

简支变连续小箱梁负弯矩区施工优化研究

李逸之¹, 张玉富²

(1.同济大学土木工程学院, 上海市 200092; 2.上海公路投资建设发展有限公司, 上海市 201108)

摘要:在传统的简支变连续小箱梁施工过程中,小箱梁负弯矩区过多的张拉槽口及扁锚锚具限制了箱梁预制与钢束张拉的效能。为简化箱梁顶板浇筑施工流程及降低后续顶板负弯矩张拉作业强度,现以上海S7公路(月罗公路-宝钱公路)新建工程为依托,创新性地提出大槽口与新型圆锚锚具工艺,并对其展开标准化试验研究。试验结果表明:在张拉过程中,钢锚垫板纵向位移变化较小且张拉前后混凝土外观良好。这充分论证了该优化方案具有较好的实践应用性。该优化方案能进一步提高工程建设的质量与效率,同时也为桥梁预制拼装技术的发展提供一定的实际工程经验。

关键词:简支变连续小箱梁;负弯矩;大槽口;圆锚锚具

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)09-0149-05

0 引言

近年来,简支变连续小箱梁凭借在结构刚度、耐久性及行车舒适等方面的明显优势在国内公路桥梁建设中受到青睐。传统的简支变连续小箱梁施工工艺通常是先设置临时支座并架设小箱梁使之成为简支状态,再进行湿接头、湿接缝施工,然后张拉负弯矩区预应力钢束,最后拆除临时支座完成简支向连续体系的转换^[1]。

然而,随着桥梁预制装配技术要求的提高,传统的小箱梁简支变连续施工工艺逐渐暴露出较多问题:(1)每片梁顶板负弯矩张拉槽口过多,导致小箱梁预制和现场槽口恢复功效低;(2)采用扁锚锚具,导致预应力管道易变形、穿束困难等。这些问题在一定程度上限制了小箱梁连续结构施工的整体质量和效率^[2]。现以上海S7公路(月罗公路-宝钱公路)新建工程为依托,研究并优化简支变连续小箱梁负弯矩施工工艺,旨在进一步提高工程施工质量与效率,并为该技术的发展提供一定的实际工程经验。

1 研究背景

1.1 依托工程

某工程为上海S7公路(月罗公路-宝钱公路)新建工程,其位于上海市宝山区、嘉定区,南起S7公路(A20-月罗公路)新建工程(该工程一期工程)终

点的月罗公路,沿罗店镇北上过练祁河后进入嘉定区。该工程路线全长约6.1 km,采用高架主线+地面道路形式。主线高架道路等级为高速公路,设计车速为100 km/h,主线设计双向6车道并采用分离式断面布置,荷载标准为公路Ⅰ级。匝道为单车道出口的双车道平行式匝道,按公路Ⅱ型匝道标准设计,设计车速为40 km/h。

1.2 原设计方案介绍

该工程桥梁上部结构设计主要采用先简支后连续预应力混凝土小箱梁,2~5跨为一联。其中,在边(中)支点处连续端,小箱梁顶板(单端)设置有7个钢束张拉预留槽口,纵向分三排布设(2个、3个、2个),每个槽口尺寸为80 cm×35 cm,顶板采用扁锚锚具,如图1、图2所示。

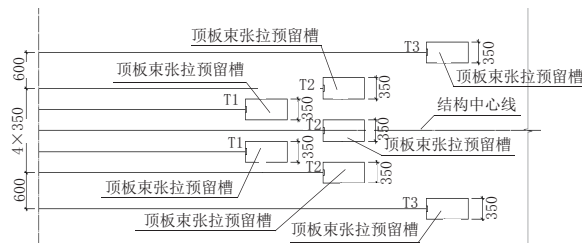


图1 小箱梁原设计平面图(单位:mm)

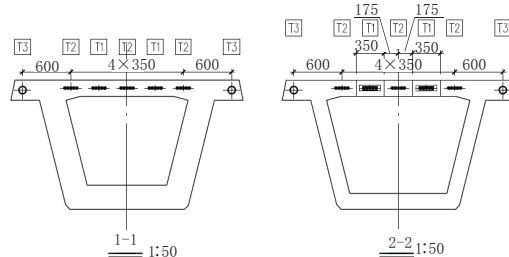


图2 小箱梁原设计断面图(单位:mm)

