

DB13

河北省地方标准

DB 13/T 2686—2018

公路钢混凝土组合梁桥设计与施工规范

2018 - 03 - 13 发布

2018 - 04 - 13 实施

河北省质量技术监督局

发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由河北省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：河北省交通规划设计院、同济大学、东南大学、邢台路桥建设总公司、中铁山桥集团有限公司、中国二十二冶集团有限公司。

本标准主要起草人：王国清、何勇海、朱冀军、雷伟、吴冲、闫涛、李志聪、马骅、张国清、金凤温、付常谊、张世梁、贾胜勇、徐洪涛、高海涛、王海林、苏立超、张艳梅、张鹏、朱中华、胡晓伦、王海艳、张悦、安伟胜、陈光、刘耀武、杨星蕊。

公路钢混凝土组合梁桥设计与施工规范

1 范围

本标准规定了公路钢混凝土组合梁桥的术语和定义、符号、总则、材料、组合梁计算、总体设计、钢结构设计、钢筋混凝土桥面板设计、剪力连接件设计、钢梁加工与运输、连接件施工、钢梁与组合梁安装、钢筋混凝土桥面板施工、施工质量检测与验收等内容。

本标准适用于公路钢混凝土组合梁桥，与相关国家标准和行业标准配合使用。城市道路钢混凝土组合梁桥可参照执行。

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，其最新版本适用于本文件。

GB/T 699 优质碳素结构钢

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 2970-2004 厚钢板超声波检验方法

GB/T 3632 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副

GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条

GB/T 5118 热强钢焊条

GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂

GB/T 5313 厚度方向性能钢板

GB/T 5780 六角头螺栓 C 级

GB/T 5782 六角头螺栓

GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝

GB/T 8923.1-2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 10045 碳钢药芯焊丝

GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉

GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件

GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂

GB/T 14957 熔化焊用钢丝

GB/T 17493 低合金钢药芯焊丝

GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范
JTG/T B02-01 公路桥梁抗震设计细则
JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范
JTT 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
Q / CR 9211 铁路钢桥制造规范
TB/T 2137 铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

组合构件 composite member

在同一截面内，由钢和混凝土两种材料通过连接件有效结合并共同受力的构件。

3.2

组合梁 composite girder

由钢梁和混凝土板通过连接件连成整体并且在横截面内能够共同受力的梁。

3.3

预应力组合梁 prestressed composite girder

组合梁或混凝土桥面板中施加纵向预应力的组合梁。

3.4

后结合组合梁 post-composite girder

混凝土桥面板施加纵向预应力之后，采用连接件将钢梁和混凝土桥面板连成整体预应力组合梁。

3.5

钢板组合梁（工形组合梁） composite girder with I-shaped steel girder

由工形截面钢梁和混凝土板连成整体共同受力的组合梁。

3.6

钢箱组合梁 composite girder with box steel girder

由钢箱梁和混凝土板连成整体共同受力的组合梁。

3.7

组合箱梁 composite girder with U-shaped steel girder

由槽形截面钢梁和混凝土板连成整体形成箱形结构共同受力的组合梁。

3.8

叠合混凝土板 concrete slab combined with precast slabs and concrete cast in-site

在预制混凝土板上再浇一层现浇混凝土，当现浇混凝土硬化后两者形成整体共同工作的桥面板。

3.9

钢与混凝土组合桥面板 steel-concrete composite slab

由钢板和混凝土板连成整体共同受力的桥面板。

3.10

结合部 connection part

使钢构件、混凝土构件或组合构件在长度方向某区段内相互结合、共同受力的部分。

3.11

剪力连接件 shear connector

将钢与混凝土两种材料连接组合在一起共同受力的构件。

3.12

群钉 group stud

混凝土桥面板中间隔适当距离设置预留孔，在预留孔中集中布置焊钉连接件。

3.13

屈曲 buckling

杆件或板件在轴心压力、弯矩、剪力单独或共同作用下突然发生很大变形而失去稳定。

3.14

整体稳定性 overall stability

在外荷载作用下，整个结构或构件抵抗屈曲或失稳的能力。

3.15

局部失稳 local stability failure

结构中部分构件发生整体失稳以及构件中板件发生屈曲的现象。

3.16

有效宽度 effective width

在进行截面强度和稳定计算时，假定板件有效的那一部分宽度。

3.17

有效宽度系数 effective width factor

板件有效宽度与板件实际宽度的比值。

3.18

计算长度 effective length

计算构件的长细比时，计算长度是指将实际构件换算为具有相同稳定承载力的两端简支构件支点间的长度。计算焊缝连接强度时，计算长度是考虑焊接起息弧对焊缝承载力影响后的换算焊缝长度。

3.19

长细比 slenderness ratio

构件计算长度与构件截面回转半径的比值。

3.20

换算长细比 equivalent slenderness ratio

在轴心受压构件的整体稳定计算中，按临界力相等的原则，将格构式构件换算为实腹构件进行计算时所对应的长细比或将弯扭与扭转失稳换算为弯曲失稳时采用的长细比。

3.21

受压板件 compressed plate

承受压应力的钢板板件。

3.22

加劲肋 stiffener

为提高母板的稳定性能焊接于母板上的纵向或横向板件。

3.23

加劲板 stiffened plate

由纵向加劲肋加强的板件或由纵、横向加劲肋加强的板件，由母板和加劲肋组成，加劲肋焊接于母板。

3.24

工艺文件 construction document

承包方为实现设计意图、保证工程质量所编制的包括技术方案、工艺规程、工装设备、质量控制等方面的文件。

3.25

零件 part

组成板单元、单元件的最小元件。

3.26

板单元 panel part

组成钢梁的基本单元，板单元包括：顶板单元、底板单元、腹板单元、横隔板单元等。

3.27

单元件 member

由若干零件、板单元或单元件组成的整体。

3.28

梁段 segment

设计图中划分的钢梁制造吊装节段。

4 符号

下列符号适用于本文件。

4.1 材料性能有关符号

E_c ——混凝土弹性模量。
 E_s ——钢材弹性模量。
 E_p ——预应力钢筋的弹性模量。
 f_{cy} ——钢材端面承压（刨平顶紧）强度设计值。
 f_{ck} 、 f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值。
 f_k 、 f_d ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度标准值、设计值。
 f_{pk} 、 f_{pd} ——预应力钢筋的抗拉强度标准值、设计值。
 f_{sk} 、 f_{sd} ——普通钢筋的抗拉强度标准值、设计值。
 f_{tk} 、 f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值。
 f_{rd} ——贯通钢筋抗拉强度设计值。
 f_{std} ——焊钉抗拉强度设计值。
 f_{vd} ——钢材抗剪强度设计值。
 G_c ——混凝土的剪切模量。
 G_s ——钢材剪切模量。

4.2 作用效应与抗力的有关符号

M_d ——组合梁最大弯矩设计值。
 V ——形成组合截面之后作用于组合梁的竖向剪力。
 V_d ——承载能力极限状态下剪力设计值。
 V_v ——组合梁竖向抗剪承载力。
 σ 、 τ ——钢梁腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力。

4.3 几何参数有关符号

A_s ——钢梁截面面积。
 A_c ——混凝土板截面面积。
 A_{cr} ——开裂截面面积。
 b_{eff} ——有效宽度。
 b_e^s ——考虑剪力滞影响的有效截面宽度。
 b_e^p ——考虑局部稳定影响的受压加劲板有效截面宽度。
 h ——梁高。
 h_w 、 t_w ——钢梁腹板高度和厚度。
 I_{unf} ——组合梁未开裂截面惯性矩。
 $L_{e, I}$ ——等效跨径。
 l ——组合梁跨度。
 l_{cs} ——预应力集中锚固力、混凝土收缩徐变变形及温差引起的纵桥向水平剪力计算传递长度。

4.4 计算系数及其它有关符号

- n_o ——钢材与混凝土弹性模量的比值。
- γ_0 ——结构重要性系数。
- S ——混凝土板对组合截面中性轴的面积矩。
- W_{eff} ——有效截面的抗弯模量。

5 总则

- 5.1 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法（疲劳设计除外），按分项系数的设计表达式进行设计。
- 5.2 公路钢结构桥梁应进行耐久性设计，桥梁主体结构应按不小于 100 年设计使用年限进行设计，高速公路及一、二级公路上的小桥主体结构宜按不小于 100 年设计使用年限进行设计。钢结构防腐设计不得低于 JTT 722 的要求。
- 5.3 公路和城市组合结构桥梁设计应与架设方案统筹考虑，选择合适的结构形式；构造措施应便于加工、安装、维护和检查。结构单元和构件应优先考虑标准化和通用化，以减少制作、安装的工作量。
- 5.4 公路和城市组合结构桥梁的设计、加工、运送和架设应分阶段实行严格的质量管理和控制。结构在使用过程中应视环境条件和交通情况建立养护制度，以维持结构强度、刚度、稳定性和耐久性的要求。
- 5.5 按本标准设计时，采用的作用及其组合系数应符合 JTG D60 的规定；结构抗震设计应符合 JTG/T B02-01 的规定。钢结构制造、验收、安装和混凝土桥面板的浇注和验收应符合 JTG F50 的规定。
- 5.6 结构设计应考虑车辆实际超载对结构安全的影响。

6 材料

6.1 混凝土

- 6.1.1 钢筋混凝土构件混凝土强度等级不应低于 C30；预应力混凝土构件混凝土强度等级不应低于 C40。
- 6.1.2 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 1 采用。

表 1 混凝土强度标准值（MPa）

强度种类	强度等级										
	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	2.01	2.20	2.40	2.51	2.65	2.74	2.85	2.93	3.00	3.05	3.10

- 6.1.3 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 2 采用。

表 2 混凝土强度设计值 (MPa)

强度种类	强度等级										
	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{cd}	13.8	16.1	18.4	20.5	22.4	24.4	26.5	28.5	30.5	32.4	34.6
f_{td}	1.39	1.52	1.65	1.74	1.83	1.89	1.96	2.02	2.07	2.10	2.14

计算现浇钢筋混凝土轴心受压和偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于 300mm，表中数值应乘以系数 0.8；当构件质量（混凝土成型、截面和轴线尺寸等）确有保证时，可不受此限。

6.1.4 混凝土的物理性能指标应按表 3 采用。

表 3 混凝土的物理性能指标

指标类型	指标										
强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
弹性模量 E_c (MPa)	3.00 $\times 10^4$	3.15 $\times 10^4$	3.25 $\times 10^4$	3.35 $\times 10^4$	3.45 $\times 10^4$	3.55 $\times 10^4$	3.60 $\times 10^4$	3.65 $\times 10^4$	3.70 $\times 10^4$	3.75 $\times 10^4$	3.80 $\times 10^4$
剪切模量 G_c (MPa)	1.20 $\times 10^4$	1.26 $\times 10^4$	1.30 $\times 10^4$	1.34 $\times 10^4$	1.38 $\times 10^4$	1.42 $\times 10^4$	1.44 $\times 10^4$	1.46 $\times 10^4$	1.48 $\times 10^4$	1.50 $\times 10^4$	1.52 $\times 10^4$
泊松比 ν	0.2										
线膨胀系数 α (以每℃计)	10×10^{-6}										

当采用引气剂及较高砂率的泵送混凝土且无实测数据时，表中 C50~C80 的 E_c 值应乘以折减系数 0.95。

6.2 钢筋

6.2.1 钢筋混凝土及预应力混凝土构件的钢筋，应按下列规定选用：

- 普通钢筋宜选用热轧 HRB400、HPB300 钢筋，预应力混凝土构件中的箍筋宜选用其中的带肋钢筋；按构造要求配置的钢筋网可采用冷轧带肋钢筋。
- 预应力混凝土构件中的预应力钢筋应选用钢绞线、钢丝；中、小型构件或竖、横向预应力钢筋，也可采用精轧螺纹钢。

6.2.2 钢筋的抗拉强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。普通钢筋的抗拉强度标准值 f_{sk} 和预应力钢筋的抗拉强度标准值 f_{pk} ，应分别按表 4 和表 5 采用。

表 4 普通钢筋抗拉强度标准值 (MPa)

钢筋种类	f_{sk}
HPB300 $d=6\sim 22$	300
HRB400 $d=6\sim 50$	400

表中 d 系指国家标准中的钢筋公称直径，单位 mm。

表 5 预应力钢筋抗拉强度标准值 (MPa)

钢筋种类			f_{pk}
钢绞线	1×2 (二股)	$d=5、5.8$	1570、1720、1860、1960
		$d=8、10.0$	1470、1570、1720、1860、1960
		$d=12.0$	1470、1570、1720、1860
	1×3 (三股)	$d=6.2、6.5$	1570、1720、1860、1960
		$d=8.6$	1470、1570、1720、1860、1960
		$d=8.74$	1570、1670
		$d=10.8、12.9$	1470、1570、1720、1860、1960
	1×7 (七股)	$d=9.5、11.1、12.7$	1720、1860、1960
		$d=15.2$	1470、1570、1670、1720、1860、1960
		$d=15.7$	1770、1860
		$d=17.8$	1720、1860
精轧螺纹钢		$d=18、25、32、40、50$	785、830、930、1080
表中 d 系指国家标准中钢绞线、钢丝和精轧螺纹钢的公称直径, 单位 mm。			

6.2.3 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_{sd} 应按表 6 采用; 预应力钢筋的抗拉强度设计值 f_{pd} 应按表 7 采用。

表 6 普通钢筋抗拉强度设计值 (MPa)

钢筋种类	f_{sd}
HPB300 $d=6\sim22$	250
HRB400 $d=6\sim50$	330
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。	

表 7 预应力钢筋抗拉强度 (MPa)

钢筋类型	抗拉强度标准值 f_{pk}	抗拉强度设计值 f_{pd}
钢绞线 \downarrow 13.25 \downarrow 15.25	1470	1000
	1570	1070
	1720	1170
	1860	1260
	1960	1330
精轧螺纹钢	785	650
	830	690
	930	770
	1080	860

6.3 钢材

6.3.1 钢材宜选用 Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢，其质量应分别符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定。其中，Q235 钢中的沸腾钢不宜用于需要验算疲劳，以及虽不需要验算疲劳但工作温度低于 -20°C 的焊接结构；也不宜用于需要验算疲劳且工作温度等于或低于 -20°C 的非焊接结构。钢材强度标准值和设计值应按表 8 采用。

表 8 钢材强度标准值和设计值 (MPa)

钢材		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}	端面承压 (刨平顶紧) 设计值 f_{cy}
牌号	厚度 (mm)				
Q235 钢	≤ 16	235	190	110	280
	16~40	225	180	105	
	40~100	215	170	100	
Q345 钢	≤ 16	345	275	160	355
	16~40	335	270	155	
	40~63	325	260	150	
	63~80	315	250	145	
	80~100	305	245	140	
Q390 钢	≤ 16	390	310	180	370
	16~40	370	295	170	
	40~63	350	280	160	
	63~100	330	265	150	
Q420 钢	≤ 16	420	335	195	390
	16~40	400	320	185	
	40~63	380	305	175	
	63~100	360	290	165	
表中厚度系指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件系指截面中较厚板件的厚度。					

6.3.2 有关牌号钢材冲击韧性应符合以下规定：

- 对于需要验算疲劳的焊接构件，当桥梁的工作温度 t 处于 $0^{\circ}\text{C} \geq t > -20^{\circ}\text{C}$ 时，Q235 的冲击韧性应满足表 9 中质量等级 C 的要求；而 Q345、Q390 和 Q420 的冲击韧性应满足质量等级 D 的要求。当桥梁工作温度处于 $t \leq -20^{\circ}\text{C}$ 时，Q235 的冲击韧性应满足表 9 中质量等级 D 的要求；而 Q345、Q390 和 Q420 的冲击韧性应满足质量等级 E 的要求。
- 对于需要验算疲劳的非焊接构件，当桥梁工作温度处于 $t \leq -20^{\circ}\text{C}$ 时，Q235 和 Q345 冲击韧性应满足表 9 中质量等级 C 的要求，而 Q390 和 Q420 的冲击韧性应满足质量等级 D 的要求。

表 9 钢材冲击韧性

钢材牌号	Q235		Q345		Q390		Q420	
质量等级	C	D	D	E	D	E	D	E
试验温度 (°C)	0	-20	-20	-40	-20	-40	-20	-40
冲击韧性 (J)	27	27	34	34	34	34	34	34

6.3.3 当焊接结构采用 Z 向钢时, 其材质应符合 GB/T 5313 的规定。

6.3.4 钢铸件采用的铸钢材质应符合 GB/T 11352 的规定。销、铰、轴、斜拉索锚具等宜采用优质碳素结构钢锻制或轧制钢材, 其材质应符合 GB/T 699 的规定。铸钢和锻钢的强度设计值应按表 10 的规定采用。

表 10 铸钢和锻钢的强度设计值 (MPa)

强度种类	不同型号钢的设计值				
	ZG230-450	ZG270-500	ZG310-570	35 号钢	45 号钢
抗拉、抗压和抗弯 f_d	170	200	225	250	280
抗剪 f_{vd}	100	115	130	145	160
铰轴紧密接触时径向受压 f_{rd1}	85	100	110	125	140
辊轴或摇轴自由接触时径向受压 f_{rd2}	6.5	8.0	9.0	10.0	11.0
销孔承压 f_{sd}	——	——	——	190	210
铰轴紧密接触系指接触面为圆弧中心角为 $2 \times 45^\circ$ 的接触; 辊轴或摇轴自由接触系指轴与板平面的接触。 计算紧密接触或自由接触受压强度时, 其承压面积采用轴径截面。轴与板采用不同钢种时, 径向受压设计值取用其较低者。					

6.3.5 钢材和铸钢的物理性能指标应按表 11 的规定采用。

表 11 钢材和铸钢的物理性能指标

弹性模量 E_s (MPa)	剪切模量 G_s (MPa)	线膨胀系数 α ($1/^\circ\text{C}$)	泊松比 ν	质量密度 ρ (kg/m^3)
2.06×10^5	0.790×10^5	12×10^{-6}	0.31	7850

6.3.6 高强度螺栓、螺母、垫圈的技术条件应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231、GB/T 3632 的规定。高强度螺栓预拉力设计值 P_d 应按表 12 的规定取用。

表 12 高强度螺栓的预拉力设计值 P_d (kN)

性能等级		螺纹规格				
		M20	M22	M24	M27	M30
性能等级	8.8S	125	150	175	230	280
	10.9	155	190	225	290	355

6.3.7 普通螺栓应符合 GB/T 5780 和 GB/T 5782 的规定。普通螺栓和锚栓连接的强度设计值应按表 13 的规定采用。

表 13 通螺栓和锚栓连接的强度设计值 (MPa)

螺栓的性能等级、锚栓和 构件钢材的牌号		普通螺栓						锚栓
		C 级			A、B 级			
		抗拉 f_{td}^b	抗剪 f_{vd}^b	承压 f_{cd}^b	抗拉 f_{td}^b	抗剪 f_{vd}^b	承压 f_{cd}^b	抗拉 f_{td}^a
普通螺栓	4.6 级、4.8 级	145	120	——	——	——	——	——
	5.6 级	——	——	——	185	165	——	——
	8.8 级	——	——	——	350	280	——	——
锚栓	Q235 钢	——	——	——	——	——	——	125
	Q345 钢	——	——	——	——	——	——	160
构件	Q235 钢	——	——	265	——	——	350	——
	Q345 钢	——	——	340	——	——	450	——
	Q390 钢	——	——	355	——	——	470	——
	Q420 钢	——	——	380	——	——	500	——
A、B 级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度，C 级螺栓孔的允许偏差和孔壁表面粗糙度，均应符合 GB 50205 的要求。								

6.3.8 锚栓的材料可采用材质符合 GB/T 699 规定的 35 号钢和 45 号钢，或者材质符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 规定的 Q235 钢和 Q345 钢。

6.3.9 圆柱头焊钉连接件的材料应符合 GB/T 10433 的规定。

6.3.10 焊接材料应与主体钢材相匹配，并应符合以下规定：

- 手工焊接采用的焊条应符合 GB/T 5117、GB/T 5118 的规定。对需要验算疲劳的构件宜采用低氢型碱性焊条。
- 自动焊和半自动焊采用的焊丝和焊剂应符合 GB/T 14957、GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 17493、GB/T 5293、GB/T 12470 的规定。焊缝的强度设计值应按表 14 的规定采用。

表 14 焊缝的强度设计值 (MPa)

焊接方法和 焊条型号	构件钢材		对接焊缝				角焊缝
	牌号	厚度（mm）	抗压 f_{cd}^w	焊缝质量为以下等级时，抗拉 f_{ld}^w		抗剪 f_{vd}^w	抗拉、抗压 或抗剪 f_{fd}^w
				一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊和 E43 型焊条的手工焊	Q235 钢	≤ 16	190	190	160	110	140
		16~40	180	180	155	105	
		40~100	170	170	145	100	
自动焊、半自动焊和 E50 型焊条的手工焊	Q345 钢	≤ 16	275	275	235	160	175
		16~40	270	270	230	155	
		40~63	260	260	220	150	
		63~80	250	250	215	145	
		80~100	245	245	210	140	
自动焊、半自动焊和 E55 型焊条的手工焊	Q390 钢	≤ 16	310	310	265	180	200
		16~40	295	295	250	170	
		40~63	280	280	240	160	
		63~100	265	265	225	150	
	Q420 钢	≤ 16	335	335	285	195	200
		16~40	320	320	270	185	
		40~63	305	305	260	175	
		63~100	290	290	245	165	
对接焊缝受弯时，在受压区的抗弯强度设计值取 f_{cd}^w ，在受拉区的抗弯强度设计值取 f_{ld}^w 。焊缝质量等级应符合 GB 50205 的规定。其中厚度小于 8mm 钢材的对接焊缝，不应采用超声波探伤确定焊缝质量等级。							

7 组合梁计算

7.1 一般规定

7.1.1 组合结构桥梁应按以下两类极限状态进行设计:

- 承载能力极限状态: 包括构件和连接的强度破坏、疲劳破坏, 结构、构件丧失稳定及结构倾覆;
- 正常使用极限状态: 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损坏。

7.1.2 组合结构桥梁应考虑以下四种设计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很长的状况。该状况钢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：桥梁在制作、运送和架设过程中承受临时荷载的状况。该状况结构、构件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。该状况只需进行承载能力极限状态设计；
- d) 地震状况：按 JTG/T B02-01 要求设计。

7.1.3 组合梁应按以下规定进行结构整体分析：

- a) 组合梁的内力分析应采用线弹性分析方法，考虑温度、混凝土收缩徐变、施工方法与顺序、车辆荷载超载等因素的影响；
- b) 计算组合梁截面特性时，宜采用换算截面法。按混凝土是否开裂，组合梁截面的抗弯刚度分为未开裂截面刚度 EI_{un} 和开裂截面刚度 EI_{cr} 。开裂截面刚度可近似按混凝土折减弹性模量方法计算，混凝土折减弹性模量近似按混凝土弹性模量的 0.65 倍取值。
- c) 组合梁的温度效应应按 JTG D60 的相关规定计算；
- d) 混凝土收缩应变和徐变系数按 JTG D62 的相关规定计算；

