

GONGLU HUNNINGTU LIANGQIAO

HUOZAI SUNSHANG JIANCE PINGGU JI JIAGU JISHU

公路混凝土梁桥

火灾损伤检测评估及加固技术

河北锐驰交通工程咨询有限公司 编著



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

公路混凝土梁桥

火灾损伤检测评估及加固技术

河北锐驰交通工程咨询有限公司 编著



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

内 容 提 要

本书主要包括:绪论,火灾对混凝土梁桥材料的影响,火灾后混凝土梁桥损伤检测,火灾后混凝土梁桥损伤评估,火灾后混凝土梁桥损伤处治,工程实例。

本书可供交通行业从业人员学习参考,也可供相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路混凝土梁桥火灾损伤检测评估及加固技术/河北锐驰交通工程咨询有限公司编著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.6

ISBN 978-7-114-13835-5

I. ①公… II. ①河… III. ①公路桥—钢筋混凝土桥—建筑火灾—损伤(力学)—检测—研究②公路桥—钢筋混凝土桥—加固—研究 IV. ①U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 114135 号

书 名:公路混凝土梁桥火灾损伤检测评估及加固技术

著 作 者:河北锐驰交通工程咨询有限公司

责任编辑:袁 方

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.ccpress.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:7.25

字 数:121 千

版 次:2017 年 6 月 第 1 版

印 次:2017 年 6 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13835-5

定 价:38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

近年来,随着我国公路交通事业的快速发展,服役的混凝土梁式桥数量巨大。火灾烧桥的事件增多且危害巨大,越来越引起业界重视。由于火灾后桥梁损伤的复杂性,导致对火灾后梁桥结构的损伤评定面临着诸多的困难。当前,英、美等国所采用的混凝土结构火灾诊断是以评估程序为主体,而其所采用的评估方法更侧重于定性而不定量。我国对混凝土梁桥火灾的研究处于初级阶段,需进一步对其抗火性能和火灾后损伤评估方法进行深入而全面的研究。为了探讨该技术,以期更加合理地对火灾后梁桥进行检测评估,科学地对受损构件进行损伤识别,火灾后梁桥技术状况的评定更趋准确,使加固维修方案更趋合理,特编写本书。本书结合河北锐驰交通工程咨询有限公司曾完成的多个火灾桥梁检测、评价和加固设计的实体项目经验,以及当前国内外相关研究成果,分析研究了火灾过程中混凝土材料、普通钢筋和预应力钢筋的高温力学性能,对火灾后混凝土梁桥的检测、评估及加固技术进行了归纳总结,供业内参考。

本书由河北锐驰交通工程咨询有限公司、王子鹏公路养护技术工作室成员共同完成,主要起草人有金凤温、陈振、刘丽、张艳梅、李亚伟。

在本书编写过程中,段树金教授、陈秋波教授、王春生教授、张岗教授等多位专家学者对书稿进行了审阅,给予了指导和建议;刘国明高级工程师、张建立高级工程师、李卫青高级工程师提供了部分实体工程项目检测资料和数据,在此一并致谢。编写过程中,吴瑞祥和王子鹏两位正高工提出了诸多建议并给予了大力支持,公司全体同仁为

本书的出版付出了艰辛努力,在此深表谢意。书中引用和参考的文献资料,部分来自网络(部分无法确认者未能注明),在此对原作者表示感谢。

由于水平所限,书中疏漏及偏颇之处在所难免,恳请读者批评指正。

联系地址:河北省石家庄市平安南大街30号;邮政编码:050021;电话:0311-86089559。

编著者
2016年12月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 建筑结构火灾	1
1.2 桥梁结构火灾	4
第2章 火灾对混凝土梁桥材料的影响	11
2.1 燃烧概述	12
2.2 火灾对混凝土的影响	14
2.3 火灾对普通钢筋及预应力钢筋的影响	18
2.4 火灾对钢筋与混凝土之间黏结性能的影响	23
2.5 火灾对梁桥耐久性的影响	24
第3章 火灾后混凝土梁桥损伤检测	25
3.1 火灾后梁桥检测内容及流程	25
3.2 火灾后梁桥检测	26
第4章 火灾后混凝土梁桥损伤评估	41
4.1 火灾后梁桥评估内容及流程	41
4.2 火灾后梁桥烧伤程度评定	42
4.3 火灾后梁桥技术状况评定	53
第5章 火灾后混凝土梁桥损伤处治	59
5.1 火灾后梁桥处治原则	59
5.2 火灾后梁桥处治	59
第6章 工程实例	67
6.1 某预应力小箱梁火灾后损伤评估及加固	67
6.2 某钢筋混凝土空心板桥火灾后损伤评估及加固	80
6.3 某预应力空心板桥火灾后损伤评估及加固	89
附录A 常见可燃物闪点、燃点及燃烧温度	97
附录B 混凝土表面颜色、裂损剥落、锤击反应与温度关系	98
附录C 火灾后混凝土强度折减系数	100
附录D 高温时和高温冷却后钢筋强度折减系数	101
附录E 高温自然冷却后混凝土弹性模量、钢筋与混凝土黏结强度折减系数 ..	103
参考文献	104

第1章 绪 论

火灾是一种包括流动、传热传质和化学反应及其相互作用的复杂燃烧过程,是各种灾害中发生频率最高且极具毁灭性的灾害之一。火灾会给人类的生命财产造成极大的损失,其直接损失约为地震的5倍,仅次于干旱和洪涝,而发生的频度则位居各种灾种之首^[1]。常见的火灾有建筑物火灾、森林火灾、可燃材料堆场火灾、交通工具火灾等。火灾统计表明,发生火灾次数最多、损失最严重当属建筑物火灾^[2]。

根据公安部消防局统计,2015年全国共发生火灾33.8万起,共造成2854人伤亡,其中1742人死亡,1112人受伤,造成经济损失39.5亿元。其中建筑物类别火灾占火灾总数的70%以上,造成的经济损失占总数的80%以上。在我国,钢筋混凝土结构形式的建筑物占有绝大多数,可以说,建筑物火灾主要是发生在混凝土结构的火灾。

1.1 建筑结构火灾

1.1.1 建筑结构火灾事故

建筑火灾作为火灾类型之一,发生次数最多,造成损失最为严重。随着经济和技术发展,建筑的高度、设备复杂程度、人员和财产的密集程度都在增大,致使建筑火灾的发生日益频繁,给人类的生命财产造成的损失越来越大。

2004年2月15日,吉林省吉林市市中百商厦发生特大火灾事故(见图1-1)。其事故原因为中百商厦伟业电器行雇工向库房送包装纸板时,将嘴上叼着的香烟掉落在仓库中,引燃地面上的纸屑纸板等可燃物引发火灾。该火灾造成54人死亡,70人受伤,直接经济损失426万元。

2010年11月15日,上海市静安寺一栋高层公寓大楼发生特别重大火灾事故(见图1-2)。事故原因为无证电焊工违规操作,在进行电焊作业过程中溅落的金属熔融物,引燃下方找平掉落的聚氨酯泡沫碎块、碎屑,并引燃了楼体表面的尼龙防

护网、脚手架上的毛竹片以及各层室内的窗帘、家具,煤气管道的残余气体等易燃物质,造成火势迅速扩大,并于15:45火势达到最大。在消防队的救援下,这种火势持续了55min。该火灾事故造成58人死亡,71人受伤,直接经济损失1.58亿元。

2014年8月2日,位于江苏省的昆山中荣金属制品有限公司4号厂房发生特别重大铝粉尘爆炸事故(见图1-3)。其事故原因为厂房除尘器发生爆炸,爆炸冲击波沿除尘管道向车间传播,除尘系统内和车间集聚的铝粉尘发生系列爆炸。该事故造成97人死亡,163人受伤,直接经济损失3.51亿元。

2015年8月12日,位于天津市滨海新区天津港的瑞海国际物流有限公司危险品仓库发生火灾爆炸事故(见图1-4)。其事故直接原因是瑞海公司危险品仓库运抵区南侧集装箱内硝化棉由于湿润剂散失出现局部干燥,在高温(天气)等因素的作用下加速分解放热,积热自燃,引起相邻集装箱内的硝化棉和其他危险化学品长时间大面积燃烧,导致堆放于运抵区的硝酸铵等危险化学品发生爆炸。该事故造成165人遇难,8人失踪,798人受伤。



图 1-1 吉林中百厦大火

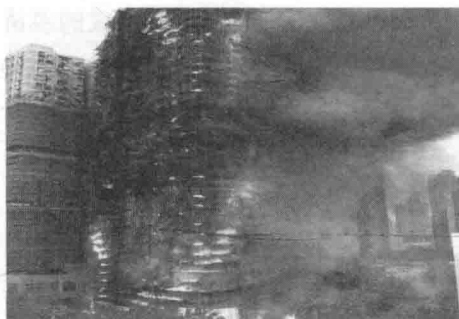


图 1-2 上海静安寺大火



图 1-3 昆山中荣厂房爆炸



图 1-4 天津港仓库爆炸

从以上事故可以看出,火灾给人类社会造成了不少生命和财产的严重损失。为了能够降低建筑火灾的发生率,减少火灾给人类造成的损失,人们从火灾事故中吸取经验教训,对建筑物的抗火及灾后评定和修复研究越来越重视。例如,研究各种建筑材料的高温性能,研究各种构件和结构的耐火性能,对火灾后的建筑结构构件进行加固修复试验研究等。

1.1.2 建筑结构火灾研究现状

我国在建筑火灾和混凝土结构抗火研究方面起步较晚。新中国成立以后,我国政府对建筑物防火日益重视,1956年公布了《工业与民用建筑防火标准》,1960年颁布了《关于建筑设计防火原则的规定》。后又组织有关部门于1974年和1988年相继编写出台了《建筑设计防火规范》。

1981年,由冶金部建筑科学研究院等单位编制了《冶金工业厂房钢筋混凝土结构抗热设计规程》。该规程给出了 $60\sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围内的设计计算方法、设计措施、材料指标及有关规定,这是我国第一部有关钢筋混凝土结构抗火设计规程^[3]。

随着我国经济的发展,高层建筑不断涌现,在1983年和1995年我国政府又先后颁布实施了《高层民用建筑设计防火规范》,这些规范为建筑防火设计指明了方向。2014年由公安部四川消防科学研究所会同有关单位对95版规范进行局部修订后,颁布了《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014),并于2015年5月1日开始实施。

1989年,江苏省建筑科学研究院与江苏省公安厅消防局、南京市消防支队成立了科研课题组,联合开展了“建筑物火灾后受损分析、诊断和处理”科学研究,编写了《建筑物火灾后诊断与处理》^[4]一书。这是我国在该领域内首部实用性专著,该书较系统地总结了火灾后结构受损程度的理论、方法,确定了对火灾工程的检测手段和修复方案。

1996年,上海市建筑科学研究院在大量试验研究和工程实践的基础上,结合国内外的科研成果,编制了上海市地方标准《火灾后混凝土构件评定标准》^[5]。这个标准较全面反映了火灾后建筑物检测鉴定方法和程序,为火灾后对建筑物进行科学合理的评定提供了依据,也为编制国家统一标准提供了很好的借鉴。

2002年,清华大学的过镇海、时旭东教授编写了《钢筋混凝土的高温性能及其计算》^[6]一书。该书以混凝土材料和结构的高温(抗火)试验研究为基础,从中分析其力学性能的机理和一般规律,并通过非线性有限元分析实现理论计算,并给出

了适合工程实用的简化计算方法。

2003年,华南理工大学吴波教授编写了《火灾后钢筋混凝土结构的力学性能》^[7]一书。该书介绍了室内火灾温度发展过程与构件内部温度场的评估方法,高温下与高温后钢筋和普通混凝土的力学性能,高温后高强混凝土的力学性能,火灾后混凝土结构的损伤评估办法,火灾后混凝土结构的剩余抗震性能,以及火灾后混凝土构件的抗震修复技术。

2009年,由中冶建筑研究总院有限公司(原冶金部建筑研究总院)、上海市建筑科学研究院编制颁布了《火灾后建筑结构鉴定标准》^[8]。该标准将火灾后结构构件的鉴定评级分为初步鉴定评级和详细鉴定评级两个阶段。其中,初步鉴定评级根据构件烧灼损伤、变形开裂程度分为Ⅱ_a级、Ⅱ_b级、Ⅲ级和Ⅳ级;详细鉴定评级根据检测鉴定分析结果分为b级、c级和d级。该标准是目前建筑结构火灾鉴定评级最新的行业标准。

1.2 桥梁结构火灾

随着我国国民经济的快速发展,公路交通设施建设也进入了大发展时期。作为公路的重要组成部分——桥梁,尤其混凝土梁桥,在公路建设中的比例不断提高。一方面,随着公路交通量日益增大,公路运输类型日趋多样化、超载化,如高速公路上常见的汽油、乙醚等易燃易爆危险化学品运输车,塑料、板材等易燃品载重货车,这些车辆发生事故带来的火灾隐患,是桥梁火灾的主要因素;另一方面,在公路桥梁下方经常堆放有橡胶、干柴等易燃物,由此引发桥梁的火灾事故也越来越多。无论何种原因造成桥梁发生火灾,都给桥梁的结构安全带来了严重威胁。

全世界范围内每年都有多起严重的桥梁火灾事故发生,据统计,因火灾垮塌的桥梁是地震垮塌的2.7倍^[9]。而我国在2007~2015年,更是发生了多起桥梁火灾事故,影响了交通通行,造成了桥梁损坏,甚至导致了桥梁坍塌和人员伤亡。作为极端荷载之一的火灾作用对桥梁造成的破坏难以估量,桥梁结构抗火已引起交通管理部门及相关学者的高度关注。

1.2.1 桥梁火灾事故

1) 国外桥梁火灾事故

20世纪80年代日本的某高架桥,由于桥下堆积的40万个轮胎燃烧,导致高架

桥被大火直接燃烧 43h, 灾后用了 7 个月进行修复。

2004 年 3 月 25 日, 位于美国康涅狄格州布里奇波特的 I-95 霍华德街跨线桥发生火灾, 火灾原因是桥上车辆发生追尾事故, 导致油罐车撞击护栏泄露起火, 火场温度高达 $1800 \sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。火灾导致钢主梁软化, 桥梁倒塌, 如图 1-5 所示。

麦克阿瑟梅兹立交^[10]是美国加利福尼亚州奥克兰一个非常大的立交桥群, 连接奥克兰、伯克利和旧金山的 5 条高速公路在这里交汇, 是当地重要的交通节点。2007 年 4 月 29 日凌晨, 一辆行驶在 I-880 高速上的汽油运输车在变道时翻车, 汽油泄漏并引发大火, 而事故地点就在 I-880 高速与 I-580 高速立交交汇处。大火导致 I-580 高架桥的钢盖梁受高温软化并垮塌, 进而导致上部结构两跨倒塌, 如图 1-6 所示。



图 1-5 美国布里奇波特桥火灾

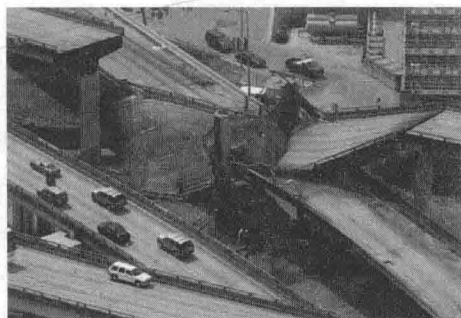


图 1-6 美国麦克阿瑟梅兹立交火灾

2) 国内桥梁火灾事故

2006 年 6 月 6 日, 京石高速公路白陀北沟中桥下, 一辆满载废旧塑料 (约 3.8t) 的货车剧烈燃烧, 造成该桥严重烧伤, 导致京石高速右幅交通中断。右幅北起第二孔整孔超车道、行车道梁底板混凝土被大火烧得粉碎, 成排的主筋裸露, 双幅的近火处 3 片盖梁、6 根立柱及 2 排中央防撞护栏混凝土保护层脱落, 造成严重开裂。经有关专家对受损桥梁进行检测及论证认为, 原桥右幅箱梁由于受损严重已不能继续使用; 下部构造受损较轻, 经加固处理后可以继续使用, 如图 1-7 所示。

2007 年 6 月 8 日, 福银高速公路闽清段 A 道 K64 + 600m 处的建新大桥^[11], 由于油罐车下坡时失控侧翻漏出汽油而引发火灾, 致使桥梁被火烧超过半小时, 路面沥青烧成焦炭, 部分连接处的钢板及栏杆变形, 桥墩也燃烧了 10min, 受到不同程度的损伤, 如图 1-8 所示。



图 1-7 京石高速公路白陀沟中桥火灾



图 1-8 福银高速公路闽清建新大桥火灾

2008 年 2 月 7 日,位于深海高速公路福宁段主线的宁德大桥^[12],由于桥下堆积物起火,导致 76 号桥墩及该桥第二、三联箱梁表面损伤严重,混凝土剥落至主筋位置,主梁及桥墩有效截面削弱,预应力钢筋损伤严重,如图 1-9 所示。

2011 年 8 月 2 日,210 国道榆林市国境线草沟大桥,一辆拉煤货车与一辆装载 24t 汽油的油罐车追尾,造成油罐罐体严重破坏,汽油大量泄漏并引发大火爆炸,造成大桥桥面严重受损,靠近护栏的人行道上局部爆裂突起,橡胶支座多处烧毁,梁桥之间出现裂缝,部分箱梁爆裂,桥梁整体承载力下降,如图 1-10 所示。



图 1-9 福宁高速公路宁德大桥火灾



图 1-10 榆林市国道线草沟大桥火灾

通过以上桥梁火灾事故可知,桥梁火灾可分为桥上交通事故引发火灾和桥下可燃物燃烧火灾两种。由于桥梁结构空间的开放性,其火灾特性不同于其他建筑结构,桥梁结构火灾受气流的影响显著,火源对结构的热辐射距离有变,火焰区域空间的温度差异性较大,这就使得桥梁结构在火焰区域空间的温度效应有高有低,结构的各个区域受火温的影响各有差异^[13]。由危险化学品运输车追尾、侧翻等交通事故引发的桥上火灾,主要受损部位为桥面铺装、护栏、声屏障、主梁及下部墩

台、盖梁等;由桥下交通事故、堆放可燃物等引发的桥下火灾,主要受损部位为主梁及下部墩台、盖梁等。不论是哪种火灾,都会对桥梁结构造成不可逆转的损伤,进而影响桥梁结构的适用性和安全性。

1.2.2 桥梁结构火灾研究现状

1) 国外研究现状

国外对混凝土桥梁材料及其结构的高温性能研究较早,在钢筋混凝土材料高温下和高温后的力学性能、结构抗火设计、火灾后混凝土结构检测、评估与修复等方面都进行了大量的研究。

1995年,Chien-Hung Lin^[14]对高温后混凝土柱的加固进行了试验研究。其研究结果证明,火灾后的混凝土柱构件加固后,能够显著地降低其火灾对承载能力的影响。

2002年,Lin-Hai Han, You-Fu Yang等^[15]采用ISO-834国际标准升温曲线对钢筋混凝土柱的承载能力进行了相关的试验研究。其研究表明,受防火保护的混凝土构件的承载能力要明显高于没有防火保护的混凝土构件承载能力。

Andrea Benedetti^[15]采用了超声波的无损检测方法对高温后混凝土的损伤进行了试验研究。葡萄牙学者J. R. dos Santos, F. A. Branco等^[16]对钻芯法进行了研究,火灾高温后混凝土构件的损伤程度是沿着构件深度方向变化的。研究者把每个芯样的厚度切成等厚的,这样做的目的是理论上认为受损伤的程度是均匀的,然后对混凝土进行了劈拉试验,然而得出了混凝土构件不同深度方向上的劈拉强度损失情况。这一方法在现实的程度上解决了高温后混凝土构件在受损伤深度方向上进行检测评估的难题。

2008年,Kodur V K R, Dwaikat M B等^[17]运用数值方法分析了带多余约束的单跨钢筋混凝土梁与预应力钢筋混凝土简支梁,研究了预应力混凝土梁板受应力-温度路径的影响。由于高温作用下预应力结构力学性能复杂,并且连续梁板多余约束对预应力结构抗火性能影响显著,由此提出了考虑热-力耦合影响的数值方法并结合试验数据来研究预应力混凝土梁的抗火性能。建立了基于混凝土空隙水压力影响的高强混凝土爆裂的整体式模型,获得了轴向约束对混凝土梁爆裂性能影响较为明显的结论。研究得出高强混凝土因表层混凝土爆裂及渗透性低的影响,导致其耐火性能低于普通混凝土。

国外一些规范在构造措施方面,对钢筋混凝土及预应力混凝土梁板构件在不

同耐火极限条件下做了最小梁宽和最小预应力钢筋保护层厚度的要求^[18]。如欧洲规范 EC2-1-2^[19]就基于标准升温曲线,对硅质粗集料混凝土的预应力梁给出了对应不同耐火极限,满足承载力、完整性和隔热性要求的构件最小梁宽 $b_{\min}$ 和钢筋合力点到受火边缘最小距离 a ,如表 1-1^[19]所示。此外,该规范认为满足表 1-1 要求的构件,火灾下不会发生混凝土爆裂。

欧洲规范 EC2 中关于预应力混凝土梁抗火构造要求

表 1-1

约束条件	耐火极限 (min)	$b_{\min}/a$ 的可能组合 (mm)				腹板宽度 b_w (mm)
简支梁	60	120/50	160/45	200/40	300/35	100
	90	150/65	200/55	300/50	400/45	100
	120	200/75	240/70	300/65	500/60	120
	180	240/90	300/80	400/75	600/70	140
	240	280/100	350/90	500/85	700/80	160
连续梁	60	120/35	200/22	—	—	100
	90	150/45	250/35	—	—	100
	120	200/55	300/45	450/45	500/40	120
	180	240/70	400/60	550/60	600/50	140
	240	280/85	500/70	650/70	700/60	160

2) 国内研究现状

国内学者运用试验、模型分析等方法,对混凝土、普通钢筋及预应力钢筋的高温力学性能、火灾后混凝土的损伤机理、火灾后混凝土桥梁结构整体或构件的力学性能等进行了大量的研究,并且也取得了一定的研究成果。

1992 年,王春华、程超^[21]等对钢筋混凝土简支梁在高温冷却后,在其抗火性能方面进行了试验研究。这一试验研究系统地研究了高温冷却后对其在抗弯能力以及强度损失两个方面的影响。

2003 年,吕天启、赵国藩等^[20]运用 X 射线辐射以及电镜扫描的方法对不同的火灾温度下混凝土的微裂缝发展和组成成分变化进行了微观层面的研究。其研究表明,在不同火灾温度作用下,混凝土组成材料的结构会发生相应的变化;随着温度越来越高,变化越来越显著。采用电子显微镜可以观察到混凝土切片物相组成及特征的变化,根据这些变化所对应的温度,来判断结构或者构件受火时温度的高低。

2008 年,张炎、徐志胜等^[22]对受火损伤后 CFRP 加固钢筋混凝土简支梁进行

了抗弯试验。其试验结果表明,CFRP 加固受火灾作用后的混凝土梁能明显地提高承载力抗弯能力,抑制裂缝的扩展,并且 U 形箍能对梁底 CFRP 片材起到锚固作用,能防止发生剥离破坏,保证加固效果。

长安大学的张岗、贺拴海等人对矩形截面^[24]和 T 形截面^[26]钢筋混凝土简支梁三面火灾进行模型数值模拟分析。之后得出结论:火灾下钢筋混凝土简支梁高温挠度随火灾时间延长基本上呈线性增长、随荷载比的增加呈非线性增长趋势;挠度时程曲线增大的程度随保护层厚度增加而减少;提高混凝土保护层厚度,可有效控制火灾场梁桥的形变。李世安、朱晓龙、张岗、贺拴海、宋一凡、赵小星等人^[11,23-25]依据力的平衡原理,引入了钢筋和混凝土的强度折减系数,并建立了钢筋混凝土简支梁的极限弯矩计算模型;对不同受火时间和不同保护层厚度条件下,进行了简支梁高温作用下的火灾反应研究,建立了荷载因子的非线性计算方法,同时将其计算结果与有限元分析结果进行了对比研究;综合考虑了钢筋混凝土结构性能的参数高温作用后的变化规律,并采用 ISO-834 国际标准升温曲线,利用大型有限元程序 ANSYS 对钢筋混凝土梁进行了火灾反应分析以及温度场的瞬态非线性分析,并且在此基础上建立了火灾高温后结构的安全评价模型。

此外,一些学者、工程技术人员结合实际工程案例对火灾后混凝土桥梁的检测内容、评估方法、结构整体分析、加固方案等进行了研究和总结,为火灾后桥梁的研究和实际应用提供参考和借鉴。

吉林省交通科学研究所的郑继光等人^[27]对嫩江某公路大桥火灾后结构受火温度进行了推定,并对混凝土、普通钢筋、预应力钢筋及结构整体所受影响进行了分析。在其推定与分析中,考虑到缺损的预应力混凝土不可修复、裂缝不满足结构适用性等因素,采取了受损边梁及其邻近的次边梁整联全部拆除重建的修复方案。中交第一公路勘察设计研究院有限公司的许宏元、侯旭等人^[28]介绍了火灾后混凝土、钢筋、预应力钢绞线及桥梁附属构件火灾后损伤特点,结合预应力混凝土连续箱梁桥和预应力混凝土连续 T 梁桥的火灾阐述了主梁截面形式、火源位置、灭火方式对结构损伤的影响。福建省高速公路有限责任公司的吴耀斌^[29]介绍了火灾后宁德大桥的检测内容及方法,详细阐述了桥梁各部件加固修复方案,并对桥梁加固后的主要构件进行静、动载检测试验,用以评估桥梁的承载能力和使用条件,为加固后桥梁的养护提供数据支持。还有我们公司的金凤温、刘丽、陈振等人^[30,31]分别结合空心板桥和预应力混凝土连续箱梁桥的火灾实例,介绍了火灾后混凝土梁桥的检测内容及方法,并对火灾后桥梁的承载能力进行了计算和评估,在此基础上

提出了加固修复措施。

尽管目前国内学者对混凝土桥梁火灾的研究取得了一些进展,但还未形成系统性理论体系,尚未出版相关的规范或规程。桥梁发生火灾后,检测工程师一般使用常规检测方法进行检测和评估,在《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)基础上参考其他行业火灾鉴定标准完成,其准确性、科学性和系统性受到一定程度的影响。因此,我们有必要开展对桥梁抗火性能的研究,尤其是对火灾后桥梁的检测、评估方法进行全面而系统的研究。这样,才能为火灾后桥梁的加固提供数据支持,为今后进一步制定国家级桥梁抗火设计规范打下坚实的基础。

第2章 火灾对混凝土梁桥材料的影响

目前我国公路桥梁基础建设发展迅速,其中桥梁所占比例较高,而且多为混凝土梁式桥(见图2-1)。以河北省为例,截至2015年底,河北省公路通车总里程已经达到18.46万km;在役桥梁大约40951座,其中特大桥261座、大桥5207座、中桥9364座、小桥26119座,如图2-2所示。目前公路桥梁中多数为混凝土梁式桥,以空心板梁桥、实心板梁桥、箱形梁桥、T形梁桥及刚构桥为主,如图2-3所示。

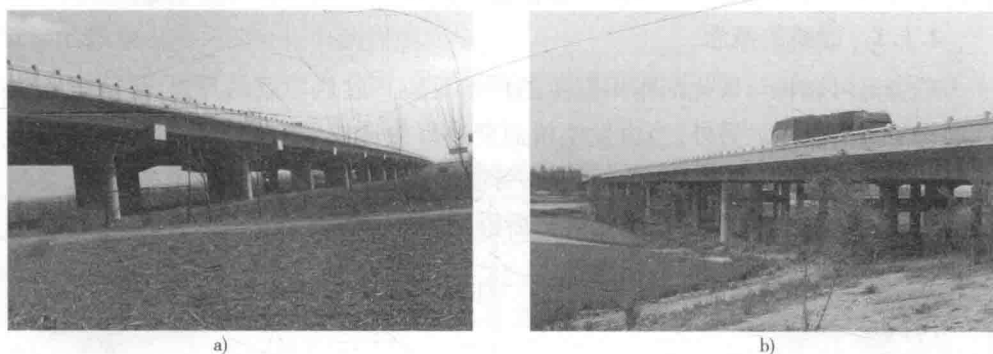


图2-1 河北省桥梁

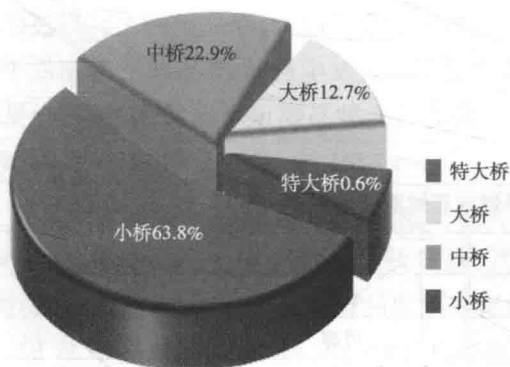


图2-2 河北省目前公路桥梁统计图

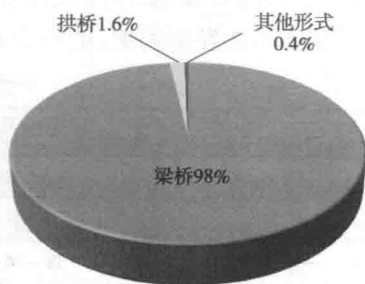


图2-3 河北省目前公路桥梁结构形式

桥梁发生火灾时,部分结构处于高温状态,受高温作用钢筋和混凝土的力学性