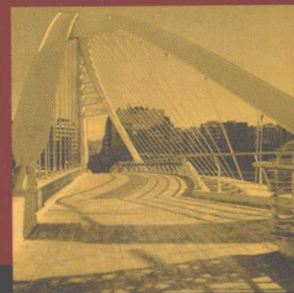
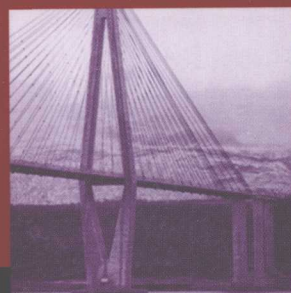
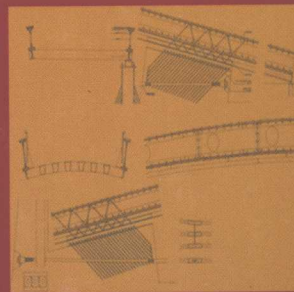
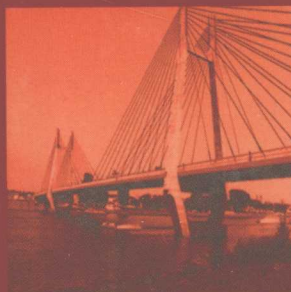
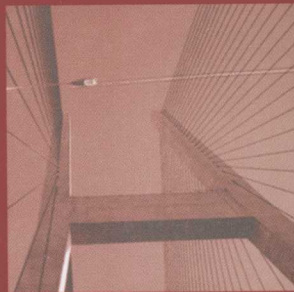
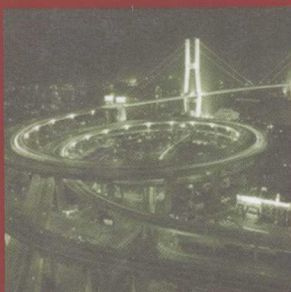


桥梁承载力

演变理论及其应用技术

肖盛燮 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

桥梁承载力演变理论 及其应用技术

肖盛燮 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书提出了桥梁承载力演变理论,对反映桥梁衰变损伤的承载力演变规律划分阶段作了初探,在对各阶段的科学内涵、性态特征、因素机理、模型构建及承载力量化分析基础上,形成了较完备的技术应用实施体系。对于快速科学地评定和提升桥梁使用功能以便改造利用,提供了系统的操作方法和手段,具有广泛的应用价值和前景。

本书可供相关工程领域广大科技工作者、管理人员和大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁承载力演变理论及其应用技术/肖盛燮等著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-016811-5

I. 桥… II. 肖… III. 桥-承载力-研究 IV. U441

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 006188 号

责任编辑: 鄢德平 张 静/责任校对: 刘小梅

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张: 18 1/4

印数: 1—1 800 字数: 352 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

前 言

在我国交通基础设施建设快速发展之际,合理地利用和改造现有道路桥梁可以加速解决交通发展的瓶颈。桥梁是道路交通的重要咽喉,在其建成投入营运直至衰变损伤的全过程中,桥梁承载力状况及加固维护技术历来备受人们关注。国内外在该领域作了大量研究,在承载力评定、加固维护方面业已取得丰硕成果和宝贵经验;但从桥梁承载力“演变”的角度推动已建桥学科领域的理论发展和应用研究,还有待进一步拓展研发。

本书系在国家自然科学基金项目、西部交通科技项目以及重庆高等级公路建设投资项目的支撑下完成的,在桥梁通行能力评定的研究中首次提出桥梁承载力演变理论,对桥梁衰变损伤的承载力演变规律划分阶段作了初探。在对各阶段的科学内涵、性态特征、因素机理、模型构建及承载力量化分析基础上,融理论与应用于一体,形成了较完备的技术实施体系,对快速科学地评定和提升桥梁的使用功能以便于改造和利用,提供了系统的操作方法和手段,具有广阔的应用价值和前景。

参与本书撰写的人员有第1章、第5章:肖盛燮;第2章:彭凯;第3、4章:缪吉伦;第6章:曾小刚;第7章:王家林;第8章:彭凯、肖盛燮。全书由肖盛燮构思与编排。此外,刘山洪、赵静波、黄志堂、朱增辉等同志也参加了部分研究工作。

本理论与应用研究获得交通部西部办、重庆市交通委员会的项目资助并得到了李昌涛、张太雄、张建荣教授的大力支持;主研单位重庆交通大学唐伯明教授、王昌贤教授、向中富教授、周志祥教授、王平义教授等给予了热情关心与支持。值此,一并向悉心支持我们工作的有关单位、专家和同志们致以诚挚的谢意!

