



普通高等教育铁道部规划教材

铁路桥梁养护维修

夏 禾 主编 杨梦蛟 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育铁道部规划教材

铁路桥梁养护维修

夏 禾 主 编

杨永清 副主编

杨梦蛟 主 审

中国铁道出版社

2010年·北 京

内 容 简 介

本书共分七章,主要包括:铁路桥涵检查及桥涵结构养护与修理的内容和方法,高速铁路桥涵以及大跨度铁路桥梁修理的要点,铁路桥涵检定的内容和方法,桥梁健全度评估方法,铁路既有线换梁、桥涵框构顶进、顶升改造技术,桥涵结构加固改造方法和技术措施,桥涵结构耐久性评估理论与技术对策,桥梁寿命评估理论和评估方法。

本书为高等学校道路与铁道工程专业教材,也可供相关科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路桥梁养护维修/夏禾主编. —北京:
中国铁道出版社,2010.11
普通高等教育铁道部规划教材
ISBN 978-7-113-11772-6

I. ①铁… II. ①夏… III. ①铁路桥—铁路养护—
高等学校—教材 ②铁路桥—维修—高等学校—教材
IV. ①U448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 185045 号

书 名: 铁路桥梁养护维修
作 者: 夏 禾 主编

责任编辑: 李丽娟 电话: (010) 51873135 教材网址: www.tdjiaocai.com
封面设计: 崔丽芳
责任校对: 孙 玫
责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 北京新魏印刷厂
版 次: 2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 22.5 字数: 567 千
书 号: ISBN 978-7-113-11772-6
定 价: 42.00 元



版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)
打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关业务部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路专业技术人员使用。本书为铁道工程系列教材之一。

桥涵建筑物是铁路线路的重要组成部分,结构复杂,修建困难,造价较高。桥涵在建造与使用过程中,不可避免地会受到各种不利因素的影响,加上结构本身的自然老化,在其使用周期内必然发生结构状态的退化。此外,随着交通运输的日益繁忙,桥涵承载能力和通过能力也需要满足新的要求。为保障桥涵的安全运营,延长其使用寿命,就需要加强日常养护,并在检测评估的基础上,对那些承载能力和运输能力不足、使用性能较差或耐久性能不满足要求的结构或构件进行修理加固。因此,桥涵建筑物的修理加固具有十分重要的意义。

《铁路桥梁养护维修》是土木工程专业、铁路桥梁专业的一门专业拓展课程教材,是针对我国铁路桥梁面临大量养护、维修、检测、加固需要的新形势而为高年级本科生开设的一门扩充知识面的课程所编写的教材。

本书共分七章。第一章总结了铁路桥涵的各种病害,说明了桥涵建筑物修理工作的意义和任务,介绍了桥梁综合安全评估体系;第二章总结了桥涵基本技术条件;第三章讲述了桥涵检查、无损检测及地基检测的内容、方法及计算原理,介绍了桥梁长期健康监测技术;第四章讲述了桥涵结构养护与修理的内容和方法,介绍了高速铁路、客运专线桥涵以及大跨度铁路桥梁修理的要点;第五章讲述了铁路桥涵运营性能静力和动力检定的内容、程序及评估方法,介绍了桥梁健全度评估方法,给出了铁路桥梁的检定评估实例;第六章讲述了铁路既有线换梁、桥涵框构顶进、桥梁下部结构加固改造、桥梁顶升改造,以及列车提速条件下的桥梁横向加固改造的方法和技术措施;第七章总结了桥涵结构耐久性及其损伤中存在的各种问题,讲述了桥涵结构耐久性评估理论与寿命评估方法分析、桥涵工程的耐久性对策,给出了一个桥梁疲劳寿命评估的实例。

本书由北京交通大学夏禾担任主编,西南交通大学杨永清担任副主编。夏禾确定各章节内容,制订全书大纲,并编写第一章,北京交通大学张楠编写第二章,战家旺编写第三章,姚锦宝编写第四章,战家旺、张楠编写第五章,战家旺编写第



六章；西南交通大学杨永清、施洲、李晓斌、任伟平、成文佳、王振领编写第七章。全书由夏禾进行了统稿和修改。在本书的编写过程中，铁道部运输局基础部杨梦蛟研究员对全书进行了审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议，作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免缺点和错误之处，恳请读者批评指正。

作 者

2010年4月于北京交通大学

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 铁路桥涵养护维修工作面临的形势	1
第二节 桥涵建筑物修理工作的意义和任务	29
第三节 桥梁综合安全评估体系	32
复习思考题	37
第二章 铁路桥涵基本技术条件	38
第一节 铁路桥涵养护维修依据	38
第二节 铁路桥涵基本技术条件	39
第三节 铁路桥梁运营性能检验标准	52
第四节 铁路桥涵建筑物修理作业验收标准	58
复习思考题	64
第三章 铁路桥涵检查	65
第一节 铁路桥涵检查的任务	65
第二节 铁路桥涵技术资料调查	66
第三节 铁路桥涵技术状态检查	66
第四节 桥梁下部结构检测	76
第五节 铁路涵洞检查	90
第六节 铁路桥涵状态评定	93
第七节 混凝土桥涵无损检测技术	106
复习思考题	120
第四章 铁路桥涵建筑物修理	121
第一节 桥涵建筑物修理的主要内容和方法	121
第二节 桥面修理	125
第三节 钢梁修理	139
第四节 圯工结构物修理	148
第五节 桥梁支座修理	183
第六节 桥梁墩台修理	188
第七节 涵洞常见病害整治方法	192
第八节 大跨度斜拉桥修理	194
复习思考题	199



