

公路交通应急保障系列丛书

REPAIR TECHNOLOGY AND RUSH REPAIR MODE  
OF CONCRETE BRIDGE AFTER FIRE

# 火灾后混凝土桥梁 抢修技术与抢修模式

李斐然 王学勤 陈景星 编著  
常兴文 刘东旭 审



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

公路交通应急保障系列丛书

REPAIR TECHNOLOGY AND RUSH REPAIR MODE  
OF CONCRETE BRIDGE AFTER FIRE

# 火灾后混凝土桥梁 抢修技术与抢修模式

李斐然 王学勤 陈景星 编著  
常兴文 刘东旭 审



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

## 内 容 提 要

本书是关于火灾后混凝土桥梁抢修的专著,全书共8章。第1章介绍了火灾事故和桥梁火灾方面的研究成果;第2章对火灾后桥梁的检测和鉴定技术进行介绍;第3章对桥面火灾开展了温度场分布的理论研究;第4章和第5章分别介绍了加固方法和设计方案;第6章针对京港澳高速公路刘江黄河特大桥引桥的加固施工技术进行了详细论述;第7章对抢修过程中的监控和后评价技术进行了探讨;第8章针对我国桥梁抢修的模式和刘江黄河特大桥抢险的经验进行了分析。

本书可作为火灾后混凝土桥梁抢修的设计、施工和检测的指导手册,也可作为类似桥梁抢修作参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

火灾后混凝土桥梁抢修技术与抢修模式 / 李斐然, 王学勤, 陈景星编著. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.9

ISBN 978-7-114-14158-4

I. ①火… II. ①李… ②王… ③陈… III. ①混凝土建筑物—桥梁工程—维修 IV. ①U448.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第218064号

书 名: 火灾后混凝土桥梁抢修技术与抢修模式

著 者: 李斐然 王学勤 陈景星

责任编辑: 卢俊丽 卢 珊

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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 10.5

字 数: 185千

版 次: 2017年9月 第1版

印 次: 2017年9月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14158-4

定 价: 49.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

# 《火灾后混凝土桥梁抢修技术与抢修模式》

## 编 委 会

主 编：李斐然 王学勤 陈景星

副主编：莫 杰 袁 波 梁柯峰 关梁超

曾 勇 魏俊锋

成 员：王小勇 韩 民 张 浩 贾亚光

楚 斌 马 捷 康 健 孙 楠

李 明 马 转 张旭慧 牛 路

卢 彦 王宝忠

# 前 言

---

桥梁在生命周期内可能受到多种外部自然灾害和人为事故的侵袭,同时还会受到内部材料性能降低的影响。材料性能降低和抵抗自然灾害侵袭方面属于设计规范考虑的范畴,比如桥梁设计基准期和桥梁设计使用年限是对材料性能的考虑,桥梁的作用和作用组合是基于设计安全度下抵抗温度、车辆、地震、洪水等作用的考虑,而人为事故具有突发性和不可预料性,目前难以完全包含在设计规范范围内,比如连霍高速公路河南境洛三段义昌大桥发生的爆炸事故是极其偶然的,如果在设计阶段考虑此类爆炸工况,桥梁的建设成本将大幅提高,从该项风险发生的概率角度而言是不必要的。对于桥梁抢险重在事后处置,而不完全在于事前预防。本书针对人为事故中最常见的灾害——火灾,针对最常见的桥梁形式——混凝土桥梁,开展桥梁抢修的相关研究,以期能提升桥梁抵抗人为事故的能力,为公路桥梁的长期健康运营提供更为有效的保障。

我国的桥梁发展已经从建设的高峰逐渐转入管养的高峰,公路货运运输多元化,运输量持续增长和桥梁老龄化,导致桥梁受到火灾风险的概率大幅增加,桥梁抵御火灾风险的能力不断下降,车辆自燃、交通事故引发火灾、运输易燃易爆物品的车辆起火等原因导致全国平均每年发生4~6起重大桥梁火灾事故,并且呈逐年增长趋势。本书以京港澳高速公路刘江黄河特大桥北引桥桥面火灾的抢修全过程为背景,对火灾下桥梁的温度场效应进行了理论分析,并通过火灾后桥梁的检测结果进行验证,

