

# 旧桥拓宽改造风险评估与控制

缪锋

(福建省永正工程质量检测有限公司, 福建 福州 350012)

**摘要:**以某旧桥拓宽改造为工程背景,针对该桥检测结果并结合桥梁拓宽改造施工方案,分析改造施工过程中存在的风险源,包括旧桥本身通行承载力分析、新桥桩基施工对旧桥的影响以及旧桥拆除过程风险评估,并根据风险评估结果制定风险控制措施,保障工程安全、顺利完工。研究成果可为此类桥梁的改造提供借鉴。

**关键词:**旧桥;拓宽改造;风险评估;风险控制;施工监测

中图分类号:U441

文献标志码:A

文章编号:1672-4348(2016)01-0010-05

## Risk assessment and control of old bridge widening

Miao Feng

(Fujian Yongzheng Construction Quality Inspection Co., Ltd., Fuzhou 350012, China)

**Abstract:** The risk source in the construction process of an old bridge widening engineering project was analysed, including the old bridge's original traffic carrying capacity, the influence of new bridge pile foundation construction on the old bridge and the risk assessment of the old bridge demolition process. The risk assessment results were used to develop risk control measures to ensure the safety of the construction engineering. The research results can provide some references for the improvement of such bridges.

**Keywords:** old bridge; widening and reconstruction; risk assessment; risk control; construction monitoring

随着我国经济的高速增长、城镇化进程的加快,许多旧桥的桥面宽度、通行荷载等级满足不了当前的交通量需求,成为制约交通的“瓶颈”。由于经济、工期、现有交通等诸多因素的影响,简单地封闭交通、拆倒旧桥重建新桥不可取。在不中断交通的情况下,有效地利用旧桥进行拓宽改造不失为一种既有经济效益又有社会效益的选择。

目前我国仍处在新桥建设与旧桥改造的高峰期,然而旧桥改造过程的风险评估研究相对较少,马继兵<sup>[1]</sup>等对旧桥在桩基施工振动作用下振动影响的测试方法及评价标准进行了探讨,陈华健<sup>[2]</sup>针对冲孔灌注桩施工对既有桥梁桩基的动

力影响进行了分析,这些研究主要针对桩基施工对旧桥的影响,而未综合考虑旧桥自身损伤对桥梁承载能力的影响。本文以某大桥拓宽改造为工程研究背景,根据旧桥当前技术状况结合改造施工方案,评估施工过程的风险源,拟定相应风险控制方案,为此类桥梁的改造提供借鉴。

## 1 工程背景

### 1.1 旧桥概况

某桥建于1959年,桥长235.19 m,桥面行车道净宽8.0 m。上部结构采用10×22.2 m跨钢筋混凝土简支T梁,单跨横向由7片T型梁组成,每

片 T 型断面的梁肋高 1.13 m、腹板宽 0.18 m，翼缘板宽 0.60 m，翼缘板厚为 0.09 m。下部结构采用重力式墩台，扩大基础。桥梁设计荷载为汽 - 13 级，拖（履）- 60，河道通航等级为 V 级，旧桥立面图如图 1。

2009 年，经检测该桥技术状态等级评定为 D

级，即“不合格状态”。根据该桥检测报告，桥梁主要病害为：上部结构 T 梁梁底存在较多横向裂缝，部分裂缝延伸至腹板，最大缝宽 0.44 mm，其中 30 条裂缝超过规范 0.20 mm 的限值要求；7 个桥墩基础四周河床出现冲刷，最大冲刷深度 2.05 m。

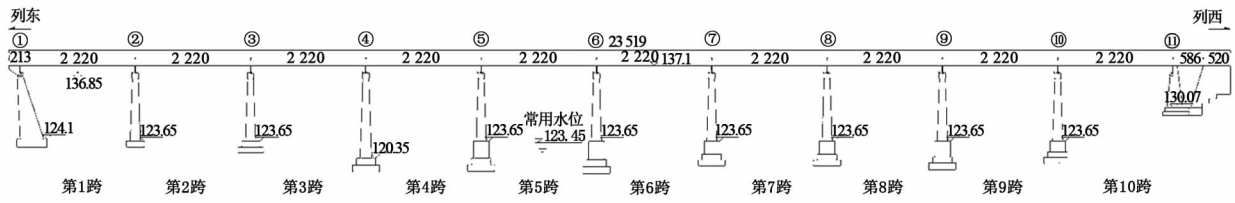


图 1 旧桥立面图(单位:mm)

