

ICS × × × × × ×

× × ×^a

备案号: × × × × - × × × ×

DB × ×

广东省地方标准

DB × × / × × × × - × × × ×

公路混凝土桥梁

火灾后安全性能评定技术规程

Technical Specification for Safety Performance Evaluation of
Highway Concrete Bridges after Fire
(送审稿)

× × × - × × × × 发布

× × × × 实施

地方标准发布部门 发布

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 基本规定.....	3
4.1 一般规定.....	3
4.2 检测工作的程序和内容.....	3
4.3 检测评定报告和档案资料.....	5
5 火场踏勘.....	6
5.1 一般规定.....	6
5.2 桥梁火灾资料收集.....	7
5.3 火灾作用过程调查.....	8
5.4 桥梁结构现状调查.....	9
5.5 检测评定方案编制.....	10
6 桥梁外观检查.....	10
6.1 一般规定.....	10
6.2 混凝土缺损状况检查.....	12
6.3 钢筋损伤状况的检查.....	12
6.4 缆索构件损伤状况检查.....	13
6.5 构件位移和变形检查.....	14
7 桥梁技术状况评定.....	15
7.1 一般规定.....	15
7.2 桥梁技术状况初步评定.....	16
7.3 桥梁技术状况详细评定.....	17
8 构件损伤检测分析.....	19
8.1 一般规定.....	19
8.2 温度场检测分析.....	20
8.3 构件损伤量化.....	23
9 桥梁安全性能评定.....	26
9.1 一般规定.....	26
9.2 承载能力检算.....	27

9.3 荷载试验.....	29
附录 A (资料性附录) 火场踏勘记录表	31
附录 B (规范性附录) 可燃物燃烧总热量计算	32
附录 C (规范性附录) 常见材料变态温度、燃点	33
附录 D (资料性附录) 构件外观检查情况调查表	35
附录 E (规范性附录) 混凝土外观状况与温度的关系	36
附录 F (规范性附录) 混凝土二次烧失量检测构件温度分布	37
附录 G (规范性附录) 芯样横向逐层劈裂试验	39
附录 H (规范性附录) 标准升温下各类构件温度场实用曲线	41
附录 I (规范性附录) 混凝土热工参数取值	59
附录 J (规范性附录) 高温冷却后材料性能与历经温度对应关系	60
附录 K (规范性附录) 构件截面缩减及承载能力计算方法	61
附录 L (规范性附录) 芯样分组抗压试验	63

前 言

本标准按照 GB/T1.1-2020 给出的规则起草。

本标准由广东省交通运输（公路水路）标准化技术委员会归口管理

本标准主要起草单位：

本标准参加起草单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

引 言

广东省是我国经济发展第一大省，高速公路路网密集，公路交通运输繁忙，危险品运输车辆因交通意外导致的混凝土桥梁火灾事故相对频繁。火灾除了造成人员伤亡、车辆损坏外，还导致混凝土桥梁构件损毁、公路交通中断，经济损失和社会负面影响均较大。近年来广东省内典型的桥梁火灾事故包括：广深沿江高速 6.29 特大型桥梁火灾事故，茂湛高速 9.19 主线桥火灾事故、深汕高速 3.12 主线通道桥火灾事故等。面对日益频发的混凝土桥梁火灾事故，为降低事故造成的经济损失和社会负面影响，我省亟需出台火灾后混凝土桥梁损伤检测评定方面技术规程，以确保灾后桥梁检测评定工作能够做到规范、准确和高效。

根据广东省市场监督管理局关于批准下达省地方标准制修订计划项目的通告（2019 第 7 号）要求，由广东华路交通科技有限公司主持《公路混凝土桥梁火灾后安全性能评定方法》的制定工作。该地方标准在 2020 年 6 月大纲评审会上更名为《公路混凝土桥梁火灾后安全性能评定技术规程》。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结现有科研成果和实践经验，并参考国内外相关标准，在广泛征求意见、技术论证和大量试点应用的基础上制定了本规程。

本规程明确了火灾后混凝土桥梁检测工作流程，方法和评定标准。内容包括：1 范围；2 规范性引用文件；3 术语和符号；4 基本规定；5 火场踏勘；6 桥梁外观检查；7 桥梁技术状况评定；8 构件损伤检测分析；9 桥梁安全性评定；附录等。

请各单位在执行标准过程中将发现的问题和意见及时函告广东华路交通科技有限公司（地址：广州市白云区钟落潭镇广从八路 1180 号，邮编：510550，邮箱：25677369@qq.com），以便再次修订时研用。

公路混凝土桥梁火灾后安全性能评定技术规程

1 范围

本规程规定火灾后混凝土桥梁检测评定涉及的桥梁火场踏勘、外观检查、技术状况评定、构件损伤检测分析以及安全性能评定等方面工作的程序、内容和方法。本标准适用于火灾后混凝土桥梁技术状况检测与安全性能评定，其他混凝土结构火灾后损伤检测亦可参照使用。

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。

GB50153	工程结构可靠性统一标准
GB/T2611	试验机通用技术要求
GB/T3722	液压式压力试验机
JGJ 384	钻芯法检测混凝土强度技术规程
JTG 2120	公路工程结构可靠性设计统一标准
JTG H11	公路桥涵养护规范
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 E30	公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
DBJ/T15-81	建筑混凝土结构耐火设计技术规程
T/CECS 252	火灾后工程结构鉴定标准

3 术语和定义

T/CECS252 和 DBJ/T 15-81 界定的以及下列术语和定义适用本文件。

3.1

公路混凝土桥梁 highway concrete bridge

为跨越天然或人工障碍物，满足公路行人和车辆需要，而采用混凝土材料建设形成的构筑物。

3.2

桥梁安全性能评定 bridge safety performance evaluation

通过现场调查、检测和分析对桥梁结构体系和构件布置、连接和构造、承载能力等方面的评定。

3.3

火场残留物 debris in scene of fire

火灾后现场残存的物品。

[T/CECS252 定义 2.1.2]

3.4

构件温度场 temperature field in structural member

混凝土构件受热作用，构件表面及内部温度分布。

[DBJ/T 15-81-2011 定义 2.1.4]

3.5

桥梁构件技术状况评定 technical status of bridge components

桥梁各构件物理特性、完好程度、以及满足设计使用功能等方面的描述与技术等级评定。

3.6

桥梁总体技术状况评定 general technical condition of bridge

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。

3.7

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

国际标准《Fire-resistance test -Elements of building construction—Part1: General requirements》ISO834-1 给出的，用于标准耐火试验的炉内平均温度—时间的关系曲线。

3.8

标准当量升温时间 normal equivalent temperature rise time

采用国际标准《Fire-resistance test -Elements of building construction—Part1: General requirements》ISO834-1 的标准升温曲线进行标准火灾试验达到相同温度所对应的升温时间。

[T/CECS252 定义 2.1.8]

3.9

名义劈裂强度 split strength

混凝土芯样横向劈裂破坏荷载与劈裂面积的比值。

3.10

混凝土二次烧失量 second concrete ignition loss

混凝土经受火灾作用后，受火混凝土样品烘干后，将其灼烧至成分完全分解的二次失重比率。

3.11

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

桥梁结构或构件损伤发生到结束对应的火灾持续时间，主要指桥梁火灾发展阶段持续时间。

3.12

桥梁构件最高温度场 the highest temperature field of concrete component

火灾过程中，混凝土桥梁表面及内部最高温度分布。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 桥梁火灾事故发生后应在第一时间组建应急处置工作小组，检测单位在接到任务后应及时赶赴现场开展检测评定工作。

条文说明：桥梁火灾具有突发性，火灾后混凝土桥梁检测工作属于应急检测范畴，应予以及时开展，以降低经济损失和社会负面影响。

4.1.2 到达火灾现场，开展具体踏勘工作之前，检测人员应收集与桥梁火灾相关资料，掌握火场基本情况，并对桥梁安全通行能力做出初步判断。对存在垮塌危险的结构和构件，应采取交通管制、设置警戒、及时拆除、支承加固等防护措施，在确保现场安全的前提下，及时开展检测评定工作。

条文说明：为了避免火灾后混凝土桥梁延迟倒塌，造成次生灾害，在确保现场安全的前提下，混凝土桥梁火灾后检测评定应予以及时开展。

4.1.3 火灾后混凝土桥梁检测与安全性能评定除了满足 4.1.1 和 4.1.2 规定外，还应符合国家应急管理 and 安全生产的规定。

条文说明：火灾后混凝土桥梁的检测技术难度大、安全风险系数高，检测安全管理制度的建立和执行，对于做好灾后的检测评定工作至关重要。

4.1.4 火灾后混凝土桥梁检测用到的仪器设备应满足测量精度、分辨力、量程及环境适应性的要求，且应在设备的检定和校准有效期内。

条文说明：混凝土桥梁形式多样、火场环境条件复杂，灾后结构检测指标并不完全相同。合理选择检测仪器和设备，并保证设备在检定校准的有效期内，对于保证测试结果准确性尤为重要。

4.2 检测工作的程序和内容

4.2.1 混凝土桥梁火灾后，宜根据火场实际情况，拟定灾后桥梁检测初步方案，并按照桥梁火场踏勘、技术状况初步评定、外观检查、技术状况详细评定、构件损伤检测分析和安全性能评定等工作程序循序渐进、逐层深入的原则开展检测评定工作（图 1）。

条文说明：火灾后混凝土桥梁检测评定工作程序根据应急检测管理要求，考虑实际桥梁火灾场景的多样性（如：T 梁火灾、空心板火灾、箱梁火灾、桥面火灾和桥下火灾等），将灾后结构 and 构件损伤程度和技术等级作为灾后桥梁检测工作程序的选用依据，按照循序渐进、逐层深入分析的思路制定。

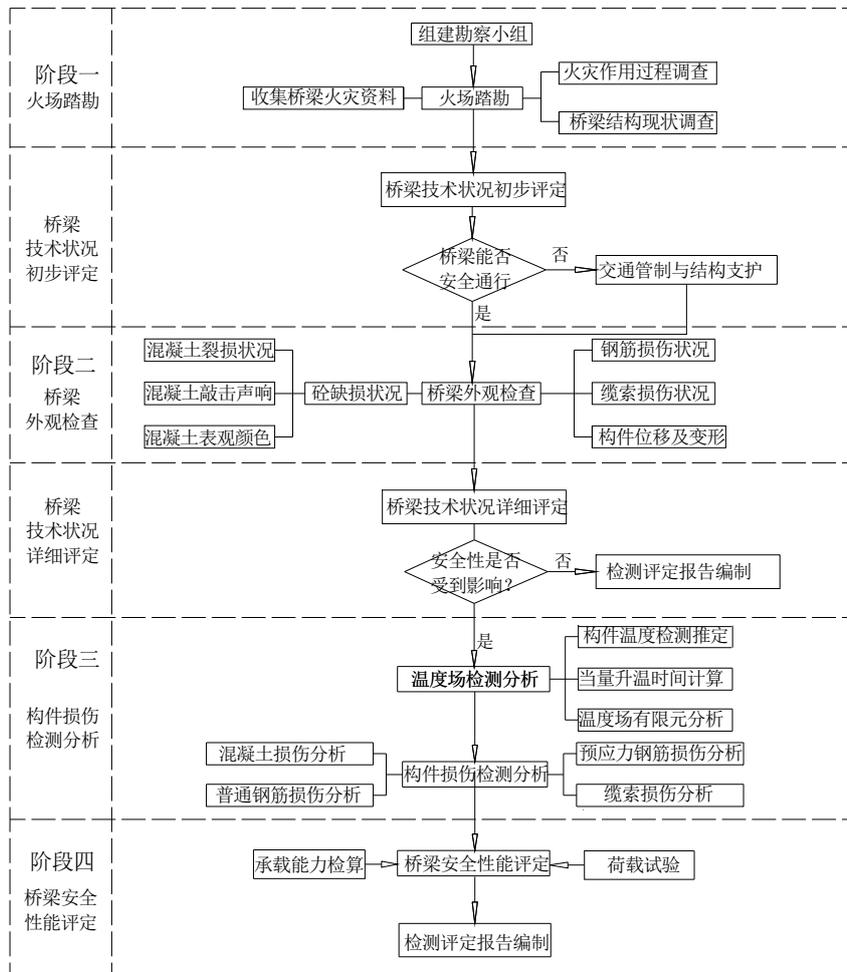


图 1 火灾后混凝土桥梁检测评定程序

4.2.2 火场踏勘内容应包括：桥梁火灾资料收集、火灾作用过程调查和结构物现状调查等。火场踏勘完成后，应根据踏勘结果初步评定桥梁技术等级，给出桥梁交通管制和结构支护的建议，并制定下一步检测方案，指导后续检测评定工作。

条文说明：检测人员通过火场踏勘可以快速了解和掌握桥梁总体损伤情况。本条规定火场踏勘工作内容、要求和分析判断标准，且要求火场踏勘完成后应对桥梁运营管理关切的交通管制和结构安全支护措施给予回应。

4.2.3 桥梁外观检查内容应包括：混凝土缺损状况、钢筋损伤状况、缆索损伤状况和构件位移变形等。外观检查完成后，应根据检查结果判断桥梁安全性能是否受到影响，并进行桥梁技术状况详细评定。若桥梁的技术等级为三类及以上的，应做进一步损伤检测分析。

条文说明：本条规定外观检查的内容、要求和评定标准，并明确桥梁结构和构件安全性受到影响的，应做进一步的损伤检测分析。

4.2.4 构件损伤检测分析应以温度场检测分析结果为基础开展，并结合混凝土和钢筋损伤检查结果，对混凝土构件截面、普通钢筋、预应力钢筋和缆索材料性能等损伤进行分析和量化。

条文说明：本条规定火灾后混凝土桥梁构件损伤分析的工作内容。火灾后混凝土构件损伤与历经温度状况密切相关，并表现为混凝土、钢筋、缆索力学性能的劣化。因此，灾后构件的损伤分析应以构件温度场检测分析为基础开展。

4.2.5 桥梁安全性能评定应以火场踏勘、外观检查和构件损伤检测分析结果为基础开展，并应综合考虑桥梁承载能力检算或荷载试验结果。

条文说明：由于火灾对混凝土桥梁的损伤机理复杂，高温不仅造成构件材质局部出现缺损和材质性能劣化、在结构内部产生一定温度应力，而且可能造成结构构件出现一定局部变形。因此，构件损伤检测后仍难以评定桥梁安全性时，应进行桥梁承载能力检算或荷载试验，再根据检测结果予以综合评定。

4.3 检测评定报告和档案资料

4.3.1 检测评定报告编制应包括下列内容：

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

条文说明：火灾后混凝土桥梁安全性能评定报告是火灾后混凝土桥梁检测评定工作的技术总结，应对整个检测工作涉及的踏勘、检查、检测、分析和评定等内容进行汇总，且应该有所归纳和总结。检测评定报告应力求做到内容完整、用词规范、结论准确，并具有较强的可读性。本条原则性规定了检测评定报告应包括的基本内容，为工程技术人员编写技术报告提供参考。

4.3.2 检测评定报告中的建议，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。

条文说明：火灾通常给混凝土桥梁构件带来一定程度的损伤，灾后应根据构件损伤程度不同，应予以区别对待，并宜对桥梁长期营运、养护和管理有所建议。

4.3.3 原始记录应在现场检测过程中完成，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、报告和相关资料一起存入桥梁技术档案。归档文件应符合国家和地方相关部门的规定。

条文说明：原始记录是重要的检测技术资料，其应与检测方案、报告和相关资料一起归入桥梁技术档案，并按国家相关主管部门的规定保存。

5 火场踏勘

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁火灾后踏勘的对象应为整座桥梁，或者是结构受力相对独立的部分；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，调查和检测对象也可仅考虑火灾影响区域内的结构或构件。

条文说明：火灾对桥梁造成的损坏，包括直接灼烧损坏和温度应力作用损坏两个方面。其中直接灼烧损坏一般局限于火场和高温烟气弥漫区域的结构，但温度应力作用除了直接灼烧部位外，有可能影响到整个桥梁结构，或者是结构系统相对独立的部分。

5.1.2 火场踏勘应采用走访、收集和现场调查等方式开展，内容应包括：桥梁火灾资料收集、火灾作用过程调查和结构物现状调查等，并应根据踏勘结果划定受火灾影响的构件和区域。

条文说明：本条文详细规定火场踏勘的方式和内容。收集桥梁火灾资料是进行火场踏勘的基础、火灾作用过程调查是开展灾后结构损伤检查分析的前提，桥梁结构和构件损伤状况的初步调查是本阶段工作的核心。

另外，鉴于火灾后混凝土桥梁结构检查工作属于应急检测工作范畴，检测技术人员在到达火灾现场后，应以尽可能快的方式快速的掌握火场的基本情况，快速地确定受火灾影响的构件和区域，以作为后续检测工作基础。

5.1.3 桥梁结构或构件现状调查方式应以目视结合摄影记录为主，且宜辅以简易量测工具。开展桥梁结构或构件现状调查，应重点分析火场温度发展过程，并注重灭火方式对构件的影响。

条文说明：火灾后混凝土桥梁结构或构件现状初步调查是火场踏勘工作的核心，通过对过火结构或构件的损伤调查和历经温度过程的分析，初步掌握桥梁构件的技术状况，并据此对灾后桥梁交通管制措施和临时支护是否需做进一步调整给出建议。

5.1.4 在火场踏勘过程中，应对踏勘发现的内容及时做好摄影和记录，记录内容可参照附录 A。

条文说明：本条规定了火场踏勘应调查和记录内容，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。

5.1.5 现场踏勘完成后，应绘制火场燃烧点分布图，并分析火灾发生、发展和熄灭的过程，初步评定桥梁构件技术状况，给出灾后桥梁交通管制和结构临时支护建议，制定检测技术方案，以指导后续检测工作。

条文说明：公路混凝土桥梁火灾起火燃烧、发展和熄灭是一个动态的过程，一场火灾中可能存在多个燃烧点。为此，本条文规定绘制燃烧点火场分布图形式予以呈现，以反映火灾发生、发展和熄灭过程。

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、建设和营运管理方面的技术资料。

条文说明：火灾灾情资料是反映桥梁火灾发生、发展和熄灭过程的重要参考资料，对于后续火场调查、过火影响区域和构件确定、火场温度过程分析都具有一定的指导意义。桥梁设计、施工和营运管理历史技术资料，是灾后结构和构件的现状调查、外观检查、损伤检测分析、安全性能评定等方面的基础性资料。

5.2.2 桥梁火灾灾情资料应包括如下内容：

- 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（桥上交通情况、桥下通风情况和周边可燃物分布等）。
- 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、灭火过程等）。
- d) 现场目击者和相关单位关于火灾过程和影响范围的叙述、记录和报告等。

