

ICS 93.040

CCS P 28

DBJT45

广西壮族自治区交通运输行业指南

DBJT45/T 051—2023

公路波形钢腹板预应力混凝土梁桥 设计指南

Design guideline of prestressed concrete beam bridges with corrugated
steel web

2023 - 04 - 09 发布

2023 - 04 - 30 实施

广西壮族自治区交通运输厅 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	2
5 材料	3
5.1 混凝土	3
5.2 钢筋	4
5.3 钢板	5
6 结构总体设计	6
6.1 一般规定	6
6.2 结构总体布置	6
6.3 腹板布置	6
6.4 预应力筋布置	7
6.5 横隔梁（板）布置	7
7 截面刚度计算	7
8 持久状况承载能力极限状态计算	8
8.1 一般规定	8
8.2 抗弯承载力	9
8.3 抗剪承载力	9
8.4 抗扭承载力	9
8.5 转向与锚固结构	10
9 持久状况正常使用极限状态计算	11
9.1 一般规定	11
9.2 截面应力验算	11
9.3 抗裂验算	12
9.4 挠度验算	13
10 短暂状况构件应力计算	14
10.1 一般规定	14
10.2 应力验算	14
11 钢腹板与顶底板结合设计	14
11.1 一般规定	14
11.2 钢腹板与混凝土顶底板结合	15
11.3 结合部连接件抗剪计算	15
11.4 结合部连接件横向抗弯计算	16
11.5 焊钉连接件计算	17

11.6	开孔板连接件计算.....	18
12	波形钢腹板设计.....	19
12.1	一般规定.....	19
12.2	波形钢腹板选型.....	19
12.3	波形钢腹板抗剪稳定性计算.....	20
12.4	波形钢腹板间连接计算.....	22
12.5	波形钢腹板与翼缘板焊接计算.....	22
13	构造细节设计.....	23
13.1	一般规定.....	23
13.2	波形钢腹板.....	23
13.3	结合部构造.....	24
13.4	预应力筋.....	25
13.5	锚固和转向构造.....	25
13.6	桥面板.....	25
14	耐久性.....	26
14.1	一般规定.....	26
14.2	耐久性设计.....	26

公路波形钢腹板预应力混凝土梁桥 设计指南

1 范围

本文件界定了公路波形钢腹板预应力混凝土梁桥设计的术语和定义,规定了公路波形钢腹板预应力混凝土梁桥的材料、结构总体设计、截面刚度计算、持久状况承载力极限状态计算、持久状况正常使用极限状态计算、短暂状态构件应力计算、钢腹板与顶底板结合设计、波形钢腹板设计、构造细节设计、耐久性的要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内公路波形钢腹板预应力混凝土梁桥的设计。

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 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 4171 耐候结构钢
- GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- JGJ 92 无粘结预应力混凝土结构技术规程
- 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
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- 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

3 术语和定义

JT/T 784界定的以及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梁桥 **bridge with corrugated steel web**

由混凝土顶底板、波形钢腹板、横隔板以及体内或体外预应力筋组成的一种组合结构梁桥。

3.2

内衬混凝土 **encased concrete**

波形钢腹板预应力混凝土梁桥支点区段一定范围内,在波形钢腹板内侧设置的混凝土。

3.3

焊钉连接件 headed stud

用于钢与混凝土连接的电弧螺柱焊用圆柱头焊钉。

3.4

开孔板连接件 perfobond connector

用于钢与混凝土连接的设有孔的钢板。

3.5

型钢连接件 profiled steel connector

用于钢与混凝土连接的焊接在钢构件上的槽钢、角钢等短小节段型钢。

3.6

翼缘型结合部 flanged connection

波形钢腹板上端或下端与混凝土板通过翼缘板连接的结合构造。

3.7

嵌入型结合部 embedded connection

波形钢腹板上端或下端与混凝土板通过腹板嵌入的结合构造。

3.8

外包型结合部 partial encased connection

波形钢腹板翼缘板与其上侧混凝土板连接的结合构造。

4 基本规定

4.1 本文件采用极限状态设计方法，设计基准期为 100 年。

4.2 桥梁主体结构的设计使用年限不应低于表 1 的规定。

表1 波形钢腹板预应力混凝土梁桥的设计使用年限

单位为年

公路等级	特大桥、大桥	中桥	小桥
高速公路、一级公路	100	100	50
二级公路、三级公路	100	50	30
四级公路	100	50	30

4.3 桥梁应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态两类极限状态设计：

- a) 承载能力极限状态：对应于结构及其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态；
- b) 正常使用极限状态：对应于结构及其构件达到正常使用的某项限值的状态。

