

周建庭 张劲泉 刘思孟 著

大中型桥梁

加固新技术

DAZHONGXING QIAOLIANG
JIAGU XINJISHU



人民交通出版社
China Communications Press

Dazhongxing Qiaoliang Jiagu Xinjishu
大中型桥梁加固新技术

周建庭 张劲泉 刘思孟 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分7章,阐述了现役常见大中型桥梁加固的新技术,主要包括连续刚构桥加固技术、空心板梁桥加固技术、钢筋混凝土T形梁桥加固技术、斜拉桥换索技术、坦拱桥加固技术、双曲拱桥加固技术,并列举了大量运用新技术成功加固的工程实例。

本书可供桥梁加固技术人员参考使用,也可供大专院校相关专业师生学习借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

大中型桥梁加固新技术 / 周建庭等著. —北京:
人民交通出版社, 2010. 5
ISBN 978-7-114-08368-6

I. ①大… II. ①周… III. ①桥—加固 IV.
①U445. 7

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第066386号

书 名: 大中型桥梁加固新技术

著 作 者: 周建庭 张劲泉 刘思孟

责任编辑: 岑 瑜

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 23.75

字 数: 600千

版 次: 2010年5月第1版

印 次: 2010年5月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08368-6

印 数: 0001~2000册

定 价: 48.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

新中国成立以来,我国的公路桥梁事业得到了长足的发展,特别是改革开放以来,更是进入了一个全新的发展时期,公路桥梁总数由改革开放前的 5.59 万座,跃升到 2009 年底的 62.19 万座,计 2726.06 万延米。随着公路桥梁建设事业的迅猛发展,许多桥梁修建时技术标准偏低,建设质量存在一定问题。自然灾害,桥梁本身的自然老化及超重、超限车辆的破坏作用,致使许多桥梁现在不能满足荷载营运要求,亟待加固增强。现有的大跨径桥型中,斜拉桥和刚构桥是主要的桥型;现有的公路桥梁中,拱桥和钢筋混凝土 T 型(Ⅱ型)梁桥、空心板桥占有很大的比重。因此,开展上述桥梁加固新技术的研发具有较强的针对性和现实意义。

近年来,国内外众多的桥梁科技工作者围绕桥梁加固技术开展了深入的研究和积极的探索。本书在认真总结国内外桥梁加固技术研究现状的基础上,结合本人近年来在大中型桥梁加固技术方面的研究成果,详细介绍了体外预应力加固连续刚构桥;斜拉桥合理换索、截面转换加固钢筋混凝土 T(或Ⅱ)型梁桥、多点支撑加固坦拱桥术、双曲拱桥加固、体外预应力加固空心板桥等系列新技术和实用技术,以供从事桥梁加固设计、研究及管理的同仁们借鉴与参考。

本书共分七章。全书由周建庭、刘思孟统稿。各章的编写人员分别为:第一章周建庭、张劲泉、刘思孟;第二章周建庭、姚国文、张劲泉;第三章周建庭、张永水、张劲泉;第四章周建庭、刘思孟;第五章周建庭、武电昆;第六章周建庭、刘思孟;第七章周建庭、刘国金。本书得到了教育部新世纪优秀人才计划、交通部西部交通建设科技项目(200731895041、200631822349)的大力支持,得到了所有参编人员的密切配合,同时,借鉴参考了国内外有关专家学者的研究成果。在此,一并致谢!

由于本人水平所致,本书有疏漏之处在所难免,诚望桥梁界同仁们不吝赐教。

周建庭

2010 年 5 月于重庆交通大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 桥梁加固技术研究的意义	1
第二节 桥梁加固技术研究现状	4
第三节 桥梁加固的准则与程序	10
第二章 连续刚构桥加固技术	12
第一节 概述	12
第二节 连续刚构桥病害现状调查及分析	20
第三节 体外预应力技术发展及特点	31
第四节 体外预应力加固技术	42
第五节 体外预应力加固技术原理	45
第六节 体外预应力加固设计计算方法	51
第七节 体外预应力加固施工技术	69
第八节 体外预应力加固连续刚构桥的施工控制技术	70
第九节 连续刚构桥的其他病害处治技术	76
第十节 工程示范	86
第三章 空心板梁桥加固技术	108
第一节 概述	108
第二节 体外预应力加固空心板梁桥理论分析	111
第三节 体外预应力加固空心板试验	129
第四节 体外预应力加固空心板梁桥施工工艺	145
第四章 钢筋混凝土 T(或 π)形梁桥加固技术	147
第一节 概述	147
第二节 国内外研究现状	148
第三节 截面转换加固钢筋混凝土 T(或 π)形梁桥技术原理	154
第四节 截面转换加固钢筋混凝土 T(或 π)形梁桥技术模型试验	161
第五节 截面转换加固钢筋混凝土 T(或 π)形梁桥技术设计方法与施工工艺	169
第六节 工程示范	178
第七节 截面转换加固钢筋混凝土 T(或 π)形梁桥技术和经济效果评价	192



