

ICS 03.120  
CCS R 85

**DB 14**

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 1552—2025  
代替 DB14/T 1552-2017

# 公路波形钢腹板组合箱梁桥设计规范

2025 - 01 - 23 发布

2025 - 04 - 22 实施

山西省市场监督管理局 发布

## 目 次

前言 .....	II
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 .....	2
5 材料 .....	3
6 结构型式 .....	3
7 构造设计 .....	5
8 结构计算 .....	7
9 施工注意事项及可检修要求 .....	13
参考文献 .....	15

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件替代DB 14/T 1552-2017《公路波形钢腹板组合箱梁桥设计规范》，与DB 14/T 1552-2017相比，主要技术变化如下：

- 更改了文件的适用范围要求（见第1章，2017版第1章）
- 更改了文件的部分规范性引用文件（见第2章，2017版第2章）
- 更改了第11章“构造要求”，将其调整为第6章“结构型式”（见第6章，2017版第11章）
- 更改了文件中相关计算部分，整合为“结构计算”章节（见第8章，2017版第7、8、9、10章）
- 更改了部分术语的定义（见第3.4、3.6条，2017版第3.1.4、3.1.6条）
- 更改了内衬混凝土的构造要求（见第7.4.3条，2017版第11.5.3条）
- 增加了第4章“基本规定”的内容（见第4.4、4.5、4.6、4.7、4.8、4.9，2017版第4章）
- 增加了对不同型号波形钢腹板尺寸的规定（见第6.2条，2017版第11.2.1条）
- 增加了波形钢腹板组合箱梁桥适用跨径范围（见第7.1.1条）
- 增加了横隔梁设置的要求（见第7.3.7、7.3.8条，2017版第11.2.1条）
- 增加了剪应力验算中对结构重要性的考虑（见第8.3.5.1条，2017版第9.2.1条）
- 增加了对不同型号波形钢腹板箱梁桥可检修要求（见第9.2.1条）
- 删除了符号小节内容（见第3.2条，2017版第3章）

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通规划勘察设计院有限公司、山西交通科学研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：许志刚、皇甫凡飞、刘小健、秦志军、贾旭东、郭保江、范晓江、牛彦峰、廖宜波、路海俊、王岩、穆英才、赵子鹏、张晓炜、莫恩华、周小年、贺瑞峰、时豪辉、张政、郭乐、兰雁。

# 公路波形钢腹板组合箱梁桥设计规范

## 1 范围

本文件规定了公路波形钢腹板组合混凝土箱梁桥的术语和定义、基本规定、材料、结构型式、构造设计、结构计算、施工注意事项及可检修要求等相关内容。

本文件适用于公路波形钢腹板组合箱梁桥的设计。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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头螺母
- 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连接副
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 4171 耐候结构钢
- GB/T 10433 紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50153 工程结构可靠性设计统一标准
- JTG D60 公路桥涵设计通用规范
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG 5110 公路养护技术标准
- JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范
- 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

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 波形钢腹板组合箱梁桥

箱梁腹板采用波形钢板的钢-混凝土组合结构梁桥。

### 3.2

#### 波形钢板

波形形状弯折的结构用钢板。

### 3.3

#### 连接件

用于连接波形钢腹板与混凝土的构件。

### 3.4

#### 混凝土销

在组合结构中起连接作用的构件，由钢板开孔中的混凝土及穿过开孔的钢筋组成。

### 3.5

#### 贯穿钢筋

穿过销孔中的钢筋。

### 3.6

#### 内衬混凝土

在波形钢腹板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构件。

## 4 基本规定

4.1 本文件采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按分项系数的设计表达式进行设计。

4.2 波形钢腹板组合箱梁桥应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

4.3 波形钢腹板组合箱梁桥应符合以下状况及其相应的极限状况设计：

- a) 持久状况：桥梁建成后承受结构自重、车辆荷载等持续时间长的状况。持久状况下，波形钢腹板组合箱梁桥应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
- b) 短暂状况：波形钢腹板在制作、运送和桥梁架设过程中承受临时荷载的状况。短暂状况下，结构、构件应进行承载能力极限状态设计，可根据需要进行正常使用极限状态设计。
- c) 偶然状况：桥梁在使用过程中偶然出现的状况。偶然状况下，应进行承载能力极限状态设计。
- d) 地震状况：桥梁在使用过程中由地震作用发生的特殊状况。地震状况下，应进行承载能力极限状态设计。

4.4 波形钢腹板的设计应遵循以下原则：

- a) 波形钢腹板组合箱梁桥整体分析应考虑温度、混凝土收缩徐变、施工方法等因素的影响；
- b) 波形钢腹板组合箱梁应具有足够的侧向刚度，以保证在施工期间波形钢腹板不发生整体失稳或屈曲破坏；
- c) 波形钢腹板组合箱梁应进行纵桥向验算、横桥向验算、波形钢腹板与混凝土连接验算、波形钢腹板之间连接验算等。

