

ICS 93.040
CCS P 28

DB45

广西壮族自治区地方标准

DB45/T 1097—2024

代替 DB45/T 1097—2014

钢管混凝土拱桥施工技术规程

Technical code of practice for construction of concrete filled steel tubular arch bridges

2024-09-30 发布

2024-12-01 实施

广西壮族自治区市场监督管理局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	5
5 材料	5
5.1 钢材	5
5.2 焊接材料	5
5.3 螺栓及焊钉	5
5.4 钢丝绳及钢绞线	6
5.5 其他部件	6
5.6 混凝土原材料	6
6 缆索吊装系统	6
6.1 一般规定	6
6.2 主索系统	7
6.3 索塔系统	8
6.4 起重系统	9
6.5 牵引系统	9
6.6 工作索系统	10
6.7 其他部件和设备	11
6.8 电气化控制系统	11
6.9 安装和拆除	11
6.10 试吊试验	11
7 斜拉扣挂系统	13
7.1 一般规定	13
7.2 扣塔	14
7.3 扣索	15
7.4 扣索鞍	15
7.5 钢锚梁	16
7.6 扣点	16
7.7 扣地锚	16
8 拱肋节段制作	16
8.1 一般规定	16
8.2 构件制作	17
8.3 节段组装	17
8.4 焊接	19

8.5 防腐涂装	20
8.6 节段存放与运输	20
8.7 节段质量检验	20
9 拱肋节段安装	21
9.1 一般规定	21
9.2 安装前准备	21
9.3 安装	21
9.4 安装质量检验	22
10 管内混凝土灌注	23
10.1 一般规定	23
10.2 配合比设计	23
10.3 灌注前准备	24
10.4 管内混凝土灌注	26
10.5 质量控制	27
11 其它构件施工	28
11.1 一般规定	28
11.2 系杆	28
11.3 吊杆	28
11.4 拱上立柱	28
11.5 桥面系钢梁	29
11.6 桥面板	30
11.7 质量检验	30
12 施工监控	31
12.1 一般规定	31
12.2 控制分析计算	31
12.3 施工监测	32
参考文献	34

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DB45/T 1097—2014《钢管混凝土拱桥施工技术规程》，与DB45/T 1097—2014相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了缆索吊装系统的相关技术要求（见6.1.5、6.2.4、6.3、6.4、6.5、6.6、6.7、6.8和6.9）；
- b) 增加了扣索鞍、钢锚梁、扣点的相关技术要求（见7.4、7.5和7.6）；
- c) 增加了扣索合一、扣塔、索塔与永久结构结合以及扣索安装的相关技术要求（见6.3.6、7.2.3、7.2.5和7.3.1）；
- d) 增加了铰座、法兰盘制作的技术要求（见8.2.5、8.2.6、8.2.7和8.2.8）；
- e) 更改了焊接、涂装的检验指标要求（见8.4.4、8.4.5、8.5.2和8.5.3，2014年版的6.2.6、6.2.8、6.3.8、8.3和8.4）；
- f) 增加了拱座预埋件、首节段拱肋安装及松索顺序的技术要求（见9.3.2、9.3.3和9.3.9）；
- g) 增加了扣索张拉、拱肋节段安装流程以及安装过程的技术要求（见9.3.1、9.3.5和9.3.7）；
- h) 增加了配合比设计、灌注前准备的技术要求（见10.2和10.3）；
- i) 更改了真空辅助泵送顶升压注法的技术要求（见10.4，2014年版的10.3）；
- j) 新增拱上立柱的施工技术规定（见11.4）；
- k) 增加了桥面系钢梁、桥面板的制作与安装的相关技术规定（见11.5.1、11.5.4、11.5.5、11.6.1和11.6.4）；
- l) 增加了斜拉扣挂施工的施工优化计算方法（见12.2.1）；
- m) 删除了施工控制分析计算方法、模型建立的部分技术要求（见2014年版的13.2、13.3、13.4和13.5）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西壮族自治区交通运输厅提出并宣贯。

本文件由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广西路桥工程集团有限公司、广西大学、广西交建工程建设集团有限公司、广西路桥集团勘察设计有限公司、广西长兴工程建设有限公司、广西交通设计集团有限公司、广西路建工程集团有限公司。

本文件主要起草人：韩玉、秦大燕、罗小斌、解威威、李彩霞、魏华、陈正、莫友君、覃靖、凌干展、唐睿楷、郭晓、马必聪、沈耀、杨占峰、商从晋、张坤球、韦建昌、王承亮、高丰、曹璐、匡志强、梁铭、胡家锴、叶志权。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2014年首次发布为DB45/T 1097—2014；
- 本次为第一次修订。

钢管混凝土拱桥施工技术规程

1 范围

本文件界定了钢管混凝土拱桥施工技术的术语和定义，给出了对应的材料说明，并规定了缆索吊装与斜拉扣挂系统、拱肋节段制作与安装、管内混凝土灌注、其它构件施工及施工监控的技术要求。

本文件适用于广西行政区域内公路钢管混凝土拱桥采用缆索吊装斜拉扣挂法的施工，市政相同类型桥梁参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1228 钢结构用高强度大六角头螺栓
- GB/T 1229 钢结构用高强度大六角螺母
- GB/T 1230 钢结构用高强度垫圈
- GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 2970—2016 厚钢板超声检测方法
- GB/T 3811 起重机设计规范
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 5780 六角头螺栓 C级
- GB/T 5782 六角头螺栓
- GB/T 6946 钢丝绳铝合金压制接头
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9286—2021 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 9793 热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- GB/T 10051.1 起重吊钩 第1部分：力学性能、起重量、应力及材料
- GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- GB/T 12470 埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求

- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 14684 建设用砂
GB/T 14685 建设用卵石、碎石
GB/T 14957 熔化焊用钢丝
GB/T 16762 一般用途钢丝绳吊索特性和技术条件
GB/T 17493 热强钢药芯焊丝
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 18570.3 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第3部分：涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定(压敏粘带法)
GB/T 20067 粗直径钢丝绳
GB/T 20118 钢丝绳通用技术条件
GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰
GB/T 28264 起重机械 安全监控管理系统
GB/T 28756 缆索起重机
GB/T 30826 斜拉桥钢绞线拉索技术条件
GB/T 31052.6 起重机械 检查与维护规程 第6部分：缆索起重机
GB 50026 工程测量标准
GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
GB 50923 钢管混凝土拱桥技术规范
JB/T 5000.12 重型机械通用技术条件 第12部分：涂装
JT/T 523 公路工程水泥混凝土外加剂
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JT/T 819 公路工程 水泥混凝土用机制砂
YB/T 5295 密封钢丝绳
DB45/T 2280 公路桥梁施工监控技术规程
DB45/T 2522 桥梁缆索吊装系统技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钢管混凝土拱桥 concrete-filled steel tube arch bridge

在圆形钢管内灌注混凝土，形成共同受力的构件作为主要承重构件的拱桥。

[来源：GB 50923—2013, 2.1.1, 有修改]

3.2

千斤索 catenary rope

连接吊钩与起吊重物的缆索。

3.3

缆索吊装系统 cable crane—assembly system

由主索、索塔、起重、牵引、工作索、地锚及其他辅助设施等子系统组成的，以主索作为架空支承构件，具有垂直起吊并沿主索运输功能的桥梁施工用吊装系统。

3.4

主索 bearing cable

用于承受跑车、吊具、起重物等荷载的缆索。

3.5

非正常起吊作业区 abnormal operating zone

位于主索道工作跨两端达不到额定吊装的区域。

3.6

主索鞍 saddle of bearing cable

用于支承主索、牵引索、起重索等缆索的构件。

3.7

索塔 cable tower

用于支承主索鞍承受主索荷载的塔架。

3.8

缆风索 wind rope

用于保持索塔和拱肋纵向和横向稳定的缆索。

3.9

起重索 hoisting rope

用于起升或下放吊具的缆索。

3.10

跑车 lifting trolley

悬挂在主索上并可沿索移动，实现悬吊重物功能的装置。

3.11

吊具 cable auxiliaries

由动滑轮组、配重块、分配梁、吊钩组成，实现钩挂并起吊重物功能的装置。

3.12

牵引索 pulling rope

用于牵引跑车在主索或工作索上移动的缆索。

3.13

地锚 ground anchor

用于锚固缆索的结构。

3.14

支索器 rope carrier

悬挂在主索上，用于承托起重索、牵引索的装置。

3.15

主索垂度 sag of bearing cable

主索最低点至主索鞍中心点连线的垂直距离。

3.16

扣塔 buckle tower

悬臂拼装拱肋时，用于支承扣索和锚索的塔架。

3.17

扣索 buckle cable

用于临时固定悬臂拼装拱肋的缆索。

3.18

锚索 anchor cable

用于锚固侧平衡扣索的缆索。

3.19

钢锚梁 steel anchorage beam

索塔上锚固扣索的钢结构梁式装置。

3.20

法兰盘 arch rib flange joint

在相邻节段的连接处设置的用于固结拱肋节段的法兰接头。

3.21

以折代曲法 method of replacing curve by straight line

以短直线制作曲线钢管拱肋的方法。

3.22

泵送顶升压注法 pumping-up pouring method

采用输送泵从钢管拱肋的拱脚向拱顶压注混凝土的方法。

3.23

自密实补偿收缩混凝土 concrete with self-densification and shrinkage compensation

在混凝土凝结硬化过程中抵消混凝土收缩变化量的自密实混凝土。

3.24

自生体积变形 autogenous volume deformation

混凝土在恒温、绝湿和无外荷载的条件下，仅由于胶凝材料的水化作用引起的体积变形。

3.25

真空辅助泵送顶升压注法 vacuum-assisted pumping-up pouring method

使钢管内处于近真空状态，并采用泵送顶升压注混凝土的方法。

3.26

合龙 closure

从两侧拱脚开始分别逐节段向跨中拼装拱肋，并最终使拱肋在跨中连接成整体的施工工序。

3.27

施工监控 construction monitoring and control

为控制钢管混凝土拱桥施工过程的结构状态，实现成桥结构内力状态与几何状态目标而进行的控制分析计算、施工监测、数据分析与反馈控制等工作的总称。

[来源：JTGT 3650-01—2022, 2.0.1, 有修改]

3.28

控制分析计算 calculation analysis for control

为获得钢管混凝土拱桥施工过程结构内力状态和几何状态，对钢管混凝土拱桥进行的设计符合性计算、施工模拟计算和施工跟踪计算等。

[来源：JTG/T 3650—01—2022, 2.0.2, 有修改]

3.29

反馈控制 feedback control

通过与预控数据进行比较，分析已建成的钢管混凝土拱桥结构状态信息，找出偏差并分析原因，提出后续施工阶段反馈控制参数，使结构达到预期目标。

[来源：JTG/T 3650—01—2022, 2.0.3, 有修改]

4 基本规定

4.1 钢管混凝土拱桥施工除应符合本文件的规定外，尚应符合现行国家及行业相关标准、经论证批准的设计文件的规定。

4.2 施工前，应按照 JTG F90 开展施工风险评估工作，制定施工安全技术和环境保护技术方案。

4.3 施工前，应依据设计文件及现场施工条件调查情况，按照 JTG F90 和 JTG/T 3650 有关要求，编制钢管拱肋、横撑等主要构件的加工制作、起重吊装、管内混凝土灌注及系杆安装等专项施工方案，并对施工工艺进行技术交底。

