

普通高等学校规划教材

QIAOLIANG JIANCE YU JIAGU JISHU

# 桥梁检测 与 加固技术

姚国文 主编  
吴海军 李世亚 副主编



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

Qiaoliang Jiance yu Jiagu Jishu

# 桥梁检测与加固技术

姚国文 主 编  
吴海军 李世亚 副主编



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书是在土木工程专业课程体系改革的基础上,根据交通运输部最新的桥梁检测评定、维修加固技术标准组织编写的。全书共 11 章,主要内容包括:桥梁病害检查,桥梁技术状况评定,桥梁承载能力评定,桥梁缺陷与裂缝修复,梁桥加固技术,拱桥加固技术,桥梁下部结构加固技术,桥梁抗震加固技术等。书中附有典型桥梁病害与检测、加固工程实例,具有较强的实用性。

本书可作为高等院校土木工程专业检测与维护方向、桥梁工程方向专业课教材,亦可作为高职、高专、函授学校相关专业教材及参考书,同时可供桥梁检测评定、维修加固技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

桥梁检测与加固技术/姚国文主编. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2014. 7  
ISBN 978-7-114-11477-9

I. ①桥… II. ①姚 III. ①桥梁结构—检测②桥梁结构—加固④IV. ①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128003 号

书 名:桥梁检测与加固技术

著 者:姚国文

责任编辑:刘永芬

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

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:550 千

版 次:2014 年 8 月 第 1 版

印 次:2014 年 8 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11477-9

定 价:48.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

# 前 言

随着我国交通基础设施建设的长期、快速发展,桥梁建设与管理养护并重的时代已经到来。桥梁是公路的咽喉,一旦发生安全事故,其后果不堪设想。桥梁安全不仅仅是建设期间的质量控制问题,更是其数十年乃至上百年服役期内检测、维修与加固的问题。我国近 1/3 的桥梁存在结构性缺陷或不同程度的功能失效性隐患,少数桥梁更是出现了垮塌事故,留下了沉痛的教训。

为满足后交通时代对桥梁管理养护工作的高标准要求,交通运输部组织编写了《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22—2008)、《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23—2008)、《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)、《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)、《公路桥梁荷载试验规程》(征求意见稿),为桥梁检测评定、维修加固提出了规范化要求。

《桥梁检测与加固技术》是土木工程专业检测与维护的一门专业必修课、桥梁工程专业的一门必修专业课,其目的是使学生通过学习和了解桥梁典型病害、桥梁检测评定的基本方法、桥梁常用的维修加固技术,初步具有旧桥检测与技术状况评定、维修加固设计与施工的能力,为毕业后从事桥梁检测评定、维修加固与管理养护等工作奠定基础。本书主要内容包括:桥梁病害检查,桥梁技术状况评定,桥梁承载能力评定,桥梁缺陷与裂缝修复,梁桥加固技术,拱桥加固技术,桥梁下部结构加固技术,桥梁抗震加固技术等。书中附有典型桥梁病害与检测、加固工程实例,具有较强的实用性。

参加本书编写工作的有:重庆交通大学姚国文教授(编写第一章、第七章、第八章)、吴海军教授(编写第二章、第三章)、李世亚讲师(编写第四章、第五章)、刘思孟副教授(编写第九章、第十章)、陆萍讲师(编写第六章、第十一章),全书由姚国文担任主编,吴海军、李世亚担任副主编。

限于编者水平有限,本书难免会有错误和遗漏之处,诚挚希望读者不吝赐教([yaoguowen@sina.com](mailto:yaoguowen@sina.com)),我们对此表示深深的感谢。

姚国文

2014年4月于重庆

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 国内外桥梁发展状况	1
第二节 桥梁安全事故	8
第三节 桥梁养护工作的重要性与现状	10
第四节 桥梁检测与加固的目的及意义	13
第五节 桥梁加固的基本原则和要求	14
第六节 桥梁维护与加固的基本内容和技术途径	15
第二章 桥梁经常检查与定期检查	17
第一节 桥梁经常检查	17
第二节 桥梁定期检查	22
第三节 桥梁典型病害及成因分析	37
第三章 桥梁特殊检查	75
第一节 特殊检查的一般要求	75
第二节 应急检查与专门检查	77
第三节 桥梁材料性能与缺陷检测	79
第四节 桥梁荷载试验	104
第四章 桥梁技术状况评定	129
第一节 桥梁技术状况评定[按照(JTG H11—2004)]	130
第二节 桥梁技术状况评定[按照(JTG H11—2011)]	137
第三节 几种规范评定方法的比较	143
第四节 桥梁适应性评定	145
第五章 桥梁承载能力评定	147
第一节 桥梁承载能力评定的方法	147
第二节 现行《规程》中桥梁承载能力评定的方法	150
第六章 桥梁缺损维修与裂缝修补	161
第一节 混凝土桥梁缺损的维修	161
第二节 圯工桥梁缺损的维修	173
第三节 桥梁裂缝修补技术	174
第七章 梁桥上部结构加固技术	181
第一节 梁桥加固基本原理	181
第二节 增大截面加固方法	182