收稿日期: 2021-12-30

作者简介: 李逸之(1990—),男,硕士,工程师,从事市政工程项目管理工作。

该设计方案对预制小箱梁的生产及后续顶板负弯矩区施工带来诸多不便,不仅槽口模板安装功效低,且槽口钢筋焊接恢复工作量大。此外,使用扁锚锚具导致在实际施工过程中存在穿索困难、易堵孔等问题。因此,若采用原设计方案将会使小箱梁整体施工质量控制难度增高。

2 施工优化方案介绍

2.1 张拉槽口优化设计

在满足负弯矩区结构受力及耐久性要求基础上,该优化方案将原设计的7个钢束张拉预留槽口进行优化,归并为2个整体式张拉槽口($182\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ 、 $134\text{ cm} \times 80\text{ cm}$),并微调槽口布设位置,如图3、图4所示。

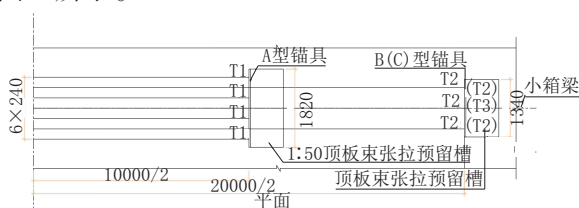


图3 小箱梁张拉槽口优化设计平面图(单位:mm)

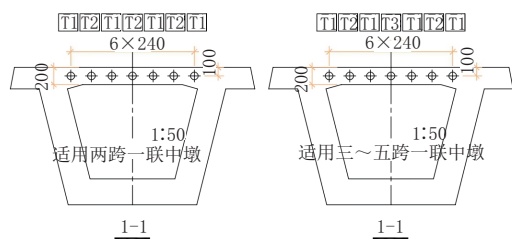


图4 小箱梁张拉槽口优化设计断面图(单位:mm)

相较于以往的小槽口设计,上述优化设计方案降低了在预留槽口进行顶板负弯矩区钢束张拉的施工难度。同时,也大大减少负弯矩区现场作业量,进一步提高施工功效并保障工程质量。

2.2 锚具优化设计

除了对张拉槽口的优化设计外,还在原有扁锚锚具的基础上,综合考虑现场施工条件及结构受力特性等因素,研究并提出了一套新型圆锚锚具。其主要包括:螺旋钢筋、喇叭管及钢锚垫板,如图5、图6所示。



图5 新型圆锚锚具之实景(一)



(a)螺旋钢筋

(b)喇叭管



(c)钢锚垫板

图6 新型圆锚锚具之实景(二)

3 新型锚具的研究

3.1 新型锚具设计

该项目设计的新型锚具构造尺寸如图7、图8所示。

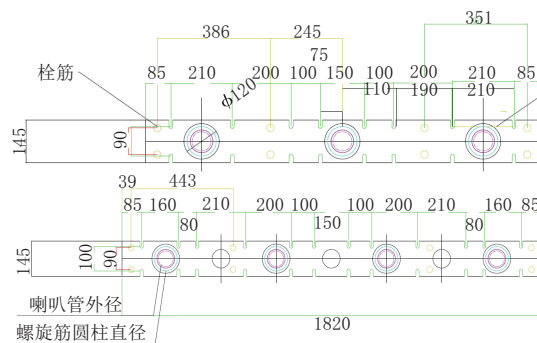


图7 钢锚垫板构造图(单位:mm)

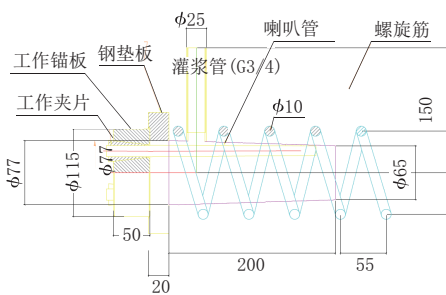


图8 锚具细部构造图(单位:mm)

3.2 新型锚具试验

为进一步验证该项目设计提出的新型圆锚锚具在实际工程中的可应用性,对该锚具在张拉过程中进行全面试验研究,以此评估其在负弯矩区施工过程中的工作性能。

3.2.1 试验方案

3.2.1.1 试验内容与目的

该项次试验内容主要为通过对装有新型锚具的

预制板梁进行张拉试验,观察:(1)梁端钢锚垫板的位移变化;(2)混凝土的外观缺损情况。该项试验的目的主要为充分验证新型锚具的工程应用性,同时为连续梁墩顶负弯矩束张拉应用提供工程实践依据。

