

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA—

---

# 自锚式悬索桥空间缆索系统整体 提升安装施工技术规范

Self-anchored suspension bridge space cable system overall lift  
installation construction technical specifications

征求意见稿

2022—XX—XX实施

2022—XX—XX发布

---

中国公路建设行业协会 发布

中国公路建设行业协会标准

# 自锚式悬索桥空间缆索系统整体 提升安装施工技术规范

Technical specification for integral hoisting and installation  
of space cable system of self-anchored suspension bridge

T/CHCA—

主编单位：中铁大桥局第七工程有限公司

批准部门：中国公路建设行业协会

实施日期：20XX年 XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

# 前言

本规程是根据《关于邀请中国中铁股份有限公司参与协会标准的函》（中路建协函[2021]6号）的要求，由中铁大桥局第七工程有限公司会同有关单位编制完成。

本规程编制过程中，编制组进行了深入的调查研究，系统总结工程实践经验，广泛征求有关单位和专家意见，经过反复讨论、修改，由中国公路建设行业协会审查定稿。

本规程共分 11 章，主要技术内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 施工准备；5 构件及试验；6 成品主缆及吊杆制造运输；7 全回转索夹安装及防腐；8 缆索体系整体提升安装；9 主缆及吊杆桥面牵引入锚；10 索夹抗滑移施工；11 施工监控；12 施工质量检验。

本规程由中铁大桥局第七工程有限公司负责具体技术内容解释，由中国公路建设行业协会负责管理。标准执行过程中如有意见或者建议，请寄送中铁大桥局第七工程有限公司（地址：武汉经济技术开发区春晓路 8 号；邮编：430050；联系电话：16603460626；电子邮箱：[ztlbec777@yahoo.com.cn](mailto:ztlbec777@yahoo.com.cn)），以供今后修订时参考。

**主编单位：**中铁大桥局第七工程有限公司

**参编单位：**天津市政工程设计研究总院有限公司、四川交大工程检测咨询有限公司

**主要起草人员：**陈开桥、樊志飞、王吉连、拓守俭、李勇波、蒋本俊、祝良红、文杰、高远、高玉峰、方乃平、张友光、程建华、朱群祥、杜操、余昆、郭焕、刘立云、谭健、柴强、罗哲文。

**主要审查人员：**张立青

## 目次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
4 施工准备.....	5
4.1 施工方案.....	5
4.2 作业指导书.....	5
4.3 施工技术交底.....	6
5 构件及试验.....	8
5.1 成品主缆.....	8
5.2 吊杆.....	8
5.3 全回转索夹.....	8
5.4 抗滑移拉杆.....	9
6 成品主缆及吊杆制造运输.....	10
6.1 成品主缆制造运输.....	10
6.2 吊杆制造运输.....	10
7 全回转索夹安装及防腐.....	12
7.1 施工工艺流程.....	12
7.2 索夹制造及运输.....	12
7.3 主缆展索.....	15
7.4 全回转索夹安装.....	16
8 缆索体系整体提升安装.....	20
8.1 施工工艺流程.....	20
8.2 主缆牵引机构组件安装.....	20
8.3 主缆提升机构组件安装.....	21

8.4 缆索系统整体提升.....	22
<b>9 主缆及吊杆牵引入锚.....</b>	<b>23</b>
9.1 施工工艺流程.....	23
9.2 主缆及吊杆桥面牵引入锚.....	23
9.3 吊杆张拉及主缆线形调整.....	23
<b>10 索夹抗滑移施工.....</b>	<b>24</b>
10.1 施工工艺流程.....	24
10.2 索夹抗滑移施工.....	24
<b>11 施工监控.....</b>	<b>25</b>
11.1 主梁施工标高的确定.....	25
11.2 主缆及吊杆无应力长度的确定.....	25
11.3 整体提升施工监控内容.....	25
11.4 吊杆张拉控制.....	26
<b>12 施工质量检验.....</b>	<b>25</b>
<b>用词说明.....</b>	<b>28</b>
<b>引用标准名录.....</b>	<b>29</b>

## Contents

<b>1</b>	<b>General.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Terms and Symbols.....</b>	<b>2</b>
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
<b>3</b>	<b>Basic Provisions.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Construction Preparation.....</b>	<b>5</b>
4.1	Construction Scheme.....	5
4.2	Assignment Instructions.....	5
4.3	Construction Technology Is Handed Over.....	6
<b>5</b>	<b>Components and Tests.....</b>	<b>8</b>
5.1	Finished Main Cable.....	8
5.2	Boom.....	8
5.3	Full Swivel Cable Clip.....	8
5.4	Slip-resistant Levers.....	9
<b>6</b>	<b>Manufacture and Transportation of Finished Main Cables and Booms.....</b>	<b>10</b>
6.1	Manufacture and Transportation of Finished Main Cables.....	10
6.2	Boom Manufacturing Transport.....	10
<b>7</b>	<b>Full Slewing Cable Clamp Installation and Corrosion Protection.....</b>	<b>12</b>
7.1	Construction Process.....	12
7.2	Cable Clamp Manufacturing and Transportation.....	12
7.3	Main Cable Spread.....	15
7.4	Full Swivel Cable Clamp Mounting.....	15
<b>8</b>	<b>The Cable System Is Upgraded As A Whole.....</b>	<b>20</b>
8.1	Construction Process.....	20
8.2	Installation of Main Cable Traction Mechanism Components.....	20
8.3	Installation of Main Cable Lifting Mechanism Components.....	21
8.4	The Overall Improvement of The Cable System.....	22

<b>9</b>	<b>The Main Cable and Boom Are Pulled Into The Anchor.....</b>	<b>23</b>
9.1	Construction Process.....	23
9.2	The Main Cable and Boom Deck Are Pulled Into The Anchor.....	23
9.3	Boom Tensioning and Main Cable Linear Adjustment.....	23
<b>10</b>	<b>Cable Clamp Anti-slip Construction.....</b>	<b>24</b>
10.1	Construction Process.....	24
10.2	Cable Clamp Anti-slip Construction.....	24
<b>11</b>	<b>Construction Monitoring.....</b>	<b>25</b>
11.1	Determination of The Construction Level of The Main Girder.....	25
11.2	Determination of Stress-free Length of Main Cable and Boom.....	25
11.3	Improve The Overall Construction Monitoring Content.....	25
11.4	Boom Tension Control.....	26
<b>12</b>	<b>Construction Quality Inspection.....</b>	<b>26</b>
	<b>Word Description.....</b>	<b>28</b>
	<b>list of Quoted Standards.....</b>	<b>29</b>

# 1 总则

1.0.1 为规范中小跨自锚式悬索桥空间缆索系统整体提升安装施工，统一施工技术及质量验收要求，确保缆索系统安装质量及过程安全，提高安装效率，制定本规程。

1.0.2 本技术规程适用于主缆采用成品索的中小跨自锚式悬索桥空间缆索体系的安装施工。

1.0.3 中小跨自锚式悬索桥空间缆索系统整体提升安装施工应积极推广使用成熟的新技术、新工艺、新材料、新设备。

1.0.4 严格遵守国家安全生产法律法规，建立和健全安全生产管理制度，认真执行安全操作规程，确保安全施工。

1.0.5 中小跨自锚式悬索桥空间缆索系统整体提升安装施工除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行的有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 自锚式悬索桥 self anchored suspension bridge

