

文章编号: 1002-0268(2006)04-0018-04

# 公路桥梁结构材质状况耐久性检测 及综合评定方法研究

张劲泉, 宿健, 徐萍  
(交通部公路科学研究院, 北京 100089)

摘要: 针对目前旧桥承载能力评定方法存在的不足, 克服需大量借助昂贵荷载试验进行旧桥承载能力鉴定的缺点, 主要介绍了混凝土旧桥表面损伤、强度、钢筋锈蚀电位、氯离子含量、钢筋分布及保护层厚度、混凝土碳化深度、电阻率、内部缺陷和表层损伤等的检测方法 with 评价指标及结构或构件的耐久性综合评定方法。

关键词: 桥梁; 耐久性; 检测; 综合评定

中图分类号: U466

文献标识码: A

## Research on Endurance Detection and Synthetic Assessment Method of Highway Road's Material Quality

ZHANG Jin-quan, SU Jian, XU Ping  
(Research Institute of Highway, MOC, Beijing 100088, China)

Abstract: For the sake of conquering the shortage of existing bearing capacity assessment method for highway bridge in use and cut down the cost of loading test, The dissertation have studied a set of integrated and applied bearing capacity assessment method for highway bridge in use. The method is based on the existing condition and quality detect method of the bridge. It need to connect the simplex and isolated detection content with the ultima result, and make it quantified..The dissertation introduces the test method and evaluating indicator of apparent damage,intensity, rust- eaten potential of concrete bar,content of  $CL^-$ , distribution of concrete bar,thickness of covering layer,carburation penetration,electrical resistivity and internal defect. The dissertation also introduces the reseach on synthetic durability evaluation of construction or structural member.

Keywords: bridge; durability; detection; synthetic evaluation

### 0 前言

目前针对公路旧桥承载能力的评定方法主要还是依靠荷载试验, 近年很多科研单位及院校都在研究如何通过计算分析与结构检算来评定桥梁结构的承载能力, 但往往由于对结构现状调查不准确或根据检测结果确定的假设及边界条件不能真实反映结构实际状况, 从而使计算结果与实际承载能力之间存在较大差异。本文主要从常用的混凝土旧桥表面损伤、强度、钢筋锈蚀电位、氯离子含量、钢筋分

布及保护层厚度、混凝土碳化深度、电阻率、内部缺陷和表层损伤等的检测方法入手, 介绍研究的各个评价指标及结构或构件的耐久性综合评定方法, 根据此方法的综合评定结果可进一步进行结构检算与承载能力分析。

### 1 公路混凝土旧桥材质状况及耐久性检测方法与评定标准

(1) 公路混凝土旧桥材质状况及耐久性检测评定主要从结构混凝土强度、钢筋锈蚀电位、混凝土中

收稿日期: 2005-01-12

作者简介: 张劲泉 (1963-), 男, 江苏泰州人, 副研究员, 研究方向为桥梁检测评定与加固. (j.q.zhang@rioh.cn)

氯离子含量、混凝土中钢筋分布及保护层厚度、混凝土碳化深度、混凝土电阻率、结构混凝土内部缺陷与表面损伤以及裂缝等方面进行耐久性综合评价。

(2) 参照国内外有关混凝土强度检测的技术规程,明确了适用于我国既有公路桥梁混凝土结构构件混凝土强度检测的回弹法、超声-回弹综合法、回弹结合取芯法、超声-回弹综合法结合取芯法。并根据混凝土桥梁结构的特点,研究提出了用于结构构件主要受力部位混凝土强度评定的方法以及用回弹法检测泵送混凝土构件测区混凝土强度换算值的修正方法;采用耐久性影响系数的方法,建立了如表 1 所列的结构混凝土强度现场检测评定标准。