Fig. 1 Elevation diagram of old bridge( unit:mm)

1.2 旧桥改造施工方案

综合考虑该桥运营使用年限已久，桥梁设计荷载等级低，桥梁技术状况差，已不能满足现行荷载及交通量的需求，本次改造拟采用拆除重建方案。重建桥梁全长 234.0 m，跨径布置为 2 × 33.5 m + 2 × 50 m + 2 × 33.5 m 现浇等截面连续梁桥；桥梁横断面布置为双向 6 车道，总宽 38.0 m，分上下游两幅，每幅宽 19.0 m；上部结构采用现浇预应力钢筋混凝土等截面箱梁桥，梁高 2.5 m。下部结构采用实体式桥台，花瓶式桥墩，钻孔灌注桩基础。桥梁设计荷载为城 - A 级，人群荷载按《城市桥梁设计规范》CJJ11 - 2011 取值。

由于该桥位于城市主干道上，为确保施工期间不中断交通，本次桥梁改造施工总体顺序为：先施工下游侧半幅桥梁，并保持旧桥正常通行→开放已建好的桥梁正常通行，拆除旧桥及管线→施工上游侧半幅桥梁。

2 风险源评估

旧桥拓宽改造工程的重点与难点在于下游半幅新桥通车前，保持旧桥的通行，施工期间主要风险源有以下几方面：(1)旧桥本身安全通行能力分析；(2)新旧桥基础相距短，新桥桩基施工对旧桥影响分析；(3)旧桥拆除的安全控制。

2.1 旧桥上部结构承载能力分析

旧桥上部结构承载能力分析包括主梁持久状况承载能力极限状态正截面承载力及斜截面抗剪承载力验算。根据本桥结构特点，本次验算控制截面为边梁跨中最大正弯矩截面及边梁距支座中

心 1/2 h 处最大剪力截面。利用 Midas Civil 空间有限元软件计算主梁结构荷载效应，按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 - 2015<sup>[3]</sup>进行组合，具体结果如表 1。

表 1 主梁荷载作用效应值

Tab. 1 Load effect value of main beam

荷载效应	跨中弯矩/(kN · m)	支点剪力/kN
恒载 $S_{Gik}$	785.4	149.2
汽车荷载 $S_{Qik}$	516.1	132.2

根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 - 2011<sup>[4]</sup>的相关规定，配筋混凝土桥梁在计算桥梁结构承载能力极限状态的抗力效应时，应根据桥梁试验检测结果，采用引入检算系数  $Z_1$  或  $Z_2$ 、承载能力恶化系数  $\xi_e$ 、截面折减系数  $\xi_s$  和  $\xi_c$  的方法进行修正计算，计算公式如下：

$$R = R(f_d, \xi_c \alpha_{dc}, \xi_s \alpha_{ds}) Z_1 (1 - \xi_e)$$

根据规程 JTG/T J21 - 2011，结合桥梁检测结果，引入检算系数  $Z_1 = 0.95$ 、承载能力恶化系数  $\xi_e = 0.10$ 、钢筋截面折减系数  $\xi_s = 0.95$ 、混凝土结构截面折减系数  $\xi_c = 0.898$ ，计算主梁结构抗力效应，并与荷载组合效应进行对比，具体结果如表 2。从表 2 分析结果表明，结构极限状态的抗力效应与荷载组合效应比值均大于 1.0，主梁结构承载能力满足设计荷载等级要求。