是一种不设重力式地锚，而以梁端锚固主缆，承受主缆端部的水平与竖向分力的悬索桥体系。

#### 2.1.2 成品索 main cable

用热挤高密度聚乙烯（PE）防护的半平行钢丝索配以冷铸墩头锚系统的钢丝拉索或采用不同防护的平行钢绞线、外套 PE 护套管，两端用特殊的夹片锚系统组成的钢绞线索。

#### 2.1.3 吊杆 suspender

将活载和主梁（包括桥面）的恒载通过索夹传递到主缆的构件，它的上端与索夹相连，下端与主梁相连。

#### 2.1.4 全回转索夹 rotary cable clamp

将悬索桥吊杆与主缆连结的可以 360° 全旋转的夹箍式构件。

#### 2.1.5 猫道 catwalk for construction

因悬索桥索股架设、紧缆、索夹安装、吊索架设、加劲梁架设、缠丝等的施工需要而架设的施工便道。

#### 2.1.6 施工荷载 construction load

施工阶段为验算桥梁结构或构件安全度所考虑的临时荷载，如结构重力、施工设备、人群、风力等。

#### 2.1.7 索夹抗滑移 anti sliding of cable clamp

索夹与主缆连接中，使连接件摩擦面产生滑动时的外力与垂直于摩擦面的索夹螺母预拉力之和的比值。

#### 2.1.8 初拉力 initial tension

安装索夹时，给索夹的张拉力。

#### 2.1.9 牵引机构组件 traction mechanism components

由锥形导向套、穿心式限位板、夹片锚以及牵引用钢绞线组成的主缆牵引系统。

#### 2.1.10 提升机构组件 hoist assembly

由同步中央总控制台、中央电动油泵、机械自锁盘、2台连续千斤顶、撑脚及操作平台构成的主缆提升系统。

#### 2.1.11 抗滑移拉杆 anti sliding tie rod

一种可以防止索夹滑移的拉杆装置。

### 2.2 符号

B、b——宽度；

t——厚度；

L——长度；

d、 $\phi$ ——直径；

H、h——高度；

$\alpha$ 、 $\beta$ ——角度；

l、S、a——间距；

f——拱度、弯曲矢高；

$\Delta$ 、 $\delta$ ——偏差、增量。

### 3 基本规定

3.0.1 空间缆索系统整体提升安装施工应采用先进可靠的施工技术，制定切实可行措施、合理配置资源，争取优质高效组织施工。

3.0.2 依据设计文件，进行施工环境调查，编制施工组织设计及安全专项方案。空间缆索系统整体提升安装施工组织设计主要包括：

- 1 成品主缆及吊杆制造运输方案。
- 2 全回转索夹安装及防腐施工方案。
- 3 缆索体系整体提升安装施工方案。
- 4 主缆及吊杆牵引入锚施工方案。
- 5 索夹抗滑移施工方案
- 6 空间缆索系统整体提升安装施工监控方案等。

3.0.3 空间缆索系统整体提升安装施工的工装设施等应与主体工程同时设计、同时施工和同时投入使用，按照有关规定进行验收，未经验收或者验收不合格的，不得投入使用。

3.0.4 空间缆索系统整体提升安装施工应遵守国家有关安全生产、质量保证、环境保护和文明施工的要求，应建立健全安全、质量、环保、文明施工保证体系，制订技术和组织保证措施，确保施工质量满足设计要求及国家有关规范标准。

3.0.5 空间缆索系统整体提升安装施工可以采用 BIM 等信息化技术对施工场地、施工工序、机械设备走位等进行模拟。

## 4 施工准备

### 4.1 施工方案

4.1.1 空间缆索系统整体提升安装施工方案应根据现场实际施工条件、工期要求、资源配置等因素综合确定。

4.1.2 周边环境较为复杂、桥塔高度较高、缆索系统提升重量较大时，应结合周边环境及现场实际情况，进行风险评估，制订安全专项施工方案和专项应急救援预案。

4.1.3 资源配置应与空间缆索系统整体提升安装施工方案相匹配，按照制订的施工方案和进度安排，计算主要材料、设备、关键施工机械的数量及进场时间。

4.1.4 施工所需的机械设备配置应按照经济、高效原则进行配套，本规程涉及到的机械设备主要如下：

- 1 用于缆索系统整体提升的连续自锁千斤顶。
- 2 用于主缆桥面展索、吊杆牵引的卷扬机、穿心式千斤顶。
- 3 用于索夹螺杆张拉的螺杆张拉专用千斤顶。
- 4 用于上下桥塔的垂直提升吊篮。
- 5 用于吊装作业的汽车吊。
- 6 用于吊杆安装的高空作业车。
- 7 用于测量的高精度全站仪、水准仪。

4.1.5 施工所需工装材料的配置应满足施工需要和降低成本的要求，本规程涉及到的工装材料主要如下：

- 1 主缆张拉工装。
- 2 吊杆张拉工装。
- 3 背索张拉工装。
- 4 牵引用钢绞线。
- 5 塔顶操作平台。
- 6 塔吊门架。

4.1.6 施工人员配置应按工程规模、进度安排、工序专业类别等要求编制施工人员需求和使用计划，在满足施工组织的基础上，实现人力资源精干高效。

### 4.2 作业指导书

4.2.1 空间缆索系统整体提升安装施工应编制施工作业指导书, 应按照先进成熟的工艺工法, 科学合理的生产组织, 并与建设标准、质量目标、安全要求以及现场施工条件结合起来进行编制, 确保可操作性强。

4.2.2 施工作业指导书应包括下列主要内容:

- 1 适用范围。
- 2 作业准备。
- 3 技术要求。
- 4 施工程序与工艺流程。
- 5 施工要求。
- 6 劳动组织。
- 7 材料要求。
- 8 设备机具配置。
- 9 质量控制及检验要求。
- 10 安全及环保要求。
- 11 应急预案。

4.2.3 施工应组织现场作业交底和人员培训, 考试合格后上岗, 特种作业人员应持证上岗。

### 4.3 施工技术交底

4.3.1 空间缆索系统整体提升安装施工技术交底应实行分级交底制度, 覆盖所有参与施工的管理人员、技术人员、作业人员, 交底可采用会议、口头或书面形式, 并以书面交底。

4.3.2 对项目部管理及技术人员的交底应包括下列内容:

- 1 工程概况、重难点情况。
- 2 安全、质量、环保、工期目标及主要节点进度计划安排等。
- 3 总体施工组织方案、施工场地布局等。
- 4 总体施工顺序、技术方案, 采用的新技术、新结构、新材料和新工艺。
- 5 主要工程材料、设备、劳动力安排及资金计划。
- 6 安全技术、水保环保等措施。
- 7 主要危险源、应急预案及抢险救援机构和设备。

4.3.3 对施工作业队的技术交底应包括下列内容：

- 1 总体施工组织安排及施工方案。
- 2 工程质量、安全、水保环保、进度目标及保障措施。
- 3 施工方法、操作规程及施工技术要求。
- 4 新技术、新工艺操作要求。
- 5 施工作业指导书。
- 6 设备加工图、拼装图及其使用说明。
- 7 监控量测等。
- 8 重大危险源、应急救援措施及抢险救援机构和设备。

4.3.4 对作业班组的交底应包括下列内容：

- 1 各工序施工中可能出现的安全风险、安全注意事项及紧急情况下的应急救援措施、紧急逃生措施。
- 2 工序施工方法、施工工艺流程及施工先后顺序、工序间衔接处理等。
- 3 施工工艺细则、操作要点。
- 4 作业标准和质量验收标准等。
- 5 使用材料规格及材质要求等。
- 6 设备加工图、拼装图及其操作要领，大型施工机械操作规程、安全使用规则、维修保养规则等。
- 7 施工安全及技术措施。
- 8 劳动保护、环境保护有关注意事项。

4.3.5 施工技术交底应形成书面记录，并履行复核、签认手续，留存备查。

4.3.6 施工前现场应进行应急演练模拟施工。

## 5 构件及试验

### 5.1 成品主缆

5.1.1 主缆可采用镀锌平行钢丝成品索，用于主缆的钢丝、聚乙烯护套料、冷铸锚及其检验满足《悬索桥用主缆平行钢丝索股》（GB/T 36483-2018）、《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》（GB/18365-2018）的相关规定。

5.1.2 主缆上方与塔顶相接，下方与主梁两侧相接，主缆锚固采用锚箱形式。

### 5.2 吊杆

5.2.1 吊杆可采用环氧喷涂无粘结钢绞线斜拉索，钢绞线缠包后外挤 PE 套，索体外设双螺旋线。用于吊杆的钢绞线应满足《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》（GB/T25823-2010）的相关规定，吊杆制造及检验应满足《挤压锚固钢绞线拉索》（JT/T850-2013）的相关规定。

