

ICS

团体标准

T/CHTS ×××××-2023

公路悬索桥空中纺线法设计与施工技术 指南

Technical Guidelines for Design and Construction of Cable
System of Suspension Bridge by Air Spinning Method

(征求意见稿)

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

中国公路学会 发布

团体标准

公路悬索桥空中纺线法设计与施工技术指南 (征求意见稿)

Technical Guidelines for Design of Cable System of Suspension Bridge
by Air Spinning Method

T/CHTS-2023

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

中交第二公路工程局有限公司

发布单位：中国公路学会

实施日期：2023年××月××日

×××××× (出版单位)

前 言

本指南在总结国外空中纺线（AS）法架设主缆悬索桥缆索系统设计与施工经验基础上，结合贵阳至黄平高速公路阳宝山特大桥缆索系统科研、设计与施工实践成果编制。

本指南按照《中国公路学会标准编写规则》（T/CHTS 10001）编写，主要内容包括：总则、术语和符号、材料、设计、施工、质量评定及附录。

本指南由中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中交第二公路工程局有限公司提出，受中国公路学会委托，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题与建议，反馈至中交第一公路勘察设计研究院有限公司（地址：陕西省西安市雁塔区科技二路 63 号；联系电话：029-88322888；电子邮箱：258453374@qq.com），供修订时参考。

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中交第二公路工程局有限公司

参编单位：西南交通大学、江苏法尔胜缆索有限公司、德阳天元重工股份有限公司

主要起草人：冯云成 欧阳效勇 李 涛 霰建平 翟晓亮 金 仓 侯 旭 李 松 唐茂林
薛花娟 黄安明 张延龙 刘 勋 苏 洋 揣国新 刘冠华 伏亚锋 郭 瑞 刘新华 宋松林 何磊
杨 博 侯润峰 葛国库 谭沸良 施津安 舒宏生 喻胜刚 闫忠斌 陈龙 吴琼

主要审查人：

中国公路学会标准征求意见稿

目 录

| | |
|---------------------------------------|----|
| 1 总则 | 1 |
| 2 术语和符号 | 2 |
| 2.1 术语 | 2 |
| 2.2 符号 | 3 |
| 3 材料 | 5 |
| 3.1 高强度钢丝及钢丝绳 | 5 |
| 3.2 结构用钢材 | 6 |
| 4 设计 | 8 |
| 4.1 总体设计 | 8 |
| 4.2 锚碇 | 9 |
| 4.3 主缆 | 11 |
| 4.4 连接构造 | 13 |
| 4.5 主缆计算 | 16 |
| 4.6 股靴计算 | 17 |
| 4.7 索鞍及索夹 | 19 |
| 4.8 猫道设计 | 21 |
| 5 施工 | 23 |
| 5.1 锚固系统施工 | 23 |
| 5.2 猫道施工 | 23 |
| 5.3 主缆施工 | 23 |
| 5.4 施工监控 | 27 |
| 6 质量评定 | 30 |
| 6.1 主索鞍制作 | 30 |
| 6.2 主索鞍安装 | 31 |
| 6.3 散索鞍制作 | 32 |
| 6.4 散索鞍安装 | 34 |
| 6.5 股靴制作 | 35 |
| 6.6 股靴安装 | 36 |
| 6.7 锚固系统制作 | 36 |
| 6.8 锚固系统安装 | 37 |
| 6.9 主缆架设 | 38 |
| 6.10 紧缆 | 39 |
| 6.11 缠丝 | 39 |
| 6.12 钢丝连接套筒 | 40 |
| 6.13 连接套筒挤压连接 | 41 |
| 附录 A 空中纺线法架设主缆悬索桥用钢丝连接套筒检验方法 | 42 |
| 附录 B 空中纺线法架设主缆悬索桥用股靴、锚固拉杆质量检验方法 | 44 |
| 用词说明 | 47 |

中国公路学会标准征求意见稿

公路悬索桥空中纺线法设计与施工技术指南

1 总则

1.0.1 为规范采用 AS 法架设主缆悬索桥缆索系统的设计与施工，按照安全、耐久、实用、环保、经济和美观的原则，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于采用 AS 法架设主缆的新建悬索桥缆索系统设计和施工。

1.0.3 本指南采用以分项系数表达的极限状态设计方法。

1.0.4 设计与施工应考虑运营、管理与养护的可实施性。

1.0.5 公路悬索桥空中纺线法设计与施工技术除应符合本指南外，尚应符合有关法律、法规及国家、行业现行有关标准的规定。

中国公路学会标准征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 空中纺线法 **air-spinning method (AS 法)**

利用牵引机械设备往返拽拉索股钢丝，在现场制作平行钢丝索股的主缆架设方法。

2.1.2 股靴 **strand shoe**

空中纺线法施工的悬索桥中用于连接主缆索股与锚固系统的构件。

2.1.3 钢丝连接套筒 **splice**

空中纺线法中用于钢丝机械连接的构件。

2.1.4 纺丝张力 **air-spinning tension**

在纺丝过程中主缆钢丝的控制张力。

2.1.5 高张力法 **high-tension method**

主缆钢丝的纺丝张力为空缆钢丝张力,也称为自由悬挂钢丝法(Free hanging method),每完成一个纺丝行程,需进行钢丝垂度调整。

2.1.6 低张力法 **high-tension method**

主缆钢丝的纺线张力降低到空缆线形钢丝的 50%,其余自重通过钢丝形状保持器传递给猫道。

2.1.7 恒张力控制法 **controlled tension wire adjustment method**

主缆钢丝的纺丝张力控制为空缆线形钢丝张力的 80%~85%,纺丝轮往复架设的钢丝张力恒定,不需要对单根钢丝进行垂度(张力)调整,也称为等强度 AS 法。

2.1.8 纺丝轮 **spinning wheel**

索股纺丝过程中的钢丝牵拉装置,由多个动滑轮及与牵引索连接的定位架组成,作用是将牵引索动力传递给纺线钢丝,通过往复牵拉实现钢丝的架设。

2.1.9 死丝 **dead wire**

在纺丝过程中,连接在锚固端且直接落在索股中的位于纺丝轮下方钢丝称之为死丝。

2.1.10 活丝 live wire

位于纺丝轮上方从丝盘引出并随着纺丝轮前行的钢丝称之为活丝，其速度是纺丝轮的2倍。

2.1.11 索股成型器 cable former

位于猫道上保证索股按照设计位置排列的装置，并通过其承担除过纺丝张力的主缆钢丝恒载并且传递给猫道。对于高张力法，索股成型器可与施工猫道不发生连接。

2.1.12 基准丝 standard wire

经过准确测量制作，与第一层索股空缆线形相同、作为索股成型器定位基准的钢丝。

2.2 符号

f_d —钢材的抗拉、抗压、抗弯强度设计值,MPa;

f_{dd} —钢丝的抗拉强度设计值,MPa;

f_k —主缆钢丝抗拉强度标准值,MPa;

γ_R —主缆钢丝材料抗拉强度分项系数;

γ_0 —结构重要性系数;

f —悬索桥主缆垂度,m;

f_{vd} —股靴材料抗剪强度设计值,MPa;

σ_d —主缆钢丝应力设计值,MPa;

σ_b —主缆钢丝二次弯曲应力,MPa;

d_w —主缆用高强钢丝直径,mm;

R —股靴索槽底部半径,mm;

E —主缆钢丝弹性模量,MPa;

S —索股无应力长度, mm

L —悬索桥主跨跨度, m

R_s —表面粗糙度;

R_s —紧缆后主缆横径与竖径之差与设计直径之比;

d_t —连接套筒外径，mm；

l_t —连接套筒长度，mm。

中国公路学会标准征求意见稿

3 材料

3.1 高强度钢丝及钢丝绳

3.1.1 主缆索股所用的高强度钢丝宜采用热镀锌或热镀锌铝合金钢丝，技术条件应符合现行《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》（GB/T 17101）的规定。

条文说明

主缆用高强度钢丝在大气中极易锈蚀，对线材进行热镀锌作为主缆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不断涌现，本指南推荐采用热镀锌或锌铝合金钢丝，也不排斥选用其他可靠的防腐方式。在南沙大桥中，主缆钢丝采用了高强度镀锌铝钢丝，进一步提高了钢丝的防腐性能。

3.1.2 热镀锌或锌铝合金高强度钢丝主缆的弹性模量计算取值宜为 $1.90 \times 10^5 \sim 2.10 \times 10^5$ MPa。

3.1.3 热镀锌或锌铝合金高强度钢丝抗拉强度设计值 f_{d1} 应按其抗拉强度标准值 f_k 除以钢丝抗拉强度分项系数 γ_R 确定，钢丝材料抗拉强度分项系数 γ_R 应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 高强度钢丝抗拉强度分项系数 γ_R

| 抗拉强度标准值 f_k (MPa) | 主缆 |
|---------------------|------|
| 1670 | 1.85 |
| 1770 | |
| 1860 | |
| 1960 | |
| 2060 | |

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，按表得出的抗拉强度设计值应乘以折减系数 0.9。

条文说明

本条摘自《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05-2015）第 3.2.6 条，增加了强度等级为 1860MPa、1960MPa、2060MPa 三个强度等级的高强度钢丝。1860MPa 级别的钢丝在《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64-2015）和《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》（GB/T 17101-2019）均有相关的规定。而且，采用更高强度的钢丝有利于减少主缆的钢丝根数，南沙大桥（虎门二桥）的泥洲水道桥的主缆采用了 1960MPa 高强度镀锌铝钢丝、深中通道伶仃洋航道桥的主缆采用了 2060MPa 高强度镀锌铝镁钢丝。

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）、《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64-2015）保持一致。

3.2 结构用钢材

3.2.1 热镀锌高强度钢丝连接套筒采用 45 钢碳素结构进行调质热处理(淬火+回火)处理,其力学性能和化学成分应符合《优质碳素结构钢》(GB699)的规定。

3.2.2 股靴宜采用 ZG230-450、ZG230-450H、ZG270-500、ZG270-480H、ZG20Mn 等铸钢,其技术条件不应低于现行《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)、《大型低合金铸钢件》(JB/T 6402)的规定。

条文说明

股靴材料一般采用铸钢件,我国的《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05-2015)中规定散索套、索夹本体材料宜采用 ZG20Mn、ZG35SiMnMo,索鞍宜采用 ZG275-485H、ZG270-500、ZG310-570,但对股靴的钢材牌号没有明确规定。韩国光阳大桥的股靴采用 SC450 铸钢,与日本的牌号相同。英标 BS 3100 中采用 A1 牌号材料,日本本州四国连络桥上部结构设计标准及解说(1989.4)中规定股靴采用 SC46、SC499 (JIS G5101) 牌号。各国不同牌号的股靴材料的化学成份见表 3.2.1-1,力学指标见表 3.2.1-2。

表 3.2.1-1 国内外股靴材料的化学成份

| 牌号 | C | Si | Mn | S | P | Ni | Cr | Cu | Mo | V | 其它 |
|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|------------|-----------|------|-----------|-------------------|------|-----|
| ZG230-450 | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 0.035 | 0.035 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.20 | 0.05 | |
| ZG270-500 | 0.40 | 0.60 | 0.90 | 0.035 | 0.035 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.20 | 0.05 | |
| ZG20Mn | 0.16 ~ 0.22 | 0.60 ~ 0.80 | 1.00 ~ -1.30 | ≤ 0.030 | ≤ 0.030 | ≤ 0.40 | - | - | - | | 1.0 |
| ZG35Si MnMo | 0.32 ~ 0.40 | 1.10 ~ 1.40 | 1.10 ~ 1.40 | ≤ 0.030 | ≤ 0.030 | - | - | ≤ 0.30 | 0.20 ~ 0.30 | | |
| A1 | 0.25 | 0.60 | 0.90 | 0.050 | 0.050 | 0.40 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | - | 0.8 |
| SC450 日本 | ≤ 0.35 | 双方 商定 | 双方 商定 | ≤ 0.040 | ≤ 0.040 | | | | | | |
| AASHTO M 103M Grade250 | ≤ 0.35 | ≤0.8 | ≤0.7 | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 | | | | | | |

表 3.2.1-2 国内外股靴材料的力学指标

| 牌号 | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 Rm/MPa | 伸长率 As (%) | 断面收缩率 Z (%) | 冲击吸收功 AKV/J | 冲击吸收功 AKU/J |
|------------|-------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| ZG230-450 | 230 | 450 | 22 | 32 | 25 | 35 |
| ZG270-500 | 270 | 500 | 18 | 25 | 22 | 27 |
| ZG20Mn | 285 | 495 | 18 | 30 | | 39 |
| ZG35SiMnMo | 395 | 640 | 12 | 20 | | 24 |
| A1 (英国) | 230 | 430 | 22 | | 27 | |

| | | | | | | |
|---------------------------|-----|-----|----|----|----|--|
| SC450 (日本) | 230 | 430 | 22 | 31 | 27 | |
| AASHTO M 103M Grade250 | 250 | 485 | 22 | 30 | | |