第三节	粘贴钢板加固方法·····	199
第四节	粘贴碳纤维复合材料加固方法·····	214
第五节	体外预应力加固方法·····	232
第六节	增加辅助构件加固方法·····	253
第七节	改变结构体系加固方法·····	255
<b>第八章</b>	<b>拱桥上部结构加固技术·····</b>	<b>259</b>
第一节	拱桥加固基本原理·····	259
第二节	增大截面加固方法·····	261
第三节	粘贴钢板加固方法·····	281
第四节	调整拱上建筑恒载加固方法·····	290
第五节	改变结构体系加固方法·····	294
第六节	拱桥吊杆更换技术·····	298
第七节	其他加固方法与技术·····	303
<b>第九章</b>	<b>桥梁下部结构加固技术·····</b>	<b>312</b>
第一节	概述·····	312
第二节	盖梁加固方法·····	316
第三节	墩柱加固方法·····	320
第四节	桥台加固方法·····	321
第五节	基础加固方法·····	322
第六节	地基加固方法·····	325
第七节	支座更换方法·····	328
<b>第十章</b>	<b>桥梁抗震加固技术·····</b>	<b>337</b>
第一节	地震灾害及其对桥梁的危害·····	337
第二节	桥梁抗震加固方法·····	348
第三节	地震防落梁方法·····	357
第四节	地震防地基土液化方法·····	359
第五节	桥梁减隔震方法·····	363
第六节	梁体复位方法·····	365
<b>第十一章</b>	<b>桥梁加固施工组织与管理·····</b>	<b>366</b>
第一节	施工准备·····	366
第二节	施工组织设计·····	366
第三节	施工安全与环境保护·····	368
<b>参考文献</b>	·····	<b>370</b>



# 第一章 绪 论

为了跨越各种障碍(如河流、沟谷或其他线路等),人们修建了各种类型的桥梁,桥梁是交通线路中的重要组成部分。特别是现代高等级公路以及城市高架道路的修建中,桥梁往往是保证全线早日通车的关键。在国防上,桥梁是交通运输的咽喉,在需要快速机动的现代战争中具有非常重要的地位。桥梁工程作为一门独立的科学技术被确认,不再是仅凭桥梁设计者们智慧和经验的创造过程。它已发展成融理论分析、设计、施工控制与管理于一体的系统性学科。由于科技的进步,一些相关的学科也渗入桥梁工程领域中,发展了新的分支学科,如桥梁抗风与抗震,桥梁 CAD,桥梁施工控制与桥梁检测技术等。

## 第一节 国内外桥梁发展状况

### 一、国内外桥梁现状

20 世纪以来,以悬索桥、斜拉桥为主的大跨径桥梁技术获得飞速发展。悬索桥跨径从威廉斯堡桥(主跨 488m,美国,1903 年)至明石海峡大桥(主跨 1 991m,日本,1998 年)增加了 4 倍,斜拉桥跨径从斯特伦松德桥(主跨 183m,瑞典,1955 年)至苏通大桥(主跨 1 088m,中国,2008 年)上升近 5 倍有余。