第五章 斜拉桥换索技术	195
第一节 概述.....	195
第二节 斜拉桥拉索病害.....	209
第三节 斜拉桥换索传统计算方法.....	224
第四节 人工神经网络在斜拉桥换索中的应用.....	225
第五节 遗传算法在斜拉桥换索中的应用.....	258
第六节 斜拉桥换索技术的合理施工工艺研究.....	274
第六章 坦拱桥加固技术	287
第一节 概述.....	287
第二节 研究现状.....	289
第三节 多点支撑体系加固坦拱桥技术原理.....	293
第四节 多点支撑体系加固坦拱桥技术模型试验.....	299
第五节 多点支撑加固设计方法及施工技术.....	310
第六节 工程示范.....	318
第七章 双曲拱桥加固技术	329
第一节 概述.....	329
第二节 双曲拱桥典型病害及成因分析.....	332
第三节 锚喷混凝土加固双曲拱桥.....	340
第四节 增大拱肋截面加固法.....	343
第五节 调整拱轴线与压力线加固法.....	346
第六节 预应力钢拱加固技术.....	348
第七节 箱拱加固技术.....	353
第八节 体外预应力加固技术.....	356
第九节 “肋梁楼盖”整治双曲拱桥拱上建筑.....	359
第十节 双曲拱桥的通用病害处治技术.....	362
参考文献	369

第一章 绪 论

第一节 桥梁加固技术研究的意义

一、桥梁安全问题已成为社会关注的重大问题

随着我国经济的蓬勃发展,交通事业也飞速发展,交通部门的基础设施建设发展尤为迅速,公路系统面貌日新月异,桥梁作为公路和城市道路交通的重要建筑物,其重要性也与日俱增,在国民经济建设中起着举足轻重的作用。作为线路的咽喉要道和交通枢纽,桥梁的承载力是沟通公路全线的关键,全国的五十余万座公路桥梁是加快我国现代化建设步伐的希望之桥、幸福之桥。

另一方面,桥梁这种跨江、跨海、跨深谷的特殊结构一旦发生安全事故,后果不堪设想。仅2007年一年间就发生了多起震惊世界的桥梁悲剧,留下了沉痛的教训。2007年5月9日中午12时50分许,江西上饶铅山县鹅湖镇十跨片石拱桥——傍罗大桥在一声轰隆声中倒塌,大桥瞬间只留下九个残破不堪的桥墩斜立在河中;

2007年6月15日晨,一艘大型运沙船撞向325国道上的九江大桥桥墩,造成九江大桥160m桥跨坍塌(图1-1),事故造成4辆汽车坠江,肇事船上两人受轻伤,另有8人死亡,1人失踪;2007年8月1日当地时间下午6时左右,美国明尼苏达州明尼阿波利斯市35号州际公路密西西比河上一座公路大桥在交通高峰期间发生坍塌(图1-2),约50辆汽车坠入河中,造成13人死亡、70多人受伤;2007年8月13日下午4时40分,位于湖南



图1-1 广东南海九江大桥被船撞断

省凤凰县至贵州铜仁地区大兴机场的二级公路堤溪段的沱江大桥发生坍塌事故(图1-3),64人死亡、22人受伤;2007年9月1日,巴基斯坦南部城市卡拉奇一座刚建成不久的桥梁坍塌,造成至少6人死亡、多人受伤,还有多辆汽车被压在桥底下,扭曲变形;2007年9月10日晚间,印度南部安德拉省首府海得拉巴市区一座正在建设中的高架桥突然崩塌,压毁15~20辆汽车,约30人罹难,另有20多人受伤;2007年9月26日上午8点,越南南部一座正在建设中的大桥突然坍塌,造成至少52人死亡、150人受伤……

桥梁倒塌是桥梁损伤破坏的一种极端现象,是桥梁损伤不断累积的结果,要避免此类事件



的发生,必须防患于未然,及早对桥梁进行定期调查、评估和加固处理。沉痛的教训使人们认识到,桥梁的安全性不仅仅是建设期间的质量控制问题,更是全社会关注的重大问题。在交通建设中,既要实现公路桥梁的建设目标——安全、畅通、高效益和低成本,又要对建成的桥梁加强日常管理和养护,预防发生病害,使用期间及时根治缺陷、加固维修保养,保证其持续安全运营,确保桥梁结构在建设、投入使用、最终完成其使命的整个寿命期间,能够保证结构、运行荷载和人员的安全,以合理的经济成本维持自身较高的服务水平和通行能力,并满足持续增长的需要。

