非洲跨河大桥长大坡度条件下的架梁技术研究

徐进勋

中铁七局集团武汉工程有限公司 湖北 武汉 430000

【摘 要】：本文介绍非洲大西洋畔 Sine-Saloum 河上方久尼大桥架设 162t、40m 预制箱梁施工工艺，通过一系列的技术研究，总结桥机选型及其改造加固、优配运梁车、架桥机过孔、箱梁架设施工工艺和关键技术，解决长大度坡度，高墩等条件下架设大跨度箱梁的技术难题。

【关键词】：长大坡度；架梁；安全；选型；技术

1 工程概况

1.1 简介

随着我国与一带一路国家和中非国家在基础上设施上的深度合作，我国的技术标准、施工企业及施工装备也快速走进非洲。塞内加尔方久尼大桥是由中国口行优贷、中国企业施工，采用中国标准及法国标准设计、中国施工设备的 EPC 项目，是中塞合作重要的标志性工程。本项目位于萨卢姆河，河面宽 1.5km。本项目主要由 1209.2 米的跨海湾大桥和 300m 引桥组成，大桥设计为【7×40+6×40+(2×40+2×42.6+2×40)+6×40+7×40m 装配式预应力混凝土先简支后连续箱梁】，引桥为 15×20m 板梁结构。其中 C1～P15 墩设计纵坡为 +4.78%，P19～C33 台设计纵坡为-4.79%，P16～P18 墩设计纵坡为 0.68%。主桥每跨 4 片预制箱梁，全桥共计 128 片预制箱梁。

1.2 架梁总体方案

1.2.1 预制方案：由于上坡道架梁比下坡道架梁更安全，故本桥分别在河两岸各设置一个预制梁梁场，小里程侧梁厂预制 72 片梁，大里程侧梁厂预制 56 片梁。

1.2.2 提梁、运梁和架梁方案：梁场采用 2 台改良加固型 80t/38m 龙门吊提梁，选择性能优的架桥机架梁和大吨位爬坡能力强的轮胎式运梁车（俗称炮车）运梁。

1.2.3 为了应对高温，防止人员中暑或机械高温引起故障，选择温度低的时间进行施工；同时桥机安装测风仪和警报器，超过规程要求风力时不过孔、架梁作业；合理安排架梁时间，避免雨季大雨大风季节架桥；桥机不作业时进行固定加固，确保桥机稳定；因此加强对机械设备的钢丝绳、电机、液压系统、连接件的勤检查保养和更换。

2 施工难点及解决措施

本项目位于大西洋海湾区具有海洋气候，受非洲大西洋信风带影响，日常短时风力超过 8 级，同时又处于比较繁忙的航道，增加现场架梁施工难度。因此本项目架梁具有以下难度：

表 1 本项目架梁施工难点

序号	施工难点	解决方法
1	单片梁体重为 162t，施工荷载大	从经济及安全角度，比选性能优良的架桥机
2	架梁净高 28m，受大西洋信风影响，阵风超 8 级	采用多点对拉增强桥机稳定性
3	纵坡长达 742.6m，纵坡大且不一致，桥机过孔，运梁防溜及架梁难度大	随车配备防溜三角木
4	高温、空气含盐高，对桥机及运梁车安全性及稳定性影响巨大	对机械设备采取勤检查、勤保养，及时更换
5	设备零配件及技术服务资源短缺	对易损件按比例配备

