



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

钢与混凝土组合桥面板技术规程

Technical specification for steel-concrete composite bridge deck

(征求意见稿)

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

钢与混凝土组合桥面板技术规程

Technical specification for steel-concrete composite bridge deck

T/CECS XXX—202X

主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

执行日期：2024 年 XX 月 1 日

中国计划出版社

2024 北 京

前 言

《钢与混凝土组合桥面板技术规程》(以下简称规程)是根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》(建标协字[2018]030 号)的要求进行编制。编制组经深入调查研究,认真总结实践经验,参考国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分为 9 章和 1 个附录。主要内容包括:总则、术语和符号、材料、设计基本规定、承载能力极限状态计算、正常使用极限状态计算、施工阶段计算、构造规定、施工要点及质量检验等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理,由上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见或建议,请反馈给上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司(地址:上海市杨浦区中山北二路 901 号,邮编:200092,邮箱:zouxiaojie@smedi.com)。

主编单位: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司

参编单位: 同济大学

上海市基础工程集团有限公司

北京市市政工程设计研究总院

主要起草人: 顾民杰 邹小洁 王青桥 苏庆田 金东华 吴琰 陈辉 陈亮 李东 李旭东 吴霄 向达

主要审查人:

目 录

1	总则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	材料	8
3.1	钢材	8
3.2	高韧性低收缩混凝土	9
3.3	超高性能混凝土	13
3.4	钢筋、焊钉连接件	14
4	设计基本规定	16
4.1	一般规定	16
4.2	结构形式	17
4.3	结构计算	20
5	承载能力极限状态计算	23
5.1	一般规定	23
5.2	正截面承载能力	24
5.3	斜截面抗剪、抗冲切承载能力	32
5.4	连接件计算	35
5.5	疲劳验算	37
6	正常使用极限状态计算	39
6.1	一般规定	39
6.2	变形验算	40
6.3	混凝土抗裂验算	41
7	施工阶段计算	45
7.1	一般规定	45
7.2	强度与刚度	45
8	构造设计	47

8.1	一般规定	47
8.2	底钢板	48
8.3	混凝土板	51
8.4	附属设施	53
9	施工要点及质量检验	55
9.1	一般规定	55
9.2	钢结构	55
9.3	混凝土	57
附录 A 超高性能混凝土收缩徐变性能		60
用词说明		62
引用标准名录		63
制定说明		65

CONTENTS

1 General provisions	1
2 Terms and symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	3
3 Materials.....	8
3.1 Steel.....	8
3.2 High performance low shrinkage concrete	9
3.3 Ultra high performance concrete.....	13
3.4 Reinforcement and welding nail connectors.....	14
4 Basic design requirements	16
4.1 General requirements	16
4.2 Structural style	17
4.3 Structural calculation	20
5 Calculation of ultimate limit state of bearing capacity	23
5.1 General requirements	23
5.2 Bearing capacity of normal section.....	24
5.3 Shear and punching resistance bearing capacity of oblique section	32
5.4 Calculation of connector	35
5.5 Fatigue verification	37
6 Calculation of normal use limit state	39
6.1 General requirements	39
6.2 Deformation verification.....	40
6.3 Concrete crack resisting calculation	41
7 Calculation of construction stage.....	45
7.1 General requirements	45
7.2 Strength and stiffness	45
8 Construction design.....	47
8.1 General requirements	47

8.2 Bottom steel plate.....	48
8.3 Concrete slab.....	51
8.4 Ancillary facilities	53
9 Construction key points and quality inspection	55
9.1 General requirements	55
9.2 Steel structure.....	55
9.3 Concrete	57
Appendix A Shrinkage and creep performance of ultra-high performance concrete	60
Explanation of wording.....	62
List of quoted standards	63

1 总则

1.0.1 为规范钢与混凝土组合桥面板设计、施工及质量检验，做到安全适用、技术先进、经济合理、环保耐久，制定本规程。

条文说明：钢与混凝土组合桥面板是在底钢板顶面按一定规则设置连接件，浇筑混凝土后形成共同受力的桥面板。钢与混凝土组合桥面板考虑了底钢板与钢筋混凝土的组合作用，相比钢筋混凝土桥面板，可有效地提高承载能力，减小桥面板整体厚度，相比正交异性钢桥面板，可提高桥面板的刚度和抗疲劳性能。钢与混凝土组合桥面板的底钢板除了参与桥面板组合受力外，还可充当施工平台及混凝土浇注模板，施工方便。

由于钢与混凝土组合桥面板具有承载能力强、耐久性好、施工便利的特点，近年来越来越多的被应用于工程实践，但目前钢与混凝土组合桥梁相关国家标准和行业标准对钢与混凝土组合桥面板设计的针对性不强，为了更好的指导钢与混凝土组合桥面板的设计、施工及质量检验，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路或城市道路桥梁的钢与混凝土组合桥面板设计、施工和质量检验。

1.0.3 钢与混凝土组合桥面板设计、施工及质量检验除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 钢与混凝土组合桥面板 steel-concrete composite bridge deck

在底钢板顶面按一定规则设置连接件，绑扎钢筋，浇筑混凝土后形成共同受力的桥面板。

2.1.2 底钢板 bottom steel plate

顶面设置连接件并与混凝土板共同受力，既充当混凝土浇筑模板又参与结构受力的钢板。

2.1.3 连接件 connector

用于连接底钢板与混凝土板并承受二者之间的水平剪力，能抵抗二者相对滑移、竖向分离，保证二者共同受力的部件，分为开孔板连接件、焊钉连接件、钢筋桁架连接件等。

2.1.4 开孔板连接件 perforated plate connector

将开孔板竖直焊接于底钢板上，并埋设于混凝土中的连接件。

2.1.5 焊钉连接件 welding nail connector

将焊钉焊接于底钢板上，并埋设于混凝土中的连接件。

2.1.6 钢筋桁架连接件 steel bar truss connector

将由钢筋焊接组成的钢筋桁架焊接于底钢板上，并埋设于混凝土中的连接件。

2.1.7 高韧性低收缩混凝土 high performance low shrinkage concrete

由水泥、矿物掺合料、粗细骨料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有低收缩、较高强度和较高韧性的钢纤维混凝土。

2.1.8 超高性能混凝土 ultra high performance concrete

由水泥、矿物掺合料、骨料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有高强、高韧、高耐久性的纤维增强水泥基复合材料, 英文为 Ultra-High Performance Concrete, 简称 UHPC。

2.1.9 不带肋底钢板-高韧性纤维混凝土组合桥面板 bottom steel plate with no ribs -high performance low shrinkage concrete composite bridge deck

在底部不设加劲肋、顶部设置开孔板连接件或钢筋桁架连接件的底钢板上现浇高韧性纤维混凝土形成共同受力结构的组合桥面板。

2.1.10 带肋底钢板-高韧性纤维混凝土组合桥面板 bottom steel plate with ribs -high performance low shrinkage concrete composite bridge deck

在底部设置加劲肋的底钢板上现浇高韧性纤维混凝土形成共同受力结构的组合桥面板。

2.1.11 带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板 bottom steel plate with ribs - ultra high performance concrete composite bridge deck

在底部设置加劲肋的底钢板上现浇超高性能混凝土形成共同受力结构的组合桥面板。

2.2 符号

2.2.1 材料性能相关的符号

E_c ——混凝土的弹性模量;

E_s ——钢筋的弹性模量;

f_{cd} ——纤维混凝土的轴心抗压强度设计值;

f_{td} ——纤维混凝土的轴心抗拉强度设计值;

f_y ——钢材屈服强度;

- f_{vd} ——钢材抗剪强度设计值；
- f_d ——钢材抗拉（抗压）强度设计值；
- f_{sd} ——钢筋抗拉（抗压）强度设计值；
- f_{d1} ——焊钉连接件的抗拉强度设计值；
- f_{st} ——开孔板连接件中贯穿钢筋抗拉强度设计值；
- f_f^w ——开孔板连接件与底钢板间焊缝强度设计值；
- f_{ucd} ——超高性能混凝土的轴心抗压强度设计值；
- $\sigma_{U,D}$ ——超高性能混凝土的容许疲劳强度；
- f_{ftu} ——受拉区等效矩形应力图的纤维混凝土抗拉强度设计值；
- f_{ct} ——超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值；
- f_{ctf} ——受拉区等效矩形应力图的超高性能混凝土抗拉强度设计值。

2.2.2 作用与作用效应相关的符号

- N ——截面上承担的轴力；
- M ——截面上承担的弯矩；
- N_d ——钢与混凝土组合桥面板的轴拉设计值；
- M_d ——钢与混凝土组合桥面板的弯矩设计值；
- M_s ——按荷载频遇组合计算的弯矩设计值；
- F_{ld} ——钢与混凝土组合桥面板的冲切力设计值；
- V_d ——钢与混凝土组合桥面板斜截面上的剪力设计值；
- V_{uc} ——混凝土的斜截面抗剪承载力设计值；
- V_{us} ——钢构件的斜截面抗剪承载力设计值；
- V_{zd1} ——单个焊钉连接件抗剪承载力设计值；
- V_{zd2} ——开孔板连接件单孔的抗剪承载力设计值；
- V_s ——开孔板连接件孔间钢板抗剪承载力设计值；

N_v ——开孔板焊缝承载力设计值；

V_{zd} ——混合连接件抗剪承载力设计值；

N_1 ——按作用准永久组合计算的内力值（弯矩或轴向力）；

N_s ——按作用频遇组合计算的内力值（弯矩或轴向力）；

$\sigma_{st,max}$ ——超高性能混凝土在频遇组合下的最大拉应力；

σ ——加劲肋腹板上同时产生的正应力；

τ ——加劲肋腹板上同时产生的剪应力。

2.2.3 几何参数相关的符号

b_{cm} ——钢与混凝土组合桥面板的有效工作宽度；

b ——钢与混凝土组合桥面板的单位宽度；

b_m ——集中荷载在钢与混凝土组合桥面板中的分布宽度；

L ——板的计算跨度；

L_p ——荷载作用点至钢与混凝土组合桥面板支撑的较近距离；

a_c ——荷载长度；

b_c ——荷载宽度；

h_f ——铺装层厚度；

h_c ——混凝土板的厚度；

h ——钢与混凝土组合桥面板总厚度；

h_0 ——钢与混凝土组合桥面板截面有效高度；

A_s ——混凝土板上缘钢筋的截面面积；

a_s ——受压区钢筋合力点到混凝土板上缘距离；

x_c ——混凝土板的受压区高度；

x_s ——底钢板的受压区高度；

t ——底钢板的厚度；

c_p ——临界周界长度；

A_{s1} ——焊钉连接件钉杆截面面积；

W_r ——钢与混凝土组合桥面板剪力作用范围内的有效肋宽；

d_p ——开孔板连接件开孔直径；

t_0 ——开孔板连接件厚度；

h_1 ——开孔板连接件高度；

A_{pbl} ——受拉区开孔板连接件的面积；

A_w ——开孔板连接件孔间钢板最小平面（纵向）截面积；

A_{w1} ——加劲肋腹板截面面积；

d_1 ——带肋底钢板塑性中性轴以上受拉区截面形心距钢构件塑性中性轴高度；

d_2 ——带肋底钢板塑性中性轴以上受压区截面形心距钢构件塑性中性轴高度；

d_{st} ——开孔板连接件中贯穿钢筋直径；

d_s ——受拉区纵向钢筋直径；

d_{pbl} ——受拉区开孔板连接件的换算直径；

d_{eq} ——受拉区纵向钢筋和开孔板连接件的等效直径；

l_w ——开孔板连接件孔间的焊缝长度；

h_e ——混凝土板截面有效高度；

h_{e1} ——开孔板连接件与底钢板间的焊缝高度；

W_{fk} ——最大裂缝宽度；

A ——带肋底钢板截面面积；

$A1$ ——带肋底钢板受压区截面面积；

$A2$ ——带肋底钢板受拉区截面面积；

h_s ——带肋底钢板形心距构件底缘高度；

l_f ——纤维长度；

d_f ——纤维直径或等效直径；
 h_p ——带肋底钢板塑性中性轴距构件底缘高度；
 W_{px} ——带肋底钢板截面塑性截面模量；
 c ——混凝土板最外排纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度。

2.2.4 计算系数及其他有关符号

γ_0 ——桥梁结构的重要性系数；
 γ ——构件系数；
 λ ——钢与混凝土组合桥面板计算截面的剪跨比；
 C_1 ——钢筋表面形状系数；
 C_2 ——作用（或荷载）长期效应影响系数；
 C_3 ——与构件受力性质有关的系数；
 σ_{ss} ——作用频遇组合下负弯矩纵向钢筋应力；
 ρ_{te} ——混凝土板上缘纵向受拉钢筋和受拉区开孔板连接件的配筋率之和；
 ν_1 ——钢筋相对粘结特性系数；
 ν_2 ——开孔板连接件的相对粘结特性系数；
 n_1 ——受拉区纵向钢筋的换算根数；
 n_2 ——单位宽度开孔板连接件列数；
 λ_f ——钢纤维含量特征值；
 β_v ——钢纤维对受弯构件斜截面上混凝土受剪承载力的影响系数；
 β_{tu} ——纤维对构件正截面受拉区纤维混凝土抗拉强度的影响系数；
 ρ_f ——纤维混凝土体积率；
 K ——超高性能混凝土纤维方向系数；
 γ_{cf} ——超高性能混凝土材料分项系数；
 B ——计算参数。

3 材料

3.1 钢材

3.1.1 结构用钢材的技术条件应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定。

3.1.2 底钢板宜结合桥梁结构形式、受力特点、连接方式及其所处环境条件等因素采用。不带肋底钢板宜采用 Q235 钢材，带肋底钢板宜采用 Q345q 钢材或适用于桥梁结构的低合金结构钢。

条文说明：不带肋底钢板组合桥面板的底钢板一般设置于纵横格子梁上，其厚度薄、应力水平低，但刚度要求大，Q235 钢材质量稳定、性能可靠、工程经验多、价格低，一般采用 Q235 材质。

带肋底钢板组合桥面板一般用于钢箱梁，底钢板即为钢箱梁顶板，与钢箱梁一起在钢结构加工厂进行整体制作，底钢板厚度较厚、应力水平较高，故带肋底钢板一般采用 Q345q 或适用于桥梁结构的低合金结构钢。

3.1.3 开孔板连接件宜采用牌号 Q235 钢材。

3.1.4 桥梁用结构钢钢材的强度设计值应根据钢材的不同厚度按表 3.1.4-1 取值，低合金结构钢钢材的强度设计值应按现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的有关规定取值。

表 3.1.4-1 桥梁用结构钢钢材的强度设计值 (MPa)

钢 材		抗拉、抗压和抗弯 f_d	抗剪 f_{vd}	端面承压（刨平顶紧）
牌号	厚度 (mm)			f_{cd}
Q345q	≤50	275	155	370
	50~100	265	150	
Q370q	≤50	295	170	385
	50~100	285	165	
Q420q	≤50	335	195	405
	50~100	325	185	

注：表中厚度指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件指截面中较厚板件的厚度。

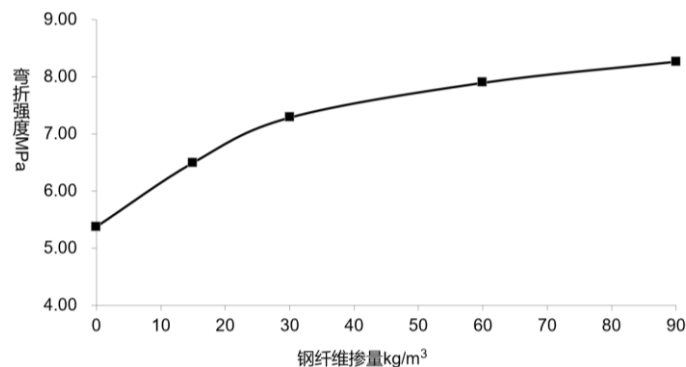
条文说明：抗拉、抗压和抗弯强度设计值 f_d 以钢材的屈服强度为基础，除以材料强度分项系数 γ_R 并取 5 的整数倍而得。材料的强度分项系数取 $\gamma_R = 1.25$ 。

