

公路混凝土桥梁火灾后安全性能评定技术 规程

Codes of safety performance evaluation technique for highway concrete bridges after
fire

2021 – 09 – 30 发布

2021 – 12 – 30 实施

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 火场踏勘 3

 5.1 通用要求 3

 5.2 桥梁火灾资料收集 4

 5.3 火灾作用过程调查 4

 5.4 桥梁结构现状调查 4

6 外观检查 4

 6.1 通用要求 4

 6.2 评定技术方案编制 5

 6.3 上部与下部混凝土构件外观状况检查 5

 6.4 缆索构件外观状况检查 5

 6.5 桥面系外观状况的检查 6

 6.6 支座外观状况检查 6

7 技术状况评定 6

 7.1 通用要求 6

 7.2 技术状况初步评定 6

 7.3 技术状况详细评定 7

8 损伤检测分析 10

 8.1 通用要求 10

 8.2 温度场检测分析 11

 8.3 材料性能损伤检测分析 12

 8.4 构件截面损伤量化 12

9 安全性能评定 13

 9.1 通用要求 13

 9.2 承载能力检算 13

 9.3 荷载试验 14

10 评定报告及资料归档 15

附录 A（资料性） 火场踏勘记录表 16

附录 B（资料性） 燃烧物燃烧总热量计算 17

 B.1 根据火场燃烧物的种类和数量，可按式（B.1）计算实耗燃烧物总热量 Q: 17

B.2 燃烧物单位质量的发热量参见表 B.1。..... 17

附录 C（资料性） 常见材料变态温度、燃点和历经不同温度后油漆烧损状况..... 18

附录 D（资料性） 混凝土结构外观状况与温度的关系..... 20

附录 E（资料性） 上下部混凝土构件外观检查情况调查表..... 21

附录 F（规范性） 混凝土二次烧失量检测桥梁混凝土构件温度场..... 22

 F.1 通用要求..... 22

 F.2 试验步骤..... 22

 F.3 混凝土历经温度计算..... 23

附录 G（规范性） 芯样横向逐层劈裂试验检测混凝土损伤及历经温度状况..... 24

 G.1 通用要求..... 24

 G.2 试验检测步骤..... 24

 G.3 混凝土历经温度计算..... 24

附录 H（规范性） 标准火灾升温曲线作用下各类桥梁构件温度场实用曲线..... 26

 H.1 实心板..... 26

 H.2 空心板中板..... 27

 H.3 空心板边板..... 28

 H.4 小箱梁..... 31

 H.5 连续箱梁..... 34

 H.6 T 梁..... 37

 H.7 盖梁..... 40

 H.8 圆柱式墩..... 42

附录 I（规范性） 混凝土热工参数取值..... 44

附录 J（规范性） 高温冷却后材料性能与历经温度对应关系..... 45

附录 K（规范性） 构件截面缩减及承载能力计算方法..... 47

 K.1 截面逐层损伤法..... 47

 K.2 300℃等温线法..... 48

附录 L（规范性） 芯样分组抗压试验检测混凝土构件受火灾影响深度..... 49

 L.1 通用要求..... 49

 L.2 试验步骤..... 49

 L.3 损伤影响深度推定..... 49

参考文献..... 50

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由广东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由广东省交通运输（公路水路）标准化技术委员会（GD/TC 133）归口。

本文件起草单位：广东华路交通科技有限公司、广东交科检测有限公司、东南大学、广东省交通运输建设工程质量检测中心、华南理工大学。

本文件主要起草人：许肇峰、吴益林、陈映贞、黄乔森、刘仕顺、张建、吴波、王勇平、郭明泉、林志春、罗秀锋、熊焱、樊峰、曹勇。

引 言

广东省位于我国大陆南端，毗邻港澳，水系发达，省内公路混凝土桥梁数量多、规模大、结构形式复杂。近年来，随着我省经济的持续发展，因桥上交通意外、桥下偶然失火导致的桥梁火灾事故时有报道。桥梁火灾除了造成人员伤亡、车辆损坏，交通中断、经济损失和社会负面影响外，还具有对混凝土桥梁构件作用时间长、影响范围广和危害性大等特点。火灾后及时开展混凝土桥梁损伤检测评定工作，在降低火灾事故造成的经济损失和社会负面影响，确保混凝土桥梁灾后快速修复与安全结构方面具有重要意义。

目前，在混凝土桥梁火灾后安全性能评定方面，国内尚无技术规程。制定本技术规程，可使混凝土桥梁火灾后评定工作做到规范、全面、准确和高效。

公路混凝土桥梁火灾后安全性能评定技术规程

1 范围

本文件规定了公路混凝土桥梁火灾后检测与安全性能评定涉及的桥梁火场踏勘、外观检查、技术状况评定、损伤检测分析以及安全性能评定等的工作程序、内容和方法。

本文件适用于公路混凝土桥梁，其他混凝土桥梁亦可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- JGJ/T 384 钻芯法检测混凝土强度技术规程
- JTG H11 公路桥涵养护规范
- JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准
- JTG/T J21 公路桥梁承载能力检测评定规程
- JTG/T J21-01 公路桥梁荷载试验规程
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

桥梁技术状况评定 **general technical condition of bridge evaluation**

桥梁整体性能、完好程度、以及满足设计使用要求等方面的描述与技术等级评定。

3.2

桥梁烧损状况评定 **fire damage status of bridge evaluation**

桥梁整体性能、完好程度、以及满足设计使用要求等方面受到火灾影响的描述与烧损等级评定。

3.3

火场初始温度 **Initial temperature of fire site**

火灾前，桥位大气环境的温度。

3.4

火场最高温度 **Maximum temperature of fire site**

火灾发生时，桥位大气环境达到的最高温度。

3.5

全盛期火灾持续时间 **duration time of fully developed fire**

指桥梁火灾全盛期阶段所持续的时间。

3.6

桥梁构件温度场 **temperature field of bridge component**

火灾过程中，混凝土桥梁表面及内部温度分布。

3.7

标准火灾升温曲线 standard fire temperature-time curve

表示混凝土构件标准耐火试验时，炉内平均温度—时间的关系曲线。

[来源：ISO 834-1—1999，9.15]