从铸钢材料的化学成份及力学指标看，ZG20Mn、ZG230-450 与国外常用的股靴材料相近，而 ZG230-450 更为接近，在索股拉力较大时也可以采用 ZG20Mn、ZG270-480H、ZG270-500。

3.2.3 索鞍、索夹、索股与锚固系统连接构造的拉杆宜采用 40CrNiMoA、40Cr、35CrMo 等合金结构钢，其技术条件不应低于现行《合金结构钢》（GB/T 3077）的规定。

条文说明

本条与《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05-2015）第 3.3.3 条基本相同，其强度度更高，为了适应 AS 法架设主缆时索股的钢丝数多，单股索股拉力较大，为减小拉杆的直径，可选用强度更高的合金结构钢，如 34Cr2Ni2Mo、42CrMo，但应满足不同环境条件下冲击韧性等力学性能的要求。

3.2.4 铸钢的强度设计值和物理性能指标按规范《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）的规定取用。

4 设计

4.1 总体设计

4.1.1 悬索桥总体设计时，应结合桥跨布置、建设条件、结构体系等情况，对缆索系统进行综合设计。根据运输条件、施工便利性和经济性等确定主缆架设方法。

除本指南规定外，AS 法架设主缆悬索桥缆索系统的总体设计与《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65) 基本相同。

条文说明

建设条件一般包括地形、地质、地震、气象、水文、通航、防洪等，地形条件影响到运输条件，当运输条件较差，预制平行钢丝索股难以运输到现场时，可采用空中纺线(AS)法架设主缆。

4.1.2 缆索系统包括主缆、主索鞍、散索鞍、索夹、吊索、锚固系统及防护系统等。

4.1.3 根据桥跨总体布置，缆索系统有 1 个主跨的单跨吊、双跨吊、三跨吊等布置型式，也有 2 个及以上的多主跨布置型式。悬索桥缆索系统不同形式如图 4.1.3 所示。

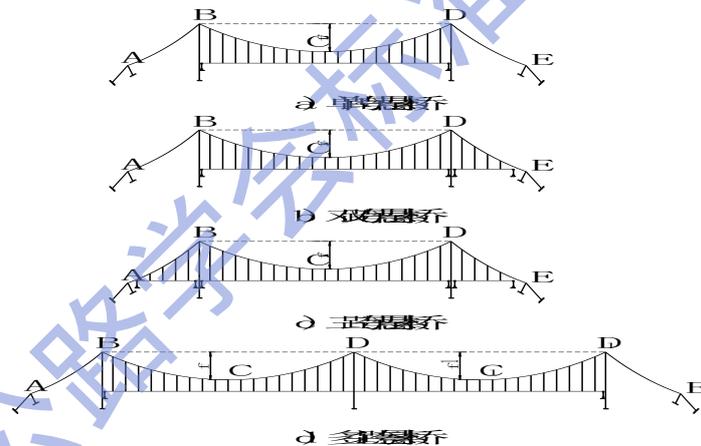


图 4.1.3 悬索桥缆索系统布置示意图

条文说明

缆索系统布置型式取决于桥梁的总体布置，主缆的支承点主要设置在锚碇(散索鞍及锚固系统)、索塔处，如图 4.1.3 中 A、B、D、E 点。有时，为了减小加劲梁的水平位移、塔顶的纵向位移等，在主缆跨中设置中心索夹(中央扣)，使主缆的纵向变形得到一定约束。中心索夹可以是柔性的，也可以采用刚性的。

4.1.4 确定主缆的垂跨比时应考虑经济性和全桥结构刚度，宜在 $1/9 \sim 1/11$ 的范围内选择。

条文说明

本条规定与《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05-2015）第 5.2.4 条基本相同。主缆垂跨比是缆索体系总体设计中的一项重要指标，减小垂跨比可减小索塔高度和吊索长度，同时也增加桥梁的整体刚度，但是将导致主缆拉力增大和锚碇规模的增加。因此，在总体设计时，应通过综合的分析比较合理确定主缆的垂跨比。经统计，国内外已建成多数大跨径悬索桥，不论是采用 PPWS 法还是 AS 法，主缆的垂跨比一般在 1/9~1/11 之间。

4.1.5 主缆横向布置应综合抗风、加劲梁宽度的要求确定，并应满足施工机具对主缆与加劲梁之间的空间要求。一般情况下采用双主缆，也可根据具体情况采用三主缆或者更多主缆组成的布置形式。双主缆的中心间距与主跨跨径之比宜大于 1/60。

条文说明

本条规定与《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05-2015）第 5.2.5 条基本相同。施工机具主要是吊装加劲梁的吊具和主缆缠丝机等。

4.1.6 吊索间距应综合考虑材料用量、加劲梁运输架设条件以及加劲梁、吊索、索夹的受力情况等确定。

4.1.7 吊索在顺桥向宜采用垂直布置方式。

4.1.8 可根据需要在跨中设置中央扣。地震烈度较高时，可采用柔性中央扣。

条文说明

4.1.6~4.1.8 与《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05-2015）第 5.2.7~5.2.9 条相同。

4.2 锚碇

4.2.1 采用 AS 法架设主缆的锚碇除了应符合现行《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）中对构造及结构计算的相关规定外，尚应满足下列要求：

- 1 锚碇锚固系统及锚固面尺寸应根据索股拉力设计值进行设计。
- 2 锚碇锚固系统拉杆与锚固垫板垂直，并与索股角度应保持一致。

条文说明

AS 法架设主缆悬索桥锚碇设计与 PPWS 法架设主缆悬索桥锚碇设计原则是一致的，由于 AS 法索股拉力设计值大许多，而且索股拉力是通过股靴和拉杆传递到锚固系统，在前锚面尺寸、锚固系统构造等方面有一定区别。

4.2.2 预应力锚固系统构造应满足下列要求：

- 1 前锚面槽口构造应满足拉杆螺母安装空间要求，在主缆索股架设完成后在前锚面深槽内宜回填与锚碇同标号无收缩或低收缩水泥砂浆。

- 2 应设置足够刚度的定位支架，以保证锚固系统的精确定位。
- 3 前锚面上锚固点间距应考虑千斤顶布置及操作空间要求。
- 4 前锚垫板尺寸应满足锚固预应力筋和连接拉杆的布置要求。
- 5 锚固系统前后锚面下应采取布置局部钢筋网或提高锚下混凝土等级等措施，满足局部承压的要求。

条文说明

由于前锚面为满足拉杆螺母安装空间要求，锚固板下深槽削弱了前锚面混凝土局部承压能力，采用预应力锚固系统时，在施工阶段，锚碇前锚面要求施加的预拉力值不应低于主缆索股设计拉力的 1.2 倍，故应验算前锚面混凝土局部承压受力情况。

4.2.3 预应力锚固系统结构计算应满足下列要求：

- 1 应采用三维有限元方法计算锚固系统锚面的承载能力。前锚垫板锚下局部应力计算时应扣除预应力管道面积和凹槽面积。
- 2 单个股靴需采用多个预应力钢束进行锚固时，单个锚垫板上不同钢束张拉力不均匀误差可按 10% 计入。
- 3 前锚垫板应进行承压和抗剪验算。

4.2.4 型钢拉杆锚固系统构造应符合现行《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）中的相关规定。

4.2.5 型钢拉杆锚固系统结构计算应满足下列要求：

- 1 计算时应计入索股方向与锚杆轴线的偏差及双束锚杆两侧拉力差的影响。钢锚梁翼缘面直接承压的混凝土应进行局部承压验算。
- 2 型钢拉杆的承载力应满足公式（4.2.5）的要求：

$$\gamma_0 \sigma_d \leq f_d \quad (4.2.5)$$

式中： γ_0 —结构重要性系数；

σ_d —型钢拉杆应力设计值，MPa；

f_d —型钢拉杆的强度设计值，按现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定取值。

4.3 主缆

4.3.1 采用 AS 法架设主缆时，主缆钢丝宜按下列要求布置：

- 1 主缆用高强钢丝直径 d_w 宜在 5.0~7.0mm 之间。
- 2 每根索股的钢丝根数一般在 220~560 丝之间，宜为纺丝轮单程纺丝根数的偶数倍。
- 3 每根索股在纺丝完成后应先整形为圆形，再将垂度调整到空缆线形状态。

条文说明

在荷载确定的情况下，组成索股的钢丝根数决定了索股的股数，对锚固系统的布置和锚碇（或锚塞体）的规模有一定的影响，AS 法组成索股的钢丝数一般在 220~560 丝，一般情况下，钢丝直径大、标准强度高时，每股的钢丝根数取小值。

表 4.3.1 列举国内外部分悬索桥主缆钢丝布置。每股钢丝根数增多，纺丝工效提高，同时对锚固拉杆和锚固系统的承载力要求提高。

表 4.3.1 国内外部分悬索桥主缆钢丝布置

| 桥梁名称 | 跨径 (m) | 每股丝数/股数 | 钢丝强度 (MPa) | 丝径 (mm) | 建成时间 |
|------------|--------|---------|------------|---------|----------|
| 青马大桥 | 1377 | 368/91 | | 5.38 | 1997 |
| 美国华盛顿桥 | 1067 | 434/61 | | 4.97 | 1962 |
| 金门大桥 | 1281 | 452/61 | | 4.87 | 1937 |
| 维拉扎诺海峡桥 | 1298.4 | 428/61 | | 4.97 | 1938 |
| 福斯公路桥 | 1005.8 | 314/37 | | 4.97 | 1939 |
| 塞文桥 | 987.55 | 439/19 | | 4.97 | 1966 |
| 恒伯尔桥 | 1410 | 404/37 | | 5 | 1981 |
| 土耳其博斯普鲁斯一桥 | 1074 | 548/19 | | 5 | 1973 |
| 土耳其博斯普鲁斯二桥 | 1090 | 504/32 | | 5.38 | 1988 |
| 法国坦卡维尔桥 | 606 | 169/56 | | 4.7 | 1967 |
| 日本下津井桥 | 940 | 552/44 | | 5.37 | 1988 |
| 瑞典霍加库斯滕桥 | 1210 | 304/37 | 1570 | 5.27 | 1997 |
| 丹麦大贝尔特桥 | 1624 | 504/37 | 1570 | 5.38 | 1998 |
| 韩国光阳大桥 | 1545 | 400/32 | 1860 | 5.35 | 2012 |
| 挪威格兰德大桥 | 1145 | 328/19 | 1770 | 5.38 | 后改为 PPWS |
| 日本丰岛大桥 | 540 | 240/7 | 1570 | 7.02 | 2009 |
| 阳宝山大桥 | 650 | 336/37 | 1860 | 5.35 | 2022 |

4.3.2 主缆应通过紧缆工序确保设计孔隙率，紧缆后宜每隔 1m 左右设置镀锌扁钢带临时捆扎主缆。主缆设计空隙率可按表 4.3.2-1 的规定选用。

表 4.3.2-1 主缆设计孔隙率

| 部位 | 一般截面 V (%) | 索夹内截面 V_c (%) |
|----|--------------|-----------------|
|----|--------------|-----------------|

| | | |
|-------|-------|-------|
| 设计空隙率 | 19~22 | 17~19 |
|-------|-------|-------|

条文说明

根据国内外 AS 法架设主缆悬索桥实际工程，AS 法孔隙率在 19%~22%，比 PPWS 施工主缆的孔隙率 18%~20%要大 2 个百分点左右；《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05-2015)：PPWS 法一般部位 18%~20%，索夹内 16%~18%；AS 法一般部位 19~22%，索夹内 17~20%。本指南采用了《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05-2015)的规定值。

表 4.3.2-2 国内外部分悬索桥主缆空隙率

| 桥名 | 国别 | 主缆直径(mm) | 施工方法 | 成桥实测值 (%) | |
|----------|----|----------|------|-----------|------|
| | | | | 一般部位 | 索夹部位 |
| 乔治·华盛顿桥 | 美国 | 914.4 | AS | 22.7 | 21.2 |
| 金门大桥 | 美国 | 909.3 | AS | 19.4 | 17.4 |
| 福斯公路桥 | 英国 | 596 | AS | 21.7 | 18.9 |
| 丰岛大桥 | 日本 | 322 | AS | 20.6 | 19.7 |
| 下津井濑户大桥 | 日本 | 930 | AS | 19.9 | 19 |
| 香港青马大桥 | 中国 | 1099 | AS | 20 | 18 |
| 大贝耳特海峡东桥 | 丹麦 | 827 | AS | 21 | 19 |
| 光阳大桥 | 韩国 | 677 | AS | 20 | 18 |
| 阳宝山大桥 | 中国 | 646 | AS | 20.3 | 18.8 |

4.3.3 采用 AS 法架设主缆时，索股一般为圆形，索股沿长度方向每隔 2~4m 应设置一道定型捆扎带，各索股的定型捆扎带应错开布置。索股可采用如图 4.3.3 所示形式排列。

