

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB 10095 — 2020

J 2870 — 2020

---

# 铁路斜拉桥设计规范

Code for Design on Railway Cable-stayed Bridge

2020-12-02 发布

2021-03-01 实施

---

国 家 铁 路 局 发 布

中华人民共和国行业标准

铁路斜拉桥设计规范

Code for Design on Railway Cable-stayed Bridge

TB 10095—2020

J 2870—2020

主编单位：中铁大桥勘测设计院集团有限公司

批准部门：国家铁路局

施行日期：2021年3月1日

中国铁道出版社有限公司

2021年·北京

中华人民共和国行业标准  
铁路斜拉桥设计规范

**TB 10095—2020**

**J 2870—2020**

\*

中国铁道出版社有限公司出版发行  
(100054,北京市西城区右安门西街8号)

出版社网址:<http://www.tdpress.com>

国铁印务有限公司印

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32 印张:2.5 字数:61 千

2021年2月第1版 2021年2月第1次印刷

---

书号:15113·6156 定价:18.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

读者服务部电话:(010)51873174

# 国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

## (工程建设标准 2020 年第 6 批)

国铁科法〔2020〕55 号

现公布《铁路斜拉桥设计规范》(TB 10095—2020)和《铁路桥梁钢管混凝土结构设计规范》(TB 10127—2020)2 项铁路工程建设标准,自 2021 年 3 月 1 日起实施。

以上标准由中国铁道出版社有限公司出版发行。

国家铁路局

2020 年 12 月 2 日

# 前 言

随着我国大规模铁路建设的快速发展,桥梁建造技术取得了举世瞩目的成就,斜拉桥已成为大跨度铁路桥梁的主要结构形式。武汉天兴洲长江大桥、铜陵公铁两用长江大桥、安庆长江大桥、沪苏通长江公铁两用大桥等一批深水、大跨、特殊地质条件、复杂结构形式的斜拉桥成功建设,标志着铁路斜拉桥建造技术取得历史突破,达到世界先进水平,为制定铁路斜拉桥技术标准积累了丰富的经验,奠定了坚实基础。

本规范为统一铁路斜拉桥设计要求,提高铁路斜拉桥设计水平,在全面总结我国铁路斜拉桥建设运营实践经验和科研成果的基础上编制而成。本规范贯彻安全优先的原则,强化质量安全、节约资源、保护环境等要求,并结合我国国情、社会经济发展水平、环境条件等因素,同时与现行高速铁路、城际铁路、客货共线和重载铁路等相关标准统筹协调,系统规定了铁路斜拉桥关键技术参数和主要设计原则,为铁路斜拉桥设计提供技术支撑。

本规范共分9章,包括总则、术语和符号、基本规定、材料、设计荷载、结构计算、结构构造、施工控制、养护维修及防护,另有1个附录。

本规范主要内容如下:

1. 明确了本规范编制目的、适用范围和铁路斜拉桥设计总体要求。
2. 提出了铁路斜拉桥的总体结构布置、约束体系、刚度要求。
3. 规定了铁路斜拉桥所采用的材料要求和基本力学参数。
4. 明确了铁路斜拉桥设计荷载种类及荷载组合。
5. 统一了铁路斜拉桥结构计算的基本要求和分析方法。

6. 规定了铁路斜拉桥主梁、斜拉索、索塔、支座及梁端伸缩装置、锚固系统及其他附属设施等结构的构造要求。

7. 提出了铁路斜拉桥施工控制总体要求。

8. 规定了铁路斜拉桥养护维修要求及防护措施。

在执行本规范过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和相关资料寄交中铁大桥勘测设计院集团有限公司(湖北省武汉经济技术开发区博学路8号,邮政编码:430056),并抄送国家铁路局规划与标准研究院(北京市西城区广莲路1号,邮政编码:100055),供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

**主编单位:**中铁大桥勘测设计院集团有限公司。

**参编单位:**中铁二院工程集团有限责任公司、西南交通大学。

**主要起草人:**高宗余、徐伟、张德平、程慧林、王晨、李亚东、王应良、李永乐、杜萍、陈思孝、李小珍、范振合、石建华、艾宗良、赵灿辉、张燕飞、李龙安、童登国、康晋、周健鸿、何友娣。

**主要审查人:**陈良江、吴少海、刘燕、薛吉岗、刘珣、杨鹏健、高策、刘晓光、张玉玲、王召祜、苏伟、文望青、徐升桥、李黎、李小和、毛伟琦、刘椿、李建中、王克海、赵君黎。

# 目 次

1	总 则 .....	1
2	术语和符号 .....	2
2.1	术 语 .....	2
2.2	符 号 .....	5
3	基本规定 .....	6
3.1	一般规定 .....	6
3.2	孔跨及结构布置 .....	6
3.3	刚 度 .....	7
3.4	约束体系 .....	7
4	材 料 .....	9
4.1	混 凝 土 .....	9
4.2	钢 材 .....	9
4.3	斜拉索材料 .....	9
4.4	斜拉索及锚具的安全系数 .....	10
5	设计荷载 .....	12
5.1	荷载种类 .....	12
5.2	荷载组合 .....	14
6	结构计算 .....	15
6.1	一般规定 .....	15
6.2	静力计算 .....	15
6.3	动力计算 .....	17
6.4	施工阶段计算 .....	18
7	结构构造 .....	20
7.1	一般规定 .....	20

7.2	基    础	20
7.3	索    塔	20
7.4	主    梁	22
7.5	斜拉索	25
7.6	锚    固	25
7.7	支座及梁端伸缩装置	26
7.8	附属设施	26
8	施工控制	27
9	养护维修及防护	28
9.1	一般规定	28
9.2	养护维修设施	28
9.3	防护设施	28
附录 A	斜拉桥索塔及多主桁风荷载计算	30
	本规范用词说明	37
	《铁路斜拉桥设计规范》条文说明	38

# 1 总 则

- 1.0.1** 为统一铁路斜拉桥设计技术要求,使铁路斜拉桥设计符合安全可靠、先进成熟、经济适用、保护环境等要求,制定本规范。
- 1.0.2** 本规范适用于标准轨距铁路、跨径不大于1 100 m的斜拉桥设计。
- 1.0.3** 斜拉桥设计应综合考虑桥梁的使用功能、环境条件、水文和地形地质情况等因素,选取合适的跨径布置、结构体系及施工方法。
- 1.0.4** 斜拉桥设计应合理选择材料、结构类型和构造,确保斜拉桥结构的强度、刚度、稳定性和耐久性。
- 1.0.5** 斜拉桥主体结构设计使用年限应为100年。斜拉桥设计尚应满足斜拉索更换要求。
- 1.0.6** 斜拉桥设计应考虑风荷载对结构动力响应的影响。
- 1.0.7** 斜拉桥设计应按规定进行地震安全性评价,确定合理的地震动参数,必要时进行抗震专项研究。
- 1.0.8** 斜拉桥设计应提出施工控制要求,明确制造和施工过程关键控制工况。
- 1.0.9** 斜拉桥应满足运营、检查、维护和应急抢修要求。
- 1.0.10** 斜拉桥设计应符合国家节能、节地、节水、节材和保护环境等有关要求。
- 1.0.11** 斜拉桥设计采用新工艺、新技术、新材料、新设备时,应符合国家及行业有关规定。
- 1.0.12** 斜拉桥设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 斜拉桥 cable-stayed bridge

以斜拉(斜张)索连接索塔和主梁作为桥跨结构的桥。

#### 2.1.2 多塔斜拉桥 multi-pylon cable-stayed bridge

具有两个以上桥塔的斜拉桥。

#### 2.1.3 混凝土梁斜拉桥 cable-stayed bridge with concrete girder

主梁为钢筋混凝土或预应力混凝土结构的斜拉桥。

#### 2.1.4 钢梁斜拉桥 cable-stayed bridge with steel girder

主梁为钢结构的斜拉桥。

#### 2.1.5 结合梁斜拉桥 cable-stayed bridge with composite girder

主梁横断面由钢结构和混凝土结构组合构成的斜拉桥。

#### 2.1.6 钢混混合梁斜拉桥 cable-stayed bridge with hybrid girder

主梁沿顺桥向分段,分别由钢或混凝土等不同材料共同构成的斜拉桥。

#### 2.1.7 斜拉索 stay cable

将斜拉桥主梁及桥面荷载等直接传递到索塔上的主要承重构件。

#### 2.1.8 索塔 pylon

用以锚固或支承斜拉索,并将索力传递给基础的塔柱结构。

#### 2.1.9 钢-混凝土结合塔 steel concrete combined pylon

横断面由钢结构和混凝土结构组合构成共同承载的斜拉桥索塔。

#### 2.1.10 钢-混凝土混合塔 steel concrete hybrid pylon

沿塔高度方向,采用混凝土结构、钢结构或钢-混凝土结构组合的斜拉桥索塔。

**2.1.11 主梁 girder**

由斜拉索、支座等支承,直接承受由桥面传递荷载的结构体。

**2.1.12 辅助墩 assistant pier**

在边跨范围内设置的桥墩。

**2.1.13 跨径 span**

桥梁顺桥向相邻桥墩(索塔)中心线间的距离。

**2.1.14 跨度 calculated span**

桥梁顺桥向相邻桥墩(索塔)支承中心线间的距离。

**2.1.15 边跨径 side span**

边索塔中心线至离主桥最外侧桥墩中心线间的距离。

**2.1.16 宽跨比 width-span ratio**

主梁宽度(最外侧主桁中心间距)与跨径的比值。

**2.1.17 钢锚箱 steel anchorage box**

索塔和主梁上锚固斜拉索的箱形钢结构构造。

**2.1.18 钢锚梁 steel anchorage beam**

索塔上锚固斜拉索,并通过受拉平衡两侧水平分力的钢结构梁体。

**2.1.19 斜拉索涡激共振 vortex-induced vibration of cable stays**

风流经斜拉索时会发生漩涡脱落,当漩涡脱落频率接近或等于斜拉索的自振频率时,由周期性涡激力所激发形成的斜拉索共振现象。

**2.1.20 斜拉索尾流驰振 wake galloping of cable stays**

沿来流方向并排布置的斜拉索因后排索处于前排索尾流气动不稳定区而发生的振动。

**2.1.21 斜拉索参数共振 parametric resonance of cable stays**

当桥面或桥塔的振动频率与斜拉索的竖向振动频率满足倍数条件时,由于斜拉索内力变化而引起的斜拉索竖向振动。

- 2.1.22 斜拉索风雨振** rain-wind induced vibration of cable stays  
风的作用使雨水沿斜拉索表面规则流动而引起的斜拉索驰振类型的振动。
- 2.1.23 支承体系** supporting system  
斜拉桥全长范围内的墩(塔)上均设竖向支座,某一塔墩处支座约束纵向位移的结构体系。
- 2.1.24 半飘浮体系** semi-floating system  
斜拉桥全长范围内的墩(塔)上均设竖向支座,塔墩处可设置纵向阻尼减振装置,其他墩上支座均不约束纵向位移的结构体系。
- 2.1.25 塔梁固结体系** fixed system between pylon and girder  
塔梁固结、塔墩间设置支座的结构体系。
- 2.1.26 刚构体系** rigid frame system  
塔、梁、墩固结的结构体系。
- 2.1.27 预置基础** precast block foundation  
将预制基础安置在水中已处理的地基上的基础。
- 2.1.28 成桥恒载索力** cable force by dead load  
斜拉桥施工和索力调整完成后恒载作用下的斜拉索索力。
- 2.1.29 车桥耦合振动** vehicle bridge coupling vibration  
车辆在桥梁上运动时由于轨道不平顺和桥梁变形引起的车辆和桥梁的振动。
- 2.1.30 计算塔高** pylon height for calculation  
最外侧斜拉索中心线与主塔中心线的交点到桥面的高度。
- 2.1.31 E1 地震作用(设计地震)** E1 ground motion earthquake action  
50年超越概率10%,相当于地震重现期475年。
- 2.1.32 E2 地震作用(罕遇地震)** E2 ground motion earthquake action  
50年超越概率2%,相当于地震重现期2475年。

## 2.2 符 号

- $L$ ——跨度  
 $L_p$ ——跨径  
 $f_{pk}$ ——斜拉索的标准强度  
 $v_d$ ——设计基准风速  
 $v_{10}$ ——地区基本风速  
 $v_{s10}$ ——桥位处设计基本风速  
 $v_{sd}$ ——施工阶段的设计风速  
 $C_{HW}$ ——多片桁架的总风载阻力系数  
 $v_G$ ——静力作用时的风速  
 $A_n$ ——桥塔或斜拉索顺风向投影面积  
 $\rho$ ——空气密度

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

- 3.1.1** 斜拉桥主梁、斜拉索、索塔和基础等主要构件应合理选择材料、结构类型和构造。
- 3.1.2** 斜拉桥线路纵断面宜设为人字坡,主跨可不设置活载预拱度;当线路为直线坡时,宜设置活载预拱度。
- 3.1.3** 斜拉桥设计应考虑斜拉索可更换,结构构件应便于加工、运输、安装、检查及养护。
- 3.1.4** 斜拉桥设计应明确制造和施工过程的关键控制工况,明确结构体系转换顺序及应采取的相应措施。
- 3.1.5** 斜拉桥钢结构应根据设计使用寿命和使用环境选择合适的材质及涂装体系,并符合相关标准的规定。混凝土结构应符合《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的相关规定。

### 3.2 孔跨及结构布置

- 3.2.1** 斜拉桥孔跨布置可采用双塔三跨式、独塔双跨式和多塔多跨式等形式,可根据需要设置辅助墩。独塔斜拉桥边跨与主跨跨径比宜为 0.55 ~ 1.00,双塔或多塔斜拉桥的边跨与主跨跨径比可参考表 3.2.1。

表 3.2.1 双塔或多塔斜拉桥边跨与主跨跨径比

主梁类型	边跨与主跨跨径比
钢主梁	0.30 ~ 0.40

续表 3.2.1

主梁类型	边跨与主跨跨径比
钢-混凝土结合梁	0.40 ~ 0.50
混凝土主梁	0.40 ~ 0.50

3.2.2 主梁可采用混凝土梁、钢梁、钢-混凝土结合梁或钢-混凝土混合梁等结构。

3.2.3 索塔横桥向根据受力和景观要求可采用 A 型、H 型等结构形式。根据材料选择,索塔可采用钢筋混凝土、钢、钢-混凝土结合或钢-混凝土混合结构。桥梁计算塔高与主跨跨径之比:双塔或多塔斜拉桥可取  $1/5 \sim 1/3$ ;独塔斜拉桥可取  $1/3 \sim 1/2$ 。

3.2.4 斜拉索横桥向可布置为单索面、双索面或多索面。

3.2.5 斜拉桥钢梁和结合梁的索距可采用  $8 \text{ m} \sim 15 \text{ m}$ ,混凝土梁的索距可采用  $6 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ 。塔上索距可采用  $2 \text{ m} \sim 5 \text{ m}$ 。

### 3.3 刚 度

3.3.1 斜拉桥在列车静活载作用下主梁的竖向挠度宜小于  $L/500$ 。

3.3.2 在列车偏载、横向摇摆力、离心力、风荷载和温度的作用下,主梁的水平挠度宜小于  $L/1200$ 。风荷载(有车)与温度作用组合时,可按 0.75 倍的风荷载与 0.6 倍的温度作用进行组合。

3.3.3 斜拉桥主跨宽跨比不宜小于  $1/35$ 。

3.3.4 斜拉桥在列车竖向静活载作用下,梁端竖向转角应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定,有伸缩装置时可另行研究。

3.3.5 斜拉桥车桥耦合动力响应评价指标宜符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定。

### 3.4 约束体系

3.4.1 斜拉桥可采用半飘浮、支承、塔梁固结及刚构等体系。

**3.4.2** 位于高烈度地震场地的斜拉桥宜采用半飘浮体系,当斜拉桥梁端、塔顶的纵向位移较大时,可设置纵向弹性约束装置或阻尼器等措施。

**3.4.3** 根据抗风(抗震)需要,可在斜拉桥索塔和主梁间设置横向水平约束。

**3.4.4** 斜拉桥的竖向支座不应出现拉力。

## 4 材 料

### 4.1 混 凝 土

4.1.1 斜拉桥主梁、索塔预应力混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C50,钢筋混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C40。

4.1.2 混凝土抗压强度标准值应采用标准方法制作试件,养护至 28 d 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)。

### 4.2 钢 材

4.2.1 斜拉桥各构件中普通钢筋和预应力钢筋类别、抗拉强度标准值、计算强度、弹性模量、容许应力和容许疲劳应力幅等,应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关规定。

4.2.2 斜拉桥所采用的钢板和型钢的物理力学性能、容许应力和容许疲劳应力幅应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的相关规定。

4.2.3 斜拉桥所采用复合钢板的物理力学性能和工艺性能应符合《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165 和《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定,复合钢板成品的不锈钢复层应按照《金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334 的规定进行晶间腐蚀检验,经过 180°弯曲试验后应无裂纹和晶间腐蚀现象。

