

高等学校交通运输与工程类专业规划教材
江苏省高等学校重点教材

Bridge Inspection, Evaluation and Strengthening Technology

桥梁检测评定与加固技术

魏 洋
端茂军 主编
李国芬



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

学校交通运输与工程类专业规划教材
江苏省高等学校重点教材

桥梁检测评定与加固技术

Bridge Inspection, Evaluation and Strengthening Technology

魏 洋 端茂军 李国芬 主 编



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

内 容 提 要

本书阐述了桥梁检测评定与加固方面的系统知识。主要包括:绪论,桥梁结构病害分析,桥梁检测设备与传感器,桥梁结构材料性能检测,桥梁荷载试验,桥梁检查与评定,桥梁缺陷与裂缝修复技术,桥梁上部结构改造与加固技术,不同桥型上部结构加固方法,桥梁支座更换与下部结构加固技术,工程应用实例等。

本书可作为道路桥梁与渡河工程、土木工程、工程管理、交通工程等专业的本科生以及土木工程、交通运输与工程类等专业的研究生教材,也可供从事桥梁工程检测与加固方面的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁检测评定与加固技术 / 魏洋,端茂军,李国芬

主编. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2019.1

ISBN 978-7-114-15184-2

I. ①桥… II. ①魏…②端…③李… III. ①桥梁结构—检测 ②桥梁结构—评定③桥梁结构—加固 IV. ①U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 275205 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

江苏省高等学校重点教材

书 名: 桥梁检测评定与加固技术

著 作 者: 魏 洋 端茂军 李国芬

责任编辑: 李 喆

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

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)59757969, 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: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 27

字 数: 659 千

版 次: 2019 年 1 月 第 1 版

印 次: 2019 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15184-2

定 价: 64.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

王建平 (陆军工程大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

胡志坚 (武汉理工大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

葛耀君 (同济大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长:孙奎 (人民交通出版社股份有限公司)

前言

21 世纪以来,我国桥梁整体建设水平和规模得到了长足发展,截至 2017 年年底,全国公路桥梁总数已达 83.25 万座,其中特大桥 4 646 座,大桥 91 777 座,每年开工建设的桥梁约为 1 万余座。我国桥梁在建设核心技术、桥型与结构体系、材料性能和装备水平等方面都取得了重大进步,但与桥梁强国的桥梁养护水平相比,还存在较大差距。近年来,我国发生了多起桥梁垮塌事件,对国民经济和人民群众的人身安全造成了极大的损害,如何保障桥梁结构的安全性、耐久性和使用功能已成为目前桥梁工程界的巨大挑战。

“桥梁检测评定与加固技术”是一门技术性强、实践性强的专业课。本课程的目的通过掌握桥梁检测方法、桥梁病害分析、桥梁评定与桥梁加固的技术手段,提高相关毕业生对我国桥梁建设市场的适应性,同时提升学生在桥梁工程方面的实践与创新能力。本教材主要内容包括:桥梁结构病害分析,桥梁检测设备与传感器,桥梁结构材料性能检测,桥梁荷载试验,桥梁检查与评定,桥梁缺陷与裂缝修复技术,桥梁上部结构改造与加固技术,不同桥型上部结构的加固方法,桥梁支座更换与下部结构加固技术,工程应用实例等。

本书由魏洋、端茂军、李国芬担任主编。在书稿编写过程中,南京林业大学研究生张希、李宁、彭东林、王序、徐扬、程勋煜、蒋俊峰、杨波、严少聪、周家凯、徐鹏飞、蔡超、翟志欣、聂玉晗和陈思等参加了书稿的整理及插图绘制工作。

本书可作为道路桥梁与渡河工程、土木工程、工程管理、交通工程等专业的本科生以及土木工程、交通运输与工程类等专业的研究生教材,也可供从事桥梁工程检测与加固方面的技术人员参考使用。

