**中 国 公 路 建 设 行 业 协 会 标 准T/CHCA xxx-202x**

**地锚式悬索桥钢桁梁**

**施工技术规范**

**Technical Standard for Steel Truss Beam Construction of Earth-anchored Suspension Bridge**

（征求意见稿）

202x-xx-xx发布 202x-xx-xx实施

**中国公路建设行业协会** 发 布

**前 言**

根据中路建协技发〔2023〕91号关于下达〈预应力智能张拉和压浆施王技术标准〉等13项协会标准的编制通知的要求，由中交第二航务工程局有限公司作为主编单位，承担对《地锚式悬索桥钢桁梁施工技术规范》的编制工作。

本标准在编制过程中，标准编制组基于地锚式悬索桥钢桁梁施工经验和现有工艺进行编制，并参考有关国际、国内、行业和团体的先进标准，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿，以后可结合国内外施工工艺的发展进行补充、修订。

本标准主要技术内容包括：总则、规范性引用文件、术语、管理要求、钢桁梁节段现场拼装、节段转运及临时存放、钢桁梁节段吊装、钢桁梁体系转换与合龙、 施工控制 、安全环保要求和附件。

本规范的管理权和解释权归中囯公路建设行业协会，日常管理和解释由中交第二航务工程局有限公司负责，请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本标准日常管理组，联系人：彭志辉，电话：15671608368；电子邮箱：496143661@qq.com，以便下次修订时参考。

主编单位：中交第二航务工程局有限公司

主要参编人员：彭成明 彭志辉 郝聂冰 张 平 彭 鹏 徐 洲

彭高登 杨凯旋 汪仁威 路国梁 徐 鑫 易 飞

杨建平

参与审查人员：

**目 次**

1 总则 1

2 规范性引用文件 2

3 术语 3

4 管理要求 5

4.1 技术管理 5

4.2 构件及材料管理 6

4.3 设备管理 9

5 钢桁梁节段现场拼装 13

5.1 场地布置 13

5.2 杆件存放 14

5.3 钢桁梁拼装 14

6 节段转运及临时存放 15

7 钢桁梁节段吊装 17

7.1 梁段荡移 17

7.2 梁段滑移 18

7.3 浮吊吊装 20

7.4 缆载吊机吊装 21

7.5 分体式吊机吊装 21

7.6 缆索起重机吊装 22

7.7 钢桁梁铰接与刚接 23

8 钢桁梁体系转换与合龙 25

8.1 无索区钢桁梁体系转换 25

8.2 钢桁梁合龙 26

9 施工控制 28

10 安全、环保要求 31

10.1 安全防护措施 31

10.2 环境保护措施 32

附件一：缆载吊机吊装检查记录表 34

附件二：缆索起重机吊装检查记录表 36

附件三：分体式吊机吊装检查记录表 38

附件四：钢桁梁安装检查验收表 40

# 总则

**1.0.1** 为规范地锚式悬索桥钢桁梁施工，做到技术先进、经济合理、绿色环保，特制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于地锚式钢桁梁悬索桥加劲梁的组拼、转运、临时存放、吊装、体系转换、合龙及施工控制。主要就钢桁梁常用工法进行规定，不含桥面吊机散拼、轨索移梁等特殊工法。

**1.0.3** 地锚式悬索桥钢桁梁施工除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

# 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50755 钢结构工程施工规范

GB 50661 钢结构焊接规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范

GB 50017 钢结构设计规范

GB/T 3811 起重机设计规范

GB 28756 缆索起重机

GB/T 5905 起重机试验试验规范和程序

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

JTG/T D65-05 公路悬索桥设计规范

JTG F801 公路工程质量检验评定标准

JT/T 278 船舶起重机安全技术操作规程

JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范

JTG F90 公路工程施工安全技术规范

JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程

Q/CR 9211 铁路钢桥制造规范

TCSCS 009 钢结构滑移施工技术标准

Q/CCCC GL208 缆索起重机施工技术规程

# 术语

**3.0.1** 地锚式悬索桥 earth-anchored suspension bridge

通过索塔悬挂并锚固于两岸锚碇、以缆索（或钢链）作为上部结构主要承重构件的桥梁体系。

**3.0.2** 大节段钢桁梁 large section steel girder

由主桁架、桥面系组成的钢梁节段，采用整节段方式进行运输及吊装。

**3.0.3** 索鞍预偏量 pre-bias of cable saddle

为使空缆状态下索鞍两侧主缆水平分力相等，在主索鞍安装时向边跨设置的一定的预偏量及散索鞍安装时向锚跨设置的预偏角。

**3.0.4** 索鞍顶推 saddle pushing

为使成桥时主索鞍中心和桥塔中心线重合，在主梁的架设过程中对主索鞍进行的多次顶推过程。

**3.0.5** 主缆滑移 main saddle sliding

由于索鞍两侧主缆不平衡力超过主缆与索鞍之间的摩擦力而引起两者产生相对位移的现像。

**3.0.6** 分体式吊机 split type crane

一种悬挂在悬索桥主缆上，通过多点同步提升方式解决吊装需求的提升设备，采用免横梁结构设计，适应性强。单台提升设备结构一般可分为钢绞线及提升油缸集群（承重部件）、液压泵站（驱动部件）、传感检测和计算机控制（控制部件），以及远程监视系统等几个部分。

**3.0.7** 自行式模块运输车 self-propelled modular transporter

一种主要应用于重、大、高、异型结构物运输的特种车辆，其优点主要是使用灵活、装卸方便，载重量大。

**3.0.8** 梁段刚接 permanent connection of beam segment

梁段刚接是指悬索桥采用整体大节段吊装时，梁段间进行永久连接，通常为焊接、栓接或栓焊结合。

**3.0.9** 窗口刚接法 the method of rigid connection in window period

一种钢桁梁悬索桥梁段吊装过程中节段间的刚接方式，梁段吊装过程中线形慢慢由凹形过渡到凸形，下弦杆由张口状态逐步过渡到抵拢状态，钢桁梁逐渐抵拢的状态就是栓接的时机（即窗口期），此时可以实现铰接至刚接的无应力转换。

**3.0.10** 体系转换 system transformation

体系转换是指多跨悬索桥塔区或过渡墩处无索梁段荷载转移至相邻有吊索梁段承担，或单跨悬索桥塔区无索梁段荷载转移至相邻有吊索梁段承担的过程。

# 管理要求

## 技术管理

**4.1.1** 施工前应对施工图进行审查，重点包括下列内容：

1 各类型散拼节段杆件尺寸、重量及组成。整节段吊装钢桁梁节段分类，各类型节段数量、尺寸、重量。节段间临时铰接、永久刚接方案。

2 高强螺栓、竖向支座、阻尼器、横向抗风支座、抗风稳定板、检查车等。

3 钢桁梁制造、安装技术要求。

**4.1.2** 施工前应根据结构特点、建设条件，编制地锚式悬索桥钢桁梁施工专项施工方案并进行评审，重点包括下列内容：

1 工程概况。

2 施工总体部署。

3 关键施工设备、重要临时结构。

4 主要施工工艺包括：钢桁梁拼装、转运及临时存放、吊装、钢桁梁体系转换与合龙。

5 质量、安全及环境保护等保证措施。

**4.1.3** 针对结构体系复杂或处于恶劣环境地区悬索桥，应就钢桁梁安装顺序、方法和工艺进行专题研究。

**4.1.4** 针对塔区梁段体系转换、钢桁梁合龙等复杂工序，应编制实施细则并与监控单位充分沟通。

**4.1.5** 设计图纸中如未给出铰接结构设计详图，应在钢桁梁制造前，与监控单位、设计单位共同确定铰接结构设计详图。

**4.1.6** 塔区支架设计高度应结合施工工艺与监控单位、临时结构设计单位共同确定。

**条文说明**

塔区钢桁梁为无吊装梁段，涉及体系转换、顶落梁施工、支座安装等工序，较为复杂。应结合施工工艺并通过有限元计算分析确定合理支架高度。支架过高、过低都将增加施工难度，甚至无法施工。