7.1.4 考虑剪力滞影响的混凝土板翼缘有效宽度可按以下方法计算：

- a) 组合梁各跨跨中及中间支座处的混凝土板有效宽度 b_{eff} 按下式计算，且不应大于混凝土板实际宽度：

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{efi} \dots\dots\dots (1)$$

$$b_{efi} = L_{e,i}/6 \leq b_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

b_0 ——钢梁腹板上方最外侧剪力件的中心间距；

b_{eff} ——组合梁各跨跨中及中间支座处的混凝土板有效宽度；

b_{efi} ——钢梁腹板一侧的混凝土板有效宽度；

b_i ——最外侧剪力件中心至相邻钢梁腹板上方的最外侧剪力件中心距离的一半或最外侧剪力件中心至混凝土板自由边的距离；

$L_{e,i}$ ——等效跨径。

简支梁应取计算跨径，连续梁应按图1 a)取。

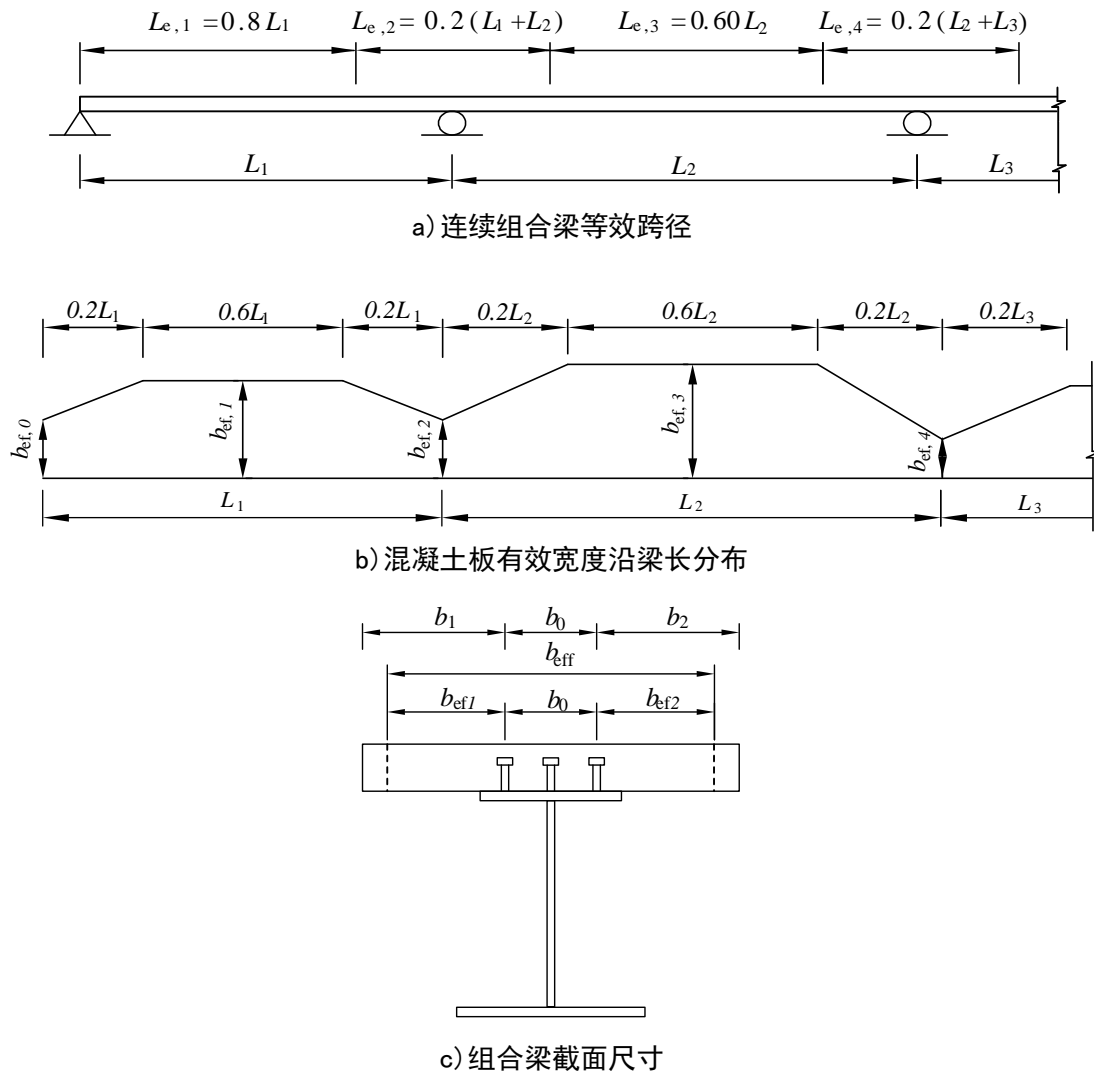


图 1 组合梁等效跨径及混凝土板有效宽度

b) 简支梁支点和连续梁边支点处的混凝土板有效宽度 b_{eff} 按下式计算：

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum \beta_i b_{\text{efi}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta_i = 0.55 + 0.025 L_{\text{e},i} / b_i \leq 1.0 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$L_{\text{e},i}$ 取为边跨的等效跨径（mm），如图1 a）所示。

混凝土板有效宽度 b_{eff} 沿梁长的分布可假设为如图1 b）所示的形式。

c) 预应力组合梁在计算预加力引起的混凝土应力时，预加力作为轴向力产生的应力可按实际混凝土板全宽计算；由预加力偏心引起的弯矩产生的应力可按混凝土板有效宽度计算；

- d) 对超静定结构进行整体分析时, 组合梁混凝土板有效宽度可取实际宽度;
 e) 混凝土板承预应力束或剪力件等集中力作用时, 可认为集中力从锚固点开始向两侧按扩散角 $2 \times 33^\circ$ 在混凝土板中传递。

7.1.5 考虑剪力滞影响的钢梁有效截面宽度 b_e^s 和有效截面面积 $A_{eff,s}$ 应按下式计算:

$$b_e^s = \sum_{i=1}^{n_s^p} b_{e,i}^s \dots\dots\dots (5)$$

$$A_{eff,s} = \sum_{i=1}^{n_s^p} b_{e,i}^s t_i + \sum_{j=1}^{n_s} A_{s,j} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$b_{e,i}^s$ ——考虑剪力滞影响的第 i 块板段的翼缘有效宽度, 如图2;

t_i ——第 i 块板件的厚度;

$A_{s,j}$ ——有效宽度内第 j 根加劲肋的面积;

n_s^p ——翼缘被腹板分割后的板段数;

n_s ——有效宽度内的加劲肋数量。

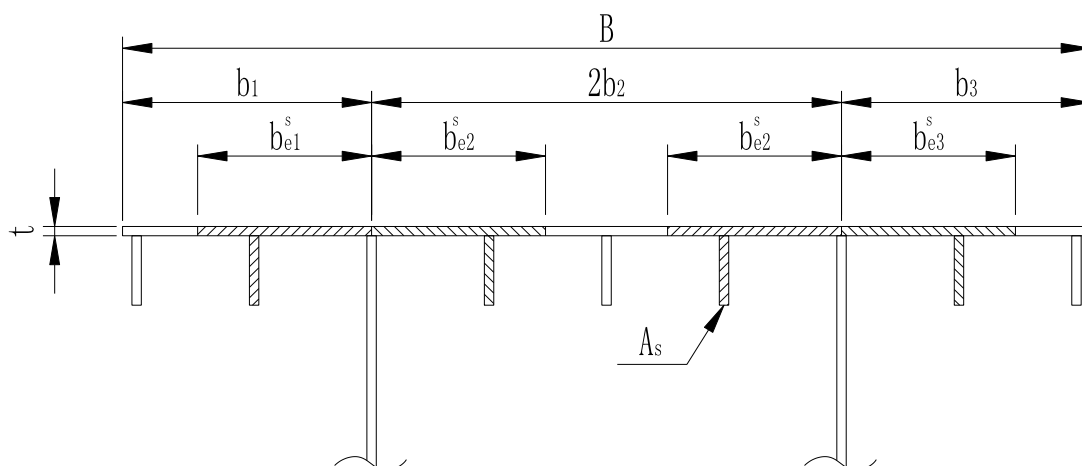


图2 考虑剪力滞影响的翼缘有效宽度示意图

I形、II形和箱形梁桥的翼缘有效宽度 $b_{e,i}^s$ 按式 (7) 和 (8) 计算, 其适用条件见表15。

$$\left. \begin{aligned} b_{e,i}^s &= b_i \\ b_{e,i}^s &= (1.1 - 2\frac{b_i}{\ell})b_i \\ b_{e,i}^s &= 0.15\ell \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{b_i}{\ell} &\leq 0.05 \\ 0.05 < \frac{b_i}{\ell} < 0.30 \\ \frac{b_i}{\ell} &\geq 0.30 \end{aligned} \dots\dots\dots (7)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{e,i}^s &= b_i \\ b_{e,i}^s &= [1.06 - 3.2\frac{b_i}{\ell} + 4.5(\frac{b_i}{\ell})^2]b_i \\ b_{e,i}^s &= 0.15\ell \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{b_i}{\ell} &\leq 0.02 \\ 0.02 < \frac{b_i}{\ell} < 0.30 \\ \frac{b_i}{\ell} &\geq 0.30 \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$b_{e,i}^s$ ——翼缘有效宽度；

b_i ——腹板间距的1/2，或翼缘外伸肢为伸臂部分的宽度，如图2所示；

ℓ ——等效跨径，见表15。

表 15 翼缘有效宽度计算的等效跨径

类别	梁段号	腹板单侧翼缘有效宽度计算			计算图式
		符号	适用公式	等效跨径 ℓ	
简支梁	①	$b_{e,i,L}^s$	(7-7)	L	
连续梁	①	$b_{e,i,L1}^s$	(7-7)	0.8L ₁	
	⑤	$b_{e,i,L2}^s$		0.6L ₂	
	③	$b_{e,i,S1}^s$	(7-8)	0.2 (L ₁ +L ₂)	
	⑦	$b_{e,i,S2}^s$		0.2 (L ₂ +L ₃)	
	② ④ ⑥ ⑧	线性插值			
悬臂梁	①	$b_{e,i,L1}^s$	(7-7)	2 L ₁	
	③	$b_{e,i,L2}^s$	(7-7)	0.6L ₂	
	⑤	$b_{e,i,L3}^s$	(7-7)	2 L ₃	
	② ④	线性插值			

7.1.6 考虑局部稳定影响的构件受压加劲板有效截面宽度和有效截面面积应按以下规定计算：

a) 考虑局部稳定影响的受压加劲板有效截面宽度 b_e^p 和有效截面面积 $A_{eff,c}$ 应按下式计算：

$$b_e^p = \sum_{i=1}^{n_p} b_{e,i}^p = \sum_{i=1}^{n_p} \rho_i b_i \dots\dots\dots (9)$$

$$A_{eff,c} = \sum_{i=1}^{n_p} b_{e,i}^p t_i + \sum A_{s,j} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

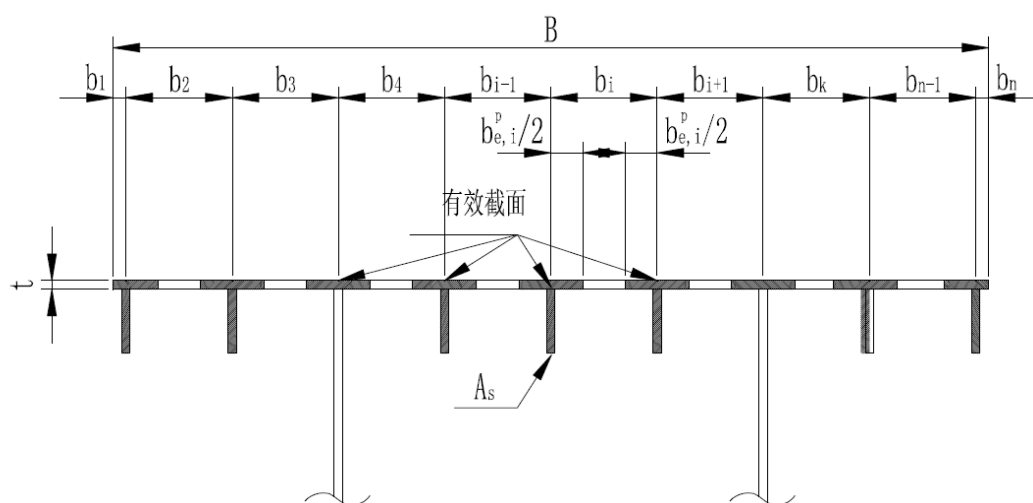
$b_{e,i}^p$ ——第 i 块受压板段考虑局部稳定影响的有效宽度（如图3）；

b_i, t_i ——第 i 块受压板段或板元的宽度和厚度（如图3）；

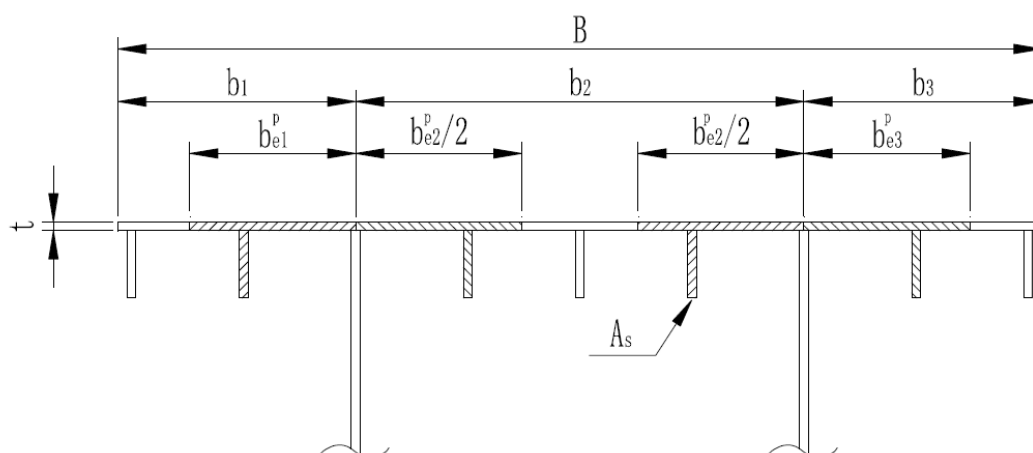
n_p ——被腹板或刚性加劲肋分割后的受压板段或板元数（如图3）；

$\sum A_{s,j}$ ——有效宽度范围内的加劲肋的面积之和；

ρ_i ——第 i 块受压板段或板元的局部稳定折减系数。



a) 刚性加劲肋加劲板的板元分割和有效截面



b) 柔性加劲肋加劲板的板段分割和有效截面

图3 考虑局部稳定影响的受压加劲板有效宽度示意图

b) 轴心受压板段或板元的局部稳定折减系数应按以下规定计算：

$$\begin{cases} \bar{\lambda}_p \leq 0.4 \text{ 时: } \rho = 1 \\ \bar{\lambda}_p > 0.4 \text{ 时: } \rho = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{1}{\bar{\lambda}_p^2} (1 + \varepsilon_0) - \sqrt{\left[1 + \frac{1}{\bar{\lambda}_p^2} (1 + \varepsilon_0) \right]^2 - \frac{4}{\bar{\lambda}_p^2}} \right\} \end{cases} \dots\dots\dots (11)$$

$$\varepsilon_0 = 0.8(\bar{\lambda}_p - 0.4) \dots\dots\dots (12)$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = 1.05 \left(\frac{b_p}{t} \right) \sqrt{\frac{f_y}{E_s} \left(\frac{1}{k} \right)} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$\bar{\lambda}_p$ ——相对宽厚比;

t ——加劲板的母板厚度;

f_y ——屈服强度;

E_s ——弹性模量;

σ_{cr} ——加劲板弹性屈曲欧拉应力;

b_p ——加劲板局部稳定计算宽度。对于开口刚性加劲肋按加劲肋的间距 b_i 计算(图7-3 a);对于闭口刚性加劲肋按加劲肋腹板间的间距计算;对于柔性加劲肋按腹板间距或腹板至悬臂端的宽度 b_i 计算(图7-3 b)。

k ——加劲板的弹性屈曲系数,可参考JTG D64-2015附录B计算。

7.1.7 同时考虑剪力滞和局部稳定影响的受压翼缘有效截面面积 A_{eff} 和有效截面宽度 b_e 应按下式计算:

$$A_{eff} = \sum_{k=1}^{n_p} b_{e,k} t_k + \sum_{i=1}^{n_s} A_{s,i} \dots\dots\dots (14)$$

$$b_e = \sum_{k=1}^{n_p} b_{e,k} \dots\dots\dots (15)$$

$$b_{e,k} = \rho_k^s b_{e,k}^p \dots\dots\dots (16)$$

$$\rho_k^s = \frac{\sum b_{e,j}^s}{b_k} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

n_p ——受压翼缘被腹板分割后的板段数;

t_k ——第 k 块受压板段的厚度;

b_k ——第 k 块受压板段的宽度(mm);

$b_{e,k}^p$ ——考虑局部稳定影响的第 k 块受压板段的有效宽度;

$\sum b_{e,j}^s$ ——考虑剪力滞影响的第 k 块受压板段的有效宽度之和。

$b_{e,k}$ ——考虑剪力滞和局部稳定影响的第 k 块受压板段的有效宽度;

ρ_k^s ——考虑剪力滞影响的第 k 块受压板段的有效宽度折减系数;

$A_{s,i}$ ——有效宽度范围内第 i 根加劲肋的面积;

n_s ——有效宽度范围内的加劲肋数量。

7.2 受弯构件承载能力极限状态强度计算

7.2.1 抗弯计算应符合以下规定：

- a) 计算组合梁抗弯承载力时，应考虑施工方法及顺序的影响，并应对施工过程进行抗弯验算，施工阶段作用组合应符合 JTG D60 的规定；
- b) 组合梁抗弯承载力应采用线弹性方法计算，并应符合以下规定：

$$\gamma_0 \sigma \leq f_d \dots\dots\dots (18)$$

$$\sigma = \sum_{i=I}^{II} \frac{M_{d,i}}{W_{\text{eff},i}} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

i ——变量，表示不同的应力计算阶段。其中， $i=I$ 表示未形成组合梁截面（钢梁）的应力计算阶段；

$i=II$ 表示形成组合梁截面之后的应力计算阶段。

$M_{d,i}$ ——对应不同应力计算阶段，作用于钢梁或组合梁截面的弯矩设计值（N·mm）；

$W_{\text{eff},i}$ ——对应不同应力计算阶段，钢梁或组合梁有效截面的抗弯模量（mm³）；

f_d ——钢筋、钢梁或混凝土的强度设计值（MPa）。

- c) 组合梁抗弯承载力的计算应考虑剪力滞效应和钢结构局部稳定的影响；
- d) 计算组合梁负弯矩区抗弯承载力时，混凝土开裂截面不计混凝土的抗拉贡献，但应计入混凝土板翼缘有效宽度内纵向钢筋的作用；
- e) 计算混凝土收缩作用产生的组合截面应力时，可采用混凝土换算弹性模量法近似计算收缩与徐变相互作用的影响，换算截面的混凝土换算弹性模量近似取 $E_c/3$ 计算，混凝土弹性模量 E_c 按表 3 取值；
- f) 计算混凝土徐变作用产生的组合截面应力时，可采用混凝土换算弹性模量法近似计算徐变二次效应作用的影响，换算截面的混凝土换算弹性模量近似取 $E_c/2$ 计算，混凝土弹性模量 E_c 按表 3 取值。

7.2.2 抗剪计算应符合以下规定：

- a) 组合梁截面的剪力应全部由钢梁腹板承担，不考虑混凝土板的抗剪作用；
- b) 组合梁截面抗剪验算应符合以下规定：

$$\gamma_0 V_d \leq V_u \dots\dots\dots (20)$$

$$V_u = f_{vd} \cdot A_w \dots\dots\dots (21)$$

式中：

V_d ——组合梁截面的剪力设计值（N）；

V_u ——组合梁截面的抗剪承载力 (N)；

f_{vd} ——钢材的抗剪强度设计值 (MPa)；

A_w ——钢梁腹板的截面面积 (mm^2)。

- c) 组合梁承受弯矩和剪力共同作用时，应考虑两者耦合的影响，按本规范其他章节的相关规定进行验算。

7.3 整体稳定性计算

7.3.1 成桥和使用阶段

7.3.1.1 混凝土桥面板与钢梁牢固相连、能阻止梁受压翼缘的侧向位移时，并且桥梁的宽跨比小于 1/20 时，可不计算组合梁整体稳定性。

7.3.1.2 不满足 7.3.1.1 规定的组合梁应按 JTG D60 的规定计算整体稳定性。

7.3.2 施工阶段

7.3.2.1 符合下列情况之一时，可不计算梁的整体稳定性：

- a) 工字形截面简支梁受压翼缘的自由长度 L_1 与其宽度 B_1 之比不超过表 16 所规定的数值时。其中，梁的支座处设置横梁，跨间无侧向支承点的梁， L_1 为其跨度；梁的支座处设置横梁，跨间有侧向支承点的梁， L_1 为受压翼缘侧向支承点间的距离。

表 16 工字形截面简支梁不需计算整体稳定性的最大 L_1/B_1 值

钢号	跨间无侧向支承点的梁		跨间受压翼缘有侧向支承点的梁，不论荷载作用于何处
	荷载作用在上翼缘	荷载作用在下翼缘	
Q235	13.0	20.0	16.0
Q345	10.5	16.5	13.0
Q390	10.0	15.5	12.5
Q420	9.5	15.0	12.0

- b) 箱形截面简支梁，见图 4，其截面尺寸满足 $h/b_0 \leq 6$ ，且 $L_1/b_0 \leq 65 (345/f_y)$ 时。

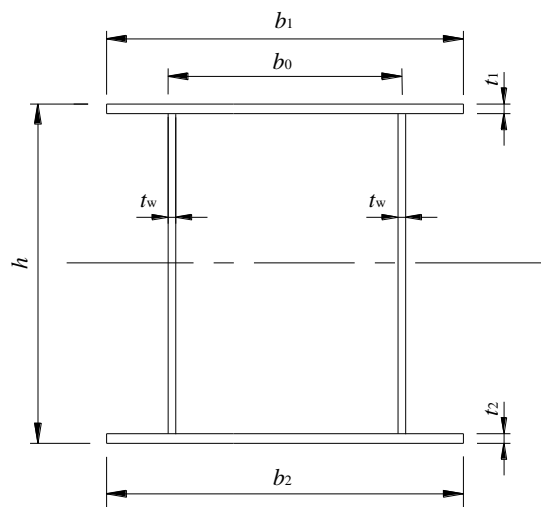


图 4 箱形截面简支梁截面尺寸

7.3.2.2 不满足第 1 款规定时，应按 TG D60 的规定计算整体稳定性。

7.4 疲劳计算

7.4.1 承受汽车荷载的结构构件与连接，应按疲劳细节类别进行疲劳验算。

7.4.2 疲劳荷载应符合以下规定：

- a) 疲劳荷载计算模型 I 采用等效的车道荷载，集中荷载为 0.7Pk，均布荷载为 0.3qk。Pk 和 qk 按公路—I 级车道荷载标准取值；应考虑多车道的影响，横向车道布载系数应按 JTG D60 的相关规定选用。
- b) 疲劳荷载计算模型 II 采用双车模型，两辆模型车轴距与轴重相同，其单车的轴重与轴距布置见图 5。加载时，两模型车的中心距不应小于 40m。

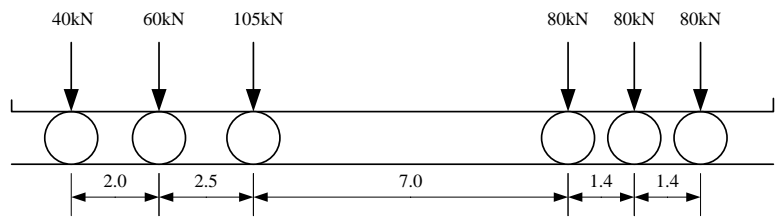


图 5 疲劳荷载计算模型 II

- c) 疲劳荷载计算模型 III 采用单车模型，模型车轴载及分布规定如图 6 所示。

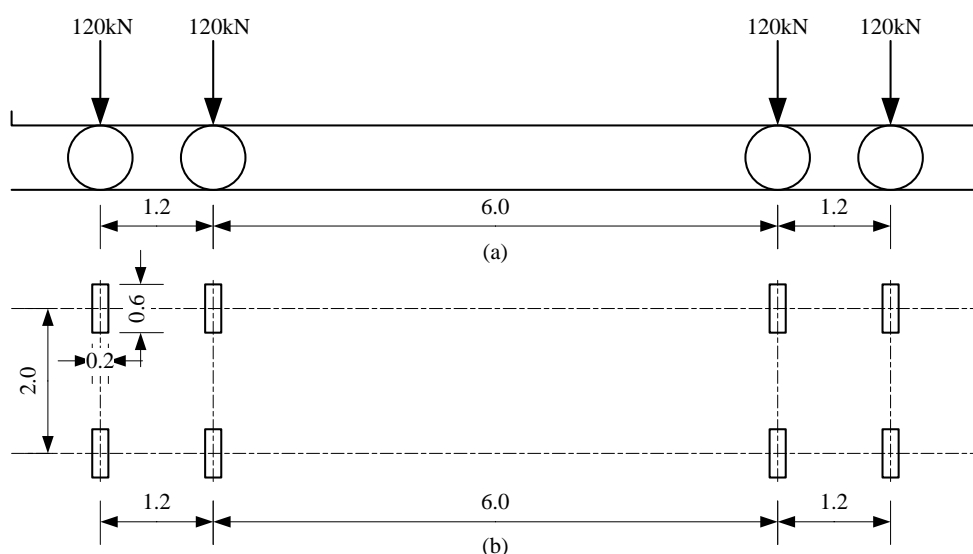


图6 疲劳荷载模型 III

- d) 当构件和连接不满足疲劳荷载模型 I 验算要求时, 应按模型 II 验算。
e) 桥面系构件应采用疲劳荷载计算模型 III 验算。

7.4.3 验算伸缩缝附近构件时, 疲劳荷载应乘以额外的放大系数, 放大系数应按式 (7-2) 取值。

$$\Delta\phi = \begin{cases} 0.3(1 - \frac{D}{6}) & D \leq 6 \\ 0 & D > 6 \end{cases} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