为解决以上问题，确保本项目架梁安全顺利，本文将从架梁方案、设备选型、架梁工艺、桥机最不利工况等几个重点环节进行研究。

3 施工机具比选

3.1 本项目预制箱梁架设施工技术参数

预制箱梁架设施工技术参数如下：

表 2 方久尼桥技术参数

序号	项目名称	技术参数

1	单片梁体重量（t）	162
2	桥梁跨度（m）	42.6
3	最小半径（m）	1000
4	横向坡度	2%
5	最大纵坡	-4.79%

3.2 架桥机性能比选

3.2.1 备选架桥机性能参数

根据本项目预制梁架施工技术参数，经过筛选，初步选择 DFJ200 型、YQ180T/50M 型和 NF50-200 种 3 种桥机进行分析。

表 3 三种桥机参数表

序号	项 目	DFJ200 型架桥机	YQ180T/50M 型架桥机	NF200t/50m 步履式双导梁架桥机
1	额定起重量(t)	200 t	≤3×60	200t
2	适应跨度(m)	铁路 32m，公路桥梁 50m	≤50	≤50m
3	适应桥型	公铁两用	公铁两用	公铁两用
4	适应纵坡	≤3%	≤±4%	≤±4%
5	适用横坡	/	/	≤±3%
6	适用斜交角度	/	0-45°	0-45°
7	最小曲线半径	单线铁路 600m，其它 400m	≥300	600m
8	起升高度	5.1 m	/	6m
9	升降速度	0-0.8 m/min	0.81	0.9m/min
10	架桥机走行速度	0-4 m/min	3.08m/min	3.2m/min
11	总功率（KW）	160	97.6	125
12	整机抗风等级	工作状态小于 5 级	工作状态小于 6 级	工作状态 6 级，非工作状态 8 级
13	抗倾覆安全系数	/	/	＞1.5
14	自重（t）	200	230	262

3.2.2 三种桥机对本桥适应性分析

表 4 三种桥机的优缺点分析

序号	设备名称	优 点	缺 点
1	DFJ200 型架桥机	1、结构简单，运输组装方便，自动化程序高； 2、一次落梁到位，省时，适合工期紧、任务重。 3、作业半径小。	1、纵坡过小。 2、整机抗风等级差，整体稳定性较差。 3、主要适合铁路桥梁架设
2	YQ180T/50M 型架桥机	1、整机功率小，现场不需配备大功率发电机 2、对斜桥、曲线桥有广泛的适应性。 3、超小作业半径。 4、轨距可根据桥梁宽任意调节。 5、大纵坡适用。	1、整机抗风等级差。 2、横坡过大处不适合使用 3、结构复杂，不利于运输及组装 4、架桥机额定架设重量富余量较小。
3	NF200t/50m 步履式双导梁架桥机	1、整机稳定性良好，抗风及抗倾覆性能良好； 2、适用大纵坡及大横坡架梁。 3、在无需梁片配重的情况下可自行步履过孔到位	1、结构复杂、运输及组装相对困难 2、架梁不能一次到位，尤其架设边梁时需要分两步完成

通过综合比选，本桥架梁选择 NF200t/50m 型步履式双导梁架桥机。

3.2.3 NF200t/50m 步履式双导梁架桥机简介与加固改造

（1）NF200t/50m 步履式双导梁架桥机简介

该架桥机采用三角桁架作主要承载受力构件(如主梁)，构件单元间采用销轴连接，配置自力走行及起重装置，全部采用电控操作、机械运动，完成吊梁起落、吊梁运行、整机吊梁横移以及整机空载纵移等运动，达到安全过孔、架梁的

目的。

（2）NF200t/50m 步履式双导梁架桥机工厂加固改造

①桥机支腿加固

该架桥机性能适用坡度纵坡理论值≤±4%，为满足本大桥 4.8%大坡度上坡架设要求，厂家对 NF200t/50m 步履式双导梁架桥机针对本桥要求对前支腿、中支腿、后支腿调整装置。前支腿、中间支腿行走轨道进行加强加固设计。

桥机加固后，前支腿调整节通过油缸顶升导柱在导套内滑动实现高度调整，调整到位后穿上销轴固定导柱与导套，油缸不再承受载荷，停止工作；中支腿对加高节和导柱进行加长，工作原理与前支腿相同；后支点装置采用增加调节支腿加高节进行工作。通过调整从而保证架桥机在过孔及架梁过程中主梁的平衡性，在性能满足箱梁架设要求。

