

金山大桥局部拆除后续运营期性能和实测分析

姚青

[上海城建市政工程(集团)有限公司,上海市 200065]

摘要:因航道升级和改建施工的保通需求,上海金山大桥在拆除之前需局部切割拆除并维持一年续运营期,安全风险显著提高,且同类工程实例较为罕见。利用有限元软件建立双梁连续约束模型,模拟金山大桥局部翼缘拆除全过程,形成局部拆除监测预警等级和预警值,分析了部分拆除后的续运营期旧桥挠度和应力监测数据。监测结果表明,结构刚度稳定,实测应力均小于理论控制值,可为今后类似工程提供借鉴。

关键词:局部拆除;续运营期;实时监测;双梁模型

中图分类号: U455.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)04-0163-04

0 引言

平申线航道(上海段)规划航道等级为Ⅳ级,建成于1990年的金山大桥因不满足Ⅳ级航道通航要求,需拆除重建。新桥分幅设计,在满足保通需求下首先施工北幅新桥,同时维持旧桥交通。待北幅新桥建成后拆除旧桥,最后建设南幅新桥。旧桥宽22.5 m,新桥宽 $2 \times 18.25 \text{ m} + 3.15 \text{ m}$,平面上北幅新桥与旧桥重叠0.5~2.5 m,立面上新桥大部分高于旧桥。所以新桥上部结构架设与旧桥基本不冲突,但主桥桥墩盖梁与旧桥箱梁悬臂冲突,旧桥翼缘需要提前局部拆除,且部分拆除后的旧桥仍需承担一年多的续运营期。

桥梁拆除施工是一项非常复杂的工程,具有高风险、高技术、高难度的特征^[1-3]。旧桥经过多年的运营和维修加固,其强度、刚度、稳定性都有不同程度的下降,在部分切割后结构受力变得更为复杂,桥梁续运营期的安全风险显著提高。国内采用切割法分段分块拆除桥梁已有非常多的工程应用和积累经验^[4-6],但是旧桥全部拆除之前实施部分切割拆除而后继续承载运营的工程实例较为罕见。本文对金山大桥部分拆除后的续运营期性能进行了监测和分析,为今后类似工程提供工程借鉴。

1 工程概况

金山大桥主桥为三跨预应力混凝土连续箱梁,跨径组成为 $(43.4+66+43.4) \text{ m} = 152.8 \text{ m}$,采用悬臂浇

筑法施工。主桥上部结构采用分离式双箱单室结构,箱梁混凝土设计标号为C40。中墩处梁高4.0 m,顶板全宽22.5 m,两箱相距3 m。箱梁纵向预应力钢束采用 $24\Phi 5\text{S}$ 碳素钢丝,钢丝标准强度1 600 MPa,张拉控制应力1 200 MPa,全桥共张拉718束,采用45号优质钢锥型锚具锚固。箱梁未设横向预应力。

由于梁体出现大量裂缝,特别是腹板裂缝,几乎遍布全桥,在2009年的定期检查中被评定为4类桥梁,混凝土取芯结果为C30。2010年5月进行加固维修,主要措施有:

(1)对不小于0.10 mm裂缝进行压浆封闭,对0.10 mm以下裂缝进行表面封闭。

(2)剪力控制区域的腹板加厚15~20 cm,同时增设竖向预应力钢筋,间距50 cm,采用直径25 mm的精轧螺纹钢筋,增强主梁腹板抗剪性能。

(3)箱梁外侧底部和侧面粘贴碳纤维布,抑制混凝土裂缝的扩展并提高抗拉性能。

因新建桥主桥桥墩盖梁与旧桥箱梁悬臂冲突。基于新旧桥位置关系(见图1),依据设计建议采用翼缘局部切割法^[7-8]拆除进行旧桥改造,分别于两个冲突位置对翼缘进行切割拆除(见图2)。翼缘切割长度5 m,切割深度2.75 m,最多共有7束翼缘预应力钢束被拆除。作为局部纵向补强,在局部切割后,同时采用高度500 mm的箱型钢梁与旧桥箱梁连接。

