

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

公路旧桥 承载力评定方法 及工程实例

张劲泉 李万恒 任红伟 程寿山 等编著

Gonglu
Jiuqiao Jiance
Pingding yu
Jiagu Jishu
Congshu



人民交通出版社

China Communications Press

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

Gonglu Jiuqiao Chengzaili Pingding Fangfa ji Gongcheng Shili

公路旧桥承载力评定方法 及工程实例

张劲泉 李万恒 任红伟 程寿山 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《公路旧桥检测评定与加固技术丛书》之一,共分两篇,第一篇介绍公路旧桥承载力评定方法的研制方法、体系框架、思路及最新成果,第二篇分桥型列举了典型桥梁应用实例。

本书可供从事旧桥检测与维修加固的工程技术人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路旧桥承载力评定方法及工程实例/张劲泉等编
著. —北京:人民交通出版社, 2007.7
(公路旧桥检测评定与加固技术丛书)
ISBN 978-7-114-06497-5

I.公… II.张… III.公路桥-承载力-评价 IV.
U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 048434 号

书 名: 公路旧桥检测评定与加固技术丛书
公路旧桥承载力评定方法及工程实例
著 作 者: 张劲泉 李万恒 任红伟 程寿山 等
责任编辑: 沈鸿雁 刘永超
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010)85285838, 85285995
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京凯通印刷厂
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 13
字 数: 320 千
版 次: 2007 年 7 月 第 1 次印刷
印 次: 2007 年 7 月 第 1 版第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-06497-5
印 数: 0001~3500 册
定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

《公路旧桥承载力评定方法及工程实例》

编审委员会

主 编：张劲泉 李万恒 任红伟 程寿山

参 编：苏纪开 谢来发 沈仁忠 邱 波 郭留红

朱建平 李 明 郑晓华 王国亮 马 晔

王来永 陈万春 钱培舒 李传习 胡钊芳

于天才 王泳道 高建明 温胜强 韩忠奎

徐玉春 徐 萍 李 湛 李宏江

主 审：徐 岳 叶见曙 张建仁 何玉珊

前 言

2005年,我国公路桥梁的总数已达33.66万座、1474.7万延米。交通部统计资料显示,近几年来我国技术状况等级处于四、五类的公路桥梁总数一直在10000座以上。如何科学高效地对这些桥梁进行承载力评定,以便进一步采取安全合理的措施进行处治,是整个公路交通行业面临的一项紧迫的关键任务。

目前我国公路旧桥承载力评定的主要依据为1988年交通部颁布的《公路旧桥承载能力鉴定方法》(试行),采用的方法主要是基于荷载试验的评定方法。该方法在过去近20年中,对我国公路旧桥的检测评定工作发挥了重要作用。但是,由于该方法本身存在一些不完善之处,使得桥梁检测与承载力评定无法有效结合,形成整体。2001年,交通部立项对公路旧桥评定与加固技术进行系统研究、总结和技术提升。本书主要是基于西部交通建设科技项目“公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用”的部分研究成果编写的,系统阐述了关于公路旧桥承载力的最新研究成果,并列举了部分典型应用实例,以期对相关研究、培训和实践工作有所帮助。全书共分两篇,第一篇介绍公路旧桥承载力评定方法的研制方法、体系框架、思路及最新成果,第二篇分桥型列举了典型桥梁应用实例。

编写过程中得到了交通部公路司、科教司,交通部西部交通建设科技项目管理中心,交通部公路科学研究院的关怀与指导,广东、山东、四川、江西、浙江、江苏、河北、安徽、河南、广西、青海、新疆、内蒙古和天津等省(市、自治区)的交通厅、公路管理部门给予了积极帮助和大力支持,不少专家和学者提供了非常有用的技术资料,人民交通出版社的领导和编辑们为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心感谢!

由于时间仓促,加之学识水平和能力有限,本书疏漏、谬误之处在所难免。为此,恳请同行及广大读者批评指正并提出宝贵意见。读者意见请邮寄到:北京市海淀区西土城路8号,交通部公路科学研究院(邮编:100088)。

