

JTJ

中华人民共和国行业标准

JTJ 027—96

公路斜拉桥设计规范(试行)

Design Specifications of Highway Cable
Stayed Bridge (on trial)

1996—05—20 发布

1996—12—01 试行

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

公路斜拉桥设计规范(试行)

**Design Specifications of Highway Cable Stayed
Bridge(on trial)**

JTJ 027—96

主编部门:交通部重庆公路科学研究所

批准部门:中华人民共和国交通部

试行日期:1996年12月1日

人 民 交 通 出 版 社

1996·北京

中华人民共和国行业标准
公路斜拉桥设计规范(试行)

JTJ 027—96

交通部重庆公路科学研究所 主编

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京云浩印制厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:2 字数:48千

1997年 1月 第1版

1997年 1月 第1版 第1次印刷

印数:0001—7500册 定价:9.80元

统一书号:15114·0090

关于发布《公路斜拉桥 设计规范(试行)》的通知

交公路发[1996]445 号

兹发布《公路斜拉桥设计规范(试行)》(行业编号为 JTJ 027—96),作为交通行业标准,自 1996 年 12 月 1 日起试行。

请各有关单位将执行过程中发现的问题和意见,函告交通部重庆公路科学研究所,以便修订时参考。

本规范由人民交通出版社出版,有关事宜请径与之联系。

中华人民共和国交通部
一九九六年五月二十日

目 录

1 总则	1
2 术语	2
3 一般规定	3
3.1 材料	3
3.2 结构型式	4
3.3 容许变形	5
4 设计荷载	7
4.1 一般规定	7
4.2 荷载计算	7
4.3 拉索及锚具的安全系数	9
5 计算规定	10
5.1 结构计算	10
5.2 施工阶段验算及施工控制	11
5.3 空气动力稳定性	13
5.4 拉索设计	13
6 构造要求	15
6.1 主梁	15
6.2 索塔	16
6.3 拉索与锚具	17
6.4 支座与伸缩缝	18
附录 A 施工阶段斜拉桥在横向风力作用下的抗风 验算	19
附加说明	21
附件 公路斜拉桥设计规范(试行)(JTJ 027—96) 条文说明	23

1	总则.....	25
3	一般规定.....	26
4	设计荷载.....	34
5	计算规定.....	41
6	构造要求.....	49

1 总 则

1.0.1 为了使公路斜拉桥设计达到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于混凝土斜拉桥、结合梁斜拉桥、钢斜拉桥的设计,为现行公路桥涵设计规范的补充。除本规范明确规定外,应遵照现行有关公路桥涵设计规范要求执行。

1.0.3 斜拉桥总体方案,应与环境协调并综合考虑经济与安全、设计与施工、材料与机具、营运与管理,以及桥位处地质、水文、气象、地震等因素确定结构体系。

1.0.4 桥宽应满足交通发展的要求,并应符合《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)(1995年版)的规定。

1.0.5 设计主梁、索塔与拉索时,宜进行多方案比较。

1.0.6 所选方案除进行静力分析外,应重视动力分析,结构体系应满足强度、刚度、稳定性要求,并有较好的抗震性能,混凝土斜拉桥宜注意减小收缩徐变影响。

2 术 语

- 2.0.1 混凝土斜拉桥:主梁为钢筋混凝土或预应力混凝土的斜拉桥。
- 2.0.2 钢斜拉桥:主梁及桥面系均为钢结构的斜拉桥。
- 2.0.3 结合梁斜拉桥:主梁为钢结构,桥面系为混凝土结构,主梁与桥面系结合在一起共同受力的斜拉桥。
- 2.0.4 拉索:承受拉力并作为主梁主要支承的结构构件。
- 2.0.5 索塔:用以锚固拉索,并将其索力直接传递给下部结构的受力构件。
- 2.0.6 主梁:主要由拉索支承,直接承受荷载的结构构件。
- 2.0.7 辅助墩:为改善主跨的受力状态,在边跨内设置的既能承受压力又能承受拉力的墩。
- 2.0.8 初拉力:安装拉索时,给拉索施加的张拉力。
- 2.0.9 拉索调整力:为改善主梁及索塔的截面内力状态而调整拉索的拉力。
- 2.0.10 跨径:原则上为两支座中心线间的距离,中跨为两个索塔中心线间的距离,边跨为后锚索处的墩上支座中心线与临近的索塔中心线间的距离。

3 一般规定

3.1 材 料

3.1.1 混凝土

用于斜拉桥各部分构件的混凝土标号、混凝土设计强度和标准强度、混凝土受压及受拉时的弹性模量,按交通部现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的规定采用。

预应力混凝土主梁的混凝土标号不宜低于 40 号,预应力混凝土索塔的混凝土标号不宜低于 30 号,钢筋混凝土主梁的混凝土标号不宜低于 30 号,钢筋混凝土索塔的混凝土标号不宜低于 30 号。

3.1.2 钢材

钢筋混凝土及预应力混凝土构件所采用的钢筋类别、钢筋的设计强度和标准强度、钢筋的弹性模量按交通部现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的规定采用。

拉索采用强度及弹性模量较高的高强钢丝、钢绞线及高强粗钢筋。

钢斜拉桥主梁所用钢板、高强螺栓、粗制螺栓、铆钉等材料的技术要求,焊接材料及钢材的弹性模量等按交通部现行《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)的规定采用。

3.1.3 锚具用钢材

拉索锚具及预应力锚头应采用 45 号钢及其他优质钢材。

3.1.4 拉索防护材料

拉索防护材料应选用具有防锈蚀、耐老化及经济的聚乙烯、

玻璃钢、防腐涂料等材料。

3.2 结构型式

3.2.1 斜拉桥基本体系

斜拉桥基本体系按力学性能可分为飘浮体系、支承体系、塔梁固结体系、刚构体系。按塔数分为独塔体系、双塔体系和多塔体系。

斜拉桥辅助墩应根据边孔高度、通航要求、施工期安全、全桥刚度以及经济、使用条件进行设置。

3.2.2 结构型式及总体尺寸拟定

3.2.2.1 斜拉桥的跨径比应考虑全桥刚度,拉索疲劳强度、锚固墩承载能力等多种因素确定。双塔斜拉桥的边跨与主跨比一般为 $0.25 \sim 0.50$,从经济角度考虑,宜取 0.4 ;但在特殊的地形条件下可采用更小的边跨与主跨比或边跨为地锚形式。独塔斜拉桥的两侧跨比还需要考虑地形条件及跨越能力,可取 $0.5 \sim 1.0$ 。

3.2.2.2 索塔设计应满足强度、刚度、稳定等使用要求,并充分考虑施工简便、造价低及造型美观等要求。

斜拉桥索塔的类型有柱式 a), 门式 b)、c), A 型 d), 倒 Y 型 e) 及菱形 f) 等。如图 3.2.2-1 所示。

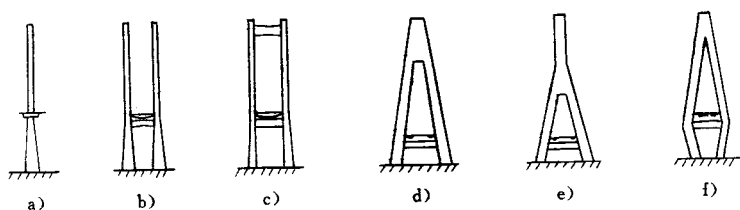


图 3.2.2-1

双塔斜拉桥索塔高与主跨比宜选用 $0.18 \sim 0.25$,独塔斜拉桥的塔高与主跨比宜选用 $0.30 \sim 0.45$,并宜使边索与水平线夹角控制在 $25^\circ \sim 45^\circ$ 左右。

3.2.2.3 斜拉桥梁高与主跨比一般为 $1/50 \sim 1/100$;对密索体

系大跨径斜拉桥,比值可小于 $1/200$;单索面应按抗扭刚度确定。

主梁截面型式应根据跨径、索距、桥宽等不同需要,综合考虑结构的力学要求、抗风稳定性、施工方法等选用。混凝土斜拉桥的典型截面型式如图 3.2.2-2 所示,有实心板型(a)、整体箱型(e、f)、分离式箱型(b、c、g、h)和梁板型(d)。

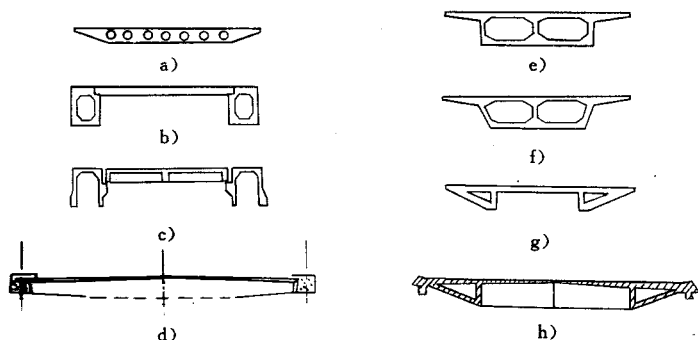


图 3.2.2-2

3.2.2.4 斜拉桥索型应根据设计总体构思、受力情况、美学要求等因素在竖直面内可选择扇型、竖琴型、辐射型,如图 3.2.2-3 所示。在平面内可选单面索、平行双面索、空间斜双面索等型式。

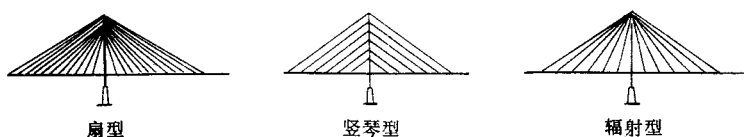


图 3.2.2-3

拉索索距应根据主梁内力、拉索张力、锚固构造、施工中吊装能力、材料规格及经济等综合考虑,一般密索体系的混凝土主梁索距宜采用 $4\sim 12\text{m}$,钢主梁索距宜采用 $8\sim 24\text{m}$ 。

3.3 容许变形

3.3.1 主梁在汽车荷载(不计冲击力)作用下的最大竖向挠度:

当为混凝土主梁时不应大于 $L/500$ ；钢主梁时不应大于 $L/400$ (L 为中跨跨径)。

当采用平板挂车或履带荷载验算时，上述限值可增加 20%。

荷载在一个桥跨范围内移动产生正负不同挠度时，计算挠度应为正负挠度的最大绝对值之和。

4 设计荷载

4.1 一般规定

4.1.1 公路斜拉桥设计荷载分类与组合应符合现行《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)的有关规定,拉索初拉力及拉索调整力应作为永久荷载参与组合。

4.1.2 荷载安全系数,应按现行公路桥涵设计规范有关规定取用。

4.2 荷载计算

4.2.1 公路斜拉桥设计荷载的计算,除本节有明确规定者外,应遵照现行《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)执行。

4.2.2 结构重力

结构重力计算一般按《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)的规定执行,也可采用实测值。

4.2.3 拉索初拉力

拉索初拉力可按刚性支承连续梁法、控制截面应力等方法确定。

4.2.4 拉索调整力

4.2.4.1 当拉索采用非一次性张拉施工时,应考虑拉索调整力的影响;

4.2.4.2 确定拉索调整力的原则是使主梁、索塔及辅助墩等的弯矩、剪力减小,并使其分布合理。

4.2.5 汽车荷载

汽车荷载的等级划分、标准图式、主要技术指标及车辆荷载

的选用和布载规定应按《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)(1995年版)的规定执行。

4.2.6 风力

4.2.6.1 作用在桥上的风力计算原则和方法可按《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)的规定执行。

4.2.6.2 风载体型系数 K_2 , 桥墩可根据《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)取用, 索塔取 1.8, 拉索取 0.7, 其他构件取 1.3。

4.2.6.3 当结构高度大于 100m 时, 风压高度变化系数 K_3 按表 4.2.6 取用。

风压高度变化系数 K_3

表 4.2.6

离地面或常水位高度(m)	风压高度变化系数 K_3
110	1.61
120	1.65
130	1.69
140	1.73
150	1.77
160	1.81
170	1.84
180	1.87
190	1.90
200	1.93