改革开放以来,随着我国经济建设的持续快速发展,交通基础设施建设取得了举世瞩目的成就,并将继续保持快速增长的趋势(图 1-1)。

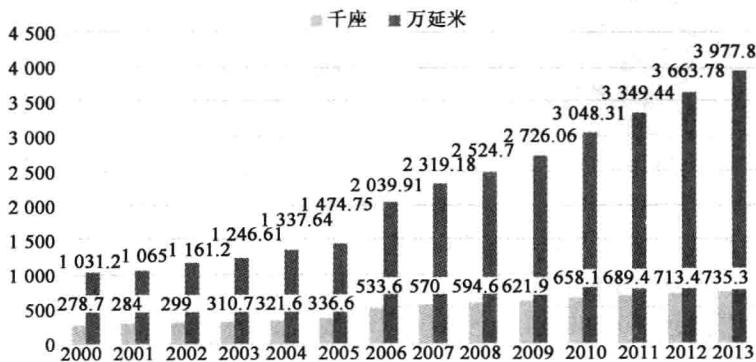


图 1-1 2000—2013 年我国桥梁数量变化



截至 2013 年末,全国公路总里程达 435.62 万 km,比上年末增加 11.87 万 km。公路密度为 45.38km/百平方 km,提高 1.24km/百平方 km。公路养护里程 425.14 万 km,占公路总里程 97.6%,提高 0.4 个百分点。全国等级公路里程 375.56 万 km,比上年末增加 14.60 万 km。等级公路占公路总里程 86.2%,提高 1.0%。其中,二级及以上公路里程 52.44 万 km,增加 2.25 万 km,占公路总里程 12.0%,提高 0.2%。各行政等级公路里程分别为:国道 17.68 万 km(其中普通国道 10.60 万 km)、省道 31.79 万 km、县道 54.68 万 km、乡道 109.05 万 km、专用公路 7.68 万 km,比上年末分别增加 0.35 万 km、0.58 万 km、0.73 万 km、1.39 万 km 和 0.31 万 km。全国高速公路里程达 10.44 万 km,比上年末增加 0.82 万 km。其中,国家高速公路 7.08 万 km,增加 0.28 万 km。全国高速公路车道里程 46.13 万 km,增加 3.67 万 km。全国农村公路(含县道、乡道、村道)里程达 378.48 万 km,比上年末增加 10.64 万 km,其中村道 214.74 万 km,增加 8.52 万 km。全国通公路的乡(镇)占全国乡(镇)总数 99.97%,其中通硬化路面的乡(镇)占全国乡(镇)总数 97.81%、比上年末提高 0.38%;通公路的建制村占全国建制村总数 99.70%,其中通硬化路面的建制村占全国建制村总数 89.00%、提高 2.54%。

截至 2013 年末,全国公路桥梁达 73.53 万座、3 977.80 万米,比上年末增加 2.19 万座、315.02 万米。其中,特大桥梁 3 075 座、546.14 万米,大桥 67 677 座、1 704.34 万米。全国公路隧道为 11 359 处、960.56 万米,增加 1 337 处、155.29 万米。其中,特长隧道 562 处、250.69 万米,长隧道 2 303 处、393.62 万米。

与此同时,公路运输中超限超载的问题也日渐突出,已成为危及人民群众生命和国家财产安全,影响社会经济协调、健康发展的一个突出社会问题。由于超限超载车辆的实际载重大大超过了道路、桥梁的正常设计使用荷载,极大地缩短了道路、桥梁的使用寿命,增加了道路、桥梁的投入成本。近年来,重载货车和船舶压垮、撞毁桥梁的安全事件时有发生,桥梁安全形势依然十分严峻,如图 1-2、图 1-3 所示。



图 1-2 超限超载运输引起的桥梁垮塌事故

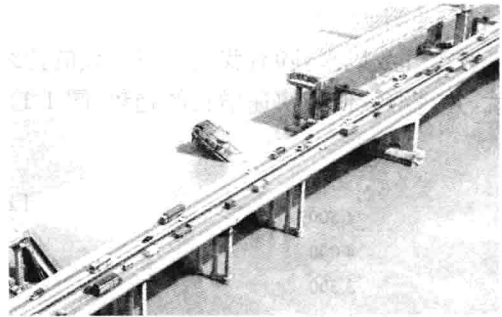


图 1-3 船只碰撞对桥梁的破坏

“十一五”期间,全国累计用于公路养护工程的资金约 8 011 亿元,完成路网改建工程 55 万 km、公路大修工程 16.7 万 km、公路中修工程 36.4 万 km。同时还完成危桥改造 11 296 座/87 万延米,完成了国省干线公路安保工程实施工作并累计整治安全隐患路段 36 万处/12 万 km,处治公路灾害路段 10 283km。全国国省干线公路的技术状况和安全水平正在稳步提升。

目前我国公路网中有近 10 万座(约占桥梁总数量的 15%)桥梁存在安全隐患,其严重的安全性和耐久性问题致使交通运输部在“十五”期间投入 150 亿元、“十一五”期间投入 270 亿元、





预计“十二五”期间投入将超 500 亿元进行危桥改造。

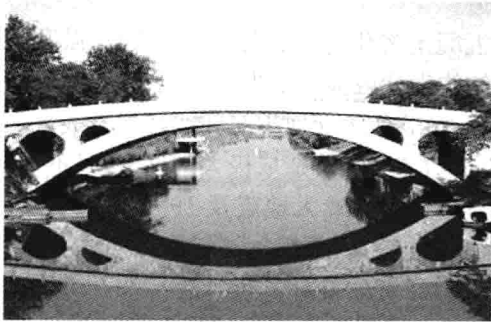
另一方面,由于混凝土结构的使用需求改变、混凝土劣化与老化等造成混凝土强度不足、各种灾害(地震、水灾、风灾和火灾等)、钢筋锈蚀、结构设计或施工不当以及配合规范修正等原因,大量在役混凝土桥梁存在承载能力不足等问题。桥梁作为交通枢纽和经济建设的大动脉,承担着重大的责任,一旦发生事故必将给人民的生命财产和经济造成极大的损失,且不易在短期内恢复,甚至致国民经济一蹶不振。1994 年美国洛杉矶北岭大地震及 1995 年日本阪神大地震均造成桥梁的严重损坏,更唤起了人们对桥梁抗震能力的重视。抗震能力明显不足的桥梁需要进行拆除或加固。加固通常要比拆除重建更具经济效益且可行。近年来,世界各国投入了大量资金对现有旧危桥进行加固、维修。美国对于旧桥改造工作的高度重视是从 Silver 桥事故开始的。1967 年 12 月 5 日,横跨俄亥俄河的 Silver 桥发生垮塌事故,造成重大伤亡事故。美国联邦高速公路总署(FHWA, Federal Highway Administration)的最新评估报告显示,美国已有超过 24 万座桥梁(约占 42%)面临严重功能丧失,估计在 2010 年之前,修补这些桥梁需花上 500 亿美元。在欧盟,接近 84 000 座混凝土桥梁需要维修与加固,而这些工作所消耗的年度预算超过 2.15 亿英镑。