条文说明：反映桥梁火灾灾情相关资料通常包括了桥梁火灾发生时间和持续时间、火灾发生周边环境情况，以及火灾发生和发展全过程等方面的重要信息，检测人员可通过现场目击者走访、灾情报告收集和整理获得。

5.2.3 桥梁设计、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、监控和竣工等反映桥梁建造历史的资料。
- b) 桥梁营运、检测、养护、维修和加固等反映桥梁营运管理历史的资料。

条文说明：桥梁技术资料是反映桥梁建造和营运管理历史的第一手资料，是火灾后桥梁检测和分析评定基础性资料。检测人员可通过询问桥梁营运管理人员或查阅桥梁技术档案资料收集。

5.3 火灾作用过程调查

5.3.1 火灾作用过程调查应包括：燃烧物情况、火灾燃烧过程和火场残留物等方面的调查。

条文说明：火灾作用过程的调查是分析火场对桥梁结构温度作用过程的基础，调查的重点包括燃烧物情况、燃烧过程和残留物状况等。

5.3.2 燃烧物情况调查应包括：燃烧物种类、数量、位置和热量估算（方法见附录 B）、附近通风状况和环境条件等。

条文说明：火场温度作用过程与燃烧物种类、数量、位置和热量，通风状况和环境条件等因素密切相关。燃烧物是火场热量的来源，通风状况影响着燃烧中的氧气输送，环境条件中往往隐含着火灾的引火源。

5.3.3 火灾燃烧过程调查应包括：开始燃烧的部位、燃烧的顺序、各燃烧点燃烧的情况（猛火、烈火、中火或闷烧）、燃烧持续的时间、灭火基本过程等。

条文说明：火场燃烧发展过程及分布，是指从火灾引燃、蔓延、熄灭过程所发生的温度升降变化过程及构件表面受热温度的宏观分布。调查火场温度过程，是进一步分析构件内部温度场和结构温度应力的基础，也是火灾后混凝土桥梁损伤程度判定依据之一。调查内容除了开始燃烧的部位、燃烧的顺序、各燃烧点燃烧的情况（猛火、烈火、中火或闷烧）、燃烧持续的时间等基本内容外，还应重点对灭火基本过程进行调查，不同灭火方式（如：自然熄灭和喷水熄灭），材料性能受影响的程度往往并不完全相同。

5.3.4 火场残留物状况调查应包括残留物熔化、变形、燃烧、烧损程度等，可按照附录 C 推断混凝土构件表面曾达到温度及作用范围。

条文说明：火场中残留物品的所呈现的熔化、变形、燃烧、烧损程度等是分析其所在位置位置桥梁构件经历最高温度的重要参考。实际操作中应注意区分火场残留物发现的位置是否受火作用的位置。

5.4 桥梁结构现状调查

5.4.1 火灾后桥梁结构的现状调查应包括桥梁交通情况、结构或构件总体和局部缺损状况等方面的调查。

条文说明：火场踏勘中对桥梁混凝土构件的现状调查应以尽可能快方式掌握火灾对构件损伤影响。调查的重点应包括结构损伤总体和局部缺损状况两个方面。

5.4.2 火灾后桥梁交通情况的调查应包括火灾前后交通流量情况调查，内容应包括通行车辆数量、类型和载重等方面的变化情况。

条文说明：了解和掌握火灾前后桥梁交通流量的变化情况，对于指导灾后桥梁结构支护和交通管制方面有重要参考价值。

5.4.3 桥梁结构或构件总体损伤状况调查应包括：桥梁受火概貌和总体变形情况的摄影记录。

条文说明：桥梁结构或构件受火概貌包括：桥梁结构总体和构件缺损概貌两个方面。桥梁总体变形情况包括整个结构总体变形和构件总体变形两个方面。

5.4.4 桥梁构件局部缺损状况调查应包括：混凝土局部剥落、颜色区域分布、钢筋外露情况和构件连接节点局部裂损状况的摄影记录。

条文说明：火灾对混凝土桥梁构件的影响，表观上主要体现为混凝土颜色的发生改变、开裂、局部剥落、钢筋外露等，火场踏勘中，应采用摄影记录方式反映构件这些局部特性的明显变化。

5.5 检测评定方案编制

5.5.1 火场踏勘后，应根据初步掌握的桥梁结构和构件总体损伤和技术状况，结合桥梁火场的实际，制定灾后桥梁检测评定方案，并宜在后续的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。

5.5.2 混凝土桥梁火灾后检测工作技术方案编制应包括内容如下：

- a) 桥梁概况。包括：桥梁名称、地点、建设年代、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) 拟投入的试验检测设备、人员和工期计划。
- g) 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。

6 桥梁外观检查

6.1 一般规定

6.1.1 火灾后混凝土桥梁外观检查时，应对构件混凝土裂损、颜色分布、敲击声响、附着物状况、钢筋外露、构件位移和变形等作详细的检查，并应注重火灾影响构件及连接点裂损情况的检查。

条文说明：本条规定了混凝土桥梁火灾后外观检查中应包括的基本内容，同时还强调除了受火损伤区域详细检查外，还应注重影响区构件及连接点裂损情况的检查。

6.1.2 桥梁外观检查完成后，应按照第7章的评定标准对构件和桥梁总体技术状况进行详细评定。技术等级为一、二类桥（对应损伤程度为轻微、轻度）桥梁，可不必做进一步的损伤检测分析，可根据现有踏勘和外观检查结果，撰写检测评定分析技术报告。技术等级为三类及以上（对应损伤程度为中度及以上）的桥梁和构件，应对构件做进一步损伤检测分析后，再进行桥梁总体技术状况综合分析和评定。

条文说明：实际桥梁火场情况复杂多变，不同火场环境下，混凝土桥梁构件损伤情况并不完全相同。损伤程度不同的混凝土桥梁，其检测工作的内容和方法并不完全相同。通过桥梁火场踏勘和外观检查，检测人员已相对全面地掌握了桥梁火灾和构件的损伤情况，可据此分析判断桥梁总体技术等级，确定下一步检测工作内容和报告的编写，对于避免灾后桥梁过度检测具有重要的现实意义。另外，大量工程实践表明桥梁技术等级为轻微或轻度，而不影响结构安全的构件，可不必做进一步深入的检测，直接进行全桥技术状况的评定。而对技术等级为中度以上的构件，则有必要在确保结构安全的情况下，做进一步深入检测后，再进行桥梁技术等级评定。

6.1.3 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D。

条文说明：本条文规定了火场踏勘应调查和记录基本内容，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。

6.1.4 混凝土桥梁构件外观检查后，应结合混凝土表观颜色、裂损情况、锤击声响、构件表面附着物、钢筋外露形态以及构件变形等调查结果，初步分析构件表面经历的温度状况（见附录E），判断普通钢筋和预应力钢筋工作性能的影响程度。

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。

6.2 混凝土缺损状况检查

6.2.1 混凝土缺损状况检查应包括混凝土裂损状况、表观颜色和敲击声响等三个方面，并应注重缺损区域附着物状况的检查和记录。

条文说明：火灾高温作用导致混凝土构件几何尺寸和材质性能发生改变，灾后表观上体现在构件混凝土大面积剥落、混凝土颜色和构件敲击声响出现变化等，相应缺损区域附着物形态也会发生一定改变。历经不同温度作用混凝土构件缺损程度和相应区域附着物的形态并不完全相同。灾后混凝土构件缺损程度和附着物形态一方面反映火灾对桥梁构件的损伤程度；另一方面，也反映构件历经的温度状况。

6.2.2 构件各损伤区域混凝土裂损状况检查应包括各区域混凝土剥落和开裂情况两个方面。裂损检查时，宜采用目视配合人工现场量测和摄影记录的方式开展，并应详细记录混凝土剥落位置、面积、深度，裂缝长度、宽度、走向，且宜绘制成构件裂损状况展开图。

条文说明：火灾后混凝土桥梁构件的裂损包括混凝土剥落和开裂两个方面。本条文对混凝土剥落和开裂情况检查记录内容作了详细的规定。

6.2.3 混凝土裂损状况目视检查的同时，应采用摄影记录的方式反映火灾后混凝土颜色的变化，且应采用小锤敲击不同颜色区域的混凝土，记录其声响，宜将混凝土颜色和声响调查结果一同绘制在构件裂损状况展开图中。

条文说明：受火后混凝土构件表面的颜色和敲击声响通常会随着所受温度的不同而产生不同的变化，在详细检查构件混凝土裂损情况的同时，详细调查各区域混凝土颜色和声响的变化，可以有效分析混凝土构件历经的温度状况，可与混凝土构件裂损状况的检查结果一同作为灾后构件损伤程度评定分析的依据。

6.3 钢筋损伤状况的检查

6.3.1 钢筋损伤状况的检查应包括钢筋外露、变形状况和钢筋粘结性能分析等。

条文说明：常温下桥梁混凝土构件中的钢筋与混凝土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，进行构件钢筋损伤状况

检查，除了详细记录钢筋外露数量、长度和变形情况外，还应注重对钢筋与混凝土粘结性能的分析。

6.3.2 钢筋外露状况检查时，应区分记录构造钢筋、受力钢筋以及预应力波纹管及钢筋的外露长度，数量和变形情况。

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。

6.3.3 钢筋与混凝土粘结性能的分析应根据混凝土裂损、表观颜色变化、敲击声响以及钢筋外露情况等方面的检查结果，判断其粘结性能是否受到影响。

条文说明：已有研究表明钢筋与混凝土的粘结性能随着钢筋历经过度的升高而逐渐降低。构件内部钢筋历经温度情况与构件表面混凝土历经的温度情况密切相关。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 E，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。

6.4 缆索构件损伤状况检查

6.4.1 缆索构件损伤状况检查应包括拉（吊）索构件 PE 保护层、缆索钢丝防腐涂层、钢丝变形和断裂等方面检查。

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。高温不仅造成拉（吊）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。

6.4.2 拉（吊）索构件 PE 保护层火灾损伤检查宜采用小锤探查其烧损形态，并应重点记录 PE 层的范围和深度。

条文说明：拉（吊）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拉（吊）索历经温度和评估构件损伤方面具有一定参考意义。

6.4.3 缆索钢丝防腐涂层检查重点观察并记录防腐涂层是否存在烧损破坏、融化成滴、软化变形等，并宜结合防腐涂层损伤情况全面分析拉索历经的温度状况。

条文说明：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。

6.4.4 缆索钢丝变形和断裂情况的检查，应详细记录缆索断丝的数量和变形状况，且宜对缆索钢丝变形后的直径进行量测，进而评价火灾对缆索构件的损伤程度。

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。

6.5 构件位移和变形检查

6.5.1 受火混凝土构件位移、挠曲和变形检查时，应注重构件间连接点变形和开裂情况的检查。

条文说明：混凝土构件受火时常常会发生位移、挠曲和变形，通常情况下，构件内部钢筋的温度低于其软化点时其挠曲变形通常不大；当内部钢筋的温度超过其软化点时，混凝土构件会产生一定的挠度和变形，并导致相应构件连接点变形和开裂。因此，进行受火混凝土构件挠曲变形检查时，应注重构件间连接点的变形和开裂情况的检查。

6.5.2 混凝土构件位移、挠曲和变形检查宜采用目视配合摄影记录方式进行，当目视难以判断构件是否发生位移、挠曲和变形时，可采用钢直尺、水准仪或全站仪进行核验，且宜将量测结果与原构件设计轴线对比，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。

7 桥梁技术状况评定

7.1 一般规定

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。初步评定对象应为受火灾影响且受力相对独立的桥跨（联），详细评定对象应为受火灾影响且受力相对独立构件和桥跨（联）。

条文说明：火灾后混凝土桥梁技术状况的评定遵循逐层分析、循序渐进原则分为初步评定和详细评定两个层次。火场踏勘中，桥梁调查以目视和摄影记录为主，未进行构件接触式检查，所得到结果相对粗糙，只能对桥跨总体技术等级进行定性评定。而通过构件接触式外观检查，较详细掌握了混凝土构件细部损伤，可进行构件技术状况详细评定。公路混凝土桥梁通常有多跨（联）结构组成，火灾对桥梁的影响某一跨（联），为使得混凝土桥梁火灾后损伤检测评定更有针对性，本条文规定评定的对象为受火灾影响且受力相对独立的桥跨（联），对其他未受火影响桥跨（联）可参照现行《公路桥涵养护规范》（JTG H11）进行检测评定。

7.1.2 桥梁技术状况初步评定应于火场踏勘完成后进行，且应根据踏勘结果给出灾后桥梁临时交通管制和结构临时支护的建议。

条文说明：桥梁一旦因火灾导致交通中断，其经济损失和社会负面影响均较大。火场踏勘后应及时进行桥梁技术状况评定，给出桥梁临时性营运管理建议（包括交通管制和结构临时支护），可以有效降低火灾给桥梁的带来经济损失和社会负面影响。

7.1.3 外观检查后，应及时对桥梁整体和构件进行技术状况详细评定，对于技术状况难以评定，或技术等级评为三类及以上的桥梁（对应损伤程度为中度及以上），应根据火场踏勘和外观检查结果做进一步损伤检测分析，并应进行桥梁承载能力检算或荷载试验，进而评定桥梁安全性能。

条文说明：外观检查中，检测人员对火场各构件接触式的检查，详细掌握了构件混凝土缺损、钢筋外露和挠曲变形等损伤情况，这些信息包含了混凝土桥梁各构件细部损伤，可据此对桥梁的技术状况进行详细评定。另外，火灾高温除了导致构件表观缺损外，还导致混凝土材料性能逐渐劣化，对于对技术状况难以评定，或技术等级评为三类及三类以上桥梁（安全性能受到明显影响），应对其做进一步的损伤检测分析后，再综合桥梁检测结果进行结构安全性评定。

7.1.4 火灾后独立受力的桥跨（联）存在如下情况之一时，该桥可直接评为五类桥（严重）。

（1）混凝土承重构件存在断裂、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。

(2) 混凝土承重构件有异常永久变形和位移，且量值大于规范限值；如：梁拱圈严重变形、梁体挠度过大，梁体异常位移、落梁，墩台倾斜等。

(3) 桥面板出现严重塌陷。如：混凝土板桥、装配式梁体结构湿接缝、拱桥混凝土桥面烧损剥落严重导致的局部塌陷等。

(4) 受力缆索构件出现断裂。如：混凝土拱桥吊杆、混凝土斜拉桥吊索、混凝土悬索桥吊索等局部断裂。

条文说明：不同火灾场景下，混凝土桥梁构件的损伤程度往往并不完全相同，当独立受力桥跨（联）起着关键作用的构件和某些关键部位出现严重损伤时，足以危及桥跨安全。为此，参照《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的规定，结合混凝土桥梁火灾损伤实际，对技术等级为五类桥（严重）的单项控制指标予以单列，突出其重要程度。

7.2 桥梁技术状况初步评定

7.2.1 桥梁技术状况初步评定时，应根据桥梁设计、建设、营运管理历史，火灾对桥梁作用过程，灾后结构现状等方面调查结果，判定灾后的桥梁技术等级，并给出应对的管理措施。

条文说明：火场踏勘中检测人员对桥梁构件调查以目视和摄影记录为主，并未对所有构件都做接触式的检查，调查结果虽不十分全面和细致，但通过桥梁建设营运管理历史、火灾对桥梁作用过程、灾后结构现状等方面的调查，检测人员初步掌握了灾后桥梁结构的总体损伤，可据此判断桥梁结构的安全是否受到影响，并初步评定桥梁技术等级，为灾后桥梁管理决策提供建议。

7.2.2 火灾后桥梁技术状况初步评定，桥梁总体技术状况划分标准及管理措施应参照表 1 的规定。

表 1 火灾后桥梁总体技术状况初步评定标准表

技术等级	结构损伤总体描述	管理措施
一类桥 (轻微) 二类桥 (轻度)	1. 重要构件功能良好，材料有局部轻度烧损或遭受烧灼作用； 2. 次要构件有较多中等烧损或遭受烧灼作用； 3. 桥面基本满足行车条件要求； 4. 结构工作性能虽受到一定影响，基本符合国家现行标准安全性要求，结构安全。	宜采取适当措施。
三类桥 (中度)	1. 重要构件材料有较多烧损，或出现轻度功能性病害，尚能维持正常使用功能； 2. 次要构件大量损伤，功能降低，进一步恶化将不利于重要部件和影响正常交通； 3. 桥面不满足正常行车要求。 4. 结构工作性能受到影响明显，正常使用期内不符合国家现行标准安全性要求，影响结构安全和正常使用。	应酌情交通管制，并采取维修措施。
四类桥 (较严重) 五类桥 (严重)	1. 重要构件材料有大量严重烧损破坏，出现明显变形或开裂，或对结构安全和正常使用产生不利影响； 2. 次要构件大量的严重烧损破坏，失去应有功能，严重影响正常交通通行； 3. 结构功能局部或整体丧失，不符合国家现行安全性标准要求，严重影响结构安全。	应及时交通管制，立即加固或拆除。

条文说明：火场踏勘后，进行桥梁技术状况初步评定时，检测人员初步掌握了灾后桥梁整体工作性能情况，可以据此初步判断结构是否安全，并给出灾后桥梁管理应对措施。因此，灾后，桥梁技术状况将其技术等级初步分为轻度（包括：轻微、轻度）、中度、严重（包括：严重、较严重）等三个技术等级。

7.3 桥梁技术状况详细评定

7.3.1 桥梁技术状况详细评定应综合考虑火场踏勘调查和构件外观检查结果，并按照桥梁构件和结构两个层次进行评定。

条文说明：桥梁是一种由多个构件组成的工程结构，构件局部损伤破坏可能导致桥梁出现局部塌陷，也可能导致整个结构垮塌破坏。火场踏勘调查和构件外观检查后，检测人员较全面掌握了各构件混凝土缺损、钢筋外露和挠曲变形等损伤状况，对灾后桥梁总体损伤认识更加深刻。因此，火灾后混凝土桥梁技术状况评定不仅应针对桥梁结构，而且应细化到桥梁构件。

7.3.2 火灾后混凝土构件应根据各构件受火灼烧作用和损伤程度进行按照一类构件、二类构件、三类构件、四类构件和五类构件等五个等级进行评定，火灾后桥梁上部混凝土构件、下部混凝土构件、桥面系、缆索构件、支座，附属及其他等五大部分功能构件损伤评定标准规定见表2。