第五章 铁路桥涵运营性能检定与评估	200
第一节 桥涵运营性能检定评估目的和方法	200
第二节 基于静载试验的桥梁运营性能评估方法	202
第三节 基于振动测试的桥梁状态评估方法	213
第四节 桥梁检定与评估实例	232
第五节 铁路桥墩健全度评估方法	243
第六节 桥梁长期健康监测技术简介	255
复习思考题	258
第六章 铁路桥涵换梁、改造及动力加固技术	259
第一节 既有线换梁	259
第二节 既有线桥涵顶进	263
第三节 桥梁下部结构加固改造	273
第四节 桥梁顶升改造	278
第五节 列车提速条件下的桥梁横向刚度加固	281
复习思考题	298
第七章 铁路桥涵耐久性与使用寿命评估	299
第一节 桥涵结构耐久性及损伤综述	299
第二节 桥涵结构耐久性分析	302
第三节 桥涵工程的耐久性对策	312
第四节 桥涵寿命评估理论与评估方法	315
第五节 桥梁疲劳寿命评估实例	343
复习思考题	347
参考文献	349

第一章 绪论

第一节 铁路桥涵养护维修工作面临的形势

一、铁路桥梁的发展状况

自从 1825 年第一条铁路在英国出现以来,铁路交通就以其安全、准时、高效的特点在世界上得到了长足的发展。随着社会的发展和科学技术的进步,对铁路运输能力的要求越来越大,列车车速也不断提高。20 世纪 50 年代初,法国首先提出了高速列车的设想,并最早开始试验工作。1964 年,日本建成了连接东京与新大阪之间的东海道新干线,成为世界上第一条运营的高速铁路系统(图 1—1)。新干线的列车速度达到 $270 \sim 300 \text{ km/h}$,并曾创造过 443 km/h 的试验记录(1996 年,955 系 300X)。1976 年,用电力机车牵引的高速列车在英国投入运行,最高速度达 200 km/h 。1981 年,采用流线形造型的铰接式高速列车 TGV(Train à Grande Vitesse)在法国的巴黎—里昂干线正式投入使用。2007 年 4 月 3 日,TGV 列车在试验中创下了 574.8 km/h 的轮轨式列车世界纪录(图 1—2)。1971 年,德国开始建设汉诺威—维尔茨堡高速铁路并于 1991 年通车,列车运行速度为 280 km/h 。此外,在西班牙、瑞典、比利时、韩国、意大利等国家也先后建成了高速铁路。



图 1—1 驶过富士山的新干线列车

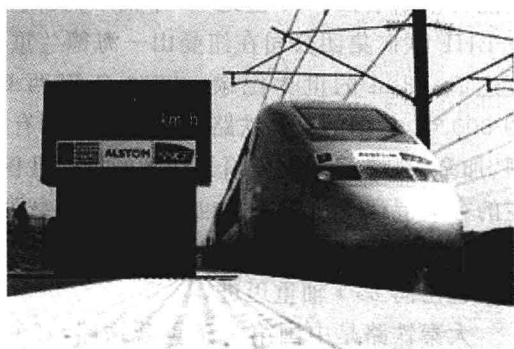


图 1—2 法国 TGV 高速列车

我国铁路自 20 世纪 90 年代以来,加速了其现代化进程。截至 2009 年底,全国铁路营业里程达到 8.6 万 km ,跃居世界第二位。在扩大路网建设的同时,把提高既有铁路的客货列车速度作为重大技术决策予以实施。通过六次大提速,普通旅客列车速度已经从 $80 \sim 100 \text{ km/h}$ 提高到 $120 \sim 200 \text{ km/h}$,货物列车速度已经从 $30 \sim 50 \text{ km/h}$ 提高到 $80 \sim 120 \text{ km/h}$ 。近年来,国家在提高既有铁路客、货列车速度的同时,把建设快速和高速客运专线作为铁路发展的新目标。2004 年,国务院审议通过了铁路中长期铁路网规划,规划建设“四纵四横”客运专线网和



三个城际客运系统,计划总长 12 000 km。2003 年开通的秦沈客运专线,设计运营速度 200 km/h,试验列车最高速度达到了 321.5 km/h。在台湾,全长 345 km 的台北—高雄高速铁路已于 2004 年建成通车(图 1—3)。京津城际铁路已于 2008 年 7 月北京奥运会前投入运营,使得北京到天津的列车运行时间缩短为半个小时(图 1—4),其试验列车速度达到了 394.3 km/h。全长 1 068.6 km 的武广高速铁路是世界上第一条运营速度 350 km/h 的高速铁路,已经在 2009 年底建成通车。