桥梁的修补与加固对于发达国家已成为重要课题。对于土木工程建设而言,既有结构物的维护、加固及升级应该与新建结构物的设计及兴建扮演同等重要的角色,混凝土结构加固也因此成为土木工程界目前发展最快的领域之一。利用先进的加固技术对这些病危桥梁进行加固处理,提高其承载能力,延长它们的使用寿命,确保桥梁结构和交通运输安全,是现在和今后广大桥梁工作者所面临的主要任务,也是桥梁养护管理工作中亟需解决的课题。

综上所述,要保持交通的安全畅通以及桥梁建设的可持续性发展,提高现有桥梁的服务水平,我们不仅要加强桥梁建设,同时也要积极加强对已有旧桥的维护与加固工作;要保持交通的持续畅通发展,桥梁建设和桥梁的维修加固二者不可偏废。尤其是我国是一个发展中国家,资金不充足,交通还处于比较落后的地位,在这个大前提下,加强旧危桥的维修加固工作就具有更大的实际意义:一是可以最大限度地降低交通建设成本,实现投资的优化;二是可以保持桥梁建设的快速发展,缓解我国的交通紧张状况。

## 二、国内桥梁发展

我国的桥梁在世界桥梁史上有着辉煌的篇章。古代桥梁不但数量惊人,而且类型也丰富多彩,几乎包括了所有近代桥梁中的主要形式。据史料记载,在 3 000 多年前的周文王时期,我国就在渭河上架设过大型浮桥。隋唐时期是我国古代桥梁的兴盛时代,驰名中外的河北省赵县的赵州桥(图 1-4a),就是我国古代石拱桥的杰出代表。该桥在隋大业初年(公元 605 年左右)由李春主持建造,是一座空腹式圆弧形石拱桥,净跨径 37.02m,宽 9m,矢高 7.23m。在拱圈两肩各设两个跨度不等的腹拱,既减轻桥梁的自重、节省材料,又便于排洪、增加美观。福建泉州的万安桥(图 1-4b),又称洛阳桥,建于 1053~1059 年。该桥全长 1 106m,共 47 孔,跨径 11~17m,桥宽 3.7m,桥下江底以磐石铺遍形成筏形基础,并且用养殖牡蛎的方法胶固桥基形成整体。建桥所用材料大都是土、石、木、砖等天然耐久性好的材料。万安桥共有石梁 300 余根,每根重 20~30t,采用潮汐涨落控制船只高低的方法来架设石梁。



a) 赵州桥



b) 福建泉州万安桥

图 1-4 中国现存的古代著名桥梁

新中国成立后,我国的交通事业快速发展,尤其是改革开放以来国家对高等级公路的巨大投入,一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工难度大、现代化品位和科技含量高的大跨径拱桥、斜拉桥、悬索桥、PC 连续刚构桥在祖国大地上建起。我国桥梁事业的发展积累了丰富的桥梁设计、施工、养护管理的经验,使得我国的桥梁事业得到了空前发展,在大跨径桥梁建设方面已居世界领先水平。长江流域上建成的桥梁堪称我国的桥梁博物馆。1957 年,第一座长江大桥——武汉长江大桥(图 1-5a)胜利建成,结束了我国万里长江无桥的历史状况,标志着我国建造大跨径钢桥的现代化桥梁技术水平提高到新的水平。大桥主桥为三联  $3 \times 128\text{m}$  连续钢桁梁,上层为公路桥,下层为双线铁路,包括引桥在内,桥梁全长 6 772m。上层公路桥面宽 18m,两侧各设 2.25m 人行道,包括引桥全长 1 670.4m。1969 年建成的南京长江大桥(图 1-5b)是我国自行设计、施工,并使用国产高强钢材的现代化大型桥梁。南京长江大桥的建成,标志着我国的桥梁建造技术已达到世界先进水平。