5.2.2 吊杆上方与主缆索夹相接，下方与主梁两侧相接，吊杆下方锚固采用锚箱形式。

### 5.3 全回转索夹

5.3.1 全回转索夹的结构可分为内、外索夹两层结构，内索夹夹紧主缆，可旋转外索夹将内索夹包紧，内外索夹之间隔着一块自润滑轴承套，可实现内外索夹之间发生相对转动，从而达到外索夹可转动的目的。

5.3.2 全回转索夹整体对半分为两块，可以直接包在主缆上，通过固定螺母螺栓配合将对半分的上下两块索夹固定成为一个整体，装卸方便。

5.3.3 全回转索夹制造应满足《悬索桥索鞍索夹》（JT/T 903-2014）、《大型低合金钢铸件 技术条件》（JB/T 6402-2018）的相关规定，索夹铸造采用整体模型浇铸，铸造过程中，模型的制作、钢水的冶炼、浇注、热处理等关键过程严格按照工艺的要求操作。索夹表面采用环氧富锌底漆防腐，待安装完成后，对索夹进行与桥梁其他钢结构同等的防腐处理。

5.3.4 全回转索夹连接螺栓、螺母等表面应采用电镀锌防腐。

5.3.5 为了验证全回转索夹各项性能满足其工作需求，需对其进行张拉试验，即可旋转自动校位的测试、索夹抗拉性能的测试、主缆冷铸锚性能的测试、吊杆的张拉力测试、索夹水密性试验等。

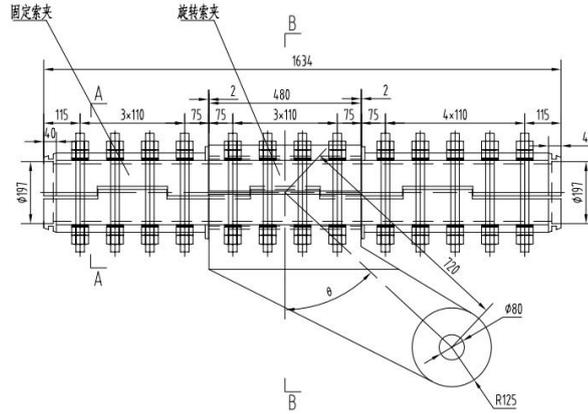


图 5.3-1 全回转索夹构造图

## 5.4 抗滑移拉杆

5.4.1 为解决由于空间缆索系统吊杆与主缆夹角极小易发生钢丝间空隙压密导致索夹滑移的问题，采用抗滑移施工技术。

5.4.2 抗滑移拉杆由连接件及拉杆组件、销轴等组成，连接件固定连接在索夹的两端，拉杆组件位于相邻的两个索夹之间，拉杆组件的端部与连接件连接。主缆顶部的索夹一端通过拉杆组件与桥塔连接，桥塔上设有与拉杆组件连接的连接件。

5.4.3 抗滑移拉杆为 UU 型刚性拉杆，带调节装置，拉杆调节范围为  $\pm 50\text{mm}$ 。

5.4.4 抗滑移拉杆采用 40Cr 材料调质后加工，屈服强度  $\geq 650\text{MPa}$ ，抗拉强度  $\geq 980\text{MPa}$ ，延伸率  $\geq 9\%$ ，断面收缩率  $\geq 45\%$ 。

5.4.5 抗滑移拉杆销轴表面采用电镀锌防腐，拉杆螺纹部分采用防腐油脂防腐，其余零部件采用环氧富锌底漆防腐，待安装完成后，对其进行与桥梁其他钢结构同等的防腐处理。

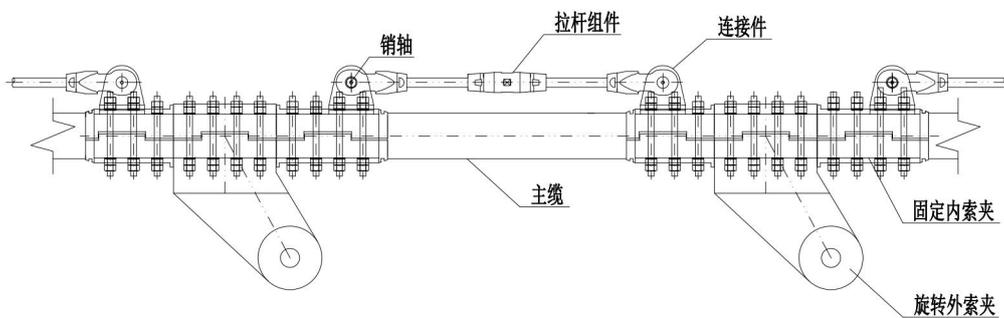


图 5.4-1 抗滑移拉杆连接示意图

## 6 成品主缆及吊杆制造运输

### 6.1 成品主缆制造运输

6.1.1 将镀锌钢丝、锚具及生产所需全部材料进行细致的检验并做好登记及编号，为生产做好充分的准备。

6.1.2 将粗下料的钢丝通过自动下料小车进行下料，预成形并做好牵引头；调整牵引机的牵引速度、扭绞转速及缠带机转速；启动牵引机，使钢丝束经同心左向绞合，缠绕钢丝绞合角严格控制在 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 。

6.1.3 做好挤塑的前期工作，对挤塑设备进行预热，启动挤塑机；使钢丝束穿过挤塑机，并调整牵引速度和挤塑机螺杆转速，在控制好挤塑偏差的同时，确保保护套厚度。

6.1.4 根据索长需要及考虑各种修正后，确定精下料长度。

6.1.5 对主缆锚头的锚杯、耳板、锌铜合金必须按图纸要求进行严格检验合格，在主缆的两端依次穿好锚具及其配件；保证主缆端头和锚杯垂直固定并保持锚头中心应与主缆中心完全一致，插入锚头部分吊杆钢丝呈同心圆散开。将冷铸填料加热到熔化温度，同时将锚杯和灌注容器预热到一定温度，然后将合金注入锚杯，应避免任何振动，浇注应一次完成，不得中断。保证灌注的密实度，并进行锚固性能的顶压检验，检查灌注体的位移量。

6.1.6 在锚具冷铸体表面取三个互成 $120^{\circ}$ 的点，用深度游标卡尺测其距锚杯端面的深度，作好记录和标记。把主缆移入张拉台座，对索进行超张拉，对每一根主缆均应做 $1.3\sim 1.5$ 倍设计荷载的预张拉试验，具体数值参照设计的主缆规格选定。

6.1.7 按相关标准对成品主缆进行严格的出厂检验，成品主缆经最终检验合格后进行包装。

6.1.8 在每根主缆端锚具连接筒处，应设置明确的标识，标明其编号和规格；做好相关主缆技术参数资料的标识工作；包装好的成品主缆外层再加包一层塑料包装布，入成品库，存储期间应做好通风、排水措施。