4.4 施工场地布置应满足钢管拱肋及其他钢结构的具体加工、涂装、存放、运输以及工程规模、工期和地形等情况的要求。

4.5 对涉及道路、航空、航道和管线等施工场地规划和临时设施的设置应满足安全施工的要求，并应按照相关规定执行。

5 材料

5.1 钢材

5.1.1 装配式钢管塔架宜采用 Q355 级及以上牌号的钢材。

5.1.2 钢材的性能和质量应符合 GB/T 1591 和 GB/T 700 的规定。

5.1.3 20 mm 厚度以上的钢板应符合 GB/T 5313 的规定，同时超声波检测质量等级应符合 GB/T 2970—2016 表 4 中的 II 级标准。

5.2 焊接材料

5.2.1 焊接材料应根据焊接工艺评定试验确定，焊条、焊丝和焊剂应与被焊钢材的力学性能相适应。

5.2.2 手工焊接用焊条应符合 GB/T 5117 和 GB/T 5118 的规定。

5.2.3 气体保护焊用焊丝应符合 GB/T 14957、GB/T 8110、GB/T 17493 和 GB/T 10045 的规定。

5.2.4 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合 GB/T 12470、GB/T 5293 的规定。

5.3 螺栓及焊钉

5.3.1 普通螺栓连接副应符合 GB/T 5780 和 GB/T 5782 的规定。

5.3.2 高强度螺栓连接副应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230 和 GB/T 1231 的规定。

5.3.3 圆柱头栓钉和焊接瓷环应符合 GB/T 10433 的规定。

5.4 钢丝绳及钢绞线

5.4.1 密封钢丝绳应符合 YB/T 5295 的规定。

5.4.2 普通钢丝绳和多股绳芯钢丝绳应符合 GB/T 20118 的规定。直径大于或等于 60 mm 的多股绳芯钢丝绳，尚应符合 GB/T 20067 的规定。

5.4.3 千斤索应符合 GB/T 16762 的规定。

5.4.4 扣索钢绞线应符合 GB/T 30826 的规定。

5.5 其他部件

5.5.1 滑轮应符合 GB/T 3811 的规定。

5.5.2 吊钩应符合 GB/T 10051.1 的规定。

5.5.3 锚具应符合 GB/T 30826 的规定，夹具应符合 GB/T 14370 的规定。

5.6 混凝土原材料

5.6.1 水泥应符合 GB 175 的规定。

5.6.2 砂应符合 GB/T 14684 和 JT/T 819 的规定。

5.6.3 碎石应符合 GB/T 14685 的规定。

5.6.4 减水剂应符合 JT/T 523 的规定。

5.6.5 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定，粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定，硅灰应符合 GB/T 27690 的规定。

5.6.6 混凝土用水应符合 JGJ 63 的规定。

6 缆索吊装系统

6.1 一般规定

6.1.1 缆索吊装系统宜由主索系统、索塔系统、起重系统、牵引系统、工作索系统和地锚等组成，见图 1。各子系统由以下组成：

- 主索系统宜包括主索、主索鞍；
- 索塔系统宜包括索塔和缆风索；
- 起重系统宜包括起重索、跑车、吊具、卷扬机；
- 牵引系统宜包括牵引索、连接索、转向滑车、卷扬机；
- 工作索系统宜包括工作索、工作索鞍，以及支索器、吊具、转向滑车和卷扬机等；
- 地锚包括主索地锚、工作索地锚、缆风索地锚及其他辅助地锚。

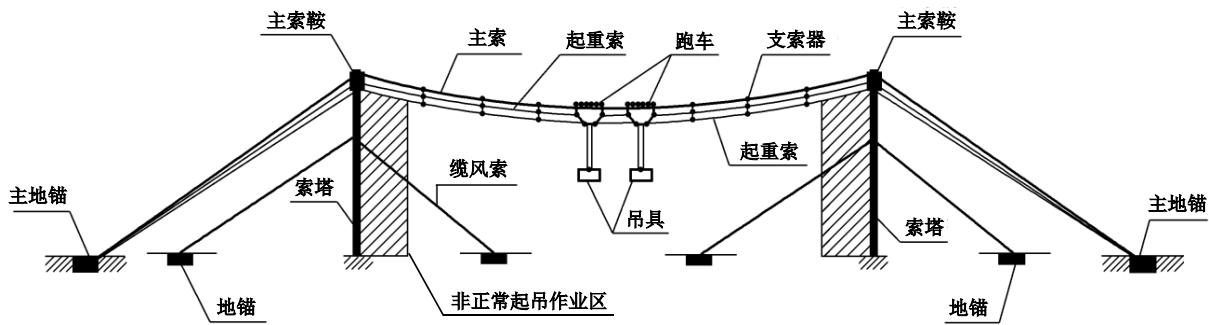


图1 缆索吊装系统总体示意

- 6.1.2 缆索吊装系统应进行专项设计，并应符合 GB/T 3811 和 GB/T 28756 的规定。专项设计宜包括：
- 缆索吊装系统的总体设计和总体布置；
 - 主索系统、起重系统、牵引系统、工作索系统和索塔系统的设计；
 - 设备与机具：包括主索鞍、跑车、支索器、吊具、卷扬机等；
 - 电气控制系统设计：包括总体架构、供电系统、控制系统、操作系统、电气保护系统和监控系统；
 - 施工工艺设计：包括地锚施工，主索系统、索塔系统、起重系统、牵引系统、工作索系统的安装和拆除，电气控制系统安装，缆索吊装系统试吊等。

- 6.1.3 缆索吊装系统的工作级别宜根据吊运构件的特性按表 1 确定。

表1 缆索吊装系统工作级别

工作情况	整机工作级别	机构工作级别		
		起升	牵引	索鞍横移
吊装拱肋节段	A2-A3	M2-M3	M2-M3	M2
吊运工具、小型构件等	A5	M5	M5	M2

注：本表工作级别的划分依据来源于GB/T 3811。

- 6.1.4 缆索吊装系统的运行、检查与维护应符合 GB/T 3811 和 GB/T 31052.6 的规定。

- 6.1.5 缆索吊装系统的涂装除应符合 JB/T 5000.12 的规定外，尚应符合下列规定：

- 涂层干膜厚度不小于 180 μm ，漆膜附着力达到 GB/T 9286—2021 规定的 1 级质量要求；
- 塔架防腐设计使用年限满足工程使用要求；
- 缆索吊系统各结构件的设计使用寿命符合 GB/T 3811 的规定。

6.2 主索系统

- 6.2.1 主索钢丝绳的配置和计算符合下列规定：

- 宜选用密封钢丝绳或金属绳芯的多股钢丝绳；
- 主索的拉力和垂度宜采用抛物线法计算；
- 主索的直径和数量应根据计算确定，并应依据拱肋节段及其他荷载的实际重量以及起吊和安装位置确定，验算其最大张力，主索的破断拉力安全系数不应小于 3.0。

- 6.2.2 主索道的布置符合下列规定：

- 主索宜采用双组索道设计，各组索道应能满足独立运行和组合同步运行的要求；
 - 工作跨主索的最大垂度与跨度之比宜为 $1/14 \sim 1/20$ ；
 - 工作跨的两端宜设非正常起吊作业区，且该区间内的起吊荷载应满足设计荷载要求。

6.2.3 主索鞍的设计符合下列规定：

- 主索鞍在最不利荷载工况下的受力性能应符合 GB/T 3811 的规定；
——索鞍顶面高程可按式（1）计算确定：

式中：

H ——索鞍顶部高程，单位为米（m）；

f_{\max} ——主索最大垂度，单位为米（m）；

b_0 ——工作跨范围内需跨越的最高构筑物顶部高程，单位为米（m）；

h_1 ——主索至吊具的安全距离，取值5~10，单位为米（m）；

6. ——吊具下起重千斤索的直径和长度，可按照GB/T 16762的要求确定，单位为米（m）；

h_3 ——吊运构件的高度，跨中起吊时为0，单位为米（m）；

h_4 ——构件吊运过程越过最高构筑物时的安全距离，宜取值2；当在跨中起吊时可取值0，单位为米（m）。

——宜采用移动式索鞍，索鞍应对称同步横移，横移到位后，应进行可靠锚固。

6.2.4 主地锚的设计符合下列规定：

- 应对主地锚区域进行地质勘察，经复核计算可行后，可与引桥等永久结构结合；
 - 宜采用重力式、桩式或岩锚地锚；
 - 锚固槽四周应设拦水墙，高度不应小于 0.2 m，槽内应设集水井；
 - 主地锚应设置锚固索等构件的抗拔、抗滑、抗倾覆安全系数应符合 JTGT 3650 的规定。

6.3 索塔系统

6.3.1 索塔宜采用装配式定型钢构件进行拼装。

6.3.2 塔顶横梁宽度应能满足主索鞍横移的需要，变形量不应大于横梁长度的1/400。

6.3.3 索塔在施工全过程的塔顶偏位除应符合设计要求的规定外，尚应符合下列规定：

- 塔脚固结时，塔顶顺桥向最大偏位不大于塔高的 $1/400$ ；
 - 塔脚铰接时，塔顶顺桥向最大偏位不大于塔高的 $1/150$ ；
 - 主扣搭合一时，塔顶顺桥向最大偏位满足 7.2.4 和 7.2.5 的要求。

6.3.4 索塔缆风索的设置符合下列规定：

- 应设置纵向缆风索，宜设置横向缆风索；
 - 纵向缆风索应根据索塔的结构形式选用，固结塔架的缆风索宜采用钢绞线，铰接塔架的缆风索可采用钢丝绳；横向缆风索可采用钢绞线或钢丝绳；
 - 缆风索的安全系数不应小于 2；
 - 采用钢绞线缆风索时，缆风索与索塔和地锚的连接位置均应设置多向转动装置。缆风索的锚固端采用 P 型锚具挤压时，应采用与锚具相配套的挤压机，并应按挤压工艺实施；张拉端应采用低预应力防松脱锚具，且应具备逐个夹片压紧防松脱的功能。

6.3.5 索塔基础的承载力应符合 JTG 3363 的规定。

6.3.6 当现场地形和施工条件允许时，经复核计算可行后，可将索塔搭接在桥台、墩柱等永久性结构以减少索塔高度，并应符合 7.2.5 的规定。

6.3.7 位于航空管制区下方时, 航空障碍灯的设置应符合 GB/T 3811 的规定。

6.4 起重系统

6.4.1 起重系统宜按图 2 布置。

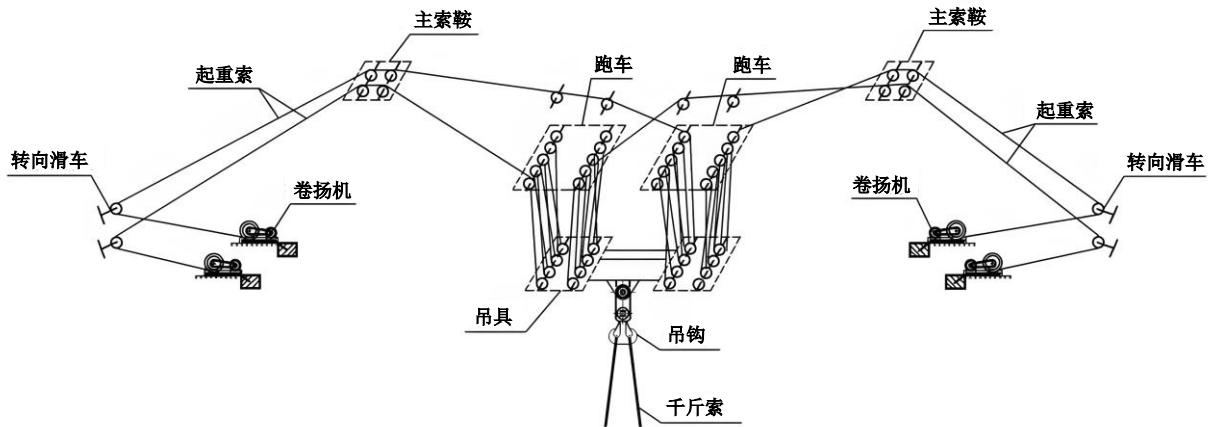


图2 起重系统布置示意

6.4.2 起重索应采用多股钢丝绳, 符合下列规定:

- 钢丝绳在卷筒上多层卷绕时, 宜采用金属绳芯钢丝绳;
- 起重索的安全系数不应小于 5;
- 起重索的卷绕倍率宜为偶数倍, 两端宜设置卷扬机;
- 起重索不应采用插接、打结等方式接长。

6.4.3 跑车、吊具和起重卷扬机应符合 DB45/T 2522 的规定。

6.4.4 千斤索除应符合 6.2.3 的规定外, 尚符合下列规定:

- 千斤索宜采用 6×37 型钢丝绳制作成环式或 8 股头式;
- 千斤索的绳环或两端的绳套采用压接接头时, 应符合 GB/T 6946 的规定;
- 利用千斤索上的吊钩、卡环钩挂重物或直接捆绑重物时, 千斤索的安全系数不应小于 6;
- 千斤索与起吊构件间的水平夹角应大于 45°。

6.4.5 起重卷扬机应符合 6.7.2 的规定, 起重系统的地锚应符合 6.2.4 的规定。

6.5 牵引系统

6.5.1 牵引索符合下列规定:

- 牵引索宜采用多股钢丝绳。钢丝绳在卷筒上多层卷绕时, 宜采用金属绳芯钢丝绳;
- 牵引索的安全系数不应小于 4;
- 主索的牵引索卷绕倍率宜为 4;
- 牵引索采用如图 3 的对拉式布线时, 应设防对拉的同步装置, 牵引索两端均宜设置卷扬机。

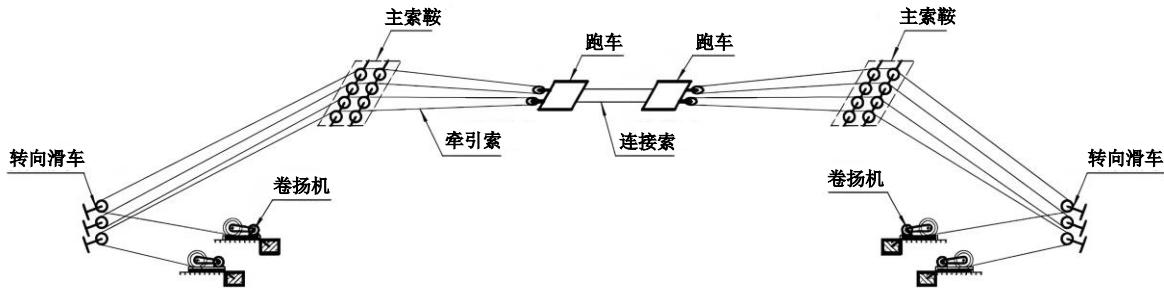


图3 牵引钢丝绳对拉式布线（4倍）示意

6.5.2 连接索、转向滑车和牵引卷扬机应符合 DB45/T 2522 的规定。

6.5.3 牵引卷扬机应符合 6.7.2 的规定。

6.5.4 牵引系统的地锚应符合 6.2.4 的规定。

6.6 工作索系统

6.6.1 工作索系统的起重索和牵引索布置见图 4、图 5。

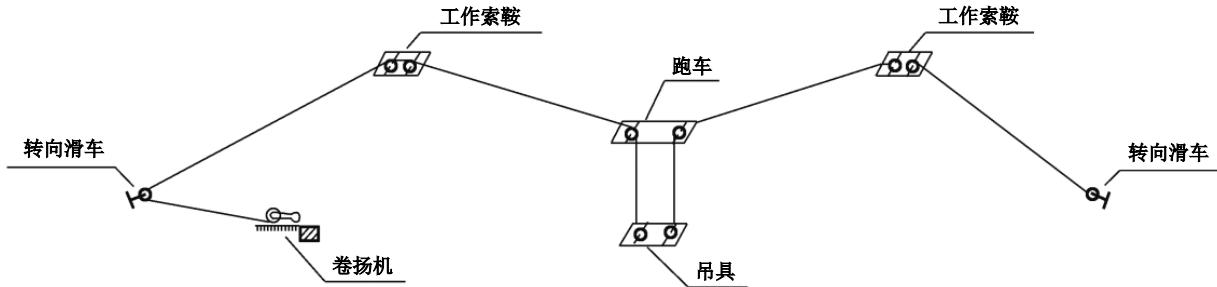


图4 工作起重索布置示意

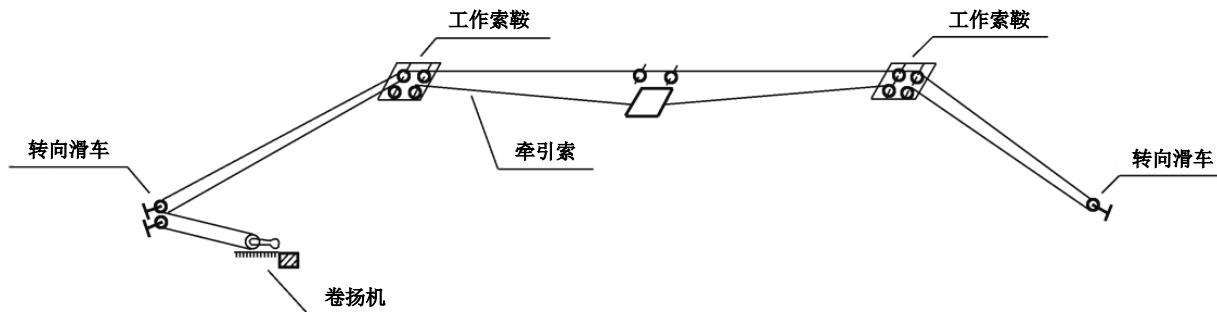


图5 工作牵引索布置示意

6.6.2 牵引索采用循环式布线时（见图 6），牵引机构宜采用双卷筒摩擦型卷扬机驱动。

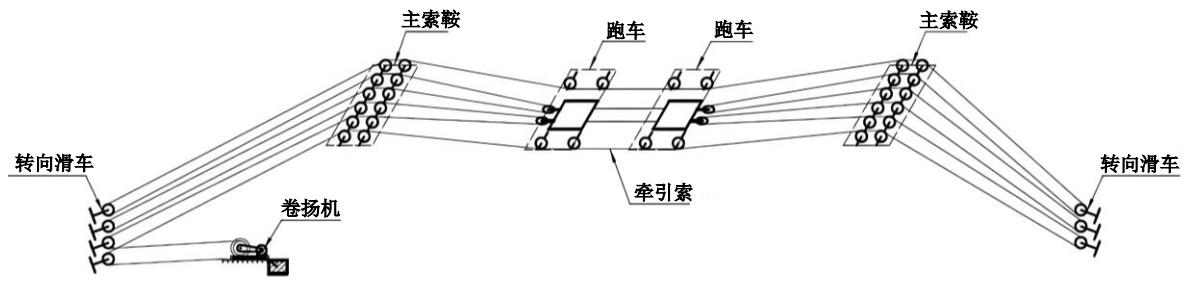


图6 牵引钢丝绳循环式布线（4倍）示意

6.6.3 工作索宜采用单主索设计，工作索索鞍宜与主索鞍设置在同一索鞍构件上。

6.6.4 工作索起重索跑车导向滑轮的间距宜为起升高度的 $1/40\sim1/50$ 。

6.6.5 工作牵引索中牵引索的卷绕倍率宜为1。

6.6.6 工作索系统的吊具、转向滑车、卷扬机应单独配置。

6.7 其他部件和设备

6.7.1 支索器和滑轮应符合DB45/T 2522的规定。

6.7.2 主索、起重、牵引和工作索系统的卷扬机选择符合下列规定：

- 宜采用变频电机驱动的卷扬机；
- 卷扬机制动器应符合GB/T 3811的规定，安全系数不应小于1.5，高速轴应设置失电常闭型电磁铁或电力液压推杆驱动的支持制动器，低速轴应设置失电常闭型钳盘式或带式制动器；
- 卷扬机的容绳量不宜小于1.05倍实际用量，卷筒上除固定圈数以外的钢丝绳安全圈数不应小于3圈，卷筒两端凸缘至最外层钢丝绳顶面的距离不宜小于1.5倍绳径。

6.8 电气化控制系统

6.8.1 根据施工需求建立由供电系统、控制系统、操作系统、电气保护系统和相关监控系统组成的电气化控制系统。

6.8.2 供电系统、控制系统、操作系统和电气保护系统应符合GB/T 3811、GB/T 28756和DB45/T 2522的规定。

6.8.3 监控系统除应符合GB/T 28264的规定外，尚符合下列规定：

- 监控主机宜采用具有开放性接口的工控机，监控数据存储周期不宜少于1个月；
- 系统应设置登陆权限，并应包含有效的故障和事故报告制度。

6.9 安装和拆除

6.9.1 缆索吊装系统的安装和拆除应编制专项施工方案。

6.9.2 主索安装时应以空索垂度进行控制，同组主索的垂度偏差不宜大于50mm。

6.9.3 铰接式索塔安装和拆除过程应设置临时缆风索。

6.10 试吊试验

6.10.1 试吊前，缆索吊装系统应装上设计所规定的全部装置，并应按使用说明书要求调整至正常工作状态。

6.10.2 试吊试验的程序宜为：试吊前检查；空载试验；设计荷载试验、110%设计荷载试验、125%设计荷载试验。

6.10.3 试吊前检查应包括表2的内容：

表2 试吊前检查内容

类别	内容
主索系统、索塔系统、起重系统、牵引系统、工作索系统及地锚	金属结构及其连接件；塔架及其紧固件；钢丝绳及其紧固件；跑车、支架器、吊具、索鞍及其紧固件；地锚及其附属设施
电气化控制系统	各机构、制动器；操控室、控制器；电气设备、通信系统、监控系统及照明
其他	通道及安全防护措施；安全保护装置

6.10.4 空载试验、设计荷载试验和110%设计荷载试验的操作内容包括：联动或单动模式下的吊具起升、下降，跑车纵向移动，各行程限位装置、急停装置测试等操作。

6.10.5 空载试验应符合下列规定：

- 吊具起升高度为最大起升高度；
- 跑车纵向移动不少于2个来回；
- 试验不少于2个完整的工作循环，每个工作循环中各机构启动和制动次数不少于2次。

注：1个工作循环为：从一侧工作区起点开始，吊具起升至最大起升高度，跑车纵向运行至另一侧非工作区，再返回原出发点，并下放吊具到最低点。

6.10.6 设计荷载试验和110%设计荷载试验应符合下列规定：

- 先进行设计荷载试验，后进行110%设计荷载试验；
- 试验采用不卸载的方式进行分级加载，加载等级宜分别为设计荷载的50%、75%、100%、110%；
- 吊具起升高度为最大起升高度；
- 跑车纵向移动不少于1个来回；
- 试验不少于1个完整的工作循环，每个工作循环中各机构启动和制动次数不少于3次；
- 110%试验荷载时可调整起重量限制器、液压系统安全溢流阀压力，试验后调回设计规定的数值。

6.10.7 125%设计荷载试验符合下列规定：

- 试验加载位置应为主索受力最大的荷载位置；
- 操作内容为联动或单动模式下的吊具起升、下降，吊具宜起升至离地面100mm～200mm，并停留不少于10min。试验荷载离地时应避免出现冲击现象。

6.10.8 试验期间应对各类结构的工作情况、受力和变形情况及荷载卸载后情况进行检查和测量，并应符合下列规定：

——各类构件的工作情况符合下列规定：

- 各机构动作平稳，无爬行、震颤、冲击、过热、异常噪声等现象；
- 各机构中无相对运动部位无漏油现象，有相对运动部位无渗漏现象；
- 各零部件和机构无松动和损坏，吊具无下滑等异常现象；
- 操控机构、控制系统动作可靠、准确；
- 起升、跑车运行等限位器、制动器动作可靠、准确。

