

文章编号: 0451-0712(2005)01-0106-05

中图分类号: U445.3

文献标识码: B

润扬大桥施工专用设备的开发研制

张 腾

(路桥集团第二公路工程局技术发展处 西安市 710065)

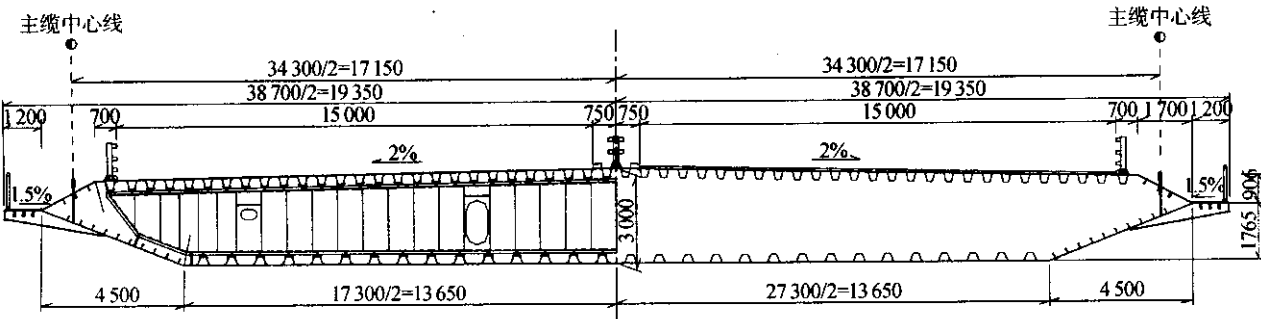
摘 要: 跨缆吊机是悬索桥钢箱梁桥面单元提升安装的专用设备,主要有卷扬机提升式和液压提升式两种形式。通过对跨缆吊机工作条件和性能指标的分析,结合润扬大桥悬索桥钢箱梁吊装的实际情况以及对国外同类设备现状的分析研究,设计研制了适用范围广泛的全液压、模块式、集中控制的跨缆吊机。

关键词: 悬索桥; 跨缆吊机; 钢箱梁; 开发研制

1 润扬大桥概况

润扬长江公路大桥南汊桥为主跨1 490 m的单孔双铰钢箱梁悬索桥,通航净空为50 m,是国内建设规模最大、质量标准最高、技术难度最大的特大型

桥梁工程之一。钢箱梁全宽38.7 m,梁高3.0 m,钢箱梁梁段总长1 485.23 m,总重量为22 000 t(仅为箱梁结构部分)。钢箱梁采用扁平流线型横断面,为全焊结构,见图1所示。



单位: mm
图1 标准钢箱梁断面

钢箱梁分93个制造节段并组焊成为47个吊装梁段,其中长32.2 m的标准吊装梁段42个,吊装重量492 t;长18.4 m的跨中梁段1个,吊装重量321 t;长25 m的端部梁段2个,吊装重量约404 t;与跨中梁段相连的N1、S1梁段长32.2 m,吊装重量520 t。

2 润扬大桥南汊悬索桥钢箱梁吊装施工特点

- (1) 桥梁跨度大,桥位处于长江航道主水道,水面宽约1 500 m,平均水深13.79 m,船行流量大,航运繁忙;
- (2) 钢箱梁吊装梁段长、南岸无水区段长约110 m,不方便钢箱梁梁段运输及吊装;

(3) 在国内的悬索桥设计上,首次采用了缆、梁固结的中央扣结构代替跨中短吊索,给现场安装带来了相当的难度,特别是现场安装连接工艺在国内还没有实践经验;

(4) 钢箱梁永久吊点与临时吊点位于一条直线上,必须考虑能满足吊装要求的特殊结构吊具;

(5) 施工工期紧,钢箱梁梁段吊装专用设备跨缆吊机需要在工地现场进行组装、荷载试验和缆上安装调试,为了缩短安装时间,要求跨中(自爬式)整体安装,有一定风险;

(6) 梁段重量大,每个梁段采用2台跨缆吊机抬吊,4点吊装对同步控制要求高。

3 主要研究内容

3.1 跨缆吊机工作条件

标准钢箱梁梁段的尺寸为 38.7 m (宽) $\times 32.2\text{ m}$ (长)。主缆直径为 906 mm ,主缆中心线之间的距离为 34.3 m ,主缆与水平线最大倾角 26° ,跨越最大索夹尺寸为 $1\,700\text{ mm}$ (长) $\times 400\text{ mm}$ (高)。每 2 台吊机作为一组共同工作,每组吊机的安全起吊能力为 740 t 。