6.1.9 在运输和装卸过程中，要确保主缆不受损伤和污染，并在具体情况下按防碰撞、防潮的规定要求操作。

### 6.2 吊杆制造运输

6.2.1 吊杆制造及检验应符合本技术规程“5.2 吊杆”的有关规定。

6.2.2 吊杆运输应符合本技术规程“6.1 成品主缆制造运输”的有关规定。

## 7 全回转索夹安装及防腐

### 7.1 施工工艺流程

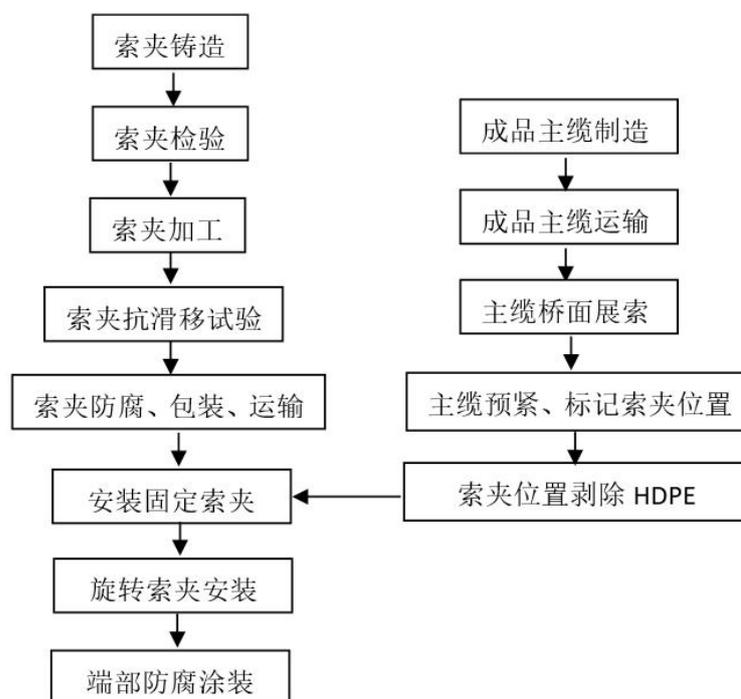


图 7.1-1 全回转索夹安装及防腐施工工艺流程图

### 7.2 全回转索夹制造及运输

7.2.1 旋转索夹由内索夹、整体镶嵌式自润滑轴承、外索夹、高强螺栓组件、密封层等结构组成。

7.2.2 内索夹为上下两瓣对称圆筒结构，两端为紧固段，采用高强螺栓连接，两瓣合扣在主缆钢丝表面，通过高强螺栓的预紧力与主缆包紧固定，中段外表面精加工，表面光洁度高，为自润滑轴承和外索夹安装区。

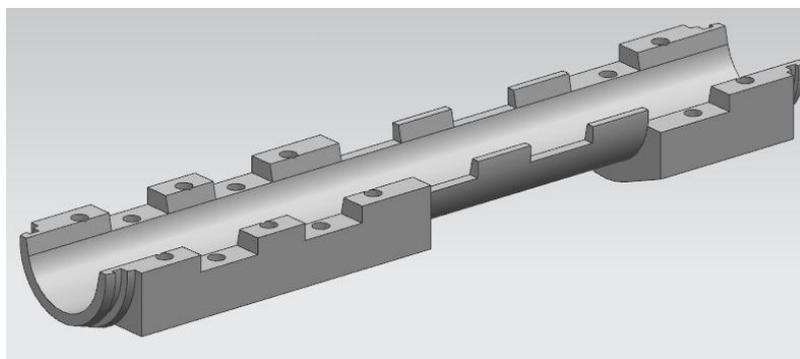


图 7.2-1 内索夹结构图

7.2.3 整体镶嵌式自润滑轴承，其轴套主体材料为两个半圆筒的高力黄铜构

件，耐磨性能较强、强度高、硬度大、耐化学腐蚀性强，筒身开圆形储存孔，填充石墨润滑剂，两瓣轴承紧扣在内索夹组件的中段，形成环向滑动面，轴承极限转度  $V=15\text{m}/\text{min}^{-1}$ ，摩擦因数  $\mu=0.05$ 。

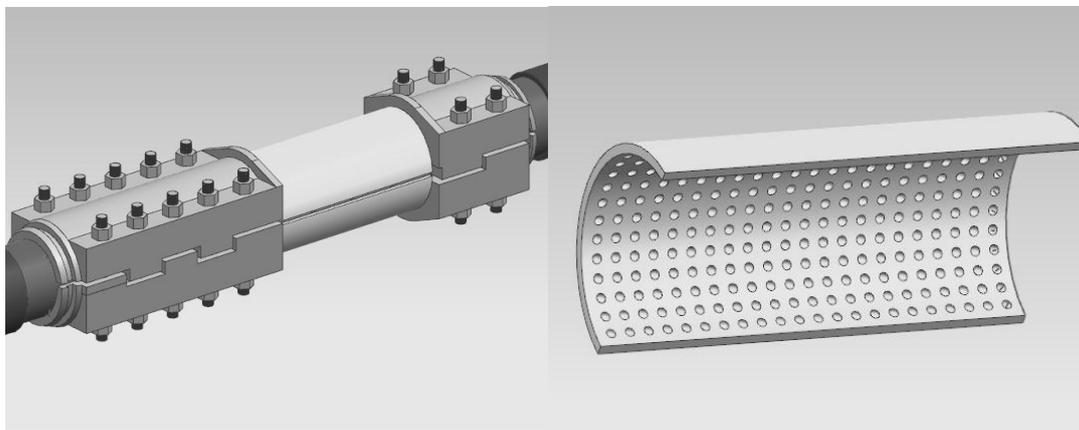


图 7.2-2 自润滑轴承结构图

7.2.4 外索夹下瓣带耳板和销轴孔，连接吊杆。上下两瓣采用高强螺栓连接，紧扣在自润滑轴承外表面，通过自由滑动，从而实现外索夹沿主缆轴线法线平面内  $360^\circ$  旋转。

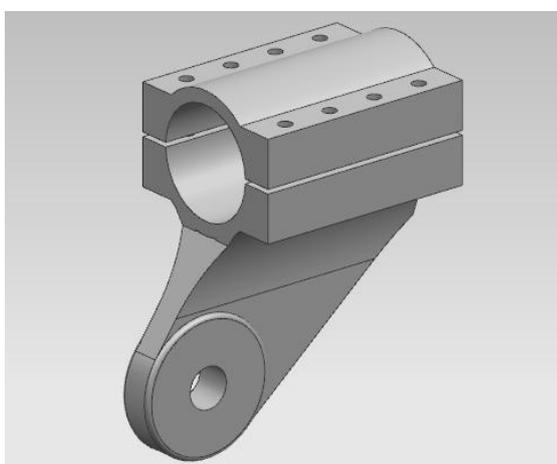


图 7.2-3 外索夹结构图

7.2.5 高强螺栓组件包括高强垫圈、高强螺栓、高强螺母。密封层包括索夹上下两瓣齿口间填充氯丁橡胶条，涂抹聚硫密封膏，涂刷聚氨酯面漆进行防腐。

7.2.6 制造应选定专业化的生产厂家负责，并对制定的专项制造工艺方案进行试制检验，确认其可行性。

7.2.7 根据图纸制作索夹模具，根据索夹铸件的数量及尺寸确定各材料的重量，熔炼制造索夹，铸后清砂，正火处理。

7.2.8 按相关标准对索夹外观（包括但不限于有无砂眼、裂痕等）、尺寸等

各方面进行检验，如发现有变形，缺陷等应及时矫正、补焊，其方法按《大型低合金钢铸件》（JB/T6402-2006）相关规定执行。

7.2.9 因为索夹外形的特殊性，为保证索夹的加工精度，保持索夹加工过程中不产生滑动及位移，制作相关夹持工装；严格按照图纸对索夹进行精车、钻孔。

7.2.10 对加工后的索夹进行检测，索夹的尺寸、外观、表面粗糙度等的检测满足《悬索桥索鞍索夹》（JT/T 903-2014）、《大型低合金钢铸件》（JB/T6402-2006）的相关规定。

