

Research on Demolition Scheme and Monitoring Method for Cable-Stayed Bridge with Double Cable Plane of Nange Bridge

Yang She¹, Zhou Chen¹, Lifeng Li^{1*}, Tianfeng Zhu²

¹Foshan University of Science and Technology, Foshan Guangdong

²Guangdong Transportation Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Guangzhou Guangdong
Email: 157012338@qq.com, *371530701@qq.com

Received: Dec. 28th, 2018; accepted: Jan. 11th, 2019; published: Jan. 18th, 2019

Abstract

To provide safety monitoring advice for similar cable-stayed bridge demolition project, a cable-stayed bridge demolition was taken as the study. The “Mechanical nondestructive cutting and separation method” and Midas Civil software were used to figure out the stress on the frame longitudinal beam, beam of cable-stayed bridge, and the deviation of cable tower in each stage. At the same time, an intelligent data acquisition system was used to compare the measured data with the finite element simulation results. The results demonstrate that the mechanical nondestructive cutting and separating could ensure the stress safety for the old cable-stayed bridge demolition structure, and it provides experience and reference value for the selection of similar engineering demolition and construction monitoring methods.

Keywords

Old Bridge Demolishing, Mechanical Nondestructive Cutting and Separation Method, Cable Force Release, Construction Monitoring

南阁大桥双索面斜拉桥拆除方案及监控方法研究

余 阳¹, 陈 舟¹, 李丽芬^{1*}, 朱添丰²

¹佛山科学技术学院, 广东 佛山

²广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广东 广州
Email: 157012338@qq.com, *371530701@qq.com

收稿日期: 2018年12月28日; 录用日期: 2019年1月11日; 发布日期: 2019年1月18日

*通讯作者。

摘要

为了相似斜拉桥拆桥工程提供安全监控建议,对斜拉桥旧桥拆除实例进行分析,采用“机械无损切割分离式方法拆除方案”,利用有限元软件(Midas Civil)计算出各阶段斜拉桥框架纵梁和横梁等主要受力构件上的应力及索塔的偏位,确定各阶段索力释放值,同时采用智能化的数据采集系统将实测数据与有限元模拟结果进行对比。结果表明机械无损切割分离式方法能确保斜拉桥旧桥拆除结构受力安全,对同类旧桥拆除施工监测有一定的参考意义。

关键词

旧桥拆除,机械无损切割分离式方法,索力释放,施工监测

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着我国交通运输事业的快速发展,交通量的增大、通航等级的提升,对桥梁的通行能力、水域上桥梁的通航净空的要求相应提高。一些已建成通车几十年的桥梁,由于通行能力低、桥下净空不足或桥梁病害持续发展导致桥梁破损严重等原因,导致需要拆除这些旧桥。

目前,根据不同桥梁结构和桥梁周围环境,拆除方法主要有定向爆破拆除法、逆工序拆除法、机械破碎拆除法和无损静力切割拆除法[1]。乔晓冉基于深南彩田立交桥采用 SPMT 技术实现快速拆桥[2],陈明芳、陈海兵、彭国婧采用顶推法拆除钢筋混凝土连续箱梁桥方案研究[3],陈敏、赵阳阳桁式组合拱桥拆桥施工双影响矩阵法索力优化研究[4]。无论采用哪种方法,因旧桥存在众多不确定因素,拆桥过程危险性都较大。因此,为保证拆桥过程中的施工安全,须设计合理的拆除方案,确定细致可实施的施工方案,同时在桥梁拆除过程中的安全控制尤为重要。

2. 工程背景

南阁大桥旧桥位于 X236 线上,横跨东江南支流东莞水道,规划为内河 III 级航道,主桥为通航孔,设计通航净宽 100 m,高 9 m。桥长 619 米,为双向两车道,于 1993 年竣工。

桥跨组合为:12 × 16 m 钢筋混凝土 T 梁 + (2 × 35 m + 108 m + 3 × 35 m) 斜拉桥 + 9 × 16 m 钢筋混凝土 T 梁。其中,主桥为 2 × 35 m + 108 m + 3 × 35 (m) 双塔双索面稀索斜拉桥,长 283 m,见图 1。

主桥上部结构:主桥主孔 108 m,中间 36 m 为预应力混凝土工字梁挂梁。主梁采用先简支梁后连续的组合式部分预应力混凝土连续梁,恒载的绝大部分为预制 A 类部分预应力工字梁承受。主桥斜拉框架(见图 2)中横桥向设四片工字梁,见图 3。主桥索塔为 H 型,不设上横梁。斜拉索为双索面稀索体系,每塔设置 5 根拉索,分两种类型,分别由 145φ7 mm 和 211φ7 mm 平行钢丝组成。

