预制梁段的一种预制方法。

2.0.10 波形钢腹板三向调节定位装置 three way adjusting and positioning device for corrugated steel webs

预制阶段用于调节波形钢腹板纵向、横向及竖向位置的装置。

2.0.11 贯穿钢筋 steel bar through pin-hole

穿过波形钢腹板连接件处开孔钢板或角钢竖肢销孔的钢筋。

2.0.12 临时匹配件 temporary fittings

用于波形钢腹板节段间临时匹配固定的装置。

2.0.13 临时支撑 temporary support

为控制波形钢腹板节段梁在吊装、移运及堆存过程中的变形量，于箱室内顶底板之间设置的临时支撑结构，在成桥后拆除。

2.0.14 环氧树脂胶接缝 epoxy resin adhesive joint

采用环氧树脂胶黏剂黏结相邻节段混凝土面的接缝。

2.0.15 节段拼装架桥机 segmental assembling bridge erector

支承在桥梁结构上，可沿纵向自行变换支承位置，用于将节段预制梁体安装在桥跨指定位置的一种专用起重机。

3 基本规定

3.0.1 波形钢腹板-混凝土组合箱梁节段预制拼装施工技术是将波形钢腹板组合箱梁分节段预制，现场拼接，其节段划分、连接及变形控制应满足下列要求：

1 波形钢腹板节段梁节段长度宜取为波形钢腹板波长的整数倍，标准节段的长度应控制在2.4m~4.8m范围内，对于设置体外预应力钢束转向及锚固的节段，则需根据重量等限制条件调整其长度。

2 波形钢腹板节段间连接宜采用焊接或高强螺栓连接，混凝土顶底板宜采用齿键胶拼。波形钢腹板与混凝土顶底板、横梁的连接件设计可参考《波形钢腹板组合梁桥技术标准》（CJJ/T 272）、《组合结构桥梁用波形钢腹板》（JT/T 784）规定，并进行连接件验算。

3 波形钢腹板节段梁施工期变形控制验算应包括梁段匹配过程变形控制验算、箱梁吊装变形控制验算、箱梁扭转和畸变控制验算等。

条文说明

1 为便于波形钢腹板的纵向连接，节段长度宜取为波形钢腹板波长的整数倍以使接缝设在波形钢腹板的平板段上。波形钢腹板节段梁节段长度划分主要取决于节段重量以及运输尺寸（尤其是波形钢腹板节段长度）的限制条件。在一些箱梁较宽的桥梁中，墩顶段因为设置横隔板而较重，这时为了适应架桥机的起重能力，横隔板待梁段架设完毕后再现浇。由于波形钢腹板箱梁较混凝土腹板箱梁轻，当按一定节段重量划分梁段时，节段长度可以适当加大，这样当跨长一定时可以减少节段数量，有利于加快施工速度。

2 波形钢腹板节段梁节段间连接包括波形钢腹板和混凝土顶底板的连接。焊接和高强螺栓连接在预制拼装波形钢腹板桥梁中都是有效的连接方式。在选择连接方式时，需考虑匹配预制拼装施工可行性。

3 为提高波形钢腹板节段梁正在运输及吊装等施工过程中的端口抗扭转性能，在节段两侧端口可设置临时支撑，水平力作用可按式 3.0.1 验算：

$$F_h = \max\{1.2 \times G_t \times \sin i, 0.2 \times G_b\} \quad (3.0.1)$$

式中： F_h ——箱口临时支撑验算水平力；

G_t ——混凝土顶板重；

G_b ——混凝土底板重；

i ——运输道路不利纵坡，可取 9° 。

在水平力作用下，波形钢腹板根部处变形需控制在1.5mm以内。

3.0.2 波形钢腹板节段梁预制拼装施工分为三个施工阶段：波形钢腹板结构厂内制造、波形钢腹板节段梁厂内预制、波形钢腹板节段梁现场安装。施工前应认真研究施工图，并开展下列技术准备工作：

- 1 波形钢腹板成型模具、制造和预拼装胎架设计；
- 2 波形钢腹板节段梁预制钢筋绑扎胎架设计；
- 3 组合钢模板设计；
- 4 波形钢腹板节段梁吊具设计；
- 5 吊梁设备、运梁设备、架梁设备的选型；
- 6 临时结构工程设计；
- 7 现场安装条件勘察；
- 8 编制专项施工方案。

条文说明

1 波形钢腹板制造预拼装胎架为波形钢腹板出厂前进行匹配和预拼的工装，应根据施工图中波形钢腹板尺寸进行相应设计。第 4 款波形钢腹板节段梁横向抗扭性较差，预制完成后的吊装、移运需平衡起吊防止节段变形及梁段倾覆，因此需根据不同梁段的吊点布置及吊重设计专用吊具。

8 波形钢腹板节段梁施工应按照《公路工程施工安全技术规范》（JTGF90）要求，编制专项施工方案。专项施工方案需涵盖预制厂建设、波形钢腹板制造、节段梁预制、运输、堆存、安装等内容，并对波形钢腹板连接、涂装、钢混结合部位质量、梁段防变形等施工控制要点予以明确。

3.0.3 波形钢腹板节段梁预制拼装施工应在波形钢腹板制造预拼装、节段梁叠合预制、匹配安装、桥梁合龙、体系转换等阶段实施全过程的施工监控。

3.0.4 波形钢腹板节段梁可采用短线法或长线法进行预制。预制场地应进行专门设计，其布置应便于节段的预制、移运、存放及装车（船）出运，场地应平整、坚实，设置必要的防排水设施；预制台座应稳定、坚固，在荷载作用下，其顶面的沉降应控制在 2mm 以内。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1 波形钢腹板节段梁预制部分混凝土强度等级不宜低于 C50，波形钢腹板节段梁现浇部分、预应力张拉槽口及施工预留孔封填的混凝土宜采用补偿收缩混凝土。

4.1.2 混凝土技术标准应符合《混凝土结构设计规范》（GB 50010）、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）、《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）、《混凝土膨胀剂》（GB/T 23439）的规定。

4.2 钢筋

4.2.1 普通钢筋应采用 HRB400 级钢筋，其技术标准应符合《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2）的规定。

4.2.2 直径大于等于 20mm 的钢筋接头应采用机械连接，其技术标准应符合《钢筋机械连接技术规程》（JGJ 107）中 II 级接头以上性能要求。

4.3 预应力材料

4.3.1 体内预应力材料

体内预应力钢绞线技术标准应符合《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）的规定。锚具宜采用预应力钢绞线群锚锚具，质量应符合《后张预应力体系的验收建议》（FIP-1993）、《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T 14370）的规定。波纹管宜采用塑料波纹管，环刚度应不小于 6kN/m^2 ，质量应符合《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》（JT/T 529）、《聚乙烯(PE)树脂》（GB/T 11115）的规定。体内预应力管道压浆材料应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

4.3.2 体外预应力材料

1 体外预应力应采用高强低松弛预应力钢绞线，其主要技术标准应符合《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）的规定。钢绞线表面防腐涂层采用无黏结预应力钢绞线的形式时，应符合《无黏结预应力钢绞线》（JG/T 161）规定；钢绞线表面防腐涂层采用环氧涂层时，应符合《环氧涂层七丝预应力钢绞线》（GB/T 21073）和《填充型环氧涂层钢绞线体外预应力束》（JT/T 876）的规定。

2 体外预应力外套管选用高密度聚乙烯管或镀锌钢管时，其性能和质量应符合相应产品标准的规定。体外预应力与结构相交处采用预埋无缝钢管成孔，无缝钢管应符合《结构用无缝钢管》（GB/T 8162）的规定。

3 体外预应力端头防腐蚀材料的耐久性能应与体外预应力所处的环境类别和使用年限一致。

4 体外预应力材料除按规范要求检查其性能外，在使用前还应进行外观检查。

4.4 结构钢材

4.4.1 波形钢腹板及其与箱梁混凝土顶底板、体外预应力转向块的连接钢板宜采用不低于 Q355C 钢材。

4.4.2 非主体结构用钢材宜采用不低于 Q235B 钢材。

4.4.3 钢材技术指标应符合《桥梁用结构钢》(GB/T 714)、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591)、《碳素结构钢》(GB/T 700) 的规定。

条文说明

非主体结构用钢材主要包括波形钢腹板节段梁预制用组合钢模板、拼装用钢齿坎、临时匹配件、波形钢腹板三向调节定位装置、临时支撑等。

4.5 焊钉

焊钉宜采用圆柱头焊钉，其技术标准应符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433) 的规定。

4.6 焊接材料

焊接采用的焊条应符合《热强钢焊条》(GB/T 5118)、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》(GB/T 8110) 的规定，并与所采用的钢材相适应。