3.2 跨缆吊机总体设计研究内容

(1)跨缆吊机是在主缆上工作的专用设备,起吊对象是钢箱梁节段,它的支撑和行走轨道是悬索桥的两根主缆。根据跨缆吊机工作条件和吊机基本特性,研究确定跨缆吊机组成系统。

(2)根据钢箱梁设计吊装节段尺寸、最大吊装重量、临时吊点位置、主缆缆径、主缆缆间距、主缆最大倾角、最大索夹尺寸等设计条件,跨缆吊机在施工现场组拼运输、缆上安装及拆除条件确定跨缆吊机的基本结构形式。

(3)根据润扬大桥悬索桥钢箱梁、主缆、索夹等设计参数,钢箱梁吊装周期、吊装作业气象条件及安全标准以及能适用于其他悬索桥钢箱梁吊装条件等,确定跨缆吊机基本结构技术指标,如提升能力、提升速度/放索速度、缆上行走速度、适应主缆倾角、作业气象条件等。

3.3 跨缆吊机设计性能一般要求

(1)吊机在两根主缆承托状态下,能按照钢箱梁吊装施工顺序,安全、平稳地的主缆上行走、就位、固定和钢箱梁吊装作业,行走确保防偏,就位固定确保防滑。

(2)吊机安装、行走、就位固定和钢箱梁吊装作业过程中,确保主缆表面和索夹不受损伤。

(3)主缆与桥面处于最小有限距离状态下,吊机能顺利将钢箱梁吊装就位。

(4)吊机整体结构设计及受力计算,应考虑特殊钢箱梁段吊装的受力影响,吊装过程中应确保钢箱梁处于水平超静定状态。

(5)吊机钢结构设计应考虑现场拼装条件、起吊能力以及方便工地间的运输、重新组装速度,并能符合国内公路或水运长途运输条件。

3.4 跨缆吊机起吊系统性能要求

(1)安全提升能力 $>370\text{ t}$,平均提升速度 30 m/h ,放索速度 90 m/h ;

(2)安全系数 1.25,提升索股长度 250 m ;

(3)控制单元:配制冲程传感器、压力传感器及电子控制触点开关。

3.5 跨缆吊机行走系统性能要求

(1)缆上单机行走能力 $>120\text{ t}$,滑移能力 $>20\text{ t}$,荷载转移能力 $>200\text{ t}$,平均行走速度 10 m/h ;

(2)安全系数:1.25;

(3)控制单元:配置冲程传感器、压力传感器及电子控制触点开关。

3.6 跨缆吊机中央控制系统性能要求

(1)按照程序设计能自动控制所有液压千斤顶的单独运行和停止/同步运行和停止;

(2)能自动监测所有千斤顶的工作荷载、千斤顶伸长量以及千斤顶固定锚具夹片的开/闭状态;

(3)吊机工作状态下能自动进行程序修正、状态调整和自动报警。

3.7 跨缆吊机动力系统性能要求

能根据中央控制系统动力供应指令,同时或单独向所有千斤顶提供液压动力。能自动调整液压油升温或降温。

3.8 跨缆吊机钢结构性能要求

(1)钢结构安全系数 ≥ 1.5 ,行走机构将采用栓接结构,能在不同直径主缆条件下易于更换支撑靴。吊机横梁采用模块式,能在不同主缆间距条件下进行调整;

(2)吊机扁担梁采用模块式,能适用钢箱梁不同吊耳位置。扁担梁端头采用液压伸缩端段,能使吊机纵向移动时避开吊索,便于钢箱梁吊装;

(3)将扁担梁设计成吊机安装桁架的一部分,减少制作成本。将扁担梁尽可能设计成扁平结构,适应跨中梁段吊装条件。所有钢结构采用模块化设计,使得现场组装效率加快,适应长短途运输和存储堆放。

3.9 跨缆吊机钢结构安装托架性能要求

钢结构安装托架安全系数 ≥ 1.5 ,安装托架采用模块式,将安装托架设计成吊机横梁的一部分,使其能与吊机横梁中间段进行互换,减少制作成本,便于在其他类似项目中调整吊机横梁跨径。

