**　　　　　　　　　　　T/CECS XXX—202X**

**中国工程建设标准化协会标准**

火灾后混凝土桥梁结构检测评定标准

**Standard for Inspection and Evaluation of Concrete Bridge Structures after Fire**

（征求意见稿）

**中国XX出版社**

中国工程建设标准化协会标准

**火灾后混凝土桥梁结构检测评定标准**

**Standard for Inspection and Evaluation of Concrete Bridge Structures after Fire**

**T/CECS XXX-202X**

主编单位：上海市建筑科学研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

批准日期：20××　年　×　月　1　日

**中国XX出版社**

20××　北　　京

前　　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2017年第二批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2017〕031号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为9章，主要技术内容包括：总则、术语与符号、基本规定、火场踏勘、外观检查、技术状况评定、结构检测、承载能力评定和评定报告。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑物鉴定与加固专业委员会归口管理，由上海市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：上海市申旺路519号，邮政编码：201108），以供修订时参考。

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位： | 上海市建筑科学研究院有限公司 |
| 参编单位： | 中冶建筑研究总院有限公司长安大学上海市市政工程检测有限公司上海浦江桥隧隧道管理有限公司淮北淮海建设工程有限责任公司淮北市市政工程管理处 |
| 主要起草人： |  |
| 主要审查人： |  |

目 次

1 总 则 1

2 术语与符号 2

2.1 术 语 2

2.2 符 号 2

3 基本规定 4

4 火场踏勘 6

4.1 一般规定 6

4.2 火灾资料收集 6

4.3 桥梁现场基本情况调查 6

5 外观检查 8

5.1 一般规定 8

5.2 方案编制 8

5.3 上部与下部混凝土构件外观状况检查 9

5.4 缆索构件外观状况检查 11

5.5 桥面系外观状况的检查 12

5.6 支座外观状况检查 13

6 技术状况评定 14

6.1 一般规定 14

6.2 技术状况初步评定 14

6.3 技术状况详细评定 15

7 结构检测 19

7.1 一般规定 19

7.2 火灾作用温度场分析 19

7.3 火灾后材料性能检测 22

7.4 构件截面损伤量化 24

8 承载能力评定 25

8.1 一般规定 25

8.2 承载能力检算 26

8.3 承载能力评定 28

8.4 荷载试验 28

9 评定报告 31

附录A 32

表A.1 常见金属和非金属材料的变态温度 32

表A.2 常见燃烧物的燃点温度 33

表A.3 历经不同温度后油漆烧损状况表 34

表A.4 火灾后混凝土表面颜色、外观及锤击特征与历经温度关系 35

表A.5 火灾温度作用下混凝土构件烧损层厚度 36

表A.6 锤击混凝土强度 37

本规程用词说明 39

引用标准名录 40

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 2

3 Basic Requirements 4

4 Fire Scence Survey 6

4.1 General Requirements 6

4.2 Fire Data Collection 6

4.3 Basic Situation Investigation at the Bridge Site 6

5 Visual Inspection 8

5.1 General Requirements 8

5.2 Programme Preparation 8

5.3 Inspection of the Upper and Lower Concrete Components 9

5.4 Inspection of the Cables 11

5.5 Inspection of the Bridge Deck System 12

5.6 Inspection of the Bearings 13

6 Performance Assessment 14

6.1 General Requirements 14

6.2 Preliminary Performance Assessment 14

6.3 Detailed Performance Assessment 15

7 Inspection of Structure 19

7.1 General Requirements 19

7.2 Analysis of Temperature Field under Fire Conditions 19

7.3 Material Performance Testing after the Fire 22

7.4 Quantification of Component Section Damage 24

8 Load Capacity Assessment 25

8.1 General Requirements 25

8.2 Load Capacity Calculation 26

8.3 Load Capacity Assessment 28

8.4 Load Test 28

9 Assessment Report 31

Appendix A 32

Table A.1 Transformation Temperatures of Common Metal and Non-metal Materials 32

Table A.2 Ignition Temperatures of Common Combustibles 33

Table A.3 Table of Paint Burn-off Conditions After Exposure to Different Temperatures 34

Table A.4 Relationship Between Concrete Surface Color, Appearance, Hammering Characteristics and the Temperatures Experienced 35

Table A.5 Thickness of the Burnt Layer of Concrete Components Under the Effect of Fire 36

Table A.6 Hammering Concrete Strength 37

Terminology Explanation of This Regulation 39

List of Referenced Standards 40

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范混凝土桥梁结构火灾后的检测评定工作，为火灾后桥梁结构的处理决策提供技术依据，做到技术先进、安全适用、科学合理，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于混凝土桥梁，包括梁式桥、拱桥、斜拉桥等结构形式桥梁。

**1.0.3** 本标准规定了混凝土桥梁火灾后检测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。

**1.0.4** 火灾后混凝土桥梁结构检测评定除应执行本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语与符号

## 2.1 术 语

**2.1.1 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。

**2.1.2 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。

## 2.2 符 号

***ω*** ——混凝土二次的烧失量，无量纲常量（%）；

***m***105j ——第j号试样在经过105℃灼烧并干燥后的质量（g）；

***m***1020j ——第j号试样在经过1020℃灼烧并干燥后的质量（g）；

***t***e——当量标准升温时间（min）；

***T***gm ——火损最高温度（℃）；

***T***g0 ——火灾前环境温度（℃）；

*τ* ——全盛期火灾持续时间（min）；

***m***0 ——根据发热量等效原则换算的当量木材总质量（kg）；

***m***i ——第i种可燃材料的质量（kg）；

***h***i——第i种可燃材料的单位发热量（MJ/kg）；

***h***木 ——木材的单位发热量（MJ/kg）；

***A***w ——桥梁通风面积（m2）；

***h*** ——桥梁净空高度（m）；

***T*** ——构件表面最高温度（℃）；

***f***cu,Tm ——高温后混凝土抗压强度；

***f***cu ——混凝土设计抗压强度；

***f***s,t ——受火t℃时普通钢筋的强度（kN）；

***f***s,20 ——受火20℃时普通钢筋的强度（kN）；

***f***yT ——受火T℃时预应力钢筋的比例极限（MPa）；

***f***y ——未受火时预应力钢筋的比例极限（MPa）；

***T***m ——温度（℃）；

***S***A——面积折减系数；

***A***r——换算截面面积（m2）；

***A***0——受火前混凝土截面面积（m2）；

***S***I ——惯性矩折减系数；

***I***r ——换算截面等效惯性矩（m4）；

***I***0 ——过火前截面的惯性矩（m4）。

# 3 基本规定

**3.0.1** 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。

**3.0.2** 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。

**3.0.3** 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3.0.3。



**图3.0.3 混凝土桥梁火灾后安全性能评定工作内容和程序**

# 4 火场踏勘

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 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。

