



桥梁

加固设计 施工技术

刘来君 赵小星 编著
贺拴海 审校



人民交通出版社

China Communications Press



桥梁

加固设计与 施工技术

QIAOLIANG JIAGU SHEJI YU SHIGONG JISHU

刘来君 赵小星 编著
贺拴海 审校



241564/58



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书结合桥梁加固设计与施工实践,系统论述了桥梁加固设计与施工的基本理论和方法。内容包括:桥梁缺陷检测与评估原则,钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、体外预应力混凝土结构的加固设计与计算,混凝土梁桥、拱桥、桥面及附属设施、下部结构缺陷及其产生的原因,桥梁结构加固补强方法,桥梁缺陷检测技术等。书中还列举了桥梁检测及加固示例,理论与实践相结合,便于读者参考。

本书可供从事桥梁加固设计、科研和施工的技术人员及大专院校师生阅读参考。

本书可与由宋一凡编著的《公路桥梁荷载试验与结构评定》配套使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁加固设计与施工技术/刘来君,赵小星编著.

北京:人民交通出版社,2004.3

ISBN 7-114-04967-6

I. 桥... II. ①刘... ②赵... III. ①桥-加固 ②桥梁工程-工程施工 IV. U445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 009810 号

桥梁加固设计与施工技术

刘来君 赵小星 编著

贺拴海 审校

正文设计:彭小秋 责任校对:张莹 责任印制:张恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

三河市宝日文龙印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:350千

2004年3月 第1版

2004年3月 第1版 第1次印刷

印数:0001—5000册 定价:28.00元

ISBN 7-114-04967-6

前 言

随着我国公路交通事业的迅猛发展,公路交通量不断增加,超载重车辆不断出现,公路桥梁负荷日趋加重。公路旧桥,特别是我国 20 世纪 60~70 年代修建的桥梁,普遍存在承载能力不足的问题。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,采用适当的加固设计方法和施工技术,提高其承载能力,改善其行车性能,延长其服务年限。实践证明,采用适当的加固技术和拓宽措施,对恢复和提高旧桥的承载能力及通行能力,延长桥梁的使用寿命,以满足现代化交通运输的需要,是可行的。

旧桥加固改造技术是针对正在使用的旧桥进行检测、评价、维修、加固或改造等技术对策的总称。自 20 世纪 70 年代始,我国着手对旧桥加固改造技术进行研究。在“六五”计划期间,对公路旧桥的检测、评价和加固方法进行了广泛的研究和工程实践,并取得了良好的社会效益和经济效益。“七五”期间,交通部适时地将“旧桥检测、评价、加固技术的应用”列为 1989~1990 年科技进步“通达计划”项目,交通部科技情报所具体组织推广。此举极大地推动了公路旧桥加固、改造技术研究,因此,在公路旧桥承载力的检测、评定、加固改造技术和施工工艺等方面都取得了许多宝贵经验。研究延长既有桥梁使用寿命的方法,力求加以充分利用,使有限的建设资金用于当前急需的工程,是一项十分重要的任务,应当提到各级公路管理部门的议事日程。所以,“十五”期间乃至更长一段时间,大力开展旧危桥加固、改造利用工作,将是全国各级公路交通部门义不容辞、光荣而艰巨的任务。

本书作者在广泛收集国内外有关文献资料,并结合近几年来主持和参与公路旧桥检测、评定、加固、拓宽设计和施工等实践经验的基础上,较系统地阐述了桥梁加固设计与计算方法,桥梁结构缺陷及其产生的原因,桥梁缺陷加固补强方法,桥梁缺陷检测技术,并对几座旧桥检测及加固示例进行了分析。

本书共分六章。其中第一、二、三、四章由长安大学刘来君编写;第五、六章由长安大学赵小星编写。全书由长安大学贺拴海教授审校。书中插图由研究生李文华、白浩、刘泽欣、吴士义绘制,本书编写得到了众多同事的大力协助并参考了大量文献,不论书末是否列出,在此一并致谢。

我们期望本书的出版既能反映国内桥梁加固设计与施工技术成功经验,又能展望国内外发展状况及前景,从而对桥梁检测、评定、加固、设计及施工等工作有所帮助。限于作者水平,书中疏漏及不足在所难免,恳请读者和同行批评指正。来函请寄长安大学公路学院(邮编:710064)。

作者

2003 年 8 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 桥梁加固技术研究的意义	1
第二节 桥梁维修加固的特点	3
第三节 桥梁加固的基本内容	4
第四节 桥梁加固常用的方法	7
第五节 桥梁缺陷检测与评估原则	9
第二章 桥梁加固设计与计算分析	11
第一节 钢筋混凝土结构加固设计与计算	11
第二节 预应力混凝土结构加固设计与计算	30
第三节 体外预应力混凝土结构加固设计与计算	35
第四节 其他加固方法设计与计算	48
第三章 桥梁结构缺陷及其产生的原因	50
第一节 概述	50
第二节 混凝土梁桥结构缺陷及其原因	52
第三节 拱桥结构缺陷及其原因	66
第四节 桥面及附属设施缺陷及其原因	69
第五节 桥梁下部结构缺陷及其原因	74
第六节 索桥结构缺陷及其原因	78
第四章 桥梁缺陷加固补强方法	81
第一节 桥梁结构表层缺陷的维修	81
第二节 桥梁结构裂缝的维修	90
第三节 梁式桥上部结构的维修加固	96
第四节 拱桥的维修与加固	108
第五节 桥梁下部结构的维修加固	113
第六节 桥梁附属构筑物的维修加固	121
第五章 桥梁缺陷检测技术	125
第一节 概述	125
第二节 混凝土结构强度的检测方法	125
第三节 钢筋状况的检测方法	137
第四节 其他桥梁检测方法	146
第五节 桥梁荷载试验	148
第六章 桥梁检测及加固示例	167
第一节 钢桁架桥检测及加固示例	167
第二节 双曲拱桥检测及加固示例	196
第三节 钢筋混凝土连续梁桥检测及加固示例	205
参考文献	217