a) 武汉长江大桥



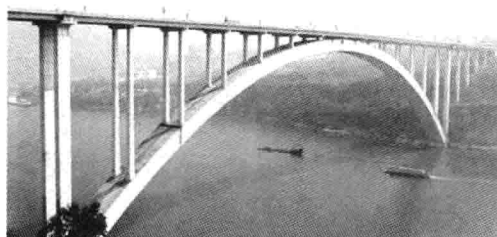
b) 南京长江大桥

图 1-5 新中国成立后建设的重要桥梁

从拱桥的发展来看,我国因地制宜修建了大量经济美观的石拱桥。目前世界跨径最大的石拱桥是于 1999 年底建成的跨径为 146m 的山西丹河大桥;世界最大跨径的混凝土拱桥是于 1997 年建成的重庆万县长江大桥(图 1-6a),跨径为 420m,其主拱圈是采用钢管混凝土劲性骨架法施工的;2005 年 1 月 8 日,正式竣工通车的巫山长江大桥,其主跨跨径 492m,是世界跨径最大的钢管混凝土拱桥(图 1-6b),居同类型桥梁世界第一;2003 年 6 月 28 日建成通车的中承式钢箱拱桥——上海卢浦大桥(图 1-6c),主跨达 550m,为当时世界上跨径最大的拱桥;2009



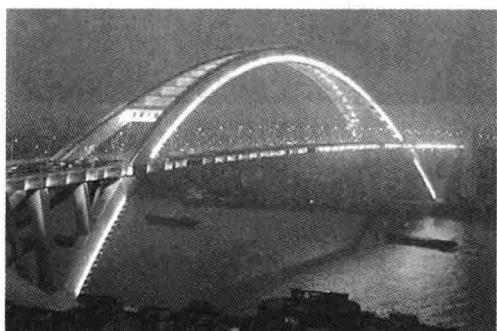
年4月29日正式通车的重庆朝天门大桥超越前者,主跨达552m(图1-6d),成为“世界第一拱桥”。



a) 重庆万县长江大桥



b) 巫山长江大桥



c) 上海卢浦大桥



d) 重庆朝天门大桥

图 1-6 近年来我国建设的重要拱桥

钢筋混凝土与预应力混凝土的梁式桥在我国也得到了快速发展。中小跨径的梁桥已广泛采用标准设计。我国预应力混凝土简支梁桥的标准化设计跨径达40m。1976年建成洛阳黄河公路大桥,跨径为50m,全长达3.4km。1997年建成的主跨为270m的虎门大桥辅航道桥是我国跨径最大的预应力混凝土梁桥,同类桥型跨径排名世界第四位。

预应力混凝土斜拉桥由于其结构合理、跨越能力大、用材指标低和外形美观等优点发展迅速。我国自1975年四川云阳建成第一座主跨为76m的斜拉桥后,20多年来,在改革开放的新形势下,得到了充分的发展和推广,至今已建成各种类型斜拉桥130多座,其中跨径大于200m的有52座,目前我国主跨超过600m的斜拉桥有4座。已建成的南京长江二桥为主跨628m的钢箱梁;武汉白沙洲大桥为主跨618m的混合梁;福建青州闽江大桥,其主跨为605m;1993年建成的上海杨浦大桥(图1-7a),主跨为602m。闽江大桥和上海杨浦大桥均为钢—混凝土组合梁。这4座桥梁的跨径目前均居世界领先地位。2008年建成通车的苏通长江大桥(图1-7b)主桥采用主跨1088m的双塔双索面钢箱梁,目前为世界跨径第二的斜拉桥。多年来,我国在斜拉桥设计、施工技术、施工控制、斜拉索的防风雨振等方面,积累了丰富的经验。我国斜拉桥建设水平已迈入国际先进行列,部分成果达到国际领先水平。

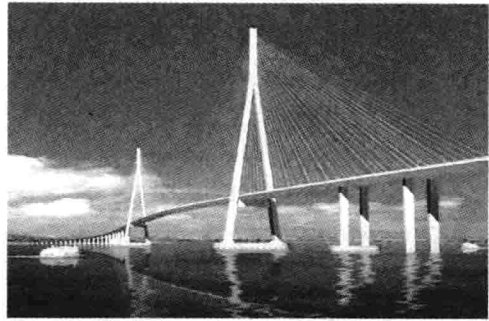
悬索桥的跨越能力在各类桥型中是最大的。2005年建成通车的润扬大桥(图1-8a),是我



国第一座由悬索桥和斜拉桥构成的特大型组合桥梁,其中南岸主桥为单孔双铰钢箱梁悬索桥,主跨径 1 490m,目前位居世界第三。2007 年建成的西堍门大桥(图 1-8b),是世界第一跨径的钢箱梁悬索桥。西堍门大桥是连接舟山本岛与宁波的舟山连岛工程五座跨海大桥中技术要求最高的特大型跨海桥梁,主桥为两跨连续半漂浮钢箱梁悬索桥,主跨 1650m,位居目前悬索桥世界第二、国内第一,其中钢箱梁全长位居世界第一。设计通航等级 3 万吨、使用年限 100 年。该桥具有技术难度大、科技创新多、抗风性能高等亮点。



a) 上海杨浦大桥



b) 苏通长江大桥

图 1-7 近年来我国建设的重要斜拉桥



a) 润扬大桥



b) 西堍门大桥

图 1-8 近年来我国建设的重要悬索桥

纵观我国桥梁事业的发展,可看出我国桥梁建设事业近年来有了长足的进步,而且,发展的趋势是强劲的。随着经济的发展、综合国力增强,我国的桥梁在建筑材料、结构设计理论与软件工程、研究分析与桥梁科学试验、预应力混凝土技术、钢桥制造技术、深水基础工程、施工技术与方法、施工机具与管理等领域一定会百尺竿头更进一步。

