

横张预应力混凝土桥梁 设计施工指南

重庆市交通委员会 编
重庆交通学院

35
6

人民交通出版社

China Communications Press

U448.35
C6

Guidelines for design and construction of
transversely tensioned prestressed concrete bridge

横张预应力混凝土桥梁设计施工指南

重庆市交通委员会 编
重 庆 交 通 学 院

人 民 交 通 出 版 社

横张预应力混凝土桥梁设计施工指南

重庆市交通委员会 编
重 庆 交 通 学 院

人民交通出版社出版发行
(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)
各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 880 × 1230 1/16 印张: 3.75 字数: 70 千

2005 年 4 月 第 1 版

2005 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001 ~ 5000 册 定价: 15.00 元

统一书号: 15114 · 0831

前 言

科学技术的发展是永无止境的,纵观国内外各种预应力混凝土技术,可以说均远未达到,也难以达到十分完美的程度。这是因为人们对发展后的技术还会提出更高的要求,这就需要我们针对现有技术存在的问题和缺陷不断进行新的探索和研究,从而不断丰富和完善其施工方法和设计理论,使其技术、经济及社会效益各方面都得到不断的改进。重庆交通学院在综合现有预应力混凝土技术优点的基础上提出的“横张预应力混凝土技术”具有三个特点:一是改传统的预留孔道为预留明槽,节省了波纹管、定位钢筋和灌浆用水泥及相应工序;二是改传统的专用锚具锚固为粘结力自锚;节省了锚具、锚下局部加强钢筋及预应力钢束的张拉操作长度;三是改传统的沿力筋纵向张拉为沿垂直于力筋的横向张拉,所需横张力仅为常规纵张力的 $1/5 \sim 1/7$ 即可达到同等的预应力效果,减小了预应力损失,提高了张拉效率和张拉操作的安全度。横张预应力混凝土技术有望集现有的先张法与后张法、有粘结与无粘结、体内束与体外束预应力技术的优点于一体,以简化工艺、节省材料、提高工效并易于保证质量。为此,在重庆市交通委员会的主持下,对横张预应力混凝土技术的可行性和合理性进行了充分论证,由重庆交通学院、重庆高速公路发展有限公司、重庆市交通规划勘察设计院、重庆交通科研设计院、重庆渝通公路工程总公司等单位联合组成专题研究组,对横张预应力混凝土桥梁的设计理论、构造措施、施工工艺及张拉设备开展了较系统的研究,并在渝长高速公路红槽房大桥(T型梁桥)、徐家沟大桥(空心板桥)及四川省的荣经大桥(用横张预应力混凝土箱形梁拓宽加固旧桥)等六座桥梁得到成功应用,取得明显的技术经济效益。在交通部的大力支持和鼓励下,又进一步补充了横张预应力混凝土梁的部分静力和疲劳试验资料,完善了构造措施和施工工艺,并在对已有研究成果和工程实践资料进行归纳总结的基础上形成这本《横张预应力混凝土设计施工指南》,希望对我国方兴未艾的公路桥梁建设起到积极的作用。

《横张预应力混凝土设计施工指南》的研究和撰写先后得到交通部、重庆市科委、重庆市教委领导的支持、关心和指导,还得到了交通部交通科学研究院、公路规划设计院、大连理工大学、清华大学、东南大学、同济大学、西南交通大学、四川省公路规划设计研究院、中交第一、二公路勘测设计院等单位部分专家的直接指导和支持,在此谨向所有对本《指南》工作给予支持、指导、关心和帮助的单位、领导、专家和个人致以真诚的感谢,同时感谢人民交通出版社对本书撰写和出版给予的大力支持。

编写组成员:

李关寿、周志祥、张太雄、姚小松、徐 谋、朱 文、许晓锋、张勇武、李祖伟、韩 均、
腾西全、钟明全、张江涛、涂 凌、向阳开、吴海军

目 次

1 总则	1
2 术语及符号	2
3 材料	8
4 持久状况承载能力极限状态计算	12
5 持久状况正常使用极限状态计算	18
6 持久状况和短暂状况构件的应力计算	26
7 构造要求	29
8 施工技术要求	36
附件 横张预应力混凝土桥梁设计施工指南条文说明	41

1 总则

1.0.1 为在横张预应力混凝土桥梁设计中贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、安全可靠、经济合理、耐久适用,特制定本指南。

1.0.2 本指南适用于中小跨度横张预应力混凝土公路桥梁设计。

1.0.3 采用本指南进行设计时,凡涉及到其他相关标准、规范的内容,应按相关标准、规范的规定执行。

1.0.4 横张预应力混凝土桥梁应按以下两类极限状态设计:

1 承载能力极限状态:对应于横张预应力混凝土桥梁及其构件达到最大承载能力,或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。

2 正常使用极限状态:对应于横张预应力混凝土桥梁及其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。

在进行这两种极限状态设计时,在构造和工艺方面均应同时满足要求。

2 术语及符号

2.1 术语

2.1.1 横张预应力混凝土 transversely tensioned prestressed concrete

横张预应力混凝土是沿预应力束横向张拉获得纵向预应力的混凝土。

2.1.2 设计状况 design situation

结构从施工到使用的全过程中,代表时间段的一组物理条件,设计时必须做到使结构在该时间段内不超越有关的极限状态。

2.1.3 极限状态 limit state

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时,此特定状态为该功能的极限状态。

2.1.4 可靠度 degree of reliability

结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。

2.1.5 材料强度标准值 characteristic value of material strength

设计结构或构件时采用的材料强度的基本代表值。该值可根据符合规定标准的材料,其强度概率分布的 0.05 分位值确定。

2.1.6 材料强度设计值 design value of material strength

材料强度标准值除以材料强度分项系数后的值。

2.1.7 作用 actions

施加在结构上的集中力或分布力如汽车、结构自重等,或引起结构外加变形或约束变形的原因如地震、基础不均匀沉降、温度变化等,统称为作用。前者为直接作用,也称为荷载;后者为间接作用(不宜称为荷载)。

2.1.8 作用效应 effects of actions

结构对所受作用的反应,称为作用效应,如由作用产生的结构或构件的轴向力、弯矩、

剪力、应力、裂缝、变形等。

2.1.9 作用标准值 characteristic value of an action

作用的主要代表值。其值可根据设计基准期内最大值概率分布的某一分位值确定。

2.1.10 作用设计值 design value of actions

作用标准值乘以作用分项系数后的值。

2.1.11 作用效应组合 combination for action effects

结构上几种作用分别产生的效应的随机叠加。

2.1.12 安全等级 safety classes

为使桥涵具有合理的安全性,根据桥涵结构破坏所产生后果的严重程度而划分的设计等级。

2.1.13 结构重要性系数 coefficient for importance of structure

对不同安全等级的结构,为使其具有规定的可靠度而采用的作用效应附加的分项系数。

2.1.14 几何参数标准值 nominal value of geometrical parameter

设计结构或构件时,采用的几何参数的基本代表值。其值可按设计文件规定值确定。

2.1.15 承载力设计值 design value of ultimate bearing capacity

结构或构件按承载能力极限状态设计时,用材料强度设计值计算的结构或构件极限承载力。

2.1.16 作用效应组合设计值 design value of combination for action effects

设计结构或构件时,由几种作用设计值分别引起的效应的组合。

2.1.17 作用短期效应组合 combination for short-term action effects

结构或构件按正常使用极限状态设计时,永久作用效应与可变作用频遇值效应的组合。

2.1.18 作用长期效应组合 combination for long-term action effects

结构或构件按正常使用极限状态设计时,永久作用效应与可变作用准永久值效应的组合。

2.1.19 开裂弯矩 cracking moment

构件出现裂缝时的理论临界弯矩。

2.1.20 分项系数 partial safety factor

为保证所设计的结构或构件具有规定的可靠度,在结构极限状态设计表达式中所用的系数。分为作用分项系数和材料分项系数。

2.1.21 施工荷载 site load

按短暂状况设计时,施工阶段加在结构或构件上的临时荷载,包括结构自重、附着在结构和构件上的模板、材料机具等。

2.1.22 截面换算系数 coefficient of transformed section

把钢筋的截面面积换算为混凝土截面面积采用的系数。

2.2 符号

2.2.1 材料性能有关符号

C40——表示立方体强度标准值为 40MPa 的混凝土强度等级;

f_{cu} ——边长为 150 mm 的混凝土立方体抗压强度;

f'_{cu} ——边长为 150 mm 的施工阶段混凝土立方体抗压强度;

$f_{cu,k}$ ——边长为 150 mm 的混凝土立方体抗压强度标准值;

f_{ck} 、 f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值;

f_{tk} 、 f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值;

f'_{ck} 、 f'_{cd} ——短暂状况施工阶段的混凝土轴心抗压、抗拉强度标准值;

f_{sk} 、 f_{sd} ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值;

f_{pk} 、 f_{pd} ——预应力钢筋抗拉强度标准值、设计值;

f'_{sd} 、 f'_{pd} ——普通钢筋、预应力钢筋抗压强度设计值;

f_{sv} ——箍筋抗拉强度设计值;

f ——钢材的抗拉、抗压、抗弯强度设计值;

f_v ——钢材的抗剪强度设计值;