表2 火灾后桥梁构件技术状况评定标准表

技术等级	一类构件 (轻度)	二类构件 (轻度)	三类构件 (中度)	四类构件 (较严重)	五类构件 (严重)
总体损伤描述	轻微或未直接遭受烧灼作用，结构材料及结果性能未受或仅受轻微影响。	轻度烧灼，对结构材料及结构性能产生一定影响，尚不影响结构安全。	中度烧灼，显著影响结构材料或结构性能，明显变形或开裂，对结构安全或正常使用产生不利影响。	构件受火损伤程度较严重。不符合国家现行标准要求，影响安全。	构件受火损伤程度严重，结构烧损严重，严重影响安全。
上部混凝土构件	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。 4. 预应力性能好。	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。 4. 预应力性能基本不受影响。	1. 混凝土颜色浅灰白，显浅红色；局部剥落、构造钢筋外露；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。 4. 预应力性能受到一定影响。	1. 混凝土颜色灰白、显浅黄；大面积剥落、受力钢筋局部外露；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。 4. 预应力性能劣化明显。	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。 4. 预应力钢筋部分或全部失效。

技术等级	一类构件 (轻度)	二类构件 (轻度)	三类构件 (中度)	四类构件 (较严重)	五类构件 (严重)
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. 构件无倾斜或变形。 4. 预应力性能完好。	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. 构件变基本无倾斜变形。 4. 预应力钢筋基本不受影响。	1. 混凝土颜色浅灰白，显浅红色；局部剥落、构造钢筋外露；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. 构件出现轻微倾斜变形。 4. 预应力性能受到一定影响。	1. 混凝土颜色灰白、显浅黄；大面积剥落、受力钢筋局部外露；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. 构件出现一定倾斜变形。 4. 预应力性能劣化明显。	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. 构件出现明显倾斜变形。 4. 预应力钢筋部分或全部失效。
桥面系	1. 铺装层基本完好或附着黑烟灰； 2. 人行道、护栏基本完好或附着黑烟灰； 3. 伸缩装置，基本完好或附着黑烟灰； 4. 排水系统，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. 铺装层表面出现裂缝、浅坑槽、波浪； 2. 人行道、护栏混凝土表面出现裂缝，金属护栏裂缝、脱皮； 3. 伸缩装置锚固区混凝土局部开裂、橡胶止水带局部破损； 4. 排水管开始发生变形； 5. 标线局部脱落。	1. 铺装层表面严重龟裂、深坑槽、波浪； 2. 人行道 护栏 混凝土表面开裂、大面积剥落、金属护栏油漆脱落； 3. 伸缩装置锚固区混凝土严重开裂、橡胶止水带局部破损； 4. 塑料排水管烧损变形。 5. 标志及标线大部分脱落。	1. 铺装层表面严重破坏、桥面普遍坑洼不平、积水； 2. 人行道 护栏 混凝土严重烧损、破坏； 3. 伸缩装置、严重破损、橡胶止水带基本烧光、失效，难以修补； 4. 塑料排水管，基本缺失； 5. 标志及标线完全脱落。	
缆索构件	拉（吊）索 PE 护套； 缆索钢丝及防腐层基本完好。	PE 护套轻微开裂软化变形；缆索钢丝涂层轻微损坏、起皮、剥落；钢丝轻微变形。	PE 护套局部起皮、破损；缆索钢丝涂层较大范围损坏、起皮、剥落；少量钢丝断裂。	PE 护套大面积烧损破损；缆索钢丝涂层较大范围损坏、起皮、剥落；多数钢丝断裂。	大量缆索钢丝，主梁存在变形，造成安全隐患。
支座	表面附着烟灰、工作性能基本完好。	橡胶变硬开裂、活动面干涩。钢支座油漆局部脱落。	橡胶严重变形，支座功能丧失。钢支座油漆大面积脱落。	橡胶表面被烧光、钢板外露。钢支座组件断裂	支座错位、变形破损严重已失去正常支承功能。
附属设施及其他	基本完好，表面附着烟灰	锥坡、排水沟勾缝脱落。	锥坡、排水沟勾缝脱落，局部出现塌陷，	锥坡、排水沟大面积塌陷。	

条文说明：火灾后混凝土桥梁构件技术等级的评定主要参照《公路桥涵养护技术规范》（JTG H11）中关于桥梁构件技术等级划分，结合《火灾后工程结构鉴定标准》（T/CECS252）关于混凝土构件火灾后技术等级评定相关标准，根据桥梁构件功能分为上部构件、下部混凝土构件、桥面系、支座、附属设施及其他五大部件进行评定。

7.3.3 火灾后混凝土桥梁的技术等级应根据桥梁烧灼损伤程度和承载能力影响程度按照表 2 的规定，按照一类桥、二类桥、三类桥、四类桥和五类桥等五个等级进行评定。

表3 火灾后混凝土桥梁技术等级评定表

等级	一类桥 (轻微)	二类桥 (轻度)	三类桥 (中度)	四类桥 (较严重)	五类桥 (严重)
总体 损伤 描述	桥梁受火损伤程度轻微。符合国家现行标准水平要求,安全,可正常使用。	桥梁受火损伤程度轻度。基本符合国家现行标准水平要求,不影响安全,可正常使用。	桥梁受火损伤程度中度。不符合国家现行标准要求,在目标使用年限内影响安全和正常使用。	桥梁受火损伤程度较严重。严重不符合国家现行标准要求,严重影响安全。	桥梁受火损伤程度严重,极度不符合国家现行标准要求,结构烧损严重,严重影响安全。
桥梁 技术 等级 评定	1. 重要构件功能与材料均良好; 2. 次要构件功能良好,材料有少量(3%以内)轻度烧损或未直接遭受烧灼作用; 3. 承载能力和桥面行车条件符合设计指标。	1. 重要构件功能良好,材料有局部(3%以内)轻度烧损或遭受烧灼作用、裂缝宽小于限值; 2. 次要构件有较多(10%以内)中等烧损或遭受烧灼作用; 3. 承载能力和桥面行车条件达到设计指标。	1. 重要构件材料有较多(10%以内)中等烧损,裂缝宽度超限值,或出现轻度功能性病害,尚能维持正常使用功能; 2. 次要部件有大量(10%-20%)严重损伤,功能降低,进一步恶化将不利于重要部件和影响正常交通; 3. 承载能力比原结构降低10%以内,桥面行车不舒适。	1. 重要构件材料有大量(10%-20%)严重烧损破坏,出现明显变形或开裂,或对结构安全或正常使用产生不利影响; 2. 次要构件有20%以上的严重烧损破坏,失去应有功能,严重影响正常交通; 3. 承载能力比原结构降低10%-25%。	1. 重要构件出现严重的功能性影响,且有继续扩张现象,关键部位的部分材料强度达到极限,混凝土压碎失稳变形的破坏现象,变形大于规范值,结构的强度、刚度、稳定性不满足的规范要求; 2. 承载能力比原结构降低25%以上。
管理 措施	可采取适当措施。	宜采取适当措施	应酌情进行交通管制后,采取维修措施。	及时交通管制,立即加固或拆除。	及时关闭交通立即加固或拆除。

条文说明:火灾后混凝土桥梁技术状况评定标准借鉴《公路桥涵养护规范》(JTG H11)关于桥梁技术状况评定相关规定,并考虑混凝土桥梁火灾后损伤技术状况的工程实际,从灾后构件材料功能情况、烧损程度和承载能力变化等三个方面予以规定。

8 构件损伤检测分析

8.1 一般规定

8.1.1 火场踏勘和外观检查后,技术状况难以评定或技术等级为三类及以上的桥梁,应对构件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。

条文说明:火灾对混凝土桥梁损伤机理十分复杂,不仅造成混凝土桥梁构件缺损、钢筋外露和变形等缺陷,还导致混凝土、普通钢筋、预应力钢筋、拉(吊)索PE、钢丝等材料的性能出现劣化。火场踏勘和外观检查得到的构件和结构缺损虽包括一些定量参数,但内部损伤分析方面主要依靠检测人员主观定性判断为主,其准确性有待进一步提高。因此,对于技术状况难以判断或技术等级为三类及以上的桥梁,有必要对损伤程度做进一步定量检测与分析。

8.1.2 构件损伤检测分析应包括：温度场检测分析、材料性能损伤分析和构件截面损伤量化等。火灾后桥梁组成材料性能损伤宜结合温度场检测分析和构件材料性能现场取样检测结果予以综合分析判定，构件截面的损伤量化应以材料力学性能损伤结果为基础开展。

条文说明：火灾后桥梁构件内部损伤与其历经的温度过程密切相关。灾后可对构件内部历经的温度过程进行准确检测分析，可为其灾后损伤分析提供重要参考。另外，灾后混凝土、钢筋、钢丝等材料取样检测和比对分析可直接得到构件内部材料性能的劣化程度，也可为温度场的损伤分析提供参考。火灾后混凝土桥梁构件的截面损伤量化除了考虑混凝土剥落造成的构件截面尺寸缩减外，还应考虑火灾高温导致未剥落混凝土材料力学性能的劣化。

8.1.3 温度场检测分析应包括：构件温度检测与推定、当量标准升温时间计算和温度场有限元分析等。

条文说明：火灾后混凝土构件温度场检测分析可结合火场踏勘、外观检查和现场取样检测，推定其局部测点历经的最高温度，并以此为基础，将计算当量标准升温时间，进一步通过构件温度场有限元分析，得到构件局部范围内的温度场分布。

8.1.4 材料性能损伤检测分析应综合反映构件不同过火位置的混凝土、钢筋、钢丝力学性能劣化情况。工作内容应包括：混凝土、钢筋和钢丝是等性能损伤检测分析等。

条文说明：火灾后混凝土桥梁构件的损伤主要体现在内部混凝土、钢筋和钢丝等材料性能劣化，进而导致构件整体工作性能的退化。本条文规定混凝土桥梁构件损伤分析的目的应以分析构件内部材料性能劣化为主，内容应涵盖混凝土、钢筋和钢丝性能的损伤检测与分析、构件截面损伤量化计算等，以综合反映灾后构件工作性能的变化。

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。

条文说明：火灾后混凝土桥梁温度场分析应以火场温度过程和构件温度场作用过程为基础，其中火灾发生时的初始温度、火场最高温度和火灾全盛期持续时间，是反映火场温度发展过程的重要参数。这些参数可由灾后火场询问，火场残留物状况调查，并结合灾后构件外观状况综合分析确定。

8.2.2 混凝土构件表面最高温度场应根据火场踏勘和混凝土外观检查结果，由混凝土表观颜色、裂损情况、敲击声响等特征，按照附录 E 进行推算，并宜结合表面混凝土二次烧失量取样检测结果，对估算温度进行修正。

条文说明：混凝土构件受火后裂损情况、颜色、敲击声响一定程度上能够综合反映构件表面历经最高温度，但据此推算构件表面最高温度以定性为主，其推算结果的准确度有赖于检测人员的经验。因此，构件表面最高温度推算时宜结合局部区域温度定量检测分析结果予以修正。

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深度方向混凝土二次烧失量和芯样横向劈裂试验检测结果定，具体检测方法参见附录 F 和附录 G。

条文说明：基于混凝土现场取样检测，推算混凝土构件历经温度状况具有直接和准确度较高的特点，可作为构件历经最高温度场分析和推定的佐证。

“二次烧失量” (Ignition Loss) 是混凝土构件经受一定火灾温度作用后，从火场钻取受火混凝土样品，将其灼烧至失水、成分完全分解的二次失重率。由于不同过火温度下混凝土的二次烧失量是不同的，对待推定表面温度的混凝土构件表面未过火区域钻取混凝土样品，测试经历不同温度作用后混凝土二次烧失量，可得到二次烧失量和过火温度回归方程 $T-T(SIL)$ 。进一步钻取过火区域混凝土样品，进行二次烧失量测试，结果代入该回归方程，可推定过火区域的温度，进而实现损伤区域温度推定结果的定量修正。该方法对混凝土经历 500℃ 以上高温作用后的温度推定相对有效。

钻取构件过火区域混凝土芯样，以一定间距沿着深度方向进行芯样横向逐层劈裂试验，由逐层劈裂强度变化反映构件沿深度方向材料力学性能变化。该方法适用于构件过火区域混凝土芯样能够完整钻取得情况。

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：

a) 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。

b) 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，确定火灾作用的标准当量升温时间后，查附录 F 或通过构件温度场有限元模型计算结果推定。

c) 根据实测过火构件局部位置沿深度方向温度分布，建立构件温度场有限元数值仿真模型，根据数值仿真结果推定。

条文说明：火灾对混凝土桥梁的温度作用过程十分复杂，实际火灾场景也多种多样，针对不同火灾场景，本条文给出了三种火灾后混凝土桥梁构件温度场分析的方法。工程应用场景如下：

a) 火场详细调查和构件损伤状况检查分析后，对火场的燃烧物热量、现场的通风情况和燃烧过程相对比较明确时，可建立混凝土桥梁构件火灾仿真模型，根据数值仿真结果推定。

b) 通过踏勘调查、外观检查和构件表面取样检测分析能够获取火灾作用的标准当量升温时间，当受火构件截面形式和尺寸与附录 F 基本一致时，可直接查附录 F 给出的温度场实用曲线插值得到。当受火构件截面形式和尺寸与附录 F 相差较大时，建立混凝土桥梁构件温度场有限元模型，根据模拟分析结果推定。

c) 根据火场踏勘、外观检查和构件混凝土取样检测一定程度上可获得混凝土构件局部区域温度沿深度方向的变化，以此为基础拟定构件受火作用荷载模式和作用时间，建立构件温度场有限元仿真模型，根据仿真结果推定。

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

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

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

$$\tau = 0.175m_0 / (A_w \sqrt{h}) \quad (2)$$

式中：

t_e —当量标准升温时间；

T_{gm} —火场最高温度；

T_{g0} —火场初始温度值

τ —火灾全盛区持续时间 (min)。

$m_0 = \sum m_i h_i / h_{木}$ 为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)，其中 $h_{木}$ 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)，可查附录 B 得到。

A_w —为桥梁通风面积，

h —为桥梁净空高度

b) 根据构件表面最高温度，按照下式计算标准当量升温时间。

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

式中：

T —构件表面最高温度，℃；

t_e —当量标准升温时间，min。

条文说明：当量标准升温时间可理解为：若实际火灾对混凝土构件的热损伤作用与标准火灾的某一特定持续时间下对同一混凝土构件的热损伤作用相等。则可将该标准火灾的这一特定持续时间定义为当量标准升温时间。火灾中混凝土构件受热作用过程与火场温度发展过程密切相关。准确分析混凝土构件内部温度场，有赖于构件的火作用过程的准确分析。桥梁火灾的实际温度发展过程十分复杂，工程应用时宜将实际构件火作用时间等效换算为标准升温时间，再进行混凝土桥梁构件温度场分析。

在火场初始温度、最高温度和全盛期火灾持续时间等火场参数比较明确时，可按热荷等效原理计算得到（参见吴波所著的《火灾后钢筋混凝土结构的力学性能》）。

当反映桥梁火灾过程重要参数难以准确获得时，可根据构件灾后的损伤程度，结合现场混凝土取样检测分析构件表面历经的最高温度，参考构件标准耐火试验的构件表面温度和升温时间的关系（参见《火灾后工程结构鉴定标准》T/CECS 252）换算。

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

条文说明：采用有限元模拟混凝土构件内部温度状况，其准确性除与外部温度作用模式密切相关外，还与混凝土构件热工参数的取值密切相关。标准修订时，归纳总结了近年来国内外相关文献关于混凝土热工参数的取值，形成混凝土热工参数建议值，具体见附录 I。

8.2.7 火灾后缆索构件钢丝历经最高温度，应结合通过调查分析得到构件历经温度过程、相邻构件、表层 PE 护套、内部钢丝涂层的烧损破坏情况予以综合分析判定。

条文说明：火灾后缆索钢丝历经的最高温度状况，与其历经的温度过程密切相关，详细分析获取缆索历经的温度过程。可从与缆索相邻构件混凝土或钢护栏破坏形态、表层 PE 护套的烧损内部钢丝涂层烧损形态，间接的分析评估钢丝内部历经的最高温度。

8.3 构件损伤量化

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，可根据构件温度场检测结果，由温度与混凝土损伤系数表（附录 J.1）推定，并宜采用混凝土芯样横向劈裂试验结果进行校核。

条文说明：火灾后混凝土损伤与其历经的温度状况密切相关，不同火灾场景下，桥梁混凝土构件的损伤程度并不完全相同。根据构件温度场检测分析结果，由混凝土历经温度与材料力学性

能关系计算力学劣化系数。该方法适用于能够准确掌握构件内部温度的情况，属于间接分析方法。该方法可与芯样横向劈裂试验配合使用，提高灾后混凝土强度检测分析准确性。

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，可根据构件温度场检测分析结果，确定钢筋位置的温度后，由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（附录 J.2）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。

条文说明：火灾后钢筋极限强度、屈服强度和弹性模量与其历经温度状况密切相关。当灾后混凝土桥梁构件未出现普通钢筋外露，不便于截取时，可根据构件温度场检测分析结果推定火灾后钢筋强度和弹性模量损伤系数，该方法属于间接分析方法。当灾后桥梁构件出现混凝土较大面积剥落，钢筋外露时，可截取构件内部钢筋，通过钢筋拉伸实测强度和弹性模量，进而计算灾后钢筋损伤系数，该方法属于直接检测法。工程实际应用时，可先由构件温度场检测分析结果初步确定钢筋强度和弹性模量损伤系数，后由钢筋现场取样检测结果予以局部校核。

8.3.3 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，由钢丝极限强度、屈服强度和弹性模量随其历经温度变化关系，查表（见附录 J.2）推定，且宜结合钢丝取样拉伸试验结果予以分析和校核。

条文说明：火灾后钢丝极限强度、屈服强度和弹性模量与其历经温度状况密切相关。当缆索 PE 护套未完全烧损和表面防腐涂层未发生明显的破坏时，此时缆索表面的钢丝历经的最高温度相对较低，可根据 PE 护套的燃点和防腐材料的高温形态，综合判定其最高温度后由附录 J.2 总体推定其极限强度、屈服强度和弹性模量损伤系数。当缆索钢丝烧损相对严重时，难以分析实际历经的最高温度时，可考虑进行缆索钢丝有损取样检测，直接测定灾后钢丝极限强度、屈服强度和弹性模量，并将其与设计强度比较得到对应指标的灾后损伤系数。

8.3.4 火灾后普通钢筋与混凝土粘结性能损伤系数，可根据构件温度场检测分析结果，由钢筋与混凝土粘结性能随其历经温度变化关系，查表（见附录 J.3）推定。

条文说明：混凝土与普通钢筋的粘结性能与其历经的温度状况密切相关，且随着温度的升高其粘结性能逐渐弱化，因此，可由混凝土构件历经温度状况检测结果分析火灾后钢筋与混凝土粘结性能的劣化情况。

8.3.5 火灾后预应力性能损失率，可根据构件温度场检测分析结果，由预应力损失率随预应力钢筋历经温度表（附录 J.4）推定。

条文说明：对于预应力混凝土构件，火灾高温作用除了对其组成材料混凝土、钢筋的性能产生劣化外，还对内部预应力钢筋的应力带来损失。此借鉴《预应力混凝土箱梁结构抗火性能研究》（侯炜，长安大学博士学位论文）一文中实测得到预应力随所经历温度的研究结果，采用多项式拟合计算得到各温度下预应力损失率（见附录 J.4）。若在试验检测过程中对构件内部预应力仍有所疑问时，可考虑进行桥梁荷载试验，结合试验结果综合分析评定。