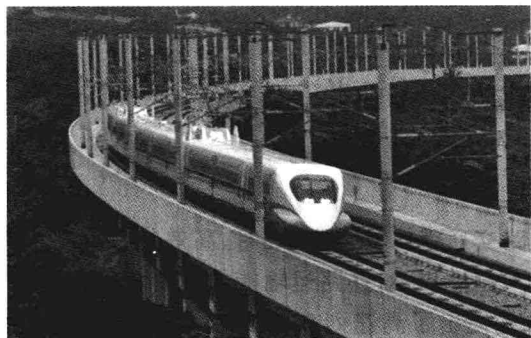


图 1—3 台北—高雄高速铁路列车



图 1—4 京津城际高速列车

据不完全统计,我国目前在建客运专线 36 条,线路长度约 13 000 km;在建城际快速铁路 10 条,线路长度约 2 100 km;根据城市定位和需求,规划研究中的客运专线另外还有 5 条,约 2 500 km,城际快速铁路 24 条,约 4 100 km。正在建设中的京沪高速铁路,设计速度达到 380 km/h,将创造世界轮轨交通运营速度的新纪录。

在提高列车速度的同时,重载运输也在越来越多的国家得到了发展。各国通过发展大功率机车,开发大轴重、轻自重的大型货车等高新技术,促使重载列车牵引重量不断增加,铁路运输能力不断增强。20 世纪 70 年代末,美国一级铁路就开始了重载运输。2001 年 6 月,澳大利亚 BHP 铁矿集团公司在纽曼山—海德兰重载铁路上创造了列车牵引总质量 99 734 t、列车长度达 7 353 m 的世界纪录。2004 年巴西 CVRD 铁矿集团的重载列车平均牵引重量已达 39 000 t。美国的 UP 铁路公司经营的所有列车平均牵引质量已达 14 900 t。目前,不仅在美国、加拿大、澳大利亚等幅员辽阔的大陆性国家大量开展重载运输,而且在欧洲传统以客运为主的客货混运干线铁路上也开始运行重载列车。美国、加拿大、澳大利亚重载列车已普遍采用 35.4 t 轴重,巴西、瑞典已采用 30 t 轴重,俄罗斯已将重载列车轴重提高到 27 t,欧洲铁路重载列车也已向 25 t 轴重迈进。

大秦铁路是中国第一条重载铁路,1992 年开通运营,随后运量逐年上升,2002 年超过 1 亿 t。2003 年起,为了满足紧张的煤运需求,逐步开行了 5 000 t、10 000 t 乃至 20 000 t 重载列车。20 000 t 重载列车由 5 台 SS₄G 电力机车(总功率为 43 300 马力)分部牵引、204 辆 C80 型 80 t 煤运专用敞车组成,全长 2 658 m,总重量超过 20 000 t(图 1—5)。2007 年总运量突破 3 亿 t,2008 年

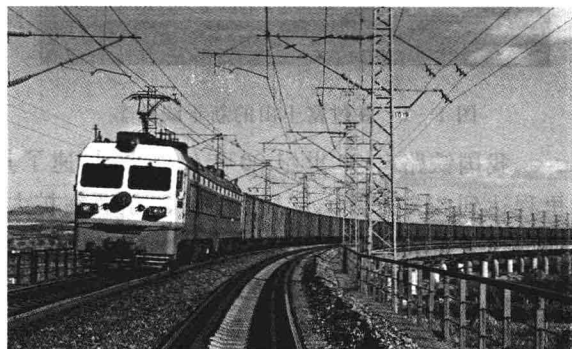


图 1—5 大秦线重载列车在桥梁上通过



达到 3.4 亿 t。另一条重载铁路朔黄铁路,1997 年开始运营,2006 年运量超过 1 亿 t,2008 年达到 1.4 亿 t。2009 年底,朔黄铁路正式开行了载重达 10 000 t 的组合列车,预计 2010 年总运量将超过 1.6 亿 t。目前,我国重载列车轴重已从 23 t 提高到 25 t,并正在进行将轴重进一步提升至 30 t 或 30 t 以上的研究工作。

桥梁是构建铁路的重要基础设施工程之一,也是铁路建设的关键技术。从有利于节约宝贵的土地资源和有利于环境保护出发,并根据技术需要,时速 200 km 以上的高速铁路(包含客运专线、城际铁路)中,桥梁的比例比普通铁路高得多。例如,京津城际铁路桥梁累计长度占全线正线总长的比例为 87.7%,京沪高速铁路为 80.5%,广珠城际铁路为 94.2%,武广高速铁路为 48.1%,哈大客运专线为 73.4%,见表 1—1。

表 1—1 我国高速铁路桥梁工程概况表

线路名称	全长(km)	桥梁(km)	桥梁比重(%)	备 注
京沪高速铁路	1318	1060.9	80.5	客、客兼运 客、客兼运
石太客运专线	189.93	39.2	20.6	
京津城际铁路	115.2	100.2	87.7	
郑西客运专线	486.9	283.5	58.0	
武广高速铁路	968.2	465.24	48.1	
甬台温铁路	282.4	91.4	32.4	
温福铁路	298.4	77.1	25.8	
合武客运专线	359.4	115.9	32.2	
福厦城际铁路	274.9	84.8	30.8	
广深港高速铁路	104.4	59.2	56.7	
广珠城际铁路	142.3	134.1	94.2	
厦深客运专线	502.4	204.14	40.6	
哈大客运专线	903.9	663.3	73.4	
海南东环铁路	308.11	102.95	33.4	
长吉城际铁路	96.26	30.3	31.5	
昌九城际铁路	91.58	31.96	34.9	
台北—高雄高速铁路	345	257	74.5	台湾省