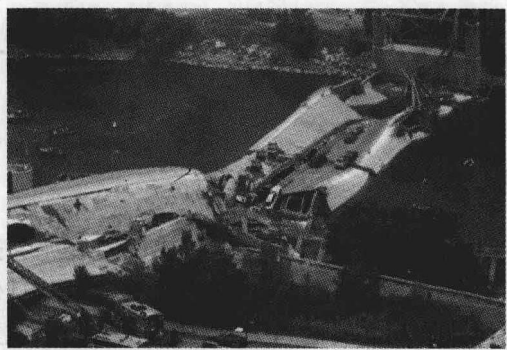


图 1-2 美国明尼苏达州明尼阿波利斯市 35 号州际公路密西西比河大桥坍塌事故



图 1-3 湖南省凤凰县堤溪沅江大桥“8·13”特别重大坍塌事故

二、桥梁使用状况令人担忧

尽管在桥梁的设计和建造阶段采用各种措施保证结构工程质量,但和其他建筑物一样,桥梁的生命周期也分为以下三个阶段:建造期、使用期和老化期。随着时间的推移,桥梁在自然环境作用和交通荷载作用下,逐渐发生损伤和缺陷,导致结构承载能力和耐久性降低。造成桥梁结构可靠性降低的主要原因有以下方面:

(1)设计标准的演变。随着桥梁设计规范的不断发展,公路桥梁的设计荷载已由汽—6 级、汽—8 级、汽—13 级发展到汽—15 级、汽—20 级及汽—超 20 级,再到今天的公路—I 级荷载、公路—II 级荷载,并且仍有继续增大的趋势。然而,我国现有的许多公路桥梁是根据 20 世纪 60 年代末到 80 年代初期颁布的设计标准建造的,设计荷载均较低。

(2)交通量不断增大。我国在 20 世纪 60~70 年代修建的桥梁大部分仍在服役,由于年久失修、欠缺养护,许多桥梁已经不能适应日益增长的交通量需要。

(3)结构的老化和病害。由于设计及施工的缺陷以及各种不利环境(如碳化、氯离子侵入、酸侵蚀、碱集料反应、冻融、盐害等),使得桥梁结构的混凝土及钢筋腐蚀严重,承载力下降。

(4)超载、超限等外界不利荷载的影响使得桥梁结构安全性下降。国家统计局 2002 年 2 月 6 日公布的《第二次全国公路普查主要数据公报》数据显示:由于设计、施工及使用过程中各种因素的影响,我国已建成的 278 809 座桥梁中有 9 597 座被定性为危桥,更有 1/3 以上的桥梁存在结构性缺陷或不同程度的功能性失效隐患。原交通部《2006 年全国公路养护统计年报》的统计表明,截至 2006 年年底,全国有 6 282 座第五类公路危桥,即“技术状况处于危险状

态,部分重要构件出现严重缺损,桥梁承载能力明显降低并直接危及桥梁安全”。广东省 2000 年普查结果表明:18 000 多座桥梁中有 4 000 多座承载力不足。河南省则在干线公路就有危桥 181 座,等等。

既有桥梁承载力不足、老化、破损是个世界性范围的问题。2006 年美国联邦公路局的统计报告显示,全美有大约 12%的桥梁被鉴定存在“结构性缺陷”,其中有一些还是 20 世纪 90 年代初才建造的。已经运行了 50 年的美国国家公路系统,难以承担不断增加的交通量。根据美国公路和运输官员协会提供的数据,在 1955 年这个系统承载了 6 500 万辆小汽车和载货汽车。1950~1955 年美国公路桥梁缺陷率见表 1-1 所示。现在,这个系统承载车辆数目增加了近 3 倍,达到 2.46 亿辆。根据美国联邦政府的数据,美国大约 600 000 座重要桥梁中,近 1/4 负担的交通量超过了它们的设计值。美国国内长度超过 20ft(1ft=0.304 8m)的桥梁,有 24.5%存在着“结构上的缺陷”或“功能过时”的问题。

美国公路桥梁缺陷率(1950~1955 年) 表 1-1

桥 梁 类 别	总量(座)	缺陷桥梁数量(座)	缺陷率(%)
钢筋混凝土桥	91 886	6 027	6.6
预应力混凝土桥	88 304	3 212	3.3
钢桥	118 424	22 928	19.4
木桥	27 817	13 199	47.4
其他	1 309	211	16.3
合计	327 740	45 577	13.9

