

Qiaoliang Weixiu Yu Jiagu

桥梁维修与加固

杨文渊

合编

徐 蔚

人民交通出版社

载力的鉴定以及桥梁养护等研究报告。1980年在巴黎和布鲁塞尔、1982年在华盛顿先后召开了关于旧桥问题的国际专题讨论会议，这些充分表明，由于大量重建新桥不但耗用巨额投资和人力、物力，而且需要时间，因此，各国都视旧桥为宝贵财富，力图通过修复加固，予以充分利用。

我国许多省市也都在开展这方面的工作，并取得了较好的成效。交通部从1983年以来，着重开展了旧桥的测试、承载能力的评定以及加固方法等科研工作，并多次召开了研究协作与交流会议。华东片区科技情报网也将旧桥加固补强列为重点内容。这是一项具有战略意义和现实意义的课题，是确保公路交通正常运行和促进“四化”建设的重要课题之一。

为了紧密配合对“桥梁维修与加固”工作的研究、试验及其实实施，我们比较广泛而有针对性地参考了国内外有关文献资料，结合近几年来实践，力图在本书内较系统地叙述有关公路桥梁维修加固的各个主要方面，以期能对公路桥梁设计、施工、科研及教学工作有所裨益。

全书共分12章，内容包括：概论，桥梁设计标准与地基承载力，桥梁的技术检验与评定，桥梁结构表层缺陷的维修，桥梁结构裂缝及其维修，梁式桥上部结构的维修加固，桥梁下部结构的维修加固，拱桥的维修加固，桥梁附属构筑物的维修加固，桥梁防护和抢修，超重车辆过桥的管理与加固措施，以及桥梁抗震及抗震加固等。

由于目前国内尚缺乏比较系统的有关桥梁维修加固的专著，因此，本书可谓抛砖引玉。限于水平，谬误不当之处，敬希读者惠予指正。

1985年12月

内 容 提 要

随着交通事业的发展,道路交通量愈来愈大,普遍发生桥梁承载力不足的情况。为此,迫切需要对旧桥进行维修与加固。本书集中了国内外这方面的最新资料。内容包括:桥梁的技术检验与评定,桥梁结构表层维修,梁式桥的维修,拱桥的维修,桥梁防护和抢修,超重车辆过桥的管理与加固,以及桥梁抗震及抗震加固等。

本书可供桥梁设计、施工、科研人员及大专院校师生参考。

桥梁维修与加固

杨文渊

合编

徐 桦

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 13.75 字数: 352千

1989年12月 第1版

1989年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001-2,400册 定价: 7.90元

前 言

随着工农业生产的不断增长，交通运输事业日益发展，公路交通在国民经济中的作用和地位，也愈来愈显著地为人们所重视。为了确保公路正常营运，必须加强对公路、桥梁的维修保养，为汽车提供安全、快速的行驶条件。特别是近二十年来，公路交通量不断增加，公路桥梁负荷日趋加重。由于推行拖挂运输和集装箱运输，故普遍存在桥梁承载力不足的情况，加之旧桥部分老化、破损或受原设计荷载标准的限制，矛盾比较突出。因此，在进行桥梁维修的同时，迫切要求对旧桥进行技术改造，尤其是采用加固补强方法来恢复、提高其承载能力，已成为公路养护与设计研究部门的当务之急。

我国公路桥梁虽然大部分是建国以后兴建的，桥龄一般在30年以内，病害问题尚未大量暴露，但值得注意的当前已有一定数量的桥梁发生老化、损坏现象，危桥逐年增多，承载能力明显降低。除按交通部1972年公布的设计标准，以及1982年以来按新标准荷载建造的桥梁，尚能基本满足近期交通要求外，在此之前特别是50年代后期和60年代建造的一些桥梁，大都发生荷载吨位不足，或是老化、破损、裂缝等现象。这一情况，不仅在我国各省市、地区不同程度地存在，在一些工业发达的国家，如美、日、西欧和北欧等国家，也严重存在。