**4.1.2** 火场踏勘完成后，应按照 6.1 节和 6.2 节的要求进行桥梁技术状况初步评定。

**4.2 火灾资料收集**

**4.2.1** 调查收集桥梁基础信息资料宜包括下列内容：

 **1** 桥梁设计、施工、竣工资料；

 **2** 桥梁历次检测评定报告资料；

 **3** 桥梁营运、养护、维修和加固记录等资料。

**4.2.2** 调查收集桥梁火灾情况资料宜包括如下内容：

 **1** 桥梁火灾的发生时间和持续时间；

 **2** 桥梁火灾发生时周边环境情况(天气情况、风速风向情况等)；

 **3** 桥梁火灾发生、发展和熄灭全过程(包括起火原因、起火过程、燃烧路径、燃烧时间、灭火方式、火场残留物状况等)；

 **4** 燃烧物情况调查(包括燃烧物种类、数量、位置和热量估算等)。

**4.3 桥梁现场基本情况调查**

**4.3.1** 调查桥梁现场基本情况资料应包括下列内容：

 **1** 桥梁基本结构尺寸信息测量，包括桥梁长度、宽度、跨径组合和截面尺寸等；

 **2** 桥面通行交通情况，包括车辆类型、数量、载重等；

 **3** 桥梁结构或部位初步损伤情况，包括局部剥落范围、混凝土颜色、钢筋外露情况、结构开裂变形等；

**4.3.2** 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结构的影响。

# 5 外观检查

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 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。

**5.1.2** 外观检查工作内容包括上部与下部混凝土构件、缆索构件、桥面系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。

**5.1.3** 混凝土桥梁火灾后外观检查现场记录应该详尽，全面反映火灾后混凝土桥梁表观损伤的实际情况。检查完成后宜绘制结构损伤程度区域展开图，并应采用图表结合文字说明的方式详细记录损伤的位置、范围和严重程度，调查记录的内容可参照附录A.7。

条文说明:本条文规定了火场踏勘应检查和记录基本内容，包括:桥梁技术状况的基本信息火灾燃烧的基本信息、以及燃烧的影响区域等。

**5.1.4** 通过桥梁外观检查记录结果，可进行火场温度推测，初步确定受火灾桥梁的技术状况，桥梁外观检查完成后，应进一步实施检测，对火灾后混凝土桥梁进行综合评定。

条文说明:已有的文献研究表明:灾后混凝土外观特征、钢筋外露及表面附着物状况与混凝土构件表面温度历程密切相关，为此，本条文规定混凝土桥梁火灾后外观检查应注重分析构件表面温度情况，这是后续结构内部温度场和构件损伤状况分析的基础。

## 5.2 方案编制

**5.2.1** 火场踏勘后，应根据初步掌握的桥梁结构、构件总体损伤和技术状况，结合桥梁火场的实际，制定灾后桥梁检查检测评定方案，并宜在后续的检查检测评定中予以完善。

条文说明：火灾后混凝土桥梁检测评定属于应急检测的范畴，其灾后检测工作强调的是及时响应。鉴于桥梁火灾现场多样性，工程技术人员赶赴现场前，无法详细了解和掌握桥梁火场情况。为此，本条文规定工程技术人员应在初步掌握桥梁结构和构件总体损伤和技术状况后，结合桥梁火场的实际，制定火灾后桥梁检测评定初步方案，并强调检测方案应根据实际检测工作程序开展逐步动态完善。

**5.2.2** 混凝土桥梁火灾后检查检测与安全性能评定技术方案应包括内容如下：

 **1** 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；

 **2** 火灾基本概况

 **3**火灾影响范围及原因分析；

 **4**检查检测评定目的；

 **5**检查检测评定依据；

 **6**检查检测评估的内容和方法；

 **7**踏勘、检查、检测、分析与评定结果

 **8**拟投入的仪器和设备；

 **9**人员和工期计划；

 **10**相关安全保障措施。

条文说明:混凝土桥梁火灾具有突发性，工作具有应急性特点，工作内容涉及火场踏勘、外观检查、构件损伤检测分析以及安全性能评定等多个方面的。为更好指导检测技术工作的开展，这就要求工程技术人员在掌握桥梁基本信息和总体损伤情况后，制定切实可行检测工作技术方案。检测方案内容涵盖桥梁及火灾基本信息、检测工作的目的、检测依据标准和有关技术资料、检测的内容和方法、拟投入人员、设备和工期计划、和相关安全保障措施等。

## 5.3 上部与下部混凝土构件外观状况检查

**5.3.1** 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，钢筋外观状况，混凝土构件的变形、挠曲和位移等。

**5.3.2** 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A表A.1-A.4分析混凝土表面历经温度状况。

条文说明：通过混凝土表面颜色、表面裂纹、剥落疏松的变化情况,可对火场温度有一个较为近似的推断。实验研究结构表明,随着被加热时间的增加和温度的升高,混凝土颜色和结构会呈现不同的变化特征。当温度不超过300℃时,颜色和结构无明显变化；当温度在300℃～400℃时,混凝土呈现均匀粉红色,表面可见网状细微裂纹；400℃～600℃时,呈现暗红色、浅粉红色,裂纹增多；600℃～800℃时,颜色由粉红逐渐变成灰白色,出现较长横向缝,有少量棱角剥落,800℃时混凝土出现大量开裂,表面鼓泡、胀裂,有贯通缝；900℃以上后,混凝土呈现浅黄显白色,开裂严重,多处鼓泡,表面疏松、大量剥落。表观检查法的特点是简单易行、直观、迅速,但主要是依据现场经验,准确性不够。