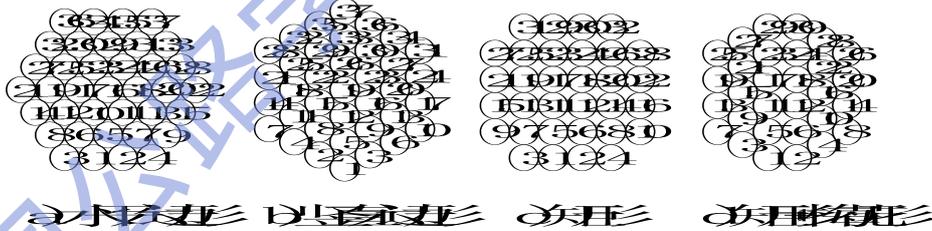


图 4.3.3 主缆索股排列形式

条文说明

为便于紧缆后将主缆压成圆形，在架设索股时通常按照正六边形排列。早期架设的悬索桥采用图 4.3.3a 的形式（如美国的华盛顿桥及维拉扎诺桥），索鞍内隔板为水平布置。从美国金门桥开始普遍采用 4.3.3b 的形式，竖直六角形布置有以下优点：①索鞍内的永久隔板为竖直布置，这样可使主缆架设时的断面与索股在索鞍内的排列保持一致，便于索股成型；②便于架设索股时在各竖列之间插入临时分隔片，使索股保持规整的形状及便于索股间通风。图 4.3.3c 采用矩形排列布置，如韩国光阳大桥，博斯布鲁斯二桥等，这种方式在水平及竖直方向均可插入分隔板。图 4.3.3d 采用矩形+梅花形排列布置也是可行的，如阳宝山大桥，实践证明 c、d 的排列方式并不会给紧缆带来额外的难度。

4.3.4 应根据纺丝轮规格对每根索股的钢丝进行编号区分,给出股靴、鞍槽内钢丝布置方式,且对纺丝轮不同丝槽的钢丝采用不同颜色加以区分。

4.3.5 钢丝接长应采用连接套筒或其它可靠的连接方法。钢丝接头装置应满足下列要求:

- 1 钢丝接头的抗拉承载能力不低于钢丝抗拉承载能力。
- 2 钢丝接头装置端部应做锥形,内腔出口位置应倒圆处理。

条文说明

国外施工规范规定应从所完成的接长构造之中取 2%作为试件进行检验,在检验中所测得的强度不得低于原钢丝强度的 0.95。结合依托工程贵黄高速阳宝山特大桥建设实践,以及大量的钢丝接头静载、疲劳试验结果显示,现有技术完全可以实现钢丝连接套筒连接位置抗拉承载能力(或破断荷载)不低于高强钢丝抗拉承载力(或破断荷载)。

4.3.6 宜尽量减少索股中的钢丝接头数量,索股中钢丝接头宜均匀地沿主缆全长布置,并满足下列要求:

- 1 相邻两接头沿主缆轴线方向间距不得小于 3m。
- 2 相邻索股外层钢丝的接头须错开至少 1m。
- 3 索股同一截面上的接头数不得多于 1 个。
- 4 股靴、鞍槽及两侧 5m 范围内不得有钢丝接头。
- 5 索夹及距索夹边缘 1m 范围内主缆的外层钢丝不得有接头。

4.4 连接构造

4.4.1 索股与锚固系统的连接构造包括股靴和拉杆,其构造应满足下列要求:

- 1 股靴一般设置两个索槽,对称布置。
- 2 股靴索槽表面宜进行喷锌处理,厚度不应小于 200 μm 。
- 3 拉杆批量生产前,应先进行拉杆的破断试验,以检验拉杆实际承载能力能否满足设计要求。

条文说明

主缆架设方法不同使得主缆与锚固系统之间的连接也略有不同,如图 4.4.1 所示。PPWS 法的主缆通过其自身的锚头将力传递到连接拉杆,再由拉杆传递到锚固系统;采用 AS 发架设的主缆索股由无端头钢丝环绕而成,在锚固端缠绕在股靴上,通过股靴将索股拉力传递到锚固在股靴上的连接拉杆上,再由钢拉杆通过锚固垫板传递到预应力钢绞线或钢框架锚固系统。股靴是主缆采用 AS 法架设的悬索桥中特殊构件,将索股与锚固钢拉杆连接起来,起到

连接和传力的作用，在某种意义上，股靴的作用和 PPWS 法索股的锚头具有相同的作用。

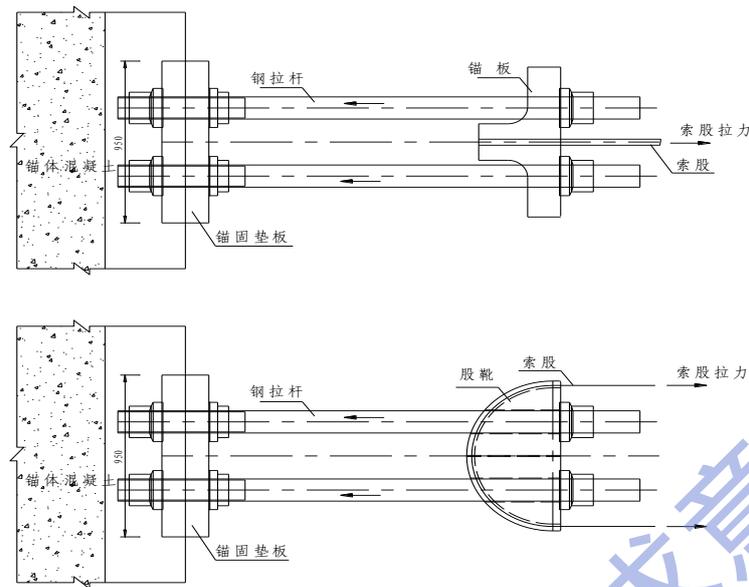


图 4.4.1 AS 法与 PPWS 法索股与锚固系统的连接构造

4.4.2 股靴索槽底部半径宜满足公式 (4.4.2) 的要求:

$$R \geq 70d_w \quad (4.4.2)$$

式中: R —股靴索槽底部半径, mm;

d_w —主缆用高强钢丝直径, mm。

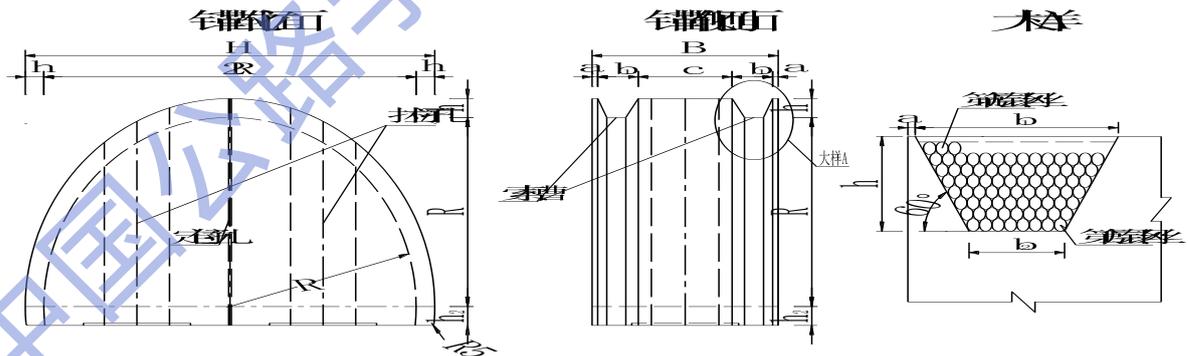


图 4.4.2 股靴构造示意

4.4.3 股靴构造应满足钢丝嵌入和拉杆锚固的要求, 为避免钢丝划伤股靴所有棱边应设置半径 1~2mm 圆角。

4.4.4 股靴索槽尺寸应满足下列要求:

- 1 索槽侧壁与底面的夹角取 60° 。

2 索槽底部的的设计宽度 b_2 按公式(4.4.4-1)计算。

$$b_2 = \left(n_1 + \frac{\sqrt{3}}{3} - 1 \right) (d_w + \Delta_w) \quad (4.4.4-1)$$

式中： b_2 —一股靴索槽底部的设计宽度, mm;

n_1 —一股靴索槽内从底部往上第一层高强钢丝数量;

d_w —主缆用高强钢丝直径, mm;

Δ_w —主缆用高强钢丝直径的允许正偏差, mm。

3 索槽的设计深度度 h 按公式(4.4.4-2)计算。

$$h = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} m - \frac{\sqrt{3}-2}{2} \right) \times (d_w + \Delta_{wr}) + \Delta h \quad (4.4.4-2)$$

式中： h —一股靴索槽底部的设计宽度, mm;

m —一股靴索槽内排列钢丝的总层数;

Δh —索槽的富裕深度, 应不小于钢丝直径的1/3。

4 索槽侧壁顶面的厚度 a 不应小于10mm。

条文说明

为使股靴受力均衡, 一个股靴设置2个索槽, 对称布置。钢丝在索槽内呈梅花形式布置, 故此索槽侧壁的倾斜角度(与侧面的夹角)取为 30° 。一般情况下 m 、 n_{wt} 接近且 m 不宜大于 n_{wt} 太多。

4.4.5 索槽尺寸应满足索股钢丝排列和受力的要求, 主缆钢丝的接触压应力不应大于100MPa 且或线压力不大于500kN/m。

条文说明

根据欧洲规范 BS EN1993-1-11 2006 (Eurocode 3—Design of Steel Structures Part1-11 Design of Structures with Tension Components) 的规定, 主缆钢丝的接触压应力在不大于100Mpa (或线压力500kN/m, 日本) 的情况下, 主缆的断裂强度的减少不超过3%。

4.4.6 股靴构造应设置定位孔和便于安装的临时定位构造。

4.4.7 股靴与锚固系统连接的拉杆构造应满足下列要求:

1 拉杆长度确定应考虑索股长度调整量。

- 2 拉杆连接股靴一侧宜根据需要设置连接构造，用于接长索股调整用临时拉杆。
- 3 拉杆及螺母组件应考虑纺丝过程中股靴受力变化的影响。

4.5 主缆计算

4.5.1 在永久荷载、汽车荷载、人群荷载、温度作用效应组合下，主缆钢丝的应力设计值应满足公式（4.5.1）的要求。

$$\gamma_0 \sigma_d \leq f_{dd} \quad (4.5.1)$$

式中： σ_d —主缆钢丝应力设计值, MPa;

γ_0 —结构重要性系数;

f_{dd} —主缆钢丝的抗拉强度设计值, MPa, $f_{dd} = \frac{f_k}{\gamma_R}$;

f_k —主缆钢丝抗拉强度标准值, MPa;

γ_R —主缆钢丝材料抗拉强度分项系数。

4.5.2 主缆钢丝在索鞍及股靴索槽处存在二次弯曲应力。索槽底半径满足构造要求时，可不考虑钢丝弯曲二次应力对索股承载力的影响；索槽底半径不满足构造要求，索股安全性验算应考虑主缆钢丝弯曲二次应力的影响。钢丝二次弯曲应力可按公式（4.5.2）计算。

$$\sigma_b = E \frac{d_w}{2R} \quad (4.5.2)$$

式中： σ_b —主缆钢丝二次弯曲应力, MPa;

d_w —主缆用高强钢丝直径, mm;

E —主缆钢丝弹性模量, MPa;

R —股靴索槽底部半径, mm。

条文说明

依托工程阳宝山特大桥开展了一根由 80 丝 1860MPa, 直径为 5.35mm 的索股绕索槽半径 400mm 股靴的弯曲静载试验，试验得到索股破断荷载为 6690kN，该索股公称破断强度为 6687kN，索股破断位置并未发生在股靴弯曲段。

4.6 股靴计算

4.6.1 股靴强度验算除应符合本指南规定外,尚应符合《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65)和《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)的相关规定。

4.6.2 股靴受力复杂,宜采用三维有限元法计算其承载能力。也可采用以下方法对图 4.6.2-1 中 1-1、2-2、3-3 和 4-4 断面抗剪能力进行验算。

1 平行于股靴侧面的 1-1 截面抗剪能力应满足公式 (4.6.2-1) 的要求。

$$\gamma_0 \tau_d \leq f_{vd} \quad (4.6.2-1)$$

式中: τ_d —计算截面 1-1 处剪应力设计值,按公式 (4.6.2-2) 计算;

$$\tau_d = \frac{Q_d}{A} \quad (4.6.2-2)$$

Q_d —计算截面 1-1 处剪力设计值,按公式 (4.6.2-3) 计算;

$$Q_d = \frac{T_d}{2} \quad (4.6.2-3)$$

T_d —计算股靴对应的索股拉力设计值, N;

A —计算截面 1-1 的面积, mm^2 ;

f_{vd} —股靴材料抗剪强度设计值, MPa;