钢材的抗剪强度以 f_d 为基础， $f_{vd} = f_d/\sqrt{3} = 0.577f_d$ 。钢材的端面承压（刨平顶紧）强度设计值以抗拉强度最小值 f_u 为基础， $f_{cd} = f_u/1.322$ 。

3.2 高韧性低收缩混凝土

3.2.1 高韧性低收缩混凝土应掺入 50~70kg/m³ 的钢纤维，可同时掺入 0.7~0.9kg/m³ 的聚丙烯腈纤维或其他合成纤维，并采取减缩措施。

条文说明：为增加高韧性低收缩混凝土的抗裂性能，可在混凝土中增加钢纤维及聚丙烯腈纤维。以 C40 为基体，钢纤维混凝土的弯拉强度本构关系如图 3.2.1-1。



来源：上海市建筑科学研究院

图 3.2.1-1 钢纤维混凝土弯拉强度本构关系 (C40 基体)

由上图可知，当钢纤维含量在 30kg/m³ 时，C40 混凝土抗折强度达到 7MPa，但后续强度提升较慢，最大约 8MPa，钢纤维增加引起的抗折强度的提升幅度有限；且过多的钢纤维不易搅拌，导致在混凝土中成块，性能不稳定，故对于有

更高抗折强度要求的混凝土，应该通过提升混凝土强度等级及在一定范围提升钢纤维含量来达到性能要求。

同时，搜集了部分工程实例中混凝土中钢纤维含量数据，汇总表格如下。

表 3.2.1-1 工程实例混凝土中钢纤维含量汇总表

序号	工程名称	掺量
1	上海 S4 公路闵行入城段高架	50kg-75kg/m³
2	上海两港大道	50kg-75kg/m³
3	广州丫髻沙大桥	60kg/m³
4	浦东机场 T3 航站楼停机坪	60kg/m³
5	北京大兴机场高架桥	62.8kg/m³
6	杭州萧山国际机场高架	50kg/m³
7	西宁曹家堡机场高架	50kg-75kg/m³
8	济宁城市快速路	50kg-75kg/m³
9	济宁-曲阜快速路高架	50kg-75kg/m³
10	赣州城市快速路	50kg-75kg/m³
11	福建厦门海沧大桥	50kg/m³
12	杭州钱江四桥	60kg/m³

由上述表格可知，混凝土中钢纤维含量一般不小于 50kg/m³。

故对于对Ⅰ型高韧性低收缩混凝土（抗折强度≥6MPa），混凝土强度等级不应低于 C40，钢纤维含量 50~60kg/m³；对Ⅱ型高韧性低收缩混凝土（抗折强度≥10MPa），混凝土强度等级不应低于 C60，钢纤维含量 60~70kg/m³。

3.2.2 高韧性低收缩混凝土的性能指标应符合表 3.2.2-1 规定，并应符合现行行业标准《钢纤维混凝土》JG/T 472 和《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定：

表 3.2.2-1 高韧性低收缩混凝土性能指标

高韧性低收缩混凝土类型		I 型	II 型	
适用混凝土板厚度		≥15cm	8cm~12cm	
项目		性能指标		试验方法标准
骨料最大粒径（mm）		≤15	≤15	GB/T 14685
抗压强度（MPa）	1 d	—	≥30	GB/T 50081
	28 d	不低于 C40	不低于 C60	
28d 抗折强度（MPa）		≥6.0	≥10.0	
28d 残余抗弯拉强度	CMOD=0.5mm	≥3.0	≥8.0	GB/T 39147

高韧性低收缩混凝土类型		I 型	II 型	
(MPa)	CMOD=3.5mm	≥1.5	≥4.0	
限制膨胀率（掺加膨胀剂时）（%）	水中 7d 转空气中 28d	≥-0.020	≥-0.010	GB 50119 ^a
28d 收缩率		≤2.0×10 ⁻⁴		GB/T 50082
坍落度（mm）		不宜大于 190	不宜大于 120	GB/T 50080
水胶比		不宜小于 0.30		
泌水率（%）		0		
水溶性氯离子含量（%）		≤0.06		JGJ/T 322
注： ^a 限制膨胀率试验应在混凝土终凝后 1h 内测量试件的初始长度。				

3.2.3 混凝土采用的粗骨料,应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 和现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。

3.2.4 混凝土采用的河砂、机制砂应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 和现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。宜选用颗粒级配位于 II 区的中砂,应不含泥块。机制砂的 MB 值应不大于 1.4,且石粉含量不大于 10%。严禁采用具有碱活性的机制砂。

3.2.5 外加剂应符合下列规定:

1 减水剂宜采用高效保塑、缓凝的聚羧酸系高性能减水剂,其减水率不宜低于 25%;

2 减水剂中的氯离子含量不应大于混凝土中胶凝材料总量的 0.02%,硫酸钠含量不应大于减水剂干重的 15%;

3 不应使用含氯化钠、氯化钙等氯盐的外加剂,不宜使用早强剂;

4 不宜使用亚硝酸盐类阻锈剂;

5 对收缩性能有限制要求时,宜使用膨胀剂。膨胀剂性能应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定。

条文说明:采用掺加膨胀剂的方法补偿混凝土的收缩变形,是控制混凝土早

期开裂和长期干燥环境下收缩裂缝的重要技术措施。当工程设计需要时，宜选用膨胀剂配制高韧性低收缩混凝土。

3.2.6 钢纤维宜采用钢锭铣削型钢纤维、镀铜微丝钢纤维或具有钢锭铣削型钢纤维分散机理的其他钢纤维，不得采用波浪、带倒钩、搅拌易成团等在混凝土中不能分散均匀的钢纤维。

条文说明：按生产工艺区分，钢纤维主要分为切断型钢纤维、剪切型钢纤维及钢锭铣削型钢纤维等。试验研究表明，与前两种钢纤维相比，钢锭铣削型钢纤维与混凝土粘结力、摩擦力及咬合力更优，在混凝土中更易均匀分散形成空间网状结构，可改善混凝土内部应力，有效地增强混凝土抗拉、抗弯拉强度，显著提高混凝土韧性，减少收缩裂缝和限制裂缝扩展，增加混凝土板耐久性。

I 型高韧性低收缩混凝土中钢纤维一般采用钢锭铣削型钢纤维，II 型高韧性低收缩混凝土一般采用钢锭铣削型钢纤维掺入镀铜微丝的混合钢纤维。

3.2.7 钢锭铣削型钢纤维应符合下列规定：

- 1 钢纤维应采用连铸钢坯铣削工艺生产而成，表面自然发蓝，外弧面光滑，内弧面粗糙，径向扭曲，截面翼型，两端有锚固段，抗拉强度不小于 700MPa；
- 2 钢纤维长度 30~35mm，宽度 2.0~3.0mm，沿径向扭曲角度为 $20 \pm 5^\circ$ ；
- 3 钢纤维的公称长度和公称宽度偏差应在公称值的 $\pm 10\%$ 以内；
- 4 钢纤维应能在混凝土中均匀分散，罐车取样单位体积钢纤维含量与中值差异不大于 15%，无结团现象，可泵送；
- 5 钢纤维应具有良好的外形，形状合格率不应低于 85%；
- 6 钢纤维应具有良好的弯折性能，将钢纤维围绕直径 3mm 的圆钢棒向纤维粗糙面方向弯折 90° ，10 根试样中至少应有 9 根不断；
- 7 钢纤维内含有的因加工不良和严重锈蚀造成的粘连片、铁屑及其他杂质的

总重量应不超过钢纤维重量的 1%；

8 钢纤维表面应保持干燥清洁，不应粘有残留物，包括表面氧化物、油脂、污垢及其它影响钢纤维在混凝土中和易性的物质。

3.2.8 镀铜微丝钢纤维应符合下列规定：

- 1 钢纤维表面镀铜，为单丝切断直型，无油无锈；
- 2 钢纤维长度 6~25mm，直径 0.10~0.25mm，长径比 50~120；
- 3 钢纤维抗拉强度不小于 2000MPa；
- 4 钢纤维形状合格率不小于 96%，杂质含量不大于 1.0%。

3.2.9 聚丙烯腈纤维应符合下列规定：

- 1 纤维直径 12~15 μ m，长度 6~12mm，抗拉强度不小于 800MPa，弹性模量 7.0~9.0GPa；
- 2 纤维在混凝土中不应结团，分散性能优良；
- 3 纤维外色应均匀，没有污染，不应含有杂质；
- 4 纤维应具有良好的亲水性能，在水中均匀分散。

3.2.10 混凝土弹性模量、剪切模量等其他材料性能指标应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定。

3.3 超高性能混凝土

3.3.1 超高性能混凝土应选用应变硬化型，强度等级、性能及原材料应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387、现行中国建筑材料协会标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37 和现行中国工程建设标准化协会标准《公路超高性能混凝土（UHPC）桥梁技术规程》T/CECS G: D60-02 的有关规定。

3.3.2 超高性能混凝土弹性模量测试宜根据现行国家标准《活性粉末混凝土》

GB/T 31387、现行中国建筑材料协会标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37 和现行中国工程建设标准化协会标准《公路超高性能混凝土（UHPC）桥梁技术规程》T/CECS G: D60-02 的有关规定进行，剪切变形模量可取相应弹性模量值的 0.4 倍。泊松比应按 0.2 采用，温度线膨胀系数应取 $1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。

3.3.3 超高性能混凝土抗压强度应按边长为 100mm 的立方体试件抗压强度标准值确定，自然养护龄期 28d 或热养护龄期 7d 立方体抗压强度不应低于 120MPa，28d 弹性极限抗拉强度不应低于 8MPa，28d 抗拉强度与 28d 弹性极限抗拉强度的比值不小于 1.2。

3.3.4 超高性能混凝土极限拉伸应变不应低于 0.2%。

3.3.5 当桥梁纵坡、横坡 $\leq 3\%$ 时，超高性能混凝土初始扩展度不宜小于 650mm，1h 扩展度损失不宜大于 50mm；当纵坡、横坡 $> 3\%$ 时，超高性能混凝土初始扩展度和 1h 扩展度损失可根据实际情况进行调整。

条文说明：带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板厚度一般为 50~100mm，厚度较小，超高性能混凝土通常采用免振捣的施工工艺，扩展度和相应的施工措施应满足现场施工免振捣、自密实的工艺要求。

3.4 钢筋、焊钉连接件

3.4.1 钢与混凝土组合桥面板所采用的钢筋材料性能指标应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定。

3.4.2 桥面板纵横向钢筋宜采用 HRB400 钢筋，钢筋桁架连接件弯折腹杆筋宜采用 HPB300 钢筋。

3.4.3 钢与混凝土组合桥面板的焊钉连接件的材料性能应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433 的有关规定。

4 设计基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 钢与混凝土组合桥面板应进行承载能力和正常使用两类极限状态设计。

4.1.2 钢与混凝土组合桥面板设计应包含下列内容：

- 1 桥梁总体设计与钢与混凝土组合桥面板结构形式选用；
- 2 主梁结构及组合桥面板构造设计；
- 3 作用及作用效应分析；
- 4 钢与混凝土组合桥面板的极限状态验算；
- 5 钢与混凝土组合桥面板的耐久性设计；
- 6 钢与混凝土组合桥面板满足特殊要求的专项设计。

4.1.3 钢与混凝土组合桥面板设计使用年限不应小于 100 年。钢结构防腐涂层的保护年限不应小于 30 年。

条文说明： 现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015 和《城市桥梁设计规范》CJJ 11-2011 对于桥梁设计使用年限的规定基本一致：特大桥、大桥、重要中桥的设计使用年限为 100 年，一般中桥和重要小桥设计使用年限为 50 年，其他小桥和涵洞的设计使用年限为 30 年。钢与混凝土组合桥面板一般在特大桥、大桥、重要中桥中采用，故规定设计使用年限不小于 100 年。

根据现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2023 的相关规定，钢与混凝土组合桥面板中钢结构的涂层保护年限为 30 年。

4.1.4 本规程钢与混凝土组合桥面板应采用高韧性低收缩混凝土或超高性能混凝土。

条文说明：高韧性低收缩混凝土是在水泥基混凝土中掺入乱向均匀分布的短纤维形成的具有优异抗裂、抗渗性能的混凝土。超高性能混凝土是由水泥、

矿物掺合料、骨料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有高强、高韧、高耐久性的纤维增强水泥基复合材料。

考虑施工便易性，钢与混凝土组合桥面板的混凝土一般利用底钢板作为施工平台和模板，进行现场浇筑施工，如果采用常规混凝土，易产生收缩开裂。因此推荐采用高韧性低收缩混凝土和超高性能混凝土等具有优异抗裂性能的材料。

4.2 结构形式

4.2.1 钢与混凝土组合桥面板结构形式的选择应综合桥梁结构形式、受力特点、连接方式及其所处环境条件等因素确定，可采用不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板、带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板或带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板。

4.2.2 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板宜用于纵横格子梁体系桥梁结构，常见构造见图 4.2.2-1、图 4.2.2-2、图 4.2.2-3。