——各类构件在试验过程的受力和变形情况符合 DB45/T 2522 的规定外，尚满足表 3 的技术指标要求；

表3 试吊主要技术指标

单位为毫米		
项目		技术指标
索塔	基础沉降	≤ 2
	塔顶横梁弯曲	$\leq L/400$
主索	垂度	$\leq f \cdot 10\%$
地锚	水平位移	≤ 2
	竖向位移	≤ 2

注：L为塔顶横梁长度，f为主索垂度。

——荷载卸载后各构件应无损坏、无裂纹，连接处无松动或损坏等异常现象。

7 斜拉扣挂系统

7.1 一般规定

7.1.1 斜拉扣挂系统应按照“永临结合”的原则进行专项设计，并应符合 GB/T 3811 和 GB/T 28756 的规定，其设计包括：

- 斜拉扣挂系统总体设计和总体布置；
- 扣索配置、扣点及分配横梁设计、扣索鞍平台设计；
- 扣塔设计及塔顶偏位控制标准；
- 扣地锚及锚固构造设计。

7.1.2 斜拉扣挂系统宜由扣塔、扣索、扣索鞍、扣点和扣地锚等组成，结构形式可分为下列四种：

- 扣塔与缆索吊装系统的索塔分设置，前扣索与锚索采用通长索，在扣地锚张拉扣索，见图 7；
- 扣塔与索塔分设置，前扣索与锚索分设置，在扣塔上设置钢锚梁用于扣索张拉，见图 8；
- 扣塔与索塔合二为一，前扣索与锚索采用通长索，在扣地锚张拉扣索，见图 9；
- 扣塔与索塔合二为一，前扣索与锚索分设置，在塔架上设置钢锚梁用于扣索张拉，见图 10。

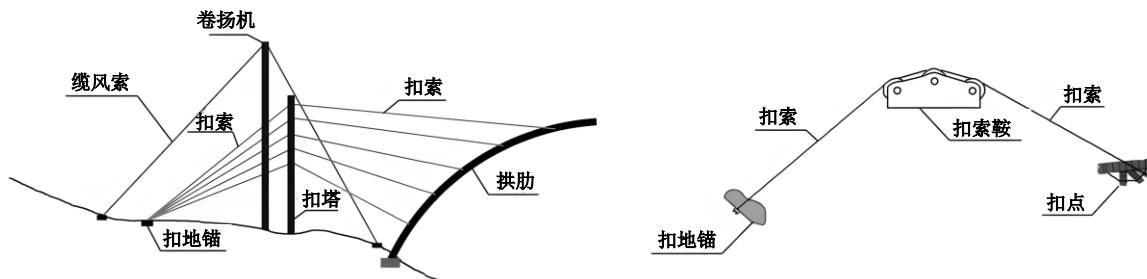


图7 扣塔与索塔分设置、扣索采用通长索

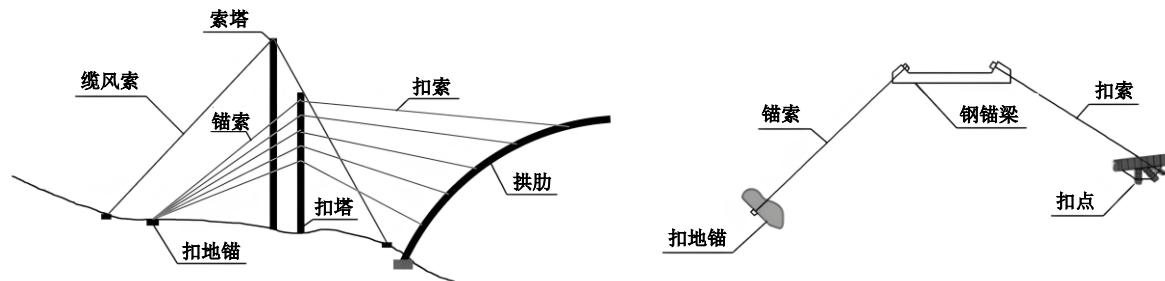


图8 扣塔与索塔分开设置、前扣索和锚索分开设置

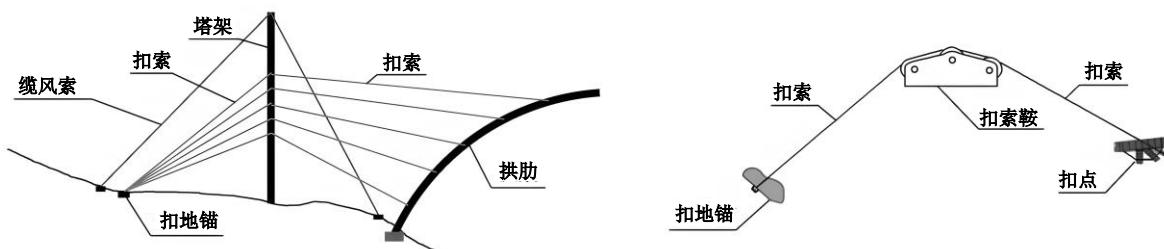


图9 扣塔与索塔合二为一、扣索采用通长索

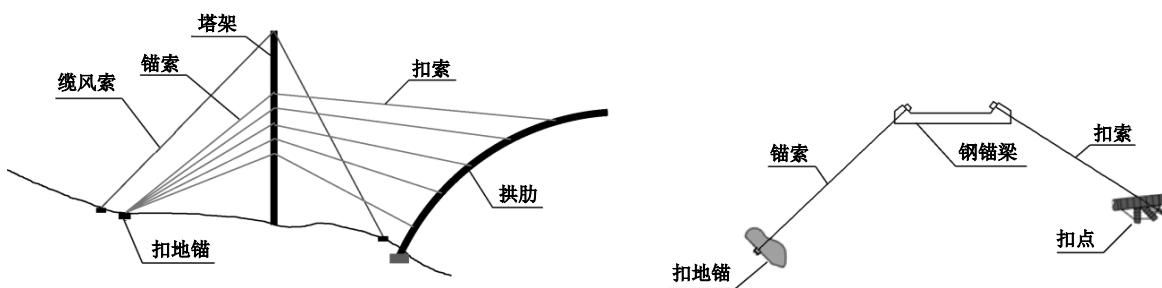


图10 扣塔与索塔合二为一、前扣索和锚索分开设置

7.1.3 斜拉扣挂系统的涂装及设计使用寿命应符合 6.1.5 的规定。

7.1.4 当现场地形和施工条件允许时，经复核计算可行后，可将扣塔搭接在桥台、墩柱等永久性结构以减少扣塔高度。

7.2 扣塔

7.2.1 扣塔宜采用装配式钢构件拼装，且扣塔与基础宜固接。基础周围应设置防、排水设施，并应符合 JTG 3363 的规定。

7.2.2 应对基础及扣塔进行受力及稳定分析，并应对承受扣索力作用的局部杆件和结构进行局部稳定性分析和构造设计。

7.2.3 扣塔与索塔共用时，应对吊运荷载和扣挂荷载的不利工况组合作用进行验算，验算的不利荷载工况组合宜包括：

——自重+缆索吊装系统满载+拱肋最大悬臂状态扣挂荷载；

- 自重+缆索吊装系统满载+拱肋最大悬臂状态扣挂荷载+工作状态纵桥向风荷载;
- 自重+缆索吊装系统满载+拱肋最大悬臂状态扣挂荷载+工作状态横桥向风荷载;
- 自重+缆索吊装系统空载+拱肋最大悬臂状态扣挂荷载+非工作状态纵桥向风荷载;
- 自重+缆索吊装系统空载+拱肋最大悬臂状态扣挂荷载+非工作状态横桥向风荷载。

7.2.4 扣塔的塔顶偏位应根据计算确定。

7.2.5 扣塔直接安装在永久结构顶面时，符合下列规定：

- 扣塔的塔顶偏位不宜大于 50 mm;
- 当扣塔直接搭接在墩柱上时，塔底应采用钢梁固结，塔顶应设纵向缆风索，并应在塔底横梁与墩柱之间设置临时预应力筋;
- 应采取有效措施对扣塔的端面和混凝土顶面的平整度进行磨平，安装后两端面之间的接触率应符合设计文件的规定;
- 永久结构的强度、刚度和稳定性应满足扣塔施工时承载能力和使用的要求，并应考虑施工过程中各种因素对永久结构产生的不利影响。

7.3 扣索

7.3.1 扣索的布置宜符合下列规定：

- 扣索在其铅锤面内的倾角不小于 6°;
- 对平行拱肋，扣索平行于拱肋平面。

7.3.2 钢绞线扣索的安全系数不应小于 2。

7.3.3 扣索钢绞线下料时应考虑安装的工作长度，工作长度应根据安装方式及扣索长度确定，不宜小于 5 m；下料完成后，两端应进行编号，并应做好牢固标记。

7.3.4 扣索的锚固端和张拉端的锚固装置应符合 6.3.4 的规定。

7.4 扣索鞍

7.4.1 通长式扣索宜采用轮式索鞍（见图 11）。根据配索情况索鞍可采用双轮、三轮和多轮式，且滑轮直径应满足扣索局部应力计算的要求。

7.4.2 扣索鞍滑轮安装前应进行保养，确保滑轮能够正常转动。

7.4.3 扣索鞍转向半径应根据扣索索力计算确定，且扣索鞍与扣索顺桥向最大水平偏角不应大于 5°。

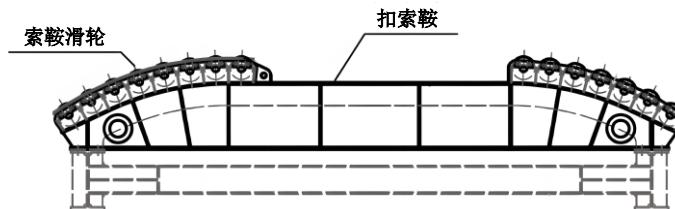


图11 扣索鞍示意图

7.4.4 索鞍平台的设计符合下列规定：

- 平台设计时应考虑扣索不平衡水平力的影响;
- 平台纵桥向应设置连接钢板，形成封闭的施工平台;
- 平台两端横梁中部上下翼缘处宜设置与索塔相连接的八字形斜腹杆。

7.5 钢锚梁

7.5.1 扣锚索分设时宜采用钢锚梁（见图12），且宜由拉板、壁板、锚下承压板和锚垫板等零件组成。

7.5.2 钢锚梁的设计符合下列规定：

- 钢锚梁在最不利荷载工况下的受力性能应符合 JTGT 3651 的规定；
- 安装钢锚梁时，应设置作业平台，并应对已安装完成的钢锚梁进行必要的防护，防止损伤其表面的防腐涂层；
- 钢锚梁在安装就位后，应采用调节装置对其纵横桥向的平面位置和锚固点的位置进行调整定位，各平面位置的偏差应控制在±5 mm 以内，锚固点高程的偏差应控制在±2 mm 以内。