E_s 、 E_p ——普通钢筋、预应力钢筋弹性模量;

E ——钢材弹性模量;

G ——钢材剪变模量;

α_s ——钢材线膨胀系数;

ν_s ——钢材泊松比;

ρ_s ——钢材密度;

E_c ——混凝土弹性模量；
 G_c ——混凝土剪变模量；
 ν_c ——混凝土泊松比；
 α_c ——混凝土线膨胀系数。

2.2.2 作用和作用效应符号

M_d ——弯矩组合设计值；
 M_s 、 M_l ——按作用短期效应组合、长期效应组合计算的弯矩值；
 M_k ——弯矩组合标准值；
 M_{gl} 、 V_{gl} ——构件自重引起的弯矩、剪力值；
 N_p ——预应力钢筋和普通钢筋的合力；
 V_d ——剪力组合设计值；
 V_{cs} ——构件斜截面内混凝土和箍筋共同的抗剪承载力设计值；
 V_{pb} ——与斜截面相交的预应力弯起钢筋抗剪承载力设计值；
 P ——横向张拉力；
 R ——构件承载力的设计值；
 S ——作用(或荷载)(其中汽车荷载应计入冲击系数)效应的组合设计值；
 σ_{pe} ——预应力钢筋的有效预应力；
 σ_{p0} ——预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时预应力钢筋的应力；
 σ_p ——受弯构件正截面承载力计算中预应力钢筋的应力；
 σ_{pc} ——由预加力产生的混凝土法向预压应力；
 σ_{sl} 、 σ_{ll} ——在作用(或荷载)短期效应、荷载长期效应组合下，构件抗裂边缘混凝土的法向拉应力；
 σ_{tp} 、 σ_{cp} ——构件混凝土中的主拉应力、主压应力；
 τ ——构件混凝土的剪应力；
 σ_{con} ——预应力钢筋的张拉控制应力；
 σ_1 ——预应力钢筋的全部预应力损失；
 σ_{l2} ——预应力钢筋的锚固定位损失；
 σ_{l5} ——预应力钢筋的松弛损失；
 σ_{l6} ——混凝土的收缩和徐变损失。

2.2.3 几何参数有关符号

a ——受拉区普通钢筋和预应力钢筋的合力点至受拉区边缘的距离；
 a_s ——受拉区普通钢筋合力点至受拉区边缘的距离；
 b ——截面腹板宽度；

- b'_f ——T形或I形截面受压翼缘的有效宽度；
 h ——截面高度；
 h_0 ——截面有效高度；
 h_{0p} ——计算截面处预应力钢筋重心至受压边缘的距离；
 h'_f ——T形或I形截面受压翼缘高度；
 ω ——预应力钢筋架设后的实际长度与理想直线长度之差；
 l_0 ——张拉前预应力钢筋在两定位钢板间的长度；
 l_p ——张拉到位时，预应力钢筋在两定位钢板间的折线长度；
 l_q ——锚固定位后，预应力钢筋在两定位钢板间的折线长度；
 l ——受弯构件的计算跨径；
 l_1 ——悬臂梁的悬臂长度；
 L ——受弯构件的全长；
 y ——预应力钢筋横向张拉时的行程；
 S_v ——箍筋间距；
 x ——截面受压区高度；
 e_{pn} ——预应力钢筋与普通钢筋的合力对净截面重心轴的偏心距；
 e_{p0} ——预应力钢筋与普通钢筋的合力对构件换算截面重心轴的偏心距；
 y_{pn} ——预应力钢筋合力点至净截面重心轴的距离；
 y_{sn} ——受拉区纵向普通钢筋重心至净截面重心轴的距离；
 A_n ——构件净截面面积；
 A_s ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积；
 A_p ——预应力钢筋的截面面积；
 A_{sv} ——同一截面的箍筋各肢总截面面积；
 W_0 、 W_n ——换算截面、净截面受拉边缘的弹性抵抗矩；
 I_0 、 I_n ——换算截面、净截面惯性矩；
 S_0 、 S_n ——换算截面、净截面计算纤维以上(或以下)部分面积对截面重心轴的静矩；
 f_p ——由预加力引起的反拱值；
 θ ——倾斜区段预应力钢筋与构件纵轴线的夹角。