4.4 桥梁考虑以下设计状况进行极限状态设计：

- 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，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：波形钢腹板及梁体在制作、运送和架设过程中承受临时性作用（或荷载）的状况，应进行承载能力极限状态设计，必要时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，应进行承载能力极限状态设计；
- d) 地震状况：桥梁在使用过程中遭受地震时的情况，在抗震设防地区应考虑地震状况应进行承载能力极限状态设计。

- 4.5 桥梁设计应考虑结构上可能同时出现的作用，按 JTG D60 的规定进行承载能力极限状态和正常使用极限状态作用效应组合。
- 4.6 桥梁施工阶段的作用效应组合，应根据实际情况确定，结构上的施工人员和施工机具设备均应作为临时荷载。
- 4.7 持久状况设计应按承载能力极限状态的规定，进行承载力及稳定性计算。承载能力极限状态计算时，作用（或荷载）的效应采用作用（或荷载）承载能力极限状态基本组合，结构材料性能应采用其强度设计值。
- 4.8 持久状况设计应按正常使用极限状态的规定，采用作用频遇组合、准永久组合，对波形钢腹板预应力混凝土梁桥的抗裂、应力和挠度进行验算。
- 4.9 短暂状况设计应对施工过程中各个阶段的承载能力及稳定性进行验算，必要时应进行结构的倾覆验算。自重、施工荷载等除有特别规定外均采用标准值，当有组合时组合系数可取 1.0。
- 4.10 计算波形钢腹板预应力混凝土梁桥的强度、稳定性以及连接的强度时，应采用作用（或荷载）承载能力极限状态基本组合。

5 材料

5.1 混凝土

5.1.1 混凝土强度等级不应低于 C40。

5.1.2 混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 应按表 2 规定执行。

表2 混凝土强度标准值

单位为MPa

强度等级	C40	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	26.8	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	2.40	2.65	2.74	2.85	2.93	3.00	3.05	3.10

5.1.3 混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd} 和轴心抗拉强度设计值 f_{td} 应按表 3 规定执行。

表3 混凝土强度设计值

单位为MPa

强度等级	C40	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{cd}	18.4	22.4	24.4	26.5	28.5	30.5	32.4	34.6
f_{td}	1.65	1.83	1.89	1.96	2.02	2.07	2.10	2.14

5.1.4 混凝土的弹性模量 E_c 和剪切模量 G_c 应按表 4 规定执行，混凝土泊松比 ν_c 可取为 0.2。

表4 混凝土的物理性能指标

单位为 $\times 10^4$ MPa

强度等级	C40	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
弹性模量 E_c	3.25	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80
剪切模量 G_c	1.30	1.38	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52

5.2 钢筋

5.2.1 普通钢筋宜选用热轧 HPB300、HRB400、HRB500、HRBF400 和 RRB400 钢筋，箍筋宜选用带肋钢筋。

5.2.2 预应力筋应选用钢绞线、钢丝，竖、横向预应力筋可选用预应力螺纹钢筋。

5.2.3 普通钢筋的抗拉强度标准值 f_{sk} 和预应力筋的抗拉强度标准值 f_{pk} 应分别按表 5 和表 6 规定执行，其中表 6 中抗拉强度标准值为 1960MPa 的钢绞线作为预应力筋作用时，应有可靠工程经验或充分试验验证。

表5 普通钢筋抗拉强度标准值

钢筋种类	公称直径 d mm	抗拉强度标准值 f_{sk} MPa
HPB300	6~22	300
HRB400、HRBF400、RRB400	6~50	400
HRB500	8~40	500

表6 预应力筋抗拉强度标准值

钢筋种类	公称直径 d mm	抗拉强度标准值 f_{pk} MPa
钢绞线 1×7（七股）	9.5、12.7、15.2、17.8	1 720、1 860、1 960
	21.6	1 860
消除应力钢丝 （光面螺旋肋）	5.0	1 570、1 770、1 860
	7.0	1 570
	9.0	1 470、1 570
预应力螺纹钢筋	18、25、32、40、50	785、930、1 080

5.2.4 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_{sd} 和抗压强度设计值 f'_{sd} 应按表 7 规定执行，其中构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值；预应力筋的抗拉强度设计值 f_{pd} 和抗压强度设计值 f'_{pd} 应按表 8 规定执行。