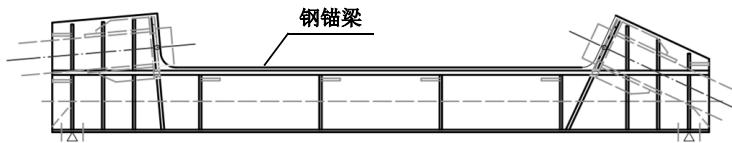


图12 钢锚梁示意图

7.6 扣点

7.6.1 扣点应在拱肋节段制作时同步制作。

7.6.2 扣点可采用扁担梁式或锚拉板式。

7.6.3 采用扁担梁式扣点时，扁担梁的受力和平面外稳定性应满足设计要求。

7.6.4 采用锚拉板式扣点时，锚拉板及其与拱肋弦管连接部位的受力和平面外稳定性应满足设计要求。

7.6.5 锚拉板式扣点的耳板与拱肋等部位应采用全熔透焊接，焊缝质量应与拱肋主弦管一致。

7.7 扣地锚

7.7.1 扣地锚与主地锚间的净距应根据不同的结构形式和工程条件确定。

7.7.2 扣地锚的抗拔、抗滑移、抗倾覆安全系数应符合 JTGT 3650 的规定。

7.7.3 扣地锚可采用重力式地锚、桩锚、岩锚等形式，并应符合 7.2.3 的荷载组合规定。经复核计算可行后，可考虑充分利用既有墩台基础。

7.7.4 采用重力式地锚时，应保证地锚的整体受力性能，并考虑水对抗滑移承载力的不利影响。

7.7.5 采用桩锚时，应验算桩的抗拉性能满足要求。

7.7.6 采用岩锚时，锚索张拉应采用应力应变双控、分级张拉的方式，张拉控制力应满足设计要求。

锁定后 48 h 内，若预应力损失超过设计值的 10%，应进行补偿张拉。

8 拱肋节段制作

8.1 一般规定

8.1.1 钢管拱肋宜采用多节段制作和组装，并应符合 JTGT 3651 的规定。

8.1.2 拱肋节段制作顺序应满足拱肋安装顺序的要求。

8.1.3 钢管拱肋制作前应根据设计文件编制加工详图和工艺技术文件。

8.1.4 拱肋节段制作宜在工厂内进行。运输受限时，可在工地现场临时建厂。

8.1.5 拱肋节段制作与安装应充分考虑下料加工误差、焊接收缩变形、温差变化、安装偏差、弹性压

缩、测量误差等对合拢间隙的影响，并合理选择施工工法控制。

8.1.6 拱肋主弦管宜采用钢板卷制，腹杆及横撑、横联管宜采用卷制焊接直缝管。

8.1.7 应提前设计后续施工需要的预埋、预留构件的安装位置，并应同时制作预埋、预留构件等。

8.2 构件制作

8.2.1 构件的下料和加工应按加工图和工艺文件进行，并应对钢材的牌号、规格、外观质量和质量证明材料等进行核对，确认无误后方可下料。

8.2.2 加工台座应通过承载力与刚度验算，并进行沉降监测，且加工场地应排水良好。

8.2.3 钢管的卷制符合下列规定：

——卷制前应对钢板进行预弯，预弯宜采用压力机及模具完成；

——钢板位置对中后，应采用快速进给法或多次进给法滚弯。卷板过程中，管端应处于同一个平面上；

——对接应先在卷板机上进行定位焊接，再移到焊接区域的专用胎架上进行纵缝焊接。

8.2.4 钢管焊接成型后，应对钢管进行整体校圆和局部校圆；校圆合格后，应对焊缝质量进行检验。

8.2.5 钢管制作完成后，应对外形尺寸进行检验。

8.2.6 铰座的制作符合下列规定：

a) 铰座的加工宜按以下顺序进行组装：

1) 宜采用螺栓栓接和周边点焊将两侧底钢板临时固定；

2) 在底钢板上标记支撑钢板的定位线，依次组装支撑钢板和加劲板；

3) 定位弧形板和支撑钢板，待定位符合要求后，组装弧形板。

b) 制作过程宜将弧形板与铰轴钢管临时固定以控制焊接变形；

c) 制作完成后，应进行热矫正，其温度宜控制在 $600\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

8.2.7 铰座预埋钢板的制作每边尺寸应大于铰座底板 100 mm ，当设计尺寸过小时，应适当加宽以保证码板焊接位置。

8.2.8 法兰盘的端面应进行机械加工。

8.2.9 法兰盘制作完成后，应对法兰面密贴度进行检验。

8.3 节段组装

8.3.1 节段组装前的准备工作符合下列规定：

——应清除钢管内表面的可见油污、氧化层、铁锈或污染物；

——应按图纸核对零件编号、外形尺寸和坡口方向，确认无误后可进行组装。

8.3.2 节段匹配组装时最小组装节段数量不应少于 3 段，匹配段不应少于 1 段。

8.3.3 节段组装应在胎架上进行，组装胎架符合下列规定：

——组装胎架的布设范围应满足节段组装的要求；

——胎架可采用钢格构架，并固定于平坦混凝土地坪上；

——组装胎架支撑点的布设应避开拱肋弦管对接环缝、腹杆与弦管节点等位置，且胎架的离地高度应方便焊接。

8.3.4 节段组装时的放样符合下列规定：

——放样时，弦管、腹杆、缀管、隔板等构件应在地坪上按 1:1 比例放出各构件的组装场地中心线（理论中心线），放样平面坐标偏差不应超过 $\pm 2\text{ mm}$ ；

——各构件实测定位中心线与其组装场地中心线(理论中心线)的偏差不宜大于节点间距的 1/1000 且不超过±2 mm。

8.3.5 采用以折代曲法加工制作节段主弦管（见图 13）时符合下列规定：

——折点应在计入预拱度后的拱轴线上；

——每节直管的长度宜根据设备最大卷管长度和拱肋节点错缝要求确定，并应满足式(2)的要求：

式中：

θ ——折角，单位为弧度 (rad)；

d ——管径, 单位为米 (m);

L ——节段长度，单位为米（m）。

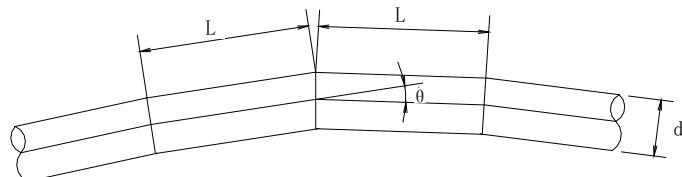


图13 “以折代曲”参数示意

8.3.6 节段主弦管的焊缝位置应符合 GB 50923 的规定。

8.3.7 节段各构件的组装符合下列规定：

- a) 定位焊接后应对其几何尺寸作详细检查，合格后可进行组装焊接，焊接后应复检尺寸；
 - b) 各构件宜按以下顺序进行组装，如图 14：
 - 1) 将弦管与横联管分别组装成上、下弦管片装单元；
 - 2) 在片装单元上依次组装腹杆横隔管和斜腹管；
 - 3) 组装下弦管片装单元；
 - 4) 组装横撑短接头和吊杆套管，组装弦管接头连接件。

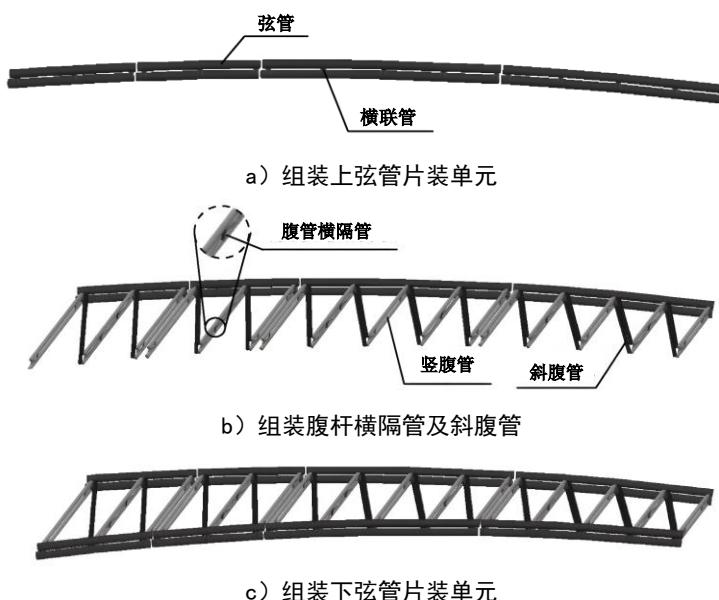


图14 节段主要构件组装顺序

- c) 法兰盘应在其它构件装焊完成并调整校正后进行施工：接头两侧法兰盘先用冲钉和螺栓固定，再进行装焊。

8.3.8 节段组装完成后，应根据施工监控的要求布设节段安装时的测量控制点。

8.3.9 拱脚铰轴应与铰座进行匹配试拼装，如图 15。

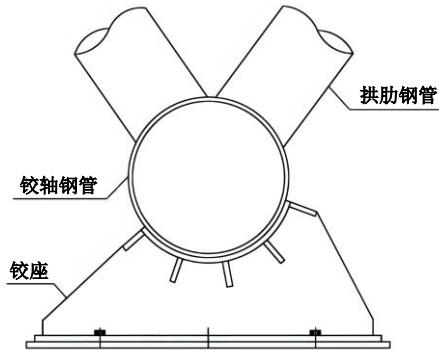


图15 铰轴与铰座匹配示意

8.4 焊接

8.4.1 焊接前应进行焊接工艺评定试验，焊接工艺评定应符合 JTG/T 3651 的规定，并依据试验结果编制焊接工艺文件。

8.4.2 钢管卷管焊缝的焊接顺序宜为：

- 管内侧施焊；
- 反面清根；
- 外侧施焊。

8.4.3 法兰盘的焊接宜符合下列规定：

- 对接焊接时，先焊接象限角，后焊接 1/2 象限角；
- 肋板采用双面坡口焊时，在同等受力情况下减小焊脚尺寸。

8.4.4 主弦管的对接焊缝符合下列规定：

- 节段安装接头对接焊缝应通过焊接工艺试验；
- 对接焊缝应对称施焊。宜先管内侧施焊、反面清根，再外侧施焊；
- 在空中焊接时，对接环焊缝可采用有衬垫的单面坡口焊；
- 在对接焊缝的拼接处，当焊件的厚度相差 2 mm 以上时，厚度方向单侧或双侧坡度过渡应符合 JTG/T 3651 的规定；
- 钢管对接焊缝的允许偏差应满足表 4 的要求。

表4 对接焊缝允许偏差

项目	允许偏差	图例
对口错边 (\triangle)	小于 $t/10$ 且不大于 2.0 mm	
间隙 (a)	1.0 mm	

注: t 为钢管厚度。

8.4.5 主弦管与腹管相贯线的焊接及坡口形式应符合 JTG/T 3651 的规定。

8.5 防腐涂装

8.5.1 拱肋节段的涂装应符合设计文件和 JT/T 722 的规定。

8.5.2 涂装施工应符合 JTG/T 3651 的规定,且现场焊接部位的焊缝两侧,宜预留 50 mm~100 mm 宽度采用坡口涂料临时保护。现场焊接完成后,预留部位应按相同的技术要求重新进行表面清理和涂装。

8.5.3 拱肋金属热喷涂施工应符合 GB/T 9793、JT/T 722 和 GB/T 8923.1 的规定。

8.6 节段存放与运输

8.6.1 拱肋节段宜平放在专门设置的台座上,且不宜超过 2 层。

8.6.2 存放台座应通过承载力和刚度验算,且存放场地应排水良好。

8.6.3 应考察运输线路,调查运输路线允许的构件最大长度、宽度、高度和重量。

8.6.4 采用水路运输时,应对船体的抗倾覆能力、静水力、舱容曲线进行计算。

8.7 节段质量检验

8.7.1 拱肋节段的外观质量和尺寸允许偏差应符合下列规定:

——节段上、下弦管的线形无异常弯折和变形,钢管内外无建筑垃圾、杂物和临时预埋件;

——钢管制作和组装的尺寸允许偏差符合 JTG/T 3651 及 GB 50923 的规定;

——法兰盘的法兰面平整度不大于 2 mm。

8.7.2 拱肋节段焊缝检验除应符合 JTG/T 3650 及 JTG/T 3651 的规定外,且对 Q355 及以下的钢材,应在焊接完成 24 h 后检测。对 Q390 及以上钢材,应在焊接完成 48 h 后检测。