3.8

当量标准升温时间 equivalent standard temperature rise time

基于构件损伤作用效应等效原理，火场对构件实际作用时间等效换算为标准火灾升温曲线作用的时间。

3.9

混凝土二次烧失量 second ignition loss of concrete

受火混凝土样品烘干后，将其灼烧至恒重时失去质量占烘干样品的百分比。

3.10

名义劈裂强度 nominal split strength

混凝土芯样横向劈裂破坏荷载与劈裂面积的比值。

4 总体要求

4.1 混凝土桥梁火灾事故后，在确保火灾现场安全前提下，应及时委托具有相应资质和能力的单位开展桥梁火灾后安全性能评定工作。

4.2 开展混凝土桥梁火灾后安全性能评定工作所用到的仪器设备应满足测量精度、分辨力、重复性、量程及环境适应性的要求，且应在设备的检定或校准有效期内。

4.3 开展混凝土桥梁火灾后安全性能评定工作应遵照循序渐进、逐层深入的总体原则，具体工作内容和程序见图1。

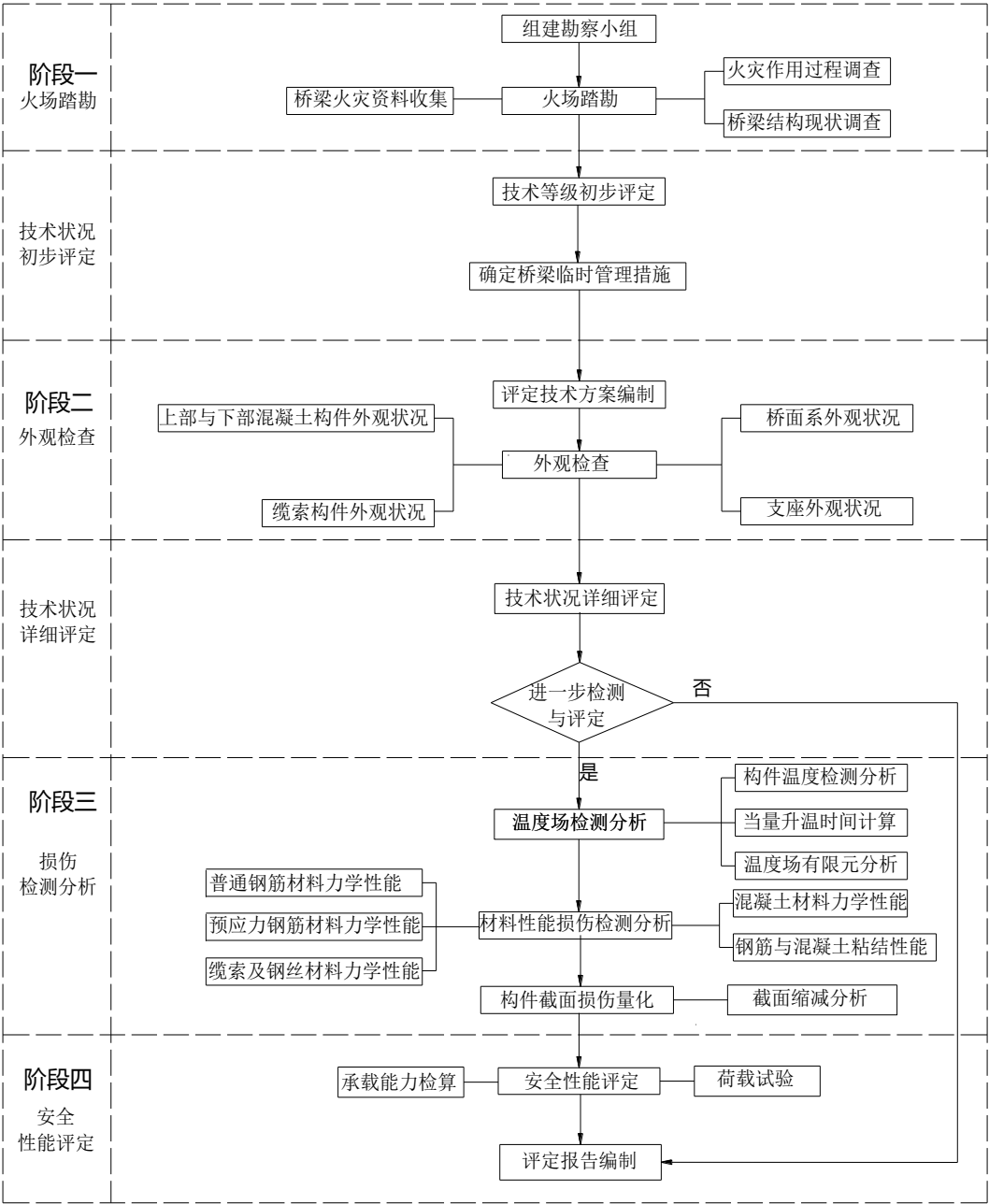


图1 混凝土桥梁火灾后安全性能评定工作内容和程序

5 火场踏勘

5.1 通用要求

5.1.1 火场踏勘对象应为火灾影响范围内独立受力的桥跨结构；对于局部小范围火灾，经初步调查确认受损范围仅发生在有限区域时，可仅考虑火灾影响区域范围内的构件或部件。

5.1.2 火场踏勘工作内容应包括桥梁火灾资料收集、火灾作用过程调查和桥梁结构现状调查等。

5.1.3 在火场踏勘过程中，应对起火点位置、火灾经过、燃烧情况、燃烧物种类和数量等及时做好记录，并绘制火场燃烧点和影响区域分布图，记录内容可见附录 A。

5.1.4 火场踏勘完成后，应按照 7.1 节和 7.2 节的要求进行桥梁技术状况初步评定。

5.2 桥梁火灾资料收集

5.2.1 桥梁火灾资料应包括火灾灾情资料和桥梁设计、建设和营运管理等方面的技术资料。

5.2.2 桥梁火灾灾情资料宜包括如下内容：

- a) 桥梁火灾的发生时间和持续时间；
- b) 桥梁火灾发生时周边环境情况（火灾发生时天气情况、桥上交通情况、桥下通风情况等）；
- c) 桥梁火灾发生、发展和熄灭全过程（包括起火过程、燃烧路径、灭火方式及过程等）；
- d) 现场目击者和相关单位关于起火原因、燃烧过程和作用范围的叙述、记录和报告等。

