

An aerial photograph of a large suspension bridge with two tall towers and multiple spans, crossing a body of water. The bridge is surrounded by greenery and some buildings on the shore. The image is slightly faded and serves as the background for the book cover.

城市桥梁检测与养护维修 及标准规范实务全书

安徽文化音像出版社

第六章 悬索桥检测

第一节 悬索桥概述

一、悬索桥组成

1. 锚碇

锚碇是锚固主缆的结构，它将主缆竖直及水平反力传给地基基础，它是锚块、锚块基础、主缆锚碇架、锚室的总称。锚碇分为重力式和隧道式两种。隧道式在岩层条件极为良好条件下应用，一般均采用重力式锚碇。钢结构制成的锚碇架，固定埋在锚块混凝土中，主缆靠锚固设备锚在锚碇架上。巨大的锚碇混凝土块自重平衡主缆竖向分力、自重与岩层间的摩阻力平衡大缆水平分力，并保持足够的抗滑移安全度。

2. 索塔

索塔主要由基础，塔身及鞍座构成。塔除承受自身质量、塔本体上风、温度、地震作用外，还要承担缆、加劲梁等悬索桥体系传给它的恒、活载和风、温度地震等作用。成桥索塔塔底通常为固定，塔顶由缆系住形成可挠性塔，即塔是主要受压并受弯的构件。在我国，塔多由劲性钢骨架钢筋混凝土组成，日本、美国等发达国家多采用钢塔。

3. 缆索系统

缆索系统包括锚固于锚碇、并支撑于索塔的主缆和直接将加劲梁悬吊于主缆的吊索。主缆索由两端的热铸锚和索体组成；索体多用 $\phi 5\text{mm}$ 高强度镀锌钢丝组成。钢丝破坏强度一般均大于 1500MPa 。小跨度悬索桥有用钢绳和钢绞线。目前世界最大跨度悬索桥日本明石海峡桥主缆截面达 $36\,830$ 根 $\phi 5\text{mm}$ 钢丝。吊索多用镀锌钢丝绳，也有以平行钢丝组成，钢丝绳钢丝破坏强度可达 $1\,700 \sim 1\,800\text{MPa}$ ；平行钢丝采用 $\phi 5\text{mm}$ 或 $\phi 7\text{mm}$ 镀锌高强度钢丝，破坏强度也在 $1\,600\text{MPa}$ 以上。钢丝绳吊索多采用热铸锚，而平行钢丝

吊索则采用冷铸锚。吊索上端通过索夹固定于主缆，吊索与索夹连接，对于钢丝绳吊索多采用骑吊式。另外，对于钢丝绳和平行钢丝吊索均可采用销连接。吊索下端一般均为通过锚头和拉杆系统与加劲梁相连。

4. 加劲梁

加劲梁一般为简支或连续支承的钢桁架或钢箱梁，少数采用薄壁预应力混凝土箱梁和钢板梁。

二、悬索桥结构特点

1. 悬索桥结构重力刚度的概念

悬索桥的刚度是讲结构抵抗活载变形的能力。悬索桥抵抗活载变形的能力，是靠大缆张紧和桥跨结构巨大的恒载而形成的线形平衡稳定的状态，不为较小的短段活载而有显著变化，这便是缆的重力和桥跨结构重力形成的刚度，称之为重力刚度。另外，柔性的加劲梁所能分担的活载很小，将其看成对总体刚度可以忽略的悬吊的桥面系。1931 ~ 1962 年间 O.H. Ammann 所设计的华盛顿桥，其行车部分则是悬吊的桥面系而没有加劲梁，首次将梁的高跨比减小至 1:120。

2. 结构体系的几何非线性

悬索桥在承受活载后，塔、缆和吊索均发生较一般桥梁结构形式更大的变形，这使最初的几何图式改变。对于梁式、拱式、桁式桥可以忽略这种变化，对计算结果无明显影响，悬索桥的计算却不可以，尤其在成桥前的施工阶段的计算。这就是悬索桥结构体系几何非线性必须考虑。正是由于悬索桥结构的这种特点，弹性理论分析方法不为人们所接受，而提出考虑主缆在活载下挠度的挠度理论的分析方法；跨度的加大，活载比率的减少，人们寻求简化的挠度理论，即省略挠度理论基础微分方程的二次项的线性挠度理论。在计算机广泛用于结构分析的今天，广泛采用了能更好考虑悬索桥结构体系特性的有限位移论理和其它非线性有限之分析方法，其最主要特点为：a) 荷载作用下结构大变形，平衡方程以变形后几何关系建立，力与变形关系为非线性；b) 以恒载作用下主缆初始几何线形和初始轴力为依据。模型试验结果证明，考虑上述两点的悬索桥结构分析，尤其施工过的内力内变形分析，结果与试验数据十分吻合。

三、悬索桥的施工特点

悬索桥不同于其他结构形式桥梁的施工特点在于它的锚碇、主缆系统和其主缆系统

和加劲梁的防腐处理。

1. 锚碇

锚碇的施工主要是它的混凝土工程巨大,一般较大型悬索桥的锚块和锚块基础 20 ~ 30 号混凝土都在 20 000 ~ 50 000m³,甚至更大;其最小尺寸也多大于 1m 或更多。混凝土在凝固过程中的水化热使混凝土浇筑层间或混凝土内部与外界气流温差较高,如高于 25℃。随后混凝土的冷却、收缩使混凝土产生裂缝。避免大体积混凝土浇筑过程温差过高和产生裂缝,是锚碇施工的主要问题。必须在混凝土的掺料、施工过程、冷却方法和养护各方面采用有效措施避免过高温差和开裂,如采用矿渣水泥、掺入粉煤质、采用水管冷却和冷却骨粉、降低一次浇筑层高、蓄热保温养护等。施工过程温度检测及控制是必要的。