表7 普通钢筋强度

单位为MPa

钢筋种类	抗拉强度设计值 f_{sd}	抗压强度设计值 f'_{sd}
HPB300	250	250
HRB400、HRBF400、RRB400	330	330
HRB500	415	400

表8 预应力筋强度

单位为MPa

钢筋种类	抗拉强度标准值 f_{pk}	抗拉强度设计值 f_{pd}	抗压强度设计值 f'_{pd}
钢绞线 1×7（七股）	1 720	1 170	390
	1 860	1 260	
	1 960	1 330	

表8 预应力筋强度（续）

单位为MPa

钢筋种类	抗拉强度标准值 f_{pk}	抗拉强度设计值 f_{pd}	抗压强度设计值 f'_{pd}
消除应力钢丝	1 470	1 000	410
	1 570	1 070	
	1 770	1 200	
	1 860	1 260	
预应力螺纹筋	0 785	0 650	400
	0 930	0 770	
	1 080	0 900	

5.2.5 普通钢筋的弹性模量 E_s 和预应力筋的弹性模量 E_p 宜按表9规定执行；当有可靠试验依据时， E_s 和 E_p 可按实测数据确定。

表9 普通钢筋及预应力筋的弹性模量

单位为 $\times 10^5$ MPa

钢筋种类	弹性模量 E	
普通钢筋	HPB300	2.10
	HRB400、HRBF400、RRB400、HRB500	2.00
预应力筋	消除应力钢丝	2.05
	钢绞线	1.95
	预应力螺纹筋	2.00

5.3 钢板

5.3.1 钢板宜采用 Q235、Q355、Q390 和 Q420，其材性应符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定。钢板的强度指标应符合 JTG D64 的规定，并按表 10 规定执行。

表10 钢板强度指标

单位为MPa

牌号	厚度 mm	抗拉、抗压和抗弯强度标准值 f_k	抗拉、抗压和抗弯强度设计值 f_d	抗剪强度设计值 f_{vd}
Q235	≤ 16	235	190	110
	16~40	225	180	105
	40~100	215	170	100
Q355	≤ 16	355	285	165
	16~40	345	275	160
	40~63	335	270	155
	63~80	325	260	150
	80~100	315	250	145
Q390	≤ 16	390	310	180
	16~40	370	295	170

表 10 钢板强度指标（续）

单位为 MPa

牌号	厚度 mm	抗拉、抗压和抗弯强度标准值 f_k	抗拉、抗压和抗弯强度设计值 f_d	抗剪强度设计值 f_{vd}
Q390	40~63	350	280	160
	63~100	330	265	150
Q420	≤16	420	335	195
	16~40	400	320	185
	40~63	380	305	175
	63~100	360	290	165

5.3.2 波形钢腹板的物理性能指标应按表 11 规定执行。

表11 波形钢腹板的物理性能指标

弹性模量 E_s (MPa)	剪切模量 G_s (MPa)	线性膨胀系数 α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	密度 ρ (kg/m^3)	泊松比 ν
2.06×10^5	0.79×10^5	12×10^{-6}	7 850	0.3

5.3.3 波形钢腹板当采用耐候结构钢时，其力学性能、工艺性能及冲击性能应符合 GB/T 4171 的规定。

5.3.4 波形钢腹板的焊接材料选用，焊缝与主体钢板技术条件应相适应，并通过焊接工艺评定确定。

5.3.5 高强度螺栓连接副技术条件应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定。

5.3.6 波形钢腹板的焊钉连接件的材料及机械性能，应符合 GB/T 10433 的规定。

6 结构总体设计

6.1 一般规定

6.1.1 桥梁结构体系，宜综合考虑使用功能、经济性能、施工可行性、养护便利性等。

6.1.2 桥梁总体设计，宜综合考虑结构受力、景观效果、波形钢腹板加工以及施工工艺等因素。

6.2 结构总体布置

6.2.1 桥梁截面高度取值范围与普通预应力混凝土梁桥基本一致，宜考虑设置体外预应力筋对截面高度的影响。

6.2.2 桥梁横截面设计主要是确定横截面布置形式，包括主梁截面形式、腹板间距、截面各部分尺寸等，宜综合考虑立面布置、建筑高度、施工方法、美观要求以及经济性等因素。

