

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.05.038

# 稀索体系斜拉桥桥跨结构拆除技术

李亚民, 李金恒

(中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要:**东莞疏港大道南阁大桥主桥为双塔双索面框架式稀索体系斜拉桥,随着航道等级提升、交通流量增加及旧桥结构病害的发展,需对其拆除后重建。该文运用有限元仿真和BIM技术建立斜拉桥整体模型,对拆除步骤进行模拟并对各工况进行受力分析,最终选择分级释放斜拉索索力、分步拆除构件、450 t浮吊进行大吨位构件的吊装与转运等施工方法,拆除期间航道采取间歇式通航和全过程安全监控。

**关键词:**稀索体系;斜拉桥;上部结构;拆除;绳锯;浮吊;关键技术

桥梁拆除方法常见有机械拆除和爆破拆除,爆破拆除往往受制于当地社会环境、航道管理要求等难以实施,机械拆除一般采用桥梁建设时的逆序过程施工。斜拉桥拆除中三台涪江大桥采用深孔、水下和潜眼爆破相结合,肥西县派河大桥采用控制爆破拆除,采用机械拆除的斜拉桥仅见于淮钢大桥和大里营斜拉桥,大跨度复杂环境下框架式稀索体系斜拉桥的机械拆除在中国尚属首例。

## 1 工程概况

南阁大桥旧桥位于广东省东莞市 X236 线上,是连接道窖、厚街两镇的重要通道,横跨东江南支流东莞水道,内河Ⅲ级航道,建成于 1993 年,主桥为双塔双索面框架式稀索体系斜拉桥。该桥出现一定结构病害并有继续发展趋势,且通行能力不足、通航净空不满足规划航道等级要求,需对其实施拆除后新建,拆除混凝土共计约 5 192 m<sup>3</sup>,斜拉索 48.5 t。南阁大桥主桥基本

特性见表 1,桥型立面见图 1。

## 2 施工难点

- (1) 该桥是中国首座采用机械法拆除的大跨度框架式稀索体系斜拉桥,且在繁忙水道上,拆除方法、施工组织、结构计算及监测等方面都无成熟经验可借鉴。
- (2) 结构特殊,施工安全风险高。框架式稀索体系斜拉桥非常规结构,且年久失修,拆除前需对其健康状况进行全面、深入的了解,充分考虑结构病害对拆除施工的影响。高空放索、水上大吨位构件吊装、大断面混凝土构件切除等作业施工安全风险大,施工管控要求高。
- (3) 作业时间受限,施工组织要求高。桥址所在的东莞水道,承担较重的通航任务,施工期仅能间歇性封闭航道。拆除作业实施前,需精心组织,合理细化封航时段内拆除工作量,并保障规定时间内完成计划任务、提高作业效率。

表 1 待拆主桥桥梁基本特性

桥长/m	跨径组合/m	桥梁宽度/m		设计荷载
283	2×35+108+3×35	净 10+2×1.5 人行道,双向车道		汽车—20 级、挂车—100
桥塔	斜拉索	纵梁	主梁及桥面板	整体结构
H 形塔,高 36.6 m,最大断面尺寸为 3 m×1.7 m	双索面稀索体系、平行钢丝结构,单侧塔设 10 根拉索,边跨 6 根/145φ7 mm,中跨 4 根/211φ7 mm	预应力混凝土结构,矩形截面,2.05 m(高)×1.36 m(宽),跨中设预应力混凝土横梁连接	主梁:工字形截面预应力混凝土结构,横桥向设 4 片桥面板;后浇 20 cm 钢筋混凝土结构	塔、纵梁固结,与索共同构成空间框架体系,为挂梁、主梁提供支承

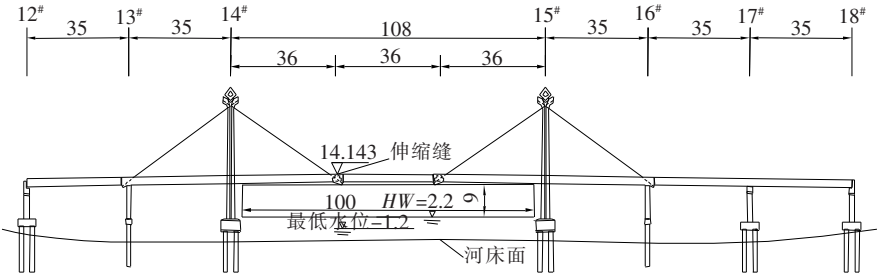


图 1 南阁大桥主桥桥型图(单位:m)