2.2 旧桥下部结构承载能力分析

该桥下部结构采用重力式墩台，扩大基础。根据该桥工程地质勘察报告，桥墩处地基土质自上

表 2 主梁承载能力分析结果汇总

Tab.2 Analysis result of main beam bearing capacity

极限状态的抗力效应		荷载组合效应	
跨中正截面 抗弯承载力/ (kN·m)	支点斜截面 抗剪承载 /kN	跨中弯矩/ (kN·m)	支点剪力/ kN
2 201.3	833.37	1 665.0	364.1

而下分别为卵石、全风化砂岩、砂土状强分化砂岩、碎块状强风化砂岩、中风化砂岩,该桥基础均位于卵石层上,卵石地质特性如下:  $\gamma_{\text{sat}} = 20.0 \text{ kN/m}^3$ ,  $k_1 = 1.5$ ,  $k_2 = 3.0$ ,  $f_{a0} = 300 \text{ kPa}$ 。

该桥 7 个桥墩基础四周河床出现冲刷,最大冲刷深度达 2.05 m,共 5 个桥墩基础埋深不满足《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 - 2007<sup>[5]</sup> 第 4.1.1 条规定的“大桥基底埋深至少应埋入总冲刷深度以下 1.5 m”的构造要求,具体如下 3。

表 3 桥墩基础冲刷与埋深情况

Tab.3 Foundation scour and buried depth of bridge pier

墩号	基础底面设计 标高	原设计河床 标高	现河床 标高	河床变化 情况	m
					现基础埋置深度
2	122.55	122.55	123.05	淤积 0.5	0
3	121.45	122.15	122.15	无	0.7
4	117.85	121.70	121.15	冲刷 0.55	3.3
5	117.95	121.65	120.35	冲刷 1.3	2.4
6	117.45	121.50	119.85	冲刷 1.65	2.4
7	118.95	121.45	119.70	冲刷 1.75	0.75
8	118.95	121.75	119.70	冲刷 2.05	0.75
9	118.45	119.55	118.25	冲刷 1.3	-0.2
10	119.45	122.03	121.75	冲刷 0.3	2.3

注:表中标高为黄海高程系。

该桥下部结构承载能力分析主要针对桥墩扩大基础验算,依据《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 - 2007 验算内容包含基底偏心距、基底应力、基础的倾覆和滑动稳定性及基础沉降。由于该桥已运营 50 多年,基础沉降趋于稳定,此验算可不进行。通过验算表面,该桥桥墩基础验算结果均满足规范 JTG D63 - 2007 要求。本文仅列出 8#桥墩基底作用效应(如表 4),取最不利内

力组合进行验算,8#桥墩基础验算结果如下:

表 4 8#桥墩基底作用效应汇总

Tab.4 Summamy of the effect of 8# pier basement

编号	项目	基底截面		
		P/kN	H/kN	M/(kN·m)
①	上部构造	2 091.0		0
②	下部构造	6 078.6		0
③	汽车单跨布载	686.6		343.3
④	汽车双跨布载	1 373.2		0
⑤	汽车制动力		56.7	1 003.6
⑥	常水位风力		27.1	303.5
⑦	洪水位风力		2.4	42.5
⑧	常水位浮力	-1 356.7		
⑨	洪水位浮力	-2 328.0		
I 单①+②+③		8 856.2	0	343.3
I 双①+②+④		9 542.8	0	0
⑩	II 单①+②+③+ ⑤+⑥+⑧	7 499.5	83.8	1 650.4
	II 双①+②+④+ ⑤+⑦+⑨	7 214.8	59.1	1 046.1

注:各种内力组合效应详见⑩;组合 I 为永久作用(不计混凝土收缩及徐变、浮力)和汽车、人群的标准值效应组合;组合 II 为各种作用(不包括地震作用)的标准值效应组合。

(1)基底合力偏心距验算

$$e_0 = \frac{M}{P} = \frac{1\,650.4}{7\,499.5} = 0.22 \text{ m}, \rho = \frac{b}{6} = 0.87 \text{ m}$$