4.5 波形钢腹板的作用及荷载效应组合应符合下列规定：

- a) 波形钢腹板组合箱梁桥的作用及荷载效应组合，应符合现行 JTG D60 的要求；
- b) 波形钢腹板组合箱梁荷载效应组合仅考虑顶底板混凝土构件收缩和徐变的影响，其取值和计算按 JTG 3362 的规定采用；
- c) 在进行施工荷载验算时，必须计入施工中可能出现的施工荷载，包括施工机具和材料、施工人群、桥面堆载、临时配重、风荷载等；
- d) 波形钢腹板组合箱梁桥施工阶段的作用效应组合，应按计算及结构所处条件而定。结构上的施工人员和施工机具设备应作为临时荷载加以考虑。

4.6 在公路波形钢腹板组合箱梁桥设计中，应对桥梁施工过程控制和运营养护提出要求，应符合 JTG 5110、JTG 3362 的要求。

- 4.7 桥梁宽跨比小于 0.5 时，可用杆系模型进行计算；桥梁宽跨比大于或等于 0.5 时，宜采用梁格模型进行计算。必要时，宜进行多种计算方法的校核与对比。
- 4.8 波形钢腹板组合箱梁在对箱梁轴向（纵向）、竖向弯曲刚度作杆系结构分析时，主梁可仅考虑混凝土顶底板的有效截面进行截面特性的计算，不考虑波形钢腹板对主梁刚度的影响。
- 4.9 预应力波形钢腹板组合箱梁桥宜采用体内、体外预应力组合体系，自重及二期恒载等永久荷载宜由体内预应力钢筋承受，车辆等可变荷载宜由体外预应力钢筋承受。
- 4.10 波形钢腹板组合箱梁桥设计，除符合本文件规定外，尚应符合现行有关国家及行业标准的规定。

## 5 材料

### 5.1 混凝土

- 5.1.1 混凝土的材料参数应按 JTG 3362 中的规定取值。
- 5.1.2 波形钢腹板组合箱梁桥采用预应力体系时混凝土强度应不低于 C50，钢筋混凝土体系时不低于 C40。

### 5.2 钢筋

波形钢腹板组合箱梁桥箱梁的普通钢筋及预应力钢筋按 JTG 3362 的规范采用。

### 5.3 钢材

- 5.3.1 波形钢腹板组合箱梁桥的钢材宜采用质量等级 C 级或以上的碳素结构钢，低合金高强度结构钢及耐候钢，应符合 GB/T 714、GB/T 700、GB/T 1591 或 GB/T 4171 的规定。
- 5.3.2 对于需要验算疲劳结构的焊接结构钢材，应具有常温冲击韧性的合格保证。
- 5.3.3 高强度螺栓连接副的技术条件应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定。
- 5.3.4 圆柱头焊钉（栓钉）连接件的材料应符合 GB/T 10433 的规定。
- 5.3.5 选用的焊接材料（焊丝、焊条和焊剂）应保证焊缝与主体钢材技术条件相适应，并通过焊接工艺评定确定。其评定规则应符合 JTG D64 的规定。
- 5.3.6 波形钢腹板内、外表面宜进行防腐设计。对需要进行防腐涂装的波形钢腹板，涂装系统设计应综合考虑桥梁所处的腐蚀环境、涂层使用年限、涂层维修性能等因素。钢材的涂装应符合 JT/T 722 的规定。
- 5.3.7 高强螺栓的预拉力与摩擦面抗滑系数按 GB 50017 取值。

## 6 结构型式

### 6.1 截面

- 6.1.1 截面布置形式应综合考虑立面布置、施工方法、建筑高度、美观要求及经济性等因素。
- 6.1.2 大跨径波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥可采用图 1 所示的单箱单室、单箱双室、单箱多室多箱单室，也可采用斜腹板等结构型式。