表 1 结构混凝土强度现场检测评定标准

Tab.1 Evaluation criteria for structure concrete intensity detect

$K_{it}$	$K_{bm}$	强度状态	评定标度
0.95	1.00	良好	1
$0.95 > K_{it}$	0.90	较好	2
$0.90 > K_{it}$	0.80	较差	3
$0.80 > K_{it}$	0.70	差	4
$< 0.70$	$< 0.85$	很差	5

注:(1)  $K_{it} = \frac{R_{it}}{R}$  式中,  $K_{it}$  为推定强度匀质系数;  $R_{it}$  为承重构件或其主要受力部位混凝土的实测强度推定值;  $R$  为承重构件混凝土极限抗压强度设计值。

(2)  $K_{bm} = \frac{R_{bm}}{R}$  式中,  $K_{bm}$  为平均强度匀质系数;  $R_{bm}$  为承重构件或其主

要受力部位测区平均换算强度值。

(3) 对于钢筋锈蚀电位的检测与判定,针对半电池电位法的测试原理、测量装置、适用范围、应用与测试方法、影响测量准确度的因素及修正等作了详细与明确的规定。在总结归纳大量实桥实测数据和对比试验资料的基础上,提出了用半电池电位方法检测混凝土构件中钢筋锈蚀活动性的评判标准,详见表 2 所列。

表 2 结构混凝土中钢筋锈蚀电位的检测评判标准

Tab.2 Evaluation criteria for rust-eaten potential of concrete

电位水平/mV	钢筋锈蚀活动性	钢筋锈蚀活化程度系数 $T_r$
0 ~ 200	无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定	1
- 200 ~ 300	有锈蚀活动性,但锈蚀状态不确定,可能坑蚀	2
- 300 ~ 400	锈蚀活动性较强,发生锈蚀概率大于 90%	3
- 400 ~ 500	锈蚀活动性强,严重锈蚀可能性极大	4
$< - 500$	构件存在锈蚀开裂区域	5

注:(1)表中电位水平为采用铜-硫酸铜电极时的量测值;(2)混凝土湿度对量测值有明显影响,量测时构件应为自然状态,否则用此评定标准误差较大。

(4) 借鉴国外有关的混凝土中氯离子含量测试方法,提出适合我国公路混凝土桥梁的实验室化学分析法和滴定条法 2 种氯离子含量测定方法及其评判标准,并根据分区试验测试结果,建立了混凝土中氯离子含量诱发钢筋锈蚀的可能性及影响结构耐久性的检测评判标准,具体如表 3 所列。

表 3 结构混凝土中氯离子含量的检测判定标准

Tab.3 Evaluation criteria for content of  $Cl^-$  in structure concrete

氯离子含量(占水泥含量的百分比)	$< 0.15$	0.15 ~ 0.4	0.15 ~ 0.4	0.7 ~ 1.0	$> 1.0$
诱发钢筋锈蚀的可能性	很小	不确定	有可能诱发钢筋锈蚀	会诱发钢筋锈蚀	钢筋锈蚀且活化
氯离子含量对结构混凝土的耐久性影响系数	1	2	3	4	5

(5) 混凝土中钢筋分布及保护层厚度对结构耐久性有较大影响,目前普遍采用的是电磁法检测钢筋位置、保护层厚度与估测钢筋直径的原理和方法,经过研究与整理提出了影响测量准确度的因素及其修正方法,对钢筋保护层厚度实测数据的处理方法作了明确规定。通过分区试验与实体工程测试验证,建立的混凝土保护层厚度检测评定标准如表 4 所列。

表 4 混凝土保护层厚度的检测评定标准

Tab.4 Evaluation criteria for thickness of covering layer of structure concrete

保护层厚度对钢筋耐久性的影响系数	$D_{re}/D_{ro}$	对结构钢筋耐久性的影响
1	$> 0.95$	影响不显著
2	0.85 ~ 0.95	有轻度影响
3	0.70 ~ 0.85	有影响
4	0.55 ~ 0.70	有较大影响
5	$< 0.55$	钢筋易失去碱性保护,发生锈蚀

注:  $D_{re}$  为测量部位实测混凝土保护层厚度特征值,  $D_{ro}$  为测量部位混凝土保护层厚度设计值。

(6) 明确规定了桥梁结构构件的混凝土碳化深度检测原则、检测方法、测试步骤以及测区与测孔布置要求,并基于实测的混凝土碳化深度与保护层厚度的比值,采用耐久性影响系数的方法,提出了如

表 5 所列的混凝土碳化深度检测评定标准。

表 5 混凝土碳化深度的检测评定标准  
Tab.5 Evaluation criteria for carburization depth  
of structure concrete

碳化深度对结构钢筋的 耐久性影响系数	1	2	3	4	5
碳化层深度/保护层厚度	<1*	<1	=1	> 1	> 1**

注：(1) \* 构件全部实测比值均小于 1；(2) \*\* 构件全部实测比值均大于 1；(3) 宜分构件逐一进行评定。

(7) 参照国外的试验测试方法四电极阻抗测量法，在总结分析以往检测资料的基础上，提出了适合我国公路混凝土桥梁的混凝土电阻率现场测试方法与结果判定标准。采用耐久性影响系数的方法，建立的混凝土电阻率检测判定标准如下表 6 所列。

表 6 混凝土电阻率的检测判定标准  
Tab.6 Evaluation criteria for electrical resistivity  
of structure concrete

混凝土电阻率对结构混凝土的耐久性影响系数	电阻率/ Ω·cm	钢筋发生锈蚀的可能锈蚀速度
1	>20000	很慢
2	15000- 20000	慢
3	10000- 15000	一般
4	5000- 10000	快
5	<5000	很快

注：混凝土湿度对量测值有明显影响，量测时构件应为自然状态，否则不能使用此评判标准。

(8) 在总结国内有关混凝土内部缺陷及表层损伤检测方法研究和工程实际应用成果的基础上，参照国外有关试验方法，研究制订了用超声法检测结构混凝土内部缺陷、表层损伤、裂缝深度和混凝土匀质性等方法。详细论述了用超声法检测混凝土缺陷的基本依据、声学参数测试方法；明确了结构混凝土不密实区、空洞、两次浇注混凝土结合面质量、表面损伤层以及裂缝深度的检测方法和检测步骤；规定了测试数据的计算与计算分析方法，给出了结构混凝土内部缺陷、表层损伤和均匀性等的检测判断方法与判定标准。

(9) 运用层次分析方法以及基于专家经验的模糊

数学分析评估方法，研究确立的混凝土桥梁单一构件耐久性评定方法和结构耐久性综合评价方法。

单一构件的耐久性评价

对单一构件，以所检测的该构件各项材质状况指标与耐久性指标 (详见表 8) 的评定结果为依据，考虑构件所处环境条件以及各项材质状况与耐久性检测指标的权重值，按下式进行评价

$$E_{\text{单}} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot I_i \quad (1)$$

式中,  $E_{\text{单}}$  为单一构件的耐久性评定结果； $A_i$  为构件所处环境影响系数，如表 7 所列； $I_i$  为所检测的构件各项材质状况指标与耐久性检测指标的评定标度或耐久性影响系数, 参见表 1~表 6, 具体详见混凝土旧桥材质状况及耐久性检测评定指南； $I_i$  为材质状况指标与耐久性检测指标的推荐权重值，见表 8； $n$  为所检测的材质状况指标及耐久性指标数，一般， $n=9$ 。

表 7 推荐的桥梁所处环境条件影响分级评定标准  
Tab.7 Evaluation criteria for environment effects  
in the bridge site

环境类别	环 境 条 件	环境影响系数
I 可忽略	非寒冷或寒冷地区的大气环境，水或土壤无侵蚀性；干燥环境；风环境	1.0
II 轻微	严寒地区的大气环境；潮湿	1.1
III 中度	内陆潮湿气候；干湿交替	1.2
IV 严重	酸雨或沿海环境；接触除冰盐构件	1.3
V 恶劣	干湿交替，有侵蚀性水、气体或土壤；高度水饱和并受冻融循环	1.4