3.2.1.2 试验对象

该项研究的试验对象为3块(1#、2#及3#)装有新型锚具的预制板梁。其混凝土设计强度为C50,板梁高0.2 m,宽1.82 m,长5.0 m,梁端钢锚垫板厚度分别为1#预制板梁:30 mm、25 mm;2#预制板梁:25 mm、20 mm;3#预制板梁:20 mm、16 mm。预制板梁断面如图9所示,1#~3#预制板梁现场实景如图10所示。

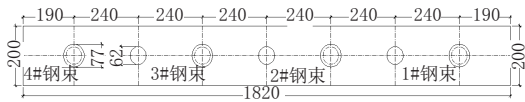


图9 预制板梁断面图(单位:mm)



图10 1#-3#预制板梁现场实景

3.2.1.3 测点布置

根据现场条件,通过在预制板梁钢锚垫板外侧布置测点,以测试张拉过程中钢锚垫板纵向变形情况,具体测点布置如图11所示。

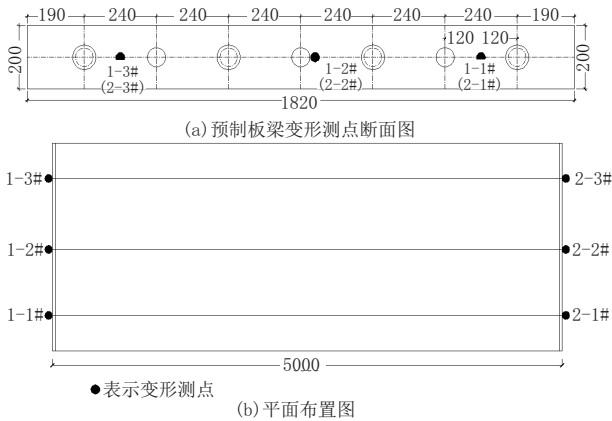


图11 预制板梁变形测点断面及平面布置图(单位:mm)

3.2.1.4 试验张拉方案

张拉试验按照预制板梁编号1#~3#依次进行,每块预制板梁中钢束张拉顺序分别为2#钢束、3#钢束、4#钢束及1#钢束。正式张拉试验前,首先检查仪

器布置及连接是否稳定有效,再严格按照张拉试验加载程序进行张拉操作,具体张拉程序如表1所列。

表1 预制板梁张拉控制程序表

工况	程序	工况描述	主要测试项目
预制板梁张拉	1	初始读数(0 kN)	1. 预制板梁各测点水平位移 2. 预制板梁外观
	2	初应力(0.1 σ_{con})	
	3	1.0 σ_{con}	1. 预制板梁各测点水平位移 2. 预制板梁外观
	4	持荷5 min	
	5	锚固	

注: σ_{con} 表示张拉控制应力。

预制板梁张拉过程中,由专人统一指挥张拉的实施,及时掌握各方面情况,根据试验数据进行实时处理分析,安全有序实施加载计划。

3.2.1.5 检测方法及设备

对不同预制板梁进行张拉后,采用量测法检测梁端钢锚垫板的位移大小,利用目测法观察预制混凝土外观缺损情况(混凝土有无开裂、破损、破碎等)。在该项试验过程中,采用的检测设备如表2所列。

表2 试验检测方法及设备表

序号	检测项目	检测方法	检测设备
1	尺寸测量	量测法	钢卷尺(5 m)
2	尺寸测量	量测法	钢卷尺(50 m)
3	裂缝检测	量测法	HC-CK101 混凝土裂缝宽度测量仪
4	变形测量	量测法	0~10 mm 百分表
5	外观情况	目测法	宾得数码相机

3.2.2 试验结果

3.2.2.1 钢锚垫板纵向位移变化

该项预制板梁张拉试验严格执行完成,各预制板梁张拉过程中纵向位移测试结果见表3~表5所列。其变化量中“+”表示钢锚垫板向预制板梁外侧变形,“-”表示钢锚垫板向预制板梁内侧变形,累积变化量为每束钢束张拉后纵向位移变化值之和。预制板梁不同测点纵向位移累计变化趋势如图12~图14所示,其中30-1-1#表示30 mm钢锚垫板的1-1#测点位置,其余以此类推。