桥涵是铁路交通中十分重要的建筑物,在整个铁路交通固定资产中占很大比重。据截至 2009 年底统计,我国铁路运营桥梁 47 850 余座,184 060 余孔,约 3 707 000 余总延米。其中:混凝土桥 45 990 余座,177 480 余孔,约 3 516 500 余延米;钢梁桥(含混合桥)1 860 余座,6 580 余孔,约 190 500 余延米。跨度 32 m 及以下的简支混凝土梁 142 430 余孔,约占混凝土梁总数的 80%;跨度 40 m 以下的简支钢梁 5 290 余孔,约占钢梁总数的 80%。中小跨度简支梁约占桥梁总孔数的 80%。涵渠 155 180 余座,3 544 200 余横延米。

桥涵结构长期处在列车动荷载的作用下,加上材料老化、环境劣化以及自然灾害等因素的联合作用,使结构内部和表面出现各种损伤,从而导致结构和系统的抗力衰减,影响结构的正常使用,如果任其发展,必然会给结构带来很大安全隐患。在运营铁路线上,如果桥涵损坏,修复起来就比较困难,轻则减速慢行,重则中断行车。

随着社会经济和交通运输事业的快速发展,过去修建于各年代的桥梁负担着十分沉重的交通荷载及繁重的客货运输量。由于历史的原因,如建桥当时的资金紧缺、设计荷载及泄洪标准偏低、技术力量的缺乏、施工管理的粗放、设计施工技术水平较低以及设备、材料的限制,所建造的桥涵或多或少存在一些缺陷。桥涵投入运营使用之后,车辆速度不断加快,荷载不断加重,密度不断提高,老桥梁难以适应日益增长的交通运输量的要求。而在运营管理方面,技术



水平滞后,管养制度建设长期被忽视,管养费用不足,桥涵的技术状态未得到及时、细致的观测掌握。在多年寒冬酷暑、暴雨烈日、洪水冲刷、车船撞击等影响下,许多桥涵发生了各种大大小小的病害,如桥面破损、栏杆断裂、伸缩缝损坏、梁板或拱体裂缝、梁体混凝土剥落、钢筋钢索锈蚀、钢结构裂纹锈烂、墩台断裂位移、挡墙倾斜错位、锥坡下挫坍塌、墩台基底冲空、桥头路基冲塌、河床护底冲翻以及河道被冲刷严重变迁而危及桥头路基等,破坏了桥涵的正常使用状态。这些不良状态,除将大大缩短桥涵的使用寿命之外,有的已经威胁着过往人车的安全而成为危桥,甚至发生桥梁倒塌等重大事故。

二、国外桥梁破坏与损伤情况

2007年8月1日下午6点左右,美国明尼苏达州首府明尼阿波利斯市内的一座繁忙的跨河立交桥突然倒塌。事发时正是交通高峰期,一些小汽车、货车和校车从桥上掉入密西西比河(图1—6)。事故造成7人死亡,60人受伤。

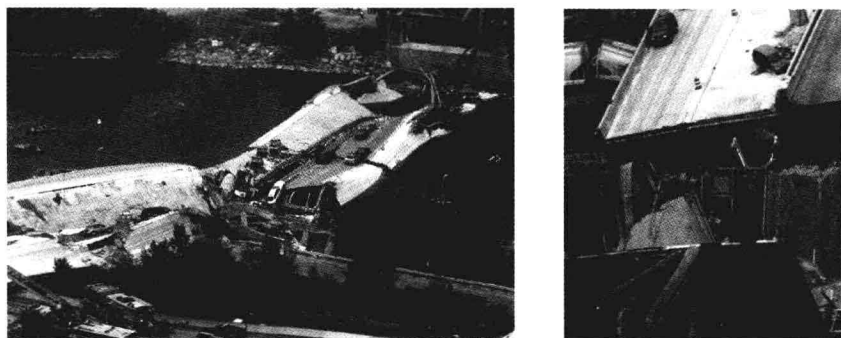


图1—6 美国明尼苏达州公路桥梁坍塌

大桥建于1967年,为钢结构拱桥。桥长580 m,桥面距河面约20 m。为不影响桥下船只通行,大桥没有设置桥墩。事故调查结果表明,这是一次结构性坍塌事件。明尼苏达州交通部门官员说,大桥于2005年和2006年分别接受过检查,并未发现任何问题。但2001年由明尼苏达州交通部门给出的一份研究报告显示,大桥连接路堤和主桥的引桥“存在老化问题”,同时,支承桥梁的主结构桁架也存在裂缝和钢筋腐蚀等“结构性缺陷”;研究显示,按桁架设计理论计算,如果大桥1~2个支承面断裂,就有可能坍塌。不过,这份研究报告最后得出的结论是:“大桥上承式桁架不可能发生老化断裂”,“大桥可以继续服役”。