$e_0 < \rho$ , 偏心距满足要求。

(2)基底应力验算

$$p_{\text{max}} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} \leq \gamma_R[f_a]$$
$$p_{\text{max}} = \frac{7\,499.5}{45.0} + \frac{1\,650.4}{39.4} = 208.5 \text{ kPa} < 375.0 \text{ kPa},$$

基底应力满足要求。

(3)基础抗倾覆稳定性验算

$$k_0 = \frac{s}{e_0} = \frac{5.24/2}{0.22} = 11.9 > 1.3,$$

基础抗倾覆稳定性满足要求。

(4)基础滑动稳定验算

$$k_c = \frac{\mu \sum p_i + \sum H_{ip}}{\sum H_{ia}}$$

$$k_c = \frac{7\,499.5 \times 0.4}{83.8} = 35.8 > 1.2,$$

基础滑动稳定满足要求。

## 2.3 新桥桩基施工对旧桥影响分析

据新桥平面布置情况,新桥桥墩与旧桥2#、4#、6#、8#和10#墩相距较近,最小距离约为10.0 m。新桥采用钻孔灌注桩,桩径为1.8 m。钻孔灌注桩施工过程中由于钻孔机的激振,使钻点的土体产生振动,并以土体为介质以波的形式向四周传播。其中面波引起地表振动,其振动强度随着与钻点距离的增加而减弱,当钻点周围一定范围内的地表振动达到一定强度时,会引起地表与周围建(构)筑物共振,从而产生不同程度的影响。

对于人工振动,国内外学者做了大量的研究<sup>[6-7]</sup>,在地面运动衰减规律方面提出各种经验公式。可归结为:

$$V = K \left( \frac{Q^m}{R} \right)^n$$

其中, $V$ 是地面质点振动峰值; $Q$ 是振源能量; $R$ 是与振源的距离; $K$ 、 $n$ 为场地系数; $m$ 一般取0.5。上式表明,新桥钻孔灌注桩对旧桥基础的影响主要与两者的距离及落锤激振能量相关,质点振动峰值随着距离的增加呈负指数衰减,参照类似场地桩基施工地层振动衰减规律的现场试验表明,在距振源10.0 m以内振动峰值衰减速度很快,桩基施工振动影响的安全距离约为20.0 m。<sup>[7]</sup>本工程新桥桩基距旧桥基础最小距离约10.0 m,因此新桥钻孔灌注桩施工过程对旧桥结构存在一定影响,是本工程存在的风险源之一。

## 2.4 旧桥拆除施工风险分析

桥梁常用的拆除方法有静态爆破拆除法、控制爆破拆除法、机械拆除法、综合拆除法<sup>[8]</sup>。根据施工单位提供的旧桥拆除专项施工方案,本工程采用机械拆除法,按逆顺序法分3阶段拆除:第一阶段采用人工配合小型机具拆除桥面系构件,凿除桥面铺装,切开湿接缝混凝土,使梁板之间完全脱离;第二阶段用架桥机将梁板吊起,放到运梁平板车上运送至桥头,然后用炮锤破碎;第三阶段利用搭建好的钢栈桥平台及钢围堰,采用金刚圆锯沿规划的切割线,逐个将墩的墩帽、墩柱进行切割,将切割后的碎块吊装上自卸汽车,运送到指定地点。

机械拆除法对航道运输影响小,拆除过程对周围环境污染小、噪声小,可以控制在原建筑占地范围内,主要应用于航道桥的拆除。机械拆除法虽然从理论分析上是可行的,但是旧桥经过多年运营,其强度、刚度、稳定性都有不同程度的下降,拆除时不可预见因素也较多,具有较大的安全风险。主要风险源包括:①拆除时混凝土残渣对船只伤害;②施工过程机械伤害;③主梁吊装过程中的稳定问题;④拆除顺序不对,可能造成的坍塌伤害;⑤水中作业安全问题等。重点与难点在主梁的安全拆除。