编 者

2006年12月于北京

目 录

第一篇 公路旧桥承载力评定方法

1 引言	3
2 国内外概况及发展趋势	4
3 研究内容及解决的主要问题	5
3.1 研究的主要内容	5
3.2 研究的一个关键点和四大难点	5
4 研制思路及方法理论综述	7
4.1 研制思路	7
4.2 研制方法理论综述	7
5 旧桥承载力评定方法的研究	11
5.1 既有旧桥承载力评定体系及其不足	11
5.2 影响承载力评定的检测指标分析	13
5.3 旧桥承载力评定方法新体系的建立	15
6 基于检测结果的旧桥检算系数 Z_1 的研究制定	18
6.1 构件技术状况影响因素	18
6.2 构件技术状况评定	18
6.3 检测指标权重 (α_j) 的确定	24
6.4 检算系数 (Z_1) 的调查统计分析	25
7 基于检测结果的承载力恶化系数 (ξ_e) 的研究制定	28
7.1 耐久性恶化状况评定	28
7.2 承载力恶化状况影响因素权重调查	31
7.3 恶化系数的确定	34
8 基于检测结果的截面折减系数 (ξ_c, ξ_s) 的研究制定	35
8.1 砖石、混凝土及配筋混凝土桥梁结构构件损伤状况评定	35
8.2 截面损伤状况影响因素权重调查	36
8.3 截面折减系数的确定	38
9 基于检测结果的活载影响修正系数 (ζ_q) 的研究制定	40
9.1 典型路线的交通荷载特征	40
9.2 活载影响修正的评价模型	40
9.3 活载影响系数专家调查	41
10 公路旧桥承载力荷载试验评定的评价指标体系	43
10.1 荷载试验必要性分析	43
10.2 旧桥承载力荷载试验评定思路	43
10.3 旧桥承载力荷载试验评定方法	43

11 实桥应用效果评价	58
12 结束语	59
附录 A 公路危桥判定的主要技术指标	60
A.1 公路危桥的定义	60
A.2 公路危桥判定的主要技术指标	60
A.2.1 通行安全指标	60
A.2.2 结构技术状况指标	61
A.2.3 结构抗灾能力	61

第二篇 公路旧桥承载力评定示范

一、混凝土简支梁(板)桥

实例 1 某 13m 简支梁(板)桥	65
1.1 桥梁概况	65
1.2 桥梁典型病害	65
1.3 主要检测结果	67
1.4 基于检测结果的 T 梁承载力评定	69
实例 2 某三跨简支 T 梁	72
2.1 工程概况	72
2.2 桥梁典型病害	72
2.3 T 梁原结构复核计算	74
2.4 基于检测结果的 T 梁承载力评定	77
实例 3 某 20m 简支 T 梁桥	79
3.1 桥梁概况	79
3.2 桥梁典型病害	79
3.3 主要检测结果	80
3.4 基于检测结果的承载力评定	82
实例 4 某 9×20m 简支 T 梁	84
4.1 工程概况	84
4.2 桥梁典型病害	84
4.3 原结构复核计算	86
4.4 基于检测结果的 T 梁承载力评定	89
实例 5 某公铁立交桥(20m 钢筋混凝土 T 梁、35m 预应力混凝土 T 梁)	91
5.1 工程概况	91
5.2 桥梁典型病害	92
5.3 原结构复核计算	94
5.4 基于检测结果的承载力评定	96
实例 6 某 20m 简支 T 梁	101
6.1 工程概况	101
6.2 桥梁典型病害	101

6.3	T 梁原结构复核计算	103
6.4	基于检测结果的 T 梁承载力评定	104
实例 7	某 30m 预应力混凝土 T 梁	107
7.1	工程概况	107
7.2	桥梁典型病害	108
7.3	原结构复核计算	109
7.4	基于检测结果的承载力评定	109
实例 8	某地区八座梁桥(六座工字梁、一座宽腹 T 梁、一座槽型梁)	111
8.1	前言	111
8.2	主要检测结果	111
8.3	基于检测结果的承载力评定	130

二、钢筋混凝土 T 形刚构桥

实例 9	某 90mT 形刚构	134
9.1	桥梁概况	134
9.2	桥梁典型病害	134
9.3	主要检测结果	136
9.4	原结构检算	137
9.5	基于检测结果的承载力评定	138

三、拱 桥

实例 10	某钢筋混凝土箱形拱	140
10.1	桥梁概况	140
10.2	桥梁典型病害	140
10.3	主要检测结果	142
10.4	基于检测结果的承载力评定	143
实例 11	某 20m 圆弧线双曲拱	146
11.1	桥梁概况	146
11.2	桥梁典型病害	146
11.3	基于检测结果的承载力评定	147
实例 12	某 21m 双曲拱	151
12.1	桥梁概况	151
12.2	桥梁典型病害	151
12.3	主要检测结果	153
12.4	结构承载力验算	154
实例 13	某 35m 双曲拱	157
13.1	桥梁概况	157
13.2	桥梁典型病害	157
13.3	主拱承载力验算	159
13.4	拱背排架立柱承载力极限状态验算	162