限于编者水平,错误与疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 7 月

目录

第 1 章	绪论	1
1.1	我国桥梁的发展	1
1.2	国内外典型桥梁垮塌事故	3
1.3	桥梁运营管理及检测加固技术现状	10
第 2 章	桥梁结构病害分析	17
2.1	材料内部缺陷	17
2.2	空心板梁桥结构特点与病害	18
2.3	简支 T 梁桥结构特点与病害	22
2.4	预应力钢筋混凝土连续箱梁桥结构特点与病害	27
2.5	双曲拱桥结构特点与病害	30
2.6	钢筋混凝土桁架拱桥结构特点与病害	33
2.7	刚架拱桥结构特点与病害	36
2.8	钢筋混凝土中承式拱桥结构特点与病害	39
2.9	斜拉桥结构特点与病害	44
2.10	悬索桥结构特点与病害	49
2.11	下部结构特点与病害	52
第 3 章	桥梁检测设备与传感器	56
3.1	一般工具与设备	56
3.2	位移、裂缝及线形测量设备	60
3.3	应变、温度与荷载测量技术	69
3.4	基于应变测试的衍生传感器	81
3.5	测振传感器	83
3.6	传感器测试仪器设备	86
第 4 章	桥梁结构材料性能检测	89
4.1	概述	89
4.2	混凝土结构缺陷检测	89
4.3	回弹法检测混凝土强度	97
4.4	超声回弹综合法检测混凝土强度	101
4.5	钻芯法检测混凝土强度	104

4.6	钢筋锈蚀检测	107
4.7	混凝土氯离子浓度检测	112
4.8	混凝土内钢筋分布及保护层厚度检测	114
4.9	钢结构超声波探伤检测	117
第5章	桥梁荷载试验	120
5.1	概述	120
5.2	荷载试验预备工作	121
5.3	静载试验	122
5.4	动载试验	138
5.5	试验报告编写	152
第6章	桥梁检查与评定	154
6.1	公路桥梁检查	154
6.2	公路桥梁技术状况分部件综合评定法	159
6.3	公路桥梁技术状况分层综合评定法	161
6.4	公路桥梁承载能力分析与评定	169
6.5	城市桥梁养护管理	174
6.6	城市桥梁技术状况评定	176
第7章	桥梁缺陷与裂缝修复技术	181
7.1	桥梁缺陷修复技术	181
7.2	桥梁裂缝修复技术	188
第8章	桥梁上部结构改造与加固技术	196
8.1	桥梁上部结构现有加固技术	196
8.2	增大截面加固技术	196
8.3	粘贴钢板加固技术	204
8.4	粘贴纤维复合材料加固技术	212
8.5	体外预应力加固技术	226
8.6	钢绞线网—聚合物砂浆加固技术	238
8.7	预应力钢丝绳—聚合物砂浆加固技术	246
8.8	改变结构体系加固技术	260
第9章	不同桥型上部结构加固方法	269
9.1	加固原则	269
9.2	空心板梁桥维修加固技术	270
9.3	T梁桥维修加固技术	274
9.4	连续梁(刚构)桥与悬臂梁桥维修加固技术	280
9.5	双曲拱桥维修加固技术	284
9.6	刚架拱桥维修加固技术	288
9.7	钢筋混凝土拱桥维修加固技术	292
9.8	钢管混凝土拱桥维修加固技术	295
9.9	斜拉桥和悬索桥维修加固技术	298