4.7 涂装材料

波形钢腹板结构涂装材料应性能可靠、防蚀性强、耐候性好，其防护年限应满足设计图纸规定的年限，相关性能应符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722) 的要求。

4.8 混凝土接缝连接材料

混凝土顶底板拼缝用胶宜用高品质双酚 A 型环氧树脂，其适宜施工温度范围为+5℃~+40℃，应符合 FIP 标准和《环氧树脂胶黏剂的标准规范》(AASHTO M235) 标准的规定，其主要技术指标应符合表 4.8.1 规定：

表 4.8.1 环氧树脂胶主要技术指标

技术指标	技术要求
触变性（抗流挂性能）	厚度最薄为 3mm 时无流挂
抗压强度	12 小时≥40MPa，1 天≥70MPa，7 天≥80MPa
抗剪强度（倾斜柱面测试）	≥15MPa
拉伸强度	≥12MPa
压缩弹性模量	≥8000MPa

环氧树脂粘结剂应方便施工，立面和顶面施工无流淌，应具备高强度、高弹性模量的特点，胶结强度不应低于梁体混凝土强度，胶体固化后无收缩，应具备较强的防水和防化学腐蚀能力。

中国公路学会标准征求意见稿

5 波形钢腹板制造

5.1 一般规定

5.1.1 波形钢腹板制作前，应按《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205）、《组合结构桥梁用波形钢腹板》（JT/T 784）等国家及行业现行标准以及设计文件要求，编制制作工艺指导书，确保制作过程有序受控。

5.1.2 波形钢腹板制造可按下列步骤进行：

- 1 波形钢腹板零件加工：钢板预处理、下料、加工、成型；
- 2 波形钢腹板结构制作：拼装、焊接、修整、预拼、监控点标记、除锈、涂装、防护。

5.1.3 波形钢腹板一般采用 1000 型、1200 型和 1600 型三种型号，1000 型板厚 8~12mm，1200 型板厚 8~20mm，1600 型板厚 10~30mm，当使用上述以外的型号时，应通过理论计算和试验验证。波形长度的确定应考虑加工、运输、安装、节段长度、腹板厚度的变化及节段间连接等因素。

5.2 波形钢腹板零件加工

5.2.1 钢结构件切割、矫正、弯曲、边缘加工精度应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）和《铁路钢桥制造规范》（Q/CR 9211）的规定。

5.2.2 波形钢腹板成型前的基线、折弯线宜采用智能化设备划线。

5.2.3 波形钢腹板宜采用模压法或折弯法成型，压型后腹板转角处圆弧应平滑，无纤维状暗筋出现。

5.2.4 波形钢腹板正式压型前应进行成型试验，根据试验收集的数据修正模具，直至波形板成型合格。

条文说明

波形钢腹板采用模压法成型，应设计和制作波形模压模具，正式投产前分别就不同板厚进行压型试验，根据试验检测数据和公差要求对模具进行修正。

5.3 波形钢腹板结构制作

5.3.1 波形钢腹板结构的组装应在组装胎架上进行，组装前应对组装胎架平整度、刚度进行检查，确认合格后方可使用。

5.3.2 宜采用预弯反变形、线能量小的二氧化碳气体保护焊、多层多道交替焊缝等措施，控制焊接变形，修正波形钢腹板结构的平整度和平面挠曲量。

5.3.3 波形钢腹板结构制造偏差应符合《组合结构桥梁用波形钢腹板》（JT/T 784）中的规定。

5.3.4 波形钢腹板结构出厂前可采用贴膜或临时刷涂漆膜防护。采用临时刷涂漆膜防护时，应易于清除。

5.3.5 波形钢腹板节段上应标记线形监控测点，作为波形钢腹板节段预制的定位基准，如图 5.3.5 所示。

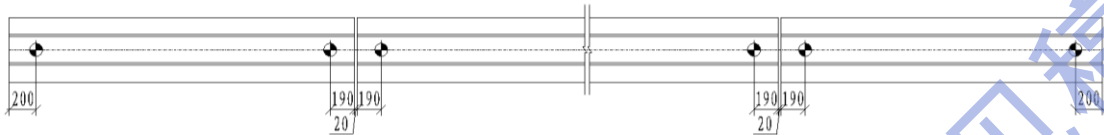


图 5.3.5 波形钢腹板节段测点布置示意图

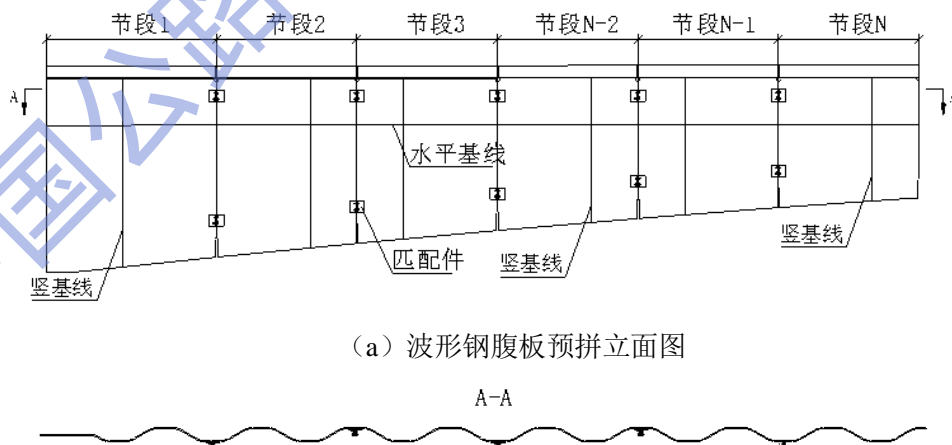
5.4 波形钢腹板预拼装

5.4.1 波形钢腹板结构宜按制造线形在制造厂采用长线法预拼装，预拼装线形成果作为波形钢腹板节段梁预制线形、断面尺寸控制的基准。

条文说明

波形钢腹板预拼装可采用整跨及 1/2 跨长线法，利用胎架支撑板顶面标高实现横桥向的曲率半径变化（预制箱梁的横桥向曲率半径），利用波形钢腹板 π 型件翼缘板监控点至给定的通长基准线距离实现高度方向的拱度线形。波形钢腹板结构长线法预拼装与波形钢腹板节段梁短线法预制的“长短”结合，可将钢结构件制造和匹配精度传递至预制节段梁，实现节段梁与钢结构件统一的毫米级制造精度。

5.4.2 预拼装过程中应修正节段尺寸、调整标高线形，控制接口匹配，满足要求后组焊临时匹配件，并标记监控测点，作为波形钢腹板节段预制的定位基准，水平基线、竖基线及匹配件可按图 5.4.2 设置。



(a) 波形钢腹板预拼立面图

(b) 波形钢腹板预拼断面图

图 5.4.2 波形钢腹板预拼装示意图

5.5 波形钢腹板涂装

5.5.1 涂装材料应按照生产批号逐批进行取样复验，复验合格并经过监理工程师批准后方可使用。

5.5.2 喷砂作业环境要求应符合下述规定：

- 1 钢板表面温度应超过空气露点温度 3 °C 或以上；
- 2 喷砂房内空气的相对湿度应不大于 85%。

5.5.3 涂装作业环境要求应符合下述规定：

1 涂装作业的温湿度环境应符合油漆产品技术规格书的要求。产品未有规定时，环氧类漆施工温度不得低于 10 °C，其余涂装环境温度宜控制在 5 °C~38 °C 之间，相对湿度 85% 以下；

2 表面结露不得涂装，金属表面温度高于露点 3 °C 以上方可施工，涂装后 4 小时内应保护免受雨淋。

5.5.4 涂装施工前，制造厂和油漆供应商应进行专项涂装工艺试验，合格后方可施工。

5.5.5 外露于大气中的腹板内、外表面和翼缘板外漏表面，按底漆、中间漆、面漆的外表面涂装体系进行涂装。翼缘板上部开口钢板及腹板下端埋入混凝土部分宜涂无机富锌底漆一道。

5.5.6 工地现场焊缝及涂层损伤处的涂装，可采用手工除锈达到 St3 级，宜采用环氧富锌底漆代替无机富锌底漆进行焊缝及损伤部位的修补涂装，在保证涂层的附着力同时也可免去封闭漆施工。