第一章 概 述

第一节 桥梁加固技术研究的意义

近 20 多年来,我国公路建设事业蓬勃发展,公路的通行能力和服务水平进一步得到改善和提高,尤其是“九五”以后,国家进一步加大了基础设施建设投资,公路面貌日新月异。但是,我国幅员辽阔,就整个公路网络而言,在国民经济整体中,公路交通基础设施的“瓶颈”制约因素,并没有得到根本的缓解。在现有的公路上,数以万计的旧桥,因设计荷载标准低,年久失修,缺乏保养,正在逐步成为危桥,成了不断提升技术等级的公路上的卡脖子路段。

我国在 20 世纪 60~70 年代修建的桥梁,设计荷载标准较低,而且大部分公路和桥梁仍在服役,已不适应交通量日益增长的需要,因此,旧危桥加固、维修任务十分繁重。全部重建的思想既不现实,也不科学。实践证明,采用适当的加固技术和拓宽措施,对恢复和提高旧桥的承载能力及通行能力,延长桥梁的使用寿命,以满足现代化交通运输的需要,是可行的。这样做一是能节省大量投资,收到良好的社会效益,特别是对贫困省份来说,尤为重要;二是通过维修和改造旧桥,可以消除安全隐患,这是提高公路通行能力和服务水平的有效途径,亦是检验公路部门管理养护水平的重要标准。

旧桥的加固、维修工作应当说是一项技术上可行、经济上合理的举措,但也存在许多实际困难,如旧桥原始资料难以查找,缺乏资金和成熟的技术支持,使得旧桥加固工作难以开展。究其原因,一是对旧桥加固持有不同认识,一些人认为“加固老的,不如建座新的”,费力不讨好,体现不出政绩;二是加固旧、危桥比建新桥繁杂,技术难度大,而设计费和施工造价都偏低。由于旧桥加固就像给危重病人动手术,风险很大,且利润不高,而每座桥的情况又是千差万别,通用性差,使得有能力的勘察、设计、施工单位不愿介入,于是造成加固、改造旧桥有行无市的局面。

然而,随着我国高速公路的建设和发展,将逐步建成全国干线和高速公路网络,其中原有的公路将发挥干线到支线、到各地分散物流的重要作用。因此,研究延长既有桥梁使用寿命的方法,力求加以充分利用,使有限的建设资金用于当前急需的工程,是一项十分重要的工作,应当提到各级公路管理部门的议事日程。所以,“十五”期间乃至更长一段时间,大力开展旧危桥加固、改造利用工作,将是全国各级公路交通部门义不容辞、光荣而艰巨的任务。

美国自 1978 年至 1981 年共用 4 年时间对全国公路作了调整。截止 1981 年统计,美国全国共有公路桥约 566 000 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)都有不同的损坏;9 800 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极其不良的影响。

日本在七、八十年代,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。

前联邦德国于 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做了全面检查,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% 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% 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伤及异常现象,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,即采用维修加固新技术与方法的问题;
- (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。旧桥加固改造技术,是针对正在使用的旧桥进行检测、评价、维修、加固或改造等技术对策的总称。据日本有关统计资料表明,结构建筑物(包括公路桥梁)在投入使用后一般分两个周期对其承载能力和使用性能进行检测、评价,一是投入使用后约 20 年,称为小周期;二是约 60 年左右,称为大周期。小周期对结构进行检测的目的是:确保结构建筑物处于完好的技术状态;大周期是对结构建筑物进行鉴定,判定其使用状态,以便做出相应的对策。近十几年来,我们进行旧桥检测、评价和加固技术的研究,主要针对 20 世纪 50~80 年代修建的公路桥梁,其中大部分是钢筋混凝土梁桥和双曲拱桥,目的是对这些桥梁使用状况作出符合客观实际的判断,从而制定出相应的技术加固或改造措施。

自 20 世纪 70 年代始,我国着手对旧桥加固改造技术进行研究。在“六五”计划期间,对公路旧桥的检测、评价和加固方法进行了广泛的研究和工程实践,并取得了良好的社会效益和经济效益。“七五”期间,交通部适时地将“旧桥检测、评价、加固技术的应用”列为 1989~1990 年科技进步“通达计划”项目,交通部科技情报所具体组织推广。此举极大地推动了公路旧桥加固、改造的技术研究,因此,在公路梁桥和拱桥等旧桥承载力的检测、评定、加固改造技术和施工工艺等方面都取得了许多宝贵经验,有不少旧桥加固、改造的成功范例。