3 施工方案

根据南阁大桥结构体系特点,结合设备资源和通航要求,桥跨结构采用了与建桥时“逆序”的总体拆除方案,即分级释放斜拉索,交叉对称拆除主梁,再解体框架结构。浮吊配合绳锯切割,吊运至道滘岸的临时码头,二次破碎。浮吊在下游逆水进入桥梁拆除区域,交叉锚临时定位,吊运节段时靠收绞锚绳和拖船辅助转向、进退。协调航道管理部门在桥位上下游设浮标警示灯,浮吊作业期间暂时封闭航道。桥跨结构拆除施工工艺流程见图 2。

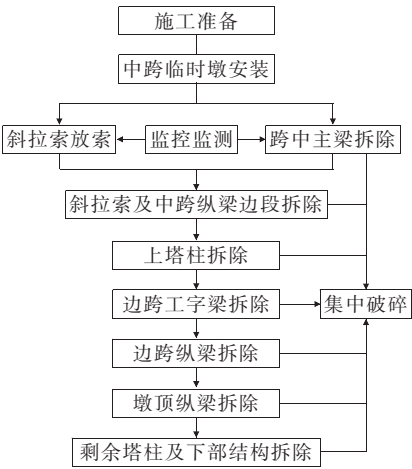


图 2 桥跨结构拆除工艺流程图

4 施工关键技术

4.1 斜拉索放索

因斜拉索长度较短,常用动测仪法难以测得准确索力值,在斜拉索塔顶锚端安装千斤顶及工具撑,通过油表读数获取索力值,与理论成桥索力对照分析,输入到分析模型中,实测结果见表 2。

表 2 现状索力检测结果

主塔号	位置	单侧总索力/kN		单侧索根数/根
		上游	下游	
14# 塔	边跨	9 634	9 755	3
	中跨	9 432	9 418	2
15# 塔	边跨	9 522	9 717	3
	中跨	9 316	9 377	2

斜拉索索力分 6 次释放。在塔顶采用 500 t 千斤顶对称、同步进行放索,与主梁拆除交替进行,每阶段放索分加载、卸载、锚固三步。加载时张拉至锚固螺母松动、螺母能自由旋转;卸载时螺母向外旋转预设长度,千斤顶回油卸载至设定索力;锚固时监测索力值是否满足要求,螺母拧紧锚固,千斤顶回油。过程中采取偏差预警,中、边跨总索力偏差预警值为 100 kN,主塔偏位预警值为 20 mm。具体施工流程见表 3。

表 3 斜拉索分次放索施工流程

批次	作业内容	主塔理论偏位
第 1 次	对称放空边跨中间拉索	偏向中跨 14 mm
第 2 次	由初始值释放至 4 400 kN,拆除跨中外侧 2 片挂梁	偏向边跨 2.9 mm
第 3 次	释放至 3 500 kN,拆除跨中中间 2 片挂梁	偏向边跨 10.2 mm
第 4 次	释放至 2 800 kN,拆除中边跨外侧 2 片工字梁	偏向边跨 7.8 mm
第 5 次	释放至 2 200 kN,拆除中边跨中间 2 片工字梁	偏向边跨 0.9 mm
第 6 次	释放至 1 500 kN,纵梁设钢支撑,拆除跨中横梁	偏向边跨 7.6 mm

4.2 框架纵梁拆除

跨中横梁、纵梁、上塔柱和斜拉索共同构成斜拉桥框架受力体系,纵、横梁里配置有预应力束。为避免预应力束锚头切除后预应力失效的情况发生,根据纵梁预应力束的布束及锚固情况,采取设置临时墩、分段切除框架纵梁的方案。纵梁边跨预应力在中跨距主塔14 m处锚固,设置有施工缝,在此处设切割面,将纵梁分为中跨中梁、中跨边梁和边跨纵梁3段。先在浮吊辅助下切除中跨中梁,并在施工缝位置设置临时墩(钢管桩+分配梁)进行支撑,再切除边跨纵梁,最后切除中跨边梁,以确保纵梁在拆除中处于可控状态。纵梁钢束布置见图3,临时墩布置见图4。