四、预应力混凝土连续箱梁、连续刚构桥

实例 14	某 39m + 72m + 39m 连续刚构	164
14.1	桥梁概况	164
14.2	主要检测结果	164
14.3	基于检测结果的检算系数的确定	169
15.4	基于检测结果的梁承载力评定	171
实例 15	某 75m + 7 × 120m + 75m 连续—刚构组合结构桥	174
15.1	桥梁概况	174
15.2	主要检测结果	175
15.3	结构检算分析	178
实例 16	某三跨连续刚构	182
16.1	桥梁概况	182
16.2	主要检测结果	182
16.3	基于检测结果的检算系数的确定	188
16.4	基于检测结果的承载力评定	189
参考文献		194

第一篇

公路旧桥承载力评定方法

1 引 言

公路旧桥承载力评定方法研究项目是西部交通建设科技项目《公路旧桥评定与加固技术研究及推广应用》的第4专题。本研究以我国公路常见桥梁为对象,通过分析我国现行《公路旧桥承载能力鉴定方法》(交通部部颁标准,1988年,试行)存在的过于注重对承载力的挖潜、质量检测结果难以应用、旧桥检算系数准确值困难、承载力鉴定过分依赖荷载试验、试验结果评定指标残缺等方面的不足。以改进承载力鉴定方法为研究出发点,在分析旧桥承载力影响因素的基础上,基于专家经验评定方法和权重理论,利用专家调查法、层次分析法、影响因素敏感性分析和数理统计分析方法,通过对近300座实桥荷载试验鉴定资料的总结分析,以及在十几个省市近130座桥梁上的试验验证,研究提出了:在对桥梁现状进行检查的基础上,依据桥梁结构质量(缺损状况、材质状况与耐久性指标)检测结果、结构固有模态参数测定结果以及使用荷载调查分析情况等,确定旧桥检算系数 Z_1 、截面折减系数 ξ_c 、恶化系数 ξ_s 以及活载影响修正系数 ξ_l ,并将它们反映在荷载效应最不利组合计算值小于或等于结构抗力效应设计值的方程中,借助桥梁结构设计或竣工资料,通过结构检算分析,进行荷载效应和抗力效应的比较,对桥梁承载力进行评定的方法。只有当采用基于检查和检测结果的、以检算分析为主的评定方法尚不足以评定桥梁承载力时,如:检算得到的荷载效应最不利组合计算值高于结构抗力效应设计值,超过幅度介于5%~25%之间,才可进一步用荷载试验的方法评定桥梁结构的承载力。

2 国内外概况及发展趋势

旧桥的原设计标准偏低、结构构件老化、各种材料强度降低,早已是世界各国普遍关注的问题,它促使世界各国日益重视对旧桥检测评定与加固技术的研究。

在我国,为了使旧桥的技术状况评价和承载力评定工作有规可遵,交通部在 1988 年曾颁布了《公路旧桥承载能力鉴定方法》(试行),它主要是基于荷载试验评定方法,其对旧桥承载力的检算基本上是按现行的有关公路桥梁设计规范进行,并根据桥梁的调查、检算及荷载试验情况,采用旧桥检算系数 Z_1 和 Z_2 对检算结果进行适当的修正。近 20 年来,国内外一些学者在旧桥承载力评定方法方面曾做过大量的潜心研究,先后提出了“以计算为主的评定方法”、“基于桥梁质量检查的评定方法”、“动态法测定桥梁承载力”以及“荷载试验与计算分析相结合的方法”等多种方法,其中有些方法已被有关国家如日本、加拿大等列入旧桥承载力评定规范。1980 年以来,交通部公路科学研究所曾先后承担了交通部科技攻关项目:“大跨径混凝土桥梁荷载试验方法”、“双曲拱桥上部结构承载力评定方法”、“钢筋混凝土组合梁桥承载力评定方法”、“公路桥梁使用功能评定方法”等的研究。通过这些研究,缩短了我国公路桥梁检测试验技术与国外水平的差距,并使具有我国特色的量大、面广的双曲拱和组合梁桥等有了专门的完整评定方法。