4 跨缆吊机总体结构组成

跨缆吊机主要由液压起吊提升系统、缆上支撑及行走系统、钢结构桁梁、中央控制系统、动力系统、扁担梁、辅助系统、临时安装托架以及安全防护系统等组成,见图 2 所示。

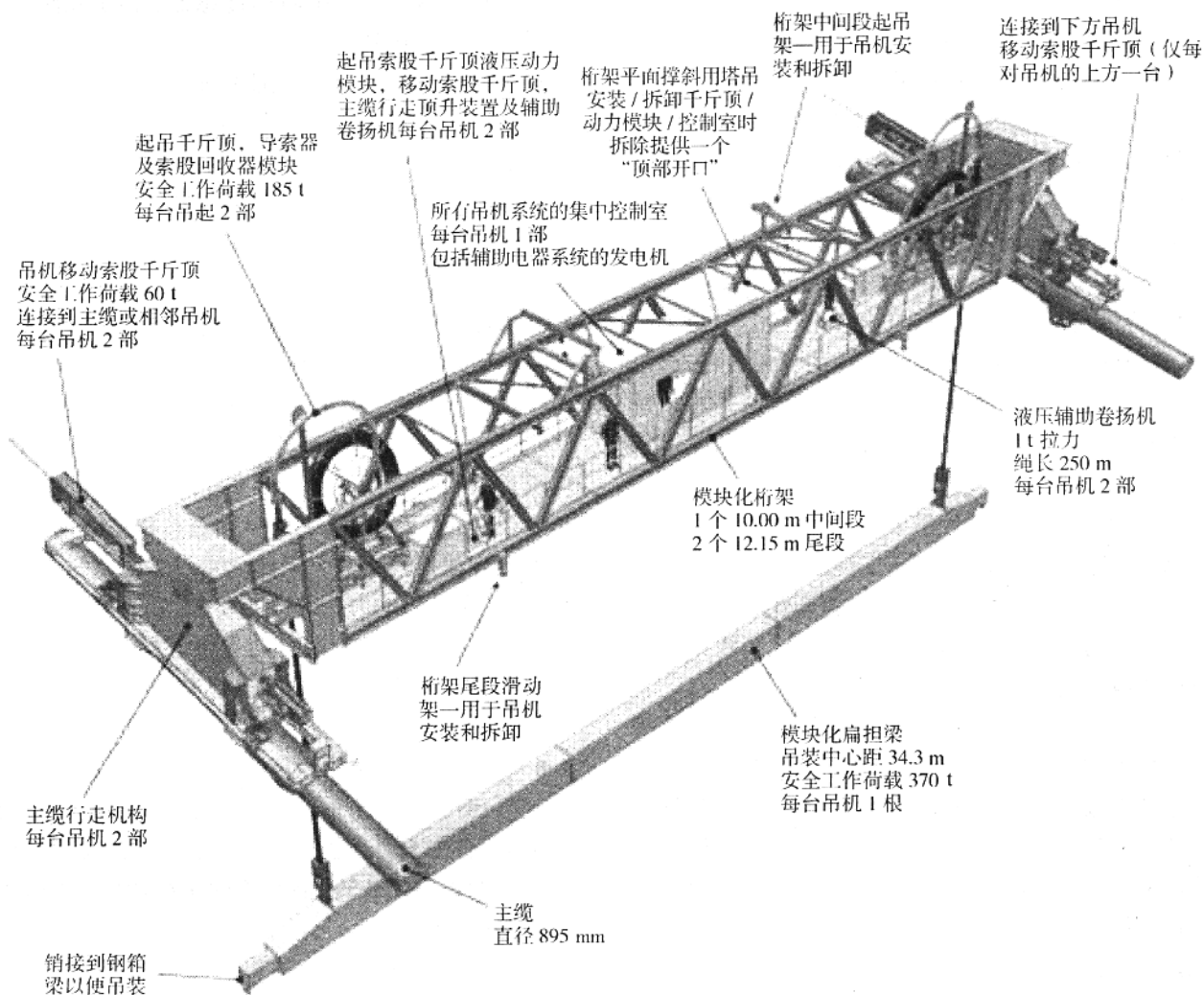


图 2 全液压式跨缆吊机整体效果

4.1 液压起吊提升系统

起吊提升系统是跨缆吊机的主要工作部分, 主要由索股千斤顶、钢绞线、索股导向架、索股卷盘器和索股千斤顶机座框架等组成, 主要用于提升钢箱梁、安装和拆除吊机。

4.2 缆上支撑及行走系统

支撑及行走系统主要由牵引索股千斤顶、缆上滑移千斤顶、荷载转移千斤顶、移动支架(轨道梁)和移位器等组成, 主要用于跨缆吊机在主缆上的行走、就位和支撑固定。

4.3 中央控制系统

中央控制系统是跨缆吊机的中枢机构, 由计算机系统、传感器控制系统和操作平台等组成, 主要用于控制和监测跨缆吊机安装、钢箱梁吊装、缆上行走就位等全过程以及跨缆吊机上所有千斤顶系统、动力