第二节 桥梁维修加固的特点

1. 维修加固的标准与设计时所采用的标准不同

由于旧有建筑物的存在,以及未来使用年限要求不同,桥梁加固或改建的标准不可能与设计时所采用的标准完全相同。比如,旧桥的荷载等级假设是汽车—13级,而经加固后,其荷载等级会提高。故应在保证行车安全的前提下,根据使用要求和耐久性要求的具体情况,正确地掌握和提出加固或改建的有关标准要求。

2. 维修加固的难度比新建桥梁大

维修加固桥梁建筑物的工作必须在不妨碍交通的条件下进行,因此,往往会增加不少困难。即使会使施工产生困难,也必须尽量照顾交通。为此,在桥梁维修加固工作中,应从设计上和施工组织上采取有效措施,尽量减少对交通的影响。

维持交通或尽量减少对交通的影响,可采用如下的措施:

(1)做好维修加固作业计划。为提高施工效率,加快维修速度,应预先制订出作业计划。制订计划时,要事先做好调查研究工作,并根据过去维修加固工作的经验,充分研讨,然后按照施工力量以及工程量的大小制订出施工作业计划。常用桥梁维修加固作业计划有日计划、月计划。

(2)采取半边施工半边维持交通,即间断通车的措施。采用此法维持交通时,施工都应尽可能安排在交通量较少(如夜间)的时候进行。

(3)搭设便桥维持交通。这种方式由于费工费时,并增大费用,因此只有在现场条件困难,非常必要时才采用。

(4)利用绕道通行,设立交通标志的方法维持交通。

3. 桥梁的维修加固应充分利用原有结构

桥梁的维修加固,应在对原结构进行周密、细致检查评定的基础上,合理利用原有结构,能不更换原有结构的就不更换,能利用旧桥的,要充分利用。

4. 桥梁维修加固比新建桥梁有更好的经济效益

桥梁在营运使用过程中,或者由于某种原因而产生较大损坏,承载能力降低;或者,随着交通运输的日益繁忙,桥梁承载能力和通过能力不能满足要求。解决旧桥承载能力和通过能力不足的问题,通常有两种方案可供选择:一是拆除旧桥后重建新桥的重建法和换下全部旧桥主梁、架设荷载等级高的新梁的换梁法;另一种是采用各种加固措施,或除采取加固措施外,同时对旧桥加以拓宽的加固法。前者施工费时、费力,且造价较高,后者所需费用节约很多,一般仅为建造新桥的1/10~3/10。

可见,采用维修加固提高桥梁承载能力和通过能力,是提高现有桥梁经济效益,节省投资,减少人力、物力的重要途径。

加固法与重建法的技术经济比较,可从施工工程量、施工工期、施工经费三个方面进行对比分析。

例如某桥原设计荷载为汽车—13级、拖车—60,车行道为净—7m(五根梁),梁长14m。现增加两根中梁,并对两根边梁、三根中梁采取加固补强措施,从而达到提高荷载等级,并拓宽为净—9m,提高通过能力的目的。从分析可知,加固法其工程量节约近50%。工程工期也仅为重建法的50%,工程费用也仅为重建法的30%。

5. 桥梁维修加固施工更要注意安全

桥梁维修加固施工是在荷载存在的情况下进行的,因此必须保证施工每一阶段结构的安全。特别是混凝土的修理、凿毛和拆换部分受力构件,均应做出分析评定。必要时,在施工中要加强观测,并采取有效的安全措施等。

6. 桥梁维修加固方法很多是新的施工工艺

由于桥梁维修加固工作是一项新出现的技术,许多施工工艺是全新的,因此,其工艺的可靠性、可行性、合理性、耐久性等必须经过反复的科学试验和实践论证且需经受时间的考验。只有在车辆的反复作用下,才能充分验证是否获得了预期成效。通过大量实践,进一步探求其规律,为改进新工艺奠定基础。

第三节 桥梁加固的基本内容

1. 桥梁加固的原因

(1)桥面不平、不洁。由于缺乏经常性的维修养护,在车辆轮胎的不断作用下,许多桥梁的桥面板易产生破坏,特别对于已使用数十年以上的旧桥,或用沥青材料铺装的桥面最易遭到损坏。

桥面不平整对行车的影响,轻则使行车有轻微颠簸,重则产生跳车,以至不得不低速行驶。在简支梁的梁端接头处和挂梁的悬臂挂梁支点处的填缝材料,由于缺乏养护而产生脱落,且遭受车辆的磨耗,从而出现较大沟槽,这是引起跳车的主要原因。