由表3~表5可知,1#~3#预制板梁张拉结束后,其两端新型锚具中钢锚垫板的平均纵向位移变化分别为-0.17 mm/-0.44 mm、-0.36 mm/-0.23 mm、-0.34 mm/-0.14 mm。由此可知,钢锚垫板整体纵向位移变化量较小,表明新型圆形锚具在张拉过程中,外部施加的预应力能够通过钢锚垫板纵向均匀地传递至混凝土结构中,同时表明该4种不同厚度的钢锚垫板都具有较为良好的受压性能。由图12~图15

表3 1# 预制板梁张拉试验结果一览表 单位:mm

钢板厚度		30 mm 钢锚垫板			25 mm 钢锚垫板		
测点编号		1-1#	1-2#	1-3#	2-1#	2-2#	2-3#
2# 钢束张拉	初读	4.88	3.74	3.71	4.28	4.59	4.09
	锚固	4.79	3.69	3.71	4.11	4.48	4.06
	变化量	-0.09	-0.05	0.00	-0.17	-0.11	-0.03
3# 钢束张拉	初读	4.79	3.67	3.67	4.18	0.64	4.07
	锚固	4.76	3.54	3.57	4.17	0.54	3.99
	变化量	-0.03	-0.13	-0.10	-0.01	-0.10	-0.08
4# 钢束张拉	初读	4.76	3.57	3.58	4.17	0.45	3.99
	锚固	4.79	3.52	3.40	4.16	0.33	3.82
	变化量	0.03	-0.05	-0.18	-0.01	-0.12	-0.17
1# 钢束张拉	初读	4.78	3.52	3.40	4.62	0.31	3.84
	锚固	4.70	3.58	3.51	4.25	0.20	3.79
	变化量	-0.08	0.06	0.11	-0.37	-0.11	-0.05
累计变化量		-0.17	-0.17	-0.17	-0.56	-0.44	-0.33

表4 2# 预制板梁张拉试验结果一览表 单位:mm

钢板厚度		25 mm 钢锚垫板			20 mm 钢锚垫板		
测点编号		1-1#	1-2#	1-3#	2-1#	2-2#	2-3#
2# 钢束张拉	初读	4.38	4.02	4.11	4.48	4.16	6.54
	锚固	4.29	3.92	4.08	4.43	4.04	6.55
	变化量	-0.09	-0.10	-0.00	-0.05	-0.12	0.01
3# 钢束张拉	初读	4.29	3.92	4.08	4.45	4.01	6.54
	锚固	4.26	3.82	3.96	4.19	3.97	6.50
	变化量	-0.03	-0.10	-0.12	-0.26	-0.04	-0.04
4# 钢束张拉	初读	4.92	5.12	5.59	4.18	3.05	4.79
	锚固	4.87	4.92	5.42	4.15	3.03	4.74
	变化量	-0.05	-0.20	-0.17	-0.03	-0.02	-0.05
1# 钢束张拉	初读	4.87	4.93	5.42	4.15	3.02	4.75
	锚固	4.62	4.90	5.52	4.05	3.04	4.73
	变化量	-0.25	-0.03	0.10	-0.10	0.02	-0.03
累计变化量		-0.42	-0.43	-0.22	-0.44	-0.16	-0.10

表5 3# 预制板梁张拉试验结果一览表 单位:mm

钢板厚度		20 mm 钢锚垫板			16 mm 钢锚垫板		
测点编号		1-1#	1-2#	1-3#	2-1#	2-2#	2-3#
2# 钢束张拉	初读	4.15	5.21	4.53	5.39	4.19	4.45
	锚固	4.03	5.13	4.51	5.32	4.18	4.44
	变化量	-0.12	-0.08	-0.02	-0.07	-0.01	-0.01
3# 钢束张拉	初读	4.04	5.14	4.52	5.33	4.17	4.44
	锚固	4.01	5.01	4.38	5.32	4.16	4.37
	变化量	-0.03	-0.13	-0.14	-0.01	-0.01	-0.07
4# 钢束张拉	初读	4.02	5.03	4.35	5.32	4.02	4.37
	锚固	4.01	4.93	4.11	5.33	4.03	4.30
	变化量	-0.01	-0.10	-0.24	0.01	0.01	-0.07
1# 钢束张拉	初读	4.01	4.94	4.11	5.24	4.02	4.29
	锚固	3.76	4.90	4.25	5.04	4.04	4.29
	变化量	-0.25	-0.04	0.14	-0.20	0.02	0.00
累计变化量		-0.41	-0.35	-0.26	-0.27	0.01	-0.15