D ——验算截面到伸缩缝的距离 (m)。

$\Delta\phi$ ——放大系数

7.4.4 采用疲劳荷载计算模型 I 时应按以下公式验算:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_p \leq 0.74 k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (23)$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_p \leq 0.45 \Delta\tau_c / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (24)$$

$$\Delta\sigma_p = (1 + \Delta\phi)(\sigma_{p\max} - \sigma_{p\min}) \dots\dots\dots (25)$$

$$\Delta\tau_p = (1 + \Delta\phi)(\tau_{p\max} - \tau_{p\min}) \dots\dots\dots (26)$$

式中:

γ_{Ff} ——疲劳荷载分项系数, 取1.0;

γ_{Mf} ——疲劳抗力分项系数, 对重要构件取1.35, 对次要构件取1.15;

k_s ——尺寸效应折减系数，按JTG D64-2015的附录C表C.0.1~C.0.8中给出的公式计算。未说明时，

取 $k_s=1.0$ ；

$\Delta\sigma_p$ 、 $\Delta\tau_p$ ——按疲劳荷载计算模型I计算得到的正应力幅与剪应力幅（MPa）；

$\Delta\phi$ ——放大系数，按7.4.3条的规定取值；

$\Delta\sigma_C$ 、 $\Delta\tau_C$ ——疲劳细节类别（MPa），为对应于2 000 000次常幅疲劳循环的疲劳应力强度；

根据JTG D64-2015的附录C和图7、图8取用；

$\sigma_{p\max}$ 、 $\sigma_{p\min}$ ——将疲劳荷载模型按最不利情况加载于影响线得出的最大和最小正应力（MPa）；

$\tau_{p\max}$ 、 $\tau_{p\min}$ ——将疲劳荷载模型按最不利情况加载于影响线得出的最大和最小剪应力（MPa）。

7.4.5 采用疲劳荷载计算模型 II 时应按以下公式验算：

$$\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E2} \leq k_s\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (27)$$

$$\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E2} \leq \Delta\tau_C / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (28)$$

$$\Delta\sigma_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\sigma_{p\max} - \sigma_{p\min}) \dots\dots\dots (29)$$

$$\Delta\tau_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\tau_{p\max} - \tau_{p\min}) \dots\dots\dots (30)$$

式中：

$\Delta\sigma_C$ 、 $\Delta\tau_C$ ——疲劳细节类别（MPa），为对应于2 000 000次常幅疲劳循环的疲劳应力强度；

根据JTG D64-2015的附录C和图7、图8取用；

$\Delta\sigma_{E2}$ 、 $\Delta\tau_{E2}$ ——按疲劳荷载计算模型II计算并考虑损伤等效系数得到的应力幅（MPa）；

γ ——损伤等效系数， $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_4$ ，且 $\gamma \leq \gamma_{\max}$ ，其中 γ_1 ， γ_2 ， γ_3 ， γ_4 ， γ_{\max} 按JTG D64-2015的附录D计算；

7.4.6 采用疲劳荷载计算模型 III 时应按以下公式验算：

$$\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E2} \leq k_s\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (31)$$

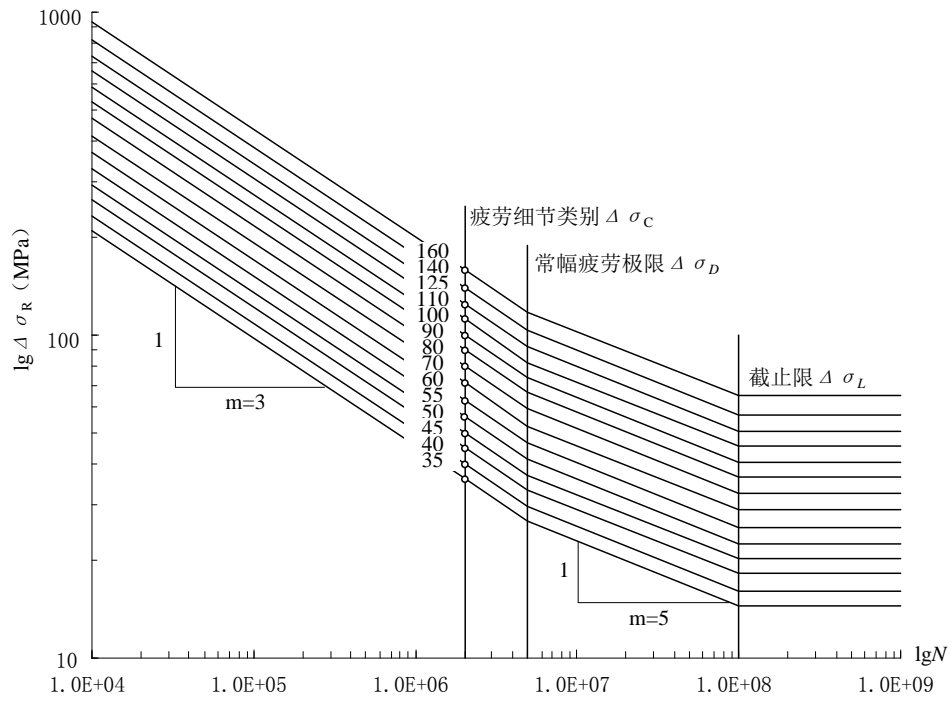
$$\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E2} \leq \Delta\tau_C / \gamma_{Mf} \dots\dots\dots (32)$$

$$\left(\frac{\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E2}}{k_s\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1.0 \dots\dots\dots (33)$$

$$\Delta\sigma_{E2} = (1 + \Delta\phi)\gamma(\sigma_{p\max} - \sigma_{p\min}) \dots\dots\dots (34)$$

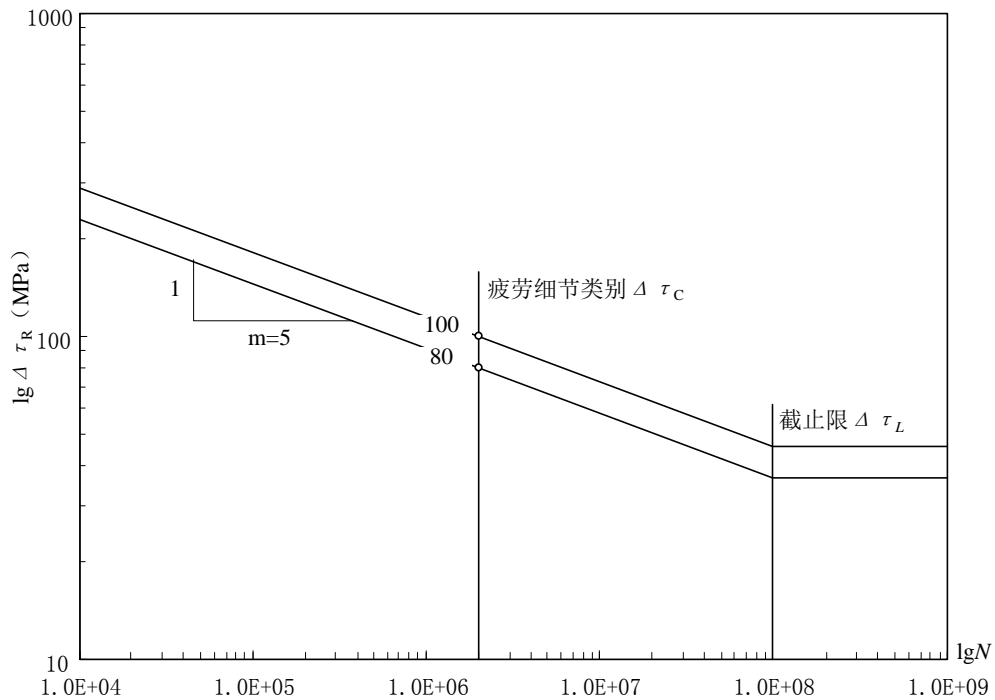
$$\Delta\tau_{E2} = (1 + \Delta\varphi)\gamma(\tau_{p\max} - \tau_{p\min}) \dots\dots\dots (35)$$

7.4.7 疲劳强度应按图 7 和图 8 中的曲线取用。疲劳细分类节按 JTG D64 规定选用。



注：标识细节类别的数字代表 2.0×10^6 次循环疲劳强度的参考值 $\Delta\sigma_C$ (MPa)。

图 7 正应力幅疲劳强度曲线



注：标识细节类别的数字代表 2.0×10^6 次循环疲劳强度的参考值 $\Delta\tau_C$ (MPa)。

图 8 剪应力幅疲劳强度曲线

7.4.8 对非焊接构件以及消除残余应力后的焊接构件，当疲劳荷载为拉-压循环时， $\sigma_{p\min}$ 应按 0.6 倍折减， $\Delta\sigma_p$ 应按下式计算：

$$\Delta\sigma_p = \sigma_{p\max} + 0.6|\sigma_{p\min}| \dots\dots\dots (36)$$

7.5 倾覆稳定计算

7.5.1 上部结构采用整体式截面的梁桥在持久状况下结构体系不应发生改变，并按下列规定验算横桥向抗倾覆性能：

- a) 在作用基本组合下，单向受压支座始终保持受压状态。
- b) 当桥梁整联单向受压支座的支承反力符合下式要求时，可以省略倾覆稳定计算：

$$\gamma_0 \frac{\sum_{i=1}^m R_{Gik}}{\left[R_{Q1k}^- + \sum_{j=2}^n R_{Qjk}^- \right]} \geq 2.5 \dots\dots\dots (37)$$

式中：

γ_0 ——结构重要性系数，取 1.1；

R_{Gik} ——第 i 个永久作用效应的支座反力标准值；

R_{Q1k}^- ——汽车荷载效应（含冲击力、离心力）的支座负反力标准值；

R_{Qjk}^- ——除汽车荷载外的其它可变作用效应的支座负反力标准值；

- c) 当整联单向受压支座支承反力不满足本条第 2 款的要求时，应按下列要求进行倾覆稳定计算：

$$\frac{\sum S_{bk,i}}{\sum S_{sk,i}} \geq k_{qf} \dots\dots\dots (38)$$

式中：

k_{qf} ——横向抗倾覆稳定性系数，取 $k_{qf}=2.5$ ；

$\sum S_{bk,i}$ ——使上部结构稳定的作用基本组合（分项系数均为 1.0）的效应设计值；

$\sum S_{sk,i}$ ——使上部结构失稳的作用基本组合（分项系数均为 1.0）的效应设计值。

7.6 正常使用极限状态计算

7.6.1 组合梁计算竖向挠度值不应超过表 17 规定的限值。

表 17 竖向挠度限值

桥梁结构形式	限值
简支或连续桁架	$\frac{l}{500}$
简支或连续板梁	$\frac{l}{500}$
梁的悬臂端部	$\frac{l_1}{300}$
注：a) 表中 l 为计算跨径， l_1 为悬臂长度。 b) 当荷载作用于一个跨径内有可能引起该跨正负挠度时，计算挠度应为正负挠度绝对值之和。 c) 挠度按毛截面计算。	

7.6.2 组合梁的变形计算应符合以下规定：

- 计算竖向挠度时，采用不计冲击力的汽车车道荷载频遇值，频遇值系数为 1.0。
- 计算组合梁正常使用极限状态下的挠度时，连续组合梁应考虑混凝土开裂影响，中支 d 点两侧 $0.15l$ 范围以外区段的组合梁截面按未开裂截面刚度计算，中支座两侧 $0.15l$ 范围以内区段的组合梁截面按开裂截面刚度。

7.6.3 土板的最大裂缝宽度应按 TG D62 的相关规定进行计算，并应满足相应的限值要求。

8 总体设计

8.1 结构形式

8.1.1 组合梁桥的结构形式应按适用、安全、经济、耐久、美观以及便于施工和养护的设计原则合理选用。

8.1.2 组合梁桥可采用简支梁桥和连续梁桥结构形式。跨径较小简支组合梁桥可采用桥面连续或铺装连续。桥面连续处应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算。铺装连续处应满足梁端变形、正常使用和排水的要求。

8.1.3 组合梁桥可采用多钢板梁、双钢板梁、槽形钢梁和钢箱梁等钢梁与混凝土桥面板组成的组合梁主梁结构形式。对于槽形钢梁和钢箱梁的组合梁箱梁应设置排水孔排除箱梁积水，或者完成封闭防止箱梁内积水。常用组合梁桥截面形式见图 9。

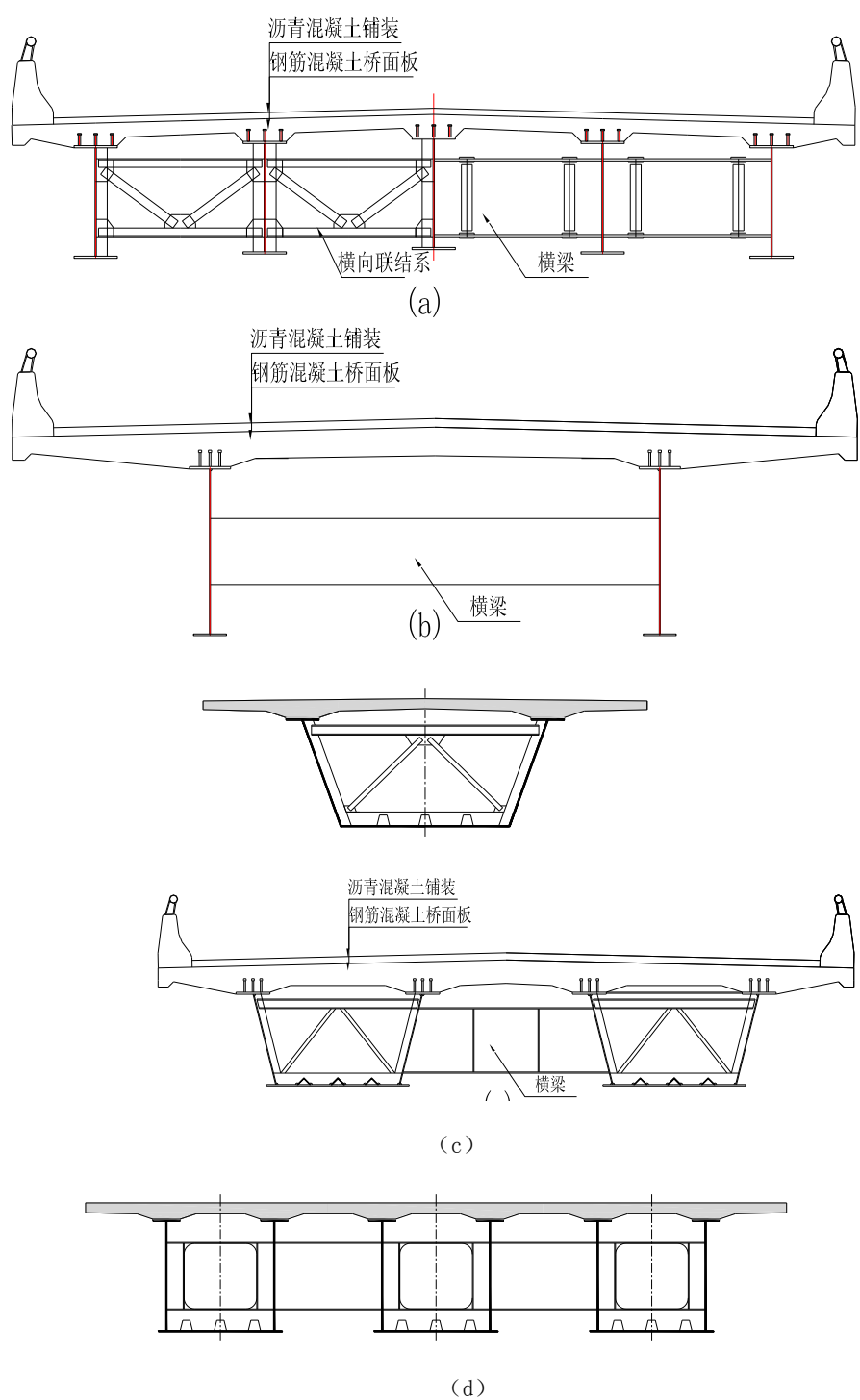


图9 组合梁桥截面形式

8.2 结构布置

8.2.1 横断面布置

8.2.1.1 主梁根数与间距的布置应综合考虑主梁结构体系和桥面结构受力的影响,便于施工和养护。

8.2.1.2 钢筋混凝土桥面板的工形截面钢板组合梁的主梁间距以 2.5m~4.2m 为宜，桥面板悬臂长度不宜大于 2.0m。

8.2.1.3 钢筋混凝土桥面板的槽形钢梁和钢箱梁组合梁桥箱宽以 1.6m~4.2m 为宜，桥面板悬臂长度不宜大于 2.0m。。

8.2.1.4 采用陆路运输的槽形钢梁和钢箱梁组合梁桥的钢梁宽度不应大于 4.2m。采用水路运输和陆路运输不受宽度限制时，槽形钢梁和钢箱梁的宽度由结构受力合理性和运输吊装条件确定。

8.2.2 联结系布置

8.2.2.1 组合梁桥联结系布置应满足施工阶段和使用阶段结构整体稳定性、荷载横向分布、支点反力的传递、水平力作用下的侧向受力以及钢结构制作安装定位等多方面要求，结构应便于制作安装和养护，并且受力合理。

8.2.2.2 主梁支点处应布置横梁和横隔板，并且设置更换支座等的支座顶升加劲结构。

8.2.2.3 工形钢梁组合梁跨间中横梁不宜少于 3 根，横梁间距以 4m~10m 为宜，且不应大于受压翼缘宽度的 30 倍。

8.2.2.4 组合梁横向联结可采用实腹式结构（如工形梁，图 10-a）或桁架式结构（图 10-b）。桁架式结构的弦杆与斜腹杆的夹角不宜小于 30 度或大于 60 度。

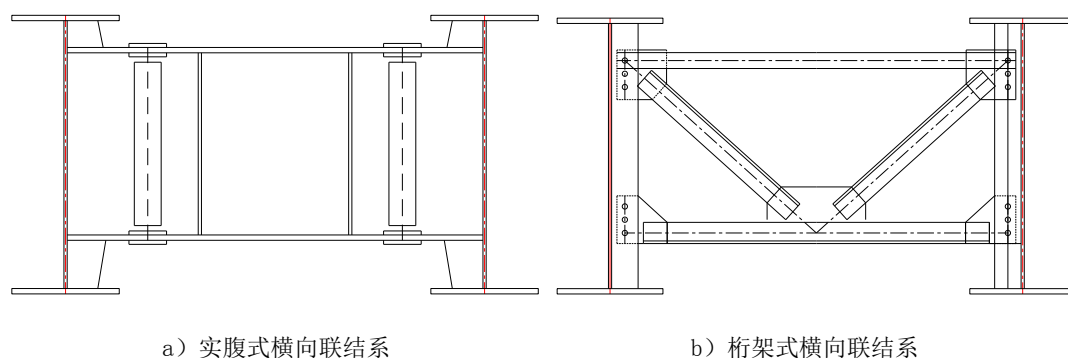


图 10 钢板组合梁横向联结系

8.2.2.5 槽形钢梁和钢箱组合梁可采用桁架式、框架式和实腹式横隔板，如图 11。

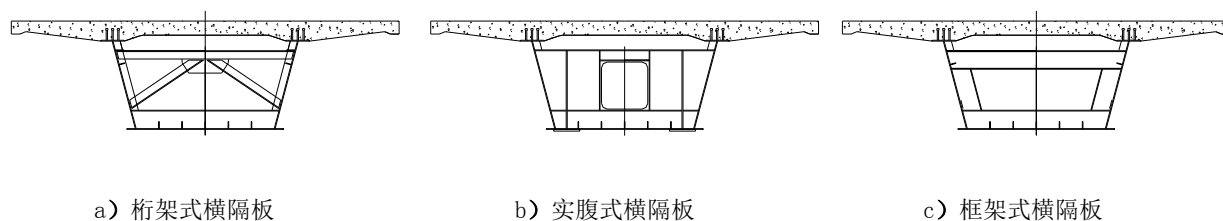


图 11 钢箱组合梁横隔板

8.2.2.6 工形钢梁组合梁外侧钢梁间和支点处应设置纵向联结系结构,上平联设置于上翼缘附近的腹板,下平联设置于下翼缘附近的腹板。施工阶段可以满足整体稳定受力要求时,可以省略下平联。施工阶段和使用阶段均可以满足整体稳定受力要求时,上平联和下平联均可省略。

8.2.2.7 纵向联结系可采用如图 12 所示结构形式,桁架式结构。纵向联结系与主梁或横梁的夹角不宜小于 30 度或大于 60 度。

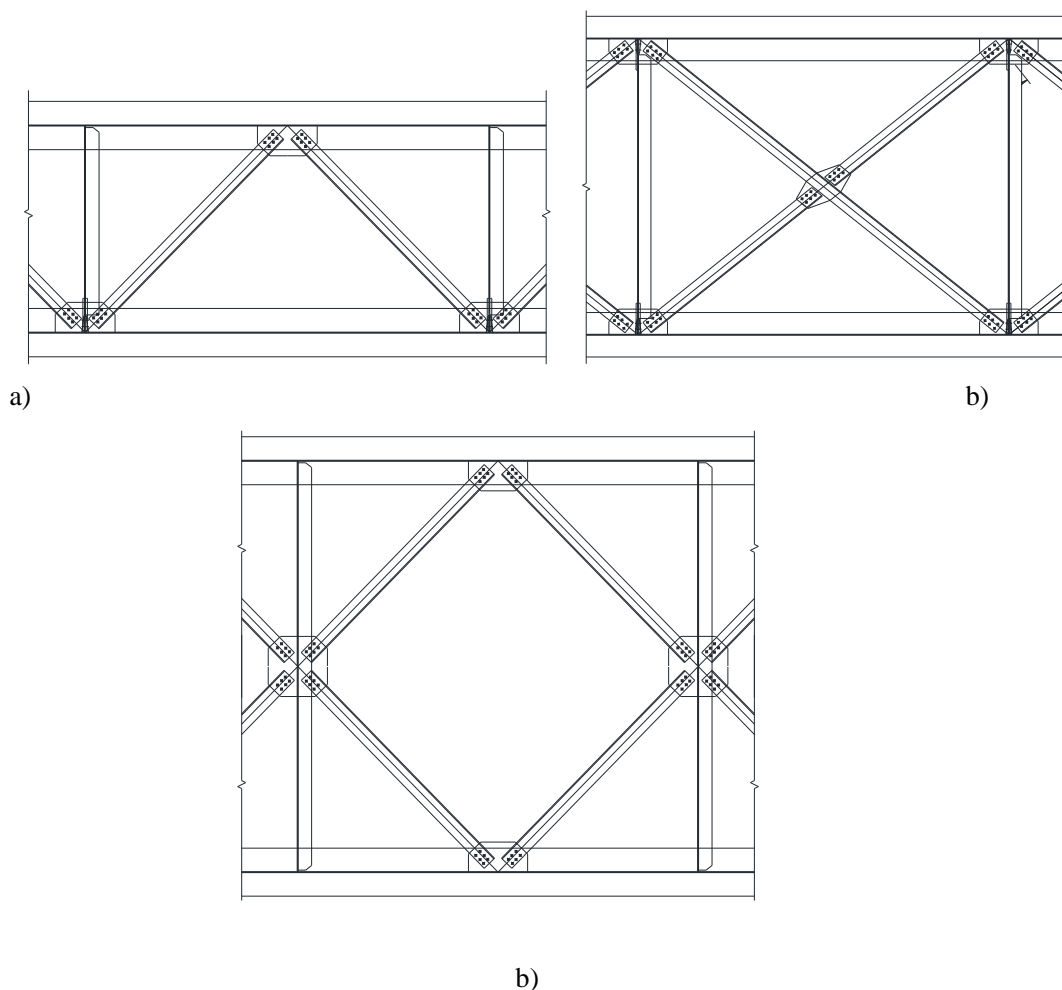


图 12 纵向联结系

8.3 连续组合梁桥负弯矩区措施

8.3.1 应采取有效措施控制连续组合梁桥负弯矩区混凝土桥面板裂缝宽度或防止混凝土开裂。

8.3.2 以下措施可单独或组合使用:

- 正常使用极限状态下的钢筋混凝土桥面板钢筋应力不大于 140MPa;
- 在混凝土板与钢梁没有结合之前对混凝土板施加预应力,然后将预应力混凝土板与钢梁组合。
- 在中支点负弯矩范围内的钢梁底板处增设混凝土板,使得混凝土与钢梁底板形成组合板。

- d) 钢梁施工完后，首先浇注正弯矩区段混凝土和施加一定的临时荷载，使得支点附近钢梁负弯矩区段产生足够的预应力，然后在预应力状态下浇注负弯矩区段混凝土，混凝土达到设计强度后，撤去临时荷载。
- e) 在钢梁架设后（图 13 a），将中间支点抬高（图 13 b），接着浇注桥面板混凝土，待其硬化后（图 13 c），将中间支点下降（图 13 d）。

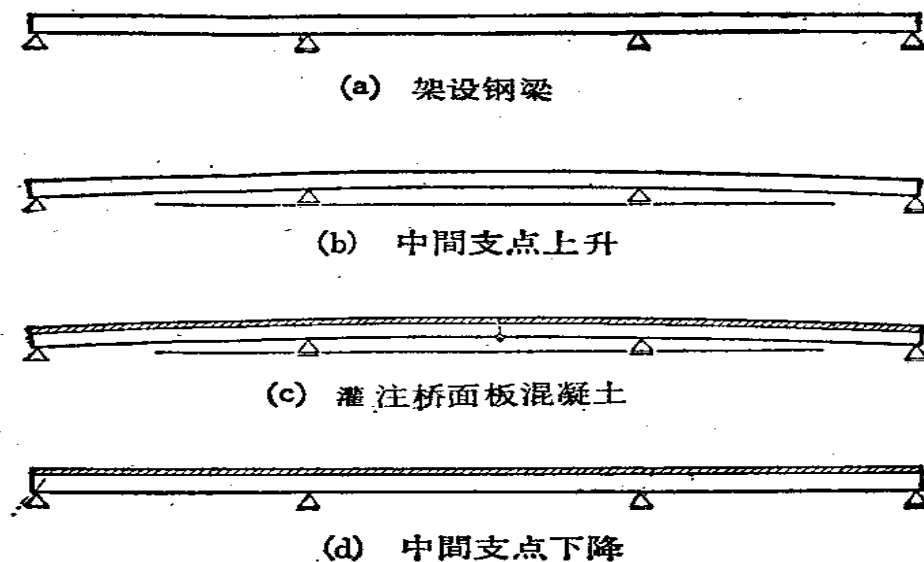


图 13 顶升支点法施工顺序

- f) 对组合梁可施加体内或体外预应力，如图 14 所示。

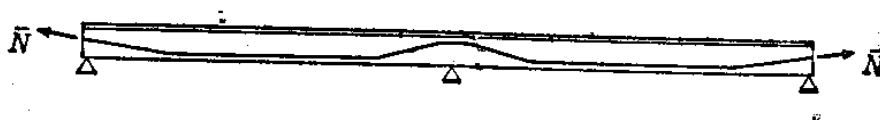


图 14 施加预应力

8.3.3 应采取有效防水措施阻止水渗入桥面板混凝土内。

9 钢结构设计

9.1 主梁

9.1.1 主梁梁高

简支组合梁桥的合理梁高 h 为 $L/15 \sim L/25$ (L 为跨径)，连续组合梁桥的梁高 h 可以适当减小为 $L/20 \sim L/30$ 。

9.1.2 工形钢主梁翼缘板应满足以下要求：

- a) 不与混凝土桥面板组合的受压翼缘的自由伸出肢宽不应大于其厚度的 12 倍,受拉翼缘的伸出肢宽不应大于其厚度的 16 倍。
- b) 与混凝土桥面板组合的翼缘自由伸出肢宽不应大于其厚度的 16 倍。
- c) 最小板厚不小于 12mm。

9.1.3 槽形钢主梁底板和钢箱梁顶底板应满足以下要求:

- a) 受拉顶板或底板宽度大于厚度的 80 倍时应设置加劲肋,加劲肋宜等间距布置,间距不应大于顶板或底板厚度的 80 倍。
- b) 受压顶底板宽度大于厚度的 40 倍时应设置加劲肋,加劲肋宜等间距布置,间距不宜大于顶板或底板厚度的 40 倍。
- c) 最小板厚不小于 10mm。
- d) 受压顶底板的加劲肋几何尺寸(见图 15)应满足以下要求:

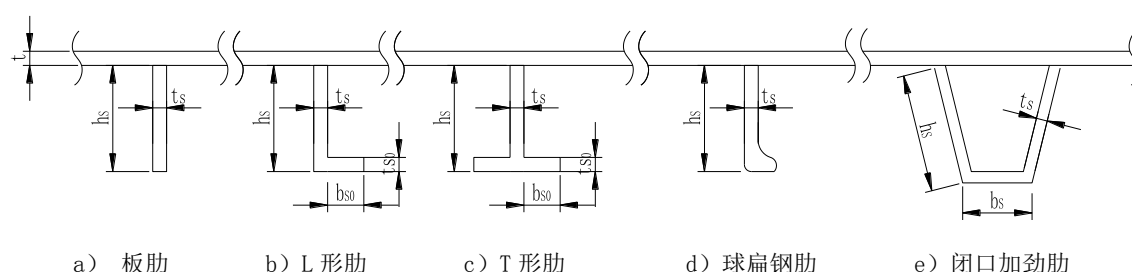


图 15 加劲肋尺寸符号

- 1) 板肋的宽厚比应满足下式要求:

$$\frac{h_s}{t_s} \leq 12 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (39)$$

- 2) L 形、T 形钢加劲肋的尺寸比例应满足下式要求:

$$\frac{b_{s0}}{t_{s0}} \leq 12 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (40)$$

$$\frac{h_s}{t_s} \leq 30 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (41)$$

- 3) 符合 GB/T 9945 的球扁钢加劲尺寸比例应满足下式要求:

$$\frac{h_s}{t_s} \leq 18 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (42)$$

- 4) 闭口加劲肋的尺寸比例应满足下式要求:

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 30 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (43)$$

$$\frac{h_s}{t_s} \leq 40 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (44)$$

e) 受拉顶板或底板的加劲肋几何尺寸 (图 15) 应满足以下要求:

1) 板肋的宽厚比应满足下式要求:

$$\frac{h_s}{t_s} \leq 16 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (45)$$

2) L 形、T 形钢加劲肋的尺寸比例应满足下式要求:

$$\frac{b_{s0}}{t_{s0}} \leq 16 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (46)$$

$$\frac{h_s}{t_s} \leq 40 \sqrt{\frac{345}{f_y}} \dots\dots\dots (47)$$

f) 受压加劲板设计应满足以下要求:

- 1) 受压加劲板宜采用刚性加劲肋, 构造布置困难或受力较小时可用柔性加劲肋。
- 2) 受压加劲板的刚性加劲肋, 其纵、横向加劲肋的相对刚度应满足以下要求:

$$\gamma_l \geq \gamma_l^* \dots\dots\dots (48)$$

$$A_{s,l} \geq \frac{bt}{10n} \dots\dots\dots (49)$$

$$\gamma_t \geq \frac{1+n\gamma_l^*}{4(a_t/b)^3} \dots\dots\dots (50)$$

$$\begin{cases} \gamma_l^* = \frac{1}{n} \left[4n^2 (1+n\delta_l) \alpha^2 - (\alpha^2 + 1)^2 \right], & (\alpha \leq \alpha_0) \\ \gamma_l^* = \frac{1}{n} \left[\{ 2n^2 (1+n\delta_l) - 1 \}^2 - 1 \right], & (\alpha > \alpha_0) \end{cases} \dots\dots\dots (51)$$

$$\alpha_0 = \sqrt[4]{1+n\gamma_l} \dots\dots\dots (52)$$

$$\gamma_l = \frac{EI_l}{bD} \dots\dots\dots (53)$$

$$\gamma_t = \frac{EI_t}{aD} \dots\dots\dots (54)$$

$$\delta_l = A_{s,l}/bt \dots\dots\dots (55)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots (56)$$

式中：

- γ_l ——纵向加劲肋的相对刚度，；
- γ_t ——横向加劲肋的相对刚度，；
- I_l ——单根纵向加劲肋对加劲板Y-Y轴的抗弯惯矩，如图17；
- I_t ——单根横向加劲肋对加劲板Y-Y轴的抗弯惯矩，如图17；
- t ——被加劲板的厚宽；
- a ——加劲板的计算长度（横隔板或刚性横向加劲肋的间距），如图16；
- b ——加劲板的计算宽度（腹板或刚性纵向加劲肋的间距），如图16；
- a_t ——横向加劲肋的间距，如图16；
- α ——加劲板的长宽比 $\alpha=a/b$ ；
- δ_l ——单根纵向加劲肋的截面面积与被加劲板的面积之比；
- $A_{s,l}$ ——单根纵向加劲肋的截面面积；
- D ——被加劲板单宽板刚度；
- n_l ——等间距布置纵向加劲肋根数， $n=n_l+1$ ；

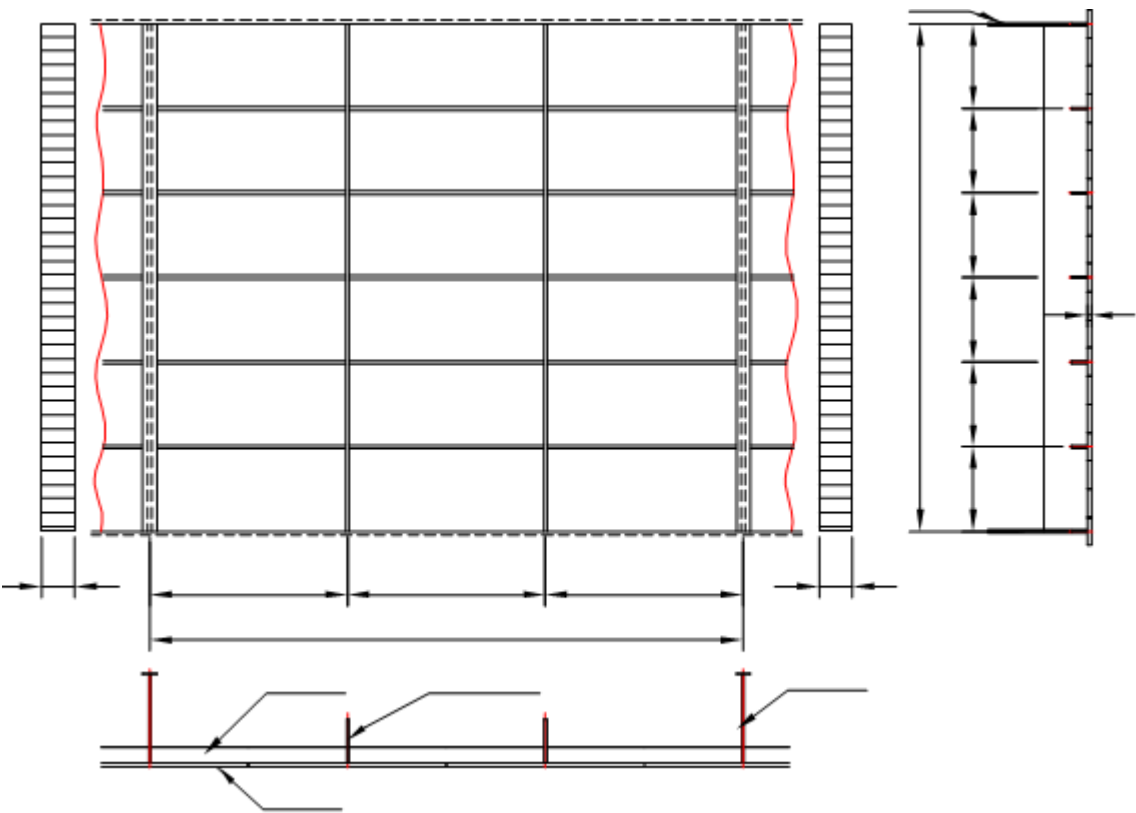
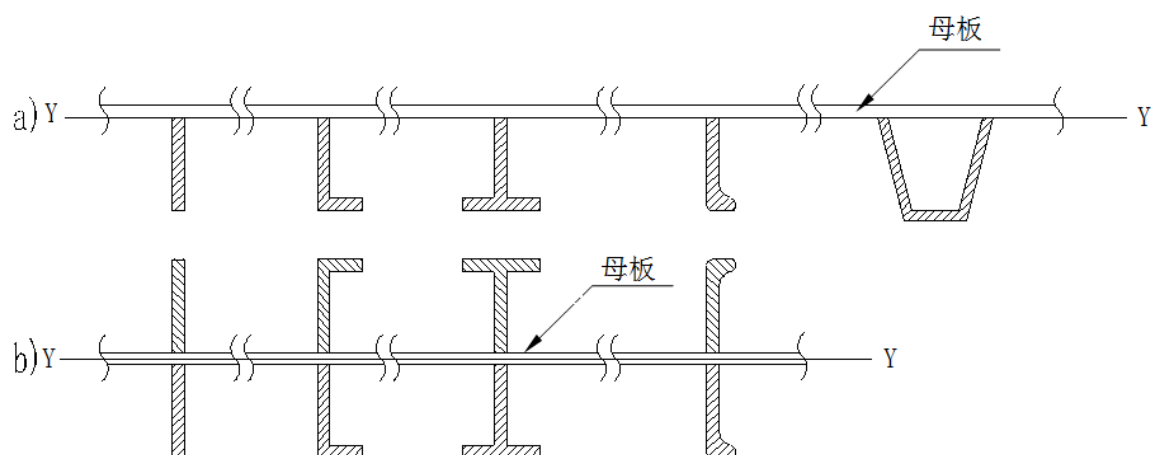


图 16 加劲板示意图



a) 单侧加劲肋的 Y-Y 轴位于加劲肋与被加劲板焊缝处 b) 双侧加劲肋的 Y-Y 轴位于被加劲板中心处

图 17 计算加劲肋抗弯惯矩的中性轴位置 Y-Y

9.1.4 腹板和腹板加劲肋应满足以下要求。

a) 腹板最小厚度应满足表 18 的要求，并且最小板厚不小于 9mm。

表 18 腹板最小厚度

构造形式	钢材品种		备注
	Q235	Q345	
不设横向加劲肋及纵向加劲肋时	$\frac{\eta h_w}{70}$	$\frac{\eta h_w}{60}$	
仅设横向加劲肋，但不设纵向加劲肋时	$\frac{\eta h_w}{160}$	$\frac{\eta h_w}{140}$	
设横向加劲肋和 1 段纵向加劲肋时	$\frac{\eta h_w}{280}$	$\frac{\eta h_w}{240}$	纵向加劲肋位于距受压翼缘 (0.2~0.25) h_w 附近，见图 9-4
设横向加劲肋和 2 段纵向加劲肋时	$\frac{\eta h_w}{310}$	$\frac{\eta h_w}{310}$	纵向加劲肋位于距受压翼缘 (0.14~0.2) h_w 和 (0.35~0.4) h_w 附近，见图 9-4
<p>注：a) h_w 为腹板计算高度，对焊接梁为腹板的全高，对铆接梁为上、下翼缘角钢内排铆钉线的间距；</p> <p>b) η 为折减系数，$\eta = \sqrt{\frac{\tau}{f_{vd}}}$，但不应小于 0.85。$\tau$ 为基本组合下的腹板剪应力。</p>			

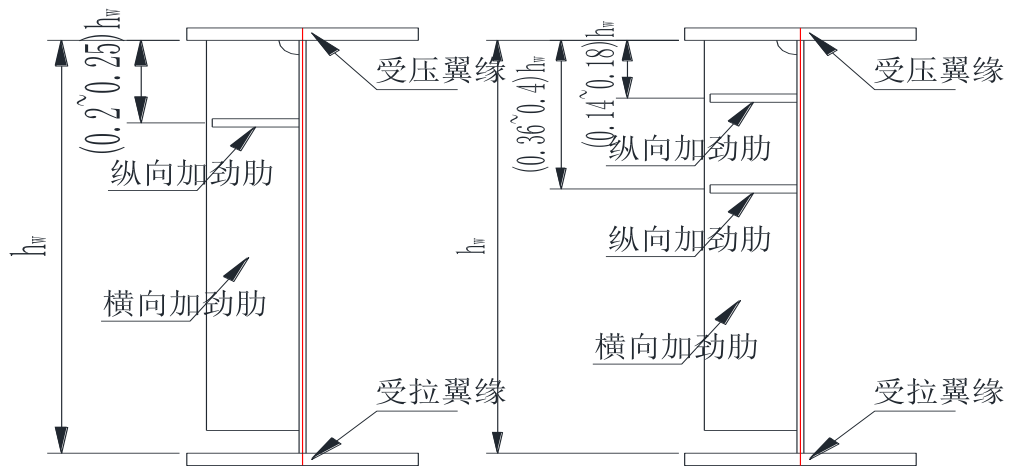


图 18 腹板加劲肋示意图

- b) 当需要设置横向加劲肋时，邻近支点的第一根加劲肋至支点的间距不大于腹板高度的 1/2，其余横向加劲肋间距 a 不应大于腹板高度 h_w 的 1.5 倍，并应满足下式要求：

$$a \leq \frac{1100t_w}{\sqrt{\tau}} \dots\dots\dots (57)$$

- 式中：
 a ——竖向加劲肋的间距，以 mm 计；
 t_w ——腹板的厚度，以mm计；
 τ ——作用基本组合下验算截面处的腹板平均剪应力，以MPa计。
c) 腹板横向加劲肋惯性矩应满足下式要求：

$$I_t \geq 3h_w t_w^3 \dots\dots\dots (58)$$

- 式中：
 I_t ——单侧设置横向加劲肋时，加劲肋对于与腹板连接线的惯性矩；双侧对称设置横向加劲肋时，加劲肋对于腹板中心线的惯性矩。

- d) 腹板纵向加劲肋惯性矩应满足以下要求：

$$I_l = \xi_l h_w t_w^3 \dots\dots\dots (59)$$

$$\xi_l = \max \left\{ 1.5 \quad , \quad (a/h_w)^2 [2.5 - 0.45(a/h_w)] \right\} \dots\dots\dots (60)$$

- 式中：
 I_l ——单侧设置纵向加劲肋时，加劲肋对腹板与加劲肋连接线的惯性矩；双侧对称设置纵向加劲肋时，加劲肋对腹板中心线的惯性矩；

9.1.5 支承加劲肋应满足以下要求：

$$\gamma_0 \frac{R_V}{A_s + B_{eb} t_w} \leq f_{cd} \dots\dots\dots (61)$$

$$\gamma_0 \frac{2R_V}{A_s + B_{ev} t_w} \leq f_d \dots\dots\dots (62)$$

式中:

R_V ——支座反力设计值;

A_s ——支承加劲肋面积之和;

t_w ——腹板厚度;

B_{eb} ——腹板局部承压有效计算宽度;

$$B_{eb} = B + 2(t_f + t_b) \dots\dots\dots (63)$$

B ——上支座宽度;

t_f ——下翼板厚度;

t_b ——支座垫板厚度;

B_{ev} ——如图19和图20所示,按式(9-26)计算的腹板有效宽度。当设置一对支承加劲肋并且加劲

肋距梁端距离不小于12倍腹板厚时,有效计算宽度按24倍腹板厚计算;设置多对支承加劲肋时,按每对支承加劲肋求得的有效计算宽度之和计算,但相邻支承加劲肋之间的腹板有效计算宽度不应大于加劲肋间距。

$$\begin{cases} B_{ev} = (n_s - 1)b_s + 24t_w & (b_s < 24t_w) \\ B_{ev} = 24n_s t_w & (b_s \geq 24t_w) \end{cases} \dots\dots\dots (64)$$

式中:

n_s ——支承加劲肋对数;

b_s ——支承加劲肋间距。

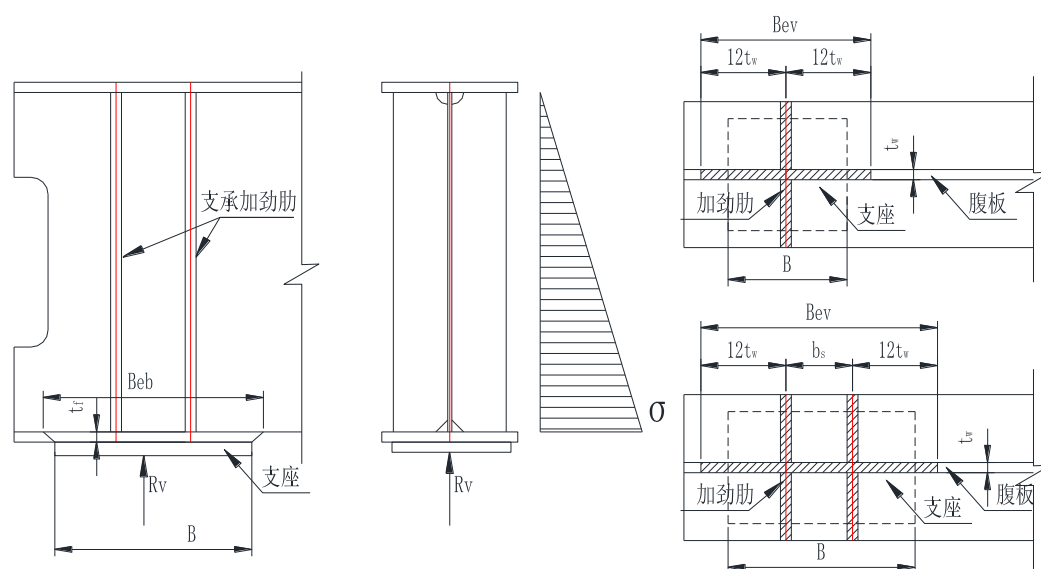


图 19 钢板梁支承加劲肋的腹板有效计算宽度

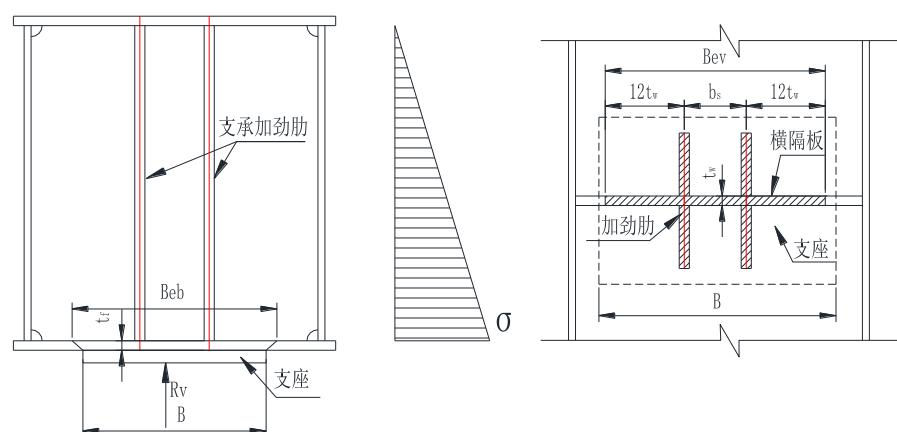


图 20 槽形梁和钢箱梁支承加劲肋的横隔板有效计算宽度

9.1.6 主梁的截面变化

- 应根据弯矩的大小，宜采用改变翼缘板板厚和宽度的方法调整主梁截面，相邻截面的板厚差不小于 2mm。
- 不同截面梁段控制截面的应力之差不宜大于钢材设计强度的 25%，应力差很大时宜改变板厚，但是最小板件长度不宜小于 3m。

9.1.7 主梁连接

- a) 主梁顶板、底板以及腹板的工厂拼接应采用 I 级熔透焊焊接，工地连接可采用高强螺栓或 I 级熔透焊。
- b) 主梁顶底板与腹板焊缝可采用角焊缝、部分熔透焊或质量不低于 II 级的熔透焊焊接。
- c) 支点处加劲肋与底板应采用 I 级熔透焊焊接；其余加劲肋与顶底板或腹板的连接可采用角焊缝、部分熔透焊或质量不低于 II 级的熔透焊。
- d) 高强螺栓与焊接的混合连接，应先焊接然后进行高强螺栓的终拧。