还原了火灾状况下混凝土桥梁的温度场效应,为有效制订抢修方案提供了基础支撑;介绍了新型的水切割混凝土技术、新旧混凝土界面胶连接技术、体外预应力碳纤维板加固技术等 在抢修工程中的应用;系统阐述了抢修全过程采用的施工方法、检测和监测技术;最后,从管理和制度两个方面,对桥梁抢修的项目管理模式进行了论证和分析,提出了以设计单位为主导的检测、设计、施工、监测一体化桥梁抢修模式,最大限度地保障抢修速度和质量,为相似工程提供参考。

本书结合京港澳高速公路刘江黄河特大桥北引桥桥面火灾事故,针对火灾后桥梁的检测与鉴定、加固方案设计与施工工艺设计、抢修施工组织与施工方法、抢修模式等内容进行了系统研究,全书共分为 8 章。第 1 章介绍了火灾事故和桥梁火灾方面的研究成果;第 2 章对火灾后桥梁的检测和鉴定状况进行了介绍;第 3 章对桥面火灾开展了温度场的理论研究;第 4 章和第 5 章分别介绍了加固方法和设计方案;第 6 章针对京港澳高速公路刘江黄河特大桥引桥的加固施工技术进行了详细论述;第 7 章对抢修过程中的监控和后评价技术进行了探讨;第 8 章针对我国桥梁抢修的模式和刘江黄河特大桥引桥抢险的经验进行了分析。

本书由河南省交通规划设计研究院股份有限公司组织撰写。其中,第 1 章由李斐然、贾亚光撰写,第 2 章由李斐然、袁波撰写,第 3~5 章由李斐然、梁柯峰等撰写,第 6 章由王学勤、魏俊锋、关梁超等撰写,第 7 章陈景星、曾勇等撰写,第 8 章由莫杰撰写。全书由常兴文与刘东旭进行审阅与修改。

感谢河南省交通运输厅、河南省收费还贷高速公路管理中心、河南省交通运输厅高速公路管理局的大力支持,感谢河南汇新工程科技有限公司、河南省交院工程检测科技有限公司、河南伯森水处理有限公司提供的帮助。

本书属于公路交通应急保障系列丛书,现有文献对于桥梁火灾的研

究涉及较少,对于桥梁过火后的检测、设计、施工及管理还缺乏系统性的论著,本书结合京港澳高速公路刘江黄河特大桥北引桥桥面火灾事故的抢险实例,对桥梁过火后的抢修工程进行了系统论述,以期为同行,甚至为后期形成桥梁火灾后的处置模式提供参考。本书虽然对火灾后混凝土桥梁抢修进行了相对全面的总结,但作者水平有限,谬误和不足之处仍在所难免,希望读者批评指正,以便进一步修改完善。