5.2.3 桥梁建设和营运管理方面的技术资料宜包括下列内容：

- a) 桥梁设计、施工、监理、监控和交竣工等反映桥梁建造过程的资料；
- b) 桥梁营运、检测、养护、维修和加固等反映桥梁营运过程的资料。

5.3 火灾作用过程调查

5.3.1 火灾作用过程调查内容应包括燃烧物情况、火灾燃烧过程和火场残留物状况等。

5.3.2 燃烧物情况调查内容应包括燃烧物种类、数量、位置和热量估算（估算方法见附录 B）、桥下净空、附近通风状况和环境条件等。

5.3.3 火灾燃烧过程调查内容应包括开始燃烧的部位、各燃烧点分布、燃烧的情况（猛火、烈火、中火或闷烧）、燃烧持续的时间、灭火基本过程等。

5.3.4 火场残留物状况调查内容应包括残留物种类及分布，以及其熔化、变形、烧损程度等，并宜结合附录 C 分析混凝土构件表面曾达到温度及作用范围。

5.4 桥梁结构现状调查

5.4.1 火灾后混凝土桥梁结构现状调查内容应包括桥梁交通情况、结构或构件总体和局部缺损等。

5.4.2 火灾后桥梁交通情况调查内容宜包括火灾发生前、发生时和发生后通行车辆数量、类型和载重等。

5.4.3 桥梁结构或构件总体缺损状况调查内容应包括桥梁结构或构件受火概貌、变形情况的影像和记录。

5.4.4 桥梁构件局部缺损状况调查内容应包括混凝土局部剥落范围、混凝土颜色变化情况、钢筋外露情况和构件连接节点局部裂损状况等。

5.4.5 桥梁结构或构件现状调查方式以目测、影像记录为主，可辅以简易量测工具。并宜注重分析火灾发展过程和灭火方式对构件的影响。

6 外观检查

6.1 通用要求

6.1.1 火场踏勘完成后，开展现场外观检查前，应根据初步掌握的桥梁技术状况，结合桥梁火场实际，制定下一步桥梁火灾后检测与安全性能评定技术方案。

6.1.2 外观检查工作内容包括上部与下部混凝土构件、桥面系、缆索构件和支座等主要构件受火后的

外观状况，并应加强火灾影响相邻构件及连接点的检查。

6.1.3 桥梁外观检查完成后，应按照 7.1 节和 7.3 节的要求对桥梁技术状况进行详细评定。

6.2 评定技术方案编制

6.2.1 混凝土桥梁火灾后检测与安全性能评定技术方案应包括内容如下：

- a) 桥梁概况，如桥名、地点、建成年代、结构形式、跨径组合、桥面布置、荷载等级等；
- b) 桥梁火灾事故及影响范围；
- c) 检测目的；
- d) 检测依据；
- e) 检测的内容和方法；
- f) 拟投入的仪器和设备；
- g) 人员和工期计划；
- h) 相关安全保障措施。

6.3 上部与下部混凝土构件外观状况检查

6.3.1 上部与下部混凝土构件外观状况检查内容应包括混凝土外观状况，普通钢筋外观状况，预应力钢筋外观状况，构件的变形、挠曲和位移等。

6.3.2 混凝土外观状况检查内容应包括混凝土剥落情况、表观颜色变化、开裂和锤击反应特征等。应注重损伤区域附着物形态的记录，宜结合附录 C 和附录 D 分析混凝土表面历经温度状况。

6.3.3 普通钢筋外观状况检查内容应包括钢筋外露数量、长度和变形状况等。并应对受力钢筋与构造钢筋予以区分记录。

6.3.4 预应力钢筋外观状况检查内容应包括预应力波纹管及钢筋外露数量、长度和变形状况等。并应对不同预应力体系类型予以区分记录。

6.3.5 混凝土构件外观状况检查应采用人工目测、锤击和影像记录的方式开展。应对检查得到的混凝土剥落位置、面积、深度，混凝土表观颜色变化情况，混凝土裂缝分布，混凝土锤击反应特征，附着残留物状况、普通钢筋外露数量、长度和变形状况，预应力波纹管及钢筋外露数量、长度和变形状况等做详细的记录，记录内容可参照附录 E，并宜根据检查结果分析钢筋粘结性能受影响范围。

6.3.6 受火灾影响的混凝土构件位移、挠曲和变形检查时，可采用目测配合影像记录方式进行，宜采用钢直尺、水准仪或全站仪进行核验，并注重进行构件间连接点变形和开裂情况的检查。宜将量测结果与考虑温度修正的成桥线形对比，以反映火灾对混凝土构件的影响。

6.4 缆索构件外观状况检查

6.4.1 缆索构件外观状况检查内容应包括构件 PE 护套、钢丝防腐涂层烧损状况、钢丝变形和断裂等。

6.4.2 缆索构件 PE 护套烧损状况检查的内容应包括 PE 护套受损范围和深度。

6.4.3 缆索钢丝防腐涂层烧损状况检查的内容应包括防腐涂层是否存在烧损破坏、融化成滴和软化变形等。

6.4.4 开展缆索构件 PE 护套和钢丝防腐涂层烧损状况检查时，应由人工辅助简易工具进行接触式探查，重点记录其烧损形态，且宜根据检测结果，结合 PE 护套和防腐涂层的材料类型，参照其对应附录 C 中的变态温度、燃点，综合分析拉索钢丝表面历经的温度状况，评价火灾对缆索构件的影响。

6.4.5 缆索钢丝变形和断裂情况的检查应包括缆索钢丝变形状况和断丝数量，应对缆索钢丝变形后的直径进行量测，且宜将其与火灾前进行对比分析，评价火灾对缆索构件的影响。

6.5 桥面系外观状况的检查

6.5.1 桥面系外观检查内容应包括桥面铺装、人行道、防撞护栏、伸缩装置、标志及标线等组成部分的烧损状况。

6.5.2 桥面铺装层烧损状况检查内容应包括铺装层受火灾影响范围和受污染程度，并宜注重铺装层火灾后抗滑能力的分析。

6.5.3 混凝土防撞护栏烧损状况检查的内容应包括混凝土裂损范围、颜色变化和钢筋外露状况等，并宜根据检查结果，参照附录 D，分析护栏表面历经的温度状况。

6.5.4 人行道板烧损状况检查的内容应包括混凝土裂损范围、颜色变化和钢筋外露状况等，并宜根据检查结果，参照附录 D，分析人行道板表面历经的温度状况。

6.5.5 钢结构防撞护栏烧损状况检查内容应包括钢构件防腐油漆和涂层的烧损程度、形态和变形等，并宜根据检查结果，参照附录 C，分析钢护栏历经的温度状况。

6.5.6 桥梁伸缩装置烧损状况检查的内容应包括止水带、锚固区混凝土和钢连接件等方面的烧损程度及范围。

6.5.7 标志及标线烧损状况检查的内容应包括标志标线烧损变形状况、缺失的范围和数量等。

6.6 支座外观状况检查

6.6.1 火灾后支座外观状况的检查除了符合 JTG H11 和 JTG/T H21 中关于支座检查的规定外，还应重点关注火灾高温作用对支座组成材料的影响。

6.6.2 火灾后板式橡胶支座的检查应重点关注高温作用对橡胶层、钢板、硅油和滑板等方面的影响，并做好影像和文字记录，且宜根据其烧损形态，查附录 C 分析其历经温度状况。

6.6.3 火灾后盆式支座的检查应重点关注高温对防锈油漆、橡胶、硅油和滑板等的影响，并做好影像和文字记录，且宜根据其烧损形态，查附录 C 分析其历经温度状况。

7 技术状况评定

7.1 通用要求

7.1.1 火灾后混凝土桥梁技术状况评定应包括初步评定和详细评定两个层次，对象为受火灾影响且结构受力相对独立的桥跨（联）。

7.1.2 混凝土桥梁技术状况初步评定后，应结合桥梁的烧损状况和评定结果，给出确保桥梁现场安全的临时性管理措施。

7.1.3 混凝土桥梁技术状况详细评定后，应结合桥梁烧损状况、评定结果和后续桥梁营运管理要求，确定桥梁是否做进一步检测与评定，并结合评定结果提出桥梁火灾后维修处治措施。