第 10 章 桥梁支座更换及下部结构加固技术 303

10.1 支座更换技术 303

10.2 桥梁整体顶升技术 307

10.3 地基冲刷处理与基础加固技术 311

10.4 桥墩加固技术 318

10.5 桥台加固 328

10.6 桥梁水下结构加固技术 330

第 11 章 工程应用实例 347

11.1 公路桥梁检测实例一(分层综合评定法) 347

11.2 公路桥梁检测实例二(分部件综合评定法) 353

11.3 城市桥梁检测实例 358

11.4 桥梁荷载试验实例 362

11.5 桥梁上部结构加固实例 369

11.6 桥梁下部结构加固实例 398

参考文献 411

桥梁检测评定与加固视频资料二维码 416

桥梁检测评定与加固图片资料二维码 418

第 1 章

绪 论

1.1 我国桥梁的发展

21 世纪以来,我国桥梁整体建设水平和规模得到了长足发展。截至 2017 年年底,全国公路总里程达 477.35 万 km,公路密度 49.72km/hkm²(图 1-1),公路养护里程 467.46 万 km,占公路总里程的 97.9%。在高速公路工程中,桥梁工程是跨越高山、峡谷、河流的重要结构物,占有重要比例。截至 2017 年年底,全国公路桥梁总数已达 83.25 万座,其中特大桥 4 646 座,大桥 91 777 座,仅黄河上已建和在建的大桥已达 200 余座,长江上接近 200 座,我国建成的悬索桥、斜拉桥、拱桥和梁桥四类桥梁的跨径均已居世界同类桥梁跨径的前列。

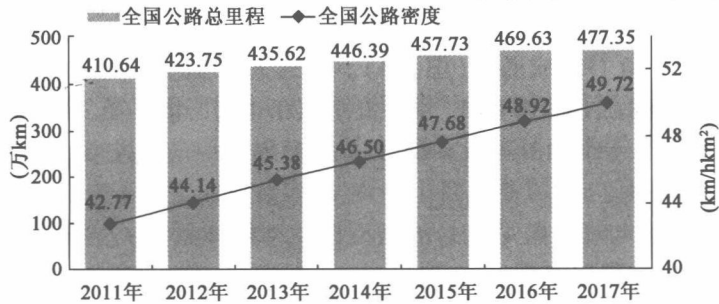


图 1-1 2011—2016 年全国公路总里程及公路密度

从发展历程来看,我国公路桥梁建设经历了从平原区向山岭重丘区,从一般江河湖泊向大江大河再向海湾及联岛工程建设的发展历程;桥梁结构从以常规的梁桥和拱桥为主,向大跨径斜拉桥、悬索桥、高墩、不对称结构及弯桥发展,再向离岸深海长联桥大型上、下部预制结构、大型复合基础及超大跨径结构发展。我国桥梁在建设核心技术、桥型与结构体系、材料性能和装备水平等方面都取得了重大进步,尤其是在建造大跨径桥梁领域的技术处于世界先进水平。代表性的桥梁有已经建好投入运营的杭州湾跨海大桥、苏通大桥、港珠澳跨海大桥等,这些桥梁都创造了世界上多个技术第一,标志着我国的桥梁建造技术越来越成熟。在国际上,其设计和施工工艺越来越来得到世界各国的认可。

1.1.1 杭州湾跨海大桥

杭州湾跨海大桥北起浙江省嘉兴市海盐郑家埭,南至宁波市慈溪水路湾(图 1-2),大桥全长 36km,其中桥长 35.7km,双向六车道,成为目前世界上最长的跨海大桥和世界第三长的桥梁。大桥建设首次引入景观设计概念,借助“长桥卧波”的美学理念,呈现 S 形曲线,具有较高的观赏性和游览性。其主要技术难点与技术创新包括:

(1)设计方面。工程规模大、海上工程量浩大;结构防腐问题十分突出;大桥运行期间,桥面行车环境受大风、浓雾、暴雨及驾驶人视觉疲劳等不利因素的影响,采取合理有效的设计对策是保障桥面行车安全的关键;设计方案涉及新材料、新工艺、新技术的应用以及多项大型专用设备的研制。



图 1-2 杭州湾跨海大桥

(2)施工技术方面。自然环境恶劣,面临着海上激流区高墩区大吨位箱梁的整体预制、运输及架设,宽滩涂区大吨位箱梁的长距离梁上运梁及架设,超长螺旋钢管桩的设计、制造、防腐与沉桩施工等施工关键技术。

(3)在测量控制方面。因桥梁长度超长,地球曲面效应引起的结构测量变形问题十分突出,受海洋环境制约,传统测量手段已无法满足施工精度和施工进度的要求,如何借助 GPS(全球定位系统)技术实现快速、高效测量施工是一个制约全桥施工的核心技术问题。