桥梁是确保公路畅通的咽喉，其承载能力和通行能力更是沟通全线的关键。因此，对桥梁维修、加固补强，与如何提高其承载能力等问题的研究、试验和实践推广，引起了世界性的关注，且建立了国际性的专门机构从事研究。由西方24个国家参加的“经济合作与发展组织”（OECD）作出了有关桥梁的检查、承

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 公路桥梁维修加固的意义	1
一、桥梁维修加固的基本概念	1
二、桥梁维修加固的意义	1
第二节 桥梁维修加固的目的要求	4
一、确保桥梁工程的安全、完整、适用与耐久	4
二、掌握桥梁结构状况,完善基础资料,为维修加固提供必要条件	5
三、提高原有桥梁的通过能力与承载能力	5
第三节 桥梁维修加固的基本内容	10
一、桥梁维修养护中常见的问题	10
二、桥梁维修加固的工作内容	13
三、桥梁维修加固的工作步骤	14
四、桥梁维修加固的常用方法	14
第四节 桥梁的营运使用与检查	16
一、桥梁检查的种类	17
二、桥梁检查的主要项目	18
三、桥梁检查的装备	19
四、桥梁检查的记录	20
第五节 桥梁维修加固的特点	26
第二章 桥梁设计标准与地基承载力	31
第一节 公路桥梁设计荷载的演变	31
第二节 公路桥涵材料设计强度的演变	37
第三节 地基承载力及其修正提高	41

一、基本承载力	42
二、地基容许承载力的修正提高	44
第三章 桥梁的技术检验与评定	47
第一节 桥梁检定的目的与内容	47
一、桥梁技术检定的目的	47
二、桥梁检定的工作内容	48
第二节 桥梁检定的技术准备与试验布置	49
一、掌握基本资料,明确现实情况	49
二、制定试验方案,作好检定准备	50
三、根据试验方案,作好具体试验布置	51
第三节 桥梁结构的细部检查	56
一、桥梁的主要技术资料	56
二、桥梁现状的细部检查	56
三、材质及地基的检验	61
第四节 混凝土强度的测定及其影响	61
一、无破损检验法测定混凝土强度	61
二、挖取试样法测定混凝土强度	70
三、混凝土强度对桥梁结构的影响	70
第五节 墩台沉降与变位的观测	71
一、观测的目的	71
二、观测的内容与方法	72
三、观测时间及记录	74
第六节 桥梁静载试验	76
一、桥梁静载试验的具体测定内容	76
二、桥梁静载试验的量测仪器	77
三、静载试验	83
四、资料的整理分析与试验报告	87
第七节 桥梁动载试验	95
一、桥梁动载试验的内容	95
二、桥梁动载试验测试仪器	97

三、桥梁动载试验.....	100
四、资料的整理和分析.....	102
第八节 桥梁承载力的检定.....	106
一、分析计算法.....	107
二、荷载试验法.....	111
三、实物调查比较法.....	112
第四章 桥梁结构表层缺陷的维修.....	113
第一节 混凝土桥梁结构的缺陷.....	113
一、混凝土桥梁结构的缺陷.....	113
二、混凝土桥梁结构缺陷的产生原因.....	114
三、混凝土桥梁结构产生缺陷的危害.....	115
第二节 混凝土桥梁结构表层缺陷的检查分析与修 补.....	116
一、表层缺陷的检查分析.....	116
二、表层损坏混凝土的清除.....	117
三、表层缺陷修补的常用材料.....	117
第三节 混凝土桥梁结构表层修补的常用方法.....	123
一、采用混凝土的修补法.....	123
二、采用水泥砂浆的修补法.....	124
三、采用混凝土粘结剂的修补法.....	127
四、采用环氧树脂材料的修补法.....	129
第四节 桥梁结构钢筋的锈蚀与防治.....	132
一、桥梁结构钢筋锈蚀的原因及影响.....	132
二、桥梁结构钢筋锈蚀的预防.....	135
三、桥梁结构钢筋锈蚀的维修与实例.....	138
第五节 砖石桥梁结构的表层损坏及维修.....	142
一、砖石桥梁结构的表层损坏.....	142
二、砖石桥梁结构表层损坏的维修方法.....	143
第五章 桥梁结构裂缝及其维修.....	146
第一节 裂缝的产生及分类.....	146