### 三、国外桥梁发展

国外桥梁的发展主要在第二次世界大战以后。第二次世界大战期间,大量钢桥被破坏,预应力混凝土桥和斜拉桥开始崭露头角。1928 年,法国 Freyssinet 工程师首先发明预应力钢筋混凝土。这种材料克服了钢筋混凝土易产生裂纹的缺点,改进了桥梁的施工方法,有效提高了桥梁的跨径。20 世纪 50 年代,林同炎对预应力进行了更深入地研究,创造了“预应力学说”理论体系。预应力理论的完善使预应力钢筋混凝土桥梁得到了飞速发展。同一时期,德国 Dishinger 在 1938 年提出的现代斜拉桥设计构思得以实现。斜拉桥在 50 年代开始崭露头角,

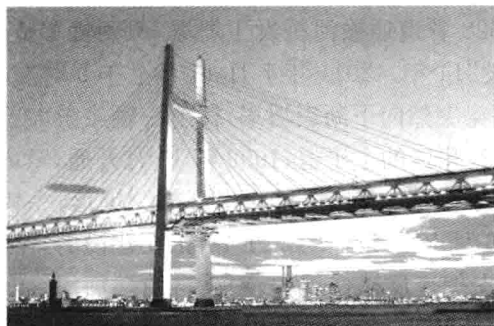


与预应力钢筋混凝土桥一起成为第二次大战后桥梁发展史上两个最伟大的创新成就。

20 世纪 60 年代是斜拉桥发展的第一个高峰期。期间,斜拉桥的技术创新主要体现在两个方面:一是从稀索体系发展到密索体系,更方便拼装;二是桥面从钢桥面变到预应力混凝土桥面,以及两种材料的结合,提高了桥面的性能。这些创新使斜拉桥在很大跨径范围内成为最有竞争力的桥梁类型。同样是在 60 年代,英国于 1966 年建成的 Severn 桥采用流线型扁箱桥面,用钢筋混凝土桥塔替代钢塔,诞生了新一代英国式悬索桥,并成为以后悬索桥结构形式的主流。风洞试验证明:这种流线型扁平钢箱桥面具有很好的气动性能,而且由于自重轻,不仅节省造价,又便于施工安装,得到了广泛推广。

70 年代,预应力技术与斜拉桥的结合产生了采用预应力混凝土桥塔和桥面的 EC 斜拉桥。其中,最著名的是法国 J. Muller 设计的 Brottone 桥,主跨为 320m,其最大的拉索达到一千吨级的索力,并创造了另一种钢梁柔塔的法国风格 EC 斜拉桥。同一时期,瑞士著名工程师 Christian Menn 教授创造了斜拉桥和连续刚架桥。在施工技术上,顶推法施工工艺获得成功。所有工作都在桥头工厂中完成,在运输和安装条件比较困难的山谷地区是一种经济合理的施工方法。80 年代,预应力桥梁在发展过程中也暴露出不少问题。预应力索在水泥灌浆防腐的管道内发生严重锈蚀,引起了国际桥梁界的普遍关注。采用体外预应力索能有效地解决这一问题,同时,因为体外预应力索具有可检查、易更换的优点,用它替代体内预应力索还能减薄壁厚,减轻结构自重,所以,体外预应力索得到了快速发展。沿用水泥灌浆防腐工艺的斜拉桥拉索内,因为水泥收缩和荷载作用发生断裂而使防腐失效的问题也得到了重视。日本采用完全工厂生产的聚乙烯防腐索套解决这一问题,得到了施工单位的肯定,为推动斜拉桥的发展做出了贡献。中国在 80 年代正值改革开放初期,率先起步的广东省也出现了桥梁建设的高潮,吸引了全国各地同行的积极参与。中国在引进国外先进技术的同时认识到与国外技术存在的巨大差距,在这段时间,中国桥梁应该是一种跟踪性的发展和提高。90 年代,世界桥梁修建速度越来越快,跨径记录不断被刷新。在建设大型桥梁的过程中,一些新材料、新工艺不断涌现。