### 4.3 斜拉索材料

4.3.1 斜拉索可采用  $\phi 7$  mm 的镀锌钢丝或镀锌铝合金钢丝,其

标准强度可采用 1 770 MPa、1 860 MPa 或 2 000 MPa,性能应符合相关标准规定。

**4.3.2** 斜拉索可采用热镀锌、环氧涂层或热镀锌铝合金钢绞线,其标准强度不宜低于 1 860 MPa,性能应符合相关标准规定。

**4.3.3** 在疲劳寿命  $N = 2 \times 10^6$  次时成品索的疲劳应力幅不应小于 250 MPa。

**4.3.4** 斜拉索锚具钢材应选取优质碳素结构钢或合金结构钢,其性能应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091、《合金结构钢》GB/T 3077 及《优质碳素结构钢》GB/T 699 的相关规定。

**4.3.5** 斜拉索的外防护材料可采用高密度聚乙烯护套料。

#### 4.4 斜拉索及锚具的安全系数

**4.4.1** 运营状态主力作用下斜拉索的容许应力按式(4.4.1—1)计算,主力和附加力共同作用下斜拉索的容许应力按式(4.4.1—2)计算。

$$[\sigma_z] \leq f_{pk}/2.5 \quad (4.4.1-1)$$

$$[\sigma_{zf}] \leq f_{pk}/2.0 \quad (4.4.1-2)$$

式中  $[\sigma_z]$ ——主力组合作用下斜拉索的容许应力(MPa);

$[\sigma_{zf}]$ ——主力和附加力组合作用下斜拉索的容许应力(MPa);

$f_{pk}$ ——斜拉索的标准强度(MPa)。

**4.4.2** 施工荷载及结构自重作用下斜拉索的容许应力按式(4.4.2—1)计算,施工荷载、结构自重及风荷载等共同作用下斜拉索的容许应力按式(4.4.2—2)计算。

$$[\sigma_{az}] \leq f_{pk}/2.0 \quad (4.4.2-1)$$

$$[\sigma_{af}] \leq f_{pk}/1.8 \quad (4.4.2-2)$$

式中  $[\sigma_{az}]$ ——施工荷载及结构自重作用下斜拉索的容许应力(MPa);

$[\sigma_{af}]$ ——施工荷载、结构自重及风荷载等共同作用下斜拉索的容许应力(MPa);

$f_{pk}$ ——斜拉索的标准强度(MPa)。

- 4.4.3 断索工况下斜拉桥钢结构及钢筋混凝土构件的容许应力提高系数可取 1.5,预应力构件的强度安全系数可取 1.6。
- 4.4.4 斜拉索设计最大疲劳容许应力幅可采用 190 MPa。
- 4.4.5 斜拉索锚具的安全系数不应小于 2.5。

## 5 设计荷载

### 5.1 荷载种类

**5.1.1** 斜拉桥设计应根据结构特性,按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定进行桥梁荷载计算。

**5.1.2** 斜拉索的张拉力和调整力应作为主力进行计算,并参与荷载组合。

**5.1.3** 铁路公路(城市道路)两用斜拉桥同时承受铁路和公路活载时,铁路活载应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定计算,公路活载应按下列规定计算:

1 跨度小于列车活载加载长度的斜拉桥,公路(城市道路)活载按相关标准规定的全部活载的 75% 计算。

2 跨度大于列车活载加载长度的双线斜拉桥,公路(城市道路)活载按相关标准规定的全部活载的 90% 计算。

3 跨度大于列车活载加载长度的四线斜拉桥,公路(城市道路)活载按相关标准规定的全部活载的 85% 计算。

4 对仅承受公路(城市道路)活载的构件,应按公路(城市道路)的全部活载计算。

**5.1.4** 铁路公路(城市道路)两用斜拉桥进行疲劳检算时,应符合铁路相关规范规定,对仅承受公路活载的构件应符合公路相关规范规定。

**5.1.5** 作用在斜拉桥结构或构件上的风荷载应考虑静力风荷载和动力风荷载。

**5.1.6** 静力风荷载可按本规范附录 A 及《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定进行计算,同时应考虑脉动风的影响。对于

形状复杂、结构或桥址区风环境特殊的铁路斜拉桥,应开展抗风专题论证确定桥梁的相关风荷载参数。

**5.1.7** 斜拉桥的温度荷载除按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定计算外,还应根据斜拉桥的结构特点,计算桥梁的构件温差、均匀温差和日照温差。

**5.1.8** 桥梁的构件温差、均匀温差和日照温差宜实测确定,当无实测资料时,桥梁相关温差可按下列规定取值:

1 斜拉索与混凝土主梁、斜拉索与混凝土索塔间的温差可采用  $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 斜拉索与钢主梁、斜拉索与钢索塔间的温差可采用  $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 混凝土索塔相对两侧面温差可采用  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4 上层桥面板与主桁间的温差可采用  $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5 下层桥面板与主桁间的温差,上层有遮挡时可采用  $\pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,无遮挡时可采用  $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

**5.1.9** 铁路斜拉桥采用 E1 地震作用(设计地震)和 E2 地震作用(罕遇地震)两级抗震设防,E1 和 E2 的地震动参数应按地震安全性评价确定。

**5.1.10** 墩台考虑船舶或汽车撞击作用时,撞击力应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定。特殊防撞要求的桥梁可开展相关专题论证确定撞击力。

**5.1.11** 墩台的水流力应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定,特殊海洋环境条件下墩台设计应考虑波浪力。

**5.1.12** 支座摩阻力对结构产生不利影响时,应考虑摩阻力的作用。支座摩阻力  $F$  可按式(5.2.12)计算。

$$F = \mu W \quad (5.2.12)$$

式中  $W$ ——上部恒载产生的竖向力(kN);

$\mu$ ——支座活动面的摩擦系数,宜采用实测数据,无实测数据时可按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 办理。

**5.1.13** 斜拉桥的列车制动力与牵引力应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 计算。

**5.1.14** 斜拉桥轨道伸缩力和断轨力应按《铁路无缝线路设计规范》TB 10015 计算,并应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定。

**5.1.15** 斜拉桥设计应考虑基础变位对结构的影响。

## **5.2 荷载组合**

**5.2.1** 斜拉桥结构设计应根据结构及环境特性,按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 规定的荷载,就其可能的最不利组合情况进行计算。

**5.2.2** 设计计算时,应仅考虑主力与一个方向(顺桥或横桥方向)的附加力进行组合。

**5.2.3** 结构设计应根据不同的荷载组合,将材料基本容许应力和地基承载力乘以相应的组合提高系数。

## 6 结构计算

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 斜拉桥计算根据不同的结构形式及计算内容可采用平面结构和空间结构计算模型。
- 6.1.2 采用平面结构计算图式进行结构静力分析时,应计算荷载横桥向分布对结构的影响及各平面间的共同作用和相互影响。将空间斜拉索简化为平面结构计算时,应考虑拉索空间角度对索力变化的影响。
- 6.1.3 斜拉桥结构计算时,斜拉索应考虑几何非线性影响。
- 6.1.4 斜拉桥结构计算中,应确保任意一个锚点斜拉索退出工作时,仍能保证列车通过。
- 6.1.5 斜拉桥设计除应进行静力分析外,还应进行动力、稳定性分析和施工阶段检算。
- 6.1.6 斜拉桥动力计算宜进行抗风、抗震及车桥耦合等分析,计算模型应反映桥梁结构的刚度和质量的实际分布及边界条件。
- 6.1.7 斜拉桥混凝土结构应考虑环境因素和材料特性对收缩徐变系数的影响。

### 6.2 静力计算

- 6.2.1 斜拉桥强度计算应符合下列规定:
- 1 构件的强度计算应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 及《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 的相关规定。
  - 2 强度计算时列车荷载的加载图式及加载长度应符合《铁路

列车荷载图式》TB/T 3466 及《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定。结构动力系数应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定计算。

3 斜拉索等效弹性模量可按式(6.2.1)计算。

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{(\gamma S \cos \alpha)^2}{12\sigma^3} E_0} \quad (6.2.1)$$

式中  $E$ ——考虑垂度影响的确定工况斜拉索等效弹性模量(kPa)；

$E_0$ ——斜拉索钢材弹性模量(kPa)；

$\gamma$ ——斜拉索单位体积重力(kN/m<sup>3</sup>)，取每米斜拉索及防护结构重力除以斜拉索面积(m<sup>2</sup>)；

$S$ ——斜拉索长度(m)；

$\alpha$ ——斜拉索与水平线的夹角(°)；

$\sigma$ ——确定工况斜拉索应力(kPa)。

6.2.2 斜拉桥疲劳计算应符合下列规定：

1 构件的疲劳计算应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002、《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 及《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关规定。

2 钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土构件疲劳计算时应考虑列车运营荷载及相应动力系数。钢结构构件和斜拉索疲劳计算时列车运营动力系数应按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的规定计算。

3 斜拉索进行疲劳计算时，疲劳加载可采用与桥梁钢结构疲劳计算相同的加载规定。

6.2.3 铁路斜拉桥稳定计算应符合下列规定：

1 铁路斜拉桥应计算结构的整体稳定和局部稳定，并应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 等现行铁路相关规范的规定。

2 斜拉桥稳定分析应考虑斜拉索垂度的影响。

3 对于斜拉桥结构整体稳定计算，第一类稳定即弹性屈曲的

结构稳定安全系数不应小于 4.0。

### 6.3 动力计算

#### 6.3.1 斜拉桥抗风计算应符合下列规定：

1 抗风设计应使结构满足相关规范规定的强度、刚度和稳定性等要求。

2 对于断面复杂的墩、塔、梁可通过风洞试验方法确定体形系数。

3 风荷载与车辆荷载组合时，未采用风屏障措施的桥面平均风速取值应结合桥址处风环境情况确定，但取值不超过 25 m/s。

4 抗风计算应检算施工阶段和成桥状态桥梁的颤振、驰振、涡振、抖振及参数共振。

6.3.2 抗风设计应考虑附属设施对结构抗风性能的影响。必要时主梁、斜拉索及索塔可采取抑振措施。

#### 6.3.3 斜拉桥抗震计算应符合下列规定：

1 斜拉桥结构抗震性能目标应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 斜拉桥抗震设防标准及设防目标

抗震设防水准	构件		设防目标		
	分类	名称	损伤状态	受力状态	功能目标
E1 地震作用 (设计地震) 50 年超越 概率 10%	重要构件	斜拉索、索塔柱、 主梁、基础	无损伤	弹性工作状态	不影响 列车通行
	次重要 构件	桥墩、索塔横梁	无损伤	弹性工作状态	
	连接构件	支座	无损伤	弹性工作状态	
E2 地震作用 (罕遇地震) 50 年超越 概率 2%	重要构件	斜拉索	无损伤	弹性工作状态	经修复可 继续使用
		主梁、索塔柱	轻微损伤	基本弹性工作 状态	
		基础	轻微损伤	基本弹性工作 状态	

续表 6.3.3

抗震设防水准	构 件		设防目标		
	分 类	名 称	损伤状态	受力状态	功能目标
E2 地震作用 (罕遇地震) 50 年超越 概率 2%	次重要 构件	桥墩、索塔横梁	可修复性 损伤	弹塑性状态	经修复可 继续使用
	连接构件	支座	允许发生 损伤	允许破坏	

2 检算抗震性能时, E1 地震作用下的墩、基础结构物及构件强度宜符合表 6.3.3 的规定。E2 地震作用下, 索塔和桩基础的截面弯矩应小于截面的等效屈服弯矩, 应验算桥墩的抗剪强度、塑性铰区变形和支座损伤变形状态等。

3 抗震措施应符合《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的相关规定。E1 地震的结构重要性系数取 1.0。

6.3.4 斜拉桥车桥振动响应计算可采用车桥耦合动力仿真分析, 必要时考虑环境风的影响, 车辆和桥梁的动力响应指标可参照《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定确定。

## 6.4 施工阶段计算

6.4.1 斜拉桥施工阶段应计算各控制工况结构的应力及变形, 必要时考虑几何非线性的影响。

6.4.2 斜拉桥施工过程中下列阶段应进行体系转换计算:

- 1 主梁施工过程中的临时支座(墩)装拆。
- 2 主梁悬臂施工设施和合龙施工设施的装拆。
- 3 临时斜拉索转为永久斜拉索。
- 4 主梁采用满堂支架施工完成后张拉斜拉索。
- 5 主梁边跨合龙、中跨合龙。

6.4.3 斜拉桥悬臂施工过程应考虑下列不平衡荷载:

- 1 主梁两侧悬臂设计不对称产生的不平衡重力。
- 2 主梁悬臂施工两端不相等的临时施工荷载。

- 3 混凝土主梁悬臂施工偏差产生的不平衡重力。
  - 4 主梁因施工工序产生的不平衡荷载。
  - 5 主梁悬臂纵坡在斜拉索索力(包括不平衡索力)作用下的不平衡荷载。
  - 6 主梁悬臂施工过程中一端挂篮或起重机及其负载脱落。
  - 7 被吊构件的最大单次起吊重量。
  - 8 两侧起重机移动不同步产生的不平衡荷载,按一个起重机占位距离差进行计算。
- 6.4.4** 施工阶段应考虑起重机行走及起吊对桥梁结构构件的影响。
- 6.4.5** 施工阶段应根据结构的施工工期确定施工阶段的设计风速。悬臂施工的斜拉桥应进行最大双悬臂状态和最大单悬臂状态的风荷载受力分析。
- 6.4.6** 施工阶段抗风计算应符合下列规定:
- 1 双悬臂施工应检算索塔两侧悬臂结构承受对称横向和竖向风荷载,以及不对称风荷载时的桥梁结构及构件的强度。不对称横向风荷载加载时主梁风荷载一侧宜取另一侧的0.5倍。
  - 2 裸塔状态应进行风稳定分析,必要时可进行风洞试验。
  - 3 主梁施工到最大双悬臂状态和最大单悬臂状态时,应计算受横桥向风力作用索塔两侧主梁产生的不同升力。

## 7 结构构造

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 斜拉桥各组成部分的构造应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 及《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 的相关规定。

**7.1.2** 斜拉桥结构构造细节应使结构传力顺畅,减少附加应力,便于制造、施工及养护维修。

**7.1.3** 斜拉桥结构布置应满足建筑限界的要求,并考虑桥面排水、人行道、电缆槽、接触网支柱、防抛网、声(风)屏障和风水管路等要求,且应满足《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定。

### 7.2 基础

**7.2.1** 斜拉桥基础应根据桥址地形、地质、水文条件和施工等因素,采用明挖、钻孔灌注桩、沉井、预置基础等类型。

**7.2.2** 斜拉桥基础设计应符合《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 的规定。

**7.2.3** 沉井基础设计应考虑沉井运输、定位及辅助下沉等措施。

**7.2.4** 预置基础设计应考虑基础底面平整度等要求。

### 7.3 索塔

**7.3.1** 索塔可综合考虑结构受力、风致振动、材料运输、施工和工程经济等因素,选用混凝土塔、钢塔、钢-混凝土结合塔或钢-混凝土混合塔等形式。

**7.3.2** 混凝土塔柱空心截面壁厚根据受力要求确定,且不宜大于

- 2 m。索塔截面尺寸应考虑斜拉索安装或张拉空间的要求。
- 7.3.3** 混凝土索塔横梁分次施工时,预应力的布置应考虑施工工序要求。
- 7.3.4** 混凝土索塔锚固区可采用预应力混凝土或普通钢筋混凝土。
- 7.3.5** 混凝土索塔受力钢筋及普通箍筋布置应符合下列要求:
- 1 竖向受力钢筋的直径不宜小于 16 mm。净距不应小于 4 cm,且不宜大于 15 cm。
  - 2 竖向受力钢筋的总截面积不应小于塔柱混凝土截面积的 0.55%。
  - 3 箍筋直径不宜小于 12 mm,间距不应大于竖向受力钢筋直径的 10 倍,且不大于 20 cm。横向拉筋的直径不宜小于 12 mm,间距不宜小于 45 cm。
  - 4 对于截面突变及壁厚较厚的节段以及门洞部位宜考虑防裂措施。
  - 5 采用劲性骨架施工的混凝土索塔,可将劲性骨架作为受力钢筋进行计算。
- 7.3.6** 钢索塔宜采用封闭箱室截面形式,箱室壁板上应布置竖向加劲肋,箱室内应设置水平横隔板。
- 7.3.7** 钢索塔壁板及竖向隔板的厚度根据受力确定,且不宜小于 20 mm。
- 7.3.8** 钢索塔塔柱节段在工地可采用高强度螺栓连接、焊接连接或者高强度螺栓与磨光顶紧组合连接。采用磨光顶紧时,节段接头端面宜在工厂进行加工,节段间金属接触密贴率应大于 50%,其高强度螺栓拼接传力宜按塔柱传递内力的 50%考虑。
- 7.3.9** 钢-混凝土混合塔结合部位应高于设计洪水位或高潮位 2 m 以上,并考虑浪溅高度影响。