当车辆经过跳车处时,即会引起临近梁段的严重振动,从而增加构件的疲劳。若对此不加以改善,势必将缩短桥梁的使用寿命。

桥面上因长期无人清扫、整理,桥面不清洁,泄水孔堵塞,这一问题在许多中、小型桥梁中普遍存在。

桥面上不清洁往往体现在护轮带下积存垃圾、泥土污物,形成三角形硬块,造成泄水孔被堵塞,下雨时桥面产生积水,车辆过桥时泥水飞溅,影响通行能力。

(2)桥面栏杆破损、不完整。桥面栏杆损坏后,没有及时维修恢复,在许多失养的公路线上都能看到。

造成桥面栏杆局部损坏的原因,绝大多数是机动车交通事故造成的,部分是因为车辆上载有长大笨重的货物在桥上行驶时不慎碰坏的,少数是人为碰损或盗窃所致。

桥梁栏杆损坏,如不及时修整,不但影响美观,更重要的是使桥上交通缺乏安全感。

(3)桥头产生跳车。由于桥头引道高填土产生不均匀沉降,致使许多桥梁桥面与引道路面衔接处不够平整、顺适,从而使车辆驶过桥头时,产生轻微或严重跳车。

桥头跳车不但影响车速,降低行车质量,而且也会影响桥梁使用寿命,严重的跳车甚至导致汽车弹簧钢板折断。

(4)桥梁构件小的损坏未及时维修。桥梁在交付使用后出现的空洞、裂缝、沉陷、变位等毛病在日常维修养护中缺乏经常检查与及时修补,致使钢筋锈蚀,小裂缝发展成大裂缝,活动支座失去活动能力,混凝土脱落等。

对桥梁下部的墩台、锥坡、护岸,上部构件的背面极少巡视查看,因此问题不能及时发现,汛期抗洪能力极差,易遭到水毁,所以有的桥梁“小病不治酿成大病”。

(5)桥孔通水不畅,通航净空不足。不少中小桥的桥孔水流不畅,桥孔附近河床淤塞。位于城镇郊区和工厂附近的桥梁,由于排放大量生活污水和工业废水,使桥孔淤塞更为严重。

桥孔淤塞后,在日常维修养护工作中又没有适时地清理疏导河道,汛期也很少做这种泄洪准备工作,因此汛期一到,桥孔泄洪能力差,有些桥会被洪水冲垮。

(6)桥梁承载能力不足,危桥情况不明。现有公路上的桥梁是在不同的时期按不同的技术标准修建的,因此其承载力显然不同。特别是对于建国前建造的桥梁,其标准与现有通行车辆轴重不相适应,显得过低。加上近年来,由于超重车辆越来越多,对桥梁承载能力的要求也就越来越高。桥梁承载能力不足是当前桥梁维修加固工作中的主要问题。

对一些承载能力确实过低,或遭受严重破坏,已不能正常发挥作用的桥梁,其承载能力受到限制,可定为“危桥”,应对车辆通行加以限制。然而往往对这部分“危桥”缺乏必要的调查研究,其危险到什么程度,能通过多大质量的车辆不甚明确。

(7)路宽桥窄,形成“瓶颈”,影响通过能力。许多桥梁由于建造年限较长,标准较低,桥面窄小。在公路的维修改建中,往往路面拓宽,而桥梁没有相应拓宽改建,形成“瓶颈”,既影响通过能力,又增加行车的危险性。

(8)桥梁荷载标准不明,以致产生错误和混乱。桥梁两端必须设置荷载标志,特别是对于交通繁忙、常有大件运输的干线公路上的某些桥梁,应设置限制轴重标志,以提醒过桥车辆的驾驶员注意。然而一些桥梁由于年久失修,资料丢失,或资料虽齐全,但对设立标志不重视,所以在许多桥梁中没有按规定设立荷载标志。

由于桥梁建造的年代不同,其荷载标准也不同,而且桥梁的设计荷载标准变化频繁,如果对桥梁技术档案资料不重视,往往还会出现把桥梁荷载标准搞错或设置标志不明确的问题。

上述是桥梁维修加固中容易出现的主要问题,其他可能发生的特殊情况或问题,也必须予以必要的重视。

2. 桥梁加固工作的内容

1)桥梁的养护维修

桥梁的养护维修是指经常性的养护管理工作,其内容包括:

(1)桥梁构造物的小修小养。

①保持构造物表面的清洁完整,防止表面风化,及时清理风化部分。

②保持排水设施处于良好状态,清除排水管内堵塞的泥土,防止砌缝砂浆漏水,清理锈蚀部分。

③经常检查各部分有无病害发生,当发现圯工上有裂缝、小洞、剥落、缺角、钢筋外露等局部缺陷或表面损伤时,必须及时修理。

④保证伸缩缝装置能够自由活动,消除影响支座活动的障碍物。

⑤对混凝土桥进行防腐处理,对钢梁涂防锈油漆等。

(2)定期对桥梁结构物进行检查,并评定其实际的安全承载能力,确定其损坏的程度。当发现桥梁结构产生异常或损坏时,要分析其产生的原因,判断损坏对结构使用的影响,说明维修加固的必要性,并对修补加固方法进行比较选择。发现异常时则必须及早维修,若损坏严重,则必须调查原桥的损坏程度、历史状况,现场具体条件、特点,现在及将来交通运输对桥梁宽度、设计荷载的要求,公路发展规划等方面的资料后,对旧桥维修加固方案与部分或全部改建的方案进行经济比较,通过成本-效益分析,作出决策,选择最优方案。

(3)超重车辆或履带车不得随意通过现有桥梁,通过时必须经过公路管理部门的许可。因此,做好超重车辆或履带车过桥的管理工作,也是桥梁养护维修的一项不可缺少的工作内容。