8.7.3 拱肋节段的涂层应进行外观质量、涂层厚度、涂层附着力检验,并应符合 JTG/T 3651 及 JT/T 722 的规定。

9 拱肋节段安装

9.1 一般规定

- 9.1.1 拱肋节段安装应编制专项施工方案。
- 9.1.2 拱肋节段安装宜采用缆索吊装斜拉扣挂法施工，并应符合 DB45/T 2522 及本文件的规定。
- 9.1.3 应编制施工测量专项方案，建立施工测量控制网，控制测量等级应符合 JTGT 3650—02 和 GB 50026 的规定。
- 9.1.4 安装前应验算施工过程结构悬臂状态的整体和局部弹性稳定性，整体稳定系数不应小于 4.0，且局部稳定系数应大于整体稳定系数。
- 9.1.5 安装施工应避开 6 级或 6 级以上大风以及大雨、强浓雾等不利天气。
- 9.1.6 拱肋节段的安装工期宜控制在 6 个月以内，并加强缆索吊装斜拉扣挂系统的检查维护。
- 9.1.7 安装顺序应按照施工方案实施，执行施工监控指令，若过程中需要更改应进行重新计算论证。

9.2 安装前准备

- 9.2.1 安装所需的机械设备应定期进行检查、检修和保养，并应符合 GB/T 31052.6 的规定。
- 9.2.2 安装前应加强下列检查：
 - 拱肋节段的几何尺寸、焊接质量、表面防腐及组装情况；
 - 拱座的断面尺寸、拱肋预埋件位置准确；
 - 拱肋节段表面及管内的杂物清除干净；
 - 相关测量和监控测点的标识、传感器等完成安装。

9.3 安装

- 9.3.1 拱肋节段安装的流程宜为：
 - a) 节段翻身；
 - b) 吊运；
 - c) 就位；
 - d) 法兰螺栓初拧；
 - e) 安装扣索和缆风索；
 - f) 张拉扣索和缆风索；
 - g) 调整节段高程和扣索力；
 - h) 法兰螺栓终拧；
 - i) 焊接节段法兰盘和接头包板。
- 9.3.2 拱座预埋件的安装应符合下列规定：
 - 预埋钢板安装定位后，复测钢板表面平整度，并在钢板外侧点焊型钢进行加劲处理以减小拱座混凝土浇筑时产生侧压力引起的变形；
 - 安装铰座时，采用水平仪和全站仪同步控制其水平方向安装精度，并对铰座进行限位；
 - 拱座混凝土浇筑完成后将外露加劲型钢全部拆除。
- 9.3.3 首节段拱肋安装满足以下要求：
 - 铰轴定位后宜采用码板对其进行限位；
 - 轴线坐标偏差达到要求后，应在铰座边缘设置调节装置以保证铰座与铰轴密贴；
 - 铰座与铰轴密贴后应及时复测拱肋轴线坐标，满足设计要求后应立即焊接固定铰座；

——铰座与预埋钢板焊接完成后，应及时灌注压浆料填充铰座与预埋钢板间的空隙。

9.3.4 扣索安装符合下列规定：

- 扣索锚固端的挤压锚挤压完成后，应对锚固性能进行检验，并应符合 JTG/T 3650 的规定；
- 扣索钢绞线装入扣索鞍轮槽后，应采取可靠措施防止钢绞线脱离轮槽；
- 当采用钢锚梁时，前扣索和锚索除应满足 a) 的要求外，安装时宜相互错开；
- 应采取措施防止钢绞线相互缠绕。

9.3.5 扣索的张拉符合下列规定：

- 扣索张拉应在接头法兰盘螺栓安装完成后进行；
- 扣索钢绞线可逐根、逐级、对称张拉，或逐根初张拉后再整束张拉。逐根张拉时，钢绞线宜分级张拉且不少于 2 级，同一年级所有钢绞线张拉结束后，方可进行下一级张拉施工；
- 当采用钢锚梁时，前扣索和锚索除应满足 b) 的要求外，还应满足同步张拉的要求；
- 当拱肋高程满足监控要求时，可结束扣索张拉。实际扣索力与理论值的偏差超过 10% 时，应分析查明原因并采取措施后方可继续施工；
- 扣索钢绞线张拉结束后应及时安装防松脱装置，并应设置观察松脱的标记。

9.3.6 拱肋缆风索的安装符合下列规定：

- 缆风索的安装和张拉宜与扣索同步进行；
- 缆风索直接捆绑在拱肋钢管上时，应设置衬垫保护钢管涂层；
- 缆风索的安装张力宜控制在 50 kN～80 kN，且宜两侧同步对称张拉；
- 缆风索的拆除应在管内混凝土灌注完成后进行。

9.3.7 拱肋节段的安装满足以下要求：

- 一般规定：
 - 拱肋节段的安装高程、轴线偏位应满足施工监控的要求；
 - 扣索张拉完成后，应及时焊接节段法兰接头；
 - 拱肋和横撑的安装顺序应按专项施工方案进行，横撑吊装就位后应尽快完成全部焊接工作。
- 非平行拱的拱肋节段安装除满足 a) 项要求外，尚满足以下要求：
 - 节段起吊后，应将拱肋的倾角调整至设计或施工控制要求的角度；
 - 对于外倾式蝴蝶型拱桥，必要时可在拱肋间张拉横向临时系杆；
 - 扣索和拱肋平面之间的角度关系应进行计算论证。
- 多跨拱桥拱肋节段安装除满足 a) 项要求外，应考虑连拱效应，经计算确定节段的安装顺序。

9.3.8 拱肋合龙应符合施工监控指令要求，施工监控指令未要求时，宜选择温度较低且温度稳定时段进行。

9.3.9 拱肋的松索时间和顺序应根据设计和监控要求确定，松索过程符合下列规定：

- 宜两岸对称松索，松索顺序应符合专项施工方案要求；
- 应采取措施防止钢绞线在低应力下滑脱；
- 应监测拱肋各接头、1/4 跨及拱顶的高程，出现异常变形时应停止松索，查明原因方可继续施工。

9.4 安装质量检验

9.4.1 拆除扣索和缆风索后，拱肋的轴线偏位、拱肋高程、对称点高差、相邻拱肋高差和拱肋接缝错边应满足表 5 的要求。

表5 安装几何尺寸检查项目

检查项目	规定值或允许偏差	检测方法
轴线偏位	$\leq L/6000$, 且不超过40 mm	每肋每跨测5处
拱肋高程	$\pm L/3000$, 且不超过±50 mm	每肋每跨测拱脚、 $L/4$ 跨、 $3L/4$ 跨、拱顶7处
对称点高差	$\leq L/3000$, 且 ≤ 40 mm	每肋每跨测各接头点
相邻拱肋高差	$\leq L/3000$, 且 ≤ 20 mm	肋每跨测5处
拱肋接缝错边	$0.1t$, 且 ≤ 2 mm	测每个接缝最大值

注: L 为计算跨径, t 为钢管壁厚。

10 管内混凝土灌注

10.1 一般规定

10.1.1 管内混凝土灌注应编制专项施工方案。

10.1.2 管内混凝土灌注可采用真空辅助泵送顶升压注法或泵送顶升压注法。

10.1.3 灌注顺序应符合设计规定, 设计未规定时宜遵循先下弦管后上弦管、先内侧后外侧的原则。

10.1.4 混凝土应从弦管两侧拱脚附近向拱顶对称灌注, 拱肋两端灌注长度应满足设计要求, 设计无要求时高差不应大于10 m。

10.1.5 哑铃型拱肋应采取措施防止缀管腹腔钢板变形和焊缝破坏。

10.1.6 应根据设计要求以及混凝土用量、产能、品质等因素确定一次灌注的弦管数量。

10.2 配合比设计

10.2.1 拱肋钢管内的混凝土宜采用自密实补偿收缩混凝土。

10.2.2 水泥宜采用强度等级为42.5级或52.5级、铝酸三钙含量不大于8%、比表面积为 $300\text{ m}^2/\text{kg}$ ~ $350\text{ m}^2/\text{kg}$ 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

10.2.3 砂的选用符合下列规定:

——强度等级为C60及以上的混凝土宜采用I类砂, 强度等级为C30~C60的混凝土宜采用II类及以上砂;

——宜采用细度模数为2.6~3.0的2区中砂;

10.2.4 碎石的选用符合下列规定:

——应采用质地坚硬、级配良好、无风化颗粒的碎石, 且碎石最大公称粒径不应大于25 mm;

——宜根据最大公称粒径采用连续两级配或连续多级配;

——宜整形后使用。整形后的碎石宜呈圆球状、表面粗糙, 且针片状颗粒含量不应大于5%;

10.2.5 减水剂的选用符合下列规定:

——宜采用高性能减水剂, 减水率不应小于25%, 其掺量应经试验确定;

——应与水泥、矿物掺和料之间具有良好的相容性, 其试验方法应符合GB 50119的规定, 并应降低其对材料的敏感性;

——保坍、减水、缓凝、消泡、引气等性能应根据使用要求、施工条件、原材料变化等因素通过试验确定。

10.2.6 钙镁复合膨胀剂中宜含有30%~50%的MgO, 其在60℃水中28d与3d限制膨胀率的差值应处于0.015%~0.060%范围内。

10.2.7 配置C70及以上强度等级的管内混凝土,粉煤灰宜采用I级,粒化高炉矿渣粉不宜低于S95级,硅灰中的 SiO_2 含量宜大于90%、比表面积不宜小于 $18 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{kg}$ 、活性指数不宜小于105%。

10.2.8 管内混凝土的配合比设计宜符合下列规定:

- 配合比设计采用绝对体积法;
- 水胶比小于0.35;
- 砂率为40%~50%。

10.2.9 设计配合比应在生产和施工前进行现场试拌调整,应以调整后的配合比作为施工配合比。

10.2.10 管内混凝土拌合物的工作性能符合下列规定:

- 试验室条件下,符合下列规定:

- 坍落扩展度宜为550 mm~750 mm,扩展时间 T_{500} 宜为3 s~10 s;
- 坍落扩展度与J环扩展度之差宜为0 mm~25 mm,离析率不宜大于15%;
- 倒置坍落度筒排空时间宜为3 s~10 s;
- 含气量宜小于2.0%;
- 3 h坍落扩展度经时损失宜小于30 mm。

- 现场灌注时,符合下列规定:

- 拌合物应搅拌均匀、颜色一致,不应离析;
- 坍落扩展度宜为600 mm~700 mm,扩展时间 T_{500} (s)宜为3 s~7 s;
- 当采用接力泵送顶升分段连续施工时,初凝时间应大于完成一根弦管混凝土灌注所需时间。当采用分段不连续施工时,初凝时间应大于完成本段弦管混凝土灌注所需时间;
- 下一次管内混凝土灌注时,前一次灌注的管内混凝土强度应满足设计规定,如设计无规定时,前一根弦管内的混凝土强度不宜低于设计强度的80%;
- 在低气压、大温差地区或其他特殊气候条件下灌注管内混凝土时,宜调整配合比及外加剂掺量。

10.2.11 管内混凝土的力学性能应满足设计要求,其力学性能试验的试模宜采用铸铁或钢制试模,试验方法应符合GB/T 50081的规定。

10.2.12 管内混凝土初凝后3d的自生体积变形宜为 $150 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$,56d的自生体积变形宜为 $50 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ 。