法国诺曼底大桥[图 1-9a)]采用了平行钢绞线拉索和施工控制技术,日本明石海峡大桥[图 1-9b)]采用高强度钢丝、塔墩深水基础和钢桥塔减振技术,日本多多罗大桥[图 1-9c)]采用长拉索防雨振措施,挪威 Stolmasundet 连续刚架桥[图 1-9d)]采用预应力悬臂施工技术以及大桥健康监测和振动控制技术,新技术的发展为 21 世纪桥梁的继续发展奠定了坚实的基础。



a) 法国诺曼底大桥

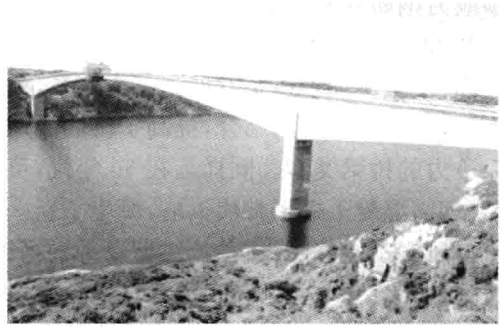


b) 日本多多罗大桥

图 1-9



c) 日本明石海峡大桥



d) 挪威Stolmasundet桥

图 1-9 国外各类型著名桥梁

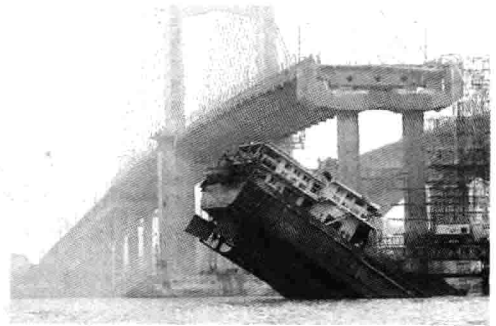
## 第二节 桥梁安全事故

随着桥梁事业迅速的发展,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,桥梁是沟通公路全线的关键,我国现役 70 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。近几年来相继发生了多起震惊世界的桥梁悲剧,给人们留下了沉痛的教训。

2006 年 8 月 2 日,辽宁省营口市熊岳大桥在洪水冲击下发生断裂,2 座桥墩被冲塌,2 孔桥板塌落,2 孔桥板下沉;2007 年 6 月 15 日凌晨 5 时 10 分,一艘佛山籍运沙船偏离主航道航行撞击九江大桥,导致桥面坍塌约 200m,导致 9 人死亡,这就是闻名中外的“九江大桥 6·15 船撞桥断事故”,也称为“九江大桥事件”。2009 年 5 月 17 日,湖南株洲市红旗路高架桥坍塌,事故造成 9 人遇难、16 人受伤,24 辆车被损毁。2010 年 7 月 24 日,洛阳栾川县潭头镇汤营村一座大桥整体垮塌,桥上人员全部坠入洪水,事故造成 60 余人死亡。2010 年 12 月 25 日下午,江苏盐城市盐都区秦南镇,长约 60m 的跨河大桥在遭到船队撞击后轰然垮塌。2011 年 7 月 11 日昨天凌晨 2 时 10 分左右,江苏盐城境内 328 省道通榆河桥发生坍塌,两辆货车坠落,大桥是 1997 年 3 月建成通车,距大桥坍塌已“服役”14 年。2011 年 7 月 14 日上午 9 时左右,福建南平市武夷山公馆斜拉桥将近 50m 左右的桥梁突然向下断裂坍塌,桥上一辆旅游大巴在事故中坠落,造成 1 人死亡,22 人受伤。此桥为通往景区的主干道,1999 年 11 月开通,至坍塌时不足 12 年。2011 年 7 月 15 日凌晨,杭州第三钱塘江大桥南端桥面出现部分塌落,一辆重型半挂车从桥面坠落,又将下匝道砸塌。2012 年 6 月 18 日晚 17 点 21 分,正在建设的月牙岛 12 跨连续梁跨河桥北侧第三跨箱梁施工时,由于支护违反操作规程,箱梁自由端坍塌。2012 年 8 月 24 日 5 时 30 分左右,哈尔滨机场高速由江南往江北方向,即将进入阳明滩大桥主桥的最后一段被 4 辆重载货车压塌,4 辆货车冲下桥梁,造成 3 人死亡、5 人受伤。损坏桥梁如图 1-10 所示。