6.2.3 桥梁顶、底板构造尺寸，宜综合考虑腹板间距、悬臂板长度等因素确定。

6.3 腹板布置

6.3.1 波形钢腹板高度大于 5m 的墩顶、梁端梁段，宜在腹板内侧浇筑混凝土或增加加劲肋形成组合腹板。

6.3.2 内衬混凝土长度不宜小于 1 倍中支点梁高，宜采用变截面厚度布置，最厚处不宜小于 0.07 倍中支点梁高，最薄处不宜小于 20 cm。

6.4 预应力筋布置

- 6.4.1 可采用全体外预应力筋、全体内预应力筋、体内外预应力筋混合布置的布置形式。
6.4.2 支点及跨间应设置横隔梁（板），确保抗扭性能和体外预应力筋锚固、转向的规定。

6.5 横隔梁（板）布置

- 6.5.1 支点应设置混凝土端横梁，折线形梁底板折角处以及跨内适当位置应设置横隔板。
6.5.2 桥梁跨内应设置不少于 2 道中间横隔板。
6.5.3 支点横隔梁的设计，应确保将混凝土桥面及波形钢腹板承受的荷载安全可靠的传递给下部结构。
6.5.4 采用体外预应力结构体系时，横隔梁（板）设计应复核预应力锚固与转向的规定。

7 截面刚度计算

7.1 梁段的轴向刚度 EA 、弯曲刚度 EI ，仅考虑混凝土顶底板的全截面有效，不考虑剪力滞效应及腹板的贡献。

7.2 梁段的剪切刚度仅考虑波形钢腹板的剪切刚度，梁段的剪切刚度 GA 可按式（1）计算：

$$GA = n_w \alpha_w G_s h_w t_w \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- G_s ——钢板的剪切模量；
 h_w ——波形钢腹板高度；
 t_w ——波形钢腹板厚度；
 n_w ——腹板个数；
 α_w ——波形钢腹板形状系数， $\alpha_w = (a_w + b_w) / (a_w + c_w)$ ；
 a_w ——波形直板段长度；
 b_w ——波形斜板段投影长度；
 c_w ——波形斜板段长度。

7.3 梁段的扭转刚度 GJ ，为钢腹板与混凝土顶底板构成的组合箱梁截面（如图 1）的扭转刚度，可按式（2）计算：

$$GJ = \frac{4A_m^2 G_c}{\frac{h_m}{n_E t_{w1}(1+\beta_w)} + \frac{b_{c1}}{t_{c1}(1-\beta_w)} + \frac{h_m}{n_E t_{w2}(1+\beta_w)} + \frac{b_{c2}}{t_{c2}(1-\beta_w)}} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- G_c ——混凝土剪切模量；
 A_m ——组合箱梁扭转抵抗面积， $A_m = h_m(b_{c1} + b_{c2})/2$ ；
 b_{c1} ——顶板处的腹板中心线间距；
 b_{c2} ——底板处的腹板中心线间距；
 h_m ——组合截面顶底板中心线的间距；
 t_{c1} ——顶板的厚度；
 t_{c2} ——底板的厚度；
 t_{w1} ——左侧钢腹板的厚度；
 t_{w2} ——右侧钢腹板的厚度；
 n_E ——钢与混凝土的剪切弹性模量比， $n_E = G_s / G_c$ ；

β_w ——组合截面扭转刚度修正系数，可按式（3）计算：

$$\beta_w = \begin{cases} \frac{0.8h_m}{(b_{c1}+b_{c2})-0.06} & (\frac{h_m}{b_{c1}+b_{c2}} > 0.1) \\ 0 & (\frac{h_m}{b_{c1}+b_{c2}} \leq 0.1) \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

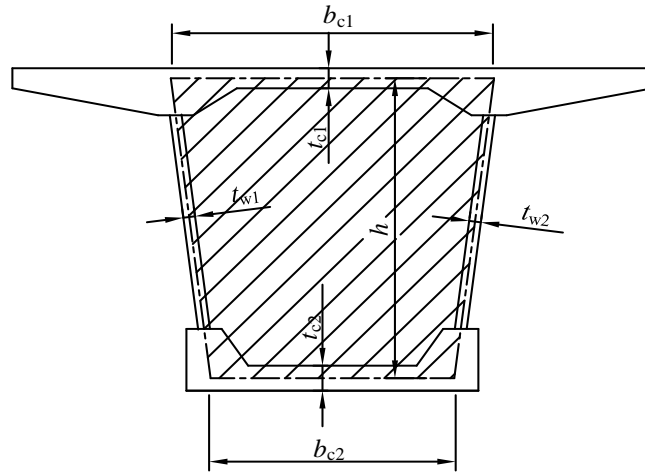


图1 扭转刚度计算截面

8 持久状况承载能力极限状态计算

8.1 一般规定

8.1.1 应根据 JTG D60 的规定选定设计安全等级，按照承载能力极限状态规定进行承载能力计算。

8.1.2 承载能力极限状态应按式（4）计算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \dots\dots\dots(4)$$