**4.1.7** 索鞍顶推设备选型应与监控单位共同确定。

## 构件及材料管理

**4.2.1** 钢桁梁出厂前应进行节段称重，并由厂家提供梁段重心位置。

**条文说明**

钢桁梁采用单台缆载吊机起吊时，上下游均只有一个吊点，为保证吊装过程梁段不发生倾斜，吊点位置需在钢梁重心位置。

**4.2.2** 钢桁梁散拼杆件进场验收应符合以下规定：

1 钢桁梁杆件应按试装图进行厂内试拼装，未经试拼装检验合格，不得运输至施工现场。

2 钢桁梁杆件运输至施工现场后，应按设计文件对出厂提供的技术资料和实物进行检查核，发现有不允许的缺陷时，应由制造单位整修后才能安装。

3 钢桁梁杆件基本尺寸应满足《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）规范要求，同时满足以下规定：

表4.2-1 钢桁梁杆件现场验收检查指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | | 允许偏差（mm） | 说明 |
| 1 | 主桁构件 | 高度 | ±1 |  |
| 2 | 宽度 | ±1 |  |
| 3 | 长度 | ±4 |  |
| 4 | 弯曲 | ≤2（L≤4000） |  |
| 5 | ≤3（4000＜L≤16000） |  |
| 6 | ≤5（L＞16000） |  |
| 7 | 纵梁 | 高度 | ±1 |  |
| 8 | 翼缘板宽度 | ±1 |  |
| 9 | 横梁 | 长度 | ±0.5 |  |
| 10 | 旁弯 | ≤3 |  |
| 11 | 上拱度 | +3，0 |  |

**4.2.3** 钢桁梁节段进场验收应检查出厂质量检验保证资料，并应满足《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）规范要求，同时满足以下规定：

表4.2-2 加劲梁进场验收检查指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查内容 | 允许偏差 | 备注 |
| 1 | 节段长度（mm） | ±2 |  |
| 2 | 节段高度（mm） | ±2 |  |
| 3 | 节段宽度（mm） | ±3 |  |
| 4 | 对角线长度差（mm） | ±3.5 |  |
| 5 | 桁片平面度（mm） | ≤3 |  |
| 6 | 拱度（mm） | +3 |  |
| 7 | 焊缝尺寸（mm） | 满足设计要求 |  |
| 8 | 焊缝探伤 | 满足设计要求（如设计未要求，参考JTG/T 3650） |  |
| 9 | 高强螺栓扭矩 | ±10% |  |

**4.2.4** 约束体系应满足以下基本要求：

1 悬索桥约束体系主要包括竖向支座、横向抗风支座、阻尼装置，各部件产品参数需满足设计要求，设计无要求时应满足《桥梁球型支座》（GB/T 17955）、《公路桥梁盆式橡胶支座》（JTG 391）、《桥梁用黏滞流体阻尼器》（JT/T 926）等行业规范要求。

2 采购时应选择可靠的供应商，保证产品质量。

**4.2.5** 高强螺栓的采购、运输及保管等应满足以下基本要求：

1 高强螺栓采购时应选择可靠的供应商，保证产品质量稳定。

2 高强螺栓材质、技术要求应满足设计规定，设计无要求时，应该满足《钢结构高强度螺栓连接技术规程》（JGJ 82）规范要求。

3 高强度螺栓连接副应按批配套进场，并附有出厂质量保证书。高强度螺栓连接副应在同批内配套使用。

4 高强度螺栓连接副在运输、保管过程中，应轻装、轻卸，防止损伤螺纹。

5 高强度螺栓连接副应按包装箱上注明的批号、规格分类保管；室内存放，堆放应有防止生锈、潮湿及沾染脏物等措施。高强度螺栓连接副在安装使用前严禁随意开箱。

6 高强度螺栓连接副的保管时间不应超过6个月。当保管时间超过6个月后使用时，必须按要求重新进行扭矩系数或紧固轴力试验，检验合格后，方可使用。

**4.2.6** 焊接材料应满足以下基本要求：

1 焊接材料应满足设计规定，设计无要求时，应该满足《钢结构焊接规范》（GB 50661）规范要求。

2 焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》（GB/T 5117）、《低合金钢焊条》（GB/T 5118）的有关规定。

3 焊丝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）及《碳钢药芯焊丝》（GB/T 10045）、《低合金钢药芯焊丝》（GB/T 17493）的有关规定。

4 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》（GB/T 5293）、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》（GB/T 12470）的有关规定。

**4.2.7** 临时索夹设计、制造及使用应符合以下规定：

1 临时索夹宜优先采用铸件，也可使用焊接件。

2 临时索夹应由具有资质的专业单位进行专项设计，满足《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05）规范要求。

3 临时索夹制造应委托专业钢结构加工单位进行加工制造，以确保临时索夹加工质量满足设计要求。

4 焊接临时索夹制造宜进行现场监工，所有焊缝均采用磁粉探伤，熔透焊缝采用超声波探伤，焊缝质量应满足设计要求，并符合《钢结构焊接规范》（GB 50661）规范要求，焊接完成后应采用高温回火方式消除焊接应力。

5 临时索夹使用过程中应对结构受力进行重点关注，及时发现异常情况。

**4.2.8** 钢桁梁施工临时支架设计、施工应符合以下规定：

1 临时支架应由具有资质的专业单位设计。应按现行国家标准《钢结构设计标准》（GB 50017）、《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）等标准对临时支架进行设计。

2 滑移支架上的作用应包括永久作用、可变作用、预应力作用和偶然作用，计算强度和稳定性时，还应考虑梁段滑移启动或制动引起的滑移方向的冲击作用，冲击作用设计值应乘以动力系数，动力系数不应低于1.1。

3 临时支架所需钢管、型钢等材料外观质量良好，锈层厚度满足设计要求。

4 支架吊装作业应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）、《公路工程施工安全技术规范》（JTG F90）的规定。

5 临时支架施工焊接质量、精度应满足设计要求，并符合《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205）的要求。

## 设备管理

**4.3.1** 钢桁梁吊装设备的选型可参考以下规定：

1 缆载吊机主要适用于跨江河地区悬索桥钢桁梁吊装，钢桁梁节段可直接通过船舶整体运输至桥位。

2 缆索起重机主要适用于山区悬索桥钢桁梁吊装。

3 分体式吊机主要适用于空间主缆、主缆比梁面低等特殊工况吊装。

4 浮吊可用于适合抛锚定位、满足通航要求区域钢桁梁卸船及吊装。

**条文说明**

山区钢桁梁悬索桥不具备通航运输条件，一般采用散件进行运输，在桥址处组拼成吊装节段，采用缆索起重机吊装至安装位置。对于少数江河地区悬索桥，由于浅滩区较长，支架搭设难度大、费用高，也可采用缆索起重机进行吊装，重庆长寿长江二桥采用缆索起重机从跨中运梁船上起吊钢箱梁。

相比于缆载吊机，分体式吊机移动性稍差，工效较低，因此优选缆载吊机。秀山大桥官山侧边跨主缆为八字空间结构，采用分体式吊机进行钢箱梁吊装，主跨及秀山侧边跨为平行主缆，采用缆载吊机吊装。温州瓯江北口大桥跨中部分桥面高于主缆，采用分体式吊机进行钢桁梁吊装；同时边跨采用分体式吊机，由于边跨吊装速度与主跨比相对较慢，能满足要求。

由于成本较高，钢桁梁吊重大，采用浮吊进行钢桁梁吊装案例较少。五峰山长江大桥边跨梁段在主缆架设完成前，采用浮吊吊装至滑移支架，然后滑移到位，相比于采用缆载吊机进行吊装，节约了一定工期。