原联邦德国曾于 20 世纪 70 年代末对某州的 1 500 座钢筋混凝土和预应力混凝土公路桥作了全面检查,结果表明桥梁的损伤情况较为严重,且使用年限越长,问题越严重,其公路桥梁调查缺陷率见表 1-2 所示。

原联邦德国公路桥梁调查缺陷率(20 世纪 70 年代末) 表 1-2

桥 梁 类 型	使用年限 (年)	缺陷率(%)		
		一处以上严重损伤	一处以上重要损伤	一处以上中等损伤
钢筋混凝土桥	50~60	27%	64%	77%
	30~35	13%	37%	53%
	20~30	8%	24%	46%
预应力混凝土桥	20~30	—	近 50%	67%

在日本,统计资料显示在 1956 年以前按旧标准设计施工的桥梁,其承载力不足者约有 5 500 座,其中普通混凝土桥约有 4 500 座。英国运输部曾经在 1990 年抽样调查过 200 座混凝土桥。调查结果表明约 30%的桥梁运营条件不良,据测算 10 年内这些桥梁的修复费用将超过 6 000 万英镑。

在法国 3 万公里的公路分布中有超过 20 000 座桥梁,其中 50%以上需要修复;在匈牙利,45%的一级公路桥梁和 60%的二级公路桥梁继续维修加固;在波兰,有 29 000 余座桥梁,其中 50%已经服役超过 50 年,其中 20%存在着“结构上的缺陷”或“功能过时”的问题。



三、旧危桥加固改造已成为世界各国的共同选择

面对数量众多、使用范围极广的旧危桥,拆除重建不仅投资巨大,而且在新建期间全社会为之付出的“综合”代价更加高昂。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。有关资料表明,既有桥梁加固所需资金是新建桥梁的 10%~30%。我国公路部门实践经验表明,梁桥加固费用约为新建桥梁的 10%~20%,双曲拱桥的加固费用约为新建桥梁的 30%。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,使其继续为现代交通运输服务,可以给国家带来巨大的经济效益,也是交通工程中的重要课题。

美国为了使普通桥梁达到高速公路桥梁的标准,对大量的桥梁进行了加固改造。印度在近 20 年间,对国道上承载力较低的桥梁也普遍进行了加固,并对能够承受较高等级荷载的桥梁进行了加宽处理,以发挥更大的作用。1981 年 4 月经济合作与发展组织(Organisation for Economic Co-operation and Development, 简称为 OECD)主持召开的关于道路桥梁维修与管理的会议上,提出了六个方面的议题中就有四个与桥梁加固有关,分别是桥梁损坏与维修加固的实际应用问题、桥梁维修加固技术、桥梁设计与维修管理的关系和桥梁维修加固的未来展望。

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,延长使用寿命,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,桥梁建设重点已放在既有桥梁的检测、评估、加固与改造方面,而新建桥梁已降为次要地位。

第二节 桥梁加固技术研究现状

桥梁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,是当代土木工程最重要的课题之一。当前,总体而言,国内外在桥梁加固理论研究深度与广度都有待加强,与旧桥加固相关的众多基本问题尚待深入研究;开发的加固技术较多,但各自对加固机理的认识亟待提高。以下就目前国内外在桥梁加固理论研究、加固技术开发和加固方案选择等方面的研究现状进行阐述。

一、旧桥加固理论研究现状

目前,国内外对桥梁加固方法与技术研究较多,而对理论基础的研究却相对较少。工程界的有识之士曾指出:当前力学工作者与结构工作者的精力主要集中于研究结构分析、设计和施工的理论和方法(其目的是提高结构设计和施工的质量),而对于结构系统的方案论证以及服役后的评估和维修理论则研究较少,这是力学界与结构工程界研究的一个薄弱环节。可以预见,从基本理论角度对既有桥梁加固技术进行研究,是今后桥梁研究工作中的一个重要方向。

结构经加固或改造之后,其力学性能发生较大的变化。首先,加固、改造前原有结构已具

有一定的应力和应变,在后期受荷载时构件新加部分的应力、应变一般低于原有结构,它对结构的力学性能有较大影响。其次,结构的新、旧部分不是一次形成的,两者共同受荷时存在着协调变形、协同工作问题,这对加固后的结构力学行为也有很大的影响。第三,不恰当的加固、改造方案可能对原结构产生负面效应,如增大基底应力,改变结构质量或刚度分布等。这些因素决定了结构的加固、改造有着不同的作用机理和结构特征,并不能完全套用现有的新建结构的分析理论和设计方法。