2 续运营期结构性能分析

2.1 计算模型

考虑到结构分析的目的和成本,对金山大桥的切割建模,考虑圣淮南原理,在3倍切割区域范围内,采

收稿日期:2021-06-21

作者简介:姚青(1981—),男,本科,高级工程师,从事桥梁工程管理工作。

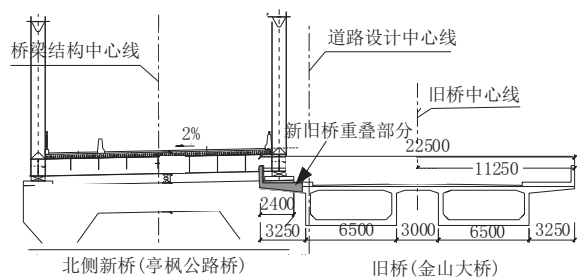


图1 新旧桥主桥处断面位置关系(单位:mm)

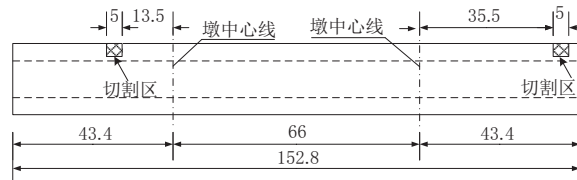


图2 切割平面位置(单位:m)

用组合双梁模型进行建模分析。同时通过加密节点的方式,形成连续约束双梁模型(见图3),尽可能消除梁间的变形不协调,使模拟结果准确。

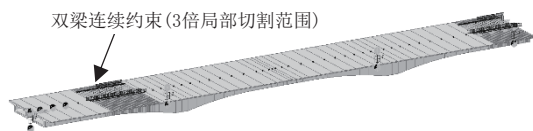


图3 连续约束双梁模型

有黏结的后张法预应力筋放张后存在较高的残余预应力。分析时,残余预应力值近似按照先张法预应力筋的传递长度计算^[9],提高实际结构的模拟精度,尽可能反映局部拆除旧桥的承载力。

有限元分析采用 Midas Civil 软件。按预应力混凝土 A 类构件进行验算。设计汽车荷载采用公路 I 级。温度荷载按桥梁规范采用。

主要施工步骤模拟按照旧桥建设、运营、加固、运营和切割翼缘等阶段进行^[10](见表1)。

表1 施工阶段

主要阶段	施工内容
1	挂篮悬臂施工,并张拉相应钢束
2	边跨合龙,张拉相应钢束,拆除边跨支架
3	中跨合龙,张拉相应钢束
4	二期恒载施工
5	运营 10 a
6	桥面加罩 5 cm 沥青混凝土
7	运营 10 a
8	加固维修
9	桥面加罩 4 cm 沥青混凝土
10	运营 10 a
11	拆除人行道,安装加固钢梁,切割翼缘

2.2 切割前后主要性能比较

切割后抗弯承载力和基本组合弯矩包络图见图4。由于切割翼缘导致的截面削弱、钢束的切除使得切割后主梁断面的抗弯承载力有所下降。切割前和

切割后主梁的抗弯承载能力均能满足安全要求。在正弯矩区,承载能力的安全裕度相对较小,切割前后分别为 1.03 和 1.07。

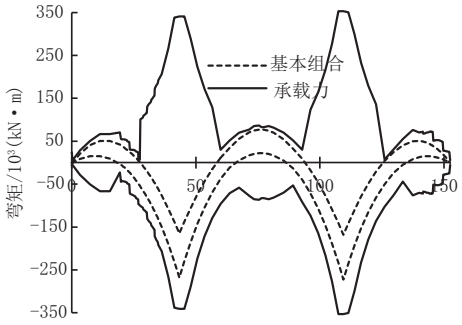


图4 抗弯承载力和基本组合弯矩包络图

切割前,旧桥抗剪承载能力和基本组合剪力包络图见图5。切割前,旧桥主梁的抗剪承载能力多处略有不足。如果考虑 2010 年加固的竖向预应力,在中支点处对一侧箱梁能够提供 1 800 kN 承载能力,则效应值超出抗力值 5.5%。若进一步考虑加固时腹板的加宽贡献,旧桥抗剪承载力能满足安全要求。切割后,由于结构自重略有降低,效应值超出抗力值的比例降低为 1.2%。