4.2.6.4 作用在索塔上的纵向风力, 可按横向风压乘以索塔的迎风面积计算。

4.2.7 温度影响力

4.2.7.1 斜拉桥各部构件受温度变化产生的影响, 应根据当地具体情况, 结构使用的材料和施工条件等因素计算确定。

4.2.7.2 体系温差, 钢结构可按当地最高和最低气温确定; 混凝土结构可按当地平均最高和最低气温确定。气温变化值应自结构合拢时的温度起算。

4.2.7.3 拉索与混凝土主梁、索塔间的温差可采用 $\pm(10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C})$ ；塔身左右侧温差可采用 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；结合梁内钢梁与混凝土桥面板间的温差可采用 $\pm(10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C})$ ；混凝土主梁上下缘温差可采用 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.8 施工荷载

在斜拉桥设计时，必须对施工中可能出现的施工荷载（如结构重力、架设机械和材料、人群、风力等）进行分析，以考虑所设计结构的施工安全性。

4.3 拉索及锚具的安全系数

4.3.1 拉索的容许应力应符合下列规定：

$$[\sigma] \leq 0.4R^b$$

式中： $[\sigma]$ ——拉索的容许应力；

R^b ——拉索的抗拉标准强度。

4.3.2 验算拉索在各种荷载作用下的强度时，其容许应力需乘以表 4.3.2 的提高系数 K 。

拉索容许应力的提高系数 K

表 4.3.2

荷 载 组 合	K
组合 I	1.0
组合 II、III、IV	1.25
组合 V	1.3

4.3.3 拉索锚具在荷载作用下，应具有比拉索更高的安全度。

5 计算规定

5.1 结构计算

5.1.1 结构计算图式的规定

5.1.1.1 结构计算简图、几何特性、边界条件必须与实际结构相一致。

5.1.1.2 结构计算简图必须能反映结构分阶段形成的特点,正确反映各重要工况下的结构特性及荷载状况,如结构形成、体系转换、拉索张拉与索力调整、永久荷载、可变荷载及施工荷载等。

5.1.2 结构计算的一般规定

5.1.2.1 结构计算原则

(1)对于一般跨径的混凝土斜拉桥结构计算,可按经典结构力学或有限元方法计算。

(2)对于跨径较大的斜拉桥,应计入结构几何非线性及材料非线性对结构的影响。

(3)斜拉桥为空间结构体系,在静力分析时可将空间结构简化为平面结构进行计算。动力分析应按空间结构计算。

(4)在结构计算中,必须计入拉索垂度对结构的非线性影响。可采用拉索换算弹性模量的方法计入其影响。

(5)除对结构进行总体计算外,尚应对一些特殊部位进行局部分析。

5.1.2.2 拉索初拉力可按以下原则确定:(1)塔的偏心力矩小;(2)主梁弯矩小;(3)索力相对均匀。

5.1.2.3 截面强度验算应遵照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)及《公路桥涵钢结构及木结构设计

计规范》(JTJ 025—86)的有关规定执行。

5.1.3 拉索换算弹性模量按下式计算:

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{(\gamma S \cos \alpha)^2}{12 \sigma^3}} \quad (5.1.3)$$

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);

γ ——拉索换算容重(kN/m³),

$\gamma = \frac{\text{每米拉索及防护结构材料重力(kN/m)}}{\text{拉索截面积(m}^2\text{)}};$

S ——拉索长度(m);

α ——拉索与水平线的夹角(°);

σ ——拉索应力(kPa)。

5.1.4 当将斜拉桥简化为平面结构图式计算时,应计算荷载横向分布对结构的影响。

5.1.5 混凝土收缩、徐变及二次力应遵照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)有关规定或其它可靠方法计算。

5.1.6 计算温度影响的项目为:(1)体系温差;(2)主梁上、下缘温差;(3)索、梁温差;(4)桥墩、索塔单侧日照温差。计算温差值按本规范 4.2.7 条采用。

5.1.7 应对索塔和主梁进行稳定性分析,结构稳定安全系数应大于 4。在计算临界荷载时,可计入拉索弹性扶正力因素的影响。

5.1.8 在有地震、强风灾害地区的斜拉桥,必须进行结构动力分析。

5.1.9 结构抗震计算宜遵照《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)有关规定执行。亦可采用其它可靠的方法计算。

5.2 施工阶段验算及施工控制

5.2.1 施工阶段的划分及分阶段计算的规定

5.2.1.1 应选用切实可行、技术先进、经济合理的施工方法,

根据施工程序,划分施工阶段。

5.2.1.2 施工各阶段的计算简图应与施工阶段的划分一致。

结构在施工阶段应计算:拉索索力、内力、应力、支座反力、水平位移、竖向位移、转角。

结构在施工阶段应考虑荷载为:结构重力、拉索索力、预加应力、混凝土收缩徐变、施工荷载及偶然荷载。

5.2.1.3 进行施工阶段的应力计算时,对钢筋混凝土及预应力混凝土构件应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的有关的规定;钢构件应符合《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)的有关规定。

5.2.2 下述两个施工阶段应进行抗风验算:

5.2.2.1 索塔浇筑完成,主梁尚未施工,可按结构受纵向风力作用进行验算。计算荷载为结构重力、施工荷载、作用在施工水位或地面以上沿墩身及索塔高度的风力。纵向风力的风压值按《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)和本规范 4.2.6 条计算。

5.2.2.2 主梁处于最大悬臂状态,可按结构受横向风力作用,并分为两种状态进行验算。

1. 横向风力的风压值按《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)计算。在横向风力作用下,按空间结构进行验算。

2. 主梁受到横向风力作用,在索塔两侧主梁底面产生不同的竖向升举力,可按平面体系对结构进行验算。其计算方法见附录 A。

根据桥梁的重要程度,决定是否需要对本条第一种计算状态验算。对于本条第二种计算状态,不论桥梁主跨大小及桥梁重要程度如何,均应进行此项验算。

5.2.3 主梁应设置预拱度。成桥主梁预拱度为混凝土收缩徐变挠度及 1/2 静活载挠度之和。恒载挠度应在施工过程中调整消除。

5.2.4 施工控制

5.2.4.1 施工应按照设计规定的施工阶段及工作内容施工,不得随意更改。如因实际情况变化,确需变动原设计的施工程序

时,应重新计算后方能施工。

5.2.4.2 应严格控制实际施工时的结构几何尺寸、容重、收缩徐变、弹性模量、预加应力、拉索张力,并及时采集各类计算参数,按实际参数进行跟踪计算分析,确定下阶段所需拉索索力和施工节段的立模高程。

结构总体计算时,应设定一个标准温度,施工过程中应考虑由于实际施工温度与标准温度不同对主梁高程和结构内力的影响。

5.3 空气动力稳定性

5.3.1 斜拉桥设计时,应进行动力分析,必要时可做风洞试验。

5.3.2 结构临界风速宜取设计风速的 1.2~1.5 倍。

5.3.3 结构体系的风稳定性在施工阶段处于不利状态,安排工期时宜避开台风季节。

5.3.4 提高结构风稳定性的措施为:

5.3.4.1 桥宽与跨径之比宜大于等于 1/30;

5.3.4.2 桥宽与梁高之比宜大于等于 8;

5.3.4.3 主梁的横断面宜做成流线型;

5.3.4.4 采用空间斜拉索面;加大两个索面之间的距离;减小索距,即选用密索体系。

5.3.5 临界风速可采用以下方式确定:

5.3.5.1 通过风洞试验测定。

5.3.5.2 通过三维颤振分析确定。

5.3.5.3 采用近似公式计算。

5.4 拉索设计

5.4.1 拉索设计应符合《斜拉桥热挤聚乙烯拉索技术条件》(JT/T6—94)要求。成品拉索检验超张拉取 1.2~1.4 倍设计索力,对大直径拉索取低值。冷铸锚锚板内缩值一般不大于 5mm。

5.4.2 拉索强度

5.4.2.1 在设计荷载作用下,拉索的应力应符合本规范 4.3.1 条的规定。

5.4.2.2 拉索的疲劳应力应由试验确定。拉索应能通过 200 万次的反复荷载。

5.4.3 拉索的下料长度,应是钢丝的无应力长度。首先应计算每根拉索的长度基数,再对这一长度基数进行若干项修正,即可得出下料长度。修正内容为:

5.4.3.1 初拉力作用下拉索弹性伸长修正。

5.4.3.2 初拉力作用下拉索垂度修正。

5.4.3.3 张拉端锚具位置修正。

5.4.3.4 固定端锚具位置修正。

5.4.3.5 下料时的温度与设计中采用的温度不一致时,应考虑温度修正。

5.4.3.6 受应力状态下料时,应考虑应力下料的修正。

5.4.3.7 采用冷铸锚时,应计入钢丝墩头所需的长度,一般取为 $1.5d$ 。采用拉丝式锚具时,应计入张拉千斤顶工作所需的长度。

6 构造要求

6.1 主 梁

6.1.1 主梁截面各部分尺寸应符合现行公路桥梁设计规范有关规定并满足必须的构造要求。

6.1.2 主梁联结系的设置与构造

6.1.2.1 主梁横向联结系可采用横隔板(梁),箱形截面也可采用斜撑形式。

主梁拉索锚固区必须设置横向联结系,并根据主梁横向刚度、桥面板的跨径及索距适当加密布置。

钢板梁、钢桁架除设置横向联结系外,还应设置纵向联结系。

6.1.2.2 支座处横隔板必须加强,可采取增加混凝土板厚、施加预应力等措施。横隔板的人洞应加强角隅处的配筋。

6.1.2.3 横隔板的厚度不宜小于 16cm,马蹄部分的宽度不得小于 25cm。钢主梁的横隔梁宜采用拼装钢板梁或钢箱梁,钢板厚度不宜小于 10mm。

6.1.3 拉索在梁上的锚固方式与锚固区的构造

6.1.3.1 拉索在主梁上锚固应有锚固实体段构造,并将锚固区内的构件截面加大,设置穿索管道及锚下垫板。

锚下钢垫板厚度应根据张拉吨位、锚具型式等确定,并不宜小于 16mm。

6.1.3.2 拉索通过管道锚固在梁底时,可采用钢锚箱和增加钢筋来加强主梁锚固区,钢锚箱的钢板厚度应不小于 10mm。

6.1.4 分段悬拼的混凝土主梁端面宜设计成企口缝形式,并需在端面设置定位预埋件。主梁接缝应采用胶接缝,构件接触应平

整、密贴并做好防水处理;跨径较大时,可加几道湿接缝,便于调整线形。

钢主梁节段及钢横梁应采用工厂焊接方法制作。主梁节段间的连接和主梁与横隔梁间的连接可采用高强螺栓连接或焊接。

6.1.5 混凝土斜拉桥主梁合拢段长度可取 $1.5\sim 3.0\text{m}$,并应采用劲性型钢或劲性钢管作为预应力筋套管并施加预应力等方式作为临时固结措施。

钢主梁合拢应对温度变形进行监测并采取临时固定措施,合拢段钢梁长度需根据合拢温度予以修正。

6.1.6 主梁应考虑养护维修的需要,因地制宜地设置吊篮脚手架或检查走廊及可以沿主梁和主要构件移动的走动式检查车。

6.1.7 主梁桥面铺装宜采用易于维修养护的沥青混凝土、橡胶沥青混凝土铺装。特殊情况下也可采用混凝土铺装。桥面铺装混凝土标号不得小于30号,铺装下宜设防水层。

6.2 索 塔

6.2.1 拉索在索塔上的布置应避免索塔受扭。

6.2.2 拉索可在索塔截面的两侧锚固,对矩形与H形截面可采用交叉锚固;箱形截面可分别锚固于横梁(扁担梁)上,或直接锚固在箱壁一侧。

6.2.3 索塔锚固拉索的间距,除应满足计算高度外,还须保证张拉、调索的空间,满足孔洞、管道及千斤顶行程与移动需要的富裕高度,并应加厚锚固垫板,加强配筋及埋置螺旋钢筋。