系统、液压辅助卷扬机系统的工作状态和操作过程。工作开始前需将最大千斤顶荷载、千斤顶之间的荷载和千斤顶伸长量差值的预设范围输入到控制系统之中。

4.4 钢结构桁梁

钢结构桁梁由中间段、端梁段三部分组成, 主要用于安放起吊系统、控制系统、动力系统和辅助系统, 与行走系统采用销接方式相连接。

4.5 动力系统及辅助系统

动力系统由柴油动力液压动力箱、液压油冷却及加温装置、油管及电缆组成, 为跨缆吊机上所有千斤顶系统及液压卷扬机提供工作动力。辅助系统由液压卷扬机、辅助柴油发电机、照明和报警装置以及安全装置组成。液压卷扬机主要用于安装吊机时提升钢结构桁梁中间段就位、吊机维修保养时辅助作业。

5 主要技术指标及参数(单机)

提升能力:370 t(安全工作荷载),1.25 倍安全储备,两台吊机联机组合后,适用于吊装节段重量740 t,以内的钢箱梁安全吊装作业。

液压提升索股千斤顶:2×185 t(安全工作荷载)。

平均提升速度:36 m/h。

放索速度:30 m/h。

提升索股长度:250 m。

吊机自重:140 t(含扁担梁)。

吊机作用在主缆上的最大压强:2.0 N/mm²。

吊机适应主缆最大倾角:≤30°。

缆上平均行走速度(上行速度):10 m/h。

吊机缆上行走索股千斤顶:2×60 t(安全工作荷载)。

吊机跨越索夹能力:1 700 mm(长)×400 mm(高)。

驱动动力:为柴油动力液压动力箱。

作业气象条件:最低工作温度-10℃,工作状态最大风速25 m/s(吊机处3 s 阵风),非工作状态最大风速(吊机处3 s 阵风)55 m/s(非工作状态最大风速主要用来计算跨缆吊机在此风速下的抗风稳定性,在风速超过临界水平时需要增加的临时结构或措施,以确保跨缆吊机在主缆上的安全稳定)。

外形尺寸:主机35 478 mm×3 400 mm×5 020 mm,扁担梁34 960 mm×800 mm×1 200 mm。

6 关键技术及设备的主要特点

6.1 关键技术

(1)液压系统的设计和技术参数的确定;跨缆吊机整机技术参数、结构几何参数及力学参数、整机稳定性参数的确定。

(2)智能化电子传感器技术参数确定以及工作状态下液压系统千斤顶的同步/非同步控制技术。

6.2 设备的主要特点

(1)设备适用性强:跨缆吊机的钢桁梁和扁担梁采用模块化设计,缆上行走机构采用栓结支撑靴设计,可以满足不同缆径、缆间距的悬索桥钢箱梁吊装需要。

(2)额定起吊能力大:能适应和满足≤740 t 重量的悬索桥钢箱梁吊装需要。

(3)工作速度快:钢箱梁提升、跨缆吊机缆上行走就位及千斤顶索股下放速度快。

(4)中央控制系统智能自动化程度高:计算机同步/非同步自动控制。

7 跨缆吊机的试验

(1)试验目的:吊机在正式使用之前,需进行试拼装、行走和荷载试验。其目的在于发现潜在加工和拼装问题,确保各系统间的协调、技术接口的吻合以及能相互之间的兼容。吊机的行走试验,是为了确保用10 t 行走滑移架千斤顶,在模拟主缆的自由长度上,实现行走机构和滑移架的移动。

(2)荷载试验方法:荷载试验通过两台185 t 起重千斤顶加载到其最大工作荷载的125%进行试验。荷载试验是将吊机主桁拼好后置于专用模拟缆试验架上,试验架的基础有一个锚固点模拟钢箱梁的吊耳,然后连接两根试验索到DLS-185 起重千斤顶和锚固架,并将锚固架连接到扁担梁顶部的吊耳,见图3所示。所有准备完成后开始试验并进行观测记录。