**5.3.3** 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。应对受力钢筋、构造钢筋与预应力钢筋予以区分记录，并宜根据混凝土裂损、表观颜色变化、敲击声响等检查结果分析钢筋粘结性能受影响范围。

条文说明：混凝土桥梁构件内部钢筋主要包括:构造钢筋、受力普通钢筋和预应力钢筋三大类，不同类别钢筋对构件的重要程度并不完全相同，因此，现场检查时应予以区分记录，以为后续构件技术状况评估提供参考。

常温下桥梁混凝土构件中的钢筋与混凝上具有良好的粘结性能，历经高温后，两者的粘结性能将逐渐降低，这对构件承载能力造成一定程度削弱。因此，根据混凝土裂损表观颜色变化、敲击声响以及钢筋外露情况检查结果和钢筋保护层厚度，结合附录A表A.5，可初步分析构件表面及内部温度场情况，确定钢筋位置温度，可判断内部钢筋粘结性能是否受到影响。

**5.3.4** 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。且宜绘制成构件裂损状况展开图，并做详细的记录，记录内容可参照附录A表A.7。

条文说明：本条对混凝土桥梁构件损伤情况记录内容做了详细规定。此外，火灾后混凝土构件强度的表面观测方法也是根据灾后混凝土构件表面颜色、表面裂纹和剥落情况,综合判定其强度。主要方法是采用锤子敲击、铁杆凿击等,详见附录A表A.6，并且在敲击过程中,辅以听混凝土回声的清脆或沉闷与否,综合确定混凝土的强度。这种敲击方法过于依靠经验,而且结果与锤击的部位有关,准确性不高。

**5.3.5** 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。

条文说明:桥梁混凝土构件包括:梁柱式构件、板式构件和拱式构件等，对这些构件火灾后位移、挠曲变形检查应遵循应急检测“先主要构件后次要构件，循序渐进，逐层排查”原则，先由人工快速排查各构件位移、挠曲和变形情况，当构件发生位移、挠曲和变形难以目视判定时，可采用水准仪或全站仪进行量测。

## 5.4 缆索构件外观状况检查

**5.4.1** 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。

条文说明：缆索构件作为混凝土吊杆拱桥、斜拉桥和悬索桥等主要桥梁的受力构件，其灾后技术状况直接影响着桥梁长期使用安全。高温不仅造成缆索构件PE保护层、缆索钢丝防腐涂层大面积烧损，钢丝外露变形、性能退化、断裂等严重病害，而且导致缆索构件的内力出现重分布，进而改变结构受力状态。因此，火灾后缆索构件外观损伤状况检查时，还应注重与其连接桥梁构件损伤情况的检查和分析。

**5.4.2** 缆索构件PE护套烧损状况检查的内容应包括PE护套烧损形态、受损范围和深度。

**5.4.3** 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。

**5.4.4** 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A表A.1-A.4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。

条文说明：缆索构件PE保护层在经历不同温度作用后，其形态并不完全相同，在135℃高温下，其形态会存在软化，而当温度达到342℃后，其将可能被引燃，因此详细检查并记录PE层烧损形态、长度和深度对于分析缆索构件历经温度和评估构件损伤方面具有一定参考意义。

火灾后缆索防腐涂层不仅反映了火灾高温对拉索的损伤，而且在一定程度上反映了拉索钢丝表层历经的温度状况。当防腐镀锌层存在滴状物时，可判断其钢丝表面的温度达到400℃，钢丝镀铝层存在滴状物时，可判断钢丝表面温度为 600℃，钢丝环氧树脂保护层软化则可判断其表面温度在 95~290℃。由此可见，火灾后拉索防腐涂层形态可用于分析缆索历经温度，进而分析评估构件损伤。

**5.4.5** 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。

条文说明:不同火灾场景下，缆索构件钢丝损伤程度并不完全相同，当拉索钢丝因火灾导致变形或局部出现钢丝断裂时，在确保现场安全的前提下，宜对缆索局部断面进行量测，以反映火灾导致缆索局部颈缩程度，进而评价缆索构件灾后的损伤程度。

## 5.5 桥面系外观状况的检查

**5.5.1** 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。

**5.5.2** 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、受污染程度和龟裂破损程度，并宜注重铺装层火灾后抗滑能力的分析。

**5.5.3** 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A表A.4，分析人行道板表面历经的温度状况。

**5.5.4** 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A表A.4，分析护栏表面历经的温度状况。

**5.5.5** 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A表A.1-A.3，分析钢护栏历经的温度状况。

**5.5.6** 桥梁伸缩装置烧损状况检查的内容应包括伸缩缝是否变形、破损、脱落；止水带是否损毁、漏水；锚固区混凝土和钢连接件等方面的烧损程度及范围。

**5.5.7** 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。

## 5.6 支座外观状况检查

**5.6.1** 火灾后支座外观状况的检查除了符合《公路桥涵养护规范》JTG 5120和《公路桥梁技术状况评定标准》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。

**5.6.2** 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A表A.1-A.3分析其历经温度状况。

**5.6.3** 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A表A.1-A.3分析其历经温度状况。

# 6 技术状况评定

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 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，评定对象宜为受火灾影响且结构受力相对独立的桥跨（联）。

条文说明:混凝土桥梁火灾后应立刻去现场进行一次初步评定，根据初步评定结果，给与一个初步交通管制建议。评定范围宜选择影响区范围内的比较独立的桥跨，系杆拱桥及斜拉桥宜选择整体桥梁。

