

文章编号: 1002-0268 (2004) 09-0074-04

大跨径无支架缆索吊吊装系统设计与施工

都昌林, 马学峰, 龚志刚

(路桥集团第二公路工程局, 陕西 西安 710065)

摘要: 钱塘江四桥为双层桥面双主拱钢管混凝土组合系杆拱桥, 主桥共 11 跨, 包括下承、中承、上承式 3 种结构形式。上部结构的吊装采用两跨无支架缆索吊吊装施工, 拱肋安装采用斜拉扣挂体系, 技术含量高, 施工难度大。

关键词: 钱塘江四桥; 无支架缆索吊; 扣索; 钢管混凝土拱; 塔架

中图分类号: U445.464

文献标识码: A

Design and Construction of Long Span System with Non-standing Cable Hoists

DU Chang-lin, MA Xue-feng, GONG Zhi-gang

(RBG. Second Highway Engineering Bureau, Shaanxi Xi'an 710065, China)

Abstract: The 4th Qiantangjiang River Bridge in Hangzhou is a concrete-filled steel tubular composite tied arch bridge with double main arches. The main bridge is composed of 11 spans that include 3 types of structures in form of through arch, half-through arch and deck arch. The superconstruction adopts two spans non-standing cable hoists to lifting and elevating, the steel tubular is fixed by adopting slanting and drawing cable. The technique content is very high and great difficulties have been overcome in the construction.

Key words: The 4th Bridge over Qiantangjiang River; non-standing cable hoists; Cable stay; Concrete-filled steel tubular composite tied arch bridge; Tower shelf

1 工程概况

钱江四桥位于杭州市钱江大桥下游 4.3km, 南星桥第一码头上游约 200m 处, 桥梁设计全长 1 376m。设计采用双层钢管混凝土系杆拱桥方案, 主桥的跨径组合按计算跨径为 $2 \times 85\text{m} + 190\text{m} + 5 \times 85\text{m} + 190\text{m} + 2 \times 85\text{m}$, 其中 85m 跨径为下承式系杆拱桥和上承式拱桥的组合, 190m 跨径为下承式系杆拱桥和中承式拱桥的组合。全桥的跨径组合为 $2 \times 47.5\text{m} + 2 \times 85\text{m} + 190\text{m} + 5 \times 85\text{m} + 190\text{m} + 2 \times 85\text{m} + 2 \times 47.5\text{m} = 1\,376\text{m}$ 。其中 $2 \times 47.5\text{m}$ 跨采用双层等高度的预应力混凝土箱梁结构。

2 大跨径无支架缆索吊装系统的设计

2.1 上部结构

2.1.1 190m 跨上部结构

190m 跨径拱轴线形为二次抛物线, 矢跨比为

$1/4$, 拱肋断面形式为桁架式, 拱肋高度为 4.5m, 宽 2.6m, 上层桥面以上每一拱肋由 $4\phi 95\text{cm}$ 的钢管组成, 钢材采用 Q345C 钢; 腹杆为 $\phi 40\text{cm}$ 壁厚为 14mm 的钢管, 上下平联采用 $\phi 50\text{cm}$ 壁厚为 10mm 的钢管, 上下平联水平向间距为 2.0m。上层桥面以下至拱脚拱肋断面由横哑铃形的上下弦杆通过腹杆连接组成。纵向 4 根钢管和哑铃形断面内灌注 C50 混凝土, 其余均为空钢管。上层桥面以上设置 5 道桁架式风撑, 风撑弦杆采用 $\phi 90\text{cm}$, $\delta = 16\text{mm}$ 的钢管。

2.1.2 85m 跨上部结构

85m 跨径为下承式系杆拱桥与上承式拱桥的组合, 拱轴线形式为二次抛物线, 矢跨比为 $1/4$, 采用单钢管, 直径为 $\phi 170\text{cm}$, 管壁厚为 22mm, 钢管内设置 2 道竖板, 板厚 10mm。为了保证拱肋的横向稳定性, 拱肋之间设置 5 道风撑, 风撑直径为 $\phi 90\text{cm}$, 厚度 $\delta = 16\text{mm}$ 。上述钢材均采用 Q345C 钢。具体结构布置见图 1。