早在国际预应力混凝土协会(FIP)第九次大会上,国际著名桥梁专家莱昂哈特教授就专门做过“防止桥梁损伤事故的报告”。经济合作与发展组织(OECD)各成员国对既有桥梁的检测与评估投入了大量的人力物力,并在以下有关课题中展开了密切合作:① 使用荷载作用下既有桥梁的实际受力行为,包括研究、调查与试验等;② 有关实际荷载的大小、分布和频率等有关的数据;③ 评定既有桥梁工作状态的各种实用技术;④ 交通运输对既有桥梁的影响;⑤ 实用桥梁评定系统;⑥ 既有桥梁的损伤评估;⑦ 既有桥梁的剩余寿命的评估。

OECD认为今后要特别加以研究的内容有如下九大方向:① 实桥的荷载历程,包括:确定荷载、由荷载产生的应力和应力的进一步发展;② 主要工程材料的裂缝发展性能(包括疲劳与破坏性能),大量的小应力幅对钢、钢筋混凝土和预应力混凝土构件的初裂和裂缝发展的影响;③ 进一步确定环境对结构的影响;④ 确定桥梁承载力的较好方法;⑤ 评定桥梁状态与性能的理论;⑥ 分析结构破坏原因,促进国际学术交流;⑦ 研究与鉴定良好的桥梁的性能;⑧ 确定下部结构的承载能力;⑨ 有目的地进行荷载试验及破坏试验。上述世界性课题,虽经工程界的科学工作者经过多年努力,但仍未彻底研究清楚。

就混凝土加固工程实践成果和经验总结而论,日本在混凝土结构裂缝修补技术方面,较为系统全面,编制了《混凝土工程裂缝调查及补强加固技术规程》;前苏联在工业厂房加固设计构造方面积累了较为丰富的经验,出版有结构加固构造图集;英国、德国在混凝土结构缺陷修补、防水及防腐处理技术方面,也取得不少成果;我国近十几年来,进行了大量工程实践,针对各种不同的桥梁形式提出了很多完善的加固与增强综合整治成套技术。

二、加固技术研究现状

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、改造过程中,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。就每种方法而言,可细分为以下一些不同的具体内容,如图1-4所示。

1. 桥梁上部结构常用的加固方法

1) 增大截面和配筋加固法

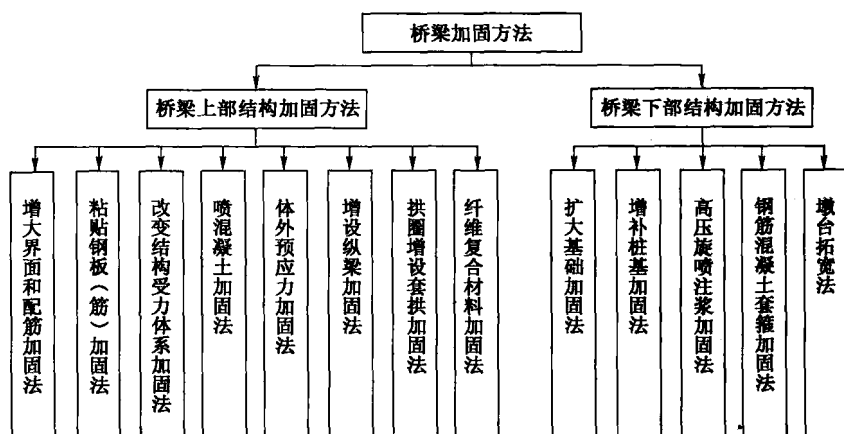


图 1-4 常用桥梁加固方法

增大截面和配筋加固法又称外包混凝土加固法,是采用同种材料即混凝土和钢筋增大结构物的截面面积以提高结构的承载力,当梁的强度、刚度、稳定性和抗裂性能不足时,通常采用此方法。根据荷载大小和净空条件不同,可分为以加大截面面积为主和加配钢筋为主两种加固方案。该法施工工艺简单、适应性强,并具有成熟的设计和施工经验,广泛应用于梁桥及拱桥拱肋的加固。但现场施工的作业时间长,对生产和生活有一定的影响,且加固后的建筑物净空有一定的减小。

2) 粘贴钢板(筋)加固法

粘贴钢板(筋)加固法是采用环氧树脂等黏合剂将型钢、钢板、玻璃钢等材料粘贴在结构构件的受拉边缘或薄弱部位,使之与结构物形成整体,从而提高结构承载能力的一种方法。当主梁出现承载力不足或纵向主筋严重腐蚀,导致主梁产生严重的横向裂缝,常采用此方法以钢板代替增设的补强钢筋,达到提高桥梁承载能力的目的。这种加固方法施工工艺简单,施工简便、快速,质量较容易控制,且不影响结构外形、不减小桥梁净空,加固费用低,适用于构件尺寸受到限制但又必须提高结构承载能力的情况。