6.2.4 索塔可配置型钢作为骨架,该型钢可作为受力钢筋的一部分。

6.2.5 索塔纵向受力钢筋和普通箍筋应符合下列条件:

6.2.5.1 纵向受力钢筋的直径不宜小于 20mm 。

6.2.5.2 纵向受力钢筋的截面积不应小于混凝土截面积的 1% 。

6.2.5.3 箍筋直径不应小于 12mm ,间距不大于纵向受力钢

筋直径的 15 倍,并不大于 20cm。

索塔底部的箍筋直径宜适当增大,间距可减小。

6.2.6 索塔应设置养护及检修用的爬梯与简易停歇台等。索塔采用空心塔柱时,爬梯、停歇台宜在塔柱内部设置,并配有照明及良好的通风设备。

6.2.7 索塔顶部应设置能覆盖全桥的避雷安全设施。接地线可利用塔内纵向钢筋,但需上下焊通并不少于二根。接地线电阻与防雷覆盖范围的计算,应符合现行建筑防雷设计规范的有关规定。

6.2.8 根据航空管理的要求,必要时可考虑设置航空障碍标志灯。

6.3 拉索与锚具

6.3.1 拉索的钢丝或钢绞线排列必须整齐、规则,组成的断面应紧密并易于成型。

平行钢丝束拉索,截面宜采用正六边形或缺角六边形排列,并宜扭绞 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$,以方便运输。

拉索规格应根据起重、运输、张拉等条件选用。

6.3.2 拉索锚具可采用冷铸锚、热铸锚、墩头锚、夹片式锚等,或采用经过耐疲劳及强度试验证明其可靠性的其它锚具。锚具应镀锌或做其它防护处理。

6.3.3 拉索锚具应便于张拉和换索,宜采用冷铸锚及墩头锚等拉锚体系锚具,拉索穿越的预留孔道不应压浆,并不可将锚头封死。

6.3.4 拉索采用的防护材料不得含有腐蚀钢材的成分,主要防护层材料老化寿命不宜低于 25 年。

6.3.5 采用热挤聚乙烯拉索时应符合《斜拉桥热挤聚乙烯拉索技术条件》(JT/T 6—94)。

6.3.6 拉索与锚具的结合部应有可靠的防止水气侵入拉索内部的密封结构。

6.3.7 对锚具外露部分宜设防护罩,锚具防锈可采用聚乙烯、玻

玻璃钢、防锈涂料及防锈酯等材料作为防护层。

6.3.8 为减少拉索的疲劳影响,宜采用能承担高应力变幅的冷铸锚具;为减小拉索的振动,应在拉索与主梁的连接口部位设置减振块。减振块宜采用高阻尼粘弹性橡胶材料。必要时,可在拉索上设置分隔夹或在拉索梁端处设置减振三角架。

6.3.9 在拉索与主梁和索塔的连接口部位,应有可靠的密封防水结构。

6.4 支座与伸缩缝

6.4.1 支座可采用盆式橡胶支座或其它形式支座。悬浮体系应在索塔及两边跨处设置横向限位的板式橡胶支座。

6.4.2 斜拉桥边跨端支点或辅助墩承受活载产生的正负反力的支座应进行特殊设计,可采用拉索式组合支座,对跨径较小的也可安装链杆支座。

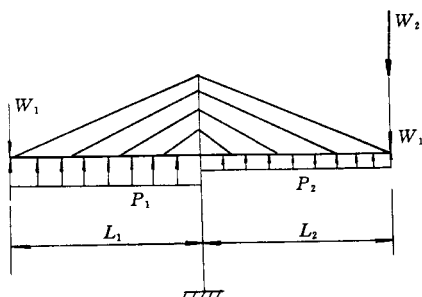
6.4.3 设有支座的索塔及墩、台帽,宜预留进行更换支座时搁置千斤顶的位置与高度,并应在该部位加强配筋。

墩台宜附设检查爬梯及护栏;对通航孔处,应按航道部门要求设置导航灯标。

6.4.4 应根据桥梁伸缩量采用性能好的伸缩缝。伸缩缝锚固部位混凝土标号不宜小于 40 号,并做好接缝处理。

附录 A 施工阶段斜拉桥在横向风力作用下的抗风验算

在横向风力作用下,斜拉桥结构体系抗风验算的计算简图如附图 A-1 所示,假设主梁处于合拢前的最大悬臂状态*, 图中 P_1



附图 A-1 计算简图

及 P_2 分别为索塔两侧主梁所承受的均布风荷载 (N/m), 按下式计算:

$$P = \frac{1}{1.6} C_L S^2 V^2 b$$

式中: C_L ——升举系数, 一般由风洞试验确定; 初步设计估算时, 或不要求做风洞试验的斜拉桥, 可按以下规定确定 C_L :

1. 当上部结构超高角小于 1° 时, 由附图 A-2 确定;
2. 当上部结构超高角度为 $1^\circ \sim 5^\circ$ 时, C_L 值应取为 0.75;

* 图 A-1 中 W_1 为施工荷载, 包括施工机具、材料及施工人员等重力。 W_1 的作用位置及大小按实际情况决定。

图 A-1 中 W_2 为不平衡的施工荷载, 集中作用在悬臂端部, 当采用挂篮悬浇主梁的施工方法时, W_2 取半个主梁节段的重力; 当采用悬拼主梁预制块件的施工方法时, W_2 取一个主梁块件重力的两倍。

3. 当上部结构超高角超过 5° 时, C_L 值应由试验确定。

S ——阵风系数。索塔两侧应取不同的 S 值, 如附图 A-1, 当左侧(L_1 侧)的阵风系数根据附表 A-1 确定后, 右侧(L_2 侧)的阵风系数, 一般情况下应取为左侧阵风系数的 $1/2$;

V ——设计风速(m/s), 根据桥梁的重要性及桥址地形条件, 取频率为 $1/10 \sim 1/30$ 的风速; 施工期间如能获得预计合拢日期前后的风速, 亦可按此风速计算;

b ——主梁宽度(m)。

阵风系数 S 值

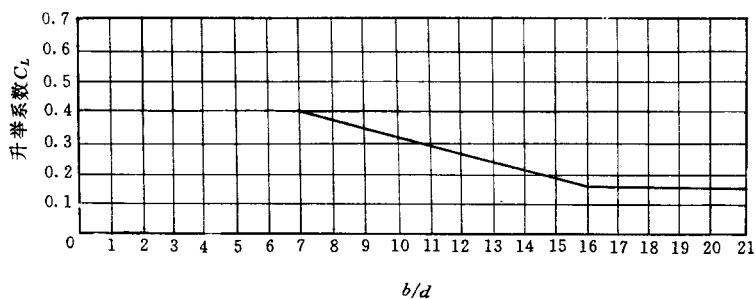
附表 A-1

地面以上高度 (m)	水 平 风 载 长 度 (m)								
	≤ 20	40	60	100	200	400	600	1000	2000
5	1.47	1.43	1.40	1.35	1.27	1.19	1.15	1.10	1.06
10	1.56	1.53	1.49	1.45	1.37	1.29	1.25	1.20	1.16
15	1.62	1.59	1.58	1.51	1.43	1.35	1.31	1.27	1.23
20	1.66	1.63	1.60	1.56	1.48	1.40	1.36	1.32	1.28
30	1.73	1.70	1.67	1.63	1.56	1.48	1.44	1.40	1.35
40	1.77	1.74	1.72	1.68	1.61	1.54	1.50	1.46	1.41
50	1.81	1.78	1.76	1.72	1.66	1.59	1.55	1.51	1.46
60	1.84	1.81	1.79	1.76	1.69	1.62	1.58	1.54	1.50
80	1.88	1.86	1.84	1.81	1.74	1.68	1.64	1.60	1.56
100	1.92	1.90	1.88	1.84	1.78	1.72	1.68	1.65	1.60
150	1.99	1.97	1.95	1.92	1.86	1.80	1.77	1.74	1.70
200	2.04	2.02	2.01	1.98	1.92	1.87	1.84	1.80	1.77

注: ①位于或近于陡坡顶部的桥梁, 地面以上高度应由地面以上量计或由施工水位以上量计。

②风载长度取索塔两侧主梁悬臂长度(图 A-1 所示 L_1 、 L_2)。

全桥结构在图示荷载及自重作用下, 按照施工阶段采用的离散图及程序进行计算。



附图 A-2 升举系数 C_L

d -梁高; b -梁宽

附加说明

主 编 单 位： 交通部重庆公路科学研究所

参 编 单 位： 交通部公路规划设计院

四川省公路规划勘察设计院

山东省交通规划设计院

四川省桥梁工程公司

主要起草人： 樊仕成 杨共树 柴清福

郑明珠 李正熔 杨开域

宋肇书 李禄锌

件

公路斜拉桥设计规范(试行)

(JTJ 027—96)

条文说明

编制说明

斜拉桥作为一种新的桥结构,在我国已得到很大发展,并在科研、设计、施工方面取得不少成果和经验。为适应我国斜拉桥发展的需要,迫切需要编制斜拉桥设计规范。为此,交通部公路管理司下达《公路斜拉桥设计规范》的编制任务。

参加这次编写工作的单位有:交通部重庆公路科学研究所,交通部公路规划设计院,四川省公路规划勘察设计院,山东省交通规划设计院,四川省桥梁工程公司。编写过程中,编制组进行了比较广泛的调查研究及资料收集工作,总结和吸收了国内外的经验。多次听取了有关学者、专家及工程技术人员的意见,几经易稿而成。

规范共分六章,主要内容包括斜拉桥设计的一般规定、设计荷载、计算规定及构造要求。本规范有明显的针对性,是现行各类公路桥涵设计规范的一个补充,除本规范明确规定外,应执行现行各类公路桥涵设计规范。对汽车荷载的等级划分、标准图示、主要技术指标及车辆荷载的选用和布载规定应按修订后的《公路工程技术标准》(JTJ01—88)(1995年版)执行

1 总 则

1.0.1 目前,我国已修建斜拉桥 30 余座,正在施工中的大跨径斜拉桥也有 5、6 座。已建成的结合梁斜拉桥主跨跨径已达 602m(上海杨浦大桥),预应力混凝土斜拉桥主跨跨径已达 444m(重庆长江二桥)。为满足大跨径斜拉桥发展的需要,使斜拉桥设计达到技术先进、经济合理、安全适用,确保质量,特制定本规范。

1.0.2 本规范为公路斜拉桥专用设计规范,内容包混凝土斜拉桥、钢斜拉桥及结合梁斜拉桥。钢斜拉桥、结合梁斜拉桥目前修建的不多,有待进一步完善,所以本规范的编写较偏重于混凝土斜拉桥。

1.0.3 本条提到的管理还应包括养护等方面的问题。设计时应考虑换索措施。

1.0.5 斜拉桥是一种结构体系变换较多的新桥型,对于初设计者和稍有经验者不可能一次就拟定出一个较合理的总体方案,故宜进行多方案比较。

3 一般规定

3.1 材 料

3.1.1 混凝土

斜拉桥作为公路桥梁的一种型式,在选用的材料等级、特性,强度指标方面应符合交通部现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的规定,具体说明可参见该规范“条文说明”。

本规范分别对钢筋混凝土、预应力混凝土主梁及钢筋混凝土、预应力混凝土索塔采用的混凝土标号提出了采用的下限值,其中索塔的受力较一般混凝土构件大,故适当的提高了混凝土的标号。

3.1.2 钢材

斜拉桥的钢结构部份所采用材料应符合交通部现行《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)的规定,具体说明可参见该规范“条文说明”。

高强钢丝及普通钢筋的选用应符合交通部现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的规定。其中钢筋的强度指标及材料特性的具体说明可参见该规范“条文说明”。斜拉索所用的高强钢丝应对其材料的技术指标作一定的特殊要求,并应采用矫直回火状态的钢丝。表 1 提供了参考示例。