据统计,美国有750座桥梁采用与该桥同样的设计方案。也就是说,这些桥梁都存在“结构性缺陷”,这对民众的生命财产安全是一个严重威胁。

近代桥梁是在与事故及病害的斗争中不断发展的。仅1870~1970年间,美国铁路桁梁桥的破坏就达25座/年,其中1877年俄亥俄阿西塔铁路桁梁桥的倒塌夺去了90人的生命。1825年德国的尼恩堡斜拉桥,在建成一年后因斜拉杆断裂引起梁体坠落,死亡50人。进入20世纪以来,全世界发生的一些典型大桥重大事故还有:

1907年8月,加拿大魁北克大桥,由于设计上的缺陷,桥体实际承载量远低于设计承载量,导致钢桁梁杆件破坏。1916年11月11日,该桥再次破坏,梁体坠落在河中(图1—7),死亡95人。

1938~1940年,比利时所建30座全焊空腹桁梁桥中,有3座在此期间倒塌。



1940年11月7日,美国华盛顿州刚建好数月的塔科马(Tacoma)峡谷大桥(333 m+853 m+333 m悬索桥)在风的作用下发生风致振动而倒塌。当天上午,风速为八级左右(风速17~20 m/s,为设计风速的1/3)时,大桥出现异状,上下起伏,左右摇晃,桥面开始扭曲。11时左右,支持大桥主缆与路面的吊索开始一根一根地断开。当路面的重量超出剩余吊索的承受限度后,长达600ft的桥面断开,坠入了海峡(图1—8)。

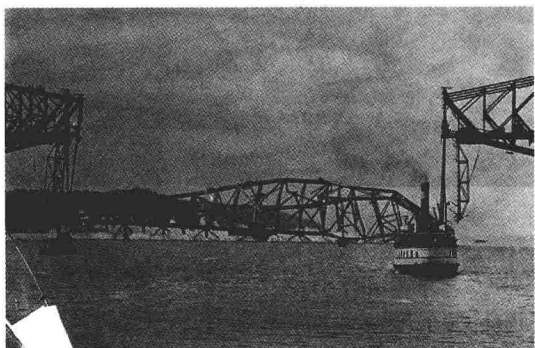


图1—7 加拿大魁北克桥梁倒塌

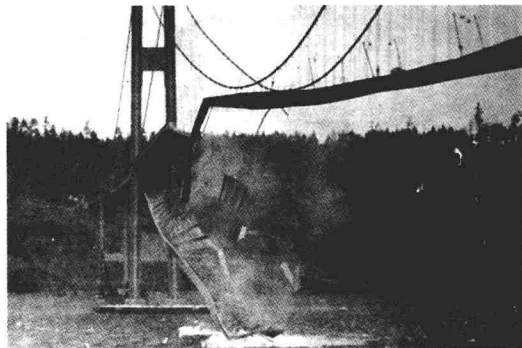


图1—8 塔科马海峡大桥被风吹垮

1967年12月15日,美国连接西佛罗里达州 Point Pleasant 与俄亥俄州 Kanauga 的一座悬索桥发生坍塌,造成46人死亡。事故原因:历时39年的高负荷运作使得该桥靠近俄亥俄州一侧的一个链环因不堪重负而断裂(图1—9)。

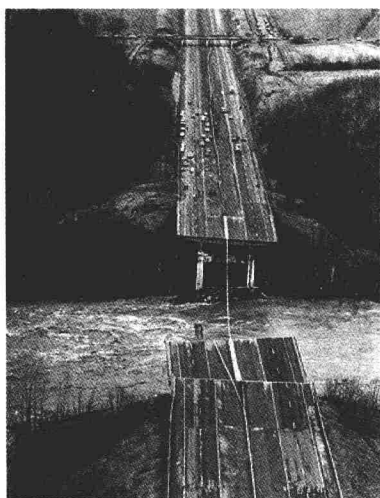


图1—9 美国俄亥俄州悬索桥坍塌

1981年7月17日,美国堪萨斯州海厄特—里根西饭店的高架人行桥突然断裂,造成114人死亡的惨重事故(图1—10)。分析原因:当时桥上挤满了人,部分客人正在跳舞,跳舞的人有节奏的振动引发了人行桥结构共振而断裂坍塌。

1983年6月28日,美国康涅狄格州格林威治镇米勒斯大桥(跨度30.48 m)因桥体一个螺栓发生松动造成坍塌(图1—11),死亡3人。

1994年10月21日,韩国首尔圣水大桥主跨在早上上班高峰时突然断裂,瞬间坠入汉江(图1—12),导致31人死亡。事故调查表明,大桥存在设计缺陷,在施工建筑期间和维修过程



中出现焊接失误等问题,导致大桥因承力钢筋断裂而坍塌。



图 1—10 美国海厄特—里根西饭店高架人行桥断裂



图 1—11 美国米勒斯大桥坍塌

1995 年 1 月 17 日,日本神户发生灾难性的里氏 7.3 级地震,造成了严重的人员伤亡和财产损失,其中一座四车道悬空高速公路桥断裂,将道上汽车甩落地面,导致 18 人死亡。