作者

2017年6月

# 目 录

---

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第1章 绪论               | 1  |
| 1.1 桥梁火灾事故分析         | 1  |
| 1.2 桥梁火灾事故研究现状       | 9  |
| 1.3 需要研究的内容          | 16 |
| 第2章 火灾后混凝土桥梁的鉴定      | 18 |
| 2.1 火灾中对桥梁状态的初步判定    | 19 |
| 2.2 火灾后桥梁的鉴定         | 20 |
| 2.3 火灾后桥梁结构检测        | 23 |
| 2.4 工程实例             | 25 |
| 第3章 火灾下混凝土桥梁的温度效应分析  | 30 |
| 3.1 混凝土结构火灾的基本特性     | 30 |
| 3.2 混凝土迎火表面的温度       | 32 |
| 3.3 混凝土内部温度传递        | 36 |
| 3.4 温度场的数值模拟         | 42 |
| 第4章 火灾后混凝土桥梁快速抢修加固技术 | 47 |
| 4.1 桥梁快速抢修加固的特点      | 47 |
| 4.2 快速施工技术           | 48 |
| 4.3 混凝土快速清除技术        | 50 |
| 4.4 快速加固用混凝土         | 53 |
| 4.5 新旧混凝土的连接         | 55 |
| 第5章 桥面过火混凝土桥梁的加固设计   | 58 |
| 5.1 抢修加固设计原则及目标      | 58 |
| 5.2 抢修加固总体设计         | 58 |
| 5.3 支架系统设计           | 61 |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 5.4        | 混凝土清除方案                    | 66         |
| 5.5        | 置换钢筋混凝土的设计                 | 69         |
| 5.6        | 预应力补充                      | 70         |
| 5.7        | 耐久性加固设计                    | 70         |
| 5.8        | 小结                         | 71         |
| <b>第6章</b> | <b>火灾后混凝土桥梁的施工技术</b>       | <b>72</b>  |
| 6.1        | 火损区铺装层清除                   | 73         |
| 6.2        | 桥梁应力保障系统平台施工               | 73         |
| 6.3        | 受损区混凝土清除                   | 75         |
| 6.4        | 梁体顶升状态实时保障                 | 81         |
| 6.5        | 模板、钢筋、混凝土施工                | 84         |
| 6.6        | 预应力碳纤维板张拉施工                | 87         |
| 6.7        | 粘贴钢板施工                     | 88         |
| 6.8        | 沥青铺装层施工                    | 89         |
| 6.9        | 抢修工期分析                     | 89         |
| <b>第7章</b> | <b>抢修加固中桥梁施工监控及加固后技术评价</b> | <b>91</b>  |
| 7.1        | 桥梁抢修工程施工监控                 | 91         |
| 7.2        | 桥梁抢修工程加固后技术评价              | 108        |
| 7.3        | 小结                         | 129        |
| <b>第8章</b> | <b>中小规模桥梁应急抢修模式探索</b>      | <b>131</b> |
| 8.1        | 桥梁应急抢修模式现状                 | 131        |
| 8.2        | 桥梁应急抢修管理模式分析               | 132        |
| 8.3        | 中小规模桥梁应急抢修项目推行总承包模式设想      | 142        |
| 8.4        | 实例分析                       | 144        |
| 8.5        | 小结                         | 145        |
| <b>附录1</b> | <b>界面胶</b>                 | <b>146</b> |
| <b>附录2</b> | <b>水力清除混凝土技术</b>           | <b>148</b> |
| <b>附录3</b> | <b>智能预应力碳纤维板加固技术</b>       | <b>150</b> |
|            | <b>参考文献</b>                | <b>152</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 桥梁火灾事故分析

火灾是工程结构最严重的灾害之一。近年来,随着经济和交通建设的快速发展,运输易燃易爆货物的重型货车日益增多,桥梁火灾事件频发,引发的火灾、爆炸事故给桥梁带来严重威胁<sup>[1]</sup>。表 1-1 和表 1-2 分别统计了美国和中国近年来部分遭受火灾的桥梁,图 1-1 ~ 图 1-8 为美国部分桥梁火灾现场照片,图 1-9 ~ 图 1-24 为我国部分桥梁火灾现场照片。

近年来美国桥梁火灾事故<sup>[2]</sup>

表 1-1

| 序号 | 位 置              | 桥 名                        | 时间      |
|----|------------------|----------------------------|---------|
| 1  | 马里兰州,巴尔的摩市       | I-695 公路某立交桥               | 1997.06 |
| 2  | 纽约州,扬克斯市         | I-87 公路某桥梁                 | 1997.10 |
| 3  | 宾夕法尼亚州,费城        | I-95 公路某桥梁                 | 1998.05 |
| 4  | 北卡罗来纳州,Valdese 市 | 某立交桥                       | 1998.07 |
| 5  | 乔治亚州             | I-285 公路某桥梁                | 2001.06 |
| 6  | 佛罗里达州,坦帕市        | Indp. Pkwy 桥               | 2001.12 |
| 7  | 亚拉巴马州,伯明翰市       | I-65 公路某桥梁                 | 2002.01 |
| 8  | 马里兰州             | I-895 及 I-95 公路立交桥         | 2004.01 |
| 9  | 纽约市              | 连接曼哈顿岛和皇后区的桥梁              | 2005.10 |
| 10 | 美国纽约皇后区          | 高速公路某桥梁                    | 2006.01 |
| 11 | 亚利桑那州            | Bill Williams River Bridge | 2006.07 |
| 12 | 旧金山地区            | 奥克兰海湾大桥引桥                  | 2007.04 |
| 13 | 旧金山地区            | 奥克兰海湾大桥                    | 2009.09 |
| 14 | 密西西比州            | Rock Island Swing Bridge   | 2010.11 |
| 15 | 科罗拉多河上           | 连接加利福尼亚州和亚利桑那州的桥梁          | 2013.09 |
| 16 | 加利福尼亚州           | Herperia15 号洲际公路上方一立交桥     | 2014.05 |
| 17 | 纽约市              | Manhattan Bridge           | 2017.01 |

表 1-2

近年来国内桥梁火灾情况统计表

| 序号 | 桥梁所在地            | 桥 名                | 桥 型            | 火灾原因    | 起火点  | 火灾现场情况   | 事故时间       |
|----|------------------|--------------------|----------------|---------|------|--|------------|
| 1  | 沈海高速公路泉<br>州至惠安段 | 过坑高架桥              | 预应力混凝土箱<br>梁桥  | 油罐车翻车起火 | 桥面   | 第二联部分梁板及桥墩严重烧<br>毁,最终拆除重建                      | 2010.06.26 |
| 2  | 辽宁省沈阳市           | 沈阳工农桥              | 预应力混凝土梁<br>桥   | 桥下堆积物起火 | 桥下   | 南部第一跨桥受损严重,换梁<br>处置                            | 2010.07.09 |
| 3  | 黑龙江省哈尔滨<br>市     | 松花江大桥              | —              | 焊接操作不当  | 在建桥墩 | 施工现场覆盖的保温棉被点燃                                  | 2010.11.17 |
| 4  | 四川省成都市           | 东客站西广场高<br>架桥      | 预应力混凝土箱<br>梁桥  | 沥青铺装车起火 | 桥面   | 大火被及时扑灭  | 2011.04.25 |
| 5  | 陕西省榆林城区          | 草沟大桥               | 预应力混凝土箱<br>梁桥  | 油罐车汽油泄漏 | 桥面   | 桥面严重受损,部分箱梁爆裂,<br>经鉴定为危桥,最终拆除重建                | 2011.08.02 |
| 6  | 浙江省青田县           | 温丽高速公路             | 预应力混凝土小<br>箱梁桥 | 货车起火    | 桥面   | 桥梁盖梁、桥墩、桥面、扶手受<br>损严重,400m <sup>2</sup> 沥青路面损毁 | 2011.08.16 |
| 7  | 辽宁省大连市           | 大连西路桥              | —              | 桥下堆积物起火 | 桥下   | 现场浓烟滚滚   | 2011.09.18 |
| 8  | 江苏省南京市           | 南京绕城公路高<br>架桥      | 预应力混凝土箱<br>梁桥  | 货车起火    | 桥面   | 现场浓烟滚滚   | 2011.09.22 |
| 9  | 陕西省宝鸡市           | 南关路南关桥             | 预应力混凝土箱<br>梁桥  | 桥下堆积物起火 | 桥下   | 梁底混凝土爆裂,局部露筋                                   | 2011.09.29 |
| 10 | 辽宁省沈阳市           | 桃仙机场 T2 航<br>站楼高架桥 | 预应力混凝土箱<br>梁桥  | 烟头      | 桥面   | 现场浓烟滚滚   | 2012.02.21 |

续上表

| 序号 | 桥梁所在地        | 桥名        | 桥型        | 火灾原因     | 起火点   | 火灾现场情况                           | 事故时间       |
|----|--------------|-----------|-----------|----------|-------|----------------------------------|------------|
| 11 | 四川省渠县        | 渠江二桥      | 钢管混凝土拱桥   | —        | 承重钢结构 | 大火被及时扑灭                          | 2012.04.18 |
| 12 | 福建省厦门市       | 大嶝大桥      | 预应力混凝土箱梁桥 | 桥下堆放物起火  | 桥下    | 箱梁受损严重,横向预应力筋外露,桥台支座损伤,梁表受到燃烧物烟熏 | 2012.05.31 |
| 13 | 青海省西宁市       | 文汇路跨湟水河大桥 | 混凝土梁悬索桥   | 支木料起火    | 桥下    | 上、下部结构均出现了混凝土开裂、露筋等损伤            | 2012.06.12 |
| 14 | 广东沿江高速公路广州市段 | 黄埔区宏达路高架桥 | —         | 货车追尾油罐车  | 桥面及桥下 | 32~42号墩范围内上下部结构不同程度烧伤            | 2012.06.29 |
| 15 | 重庆市内环快速路     | 高家花园大桥    | 预应力混凝土箱梁桥 | 货车油箱起火   | 桥面    | 桥面沥青层损坏                          | 2012.08.27 |
| 16 | 陕西省西安市       | 东二环互助路立交桥 | 预应力混凝土箱梁桥 | 桥下汽车自燃   | 桥下    | 火灾持续1h,梁底被熏黑                     | 2012.10.18 |
| 17 | 沈海高速公路大连段    | 金州匝道桥     | 预应力混凝土梁桥  | 货车掉落机油   | 桥下    | 火烧超半小时                           | 2013.03.29 |
| 18 | 香港特别行政区      | 黄大仙龙翔道天桥  | —         | 电动车起火    | 桥下    | 天桥底部被完全熏黑                        | 2013.08.26 |
| 19 | 北京市海淀区       | 肖家河桥      | 预应力混凝土箱梁桥 | 桥下配电机柜起火 | 桥下    | 火烧超过3h,大火正上方的桥体底面水泥大片脱落          | 2014.01.18 |

续上表

| 序号 | 桥梁所在地        | 桥名         | 桥型        | 火灾原因    | 起火点  | 火灾现场情况                                  | 事故时间       |
|----|--------------|------------|-----------|---------|------|---|------------|
| 20 | 郑少高速公路郑州至新密段 | 11km处的桥梁   | —         | 汽油罐车着火  | 桥面   | 过火面积约60m <sup>2</sup>                   | 2014.01.29 |
| 21 | 西攀高速公路米易至垭口段 | 王家沟中桥      | 钢筋混凝土空心板桥 | 桥下竹林起火  | 桥下   | 桥底混凝土强度严重下降,过火区混凝土破损露筋,支座损坏             | 2014.03.12 |
| 22 | 江西省南昌市       | 生米大桥引桥     | 预应力混凝土箱梁桥 | 焊接操作不当  | 桥下   | 过火面积约900m <sup>2</sup> ,桥墩、梁体、支座等构件严重烧损 | 2014.03.18 |
| 23 | 湖南省郴州市       | 赤石特大桥      | 预应力混凝土斜拉桥 | 焊接操作不当  | 在建桥塔 | 9根斜拉索断裂,桥面一侧下沉2m                        | 2014.10.29 |
| 24 | 湖南省长沙市       | 西二环龙王港桥    | 预应力混凝土箱梁桥 | 流浪汉烧柴取暖 | 桥下   | 过火面积几十平方米,部分钢筋暴露                        | 2015.02.04 |
| 25 | 渝昆高速公路会泽县境   | K599处桥梁    | 预应力混凝土梁桥  | 桥下民房起火  | 桥下   | 桥面及墩柱混凝土剥落,钢筋露筋,桥板出现裂缝,交通中断             | 2015.03.11 |
| 26 | 山西省太原市       | 南沙河双塔西街高架桥 | 预应力混凝土箱梁桥 | 焊接操作不当  | 桥下   | 梁底被熏黑,表面水泥脱落                            | 2015.03.22 |
| 27 | 河南省郑州市       | 刘江黄河桥北引桥   | 预应力混凝土T形梁 | 车辆碰撞    | 桥面   | 顶板混凝土严重灼伤,局部修补                          | 2016.02.29 |
| 28 | 广东省清远市       | 北江伦洲大桥     | —         | 起因不明    | 在建桥墩 | —                                       | 2016.03.27 |
| 29 | 浙江省宁波市       | 杭州湾跨海大桥    | 预应力混凝土箱梁桥 | 客车起火    | 桥面   | 沥青层被破坏                                  | 2016.05.01 |
| 30 | 江苏省          | 润扬大桥主桥     | 悬索桥       | 车辆自燃    | 桥面   | 现场浓烟滚滚                                  | 2016.10.05 |



图 1-1 I-65 公路某桥梁(2002)

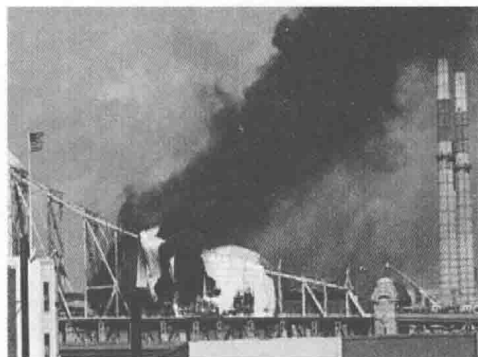


图 1-2 连接曼哈顿岛和皇后区的桥梁(2005)



图 1-3 Bill Williams River Bridge(2006)



图 1-4 奥克兰海湾大桥引桥(2007)



图 1-5 Rock Island Swing Bridge(2010)



图 1-6 连接加利福尼亚州和  
亚利桑那州的桥梁(2013)



图 1-7 Herperia 15 号洲际公路立交桥(2014)



图 1-8 Manhattan Bridge(2016)



图 1-9 哈尔滨松花江大桥在建桥墩起火



图 1-10 沈阳工农桥桥下堆积物起火



图 1-11 陕西榆林草沟大桥油罐车起火



图 1-12 浙江青田博瑞沿江桥货车起火



图 1-13 陕西宝鸡南关桥墩间堆积物引发火灾



图 1-14 重庆高家花园大桥货车油箱起火



图 1-15 西安东二环互助路立交桥堆积物引发火灾



图 1-16 香港黄大仙龙翔道人行天桥桥下起火



图 1-17 北京北五环肖家河桥桥下建筑引发火灾



图 1-18 郑少高速公路郑州至新密段油罐车着火



图 1-19 西攀高速公路王家沟中桥桥下竹林起火



图 1-20 江西南昌生米大桥气割操作不当引发火灾

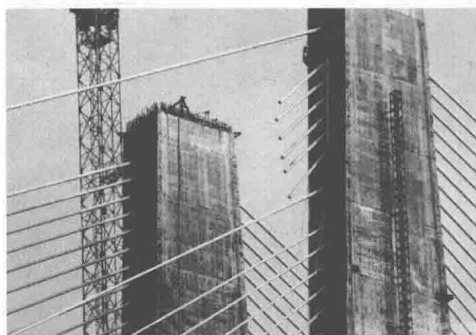


图 1-21 湖南郴州赤石大桥焊渣掉落引发火灾



图 1-22 湖南长沙龙王港桥桥下取暖引发大火



图 1-23 山西太原双塔西街高架桥焊接不当引发火灾



图 1-24 杭州湾跨海大桥车辆起火