7.1.4 火灾后独立受力的桥跨（联）存在如下情况之一时，该桥灾后的技术状况应评为五类。

- a) 混凝土主要构件存在断裂、压溃或失稳破损，如梁、板断裂，主梁、墩柱、拱圈压溃，墩柱失稳破坏等；
- b) 混凝土主要构件有异常永久变形和位移，且量值大于桥梁设计规范限值，如拱圈严重变形、梁体挠度过大，梁体异常位移、落梁，墩台倾斜等；
- c) 缆索构件出现断裂。如混凝土拱桥吊杆、系杆，混凝土斜拉桥拉索，混凝土悬索桥主缆、吊索等局部断裂。

7.2 技术状况初步评定

7.2.1 火场踏勘后,应根据踏勘调查结果,将混凝土桥梁烧损状况按照轻度、中度和严重等三个等级予以初步评定,评定标准见表1。

7.2.2 不同烧损状况等级的混凝土桥梁,确保灾后现场安全的临时管理措施如下:

- a) 轻度——可采取交通管制;
- b) 中度——应进行交通管制,必要时,可采取结构的临时支护;
- c) 严重——应封闭交通,并进行结构临时支护。

表1 混凝土桥梁技术状况初步评定标准

技术等级	桥梁烧损总体描述
轻度	1. 主要构件未烧灼或轻微烧灼: a) 构件混凝土颜色总体黑色覆盖或发生轻度变化,局部轻微剥落,构造钢筋局部外露,主要受力钢筋完好或轻微外露,其与混凝土粘结性能基本未受影响; b) 构件未见明显变形、倾斜; c) 构件 PE 护套基本完好或局部软化损坏,钢丝涂层轻微损坏; d) 构件承载能力和使用功能未受到影响。 2. 一般构件受火损伤程度在中度及以下,构件承载能力和使用功能受到一定的影响。 3. 桥梁基本满足行车条件要求。
中度	1. 主要构件中度烧灼: a) 构件混凝土颜色发生明显变化,混凝土有较大面积剥落,构造钢筋大量外露,主要受力钢筋局部外露,其与混凝土粘结性能受到一定影响; b) 构件局部轻微变形,功能出现一定程度下降; c) 构件 PE 护套和钢丝涂层局部范围损坏,钢丝出现断裂; d) 构件承载能力和使用功能受到一定程度的影响。 2. 一般构件遭受较严重烧灼作用,构件承载能力和使用功能降低明显,继续恶化,将影响主要构件的受力。 3. 桥梁正常行车受到一定程度的影响。
严重	1. 主要构件严重烧灼: a) 混凝土颜色大范围为浅黄色或黄色,主要受力钢筋大面积外露,与混凝土粘结性能严重降低,出现较大范围失效; b) 主要构件出现明显变形、倾斜; c) 缆索 PE 护套和钢丝涂层局部范围烧光损坏,钢丝严重变形和大量断裂; d) 构件承载能力和使用功能明显下降。 2. 一般构件遭受严重烧灼作用,大范围严重烧损破坏,承载能力和使用功能失效。 3. 桥梁不能正常通行,结构处于危险状态。

7.3 技术状况详细评定

7.3.1 外观检查后,混凝土桥梁技术状况详细评定应结合火灾前混凝土桥梁技术状况和火灾后混凝土桥梁烧损状况等级评定结果进行。

7.3.2 火灾前混凝土桥梁技术状况等级应根据评定对象火灾前缺损状况,按照 JTG H11 的标准重新进行评定。

7.3.3 火灾前混凝土桥梁缺损状况可通过查阅桥梁设计、建设和营运管理等方面技术资料获得。

7.3.4 火灾后混凝土桥梁烧损状况等级评定应分为构件和结构两个层次。

7.3.5 火灾后混凝土桥梁构件烧损状况评定应划分 I 类、II 类、III 类、IV 类和 V 类等五个等级，评定标准见表 2。

7.3.6 火灾后混凝土桥梁结构烧损状况评定应划分为 I 类、II 类、III 类、IV 类和 V 类等五个等级，评定标准见表 3。

7.3.7 火灾后混凝土桥梁结构烧损状况评定时，当桥梁主要构件烧损状况等级达到 III 类及以上且影响桥梁安全时，可按照主要构件最差的缺损状况进行评定。

7.3.8 火灾后混凝土桥梁技术状况应根据表 4 所示的火灾前桥梁技术等级和火灾后桥梁烧损等级组合，划分为一类、二类、三类、四类和五类等五个等级进行详细评定，详细评定标准和处治措施见表 5。

表2 混凝土桥梁构件烧损状况等级评定标准

烧损等级	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
上下部混凝土构件	1. 混凝土颜色灰青色或被黑色覆盖；未剥落、钢筋未出现外露；未见明显裂缝；声音响亮。 2. 钢筋与混凝土粘结性能未受影响。 3. 构件未见挠曲、变形、倾斜； 4. 预应力性能完好。 5. 承载能力不受影响。	1. 混凝土颜色浅灰色或粉红色；混凝土出现掉皮、钢筋未出现外露；混凝土表面出现细微裂缝；声音较响亮。 2. 钢筋与混凝土粘结性能基本未受影响。 3. 构件基本无挠曲、变形、倾斜。 4. 预应力性能基本不受影响。 5. 承载能力基本不受影响。	1. 混凝土颜色浅灰白，显浅红色；局部剥落、构造钢筋外露，受力钢筋局部外露；表面出现裂缝较多；声音较闷。 2. 钢筋与混凝土粘结性能略受影响。 3. 构件出现轻微挠曲、变形、倾斜。 4. 预应力性能受到一定影响。 5. 承载能力有所下降。	1. 混凝土颜色灰白、显浅黄；大面积剥落、受力钢筋较大面积外露；出现密集网裂；声音发闷。 2. 钢筋与混凝土粘结性能明显降低。 3. 构件出现一定挠曲、变形、倾斜。 4. 预应力性能劣化明显。 5. 承载能力明显降低。	1. 混凝土颜色呈浅黄色；混凝土严重剥落、受力钢筋严重外露；裂缝宽而密集，且贯通截面；声音发哑。 2. 钢筋与混凝土粘结性能严重降低。 3. 构件出现明显挠曲变形、倾斜。 4. 预应力钢筋部分或全部失效。 5. 承载能力显著下降。
缆索构件	1. PE 护套基本完好。 2. 钢丝及防腐层基本完好。 3. 承载能力不受影响。	1. PE 护套轻微开裂软化变形。 2. 钢丝涂层轻微损坏、起皮、剥落。 3. 承载能力基本不受影响。	1. PE 护套局部软化、起皮、破损。 2. 钢丝涂层较大范围损坏、起皮、剥落。 3. 少量钢丝断裂。 4. 承载能力有所下降。	1. PE 护套大面积烧损破损。 2. 钢丝涂层大范围损坏、起皮、剥落。 3. 多数钢丝断裂。 4. 承载能力明显下降。	1. PE 护套和钢丝涂层局部范围烧光损坏。 2. 钢丝严重变形和大量断裂。 3. 承载能力显著降低，存在断裂风险。