## 7.4 主 梁

7.4.1 斜拉桥主梁轮廓外形应选择具有较好空气动力性能的截面。

7.4.2 钢梁结构应符合下列规定：

1 钢梁可采用钢桁梁或钢箱梁。双层桥面荷载的桥梁,宜采用钢桁梁。

2 钢箱梁、钢桁梁结构构造应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 等相关规定。

3 受压(拉)钢构件纵向加劲肋可采用开口、闭口加劲肋,如图 7.4.2 所示。受压区加劲肋肋板间距  $d$  应小于 30 倍被加劲板厚度  $t$ 。当计算压应力小于容许压应力时, $d$  可适当放宽,但不应大于  $45t$ 。受拉区加劲肋肋板间距  $d$  宜小于  $50t$ 。

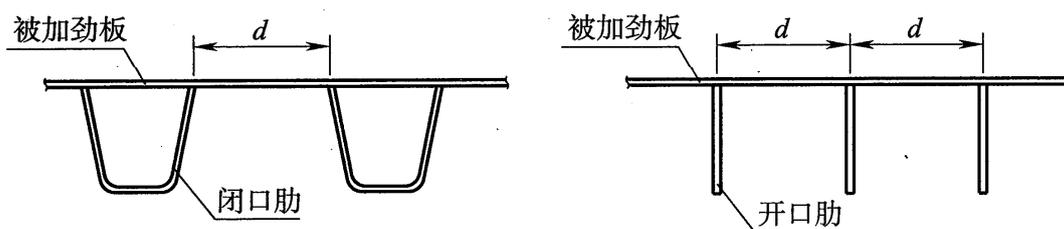


图 7.4.2 纵向加劲肋布置示意图

4 纵向加劲肋在与横梁(隔板)的交点处应贯通设置,需与横梁(隔板)连接时,应采用焊接连接;纵向加劲肋的对接焊接接头宜布置在距横梁  $1/4 \sim 1/5$  板跨处。

5 钢梁构件应采用工厂焊接方法制作,构件间的现场连接方式可采用高强度螺栓连接或焊接。钢梁构件制造应满足运输和吊装条件要求,宜工厂化、整体化方式制造。

7.4.3 混凝土梁构造应符合下列规定：

1 混凝土主梁宜采用箱梁,在墩顶支承处应设置横隔板。

2 斜拉索与混凝土主梁的锚固宜采用承压式锚固构造。当

锚固点位于主梁高度中部时,锚固点下方主梁腹板、横隔板一定范围处宜配置竖向预应力筋。

3 箱形截面顶板与腹板相连处应设置承托,底板与腹板相连处应设倒角。

**7.4.4 钢-混凝土结合梁或钢-混凝土混合梁构造应符合下列规定:**

1 结合梁或混合梁尺寸和构造应具有合理的抗弯、抗扭刚度以及气动性能,结合梁的截面中性轴宜位于钢梁截面范围。

2 混合梁主梁的结合部宜设置在梁体弯矩或变形较小处,且兼顾施工方便。

3 混合梁钢混结合部界面刚度过渡应匀顺,钢混结合部两侧钢与混凝土截面重心位置宜接近。

4 结合梁或混合梁应考虑钢材和混凝土线膨胀系数不同引起的温度效应影响。

5 当结合梁或混合梁桥面板采用预制混凝土桥面板时,预制板存放龄期不宜小于6个月。

**7.4.5 钢-混凝土结合梁或钢-混凝土混合梁抗剪连接件应符合下列规定:**

1 结合梁或混合梁在钢与混凝土交界面应设置连接件,宜采用栓钉或开孔板连接件。钢与混凝土结合面抗剪刚度、抗疲劳性能要求较高时,应选用开孔板连接件。

2 结合梁或混合梁应根据总体受力计算配置钢-混凝土交界面剪力连接件。斜拉索或预应力束锚固等位置应加强其界面连接件和混凝土板钢筋配置,加强范围可按纵向扩散角 $30^\circ$ 确定。

3 布置抗剪连接件的钢梁翼缘板厚度不应小于14 mm,且不应小于抗剪连接件根部最大焊缝高度。

**7.4.6 栓钉布置应符合下列规定:**

1 当栓钉焊于钢梁受拉翼缘时,其直径不应大于翼缘板厚度的1.5倍;当栓钉焊于无拉应力部位时,其直径不应大于翼缘板厚度的

2.5 倍。

2 栓钉沿梁轴线方向的间距不应小于钉杆直径的 5 倍,且不应大于钉杆高度的 4 倍。

3 栓钉垂直于梁轴线方向的间距不应小于钉杆直径的 4 倍,且不应大于钉杆高度的 4 倍。

4 结合梁主要受力构件宜采用直径 22 mm、25 mm 的栓钉,小跨度纵、横梁的结合桥面也可选用直径 16 mm、19 mm 的栓钉。

7.4.7 开孔板连接件的构造应符合下列要求:

1 当开孔板连接件多列布置时,相邻开孔板间距不宜小于板高的 3 倍。

2 开孔板连接件的钢板厚度不宜小于 14 mm。

3 开孔板连接件的孔径不应小于贯穿钢筋直径与骨料最大粒径之和。

4 开孔板连接件贯穿钢筋应采用螺纹钢筋,直径不宜小于 12 mm,并宜居中布置。

5 开孔板连接件相邻两孔边缘间距应满足孔间钢板抗剪承载力大于开孔板连接件的抗剪承载力的要求。

7.4.8 钢梁与混凝土板结合面边缘 50 mm 范围内应进行防腐涂装。

7.4.9 桥面结构可采用混凝土桥面、钢-混凝土结合桥面、整体钢桥面和明桥面等形式,并应符合下列规定:

1 钢-混凝土结合桥面应采用剪力键将混凝土桥面板与钢结构结合成整体。

2 钢桁梁斜拉桥结构桥面应封闭。

3 桥面结构应设置排水设施,避免雨水等积滞桥面。

4 铁路公路(城市道路)两用斜拉桥公路桥面布置应满足公路(城市道路)相关国家和行业标准的要求。平层布置的桥面尚应考虑防眩、防撞隔离等设施。

## 7.5 斜拉索

- 7.5.1 根据受力、运输、安装、更换等条件,斜拉索可选用平行钢丝斜拉索或钢绞线斜拉索。
- 7.5.2 平行钢丝斜拉索锚具应具有一定的长度调整功能,钢绞线斜拉索下料长度应满足多次张拉的要求。
- 7.5.3 桥面处斜拉索外套管或护套,必要时可在一定高度范围设置金属管防护措施。
- 7.5.4 斜拉索应考虑风雨振动、涡激共振和参数共振的影响,斜拉索并排布置时应考虑尾流驰振的影响,必要时采取抑制振动的措施。

## 7.6 锚固

- 7.6.1 斜拉索与主梁的锚固结构应便于检修养护,避免出现积水。
- 7.6.2 根据受力特点,钢梁斜拉索锚固区的板件与焊缝应验算疲劳强度,并明确钢板 Z 向性能要求等。
- 7.6.3 主梁斜拉索锚固区应满足斜拉索牵引安装的空间要求。
- 7.6.4 混凝土主梁斜拉索锚固区,宜设置锚固实体段或其他可靠的三向传力构造;锚固区内的构件截面尺寸,应满足设置索导管及锚垫板的需要;锚下局部区段内的构造及配筋设计,应满足《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的要求。
- 7.6.5 斜拉索在索塔上的锚固,可采用索塔侧壁锚固、交叉锚固、钢锚梁锚固和钢锚箱锚固等形式。
- 7.6.6 索塔锚固区斜拉索的间距,应保证张拉及调索的空间要求。
- 7.6.7 斜拉索锚固在混凝土索塔侧壁时,应设置钢索导管和锚垫板。
- 7.6.8 锚下钢垫板尺寸应根据张拉吨位、张拉机具大小和锚具形

式等确定,厚度不宜小于 30 mm。斜拉索索导管的壁厚不应小于 10 mm。索导管应满足内置式减振器安装要求。

## 7.7 支座及梁端伸缩装置

7.7.1 支座设计和构造应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 和《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关规定。

7.7.2 支座处应预留支座更换空间,并应进行相应结构检算。

7.7.3 伸缩装置应能适应梁体纵向伸缩和转动。

7.7.4 伸缩装置安装部位应考虑防水措施要求,有砟轨道伸缩装置安装部位应设置挡砟构造。

## 7.8 附属设施

7.8.1 主体结构设计时应预留附属设施设置条件。

7.8.2 索塔内应配有照明、防火设备及排水设施。

7.8.3 斜拉桥应根据桥用设备的需求设置相关缆线通道,并采取必要的安全防护措施。

7.8.4 斜拉桥索塔应设置接闪器、引下线和接地装置等防雷保护措施。

7.8.5 通航水域上的斜拉桥应根据航道等级装设助航标志(日标标识和夜标标识)。

7.8.6 索塔应按相关规定设置航空障碍灯系统。

## 8 施工控制

**8.0.1** 斜拉桥应开展施工监测监控,设计文件应提出测点布置原则等相关要求。

**8.0.2** 斜拉桥设计应明确主梁的成桥线形及钢结构主梁的制造线形,主梁的成桥线形宜考虑道砟容重离散性等影响。

**8.0.3** 索塔、主梁施工过程中的变位、线形影响斜拉桥的成桥内力时,应明确索塔、梁体的容许偏差。

**8.0.4** 斜拉桥设计应考虑施工过程中温度变化对结构变形及内力的影响,必要时可开展现场大气及结构温度测试,修正设计参数。

**8.0.5** 斜拉桥设计应明确施工临时荷载的最大限值及相应的作用点或作用范围。

**8.0.6** 利用临时结构在施工过程中调整索塔内力时,应明确临时结构设置位置及施加、拆除时机。

## 9 养护维修及防护

### 9.1 一般规定

- 9.1.1** 斜拉桥的养护维修设施及防护设施应进行专门设计,并与主体结构相协调。
- 9.1.2** 斜拉桥主要结构和部件在运营期内,宜满足维护人员可到达、可检查、可维修的要求,防护设施设计应符合相关标准的规定。
- 9.1.3** 斜拉桥养护需求设置的结构或连接件,应考虑养护设施及养护人员的荷载,经养护工况验算后提出最大限制荷载。桥面检修走道、索塔内和箱梁内宜设置电源和照明。桥梁检修照明应符合《铁路照明设计规范》TB 10089 的相关规定。

### 9.2 养护维修设施

- 9.2.1** 索塔内应设置步梯和作业平台,必要时设置升降梯。宜设置斜拉索检查维护设施,桥墩、索塔塔顶及横梁处应设置吊篮、围栏。
- 9.2.2** 钢结构主梁宜设置可移动的检查车,方便主梁纵横向检查。
- 9.2.3** 在封闭的钢梁或钢塔的箱室内部,可根据需要设置除湿系统。
- 9.2.4** 斜拉桥可根据运营、检查、维护等需要,建立桥梁健康监测系统。

### 9.3 防护设施

- 9.3.1** 索塔、桥墩等可能受到汽车或船舶撞击时宜设置防护

设施。

**9.3.2** 公铁合建桥梁在公铁交通分离处的防护应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定。

**9.3.3** 双层桥面结构斜拉桥,上层桥面排水应引至铁路范围以外,并符合相关规定。上层桥面的伸缩装置应有防漏防落隔离措施。

**9.3.4** 桥面设计必要时设置防抛等隔离设施。

**9.3.5** 根据环保要求,必要时应预留声屏障安装条件。

**9.3.6** 根据行车要求及风环境条件,必要时应在桥面设置风屏障。

**9.3.7** 斜拉桥跨越铁路、公路(道路)等立交情况时,应根据具体情况设置防抛网,预留异物侵限、防落物报警设施的安装条件。

## 附录 A 斜拉桥索塔及多主桁风荷载计算

A.0.1 斜拉桥构件基准高度处的设计基准风速可按式(A.0.1—1)或式(A.0.1—2)计算。

$$v_d = K_f K_t K_h v_{10} \quad (\text{A.0.1—1})$$

或

$$v_d = K_f v_{s10} \left( \frac{Z}{10} \right)^\alpha \quad (\text{A.0.1—2})$$

式中  $v_d$ ——设计基准风速(m/s);  
 $v_{10}$ ——地区基本风速(m/s),可根据当地风速值选取;  
 $v_{s10}$ ——桥位处设计基本风速(m/s),根据桥址处的实测资料采用,或  $v_{s10} = K_c v_{10}$ ,  $K_c$  为基本风速地表类别转换系数,可按表 A.0.1—1 的规定采用;  
 $\alpha$ ——地表粗糙度系数,可按表 A.0.1—2 的规定采用;  
 $Z$ ——构件基准高度(m),可按表 A.0.1—3 的规定采用;  
 $K_f$ ——抗风风险系数,根据桥梁抗风风险区域等级 R,按表 A.0.1—4 的规定采用,其中,R 按表 A.0.1—5 的规定采用;  
 $K_t$ ——地形条件系数:对于平坦开阔地形取 1.0,对峡谷谷口、山口可取 1.2~1.5;对重要桥梁可通过风洞试验或数值模拟获得,且不应小于 1.0;  
 $K_h$ ——地表类别转换及风速高度变化修正系数:可按照构件的基准高度按表 A.0.1—6 的规定采用,也可按式(A.0.1—3)~式(A.0.1—6)计算确定;当计算确定的系数小于 1.0 或大于 1.77 时,应按表 A.0.1—6 的规定采用。

表 A. 0. 1—1 基本风速地表类别转换系数  $K_e$

地表类别	A	B	C	D
转换系数 $K_e$	1. 174	1. 0	0. 785	0. 564

表 A. 0. 1—2 地表分类

地表类别	地表状况	地表粗糙度系数 $\alpha$
A	海岸、海面、开阔水面、沙漠	0. 12
B	田野、乡村、丛林、开阔平坦地及低层建筑物稀少地区	0. 16
C	树木及低层建筑物密集地区、中高层建筑物稀少地区、平缓的丘陵地	0. 22
D	中高层建筑物密集地区、起伏较大的丘陵地	0. 30

注：当存在两种粗糙度相差较大的地表类别时，地表粗糙度系数可取两者的平均值；当两种类别相近时，可取较小者。

表 A. 0. 1—3 基准高度  $Z$

构 件	基准高度(m)
主梁	主跨桥面距水面或地表面的平均高度(河流以平均水位,即一年中有半年不低于该水位的水面为基准面,海面以平均海面或平均潮位为基准面)
斜拉索	构件的平均高度距水面或地面的高度
索塔	水面或地面以上塔(墩)高的 65%

表 A. 0. 1—4 抗风风险系数  $K_f$

风险区域	R1	R2	R3
抗风风险系数 $K_f$	1. 05	1. 02	1. 00

表 A. 0. 1—5 桥梁抗风风险区域划分标准  $R$

风险区域	基本风速(m/s)
R1	$v_{10} \geq 32. 6$
R2	$24. 5 \leq v_{10} < 32. 6$
R3	$v_{10} < 24. 5$

表 A.0.1—6 地表类别转换及风速高度变化修正系数  $K_h$

基准高度 $Z$ (m)	地表类别			
	A	B	C	D
5	1.08	1.00	0.86	0.79
10	1.17	1.00	0.86	0.79
15	1.23	1.07	0.86	0.79
20	1.28	1.12	0.92	0.79
30	1.34	1.19	1.00	0.85
40	1.39	1.25	1.06	0.85
50	1.42	1.29	1.12	0.91
60	1.46	1.33	1.16	0.96
70	1.48	1.36	1.20	1.01
80	1.51	1.40	1.24	1.05
90	1.53	1.42	1.27	1.09
100	1.55	1.45	1.30	1.13
150	1.62	1.54	1.42	1.27
200	1.73	1.62	1.52	1.39
250	1.73	1.67	1.59	1.48
300	1.77	1.72	1.66	1.57
350	1.77	1.77	1.71	1.64
400	1.77	1.77	1.77	1.71
≥450	1.77	1.77	1.77	1.77

$$A \text{ 类地表时, } K_h = 1.174 \left( \frac{Z}{10} \right)^{0.12} \quad (\text{A.0.1—3})$$

$$B \text{ 类地表时, } K_h = 1.0 \left( \frac{Z}{10} \right)^{0.16} \quad (\text{A.0.1—4})$$

$$C \text{ 类地表时, } K_h = 0.785 \left( \frac{Z}{10} \right)^{0.22} \quad (\text{A.0.1—5})$$

$$D \text{ 类地表时, } K_h = 0.564 \left( \frac{Z}{10} \right)^{0.30} \quad (\text{A. 0. 1—6})$$

**A. 0. 2** 计入脉动风时, 静力风速可按式(A. 0. 2)计算。

$$v_G = G_v v_d \quad (\text{A. 0. 2})$$

式中  $v_G$ ——静力风速(m/s);

$G_v$ ——静力风速修正系数,按表 A. 0. 2 取值;