**4.3.2** 缆载吊机、缆索起重机的安装与拆除应编制专项施工方案，并进行专家论证、审核，安装、拆除单位应具有《特种设备安装改造维修许可证》资质。

**4.3.3** 缆载吊机设计、制造应符合以下要求：

1 缆载吊机设计应符合国家现行标准《起重机设计规范》（GB/T 3811）、《钢结构设计规范》（GB 50017）、《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205）、《液压传动系统及其元件的通用规则和安全要求》（GB/T 3766）、《预应力用液压千斤顶》（JG/T 321）和《电气控制设备》（GB/T 3797）及行业规范的规定。

2 缆载吊机主桁架、行走机构以及吊具设计时应考虑结构自重、起升荷载，主桁架设计时还应考虑风荷载。

3 缆载吊机计算机同步控制系统应具有应逻辑控制、位置同步控制和压力均衡控制功能，能实现构件的平稳提升、下降及远程控制，在自动提升和自动下降过程中每行程千斤顶的行程误差应控制在±5mm范围内。

4 缆载吊机应设置上下专用作业平台、护栏、照明设备等附属设施，各作业平台间应设置专用爬梯或通道进行连通。

5 缆载吊机应委托具有专业资质的厂家进行加工，加工完成后应在工厂按照《起重机试验规范和程序》（GB/T 5905）要求进行试验和检验。

**4.3.4** 缆载吊机安装、验收应符合以下要求：

1 安装可根据项目现场条件采用塔顶门架、塔吊分块进行吊装或采用自提升法进行安装，安装前需编制缆载吊机安拆专项施工方案并履行相关报批手续。

2 采用塔顶门架进行缆载吊机安装时，门架高度不宜小于9.0m。

3 采用分块拼装法进行缆载吊机安装时，在安装过程中需设置保险导链，防止发生倾覆与下滑。

4 缆载吊机安装完成后，应按照《起重机试验规范和程序》（GB/T 5905）要求进行空载试验和荷载试验。

**4.3.5** 缆索起重机设计、制造应符合以下要求：

1 缆索起重机应进行专项设计，设计参数应结合桥梁参数以及后期重复使用要求综合确定，并突出可视化、模块化、智能化设计。

2 缆索起重机设计应符合国家现行标准《起重机设计规范》（GB/T 3811）、《缆索起重机》（GB/T 28756）、《钢结构设计标准》（GB 50017）、《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205）及中交集团企业标准《缆索起重机施工技术规程》（Q/CCCC GL208）的规定。

3 缆索起重机锚碇设计宜结合主桥锚碇统筹设计，承重索索鞍宜直接设置在主塔上横梁上方。

4 缆索起重机设计垂跨比宜取1/12～1/15，承重索、牵引索、起重索钢丝绳安全系数宜分别取为3.0、4.0~4.5和5.0。

5 缆索起重机应委托专业厂家进行加工，既有缆索起重机的构配件进场或改造时应对其进行综合评估及验收。

6 安全防护设施（人行通道、栏杆等）及安全监控管理系统应同步设计。

7 缆索起重机主索索鞍宜直接设置在主塔上，因特殊需求可将索鞍设置在塔顶支架上。

8 设计单位应提供完整的结构、电系统设计图、施工工艺流程图、计算书、操作说明书和制造技术要求等文件。

9 在出厂交付前应对其进行试验与检测，试验应遵循《起重机试验试验规范和程序》（GB/T 5905）和《缆索起重机》（GB/T 28756）的规定，编制试验大纲，并按要求报批。

**条文说明**

悬索桥钢桁梁吊装用缆索起重机索鞍一般直接设置在索塔上，承载能力强，抗风性能更好，如华丽高速金沙江大桥。但也有少数工程因特殊需求将索鞍设置在塔顶支架上，如丽香铁路金沙江大桥，塔顶设计外倾型支架，使得主索在悬索桥主缆外侧，便于吊装，丽香铁路金沙江大桥仅单侧设置钢桁梁拼装平台。

**4.3.6** 缆索起重机安装、验收应符合以下要求：

1 索鞍应在加工厂内进行预拼装，现场宜整体安装，安装时应严格控制偏差。

2 绳索系统安装前，应对各类绳索的型号规格、长度、数量及重量等进行验收登记，对于周转使用的钢丝绳应按《起重机用钢丝绳检验和报废实用规范》（GB/T 5972）的规定进行检验。

3 重索调整张拉应在空缆状态、夜间温度稳定时段下进行，遵循分级对称原则，跨中垂度绝对误差≤100mm，相对误差≤50mm。

4 跑车安装完成后，走行轮应沿承重索方向纵向对齐，同排走行轮应与承重索保持垂直，保证跑车整体无扭转变形。

5 缆索起重机安全监控管理系统应同步安装并验证。

6 缆索起重机每次安装、重大改造和重大故障修复后应进行性能试验。应分别按空载试验、额定荷载试验、静载试验、动载试验的次序进行。每项试验结束，并经检查评定合格后方可进行下一项试验，性能试验完成后应编写试验报告。

**4.3.7** 钢桁梁整体节段结构尺寸大、重量大，宜优先采用模块运输车进行钢桁梁场内运输。

**4.3.8** 浮吊吊装钢桁梁过程应遵循《船舶起重机安全技术操作规程》（JT/T 278）的规定，并符合以下要求：

1 浮吊施工安全管理应符合《内河交通安全管理条例》、《中华人民共和国水上水下作业和活动通航安全管理规定》的规定，在船舶进行运输或转移前，与当地海事部门联系，商定有关航运和施工的安全事项，并通报有关单位。

2 钢桁梁吊前应编制水上作业应急救援预案。

3 吊装作业期间应按海事部门规定应设置航行标志、救护及消防等设施并加以保管。

4 钢桁梁吊装过程应派专人对吊装过程、荷载及高程进行监控。

5 钢桁梁吊装过程应关注主缆、吊索以及相邻梁段对吊装的影响。

# 钢桁梁节段现场拼装

## 场地布置

**5.1.1** 钢桁梁节段现场拼装一般在主塔前设置拼装平台，拼装平台宜横桥向布置，设置杆件堆放区、拼装区、吊装区。

**条文说明**

钢桁梁节段现场拼装，多用于山区钢桁梁悬索桥建设。受限于运输条件，山区钢桁梁悬索桥一般采用散件进行运输，在桥址处组拼成吊装节段，采用缆索起重机吊装至安装位置。拼装场地设置在主塔前方，分杆件堆放区、拼装区、吊装区三个区域，吊装区位于桥梁正下方，拼装区位于吊装区两侧，拼装完成后，滑移至吊装区，华丽高速金安金沙江大桥钢桁梁拼装场地布置如图5-1所示。



图5-1 华丽高速金安金沙江大桥钢桁梁拼装场地布置示意图

**5.1.2** 拼装区设置拼装胎架，拼装胎架数量需结合场地大小、拼装工效与吊装工效等综合分析确定，一般按照2+1进行设置，即2个拼装胎架，1个起吊胎架，胎架之间间距应便于施工人员操作。

**5.1.3** 钢桁梁节段现场拼装胎架设计应满足以下要求：

1 胎架设计应结合架设方案，须满足快速拼装、快速切换的要求，同时场地大小应满足各类钢桁梁杆件运输设备以及吊装设备的通行以及站位需求。

2 胎架基础必须有足够的承载力，确保在使用过程中不发生沉降。

3 胎架应有足够的强度、刚度以及稳定性，胎架支撑墩布置在杆件中部或节点部位，防止杆件发生下挠。

4 胎架上设置纵、横基线，并在胎架外设置独立的基线、基点，以便随时对胎架进行检测。

## 杆件存放

**5.2.1** 钢桁梁杆件应按使用的先后顺序进场，构件存放时根据构件结构形式、安装顺序、出厂编号，后安构件不影响先安构件吊运。

**5.2.2** 同类钢桁梁杆件多层堆放不宜过高，各层间垫块应在同一垂直线上。

**5.2.3** 钢桁梁杆件在包装、存放和运输过程中，应采取有效措施，保证钢构件不变形、不损坏、不散失。

## 钢桁梁拼装

**5.3.1** 钢桁梁节段应在钢结构加工厂内进行匹配预拼装，在现场可进行独立拼装。拼装顺序按照：下弦杆→下横梁→下平联→主桁腹杆→上弦杆→上横梁→抗风稳定板的顺序依次拼装。

**条文说明**

钢桁架现场拼装主要采用高强螺栓连接，可调范围有限。工厂内进行匹配制造并预拼装后，可无需现场匹配拼装。

**5.3.2** 胎架外侧应设置独立的基线、基点，拼装过程中应定期对胎架进行检测。

**5.3.3** 拼装杆件正确就位后，应保证栓孔重合率，遇有错孔，应要查明原因后研究处理，严禁随意扩孔或强行通过。

**5.3.4** 节段拼装完成，应该对主桁中心距、桁高、节间长度、拼装全长、旁弯、对角线差、钉孔通过率等进行检查验收。

# 节段转运及临时存放

**6.0.1** 浅滩区及陆地上整节段吊装钢桁梁应提前转运、临时存放于支架上。

**条文说明**

梁段转运及临时存放主要是指位于浅滩区、陆地上的整节段吊装钢桁梁由运梁船上转移至浅滩区支架、陆地支架临时存放。主要指采用缆载吊机进行吊装的悬索桥，如采用缆索起重机进行吊装时，直接从运梁船上或起吊胎架上起吊即可，则无需进行转运与临时存放。重庆长寿长江二桥采用缆索起重机从跨中运梁船上起吊钢箱梁，施工过程中没有存梁。

**6.0.2** 钢桁梁浅滩区支架上转运可采用滑移工艺，钢桁梁陆上转运可采用模块运输车、运梁车、平板拖车、轨道平车等进行运输。

**6.0.3** 陆上运输应满足以下规定：

1 陆上运输采用运梁车运输钢桁梁时，运梁线路的路面应平坦，地基应有足够的承载能力，纵向坡度应不大于3％，横向坡度（人字坡）应不大于4％，最小曲率半径应不小于运梁车的允许转弯半径。在运梁车通过的限界内，不得有任何障碍物。

2 运梁车或平板拖车装载钢桁梁时，其支承应牢固，起步和运行应缓慢，应平稳前进，严禁突然加速或紧急制动。重载运行时的速度宜控制在5km/h 以内，曲线、坡道地段应严格控制在3km/h 以内。当运梁车接近卸梁地点时，应减速徐停。

3 牵引车上应悬挂安全标志。超高的部件应有专人照看，并应配备适当工具清除障碍。

4 装卸车应选择平坦、坚实的路面为装卸地点。装卸车时，机车、平板车均应驻车制动。

5 轨道平车运输下坡时应以溜绳控制速度并应人工拖拉止轮木块跟随前进。

6 钢桁梁运输时，应对运输台车、模块运输车等运输设备做专项设计、加工及试验。钢桁梁运输过程中，应采取有效措施，保证钢构件不变形、不损坏、不散失。

**条文说明**

不同运输设备对路线的要求以及运输速度的要求不同，本条是参考《公路工程施工安全技术规范》（JTG F90）的规定制定。

**6.0.4** 钢桁梁存放场地应坚实、平整、稳固、有排水设施。存放时钢桁梁的支承处不应产生不均匀沉降，所有支承点均应受力均匀。存梁支架需进行专项设计，确保存梁支架的强度、刚度以及稳定性满足施工要求。

**6.0.5** 钢桁梁存放时应考虑后期梁段安装顺序。

**6.0.6** 钢桁梁宜存放在待起吊处正下方，便于后期吊装。

**6.0.7** 突风频发区或台风到来前，存放的钢桁梁应采取加固措施，确保结构满足抗风要求。

# 钢桁梁节段吊装

## 梁段荡移

**7.1.1** 梁段荡移主要适用于塔区梁段吊装，浅滩区、陆地上梁段由运梁船荡移卸船至临时支架或直接吊装。

**条文说明**

浅滩区长度较短时，可直接通过荡移移动至安装位置。浅滩区长度较长时也有少数项目通过连续荡移方式移动至安装位置。重庆郭家沱长江大桥采用连续荡移方式进行浅滩区梁段吊装。

**7.1.2** 梁段单次荡移的角度应满足缆载吊机设计参数要求，荡移牵引装置与钢桁梁上的吊具应铰接连接。

**7.1.3** 为荡移提供牵引力的设备、索具、滑轮组及其固定方式，应符合现行《起重机械安全规程 第1 部分：总则》（GB 6067.1）和现行《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》（JGJ 276）的相关规定。

**7.1.4** 当利用索夹作为临时吊点时，应对索夹进行验算和安全评价，并不得影响其正常使用功能，荡移施工过程中应防止其产生滑移。

**7.1.5** 荡移作业前，应对吊具、销轴、转向耳板等的连接以及设备的固定情况进行检查，保证其能正常运转。

**7.1.6** 荡移作业前，应充分考虑各施工工况并制定控制措施，荡移过程中，严禁人员在梁段上作业。

**7.1.7** 荡移施工过程中应符合以下规定：

1 应严格控制缆载吊机钢绞线的放松速度，确保荡移施工缓慢平稳进行。

2 应加强对荡移机具设备的安全检查，当出现异常情况时，应立即停止施工，分析原因并采取有效措施后方可继续施工。

3 不宜采用永久构件销轴作为荡移作业锚固点，以免发生损坏。

**7.1.8** 大风（风速6级以上）以及雷雨天气时，不得进行荡移施工作业，夜间不宜进行荡移施工作业。

## 梁段滑移

**7.2.1** 梁段滑移主要适用于浅滩区、塔区、过渡墩位置支架上钢桁梁纵向位置移动，钢桁梁滑移支架宜布置在安装位置正下方**。**

**7.2.2** 钢桁梁滑移可根据现场实际情况设置高位+低位滑移支架，梁段通过低位滑移就位后，可通过开合支架或者荡移等形式将梁段移动至高位支架**。**

**条文说明**

为节约支架，温州瓯江北口大桥边跨浅滩区设置了高位+低位滑移支架形式。端部无索梁段，通过开合支架将钢桁梁从低位支架移动至高位支架。

**7.2.3** 钢桁梁宜采用水平滑移，当采用倾斜滑移时，滑轨与水平面夹角不宜大于6°，并应考虑风荷载等的影响，保证滑移单元在自重作用下不会下滑；否则应采取楔块等防滑措施。

**条文说明**

钢桁梁倾斜滑移时，倾斜角不宜超过6°，本条是参考《钢结构滑移施工技术标准》（TCSCS 009）的规定制定。

**7.2.4** 滑移牵引动力设备可采用间歇式牵引千斤顶、连续式牵引千斤顶或者卷扬机。滑移牵引力应取各滑移支点摩擦力之和，并乘以放大系数。

**条文说明**

采用卷扬机作为牵引动力时，由于卷扬机牵引速度较快，宜通过滑车组多走线的形式减小牵引速度，减小滑移启动瞬间的冲击作用。当前工程应用中滑移界面多为不锈钢板+四氟滑板的形式，设备选型时摩擦系数按0.1考虑，放大系数考虑1.5倍，可满足滑移要求。

**7.2.5** 牵引卷扬机和滑车组的配置应根据滑移牵引力计算确定，计算时应考虑滑车组的牵引力损失**。**

**7.2.6** 滑移轨道根据滑移方式可选用钢轨、型钢等，并应在滑移终点的端头增加长度或采取设置挡板等的防脱措施。型钢轨道两侧应设置侧向挡板，侧挡板与滑块的间距不宜大于10mm。

**7.2.7** 滑移轨道接头处缝隙不宜大于5mm，轨道连接处表面应平整光滑，轨道两侧应无障碍物**。**

**7.2.8** 滑移轨道上表面及侧面应保持光滑，为降低滑移摩阻力，型钢轨道顶部宜设置一层4mm厚不锈钢板，滑块底部宜设置一块四氟滑板或MGE板**。**

**7.2.9** 滑移支点宜布置在钢桁梁竖杆正下方，布置在其他区域时应通报设计单位验算钢桁梁受力，必要时应采取加固措施。

**7.2.10** 滑移施工前应对滑移结构和支承结构进行全面检查，检查合格后办理中间验收交接手续，验收合格后方可投入使用**。**

**7.2.11** 正式滑移前进行宜进行试滑移，试滑移长度不宜小于50cm，试滑移后对牵引系统、滑移系统、支承系统等进行检查，正常后方可进行正式滑移**。**

**7.2.12** 滑移施工时，宜在轨道一侧每5cm划一道标识线**，**钢桁梁两侧滑移速度差应控制在5cm内。

**7.2.13** 滑移施工应制定监测方案，对滑移结构、支承结构的关键部位的应力和变形进行监测。

**7.2.14** 滑移施工作业前应掌握天气状况，遇到6级及以上风力、雨雪或雷暴等不良天气情况时应停止施工并采取专项措施。

## 浮吊吊装

**7.3.1** 采用浮吊吊装时应对浮吊吃水、吊重、起升高度以及抛锚站位等进行充分论证。

**7.3.2** 吊装吊具、临时吊耳、索具等临时结构，应进行专项设计及验算，吊具宜具有重心调节功能，以适应不同梁段吊装。

**7.3.3** 浮吊应设置有可靠的锚泊系统，浮吊定位和吊装过程中，船体和起吊物均不得对主缆、已安装钢桁梁等产生碰撞；吊装结束后，浮吊应退离安装位置，并对起重吊钩进行封钩。

**7.3.4** 吊装前应详细了解施工水域的气象、水深、流速、潮位、水下障碍物、河（海）床地质等情况，确定吊装作业的允许条件和具体施工窗口期。

**7.3.5** 吊装前宜进行船舶抛锚定位、运输船舶出位、浮吊移位以及各船舶在统一指挥下协同作业的模拟吊装试验，获取相应的施工参数，用于指导正式吊装作业。

**7.3.6** 浮吊移位和钢桁梁就位宜在平潮时进行。

**7.3.7** 钢桁梁起吊时，应进行试吊，浮吊将其提升20cm~30cm后，检验浮吊、吊具、索具以及相应的装置、设施等是否满足施工要求，以及钢桁梁姿态是否满足要求。

**7.3.8** 采用双浮吊抬吊安装时﹐分配给单台浮吊的荷载不得超过其允许起重力的80%，钢桁梁总重不得高于两台浮吊额定起重量之和的75%。抬吊时，应统一指挥，协调作业，各起重船的运转速度宜基本一致。

## 缆载吊机吊装

**7.4.1** 缆载吊机行走、定位应符合以下要求：

1 缆载吊机行走应按照操作规程进行，严格控制行走速度，行走期间保持吊具距水面高度不小于通航净高要求。

2 缆载吊机行走牵引系统锚固在塔顶门架时，应对塔顶门架进行结构验算。

3 缆载吊机行走脚不能完全与索夹顶紧时，应在行走脚与索夹之间设置止动块，以确保缆载吊机抗滑性能满足需要。

**7.4.2** 缆载吊机吊具应设置重心调节油缸，根据梁段重心位置，调整吊具平衡吊点，确保钢桁梁吊装过程姿态平稳。

**7.4.3** 钢梁节段吊装过程中，提升速度应控制在0.5m/min内，且均衡平稳，上下游吊点高差不应大于20cm**。**

**7.4.4** 采用缆载吊机双机抬吊时，应符合以下要求：

1 宜选用同规格、同一单位生产的缆载吊机，负载分配应合理，单机载荷不得超过额定起重量的80%。

2 缆载吊机安装完成后，除进行单机荷载试验外，还应进行双机联动荷载试验，以检验双机联动同步性以及起重性能。

3 两台缆载吊机采用联动模式时进行行走时，应对缆载吊机牵引系统进行验算，确保牵引力满足要求。

## 分体式吊机吊装

**7.5.1** 分体式吊机适用于空间缆、主缆高度低于主梁顶面等特殊位置梁段吊装施工。

**7.5.2** 分体式吊机及与其配套的临时索夹、托梁等应进行专项设计，并委托专业钢结构加工单位进行加工，以确保结构强度、刚度、稳定性以及加工质量满足要求。

**7.5.3** 分体式吊机临时索夹连接螺杆应采用同步张拉技术，张拉紧固力应满足设计要求。

**7.5.4** 钢桁梁提升时，分体式吊机应上下游同步、分级加载，确保梁段水平吊装。

**7.5.5** 吊索连接到位后，分体式吊机上、下游的提升设备应同步分级卸载。

**7.5.6** 分体式吊机不宜进行梁段荡移施工，当条件限制必须采用时，应采用装置将同侧两台分体式吊机并联，确保其同轴转动，防止两台吊机受力不均发生意外。

## 缆索起重机吊装

**7.6.1** 缆索起重机使用应符合以下要求：

1 严禁在缺少安全装置或安全装置失效的情况下运行缆索起重机。在紧急情况下，缆索起重机应能及时停机。不得用限位开关等安全保护装置停车。

2 吊装时应垂直提升，严禁超载，不得在非工作区域吊装。采用荡移方式吊装时应制定专项作业方案。

3 两组或多组缆索起重机吊运同一重物时，各台起重机的升降、运行应保持同步。最大用绳量情况下卷扬机滚筒上应最小保留四圈钢丝绳。

4 缆索起重机应在使用期进行监测，并制定监测方案，监测项目包括位移、应力监测、环境监测等。

**7.6.2** 缆索起重机吊具应进行专项设计，吊点宜设置在吊装单元的横梁与竖腹杆节点正上方，吊点受力对钢桁梁的影响应经设计单位复核。

**7.6.3** 钢桁梁吊装宜按照跨中至两端的顺序对称进行，启动前应对吊具连接情况、缆索起重机牵引系统、提升系统等进行检查，启动后应先空载运行，确认无异常方可投入运行。

**7.6.4** 缆索起重机起升、下降、牵引应逐级进行。当起吊重量接近额定起重量时，应在重物吊离地面后检查制动器工作性能和吊索具状态，无异常后再继续操作。

## 钢桁梁铰接与刚接

**7.7.1** 钢桁梁铰接应符合以下规定：

1 钢桁梁铰接结构设计应根据监控单位提供的施工过程最大竖向力、水平力确定。

2 钢桁梁铰接结构制造应在钢梁加工单位厂内匹配制造，不得钢桁梁下胎架后采用工装辅助安装。

3 钢桁梁铰接施工时应先进行吊索安装，然后采用千斤顶、手拉葫芦进行梁段间的顺桥向、竖向及水平调位。

**条文说明**

钢桁梁悬索桥由于主梁高度大、重量大，临时铰结构受力大，铰接结构设计应满足受力需求。钢桁梁临时铰的作用除释放加劲梁施工过程主梁应力外，还需为梁段间提供精确定位，方便后期钢桁梁刚接。定位精确的临时铰结构刚接时仅需拉拢下弦即可，无需竖向、横桥向调位，大大减少后期钢桁梁刚接措施。温州瓯江北口大桥临时铰结构如图所示7-1所示，工厂匹配制造后，现场连接较快，精度高，后期钢桁梁刚接方便。

 

图7-1 温州瓯江北口大桥临时铰结构

**7.7.2** 钢桁梁刚接应符合以下规定：

1 主桁采用栓接进行永久连接的，其刚接方式宜采用窗口刚接法，即在钢桁梁吊装过程中下桥面张口状态逐步过渡到抵拢状态时进行刚接。

2 主桁采用焊接进行永久连接的，其刚接方式宜在钢桁梁吊装完成后，采用代二期恒载压重的方式进行刚接。

**条文说明**

悬索桥加劲梁吊装过程中一般先临时铰接，最终转换至永久连接（焊接或栓接），钢桁梁由铰接至永久连接的过程即钢桁梁刚接。合理的刚接应根据钢梁结构形式、永久连接方式选择不同的方法，合理的刚接方式施工简单、措施量小、可以节约工期。钢桁梁与钢箱梁悬索桥分别以二恒线形、一恒线形作为制造线形，其刚接方式不同，应加以区分。同时，钢桁梁节段间主桁采用焊接或栓接作为永久连接方式，其刚接方式也不同，也应加以区分。

**7.7.3** 钢桁梁主桁采用栓接，其刚接总体顺序宜先下弦杆，后上弦杆，再斜杆，最后桥面板。

**7.7.4** 钢桁梁栓接应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》（JGJ 82）的规定。

**7.7.5** 钢桁梁焊接、焊缝检测应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）、《钢结构工程施工规范》（GB 50755）、钢结构焊接规范的规定（GB 50661）的规定。

# 钢桁梁体系转换与合龙

## 无索区钢桁梁体系转换

**8.1.1** 多跨悬索桥过渡墩位置无索梁段与单跨悬索桥塔区无索梁段体系转换宜按以下步骤进行施工：

1 根据施工顺序将无索梁段提前存放在支架上，并根据计算往边跨预偏。

2 所有梁段吊装完成后，调整无索梁段线形匹配相邻有索梁段，栓焊完成后，卸载千斤顶，将梁段荷载转移至相邻吊索承担。

**8.1.2** 多跨悬索桥塔区梁段体系转换宜根据相邻有吊索梁段的吊索数量选择不同的方法，相邻有吊索梁段的吊索数量通常为1对或2对。

**8.1.3** 相邻有吊索梁段吊索为1对时，宜按以下步骤进行施工：

1 将塔区无吊索梁段吊装至支架临时支撑，根据监控计算将钢梁在钢支架上调整好线形并焊接成整体。

2 待相邻有吊索梁段安装到位后，与之匹配并焊接成整体。

3 焊接牢靠后逐步解除支架支撑荷载，实现无吊索梁荷载从临时支架受力到相邻梁段永久吊索受力的体系转换。

**8.1.4** 相邻有吊索梁段吊索为2对时，宜按以下步骤进行施工：

1 将塔区梁段吊装上支架，对其安装位置进行预抬高。

2 如有多个梁段，则将塔区梁段在支架上栓接或焊接成整体。

3 吊装相邻有吊索梁段，并连接吊索。

4 在吊装设备作用下，借助手拉葫芦等小型辅助工具，完成有索梁段与塔区梁段线形匹配，然后将其栓接或焊接成整体。

5 吊装设备同步卸载，将有索梁段重量转移至塔区梁段下方临时垫块承担。

6 采用千斤顶对所有梁段进行落梁，将所有梁段重量转移至相邻吊索承担。

## 钢桁梁合龙

**8.2.1** 单跨钢桁梁悬索桥合龙梁段宜选择靠近塔区的第一个有吊索梁段，受限于现场施工条件难以选择此梁段作为合龙梁段时，宜尽量选择靠近塔区的其他有索梁段。

**8.2.2** 多跨钢桁梁悬索桥塔区合龙梁段宜选择靠近塔区的第三个及以上有吊索梁段作为合龙梁段；边跨过渡墩位置合龙梁段选择靠近过渡墩的第一个有吊索梁段，受限于现场施工条件难以选择此梁段作为合龙梁段时，宜尽量选择靠近过渡墩的其他有索梁段。

**8.2.3** 单跨钢桁梁悬索桥及多跨钢桁梁悬索桥边跨过渡墩位置合龙宜按以下步骤进行施工：

1 合龙梁段起吊并连接吊索后首先与临近有索梁段刚接。

2 调整无索梁段线形，匹配合龙梁段，完成无索梁段与合龙梁段刚接。

**8.2.4** 多跨钢桁梁悬索桥合龙宜按以下步骤进行施工：

1 合龙梁段施工顺序及措施需通过有限元模拟计算分析，选取合适的合龙顺序及措施。

2 对于预偏距离不能满足要求时，与参建各方沟通，可将合龙段斜腹杆设置为嵌补段，减小合龙牵拉的距离。

**8.2.5** 合龙钢桁梁吊装前，其临近梁段需整体向某一方向牵引一定距离，为合龙钢桁梁吊装预留出足够的空间，合龙钢桁梁两侧宜保留10cm以上空间。

**8.2.6** 合龙钢桁梁吊装前，吊装设备应进行预偏，通过有限元计算考虑合龙梁段吊装后各梁段的水平变形，提前将吊装设备进行预偏站位，保证合龙梁段在已吊梁段的中间。

**8.2.7** 合龙钢梁吊装过程中当钢梁节段提升接近已架设钢梁节段约2m距离时宜进行减速，并派专人观察待架梁段上层桥面与已架梁段下层桥面有无相抵，钢梁合龙节段应边提升边观察，防止钢梁间相互碰触。

**8.2.8** 合龙牵引措施如选择临时铰等结构作为锚固位置，应对其结构强度与制造单位、设计单位确认，保证结构受力安全。

# 施工控制

**9.0.1** 为使悬索桥加劲梁成桥线形和内力符合设计要求，并保证施工成过程中结构安全，应对大节段钢桁梁的安装过程进行施工过程控制。

**9.0.2** 施工前应根据悬索桥的结构特点、施工方法和环境条件等因素拟定梁段吊装顺序，并进行详细准确的梁段吊装过程仿真分析，确定正确合理的梁段整体吊装方案。

**9.0.3** 施工过程的控制方案应根据仿真分析计算结果得到，仿真计算需重点控制的内容包括：

1 计算合理的主索鞍顶推方案，选择合理的鞍座顶推次数。

2 施工过程中钢桁梁无过大的应力、变形，吊索不产生过大应力，桥塔应力和塔顶偏位满足要求。

3 主索鞍鞍槽内索股滑移安全性满足要求，索夹抗滑移安全系数满足要求。

4 施工过程中不出现因主缆产生过大局部变形而与猫道发生干扰。

5 确定合理可行的梁段临时连接方式。

6 合龙措施具备较好的可实施性。

**9.0.4** 应结合吊装过程仿真分析结果编制施工监测和控制的方案。

**9.0.5** 钢桁梁架设过程中应根据监控指令要求进行索鞍顶推，索鞍顶推应缓慢平稳进行，严格控制顶推量以及上下游同步性。

**9.0.6** 钢桁梁架设过程中应按照监控指令要求做好猫道放张工作，猫道放张应遵循对称均衡原则，放张完成后应及时做好猫道面层修补工作。

**9.0.7** 钢桁梁吊装过程中应对索塔和锚碇的沉降及变位、主缆的线形、钢桁梁的线形进行监测。

**9.0.8** 钢桁梁吊装过程中应关注索夹螺杆张力，当螺杆轴力下降值超过设计值的30%时，应及时进行螺杆力补张拉，避免索夹滑移。

**9.0.9** 钢桁梁在垂直起吊前应进行预偏，预偏距离计算主要考虑钢桁梁斜腹杆间距、已吊梁段平动与转角、待吊梁段平动以及安全距离四个部分，安全距离宜考虑30cm，其他数值通过有限软件计算得到。

**条文说明**

钢桁梁悬索桥由于梁高较高，且相邻节段斜腹杆间存在交叉，吊装过程预偏距离远大于钢箱梁悬索桥。温州瓯江北口大桥钢桁梁吊装过程最大预偏距离达2.2m，远大于《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）中钢箱梁吊装过程应预偏0.5~0.8m的规定，而该规范中并未对钢桁梁吊装过程的预偏值进行规定。瓯江北口大桥预偏距离的计算由有限元模拟梁段吊装过程得到，具体计算步骤如下：

1 在待吊梁段索夹处施加梁段及吊具总重，得到相邻已吊梁段该状态下相对成桥状态下的倾角θ、相接处斜杆节点的纵向位移（沿待吊梁段方向为正），如图9-1所示



图9-1 有限元软件模拟吊装过程图示

2 在绘有钢桁梁轮廓的CAD图纸中，将对应的已吊梁段绕上述斜杆节点旋转角后，测出为防止斜杆碰撞干扰吊梁段需偏移的距离，如9-2所示。



图9-2 CAD软件模拟吊装过程图示

3 提取有限元软件中待吊梁段索夹相对成桥状态下的纵向位移结果（沿待吊梁段方向为正），考虑预留安全距离，则钢桁梁吊装预偏距离=。

**9.0.10** 每次吊装施工前，应复测缆载吊机/分体式吊机缆上安装位置，确保设备预偏满足计算要求。

# 安全、环保要求

## 安全防护措施

**10.1.1** 钢桁梁安装前应制订专项施工方案，并应对桥位处的自然环境条件进行勘察，掌握当地的有关气象资料，对特大跨径或处于风环境恶劣地区的悬索桥，应就钢桁梁安装的方法、程序和工艺进行专门研究。通过抗风分析、有必要时应进行风洞试验，制定抗风措施。

**条文说明**

悬索桥加劲梁施工过程中主梁刚度主要靠吊索和临时铰接传递，整体结构体系刚度较成桥阶段更小，大风作用下可能产生颤抖、抖振等不利影响，风致振动问题突出，有必要开展施工过程抗风分析。温州瓯江北口大桥加劲梁架设跨越台风期，通过有限元分析进行了大量研究，提出了集上桥面设置抗风稳定板、交叉索对拉、桁架下弦间临时刚接、下桥面设置抗剪块的钢桁梁架设组合抗风措施。实施过程中，台风并未正面登陆桥址区域。吊装9榀主梁时，实测极大风速为22.1m/s，通过在上桥面加装临时抗风稳定板，安全度台。

**10.1.2** 开工前，应根据施工需要设置安全作业区，并办理水上水下施工作业许可证，发布航行通告。

**10.1.3** 荡移作业宜连贯、不中断完成，当因故中断且停滞时间较长时，除应采取稳定梁段的措施外，尚应采取有效措施消除天气等因素造成的安全隐患。

**10.1.4** 梁段起吊离开运梁船后速度宜缓慢匀速进行，确保梁体平稳，其最大提升速度不应超过设计速度；吊装设备在左、右幅的起升、钢绞线收索速度应通过专用控制系统的设定分别保持同步，防止钢桁梁移动和提升过程中发生偏斜。

**10.1.5** 吊装钢桁梁，梁体上不得搭载人员、材料，桥面系等材料可经牢靠固定后随梁段吊装。

**10.1.6** 当使用两台缆载吊机抬吊钢桁梁时，缆载吊机应组合试吊，并编制缆载吊机现场试验方案，以检验两台起重机抬吊的起升同步性能、吊具调整同步性能及操作性。

**10.1.7** 索鞍顶推时，千斤顶必须与反力架保持垂直，并将千斤顶放置在垫块的中心位置，其活塞顶部与反力架接触面间应加防滑垫层。

**10.1.8** 吊装设备应安排专人负责监测，发现吊绳松弛、油泵漏油、吊具偏位等情况应立即停止作业。

**10.1.9** 钢桁梁接头焊缝的施焊宜从桥面中轴线向两侧对称进行，接头焊缝强度和刚度不符合要求时，不得解除临时刚性连接。

**10.1.10** 严格按照设计图纸和施工方案进行作业平台、垂直爬梯和水平通道的加工和安装，验收合格后进行使用。施工过程中严禁对高处作业平台私自搭设、私自拆除、改变使用功能。

## 环境保护措施

**10.2.1** 钢桁梁施工过程中应采取措施保证不发生环境污染事件。

**10.2.2** 当采用缆载吊机作为钢桁梁起重设备时，缆载吊机应符合下列规定：

1 缆载吊机构件应做到标准化，可在多项工程中使用，减少能源消耗。

2 在缆载吊机的施工平台上，设置“环保厕所”，粪便定期收集运至岸上生活区化粪池，统一处理。

3 在缆载吊机主梁平台上设置垃圾桶，集中贮放生活垃圾。

4 生产用油料必须严格保管，防止泄漏，污染环境。

**10.2.3** 钢桁梁施工时，应对施工导致的空气污染进行控制，并符合下列规定：

1 在设备选型时选择低污染设备，机动车辆或机械设备的废气排放应符合国家和地方相关排放标准方能投入使用。

2 加强施工设备的维护，在操作时保持所有部件的润滑和紧固。施工机械设备应在地面上牢固稳定。

3 配备洒水降尘设备，对施工现场和运输道路经常洒水湿润，在现场车辆出入口设置清洗池，对车辆进行清洗，减少扬尘。

**10.2.4** 钢桁梁施工时，应对施工导致的水污染和固体废弃物污染进行控制，并符合下列规定：

1 定期检查并维护施工机械及设备，发现损坏或漏油等及时处理处置。施工机械自身产生的废油及维修保养产生的废油采取专用容器收集或排放至指定位置，集中处理。

2 在塔顶、猫道及已架设的钢桁梁节段上设置垃圾桶和废料箱，防止施工废料、生活垃圾掉落至水中污染环境。

3 施工产生的废料、固体废弃物（废弃钢材、钢丝绳等）不得堆放在水边或随意弃置，及时收集清运，防止雨水冲刷进入水体。

4 施工现场运送各种材料、固体废弃物、垃圾等应采取遮盖或防护措施，防止溢撒。

**10.2.5** 钢桁梁涂装时，每日做到工完场清，将未用完的涂料收集、封盖放回指定安全区保存，使用过的废油漆桶、过期的油漆都应集中处理，存放到指定位置，禁止将稀料、油漆、使用过的布料丢弃到现场或倒入下水道或搁置在饮水源旁。

# 附件一：缆载吊机吊装检查记录表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **施工部位** | |  | **施工工序** |  |
| **序号** | **检查验收项目** | | **标准/允许偏差** | **检查结果** |
| 1 | 吊装前 | 整机钢结构部分是否完好 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 桁架和行走机构螺栓是否全部安装完毕；螺栓是否有松动 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 行走结构及桁架结构的连接部位是否有松动和损伤（重点看轴端卡板是否安装牢固，可采用敲击法） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊装定位（缆载吊机吊装时的需行走至的位置）是否准确，可事先在主缆上画线初定位 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 是否安装好抱脚和止动块，是否顶住索夹受力 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 每个油管接头部位检查，是否有漏油（接头下方有无新的油渍） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 电控系统线路检查（数据线是否损坏，脱落） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 系统操作界面检查（各数据是否均有显示，数据显示是否正确） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 所有设备装置定位状态检查，设备是否有移动 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊具是否打转，是否校正 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊具锚固支座与滑箱连接是否满足要求 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 锚固支座端提升钢绞线的预留量是否满足要求 | ≮15cm | □合格 □不合格 |
| 吊具圆筒安装螺栓是否松动，钢丝绳是否检查（有无断丝，断股等） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 提升钢绞线是否检查 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊具与钢箱梁是否连接牢固 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 检查提升千斤顶的夹持器上的接近开关的安装位置是否准确，确保夹持器夹片能准确夹紧和松开； | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 钢绞线收放装置是否正常，收放线动作是否准确 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 对讲机通讯系统是否正常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 2 | 吊装过程中 | 是否预紧钢绞线，使钢绞线受力均匀 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊装过程中，是否对提升锚固支座上的构件夹持器上部的压板螺钉进行二次紧固（加载至50%额定载荷时进行紧固）； | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 两侧提升力偏差是否满足要求 | ≤10% | □合格 □不合格 |
| 吊装过程中，提升千斤顶状态是否正常，如有异常需立即反馈 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊装过程中，收线装置是否运行正常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 班 组 检 查 | | 检查结论：  班组负责人： | | |
| 现 场 检 查 | | 检查结论：  安全部： 设 备 部：  生产管理部： 施工负责人： | | |
| 监 理 检 查 | | 检查结论：  监 理 部： | | |

# 附件二：缆索起重机吊装检查记录表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **施工部位** | |  | **施工工序** |  |
| **序号** | **验收项目** | | **标准/允许偏差** | **检查结果** |
| 1 | 吊具 | 吊具有无明显变形 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 南、北岸，上下游行走同步性 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 2 | 缆塔系统 | 索鞍滑轮有无明显磨损、变形、开裂 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 主索是否完好；缆风锚固是否可靠，有无断丝、摩擦情况 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 起重、牵引转向滑轮固定是否牢固，有误磨损、变形 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 起重、牵引钢丝绳是否居中滑轮，转动是否异常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 3 | 锚碇系统 | 锚梁锚固是否可靠，有无变形 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 主索连接、锚固是否可靠，垂度有无异常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 缆风连接、锚固是否可靠，垂度有无异常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 千斤绳、精扎螺纹钢是否完好，有无变形 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 4 | 起重系统 | 卷扬机锚固是否可靠，底座焊缝是否有裂纹；钢丝绳卡是否松动 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 桥面转向滑轮是否磨损、变形 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 钢丝绳是否居中滑轮，是否与其它构件存在相交或摩阻现象 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 钢丝绳盘绳是否均匀；容绳量是否满足要求 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 刹车、限位系统运行是否正常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 卷扬机运行时，是否有异常声音 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 5 | 牵引系统 | 卷扬机锚固是否可靠，底座焊缝是否有裂纹；钢丝绳卡是否松动 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 桥面转向滑轮是否磨损、变形 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 钢丝绳是否居中滑轮，是否与其它构件等存在相交或摩阻现象 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 钢丝绳盘绳是否均匀；容绳量是否满足要求 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 刹车、限位系统运行是否正常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 卷扬机运行时，是否有异常声音 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 班 组 检 查 | | 检查结论：  班组负责人： | | |
| 现 场 检 查 | | 检查结论：  安全部： 设 备 部：  生产管理部： 施工负责人： | | |
| 监 理 检 查 | | 检查结论：  监 理 部： | | |

# 附件三：分体式吊机吊装检查记录表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **施工部位** | |  | **施工工序** |  |
| **序号** | **检查验收项目** | | **标准/允许偏差** | **检查结果** |
| 1 | 吊装前 | 整机钢结构部分是否完好 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 临时索夹定位是否准确；可事先在主缆上画线初定位 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 临时索夹规格型号是否满足要求 |  |  |
| 临时螺栓紧固力是否满足要求 |  |  |
| 油缸支架与临时索夹连接销轴是否有松动和损伤（重点看轴端卡板是否安装牢固，可采用敲击法） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 每个油管接头部位检查，是否有漏油（接头下方有无新的油渍） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 电控系统线路检查（数据线是否损坏，脱落） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 系统操作界面检查（各数据是否均有显示，数据显示是否正确） | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 所有设备装置定位状态检查，设备是否有移动 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 提升底锚结构是否与钢桁梁连接牢固 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 锚固支座端与提升底锚连接是否牢固 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 锚固支座端提升钢绞线的预留量是否满足要求 | ≮15cm | □合格 □不合格 |
| 提升钢绞线是否完好 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 检查提升千斤顶的夹持器上的接近开关的安装位置是否准确，确保夹持器夹片能准确夹紧和松开； | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 钢绞线收放装置是否正常，收放线动作是否准确 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 对讲机通讯系统是否正常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 2 | 吊装过程中 | 是否预紧钢绞线，使钢绞线受力均匀 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 提升力偏差是否满足要求 | ≤10% | □合格 □不合格 |
| 吊装过程中，提升千斤顶状态是否正常，如有异常需立即反馈 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 吊装过程中液压泵站是否运行正常，各项数据显示是否符合要求 |  |  |
| 吊装过程中，收线装置是否运行正常 | 检查确认 | □合格 □不合格 |
| 班 组 检 查 | | 检查结论：  班组负责人： | | |
| 现 场 检 查 | | 检查结论：  安全部： 设 备 部：  生产管理部： 施工负责人： | | |
| 监 理 检 查 | | 检查结论：  监 理 部： | | |

# 附件四：钢桁梁安装检查验收表

| **工程名称** | | |  | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **编号** | **项目** | | **检查内容** | **检查标准（规范）** | **检查结果** |
| 1 | 滑移施工水平牵引系统安装 | 卷扬机 | ①型号②安装位置③固定状况 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 2 | 滑车组 | ①型号②安装位置③固定状况 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 3 | 钢丝绳 | ①型号②安装位置③连接质量 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 4 | 预埋件 | ①型号、板厚、材质  ②锚板和锚筋尺寸位置③焊接质量④位置 | 1、临时工程设计图2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 5 | 塔区无索区梁段安装 | 缆载吊机 | ①位置②固定状况 | 1、临时工程设计图2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 6 | 水平牵引系统与悬吊系统 | ①位置②固定状况③连接状况 | 1、临时工程设计图2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 7 | 调位系统 | ①规格参数②位置 | 1、临时工程设计图2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 8 | 深水区梁段安装 | 缆载吊机 | ①位置②固定状况 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 9 | 运梁船舶 | ①位置②固定状况 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 10 | 钢桁梁安装 | ①编号、位置  ②临时接接  ③相邻节段匹配高差 | 1、桥规  2、检验评定标准  3、图纸  4、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 11 | 浅（无）水区梁段安装 | 缆载吊机 | ①位置②固定状况 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 12 | 存梁 | ①编号、位置②临时支点 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 13 | 钢桁梁安装 | ①编号、位置  ②临时连接  ③相邻节段匹配高差 | 1、桥规  2、检验评定标准  3、图纸  4、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 14 | 合龙段吊装 | 缆载吊机 | ①位置  ②固定状况 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 15 | 合龙口宽 | ①预偏系统  ②合龙口宽度 | 1、临时工程设计图  2、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 16 | 钢桁梁安装 | ①编号、位置  ②临时连接  ③相邻节段匹配高差 | 1、桥规  2、检验评定标准  3、图纸  4、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 17 | 索鞍顶推 | 顶推系统 | ①位置②千斤顶规格参数 | 1、施工方案  2、监控指令 | □合格  □不合格 |
| 18 | 顶推施工 | ①顶推时机②顶推量③同步性控制 | 1、施工方案  2、监控指令 | □合格  □不合格 |
| 19 | 支座安装 | 竖向支座 | ①型号、高程、轴线纵、横向偏位  ②支座轴线与桥轴线垂直度  ③支座滑板中线与桥轴线平行度 | 1、桥规  2、检验评定标准  3、图纸  4、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 20 | 抗风支座 | ①型号  ②垂直度、支座支挡表面平行度  ③支挡表面与支座表面间隙 | 1、桥规  2、检验评定标准  3、图纸  4、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 21 | 压浆 | ①材料  ②强度  ③密实度 | 1、桥规  2、检验评定标准  3、图纸  4、施工方案 | □合格  □不合格 |
| 施工单位 | | 检查意见：  单项技术主管： 施工负责人：  日期： | | | |
| 监理单位 | | 检查意见：  监理员： 专业监理工程师： 日期： | | | |