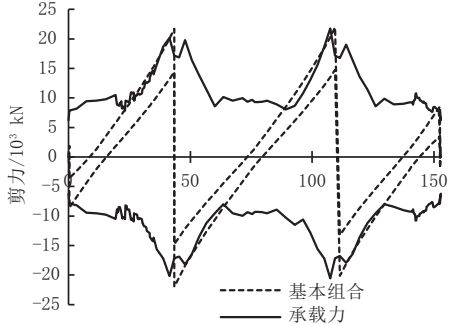


图5 抗剪承载能力和基本组合剪力包络图

切割前后,金山大桥的抗裂性验算结果见表2。按预应力混凝土 A 类构件验算,切割前混凝土主拉应力超出规范限值。实际上旧桥也存在很多使用阶段裂缝,这与加固前金山大桥的状态相吻合。

表2 抗裂性比较

单位:MPa

应力类别	组合类别	规范限值	切割前计算值	切割后计算值
最大拉应力	频遇组合	1.41	1.37	1.40
	准永久组合	0.00	1.36	1.38
最大主拉应力	频遇组合	1.00	2.36	2.40

局部翼缘的切割未对主梁的正应力造成显著影响,切割后比切割前的应力增大约 2%,没有明显变化。切割翼缘之后,频遇组合下的主拉应力也基本没有发生变化,一些梁段主拉应力还有所下降。这是由于自重卸载作用使主梁恒载剪力减小,剪应力也相应降低,从而主拉应力也随之降低。另外,考虑到竖

向预应力筋的作用,切割后主梁斜截面抗裂能力满足要求。

切割前后挠度和基频见表3。切割翼缘之后,主梁挠度略有增加,但是变化量较小,未超过4%。切割前后主梁竖弯基频变化范围在1%以内。

表3 汽车荷载挠度和基频比较				
切割方案	中跨跨中 挠度/mm	西边跨跨中 挠度/mm	东边跨跨中 挠度/mm	竖弯基频 /Hz
切割前	10.7	20.3	10.7	1.303

3 续运营期内桥梁性能监测实测分析

金山大桥改造施工后将继续一年的续运营,在此过程中对结构整体安全状态进行全过程监控。监测内容包括跨中挠度实时监测、主梁应变实时监测和裂缝数据观测。

3.1 切割前监测

切割前后挠度和应力监测主要数据见表4。主梁局部切割之前,东边跨跨中监测到最大挠度10.67 mm,中跨跨中监测到最大挠度-8 mm,西边跨跨中监测到最大挠度-6.85 mm。变形后,数据基本恢复正常,说明桥梁刚度比较稳定。

表4 切割前后挠度和应力监测数据								
类别		理论值	切割前	切割后	运营两周	运营一个月	运营两个月	
挠度/mm	东边跨中	Max	11.89	10.67	2.69	3.46	10.89	7.06
		Min	-12.20	-1.84	0.05	-5.12	0.31	-6.68
	中跨跨中	Max	13.96	7.46	1.33	2.73	5.01	8.26
		Min	-29.80	-8.00	-6.73	-8.15	-6.27	-6.48
	西边跨中	Max	11.89	4.25	1.81	0.30	1.84	—
		Min	-12.20	-6.85	-2.68	-8.35	-4.21	—
应力/MPa	东边跨中	Max	3.32	4.20	1.60	3.70	3.20	1.60
		Min	-6.02	-0.40	0.20	0.80	-0.10	-1.60
	东中墩顶	Max	3.27	0.20	5.10	-2.10	-2.10	1.80
		Min	-4.82	-4.50	-5.90	-5.90	-5.40	-0.20
	中跨跨中	Max	3.13	1.00	-2.20	-1.30	-1.00	—
		Min	-7.03	-0.80	-2.80	-2.70	-2.70	—
	西中墩顶	Max	3.27	2.20	-0.50	0.70	0.70	2.60
		Min	-4.82	-0.80	-2.20	-2.00	-2.10	-0.90

注:表中挠度以向上为正,向下为负。应力以压应力为正,拉应力为负。

大多数位置测点应力和日温度的变化相关性较强,随日温度变化规律明显。监测时段内,季节温度也有所变化,所以大部分应力数据受温度变化影响很大。局部时间段受通车车辆荷载的影响,应力有所变化,负弯矩上缘比较明显,跨中上缘变化较小。