$v_d$ ——设计基准风速(m/s),按 A. 0. 1 条计算。

**表 A. 0. 2 静力风速修正系数  $G_v$**

地表类别	水平加载长度(m)												
	≤20	60	100	200	300	400	500	650	800	1 000	1 200	1 500	≥2 000
A	1.29	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15
B	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.18
C	1.49	1.48	1.45	1.41	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.26
D	1.56	1.54	1.51	1.47	1.44	1.42	1.41	1.39	1.37	1.35	1.34	1.32	1.30

注:1 成桥状态下,静力风速修正系数  $G_v$  按水平加载长度为主桥全长选取。

2 多联多跨连续桥梁的加载长度按其结构单联长度确定。

3 悬臂施工中的桥梁,按已拼装的主梁长度选取。

**A. 0. 3** 作用于索塔上的风荷载可取沿高度范围均匀分布,荷载集度可按地面或水面以上 0.65 倍墩高或塔高处的风速值确定。

**A. 0. 4** 横向风静力作用下,索塔及斜拉索的风荷载  $F_H$  可按式(A. 0. 4)计算。

$$F_H = \frac{1}{2} \rho v_G^2 C_H A_n \quad (\text{A. 0. 4})$$

式中  $C_H$ ——索塔或斜拉索的阻力系数,按表 A. 0. 5 取值;

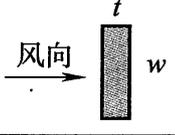
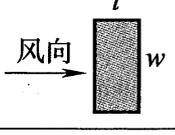
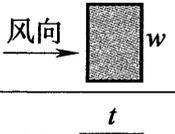
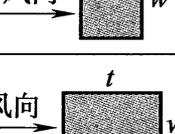
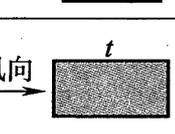
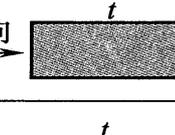
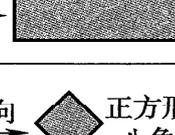
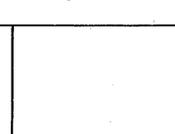
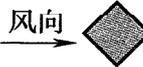
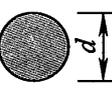
$A_n$ ——索塔或斜拉索顺风向投影面积( $\text{m}^2$ ),斜拉索取其直径乘以投影高度;

$v_G$ ——基准高度  $Z$  处的静力风速(m/s),按第 A. 0. 2 条计算;

$\rho$ ——空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),取 1.25。

A.0.5 索塔的阻力系数可参照表 A.0.5 选取,形状复杂的索塔可通过风洞试验确定其阻力系数。

表 A.0.5 索塔的阻力系数  $C_H$

截面形状	$t/w$	索塔的高宽比 $h/w$						
		1	2	4	6	10	20	40
	$\leq 1/4$	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.1
	$1/3 \sim 1/2$	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2
	$2/3$	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2
	1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0
	$3/2$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7
	2	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
	3	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2
	$\geq 4$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.1
 正方形或 八角形 		1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4
	12 边形	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3
	光滑表面圆形 若 $dv_d \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6

续表 A.0.5

截面形状	$t/w$	索塔的高宽比 $h/w$						
		1	2	4	6	10	20	40
 1. 光滑表面圆形, 若 $dv_d < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ 。 2. 有粗糙面或带凸起的圆形		0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2

- 注:1 主塔施工完成后,其  $C_H$  应根据高宽比为 40 计算。  
 2 对于带圆弧角的矩形索塔,其  $C_H$  值应由上表查出后再乘以  $(1 - 1.5r/w)$  或 0.5,取两者中的较大值, $r$  为圆弧角的半径。  
 3 对于带三角尖端的索塔,其  $C_H$  值应按能包括该索塔外边缘的矩形截面计算。  
 4 对随高度有锥度变化的索塔, $C_H$  值应按索塔高度分段计算。在推算  $t/w$  时,每段的  $t/w$  应按其平均值计,高度比值应以索塔总高度对每段的平均宽度计。

**A.0.6** 在顺桥向风作用下斜拉索上单位长度的风荷载  $F_H$  可按式(A.0.6)计算。

$$F_H = \frac{1}{2} \rho v_G^2 C_H D \sin^2 \theta \quad (\text{A.0.6})$$

式中  $C_H$ ——斜拉索的阻力系数,按第 A.0.7 条选取;  
 $\theta$ ——斜拉索的倾角( $^\circ$ );  
 $D$ ——斜拉索的直径(m)。

**A.0.7** 表面光滑、表面凹坑处理及表面缠绕螺旋线的拉索在有车风作用时,斜拉索的阻力系数可取为 1.0;在设计基准风速作用时可取 0.8。

**A.0.8** 多片主桁的钢桁梁风荷载  $F_H$  应按式(A.0.8)计算。

$$F_H = \frac{1}{2} \rho v_G^2 C_{HW} A \quad (\text{A.0.8})$$

式中  $C_{HW}$ ——多片桁架梁的总风载阻力系数:当桥面上未设置风屏障时,单层桥面的两片主桁结构的桥梁取 0.9,双层桥面的两片主桁结构及两片以上主桁结构的桥梁取 1.0;当桥面上设置风屏障时,总风载阻力系数  $C_{HW}$  须根据结构实际情况研究确定;

$A$ ——桁架的轮廓面积(按主桁中心线计)( $\text{m}^2$ );

$\rho$ ——空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),取 1.25;

**A.0.9** 施工阶段的设计风速可按式(A.0.9)计算。

$$v_{sd} = \eta v_d \quad (\text{A.0.9})$$

式中  $v_{sd}$ ——施工阶段设计风速( $\text{m}/\text{s}$ );

$\eta$ ——风速重现期系数,可按表 A.0.9 选用,也可根据桥梁具体情况和不同的抗风设计要求通过风险评估确定;

$v_d$ ——设计基准风速( $\text{m}/\text{s}$ ),按第 A.0.1 条计算。

表 A.0.9 风速重现期系数  $\eta$

重现期(年)	5	10	20	30	50
$\eta$	0.78	0.84	0.88	0.92	0.95

## 本规范用词说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

1. 表示很严格,非这样做不可的用词:  
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用词:  
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用词:  
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”。

# 《铁路斜拉桥设计规范》

## 条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行过程中应注意的事项等予以说明,不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。为减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

**1.0.2** 依据铁路桥梁技术发展的要求,在制定《铁路斜拉桥设计规范》时,将高速铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、客货共线铁路和重载铁路一并纳入了适用范围。

本条文关于铁路斜拉桥适用跨度主要是根据我国铁路斜拉桥的建设实践及科学试验的现有经验规定的。我国建成的铁路斜拉桥(含公铁两用)已经超过 40 座,铁路斜拉桥应用跨度也从 96 m 发展到 1 100 m,截至 2020 年 6 月最大跨度已达 1 092 m,铁路斜拉桥的建设突破了高速铁路桥梁一般不采用柔性结构的常规,是我国高速铁路建设的重大工程技术成就。铁路斜拉桥建设已经积累了一定的建设经验,规定 1 100 m 跨度以下的铁路斜拉桥,采用本规范进行设计是适宜的。对于更大跨度的铁路斜拉桥,以及当采用新材料、新技术、新工艺设计时,应当先进行必要的科学分析、试验和试制等工作,以取得设计所需的数据和经验来补充条文之不足,编写补充设计规定,确保桥梁设计的安全性。

本规范未涵盖矮塔斜拉桥(塔高较低,桥梁刚度以梁体刚度为主,斜拉索贡献较小的斜拉桥)。

本规范用词“斜拉桥”为“铁路斜拉桥”或“铁路公路(城市道

路)两用斜拉桥”。

**1.0.3** 铁路斜拉桥的桥梁结构形式选择应当考虑桥梁的使用功能、水文和地质情况、环境条件、轨道类型以及施工方法等各种因素综合确定。有时铁路斜拉桥所处的位置很重要,有些在政治上、国防上有特殊意义,在技术上要予更大的保证。

**1.0.5** 根据《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005、《铁路工程结构可靠性设计统一标准》GB 50216 的相关规定,铁路斜拉桥主体结构的设计使用年限为 100 年。对于有特殊要求的铁路工程,其设计使用年限一般由设计方和建设方根据工程实际情况具体确定。一些特别重要的铁路斜拉桥工程,在采取特殊的工程技术及其监测措施后,其设计使用年限可以大于 100 年。一些厂区铁路、地方铁路范围内的斜拉桥工程,基于经济性和实用性考虑,其设计使用年限可以结合实际情况确定。

我国铁路斜拉桥要求在规定的荷载作用及规定的维修和使用条件下,主要承力结构要有 100 年使用年限的耐久性要求。设计要遵循以下耐久性原则:

(1) 按不同使用环境采用相应的结构材料和适宜的施工工艺。

(2) 注重结构构造设计,如高质量的防排水体系、足够的保护层厚度、合理的桥梁涂装体系以及易于保证施工质量的截面尺寸等。

(3) 应当具备畅通的维修养护通道,便于检查维养。

斜拉桥的经济合理性应当使桥梁建造费用与使用期内的维修养护费用之和达到最少,不应片面地追求较低的建造费用而忽视耐久性,否则往往会造成很大的经济损失。

铁路斜拉桥通常工程规模较大,造价较高,构造相对复杂,修复和加固较为困难,因而其在制造、运输、安装和运营过程中,应当具有规定的强度、刚度、稳定性,这是铁路斜拉桥设计的最基本原则。

**1.0.8** 斜拉桥为高次超静定结构,各施工阶段发生的应力和变形的误差要加以控制和管理,否则会影响成桥后的线形和应力。

**3.1.1** 桥梁结构在制造、运输、安装和运营过程中,应当具有规定的强度、刚度、稳定性和耐久性,这是铁路桥梁设计必须遵循的最基本原则。斜拉桥为柔性结构,通常情况下铁路斜拉桥的跨径均比较大,在列车运行条件下,结构的动力响应加剧,从而使列车运行的安全性、旅客乘坐的舒适度、荷载冲击、材料疲劳、列车运行噪声、结构耐久性问题都比较突出。所以,结构应当具有足够的强度和刚度,保证可靠的稳定性和保持桥上轨道的高平顺状态,同时结构能够承受较大的动力作用,具备良好的动力特性。为了达到上述要求,需要系统研究各种相关因素,解决各方面的问题。诸如必须重视桥梁上部、下部结构选型,解决结构设计中由舒适性要求控制的车桥动力特性问题、桥梁刚度和变形控制等问题。

**3.1.2** 大跨度铁路斜拉桥竖向变形较大,设置预拱度较大,与轨道铺设要求相矛盾,为此将线路纵断面设为人字坡后,不设预拱度,有利于解决轨道铺设问题。在未设置人字坡的情况下,考虑成桥轨道线形与预拱度的配合关系,本规范对斜拉桥预拱度仅规定了原则性条文,由设计者根据需要自行处理。在实际设置预拱度时,斜拉桥恒载产生的变形由斜拉索进行调平,活载产生的挠度按现行铁路桥梁设计规范,采用 $1/2$ 静活载产生的挠度曲线设置预拱度,考虑设计计算活载引起的钢梁挠度时采用的列车设计荷载为标准列车设计荷载,与实际运营列车荷载不符,导致桥梁实际挠度线形与设计理论挠度线形有偏差,设计计算的理论挠度偏大,而斜拉桥的梁体多为连续结构,偏大的挠度值会使连续结构的中间支点处的梁段折角也偏大,不利于斜拉桥成桥线形的调整。因此,根据理论列车荷载与实际运营列车荷载的不同,可以对设置预拱度的原 $1/2$ 静活载进行折减。

**3.1.3** 作为斜拉桥重要组成部分的斜拉索,其使用寿命是需要关注的问题,与斜拉索使用寿命最直接相关的是斜拉索的防腐,另外

斜拉索的锚头结构的抗疲劳性能及施工和安装质量也与斜拉索的使用寿命有关系。由于斜拉索的使用寿命在现阶段尚不能与桥梁的使用年限相符,加之考虑在桥梁使用过程中存在斜拉索被人为损坏的可能,因此在斜拉桥设计时应当立足于能更换斜拉索。

**3.1.4** 斜拉桥施工过程中要经过多次体系转换和调索,为保证施工状态受力满足设计要求,制定了本条文。

**3.2.1** 铁路斜拉桥最常用的孔跨布置形式为双塔三跨式和独塔双跨式。无论是双塔三跨式还是独塔双跨式,在边跨内如有需要都可以设置辅助墩,在条件具备时,斜拉桥也可以布置成多塔多跨式,在采用多塔多跨式斜拉桥时,需重视中间塔的刚度设计。根据已有建设经验,本条文给出了钢主梁、钢-混凝土结合梁和混凝土主梁边中跨跨径比,由于钢-混凝土混合梁斜拉桥设计实例较少,条文中未明确,跨径比也可参照钢-混凝土结合梁,并通过计算分析比较确定。

**3.2.2** 采用混凝土梁、钢梁、钢-混凝土结合梁或钢-混凝土混合梁等不同形式主梁各有其经济的适用范围,说明表 3.2.2—1 ~ 说明表 3.2.2—3 列出了一部分铁路斜拉桥的主跨跨度及主梁类型。

说明表 3.2.2—1 双塔斜拉桥主梁形式

桥名	主跨(m)	主梁形式	桥塔布置
广西红水河桥	96	混凝土箱梁	双塔
芜湖公铁两用长江大桥	312	混凝土桥面板和钢桁相结合共同作用的板桁组合结构	双塔
京福客运专线铜陵长江大桥	630	箱桁共同作用的钢桁梁	双塔
宁安铁路安庆长江大桥	580	钢桁梁	双塔
武黄城际铁路黄冈长江大桥	567	板桁共同作用倒梯形横断面的钢桁梁	双塔
贵广铁路思贤窖特大桥	230	钢桁梁	双塔
宁波枢纽北环线甬江特大桥	468	钢箱混合梁	双塔
渝利铁路韩家沱特大桥	432	钢桁梁	双塔

续说明表 3.2.2—1

桥 名	主跨(m)	主梁形式	桥塔布置
南广铁路桂平郁江特大桥	228	钢桁梁	双塔
武广客专武汉天兴洲长江大桥	504	钢桁梁	双塔
平潭海峡公铁两用大桥	532	钢桁梁	双塔
沪通铁路沪苏通长江公铁大桥	1 092	板桁共同作用钢桁梁	双塔
新建安庆至九江铁路长江大桥	672	钢箱混合梁	双塔
昌赣客专赣江特大桥	300	箱形钢-混凝土结合梁	双塔
蒙华铁路公安长江大桥	518	钢桁梁	双塔
渝黔铁路新白沙沱长江大桥	432	钢桁梁	双塔
乐清湾港区铁路瓯江特大桥	300	混凝土箱梁	双塔
南沙港铁路西江特大桥	600	钢箱混合梁	双塔
芜湖二桥	588	钢桁梁	双塔

说明表 3.2.2—2 独塔斜拉桥主梁形式

桥 名	主跨(m)	主梁形式	桥塔布置
杭长客运专线长沙枢纽 上行联络线特大桥	112	预应力混凝土槽形梁	独塔
贵广铁路东平水道特大桥	175	钢箱-预应力混凝土混合梁	独塔
新建安庆至九江铁路长江大桥 北汊航道桥	2 × 140	混凝土箱梁	独塔
深茂铁路潭江特大桥	256	钢箱混合梁	独塔

说明表 3.2.2—3 多塔斜拉桥主梁形式

桥 名	主跨(m)	主梁形式	桥塔布置
京沪高速铁路津沪联络线特大桥	115	预应力混凝土梁	三塔(部分 斜拉桥)
郑州黄河公铁两用桥	168	斜主桁钢桁梁	六塔(部分 斜拉桥)
蒙华铁路洞庭湖大桥	406	钢箱钢桁结合	三塔

混凝土主梁通常运用于中小跨度的铁路斜拉桥,随着跨度的加大,混凝土主梁由于恒载较大,由斜拉索传入主梁的压力也较大,加上活载产生很大的梁体弯矩作用,塔墩处主梁断面压应力及中段主梁应力变幅都成为控制条件,不仅如此,主塔所承受的压应力及应力幅度也较大。显然通过增加梁塔尺寸的办法来改善梁塔应力状况达不到目的,因为当梁塔刚度增加其相应弯矩也将随之增加。此外,随跨度增加,混凝土收缩徐变引起线形变化对行车性能的影响更大,为满足横向刚度之需主梁宽度也需进一步加大。因此,更大跨度的铁路斜拉桥,混凝土主梁将失去技术、经济上的优势。

采用钢梁的铁路斜拉桥,常用的钢梁形式主要有钢桁梁及钢箱梁,铁路斜拉桥钢主梁早期主要是采用的钢桁梁。钢桁梁的适用范围较大,目前已建成沪苏通长江公铁大桥的主跨已达 1 092 m。早期铁路斜拉桥典型的钢桁梁的桥面系采用纵横梁体系,在纵梁上铺设混凝土桥面板,在桥面板上设置道砟及轨道,其特点是恒载重,但维修方便。同时钢桁梁按双线铁路行车净空考虑,其桁宽一般仅需 14 m 左右,这一桁宽要满足横向刚度要求所能适应的斜拉桥跨度是有限的,考虑桁高、桁宽可随跨度、受力变化较方便地调整,以满足强度及刚度方面的要求,但随斜拉桥跨度的加大,主桁杆件的受力则随之明显增加,会带来杆件设计上的困难,包括选材、制造加工及施工安装等各个方面。跨度大于 600 m 的多线铁路斜拉桥采用钢桁梁时,主桁杆件受力很大,过大的杆件轴力及弯矩使主桁杆件设计成为技术难题。在这种情况下,桥面采用正交异性钢桥面板参与主桁结构共同受力,这种构造受力合理,可减轻桥面重量,但存在不便养护的问题,一旦桥面板锈蚀需更换维修,则要中断行车。为解决这一问题,一种新的方式是在正交异性钢桥面板上结合一层混凝土板,既可防止钢桥面板锈蚀,又可参与共同受力,这在设计受刚度指标控制的条件下对结构的刚度更加有利,一方面增加了主梁自身刚度,另一方面由于主梁重量增加斜拉

索也相应增加面积,这对提高竖向刚度非常有效。

斜拉桥结构用于铁路桥,特别是用于高速铁路桥梁,由于铁路荷载大,列车行车的平稳性与安全性要求较高,结构必须具有可靠的受力性能,足够的竖向、侧向和扭转刚度,同时还须具备一定质量和阻尼减小车桥的振动响应,才能满足高速行车安全与舒适的要求。而斜拉桥属于柔性结构,结构刚度常成为控制因素,这就要求设计必须根据铁路运行特点、荷载状况并结合斜拉桥的力学特点,提出符合规律的结构形式。通过对提高斜拉桥体系刚度影响因素的研究,斜拉索刚度的增大对提高体系刚度最有效,但是由于斜拉索存在较为严重的几何非线性,其弹性模量随着应力水平降低衰减越来越快。因此,单纯依靠增加斜拉索面积,增加不了其承载刚度,要想使增加的索面积有效发挥作用,必须使斜拉索承载后具有相应的应力水平,也即只有增加梁重。基于这种观点,从充分发挥钢与混凝土各自优势出发,根据主梁在斜拉桥中要承受巨大轴力和较大的弯矩但剪力较小的力学特点,采用钢-混凝土结合梁的形式。这种主梁结构具有较大的截面刚度及足够的重力,使斜拉索在成桥阶段形成具有重力刚度较大的斜拉承载体系,从而加强结构体系刚度,改善结构受力,对保证列车行车安全及平稳运行更具优势。

在铁路斜拉桥的工程实践中,为了减小或消除辅助墩处的负反力,一般采用边跨为混凝土主梁作为压重,其余部分采用钢梁或钢-混凝土结合梁等形式。

总之,每种主梁的构造形式都有其优缺点,必须结合具体情况适当选用才能取得最佳效果。

**3.2.3 ~ 3.2.5** 本条文是结合已建成的铁路斜拉桥的实际应用情况总结得出。说明表 3.2.3 列出了一部分铁路斜拉桥的结构参数。根据已有建设经验,铁路斜拉桥桥面以上索塔高度与主跨跨径之比:双塔或多塔斜拉桥可取  $1/5 \sim 1/3$ ;独塔斜拉桥可取  $1/3 \sim 1/2$ 。

说明表 3.2.3 铁路斜拉桥的桥跨布置、塔高、梁高统计表

名称	桥跨布置(m)	边中跨比	桥宽(m)	塔高,塔高/ 主跨跨度	索距(m)	主梁类型	梁高(m)
芜湖公铁两用长江大桥	180 + 312 + 180	0.576	宽跨比控制值: 边跨宽跨比为 1/20; 中跨宽跨比为 1/25	公路面以上塔高 33.2 m。高与主跨之比为 0.11,最外索倾角约 15°	12	混凝土桥面板和主桁相结合共同作用的板桁组合结构	14
武广客专武汉天兴洲长江大桥	98 + 196 + 504 + 196 + 98	0.388	30	铁路桥面以上高度为 150 m, 1/3.36	14	主梁为板桁结合	15.2
宁安铁路安庆长江大桥	101.5 + 188.5 + 580 + 217.5 + 159.5 + 116	0.325	28	桥面以上高度为 160 m, 1/3.625	14.5	板桁结合钢桁梁	15
京福客运专线铜陵长江大桥	90 + 240 + 630 + 240 + 90	0.381	34.2	桥面以上高度为 155.8 m, 1/4.04	15	箱桁结合钢桁梁	15.5
蒙华铁路公安长江大桥	98 + 182 + 518 + 182 + 98	0.351	26	桥面以上高度为 129 m, 1/4.015	14	钢桁梁	13
蒙华铁路洞庭湖大桥	99.12 + 140 + 406 + 406 + 140 + 99.12	0.345	上:12 下:14	桥面以上高度为 113 m, 1/3.593	14	钢箱-钢桁组合	12
平潭海峡公铁两用大桥	84 + 196 + 532 + 196 + 84	0.368	36.8	桥面以上高度为 130 m, 1/4.092	14	钢桁梁	13.5
沪通铁路沪苏通长江公铁大桥	140 + 462 + 1 092 + 492 + 140	0.423	35	桥面以上高度为 259.64 m, 1/3.36	14	钢桁梁	16

续说明表 3.2.3

名称	桥跨布置(m)	边中跨比	桥宽(m)	塔高,塔高/主跨跨度	索距(m)	主梁类型	梁高(m)
渝黔铁路新白沙沱长江大桥	81 + 162 + 432 + 162 + 81	0.375	24.5	桥面以上高度为 124.9 m, 1/4.2	13.5	钢桁梁	15.2
武黄城际铁路黄冈长江大桥	81 + 243 + 567 + 243 + 81	0.428	上:28.5 下:16	桥面以上高度为 133.2 m, 1/4.257	13.5	钢桁梁	15.5
昌赣客专赣江特大桥	35 + 40 + 60 + 300 + 60 + 40 + 35	0.45	16.5 (混)	桥面以上塔高 88.176 m	混凝土梁 10.5	箱形钢-混凝土结合混合梁	4.475, 4.4 (混)
			16.3 (钢-混)	塔高为主跨长度的 1/3.409	钢-混梁上 12		
渝利铁路韩家沱特大桥	81 + 135 + 432 + 135 + 81	0.3125	18	下横梁顶至塔顶 121.2 m	13.5	钢桁梁	14
贵广铁路思贤窖特大桥	58.5 + 109.25 + 230 + 109.25 + 58.5	0.475	24	桥面以上高度为 96 m, 1/2.4	11.5	钢桁梁	14
宁波枢纽北环线甬江特大桥	53 + 166 + 468 + 166 + 53	0.354	21	桥面以上高度为 141.5 m, 1/3.307	8,9	钢箱混凝土叠合梁	5
广西红水河桥	48 + 96 + 48	0.5	7	29 m(梁底至塔顶)	12	混凝土箱型	3.2

**3.3.1** 梁式桥跨结构容许挠度的规定,主要是为了满足列车运营条件下的行车安全和乘坐舒适的要求,并考虑挠度本身对结构的影响。国内外规范多以静活载作用下的挠度作为限值指标。梁式桥的竖向静活载挠跨比在《铁路桥涵设计规范》TB 10002 中已有

规定,但对铁路斜拉桥无具体规定。从定性上来说,对大跨度桥梁的竖向挠跨比不应该用规范中的梁式桥的相关规定,应该有适当的放宽,即容许最大挠跨比应当有所增大。根据我国目前铁路斜拉桥的建桥实践,统计了部分铁路斜拉桥的挠跨比,见说明表 3.3.1。

说明表 3.3.1 我国已建铁路斜拉桥的挠跨比

名 称	桥跨布置(m)	设计控制 挠跨比	实际挠跨比
芜湖公铁两用 长江大桥	180 + 312 + 180	1/550	公、铁加载中跨 挠跨比为 1/566
武广客专武汉 天兴洲长江大桥	98 + 196 + 504 + 196 + 98	1/500	中跨跨中挠度 0.67 m, 最大挠跨比为 1/752
宁安铁路 安庆长江大桥	101.5 + 188.5 + 580 + 217.5 + 159.5 + 116	1/500	最大挠跨比为 1/678, 中跨跨中挠度 0.856 m
京福客运专线 铜陵长江大桥	90 + 240 + 630 + 240 + 90	1/500	最大挠跨比为 1/711
蒙华铁路公安 长江大桥	98 + 182 + 518 + 182 + 98	1/500	中跨跨中挠度 0.795 m, 最大挠跨比为 1/652
蒙华铁路 洞庭湖大桥	99.12 + 140 + 406 + 406 + 140 + 99.12	1/500	最大挠跨比为 1/568, 中跨跨中挠度 0.715 m
平潭海峡 公铁两用大桥	84 + 196 + 532 + 196 + 84	1/500	中跨跨中挠度 0.799 m, 最大挠跨比为 1/666
沪通铁路 沪苏通长江公铁大桥	140 + 462 + 1 092 + 492 + 140	1/500	最大挠跨比为 1/524
渝黔铁路新白沙 沱长江大桥	81 + 162 + 432 + 162 + 81	1/500	中跨挠跨比为 1/761
武黄城际铁路 黄冈长江大桥	81 + 243 + 567 + 243 + 81	1/500	中跨跨中挠度 0.803 m, 最大挠跨比为 1/706
昌赣客专 赣江特大桥	35 + 40 + 60 + 300 + 60 + 40 + 35	1/800	中跨跨中挠度 340.9 mm, 最大挠跨比为 1/880
宁波枢纽北环线 甬江特大桥	53 + 166 + 468 + 166 + 53	—	最大挠跨比为 1/705

说明表 3.3.1 中所列桥梁设计控制挠跨比除芜湖一桥为 1/550 外,其余大部分均取为 1/500,通过桥梁实际设计及使用经验反馈,设计控制挠跨比取 1/500 是可行的。沪苏通长江公铁大桥的实际设计挠跨比为 1/524,设计同时开展了相关车桥耦合及轨道形位科研专题研究,科研成果结论:沪苏通长江公铁大桥设计挠跨比为 1/524 也是满足要求的。因此,本规范设计控制挠跨比按 1/500 考虑。

**3.3.2** 对于铁路斜拉桥而言,由于其桥梁跨度往往比一般梁式桥大,满足铁路线路构造的梁体宽度不一定能满足桥梁横向刚度的要求,在此情况下铁路桥梁所需的横向刚度也是用横向挠跨比的最大限值来保证。铁路桥梁的横向挠度主要是由列车摇摆力、横向风力、温度力以及列车离心力等所产生的,根据极限状态法铁路桥涵设计规范对桥梁横向变形的相关规定,考虑到极限状态法中计算变形的正常使用极限状态中各荷载分项系数均取为 1.0,和容许应力法相当,因此将其中有关风荷载与温度荷载组合时的规定引入,即“风荷载(有车)与温度作用组合时,计 0.75 倍的风荷载与 0.6 倍的温度作用进行组合”。

对于柔性结构的斜拉桥,横向挠跨比的最大限值不能用《铁路桥涵设计规范》TB 10002 中对一般桥梁的规定来约束,而是应当有适当的放宽,即容许最大横向挠跨比应当有所增大。我国沪苏通长江公铁大桥的建设经验,沪苏通长江公铁大桥在有车风力+摇摆力+温度力的工况下,其横向挠度为 0.882 m,横向挠跨比约为 1/1 238。根据国内外相关参考资料,结合我国大跨度铁路斜拉桥工程实践,经车桥耦合动力分析以及运营实践检验,本规范编制时按 1/1 200 控制。

**3.3.3** 梁式桥通常采用限制宽跨比来保证桥梁具有足够的横向刚度,作为跨度更大的铁路斜拉桥,主梁宽跨比并不能全部代表桥梁的横向刚度,其斜拉索的索面布置等因素也会影响斜拉桥的总体横向刚度,根据已有的铁路斜拉桥的建设经验,对斜拉桥的主跨

列出了建议的最小宽跨比限值。但需注意的是衡量斜拉桥横向刚度最主要的因素仍是横向的最大挠跨比,并结合车桥耦合分析等结果综合评判。

**3.4.1、3.4.2** 斜拉桥的结构体系,按塔、梁、墩相互结合方式,可划分为飘浮体系、半飘浮体系、支承体系、塔梁固结体系及刚构体系等。飘浮体系为塔墩固结,塔处主梁不设纵向、竖向支座,其他墩不设约束纵向移动的支座结构体系。采用飘浮体系时,为了抵抗由于风力等引起的主梁的横向水平位移,一般在塔柱和主梁间设置限位装置。飘浮体系时,地震工况下允许全梁纵向摆动,成为长周期运动,从而吸震消能。大跨度铁路斜拉桥为了防止纵向强风、列车制动或地震荷载时,飘浮体系的斜拉桥产生过大的摆动,对桥梁安全造成不利的影响,一般不采用飘浮体系。

半飘浮体系为斜拉桥全长范围内的墩上均设竖向支座的结构体系。塔墩处可设置纵向阻尼装置,其他墩上的支座均不约束纵向位移,半飘浮体系在塔柱支承处主梁的负弯矩较大。半飘浮体系由于具有良好的抗震性能,因此,在高烈度地震区得到了较多的应用。从斜拉桥的地震反应看,采用半飘浮体系时,主塔的内力反应较小,但梁端、塔顶的纵向位移较大,通常不能满足设计要求。为了减小大震下斜拉桥过大的位移响应,通常需要采用纵向弹性约束装置或阻尼器等减振措施。在国内外已建和在建的大跨度斜拉桥中,弹性约束装置得到了广泛的应用。如日本多多罗斜拉桥在塔、梁间设置了大型橡胶支座;日本名港中央大桥在主塔两侧设置由钢绞线组成的弹性拉索,一端固定在主塔的下横梁上,另一端固定在主梁上;我国从武汉天兴洲大桥开始建造的多个大跨度铁路斜拉桥,均设置了纵向阻尼装置对主梁纵向位移进行控制。

塔梁固结体系为塔梁固结、墩处设支座的结构体系。采用此种体系斜拉桥的塔根部弯矩小,温度内力小,但是支座反力很大,导致支座复杂;同时梁的负弯矩及跨中挠度也较大,动力特性不好,抗风及抗震性能均不利,我国早期的铁路斜拉桥广西红水河桥

(48 m + 96 m + 48 m)采用此体系,此种体系适用于主梁刚度较大的中小跨度斜拉桥,其他情况较少采用。

刚构体系的特点为塔梁墩均固结,刚构体系能满足斜拉桥悬臂施工的要求,结构的整体刚度较好,主梁挠度较小,但是主梁固结处的负弯矩大。同时为消除温度应力,应用于双塔斜拉桥时要求墩身具有一定的柔性,常用于高墩的情况,当主墩高度很高且较柔时,双塔大跨径的斜拉桥也可采用此体系,例如广东崖门大桥主墩采用双柔性墩,主桥采用双塔单索面的塔、墩、梁固结的混凝土斜拉桥,主跨为 338 m。

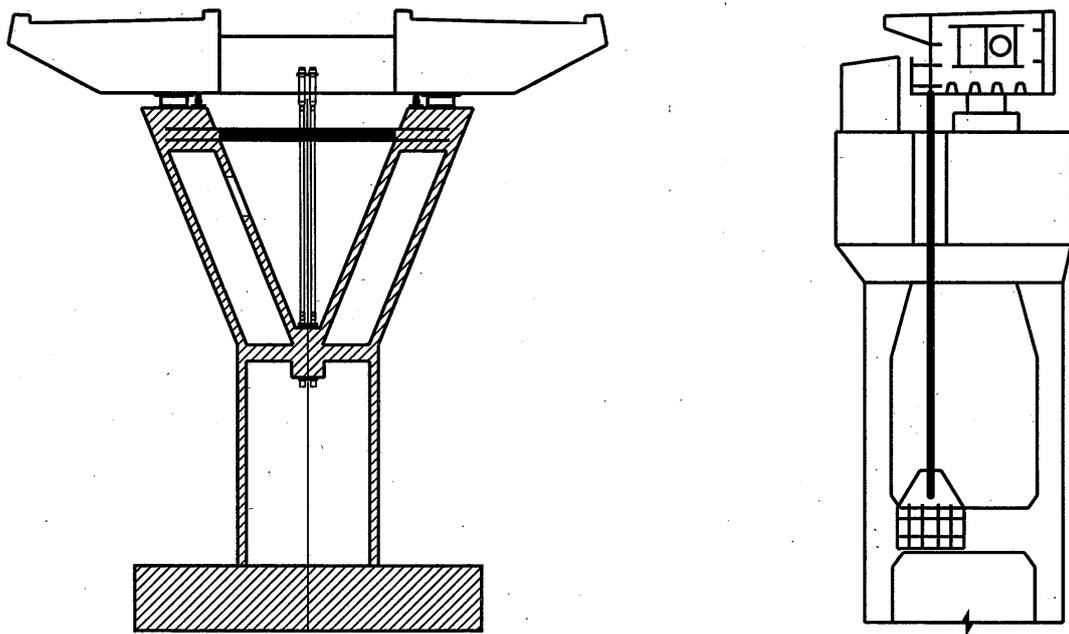
刚构体系多适用于独塔斜拉桥,如广东金马大桥,采用了跨度为 223 m 独塔混凝土刚构体系斜拉桥与  $2 \times 60$  m 的 T 形刚构刚结成协作体系。

**3.4.3** 斜拉桥为了抵抗由于风力或地震力等引起的主梁的横向水平位移,一般在塔柱和主梁间设置横向水平约束,横向水平约束一般采用支座、阻尼器、弹性索或横向挡块等方式。

**3.4.4** 斜拉桥总体布置时,应当重点关注梁体各个支座支反力情况,如果部分支座在正常使用时最不利工况下出现负反力,可采取压重或用墩梁之间设置预应力钢束(钢棒)抵消负反力,如说明图 3.4.4(a)所示,同时要使压重在合理的范围之内。也可采用墩梁之间设置刚性拉力摆等结构抵抗支座负反力,如说明图 3.4.4(b)所示。E2 地震作用(罕遇地震)时出现拉力,应结合主梁结构进行检算,保证结构安全。

**4.3.1** 斜拉索采用高强钢丝,钢丝本身的防护处理对斜拉索的耐久性非常重要,目前常用的采用了防护处理措施的钢丝有热镀锌钢丝、锌铝合金钢丝或环氧钢丝等。《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》GB 17101 规定了镀锌钢丝或镀锌铝合金钢丝的性能。鉴于环氧钢丝使用实例不多,本规范暂未纳入。

标准强度 2 000 MPa、直径 7 mm 镀锌钢丝已在沪苏通长江公铁大桥及芜湖二桥等铁路桥梁工程中使用,现行《大跨度斜拉桥平



(a) 预应力钢束(钢棒)

(b) 刚性拉力摆

说明图 3.4.4 斜拉桥支座负反力的处理方式

行钢丝拉索》JT/T 775 中已纳入了标准强度 2 000 MPa 的高强度钢丝,相关力学性能符合《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》JT/T 775。

**4.3.2** 斜拉索采用钢绞线,须对钢绞线进行合理的永久性多层防腐保护,满足拉索整体的设计使用年限要求。钢绞线可以采用热镀锌钢绞线、环氧涂覆钢绞线或其他满足相应防腐性能要求的钢绞线。

**4.3.5** 选用高密度聚乙烯护套料时,外护套管一般制成单层或双层,外层可以制成不同的颜色。

**4.4.1** 在斜拉桥结构中拉索作为主要构件传递竖向荷载和抵抗横向风荷载,其设计安全系数的取值是桥梁经济设计和结构安全评估的重要参数。在常规跨度的斜拉桥中,钢索设计安全系数根据经验采用,综合考虑结构的刚度、强度、耐久性和经济性影响,拉索的设计安全系数经验值为 2.5。但是,随着斜拉桥跨度的增大,尤其是恒载内力在设计内力中所占比例较大的斜拉桥,一般认为其拉索的设计安全系数可以比中小桥梁的取值略小,但是考虑到

斜拉桥作为高次超静定结构,拉索截面积减小可能导致结构刚度的降低和主梁负担的增加,尤其是铁路斜拉桥对刚度的要求往往比一般公路斜拉桥高,因此本规范中拉索运营状态安全系数采用 2.5。运营状态主力加附加力作用下考虑容许应力可提高 1.2,因而拉索的安全系数采用 2.0。

**4.4.2** 桥梁上不同荷载的几率不同,施工阶段的容许应力的安全系数相对于主力作用下的安全系数可以低一些,根据这一原则确定施工期间的安全系数不低于 2.0,相当于容许应力的提高系数为 1.25。施工期间安装主力和附加力共同作用时安全系数不低于 1.8;相当于容许应力的提高系数约为 1.4。

**4.4.3** 国内外近年来有很多座斜拉桥由于拉索损伤或其他不可预见的灾害等原因导致斜拉索断裂或者换索的案例。拉索在断索瞬间索力较大,为了保证桥梁在断索工况下车辆通行,本规范制定了断索工况下的设计要求。考虑断索工况时,断索力为一个偶然的特殊荷载,比照地震工况的设计而言,对于断索工况下的钢结构及钢筋混凝土等构件,其容许应力的提高系数采用 1.5,预应力构件的强度安全系数  $K$  可以取 1.6。

**4.4.4** 现代斜拉桥自 20 世纪 70 年代在中国开始修建以来发展迅速,铁路斜拉桥的发展则是从 21 世纪初取得突破,特别是高速铁路斜拉桥建设更是填补了我国此方面的空白,也标志着高速铁路桥梁向结构新型化和大跨度发展的趋势。斜拉索的技术也随之得到了长足发展。武汉天兴洲长江大桥(主跨 504 m)为双塔三索面三主桁公铁两用斜拉桥,其斜拉索规格达到了 7-451 丝。黄冈公铁两用长江大桥,主桥为双塔双索面钢桁梁斜拉桥,其主跨达 567 m,斜拉索最大规格 7-475 丝。新白沙沱长江大桥为六线铁路钢桁梁斜拉桥,主跨 432 m,斜拉索布置为双塔双索面扇形密索体系,采用热挤聚乙烯高强钢丝拉索,钢丝为直径 7 mm、标准强度 1 670 MPa 高强镀锌钢丝。公安长江大桥通航孔主桥采用(98 + 182 + 518 + 182 + 98) m 钢桁梁斜拉桥,主跨 518 m,斜拉索布置为

双塔双索面扇形密索体系,采用热挤聚乙烯高强钢丝拉索;钢丝为直径7 mm、标准强度1 670 MPa 高强镀锌钢丝,拉索两端均选用张拉端冷铸锚具;全桥斜拉索共136根,有五种规格。沪苏通长江公铁大桥主跨达1 092 m,主航道桥斜拉索布置为双塔三索面扇形密索体系,采用热挤聚乙烯高强钢丝拉索;钢丝规格为直径7 mm、标准强度2 000 MPa 镀锌钢丝,斜拉索双层共挤高密度聚乙烯,两端采用冷铸锚具,塔端为张拉端,梁端为固定端,斜拉索规格达到了7-451 丝。商合杭铁路芜湖长江公铁大桥采用(99.3 + 238 + 588 + 224 + 85.3) m 双塔双索面高低塔钢箱钢桁结合梁斜拉桥,斜拉索采用热挤聚乙烯高强钢丝成品拉索,钢丝直径7 mm、标准强度2 000 MPa。

与公路斜拉桥相比,铁路斜拉桥活载占比大,因此斜拉索的应力幅大,疲劳问题突出,是拉索及其锚具需要考虑的重要因素。目前拉索在斜拉桥中属于可更换构件,从工程实例来看,有些工程使用10年左右就对斜拉索进行更换。铁路斜拉桥作为铁路的咽喉若频繁更换则可能会对铁路运营产生不利影响,因此斜拉索的疲劳设计容许应力幅的合理取值是斜拉索设计的关键问题之一。本规范根据《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》JT/T 775 的要求,拉索材料疲劳应力幅值采用250 MPa,斜拉索设计时,综合考虑锚头部位的疲劳等因素,拉索疲劳安全系数按1.3 计。因此斜拉索的疲劳设计最大容许应力幅值采用190 MPa,对于2 000 MPa 的高强斜拉索,经过科学试验及研究,其疲劳设计容许应力幅可以适当提高。

**5.1.2** 铁路斜拉桥斜拉索的张拉力和调整力对斜拉桥结构是发挥持久作用的,应当作为主力进行计算组合。

**5.1.5** 风对桥梁结构的作用除了静力引起的结构变形、内力及稳定等外,还包括动力作用引起的涡激共振、驰振、颤振及抖振等。

**5.1.6** 桥梁抗风设计是桥梁设计的重要阶段,可根据桥梁所在地的风险区域和结构特征分步骤实施。考虑脉动风的影响时,实质上是考虑紊流强度、脉动风空间相关性、加载长度(高度)和结构

构件离地面(或水面)高度等因素在风荷载加载时的影响。附录 A 中对于静力作用下桥梁风荷载的计算参照现行《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360—01 的相关规定制定。

**5.1.8** 本规范保留了现行铁路桥梁相关设计规范对于桥梁结构均匀温差与日照温差的相关规定,编制过程中参考了已建的斜拉桥设计经验,规定了斜拉桥构件间的温差。有实桥温度测试资料时,按实际结果采用。

**5.1.9** 《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 适用于跨度小于 150 m 的钢梁及跨度小于 120 m 的铁路钢筋混凝土和预应力混凝土梁。斜拉桥抗震设防参照公路桥梁抗震规范,提出了两阶段设防的抗震设计要求。

**5.1.11** 《港口与航道水文规范》JTS 145 有关于波浪力的规定。位于特殊海洋环境中的斜拉桥,可开展相关专题研究确定其水流动力和波浪力。

**5.2.1、5.2.2** 按照《铁路桥涵设计规范》TB 10002 中荷载组合的相关规定,根据各斜拉桥的实际工况,分别整理出了武冈城际黄冈长江大桥、商合杭铁路芜湖长江公铁大桥、公安长江大桥、临港长江大桥、安庆长江铁路大桥、安九铁路长江大桥等斜拉桥设计计算采用的荷载组合供参考。

(1)武冈城际黄冈长江大桥

主桥跨度布置:81 m + 243 m + 567 m + 243 m + 81 m = 1 215 m。

组合 1:恒载 + 汽车 + 中活载(强度加载) + 基础沉降。

组合 2:恒载 + 汽车 + 中活载(疲劳加载) + 基础沉降。

组合 3:恒载 + 汽车 + 中活载 + 列车制动力 + 有车纵向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 4:恒载 + 汽车 + 中活载 + 列车制动力 + 有车纵向风力 + 基础沉降 + 降温。

组合 5:恒载 + 汽车 + 中活载 + 有车横向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 6:恒载 + 汽车 + 中活载 + 有车横向风力 + 基础沉降 + 降温。

组合 7:恒载 + 极限纵向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 8:恒载 + 极限纵向风力 + 基础沉降 + 降温。

组合 9:恒载 + 极限横向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 10:恒载 + 极限横向风力 + 基础沉降 + 降温。

### (2) 商合杭铁路芜湖长江公铁大桥

主桥跨度布置:98 m + 238 m + 588 m + 224 m + 84 m = 1 232 m。

组合 1:恒载 + 汽车 + 四线 ZK 活载(强度加载) + 基础沉降。

组合 2:恒载 + 汽车 + 四线 ZK 活载(疲劳加载) + 基础沉降。

组合 3:恒载 + 汽车 + 四线 ZK 活载(强度加载) + 列车制动力 + 有车纵向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 4:恒载 + 汽车 + 四线 ZK 活载(强度加载) + 列车制动力 + 有车纵向风力 + 基础沉降 + 降温。

组合 5:恒载 + 汽车 + 四线 ZK 活载(强度加载) + 有车横向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 6:恒载 + 汽车 + 四线 ZK 活载(强度加载) + 有车横向风力 + 基础沉降 + 降温。

组合 7:恒载 + 极限纵向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 8:恒载 + 极限纵向风力 + 基础沉降 + 降温。

组合 9:恒载 + 极限横向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 10:恒载 + 极限横向风力 + 基础沉降 + 降温。

### (3) 公安长江大桥

主桥跨度布置:(98 + 182 + 518 + 182 + 98) m。

组合 1:恒载 + 汽车 + 中活载(强度加载) + 基础沉降。

组合 2:恒载 + 汽车 + 中活载(疲劳加载) + 基础沉降。

组合 3:恒载 + 汽车 + 中活载 + 列车制动力 + 有车纵向风力 + 基础沉降 + 升温。

组合 4:恒载 + 汽车 + 中活载 + 列车制动力 + 有车纵向风力 +

基础沉降 + 降温。

组合 5: 恒载 + 汽车 + 中活载 + 有车横向风力 + 摇摆力 + 基础沉降 + 升温。

组合 6: 恒载 + 汽车 + 中活载 + 有车横向风力 + 摇摆力 + 基础沉降 + 降温。

组合 7: 恒载 + 极限纵向风力 + 基础沉降。

组合 8: 恒载 + 极限横向风力 + 基础沉降。

(4) 临港长江大桥

主桥跨度布置:  $72.5 \text{ m} + 203 \text{ m} + 522 \text{ m} + 203 \text{ m} + 72.5 \text{ m} = 1073 \text{ m}$ 。

恒载组合:

组合 1: 恒载 + 基础沉降。

主力组合:

组合 2-1: 恒载 + 基础沉降 + 活载 + 横向摇摆力。

组合 2-2: 恒载 + 汽车 + 中活载(疲劳加载) + 基础沉降。

纵向附加力组合:

组合 3-1: 恒载 + 基础沉降 + 活载 + 横向摇摆力 + 制动力 + 纵向运营风 + 升温组合。

组合 3-2: 恒载 + 基础沉降 + 活载 + 横向摇摆力 + 制动力 + 纵向运营风 + 降温组合。

组合 3-3: 恒载 + 基础沉降 + 极限纵风。

横向附加力组合:

组合 4-1: 恒载 + 基础沉降 + 活载 + 横向摇摆力 + 横向运营风 + 升温组合。

组合 4-2: 恒载 + 基础沉降 + 活载 + 横向摇摆力 + 横向运营风 + 降温组合。

组合 4-3: 恒载 + 基础沉降 + 极限横风。

偶然组合:

组合 5-1: 恒载 + 活载 + 支座沉降 + 船撞力(纵桥向)。

组合 5-2:恒载 + 活载 + 支座沉降 + 船撞力(横桥向)。

组合 5-3:恒载 + 活载(单线) + 地震作用(纵桥向)。

组合 5-4:恒载 + 活载(单线) + 地震作用(横桥向)。

注:1 活载:火车 +  $0.75 \times$  汽车 + 人群。

2 升温组合:体系升温 + 索升温 + 桥面板升温 + 塔日照温差。

3 降温组合:体系降温 + 索降温 + 桥面板降温。

### (5) 安庆长江铁路大桥

主桥跨度布置:101.5 m + 188.5 m + 580 m + 217.5 m + 159.5 m + 116.0 m = 1 363 m。

组合 1:一恒 + 二恒 + 压重荷载。

组合 2:恒载 + 铁路活载 + 支座沉降(主力组合)。

组合 3:组合 2 + 温度组合 1 + 制动力 + 顺桥向有车风。

组合 4:组合 2 + 温度组合 2 + 制动力 + 顺桥向有车风。

组合 5:恒载 + 支座沉降 + 顺桥向无车风。

组合 6:组合 2 + 温度组合 1 + 横桥向有车风 + 横向摇摆力。

组合 7:组合 2 + 温度组合 2 + 横桥向有车风 + 横向摇摆力。

组合 8:恒载 + 支座沉降 + 横桥向无车风。

温度组合:

温度组合 1:体系升温 + 索梁正温差 + 索塔塔侧温度。

温度组合 2:体系降温 + 索梁负温差 + 索塔塔侧温度。

### (6) 安九铁路长江大桥

主桥跨度布置: $2 \times 50$  m + 224 m + 672 m + 174 m +  $3 \times 50$  m = 1 320 m。

疲劳加载按一线中活载和一线 ZK 加载,并考虑疲劳冲击系数。

组合 1:恒载 + 基础沉降。

组合 2:恒载 + 活载 + 基础沉降。

组合 3:恒载 + 活载 + 基础沉降 + 纵向有车风荷载 + 温度荷载。

组合 4:恒载 + 活载 + 制动力 + 基础沉降 + 纵向有车风荷载 + 温度荷载。

组合 5:恒载 + 基础沉降 + 纵向极限风荷载。

组合 6:恒载 + 基础沉降 + 两线疲劳活载。

**6.1.1** 采用平面结构和空间结构计算模型在斜拉桥计算中均广泛使用,采用平面结构计算图式进行斜拉桥结构方案计算、施工过程仿真和成桥结构荷载效应等分析,被我国大量斜拉桥设计实践证明是可行的、可靠的,计算输出结果与设计习惯需要的数据一致,设计者应用方便。平面结构计算具有建模快,计算效率高的优势。从现已建成桥的大量斜拉桥结果来看,平面结构计算的误差大都能被工程师们所接受,但是对于桥面较宽、跨径较大的斜拉桥,显现空间柔性的特点,平面内的分析不能完全反映桥梁的动力和稳定等,通常采用空间计算图式分析。尤其对于斜拉桥的动力问题、稳定问题等,一般都是面内、面外和扭转耦合问题。因而,进行动力分析、稳定分析、地震分析通常采用空间结构计算图式,例如空间布索、结构扭转、活载偏载、横向风载、不对称空间索力调整及支座不均匀变位等。

**6.1.2** 斜拉桥静力计算,原则上可按平面图式进行。但对于很宽的桥面、弯斜拉桥及索面特殊布置的斜拉桥,要用空间图式计算。斜拉桥和其他梁式桥一样,用平面图式计算时,必须考虑荷载横向分布的影响,因其对结构影响较大,特别是宽桥,影响更大。

进行仿真计算时,可将空间索体系,如 A 形塔、倒 Y 形塔(钻石形塔)等,简化为平面索体系进行计算,此时体系荷载效应为空间索平面分量影响的效应,与实际空间索体系荷载效应有差异,应当作修正。

**6.1.3** 斜拉桥结构计算时,斜拉索应考虑几何非线性影响。多大跨径应当考虑或不考虑斜拉桥结构非线性影响,没有明确的界定,应当视桥梁的整体刚度而定。一般情况,钢斜拉桥和结合梁斜拉桥跨径都大,桥梁整体刚度相对较柔,这类桥设计计算时均应当考

虑结构非线性影响;对于混凝土斜拉桥来说,跨径小于 200 m 时,可以不考虑结构非线性影响,跨径大于 200 m 以及梁很柔时,应当考虑结构非线性影响。例如天津永和桥(主跨为 260 m 双塔预应力混凝土斜拉桥),非线性分析结果是弯矩增大 5% ~ 10%,武汉长江二桥(主跨为 400 m 双塔预应力混凝土斜拉桥)非线性分析影响的最大差值为 15% ~ 18%,一般为 10%左右;跨径 425 m 的挪威 Helgeland 混凝土斜拉桥,由于梁很柔,计入非线性影响主梁弯矩增加 50%;上海杨浦大桥结合梁斜拉桥方案设计中,其中一个方案考虑几何非线性时,主塔底弯矩增大 60%;苏通大桥主跨 1 088 m 钢梁斜拉桥方案设计中,考虑非线性综合因素(大位移效应、 $P-\Delta$  效应、斜拉索垂度效应)影响,主塔最大弯矩相差 51.7%,主梁控制断面应力增大 71.9%。

**6.1.4** 斜拉索脱落或断索对桥梁结构的效应影响较大。因此,参考《斜拉桥设计指南》(美国土木工程师协会斜拉桥委员会编)提出斜拉索脱落或断索的要求,应当确保任意一个锚点下斜拉索退出工作时,仍能保证桥梁车辆通行。

**6.1.7** 斜拉桥除了它的高次超静定的特点外,它的结构是逐步形成的,结构的荷载效应具有历时性,结构的混凝土收缩、徐变效应与结构逐步形成有关,因此,需要按实际施工成桥过程仿真计算混凝土收缩、徐变影响效应。此外,斜拉桥的主塔和主梁的受力特点是压弯构件,承受巨大的压力,长期的研究表明,当受压混凝土的压应力  $\sigma_h \leq 0.5f_{cd}$  时,混凝土的徐变可以认为是线性的,但当受压混凝土的压应力  $\sigma_h > 0.5f_{cd}$  时,混凝土的徐变则是非线性的。

**6.2.1** 斜拉索等效弹性模量计算复杂,修正值与拉索的应力有关。因此,在应用时要注意两点:一是对斜拉索的使用应力不能过低,以降低它对结构的非线性影响;二是修正值随施工过程变化而变化,随结构上的荷载变化而变化,在整个仿真计算过程中要不断改变修正值。

从王伯惠编著《斜拉桥结构发展和中国经验(上册)》中提供

的公式可以看出,在分析斜拉索垂度对结构的非线性影响时,对给定的阶段,当考虑外荷载增加引起索力变化时,在迭代过程中则采用下列修正式:

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{(\gamma_T l)^2}{12\sigma_m^2} \frac{(1+\mu)^4}{16\mu^2} E_0} \quad (\text{说明 6.2.1})$$

$$\sigma_m = 0.5(\sigma_0 + \sigma_1); \mu = \sigma_0/\sigma_1; l = S \cos \alpha$$

式中  $E$ ——考虑垂度影响的拉索换算弹性模量(kPa);

$E_0$ ——拉索弹性模量(kPa);

$\sigma_0$ ——拉索原有应力(kPa);

$\sigma_1$ ——承受新的荷载后拉索的应力(kPa);

$S$ ——斜拉索长度(m);

$\alpha$ ——斜拉索与水平线的夹角( $^\circ$ );

$\gamma_T$ ——斜拉索换算重度(kN/m<sup>3</sup>)。

**6.2.2** 疲劳计算应当符合相关铁路现行规范要求。本条文的规定,使本规范与现行铁路规范的规定一致。参照相关研究成果,钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土构件疲劳计算时列车运营动力系数 $(1+\mu)$ 取1.15。

**6.2.3** 墩、塔、梁承受巨大的轴力和弯矩,在施工阶段或运营阶段可能出现失稳现象。这里说的稳定仅指静载稳定,包括静活载作用,抗风稳定另有所述。国内外对斜拉桥稳定系数定义: $K = \text{极限荷载}/\text{设计荷载}$ , $K$ 称为稳定安全系数,按其定义,斜拉桥稳定可归结为结构承载能力。斜拉桥稳定分析较复杂,一些研究表明,由于斜拉桥结构复杂,受力也并非对称(斜拉桥结构整体失稳很难说是面内还是面外失稳),因此,很难说是面内还是面外失稳控制斜拉桥设计。葛耀君教授以上海恒丰北路斜拉桥为例的论文(《单索面斜张桥侧倾稳定分析》《斜张桥平面内的稳定分析》《索-塔-梁耦合作用下的斜拉桥侧倾稳定研究》)给出不同的稳定系数也说明了这一点。在斜拉桥稳定分析研究中,都是对特定的桥的稳定性

分析和计算方法研究,没有给出斜拉桥结构的统一安全稳定系数,按斜拉桥稳定可归结为结构承载能力的定义,结构非线性稳定安全系数与强度安全系数是一致的。在众多研究中,结构线性稳定安全系数都较大,而结构非线性稳定安全系数都较小,如重庆大佛寺长江大桥,主跨 450 m 双塔预应力混凝土斜拉桥,成桥状态结构线性稳定安全系数为 12.4,成桥状态结构非线性稳定安全系数为 3.7;岳阳洞庭湖大桥,三塔预应力混凝土斜拉桥,成桥状态(全桥均布偏载)结构非线性稳定安全系数为 1.75;黄山太平湖大桥,独塔预应力混凝土斜拉桥,跨径  $2 \times 190$  m,成桥状态结构非线性稳定安全系数为 2.4,施工结构非线性稳定安全系数为 2.2。

本条提出的第一类稳定,即非线性弹性屈曲,其稳定安全系数不应小于 4,第二类稳定未做具体规定。第二类稳定即计入几何非线性和材料非线性影响的弹塑性强度稳定的安全系数,混凝土主梁斜拉桥一般不小于 2.5,钢主梁斜拉桥一般不小于 1.7。实质是结构达到极限承载能力而失稳,因此安全系数通常都表现为强度稳定下的安全储备,对于索的强度安全系数为 2.5,因此对其他主要构件,其稳定安全系数也规定为 2.5。因为规定的安全系数再大,那时索已破坏,就显得毫无意义。从上述一些桥的稳定安全系数来看,不少均小于 2.5,至今仍很好地运营。

### 6.3.1 斜拉桥的抗风计算。

1 风荷载与车辆荷载组合时,主梁的风荷载可以考虑作用在车辆上的横向风荷载,当设置风障或声屏障时,可不考虑作用在车辆上的横向风荷载。

3 根据《铁路技术管理规程》规定:当环境风速大于 30 m/s 时,严禁动车组列车进入风区。由于设计平均风速主要为 10 min 平均风速,而《技规》中的环境风速为瞬时风速,据此推算制定了本条文。

4 《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01 中提供了有关涡激振动、抖振、颤振、驰振及静风的稳定性验算的相关内容。施

工阶段包含最大双悬臂状态和最大单悬臂状态的横桥向与顺桥向的风荷载效应分析,必要时可通过风洞试验测定。

**6.3.2** 主梁、斜拉索及主塔应当采取抑振措施控制其振动。斜拉桥中斜拉索有可能会出参数共振、尾流驰振、涡激共振以及风雨激振等振动,必要时可采取增设阻尼器、内外索之间增设连接件、拉索表面加螺旋条或凹凸点等措施控制其振动。

改善结构气动性能的抗风措施主要包括:提高结构刚度,包括增加塔梁刚度,采用空间索以及边跨设辅助墩与背索等;桥宽与跨径之比不小于 $1/30$ ,桥梁截面的宽高比不小于 $8$ ;通过对截面添加风嘴或裙板改善气流绕过时的流态,减少涡脱,使截面趋向流线型;超大跨度的桥梁由于频率很低,可采用桥面局部开槽的透风措施以保证结构的气动稳定性;抑流板、导流板和扰流板是减小抖振反应的有效气动措施。

**6.3.3** 《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 主要适用于常规跨度的铁路桥梁,考虑斜拉桥跨度较大,其结构周期比较长,抗震性能好,本规范对于斜拉桥的抗震设防标准及目标进行了修改。《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 规定了三个水准的抗震性能目标,在进行关键构件验算时,主要针对多遇地震和罕遇地震,采用了小震验算强度(功能),大震验算位移(安全)的方法,实际上回到了两水准设防。本规范将《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 中三阶段设防标准及目标修改为设计地震、罕遇地震两阶段,与现行规范也不冲突。

**1** 多年来的桥梁震害表明,桥梁结构在中震(设计地震)作用下,结构在弹性范围内,可以要求中震(设计地震)作用下结构整体弹性。斜拉桥结构的响应周期比较长,抗震性能好。桥墩的抗震要求不应低于索塔,为此也做了相应修改。罕遇地震发生概率较小,本规范要求罕遇地震下主结构基本弹性,经修复桥梁可继续使用。

**2** 罕遇地震下,单桩承载能力通常按现行《铁路桥涵地基和

基础设计规范》TB 10093 进行验算;桥墩的抗剪强度、塑性铰区变形能力及支座检算通常按现行《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909 进行。支座损伤状态主要检算承载力和变形量。

**3** 铁路斜拉桥可以采取的抗震措施:塔、梁交界处,可以在横桥向梁体两侧设置橡胶缓冲装置;设简支过渡孔的铁路斜拉桥,应当加宽过渡墩/锚固墩的盖梁宽度,并采取防落梁措施;选用梁端伸缩缝时,应当考虑地震作用下的梁端位移;为控制主梁的纵桥向地震位移,可以在主梁与桥塔间设置弹性约束或阻尼约束。

**6.3.4** 风-车-桥耦合计算时,建立桥梁、轨道和车辆运动方程,以轮轨关系、线桥关系为联系纽带,运用数值仿真方法求解车线桥系统动力响应,评价列车行车安全性、旅客乘坐舒适度和桥梁振动性能。斜拉桥可以按实际运营列车的车-桥耦合振动及风-车-桥耦合振动验算,验算速度采用 1.2 倍的运营速度。进行风-车-桥耦合振动分析时,可通过风洞试验或数值模拟等方式得到车桥组合状态下的气动特性。风-车-桥耦合振动分析中,应当考虑双车交会、列车过索塔等风载突变效应的影响;限制车速的大风天气较多时,可设置风屏障或大风预警系统以提高行车抗风安全;索塔区域可考虑设置风屏障,提高行车抗风安全性。

#### **6.4.1** 施工阶段计算原则:

(1)我国已建成的斜拉桥,常采用悬臂现浇和悬臂拼装的施工方法,也采用支架施工或转体施工。施工方法和施工阶段的划分与全桥完成后的应力状态密切相关,因此设计计算不应当遗漏各个施工阶段,否则造成施工完后的结构实际内力状态与设计不符,形成永久性的结构不安全状态。必须使各阶段的计算图式与施工阶段划分一致,使最终完成的结构符合设计预计的受力状态。

(2)为准确地控制整个施工过程,应当将各施工阶段出现的荷载不遗漏地纳入计算,必要时需考虑非线性影响。

**6.4.2** 因体系转换对结构产生的效应是永久效应,本条文规定必须对体系转换进行计算,规定了体系转换进行计算的项目,对本条

文未规定的项目而在实际中存在的体系转换也要进行计算。主梁合龙时一般计入温度效应的影响。

合龙施工涉及结构体系转换,如:合龙段两端相对变位,对合龙临时结构的受力影响等,该部分计算应当对合龙段(包括合龙临时结构)进行验算。

**6.4.3** 主梁悬臂施工时,双悬臂的不平衡荷载对结构的内力影响很大,特别是主梁悬臂施工达到最大悬臂长度,这种不平衡荷载对结构的内力影响足以带来安全隐患。因此,本条强调了应当对斜拉桥悬臂施工状态进行计算。规定了不平衡荷载计算的项目,实际结构不平衡荷载不尽相同,设计时要根据实际结构可能发生的不平衡荷载进行计算,根据荷载效应的性质,按相关规范荷载组合的要求进行组合。

#### **6.4.6** 斜拉桥抗风计算:

**1** 对悬臂施工的桥梁,在最长双悬臂状态,可按本条的规定进行不对称加载,计算桥墩或桥塔根部的扭转力矩。

**2** 裸塔是高耸结构,在风荷载作用下存在驰振或涡激共振的可能,在结构设计时,应当对裸塔进行风稳定验算,若验算结果不能通过,一般需进行必要的风洞试验验证。

**3** 主梁达到最大悬臂长度时,当索塔两侧有不平衡横向风力作用时,结构处于不利的受力状态,应当分为两种状态进行验算:结构承受横向风力的作用;结构承受因横向风力产生的、作用在索塔两侧主梁底不同的升举力,将此升举力作为静荷载考虑。

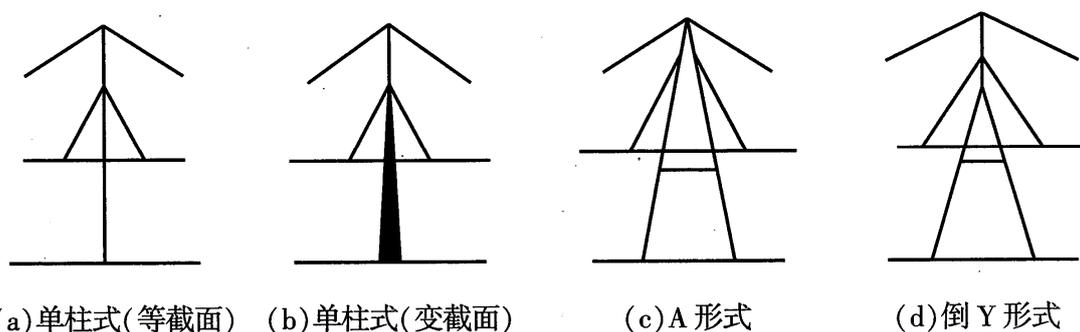
**7.3.1** 一般来讲,混凝土索塔具有充分发挥材料受压性能、经济性好、施工方便、维护量小、抑制风振强等优点,但也存在自重大、施工工期较长等缺点;而钢塔具有与之相反的特点。具体采用何种材料,应当根据桥址具体建设条件、结构受力、施工方案和工程造价等因素综合比选确定。在地质条件差、地震烈度高的场地,可以优先选用钢塔。索塔的形式和截面形式一般如下:

斜拉桥索塔的纵向形式有单柱式[说明图 7.3.1—1(a)、说明

图 7.3.1—1(b)]、A 形式[说明图 7.3.1—1(c)]以及倒 Y 形式[说明图 7.3.1—1(d)]等,索塔通常设计成竖直式。

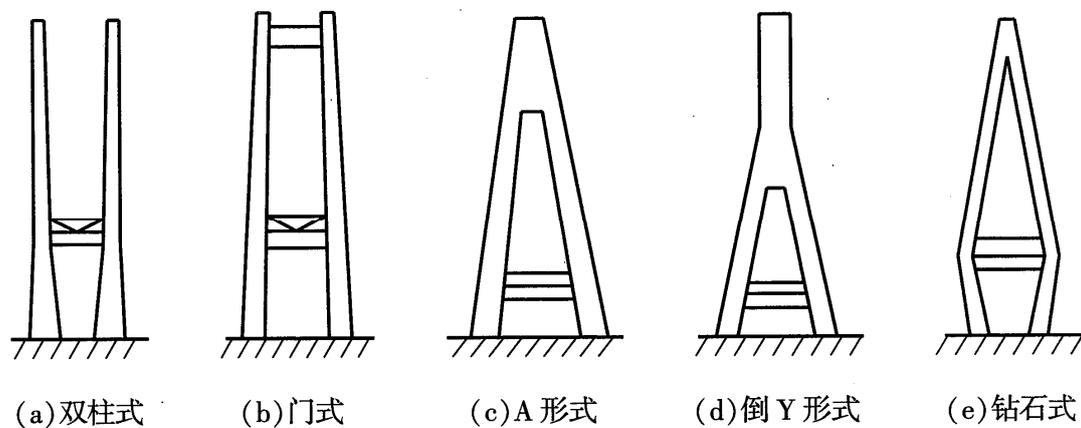
斜拉桥索塔的横向形式可以采用双柱式[说明图 7.3.1—2(a)]、门式[说明图 7.3.1—2(b)]、A 形式[说明图 7.3.1—2(c)]、倒 Y 形式[说明图 7.3.1—2(d)]、钻石式[说明图 7.3.1—2(e)]等。