拉索用高强钢丝技术指标

表 1

一、规格	未镀锌前直径 d_0	$5.1 \pm 0.03\text{mm}$
	镀锌后直径	$5.2 \pm 0.06\text{mm}$
	不圆度	$\leq 0.04\text{mm}$

续上表

二、化学成分	C	Si	Mn	P	S	Cu	非金属夹杂物
	0.75%~0.85%	0.12%~0.32%	0.60%~0.90%	≤0.025%	≤0.025%	≤0.20%	0.10%以下
三、物理力学性能	抗拉强度 屈服强度(名义屈服点) 弹性模量 延伸率(以 $L=250\text{mm}$ 测定) 松弛率 反复弯曲数(弯曲半径=17.5mm) 直线性($L=30\text{m}$) 锌层单位质量 锌纯度 在 $D=3d$ 的心轴上绕 8 圈 在 $D=5d$ 的心轴上绕 2 圈 以长度为 $100d$ 进行扭转次数 硫酸铜溶液检查				$>1\ 600\text{MPa}$ $>1\ 180\text{MPa}$ $200\ 000\pm 10\ 000\text{MPa}$ $>4.0\%$ 2.5% >3 次 无弯折、无弯曲、无波纹 $\geq 300\text{g/m}^3$ $\geq 99.95\%$ 无任何损坏、无裂纹 无锌皮脱落 >10 次 浸渍一分钟,表面不产生挂铜现象,重复 5 次		
四、外观质量	钢丝全长表面光滑均匀,无痕点、裂纹、毛刺、机械损伤、油迹及有害杂物附着。 矫直回火钢丝的伸直性:取弦长为 1m 的钢丝,其弦与弧的最大自然矢高不大于 20mm。						

3.1.3 锚具用钢材

满足使用要求的材料特性以 GB 5676—85 中 ZG 310—570 (原 45 号钢) 为例列于表 2。

ZG310—570 铸钢(原 45 号钢)的主要技术指标 表 2

一、化学成份 元素的最高含量 (%)	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mg	V
	0.50	0.60	0.90	0.04	0.04	0.30	0.35	0.30	0.20	0.05
	其中: Ni、Cr、Cu、Mg、Vr 的总量不得超过 1.00%									
二、机械性能	屈服强度 σ_s					310 MPa				
	抗拉强度 σ_b					570 MPa				
	延伸率 δ					15%				
	面积缩减率 Ψ					21%				
	冲击韧性 α_k					300 kJ/m ²				
	冲击吸收功 A_k					15 J				

3.1.4 拉索防护材料

拉索因防腐措施不当将影响斜拉桥的使用寿命,因此对拉索的防腐是十分重要的。国外常见的防腐措施有涂料、卷带、套管及塑料缠绕等,国内已建成的斜拉桥的拉索防腐方法有:多层玻璃纤维缠绕加涂沥青或环氧树脂形成玻璃钢外壳(如上海泖港大桥,三台涪江桥);钢套管,其内压注水泥浆,但在套管内的索表面先用多层玻璃纤维缠绕加沥青膏及聚氨脂橡胶,钢套筒外涂防锈漆;高密度聚乙烯套管(PE管)内压注水泥浆(如天津永和桥);PE管内压水泥浆,其外再缠包环氧树脂玻璃纤维布形成玻璃钢外壳(如上海恒丰北路桥、广州海印大桥);热挤压高密度聚乙烯套管(如东营黄河桥、郧阳汉江桥、武汉长江二桥、犍为岷江桥、蚌埠大桥、凤台大桥、九江大桥、桐子林大桥、淮阳1号桥等);亦有在热挤压前对索表面进行铝粉及锌的金属喷涂(如湘江北大桥)或先用聚脂带缠包后进行热挤压PE管(如上海南浦大桥及杨浦大桥)。目前最常用的及较有效的防腐方法为热挤压高密度聚乙烯套管,成本低,防腐效果好。

对热挤防护工艺所采用的聚乙烯(PE)材料,其材料老化年限不宜低于30年。现一般采用掺碳黑及其它防老化助剂的电缆用PE料。这类材料,国内外均有产品出售。对PE料的性能应符合《斜拉桥热挤聚乙烯拉索技术条件》(JT/T6-94)要求。

3.2 结构型式

3.2.1 斜拉桥基本体系

斜拉桥具有大的跨越能力,可减少水中桥墩及深水基础,一般讲,总体布局时从经济角度考虑,宜优先选用独塔方案,亦可根据地形、跨径的需要等各种因素选用双塔及多塔方案。

斜拉桥按力学性能区分:

飘浮体系 在塔、墩固结时,采用这种体系能减少混凝土徐变影响,抗震消能,因此地震烈度较高地区可考虑选择这类体系,以增长结构的固有周期。为形成这种纵向能摆动的飘浮体系,索在竖

直面内的布置应为辐射型或扇型。通常为减少塔根处梁的无索区的正弯矩,可在塔下设置竖直索,使梁在该处有一弹性支承点或在塔的横撑处设竖向支座以形成半飘浮体系。

支承体系 在塔、墩固结时,桥塔处梁下设置支座将形成上述半飘浮体系;在塔、梁固结时桥塔处梁下设置支座时将形成全支承体系,这时支座的承载能力将十分庞大,故一般仅用于小跨径斜拉桥。而对于大跨径斜拉桥,由于上部结构反力过大,支座构造复杂,制作困难,且动力特性不理想,于抗风、抗震不利,故不宜采用。

塔、梁、墩固结体系 采用这种体系,能克服上述大吨位支座的制造困难并提供稳定的施工条件,但其动力性能差,尤其在窄桥情况下,因此在地震区及风荷载较大的地区采用此种体系时要进行认真的动力分析研究。为克服体系温度应力的影响,双塔情况下,通常在中跨设挂孔或铰,但于养护及行车舒适不利,故宜用于独塔斜拉桥的设计中。

辅助墩在边孔高度不大及不影响通航的情况下的布置对改善结构受力状态,增加施工期安全均是十分有利的。同时,辅助墩受压时减少边跨主梁弯矩,受拉时减少中跨主梁弯矩及挠度,从而大大提高了全桥刚度。通常情况下,辅助墩的位置由跨中挠度影响线确定,同时亦要兼顾索距及施工需要,辅助墩的个数应综合考虑技术需要和全桥的整体经济效益。

3.2.2 结构型式及总体尺寸拟定

双塔斜拉桥边跨与中跨的跨比,一般而言,从简化设计、方便施工考虑,通常均对称布置,但两边跨亦可以不等。当跨比为 0.5 时,可对称悬臂施工至跨中合拢,但考虑在施工时长悬臂的稳定性及为提高成桥后的刚度,很多情况下跨比大多取小于 0.5,以使中跨有一段悬拼是在有后锚的情况下进行。大跨度斜拉桥为减小中跨中挠度而采用较小的跨比,对提高全桥刚度是有利的。所以一般情况下对双塔斜拉桥边跨与中跨比定为 0.35~0.50。

特殊的地形条件下,边跨与中跨比可更小,如郧阳汉江桥的边跨与中跨比仅为 0.203,边跨两端设置重力式平衡桥台,将部份

拉索以地锚方式锚固于重力式桥台中。

独塔斜拉桥塔两侧的跨比更多的是要看地基条件和地形情况来选择,各种比例都可以出现。独塔两侧不对称布跨时,要注意悬臂端部的压重及锚固,构造上会复杂一些。

塔的横桥向型式,单柱式通常用于单索面斜拉桥中,如重庆石门桥;广州海印大桥;长沙湘江北大桥……等。而门式塔则用于平行双索面斜拉桥中,如南浦大桥、东营及济南黄河大桥、武汉长江二桥……等。A型、倒Y型及菱形塔则将形成空间双斜索面,除对主梁提供横向预应力外还大大提高了梁及塔的抗扭刚度,改善全桥的动力特性,有利于抗风、抗地震,目前已建桥中采用这类型的有:杨浦大桥、郧阳汉江大桥、三原清河新龙桥……等。

通常在经济及施工可能的情况下,选用塔高与跨径的比例以高值为宜,因为这将导致拉索用量的降低及减小中跨挠度,但在特大跨径中单以提高塔身高度来取得全桥刚度是不经济的,而采用加强边索及地锚的方式是较好的选择,此时塔高与主跨的比值宜选用低值。

国内已建斜拉桥的塔高与主跨之比可参见表4。

随着斜拉桥的发展,为方便施工、减少风振危险等原因,将拉索的布置从疏索型向密索型发展,使得主梁的高度不断降低,国内斜拉桥的梁高与跨度之比已从约1/50发展到1/216(铜陵大桥),参见表4。由于主梁梁高减小,目前主梁断面已由过去的箱式断面逐步演变到梁板式断面,这种板式断面对抗风及节省材料等方面都是十分有利的,现将国内外几座典型的大跨、低梁的高跨比列于表3,供参考。

斜拉桥梁高与跨径比

表3

混凝土斜拉桥			
桥名	梁高(m)	主跨径(m)	高跨比
铜陵长江大桥	2.0~2.13	432	1/216~1/203
挪威 Helgeland 桥	1.2	425	1/354

续上表

混凝土斜拉桥

桥 名	梁高(m)	主跨径(m)	高 跨 比
美国 Dame Point 桥	1.52	396	1/261
加拿大 Alrt 桥	1.12	339.9	1/304
美国 Talmadbg 桥	1.37	335.3	1/245

钢结合梁斜拉桥

杨浦大桥	2.96	602	1/203
加拿大 Annacis 桥	2.315	465	1/201
南浦大桥	2.36	423	1/179

国内斜拉桥主要尺寸及参数

表 4

编 号	塔型及 索 型	桥 名	主跨 L (m)	梁高 h (m)	梁宽 B (m)	塔高 H (m)	梁上 标准 索距 (m)	梁高 跨比 h/L	塔高 跨比 H/L
1	独 塔 单索面	上海恒丰北路桥	77	1.50	24.1	49.97	4.5	1/51	1/1.54
2		重庆石门大桥	230	4.00	25.5	113.0	7.5	1/57.5	1/2.04
3	独 塔 双索面	上虞章镇桥	72	2.10	12.7	32.31	9.0	1/34.3	1/2.24
4		广西西樵大桥	125	2.08	20.42	48.20	8.0	1/60.1	1/2.59
5		桐子林大桥	120	2.50	13.10	51.60	9.0	1/48	1/2.33
6		淮阴运河一号桥	90	1.90	17.00	46.00	10.0	1/47.4	1/1.96
7		广东九江大桥	160	2.50	18.90	77.50	8.0	1/64	1/2.06
8		珠海横琴大桥	120	2.20	35.40	59.80	6.0	1/54.5	1/2.00
9	双 塔 单索面	长沙湘江北大桥	210	3.40	30.10	53.72	6.2	1/61.8	1/3.91
10		广州海印大桥	175	3.00	35.00	57.40	5.0	1/58.3	1/3.05

续上表

编号	塔型及索型	桥名	主跨 L (m)	梁高 h (m)	梁宽 B (m)	塔高 H (m)	梁上标准索距 (m)	梁高跨比 h/L	塔高跨比 H/L
11	双塔 双索面	上海泖港大桥	200	2.20	12.50	44.00	6.5	1/90.9	1/4.55
12		天津永和大桥	260	2.00	13.60	52.00	11.6	1/130	1/5.00
13		济南黄河大桥	220	2.75	19.50	51.27	8.0	1/80	1/4.29
14		东营黄河大桥	288	2.40	19.50	57.00	12.0	1/120	1/5.05
15		蚌埠淮河大桥	224	2.50	21.10	53.75	8.0	1/89.6	1/4.17
16		辽宁长兴岛大桥	176	1.75	10.50	40.77	6.0	1/101	1/4.32
17		键为岷江大桥	240	2.40	14.10	57.00	8.0	1/100	1/4.21
18		武汉长江公路大桥	400	3.00	29.40	91.00	8.0	1/133	1/4.40
19		郧阳汉江大桥	414	2.00	15.60	90.42	8.0	1/207	1/4.60
20		上海南浦大桥	423	2.36	30.25	105.00	9.0	1/179	1/4.03
21	双塔 双索面	上海杨浦大桥	602	2.96	30.25	144.00	9.0	1/203	1/4.18
22		安徽铜陵大桥	432	2.00	23.00	104.50	8.0	1/216	1/4.13