主桥下部结构:14#、15#主墩基础为 8φ1.5 m 的钢筋砼钻孔灌注桩组成的高桩承台,13#、16#锚墩基础为 2φ1.5 m 的钢筋砼钻孔灌注桩组成的高桩承台。

2013~2015 年,对南阁大桥定期检测,评定引桥桥技术状况等级为三类,有中等缺损,尚能维持正常使用功能;南阁大桥主桥技术状况等级为四类,主要构件有大的缺损,严重影响桥梁使用功能。南阁

大桥总体技术状况评定为四类。2016年现场踏勘，并对比分析2013~2015年及2013年前的检测结果，发现该桥病害存在不断发展的趋势，而且该桥存在通行能力不足，桥下通航净空不满足现状等级要求，数次发现船只撞击桥梁事件。经技术经济论证，决定对南阁大桥旧桥进行拆除重建。



Figure 1. Elevation of Nange bridge
图 1. 南阁大桥主桥立面图

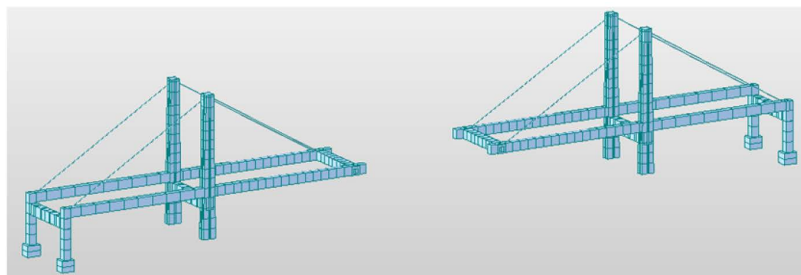


Figure 2. Diagram of cable-stayed frame of Nange bridge
图 2. 南阁大桥主桥斜拉框架示意图

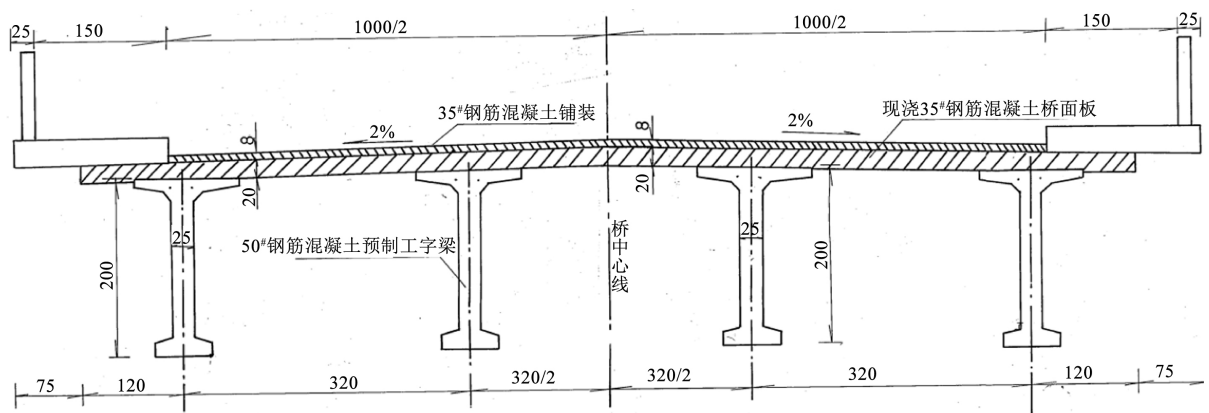


Figure 3. Cross-sectional layout of longitudinal beams in cable-stayed frame of Nange bridge
图 3. 南阁大桥主桥斜拉框架内纵梁布置横断面图

由于该桥为斜拉桥，属于超静定结构，力学行为变化复杂，存在的主要风险因素有以下几点：目前成桥状态下合理索力确定、拆桥过程中斜拉索索力释放值确定、主塔和纵梁应力控制、主塔和纵梁变形