索塔塔柱的横断面可采用实心或空心,截面形式可采用矩形、I 字形或箱形。



(a)单柱式(等截面) (b)单柱式(变截面) (c)A 形式 (d)倒 Y 形式

说明图 7.3.1—1 斜拉桥索塔基本形式(纵向)



(a)双柱式 (b)门式 (c)A 形式 (d)倒 Y 形式 (e)钻石式

说明图 7.3.1—2 斜拉桥索塔基本形式(横向)

**7.3.2** 索塔截面尺寸,除应当满足计算需要的最小尺寸外,还须保证张拉、调索的空间,满足孔洞、预应力管道及千斤顶行程与移动需要的空间。一般主塔混凝土强度等级较高,混凝土塔柱截面及壁厚尺寸过大,大体积混凝土效应明显,容易出现混凝土开裂。

**7.3.5** 索塔是斜拉桥的主要承重结构,索力的垂直分力引起塔柱

轴向力和水平力对塔柱产生的弯矩和剪力。此外,温度变化、日照影响、支座沉降、风荷载、地震力、混凝土收缩徐变等都将对塔柱产生轴向力、水平力、扭矩和横、顺桥向的弯矩,因此塔柱配筋较多,应尽量采用大直径竖向钢筋,并提高钢筋含量。按计算面积配筋对于空心截面配筋较多,而实心截面可能较小,本条文仅提出配筋下限。由于主塔钢筋较粗,双根一束时由于钢筋接头影响施工,故尽量采用大直径单根钢筋。

**7.3.8** 斜拉桥钢索塔由于其自身结构自重轻,在发生地震时结构产生的惯性力较小,因此钢索塔采用磨光顶紧连接时,须以磨光顶紧传力为主,用拼接板与高强度螺栓连接为辅助增强措施,钢塔节段之间的平整度与密贴度很重要,要在工厂进行匹配和精加工制造。

**7.3.9** 浪溅影响高度主要包括浪溅区和水位变动区,按照港工相关标准,浪溅区范围上限为设计高水位 + 设计高水位时的重现期 100 年的波峰面高度 + 1 m;下限为设计高水位 - 设计高水位时的重现期 100 年的波峰面高度;水位变动区的上限为浪溅区下限,下限为设计低水位 - 1 m。

**7.4.2** 铁路斜拉桥采用钢主梁,根据铁路荷载的特点,通常要求铁路斜拉桥的主梁本身应当具备足够的刚度,钢箱梁和钢桁梁比钢板梁更能适应铁路斜拉桥的刚度要求。对于双层桥面的桥梁,采用钢桁梁主梁,梁体自身刚度及经济性具有明显的优势。

**7.4.3** 考虑为使主梁具有较高的抗扭刚度和气动性能,混凝土主梁可以采用箱梁;混凝土梁抗裂性能较差,可以采用承压式锚固构造。斜拉索锚固点处为一较大集中力,在锚点后方或下方一定区域具有较大拉应力,宜配置竖向预应力筋,防止主梁开裂,具体配置可根据有限元分析确定。

**7.4.4** 混合梁主跨区段采用钢主梁,边跨、辅助跨区段采用混凝土梁,提供斜拉桥边跨足够的锚重。但混凝土梁区段长度除考虑总体受力要求外,还应当根据桥位场地实际条件,因地制宜。结合

既有混合梁的实例情况来看,结合部位处于变形、位移较大位置容易出现病害,故钢-混结合部位建议设置在梁体弯矩或变形较小处;混合梁钢混结合部是重要设计构造,混凝土梁与钢梁刚度及板厚均相差较大,需做好过渡、匀顺。主梁为受压构件,避免重心不一致产生偏心弯矩,主要是考虑减小组合结构两种材料的不同特性带来的影响。

**7.4.5** 栓钉属于柔性连接件,其抗剪性能不具有方向性,且抗拔性能良好;开孔板连接件属于刚性连接件,其破坏模式是孔中混凝土的破坏,疲劳问题并不突出,适用于对抗疲劳性能要求较高的组合桥梁。在斜拉索或者预应力束锚固等位置,具有较大集中力,需要对此处连接件和混凝土板钢筋加强,根据设计经验,基于有限元分析结果,纵向扩散角取 $30^{\circ}$ 较为合理。

**7.4.8** 为保证结合面与混凝土的黏结,一般不涂刷油漆。

**7.4.9** 桥面结构形式、材料的选择,对钢梁整体刚度、维修保养、施工质量以及结构耐久性等非常重要。鉴于已建成钢桥运营时桥面系出现的问题,建议对于高速铁路、城际铁路、时速200 km客货共线铁路桥梁,采用整体桥面的形式,除非特殊情况和要求,明桥面一般不会被采用。

**1** 钢-混凝土结合桥面通常设置足够多的抗剪连接件,按完全抗剪连接进行设计。不允许因为连接件的破坏而导致结构失效,不允许钢梁与混凝土板间的界面发生滑移。

**2** 通常铁路桥面很少采用明桥面,当采用明桥面时,应该采取一定的防护措施,将明桥面做成封闭式,防止桥面构造物掉落桥下。

**3** 为保证在桥面结构排水顺畅,排水措施通常考虑纵横向设置排水坡,横向坡度一般不小于2%,并布置排水孔、水篦子、排水管、排水槽以及排水沟等,其容量与降水量相适应。还需注意在结构的缝隙处,设置防止落砟和防止漏水的措施。

**4** 随着公路(城市道路)工程的迅速发展,形成了包括路面

标准在内的一系列工程技术标准,在进行铁路公路(城市道路)两用斜拉桥桥面布置时,需注意满足相关标准的要求。

**7.5.1** 根据材料及制作方法不同,目前斜拉索基本上分为工厂整体制作、现场整体安装的平行钢丝斜拉索和工地分散安装的平行钢绞线斜拉索。两种形式斜拉索各有优缺点,设计时可根据实际情况予以采用。平行钢丝斜拉索在工厂整体制作,质量较有保证,拉索直径较小,拉索安装效率高等优点。但是对于大跨斜拉桥存在单根拉索体量大,运输、起吊、安装难度大,需考虑其不利影响。平行钢绞线斜拉索具有运输、安装张拉灵活、方便等优点,但其存在拉索直径较大、索力测量困难等缺点。总体来看,目前国内主流还是以平行钢丝斜拉索为主。

**7.5.2** 为满足斜拉索安装过程中多次张拉要求以及适应斜拉桥的制造与安装误差,斜拉索锚具应当具有调整索长的功能。大跨度斜拉桥斜拉索较长,同样索力调整对于大跨度斜拉桥斜拉索伸长量较大。目前斜拉索技术标准中,锚杯尺寸只是与拉索规格类型有关,与斜拉索长度没有关联,因此对于大跨度斜拉桥斜拉索设计时其锚杯长度应当考虑适当加长。

**7.5.3** 斜拉索的耐久性及安全性与其防护结构体系是否完善、可靠密切有关。斜拉索整个构件中防护最复杂、最薄弱的是索体与锚具的连接处,也是防护最容易出问题的地方。在斜拉索的设计制造时,应当采取可靠的索端密封防护措施;在安装时,尤其是长期运营状况下,应当特别注意保护索端的密封结构不受破坏,这是提高斜拉桥的耐久性和安全性、延长使用寿命的重要措施。设置可靠的防水、防潮措施很重要,如外防护罩、下端锚垫板应当设置防水槽等,桥面以上一定范围内设置金属套管主要是为了防止人为损伤等。

**7.6.1** 斜拉索与主梁锚固结构受力复杂,由于斜拉索与主梁的锚固结构极其重要,该构造应当便于检修养护,并避免有积水腐蚀等缺陷,以延长使用寿命。

**7.6.2** 斜拉索索梁锚固区锚固点作用着强大的集中力,应力集中系数较高,受力状态十分复杂。由于其结构极其重要,需要根据受力特点注意验算疲劳强度。对于索梁锚固结构中存在钢板厚度方向受力的,应当注意验算 Z 向性能是否满足要求。

**7.6.3** 当梁端的拉索锚固区处于封闭结构空间时,结构设计中须预留斜拉索安装及牵引所需空间,避免在斜拉索安装过程中对斜拉索造成损伤。

**7.6.4** 在索塔锚固区,应当加强箍筋和纵向钢筋的布置,并在锚下设置多层钢筋网或采取其他措施,以承受和分散锚下局部应力。斜拉索锚固区的局部范围内,由于斜拉索强大的集中力,空洞削弱,造成局部受力和应力集中现象存在。另外,穿索及张拉都必须有一定的操作空间,因此综合考虑结构受力、构造及施工工艺要求,须在斜拉索锚固区边缘外面留有富余尺寸。

**7.6.5** 索塔与斜拉索锚固可采用索塔侧壁锚固、钢锚梁锚固、交叉锚固、钢锚箱锚固等形式。锚固的基本构造要求:实体塔上的交错锚固,需要在塔柱中埋设钢管,并设置锚垫板;空心塔上的侧壁锚固,需要在空心塔柱的壁板内配置预应力钢筋,对索塔的预应力钢筋的布置,需要避免出现预应力盲区;钢锚梁锚固,需要在混凝土塔柱内侧设置牛腿;钢锚箱锚固,由锚垫板、承压板、锚腹板、套筒及若干加劲肋构成钢锚箱。钢锚箱间连接应当采用焊接,并用栓钉使之与混凝土塔身连接。

**7.6.8** 锚下钢垫板厚度根据张拉吨位及锚具形式确定。本条提出不宜小于 30 mm,能够适应近年来混凝土主梁的混凝土等级普遍较高以及主梁纵向采用大吨位预应力的实际情况。

**7.7.1、7.7.2** 大跨度铁路斜拉桥设计反力较大,要求支座允许的位移和转角也高,以适应梁体由于制动力、温度、混凝土收缩、徐变及荷载作用等引起的变形要求。铁路斜拉桥应当结合支座的设置方式合理选择其支座类型和限位装置。设置支座处应当预留支座更换时放置千斤顶的空间,并对该部位进行结构加强。

**7.7.3、7.7.4** 梁端伸缩装置是铁路桥梁的重要连接构造,其功能是适应梁体的伸缩、转动等三维变位,其质量和性能的好坏直接影响整座桥梁的耐久性。因此应防止雨水或其他桥面的积水直接流入梁体端部,将伸缩装置上的积水通过排水口排出。对于伸缩量较大的伸缩装置,通常进行专项设计,并重视伸缩装置与钢轨伸缩调节器及防排水构造的一体化设计。

**7.8.3** 斜拉桥应根据桥用设备的使用需求设置相关缆线通道,并采取必要的安全防护措施。不同用途的缆线通道间通常设置物理隔离防护。缆线通道通常设置于检修走道下方、箱形梁体内部等位置,便于人员安装、运检。在缆线上(下)桥、桥梁伸缩缝等特殊位置通常考虑缆线冗余敷设的条件。

**7.8.4~7.8.6** 斜拉桥设计时应当注意防雷接地、通航及航空等要求,应当做好相关设备的预留及预埋。《民用机场飞行区技术标准》MH 5001 要求在飞行区域内高度超过 45 m 的独立建筑物,都需要设置不能中断照明的夜间航空障碍灯,障碍灯的布设应当事先与民用或军用航空管理部门协调确定。对于通航孔桥梁,应当按航道有关规定设置航标灯,使船舶能够及早地发现并避开墩台,防止发生事故。从标志灯本身性能要求而言,应当具有使用寿命长、维修方便、气候适应好的特点。

**8.0.1** 斜拉桥施工安全风险高,影响施工质量因素多,为保证施工安全质量,施工需要开展监测监控工作。

斜拉桥监测监控是斜拉桥施工过程中的重要环节,也是实现斜拉桥成桥设计目标状态的重要手段。监测监控是贯穿斜拉桥施工全过程的监控测试、数据分析与决策,斜拉桥施工完成后,即二期恒载施加完成,桥梁的线形应当符合设计要求,包括混凝土收缩、徐变及松弛等因素带来的梁体下挠,桥塔的变位、各控制构件的应力、斜拉索的索力等。

预埋施工控制监测测点时,当采用焊接方式时,应当注意不得布设在焊接连接控制疲劳设计的结构处,以免导致结构的疲劳性

能改变;当采用栓连接时,应当注意栓孔对构件截面的削弱,尤其是构件受拉时。

**8.0.4** 温度变化,特别是日照温差对于斜拉桥结构内力和变形的影响是比较复杂的。施工阶段,日照温差对大跨径斜拉桥主梁挠度和塔柱水平位移的影响尤为显著。温度变化影响结构变形。同时由于日照的时间、方位和强度是在不断地变化,因此在斜拉桥的施工监测时应当同时做温度测试,修正温度对结构的影响。

**8.0.6** 鉴于施工临时荷载对斜拉桥的内力及应力、变形的影响较大,斜拉桥在设计时要明确规定施工过程中临时施工荷载的最大限值及相应的作用点或作用范围,使实际的施工过程与设计过程相匹配。

**9.1.1、9.1.2** 过去一些大跨度桥梁设计中,对维修养护要求考虑不周,存在诸如没有考虑检查设施,检查部位覆盖不全面,顶梁位置没有交代,换索工况没有考虑,换索条件不具备等情况。设计应当考虑维修养护的基本条件,斜拉桥主要结构和部件在运营期内能够做到可到达、可检查、可维修。

**9.1.3** 照明电源可以取自 10 kV 电力贯通线或附近桥梁养护工区,供电满足现行《铁路照明设计规范》TB 10089 的相关要求。

**9.2.2** 为实现运营期内对主梁能够做到可到达、可检查、可维修的要求,有必要设置检修走道和检查车,在一般检修走道不能到达的地方可以设置检查车,如主梁的底部、主桁的侧部与顶部等。

**9.3.3** 跨越铁路的道路和桥梁排水须引至铁路范围以外,防止有排水管漏水、结冰溜,消除排水管、冰溜脱落和落水的安全隐患。对于公铁合建桥梁,上层桥面伸缩缝处容易出现漏、落情况,需单独设计,采用相应的安全防护措施。

**9.3.4** 本条规定适应多线铁路桥梁的情况,且不同线别的线路标准不一致,养护维修方式不同。比如,一侧是普速铁路,通行货车以及普通客运列车,另外一侧是高速铁路,通行高速以及动车组列车,这种情况通常设置防抛网或隔离网等设施。公铁平层斜拉桥

为防止公路人员及车辆进入铁路范围,公路与铁路之间通常也设置隔离设施。

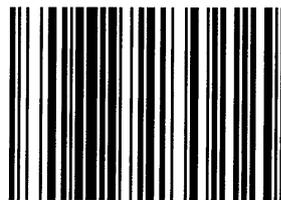
**9.3.5** 对于需要设置声屏障的斜拉桥,应当预留声屏障安装条件。由于斜拉桥桥面结构与布置和引桥的桥面结构与布置并不相同,所以需要单独考虑连接方式。

**A.0.8** 对于多片主桁的钢桁梁斜拉桥,其主梁的风载阻力系数  $C_{HW}$  参考已建斜拉桥的设计经验制定。

在大跨度铁路桥梁抗风设计中,对桥梁抗风性能的研究是必不可少的。我国大跨度铁路钢桁斜拉桥以芜湖长江大桥的建成为起点,再到已通车运营的武汉天兴洲长江大桥、韩家沱长江大桥、黄冈长江大桥、铜陵公铁两用长江大桥、安庆长江大桥、新白沙沱长江大桥等,主梁采用两桁或三桁结构,以上桥梁在设计阶段均对抗风性能进行过研究,经过整理,对于部分钢桁梁斜拉桥主梁的抗风阻力系数统计见说明表 A.0.8。

说明表 A.0.8 钢桁梁斜拉桥主梁风载阻力系数  $C_{HW}$  统计

桥 名	主梁类型	阻力系数		备 注
		成 桥	施 工	
天兴洲长江大桥	三主桁钢桁梁	0.894	0.848	双层桥面
安庆长江大桥	三主桁钢桁梁	0.979	0.847	单层桥面
铜陵公铁两用长江大桥	三主桁钢桁梁	0.897	0.763	双层桥面
沪通长江大桥	三主桁钢桁梁	0.984	0.907	双层桥面
韩家沱长江大桥	两主桁钢桁梁	0.835	0.789	单层桥面
新白沙沱长江大桥	两主桁钢桁梁	0.874 6	—	双层桥面
平潭海峡公铁两用大桥	两主桁钢桁梁	1.004 7	0.751 5	双层桥面



151136156

定 价：18.00 元