1995 年 10 月 8 日,阿尔及利亚拉格瓦特省一个小镇大雨之后一座桥坍塌,导致 50 人左右丧生。

2001 年 3 月 4 日,葡萄牙北部的 Hintze-Ribeiro 大桥坍塌(图 1—13),一辆汽车落水,导致多达 59 人死亡。这座百年铁桥位于名城波尔图以东 50 km,始建于 1886 年,事故发生时已有 115 年的历史。桥长为百米左右,桥身宽 3 m,桥面距水面约 50 m。当日上午 9:10,大桥的一个主要桥墩倒塌,使得大桥的其他部分相继坍塌,掉入河中。引起桥梁坍塌的原因至今仍未确定,可能是由于该桥年久失修而无法经受连续数日的暴雨而坍塌,然而葡萄牙法官判定“该桥在安全设计方面存在缺陷”。



图 1—12 韩国首尔圣水大桥坍塌

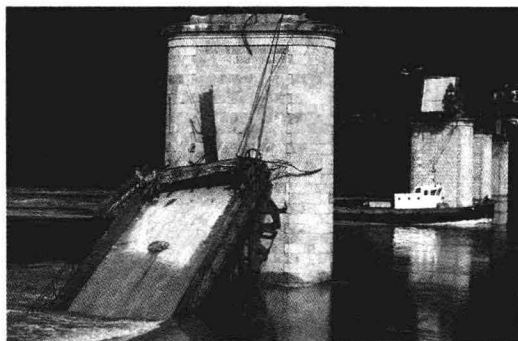


图 1—13 葡萄牙 Hintze-Ribeiro 大桥坍塌

2003 年 8 月 28 日,印度达曼西部沿海一座大桥坍塌并坠入泥河(图 1—14),一辆校车及多辆轿车被卷入急流,至少 25 人死亡,其中包括 23 名儿童。

2006 年 12 月 2 日,印度比哈尔邦帕戈尔布尔火车站附近一座 150 年的旧桥年久失修,在拆毁过程中坍塌(图 1—15),导致地面一列火车被压毁,33 人死亡。

2005 年 11 月 7 日,西班牙格兰纳达 Almuñecar 地区一座跨径 55 m 的高速公路桥的桥面突然坍塌(图 1—16),造成 6 人死亡。

2007 年 3 月 20 日,几内亚盖凯杜省一座大桥坍塌,地面一辆满载乘客和货物的卡车被压,导致至少 65 人死亡。



2009年7月17日,墨西哥东南部发生一起桥梁坍塌事故,导致5辆汽车坠入河中,造成至少3人丧生。坍塌的桥梁长约100 m。据分析,桥梁建筑年代久远,一辆集装箱车通过时导致负荷过重而引发事故。

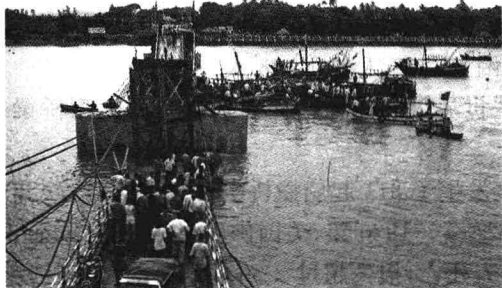


图 1—14 印度达曼一座大桥坍塌并坠入泥河



图 1—15 印度帕戈尔布尔火车站附近一座旧桥坍塌



图 1—16 西班牙格兰纳达高速公路桥坍塌



图 1—17 印度德拉贾桥梁坍塌

2009年8月8日,在距离印度艾哈迈达巴德约270 km的德拉贾镇,一辆载有电子装备的货车经过德拉贾桥时因桥梁垮塌掉入河中(图1—17),事故造成至少4人死亡。

2009年12月24日,印度西部拉贾斯坦邦一座50 m长的在建桥梁当日下午突然倒塌(图1—18),造成至少45名工人遇难,6人受伤,其中3人伤势严重,另有约20名工人失踪,直接经济损失达5 000万卢比。

2010年2月2日,法国诺曼底多聚莱附近高速公路上的一座桥梁倒塌(图1—19),这座重

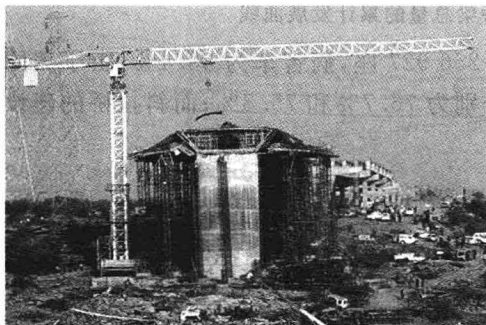


图 1—18 印度在建桥梁倒塌



图 1—19 法国诺曼底高速公路桥倒塌



达 260 t 的桥梁倒塌造成了 3 名工人受伤。

通航河流上的桥梁有时会受到船舶的撞击,跨线桥梁也会受到火车或汽车的撞击,这些都会引起桥梁结构的破坏。尽管碰撞事故发生概率很低,不过一旦发生,对生命、财产以及社会和环境的破坏是惊人的。

1998 年 6 月 3 日,一列时速 200 km 的 ICE 高速列车在德国汉挪威北部的伊斯切得出轨,撞在横跨铁路的混凝土跨线桥的柱子上,导致桥梁倒塌,100 人死亡、88 人受伤。