主梁截面应按经济要求及使用荷载下的应力要求来选用,对大跨径斜拉桥,截面选择尤其要考虑风振问题,然后根据拉索的布置及施工方法来正确选用截面型式,一般讲,单索面斜拉桥的主梁应有较强的抗扭刚度,以选用整体箱梁为好。

拉索在竖直平面内的布置,以辐射型最省材料,但在塔顶将众多的斜拉索锚于塔顶的构造无疑十分复杂,给施工及养护带来困难,竖琴型由于拉索倾角完全一致,构造简单,施工便利,但无法形成飘浮体系,于抗风抗震不利,且难于控制中跨挠度。扇型介于上述二型之间,可根据实际情况加以选用。

拉索索距的选择,从早期疏索体系发展到现在的密索体系是受施工条件,如起吊能力、张拉吨位等的影响,而且由于采用密索体系,主梁梁高在不断减小直至使高宽比例近于薄板,这不仅取得了较好的经济效益,亦大大改善结构的动力特征,提高结构的抗风抗震能力。以往国内已建成或正在建设的斜拉桥索距参见表4。

3.3 容许变形

3.3.1 根据交通部现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的要求,公路混凝土梁式桥的跨中最大竖向容许挠度为 $L/600$,参考了美国“斜拉桥设计施工暂行规定”及日本《公路桥规范同解说》III,“混凝土桥”第十四章“斜拉桥”的有关规定。本规范中将混凝土主梁的最大竖向容许挠度定为 $L/500$ 。而钢主梁跨中竖向最大容许挠度值在交通部《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)表 1.1.4 内的前二项是对中小跨径的,对大跨斜拉桥目前尚缺乏具体资料,故在参考了悬索桥的规定后,适当严格而将控制值定为 $L/400$ 。

4 设计荷载

4.1 一般规定

4.1.1 斜拉桥作为一种类型的公路桥梁,其作用荷载的分类与组合应与《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)的规定一致。

4.1.2 作用在斜拉桥上的荷载计算规定,基本上与《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)一致;本章只对超出规范的荷载计算予以规定,如汽车荷载、风力、日照温差等。

对于不同荷载组合,结构应有不同的安全储备,即安全系数应有所区别。同时,安全系数与材料性质和结构类型有关,故设计人员在使用中应分别根据上述原因参照公路桥涵各有关设计规范的规定取用安全系数值。

4.2 荷载计算

4.2.3 所谓拉索初拉力,即是安装拉索时对其所施加的张拉力。为了确定拉索初拉力,应考虑拉索施工结束时的内力状态。仅就主梁而言,在国内目前主要采用二种方法:即刚性支承连续梁法和控制截面应力法。

(1)刚性支承连续梁确定拉索初拉力,即把拉索与主梁锚固点作为刚性支点,在施工上做到主梁最终达到刚性支承连续梁的位置,即主梁的弹性支承点处于零位移状态。此时的竖向支点反力即为拉索初拉力的竖向分力。

(2)控制截面应力法确定拉索初拉力,一般指在斜拉桥施工阶段结束后,在恒、活载及拉索张拉力作用下主梁达到指定的应力值 σ ,这样一种状态作为确定初拉力的依据。如果采用一次张拉

法,初始拉力可按以下方法试算确定:

①确定计算初拉力的基本结构,假定试算值;

②计算拉索张力及应力影响系数,将初拉力 T_i 输入安装阶段程序进行计算,得出应力影响系数 γ_{ji} ,张拉第 i 号索时,在 j 截面所产生的应力 σ_{ji} 与张拉力 T_i 之比:

$$\gamma_{ji} = \frac{\sigma_{ji}}{T_i}$$

③计算出在恒载(不计初拉力影响)、预应力、活载等荷载作用下所产生的各断面应力 σ_{ij} 。

④建立以下平衡方程,见式(1)解出初拉力值 T_i 。

$$\begin{aligned} \gamma_{11}T_1 + \gamma_{12}T_2 + \gamma_{13}T_3 + \dots + \gamma_{1n}T_n + \sigma_1 &= \sigma \\ \gamma_{22}T_2 + \gamma_{23}T_3 + \dots + \gamma_{2n}T_n + \sigma_2 &= \sigma \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\ \gamma_{in}T_n + \sigma_n &= \sigma \end{aligned} \quad (1)$$

4.2.4 依靠张拉拉索施加调整力是斜拉桥所特有的,通过这种人为作用的张力,能够减少主梁、塔、桥墩的弯矩、剪力,并使其分布均匀。因此,有必要考虑全部结构体系,准确地求出拉索的调整力,并计入以下的影响因素:

(1)与包裹材料的摩擦,包括拉索与主梁、塔的锚固部位附近的包裹材料或管道的摩擦,以及与中间部位防锈所用的包裹材料的摩擦,这种摩擦的影响很大时,则应在确定调整力时予以考虑。

(2) 由于锚具的滑动会造成拉索拉力的减小, 对于螺纹和镦头锚固方式, 这个滑动损失很小, 可以忽略不计; 而对于楔块锚固方式, 因滑动损失比较大, 应予以考虑。

4.2.5 关于车辆荷载效应的折减问题,已完成了专题研究。交通部已批准将专题研究得来的纵横向折减系数纳入了《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)(1995年版),自1995年1月1日起施行。因此,本规范列出了修订后的汽车荷载折减规定,供设计人员参照使用。

4.2.6 我国《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)中关于风力

计算值的算法有时不适用于大跨径的桥梁,尤其是受台风影响地区,在施工中的大跨斜拉桥及悬索桥。关于大跨径桥梁的风力计算问题,我国开展的研究工作较晚,资料甚少。一些已建的特大桥梁一方面通过进行风洞试验,另一方面通过用我国、日本及英国等国家规范的风力计算值进行综合分析比较确定。所以,对于内陆地区或沿海地区一般跨径的斜拉桥的风力仍可参照我国现有规范确定。

另外,《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)中对斜拉桥索塔、拉索等构件的风载体型系数 K_2 值,我们通过综合分析国内外规范和专题研究成果,以及试算比较。提出了风载体型系数 K_2 值,索塔取 1.8,拉索为 0.7,其他构件为 1.3,供设计人员参照使用。

关于风压高度变化系数 K_3 ,根据目前我国斜拉桥索塔高度已达 200m 左右,本规范把风压高度变化系数换算到 200m,所用的换算公式(2)为:

$$K_3 = \left(\frac{H_2}{H_0} \right)^{2a} \quad (2)$$

式中: H_2 ——所求风压的高度(m);

H_0 ——设计风压的高度,采用 20m;

a ——与温度的垂直梯度和地面粗糙度有关的系数,一般为 $1/15 \sim 1/4$,常用 $1/7$ 。

4.2.7 在温度变化影响下,斜拉桥结构要产生变形。钢材导热性能好,对温度变化敏感,本规范按建桥地区的最高、最低气温采用。钢筋混凝土对温度变化的敏感性较差、导热慢,故按建桥地区的最高、最低月平均气温采用。我国多数地区最高月平均气温是七月,最低月平均气温是一月,所以可按七月和一月的月平均温度采用。

结构的温度变化,应从结构物合成时算起,设计时应按当地实际情况确定合拢温度。

斜拉桥结构除考虑在特定气候条件下的一般均匀温度的影响

力外,还必须考虑拉索与主梁或拉索与塔的温差,以及塔身左右侧温差、混凝土主梁桥面板与其它部分的日照温差。表 5 列出了日本、美国《斜拉桥设计施工暂行规定》中温差值及国内外一些已建大桥所采用的实际温差。通过综合分析比较,结合我国实际确定了本规范的设计温差。

美国、日本规范及一些已建桥梁的温差

表 5

项 目 名 称	体系温差	主梁上下 温 差	塔两侧温差	索梁温差
美国斜拉桥设计指南		$\pm 10^{\circ}\text{C}$		$10^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$
日本公路桥规范		$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$
美国 P-K 桥	$-30^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$	$\pm 6^{\circ}\text{C}$	$\pm 6^{\circ}\text{C}$	$\pm 15^{\circ}\text{C}$
MainII 桥				$\pm 7.5^{\circ}\text{C}$
湖北郧阳汉江桥	$+25^{\circ}\text{C}$ -15°C	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
武汉长江公路桥	$+20^{\circ}\text{C}$ -21.8°C	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
东营黄河桥	$\pm 20^{\circ}\text{C}$	5°C	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
天津永和桥	$\pm 16^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
犍为岷江大桥	$\pm 25^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
重庆石门大桥	$0^{\circ}\text{C}\sim 36^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 26^{\circ}\text{C}$
蚌埠、凤台桥	$\pm 20^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
济南黄河桥	$\pm 20^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
上海泖港大桥	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
长兴岛斜拉桥	-35°C $+25^{\circ}\text{C}$			$\pm 10^{\circ}\text{C}$
四川桐子林大桥	$\pm 20^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
红水河铁路桥	$0\sim 40^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
淮阴一号桥	$+42^{\circ}\text{C}$ -18°C	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	未考虑
上海恒丰北路桥	$+20^{\circ}\text{C}$	$+10^{\circ}\text{C}$	$+10^{\circ}\text{C}$	$+10^{\circ}\text{C}$
安徽铜陵大桥			$\pm 5^{\circ}\text{C}$	

4.3 拉索及锚具的安全系数

4.3.1 拉索容许应力取值过大或过小都是不安全的,取值过大会加大拉索的直径和自重,从而使拉索的垂度增大,表现出弹性模量降低,二次应力加大。因此,容许应力定得过低不一定能增大结构安全性。表6列出了日本、美国、德国的标准规范中关于拉索容

各国及一些具体桥梁的缆索设计标准

表 6

项 目 分 类	容 许 应 力	安 全 率	疲 劳 验 算
日本公路桥规范	保证破断力的 45%	2.5	—
美国土木工程师协会 (ASCE) (1990)	不超过缆索极限保证 强度 45% (GuTS)	≈ 2.2 (用 HIAm 时)	采用 ASHTTO 规范
本州、四国联络桥公 团标准(草案)(1978)	$[\sigma_s] = 627.2 \text{ MPa}$	2.5	$\text{钢丝: } \sigma_{fal} = \frac{30}{1-K}$ $\text{缆索锚固部位: } \sigma_{fali} = \frac{15}{1-K}$ 在容许应力以下: $K = \frac{\text{最低应力}}{\text{最高应力}}$
原西德工业标准 (DIN1073 25) (1974)	$\sigma_H = 0.45\beta_N$ 或 $\sigma_H = 0.67\beta_{0.2}$ $\sigma_{HZ} = 0.5\beta_N$ 或 $\sigma_{HN} = 0.75\beta_{0.2}$ $H = \text{主荷载}$ $Z = \text{附加荷载}$ $\beta_{0.2}$: 钢丝的 延伸率为 0.2% 时的 极限强度 $\sigma_s = 705.6 \text{ MPa}$	≈ 2.2	$K < 1.18 - \frac{62.09}{\beta_N} \text{ 时}$ $\sigma_{fa} = \frac{25}{1 - 0.895}$ $K \geq 1.18 - \frac{62.09}{\beta_N} \text{ 时}$ $\sigma_{fa} = 0.45\beta_N$ $= 705.6 \text{ MPa}$ $K = \frac{\text{最低应力}}{\text{最高应力}}$ $\sigma_s = \text{容许应力}$
阿根廷 (Zarate/Parara 桥)	—	2.05(一般) 1.82(异常时)	$K < 0.736 \text{ 时,}$ $\sigma_{fa} = \frac{25}{1 - 0.884K}$ $K \geq 0.736 \text{ 时, } \sigma_{fa} = \sigma_s$
原南斯拉夫 (Save 桥 1979)	按原西德工业标 准(DIN)1073	2.2	按原西德工业标准 (DIN)1073