7.2.11 为了验证全回转索夹各项性能能满足其工作要求，需对其进行张拉试验。

1 可转动索夹在预紧力下可旋转自动校位的测试，即张拉主缆，吊杆在受力预紧的情况下索夹是否可以发生转动，自动转动到无径向扭矩的工作角度。

2 索夹的抗拉性能测试，索夹在张拉受力的情况下是否发生轴向滑移、锚固是否可靠。

3 主缆冷铸锚性能的测试，冷铸锚锚头内部的环氧砂浆对钢丝的握裹力大小是否满足设计要求。

4 吊杆张拉力测试，张拉到安全索力时，验证其各项性能。

5 索夹水密性试验。

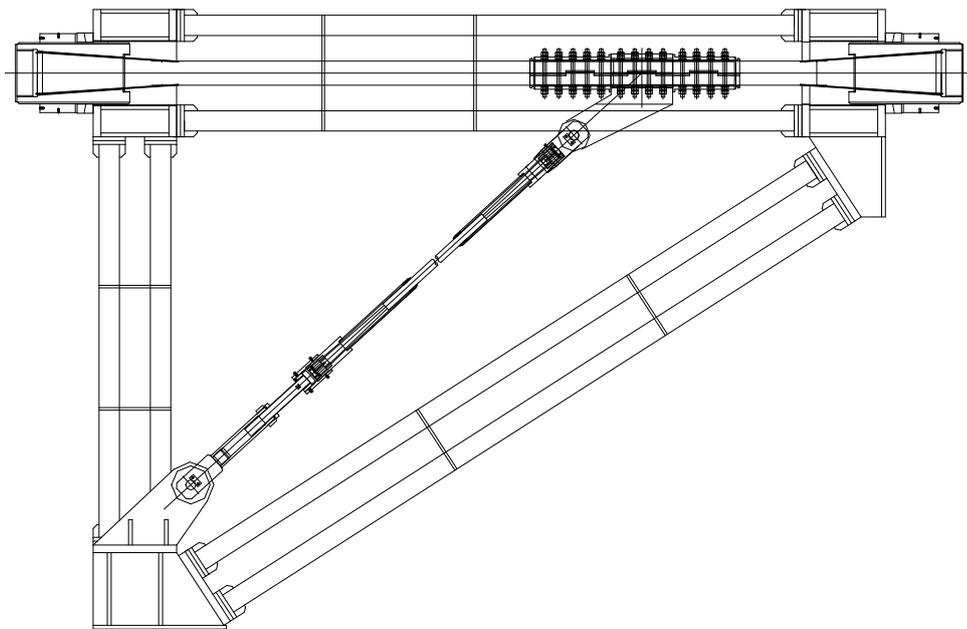


图 7.2-4 张拉试验装置结构图

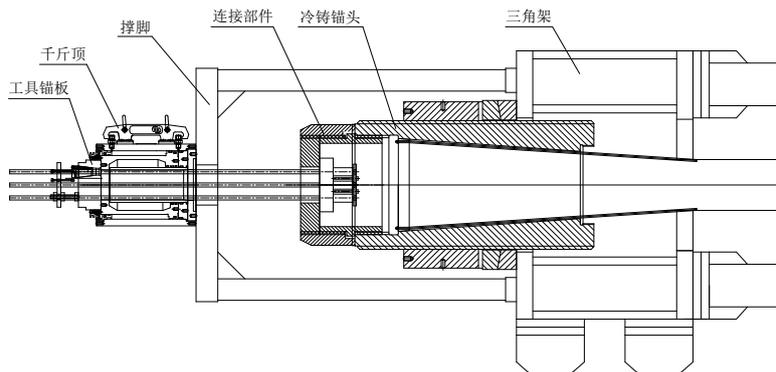


图 7.2-5 主缆张拉工装图

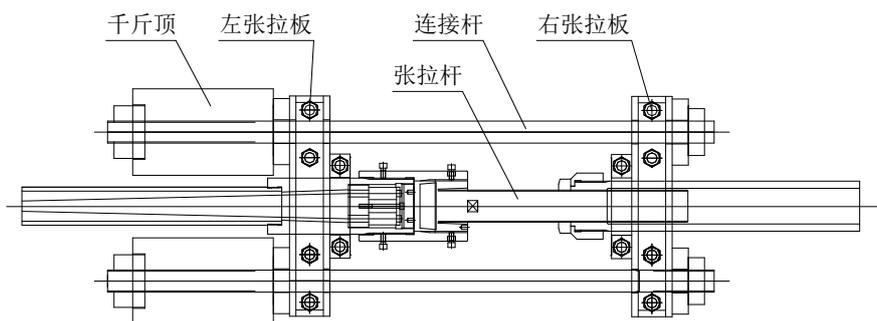


图 7.2-6 吊杆张拉工装图

7.2.12 按照图纸对索夹进行表面防腐处理，对防腐后的索夹的整体外观及防腐涂层进行检验。

7.2.13 对索夹及配件进行严格的出厂检验，包括固定内索夹的外观及防腐涂层的检验，轴承表面不得有刮痕，螺栓、螺母的镀锌层及螺纹不得有损伤等。

7.2.14 索夹及各部件检验合格后进行组装，组装时螺栓、螺母螺纹处涂抹防腐油脂，组装后应对索夹各部件进行再次检查，如发现涂层有刮伤应及时进行补涂。

### 7.3 主缆展索

7.3.1 主缆展索可通过放索转盘和展索机构完成。

7.3.2 放索转盘通过旋转将盘成捆的主缆展开，展列于桥面上。

7.3.3 展索机构主要由油泵、连续千斤顶、张拉反力架、展索支架等构成。张拉反力架固定于桥面上，展索支架为带有滑轮的小车，与主缆接触的部位为外包 PE 的转轴，可减少展索时的阻力，展索支架附有刹车片结构，可根据需要调节走行轮的运动状态。

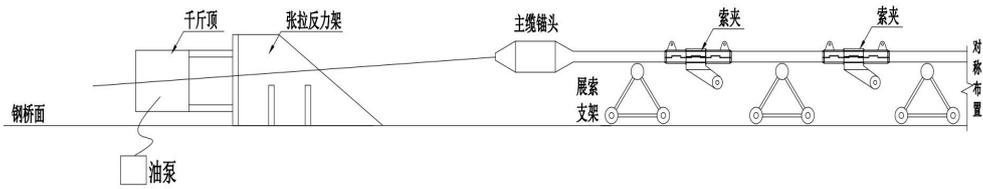


图 7.3-1 展索机构布置图

7.3.4 通过在桥面上布置展索支架、张拉反力架等展索机构，将主缆 10% 预紧力拉直，并检查其索夹标记位置、主缆长度、扭转程度，并做适时调整。

7.3.5 展索前需验算主缆展索（主缆 10% 预紧力）反力对主梁的受力影响。

#### 7.4 全回转索夹安装

7.4.1 全回转索夹安装流程：主缆预紧、标记索夹位置→索夹位置剥除 HDPE →安装内索夹→安装自润滑轴承→外索夹安装→端部防腐涂装。

7.4.2 主缆预紧之后，对缠包带进行剥除，根据主缆上索夹标记点剥除一定长度的主缆 PE，剥除长度为索夹长度外加每侧 10cm 的防腐长度。

7.4.3 使用移动门式支架把索夹吊装到主缆位置，安装固定内索夹，按照三维模拟的偏转角，参照主缆标记线，对固定内索夹角度进行调整，然后使用特制工装对螺栓进行预紧，预紧分两级进行，第一次预紧至 50% 设计预紧力，第二次预计至 100% 设计预紧力，紧缆要求以内索夹圆柱度为主，索夹拉力在  $\pm 6\%$  范围内即可。