控制、浮吊系统的稳定性、拆除横梁过程中纵梁力学行为的变化[5]。

3. 南阁大桥斜拉桥拆除方案

3.1. 总体方案

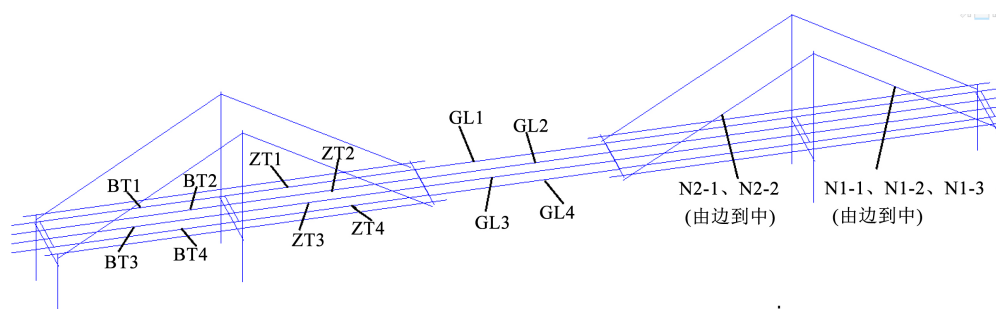
对南阁大桥进行结构及周围环境因素分析后,通过方案比选,最终确定采用机械无损切割分离式方法拆除旧桥。采用无损切割,实为使用链(碟)锯将桥梁逐个构件切割后从桥体分离将人行道、T梁、T构、桥帽、桥墩柱、基础逐块进行分解。斜拉桥在水中,采用浮吊+链式切割拆除。

无损切割拆除方法是近几年兴起的一个新的切割拆除办法,即:使用链(碟)锯将桥梁逐个构件切割后从桥体分离,具有快速、高效、无振动、噪音低,无粉尘污染等传统的拆桥作业方法无法比拟的优点。水中桥采用浮吊+链式切割拆除的优点是,可满足临时通航及间歇性通航要求,无需清理航道,对航道影响最小;但拆桥过程对控制精度和施工水平要求高。施工过程须做好安全控制工作。无损切割拆除方法成功案例有东莞幽涌大桥、云南省安宁-楚雄高速公路温泉收费站立交匝道[6]。

3.2. 拆除顺序

结合海事安全评估的要求,南阁大桥拆除施工期间要留有60m宽水域供船舶临时通行。斜拉桥采用逐步释放斜拉索力,逐步拆除上部工字梁的方案。南阁大桥主桥拆除施工顺序如下:

- 1) 拆除桥面附属设施,并采用碟切(或链切)将工字梁纵向分解;
 - 2) 逐步释放斜拉索,逐片拆除挂孔工字梁;
 - a) 第一次卸斜拉索索力(8800 KN),对称拆除2片挂孔边梁GL1、GL4;
 - b) 第二次卸斜拉索索力(7000 KN),对称拆除2片挂孔中梁GL2、GL3;
 - 3) 在主通航孔离主墩12m处,设置临时墩,临时墩间距大于70m,满足海事要求;
 - 4) 解联主桥的其余工字梁,重复步骤二,逐片拆除主跨和边跨工字梁,直至主桥全部工字梁拆除完成,主桥只剩下一个斜拉框架;
 - a) 第三次卸斜拉索索力(5600 KN),对称拆除边跨及中跨共4片边梁ZT1、ZT4、BT1、BT4;
 - b) 第四次卸斜拉索索力(4400 KN),对称拆除边跨及中跨共4片中梁ZT2、ZT3、BT2、BT3;
 - 5) 在两个主纵梁之间设置两道横向钢支撑,保证后续拆桥的整体稳定性;
 - 6) 第五次卸斜拉索索力(3000 kN),拆除主通航孔跨中横梁,切割后调运至岸上破碎;
 - 7) 采用浮吊作为临时吊点代替斜拉索,完全释放斜拉索,分段拆除主纵梁后调运至岸上破碎;
- 待全部拆除主纵梁后,拆除主墩塔柱及其他下部结构、桩基基础。主塔拆除采用浮吊吊住塔顶,然后分段切割后运至岸上破碎清运。主桥构件标示图见图4。



GL: 表示挂梁, ZT: 表示中跨 T 梁, BT: 表示边跨 T 梁。

Figure 4. Main bridge component diagram

图 4. 主桥构件标示图

4. 拆除斜拉桥施工监控

拆除桥梁的施工监控工作比新建桥梁的监控的实时要求更高、难度更大。拆除桥梁的施工监控，必须依据施工方案，对桥梁拆除施工各阶段的受力状况进行计算分析，校核施工顺序和释放索力值的结构安全性，提出预警控制值，施工过程中实时监测各构件测点的应力并与计算值对比分析，把握施工过程中结构的受力状态和变形形态，发现问题及时通报采取控制措施，确保拆除工程安全顺利进行[3]。

4.1. 斜拉桥拆除过程仿真分析

采用 MIDAS 仿真软件对拆桥过程进行仿真模拟。本计算主要为保证上部结构拆除的安全性，模型中未模拟桩基础，按墩顶固结考虑。基于等效原则，跨中挂梁采用荷载代替，作用于跨中横梁上。全桥共采用 879 个节点，875 个单元，其中，梁柱塔等采用梁单元，斜拉索采用桁架单元。仿真模型见图 5。

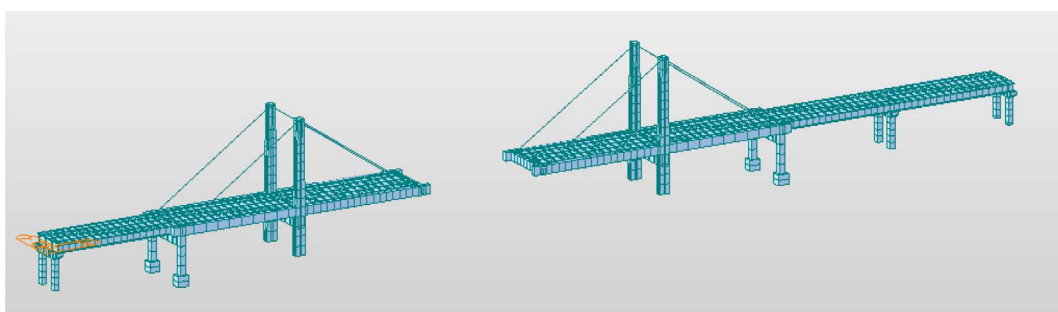


Figure 5. Finite element model of main bridge completion

图 5. 主桥成桥有限元模型图

主要荷载有：自重、斜拉索索力、风荷载、预应力荷载、二期铺装。主要模拟工字梁拆除过程中主塔主梁及横梁的结构受力，主要施工阶段按成桥状态和拆桥施工方案的释放索力拆除工字梁及斜拉框架的顺序分六个阶段，计算出各阶段斜拉框架纵梁和横梁等主要受力构件上的应力及索塔的偏位。各关键工况计算结果见表 1、图 6、图 7。

Table 1. Software calculation results for each critical working condition

表 1. 各关键工况软件计算结果

关键工况	斜拉框架纵梁		跨中横梁		主墩横梁		主塔 最大偏位 (mm)
	上缘最小应力 (MPa)	下缘最大应力 (MPa)	上缘应力 (MPa)	下缘应力 (MPa)	上缘应力 (MPa)	下缘应力 (MPa)	
成桥	-10.7	-9.2	-8.8	-7.6	-6.9	-2.3	2.2
第一次释放索力	-9.6	-9.0	-7.3	-8.6	-6.8	-1.9	4.2
拆除挂孔 T 梁 GL1、GL4 后	-10.7	-10.1	-6.1	-9.6	-6.6	-2.0	-6.4
第二次释放索力	-11.1	-11.5	-5.8	-10.1	-6.9	-1.8	2.0
挂梁全部拆除后	-7.3	-9.3	-2.8	-12.9	-6.7	-2.0	-9.3
第三次释放索力	-5.3	-11.0	-3.1	-10.1	-6.9	-1.8	9.0
拆除 T 梁 ZT1、ZT4	-7.6	-8.4	-1.9	-11.6	-5.8	-2.8	-7.0
第四次释放索力	-6.5	-9.2	-1.7	-11.9	-5.8	-2.9	-5.9
全部工字梁拆除后	-9.2	-6.7	1.9	-15.3	-4.1	-4.4	-12.0
拆除跨中横梁	-6.9	-8.8	已拆除	已拆除	-4.2	-4.4	-7.6
拆除跨中前端纵梁	-2.4	-3.7	已拆除	已拆除	-4.2	-4.4	0.9

注：表中应力负值为压应力，正值为拉应力；偏移负值为主塔向边跨偏移，正值为主塔向跨中偏移。

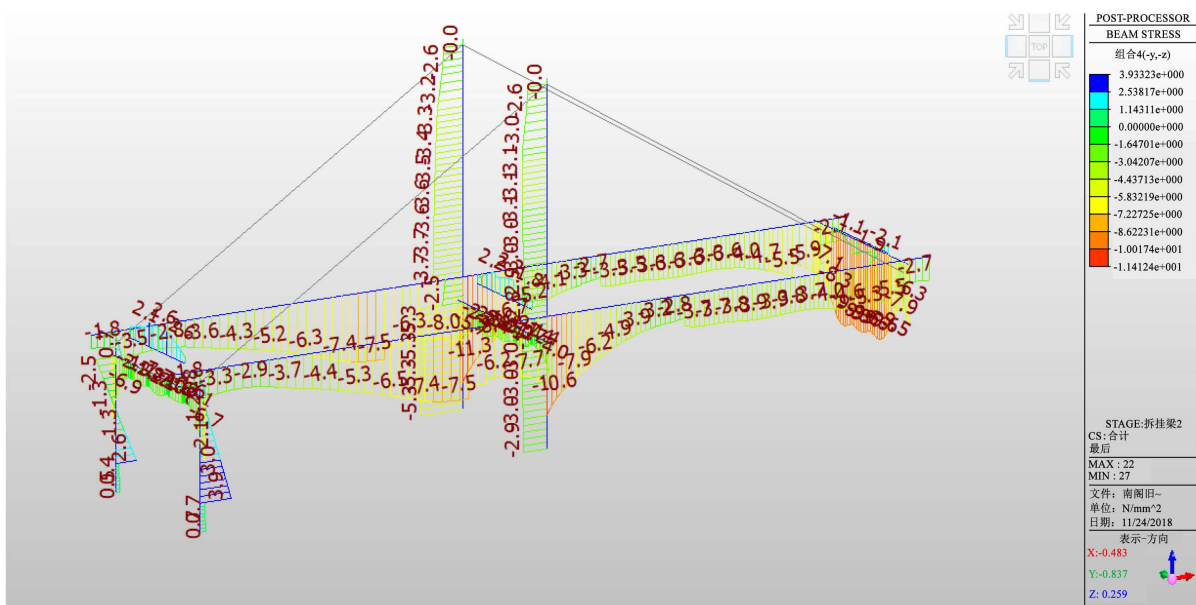


Figure 6. Stress diagram of the rear longitudinal girder of the hanging girder GL1 and GL4 demolished by the first release of cable force