根据前述受力分析,考虑汽车荷载和梯度温度共同作用进行组合作为运营阶段的受力包络,以此来对监测数据进行分析和控制。从表4中可知,3个

跨中测点的挠度实测值均小于理论计算值,即监测数据都在理论控制范围内,说明挠度控制上有足够的富裕度。梁顶的4个正应力监测点的应力实测值也大部分小于理论控制值。东边跨跨中梁顶应力实测值比计算控制值偏大0.88 MPa,考虑到理论上边跨跨中仍有1.41 MPa的抗拉储备,所以监测数据基本可控。

3.2 切割实时监测

西侧翼缘切割完成现场见图6。翼缘局部切割分为3块分步进行,分块切割顺序见图7。第一天进行首缝切割,观察和监测现场桥梁工作情况稳定后,第二天进行余缝的切割。



图6 西侧第三块切割完成

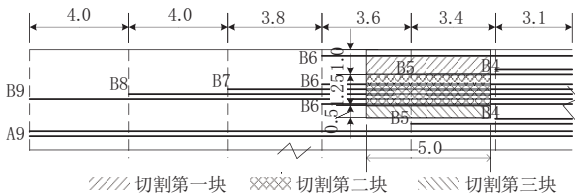


图7 西侧切割顺序图(单位:m)

从切割前后的挠度监测数据曲线图(见图8和图9)可以看出,挠度变化与日温度变化显著相关,切割对于挠度的影响较小,与前述理论分析结果一致。中跨跨中监测到最大挠度-6.73 mm,西侧边跨跨中监测到最大挠度-2.68 mm。监测数据都小于切割前最大值,说明西侧切割完成后,切割对主桥挠度影响较小,桥梁刚度比较稳定。

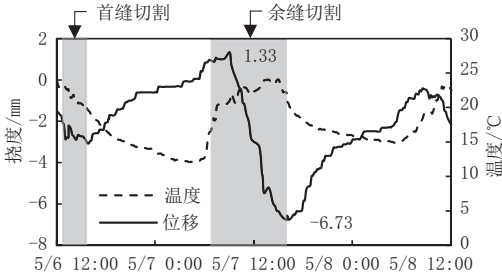


图8 中跨跨中竖向挠度和温度

从切割前后的应力监测数据曲线图(见图10)可以看出,测点应力与日温差显著相关。切割对于西侧边跨跨中应力影响比较明显。切割过程中,中跨跨中

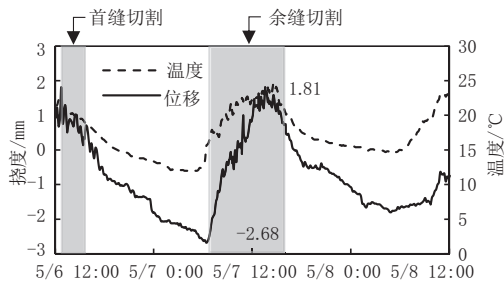


图9 西侧边跨跨中竖向挠度和温度

监测到最大的应力变化值为 0.9 MPa, 钢梁监测到最大应力变化值为 19 MPa。其余应力测点变化较小, 切割影响有限。从表 4 可知, 东中墩顶的应力实测值超出计算控制值 1.82 MPa, 但理论上中墩墩顶仍有 1.31 MPa 的抗拉储备, 需对裂缝情况进行严密监控。

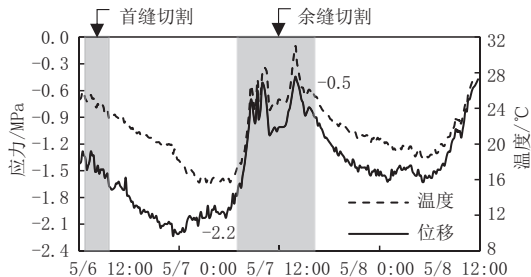


图10 西侧支墩上缘应力和温度

3.3 切割运营两周后

切割后运营两周的监测数据基本规律同切割后, 时长两周的挠度和应力监测数据见图 11 和图 12。测点应力和挠度仍旧与日温差显著相关。东边跨跨中监测到最大挠度 -5.12 mm, 中跨跨中监测到最大挠度 -8.15 mm, 西边跨跨中监测到最大挠度 -8.35 mm。监测数据均小于切割前监测最大值。切割运营两周后对桥梁的监控表明, 桥梁刚度比较稳定。测点的挠度和应力大部分可控, 且有足够的富裕度。车辆荷载对桥梁测点挠度和应力影响有限。