**6.1.2** 火灾后混凝土桥梁技术状况初步评定后，应先给出确保桥梁现场安全通行的临时性管理措施。

条文说明: 初步评定宜在火灾发生后6个小时内进行，可由管养单位实施并给出初步交通管制建议。

**6.1.3** 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结构检测与承载能力评定，并提出桥梁火灾后维修处治措施。

**6.1.4** 主要构件火灾后严重破坏，出现连接板开裂、螺栓断裂、变形损伤严重等情况，需要拆除或更换，构件初步鉴定等级应评为Ⅳ级。

## 6.2 技术状况初步评定

**6.2.1** 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6.2.1。

表6.2.1 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.构件受到轻微烧灼，未发现火灾及高温造成的损伤，构件材料、性能及安全状况受火灾影响不大，构件承载能力和使用功能未受到影响，火灾尚不明显影响构件安全。 2.桥梁基本满足行车条件要求。 |
| 中度 | 1.构件受到中度烧灼，构件材料及性能受到明显影响，构件承载能力和使用功能受到一定程度的影响，火灾明显影响构件安全。2.桥梁正常行车受到一定程度的影响。  |
| 严重 | 1.构件受到严重烧灼或破坏，结构倒塌或构件塌落，结构构件承载能力丧失或大部分丧失，使用功能明显下降,危及结构安全 2.桥梁不能正常通行,结构处于危险状态。 |

条文说明: 初步评定一般由管养单位实施，为了便于实施，初步评定等级不宜超过三级，按照总体描述情况划分为三个等级。

**6.2.2** 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:

 **1** 轻度——可采取交通管制；

 **2** 中度——应进行交通管制，必要时，可采取结构的临时支护；

 **3** 严重——应封闭交通，并进行结构临时支护。

## 6.3 技术状况详细评定

**6.3.1** 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。

**6.3.2** 火灾前混凝土桥梁技术状况等级应符合JTG H11或CJJ99的标准要求，且评定日期与火灾日期间隔不宜超过6年。

条文说明: 火灾前桥梁技术状况等级应参考第三专业检测单位的近期报告，评定日期与火灾日期间隔不宜过长，两年内为宜，如果超过两年的检测报告，应查找该桥自第三方检测日期之后养护单位的维修记录和巡查记录，评估桥梁技术状况等级是否有发生变化。

**6.3.3** 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。

条文说明:火灾后混凝土桥梁烧损状况等级评定应先按照构件，在由构件等级评定桥梁整体结构等级。构件划分按照现行规范《公路桥涵养护规范》JTG 5120或《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99进行。主要构件包括上部承重构件、缆索构件、桥墩、桥台及基础、支座，其他结构为一般构件。

**6.3.4** 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6.3.4。

表6.3.4 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.承教能力明显降低。 | 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；裂缝超限而密集，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打套大面积烧损破损。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打套大面积烧损破损。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。 |
| 支座结构 | 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。4伸缩缝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、标线完全脱落。 |  |

条文说明: 由于不同桥梁构件对桥梁技术状况影响不同，火烧后构件损伤对桥梁影响也不同，故将桥梁构件划分为上、下部混凝土构件、缆索构件、支座结构、桥面系构件等，主要构件包括上部承重构件、缆索构件、桥墩、桥台及基础、支座，其他结构为一般构件。混凝土桥梁构件烧损状况等级标准按照表6.3.4中定性描述评定，主要构件从严评定；承载能力是否降低，通过外观检测，按照第8章要求计算，与原设计值相比：承载能力比设计降低10%以内，称为“有所下降”；承载能力比设计降低10%~25%，称为“明显降低”；承载能力比设计降低25%以上，称为“明显降低”。

**6.3.5** 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6.3.5。

表6.3.5 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.主要构件烧损状况等级均为I类；一般构件烧损状况等级为I或Ⅱ类；2.桥梁承载能力和桥面行车条件符合设计指标。 | 1. 主要构件烧损状况等级存在一项或多项Ⅱ类，但未出现Ⅲ类及以下； 一般构件烧损状况等级未出现Ⅳ或V类； 2.桥梁承载能力和桥面行车条件基本达到设计指标。 | 1. 主要构件烧损状况等级存在一项或多项Ⅲ类，但未出现Ⅳ类及以下；一般构件烧损状况等级未出现V类；2.承载能力有所下降，桥面正常行车受到一定限制。 | 1.主要构件烧损状况等级存在一项或多项Ⅳ类，但未出现V类；一般构件烧损状况等级不出现V类；2.承载能力明显下降，严重影响桥面正常行车。 | 1. 主要构件烧损状况等级存在一项或多项V类；一般构件烧损状况等级存在一项或多项V类；2.承载能力显著下降，不能安全通行。 |

条文说明: 火灾后混凝土桥梁结构烧损状况等级评定标准结合主要构件烧损状况等级和一般构件烧损技术状况等级，并考虑桥梁承载能力变化桥面行车条件，取较差状态。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作为该桥（联/跨）的火灾后烧损状况等级。比如当构件火烧后技术状况等级评为Ⅲ，承载能力有显著下降，该桥桥梁烧损状况评定应该评定为Ⅳ。

**6.3.6** 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。

**6.3.7** 火灾后混凝土桥梁技术状况应根据表6.3.7-1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6.3.7-2。

表6.3.7-1 火灾后混凝土桥梁技术状况详细评定组合

|  |  |
| --- | --- |
| 火烧等级 | 火灾前桥梁技术等级 |
| 一类/A级 | 二类/B级 | 三类/C级 | 四类/D级 | 五类/E级 |
| 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/C级，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/D级，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/C级，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/D级，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6.3.7-2 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 | 桥梁使用功能基本完好。 | 桥梁轻微缺陷，使用功能无影响。 | 桥梁有中度缺陷,尚能维持正常使用功能。  | 桥梁有较大缺损,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。 |
| 处置措施 | 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。 |

# 7 结构检测

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 桥梁火灾事故发生后，应及时进行火场踏勘和外观检查进行初步损伤检测分析，对火损程度难以判定及构件评定等级为Ⅲ类及以上主要构件，应采取不同方法做进一步损伤检测分析，为火灾后混凝土桥梁安全性能评定和维修加固设计提供依据。