10.3 灌注前准备

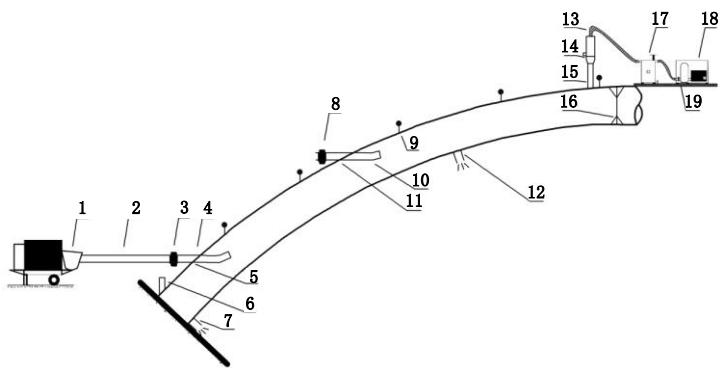
10.3.1 管内混凝土拌制时,应根据现场试拌试验确定最短搅拌时间,并在搅拌地点和灌注地点分别取样检测混凝土拌合物的性能。

10.3.2 管内混凝土的运输符合下列规定:

- 运输车搅拌筒的转速宜为2 r/min~4 r/min,卸料前应采用快档旋转搅拌不少于20 s;
- 入泵前,在运输车中的连续搅拌时间不应小于30 min,且不宜大于2 h;
- 当混凝土运输至浇筑地点后坍落扩展度不符合要求时,应进行二次搅拌,二次搅拌时不应加水,可通过添加同种外加剂调整混凝土;
- 二次搅拌仍不符合要求时应废弃。

10.3.3 当采用真空辅助泵送顶升灌注法时,灌注前机械设备应按施工要求布置完成,并符合下列规定:

- 宜采用水环式真空泵,其性能应满足极限真空压力达到-0.09 MPa和最大抽气速率大于 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ 的要求;
- 真空辅助泵送顶升灌注系统可按图16布置,真空表宜设置在L/8跨、L/4跨和拱顶位置;

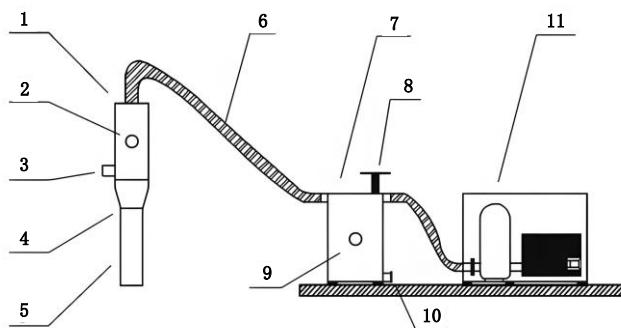


标引序号说明：

- 1——混凝土输送泵；
- 2——输送管；
- 3——止回阀（一级）；
- 4——一级进浆管；
- 5——一级压注口；
- 6——拱脚排浆管（一级）；
- 7——泄水排渣管；
- 8——止回阀（二级）；
- 9——真空表；
- 11——二级压注口；
- 12——二级排浆管；
- 13——真空胶管；
- 14——拱顶储浆管；
- 15——拱顶排浆管；
- 16——隔仓板；
- 17——储浆桶；
- 18——真空泵；
- 19——拱顶操作平台。

图16 管内混凝土真空辅助泵送顶升灌注设备布置示意图

——拱顶抽真空系统可按图 17 布置。



标引序号说明：

- 1——拱顶储浆管；
- 2——储浆管观察窗；
- 3——储浆管排气阀；
- 4——法兰盘；
- 5——排浆管；
- 7——储桶；
- 8——储浆桶排气阀；
- 9——储浆桶观察窗；
- 10——储浆桶排浆阀；
- 11——真空泵。

图17 拱顶抽真空系统设备布置示意图

10.3.4 灌注前，弦管内壁应冲洗干净，不应残留积水和污物。

10.3.5 首次灌注前，应开展各施工机械设备的联动试车，并进行灌注演练。

10.4 管内混凝土灌注

10.4.1 管内混凝土的灌注符合下列规定：

- 应先泵水湿润输送泵的料斗、活塞等直接与混凝土接触的部位。泵水后，应清除输送泵内的积水；
- 泵送混凝土前，宜先泵送不少于 1 m^3 的砂浆。砂浆应与剔除碎石的管内混凝土的配合比相同；
- 泵送混凝土前，施工现场应有 2~3 车混凝土储备，当施工现场等待的混凝土少于 2 车时，应放慢泵送速率；输送泵料斗中的混凝土应保持在搅拌轴 200 mm 以上，混凝土输送泵不应反向泵送；
- 当拱脚排浆口排出合格混凝土时，应暂停泵送，并从拱脚排浆口插入振捣棒进行振捣并补浆。封闭拱脚排浆管后方可继续泵送混凝土；
- 当混凝土到达拱顶段时，应放慢混凝土的灌注速度；
- 拱顶段管内混凝土排浆时，应符合下列规定：
 - 排出的浆液应妥善处理，不应污染拱肋外表面；
 - 当排出合格混凝土时，应暂停泵送并观察排浆管内混凝土的液面。当混凝土液面回落明显或有气泡产生时，应再次泵送直到排出合格混凝土为止；
 - 排浆结束后，应关闭止回阀，并应对施工机械设备进行清洗和性能检查。

10.4.2 采用真空辅助泵送顶升压注法灌注管内混凝土时，除应符合 10.4.1 的规定外，尚符合下列规定：

- 当采用混凝土液面超过压注口 2 m~3 m 高度后，应开始抽真空作业；
- 灌注过程中管内的真空压力不宜大于 -0.08 MPa ，当在高原低气压环境下施工时，真空压力不宜大于 -0.04 MPa 。

10.4.3 管内混凝土的灌注分级宜符合下列规定：

- $50 \text{ m} < \text{拱肋矢高} \leq 80 \text{ m}$ 或单管混凝土灌注时长处于 8 h~10 h 时，分 2 级灌注；
- $80 \text{ m} < \text{拱肋矢高} \leq 120 \text{ m}$ 或单管混凝土灌注时长处于 10 h~12 h 时，分 3 级灌注；
- 拱肋矢高 $> 120 \text{ m}$ 或灌注时长大于 12 h 时，分 4 级灌注。

10.4.4 采用真空辅助泵送顶升压注法分级灌注管内混凝土时，应符合下列规定：

- 当管内混凝土到达当级排浆口时，停止抽真空并打开排浆口排出浮浆；
 - 当启动下一级进浆管进浆时，关闭上一级排浆口，且上一级进浆管退出工作；
 - 当管内混凝土液面超过下一级排浆口 $2\text{ m} \sim 3\text{ m}$ 时，弦管内的真空压力在不大于 -0.08 MPa 后可进行下一级灌注施工。

10.4.5 应对灌注过程进行监测，并符合下列规定：

- 分别在混凝土搅拌地点和灌注地点对混凝土坍落扩展度、温度、施工配合比、输送泵的压力和排量等参数进行监测，监测频率应满足表 6、表 7 的要求；

表6 搅拌地点监测参数

项目	混凝土坍落扩展度	温度	施工配合比
监测频率	≥1次/1罐车	≥1次/3罐车	≥1次/1罐车

表7 灌注地点监测参数

项目	混凝土坍落扩展度	温度	混凝土输送泵压力、排量
监测频率	≥1次/1罐车	≥1次/1罐车	≥1次/1罐车

——混凝土输送泵的压力过大时，降低泵送速度和拌合站的供料速度，并调整后续混凝土的工作性能。

10.5 质量控制

10.5.1 管内混凝土的强度应满足设计要求，并按照 JTG F80/1 的要求进行检验评定。

10.5.2 管内混凝土的密实性可采用人工敲击、超声波、钻孔的方法，除应符合 GB 50923 的规定外，尚符合下列规定：

- a) 当采用超声波检测时,应检测灌注前空钢管的超声波波速值作为对比值,当检测值不大于对比值时,应剔除检测值以保证检测的准确性;
 - b) 脱空率应符合设计规定,设计未规定时,球冠形脱空率不应大于 0.6%,且脱空高度不应大于 5 mm。环向脱粘角度不应大于 20%,且脱粘高度不应大于 3 mm;
 - c) 超声波检测值不宜小于理论密实超声波波速,当超声波检测值小于理论密实超声波波速时,应进一步通过加密测点或钻孔的方式查明缺陷情况,且缺陷程度应满足 b) 的要求。理论密实超声波波速可按式(3)计算确定:

式中：

UPV ——理论密实超声波波速，单位为米每秒（m/s）；

f_c ——核心混凝土抗压强度标准值，一般取工地试验室28 d标准立方体抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

t ——检测时间，宜在灌注7d、14d、28d后和验收前四个时间进行检测。

11 其它构件施工

11.1 一般规定

- 11.1.1 其他构件施工除柔性系杆、吊杆、桥面梁板的安装施工应符合本章的规定外，支座、伸缩装置、桥面防水、桥面铺装、桥面防护及桥头搭板的施工应符合 JTGT 3650 和 JTGF80/1 的有关规定。
- 11.1.2 系杆和吊杆及其锚具应由专业厂家制造，采用符合设计规定的定型产品。进场前应进行产品质量检验，每根系杆、吊杆的成品索应具有检验合格标志。
- 11.1.3 吊杆、桥面梁板的安装施工宜在拱肋管内混凝土达到设计强度后进行。
- 11.1.4 系杆、吊杆的上、下锚头和配套防护材料，应按设计文件相关要求，采取可靠的防排水、防腐蚀措施，外露的索体保护 PE、保护管套或保护罩（盖）应满足设计耐久性要求。
- 11.1.5 系杆的施工应按照设计要求进行，并编制专项施工方案。

11.2 系杆

- 11.2.1 系杆的制作应符合 GB 50923 的规定。

11.2.2 系杆的安装满足以下要求：

- 系杆转向宜采用转向滑车，滑轮弧形的宽度应大于 2 倍系杆直径，且弧形的深度应大于系杆直径；
- 系杆牵引过河时，应在支撑架上设置定位滑轮和限位器，滑轮弧形的宽度应大于 1.5 倍系杆直径，且弧形的深度应大于系杆半径。限位器可采用圆钢外套空心管形式，且外套空心管可绕圆钢转动；
- 穿入拱座预埋孔前，应对预埋孔进行打磨，并在入口安装防刮装置；
- 安装过程不应扭转，并应防止 PE 防护层损坏。

11.2.3 系杆的张拉应满足以下要求：

- 张拉前，对千斤顶和油泵进行检查，油表编号、千斤顶编号应与标定证书一致。进行试机，检查油泵进出油管安装正确，试机过程不出现漏油等故障；
- 张拉顺序、张拉控制值符合设计要求。每根系杆索应分级、对称张拉，并与加载工况相对应。施工时除对系杆进行内力和伸长量的双控外，还监测结构关键部位的变形，并将其控制在设计允许范围以内；
- 张拉结束后及时安装防松脱装置，并做好锚头及剥除 PE 防护层钢绞线的防腐蚀措施。

11.3 吊杆

- 11.3.1 吊杆的制作和安装除应符合 JTGT D65-06 的规定外，尚应符合下列规定：

- 吊杆制作长度根据拱肋实际标高进行调整；
- 吊杆安装前，复核拱肋上锚垫板的轴线坐标，当不满足要求时应按专项施工方案处理，且与主梁加工制造相匹配。

11.3.2 吊杆索力的调整应按设计和监控的要求进行。

11.4 拱上立柱

- 11.4.1 拱上立柱的施工宜在拱肋管内混凝土达到设计强度后进行。施工前应根据设计文件和 JTGT 3650 的规定对拱上立柱基座的位置和高程进行复测检查。

11.4.2 拱上钢构件的加工制作除应符合 GB 50205 的规定外，尚应符合以下规定：

- 钢构件在工厂内加工制造，并进行预拼接。拼接板上的螺栓孔一半在工厂内按设计出孔，另一半根据孔位修正参数现场钻孔；
- 立柱杆件进场后，对杆件的基本尺寸、偏差、扭曲、焊缝开裂以及由于运输和装卸不当造成的损伤、油漆等进行详细检查和记录，经监理签认后，按规定处理；
- 立柱杆件和联系杆件的几何偏差和拼装偏差，满足设计文件的有关规定。