## 3 风险控制措施

1)旧桥上部结构承载能力尚能满足设计荷载为汽-13级,拖(履)-60要求,由于该桥运营已50多年,交通量大,桥梁技术状况差,而新桥通车前,旧桥必须保持通行,因此建议对旧桥采取限载通行措施,限载吨位为15 t。

2)旧桥扩大基础埋深不满足规范JTG D63-2007的构造要求,在新桥桩基施工前,应对旧桥基础进行加固,采用抛石或浇注水下混凝土对埋深不足桥墩基础进行处理。

3)新桥桩基钻孔时会产生一定的振动并以振动波的形式向四周扩散,可能会造成旧桥地基变形,桥墩倾斜等事故。钻孔施工前段振动相对较大,应控制落锤冲程,尽量采用落锤低击。钻孔施工顺序,桩的施工顺序在很大程度上决定挤土方向,先施工靠近旧桥的桩,后施工远离旧桥的桩。

4)新桥钻孔灌注桩施工期间对旧桥进行监测,监测项目有:①主梁裂缝发展状况监测,裂缝宽度不超过《城市桥梁养护技术规范》CJJ99-2003<sup>[9]</sup>限值要求;②主梁挠度监测,按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62-2004<sup>[10]</sup>,主梁挠度不应超过计算跨径的1/600;③桥墩位移、基础沉降监测,墩顶水平位移、桥墩基础沉降量不应超过《城市桥梁养护技术规范》CJJ99-2003限值要求;④钻孔施工期间,旧桥振动测试,测量桥墩的各向振动加速度,从量化的标准上来判断对既有桥梁的影响。参照《中国地震烈度表》GB/T17742-2008<sup>[11]</sup>,振动加速度值小于等于地震烈度V时,认为旧桥是安全的,振动加速度安全控制值取为0.31 m/s<sup>2</sup>。

5)旧桥拆除过程施工监测,监测项目有:①旧桥拆除施工过程中,主梁主要承受的施工荷载为运梁车及运送的T梁,为了解各跨在该施工荷载作用下的运营工作状况,应监测施工荷载作用主梁挠度,主梁挠度不应超过规范JTG D62-2004规定的计算跨径 $1/600$ 的限值要求;②T梁起吊、转移及架桥机横向移动等阶段桥墩偏位实时监测,墩顶偏位不应超过《城市桥梁养护技术规范》CJJ99-2003限值要求。

## 4 结论

旧桥拓宽改造是一项技术含量高,施工作业

难度大的工程,与新建桥梁相比,施工风险更高。因此,在旧桥改造前应对桥梁技术状况进行全面检测评估,并论证改造方案的可行性、合理性。本文通过实际工程案例,综合考虑、辨析各施工阶段风险因子,并制定了相应风险控制措施,提出施工监测项目与安全控制指标,通过后续的施工监测表明本工程施工风险控制措施合理、有效。本文评估新桥桩基施工对旧桥的影响是基于类似场地桩基施工地层振动衰减规律的现场试验,打桩过程的振动响应理论分析有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 马继兵,蒲黔辉,夏招广. 施工振动对旧桥影响的监测与分析[J]. 公路工程,2008,33(3):102-106.
- [2] 陈华健. 冲孔灌注桩施工对既有桥梁桩基的动力影响分析[J]. 上海应用技术学院学报(自然科学版),2013,13(1):1-5.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁承载能力检测评定规程: JTG/T J21—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [5] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥涵地基与基础设计规范: JTG D63—2007[S]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [6] 吴铁生. 打桩振动效应观测及振动安全指标探讨[J]. 高原地震,2004,16(1):40-44.
- [7] 林建生,谢文杰,林子健,等. 大直径钻孔灌注桩在桩基施工中振动影响的测试与分析[J]. 世界地震工程,2005,21(4):169-174.
- [8] 杨梓,徐文平. 旧桥拆除方法要览和案例简介[J]. 特种结构,2010,27(6):87-90.
- [9] 中华人民共和国建设部. 城市桥梁养护技术规范: CJJ99—2003[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG D62—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国地震烈度表: GB/T17742—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

(责任编辑:陈雯)