**7.1.2** 火灾后混凝土桥梁构件损伤分析应包括火灾作用温度场分析、火灾后材料性能检测和构件截面损伤量化等。

**7.1.3** 火灾作用温度场分析应包括火损最高温度分析、当量标准升温时间计算和整体或部分主要构件温度场有限元计算分析等。

条文说明：火损最高温度是进行温度场分析的重要基础，对其判定的准确与否将直接影响到温度场分析的精度。火损温度判定的方法有多种，一般采用基于混凝土表面颜色与特征的推定法、材料微观特征推定法以及综合考虑这两种方法的最小区域温度判定的方法。

**7.1.4** 火灾后材料性能检测应包括计算混凝土强度折减系数、混凝土等效烧损深度、普通钢筋强度折减、预应力钢筋（缆索钢丝）强度折减等。

条文说明：普通钢筋强度折减和预应力钢筋折减，一般根据据欧洲规范及相关文献，计算相应的折减系数。

**7.1.5** 构件截面损伤量化应包括火灾后构件截面折减、面积和惯性矩折减系数的计算等。

条文说明：由于在抗弯承载能力计算中fsd×Ａs 总是在一起的，所以普通钢筋的折减可以等效成钢筋面积的折减。

## 7.2 火灾作用温度场分析

**7.2.1** 火损初始温度、火损最高温度、火灾持续时间等火损参数应根据火场踏勘和外观检查结果综合分析确定。

条文说明：一般根据确定的火损最高温度进行梁截面的温度场分析，温度场分析时应考虑火灾从起燃到扑灭的整个温度变化过程，从而得到温度曲线的下降段，由此获得整个温度时程的最大值。

**7.2.2** 火灾后梁体混凝土温度应通过现场观察，明确梁体火损区域，对指定火损区域的混凝土进行外观颜色、剥落、爆裂、开裂、锤击声响等方面特征的对比分析予以综合确定。

**7.2.3** 火灾后混凝土表观现象应考虑表面颜色、烧伤深度、表面剥落度、锤击瞬态反应、混凝土碳化深度、混凝土二次烧失量等因素的变化。

**7.2.4** 火灾后混凝土表观特征，可按照下列方法确定：

 **1** 直观检测法：通过观察火灾后混凝土表面剥落度、混凝土表观颜色、混凝土的爆裂程度和裂缝的大小等直观现象来初步判定火灾特征温度以及火灾损伤程度，通过多种表观现象的横向比较。

 **2** 碳化深度检测法：采用1%~2%的酚酞试剂可以有效检测出火灾后混凝土表面碳化深度。

 **3** 锤击瞬态反应检测法：混凝土构件对于冲击锤的敲击时，结构的固有阻尼会抑制冲击时产生的应力弹性波，通过导纳值可以反应出混凝土结构的浇筑质量、密度和内部缺陷。

 **4** 逐层回弹法：火灾发生后，混凝土的弹性模量及强度会随着火灾特征温度及受火时间而产生迅速衰退现象，火灾后混凝土结构或者构件的强度检测应使用适当的参数进行修正。

 **5** 火灾后混凝土强度分层测试法：采用火灾后混凝土强度分层检测仪，对过火混凝土安装就位之后，缓慢拔出膨胀螺栓过程中，通过读取拉拔力计算混凝土摩阻力，进一步换算得到过火混凝土每一层烧损后的强度，从而对火灾后混凝土结构性能进行准确评判。

 **6** 二次烧失量检测法：混凝土的二次烧失量指的是过火混凝土二次灼烧到 1020℃的质量损失率，计算公式如下：

 (7.2.4)

式中：

——混凝土二次的烧失量，无量纲常量（%）；

——第j号试样在经过105℃灼烧并干燥后的质量（g）；

——第j号试样在经过1020℃灼烧并干燥后的质量（g）；

**7.2.5** 火损最高温度是进行温度场分析的重要基础，对其判定的准确与否将直接影响到温度场分析的精度，火损温度可按照下列方法推定：

 **1** 在火损桥梁现场检测时，可以根据现场受火桥梁的状况对照上述混凝土表观特征与温度的关系得到桥梁火损的最高温度。

 **2** 在进行详细检查时对拟评定的混凝土构件，根据其烧损的不同程度分别采集各种混凝土小样，并进行Ｘ衍射分析，观察混凝土样品显微结构特征，根据其特征，推定相应的火灾温度。

 **3** 结合混凝土表面颜色与特征推定法和基于材料微观特征的温度推定法采用最小区域温度判定方法。

**7.2.6** 梁截面温度场分析应根据确定的火损最高温度，考虑火灾从起燃到扑灭的整个温度变化过程，获取整个温度时程的最大值。

**7.2.7** 当量标准升温时间，可按照下列计算方法进行确定：

 **1** 由火灾初始温度、火损最高温度和全盛期火灾持续时间等因素按下列公式进行计算当量标准升温时间。

 (7.2.7-1)

 (7.2.7-2)

 (7.2.7-3)

式中：

——当量标准升温时间（min）；

——火损最高温度（℃）；

——火灾前环境温度（℃）；

——全盛期火灾持续时间（min）；

——根据发热量等效原则换算的当量木材总质量（kg）；

——第i种可燃材料的质量（kg）；

——第i种可燃材料的单位发热量（MJ/kg）；

——木材的单位发热量（MJ/kg）；

——桥梁通风面积（m2）；

——桥梁净空高度（m）。

 **2** 由构件表面最高温度计算当量标准升温时间。

 (7.2.7-4)

式中：

——构件表面最高温度（℃）；

——当量标准升温时间（min）。

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

**7.2.9** 火灾后缆索构件钢丝的最高温度，应综合考虑构件历经温度过程、表层PE护套、内部钢丝涂层的烧损情况。

## 7.3 火灾后材料性能检测

**7.3.1** 火灾后桥梁构件混凝土强度折减系数可根据不同火灾冷却方式，按照下列公式进行计算：

 **1** 自然冷却：

 (7.3.1-1)

式中：

——高温后混凝土抗压强度；

——为混凝土设计抗压强度；

——温度。

 **2** 喷水冷却:

 (7.3.1-2)

式中：

——高温后混凝土抗压强度；

——为混凝土设计抗压强度；

——温度。

**7.3.2** 火灾后混凝土烧损深度的计算可基于强度损失的虚拟层截面等效原理，利用计算出的强度折减系数将混凝土进行分层折减，若干层剩余强度的总和就是截面的抗力总和。

**7.3.3** 火灾后普通钢筋强度折减、预应力钢筋（缆索钢丝）强度折减，可依据欧洲规范EC4和温度时程分析结果进行强度折减系数的推定。具体见表7.3.3-1和表7.3.3-2。

**表**7.3.3-1 **EC4预应力钢筋高温强度降低系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **温度/℃** | **比例极限降低系数*f*yT/*f*y** | **温度/℃** | **比例极限降低系数*f*yT/*f*y** |
| 20 | 1.00 | 700 | 0.12 |
| 100 | 1.00 | 800 | 0.11 |
| 200 | 1.00 | 900 | 0.08 |
| 300 | 1.00 | 1000 | 0.05 |
| 400 | 0.94 | 1100 | 0.03 |
| 500 | 0.67 | 1200 | 0.00 |
| 600 | 0.40 |  |  |

注：***f*yT**为受火T℃时预应力钢筋的比例极限，单位：MPa(或N/mm2)；***f*y**为未受火时预应力钢筋的比例极限，单位：MPa(或N/mm2)。

**表**7.3.3-2 **普通钢筋高温下强度折减系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **温度/℃** | **强度降低系数*f*s,t/*f*s,20** | **温度/℃** | **强度降低系数*f*s,t/*f*s,20** |
| 20 | 1.00 | 700 | 0.08 |
| 100 | 1.00 | 800 | 0.06 |
| 200 | 0.87 | 900 | 0.05 |
| 300 | 0.72 | 1000 | 0.03 |
| 400 | 0.56 | 1100 | 0.02 |
| 500 | 0.40 | 1200 | 0.00 |
| 600 | 0.24 |  |  |

注：***f*s,t**为受火t℃时普通钢筋的强度，单位：KN；***f*s,20**为受火20℃时普通钢筋的强度，单位：KN。

**7.3.4** 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记录值进行比较，分析火灾对缆索构件的影响。

## 7.4 构件截面损伤量化

**7.4.1** 火灾后混凝土构件截面折减可采用如下方法：

 **1** 根据混凝土强度沿不同深度损伤系数变化情况予以折减；

 **2** 根据桥梁构件温度场检测分析结果，以300℃等温线作为截面折减界限；

 **3** 根据芯样分组抗压试验检测得到混凝土过火影响深度，并取该深度作为截面折减界限。

**7.4.2** 火灾后混凝土构件截面面积和惯性矩折减系数，可按下列公式进行计算：

 （7.4.2-1）

 （7.4.2-2）

式中：

——面积折减系数；

——换算截面面积（m2）；

——受火前混凝土截面面积（m2）；

——惯性矩折减系数；

——换算截面等效惯性矩（m4）；

——过火前截面的惯性矩（m4）。

# 8 承载能力评定

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 火灾后混凝土桥梁应从结构或构件的强度、刚度、抗裂性和稳定性四个方面进行承载能力检测评定。

条文说明：火灾后混凝土桥梁承载能力评定包括持久状况下承载能力极限状态和正常使用极限状态。承载能力极限状态针对的是结构或构件的截面强度和稳定性，正常使用极限状态主要针对结构或构件的刚度和抗裂性。

**8.1.2** 板式橡胶支座、盆式支座和钢支座，应根据支座类型、支座型号和工作状态进行受火灾影响后支承状况评定，其他类型支座的缺损状况可按现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 和《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21的规定进行检测：

 **1** 板式橡胶支座，应考虑火灾火场下支座部件的缺损、老化、破裂、外鼓、串动、脱空和剪切变形，以及防火性能的变化和和支座垫石的酥裂、剥落、露筋等。

 **2** 盆式支座，应考虑火灾火场下的支座部件的损坏、聚四氟乙烯板的损伤、主要受力构件变形、烧蚀、工作状态和支座垫石的酥裂、剥落、露筋等。

 **3** 钢支座，应考虑火灾火场下的支座部件的损坏、主要受力构件变形、工作状态和支座垫石的酥裂、剥落、露筋等。

条文说明：受火灾影响后桥梁支座检测可采用外观检查方式，重点检查是否按设计要求的规格型号选用支座或支座变形方向是否正确。支座火灾后缺损状况依据《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233详细判定。

**8.1.3** 火灾后混凝土桥梁承载能力分析评定应包括火灾过程中、火灾后中结构受力状态和材料力学状态，具体包括：

 **1** 应考虑混凝土结构桥梁在火灾不同阶段的结构边界条件、结构构件及部件的内力变化情况。

 **2** 火灾过程中的混凝土桥梁结构分析，应针对上部结构、下部结构、桥面系和桥梁支座等桥梁构件和部件，考虑火灾过程中的最不利温度条件和结构实际作用荷载组合，进行结构分析与构件校核；

 **3** 火灾后的混凝土桥梁结构分析，应考虑火灾后结构残余状态的材料力学性能、连接状态、结构几何形状变化和桥梁构件和部件的变形和损伤等进行结构分析与构件校核。

条文说明：火灾过程中的混凝土桥梁结构分析尤其需要注意力学计算模型的合理性及火灾后结构物化、几何等各类参数选择的正确性，以便获得正确的计算结果。

火灾过程中结构反应分析，应考虑火灾过程中的最不利温度条件和结构实际作用荷载组合，针对主要构件及节点连接，进行结构分析与构件校核。本条意图是考虑火灾过程中由于膨胀、收缩等可能造成火灾区域之外结构构件及连接损坏。通过分析及现状勘查，核对判断是否发生超载、断裂、残余应力、变形等损坏。