收稿日期: 2004-06-11

作者简介: 都昌林 (1962—), 男, 安徽青阳人, 高级工程师, 主要从事公路桥梁的施工与管理。

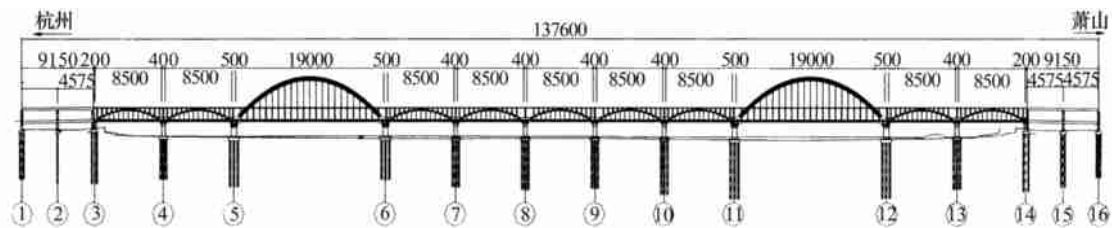


图1 杭州市钱江四桥总体布置图/cm

2.2 缆索吊装系统总体设计与施工

缆索吊装索跨组合为 250m + 692.25m（杭州岸）+ 650.75m（萧山岸）+ 250m（尾索长度），连续四索跨结构。两岸主塔高 120m，底宽 34m，顶宽 42m。中主塔高 104m，底宽 38m，顶宽 46m。主塔架图见图 2 所示。

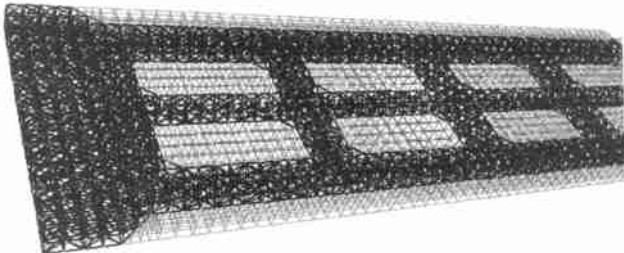


图2 主塔架三维模拟图

全桥采用上、下游两组分离式索道系统，每组索道由 7φ50 密封式钢丝绳组成，索体结构由高强钢丝

组成，设计垂度按 $L/16$ 计算。主索安全系数要求 >3.0 ，单边设计吊重为 650kN，总设计吊重为 1300kN。两组索道均能采用独立的起重、牵引、跑车及上、下挂系统，全桥共 4 套，各条钢丝绳设计参数见表 1。

表1 钢丝绳基本参数

钢丝绳	7φ50mm（主索）	φ24mm（起重索）	2φ26mm（牵引索）
单位重/kg·m ⁻¹	7×14.54=101.78	1.982	2.359
抗拉强度/MPa	1470	1670	1670
破断拉力/kN	=17186.4	238	333

2.2.1 缆索吊装系统设计

索跨组合：250m + 692.25m + 650.75m + 250m，其中 250m 为尾索长度；缆索吊装最大重量：单索道起重能力 650kN，双索道抬吊 1300kN；工作索道吊重能力：每组工作索道吊装重量 50kN；钱塘江四桥缆索吊装系统总体布置图见图 3。

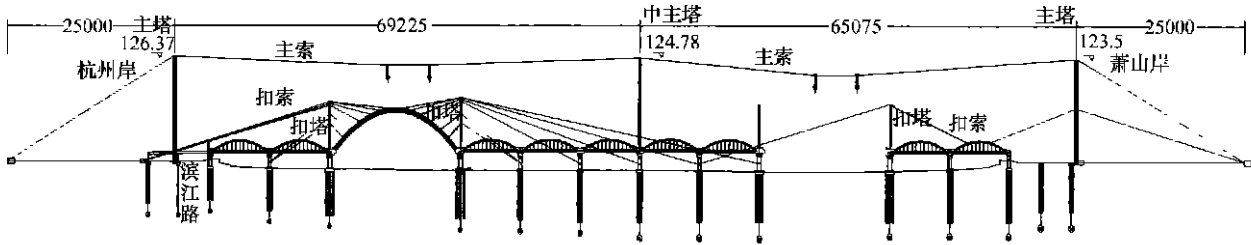


图3 钱塘江四桥缆索吊装系统总体布置图

2.2.2 塔架结构形式

主、扣塔架均采用 N 型万能杆件拼成门式塔架。根据本桥拱肋中轴线的距离，主塔架整体设置为对称结构。两岸主边塔、中塔、扣塔的塔铰采用常规的塔铰结构。

2.2.3 塔架基础

两岸主塔架基础均为 C25 钢筋混凝土扩大基础。基础承载力要求大于 200kPa，但两岸主塔基础地基允许承载力为 100kPa，所以必须进行基础换填砂砾处理，以提高地基承载力，使之达到设计要求。

2.2.4 塔架风缆

塔架拼装阶段，需要适当在塔架上设置塔架风缆，完成塔架架设之后，也应根据塔架高度和受力情

况设置腰风缆和塔架顶风缆，以便于在架设过程和吊装阶段通过这些风缆调整塔架垂直度并增加塔架稳定性。两岸主塔架顶横桥向两侧各设 2 道风缆，纵桥向设 3 道风缆，腰风缆在主塔架中部及塔顶的节点两侧呈“┘”布置。