续上表

项 目 分 类	容 许 应 力	安 全 率	疲 劳 验 算
Maracaibo 桥	460MPa	3.2	431.2~460.6MPa
Brotonne 桥	740.9MPa	2.4	78.4MPa
Main II 桥	548.8MPa	2.4	—
P-K 桥	$(0.456\sigma_u)=705.6\text{MPa}$	2.2	548.8~705.6MPa
Neckar 人行桥	735MPa	2.4	74.38MPa
Danube 运河桥	—	2.4	—
松山桥	$(0.42\sigma_u)$ $=493.9\text{MPa}$	2.4	—
并木大桥	—	2.4	—
小本·川桥	—	1.7	—
上海泖港大桥	—	3.0	—
上海南浦大桥	—	≈ 2.5	—
蚌埠淮河桥及凤台桥	—	日本进口索 2.0	—
铜陵大桥	—	2.5	—
天津永和大桥	$0.4\sigma_b$	2.5	—

许应力和安全系数的规定,以及国内外一些已建斜拉桥所采用的设计值。从中可以看出随着高强钢丝或钢绞线的强度及质量的提高,美国、德国等国家规定的容许应力较高;日本修建的预应力混凝土斜拉桥不多,跨径不大,且拉索多采用平行钢丝束。现行日本公路桥梁设计规范中规定拉索的安全系数取 2.5。我国目前已建斜拉桥用拉索材料既有进口的,又有国产的,质量有所差异。所采用的安全系数多在 2.5 左右,具有其合理性。因此,本规范确定斜拉桥拉索的安全系数为 2.5,即容许应力不超过拉索所用钢材的标准强度的 40%。

4.3.3 由于下述原因,在拉索锚具内会产生二次应力:

- (1) 由于制造、架设误差而在锚固部位产生角度误差;
- (2) 由于拉索拉力的变化使其垂度改变,从而使锚固部位的

角度发生变化；

(3) 由于主梁及索塔的变形,使锚固部位角度发生变化；

(4) 伴随风力有车辆行驶时的振动而产生的应力变动。

再加上受力的复杂性和计算的近似性,因此,在实际设计使用中,应通过认真研究、试验、选用安全的锚具,切实保证锚具的各项技术指标满足要求。

5 计算规定

5.1 结构计算

5.1.1 结构计算图示的规定

5.1.1.1 斜拉桥为高次超静定结构,现由计算机完成其结构分析工作。现在有许多种结构分析程序,在应用时,应根据程序要求,拟定结构计算图示。这里强调了计算图式的正确性。

5.1.1.2 这里对计算简图中应考虑的因素提出要求。计算简图应按不同的施工阶段拟定,并考虑该施工阶段作用的所有荷载。这里仅提示了一些主要荷载。对收缩、徐变、温度等影响,按各阶段计算是非常繁复的,特别是温度变化影响,在设计时不可能确定施工时的温度,故一般在安装阶段可不考虑,仅在结构形成后一次性考虑其影响。

5.1.2 结构计算的一般规定

5.1.2.1 这里对计算原则的规定是为设计者提出一个基本设计要求。现已有较成熟的结构分析程序供设计者使用,对未经验证的程序,应慎重使用或不予使用。

根据许多桥的计算分析比较和一些资料介绍,对跨径小于200m的混凝土斜拉桥可不考虑结构的非线性影响。而对跨径大于200m的斜拉桥应予考虑。对主梁较柔的钢斜拉桥应注意非线性对结构的影响。天津永和桥(双塔260m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(400m混凝土斜拉桥),最大值差为15%~18%,一般为10%左右。对大跨径斜拉桥,其影响可大达30%左右。

斜拉桥是一空间结构体系,对宽跨比较小的小桥,可将空

间结构简化为平面结构图示计算。但对宽桥,宜进行空间分析。

拉索垂度对结构的非线性影响较大,故在这里规定,不论跨径大小,均应考虑这项修正。从拉索换算弹性模量公式中可看出,修正值与拉索的应力有关。因此,对拉索的使用应力不能过低,以降低它对结构的非线性影响。

5.1.2.2 初拉力的确定是斜拉桥设计中比较繁复的一项计算工作,要通过多次试算、调整才能取得较满意的成果。希望主梁及索塔在各个受力阶段中能满足设计要求,并有较小的弯矩。对拉索索力的均匀性,一方面是拉索索力在各受力阶段的应力变化幅度不要过大;再一方面是对拉索规格的调整,使规格减少。

5.1.3 该公式是柔性索的弹性模量换算公式。柔性索有一定垂度,索是曲线状,是非线性问题。这里是将索视为一直线杆件,采用换算弹性模量,近似使非线性问题线性化。在设计中,换算弹性模量是随索力大小而变化。

5.1.4 空间结构简化为平面结构的计算,其思路是按活载横向分布计算的方法处理。斜拉桥结构较柔,拉索的布置形式,主梁抗扭刚度都有影响,故在取用荷载增大系数时应综合考虑。

5.1.5 混凝土收缩徐变的计算虽做了不少试验和研究工作,但由于施工条件、材料特性变化等因素,很难准确计算,故这里仍推荐按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)有关规定执行,但对其它可靠方法也不排除。

5.1.6 该条规定了考虑温度影响力的各个项目。其荷载组合按有关公路设计规范规定办理。

在确定温度计算参数和建立温度计算模型时,应考虑结构材料,结构特点,温度场等因素。对混凝土斜拉桥、钢斜拉桥、结合梁斜拉桥应分别对待。

5.1.7 墩、塔、梁承受巨大的轴力和弯矩,在施工阶段或营运阶段可能出现失稳现象。对于钢筋混凝土结构有可能出现开裂而降低结构刚度,计算中应考虑这些影响因素。拉索弹性扶正力有利于提高结构的稳定性,但在计算上是比较困难的。

结构稳定可采用空间结构的有限元方法取得较为精确的解,也可用一些简化方法计算。简化方法精度较差,有时差别还较大。

结构稳定安全系数取值是参照拱桥的稳定安全系数取用。

5.1.9 抗震分析遵照《公路抗震设计规范》(JTJ004-89)执行,但该规范只适应跨径在150m以下桥梁的抗震计算,宜参照执行,也可采用其它可靠方法计算。

现已有一些程序可进行桥梁抗震分析,常采用地震谱或时程分析来进行结构抗震计算,最好采用当地地震台站的地震谱,国内有的也采用唐山地震谱来进行地震分析。

5.2 施工阶段验算及施工控制

5.2.1 施工阶段的划分及阶段计算的规定

5.2.1.1 我国已建成的斜拉桥,多数采用挂篮悬臂现浇或预制块件安装的施工方法。对宽浅河床或旱桥也有采用搭架施工或平转施工。对设计阶段来说,应根据桥址的地形,地质及水文情况,考虑现有的施工水平及施工设备,选择切实可行的施工方法,使选择的方法能达到技术先进、经济合理的目的。否则,发现施工方法选择不当,必须进行修改,则势必造成多花费人力、物力及时间,延误建设工期。

由斜拉桥的结构特性决定,全桥完成后的应力状态与施工过程有关,因此设计计算阶段不应遗漏主要施工阶段,否则造成施工完成后的结构实际应力状态与设计不符,形成永久性的结构不安全工作状态。

5.2.1.2 如上条说明所述,斜拉桥成桥的应力状态与施工过程有关,因此进行设计计算时,必须使各阶段的计算简图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。

为准确的控制整个施工过程,应将各施工阶段出现的荷载不遗漏地纳入计算,同时将各阶段产生的内力、应力、索力及位移等计算结果列出,以便在施工过程中进行检测核对,指导施工。

关于施工过程中因温度变化而对结构产生的影响问题,根据

调查意见,认为如果在施工过程中考虑此项影响,除增加大量计算工作外,又不易符合实际情况,因此本条文未予考虑。在进行工期安排时,如能将主梁和拉索安装工期安排在接近设计的标准温度,且气温变化又不大的季节内进行,则可减少温度变化对结构内力的影响。

5.2.1.3 本条文的规定,使本规范与现行桥规的规定一致。

5.2.2.1 国内建成的斜拉桥,一般是在索塔混凝土浇筑完成后,再进行主梁施工。完工后的索塔高耸而细长,且无风缆稳定,应验算在顺桥向风力作用下结构的受力情况。

5.2.2.2 当主梁及拉索安装进行至边跨或中跨合拢前,主梁达到最大悬臂长度,在这种状态下,当索塔两侧有不平衡横向内力作用时,结构处于不利的受力状态,应分为两种状态进行验算。

(1)结构承受横向风力的作用,按空间结构进行分析计算。

(2)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,结构体系按平面杆系进行计算。

对于斜拉桥在施工阶段或成桥状态的抗风稳定,国内各有关单位进行了大量的风洞试验研究,结果表明,当主梁截面外形选择合理时,应能取得较高的临界风速值(主梁产生颤振的风速),这种风速一般是不易出现的,根据这项研究成果及已成桥的实际计算经验,本条文将升举力作为静荷载处理。

由于我国现行桥规对施工过程中,桥梁结构的抗风计算尚无明确的规定,因此本条文对上述第二种状态的抗风验算方法,系参考国内外某些已成桥采用的计算方法及有关规范条文而提出的,其计算方法见附录A。计算式中的升举系数 C_L ,尚未见到国内有关此项系数的统计资料,因此本规范采用了国外有关规范数据,作为初设或估算时使用。如需准确计算,应通过风洞试验确定。今后,国内有了此系数的系统试验资料时,可对本规范 C_L 值进行修正。

本条文除考虑风力造成的不平衡竖向荷载外,还考虑了不平

衡的施工荷载,即考虑使结构处于最不利的不平衡状态。附图 A-1 中的 W_2 即为此不平衡的施工荷载,对于悬拼主梁预制块件的施工方法,主梁两悬臂端的块件不可能很准确地同时安装,即两端相差一个块件,所以 W_2 取一个块件的重量。意外情况时,一端块件突然坠落,产生冲击荷载,因此乘以冲击系数 2。

本条文所列的两种验算状态,第二种状态对桥梁结构易造成直接危害,在施工过程中应注意预防,因此要求必须进行此项验算。

5.2.3 预拱度按通常规定设置,但由于斜拉桥一般具有较大的跨径,桥轴纵面设计不仅影响桥梁外形美观,且对使用功能也有较大影响。根据某些已建成的预应力混凝土桥的经验,混凝土收缩徐变对桥梁挠度有一定影响,因此本条文规定应计入此项影响,不应漏计。经验表明,如果已建成的斜拉桥存在因施工控制不当而形成的凹形纵面,要进行纠正是十分困难的。设计合理的桥轴纵面曲线是很重要的,在实桥具体条件允许的前提下,将桥轴设计成具有一定坡度的凸形曲线,可避免因施工不当而形成的凹形纵面。

5.2.4 施工控制

5.2.4.1 由于实际条件限制,往往可能出现施工部门拟定的施工方案与设计有不相符合的情况,而这些变化均可影响结构内力的变化。故在此强调当出现这类问题时,应征得设计部门同意,重新计算调整后方能施工,以使成桥后,桥梁的工作状态与设计预期的目标相符。

5.2.4.2 施工控制通常是指对拉索张拉力的控制调整与主梁标高的控制,以实现结构在内力及外形上达到设计预期值。这里列举了主要影响结构内力及主梁标高的因素,以利对实际问题的分析。

在许多桥的施工中,单纯控制索力或标高是片面的,但实施时很难做到二者的同时控制。国内有的桥由于控制不好,造成桥面的明显的 S 形曲线,影响了桥的美观和使用。

由于斜拉桥是分阶段形成,再加之结构轻柔,故对施工、材料、

荷载、温度等影响非常敏感,各阶段施工误差的积累较难判断,在量值上有时是不容忽视的。因而,对大跨径斜拉桥应加强施工控制。

施工控制是一个系统工程。它主要包括二个部分,一部分是数据采集系统,即在桥上埋设各类传感器和设置监控系统,采集数据。再一个是数据分析处理系统,将采集到的数据进行分析处理,以确定下一个施工阶段参数。

桥梁施工控制技术是目前国内外所研究的一个问题,在国内许多桥上也在实施。设计及施工人员必须要有清醒的认识。

在实桥施工中,许多桥上对张拉索力的控制是采用千斤顶张拉,油压表控制读数。由于千斤顶内摩阻的不断变化,油压表在高压下读数指针的抖动,都会造成张拉力的误差。在施工时应经常进行校正。

对已成索索力的测量,可采用长效测力传感器测索力,其结果准确,但成本较高。频率振动法测索力,应注意索的边界条件对测力的影响。

为克服张拉索力的误差,推荐采用附测力传感器的千斤顶张拉系统,该系统测力精度可达5‰。

5.3 空气动力稳定性

5.3.1 斜拉桥设计时,应重视结构动力问题,但不是所有的斜拉桥都要求进行动力分析,而是应根据桥梁的重要性、跨径的大小及桥址处的风速情况来确定。必要时还可能做风洞试验,检验结构的风稳定性。

5.3.2 保证斜拉桥的空气动力稳定性应是提高其临界风速。根据国外资料介绍,只要临界风速 $v_{cp} > 60\text{m/s}$ 或 216km/h ,就不必考虑空气力稳定问题。本条给临界风速规定了一个界限,应不小于结构设计风速的1.2~1.5倍,如果满足这一条件,结构的空气动力稳定是不会有大的问题。

5.3.3 结构体系的抗风稳定性,在施工阶段是处于稳定不利状

态,除按本规范第 5.2.2 条进行抗风验算外,安排工期时应避开台风、飓风季节。

5.3.4 提高结构风稳定性的措施是根据国外的资料及国内的经验而选定的,每个桥都有不同的跨径、桥宽及梁高,所处的地理位置也不同,要求也不相同。应根据每个桥的具体要求而采用相应的措施。

5.4 拉索设计

5.4.1 拉索设计应符合《斜拉桥热挤聚乙烯拉索技术条件》(JT/T6—94)要求。成品拉索必须进行检验,超张力取 1.2~1.4 倍设计索力,对大直径拉索取低值。冷铸锚锚板内缩值一般不大于 5mm。

5.4.2 拉索强度本规范 3.3.1 条规定 $[\sigma] \leq 0.4R^b$, 也就是说拉索的强度安全系数应大于等于 2.5,这是指营运阶段,而施工阶段时,有些已用到 2.1~2.2。

拉索的 $\sigma_{\max} = [\sigma]$,只要控制好应力变化幅度,使其不超过 200MPa,使 $\rho = 0.72$ 左右,通过 200 万次的应力反复是没问题的,国内、国外大量的试验数据都证明了这一点。

5.4.3 拉索在设计温度时的无应力下料长度计算公式(3)及计算简图 1 如下:

$$L = L_0 - \Delta L_e + \Delta L_f + \Delta L_{ML} + \Delta L_{MD} + 2L_D + 3d \quad (3)$$

该式适用于冷铸锚。

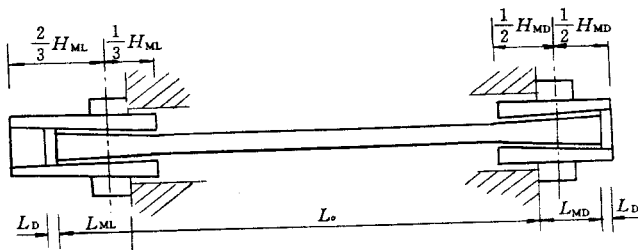


图 1 索长计算

式中： L ——拉索下料长度；

L_0 ——每根拉索的长度基数，是该拉索上下两个索孔出口处在拉索张拉完成后锚固面的空间距离；

ΔL_e ——初拉力作用下拉索弹性伸长修正；

ΔL_f ——初拉力作用下拉索垂度修正；

ΔL_{ML} ——张拉端锚具位置修正；如图 1 所示。最终位置可设定螺母定位于锚杯的前 $1/3$ 处；

ΔL_{MD} ——锚固端锚具位置修正；如图 1 所示。可设定螺母定位于锚杯的 $1/2$ 处；

L_D ——锚固板厚度；

$3d$ ——拉索两端所需的钢丝镦头长度， d 为钢丝直径。

温度修正及应力下料修正可根据具体情况考虑。

对于采用拉丝式锚具，不计入镦头长度，而要加上满足张拉千斤顶工作所需的拉索操作长度 ΔL_s 。则式(3)变为下式(4)：

$$L = L_0 - \Delta L_e + \Delta L_f + \Delta L_{ML} + \Delta L_{MD} + 2L_D + \Delta L_s \quad (4)$$

弹性伸长量和垂度修正值可分别按下式(5)、(6)计算：

$$\Delta L_e = L_e \frac{\sigma}{E} \quad (5)$$

$$\Delta L_f = \frac{W^2 L_x^2 L_0}{24T^2} \quad (6)$$

式中： σ ——拉索设计应力；

E ——拉索弹性模量；

T ——拉索设计拉力；

L_0 ——拉索长度基数；

L_x —— L_0 的水平投影；

W ——拉索每单位长度质量。

6 构造要求

6.1 主 梁

6.1.1 本规范为《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)和《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)的补充,故主梁截面各部分尺寸应满足上述规范的要求,从而在构造上保证结构具有一定的刚度及长期使用中不致变形过大,满足钢筋混凝土梁、预应力混凝土梁及钢梁的设计与施工要求。

6.1.2 主梁联结系的设置与构造

6.1.2.1 主梁横向联结系采用横隔板(梁),是使主梁成为空间整体结构的重要构造,它能增加主梁的抗扭、抗剪刚度,与主梁连成一体增加截面横向刚度,提高整体性能。对箱形截面从受力角度分析,中间横隔板对纵向应力和横向弯矩的分布影响很小,可以减少或不设置中间横隔板,但为局部加强腹板也可以采用斜撑形式,形成横向刚架。对钢板梁、钢桁架主梁除设置横向联系外,为了更好地分布与传递荷载,保证横向刚度,还应在横向联结系间增设纵向联结系。

在拉索与主梁的锚固区,局部应力集中,受力复杂,为使拉索的拉力能较好地传递于主梁,必须设置较大刚度的横向联结系。此外,还需根据主梁的横向刚度和桥面板的跨径及索距大小适当加密布置。

对于稀索布置或宽桥及扁平的梁板式截面,其横向弯矩比较大,须经检算并适当增加横隔板(梁)。

6.1.2.2 在支座处的横隔板(梁)要承受和分布很大的支承反

力,因此横隔板(梁)应有足够的刚度及强度。可采取增加混凝土板厚度施加预应力或设置加劲板等措施予以加强,横隔板预留孔的顶节点角隅处法向应力分布与其内折角有关,内折角做的愈平缓转角处应力也愈小,为缓和应力集中现象须设承托并在斜方向上加强配筋。

6.1.2.3 施加预应力的横隔板(梁)厚度,要满足构件端部锚下垫板的最小构造和排列尺寸,主要由管道的直径、锚箱板及配套千斤顶等张拉锚固体系的构造尺寸决定,本条规定的横隔板厚度和马蹄部分宽度,系参照预应力混凝土 T 形梁横截面的最小尺寸后提出。

6.1.3 拉索在梁上的锚固方式与锚固区构造

6.1.3.1 拉索在主梁上应有锚固实体构造,否则将无法进行锚固,尤其对混凝土与预应力混凝土斜拉桥,通过刚度很大的实体构造将该处复杂的空间受力进行分散,获得微小的变形和应力。另外因为锚固点作用着强大的集中力,在主梁的一定范围内产生局部应力,在锚固区还同时受有弯曲力矩和剪力,应力状况十分复杂,绝不可忽视。宜将锚固区段内的构件截面加大,并为拉索通过及锚碇设置穿索管道及锚下垫板。

在锚固区,应加强箍筋及纵向钢筋的配置,并在锚下设置多层钢筋网或采取其它措施,以承受和分散锚下局部应力。

锚下钢垫板厚度须根据张拉吨位及锚具型式等确定。在垫板下反力图形简化为等效均布反力,要求压力分布的扩散角为 45° 时,垫板尺寸应有相应的要求,本条文提出不宜小于 16mm,系参考《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的最小垫板厚度。

6.1.3.2 钢锚箱在制作时应保证尺寸准确,在与拉索通过的管道一起安装时应保证空间位置的准确性,使安装完成后,管道中线与拉索中线相一致,锚板端面与拉索中线相垂直。

锚箱厚度不宜太薄,避免钢板因焊接热应力产生翘曲变形,一般不宜用 10mm 以下的钢板。

6.1.4 分段拼装的混凝土主梁的端面设计成企口缝形式,能提高结构的抗剪能力,在端面设有对位榫(键),为悬拼对位提供方便。置放定位预埋件能迅速就位进行拼装,提高安装工作的准确性。

主梁接缝采用胶接缝时,必须保证胶接缝接触面平整光洁,两相邻节段互相密贴、角度符合设计要求,接缝处不允许透水,避免钢束遇水锈蚀,导致结构失去承载能力而遭破坏。

钢主梁节段连接宜采用高强螺栓连接,螺栓的排列应与构件轴线对称,防止因偏心产生附加应力,要求所有螺栓孔对齐居中,即打入冲钉,旋拧高强螺栓。

高强螺栓孔应采用钻成孔,高强螺栓连接的孔径,对螺栓公称直径的要求,螺栓中心间距,中心至构件边缘的最大、最小容许距离等构造要求,须参考钢结构设计的有关规范。

6.1.5 主梁合拢段在施工过程中,由于温度变化,新浇混凝土早期收缩,已完成结构部分的混凝土收缩与徐变,结构体系变化以及施工荷载等因素,在合拢过程中要承受轴力、弯矩和剪力,并要克服温度力影响防止混凝土开裂,所以必须采取加强措施来保证结构的连续,保持两侧梁体变形协调。

合拢段要尽快完成并尽早达到设计强度,并要有一定的施工作业面,一般合拢段长度为1.5~3.0m。可采用劲性型钢或劲性钢管做为预应力筋套管并施加预应力等方式作为临时固结措施。

钢主梁合拢与混凝土斜拉桥合拢的不同区别是,确定合拢段梁长和选择一天内最佳的合拢时间,这是由于钢梁具有较大的传热性,很快吸收周围空气中的温度,而且温度变形对合拢长度影响非常敏感,所以,应正确选择合拢温度及满足钢梁安装就位时,高强螺栓定位所需的时间。并应进行温度变形观测,为修正设计合拢温度提供科学依据。

6.1.7 桥面铺装采用沥青混凝土材料,是因为它易于重新铺筑,当沥青混凝土发生裂缝和产生剥落危及桥面板,须刨挖清理和重新铺筑更换桥面时,沥青混凝土材料就较水泥混凝土材料易于施工,此外,沥青混凝土对车辆的剪切、冲击、磨损性能和材料强度

也较高,如采用橡胶沥青混凝土,则抗裂性优于沥青混凝土,能更好地保护桥面,延长主梁使用寿命。在钢箱梁上设沥青混凝土铺装时,应采取技术措施,保证两者的结合。

对于交通量不大,跨径小,桥面较窄或地理位置偏远的人行斜拉桥,在沥青混凝土材料施工有困难时,可采用混凝土铺装。混凝土桥面铺装的标号不得低于 30 号,铺装下宜设防水层。