(4)对原有桥梁技术资料进行管理,建立和保存档案资料。技术资料的内容包括:工程地

质和水文勘探资料,桥梁设计图纸,设计变更通知以及其他有关设计资料;桥梁施工的检查记录和隐蔽工程记录,质量事故处理记录,原材料、半成品和成品的出厂合格证和试验、化验报告,沉降观察记录,工程竣工图纸和其他有关施工文件;桥梁交付使用阶段的沉降观测记录,重要的检查和检定记录,大修或加固施工图纸和施工记录等。

2) 桥梁的加固与改建

对发生重大病害和不能满足运输要求的桥梁,进行彻底地整治加固、改善或更新,目的是恢复原有桥梁建筑物的整体使用效能,延长使用年限,提高原有桥梁建筑物的荷载等级和通过能力。

桥梁加固与改建工作的主要内容有:

- (1)对旧桥上部构件进行加固;
- (2)对旧桥下部构件进行加固;
- (3)加宽桥梁的行车道或人行道;
- (4)加高桥梁上部构造的高度;
- (5)更换桥梁行车道路面或引桥路面的结构;
- (6)部分或全部更换桥梁损坏或破旧的的结构物。

桥梁的加固与改建工作,应充分利用原有的部分,凡能加固的,则不宜改建,如能部分改建的,则不应全部改建。

3. 桥梁维修加固工作的步骤

对旧桥进行维修加固,一般可采用如下的步骤:

- (1)检查桥梁现状及损坏情况;
- (2)调查桥梁历史技术资料及现有交通状况;
- (3)提出维修加固或改建方案并进行分析比较;
- (4)确定方案并付诸实施,即进行维修加固或改建施工。

旧桥维修加固工作的步骤可参见图 1.1。

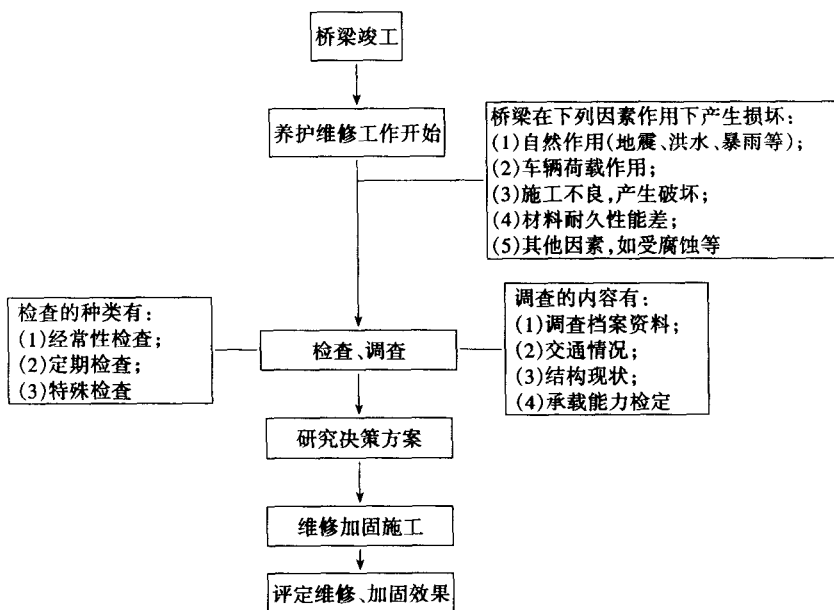


图 1.1 旧桥维修加固的步骤

第四节 桥梁加固常用的方法

在旧桥加固改造工程中,尽管每座旧桥的情况各不相同,具有各自不同的特点,但也存在一定的共性。我们应遵循桥梁加固、改造工作的共性,结合具体桥梁的特殊性,在实践中发挥积极性和创造性,不断进取和探索,采用最先进的技术和材料,在旧桥利用、加固、改造工作中,创造和总结出多种切实可行的方法,使旧桥继续发挥固有的使用功能,以保证公路交通畅通无阻。

归纳起来,对有缺陷和病害的桥梁,常用的加固、改造技术和方法有:减轻恒载、加固临界杆件、提供新补充杆件、改善原结构的受力体系等,增大桥梁承受活载的能力。此外,对下部结构,支座和车行道伸缩缝,应适当清洁,改善几何形状,增加安全设施,这对改善服务性能和延长现有结构的使用寿命,都起着重要的作用。

1. 上部结构常用的加固方法

1) 桥面补强层加固法

在梁顶上加铺一层钢筋混凝土层,一般先凿除旧桥面,使加铺层与原有主梁形成整体,增大主梁有效高度,提高抗压截面强度,改善桥梁荷载横向分布能力,从而达到提高桥梁承载力的目的。

2) 增大截面和配筋加固法

当梁的强度、刚度、稳定性和抗裂性能不足时,通常采用增大构件截面、增加配筋、提高配筋率的加固方法。这种方法是增大梁底面或侧面的尺寸,增配主筋,提高梁的有效高度和抗弯强度,从而提高桥梁的承载力。该法广泛用于梁桥及拱桥拱肋的加固。