目前,对旧桥承载力评定,日本、加拿大采用的是荷载效应的修正计算的方法,并正在向专家系统评估的方向发展。英、美等国则主要采用根据计算分析结合无损荷载试验评定的方法,英国还在从事桥梁结构寿命评估的研究工作,美国则针对中小跨径桥梁提出了一种“半静力”荷载试验与简化有限元模拟分析相结合的评定方法。前苏联在桥梁营运评价和寿命评估方面做过不少研究工作,并提出了一些评定标准。

3 研究内容及解决的主要问题

本研究确定的公路旧桥承载力评定的基本思路是,在桥梁现状检查的基础上,依据桥梁结构材质状况检测结果、结构固有模态参数测定以及荷载调查分析情况等,确定检算系数 Z_1 、折减系数、恶化系数以及活载修正折减系数的合理取值,并将其反映在结构抗力表达式中,然后借助桥梁结构设计或竣工资料,通过结构检算分析,进行荷载效应和抗力效应的比较,对桥梁承载力作出评定。只有当采用上述基于检查和检测结果并以检算分析为主的评定方法,尚不足以评定桥梁承载力时(如检算出的荷载效应高于抗力效率,但超出幅度又不太大时),才可进一步用荷载试验的方法加以评定。

3.1 研究的主要内容

(1)研究制订桥梁固有模态系数测定方法和结果判读标准,并通过研究桥梁固有模态参数与桥梁结构缺损状况以及桥梁刚度之间的关系,提出利用比较实测桥梁固有模态参数与设计计算值间的差异确定检算系数 Z_1 取值的方法。

(2)根据桥梁结构承重构件混凝土强度的检测方法和结果评定标准,通过研究其与结构原设计强度之间的相互关系,提出检算系数 Z_1 取值的另一个重要依据。

(3)依据桥梁主要承重构件碳化深度、钢筋锈蚀活化、保护层厚度和氯离子含量等检测方法和结果评定标准,研究上述指标对结构承载力的影响程度,引入考虑结构使用耐久性因素的“恶化系数”和直接反映结构截面损伤的“折减系数”以更准确地进行承载力评定。

(4)鉴于我国超限超载运输问题严重,桥梁疲劳损伤问题突出,对经常通行超载车辆或大吨位车辆的桥梁,在承载力检算时引入一个“活载修正折减系数”。通过对典型路段桥梁运营荷载和桥梁技术状况的调查和比较分析,研究提出运营荷载调查的数理统计分析方法以及活载修正折减系数的取值方法。

(5)研究制定公路旧桥承载力荷载试验鉴定的评价指标体系,初步考虑在广泛收集分析以往实桥试验资料的基础上,分桥型确定出应力和挠度结构校验系数的限值范围、结构工作应力控制评定指标和动载试验结果辅助性评定指标等。对裂缝从加载扩展宽度、发展性状(形态与分布)和卸载闭合等方面研究其评定方法,合理确定旧桥检算系数 Z_2 。

3.2 研究的一个关键点和四大难点

(1)研究建立的基于结构检查、检测结果的以计算分析为主,必要时再进行荷载试验的结构承载力检测评定方法体系,是本方法研究的关键点。

(2)在桥梁现状检查的基础上,结合桥梁结构材质状况检测结果、结构固有模态参数测定合理确定检算系数(Z_1),是本次研究的一大难点。

(3)如何依据桥梁现状检查和结构材质状况检测结果,综合确定结构检算折减系数(ξ_e 、

ξ_s)和恶化系数(ξ_e),是本次研究工作的第二大难点。

(4)基于汽车活载调查分析结果,准确确定活载影响修正系数(ξ_q),以更加准确地分析桥梁结构的荷载效应,是本次研究工作的第三大难点。

(5)研究制订公路旧桥荷载试验指标评价体系,是本次研究工作的第四大难点。

4 研制思路及方法理论综述

4.1 研制思路

(1) 分析影响公路旧桥承载力的桥梁技术状况影响因素,确定承载力评定各项修正系数(Z_1 、 ξ_e 、 ξ_s 、 ξ_c),构架基于检测结果以检算分析为主的承载力评定方法体系。通过层次分析法、专家调查法、理论推导或技术数据统计分析的方法,研究建立由桥梁技术状况影响因素确定承载力评定各项修正系数的具体方法和过程,进行承载力检算评定。