据不完全统计,在 1960~1993 年的 33 年中,全世界因船舶撞击而导致损毁的大型桥梁已达 29 座,死亡人数超过 300 多人。

美国在 20 世纪 70 年代初的 5 年时间内,内河上发生了 811 起船撞桥事件。例如,1977 年美国维吉尼亚州的 Hopewell 桥遭船舶撞击而导致梁体坠落。1980 年,美国佛罗里达州的 Sunshine Skyway 桥被一艘 2 万 t 排水量的货轮撞毁,造成 35 人死亡,损失超过 2 500 万美元等。

2002 年 5 月 26 日,美国俄克拉何马州东部的阿肯色河上,一座大桥被一艘驳船撞断桥墩,造成桥中央 150 m 的桥面断裂,9 辆汽车跌入河中,14 人溺水身亡。

1983 年,在前苏联伏尔加河上,一艘客轮在通过一座铁路桥时,错走大桥侧孔,由于净空高不足,使包括一个电影放映室在内的上甲板室全部被切掉,176 人丧生。另一起惨痛的船撞桥事故也发生在前苏联,一艘客船撞击铁路桥,恰巧桥上有一列火车驶过,导致 4 节客车车厢落水,死亡 240 多人。

另外,1991 年缅甸的 Carnafuh 桥、1990 年瑞典的 Stangna 桥等其他一些国家的桥梁也遭受过船舶的严重撞击。

根据美国联邦公路局的统计数据,到 2006 年,美国桥梁建造总数为 596 808 座,病害桥梁总数为 153 879 座,约占 25.8%。根据该数据库的基本统计数据,绘制了美国桥梁总量与病害桥梁总量的累计发展曲线,如图 1—20 所示,图中横坐标以每 5 年期为基本统计单位,纵坐标为每 5 年期内的桥梁总数。

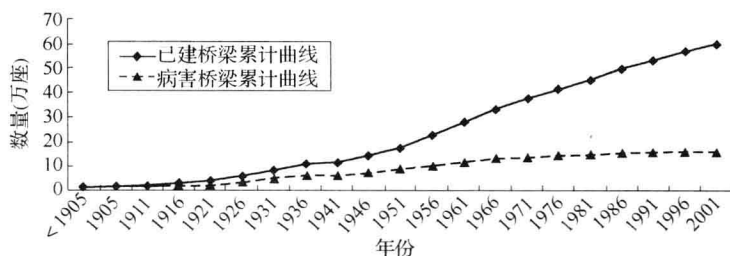


图 1—20 美国桥梁总量与病害桥梁总量的累计发展曲线

按桥型分类统计(表 1—2),梁板桥的数量多达 256 927 座,病害率为 33.4%;由于美国桁架桥及悬索桥的建设年代普遍较早,病害率偏高,分别为 76.7%和 75.8%;而斜拉桥的建设年代相对较晚,故病害率也偏低,仅有 16.2%。

表 1—2 桥梁的病害率统计

桥 型	板桥	梁板桥	T 梁	箱梁	钢架桥	桁架桥	拱桥	悬索桥	斜拉桥	开启桥	涵洞	其他
建设桥梁	79 891	256 927	36 556	54 779	5 041	13 085	7 418	95	37	863	124 846	17 941
病害桥梁	16 551	85 741	12 644	9 360	1 635	10 033	4 047	72	6	556	8 490	4 980
病害率	20.7%	33.4%	34.6%	17.1%	32.4%	76.7%	54.6%	75.8%	16.2%	64.4%	6.8%	27.8%



在桥梁倒塌事故方面,据文献统计,1951~1988年间,在美国发生了114起桥梁倒塌事故;1989~2000年倒塌桥梁达到503座,这是因为这一期间发生过几次大地震和洪水。2000年以后,美国桥梁倒塌事故仍时有发生。

据对1875~2007年资料的不完全统计,不计人行桥和一些山区小桥,美国桥梁倒塌事故主要有34起,如表1—3所示。其中,地震、洪水、飓风、火灾等不可抗力导致的有12起,占35.3%;船撞、车撞、飞机撞等人为因素导致的有10起,占29.4%;养护不足导致的有7起,占20.6%;施工原因导致的有3起,占8.8%;由设计原因导致的有2起,占5.9%。可见,除不可抗力影响外,人为因素与养护不足导致桥梁倒塌所占比例很大。

表 1—3 美国 34 座桥梁倒塌情况统计(2007 年)