3) 锚喷混凝土加固法

借助高速喷射机械,将新混凝土混合材料连续地喷射到已锚钢筋网的受喷面上,凝结硬化而形成钢筋混凝土,从而增大桥梁的受力断面,增加补强钢筋,加强结构的整体性,使其能承受更大的外荷载作用。

4) 粘贴钢板(筋)加固法

当交通量增加,主梁出现承载力不足,或纵向主筋出现严重腐蚀的情况时,梁板桥的主梁会出现严重的横向裂缝。采用粘结剂及锚栓,将钢板粘贴锚固在混凝土结构的受拉边缘或薄弱部位,使其与结构形成整体,以钢板代替增设的补强钢筋,达到提高梁的承载能力的目的。这种加固方法的特点是:

- (1) 不需要改变被加固的原结构的尺寸;
- (2) 施工工艺简单,施工质量较容易控制。

5) 改变结构受力体系加固法

这种加固、改造方法是通过改变桥梁结构受力体系,达到提高桥梁承载能力的目的。如在简支梁下增设支架或桥墩,或把简支梁与简支梁纵向加以连接,由简支梁变为连续梁,或在梁下增设钢桁架等加劲梁或叠合梁,以减小梁的内应力,达到提高桥梁的承载力的目的。

改变结构体系的方法有多种,但往往都需要在桥下操作,或设置永久设施,因而减小了桥下净空,或施工时会影响通航,所以必须考虑桥下通航及排洪能力。

该法由于加固效果好,也是目前国内外常用来解决临时通行超重车辆的一种加固措施。重车通过后,临时支承可能随之拆除,故对通航影响不大,不影响河道排洪能力。

用临时支架加固时,改变了原简支梁的受力体系,支点处将产生弯矩,故必须进行受力验算。

6)体外预应力加固法

对于钢筋混凝土桥,预应力混凝土梁桥或板桥,采用对受拉区施以体外预加力进行加固,可以抵消部分自重应力,起到卸载的作用,从而较大幅度地提高梁的承载能力。

体外预应力加固法的优点是:

(1)在自重增加很少的情况下,能够大幅度改善和调整原结构的受力状况,提高承重结构的刚度和抗裂性能。

(2)由于承重结构自重增加少,故对墩台及基础受力状况影响很少,可节省对墩台及基础的加固。

(3)对桥梁营运影响较少,可在不限制通行的条件下进行施工。

(4)预应力加固法既可作为桥梁通过重车时的临时加固手段,又可作为永久性提高桥梁荷载等级的措施。

7)增设纵梁加固法(拓宽改建)

在墩台地基安全性能好,并具有足够承载能力的情况下,可采用增设承载力高和刚度大的新纵梁,新梁与旧梁相连接,共同受力。由于荷载在新增主梁后的桥梁结构中重新分布,使原有梁中所受荷载得以减小,由此使加固后的桥梁承载能力和刚度得到提高。当增设的纵梁位于主梁的一侧或两侧时,则兼有加宽的作用。

为保证新旧混凝土能够共同工作,必须注意做好新旧梁之间的横向连接。横向连接方法可采用企口铰接、键槽连接、焊接及钢板铰接等,使新增主梁与旧梁牢固连接,提高主梁之间的横向连接刚度,有利于荷载的横向分布。

8)拱圈增设套拱加固法

当拱式桥梁的主拱圈为等截面或变截面的砖、石或混凝土等实体板拱,且下部结构无病害,同时桥下净空与泄水面积允许部分缩小时,可在原主拱圈腹面上增设一层新拱圈,即紧贴原拱圈底面浇筑或锚喷混凝土新拱圈,外形上就像在原拱圈下套做了一个新拱圈。

2. 下部结构常用的加固方法

1)扩大基础加固法

扩大桥梁基础底面积的加固方法,称为扩大基础加固法。此法适用于基础承载力不足或基础埋深太浅,又是砖石或混凝土刚性实体式的情况。扩大基础底面积应由地基强度验算确定。当地基强度满足要求而缺陷仅仅表现为不均匀沉降变形过大时,采用扩大基础底面积的方法加固,主要由地基变形计算来加以选定。

2)增补桩基加固法

当桥梁墩台基底下有软卧层,墩台发生沉陷,或墩台采用桩基础,而桩的深度不足,或由于水流冲刷等原因使桩发生倾斜,这些病害都直接影响桥梁结构的正常使用和服务年限。对此,采用增补桩基加固法是一种常用而且有效的方法。这种加固法是在桩式基础的周围补加钻孔桩或打入钢筋混凝土预制桩扩大原承台,以此提高基础的承载力,增强基础的稳定性。

3)钢筋混凝土套箍或护套加固法

当桥梁墩台由于基础埋置深度不够,或因施工质量控制不严等原因,导致墩台开裂破损时,有时会出现贯通裂缝,可采用钢筋混凝土围带或钢箍进行加固。加固时,一般在墩身上、中、下分设三道围带,其间距应大致相当于桥墩侧面的宽度。每个围带的宽度根据裂缝的情况

和大小而定,一般约为墩台高度的 $1/10$,厚度采用 $10 \sim 20\text{cm}$ 。当墩台损坏严重,如有严重裂缝及大面积表面破损、风化和剥落时,则可采用围绕整个墩台设置钢筋混凝土护套的方法进行加固。