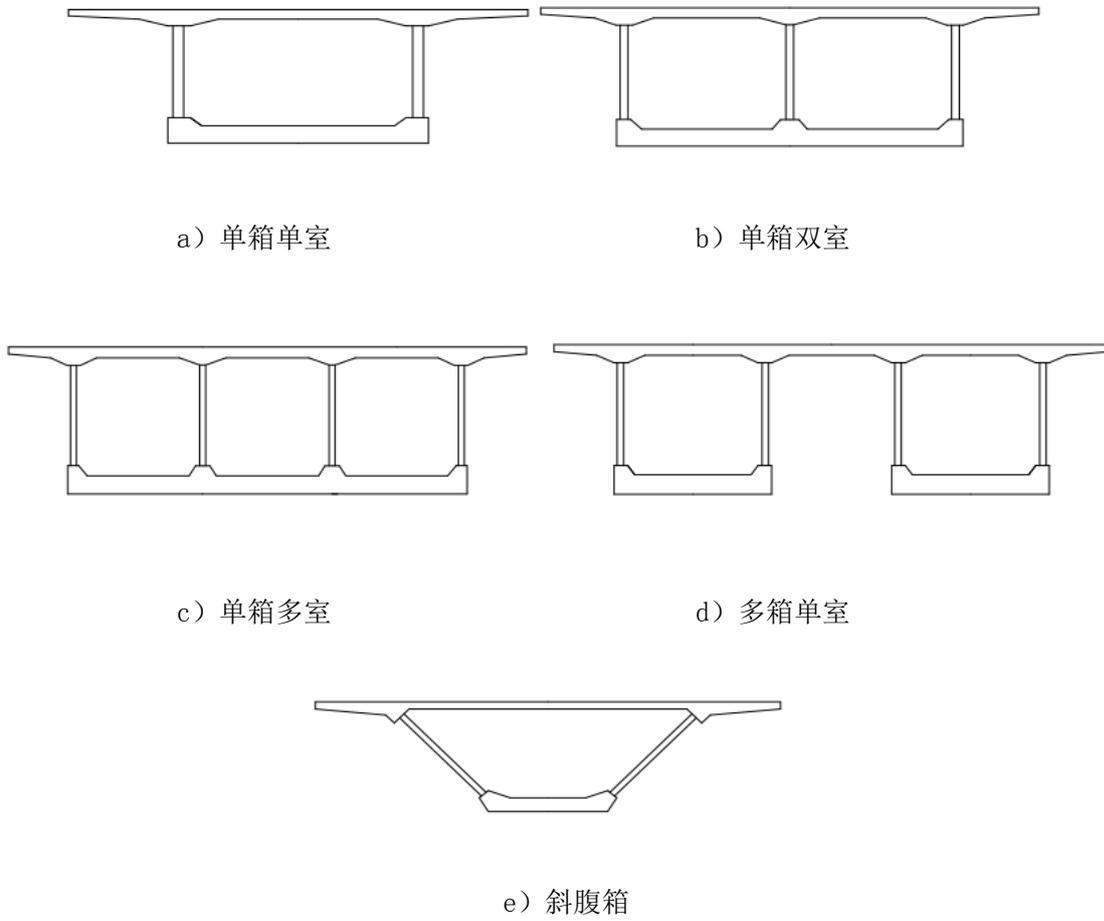


图1 波形钢腹板组合梁桥典型断面图

## 6.2 波形钢腹板

6.2.1 波形钢腹板几何参数包括：波形钢腹板波长  $L_w$ 、腹板截面高度  $h_w$ 、直板段长度  $a_w$ 、斜板段投影长度  $b_w$ 、斜板段长度  $c_w$ 、腹板形状高度  $d_w$ 、厚度  $t_w$ 、弯折半径  $r_w$  及弯折角度  $\theta_w$  等，见图 2。

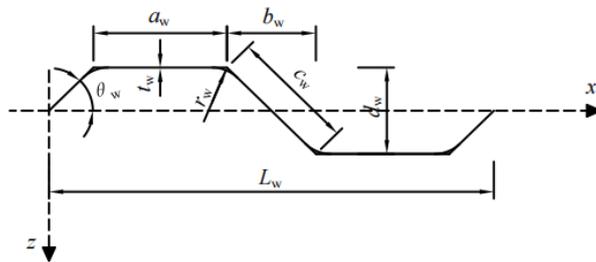


图2 波形钢腹板构造图

6.2.2 波形钢腹板预应力箱梁桥设计选型波形钢腹板时，宜采用表 1 规定的标准波形。

表1 波形钢腹板形状规格

形状规格	波长 $L_w$ (mm)	适用厚度 $t_w$ (mm)	形状尺寸参数			
			$a_w$ (mm)	$b_w$ (mm)	$c_w$ (mm)	$d_w$ (mm)
1000 型	1000	8~16	340	160	226	160
1200 型	1200	8~20	330	270	336	200
1600 型	1600	10~30	430	370	430	220
1800 型	1800	10~32	480	420	484	240

