

南溪长江大桥上部结构安装关键设备特性及运用

周徐发¹ 龙 勇²

1. 身份证号码: 510132197701027010; 2. 身份证号码: 320111196908213214

摘要: 针对悬索桥上部构造施工, 根据南溪长江大桥(悬索桥)施工工况并结合悬索桥施工技术及实战经验自主开发和共同研制、制造了南溪长江大桥上部构造关键设备, 并得到成功实施与运用。

关键词: 悬索桥; 索股架设系统; 紧缆机; 缠丝机; 缆载吊机

引言:

悬索桥的构造方式是19世纪初被发明的, 是由索桥演变而来, 现在主跨超过600m的桥梁中大量使用这种桥梁结构形式。现代悬索桥是以承受拉力的缆索或链索作为主要承重构件的桥梁, 由悬索、索塔、锚碇、吊杆、鞍座、桥面系等部分组成。悬索桥的主要承重构件是悬索(即主缆), 它主要承受拉力, 一般用抗拉强度高的钢材(钢丝、钢绞线等)制作(见图1)。

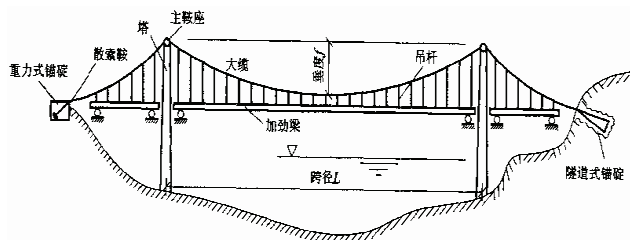


图1 悬索桥组成部分示意图

四川公路桥梁建设集团有限公司先后承建了国内多座悬索桥如: 宜昌长江公路大桥(主跨960m)、重庆万州长江二桥(主跨580m)、舟山西堠门跨海大桥(主跨1650m), 在悬索桥的施工技术、经验等方面均有较为丰富的积累。

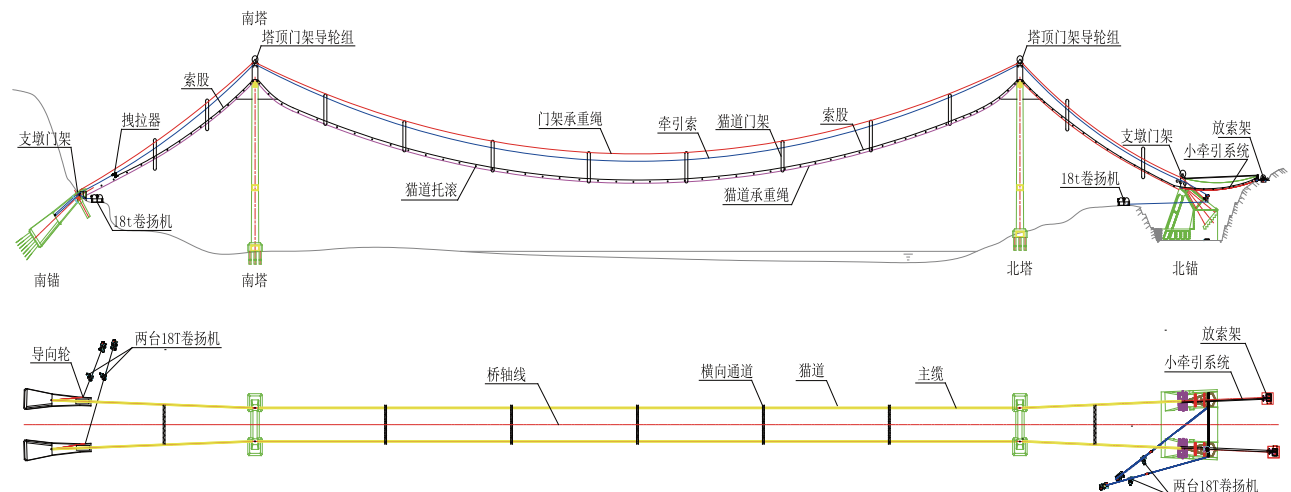


图2 单线往复式牵引系统

南溪长江大桥位于万里长江第一县——宜宾市南溪县, 为长江上游特大型单跨钢箱梁悬索桥, 主跨820m, 主缆分跨为192+820+176m, 中跨为悬吊结构, 跨中设置中央扣。被誉为“蜀中第一跨”, 四川公路桥梁建设集团有限公司在该桥施工中投入了极强的专业力量, 尤其是专用设备方面: 结合多年的悬索桥施工技术、经验和南溪长江大桥施工工况, 进行自主设计和共同研发、制造了部分上部构造专用设备, 并成功应用于大桥建设。

