

海洋环境下萨哈林岛卡萨弗斯大桥的受力性能评估

赵 健, Belytsky I YU, 拓明阳, Yastrua V G, Bosogof M A

(太平洋国立大学 土木工程系, 俄罗斯 哈巴罗夫斯克 901071)

摘要: 以俄罗斯萨哈林岛卡萨弗斯跨海大桥为研究对象, 由于海洋环境的影响钢梁受到严重腐蚀, 损伤程度较大, 有必要进行相应的受力性能评估。利用有限元模型对损伤部位进行模拟, 根据锈蚀损伤程度对钢混桥极限承载能力进行了分析和评估, 结果表明, 桥梁破损严重但承载能力符合规范标准, 并提出了改造建议和未来的研究方向。其结果具有一定的理论意义和工程实践应用价值。

关键词: 海洋环境; 钢结构腐蚀; 承载能力; 受力性能评估; 有限元模型

中图分类号: U441+.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)04-0041-06

0 引言

20 世纪 20 年代起, 欧美一些发达国家已经开始大量建造钢结构桥梁, 但由于钢材非常容易受到腐蚀, 以及当时防腐蚀涂漆等技术还不够成熟, 所以钢桥在投入运营后常常出现承载能力下降的情况, 致使桥梁需要降级使用, 严重的腐蚀曾经导致重大事故发生, 使人民的生命财产受到了损失。1967 年美国东部 Norgaard 的一座钢桥, 在使用 40 a 后塌落于俄亥俄河中, 调查结果显示, 原因为大气腐蚀造成的结构开裂。1962 年由意大利 R. 莫兰第在委内瑞拉设计修建了世界上第一座预应力混凝土斜拉桥 Maracaibo Lake Bridge, 因为钢索锚端处受到严重腐蚀, 为避免事故发生, 运营 16 a 后于 1978 年被迫换索, 耗资 5 000 万美元, 工期长达 2 a 之久^[1]。有资料显示, 日本 109 座桥梁断裂事故中, 有 19 例是由于钢材腐蚀有关^[2]。海洋环境是钢桥结构腐蚀的一种较高等级类型, 跨海大桥受到腐蚀速度较快, 承载能力大幅度降低, 容易导致事故发生。所以, 对桥梁的受力性能评估是保证桥梁正常运营和人民生命财产的重要工作。以俄罗斯萨哈林的“卡萨弗斯”跨海大桥作为研究对象, 描述了如何对该桥的受力性能进行初步的评估。

1 桥梁概况

萨哈林岛是俄罗斯联邦的最大岛屿, 地处俄罗斯国东部, 四面环海。“卡萨弗斯”跨海大桥是连接城市中心与货运港口的重要通道之一, 货运量较大。该桥于 1975 年由前苏联“基辅桥梁科学研究院”设计, 1982 年在南萨哈林建成通车。由于全球变暖及其他因素等原因, 海平面上涨, 以致海浪可以直击桥梁上部结构, 部分结构甚至浸泡于积水中, 腐蚀较为严重, 年久失修。该桥采用俄罗斯(前苏联)国家标准 GOST6713—91 的 10HSND 型号钢材, 结构形式为 39.5 m + 4 × 39.8 m + 39.5 m 的连续梁钢混桥, 全长 239.0 m。主梁采用 4 个高为 1 m 的工字钢组成, 并设有横向连接, 梁上铺设 160 mm 厚的混凝土行车道板。桥梁结构如图 1 所示。

2 检测结果

2.1 检测结果的综述

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.04.08

收稿日期: 2013-09-16

作者简介: 赵健 男 1985 年出生 助教

基金项目: 太平洋国立大学科学研究中心资助项目(No47/12)

被大面积腐蚀。对钢梁采取抽样调查,每个钢梁取11个测点,检查腐蚀的程度(铁锈的厚度)。结果显示,钢梁的下翼缘腐蚀较为严重,铁锈厚度在2.1~2.8 mm的范围内,约为原钢梁下翼缘设计厚度的7%,同时扩散到钢梁腹板。原钢梁的腹板设计厚度为12 mm,经过腐蚀后的腹板由下翼缘向上约0.5 m的范围铁锈厚度约为0.4 mm。钢梁损伤情况如图3(e)~(h)所示。