9.2 横向联结系与纵向联结系

9.2.1 横向联结系应满足以下要求：

- a) 梁端横向联结系顶面宜与主梁同高，并采用剪力连接件与混凝土桥面板连接。当梁端横向联结系与主梁不同高时，应对梁端混凝土桥面板进行加强。
- b) 跨间横向联结系不宜与受拉翼缘焊接。横向联结系与受拉翼缘必须焊接时，应采取有效措施减小连接处应力集中，避免连接处出现疲劳控制设计。
- c) 应避免采用横梁与主梁腹板直接焊接的工地连接形式。
- d) 工形钢板梁腹板两侧的横梁顶底板应对齐；槽形钢梁和钢箱的横梁顶底板应与横隔板的加劲肋对齐。
- e) 横梁顶底板与主梁焊接时，应采用 I 级熔透焊；横梁腹板与主梁焊接时，可采用的角焊缝、部分熔透焊或质量不低于 II 级的熔透焊。

9.2.2 纵向联结系应满足以下要求：

- a) 在纵向联结系与主梁腹板连接处，主梁腹板应设置加劲肋提高主梁腹板抵抗面外局部荷载作用的能力。
- b) 纵向联结系杆件相互交叉时，交叉处一般做成相互连接的结构形式。角钢或 T 形钢纵向联结的突
- c) 出肢位于同一侧时，可将其中一根杆件在连接处截断，借助拼接板将相互交叉的杆件连接在一起，如图 21 a) 所示。角钢或 T 形钢的突出肢位于不同侧时，在杆件相互交叉处设置填板，采用螺栓连接在一起，杆间连续通过，如图 22 b) 所示。

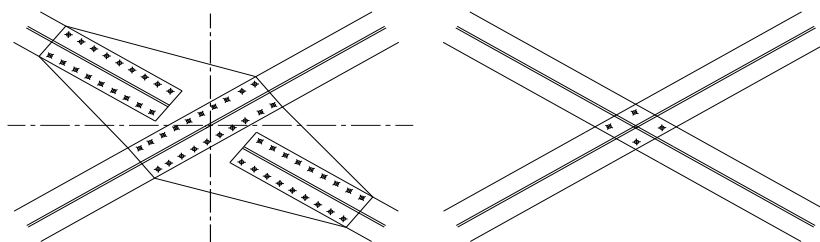


图 21 纵向联结系杆件相互交叉连接示意图

9.2.3 联结系构件长细比应小于等于表 19 规定值。

表 19 构件容许最大长细比

联结系构件	长细比
纵向联结系、支点处横向联结系和制动联结系的受压或受压-拉构件	130
中间横向联结系的受压或受压-拉构件	150
各种联结系的受拉构件	200
长细比按 JTG D64 附录 A 计算。	

9.3 横隔板

9.3.1 横隔板设置

- a) 槽形钢梁和钢箱梁在支点处必须设置横隔板，横隔板的支承加劲肋应满足本规范 9.1.3 条受压板件加劲肋的宽厚比要求和 9.1.5 条的支承加劲肋的受力要求。
- b) 跨间中间横隔板间距 L_D ，可采用下列经验公式计算：

$$\begin{cases} L_D \approx 6 & (L \leq 50) \\ L_D \leq 0.14L - 1 \text{ 且 } \leq 20 & (L > 50) \end{cases} \dots\dots\dots (65)$$

式中：
 L ——桥梁支点间计算跨径（m）。

- c) 横隔板可采用实腹式、框架式和桁架式等机构形式（如图 22 所示）。横隔板应有足够的刚度抵抗箱梁的畸变。

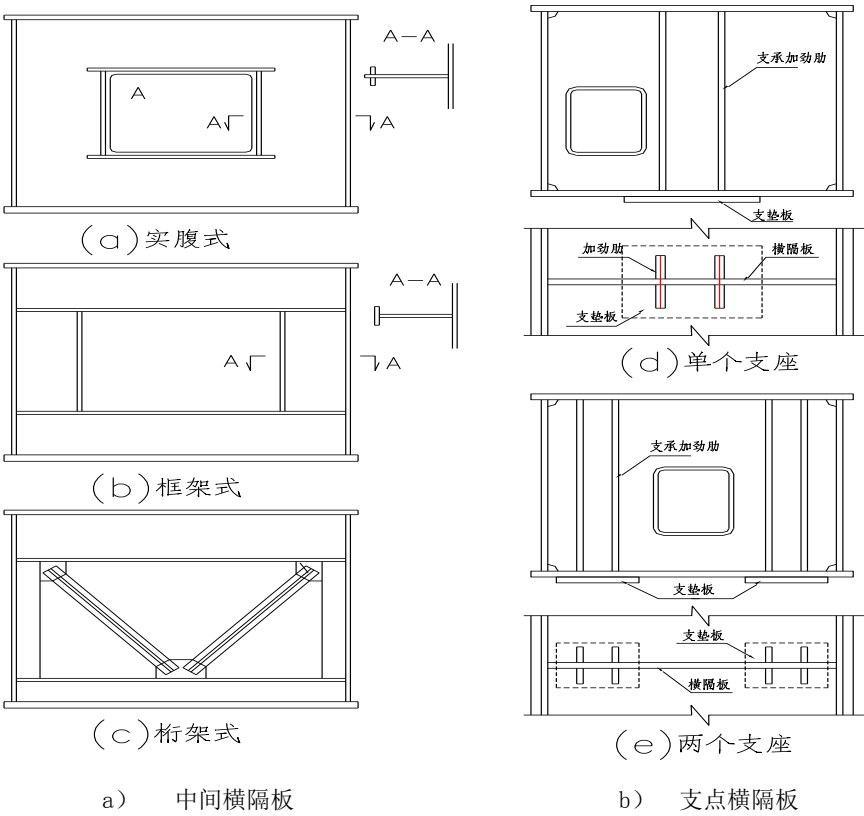


图 22 横隔板结构形式

- d) 横隔板应设置人孔，人孔宽度不宜小于 400mm，人孔高度不宜小于 600mm。支点横隔板人孔宜设置在支座范围以外的部分。

9.3.2 横隔板连接

- a) 支点处横隔板与底板焊接应采用 I 级熔透焊，横隔板与顶底板或腹板的连接可采用的角焊缝、部分熔透焊或质量不低于 II 级的熔透焊。
- b) 非支点处横隔板与顶底板或腹板的连接可采用的角焊缝、部分熔透焊或质量不低于 II 级的熔透焊。
- c) 加劲肋与横隔板可采用的角焊缝、部分熔透焊或质量不低于 II 级的熔透焊。

10 钢筋混凝土桥面板设计

10.1 结构形式

10.1.1 组合梁桥桥面板可采用现浇或预制钢筋混凝土板、预应力混凝土板、叠合混凝土板，以及钢-混凝土组合桥面板的结构形式。叠合混凝土桥面板或预制混凝土桥面板应采取有效措施保证新老混凝土有效结合。预制钢筋混凝土桥面板安装时的混凝土龄期不应小于 3 个月。

10.1.2 桥面板的跨度小于 4.2m、悬臂长度小于 2.0m 时，宜采用钢筋混凝土桥面板结构。

10.2 构造要求

10.2.1 桥面板的构造要求应符合 JTG D62 的相关规定

10.2.2 钢筋混凝土桥面板的最小厚度应满足表 20 的要求，并且车行道部分的桥面板厚度不应小于 240mm。

表 20 车行道部分钢筋混凝土桥面板的最小厚度（单位：mm）

桥面板的类型		桥面板的跨度方向	
		垂直于行车方向	平行于行车方向
简支板		40L+110	65L+130
连续板		30L+110	50L+130
悬臂板	$0<L\leq 0.25\text{m}$	280L+160	240L+130
	$L>0.25\text{m}$	80L+210	
注：L 为桥面板活载计算跨径（m）（悬臂长度）			

- a) 简支板和连续板的计算跨径 L 为沿主筋方向的支承梁间的距离，但不应大于沿主筋方向的净跨径与跨中断面的板厚之和（如图 23 a））；
- b) 悬臂板的计算跨径 L 为如图 23b）所示，计算恒载弯矩时 L 取翼缘悬臂部分的 1/2 处到悬臂端的距离；计算桥面板的跨径与行车方向垂直情况下的活载弯矩时，L 取翼缘悬臂部分的 1/2 处到距离缘石边缘 25cm 处的距离；计算桥面板的跨径与行车方向平行情况下的活载弯矩时，L 取翼缘悬臂部分的 1/2 处到距离板端 10cm 处的距离。

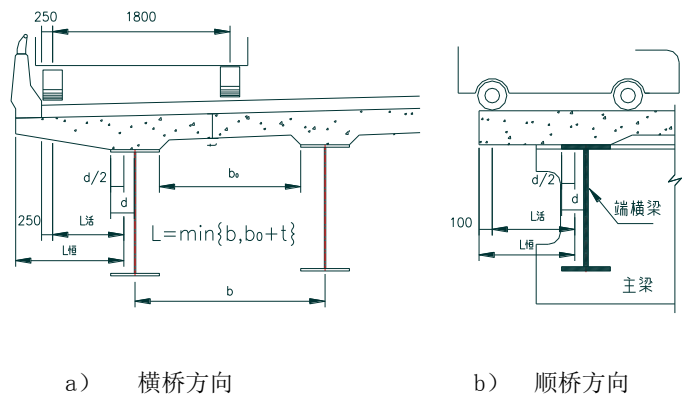


图 23 桥面板计算跨径 L (尺寸: mm)

10.2.3 当主梁间距较大时,桥面板可根据实际需要设置承托。桥面板设置承托时,其外形尺寸及构造应符合下列规定(如图 24):

- 10.2.3.1 当承托高度在 80mm 以上时,应在承托底侧布置横向加强钢筋;
- 10.2.3.2 承托边至连接件外侧的距离不应小于 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;
- 10.2.3.3 承托中横向钢筋下部水平段距钢梁上翼缘应不大于 50mm,剪力连接件抗掀起端底面高出横向钢筋的距离 h_{e0} 不应小于 30mm,横向钢筋间距不应大于 $4h_{e0}$ 且不应大于 300mm;
- 10.2.3.4 对不设承托的组合梁,桥面板中的横向钢筋也应满足本条第 3 款的构造要求。

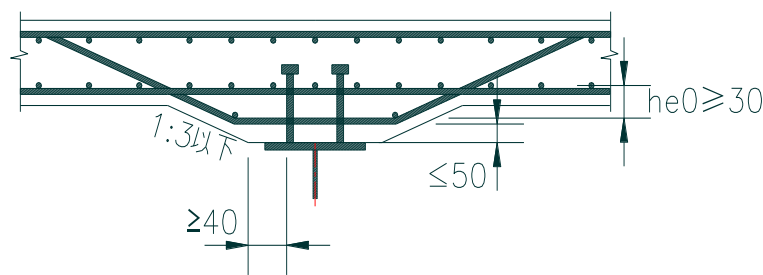


图 24 承托构造图 (单位: mm)

10.2.4 钢筋混凝土桥面板悬臂部分的截面宜采用如图 25 a) 所示的直线变化形式,并且在板底设置止水凹槽。当桥面板的悬臂部分较大时,宜在主梁外侧设置如图 25 a) 所示的悬臂梁。并且在悬臂梁的梁端设置边纵梁,边纵梁必须设置在止水凹槽的内侧。

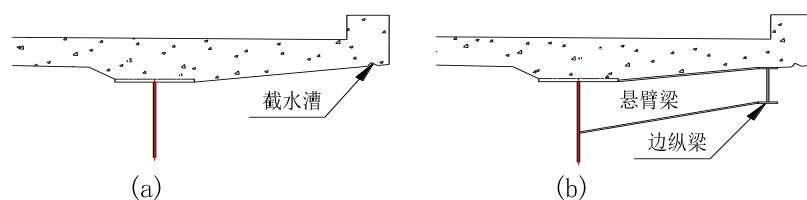


图 25 钢筋混凝土桥面板悬臂部分构造

10.2.5 主梁端部桥面板应采用以下方法之一或不同方法的组合进行加强：

- 端横梁至梁端的距离不大时，应增加梁端桥面板板厚（见图 26）、设置加强配筋；
- 端横梁至梁端的距离大于 1.8 米时，应设置端托架；
- 梁端采用钢混组合桥面板。

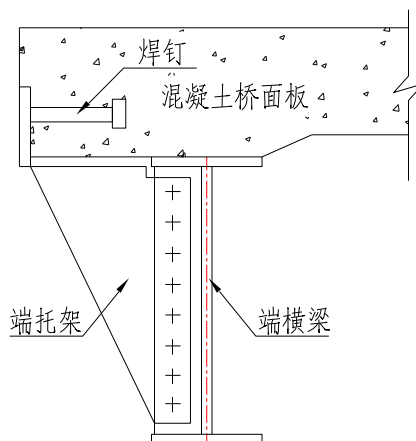


图 26 梁端桥面板厚加与端托架

10.3 配筋要求

10.3.1 钢筋混凝土桥面板应配主要受力方向的主筋、与主筋垂直或斜交的分布筋、梗肋加强筋和梁端桥面板加强筋等（图 27）。

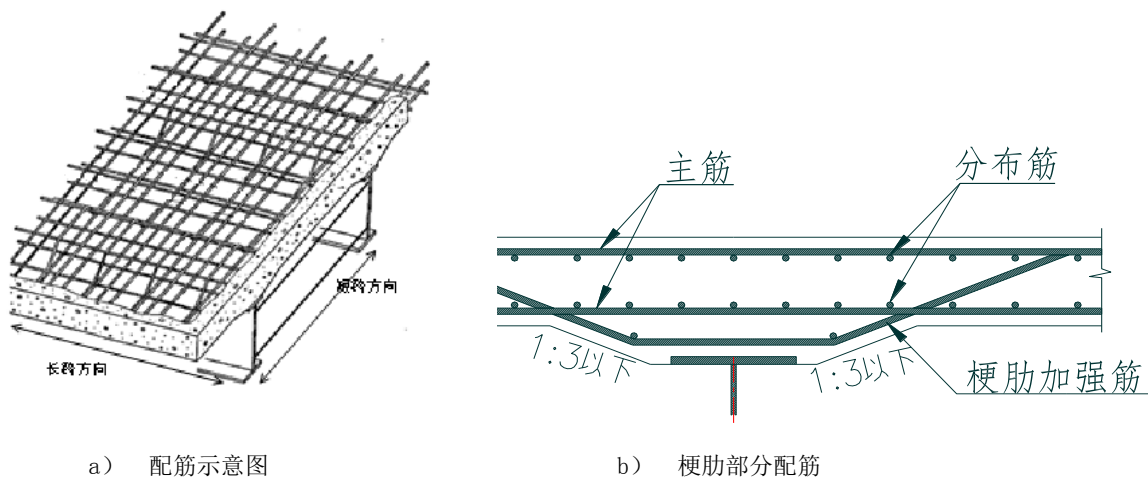


图 27 钢筋混凝土桥面板配筋示意图

10.3.2 钢筋混凝土桥面板基本组合作用下的最大钢筋应力不应大于 180MPa。

10.3.3 钢筋混凝土桥面板配筋应满足以下要求：

- a) 钢筋净保护层厚应大于 3cm；
- b) 应采用螺纹钢筋，主筋和分布钢筋直径不应小于 16mm，
- c) 主筋和分布钢筋中心间距不宜小于 10cm，且不大于 20cm；
- d) 截面内受压侧钢筋的面积不应少于受拉主筋的 1/2；
- e) 桥面板梗肋高度大于 8cm 时，梗肋内应设置直径不小于 16mm 的构造钢筋，钢筋间距不应大于桥面板下缘钢筋间距的 2 倍；
- f) 梁端桥面板无端部支承时，从梁端到 1/2 桥面板跨度范围内，桥面板横桥向钢筋用量应不小于同等跨径连续板或简支板所需主筋用量的 2 倍；
- g) 梁端悬臂部分的桥面无端横梁或端托架等支承时，梁端悬臂板的钢筋用量应不小于普通悬臂板所需钢筋用量的 2 倍。

11 剪力连接件设计

11.1 结构形式

11.1.1 常用连接件形式见图 28。钢梁与混凝土桥面板的结合应选用焊钉连接件，先结合组合梁的焊钉应连续布置，后结合预应力组合梁的焊钉可采用群钉方法间隔适当的距离集中布置。

11.1.2 槽形钢梁和钢箱梁底板与混凝土的结合，可用开孔板连接件，或者焊钉与开孔板连接件混合使用。

11.1.3 群钉连接件应考虑群钉效应对连接件承载性能的影响。

11.1.4 不同形式的连接件在同一剪切界面混合使用时，应考虑连接件不同抗剪刚度对承载性能的影响。

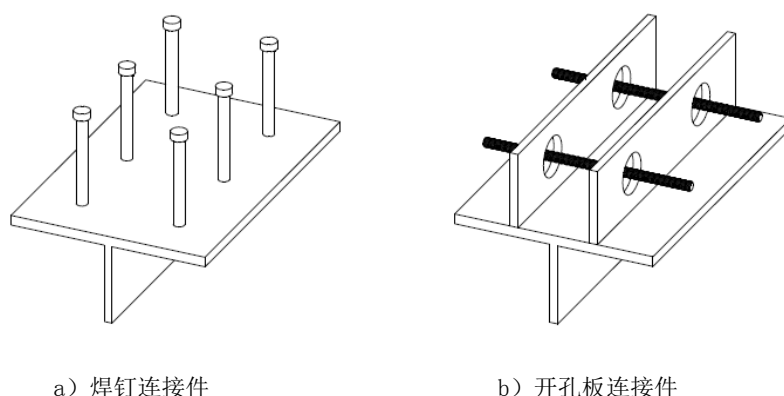


图 28 常用连接件形式

11.2 材料性能与构造要求

11.2.1 焊钉连接件的构造应符合下列要求：

- 焊钉连接件的材料、机械性能以及焊接要求应满足 GB/T 10433 的规定；
- 焊钉直径不应大于焊接处钢板厚度的 1.5 倍，焊钉长度不宜小于其直径的 5.5 倍；
- 焊钉连接件的最大中心间距不宜大于 3 倍混凝土板厚度且不宜超过 300mm；
- 焊钉连接件剪力作用方向上的间距不应小于焊钉直径的 5 倍，且不应小于 100mm；剪力作用垂直方向的间距不应小于焊钉直径的 2.5 倍，且不应小于 50mm；
- 焊钉连接件的外侧边缘与钢板边缘的距离不应小于 25mm；

- 受压钢板边缘与相邻最近的焊钉连接件边缘距离不应大于 $7t_f \sqrt{\frac{345}{f_y}}$ ；圆柱头焊钉连接件横向

间距不应大于 $18t_f \sqrt{\frac{345}{f_y}}$ ， t_f 为焊接位置处的钢板厚度。

11.2.2 开孔板连接件的构造应符合下列要求：

- 开孔板连接件多列布置时，相邻开孔板连接件的间距不宜小于开孔板高的 3 倍；
- 开孔板连接件的钢板厚度不宜小于 12mm，也不宜大于焊接处的相应钢板厚度；
- 开孔板连接件的孔径应大于孔中贯通钢筋直径与混凝土骨料最大粒径之和；
- 开孔板连接件的孔中贯通钢筋应采用带肋钢筋，其直径不宜小于 12mm。
- 开孔板连接件的相邻两孔最小边缘间距应满足下式要求：

$$e > \frac{V_{pu}}{2t_f f_{vd}} \dots\dots\dots (66)$$

式中：

e ——开孔板连接件的相邻两孔最小边缘间距（mm）；
 V_{pu} ——承载力极限状态下开孔板连接件抗剪承载力设计值（N）；
 t ——开孔板连接件的板厚（mm）；
 f_{vd} ——钢板抗剪强度设计值（MPa）。

11.2.3 应采取措施防止钢梁和混凝土连接处积水。

11.3 计算

11.3.1 计算连接件剪力时，应考虑钢与混凝土组合后的恒载、活载、预应力、混凝土收缩与徐变以及钢与混凝土的温度差等作用，应按照不同的剪力方向分别进行作用效应组合。

11.3.2 在承载能力极限状态下，连接件应按式(67)进行抗剪验算：

$$\gamma_0 V_{ld} \leq V \quad \dots\dots\dots (67)$$

式中：

V_{ld} ——承载能力极限状态下单个连接件承担的剪力设计值 (N)；

V_{su} ——单个连接件的抗剪承载力 (N)。

11.3.3 在正常使用极限状态下，连接件抗剪验算应满足式(68)要求：

$$V_r \leq 0.7V_s \quad \dots\dots\dots (68)$$

式中：

V_r ——正常使用极限状态下单个连接件承担的剪力设计值 (N)。

11.3.4 纵桥向水平剪力计算应符合以下规定：

a) 钢与混凝土结合面上纵桥向水平剪力应按未开裂分析方法进行计算；

b) 恒载与活载产生的钢与混凝土结合面上单位长度纵桥向水平剪力 V_{ld} 应按式(69)计算：

$$V_{ld} = \frac{V_d \cdot S}{I_{un}} \quad \dots\dots\dots (69)$$

式中：

V_d ——形成组合截面之后作用于组合梁截面的剪力设计值 (N)；

S ——混凝土板对组合梁截面中和轴的面积矩 (m^3)；

I_{un} ——组合梁的未开裂截面惯性矩 (m^4)。

c) 预应力集中锚固力、混凝土收缩徐变或温差引起的组合梁结合面上的最大单位长度纵桥向水平剪力，应按式(70)进行计算：

在梁跨中间：

$$V_{ms} = V_k / l \quad \dots\dots\dots (70)$$

在梁端部：

$$V_{ms} = 2V_s/l_{cs} \dots\dots\dots (71)$$

式中:

V_s ——预应力集中锚固力、混凝土收缩徐变或温差的初始效应在钢和混凝土结合面上产生的纵桥向水平剪力;

l_{cs} ——预应力集中锚固力、混凝土收缩徐变或温差引起的纵桥向集中剪力在结合面上的水平传递长度,取主梁相邻腹板间距和主梁长度的1/10两者中的较小值。

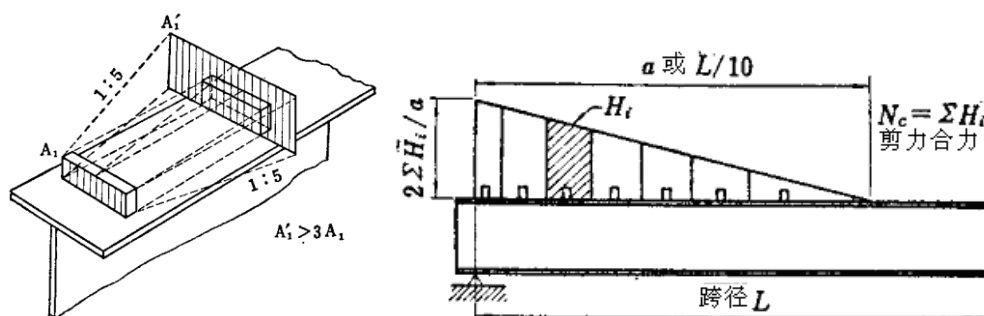


图 29 预应力、干燥收缩和温差产生的组合梁连接处剪力的传递范围

11.3.5 圆柱头焊钉连接件的抗剪承载力应按式(72)进行计算,对于群钉连接件还应考虑群钉效应对连接件承载性能的影响。

$$V_{su} = \min \{ 0.43 \sqrt{E} f_{cd}, 0.7 \dots\dots\dots (72)$$

式中:

V_{su} ——单个圆柱头焊钉连接件的抗剪承载力(N);

A_{su} ——焊钉杆径的截面面积(mm^2);

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值(MPa);

f_{su} ——焊钉材料的抗拉强度最小值(MPa)。

11.3.6 按本规范 6.4.2 条疲劳荷载 I 作用下计算得到的单个焊钉连接件的剪力幅 V_D 应满足下式要求:

$$V_D \leq 0.9 V_u \dots\dots\dots (73)$$

式中:

V_u ——圆柱头焊钉抗剪承载能力。

11.3.7 开孔板连接件的单孔抗剪承载力应按式(74)进行计算:

$$V_{su} = 1.4(d_p^2 - d_s^2)f_{cd} + 1.2d_s^2f_{sd} \dots\dots\dots (74)$$

式中:

d_p ——开孔板的圆孔直径 (mm)；

d_s ——贯通钢筋直径 (mm)；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa)；

f_{sd} ——贯通钢筋抗拉强度设计值 (MPa)。

11.3.8 不同形式的连接件在同一剪切界面混合使用时，应考虑连接件不同抗剪刚度对承载性能的影响。

12 钢梁加工与运输

12.1 一般规定

12.1.1 组合梁钢结构应采用工厂制作，施工质量应符合设计图纸文件、JTG/T F50 规范以及相关规范的相关规定。

12.1.2 施工前应根据组合梁结构形式、构造特点和受力特性、施工条件，编制合理的运输安装施工组织设计、专项施工技术方案、检测检验规程，并应报请监理工程师审批。

12.1.3 制造商应对设计图进行工艺性审查，依据设计图纸文件内容绘制施工图并编制制造工艺等文件，当需要修改设计时必须取得原设计单位同意，并签署设计变更文件。

12.1.4 制造商在熟悉和校核全部设计图纸后，应根据设计图纸的内容和要求，结合钢结构的焊缝形式，进行焊接工艺评定试验。根据焊接工艺评定报告制定焊接工艺规程，报请监理工程批准。

12.1.5 对钢结构产品的各单元件都必须进行全面的质量管理，下料、零件制作、组装、焊接、矫形、探伤、涂装等都必须记录在案，并得到监理工程师认可。

12.2 材料

12.2.1 材料应符合设计文件的要求和现行标准的规定，应具有材料质量证明证书。

12.2.2 材料进场后应按照相关规定进行复验并做好复验记录，复验合格并报监理批准后方可使用。

12.2.3 按照材料管理的要求进行存放、使用和回收，保证材料使用正确、可靠。

12.2.4 钢材除提供生产钢厂的出厂质量证明书外，钢材进厂后还应按设计文件、JTG/T F50 规范以及相关规范要求材料复验。即同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态，每 10 个炉（批）号抽检一组试件，做化学成份及力学性能试验，并做好复验检查记录。

12.2.5 焊接材料应符合以下要求：

- a) 焊接材料应与相应的焊接工艺评定试验一致；
- b) 除生产厂家的出厂质量证明书外，制造商应按设计文件、JTG/T F50 规范以及现行相关规范进行焊材复验，即按同一生产厂家以同样的配方及制造工艺生产的焊材，首批按型号、规格各取一组进行化学成分分析和力学性能试验，后续各批仅做化学成分分析；
- c) 焊接材料如有变化，应重新进行焊接工艺评定，并经监理工程师批准后，方可投入使用；

12.2.6 高强度螺栓

- a) 高强度螺栓连接副应由生产厂按批配套供货，必须有生产厂按批提供的产品质量证明书；
- b) 高强度螺栓连接副必须按批号配套发运和使用；
- c) 高强度螺栓连接副在运输、保管过程中应防雨、防潮，并应轻装、轻卸，防止损伤螺纹；
- d) 高强度螺栓连接副应按包装箱上注明的批号、规格分类保管，室内架空存放，堆放不宜超过五层。保管期内不应任意开箱，防止生锈和沾染脏物。

12.2.7 涂装材料应具有良好的附着性、耐蚀性，具有出厂合格证和检验资料，并符合耐久性要求。

12.3 钢板预处理

经复验合格的钢板在下料前，应进行滚平、除锈和喷涂车间底漆。

12.4 零件加工

12.4.1 作样、号料、边缘加工

12.4.1.1 钢板的牌号、规格、质量等检查确认无误后，方可号料。

12.4.1.2 钢板的起吊、搬运、堆放过程中，应注意保持其平整度。

12.4.1.3 应根据施工图和工艺文件要求进行作样和号料，并按要求预留余量。

12.4.1.4 号料时应使钢材的轧制方向与零件的主要受力方向一致。

12.4.2 切割

钢板和型钢应采用数控、自动、半自动等精密火焰切割、等离子切割，或机械切割。

12.4.3 边缘加工

零件的边缘、端头宜进行刨铣加工，经锯切或焰切后不再进行机加工的零件应磨去边缘的飞刺、挂渣，使断面光滑匀顺。

12.4.4 零件矫正

12.4.4.1 零件矫正前，应将切割挂渣清除干净。

12.4.4.2 零件宜采用冷矫，冷矫时的环境温度不宜低于 -12°C 。矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕和损伤。

12.4.4.3 采用热矫时，加热温度应控制在 $600^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，严禁过烧。矫正后零件应缓慢冷却，降至室温以前，不应锤击零件钢材或用水急冷。

12.4.5 制孔

12.4.5.1 应采用钻孔工艺或镗孔工艺制作螺栓孔，优先选用数控钻床钻孔，不应采用冲孔或气割孔。

12.4.5.2 采用不同的工装、工艺钻制出的第一根杆件或零件，均应经质检人员检查合格后方可继续钻制，工装胎架修整后亦应检查验收合格后方可继续钻孔。

12.5 组装

12.5.1 组装前应熟悉图纸和工艺文件，按图纸核对零件编号、外形尺寸、坡口方向及尺寸等，零件与单元件应检验合格和确认无误后方可组装。

12.5.2 组装前应彻底清除待焊区域的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物，使其表面显露出金属光泽。清除范围应符合图 30 的规定。

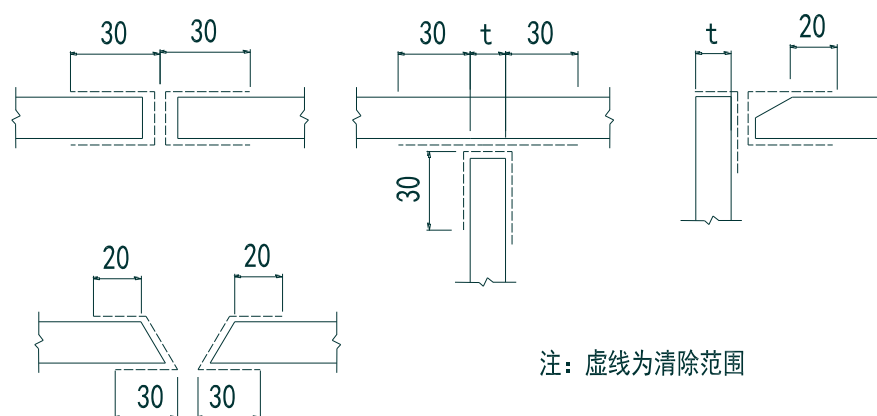


图 30 待焊区域清除面积（单位：mm）

12.5.3 钢板接料必须在杆件组装前完成，接料长度不宜小于 1 000mm，宽度不应小于 200mm，横向接料焊缝中心线距孔中心线不宜小于 100mm。

12.5.4 梁段应在总拼胎架上组装。胎架及基础应有足够的承载力和刚度，胎架应满足设计文件和相关规范的纵横向线形要求，并且设置预拱度。

12.5.5 梁段总拼胎架应设置测量控制网，测量控制网由标志塔、水准点组成对整个轮次梁段制作及预拼装的测量控制。胎架上应设置纵、横基线和基准点；胎架外设置独立的基准线、基准点。

12.5.6 梁段组装采用连续匹配组装的工艺方案，每次组装的梁段数量不应少于 3 个段。每轮次组装前均对胎架进行检测，做好检测记录，确认合格后方可进行下一轮次的组拼。

12.5.7 宜采用合适的平台与胎型，以及工艺约束板等进行板单元和构件的组装。板单元应在组装胎架上进行组装，组装板单元时应以板件的边缘和端头（非二次切头端）作为定位基准。每次组装前应对组装胎架进行检查，确认合格后方可组装。

12.5.8 对接焊缝和主要角焊缝，应在焊缝的端部连接引、熄弧板（引板）；引板的材质、厚度、坡口应与所焊件相同。完成焊接后应采用火焰或机械切割工艺切除工艺板及引板并磨平，不得采用锤击方法拆除工艺板及引板。

12.5.9 检验用产品试板应连接在焊缝端部，试板材质、厚度、轧制方向及坡口必须与所焊对接板材相同，产品试板每侧宽度应不小于 150mm，埋弧自动焊试板长度应不小于 600mm，CO₂ 气体保护焊及手工电弧焊试板长度应不小于 400mm。产品试板无法连接在构件焊缝端部时，应在该构件焊缝焊完时，立即在同一施焊位置和施焊条件的情况下施焊产品试板。

12.6 焊接

12.6.1 一般要求

12.6.1.1 焊工应持有资格证书，且只应从事资格证书中认定范围内的工作。停止焊接工作时间超过6个月的焊工应对其重新考核。

12.6.1.2 焊接工艺评定应符合本规则附录A的规定，应严格按照根据焊接工艺评定报告编制的焊接工艺进行施焊。

12.6.1.3 宜在室内或设置防风防雨设施的工作条件下进行焊接，焊接环境湿度应不大于80%；焊接低合金钢的环境温度不应低于5℃，焊接低碳钢的环境温度不应低于0℃。当环境温度或湿度未满足上述要求时，应采取必要的工艺措施，且相应的焊接工艺评定试验合格后方可进行焊接。

12.6.1.4 焊接前必须彻底清除待焊区域内的有害物，焊接后应清理焊缝表面的熔渣及两侧的飞溅。

12.6.1.5 不应在非焊接区引弧，电弧击伤的母材表面应打磨平顺，消除伤痕，修补部位应进行磁粉探伤。

12.6.1.6 焊缝两侧经除锈后，应24小时内进行焊接，否则应重新除锈，方可施焊。

12.6.2 焊接材料

12.6.2.1 焊接材料应与焊接工艺评定的焊材一致，应由专用仓库储存，焊条、焊剂应按焊接材料使用说明书的规定烘干方可使用。当焊剂未用完时，应交回重新烘干。烘干后的焊条应放在专用的保温筒内备用。烘干后的焊接材料应随用随取，从保温箱取出的焊接材料超过4h，应重新烘干后再使用。

12.6.2.2 CO₂ 气体保护焊应具有防风、防雨条件，CO₂ 气体纯度应不低于99.5%，使用前应经倒置放水处理。

12.6.2.3 焊丝上的油、锈应清除干净。焊剂中不应混入熔渣和脏物。重复使用的焊剂小于60目的细粉粒的量不应超过总量的5%。

12.6.3 定位焊

12.6.3.1 定位焊的焊接工艺与预热温度等应与正式焊接一致。

12.6.3.2 定位焊前应对焊件的几何尺寸、坡口尺寸、根部间隙、焊接部位的清理情况等进行检查，其结果应符合图纸及工艺文件要求。

12.6.3.3 定位焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤、焊偏、未填满的弧坑等缺陷，对于开裂的定位焊缝，应先查明原因然后清除开裂焊缝，保证焊件组装尺寸正确的条件下补充定位焊。

12.6.4 焊接过程

12.6.4.1 正式焊接前应彻底清除定位焊缝的熔渣，应在焊缝处除锈后24小时之内进行焊接，否则应重新除锈。

12.6.4.2 应按工艺规定的焊接位置、焊接顺序及焊接方向施焊，并严格执行工艺文件规定的焊接变形的控制措施。

12.6.4.3 焊接预热温度及道间温度应与焊接工艺评定试验一致，并应有可靠的加热和测定方法。预热范围为焊缝两侧各不小于焊接件厚度的3倍。对于大于30mm的板件，预热温度不小于500℃。

12.6.4.4 单面焊双面成型的焊缝应在坡口背面贴严、贴牢工艺规定的陶质衬垫。

12.6.4.5 对于自动焊和半自动焊，轨道与焊缝的位置和焊丝对准状况应满足焊接工艺要求，施焊前和施焊过程中认真检查及时校对调整。

12.6.4.6 埋弧自动焊应在距设计焊缝端部 80mm 以外的引板上起、熄弧，引熄弧板的长度不应小于 80mm，宽度不应小于 60mm。焊接过程中不应断弧，如有断弧则应将停弧处刨成不大于 1:5 斜坡，并搭接 50mm 再引弧施焊，焊后搭接处应修磨匀顺，应待焊缝稍冷却后敲去熔渣。其中，用细丝或粗丝焊接的焊缝，敲渣部位到熔池的距离应分别大于 0.5m 和 1m。

12.6.4.7 对于气体保护焊，应随时清除喷嘴上的飞溅物，气体流量计始终保持加热状态。

12.6.4.8 在焊接进行及焊缝冷却过程中不应冲击或振动。

12.6.4.9 主要焊缝焊接应做好施焊记录，主要记录构件名称、焊接日期、焊工姓名及焊接预热温度、焊接参数等。

12.6.4.10 圆柱头焊钉的焊接应符合以下要求：

- a) 圆柱头焊钉的焊接应按附录 A 的规定进行焊接工艺评定试验，根据试验结果编制焊接工艺文件。
- b) 应采用专用焊接设备焊接圆柱头焊钉，瓷环应按规定要求烘干使用。无条件采用专用焊接设备少量平位、立位及其它位置圆柱头焊钉可采用手工焊接；
- c) 焊接前，应除去圆柱头焊钉及焊接部位的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等不利于焊接的物质并检查所用设备、工具良好，确保正常工作时才能施焊；
- d) 应由经过圆柱头焊钉焊接培训、考试合格的焊工担任圆柱头焊钉焊接工作，并严格执行经过评定的焊接工艺

12.6.5 工地焊接

12.6.5.1 应根据工地焊接接头形式和现场拼装的施工条件制定详细的焊接工艺，并进行焊接工艺评定试验。根据焊接工艺评定试验，确定焊接方法和施焊参数。

12.6.5.2 工地焊接环境温度宜在+5℃以上，相对湿度 80%以下，风力不大于 5 级，设置防风棚。雨天不应露天施焊。

12.6.6 产品试板

产品试板焊缝应与板件焊缝同材质、同工艺、同设备、同操作者，在同一地点施焊，不得异地施焊产品试板。产品试板数量应符合表21规定：

表 21 焊接产品试板数量

名称	焊缝类型及部位	接头数量	产品试板数量	备注
厂内顶板、底板、腹板、横隔板 对接接料焊缝		24	1 组	工厂
顶板	纵向对接焊缝	36	每 3 个节段 1 组	整拼
底板	纵向对接焊缝	36	每 3 个节段 1 组	整拼
顶、底、腹板	节段对接焊缝		每 10 条环缝顶底腹板各 1 组	桥位

12.6.7 焊缝磨修和返修焊

12.6.7.1 焊件上的引板、产品试板或临时连接件应采用气割切掉，并磨平切口，且不应损伤母材。

12.6.7.2 焊脚尺寸、焊波或余高等超出表 16-11 规定上限值的焊缝及小于 1mm 的超差咬边应修磨匀顺。所有表面得修磨均应沿主要受力方向进行，使磨痕平行于主要受力方向。

12.6.7.3 焊缝咬边超过 1mm 或焊脚尺寸不足时，可采用手工电弧焊或 CO₂ 气体保护焊进行返修焊。采用自动焊返修焊缝时，应将焊缝清除部位的两端刨成不大于 1:5 的斜坡后进行焊接。返修焊缝应按原焊缝质量要求检验，同一部位的返修焊不宜超过两次。

12.6.7.4 焊缝缺陷应采用碳弧气刨或其它机械方法清除，在清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口，并用砂轮磨掉坡口表面的氧化皮，露出金属光泽。焊接裂纹的清除范围除应包括裂纹全长外，还应由裂纹端外延 50mm。

12.6.7.5 缺焊焊缝长度超过周长的 1/4 或因其他项点不合格的圆柱头焊钉应将焊钉从杆件上切除，且不应伤及母材，切除圆柱头焊钉的部位应打磨平整，然后重新焊接。缺焊焊缝长度未超过周长的 1/4 时可采用小直径低氢焊条补焊，补焊时应预热 50~80℃，并应从缺焊焊缝端部延 10mm 外引弧、息弧，焊角尺寸应不小于 6mm。

12.6.7.6 如裂纹等重要缺陷的修补，应先查明原因，经质检人员、主管技术人员及监理工程师确认后，再进行焊缝返修，并记入产品质量文件。

12.7 构件矫正

构件矫正时除应符合 12.4.4 的规定外，尚应符合下列规定：

- 冷矫的环境温度不宜低于 5℃，矫正时应缓慢加力，冷矫的总变形量不应大于变形部位原始长度的 2%。时效冲击值不满足要求的拉力杆件不得采用冷矫。
- 热矫时加热温度应控制在 600℃~800℃，严禁过烧，且不宜在同一部位多次重复加热，温度降至室温前不应锤击钢材，不应用水急冷。
- 矫正后的板单元、杆件和梁段表面不应有凹痕和其它损伤。

12.8 预拼装

12.8.1 钢桥应按试装图进行厂内试拼装，未经试拼装检验合格，不得成批生产。试拼装应符合下列规定：

- 试拼装应在胎架上进行，胎架应有足够的刚度，其基础应有足够的承载力。胎架顶面(梁段底)纵、横向线形应与设计要求的梁底线形相吻合。杆件和梁段应解除与胎架间的临时连接，处于自由状态。
- 钢板梁应整孔试拼装，大跨径桥的钢梁，每批梁段制造完成后，应进行连续匹配试拼装，每批试拼装的梁段数不应少于 3 段，试拼装检查合格后，应留下最后一个梁段并前移参与下一批次试拼装。
- 试拼装时应使板层密贴，冲钉不宜少于孔眼总数的 10%，螺栓不宜少于螺栓孔总数的 20%；有磨光顶紧要求的杆件，应有 75% 以上的面积密贴，采用 0.2mm 的塞尺检查时，其塞入面积不应超过 25%。试拼装时，应采用试孔器检查所有螺栓孔，桥面系和连接系的螺栓孔应 100% 自由通过较设计孔径小 1.0mm 的试孔器，板梁和箱梁的螺栓孔应 100% 自由通过较设计孔径小 1.5mm 的试孔器，方可认为合格。

12.8.2 试拼装检验应在无日照影响的条件下进行，并应有详细的检查记录。

12.9 栓接表面抗滑移系数试验

12.9.1 抗滑移系数试件与钢梁同材质、同工艺、同批制造，随钢梁批次发运及存放。

12.9.2 抗滑移系数试件制造规格及数量应满足设计技术文件的要求和Q / CR 9211 规范及相关现行规范的规定。

12.10 钢梁存放及运输

12.10.1 包装应满足下列要求：

- a) 钢梁加劲肋嵌补件、工地散装小件、其他零星小件应装箱，并加标记。
- b) 细而长的工形、T 形及角钢杆件采用框架捆装，杆件之间应加垫层；拼接板采用盘装，板件之间应加垫，保护摩擦面。
- c) 梁段防止水和杂物进入箱梁内部。

12.10.2 存放应满足下列要求：

- a) 梁段存放时，所有的支承点应受力均匀，支承点应设在横隔板处或横隔板与纵腹板交点处，存放场地要求平整，坚固，支承处不应发生不均匀沉降。
- b) 梁段间应留有适当空隙，便于吊装人员操作和查对。
- c) 钢构件在存放场地存贮和运输时，应按现场吊运顺序安排位置。

12.10.3 钢梁运输应满足下列要求：

- a) 钢构件运输时，应用钢丝绳将其牢靠固定在运输车船上，绑扎钢丝绳时，应在与钢丝绳接触的边缘加垫木板，防止损伤构件。
- b) 运输过程中，应做好钢梁防护，保护焊钉，避免焊钉受到触碰导致脱落。
- c) 钢梁运输过程中，应加强支撑、固定牢固，防止变形或倾覆。
- d) 槽形钢箱构件运输过程中，应在箱内设置剪刀撑，防止腹板变形；工字梁运输应采用辅助撑架，防止变形或倾倒。

13 连接件施工

13.1 一般规定

13.1.1 本章适用于焊钉、开孔板以及型钢连接件的加工、焊接、安装。其材料和工艺除应满足设计和本章相关要求外，尚应满足 GB/T 10433 的相关要求。

13.1.2 连接件宜在工厂成型和焊接。型钢和焊钉安装前应对其平面位置进行准确的测量放样；连接件安装前应进行外观检查，外观应平整，无裂缝、毛刺、凹坑、变形等缺陷。

13.1.3 连接件与钢结构焊接前，应进行焊接工艺评定试验，合格后方可正式实施。

13.1.4 混凝土浇筑前，应检查连接型钢和焊钉安装质量。连接件周边的普通钢筋安装过程中，不应损伤型钢和焊钉。

13.1.5 宜通过试验验证混凝土性能及浇筑振捣工艺，连接件与混凝土的结合质量应满足设计要求。

13.2 焊钉连接件施工

13.2.1 焊钉焊接过程中,翼缘板横向最大焊接变形不应超过 1mm,翼缘板纵向最大焊接变形 1m 范围内不应超过 1mm

13.2.2 采取合理的焊接次序,宜先内排后外排逐排焊接。同一排焊钉焊接时,应间隔进行。

13.2.3 应严格控制焊钉平面位置、间距及焊钉连接件的外侧边缘与钢梁翼缘边缘的距离。

13.2.4 钢结构运输、安装过程中不应触碰和损伤焊钉连接件。

13.2.5 连接部位普通钢筋安装时,不应弯折和割除焊钉;必要时可调整普通钢筋位置。

13.2.6 焊钉连接件安装到位后宜尽快浇筑混凝土,浇筑前应再次除锈。

13.3 开孔板连接件施工

13.3.1 开孔板连接件孔径允许偏差应为 $\pm 0.7\text{mm}$,孔位允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

13.3.2 贯通钢筋加工尺寸应严格控制,其允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$,并应顺直。

13.3.3 贯通钢筋安装及定位宜居中布置,并不应与开孔板焊接。

13.4 连接件处混凝土施工

13.4.1 应保证混凝土填充密实并与连接件良好接触。对受混凝土收缩影响的部位宜采用微膨胀混凝土,必要时可掺入纤维提高其抗裂性能。

13.4.2 配置混凝土用的粗集料宜采用 5mm~20mm 连续级配碎石,集料最大粒径不应超过 25mm;混凝土应有良好的工作性、和易性和流动性。

13.4.3 当连接件布置成倒立状态时,应在钢板上设孔用于混凝土振捣和排气,保证钢板下的混凝土浇筑密实;当连接件布置成倒、侧立状态时,应优化混凝土配合比,避免混凝土离析。

13.4.4 混凝土浇筑过程中应保证连接件周围的混凝土密实性。对直立焊钉,宜采用平板式振捣器;对侧立焊钉,宜选用较小直径的插入式振捣棒,棒体距离焊钉根部 30mm~50mm,在保证振捣效果的前提下,不应碰触焊钉造成损坏。

13.4.5 混凝土原材料除应满足 JTG/T F50 对水泥、集料、水、外加剂、混合材料的具体要求外,应针对连接件构件对混凝土浇筑带来的影响,采取相应措施保证混凝土密实度、强度和耐久性。

13.4.6 连接件处混凝土宜保温保湿养护 7d 以上。

14 钢梁与组合梁安装

14.1 一般规定

14.1.1 施工前应根据组合梁结构形式、构造特点和受力特性,现场施工条件,施工期通航及通行,现场水文及气候情况等选择合理安装方法,编制合理的施工组织设计、安装专项施工方案和安全技术方案,并应报请监理工程师审批。

14.1.2 安装前应对临时支架、支承、吊机等临时结构和钢桥结构本身在不同受力状态下的强度、刚度及稳定性进行验算;应按照杆件明细表核对进场的杆件、梁段及零件,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。

14.1.3 钢桥安装前，应对墩顶、垫石等相关结构的高程和坐标等进行全面检查和必要的复测，精度符合要求后，方可进行钢梁与组合梁安装。

14.1.4 钢桥杆件在工地安装过程中，矫正、制孔、组装、焊接和涂装等工序的施工质量应符合本规范的相关规定。钢桥构件在运输、存放和安装过程中损坏的涂层，应按照本规范的有关规定补涂；钢桥的面层涂装应在钢桥结构安装完成后进行。

钢桥工地安装时，不得在现场对结构杆件进行未被批准的临时性的焊接和切割作业。

14.1.5 杆件宜采用预先组拼、栓合或焊接，扩大拼装单元进行安装，对容易变形的构件应进行强度和稳定性验算，必要时应采取加固措施。杆件组拼前应清除杆件上的附着物，摩擦面应保持干燥、整洁。应根据外界环境和焊接等变形因素的影响，采取措施，保证钢桥结构的线形、拱度及中心线位置。

14.1.6 应合理设置吊点位置，避免钢梁发生扭转、翘曲和侧倾。吊装前应对吊具和梁体结构进行在不同受力状态下强度、刚度和稳定性验算。

14.1.7 钢桥安装过程中，每完成一节间应测量其位置、高程和预拱度，不符合要求时应进行校正。

14.1.8 钢桥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。

14.1.9 钢梁与组合梁安装误差应符合 JTG/T F50 的相关规定要求。

14.2 支架安装

14.2.1 支架上分段安装钢梁应满足下列要求：

- a) 支架应具备钢梁就位后平面纠偏、高程及倾斜度调整等功能；
- b) 支架纵横向线形应与设计要求的梁底线相吻合，同时兼顾支架变形产生的影响；
- c) 拼装过程中应及时纠偏调整，避免误差累积，应减少相邻梁段接缝偏差，在纵、横向及高度方向的拼接错口不宜大于 2mm。应严格控制其平面精度和高程，钢梁与设计位置的偏差不应超过 5mm。

14.2.2 吊装杆件时，必须待杆件完全固定后方可松钩卸载。

14.2.3 采用高强螺栓连接时，冲钉和粗制螺栓总数不得少于孔眼总数的 1/3，其中冲钉不得多于 2/3；孔眼较少的部位，冲钉和粗制螺栓总数应不少于 6 个或将全部孔眼插入冲钉或粗制螺栓。

14.2.4 拼装用的冲钉直径(中段圆柱部分)应较孔眼设计直径小 0.2~0.3mm，其长度应大于板束厚度。拼装用精制螺栓的直径应较孔眼设计直径小 0.4mm，拼装板束用的粗制螺栓直径应较孔眼直径小 1.0mm。冲钉和螺栓可采用 35 号碳素结构钢制造。

14.3 顶推安装

14.3.1 应根据钢梁的结构特点选择合理的顶推的方式，并制定专项方案。

14.3.2 宜设置导梁，导梁和钢梁之间可采用焊接或螺栓连接，其长度宜为最大顶推跨度的 0.4 倍~0.75 倍，并具有足够的刚度和强度。

14.3.3 顶推设备应具有横向纠偏功能和位移控制功能，防止顶推过程钢梁产生过大的横向偏位和钢梁自身的滑移。

14.3.4 钢梁腹板和底板应采取必要的加固措施，防止在顶推过程产生变形和失稳。

14.3.5 应对临时支撑和钢结构在顶推施工过程中不同工况下的强度、整体稳定性、局部应力、局部稳定性等验算。

14.3.6 钢梁顶推到位后应利用墩顶布置的微调装置精确就位，其轴线允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ ，高程偏差应符合设计要求。

14.3.7 混凝土桥面板应在钢梁顶推安装就位后施工。

14.4 拖拉安装

14.4.1 钢梁拖拉施工可采用有轨道或无轨道方法施工。应根据钢梁结构特点和工地施工条件选择合理的施工方式，并制定专项方案

14.4.2 采用有轨道拖拉施工应满足下列要求：

- a) 轨道应有足够的刚度，防止钢梁拖拉施工工程中的过大变形；
- b) 钢梁支承点应采取必要的加强措施，防止支承点处在拖拉施工工程中的过大变形；
- c) 拖拉设备应具有横向纠偏功能和位移控制功能，防止顶推过程钢梁产生过大的横向偏位和钢梁自身的滑移；
- d) 钢梁拖拉落位后应利用墩顶布置的微调装置精确就位，其轴线允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ ，高程偏差应符合设计要求。

14.4.3 采用无轨道拖拉施工应满足下列要求：

- a) 应设置导梁，导梁和钢梁之间宜采用焊接或螺栓连接，其长度宜为最大顶推跨度的 0.4 倍～0.75 倍，并具有足够的刚度和强度；
- b) 钢梁腹板和底板应采取必要的加固措施，防止在顶推过程产生变形和失稳；
- c) 拖拉设备应具有横向纠偏功能和位移控制功能，防止顶推过程钢梁产生过大的横向偏位和钢梁自身的滑移；
- d) 钢梁拖拉落位后应利用墩顶布置的微调装置精确就位，其轴线允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ ，高程偏差应符合设计要求。

14.4.4 应对临时支撑和钢结构在顶推施工过程中不同工况下的强度、整体稳定性、局部应力、局部稳定性等验算。

14.5 悬臂安装

14.5.1 钢梁悬臂安装应满足下列要求：

- a) 钢梁悬拼过程中，应严格控制预拱度及轴线偏差，误差应满足设计文件和现行相关规范的规定；
- b) 钢梁拼装过程中，应减少相邻梁段接缝偏差，在纵、横向及高度方向的拼接错口宜不大于 2mm；
- c) 钢梁悬臂拼装过程中，应及时施工混凝土桥面板，浇筑湿接缝行成整体。

14.5.2 节段悬臂安装应满足下列要求：

- a) 节段吊点的布置应综合考虑截面重心、钢梁位置等确定，吊点预埋件应避开结合部；
- b) 节段悬拼设备应安全可靠，应具备节段平面位置、高程、倾角的调整功能；
- c) 应根据组合梁构造特点，采取合理措施定位和锚固吊机；
- d) 应严格控制起始节段的拼装精度，包括节段高程和纵横轴线。

14.5.3 采取悬臂或半悬臂法拼装钢梁时,联结处所需冲钉数量应按所承受荷载计算决定,但不得少于孔眼总数的一半,其余孔眼宜布置精制螺栓,冲钉和精制螺栓应均匀布置。高强度螺栓栓合梁拼装时,冲钉数量应符合上述规定,其余孔眼宜布置高强度螺栓。

15 钢筋混凝土桥面板施工

15.1 现浇混凝土桥面板施工

混凝土桥面板现场浇筑施工应符合下列规定:

- 混凝土板的现浇时机和程序应符合要求;
- 混凝土板浇筑可利用钢梁支撑安装支架模板,并应在桥面板混凝土达到规定的强度后拆除。支架与钢梁之间可采用栓接形式,在钢梁上焊接临时连接板,支架安装、拆除过程中应避免损伤钢梁及表面防腐涂层;
- 浇筑桥面板混凝土之前,应清除钢梁上翼缘和连接件上的锈蚀、污垢,保持表面清洁;
- 在湿接缝混凝土达到 85%设计强度前,不应进行吊机移动、大型构件吊装等作业。

15.2 预制混凝土桥面板施工

15.2.1 桥面板预制

桥面板预制施工中应注意以下事项:

- 桥面板安装前,混凝土龄期应不小于 3 个月;
- 桥面板预制及存放台座基础宜选择坚实地基,对软质地基应进行加固;
- 桥面板底模、侧模宜采用刚度较大的钢模,保证接缝平顺,板面平整,转角光滑,并定期校正,底模制作安装精度:平整度不应大于 2mm,长宽尺寸允许偏差应为 $\pm 3\text{mm}$;
- 为保证连接件与钢筋的准确匹配,应在底模上严格标出桥面板钢筋位置,并宜在板各边标出至少 3 排焊钉等连接件的相对位置;
- 侧模上应开有钢筋定位槽口。侧模制作安装精度:对角线长度允许偏差应为 $\pm 3\text{mm}$,钢筋预留槽位置允许偏差应为 $\pm 3\text{mm}$;
- 桥面板预制混凝土强度达到 2.5MPa 时,板四周和板顶面应为人工凿毛保证粗骨料出露,凿毛深度不宜小于 5mm;
- 预制板:长宽尺寸允许偏差应为 $\pm 3\text{mm}$,厚度允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$;连接钢筋预埋位置允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$ 。桥面沿板长方向支承面平整度应控制在 2m 范围内小于 2mm。

15.2.2 混凝土桥面板运输与安装

混凝土桥面板运输与安装过程中注意事项如下所示:

- 预制板的存放支点宜和吊点位置相吻合;同时 4 个支点应严格调平,保证在同一平面内;
- 混凝土强度达到 85%强度后方可吊装,应采用四点起吊,并配置相应的吊具,防止吊装受力不均产生裂缝;
- 吊装和移动过程中应避免碰撞湿接缝钢筋,应保证湿接缝混凝土浇筑质量;
- 桥面板安装允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$,相邻两板错开量应小于 3mm。

15.2.3 湿接缝施工

湿接缝施工应遵循以下原则:

- 湿接缝浇筑前,应对安装过程中变形的连接钢筋予以校正和调直,对损伤的连接件予以修补;

- b) 连接钢筋宜采用环形钢筋连接，并应通过垫块保证连接钢筋的保护层厚度；
- c) 湿接缝混凝土浇筑应防止干缩裂纹；
- d) 湿接缝混凝土应保湿、保温养护不少于 7d；当气温低于 5℃时，宜采用热水拌和混凝土，浇筑完成后应及时覆盖保温；
- e) 湿接缝混凝土强度达到 85%设计强度前，不应在其上进行施工作业。

16 施工质量检测与验收

16.1 一般规定

16.1.1 制造及验收应使用经同一个二级以上计量机构定期检定合格的计量器具，并按监理工程师的要求采用统一的度量衡标准。

16.1.2 当监理工程师认为应做必要检查时，制造厂有义务给予一切方便，提供必要的仪表、工具、设备以及操作人员。

16.2 材料

16.2.1 钢材表面质量应符合 GB/T14977 的规定。

16.2.2 钢材表面锈蚀等级应符合 GB8923.1-2011 规定的 A、B、C 级。

16.2.3 Z 向板应按 GB/T2970-2004 探伤等级符合 I 级标准。

16.2.4 钢材缺陷需要修补时，应符合本规则附录 B 的相关规定。

16.2.5 选定焊接材料，应符合表 22 的规定。

表 22 焊接材料标准

名 称	型 号	标 准	标 准 号
焊条	碳钢	碳钢焊条	GB/T 5117
焊条	低合金钢	低合金钢焊条	GB/T 5118
焊丝	碳素钢、合金钢	熔化焊用钢丝	GB/T 14957
焊丝	低碳钢、低合金钢、合金钢	气体保护焊用钢丝	GB/T 14958
焊丝	碳钢、低合金钢	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝	GB/T 8110
焊丝	碳钢	碳钢药芯焊丝	GB/T 10045
焊剂	碳素钢	埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂	GB/T 5293
焊剂	低合金钢	埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂	GB/T 12470

16.2.6 高强度螺栓应符合以下规定：

- a) 高强度螺栓连接副的型式尺寸、形位公差与技术条件应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定；

- b) 高强度螺栓连接副到货后应及时复验，复验批次、数量及检验项目应符合 GB/T 1231 的规定；
- c) 高强度螺栓连接的表面抗滑移系数安装时的复验值应不小于 0.5，钢梁出厂状态表面抗滑移系数应不小于 0.55。抗滑移系数试验方法应符合 TB/T 2137 的规定。

16.3 钢结构制造

16.3.1 钢板预处理

在钢板预处理过程中应符合以下规定：

- a) 经复验合格的钢板在下料前，应进行滚平，使钢板的平面度不大于 1mm/m。
- b) 钢板预处理除锈的清洁度等级为 Sa2.5，表面粗糙度应达到 $R_z=40\mu\text{m}\sim60\mu\text{m}$ ，但是采用热喷涂时清洁度等级为 Sa3.0，表面粗糙度应达到 $R_z=70\mu\text{m}\sim100\mu\text{m}$ ；涂一道无机硅酸锌车间底漆，干膜厚度为 $20\mu\text{m}\sim25\mu\text{m}$ 。

16.3.2 作样、号料、边缘加工

作样、号料、边缘加工中的允许偏差应符合以下基本规定：

- a) 作样和号料应根据施工图和工艺文件进行，并按要求预留余量。作样的允许偏差应符合表 23 的规定；

表 23 作样的允许偏差

项目	允许偏差（mm）
两相邻孔中心线距离	± 0.5
对角线、两极边孔中心距离	± 1.0
孔中心与孔群中心线横向距离	0.5
长度与宽度	长度 $0\sim+0.5$ ，宽度 $0\sim-0.5$

- b) 号料尺寸允许偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

16.3.3 切割

切割质量要求如下所示：

- a) 切割后边缘不进行机加工的零件，切割面质量应符合表 24 的规定；

表 24 精密切割边缘表面质量要求

等级	项 目		
	用于主要零件	用于次要零件	备 注
表面粗糙度	$\frac{25}{\sqrt{\quad}}$	$\frac{50}{\sqrt{\quad}}$	GB/T 1031-1995 用样板检查
崩 坑	不允许	1m 长度内允许有一处 1mm	超限修补应按本规则附录 B 的规定
塌 角	允许有半径不大于 1.0mm 的塌角		
切割面垂直度	$\leq 0.05t$ ，且不大于 2.0mm		t 为钢板厚度
切割面硬度	不大于 HV350		

- b) 尺寸允许偏差应符合工艺要求，如工艺无具体要求，允许偏差为 $-1.0\text{mm}\sim+2.0\text{mm}$ 。圆弧部位切割面应修磨匀顺；
- c) 型钢切割线与边缘垂直度允许偏差为 2.0mm；

- d) 崩坑缺陷的修补应符合本规则附录 B 的规定；
e) 手工气割仅用于工艺特定或切割后仍需机加工的零件。

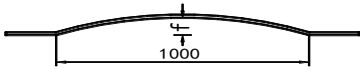
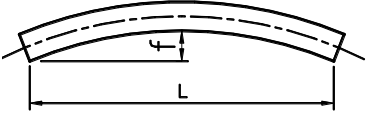

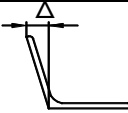
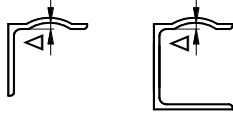
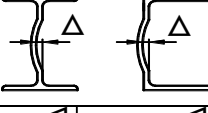
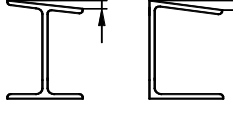
表 25 手工气割切割面质量（切割波纹）要求

项 目	构件分类	允许偏差（mm）	备 注
自由边缘	主要构件	0.20	接头有顶紧要求时除外
	次要构件	0.50	
焊接边缘	主要构件	0.30	
	次要构件	0.6	

16.3.4 零件矫正

零件矫正允许偏差应符合表26的规定。

表 26 零件矫正允许偏差（mm）

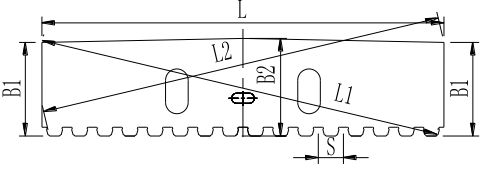
零件	检查项目	简 图	允许偏差	备 注
板 件	平面度		$f \leq 1$	每米范围
	直线度		$L \leq 8000: f \leq 2$ $L > 8000: f \leq 3$	全长范围 全长范围
型 钢 件	直线度		$f \leq 1.0$	每米范围
	角钢肢垂直度		$\Delta \leq 0.5$	栓接联结部位
			$\Delta \leq 1.0$	其余部位
	角肢平面度		$\Delta \leq 0.5$	栓接联结部位
			$\Delta \leq 1.0$	其余部位
	工字钢、槽钢、H型钢 腹板平面度		$\Delta \leq 0.5$	栓接联结部位
			$\Delta \leq 1.0$	其余部位
	工字钢、槽钢、H型钢 翼缘垂直度		$\Delta \leq 1.0$	栓接联结部位
			$\Delta \leq 2.0$	其余部位

16.3.5 边缘加工

在零件的边缘加工过程中应满足以下要求：

- a) 经锯切或焰切后不再进行机加工的零件应磨去边缘的飞刺、挂渣，使断面光滑匀顺。零件尺寸的允许偏差应符合表 27 的规定；

表 27 零件尺寸允许偏差

名 称		允 许 偏 差 mm		备 注
		长 度	宽 度	
顶板、底板、腹板		±2.0	±2.0	长度留二次切头量的正差可放宽
横隔板	整 体	±2.0	±2.0	
	分 块	±2.0	±2.0	
	对角线 L1、L2	±3.0	±3.0	
其它板件		±2.0	±2.0	
其它型钢		±3.0	-	端面垂直度不大于 2.0

- b) 零件刨（铣）边缘加工深度不应小于 3mm，加工面的表面粗糙程度 Ra 不应大于 25μ m；磨光顶紧面的粗糙度 $Ra \leq 12.5 \mu m$ ，磨光顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于 0.01t（t 为板厚）且不应大于 0.3mm；
- c) 坡口可采用机加工或精密切割，焊接坡口的形状、尺寸及允许偏差应由焊接工艺评定确定。

16.3.6 制孔

制孔应满足以下规定：

- a) 制成的孔应成正圆柱形，孔壁表面粗糙度 Ra 不应大于 25μ m，孔缘无损伤不平，无刺屑；
- b) 高强度螺栓孔加工允许偏差应符合表 28 的规定；

表 28 高强度螺栓孔的加工允许偏差

项 目	直 径 及 允 许 偏 差 (mm)			
螺栓公称尺寸	M22	M24	M27	M30
螺栓孔直径 d	24	26	29	33
螺栓孔直径允许偏差	0~+0.7			
螺栓孔垂直度允许偏差	板厚 t≤30 时，不大于 0.3；板厚 t>30 时，不大于 0.5；			

- c) 高强度螺栓孔孔距的允许偏差应符合表 29 的规定；当有特殊要求时，其孔距偏差应符合设计文件的规定。

表 29 螺栓孔距允许偏差（mm）

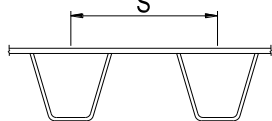
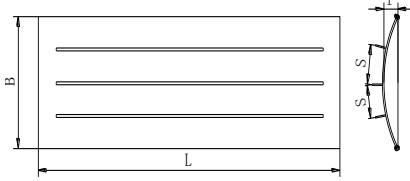
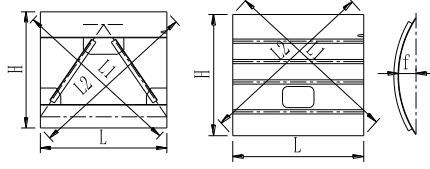
项 目		允 许 偏 差	
		主要杆件	次要杆件
两相邻孔距离		±0.5	±0.5
多组孔群两相邻孔群中心距		±0.8	±1.0
两端孔群中心距	L≤11m	±1.0	±1.5
	L>11m	±1.5	±2.0
孔群中心线与杆件中心线的横向偏移	腹板不拼接	2.0	2.0
	腹板拼接	1.0	
杆件任意两侧孔群纵、横向偏移		1.0	

16.3.7 组装

组装误差要求如下：

- a) 组装完成后，应对组装间隙与偏差进行记录，检验合格后再进行组装定位焊，组装定位焊应符合本规则 4.11.2 的规定；
- b) 板单元组装尺寸允许偏差应符合表 30 的规定；

表 30 板单元组装尺寸允许偏差

序号	名称	项 目	图 例	允 许 偏 差 (mm)
1	顶 底 板	长度、宽度		± 2.0
		平面度		S1/300
		纵向 (S2 横隔板间距)		S2/500
2	腹 板	长度 L、宽度 B		± 2.0
		平面度 f		≤ 2
		纵向		$< 4/4.0m$
		加劲肋与腹板组装间隙 α		≤ 1.0
		加劲肋		± 1.0
		中心距 S		± 2.0
3	横 隔 板	横隔板及其接板长度 L、宽度 H		± 2
		横隔板对角线差		± 4
		横隔板平面度 f		± 2
		横隔板接板垂直度		± 2

- c) 梁段组装过程中，应在无日照影响的条件下监控测量主要定位尺寸，梁段组装允许偏差应符合表 31 规定。

表 31 梁段组装允许偏差

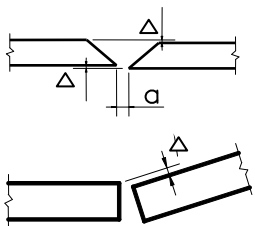
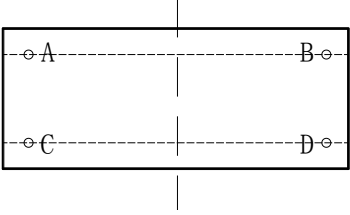
项 目	简 图	允许偏差(mm)	备 注	检测工具
板单元拼接 对接板错边 Δ		≤ 0.5	$t \leq 25$	钢板尺
		≤ 1.0	$t > 25$	钢板尺
对接板间隙 α		± 2		样板或 钢板尺
平底板与斜底板 对接错边量 Δ		≤ 1.0		样板
梁段长度 L		± 2	按匹配组装相邻基 准线间距	钢盘尺
梁段高度 H		± 2	横隔板处	钢盘尺

表 31 梁段组装允许偏差（续）

项 目	简 图	允许偏差(mm)	备 注	检测工具
横隔板间距		±2		钢盘尺
腹板中心距		±2		钢盘尺
两吊点横向中距 B		±4		
梁段顶板、底板宽 B1、B2		±4		钢盘尺
横断面对角线差 D1-D2		≤4	拼接处横断面	钢盘尺
顶板四角（A、B、C、D）相 对高差		≤7	测点在两端横隔板 上	水平仪

16.3.8 焊接

在焊接过程中，定位焊缝应距设计焊缝端部30mm以上，其长度为50mm～100mm；定位焊缝的间距及焊脚尺寸由组焊工艺确定，但不能大于实际焊角的1/2高。且每日每台班开始生产前或更改一种焊接条件时，应按规定的焊接工艺试焊2个圆柱头焊钉，进行外观和弯曲30°角检验，检验合格后方可进行正式焊接；若检验不合格，应分析原因重新施焊，直到合格为止。

16.3.9 焊接检验

16.3.9.1 焊缝的外观检验应符合以下要求：

- a) 所有焊缝应在全长范围内进行外观检查，并填写检查记录备查。焊缝外观不应有裂纹、未熔合、焊瘤、烧穿、夹渣、未填满弧坑及漏焊等缺陷,外观质量要求应符合表 32 的规定；

表 32 焊缝外观质量标准

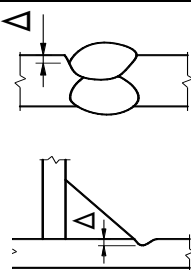
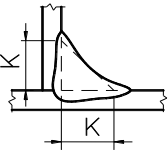
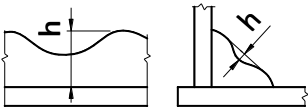
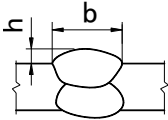
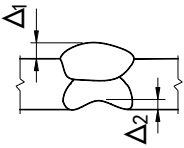
编号	项目	简 图	质 量 要 求 (mm)	
1	咬边		横、纵向受拉对接焊缝	不允许
			U形肋角焊缝翼板侧受拉区	
			横向受压对接焊缝 $\Delta \leq 0.3$	
			纵向对接缝、主要角焊缝 $\Delta \leq 0.5$	
			其它焊缝 $\Delta \leq 1.0$	
2	气孔	纵、横向对接焊缝	不允许	
		主要角焊缝	直径小于 1.0	每 m 不多于 3 个，其间距不小于 20 mm, 但焊缝端部 10 mm 之内不允许
		其它焊缝	直径小于 1.5	

表 32 焊缝外观质量标准 (续)

编号	项目	简 图	质 量 要 求 (mm)
3	焊脚 尺寸		主要角焊缝 K^{+2}_0 ，其他角焊缝 K^{+2}_0 手工焊角焊缝全长 10% 范围允许 K^{+3}_1
4	焊波		$h \leq 2$ (任意 25mm 范围内)
5	余高 (对接)		$b \leq 20$ 时, $h \leq 2$; $b > 20$ 时, $h \leq 3$
6	对接焊缝 余高铲磨		$\Delta_1 \leq 0.5$ $\Delta_2 \leq 0.3$ 粗糙度 $\sqrt{50}$
7	有效厚度	T 型角焊缝	凸面角焊缝有效厚度应不小于规定值 2.0 凹面角焊缝有效厚度应不小于规定值 0.3

b) 所有焊缝的外观检查均应在焊缝完全冷却到室温之后进行。

16.3.9.2 焊缝的无损检验应符合以下要求:

- 无损检测人员应取得资格证书, 且只应从事资格证书中认定范围内的工作;
- 焊缝经外观检验合格的焊接件, 应在焊接 24 小时后进行无损检验, 钢板厚度 30mm 以上的焊接件应在焊接 48 小时后进行无损检验;
- 焊缝无损检验的质量分级、检验方法、检验部位及执行标准应符合表 33 的规定;
- 焊缝超声波探伤 (UT) 的距离—波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合本规范附录 C 的规定; 其它要求应符合 GB/T 11345-1989 的规定;
- 采用超声波和磁粉进行局部探伤的焊缝, 若发现裂纹, 应将该条焊缝的探伤延至全长。采用射线探伤的焊缝, 当发现超标缺陷时应加倍检验;
- 焊缝的射线探伤 (RT) 应符合 GB/T 3323-2005 的规定;
- 焊缝的磁粉探伤 (MT) 应符合 JB/T 6061-2007 的规定;
- 用射线、超声波、磁粉等多种方法检验的焊缝, 应达到各自的质量要求, 方可认为该焊缝合格。

16.3.9.3 焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 33 的规定。距离、拨付曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合 JTG/T F50-2011 附录 F2 的要求。

表 33 焊缝无损检验质量等级及探伤范围

序号	焊 缝 部 位	焊 缝 等 级	探伤 方法	探伤 比例	探 伤 范 围	执行标准		
						标准号	检验 级别	验收 等级
1	工厂内对接接料焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
2	底板纵向对接焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
			X 射线	10%	焊缝中间 250~300mm	GB/T 3323-2005	B	II 级
3	顶板纵向对接缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
			X 射线	10%	焊缝中间 250~300mm	GB/T 3323-2005	B	II 级
4	梁段间横桥向顶板、底板对接焊缝（环焊缝）	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
			X 射线	顶板 100% 底板 30%	十字交叉处纵 横向各 1 张底片	GB/T 3323-2005	B	II 级
5	梁段间横桥向腹板对接焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
6	横隔板与腹板熔透角焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	A	I 级
			磁粉	100%	焊缝全长	JB/T 6061-2007		2X
7	横隔板与腹板坡口角焊缝	II 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89 (TB10212-2009)	A	II 级
8	横隔板对接接料及工地对接焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
9	腹板与顶、底板间坡口角焊缝	II 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	A	II 级
10	横隔板与顶、底板坡口角焊缝	II 级	超声波	100%	焊缝两端各 1m	GB 11345-89 (TB10212-2009)	A	II 级
11	横隔板与底板熔透坡口角焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长	GB 11345-89	B	I 级
			磁粉	100%	焊缝全长	JB/T 6061-2007		2X
12	横隔板与顶、底板角焊缝	II 级	磁粉	100%	焊缝两端各 1m	JB/T 6061-2007		2X
13	拆除临时连接件的部位	II 级	磁粉	100%	焊缝全长	JB/T 6061-2007		2X

16.3.10 产品试板

16.3.10.1 产品试板焊缝经外观和探伤合格后进行接头拉伸、焊缝金属拉伸、接头侧弯、焊缝金属低温冲击等试验，试件数量和试验结果应符合本规范附录 A 焊接工艺评定的有关规定。

16.3.10.2 若产品试板的试验结果不合格,可在原试板上重新取样再试验,如试验结果仍不合格,则应先查明原因,并报监理工程师,对其试板所代表的焊缝作相应处理。

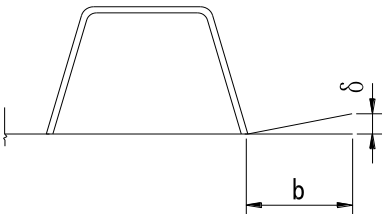
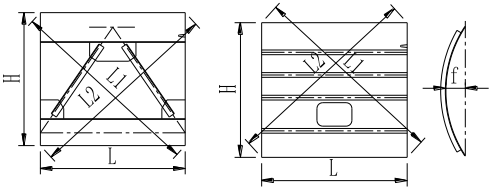
16.3.11 焊缝磨修和返修焊

超标缺陷修补方法应符合表B.1要求,焊缝超标缺陷经过修补之后,焊接接头质量应符合本规范15.3.9的规定。

16.3.12 矫正

16.3.12.1 板单元矫正后的尺寸允许偏差应符合表34的规定。

表 34 板单元矫正允许偏差 (mm)

序号	名称	项 目		允许偏差	示 意 图	备 注
1	顶板	长度、宽度		± 2		有切头时长度可放宽
		对角线相对差		≤ 4		
	底板	平面度 f	横向	S1/250		S1 纵肋间距
			纵向	S2/500		S2 横肋间距
	角变形		$\delta \leq b/150$			
	腹板	板边直线度 f		≤ 3		
		横、纵隔板接板垂直度		≤ 2		
3	横隔板	横隔板及接板长度、宽度		± 2		
		横隔板对角线差 L1-L2		4		
		横隔板及其接板平面度		≤ 2		
		横隔板接板垂直度		≤ 2		
		横隔板旁弯		≤ 2		

16.3.12.2 梁段矫正后的允许偏差应符合表35的规定。

表 35 梁段矫正允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)	备 注	检测方法
梁段高度 (H)	± 2	环缝处	用钢盘尺、 水平尺测量
	± 4	其余部分	
梁段长度 L	± 2	按梁段匹配测定	用钢盘尺测量
腹板中心距	± 2		用钢盘尺测量
梁段顶板宽 B	± 4		用钢盘尺测量
横断面对角线差	≤ 4	工地接头处的横断面	用钢盘尺测量
旁弯 f	≤ 5	单个梁段	紧线器、钢丝线、 经纬仪、钢板尺
桥面横坡	$\pm 0.15\%$	测量同一横断面	用水准仪测量
顶板、底板、腹板 平面度 f	$S/250$, 且 ≤ 8	S—加劲肋间距	用平尺、钢板尺测量
扭 曲	每米不超过 1, 且每段不大于 8	每段以两边隔板处为准	用垂球、钢板尺测量

16.3.13 预拼装

16.3.13.1 磨光顶紧处用 0.2mm 塞尺检查, 插入深度不应超过要求顶紧长度的 1/4。

16.3.13.2 预拼装检验必须在无日照影响的条件下进行, 并应有详细的检查记录, 预拼装允许偏差应符合表 36 的规定。

表 36 梁段预拼装允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)	备 注	检 测 方 法
预拼装长度 (L)	$\pm 2n$, ± 10 取绝对值较小者	n 为梁段数, L 为预拼装最外两个节段锚箱中心线间距	用钢盘尺、弹簧秤 测量
两相邻吊点纵距	± 3	测锚箱间距	
全 长 L	± 15	预拼装梁段的累加总长	用钢盘尺、弹簧秤 测量
顶板宽 B	± 4	拼接处相对差 ≤ 2	用钢盘尺、弹簧秤 测量
梁段中心线偏差	≤ 1	梁段中心线与桥轴中心线偏差	用激光仪测量
旁弯 f	$3+0.1L$, 且任意 20m 测 长内 ≤ 5	测桥面中心线的平面内偏差。L 为任意 3 个 预拼装梁段长度, 以 m 计。	用紧线器、钢丝线、 经纬仪、钢板尺测 量

表 36 梁段预拼装允许偏差（续）

项 目	允许偏差(mm)		备 注	检 测 方 法
扭曲	≤10mm		测量梁段 4 个端点标高（两端隔板处）	用经纬仪测量
接口处错边量	≤1.5		梁段匹配接口处安装匹配件后	用钢板尺测量
纵肋直线度	≤2		梁段匹配接口处	用钢板尺测量
竖曲线或预拱度	正偏差	3+0.15L ≥10	L 为预拼装匹配时三个梁段的长度，以 m 计。 测有横隔板处桥面标高。	用水准仪测量
	负偏差	3+0.15L ≥5		
注：当预拼装梁段累计偏差总长超过±15mm 时，应作好详细记录要在下批预拼装时调整。				

16.3.14 栓接表面抗滑移系数试验

在工地以高强度螺栓栓接的杆件和梁段板面(摩擦面)必须进行处理，处理后的抗滑移系数值应符合设计规定。设计未规定时，抗滑移系数出厂时应不小于0.55，工地安装前的复验值应不小于0.4，抗滑移系数试验应符合TB/T 2137的规定。

16.4 钢结构验收

16.4.1 一般规定

16.4.1.1 钢结构制造完成后应按照施工图及本文件规定进行质量检验和验收。

16.4.1.2 钢梁梁段制造尺寸允许偏差应符合表 37 的规定。

表 37 梁段制造尺寸允许偏差（mm）

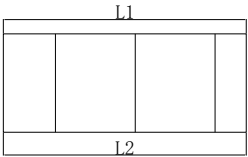

序号	项 目		允许偏差	示 意 图	测 量 方 法
1	梁 长	顶板长度 L1	± 2		以梁段两端检查线为基准，采用钢盘尺测量长度，合拢段长度根据实际测量结果确定
		底板长度 L2			
2	梁 高	环缝处	± 2		测量两端口，以底部为基准，采用激光仪测量高度
		其余部分	± 4		

表 37 梁段制造尺寸允许偏差 (mm) (续)

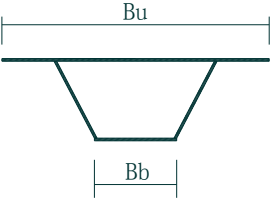
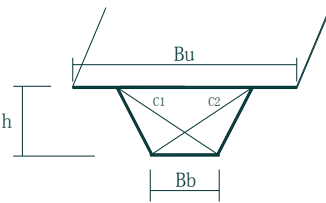
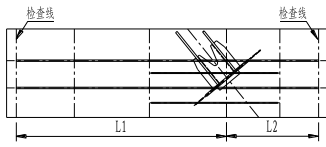
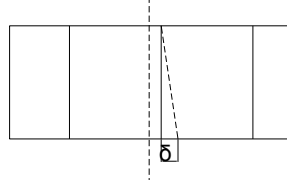

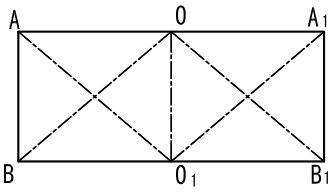
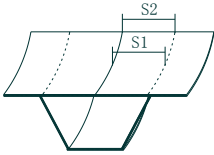
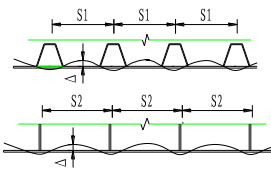
序号	项 目		允许偏差	示 意 图	测 量 方 法
3	梁 宽	梁段宽度 B	± 4		在梁段两端口用钢盘尺测量宽度
		顶板宽度 Bu			
		底板宽度 Bb			
4	端 口 尺 寸	横断面对角线差 $ C1-C2 $	≤ 5		用钢尺测量对角线
5	吊 点 位 置	同一梁段两侧吊点相对高差	≤ 5		用钢盘尺和水平仪测量
		吊点距端口检查线长度 L1、L2	± 2		
6	横 隔 板	垂直度偏差 δ	≤ 3		采用吊线锤和激光仪测量
		间距	± 2		用钢尺测量
7	顶 板	四 角 (A, B, C, D)	水平标高		用水准仪或激光仪测量, 测点在两端横隔板上
			相对高差		
		1/2 对角线(AO1、BO、A1O1、B1O)允许偏差			用钢尺测量, 测点在两端检查线上

表 37 梁段制造尺寸允许偏差 (mm) (续)

序号	项 目	允许偏差	示 意 图	测 量 方 法
8	梁 段 旁 弯 S1-S2 (S1、S2 为腹板 边到桥中线距离)	≤ 5		钢盘尺
9	板 面 平 面 度 横桥向	S1/250		S1 为纵肋间距 S2 为横隔板间距

16.4.1.3 钢梁制造完成后，应进行全面质量检查、验收，提交全部检查验收文件，经监理工程师确认、签证合格后，填发产品合格证。

16.4.2 出厂文件

16.4.2.1 钢桥出厂时，应提交下列文件：

- 产品合格证 (含质量检验报告)；
- 钢材、焊接材料、高强度螺栓及涂料的出厂质量证明书及复验报告；
- 焊接工艺评定报告及其它主要工艺试验报告；
- 工厂高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告；
- 缝无损检验报告和焊接接头破坏性检验报告；
- 焊缝重大修补记录；
- 产品试板的试验报告；
- 预拼装记录 (按预拼装批次)；
- 涂层检测记录。

16.4.2.2 出厂构件的质量文件须经监理工程师签认。

16.4.3 高强度螺栓接头抗滑移系数检验

高强度螺栓接头的抗滑移系数检验以2000t 为一批，每批制作6 组试件，其中3组出厂前做试验，另外3组随钢梁发送至工地，架梁前进行试验。

16.4.4 工地焊接质量和检验

16.4.4.1 工地焊接接头力学性能合格标准同工厂焊接。工地焊接产品试板应与工地施焊条件相同，就地由同一施焊人员焊接。

16.4.4.2 工地焊接检验应符合以下要求：

- 焊接接头外观检验，焊缝不应有裂纹、未熔合、焊瘤、夹渣、未填满弧坑，外观质量要求应符合表 32 的规定；
- 工地焊缝无损检验，工地焊缝的无损检测应符合表 33 规定。

16.4.4.3 工地焊缝缺陷的修补方法与工厂焊缝相同。

16.4.5 栓接

梁段间的栓接构造应在其焊缝检验合格后，终拧高强度螺栓连接副。高强度螺栓施工应符合TBJ 214的规定。

附 录 A
(规范性附录)
焊接工艺评定

A.1 一般要求

A.1.1 焊接工艺评定(以下简称“评定”)是编制焊接工艺的依据。

A.1.2 评定条件应与产品焊接条件相对应,评定应使用与产品相同的钢材及焊接材料。

A.1.3 制造厂应根据钢材类型、结构特点、接头形式、焊接方法、焊接位置等制定评定方案,拟定评定指导书,按本规范的相关要求进行评定

A.1.4 制造厂首次采用的钢材和焊接材料应进行评定,在同一制造厂已评定并批准的工艺,可不再进行评定;遇有下列情况之一者,应重新进行评定:

——钢种改变;

——焊接材料改变;

——焊接方法或焊接位置改变;

——衬垫材质改变;

——焊接电流、焊接电压或焊接速度改变 $\pm 10\%$ 以上;

——坡口形状和尺寸改变(坡口角度减少 10° 以上,熔透焊缝钝边增大2mm以上,无衬垫的根部间隙变化2mm以上,有衬垫的根部间隙变化在-2mm~+6mm);

——预热温度低于规定值下限温度 20°C ;

——电流种类及极性改变或电弧金属过渡方式改变。

A.1.5 评定包括对接接头试验、熔透角接试验和T形接头试验。

A.2 试板

A.2.1 试板宜选用碳、磷、硫等化学成分偏标准上限且冲击韧性偏标准下限的母材制备。

A.2.2 对接接头试板、熔透角接接头和部分熔透的T形接头试板应根据设计图选择有代表性的板厚进行评定试验。

A.2.3 试板长度应根据样坯尺寸、数量(含附加试样数量)等因素予以综合考虑,自动焊不宜小于600mm,手工焊、 CO_2 气体保护焊不应小于400mm。宽度应根据板厚、试样尺寸、探伤要求确定。

A.2.4 试板的制作应符合本规则的技术要求。

A.3 试验及检验

A.3.1 焊缝的外观质量应符合本规则4.12.1节的规定。

A.3.2 评定试板焊缝应沿焊缝全长进行超声波探伤,对接焊缝、熔透角焊缝质量等级为GB 11345中I级。坡口角焊缝、T型角焊缝质量等级为TB 10212-2009中II级。

A.3.3 样坯截取位置应根据焊缝外形及探伤结果，在试件的有效利用长度内作适当分布。试样加工前允许样坯冷矫正。

A.3.4 力学性能试验项目、试样数量及试验方法应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 力学性能试验项目、试样数量 (个)

试件型式	试验项目	试样数量（个）	试验方法
对接接头试件	接头拉伸（拉板）试验	1	按 GB 2649-2654 的规定
	焊缝金属拉伸试验	1	
	接头侧弯试验	1	
	低温冲击试验	6	
	接头硬度试验	1	
熔透角接试件	焊缝金属拉伸试验	1	
	低温冲击试验	6	
	接头硬度试验	1	
坡口角焊缝 T 型接头试件	焊缝金属拉伸试验	1	
	接头硬度试验	1	
对接接头侧弯试验：弯曲角度 $\alpha =180^{\circ}$ 。当板厚 $\leq 16\text{mm}$ 时， $d=2a$ ，板厚 $>16\text{mm}$ 时， $d=3a$ 。当板厚 $\leq 10\text{mm}$ 时，可以用正、反弯各一个代替侧弯。			
对接接头及熔透角接低温冲击试验缺口开在焊缝中心及熔合线外 1.0mm 处各 3 个。			

A.3.5 力学性能试验验收应符合下列规定:

- 若拉伸试验结果 (屈服强度、抗拉强度及延伸率) 不低于母材标准值, 则判为合格; 当试验结果低于母材标准值时, 则可从同一试件上再取一个试样重新试验, 若重新试验的结果不低于母材标准值, 则仍可判为合格, 否则, 判为不合格。
- 接头侧弯试验结束后, 若试样受拉面上的裂纹总长不大于试样宽度的 15%, 且单个裂纹长度不大于 3mm, 则判为合格; 当试验结果未满足上述要求时, 则可从同一试件上再取一个试样重新试验, 若重新试验的结果满足上述要求, 则仍判为合格, 否则, 判为不合格。
- 冲击试验结果, 各种焊接接头的 -20°C 的 V 冲击功不低于 27J, 若冲击试验的每一组 (3 个) 试样冲击试验结果的平均值不低于规定值, 且任一试验值都不小于规定值的 70%, 则判为合格; 当试验结果未满足上述要求时, 则可从同一试件上再取一组 (3 个) 附加试样重新试验, 若总计 6 个试验值的平均值不小于规定值, 且低于规定值的试验值不多于 3 个 (其中, 不得有 2 个以上的试验值低于规定值的 70%, 也不得有任一试验值低于规定值的 50%), 则仍可判为合格, 否则, 判为不合格。
- 在宏观断面上作焊接接头的硬度试验, 当焊接接头的硬度值不大于 HV350 时, 则判为合格, 否则, 判为不合格;
- 力学性能试验结束后, 若发现试样断口上有超标的缺陷, 应查明产生该缺陷的原因并决定试验结果是否有效。

A.3.6 每一评定应作一次宏观断面酸蚀试验, 试验方法应符合 GB 226 的规定; 焊缝成形系数应为

1.3~2.0。

A.3.7 不同材质焊接接头的拉伸、冲击、弯曲等力学性能应按性能要求较低的材质进行评定。

A.4 圆柱头焊钉焊接工艺评定试验

A.4.1 对直径 22mm 的援助头焊钉进行焊接工艺评定试验，圆柱头焊钉评定试验数量为 6 个，一组 3 个进行敲击 30° 弯曲检验；另一组 3 个进行拉伸检验。

A.4.2 圆柱头焊钉焊缝的外观质量应符合本规范 4.9.12 条的要求，焊脚饱满，高度和直径应满足标准规定尺寸。

A.4.3 弯曲试验采用锤击圆柱头焊钉的方法，弯曲角度为 30°。当焊钉焊脚未出现肉眼可见裂缝时，该焊钉焊缝判为合格，否则为不合格。弯曲试验的 3 个焊钉全部合格，则该组弯曲评定试验合格，若出现 2 个不合格，该组弯曲评定试验为不合格。若出现 1 个不合格，加倍补做，加倍补做的全部合格后，该组弯曲评定试验合格。

A.4.4 焊钉拉伸试验断裂在焊钉部位，且拉力载荷满足 GB/T 10433 的规定，则焊钉焊缝合格，否则为不合格。当 3 个焊钉焊缝全部合格时，则该组拉伸评定试验合格。若拉伸试验出现 2 个不合格，该组拉伸评定试验为不合格。若出现 1 个不合格，加倍补做试验，加倍补做的全部合格后，该组拉伸评定试验合格。

A.5 焊接工艺评定报告

“评定”报告应包括下列内容：

- 母材和焊接材料的牌号、规格、化学成分和力学性能等；
- 试板图，试件的施焊日期、工艺参数及焊接条件；
- 焊缝外观和无损检验结果，力学性能试验及宏观断面酸蚀试验结果；
- 结论及评定人员签字。

附 录 B
(规范性附录)
钢材及各种加工缺陷的修补

钢材及各种加工缺陷的修补方法应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 超标缺陷修补方法

序号	缺陷种类	修补方法
1	钢材表面麻坑划痕等	深度 0.3mm~1mm 的修磨匀顺, 超过 1mm 时补焊后修磨匀顺
2	钢材端面局部层状裂纹	深度为板厚 1/4 左右的裂纹长度不应超过 3mm 时, 气刨补焊后, 用砂轮修磨匀顺
3	气割边缘的缺口 (崩坑)	深度 2mm 以内的, 用砂轮磨顺, 超过 2mm 的, 磨出坡口补焊后修磨匀顺 (边缘加工且能加工掉的除外)
4	焊缝裂纹及弯曲加工时的边缘裂纹	查明原因, 提出防止措施, 清除裂纹, 按补焊工艺补焊后修磨匀顺
5	误引弧	对于直径 $\phi \leq 4\text{mm}$, 深不大于 0.5mm 的缺陷, 应用砂轮修磨匀顺; $\phi > 4\text{mm}$, 深大于 0.5mm 的缺陷, 补焊后用砂轮磨平
6	未焊透、夹渣、气孔、凹坑等	用碳弧气刨等清除后补焊并修磨匀顺
7	焊缝表面高低不平 (含焊接接头处)	用砂轮修磨匀顺
8	咬边	深度小于 1mm 的用砂轮修磨匀顺, 深度大于 1mm 的, 补焊后用砂轮修磨匀顺
9	焊瘤	用砂轮磨掉或用气刨清除掉后修磨匀顺
10	烧穿	清除熔渣, 并用手弧焊补焊烧穿缺口

附 录 C
(规范性附录)
焊接接头超声波探伤质量要求

C.1 焊接接头超声波探伤方法和探伤结果分级应符合 GB 11345 的规定，并应满足本附录的要求。

C.2 超声波探伤的距离—波幅曲线灵敏度应符合表 C.1 规定。

表 C.1 超声波探伤的距离—波幅曲线灵敏度

焊缝质量等级	板厚 (mm)	判废线	定量线	评定线
对接焊缝 I、II 级	10~46	$\phi 3 \times 40 - 6\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 14\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 20\text{dB}$
	47~80	$\phi 3 \times 40 - 2\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 10\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 16\text{dB}$
贴角焊缝 II 级	10~25	$\phi 1 \times 2$	$\phi 1 \times 2 - 6\text{dB}$	$\phi 1 \times 2 - 12\text{dB}$
	>25~80	$\phi 1 \times 2 + 4\text{dB}$	$\phi 1 \times 2 - 4\text{dB}$	$\phi 1 \times 2 - 10\text{dB}$
全熔透角焊缝 I 级	10~80	$\phi 3 \times 40 - 4\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 10\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 16\text{dB}$
		$\phi 6^*$	$\phi 3^*$	$\phi 2^*$
坡口角焊缝 II 级	10~80	$\phi 3 \times 40 - 4\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 10\text{dB}$	$\phi 3 \times 40 - 16\text{dB}$
注：a) 角焊缝超声波探伤采用铁路钢桥制造专用柱孔标准试块或与其校准过的其它孔形试块； b) 符号 $\phi 6$ 、 $\phi 3$ 、 $\phi 2$ 表示纵波探伤的平底孔参考反射体尺寸。				

C.3 超声波探伤缺陷等级评定应符合表 C.2 的规定；判定为裂纹、未熔合、未焊透（对接焊缝）等危害性缺陷者，应判为不合格。

表 C.2 长度评定区伤缺陷等级评定 (mm)

评定等级	板 厚	单个缺陷指示长度	多个缺陷的累积指示长度
对接焊缝Ⅰ级	10~80	t/4，最小可为 8	在任意 9t 焊缝长度范围不超过 t
对接焊缝Ⅱ级		t/2，最小可为 10	在任意 4.5t 焊缝长度范围不超过 t
全熔透角焊缝		t/3，最小可为 10	
角焊缝Ⅱ级		t/2，最小可为 10	
注：a) 母材板厚不同时，按较薄板评定； b) 缺陷指示长度小于 8mm 时，按 5mm 计。			

C.4 超声波检测不合格的缺陷，应予返修，返修区域修补后，返修部位及补焊受影响的区域，应按原探伤条件进行复验，复探部位的缺陷应按本附录评定。