一、上部结构安装专用设备

1. 索股架设系统

索股架设系统主要用于主缆索股的安装(见图2)。

由牵引卷扬机系统、放索系统和其他小型机具设备组成。

(1) 牵引卷扬机系统

南溪长江大桥主缆单根索股重约26.5t、长约1305m, 牵引距离约1300m。根据南溪桥施工特性, 索股架设采用南北岸单线往复式牵引系统, 两岸各配备二台2JKT18型卷扬机, 实施两两配对使用。

该卷扬机系统由机械部分(牵引主机、贮绳辅机)、电气拖动系统(变频器、PLC可编程控制器等)和计算

机测控系统组成,其中电气拖动系统和计算机测控系统由四川公路桥梁建设集团有限公司根据施工工况和控制要求会同卷扬机生产厂家技术人员共同研制而成,能实现1~35m/min范围内的无级调速和继电保护控制,并在南溪大桥主缆架设施工中验证,完全满足施工工况和使用要求,有效保证主缆架设的安全、顺利、高效施工。

①卷扬机机械部分

由开绳槽双卷筒摩擦式牵引主机和贮绳辅机(见图3),贮绳辅机配有大容绳量贮绳筒(可卷Φ36钢丝绳3000m),可以进行多滑轮组长距离作业,主要技术参数表详见表1:

表1 牵引卷扬机主要技术参数表

项目		单位	索股牵引
主机部分			
钢丝绳拉力		KN	180
钢丝绳速度		m/min	30
卷筒工作直径		mm	φ 1120
收绳筒容绳量		m	3000
配用钢绳型号		6X37-Φ 36/38-1670（ GB8918-1996 ）	
减速器型号		JZQ750-20.49	
电 动 机	型号	YZPF315S ₂ -8	
	功率	kw	75
	转速	r.p.m	720
制动器型号		YWZ _B -400/125	
变频器型号		CIMR-G7A4075	
辅机部分			
卷筒工作直径		mm	φ 680
卷筒工作宽度		mm	1345
减速器型号		JZQ500-10.35	
制动器型号		YWZ ₄ -300/45	



图3 机械部分实物图(牵引主机和贮绳辅机)

②电气拖动系统

由进口变频器、PLC可编程控制器等组成。变频器能有效实现1—35m/min范围内高精度无级调速;PLC控制器编程实现变频器启动—停止运行、卷扬机启动和停止间的安全力矩(制动)保证、变频器运行异常保护、自动切换贮绳筒收绳力矩等功能。有效保证了两岸卷扬

机的同步、同速收放钢丝绳,确保了牵引过程的可控性和平稳性。

③计算机测控系统

该系统由ADMA-4017+数据采集模块、RS232/RS485通讯模块、PG旋转编码器、计算机控制中心等组成。通过数据采集模块实时采集定滑轮上的拉力传感器受力数据、牵引绳行程测量旋转编码器数据、变频器运行输出数据,通过通讯模块传输至计算机系统,经计算机测量软件系统进行处理和转换,在控制界面窗口输出和显示:牵引钢丝绳受力值、速率、行程、主电机运行电流值等,让施工人员和设备操作者随时可掌控相关运行状况,并可根据不同工况和位置进行干预和协调,也随时可以对这些运行记录数据进行保存和打印。

2.放索系统

南溪长江大桥主缆单根索股重约26.5t、长约1305m,共重约4660t,采用垂直放索工艺,索股绕在外径3.4m的索盘上。根据国内外已建成同类型悬索桥施工经验,垂直放索时主缆索股在放索过程中因牵引速度、牵引力与放索速度不匹配,牵引与放索产生时间差、放索盘的转动惯性、主缆平行预制索股上盘力与牵引系统牵引力等因素出现索股在索盘上松弛,并因松弛而出现呼啦圈、散丝、断带、鼓丝等不良现象。为避免该现象发生,设置组合式力矩电机被动放索机构。该放索机构主要由机架、传动机构、活动装置、带式制动装置、平台、电气控制设备组成(见图4),其主要设计参数见表2。