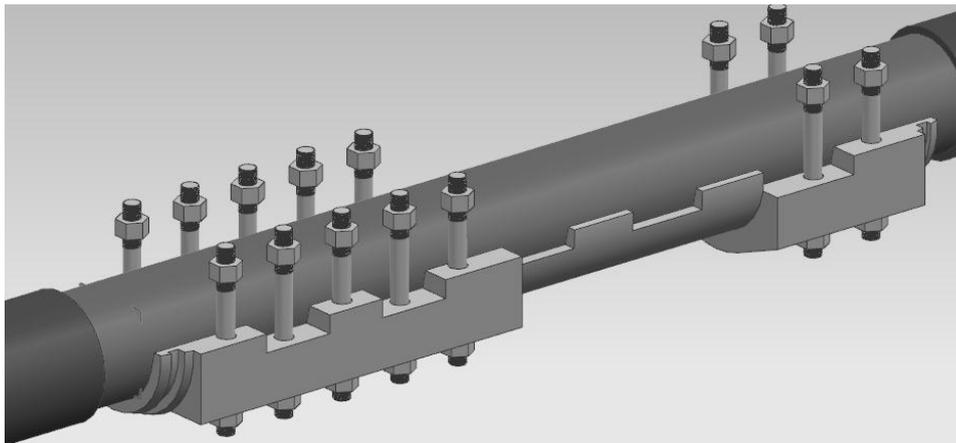


图 7.4-1 内索夹安装示意图一

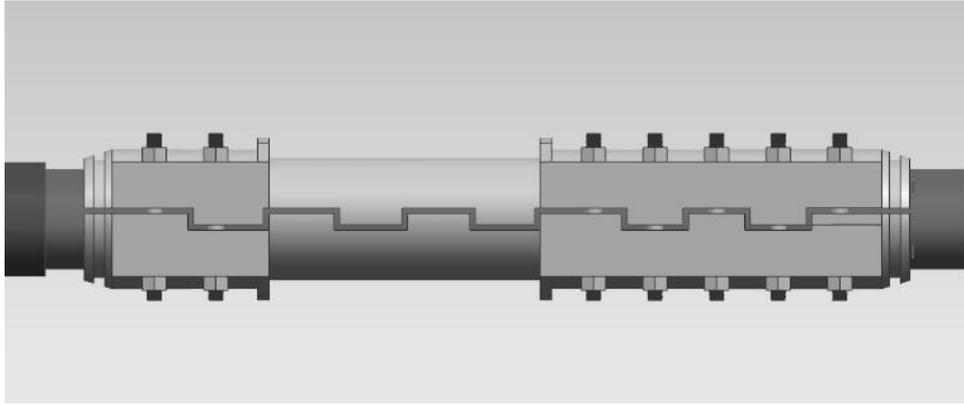


图 7.4-2 内索夹安装示意图二

7.4.4 连接转轴圆柱度确定合适后，把自润滑轴套和旋转外索夹安装到连接转轴上，预紧一定力后，转动索夹，观察是否转动正常，无异常后，把索夹螺杆预紧至设计值，最后转动索夹，观察有无异常，若转动不正常，则查明原因，是否需要更换调整垫块。转动正常后，拆下旋转外索夹，把连接转轴位置做防腐处理。防腐处理完成后，再把旋转外索夹安装到连接转轴上，把索夹预紧至设计索力。

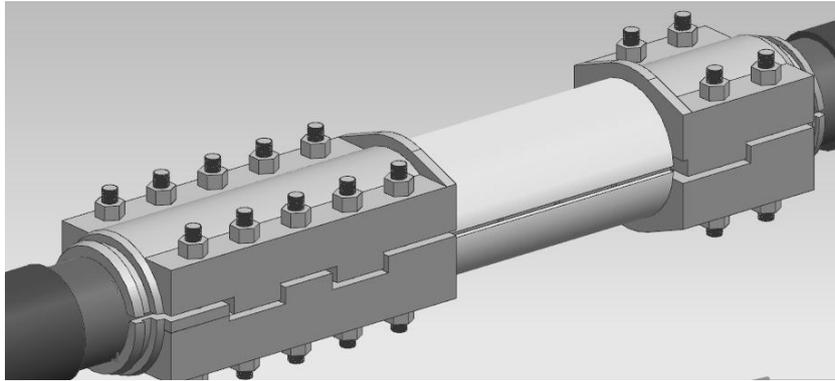


图 7.4-3 自润滑轴承安装示意图

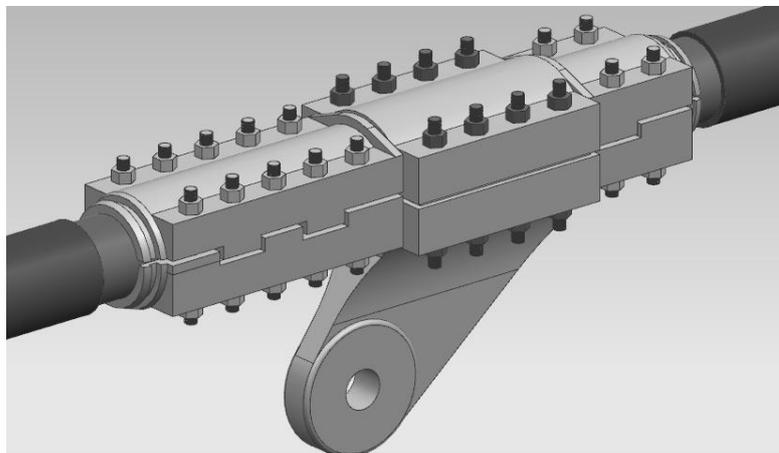


图 7.4-4 外索夹安装示意图

7.4.5 索夹安装时应复核其编号，对号入座，并控制固定索夹的线型。索夹螺栓紧固由中间向两边对称进行。同一索夹相对应两侧的螺栓应同步紧固，保证螺栓受力均匀，重复紧固直至所有索夹螺栓轴力满足设计要求，并做好紧固顺序的详细施工记录。

7.4.6 索夹安装允许误差：纵向位置：±10mm；横向扭转：>6mm。

7.4.7 索夹端部主缆钢丝剥除 PE 防腐涂装应符合以下要求：

1 清洁主缆剥除 PE 的钢丝表面。

2 涂一道磷化底漆。

表 7.4-1 磷化底漆及环氧底漆技术指标

序号	性能项目		技术指标		试验方法
			磷化底漆	环氧底漆	
1	细度 (μm)		≤35	≤60	GB/T 1724
2	干燥时间 (h)	表干	≤0.25	≤2	GB/T 1728
		实干	≤24	≤24	
3	柔韧性 (mm)		1	1	GB/T 1731
4	耐冲击性 (cm)		50	50	GB/T 1732
5	附着力 (级)		1	1	GB/T 1720
6	耐水性		3h 漆膜不起泡、不剥落、无锈蚀	168h 漆膜不起泡、不剥落、无锈蚀	GB/T 1733
7	耐盐水性			GB/T 9274	

3 涂不干性密封胶：以填满缝隙为准。密封膏涂抹完毕后，要注意保护，以免沾上过多灰尘污物，并及时进行缠丝作业。

4 缠 φ4mm 镀锌软钢丝。

5 清洁钢丝表面。

6 涂一道磷化底漆。

7 缠高密封胶膜。

8 涂聚硫密封胶：涂完第二道环氧底漆 4h~7h 内刮涂硫化型橡胶密封剂。按配比准确称量密封剂各组分，用三辊研磨机或其他专用混合工具混合均匀。用专用刮刀将密封剂刮涂到主缆缠丝表面，共刮涂 3~4 道，每道间隔应在 8h 以上。最

后一道整形形成基本均匀光滑表面。

9 涂刷三道聚氨酯面漆：刮涂最后一层密封剂后 8h~48h 内刷涂丙烯酸聚氨酯面漆。用搅拌器充分搅拌面漆各组分至均匀，按规定比例配入固化剂，并用搅拌器搅拌混合均匀。共刷涂丙烯酸聚氨酯面漆 3 道，每道面漆涂装间隔时间为 4h~30d。面漆的颜色应符合色卡要求。

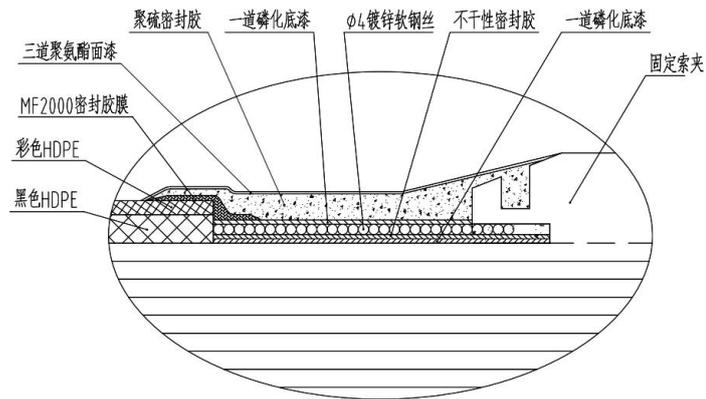


图 7.4-5 主缆钢丝剥除 PE 防腐示意图

7.4.8 固定内索夹环缝、对接缝的密封涂装，先采用非硫化不干性密封膏对其内缝进行填充密封，最后填充密封橡胶条，最后使用聚硫防腐密封胶嵌缝，并整形光滑，对表面进行涂装。

7.4.9 固定内索夹防腐固化后，处理干净旋转外索夹位置，然后涂抹一层防腐油脂，再安装自润滑轴套，然后把外索夹安装到自润滑轴套上，张拉外索夹螺杆至预紧力，张拉完成后索夹转动良好，最后对内外索夹表面喷涂两道聚氨酯面漆。

## 8 缆索体系整体提升安装

### 8.1 施工工艺流程

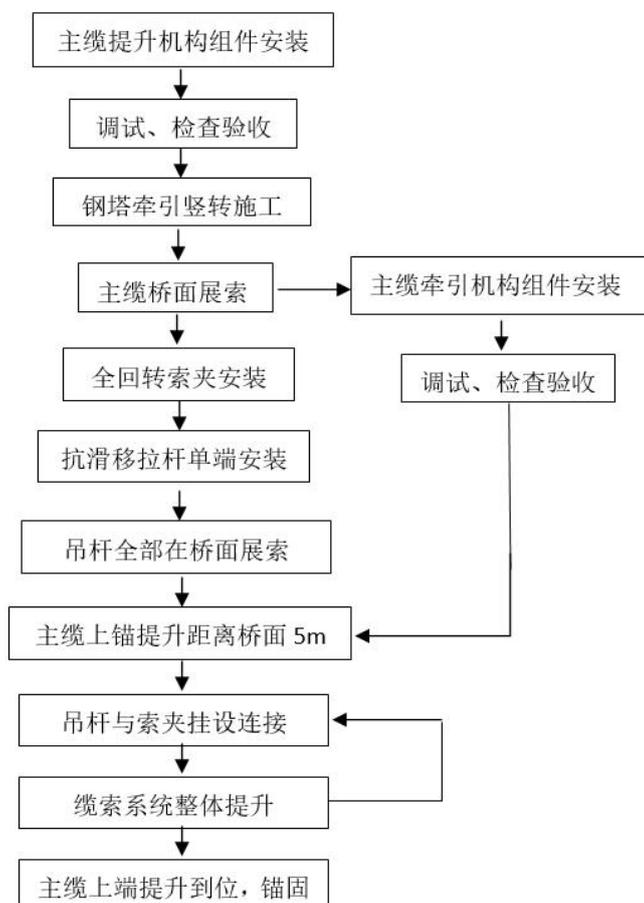


图 8.1-1 缆索体系整体提升施工流程图

### 8.2 主缆牵引机构组件安装

8.2.1 牵引机构主要由锥形导向套、穿心式限位板、夹片锚以及牵引用钢绞线组成。

8.2.2 锥形导向套通过螺栓与主缆锚头固定，起到导向作用，便于主缆更容易安装进入索导管。穿心式限位板表面设有螺纹，与主缆锚头的内置螺纹匹配，限制锚头内夹片锚的移动。牵引用钢筋线采用疏导板定位，设置 3-4 道，防止钢绞线发生缠绕。

8.2.3 主缆锚头的锥形导向套，采用 2 瓣构造，本体、与锚头端面采用螺丝连接。

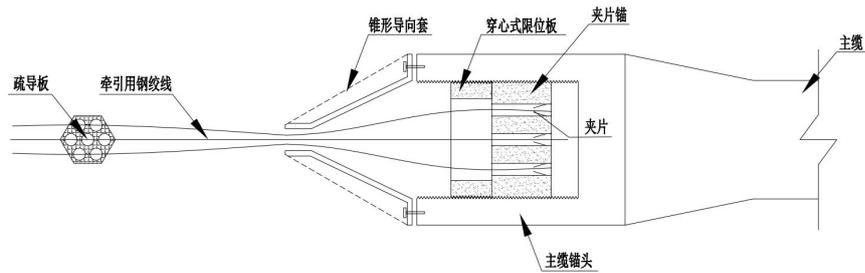


图 8.2-1 主缆牵引机构结构示意图

### 8.3 主缆提升机构组件安装

8.3.1 提升机构由同步中央控制台、中央电动油泵、机械自锁盘、2 台连续千斤顶、撑脚及操作平台构成。

8.3.2 钢塔顶部预留检修舱门，正对主缆锚头，舱门做防水设计。

8.3.3 连续千斤顶从舱门吊装，安装在主缆锚垫板上。依次安装主缆工作锚圈、撑脚以及千斤顶。

8.3.4 千斤顶及钢绞线型号可根据提升的主缆、索夹、吊杆自重进行技术选择，考虑 5 倍的安全系数。千斤顶顶部配有机械自锁盘，保证了牵引过程中的安全性。

8.3.5 连续千斤顶可采用单项往复式或双顶交替式，可以实现连续牵引。为满足长时间持荷要求，均应配机械制锁盘。

8.3.6 塔顶操作平台可由型钢焊接而成，确保高空作业的安全性。

8.3.7 主缆牵引到位后，即锚头穿出塔顶锚固面，带上工作锚圈，至锚头平扣。

8.3.8 人工拆除导向套，为方便操作，先切除多余长度钢绞线。向塔内方向拽拉钢绞线，松脱夹片，取出钢绞线和梳导板。反向旋转，取出穿心式限位板、夹片锚组件，盖上锚头保护盖板。

8.3.9 主缆提升机构组件在桥塔施工时进行安装，主缆提升完成后利用塔吊一次性拆除。

8.3.10 高空作业安全相关管理规定：

1 高处作业中的安全标志和各种用于高处作业的设施，使用前应检查。

2 高处作业中所用的物料应堆放平稳，不得妨碍通道。高处拆下的物件、余料不得向下抛掷。

3 高处作业必须系安全带，安全带应挂在牢固的物件上，严禁在一个物件上

拴挂几根安全带或一根安全绳上拴几个人；临时作业应设置防护围栏和安全网；悬空作业应有可靠的安全防护设施。

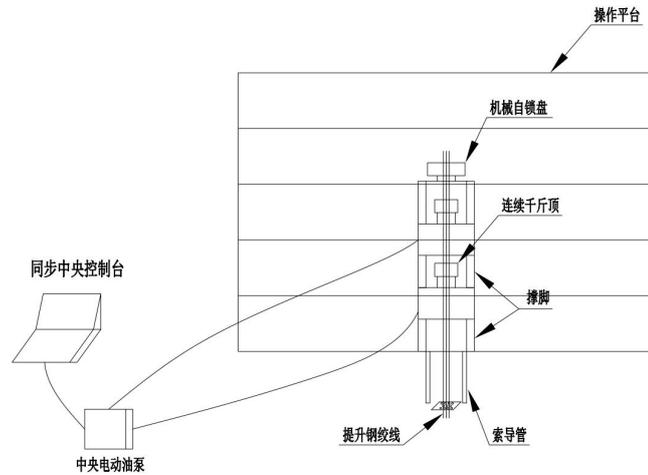


图 8.3-1 主缆提升机构布置示意图

#### 8.4 缆索系统整体提升

8.4.1 缆索系统整体提升前，应进行一次全面系统的测量，包括对锚跨、边跨、主跨的实际水平距离，主缆锚面中心高程、吊杆桥面耳板顺桥向中心线处高程等进行测定，以及对桥塔垂直度进行观察和测量。

8.4.2 在桥面主缆上将索夹安装完成后，再安装抗滑拉杆（仅在索夹端连接，拉杆之间先预拼）。

8.4.3 利用在塔顶带有机械自锁机构的连续千斤顶牵引钢绞线将主缆、索夹整体提升。

8.4.4 主缆提升距离桥面 5m 时，利用高空作业车配合汽车吊机对吊杆进行安装，通过提升机构对缆索系统（主缆+索夹+吊杆）进行提升，提升一定高度后，再对吊杆进行安装、提升，重复进行，直至主缆入上锚。