当对混凝土单一构件只检测了表 8 所列的部分指标，即  $n<9$  时，可按下式进行评价。

表 8 混凝土构件材质状况检测指标与耐久性指标推荐权重值  
Tab.8 Recommended weight of structure quality index and endurance index

项 目	混凝土外观损伤 $a_1$	钢筋自然电位 $a_2$	混凝土电阻率 $a_3$	混凝土碳化深度 $a_4$	保护层厚度 $a_5$	氯离子含量 $a_6$	混凝土强度 $a_7$
权重值	0.20	0.11	0.05	0.20	0.12	0.15	0.05
	0.07						
		0.32					

$$E_{\text{单}} = \sum_{i=1}^n A_i \times \sum_{i=1}^n \quad (2)$$

混凝土单一构件的耐久性评定标准如表 9 所列。

表 9 混凝土单一构件的耐久性评定标准

Tab.9 Evaluation criteria for endurance of single concrete component

E <sub>单</sub> 范围	0.7	E <sub>单</sub> <2	2	E <sub>单</sub> <3	3	E <sub>单</sub> <4	4	E <sub>单</sub> <5	E <sub>单</sub>	5
构件耐久等级		5		4		3		2		1
构件耐久性状况好		较好		较好		一般		很差		很差

结构耐久性综合评价：

结构耐久性综合评价，以组成该结构的各类构件的耐久性评定结果为依据，综合考虑各类构件的权重系数，按下式进行评价

$$E_{\text{总}} = \sum_{j=1}^m E_{\text{单}j} \times \quad (3)$$

式中，E<sub>总</sub>为结构整体的耐久性评定结果；E<sub>单j</sub>为单一构件的耐久性评定结果；<sub>j</sub>为结构构（部）件推荐权重值，如表 10 所列；m 为进行了耐久性检测的结构构（部）件数。

结构整体的耐久性综合评价标准, 如表 11 所列。

表 10 推荐的混凝土桥梁各构（部）件权重值

Tab.10 Recommended weight of main structure components

构（部）件	名 称	推荐权重 <sub>i</sub>
1	桥台与基础	0.23
2	桥墩与基础	0.24
3	支 座	0.07
4	上部主要承重构件	0.26
5	上部一般承重结构	0.12
6	桥面铺装	0.02
7	人行道承重构件	0.05
8	栏杆或防撞墙	0.01

表 11 结构整体的耐久性综合评价标准

Tab.11 Synthetical evaluation criteria for endurance of the structure

E <sub>单</sub> 范围	1	E <sub>单</sub> <2	2	E <sub>单</sub> <3	3	E <sub>单</sub> <4	4	E <sub>单</sub> <5	E <sub>单</sub>	5
结构耐久系数评定标度		5		4		3		2		1
结构耐久性状况		好		较好		一般		较差		很差

2 结 论

本文系统地介绍了常用的混凝土旧桥外观损伤、强度、钢筋锈蚀电位、氯离子含量、钢筋分布及保护层厚度、混凝土碳化深度、电阻率、内部缺陷和表层损伤等的检测方法，把各个评价指标量化，并运用数学方法将这些指标进行关联形成结构或构件的耐久性综合评定方法，根据此方法的综合评定结果可进一步进行结构检算与承载能力分析。

参考文献：

[1] 张劲泉．公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用 [Z]．北京：交通部公路科学研究院，2001．  
[2] CECS 03: 88, 钻芯法检测混凝土强度技术规程[S]．  
[3] CECS 02: 2005, 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S]．  
[4] JGJ/T23- 2001, 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S]．  
[5] BS 1881, Methods of testing concrete Part 4 [S]．  
[6] BS 4408, Recommendations for non- destructive methods of test for concrete Part 4&5 [S]．