8.3.6 火灾后混凝土构件截面损伤量化前应进行截面缩减。截面缩减可根据桥梁构件损伤检测分析结果采用如下方法：

- a) 由混凝土强度或弹性模量沿深度方向损伤系数变化，按照附录 K.1 的方法予以缩减；
- b) 根据构件温度场检测分析结果，以 300 度等温线作为截面缩减界限（参见附录 K.2）；
- c) 根据芯样分组抗压试验（参见附录 L）得到的混凝土过火影响深度，将该深度作为截面缩减界限。

条文说明：火灾后混凝土桥梁构件的截面损伤量化除了考虑混凝土剥落造成的构件截面尺寸缩减外，还应考虑火灾高温导致未剥落混凝土力学性能的劣化。不同火灾场景混凝土桥梁构件的损伤程度和所采取的损伤检测分析方法并不完全相同。本条文结合火灾后混凝土损伤检测分析方法给出了三种灾后构件截面缩减计算分析方法。具体应用场景如下：

方法 a) 当通过混凝土桥梁构件损伤检测分析，能够较准确掌握表面深度方向混凝土损伤系数变化的情况，可采用不同深度混凝土损伤系数对截面进行逐层缩减。

方法 b) 当通过现场检测能够较准确确定混凝土构件 300 度等温线位置时，可根据 300 度以下混凝土材料力学性能影响较小，将 300 度等温线作为截面缩减界限。

方法 c) 当通过现场钻芯分组抗压试验分析，能够确定混凝土构件的火灾影响深度时，可将该影响深度作为构件截面的缩减界限。

8.3.7 火灾后应根据损伤构件截面缩减前后的变化情况，计算对应混凝土构件截面面积和惯性矩缩减系数，并将其作为桥梁结构安全性能评定模型修正系数，具体计算公式如下：

$$S_A = \frac{A_f}{A_0} \quad (4)$$

$$S_I = \frac{I_f}{I_0} \quad (5)$$

式中：

S_A —面积缩减系数；

A_f —代换截面的面积；

A_0 —受火前混凝土截面积；

S_i —惯性矩缩减系数；

I_r —代换截面等效惯性矩；

I_0 —过火前截面的惯性矩。

条文说明：为进一步评价火灾对构件的损伤程度，应对缩减后的截面进行损伤量化。本条文规定了火灾后混凝土桥梁构件损伤量化方法。

9 桥梁安全性能评定

9.1 一般规定

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

条文说明：根据《工程结构可靠性统一标准》(GB50153)、《公路工程可靠性统一设计标准》(JTJ2120)关于结构安全性的定义和内容规定，本条文规定火灾后混凝土桥梁安全性能评定主要涵盖结构和构件体系、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规范要求进行评定。

条文说明：随着我国经济社会的发展，公路混凝土桥梁设计标准也在不断的更新和发展，现存公路桥梁的设计标准并不完全相同，不同设计标准下，对公路混凝土桥梁的技术要求并不完全相同，为使得灾后混凝土桥梁技术标准更符合工程实际，为此，规定火灾后公路混凝土桥梁安全性能评定以原桥设计规范要求进行。

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，并结合桥梁承载能力检算或荷载试验结果予以评定。

条文说明：本条文给出了火灾后桥梁安全性能评定的工作方法和要求做出了规定。火灾后混凝土桥梁结构构件损伤程度与桥梁结构形式和火场环境密切相关，灾后桥梁损伤程度并不完全相同，部分桥梁损伤仅仅限于局部构件或区域，根据火场踏勘、外观检查、损伤检测分析结果可直接评定桥梁安全性。而部分桥梁不仅是构件局部区域受到火灾影响，整个结构承载能力都受到不同程度影响，此时则有必要对桥梁进行承载能力检算或荷载试验后，再进行桥梁安全性能评定。

9.1.4 火灾后混凝土桥梁承载能力检算应从结构或构件的强度、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。

条文说明：本条文对火灾后混凝土桥梁结构和构件的承载能力分析内容和原则做出了规定。其中，火灾后混凝土桥梁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。

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。

条文说明：不同火场环境下，桥梁损伤程度并不完全相同。本条文以火灾后桥梁结构或构件损伤程度为出发点，规定灾后承载能力分析模型参数调整原则。

9.2.2 火灾后混凝土桥梁承载能力极限状态计算公式如下：

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

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 —钢筋强度损伤系数。

条文说明：火灾后混凝土桥梁承载能力极限状态应计算结构的强度和稳定性。计算内容包括荷载效应和结构抗力两个方面。荷载效应计算综合考虑桥梁实际荷载、设计荷载和特殊通行荷载

等方面的要求，按照最不利的原则取值。结构抗力计算方面应考虑火灾后桥梁材料性能劣化、几何尺寸方式和结构变形等。火灾后混凝土材料强度变化和截面几何尺寸变化可采用 8.3 节构件截面损伤量化进行截面缩减分析。火灾后钢筋材料性能的取值可根据 8.3 节钢筋材料损伤量化结果，按照最不利的原则取值。结构变形应在分析模型中作为单独荷载工况加以考虑。

9.2.3 火灾后混凝土桥梁结构正常使用极限状态，宜按公路桥涵设计和养护规范要求及检测结果，分以下三个方面进行评定。

a) 正常使用阶段的应力计算

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

式中：

σ_d —应力计算值；

σ_L —应力限值。

b) 荷载作用下的变形

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

式中：

f_d —变形计算值；

f_L —变形限值。

c) 各类荷载组合下的裂缝宽度

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

式中：

δ_d —裂缝计算值；

δ_L —裂缝限值。

条文说明：火灾后混凝土桥梁正常使用阶段计算主要针对结构或构件的刚度和抗裂性。包括关键截面的应力、结构的变形和裂缝宽度验算等方面的内容。计算各参数的正常使用极限状态下荷载效应产生的结构应力、变形和裂缝时，应根据桥梁实际使用状况，综合考虑桥梁实际荷载、设计荷载和特殊通行荷载等方面的要求，按照最不利的原则取值。结构参数方面应考虑火灾后桥梁材料性能劣化、几何尺寸方式和结构变形等。火灾后混凝土材料强度变化和截面几何尺寸变化可采用 8.5 节构件截面损伤检测分析方法进行截面缩减分析。火灾后钢筋材料性能的取值可根据 8.5 节钢筋材料损伤检测分析结果，按照最不利的原则取值。结构的变形应在分析模型中，作为单独荷载工况加以考虑。桥梁应力、变形和裂缝限值宜取该桥原设计规范规定值。

9.3 荷载试验

9.3.1 当火场踏勘、外观检查、专项检查、构件损伤检测分析及承载能力检算等工作完成后，对桥梁的安全性仍难以评定时，应采用桥梁荷载试验进行分析评定。

条文说明：桥梁荷载试验是直接检验桥梁承载能力有效的试验检测手段。火灾后对桥梁的承载能力仍难以分析评定时，应考虑进行桥梁荷载试验，测定特定荷载工况下的桥梁结构响应，并据此判断桥梁承载能力是否满足桥梁设计要求。

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

条文说明：本条规定火灾后混凝土桥梁荷载的基本依据《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）和《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01）。

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，应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。

条文说明：火灾后混凝土桥梁荷载试验工况的设置，除了遵循《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）和《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01）的基本规定外，应综合考虑火灾后桥梁构件损伤和承载能力劣化的实际状况，对损伤严重的区域设置针对性的试验工况。重点考察荷载作用损伤严重区域的受力性能。现场存在与过火损伤构件或结构相同的未过火构件或结构时，可同时对过火和未过火构件进行试验对比测试，对主要受力钢筋外露的，可直接测试钢筋的应变，并根据试验结果判断火灾对结构的损伤的影响，

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，荷载效率在满足 JTG/T J21-01 规定同时，宜取该规程规定的上限值。

条文说明：桥梁荷载试验观测指标包括：结构变形、应变和裂缝等。其中，变形主要反映的结构刚度实际情况，而应变和裂缝主要反映的结构抗裂性和关键截面强度。这些指标只有满足试验荷载效率要求的前提下，才可以用于桥梁结构的承载能力的评定。鉴于火灾后混凝土桥梁构件属于带损伤构件的，对比《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01）和《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）关于荷载效率取值规定差异，为了更好的检验损伤构件关键截面强度是否符合设计要求，本条文规定荷载效率在满足 JTG/T J21-01 规定同时，宜取该规程规定上限值。

9.3.5 火灾后混凝土桥梁荷载试验加载分级除了符合 JTG/T J21-01 规定外，宜结合桥梁受损实际情况综合确定，对损伤状况为较严重和严重的构件，荷载试验加载分级宜加密设置。

条文说明：火灾后混凝土桥梁结构和构件性能出现不同程度的下降，不同火灾场景下，混凝土桥梁损伤程度往往并不相同，灾后荷载试验加载分级，应根据桥梁损伤情况，结合试验目的要求，在满足 JTG/T J21-01 规定基础上，本着科学、合理和便于实施原则进行设置，其中损伤状况为较严重和严重的构件，为确保试验过程安全和便于观察结构响应情况，宜加密试验加载分级。

附 录 A
(资料性附录)
火场踏勘记录表

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	气候情况	<input type="checkbox"/> 炎热 <input type="checkbox"/> 寒冷 <input type="checkbox"/> 大雨 <input type="checkbox"/> 小雨 <input type="checkbox"/> 强风		
	燃 烧	<input type="checkbox"/> 有爆炸 <input type="checkbox"/> 有轰燃 <input type="checkbox"/> 其他情况: _____		
	抢救情况	<input type="checkbox"/> 消防车: __部, 人员__人, 灭火方式: <input type="checkbox"/> 水 <input type="checkbox"/> 泡沫, 消防水: <input type="checkbox"/> 充足 <input type="checkbox"/> 不足		
燃烧物 种类数量	<input type="checkbox"/> 木料 数量: _____吨, <input type="checkbox"/> 布料 数量: _____吨, <input type="checkbox"/> 汽油 数量: _____吨, <input type="checkbox"/> 油漆 数量: _____吨, <input type="checkbox"/> 橡胶 数量: _____吨, <input type="checkbox"/> 化学易燃品 数量: _____吨, <input type="checkbox"/> 其他: _____ 数量: _____吨,			
起火点	<input type="checkbox"/> 可知: 位置_____路径: _____ <input type="checkbox"/> 不明			
火灾影响区域展开图	以展开图的形式表示火灾影响区域, 并配以现场摄影记录照片			

附 录 B

(规范性附录)

可燃物燃烧总热量计算

根据火场已燃烧可燃物的种类和数量，可按式 (B.1) 计算实耗可燃物总热量 Q ：

$$Q = \sum m_i h_i \quad (\text{B.1})$$

式中： m_i —实际烧掉的第 i 种可燃物质量，kg；

h_i —第 i 种可燃物的发热量 (MJ/kg)。

表 B.1 给出了可燃物单位质量发热量。

表 B.1 可燃材料单位发热量 h

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	石油	41
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

(规范性附录)

常见材料变态温度、燃点

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 常见可燃物的燃点温度

材料	燃点/°C	材料	燃点/°C
木材	300	醛	571
纸	130	木炭	320~370
棉花	150	褐煤	250~450
麻线	150	沥青煤	325~400
橡胶	130	无烟煤	440~500
蜡烛	190	瓦斯焦炭	500~600
麦草	200	香油	530~580
粘胶纤维	235	煤油	240~290
涤纶纤维	390	汽油	280
备注	木材：在 250°C~300°C 沿着厚度方向稍有变化，400°C~600°C 生成大孔木炭，600°C~800°C 小孔木炭被烧尽，800°C~1000°C 木材全部烧尽）1000°C 结构破坏		

表 C.3 油漆烧损状况表

类别	材料	代表制品	温度/°C	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

(资料性附录)

构件外观检查情况调查表

表 D.1 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	颜色情况			
2	残留物的情况			
3	敲击声响			
4	裂缝分布情况			
5	混凝土剥落情况			
6	钢筋外露情况			
损伤区域展开图	构件编号		损伤位置	
评定等级				

附 录 E

(规范性附录)

混凝土外观状况与温度的关系

表 E.1 火灾后混凝土结构表面颜色、外观及锤击特征

温度/℃	<200	300~500	500~700	700~800	> 800
颜色	灰青	浅灰、粉红	浅灰白、浅红	浅灰白、浅黄	浅黄色
爆裂、剥落	无	局部粉刷层	角部混凝土	大面积	酥松、大面积剥落
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

(规范性附录)

混凝土二次烧失量检测构件温度分布

F.1 适用范围和引用标准

本方法对混凝土烧失量推定其结构不同深度温度状况的相关要求做基本规定。

本方法适用于火灾后混凝土结构温度场分布状况的推定分析。

F.2 仪器设备

天平：精度至 0.0001g。瓷坩埚：带盖，容量 15~30ml。箱式电阻炉：隔焰加热炉，在炉膛外围进行电阻加热。应使用温度控制器，最高温度达 1200℃ 以上，并可准确控制炉温。其它：电热烘干箱、干燥器（盛有高效的变色硅胶）或密封装置。

F.3 试验步骤及结果分析

F.3.1 现场混凝土样品钻取

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 400g，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 10mm 钻取混凝土粉末，每层混凝土重量不少于 50g，逐层盛放于密闭容器中。

H.3.2 未受火混凝土烧失量法测试

a) 从未受火的混凝土中在取出的粉末中 8 组，每组各取 20g 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 20g 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 24 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_{105i} 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_{1020i} 值。

i) 按照下式计算各组混凝土的二次烧失量值 SIL_i 。

$$SIL_i = \frac{W_{105i} - W_{1020i}}{W_{105i} - W_{ci}} \quad (F.1)$$

式中：

SIL_i —第 i 号样品二次混凝土烧失量;

W_{ci} —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);

$W_{1020 i}$ —第 i 号瓷坩埚和试样经过 1020℃灼烧后的质量(g)。

F.3.3 受火混凝土烧失量法测试

a) 从受火的混凝土逐层各取 20g 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) 各组粉末连同坩埚一起放入 105℃的标准烘箱中, 时间为 24 小时。

c) 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。

d) 从干燥器中取出, 分别对各组坩埚进行称量, 作记录 W_{105i} 值。

e) 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。

f) 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。

g) 取出干燥器中的坩埚粉末称量, 记录 W_{1020i} 值。

h) 按式 H. 1 计算各组混凝土的二次烧失量值 SIL_i 。

F.3.4 试验结果分析

a) 绘制对未受火混凝土烧失量 IL 与预处理温度 T 的之间的关系曲线, 并建立回归方程 T (IL)。

b) 对过火混凝土进行高温灼烧, 将其烧失量代入 T (IL) 的回归方程, 最终计算出过火混凝土的温度和损伤深度。

附 录 G
(规范性附录)
芯样横向逐层劈裂试验

G.1 目的、适用范围

本方法对芯样逐层劈裂试验分析受火混凝土损伤状况的基本要求做明确规定。

本方法适用于受火混凝土构件损伤状况检测分析。

G.2 主要仪器设备

压力机应符合 GB/T 3722 及 GB/T 2611 中的要求。横向劈裂夹具直径为 75mm 或 100mm，刀口宽为 0.5mm，可参照图 J.1 制作。游标卡尺：量程 300mm，分度值 0.02mm。钢直尺：分度值为 0.5mm。

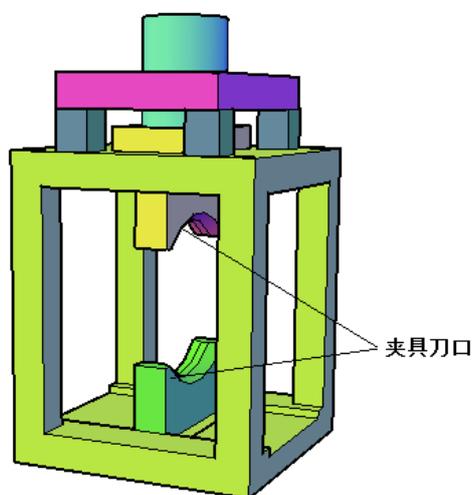


图 G.1 芯样横向劈拉试验夹具

G.3 试验步骤及结果分析

G.3.1 混凝土芯样钻取

a) 混凝土芯样应采用内径为 75mm 或 100mm 的钻头在同一构件受火的区域和进行损伤程度评估的区域分别钻取，芯样钻取深度在 75mm 以上。对未受火区域和损伤评估区域各钻取芯样数量宜不少于 3 个。

b) 芯样的钻取操作应符合 JGJ 384 的基本要求，混凝土芯样钻取后，应对其外观进行描述，并做好摄影和记录。

G.3.2 芯样横向劈裂试验

a) 对所钻取的混凝土芯样，按照一定的间距 d ($d=20\sim30\text{mm}$) 设置横向劈裂面 (见图 G.2)，并采用游标卡尺量取各劈裂面相互垂直两个方向的直径 D_1 和 D_2 ，取平均值 D 作为劈裂面面积 A 的计算直径。

b) 将试验压具放在压力试验机下压板的中心位置，做好上下压板的对中，再把试件放在压具的压刀之间，按照劈裂试验所确定的劈裂面位置调整好试验试件。

c) 以 0.04MP/s~0.06MP/s 的速度连续而均匀地加载，当试件接近破坏时，停止调整油门，直至试件破坏，记录破坏荷载。

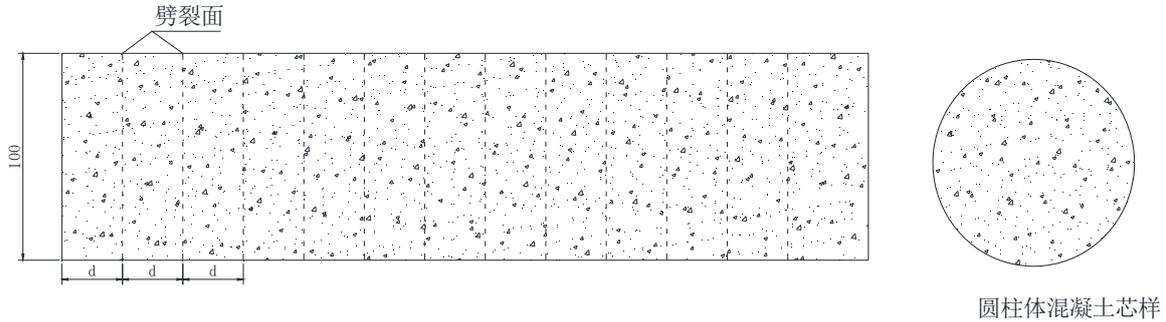


图 G.2 混凝土芯样劈裂面设置示意图

G.3.3 名义劈裂强度损伤系数计算及结果分析

a) 混凝土芯样各劈裂面横向名义劈裂抗拉强度 f_t 按下式计算：

$$f_t = \frac{P}{A} \quad (G.1)$$

式中： f_t — 名义劈裂强度 (MPa)

