 T/CECS XXX-202X

**中国工程建设标准化协会标准**

自锚式悬索桥技术规程

Specifications for Design of Self – Anchored Suspension Bridge

（征求意见稿）

**中国计划出版社**

中国工程建设标准化协会标准

自锚式悬索桥技术规程

Specifications for Design of Self – Anchored Suspension Bridge

**T/CECS XXX—202X**

主编单位： 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

批准单位： 中国工程建设标准化协会

执行日期： 2021年XX月1日

**中国计划出版社**

2020 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2017年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2017]014号）的要求，标准编制组在深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为14章和1个附录。主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、总体设计、作用及结构计算、索塔、主梁、主缆、吊索、索夹、索鞍与索套、附属设施、结构耐久性设计、施工及质量验收等。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理，由上海市市政工程设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄往解释单位（地址：XXXXX，邮政编码：100082），以供修订时参考。

|  |  |
| --- | --- |
| **主编单位：** | 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 |
|  |  |
| **参编单位：** | 同济大学  西南交通大学  上海市城市建设设计研究总院  天津市政工程设计研究院 |

**主要起草人：**顾民杰 邵长宇 邹小洁 王青桥 张培君 吴万忠 肖汝诚 沈锐利 彭俊 谢斌 陈亮 戴建国 刘辉

**主要审查人：**

目 次

[1 总则 5](#_Toc59625902)

[2 术语和符号 6](#_Toc59625903)

[2.1 术语 6](#_Toc59625906)

[2.2 符号 8](#_Toc59625907)

[3 材料 14](#_Toc59625908)

[3.1 混凝土、钢筋及预应力筋 14](#_Toc59625911)

[3.2 高强度钢丝及钢丝绳 14](#_Toc59625912)

[3.3 结构用钢材 17](#_Toc59625913)

[3.4 焊接材料 19](#_Toc59625914)

[3.5 锚头铸体材料 21](#_Toc59625915)

[4 总体设计 22](#_Toc59625916)

[4.1 一般规定 22](#_Toc59625919)

[4.2 结构体系与基本结构形式**** 23](#_Toc59625920)

[5 作用及结构计算 27](#_Toc59625921)

[5.1 一般规定 27](#_Toc59625922)

[5.2 作用及其组合 27](#_Toc59625923)

[5.3 静力计算 32](#_Toc59625924)

[5.4 抗风计算 32](#_Toc59625925)

[5.5 抗震计算 33](#_Toc59625926)

[5.6 稳定计算 36](#_Toc59625927)

[5.7 施工阶段计算 36](#_Toc59625928)

[6 索塔 37](#_Toc59625929)

[6.1 一般规定 37](#_Toc59625932)

[6.2 结构形式 37](#_Toc59625933)

[6.3 构造要求 38](#_Toc59625934)

[6.4 结构计算 41](#_Toc59625935)

[7 主梁 42](#_Toc59625936)

[7.1 一般规定 42](#_Toc59625937)

[7.2 预应力混凝土梁 45](#_Toc59625938)

[7.3 钢主梁 46](#_Toc59625939)

[7.4 钢—混凝土组合梁 49](#_Toc59625940)

[7.5 主缆锚固结构 51](#_Toc59625941)

[7.6 吊索锚固结构 55](#_Toc59625942)

[7.7 结构计算 56](#_Toc59625943)

[8 主缆 59](#_Toc59625944)

[8.1 一般规定 59](#_Toc59625945)

[8.2 结构形式 59](#_Toc59625946)

[8.3 结构计算 61](#_Toc59625947)

[9 吊索 68](#_Toc59625948)

[9.1 一般规定 68](#_Toc59625949)

[9.2 构造要求 68](#_Toc59625950)

[9.3 结构计算 71](#_Toc59625951)

[10 索夹 73](#_Toc59625952)

[10.1 一般规定 73](#_Toc59625953)

[10.2 结构形式 73](#_Toc59625954)

[10.3 构造要求 74](#_Toc59625955)

[10.4 结构计算 75](#_Toc59625956)

[11 索鞍与索套 78](#_Toc59625957)

[11.1 一般规定 78](#_Toc59625958)

[11.2 结构形式 78](#_Toc59625959)

[11.3 构造要求 82](#_Toc59625960)

[11.4 结构计算 84](#_Toc59625961)

[12 附属设施 90](#_Toc59625962)

[12.1 一般规定 90](#_Toc59625963)

[12.2 桥面系、支座和通航附属设施 90](#_Toc59625964)

[12.3 主梁附属设施 94](#_Toc59625965)

[12.4 索塔附属设施 95](#_Toc59625966)

[12.5 缆索系统附属设施 95](#_Toc59625967)

[12.6 健康监测系统 96](#_Toc59625968)

[13 结构耐久性设计 98](#_Toc59625969)

[13.1 一般规定 98](#_Toc59625970)

[13.2 混凝土结构耐久性设计 99](#_Toc59625971)

[13.3 钢结构耐久性设计 99](#_Toc59625972)

[13.4 缆索结构耐久性设计 101](#_Toc59625973)

[13.5 索鞍及索套耐久性设计 102](#_Toc59625974)

[13.6 附属设施耐久性设计 103](#_Toc59625975)

[14 施工及质量验收 104](#_Toc59625976)

[14.1 一般规定 104](#_Toc59625979)

[14.2 索塔施工 105](#_Toc59625980)

[14.3 主梁施工 105](#_Toc59625981)

[14.4 缆索系统施工 106](#_Toc59625982)

[**附录A** 109](#_Toc59625983)

[**A.1分段悬链线法求解自锚式悬索桥成桥线形** 109](#_Toc59625984)

[**A.2抛物线法求解自锚式悬索桥成桥线形** 110](#_Toc59625985)

[**A.3主缆与主索鞍切点及索鞍精确位置求解** 111](#_Toc59625986)

[**A.4索鞍偏移量及空缆线形求解** 112](#_Toc59625987)

[**A.5索夹安装位置求解** 113](#_Toc59625988)

[本标准用词说明 114](#_Toc59625989)

[引用标准名录 90](#_Toc59625990)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc55224743)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc55224744)

[2.1 Terms 2](#_Toc55224747)

[2.2 Symbols 4](#_Toc55224748)

[3 Material 10](#_Toc55224749)

[3.1 Concrete, Steel Reinforcement and Prestressing Tendon 10](#_Toc55224752)

[3.2 High Strength Steel Wire and Steel Wire Rope 10](#_Toc55224753)

[3.3 Structure Steel 13](#_Toc55224754)

[3.4 Welding Material 15](#_Toc55224755)

[3.5 Casting Material in Socket 17](#_Toc55224756)

[4 General Design 18](#_Toc55224757)

[4.1 General Requirements 18](#_Toc55224760)

[4.2 Structure Systems and Basic Struture Forms 19](#_Toc55224761)

[5 Loads and Structure Analysis 23](#_Toc55224762)

[5.1 General Requirements 23](#_Toc55224763)

[5.2 Loads and combinations 23](#_Toc55224764)

[5.3 Static Analysis 28](#_Toc55224765)

[5.4 Wind-resistant Analysis 28](#_Toc55224766)

[5.5 Seismic Analysis 30](#_Toc55224767)

[5.6 Stability Analysis 32](#_Toc55224768)

[5.7 Construction Analysis 32](#_Toc55224769)

[6 Pylon 33](#_Toc55224770)

[6.1 General Requirements 33](#_Toc55224773)

[6.2 Structure Forms 33](#_Toc55224774)

[6.3 Detailings 34](#_Toc55224775)

[6.4 Structure Analysis 37](#_Toc55224776)

[7 Stiffening Girder 38](#_Toc55224777)

[7.1 General Requirements 38](#_Toc55224778)

[7.2 Prestressing Concrete Girder 41](#_Toc55224779)

[7.3 Steel Girder 42](#_Toc55224780)

[7.4 Composite Girder 45](#_Toc55224781)

[7.5 Anchorage of Main Cable 47](#_Toc55224782)

[7.6 Anchorage of Hanger 51](#_Toc55224783)

[7.7 Structure Analysis 52](#_Toc55224784)

[8 Main Cable 55](#_Toc55224785)

[8.1 General Requirements 55](#_Toc55224786)

[8.2 Structure Forms 55](#_Toc55224787)

[8.3 Structure Analysis 57](#_Toc55224788)

[9 Hanger 64](#_Toc55224789)

[9.1 General Requirements 64](#_Toc55224790)

[9.2 Detailings 64](#_Toc55224791)

[9.3 Structure Analysis 67](#_Toc55224792)

[10 Cable Clamp 69](#_Toc55224793)

[10.1 General Requirements 69](#_Toc55224794)

[10.2 Structure Forms 69](#_Toc55224795)

[10.3 Detailings 70](#_Toc55224796)

[10.4 Structure Analysis 71](#_Toc55224797)

[11 Saddle and Cable Splay Collars 74](#_Toc55224798)

[11.1 General Requirements 74](#_Toc55224799)

[11.2 Structure Forms 74](#_Toc55224800)

[11.3 Detailings 78](#_Toc55224801)

[11.4 Structure Analysis 80](#_Toc55224802)

[12 Attachment Structure and Facility 86](#_Toc55224803)

[12.1 General Requirements 86](#_Toc55224804)

[12.2 Bridge Deck System, Bearing and Navagation Facility 86](#_Toc55224805)

[12.3 Girder Attachment 90](#_Toc55224806)

[12.4 Pylon Attachment 91](#_Toc55224807)

[12.5 Cable System Attachment 91](#_Toc55224808)

[12.6 Structural Health Monitoring System 92](#_Toc55224809)

[13 Durability Design 94](#_Toc55224810)

[13.1 General Requirements 94](#_Toc55224811)

[13.2 Durability Design of Concrete Structure 95](#_Toc55224812)

[13.3 Durability Design of Steel Structure 95](#_Toc55224813)

[13.4 Durability Design of Cable System 97](#_Toc55224814)

[13.5 Durability Design of Saddle and Cable Splay Collars 98](#_Toc55224815)

[13.6 Durability Design of Attachment and Facility 99](#_Toc55224816)

[14 Construction and Quality Acceptance 100](#_Toc55224817)

[14.1 General Requirements 100](#_Toc55224820)

[14.2 Construction of Pylon 101](#_Toc55224821)

[14.3 Construction of Stiffening Girder 101](#_Toc55224822)

[14.4 Construction of Cable System 102](#_Toc55224823)

[**Appendix A** 105](#_Toc55224824)

[**A.1** Shape Finding of Self-anchored Suspension Bridge Using Segmental Catenery Method 105](#_Toc55224825)

[**A.2** Shape Finding of Self-anchored Suspension Bridge Using Parabola Method 106](#_Toc55224826)

[**A.3** Tangent Point of Main Cable and Main Saddle and Accurate Position of Saddle 107](#_Toc55224827)

[**A.4** Saddle Displacement and Uloaded Cable Shape 108](#_Toc55224828)

[**A.5** Installation Position of Cable Clamp 109](#_Toc55224829)

Explanation of wording in this code

List of quoted standards

Addition：Explanation of provisions

# 总则

### 为规范和指导自锚式悬索桥的设计，按照安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、与环境协调的原则，制定本规程。

### 本规程适用于公路及城市道路新建和改建工程，跨径在600m以下的自锚式悬索桥设计、施工和质量验收。

条文说明：本技术规程是在吸收国内外自锚式悬索桥建设经验的基础上编制的。自锚式悬索桥的常用跨径为100m~400m。目前世界上已经建成的最大跨径的双塔自锚式悬索桥为主跨600m的重庆鹅公岩复线桥，第二大跨径的双塔自锚式悬索桥为主跨406m的桃花峪黄河大桥，最大跨径的独塔自锚式悬索桥为主跨385m的奥克兰海湾桥。综合考虑各方面的技术成熟性，确定本技术规程适用范围为600m以下跨径的自锚式悬索桥。

### 本规程采用以分项系数表达的极限状态设计方法。

### 自锚式悬索桥主体结构设计使用年限不应小于100年，跨径小于40m的人行景观桥不应小于50年。

条文说明： 现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015和《城市桥梁设计规范》CJJ 11-2011对于桥梁设计使用年限的规定基本一致：特大桥、大桥、重要中桥的设计使用年限为100年，一般中桥和重要小桥设计使用年限为50年，其他小桥和涵洞的设计使用年限为30年。对于桥梁规模的分类，两本技术规程划定的范围也基本一致：单孔跨径在40m及以上时，为大桥或特大桥，单孔跨径小于40m时为中小桥。

自锚式悬索桥单孔跨径一般大于40m，属于大桥或特大桥，鉴于其重要性，规定其主体结构设计使用年限不小于100年是合理的。跨径小于40m的中小跨径人行景观桥，则规定其主体结构设计使用年限不小于50年。这一规定与上述两个规范的相关条文是一致的。

### 自锚式悬索桥应贯彻全寿命设计理念，并应积极稳妥地应用新技术、新材料和新工艺。

### 自锚式悬索桥设计、施工和质量验收除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 术语和符号



## 术语

### **自锚式悬索桥self-anchored suspension bridge**

一种不设地锚，主缆锚固于主梁上，主缆和主梁共同承载的悬索桥体系。

### **索塔cable tower**

用以支承主缆并将荷载作用通过基础传递给地基的结构。

### **主梁main girder**

直接承受汽车、非机动车、人群等荷载并传递给吊索、索塔、桥墩，同时承受主缆锚固力的梁体结构。

### **主缆锚固结构main cable anchorage structure**

将主缆的索股锚固于主梁的结构。

### **主缆main cable**

悬挂于索塔顶、两端锚固于主梁的由平行钢丝或钢丝绳组成的悬索桥主要承重构件

### **索股cable strand**

由多根高强度钢丝或钢丝绳组成的丝股，是主缆的主要组成部分。

### **吊索hanger**

连接主缆与主梁的构件。

### **锚头socket**

用于索股两端与主梁锚固连接的构件或用于吊索两端与主梁及主缆索夹连接的构件。

### **吊索索夹cable clamp**

紧箍主缆并连接主缆与吊索的构件。

### **紧固索夹fastening cable clamp**

无吊索段用于紧箍主缆的夹具。

### **锥形索夹tapered cable clamp**

索鞍分丝段用于紧箍主缆的夹具。

### **主索鞍main saddle**

安装于索塔顶部，支承主缆并使主缆平顺地改变方向的构件。

### **散索鞍splay saddle**

安装于主缆锚固区，使主缆平顺地改变方向并使索股散开以利于锚固的构件。

### **转索鞍deviation saddle**

安装于主梁端部，使主缆平顺地改变方向实现主缆环绕式锚固的构件。

### **顶索鞍jacking saddle**

安装于主缆环绕锚固两个转索鞍之间，可通过顶推调整主缆索力的构件。

### **散索套cable splay collars**

安装于主缆锚固区，用于主缆索股散开式锚固，且不改变主缆中心线转角的构件。

### **缆索系统cable system**

由主缆、索夹、吊索、主索鞍、散索套（鞍）或转索鞍及防护系统等构件组成，为主梁提供直接支撑的结构。

### **预制平行索股法prefabricated parallel wire strands method（PPWS法）**

将工厂化预制的平行高强度钢丝组成的索股运至工地安装的施工方法。

### **猫道catway**

供自锚式悬索桥缆索系统施工作业的临时通道。

## 符号

### **几何参数有关符号**

*A*——接触面积；

*Ap*——主缆缠丝面积；

*b*——鞍座槽路宽度；

*dc*——主缆在索夹处的设计直径、索夹内孔的设计直径；

*dcb*——索夹螺杆的有效直径；

*dd*——主缆的设计直径；

*dh*——钢丝绳吊索公称直径；

*dsr*——滚轴式散索鞍的滚轴直径；

*dw*——主缆钢丝直径；

*H*——鞍槽内中央列索股总高度；

*h*——骑跨式索夹承索槽槽深；

*lc*——索夹长度；

*le*——散索鞍摆轴、滚轴的有效接触长度；

*lk*——索夹螺杆握距；

*lsa*——鞍槽拉杆中心处鞍槽侧壁的弧长；

*lsae*——钢丝在锚杯内的锚固长度；

*lsc*——锚杯内铸体材料的有效长度；

*rc*——骑跨式索夹承索槽内圆弧半径；

*re*——销接式索夹吊耳板与索夹壁间的过渡圆弧半径；

*rh*——散索鞍承缆槽侧壁的平面圆弧半径；

*rhb*——钢丝绳吊索在索夹上的弯曲半径；

*rhd*——索夹承索槽底部弯曲半径；

*rsb*——摆轴式散索鞍的摆轴断面圆弧半径；

*rv*——鞍座承缆槽底部立面圆弧半径；

*tc*——索夹壁厚；

*tsm*——铸体材料有效长度内锚杯的平均壁厚；

*αc*——骑跨式索夹承索槽在索夹上的包角；

*αs*——主缆在鞍槽上的包角；

βc——骑跨式索夹承索槽张开角；

βs——索股锚头的锚杯内锥面母线与轴线的夹角；

*Δtc*——骑跨式索夹承索槽下的壁厚增厚；

*Δwr*——主缆钢丝直径的允许正偏差；

*δ*——骑跨式索夹承索槽槽壁根部厚度；

*θsa*——散索鞍处计算缆力对应的主缆锚跨切线角；

*θss*——散索鞍处计算缆力对应的主缆边跨切线角；

*θtm*——设计恒载的中跨缆力对应的主缆中跨切线角；

*θts*——设计恒载的边跨缆力对应的主缆边跨切线角；

*φ*——索夹在主缆上的安装倾角；

*φsc*——索股锚头的锚杯内铸体上压力线与锚杯内锥面母线的夹角。

### **材料性能有关符号**

*E*——钢材的弹性模量；

*fcd*——钢材的端面承压强度设计值；

*fd*——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

*fdd*——高强度钢丝抗拉强度设值；

*f’dd*——钢丝绳最小破断拉力设计值；

*f’d*——索夹材料强度设计值；

*f’k*——高强度钢丝的抗拉强度标准值；

*fk*——钢丝绳最小破断力；

*fsd*——铸(锻)钢销孔承压强度设计值；

*fy*——钢材的屈服强度；

*fvd*——钢材的抗剪强度设值；

——锚栓的抗拉强度设计值；

——角焊缝的抗拉、抗剪和抗压强度设计值；

、、——对接焊缝的抗拉、抗剪和抗压强度设计值；

*fxd*——大修状况下高强度钢丝抗拉强度设计值；

*f’xd*——大修状况下钢丝绳最小破断拉力设计值；

*fsgd*——施工过程中高强度钢丝抗拉强度设计值；

*f’sgd*——施工过程中钢丝绳最小破断拉力设计值；

*G*——钢材的剪切模量；

[*fa*] ——地基承载力容许值；

*α*——线膨胀系数；

*λ*——单根钢丝与合金在单位面积上的附着强度；

*ν*——泊松比；

*ρ*——密度；

*σb*——钢丝公称抗拉强度；

*σycb*——螺杆材料的屈服强度；

*σjd*——材料接触应力设计值。

### **作用有关符号**

*Fc*——单根主缆的拉力设计值；

*Fcl*——主缆松边拉力；

*Fct*——主缆紧边拉力；

*Fcm*——按永久作用标准值计算的中跨缆力；

*Fcs*——按永久作用标准值计算的边跨缆力；

*Ffs*——索夹抗滑摩阻力；

*fH*——主索鞍鞍槽的总侧向力；

*fHS*——散索鞍鞍槽的总侧向力；

*fh ( h )* ——最高索股顶至计算高度h处的侧向压力；

*Ft*——锚杯环向拉力设计值；

*Fsp*——主索鞍顶推力；

*f sr*——索股的向心压力；

*fv*——中央列索股单位体积竖向力；

*Gs*——主索鞍重力；

*Nc*——主缆上索夹的下滑力；

*Nd*——轴向拉力设计值；

*Nh* ——吊索拉力；

*Ns*——索股拉力组合设计值；

*Nsb*——单根拉杆力；

*ntra*——沿单位弧长的鞍槽拉杆拉力；

*P*——主缆拉力设计值；

*Pb*——索夹上单根螺杆安装夹紧力；

*Pd*——高强度螺栓的预拉力设计值；

——索夹上单根螺杆设计夹紧力；

*Pmax*——锚碇最大应力值；

*Ptot*——索夹上螺杆总的设计夹紧力；

*WF*——结构自重垂直于滑动面的分量；

*WL*——结构自重沿拉拔方向的分量；

*σd*——锚固系统的拉杆和锚固预应力钢材应力设计值；

*σj*——接触应力；

*σt*——锚杯的环向应力设计值。

### **计算系数及其他有关符号**

*F’*——接触面抗剪断摩擦系数；

*K*——安全系数；

*Kfc*——索夹抗滑系数；

*k*——紧固压力分布不均匀系数；

*V*——主缆的设计空隙率；

*Ve*——主缆在索夹内的设计空隙率；

*Vs*——主缆在鞍槽内的设计空隙率；

*γkh*——抗滑稳定系数；

*γR*——材料强度分项系数；

*γ’R*——抗力系数；

*γsg*——施工过程中吊索材料强度分项系数；

*γx*——大修状况下吊索材料强度分项系数；

*γ0*——结构重要性系数；

*μ*——摩擦系数；

*ξ*——阻尼比；

*ρT*——周期比。

### **数量有关符号**

*n*——各列索股股数；

*ns*——单根主缆中索股总股数；

*nsc*——鞍槽内中央列索股股数；

*nsb*——鞍槽拉杆根数；

*nws*——每根索股的钢丝根数；

*nwt*——鞍座槽路内单排钢丝数量；

*ncb*——索夹上安装的螺杆总根数；

*nsr*——滚轴式散索鞍的滚轴根数；

*ntot*——单根主缆中钢丝总根数。

# 材料



## 混凝土、钢筋及预应力筋

### 用于自锚式悬索桥各构件的混凝土，其强度等级、弹性模量、剪切模量等材料性能指标应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取用。

### 索塔塔身的混凝土强度等级不应低于C40。

### 主梁及主缆锚固结构混凝土强度等级不宜低于C50。

### 钢筋混凝土及预应力混凝土构件所采用的普通钢筋与预应力钢筋材料性能指标，应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取用。

## 高强度钢丝及钢丝绳

### 主缆索股、吊索所用高强度钢丝及钢丝绳可采用热镀锌铝或热镀锌线材。

条文说明:主缆、吊索用的高强度钢丝及钢丝绳在大气中极易锈蚀，对线材进行热镀锌或热镀锌铝，作为主缆、吊索的第一道防护是保证其耐久性的关键。随着材料科学的不断进步，新的防腐措施和新材料也将不断涌现，在热镀锌基础上开发的热镀锌铝技术已趋成熟，防腐性能优越，本规程推荐采用热镀锌铝，也不排斥选用其他可靠的防腐方式。