γ_0 —结构重要性系数。

2 垂直于股靴侧面的 2-2、3-3 和 4-4 截面的抗剪能力应满足式 4.6.2-1 的要求, 2-2、3-3 和 4-4 截面分别是钢拉杆垫板的外侧边缘、螺杆孔的外侧边缘、拉杆中心所对应的截面。股靴索槽任意点位置索股径向压力按照公式 (4.6.2-4) 计算, 索股切向摩阻力按照公式 (4.6.2-5) 计算。

$$F_j(\theta) = T_c e^{-\mu\theta} / R \quad (4.6.2-4)$$

$$F_w(\theta) = \mu T_c e^{-\mu\theta} \quad (4.6.2-5)$$

式中: $F_j(\theta)$ —股靴索槽内与股靴圆心连线水平夹角为 θ 的点处径向线压力, N/mm;

$F_w(\theta)$ —股靴索槽内与股靴圆心连线水平夹角为 θ 的点处线摩阻力, N/mm;

T_c —计算股靴一个索槽处钢丝拉力设计值,按公式 (4.6.2-6) 计算;

$$T_c = \frac{T_d}{4} \quad (4.6.2-6)$$

μ —钢丝与索槽底或侧面摩擦系数，宜取 0.15；

R —股靴索槽底部半径，mm。

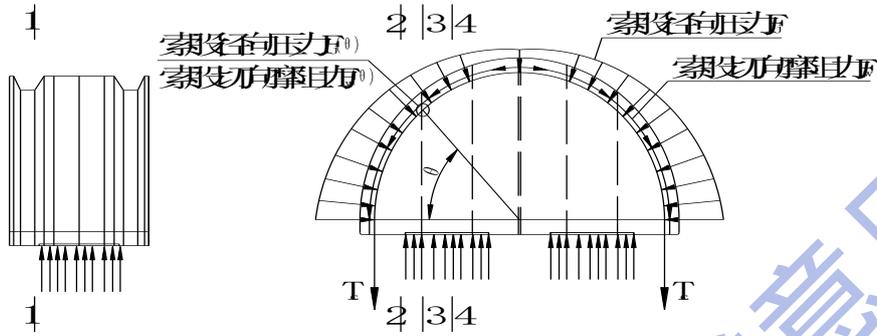


图 4.6.2-1 股靴受力示意图

3 索槽外侧壁应满足承受来自索股钢丝侧向压力引起的抗弯和抗剪承载能力要求。

条文说明

索槽承受来自钢丝径向压力，如图 4.6.2-2 所示。其大小与径向力有关。钢丝对索槽侧壁的作用力垂直于侧壁内表面。将此力分解为垂直和平行于索槽底部的两个分力，对侧壁在底部产生剪力、弯矩和压力。

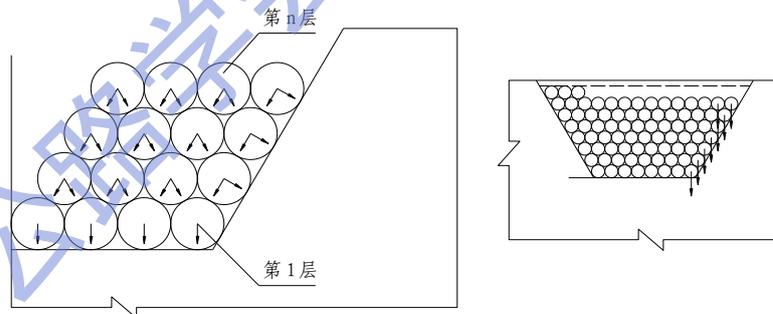


图 4.6.2-2 股靴索槽侧壁受力图示

股靴承受来自索股的径向压力和接触面间的摩擦力，同时承受来自钢拉杆通过锚垫板传递来的的环形面压力，分析时忽略股靴的自重，则上述 3 类力形成平衡力系。索股通过股靴索槽时，由于存在摩阻力，索股的拉力是变化的，同时由于钢丝在拉力作用下的伸长，可以认为索股相对于索槽产生滑动。

4.7 索鞍及索夹

4.7.1 AS 法索股钢丝在索鞍承缆槽中布置应该考虑施工时采用纺丝轮槽数的影响。

条文说明

AS 法纺丝轮从早期单轮单槽发展到现在常用单轮四槽，AS 法纺丝效率大大提高。第一层钢丝数量宜为纺丝轮槽数的整数倍。

4.7.2 AS 法架设主缆主索鞍和散索鞍承缆槽除应按《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）规定布置以外，索鞍承缆槽设计宽度按照公式（4.7.2）计算，索鞍承缆槽中的索股高度 h_s 按《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）规定计算。

$$b = (n_{wr} + 0.5)(d_w + \Delta_w) \quad (4.7.2)$$

式中： b —索鞍承缆槽设计宽度，mm；

n_{wr} —索鞍承缆槽单排钢丝数量，mm；

d_w —主缆用高强钢丝直径，mm；

Δ_w —主缆用高强钢丝直径的允许正偏差，mm。

条文说明

为减少 AS 法索股内钢丝交叉现象，承缆槽中每一层的钢丝数量相同，故 AS 法承缆槽宽度计算不同于 PPWS 法。

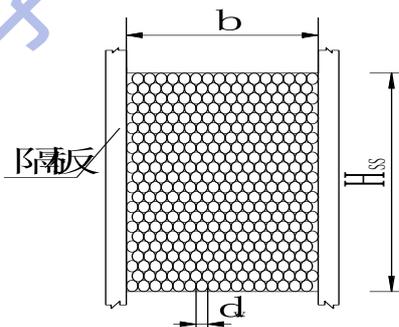


图 4.7.2 AS 法承缆槽示意

4.7.3 AS 法背索在主索鞍上锚固构造根据股靴布置形式可采用直立式或水平式。

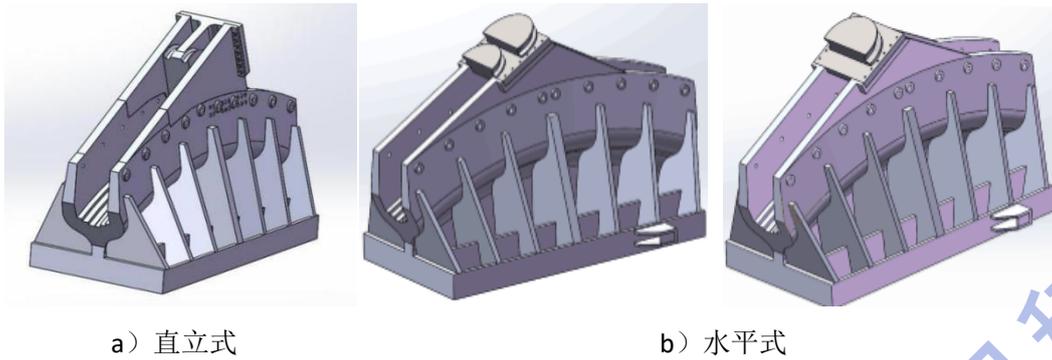


图 4.7.3 股靴背索锚固构造

4.7.4 索鞍隔板厚度不宜小于 10mm，隔板与承缆槽底面应连续施焊。

表 4.7.4 列出几座 AS 法架设主缆悬索桥索鞍隔板厚度，供设计参考。

表 4.7.4 典型 AS 法架设主缆悬索桥隔板厚度

| 桥名 | 跨径布置 (m) | 主缆断面布置 | 隔板厚度 (mm) |
|--------|------------------|------------------|-----------|
| 韩国光阳大桥 | 522.5+1545+477.5 | 32 股×400 丝 | 12 |
| 韩国南海二桥 | 165+920+165 | 16 股×480 丝 | 12 |
| 阳宝山特大桥 | 170+650+210 | 36 股×336 (320) 丝 | 10 |
| 滕州浔江大桥 | 730+730 | 30 股×240 (224) 丝 | 18 |

4.7.5 主缆在承缆槽内抗滑移验算应按《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65)的有关规定进行。采用整体式隔板时，宜考虑隔板的摩阻贡献。

条文说明

甌江北口大桥试验结果显示，鞍槽间全置竖向板的构造措施对于主缆抗滑移能力的贡献达到 57.65%。阳宝山特大桥进行了索鞍抗滑移试验研究，试验结果表明 5mm 厚隔板索股出现滑移时实测摩擦系数为 0.339，10mm 厚隔板索股出现滑移时实测摩擦系数为 0.426，平均值为 0.21。主缆与槽底或隔板间的摩擦系数按 0.15 选取计算是偏于保守的。

4.7.6 主缆在吊索处应设置索夹，在边跨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。索夹设计应按《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）的有关规定进行。

4.7.7 索鞍、索夹计算应按《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65）的有关规定进行。

4.8 猫道设计

4.8.1 猫道系统设计除应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650）相关规定外，尚应满足下列要求：

1 综合考虑纺丝过程中的纺丝张力、猫道垂度调整量、猫道垂度调整力大小和猫道下挠控制量等因素。

2 满足抗风稳定性要求。当不设抗风缆时，应根据跨径大小和施工风速，采取构造措施提高猫道抗扭刚度。

3 采用低张力和恒张力控制法架设主缆时，宜在猫道下设置垂度调整索、调力拉杆及相应支承装置。

4 宜采用多跨连续式结构。

条文说明

AS 法施工猫道宽度一般比 PPWS 法窄 0.5m~1.0m。AS 法猫道恒载也比 PPWS 法小许多。下津井濑户大桥为低张力法 AS 施工，为减小猫道下挠，采用了增加猫道刚度的方式以控制其挠度范围，导致其猫道恒载甚至比 PPWS 法猫道还在还要大。博斯普鲁斯二桥、大贝尔特东桥、光阳大桥等采用恒张力控制法，并采用了猫道下挠调整缆索或控制缆索，猫道恒载约为 PPWS 法的 50%~60%。

纺丝过程中需要对猫道垂度进行多次调整，猫道结构因此 AS 法架设主缆用猫道宜采用多跨连续式结构。

4.8.2 猫道上应设置索股成型器及牵引索门架系统，索股成型器宜根据计算与门架系统结合设计，两者可共用横梁。索股成型器间距根据桥梁跨径调整，索股成型器高度调整方式宜采用螺杆形式。

4.8.3 猫道垂度调整装置应能多次反复调整垂度。

钢丝纺丝过程中，通过猫道垂度调整绳控制猫道下挠。当猫道垂度达到由监控单位提供的限值时，应启动猫道垂度调整装置。猫道垂度控制索设置在索股形状保持器的下方，通过

塔顶和锚碇处的控制索的锚固和张拉系统进行调整。

中国公路学会标准征求意见稿

5 施工

5.1 锚固系统施工

5.1.1 锚固垫板下方锚体混凝土应采取有效措施保证浇筑密实。

5.1.2 先安装拉杆，然后安装临时接长拉杆，最后安装股靴、垫圈和螺母。股靴宜采用定位装置进行初步固定。

5.1.3 股靴初步定位后，通过中心定位孔进行角度精确调整，调整完成后紧固螺母。

5.1.4 锚固拉杆安装偏角不应超过 $\pm 0.5^\circ$ 。

5.1.5 锚固系统安装尚应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

5.2 猫道施工

5.2.1 纺丝施工前应根据监控单位要求对猫道垂度进行检查、调整。

5.2.2 单独设置基准丝对索股成型器高度进行精确调整，基准丝宜与基准索股第一层钢丝垂度一致。通过索股成型器自身高度调整装置及设置于索股成型器隔槽内垫块高度组合调整，保证基准索股架设第一层钢丝与基准丝垂度保持一致。

5.2.3 基准丝宜根据缆跨布置分段设置，由监控单位提供制作长度、标记点位置，在工厂精确下料及标记。

5.2.4 基准丝可采用纺丝轮进行架设，置于与基准索股同层并相邻的索鞍鞍槽、索股成型器隔槽相应位置，两端锚固在猫道或散索鞍门架上，并根据标记点位置精确调整、定位。

5.2.5 索股纺丝施工过程中应根据监控计算的猫道下挠控制量调整猫道垂度。

5.2.6 锚固系统安装尚应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

5.3 主缆施工

5.3.1 为确保编入同一索股、同一主缆的钢丝直径均匀性，编入同一索股的平均钢丝直径 d_w 应为 $d_w \pm 0.03\text{mm}$ ，编入同一根主缆的平均钢丝直径应为 $d_w \pm 0.01\text{mm}$ 。

5.3.2 钢丝的运输、存贮以及在纺丝过程中应保证钢丝的防护层不受损伤及有害物的污染，并要做防锈保护，若有损伤应及时修复。

5.3.3 钢丝入场时检查钢丝卷盘外包装是否破损，钢丝强度、直径是否满足设计要求。钢丝卷盘存放场地应平整硬化，排水良好，底部垫高不小于 30mm，钢丝卷盘存放整齐。