根据加固设计后，架桥机的前辅助顶杆：11.993m，前支腿 6.195m、中支腿高度：3.728m，后支腿高度为 3.606m。如图：

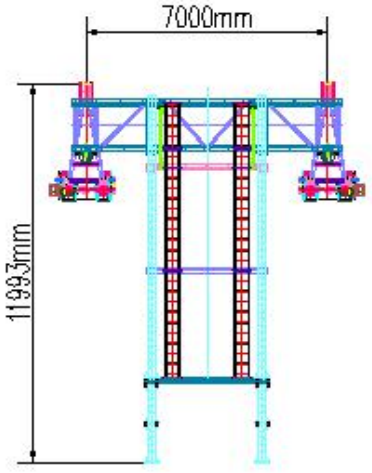

图 1 前辅助顶杆结构图

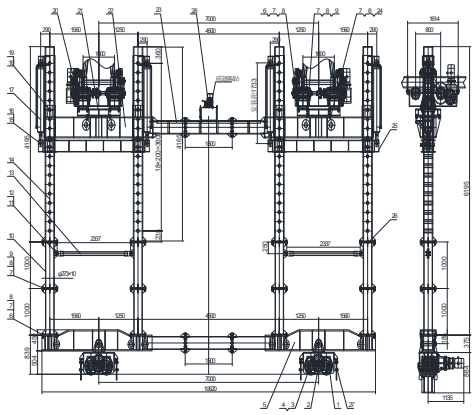

图 2 前支腿结构图（单位：mm）

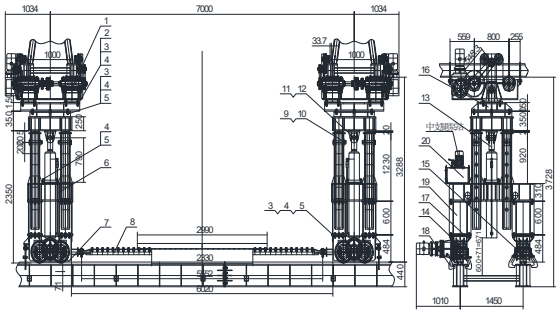

图 3 中支腿结构图（单位：mm）

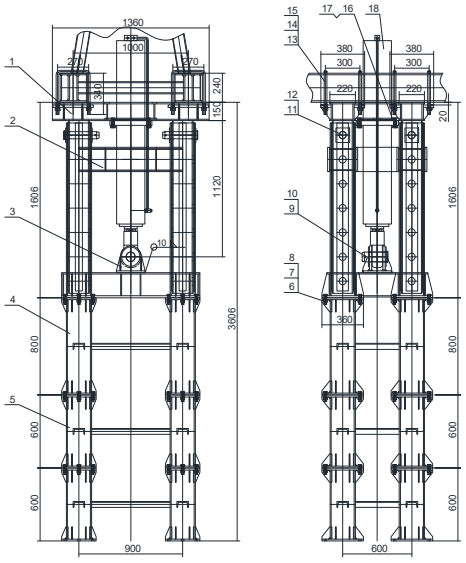

图 4 后支腿（单位：mm）

②前支腿、中间支腿行走轨道改造加固

为了保证桥机支腿走形轨道，对前支腿和中支腿道进行加固设计，具体结构如图。

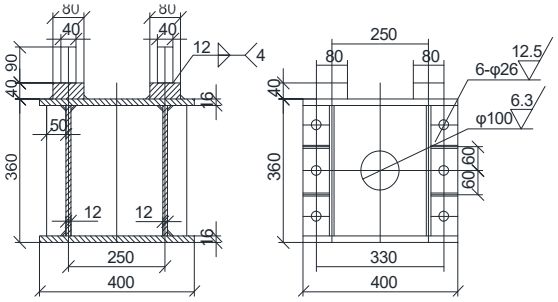

图 5 前支腿横向轨道（单位：mm）

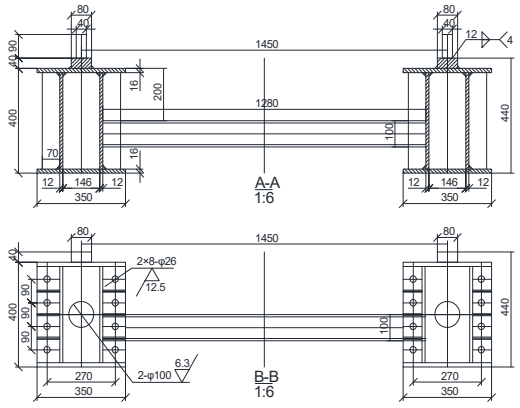

图 6 中支腿横向轨道（单位：mm）

3.3 运梁车选型

国内通车运梁车采用一两主车+副车模式。根据本项目预制箱梁技术参数，经过筛选，初步选择 DYLC200t 运梁车和 ZH220-4 运梁车进行分析。从经济角度考虑两种运梁车均取消副车，只选择主车，采取前拉后推的模式进行运梁。