试验监控数据结果表明跨缆吊机整体刚度和各部位强度均在设计容许范围之内。跨缆吊机整体可靠性、安全性、操作方便性等已得到充分验证。

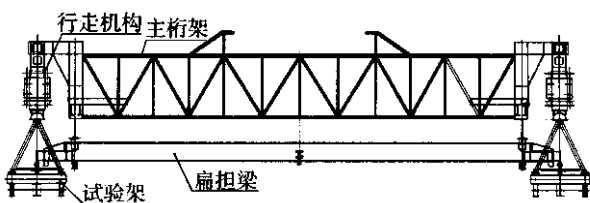


图3 跨缆吊机加载试验布置示意

8 跨缆吊机的缆上安装

该跨缆吊机能在主缆下任何区域进行上缆安装。本桥采用整体自爬升方式进行跨缆吊机上缆安装,具体步骤为:将跨缆吊机分解为3段,利用扁担梁和专用安装架、提升梁自提升上缆进行安装,见图4所示。千斤顶支撑架与提升梁栓接,整体提升扁担梁、安装架及跨缆吊机组合至吊机行走脚越过主缆高度;吊机行走脚高于主缆后,安装顶推油缸使吊机桁架尾段外移落于主缆上,行走脚通过垫板与索夹顶紧;利用跨缆吊机自带液压铰车提升吊机桁架中间段与主桁架栓接;最后安装行走千斤顶、钢绞线锚固索夹等,调试吊机,向跨中行走,准备吊装。

9 钢箱梁吊装

按照设计要求,由中跨的中央梁段向塔顶对称吊装钢箱梁,即自跨中向两塔方向对称吊装,南岸从S1到S18,北岸从N1到N21。根据吊装期间长江水位情况和南岸地形情况,分别将南岸S19梁段、北岸N22梁段作为合拢梁段,见图5所示。

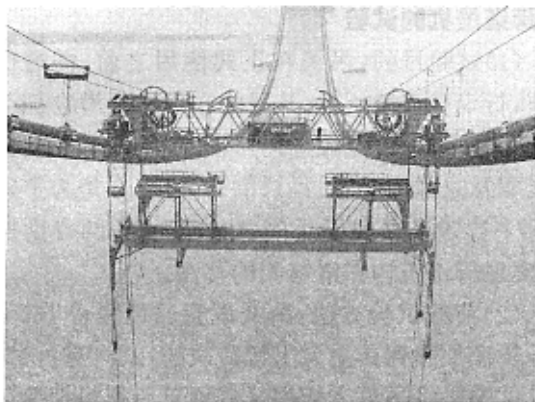


图 4 跨缆吊机缆上安装

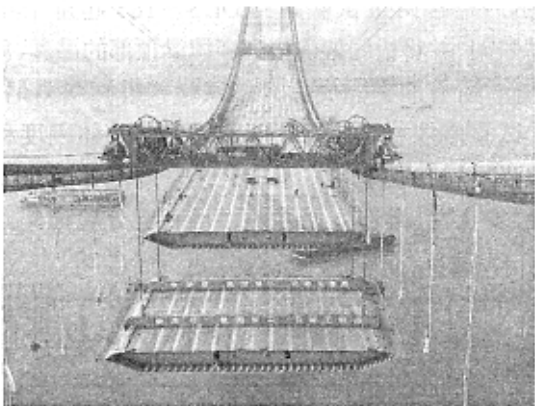


图 5 钢箱梁吊装

10 结语

由我局自行研制的全液压、智能化自动控制的跨缆吊机是目前国内悬索桥钢箱梁吊装设备中吊装能力最大的跨缆吊机,该机已在 2004 年年初投入到润扬大桥南汊悬索桥使用中。在钢箱梁梁段吊装过程中,该吊机的平均提升速度、缆上行走速度、安全特性等各项技术指标均达到设计要求,梁段提升平稳、设备操作方便、各项数据动态显示一目了然,被业内专家评定为“具有设计先进、结构新颖、操作方便、吊装平稳、安装移动灵活、使用安全、适用能力强等特点,整机性能和技术指标达到了国际先进水平,填补了我国在大跨径悬索桥钢箱梁吊装设备上的空白”。

参考文献:

- [1] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.
- [2] 张质文. 起重机设计手册[M]. 北京:中国铁道出版社, 1998.
- [3] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社, 1996.
- [4] GB50017—2003, 钢结构设计规范[S].
- [5] 英. BS2763—1982, 钢桥、混凝土桥及结合桥[S].

Developing and Research on Equipments Specialized in Construction of Runyang Suspension Bridge

ZHANG Teng

(The Second Highway Bureau of RBG, Xi'an 710065, China)

Abstract: The deck erection gantry is a specialized equipment for erection of suspension bridge deck segments, it has mainly two forms of winch type and hydraulic lifting type. By analysing service conditions and performance index of the gantry and investigating the same kind of deck erection gantries at home and abroad, a new-type of full hydraulic, modular, and concentrated controlled gantry with wide range of application is designed and developed in light of actual conditions of steel box girder erection in Runyang Suspension Bridge.

Key words: suspension bridge; deck erection gantry; steel box beam; developing and research