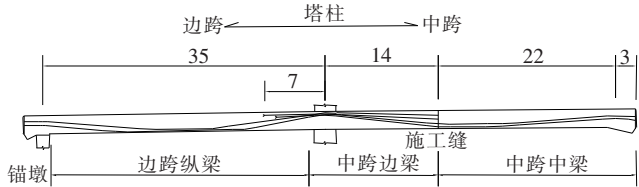


图3 纵梁钢束布置图(单位:m)

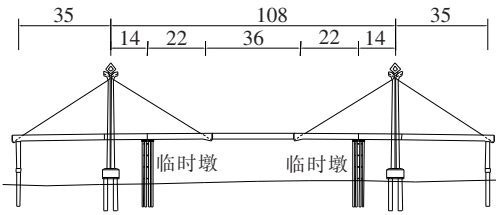


图4 临时墩布置图(单位:m)

4.3 大断面混凝土构件切分

主跨结构中主梁、桥塔、纵横梁断面较大,采用液压金刚石绳锯机切割技术。液压金刚石绳锯机切割是通过液压马达高速驱动带有金刚石串珠的钢丝绳索,绕被切割物体运转,高速磨削被切割物体,最终实现被切割体快速分离。由于塔柱分节切分位置距离桥面约6 m,通过在塔身设置支撑架及导向轮组,实现高空切割。主梁、纵梁等均在桥面利用绳锯完成切割。

4.4 浮吊吊装转运

桥跨结构构件吊重大、杆件长,其中边跨纵梁单吊重量为245 t、梁长32 m,选用自行式450 t浮吊,抛锚船辅助抛锚。通过对起吊物重心和钢丝绳计算确定吊点位置,吊绳采用4根6(股)×37(丝)、φ60.5 mm纤维芯钢丝绳,安全系数不小于6,并在构件棱角位置设弧形钢板作吊绳保护措施。构件吊离后,浮吊在负重状态下通过自动力和收绞锚绳、拖船辅助转向,转运至

岸边码头破碎场集中破碎。

4.5 拆桥仿真分析

采用Midas/Civil对拆桥全过程进行了仿真计算(模型见图5)。桥塔、纵横梁采用梁单元模拟,斜拉索采用桁架单元模拟,现阶段索力值为实测值,考虑混凝土的时间效应,分为24个施工阶段建立计算模型。通过模拟仿真分析,对拆桥方案进行细化,为监控和预警值提供理论依据。

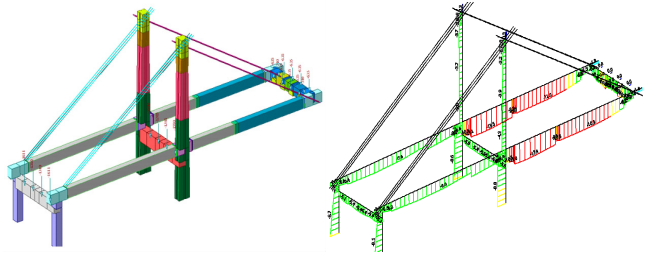


图5 桥跨结构计算模型

5 施工结果及分析

桥跨结构拆除实行了全过程监控,监控内容有:纵梁、主塔关键部位应力监控、纵梁沉降监控、主塔偏位监测、索力监测。选用快贴集成应变计和DH3819无限静态应变测试系统进行应力监测,采用塔端千斤顶读数结合JMM268-1索力动测仪监测斜拉索索力,主塔偏位、纵梁沉降采用全站仪、水准仪进行监测。主塔偏位测点布置于塔顶,纵梁监控测点布置见图6。

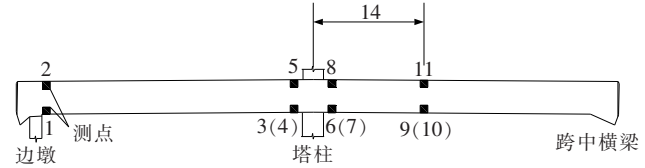


图6 纵梁应力测点布置(单位:m)

经桥跨结构拆除过程中实测数据与理论计算数据对比分析,主梁拆除过程中纵梁应力值均没有超过混凝土强度设计值,出现最大拉应力为0.97 MPa,低于设计值2.51 MPa;斜拉索第1次与第2次放索后主塔偏移与理论值相差最大20 mm,其余工况下基本吻合;纵梁在施工过程中沉降幅度均处于结构安全范围内,最大值为62 mm;拆除过程安全、可控。纵梁断面切开后,纵梁内预应力管道压浆爆满,预应力筋局部轻微锈蚀,临时墩在拆除过程中作为安全措施使用。14#墩纵梁及塔柱测点数据如表4、5所示。