桥 名	桥 位	倒塌日期	桥 型	事故原因
Portage 桥	纽约州 Portageville	1875—5—5	木桥	火灾
Ashtabula 河铁路桥	俄亥俄州 Ashtabula	1876—12—29	钢桁架桥	钢构件疲劳
Besey 桥	Massachusetts 州 Boston	1887—3—14	钢桥	施工质量差
Railroad 桥	科罗拉多州 Eden	1904—8—7	铁路木桥	洪水
Honeymoon 桥	美加边境尼亚加拉附近	1938—1—27	钢拱桥	冰荷载
Tacoma 海峡桥	华盛顿州 Tacoma	1940—11—7	悬索桥	空气动性差
Chesapeake 桥	马里兰州 Chesapeake	1942—7—28	公路开启桥	船撞
Solver 桥	西弗吉尼亚州	1967—12—15	悬索桥	材料缺陷及腐蚀
Sidney Lanier 桥	佐治亚州 Brunswick	1972—11—7	开启桥	船撞
Sunshine Skyway 桥	佛罗里达州	1980—5—9	钢桁架悬臂桥	船撞
14 th Street 桥	阿灵顿与华盛顿之间	1982—1—13	公路桥	飞机撞击桥梁
Mianus 河桥	Connecticut 州 Greenwich	1983—6—28	公路桥	金属腐蚀、疲劳
Schoharie Creek 桥	纽约州	1987—4—5	公路桥	洪水
Hatchie 河桥	田纳西州	1989—4—1	公路桥	基础木桩腐蚀
Cypress 街高架桥	加利福尼亚 Oakland	1989—10—17	—	地震
奥克兰海湾桥东段	旧金山	1989—10—17	桁架桥	地震
Claiborne Avenue 桥	路易斯安那州	1993—5—28	—	船撞
Big Bayou Canot 桥	阿拉巴马州	1993—9—22	铁路桥	船撞
Hoan 桥	威斯康辛州 Milwaukee	2000—12—13	钢混叠合梁	钢材脆断
Queen Iseballa Causeway	德克萨斯州 South Padre Island	2001—9—15	PC 简支 T 梁	船撞
1—40 桥	俄克拉荷马州 Webbers Falls	2002—5—26	钢混叠合梁	船撞
1—45 Overpass	德克萨斯州 Rich land	2002—9—8	混凝土 I 梁	汽车撞击
1—80 Overpass	内布拉斯加 Big Springs	2003—5—23	混凝土 I 梁	汽车撞击
Kinzua 桥	宾夕法尼亚	2003—7—21	铁路钢桥	飓风
Imola Avenue 桥	加利福尼亚 Napa	2003—12—3	混凝土梁桥	支架钢梁倒塌
1—95 Howard Avenue Overpass	康涅狄格州 Bridgeport	2004—3—25	钢梁桥	火灾



续上表

桥 名	桥 位	倒塌日期	桥 型	事故原因
1-20 Bridge Over Sali-Draw	德克萨斯州 Toyah	2004-4-4	混凝土板梁	洪水
Lee Roy Selmon Crosstown Expresway	佛罗里达州 Tampa	2004-4-13	混凝土梁桥	桩基设计失误
Colorado R470 Overpass	科罗拉多 Golden	2004-5-15	钢混叠合桥	临时支承构件失效
1-10 Escambia Ba 桥	佛罗里达州 Pemsacola	2004-9	PC 简支梁	飓风
SR 1014 Bridge over 1-70	宾夕法尼亚 Washington County	2005-12-27	PC 简支箱梁	预应力筋腐蚀
MacArthur Masenterstate Connector	加利福尼亚 Oakland	2007-4-29	钢混叠合梁	火灾
1-35 W 桥	明尼苏达州 Minneapolis	2007-8-1	连续桁架	制造误差及腐蚀
Harp Road 桥	华盛顿州 Oakville	2007-8-15	钢混叠合梁	超载

三、我国既有桥涵破坏与损伤情况

我国桥梁设计规范在安全设置上的低水准,与过去长期处于物资短缺的计划经济年代有关。经过多年的使用,大量桥梁存在着不同程度的病害和损伤。据 2009 年铁道部秋检资料统计,我国铁路桥梁和涵渠劣化等级达到 A 级及以上病害的分别占总座数的 24.8% 和 7.8%。近年来桥梁倒塌事故也不断发生。

(一)施工质量及超载等导致的桥梁倒塌

1999 年 1 月 4 日,横跨重庆綦江县新旧城区的一座步行桥(彩虹桥)突然整体垮塌(图 1—21)。这座长约 102 m 的中承式拱桥建成还不足三年。调查结果表明,这是一次因工程质量导致的重大责任事故,共造成 40 人死亡,轻重伤 14 人。



图 1—21 重庆綦江县彩虹桥发生坍塌

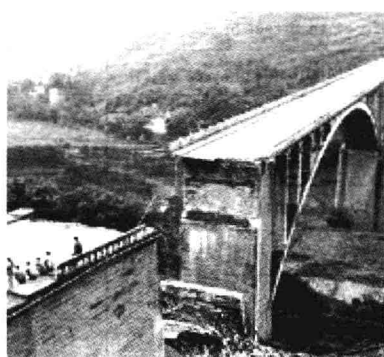


图 1—22 斜阳溪大桥垮塌

1999 年 7 月 24 日,甘肃省岷县北郊憩乐岛公园的一座铁索桥突然坍塌,致使 32 人落水,18 人死亡。据查,这是一起人为造成的灾难:该项目仅凭一次县长办公会的决议就匆匆上马,并不听水利部门劝阻而开放迎客。

2000 年 9 月 11 日,涪陵至重庆的国道 319 线上的斜阳溪大桥突然垮塌,近 30 m 长、7 m 宽的一段桥面发生整体垮塌(图 1—22),造成国家一级光缆、重庆至武汉长途传输光缆线中断,涪陵至重庆的道路瘫痪。

2004 年 6 月 14 日凌晨,深圳龙岗区坪地镇年丰村通往坑梓镇的矮江桥发生塌陷事故,幸