P—为横劈荷载值即圆柱体试件的破坏荷载 (N)；

A— 为圆柱体横劈面面积(mm²)；

b) 计算未受火影响混凝土芯样逐层劈裂强度的平均值 f_t 和具有 95%保证率的标准值 f_{ts} 。

c) 绘制受火混凝土芯样逐层劈裂强度平均值 f_{ti} 随劈裂面深度 h_i 的变化关系曲线，当混凝土劈裂强度随着深度增加而趋于稳定，或芯样劈裂面强度平均值大于未受火混凝土芯样的标准值时，可将该劈裂面所在的深度作为区分受火影响和基本未受火影响临界面。

d) 受火影响不同深度劈裂面强度 f_{ti} 与未受火影响混凝土劈裂强度值 f_t 进行比较分析得到各劈裂面的强度损伤系数 K_i ，查附录 J.1 可得到不同深度混凝土历经的最高温度，并以此评价构件受火灾损伤的影响状况。

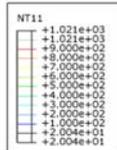
附录 H

(规范性附录)

标准升温下各类构件温度场实用曲线

H.1 盖板

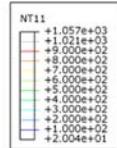
长×宽为 500cm×400cm，厚度为 33cm 盖板底面在标准升温曲线 ISO834 火荷载作用下 30min，60min，90min，120min，150min，180min 下间隔 100℃ 等温线分布图如下。



温度/℃	100	200	300	400	500	600	700	800	900
距底板底缘 Bi (mm)	88	56	42	30	25	20	15	11	6



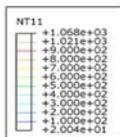
Bi
a) 30min



温度/℃	100	200	300	400	500	600	700	800	900
距底板底缘 Bi (mm)	115	81	59	48	36	27	21	15	9



Bi
b) 60min



温度/℃	100	200	300	400	500	600	700	800	900
距底板底缘 Bi (mm)	140	99	76	58	46	35	26	19	12



Bi
c) 90min

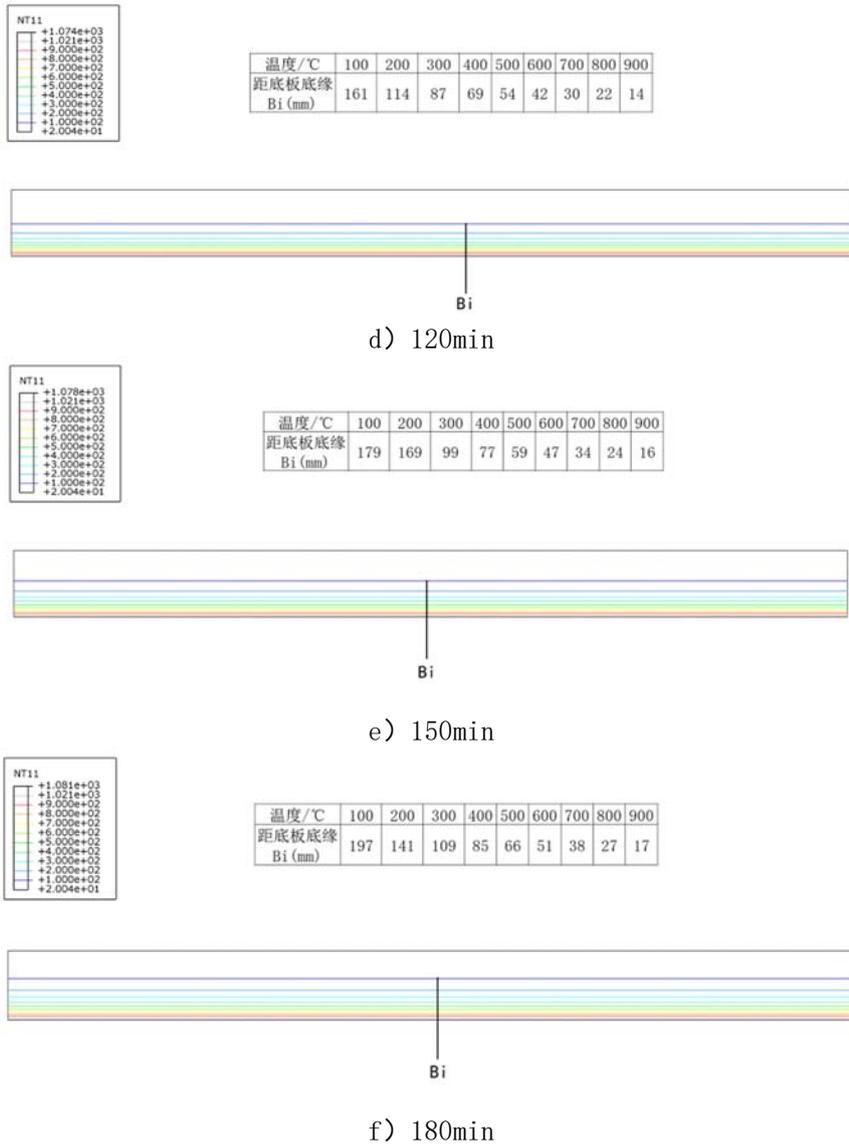


图 H.1 盖板底面受火温度场实用曲线图

H.2 空心板

空心板火灾中存在两种典型的受火模式：一种是中梁单面受火，另外一种为边梁双面受火，图 H.2 所示空心板在 ISO-834 标准升温曲线 30min, 60min, 90min, 120min, 150min, 180min 下间隔 100°C 等温线分布情况结果见图 H.3 和 H.4

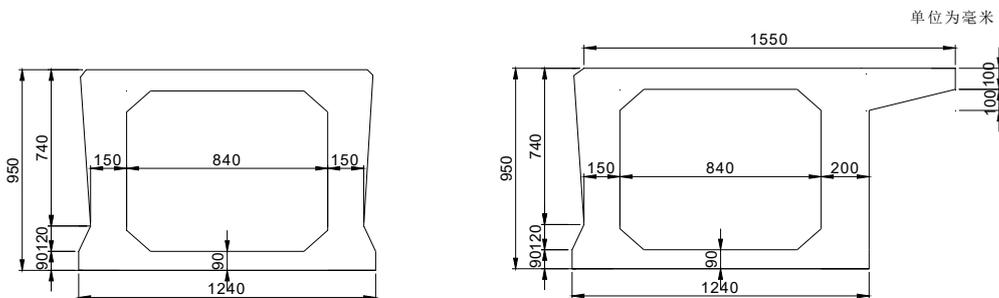
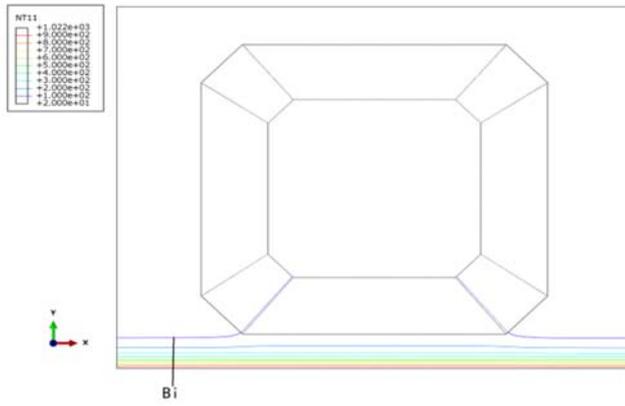
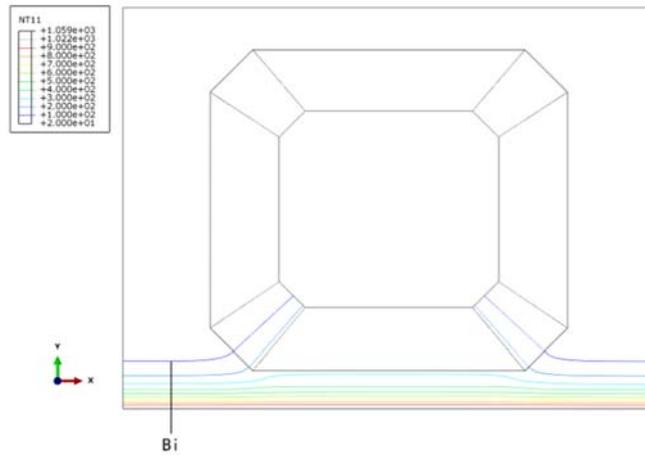


图 H.2 空心板构造图



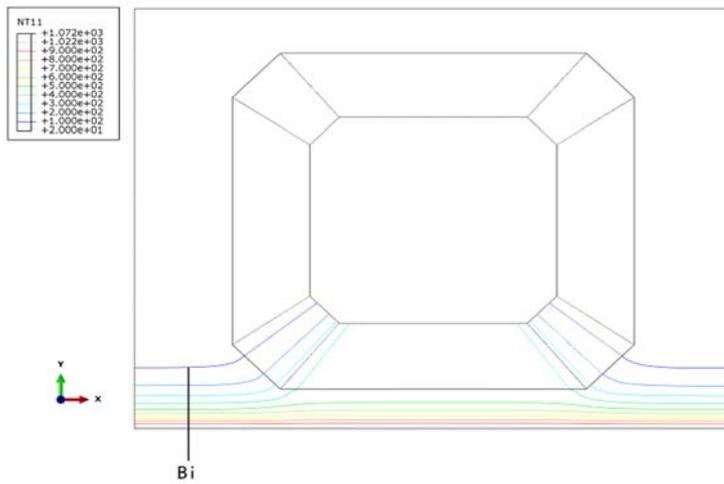
温度/℃	距底板底缘 Bi (mm)
100	79
200	54
300	39
400	31
500	22
600	17
700	13
800	9
900	5

a) 30min



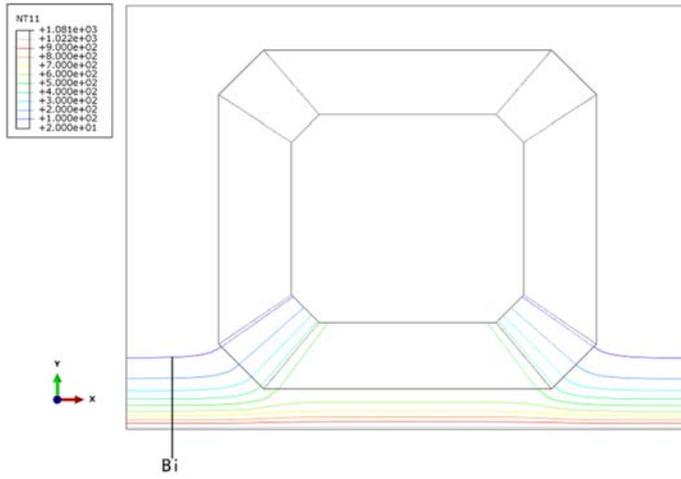
温度/℃	距底板底缘 Bi (mm)
100	113
200	78
300	59
400	46
500	36
600	27
700	19
800	14
900	8

b) 60min



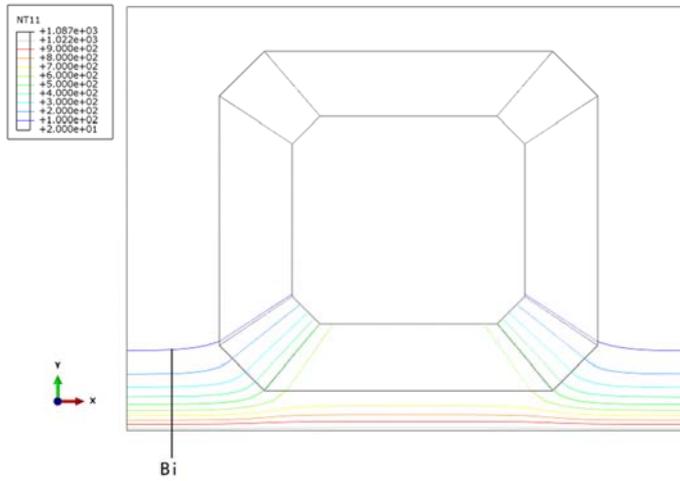
温度/℃	距底板底缘 Bi (mm)
100	139
200	98
300	75
400	58
500	45
600	35
700	26
800	18
900	11

c) 90min



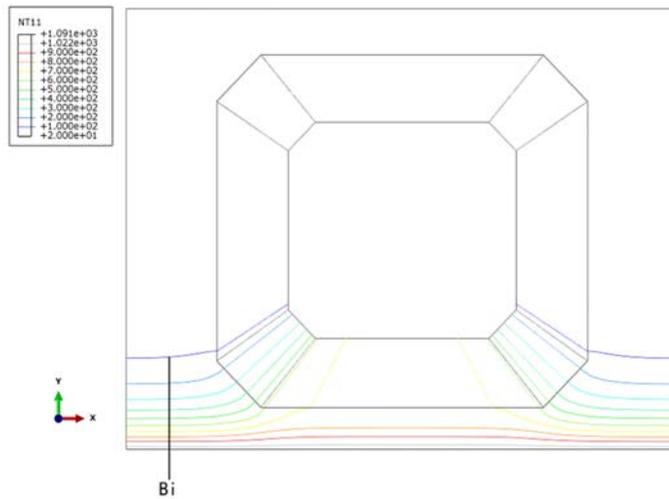
温度/℃	距底板底缘 Bi (mm)
100	161
200	115
300	88
400	69
500	54
600	40
700	31
800	21
900	13

d) 120min



温度/℃	距底板底缘 Bi (mm)
100	181
200	130
300	100
400	78
500	61
600	47
700	35
800	24
900	15

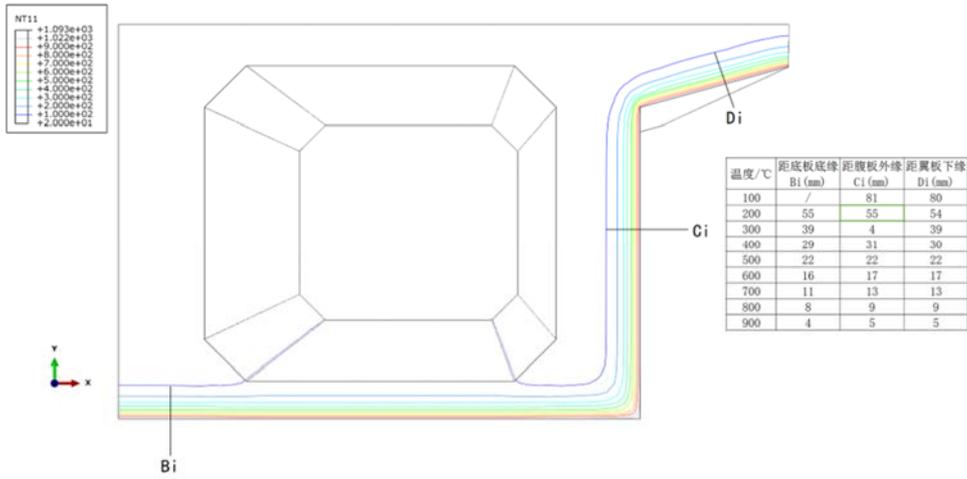
e) 150min



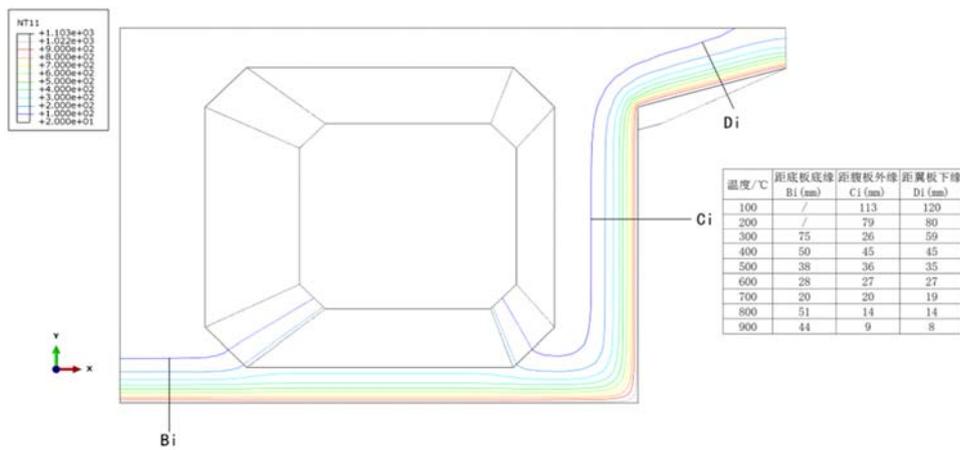
温度/℃	距底板底缘 Bi (mm)
100	199
200	144
300	111
400	87
500	68
600	52
700	39
800	27
900	17