肖盛燮

2008年12月于重庆

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 国内外对桥梁承载力的研究现状	1
1.1.1 桥梁损伤主要因素及其机理分析	1
1.1.2 桥梁结构可靠性分析	2
1.1.3 现有桥梁性态常用评价方法	4
1.1.4 荷载试验与其他方法简介	5
1.1.5 研究展望及总结	5
1.2 对桥梁承载力演变规律的初步认识	6
1.3 桥梁承载力演变规律的阶段性探索	7
1.3.1 承载力耗散的基本性态及影响因素	9
1.3.2 承载力衰变的主要特征及影响因素	9
1.3.3 承载力溃损形成条件及表现特征	11
1.3.4 承载力提升的原理与策略步骤	12
1.4 演变理论的应用体系框格结构	12
1.4.1 体系格构的划分	12
1.4.2 桥梁适应性评价子系统框格	13
1.4.3 桥梁承载力评定子系统框格	13
1.4.4 桥梁技术改造比选方案子系统框格	13
1.4.5 桥梁通行能力评定与改造总系统框格	16
1.5 探索承载力演变理论的潜在价值与关键技术	18
参考文献	19
第2章 材料强度耗散对承载力的影响	21
2.1 材料初始缺陷和损伤简析	21
2.1.1 材料初始缺陷和损伤分类	21
2.1.2 混凝土内部的初始缺陷和损伤	21
2.1.3 钢材内部的初始缺陷和损伤	23
2.1.4 材料初始缺陷和损伤对桥梁承载力的影响	24
2.2 持续荷载下混凝土抗压强度耗散模型	24
2.2.1 混凝土长期抗压强度研究进展	24

2.2.2 混凝土抗压强度的徐变效应	25
2.2.3 混凝土抗压强度的龄期效应	27
2.2.4 持续荷载下混凝土抗压强度的时效模型	28
2.3 环境温湿度对混凝土持荷强度的影响	33
2.3.1 相对湿度对混凝土徐变的影响	33
2.3.2 相对湿度对混凝土时效强度水平的影响	34
2.3.3 温度对混凝土徐变的影响	37
2.3.4 温度对混凝土时效强度水平的影响	38
2.3.5 湿度和温度对龄期效应的影响	39
2.4 疲劳荷载下混凝土和钢材强度耗散模型	39
2.4.1 疲劳荷载下材料强度耗散的影响因素简析	39
2.4.2 混凝土及钢筋的疲劳性能及疲劳剩余强度	40
2.4.3 公路桥梁荷载谱分析	44
2.4.4 混凝土及钢筋强度疲劳耗散	48
2.5 材料强度耗散对结构承载力的影响	55
2.5.1 现行混凝土结构承载力计算方法	55
2.5.2 材料强度耗散对结构承载力的影响	56
2.5.3 桥梁承载力耗散时变效应	56
参考文献	57
第3章 桥梁结构损伤与承载力衰变	59
3.1 混凝土碳化性能及其对结构的影响	60
3.1.1 碳化反应的进展模式	60
3.1.2 影响混凝土碳化的因素	60
3.1.3 碳化深度预测数学模型	61
3.1.4 碳化深度预测神经网络模型	63
3.1.5 混凝土碳化性能及其对结构的影响	65
3.2 钢筋锈蚀及构件承载力折减	66
3.2.1 混凝土构件中钢筋锈蚀的类型	66
3.2.2 锈蚀钢筋混凝土的结构性能	66
3.2.3 锈蚀构件承载力计算	68
3.2.4 钢筋锈蚀起始时间预测	72
3.3 混凝土结构裂缝的形成及其影响	72
3.3.1 混凝土结构中裂缝的分类	73
3.3.2 非结构裂缝	73
3.3.3 结构裂缝	76