### 高强度钢丝的技术条件应符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌或锌-铝合金钢丝》GB/T17101《锌铝合金镀层钢丝缆索》GB/T 32963和现行行业标准《桥梁热镀锌铝合金钢丝》JT/T 1104的规定。

### 高强度钢丝绳的技术条件应符合现行国家标准《悬索桥吊索用钢丝绳》GB/T 38818、《重要用途钢丝绳》GB 8918、《一般用途钢丝绳》GB/T 20118、《粗直径钢丝绳》GB/T 20067和《密封钢丝绳》GB/T 352的规定。

### 高强度钢丝主缆的弹性模量设计取值宜为1.90 × 105 MPa ~2.10 × 105MPa。

### 高强度钢丝吊索的弹性模量设计取值宜为1.95 × 105 MPa ~2.05 × 105MPa, 高强度钢丝绳吊索的弹性模量设计取值不宜小于1.10 × 105MPa。

### 高强度钢丝的抗拉强度设计值应按其抗拉强度标准值除以钢丝抗拉强度分项系数确定。钢丝抗拉强度分项系数应按表3.2.6的规定采用。

**表3.2.6镀锌高强度钢丝抗拉强度分项系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 抗拉强度标准值（MPa) | 构件种类 | | |
| 主缆 |  | 销接式吊索 |
| 1670 | 2.20 | | 2.20 |
| 1770 |
| 1860 |
| 1960 |

注：表列钢丝抗拉强度标准值系为II级松弛钢丝的数值；当采用I级松弛钢丝时，分项系数应除以0.9。

条文说明：《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015中主缆的材料分项系数1.85是按容许应力法的主缆安全系数2.5换算而来的，换算时假定主缆恒载与活载比为1:1。在自锚式悬索桥中，特别是小跨度自锚式悬索桥中，主缆恒载力占比较大，活载占比较小。恒活载按2:1估算，对应2.5的安全系数换算得出材料分项系数接近2.0，同时考虑自锚式悬索桥跨度相对较小，主缆截面小，且后期维修养护不如大跨度悬索桥，主缆腐蚀影响大，因此分项系数适当提高。

### 钢丝绳最小破断拉力设计值应按其最小破断力除以钢丝绳抗拉强度分项系数确定。最小破断力应根据现行国家标准《粗直径钢丝绳》GB/T 20067钢芯钢丝绳取值。钢丝绳抗拉强度分项系数应符合表3.2.7的规定。

**表3.2.7钢丝绳抗拉强度分项系数**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 构件种类 | 骑跨式吊索 | 销接式吊索 |
| 抗拉强度分项系数 | 2.95 | 2.20 |

【条文说明】3.2.6~3.2.7 本技术规程主缆的材料强度分项系数与《公路悬索桥设计规范》JTG／T D65-05-2015 保持一致。

## 结构用钢材

### 钢索塔、钢主梁主体结构宜采用牌号Q345q、Q370q、Q420q、Q500q的钢材或其它适用于桥梁结构的碳素结构钢和低合金结构钢。其技术条件应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的规定。当对钢板厚度方向受力性能有要求时，应符合现行国标《厚度方向性能钢板》GB/T 5313的相关规定。

### 索鞍宜采用ZG275 - 485H、ZG270-500、ZG310-570等铸钢，索套、索夹本体材料宜采用ZG20Mn、ZG35SiMnMo等铸钢，其技术条件应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659、《一般工程与结构用低合金铸钢件》GB/T 14408、《大型低合金钢铸件》JB/T 6402的规定。

### 索鞍、索夹的拉杆宜采用40CrNiMoA、40Cr、35CrMo等合金结构钢，其技术条件应符合现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077的规定。

### 锚头锚杯宜采用ZG20Mn、ZG270-500、ZG310-570等铸钢，盖板宜采用Q235或20号钢，销接式锚头耳板及销轴宜采用45号钢或35CrMo等优质钢材，其技术条件应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077的规定。

### 高强度螺栓连接副的技术条件应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228 ,《钢结构用高强度大六角头螺母》GB/T 1229 ,《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230 ,《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231的规定。

### 铸焊构件采用的结构用钢板技术条件应符合现行国家标准《优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 711和《碳素结构钢和低合金钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274的规定。

### 钢材的强度设计值应根据钢材的不同厚度按表3.3.7的规定采用。

### 铸钢和锻钢的强度设计值应按表3.3.8的规定采用。

**表3.3.7 钢材的强度设计值(MPa)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢 材 | | 抗拉、抗压和抗弯 | 抗剪 | 端面承压（刨平顶紧） |
| 牌号 | 厚度(mm) |  |
| Q345q | ≤50 | 275 | 160 | 370 |
| 50~100 | 260 | 150 |
| Q370q | ≤50 | 295 | 170 | 385 |
| 50~100 | 285 | 160 |
| Q420q | ≤50 | 335 | 195 | 405 |
| 50~100 | 320 | 185 |
| Q500q | ≤50 | 400 | 230 | 475 |
| 50~100 | 380 | 220 |

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

【条文说明】抗拉、抗压和抗弯强度设计值以钢材的屈服强度为基础，除以材料抗力分项系数并取5的整数倍而得。材料的抗力分项系数取。

钢材的抗剪强度以为基础，。钢材的断面承压（刨平顶紧）设计值以抗拉强度最小值为基础，。

**表3.3.8铸钢和锻钢的强度设计值(MPa)**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度种类 | 钢号 | | | | | |
| ZG230-450  ZG230 -450H | ZG270-500  ZG270 -480H | ZG300-500H | ZG310-570 | 35号钢 | 45号钢 |
| 抗拉、抗压和抗弯 | 170 | 200 | 220 | 225 | 250 | 280 |
| 抗剪 | 100 | 115 | 125 | 130 | 145 | 160 |
| 铰轴紧密接触时径向受压 | 85 | 100 | 110 | 110 | 125 | 140 |
| 辊轴或摇轴自由接触时径向受压 | 6.5 | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 10.0 | 11. 0 |
| 销孔承压 | -- | -- | -- | -- | 190 | 210 |

注：1．铰轴紧密接触系指接触面为圆弧，中心角为2×45°的接触；辊轴或摇轴自由接触系指轴与板平面的接触。

2．计算紧密接触或自由接触受压强度时，其承压面积采用轴径截面。轴与板采用不同钢种时，径向受压设计值取用其较低者。

### 钢材和铸钢的物理性能指标应按表3.3.9的规定采用。

**表3.3.9 钢材和铸钢的物理性能指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 弹性模量E （MPa) | 剪切模量G （MPa） | 线膨胀系数α（1/ ℃） | 泊松比 ν | 密度ρ  （kg/m3） |
| 2.06 × 105 | 0.790 × 105 | 12 × 10-6 | 0.31 | 7850 |

### 高强度螺栓预拉力设计值应按表3.3.10的规定取用。

**表3.3.10高强度螺栓的预拉力设计值(kN)**

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

## 焊接材料

### 焊接材料应与主体钢材相匹配，并应符合下列规定：

**1** 手工焊接采用的焊条的技术条件应符合现行国家标准《热强钢焊条》GB/T 5118或《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117的规定。对于需要进行疲劳验算的构件宜采用低氢型碱性焊条。

**2** 自动焊和半自动焊采用的焊丝和焊剂的技术条件应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045、《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493、《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293和《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470的规定。

### 焊缝的强度设计值应按表3.4.2的规定采用。

**表3.4.2焊缝的强度设计值(MPa)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 焊接方法和焊条型号 | 构件钢材 | | 对接焊缝 | | | | 角焊缝 |
| 牌号 | 厚度（mm） | 抗压 | 抗拉 | | 抗剪 | 抗拉、抗压或抗剪 |
| 焊缝质量等级 | |
| 一级、二级 | 三级 |
| 自动焊、半自动焊和E50型焊条的手工焊 | Q345q | ≤50 | 275 | 275 | 235 | 160 | 175 |
| 50~100 | 260 | 260 | 220 | 150 |
| 自动焊、半自动焊和E55型焊条的手工焊 | Q370q | ≤50 | 295 | 295 | 250 | 170 | 200 |
| 50~100 | 285 | 285 | 240 | 160 |
| Q420q | ≤50 | 335 | 335 | 285 | 195 | 200 |
| 50~100 | 320 | 320 | 270 | 185 |
| Q500q | ≤50 | 400 | 400 | 340 | 230 | 225 |
| 50~100 | 380 | 380 | 320 | 220 |

注：1.对接焊缝受弯时，在受压区的抗弯强度设计值取，在受拉区的抗弯强度设计值取。

2．焊缝质量等级应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定确定。其中厚度小于8mm 钢材的对接焊缝，不应采用超声波探伤确定焊缝质量等级。

【条文说明】对接焊缝分别对抗压、抗拉和抗剪强度设计值作出规定。抗压强度取用母材抗压强度设计值，即。现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205把对接焊缝的质量等级分为一级、二级和三级，符合一级和二级质量要求时设计值仍取，即，质量等级为三级时，其设计值取的0.85倍，即。对接焊缝的抗剪强度设计值与母材的取值原则相同，即。

角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值由焊缝熔敷金属抗拉强度除以抗力分项系数求得。按照《热强钢焊条》GB/T5118-2012的规定，E50型焊条和E55型焊条最小抗拉强度分别为490MPa和550MPa。抗力分项系数相应于E50型焊条和E55型焊条（适用于低合金钢）。

## 锚头铸体材料

### 热铸锚头铸体材料应选用低熔点锌铜合金。其中，锌含量为（98±0.2）％，技术条件应符合现行国家标准《锌碇》GB/T 470的规定；铜含量为（2±0.2）％，技术条件应符合现行国家标准《阴极铜》GB/T 467的规定。

### 冷铸锚头铸体材料配比应由试验确定。

# 总体设计



## 一般规定

### 总体设计时，应根据建设条件、使用功能、景观及环境等要求，对桥位、桥跨、结构体系、缆索系统、主梁及索塔结构等进行综合考虑，合理设计。

### 桥位应选择河道顺直稳定、河床地质良好的河段，避开断层、岩溶、滑坡、泥石流等不良地质区域。

### 主桥范围内平面线形宜为直线，纵断面线形宜设置凸形竖曲线。

条文说明：自锚式悬索桥主梁承受主缆锚固水平力作用，平面曲线一般为直线。中小型的景观桥梁受客观条件限制如必须采用曲线线型，需验算主缆锚固水平力在主梁内产生的附加弯矩对结构的影响。

自锚式悬索桥因跨越航道或道路需要，同时考虑排水及景观需求，纵断面线形一般设置凸形竖曲线，在进行自锚式悬索桥受力分析时需考虑主缆锚固水平力因主梁上凸而在主梁内引起的附加弯矩。

### 桥跨布置应满足防洪排涝要求，水中桥墩横桥向宜顺水流方向布置。

### 跨越通航水域的自锚式悬索桥，应满足通航净空要求。水中桥墩应进行防、抗船撞设计，必要时应设置防撞设施。

### 自锚式悬索桥缆索系统、主梁及索塔等主要构件宜进行多方案比选，选择经济、合理、耐久、美观的结构形式。

### 自锚式悬索桥施工一般采用先梁后缆的施工方法，特殊情况下也可采用转体施工或临时地锚施工，桥梁结构设计应考虑施工过程对结构内力的影响。

### 自锚式悬索桥宜针对桥塔造型、桥梁色彩、夜景照明等进行专项景观设计。

## 结构体系与基本结构形式

### 自锚式悬索桥由索塔、缆索系统、主梁、基础及附属结构五大部分组成，缆索系统包括主缆、索夹、吊索、主索鞍、散索套（鞍）或转索鞍、顶索鞍以及防护系统等。

条文说明：散索套、散索鞍和转索鞍、顶索鞍均用于主缆的锚固。散索套、散索鞍的作用是将主缆的索股散开后锚固在主梁锚固区的锚块上。转索鞍和顶索鞍主要用于主缆的环绕锚固，通常设置在主梁端部，其主要作用是使主缆在梁端环绕时改变主缆方向，顶索鞍同时还起到通过顶推调节主缆索力的作用。

### 自锚式悬索桥可采用独塔、双塔、多塔等布置形式。悬吊布置可分为边跨设置吊索和不设置吊索两种情况，当边跨较小或设置辅助墩时，边跨可不设置吊索。



**图4.2.2 自锚式悬索桥结构体系示意图**

### 自锚式悬索桥可设置外边跨平衡主缆上拔力，增加结构刚度，减小梁端转角。

****

**图4.2.3 设置外边跨示意图**

### 主缆垂跨比应综合考虑结构受力、景观和经济性确定，双塔及多塔自锚式悬索桥宜在1/4~1/7，独塔自锚式悬索桥宜在1/12~1/15的范围内确定。

### 独塔自锚式悬索桥桥塔桥面以上高度与中跨跨径的比值宜在0.3~0.5。

### 双塔和多塔自锚式悬索桥边跨与中跨的跨径比值宜在0.30~0.45，独塔自锚式悬索桥边跨与中跨的跨径比值宜在0.45~1.0。

4.2.3~4.2.6条文说明：自锚式悬索桥的主缆锚固于主梁上，主缆锚固点处的水平分力需由主梁自身来承担，形成自平衡体系。自锚式悬索桥的结构刚度、主缆缆力及主梁受力等与主缆垂跨比密切相关。本条文规定主缆垂跨比的合理取值范围，以指导工程设计。通过调研国内外多座自锚式悬索桥的实桥垂跨比，同时排除部分特殊建设条件下的非常规样本，并结合理论分析情况，确定双塔和多塔自锚式悬索桥的垂跨比合理取值范围为1/4~1/8，独塔自锚式悬索桥的垂跨比合理取值范围为1/12~1/15。

不同于双塔和多塔自锚式悬索桥，独塔自锚式悬索桥的结构刚度、主缆缆力及主梁受力不仅与主缆的垂跨比有关，还与主缆的弦线角度密切相关。因此，除了对其主缆垂跨比的合理取值范围进行规定之外，还对影响主缆弦线角度的主要因素进行考虑。在主跨跨径确定的情况下，影响主缆弦线角度的主要因素为桥塔桥面以上的高度。因此，本技术规程在调研多座独塔自锚式悬索桥实桥资料的基础上，确定独塔自锚式悬索桥桥塔桥面以上高度与中跨跨径的比值宜为0.3~0.5。

自锚式悬索桥主缆通过主索鞍与桥塔连接，通过主缆锚固构造与主梁连接。为了尽量减少索塔承受的不平衡水平力和边中跨主缆的缆力差，需要合理的边中跨比。同时，主缆在主梁锚固点处还会产生巨大的竖直向上分力，为了减少竖向分力，除了选择合适的塔高之外，也可以通过合理的边跨跨径来调节主缆锚固时夹角，使竖向分力和水平分力都达到合理的数值。因此，本规程对自锚式悬索桥边跨与中跨的跨径比值也进行了规定。

当采用了合适的主缆垂跨比、边中跨跨径比，以及合理的桥塔高度时，如主缆锚固区仍然存在负反力，则需采取适当的反压措施，设置连续外边跨为可以考虑的措施之一，其他的措施在本规程主梁设计章节进行了详细说明。

**独塔自锚式悬索桥主要结构参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成**  **年份** | **主跨**  **跨径** | **边跨**  **跨径** | **跨径布置** | **主缆**  **垂跨比** | **边中跨比** | **索塔高跨**  **（主跨）比** |
| **福建莆田木兰溪大桥** | 2009 | 102.5 | 102.5 | 40+50+100+100+50+40 | 1/10.5 | 1.000 | 0.467 |
| **天津富民桥** | 2008 | 141 | 86.4 | 86.4+157.1 |  | 0.613 | 0.383 |
| **上海市澄浏南路跨蕰藻浜大桥** | 2015 | 155 | 78.5 | 38.5+40+155 | 1/13.7 | 0.507 | 0.355 |
| **广州猎德大桥** | 2009 | 219 | 167 | 47+167+219+47 | 1/12.8 | 0.763 | 0.400 |
| **福州市鼓山大桥** | 2010 | 235 | 150 | 50+150+235+35 | 1/10 | 0.638 | 0.395 |
| **南京江心洲大桥** | 2009 | 248 | 137 | 35+77+60+248+35 | 1/12.4 | 0.552 | 0.323 |
| **青岛海湾大桥大沽河航道桥** | 2011 | 260 | 190 | 80+190+260+80 | 1/12.5 | 0.731 | 0.379 |
| **佛山平胜大桥** | 2006 | 350 | 230 | 6x40+30+350+2x30 | 1/12.5 | 0.657 | 0.340 |
| **美国旧金山-奥克兰海湾新桥** | 2013 | 385 | 180 | 180+385+80 |  | 0.468 | 0.416 |

**双塔自锚式悬索桥主要结构参数**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成**  **年份** | **主跨**  **跨径** | **边跨**  **跨径** | **跨径布置** | **主缆**  **垂跨比** | **边中跨比** |
| **大连市金湾桥** | 2002 | 60 | 24 | 24+60+24 | 1/8 | 0.400 |
| **苏州竹园大桥** |  | 90 | 30 | 30+90+30 | 1/8 | 0.333 |
| **永康溪心大桥** | 2005 | 90 | 37 | 37+90+37 | 1/6 | 0.411 |
| **日本清洲桥** | 1928 | 91.5 | 45.8 | 45.8+91.5+45.8 | 1/7.1 | 0.501 |
| **浙江金华康济桥** | 2004 | 100 | 36 | 36+100+36 | 1/7.5 | 0.360 |
| **浙江江山北关大桥** | 2005 | 118 | 40 | 40+118+40 | 1/7 | 0.339 |
| **美国第七街桥** | 1926 | 134.8 | 67.5 | 67.5+134.8+67.5 | 1/8.1 | 0.501 |
| **广西钦州市子材大桥** | 2011 | 158 | 65 | 65+158+65 | 1/6 | 0.411 |
| **西宁市跨湟水河桥梁** | 2012 | 158 | 65 | 24+65+158+65+24 | 1/6 | 0.411 |
| **布尔哈通河局子街桥** |  | 160 | 71.5 | 71.5+160+71.5 | 1/7 | 0.447 |
| **抚顺万新大桥** | 2004 | 160 | 70 | 15+70+160+70+15 | 1/6 | 0.438 |
| **绍兴镜湖大桥** | 2006 | 180 | 75 | 75+180+75 | 1/6 | 0.417 |
| **德国科隆-迪兹桥** | 1915 | 184.5 | 92.3 | 92.3+184.5+92.3 | 1/8.6 | 0.500 |
| **南昌市洪都大桥** | 2006 | 195 | 85 | 85+195+85 | 1/5 | 0.436 |
| **韩国Sorok岛桥** | 2012 | 250 | 110 | 110+250+110 | 1/5 | 0.440 |
| **武汉江汉六桥** | 2015 | 252 | 110 | 110+252+110 | 1/6 | 0.437 |
| **杭州江东大桥** | 2008 | 260 | 83 | 83+260+83 | 1/4.5 | 0.319 |
| **广西贵港市罗泊湾大桥** | 2017 | 280 | 140 | 50+140+280+140+50 | 1/5.5 | 0.500 |
| **日本此花大桥** | 1990 | 300 | 120 | 120+300+120 | 1/6 | 0.400 |
| **韩国永宗大桥** | 2000 | 300 | 125 | 125+300+125 | 1/5 | 0.417 |
| **株洲枫溪大桥** | 2016 | 300 | 90 | 3x45+300+3x45 | 1/5 | 0.300 |
| **德国科隆-米尔海姆桥** | 1929 | 315 | 91 | 91+315+91 | 1/9.1 | 0.289 |
| **长沙三汊矶湘江大桥** | 2006 | 328 | 132 | 70+132+328+132+70 | 1/5 | 0.402 |
| **舟山市小干二桥** | 2019 | 370 | 150 | 150+370+150 | 1/6 | 0.405 |
| **桃花峪黄河大桥** | 2013 | 406 | 160 | 160+406+160 | 1/5.8 | 0.394 |
| **重庆鹅公岩复线桥** | 2019 | 600 | 210 | 50+210+600+210+50 | 1/10 | 0.350 |

**多塔自锚式悬索桥主要结构参数**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成**  **年份** | **主跨**  **跨径** | **边跨**  **跨径** | **跨径布置** | **主缆**  **垂跨比** | **边中跨比** |
| **福州螺州大桥** | 2013 | 168 | 80 | 80+168+168+80 | 1/6 | 0.476 |
| **临汾尧贤街跨洰河大桥** | 在建 | 168 | 80 | 50+80+168+168+80+50 | 1/5 | 0.476 |
| **银川滨河黄河大桥** | 2015 | 218 | 88 | 88+218+218+88 | 1/5 | 0.404 |
| **济南凤凰黄河大桥** | 在建 | 428 | 168 | 70+168+428+428+168+70 | 1/6.15 | 0.393 |