3) 改变结构受力体系加固法

这种加固方法是通过增设附加构件或进行技术改造,改变桥梁结构受力体系,减小承重构件的应力,达到提高桥梁承载能力的目的。改变结构体系加固法的途径主要有增加支点法和简支变连续法。增加支点法是通过减少结构的计算跨径而减小最大弯矩值,如在简支梁下设置永久性支撑或桥墩,或在主梁下设八字撑、加劲梁或叠合梁。简支变连续是将原多跨简支梁的梁端翼缘在支座处连接起来,从而改善结构的受力状况,提高桥梁整体承载力。

4) 喷混凝土加固法

该法借助高速喷射机械,原有结构上喷涂高品质的混凝土,提高混凝土的承载面积,增强剥离或变质的混凝土强度,恢复对钢筋的保护,加强结构的整体性。该方法是目前常用的维修加固方法,但只能用于结构破坏非常轻微的桥梁构件中。

5) 体外预应力加固法

该方法是应用预加应力原理,采用外加预应力的钢拉杆,在原有构件上施加一定的初始应

力,对结构进行加固。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、减小跨中挠度、减小裂缝宽度或闭合裂缝的作用,从而较大幅度地提高桥梁的承载能力。体外预应力加固法可以在自重增加很少的情况下,大幅度改善和调整原结构的受力状况,同时对墩台及基础受力状况影响很少,且对桥梁营运影响较少,可在不限制通行的条件下进行施工,但加固后对原结构外观有一定影响。该方法主要适用情况有:混凝土梁中预应力筋或普通钢筋严重锈蚀及其他病害造成结构承载力下降;需要提高桥梁的荷载等级;用于控制梁体裂缝及钢筋疲劳应力幅度;高应力状态尤其是大型结构的加固等情况。

6)增设纵梁加固法

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。

7)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。

8)纤维复合材料加固法

纤维复合材料(fiber reinforced polymer,简称 FRP)加固桥梁结构技术是 20 世纪 80 年代末 90 年代初在国际上新兴起的一项新型、高效、便捷的结构加固技术,它利用树脂类材料将纤维材料粘贴在混凝土表面,形成复合结构,通过与混凝土之间协同工作,对构件或结构起到加固及改善受力性能的作用。近年来,利用 FRP 对桥梁柱进行修复加固已经在中国、美国、日本和欧洲一些国家得到了较为普遍的应用。加固方法主要有三种:直接粘贴预制好的板壳、现场绕丝后用树脂浸渍以及粘贴 FRP 布。如美国在 Sacramento 西部 Yolo 高架桥中 3 000 多根柱都采用了 GFRP 的预制护套加固,加固时安装了无损监测仪,以监测这种外粘了护套的组合柱体系工作性能,结果证明这种组合柱的工作性能良好。

纤维复合材料的种类主要有碳纤维增强复合材料(carbon fiber reinforced polymer, CFRP)、玻璃纤维增强复合材料(glass fiber reinforced polymer, GFRP)和芳纶纤维增强复合材料(aramid fiber reinforced polymer, AFRP)等。它们的主要特点有:抗拉强度高、抗腐蚀性能好、良好的抗疲劳强度、非磁性和非导电性能、耐磨、易于裁剪、密度小等。正是由于 FRP 材料具有这些优异的性能,使其在土木工程各领域得到了广泛的应用。粘贴 FRP 加固法的原理与粘钢板法类似,且具有更多的优点:施工时无需采用重型施工机械;施工空间不受限制,不影响结构的正常使用;FRP 材料具有较强的耐腐蚀性,维护费用较低;加固结构具有良好的防水效果,可以抑制钢筋锈蚀和混凝土裂化;FRP 现场剪裁比较简单,质量较易保证。采用粘贴 FRP 加固桥梁结构技术在国内外的试验研究和工程应用已相当广泛,但相对于传统的加固方法研究和应用历史较短,在许多方面还需深入研究。

2. 桥梁下部结构常用的加固方法

1)扩大基础加固法

该方法是利用扩大桥梁基础底面积起到加固桥梁下部结构的目的。此方法一般适用于基



承载力不足或基础埋深太浅,而墩台又是刚性实体结构的情况。当构造物基础具有较大的不均匀沉降,且地基土质比较坚实时,可采用扩大基础法进行加固,这种加固方法施工较简单,但由于要求新老基础良好结合以承受上部荷载,故费用较高。

2)增补桩基加固法

当桥梁墩台基础下部承载力不足,墩台发生沉陷,或墩台采用的桩基深度不足,或因水流冲刷等原因使得桩倾斜,直接影响桥梁结构的正常使用和服务年限,采用增补桩基加固法是一种常用而且有效的方法。这种加固法是在原桩基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)高压旋喷注浆加固法