3.3.4 各种桥型常见损伤及裂缝一览表	81
3.3.5 裂缝对钢筋混凝土构件的影响	83
3.4 混凝土结构冻融与碱-集料反应	84
3.4.1 混凝土冻融破坏机理分析	84
3.4.2 混凝土冻融破坏影响因素	85
3.4.3 混凝土冻融破坏的防治	86
3.4.4 混凝土结构碱集料反应	86
3.5 桥梁结构损伤与承载力衰变的关系	87
3.5.1 桥梁损伤程度是承载力衰变状态的标志	87
3.5.2 对损伤度与衰变期时段划分的探索	89
3.5.3 结构剩余寿命及耐久性的历史状态判别	89
3.5.4 桥梁承载力衰变状态的综合评价模式	92
参考文献	97
第4章 桥梁承载力衰变的可靠度分析	98
4.1 桥梁结构的动态可靠度	98
4.1.1 结构可靠度	98
4.1.2 动态可靠度	99
4.2 桥梁构件抗力及荷载的不定性	99
4.2.1 构件抗力不定性因素分析	99
4.2.2 功能函数的建立	100
4.3 桥梁构件与桥梁系统可靠度分析	101
4.3.1 可靠度函数	101
4.3.2 构件可靠度的计算过程	102
4.3.3 桥梁系统可靠度分析	102
4.3.4 桥梁构件损伤模型	103
4.3.5 计算分析算例	105
4.4 应用神经网络和遗传算法预报桥梁可靠度	113
4.4.1 BP 网络模型结构与工作原理	114
4.4.2 基于 BP 神经网络的失效概率计算	116
4.4.3 遗传算法的基本原理	119
4.4.4 基于遗传算法的可靠指标计算实例	122
参考文献	124
第5章 桥梁结构的溃损破坏	126
5.1 混凝土桥梁材料强度破坏	126
5.2 混凝土桥梁失稳破坏	127

5.3 结构体系转化破坏	128
5.4 桥梁受灾害性荷载袭击的溃损破坏	129
5.4.1 洪灾对桥梁袭击的溃损破坏	129
5.4.2 地震作用对桥梁结构的破坏	130
5.4.3 风灾害对桥梁的破坏作用	132
5.4.4 结构共振对桥梁的溃损破坏	133
参考文献	133
第6章 桥梁承载力的提升改造	134
6.1 桥梁承载力提升策略	134
6.1.1 结构剩余技术寿命分析	134
6.1.2 承载力提升效益与失效损失分析	137
6.1.3 检测维修加固费用	138
6.1.4 承载力提升决策优化模型	139
6.2 桥梁承载力提升原理及方法	140
6.2.1 承载力提升的原则和要求	140
6.2.2 承载力提升的基本原理	143
6.2.3 承载力提升的技术改造方案	145
6.2.4 桥梁承载力提升方案选择	155
6.3 桥梁承载力提升方案优选及费用生成	156
6.3.1 桥梁加固方案多目标决策优选模型	156
6.3.2 承载力提升加固费用模型及自动生成	162
参考文献	165
第7章 荷载效应分析与系统程序	166
7.1 桥梁结构分析的变截面平面梁单元模型	166
7.1.1 任意变截面平面梁单元的有限元列式	166
7.1.2 双线性变截面梁单元的特征矩阵	171
7.1.3 算例及结论	174
7.2 平面梁单元复合技术	176
7.2.1 梁单元内任一点位移的分析	176
7.2.2 梁单元的复合	179
7.2.3 算例及结论	181
7.3 桥梁结构有限元分析系统	183
7.3.1 系统主要特点	183
7.3.2 系统主要功能	185
7.4 大件超载运输模式分析	189

7.4.1 静力影响线分析方法	189
7.4.2 动力分析方法	192
7.5 桥梁结构损伤与加固的有限元模拟	194
7.5.1 钢筋锈蚀的模拟	195
7.5.2 局部有效截面减小的模拟	196
7.5.3 裂缝的模拟	197
7.5.4 支座失效的模拟	198
7.5.5 桥梁加固的模拟	198
7.6 桥梁技术改造评价系统	198
7.6.1 桥梁适应性评价系统	198
7.6.2 桥梁承载力评定系统	201
7.6.3 桥梁技术提升比选系统	205
参考文献	209
第8章 实桥应用分析	211
8.1 古代拱桥受力特征分析	211
8.1.1 古代拱桥主拱圈线形特征	211
8.1.2 桥梁病害现状	212
8.1.3 按实测拱圈线形进行结构分析	213
8.1.4 按理想的圆曲线拱圈进行对比分析	216
8.2 新旧桥不同加宽效果对比剖析	219
8.2.1 对比实桥概况及加宽描述	219
8.2.2 实施不同加宽桥梁的主要病态表征	220
8.2.3 不同加宽桥梁横向布载特点分析	222
8.2.4 不同加宽方案的结构受力特征分析	225
8.2.5 新旧桥不同加宽的效果对比	237
8.3 典型环境对桥梁的损伤分析	238
8.3.1 桥头弯道对桥梁病害的影响	238
8.3.2 日照对桥梁混凝土碳化及钢筋锈蚀的影响	243
8.4 实桥改造经验的积累与检验	251
8.4.1 实桥研究内容及基本概况	251
8.4.2 桥梁病态的机理诊断	251
8.4.3 承载力测试的基本原则	257
8.4.4 理论分析与实验验证	260
8.4.5 实现承载力提升及其对策	272

