

浅谈混凝土桥梁火灾后检测评估要点

史志想, 赵琳

(上海市建筑科学研究院有限公司, 上海市 201108)

摘要: 结合某座桥梁火灾后的情况, 具体阐述了火灾后桥梁的检测评估内容、过程及注意要点, 为规范类似桥梁结构火灾后的检测鉴定工作提供借鉴及参考。

关键词: 混凝土桥梁; 火灾; 检测; 承载能力评估

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0214-05

0 引言

近年来, 由于桥下空间使用安全及管理不到位, 桥下火灾事故造成的混凝土桥梁使用安全问题时有发生。由于桥梁结构混凝土具有遇高温易变性的特点, 一般都会发生物理性质与化学性质两方面的变化, 从而造成了桥梁结构的损伤, 承载能力与稳定性下降, 对桥梁的安全运营造成重大影响。为保障桥梁结构的安全运营, 本文介绍了某座混凝土桥梁火灾后的检测评估内容及评估过程, 为以后类似桥梁的检测工作和后期维修加固工作提供借鉴。

1 工程概况

某桥跨径组合为 4×20.0 m (北引桥) + 76.0 m (主桥) + 4×20.0 m (南引桥), 主桥为下承式系杆拱, 两端引桥均为 4 跨预应力混凝土简支板梁。引桥各跨均由 8 榀预应力混凝土空心板梁组成, 引桥下部结构采用轻型桥台, 桩柱式桥墩每个桥墩盖梁下方均设 2 根直径为 0.8 m 的圆形立柱。

为便于说明, 对桥梁的主要构件进行编号:

(1) 桥梁墩台编号: 由北往南依次为 0# 台、1# 墩、2# 墩、3# 墩、...、9# 台。

(2) 桥跨编号: 由北往南依次为 1# 跨、2# 跨、3# 跨、...、9# 跨。

(3) 引桥主梁编号: 按跨由东往西依次编号, 编号示例: 0-1-2# 板梁表示 0# 桥台与 1# 桥墩之间桥跨从东到西数的第 2 榀板梁。

(4) 立柱按桥墩由东向西依次编号, 编号示例:

收稿日期: 2021-01-25

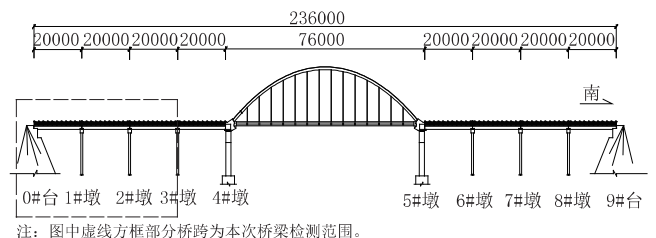
作者简介: 史志想(1986—), 男, 本科, 工程师, 从事桥梁检测工作。

1-2# 立柱表示 1# 桥墩从东向西数的第 2 根立柱。

2018 年 4 月 13 日下午 14 时左右, 北端引桥 1#~3# 跨桥下堆积的大量树枝、垃圾等易燃杂物发生燃烧, 当日下午 17 时许火灾被扑灭。火灾发生后第 2 天, 检测人员对该桥进行了专项检测, 确定火灾的影响区为北端引桥 1#~3# 跨, 造成该范围主梁及桥墩不同程度受损。某桥火灾现场见图 1, 火灾影响区示意图见图 2。



图 1 某桥火灾现场图



注: 图中虚线方框部分桥跨为本次桥梁检测范围。

图 2 某桥火灾影响区示意图(单位:mm)

2 火灾后检测与评估

2.1 火灾影响范围调查

根据调查得知, 本次火灾发生于 2018 年 4 月 13 日, 火灾位置位于该桥北 3 跨 (主要为第 1~2 跨) 范围, 桥底明火当天用水扑灭后, 该处桥底仍堆有较多未燃尽枯树枝等杂物 (见图 1)。

该桥北3跨(第1~第3跨)上部结构主梁及1#、2#桥墩盖梁、立柱表面均有一定程度的火灾熏黑痕迹、混凝土剥落,其中第2跨1#~7#板梁全跨范围及1#、2#桥墩立柱受火灾影响较严重,尤以2#桥墩立柱所受影响最严重,其表面混凝土大面积剥落且多处箍筋外露(见图3、图4)。



图3 2#桥墩受火灾后情况



图4 第2跨梁底受火灾后情况

2.2 火灾后桥梁结构现状

(1)受火灾影响严重的2-1#、2-2#桥墩立柱表面在可见高度范围内混凝土成块起壳剥落、多处箍筋外露。剥离表面疏松混凝土后,受损最薄弱截面最大剥落深度为35 mm,立柱直径由原来的800 mm缩颈至730 mm;受火灾影响区域的混凝土呈浅黄色,锤子敲击后声音发闷(见图5)。



(a)起壳剥落

(b)箍筋外露

图5 2-1#、2-2#立柱表面混凝土大面积起壳剥落、箍筋外露

(2)1-1#、1-2#立柱受火灾影响亦较严重,立柱表面混凝土多处剥落(最大剥落深度为20 mm);受

火灾影响区域的混凝土呈灰白、显浅黄色,锤子敲击后声音较闷。

(3)1#、2#桥墩盖梁相对桥墩立柱受火灾影响程度较小,混凝土剥落深度相对较小(最大为10 mm),盖梁底面局部箍筋外露,混凝土锤子敲击后声音较响亮,但仍有大范围的零星剥落(见图3)。

(4)受火灾影响相对较严重的1-2-1#~7#板梁底面在全跨范围内均存在不同程度的混凝土剥落(见图4),其中1-2-3#板梁最为严重,全跨范围内均有大面积剥落,最大剥落深度为15 mm,局部箍筋外露(见图6)。受火灾影响区域的混凝土呈浅灰白,锤子敲击后声音较响亮。

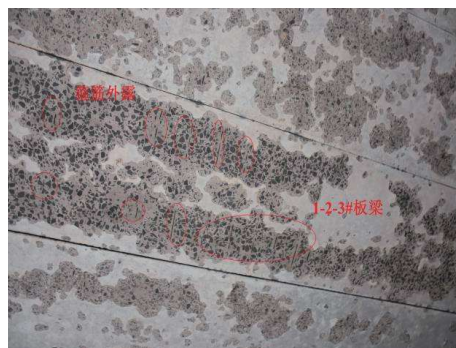


图6 1-2-3#板梁受火烧影响严重

(5)第1跨板梁(0-1-1#~8#板梁)相对第2跨板梁受损程度较轻,梁底南半跨出现零星剥落;第3跨板梁(2-3-1#~7#板梁)受损程度最轻,仅梁底北部出现个别深度较浅的剥落。

桥梁结构混凝土大面积剥落是由于长时间在火焰和高温热气的作用下,结构表面混凝土温度急剧升高后膨胀崩落,且由于在火灾发生后采用水冷却扑火的办法,高温混凝土在水冷却时更易产生大面积剥落。桥梁结构表面混凝土剥落后,构件承重截面将减小,且混凝土抗压强度及钢筋弹性模量也有一定程度的降低,对桥梁结构的承载能力及耐久性均不利。

受火灾影响较严重的北3跨上、下部结构混凝土剥落范围、剥落深度和损伤程度汇总情况见表1。

2.3 混凝土火烧时表面温度判断

根据外观缺陷检查结果,参照《火灾后工程结构鉴定标准》(CECS 252—2019)附录A“混凝土构件表面特征与温度的关系”^[1],判断火灾时该桥北3跨上、下部结构混凝土表面温度情况,结果见表2。

2.4 火灾时钢筋温度判断及强度降低评定

过镇海等介绍了火灾时钢筋混凝土板截面温度场分布曲线、柱截面温度场分布曲线^[2]。

表 1 桥梁结构火灾状况统计汇总表

构件	位置	面积 /m ²	剥落深度 /mm	颜色	敲击声音	是否露筋
2-1# 立柱	可见高度全截面	大面积	35	浅黄色	发闷	箍筋外露
2-2# 立柱	可见高度全截面	大面积	35	浅黄色	发闷	箍筋外露
1-1# 立柱	立柱表面大部	3.5	20	灰白,显浅黄色	较闷	否
1-2# 立柱	立柱表面多处	1.0	10	灰白,显浅黄色	较闷	否
1-2-1# 板梁	梁底全跨范围及翼板	大面积	10	浅灰白	较响亮	否
1-2-2# 板梁	梁底全跨范围	大面积	5	浅灰白	较响亮	箍筋外露
1-2-3# 板梁	梁底全跨范围	大面积	15	浅灰白	较响亮	箍筋外露
1-2-4# 板梁	梁底全跨范围	大面积	8	浅灰白	较响亮	箍筋外露
1-2-5# 板梁	梁底全跨范围	大面积	5	浅灰白	较响亮	否
1-2-6# 板梁	梁底全跨范围	大面积	5	浅灰白	较响亮	箍筋外露
1-2-7# 板梁	梁底全跨范围	大面积	10	浅灰白	较响亮	箍筋外露
1-2-8# 板梁	梁底局部	0.05	5	浅灰白	较响亮	否

表 2 北 3 跨桥梁结构火灾时温度情况统计汇总表

构件名称	位置	温度 /℃
2-1# 立柱	表面	>800
2-2# 立柱	表面	
1-1# 立柱	表面	700~800
1-2# 立柱	表面	
1# 桥墩盖梁	盖梁北侧面	300~500
	盖梁南侧面	
	盖梁底面	<200
	盖梁西侧面	
	盖梁东侧面	
第 1 跨板梁	底面	300~500
第 2 跨板梁	底面	500~700
第 3 跨板梁	底面	<200
2# 桥墩盖梁	盖梁北侧面	300~500
	盖梁底面	
	盖梁南侧面	<200
	盖梁西侧面	
	盖梁东侧面	

依据上述文献中的温度场分布曲线和《火灾后工程结构鉴定标准》(CECS 252—2019)附录 G,可得到受火灾影响较严重的构件在火灾时的钢筋温度和火灾后的钢筋强度折减系数,见表 3。

表 3 火灾时钢筋温度推断及火灾后剩余性能

主要构件编号	剥落范围	火灾时钢筋温度 /℃	火灾后钢筋强度折减系数
第 2 跨板梁	梁底全跨范围	150	0.98
2# 桥墩立柱	可见范围全截面	440	0.90

2.5 火灾影响主梁梁底预拱度线形检测

该桥北 3 跨上部结构均为标准跨径 20 m 的预应力混凝土空心板梁。通过测量受火灾影响较严重的主梁梁底预拱度线形,并对比未受火灾影响或影响较小的主梁梁底预拱度线形检测结果,可以了解火灾对主梁预应力损失的影响程度。

板梁梁底预拱度线形测量使用徕卡 TS-60 全站仪,采用无棱镜测量模式,随机抽取 1#~3# 跨共 10 榀板梁进行梁底线形测量。以各跨北端为坐标原点建立二维坐标系,桥长方向为横坐标,梁底高程为纵坐标。实测板梁梁底预拱度线形图见图 7。

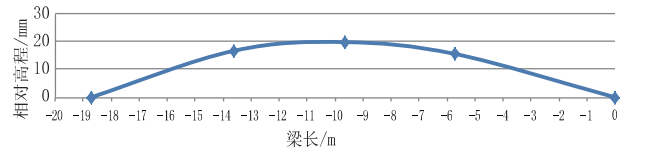


图 7 实测板梁梁底预拱度线形图

本次抽检的受火灾影响较严重的 7 榀板梁和受火灾影响较小的 3 榀板梁梁底预拱度线形无明显下挠,跨中处预拱度实测值为 18.661 1~36.958 3 m,即火灾对上部结构主梁未产生明显的下挠或上拱,说明火灾对上部结构主梁预应力损失影响较小。这与在梁底及桥面跨中范围未发现横向结构性裂缝的现场检查结果相一致。

2.6 钢筋保护层厚度检测

该桥北 3 跨上下部结构多个构件因火灾作用影响,构件表面混凝土大面积剥落,钢筋保护层厚度减小,随着时间的推移,保护层的碳化深度逐渐增大,对结构钢筋耐久性及承载能力不利。

检测选取受火灾影响较严重的 10 个构件(共 200 个测点),测量构件混凝土剥落后的钢筋保护层厚度,并选取受火灾影响较小或未受火灾影响的 3 个构件(共 60 个测点)测量其钢筋保护层厚度,通过对比来判断火灾后保护层厚度对钢筋的影响程度。

检测结果表明:抽检的受火灾影响较为严重的上部结构 1#、2# 跨板梁纵向构造钢筋保护层厚度平均值为 26.6~28.2 mm;抽检的受火灾影响较小的 3# 跨板梁纵向构造钢筋保护层厚度平均值分别为 34.7 mm、33.5 mm。受火灾影响较为严重的板梁在混

凝土剥落后,其纵向构造钢筋的保护层厚度已不满足规范规定的保护层厚度为 30 mm 的要求,表明火灾作用对板梁纵向构造钢筋的保护层厚度有一定程度的影响,这与板梁表层混凝土剥落情况的现场检查结果相一致。

抽检的受火灾影响最为严重的 2-1#、2-2# 桥墩立柱箍筋保护层厚度平均值分别为 21.3 mm、19.3 mm,较为严重的 1-1#、2-1# 桥墩立柱及 1#、2# 桥墩盖梁箍筋保护层厚度平均值为 29.7~39.1 mm;抽检的未受火灾影响的 3-1# 桥墩立柱箍筋保护层厚度平均值为 49.7 mm。受火灾影响较严重的盖梁及立柱箍筋保护层平均值虽满足或略小于规范规定的箍筋最小保护层厚度 20 mm 的要求,但其最小值 19.3 mm 已远小于未受火灾影响的桥墩立柱箍筋保护层厚度 49.7 mm 的实测值,且现场检查时已发现桥墩立柱多处因火灾作用而使箍筋外露,表明火灾作用对桥墩立柱及盖梁箍筋的保护层影响较大,应及时予以处理。

2.7 混凝土碳化深度检测

北 3 跨上下部结构多个构件因火灾作用影响,构件表面混凝土大面积剥落,钢筋保护层厚度减小,且随着时间的推移,剥落处混凝土的碳化深度逐渐增大,对结构钢筋耐久性不利。

碳化深度检测亦选取受火灾影响较严重的 10 个构件(共 30 个测区),测量混凝土剥落后构件表面混凝土保护层的碳化深度值,与构件混凝土剥落处的钢筋保护层厚度平均值作比较,以判断混凝土剥落后的保护层碳化情况对结构耐久性的影响程度,并选取受火灾影响较小或未受火灾影响的 3 个构件(共 9 个测区)测量其混凝土保护层碳化深度值。

检测结果表明:抽检的受火灾影响较严重的 10 个构件,其混凝土剥落后的保护层碳化深度平均值为 0.5~1.0 mm,抽检的受火灾影响较小或未受火灾影响的 3 个构件,混凝土保护层的碳化深度平均值为 2.0~5.5 mm。

由于受火灾影响较严重的各构件碳化深度测量均位于混凝土剥落区(凿除疏松混凝土后并打磨),故得到的碳化深度较小。但混凝土剥落后钢筋的保护层厚度相对减小,随着时间的推移及保护层碳化深度的逐渐增大,构件主筋的锈蚀可能性增大,对桥梁结构的承载能力和耐久性均不利,应及时予以处理。

2.8 混凝土强度检测

选取受火灾影响较严重的 10 个构件,凿除构件

剥落处疏松的混凝土后露出新鲜的混凝土并打磨清理干净,然后进行回弹检测;同时选取受火灾影响较小或未受火灾影响的 3 个构件进行回弹检测。2 种回弹检测结果汇总表见表 4。

表 4 回弹检测结果汇总表			单位:MPa	
受火灾影响情况	构件名称及编号	检测面	换算强度平均值	强度推定值
受火灾影响较严重构件	0-1-5# 板梁	底面	50.8	45.7
	0-1-6# 板梁		45.1	40.6
	1-2-3# 板梁		51.6	44.5
	1-2-4# 板梁			47.0
	1-1# 桥墩立柱	侧面		44.6
	1-2# 桥墩立柱		47.7	41.0
	2-1# 桥墩立柱		44.5	39.7
	2-2# 桥墩立柱		45.4	40.0
	1# 桥墩盖梁			33.6
	2# 桥墩盖梁		41.6	39.0
	2-3-3# 板梁	底面	50.4	44.8
	2-3-6# 板梁		51.2	46.1
受火灾影响较小或未受火灾影响构件	3-1# 桥墩立柱	侧面	36.0	32.6

由表 4 可知,在板梁底面及桥墩表面受火灾影响区域,经打磨出新鲜混凝土后,其强度并未明显降低。

2.9 承载能力评估

火灾后桥梁上部结构主梁及下部结构桥墩立柱承载能力计算方法与原设计计算方法相同,但原材料参数发生了变化,混凝土及钢筋强度有所降低,导致主梁及立柱的承载能力降低,同时高温会使结构混凝土剥落,从而造成主梁、立柱截面面积减小,截面惯性矩、刚度发生变化^[3]。

计算荷载包括恒载和活载,恒载包括主梁、桥面铺装、栏杆等附属设施的自重。采用汽车 -20 级作为计算活载、挂车 -100 作为验算荷载。本次计算仅针对北 3 跨引桥上部主体结构及引桥桥墩立柱进行,检算中结构材料强度与外观尺寸以现场实测为准,无法检测的内容参考同时期同类型桥梁图纸。

上部结构主梁计算参数:

(1)根据现场检查结果,北 3 跨引桥上部结构主梁间横向联系均按完好状态考虑。

(2)北 3 跨引桥上部结构板梁跨径、尺寸相同,且边梁与中梁配筋情况一致,故本次检算时“完好状态”选取其中 1 跨横向分布系数最大的板梁。

(3)根据现场检查结果,受火灾影响较为严重的板梁梁底混凝土最大剥落深度为 15 mm;目前状态检算时,选取横向分布系数最大的 1 榀板梁并考虑

梁高折减 15 mm 计算。主筋抗拉强度折减 2%,按原设计 0.98 倍取用。

(4)根据无损检测结果,上部结构板梁混凝土实测强度推定值均不小于 40.6 MPa;本次检算时板梁混凝土各项材料指标按 40 号(C38)混凝土取值。

下部结构主梁计算参数:

(1)下部结构针对受火灾影响严重的桥墩立柱抗压强度进行检算,以判断桥墩立柱在目前状态下是否满足计算荷载的安全承载要求。

(2)根据无损检测结果,桥墩立柱实测混凝土强度推定值均不小于 32.6 MPa;本次检算时偏安全考虑,桥墩立柱混凝土各项材料指标按 30 号(C28)混凝土取值。

(3)2-1# 桥墩立柱因火烧作用影响导致立柱直径由原来的 80 cm 缩颈至 73 cm,故目前状态下桥墩立柱的检算截面按直径 73 cm 取值,主筋抗拉强度降低 10%,按设计 0.9 倍取用。

计算结论:目前北 3 跨上部结构板梁、下部结构桥墩立柱承载能力均能够满足计算荷载汽车 -20 级、挂车 -100 的安全承载要求。

3 火灾后检测评估结果综述

(1)该桥北 3 跨上下部结构受火灾影响,1#、2# 桥墩盖梁、立柱及第 1、第 2 跨上部结构多榀板梁底面混凝土大面积剥落,部分位置箍筋外露。其中 2# 桥墩立柱在可见高度范围内混凝土成块起壳、剥落,立柱直径由原来的 80 cm 缩颈至 73 cm,导致桥墩立柱内部钢筋受力性能下降,板梁及桥墩立柱、盖梁混凝土强度退化和受力面积缩减,在一定程度上降低了上、下部结构的承载能力。

(2)结构检算结果表明,火灾后该桥北 3 跨上部结构板梁、下部结构桥墩立柱承载能力均能够满足计算荷载汽车 -20 级、挂车 -100 的安全承载要求。

(3)受火灾作用影响,下部结构桥墩立柱及上部结构板梁表面混凝土大面积剥落,局部露筋,且 2# 桥墩立柱全截面缩颈达 17%,桥梁上下部结构主要部件材料有严重缺损,出现中等功能性病害,影响桥梁安全。依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)第 4.1.8 条“全桥总体技术状况等级评定时,当主要部件评分达到 4 类或 5 类且影响桥梁安全,可按照桥梁主要部件最差的缺损状况评定”^[4],由于目前该桥桥墩的缺损状况影响桥梁安全,彩虹路河祝桥(北 3 跨)总体技术状况评定按照桥墩的缺

损状况进行评定,即该桥总体技术状况等级为 4 类(主要构件有较大缺损,严重影响桥梁使用功能)。

4 维修加固及管养建议

结合本桥北 3 跨存在的病害及其形成原因,并参考同类型桥梁处理措施^[5-6],对该桥提出维修加固思路如下:

(1)先凿除被火灼伤的桥墩盖梁及立柱起壳疏松的混凝土,对受火灾影响严重的 1-1#、1-2#、2-1# 及 2-2# 共 4 个桥墩立柱采用钢筋混凝土围套的方法予以维修,对桥墩盖梁用聚合物修补砂浆补平。

(2)建议凿除被火灼伤的板梁起壳疏松混凝土,用聚合物修补砂浆补平后,再用赛柏斯涂刷 2 遍,以确保结构的耐久性。若条件允许,建议对第 1、第 2 跨上部结构板梁底面粘贴碳纤维布予以加固。

(3)桥梁维修完成后方可通行。

(4)桥下空间使用应满足桥梁安全需求,桥下空间使用单位应建立健全消防安全管理制度、环境卫生管理制度,且桥下空间使用不得影响桥梁日常养护、维修、检测作业。

5 结 语

(1)火灾后钢筋混凝土桥梁的混凝土和钢筋的力学性能都发生了一定程度的变化,此时的桥梁检测评估工作与一般情况下在役桥梁相比有较大不同。为确保桥梁结构的安全运营,采取适合方法对受火灾影响的桥梁实际状况进行科学合理的检测评估是非常必要的。

(2)本文结合某桥梁火灾后专项检测的项目、方法、结果、评估及相应的维修处理建议,为火灾后桥梁结构的处理决策提供技术依据。

参考文献:

- [1] 中冶建筑研究总院有限公司,上海市建筑科学研究院(集团)有限公司.火灾后工程结构检定标准:CECS 252—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2] 过镇海,时旭东.钢筋混凝土的高温性能及其计算[M].北京:科学出版社,2001.
- [3] 张赞鹏,文冲,贺献崇.火灾后预应力混凝土简支梁桥损伤程度及剩余承载能力鉴定分析[J].公路交通技术,2019(6):65-72.
- [4] 交通运输部公路科学研究院.公路桥梁技术状况评定标准:JTG/T H21—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [5] 程海潜,王佳宇,张健,等.火灾后桥梁的检测评估及维修加固技术[J].城市道桥与防洪,2016(10):75-79.
- [6] 王旭光.某桥梁火灾后检测评定及维修加固建议[J].北方交通,2018(5):56-58.