f) 180min

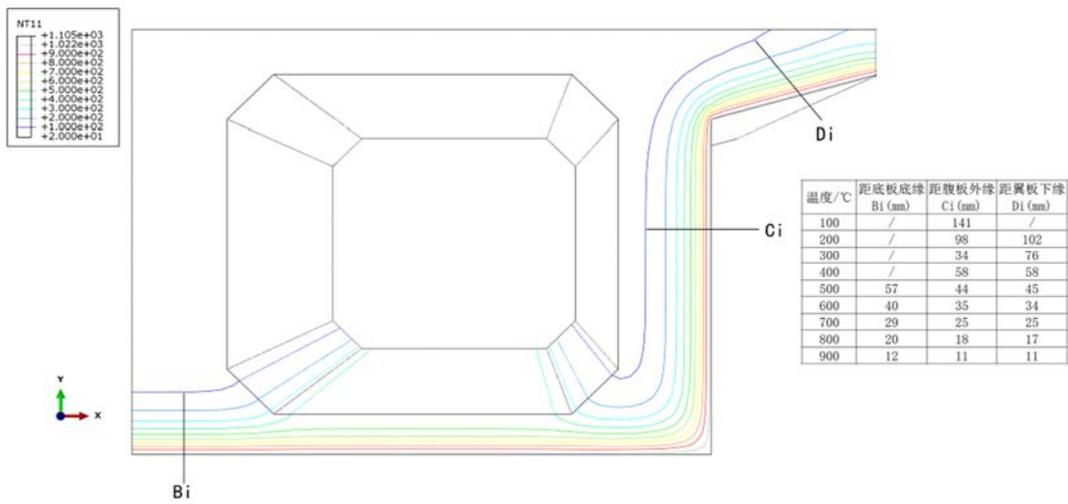
图 H. 3 空心板中梁单面受火温度场实用曲线



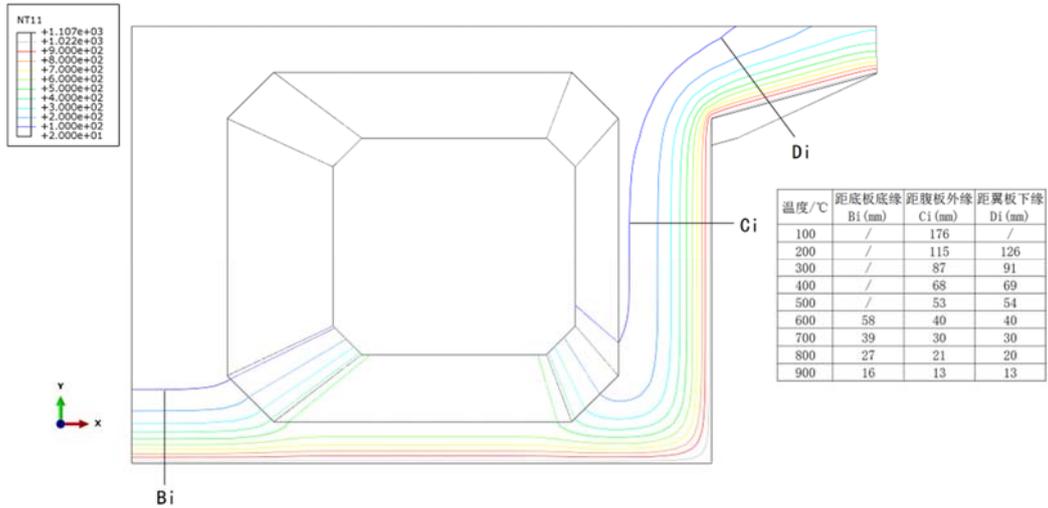
a) 30min



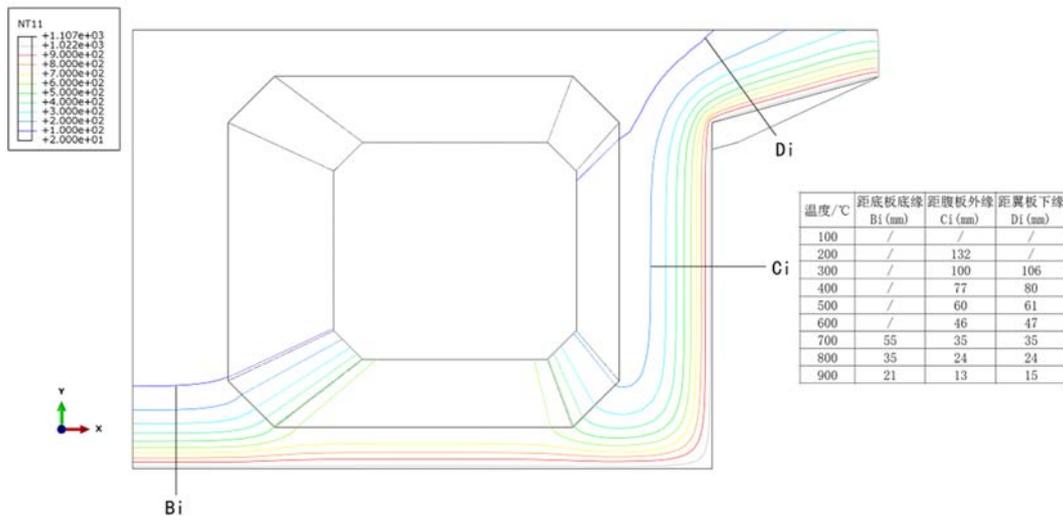
b) 60min



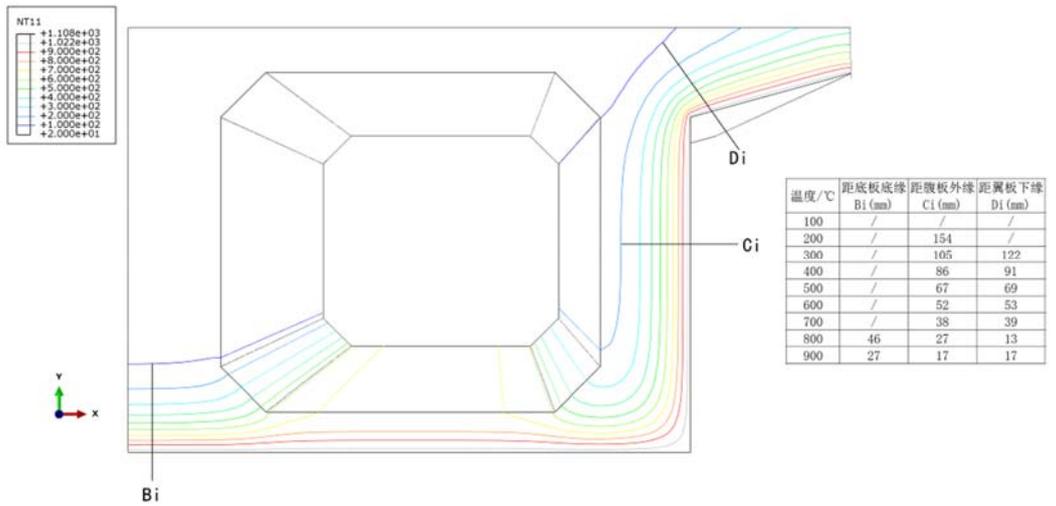
c) 90min



d) 120min

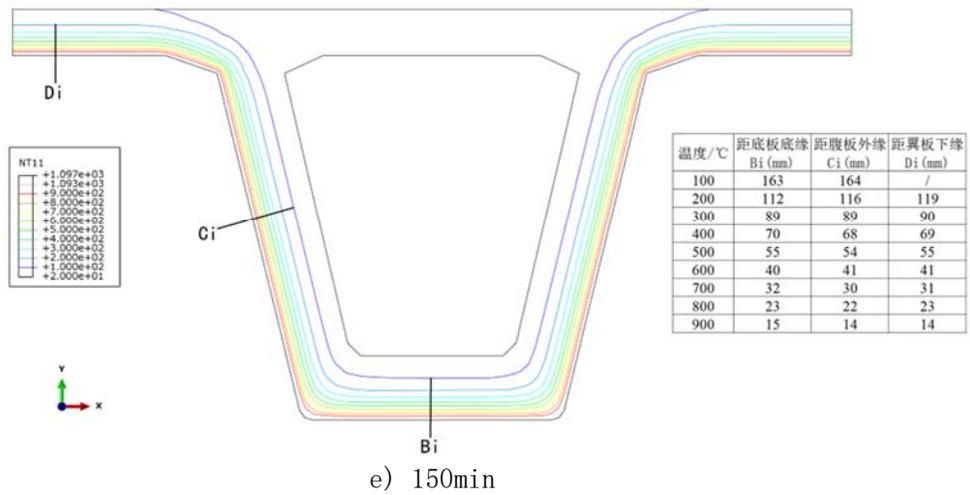
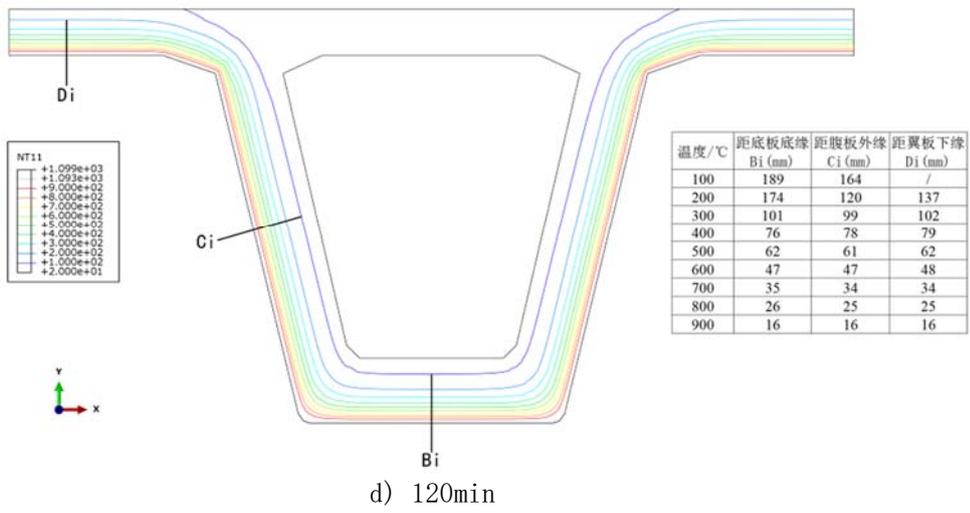
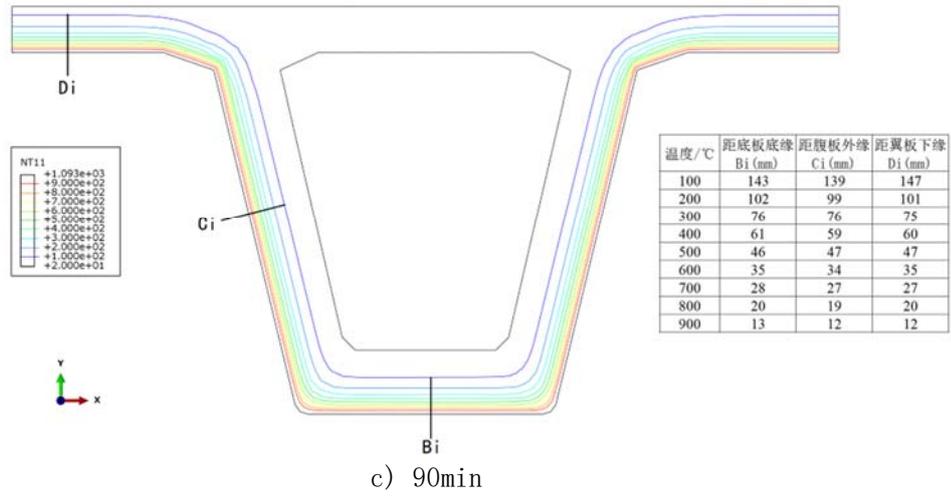


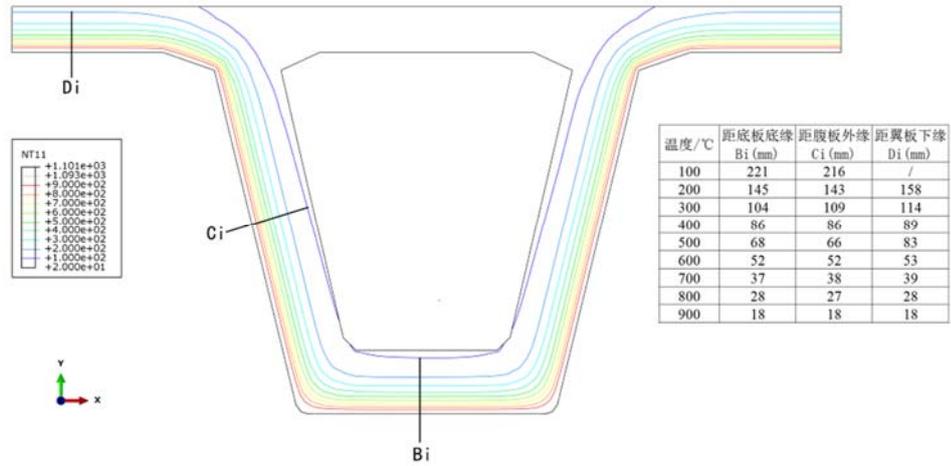
e) 150min



f) 180min

图 H.4 空心板边梁单面受火温度场实用曲线





f) 180min

图 H. 6 小箱梁三面受火实用温度曲线

H.4 连续箱梁

连续箱梁（见图 H. 7）在三面受 IS0834 标准升温曲线作用下，30min，60min，90min，120min，150min，180min 下间隔 100°C 等温线分布如下。

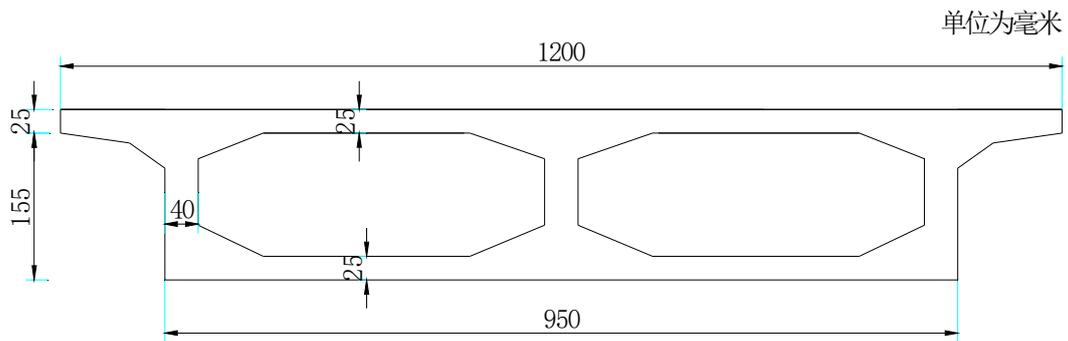
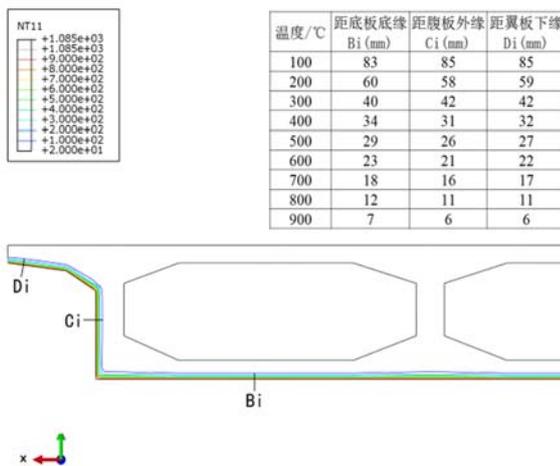
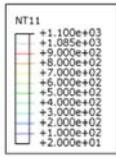


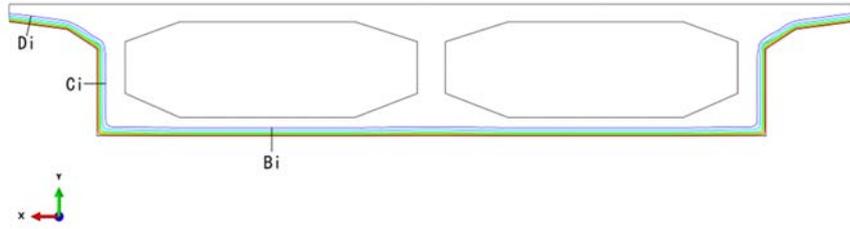
图 H. 7 连续箱梁结构尺寸图



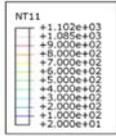
a) 30min



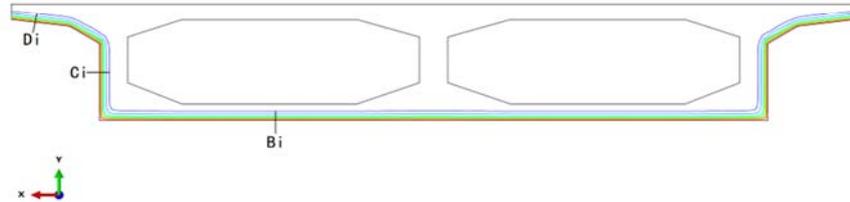
温度/°C	距底板底缘	距腹板外缘	距翼板下缘
	Bi (mm)	Ci (mm)	Di (mm)
100	114	123	117
200	79	86	82
300	60	65	61
400	46	48	48
500	36	41	36
600	27	33	28
700	20	26	22
800	15	19	16
900	9	12	10



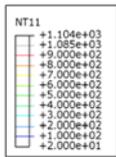
b) 60min



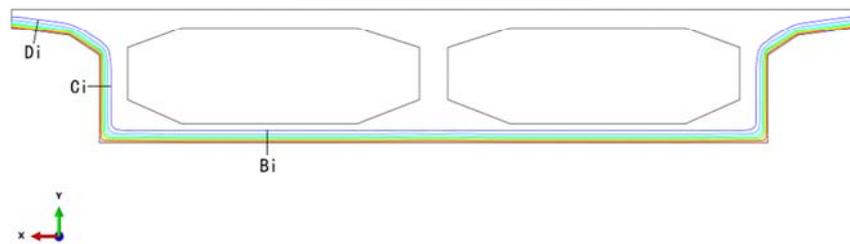
温度/°C	距底板底缘	距腹板外缘	距翼板下缘
	Bi (mm)	Ci (mm)	Di (mm)
100	139	144	141
200	98	99	98
300	66	80	76
400	58	61	59
500	45	47	47
600	35	38	34
700	25	30	26
800	18	22	19
900	11	14	12



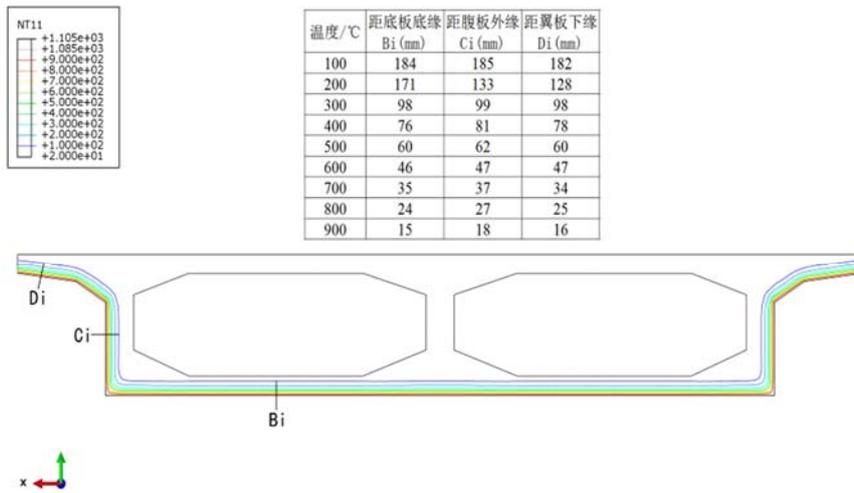
c) 90min



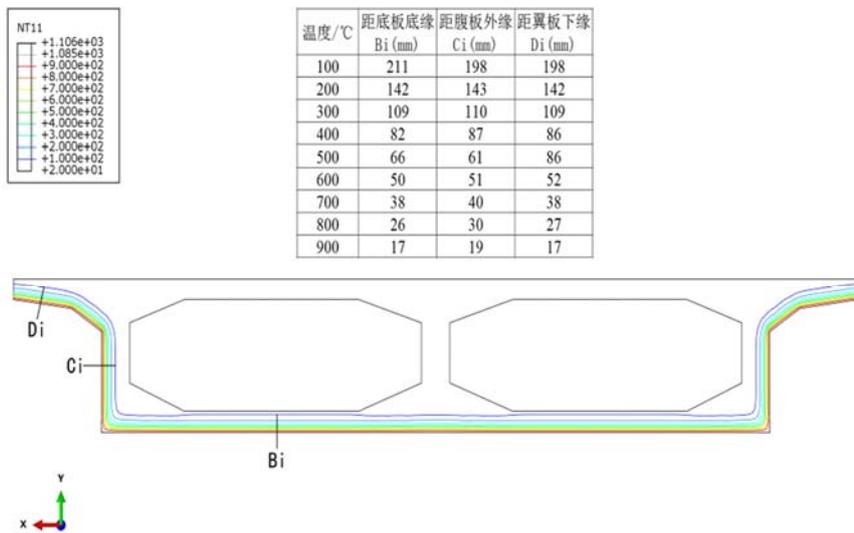
温度/°C	距底板底缘	距腹板外缘	距翼板下缘
	Bi (mm)	Ci (mm)	Di (mm)
100	162	166	161
200	114	119	116
300	84	91	88
400	68	72	68
500	53	54	54
600	41	43	42
700	30	34	30
800	21	25	22
900	13	16	14



d) 120min



e) 150min



f) 180min

图 H. 8 连续箱梁三面受火实用温度曲线

F.5 T 梁

T 梁（见图 H.9）在三面受 ISO834 标准升温曲线作用下，30min，60min，90min，120min，150min，180min 下间隔 100℃ 等温线分布如下。