式中：

γ_0 ——桥梁结构重要性系数，按桥梁结构设计安全等级，一级、二级、三级分别取用 1.1、1.0、0.9，桥涵结构设计安全等级应符合 JTG D60 的规定；

S_d ——作用（或荷载）效应的组合设计值；

R_d ——构件承载力设计值。

8.1.3 体外预应力筋作为抗拉钢筋进行截面承载力计算时，体外预应力筋的极限应力设计值 σ_{pu} 应按式（5）计算：

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe,ex} + \Delta\sigma_p, \text{ 且 } \sigma_{pu} \leq f_{py} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$\sigma_{pe,ex}$ ——体外预应力筋的有效预应力；

$\Delta\sigma_p$ ——体外预应力筋的应力增量；

f_{py} ——预应力筋的屈服强度。

8.1.4 承载能力极限状态计算时，不考虑内衬混凝土对抗弯、抗剪和抗扭承载力的贡献。

8.2 抗弯承载力

8.2.1 截面抗弯承载力可按下列基本假定进行计算：

- a) 截面正应变分布符合拟平截面假定；
- b) 不考虑钢与混凝土之间的相对滑移；
- c) 忽略波形钢腹板的抗弯作用；
- d) 不考虑混凝土的抗拉作用；
- e) 忽略体外预应力筋的有效高度变化。

8.2.2 截面抗弯极限承载力计算时，混凝土顶底板可简化为矩形截面，且仅考虑混凝土顶底板承担纵向弯矩。

8.2.3 截面相对界限受压区高度 ζ_b 可按 JTG 3362 的规定选用。

8.3 抗剪承载力

8.3.1 抗剪承载力计算时，假定波形钢腹板承担组合截面全部剪力，且剪应力沿腹板高度均匀分布。

8.3.2 截面抗剪承载力设计值可按式（6）、式（7）、式（8）计算：

$$V_{ud} = V_{wd} + V_{ped} \dots\dots\dots(6)$$

$$V_{wd} = n_w f_{vd} h_w t_w \dots\dots\dots(7)$$

$$V_{ped} = F_{pe} \sin \theta_p \dots\dots\dots(8)$$

式中：

V_{ud} ——组合截面抗剪承载力；

V_{wd} ——波形钢腹板抗剪承载力设计值；

V_{ped} ——有效预应力竖向分量；

f_{vd} ——波形钢腹板抗剪强度设计值；

h_w ——波形钢腹板高度；

n_w ——腹板个数；

t_w ——波形钢腹板厚度；

F_{pe} ——有效预应力；

θ_p ——预应力轴向倾角(rad)。

8.3.3 波形钢腹板应进行承载能力极限状态剪切稳定性验算，其相关内容应符合第 12 章的规定。

8.4 抗扭承载力

8.4.1 截面抗扭验算时，在验算抗扭承载力的同时，对于曲线梁桥应对混凝土顶底板等构件进行扭转与剪切相互作用的计算分析。

8.4.2 截面抗扭承载力设计值，应分别按照顶、底板扭转斜压破坏和截面整体扭转破坏两种模态进行计算，取两者中较小值。

8.4.3 顶、底板扭转斜压破坏承载力 M_{tcd} 可按式（9）和式（10）计算：

$$M_{tcd} = 2A_m t_i f_{tcd} \dots\dots\dots(9)$$

$$f_{tcd} = 1.25\sqrt{f_{cd}} \leq 7.8 \text{MPa} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值；

A_m ——组合箱梁扭转抵抗面积（参照 7.2）；

t_i ——顶底板厚最小值。

8.4.4 截面整体扭转破坏承载力 M_{tyd} 可按式(11)计算:

$$M_{tyd}=2A_mV_{odi} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

A_m ——组合箱梁扭转抵抗面积(参照7.2);