### 主缆缆面布置应综合结构受力、刚度、抗风稳定性和景观等要求确定，可为单缆面、双缆面或多缆面，主缆布置形式可采用平面布置或空间布置。

### 吊索间距应综合考虑主梁运输架设条件，主梁、吊索、索夹的受力情况，经济及景观因素等确定。自锚式悬索桥主梁采用钢梁或钢-混凝土组合梁时，吊索间距宜为9m~15m，采用混凝土梁时，吊索间距宜为6m~9m。对于小跨径的自锚式悬索桥，吊索间距可考虑景观因素适当减小。

### 主梁及桥塔的结构尺寸应满足使用功能、结构受力、刚度和稳定性以及检修作业的要求。主梁及桥塔外形应考虑减小风阻系数和利于抗风稳定性等要求。

### 混凝土主梁由车道荷载（不计冲击力）频遇值引起的最大竖向挠度值不宜大于跨径的1/500，钢主梁和钢-混凝土组合梁由车道荷载（不计冲击力）频遇值引起的最大竖向挠度值不宜大于跨径的1/400，频遇系数取1。

### 混凝土主梁纵向宜按照A类预应力混凝土构件设计。

# 作用及结构总体计算

## 一般规定

### 自锚式悬索桥设计中作用的取值、作用的分类及其组合，除本规程有明确规定外，应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60或《城市桥梁设计规范》CJJ 11的相关规定。

### 自锚式悬索桥应根据结构不同的设计状况按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60确定作用效应分项系数和频遇值、准永久值系数。

### 在自锚式悬索桥设计计算中，应进行静力、抗风、抗震以及稳定分析，确保结构的强度、刚度和稳定性满足要求。同时，结构分析应考虑施工过程的影响。

[条文说明]自锚式悬索桥施工一般采用先梁后缆法，特殊情况下也可采用转体施工或临时地锚施工。主梁架设方法一般有支架法、顶推法、斜拉扣挂法等，不同的架设方法和体系转换过程会影响结构最终受力状态。因此，结构分析应考虑施工过程的影响。

## 作用及其组合

### 永久作用取值应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定执行。结构重力包括结构物自重及附着于结构物的附属部分重量。

### 汽车荷载、汽车冲击力和制动力、人群荷载取值均应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60或《城市桥梁设计规范》CJJ 11的规定执行。桥面两侧设置的检修道，人群荷载可取1.5kN/m2。

### 温度作用

1 材料的线膨胀系数按照《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定取用。

2 均匀温度作用

计算桥梁结构因均匀温度作用引起的外加变形或约束变形时，应从受到约束时的结构温度开始。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。当缺乏实际调查资料时，可按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60规定执行。

3 梯度温度作用

a）混凝土

计算混凝土或叠合梁由于竖向温度梯度引起的效应时，可采用图5.2.3-1所示的竖向温度梯度曲线，其桥面板表面的最高温度T1规定见表5.2.3-1。

混凝土上部结构和带混凝土桥面板的钢结构的竖向日照反温差为正温差乘以-0.5。

****

**图5.2.3-1 砼及叠合梁主梁梯度温度计算示意图（尺寸单位：mm）**

A-混凝土结构当梁高H小于400mm时，A=H-100；梁高H大于或等于400mm，A=300；带混凝土桥面板的钢结构A=300；t-混凝土桥面板厚度

**表5.2.3-1 梯度温度正温差计算的温度基数**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构类型 |  |  |
| 水泥砼铺装 | 25 | 6.7 |
| 50mm沥青砼铺装层 | 20 | 6.7 |
| 100mm沥青砼铺装层 | 14 | 5.5 |

b）钢结构

计算钢主梁梯度温度可按图5.2.3-2和表5.2.3-2计算。

****

**图5.2.3-2 钢主梁梯度温度计算示意图**

本图适用于40mm厚桥面铺装层的钢箱梁温度地图，其他桥面铺装层厚度的钢箱梁温度基数T值见表5.2.3-2。

**表5.2.3-2 不同铺装层厚度温度基数T值（**℃**）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 铺装层厚度 | 升温 | | | | 降温 |
| T1 | T2 | T3 | T4 | T1 |
| 无铺装层 | 30 | 16 | 6 | 3 | 8 |
| 20 | 27 | 15 | 9 | 5 | 6 |
| 40 | 24 | 14 | 8 | 4 | 6 |

c）主塔横断面温差按5℃取用。

4 材料温差作用

缆索与混凝土主梁、索塔间的温差可按±（10℃~15℃）取用。

缆索与钢主梁、钢索塔间的温差可按±10℃取用。

### 风荷载计算应按现行行业标准《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01的规定执行。桥梁的抗风设计按W1风作用水平和W2风作用水平确定，W1风作用水平对应的风速为重现期10年（10年超越概率65.1%）对应的风速值且不大于25m/s，W2风作用水平对应的风速为重现期100年（100年超越概率63.2%）对应的风速值。

### 风荷载与其他作用的组合应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定，并应遵循下列原则：

1 当风荷载与汽车荷载及相关作用组合时，风荷载按W1风作用水平确定。

2 在W2风作用水平下进行相关极限状态设计时，汽车荷载不参与荷载组合。

### 施工阶段的设计风速可按下式确定：

式中：—施工阶段设计风速（m/s）；

—桥梁或构件基准高度Z 处的设计基准风速（m/s）；

—施工期抗风风险系数，一般可由表5.2.6选用，也可根据桥梁具体情况和不同的抗风目标通过风险评估确定。

**表5.2.6 施工期抗风风险系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 桥梁施工年限（年） | 风险区域 | | |
| R1 | R2 | R3 |
| ≤3 | 0.88 | 0.84 | 0.78 |
| ＞3 | 0.92 | 0.88 | 0.84 |

桥梁抗风风险区域应根据基本风速大小确定，R1对应的基本风速，R2对应的基本风速，R3对应的基本风速。

### 地震作用应按现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01或《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166的规定执行。

### 支座摩阻力应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定执行，特殊支座的摩擦系数可参考产品可靠试验提供的数据确定。

### 船舶撞击力宜通过开展专题研究确定，缺乏相关资料时，可按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60或《公路桥梁抗撞设计规范》JTG/T 3360-02的相关规定取值。

### 施工阶段验算必须计入施工阶段可能出现的各种荷载，包括施工机具、施工人员、临时堆载等。

### 作用组合应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的有关规定。自锚式悬索桥设计的作用组合应包括下列组合：

组合1： 恒载+活载

组合2：恒载+活载+温度作用

组合3：恒载+活载+温度作用+W1风

组合4：恒载+W2风

组合5：恒载+满布人群荷载

组合6：恒载+活载+船舶撞击力

组合7： 恒载+地震力

[条文说明]恒载包括结构重力、预加力、收缩徐变、基础变位等，恒载计算应计入施工过程影响。

活载包括汽车荷载、汽车冲击力、汽车离心力、汽车制动力、人群荷载等。在进行支座抗震验算时，应计入50%均匀温度作用效应。

满布人群荷载指桥面上的车行道、非机动车道以及人行道等可供通行的桥面全部布置人行荷载。车行桥满布人群荷载可按2.4kN/m2取值。

## 静力计算

### 静力计算宜采用空间结构分析模型，当简化平面结构图式时，应考虑荷载横向分布对结构的影响。

### 计算竖向挠度、水平变位、梁端转角（面内、面外）及纵向位移时，应采用汽车车道荷载频遇值（不计冲击力），频遇值系数应取1.0。

### 应根据设计成桥线形和结构重力、内力等，计算索股无应力长度、空缆线形、鞍座预偏量、索股初始张力、索夹位置及吊索无应力长度。

### 应根据施工阶段索塔内力及变形确定鞍座顶推量，明确相应的主缆线形、主梁空间位置等。

## 抗风计算

### 自锚式悬索桥应按现行的《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01或其他有效计算方法进行空气动力稳定性分析。

### 自锚式悬索桥动力特性宜采用有限元法计算。

### 结构的阻尼比可按下列规定取用：

1 以主梁振动为主的振型阻尼比可按表5.4.3-1取值。

**表5.4.3-1 以主梁振动为主的振型阻尼比**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 主梁形式 | 阻尼比 | 主梁形式 | 阻尼比 |
| 钢箱梁 | 0.003 | 钢混组合梁桥 | 0.01 |
| 钢桁架主梁 | 0.005 | 混凝土梁 | 0.02 |

2 以主塔振动为主的振型阻尼比可按标5.4.2-2取值。

**表5.4.3-2 以桥塔振动为主的振型阻尼比**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 主梁形式 | 阻尼比 | 主梁形式 | 阻尼比 |
| 钢桥塔 | 0.005 | 钢混组合桥塔 | 0.01 |
| 混凝土桥塔 | 0.02 |  |  |

3 无附加阻尼装置的拉索与吊杆结构阻尼比可取为0.001。

### 桥梁结构及构件在风作用下的承载能力极限状态设计和检验应按下列内容考虑：

1 W1风作用水平下，与车辆等荷载组合时的结构强度、静力稳定性与极限承载力等性能。

2 W2风作用水平下，结构的强度、静力稳定性、极限承载力、静风稳定性和气动稳定性等性能。

3 W1与W2 风作用水平风速区间内，桥梁结构或构件发生涡激共振的可能性。

### 桥梁结构及构件在风作用下的正常使用极限状态设计和检验应按下列内容考虑：

1 WI 风作用水平下，与车辆等荷载组合时的结构刚度、耐久性、行车或行人安全性及舒适性等。

2 W2 风作用水平及以下，结构疲劳易损构件的抗疲劳性能。

### 自锚式悬索桥结构的颤振、驰振临界风速以及风致限幅振动应按现行行业标准《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01要求确定。分析计算和试验时不仅要考虑成桥持久状态，还必须考虑短暂状态的最不利阶段。

## 抗震计算

### 自锚式悬索桥抗震计算应按现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01或《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166有关规定执行。

### 自锚式悬索桥应采用E1和E2两水准地震作用进行抗震设防，E1地震作用宜采用50年超越概率10％的地震动，E2地震作用宜采用50年超越概率2％~3％的地震动。E1和E2地震作用采用设计加速度反应谱和设计地震动加速度时程表征，宜根据专门的工程场地地震安全性评价确定桥址E1和E2地震作用。

### 进行自锚式悬索桥地震作用效应分析时，计算模型应真实模拟桥梁结构的刚度和质量分布及边界条件，并应满足下列要求：

1 计算模型应根据实际情况考虑相邻引桥对主桥地震作用效应的影响。

2 桥墩、索塔可采用空间梁单元模拟；桥面系应视截面形式选用合理计算模型；主缆和吊索可采用空间桁架单元。

3 进行非线性时程分析时，应采用能反映支座力学特性的单元模拟；塔柱已进人非线性工作状态时，应选用适当的弹塑性单元模拟。

4 应考虑桩—土—结构相互作用对自锚式悬索桥地震作用效应的影响。

### 自锚式悬索桥地震作用效应分析可按表5.5.4的规定选用合适的方法。

**表5.5.4 不同地震作用的分析方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 地震作用 | 分析方法 |
| E1 | 反应谱或线性时程法 |
| E2 | 非线性时程法 |

### 采用多振型反应谱计算时，所考虑的振型阶数应保证在计算方向上的质量参与系数在90%以上。

### 采用线性和非线性时程分析方法计算时，应至少采用3组地震加速度时程。当采用3组地震加速度时程计算时，应取3组计算结果的最大值；当采用7组及以上地震加速度时程计算时，应取计算结果的平均值。

### E1地震作用下，地震作用和其他作用组合后，应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64和《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63进行索塔、桥墩和基础的强度验算。

### E2地震作用下应按下列要求进行抗震验算：

1. E2地震作用下，地震作用和其他作用组合后，索塔、桥墩截面和桩基础截面的截面弯矩应小于截面等效抗弯屈服弯矩（考虑轴力）My（图5.5.8）。



**图5.5.8 弯矩一曲率曲线**

1. E2地震作用下，地震作用和其他作用组合后，应按现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63进行单桩承载能力验算。

### 主梁、主缆、吊索强度以及鞍座的抗滑性验算应按本技术规程的相关规定进行验算。

## 稳定计算

### 结构体系第一类稳定，即弹性屈曲的结构稳定安全系数应不小于4.0；第二类稳定，即计入材料非线性影响的弹塑性强度的稳定安全系数，混凝土主梁应不小于2.50，钢主梁应不小于1.75。

### 自锚式悬索桥主梁和主塔以轴压受力为主，除验算构件整体稳定外，还应对受压板件进行局部稳定应力分析，屈曲应力验算应符合《公路钢结构桥梁设计规范》JDG D64的要求

## 施工阶段计算

### 各施工阶段计算简图应与施工流程的划分一致。

### 施工阶段主要验算内容包括：结构内力、截面应力、支座反力、索塔及主梁变位等，计算时应考虑非线性影响。

### 主梁线形控制应充分考虑支架的沉降和变形的影响。

### 钢结构主梁施工阶段验算可考虑应力提高系数。

### 混凝土主梁施工阶段验算应按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计及规范》JTG 3362的规范执行。

# 索塔



## 一般规定

### 索塔设计除应满足施工及运营阶段结构强度、刚度、稳定性、耐久性等要求外，尚应考虑经济合理、造型美观、施工方便及便于维修养护等要求。

### 多塔自锚式悬索桥中塔纵向刚度确定宜综合考虑主梁挠度和主缆抗滑移安全要求。

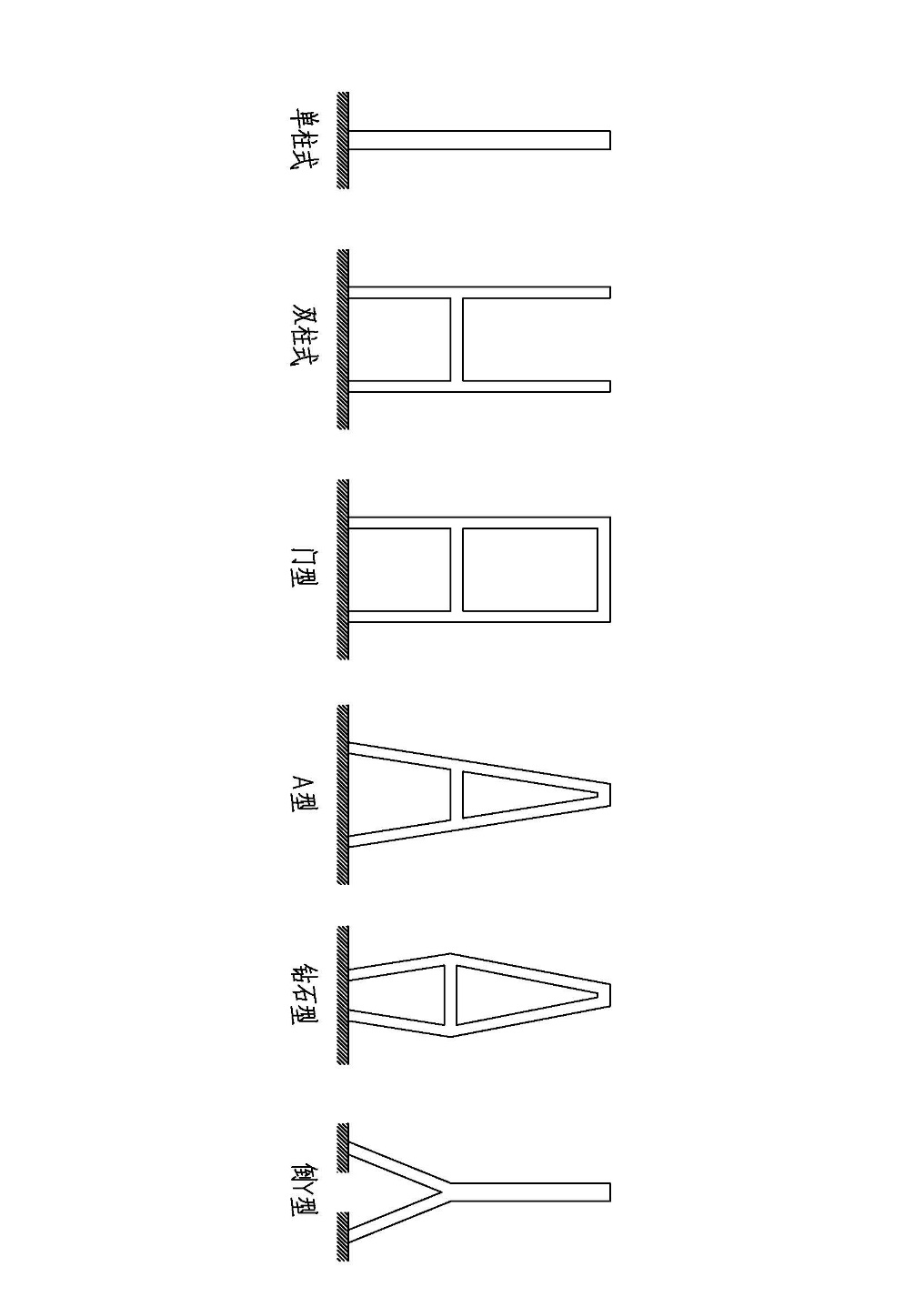
### 索塔的高度应根据主缆垂度、主梁高度、桥面线形、通航净高与航空限高等确定。

### 位于通航水域的索塔，应满足防、抗船撞等要求。

### 索塔设计应满足防雷、航空警示等要求。

## 结构形式

### 自锚式悬索桥索塔可根据主缆布置形式、结构受力需求及景观需要采用单柱式、双柱式、门型、A型、钻石型或倒Y型等结构形式。



**图6.2.1索塔横桥向结构形式**

条文说明: 自锚式悬索桥主缆缆面布置可为单缆面、双缆面或多缆面，主缆布置形式可采用平面布置或空间布置。单柱式桥塔和倒Y形桥塔一般适用于平面单缆面和空间双缆面，双柱式和门型塔一般适用于平行双缆面，A型塔和钻石型塔一般适用于空间双缆面。

### 自锚式悬索桥一般采用钢筋混凝土索塔，在塔柱造型或结构受力复杂时可采用钢索塔或钢混组合索塔。

条文说明: 钢筋混凝土索塔的优点是用钢量少、成本低、易维护，我国修建的大跨度自锚式悬索桥基本都采用了钢筋混凝土索塔。

钢索塔和钢混组合索塔一般在塔柱造型或结构复杂时采用，根据收集的国内外自锚式悬索桥相关资料，采用钢索塔的现代自锚式悬索桥有美国旧金山-奥克兰海湾新桥、济南凤凰黄河大桥等。

### 索塔塔柱及横梁应根据受力、施工和景观等要求，确定合适的截面形式。塔柱断面设计应满足下列要求：

1. 根据索塔顺、横桥向的受力要求选择合适的断面尺寸和壁厚。
2. 塔顶尺寸应满足主索鞍设置要求。
3. 塔柱设计应考虑塔内养护作业的尺寸要求。

### 钢索塔的塔柱钢混结合区宜选择在承台或下横梁位置处。

## 构造要求

### 混凝土塔柱截面构造应满足下列要求：

1. 钢筋混凝土塔柱截面边长大于3.5m时，宜采用空心截面。
2. 空心截面塔柱顶段应有足够厚度的实体段，其厚度应满足主索鞍传力需求，一般不宜小于3m。
3. 空心截面塔柱底部宜设置实体段或塔座。
4. 空心截面塔柱壁厚一般不宜小于60cm，在与横梁连接处的塔壁应局部加厚，其厚度应满足横向预应力束布置等需要，塔内剩余空间应满足塔柱内养护作业需要。
5. 空心截面塔柱和横梁应设置通气孔，间距宜为5m~10m。
6. 空心截面塔柱、横梁均应设置检修孔，其尺寸应方便人员出入和设备的安装，内部应设置检修通道。
7. 空心横梁在主梁结构、施工支架及吊装设备的支承处应设置横隔板，横隔板厚度不宜小于50cm。
8. 主梁底与下横梁之间的距离应满足支座与限位装置安装、更换及养护要求。
9. 索塔横梁宜采用预应力结构，预应力筋宜锚固于塔柱外侧。横梁中普通受拉钢筋的最小配筋率不应小于0.3%。
10. 塔柱竖向受力钢筋直径不应小于25mm，其截面配筋率不应小于0.6％；箍筋直径不应小于16mm，间距不应大于200mm。

### 钢塔柱除应满足现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64的规定外，尚应满足下列规定：

1. 钢塔柱宜采用箱型截面。
2. 钢索塔外壁板和竖向隔板的厚度应根据受力确定，一般不宜小于16mm
3. 钢塔柱内应设置水平横隔板或环向加劲，环向加劲竖向间距不宜大于2.5m。
4. 钢塔柱应满足抗风性能要求，必要时尚应考虑减振设施的相关构造要求。
5. 钢塔柱节段间连接可采用焊接或磨光顶紧与高强度螺栓结合的方式。
6. 钢横梁与钢塔柱横梁预留段的连接方式可采用栓接、焊接或栓焊结合的方式。
7. 钢塔柱节段高度划分应充分考虑工厂制造、运输及安装起吊能力。在满足上述要求前提下，应尽可能加大节段高度以减少现场拼接工作。
8. 钢塔柱塔顶构造应根据主索鞍形式合理布置，做到传力直接。
9. 钢塔柱与混凝土结构的连接可采用锚杆端板承压式（图6.3.2-a）、传剪插入式（图6.3.2-b）或传剪承压组合式（图6.3.2-c）等连接方式。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| **a)锚杆端板承压式** | **b)传剪插入式** | **c)传剪承压组合式** |

**图6.3.2 钢塔柱与混凝土结构的连接方式**

1. 钢塔柱应设置检修人孔及检修通道，并宜设置外幕养护设备。

条文说明: 钢塔柱与混凝土结构的连接接头可根据接头位置、景观要求等选择合适的形式。锚杆端板承压式通过预应力筋（锚杆）预拉使连接结合面完全处于受压状态，主要通过钢结构端板的承压方式传递塔柱的力；传剪插入式主要通过抗剪连接件以抗剪方式传递塔柱的力，抗剪连接件一般采用PBL键，即在钢板上开孔，并在孔内穿钢筋的方式；传剪承压组合式为锚杆端板承压式和传剪插入式的组合应用，通过钢结构端板和抗剪连接件（可为PBL键、焊钉等）共同传递塔柱的力。

采用锚杆端板承压式和传剪插入式连接时，钢塔柱外尺寸一般小于混凝土外尺寸，连接接头处有截面外形突变，一般适合连接接头设置于下塔柱或其他景观要求不高的情况。采用传剪承压组合式连接时，钢塔柱外尺寸可与混凝土外尺寸一致，连接接头过渡段外形平顺，可用于连接接头位于上塔柱或其他景观要求较高的塔柱连接。

### 钢横梁应满足下列要求：

1. 钢横梁宜采用箱形结构或桁架式结构
2. 钢横梁与混凝土塔柱中钢预埋件的连接方式宜采用栓接，当采用焊接或栓焊结合方式连接时，钢预埋件在塔壁外的预留长度不宜小于30cm。
3. 钢横梁设计应考虑运营期检修及防腐等要求，钢横梁与混凝土连接处应进行重点防腐设计。

### 索塔基础构造应满足现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63的相关要求。

## 结构计算

### 索塔应按照施工和成桥运营两个阶段进行整体计算分析。

### 鞍座下的桥塔结构应进行局部验算。

### 桥塔塔柱计算长度（l0）宜采用有限元方法等效计算，有限元计算应计入结构几何非线性效应的影响。

### 混凝土塔柱及混凝土横梁的截面验算应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定。

### 钢塔柱及钢横梁的截面验算应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64的规定。

### 索塔应验算施工和成桥阶段结构整体稳定性，索塔的弹性整体稳定系数不应小于4，考虑初始缺陷、残余应力、材料非线性的稳定系数对于混凝土塔不应小于2.5，对于钢塔不应小于1.75。钢塔设计除应进行整体稳定性计算外尚应进行局部稳定性计算，并应保证局部失稳不先于整体失稳发生。

# 主梁

## 一般规定

### 主梁可采用预应力混凝土梁、钢主梁、钢—混凝土组合梁、混合梁等。主梁形式的选择应考虑结构强度、刚度、疲劳、抗风稳定性、施工工艺等因素，主跨跨径小于200m时可采用预应力混凝土梁，主跨跨径在150m~400m之间时可采用钢—混凝土组合梁或钢主梁，主跨跨径大于400m时，宜采用钢主梁。

条文说明: 本条文的制定充分考虑了预应力混凝土梁、钢主梁、钢—混凝土组合梁三种主梁结构的重量、刚度等因素，调研了国内外33座已建或在建的自锚式悬索桥主梁结构形式。根据收集资料，预应力混凝土梁的主跨跨径在60m~180m之间，钢—混凝土组合梁主跨跨径在90m~370m之间，钢主梁主跨跨径在141m~600m之间。

不同的主梁结构形式可根据受力的需要沿纵桥向相互组合形成混合梁，常用的组合形式有：中跨采用钢主梁、边跨采用预应力混凝土梁；中跨采用钢主梁、边跨采用钢—混凝土组合梁；中跨采用钢—混凝土组合梁，边跨采用预应力混凝土梁。

**独塔自锚式悬索桥主梁结构形式**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成**  **年份** | **主跨**  **跨径** | **跨径布置** | **中跨主梁材料** | **中跨主梁**  **断面形式** |
| **福建莆田木兰溪大桥** | 2009 | 102.5 | 40+50+100+100+50+40 | 预应力混凝土梁 | 整体箱梁 |
| **天津富民桥** | 2008 | 141 | 86.4+157.1 | 钢主梁 | 分离式钢箱梁 |
| **上海市澄浏南路跨蕰藻浜大桥** | 2015 | 155 | 38.5+40+155 | 钢主梁 | 分离式钢箱梁 |
| **广州猎德大桥** | 2009 | 219 | 47+167+219+47 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **福州市鼓山大桥** | 2010 | 235 | 50+150+235+35 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **南京江心洲大桥** | 2009 | 248 | 35+77+60+248+35 | 钢主梁 | 分离式钢箱梁 |
| **青岛海湾大桥大沽河航道桥** | 2011 | 260 | 80+190+260+80 | 钢主梁 | 分离式钢箱梁 |
| **佛山平胜大桥** | 2006 | 350 | 6x40+30+350+2x30 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **美国旧金山-奥克兰海湾新桥** | 2013 | 385 | 180+385+80 | 钢主梁 | 分离式钢箱梁 |

**双塔自锚式悬索桥主梁结构形式**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成**  **年份** | **主跨**  **跨径** | **跨径布置** | **中跨主梁材料** | **中跨主梁**  **断面形式** |
| **大连市金湾桥** | 2002 | 60 | 24+60+24 | 预应力混凝土梁 | 边主梁 |
| **苏州竹园大桥** |  | 90 | 30+90+30 | 钢—混凝土组合梁 | 箱形双主梁 |
| **浙江金华康济桥** | 2004 | 100 | 36+100+36 | 钢—混凝土组合梁 | 箱形边主梁 |
| **浙江江山北关大桥** | 2005 | 118 | 40+118+40 | 预应力混凝土梁 | 边主梁 |
| **广西钦州市子材大桥** | 2011 | 158 | 65+158+65 | 预应力混凝土梁 | 边主梁 |
| **西宁市跨湟水河桥** | 2012 | 158 | 24+65+158+65+24 | 预应力混凝土梁 | 整体箱梁 |
| **抚顺万新大桥** | 2004 | 160 | 15+70+160+70+15 | 预应力混凝土梁 | 整体箱梁 |
| **绍兴镜湖大桥** | 2006 | 180 | 75+180+75 | 预应力混凝土梁 | 边主梁 |
| **德国科隆-迪兹桥** | 1915 | 184.5 | 92.3+184.5+92.3 | 钢主梁 |  |
| **南昌市洪都大桥** | 2006 | 195 | 85+195+85 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **武汉江汉六桥** | 2015 | 252 | 110+252+110 | 钢—混凝土组合梁 |  |
| **杭州江东大桥** | 2008 | 260 | 83+260+83 | 钢主梁 | 分离式钢箱梁 |
| **广西贵港市罗泊湾大桥** | 2017 | 280 | 50+140+280+140+50 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **日本此花大桥** | 1990 | 300 | 120+300+120 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **韩国永宗大桥** | 2000 | 300 | 125+300+125 | 钢主梁 | 桁梁 |
| **株洲枫溪大桥** | 2016 | 300 | 3x45+300+3x45 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **长沙三汊矶湘江大桥** | 2006 | 328 | 70+132+328+132+70 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **舟山市小干二桥** | 2019 | 370 | 150+370+150 | 钢—混凝土组合梁 | 箱形双主梁 |
| **桃花峪黄河大桥** | 2013 | 406 | 160+406+160 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |
| **重庆鹅公岩复线桥** | 2019 | 600 | 50+210+600+210+50 | 钢主梁 | 整体式钢箱梁 |

**多塔自锚式悬索桥主梁结构形式**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成**  **年份** | **主跨**  **跨径** | **跨径布置** | **中跨主梁材料** | **中跨主梁**  **断面形式** |
| **福州螺州大桥** | 2013 | 168 | 80+168+168+80 | 钢主梁 | 箱形双主梁 |
| **临汾尧贤街跨洰河大桥** | 在建 | 168 | 50+80+168+168+80+50 | 钢—混凝土组合梁 | 箱形双主梁 |
| **银川滨河黄河大桥** | 2015 | 218 | 88+218+218+88 | 钢—混凝土组合梁 | 箱形双主梁 |
| **济南凤凰黄河大桥** | 在建 | 428 | 70+168+428+428+168+70 | 钢—混凝土组合梁 | 整体式钢箱梁 |

### 钢主梁或钢—混凝土组合梁节段的划分应充分考虑工厂制造、运输及安装起吊能力。在满足上述要求前提下，应尽可能加大节段长度以减少现场拼接工作。

### 钢主梁或钢—混凝土组合梁节段应在架设前预拼，预拼线形应在成桥线形基础上考虑设计和施工预拱度，预拼时的节段不应少于3段。

### 主梁架设方法应根据桥位建设条件、施工安全、结构受力、质量、工期、环保和经济性等因素确定，可采用支架施工、顶推施工、斜拉扣挂等施工方法。

条文说明:自锚式悬索桥施工一般采用先梁后缆的施工方法。对于施工期间没有通航要求的桥梁，主梁架设可选用满堂支架法、小节段梁少支架拼装法等；对于施工期间有临时通航要求的，可采用顶推法、大节段整体吊装法，其临时墩布置应满足临时通航孔设置要求；对于施工期间通航要求较高、不可设置临时墩的，可采用临时斜拉索逐节段吊装的施工方法，在主梁合龙后进行体系转换。

### 主缆梁上锚固位置的空间应满足主缆从索股架设到桥梁运营阶段的净空需求。

条文说明:自锚式悬索桥主缆架设线形与成桥线形差异较大，易发生施工时索股与主梁相碰影响架设等问题，要求对主缆全过程的空间状态进行检验，避免索股与各加劲板等构件相碰。

### 主梁设计应设置便捷的检修通道和检修人孔，大跨径自锚式悬索桥钢主梁和钢—混凝土组合梁宜设置梁底检修桁车以方便检修维护作业。

### 主梁设计应预留吊索、支座、阻尼器等设施的更换空间并设置相关配套构造。

### 自锚式悬索桥主梁设计时应采取可靠措施平衡主缆锚固区上拔力。

条文说明:自锚式悬索桥的主缆锚固于主梁上，如果主缆向上的竖向分力超过主梁自重等向下的竖向力, 就会导致锚固区支座出现负反力，进而可能影响到整个结构体系的安全。因此，必须采取可靠措施避免这种情况发生。首先，为了将主缆的竖向分力控制在合理的水平，总体布置时应采用合适的主缆垂跨比、边中跨跨径比及合理的桥塔高度。如仍然存在负反力，可采取措施增加主梁锚固区的结构重量，包括主缆锚固区主梁设置配重、设置连续外边跨、将相邻跨引桥端支座设置在锚固区主梁结构上等。当采用设置配重的措施时，应注意验算配重处主梁结构的局部受力；当利用相邻跨引桥重量时，应采取可靠措施防止引桥结构在地震时落梁。

除上述措施之外，还可考虑采用抗拉连接消除负反力的不利影响，可考虑的抗拉连接构件类型有多种，如支座上下摆间设置抗拉连接的拉压支座、主梁和桥墩之间的预应力钢束等。

### 主梁设计应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64、《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01及《钢—混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917的有关规定。

## 预应力混凝土梁

### 预应力混凝土梁宜根据结构受力、索塔及主缆布置形式选择合理的截面形式。对于双缆面，宜采用边主梁；对于单缆面，宜采用整体箱梁；也可根据受力、景观等采用其他截面形式。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a)边主梁 | b)整体箱梁 |

**图7.2.1混凝土主梁截面形式**

### 预应力混凝土梁顶板采用以纵向为主的传力体系时，横梁间距宜为4m~6m，对应的顶板厚度宜为25cm~30cm；当采用以横向为主的传力体系时，顶板厚度根据纵肋间距可适当减小，但不宜小于22cm。

### 横梁宜按预应力构件进行设计。跨中横梁可采用矩形断面或带马蹄的T形断面，横梁腹板厚度应根据受力及构造要求确定，最小厚度不宜小于20cm。

### 预应力混凝土梁箱室底板应设置泄水孔，腹板应设置通气孔，通气孔间距宜为2m~5m。

### 预应力混凝土梁其他构造要求应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的相关规定。

## 钢主梁

### 钢主梁宜根据结构受力、索塔及主缆布置形式选择合理的截面形式。对于双缆面桥梁，可采用箱形双主梁或整体式钢箱梁；对于单缆面桥梁，宜采用整体式钢箱梁；对于塔柱中央布置的空间双缆面桥梁，宜采用分离式钢箱梁；也可根据受力、景观等采用其他截面形式。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a) 箱形双主梁 | c）整体式钢箱梁（双缆面） |
|  |  |
| b) 分离式钢箱梁 | d) 整体式钢箱梁（单缆面） |

**图7.3.1 钢主梁截面形式**

条文说明:国内外已建的自锚式悬索桥中仅有韩国永宗大桥采用钢桁梁的结构形式，其他均为钢箱梁。由于钢桁梁较少在自锚式悬索桥中采用，本章节主要针对钢箱梁进行具体规定。当因建设条件要求需要采用钢桁梁时，可参考本技术规程的相关规定进行结构验算和构造设计。

钢板梁也是钢结构桥梁经常采用的截面形式，由于自锚式悬索桥受到较大的轴向压力作用，而钢板梁的整体稳定性能相对较低。因此，一般不推荐自锚式悬索桥采用钢板梁，对于一些小跨径的景观人行桥，如采用钢板梁，可参考本技术规程的相关规定进行结构验算和构造设计。

### 钢主梁桥面板一般采用正交异性板结构，纵向加劲肋宜采用U形闭口加劲肋。

### 整体式钢箱梁或分离式钢箱梁底板和腹板宜采用U形闭口加劲肋。

条文说明：自锚式悬索桥主梁受到的轴压作用力在总受力中所占比重较大，为了提高主梁板件的局部稳定性能，钢箱梁的底板和腹板均宜采用U形闭口加劲肋。

### 整体式钢箱梁横隔板可采用板式或桁式，分离式钢箱梁横隔板宜采用板式，横隔板间距不宜大于4m。

### 箱型双主梁边箱梁顶、底板及腹板宜采用开口加劲肋。边箱梁应设置横隔板或环向加劲，环向加劲间距不宜大于2m。

条文说明: 箱型双主梁边箱梁一般位于索区，不处于行车道范围。同时其宽度一般较小，便于设置环向加劲。因此，其纵向可采用开口加劲肋，在满足主梁局部稳定要求的同时便于加工制造。根据相关工程经验，环向加劲的间距一般不宜超过2m。实际工程中如需加大环向加劲肋间距，可参照相关规定进行局部稳定性验算。

### 箱型双主梁的横梁宜采用工字梁，横梁腹板应与边箱室内横隔板相对应。

### 分离式钢箱梁的横梁宜采用箱形梁，横梁纵向位置应与吊点相对应。

### 钢主梁行车道处正交异性桥面板可根据车道荷载选择不同的板厚，一般不宜小于14mm，对于重车车行道，厚度宜加厚至16mm。U形闭口加劲肋的厚度不宜小于8mm，其净距与顶板厚度之比不应大于25。当采用超高性能混凝土组合铺装结构时，其钢面板厚度可适当减小，加劲肋也可采用开口型式。

条文说明: 鉴于国内超载车辆较多、钢桥面铺装施工质量较难得到保证等现状，增加正交异性钢桥面板的顶板厚度和U形闭口加劲肋的厚度有利于增强桥面板的整体刚度、提高桥面板及其铺装结构的耐久性。

近年来，超高性能混凝土等轻型组合铺装逐步在工程中得到应用，对于采用超高性能混凝土组合铺装结构的正交异性钢桥面板，其钢面板厚度可适当减小，加劲肋也可采用开口型式。

### 非行车道处的正交异性桥面板厚度不宜小于10mm，U形闭口加劲肋的厚度不宜小于6mm，若采用开口加劲肋，其厚度不宜小于10mm，加劲肋净距与面板厚度之比不宜大于35。

### 钢主梁底板和腹板厚度不宜小于12mm，U形闭口加劲肋的厚度不宜小于6mm；箱型双主梁开口加劲肋厚度不宜小于12mm；加劲肋净距与面板厚度之比不宜大于35。

7.3.9~7.3.10条文说明: 自锚式悬索桥主梁受到的轴压作用力在总受力中所占比重较大，板件的局部稳定性能必须加以重视。

加劲肋净距与面板厚度的比值影响面板的局部稳定性能，如果该比值过大，板件的设计强度将有较大的折减，难以充分利用钢板的承载能力，经济性欠佳，需对该比值进行合理控制。

根据现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64——2015相关规定，对于纵横向加劲肋均为刚性的Q345钢材，当加劲肋净距与面板厚度的比值为35时，计算出局部稳定折减系数约为0.7，即板件的设计强度折减为原设计强度的0.7倍。本技术规程建议折减系数不低于0.7。因此，将该比值定为35。

### 横隔板厚度不宜小于10mm，横隔板应根据受力需要单侧或双侧设置竖向或横向加劲肋。

### U形闭口加劲肋可采用热轧或冷加工成形，弯折半径与厚度之比不应小于5。

### 除端部横隔板外，横隔板应开过焊孔使桥面板纵向加劲肋连续通过。

### 钢主梁顶板U形闭口加劲肋应采用疲劳强度等级较高的构造细节，必要时可采用U肋机器人内焊技术。

条文说明:以往正交异性钢桥面板U肋角焊缝通常采用U肋外部单面焊接。近年来，得益于人工智能技术的发展，利用内焊机器人先内焊后外焊的双面焊接工艺在部分桥梁上获得了良好应用。采用先内焊后外焊的技术可以大大提高正交异性钢桥面板的疲劳性能。

### 钢主梁节段间应设置工地临时连接构造，临时连接构造应满足梁段架设过程中的结构受力及变形要求。

### 钢主梁的工地连接形式可采用全焊连接或焊接与高强度螺栓组合连接。正交异性钢桥面板的顶板工地连接应采用焊接连接，其U形闭口加劲肋的工地连接宜采用高强度螺栓连接。

### 钢主梁其他构造要求应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64的相关规定。

## 钢—混凝土组合梁

### 钢—混凝土组合梁宜根据结构受力、索塔及主缆布置形式选择合理的截面形式。对于双缆面，宜采用箱型双主梁；对于单缆面，宜采用整体式箱梁；也可根据受力、景观等采用其他截面形式。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a)整体式箱梁 | b)箱型双主梁 |

**图7.4.1钢—混凝土组合梁的形式**

### 钢—混凝土组合梁桥面板可采用混凝土桥面板或带钢底板的组合桥面板。桥面板与钢梁的受力分配应考虑施工过程的影响。

条文说明：组合桥面板是指在钢板上按一定规则设置剪力钉等连接键，再浇筑混凝土后形成共同受力的桥面板。组合桥面板考虑了钢底板与混凝土的组合作用，有效地提高了承载能力，减小了桥面板厚度，其结构重量介于正交异性钢桥面板和混凝土桥面板之间。

### 混凝土桥面板宜采用预制结构，预制板宜采用合理的配合比控制混凝土收缩率，且存放龄期一般不宜小于6个月；预制桥面板间的现浇接缝宜采用补偿收缩混凝土；混凝土桥面板板厚不宜小于25cm。

### 组合桥面板的混凝土材料宜采用高韧性低收缩混凝土或超高性能混凝土。

### 组合桥面板采用高韧性低收缩混凝土时，混凝土厚度一般不宜小于12cm，在桥面板支撑处应根据受力设置承托，钢底板厚度不宜小于8mm；当采用超高性能混凝土时，混凝土厚度不宜小于5cm，钢底板板厚不宜小于10mm。

7.4.4~7.4.5条文说明: 根据所采用混凝土的不同，组合桥面板可分为两种主要类型。

第一种类型的组合桥面板采用常规标号混凝土，为增强混凝土抗裂性能、减少收缩，宜在混凝土中掺入一定量的钢纤维或混杂纤维，使其具有低收缩、高抗裂、高韧性的特点，即高韧性低收缩混凝土。其常规构造为：在钢板上按一定规则设置带孔钢板或带孔钢板与焊钉混合的剪力键，并布设钢筋，再浇筑120mm~150mm左右厚度的混凝土后形成共同受力的桥面板。桥面板上设置50mm左右的沥青铺装层。

第二种类型的组合桥面板采用超高性能混凝土， “超高性能混凝土”简称UHPC(Ultra-High Performance Concrete)， 具有超高的强度（抗压强度≥120MPa，28d弹性段抗拉强度≥8MPa，28d极限抗拉强度≥9MPa）、超高的延性和超高的耐久性。其常规构造为：在钢板设置焊钉和钢筋，浇筑50mm~100mm左右的UHPC层，UHPC层上再设30mm~50mm的沥青铺装层。

### 钢—混凝土组合梁的横隔板间距应根据桥面板结构形式等确定。混凝土桥面板的横隔板间距宜为4m~4.5m；组合桥面板的横隔板间距宜为3m~4m。

### 钢—混凝土组合梁连接件可采用焊钉、开孔板等连接形式。混凝土桥面板可根据施工便利性、预制板结构与布置方式选用集束式或均布式焊钉；普通混凝土组合桥面板可采用开孔板和焊钉组合连接形式；超高性能混凝土组合桥面板宜采用均布式焊钉。焊钉规格应与桥面板厚度相匹配。

### 钢—混凝土组合梁其他构造要求应符合现行行业标准《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01和《钢—混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917的相关规定。