6.2.3 波形钢腹板之间的连接可采用焊接连接或高强螺栓连接，见图3、图4。



图3 焊接连接形式

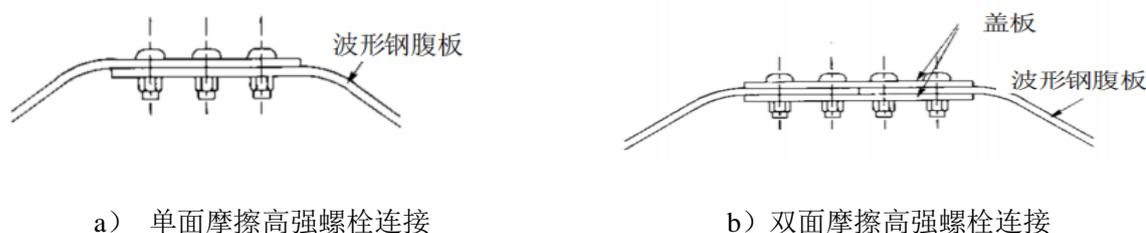


图4 高强螺栓连接形式

6.2.4 波形钢腹板的厚度不宜小于 8mm，板厚的选择根据腹板所受剪力的大小及屈曲强度来确定。

6.2.5 波形钢腹板的冷弯加工弯曲半径不宜小于 15 倍的板厚。

## 7 构造设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 波形钢腹板组合箱梁桥的总体布置应综合考虑结构受力、景观效果、波形钢腹板的加工及施工工艺等因素。总体构造设计宜满足下列要求：

- 跨径为 30m~60m 的组合箱梁桥宜采用等截面连续箱梁；跨径为 60m~160m 的组合箱梁桥宜采用变截面连续梁桥或连续刚构；跨径 160m 以上的组合箱梁桥宜采用矮塔斜拉桥的结构形式；
- 对于跨径 100m 以上的连续梁桥，中支点梁高宜取为跨径的 1/15~1/19，跨中梁高宜取为跨径的 1/30~1/40。

7.1.2 墩顶节段及组合腹板段规定如下：

- 组合腹板段内衬混凝土应根据抗裂验算结果确定是否设置竖向预应力筋。竖向预应力筋可采用精轧螺纹钢筋或钢绞线；
- 箱梁底板及内衬混凝土应布设防裂钢筋网片，避免混凝土产生表面收缩裂纹。

7.1.3 混凝土桥面板规定如下：

- c) 组合箱梁桥顶板、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；
- d) 组合箱梁桥应根据顶、底板与波形钢腹板连接形式的不同，宜在顶、底板与腹板连接处采用承托过渡处理。