1.1.2 苏通大桥

苏通大桥位于江苏省东南部,连接南通和苏州两市,全长 34.2km。该工程于 2003 年 6 月 27 日开工,2008 年 6 月 30 日建成通车(图 1-3)。苏通大桥主桥采用双塔双索面钢箱梁斜拉桥,斜拉桥主孔跨度 1 088m,居世界第二;主塔高度 300.4m,居世界第二;斜拉索长度 577m,居世界第一;群桩基础平面尺寸 113.75m × 48.1m,居世界第一。其主要技术难点与技术创新包括:

(1)首创了静力限位与动力阻尼组合的新型桥梁结构体系及关键装置与设计方法,使千米级斜拉桥在世界上首次得以实现。

(2)开发了超大群桩基础设计与施工技术。基础位于软弱土层中,承受的静、动力荷载

大,桩基数量多,结构受传力机理复杂,群桩效应突出,超大规模钢吊箱水上拼装与沉放风险高,难度大。

(3)超高钢混桥塔设计与施工方面。索塔抗风与静力稳定性问题突出,钢—混凝土结构受力机理复杂,设计难度大,风和温度对施工的影响十分突出,研发了内置式钢锚箱组合索塔锚固结构。

(4)防船撞系统研究方面。苏通大桥位于长江主航道,船撞力大,桥区通航密度高,船撞对结构受力影响明显,采用主动、被动防撞相结合的方法,充分考虑船撞力对结构的影响,确保受力安全。

(5)冲刷防护设计与施工技术研究方面。桥墩局部冲刷深度大、冲坑形态复杂,为保证施工期及运营期结构安全,研究了河床永久冲刷防护技术。



图 1-3 苏通大桥

1.1.3 港珠澳跨海大桥

港珠澳跨海大桥连接香港大屿山、澳门半岛和广东省珠海市,采用“人工岛+海底隧道+桥梁”的设计方案,总长 55km(图 1-4),工程于 2009 年 12 月 15 日开工,2018 年 10 月 24 日建成通车,创下世界最长跨海大桥的纪录,港珠澳跨海大桥不仅是中国施工难度最大的跨海桥梁项目之一,也是世界交通史上技术最复杂的建设项目之一,投资额超过千亿元。主体工程包括一个 6 648m 长的海底隧道,其为世界上最长的沉管海底隧道。港珠澳跨海大桥海中桥梁全长约 22.9km,包括青州航道桥、江海直达船航道桥、九洲航道桥三座通航孔桥及约 20km 非通航孔桥。其整个工程的技术难点包括人工岛构筑、海底沉管隧道及主桥工程技术。



图 1-4 港珠澳跨海大桥(效果图)

主桥工程的主要技术难点是:深海桩基施工技术、大型钢箱梁拖运及吊装技术及钢箱梁防腐技术等。

1.2 国内外典型桥梁垮塌事故

由于在桥梁的施工及运营过程中,人类缺乏理性的认识、设计施工不当、结构病害发展及加固维修措施不到位,国内外桥梁垮塌事故屡见不鲜,这些桥梁的灾难性事故常造成巨大的人员伤亡和财产损失,带来了严重的社会影响,引起了世界各国的政府部门、专家和学者们的高度重视。为了更好地分析桥梁垮塌事故的原因和桥梁加固维修的设计方案,以下列举了一些国内外典型桥梁的垮塌事故案例。

1.2.1 设计原因

由于对桥梁的力学性质认识不足,设计缺陷引起的桥梁安全事故。例如,对大跨度柔性桥梁空气动力性能认识不足而发生 Tacoma Narrows 大桥垮塌事故,对结构疲劳性能无法计算评估而发生的因眼杆疲劳破坏的 Silver 大桥垮塌事故,以及对吊杆复杂受力不清楚而发生垮塌的宜宾小南门大桥。