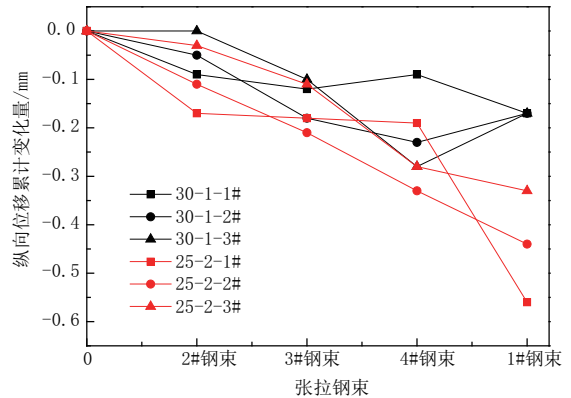


图12 1# 预制板梁不同测点纵向位移累计变化趋势图(单位:mm)

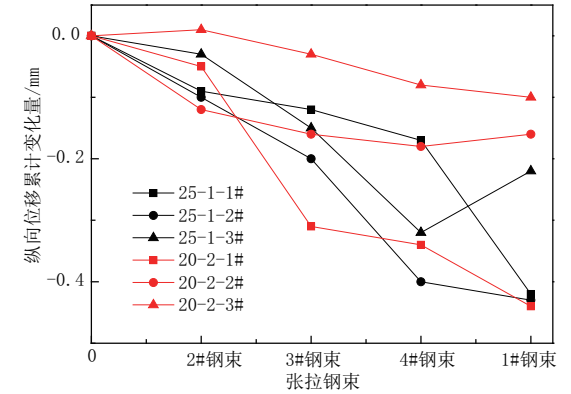


图13 2# 预制板梁不同测点纵向位移累计变化趋势图(单位:mm)

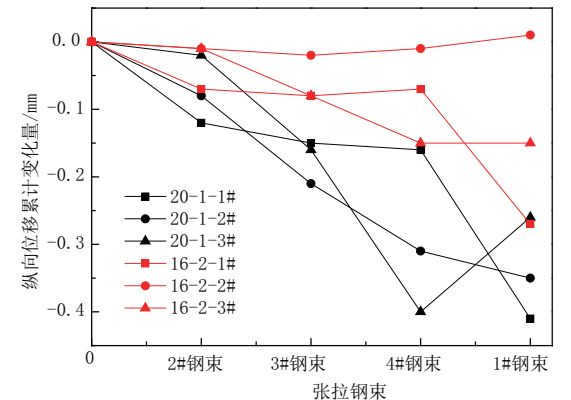


图14 3# 预制板梁不同测点纵向位移累计变化趋势图(单位:mm)

可知,在钢束张拉过程中,30 mm和16 mm钢锚垫板整体纵向位移变化趋势相对较小,25 mm钢锚垫板整体纵向位移变化趋势相对较大。其中,20 mm钢锚垫板纵向位移变化趋势较为稳定。综合考虑钢锚垫板使用性能和经济性,该项研究最终选择20 mm钢锚垫板作为小箱梁顶板负弯矩区的锚垫板。

3.2.2.2 混凝土外观情况变化

在每束钢束张拉后对预制板梁外观变形进行检查,其外观情况如图15所示。由图10与图15对比可知,钢束张拉前后预制板梁未发现明显开裂、破损等变化。这进一步表明新型锚具的使用能提高预应力混凝土整体的力学性能,能够提高预制构件的耐久性。