## 7.2 连接件

7.2.1 波形钢腹板与混凝土顶、底板的连接件，应能够可靠传递作用于其连接部的桥轴方向的水平剪力等内力，保证其正常使用时不发生相对位移。

7.2.2 波形钢腹板与顶底板和横隔板常用的连接方式有栓钉连接、单 PBL+栓钉、双 PBL 连接、埋入式连接、型钢连接等，可根据实际情况确定，见图 5。

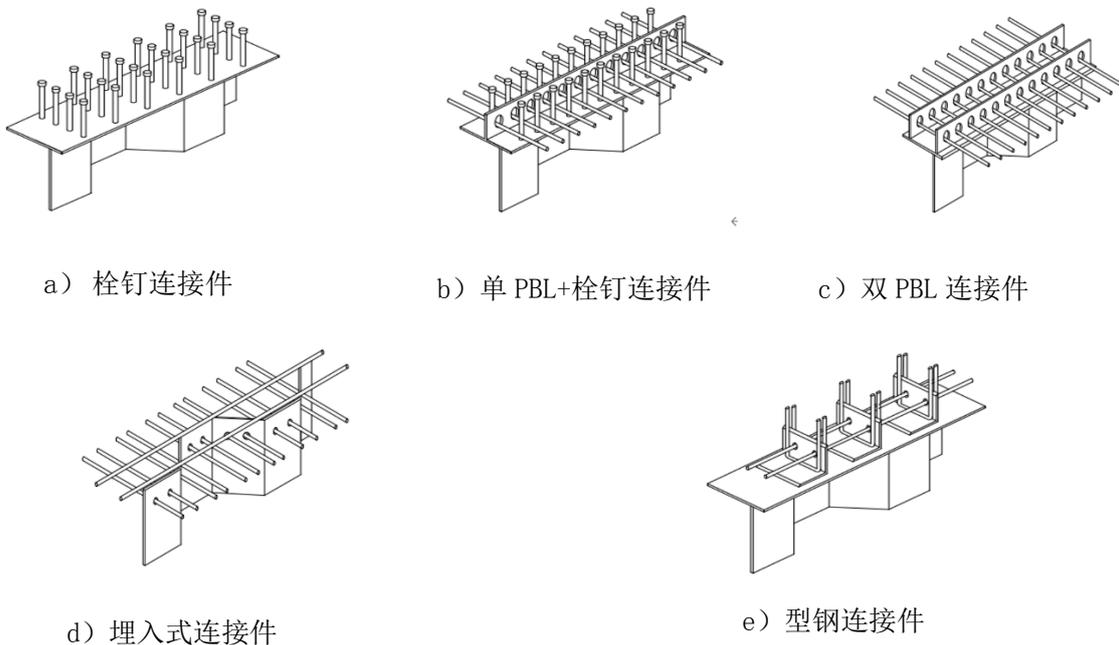


图5 波形钢腹板与桥面板的连接形式

## 7.3 横隔梁、锚固块、转向块及体外预应力

7.3.1 为保证波形钢腹板组合箱梁的抗扭刚度，应设置一定数量的横隔梁。

7.3.2 波形钢腹板组合箱梁桥应在支点处、底板体外预应力钢筋纵向折线折角处设置横隔梁。

7.3.3 当采用波形钢腹板斜拉桥型时，宜在拉索锚固处设置横隔梁。

7.3.4 混凝土横隔梁可与体外索的锚固块、转向块设为一体。

7.3.5 体外预应力钢束锚固块与转向块之间或者两个转向块之间的自由段长度不应大于 10m，超过时应设置减震装置。

7.3.6 当连接件中有贯穿钢筋时，应合理设置承托高度，使得贯穿钢筋能顺利通过。

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

## 7.4 内衬混凝土

7.4.1 波形钢腹板组合箱梁桥应于支点处设置内衬混凝土。

7.4.2 内衬混凝土厚度不宜小于 200mm。

7.4.3 内衬混凝土长度不应小于连接处波形钢腹板最大净高的 1.2 倍。

7.4.4 内衬混凝土与波形钢腹板宜采用栓钉连接，也可采用其他可靠的方式连接。

8 结构计算

8.1 整体计算

8.1.1 基本假定

波形钢腹板组合箱梁结构计算采用以下假定：

- a) 箱梁纵向弯曲符合平截面假定；
- b) 波形钢腹板不承受轴向力，纵向弯曲时可忽略波形钢腹板的纵向弯曲作用，弯矩仅由混凝土顶、底板构成的断面承担；
- c) 波形钢腹板与混凝土顶、底板共同工作，不发生相对滑移或剪切连接破坏；
- d) 截面剪力由波形钢腹板承担。

8.1.2 结构计算

8.1.2.1 波形钢腹板组合箱梁桥应根据结构形式、断面构成、荷载状态选用合适的结构模型进行结构分析计算。

8.1.2.2 结构模型可做适当等效模拟，并能够真实反映桥梁的实际受力状况。

8.1.2.3 波形钢腹板组合箱梁的抗扭惯性矩可按式(1) 进行计算：

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

式中：

$J_t$  ——扭转惯性矩；

$A_m$  ——箱梁截面面积， $A_m = h_m \times b_m$ ， $h_m$ 为顶、底板中心线之间的距离， $b_m = (b_1 + b_2)/2$ ，其中为 $b_1$ 、 $b_2$ 分别为顶、底板处钢腹板中心线之间的距离；

$t_i$  ——各部件的厚度， $t_1$ 、 $t_2$ 为顶底板厚， $t_3$ 、 $t_4$ 为腹板厚；

$n_s$  ——钢材与混凝土的剪变模量比， $n_s = G/G_c$ ；

$\alpha$  ——修正系数  $h_m/b_m > 0.2$ 时， $\alpha = 0.4h_m/b_m - 0.06$ ；

$h_m/b_m \leq 0.2$ 时， $\alpha = 0$ ；

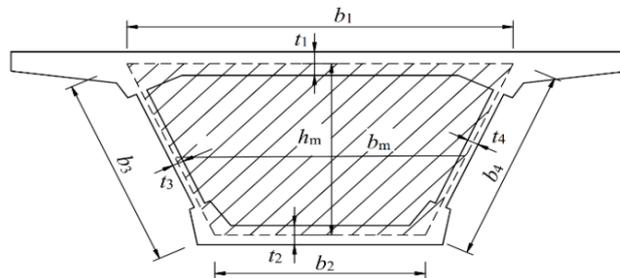


图6 抗扭惯性矩计算图

8.1.2.4 波形钢腹板组合箱梁纵向弯曲计算，可忽略剪切变形的影响；计算挠度与上拱度时，可按式(2)计入波形钢腹板剪切变形的影响：

$$\delta = \int \frac{k_v V \beta_i v}{G A_w} dx \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$A_w = h_w t_w$ ；