1) Tacoma Narrows 大桥

事故发生过程: Tacoma Narrows 大桥位于美国华盛顿州的塔科马海峡(图 1-5),建设周期为 1938 年 11 月至 1940 年 7 月,中跨 853m;在建造最后阶段,人们发现大桥在微风的吹拂下会出现晃动甚至扭曲变形的情况,驾驶人在桥上驾车时可以看到另一端的汽车随着桥面的扭曲一会儿消失一会儿又出现的奇观;1940 年 11 月 7 日,大桥在远低于设计风速(19m/s,相当于八级大风)下发生强烈的风致振动,桥面经历了 70min 振幅不断增大的反对称扭转振动,最终导致桥面折断坠落到峡谷中。

事故调查分析:据相关研究表明,发生该桥垮塌的直接原因是人们对自然环境的理论认知有限,此处的风力远大于设计的风力,从而引起桥梁的扭转和倾覆,导致了该桥梁的垮塌。

2) Silver 大桥

事故发生过程: Silver 大桥位于美国俄亥俄河上,连接着俄亥俄州与西弗吉尼亚州,采用“眼杆”型设计方案(图 1-6)。所谓“眼杆”型,是把桥梁设计成自行车链条的样式,中间交织连接并固定在支撑塔上,而两端则被牢牢钉死在两个桥台上。1967 年 12 月 15 日,正值下班高峰期,圣诞购物和下班的人们挤满了这座桥,悲剧就在这时发生了:短短 1min 内,桥梁就彻底垮塌了,垮塌事故直接导致 50 余辆汽车坠入俄亥俄河中,46 人丧生。

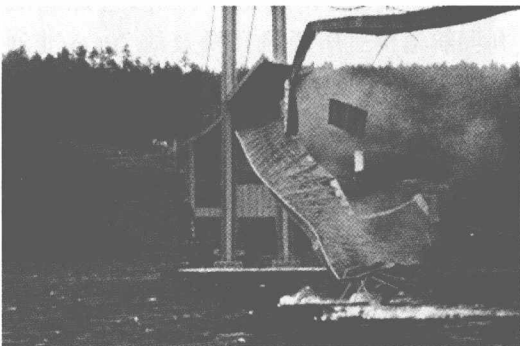


图 1-5 Tacoma Narrows 大桥垮塌事故



图 1-6 Silver Bridge 垮塌事故

事故调查分析:据有关研究分析,造成该起事故的直接原因是眼杆的疲劳断裂。另外,链条与桥塔之间的不合理关系,也是导致灾难发生的原因之一。

3) 宜宾小南门大桥

事故发生过程:宜宾小南门大桥主桥是中承式钢筋混凝土肋拱桥,矢跨比 1/5,是当时国内跨径最大的钢筋混凝土拱桥,中部 180m 范围为钢筋混凝土连续桥面(图 1-7)。2001 年 11 月 7 日凌晨 4 点,从四川南部宜宾进入云南的咽喉要道宜宾小南门大桥发生吊杆及桥面垮塌

事故,大桥两端同时塌陷,造成交通中断。事故使连接拱体和桥面预制板的4对8根钢吊杆断裂,北端长约10m、南端长约20m的桥面预制板发生垮塌,两边的断裂处都是在主桥与引桥的接合点。

事故调查分析:据有关部门调查分析认为,该桥梁垮塌的直接原因是吊杆的复杂受力,桥面体系依靠吊杆悬挂于拱肋之上,而桥梁伸缩缝的存在,使吊杆在承受拉应力的同时,随“飘浮式”结构的“晃动”承受较复杂的额外应力,复杂的受力状态造成吊杆断裂,一侧垮塌后,桥面的支撑状态发生变化,造成另一侧也垮塌。



图 1-7 宜宾小南门大桥垮塌事故

1.2.2 施工原因

施工不当引起的桥梁垮塌事故。桥梁施工阶段是其全寿命周期中最薄弱的环节,一些特殊的结构形式如果施工不当容易发生垮塌。发生这类垮塌事故的桥梁主要有:因偷工减料未按设计图纸施工而使承载力不足发生倒塌,如韩国圣水大桥;加(卸)载程序不当而发生垮塌,如我国湖南堤溪沱江大桥;因支架搭设不符规范、施工工艺不当而发生垮塌,如贵州小尖山大桥。