第 1 章 概 论

1.1 国内外对桥梁承载力的研究现状

自 20 世纪以来,钢筋混凝土结构以其性能良好、造价经济的优点,在桥梁工程中得到了广泛的应用。无论是小型简支梁桥、拱桥,还是特大型的斜拉桥、悬索桥,设计时都优先考虑采用钢筋混凝土结构。然而在其运营过程中,钢筋混凝土桥梁将逐渐老化损伤,虽然其性能退化过程是逐渐的,但最后造成的结构损坏是突然和脆性的,具有高度的随机性和不可预见性,给安全预警带来相当大的困难。因此桥梁的病害诊断已经成为不可忽视的全球性工程灾害问题,从而引起了世界各国的极大关注^[7]。国内外学者自 20 世纪 80 年代开始,对结构的损伤演变进行了大量的理论探索与试验研究。本书对这些研究成果进行了全面的阐述,并在此基础上分析了今后研究发展的主要趋势。

1.1.1 桥梁损伤主要因素及其机理分析

引起桥梁结构损伤破坏的因素可分为以下三个方面:

1. 荷载作用影响

桥梁结构在使用过程中,要受到荷载作用(包括静力、冲击、疲劳、振动、地震等动力作用)。虽然在设计时有一定的安全储备,但运营中的桥梁往往超载运行,使失效概率增大;动载振动不但会加大按静力计算的内力,而且会引起结构局部疲劳损伤。对于风灾及地震的动力反应问题,文献[3]作了较为全面的阐述。近年来,我们进行了山洪对公路桥梁的破坏机理及计算模式的研究,针对形成洪水灾害的各物态对桥梁结构损伤破坏规律的试验,建立了预测桥梁在抗御洪灾异相耦合破坏作用下安全性的数学模型与智能仿真系统^[1,2];关于桥梁疲劳问题,目前国内外研究者认为,钢和组合梁桥必须考虑结构疲劳,钢筋混凝土结构可以不考虑,但有资料介绍对于钢筋锈蚀严重的钢筋混凝土桥也应考虑疲劳。传统的钢桥疲劳分析采用 $S-N$ 曲线分析方法,近 20 年来,基于断裂力学原理的分析方法在疲劳分析中发挥了重要作用。

2. 环境因素影响

环境包括自然环境和使用环境,环境中的腐蚀介质对结构有侵蚀作用。桥梁

结构的主要材料为钢筋和混凝土,对这两种材料的研究比较充分:

(1) 混凝土碳化研究

混凝土碳化是指环境中的 CO_2 与水泥石中的氢氧化钙等碱性物质发生反应的过程。前苏联学者阿列克谢耶夫等人根据 Fick 第一扩散定律及 CO_2 在多孔介质扩散和吸收的特点给出理论数学模型;希腊学者 Papadadis 等人根据 CO_2 及各可碳化物质在碳化过程中的质量平衡条件建立了偏微分方程^[12]。蒋利学等基于碳化机理建立了预测碳化深度的试验关系式。文献[4]在分析试验资料的基础上,建立了预测混凝土碳化深度的 BP 人工神经网络模型。同济大学还对碳化混凝土力学性能、抗火能力等进行了初步的试验研究^[10]。

(2) 混凝土中钢筋锈蚀的研究

氯离子、硫酸盐以及冻融循环等常导致钢筋锈蚀。20 世纪 80 年代初期,英国 Page 等在总结当时已有的研究成果基础上,全面阐述了混凝土保护钢筋的作用、混凝土碳化导致钢筋脱钝以及脱钝后钢筋腐蚀的机理,Gonzalez 对混凝土中钢筋脱钝锈蚀过程、钢筋锈蚀的影响以及钢筋锈蚀的极限速度进行了讨论。王庆霖等通过对现场截取的混凝土构件的黏结锚固拔出试验,给出了黏结力降低系数和锈胀裂缝宽度、保护层厚度、钢筋直径的关系式,并以锈胀裂缝宽度、钢筋截面裸露周长为参数,提出了顺筋开裂构件协同工作系数的计算式。在锈后钢筋混凝土构件承载力的计算方面,Roberto 定性分析了钢筋锈蚀对钢筋混凝土构件弯、剪、扭承载能力的影响机理。中国矿业大学进行了锈后钢筋混凝土梁的抗弯试验^[19]。文献[18]假设沿着梁跨度钢筋锈蚀量按抛物线分布,采用三维有限元分析了钢筋锈蚀对其承载力的影响。