(2) 通过专家调查法或技术数据统计分析的方法修订完善现有公路旧桥荷载试验指标评价体系,确定鉴于荷载试验结果的检算系数 Z_2 ,进行修正后的承载力检算评定。

4.2 研制方法理论综述

确定某项技术指标参数中各影响因素权重值的方法——德尔菲(Delphi)专家评分法和层次分析法(AHP)。

4.2.1 德尔菲(Delphi)专家评分法

德尔菲专家评分法是专家会议预测法的一种发展,最早出现于20世纪50年代末,1964年美国兰德(RAND)公司的赫尔默(Helmer)和戈登(Gordon)发表了“长远预测研究报告”,首次将德尔菲法用于技术预测中。德尔菲专家评分法以匿名的方式通过几轮函询征求专家对同一问题的意见(即打分),每一轮意见由题目组进行汇总分析,并作为参考资料反馈给每个专家供其分析判断,在下轮填表中作出新的论证。如此多次反复,最终获得满意结果,得到对此问题的较为准确的答案。

(1) 德尔菲法的基本特征

德尔菲法本质上是一种反馈匿名函询法。其做法是,在对所要预测的问题征得专家的意见之后,进行整理、归纳、统计,再匿名反馈给各专家,再次征求意见,再集中,再反馈,直至得到稳定的意见。其过程可简示如下:

匿名征求专家意见—归纳、统计—匿名反馈—归纳、统计……,若干轮后,停止。

总之,它是一种利用函询形式的集体匿名思想交流过程。它有别于其他专家预测方法的三个明显的特点是:匿名性、多次反馈、小组的统计回答。

①匿名性。匿名是德尔菲法的极其重要的特点,从事预测的专家彼此互不知道其他有哪些人参加预测,他们是在完全匿名的情况下交流思想的。

②多次有控制的反馈。小组成员的交流是通过回答组织者的问题来实现的。它一般要经过若干轮反馈才能完成预测。

③小组的统计回答。以往,一个小组的最典型的预测结果是反映多数人的观点,少数派的观点至多概括地提及一下。但是这并没有表示出小组的不同意见的状况。

(2) 德尔菲法的步骤

①编制专家咨询表。按评价内容的层次、评价指标的定义、必需的填表说明,绘制咨询表格。

②分轮咨询。一般需要经过四轮咨询,内容比较简单的或进行过程比较顺利者,也可少于四轮。

第一轮:将咨询表发给各位专家,让他们根据自己的知识和对评价对象的了解情况,填写表格。

第二轮:收回表格,对结果进行统计处理。将前轮的结果填写在咨询表中新增的“前轮结果”栏内,再将新的咨询表发出,让各专家根据反馈信息,对自己的判断作出调整,如果评价的结果和反馈的信息差距较大,应叙述理由。

第三轮、第四轮重复第二轮的工作。

③对专家的最后意见进行分析、处理,得出调查结果。

对专家的意见整理汇总,用统计的方法求出中位数、下四分位数和上四分位数。中位数反映了专家的集体意见,上、下四分位数之间的四分位数区反映了专家意见的分布情况。四分位数区包含了一半专家的意见,四分位数区越小,说明专家的意见集中程度越高,预测结果的可信度也越大。设专家数量为 n ,对于第 i 个问题专家回答的定量值为 $P_{ij} (j=1, 2, 3, \dots, n)$, P_{ij} 按递增序列排列,则 $P_{i\frac{n}{2}}$ 为中位数, $P_{i\frac{n}{4}}$ 为下四分位数, $P_{i\frac{3n}{4}}$ 为上四分位数。

最终的预测结果用最后一轮专家意见的算术平均值来表示。即:

$$K_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (1-4-1)$$

式中: K_i ——第 i 指标的评价结果;

P_{ij} ——第 j 位专家对第 i 指标的评分值;

n ——专家数。

离散系数以 V_i 表示,则:

$$V_i = \bar{S}_i / K_i \quad (1-4-2)$$

式中: $\bar{S}_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (P_{ij} - K_i)^2}$ 是第 i 指标评价结果的标准差。

并不是所有被预测的事件都要经过四轮,可能有的事件在第二轮就达到统一,而不必在第三轮中出现。在第四轮结束后,专家对各事件的预测也不一定都达到统一,不统一也可以用中位数和上下四分点来作结论。

4.2.2 层次分析法(AHP)

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是将决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。该方法是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂 (T. L. Saaty) 于 20 世纪 70 年代初,在为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”课题时,应用网络系统理论和多目标综合评价方法,提出的一种层次权重决策分析方法。它的特点是将决策问题的目标、多种层次因素及对方案等的分析,构造出层次结构,结合主观判断信息作出定量分析的方案优序排列,它将决策者的思维过程实现数量化、模型化,既简化了问题的系统分析计算,又有助于使决策者保持其思维过程的一致性。具体步骤简述如下: