

文章编号: 1674—8247(2019)04—0056—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.04.012

铁路框架桥火灾后的试验研究与损伤评估

殷涛

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

摘要:文章以哈尔滨市内一座铁路框架桥事故为研究对象,介绍了烧损桥梁的混凝土抗压强度试验、碳化深度检测、钢筋拉伸试验、静动载试验等各项研究内容。根据各类试验结果,判断出桥梁结构碳化等级和混凝土损坏等级,综合评估确定烧损桥梁可修复使用,最后提出了修复建议。文章可为同类型发生火灾桥梁的检测加固提供参考。

关键词:桥梁;火灾;混凝土试验;钢筋拉伸试验;静动载试验;损坏评估

中图分类号:U445.7+5 文献标志码:A

Experimental Research and Damage Evaluation of Railway Frame Bridge after Fire

YIN Tao

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 102600, China)

Abstract: Based on an example of a railway frame bridge accident in Harbin, various research projects of the burned bridge such as concrete compressive strength tests, carbonization depth detection, steel tensile tests, static and dynamic tests are introduced in the paper. According to the various tests results, the carbonization grade and concrete damage level of the burned bridge are concluded. The burned bridge can be repaired and continued to be used through comprehensive assessment. Finally, the restoration suggestions are put forward. This paper has certain reference value for the detection and reinforcement of other burned bridges with the same type.

Key words: bridge; fire; concrete experiments; steel tensile tests; static and dynamic tests; damage assessment

高速铁路桥梁结构物安全至关重要,但在桥梁穿(跨)越车辆密集的城市道路交叉处,安全隐患较多,火灾就是发生概率最大、危害最严重的隐患之一。一旦发生火灾,将会造成铁路停运,损失巨大。因此,研究如何对发生火灾后的桥梁结构进行损伤评估,制定修复方案具有重要意义。本文以哈尔滨市长江路上一座2-18 m长度440 m的铁路框架桥火灾事故为案例,对火灾后的桥梁结构进行试验检测和损伤评估,并提出桥梁快速修复方案,供同类事故桥梁参考

借鉴^[1]。

1 火灾现场勘察

本次火灾事故发生于铁路框架桥第5~7节位置,造成第1~13节,共计273.45 m长桥梁过火,如图1所示。第5~7节烧损严重,桥梁顶板、边墙钢筋保护层和分布钢筋脱落,钢筋外露,混凝土脱落面积约630 m²。其中,第6节烧损最严重,顶板混凝土脱落面积超过70%,有一半钢筋下挠,顶板底脱落后露出的

收稿日期:2018-08-10

作者简介:殷涛(1970-),男,高级工程师,注册监理工程师。

引文格式:殷涛. 铁路框架桥火灾后的试验研究和损伤评估[J]. 高速铁路技术,2019,10(4):56-60.

YIN Tao. Experimental Research and Damage Evaluation of Railway Frame Bridge after Fire [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 56-60.

混凝土呈浅灰色,略显粉红,表面呈微细裂缝,锤击声音发闷,混凝土表面未留下锤击痕迹。在过火严重区

域,桥内装修大理石板脱落,人行道栏杆严重扭曲变形。

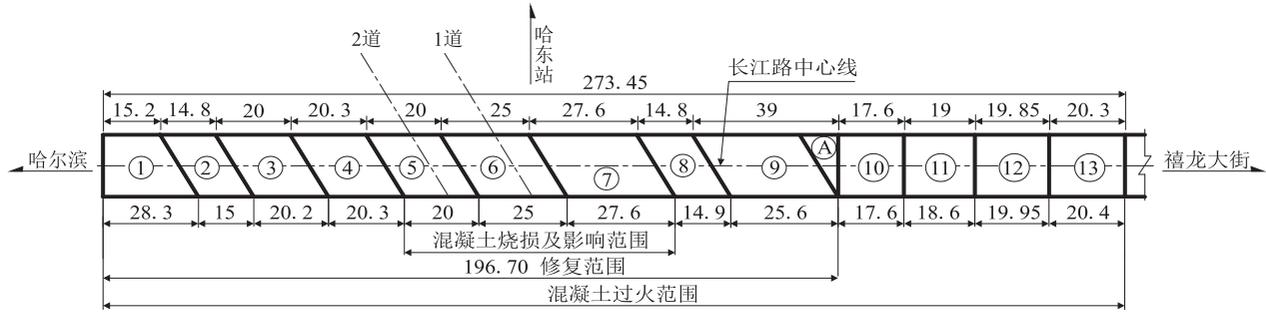


图1 桥梁烧损范围平面示意图(m)

根据火灾后损坏严重程度,将烧损桥梁划分为3个区域,如图2所示。

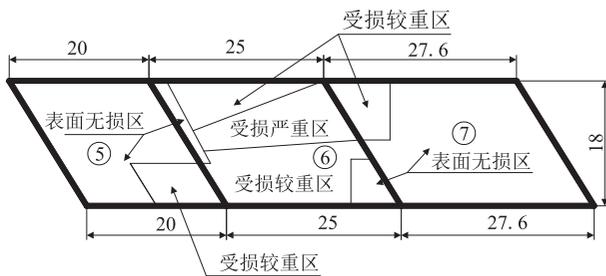


图2 桥梁烧损程度区域平面示意图(m)

(1) 受损严重区

分布钢筋 80 根下挠,有 5% 钢筋烧断,下挠范围为 250 ~ 1 800 mm,下挠幅值大部分在 50 ~ 1 000 mm,约 40% 纵向主筋严重弯曲。混凝土下缘保护层全部脱落。

(2) 受损较严重区

分布钢筋有 38 根下挠,下挠范围为 150 ~ 400 mm,约 15% 纵向主筋弯曲。混凝土下缘保护层全部脱落。

(3) 表面无损区

肉眼观察钢筋和混凝土表面,无明显损坏^[2]。

2 火灾后桥梁试验研究

为探明火灾后桥梁结构性能的变化程度,确定能否修复使用,并制定修复方案,根据火灾现场勘查状况、结构损伤程度、火灾燃烧过程,确定火灾后桥梁试验内容包括:①混凝土强度检测(钻芯法、回弹法);②碳化深度检测;③混凝土损伤厚度检测;④钢筋力学性能试验;⑤桥梁动载试验。

2.1 混凝土强度检测

2.1.1 钻芯法强度检测

在受损严重区域的第 6 节框架桥顶板混凝土上,

用长 200 mm 膨胀螺栓固定仪器(固定不住仪器的部位进行植筋固定)。取芯位置选在结构受力小、混凝土烧损严重脱落区^[3]。取芯前,先测量取样点位置,然后用钻芯机钻孔取样,芯样取出后应马上干燥,并迅速送至试验室进行抗压强度试验。试验过程如图 3 ~ 图 5 所示,芯样检测值,如表 1 所示^[4]。



图3 取出芯样

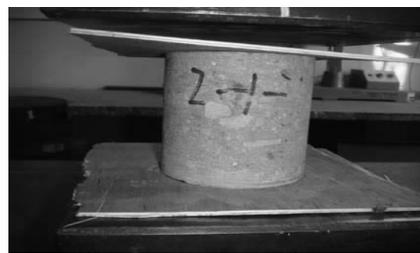


图4 芯样加压



图5 芯样试验后

在第 5 节、第 7 节框架桥顶板混凝土上,选取受损较严重区进行取芯,试验方法与第 6 节框架桥相同,芯样检测值,如表 2 所示^[5]。

表1 第6节框架桥钻芯法检测值

芯样编号	芯样高/mm		平均高/mm	芯样直径/mm		平均直径/mm	高径比	受压面积/mm ²	荷载值/kN	抗压强度/MPa	单项判定
1-1	99.1	99.7	99.4	98.7	98.2	98.5	1.01	7 615	324	42.5	合格
1-2	107	101	104	99.3	99.3	99.3	1.05	7 748	285	36.8	不合格
2-1	100	99.8	99.9	98.3	98.5	98.4	1.02	7 608	294	38.6	不合格
2-2	99.4	100	99.7	98.6	98.6	98.6	1.01	7 632	340	44.6	合格
2-3	70.9	71.0	70.9	68.6	68.8	68.7	1.03	3 707	134	36.1	不合格
3-1	71.9	72.3	72.1	68.3	68.7	68.5	1.05	3 687	150	40.7	合格

表2 第5节、第7节框架桥钻芯法检测值

芯样编号	芯样高/mm		平均高/mm	芯样直径/mm		平均直径/mm	高径比	受压面积/mm ²	荷载值/kN	抗压强度/MPa	单项判定
1-1	71	69	70	67.5	68.5	68.0	1.03	3 632	150	41.3	合格
1-2	70	69	69	68.0	68.0	68.0	1.02	3 632	131	36.1	不合格
3-1	70	71	70	68.0	68.0	68.0	1.03	3 632	149	41.0	合格
3-2	68	69	69	68.0	68.0	68.0	1.01	3 632	106	29.2	不合格
4-1	71	70	71	67.5	68.5	68.0	1.04	3 632	125	34.4	不合格
4-2	68	68	68	67.0	67.0	66.7	1.01	3 524	95	26.9	不合格

从表1、表2可以看出,火灾后,混凝土强度明显降低,多处低于设计强度(设计混凝土标号为C40),其原因在于火灾中,高温使混凝土骨料体积膨胀,而胶凝体受热发生分子脱水化学反应后收缩,两者变形的不协调造成混凝土开裂、酥碎、脱落,未脱落混凝土强度降低。

2.1.2 回弹法强度检测^[6]

对第5~7节框架桥混凝土脱落区、影响区及未受影响区域的混凝土采用回弹法检测强度,以此推断火灾引起的混凝土质量衰退区。用ZC3-A型混凝土回弹仪选取300个测点进行检测,结果显示测量强度均低于混凝土强度设计值,且较取芯强度更低,其原因在于回弹仪仅能测量距表面15~20mm厚度范围内的混凝土强度,而火灾致使混凝土外侧强度值低于内侧。表明火灾后混凝土强度不合格。

2.1.3 碳化深度检测

对第6节框架桥,在烧损严重区、较严重区和未受影响区选取回弹测区的30%进行碳化深度检测,检测结果如表3所示。

表3 第6节框架桥碳化深度检测值

测区	测点	碳化深度1/mm	碳化深度2/mm	碳化深度3/mm	平均深度/mm
1	1	12.0	8.0	10.0	8.5
	2	10.0	6.0	8.0	
	3	6.0	10.0	8.0	
2	1	1.5	1.0	2.0	1.5
	2	1.0	1.5	2.0	
	3	2.5	1.5	2.0	
3	1	1.5	1.5	1.5	1.5
	2	2.0	1.5	1.5	
	3	2.0	1.0	1.5	

从表3可以看出,烧损严重区的混凝土保护层碳化深度均值已达8.5mm。

对第5节、第7节框架桥,选取取芯后的芯样进行碳化深度检测,检测结果如表4所示。

表4 第5节、第7节框架桥碳化深度检测值

测区	测点	碳化深度1/mm	碳化深度2/mm	碳化深度3/mm	平均深度/mm
1	1	5.0	6.0	4.0	5.0
	2	5.5	4.5	5.5	
	3	5.0	4.5	5.5	
2	1	6.0	4.5	5.5	5.5
	2	5.5	5.5	6.0	
	3	6.0	6.0	4.5	
3	1	5.0	5.0	5.0	5.0
	2	5.5	5.5	6.0	
	3	5.0	6.0	4.5	

从表4可以看出,其碳化深度均值在5.0~5.5mm之间。

2.1.4 损伤厚度检测

采用超声法检测混凝土损伤强度。在火灾受损严重和较严重区混凝土脱落处选取若干测位,将表面打磨平整,将发射探头固定不动,将接收探头沿一直线,按两探头内侧边缘间距分别为5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、30cm、35cm、40cm布置,每个测位取6个测点,读取两探头在混凝土中的声时值进行计算,以此确定混凝土表面损伤层厚度。对测试数据进行分析,得出火灾主要影响区混凝土表面损伤层厚度为10~20mm。

2.2 钢筋拉伸试验

火灾使钢筋的性能发生变化,其结果直接影响到

桥梁结构的承载能力,因此,确定钢筋的材料性能是试验研究的一项重要工作。从第6节框架桥顶板底抽取烧损后的6组 $\phi 20$ 钢筋,选取2组弯曲钢筋进行拉伸试验。试验结果如表5、表6所示。选1组钢筋进行接头试验(断裂位置在非焊接段),试验结果如表7所示。

表5 受损严重区钢筋拉伸试验结果

项目	标准规定	试件编号		
		1	2	3
公称直径 a/mm	20	20	20	20
公称截面面积 S/mm^2	314.2	314.2	314.2	314.2
原始标距 L_0/mm	5a	100	100	100
屈服点拉力/kN	-	92	90	93
屈服点 σ_s/MPa	≥ 335	293	286	296
极限抗拉力/kN	-	158.5	159	153
抗拉强度 σ_b/MPa	≥ 455	504	506	487
伸长率 $\delta/\%$	≥ 17	30	33	31

表6 受损较重区钢筋拉伸试验结果

项目	标准规定	试件编号		
		1	2	3
公称直径 a/mm	20	20	20	20
公称截面面积 S/mm^2	314.2	314.2	314.2	314.2
原始标距 L_0/mm	5a	100	100	100
屈服点拉力/kN	-	115	110	109
屈服点 σ_s/MPa	≥ 335	366	350	347
极限抗拉力/kN	-	168	165	160
抗拉强度 σ_b/MPa	≥ 455	535	525	509
伸长率 $\delta/\%$	≥ 17	24	28	27

表7 受损较重区焊接钢筋拉伸试验结果

项目	标准规定	试件编号	
		1	2
公称直径 a/mm	20	20	20
公称截面面积 S/mm^2	314.2	314.2	314.2
屈服点拉力/kN	-	110	111
屈服点 σ_s/MPa	≥ 335	350	353
极限抗拉力/kN	-	155.5	165
抗拉强度 σ_b/MPa	≥ 455	495	525

从表5可以看出,烧损严重区的钢筋屈服强度小于标准强度 335 MPa,钢筋强度不合格。其原因在于钢筋外层混凝土在烈焰的灼烧下脱落,裸露的钢筋在高温下分子晶格结构发生变化,造成了屈服强度的降低。从表6、表7可以看出,受损较重区的钢筋强度虽合格,但火灾已使钢筋性能明显降低。

2.3 桥梁动载试验^[7]

为确定火灾后桥梁结构的整体性能,选取烧损严重的第5节、6节框架桥进行动载试验。试验列车2列,试验加载机车车辆编组每列按DF7调车机(轴重

22.5 t) + 2 辆 C70 重车(自重 + 载重 93.8 t) + 2 辆 C70 空车(空重 23.8 t),编组试验列车速度等级分别为 5 km/h、10 km/h、15 km/h。先进行 5 km/h 准静载试验,再进行 10 km/h、15 km/h 动载试验。在编组试验列车作用下,对烧损后桥梁顶板主筋受力、顶板挠度进行测试,以评价桥梁承载能力。

对理论分析和试验检测的桥梁应力和挠度值进行分析,得出试验结果:(1)火灾导致桥梁顶板受力状态发生改变,钢筋变脆、韧性变差,保护层大面积脱落,顶板钢筋与混凝土粘接破坏,分布钢筋脱落悬空,混凝土表面强度降低,但主筋没有失去作用,桥梁整体结构的性能尚好。(2)桥梁顶板主筋的静载总应力满足设计容许应力和检定容许应力限值的要求。(3)桥梁顶板主筋的挠跨比满足《铁路桥梁检定规范》第 10.0.3 条通常值和设计规范 1/800 的要求。应力和挠度的检测波形,如图6、图7所示。

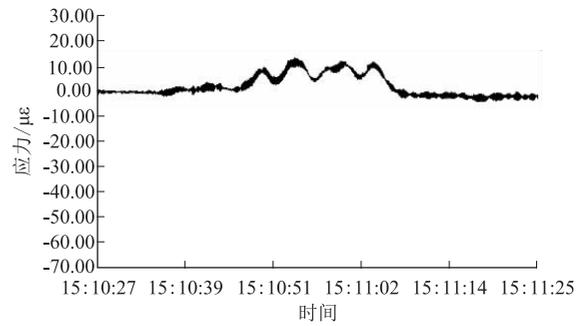


图6 应力测点时域波形图

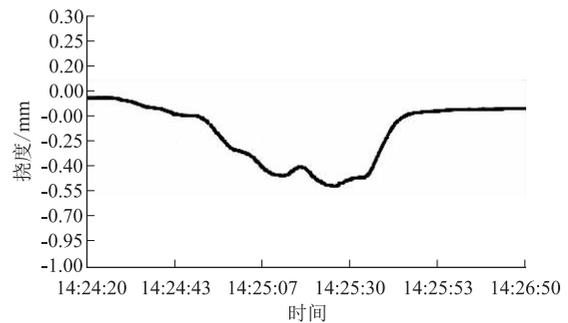


图7 挠度测点时域波形图

3 火灾后桥梁结构分析

对第6节框架桥,建立空间有限元分析模型进行研究,边界条件为桥梁顶板主筋两端锚固,X轴方向节段长 25 m,Y轴方向单孔跨度为 22.202 m,火灾前顶板厚 1.25 m,火灾后板厚为 1.15 m(支撑平行于 X 轴),对比分析结构跨中截面主要受力钢筋的应力变化。火灾后顶板结构内力,如图8、图9所示。

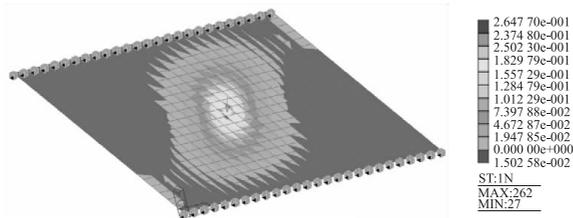


图 8 桥梁火灾后 M_{xx} 弯矩

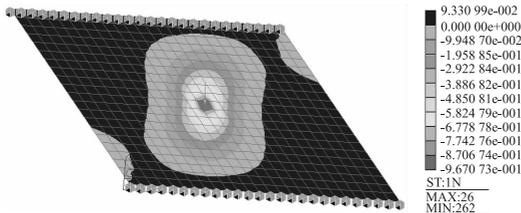


图 9 桥梁火灾后 X_x 面应力

从对比分析结果可以看出,桥梁结构受损后,钢筋应力发生了较大变化,但顶板主筋两端锚固程度良好,主筋仍发挥抗拉作用,说明火灾后桥梁结构仍有使用价值,因此,可对第 5~7 节框架桥烧损的混凝土和钢筋进行修复加固处理。

4 火灾后桥梁损坏评估及修复方案^[8-11]

4.1 桥梁损坏等级评定

根据混凝土损伤检测和钢筋拉伸试验、桥梁动载试验等结果,结合现场勘察的混凝土颜色变化、灼烧损伤、变形开裂、脱落程度等情况以及桥梁结构建模分析结果,最终评定桥梁混凝土损坏等级为Ⅲ级,按照《铁路桥隧建筑物状态评定标准》,梁体碳化等级为 AA 级。

4.2 修复方案

火灾后,桥梁结构整体性能尚好,可继续使用,但顶板、边墙局部受损严重,从安全性和耐久性方面考虑,须进行修复加固。

为确保烧损桥梁快速修复,建议方案是凿除混凝土受损严重区和受损较重区 20 cm,表面无损区 10 cm (具体深度根据现场实际情况略有调整)进行加固处理,加固范围适当外延。对受损严重区和受损较重区烧损的横向分布钢筋,进行拆除后补筋,按照检算后的设计位置绑扎钢筋,同时辅以植筋技术相配合,植筋锚固到混凝土中的深度、间距,需经检算确定。为保证钢筋与混凝土的充分粘结,采用高强无收缩灌浆料修复混凝土。对混凝土表面无损区,建议先采用粘贴碳纤维布补强,再涂刷表面防火涂料。

5 结论

本文通过对火灾烧损的铁路框架桥进行现场勘

察、试验检测、结构建模分析研究等,得出以下研究结论:

(1) 查清火灾后桥梁结构的过火长度和烧损范围,划分损伤区域,探明各区的破坏程度,是进行损伤评估的基础。

(2) 开展混凝土损伤检测、钢筋拉伸试验、桥梁动载试验和结构建模分析,对桥梁结构碳化等级(AA 级)、混凝土损坏等级(Ⅲ级)和桥梁整体性能进行评定,是合理制定桥梁修复方案的依据。

(3) 采用灌浆料、碳纤维布和防火涂料等新材料,是被损伤桥梁快速、安全修复的保证。

该桥重新投入使用至今,桥梁结构使用正常。本文研究成果可为我国同类型烧损桥梁的检测和修复设计提供借鉴。

参考文献:

- [1] 中铁第五勘察设计院集团有限公司东北分院. 哈尔滨市长江路穿越炼油厂火灾修复工程施工图[Z]. 哈尔滨: 中铁第五勘察设计院集团有限公司东北分院, 2011.
The Northeast Branch of China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd. Construction Drawing on the Burned Underpass Bridge Repair Engineering through Refinery Special Railway Lines in Changjiang Road in Harbin [Z]. Harbin: The Northeast Branch of China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 2011.
- [2] 哈尔滨工业大学交通试验中心. 长江路延伸工程穿越炼油厂专用线火灾后涉及位置范围及深度检测报告[R]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学交通试验中心, 2011.
Transportation Experiment Center of Harbin Institute of Technology. Text Report of Position Scope and Depth on Changjiang Road Extension Project through Refinery Special Railway Lines after Fire [R]. Harbin: Transportation Experiment Center of Harbin Institute of Technology, 2011.
- [3] CECS03:2007 钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程[S].
CECS03:2007 Technical Specification for Testing Concrete Strength with Drilled Core[S].
- [4] 哈尔滨工业大学交通试验中心. 长江路穿越炼油厂专用线火灾后检测报告[R]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学交通试验中心, 2011.
Transportation Experiment Center of Harbin Institute of Technology. Text Report on Changjiang Road through Refinery Special Railway Lines after Fire [R]. Harbin: Transportation Experiment Center of Harbin Institute of Technology, 2011.
- [5] 哈尔滨工业大学交通试验中心. 长江路穿越炼油厂专用线火灾后第二次取芯检测报告[R]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学交通试验中心, 2011.
Transportation Experiment Center of Harbin Institute of Technology. Text Report of the Second Drilled Core Samples on Changjiang Road through Refinery Special Railway Lines after Fire [R]. Harbin: Transportation Experiment Center of Harbin Institute of Technology, 2011.