综上,该项研究所设计的新型锚具在张拉过程

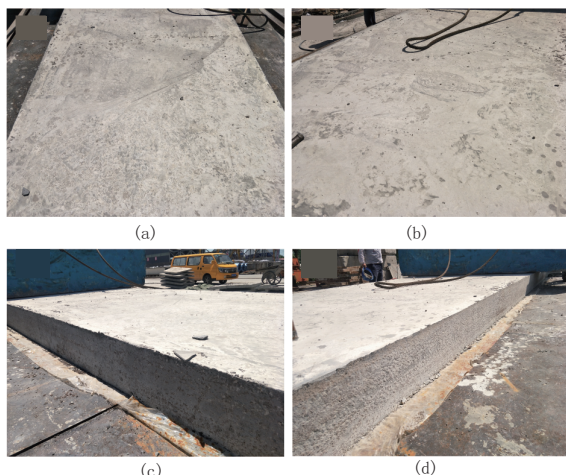


图 15 张拉后预制板梁表面(a、b)与端面(c、d)外观图

中具有良好的强度且能均匀传递钢束中的预应力至混凝土中。因此该新型锚具在实际工程实践中具有一定的适用性。

4 应用效果

该项研究提出小槽口改为整体槽口工艺,即将小箱梁负弯矩区的 7 个张拉槽口优化合并为 2 个。这不仅简化了预制梁场中的模板安装及钢筋穿束施工过程,同时也大大降低现场小箱梁负弯矩区施工难度,大幅提高施工效率与质量。

此外,该项研究提出将负弯矩区的扁锚锚具改为圆锚锚具工艺,并设计出一种新型锚具。该锚具在使用过程中配合具有圆形孔道的橡胶抽拔棒能够有效防止混凝土浇筑对预应力管道损坏,充分保证后续孔道灌浆的密实性。此外,新型圆锚锚具克服了扁锚摩阻损失大的缺点,能够控制钢束的伸长量,降低后续钢束的穿束与张拉难度,从而减小施工过程中预应力损失^[2]。

5 总结

小箱梁负弯矩区施工是实现桥梁结构体系由简

支状态向连续状态转换的重要工序,其施工质量与效率直接影响整体工程建设进展及桥梁后期运营使用的安全性与舒适性。为提升小箱梁负弯矩区的施工作业效率,该项研究还提出将负弯矩区小槽口改为整体槽口的创新工艺,很大程度上简化了小箱梁顶板浇筑工艺并降低后续负弯矩区张拉施工作业强度(见图 16)。此外,为进一步保证小箱梁负弯矩区施工质量与效率,该项研究设计出一种新型圆锚锚具。通过全面试验检验,充分论证了该新型圆锚锚具在提升钢束穿束效率与负弯矩钢束张拉应用方面具有较好的可行性。上述创新工艺已全面应用于上海 S7 公路(月罗公路-宝钱公路)新建工程中,充分提升了该建设的经济效益与社会效益。

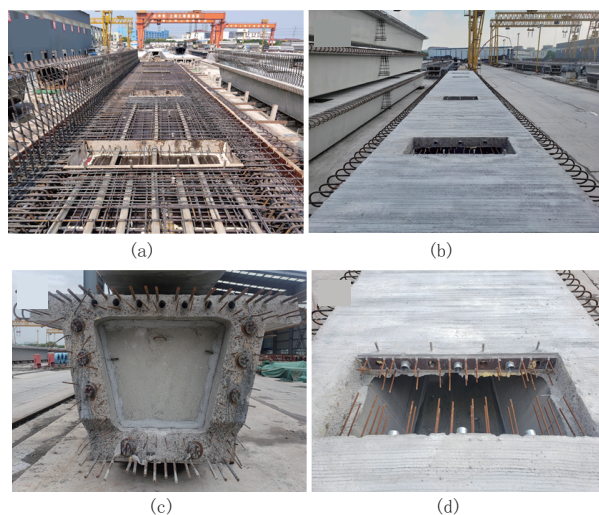


图 16 小槽口改为整体槽口工艺实际应用(a、b)及圆锚锚具实际应用(c、d)

参考文献:

- [1] 钟小军.采用先简支后连续结构体系的预制小箱梁优化[J].中国市政工程,2013(3):19-21+113-114.
- [2] 丁鹏.简支变连续 T 梁桥负弯矩区段构造改进技术研究[J].公路,2018,63(4): 86-93.
- [3] 彭义军.基于设计阶段的小箱梁桥墩顶负弯矩病害改进技术研究[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(4): 28-29.

(上接第 145 页)

估指南(试行)》(交质监发[2011]217号)

- [2] 阮欣,陈艾荣,石雪飞.桥梁工程风险评估[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [3] 于玲,包龙生,牛宏.大跨预应力混凝土梁式桥施工期间风险分析

[M].合肥:合肥工大学出版社,2019.

- [4] GB 6441—1986,企业职工伤亡事故分类[S].
- [5] 交通运输部工程质量监督局.公路桥梁和隧道工程施工安全风险评价制度及指南解析[M].北京:人民交通出版社,2012.