5.3.4 主缆钢丝使用前应检测抗拉强度、屈服强度、延伸率、公称直径和伸直性，抽检频率为钢丝盘数的 5%，同时其包装、标志、贮存和运输等要求按《钢丝验收、包装、标志及质量证明书的一般规定》（GB/T 2103）执行。

5.3.5 钢丝卷盘转运时应采用尼龙吊带，避免造成钢丝损伤。钢丝保持一定张力打盘过程中应注意对钢丝防腐镀层的保护。钢丝颜色喷漆应以区分不同钢丝为主，避免喷漆过厚，宜采用自动喷漆装置。

条文说明

正式纺丝之前进行纺丝准备，包括钢丝接长打盘和钢丝颜色喷涂等工作。在纺丝准备过程中需要注意钢丝的成品保护，尤其是对钢丝防腐镀层保护工作。钢丝颜色喷涂过厚，可能造成后期主缆紧缆过程中孔隙率的改变，这里喷漆以颜色区分为主，尽量采用自动喷漆装置，避免手动喷漆的造成的不均匀性。

5.3.6 为了提高纺丝效率，正式纺丝前应将成卷钢丝接长为 大卷钢丝，放丝卷筒的丝卷重量宜为 6~8t。

条文说明

受钢丝盘条制造能力限制，镀锌钢丝每卷质量为 2t 左右，成卷供应。钢丝需要在架设中不断接长。为减少施工时小盘卷更换占用的时间，通常将数卷钢丝接长后绕在放丝卷筒上放丝，一个卷筒钢丝放至一定层数以后更换卷筒。卷筒的卷绕能力大虽能提高作业效率，但是放丝设备转动惯性大，控制难度较大。近年来，AS 工法钢丝接长，更多采用挤压套筒的方式，作业方便，卷筒容量一般在 6~8t 左右。

5.3.7 纺丝过程中注意对钢丝的成品保护，避免钢丝折弯，镀锌层损伤等。

条文说明

纺丝过程中，可能会出现钢丝折弯的情况发生，若钢丝折弯角度较小在弹性变形范围内，可纠正后继续使用；若发生钢丝折弯严重，造成塑性变形，则需将此段钢丝剪断后重新采用压接套筒进行连接。同样，也可能发生钢丝镀锌层意外损伤，影响主缆钢丝的工作性，同样需要将损伤严重段剪断后采用压接套筒重新连接。在采用压接套筒进行钢丝连接后，需要对连接部位进行保护漆喷漆处理，避免出现锈蚀情况。

5.3.8 AS 法纺丝有高张力法、低张力法以及恒张力控制法三种，综合考虑纺丝效率以及纺丝的抗风性能，宜采用恒张力控制法架设主缆，纺丝张力宜为自由悬挂张力的 80%~85%。

条文说明

经工程实践证明，恒张力控制法受气候条件影响小，施工效率高。按照恒张力控制法纺丝时，钢丝牵引张力宜为自由悬挂钢丝张力的 80%~85%；若采用高张力法，为自由悬挂钢丝张力；若采用低张力法，为自由悬挂钢丝张力的 50%。

5.3.9 编缆前应先挂一根基准钢丝作为参照，并以此为准确定索股成型器的基准高程。

5.3.10 采用 AS 法架设主缆时，纺丝速度宜控制在 4~6m/s。

条文说明

AS 法施工技术的牵引速度呈现逐步提高的发展趋势，金门大桥纺丝速度为 3.3m/s，英国福斯大桥纺丝速度为 3.5m/s，之后的下津井濑户大桥、大贝耳特海峡东桥、韩国广安大桥、青马大桥等纺线速度均为 4m/s。2012 年建成通车的韩国李舜臣大桥最高纺线速度达到 5m/s。我国贵黄高速阳宝山特大桥由于跨度较小，纺丝速度为 3m/s，纺丝过程中对 4m/s~6m/s 进行了现场纺丝试验，均可安全实施。为了提高作业效率，在技术不断进步的当前，应尽量提高纺丝速度，同时对纺丝牵引系统的安全监控提出了更高要求。

5.3.11 纺丝过程中剩余至少 2 层钢丝时更换放丝卷筒。

条文说明

AS 法纺丝过程中，纺线轮速度可达 6m/s，为保证施工安全，建议放丝卷筒保留至少 2 层钢丝时更换放丝卷筒。正式纺丝时，可用特殊颜色的油漆喷涂最后 2 层钢丝，施工人员需要时刻注意放丝卷筒上的钢丝层数。

5.3.12 钢丝临时锚固及入股靴时应符合下列规定：

- 1 纺丝起始钢丝应临时锚固在散索鞍前方猫道上，然后恢复钢丝张力开始纺丝。
- 2 纺丝至对岸股靴位置时应在散索鞍前方的猫道上进行带张力钢丝临时锚固，采用小型卷扬机将钢丝牵引至股靴位置处，人工入锚然后恢复钢丝张力。
- 3 纺丝至起始股靴位置时系统停止运行，在猫道设定位置处将活丝临时锚固，用卷扬机将钢丝向锚面牵引，钢丝松弛后套在股靴上，然后松开钢丝的临时连接，钢丝恢复系统纺丝张力。

4 钢丝在股靴索槽内排列应按照钢丝设计位置排列。

5.3.13 钢丝入股靴及最后的首尾丝连接时应在钢丝临时锚固处对钢丝位置进行标记。纺丝过程中应定期检查临时锚固位置处钢丝是否出现滑移，直至钢丝临时锚固解除。若钢丝在临时锚固位置出现滑移，应及时复位。

条文说明

通过对临时锚固位置处钢丝进行标记，可直观地观察判断钢丝张力是否产生损失。

5.3.14 钢丝连接应符合下列规定：

- 1 放丝盘剩余至少 2 层钢丝时，停止纺丝牵引系统，采用固定式压接机连接更换钢丝。
- 2 索股纺丝结束后采用便携式压接机进行首尾钢丝对接形成闭环。
- 3 采用钢丝连接套筒压接前宜用砂轮锯将钢丝端头进行打磨。
- 4 钢丝采用砂轮切割机或者断线钳切割并打磨平整，不应采用气割。
- 5 钢丝连接套筒出厂前应检验合格，主缆钢丝连接套筒检验应符合本指南附录 A 的规定。
- 6 钢丝连接套筒施工工艺应进行试验验证。

5.3.15 股靴、鞍槽内钢丝应平顺无扭绞，同一层钢丝高差不超过钢丝直径的 10%。

5.3.16 主缆纺丝过程中，应采取可靠措施避免纺丝过程中钢丝在散索鞍鞍槽中发生横向滑移。

条文说明

AS 法架设主缆时采用恒张力法，钢丝施加在鞍槽的压力较小摩擦力不足以克服横向水平力，需要采取可靠措施防止钢丝横向滑移。

5.3.17 钢丝排列及平顺度检查应符合下列规定：

- 1 每轮钢丝入鞍槽、股靴、索股成型器隔槽后即按照设计排列顺序进行钢丝排序。
- 2 纺丝过程中时刻关注钢丝的排列顺序、窜丝以及移动情况，保证钢丝的排列整齐和平顺。

条文说明

在纺丝过程中，钢丝按照设计图给定的顺序进行平行排列，在出现突然大风等情况下可能会引起钢丝的排列窜位，施工人员应该及时检查和更正钢丝的排列顺序，保证索股钢丝的

平行排列。在纺丝时，出现牵引系统急刹车或者突发意外情况时，可能引起钢丝的顺桥向移动，引起索股钢丝之间的垂度误差，此时施工人员应该按照标记点恢复钢丝位置，保证钢丝的垂度一致，排列平顺。

5.3.18 AS 法主缆架设宜采用小循环牵引系统。

5.3.19 当牵引钢丝达到一根索股的设计数量时，利用圆形整形器整理成圆形索股，用强力纤维带包扎定型。

5.3.20 AS 法纺丝完成的索股，需要进行垂度调整。为便于夜间调整线形，应给索股一定的抬高量，并做好编号标志，垂度调整须在夜间温度稳定时进行，温度稳定的条件宜为：长度方向索股的温差 $\Delta T \leq 2^{\circ}\text{C}$ ；横截面索股的温差 $\Delta T \leq 1^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.21 当桥面高程处风速超过 15m/s 时，应停止空中纺丝施工。

5.3.22 主缆施工尚应按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定执行。

条文说明

当桥面高度处的风速大于 15m/s 时，工人操作十分不便，在风荷载作用下纺丝的精度也会受到一定程度的影响。参考国外采用 AS 法施工的大跨度悬索桥如大贝尔特海峡东桥、韩国李舜臣大桥等施工风速标准，及我国贵黄高速阳宝山特大桥采用 AS 法施工过程中的实际工程体验，本指南将纺丝的临界风速标准定为 15m/s 。

5.4 施工监控

5.4.1 主缆施工监控计算应包括以下内容：

- 1 基准丝无应力长度计算；
- 2 基准丝线形计算；
- 3 钢丝自由悬挂张力和引入力计算；
- 4 索股成型器高度计算；
- 5 猫道在纺丝过程中垂度及调整量计算；
- 6 股靴调整量计算。

条文说明

AS 法架设主缆时，钢丝接长是无法避免的，监控单位应对单根钢丝的无应力长度进行

计算, 钢丝供给单位可以利用该数据确定每盘钢丝的长度, 避免架设时在同一位置出现接头。索股成型器是 AS 法编缆的主缆支撑, 是主缆传递横向力和一部分自重到猫道的重要结构, 其高度设置直接影响传力。此外, 成型器高度也会影响编缆长度和质量。采用应力法进行 AS 编缆时, 会有一部分钢丝自重传到猫道上, 引起猫道的下挠。猫道下挠后, 后期继续编制的钢丝长度将会与前期已编制的钢丝长度(钢丝无应力长度)不一致, 当这些钢丝存在于一根索股中时, 会引起同一索股的应力分布不均匀。因此必须对猫道的挠度进行控制, 给出满足相关技术指标的猫道下挠控制值。编丝完成后, 将采用夹具和缠包带对已架设钢丝紧固成索股。如果 AS 法编制的索股长度与理论索股长度相差很大, 索股架设时的股靴设计调整量有可能无法满足调整要求。监控单位必须对股靴调整量进行验算。

5.4.2 施工监控测试主要包括以下内容:

- 1 主缆钢丝引入力测试;
- 2 空中纺丝和编缆期间的温度测试;
- 3 基准丝绝对垂度的监控测量;
- 4 基准丝上、下游相对垂度的监控测量;
- 5 猫道挠度测量;
- 6 桥塔偏位测量;
- 7 股靴初始位置测量。

条文说明

主缆钢丝引入力测试的主要目的为确保编缆钢丝长度保持一致、控制钢丝的线形和提高工效减少钢丝整理作业。温度对钢丝和猫道线形具有显著的影响, 在纺丝编缆期间应对钢丝、猫道的温度进行测试以便作为线形计算参数。

5.4.3 AS 法纺丝完成的单根索股制索误差应不超过索股理论无应力长度 S 的 1/10000。

条文说明

PPWS 法制索长度误差包括基准丝误差、编股误差、灌锚误差、顶压误差等, 根据我国多座桥梁的统计, 现有工艺的误差约为 1/6000~1/8000, 该误差与日本本州四国联络桥公团《预制平行钢丝索股 HBS G3503-1989》中的误差相当 (1/6900); AS 法制索长度误差包括猫道变形的影响, 以及猫道与钢丝的温差、风荷载影响, 参考 COWI 公司对于挪威 Halogaland 桥

提出的指标，AS 制索误差应不超过理论长度的 1/10000。

5.4.4 纺丝过程中应对猫道线形进行调整，保证索股内钢丝受力均匀，由钢丝自重垂度引起的同一索股内钢丝长度的相对允许偏差不应超过跨度 L 的 1/10000。

条文说明

《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）针对 PPWS 法规定同一索股内的钢丝长度的相对允许误差相当于抗拉强度 1% 的应力伸长值，这部分误差可认为是自重的垂度效应、标记制作及测量引起的。为方便计算，将 AS 法架设主缆由钢丝自重因素引起的股内偏差建议不超过跨度的 1/10000，该值与 PPWS 法股内误差容许总值相当。

5.4.5 AS 法架设主缆股内应力总偏差应不超过 4%。

条文说明

《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）针对 PPWS 法规定同一索股内的钢丝长度的相对允许误差相当于抗拉强度 1% 的应力伸长值，这部分误差可认为是自重的垂度效应、标记制作及测量引起的。AS 法主缆架设具有猫道变形、猫道与钢丝的温差以及风荷载等因素的影响，AS 法架设的主缆股内应力偏差会更大。参考国外资料，光阳大桥和大贝尔特东桥采用 AS 法架设的主缆股内应力偏差均在 3%~4% 之间。