3. 材料自身特性

在自然环境中,结构的材料随着时间的增长逐渐老化。混凝土发生碱-骨料反应,以及混凝土固有的收缩、徐变特性造成混凝土结构损伤累积导致其性能将逐渐发生退化。在混凝土本构关系方面,近期建立了多种本构模型:基于黏弹性-黏塑性的本构模型,基于内时理论的模型,以及基于断裂力学和理论力学的模型等。

在钢筋混凝土结构裂缝研究方面,文献[16]以钢筋混凝土梁式桥为例,通过室内模型试验,经回归分析及结构非线性分析,建立了以裂缝特征统计参数推测结构配筋率的方法。断裂力学也已经应用于裂缝问题研究,瑞典海德伯克提出虚拟裂缝模型,Z. P. Bazant 提出了钝裂纹带模型,蔡四维等基于断裂力学的原理,分析了混凝土的损伤断裂性能。

1.1.2 桥梁结构可靠性分析

对旧桥承载能力可靠性评定,就是通过对承载能力极限状态的分析,利用概

率论、数理统计等数学理论,计算出桥梁结构承载能力的可靠度、失效概率、可靠指标等评价参数,进而对桥梁承载能力进行评估。对既有桥梁结构可靠性的评估,目前的重点是在桥梁承载能力方面。影响旧桥承载能力的不利因素很多,并且具有非确定性、难以量化的特点。可采用的评估方法有:基于外观调查的方法、基于设计规范的方法、荷载试验法、基于专家经验的方法和基于结构可靠性理论的方法等。

1. 基于可靠度的结构构件承载力评估

钢筋混凝土构件结构性能的退化是一个渐进的过程,其可靠度是一动态值,一个构件的时变抗力 $R(t)$ 可以用初始抗力 R_0 及抗力衰减函数 $g(t)$ 表示

$$R(t) = R_0 \cdot g(t) \quad (1-1)$$

文献[18]考虑在服役过程中的耐久性损伤对构件承载力的影响,对服役结构构件抗力的动态可靠度进行了探讨。赵国藩院士等考虑抗力随时间变化,建立了与一次二阶矩法相协调的结构可靠度分析模型。文献[12]从抗力计算公式出发,利用测试、设计和施工等后续信息,采用贝叶斯定理对材料强度进行修正,得出旧有桥梁结构抗力分布参数。由于实际构件一般都经过多个因素的同时作用,一些学者建议在单因素预测模型的基础上,采用 Monte-Carlo 法建立在多因素综合作用下的抗力衰减过程分析模型。

在工程实践方面,美、英、加拿大等国先后颁布了基于结构可靠性理论的桥梁评估规范或文件。Chan 考虑钢筋锈蚀引起的抗力退化,将结构抗力看作 Gauss 随机变量,将荷载也看作 Gauss 随机变量,给出了结构体系可靠度时变模型;Corotis 等采用 Markov 决策过程和概率理论,建立了结构使用过程的失效概率动态模型;Enright 等人研究了钢筋混凝土桥梁的时变可靠度^[6,8,9,13],得到在 $(0, t_L)$ 时段的失效概率计算公式

$$F(t_L) = 1 - \int_0^\infty \exp\left[-\lambda t_L \left(1 - \frac{1}{t_L} \int_0^{t_L} F_s(r \cdot g(t)) dt\right)\right] f_{R_0}(r) dr \quad (1-2)$$

式中 $f_{R_0}(r)$ 为抗力初值 R_0 的概率密度函数。

2. 既有桥梁系统可靠度分析

结构可靠度理论的发展和应用,正逐步由结构构件转向结构系统。研究系统可靠度有助于结构更加合理、经济、可靠,也有助于设计者更好地了解结构的总体极限性能。

桥梁系统由梁、柱、板、桥台等组成,可由两个基本的子系统:串联系统及并联系统来模拟。例如对一串联系统的可靠度函数 $L_s(t_L)$ 为

$$L_s(t_L) = P \left[\begin{array}{ccc} \bigcap & r_1 g_1(t_1) > c_1 S_1 & \bigcap \cdots \bigcap & r_1 g_1(t_n) > c_1 S_n \\ \bigcap & r_2 g_2(t_1) > c_2 S_1 & \bigcap \cdots \bigcap & r_2 g_2(t_n) > c_2 S_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bigcap & r_m g_m(t_1) > c_m S_1 & \bigcap \cdots \bigcap & r_m g_m(t_n) > c_m S_n \end{array} \right] \quad (1-3)$$