一、砖石砌体的裂缝	147
二、混凝土构件的裂缝	147
第二节 桥孔结构的常见裂缝	150
一、钢筋混凝土简支梁的常见裂缝	150
二、预应力钢筋混凝土梁的常见裂缝	153
三、连续梁、刚架桥及拱桥的常见裂缝	155
第三节 桥梁墩台的常见裂缝	157
第四节 桥梁结构裂缝的修补	159
一、裂缝的检查及观测	159
二、裂缝修补必要性的判定及方法选择	162
第五节 桥梁结构裂缝的表面封闭修补法	166
一、填缝	166
二、表面抹灰	166
三、表面粘贴修补法	167
四、凿槽嵌补	169
五、表面喷浆	169
六、打箍加固封闭法	170
第六节 裂缝的压力灌浆修补法	171
一、水泥灌浆	172
二、化学灌浆	174
第六章 梁式桥上部结构的维修加固	185
第一节 梁式桥常见缺陷及其成因	185
一、梁式桥上部结构的常见缺陷	185
二、梁式桥缺陷的产生原因与种类	186
第二节 桥梁加固的常用方法	189
一、桥梁加固的一般原则	189
二、桥梁加固的常用方法	195
第三节 桥面铺装层的维修与加固	199
一、概述	199
二、桥面板的修补措施	199

三、桥面补强层加固法	201
四、桥面补强层加固法的施工	205
第四节 增大梁截面和配筋加固法	207
一、板梁桥增大截面和配筋加固法	207
二、T型梁增大截面和配筋加固法	209
第五节 预应力加固法	211
一、预应力加固法的基本概念	211
二、预应力拉杆加固钢筋混凝土梁板	213
三、预应力补强加固设计与应用实例	216
第六节 钢板粘贴补强和改变结构体系加固法	219
一、钢板粘贴补强法	219
二、改变结构体系加固法	222
第七节 增设纵梁加固及上部构造的拓宽改建	224
一、增设纵梁加固法	224
二、梁式桥上部构造的拓宽改建	226
第七章 桥梁下部结构的维修加固	231
第一节 桥梁墩台基础的缺陷	231
一、桥梁基础的缺陷	231
二、墩(台)身的缺陷	234
第二节 墩台基础的养护与维修	235
一、墩台基础的养护	235
二、墩台基础的维修	236
第三节 墩台基础的加固	240
一、扩大基础加固法	240
二、增补桩基加固法	241
三、人工地基加固法	243
四、钢筋混凝土套箍或护套加固法	245
五、桥台滑移倾斜的处理	246
第四节 墩台基础的旋喷注浆加固	247
一、旋喷法工艺类型与主要特征	248

二、旋喷法加固墩台基础的设计和施工	250
三、旋喷法加固墩台基础的应用实例	255
第五节 墩台基础的改建	255
一、墩台基础的加宽	257
二、墩台基础的加高	259
第八章 拱桥的维修与加固	265
第一节 砖、石拱桥维修加固法	265
一、砖、石拱桥的维修	265
二、砖、石拱桥的加固	266
三、砖、石拱桥的抢修和临时加固	273
第二节 双曲拱桥的维修加固法	275
一、双曲拱桥的常见病害	275
二、双曲拱桥的维修加固	276
第三节 桁架拱桥的维修加固	282
一、桁架拱桥的构造特点及类型	282
二、桁架拱桥的常见缺陷	283
三、桁架拱桥的维修加固	285
第四节 拱桥的拓宽改建与墩台基础加固法	287
一、拱桥的拓宽改建	287
二、拱桥墩台基础加固法	289
三、顶推法调整拱桥拱脚的水平位移	292
第九章 桥梁附属构筑物的维修加固	299
第一节 桥梁支座的维修加固	299
一、支座的作用与型式	299
二、支座的损坏及产生原因	299
三、桥梁支座的检查内容	302
四、支座的维修加固工作	303
第二节 桥面伸缩缝的构造与养护	305
一、桥面伸缩缝的构造	305
二、桥面伸缩缝的常见缺陷及产生原因	307