2. 主缆系统的施工

主缆系统施工分制造和架设两部分。

主缆和吊索的制造要求精度很高,制造精度决定架设施工的精度和是否顺利,同时决定成桥状态的几何尺寸是否能很好满足设计要求。我国主缆均采用工厂制作索股工地进行安装的平行丝股法 (PPWS 法),控制索股制作精度的标准丝长度精度要求不低于 1/15 000。在标定过的标记工作台上制作标准丝,并进行拉力和温度的修正。吊索的制作也须进行恒载下料的控制过程。热铸锚的制作要控制灌注合金的纯度,浇注温度和反顶压力,保证钢丝的锚固力。

大缆施工的悬吊脚手即锚道的架设是悬索桥施工的独特方式,随后主缆索股的拖拉、编缆、调整整圆、挤缆、缠丝、索夹安装、涂装等工艺过程均在锚道上进行。锚道结构虽然是施工期间使用的临时结构,但在风作用下必须稳定可靠、使用方便。

3. 主缆系统及加劲梁的抗腐涂装

主缆、吊索、鞍座及加劲梁的防腐涂装,是悬索桥施工的重要步骤,也是延长悬索桥使用寿命的重要措施,对于主缆尤其重要。吊索可以更换,钢加劲梁可以局部维修甚至更换,但主缆却不能。尤其对于工业城市和海洋大气的腐蚀环境下的悬索桥,对涂装设计和施工的精心考虑是十分必要的。目前国内、外对于大型悬索桥的主缆和加劲梁的防腐涂装均采用重防腐涂料系统,并在钢筋梁内和锚室内采用除湿系统以防止箱梁内壁和锚室内裸露的索股的腐蚀。

第二节 主缆与吊索的制造与安装

一、主缆制造与安装

当前国内外大型悬索桥的主缆多用预制平行丝股法制作：如我国汕头海湾桥主缆由 110 股 $\phi 5.1$ 钢丝丝股，每股含 91 丝，钢丝总数为 10 010 根钢丝；目前我国最大跨度的悬索桥江阴长江大桥主缆 169 股 127 丝 $\phi 5.35$ 的钢丝，钢丝总数达 21 463 丝；目前世界最大跨度悬索桥明石海峡桥主缆由 290 股每股 127 丝 $\phi 5.23$ 钢丝组成，其钢丝总数达 36 830 丝。

（一）预制平行钢丝股的制作

1. 平行丝股的结构构造

丝股（或索股）由丝股本身和通过热铸合金与其锚固一起的两端热铸锚构成，如图 6-1 丝股构造示意图。丝股的断面和热铸锚构造见示意图 6-2、图 6-3。丝股截面中位于左上角的一根钢丝为标志丝，沿丝股净长涂红色，用以控制丝股架设不扭转；截面右上角一根钢丝为标准线，用以控制丝股几何长度。

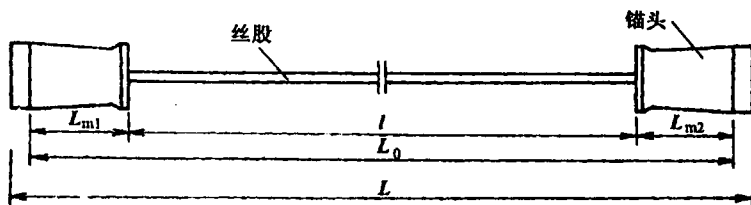


图 6-1 丝股构造示意图

图中： L —成品丝股总长； L_0 —丝股下料长度； l —锚头支撑面间丝股净长； L_{m1} 、

L_{m2} —丝股锚固长度

图 5-3 为丝股热铸锚构造示意图。钢丝在锚杯合金中锚固长度，决定于单丝锚固试验的锚固力，对于极限强度 1 750MPa 的钢丝绳，锚固力，锌合金为 25MPa，纯锌 30MPa，安全系数可取 2.5。图 6-4 示成品丝股两种彩色区别的连续记号，分界线即为标记点的准确位置，标记点间的尺寸精度应不低于 1/15 000。标志点设置于散索鞍中心

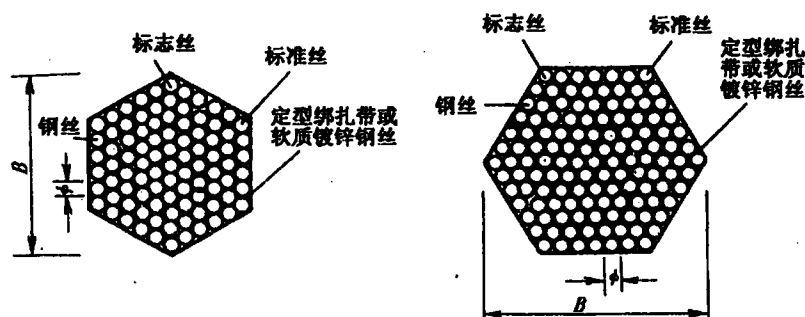


图 6-2 丝股截面示意图

图中： B —丝股最大外径； ϕ —钢丝直径

点、主塔鞍座中心点、边跨及中跨的跨中、锚头起点 1m、处，以标准丝制成束股后，在束股全周制成标记。

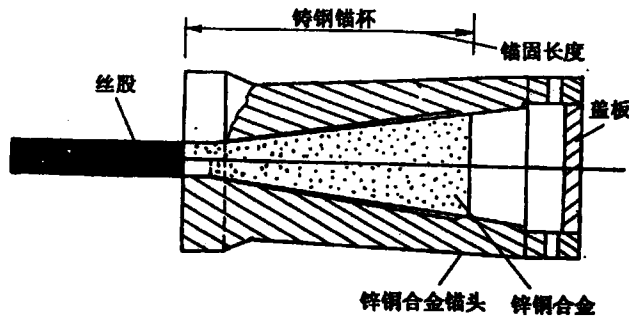


图 6-3 热铸锚头构造示意图

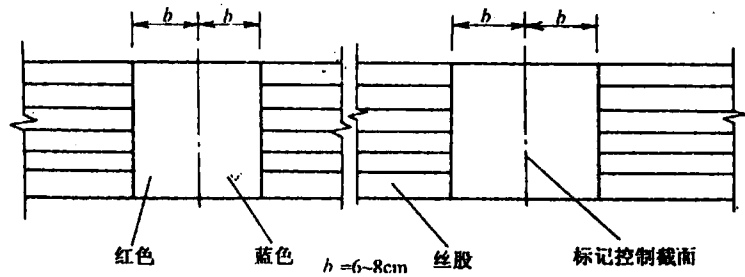


图 6-4 标准丝上标记示意图

2. 主缆制作所用材料

(1) $\phi 5\text{mm}$ 热镀锌高强度 钢丝主缆用热镀锌 $\phi 5\text{mm}$ 高强度钢丝应符合 (GB/T 17101-1997)《桥梁缆索用热镀锌钢丝》要求见斜拉索用钢丝，或下表 6-1 和表 6-2。钢丝化学成份应满足表 5-1，其它技术性能要求如表 6-2。

第一部分 桥梁检测

表 6-1

化学成分 (%)

元素名称	C	Si	Mn	P	S	Cu
含量	0.75 ~ 0.85	0.20 ~ 0.32	0.60 ~ 0.90	≤0.025	≤0.025	≤0.20

对于悬索桥钢丝化学组成,对其他非金属夹杂物有的作出限制,如其他非金属夹杂物含量不大于 0.10%;日本悬索桥按钢丝强度等级 1 600MPa 和 1 800MPa 含碳量也分为 0.75% ~ 0.80% 和 0.80% ~ 0.85% 两级。

表 6-2

φ5 高强度钢丝技术要求

项 目		技 术 要 求
机械 性质	钢丝直径 (mm)	$\phi 5.0 \pm 0.06$
	钢丝不圆度 (mm)	< 0.06
力 学 性 质	屈服强度 (MPa)	$\geq 1\ 180$
	抗拉强度 (MPa)	$\geq 1\ 600$
	弹性模量 2.0×10^5 MPa	允许误差 $\pm 5\%$
	延伸率 $L = 250\text{mm}$	$\geq 4.0\%$
	扭转 $L = 100d$	≥ 8 圈扭断
	环绕 $D = 3d$	钢丝应经环绕直径等于钢丝直径 3 倍的圆形芯轴 8 次而无损坏、无裂纹
镀 锌	外观质量	镀锌层必须光滑、无鳞皮、裂纹,整个长度无有害杂质
	镀锌层质量 (g/m^2)	> 300
	附着质量	钢丝在 5 倍于直径的芯棒上缠绕至少两圈以后,用手擦拭的情况下镀锌层不开裂或剥落
	镀锌层均匀性	硫酸铜液挂铜浸蚀 4 次 (1 次/min) 不露铁
	镀锌后钢丝的直径增量 (mm)	≤ 0.10
直 线 性	钢丝自由翘头高度 (试件长度 $l > 5\text{m}$) (cm)	15
	自由弯曲直径 (m)	≥ 8
	钢丝长度	无接头;丝股长度的整倍数

对于悬索桥主缆来说,钢丝的疲劳强度和松弛率未明确做出要求,这是由于悬索桥主缆主要是承担恒载,活载应力幅一般不超过 10MPa,同时主缆材料非线性对结构性能影响也不像对斜拉桥那样敏感地影响结构计算。

各项性能检验方法见第三章斜拉桥相应部分或 GB/T17101—1997。试件抽样建议参照表 6-3，由于我国相应标准规定抽样数量均较少，有时较难于执行，参照此表或按合同协商方式及数量。一般悬索桥主缆用钢丝数量均在数千吨至万吨以上，如日本明石海峡大桥二根主缆用量达 57 700t；如此巨大的钢丝集合，为控制其性能满足规定要求，必须选择一个既概括总体又节省试验费的抽样方式及数量。

表 6-3 钢丝检验抽样数

试验项目	试 验 根 数
抗拉强度	从每盘钢丝的两端各取一根
屈服强度	从每 30 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的两端各取一根
弹性模量	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的两端各取一根
延伸率	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的两端各取一根
扭转次数	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的一端取一根
环绕	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的一端取一根
镀锌量	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的一端取一根
镀锌质量	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的一端取一根
直线性	从每 20 盘钢丝中任抽一盘，从该盘钢丝的一端取一根
钢丝直径	从每盘钢丝的两端各取一根
外观	全 部

(2) 热铸锚 热铸锚锚杯采用 铸钢，碳素结构钢 ZG230-450，应符合 (GB 11352-89)《一般工翻铸造碳钢件》要求；锚杯必须经超声探伤。并符合《铸钢件超声波探伤及质量评级方法》(GB 7233-87) 中三级要求；合金灌注料锌铜合金：锌含量 (98 ± 0.2)%，铜为 (2 ± 0.2)%，锌的纯度为 99.99%，铜的纯度为 99.95%。对每一炉合金应取样分析并附结果报告。

3. 主缆索股制作

关于悬索桥主缆的索股制作,有《悬索桥预制主缆丝股技术条件》(JT/T 395—1999),《悬索桥主缆预制平行钢丝束》(QTMAA02—96)和广东省企业产品标准《虎门大桥悬索桥主缆索股技术条件》(Q/CG91—94)正是在这些标准的支持下,我国在悬索桥建设方面取得了较大的成绩,如建设了汕头海湾大桥、西陵悬江大桥、江阴长江大桥、厦门海沧大桥、重庆鹅公岩长江大桥等数座现代悬索桥。索股制作工艺过程以图 6-5 索股制作工艺步骤框图表示。

(1) 标准丝制作

制作标准丝应首先安装标准丝制作系统,如图 6-6 所示:标准丝生产系统安装图,图 6-6 给出了设备及其布置图。标志台根据生产场地基线长及各标志段长来设置。

如标准丝长度为 L ,最外端两标志台距离为 m ,则生产一根标准丝需测量 $n = \frac{L}{m}$ 次。长度 m 决定于场地和实际标志点距离。一般标志点不少于 11 个:两端点、距两端点 1m 处、散索鞍中心点、边跨跨中、主索鞍主心点和中跨跨中点。中间标志台布置就决定于这些标志点间距。中间支撑滚轮太少,钢丝会悬垂太大、摩擦力大。

标准丝生产工艺如下:生产线试运行合格、各标志台间标志点必须满足测长精度 $1 + 1\text{ppm}$ 、核定标准丝编号、放丝、加载、测长、长度复核、标记、盘卷、标记标准丝编号。长度值需按加载和即时温度修正,见下式 (6-1):

$$L = L_0 \left[1 + \frac{P}{EF} + \alpha (t - 20) \right] \quad (6-1)$$

式中: L ——测量长度;

L_0 ——设计长度 (20℃时无应力长度);

P ——张紧力;

E ——钢丝弹模;

F ——单根钢丝截面积;

α ——钢的线胀系数;

t ——环境即时温度。

标准钢丝制作长度误差要求相对误差不大于 $\frac{1}{15\,000}$ 。各项误差影响因素及计算如下:

①标志台设置误差, $1 + 1\text{ppm}$, 即每测量一次产生标志台距离误差 $1 + 1\text{ppm}$, 测量

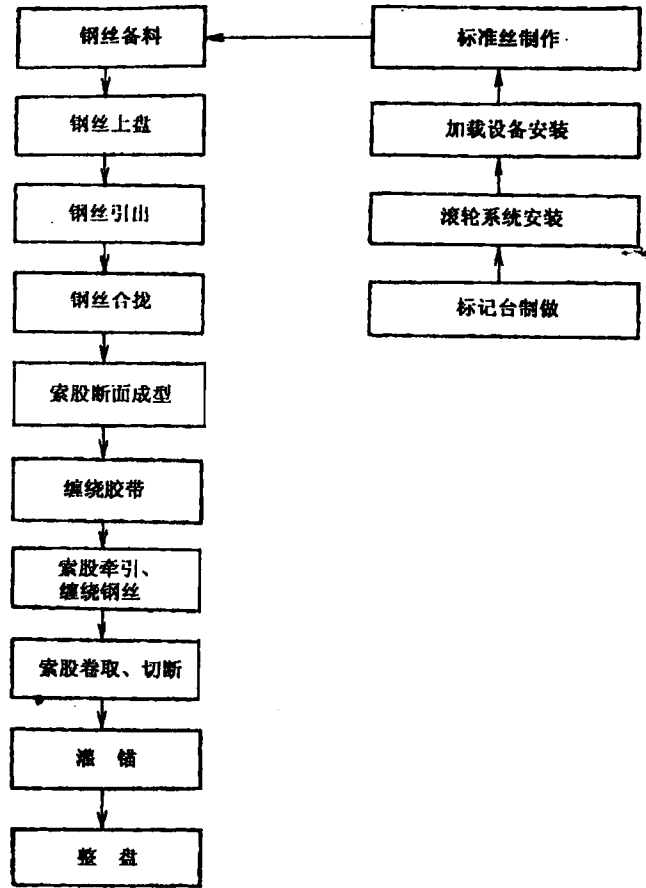


图 6-5 索股制作工艺步骤框图

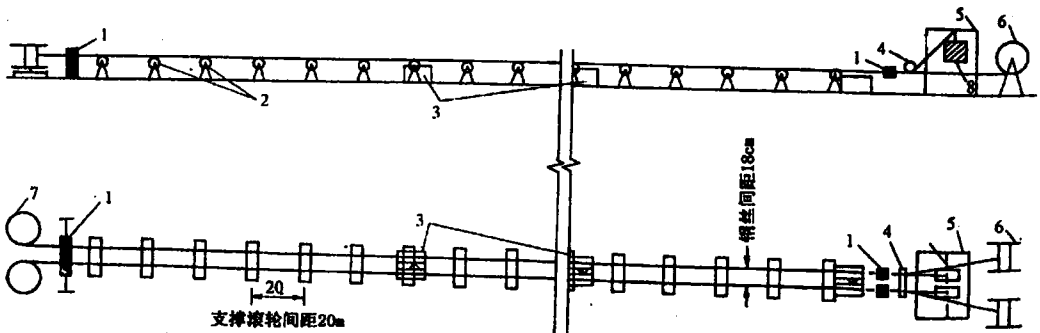


图 6-6 标准丝生产系统布置图

1- 钢丝夹具; 2- 支撑滚轮; 3- 标志台; 4- 转向滚轮; 5- 加载系统; 6- 收丝盘; 7- 放丝盘; 8- 挂重
 几次, 则此项相对误差 $\Delta_1 = n(1 + 1\text{ppm}) / L$;

②标记、核度误差, 每次 0.5mm, 一根标志丝标记五次, $\Delta_1 = 0.5 \times 5/L$;

③环境温度误差允许 1℃, 则 $\Delta_3 = L \cdot \alpha/L$, α 线胀系数, 取 1.2×10^{-5} , $\Delta_3 = \alpha$;

④张紧力误差, 设张紧力总偏差为 3% (包括轮摩擦影响), 则 $\Delta_4 = \frac{\Delta P}{EA} = 0.03/EA$;

⑤此项误差主要是钢丝直径偏差引起钢丝两支撑轮间的垂度引起, 可按 $l = \frac{ZH}{8} \text{sh}$ ($\frac{ql}{zH}$) 式计算出最大直径与最小直径的每米长钢丝质量 $q \text{kg/m}$ 计算出 Δl , $\Delta_5 = \Delta l/L$, H 为钢丝拉力;

⑥弹性模量引起长度误差, 设 $E_{\max} = 2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ 平均 $E = 2.0 \times 10^5 \text{MPa}$, $E_{\min} = 1.95 \times 10^5 \text{MPa}$, $\Delta E_{\max}/E = 0.05$, 则此项相对误差 $\Delta_6 = 0.05 \frac{P}{EA}$;

⑦线胀系数 α 引起的误差 $\alpha = (1.2 \pm 0.1) \times 10^{-5}$ 则 $\Delta_7 = \frac{\alpha}{10}$ 。

⑧加力误差引起钢丝垂度使长度产生的相对误差, 仍假定支撑滚轮间距 l , H , $H_{\min}$, 分别为标准拉力和最小拉力, 钢丝自重为 q , 则有 $\Delta_8 = \frac{\Delta l}{L}$, Δl 按 H 、 $H_{\min}$ 、 l 、 q 计算出弧长之差。

按误差传递计算, 总和相对误差 $\Delta = \Delta L/L$,

$$\Delta = \frac{\Delta L}{L} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \Delta_i^2} \quad (6-2)$$

各大型悬索桥标准丝制作实践, 不同的标准丝长度误差计算结果见表 6-4, 这均能很好地满足 1/15 000 要求。

表 6-4 实际悬索桥标准丝长 (m)

项 目	汕头海湾大桥	虎门大桥	海沧大桥
标准丝长 (m)	1 030	1 635	1 227
$\Delta L/L$	$\frac{1}{48\,700}$	$\frac{1}{38\,000}$	$\frac{1}{32\,115}$

(2) 索股制作

索股生产线布置见图 6-7。

图 6-8 为放丝设备布置图。图 6-9 为钢丝合股架示意图。合股架是一系列支撑起

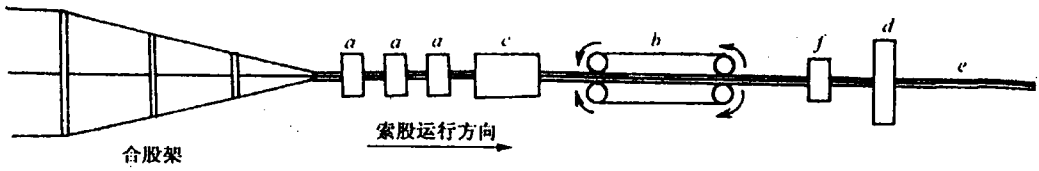


图 6-7 索股生产线布置图

的偏丝盘，编丝盘的几何尺寸逐渐缩小，最后成型为索股断面。放丝设备应保证丝放出的方向，能顺利进入合股架 I。

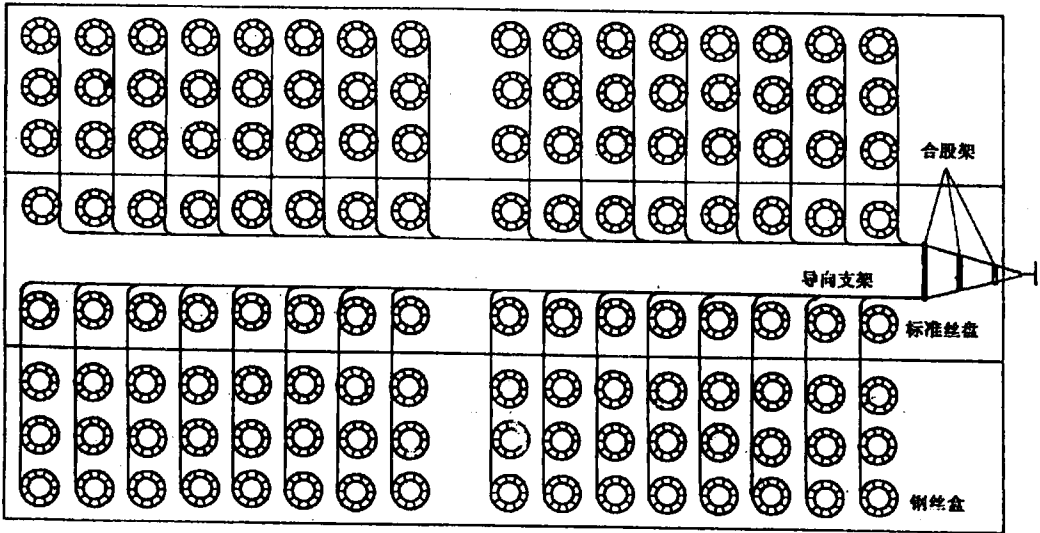


图 6-8 放丝设备布置图

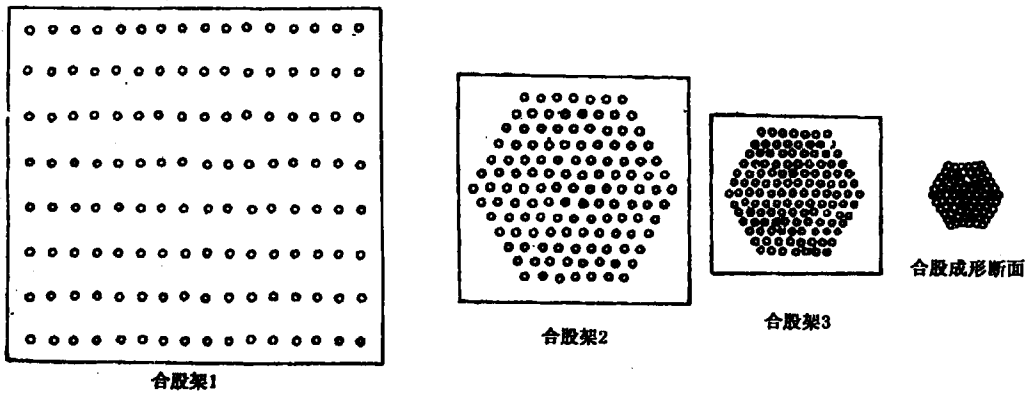


图 6-10 合股架示意图

图 6-7 中, a、成型机, b、牵引机, c、缠包机, f、缠丝机, d、切割机。索股表面每隔 1~1.5m 以高强度胶带缠绕, 带宽 40~50mm, 厚 0.07~0.15mm, 防止索股松散; 在索端部、主鞍座、散索鞍, 跨中附近多处用 13 号软钢丝缠绕 6~10cm 保持索股形状。切断时断口两侧以成型夹具夹紧, 保证切口断面准确齐整。

预制平行丝股的长度, 是以标准钢丝为标尺度量的, 这些误差性质与标准丝制作相同, 制作标准丝时已经计入, 如钢丝直径、弹性模量、温度、线胀系数。切断时按标准丝两端标记, 因此上述误差不能重复计入。属于索股制作的长度误差:

- ①两端标记、切割预计 2mm 误差, 1m/端, Δ_9
- ②灌锚时钢丝固定 6mm 误差, 3mm/端; Δ_{10}
- ③铸体顶压顶出 10mm (5mm/端), Δ_{11} 。

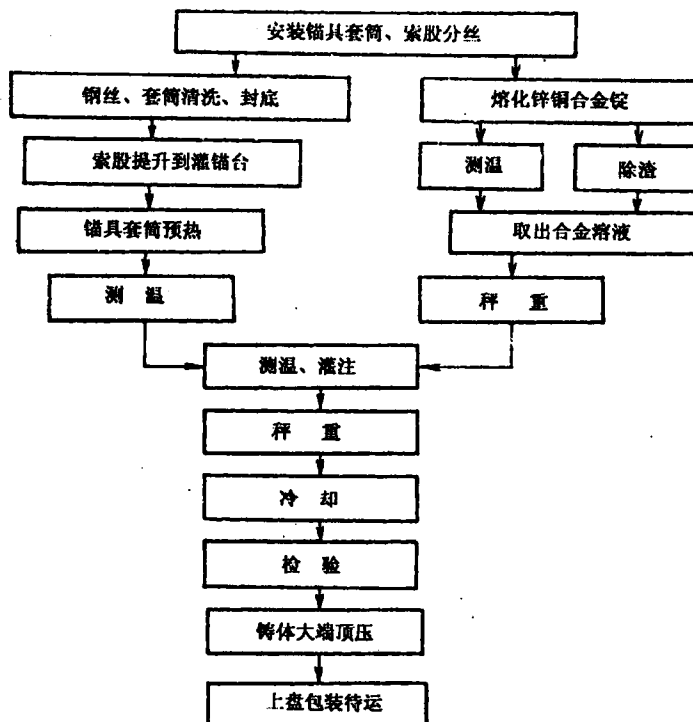


图 6-10 热铸锚制作工艺步骤框图

最后综合误差仍然可以按 (6-2) 式计算, 计收项目 $\Delta_1 \sim \Delta_{11}$ 。 $\Delta_9 \sim \Delta_{11}$ 的影响一般相当于 $\Delta_1 \sim \Delta_8$ 的 1/2~1/3 的数量级, 计入 $\Delta_9 \sim \Delta_{11}$ 后仍能很好满足 1/15 000 要求。

(3) 热铸锚制作工艺及要求

图 6-10 示热铸锚制作工艺步骤框图表明了热铸锚的制作工艺过程。

灌注工艺技术要求:

- ①锚杯内壁及灌端钢丝清洗、烘干;
- ②锚杯预热 $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- ③锌铜合金加热至 $(460 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- ④分丝板预处理, 即热涂锌铜合金;
- ⑤合金铸入率不小于 92%;

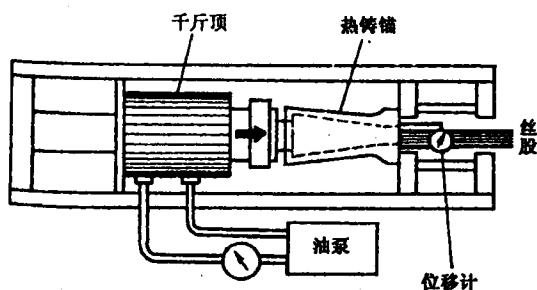


图 6-11 热铸锚顶压装置示意图

- ⑥索股中心线与锚杯端面垂直度 $90^\circ \pm 0.5^\circ$;
- ⑦铸体大端经 0.45 倍破断荷载的顶压力持续 5min, 顶压位移不大于 5mm。

图 6-11 示热铸顶压装置示意。合金铸入率按 (6-3) 式计算:

$$V_2 = \frac{m_g}{V_b \cdot \rho} \quad (6-3)$$

式中: V_2 ——合金注入率, %;

m_g ——实际铸入合金量, g;

V_b ——锚杯实际内腔容积 (扣除钢丝所占空间), cm^3 ;

ρ ——合金密度, g/cm^3 , 取 $7.17\text{g}/\text{cm}^3$ 。

4. 索股静力破坏试验

该项试验方法及规定同第三章斜拉索试验。

试验结果要求:

- ①破断荷载 $p \geq 0.95P_b$, P_b 为按钢丝实际破断强度和截面积计算的破断荷载;
- ②破断延伸率 $\delta \leq 2\%$, 应扣出拔出量;
- ③抗拉弹性模量 $E \geq 1.9 \times 10^5 \text{MPa}$ 。

另外破断方式应是钢丝断裂，不应是丝束由锚杯中滑脱。 V_6 的容积可采用试验方式求得，并可用水代替合金熔液。顶压位移我国行业标准规定用深度卡尺由大端测量端面顶压前后的差值。

(二) 悬索桥主缆架设

1. 主缆架设的技术要求

图 6-12 表明了悬索桥主缆系统的基本构造和布置。

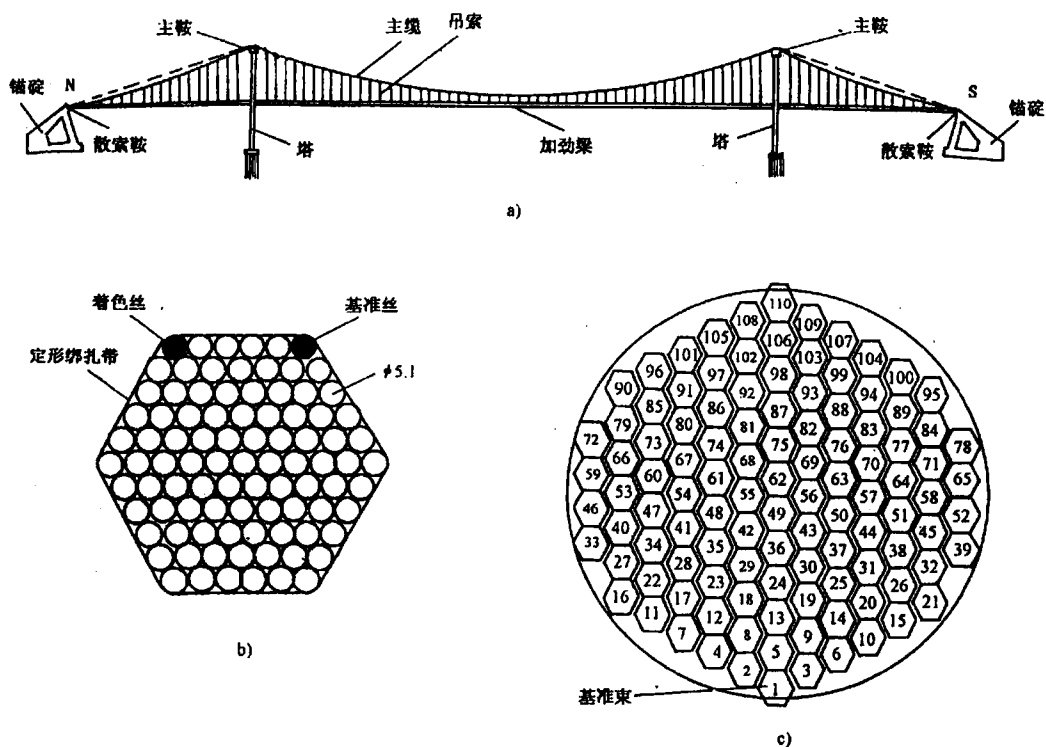


图 6-12 主缆系统的基本构造和布置

a) 主缆系统总图；b) 索股构造；c) 主缆断面组成

由图 6-12 可见，悬索桥由两端锚碇和两侧塔、两边散索鞍，主塔鞍、主缆和吊索、加劲梁组成。主缆有 110 股索股，每股索股由 91 根 $\phi 5.1\text{mm}$ 钢丝；编号为 1 的索股位于最下边为基准索股。着色丝位于索股左上角，基准丝位于丝股右上角。

安装要求：①主缆的安装要确保各索股受力均匀，各索股相对于基准股必须平行；②索股各钢丝相对于标志丝也必须保持平行，不扭转、不鼓丝；③索股张拉力控制在允许范围内；④挤缆后空隙率应满足设计空隙率要求；⑤防腐涂装满足设计要求。

2. 主缆架设准备

(1) 猫道架设和索股拽拉系统

图 6-13 表示主缆架设步骤框图。图 6-14 表示猫道布置和索股拽拉系统图。猫道在自重作用下为悬链线，平行于悬链线型的空缆状态，猫道系统架设和索股拽拉系统的安装，为主缆施工重要步骤。猫道的悬链线线型中心，距主缆中心 1.2~1.5m。猫道索的规格按计算选择和设置，并锚固在主塔两侧和散索鞍基础的事先预埋的钢构件上。猫道索的设计安全系数可采用 2.5~3。为确保猫道的线形，应以不低于实际使用荷载预拉，并持荷 2h 来消除非弹性变形。

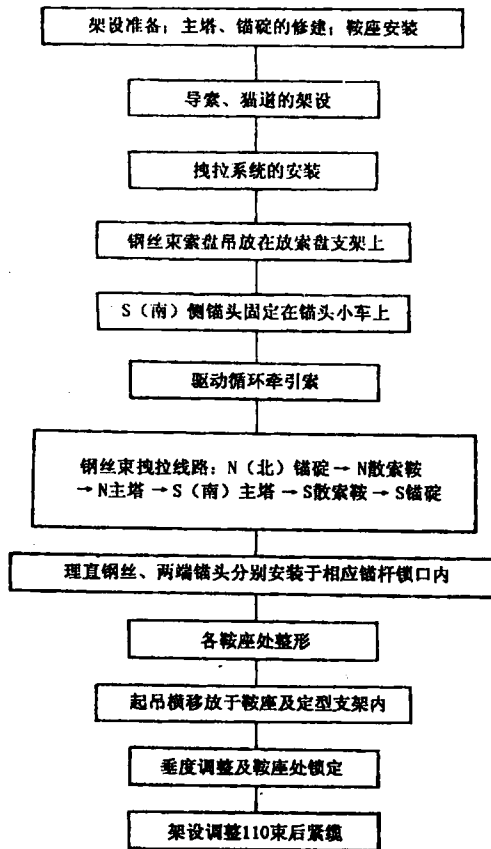


图 6-13 主缆架设步骤框图

主缆索股拽拉系统上、下游主缆各自独立。悬索桥两端一端为放索场，另一端为拖拉场，拖拉场需设置大功率电动掷扬机。

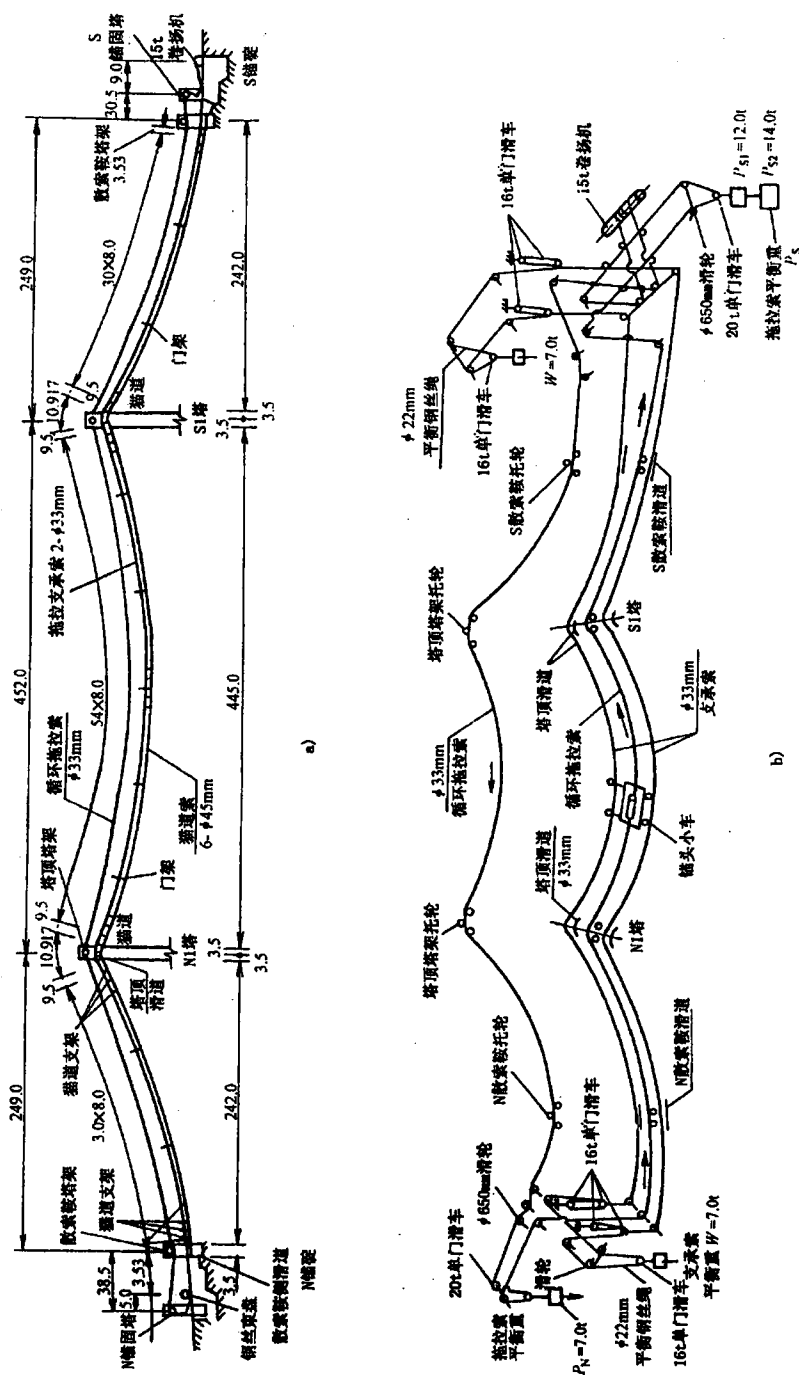


图 6-14 猫道及拽拉系统布置图 (尺寸单位: cm)

a) 猫道及拽拉系统布置图; b) 拽拉系统构造及循环走向