表2 混凝土桥梁构件烧损状况等级评定标准（续）

烧损等级	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
支 座	1. 表面附着烟灰。 2. 功能基本完好。	1. 橡胶局部软化、滑动面干涩。 2. 钢支座油漆局部脱落。 3. 功能有所下降。	1. 橡胶烧焦变形。 2. 钢支座油漆大面积脱落。 3. 功能显著下降。	1. 橡胶表面被烧光、钢板外露。 2. 钢支座组件断裂。 3. 功能基本失效。	1. 支座错位、变形破损严重。 2. 功能完全失效。
桥面系构件	1. 铺装层基本完好或附着黑烟灰。 2. 人行道基本完好或附着黑烟灰。 3. 护栏基本完好或附着黑烟灰。 4. 伸缩装置基本完好或附着黑烟灰。 5. 标志及标线，基本完好或轻微附着黑烟灰。	1. 铺装层混凝土局部烧损、浅坑槽、波浪。 2. 人行道混凝土局部烧损剥落。 3. 护栏混凝土烧损开裂，局部剥落；金属护栏油漆裂缝、脱皮。 4. 伸缩装置锚固区混凝土烧损开裂局部剥落；橡胶止水带局部破损。 5. 标线局部脱落。	1. 铺装层混凝土较大面积烧损、深坑槽、波浪。 2. 人行道混凝土较大面积烧损剥落。 3. 护栏混凝土烧损开裂，较大面积剥落，钢筋局部外露；金属护栏油漆脱落，出现变形。 4. 伸缩装置锚固区混凝土较大面积开裂剥落；橡胶止水带局部破损。 5. 标志及标线大部分脱落。	1. 铺装层混凝土大面积烧损、坑洼不平、积水。 2. 人行道混凝土大面积烧损剥落。 3. 护栏混凝土开裂，大面积剥落，钢筋严重外露，金属护栏油漆脱落，变形严重。 4. 伸缩装置锚固区混凝土大面积剥落；橡胶止水带基本烧光、失效，难以修补。 5. 标志及标线完全脱落。	

表3 火灾后混凝土桥梁结构烧损状况等级评定标准

烧损等级	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
桥梁烧损状况评定	1. 主要构件轻微烧损，一般构件轻微或轻度烧灼； 2. 桥梁承载能力和桥面行车条件符合设计指标。	1. 主要构件轻度烧损，一般构件轻微、轻度或中度烧损； 2. 主要构件轻微烧损，一般构件中度烧损； 3. 桥梁承载能力和桥面行车条件基本达到设计指标。	1. 主要构件中度烧损，一般构件出现轻微、轻度或中度烧损； 2. 主要构件出现轻微或轻度烧损，一般构件出现较严重烧损； 3. 承载能力有所下降，桥面正常行车受到一定限制。	1. 主要构件较严重烧损，一般构件轻微、轻度、中度烧损； 2. 主要构件中度烧损，一般构件较严重烧损； 3. 承载能力明显下降，严重影响桥面正常行车。	1. 主要构件严重烧损； 2. 主要构件较严重烧损，一般构件较严重烧损； 3. 承载能力显著下降，不能安全通行。

表4 火灾后混凝土桥梁技术状况详细评定组合

烧损等级	火灾前桥梁技术等级				
	一类	二类	三类	四类	五类
I 类	一类	二类	三类	四类	五类
II 类	二类	二类	三类	四类	五类
III 类	三类	三类	三类或四类 ^a	四类或五类 ^b	五类
IV 类	四类	四类	四类或五类 ^c	四类或五类 ^d	五类
V 类	五类	五类	五类	五类	五类
^a 当所评定桥跨火灾前技术等级为三类，火灾后烧损等级为 III 类时，灾后桥梁技术等级宜评为三类，当主要烧损位置与火灾前主要病害区域重合时，其技术等级应为四类桥。 ^b 当所评定桥跨火灾前技术等级为四类，火灾后烧损等级为 III 类时，灾后桥梁技术等级宜评为四类，当主要烧损位置与火灾前主要病害区域重合时，其技术等级应为五类。 ^c 当所评定桥跨火灾前技术等级为三类，火灾后烧损等级为 IV 类时，灾后桥梁技术等级宜评为四类，当主要烧损位置与火灾前主要病害区域重合时，其技术等级应为五类。 ^d 当所评定桥跨火灾前技术等级为四类，火灾后烧损等级为 IV 类时，灾后桥梁技术等级宜评为四类，当主要烧损位置与火灾前主要病害区域重合时，其技术等级应为五类。					

表5 火灾后混凝土桥梁技术状况评定标准及处治措施

技术等级	一类	二类	三类	四类	五类
总体描述	桥梁功能基本完好。	轻微缺陷，桥梁功能基本不受影响。	桥梁有中度缺陷，尚能维持正常使用功能。	桥梁有较大缺陷，严重影响桥梁使用功能，不能保证正常使用。	桥梁严重缺陷，不能正常使用，危及桥梁安全，桥梁处于危险状态。
处治措施	可修复结构缺陷。	宜修复结构缺陷。	应酌情交通管制后，对结构缺陷进行维修或加固。	应及时交通管制，立即对结构加固。	应封闭交通，立即对结构加固或拆除。

8 损伤检测分析

8.1 通用要求

- 8.1.1 火场踏勘和外观检查后，对烧损程度难以判定或烧损等级为 III 类及以上主要构件，应做进一步损伤检测分析，为桥梁安全性能评定以及灾后维修加固设计提供依据。
- 8.1.2 构件损伤检测分析应包括温度场检测分析、材料性能损伤检测分析和构件截面损伤量化等。
- 8.1.3 温度场检测分析应包括构件温度检测分析、当量标准升温时间计算和构件温度场有限元分析等。

8.1.4 材料性能损伤检测分析应包括混凝土、普通钢筋、预应力钢筋、缆索钢丝等材料力学性能以及钢筋与混凝土粘结性能。

8.1.5 构件截面损伤量化应包括截面缩减、面积和惯性矩缩减系数的计算等。

8.2 温度场检测分析

8.2.1 火场初始温度、最高温度、全盛期火灾持续时间等火场参数应根据火场踏勘调查和构件外观状况检查结果综合分析确定。

8.2.2 混凝土构件表面最高温度场应根据火场踏勘和外观检查结果，由混凝土表面颜色、裂损情况、锤击反应特征、混凝土二次烧失量推算结果等予以综合确定。

8.2.3 混凝土构件局部过火区域沿深度方向的最高温度状况宜结合混凝土二次烧失量、芯样横向劈裂试验检测结果予以综合推定，检测方法应符合附录 F 和附录 G 的规定。

8.2.4 混凝土桥梁构件最高温度场可根据火灾温度作用过程，按照下列方法推定：

- 根据踏勘、检查与分析得到的火场对桥梁构件的温度作用过程，采用火灾过程仿真软件模拟火灾现场，由混凝土桥梁构件温度场数值仿真结果推定。
- 根据火场调查、外观检查、构件表面最高温度的检测分析结果，确定火灾作用的当量标准升温时间后，由标准火灾升温曲线作用下构件温度场有限元模型计算结果或查附录 H 推定。
- 根据实测过火构件局部位置沿深度方向温度分布，建立桥梁构件温度场有限元数值仿真模型，根据数值仿真结果推定。

8.2.5 构件受火作用的当量标准升温时间，可按照下列计算方法确定：

- 由火灾发生时的初始温度、火场最高温度和全盛期火灾持续时间等按照下式计算构件当量标准升温时间。

$$t_e = 4\tau^{0.68} \left(\frac{T_{gm} - T_{g0}}{1000} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau = \frac{0.175m_0}{(A_w \sqrt{h})} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t_e ——当量标准升温时间（min）；

T_{gm} ——火场最高温度（℃）；

T_{g0} ——火灾前环境温度（℃）；

τ ——全盛期火灾持续时间（min）；

m_0 ——可燃材料根据发热量等效原则折合而成的当量木材总质量（kg）， $m_0 = \sum m_i h_i / h_{\text{木}}$ ，其中

$h_{\text{木}}$ 为木材的单位发热量（MJ/kg）， m_i 和 h_i 分别为第 i 种可燃材料的质量（kg）和单位发热量（MJ/kg），参见附录 B；

A_w ——为桥梁通风面积（m²）；

h ——为桥梁净空高度（m）。

b) 根据构件表面最高温度，按照下式计算当量标准升温时间。

$$t_e = \exp\left(\frac{T}{204}\right) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

T ——构件表面最高温度（℃）；

t_e ——当量标准升温时间（min）。

8.2.6 采用有限元法模拟混凝土桥梁构件温度场时，混凝土热工参数宜按附录 I 规定取值。

8.2.7 火灾后缆索构件钢丝历经最高温度，应根据构件历经温度过程、表层 PE 护套、内部钢丝涂层的烧损破坏等调查结果，参考附录 C 予以综合分析判定。

8.3 材料性能损伤检测分析

8.3.1 火灾后桥梁构件不同深度混凝土强度和弹性模量损伤系数，可根据桥梁构件温度场检测结果，按附录 J.1 给出的温度与混凝土损伤系数表推定，并可采用混凝土芯样横向逐层劈裂试验结果予以校核。

8.3.2 火灾后混凝土桥梁构件钢筋极限强度、屈服强度和弹性模量损伤系数，可根据桥梁构件温度场检测分析结果，确定钢筋位置的温度后，按附录 J.2 给出的温度与普通钢筋极限强度、屈服强度和弹性模量损伤系数表推定，并宜结合过火钢筋取样拉伸试验结果进行分析和校核。

8.3.3 火灾后钢筋与混凝土粘结性能损伤系数，可根据桥梁构件温度场检测分析结果，按附录 J.3 给出的钢筋与混凝土粘结性能随其历经温度变化关系推定。

8.3.4 火灾后预应力性能损失率，可根据桥梁构件温度场检测分析结果，按附录 J.4 预应力损失率随预应力钢筋历经温度表推定。

8.3.5 缆索钢丝极限强度、屈服强度和弹性模量损伤系数，可根据缆索钢丝历经温度场检测分析结果，按附录 J.2 给出钢丝极限强度、屈服强度和弹性模量随其历经温度变化关系推定，且宜结合现场钢丝取样拉伸试验结果予以分析和校核。

8.3.6 火灾后拉（吊）索的索力宜采用振动频率法进行测试，并应将测试结果与索力设计值或历史值进行比较，进而分析火灾对缆索构件的影响。

8.4 构件截面损伤量化

8.4.1 火灾后混凝土构件截面缩减可采用如下方法：

- a) 根据混凝土强度或弹性模量沿深度方向损伤系数变化情况予以缩减，缩减方法应符合附录 K.1 的规定；
- b) 根据桥梁构件温度场检测分析结果，以 300℃ 等温线作为截面缩减界限，缩减方法应符合附录 K.2 的规定；
- c) 根据芯样分组抗压试验检测得到混凝土过火影响深度（检测方法应符合附录 L 的规定），取该深度作为截面缩减界限。

8.4.2 火灾后混凝土构件截面面积和惯性矩缩减系数，计算公式如下：

$$S_A = \frac{A_t}{A_0} \dots\dots\dots (4)$$

$$S_I = \frac{I_t}{I_0} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

S_A ——面积缩减系数；

A_f ——代换截面的面积（ m^2 ）；

A_0 ——受火前混凝土截面积（ m^2 ）；

S_I ——惯性矩缩减系数；

I_f ——代换截面等效惯性矩（ m^4 ）；

I_0 ——过火前截面的惯性矩（ m^4 ）。

9 安全性能评定

9.1 通用要求

9.1.1 火灾后混凝土桥梁安全性评定是指关于桥梁安全通行的评定，包括结构和构件体系、构造和连接、承载能力等三方面。

9.1.2 火灾后混凝土桥梁结构和构件体系、构造和连接、承载能力等应以原桥梁设计标准要求进行评定。

9.1.3 火灾后混凝土桥梁安全性能应考虑灾后混凝土、普通钢筋、预应力钢筋、缆索力学性能劣化情况，并结合承载能力检算或荷载试验结果予以评定。

9.1.4 火灾后混凝土桥梁承载能力检算应从结构或构件强度、刚度、抗裂性和稳定性四个方面按照最不利的原则进行分析，应包括承载能力极限状态和正常使用极限状态两个方面计算。

9.2 承载能力检算

9.2.1 火灾后混凝土桥梁承载能力检算，应按该桥竣工图纸和设计规范提供的结构或构件模型确定，且应对模型参数进行符合实际情况的调整，参数调整原则宜按如下规定执行。

- a) 考虑灾后结构或构件残余状态的材料力学性能、连接、变形和构件几何形状变化等；
- b) 火灾未造成整体结构明显变位、损伤及裂缝时，可仅考虑构件局部损伤影响；
- c) 对于火灾不仅造成构件局部损伤，而且影响整体结构安全时，除了进行构件局部损伤分析外，还应考虑局部损伤对结构整体影响。