## 8.2 承载能力检算

**8.2.1** 火灾后桥梁混凝土和钢筋力学性能指标宜根据钻取混凝土芯样、取钢筋试样检验，也可根据构件截面温度场按《火灾后建筑结构鉴定标准》CECS 252中相关规定进行判定。火灾后钢筋与混凝土弹性模量以及钢筋与混凝土粘结强度折减系数可根据构件截面温度场参照《火灾后建筑结构鉴定标准》CECS 252判定，也可根据行业公认的其他方法进行试验或判定。

条文说明：当采用抽样试验确定火灾后混凝土强度时，宜在高温区域和常温区域分别抽取试样，便于对比。抽样数量宜符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB／T 50344的要求。

**8.2.2** 火灾后混凝土桥梁结构承载能力检算，可根据桥梁结构类型、火场特征和火灾影响范围，在保证桥梁结构安全的条件下，参照《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T 21和《城市桥梁检测与评定技术规程》CJJ/T 233中的相关规定，按下述原则进行合理简化分析承载能力：

 **1** 局部火灾未造成上部结构、下部结构和明显变位、损伤及裂缝时，可仅考虑局部作用的影响；

 **2** 桥梁支座没有因火灾影响明显异常变形、脱空、正常滑动、开裂的连续梁，可不考虑支座变位的影响。

条文说明：本条意图是对火灾后混凝土桥梁进行的合理简化分析，并考虑火灾过程中由于膨胀、收缩等可能造成火灾区域之外结构构件及连接损坏。通过分析及现状勘查，核对判断是否发生超载、断裂、残余应力、变形等损坏。

**8.2.3** 火灾后混凝土桥梁结构承载极限状态的抗力效应，应根据考虑火灾作用对结构材料性能、结构受力性能的试验检测结果的不利影响后，可按照现行设计规范和标准的规定进行修正计算分析；对于烧灼严重、变形明显等损伤严重的桥梁结构，必要时应采用更精确的计算模型进行分析；对于重要的混凝土桥梁结构，宜通过荷载试验进行承载能力评定。

条文说明：火灾后混凝土桥梁结构构件强度验算应根据构件材质、尺寸、实际荷载状态和设计状态并考虑火灾造成的残余变形、残余应力及材质性能衰减等因素进行验算。对于烧灼严重、变形明显等损伤严重的结构构件，必要时可采用火灾过程中更精确的计算模型进行分析，考虑火灾过程中的最不利温度条件和结构实际作用荷载组合，进行结构分析和校核；火灾后结构内力分析，应考虑火作用时结构上实际荷载的组合，注意掌握火灾中结构变化全过程（特别应分析最不利状态），火灾后结构的残余状态。

**8.2.4** 火灾后的混凝土桥梁结构承载能力评定，应考虑火灾作用混凝土和钢筋力学性能、构件损伤和变形情况，针对结构构件或部件的截面强度和稳定性、构件的刚度和抗裂性，参照《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T 21和《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233中的相关规定，对包括持久状况下的承载能力极限状态和正常使用极限状态下的承载能力进行评定。

条文说明：本条规定火灾后的混凝土桥梁结构承载能力评定，应对持久状况下的承载能力极限状态和正常使用极限状态下的承载能力进行评定。持久状况所对应的是桥梁的使用阶段。这个阶段持续的时间很长，要对结构的所有预定功能进行设计，即要进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的计算。

## 8.3 承载能力评定

**8.3.1** 火灾后混凝土桥梁的承载能力评定，可参照《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T 21和《城市桥梁检测与评定技术规程》CJJ/T 233中的相关规定进行。和钢筋力学性能指标宜根据钻取混凝土芯样、取钢筋试样检验，也可根据构件截面温度场按《火灾后建筑结构鉴定标准》CECS 252中相关规定进行判定。火灾后钢筋与混凝土弹性模量以及钢筋与混凝土粘结强度折减系数可根据构件截面温度场参照《火灾后建筑结构鉴定标准》CECS 252判定，也可根据行业公认的其他方法进行试验或判定。

条文说明：当采用抽样试验确定火灾后混凝土强度、钢筋力学性能时，宜在高温区域和常温区域分别抽取试样，便于对比。混凝土抽样数量宜符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB／T 50344的要求。

火灾后钢筋与混凝土弹性模量、钢筋与混凝土粘结强度、预应力钢筋剩余应力及剩余强度指标宜根据构件截面温度场按《火灾后工程结构鉴定标准》CECS 252附录G判定。

**8.3.2** 火灾后混凝土桥梁结构承载能力检算，可根据桥梁结构类型、火场特征和火灾影响范围，在保证桥梁结构安全的条件下，按下述原则进行合理简化分析承载能力：

 **1** 局部火灾未造成上部结构、下部结构和明显变位、损伤及裂缝时，可仅考虑局部作用的影响；

 **2** 桥梁支座没有明显异常变形、脱空、正常滑动、开裂的连续梁，可不考虑支座变位的影响。

**8.3.3** 火灾后混凝土桥梁结构承载极限状态的抗力效应，应根据考虑火灾作用对结构材料性能、结构受力性能的试验检测结果的不利影响后，可按照现行设计规范和标准的规定进行修正计算分析；对于烧灼严重、变形明显等损伤严重的桥梁结构，必要时应采用更精确的计算模型进行分析；对于重要的混凝土桥梁结构，宜通过荷载试验进行承载能力评定。

## 8.4 荷载试验

**8.4.1** 火灾后的混凝土桥梁静力荷载试验的测试内容和控制荷载，应进行鉴定性试验。试验桥跨应根据火灾影响范围、构件受损程度，选择受力不利、缺陷较多或病害较严重的桥跨，结构独立的一联应作为一座桥进行荷载试验。

条文说明：火灾后的混凝土桥梁静力荷载试验加载区域不宜过大，也不宜进行多次试验。因此受检构件或受检区域的选择非常关键，选择受力不利、缺陷较多或病害较严重的桥跨并兼顾试验的代表性和客观试验条件的可能性，并考虑试验后结构的继续使用。在此基础上作出以下建议：