$\beta_i = h_w / h$ ；

$k_v$ ——剪切修正系数，可取  $k_v = 1$ ；

$V$ ——由荷载产生的剪力设计值；

$v$ ——由单位荷载产生的剪力；

$A_w$ ——波形钢腹板的有效剪切面积；

$\beta_i$ ——波形钢腹板的剪切分担率；

$h_w$ ——波形钢板的高度；

$t_w$ ——波形钢板的厚度；

8.1.2.5 波形钢腹板组合箱梁桥温度效应计算时仅考虑混凝土顶板的温度变化，不考虑波形钢腹板的影响。

8.1.2.6 体外预应力钢筋作为抗拉钢筋来进行截面抗力计算，设计中体外预应力钢筋的极限应力  $\sigma_{pu}$  应按式(3)公式计算：

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe} \leq f_{pd} \dots \dots \dots (3)$$

式中：

$\sigma_{pe}$ ——体外预应力钢筋的有效预应力；

$f_{pd}$ ——预应力钢筋的抗拉强度设计值。

### 8.1.3 疲劳验算

承受动应力的结构构件或者连接件，应根据 JTG D64 的规定进行疲劳验算。

## 8.2 横桥向计算

8.2.1 波形钢腹板组合箱梁桥应进行桥面板和底板的横向计算，计算时应考虑波形钢腹板受横梁和桥面板约束剪切变形而产生的附加弯矩。

8.2.2 波形钢腹板组合箱梁桥应对端横隔梁进行受力计算，对于预应力混凝土构件，其横向分析按预应力构件计算，其他类型横隔梁可按组合梁结构的分析方法进行计算。

8.2.3 用平面框架模型进行计算时，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，钢腹板与顶底板结合部做刚接处理，将钢腹板的重心间距视为斜腹板间距。

## 8.3 波形钢腹板计算

### 8.3.1 一般规定

8.3.1.1 波形钢腹板组合箱梁的波形钢腹板验算中，所受剪切力全部由波形钢腹板承担，波形钢腹板的剪力沿高度方向均匀分布。

8.3.1.2 波形钢腹板的验算应包括剪应力验算、屈曲稳定性验算、钢腹板之间的连接验算。箱梁扭转产生的剪应力，应叠加计入剪应力的计算中。

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

8.3.1.4 在面内剪切荷载的作用下，波形钢板的屈曲模式主要有整体屈曲、局部屈曲以及合成屈曲三种，见图7。

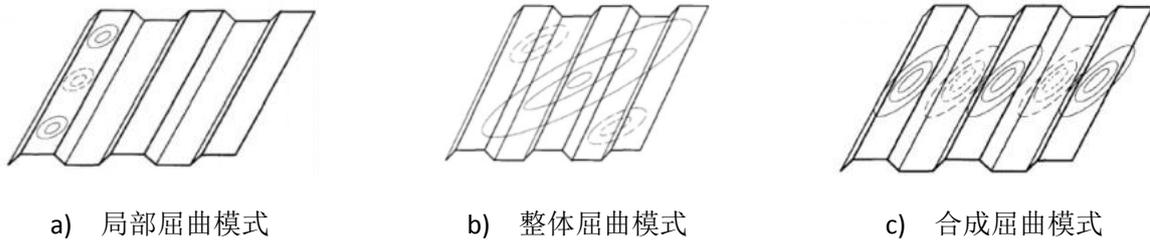


图7 波形钢板屈曲模式

### 8.3.2 剪应力验算

8.3.2.1 波形钢腹板的剪应力主要包括弯曲剪应力和自由扭转剪应力，波形钢腹板的剪应力应符合式(4)规定，同时应考虑结构重要性的影响：

$$\tau_a + \tau_t \leq f_v \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\tau_a$  ——弯曲剪应力；

$\tau_t$  ——自由扭转剪应力；

$f_v$  ——钢板抗剪强度设计值。

8.3.2.2 波形钢腹板的弯曲剪应力按式(5)进行计算：

$$\tau_a = \frac{v - v_p}{\sum t_i h_w} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$v$  ——竖向剪力设计值；

$v_p$  ——预应力的竖向分力设计值；

$t_i$  ——第*i*个波形钢腹板厚度；

$h_w$  ——波形钢腹板高度。

8.3.2.3 波形钢腹板的自由扭转剪应力按式(6)进行计算：

$$\tau_t = \frac{T}{2A_m t_w (1 + \alpha)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\tau_t$  ——自由扭转剪应力；

$T$  ——组合箱梁所受的扭矩设计值；

$A_m$  ——箱梁截面面积；

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

### 8.3.3 屈曲验算

8.3.3.1 波形钢腹板局部屈曲应力可按式(7)进行计算：

$$\tau_{cr,l} = k \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$\tau_{cr,l}$  ——局部屈曲应力;