9.2.2 火灾后混凝土桥梁承载能力极限状态计算评定公式如下：

$$\gamma_0 S \leq R(f_d, \xi_c a_{dc}, \xi_s a_{ds}) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

γ_0 ——结构的重要系数；

S ——荷载效应函数；

f_d ——为材料设计强度值；

ξ_c ——截面损伤系数，为缩减系数 S_A 、 S_I 的函数；

a_{dc} ——截面设计几何参数；

a_{ds} ——钢筋设计几何参数；

ξ_s ——钢筋或钢丝强度损伤系数。

9.2.3 火灾后混凝土桥梁结构正常使用极限状态，宜根据灾后桥梁检测分析结果，按该桥设计和养护规范要求，分以下三个方面进行评定。

a) 应力限值

$$\sigma_d \leq \sigma_L \dots\dots\dots (7)$$

式中：

σ_d ——应力计算值；

σ_L ——应力限值。

b) 变形限值

$$f_d \leq f_L \dots\dots\dots (8)$$

式中：

f_d ——变形计算值；

f_L ——变形限值。

c) 裂缝宽度限值

$$\delta_d \leq \delta_L \dots\dots\dots (9)$$

式中：

δ_d ——裂缝计算值；

δ_L ——裂缝限值。

9.3 荷载试验

9.3.1 当火场踏勘、外观检查、损伤检测分析等工作完成后，对普通钢筋与混凝土粘结性能、预应力钢筋与混凝土粘结性能、预应力损失等涉及桥梁安全性能的重要指标难以准确评估时，宜采用桥梁荷载试验对进行桥跨安全性能评定。

9.3.2 火灾后混凝土桥梁荷载试验方法应参照 JTG/T J21 和 JTG/T J21-01 相关规定。

9.3.3 开展火灾后混凝土桥梁荷载试验，试验工况的设置除了满足 JTG/T J21 和 JTG/T J21-01 相关

规定，宜根据灾后桥梁实际损伤和承载能力检测评定要求，对损伤严重的区域增设针对性的试验工况，在现场条件允许的情况下，可同时对损伤和未损伤相同构件进行试验对比测试，根据试验结果分析火灾对结构的损伤情况的影响。

9.3.4 开展火灾后混凝土桥梁荷载试验，在对桥梁刚度和结构抗裂性进行检测的同时，应注重损伤构件关键截面强度的检验，荷载效率宜结合桥梁损伤程度综合拟定。

9.3.5 对主要构件烧损状况为较严重或严重的混凝土桥梁进行荷载试验时，宜在试验加载风险评估的基础上，对试验加载分级予以加密设置。

10 评定报告及资料归档

10.1 评定报告编制应包括下列内容：

- a) 桥梁概况；
- b) 火灾事故过程和影响范围；
- c) 检测目的；
- d) 检测依据；
- e) 主要仪器和设备；
- f) 检测内容和方法；
- g) 踏勘、检查、检测、分析与评定等方面结果；
- h) 结论与建议；
- i) 附件。

10.2 评定报告中的建议，宜包括下列内容：

- a) 对缺损程度为严重或危险且影响桥梁安全通行的结构或构件，提出限制或停止使用的建议；
- b) 对安全性能受影响的结构或构件实施监测的建议；
- c) 缺损构件维修加固的意见；
- d) 有关桥梁长期营运、养护和管理的建议。

10.3 与评定报告相关的原始记录的数据、文字和图表应真实、准确、清晰、完整，不得随意涂改；应与检测方案、评定报告和相关资料一起存入桥梁试验检测技术档案，并做长期保存。

附 录 A
(资料性)
火场踏勘记录表

火灾后混凝土桥梁火场踏勘记录内容，参见表A.1。

表A.1 火灾后混凝土桥梁火场踏勘记录

桥梁名称				检查时间	
跨径组合				建成时间	
结构类型				荷载等级	
委托单位				桥梁功能	
火灾经过	发现时间		开始灭火时间		
			火灾扑灭时间		
燃烧情况	天气情况	☐ 炎热 ☐ 寒冷 ☐ 大雨 ☐ 小雨 ☐ 强风			环境温度/℃
	燃 烧	☐ 有爆炸 ☐ 有轰燃 ☐ 其他情况：_____			
	抢救情况	☐ 消防车：__部，人员__人，灭火方式： ☐ 水 ☐ 泡沫，消防水： ☐ 充足 ☐ 不足			
燃烧物 种类数量	☐ 木料 数量：_____吨， ☐ 布料 数量：_____吨， ☐ 汽油 数量：_____吨， ☐ 油漆 数量：_____吨， ☐ 橡胶 数量：_____吨， ☐ 化学易燃品 数量：_____吨， ☐ 其他：_____数量：_____吨，				
起火点	☐ 可知：位置_____路径：_____ ☐ 不明				
其他特殊情况					
火灾影响 区域展开图	以展开图的形式表示火灾影响区域，并配以文字描述和现场摄影记录照片				

记录：

复核：

审核：

附 录 B
(资料性)
燃烧物燃烧总热量计算

B.1 根据火场燃烧物的种类和数量，可按式（B.1）计算实耗燃烧物总热量 Q：

$$Q = \sum m_i h_i \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：
Q ——燃烧物的总热量（MJ）；
 m_i ——实际烧掉的第*i*种燃烧物质量，kg；
 h_i ——第*i*种燃烧物的单位发热量（MJ/kg）。

B.2 燃烧物单位质量的发热量参见表 B.1。

表B.1 燃烧物单位发热量

名称	h (MJ/kg)	名称	h (MJ/kg)	名称	h (MJ/kg)
无烟煤	34	橡胶轮胎	32	聚苯乙烯	40
石油沥青	41	丝绸	19	石油	41
纸和制品	17	稻草	16	泡沫塑料	25
炭	35	木材	19	聚碳酸酯	29
衣服	19	羊毛	23	聚丙烯	43
煤、焦炭	31	合成板	18	聚氨酯	23
软木	29	ABS	36	聚氯乙烯	17
棉花	18	聚丙烯	28	甲醛树脂	15
谷物	17	赛璐珞	19	汽油	44
油脂	41	环氧树脂	34	柴油	41
厨房废料	18	三聚氰胺树脂	18	亚麻籽油	39
皮革	19	苯酚甲醛	29	煤油	41
油毡	20	聚酯	31	焦油	38
泡沫橡胶	37	聚酯纤维	21	苯	40
异戊二烯橡胶	45	聚乙烯	14	甲醇	23
石蜡	47	甲醛泡沫塑料	14	乙醇	27

附 录 C
(资料性)