图4 放索机实物图

表2 主要设计参数表

1	绳盘直径	绳盘底径 Φ2350mm 绳盘外径 Φ3400mm
2	外形尺寸	10m×4m×3.5m
3	重量	自重14T, 钢盘重5.7T
4	绳盘长度	3450mm(可调长度+0~350mm)
5	放绳速度	20~35m/min
6	电机	YLJ180-300/6(按电机说明书)
7	减速机	QJRSD-400-50-I(按减速机说明书)
8	总功率	30kw

公司委托生产企业, 根据南溪长江大桥施工工况研究、开发、生产。该设备具有操作简单、行走便捷、性能稳定等优点。可对缆径 $\Phi 600 \sim \Phi 900$ 的主缆进行紧缆, 主要由行走机构、挤紧装置、液压泵站系统、控制系统等四大部分组成。主要技术参数见下表3:

表3 JLJ900主缆紧缆机主要技术参数表

1	适用主缆直径	mm	$\Phi 600 \sim \Phi 900$
2	主缆孔隙率		$\leq 17\%$
3	紧固力	kN	6x2300
4	千斤顶活塞直径	mm	$\Phi 220$
5	千斤顶活塞行程	mm	100
6	紧固蹄宽度	mm	250
7	液压系统工作压力	MPa	低压 8MPa, 高压 58MPa
8	外形尺寸	mm	4971x2441x2742
9	质量	kg	8112
10	行走机构牵引方式		卷扬机牵引

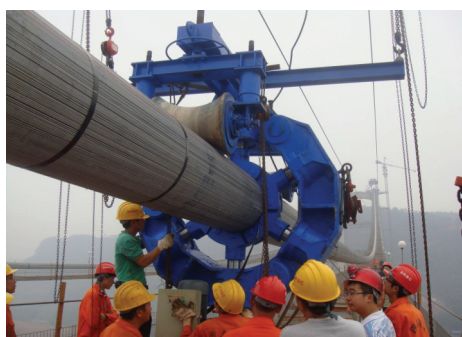


图10 紧缆机实物图

紧缆机的四个滚轮采用高强度尼龙制作, 由卷扬机牵引运动, 可避免滚轮对主缆钢丝表面的镀锌层造成伤害。

该套设备可预先进行紧缆缆径设定、空隙率计算设定、最高紧缆压力设定等, 监控界面上可观察到紧缆机千斤顶的控制状态、动作状态、活塞位移值、压力值, 同时能观察到主缆的横向直径、纵向直径和空隙率等技术参数, 在15天内准确、高效、安全的完成了南溪长江大桥的紧缆施工作业。

三、主缆缠丝机

主缆缠丝机是悬索桥主缆表面防护的专用设备, 它通过在主缆表面缠绕带有一定张力的镀锌钢丝来固定主缆形状和防止外物撞击损伤主缆并通过涂装等工艺隔离雨水和空气, 防止主缆钢丝氧化和生锈, 要求缠绕钢丝排列整齐、密匝。缠丝质量的好坏对于提高主缆防护性和使用寿命具有决定性的作用。

南溪长江大桥缠绕钢丝采用圆形镀锌钢丝, 根据本桥主缆直径及相关工况, 对舟山西堠门大桥原有国产缠丝机的电气、机械和液压部分进行改制, 并顺利完成该桥主缆缠丝作业工作。

1. 缠丝机组成

(1) 主机: 包含机架、主机夹紧系统, 主传动系统, 快、慢速走行传动系统、张力形成系统、缠丝系统及端部缠丝附件、液压泵站系统、电气控制箱、电气操作箱等。

(2) 前夹持架: 它包括框架、夹紧机构、液压自动跨越索夹系统、配重等。

(3) 后夹持架: 基本结构与前夹持架相同。

(4) 导向梁: 用其联结前、后夹持架。主机行走时导向轮沿导向梁滚动, 反之当夹持架行走时导向轮为其导向。

2. 缠丝机主要技术参数

(1) 适应缠丝的主缆直径范围: $\Phi 450 \text{mm} \sim \Phi 730 \text{mm}$; 更换轮架模块可实现对 $\Phi 700 \sim \Phi 1000 \text{mm}$ 主缆缠丝;

(2) 适应缠丝主缆最大水平倾斜角 35° ;

(3) 缠绕的钢丝: $\Phi 4$ 镀锌软钢丝, 稍改进可缠“S”形断面钢丝;

(4) 缠丝头数: 2;

(5) 缠丝张紧力: $0 \sim 2.8 \text{KN}$ (可调)

(6) 缠丝线速度: $0.09 \sim 1.1 \text{m/s}$, 可无级调速;

(7) 缠丝慢速机构行走速度: 0.4m/min , 可无级调速;