V_{odi} ——混凝土顶、底板或波形钢腹板单位长度面内抗剪承载力的最小值。

混凝土顶、底板单位长度面内抗剪承载力的最小值 V_{od} ,取桥轴方向混凝土板钢筋承载力设计值 T_{xyd} 、横桥向混凝土板钢筋承载力设计值 T_{yyd} 两者较小值, T_{xyd} 、 T_{yyd} 可分别按下列式(12)和式(13)计算:

$$T_{xyd}=p_x f_{sd} b t_c \dots\dots\dots (12)$$

$$T_{yyd}=p_y f_{sd} b t_c \dots\dots\dots (13)$$

式中:

p_x ——纵桥轴向混凝土板配筋率;

p_y ——横桥向混凝土板配筋率;

f_{sd} ——钢筋的抗拉强度设计强度;

b ——混凝土顶、底板的单位宽度;

t_c ——混凝土顶、底板的厚度。

波形钢腹板单位长度面内抗剪承载力最小值 V_{od} 可按式(14)计算:

$$V_{od}=f_{vd} h t_w \dots\dots\dots (14)$$

式中:

f_{vd} ——波形钢腹板抗剪强度设计值;

h ——波形钢腹板单位高度;

t_w ——波形钢腹板厚度。

8.5 转向与锚固结构

8.5.1 体外预应力筋的转向结构应进行上拔抗拉承载力计算,在采用拉杆—压杆模型计算时钢筋的抗拉承载力应符合式(15)规定:

$$\gamma_0 N_d \leq f_{sd} A_s \dots\dots\dots (15)$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数;

N_d ——竖向拉力的组合设计值;

f_{sd} ——内环筋的抗拉设计强度,取JTG 3362-2018中第3.2.2条规定的0.6倍, f_{sd} 值大于330 MPa时取330 MPa;

A_s ——内环筋的抗拉截面面积。

8.5.2 体外预应力筋转向结构的开裂面应进行抗剪承载力计算,并符合式(16)规定:

$$\gamma_0 V_d \leq \mu (f_{sd} A_{sv} - N_d) \dots\dots\dots (16)$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数;

V_d ——横向剪切力的组合设计值；
 N_d ——与 V_d 对应的竖向拉力的组合设计值；
 M ——摩阻系数，整体浇筑混凝土剪切面取1.4；
 f_{sd} ——穿过剪切面的钢筋的抗拉设计强度；
 A_{sv} ——穿过剪切面的钢筋截面面积。

8.5.3 非块状转向结构可依据可能发生的开裂面，进行抗拉承载力和开裂面抗剪承载力的计算。

8.5.4 体外预应力筋的锚固块或锚固横梁，在采用拉杆—压杆模型计算时，钢筋的抗拉承载力应符合式（17）规定：

$$\gamma_0 T_d \leq f_{sd} A_s \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

γ_0 ——结构重要性系数；
 T_d ——拉杆拉力的组合设计值；
 f_{sd} ——拉杆钢筋的抗拉强度设计值；
 A_s ——拉杆钢筋的抗拉截面面积。

9 持久状况正常使用极限状态计算

9.1 一般规定

9.1.1 应根据 JTG 3362 的规定选定设计安全等级和作用（或荷载）组合，进行波形钢腹板预应力混凝土梁混凝土顶底板法向压应力和抗裂性、挠度、预应力筋拉应力、腹板剪应力的验算。

9.1.2 预应力筋的张拉控制应力及预应力损失，应按 JTG 3362 的规定计算。

9.2 截面应力验算

9.2.1 远离支点处组合截面弯曲应力可按下列基本假定进行计算：

- a) 截面正应变分布符合拟平截面假定；
- b) 不考虑钢与混凝土之间的相对滑移。
- c) 忽略波形钢腹板的抗弯作用；
- d) 钢材与混凝土为弹性材料；
- e) 混凝土顶、底板全截面有效。

9.2.2 支点区段一定范围内弯曲应力计算时，应考横隔梁对波形钢腹板剪切变形抑制效应在顶底板中产生的附加应力。

9.2.3 正截面混凝土最大压应力应符合式（18）规定：

$$\sigma_{cc} \leq 0.50 f_{ck} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

σ_{cc} ——正截面混凝土最大压应力计算值；
 f_{ck} ——混凝土的抗压强度标准值。

9.2.4 体内预应力筋最大拉应力应符合式（19）规定：

$$\sigma_{pe} + \sigma_p \leq 0.65 f_{pk,i} \quad \dots\dots\dots (19)$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/748022044060006074>