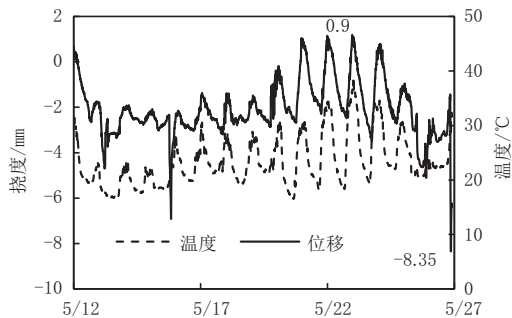


图11 西侧边跨跨中竖向挠度和温度

从表 4 可知, 切割后运营两周的挠度实测值均远远小于理论计算值, 说明挠度控制上还有足够的富裕度。东边跨跨中的应力实测值超出计算控制值 0.37 MPa, 因为中墩墩顶仍有 1.41 MPa 的抗拉储备, 监测数据基本可控。

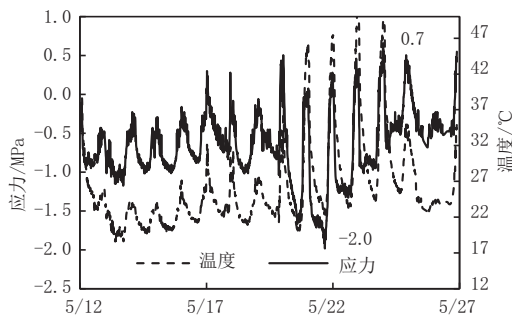


图12 西侧支墩上缘应力和温度

3.4 切割运营一个月后

切割后运营一个月的监测数据见图 13 和图 14。东边跨跨中监测到最大挠度 10.89 mm, 中跨跨中监测到最大挠度 -6.27 mm, 西边跨跨中监测到最大挠度 -4.21 mm。所监测到的数据在 6 月 14 日有突变, 后恢复正常。从表 4 可知, 挠度实测值均小于理论计算值, 说明挠度控制上还有足够的富裕度。应力实测值也均小于理论计算值。

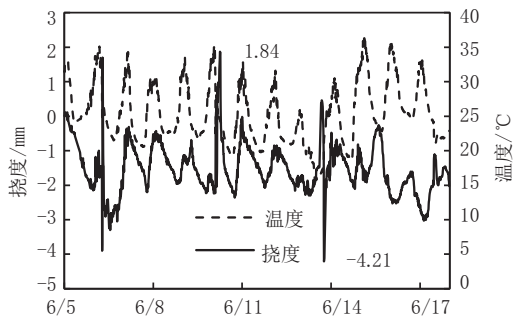


图13 西侧边跨跨中竖向挠度和温度

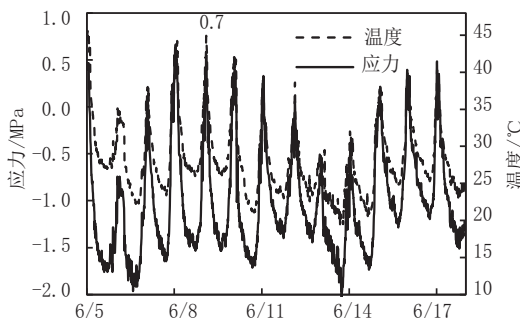


图14 西侧支墩上缘应力和温度

4 结论

(1) 金山大桥续运营期结构分析结果表明, 由于翼缘切割时也切割了部分预应力钢束, 对主梁的抗弯承载能力有一定影响, 但对主梁的抗剪承载能力几乎没有影响。切割前后主梁正截面和斜截面的抗裂性能没有发生明显变化。切割翼缘没有明显影响主梁刚度, 切割前后, 主梁挠度的变化幅度在 4% 以内, 基频的变化幅度在 1% 以内。

(2) 切割前后的长期监测数据表明, 实测挠度和应力数据随日温度变化规律明显, 通车车辆荷载的

(下转第 172 页)