5.4.6 索股绝对变位采用全站仪测试，相对变位采用钢尺测试。

5.4.7 基准钢丝调整到监控预定位置后，应进行连续 3 天稳定观测。其余索股通过测试与基准钢丝相对变位进行线型调整。

5.4.8 应加强主缆线形控制，索股力的调整量应根据测力计的读数和股靴位移量双控确定。

6 质量评定

6.1 主索鞍制作

6.1.1 主索鞍制作应符合下列要求：

- 1 鞍体铸钢件的材料性能、无损检测结果应满足设计要求，具有完整的出厂质量合格证明书。
- 2 鞍体铸钢件清砂后应按照现行《铸件尺寸公差、几何公差与机械加工余量》（GB/T 6414）进行尺寸与形状检查。
- 3 主索鞍用钢板应逐张进行超声波法探伤，成批钢板应按设计要求和有关规范规定的频率和方法进行化学成分和机械性能的抽样试验。探伤和试验结果应合格后方可使用。
- 4 施焊前，应对母材、焊条及坡口形式、焊接质量等按相关技术规范的规定和设计要求进行焊接工艺评定，采用焊接工艺评定合格的焊条、焊丝和焊剂。
- 5 铸钢件、钢板和焊缝经检测后如发现表面、内部有超标缺陷，必须按有关规范和设计要求的方法进行修补，修补后应检验合格，并作好修补记录备查。
- 6 主索鞍焊缝应按设计要求和现行《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》（GB/T 11345）进行无损探伤，探伤结果应合格。
- 7 格栅应在平台上整体焊接，焊接后，刨平顶面。
- 8 宜在格栅顶面划出纵横向中心线，安装主索鞍下承板，对位后配钻连接销孔。
- 9 出厂前应先进行试拼装，各零部件应有识别标记和定位标记。搬动、运输和储存过程中零部件和涂装不应损伤和散失。
- 10 主索鞍出厂前应进行顶推滑动试验并测试摩擦面摩擦系数，滑动距离不应小于 30cm。
- 11 主索鞍及格栅防护处理应满足设计要求。

6.1.2 主索鞍制作实测项目应符合表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 主索鞍制作实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|-----|------------------------------|---|--|
| 1 Δ | 平面度 | $\leq 0.08\text{mm}/1000\text{mm}$ ， 且 $\leq 0.5\text{mm}/\text{平面}$ | 平面度测量仪或机床检查： 各主要平面处测 12 处，应 交叉检测 |
| 2 Δ | 两平面的平行度（mm/全 平面） | ≤ 0.5 | 平行度测量仪或机床检查： 各主要平面处测 6 处 |
| 3 Δ | 鞍体下平面对中心索槽竖 直面的垂直度（mm/全长） | ≤ 2 | 跳动测量仪或机床检查：测 6 处 |
| 4 | 对合竖直平面对鞍体下平 面的垂直度（mm/全长） | ≤ 3 | 跳动测量仪或机床检查：测 6 处 |

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|------------|--------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 5 | 高度 | 鞍座底面对中心索槽底的高度 (mm) | ± 2 | 跳动测量仪或机床检查: 测 6 处 |
| 6 Δ | 圆弧半径 | 鞍槽的轮廓圆弧半径 (mm) | ± 2 | 跳动测量仪或机床检查: 测 6 处 |
| 7 Δ | 鞍槽内各尺寸 | 各槽宽度、深度 (mm) | ± 0.5 , 累积误差 ± 1 | 样板: 测 3 个断面 |
| 8 | | 各槽与中心索槽的对称度 (mm) | ≤ 0.5 | 跳动测量仪或机床检查: 测 6 处 |
| 9 Δ | | 加工后鞍槽底部及侧壁厚度 (mm) | ± 10 | 机床检查或设置基准面测量: 测 3 个断面 |
| 10 | | 各槽曲线立、平面角度 ($^{\circ}$) | ± 0.2 | 角度传感仪或机床检查: 测各曲线 |
| 11 | | 鞍槽内鞍体拼接缝处高差 (mm) | ≤ 0.1 | 跳动测量仪或机床检查: 测 6 处 |
| 12 | | 鞍槽及隔板表面粗糙度 R_a (μm) | 满足设计要求 | 粗糙度仪: 各槽表面测 5 处 |

注: 主要平面包括主索鞍的下平面、对合的竖直平面; 上、下支承板的上下平面; 中心索槽的竖直(基准)平面。

6.1.3 外观质量应符合下列要求:

- 1 鞍槽内加工表面和各隔板全部表面按规定要求进行防护处理时, 防护层应均匀致密, 无漏喷和附着不牢层, 无未完全熔化大颗粒。
- 2 各外露不加工表面防护涂层平整光洁, 均匀一致, 无破损、气泡、裂纹、针孔、凹陷、麻点、流挂和皱皮等缺陷。
- 3 铸钢件加工表面不得有气孔、砂眼、缩松。
- 4 焊缝质量等级不应低于二级, 外观质量应符合现行《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205) 的规定, 构件表面无焊渣和飞溅物。
- 5 各孔、平面的加工表面不得漏涂防锈油脂。

6.2 主索鞍安装

6.2.1 主索鞍的安装应符合下列要求:

- 1 主索鞍成品必须按设计和有关技术规范要求验收合格后方可安装。
- 2 应按设计要求放置底板, 其表面应平整, 与索鞍支承板密贴。
- 3 安装格栅前将塔顶混凝土(沿施工缝)表面打毛, 并根据塔基中心, 在塔顶混凝土表面设置纵横向中心标志。
- 4 主索鞍安装前应进行全面检查, 不得出现损伤。

- 5 主索鞍安装后，应对滑动面采取可靠措施保护，顶推就位之前不得污染、损毁。
- 6 索槽内部应清洁，不应粘有油脂或油漆等材料。
- 7 主索鞍就位后应锁定牢靠。
- 8 主索鞍就位后割除千斤顶反力架及格栅悬出部分补浇塔顶缺口混凝土时不得污染主索鞍。

6.2.2 主索鞍安装实测项目应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 主索鞍安装实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|----|--------------------|-----|----------|----------------------|
| 1Δ | 最终偏位 (mm) | 顺桥向 | 满足设计要求 | 全站仪、尺量：每鞍测纵、横中心线 2 点 |
| | | 横桥向 | ≤10 | |
| 2Δ | 底板底面高程或格栅顶面高程 (mm) | | +20, 0 | 全站仪：每鞍测四角 |
| 3 | 底板底面四角相对高差 (mm) | | ≤2 | |
| 4 | 高强螺栓扭矩 | | ±10% | 扭矩扳手：检查 5%，且不少于 2 个 |

6.2.3 外观质量应符合下列要求：

- 1 主索鞍鞍槽内应无污物。
- 2 主索鞍表面防护损伤应修复。

6.3 散索鞍制作

6.3.1 散索鞍的制作应符合下列要求：

- 1 鞍槽铸钢件的材料性能、无损检测结果应满足设计要求，具有完整的出厂质量合格证明书。
- 2 鞍体铸钢件清砂后应按照现行《铸件尺寸公差、几何公差与机械加工余量》（GB/T 6414）进行尺寸与形状检查。
- 3 鞍座用钢板应逐张进行超声波法探伤，成批钢板应按设计要求和有关规范规定的频率和方法进行化学成分和机械性能的抽样试验。探伤和试验结果应合格后方可使用。
- 4 施焊前，应对母材、焊条及坡口形式、焊接质量等按相关技术规范的规定和设计要求进行焊接工艺评定，采用焊接工艺评定合格的焊条、焊丝和焊剂。
- 5 铸钢件、钢板和焊缝经检测后如发现表面、内部有超标缺陷，必须按有关规范和设计要求的方法进行修补，修补后应检验合格，并作好修补记录备查。
- 6 散索鞍焊缝应按设计要求和现行《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》（GB/T 11345）进行无损探伤，探伤结果应合格。

7 出厂前应先进行试拼装,各零部件应有识别标记和定位标记。搬动、运输和储存过程中零部件和涂装不应损伤和散失。

8 散索鞍出厂前应进行摆动试验,摆动角度应大于空缆位置与成桥位置的夹角或满足设计要求。

9 散索鞍防护处理应满足设计要求。

6.3.2 散索鞍制作实测项目应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 散索鞍制作实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|-----|--------|------------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 Δ | 主要平面 | 平面度 | $\leq 0.08\text{mm}/1000\text{mm}$, 且 $\leq 0.5\text{mm}/\text{平面}$ | 平面度测量仪或机床检查:各主要平面处测 9 处,应交叉检测 |
| 2 Δ | | 两平面的平行度 (mm/全平面) | ≤ 0.5 | 平行度测量仪或机床检查:各主要平面处测 6 处 |
| 3 Δ | | 摆轴中心线与索槽中心平面的垂直度 (mm/全长) | ≤ 3 | 跳动测量仪或机床检查:测 6 处 |
| 4 | 高度 | 摆轴对合面到索槽底面的高度 (mm) | ± 2 | 跳动测量仪或机床检查:测 3 处 |
| 5 | 圆弧半径 | 鞍槽的轮廓圆弧半径 (mm) | ± 2 | 跳动测量仪或机床检查:测 3 处 |
| 6 Δ | 鞍槽内各尺寸 | 各槽宽度、深度 (mm) | ± 0.5 , 累积误差 ± 1 | 样板:测 3 个断面 |
| 7 Δ | | 各槽与中心索槽的对称度 (mm) | ≤ 0.5 | 跳动测量仪或机床检查:测 3 个断面 |
| 8 Δ | | 加工后鞍槽底部及侧壁厚度 (mm) | ± 10 | 机床检查或设置基准面测量:测 3 个断面 |
| 9 | | 各槽曲线立、平面角度 ($^{\circ}$) | ± 0.2 | 角度传感仪或机床检查:测各曲线 |
| 10 | | 鞍槽及隔板表面粗糙度 R_a (μm) | 满足设计要求 | 粗糙度仪:各槽表面测 3 处 |

注:主要平面包括摆轴平面、底板下平面、中心索槽竖直平面。

6.3.3 外观质量应符合下列要求:

1 鞍槽内加工表面和各隔板全部表面按规定要求进行防护处理时,防护层应均匀致密,无漏喷和附着不牢层,无未完全熔化大颗粒。

2 各外露不加工表面防护涂层平整光洁,均匀一致,无破损、气泡、裂纹、针孔、凹陷、麻点、流挂和皱皮等缺陷。

3 铸钢件加工表面不得有气孔、砂眼、缩松。

4 焊缝质量等级不应低于二级，外观质量应符合现行《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205）的规定，构件表面无焊渣和飞溅物。

5 各孔、平面的加工表面不得漏涂防锈油脂。

6.4 散索鞍安装

6.4.1 散索鞍的安装应符合下列要求：

1 散索鞍成品必须按设计和有关技术规范要求验收合格后方可安装。

2 应按设计要求放置底板，其表面应平整，与散索鞍支承板密贴。

3 散索鞍安装前应进行全面检查，不得出现损伤；索槽内部应清洁，不应粘有油脂或油漆等材料。

4 散索鞍底板安装前应先将地脚螺栓安装到相应孔中，保证与底板的垂直度要求，并要为底座、螺母、垫圈留出足够的安装长度。由于支墩有较大斜度，底板空中的混凝土应不溢出至安装面上。

5 散索鞍安装时应先放好密封带并设置临时支撑，调定初始位置，确保散索鞍定位稳定可靠。

6 散索鞍就位后应锁定牢固。

7 主缆架设完毕后应拆除散索鞍临时锁定装置。

6.4.2 散索鞍制作实测项目应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 散索鞍安装实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|----|----------------|----------|---------------------|
| 1Δ | 底板轴线纵、横向偏位（mm） | ≤5 | 全站仪、尺量：每鞍测纵、横中线 2 点 |
| 2 | 底板中心高程（mm） | ±5 | 水准仪：测每鞍 |
| 3 | 底板四角相对高差（mm） | ≤2 | 水准仪：每鞍测底板四角 |
| 4Δ | 散索鞍竖向倾斜角 | 满足设计要求 | 全站仪：测每鞍 |

6.4.3 外观质量应符合下列要求：

1 散索鞍鞍槽内应无污物。

2 散索鞍表面防护损伤应修复。

6.5 股靴制作

6.5.1 股靴制作应符合下列要求：

- 1 股靴铸钢件的材料性能、无损检测结果应满足设计要求，具有完整的出厂质量合格证明书。
- 2 铸钢件经检测后如发现表面、内部有超标缺陷，必须按有关规范和设计要求的方法进行修补，修补后应检验合格，并作好修补记录备查。
- 3 股靴调质处理应满足设计要求。
- 4 出厂前应先进行试拼装，搬动、运输和储存过程中零部件不得损伤。
- 5 股靴应按照附录 B 相关要求的质量检验。
- 6 股靴防护处理应满足设计要求。