(8) 快速行走速度: 14.56m/min ;

(9) 主电动机功率: 15KW , 调频电机;

(10) 最大件重量: $\leq 10 \text{t}$;

(11) 机器外形尺寸:

长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $= 12.5 \times 2.99 \times 3.47 \text{ (m)}$

3. 缠丝机主要特点

(1) 主机和夹持架可沿主缆交替自行, 作业范围可达主缆全程, 不需要外部机构牵引。

(2) 遇到索夹和吊索, 液压驱动, 传感器控制, 自动跨越, 连续行走 (只是当大齿圈跨越吊索时需停止旋转, 开启活动门)。

(3) 旋转部分转速与行走速度自动匹配, 做到缠丝一圈紧扣一圈, 通过微调装置, 可适应缠丝节距或直径公差的变化范围。稍作变化, 能适应“S”形断面钢丝的缠绕。

(4) 缠丝时钢丝张力可达 2.8KN , 并可有效调节和固定。

(5) 可缠丝主缆节间全程, 通过端部缠丝附件, 克服了索夹与齿圈间形成的死角, 可缠丝至索夹端部, 也克服了索夹两端嵌入缠丝的难题。

(6) 极其轻巧灵活, 操作容易, 数字显示, 安全可靠。



图11 缠丝机实物图(1)



图12 缠丝机实物图(2)

该机(二套)在南溪长江大桥主缆缠丝作业中,历时43天顺利完成缠丝作业,性能稳定、钢丝排列密匝、平整,达到设计标准。

4. LZD400步履式缆载吊机

随着大跨径悬索桥在我国的迅猛发展,缆载吊机成为当今悬索桥主梁架设施工的关键性设备,缆载吊机主要有卷扬机提升式和液压提升式两种形式。南溪长江大桥采用液压提升式缆载吊机进行钢箱梁吊装工作,由四川公路桥梁建设集团有限公司与西南交通大学工程机械有限公司共同合作开发、研制了LZD400型“强台风环境步履式缆载吊机”。

(1) 特点

①设备适用性强。设备设计充分考虑到不同悬索桥主缆缆径和缆距的差异,把主桁架分为五节段,中间段为可变段,杆件之间由高强度螺栓连接,跨于主缆上的夹缆装置设计成可更换的;更换主桁架中间段和夹缆装置底座、报夹垫块,就可以满足大部分悬索桥钢箱梁吊装需要。

②传统缆载吊机均为卷扬机行走系统,行走较为繁琐。为克服该缺点,该机设计为步履式行走,真正实现在主缆上自行行走,自行跨越索夹且通过能力强。

③提升速度快,通过连续提升千斤顶,最大提升速度达到25m/h。

④独特的抗风装置,能在8级以下大风环境中工作,在缆上非工作状态可抗12级台风。

⑤最大荡移角度15°。(南溪长江大桥荡移角度最

大达到了20°)

⑥中央控制系统自动化程度高,能自动监测整个系统的状态参数,自动程序修正、状态调整、制动报警;行走、提升同步精度高,并能够实现双机同步起吊和彼此主动、被动控制。

(2) LZD400步履式缆载吊机主要组成

钢结构部分、液压及控制系统

①钢结构部分

主要由主桁架、行走系统、液压提升系统、抗风装置等组成。

1) 主桁架(见图13):