常见材料变态温度、燃点和历经不同温度后油漆烧损状况

常见金属和非金属材料的变态温度参见表C. 1，常见燃烧物的燃点温度参见表C. 2，历经不同温度后油漆烧损状况表参见表C. 3。

表C. 1 常见金属和非金属材料的变态温度

类别	材料	代表制品	温度/℃	状态
金属	铅	铅管、蓄电池、铅制品	300~350	锐边变圆，有滴状物形成
	锌	锚固件、测锤、镀锌材料	400	有滴状物形成
	铝及铝合金	机械部件、卫生器具、支架、装饰材料等	650	有滴状物形成
	银	装饰物、餐具、珠宝	950	锐边变圆，有滴状物形成
	黄铜	门拉手、门框装饰物、五金	950	锐边变圆，有滴状物形成
	青铜	窗框、紧固件、装饰物	1000	锐边变圆，有滴状物形成
	紫铜	电线、铜币	1100	角边变圆，有滴状物形成
	铸铁	管子、散热器、机器支座等	1100~1200	有滴状物形成
	低碳钢	管子、家具、支架等	>700	扭曲变形
玻璃	模制玻璃	玻璃砖、缸、杯、瓶、玻璃装饰物	700~750	软化或粘着
			750	变圆
			800~850	流动
	片状玻璃	门窗玻璃、玻璃板、增强玻璃	700~750	软化或粘着
			800	变圆
			800~850	流动或呈黏性
建筑塑料	聚乙烯	薄膜、防潮材料	80~135	软化、坍塌
	聚苯乙烯	灯罩、隔热材料	60~100	软化
	聚氨酯	防水、隔热材料、涂料	90~120	软化
	环氧树脂	地面材料和涂料	95~290	软化
	氟化塑料	配管	150~290	软化
	聚氯乙烯	电缆、排泄管、瓶子	400~500	烧焦

表C.2 常见燃烧物的燃点温度

材料	燃点/℃	材料	燃点/℃
木材	300	乙烯丙烯共聚物	454
纸	130	聚四氟乙烯	550
棉花	150	醛	571
麻线	150	木炭	320~370
橡胶	130	沥青煤	325~400
蜡烛	190	无烟煤	440~500
麦草	200	瓦斯焦炭	500~600
粘胶纤维	235	香油	530~580
涤纶纤维	390	煤油	240~290
聚乙烯	342	汽油	280
聚氯乙烯	454	尼龙	424
备注	木材：在 250 ℃~300 ℃沿着厚度方向稍有变化，400 ℃~600 ℃生成大孔木炭，600 ℃~800 ℃小孔木炭被烧尽，800 ℃~1000 ℃木材全部烧尽，大于 1000 ℃结构破坏。		

表C.3 历经不同温度后油漆烧损状况表

类别	材料	代表制品	温度/℃	状态
油漆	一般油漆	标牌和记号	<100	表面附着黑烟
			100~300	有裂缝和脱皮
			300~600	变黑、脱落
			>600	烧光
	防锈油漆	钢管护栏防锈	<100	完好
			100~300	表面附着黑烟
			300~600	变色
			>600	烧光

附 录 D
(资料性)

混凝土结构外观状况与温度的关系

火灾后混凝土结构表面颜色、外观及锤击特征与历经温度关系，见表D. 1所示。

表D. 1 火灾后混凝土表面颜色、外观及锤击特征与历经温度关系

温度/℃	<200	300~500	500~700	700~800	>800
剥落情况	无	局部涂装层	角部混凝土	大面积	酥松、大面积剥落
颜色	灰青	浅灰、粉红	浅灰白、浅红	浅灰白、浅黄	浅黄色
开裂	无	微细裂缝	角部出现裂缝	较多裂缝	贯穿裂缝
锤击反应	声音响亮 表面不留 痕迹	声音响亮 表面留较明显 痕迹	声音较闷 混凝土粉碎剥 落，留下痕迹	声音发闷 混凝土粉碎剥落	声音发哑 混凝土严重脱落

附录 F

(规范性)

混凝土二次烧失量检测桥梁混凝土构件温度场

F.1 通用要求

F.1.1 混凝土二次烧失量检测桥梁构件不同深度历经温度状况试验步骤应遵循F.2和F.3的规定。

F.1.2 用于混凝土二次烧失量测试主要仪器设备应符合如下规定：

- a) 天平：精度至 0.0001 g；
- b) 瓷坩埚：带盖，容量 15 ml～30 ml；
- c) 箱式电阻炉：使用温度控制器，最高温度可达 1200 ℃ 以上，并可准确控制炉温；
- d) 恒温电热烘干箱 105 ℃、干燥器（盛有高效的变色硅胶）或密封装置。

F.2 试验步骤

F.2.1 现场混凝土样品钻取应符合下列规定：

- a) 采用带扩孔器的冲击钻头在待温度场分析的构件未受火影响的区域钻取混凝土粉末，总量不少于 400 g，并盛放于密闭的容器中；
- b) 采用带扩孔器的冲击钻头在待温度场分析的构件的受火影响的区域沿着深度方向按照逐层深度为 10 mm 钻取混凝土粉末，每层混凝土重量不少于 50 g，逐层盛放于密闭容器中。

F.2.2 未受火混凝土烧失量法测试应按照下列步骤进行：

- a) 从未受火的混凝土中在取出的粉末中 8 组，每组各取 20 g 左右，放入经过 1020 ℃ 高温恒重坩埚重 W_{ci} ，并作好记录和编号；
- b) 将各组粉末按照 200 ℃、300 ℃、400 ℃、500 ℃、600 ℃、700 ℃、800 ℃、900 ℃ 温度各取样品 20 g 进行预处理，预处理时间为 2 个小时；
- c) 各组预处理好的粉末连同坩埚一起放入干燥器中冷却，待各组在干燥器中都冷却完毕后，同时取出放入 105 ℃ 的标准烘箱中，时间为 4 小时；
- d) 从烘箱中取出的烘干的粉末与坩埚一同放入干燥器当中待冷却 30 分钟；
- e) 从干燥器中取出，分别对各组坩埚进行称量，作记录 $W_{105,i}$ 值；
- f) 将各组称取好的坩埚与粉末一同放入高温马弗炉中，烤到 1020 ℃，2 小时；
- g) 待高温炉冷却下来时，取出各组坩埚粉末，放入干燥器中，冷却 2 小时；
- h) 取出干燥器中的坩埚粉末称量，记录 $W_{1020,i}$ 值；
- i) 按照下式计算各组混凝土的二次烧失量值 $S_{IL,i}$ ：

$$S_{IL,i} = \frac{W_{105,i} - W_{1020,i}}{W_{105,i} - W_{c,i}} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中：

$S_{IL,i}$ ——第 i 号样品二次混凝土烧失量；

$W_{c,i}$ ——第 i 号空瓷坩埚质量 (g)；

$W_{105,i}$ ——第 i 号瓷坩埚和试样经过 105℃ 干燥后的质量 (g)；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/675011002242011334>