图 6. 第一次释放索力拆除挂梁 GL1 和 GL4 后纵梁

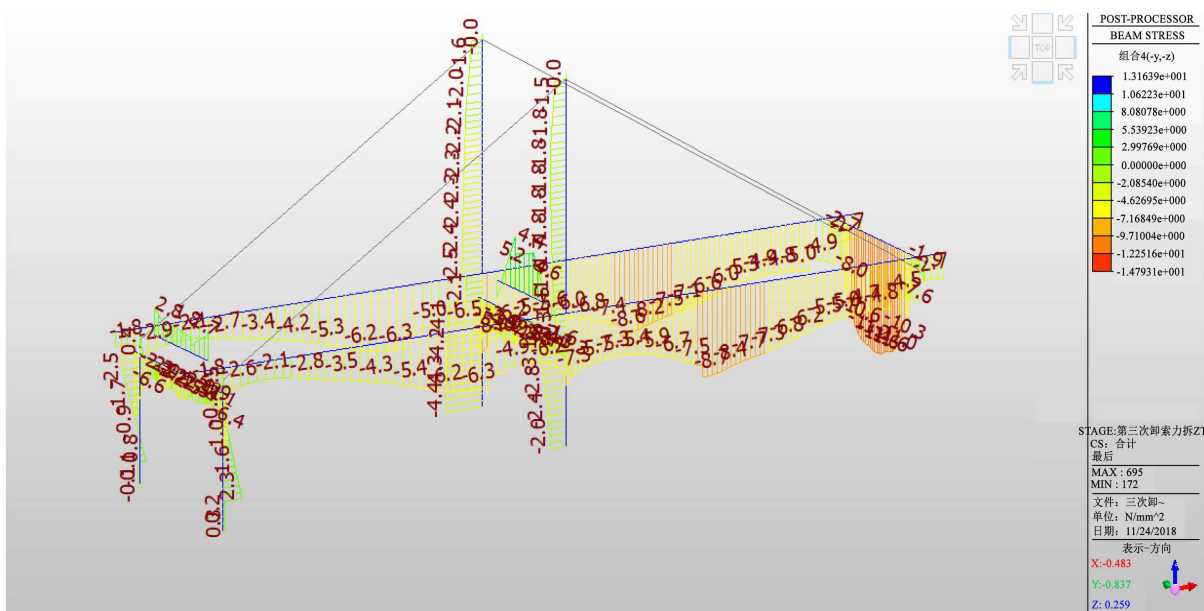


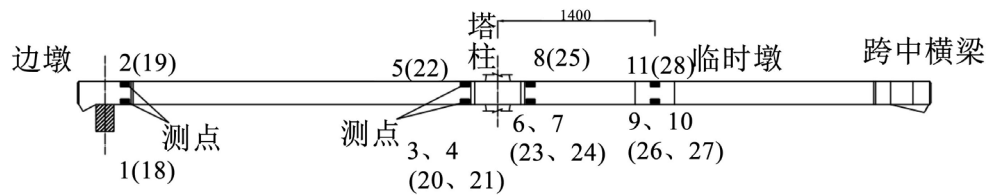
Figure 7. Stress diagram of ZT1 and ZT4 rear longitudinal beams removed by the third release cable force

图 7. 第三次释放索力拆除 ZT1 和 ZT4 后纵梁

计算结果表明，按预定的索力释放值，各工况下各构件除第四次拆除工字梁后跨中横梁上缘受到 1.9 MPa 拉应力以外，均处于受压状态，满足受力要求，结构处于安全状态。

4.2. 监控测点布置

根据计算分析结果，对南阁大桥主桥拆桥施工监控进行应力测点布置。主要在斜拉框架纵梁和横梁上布置应力测点，在主塔上布置位移测点。各测点布置见图 8、图 9、图 10。



注：括号内为上游侧纵梁测点编号，括号外为下游侧纵梁测点编号。

Figure 8. Layout of stress measurement points for longitudinal beams of cable-stayed frames

图 8. 斜拉框架纵梁应力测点布置图

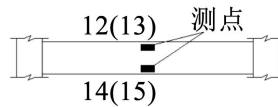


Figure 9. Layout of stress measurement points for mid-span cross beam of cable-stayed frame

图 9. 斜拉框架跨中横梁应力测点布置图

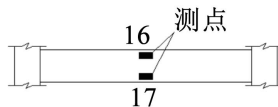


Figure 10. Layout of stress measurement points for main pier cross beam

图 10. 主墩横梁应力测点布置图

4.3. 监控方法

应力监测采用全智能化的数据采集系统，由快贴集成应变计、DH3819 无线静态应变测试系统(含数据采集仪、电脑和软件)组成。主塔偏位监测采用全站仪，棱镜布置在塔顶。在桥面系及附属结构拆除前后、每次释放索力前后及每拆除一片梁前后均需进行应力监测和主塔偏位监测。斜拉索索力测试采用索力动测仪和千斤顶两种方法，在主桥拆除前、每次释放索力时需进行斜拉索的索力监测。监测时及时与理论计算值对比，若有异常，及时预预警，采取措施保证安全。

5. 结论

- 1) 通过对南阁大桥结构及周围环境因素分析，选择机械无损切割分离式方法拆除该桥，具有快速、高效、无振动、噪音低，无粉尘污染等优点。
- 2) 利用桥梁计算软件进行仿真计算分析，能确定各阶段索力释放值，保证结构受力安全，且对施工监测有指导作用。
- 3) 在主要构件关键点布置监测点，用先进仪器监测，现场实测数据与软件计算数值模拟对比，可把控拆桥过程中各工况构件的受力和位移状态，保证安全顺利拆除桥梁。

参考文献

- [1] 何震, 李自林, 薛江. 跨既有铁路线斜拉桥拆除安全控制技术[J]. 国防交通工程与技术, 2013, 11(3): 34-38.
- [2] 乔晓冉. 基于 SPMT 技术的快速拆桥研究[J]. 桥隧工程, 2018(8): 150-152.
- [3] 陈明芳, 陈海兵, 彭国婧. 顶推法拆除钢筋混凝土连续箱梁桥方案研究[J]. 公路工程, 2014(6): 200-203.
- [4] 陈敏, 赵阳阳. 桁式组合拱桥拆桥施工双影响矩阵法索力优化研究[J]. 公路, 2018(11): 136-139.
- [5] 阮欣. 桥梁工程风险评估体系及关键问题研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2006.
- [6] 拓明星. 切割法在预应力箱梁桥拆除中应用研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org