三、伸缩缝的养护与维修·····	308
第三节 栏杆及排水设施的养护维修·····	311
一、桥面栏杆的养护维修·····	311
二、桥面排水设施的养护维修·····	312
第四节 桥面及桥头引道的养护维修·····	314
一、桥面铺装层的养护维修·····	314
二、桥头引道的养护维修·····	317
第十章 桥梁防护和抢修·····	319
第一节 预防冲刷和局部防护·····	319
一、洪水的观测·····	319
二、水毁的预防·····	322
三、防冲处理与局部防护·····	323
第二节 洪水期的抢险·····	326
第三节 冰害的预防·····	331
一、冰凌和冻胀对桥梁的危害·····	331
二、冰害的预防措施·····	333
三、冰凌的爆破·····	336
第四节 临时施工便桥·····	340
一、木便桥·····	340
二、万能杆件拼装式便桥·····	344
三、工字钢梁便桥·····	346
第十一章 超重车辆过桥的管理与加固·····	351
第一节 超重车辆过桥的要求·····	351
一、超重车辆的种类和特性·····	351
二、超重车辆过桥的要求·····	359
第二节 超重车辆过桥的管理与加固措施·····	360
一、超重车辆过桥的管理措施·····	360
二、超重车辆过桥的加固措施·····	361
第三节 超重车辆过桥的验算方法·····	365
一、验算前的资料调查与收集·····	366

二、超重车辆过桥的各种验算方法·····	366
第十二章 桥梁抗震及抗震加固 ·····	377
第一节 地震震级与烈度·····	377
第二节 抗震设防标准·····	385
一、设防要求·····	385
二、设计烈度·····	386
三、可液化土的鉴定·····	387
第三节 地震对桥梁的危害·····	389
一、地震波及其传播·····	389
二、地震对桥梁的危害·····	390
第四节 桥梁震害基本规律·····	391
第五节 梁式桥的震害·····	393
一、刚性地基上梁式桥的震害·····	393
二、非刚性地基上梁式桥的震害·····	400
第六节 拱桥的震害·····	404
一、刚性地基上拱桥的震害·····	404
二、非刚性地基上拱桥的震害·····	406
第七节 桥梁抗震加固·····	407
一、桥梁抗震构造要求·····	407
二、桥梁抗震加固的原则·····	409
三、梁式桥的抗震加固·····	410
四、拱桥的抗震加固·····	410
五、墩台和基础的抗震加固·····	419
主要参考文献·····	423

第一章 概 论

第一节 公路桥梁维修加固的意义

一、桥梁维修加固的基本概念

本书所述桥梁维修加固工作包括日常养护维修、加固和改建三个内容。

养护维修是一项经常性的工作，一发现桥梁产生小的缺陷，就必须及时处理，由养护道班工人对缺陷进行修理。日常的养护维修对于防止缺陷的产生和扩大具有积极的意义。

加固是通过加大（加强）桥梁构件和对重大病害进行彻底整治来提高整座桥梁承载能力的措施。加固可以有各种不同的方式，视旧桥的使用要求及其荷载能力的降低程度而定。能长期保留加大桥梁建筑物承载能力作用的加固，称为永久性的加固；为了维持临时通车而采用的临时加固，称为临时性的加固。

对旧桥进行拓宽、升高桥面，改桥为涵、全部更换桥梁主要承重构件等工作一般称为桥梁的改建。

由于桥梁的加固与改建工作往往密切相关，加上习惯上的原因，因此，加固与改建工作习惯上没有进行严格的划分。本书中为叙述方便，也将遵照这一原则。

二、桥梁维修加固的意义

根据1982年全国公路普查资料，我国公路现有桥梁中危桥约占3.54%；而国道干线上的危桥约占2.4%。在现有桥梁中，除按1972年交通部颁布的《公路工程技术标准（试行）》和1982年以来按部颁《公路工程技术标准》（JTJ1-81）设计建造的桥梁，尚