## 主缆锚固结构

### 主缆锚固结构根据主缆规格、主梁结构形式可采用直接锚固（图7.5.2-2）、分散锚固（图7.5.1-1）和环绕锚固（图7.5.2-3）等形式。

### 主缆一般采用散索套或散索鞍进行分散锚固；当主缆最大索力不大于10000kN时，可采用直接锚固形式；当锚固区位于梁端且梁高受限时，可采用环绕锚固。

### 分散锚固结构利用散索套或散索鞍按一定角度将主缆分散为单根索股进行锚固。锚固构造由索股分散区、索股锚固区构成。前端为散索套或散索鞍，后端为密闭的散索室，索股在散索室分散后在后锚面进行锚固。

### 主缆采用散索鞍散索时，散索鞍与主梁应可靠连接；采用散索套散索时，宜设置防止散索套振动的限位支架。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | |
| a) 混凝土结构分散锚固 | | b)钢结构分散锚固 | | |
| **图7.5.1-1主缆分散锚固** | | | | |
|  | |  |
| **图7.5.2-2 主缆直接锚固** | | **图7.5.2-3主缆环绕锚固** |

条文说明: 本条文调研了国内外29座已建或在建的自锚式悬索桥主缆锚固形式。根据调研情况，除大连市金湾桥因跨径较小、主缆索力较小而采用了直接锚固之外，其余桥梁大多采用分散锚固的方式，也有部分桥梁采用了环绕锚固。

分散锚固中的散索套或散索鞍并没有严格的分类方法。有依据散索时主缆中心线是否发生改变进行划分的：角度发生改变为散索鞍，不发生改变为散索套；也有从构造形式上进行划分的：构造上与索夹接近的为散索套，与鞍座接近的为散索鞍。本技术规程根据主缆中心线转角是否发生改变将两者进行分类，下表中关于锚固方式的统计分类均遵照此标准。

**独塔自锚式悬索桥主缆锚固方式**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | **建成年份** | **主跨跨径** | **跨径布置** | **主跨**  **锚固方式** | **边跨**  **锚固方式** |
| **福建莆田木兰溪大桥** | 2009 | 102.5 | 40+50+100+100+50+40 | 分散锚固  （散索套） | 分散锚固  （散索套） |
| **天津富民桥** | 2008 | 141 | 86.4+157.1 | 分散锚固 | 分散锚固 |
| **上海市澄浏南路跨蕰藻浜大桥** | 2015 | 155 | 38.5+40+155 | 分散锚固  （散索鞍） | 分散锚固  （散索鞍） |
| **广州猎德大桥** | 2009 | 219 | 47+167+219+47 | 分散锚固  （散索鞍） | 分散锚固  （散索套） |
| **福州市鼓山大桥** | 2010 | 235 | 50+150+235+35 | 分散锚固  （散索鞍） | 分散锚固  （散索套） |
| **南京江心洲大桥** | 2009 | 248 | 35+77+60+248+35 | 分散锚固  （散索鞍） | 分散锚固  （散索套） |
| **青岛海湾大桥大沽河航道桥** | 2011 | 260 | 80+190+260+80 | 分散锚固  （散索套） | 分散锚固  （散索套） |
| **佛山平胜大桥** | 2006 | 350 | 6x40+30+350+2x30 | 分散锚固  （散索鞍） | 分散锚固  （散索套） |
| **美国旧金山-奥克兰海湾新桥** | 2013 | 385 | 180+385+80 | 分散锚固 | 环绕锚固 |

**双塔自锚式悬索桥主缆锚固方式**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | 建成年份 | 主跨跨径 | 跨径布置 | 锚固方式 |
| **大连市金湾桥** | 2002 | 60 | 24+60+24 | 直接锚固 |
| **苏州竹园大桥** |  | 90 | 30+90+30 | 分散锚固 |
| **浙江金华康济桥** | 2004 | 100 | 36+100+36 | 分散锚固 |
| **浙江江山北关大桥** | 2005 | 118 | 40+118+40 | 分散锚固（散索鞍） |
| **广西钦州市子材大桥** | 2011 | 158 | 65+158+65 | 分散锚固（散索鞍） |
| **西宁市跨湟水河桥梁** | 2012 | 158 | 24+65+158+65+24 | 分散锚固（散索鞍） |
| **抚顺万新大桥** | 2004 | 160 | 15+70+160+70+15 | 环绕锚固 |
| **绍兴镜湖大桥** | 2006 | 180 | 75+180+75 | 分散锚固（散索鞍） |
| **南昌市洪都大桥** | 2006 | 195 | 85+195+85 | 分散锚固（散索套） |
| **杭州江东大桥** | 2008 | 260 | 83+260+83 | 分散锚固（散索鞍） |
| **韩国永宗大桥** | 2000 | 300 | 125+300+125 | 分散锚固 |
| **株洲枫溪大桥** | 2016 | 300 | 3x45+300+3x45 | 分散锚固 |
| **长沙三汊矶湘江大桥** | 2006 | 328 | 70+132+328+132+70 | 分散锚固 |
| **舟山市小干二桥** | 2019 | 370 | 150+370+150 | 分散锚固（散索套） |
| **桃花峪黄河大桥** | 2013 | 406 | 160+406+160 | 分散锚固（散索套） |
| **重庆鹅公岩复线桥** | 2019 | 600 | 50+210+600+210+50 | 分散锚固（散索套） |

**多塔自锚式悬索桥主缆锚固方式**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **桥名** | 建成年份 | 主跨跨径 | 跨径布置 | 锚固方式 |
| **福州螺州大桥** | 2013 | 168 | 80+168+168+80 | 分散锚固（散索鞍） |
| **临汾尧贤街跨洰河大桥** | 在建 | 168 | 50+80+168+168+80+50 | 分散锚固（散索鞍） |
| **银川滨河黄河大桥** | 2015 | 218 | 88+218+218+88 | 分散锚固（散索套） |
| **济南凤凰黄河大桥** | 在建 | 428 | 70+168+428+428+168+70 | 分散锚固（散索套） |

### 混凝土结构分散锚固后锚面锚下宜设置整体式预埋钢板，钢板厚度不宜小于30mm；索股与索股承压面应保持垂直，索股承压面与后锚面的夹角可通过楔形钢垫块进行调节。

条文说明：混凝土结构分散锚固的锚固区为实体混凝土结构，内部预埋钢锚管，索股分散后穿过预埋钢锚管，在锚固区后锚面进行锚固。为保证后锚面混凝土的局部承压受力，锚下预埋钢板应保证一定的厚度。

### 混凝土结构分散锚固索股锚固区应设置多层垂直于主缆轴线的分布钢筋，分布钢筋直径不宜小于20mm，层间距不宜大于60cm；锚下应设置局部承压分布钢筋，其钢筋层数不应小于4层。锚固区前、后锚面钢筋直径不宜小于25mm。

### 混凝土结构锚固区与主梁横梁宜通过预应力钢筋形成整体。

### 混凝土结构锚固区两侧边宜与主梁腹板纵向对应，以保证传力直接、顺畅。当采用腹板外悬挑锚固时，应设置传力过渡段，过渡段斜率不宜大于1:3，且应加强后锚面与横梁的连接钢筋。

### 钢结构分散锚固的锚固端板厚度应根据索股锚固荷载经计算确定，一般不宜小于50mm；锚固端板需根据索股排列方式设置局部承压加劲，加劲高度一般不宜大于600mm，以方便加工制造。

### 钢结构分散锚固的井字形支撑钢板的布置应根据主传力钢板间距和锚固荷载经计算确定。一般2~3排索股设置一道井字形支撑钢板，其高度一般不宜小于主传力钢板间距的0.6倍。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a)锚固区纵向立剖面 | b)锚固端面横剖面 |
| **图7.5.10 钢结构分散锚固细部构造图** | |

7.5.9~7.5.10条文说明：钢结构分散锚固的索股分散后在锚固区后锚面进行锚固。索股力由后锚面上的锚固端板传递至局部承压加劲、井字形支撑钢板和主传力钢板，并通过主传力钢板传递至主体结构。锚固端板因直接承担索股力，需保证一定的厚度，可根据索股锚固荷载和局部承压加劲的布置方式进行厚度验算。

### 钢结构分散锚固的主传力钢板一般由两侧腹板和上下两道钢板组成，上下两道钢板的角度宜与主缆中心线一致。主传力钢板的尺寸应根据计算确定，其厚度不应小于井字形支撑钢板的厚度。主传力钢板外侧宜对应井字形支撑钢板设置加劲。

### 钢结构锚固端可采用铸焊结合或全焊结构。铸焊结合结构的整体铸造部分主要包括锚固端板及其局部承压加劲、与端板相连的一段井字支撑钢板和主传力钢板。钢结构锚固区内钢板可布设焊钉并填筑混凝土，以分散局部应力。

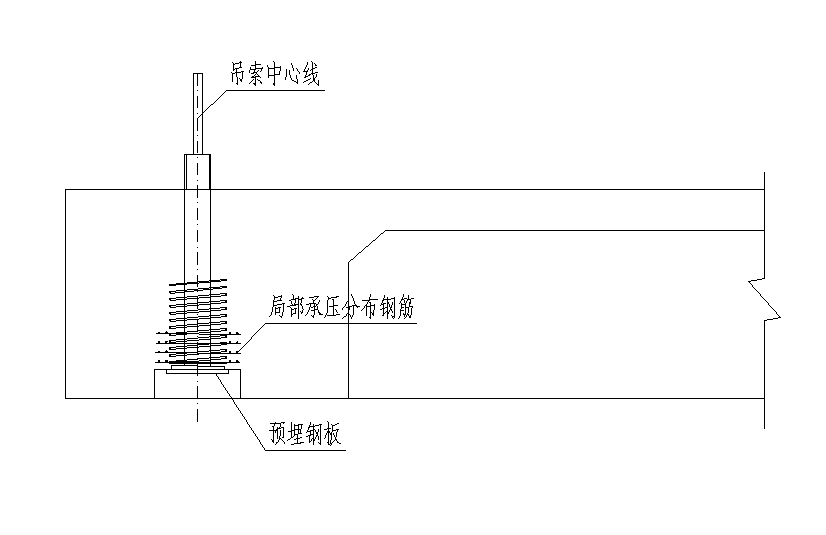
### 钢结构锚固散索区应设置隔板，其位置与主梁横梁腹板相对应，隔板厚度一般不宜小于16mm。

### 钢结构锚固区两侧主传力钢板宜与主梁腹板纵向对应，以保证传力直接、顺畅。当采用腹板外悬挑锚固时，应设置传力过渡段，并对该区域箱梁顶板及底板等构件进行适当加强。

### 环绕锚固主缆通过端横梁设置的转索鞍和顶索鞍连续绕过主梁，连接成环形进行锚固。转索鞍与顶索鞍与主梁应可靠连接，端横梁应具备足够的强度和刚度将主缆锚固力均匀传递至主梁截面。

## 吊索锚固结构

### 吊索与预应力混凝土主梁锚固一般采用预埋锚管式。锚固点在纵向应与横梁位置相对应，横向宜靠近主梁纵向腹板布置，锚下宜设置预埋钢板，钢板厚度不宜小于20mm，钢板承压面应与吊索保持垂直，钢板下应设置局部承压钢筋。



**图7.6.1 混凝土主梁吊索锚固构造图**

### 吊索与钢主梁或钢—混凝土组合梁锚固可采用钢锚箱、锚拉板或嵌入式锚管。对于双吊索，宜采用在横梁腹板两侧对称布置的钢锚箱。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| a）钢锚箱 | b）锚拉板 | c）嵌入式锚管 |

**图7.6.2 钢主梁或钢—混凝土组合梁吊索锚固形式**

### 当采用钢锚箱或嵌入式锚管时，应设置性能良好的密封措施，防止箱内渗水。

## 结构计算

### 主梁结构计算应考虑施工及运营状态，并应满足强度、刚度、疲劳和稳定性等相关要求。

### 主梁结构应进行整体计算和局部计算，应根据可能出现的不利情况进行必要的组合，并符合下列规定：

* 1. 整体计算宜采用基于全桥体系的空间杆系模型，采用车道荷载并应考虑多个车道荷载的横向偏载作用。
  2. 局部计算宜采用板壳单元模型、实体单元模型。
  3. 桥面结构应进行局部计算并与整体计算结果进行必要的组合。桥面结构局部计算采用车辆荷载并考虑多个车辆荷载的横向偏载作用，车辆的车轮荷载应考虑桥面铺装层的扩散效应，扩散角可取45°。冲击系数对于钢结构应采用0.4，对于混凝土结构，应根据现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362相关规定取值。
  4. 主梁主缆锚固结构、主梁吊杆锚固结构、主梁支承结构等应进行局部计算。

条文说明：根据《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64-2015第8.2.2条，钢桥面上汽车局部荷载作用的冲击系数应采用0.4。

### 主梁的弹性整体稳定系数不应小于4；考虑初始缺陷、残余应力、材料非线性的稳定系数对于混凝土梁不应小于2.5，对于钢梁不应小于1.75。钢梁设计除应进行整体稳定性计算外尚应进行局部稳定性计算，并应保证局部失稳不先于整体失稳发生。

### 钢主梁正交异性桥面结构以及钢主梁和钢—混凝土组合梁的桁架式横梁结构、吊索锚固结构应按照《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64中相关规定进行关键位置的疲劳验算。

### 在车辆荷载作用下，钢主梁正交异性桥面板纵向加劲肋相对于相邻横隔板的竖向变形D应小于横隔板间距L的1/500，顶板相对于相邻纵向加劲肋腹板的挠度H应小于纵向加劲肋相邻腹板间距S的 1/700。

|  |
| --- |
|  |
| a）主梁局部纵剖面 |
|  |
| b）主梁局部横剖面（U形加劲肋） |
|  |
| c）主梁局部横剖面（T形或I形加劲肋） |

**图7.7.7 正交异性钢桥面板的挠跨比**

# 主缆

## 一般规定

### 主缆索股一般采用高强度钢丝，中小跨径人行景观桥也可采用钢丝绳等材料。主缆钢丝直径d\_w宜为4.5mm~5.5mm。

条文说明: 直径5mm左右的钢丝生产工艺成熟、设备已配套定型，可降低生产成本,确保工程质量，同时为便于索股施工过程中的弯曲，大规格主缆钢丝直径宜取小值。

### 主缆施工宜采用预制平行索股法(PPWS法）。预制平行索股的技术指标应符合现行行业标准《悬索桥预制主缆丝股技术条件》JT/T 395的规定。

条文说明: 自锚式悬索桥与地锚式悬索桥相比，跨径相对较小，主缆自重轻，适宜采用工厂预制法（PPWS法），一般不采用纺线法（AS法）。

### 主缆一般截面设计空隙率宜为18%~20%，索夹内截面宜为16%~18%。

条文说明: 空隙率是主缆设计的重要参数，直接影响主缆在索夹内、外的直径，是索夹设计的重要依据。根据目前紧缆工艺水平，大部分悬索桥一般截面设计空隙率为18%~20%，索夹内截面空隙率为16%~18%。

## 结构形式

### 主缆单根索股中的钢丝数量可采用37丝、61丝，91丝、127丝等，一般宜排列成正六边形，索鞍区域应调整为矩形，宜在厂内完成矩形索股预制。

**图8.2.1-1 索股一般断面 图8.2.1-2 索鞍区域索股断面**

条文说明: 根据目前自锚式悬索桥规模，单根索股数量可采用37丝、61丝，91丝、127丝等，其中，91丝、127丝为常用钢丝数量。为增加索股在索鞍内的稳定性和摩擦力，索鞍内索股应调整为矩形断面。现场人工整型易损伤钢丝，影响防腐性能。同时现场整型质量低，效果差，架设效率低。因此，索鞍内主缆索股建议采用预成型技术，将整型过程提前到工厂内进行。索股预成型段由六边形转换成四边形前后采用六边形夹箍对索股截面固定。

### 主缆断面可采用55股、61股、73股、85股、91股、109股、121股、127股等，应按正六边形或接近正六边形排列。



**图8.2.2主缆断面**

条文说明: 自锚式悬索桥主缆常用索股数一般为55股、61股、73股、85股、91股、109股、121股、127股等，为便于紧缆后将主缆压成圆形，索股一般按照正六边形排列，部分角点无索股时，按接近正六边形排列。

### 主缆应通过紧缆工序确保主缆设计空隙率，紧缆后宜每隔1m左右设置镀锌或镀锌铝扁钢带临时捆扎主缆。

### 主缆外侧应设置缠丝，缠丝可采用S形缠绕钢丝，以提高主缆防腐性能。缠丝材料宜采用镀锌或镀锌铝防腐的低碳钢丝或中碳钢丝。

条文说明: S形钢丝与常规的圆形钢丝的主要区别在于形状和尺寸，S形钢丝由于特殊的外形构造可以保证相邻的S形缠绕钢丝间相互扣合，使缠丝层更为紧密，封闭更加可靠。同时S形钢丝缠绕后可以使主缆缠丝表面光滑，减少缠丝油漆层开裂，防止水分进入。

### 钢丝绳主缆索股由单根钢丝绳组成，主缆截面宜采用接近正六边形排列，索夹及索鞍处宜与一般断面采用相同的排列方式，索股外侧空隙可通过钢棒填充。

**  **

a)一般断面 b)索夹位置主缆断面 c)索鞍处主缆断面

**图8.2.5主缆钢丝绳断面示意图**

### 主缆索股锚头宜采用热铸锚。

## 结构计算

### 构件强度验算除应符合本节规定外，尚应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64的有关规定。

### 在永久作用、汽车荷载、人群荷载、温度作用及风荷载效应等组合下，主缆钢丝的应力设计值应符合式（8.3.2）的要求。

（8.3.2）

式中： —主缆钢丝应力设计值（MPa)；

—主缆钢丝的抗拉强度设计值（MPa)，；

—主缆钢丝的抗拉强度标准值（MPa)；

——材料强度分项系数。

——结构重要性系数。

### 主缆成桥线形宜采用分段悬链线方程计算，可通过影响矩阵法求解，详见附录A.1。任意自由索段的悬链线方程可按式8.3.3-1和式8.3.3-2计算。

（8.3.3-1）

（8.3.3-2）

式中：—索段两端水平距离差；

—索段两端竖向距离差；

—索段水平向力；

—索段竖向力；

—悬链线有应力索长。



**图8.3.3 索段示意图**

条文说明：分段悬链线可以比较真实的反映主缆成桥线形。成桥时，主缆所受荷载为沿主缆弧长均布自重及通过吊索传递的集中力。因此各吊点之间的主缆线形为受主缆自重作用的悬链线，整个主缆可以视为按吊点划分的多段悬链线的组合。

### 中小跨径悬索桥成桥线形也可采用整体抛物线方程近似计算。抛物线法成桥线形的求解详见附录A.2。

条文说明：抛物线法假定主缆所受荷载沿顺桥向均布，对于实际的悬索桥，主梁和桥面系可以视为沿顺桥向均布，但主缆自重沿主缆弧长均布。对于中小跨径悬索桥，主缆自重相对于桥面系和主梁重量很小，主缆线形可采用抛物线近似，计算精度可满足工程需要。

### 主缆与主索鞍切点及索鞍精确位置可根据成桥线形和索鞍半径利用影响矩阵法迭代求解，详见附录A.3。

### 成桥线形采用分段悬链线方程计算时，无应力索长按式8.3.6计算。

（8.3.6）

式中：

条文说明: 无应力索长由有应力索长减去弹性伸长量求得。

对于固定于A(0,0)，B(l,h)两点索段，悬链线方程数学表达式为：

式中：

由于根据成桥线形已知有应力索长𝑆。有应力索长减去弹性伸长量，可推得无应力索长为：

### 成桥线形采用抛物线方程计算时，无应力索长按式8.3.7计算：

（8.3.6）

条文说明:

根据抛物线方程积分可得有应力索长

式中：，

有应力索长减去弹性伸长量，可得无应力索长为：

### 索鞍偏移量及空缆线形可根据无应力索长相等、主索鞍平衡条件及散索鞍平衡条件通过影响矩阵法迭代求解，详见附录A.4。

### 索夹安装位置根据空缆状态索段的无应力长度与成桥时索段的无应力长度相等的条件确定，详见附录A.5。

### 索股在设计温度时的无应力长度按式8.3.10计算：

8.3.10



**图8.3.10 索段长度示意图**

——单根索股无应力索长。每根索股应根据其在主缆截面中的位置不同单独计算。

——索鞍切点间悬链线索段的的无应力索长，包括边跨散索鞍切点与主索鞍切点之间的索段以及中跨主索鞍切点之间的索段等。

——包裹索鞍的圆弧段无应力索长。包括散索鞍和主索鞍等索鞍圆弧段。

——锚固面到散索鞍切点索段的无应力索长。

### 主缆预制索股制作长度应计入由制作误差、架设误差、温度调整、锚固端部预留等引起的长度预留量。

### 锚头验算应满足下列要求：

1. 锚头锚杯内钢丝锚固长度应满足锚固强度的要求，铸锚可按式（8.3.12-1）计算。

（8.3.12-1）

式中：——主缆钢丝在锚杯内的锚固长度(mm)，如图8.3.12所示；

——钢丝抗拉强度标准值（MPa)；

——单根钢丝与铸体材料在单位面积上的附着强度；无试验资料时，铸体材料为热铸料，可取 =25MPa；铸体材料为冷铸料，可取 =18Mpa；

——钢丝直径(mm)。



**图8.3.12锚杯与铸体材料相互作用示意图**

1. 锚杯的承载能力极限状态应按式（8.3.12-2）计算，锚杯与铸体材料相互作用示意如图8.3.12所示。

（8.3.12-2）

式中：——锚杯的环向应力设计值（MPa）；

——锚杯材料的抗拉强度设计值（MPa）。

1. 锚杯的环向应力设计值可按式（8.3.12-3）和式（8.3.12-4））计算。

（8.3.12-3）

（8.3.12-4）

式中：——锚杯内铸体材料的有效长度（mm），；

——锚杯环向拉力设计值（N），可按式（8.3.12-4）计算；

——铸体材料有效长度内锚杯的平均壁厚(mm)；

——索股拉力组合设计值（N）；

——锚杯内铸体上压力线与锚杯内锥面母线的夹角；铸体材料为热铸料时，可取： =0.2；铸体材料为冷铸料时，可取： =0.45；

——锚杯内锥面母线与轴线的夹角，；铸体材料为热铸料时，斜度宜取高值；铸体材料为冷铸料时，斜度宜取低值；

条文说明

本条引用《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015）。

### 主缆缠丝力计算：

 （8.3.13-1）

其中为缠丝因主缆直径变化导致的预紧力变化值，可按式8.3.13-2计算

（8.3.13-2）

式中：

：缠丝力

：不计缠丝的松弛效应情况下，缠丝因主缆直径变化导致的预紧力变化值。

：缠丝前主缆的直径

：在主缆的缠丝过程中，缠丝机保持稳定的缠丝力输出，主缆空隙被压缩后，主缆直径变化量。

：为缠丝前的孔隙率

：为缠丝后的孔隙率

：为主缆钢丝直径

：为主缆温度变化下的径向应变，

：主缆的热膨胀系数

：主缆和缠丝之间的温差

：为主缆力变化下的径向应变，

：主缆索力变化

：主缆的泊松系数

：主缆的弹性模量

：主缆的钢丝面积。

：初始缠丝力

：主缆缠丝弹性模量

：主缆缠丝面积

条文说明

主缆缠丝起到约束主缆径向变形的作用，对整个防腐体系来说至关重要。在成桥后的各个阶段，主缆缠丝均需要保持张紧状态，保证主缆钢丝的紧密排布。

# 吊索

## 一般规定

### 镀锌或镀锌铝高强度钢丝吊索、钢丝绳吊索的技术条件应符合现行行业标准《公路悬索桥吊索》JT/T 449的规定。

条文说明

根据调研，自锚式悬索桥由于主缆直径较小，一般不采用钢丝绳骑跨式锚固，主要采用钢丝吊索。中小跨径自锚式悬索景观桥也可采用钢丝绳吊索。

### 吊索无应力索长根据成桥合理状态确定的有应力索长扣除弹性伸长量确定。

### 在吊索下料制造前，应根据实际空缆线形、主梁实际重量、吊索及主缆实测弹性模量等，对吊索的无应力长度进行修正。

### 自锚式悬索桥设计应考虑吊索更换时结构受力和施工作业需求。

## 构造要求

### 吊索与主缆索夹的连接一般采用销接式，通过叉形耳板连接。



**图 9.2.1承压式锚头构造示意图**

条文说明

自锚式悬索桥主缆一般直径较小，为避免吊索过大的弯折应力，吊索与主缆的连接一般不采用骑跨式，宜采用销接式连接。

### 吊索与主梁的连接构造应具备索力调节能力，一般采用张拉端锚头承压式锚固，对于小规格吊索也可采用带索力调节装置的销接式或球铰式锚固。



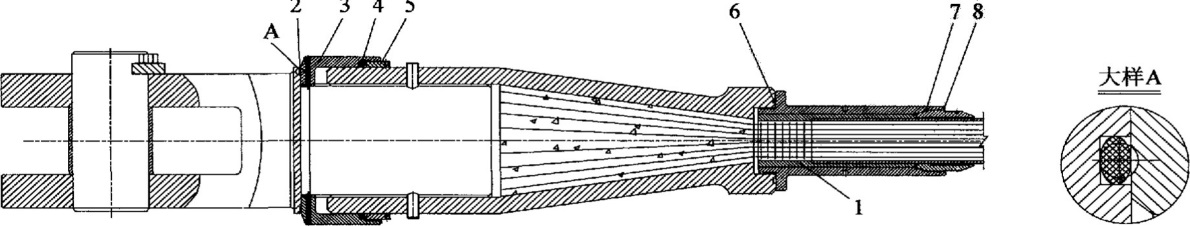
**图 9.2.2-1 承压式锚头构造示意图**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **图9.2.1-2销接式张拉端索力张拉示意图** | **图9.2.1-3球铰式锚固构造示意图** |

### 在锚杯与吊索、叉形耳板的连接处，应采用密封材料、密封圈、密封压环等进行密封处理。

**条**文说明

图9.2.3为某悬索桥锚杯密封示意图，供参考。



2

3

4

5

**图9.2.3锚杯密封构造示意图**

1-密封填料；2-O形密封圈；3-防水盖；4-O形密封圈；5-吊索处密封压环；6-O形密封圈；7-密封胶圈；8-锚杯处密封压环

### 吊索索梁连接处应设置相应的防风防雨构造和密封构造，同时吊索宜设置减振装置。

条文说明

图9.2.4为某悬索桥的索梁连接处密封和减振构造示意图，供参考。



**图9.2.4索梁连接处密封和减振构造示意图**

1-不锈钢防雨罩；2-密封胶；3-高弹性防水密封胶；4-密封橡胶条；5-充气式管道铝箔密封气囊；6-橡胶防水罩；7-不干性密封膏；8-橡胶减振圈

吊索宜采用铝箔气囊密封体系，利用高强度铝合金气囊的充气填充特性起到完全密封的作用，将预埋钢管与拉索间的密封形式由接触密封改为压力密封，提高密封性能。

### 销接式吊索的锚头、叉形耳板、销轴之间，以及吊索销轴与索夹的耳板之间，应确定适宜的公差和配合。

### 索夹耳板销轴孔的内壁应采用可靠的防腐措施。

条文说明

由于耳板销轴孔内壁与吊索销轴长期处于接触摩擦状态，不适宜采用涂装防腐措施，可采用孔内壁贴焊金属铜板等措施防腐。

### 双吊索长度超过20m时，吊索之间宜设置减振夹。

### 高强度钢丝长吊索的PE防护层表面宜设置螺旋线或凹坑等。

条文说明

现有针对风雨激振的研究表明，拉索风雨激振是由于风作用下雨水在拉索表面形成雨膜或雨线，改变了拉索气动外形或在拉索表面产生振荡，从而诱发拉索产生大幅振动。雨膜或雨线是拉索风雨激振的根本原因。为了破坏雨线的形成，国内外通过大量的试验和实际工程证明，对拉索表面进行处理，如在拉索PE管表面设置螺旋线或凹坑，都可以有效地抑制拉索风雨激振。

### 吊索护套材料应符合《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T297的相关要求，且其耐环境应力开裂指标应满足F\_0≥3000h的要求。

## 结构计算

### 构件强度验算除应符合本节规定外，尚应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64的规定。

### 销接式吊索的抗拉强度验算应满足下列要求：

1. 高强度钢丝吊索承载力计算应满足式（9.3.2-1）的要求，钢丝绳吊索承载力计算应满足式（9.3.2-2）的要求。

（9.3.2-1）

（9.3.2-2）

式中：—轴向拉力设计值（）；

—高强度钢丝吊索的截面面积（）

—高强度钢丝抗拉强度设计值（)；

—高强度钢丝抗拉强度标准值（）；

—钢丝绳最小破断力（）；

—钢丝绳最小破断拉力设计值（）；

—吊索材料强度分项系数，销接式吊索取2.2，短吊索取2.5

1. 大修状况（更换吊索）下相邻吊索的承载力计算，高强度钢丝吊索应满足式（9.3.2-3）的要求，钢丝绳吊索应满足式（9.3.2-4）的要求。

（9.3.2-3）

（9.3.2-4）

式中：——大修状况下高强度钢丝抗拉强度设计值（MPa)；

——大修状况下钢丝绳最小破断拉力设计值（N)；

——大修状况下吊索材料强度分项系数，销接式吊索取1.33。

1. 施工过程中，高强度钢丝吊索承载力计算应满足式（9.3.2-5）的要求,钢丝绳吊索承载力计算应满足式（9.3.2-6）的要求。

（9.3.2-5）

（9.3.2-4）

式中：——施工过程中高强度钢丝抗拉强度设计值（MPa)；

——施工过程中钢丝绳最小破断拉力设计值（N)；

——施工过程中吊索材料强度分项系数，销接式吊索取1.1。

### 吊索锚头验算应按本技术规程第8.3.12条的规定进行。

### 对叉形耳板，除应按现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64进行平行受拉方向、垂直受拉方向的应力验算以外，尚应对孔壁承压、应力集中构件进行验算。对销轴，应进行剪切、弯拉、扭转以及局部承压验算。

条文说明

9.3.1~9.3.4条吊索及锚头耳板的验算条文引用自《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015。

# 索夹

## 一般规定

### 主缆在吊索处应设置吊索索夹，在无吊索段应设置紧固索夹，靠近索鞍段应设置锥形封闭索夹。

### 索夹的长度、螺杆数量应根据吊索索力、吊索处主缆的倾角经计算确定，并根据螺杆数量进行分类设计。

条文说明

由于主缆的倾角是变化的，不同位置索夹的下滑力也是变化的，不同位置索夹的长度和螺杆数量也是不同的。索夹应根据倾角变化和螺杆数量，对索夹进行分类设计。

### 紧固索夹宜每隔10m~20m设置一个。

### 索夹宜采用销接式，当索夹外径（半径）大于7.5倍吊索直径时，可选用骑跨式索夹。全桥宜采用相同结构类型的索夹。

### 索夹壁厚宜取35mm~50mm。

## 结构形式

### 销接式索夹宜采用上下对合型，如图10.2.1所示。



**图10.2.1上下对合型索夹结构**

### 自锚式悬索桥索夹宜采用增大摩擦面、提高摩阻系数、复拧螺杆等措施防止索夹滑动。

## 构造要求

### 索夹应满足下列构造要求：

1. 索夹两端、锥形封闭索夹的小端，应在孔壁内端设置用于嵌入主缆防护用缠绕钢丝的环向凹槽。
2. 在索夹的对合面上应设置用于轴向定位的嵌合构造，嵌合构造的嵌合量及间隙应能满足索夹内主缆设计空隙率在（1 ± 3％）范围内的变化要求。
3. 索夹上应设置用于安装主缆检修道立柱的构造。

### 销接式索夹应满足下列构造要求：

1. 索夹耳板的中心平面应与索夹轴向竖直中心平面相重合，吊索合力中心线宜通过索夹中部
2. 索夹耳板的厚度不应小于索夹壁厚的2倍，索夹耳板与索夹壁间的过渡圆弧半径（图103.2）应大于索夹壁厚的6倍。

条文说明

自锚式悬索桥主缆一般直径较小，为避免吊索过大的弯折应力，吊索与主缆的连接一般不采用骑跨式，以销接式连接为主。有关骑跨式索夹的构造可参照现行行业标准《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015执行。

### 锥形封闭索夹的大、小端的直径应能适应主缆直径的变化。锥形封闭索夹的大端应设置连接主缆缆套的环向凸台。

条文说明

锥形封闭索夹是离索鞍（主索鞍或散索鞍）最近的索夹。由于鞍槽内索股隔板厚度一般为4.5mm~5.5mm，故鞍槽总宽度大致是索夹处主缆直径的1.17倍。为了尽量减小主缆钢丝的二次应力，一般情况下，锥形封闭索夹内孔的斜度ε设计为1：（75~100）。而索夹处主缆直径为,则锥形封闭索夹小口至鞍槽口的轴向长度为：

或

### 锥形封闭索夹与主塔中心线最小水平距离不宜小于10倍的索夹处主缆设计直径。

### 索夹螺杆最小长度的确定应考虑主缆空隙率的正误差；螺杆垫圈应采用双层球型构造，防止螺杆松动。

### 吊索上端叉形耳板与销接式索夹耳板之间应预留适宜的竖向空隙，以适应吊索在施工及运营期间的转动。

### 销接式索夹吊索的销轴衬套与索夹耳板的开孔之间应采用过渡配合；销轴与衬套之间应采用间隙配合。

### 紧固件的配合及公差应满足下列要求：

1. 索夹螺杆宜设计成缩腰形螺杆，其握距（图10.2.1）不应小于0.7（为索夹内孔直径）。
2. 索夹螺杆沿索夹轴向的间距（图10.2.1）应满足张拉千斤顶安装空间要求。

## 结构计算

### 索夹内孔设计直径应按式（10.4.1）确定。

（10.4.1）

式中：——主缆的钢丝直径(mm)；

——单根主缆中钢丝总根数；

一主缆在索夹内的设计空隙率。

### 索夹紧固验算应满足下列要求：

1. 吊索索夹的抗滑系数计算应满足式(10.4.2-1）的要求。

(10.4.2-1）

式中：——索夹抗滑系数；

——主缆上索夹的下滑力(N)，

——吊索拉力（N)，按作用标准值计算；

——索夹在主缆上的安装倾角（图10.2.2、图10.2.3），按同类索夹中的最大值计算；

——索夹抗滑摩阻力（N)， ；

——紧固压力分布不均匀系数，取2.8；

——摩擦系数，取0.15；

——索夹上螺杆总的设计夹紧力（N），按式（10.4.2-2）计算；

（10.4.2-2）

——索夹上安装的螺杆总根数；

——索夹上单根螺杆设计夹紧力（N）。

1. 吊索索夹在首次安装时，索夹上单根螺杆安装夹紧力应按式（10.4.2-3）计算确定。

（10.4.2-3）

1. 螺杆的有效面积应按式（10.4.2-4）计算。

（10.4.2-4）

式中：——螺杆材料的屈服强度（MPa）。

1. 应验算螺纹的抗弯、抗剪强度。
2. 紧固索夹上的单根螺杆设计夹紧力宜采用吊索索夹上的单根螺杆设计夹紧力。

### 索夹强度应按式（10. 4.3-1)验算。

（10. 4.3-1)

式中：——索夹材料计算应力，按式（10.4.3-2)计算；

（10. 4.3-2)

——索夹长度（mm）；

——索夹材料强度设计值，其中铸钢强度设计值在表3.3.9设计值的基础上乘以折减系数0.45，锻钢在表3.3.9设计值的基础上乘以折减系数0.41。

条文说明

10.4.1~10.4.3条索夹计算条文引用《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015。

# 索鞍与索套

## 一般规定

### 索鞍可分为主索鞍、散索鞍、转索鞍及顶索鞍。

### 索鞍与索套设计应根据自锚式悬索桥的总体设计选择合理的结构形式，充分体现经济适用、施工方便、便于维护等要求。

### 当主缆散索点处水平夹角较大时宜采用散索套，当主缆散索点处水平夹角较小时宜采用散索鞍，以便于锚固结构设置。

### 索鞍与索套结构设计除应符合本章规定外，尚应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64的有关规定。

## 结构形式

### 当索塔为混凝土结构时，主索鞍宜采用肋传力的结构形式（图11.2.1-1）；当索塔为钢结构时，主索鞍宜采用外壳传力的结构形式（图11.2.1-2）。

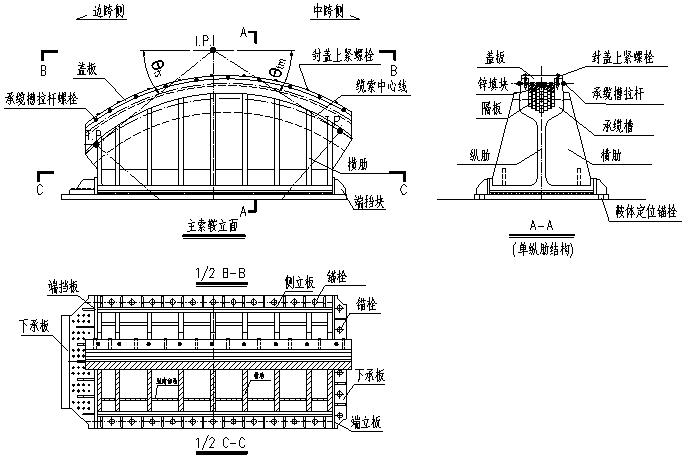


图11.2.1-1整体式肋传力结构的索鞍



图11.2.1-2 分体拼装式外壳传力结构的索鞍

**条文说明：**

与外壳传力的主索鞍相比，肋传力的主索鞍支撑肋板的间距要求相对较小。一般用于混凝土结构，以分散结构内力。钢塔顶部外壳传力的主索鞍结构，其传力纵肋（外壳）与钢塔内部纵向支撑加劲统筹考虑，两者对应布置。

### 根据施工吊装能力，主索鞍可设计为整体式（图11.2.1-1）或分体拼装式（图11.2.1-2），其鞍体与底座间可采用滑动式或滚轴式等临时摩擦副，以适应施工期间索鞍预偏和顶推的需要。

**条文说明：**

为保证自锚式悬索桥在施工和成桥状态，均能实现边中跨索力平衡，在边中跨索力平衡状态下，主缆成桥线型和空缆线型在塔顶的缆索转点（IP点）存在纵桥向位置差异。为使得成桥后主索鞍中心恰位于桥塔轴心，需在空缆时将主索鞍向边跨一侧偏移，待主梁合龙后，体系转换过程中，通过塔顶局部顶推，令主索鞍移动到桥塔轴心位置。

### 散索鞍和转索鞍可根据需求设置永久移动摩擦副，类型分为摆轴式（图11.2.3-1）、滚轴式（图11.2.3-2）和滑动式（图11.2.3-3）。



a 剖面图 b 横断面图 c 外立面图

图11.2.3-1摆轴式散索鞍



图11.2.3-2 滚轴式散索鞍

图12.2.3-3 滑动式散索鞍

### 散索套

散索套整体呈喇叭形，一般为两半拼合的拼合式散索套（图11.2.4-1）。当丝股较多时，为便于施工，也可采用下半部分类似鞍座式散索套（图11.2.4-2）。



图11.2.4-1拼合式散索套



图11.2.4-2 下半为鞍座的散索套

**条文说明：**

拼合式散索套构造和受力性能类似索夹。鞍座式散索套，下半部分类似索鞍，底部便于固定和支撑，顶部通过封盖螺栓和拉杆形成夹箍，其特点为在索股较多时便于施工。

### 转索鞍和顶索鞍

转索鞍和顶索鞍一般用于边跨主缆环绕锚固的转折点。转索鞍（图11.2.5-1）和顶索鞍（图11.2.5-2）承缆槽结构与主索鞍相似，转索鞍与梁体接触面呈圆弧形，顶索鞍底部可设置顶推装置调整主缆索力。



图11.2.5-1 转索鞍



图11.2.5-1 顶索鞍

**条文说明：**

转索鞍和顶索鞍在边跨主缆环绕锚固的体系中，分别起到了主缆转向和主缆张拉的作用。

## 构造要求

### 肋传力结构主索鞍的纵肋、横肋间距及数量、肋的厚度应根据本技术规程第11.4.3条规定确定。

### 索鞍设计应满足下列规定：

1. 承缆槽立面及平面的线形应与永久作用条件下的主缆线形相吻合。
2. 承缆槽底部立面圆弧半径不宜小于主缆设计直径的8倍。
3. 散索鞍承缆槽侧壁的平面圆弧半径不应小于1.3，且各索股的平弯圆弧段应完全包容在该索股的竖弯圆弧段内。
4. 施工和运营状态的最不利受力状态下，主缆索股均应与鞍座的承缆槽有效相切，切点不得在承缆槽之外。
5. 承缆槽两端槽口内侧应设置圆弧倒角，以防止主缆被槽口割伤。

### 索鞍的承缆槽应设置竖向隔板，将主缆索股横向分列于多个槽路（图11.3.3）。隔板宜沿高度方向分层，可沿长度方向分块。



图11.3.3鞍槽槽路尺寸

### 承缆槽上部应设置夹紧拉杆，各槽路应采用锌填块填至顶面与中央列索股齐平。

### 当索鞍主缆索股的竖弯转角小于25°时，承缆槽顶部应设置压紧梁（图11.2.3-1）。

### 塔顶主索鞍及环绕锚固的梁端顶索鞍应设置限位装置，索鞍施工完成后进行永久锁定。

### 散索套的结构应满足下列规定：

1. 散索套应设置直线段与散开段，直线段长度应根据承缆孔与主缆索股的抗滑力的经抗滑计算确定。
2. 承缆孔直线段与散开段的立面及平面的中心线形应与永久作用条件下的主缆线形相吻合。
3. 承缆孔圆弧半径r不宜小于主缆设计直径的8倍。
4. 在散索套的对合面上，应设置用于轴向定位的嵌合构造，嵌合构造的嵌合量及间隙应满足主缆设计空隙率在 (1 ± 3%)范围内变化的要求（图11.2.4-1）。
5. 承缆孔的孔壁厚度及紧固件设计根据受力确定，壁厚一般在35mm~50mm范围内。
6. 施工和运营的最不利受力状态下，主缆最外层索股均应与散索套承缆孔壁有效相切，切点不得在承缆孔之外。
7. 承缆孔两端孔口内侧应设置圆弧倒角，以防止主缆被孔口割伤。

### 散索套紧固件应满足下列要求：

1. 螺杆宜设计成缩腰形螺杆，其握距不应小于（图11.2.4-1）。
2. 螺杆沿散索套轴向的间距（见图11.2.4-1）应满足张拉千斤顶安装空间要求。

## 结构计算

### 鞍槽尺寸（图11.3.3）应满足下列要求：

1. 鞍槽的设计宽度b按式（11.4.1-1）计算。

 （11.4.1-1）

式中：b——鞍槽的设计宽度(mm)，按0.5mm取整；

——单排钢丝数量；

——主缆钢丝直径（mm）；

——主缆钢丝直径的允许正偏差（mm）。当主缆钢丝直径为5mm时， 为0.06 mm；当主缆钢丝直径为7mm时，为0.07 mm。

1. 鞍槽中索股高度应满足式（11.4.1-2）的要求：

 (mm,按0.5mm取整）（11.4.1-2）

式中：——每根索股的钢丝根数；

——鞍槽中索股的空隙率，且，为主缆一般截面的设计空隙率。

**条文说明：**

根据《斜拉索用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB T18365-2018第5.2.1.2条和《悬索桥用主缆平行钢丝索股》GB T36483-2018第5.2.1.1条，确定主缆钢丝直径的允许正偏差值。