6.2 索 塔

6.2.1 拉索因总体布置边、中跨合理比例和桥梁纵坡的设置,及边跨尾索加密等情况,给恒载情况下索塔两侧的拉索带来不同的拉力,使交叉锚固的索塔产生扭转,此时会有垂直及水平向的剪力,故须注意塔柱由此剪切的验算,设计塔柱时宜保持轴线两侧横向布置的对称性;当塔柱采用混凝土空心截面时,可采用塔壁平面预应力钢束,施工加环形预应力来平衡塔壁内力和扭矩。

6.2.2 索塔拉索锚固部位的构造,与拉索布置,拉索的根数和形状,塔型与构造,拉索牵引和张拉等种种因素有关,故应从设计、施工、养护维修及拉索的更换等各方面综合考虑锚固段的合理构造。

一般使拉索交叉锚固于塔柱两侧,这种布置特点是,塔两侧拉索交叉通过塔柱轴线后,交叉锚固在塔柱的实心段上,利用塔壁实体的锯齿形凹槽或凸形牛腿来锚固拉索。

采用箱型截面可用锚固横梁(扁担梁)进行锚固。采用锚固钢横梁及锚固架,此类布置可以适应拉索的任意角度变化,但必须对局部弯曲和集中力作用进行详细验算。这种锚固横梁是支承于空心塔柱内部的塔壁牛腿上,两端的刚性支承可在顺桥向、横桥向作微小的移动和转动。为此,在两端都须设置顺、横向的限位构造,锚固钢横梁构件承受拉索的水平拉力、垂直分力及偏心弯矩,拉索的垂直分力传至牛腿,而拉索两侧不平衡水平力,通过横梁下支承摩阻力或顺桥向两端的水平限位挡块传至牛腿上,这样塔壁承受的水平力将大为减少,相应地减少了塔柱在平面框架内的

局部荷载及剪力、弯矩。由于钢横梁两端可作微小的自由移动和转动,它对温度影响造成的约束力将是很小,这种锚固构造受力明确、内力减少,不会产生水平裂缝,使索塔锚固安全可靠。另外,拉索通过钢垫板支承在塔壁的抗剪钢板上,索力直接通过抗剪钢板及顺桥向锚固索座传给塔壁。

6.2.3 在索塔拉索锚固区的局部范围内,由于拉索强大集中力,孔洞削弱,局部受力及应力集中现象存在,必须使相邻锚固点间距不能互相紧贴,并防止应力叠加,影响斜拉桥整体安全,另外,穿束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,须在拉索锚区边缘外面留有富裕尺寸。

6.2.4 索塔轴线与轮廓尺寸对施工要求严格,并且塔柱里配筋较多,钢筋密集,为了保证索塔外形尺寸和钢筋的附着成型,模板定位提升等需要,常采用型钢组拼的劲性骨架,这对有倾斜度的索塔更有必要。设置部分型钢可以作为纵向受力筋的组成部分,参与钢筋受力。

6.2.5 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、扭矩和顺、横桥向的弯矩,因此塔柱配筋较多,纵向钢筋的直径应取粗些,并提高钢筋含量,按计算面积配筋对于空心截面配筋较多,而实心断面可能较小,本条文提出的仅是配筋低限,设计中尚应根据计算适当配置。

6.2.8 根据我国飞行区技术标准的规定,要求在飞行区域内高度超过 45m 的独立建筑物,都需设置不能中断照明的夜间航空障碍灯,以确保安全,障碍灯的布设应事先与民用或军用航空管理部门取得协议。从标志灯本身性能要求而言,应具有使用寿命长,维修方便,气候适应性好的特点。

6.3 拉索与锚具

6.3.1 组成拉索的钢丝或钢绞线排列整齐、规则,组成断面紧密

并易于成型,使钢丝或钢绞线受力均匀,便于穿过管道和进行锚固及外层防护,采用正六边形或缺角六边形排列还可以较好的保持各根钢丝长度相同,其周边及间隙填充物均匀,经过防护材料的包裹钢丝截面更为紧密。对热挤聚乙烯拉索,因工艺要求则必须做成六边形或缺角六边形,另外为便于盘卷整索运输,可进行轻度扭绞,扭转角度约为 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$,长大索可放宽一些。

大直径长重索会受到运输条件限制,并且运输成本较高,故一般情况不宜采用大直径索。

6.3.2 拉索锚具主要有冷铸锚、热铸锚、镦头锚、夹片式锚等形式,前三种都为拉锚式。其主要构造为锚杯、锚圈、锚锭板、填充固化料、防漏板、夹片等。为便于穿束,张拉在其尾部设置与张拉连接器、引出杆连接的附属构造。

热铸锚虽使用低熔点合金,但浇铸温度仍超过 400°C ,故对钢丝的力学性能带来不利影响,热铸锚适用于单股钢缆和封闭式钢缆。

镦头锚是每根钢丝在穿孔板后将钢丝末端镦粗,由于镦粗后的钢丝拉力可以传递到孔板上,当孔板上的孔眼数和钢索中的钢丝数相当时,这块孔板就能锚固整根钢索,使用镦头锚时必须具有可镦性的钢丝,镦头锚适用于钢丝束,具有良好的耐疲劳性能。

冷铸锚是使用较多的锚具,其构造与热铸锚具相似,只在锚杯锥形腔的后部增设了一块钢丝定位板,钢索中的钢丝通过锚杯后,再穿过定位板上的对应孔眼,镦头就位,锚杯中的空隙用特制的环氧混合料填充。环氧混合料中加入铸钢球,形成承受荷载的构架,环氧固化后,即和锚杯中的钢丝结合成一个整体,由于楔形原理,铸钢球受到锚杯内壁的挤压,对索中的钢丝形成啮合,使钢丝获得锚固。

冷铸锚环氧混合料的固化温度低于 180°C ,并且钢丝末端均被镦粗锚锭,它具有优异的抗疲劳性能。冷铸锚在国外又称为 Hi-Am 锚具。

夹片式锚具用在斜拉桥时,必须提高锚具的抗疲劳性能。因为

锚固钢绞线的夹片式群锚对后张预应力的有粘结力筋中,锚具疲劳性能要求较低。为此,用于斜拉索的夹片式锚具可具备一些特殊的构造,如使钢绞线在进入群锚的锚板前穿过一节钢筒,钢筒的尾端和群锚板间有可靠的连接,在索力调整完毕后,于钢筒中注入水泥浆,这样,拉索的静载由群锚承受,动载则在拉索通过钢筒时,获得缓解传递,从而减轻了群锚的负担。

锚具是极为重要的部件,其质量和性能对整个结构的可靠性有着直接影响,故对锚具性能有严格规定,所以当采用新型锚具时,必须经过耐疲劳及强度试验和锚固性能参数检验,证明其可靠性,保证使用中不会出现滑丝,失锚现象。

6.3.4 拉索都是由钢材构成,如不加防护,锈蚀将是十分惊人的。拉索锈蚀主要是电化学腐蚀,因此采用的防护材料必须严格检验分析,使它不含有腐蚀钢材的成分,并要求防护层有足够的强度而不致老化或开裂,有良好的耐候性,延长使用时间。

国内外对聚乙烯防护材料老化寿命研制已超过 40 年,考虑试验条件与实际桥梁长期使用所处的环境差别,及在设计中已考虑正常车辆运行时,可更换任一根拉索的情况,则对防护材料使用年限可适当放宽,故条文中提出不宜低于 25 年的要求。

6.3.6 与 6.3.9 拉索与锚头的接合部位及拉索与主梁和索塔的连接口部位,均有钢套管和嵌填橡胶减振材料,为了防止水气侵入拉索内部,必须在其出露口部位有可靠的防水措施,如橡胶密封防水垫块、防水填料或防水罩进行隔离与止水,避免钢材锈蚀。

6.3.8 拉索疲劳强度薄弱位置是在拉索端部的锚头口处,而受拉构件的疲劳强度则取决于它的锚头构造和浇筑材料以及锚头位置上的角度变化。

为减小拉索的振动,在拉索两端的接口部位设置减振块,发挥阻尼减振作用,减振阻尼块采用粘弹性高阻尼材料,是国内外近年发展的一种减震、降噪、防冲的新型合成橡胶材料,其阻尼值比一般橡胶大 4~5 倍,将这种材料制作衬套,嵌在拉索和拉索钢管之间构成阻尼支点后,则阻尼衬套因受振动就被挤压并吸收

能量。

另外,必要时也可在拉索上设置分隔索夹,使几根索互为约束不易起振,或在拉索梁端处设置减振三角架。

6.4 支座与伸缩缝

6.4.1 大跨径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需要。

盆式橡胶支座从 70 年代末至今,我国在公路、铁路、市政工程的桥梁建设中得到普遍的应用,支座反力在 $1\,000\text{kN} \sim 50\,000\text{kN}$,横向所能承受的水平力为支座反力的 10% 时都可采用。须应遵照《公路桥梁盆式橡胶支座》(JT 3141—90)标准使用。

球型橡胶支座的结构形式与盆式橡胶支座基本相似,与盆式支座相比具有以下优点:(1)球型支座通过球面传力,不出现力的缩颈现象,作用在混凝土上的反力比较均匀;支座各向转动性能一致;(2)支座通过球面四氟板的滑动实现转动过程,转动力矩小,而且转动力矩只与支座的球面半径及四氟摩擦系数有关,与支座转角大小无关,因此特别适用于大转角的支座;(3)支座不用橡胶承压,不存在橡胶老化对支座转动性能的影响,尤其适用低温地区。

悬浮体系的主梁除两端有支承外,其余全部用拉索悬吊,不能对主梁提供有效的横向支承,在索塔及二边跨支座处设横向限位的板式支座,可以限制主梁的横向位移,并能使主梁在横向形成较为“柔性”的约束,保持其良好的动力性能。

6.4.2 斜拉桥的边跨或辅助墩承受活载作用,上部构造位移,使支座呈交替的拉、压受力状态,故要求该处支座既能受拉又能承压。

拉索式组合支座由平行钢丝组成拉力悬摆,对其预施应力以致在较高的使用荷载作用下也不出现负反力,在桥梁位移过程中,为了不容许缆索的钢丝在它的端部入口处出现弯曲,其端部支承

在球形支承上,使其能各向旋转,见图 2。

美国帕斯科-肯尼威克桥就采用该类型支座。

6.4.3 支座需进行定期检查及养护,对外露表面积水、积尘需加以清除,避免污染滑动面,对地脚螺栓逐个松动并再次拧紧,以防锈死,涂刷防锈漆,检查上、下部构造的连接变化等,保持支座处于良好的工作状态。为此,要求设置检查用的防护护栏及爬梯等装置。

在需要更换支座时,应在墩、台帽处设搁置千斤顶的位置和必要的操作空间,否则很难进行。故设计时宜在构造上预先考虑设置,另外,还须结合墩、台位置具体情况,在墩、台上直接设置攀登梯级、平台与护栏以作检修用。

对通航孔处,应按航道部门要求设导航灯标,使航行的船舶能及早发现并避开墩、台,防止撞击事故。

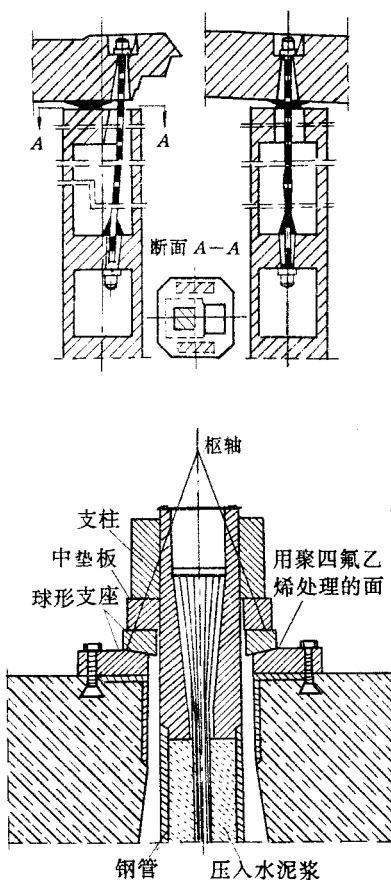


图 2