a) 辽宁省营口市熊岳大桥



b) 九江大桥桥墩被运沙船撞毁



c) 湖南株洲市红旗路高架桥



d) 洛阳栾川县潭头镇汤营村某桥



e) 江苏盐城秦南镇跨河大桥



f) 榆河桥发生坍塌



g) 武夷山公馆斜拉桥



h) 钱塘江大桥桥面出现塌落

图 1-10



i) 辽宁抚顺市月牙岛西桥



j) 哈尔滨阳明滩大桥断裂

图 1-10 国内近年发生的桥梁严重垮塌事故

国外的桥梁事故也不乏鲜见,2007年8月1日,美国明尼苏达州明尼阿波利斯市跨越密西西比河的 I-35W 桥突然破坏,造成 8 人死亡,79 人受伤。据估计事故发生时桥上有 50~100 辆机动车,是美国自 1983 年以来最严重的非天灾或外力因素所造成的桥梁崩塌事件。2001 年,明尼苏达大学土木系的一份报告指出,I-35W 大桥纵梁已扭曲变形,还发现该桥桁架疲劳的证据。该报告同时指出:一旦桁架承受不了庞大的车流,I-35W 大桥恐将崩塌。但桥梁养护不足这一问题并未被政府所重视。I-35W 密西西比河大桥是由明尼苏达州运输部于 1967 年建成的。1990 年,美国联邦政府以 I-35W 密西西比河大桥支座有严重腐蚀,将该桥评为有“结构缺陷”(structurally deficient),当时全美总共有超过 7 万座桥梁被评为此等级。2007 年 8 月 3 日美国明尼苏达州明尼阿波利斯市的一座桥梁发生坍塌,有 7 人在桥梁坍塌事故中死亡,60 人受伤,如图 1-11 所示。



a) I-35W 大桥崩塌



b) 美国明尼苏达州一座桥梁坍塌

图 1-11 国外近年发生的桥梁严重垮塌事故

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。2009 年 12 月 24 日傍晚,拉贾斯坦邦纳亚冈—科塔地区昌巴尔河一座在建桥梁突然倒塌,造成 48 人遇难……太多的悲剧给每一个桥梁工作者留下了惨痛的教训。

### 第三节 桥梁养护工作的重要性与现状

#### 一、我国在役桥梁病害严重的原因

(1)我国大量县乡村公路桥梁大多修建于 20 世纪 70 年代以前,在资金不足、技术力量薄





弱而工期又非常紧的情况下建设起来的这些桥梁,其技术标准低,工程质量差,不能适应当前交通量日益增长,从而加快了桥梁疲劳、老化进程,部分交通量大的桥梁便成为危桥。新中国成立初期至改革开放前的几十年中修建的大量桥梁约 24 万座,标准低、年久失修不能满足现代交通的需求。近 30 年桥梁建设快速发展,但设计、施工管理水平发展相对滞后,还处在不断提高的过程中,因而许多桥梁未通车就存在隐患。

(2)桥梁设计荷载等级低,大大限制了公路运输的通行能力。以前修建的桥梁等级大多为汽车-10 级,而现在的汽车重量已达到了一百多吨,各种超重车的出现加重了桥梁的负荷并加快了桥梁损坏的进程,车辆超载行驶使这些低等级的桥梁难以适应。因为交通运输管理体制等多方面的原因,中国公路桥梁上行驶的大型车辆普遍超载,单车过百吨、轴重过 250kN 的车辆时常可见。这些车辆对道路桥梁的破坏是直接而致命的。虽然这些超重车辆和大件运输车辆过桥时,不会导致桥梁立即倒塌,但对桥梁造成了严重损伤,将缩短其使用寿命。

(3)桥梁设计得不合理,导致桥梁病害的加重。在 20 世纪 60~70 年代我国采用最多的桥梁结构是石板桥和圬工拱桥。石板桥最大的弊端是桥面没有铺装,即使有也是简易铺装,石板一断裂整座桥便处于瘫痪状态;圬工拱桥配筋率低,与梁桥相比可节省大量的钢材,但是其桥台难以稳定,容易产生位移,桥台的位移必然会导致整个上部构造的损坏,主要表现为腹拱顶开裂、拱角渗水等。此外,许多桥梁在结构上、材料上的研究还不足,设计规范标准也存在滞后的问题,有些桥梁在成桥后的长期使用中发现这样或那样的缺陷。

(4)自然因素的影响,日益加重的环境污染,造成桥梁的自身老化、破损。随着我国工业的快速发展,各企业只注重发展生产,废水不经处理便排入河流,致使沿线桥梁下部构造腐蚀。

(5)缺乏有效的管养机制。面对数量庞大、增长迅速的桥梁,我们没有建立有效管养体系,众多桥梁缺少管理和保养,让“小病”逐渐发展成“大病”,桥梁长期带“病”工作,最终发展成为危桥。

桥梁坍塌是桥梁损伤破坏的一种极端现象,是桥梁损伤不断积累的结果,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检查、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。

## 二、桥梁养护存在的典型问题

目前,管理单位普遍存在着养路不养桥、重建不重养的思想,造成桥梁失养,主要表现在以下几个方面:

(1)桥面不清洁、泄水孔堵塞,在中小型桥梁中比较普遍,个别的桥面上堆放柴草杂物、垃圾泥土污物等,晴天尘土飞扬,雨天泥浆四溅。

(2)桥面不平整,使车辆颠簸,影响车速,增加桥梁构件的疲劳,如不改善将缩短桥的使用寿命。

(3)桥头跳车现象严重。桥头跳车会给行车带来不舒适,影响车速,降低行车质量,长期下去也会影响桥的使用寿命。

(4)桥梁栏杆残缺不齐。造成栏杆残缺的原因很多,如车辆肇事、人为破坏等,虽然不影响