### 鞍槽内主缆抗滑安全系数K应满足式（11.4.2）的要求（图11.4.2）。

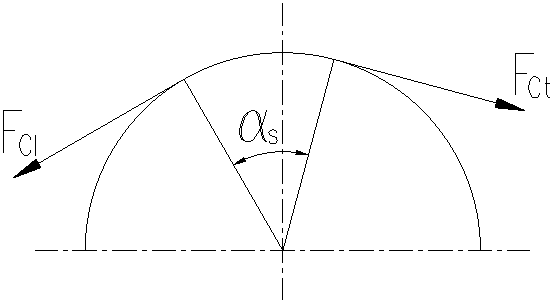


图11.4.2 主缆抗滑验算图式

 （12.4.2）

式中：——主缆与槽底或隔板间的摩擦系数，宜取；

——主缆在鞍槽上的包角，弧度；

——主缆紧边拉力，按作用标准值计算（N）；

——主缆松边拉力，按作用标准值计算（N）。

### 鞍体强度验算应满足下列要求：

1. 鞍体验算时应考虑横肋的加劲作用；初步尺寸拟定可按本条计算方法进行，最终应采用空间分析验算确定。
2. 缆力对鞍体作用力的模型转化如图11.4.3所示，纵向按单位长度计。



图11.4.3 鞍体受力图式

* 1. 各列索股的向心压力可按式（11.4.3-1）计算：

 （11.4.3-1）

式中 ——单根主缆的拉力设计值，取边跨缆力和中跨缆力中的较大值（N）；

——该列索股根数；

——单根主缆总索股数。

——承缆槽底部立面圆弧半径（mm)。

* 1. 最高索股顶至计算高度*h*处的侧向压力可按式（11.4.3-2）计算：

 （11.4.3-2）

式中：μ——摩擦系数，宜取0.15；

——中央列索股单位体积竖向力(N/mm3)，可按式（11.4.3-3）计算；

 （11.4.3-3）

式中：——中央列索股股数；

——中央列索股总高度(mm)。

* 1. 高度范围内的总侧向力可按式（11.4.3-4）计算：

 （11.4.3-4）

* 1. 计算散索鞍鞍槽的总侧向力应计入主缆索股平弯产生的附加侧向力，可按式（11.4.3-5）计算：

 （11.4.3-5）

* 1. 由侧压力或产生的总弯矩可按式（11.4.3-6）计算：

 （11.4.3-6）

 （mm）

* 1. 沿单位弧长的鞍槽拉杆拉力可按式（11.4.3-7）计算：

 （11.4.3-7）

式中：——单根拉杆力（N）；

——拉杆根数；

——拉杆中心处鞍槽侧壁的弧长(mm) 。

1. 可按下列荷载工况进行验算：

1）单根主缆拉力为空缆缆力时，鞍槽侧壁未施加拉杆力（）的情况；

2）单根主缆拉力为最大缆力时的情况。

1. 鞍座极限承载力应不低于主缆极限承载力。

**条文说明：**

由于拉杆易出现松弛情况，计算中可不计入拉杆的作用。

### 施工期间主索鞍的顶推力应满足下列要求：

1. 主索鞍顶推力可按式（11.4.4）计算：

 （11.4.4）

式中：——按顶推阶段永久作用标准值计算的中跨缆力（N）；

——按顶推阶段永久作用下的中跨缆力对应的主缆中跨切线角（图12.2.1-2）；

——按顶推阶段按永久作用标准值计算的边跨缆力（N）；

——按顶推阶段永久作用下的边跨缆力对应的主缆边跨切线角（图12.2.1-2）；

——主索鞍重力(N)；

——主索鞍位移滑动摩擦副的摩擦系数，对于常用的不锈钢一聚四氟乙烯、不锈钢一不锈钢等类型的滑动摩擦副材料，可采用表11.4.4所列的摩擦系数。

表11.4.4常用的滑动副材料摩擦系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 滑动副类型  润滑条件 | 不锈钢——聚四氟乙烯 | 不锈钢——不锈钢 |
| 无润滑 | 0.10 | 0.15 |
| 一般润滑 | 0.05 | 0.12 |
| 良好润滑 | 0.04 | 0.10 |

1. 顶推力作用下强度验算应包括：滑动面的抗压强度、与滑动面相联的结构及零件的抗剪强度、鞍体上承受顶推力处的局部抗压、抗弯及抗剪强度、顶推量控制装置的强度。

### 散索鞍摆轴、滚轴承压验算应满足下列要求：

1. 摆轴的接触应力应满足式（11.4.5-1）的要求：

 （11.4.5-1）

式中：——摆轴断面圆弧半径(mm)（图11.2.3-1）；

——摆轴上、下承面的有效接触长度（mm）；

*E*——材料弹性模量；

*R*——摆轴上的总荷载，可按式（12.4.5-2）计算；

 （11.4.5-2）

——散索鞍重力设计值（N）；

——单根主缆拉力设计值（N)，取锚跨缆力和边跨缆力中的较大值；

——计算缆力对应的主缆锚跨切线角（图11.2.3-1）；

——计算缆力对应的主缆边跨切线角（图11.2.3-1）；

——材料接触强度设计值（MPa)，根据所选用材料硬度按表11.4.5取用。

表11.4.5材料接触强度设计值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料硬度 | | (MPa) | 材料硬度 | | (MPa) |
| HB | HRC | HB | HRC |
| 150 |  | 471 | 325 | 34.5 | 930 |
| 175 |  | 537 | 350 | 37.5 | 997 |
| 200 |  | 602 | 375 | 40.0 | 1062 |
| 225 |  | 668 | 400 | 42.0 | 1127 |
| 250 |  | 734 | 450 | 47.0 | 1255 |
| 275 |  | 800 | 500 | 51.0 | 1390 |
| 300 | 31.5 | 865 | 600 | 56.0 | 1654 |

注：1. HB、HRC为接触表面材料的布氏、洛氏硬度，按较低者取值。

2.表中数值为接触表面加工粗糙度Ra=3.2 μm时的值。当Ra>3.2 μm时，应降低10％取值；当Ra<3.2 μm时，可提高5％取值。

3.表中数值为一般润滑条件下的值，无润滑时应降低5％取值。

4.当材料硬度值介于表中数值之间时，可以直线插人法取值。

1. 滚轴的接触应力应满足式（11.4.5-3）的要求：

 （11.4.5-3）

式中：——滚轴直径（mm）；

*R*——单根滚轴上的荷载设计值，可按式（11.4.5-4）计算；

（11.4.5-4）

——滚轴根数。

### 在永久作用的条件下，主缆各个索股对摆轴式散索鞍的总压力线和鞍体自身重力的合力线宜与摆轴中心线重合。

### 散索套承缆孔壁厚与结构计算、抗滑计算、强度验算、紧固件的结构计算宜参考索夹的结构计算与验算。

**条文说明：**

散索套最小内孔设计可参照10.4.1条。

散索套可参照11.4.3-1求解单列索股的向心力，由单位宽度向心力求解散索套径向力，得到径向力后，可参照10.4.2条做紧固验算，参照10.4.3条做强度验算。

# 附属设施

## 一般规定

### 自锚式悬索桥应进行索塔、主梁和缆索系统的附属设施设计，大跨径自锚式悬索桥宜设置健康监测系统。

### 主体结构设计时应考虑附属设施的工作空间，安装作业及结构受力等需求，并设置相应的预留、预埋件。

### 自锚式悬索桥应按照相关要求设置航空障碍灯、航道标志等导助航设施。

### 自锚式悬索桥应按照相关要求设置避雷设施。

## 桥面系、支座和通航附属设施

### 铺装

1. 钢桥面可采用专用沥青混凝土铺装或超高性能混凝土等其他轻型组合铺装体系，其设计可参照相关规范执行。

**条文说明：**

钢桥面铺装体系有浇筑式沥青混凝土铺装、双层环氧沥青混凝土铺装、双层SMA沥青玛蹄脂碎石混合料铺装等，近年来超高性能混凝土+沥青磨耗层铺装等新型组合铺装体系也得到了推广应用，技术渐趋成熟。铺装选型时，应综合考虑交通流量、桥面刚度、维修难易和材料成本等因素。

1. 混凝土桥面宜采用沥青混凝土铺装，从减轻结构重量的角度出发，可不设置混凝土调平层。

**条文说明：**

自锚式悬索桥从控制结构重量的角度出发，宜尽可能的降低桥面恒载重量，减少桥梁建设成本。因此，建议不设置混凝土调平层，施工过程中应采取措施保证混凝土桥面的平整性。

1. 人行道应根据其结构形式结合景观要求选择合适的铺装体系。

**条文说明：**

主梁为钢梁时，人行道可采用钢结构、铝扣板或者防腐木。钢结构人行道和铝扣板人行道的面层铺装可选用防腐粘结薄层+陶粒（金刚砂）。铝扣板人行道经防滑处理后，可不设面层铺装。主梁为混凝土梁时，人行道面层铺装可采用普通的混凝土面板或者防滑地砖等带装饰性的面层材料。

### 护栏

1. 桥面防撞护栏设计应符合《公路交通安全设施设计规范》JTG D81、《公路交通安全设施设计细则》JTG/T D81、《城市道路交通设施设计规范》GB 50688和《城市桥梁设计规范》CJJ 11的有关规定。
2. 桥面索区与机动车道间需设置防撞护栏，机动车道至桥面外缘至少设置一道防撞护栏。
3. 非机动车道的临边护栏高度不应小于1.4m。
4. 大跨径自锚式悬索桥宜采用钢结构护栏或混凝土底座钢护栏。
5. 防撞护栏和人行栏杆应进行构件强度及其与桥面板的连接强度验算。

**条文说明：**

根据《公路交通安全设施设计规范》JTG D81-2017 第6.3.1条，各等级公路桥梁必须设置路侧护栏。

根据《城市桥梁设计规范》CJJ 11-2011（2019年版）第6.0.7条，车行道外侧可根据道路等级、车速、临空高度等条件，选择设置防撞护栏或者有一定高度的路缘石。

自锚式悬索桥属于重要交通和景观节点，为避免车辆冲出桥面造成严重的二次损失吗，因此机动车道至桥面外缘至少设置一道防撞护栏。

在自锚式悬索桥中，控制桥梁结构的上部恒载，可以降低全桥结构的建设成本，宜优先选用轻质坚固的钢结构护栏或混凝土底座钢护栏。

根据《公路交通安全设施设计规范》JTG D81-2017 第6.3.6条，自行车栏杆最小高度为1.4m。

### 伸缩装置

1. 伸缩装置的技术规格应根据桥梁整体计算分析综合确定，应满足各向水平位移和转角位移要求。
2. 伸缩装置设计时，除应考虑温度变化、混凝土收缩徐变及竖向荷载产生的变形外，还需考虑汽车制动力、风荷载、地震等作用。
3. 伸缩装置的变位能力应与支座的位移能力和梁端间隙等结构容许变位量相互匹配。
4. 伸缩装置宜采用性能可靠且便于养护维修的类型，并应设置防水、排水辅助设施。
5. 人行道和非机动车道伸缩装置可采用整体盖板或梳齿板等结构形式。当采用梳齿板伸缩装置时，梳齿齿间间隙不应大于15mm。

**条文说明：**

自锚式悬索桥一般位于重要的交通节点，维修工作不宜中断桥面交通，选用的伸缩装置应能适应快速维修和局部更换。

伸缩装置应设有防水和排水附属设施，防止雨水直接从伸缩缝侵入桥下空间。相关设施材质需具备一定的耐高温和耐低温的工作性能。

### 支座及限位装置

1. 支座及阻尼器的设置应根据桥梁约束体系和整体计算分析确定，应满足竖向、水平荷载传递功能和纵横向位移、转角的变形要求。
2. 主梁横桥向应设置挡块，必要时可设置横向抗风支座。
3. 为减轻地震作用的影响，必要时可采用减震耗能支座或者阻尼器。
4. 支座的变形能力应与伸缩装置的各向变位能力和梁端间隙等结构容许变位量相互匹配。
5. 支座宜采用球型钢支座，并设置防尘罩。
6. 支座应预留安装、维护和更换所需的操作空间和配套结构布置。

### 桥面排水

1. 桥面应设置足够的横向、纵向坡度和完善的排水设施，宜设置纵向排水管，将桥面雨水（或初期雨水）引入地面的排水系统。
2. 人行道、伸缩缝、排水孔、路缘石等其他构造接缝处等特殊部位，应进行专门的防、排水设计。
3. 主梁采用钢箱梁或者钢与混凝土组合梁时，不宜将排水管道设置在梁体内，防止管道局部漏水引发结构耐久性或安全性风险。

**条文说明：**

初期雨水指降雨初期时的雨水，一般是指地面10mm~15mm深已形成地表径流的降水。由于降雨初期，雨水溶解了空气中污染性气体和路面污染物，前期雨水的污染程度较高，应进行收集、处理和集中排放。

### 过桥管线

1. 过桥管线设置应符合《城市桥梁设计规范》CJJ 11的有关规定。
2. 自锚式悬索桥不宜设置燃气管道，如有特殊需求，过桥燃气管道压力不得大于0.4MPa，且不应设置在索区，并应采取有效的防护措施防止管道破裂对桥梁结构造成二次损伤。
3. 给水管道不应设置在箱室内。

### 照明

1. 桥面应设置功能照明。
2. 在封闭作业区间宜设置检修照明。
3. 自锚式悬索桥宜进行夜景照明设计。

**条文说明：**

夜景照明宜结合桥梁结构特点进行设计，相关预埋件宜在桥梁建设期完成布设。

### 自锚式悬索桥跨越航道时，应设置航道标志、桥柱灯等导助航设施

1. 跨越航道的梁体上应设置航道标志。
2. 水中墩应根据桥梁通航安全的要求设置通航桥柱灯。
3. 在必要时，对重要桥梁可设置监测设备对航道内水位、净空高度、船舶高度和航迹等进行实时监测，并提供实时防撞预警。

## 主梁附属设施

### 主梁锚固区应设置检修平台，平台外应设置临边防护措施，必要时可采用密封检修室。

### 主梁内部应设置检修通道，钢箱梁通道出入口处应设置风雨密闭门。

### 主梁外部宜设置梁底检查车，检查车的设计使用年限不宜低于检修区域桥梁可更换构件的设计使用年限。

**条文说明：**

梁底检查车提供了梁底养护工作平台，保证了养护和维修的安全性和便利性。但检查车自身的养护和维修存在高空维修作业和临边防护问题，检查车应尽可能的选用耐久性良好的材料进行制造，减少后期自身的维养工作。

### 主梁设计应根据需要，综合考虑功能照明、通信电缆、检修通道、交安设施、健康监测、夜景照明、箱内除湿等配套系统的布设。

### 梁内宜设置检修照明设备。钢箱梁内的相关电气设备应满足防爆标准。

**条文说明：**

钢箱梁内部由于需进行涂装的养护和维修工作，在涂装材料挥发过程中，箱室内部存在易燃气体。为保证涂装作业的安全性，需要在涂装施工过程中进行通风处理，并采用具备防爆性能的检修照明设备，同时停用梁内的其他电气设备。

### 钢箱梁内部应密闭，且宜设置除湿系统。除湿系统工作后，梁内各个舱室的平均相对湿度不高于45%。

**条文说明：**

根据国内外相关研究成果，引发钢结构锈蚀的临界相对湿度约为65%。当低于该相对湿度，且空气中无污染、金属表面无污染物时，金属表面几乎不发生腐蚀。

由于相对湿度与温度变化相关，钢箱梁内部相对湿度伴随昼夜温差，呈现日间降低，夜间升高的趋势，相对湿度不断波动变化。因此钢箱梁内平均相对湿度控制阈值需低于临界相对湿度，本规程中规定为45%。

### 主梁箱室低点应设置排水口。钢箱梁的排水口应具有气密功能，可采用单向阀或密闭螺栓等装置。

**条文说明：**

在施工期间，主梁箱室尚未密闭，雨水易进入梁内，需设置排水通道；成桥后，雨水也可能通过的各类桥架开孔进入梁体内，也需要设置排水通道。

钢箱梁内部有密闭防腐的需求，不宜设置永久性敞开的排水通道。可采用单向阀或者密闭螺栓等具备单向密封或者开关功能的装置，令排水通道仅在梁内存在积水的状态下被打开，平时保持密封状态。

## 索塔附属设施

### 索塔塔柱内部应设置检修爬梯，并根据需要设置升降机或电梯，塔内宜配备照明系统。

### 索塔及横梁顶部应进行防积水细节设计，索塔进出人孔应设风雨密闭门。

### 索塔塔柱及横梁内、外部应设置防、排水系统。

### 钢索塔内部应密闭且宜设置除湿系统，除湿系统正常工作状态下，塔内平均相对湿度不应高于45%。

### 塔柱宜在桥面高度设置检修人孔，主索鞍、梁底支座等区域宜设置检修平台。主塔检修通道及平台外侧应设安全护栏。

**条文说明：**

为便于检修人员进出桥塔，桥塔检修人孔宜避开车行道方向。桥面位置的检修人孔应设置具有带锁具的风雨密闭门。

### 索塔应根据需要预留运营期索塔外部检查、维护作业所需的相关设施及相应预埋件。

### 索塔下塔柱及基础应根据需要设置防船舶撞击设施。

**条文说明：**

常用防船撞设施可分为固定式和浮动式两种。固定式一般安装在水位变动较小的河道，将防撞设施固定在桥墩周侧或者露出水面的承台周侧。浮动式一般安装在水位变动较大的河道，在防撞设施和桥墩之间设置滑轨，防撞设施可沿桥墩上下浮动。

从材料角度来看，防船撞设施可分为钢结构和复合材料结构两大类。钢结构制造成本低，刚度大，不易受损，但耐腐蚀能力较差；复合材料结构制造成本高，耐腐蚀性能良好，吸能效果好，对船舶的保护作用较好，但自身易在碰撞中受损。

## 缆索系统附属设施

### 主缆顶面宜设置检修道。检修道一般由固定于索夹的栏杆立柱及扶手钢丝绳组成。

### 索鞍及索套端部应设置缆套及密封装置。



图12.5.1 索鞍及索套端部防腐措施示意图

**条文说明：**

图示中缆套采用了主缆防护罩，密封装置采用了封闭索夹。

### 主索鞍顶部应设置鞍罩，鞍罩应设置检修道楼梯、栏杆立柱及扶手绳。

### 缆索散索鞍处应设置密封散索室。

### 鞍罩和散索室应采取可靠措施进行空间密闭，宜采用除湿系统对内部进行除湿。

### 必要时，主缆内设置除湿系统。

### 缆索系统可根据需要设置景观照明。

## 健康监测系统

### 健康监测系统设计应按《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037进行专项设计，并与桥梁主体结构设计同步进行；系统安装宜与桥梁施工同步进行。

### 健康监测系统应包括传感器模块、数据采集与传输模块、数据处理和管理模块、数据分析与安全预警及评估模块，并通过系统集成技术将各模块集成为统一协调的整体。

### 桥梁的数据分析与安全预警及评估模块宜在系统建成初期通过计算分析、试验研究等方法确定监测项目在各种状态下的预警值，将系统运营时采集的数据与预警值进行对比，评估结构的安全状态。

### 桥梁健康监测系统正常运营后，健康监测系统运营管理单位应至少每年形成一次桥梁健康状况评估报告。报告应包括以下内容： 桥梁概况、规范及参考资料、日常养护资料、监测数据、健康状况评估结论、典型病害分析、养护建议。

# 结构耐久性设计

## 一般规定

### 自锚式悬索桥应根据设计使用年限的要求和环境类别进行耐久性专项设计。

**条文说明：**

桥涵设计使用年限指在正常设计、正常施工、正常使用和正常养护条件下，桥涵保持正常承受各种设计荷载作用的能力而不用进行结构性大修的时间期限。考虑自锚式悬索桥的重要性，应对各构件进行耐久性专项设计。

### 主缆、索鞍等不可更换构件的设计使用年限不应低于结构整体设计使用年限。

### 可更换构件的设计使用年限可视具体情况小于结构整体设计使用年限，其设计使用年限应符合表13.1.3的规定。

表13.1.3主要可更换构件的设计使用年限

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 构件 | 设计使用年限（年） | 构件 | 设计使用年限（年） |
| 索夹 | 50 | 钢支座 | 30~50 |
| 吊索 | 20 | 伸缩装置 | 15 |
| 防撞护栏（主体） | 50 | 黏滞阻尼装置 | 30 |
| 桥面铺装 | 15 | 金属屈服型阻尼装置 | 50 |
| 除湿系统 | 10 | 钢结构及主缆防腐体系 | 15~25 |

**条文说明：**

本条说明中设计使用年限主要引自《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015，涂装体系设计使用年限引自《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2008，阻尼器设计使用年限引自《建筑消能阻尼器》JG/T 209-2012，桥面铺装设计使用年限引自《公路沥青路面设计规范》JTG D50-2017。

钢支座的设计使用年限由滑动面寿命期确定，考虑到目前市场产品多采用性能良好的超高分子滑动面材料，性能有大幅提高，本技术规程较《公路工程技术标准》JTG B01-201提高了该产品的设计使用年限要求。