2.2.5 塔顶索鞍结构

塔顶索鞍是装置在塔架上用来支承吊装缆索的一种设备，自行设计的可移动式索鞍具有安装方便，对主索钢丝绳磨损小，承载能力大，使用灵活等优点。该设备与主塔联结一起，是吊装设备中的重要组成部分。主索安全系数要求 >3.0 。

2.2.6 主索、扣索锚固系统

根据钱江四桥两岸地质情况和主桥各墩台能够承

受水平推力的特点，本桥 190m 跨缆索吊装地锚采用重力式主地锚 2 个、扣地锚 4 个，均为混凝土和浆砌片石砌筑而成。重力式地锚受力计算要求：抗滑稳定系数 $K_1 \geq 1.8$ ，抗倾覆安全系数 $K_2 \geq 2.0$ [1]。

2 3 计算模式简述

为了方便计算扣索力，并保证有足够的安全系数，各节段扣索力计算采用（铰接+固结）简化计算

模式，计算结果偏于安全。

为保证主塔架受力安全，采用 SAP2000 [3] 空间桁架单元对塔架的主要受力工况进行了模拟计算，计算结果除局部杆件应力偏大需要增加杆件外（在塔架施工中进行局部杆件处理），基本达到规范要求，即 $\sigma_{N1} < 151\text{MPa}$ ， $\sigma_{N3} < 90\text{MPa}$ ， $\sigma_{N4} < 79\text{MPa}$ ， $\sigma_{N5} < 57\text{MPa}$ ，塔底结构 $\sigma < 145\text{MPa}$ 。主塔架受力计算示意图见图 4。

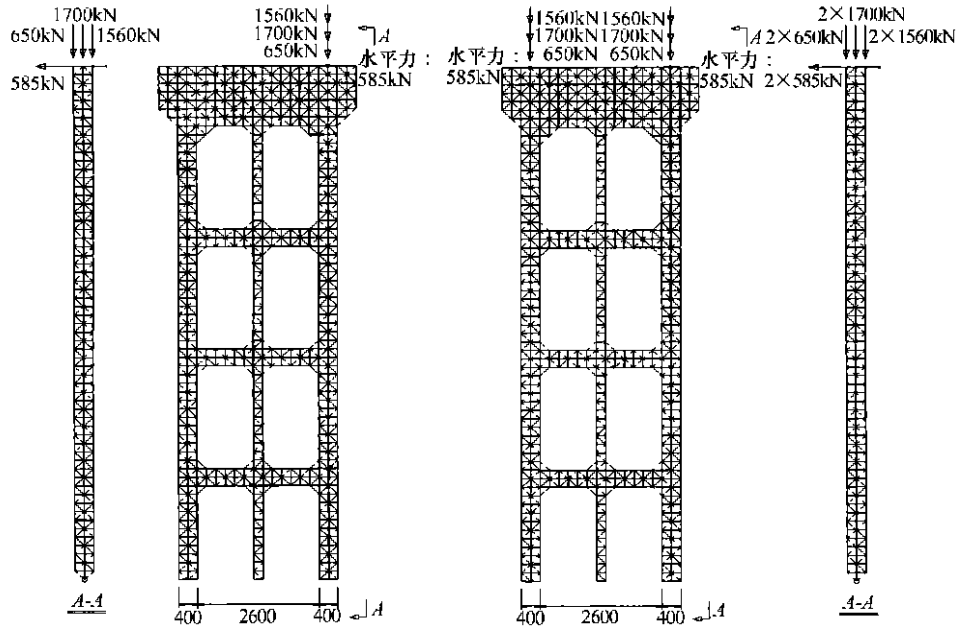


图 4 主塔架受力计算示意图

2 4 扣挂系统设计

扣挂体系由扣塔架、每一吊装节段的钢绞线扣索、拱肋扣点支撑结构、扣索在扣塔上转向结构、吊装节段侧向风缆索和扣索锚固张拉端结构共同组成 [2]。

2 4. 1 190m 跨扣索

本桥扣索采用 1 860MPa $\phi 15.24\text{mm}$ ，270 级高强度低松弛钢绞线，为了安全起见，扣索拉力一般控制在 100kN 左右。拱肋扣挂系统的受力按平面杆系结构进行计算，同时使用几种不同的电算程序 [3] 计算、复核，确保计算结果无误，并力求计算时各种边界条件尽量合理、接近实际状况，钢绞线扣索力安全系数 ≥ 2.0 ，扣索索力计算结果见表 2。