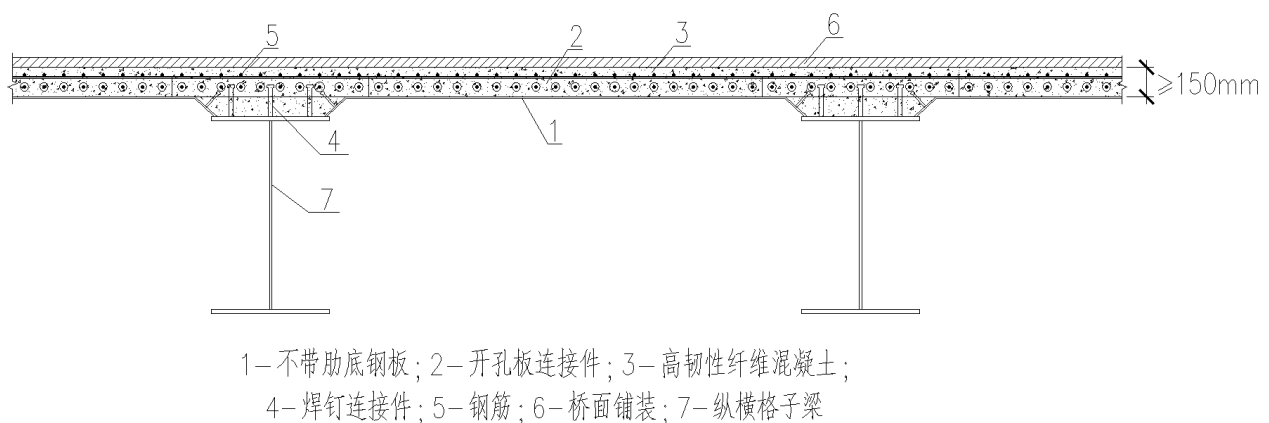


图 4.2.2-1 采用开孔板连接件的不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板

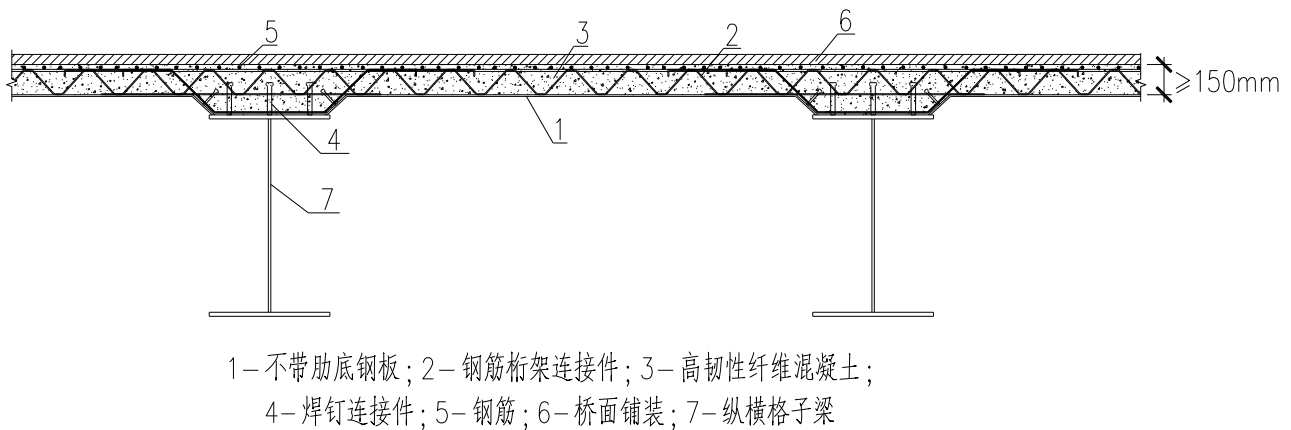


图 4.2.2-2 采用钢筋桁架连接件的不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板

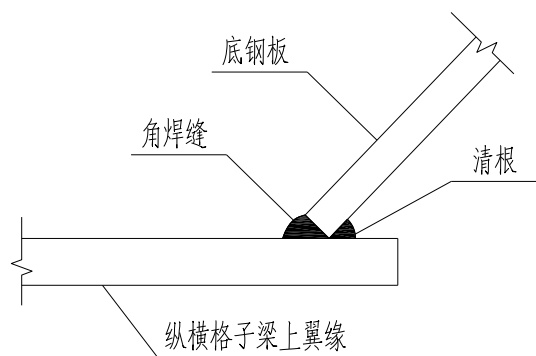


图 4.2.2-3 不带肋底钢板与纵横格子梁焊接大样

条文说明：不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的底钢板顶部设置开孔板连接件或钢筋桁架连接件，这两种连接件除了起到钢与混凝土之间连接作用之外，还可以在混凝土浇筑时对底钢板起到加劲作用，因此底钢板不需要额外设置加劲肋以满足施工阶段的受力要求。同时，不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的混凝土板厚度一般不小于 150mm，因此底钢板也不需要额外设置加劲肋以满足成桥使用阶段的受力要求。综合考虑施工阶段和成桥阶段受力情况，底钢板底部不设置加劲肋，因此称为“不带肋底钢板”。

不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的底钢板一般在钢结构加工厂进行制作，然后再运输到施工现场。为了方便运输，底钢板尺寸一般不会太大，因此适合使用在采用纵横格子梁的主梁结构上。

4.2.3 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板或带肋底钢板-超高性能

混凝土组合桥面板宜用于钢箱梁结构。带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板常见构造见图 4.2.3-1，带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板常见构造见图 4.2.3-2。

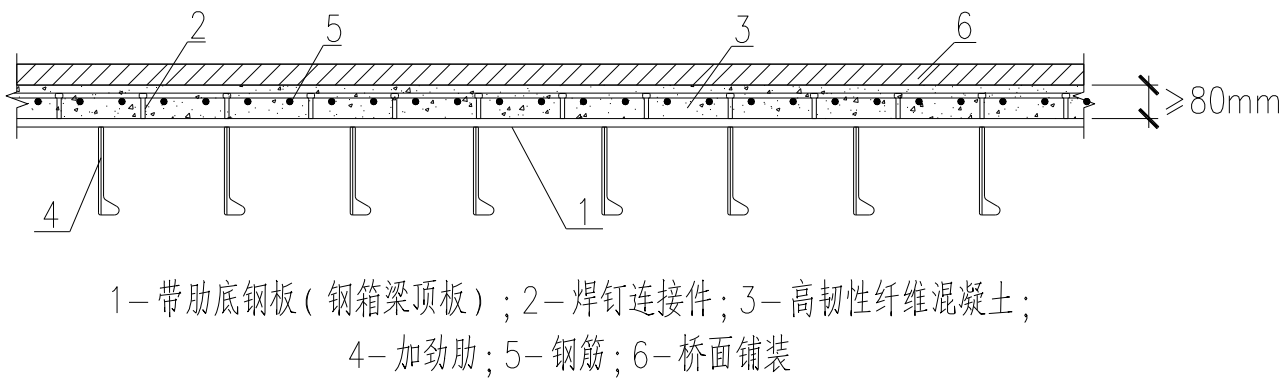


图 4.2.3-1 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板

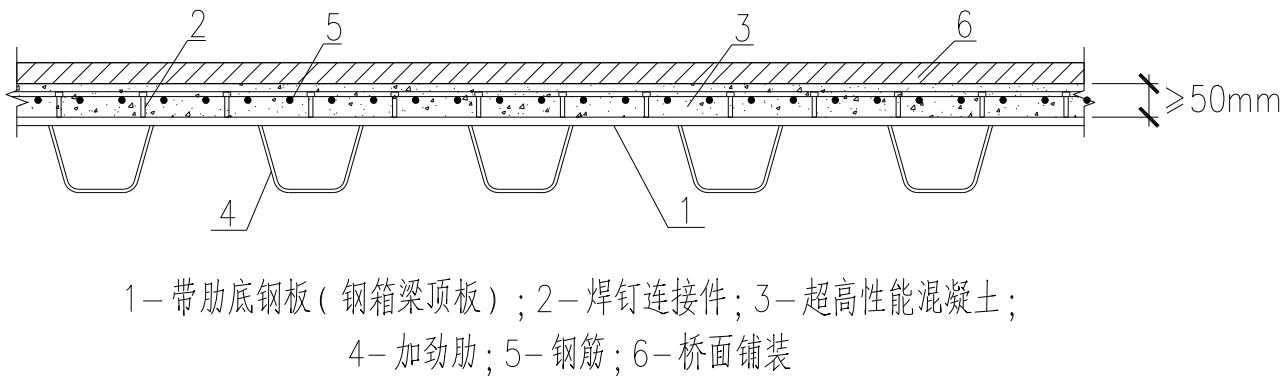


图 4.2.3-2 带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板

条文说明：带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板混凝土厚度一般在 80mm~120mm，带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板的厚度一般在 50mm~100mm。由于桥面板整体较薄，且底钢板顶部一般不具备设置具有加劲能力的连接件的条件，因此，这两种组合桥面板需要在底钢板底部设置加劲肋以满足施工阶段和成桥使用阶段的受力要求，因此称为“带肋底钢板”。

带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板和带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板一般用于钢箱梁，其底钢板即为钢箱梁顶板，与钢箱梁一起在钢结构加工厂进行整体制作。

4.2.4 钢与混凝土组合桥面板宜采用单向板。

4.3 结构计算

4.3.1 钢与混凝土组合桥面板应分别按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行强度、刚度和抗裂计算。

4.3.2 钢与混凝土组合桥面板应对成桥使用阶段和施工阶段分别进行计算，并应计入施工阶段的累积效应。

4.3.3 钢与混凝土组合桥面板施工阶段计算应包含运输、安装、桥面混凝土浇筑、混凝土参与受力等不同阶段。

4.3.4 钢与混凝土组合桥面板计算所采用的作用及组合应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和现行国家标准《城市道路交通工程项目规范》GB55011 的相关规定。

4.3.5 钢与混凝土组合桥面板的设计内力应根据不同桥型、截面形式及其受力特点，计入纵、横向总体受力和桥面板局部受力，其计算应满足下列规定：

1 不带肋底钢板组合桥面板参与纵、横向总体受力计算时，可忽略开孔板连接件的影响。组合桥面板参与总体受力的有效分布宽度应按现行行业标准《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG D64-01 执行。

2 带肋底钢板组合桥面板参与总体受力的有效分布宽度应按现行行业标准《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG D64-01 执行。

3 不带肋底钢板组合桥面板参与纵、横格子梁在局部荷载作用下的强度和挠度计算时，其有效工作宽度 b_{cm} 应按式(4.3.4-1)~式(4.3.4-3)计算。

1) 抗弯计算时：

$$b_{cm} = b_m + \frac{1}{3} \left[4L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \right] \quad (4.3.4-1)$$

2) 抗剪计算时:

$$b_{cm} = b_m + L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \quad (4.3.4-2)$$

$$b_m = b_c + 2(h_c + h_f) \quad (4.3.4-3)$$

式中: b_{cm} ——钢与混凝土组合桥面板的有效工作宽度, mm;

L ——板的计算跨度, mm;

L_p ——荷载作用点至钢与混凝土组合桥面板支撑的较近距离, 当跨度内有多个集中荷载时, L_p 应取产生较小 b_{cm} 值的相应荷载作用点至较近支承点的距离;

b_m ——集中荷载在钢与混凝土组合桥面板中的分布宽度 (图 4.3.6), mm;

b_c ——荷载宽度, mm;

h_c ——混凝土板的厚度, mm;

h_f ——铺装层厚度 (若无铺装层, $h_f=0$), mm。

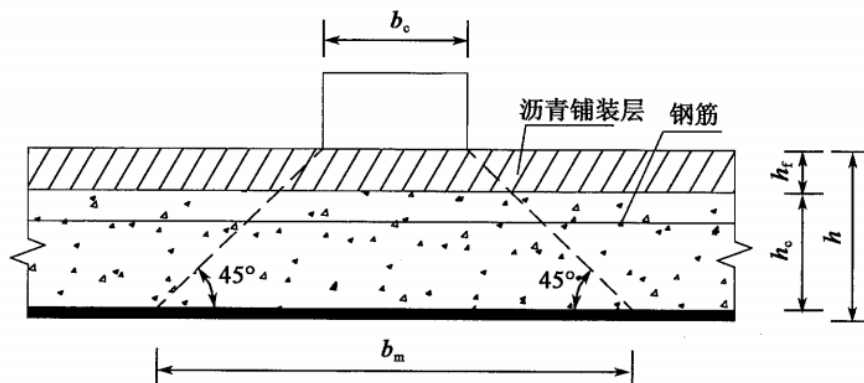


图 4.3.6 集中荷载分布的有效宽度

4 不带肋底钢板组合桥面板的板受力计算时, 当长边长度与短边长度之比小于 2 时, 应按双向板计算; 大于 3 时, 应按单向板计算; 介于 2 和 3 之间时宜按双向板计算, 也可根据实际情况按单向板计算。平行于开孔板连接件方向的计算宜计入开孔钢板的作用。板的计算跨径和荷载分布宽度应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 执行。

5 带肋底钢板组合桥面板的纵向受力计算可按以横梁或横隔板间距作为计算跨径的钢与混凝土组合梁计算。

条文说明：钢与混凝土组合桥面板作为主梁的组成部分应按车道荷载进行纵桥向总体受力分析，同时作为承受轮压作用的局部传力构件应按车辆荷载轮压进行局部受力分析。

参考四川省地方标准《钢与混凝土组合桥面板技术规程》（DB 51/T 1991-2015）相关条文，本条第 3 款是引用 ECCS（欧洲钢结构委员会）1981 年出版的组合结构规程、BS（英国标准）及 CEC（欧洲共同体）于 1985 年共同编制的《钢与混凝土组合结构统一标准》的条款。

本条第 5 款规定主要基于带肋底钢板组合桥面板的结构特点。带肋底钢板组合桥面板的底钢板加劲肋一般情况下沿纵向布置，且采用带肋底钢板组合桥面板的钢箱梁的腹板间距一般大于横梁或横隔板间距，带肋底钢板组合桥面板的局部受力一般以纵向为主。

5 承载能力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.1 钢与混凝土组合桥面板应进行正截面抗弯承载能力、斜截面抗剪承载能力、抗冲剪承载能力和连接件的抗剪承载能力等承载能力极限状态计算。

5.1.2 钢与混凝土组合桥面板承载能力极限状态计算的结构重要性系数应取 1.1。

5.1.3 高韧性低收缩混凝土组合桥面板的正截面承载能力计算时，假定截面受拉区混凝土退出工作，受拉区钢板或钢筋、受压区混凝土均达到各自强度设计值。

条文说明：高韧性低收缩混凝土延性相对较低，在正截面抗弯承载力计算中假定截面受拉区混凝土退出工作，偏安全不考虑受拉区混凝土的有利作用。

5.1.4 超高性能混凝土组合桥面板的正截面承载能力计算时，假定截面受拉区超高性能混凝土参与受力，受拉区超高性能混凝土、受拉区钢板或钢筋、受压区超高性能混凝土均达到各自强度设计值。

5.1.5 高韧性低收缩混凝土的收缩徐变效应可按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定计算，其中收缩效应宜乘以 0.4 的折减系数，徐变效应宜乘以 0.5 的折减系数。

条文说明：本规程所采用的高韧性低收缩混凝土的收缩率较常规混凝土显著减小，且混凝土板受到底钢板约束，故本规程中高韧性低收缩混凝土的收缩徐变效应在现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定的的基础上进行折减。

5.1.6 超高性能混凝土的收缩徐变应符合本规程附录 A 的规定。

5.2 正截面承载能力

5.2.1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板正弯矩区抗弯承载能力计算不考虑纤维混凝土的抗拉作用，并应符合下列规定：

1 构件正截面抗弯承载力计算时，当 $f_d b t \leq f_{cd} b h_c + f_{sd} A_s$ 时，中性轴位于组合桥面板的混凝土部分（图5.2.1），其抗弯承载力应按式(5.2.1-1)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_{cd} b \frac{x_c^2}{2} + f_{sd} A_s (x_c - a_s) + f_d b t \left(h_c - x_c + \frac{t}{2} \right) \quad (5.2.1-1)$$

$$f_d b t = f_{cd} b x_c + f_{sd} A_s \quad (5.2.1-2)$$

式中： x_c ——混凝土板的受压区高度，按式(5.2.1-2)计算；

γ_0 ——桥梁结构的重要性系数，取 1.1；

M_d ——钢与混凝土组合桥面板的弯矩设计值，N•mm；

f_d ——钢材抗拉（或抗压）强度设计值，MPa；

f_{cd} ——纤维混凝土的轴心抗压强度设计值，MPa；

f_{sd} ——普通钢筋抗拉（或抗压）强度设计值，MPa；

A_s ——混凝土板上缘钢筋的截面面积，mm²；

a_s ——受压区钢筋合力点到混凝土板上缘距离，mm；

b ——钢-普通混凝土组合桥面板的单位宽度，mm；

t ——底钢板的厚度，mm；

h_c ——混凝土板的厚度，mm；

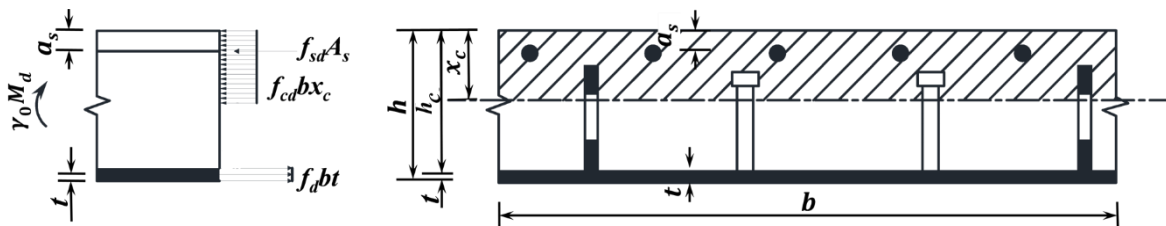


图 5.2.1 正弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于混凝土）

2 构件正截面抗弯承载力计算时，当 $f_d b t > f_{cd} b h_c + f_{sd} A_s$ 时，中性轴位于钢-纤维混凝土桥面板的底钢板部分（图 5.2.2），其抗弯承载能力应按式(5.2.1-3)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_{cd} b h_c \left(\frac{h_c}{2} + x_s \right) + f_{sd} A_s (h_c + x_s - a_s) + f_d b \frac{x_s^2}{2} + \frac{1}{2} f_d b (t - x_s)^2 \quad (5.2.1-3)$$

底钢板的受压区高度 x_s 应按式(5.2.1-4)计算：

$$f_d b (t - x_s) = f_{cd} b h_c + f_{sd} A_s + f_d b x_s \quad (5.2.1-4)$$

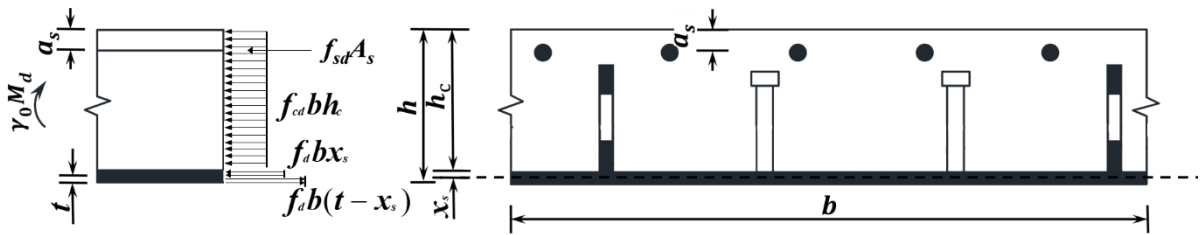


图 5.2.2 正弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于底钢板）

5.2.2 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板同时承受正弯矩和轴拉力时，中性轴位置与截面承担弯矩和轴力的比值相关，其正截面承载力应按式(5.2.2-1)计算：

$$\frac{N}{N_d} + \frac{M}{M_d} \leq 1 \quad (5.2.2-1)$$

式中：N——截面上承担的轴力；

M——截面上承担的弯矩；

M_d ——钢与混凝土组合桥面板的弯矩设计值；

N_d ——钢与混凝土组合桥面板的轴拉设计值；

条文说明：桥面板受到正弯矩和轴拉力作用，混凝土受拉超过其抗拉强度设计值退出工作，在计算需要多次迭代确定其混凝土受压区高度，为了减少迭代次数，应用 5.2.2-1 公式时组合桥面板轴拉设计值时只考虑钢筋和钢板的作用，这种计算分析方法是偏安全的，同时在计算组合桥面板弯矩设计值时不考虑受

拉区混凝土的作用，截面弯矩仍可采用 5.2.1 中给出的应力图示计算，但在计算时需考虑由于轴拉力作用引起的截面中性轴移动距离 x_t 。

5.2.3 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板受负弯矩时，计算中不计底钢板的受压作用，桥面板正截面承载能力按照现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定进行计算。

5.2.4 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板正弯矩区沿加劲肋方向的抗弯承载能力计算不考虑纤维混凝土的抗拉作用，并应符合下列规定：

1 当 $f_d A \leq f_{cd} b h_c + f_{sd} A_s$ 时，中性轴位于组合桥面板的混凝土部分（图5.2.4），其抗弯承载能力应按式(5.2.4-1)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_d A (h - x_c - h_s) + f_{sd} A_s (x_c - a_s) + \frac{1}{2} f_{cd} b x_c^2 \quad (5.2.4-1)$$

$$f_{cd} b x_c + f_{sd} A_s = f_d A \quad (5.2.4-2)$$

式中： A ——带肋底钢板截面面积， mm^2 ；

h_s ——带肋底钢板形心距构件底缘高度， mm ；

h ——钢与混凝土组合桥面板总高度， mm ；

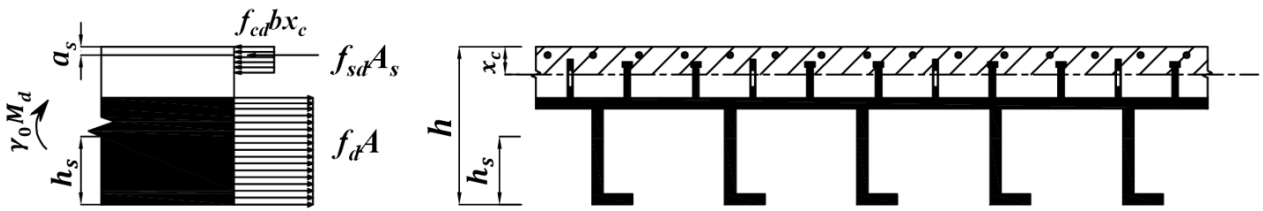


图 5.2.3 正弯矩截面抗弯承载能力计算图示（中性轴位于混凝土）

2 当 $f_d A > f_{cd} b h_c + f_{sd} A_s$ 时，中性轴位于组合桥面板的钢结构部分（图5.2.4），其抗弯承载能力应按式(5.2.3-4)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_d W_{px} + f_{cd} b h_c \left(h - h_p - \frac{1}{2} h_c - d_1 \right) + f_{sd} A_s (h - h_p - a_s - d_1) \quad (5.2.4-4)$$

$$f_{cd}bh_c\left(h-h_p-\frac{1}{2}h_c\right)+f_{sd}A_s(h-h_p-a_s)-2f_d d_1\left(\frac{1}{2}A-A_1\right)=f_d d_1\left(\frac{1}{2}A-A_1\right) \quad (5.2.4-5)$$

式中： d_1 ——带肋底钢板塑性中性轴以上受拉区截面形心距钢构件塑性中性轴高度，按式(5.2.4-5)计算；

A_1 ——带肋底钢板受压区截面面积， mm^2 ；

h_p ——带肋底钢板塑性中性轴距构件底缘高度， mm ；

W_{px} ——带肋底钢板截面塑性截面模量， mm^3 ；

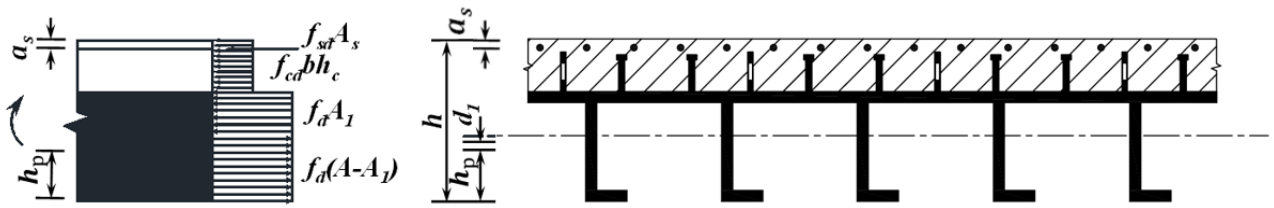


图 5.2.4 正弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于钢结构）

5.2.5 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板负弯矩区沿加劲肋方向的抗弯计算不考虑纤维混凝土的抗拉作用，并应符合下列规定：

1 当 $f_{sd}A_s \geq f_d A$ 时，中性轴位于组合桥面板的混凝土部分（图5.2.7），其抗弯承载力应按式(5.2.4-1)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_{sd}A_s(h_c - x_c - a_s) + \frac{1}{2}f_{cd}bx_c^2 + f_d A(h - h_s - h_c + x_c) \quad (5.2.4-1)$$

$$f_{sd}A_s = f_{cd}bx_c + f_d A \quad (5.2.4-2)$$

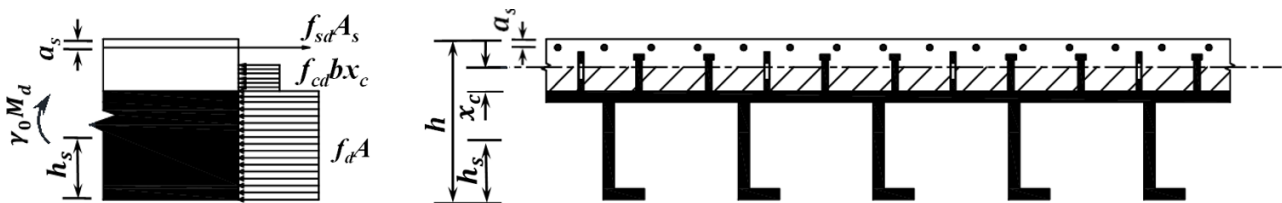


图 5.2.5 负弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于混凝土）

2 当 $f_{sd}A_s < f_d A$ 时，中性轴位于组合桥面板的钢结构部分（图5.2.8），其抗弯承载力应按式(5.2.4-3)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_d W_{px} + f_{sd}A_s(h - h_p - a_s - d_2) \quad (5.2.4-3)$$

$$f_{sd}A_s(h-h_p-a_s)-2f_d d_2\left(\frac{1}{2}A-A_2\right)=f_d d_2\left(\frac{1}{2}A-A_2\right) \quad (5.2.4-4)$$

式中： d_2 ——带肋底钢板塑性中性轴以上受压区截面形心距钢构件塑性中性轴高度，按式(5.2.4-4)计算；

A_2 ——带肋底钢板受拉区截面面积， mm^2 ；

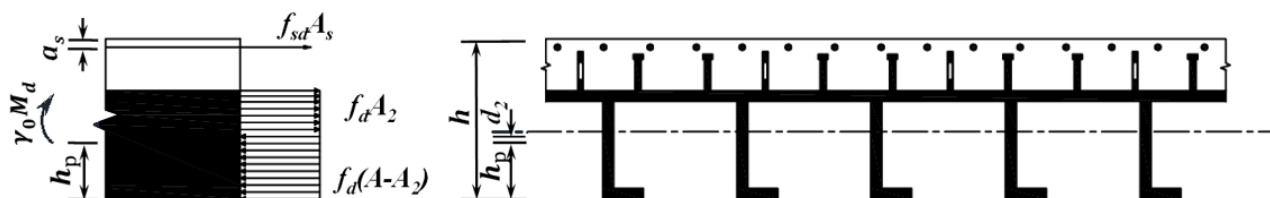


图 5.2.6 负弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于钢结构）

5.2.6 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板沿加劲肋方向的同时承受弯矩和轴拉力时，应采用开裂计算模型，不考虑纤维混凝土的抗拉作用，考虑混凝土内受拉钢筋作用。底钢板的应力验算应满足现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的有关规定。

5.2.7 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板垂直加劲肋方向的正截面承载力计算按照本规程 5.2.1~5.2.3 条不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板的计算方法执行。

5.2.8 带肋底钢板-超高性能混凝土桥面板正弯矩区沿加劲方向的抗弯承载力计算应考虑超高性能混凝土的抗拉作用，并应符合下列规定：

1 当 $f_d A \leq f_{ucd} b h_c + f_{sd} A_s$ 时，中性轴位于组合桥面板的超高性能混凝土部分（图5.2.7），其抗弯承载力应按式(5.2.5-1)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_d A(h-x_c-h_s) + f_{sd} A_s(x_c-a_s) + \frac{1}{2} f_{ucd} b x_c^2 + \frac{1}{2} f_{ctf} b(h_c-x_c)^2 \quad (5.2.8-1)$$

$$f_{ucd} b x_c + f_{sd} A_s = f_d A + f_{ctf} b(h_c-x_c) \quad (5.2.8-2)$$

$$f_{ctf} = f_{ct}/(\gamma_{cf} K) \quad (5.2.8-3)$$

式中： f_{ctf} ——受拉区等效矩形应力图的超高性能混凝土抗拉强度设计值，MPa；宜通过试验确定，当无试验资料时，可按式(5.2.8-3)计算；

f_{ct} ——超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值，MPa；

f_{ucd} ——超高性能混凝土轴心抗压强度设计值，MPa；

γ_{cf} ——超高性能混凝土材料分项系数，取 1.3；

K ——超高性能混凝土纤维方向系数，取 1.25；

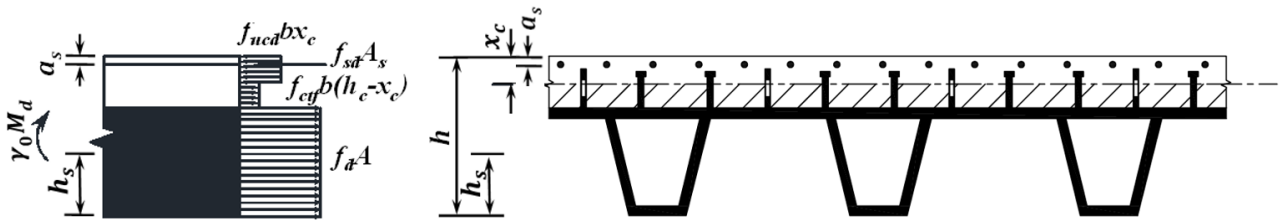


图 5.2.7 正弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于混凝土）

条文说明：构件正截面抗弯承载力计算时，应考虑超高性能混凝土的抗拉作用，构件截面受拉区超高性能混凝土应力图形可简化为等效矩形应力图。

2 当 $f_d A > f_{ucd} b h_c + f_{sd} A_s$ 时，中性轴位于组合桥面板的钢结构部分（图5.2.10），其抗弯承载力应按式(5.2.8-4)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_d W_{px} + f_{ucd} b h_c \left(h - h_p - \frac{1}{2} h_c - d_1 \right) + f_{sd} A_s (h - h_p - a_s - d_1) \quad (5.2.8-4)$$

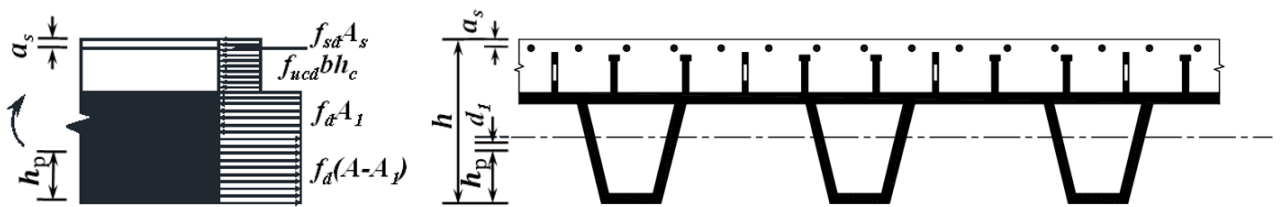


图 5.2.8 正弯矩截面抗弯承载力计算图示（中性轴位于钢结构）

5.2.9 带肋底钢板-超高性能混凝土桥面板负弯矩区沿加劲方向的抗弯计算应考虑超高性能混凝土的抗拉作用，并应符合下列规定：

1 当 $f_{sd} A_s + f_{ctf} b h_c \geq f_d A$ 时，中性轴位于组合桥面板的超高性能混凝土部分（图

5.2.11), 其抗弯承载能力应按式(5.2.6-1)计算:

$$\gamma_0 M_d \leq f_{sd} A_s (h_c - x_c - a_s) + \frac{1}{2} f_{ctf} b (h_c - x_c)^2 + \frac{1}{2} f_{ucd} b x_c^2 + f_d A (h - h_s - h_c + x_c) \quad (5.2.10-1)$$

$$f_{sd} A_s + f_{ctf} b (h_c - x_c) = f_{ucd} b x_c + f_d A \quad (5.2.10-2)$$

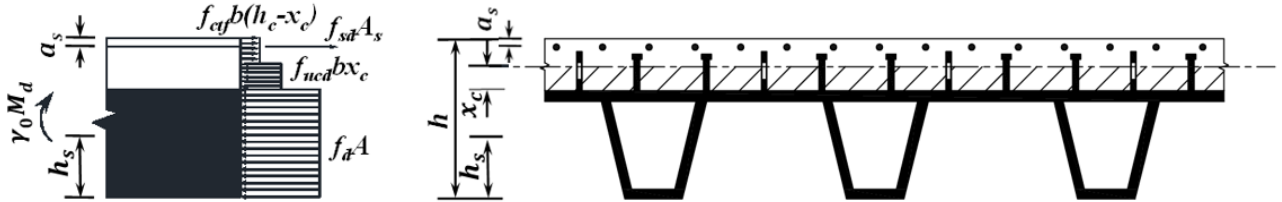


图 5.2.9 负弯矩截面抗弯承载能力计算图示 (中性轴位于混凝土)