1) 韩国圣水大桥

事故发生过程:圣水大桥位于韩国首都首尔的汉江,全长1160m,于1979年建成(图1-8)。1994年10月21日早上,在车流量高峰时刻,位于圣水大桥第五根与第六根桥柱间的48m长混凝土桥面板整体塌落入水,6辆汽车包括1辆载满学生及上班族的公共汽车和1辆满载准备参加庆祝会的警员的面包车跌进汉江,导致33人死亡、17人受伤。

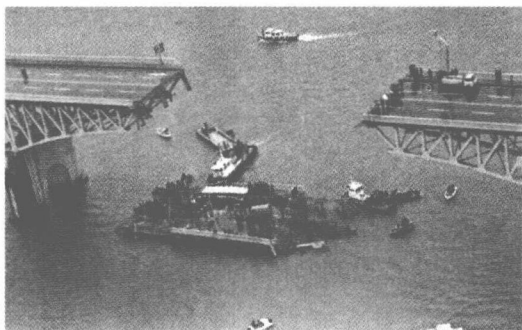


图 1-8 韩国圣水大桥垮塌事故

2) 湖南堤溪沱江大桥

事故发生过程:湖南堤溪沱江大桥位于湖南省凤凰县,大桥全长328.45m,桥面宽度13m,桥型为4孔65m跨径等截面悬链线空腹式无铰石拱桥,且为连拱石拱桥(图1-9),大桥桥墩高33m。在施工过程中,随着拱上荷载的不断增大,1号孔主拱圈受力最大的多个断面接近或达到极限强度,出现了开裂、掉渣,接着落下石块。在最先被完全破坏的0号桥台侧的2号腹拱下方,主拱断面裂缝扩大下沉,下沉量最大的断面右侧拱段(靠1号墩侧)带着2号横墙向0号台侧倾倒,通过2号腹拱挤压1号腹拱。1号腹拱为三铰拱,因其承受挤压能力最低而迅速破坏下塌。受连拱效应影响,整个大桥迅速向0号台方向垮塌。事故发生造成了64名作业人员死亡、22人受伤的严重后果。

事故调查分析:据有关部门调查分析认为,事故的直接原因是大桥的主拱圈砌筑材料未满足规范和设计要求,拱桥上部构造施工工序不合理,主拱圈砌筑质量差,降低了拱圈砌体的整体性和强度,随着拱上荷载的不断增加,造成1号孔主拱圈靠近0号桥台一侧3~4m宽范围内,即2号腹拱下的拱脚区段砌体强度达到破坏极限而垮塌,受连拱效应影响,整个大桥迅速垮塌。

3) 贵州小尖山大桥

事故发生过程:贵州小尖山大桥全长155m,桥墩高47m(图1-10)。2005年12月14日5时30分,小尖山大桥突然发生支架垮塌,横跨在3个桥墩上的两段正在浇筑的桥面轰然坠下,桥面上施工的工人也同时坠落谷中。事故共造成8人死亡、12人受伤。



图 1-9 湖南堤溪沅江大桥垮塌事故



图 1-10 贵州小尖山大桥垮塌事故

事故调查分析:据有关部门经过研究分析认为,事故的直接原因是支架搭设时基础施工不符合相关规范要求,部分支架钢管壁厚不够,部分支架主管与枕木之间缺垫板;部分支架预压时,预压范围不充分,每跨都有部分区域未压到。

1.2.3 养护不到位

管理和养护不到位引起的桥梁安全事故主要包括管理养护措施不够到位、桥梁病害急剧发展而产生的桥梁事故,常常引起桥梁的腐蚀破坏、疲劳破坏等,如桁架疲劳损伤未受到重视而发生事故的美国 I-35W 密西西比河大桥、长期超载运行及难以判断吊杆应力状态的福建武夷山大桥等。