式中 $c_i S_j$ 为作用效应; $g_i(t_j)$ 为衰减函数, 表示构件 i 的强度在时间 j 的变化; r_i 为构件初始强度。

文献[14]介绍了系统可靠度中两类寻找显著失效模式的方法, 即确定性搜索法和概率搜索法, 其中包括荷载增量法、RSR 法、分枝限界法、 β 分解法等, 以及估算结构系统可靠度的区间估计法和点估计法。Micic(1996)通过屈服线和塑性铰研究了钢筋混凝土梁-板桥的可能失效模式及系统可靠度, 并讨论了可靠度对不同活载和材料性质的敏感系数。

1.1.3 现有桥梁性态常用评价方法

1. 外观调查评定法

外观调查评定法在对桥梁现有状况检查的基础上, 对关键指标由专家作模糊分级, 并由专家给出指标的权重, 然后分级评分, 并加权求和, 得到评价结论。各国都制定了分级排序的国家标准, 基本方法大同小异。我国交通部颁发的《公路养护技术规范》、《英国公路桥梁监测优先权标准》、《美国公路桥梁缺陷分级标准》均采用此法。

2. 结构分析与实桥调查相结合的综合评价法

此种方法首先对被检定的桥梁结构进行检查, 然后将所得的资料和检验量测结果应用桥梁结构计算理论及有关的经验系数进行分析计算, 根据混凝土质量、裂缝宽度及结构的使用状况引入旧桥检算系数, 对抗力效应进行总体修正, 从而对桥梁的结构性能作出评价。该法亦称为旧桥检算系数法, 也是交通部标准《公路旧桥承载力鉴定方法》推荐的方法。这类方法还包括美国 AASHTO 评定法。

文献[4]基于模糊数学的原理, 将桥梁按结构体系的组成为三个层次, 引用传力树的概念建立构件权重集, 构造桥梁系统评判矩阵, 对桥梁损伤进行了模糊综合评定。

3. 专家或专家系统评价方法

专家评价法最典型的是特尔菲法, 它是通过无记名方式, 函询各专家的意见, 经过多次的反馈和处理, 将其变更减少到最低程度, 并得到一致结论。专家系统评定就是具有相当于专家和专家经验的水平, 以及解决专门问题能力的计算

机系统对旧桥承载能力评价。

1.1.4 荷载试验与其他方法简介

1. 桥梁荷载试验

桥梁荷载试验多用于新型结构的研究或实际受力状态不明确的桥梁评定研究。这种方法包括静、动载试验。将荷载作用在桥梁上指定位置而测试结构的静(动)应变、静(动)位移以及其他试验项目,引进检算系数 Z ,从而用承载能力极限状态公式进行检算。动力测定旧桥的快速评定法,它是通过桥梁的激振、数据采集和处理分析等一系列技术所获得的桥梁模态信息,如频率、阻尼、振幅等,来推断桥梁结构在荷载作用下的工作状态和使用能力。

桥梁荷载试验研究主要集中在监测识别系统及评判模式上。国外如丹麦的 Faroe 大桥、墨西哥的 Tampico 大桥、挪威的 Skamsundet 大桥都作了许多有关桥梁的检测尝试,国内香港的青马大桥、广州虎门大桥、上海徐浦大桥都在施工期间安设了监测设备。如对铜陵长江大桥(斜拉桥)进行了实时监控,开发了相应的实时监控软件。在诸多的检测方法中普遍的是无损检测(NDE)。目前已经启动了包括先进的桥面板检测系统、锈蚀探测和评估技术、疲劳裂纹探测以及评估系统等相关研究。

目前国内外学者普遍认为今后无损检测最有发展前途的一种方法就是结合系统识别、振动理论、振动测试技术、信号采集与分析等跨学科的试验模态分析法。对于结构整体监测就是通过体系的频率、振型等所谓“指纹”参数的变化进行结构整体的评价^[15]。

2. 其他研究方法简介

近年来,人工神经网络方法在各行业中受到了广泛的重视,在桥梁结构分析中也有初步应用。文献[15]介绍了基于 FRF 的损伤识别指标方法,包括静态模式法、动态模式法、神经网络法等,并对静态 RBF 神经网络法进行桥梁的损伤识别作了具体阐述。文献[11]以法国 Brotonne 桥和湖南岳阳洞庭湖大桥为工程背景,将遗传算法和人工神经网络这一类智能方法引入斜拉桥可靠度分析领域,并且将遗传算法和 BP 网络结合起来全面改进了响应面法。可以预见,这类方法在桥梁可靠度分析领域具有广泛的应用前景。