4) 桥台新建辅助挡土墙加固法

由于桥台台背水平土压力过大,引起桥台倾斜,应设法采取平衡桥台后壁土压力的处理方法,在台背之后加建一挡墙,以抵御过大的压力。

5) 墩台拓宽法

利用旧桥基础,加宽墩台盖梁挑出的悬臂部分,以便安装加宽的上部结构。此种情况只加宽墩台上部的盖梁,墩台身和基础则不需加固。采用此法加宽墩台时,旧桥墩台基础必须完好、稳定,且需经过承载力验算后才能采用。否则,应在老桥的墩台旁重新浇筑拓宽部分的墩台及基础。

第五节 桥梁缺陷检测与评估原则

1. 桥梁缺陷检测

桥梁缺陷检测技术主要包括两个内容,即桥梁检查和荷载试验评定。

桥梁检查是进行桥梁养护、维修与加固的前期工作,是决定维修与加固方案可行和正确与否的可靠基础。其目的在于:通过对桥梁的技术状况、缺陷和损伤进行全面、细致、深入地现场检查,查明缺陷或潜在缺陷和损伤的性质、所在部位、严重程度及发展趋势,弄清产生缺陷、发生损伤的原因,以便能分析、评价缺陷和损伤对桥梁质量及承载能力产生的影响,并为桥梁加固和改造设计提供具体技术资料。自 20 世纪 50 年代中期始,我国已展开了对混凝土结构现场无破损或半破损检测方法的研究,70 年代以后发展尤为迅速,目前已广泛用于工程测试,并已制定了若干技术规程。

在工程实践中,还经常采用实桥荷载试验来评定旧桥的承载能力和安全度,并由此确定出加固或改建的方案。特别是对于那些缺乏原始设计资料和图纸的旧桥,用荷载试验方法来确定能否提高承载能力是切实可行的方法。荷载试验评定是对桥梁结构物进行直接加载测试的一项科学试验工作,可直接了解桥梁在试验荷载作用下的实际工作状态及一些理论上无法考虑的因素,如所用材料的相对匀质性,不同龄期混凝土的不同力学特性,桥梁修建质量等对结构受力的影响。此外,荷载试验还常常有助于发现在一般性桥梁中难以发现的隐蔽病害。所以,目前我国仍然普遍采用荷载试验评定方法来鉴定旧桥的质量与可靠程度,并确定其实际承载能力及其运用条件。

试验部位的确定,应在理论研究分析后,考虑桥梁的类型、复杂性以及薄弱环节而决定。原则上说,试验部位应选择能够全部地反映桥梁纵横向性能的部位,以便于能够通过试验或检测获得符合实际的、需要的数据。

2. 桥梁评估原则

为了选定技术上可行、经济上合理的桥梁加固、改造方案,首先必须对桥梁技术状况、各种缺陷、病害进行全面细致的检查与检测;在检查、检测的基础上,对旧桥工程现状、承载能力做出正确的评价,这是旧桥加固、改造工作的重要环节之一。

1985 年,交通部颁布的公路桥涵设计规范,将桥梁设计由按容许应力设计方法发展为按极限状态设计方法。极限状态设计方法分为两类:一是承载能力极限状态法;二是正常使用极

限状态法。规范规定的设计方法,不仅是桥梁设计与计算的基本原则和标准,也是对旧桥承载能力评定、加固改造设计的基本原则和标准。

旧桥评价一般包括使用功能、结构承载力和使用价值等三个方面。

1)使用功能

在桥梁有效使用期内,对旧桥首先是评价其使用功能。评价的具体内容如下:

(1)设计技术标准 包括原设计荷载标准、桥面净空、桥下净空、孔径、基础埋置深度等,是否满足营运要求。

(2)桥梁各部构造完好程度 各部构造如桥面平整度、伸缩缝、泄排水设施、支座、栏杆、人行道等构件的完好状况,能否保持正常使用,上、下部承重结构质量状况,有无裂缝、腐蚀、风化、疲劳等破损现象及挠曲、沉陷等位移变形现象,以及对桥梁整体正常使用功能的影响程度。

(3)桥梁养护状况及意外事故的分析 是否经常对桥梁进行检查、养护;养护难易程度,经常性养护费用及养护材料、机具设备消耗情况;有无发生过意外事故,发生事故的几率,处理发生事故难易程度等。

2)旧桥结构承载能力评价

在对桥梁使用功能评价的基础上,通过对上、下部结构作静、动载计算分析,或对静、动载试验结果进行分析,对桥梁结构承载能力做出切合实际的评价,也是对旧桥使用功能做实质性的分析评定。

3)旧桥使用价值评价

在对旧桥做出上述两项评价之后,从技术可能性、经济合理性的角度出发,对旧桥在设计营运期间内的使用价值做出评价。如果对旧桥加固、改造加以利用的总效益大于建新桥的总效益时,则认为对旧桥进行加固、改造利用是必要的、可行的,可提出评价报告,申请列入旧桥加固、改造工程计划。