能基本满足近期交通要求外，在此之前，特别是50年代后期及60年代的一些桥梁大都发生荷载吨位不足，甚至干线公路桥梁重车无法通过的情况时有发生。目前，在国道干线桥梁中，设计荷载等级在汽-10级以下者占5.4%。加之好些桥梁的桥龄较长，质量不高，有的桥面净宽不足；有的发生老化、破损、裂缝等情况；有的则由于其他工程施工影响（例如河道疏浚、在桥下或近旁的挖掘等）而引起破坏。因此，对这些桥梁，无疑地必须进行及时维修加固或改建。

上述情况，在一些工业发达的国家，如美、日、西欧和北欧等国家也很严重。

美国自1978年至1981年共用四年时间对全国公路桥作了调查。迄至1981年的统计，美国全国共有公路桥约566000座，调查报告中叙述了514 000座桥的现状。这些桥梁中有40%以上（超过200 000座）都有不同程度的损坏；98 000座桥梁结构强度降低，应停止或只能限载通行；102 000座桥梁车行道太窄、桥下净空不够或承载力不足。由于桥梁的陈旧老化，弃养失修，塌桥事故不断发生，给美国经济发展和人民生活带来了极其不良的影响。

日本在70、80年代，汽车运输急剧发展，汽车日益大型化、重型化，交通量逐年增加，给现有公路桥梁造成了越来越大的压力。1956年以前按旧标准设计施工的桥梁，其承载力更感不足。据统计，这类桥梁约有5 500座，其中普通混凝土桥约有4 500座。

联邦德国于1978~1979年两年内，对一个州内的1 500多座钢筋混凝土和预应力混凝土公路桥作了全面检查，发现桥龄在50~60年的钢筋混凝土桥中，有27%的桥梁其上部结构至少有一处严重损伤，64%有至少有一处重要损伤，77%至少有一处中等损伤。30~35年桥龄的钢筋混凝土桥中，有13%的桥梁上部结构至少有一处严重损伤，37%至少有一处重要损伤，53%至少有一处中等损伤。20~30年桥龄的，有8%的上部结构至少有一处严重损伤，24%至少有一处重要损伤，46%至少有一处中等程度损

伤。而预应力混凝土桥的损伤情况比钢筋混凝土桥更严重，20～30年桥龄的预应力混凝土桥，有将近50%的桥梁上部构造至少有一处重要损伤，其中2/3至少有一处中等损伤。

美国为了使现有桥梁达到高速公路的桥梁标准，对不少桥梁进行改造加固。为了提高现有混凝土桥梁的承载能力，英国运输和道路研究所，专门进行了桥梁加固试验。

印度在近20年间，随着交通量和车辆载重的增加，对国道上承载力较低的桥梁都进行了加强，并对能够承受荷载等级较高的桥梁进行了加宽。

1981年4月由联合国经济合作与发展组织（OECD）主持召开了关于“道路桥梁维修与管理”的会议，会议提出如下六个方面的问题要求加以研究。

- 1.如何正确评价现有桥梁的实际承载能力与安全度的问题；
- 2.如何及早地检查发现桥梁产生的损坏及异常现象，正确地检定结构物的损坏程度，从而采用合理的维修加固方法问题；
- 3.桥梁损坏与维修加固的实际应用问题；
- 4.桥梁维修加固技术，即采用维修加固新的技术与方法问题；
- 5.桥梁设计与维修管理的关系，即如何把维修加固中发现的问题，放到今后桥梁设计上进行考虑的问题；
- 6.桥梁维修加固的未来展望，即维修加固方法将来会怎样发展，如何提出更合理的维修管理方法与策略的问题。

由此可见，对旧桥、危桥的加固维修，以及如何提高其承载力的问题研究、试验与推广，已经引起了世界性的关注。很多资料还表明，当前有些交通发达的国家，桥梁建设重点放在旧桥加固与改造方面，而新建桥梁已降为次要地位。

我国公路桥梁大部分为建国后所造，桥龄一般在30年以内，病害问题尚未到大量暴露之时，但值得引为注意的是目前已有不少桥梁发生老化、破损、裂缝等现象，危桥逐年增多，荷重能力明显下降。随着公路交通的发展，汽车保有量与国民经济的同步