此外,其他一些适宜于处理随机性、模糊性的数学方法如灰色理论、马尔可夫分析法、统计外推法等也开始运用到桥梁损伤评估中来。

1.1.5 研究展望及总结

桥梁的损伤评估是桥梁工程发展的一个较新领域,是一项具有明显的技术意

义和经济意义的课题。目前对于桥梁损伤的研究取得了长足的进步,研究手段和方法越来越多样化。但是,旧桥的定量评价难度很大,这是因为,第一:由于桥梁遭遇损伤的自然条件千差万别,这些因素对桥梁的影响反映出既互相关联交错,又互相促进或制约;第二:承载力衰变的机理不同,影响结构抗力的因素众多;第三:桥梁结构形式的不同也使其受力性态各异,不可能用某种模式全面概括所有桥梁的结构性态。

目前存在的主要问题有:评估理论还不够先进、评估体系还不够健全、评估方法还有待更新和完善。今后研究的重点应该继续完善桥梁损伤演变理论:对于由材料到构件到结构系统各个层次承载力损伤的时变效应关系问题;对于结构整体或结构体系的可靠度问题,串联与并联体系相关系数的确定问题;对于多种失效模式的相互关系及其耦合作用与结构体系转化问题等都是亟待深入探索的前沿性课题。

1.2 对桥梁承载力演变规律的初步认识

桥梁建成后整个服役期,结构性能总是处于变化的过程中,其变化总的趋势是由新到旧、由高到低、由好到坏的减弱变化过程,且符合客观事物生存兴衰变化总势趋。变化的功能特征表现在桥梁结构的强度、刚度、稳定性、耐久性等物理力学性质的衰退;结构自身外部特征表现在结构变形增大、混凝土裂缝发育、混凝土表面碳化加剧、钢筋锈蚀加重、构件呈现损伤破坏等。

其变化原因可归结为结构承受力度与负荷作用效应之间的相互作用与适应性关系问题。这种关系体现在作用与反作用、外因与内因关系上。因为桥梁结构服役功能总体表现在承受使用荷载和抵御环境灾害破坏力方面,对于灾害的抵御极具随机性,需针对可能发生的灾害性荷载及其破坏力作用加以深入研究;而对于使用荷载的承受状况,随着国家国民经济的发展和人们物质文化生活水平的日益提高,对通行能力的需求呈迅速增长的发展态势,交通运输车重、车速提升,对公路技术标准的要求随之提高,由此而来,交通需求的增长与承载力衰变之间呈现的供需矛盾日益突出。然而,已建桥梁超负荷运作的外因,不断激发结构本身性能的衰变,当桥梁结构安全富余能力耗散之后,各种内部缺陷及诱发病态日益显露出来,在长期疲劳荷载与环境灾害作用下,结构逐渐衰变。结构承载力衰变和交通对承载力需求变化曲线如图 1-1 所示:

因此,桥梁结构病态表征是直接遭受外因作用引起结构性态改变的结果,“病态”和直接承受的“外因”就构成了作用与反作用的因果关系。这种因果关系反映了结构承载性质的衰变,它们必然存在对应的内涵关系,因此,通过病态表征,由表及里探索在负荷“外因”下的承载力衰变关系,将是符合事物客观变