第二章 桥梁加固设计与计算分析

第一节 钢筋混凝土结构加固设计与计算

钢筋混凝土结构按受力特征可分为受弯构件、轴心受压构件和偏心受压构件。本节首先分析钢筋混凝土加固结构的受力特性和破坏机理,阐明加固计算的基本原理,并根据加固结构新旧材料的应力-应变关系、极限变形值及原结构在加固时的应力、应变水平,推导出各类加固结构的设计计算公式。

一、钢筋混凝土加固结构受力特征

加固结构受力性能与一般未经加固的普通结构有较大的差异。首先,加固结构属二次受力结构。加固前原结构已经承受荷载(即第一次受力),尤其是当结构因承载能力不足而进行加固时,截面应力、应变水平一般都很高。然而,新加部分在加固后并不立即承担荷载,而是在新增荷载下,即第二次加载情况下,才开始受力。这样,整个加固结构在其后的第二次受力过程中,新加部分的应力、应变始终滞后于原结构的累计应力、应变,原结构达极限状态时,新加部分的应力应变可能还很低,破坏时,新加部分可能达不到自身的极限状态,其潜力可能得不到充分发挥。其次,加固结构属二次组合结构,新旧两部分存在整体工作共同受力问题。整体工作的关键,主要取决于结合面的构造处理及施工方法。由于结合面混凝土的粘结强度一般总是远远低于混凝土本身的强度,因此,在总体承载力上二次组合结构比一次整浇结构一般要略低一些。

加固结构受力特征的上述差异,决定了混凝土结构加固计算分析和构造处理不能完全沿用普通结构概念进行设计。

二、按容许应力法计算的原理

按容许应力法计算钢筋混凝土构件就是将具体结构的材料视为理想的匀质弹性体,以工作阶段Ⅱ为根据,采用平截面假定及应力应变成正比的假定,用弹性理论求出构件截面最大应力,并使其小于某一考虑了安全储备后的容许应力值,其表达式为

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] = \frac{R^b}{K} \quad (2.1)$$

式中: $\sigma_{\max}$ ——构件截面最大计算应力;

$[\sigma]$ ——材料容许应力;

R^b ——材料标准强度;

K ——安全系数。

三、按极限状态法计算的原理

1. 基本计算原则

我国现行的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)采用的是半概率半极限状态设计法,具体设计计算应满足承载能力与正常使用两种极限状态。

承载能力极限状态的计算以塑性理论为基础。设计原则是荷载效应不利组合的设计值,必须小于或等于结构抗力的设计值,规范中对于钢筋混凝土结构表达式为

$$S_d(\gamma_g G, \gamma_q \sum Q) \leq \gamma_b R_d \left(\frac{R_c}{\gamma_c}, \frac{R_s}{\gamma_s} \right) \quad (2.2)$$

式中: S_d ——荷载效应函数;

G ——永久荷载;

γ_g ——永久荷载安全系数;

Q ——可变荷载及永久荷载中混凝土收缩、徐变影响力,基础变位影响力;

γ_q ——荷载 Q 安全系数;

R_c, γ_c ——混凝土强度设计采用值及安全系数;

R_s, γ_s ——钢筋强度设计采用值及安全系数;

R_d ——结构抗力函数;

γ_b ——结构工作条件系数。

正常使用极限状态的计算是以弹性理论或弹塑性理论为基础的,主要进行以下三个方面的验算。

(1) 限制应力

$$\sigma_d \leq \sigma_L \quad (2.3)$$

式中: σ_d, σ_L ——结构应力及应力限值。

(2) 短期荷载下的变形

$$f_d \leq f_L \quad (2.4)$$

式中: f_d, f_L ——结构变形及变形限值。

(3) 各种荷载组合下的裂缝宽度

$$\delta_d \leq \delta_L \quad (2.5)$$

式中: δ_d, δ_L ——结构裂缝宽度及裂缝宽度限值。

2. 基本计算假定

加固结构的承载力与新旧两部分的应力差值或应变差值直接相关,与原结构的极限变形值有关,与两部分材料的应力-应变关系有关。从理论上讲,只要这些关系确定,加固结构的承载力就可以用分析的方法求解。在计算分析加固结构截面承载力时,有下列基本假定:

(1) 平截面假定;

(2) 不考虑混凝土的抗拉强度;

(3) 混凝土受压的应力-应变关系为抛物线和水平线的组合曲线,如图 2.1 所示,其数学表达式为

$$\sigma_c = \begin{cases} \sigma_0 \left[2 \frac{\epsilon}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \right] & (\epsilon \leq \epsilon_0) \\ \sigma_0 & (\epsilon_0 < \epsilon < \epsilon_{cu}) \end{cases} \quad (2.6)$$

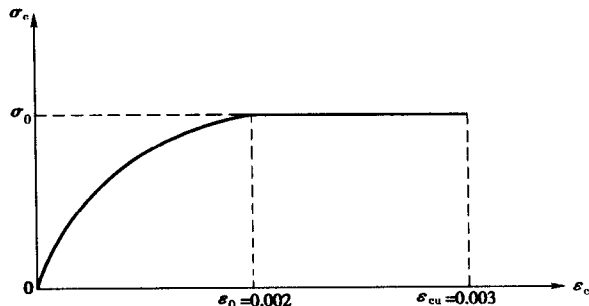


图 2.1 混凝土受压应力-应变曲线