表 2 190m 跨钢拱肋扣索力表 kN

安装 节段	第 2 段	第 3 段	第 4 段	第 5 段	第 6 段	第 7 段	合计
最大 索力	534.7	566.7	904.1	681.6	898.2	1759.6	5344.9
节段重 量加载 情况	575.08	拱肋: 607.19 横: 629.5/2	562.27	422.44	488.47	549.36	合拢段 按 468.45 /4 传递

2 4. 2 85m 跨扣索

85m 拱扣索力较小，采用 2 $\phi 48\text{mm}$ 钢丝绳做扣索，单肋合拢，钢丝绳的安全系数 ≥ 4 。

3 大跨径无支架缆索吊吊装钢管拱肋施工 [4]

3 1 190m 跨钢拱肋安装方法

第 1 段钢拱肋预埋在拱脚混凝土内，而拱脚与系梁连接悬出墩顶部分的混凝土需要搭设支架进行现浇，所以第 1 段钢拱肋要求在拱脚混凝土浇注前完成安装、定位工作，而且安装的精度、稳定性等要求十分高，以保证后续钢拱肋节段安装能够准确对接。

第 1 段钢拱肋拼装完成后，整体吊运到拱脚预埋位置，利用拱脚钢筋骨架和临时定位型钢焊接进行固定。在拱脚混凝土现浇阶段还应该注意观测第 1 段钢拱肋的变位情况，便于及时调整，保证安装精度。

在拱脚混凝土达到设计强度之后进行 2~7 段钢拱肋安装，对 190m 单孔钢拱肋，采用节段对称交错进行，全桥两孔 190m 拱肋的安装，也采用上、下游交错进行。190m 单跨安装顺序见图 5。

3 2 85m 跨安装方法

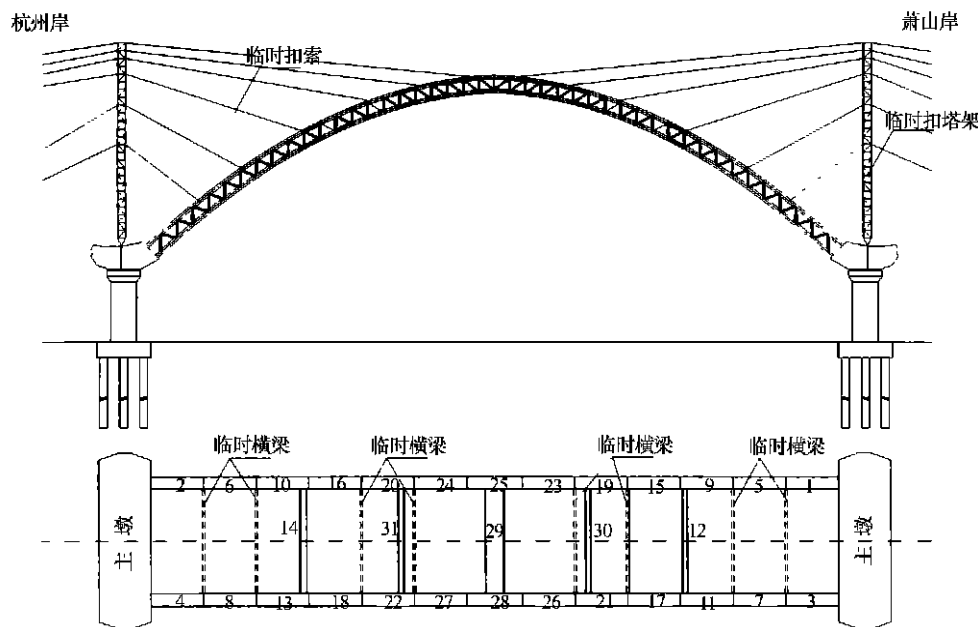


图 5 190m 跨拱肋吊装顺序图

85m 跨第 1 段钢拱肋预埋在拱脚混凝土内，其处理方法与 190m 跨相同。剩余 3 段钢拱肋采用单肋 3 段吊装合拢方式，以加快安装速度，尽早使单肋处于成拱稳定状态，在两肋合拢并调节好轴线和标高之后，再安装永久横联，使本跨整体成拱，进入稳定阶段。

4 结语

钱塘江四桥作为双桥面钢管混凝土拱桥为国内首创，结构独特，受力复杂，技术含量高，施工难度大，工期紧，双层钢管混凝土拱桥每一跨内部为高次

超静定结构，外部又为简支静定结构，钢管拱肋的吊装所采用的无支架缆索系统跨径大、结构新颖、受力复杂，为国内同等类型之最。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路桥涵施工技术规范 (JTJ041—2000) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
[2] 罗邦富, 魏明钟, 沈祖炎, 陈明辉. 钢结构设计手册 (GBJ17-88) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
[3] SAP2000 有限元计算程序, Anon.
[4] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.