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；
 ϵ_{cu} ——受弯构件受压边缘混凝土的极限压应变；
 β ——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值；
 ξ_b ——正截面相对界限受压区高度；
 m ——斜截面受压端正截面处的广义剪跨比；

- α ——预应力提高系数；
- α_{EP} ——预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；
- α_{ES} ——普通钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；
- η_θ ——构件挠度长期增长系数；
- ρ_{sv} ——箍筋配筋率, $\rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{S_v b}$ ；
- ρ ——纵向受拉钢筋配筋率；
- δ ——锚固定位件的压缩变形值。

3 材料

3.1 混凝土

3.1.1 横张预应力混凝土桥梁的主梁混凝土等级宜采用 C40 ~ C80,中间以 5MPa 进级,其他受力构件的混凝土可参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004),选用符合要求的等级,并满足相关条文要求。

混凝土强度等级应按边长为 150mm 立方体试件的抗压强度标准值确定。抗压强度标准值系指试件用标准方法制作、养护至 28d 龄期,以标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度(以 MPa 计)。

3.1.2 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 3.1.2 采用。

表 3.1.2 混凝土强度标准值(MPa)

强度等级 \ 强度种类	轴心抗压 f_{ck}	轴心抗拉 f_{tk}
C40	26.8	2.40
C45	29.6	2.51
C50	32.4	2.65
C55	35.5	2.74
C60	38.5	2.85

3.1.3 混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd} 和轴心抗拉强度设计值 f_{td} 应按表 3.1.3 采用。

表 3.1.3 混凝土强度设计值(MPa)

强度等级 \ 强度种类	轴心抗压 f_{cd}	轴心抗拉 f_{td}
C40	18.4	1.65
C45	20.5	1.74
C50	22.4	1.83
C55	24.4	1.89
C60	26.5	1.96

3.1.4 混凝土受压或受拉时的弹性模量 E_c 应按表 3.1.4 采用。

表 3.1.4 混凝土弹性模量 (MPa)

混凝土强度等级	E_c	混凝土强度等级	E_c
C40	3.25×10^4	C55	3.55×10^4
C45	3.35×10^4	C60	3.60×10^4
C50	3.45×10^4		

3.1.5 混凝土的剪变模量 G_c 可按表 3.1.4 相应数值的 0.4 倍采用,混凝土的泊松比 μ_c 可取为 0.2。

3.2 钢筋

3.2.1 横张预应力混凝土桥梁的钢筋应按下列规定采用:

- 1 横张预应力混凝土构件中的纵向普通钢筋应选用 R235(Q235)、HRB335、HRB400 及 KL400 钢筋,箍筋应选用其中的带肋钢筋。
- 2 横张预应力混凝土构件中的预应力钢筋应选用高强度低松弛钢绞线。

3.2.2 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 3.2.2-1 和 3.2.2-2 采用。

表 3.2.2-1 普通钢筋抗拉强度标准值 (MPa)

钢筋种类		符 号	f_{sk}
R235(Q235)	$d = 8 \sim 20\text{mm}$	Φ	235
HRB335	$d = 6 \sim 50\text{mm}$	Φ	335
HRB400	$d = 6 \sim 50\text{mm}$	Φ	400
KL400	$d = 8 \sim 40\text{mm}$	Φ^R	400

表 3.2.2-2 预应力钢筋抗拉强度标准值 (MPa)

钢筋种类			符 号	f_{pk}
钢 绞 线	1 × 2 (二股)	$d = 8.0\text{mm}, 10.0\text{mm}$	ϕ	1470, 1570, 1720, 1860
		$d = 12.0\text{mm}$		1470, 1570, 1720
	1 × 3 (三股)	$d = 8.6\text{mm}, 10.8\text{mm}$		1470, 1570, 1720, 1860
		$d = 12.9\text{mm}$		1470, 1570, 1720
	1 × 7 (七股)	$d = 9.5\text{mm}, 11.1\text{mm}, 12.7\text{mm}$		1860
		$d = 15.24\text{mm}$		1720, 1860

3.2.3 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_{sd} 和抗压强度设计值 f'_{sd} 应按表 3.2.3-1 采用; 预应力钢筋的抗拉设计值 f_{pd} 和抗压设计值 f'_{pd} 应按表 3.2.3-2 采用。

表 3.2.3-1 普通钢筋抗拉、抗压强度设计值 (MPa)