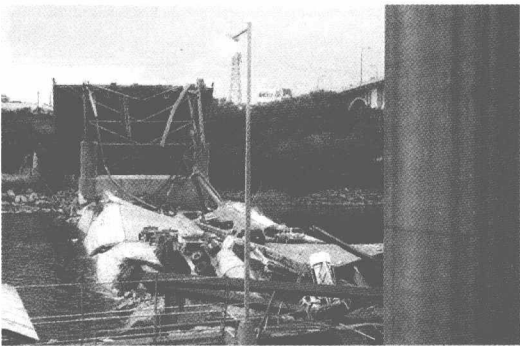


图 1-11 美国 I-35W 密西西比河大桥垮塌事故

1) 美国 I-35W 密西西比河大桥

事故发生过程:I-35W 密西西比河大桥是由明尼苏达州运输部于1967年建成。1990年,有研究报告指出,在桥梁支座和桥架接合处附近有腐蚀迹象,将该桥评为有“结构缺陷”,当时全美总共有超过7万座桥梁被评为此等级。2007年8月1日下午6时1分,正值交通高峰时段,该桥突然坍塌(图1-11),造成至少8人死亡、79人受伤。据估计,事故发生时桥上有大量机动车辆,是美国自1983年以来最严重的非天灾或外力因

素所造成的桥梁垮塌事件。

事故调查分析:据有关资料调查分析,桥梁荷载相对于设计时已有大幅增加,事故当天车流量大,并在桥面存在较大的施工堆载,桥梁负载过大;事故现场打捞发现,L11W 和 U10W 节点变形严重;桥梁垮塌归因于 U10W 节点板受压超过承载极限,导致节点板损毁,压力杆脱离节点板,失去支撑作用,进而导致整体结构失稳。另外,该桥梁在垮塌前的检查中,检测单位发现了节点板扭曲和变形现象,但是未得到当地交通管理部门重点关注。该事故说明对于某些结构形式,桥梁整体结构的寿命是由桥梁中最薄弱部位决定的。

2) 福建武夷山大桥

事故发生过程:福建武夷山大桥为中承式钢架拱桥,于 1996 年 11 月 8 日动工兴建,1999 年 11 月 20 日竣工通车,全长 301m,宽 18m。该桥上部结构为 3 孔中承式悬链线等截面(拱脚处截面加高加厚)钢筋混凝土箱形无铰拱桥(图 1-12)。2011 年 7 月 14 日上午 9 时左右,福建南平市武夷山公馆斜拉大桥将近 50m 的桥梁突然向下断裂垮塌,桥上一辆旅游大巴在事故中坠落,造成 1 人死亡、22 人受伤。



图 1-12 福建武夷山大桥垮塌事故

事故调查分析:据有关部门经调查分析认为,长期的严重超载超限车辆是造成桥梁破坏的主要原因,当桥梁出现超过设计荷载或多辆超载车上桥时,将对吊杆产生强度破坏或疲劳损伤,长期超载运行最终导致破坏;该桥吊杆密封、防腐工艺较差,同时无法通过常规检查了解吊杆内部锈蚀程度与工作状态,难以判断吊杆承载能力能否满足原设计要求。总体来说,养护管理不到位、超载超限及吊杆锈蚀损伤无法及时处理造成了大桥垮塌事故。

1.2.4 车辆超载

车辆超载、超限,包括车辆直接的超载、超限以及不按设计规定行驶等,会造成桥梁事故,典型案例如辽宁盘锦田庄台大桥、哈尔滨阳明滩大桥、北京怀柔白河桥等。

1) 辽宁盘锦田庄台大桥

事故发生过程:2004 年 6 月 10 日早晨 7 时,辽宁省盘锦市田庄台大桥突然发生垮塌

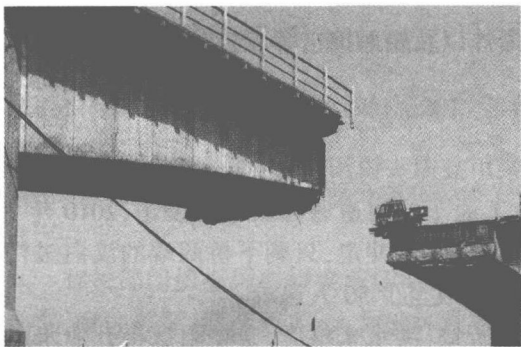


图 1-13 辽宁盘锦田庄台大桥垮塌事故

(图 1-13)。大桥从中间断裂 27m,大约有 3 辆汽车落水,2 名落水驾乘人员逃生,无人员死亡。事故发生时,一辆自重 30t 的大货挂车,载着 80t 的水泥,在严重超载情况下通过该桥(该桥在 2000 年 7 月被确定为通行车辆限重 15t、限速 20km/h),重载冲击力使大桥第 9 孔悬臂端预应力结构瞬间脆性断裂。