6 节段梁预制

6.1 一般规定

6.1.1 波形钢腹板节段梁可采用长线法或短线法预制。

6.1.2 波形钢腹板节段梁预制可按下列步骤进行：

- 1 钢筋工程：原材料进场、半成品加工、顶底板钢筋骨架绑扎、钢筋骨架吊装入模；
- 2 模板工程：模板清理、匹配梁定位、模板拼装、脱模剂涂刷；
- 3 波形钢腹板安装：波形钢腹板吊装入模、贯穿钢筋安装、临时匹配件安装、测量调整定位、波形钢腹板固定；
- 4 混凝土工程：原材料进场、配合比试验、混凝土拌制、运输、底板及底部钢混结合段浇筑、顶板及顶部钢混结合段浇筑、养护；
- 5 吊装、移运及堆存：箱梁内腔临时支撑安装、存梁垫块布置、吊具安装、吊装移运。

6.1.3 波形钢腹板节段梁预制钢筋绑扎胎架的设计应考虑下列因素：

- 1 波形钢腹板节段梁截面变化形式；
- 2 波形钢腹板节段梁钢筋骨架的入模顺序；
- 3 波形钢腹板固定的方式。

6.1.4 波形钢腹板节段梁预制组合钢模板的设计应考虑下列因素：

- 1 波形钢腹板调位与固定措施、钢-混凝土结合段防止漏浆措施；
- 2 钢模板的强度、刚度及稳定性应符合《组合钢模板技术规范》（GB/T 50214）规定；
- 3 钢模板面板宜采用整块钢板铣边制作，近海区施工可采用不锈钢复合面板，面板厚度应根据面板所属位置、背肋布置及面板循环使用的次数综合选择。

条文说明

波形钢腹板节段梁预制组合钢模板一般由固定端模、活动端模、外侧模及支架、内模及移动支架、底模及底模台车、液压系统等几部分组成，设计时应分别进行验算。

6.1.5 波形钢腹板节段梁吊具的设计应考虑梁段吊点纵横向布置间距变化的范围，吊具自身强度、刚度及稳定性应满足《钢结构设计标准》（GB 50017）相关规定。

6.2 钢筋与预埋件

6.2.1 钢筋半成品加工宜采用自动化数控设备进行，其加工质量应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的要求。

6.2.2 钢筋骨架宜采用分部入模，整体入模应考虑整体吊装变形对钢筋骨架变形的影响，当部分钢筋与波形钢腹板贯穿钢筋冲突时可在模内绑扎。

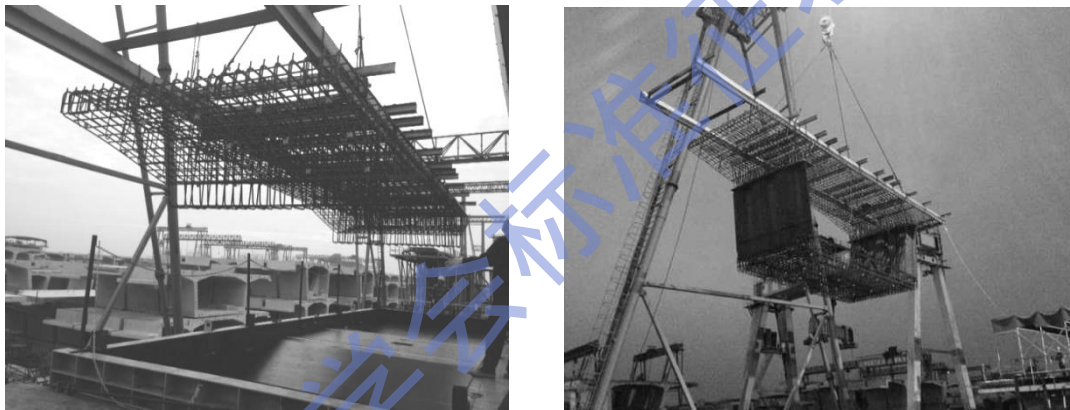
条文说明

波形钢腹板节段梁钢筋骨架入模顺序分为整体入模和分部入模，分部入模根据骨架结构形式，将底板钢筋骨架、波形钢腹板、顶板钢筋骨架分先后三次吊装入模成型，以便于波形钢腹板定位安装。

6.2.3 波形钢腹板节段梁钢筋骨架应根据结构尺寸、连接构造等特点选择适宜的入模方式。

条文说明

波形钢腹板组合梁节段钢筋骨架入模方式通常为分部入模以及整体入模两种，如下图 6.2.所示。分部入模流程为：底板底层钢筋吊装、波形钢腹板吊装定位、波形钢腹板贯穿钢筋调整和固定、底板顶层钢筋安装、顶板钢筋笼吊装、波腹板顶部贯穿钢筋安装，整体入模则为顶底板钢筋笼与波形钢腹板制作为整体后吊装入模。



(a) 分部入模

(b) 整体入模

图 6.2.3 钢筋骨架入模方式

6.2.4 钢筋骨架安装应符合设计图纸及《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

6.2.5 预埋管件安装应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）与设计图纸的规定。

6.2.6 钢筋骨架入模应采用多点式平衡吊具吊装，且应采用有效措施减少骨架吊装变形。

条文说明

波形钢腹板节段梁钢筋骨架吊装变形将导致入模困难，钢筋保护层偏差大，直接影响预制构件质量，可采用增加吊点、对称布设吊点、增设吊耳、对吊耳局部加强、顶底层钢筋与部分拉钩筋点焊固定等措施减少钢筋骨架吊装变形。

6.3 模板与支撑

6.3.1 节段梁预制模板应进行专项设计，模板强度、刚度及稳定性应符合《组合钢模板技术规范》（GB/T 50214）的规定。

6.3.2 节段梁预制模板与波形钢腹板连接处应设置有效的止浆装置。

条文说明

为应对模板与波形钢腹板连接处的漏浆，应单独设置止浆装置以封堵缝隙。有关工程实践表明，波形钢腹板节段梁端模及侧模处设置由聚丙烯胶条、承托支架及校调螺杆组成的止浆装置，通过调整校调螺杆长度可使承托支架及胶条紧贴波形钢腹板下缘，可有效止浆。

6.3.3 节段梁预制模板中的固定端模宜在腹板区域设置活动块，通过调节活动块使波形钢腹板下放入模。

条文说明

波形钢腹板相邻节段间采用对接焊或螺栓连接方式，其间隙通常不大于 1cm，在待浇节段两端固定端模或匹配梁完成定位的情况下，波形钢腹板入模难度大。

6.3.4 固定（活动）端模、侧模应设置波形钢腹板调位及定位装置。

6.3.5 模板安装质量应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

6.3.6 脱模剂应在模板表面干燥、洁净状态下涂刷，涂刷应均匀。

6.3.7 模板的拆除应根据施工图设计要求进行，并符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）规定。

6.4 波形钢腹板安装及定位

6.4.1 波形钢腹板可利用其顶部开孔钢板上的预留孔进行吊装作业。

6.4.2 节段梁模板与波形钢腹板连接处应设置限位装置，波形钢腹板吊装就位前应根据其设计位置调整限位装置。

条文说明

通过在节段梁侧模及端模上设置限位装置，可在模板内有效固定波形钢腹板位置。有关工程实践表明，在波形钢腹板节段梁端模上设置双向调节定位装置，通过调整校调螺杆实现波形钢腹板在竖向及横向的精调和限位，波形钢腹板吊装前，通过测量辅助调整端模双向调整定位装置，使支撑面略高于波形钢腹板 2~3mm，可有效提高吊装波形钢腹板入模安装时定位精度，减少调整工作量。

6.4.3 波形钢腹板安装及定位应与顶底板钢筋骨架入模的工艺相结合，贯穿钢筋应与钢筋骨架连接并固定牢靠。

条文说明

波形钢腹板与混凝土顶底板连接件的类型有栓钉连接件、双开孔钢板连接件、单开孔钢板与栓钉组合连接件、埋入式连接件及角钢连接件，无论采取何种连接件型式，均应在保证波形钢腹板及其连接件定位位置准确，并与钢筋骨架固定牢靠。

6.4.4 波形钢腹板吊装入模并完成定位后，匹配节段侧应立即安装临时匹配件，采用锥销与连接螺栓将其与上一节段临时匹配件连接锁定，临时匹配件应严丝合缝，其间隙应不大于 2mm，固定端模侧波形钢腹板应由 6.4.2 所述的模板限位装置临时固定。