6.5.2 股靴制作实测项目应符合表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 股靴制作实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|------------|---------------------------------|-----------------|---|-------------------------------|
| 1 | 主要平面 | 平面度 | $\leq 0.08\text{mm}/1000\text{mm}$ ， 且 $\leq 0.5\text{mm}/\text{平面}$ | 平面度测量仪或机床检查：各主要平面处测 9 处，应交叉检测 |
| 2 | | 两平面的平行度（mm/全平面） | ≤ 0.5 | 平行度测量仪或机床检查：各主要平面处测 6 处 |
| 3 Δ | 圆弧半径 | 股靴的轮廓圆弧半径（mm） | ± 2 | 跳动测量仪或机床检查：测 3 处 |
| 4 Δ | 构造尺寸 | 索股凹槽宽度（mm） | +1, 0 | 样板：测 3 个断面 |
| 5 Δ | | 索股凹槽深度（mm） | +1, 0 | 样板：测 3 个断面 |
| 6 Δ | | 索股凹槽对称度（mm） | ≤ 0.5 | 跳动测量仪或机床检查：以股靴中面为基准测 3 处 |
| 7 | | 加工后侧壁厚度（mm） | +1, 0 | 机床检查或设置基准面测量：测 3 个断面 |
| 8 | | 股靴厚度（mm） | +2, 0 | 机床检查或设置基准面测量：测 3 个断面 |
| 9 Δ | | 拉杆孔至股靴中心距（mm） | ± 0.5 | 电子尺，抽查 50%，每件测各拉杆孔 |
| 10 | | 孔轴线与顶底面的垂直度（°） | ≤ 0.3 | 位置度测量法，抽查 50%，每件测各孔检查 3 处 |
| 11 | 槽内表面粗糙度 R_a （ μm ） | 满足设计要求 | 粗糙度仪：索股凹槽表面测 3 处 | |

6.5.3 外观质量应符合下列要求:

- 1 股靴内加工表面全部按规定要求进行防护处理,防护层应均匀致密,无漏喷和附着不牢层,无未完全熔化大颗粒。
- 2 各外露不加工表面防护涂层平整光洁,均匀一致,无破损、气泡、裂纹、针孔、凹陷、麻点、流挂和皱皮等缺陷。
- 3 铸钢件加工表面不得有气孔、砂眼、缩松。
- 4 焊缝质量等级不应低于二级,外观质量应符合现行《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205)的规定,构件表面无焊渣和飞溅物,构件表面无焊渣和飞溅物。
- 5 各孔、平面的加工表面不得漏涂防锈油脂。

6.6 股靴安装

6.6.1 股靴的安装应符合下列要求:

- 1 股靴及配套螺母、垫圈应有合格证书,经验收合格后方可安装。
- 2 股靴索槽内及拉杆孔内表面无污迹。
- 3 股靴安装时机根据施工需要确定。

6.6.2 股靴安装实测项目应符合 6.6.2 的规定。

表 6.6.2 股靴安装实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|----|---------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 同一股靴拉杆外漏长度差值 (mm) | $\leq 1\text{mm}$ | 钢尺, 100%, 每件检查 3 处 |
| 2 | 股靴底面与拉杆垂直度 ($^{\circ}$) | ≤ 0.3 | 位置度测量法, 抽查 50%, 每件测各孔检查 3 处 |
| 3 | 股靴两个侧平面与拉杆平行度 (mm/全平面) | ≤ 0.1 | 平行度测量法, 抽查 50%, 每件测各孔检查 6 处 |

6.6.3 外观质量应符合下列要求:

- 1 拉杆、股靴及螺母等构件表面防护应无破损,表面无污染。
- 2 股靴中心定位孔无堵塞。

6.7 锚固系统制作

6.7.1 锚固系统制作应符合下列要求:

- 1 拉杆、前锚垫板、螺母的氧化、调质处理应满足设计要求。

2 锚固系统的拉杆、前锚垫板及螺母的零件加工尺寸和安装精度应满足设计要求，并符合有关技术规范的规定，经验收认可后方可进行下一道工序。

3 在批量生产前，应按设计要求的抽样方法与频率，将前锚垫板、拉杆和股靴连接后进行强度试验和疲劳试验，试验结果应满足设计要求。

4 锚固系统拉杆应按照附录 B 相关要求的质量检验。

5 构件涂装防护应满足设计文件的要求。

6.7.2 悬索桥预应力锚固体系制作实测项目应符合表 6.7.2 的规定。

表 6.7.2 预应力锚固体系制作实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|------------|-------------------------------------|-------------|---|
| 1 | 拉杆孔至锚固孔中心距 (mm) | ± 0.5 | 电子尺：抽查 50%，每件测拉杆孔 |
| 2 | 主要孔径 (mm) | 1.0, 0.0 | 游标卡尺：抽查 50%，每件测各孔相互垂直方向 |
| 3 | 前锚垫板 孔轴线与顶、底面的垂直度 ($^{\circ}$) | ≤ 0.3 | 位置度测量法：抽查 50%，每件各孔检查 3 处 |
| 4 | 前锚垫板 顶、底面平行度 (mm) | ≤ 0.05 | 打表法：抽查 50%，每件检查 3 处 |
| 5 | 前锚垫板 板厚 (mm) | 1.0, 0.0 | 游标卡尺：抽查 50%，每件测 5 处 |
| 6 | 拉杆同轴度 (mm) | ≤ 0.1 | 径向圆跳动：抽查 50%，每件测 3 处 |
| 7 Δ | 拉杆、前锚垫板、螺母探伤 | 满足设计要求 | 按设计要求的方法和频率检查，设计未要求时 100%超声波法探伤和 10%射线法探伤 |

6.7.3 外观质量应符合下列要求：

- 1 拉杆、前锚垫板、螺母表面应无凹陷、划痕、焊疤、飞边毛刺。
- 2 拉杆、前锚垫板、螺母外表面无污染，漆膜、防腐镀层完整。

6.8 锚固系统安装

6.8.1 锚固系统安装应符合下列要求：

- 1 锚固系统应有合格证书，经验收合格后方可安装。
- 2 施工放样方法须经监理工程师签字认可，并对测量仪器进行校正和标定。
- 3 锚固系统必须安装牢固，在浇筑混凝土时不扰动、变位。
- 4 预应力锚固系统锚垫板与孔道轴线垂直，混凝土达到设计要求的强度和龄期后方可按规定程序进行张拉。

5 按设计要求进行防护处理。

6.8.2 悬索桥预应力锚固系统安装实测项目应符合表 6.8.2 的规定。

表 6.8.2 预应力锚固系统安装实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|----|-----------------|----------|-------------------------|
| 1 | 锚面孔道中心坐标偏差 (mm) | ±5 | 全站仪：测每孔道 |
| 2 | 前锚面孔道角度 (°) | ±0.1 | 全站仪：测每孔道 |
| 3 | 锚面槽口偏差 (mm) | ±10 | 全站仪：测每孔道 |
| 4 | 前后锚垫板之间的距离 (mm) | ±30 | 全站仪：测每孔道 |
| 5Δ | 前锚垫板中心偏位 (mm) | ±5 | 全站仪、钢尺：测每个连接平板中心线与板边线交点 |

6.8.3 外观质量应符合下列要求：

- 1 前锚垫板及螺母等构件表面防护应无破损。
- 2 拉杆线形不得出现弯折。
- 3 前锚头防护罩处无油脂外漏。

6.9 主缆架设

6.9.1 主缆架设应符合下列要求：

- 1 纺丝过程中应对猫道垂度进行测试，当猫道垂度超过设计要求值时应及时调整。
- 2 索股和主缆空缆状态下的线形应满足设计和施工技术规范的要求。

6.9.2 悬索桥主缆架设实测项目应符合表 6.9.2 的规定。

表 6.9.2 主缆架设实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方式和频率 | |
|----|----------|-------------|------------------|-----------|------------|
| 1Δ | 索股 高程 | 基准 | 中跨跨中标高 (mm) | ±L/20 000 | 全站仪：每索股测跨中 |
| | | | 边跨跨中标高 (mm) | ±L/10 000 | |
| | | | 上、下游高差 (mm) | ≤10 | |
| | 一般 | 相对于基准索股(mm) | -5, +10 | 全站仪或专用卡尺 | |
| 2Δ | 锚跨索股力偏差 | | 满足设计要求，设计未要求时±3% | 测力仪：测每索股 | |

6.9.3 外观质量应符合下列要求：

- 1 索股钢丝无鼓丝，不重叠。
- 2 索股不得出现交叉、扭转。

3 索股表面无污染，防护层、钢丝保护层损伤应修复。

6.10 紧缆

6.10.1 紧缆应符合下列要求：

- 1 预紧缆应在温度稳定的夜间进行。
- 2 预紧缆宜从跨中开始，采用二分法分区间进行。外缘索股上的绑扎带宜边紧缆边拆除。
- 3 预紧缆完成处应采用不锈钢带捆紧，并保持主缆的形状，不锈钢带的间距可为5~6m，预紧缆的目标空隙率宜为26%~28%。
- 4 正式紧缆时，应采用紧缆机把主缆挤压整形成圆形，其作业可在白天进行。正式紧缆目标空隙率应满足设计要求。
- 5 正式紧缆的方向宜向塔柱方向进行，紧缆挤压点的间距宜为1m。
- 6 当紧缆点空隙率达到设计要求时，在靠近紧缆机的压蹄两侧打上两道钢带，其间距宜取100mm，带扣宜设在主缆的侧下方。

6.10.2 悬索桥主缆紧缆实测项目应符合表6.10.2的规定。

表 6.10.2 紧缆实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方式和频率 |
|------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 预紧缆空隙率偏差 (%) | 满足设计要求，设计未要求时 ± 3 | 量直径和周长后计算：测索夹处和两索夹间，抽查 40% |
| 2 Δ | 正式紧缆空隙率偏差 (%) | 0, +2 | 量直径和周长后计算：测索夹处和两索夹间，抽查 50% |
| 3 Δ | 主缆直径不圆度 R_s (%) | ≤ 2 | 卡尺：紧缆后测两索夹间，抽查 30% |

6.10.3 外观质量应满足下列要求：

- 1 主缆钢丝无鼓丝，不重叠。
- 2 主缆钢丝不得出现交叉、扭转。
- 3 主缆表面无污染，锚头防护层、钢丝层损伤应修复。

6.11 缠丝

6.11.1 缠丝应符合下列要求：

- 1 主缆缠丝宜在桥面铺装完成后进行。
- 2 防护前必须清除主缆钢丝表面的灰尘、油污和水分，保持干燥、干净，密封膏应均匀地填满主缆外侧钢丝与缠丝之间的间隙。

- 3 主缆涂装应按设计文件要求进行。
- 4 缠丝材料及钢丝技术参数应满足设计文件要求。
- 5 缠丝前应对缠丝机进行标定。
- 6 缠绕钢丝应嵌进索夹端部留出的凹槽内不少于 3 圈及满足设计要求,绕丝端部应嵌入索夹端部槽内并与缠绕钢丝之间焊接固定,不得松动。
- 7 索夹缝隙、螺杆孔、端部应采用满足设计要求的密封材料填充密实。
- 8 防护层表面应平整。
- 9 主缆缆套的各处密封性能应满足设计要求。

6.11.2 悬索桥主缆缠丝实测项目应符合表 6.11.2 的规定。

表 6.11.2 主缆缠丝实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方式和频率 |
|----|------------|-----------|--|
| 1 | 缠丝间距 (mm) | ≤ 1 | 插板: 每两索夹间随机量到 1m 内最大间距处 |
| 2Δ | 缠丝张力 (kN) | ± 0.3 | 标定检测: 每盘测 1 次 |
| 3Δ | 防护层厚度 (μm) | 满足设计要求 | 涂层采用贴片法, 密封剂采用切片法: 每缆每 100m 测 1 处, 每缆每跨不少于 3 处 |

6.11.3 外观质量应符合下列要求:

- 1 钢丝缝隙不得欠填缠丝腻子, 裹覆层处无残留腻子。
- 2 缠丝不得出现重叠、交叉。
- 3 防护层表面涂装应无针孔、裂纹、脱落、漏涂。
- 4 索夹密封应无开裂、气泡、缝隙。
- 5 主缆内不得出现积水。

6.12 钢丝连接套筒

6.12.1 钢丝连接套筒应符合下列要求:

- 1 连接套筒规格应与钢丝直径匹配。
- 2 连接套筒进场应有原材料质保书、力学性能和化学成分检测报告以及套筒出厂合格证。钢丝连接套筒工程检验和现场检验应符合本指南附录 A 的规定。
- 3 连接套筒使用前应出具满足钢丝技术要求的连接静载强度试验报告和连接疲劳强度试验报告。

6.12.2 钢丝连接套筒实测项目应符合表 6.12.2 的规定。

表 6.12.2 钢丝连接套筒实测项目

| 项 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方式和频率 |
|---|------|----------|---------|
|---|------|----------|---------|

| | | | |
|---|---------|-----------|-------------|
| 次 | | | |
| 1 | 外径 (mm) | ± 0.5 | 专用卡尺, 抽查 1% |
| 2 | 长度 (mm) | ± 2 | 专用卡尺, 抽查 1% |