表 5 运梁车车参数表

序号	项 目	DYLC200t 运梁车	ZH220-4 运梁车
1	发动机型号	CA6110 增压	大柴 6110
2	发动机功率	147KW	160KW
3	发动机转速	2500 转/分钟	2300 转/分钟
4	减速机型号：	解放 152	大同 85+ZH220
5	充气压力	8.5 个大气压（0.85MPa）	1150kpa
6	适应坡度	横坡：3% 纵坡：5%	横坡：3% 纵坡：4%
7	载重量（t）	200	220
8	转弯半径	12m	5m
9	轮胎转向角	±20°	20°
10	主车外形	6450×2805×2700	7250×2850×2150

表 6 运梁车适应性分析表

序号	设备名称	优 点	缺 点
1	DYLC200t 运梁车	1、抗倾覆稳定性好 2、外型美观 3、运转平稳 4、生产效率高	1、高温条件下发动机易“开锅”。 2、在重载大纵坡条件下不易挂挡。
2	ZH220-4 运梁车	1、具有自行式，不受距离限制； 2、操作维修方便，转场成本低； 3、稳定性好 4、不受路况复杂及半径过小限制	/

4 架梁工艺流程

4.1 架梁准备

架梁前按照常规进行技术方案论证与专项方案审批与技术交底、修建运梁通道等准备工作，桥机的拼装和验收按照专项方案和要求进行。这里不再赘叙。

4.2 桥机过孔

4.2.1 桥机过孔步骤

①第一步：架桥机过程准备

收架桥机前辅助顶杆(0#柱)，将架桥机前支腿(1 号柱)、中支腿(2#柱)与桥面连接钢筋连接撑牢。解除支腿纵移小车约束，2 台天车移动至中支腿上方，架桥机进入过孔状态。

②第二步：纵导梁纵向移动

架桥机后支腿(3#柱收起)，纵导梁前移 21.4m。纵导梁前移过程中，后支腿逐步收空。天车始终位于中支腿上方。

③第三步：架桥机纵向移动(2)

支后支腿，收中支腿并前移 20m。

④第四步：架桥机纵向移动(3)

同步顶升前支腿、中支腿、后支腿，使桥机升高 1200m（注意保持桥机水平或前高后低）。

⑤第五步:架桥机纵向移动，前辅助顶杆(0#柱)落位

收后支腿，支中支腿，纵导梁前移 20m，前辅助顶杆到达前方盖梁上方。提升小车始终位于中支腿后方。支前辅助顶杆、后支腿，收中支腿并前移 20m。提升小车位于后上方。

⑥第六步，桥机过孔就位

收前支腿并前移 40m 到达前方盖梁上方。提升小车位于中支腿后上方，架桥机完成过孔。锁定前支腿、中支腿，架桥机进入架梁状态。

4.2.2 架桥机过孔最不利荷载工况分析与计算

经分析，最不利荷载工况为：当架桥机位于已架好的桥跨，架桥机导梁悬臂过孔，但支脚还没有落在桥墩盖梁上时。抗倾覆安全系数不小于 1.5。（图中单位 mm）

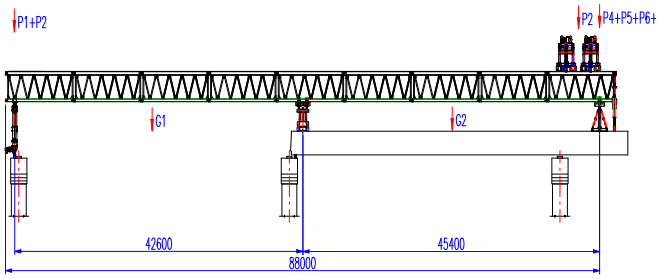

图 7 桥机过孔最不利工况图（单位：mm）

倾覆力矩：$M_Q=(P_1+P_2)\times 42.6+G_1\times 42.6/2$

式中： P1——前支点自重，24.3t（前支腿 17.8t，横移轨道 6.5t）

P2——前辅助顶杆自重，3.9t

G1——位于中支腿前主梁自重，

$1.5\,\mathrm{t/m}\times 42.6\,\mathrm{m}=63.9\,\mathrm{t}$（导梁自重集度

$q=132/88=1.5\,\mathrm{t/m}$）

代入已知参数得：$M_Q=2562.39\,\mathrm{t\cdot m}$

抗倾覆力矩:

$$M_w=P_3\times(44.65+43.15)/2+(P_4+P_5+P_6+P_7)\times 45.4+G_2\times 45.4/2$$

式中： P3——提梁小车自重，61.9t（两台，长度为 1.5m）

P4——后支点装置自重，5t

P5——后横联自重，1t

P6——操作平台自重，2.4t

P7——电器系统及液压系统自重，4t

G2——位于中支腿后主梁自重，

$1.5\,\mathrm{t/m}\times 45.4\,\mathrm{m}=68.1\,\mathrm{t}$

代入已知参数得：$M_w=4826.24\,\mathrm{t\cdot m}$

抗倾覆安全系数：$n=M_w/M_Q=1.88\succ 1.5$

4.3 箱梁架设

4.3.1 架梁施工工艺流程

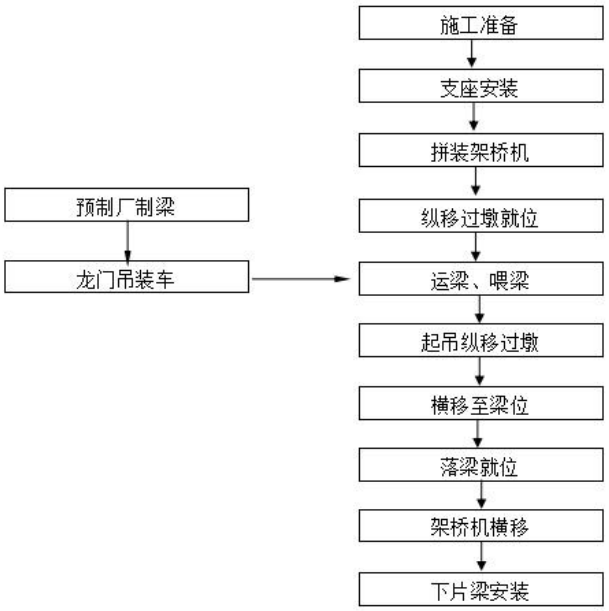

图 8 架梁施工工艺流程图

4.3.2 架梁施工步骤

架梁顺序为外边梁→外中梁→次边梁→次中梁进行架设。箱梁运输采用 2 台 ZH220-4 型轮胎式运梁车，上坡箱梁运输时 2 台运梁车“一拉一推”双动力前进。架梁步骤简述如下：

①永久支座安装：非连续端采用永久橡胶支座

②临时支座安装：连续端临时支座采用双砂筒结构，砂筒采用壁厚 10mm 的 Q345 无缝钢管和钢板制作，桶内装细干砂，通过螺丝使桶内砂流出来降低砂筒高度。

③完成调试后将架桥机停放在喂梁位，前支腿、中托、后支腿支承，两台起重天车同时置于导梁最后方，准备吊梁。运梁车将预制梁运至起重天车下方，使前吊点位于前起重天车下方。