表 6 浸水马歇尔和冻融劈裂试验结果

类型	浸水马歇尔试验			冻融劈裂试验		
	浸水 时间 /h	稳定度 /kN	残留稳 定度 /%	冻融 条件	劈裂强度 /MPa	劈裂强 度比 /%
净味改性 沥青	0.5 48	9.44 8.54	90.5	未冻融 冻融后	0.76 0.67	88.2
非净味改 性沥青	0.5 48	8.79 8.12	92.4	未冻融 冻融后	0.90 0.82	91.1
技术要求 /%	≥85			≥80		

用性能。通过车辙试验评价沥青混合料的的高温性能,试验结果见表 7。净味改性沥青和非净味改性沥青均超过技术要求,二者相差不大。

表 7 车辙试验结果

类型	试验温度 /℃	试验荷载 /MPa	动稳定度 /(次·mm ⁻¹)	
			试验结果	技术要求
净味改性沥青	60	0.7	5 335	≥4 500
非净味改性沥青			5 450	

3.3 低温抗裂性能

温缩裂缝是路面裂缝的主要产生形式之一。通过低温弯曲试验评价 2 种沥青混合料的低温抗开裂性能,试验结果见表 8。净味改性沥青和非净味改性沥青均能达到技术要求,且二者破坏应变相差较小,说明二者的抗低温开裂性能基本一致。

4 结 语

(1)净味改性沥青与改性沥青的技术性能非常接

表 8 低温弯曲试验结果

类型	破坏应变 /με	技术要求 /με
净味改性沥青	3 111	≥2 500
非净味改性沥青	3 019	

近,能满足规范要求。

(2)净味改性沥青的烟密度等级相较于非净味改性沥青降低 70.6%以上。

(3)净味改性沥青混合料的水稳定性、高温性能和低温抗裂性能基本一致,净味改性沥青混合料路用性能满足规范要求。

参考文献:

[1] 鲍金奇,王浩轩,丛玉凤,等.道路沥青抑烟剂的研究进展[J].当代化工,2020,49(5):5.
[2] 刘静,何兆益,黄刚,等.抑烟剂的开发与应用[J].石油沥青,2014,28(3):63-67.
[3] GB/T 8627—2007,建筑材料燃烧或分解的烟密度试验方法[S].
[4] 何立平,申爱琴,梁军林,等.阻燃沥青及沥青混合料的阻燃性能及路用性能[J].公路交通科技,2013,30(12):15-22.
[5] 金雷,魏建国,付其林,等.DBDPE 复合阻燃剂对 SBS 沥青性能的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2020(2):47-55,65.
[6] 李金. 无机复合氢氧化物阻燃改性沥青的阻燃效果分析[J]. 黑龙江交通科技,2017,40(9):84-85.
[7] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
[8] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

(上接第 166 页)

影响相对较不显著。监测预警设置的理论值宜采用汽车荷载和规范梯度温度荷载的组合控制值。

(3)经过一年多的现场实时监测,现场实测挠度和应力数据均在理论计算控制范围内。混凝土箱梁桥的翼缘局部切割对整体桥梁的运营未造成实质性的影响,桥梁能保持正常运营,完成通车任务。混凝土箱梁桥局部切割方式和性能分析能为同类型旧桥改造提供借鉴。

参考文献:

[1] 邵卫红.旧桥拆除施工技术研究[J].华东公路,2017,226(4):13-15.
[2] 蒋洪涛.混凝土箱梁桥拆除施工技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
[3] 刘成章. 预应力混凝土连续箱梁桥拆除方法及其结构分析研究[D].

重庆:重庆交通大学,2012.
[4] 李亚民.跨高速连续梁主跨整体拆除施工技术[J].世界桥梁,2018,46(5):74-79.
[5] 贾布裕,余晓琳,颜全胜.流溪河大桥主桥拆除施工技术[J].桥梁建设,2014,44(6):107-111.
[6] 王凤存,艾磊.城市预应力混凝土箱梁旧桥拆除施工技术[J].公路,2013(2):100-107.
[7] 拓明星.切割法在预应力箱梁桥拆除中应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
[8] 鞠加元,刘大成.静力切割在 30 m 跨径预应力连续箱梁桥拆除工程中的应用[J].公路,2012(8):94-99.
[9] 张治成,胡开建,李强,等.旧桥拆除中的预应力筋放张效果探讨[J].华东公路,2012,195(3):68-71.
[10] 张建国,童世均,杨梓,等.跨航道大跨径固端梁桥拆除施工监控分析[J].中外公路,2011,31(2):145-149.