2 当 $f_{sd} A_s + f_{ctf} b h_c < f_d A$ 时, 中性轴位于组合桥面板的钢结构部分 (图5.2.10), 其抗弯承载能力应按式(5.2.10-3)计算:

$$\gamma_0 M_d \leq f_d W_{px} + f_{ctf} b h_c \left(h - h_p - \frac{1}{2} h_c - d_2 \right) + f_{sd} A_s (h - h_p - a_s - d_2) \quad (5.2.10-3)$$

$$f_{ctf} b h_c \left(h - h_p - \frac{1}{2} h_c \right) + f_{sd} A_s (h - h_p - a_s) - 2 f_d d_1 \left(\frac{1}{2} A - A_2 \right) = f_d d_1 \left(\frac{1}{2} A - A_2 \right) \quad (5.2.10-4)$$

式中: d_2 ——带肋底钢板塑性中性轴以上受压区截面形心距钢构件塑性中性轴高度, 按式(5.2.10-4)计算。

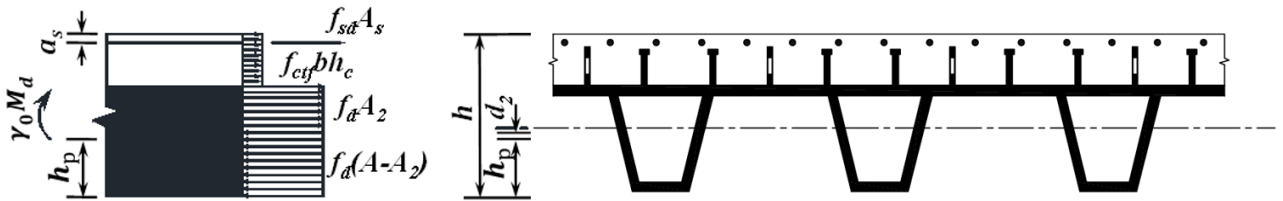


图 5.2.10 负弯矩截面抗弯承载能力计算图示 (中性轴位于钢结构)

5.2.10 带肋底钢板-超高性能混凝土桥面板同时承受弯矩和轴拉力时, 宜按非线性方式考虑超高性能混凝土的刚度进行有限元分析计算, 也可按等效弹性模量法进行简化计算, 计算得到的底钢板及加劲肋的应力验算应满足现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的有关规定, 超高性能混凝土的拉应力不应超过 f_{ctf} , 其中 f_{ctf} 按本规程 5.2.8 条计算。

5.2.11 带肋底钢板-超高性能混凝土桥面板垂直加劲方向的抗弯承载能力

计算应考虑超高性能混凝土的抗拉作用，正弯矩区正截面抗弯承载能力应按式(5.2.11-1)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_{ucd} l \frac{x_c^2}{2} + f_d l t \left(h_c - x_c + \frac{t}{2} \right) + f_{ctf} l \frac{(h_c - x_c)^2}{2} \quad (5.2.11-1)$$

$$f_d l t + f_{ctf} l (h_c - x_c) = f_{ucd} l x_c \quad (5.2.11-2)$$

$$f_{ctf} = f_{ct} / (\gamma_{cf} K) \quad (5.2.11-3)$$

式中： l ——钢-超高性能混凝土组合桥面板纵桥向的单位长度，mm；

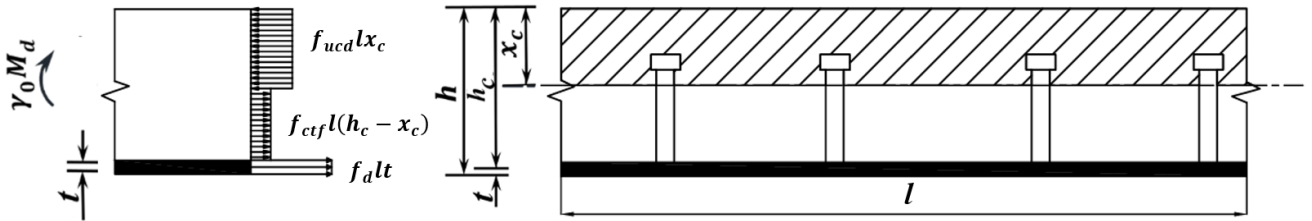


图 5.2.11 正弯矩截面抗弯承载能力计算图示（中性轴位于混凝土）

负弯矩区正截面抗弯承载能力应按式(5.2.11-3)计算：

$$\gamma_0 M_d \leq f_{ctf} l \frac{x_c^2}{2} + f_d l t \left(h_c - x_c + \frac{t}{2} \right) + f_{ucd} l \frac{(h_c - x_c)^2}{2} \quad (5.2.11-3)$$

$$f_d l t = f_{ucd} l (h_c - x_c) + f_{ctf} l x_c \quad (5.2.11-4)$$

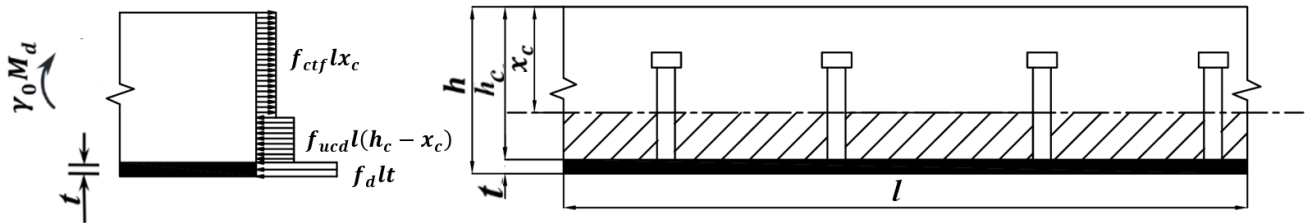


图 5.2.12 负弯矩截面抗弯承载能力计算图示（中性轴位于混凝土）

条文说明：带肋底钢板-超高性能混凝土桥面板垂直加劲方向的钢筋一般为构造钢筋，这里不考虑其参与抗弯作用，计算结果是偏安全的。

5.3 斜截面抗剪、抗冲切承载能力

5.3.1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土桥面板斜截面抗剪承载能力应按式(5.3.1-1)计算:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.07 f_{cd} W_r h_0 \quad (5.3.1-1)$$

$$h_0 = h_c + t/2 \quad (5.3.1-2)$$

式中: V_d ——不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板斜截面上的剪力设计值, N;

f_{cd} ——高韧性低收缩混凝土的轴心抗压强度设计值, MPa;

W_r ——不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板剪力作用范围内的有效肋宽 (图 5.3.1), mm。

h_0 ——钢与混凝土组合桥面板截面有效高度 (图 5.3.1), 按式(5.3.1-2)计算, mm。

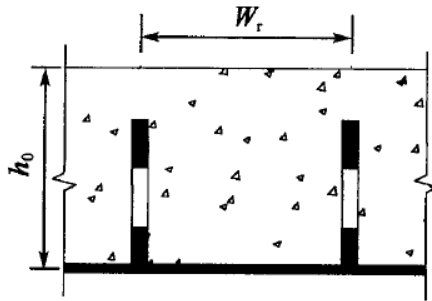


图 5.3.1 剪力作用范围内有效肋宽示意图

5.3.2 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板受力方向沿加劲肋时, 斜截面抗剪极限承载能力应按式(5.3.3-1)计算:

$$\gamma_0 V_d \leq V_{uc} + V_{us} \quad (5.3.3-1)$$

混凝土的斜截面抗剪承载力 V_{uc} 应按式(5.3.3-2)计算:

$$V_{uc} = \frac{1.75 f_{td} b h_e}{1 + \lambda} \quad (5.3.3-2)$$

式中: V_{uc} ——混凝土的斜截面抗剪承载力设计值, N;

V_{us} ——钢构件的斜截面抗剪承载力设计值，N；

h_e ——混凝土截面的有效高度，mm， $h_e = h_c - a_s$ ；

λ ——组合桥面板的计算截面的剪跨比，可取 $\lambda = a/h_0$ ，当 λ 小于 1.5 时，取 1.5；当 λ 大于 3 时，取 3， a 取集中荷载作用点至支点截面的距离；

f_{td} ——根据纤维混凝土强度等级，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 确定的混凝土轴心抗拉强度设计值，MPa；

b ——钢-纤维混凝土组合桥面板的单位宽度，mm；

钢构件的斜截面剪力 V_{us} 假定由加劲肋的腹板承受，其截面抗剪承载力应按式(5.3.3-4)计算。

$$V_{us} = A_{w1} f_{vd} \quad (5.3.3-4)$$

式中： V_{us} ——钢构件的斜截面抗剪承载力设计值，N；

A_{w1} ——加劲肋的腹板截面面积，mm²

f_{vd} ——钢材抗剪强度设计值，MPa；

5.3.3 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板受力方向垂直于加劲肋时，斜截面抗剪极限承载能力按 5.3.1 条执行。

5.3.4 带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板，受力方向沿加劲肋时，斜截面抗剪极限承载能力应按式(5.3.5-1)计算：

$$\gamma_0 V_d \leq V_{uc} + V_{us} \quad (5.3.5-1)$$

带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板的斜截面抗剪承载力需考虑超高性能混凝土的影响，混凝土的斜截面抗剪承载力 V_{uc} 应按式(5.3.5-2)计算：

$$V_{uc} = \frac{1.75 f_{ct} b h_e}{1 + \lambda} \quad (5.3.5-2)$$

式中： V_{uc} ——混凝土的斜截面抗剪承载力设计值，N；

V_{us} ——钢构件的斜截面抗剪承载力设计值，N；

h_e ——混凝土截面的有效高度，mm， $h_e = h_c - a_s$ ；

钢构件的斜截面剪力 V_{us} 假定由加劲肋的腹板承受，其截面抗剪承载力应按式(5.3.3-4)计算。

5.3.5 不带肋底钢板组合桥面板承受集中荷载作用时，其抗冲切承载能力应按式(5.3.5-1)计算：

$$\gamma_0 F_{ld} \leq 0.6 f_{td} c_p h_c \quad (5.3.5-1)$$

$$c_p = 2\pi h_c + 2a_c + 2b_c + 8h_f \quad (5.3.5-2)$$

式中： F_{ld} ——钢与混凝土组合桥面板的冲切力设计值，N；

f_{td} ——混凝土的轴心抗拉强度设计值，MPa；

c_p ——临界周界长度（图 5.3.5-1），mm；

a_c ——荷载长度，mm；

b_c ——荷载宽度，mm。

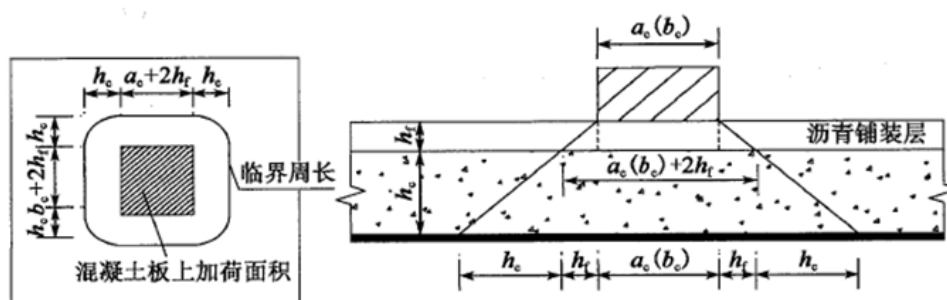


图 5.3.5-1 剪力临界周界示意图

条文说明：根据多个工程案例不带肋底钢板组合桥面板承受集中荷载作用时的抗冲切承载力一般富裕度较高。本条文偏于保守地不考虑钢与混凝土组合桥面板的钢筋、底钢板及开孔板剪力件的作用。

5.4 连接件计算

5.5.1 焊钉连接件的抗剪承载力应按式(5.5.1)计算:

$$V_{zd1} = \min \{ 0.43 A_{s1} \sqrt{E_c f_{cd}}, 0.7 A_{s1} f_{d1} \} \quad (5.5.1)$$

式中: V_{zd1} ——单个焊钉连接件的抗剪承载力设计值, N;

A_{s1} ——焊钉连接件钉杆截面面积, mm^2 ;

E_c ——混凝土弹性模量, MPa;

f_{cd} ——混凝土的轴心抗压强度设计值, MPa;

f_{d1} ——焊钉连接件的抗拉强度设计值, MPa。

条文说明: 一般情况下, 焊钉的长径比大于 4 时, 焊钉发生抗剪破坏, 不会发生拉脱破坏; 在采用 UHPC 后, 试验测试长径比大于 2.5 时, 焊钉发生抗剪破坏, 不会发生拉脱破坏。实际工程中, 焊钉的长径比通常满足上述要求。按故本规程照焊钉连接件的抗剪承载力计算公式按照考虑不考虑焊钉剪力件发生拉脱破坏给出。

5.5.2 开孔板连接件的抗剪承载力应满足下列规定:

1、开孔板连接件的抗剪承载力可按式(5.5.2-1)计算:

$$V_{pud} = 1.4 (d_p^2 - d_{st}^2) f_{cd} + 1.2 d_{st}^2 f_{st} \quad (5.5.2-1)$$

式中: V_{pud2} ——开孔板连接件单孔的抗剪承载力设计值, N;

d_p ——开孔板连接件开孔直径, mm;

d_{st} ——贯穿钢筋直径, mm;

f_{st} ——贯穿钢筋抗拉强度设计值, MPa;

2、开孔板连接件的孔间钢板和焊缝承载力应按式(5.5.2-4)、式(5.5.2-5)进行复核计算:

$$V_s = \frac{5}{3} f_{vd} A_w \geq V_{zd2} \quad (5.5.2-4)$$

$$N_v = 0.7 f_f^w l_w h_f \geq V_{zd2} \quad (5.5.2-5)$$

式中： V_s ——开孔板连接件孔间钢板抗剪承载力设计值，N；

A_w ——孔间钢板最小平面（纵向）截面积， mm^2 ；

f_{vd} ——开孔板连接件钢板的抗剪强度设计值，MPa。

γ ——构件系数，取值为 1.0；

N_v ——开孔板连接件焊缝承载力设计值，N；

f_f^w ——开孔板连接件与底钢板间焊缝强度设计值，MPa；

l_w ——开孔板连接件孔间的焊缝长度，mm；

h_f ——开孔板连接件与底钢板间的焊脚尺寸，mm；

条文说明：抗剪顶推试验表明，开孔板连接件破坏起源于钢板孔中的混凝土或孔间钢板的剪切破坏和撕裂，其抗剪强度主要取决于孔内混凝土抗剪强度和孔间钢板的抗剪强度，孔内的混凝土和钢筋还有具有防止混凝土板和底钢板分离的作用。设计时应避免开孔板连接件孔间钢板的剪切破坏先于混凝土的剪切破坏。

5.5.6 钢与混凝土组合桥面板，焊钉连接件与开孔板连接件混合连接件的抗剪承载力应按式(5.5.6)计算：

$$V_{zd} = V_{zd1} + V_{zd2} \quad (5.5.6)$$

式中： V_{zd} ——混合连接件的抗剪承载力设计值，N；

5.5.7 钢与混凝土组合桥面板，在负弯矩区段内的连接件极限承载力应乘以折减系数 0.9。

5.5 疲劳验算

5.6.1 设计使用年限内，组合桥面板结构中的钢结构、高韧性低收缩混凝土和超高性能混凝土均不应发生疲劳破坏。

5.6.2 钢与混凝土组合桥面板的疲劳计算应满足下列要求：

1 钢与混凝土组合桥面板的疲劳荷载模型车轴荷载及分布应按图 5.6.1 确定。

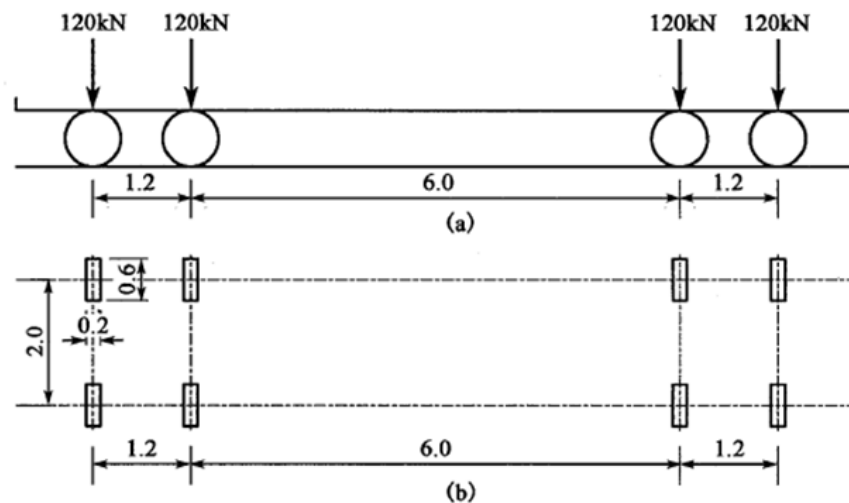


图 5.6.1 疲劳荷载车轴载模型（尺寸单位：m）

2 计算钢与混凝土组合桥面板的疲劳应力幅时，疲劳荷载车应按最不利位置计算，并应计入冲击系数 0.3。

3 钢与混凝土组合桥面板的底钢板计算疲劳应力幅应小于 50MPa。

条文说明

依据《钢板-混凝土组合桥面板设计计算方法研究》（向达，博士学位论文，同济大学，2022）2.5.4 节实验数据可知，基于等效应力幅的焊缝疲劳强度与疲劳细节 120 的疲劳强度较为接近，而采用疲劳细节 100 对应的 S-N 曲线能得到较为安全的预测结果。同时，依据《钢板-混凝土组合桥面板静力及疲劳性能试验研究》（霍旭东，硕士学位论文，西安建筑科技大学，2011）相关实验可知，采用疲劳细节 80 对应的 S-N 曲线能得到较为安全的预测结果。综合考虑两种试

验结果并偏于保守地，推荐采用疲劳细节 80 对应的 S-N 曲线进行组合桥面板焊缝疲劳设计，其疲劳细节类别 $\Delta\sigma_c$ 取为 80MPa。依据《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64-2015）5.5.6 节，等效常值应力幅 $\Delta\sigma_{E2} = 80/1.35 = 59.3\text{MPa}$ 。考虑试验数量限制、试验点样本较少以及实验结果的离散性，本规程偏安全地规定钢与混凝土组合桥面板的底钢板计算疲劳应力幅应小于 50MPa。

5.6.3 高韧性低收缩混凝土的疲劳验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.6.4 超高性能混凝土的疲劳验算应符合下列规定：

$$\sigma_{Ff, \max} \leq \sigma_{u, D} \quad (5.6.4)$$

式中： $\sigma_{Ff, \max}$ ——超高性能混凝土在永久作用及疲劳荷载组合作用下的最大拉应力，可按弹性方法计算；

$\sigma_{u, D}$ ——超高性能混凝土的容许疲劳强度，取超高性能混凝土弹性极限抗拉强度与抗拉强度平均值的 0.6 倍。

条文说明

参考瑞士 SIA 2052 规范和《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022 的有关规定，超高性能混凝土的容许疲劳强度取超高性能混凝土弹性极限抗拉强度与抗拉强度平均值的 0.6 倍。

6 正常使用极限状态计算

6.1 一般规定

6.1.1 钢与混凝土组合桥面板应进行正常使用极限状态验算，验算内容应包括钢与混凝土组合桥面板的变形和抗裂性能。

6.1.2 正常使用极限状态的计算，应采用作用频遇组合、作用准永久组合或作用频遇组合并考虑作用长期效应的影响。

6.1.3 按线弹性理论进行应力和挠度计算时，长期效应作用下混凝土应考虑弹性模量折减，折减系数宜根据试验确定。当无相关试验数据时，高韧性低收缩混凝土和常温养护超高性能混凝土（UHPC）的弹性模量折减系数可取 0.5，蒸汽养护超高性能混凝土（UHPC）的弹性模量折减系数可取 0.75。

条文说明

依据现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定，受弯构件在使用阶段的挠度应考虑长期效应的影响。其中，对于普通钢筋混凝土结构，长期增长系数 η_θ 根据混凝土标号取 1.35~1.60；对于预应力混凝土结构，长期增长系数 η_θ 取 2.0。

依据《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022 的有关规定，预应力超高性能混凝土受弯构件在使用阶段的挠度应计入荷载长期效应的影响，长期增长系数取 $\eta_\theta = 1 + \varphi(t, t_0)$ 。根据附录 A，对于常温养护超高性能混凝土， $\varphi(\infty, t_0)$ 根据龄期取 0.9~1.2；对于蒸汽养护超高性能混凝土， $\varphi(\infty, t_0)$ 根据龄期取 0.3。

根据以上规定，本规程从简化计算出发，当无相关试验数据时，将弹性模量折减系数取为 $1/\eta_\theta$ ，并建议高韧性低收缩混凝土和常温养护超高性能混凝土的弹性模量折减系数可取 0.5，蒸汽养护超高性能混凝土的弹性模量折减系数可

取 0.75。

6.2 变形验算

6.2.1 钢与混凝土组合桥面板在汽车荷载（不计冲击力）作用下的正负挠度绝对值之和不应大于纵梁或横梁间距的 $1/1600$ 。

6.2.2 带肋底钢板-混凝土组合桥面板结构横向局部挠度应符合下列规定：

- 1 组合桥面板在纵肋间的相对挠度 δ 不应超过 0.2mm。
- 2 组合桥面板的变形曲率半径 γ 不应小于 40m。

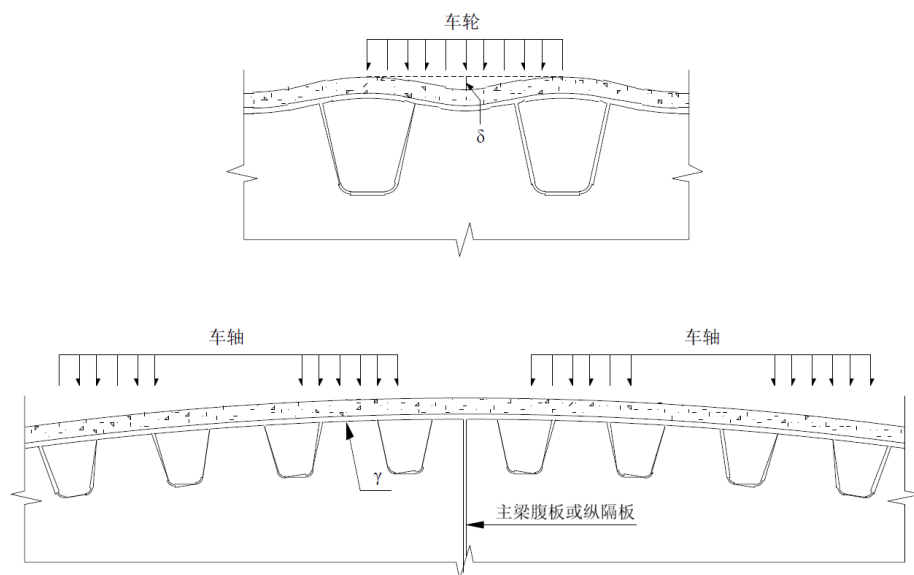


图 6.2.1 局部挠度计算

δ —相对挠度； γ —曲率半径

条文说明

限制桥面板横向局部挠度的目的是确保桥面系的局部挠度不会过大，以减小在车载作用下，面层因局部变形过大而出现脱层等病害问题，同时确保行车的舒适性。具体数值参考了上海市标准《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022。

6.3 混凝土抗裂验算

6.3.1 高韧性低收缩混凝土抗裂验算应符合下列规定：

1 负弯矩区的混凝土裂缝宽度应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定。

2 钢与混凝土组合桥面板负弯矩区段最大裂缝宽度应按式(6.3.1-1)计算：

$$W_{fk} = C_1 C_2 C_3 \frac{\sigma_{ss}}{E_s} \left(\frac{c + d_{eq}}{0.36 + 1.7 \rho_{te}} \right) \quad (6.3.1-1)$$

式中： W_{fk} ——最大裂缝宽度，mm；

C_1 ——钢筋表面形状系数，对光面钢筋 $C_1=1.4$ ，带肋钢筋 $C_1=1.0$ ；

C_2 ——作用（或荷载）长期效应影响系数， $C_2 = 1 + 0.5 \frac{N_l}{N_s}$ ，其中 N_l 和 N_s 分别为按作用准永久组合和作用频遇组合计算的内力值（弯矩或轴向力）；

C_3 ——与构件受力性质有关的系数，取值为 1.15；

σ_{ss} ——作用频遇组合下负弯矩钢筋应力，MPa；

ρ_{te} ——混凝土板上缘受拉区受拉钢筋和受拉开孔板连接件的配筋率之和，按式(6.3.1-2)计算，当 $\rho_{te} > 0.1$ 时，取 $\rho_{te} = 0.1$ ；当 $\rho_{te} < 0.01$ 时，取 $\rho_{te} = 0.01$ ：

$$\rho_e = \frac{A_s + A_{pbl}}{bh_0} \quad (6.3.1-2)$$

其中： A_s ——混凝土板上缘受拉区钢筋的面积，mm²；

A_{pbl} ——受拉区开孔板连接件的面积，mm²；

c ——混凝土板最外排受拉钢筋的混凝土保护层厚度，mm，当 $c > 50\text{mm}$ 时，取 50mm；

d_{eq} ——受拉区钢筋和开孔板连接件的等效直径，mm，应按式(6.3.1-3)计算：

$$d_{eq} = \frac{n_1 d_s^2 + n_2 d_{pbl}^2}{n_1 v_1 d_s + n_2 v_2 d_{pbl}} \quad (6.3.1-3)$$

其中： n_1 ——受拉区钢筋的换算根数；

n_2 ——单位宽度开孔板连接件列数；

d_s ——受拉区钢筋的直径，mm；

d_{pbl} ——受拉区开孔板连接件的换算直径，mm，应按式(6.3.1-4)计算：

$$d_{pbl} = \sqrt{\frac{4t_0 h_1}{\pi}} \quad (6.3.1-4)$$

其中： h_1 ——开孔板连接件高度，mm；

t_0 ——开孔板连接件厚度，mm；

v_1 ——钢筋的相对粘结特性系数，对光面钢筋 $v_1=0.7$ ，带肋钢筋

$v_1=1.0$ ；

v_2 ——开孔板连接件的相对粘结特性系数， $v_2=1.0$ 。

3 负弯矩区纵向受拉钢筋应力 σ_{ss} 宜计入底钢板及开孔板连接件的作用按平面假定精确计算，也可按式(6.3.1-5)近似计算：

$$\sigma_{ss} = \frac{M_s}{0.87(A_s + A_{pbl})h_0} \quad (6.3.1-5)$$

式中： M_s ——按荷载频遇组合计算的弯矩设计值，N•mm。

6.3.2 带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板宜建立局部有限元模型分析验证抗裂性能，超高性能混凝土（UHPC）顶面的拉应力计算应包括下列内容：

- 1 主梁腹板或纵隔板顶面位置，沿横桥向应力；
- 2 横隔板顶面位置，沿纵桥向应力；
- 3 纵肋腹板顶面位置-相邻横隔板间跨中处，沿横桥向应力；
- 4 纵肋腹板顶面位置-横隔板断面处，沿横桥向应力。

6.3.3 超高性能混凝土（UHPC）抗裂计算应同时计入结构重力、收缩徐变等永久作用和汽车荷载、温度作用等可变作用，并应准确模拟组合桥面板结构的施工顺序。

6.3.4 超高性能混凝土（UHPC）的抗裂验算应符合下列规定：

1 超高性能混凝土计算拉应力不大于超高性能混凝土弹性极限抗拉强度的 0.6 倍时，可认为超高性能混凝土不开裂。

2 当超高性能混凝土拉应力大于超高性能混凝土弹性极限抗拉强度的 0.6 倍时，应进行非线性分析，超高性能混凝土计算拉应变应小于 0.9 倍超高性能混凝土极限拉应变。

条文说明

本规程所应用的超高性能混凝土选用应变硬化型，即材料单轴拉伸试验过程中试件的拉应力超过弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而不下降（下图中的线段 AD/AF/AG 均为应变硬化段）。

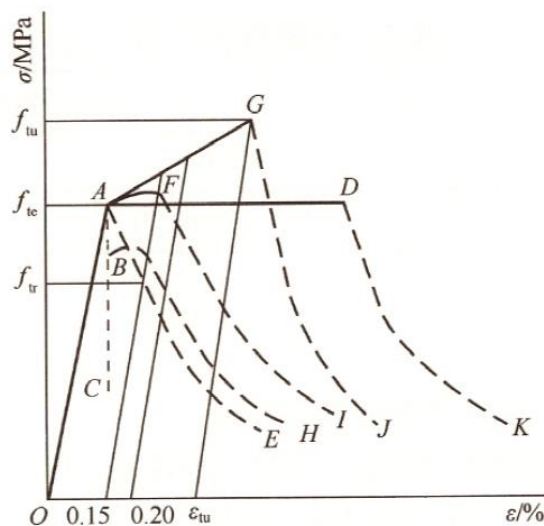


图 6.3.4-1 拉伸应力-应变曲线示意图

当超高性能混凝土应力水平小于弹性抗拉强度设计值时，尚处于弹性状态，未发生开裂。对于应力水平大于弹性抗拉强度设计值时，超高性能混凝土进入

屈服平台，应当计入非线性本构关系计算应变值，由于应变硬化型超高性能混凝土的拉应变超过极限拉应变后裂缝开展迅速（此时钢筋已经屈服），因此，超高性能混凝土拉应变限值可取超高性能混凝土极限拉应变。偏于保守地，本规程中，超高性能混凝土拉应变限值取为 0.9 倍的超高性能混凝土极限拉应变。

参考《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022 的有关规定，超高性能混凝土拉应力大于超高性能混凝土弹性极限抗拉强度设计值时，应进行非线性分析。超高性能混凝土弹性抗拉强度设计值 f_{Uted} 和弹性极限抗拉强度 f_{Utek} 之间有如下关系：

$$f_{Uted} = \frac{\eta_{hU} \cdot \eta_k \cdot f_{Utek}}{\gamma_U}$$

式中， η_k 为与构件尺寸和制造工艺相关的系数，当采用超高性能混凝土进行局部计算分析时， $\eta_k = 0.85$ ； γ_U 为分项系数，对于配筋超高性能混凝土和预应力超高性能混凝土结构， $\gamma_U = 1.3$ ； η_{hU} 为纤维分布方向上构件厚度的影响系数，当超高性能混凝土板厚为 60~80mm 时， $\eta_{hU} = 0.88 \sim 0.96$ 。根据以上公式及参数取值， $f_{Uted} / f_{Utek} = 0.58 \sim 0.63$ 。为简化计算，本规程取 $f_{Uted} = 0.6 f_{Utek}$ ，故由此得出：当超高性能混凝土拉应力大于超高性能混凝土弹性极限抗拉强度的 0.6 倍时，应进行非线性分析。

7 施工阶段计算

7.1 一般规定

7.1.1 钢与混凝土组合桥面板应按运输与吊装、浇注桥面板混凝土两个阶段进行施工过程验算。

7.1.2 钢与混凝土组合桥面板的钢结构施工计算，当受力方向与开孔板连接件、钢筋桁架连接件或底钢板加劲肋平行时，应计入底钢板和开孔板连接件、钢筋桁架连接件或底钢板加劲肋形成的受力截面对强度、刚度的影响；当受力方向与开孔板连接件、钢筋桁架连接件或底钢板加劲肋垂直时，仅计入底钢板受力截面对强度、刚度的影响。

7.1.3 钢与混凝土组合桥面板浇筑桥面板混凝土阶段的施工计算，混凝土湿重及人群荷载宜按均布荷载计算；施工设备等荷载应根据现场实际情况取值，可简化为集中荷载计算。

7.1.4 优化桥面板混凝土的浇筑顺序，应以降低钢与混凝土组合桥面板负弯矩混凝土截面拉应力为目标。

7.2 强度与刚度

7.2.1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的钢结构施工验算，底钢板的应力不宜大于 $0.35f_y$ ，开孔板连接件的应力不宜大于 $0.45f_y$ 。

条文说明：运输和安装阶段，底钢板和开孔板连接件尚未与混凝土结合，混凝土不能给底钢板和开孔板连接件提供约束，底钢板和开孔板连接件由于局部稳定因素，容许应力需进行折减。

7.2.2 钢与混凝土组合桥面板的钢结构施工验算，底钢板的容许挠度不应大于 $L/180$ 及 20mm 中的较小值。

条文说明：运输和安装阶段， L 指钢板支承点的间距；浇筑桥面板混凝土阶段， L 指纵横梁的间距（单位：mm）。

8 构造设计

8.1 一般规定

8.1.1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板单向板跨径宜为2.8~3.5m。

条文说明：确定不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的单向板跨径时需考虑浇筑混凝土时的底钢板受力情况。实践经验表明，对于2.8~3.5m的单向板跨径和150mm的混凝土厚度，底钢板板厚取为8mm~10mm，开孔板连接件间距取为350mm~450mm，开孔板连接件板厚取为8mm~10mm时，底钢板和开孔板连接件均处于较合理的受力状态，且结构的整体经济性较优。如果进一步加大单向板跨径，需同时增加混凝土厚度，则浇筑混凝土时底钢板所承受的混凝土湿重会相应增加，要满足该施工阶段的受力要求，底钢板和开孔板连接件的用钢量需增加，结构的整体经济性反而会降低。因此，建议单向板跨径取为2.8~3.5m。

8.1.2 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板和带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板单向板跨径宜为3.0~4.0m。

条文说明：带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的混凝土厚度一般不小于80mm，带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板的混凝土厚度一般不小于50mm。将混凝土厚度等效成钢板厚度后，其总厚度达到常规钢桥面板板厚的1.5倍以上，故其桥面板局部承载能力和刚度显著高于常规钢桥面板，因此，其横梁间距可以适当增加，故单向板跨径宜为3.0~4.0m。

8.1.3 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板混凝土标准厚度不宜小于150mm；负弯矩区宜设置加腋，加腋处混凝土厚度不宜小于220mm。

8.1.4 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板混凝土厚度不宜小于

80mm。

8.1.5 带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板混凝土厚度不宜小于 50mm。

条文说明 8.1.3~8.1.5

组合桥面板的混凝土厚度需综合主梁纵、横向总体受力和桥面板局部受力情况统筹考虑。对于大跨度桥梁，较小的混凝土厚度具有较优的经济性。同时，混凝土厚度宜依据保护层厚度要求和纵、横向钢筋的布置形式和直径综合确定。

不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板一般应用于纵横格子梁，单向板跨径一般为 2.8~3.5m，混凝土标准厚度不宜小于 150mm。

带肋底钢板一般通过焊钉与混凝土形成整体，焊钉直径最小为 10mm，一般控制焊钉长细比不小于 4，因此超高性能混凝土桥面板厚度不宜小于 50mm。相比超高性能混凝土，高韧性低收缩混凝土桥面板宜适当加厚，最小厚度不宜小于 80 mm。

8.2 底钢板

8.2.1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板采用开孔板连接件时，底钢板及开孔板连接件应满足下列规定：

- 1 底钢板厚度宜为 8mm~10mm，开孔板连接件厚度宜为 8mm~10mm。
- 2 底钢板与纵横格子梁的焊缝至格子梁顶板边缘的距离不宜小于 10mm。
- 3 底钢板在加腋处的折角宜为 40°~50°。
- 4 开孔板连接件应沿着桥面板主受力方向，即桥面板的短边方向均匀布置。
- 5 开孔板连接件的间距宜为 350mm~450mm。
- 6 开孔板连接件上孔洞的间距宜为 100mm~150mm，孔洞直径宜为 50~60mm，孔洞上缘与开孔板连接件上缘的距离不宜小于 20mm。
- 7 开孔板连接件与底钢板之间宜采用间断错位双面焊缝或连续角焊缝。

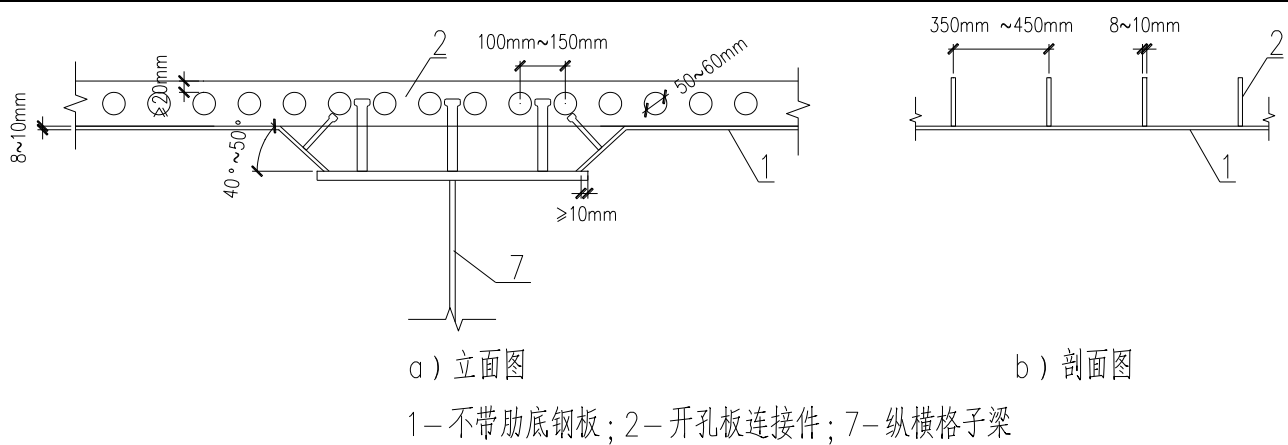


图 8.2.1-1 底钢板及开孔板连接件大样图

条文说明：不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的底钢板板厚对主梁的整体抗弯刚度影响相对较小，对主梁纵、横向总体受力影响较小。因此，设计时主要考虑桥面板局部受力及构造需求来确定板厚，考虑到底钢板局部稳定性能及其与剪力连接件之间的焊接性能，其板厚不宜过小，一般取为 8mm~10mm。

8.2.2 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板采用钢筋桁架连接件时，钢筋桁架连接件应满足下列规定：

- 1 钢筋桁架连接件应由顶部钢筋、腹杆斜筋与底钢板焊接形成桁架结构。
- 2 钢筋桁架连接件间距宜为 150mm~200mm。
- 3 腹杆斜筋与水平面夹角宜为 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。
- 4 腹杆斜筋直径宜为 10mm~12mm。

5 腹杆斜筋底部水平段与底钢板宜采用双面焊，焊接长度不应小于 5 倍斜筋直径。

条文说明：钢筋桁架连接件腹杆斜筋与顶部钢筋、底钢板应采用焊接连接，腹杆斜筋在顶面及底面应设置水平段，水平段长度应满足焊接长度不小于 5d(单面焊)或 10d(双面焊)的要求。

8.2.3 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板的底钢板加腋斜边及纵横格子梁顶部应设置焊钉连接件，焊钉连接件应满足下列规定：

- 1 焊钉连接件间距宜为 150mm~300mm。
- 2 焊钉连接件的型号应与混凝土板厚度相匹配，设置于底钢板加腋斜边的焊钉连接件直径不宜大于 16mm。
- 3 焊钉连接件与混凝土板顶面的距离不应小于 20mm。

8.2.4 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板和带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板底钢板及其连接件应满足下列规定：

- 1 底钢板厚度不宜小于 12mm，并不应小于焊钉直径的 0.5 倍。
- 2 底钢板加劲肋可采用球扁钢、L 形肋及 U 形肋等形式。
- 3 底钢板加劲肋的肋间距宜为 300mm~450mm。
- 4 底钢板加劲肋宜采用双边坡口角焊缝或双边角焊缝。
- 5 底钢板焊钉连接件的间距宜为 200mm~300mm，且应与钢筋间距模数匹配设置。
- 6 当焊钉间距大于 250mm 时，应对桥面板外周一圈的焊钉加密一倍，即间距为桥面板内部间距的一半，并不大于 150mm。
- 7 焊钉连接件直径宜根据桥面板厚度经计算确定，直径不宜小于 13mm。
- 8 焊钉连接件与混凝土板顶面的距离不应小于 15mm。
- 9 焊钉连接件的其他设置要求应符合现行行业标准《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01 的相关规定。

条文说明：目前国内外正交异性钢桥面板厚度一般不小于 14mm，对于带肋底钢板组合桥面板结构，考虑混凝土板对桥面系刚度的贡献，钢板厚度可以适当降低，不宜小于 12mm。

8.2.5 钢与混凝土组合桥面板钢结构耐久性设计应符合现行行业标准《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG D64-01 的相关规定。

8.3 混凝土板

8.3.1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板应满足下列规定：

- 1 桥面板应设置纵横向双层钢筋网，钢筋直径宜为 12~16mm，间距不宜大于 150mm。
- 2 桥面板垂直于开孔板连接件方向的底层钢筋应穿过开孔板连接件的孔洞，其钢筋直径宜为开孔直径的 1/4。
- 3 负弯矩区桥面板除设置通长钢筋外宜增设负弯矩区加强钢筋，受拉钢筋配筋率不宜小于 2.4%，加强钢筋长度应延伸至负弯矩区以外并预留足够锚固长度，在同一截面截断的受拉钢筋面积占总受拉钢筋面积的百分数不应超过 50%。
- 4 在负弯矩区段，应沿加腋设置斜向钢筋，其构造应符合图 8.3.1 的规定。

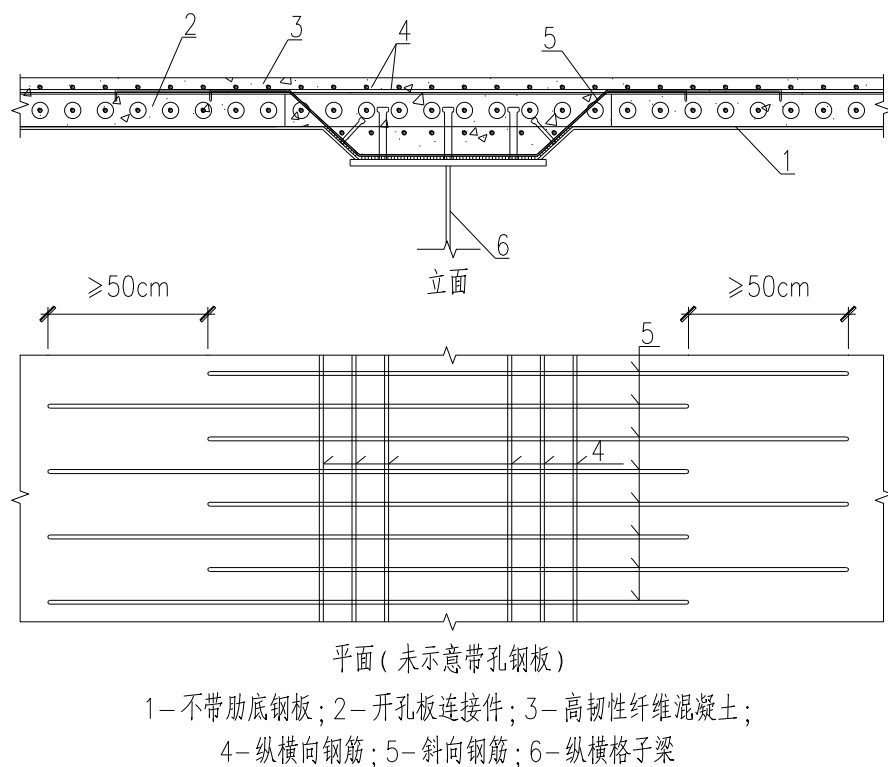


图 8.3.1 负矩区段加腋处斜向钢筋的构造

条文说明：本条第3款受拉区钢筋配筋率指受拉钢筋面积占混凝土截面面积的百分比。本条第4款规定主要是考虑到钢格子梁或钢箱梁上翼缘处的混凝土受栓钉的局部承压作用而易发生劈裂现象，因此，需配置弯起钢筋加强上翼缘与混凝土的锚固连接，同时抵抗支承处较大的剪力。

5 桥面板顶面钢筋的混凝土保护层厚度应根据环境类别确定，且不应小于20mm。

8.3.2 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板应满足下列规定：

1 桥面板应根据厚度设置纵横向单层或双层钢筋网，受力较大方向的钢筋宜置于外层。

2 钢筋直径宜为12~16mm，间距不宜大于100mm。

3 桥面板配筋率不宜小于1.5%。

4 桥面板顶面钢筋的混凝土保护层厚度应根据现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 中相关规定按环境类别确定，且不应小于20mm。

5 混凝土分段浇筑施工时，宜将接缝设置在受压区。横向接缝宜设置在两道横隔板靠中间位置，纵向接缝宜设置在纵肋之间。

8.3.3 带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板应满足下列规定：

1 桥面板应设置纵横向单层钢筋网，受力较大方向的钢筋宜置于外层。

2 钢筋直径不宜小于12mm，间距不宜大于100mm。

3 桥面板顶面钢筋的混凝土保护层厚度宜采用15mm，不应小于10mm。

4. 钢筋接头宜设置在受力小的区段，可采用绑扎或焊接的方式，并应错开布置。钢筋在超高性能混凝土层的搭接长度不应小于20倍钢筋直径。

5 超高性能混凝土分段浇筑施工时，宜将接缝设置在受压区。横向接缝宜

设置在两道横隔板靠中间位置，纵向接缝宜设置在纵肋之间。接缝处应采取加强措施。

6 超高性能混凝土层与其他结构连接，应设置边界连接构造。

条文说明

超高性能混凝土分段浇筑施工时会出现超高性能混凝土接缝，由于接缝处超高性能混凝土中的钢纤维不连续，抗裂强度将被削弱，为此，需对接缝处进行强化处理，一般可采用含异型钢板加强的接缝方案或矩形接缝方案。

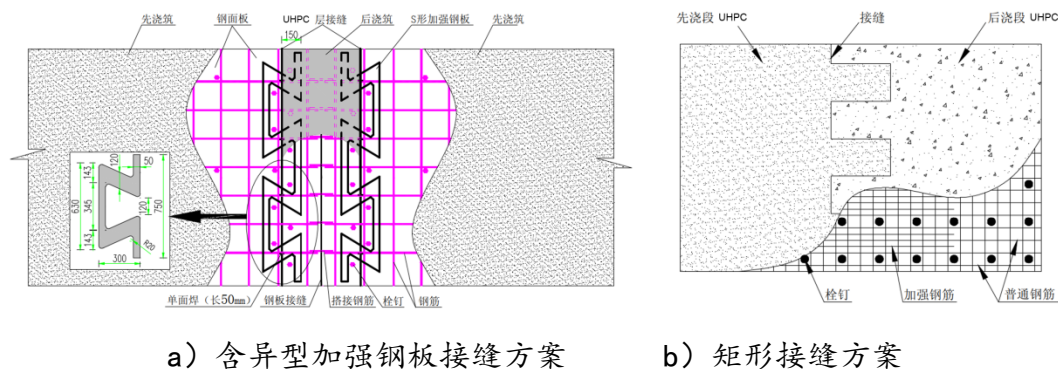


图 8.3.3-1 超高性能混凝土接缝处处理方案

8.4 附属设施

8.4.1 钢与混凝土组合桥面板铺装层应满足下列规定：

1 钢与混凝土组合桥面板铺装层可采用单层 SMA、双层 SMA 和 AC+SMA 等结构形式。当采用单层 SMA 结构时，应加强防水粘结层性能。

条文说明

钢-混组合桥面板铺装层一般较薄，对沥青混凝土铺装层性能要求较高，建议优先采用 SMA 结构，当铺装层厚度较厚时，也可采用 AC+SMA 结构。

2 高韧性低收缩混凝土组合桥面板铺装层厚度不应小于 50mm。

3 超高性能混凝土组合桥面板铺装层厚度不应小于 40mm。

4 防水粘结层应采用性能优异的防水涂料，其性能指标不应低于现行行业

标准《道桥用防水涂料》JC/T 975 和《城市桥梁桥面防水工程技术规程》CJJ 139 的要求。

5 当铺装层厚度小于 5cm 时，应加强防水粘结层性能；超高性能混凝土组合桥面板的防水粘结层与沥青混凝土层复合件 50℃剪切强度不应小于 0.6MPa，50℃拉拔强度不应小于 0.4MPa。

6 防水粘结层施工前，混凝土及超高性能混凝土表面宜进行抛丸粗糙化处理，并保持表面干燥、洁净。

8.4.2 钢-混组合桥面板防撞护栏应满足下列规定：

1 不带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板防撞护栏底座宜采用混凝土结构。

2 带肋底钢板-高韧性低收缩混凝土组合桥面板及带肋底钢板-超高性能混凝土组合桥面板防撞护栏底座宜采用钢结构。

3 混凝土底座处底钢板应设置纵向加强加劲肋；钢底座处底钢板应设置与钢底座侧板对应的纵向加劲肋。

8.4.3 钢-混组合桥面板排水结构应满足下列规定：

1 组合桥面板铺装层厚度小于 90mm 时，桥面排水结构不宜采用排水边沟。

2 组合桥面板铺装层厚度不满足集水井深度要求时，桥面集水井可部分埋入混凝土板结构层内，并根据受力情况对集水井周边钢筋进行加强。

3 桥面集水井侧面应设置收集铺装层层间水的构造措施。

9 施工要点及质量检验

9.1 一般规定

9.1.1 钢与混凝土组合桥面板宜采用“钢结构工厂预制、桥面板混凝土现场浇筑”的施工工艺。

9.1.2 钢与混凝土组合桥面板施工前，应结合桥梁的建设条件和结构特点编制专项施工方案。

9.1.3 施工前应根据桥梁总体受力特点及钢与混凝土组合桥面板的构造和施工特点，有计划地做好组合桥面板混凝土浇筑机械设备选型和混凝土性能指标试验等施工准备工作。正式施工前宜进行现场试验段浇筑，验证各项施工参数。

9.1.4 钢与混凝土组合桥面板施工质量要求及验收标准应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650、《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651、《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1 及现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的有关规定。

9.2 钢结构

9.2.1 钢结构的制造、装配等关键制作工艺应编制专项方案，正式施焊前，应完成焊接工艺评定试验。

9.2.2 钢结构应在专用胎架上制作成型。

9.2.3 钢结构制作应设计合理的焊接顺序，将焊接产生的变形控制在最小范围，并在施焊过程中严格控制。

9.2.4 带肋底钢板应在钢结构加工场内与主体钢结构整体制作。不带肋底钢板宜分块单独制作，运输至现场后与主体钢结构焊接。

9.2.5 不带肋底钢板应在钢板原材上画出折弯线，依据折弯线对钢底板进行折弯，然后依次组装开孔板连接件和焊钉连接件。

9.2.6 不带肋底钢板及开孔板连接件的焊接宜采用小线能量的间断错位双面焊缝，控制焊接变形。

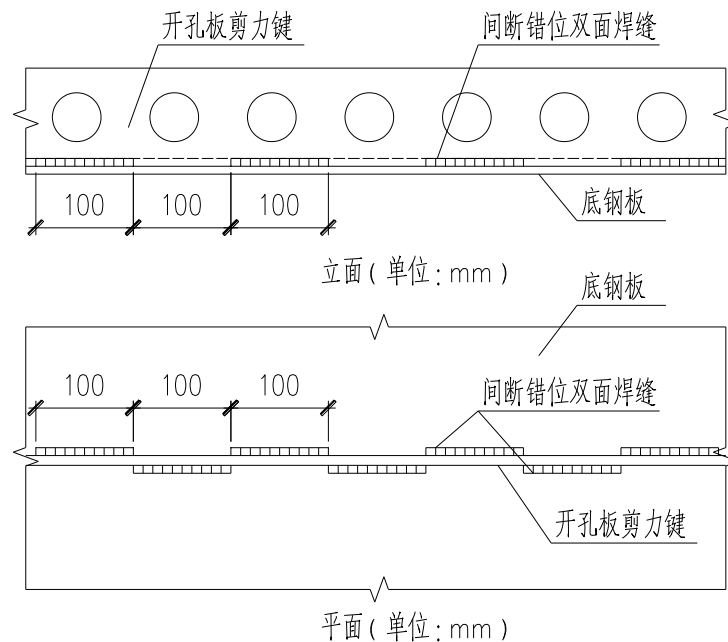


图 9.2.6 开孔板连接件与底钢板间断错位双面焊构造图

9.2.7 不带肋底钢板及开孔板连接件应在首次矫正合格后进行组装，焊接后进行二次矫正。底钢板与开孔板连接件的装配宜设置反变形，保证成型后的平整度满足要求。

条文说明：依据相关计算结果，底钢板与开孔板连接件在自重作用下变形 1~2mm，在混凝土湿重作用下变形约 5~6mm，形成组合截面后，在铺装作用下变形约为 1~2mm，故在施工过程中，底钢板与开孔板连接件宜设置 10mm 左右的反变形。

9.2.8 焊钉连接件应在底钢板制作成型、加劲肋安装完毕后在工厂内安装，并应采用专用瓷环焊接，不得采用手工焊接。

9.2.9 底钢板起吊转运应采用专用吊具，保证钢板及下料后零件的平整度。

9.2.10 钢结构加工的允许偏差应符合表 9.2.10 的规定。

表 9.2.10 组合桥面板钢结构的尺寸允许偏差 (mm)

验收项目		允许偏差	检验方法
底钢板	长度	± 2	直尺
	宽度	± 2	直尺
	平整度	± 5	直尺
加劲肋	一般段间距	± 2	直尺
	端部及横隔板处间距	± 1	直尺
开孔板连接件	间距	± 3	直尺
	开孔中心距	± 3	直尺

9.3 混凝土

9.3.1 浇筑混凝土前，应对底钢板、加劲肋、开孔板连接件和焊钉连接件上的锈蚀进行清理。

9.3.2 浇筑混凝土时，应避免对连接件造成破坏。

9.3.3 混凝土浇筑密实后应及时整平和收面。

9.3.4 混凝土浇筑完毕后应及时进行养护和覆盖，夏季施工注意防止烈日暴晒。

9.3.5 高韧性低收缩混凝土浇筑时宜采用平板振捣器振捣成型，当采用插入式振捣时，不得影响钢纤维在混凝土中的均匀分布。混凝土要求密实，不得少振漏振。

9.3.6 超高性能混凝土 (UHPC) 的施工应符合下列规定：

1 超高性能混凝土应采用立轴行星式搅拌机，搅拌机的转速不宜低于 40r/min。

2 超高性能混凝土拌合物的扩展度应满足施工要求。当拌合物与浇筑地点相距较远时，尚应检验 1h 扩展度，1h 扩展度的损失应控制在 100mm 以内。

3 超高性能混凝土设备的运输能力应保证浇筑连续性，超高性能混凝土加水拌合至浇筑的时间不宜超过 120min，气温超过 30℃时不宜超过 90min，静置

时间不得超过 30min。

4 超高性能混凝土宜连续浇筑，浇筑过程应保证密实性，保持表面湿润，不应出现冷缝。

5 超高性能混凝土蒸汽养护时应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的规定。

6 超高性能混凝土常温养护时，宜在覆膜前喷雾增湿，混凝土终凝前增加二次抹压过程，保湿养护不宜小于 14d，且不应小于 7d。

9.3.7 混凝土除进行配合比试验外，还应在浇筑地点随机抽取试样用以检验强度、现场坍落度或扩展度等混凝土性能。

9.3.8 混凝土施工的允许偏差应符合表 9.3.8 的规定。

表 9.3.8 组合桥面板混凝土的尺寸允许偏差

验收项目	允许偏差	检测方法
总厚度（mm）	±5	直尺
分块间错台（mm）	≤3	直尺
平整度（mm）	≤3	3m 直尺法

9.3.9 超高性能混凝土高温期施工应符合下列规定：

- 1 超高性能混凝土的施工宜避开中午高温的时间。
- 2 超高性能混凝土预混料宜避光存放。
- 3 搅拌用水宜添加冰屑等，拌合用水温度不宜高于 20℃。

条文说明：本附录参考《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022。由于超高性能混凝土胶材用量大、用水量低，在夏季施工时，很容易出现失水起壳、流动性损失过快现象，在正午阳光直射下甚至会发生速凝，严重影响施工质量。故夏季施工时，应编制相应夏季施工技术方案、应急预案等，保证工程质量和施工安全。

9.3.10 超高性能混凝土冬期施工采用蓄热养护措施时，蓄热养护时间应保

证超高性能混凝土抗压强度达到 40MPa。

条文说明：本附录参考《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022。在正常情况下，超高性能混凝土强度随龄期发展较快，但日均温度低于 5℃时，混凝土凝结时间大幅度增加，强度随龄期发展缓慢，此时虽不至于冻坏，但也会大幅延长工期，故规程推荐蓄热养护，使混凝土快速产生强度。

附录 A 超高性能混凝土收缩徐变性能

A.0.1 超高性能混凝土徐变应变应符合下列规定：

1 当超高性能混凝土的压应力不大于 40% 超高性能混凝土立方体抗压强度或超高性能混凝土拉应力不大于超高性能混凝土弹性极限抗拉强度时，由于徐变产生的应变应按下列公式计算：

$$\varepsilon_{Ucc}(t) = \varphi_U(t, t_0) \cdot \varepsilon_{Uel} \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$\varphi_U(t, t_0) = \varphi_{U, \infty}(t_{\infty}, t_0) \cdot \frac{(t - t_0)^a}{(t - t_0)^a + b} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中： ε_{Ucc} ——超高性能混凝土的徐变应变；

ε_{Uel} ——超高性能混凝土的弹性应变；

t_0 ——加载龄期（d）；

t ——龄期（d）。

最终徐变系数 $\varphi_{U, \infty}(t_{\infty}, t_0)$ 和系数 a 、 b 可按表 A.0.1 采用。

表 A.0.1 最终徐变系数和系数 a 、 b

t_0 (天)	养护条件	$\varphi_{U, \infty}(t_{\infty}, t_0)$	a	b
4	常温养护	1.2	0.6	3.2
7		1.0	0.6	4.5
28		0.9	0.6	10
-	蒸汽养护	0.3	0.6	10

2 当超高性能混凝土的压应力大于 40%超高性能混凝土立方体抗压强度或超高性能混凝土拉应力大于超高性能混凝土弹性极限抗拉强度时，应计入荷载水平对徐变的影响。

A.0.2 超高性能混凝土的收缩应符合下列规定：

1 采用常温养护时，超高性能混凝土总收缩值可根据龄期按下式计算：

$$\varepsilon_{Us}(t) = \varepsilon_{Us\infty} \cdot e^{-\left(\frac{2.48}{\sqrt{t-0.86}}\right)} \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中： ε_{Us} ——超高性能混凝土的总收缩值；

$\varepsilon_{Us\infty}$ ——超高性能混凝土的最终收缩应变值，未采取收缩补偿措施时，可取 0.6‰～0.8‰；

t ——龄期（d）。

2 采用蒸汽养护时，超高性能混凝土总收缩值可按下列式计算：

$$\varepsilon_{Us}(t) = \begin{cases} \frac{\varepsilon_{Us\infty}}{2} \cdot t (t \leq 2) \\ \varepsilon_{Us\infty} (t > 2) \end{cases} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： $\varepsilon_{Us\infty}$ ——超高性能混凝土的最终收缩应变值，可取 0.5‰。

A.0.3 当采用外加剂或其他措施来降低超高性能混凝土收缩值时，超高性能混凝土收缩值应根据实测值进行确定。

A.0.4 应变硬化超高性能混凝土在拉力作用下容许疲劳强度取超高性能混凝土弹性极限抗拉强度与抗拉强度平均值的 0.6 倍。

A.0.5 正常使用极限状态计算中，预应力损失的计算应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定。其中，收缩、徐变引起的预应力损失计算参数应符合本标准 A.0.2、A.0.3 的规定。

条文说明：

本附录参考《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《桥梁用结构钢》GB/T 714

《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

《碳素结构钢》GB/T 700

《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64

《钢纤维混凝土》JG/T 472

《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221

《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

《建设用砂》GB/T 14684

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

《混凝土膨胀剂》GB/T 23439

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

《活性粉末混凝土》GB/T 31387

《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37

《公路超高性能混凝土（UHPC）桥梁技术规程》T/CECS G: D60-02

《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433

《公路桥涵设计通用规范》JTG D60

《城市桥梁设计规范》CJJ 11

《城市道路交通工程项目规范》GB55011

《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG D64-01

《钢与混凝土组合桥面板技术规程》DB 51/T 1991-2015

《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022

《道桥用防水涂料》JC/T 975

《城市桥梁桥面防水工程技术规程》CJJ 139

《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650

《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651

《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2

《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1

《混凝土质量控制标准》GB 50164

制定说明

本规程制定过程中，编制组针对钢与混凝土组合桥面板进行了广泛深入的调查研究，总结了我国工程建设桥梁工程领域的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过结合国内实践经验与国外先进理论，总结了钢与混凝土组合桥面板材料、结构形式、承载能力极限状态验算、正常使用极限状态验算、施工阶段验算、构造设计、施工要点及质量检验等内容。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。

本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。