吊索的主要病害表现为锚头锈蚀，吊索在设计阶段和养护期应着重关注锚头区域的防水和密封工作。如能够避免吊索的局部锈蚀问题，可有效的提高吊索的设计使用年限。

《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05-2015和《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》JT/T 327-2016中规定伸缩装置设计使用年限要求均为“15年”，本技术规程与其保持一致。

伸缩装置的橡胶组件设计使用年限显著低于钢组件，《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》JT/T 327-2016未限定橡胶组件的使用年限，根据近年来国内伸缩装置的维修实例，伸缩装置中的橡胶组件根据使用条件的不同，寿命期一般在10年左右。为保证伸缩伸缩装置的长期使用性能，伸缩装置中的橡胶组件在构造上应便于维修更换，避免因橡胶组件的损坏导致伸缩装置的整体破损。

钢结构防腐体系在《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2008中长效型设计使用年限为15~25年。考虑到自锚式悬索桥外表面涂装体系性能直接影响桥梁整体的景观和防腐效果，内表面涂层成桥后养护较为困难，本规程规定涂装体系采用长效型设计使用年限与《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2008一致为15~25年。

### 自锚式悬索桥应进行大气环境、地上（下）水中腐蚀成分含量的测试与调查，划分各个构件所处的环境类别，并采用相应的耐久性措施。

**条文说明：**

自锚式悬索桥上部结构（主梁、主缆和塔柱）主要受空气污染影响、墩柱和桩基受水流冲刷影响和地下水污染影响，环境类别有所不同，应根据相应的环境与结构特点，选用合适的耐久性措施。

## 混凝土结构耐久性设计

### 混凝土结构耐久性设计应符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476和《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310的要求，主要设计内容应包括对混凝土材料耐久性指标、钢筋的混凝土保护层厚度、混凝土裂缝控制、防排水构造措施等。

### 自锚式悬索桥可结合景观等工程需求，采用涂层防腐的方式，改善混凝土表面的防腐性能。防腐涂层宜选用长效型，设计使用年限为20年。

**条文说明：**

《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》JT/T 695-2007中长效型设计使用年限为20年。自锚式悬索桥混凝土外表面涂装工作面大，含高空作业，施工较为困难，宜采用长效型涂层。

## 钢结构耐久性设计

### 钢结构耐久性设计应综合考虑施工和运营环境，并结合施工方案、养护方案进行排水细节、防水密封、防腐涂装、除湿系统等设计。

### 钢结构防腐应选用长效型防腐体系，并根据环境条件等因素采用金属涂层（锌、铝、锌铝合金等）、油漆涂层、耐候钢、阴极保护等防腐措施。

### 钢结构表面防腐涂装设计应符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722的要求，主要内容包括涂层配套体系的选择和涂层体系性能要求。

**条文说明：**

在对施工环境有较高要求的情况下，可选用VOC含量较低的水性防腐涂层，参考《水性环氧树脂防腐涂料》HG/T 4759-2014进行设计。

### 钢结构防腐在浪溅区、水位变动区部位宜采用重防腐耐磨涂层、金属涂层加封闭涂层阴极保护等措施，也可采用包覆有机复合层、树脂砂浆、复合耐蚀金属层等。

### 对无法进行检查和维护的钢结构，应进行有效的密封防止腐蚀，并选用合适的防腐涂层；当无法密封时，钢板应预留防腐富余度。

### 对于施工期间可能裸露的箱室内表面其防腐涂层可适当加强。

### 对封闭空间的钢结构，可采用除湿系统令封闭空间内的相对湿度应不大于45％，并对除湿系统建立长期维养方案。

**条文说明：**

封闭钢结构内表面除湿系统失效，是钢结构内表面锈蚀的主要原因之一。钢结构内部除湿系统的建设不仅要满足封闭钢结构内部空间全面达到低湿度的要求，更要建立对除湿系统的长期养护计划，避免除湿系统失效。

除湿系统需具备可维修性，在条件允许的情况下，可将设备放置在钢结构外部，采用管道送风的方式进行箱内除湿工作，便于对除湿系统的日常养护，如将除湿设备置于钢结构内部，除湿设备的选型上需充分考虑钢结构空间狭小带来的检修难度，除湿设备可维修、可更换。

### 为减小能耗，钢结构内部的除湿的主要循环系统应遵从“空气除湿→加压送风→自然回风→空气除湿”的工艺路线。

### 钢结构箱室外表面的过焊孔和各类管线开孔均应有效封闭，桥面开孔应进行防水和防渗处理，顶面应采取措施避免积水。

### 钢结构箱室内应根据需要设置临时泄水孔，避免施工期间箱内积水，成桥后进行封闭。对于可能渗漏积水的箱室可设置具有气密功能的排水口。

## 缆索结构耐久性设计

### 主缆应通过紧缆、缠丝、表面涂装、封闭包裹等工艺隔离空气进行防腐（图13 .4 .1），必要时可增设除湿系统。cid:image001.png@01D65ECC.66888290

图13.4.1主缆常规防腐方案

**条文说明：**

主缆涂层防腐工艺可参考《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》JT/T 694-2007中的技术要求。

### 主缆缠丝材料宜选择镀锌或镀锌铝低碳钢丝或中碳钢丝。根据主缆防腐设计的需要，可采用带自密闭功能的异形缠绕钢丝。

### 主缆系统涂装应对主缆缠丝区、主缆非缠丝区、结构缝隙和其他区域（索鞍、索套、散索段等）分别采用相应的涂装配套体系。

### 主缆除湿设置应使散索室、索鞍、索夹等区域在内的全部主缆处于一个相对密闭、干燥的环境内，内部相对湿度不大于55％。

### 吊索系统应采用以下耐久性措施：

1. 钢丝绳吊索在运营期间应定期涂装。
2. 平行钢丝吊索的每根钢丝外表面应进行热熔镀锌或镀锌铝，镀锌或镀锌铝层应大于或等于300g/m2，整根吊索外应包裹PE层防护。
3. 在吊索导管接口处应设置密封橡胶圈、密封压环、密封气囊或者柔性土工膜等密封措施。
4. 吊索导管内可灌注防腐油脂，避免雨水侵入锚具。
5. 吊索锚固端部应设置可拆卸的密封罩，密封罩与锚垫板应可靠连接。

### 对主缆上不同的防腐构造拼接位置等防腐体系的薄弱环节，应加强检查，及时维修。

## 索鞍及索套耐久性设计

### 自锚式悬索桥应对主索鞍、转索鞍、顶索鞍、散索鞍（散索套）以及散索室进行耐久性设计。

### 索鞍及索套的钢结构防腐采用涂装方案时，应满足本技术规程第13.3节的要求。

### 缆套与索鞍之间应可靠固定，并密封连接。

### 散索室应有效密闭，做好防渗水设计。

### 索鞍及索套采用除湿方案时，应满足下列要求：

1. 应在索塔顶、转索鞍支墩顶设置鞍罩；在散索鞍（散索套）所处的位置应设置散索室；在索鞍内缆索出口处设置密封措施，保证索鞍处于封闭环境中。
2. 主缆、主缆检修道以及人员进人鞍罩、散索室应设置密封门等密封构造。
3. 鞍罩内部和散索室内的相对湿度宜小于45％。
4. 鞍罩及其附属的钢结构应按本规程第13.3节的要求进行涂装防护。

## 附属设施耐久性设计

### 防雷设施、航空警示灯、桥涵标等附属设施的耐久性设计应满足相关标准的规定，其与主体结构相连的预埋件应满足本技术规程第13.3节的相关要求。

### 附属设施应根据设计使用年限进行耐久性设计，养护作业平台的耐久性设计标准宜与主体结构相同。

### 附属设施的耐久性设计方案在满足自身耐久性的同时，不应影响主体结构的耐久性能。

### 防撞护栏纵向钢管等非密封内表面应进行防腐处理。

# 施工及质量验收



## 一般规定

### 自锚式悬索桥施工质量要求及验收标准需要符合《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650、《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1的有关规定。

### 施工前应根据自锚式悬索桥的构造和施工特点，有计划地做好构件的加工、特殊机械设备的设计制作和必要的试验等施工准备工作。

### 施工过程中，应及时对结构线形及内力进行监控，确保成桥状态符合设计要求。

## 索塔施工

### 索塔施工应根据其结构特点与设计要求选择适宜的施工方法。

### 混凝土索塔宜采用爬模法施工，索塔分段浇筑的节段高度宜为4m~6m。

### 混凝土索塔在施工前必须进行混凝土配合比试验，保证高耸结构泵送混凝土的流动性、和易性，并保证其耐久性。

### 倾斜式索塔施工时，必须对各个施工阶段索塔的强度与变形进行计算。并及时设置相应的横向支撑结构。

### 索塔施工宜设置劲性钢骨架。索塔混凝土浇筑应根据混凝土合理浇筑高度及吊装设备的能力分节段施工。

### 塔柱施工时，塔顶标高应考虑混凝土的收缩、徐变和弹性压缩对高程的影响进行适当的预抬高，

### 现浇混凝土索塔塔柱垂直度误差不大于塔高的1/3000，塔柱轴线偏差不大于±10mm。

### 钢塔节段出厂前宜进行厂内预拼，保证安装线形符合要求。

## 主梁施工

### 施工前应根据梁体类型及结构特点、地理环境、交通运输以及通航条件等综合因素选择适宜的施工方案与施工设备。

### 混凝土梁一般采用支架或少支架施工方法，支架和模板安装后，应采取预压方法消除拼装间隙和地基沉降等非弹性变形。

### 混凝土主梁纵向宜一次浇筑，如需分段应严格按照施工缝处理。

### 为避免早期开裂，混凝土主梁龄期达到7~10天、强度达到85%以上后应及时张拉部分预应力束。

### 应对混凝土主梁体系转换等施工阶段进行受力验算，确保结构安全。

### 钢主梁可采用顶推或少支架施工方案，运输条件具备时尽可能采用大节段，减少现场拼接。

### 钢梁制造应符合现行标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650、《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211的规定。对主缆锚固区等重要节点应进行组织工艺研究，减少焊接变形，提高安装精度。

### 钢梁出厂前必须进行厂内预拼，并应按设计和有关规范的要求验收。

## 缆索系统施工

### 猫道形状及各部分尺寸应满足主缆工程施工的需要，必要时设抗风缆，猫道应满足稳定性要求。

### 猫道承重索宜采用钢丝绳或钢绞线。承重索的安全系数不得小于3.0。

### 索股预制应符合下列规定：

1. 索股断面呈正六边形，六边形的两个顶点分别设置基准丝和着色丝。每根索股内的钢丝在全长范围内应保持平行，不允许出现扭绞现象，索股内钢丝的长度应保持一致，以保证受力均匀。
2. 应按设计确定的各索股无应力长度及标志点间的距离，经温度修正后确定基准丝长度。
3. 索股与锚具承压面的垂直度应控制在90°±0.5°。
4. 锚杯合金实际注入量应为理论注入量的92%以上。

### 在索鞍区段内的索股应从六边形断面整形成矩形。整形过程应在索股处于无应力状态下进行。索股整形完毕方可放入鞍槽，并用木块楔紧。整形时应保持钢丝平顺，不得交叉、扭转、损伤。

### 索股线形调整应符合下列规定：

1 垂度调整应在夜间温度稳定时进行。温度稳定的条件为：长度方向索股的温差不大于2℃；横截面索股的温差不大于1℃。

2 主缆垂度和标高的调整量，应在大气温度与索股温度相同后经计算确定。基准索股标高必须连续3d在夜间温度稳定时进行测量，3次测出结果误差在容许范围内时，应取3次的平均值作为该基准索股的标高。

3 垂度调整允许误差，基准索股中跨跨中为±1/20000跨径；边跨跨中为中跨跨中的2倍；上下游基准索股高差10mm；一般索股(相对于基准索股)为-5mm~10mm。

### 紧缆工作应分预紧缆和正式紧缆两步进行，并应符合下列规定：

1预紧缆应在温度稳定的夜间进行。预紧缆时宜把主缆全长分为若干区段分别进行。预紧缆用不锈钢带的距离宜为5m~6m，预紧缆目标空隙率宜为25%~28%。

2 正式紧缆宜采用专用的紧缆机把主缆整成圆形。紧缆的方向宜向塔柱方向进行。

### 主缆缠丝等防护应符合下列规定:

1 主缆防护应在桥面铺装完成后进行。

2 主缆涂装应均匀，严禁遗漏。涂装材料应具有良好的防水密封性和防腐性，并应保持柔软状态，不硬化、不脆裂、不霉变。

3 缠丝作业宜在二期恒载作用于主缆之后进行，缠丝材料以选用软质镀锌钢丝为宜。缠丝总体方向宜由高处向低处进行，在两个索夹之间应从低到高。缠丝始端和终端嵌入索夹内不应少于3圈（或按设计要求）。

4 钢丝缠绕应紧密均匀，缠丝张力应符合设计要求。

### 索鞍（套）安装应选择在白天连续完成。安装时应根据设计及监控提供的预偏量就位。并在施工过程中逐渐顶推到永久位置。顶推前应确认滑动面的摩阻系数，控制顶推量，确保施工安全。

### 散索鞍（套）安装时，可借助临时支撑定位，并考虑预偏量，待索股全部架设完成后解除临时支撑。

### 索夹安装应符合下列规定：

1 索夹安装前，必须测定主缆的空缆线形，经设计单位确认索夹位置后，方可对索夹进行放样、定位、编号。放样、定位应在环境温度稳定时进行。

2 索夹安装位置纵向误差不得大于10mm。当索夹在主缆上精确定位后。应立即紧固索夹螺栓。

3 紧固同一索夹螺栓时，各螺栓受力应均匀，并应按三个荷载阶段（即索夹安装时、吊杆张拉完成后、桥面铺装后）对索夹螺栓进行紧固。

4 在桥梁交付使用一年后，需对索夹螺栓进行再次夹紧至设计值。此后，应长期对螺杆拉力进行监控，发现螺杆拉力小于设计值时，应及时紧固螺栓至设计夹紧力。

**附录A**

影响矩阵法的实质是通过多步线性问题的迭代计算来实现非线性问题求解的过程。首先赋予基本变量的初始值，得到目标函数的误差值，然后分别使各基本变量产生单位增量，求得目标函数改变值组成的影响矩阵，据此求得基本变量的修正值，修正变量后重复迭代过程，直至误差值满足精度要求。

**A.1分段悬链线法求解自锚式悬索桥成桥线形**

对于自锚式悬索桥，任一吊杆间索段为悬链线其悬链线方程可表示为：

式中，为索段两端水平距离差，为索段两端竖向距离差，为索段力，为悬链线有应力索长。

对仅有垂直吊杆的情况：

式中，为吊杆力。

**A.1.1**中跨成桥线形求解

设左塔顶点处的为基本变量，跨中和右塔顶IP点的竖向坐标为目标函数。

**附表A.1.1 点处计算影响矩阵**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 基本变量 | 目标函数 |
| 中跨成桥线形 | 塔顶点处 | 主跨中点坐标误差  主跨端点误差 |

首先假定预估一个IP点处初始值，根据索段悬链线方程求得每个吊杆间索段的的和。

收敛目标为：

式中，、分别为左鞍座到跨中的吊杆数和吊杆总数，为两个鞍座点的坐标之差。

若初始不能满足收敛目标，得出目标函数误差向量。

基本变量的影响矩阵法求解可通过以下步骤实现：

（a）索端力产生单位增量；使和，分别算出主跨中点坐标和右塔顶端点坐标的增量，得到影响矩阵

（b）求出的修正量

（c）修正索端力，，重新计算。

重复以上迭代过程，直到误差满足精度要求，得出精确的。

根据精确的，可以得出每段索的有应力索长和吊索作用点的竖向坐标，确定唯一的成桥线形。

**A.1.2**边跨成桥线形求解

根据平衡条件，边跨的主缆水平力H与中跨相等，所以边跨的基本变量为塔顶IP点处边跨主缆竖向分力V，目标函数为边跨主缆另一端竖向坐标y。边跨线形同样采用影响矩阵法计算。

**A.2抛物线法求解自锚式悬索桥成桥线形**

对于固定，两点索段，根据力学平衡方程，抛物线方程可以表示为：

式中为跨径，为索段两点高差，为主缆水平力，为主缆所受均布荷载。

当时，，带入抛物线方程，求得中跨成桥抛物线线形。边跨成桥线形可以根据塔顶平衡条件，边、主跨主缆水平力相等求得。



**附图A.2 抛物线索段示意图**

**A.3主缆与主索鞍切点及索鞍精确位置求解**

主缆成桥线形是根据理论点计算的，实际上缆索与主索鞍相切，所以应根据给定的索鞍半径确定主缆与索鞍的切点以及索鞍的精确位置，然后对索鞍处的主缆线形以及无应力长度进行修正。

根据主索鞍半径，可根据影响矩阵法迭代求解主缆与主索按切点坐标及圆心位置。

影响矩阵法迭代求解主缆与主索鞍切点坐标以及索鞍精确位置，基本变量与目标函数如附表1所示。

**附表2 主缆与主索鞍切点计算影响矩阵**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 基本变量 | 目标函数 |
| 主缆与主索鞍切点 | 中跨主缆与主索鞍切点  边跨主缆与主索鞍切点 | 中跨侧半径误差  边跨侧半径误差 |



**附图A.3 主索鞍切点及圆心位置计算示意图**

影响矩阵法迭代步骤如下：

1. 假设主缆与鞍座的切点坐标为、，根据悬链线方程可求出两切点坐标、。
2. 求出过两点的悬链线法线交点，即索鞍圆心，求出与两切点距离。
3. 求出目标函数误差向量。
4. 切点坐标产生单位增量；分别使和，求出影响矩阵
5. 求出、的修正量
6. 修正切点坐标，。
7. 重复以上迭代过程，直到误差满足精度要求，求得精确的切点及索鞍圆心。

**A.4索鞍偏移量及空缆线形求解**

**A.4.1**索鞍偏移量求解

索鞍偏移量是指以满足成桥合理状态的各跨主缆无应力索长空挂于索鞍上，使索鞍满足平衡条件的索鞍的移动量。包括主索鞍偏移量和散索安偏移量。

设置索鞍偏移量的目的主要是为了防止主缆在鞍座上滑动和不平衡水平力引起的索塔弯矩。

根据索鞍偏移量的设计原则可知：

1. 空缆状态各跨间无应力索长等于成桥时无应力索长；
2. 空缆状态，中边跨索力水平分力相等；散索鞍转索前后索力相等（适用于摆轴式散索鞍）或散索鞍转索前后垂直于鞍座轴线的水平分力相等（适用于滚轴式或滑动式散索鞍）。

索鞍偏移量的计算可以通过影响矩阵法迭代求解，基本变量和目标函索如表1所示。

**附表A.4.1 索鞍偏移量计算影响矩阵**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 基本变量 | 目标函数 |
| 索鞍偏移量 | 左侧索鞍偏移量  右侧索鞍偏移量  左侧散索鞍偏移量  右侧散索鞍偏移量  空缆水平力 | 中跨无应力索长误差  左边跨无应力索长误差  右边跨无应力索长误差  左锚跨无应力索长误差  右锚跨无应力索长误差 |

**A.4.2**空缆线形及索夹安装位置求解

由于已求得索鞍偏移量及空缆水平力，根据悬链线方程可求得空缆线形。

**A.5索夹安装位置求解**

为保证成桥时吊索处于正确的位置，需计算空缆状态索夹的安装位置。计算原则是空缆时索夹的无应力长度等于成桥时索夹间的无应力长度。

索夹的安装位置可通过影响矩阵法求解。基本变量为索夹的坐标，目标函数为索夹的无应力索长。

# 本标准用词说明

1 为便于执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示很严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

《公路工程技术标准》JTG B01

《公路桥涵设计通用规范》JTG D60

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64

《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01

《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63

《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01

《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01

《公路桥梁抗撞设计规范》JTG/T 3360-02

《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05

《城市桥梁设计规范》CJJ 11

《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166

《钢—混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917

《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650

《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211

《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2

《公路悬索桥吊索》JT/T 449

《悬索桥吊索用钢丝绳》GB/T 38818

《悬索桥用主缆平行钢丝索股》GB T36483

《悬索桥预制主缆丝股技术条件》 JT/T 395

《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》JT/T 694

《桥梁用结构钢》GB/T 714

《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T297

《桥梁缆索用热镀锌或锌-铝合金钢丝》GB/T17101

《桥梁热镀锌铝合金钢丝》JT/T 1104

《斜拉索用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB T18365

《密封钢丝绳》GB/T 352

《粗直径钢丝绳》GB/T 20067

《大型低合金钢铸件》JB/T 6402

《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117

《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045

《钢结构用高强度大六角头螺母》GB/T 1229

《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231

《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228

《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230

《公路沥青路面设计规范》JTG D50

《城市道路交通设施设计规范》GB 50688

《公路交通安全设施设计规范》JTG D81

《公路交通安全设施设计细则》JTG/T D81

《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310

《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1

《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476

《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》JT/T 695

《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722

《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037

《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》JT/T 327

《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659

《合金结构钢》GB/T 3077

《厚度方向性能钢板》GB/T 5313

《建筑消能阻尼器》JG/T 209

《六角头螺栓》GB/T 5782

《六角头螺栓C级》GB/T 5780

《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293

《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470

《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110

《热强钢焊条》GB/T 5118

《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493

《熔化焊用钢丝》GB/T 14957

《水性环氧树脂防腐涂料》HG/T 4759

《碳素结构钢和低合金钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274

《锌碇》GB/T 470

《锌铝合金镀层钢丝缆索》GB/T 32963

《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352

《一般工程与结构用低合金铸钢件》GB/T 14408

《一般用途钢丝绳》GB/T 20118

《阴极铜》GB/T 467

《优质碳素结构钢》GB/T 699

《优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 711

《重要用途钢丝绳》GB 8918