6.12.3 外观质量应符合下列要求:

- 1 连接套筒端部应光滑平顺, 无毛刺。
- 2 连接套筒表面全部按规定要求进行防护处理, 防护层应均匀致密, 无漏喷和附着不牢层。
- 3 各外露不加工表面防护涂层平整光洁, 均匀一致, 无破损、气泡、裂纹、针孔、凹陷、麻点、流挂和皱皮等缺陷。

6.13 连接套筒挤压连接

6.13.1 连接套筒挤压连接钢丝应满足下列要求:

- 1 对每一验收批, 抽取 3 个试件进行钢丝与套筒挤压连接工艺试验, 纺丝场地和主缆上连接应分别进行试验。
- 2 挤压连接接头试件的抗拉强度尚应不小于连接钢丝的公称抗拉强度。

6.13.2 连接套筒挤压连接钢丝后实测项目应符合表 6.13.2 的规定。

表 6.13.2 连接套筒挤压连接实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方式和频率 |
|----|----------|-----------------------|--|
| 1 | 接头连接强度 | \leq 连接钢丝的公称抗拉强度 | 见附录 A, 抽查 3 组/150 个, 不足 150 个按照 150 个计 |
| 2 | 钢丝压入套筒深度 | \leq 设计压入深度的 0.95 倍 | 抽查 3 组/150 个, 不足 150 个按照 150 个计 |
| 3 | 挤压后套筒长度 | 原套筒长度的 1.05~1.15 倍 | 游标卡尺, 100% |
| 4 | 压痕处套筒直径 | 原套筒长度直径的 0.80~0.95 倍 | 游标卡尺, 100% |

6.13.3 挤压后套筒外的压痕道数应满足型式检验确定的道数, 且不得有肉眼可见裂缝。

附录 A 空中纺线法架设主缆悬索桥用钢丝连接套筒检验方法

A.1 验收组批规则

钢丝连接套筒进行组批验收，批的数量为 150 个接头，不足此数时也作为一个验收批。

A.2 几何尺寸检验

A.2.1 工厂检验

对每一验收批，应随机抽取 10%的钢丝连接套筒作尺寸检查。钢丝连接套筒几何尺寸应符合表 A.1 的规定。如尺寸质量合格数大于等于抽检数的 90%，则该批为合格。如不合格数超过抽检数的 10%，则应逐个进行复验。

A.2.2 现场检验

对每一验收批，应随机抽取 2%的钢丝连接套筒作尺寸检查。如有不合格，则双倍复检。双倍复检仍有不合格则应逐个进行复验。

表 A.1 钢丝连接套筒几何尺寸

| 规格型号 | 外径/mm | 长度/mm |
|--------|---------------|-------------|
| Gd_w | $d_t \pm 0.5$ | $l_t \pm 2$ |

A.3 拉伸试验

A.3.1 工厂检验

每批抽取 3 个试件进行钢丝压接，压接后进行钢丝与连接套的组件拉伸试验。3 个接头试件的抗拉强度均不得低于该级别的钢丝标准抗拉强度的 1.00 倍。如有一个试件的抗拉强度不符合要求，则加倍抽样复验。复验中如仍有一个试件检验结果不符合要求，则该验收批单向拉伸试验判为不合格。

A.3.2 现场检验

每批抽取 3 个试件进行钢丝压接，压接后进行钢丝与连接套的组件拉伸试验。3 个接头试件的抗拉强度均不得低于该级别的钢丝标准抗拉强度的 1.00 倍。在出厂检验合格的基础上，连续 10 个验收批单向拉伸试验合格率为 100%时，可以扩大验收批所代表的接头数量一倍。

A.4 表面质量检验

A.4.1 工厂检验

对每一验收批，工厂应随机抽取 10%的连接套筒作外观检查。如外观质量合格数大于等于抽检数的 90%，则该批为合格。如不合格数超过抽检数的 10%，则应逐个进行复验。

A.4.2 现场检验

对每一验收批，应随机抽取 2%的连接套筒作外观检查。如有不合格，则双倍复检。双倍复检仍有不合格则应逐个进行复验。

A.4.3 镀（涂）层厚度检验

1 工厂检验：对每一验收批，工厂应随机抽取 10%的连接套筒作镀（涂）层检验。如外观质量合格数大于等于抽检数的 90%，则该批为合格。如不合格数超过抽检数的 10%，则应逐个进行复验。

2 现场检验：对每一验收批，应随机抽取 2%的连接套筒作镀（涂）层检验检查。如有不合格，则双倍复检。双倍复检仍有不合格则应逐个进行复验。

A.5 压接设备要求

A.5.1 挤压作业前，清理钢丝端头的铁锈、油污等，如端头有变形，应先矫正或打磨整形。

A.5.2 在钢丝端部画出定位标记与检查标记，定位标记与钢丝端头的距离为钢套筒长度的一半，检查标记与定位标记的距离宜为 5mm 以上，钢丝插入套筒的深度应以定位标记为准，检查标记用于检查压接后钢丝是否到位。

A.5.3 挤压不同批号挤压套筒时必须进行试压，确定达到压痕直径所需压力值。

A.5.4 液压钳就位时应对正套筒压痕位置的标记，并使压模运动方向与钢丝轴线相垂直。

A.5.5 钢丝挤压作业不少于 2 次，液压钳的施压顺序应由套筒的中部顺次向端部进行，每次施压时控制压痕深度。

A.5.6 有下列情况之一时，应对压接设备的挤压力进行标定。

- 1 新挤压设备使用前；
- 2 旧挤压设备大修后；
- 3 油压表受损或强烈振动后；
- 4 套筒压痕异常且查不出其他原因时；
- 5 挤压设备使用超过一年；
- 6 挤压的接头数超过 5000 个；
- 7 其他特殊情况。

附录 B 空中纺线法架设主缆悬索桥用股靴、锚固拉杆质量检验方法

B.1 一般规定

B.1.1 拉杆螺纹应符合《MJ 螺纹第 1 部分：通用要求》（GJB 3.1）螺纹第一部分：通用要求的规定。

B.1.2 拉杆经调质热处理后，按表 B.2 规定的检测项目进行拉伸、冲击、硬度检测，其结果应满足《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》（GB/T 3098.1）中 10.9 级规定的要求。

B.1.3 股靴采用正火后回火的热处理工艺，其力学性能满足标准《焊接结构用铸钢件》（GB/T 7659）的规定。

B.1.4 前锚面锚垫板、螺母、垫圈经调质热处理后，其硬度应满足设计文件要求。

B.1.5 锚固拉杆系统各零部件的无损检测要求按图纸规定进行，但不应低于本指南第 B.6.2 条规定。

B.2 外观质量

拉杆、螺母、垫圈、股靴、前锚垫板的表面应光滑，不允许有裂纹、折迭、分层、结巴和锈蚀等缺陷。经机加工后零部件表面粗糙度不应低于 Ra12.5。

B.3 锚固拉杆安装

B.3.1 锚固拉杆组件在安装前应进行表面清理。

B.3.2 锚固拉杆组装时应注意保护表面保护层及螺纹。

B.3.3 可采用千斤顶或扭力扳手等措施进行逐级张拉或紧固，达到设计张力要求。

B.3.4 对锚固拉杆施加张力时，应辅以应力或变形测试，最终满足施工要求。

B.4 防护

B.4.1 产品制作完成后应按设计要求进行防腐处理，设计无要求时，拉杆、螺母、垫圈采用达克罗处理，涂层厚度不小于 10 μ m。

B.4.2 前锚垫板采用热浸锌处理，其厚度 \geq 70 μ m。

B.4.3 股靴凹槽内喷砂后喷锌处理，其锌层厚度 \geq 200 μ m，喷锌后喷封闭漆 1 道。

B.4.4 应对锚固拉杆进行施工后期的防护，重点关注螺纹处的防腐。

B.4.5 成桥后涂装可参照标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）中 S05 配套体系。

B.5 试验方法

B.5.1 力学性能试验

锚固系统各零部件力学性能试样制备按《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》（GB/T 2975）的规定，拉伸试验按《金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法》（GB/T 228.1）

的规定，冲击试验按《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》（GB/T 229）的规定，布氏硬度按GB/T 231.1的规定。

B.5.2 尺寸检查

锚固拉杆系统各零部件的尺寸和外形检查应用适宜的测量工具测量和检查，检具应在有效期内。

B.5.3 外观检查

锚固拉杆系统各零部件的外观应在充分照明的条件下目测。

B.5.4 无损检测

1 锚固拉杆、螺母粗加工后需进行超声波探伤，按《锻轧钢棒超声检测方法》（GB/T 4162）标准规定，A级合格；加工螺纹前需进行磁粉探伤，按《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》（NB/T47013.4-2015）规定，I级合格；加工后螺纹部分进行渗透探伤，按《承压设备无损检测第5部分：渗透检测》（NB/T47013.5）标准规定，I级合格。

2 股靴按《铸钢件超声检测 第一部分》（GB/T 7233.1）的要求进行超声波探伤检查，2级合格；加工后进行磁粉探伤，按《铸钢铸铁件磁粉检测》（GB/T9444）的要求进行磁粉探伤，绳槽部分1级合格，其余加工面2级合格。

3 垫圈加工后进行磁粉探伤，按《承压设备无损检测第4部分：磁粉检测》（NB/T47013.4）标准规定，I级合格；进行超声波探伤，按《锻轧钢棒超声检测方法》（GB/T4162）标准规定，A级合格。

B.6 检验规则

B.6.1 检验项目

锚固拉杆系统各零部件产品的检验项目、取样数量、取样方法和试验方法应符合表B.1的规定。

表 B.1 检验项目、取样数量、取样方法和试验方法

| 序号 | 检验项目 | 取样数量 | 取样方法 | 试验方法 |
|----|------|------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 拉伸 | 1个/炉 | 《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》（GB/T 2975） | 《金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法》（GB/T 228.1） |
| 2 | 冲击 | 3个/炉 | | 《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》（GB/T 229） |
| 3 | 硬度 | 1个/炉 | | 《金属材料布氏硬度试验 第1部分：试验方法》（GB/T 231.1） |
| 4 | 尺寸 | 逐套 | 整套 | 卡尺、千分尺、卷尺 |
| 5 | 表面 | | | 目测 |
| 6 | 无损检测 | | 逐件 | 按照本标准进行 |
| 7 | 静载试验 | 3组 | 整套 | |

B.6.2 静载试验

股靴及拉杆制造完成后应进行静载试验，静载试验应按下列规定执行：

1 股靴及拉杆制造完成后应进行静载试验，静载试验时前锚垫板、股靴、拉杆、螺母、垫圈应组装在一起，进行拉杆的拉力设计值和 2.5 倍拉力设计值下的静载拉伸试验。

2 设计拉力值静载试验后，拉杆应无变形，螺母应转动自如，不存在螺纹脱扣等现象，股靴和前锚垫板应无明显变形。

3 采用 2.5 倍设计拉力值静载试验后，拉杆仍处于弹性变形范围内，螺母应转动自如，不存在螺纹脱扣等现象，股靴无明显变形，前锚垫板变形小于 2mm。

4 按照拉杆的拉力设计值的 20% 预加载，消除间隙，所有准备工作就绪后开始进行加载试验；千斤顶按拉力设计值的 40%、60%、80%、100% 逐级加载，完成后按照 B6.2 条第 2 款进行检查。无异常后继续加载，按照每级递增 20% 的载荷，当达到 200% 时，按照每级递增 10% 的载荷加载。每级加载完成后静置 10 分钟，检查各零部无异常后进行下一步加载。达到 2.5 倍拉力设计值时试验完成。

5 记录各级载荷数据及对应拉杆、前锚垫板的变形情况。

6 三组静载试验均合格后，证明该批产品合格。当有一组不合格时，但拉伸试验载荷值达到拉力设计值的 2 倍，可加倍重新取 6 组进行试验，并且 6 组试验载荷都能够达到 2.5 倍拉力设计值时，该批产品按合格进行验收；当仍存在不满足要求时，该批产品做不合格产品处理。

B.7 标志、包装及质量证明文件

1 AS 法架设主缆悬索桥锚固拉杆系统的产品标志、包装标志按双方协议要求进行。

2 AS 法架设主缆悬索桥锚固拉杆系统产品的包装按运输方式和双方协议要求进行。

3 质量证明文件包括产品合格证，原材料理化报告、产品力学报告、探伤报告、静载试验报告等。

B.8 存储运输

AS 法架设主缆悬索桥锚固拉杆系统的产品在贮存和运输过程中，应避免碰撞，防止变形和锈蚀。

用词说明

1 本指南执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《XXXXX(X X X)的有关规定”。

2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本指南第 X 章的有关规定”“应符合本指南第 X. X 节的有关规定”“应按本指南第 X. X. X 条的有关规定执行”。