上升，公路客货运输量不断增长，对公路提供安全、快速、重载行驶的要求也越来越高。桥梁是确保公路畅通的咽喉，其承载能力和通行能力又是贯通全线的关键。为免蹈工业发达国家的覆辙，有计划、有步骤地突出重点，及时加强对现有桥梁进行调查、研究，区别情况，分析损坏原因，采取相应的维修加固措施，检验评定旧桥承载能力和提出提高桥梁荷载等级的有效方法，从实践中取得成效，以充分发挥经济效益和社会效益，确保公路交通正常运行这应是我国公路建设发展中具有战略意义和深远影响的迫切任务。

第二节 桥梁维修加固的目的要求

桥梁建成后，为确保正常运营，必须加强经常性的检查养护与维修。随着公路交通运输事业的发展，公路交通量和大吨位车辆不断增加，因此要求通过对原有桥梁进行合理而有效的加固，来提高通过能力和荷载标准。桥梁维修与加固的目的要求主要是：

一、确保桥梁工程的安全、完整、适用与耐久

桥梁结构物经常遭受风、雨、水流（包括洪水、冰凌）的侵袭，温度、湿度变化的影响，甚至遭到地震的破坏；遭到车辆通过时的冲击及机械轮胎的磨耗；通航河道上的桥梁，还往往受到船只的碰撞；在特定情况下，有时还会出现某些工程项目的施工，在桥梁周围频繁进行，从而危及桥梁安全。所以，桥梁在运营使用过程中，难免不发生病害或损伤。一旦发生病害或损伤，就要及时进行维修。小坏小修，随坏随修，防止病害扩大，确保构造物的安全与完整。相反，产生病害后不及时维修，由于病害的逐渐扩大，不但导致桥梁建筑物的提前破坏，甚至可能发生塌桥事故。桥梁的适用性与耐久性遭到破坏，势必影响公路运输的畅通，给国家与人民带来重大损失。例如，某市一大桥系6孔双曲拱桥，全长412m，最大跨径（主航道跨）65m，为该地区最大的

一座桥梁。该桥于1977年竣工后，经省、地有关单位组织验收合格，并未发现问题。经过六年之后，至1983年1月30日，一行路人路过该桥时，一块人行道板突然断裂，连人带板摔到桥下20余米深的岩石上，当场死亡。同年3月21日，当地一农民路过大桥时，刚刚踏过的人行道板又突然断裂，落到桥下，由于走的快，且已踏前了一步，幸免坠落。经查全桥一半以上的人行道板底部跨中附近位置都有裂缝，裂缝最大宽度达5mm，随时都有再断裂的可能。实例表明，对现有桥梁进行检查与维修管理是不可忽视的。及早发现人行道板断裂，及时采取措施完全可以防止人身事故的发生。

二、掌握桥梁结构状况，完善基础资料，为维修加固提供必要条件

为了对桥梁进行养护维修管理，必须掌握有关桥梁设计文件、施工记录、质量检验、竣工验收以及运营状况记录、检查记录、维修加固记录等技术资料。但有的桥梁由于建造年限较长，历经各种社会变迁，或者由于其他原因，致使技术资料不全，甚至荡然无存。因此，在桥梁的维修管理过程中，必须采用各种调查和测试手段，建立和完善必要的档案资料库。资料库为桥梁营运使用及维修加固工作创造了有利条件，可为合理安排现场检查和决定加固方案提供可靠依据。对整个公路管理部门来说，桥梁技术资料也包括进行桥梁维修加固时的必要记录，特别是桥梁承载力的检定及其现状的掌握，十分重要。

三、提高原有桥梁的通过能力与承载能力

对于中小型公路桥梁，若地基可靠，墩台承载能力足够则可以在不加筑基础的情况下，对桥台、桥墩进行拓宽加固，从而增加桥面行车道的宽度，达到提高车辆通过能力的目的。对于原设计荷载等级较低，不能满足通行重车的桥梁，可根据实际情况，采用各种加固方法对旧桥加以改造。通过改造，使原有桥梁