钢 筋 种 类		f_{sd}	f'_{sd}
R235 (Q235)	$d = 8 \sim 20\text{mm}$	195	195
HRB335	$d = 6 \sim 50\text{mm}$	280	280
HRB400	$d = 6 \sim 50\text{mm}$	330	330
KL400	$d = 8 \sim 40\text{mm}$	330	330

表 3.2.3-2 预应力钢筋抗拉、抗压强度设计值 (MPa)

钢 筋 种 类		f_{pd}	f'_{pd}
钢绞线 1 × 2 (二股) 1 × 3 (三股) 1 × 7 (七股)	$f_{pk} = 1470$	1000	390
	$f_{pk} = 1570$	1070	
	$f_{pk} = 1720$	1170	
	$f_{pk} = 1860$	1260	

3.2.4 普通钢筋的弹性模量 E_s 和预应力钢筋的弹性模量 E_p , 应按表 3.2.4 采用。

表 3.2.4 钢筋的弹性模量 (MPa)

钢筋种类	E_s 或 E_p	钢筋种类	E_s 或 E_p
R235	2.10×10^5	钢绞线	1.95×10^5
HRB335、HRB400、KL400	2.00×10^5		

3.3 钢材

3.3.1 横张预应力混凝土构件中的结构钢材宜采用 Q235 号钢和 Q345 号钢, 钢材的质量应符合相应的现行国家标准《低合金结构钢》(GB/T 1591—94)、《桥梁用结构钢》(GB/T 714—2000) 有关规定。

3.3.2 钢材的强度设计值应按表 3.3.2 采用。

表 3.3.2 钢材的强度设计值 (MPa)

钢 材			抗拉、抗压、抗弯 f	抗剪 f_v
钢号	组别	厚度或直径 (mm)		
Q235	第 1 组	≤ 16	215	125
	第 2 组	17 ~ 40	205	120
	第 3 组	42 ~ 60	200	115
	第 4 组	62 ~ 100	180	105

表 3.3.2(续)(MPa)

钢 材			抗拉、抗压、抗弯 f	抗剪 f_v
钢号	组别	厚度或直径 (mm)		
Q345	第 1 组	≤ 16	315	185
	第 2 组	17 ~ 35	290	170
	第 3 组	36 ~ 50	265	155
	第 4 组	52 ~ 100	250	145

3.3.3 钢材的物理性能指标应按表 3.3.3 采用。

表 3.3.3 钢材的物理性能指标

弹性模量 E (MPa)	剪变模量 G (MPa)	线膨胀系数 α_s ($^{\circ}\text{C}$)	密度 ρ_s (kg/m^3)	泊松比 ν_s
2.06×10^5	7.9×10^4	1.2×10^{-5}	7.85×10^3	0.3

4 持久状况承载能力极限状态计算

4.1 一般规定

4.1.1 横张预应力混凝土桥梁的持久状况设计应按承载能力极限状态的要求,对构件进行承载力计算。在进行上述计算时,作用(或荷载,其中汽车荷载应计入冲击系数)效应应采用其组合设计值;结构材料性能采用其强度设计值。

4.1.2 对持久状况承载能力极限状态,应根据桥梁结构破坏可能产生的后果的严重程度,按表 4.1.2 划分的三个安全等级进行设计。

对于有特殊要求的桥梁结构,其安全等级可根据具体情况另行确定。

表 4.1.2 桥梁结构安全等级

安全等级	桥梁类型	安全等级	桥梁类型
一级	重要大桥	三级	小桥
二级	大桥、中桥、重要小桥		

注:本表所列特大、大、中桥等系按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)表 1.0.11 中的单孔跨径确定,对多跨不等跨桥梁,以其中最大跨径为准;本表冠以“重要”的大桥和小桥,系指高速公路上、国际公路上及城市附近交通繁忙的城郊公路上的桥梁。

4.1.3 同座桥梁的各种构件宜取相同的安全等级,必要时部分构件的安全等级可作适当调整,但调整后的级差不应超过一个等级。

4.1.4 横张预应力混凝土桥梁构件的承载能力极限状态计算,应采用下列表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.1.4-1)$$

$$R = R(f_d, a_d) \quad (4.1.4-2)$$

式中: γ_0 ——桥梁结构重要性系数,对安全等级为一级、二级、三级的结构或构件应分别取 1.1、1.0、0.9;桥梁的抗震设计不考虑结构的重要性系数;

S ——作用(或荷载)(其中汽车荷载应计入冲击系数)效应的组合设计值,按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的规定计算;

R ——构件承载力设计值;

$R(\cdot)$ ——构件的承载力函数,与材料强度和几何参数有关;

f_d ——材料强度设计值;