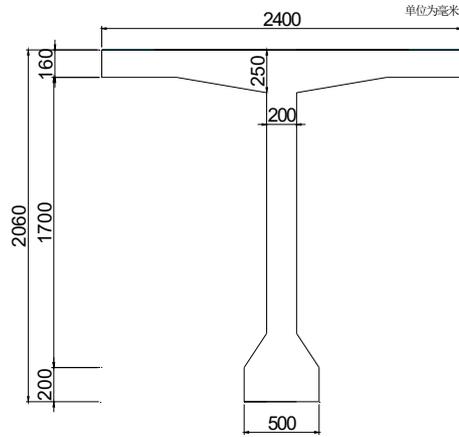
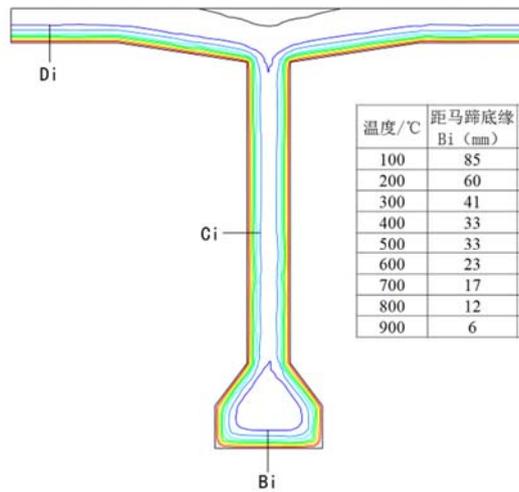
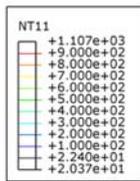
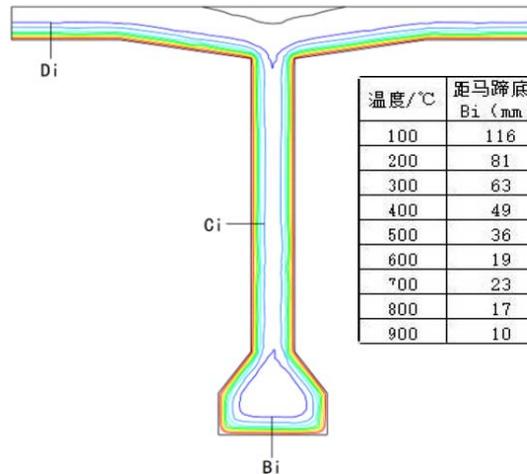
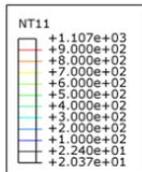


图 H.9 T 梁构造图



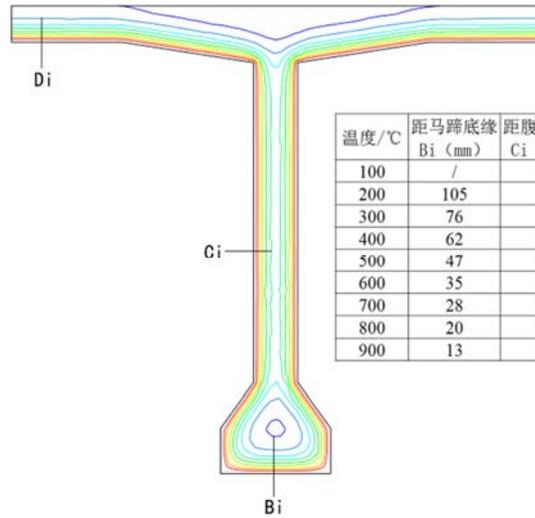
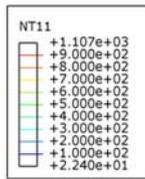
温度/℃	距马蹄底缘 Bi (mm)	距腹板外缘 Ci (mm)	距翼板下缘 Di (mm)
100	85	/	83
200	60	64	60
300	41	41	40
400	33	35	35
500	33	29	29
600	23	23	23
700	17	18	18
800	12	12	12
900	6	7	7

a) 30min



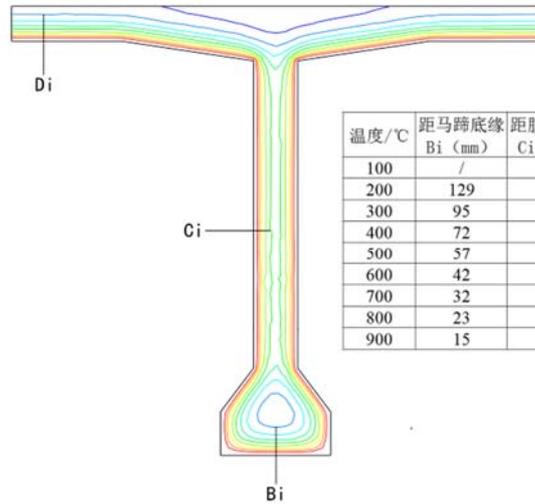
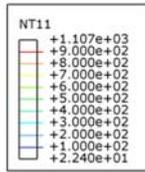
温度/℃	距马蹄底缘 Bi (mm)	距腹板外缘 Ci (mm)	距翼板下缘 Di (mm)
100	116	/	116
200	81	/	80
300	63	73	64
400	49	54	48
500	36	38	37
600	19	31	30
700	23	25	24
800	17	18	17
900	10	11	11

b) 60min



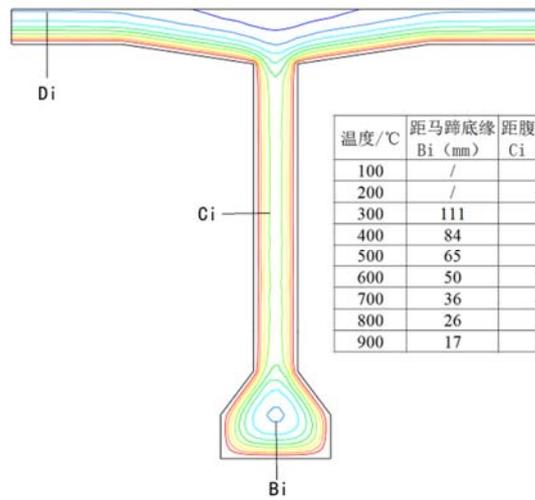
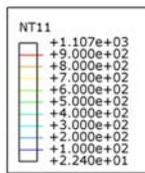
温度/°C	距马蹄底缘	距腹板外缘	距翼板下缘
	Bi (mm)	Ci (mm)	Di (mm)
100	/	/	/
200	105	/	105
300	76	/	77
400	62	77	62
500	47	57	46
600	35	39	36
700	28	31	28
800	20	22	21
900	13	14	13

c) 90min



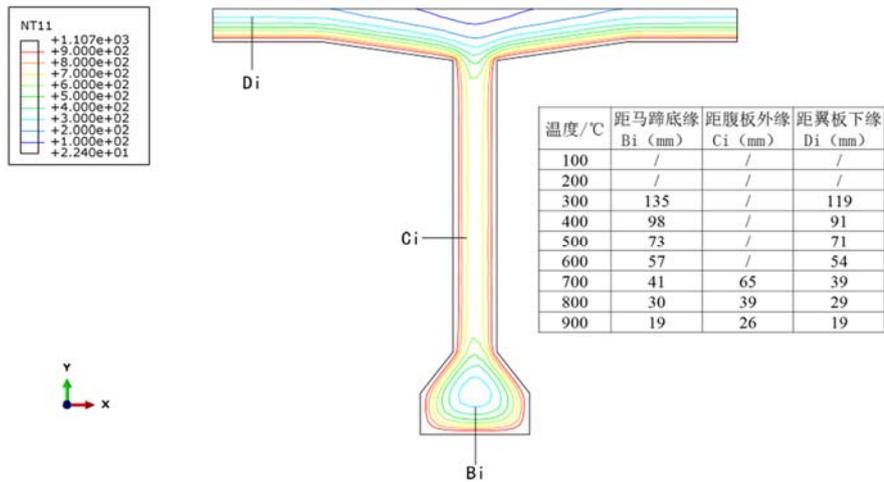
温度/°C	距马蹄底缘	距腹板外缘	距翼板下缘
	Bi (mm)	Ci (mm)	Di (mm)
100	/	/	/
200	129	/	123
300	95	/	92
400	72	/	71
500	57	77	56
600	42	47	41
700	32	37	32
800	23	27	24
900	15	18	15

d) 120min



温度/°C	距马蹄底缘	距腹板外缘	距翼板下缘
	Bi (mm)	Ci (mm)	Di (mm)
100	/	/	/
200	/	/	151
300	111	/	107
400	84	/	80
500	65	/	64
600	50	74	48
700	36	49	36
800	26	33	26
900	17	21	17

e) 150min



f) 180min

图 H.10 T 梁三面受火实用温度曲线

F.6 盖梁

盖梁（见图 H.11）在三面受 IS0834 标准升温曲线作用下，30min, 60min, 90min, 120min, 150min, 180min 下间隔 100°C 等温线分布如下。

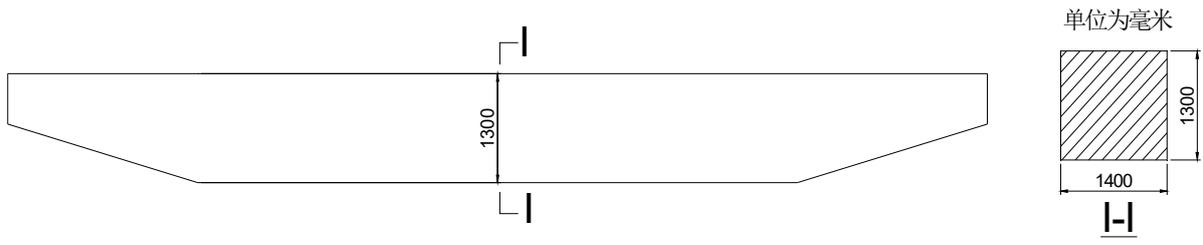
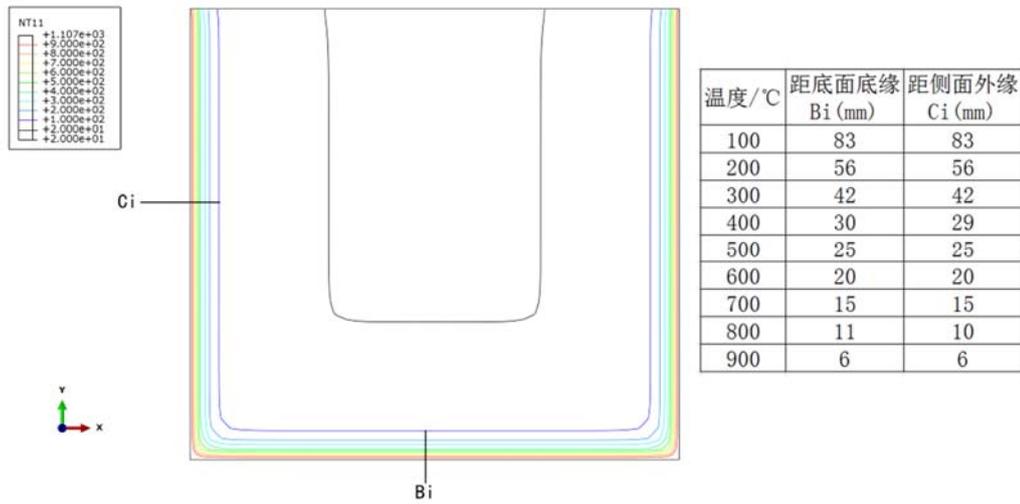
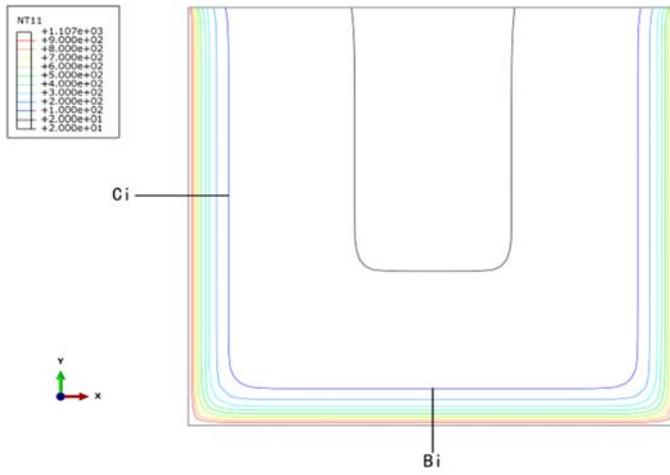


图 H.11 盖梁截面构造图

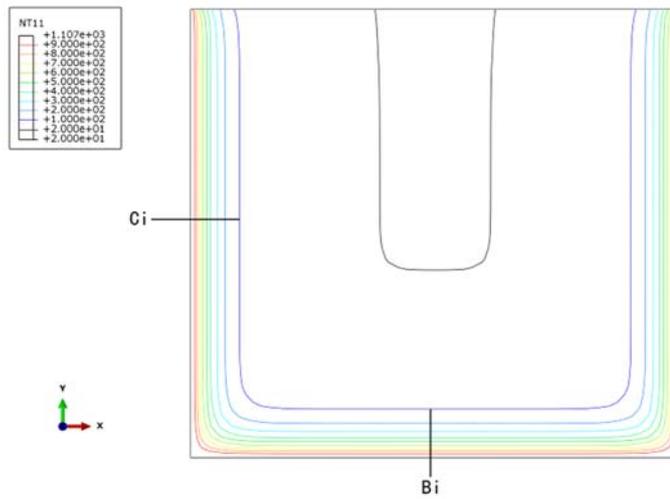


a) 30min



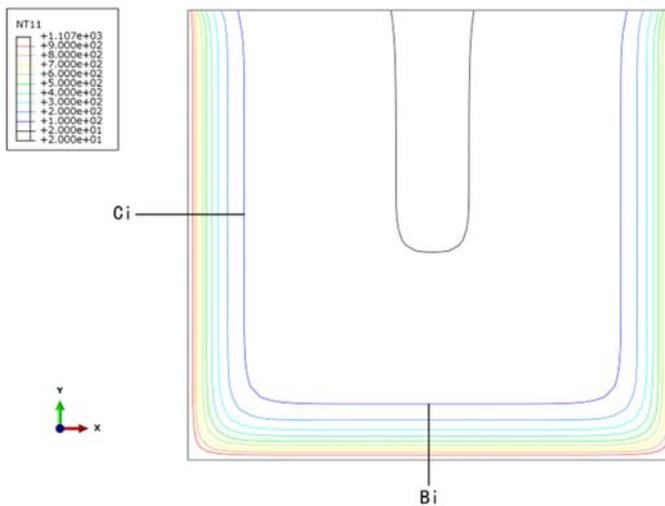
温度/°C	距底面底缘 Bi (mm)	距侧面外缘 Ci (mm)
100	115	114
200	81	81
300	58	59
400	48	48
500	36	36
600	27	27
700	21	21
800	15	15
900	9	9

b) 60min



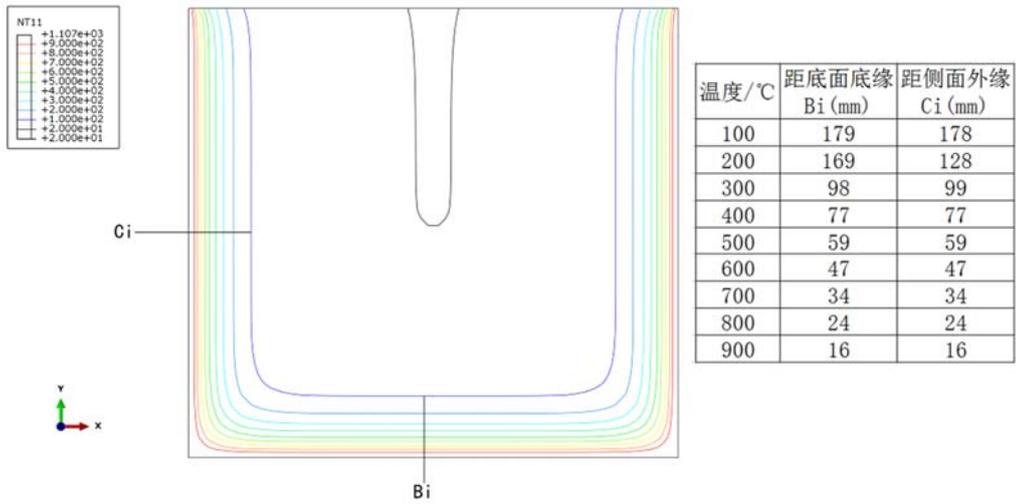
温度/°C	距底面底缘 Bi (mm)	距侧面外缘 Ci (mm)
100	140	140
200	99	99
300	76	76
400	58	58
500	46	46
600	35	35
700	26	26
800	19	19
900	12	12