高压旋喷注浆,是先利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻入土层的预定位置,将浆液或水以高压流的形式从喷嘴里射出,冲击破坏土体,使其呈颗粒状分散并与浆液搅拌混合,组成具有一定强度和抗渗能力的固结体,从而对地基进行加固的一种加固方法。这种方法加固地基的质量可靠、效果好、成本较低,目前已逐渐成为我国常用的桥梁墩台基础处理方法之一。

4)钢筋混凝土套箍加固法

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。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,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。

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。

上述加固方法与技术各有优点和不足,都已在世界范围内广泛应用并取得了一定的经济、社会效益。在现有加固技术的基础上,经过土木工程界的学者、同仁多年努力,一大批新型加固技术不断涌现。

1. 聚合物浸渍混凝土加固技术

聚合物浸渍混凝土是指以普通混凝土为基材,以有机单体为浸渍液渗入混凝土内部并且聚合而成的一种有机—无机复合材料。聚合物浸渍混凝土与混凝土基材的性能试验对比结果表明:聚合物浸渍混凝土对混凝土基材的性能改善是显著的,强度可提高数倍,抗渗性及耐化学腐蚀性也有大幅度提高。由于有机单体渗入混凝土内部,并且聚合后基本填满了混凝土原有的空隙,极大地改善混凝土的微观力学结构。因此,浸渍混凝土能够显著地提高原混凝土基材的力学性能。

聚合物浸渍混凝土加固技术是一项纯粹的化学加固技术,具有:①施工过程完全不损伤原混凝土构件,不削弱原构件承载力,安全可靠;②加固材料渗入混凝土内部,不存在应力滞后问题;③不影响原构件外形尺寸。由于其主要用于提高混凝土强度及耐久性,因此适用于配筋无误,但混凝土质量达不到要求的混凝土构件。聚合物浸渍混凝土自1965年问世以来,世界各主要工业国均对此进行了大量研究。1986年,冶金工业部建筑研究总院首次将“负压常温聚

合物浸渍工艺”成功应用于昆山市陆杨邮电支局营业大楼二层主楼加固。

2. 高性能复合砂浆钢筋网(HPF)加固技术

钢筋网复合砂浆加固法是在混凝土构件表面绑扎钢筋网,用复合砂浆作为保护和锚固材料,使其与原构件共同工作整体受力,以提高结构承载力的一种加固方法。它实质是一种体外配筋,提高原构件的配筋量,从而提高结构构件的刚度、抗拉、抗压、抗弯和抗剪等方面性能的方法。类似于加大截面加固法,但增大的截面不大,因而结构外观及净空影响不大。该方法工艺简单,适用于梁、板、柱、墙等混凝土结构的加固。根据构件的受力特点和加固要求不同,可选用单侧加厚、双侧加厚、三面和四面外包等。

3. 绕丝加固法

根据混凝土三向受压可以提高其单轴抗压强度的原理,对于受压柱用 $\phi 4$ 退火钢丝横向缠绕构件,以提高其强度。根据梁的受剪区斜向箍筋受力优于竖向箍筋的特点,可根据需要在梁外进行斜向绕筋或竖向绕筋,以提高其抗剪强度。一般,采用 $\phi 4$ 冷拔钢丝退火后进行绕丝,中距为5~40mm。试验证明,这一方法不仅对圆柱、方柱有效,对长方形柱亦有效。为了提高效果可在长方形四个面的中点纵向设置 $\phi 25$ 圆钢,并将四角凿去少许。同济大学加固研究所的试验表明,用绕线加固的梁如果不用钢楔楔紧混凝土,难以与绕丝共同工作,直到加载后期钢丝方才发挥作用,但仍表现出良好的延性。

上述各种常见加固方法可综合运用,优化组合,更能体现出加固效果及经济效益。

三、桥梁加固方案的优选研究现状

桥梁结构体系多种多样,可分为混凝土梁桥、钢桥及索结构桥梁、混凝土及圬工拱桥等,每一种桥型的力学性能是不同的,而且各自的损伤程度、出现位置及发生机理往往并不相同,因而有各自相应的加固形式。最优方案的实施可以合理地节约投资,合理地利用资源,最大限度地满足各方面的需要,取得更好的经济效益和社会效益。如何综合众多因素、尽量客观地确定一个最优加固方案,就成了一个难题。

桥梁加固改造方案是按照具体桥梁状况、改造技术要求和外界条件而选取的一种或多种加固形式的合理搭配,加固方案与诸多因素有关,在选择加固方案时常考虑下列因素:①桥梁结构形式;②桥位地形、水文、自然状况;③桥梁现状分析研究结论;④施工技术水平;⑤能否封闭交通;⑥预期加固效果;⑦资金投入量。