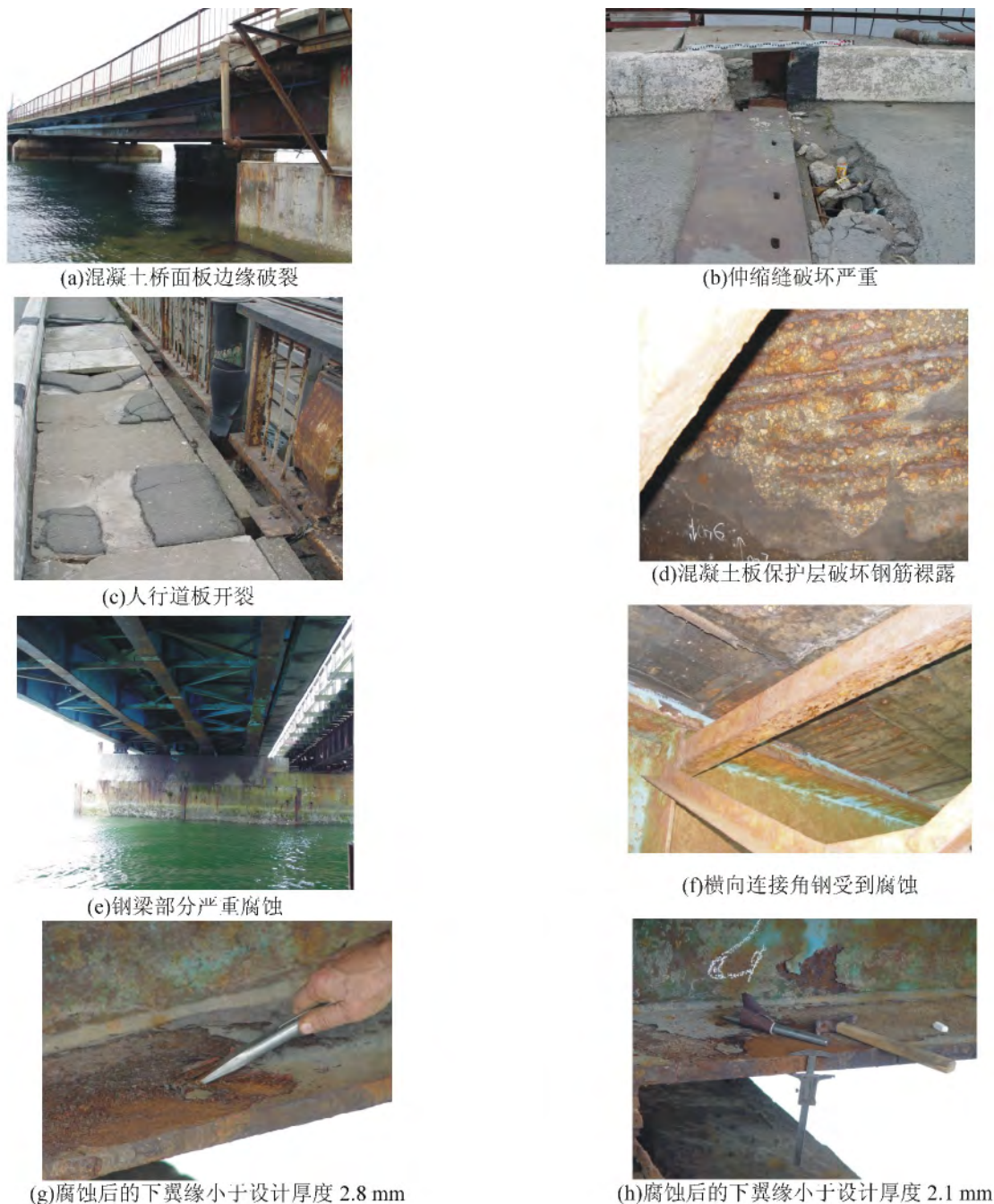


图3 卡萨弗斯大桥的检测结果

3 损伤模拟与加载测试

3.1 损伤模拟

基于损伤识别采用有限元软件进行模拟。该桥主要受损部位为混凝土行车道板、钢梁腹板和下翼缘。由于受到腐蚀的位置削减了梁体的刚度,所以在一定程度上降低了承载能力^[7]。损伤源的模拟可以采用改变不同位置的板厚的方法实现^[8]。根据实际检测的结果,对该桥进行建模,其中钢梁腹板部位削

减 0.4 mm 的铁锈厚度,下翼缘按原设计标准削减 7% 的铁锈厚度。对于混凝土行车道板,原混凝土标号为 B30,实测结果的强度标号为 B22.5 较接近 B20,所以采用 B20 的相关参数进行模拟,力争通过模型的设计反应出桥梁工作的真实状态。采用有限元软件“Midas Civil”建模,其中混凝土弹性模量为 2.7×10^3 MPa,钢结构弹性模量为 2.1×10^4 MPa。模型如图 4(a)所示, t_1 、 t_2 、 t_3 分别为下翼缘单层厚度、腹板厚度和下翼缘双板厚度。

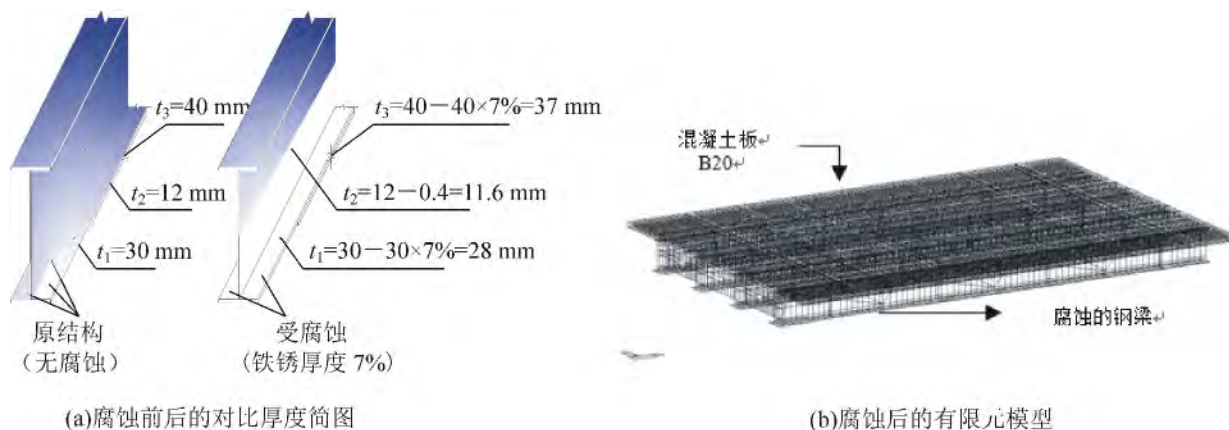


图 4 卡萨弗斯桥 1/2 单跨的有限元模型

3.2 荷载加载方法

荷载加载的目的是对桥梁受到腐蚀损伤后的受力性能评估。2012 年的检测结果表明,受应力影响损伤最严重的位置分别为截面 1、2、3,如图 3 所示。根据荷载作用最不利的情况对桥梁截面 1、2、3 进行加载,其加载结果与 2007 年的加载结果进行对比分析。根据俄罗斯桥梁规范 SNIP2.05.03—84*,桥梁原设计荷载为 A11,即轮重分别为 55 kN 的四轮货运卡车和均步荷载为 5.5 kN/m 的标准。冲击系数采用公式计算: $1 + 15 / (37.5 + \lambda) = 1.054$,即 $\lambda = 238.36$ m (计算跨度)。人群荷载采用 1.0 kN/m^2 ,冲击系数为 1,保险系数均为 1.2。由于该桥采用双车道,对于横截面的加载采用两车并行,加载形式如图 5 所示。

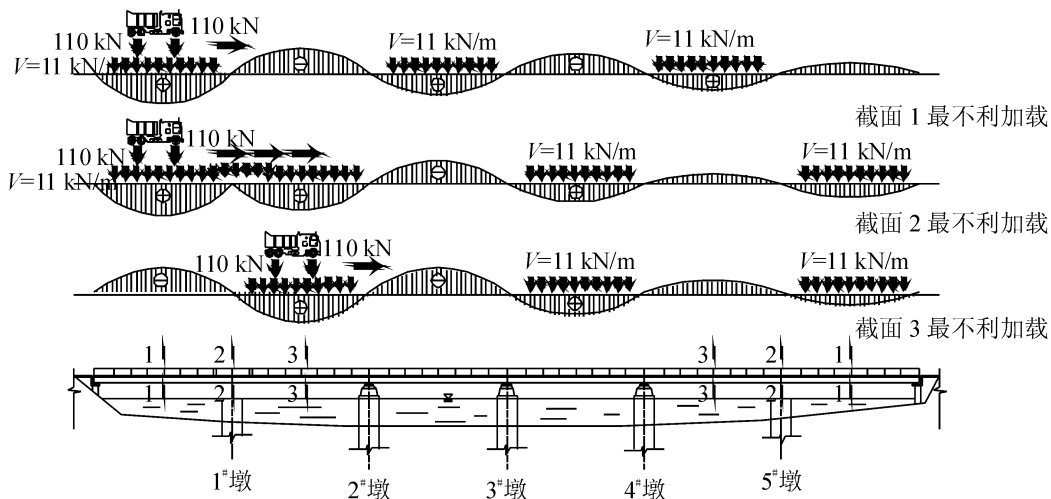


图 5 卡萨弗斯大桥最不利加载情况

4 结果分析

根据桥梁的服役年限 1982 年至 2012 年,钢梁最大腐蚀厚度达到 2.8 mm,可以判断桥梁在服役 30 a 期间,每年平均腐蚀厚度为 0.093 mm,约等于 0.1 mm。所以在 2007 年至 2012 年的总腐蚀厚度约为 0.5 mm,而行车道混凝土的强度标号由 B30 降为 B20,其损伤程度的增大对荷载加载的影响效果对比分析如下。

4.1 损伤模拟活载作用的影响效果对比

由图6、图7、图8所示,当活载作用在桥梁最不利截面位置时,截面1、截面2和截面3的2012年损伤后的钢梁结构的应力值明显大于2007年的应力值,这说明钢材受到腐蚀的效果比较明显。

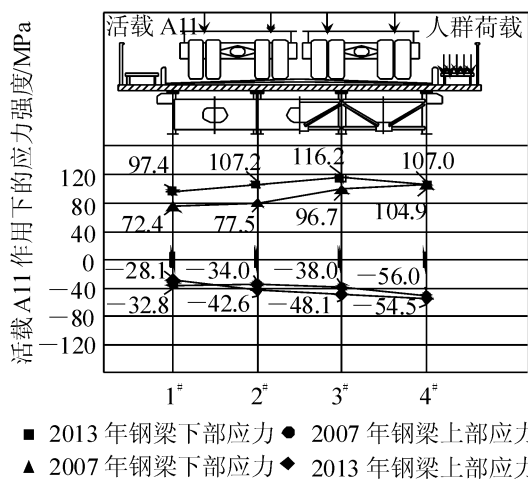


图6 活载作用下载面1的钢梁应力值

上翼缘应力变化较小,三个截面对比结果来看,应力最大变化率为18%,位于截面2的4号梁,变化率最小为2.7%,位于截面1的4#钢梁。这说明虽然上翼缘受到腐蚀损伤较小,但由于混凝土行车道的强度标号降级,导致对钢梁应力值产生了一定的变化。

下翼缘各截面应力变化相对较大,由于钢梁受到大面积腐蚀,比2007年应力值相对增大,其中截面1的2#梁应力最大增大38.3%,截面2的1#梁应力值增大43%,截面3的1#梁应力值增大33%。

4.2 损伤模拟综合作用的影响效果对比

通过软件 Midas Civil 的模拟结果,组合荷载的计算结果得到表1。从表1中可以看出,在荷载加载方式相同的情况下,2012年的下翼缘截面1的组合应力值最大达到304.3 MPa,混凝土应力值为-10.2 MPa。而2007年的加载结果截面1为268.3 MPa,混凝土应力值为-9 MPa。

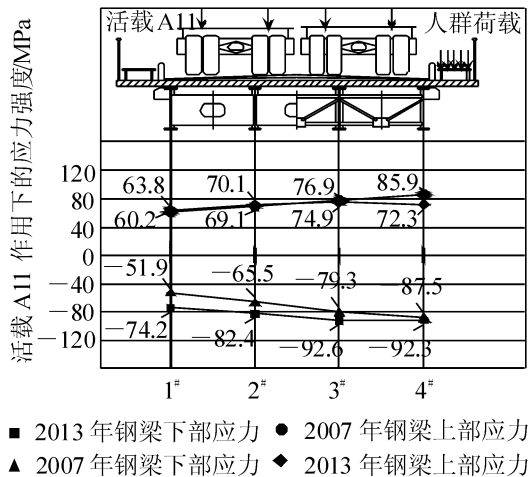


图7 活载 A11 作用下载面2的钢梁应力值

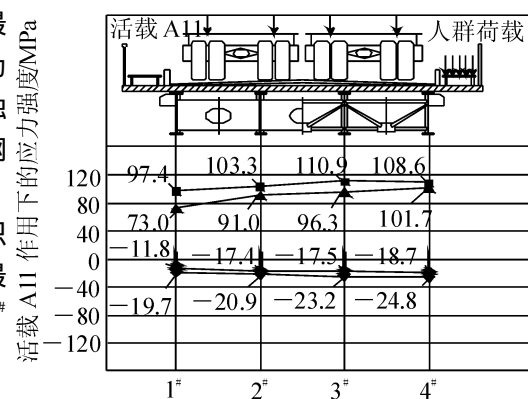


图8 活载 A11 作用下载面3的钢梁应力值

表1 恒载与活载组合的应力值

位置	年份	组合应力值 / MPa		
		截面1	截面2	截面3
上翼缘 σ_1	2007	-238.5	222.1	-48
	2012	-227.7	277.0	-42.9
下翼缘 σ_2	2007	268.3	-226.1	184.7
	2012	304.3	-253.1	215.6
混凝土 σ_b	2007	-9	—	6.4
	2012	-10.2	—	8.76