对于结构形式、跨径相同的多跨桥梁，可选择具有代表性的一跨进行试验；

对结构形式不同的多跨桥梁，应按不同结构形式分别选择具有代表性的一跨进行试验；

对于结构形式相同但跨径不同的多跨桥梁，则应根据计算结果，综合分析选定其中受力最不利的一跨进行试验。

试验桥跨尚应结合桥梁实地调查和检算情况进行选择，建议考虑以下因素：

1 该跨受火灾影响最严重；

2 保证一定的抽样代表性；

3 该跨（墩）计算受力最不利；

4 结构受力不明确，或受技术条件的限制，在理论上难以进行准确计算的部位；

5 该跨（墩）具备试验实施条件，如便于搭设脚手架、设置测点或试验时便于加载；

6 该跨（墩）现场交通组织的难易情况。

**8.4.2** 动力荷载试验应根据试验目的和测试内容，选择跑车跳车、刹车或移动人群作为动力荷载，测试和分析动力荷载作用下桥梁结构的动态响应试验桥跨的选择宜符合本规范第8.4.1条的规定，同时宜选择同类型受火灾影响程度较小的跨作为对比。

条文说明：通过动力荷载所引起的桥梁结构响应的测试与分析，主要解决两个问题：一是桥梁结构的自身动力性能，可用于结构动力特性评价及桥梁抗风、抗震评估；二是汽车荷载作用下结构的动态响应规律。例如：根据跳车试验引起的竖向振动信号，可得到受车辆附加质量影响的结构固有频率；根据车辆在行驶和停驶时分别引起的结构响应的比值，确定结构的动力放大系数(冲击系数)。

本条提出同时宜选择同类型受火灾影响程度较小的跨作为对比，意在与受火灾影响最严重的跨进行对比。

**8.4.3** 静力和动力荷载试验的试验工况及测试截面、测试内容、试验荷载、试验过程控制及记录和试验数据分析，可参考《公路桥梁荷载试验规程》JTG/T J21和《城市桥梁检测与评定技术规程》CJJ/T 233中的相关规定进行。

# 9 评定报告

**9.0.1** 评定报告编制应包括下列内容：

 **1** 桥梁概况；

 **2** 火灾事故过程和影响范围；

 **3** 检测目的；

 **4** 检测依据；

 **5** 主要仪器和设备；

 **6** 检测内容和方法；

 **7** 踏勘、检查、检测、分析与评定等方面结果；

 **8** 结论与建议；

 **9** 附件。

**9.0.2** 评定报告中的建议，宜包括下列内容：

 **1** 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；

 **2** 对安全性能受影响的结构或构件实施监测的建议；

 **3** 缺损构件维修加固的意见；

 **4** 有关桥梁长期营运、养护和管理的建议。

**9.0.3** 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

## 表A.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、埔强玻璃 | 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、防热材料 | 60~100 | 软化 |
| 聚氨酯 | 防水、防热材料、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A.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A.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 |

## 表A.4 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 |

## 表A.5 火灾温度作用下混凝土构件烧损层厚度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 火灾温度（℃） | 烧损深度（mm） | 模拟实验喷水冷却后烧损层厚度（mm） |
| 556 | 1.3～1.4 | 1.3～1.4 |
| 719 | 2.5～3.5 | 2.5～3.5 |
| 761 | 4.3～5.5 | 4.5～6.5 |
| 795 | 5.1～6.0 | 6.5～8.0 |
| 822 | 6.0～9.0 | 7.0～10.0 |
| 857 | 7.0～9.0 | 10.0～14.0 |
| 882 | 7.0～10.0 | 11.0～15.0 |
| 898 | 10.0～11.0 | 12.0～16.0 |
| 925 | 11.0～16.0 | 13.0～18.0 |
| 986 | 20.0～26.0 | 23.0～28.0 |
| 1030 | 26.0～30.0 | 28.0～33.0 |

## 表A.6 锤击混凝土强度

|  |  |
| --- | --- |
| 混凝土抗压强度(MPa) | 检查方法 |
| 锤 | 凿 |
| <7 | 混凝土声音发闷，留下印痕，印痕边缘没有脱落 | 比较容易打入混凝土内，深达10mm-15mm |
| 7-10 | 混凝土声音稍闷，混凝土粉碎和坍落留印痕 | 陷入混凝土5mm左右 |
| 10-20 | 在混凝土表面留下明显印痕，在混凝土周围打掉薄薄的碎片 | 从混凝土表面凿下薄薄的碎片 |

## 表A.7 火灾后混凝土桥梁构件损伤情况调查表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 指标 | 详细描述 |
| 1 | 混凝土剥落情况 (位置、面积、深度) |  |
| 2 | 混凝土颜色变化 |  |
| 3 | 裂缝分布情况 (长度、宽度、走向) |  |
| 4 | 锤击反应特征 |  |
| 5 | 残留物的情况 |  |
| 6 | 普遍钢筋外露情况 |  |
| 7 | 预应力波纹管及钢筋外露情况 |  |
| 损 伤 区 域 展 开 图 | 构件编号 |  | 损伤位置 |  |
| 以展开图的形式表示构件损伤，并配以文字描述和现场摄影记录照片 |
| 评定等级 |  |

记录： 复核： 审核：

# 本规程用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

# 引用标准名录

《公路桥涵养护规范》JTG 5120

《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21

《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99

《Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures -Part 1-1: General rules and rules for buildings》ENV 1994-1-1

《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233

《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T 21

《公路桥梁荷载试验规程》JTG/T J21

《火灾后工程结构鉴定标准》T/CECS 252

《混凝土梁桥火灾损伤评估技术规程》DB42/T 1743

《公路混凝土桥梁火灾后安全性能评定技术规程》DB44/T 2331

《火灾后混凝土结构鉴定标准》DBJ/T 13-352

《火灾后混凝土构件评定标准》DBJ 08-219