一般而言,由于针对同一具体损伤或病害存在多种可能的加固改造形式,因而桥梁改造方案设计是复杂的一题多解问题。在设计桥梁加固改造方案时,为避免明显不合理的赘余方案,应该遵从以下几点原则:

(1)桥梁加固一般不宜改变原有桥梁结构体系类型;

(2)桥梁的具体加固方案应首先考虑旧桥的承载能力等实际情况以及今后的交通等级要求;

(3)应及时修补桥梁的可视缺陷,如裂缝、混凝土脱落、钢筋锈蚀等;

(4)桥梁加固应注重结构受力分布的合理性,注重新旧结构的变形协调,保持结构的整体性;



(5)桥梁加固方案尽量满足投资少、工效快、不中断交通、技术上可行、有较好的耐久性、安全可靠,且兼顾美观。

加固方案优选采用的主要数学手段有:模糊数学法、层次分析法、系统分析法及专家系统法等。事实上,桥梁加固方案优选具有模糊不确定性,而现有模型还比较粗糙,且其中各因素的取舍、相应权重的分配以及隶属度确定等方面尚缺乏充分合理的依据,主观性较强,因此这些模型尚存在一定的缺陷,离具体工程应用还有一定距离,有待进一步深化研究。

第三节 桥梁加固的准则与程序

桥梁加固是一项严密的系统工程,主要内容有:现场调查与资料收集、桥梁结构检查、加固前承载能力评定、加固增强设计、加固施工及控制、养护和管理、竣工验收,对于某些工程还包括加固后的荷载试验等加固后效果评价。

1. 现场调查与资料收集

调查和掌握桥梁的基本资料与实际状况,是判断桥梁状态、进行后续各项工作的重要前提。资料收集,包括目前桥梁概况、养护与维修记录、设计文件、施工记录及竣工资料;现场调查主要内容有交通量和通行荷载及其发展趋势、环境因素等。

2. 桥梁结构检查

桥梁结构检查,首先应对桥梁的主要构造尺寸进行必要的复核(如果原桥的设计图或竣工图等资料缺失,则应对全桥各部分尺寸进行测量);其次,应对桥梁的材质状况进行测定,确定材料的实际强度等力学性能及相关参数;最后,应对全桥病害进行全面、细致的调查并深入分析。原桥基本数据与病害数据的收集完备与否,直接影响整个加固工程成败与加固效果。

3. 加固前承载能力评定

在收集到的所有资料的基础上,对桥梁使用状况及承载能力进行综合评价,鉴定桥梁是否具有良好的工作性能和承载能力,是对桥梁做出维修、加固改造计算的重要依据。

桥梁的评定工作方法很多,大致归纳为:

- (1)外观检查对照规范进行评定;
- (2)以理论计算、分析计算为主进行评定;
- (3)荷载试验评定;
- (4)专家系统评定;
- (5)桥梁的可靠性分析评定。

在上述桥梁评定方法中,对于荷载试验方法在危桥承载能力评定的运用,作者认为应慎重考虑,理由有二:①对于危桥,一方面,由于桥梁本身的状况比较差、病害较多且重,另一方面,众所周知桥梁荷载试验是结构整个寿命中荷载强度最大的时刻之一(甚至是唯一的经历),在试验荷载作用下原有的病害必然会发展、桥梁的状况必然恶化,这对桥梁的安全性本身就是一种挑战且其对后续加固的影响也巨大。②加固前的试验荷载等级难以确定,对于“病害缠身”的危桥,如以原设计荷载进行加载,结构能否承受需要考虑,如低于原设计荷载等级进行加载,其意义有多大也需要考虑。

4. 加固增强设计

在桥梁病害及分析与承载能力评定的基础,有针对性进行加固增强设计,遵循技术先进、安全可靠、适用耐久和经济合理的原则。

5. 加固施工及控制

加固施工进行过程中,应对桥梁各项施工内容和项目严格把关,对桥梁控制截面应定期作变形观测。

为加固整治工程施工的顺利进行,施工中应在一岸或两岸设水准基点,以供观测桥梁各控制截面挠度在各分项施工中的变化及高程控制使用,所用水准仪应校正准确并做到专人定时观测和做好记录存案。

6. 养护和管理

加固施工完成后,应根据加固技术的具体要求进行全面、有效的养护工作。对于桥梁上的交通采取必要的限载限速措施,对于新浇混凝土应及时、定期进行养生工作,对钢制构件作必要的防锈涂装处理。

7. 竣工验收

按加固设计图和相关文件的约定,进行桥梁加固工程竣工后的验收工作,确保各项工作保质保量完成。