11.4.3 拱上钢管混凝土构件的安装施工应符合 JTGT D65—06 的规定。

11.4.4 拱上钢立柱的安装施工除应符合 GB 50205 的规定外，尚符合以下规定：

- 拱上立柱的施工顺序应符合设计要求；
- 安装前应对各种杆件、节点板、螺栓进行检查，防止使用有损伤的构件；
- 立柱杆件应在地面上拼接完成。对于高度较大的立柱，应分段拼装；
- 立柱的节段连接宜采用对焊接头，其焊接质量应符合 GB 50205 的有关规定；
- 各支座底面标高应一致，必要时可采用钢垫片进行调整。

11.5 桥面系钢梁

11.5.1 桥面系钢梁的制作除应符合 JTGT D64—01 及 JTGT 3650 的规定外，尚满足以下要求：

- 应考虑缆索吊装系统的起吊和安装方式，当需要在横梁两侧增设延长吊具时，吊具应与钢梁匹配制作；
- 应将吊杆预埋管口打磨成圆角，避免安装时损伤吊杆保护层；
- 钢梁单元件制作时，应考虑桥面纵横坡对格子梁单元件线型和尺寸加工的影响；
- 合龙段宜先预留 400 mm~1 000 mm 配切余量，合龙前以设定合龙条件下的实测间距配切。

11.5.2 桥面系钢梁的焊接和涂装应符合 JT/T 722、GB/T 18570.3、GB/T 9793 和 JTGT 3651 的规定。

11.5.3 桥面系钢梁的存放和运输应符合 JTGT D64—01 的规定。

11.5.4 桥面系钢梁的现场吊应考虑已安装结构的影响，并满足以下要求：

- 宜采用四点台吊法，吊点宜对称布置。当只有一条横梁的合龙段时，起吊前应设置足够的水平斜撑；
- 吊运过程应保持平衡、无扭转；
- 吊运方式宜根据现场吊运情况采用从上方穿过拱肋下放和下方抬吊两种方式吊运；
- 当采用穿过拱肋下放的方式吊运时，应符合下列规定：
 - 拱肋间的预留宽度不应小于桥面系钢梁的长度。当预留宽度小于桥面系钢梁的长度时，应计算桥面梁的吊运倾斜角度，并应对吊点或钢丝绳捆绑方式进行专门设计以保证顺利穿过拱肋；
 - 应预留冲突部位的横撑暂不安装。桥面梁穿过拱肋时，应避免碰伤拱肋涂层。桥面梁吊装完成后，应及时安装预留位置的横撑。

11.5.5 桥面系钢梁的安装除应符合 JTGT D64—01 的规定外，尚满足以下要求：

- a) 安装流程宜为：
 - 1) 节段运输；
 - 2) 起吊；
 - 3) 竖穿拱肋；
 - 4) 纵向吊运；
 - 5) 就位；
 - 6) 安装腹板螺栓；

- 7) 张拉吊杆;
- 8) 安装桥面板;
- 9) 合龙。
- b) 桥面梁应按照设计的安装顺序依次分段安装。设计无明确规定时，应参照对称、均衡原则进行安装，且两岸安装进度差不宜超过 2 个节段；
- c) 当吊杆下锚固端设置在桥面梁上部时，应先安装吊杆锚固端，再进行节段接头的连接；
- d) 安装过程，应按照设计或施工监控的要求控制安装精度，且合龙前不宜对桥面梁标高进行反复调整。

11.6 桥面板

11.6.1 预制混凝土桥面板的制作除应符合 JTG/T 3650 的规定外，尚满足以下要求：

- 应在预制厂集中预制，预制前宜对预留钢筋与连接件进碰撞模拟；
- 应对底模横、竖、对角三个方向的平整度进行检验；
- 应根据设计文件要求准确定位接缝预留的钢筋位置；
- 当混凝土强度达到 2.5 MPa 时，板四周应进行凿毛处理，板的顶面应进行凿毛处理，且凿毛深度不宜小于 5 mm；
- 制作完成后，桥面板的几何尺寸、连接钢筋预埋位置和板面沿板长方向支承面平整度应满足表 8 的要求。

表8 桥面板的主要检查项目

检查项目	规定值或允许偏差
长度、宽度	$\leq \pm 3 \text{ mm}$
厚度	$\leq \pm 5 \text{ mm}$
连接钢筋预埋位置	$\leq \pm 5 \text{ mm}$
板面沿板长方向支承面平整度	2 m 范围内 $\leq 2 \text{ mm}$

11.6.2 当桥下运输条件有限时，宜采用上方穿过拱肋下放的方式进行安装，存放和吊运满足以下要求：

- 桥面板的存放支点宜与吊点设置在相同位置，4 个支点应严格调平以确保处在同一平面内；
- 桥面板应在混凝土强度达到 85% 设计强度后进行吊装，并应采用 4 点起吊并配置相应的吊具。

11.6.3 预制混凝土桥面板安装应满足以下要求：

- 安装顺序符合设计要求，安装时相邻钢筋骨架在湿接缝处相互错开；
- 桥面板与桥面梁搭接部位采用弹性支垫；
- 湿接缝浇筑前，对安装过程产生变形的连接钢筋予以校正和调直，对损伤的连接件予以修补；
- 湿接缝混凝土强度达到 85% 设计强度前，不在桥面上进行施工作业。

11.6.4 现浇混凝土桥面板施工满足以下要求：

- 应按设计方案进行，如设计未规定，可采用分幅、分带、从两岸至跨中对称浇筑的方式施工；
- 桥面横向分幅位置宜加工梳齿形钢板作为模板，并应严格控制钢筋保护层厚度；
- 应控制混凝土的坍落度不大于 160 mm，每立方米混凝土中碎石的体积含量不应少于 45%；
- 混凝土桥面板密实成型后应立即覆盖薄膜保湿养生，养生时间不应少于 7 d。

11.7 质量检验

11.7.1 系杆安装质量实测项目应符合表 9 的规定。

表9 系杆安装实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
张拉应力 MPa	设计要求或±2%	查油压表读数：每根检查
张拉伸长率 %	设计要求，或±5%且±5mm	尺量：每根检查

11.7.2 吊杆制作和安装质量实测项目应符合表 10 的规定。

表10 吊杆的制作与安装实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
吊杆长度 mm	±0.001L _d 及±10	尺量：每根检查
吊杆拉力 kN	设计要求或±10%	测力仪：每吊杆检查

注：L_d为吊杆长度。

11.7.3 桥面系钢梁安装和桥面板铺装的质量实测项目应符合 JTG F80/1 的规定。

12 施工监控

12.1 一般规定

12.1.1 应依据 JTG/T 3650-01 和 DB45/T 2280 的规定以及设计文件和施工方案，编制施工监控方案。

12.1.2 施工过程中，应对拱肋主体结构、缆索吊装系统、斜拉扣挂系统的线形、应力和索力等进行监测与控制。

12.2 控制分析计算

12.2.1 控制分析计算应包括设计符合性计算和施工过程仿真与跟踪计算，并符合下列规定：

- a) 控制分析计算应校核设计参数、提供施工阶段理论状态线形及内力数据、识别结构偏差、提供用于指导施工的控制数据；
- b) 斜拉扣挂施工优化方法计算宜满足“过程最优”为前提的施工优化计算方法，且满足以下要求：
 - 1) 拆除扣索后拱肋线形与目标线形的偏差应满足设计文件和施工规范的要求；
 - 2) 在满足 12.2.1 b) 中的 1) 的前提条件下，拱肋安装过程控制点位移宜与目标位移偏差最小；
 - 3) 控制分析计算应考虑安装横联的影响；
 - 4) 控制分析计算应进行温度影响修正。
- c) 计算模型应考虑大型施工设备对主体结构的影响。对关键结构构件，必要时应增加局部模型进行分析；
- d) 控制分析计算应采用可靠的理论方法和计算软件。对跨度大于 300 m 的钢管混凝土拱桥宜考虑几何非线性效应，并计入管内混凝土强度发展和收缩徐变的影响。

12.3 施工监测

12.3.1 施工过程监测宜包含表 11 的内容。

表11 施工过程监测内容

监测项目	监测参数
线形	拱肋轴线坐标
	索塔、扣塔位移
索力	扣索力、锚索力
温度	拱肋表面温度
	索塔、扣塔表面温度
	大气温度
风荷载	风速、风向

12.3.2 线形监测符合以下要求:

- 线形监测宜采用全站仪测试，其测距分辨率不宜低于 $1 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$ ，测角精度不宜低于 $0.5''$ ；
- 监测截面的布置应符合下列规定：

- 拱肋：监测截面应位于每个节段的前端；
- 索塔和扣塔：监测截面应位于塔顶和塔架中部。

——监测工况与监测频率应符合以下规定：

- 拱肋：每个节段安装完成后，应至少复测前2个节段，每天复测不应少于2次。封拱脚前后及合龙前后，应测试全部已安装节段。扣索和缆风索拆除前后，应测试全部控制截面。拱肋承受的重大临时荷载变化前后，应测试全部控制截面；
- 索塔：宜在吊装最大重量时，测试全部控制截面；
- 扣塔：每次扣、锚索张拉完成后，应测试全部控制截面。

12.3.3 索力监测符合下列规定：

- 扣、锚索力可采用压力传感器法、频谱法、磁通量法进行监测；
- 采用压力传感器法和磁通量法时，测点宜布置在扣索和锚索的两端附近；采用频谱法时，测点宜布置在距离两端 3 m 以上位置；
- 每节段拱肋安装完成后，应对前三个节段的扣、锚索索力进行复测。

12.3.4 温度监测符合下列规定：

- 温度监测宜采用铂式热电阻温度传感器、热电偶点温计，监测元件分辨率不应大于 0.1°C ；
- 监测截面的布置应符合下列规定：

- 拱肋：监测截面应布置在拱脚、 $L/4$ 、跨中附近；连拱拱桥应至少选择一个边拱和一个中拱布置温度监测截面；
- 扣塔：监测截面宜位于扣塔底部和顶部附近；利用交界墩作为扣塔时，监测截面应位于墩柱底部和顶部附近。

——测点布置应符合下列规定：

- 温度测点宜与应力测点布置在相近位置；
- 拱肋温度测点应布置在钢管的顶、底缘；
- 大气温度测点的数量不宜少于2个。

——监测工况与频率应符合下列规定：

- 在应力监测的同时应测量相应点的温度；
- 在线形、索力测量时，对温度影响较大的情况，应测量相应点的温度。

12.3.5 风速风向监测点应布置在索塔塔顶，全桥应布置不少于1个风速风向传感器。

12.3.6 拱肋合龙前，应对拱肋线形和温度进行不少于24 h的连续观测。

12.3.7 施工过程及施工完成后中，结构几何状态与受力状态的监测值与控制值的允许偏差应符合JTG/T 3650-01的规定。

参 考 文 献

- [1] JGJ 63 混凝土用水标准(附条文说明)
 - [2] JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
 - [3] JTGT 3650 公路桥涵施工技术规范
 - [4] JTGT 3650-01—2022 公路桥梁施工监控技术规程
 - [5] JTGT 3650-02 特大跨径公路桥梁施工测量规范
 - [6] JTGT 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
 - [7] JTGT D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范
 - [8] JTGT D65-06 公路钢管混凝土拱桥设计规范
 - [9] JTGF80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
 - [10] JTGF90 公路工程施工安全技术规范
-