事故调查分析:据有关部门调查分析认为,该桥在超限车辆长期作用下,内部预应力严重受损,发生桥梁垮塌的直接原因有两个方面:桥梁

的损伤病害;车辆超载使用。

2) 哈尔滨阳明滩大桥

事故发生过程:2012年8月24日5时30分,哈尔滨阳明滩大桥引桥——三环路群力高架桥洪湖路段上行匝道发生倾覆,该桥梁上部结构采用钢-混凝土组合简支箱梁,垮塌桥梁130m左右,匝道倾覆(图1-14),车辆翻落地面,事故当日造成3人死亡、5人受伤。

事故调查分析:据有关部门调查分析认为,该桥梁独柱墩的结构设计,导致桥梁平衡性差,侧向抗倾覆能力不足;多辆超载车辆在垮塌梁体范围内同时集中靠右侧行驶,造成一侧偏载受力,并严重超荷载,桥梁失去平衡而垮塌倾覆。

3) 北京怀柔白河桥

事故发生过程:北京怀柔白河桥跨越白河,上部结构为4孔净跨50m的钢筋混凝土刚架拱桥,矢跨比1/10,下部结构为实体墩台,嵌岩桩基础,桥梁全宽11.5m,其中桥面宽度9m,两侧各1.25m人行步道,全长232.81m。该桥始建于1987年,2006年上部结构加固,经检测为二类桥梁,设计荷载为汽车-20级。2011年7月19日凌晨0时40分,一辆重达160t的严重超载沙石6轴货车(车长14m、宽2.5m、高2.2m),通过桥梁第一孔时发生桥梁垮塌(图1-15),而后4孔全部垮塌,无人员伤亡。



图 1-14 哈尔滨阳明滩大桥引桥垮塌事故

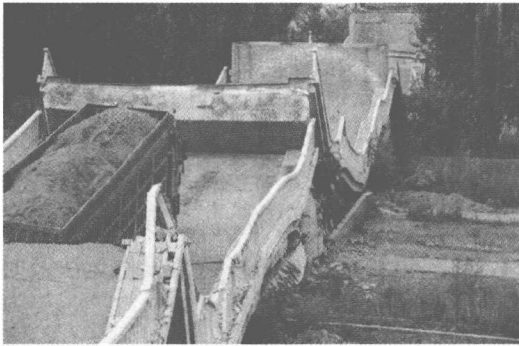


图 1-15 北京怀柔白河桥垮塌事故

事故调查分析:据有关部门调查分析认为,导致该桥梁垮塌的直接原因是车辆严重超载。

1.2.5 自然灾害等突发事件

自然灾害等突发事件包括洪水、泥石流、地震、爆炸以及船舶撞击等,通常造成桥梁的突然倒塌,导致极其严重的后果。

1) 河南伊河汤营大桥

事故发生过程:河南伊河汤营大桥位于河南省栾川县潭头镇汤营村,全长233.7m,桥面净宽7.0m,结构形式为空腹式石拱桥,1987年年底竣工通车。因遭遇特大暴雨袭击,2010年7月24日,伊河汤营大桥全部垮塌、废墟一片,部分基石被洪水冲走,只剩下桥两端的汉白玉栏杆(图1-16),桥上众多滞留人员不幸落入水中。事故造成至少50人遇难。

事故调查分析:该桥梁的垮塌是由自然灾害洪水所致,洪水来临时,杂物阻塞桥孔泄水断面,导致洪水冲击力急剧增大,瞬间垮塌。