$k$  ——剪切屈曲系数,  $\begin{cases} \frac{a_w}{h_w} < 1: & k = 4.0 + 0.53(h_w/a_w)^2 \\ \frac{a_w}{h_w} \geq 1: & k = 5.34 + 4.0(h_w/a_w)^2 \end{cases}$

$a_w$  ——波形钢腹板直板段长度;

$E$  ——钢材的弹性模量;

$\nu$  ——钢材的泊松比;

$h_w$  ——波形钢腹板高度;

$t_w$  ——波形钢腹板厚度。

8.3.3.2 波形钢腹板整体屈曲应力可按式(8)、(9)、(10)进行计算:

$$\tau_{cr,g} = 36\beta \frac{(EI_y)^{1/4}(EI_x)^{3/4}}{h_w^2 t_w} \dots\dots\dots (8)$$

$$I_x = \frac{t_w^3(\delta^2+1)}{6\eta} \dots\dots\dots (9)$$

$$I_y = \frac{t_w^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$\tau_{cr,g}$  ——整体屈曲剪应力;

$\beta$  ——波形钢腹板整体嵌固系数 ( $\beta$ 取1.0);

$I_x$  ——单位长度波形钢腹板桥轴向中性轴的惯性矩;

$I_y$  ——单位长度波形钢腹板高度方向的惯性矩。

$\delta$  ——波形钢腹板波高与钢板板厚比,  $\delta = d_w / t_w$ ;

$\eta$  ——形状系数,  $\eta = (a_w \bar{t} - b_w) / (a_w \bar{t} - c_w)$ 。

8.3.3.3 波形钢腹板的合成屈曲剪应力可按式(11)进行计算:

$$\frac{1}{\tau_{cr}^4} = \frac{1}{\tau_{cr,l}^4} + \frac{1}{\tau_{cr,g}^4} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$\tau_{cr}$  ——合成屈曲剪应力。

合成屈曲剪应力应满足以下条件:

$$\tau_{cr} \geq \tau_y / 0.43 \dots\dots\dots (12)$$

8.3.4 波形钢腹板之间的连接计算

8.3.4.1 抗剪连接中, 一个高强度螺栓的抗剪承载力设计值应按式(13)计算:

$$n_v^b = 0.9n_f \cdot \mu \cdot P \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$n_b^d$ ——螺栓的抗剪承载力设计值；

$n_f$ ——传力摩擦面数；

$\mu$ ——摩擦面的抗滑移系数；

$P$ ——高强度螺栓的预拉力。

8.3.4.2 焊接连接中，钢腹板搭接焊缝的直角焊缝在剪力作用下，其剪应力按下式(14)进行计算：

$$\tau = \frac{v_d}{0.7h_f \sum l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$v_d$ ——焊缝承受的竖向剪力设计值；

$f_f^w$ ——角焊缝的强度设计值；

$h_f$ ——焊缝的焊脚尺寸；

$l_w$ ——焊缝的计算长度；对每条焊缝取其实际长度减去  $2h_f$ 。

### 8.3.5 波形钢腹板与翼缘板的焊接计算

8.3.5.1 纵桥向验算可按式(15)进行计算：

$$\tau = \frac{Q}{0.7h_f \sum l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\tau$ ——由纵向弯矩产生的正应力；

$Q$ ——焊缝承受的纵向剪力设计值；

$f_f^w$ ——角焊缝的强度设计值；

$h_f$ ——焊缝的焊脚尺寸；

$l_w$ ——焊缝的计算长度。

8.3.5.2 横桥向验算可按式(16)进行计算：

$$\sigma_M = \frac{M_d}{W_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$\sigma_M$ ——由横向弯矩产生的正应力；

$M_d$ ——横向弯矩组合设计值；

$W_w$ ——角焊缝有效截面的抵抗矩。

$f_f^w$ ——角焊缝的强度设计值。

合成应力验算可按式(17)进行计算：

$$\left(\frac{\tau}{f_f^w}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_M}{f_f^w}\right)^2 < 1 \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\tau$ ——由纵向弯矩产生的正应力；

$\sigma_M$ ——由横向弯矩产生的正应力；

$f_f^w$ ——角焊缝的强度设计值。

### 8.3.6 内衬混凝土的验算

8.3.6.1 在荷载作用下，验算内衬混凝土受力及配筋时，内衬混凝土承担的剪力值按其与波形钢腹板两者的抗弯刚度进行分配；验算波形钢腹板时，按波形钢腹板承担全部剪力进行计算。

8.3.6.2 内衬混凝土承担的剪力可按式(18)进行计算：

$$V_{cd} = \frac{G_c \cdot A_c}{G_c \cdot A_c + G \cdot A_s} \cdot V_d \dots\dots\dots (18)$$