表 4 14# 墩纵梁及塔柱部分测点应力实测值 MPa

测点 编号	成桥状态		拆除 GL2/3 后		拆除 ZT2/3 后		拆除跨中横梁后	
	上游	下游	上游	下游	上游	下游	上游	下游
2	−6.89	−6.92	−18.08	−8.62	−14.88	−7.80	−17.93	−6.31
5	−9.13	−9.81	−15.99	−15.92	−14.49	−24.36	−28.94	−26.04
6	−5.61	−7.62	−17.30	−15.01	−11.63	−3.58	−8.89	0.97
7	−5.61	−7.62	−14.79	−12.94	−9.62	−7.78	−7.59	−1.93
8	−8.44	−10.40	−19.68		−19.72		−29.17	
11	−6.18	−5.64		−17.03		−22.79		−21.04

注：“+”为拉应力；“−”为压应力；GL 代表挂梁；ZT 代表主塔。

表 5 14# 墩主塔偏移量及纵梁沉降实测值

工况	主塔偏移/mm		纵梁沉降/mm	
	14# 上游	14# 下游	14# 上游	14# 下游
第 2 次放索	−20	−23	−62	−59
拆 GL4、GL1	5	7	−6	−10
第 3 次放索	−19	−25	−43	−40
拆 GL3、GL2	4	11	−4	−4
第 4 次放索	−12	−6	−28	−36
拆 ZT4、ZT1	5	9	−6	−10
第 5 次放索	−9	−5	−56	−52
拆 ZT3、ZT2	13	10	−11	−9
第 6 次放索	−5	−11	−15	−12
拆除跨中横梁	8	7	43	49

注：主塔偏移向外边跨为+，纵梁沉降向上为+。

6 结语

南阁大桥主桥桥跨结构拆除工程于 2018 年 12 月 14 日开始,2019 年 1 月 8 日完成,历时 26 d。实施方案综合考虑旧桥病害、桥跨结构特征、通航要求以及设备资源情况等因素,采用有限元仿真分析、分级放索、大断面绳锯切割、浮吊大吨位吊转、信息监控等技术,准确掌握桥跨结构在拆除过程中的受力变化情况,实现了桥梁快速拆除,保障了桥梁拆除安全。该项目作为大跨度框架式稀索体系斜拉桥桥跨结构拆除工程,

尚属中国首次,对今后类似桥梁拆除工程具有很好的借鉴意义。

参考文献:

[1] 康朝静. 病害预应力混凝土梁桥结构可靠性分析[D]. 郑州大学硕士学位论文,2015.

[2] 崔玲枝. 高速铁路混凝土梁桥典型病害仿真分析及对策研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文,2018.

[3] 汪少波,王胤韬. 绳锯静力切割技术在临近地铁轨道工程基坑支撑拆除中的应用[J]. 施工技术,2015.

[4] 张成瑞,杨龙,朱新明. 预应力混凝土结构特点分析与静力拆除关键技术[J]. 工程质量,2018(7).

[5] 易汉斌,江祥林,吴后选,等. 某上跨线斜腿刚构分块切割拆除方案研究[J]. 中外公路,2015(2).

[6] 李干,张芹. 先张法预应力混凝土空心板经切割后其力学性能变化研究[J]. 中国标准化,2018(10).

[7] 郭杰鑫,朱晓亮. 废弃铁路 T 梁拆除方案比选与实施[J]. 施工技术,2018(S1).

[8] 朱慈祥,刘昂,易小锋,等. 通航条件下非对称组合结构斜拉桥拆除技术[C]. 中国公路学会养护与管理分会第八届学术年会会议论文集,2018.

[9] 张武,吴运宏,王戎躁. 斜拉桥快速换索施工技术[J]. 世界桥梁,2014(5).

[10] 杨光值,刘伟杰. 无损性钻切技术在三元桥快速大修改改造中的应用[J]. 施工技术,2018(7).

[11] 李亚民. 跨高速连续梁主跨整体拆除施工技术[J]. 世界桥梁,2018(5).