这些数据充分表明2007年至2012年的腐蚀损伤降低了该桥的承载能力。根据规范 SNIP2.05.03—84*, 钢梁与混凝土的应力计算结果分别满足以下条件,即: $\sigma_1, \sigma_2 < R_y = 350 \text{ MPa}$ (钢材型号 10HSND), $\sigma_b < R_b = 10.5 \text{ MPa}$ (混凝土强度标号 B20)。

5 结论

卡萨弗斯大桥在服役30 a后,通过检测及损伤模拟得到以下结论:

(1) 通过“表观检查法”和试验结果证明混凝土强度为规范 SNIP2.05.03—84* 的 B20 标号混凝土, 钢结构可以满足原设计钢材型号 10HSND 的强度。

(2) 根据俄罗斯桥梁设计规范 SNIP2.05.03—84* ,该桥的损伤程度没有破坏原设计荷载的标准, 可以满足汽车荷载 A11 通行要求。

(3) 根据有限元法对损伤模拟的分析结果可以看出, 混凝土结构强度降级对钢梁上部的承载能力的影响较小, 相对而言钢梁下部受到腐蚀大大降低了桥梁的承载能力。这充分说明了“腐蚀”对桥梁承重结构破坏的严重性是不可忽视的。

(4) 对于卡萨弗斯跨海大桥的改造方案应针对混凝土板的防水层及伸缩缝排水装置进行合理翻修, 避免雨水、防冻盐渗入钢梁加速钢梁的腐蚀速度。应尽快清理铁锈, 并使用防腐蚀涂漆, 最大可能的延长桥梁的服役年限。

(5) 本文运用“表观检查法”和“有限元法”分别对研究对象进行检测和损伤模拟, 该方法可以非常直观地反映出桥梁的工作状态, 其简单和实用, 可供桥梁检测人员参考。

参 考 文 献

- [1] 李峰. 海洋环境下钢结构桥梁的耐久性诊断研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007.
- [2] 侯福金. 环境腐蚀作用下滨海大桥钢结构的可靠性评估方法研究[J]. 公路, 2009(9): 191-193.
- [3] Belytsky I YU Zhao Jian. 卡萨弗斯大桥可靠性评估报告[R]. 哈巴罗夫斯克: 太平洋国立大学, 2013.
- [4] 俄罗斯交通部公路科学研究院. GOST22690—88 混凝土无损检测力学方法标准[S]. 莫斯科: 交通出版社, 2002.
- [5] 俄罗斯交通部公路科学研究院. GOST18015—86 混凝土的强度检测[S]. 莫斯科: 交通出版社, 2002.
- [6] 俄罗斯土木结构中心科学研究院. SNIP 2.05.03—84* 桥梁设计规范[S]. 莫斯科: 交通出版社, 2000.
- [7] 村越潤. 約 50 年間供用された床版目地を有する連続非合成鋼 I 桁橋の損傷状況と現地載荷試験[J]. 構造工学論文集, 2010, 56(A): 1-12.
- [8] 李延强. 面向损伤识别的独塔斜拉桥模型的设计与分析[J]. 石家庄铁道大学学报, 2012, 25(3): 1-4.

Research on Structural Reliability of Corsac Steel Bridge of Sakhalin Island in Service Under Ocean Environment

Zhao Jian , Belytsky I YU , Ta Mingyang , Bosogof M A

(Department of Civil Engineering , Pacific National University , Khabarovsk 901071 , Russia)

Abstract: Based on f Corsac Bridge on the Sakhalin Island of Russia. The steel bridge in service under the ocean environment is affected by ocean , which leads to the steel corrosion and greater degree of damage and need research on structural reliability. Using the finite element model , the site of damage is simulated. According to the damage and corrosion grading , the ultimate bearing capacity of continuous composite steel bridge is analyzed and appraised. Advanced reconstruction proposals and future research directions are suggested. The result of this paper has certain theoretical meaning and application value in engineering practice.

Key words: ocean environment; corrosion steel bridge structure; load-bearing capacity; reliability assessment; finite-element model

(责任编辑 刘宪福)