## 9 主缆及吊杆牵引入锚

### 9.1 施工工艺流程

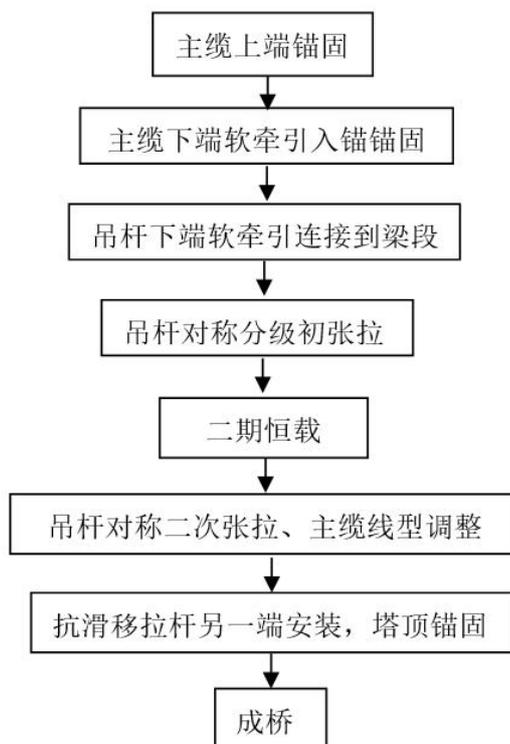


图 9.1-1 主缆及吊杆桥面牵引入锚施工流程图

### 9.2 主缆及吊杆桥面牵引入锚

9.2.1 主缆上端提升到位后，根据设计主缆长度，把螺母旋转到合适位置，主缆下端锚具用软牵引钢绞线牵引往锚固位置进行安装。

9.2.2 吊杆从两端向中间对称牵引入锚，吊杆下端叉耳先装到桥面耳板上，然后分别在两端调节螺套和吊杆锚具上安装一个张拉支架，在两个支架间安装两束钢绞线，通过千斤顶、撑脚和锚具反复倒顶预紧，把吊杆往下端锚固点牵引，直到吊杆调节螺套扭到安全距离位置，保持吊杆最大长度，方便其余吊杆安装，避免其余吊杆安装时牵引力过大。

### 9.3 吊杆张拉及主缆线形调整

9.3.1 为保证主缆的线形、角度等满足设计要求，通过千斤顶多级反复调整吊杆长度和索力，使主缆线形接近设计线形，同时也使索夹缓慢自调角度。根据实时索力计算吊杆的延伸量，使所有的吊杆标记点都到达预定位置后，此时主缆线形基本接近设计线形。

9.3.2 吊杆张拉要求必须根据监控提供张拉顺序及张拉力进行张拉，以控制主缆线形为主，兼顾索力。吊杆张拉按照设计要求分阶段 25%-50%-75%-100%多次张拉调索。张拉时监控需注意观测桥面、桥塔的变形，桥面向上的位移控制，发生异常停止张拉。

9.3.3 桥面二期恒载完成以后，对所有吊杆进行二次张拉，张拉按主缆线形控制为主，兼顾吊杆索力。

## 10 索夹抗滑移施工

### 10.1 施工工艺流程

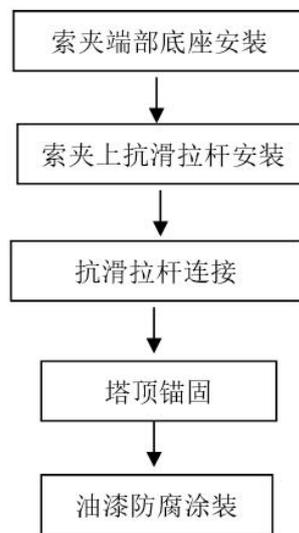


图 10.1-1 抗滑拉杆安装流程图

### 10.2 索夹抗滑移施工

10.2.1 展索时索夹安装完成时，对抗滑拉杆进行安装，抗滑拉杆只在索夹端连接，拉杆之间先不连接。

10.2.2 缆索系统整体提升过程中，利用高空作业车人工对抗滑拉杆之间进行连接。

10.2.3 通过在塔顶上锚头装饰板下方焊接耳板，将钢拉杆和索夹整体与桥塔锚固，减少索夹滑移的风险，提高结构安全度。

## 11 施工监控

### 11.1 主梁施工标高的确定

11.1.1 应采用提前收集到的结构实际参数（材料弹模、容重、几何尺寸等），通过可靠的计算分析得到主梁的施工标高。

11.1.2 在主梁施工过程中，应严格控制施工线形，主梁施工标高设置按下式计算确定：

$$H_n = H_0 + f_n + f_i + f_x + f_l$$

式中： $H_n$ —控制点处施工标高（m）；

$H_0$ —控制点处设计标高（m）；

$f_n$ —控制点处施工累计变形值（m），累计变形向下，取正值，累计变形向上，取负值；

$f_i$ —控制点处支架弹性变形（m）；

$f_x$ —控制点处收缩徐变值（m）；

$f_l$ —控制点处静活载挠度的 1/2（m）；

### 11.2 主缆及吊杆无应力长度的确定

11.2.1 在确定主缆无应力长度前，应对主缆锚固点实际位置进行测量确认，同时按照实际采用钢丝材料的面积与弹性模量计算主缆的无应力长度。

11.2.2 应根据主梁实际安装线形，同时按照实际采用钢丝材料的面积与弹性模量计算吊杆的无应力长度。

11.2.3 主缆及吊杆在工厂制作时，如加工温度与设计温度不一致，应对主缆及吊杆无应力长度进行温度修正。

### 11.3 整体提升施工监控内容

11.3.1 整体提升工作开展前应根据工程实际情况编制可行的施工监控方案，监控方案应包括构件应变测试内容及方法、变形测试内容及方法、索力测试内容及方法，并确定测试频率及控制指标，制定预警措施。

11.3.2 需根据主缆空间位置的变化对锚固于桥塔的拉杆及索夹与索夹之间的拉杆内力进行验算。

11.3.3 应根据理论计算结果，在桥塔、主梁等关键受力构件选取控制截面布设应变和变形观测点，在整体提升过程中按照预先制定的施工监控方案进行施工控制。

11.3.4 对于采用竖转方式施工的主塔，应对主塔最终姿态进行严格控制，塔顶锚点坐标在水平面内偏离理论值不应超过 10mm，在竖直平面内偏离理论值不应超过 15mm。

#### 11.4 吊杆张拉控制

11.4.1 应在充分考虑吊杆承载力及索夹抗滑移承载力的前提下确定吊杆张拉顺序及张拉力，吊杆在张拉阶段承载力安全系数应不低于 1.5，索夹抗滑移安全应不低于 2.0。

11.4.2 吊杆张拉可分多轮进行，吊杆实际成桥内力与理论成桥内力误差不应超过 ±10%。

11.4.3 可通过适当调整吊杆内力来调整梁面标高，但不应片面追求桥面达到设计标高而忽视结构受力。

## 12 施工质量检验

12.0.1 成桥后需对主缆、吊杆及索夹的防腐涂装进行检查验收。

12.0.2 成品主缆安装验收标准

表 12-1 成品主缆安装验收标准

序号	项目	允许误差 (mm)
1	成品主缆锚固点高程	±10
2	索管孔道位置	10, 且两端同向
3	成品主缆索力 (kN)	符合设计和施工控制要求
4	索力差	±2.5%
5	主缆线型	符合设计要求

12.0.3 吊杆安装验收标准

表 12-2 吊杆安装验收标准

序号	项目	允许误差 (mm)
1	吊杆锚固点高程	±10
2	索管孔道位置	10, 且两端同向
3	吊杆索力 (kN)	符合设计和施工控制要求
4	索力差	±2.5%

12.0.4 全回转索夹验收标准

表 12-3 全回转索夹制造验收标准

序号	项目	精度要求
1	长度 (mm)	±2
2	内径 (mm)	±2
3	螺孔位置度 (mm)	±1.5
4	螺孔直径公差 (mm)	±2
5	螺栓孔直线度	≤L/500
6	壁厚度 (%)	0~5
7	不圆度 (mm)	2
8	平直度 (mm)	1
9	索夹孔内的表面粗糙度 (μm)	Ra=12.5~25
10	索夹重量的容许误差 (%)	<±8

表 12-4 全回转索夹安装验收标准

序号	项目	允许误差 (mm)
1	纵向安装位置	±10
2	螺栓张拉力 (kN)	符合设计和施工控制要求
3	张拉力差	±2.5%
4	索夹端部防腐	符合设计和施工控制要求

## 用词说明

1 本技术规程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《×××××》(×××)的有关规定”。
- 2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本技术规程第×章的有关规定”“应符合本技术规程第×.×节的有关规定”“应按本技术规程第×.×.×条的有关规定执行”。

## 引用标准名录

- 1 《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)
- 2 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》(CJJ 2-2008)
- 3 《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1-2017)
- 4 《公路悬索桥吊索》(JT/T449—2021)
- 5 《起重机设计规范(2008年版)》(GB 3811-2008)
- 6 《重要用途钢丝绳》(GB 8918—2006)
- 7 《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)