c) 90min

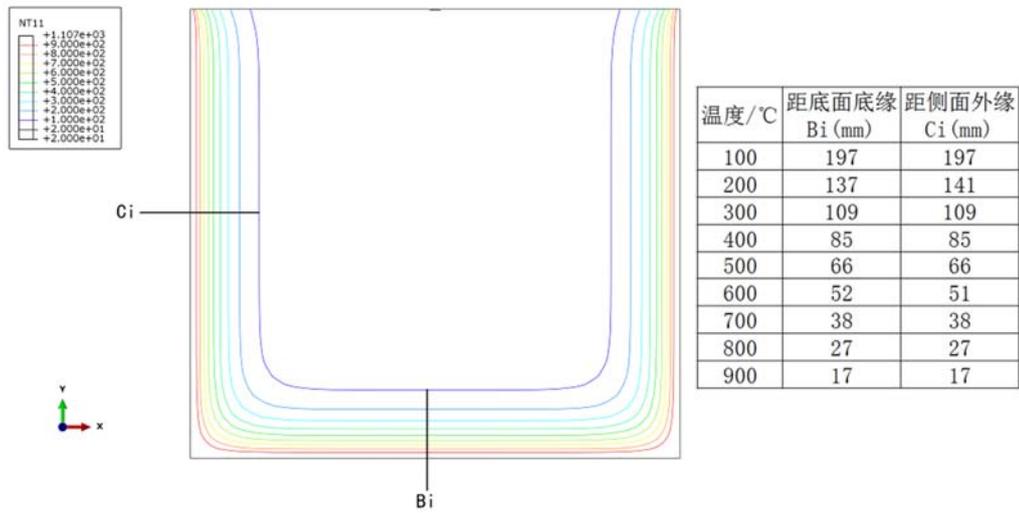


温度/°C	距底面底缘 Bi (mm)	距侧面外缘 Ci (mm)
100	161	161
200	114	114
300	87	87
400	68	69
500	54	53
600	42	38
700	30	30
800	22	22
900	14	14

d) 120min



e) 150min

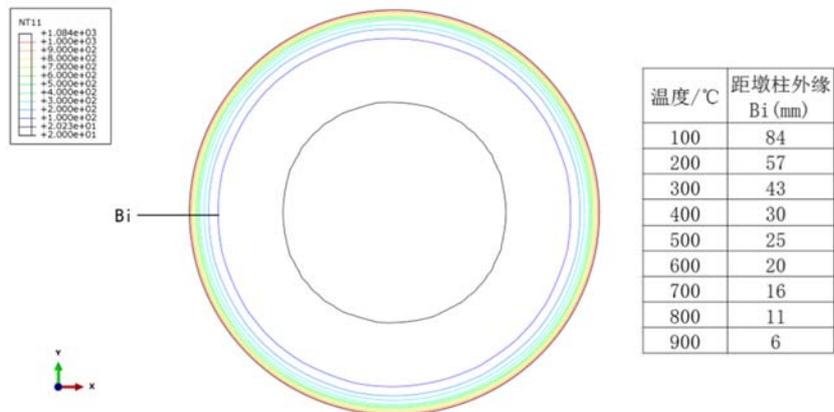


f) 180min

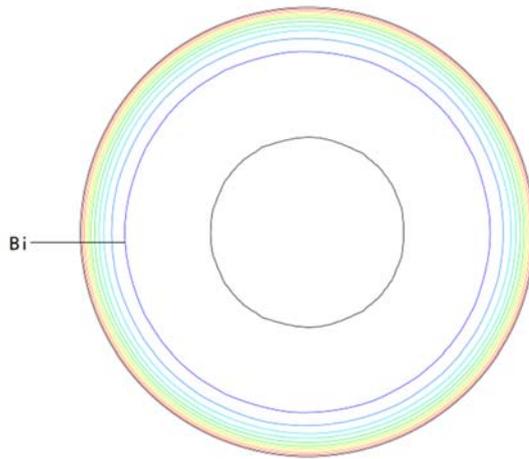
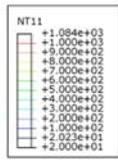
图 H.12 盖梁三面受火实用温度曲线

H.7 圆柱式墩

直径为 120cm 墩柱在 30min, 60min, 90min, 120min, 150min, 180min 下间隔 100°C 等温线分布情况如下:

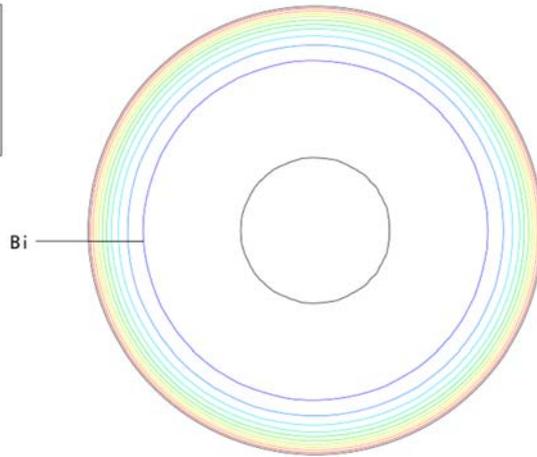
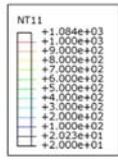


a) 30min



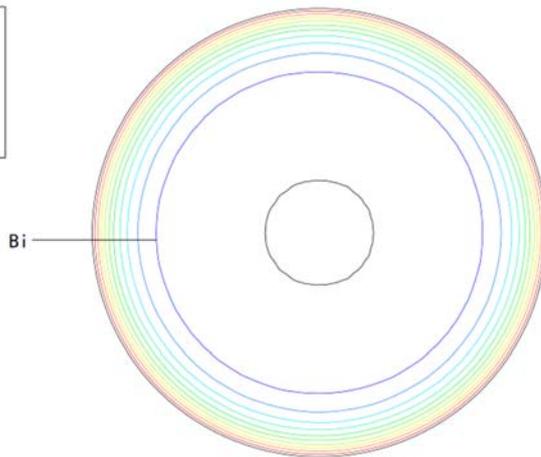
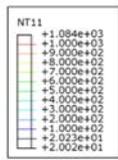
温度/°C	距墩柱外缘 Bi (mm)
100	118
200	83
300	62
400	49
500	38
600	28
700	22
800	16
900	10

b) 60min



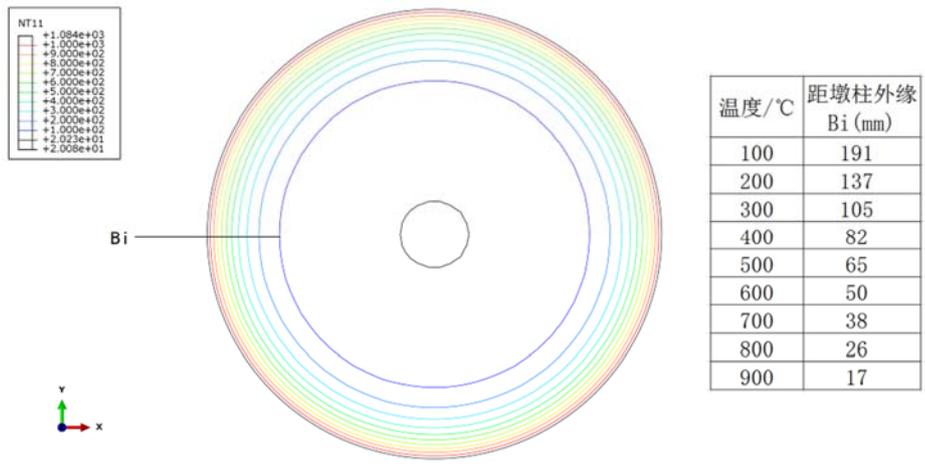
温度/°C	距墩柱外缘 Bi (mm)
100	145
200	104
300	79
400	61
500	49
600	37
700	27
800	20
900	13

c) 90min

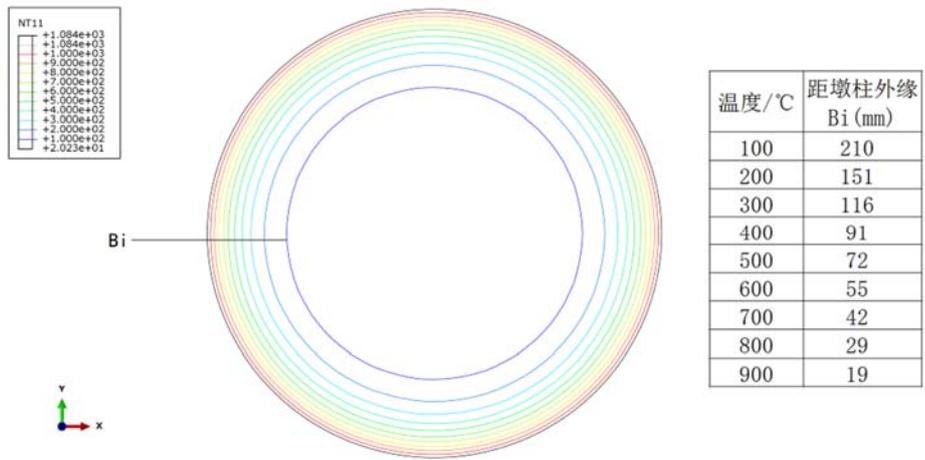


温度/°C	距墩柱外缘 Bi (mm)
100	169
200	120
300	92
400	73
500	56
600	44
700	32
800	23
900	15

d) 120min



e) 150min



f) 180min

图 H. 12 圆柱式墩受火实用温度曲线

附 录 I
(规范性附录)
混凝土热工参数取值

表 I.1 混凝土热工参数取值

温度/°C	热传导系数 W/ (m·K)	比热容 kJ/ (kg·K)	质量密度 (kg/m ³)
20	1.66	892.86	2333.08
100	1.55	895.60	2309.61
200	1.42	899.02	2280.72
300	1.31	902.41	2252.31
400	1.20	905.77	2224.40
500	1.10	909.11	2196.97
600	1.01	912.42	2170.04
700	0.92	915.72	2143.59
800	0.85	918.98	2117.63
900	0.79	922.22	2092.17
1000	0.74	925.44	2067.19
1100	0.69	928.63	2042.70
1200	0.66	931.80	2018.71

附录 J

(规范性附录)

高温冷却后材料性能与历经温度对应关系

表 J.1 高温冷却后混凝土力学性能损伤系数随温度的变化关系

温度/℃	抗压强度		抗拉强度		弹性模量
	自然冷却	喷水冷却	自然冷却	喷水冷却	
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
100	0.99	0.93	0.95	0.92	0.9
200	0.91	0.85	0.85	0.79	0.77
300	0.85	0.74	0.68	0.62	0.61
400	0.75	0.65	0.57	0.49	0.46
500	0.64	0.55	0.45	0.36	0.34
600	0.57	0.46	0.34	0.25	0.21
700	0.49	0.33	0.24	0.17	0.17
800	0.33	0.21	0.16	0.07	0.15
900	0.21	0.16	0.05	0.00	0.00

表 J.2 高温冷却后钢筋力学性能指标随温度的变化关系

温度/℃	热轧钢筋			钢绞线			钢丝		
	屈服强度	极限强度	弹性模量	屈服强度	极限强度	弹性模量	屈服强度	极限强度	弹性模量
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
100	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
200	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
300	0.97	0.98	0.96	0.97	0.98	1.00	0.93	0.96	1.00
400	0.96	0.97	0.95	0.88	0.88	1.00	0.83	0.85	1.00
500	0.95	0.96	0.93	0.74	0.69	1.00	0.59	0.68	1.00
600	0.93	0.92	0.92	0.61	0.51	1.00	0.41	0.52	1.00
700	0.88	0.90	0.90	0.49	0.36	1.00	0.24	0.36	1.00
800	0.82	0.89	0.88	0.47	0.36	0.97	0.16	0.22	0.97
900	0.77	0.84	0.86	0.49	0.42	0.90	0.19	0.10	0.93

表 J.3 高温冷却后钢筋与混凝土粘结性能损伤系数随温度的变化关系

温度/℃	20	100	200	300	400	500	600	700	800
光圆钢筋	1	0.88	0.75	0.65	0.47	0.32	0.21	0.14	0.08
带肋钢筋	1	0.96	0.91	0.85	0.77	0.67	0.45	0.4	0.3

表 J.4 钢绞线预应力损失率随经历温度的关系

温度/℃	常温	300	400	500	600	700	800
预应力损失率	0	6%	14%	24%	37%	53%	71%

附录 K

(规范性附录)

构件截面缩减及承载能力计算方法

K.1 截面逐层损伤法

火灾对混凝土构件温度作用沿着深度方向呈非线性的递减方式，因此其给构件带来的损伤也沿着深度方向呈非线性递减，附图 L.1 给出了矩形截面梁底面受火和侧面受火下温度场分布情况。

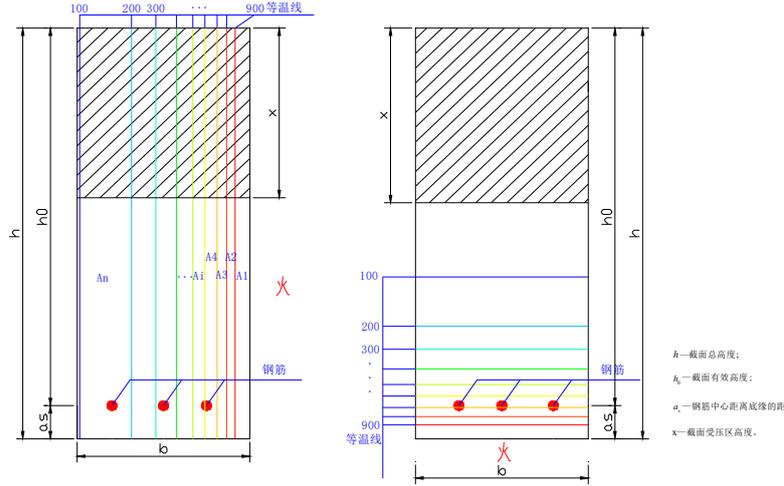


图 K.1 火灾后混凝土构件分层图

根据材料力学中截面刚度计算的基本原理，结合混凝土构件温度场的分布情况，按照间隔 100℃ 等温曲线将其划分为不同的损伤程度区域，由各区域内的混凝土和钢筋弹性模量折减系数逐层计算其刚度和承载能力值后，再汇总形成截面的剩余刚度和承载能力值。具体表达式如下：

$$EA = \sum_{i=1}^n E_c^i A_c^i + E_s A_s \quad (\text{K.1})$$

$$EI = \sum_{i=1}^n (E_c^i I_{d0}^i + E_c^i A_c^i (d^i)^2) + E_s A_s d_s^2 \quad (\text{K.2})$$

$$N_u = \sum_{i=1}^n f_c^i A_c^i + f_s A_s \quad (\text{K.3})$$

$$M_u = f_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = \sum_{i=1}^j f_c^i b^i d_c^i \left(h_0 - \frac{x_c^i}{2} \right) \quad (\text{K.4})$$

$$f_s A_s = \sum_{i=1}^j f_c^i b^i d_c^i \quad (\text{K.5})$$

式中：

EA—截面的轴向刚度；

E_c^i —划分各损伤区域的弹性模量；

A_c^i —各损伤区域混凝土的面积；

E_s —钢筋弹性模量；

A_s —钢筋面积；

EI—截面的抗弯刚度；

I_{d0}^i —各损伤区域绕自身形心轴的惯性矩；

d^i —混凝土各损伤区域中心点至截面中性轴的距离；

d_s —受力区钢筋至中性轴的距离；

N_u —损伤截面轴向受压承载能力值；

f_c^i —各损伤区域混凝土强度值；

f_s —钢筋的强度值；

h_0 —截面的有效高度；

b^i —各损伤区域的宽度；

d_c^i —逐层损伤区域混凝土的厚度，

x_c^i —受压区逐层损伤区域形心距离截面顶缘的距离；

j —受压区的应分析计算到的层数；

K.2 300℃等温线法

该计算方法采用缩减的构件截面尺寸，即忽略构件表面的损伤层。损伤层厚度取为截面受压区300℃等温线上各点距离截面边缘的平均深度。假设温度大于300℃的混凝土对构件承载力没有贡献，而温度不大于300℃的混凝土的抗压强度和弹性模量采用常温取值，其中常温抗压强度采用标准值。截面的承载力计算可采用下述步骤：

- a) 确定截面300℃等温线的位置；
- b) 去掉截面上温度大于300℃的部分，等温线的圆角部分可近似处理成直角。
- c) 确定受拉区和受压区钢筋的温度。单根钢筋的温度可根据钢筋中心处位置由构件截面温度场曲线获得。对于落在缩减后的有效截面之外的部分钢筋，在计算该截面的高温承载力时仍需予以考虑。
- d) 根据钢筋的温度确定钢筋强度，确定过程中钢筋的常温强度采用标准值。
- e) 针对缩减后的有效截面以及由步骤4获得的钢筋强度，采用常温计算方法确定截面的高温承载力。
- f) 比较并判断截面的高温承载力是否大于相应的作用效应组合。

附 录 L
(规范性附录)
芯样分组抗压试验

L.1 目的、适用范围

本方法对芯样分组抗压试验分析混凝土损伤状况的相关要求做明确规定。

本方法适用于受火混凝土构件损伤状况检测分析。

L.2 主要仪器设备

压力机或万能试验机应符合 GB/T 3722 及 GB/T 2611 中的要求。

游标卡尺：量程 300mm，分度值 0.02mm。

L.3 试验步骤及结果分析

L.3.1 混凝土芯样钻取

a) 混凝土芯样应采用内径不小于 75mm 的钻头在同一构件未过火的区域和过火区域分别钻取，芯样钻取深度在 75mm 以上。

b) 芯样的钻取操作应符合 JGJ 384 的基本要求，混凝土芯样钻取后，应对其外观进行描述，并做好摄影和记录。

L.3.2 芯样制作与分组试验

a) 未受火区域芯样直接制作加工成混凝土极限抗压强度试验的芯样，芯样数量宜不少于 3 个。

b) 损伤区域钻取的芯样，结合其外观状况可以初步判定芯样损伤深度 h ($h=0, 5\text{mm}, 10\text{mm}, 15\text{mm}\cdots$)，按照由小到大分别切除损伤部后，按照高径比为 1:1 制作加工成混凝土极限抗压强度试验芯样，并将切除相同深度芯样分为一组，各组芯样数量宜不少于 3 个。

c) 制作加工成混凝土极限抗压强度试验芯样，高径比宜为 1，且满足 JGJ 384 中关于极限抗压强度试验所要求芯样尺寸。

d) 对芯样极限抗压强度试验操作应符合 JTG E30 的相关规定。

L.3.3 抗压强度计算及结果分析

a) 混凝土芯样抗压强度按下式计算：

$$f_c = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (\text{L.1})$$

式中： f_c —混凝土圆柱体抗压强度(MPa)；

F —极限荷载(N)；

d —试件计算直径(mm)。

b) 取对未受火混凝土芯样抗压强度平均值作为该构件混凝土强度未损伤前的代表值 f_{c1} 。

c) 将切除外表面不同深度的各组混凝土芯样抗压强度平均值 f_{ci} 与损伤前混凝土芯样混凝土强度代表值 f_{c1} 相比得到对混凝土的损伤影响系数 K_i 。

d) 当损伤系数在 0.95 以上时，可取芯样表面切除的深度作为该区域混凝土的损伤深度值。