④前起重天车吊起箱梁前移至箱梁后吊点到达后起重天车位置，后起重天车起吊将整片梁吊起。

⑤起重天车将箱梁整体吊起后，运梁车开出。

⑥起重天车吊起箱梁移动至安装位置，调整梁的位置，大致与事前侧方的落梁位重合，缓慢落梁。

⑦在落梁到位前，纵向移动起重天车，横向移动天车上的葫芦来调整梁的位置，使落梁位置精确。

⑧收起后支腿，横向沿中托和前支腿下方的轨道整体移动架桥机到下一架梁位，支起后支腿，准备横向架梁。

5 箱梁架设关键技术要点分析

架梁过程中三个关键技术要点为过孔最不利工况的抗倾覆安全、边梁架设及吊梁钢丝绳的选择。

5.1 捆梁钢丝绳选取

梁钢丝绳选定以最大梁重考虑，同时要满足《重要用途钢丝绳》GB8918-2006 对钢丝绳使用安全要求的相关规定。

吊装工况为：箱梁采用两端网兜方式吊装，每端采用 1 根直径 66mm 钢丝绳，钢丝绳接头连接导箱。吊梁钢丝绳安全系数不小于 8。

钢丝绳拉力计算公式：$[F] \leq \Sigma_{sp} \times A / K$

公式中 [F]——钢丝绳允许用拉力（KN）

Σsp———钢丝绳破断拉力（KN）

K——钢丝绳的安全系数

A——折减系数

吊梁钢丝绳受力计算：方桥最重箱梁为通航孔 42.6m 箱梁边梁，重量 161.5T=161.5×9.8=1582.7KN。吊梁钢丝绳规格为 6×61mm，安全系数为 8，见下表。

表 7 钢丝绳安全系数表

用途	安全系数	用途	安全系数
作缆风绳	3.5	作吊索无弯曲时	6～7
用于手动起重	4.5	作捆绑吊索	8～10
用于机械起重	5～6	用于载人升降机	14

钢丝绳折减系数取 0.8，见下表。

表 8 钢丝绳折减系数表

钢丝绳	6×19	6×37	6×61	8×19	18×19
A	0.85	0.82	0.8	0.85	0.82

钢丝绳拉力：4Q=1582.7KN, Q =395.67 KN。

钢丝破坏荷载[F]=0.8×2570×2/8=517KN＞395.67 KN

规格为 6×61， 61mm 直径钢丝绳满足吊装要求。

5.2 边梁架设

考虑到边梁架设的安全性，边梁架设时采用倒钩。边梁架设时，首先把边梁放在中梁支承垫石上，并用枕木垫好，松开吊梁扁担一侧钢丝绳；然后收起天车钢丝绳并横移；天车横移到位后吊梁钢丝绳下放至吊梁扁担梁处，与其穿销进行连接，然后将箱梁捆绑，进行箱梁起吊进行吊安装。

边梁存在翼缘板，在吊装边梁时存在偏载现象，因此找准边梁重力中心点以免使架桥机及运梁车发生倾覆。

边梁安装就位后，在翼缘板根部设置斜撑以确保边梁的稳定性。

6、结语

在架梁过程要注意中要运梁车起步检查档位，确保抵挡起步，在桥面行走时，注意负弯矩张拉槽口处的“跳车”，保持前后运梁车的同步运行，防止在上坡运输前方引导后方控车。吊梁纵行时，走行电机制动应可靠灵敏，纵行限位应可靠。注意临时支座牢固平整均匀受力，架梁过程中需加强设备保养和检查。本桥梁架设成功，安全可控，保证了施工进度，取得了良好的经济效益和社会效益，得到了塞内加尔业主和社会的认可。同时为长大坡度、高墩、大跨度重载、跨河等不利施工工况环境下安全运梁和架梁提供了安全的成熟的施工工艺和施工经验。

参考文献：

[1] 《PROJET DE CONSTRUCTION DU GRAND PONT A PEAGE DE FOUNDIOUGNE ET DE SES BRETELLES Section IX. Cahier des Charges》---塞内加尔芳久尼收费大桥及引道设计和施工 EPC 项目合同 第九章技术细节条款 CPT（Cahierdes Prescriptions Techniques）

[2] 《Eurocode 1: actions sur les structures NF-EN 1991 (série)》---欧标 1：在结构上的应用 NF-EN 法标--欧标 1991（系列）

[3] 《Eurocode 3: Calcul des structures en acier NF-EN 1993 (série) 》---欧标 3：钢结构的计算 NF-EN 法标--欧标 1993（系列）

[4] 《架桥机安全规程》（GB26469-2011）；

[5] 《起重机钢丝绳保养、维护、安装、检验和报废》(GB/T5972-2009)；

[6] 《公路工程施工安全技术规范》JTG F90-2015；

[7] 周水兴 何兆益 邹毅松 等编著的《路桥施工计算手册》人民交通出版社。