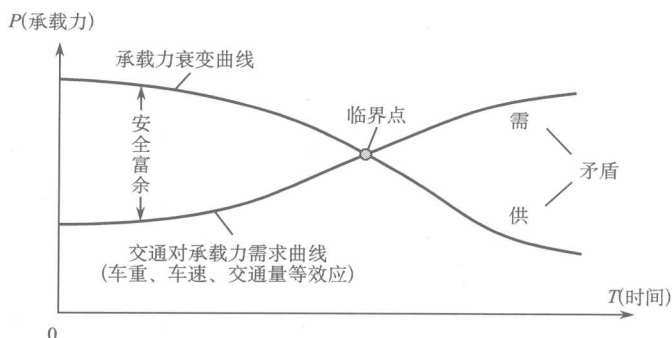


图 1-1 承载力衰变和交通对承载力需求曲线

化规律的可供遵循的有效途径。为此人们已在结构病态表征及其机理方面进行了较深入的研究，取得重要的阶段性成果。

1.3 桥梁承载力演变规律的阶段性探索

在路网改造中，网络线型布局及道路等级一经确定，其桥梁取舍亦随之确定。被利用桥梁的适应度则成为人们十分关注的课题，因为它们对路网交通起着咽喉控制作用。桥梁在路网改造中的适应性，即对通行能力的评定问题，从技术角度出发，主要体现在几何标准的适应性和桥梁结构承载性能的适应性两个方面。道路对几何标准的适应性，当等级一经确定后是容易取舍判定的；但桥梁承载力的适应性，通常需经过详细的结构现实状况调查，加载试验、结构分析与评价才能确定，这是人们所期盼和关注的技术鉴定问题。

在现有路网中，旧桥为数众多，评价和维护改造旧桥是道路运营管理过程中的重要环节。按现有桥梁承载力评定程序和方法，需要对待评的大量桥梁逐一进行加载测试，工作量巨大，不但难以有效实现且费用昂贵。因此，探索不单一依赖现场加载测试，而是通过常规病害调查和检测手段对有利用价值的大量旧桥进行快速承载力测评显得极为迫切和重要。通过对旧桥承载力进行全面系统的综合评定，可为旧桥技术改造和再利用提供依据和借鉴。

要客观而准确地对桥梁承载力进行评定，必须全面科学地建树桥梁承载力的理念。所谓桥梁承载力是指桥梁在服役期限内某一考察时刻对使用功能荷载和环境灾害性荷载的综合承受与抵御能力。由此，定义了桥梁在服役期限内不同时刻有不同的承载力，即承载力遵循着随使用年限而逐渐衰变的总体变化趋势；但若在某一时刻对桥梁实施技术改造，以使其结构性能得以改善和增强，则桥梁承载力将在改造后获得提升。

总之,桥梁承载力将随时间历经增减变化的过程和趋势。这种变化我们可以用“演变”来加以概括。因此,桥梁由建成投入运营直至加固维护和最终退役全过程承载力的变化理论,可统称为“桥梁承载力演变理论”。

新桥建成,按设计要求,将具有较高的安全储备,也即具有富余的承载力,但随着使用年限的推移,将开始呈现明显病态,在此过程中,富余的承载力被消耗掉了,这也是承载力变化的初期阶段,可以将这个阶段称为“承载力耗散阶段”;自桥梁出现病害直至旧危桥,对安全营运构成威胁之前的这个阶段是桥梁承载力衰减的中期,可将本阶段称为“承载力衰变阶段”;当桥梁在使用功能荷载或环境灾害性荷载胁迫下,丧失结构承载功能,或从根本上改变桥梁结构体系而成为危形结构,导致严重破坏和垮塌,这个桥梁垂危的短暂阶段,可以称为“承载力溃损阶段”;当对旧桥为满足使用要求加以再利用而进行技术加固、改造,从而提高了原桥的承载力,拓展了桥梁使用性能,可以将这个阶段称为“承载力提升阶段”。

各阶段递推和衔接关系如图 1-2 所示,各阶段演变势态如图 1-3 所示。

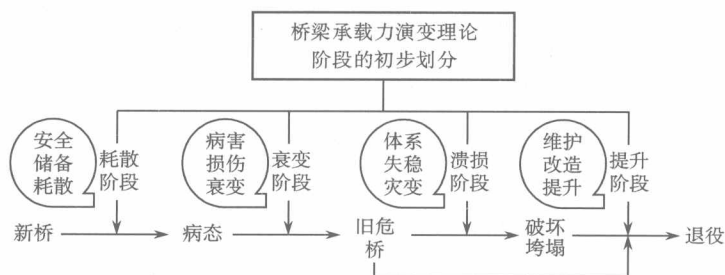


图 1-2 桥梁承载力演变过程示意

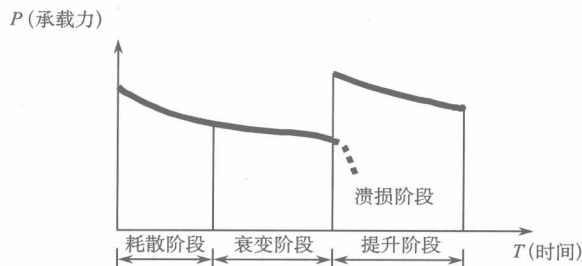


图 1-3 桥梁承载力演变趋势示意

对各个阶段的性态特征、影响因素、承载力度量、构模分析以及量化体系的形成将分别表述于后。