6.4.5 波形钢腹板定位完成后应采用全站仪或高精度水准仪校核，其精度应符合波形钢腹板匹配过程中相邻波形钢腹板接缝缝宽及错台应与预拼装保持一致，偏差不宜超过 2mm，波形钢腹板连接不应发生转角错位。波形钢腹板定位标准应符合表 9.2.2 的规定。

6.4.6 表 9.2.2 规定。

6.4.7 波形钢腹板精确定位后应调整各限位工装进行波形钢腹板固定，并安装波形钢腹板顶钢板下缘处铰接止浆耳座。

6.5 混凝土工程

6.5.1 混凝土工程施工应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

6.5.2 波形钢腹板节段梁钢混结合区的混凝土浇筑质量是施工控制重点，当混凝土顶板与波形钢腹板采用埋入式连接时，应在模板与波形钢腹板之间预留 40mm 左右的间隙，并在其间填充止浆材料。

条文说明

钢混结合区由于普通钢筋、预应力管道、连接件之间互相干扰影响，且波形钢腹板与混凝土顶底板通过各种形式连接件连接，其构造复杂，浇筑振捣困难，因此结合区混凝土的浇筑是控制预制质量的关键。

波形钢腹板与顶板采用埋入式连接件时，模板制作需适应钢腹板波纹形状，为了吸收钢板厚度以及弯曲半径制造偏差，模板和波形钢腹板之间需要有一定的间隙，并在安装模板时同步在间隙内填充橡胶来防止漏浆。

6.5.3 波形钢腹板节段梁钢混结合区施工应符合下列规定：

- 1 当混凝土底板与波形钢腹板采用埋入式连接时：
 - 1) 应制定合理的混凝土拌和物布料顺序，尤其对于底板结合区。
 - 2) 应首先在承托位置内侧布料，振捣密实后，必须及时向承托外侧补料，严禁从内侧直接赶料。
- 2 当混凝土顶板与波形钢腹板采用翼缘式连接时，应确保钢顶板四周与模板或匹配梁之间均密封完好。
- 3 当混凝土底板与波形钢腹板采用翼缘式连接时，应在翼缘钢板开设多个排气孔以保证混凝土

浇筑密实。

4 混凝土振捣过程中应避免损伤栓钉、开孔钢板等连接件。

5 当设计采用开孔钢板连接件时，结合区混凝土粗骨料宜采用 5~20mm 连续级配碎石，最大粒径不应超过 25mm。

6 混凝土浇筑应按被波形钢腹板隔开区间进行分层均匀布料，两侧混凝土浇筑高差宜控制在 10~15cm。

条文说明

1 波形钢腹板与底板采用埋入式连接件时，如图 6.5.所示，底板布料顺序应为①底板中央；②被波形钢腹板隔开的箱室内侧承托；③被波形钢腹板隔开的箱室外侧承托。

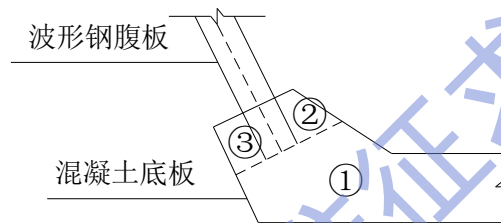


图 6.5.3 采用埋入式连接的底板混凝土布料顺序

2 波形钢腹板与底板采用翼缘式连接件时，结合区施工期的混凝土浇筑质量难以把控，运营期受力复杂，受角隅弯矩影响，应力集中明显，容易导致开裂。施工时需在翼缘钢板开设多个排气孔，确保浇筑密实，同时也可采用微膨胀混凝土、加强振捣、延长养护时间等措施预防结合区混凝土开裂。

5 混凝土粗骨料最大粒径要求参考《波形钢腹板组合梁桥技术标准》（CJJ/T 272）规定执行，规定粒径范围主要目的是保证粗骨料能顺利从贯穿钢筋与钢板预留孔之间通过，实际应根据两者的净距大于粗骨料粒径来确定。

6 波形钢腹板两侧混凝土浇筑宜保持一定高差，宜控制在 10~15cm，防止两侧同时上升造成中间开孔处空洞。

6.5.4 波形钢腹板节段梁节段脱模、拆分以及养护应符合下列规定：

1 混凝土抗压强度达到设计强度的 75% 后方可脱模。

2 钢混结合区混凝土宜保温保湿养护 7d 以上，养护期间需注意对波形钢腹板的保护，防止腹板生锈等不良影响。对于波形钢腹板与底板的连接区域应事先采用密封材料进行封闭处理。

条文说明

相对于常规混凝土节段梁，波形钢腹板组合梁顶板由波形钢腹板支撑，其抗弯刚度较小，若脱模过早，可能产生影响节段匹配预制质量的竖向挠曲变形，同时也带来内模与匹配梁不能密贴而出现的漏浆问题。如图 6.5.及图 6.5.

所示，在匹配预制 n 号块时，n-1 号块顶板中央发生竖向变形 Δ ，该变形将导致 n 号块梁面实际线形成虚线所示；同样地，在匹配预制 n+1 号块时，n 号块顶板中央继续发生竖向变形 Δ ，n+1 号块梁面实际线形成点划线所示。如此，n 号块进入存放台座后，箱梁中央处梁高将比理论梁高减少 2Δ ，而悬臂端处梁高则会增大相应数值。根据相关工程施工实测的变形数据，在混凝土弹性模量达到 50%、75% 进行拆模，顶板中央处竖向位移 Δ 分别为 4.6mm、2.2mm。

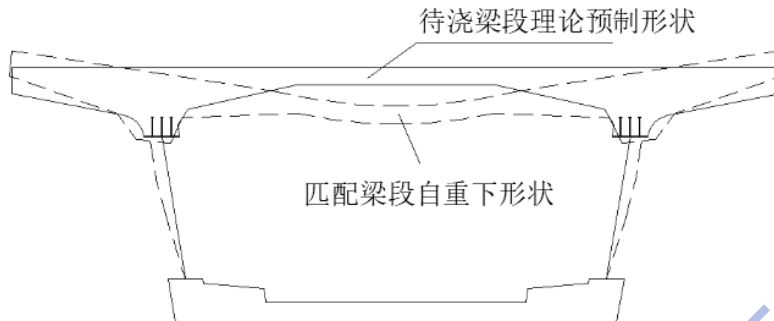


图 6.5.4-1 自重作用下梁段变形示意图

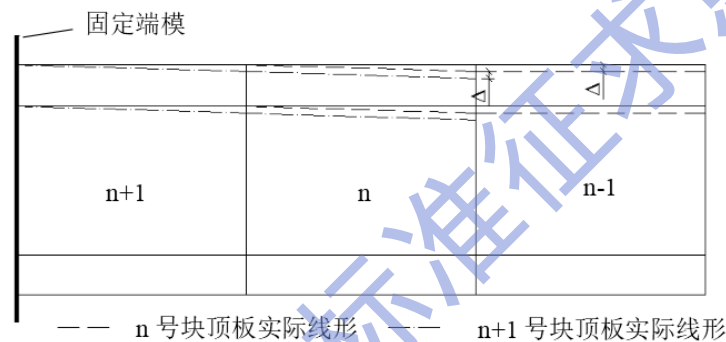


图 6.5.4-2 拆模后顶板变形对匹配预制质量的影响

6.5.5 混凝土浇筑、振捣施工应注意对波形钢腹板的防护，可采用覆膜减少污染。

6.6 吊装、移运及堆存

6.6.1 波形钢腹板节段梁吊装应符合下列要求：

- 1 波形钢腹板节段梁在设计未规定时，应在混凝土抗压强度达到设计强度 85% 后，进行起吊和场内移运作业。
- 2 波形钢腹板节段梁吊装应采用多点起吊，吊点宜对称设置于每块波形钢腹板内外侧顶板加腋处，并经计算验证。
- 3 波形钢腹板节段梁吊装前，应分析节段重量、支点不均匀沉降、运输过程中振动等对组合梁节段不利影响，必要时可在箱室内布置临时支撑等增强构造，提高节段横向抗弯、竖向抗剪以及空间抗扭刚度，临时支撑应不少于 2 道。
- 4 波形钢腹板节段梁吊装应保持梁段水平，各吊杆均匀受力。

条文说明

1 参考《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）节段预制梁脱模强度不小于 75% 要求，对于波形钢腹板节段预制梁，考虑到波形钢腹板相对于混凝土腹板的横向受力性能较弱，将其吊装强度提高至 85%。第 2 款主要验算吊点处混凝土局部受压承载力及顶板混凝土变形。

3 相对于常规混凝土节段梁，波形钢腹板组合箱梁节段空间效应更为显著，需对梁段吊装、运输和堆存过程进行全面分析并提出不利变形以及应力控制措施，譬如增设吊点、减少多层堆放、增加临时支撑（如图 6.6.1）等。

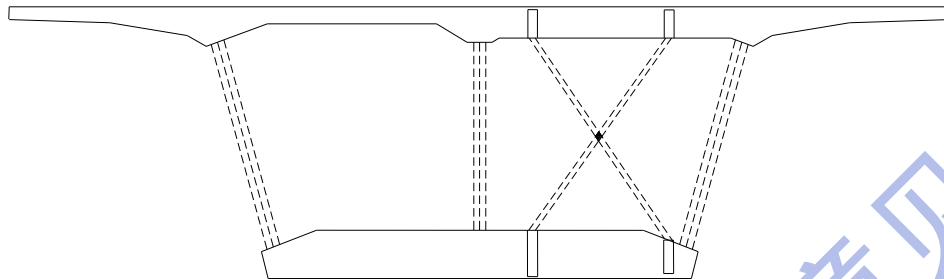


图 6.6.1 箱室内临时支撑增强措施

4 波形钢腹板节段梁吊装可通过精确量取吊杆长度、预张拉等措施实现吊杆均匀受力。

6.6.2 波形钢腹板节段梁移运应符合下列要求：

1 波形钢腹板节段梁移运应使用专用运梁车，运梁车承载力、尺寸应满足梁段运输的要求，车辆进场应进行专项验收。

2 运梁路线应经过专项设计，路线上不得有急转弯、陡坡，道路基础应坚实表面无凹陷，运梁车通行速度应不大于 5km/h。

3 波形钢腹板节段梁装车应采取有效的加固措施防止意外落梁。

条文说明

对于高宽比大的梁段，重心较高，运输过程颠簸晃动易造成梁段倾覆掉落，因此除对运梁道路质量应严格要求外，梁段装车后还应采取手拉葫芦、吊带、缆风绳等措施与运梁车绑扎固定，以减小晃动；对于超高梁段，应设计专用的车载托架，以固定梁段。

6.6.3 波形钢腹板节段梁堆存应符合下列要求：

1 波形钢腹板节段梁堆存时支撑垫块应布置于底板靠近腹板处，且应在垫块上加垫木、橡胶板等不污染梁外观的弹性支撑物；变高梁段应采用楔形垫块进行支垫，以保持梁顶面水平。

2 波形钢腹板节段梁堆存层数应根据构件强度、稳定性、基础承载力、支垫垫块强度计算确定，最大叠放层数不宜超过 2 层，并设置不少于 2 道临时支撑。

3 波形钢腹板节段梁堆存期间应按照不低于 1 个月/次的频率进行变形观测，测点可布置于顶底板或钢腹板，测量可采用全站仪或激光测距仪进行，首次存放应立即采集测点的相对位置关系，当变形超过设计允许值时应分析原因并采取补救措施。

7 节段梁安装

7.1 一般规定

7.1.1 预制波形钢腹板节段梁拼装方法主要有悬臂拼装法和逐跨拼装法，拼装方法的选择应综合考虑桥梁跨径、重量、施工装备等因素的影响，并应严格控制施工荷载对结构内力和线形的影响，必要时需经设计确认。

条文说明

波形钢腹板节段梁为柔性结构，横向抗弯及抗扭刚度小，对施工荷载敏感性高，因此除在运输、堆存节段需考虑临时支撑补强措施外，拼装阶段施工荷载的影响也应重点关注。

7.1.2 波形钢腹板节段梁吊梁设备额定起重量应满足最大节段重量。运梁设备应满足最大尺寸及最重节段的承载要求，并通过稳定性验算确定设备型号及运输时堆存层数。

条文说明

波形钢腹板节段梁施工设备主要分为吊梁设备、运梁设备、架梁设备，其中吊梁设备有龙门吊、履带吊、汽车吊，运梁设备有运梁车、运梁船，架梁设备有节段拼装架桥机、桥面吊机。

7.1.3 架梁设备作为大型专用设备，应进行专项设计，选型时应考虑下列因素：

- 1 施工跨径、跨重、最大节段重量；
- 2 拼装工艺；
- 3 喂梁方式；
- 4 线路曲线半径、坡度；
- 5 施工场地及施工周期；
- 6 不同施工工况下施工荷载对桥梁结构的影响。

条文说明

波形钢腹板节段梁桥拼装工艺可分为悬臂拼装和逐跨拼装，喂梁方式可分为桥下喂梁和尾部喂梁。当采用桥面吊机施工时，应针对锚固件对组合梁顶板的削弱影响采取加固措施。当采用节段拼装架桥机施工时，应分析架桥机在各工况最不利位置及在最不利位置下架桥机构件应力和挠度，以保证架桥机的安全性。

7.1.4 架梁设备安装完成后应组织专项验收，进行荷载试验及型式试验，制定完整的设备管养维护制度及安全操作规程，设备安拆及使用管理应符合现行国家法律的规定。

7.1.5 施工期间的临时工程设计应验算构件在不同受力状态下的强度、刚度和稳定性。用于提高波形钢腹板节段梁刚度的临时支撑宜在全桥合龙后拆除。

7.1.6 波形钢腹板节段梁安装应勘察施工现场便道及便桥位置，梁段运输路线承载力及平整度应满足大型运输设备通过的要求。

7.2 悬臂拼装法

7.2.1 波形钢腹板节段梁悬臂拼装法可按下列步骤进行：

- 1 墩顶节段施工；
- 2 架桥机安装就位；
- 3 标准节段对称悬拼；
- 4 边跨节段拼装；
- 5 中跨合龙及体系转换。

7.2.2 波形钢腹板节段梁悬臂法拼装应满足下列要求：

- 1 波形钢腹板节段梁悬臂法拼装施工两端应对称同时进行，不平衡荷载不应大于将安装的预制梁段重量的 1/2。
- 2 墩顶梁段临时固结措施应能满足抵抗单个梁段非对称吊装下 1.2 倍最不利不平衡弯矩。
- 3 单个节段悬臂拼装完成后应检查架桥机主要受力构件的连接质量、临时锚固、临时结构沉降和变形情况。
- 4 当桥面风力在 6 级以上时应停止吊装。

7.2.3 墩顶节段采用预制吊装方法施工时，应符合下列要求：

- 1 墩顶节段安装前应搭设墩旁支架或托架，作为梁段承载、调位的施工平台。
- 2 墩顶节段吊装前应对桥梁的墩台顶面高程、中线及各孔跨径进行复测，布置调梁千斤顶、临时垫块、临时限位挡块，地面吊装设备应按吊装图放样就位。
- 3 墩顶节段吊装应按要求将吊装区域封闭，在梁段两侧翼缘板设置缆风绳，选择天气晴好且风力较小时段进行吊装。
- 4 墩顶节段吊装就位进入临时限位挡块后，应在梁底部设置三向千斤顶辅助精确调位，调位布置千斤顶不少于 4 台，千斤顶受力点应位于梁段腹板及支架承重梁位置。

- 5 墩顶节段调位符合表 8.2.规定后应立即采取临时限位及固定措施，防止梁段发生二次位移。

条文说明

墩顶节段调位是桥梁线形控制的关键步骤，节段端面的竖向倾角及水平转角将直接影响合龙口的轴线、高程。

临时限位可采用焊接限位挡块、支撑、系挂缆风绳等措施。

6 当墩顶节段的相邻节段采用预制安装，墩顶节段采用现浇工艺时，应严格控制墩顶节段的现浇质量。波形钢腹板埋入现浇段两侧混凝土振捣应设置专用的振捣通道，当条件受限无法设置时，可在钢筋骨架中预留振捣人孔。

条文说明

起始节段的波形钢腹板一般埋入墩顶节段横隔梁混凝土中，并通过波形钢腹板开孔穿入钢筋形成钢筋混凝土榀结构，该部位钢混组合结构受竖向剪力较大，为保证剪力有效传递，施工时必须严格控制穿孔钢筋安装及混凝土浇筑的质量。

7.2.4 墩顶节段采用现浇方法施工时，应符合下列要求：

1 墩顶节段现浇按照钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑的顺序进行，具体施工应按《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）执行。

2 墩顶节段箱梁底板及翼缘板底模应支撑于墩顶或墩旁支架。

3 墩顶节段钢筋安装前应预穿波形钢腹板埋入段穿孔钢筋，穿孔钢筋位置应居于波形钢腹板开孔中心并与钢筋骨架连接固定，施工过程中不得发生扰动位移。

4 墩顶节段波形钢腹板埋入段两侧混凝土振捣应设置专用的振捣通道，当条件受限无法设置时，可在钢筋骨架中预留振捣人孔。

5 施工过程中应定期对墩顶节段测量监测，检查临时固定措施，预防墩顶节段偏位。

条文说明

4 波形钢腹板一般埋入墩顶节段横隔梁混凝土中，并通过波形钢腹板开孔穿入钢筋形成钢筋混凝土榀结构，该部位钢混组合结构受竖向剪力较大，为保证剪力有效传递，施工时必须严格控制穿孔钢筋安装及混凝土浇筑的质量。

7.2.5 标准节段拼装应符合下列要求：

1 架桥机安装前应对墩顶节段施加体内预应力，并解除墩顶节段与墩旁支架之间的竖向约束。

2 采用桥面吊机吊装，桥墩两侧的节段应对称同步起吊。采用节段拼装架桥机吊装，悬臂端正式受力前应将待拼节段吊挂于架桥机上，节段卸载应对称同步，悬臂拼装阶段应保证桥墩两侧平衡受力，最大不平衡弯矩应符合设计规定。

3 应设置用于波形钢腹板现场连接和体内预应力张拉的作业平台，作业平台强度、刚度和稳定性应满足使用要求。

4 波形钢腹板节段梁标准节段拼装可按下列步骤进行：

(1) 复测前一节段波形钢腹板节段梁的相关线形和坐标；

(2) 吊装本节段波形钢腹板节段梁，波形钢腹板间临时匹配件和混凝土顶底板匹配面剪力键分别对位，顶底板拼接面涂胶，张拉临时预应力；

(3) 节段间波形钢腹板连接；

(4) 张拉纵向体内预应力；

(5) 对称卸载本节段，循环至下一节段吊装。

5 拼接前匹配面应保持清洁干燥，边角无磕碰脱落，涂胶前应先试拼装，两节段间波形钢腹板的拼缝应与预拼装节段保持一致。

6 环氧树脂胶涂抹应均匀，张拉临时预应力后胶体填充应使接缝饱满，临时预应力施加大小宜按照接缝截面不小于 0.3MPa 压应力计算，胶体固化及强度增长期间应避免扰动。

7 临时预应力在结构永久预应力施工完成后方可解除。

8 波形钢腹板节段梁拼装、波形钢腹板连接完成并施加永久预应力后，方可放松吊钩。

7.2.6 边跨节段拼装应符合下列要求：

1 边跨节段拼装宜按照先吊挂后拼装的顺序进行。吊挂应从墩顶节段开始，拼装与吊挂顺序相反，拼装完成前边跨梁段均不参与悬臂结构受力，所有边跨节段荷载应由架桥机或临时支架承担。

2 边跨梁段拼装宜利用定位齿键精准对位各边跨梁段，施工可按照下列步骤进行：端面涂抹环氧树脂胶、张拉节段间临时拉杆、张拉边跨顶、底板纵向体内预应力钢束、焊接连接边跨梁段波形钢腹板、完成边跨拼装。

3 边跨墩顶节段拼装前应与 T 构悬臂端保留不少于 30cm 的涂胶空间，吊装前应安装边墩永久支座，梁底预留螺栓孔位置应与永久支座位置匹配。

4 对于采用桥面吊机吊装的波形钢腹板节段梁桥，边跨节段吊装前应提前搭设拼装支架，利用地面起重设备配合吊装。

7.2.7 中跨合龙及体系转换应符合下列要求：

1 中跨合龙施工顺序应按设计规定执行，设计无规定时可按照下列步骤进行：

(1) 解除主墩墩梁临时固结；

(2) 调整合龙口标高、轴线；

(3) 临时锁定合龙口；

(4) 合龙口波形钢腹板连接；

(5) 合龙段混凝土浇筑；

(6) 解除临时锁定，施加预应力。

2 临时锁定连接、波形钢腹板连接、混凝土浇筑均应在一天中气温最低且稳定的时段进行，波形钢腹板连接和混凝土浇筑应沿箱梁中线对称进行。

3 合龙段波形钢腹板单元件应根据设计尺寸留有余量制造。

4 合龙前应选择同一温度环境反复观测合龙口实际尺寸，确定合龙长度和标高，满足标高要求应立即临时锁定合龙口，临时锁定位置及骨架选型应通过专项设计计算，并能抵抗施工期间产生的附加轴力和弯矩。

5 合龙段混凝土应采用补偿收缩混凝土，浇筑混凝土时为减少扰动，应同步等量卸载配重。

6 体系转换应按设计规定的程序进行，设计未规定时宜按照对称、同步的原则进行。

条文说明

1 本条规定为现浇合龙的施工步骤，当设计采用预制节段梁顶推合龙时，可采用定位锁定装置将两侧梁段顶推后吊装就位。临时锁定可采用与临时拉杆类似齿坎装置，应避免需采用焊接等可能烧伤和破坏混凝土的工艺。临时锁定装置。在其两侧的一个梁段预制时，因注意预埋临时锁定的预埋件。顶推合龙后张拉跨中底板纵向体内预应力钢束，焊接连接中跨合龙梁段波形钢腹板。拆除临时约束，转换为永久支撑体系。

4 合龙口标高调整可采取压载配重的方法，临时锁定宜采用体外劲性骨架形式。

7.3 逐跨拼装法

7.3.1 波形钢腹板节段梁逐跨拼装法可按下列步骤进行：

1 墩顶节段梁吊装；

2 其他节段吊装；

3 梁段调位、连接；

4 预应力施工；

5 架桥机卸载、过孔。

7.3.2 逐跨拼装施工除应符合本指南第 7.2.5 规定外，尚应符合下列规定：

1 架桥机应进行荷载试验，并取得特种设备检验合格证。

2 节段拼装前应先先将整跨梁段吊装到位，消除架桥机弹性变形。

3 节段正式拼装前应进行试拼装，并检查波形钢腹板错台和匹配件对位情况，缝宽和错台应满

足本指南逐跨拼装波形钢腹板节段梁质量控制标准应符合表 9.3.2 表 9.3.1 的规定。

表 9.3.2 的要求。

4 节段拼装时，墩顶节段的空间位置应精确，调位精度达到本指南表 8.2.的验收要求后，应对其进行临时固定。

7.4 波形钢腹板现场连接

7.4.1 波形钢腹板组合梁节段间临时预应力张拉完成后，应及时对钢腹板进行临时连接。

7.4.2 用于波形钢腹板现场连接使用的作业平台应提前安装，平台应设置安全警示牌，做好安全防护措施。

7.4.3 应采取必要措施减少节段间腹板接缝偏差，在内、外腹板位置，高度方向和宽度方向的接缝错口不宜大于 2mm。

7.4.4 波形钢腹板现场连接，宜采用焊接或栓接形式，采用焊接时，根据焊接工艺评定试验和现场拼装的施工条件制定焊接工艺，确定焊接方法和施焊参数。现场焊接一般采用熔透对接焊，结合钢筋一般采用搭接焊接，栓接按照大六角头高强螺栓的施拧工艺施工。

7.5 体外预应力施工

7.5.1 体外预应力施工除应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的有关规定外，尚应符合下列要求：

- 1 体外束锚端按顺序安装工作锚、夹片、反力架、顶压器和千斤顶。
- 2 体外预应力钢束采用单孔千斤顶逐根张拉。
- 3 体外预应力筋的张拉顺序应符合设计要求；设计无要求时，按照先长束后短束、先中间后两边、左右对称的要求进行张拉。
- 4 钢绞线锚固后的预留长度应满足设计要求；设计无要求时，预留长度应满足后期钢绞线调校、更换所需工作长度。

8 施工监控

8.1 施工测量

8.1.1 应在节段梁预制厂、波形钢腹板制造厂、波形钢腹板节段梁安装现场建立施工测量控制网，控制网的复测周期及复测精度应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定，控制网的控制点应设立在牢靠的基础上。

8.1.2 平面控制测量宜采用全站仪，高程测量宜采用水准仪，测量仪器经有关部门检定合格后方可使用，仪器测量精度应满足线形控制要求，长度测量精度应控制在 1.0mm 以内，水准测量精度应控制在 0.5mm 以内。

8.1.3 波形钢腹板节段梁预制应测量控制预制台座轴线、标高，模板底高程、宽度、长度及轴线。

8.1.4 应检查波形钢腹板节段梁成品平面尺寸、轴线位置，存梁期间定期检查梁段变形情况。

8.1.5 波形钢腹板节段梁现场安装及体系转换过程应考虑综合考虑桥梁线形发展趋势、及时调整纠偏。

8.1.6 波形钢腹板制造、波形钢腹板节段梁预制、安装应进行线形监控测量，并按照监控文件要求进行波形钢腹板、匹配梁等定位。

8.1.7 波形钢腹板节段梁现场安装应按照钢结构安装的标准进行，考虑太阳光照对波形钢腹板节段梁结构变形及桥梁安装线形的影响，测量时间应选择在阴天或夜间。

8.1.8 波形钢腹板节段梁安装区域宜建立沉降观测网进行桥梁结构沉降观测。

8.2 施工监控

8.2.1 应进行全过程的高精度施工监控，利用钢结构厂内组拼形成的匹配、定位工装系统，将控制精度传递至混凝土结构。

8.2.2 波形钢腹板节段梁桥施工监控控制可分为准备阶段、波形钢腹板制造阶段、预制阶段及安装阶段四个主要控制阶段。

条文说明

波形钢腹板节段梁桥施工控制宜采用全过程几何控制理念，通过对上部结构箱梁节段制造和安装等关键环节的全过程控制实现对结构无应力构形的有效控制。应按照监控指令进行波形钢腹板、匹配梁等定位，确保结构内力及线形满足设计要求，各阶段施工控制流程如图 8.2.所示。

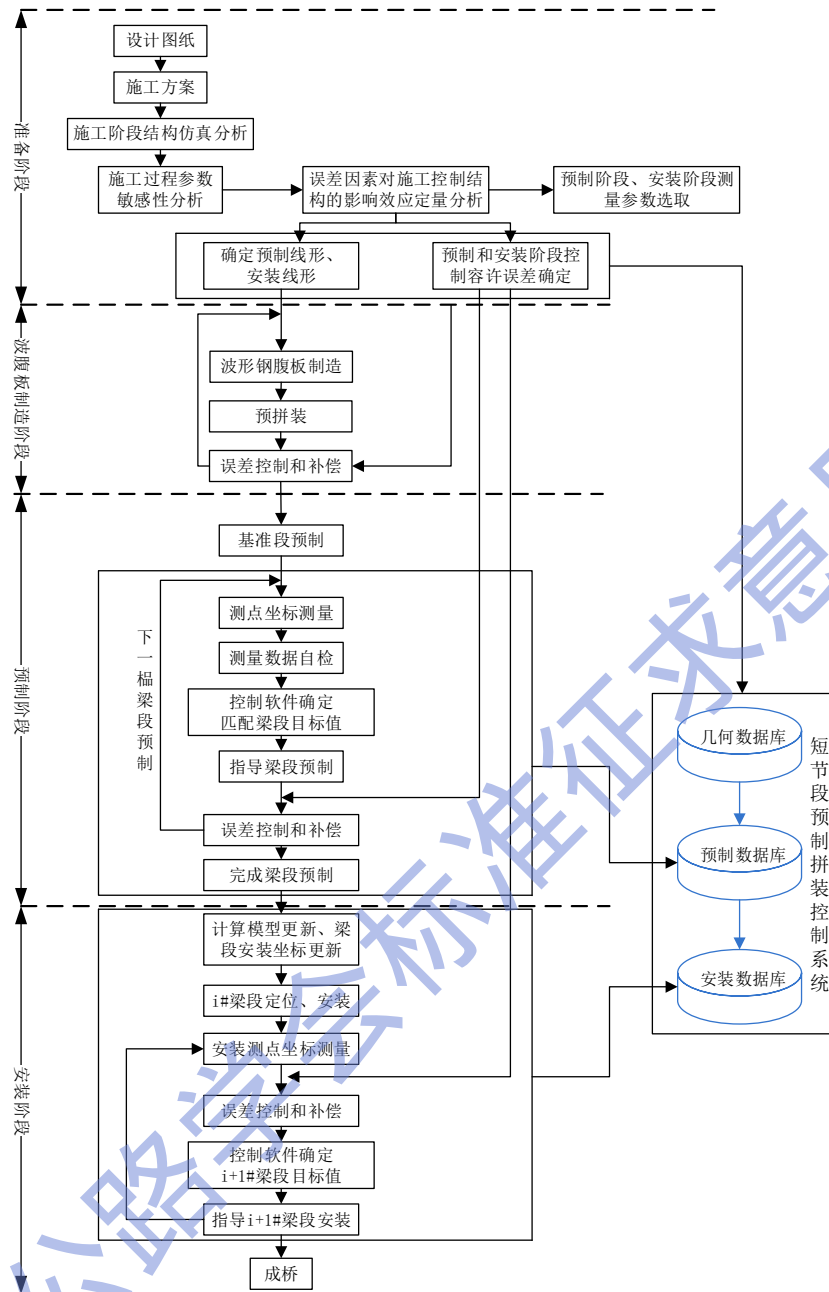


图 8.2.2 施工监控程序流程图

8.2.3 用于施工控制的理论数据应满足下列要求：

1 为保证梁段预制和安装的精确，应根据设计图纸、预拱度编制几何控制点理论数据库，指导波形钢腹板节段梁预制。

2 预拱度计算应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的规定。计算过程中涉及的结构参数，宜采用现场实测值；无实测值时，可采用设计值。

8.2.4 波形钢腹板制造线形应综合考虑节段梁预制安装工艺要求，结合成桥线形确定。

条文说明

设计标高为根据路线设计标高推算的标高，即位于波形钢腹板的翼缘板顶部中线、节段分段线交叉处的标高，制造线形标高为考虑预拱之后的标高，制造线形中高程点仅为波形钢腹板制造单位计算方便所取的虚拟点。

顶缘长度为考虑桥梁结构平纵曲线及预拱之后的翼缘板顶部中线（节段分段线之间）长度。

8.2.5 波形钢腹板节段梁预制线形控制应满足下列要求：

- 1 混凝土浇注前应对模板的空间位置、模内尺寸进行复核验收。
- 2 采用匹配浇筑的节段，应根据已浇筑完节段的实测分析成果调节后续节段的空间姿态与尺寸。

8.2.6 波形钢腹板节段梁施工期变形控制应满足下列要求：

- 1 预制节段匹配过程中梁段纵向变形应控制在 1mm 以内。
- 2 梁段吊装应合理布置梁段吊点，吊装工况下混凝土结构应满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）中短暂工况下应力验算要求。
- 3 梁段端口应设置临时支撑，以控制箱梁扭转和畸变变形。通过支撑系统，应使混凝土顶底板横向变形差在验算水平力作用下控制在 1.5mm 以内。

条文说明

1 梁段预制匹配过程变形控制：在梁段匹配、浇筑顶板混凝土时，新浇混凝土会给匹配梁段顶板一个纵向压力，该纵向压力可能导致匹配梁段变形，影响新浇梁段的几何形状，梁段纵向变形应控制在 1mm 以内。

3 波形钢腹板节段梁的抗扭及横向抗弯刚度相比同等结构的混凝土箱梁均有不同程度的降低，箱梁吊装、运输过程中可能造成波形钢腹板节段梁（匹配梁）顶、底板出现相对扭曲、位移或整体位移情况，影响预制箱梁线形精度。

梁段端口支撑系统与混凝土顶底板连接宜采用预埋组件栓接等连接措施，避免支撑型钢直接焊在预埋件上，以消除临时构件产生的附加应力，预埋组件局部受力应满足要求。

8.2.7 波形钢腹板节段梁安装线形控制应满足下列要求：

- 1 波形钢腹板拼装过程中，应根据理论安装线形及线形误差对后续安装梁段采取纠偏措施。
- 2 采用悬臂拼装工艺施工时，箱梁节段在安装过程中，应及时检查验收，墩顶节段安装精度应符合表 8.2.的规定，每对标准节段拼装完成后，应及时检测节段的高程与轴线，高程与轴线的偏差应符合表 8.2.的规定。当偏差超过表 8.2.规定时，预测合龙口高差符合是否符合表 8.2.的规定，如符合规定，则下一节段安装不需要调整，如不符合规定，则下一节段安装应及时调整。

表 8.2.7-1 墩顶节段安装验收标准

项目	验收标准
立面高程（mm）	同向±3

中心线偏位 (mm)	同向 3
横向坡度 (Rad)	±0.001
纵向坡度 (Rad)	±0.003

表 8.2.7-2 标准节段安装验收标准

项目	验收标准
立面高程 (mm)	±10
中心线偏位 (mm)	10
纵向长度 (mm)	±10
横向坡度 (Rad)	±0.001
纵向坡度 (Rad)	±0.003
拼缝错台 (mm)	3

表 8.2.7-3 合龙段两侧允许误差

项目	允许误差 (mm)
立面高程	同向±20
中心线偏位	同向 20

3 采用逐跨拼装工艺施工时,箱梁节段在安装过程中,应及时检查验收,墩顶节段安装精度应符合表 8.2.表 8.2.的规定,其他节段安装精度应符合表 8.2.的规定。

表 8.2.7-4 墩顶节段安装验收标准

项目	验收标准
立面高程 (mm)	同向±3
中心线偏位 (mm)	同向 3
横向坡度 (Rad)	±0.001
纵向坡度 (Rad)	±0.003

表 8.2.7-5 其他节段安装验收标准

项目	验收标准
立面高程 (mm)	±10
中心线偏位 (mm)	10
纵向长度 (mm)	±20
横向坡度 (Rad)	±0.001
纵向坡度 (Rad)	±0.003
拼缝错台 (mm)	3

条文说明

同向是指单榀节段梁上某测量项目的不同测点偏差值正负号相同或偏向同一方向。

9 质量控制与检验

9.1 波形钢腹板制造及连接

9.1.1 波形钢腹板结构成品尺寸应符合《组合结构桥梁用波形钢腹板》(JT/T 784)中的规定。

9.1.2 波形钢腹板结构制作完成,并经质检部门全面检查、验收后,提交全部检查验收文件,经监理工程师确认合格后才能作为合格产品出厂。

9.1.3 波形钢腹板对接缝应平滑,无裂纹、未溶合、夹渣、未填满弧坑、焊瘤等外观缺陷。

9.2 波形钢腹板节段梁预制

9.2.1 波形钢腹板节段梁预制施工质量除应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTJ/T 3650)、《波形钢腹板组合梁桥技术标准》(CJJ/T 272)、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTJ F80/1)中的有关规定外,尚应符合表 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 波形钢腹板节段梁质量控制标准

项次	检测项目		规定值或允许偏差	检验方法和频率	
1△	混凝土强度 (MPa)		满足设计要求	按《公路工程质量检验评定标准》JTJ F80/1 附录 D 检查	
2	预制段长度 (mm)		0, -2	尺量: 每梁顶面中线、底面两侧	
3△	断面尺寸 (mm)	高度	0, -5	尺量: 每梁测 3 个断面, 板和梁段测两个断面	
		顶板宽度	±5		
		底板宽度	+5, 0		
		厚度	+5, 0		
4	轴线偏移量 (mm)	纵轴线	5	全站仪或水准仪: 检查 2 处	
		横轴线	5	全站仪或水准仪: 检查 2 处	
5	顶面平整度 (mm)		≤5	2m 直尺: 沿梁长方向每侧面每 10m 梁长测 1 处×2 尺	
6	预埋件 (mm)	支承板、锚垫板等预埋钢板	位置	10	尺量: 每件
			高程	±5	水准仪: 每件检查
			平面高差	5	水准仪: 每件检查
		螺栓、锚筋等	位置	10	尺量: 每件
			外露尺寸	±10	尺量: 每件
7	预留孔 (mm)	吊孔	位置	5	尺量: 每孔
		预应力孔道位置	位置	节段端部 10	尺量: 每孔
			孔径	+3, 0	尺量: 每孔
8	横隔板厚度 (mm)		+5, 0	尺量	
9	转向块厚度 (mm)		+5, 0	尺量	
10	横隔板、转向块位置 (mm)		±5	尺量	
11	波形钢腹板中心距(mm)		±3	尺量: 检查两波形钢腹板中心距	

12	横断面对角线差(mm)	±4	尺量：检查两端断面
13	扭曲(mm)	每米≤1	安装前置于平台，四角中有三角接触平台，用钢尺量另一角与平台间隙

9.2.2 波形钢腹板匹配过程中相邻波形钢腹板接缝缝宽及错台应与预拼装保持一致，偏差不宜超过 2mm，波形钢腹板连接不应发生转角错位。波形钢腹板定位标准应符合表 9.2.2 的规定。

表 9.2.2 波形钢腹板定位标准

项次	检测项目	规定值或允许偏差	检查方法
1	波形钢腹板轴线偏位 (mm)	±2	沿节段长度方向测量 2 处
2	波形钢腹板横桥向垂直度 (斜率)	1/500	沿高度方向选顶底部测量 2 处
3	波形钢腹板纵桥向坡度	1/1000 且不大于 2/L(L 为节段长度)	沿节段长度方向测量 2 处
4	内外侧波形钢腹板间距偏差 (mm)	±3	沿节段长度方向测量 2 处
5	内外侧波形钢腹板高差 (mm)	±3	沿节段长度方向测量 2 处
6	相邻波形钢腹板节段间接缝宽度偏差 (mm)	±2	沿腹板高度方向选顶底部测量 2 处

条文说明

由于波形钢腹板的线形在制造时确定，在波形钢腹板组合梁节段短线匹配预制过程中，波形钢腹板的安装定位偏差会累积到后续节段并呈放大趋势，参考已有工程经验，本指南增加规定了波形钢腹板纵桥向坡度、节段间接缝宽度偏差等控制标准。

9.2.3 波形钢腹板节段梁吊装、堆存应符合下列规定。

1 波形钢腹板节段梁在吊移出预制底座时，混凝土强度不应低于设计规定的吊装强度；节段梁在安装时，支承结构的强度应符合设计要求。

2 波形钢腹板吊装前应检查波形钢腹板编号是否与设计编号相对应、单元件是否变形，如有变形应矫正后方可吊装。

3 波形钢腹板节段梁吊具的刚度应满足吊装需要、吊点应均匀布置，避免波形钢腹板发生较大变形。

4 波形钢腹板应轻吊轻放，平稳支垫，并对连接件进行防护。

9.3 波形钢腹板节段梁安装

9.3.1 悬臂拼装波形钢腹板节段梁质量控制标准应符合表 9.3.1 的规定。

表 9.3.1 波形钢腹板节段梁安装实测项目（悬臂拼装）

项次	检测项目	规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	L≤50m	全站仪：每跨 3 处
		L>50m	
2	顶面高程 (mm)	L≤50m	水准仪：每跨 5 处，跨中、桥墩处应布置测点
		L>50m	

3	相邻节段间接缝错台 (mm)	顶面	≤ 5	尺量：每接缝测顶面和底面错台最大处
		底面	≤ 3	
		波形钢腹板	≤ 3	钢板尺检测
4	对接焊缝探伤		符合超声波检测 BI 级	检测全部
5	节段拼装立缝宽度 (mm)		≤ 3	尺量：每条接缝测 3 处
6	梁长 (mm)		+20, -40	尺量：每跨测顶面两侧边线和中线处
7△	支座中心偏位 (mm)		≤ 5	尺量：每支座中心

9.3.2 逐跨拼装波形钢腹板节段梁质量控制标准应符合表 9.3.2 表 9.3.1 的规定。

表 9.3.2 波形钢腹板节段梁安装实测项目 (逐跨拼装)

项次	检测项目		规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	L≤50m	≤ 10	全站仪：每跨 3 处
		L>50m	L/5000 且不大于 20	
2	顶面高程 (mm)	L≤50m	± 10	水准仪：每跨 5 处，跨中、桥墩处应布置测点
		L>50m	L/5000 且不大于 20	
3	相邻节段间接缝错台 (mm)	顶面	≤ 5	尺量：每接缝测顶面和底面错台最大处
		底面	≤ 3	
		波形钢腹板	≤ 3	钢板尺检测
4	对接焊缝探伤		符合超声波检测 BI 级	检测全部
5	节段拼装立缝宽度 (mm)		≤ 3	尺量：每条接缝测 3 处
6	梁长 (mm)		+20, -40	尺量：每跨测顶面两侧边线和中线处
7△	支座中心偏位 (mm)		≤ 5	尺量：每支座中心

用词说明

1 本指南执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在指南条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《××××》（×××）的有关规定”。
- 2) 当引用指南中的其他规定时，应表述为“应符合本指南第×章的有关规定”、“应符合本指南第×.×节的有关规定”、“应按本指南第×.×.×条的有关规定执行。”