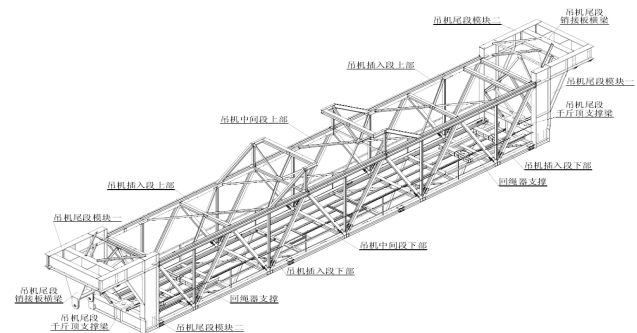


图13 主桁架示意图

2) 行走系统: 主要由行走架、端梁、夹缆装置、前后支腿、行走油缸、升降油缸等组成(见图14)。

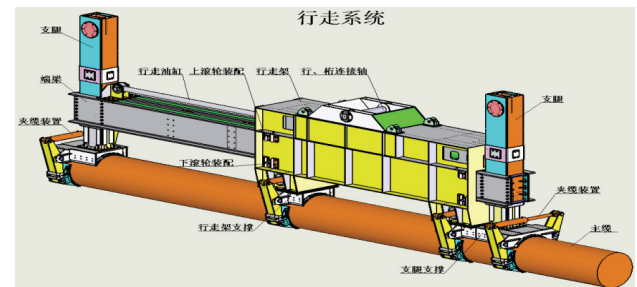


图14 行走系统三维图

3) 液压提升系统: 主要由提升千斤顶、提升支撑基座、钢绞线导向回绳器、吊具等组成(见图15)。

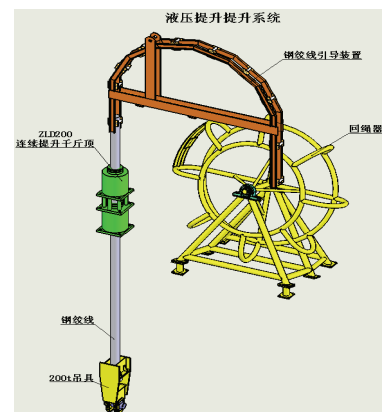


图15 液压提升系统三维图

4) 抗风装置 (见图16):

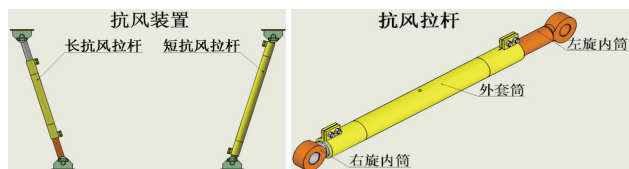


图16 抗风装置三维图

②液压及控制系统

主要由液压系统和中央控制系统组成。

1) 液压系统: 主要包括液压提升系统和液压行走系统两部分。通过液压泵站, 控制各种功能的液压油缸, 实现同步提升及步履式行走。

2) 中央控制系统: 中央控制系统是缆载吊机的中枢机构, 由计算机系统、传感器系统和操作平台组成, 主要用于控制和监测缆载吊机的行走就位、钢箱梁的吊装等全过程。

(3) 工程运用

南溪长江大桥钢箱梁总重约一万吨, 共有65个梁段, 其中标准梁段60个, 特殊梁段5个, 标准梁段吊装重量为150吨, 最大梁段吊装重量为180吨。钢箱梁吊装使用二套缆载吊机同时起吊, 由于南岸有400米滩涂区, 北岸有40米的浅水区和陆地, 船舶无法直接运输到吊装位置。南岸滩涂区采用就地铺设轨道, 北岸架设支架和轨道, 运梁船运输到轨道位置后定位, 通过缆载吊机定点提升然后荡移至轨道上, 通过轨道将钢箱梁平移到安装位置。

南岸滩涂区相对于北岸吊装较为困难, 吊装前期必须将31片钢箱梁按序列存于滩涂区, 这就意味着必须频繁的进行起吊荡移, 而且荡移角度达到了 20° , 这对于施工方和缆载吊机均具有极大的考验, 最终通过各方通力协作、攻坚克难, 顺利完成了滩涂区存梁作业, 并最终于2012年2月21日历时二个月, 安全、高效、圆满的完成了钢箱梁吊装作业 (见图16-17)。



图17 荡移实景图



图18 钢箱梁吊装作业实景图

该设备在南溪长江大桥钢箱梁吊装施工中的成功运用, 并在同行业中创造了荡移角度(20°)的最高纪录, 充分验证了该机各项使用性能和设计均领先于国内同行水平。

四、结语

四川公路桥梁建设集团有限公司根据以往悬索桥施工技术经验, 并结合南溪长江大桥施工工况, 综合运用国内外先进技术和经验, 以自主和合作方式研究、开发、制造了悬索桥上部构造施工成套设备, 尤其是步履式缆载吊机的成功开发、运用, 增强了企业技术竞争力, 推动了悬索桥施工行业技术进步 (见图19)。



图19 南溪长江大桥实景图

参考文献:

- [1]发挥长江大桥通车后的区位优势[J].顾介康.江南论坛.2000(04): 68-72.
- [2]基于实测应变的长江大桥钢桥面板疲劳寿命评估[J].吴凯, 承宇, 余波.交通标准化.2012(11): 24-29.
- [3]长江大桥建设对泰州沿江地区发展的影响分析[J].芮富宏.南京社会科学.2001(01): 78-92.
- [4]长江大桥南锚碇大体积混凝土施工[J].费连宝.桥梁建设.1997(04): 67-72.