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；

$A_c$ ——内衬混凝土的平均断面面积；

$A_s$ ——波形钢腹板的有效断面面积；

$V_d$ ——剪力设计值。

8.3.6.3 内衬混凝土主拉应力可按式(19)、(20)进行计算：

$$\sigma_{tp} = \frac{1}{2}(\sigma_c - \sqrt{\sigma_c^2 + 4\tau^2}) \dots\dots\dots (19)$$

$$\tau = \frac{V_c \cdot S_c}{b_c \cdot I_c} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\sigma_{tp}$ ——内衬混凝土的主拉应力；

$\sigma_c$ ——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；

$\tau$ ——内衬混凝土的剪应力；

$V_c$ ——内衬混凝土承担的剪应力；

$s_c$ ——内衬混凝土最小厚度断面，剪应力计算点外侧部分面积对中性轴的一次矩；

$I_c$ ——内衬混凝土最小厚度断面，相对断面中性轴的二次矩；

$b_c$ ——内衬混凝土最小厚度。

## 8.4 连接件计算

### 8.4.1 连接件水平抗剪计算

8.4.1.1 连接件应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算。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。

8.4.1.2 连接件在承受纵桥向水平剪力作用下，应满足式(21)要求：

$$\gamma_0 \cdot Q_d \leq Q_u \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$Q_u$ ——连接件单位长度水平抗剪承载力；

$Q_d$ ——连接件与混凝土顶底板连接处单位长度水平剪力。

波形钢腹板与混凝土顶底板之间的纵向水平剪力由连接件承受，单位长度上的纵向水平剪力 $Q_d$ 按式(22)计算：

$$Q_d = V_d \cdot S / I \dots \dots \dots (22)$$

式中：

$Q_d$ ——纵桥向单位长度内连接处的水平剪力；

$V_d$ ——截面的竖向剪力设计值（含预应力垂直分力）；

$S$ ——混凝土顶底板绕截面中性轴的面积矩；

$I$ ——混凝土顶底板绕截面中性轴的惯性矩。

#### 8.4.2 连接件抗角隅弯矩计算

波形钢腹板与混凝土顶、底板连接处承受截面横向的作用，应满足式(23)要求：

$$\gamma_0 \cdot M_d \leq M_u \dots \dots \dots (23)$$

式中：

$M_u$ ——连接件提供的横向抗弯承载力设计值；

$M_d$ ——连接件与混凝土顶底板连接处由作用效应产生的横向弯矩组合值。

#### 8.4.3 横隔梁计算

横隔梁宜采用实体或板单元有限元模型进行分析，并根据应力结果进行设计。

### 9 施工注意事项及可检修要求

#### 9.1 施工注意事项

- 9.1.1 波形钢腹板运输过程中应加强支撑、固定牢固，防止变形或倾覆。
- 9.1.2 波形钢腹板安装过程中，波形钢腹板的定位应符合 T/CECSG:D60-30 要求。
- 9.1.3 波形钢腹板工地安装施工应进行施工过程控制，必要时，可进行施工过程动态监测，以确保其内力、变形、线形及高程符合设计要求。
- 9.1.4 波形钢腹板安装前应对临时支撑、吊机等临时构件在不同受力状态下的强度、刚度、稳定性进行验算，波形钢腹板要按板块设计编号进行核对并查验产品出厂合格证及材料质量证明书，并应对桥梁的墩台顶面高程、中线等进行复测，误差在允许偏差内方可安装。
- 9.1.5 波形钢腹板的吊装与安装前应进行安全、质量、操作等方面的检查和检测。
- 9.1.6 波形钢腹板安装时，不得在现场进行未经批准的焊缝和切割作业。
- 9.1.7 波形钢腹板工地焊接前要做工艺评定试验，施焊应严格按已评定的焊接工艺进行。
- 9.1.8 工地现场焊接时，要做好防风、防雨设施，遮盖焊接。
- 9.1.9 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥底板与波形钢腹板结合处宜做成不小于 2% 的斜坡，并用硅胶等止水材料密封。
- 9.1.10 波形钢腹板焊接连接，应在梁段就位、固定、并经检查合格后方可再进行施焊。
- 9.1.11 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。
- 9.1.12 波形钢腹板的防腐涂装应按现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）执行。

## 9.2 可检修要求

在波形钢腹板组合箱梁桥设计中宜考虑运营期间的检修需求,包括检修通道、检修爬梯、检修平台、预留人洞等。

### 参 考 文 献

- [1] GB 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级
- [2] GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范
- [3] GB 55006 钢结构通用规范
- [4] JTG B01 公路工程技术标准
- [5] JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- [6] JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- [7] T/CECSG:D60-30 公路波形钢腹板组合桥梁技术规程