

中国工程建设标准化协会标准

火灾后工程结构鉴定标准

Standard for appraisal of engineering
structures after fire

T/CECS 252 - 2019

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司
上海市建筑科学研究院(集团)有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 2 0 年 4 月 1 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2016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[2016]084号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本标准。

本标准是对《火灾后建筑结构鉴定标准》CECS 252:2009的修订。

本标准共分7章和9个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、调查和检测、火灾后结构分析与构件校核、火灾后结构构件鉴定评级和鉴定报告等。

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

本次修订的主要技术内容如下:

1. 扩大了本标准的适用范围,适用范围扩大到工程结构火灾后的鉴定,结构类型增加了预应力钢筋混凝土结构、木结构和钢-混组合结构;
2. 调整了初步鉴定和详细鉴定的评级标准;
3. 增加了砌体结构构件受火灾后表面温度的推断方法;
4. 增加了火灾后预应力混凝土结构构件、木结构构件和钢-混组合结构构件的鉴定评级内容,并调整了部分原有结构构件鉴定评级的内容;
5. 增加了高温冷却后高强混凝土、高强钢筋的强度折减系数;
6. 调整了高温冷却后混凝土弹性模量、钢筋与混凝土粘结

强度折减系数；

7. 增加了火灾后预应力钢绞线剩余应力测试方法；

8. 增加了高温冷却后预应力钢丝和钢绞线的强度折减系数；

9. 调整了高温冷却后钢结构钢材屈服强度折减系数、增加了高温冷却后高强度螺栓、焊缝的强度折减系数；

10. 增加了高温冷却后高强螺栓预拉力折减系数。

本标准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，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：北京市海淀区西上城路 33 号，邮政编码：100088）。

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

上海市建筑科学研究院（集团）有限公司

参编单位：国家工业建构建筑物质量安全监督检验中心

国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心

同济大学

西安建筑科技大学

烟台大学

哈尔滨工业大学

华南理工大学

应急管理部四川消防研究所

北京市消防救援总队

哈尔滨工业大学（深圳）

清华大学

山东建筑大学

中国京冶工程技术有限公司

宝武装备智能科技有限公司

中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司

民太安财产保险公估股份有限公司

中国平安财产保险股份有限公司
武汉钢铁有限公司

主要起草人：幸坤涛 岳清瑞 惠云玲 王新泉 许清风
郭小华 李国强 周新刚 郑文忠 吴 波
姚继涛 辛 雷 黄 波 李忠焜 施 刚
李兴利 傅传国 楼国彪 熊 焱 杨 华
查晓雄 常好诵 蒋首超 王卓琳 杨建平
庄继勇 姜迎秋 肖建庄 李正前 张伟平
黄德祥 张文革 王 玲 冯绍攀 陈珍珠
陈 岩 侯晓萌 郑士举 赵晓青 陈佳宇
陈世宏 夏善利 黄新豪
主要审查人：聂建国 徐 建 顾祥林 牛荻涛 张 鑫
韩继云 周 笋 吴 体

目 次

1 总则	(1)
2 术语和符号	(2)
2.1 术语	(2)
2.2 符号	(3)
3 基本规定	(6)
3.1 鉴定程序和工作内容	(6)
3.2 鉴定评级标准	(8)
4 调查和检测	(10)
4.1 火作用调查与分析	(10)
4.2 结构构件现状检测	(13)
5 火灾后结构分析与构件校核	(15)
6 火灾后结构构件鉴定评级	(17)
6.1 一般规定	(17)
6.2 混凝土结构构件	(18)
6.3 钢结构构件	(21)
6.4 砌体结构构件	(23)
6.5 木结构构件	(24)
6.6 钢-混组合结构构件	(25)
7 鉴定报告	(27)
附录 A 混凝土构件表面特征与温度的关系	(28)
附录 B 常见材料变态温度、燃点	(29)
附录 C 砌块材料表面特征与温度的关系	(31)
附录 D 混凝土构件在标准升温条件下温度场曲线	(32)
附录 E 常见可燃物发生轰燃情况下当量标准升温	

时间的确定	(53)
附录 F 火灾后混凝土材料的微观分析	(56)
附录 G 火灾后钢筋混凝土的力学性能	(58)
附录 H 火灾后钢结构钢材、高强度螺栓及焊缝的 力学性能	(62)
附录 J 火灾后砌体强度及承载能力的计算方法	(65)
本标准用词说明	(69)
引用标准名录	(70)
附：条文说明	(71)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(6)
3.1	Procedure and content for appraisal	(6)
3.2	Rating standards for appraisal	(8)
4	Investigation and inspection	(10)
4.1	Investigate and analysis of fire action	(10)
4.2	Structural investigation and in-place performance test	(13)
5	Structural analysis and component check after fire	(15)
6	Appraisal rating for structure members after fire	(17)
6.1	General requirements	(17)
6.2	Concrete structure component	(18)
6.3	Steel structure component	(21)
6.4	Masonry structure component	(23)
6.5	Timber structure component	(24)
6.6	Steel-concrete composite structure component	(25)
7	Appraisal report	(27)
Appendix A	The relationship between surface characteristics and temperature of concrete members	(28)
Appendix B	Transform temperature and ignition point of common materials	(29)

Appendix C	The relationship between surface characteristics and temperature of block materials	(31)
Appendix D	Temperature field curve of concrete component at standard temperature rise condition	(32)
Appendix E	Determination of equivalent standard temperature rise time for common combustibles under flame burning	(53)
Appendix F	Micro-analysis of concrete material after fire	(56)
Appendix G	Mechanical properties of reinforced concrete after fire	(58)
Appendix H	Mechanical properties of structural steel, high strength bolts and welds after fire	(62)
Appendix J	Calculating method of masonry strength and bearing capacity after fire	(65)
	Explanation of wording in this standard	(69)
	List of quoted standards	(70)
	Addition; Explanation of provisions	(71)

1 总 则

1.0.1 为规范工程结构火灾后的检测鉴定工作，为火灾后工程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结构、钢结构、砌体结构、木结构和钢-混组合结构等工程结构构件火灾后的检测鉴定。

1.0.3 本标准以火灾后工程结构构件的安全性鉴定为主。火灾后工程结构整体可靠性鉴定还应依据国家现行有关标准进行。

1.0.4 火灾后工程结构鉴定工作，应委托具有鉴定能力的相应专业机构承担。

1.0.5 火灾后工程结构鉴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 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 火灾后工程结构鉴定 structural appraisal after fire
为评估火灾后工程结构可靠性而进行的检测鉴定工作。

2.1.2 火场残留物 debris in scene of fire
火灾后现场残存的物品。

2.1.3 火灾荷载密度 fire load density
火场单位面积可燃物的燃烧总热值。

2.1.4 火场温度过程 temperature-time process
火灾场所从开始燃烧、发展、猛烈燃烧、减弱、熄灭到恢复常温全过程温度与时间关系的历程。

2.1.5 结构构件过火温度分析 temperature analysis of structural component during fire
根据构件和防火层表面受热作用、构件材料热工性能确定构件表面、内部温度的分布状况。

2.1.6 当量标准升温时间 equivalent standard temperature rise time
采用国际标准《Fire-resistance tests—Elements of building construction—Part 1: General requirements》ISO 834-1 标准升温曲线进行标准火灾试验达到火灾作用最高温度时所对应的升温时间。

2.1.7 重要构件 important component
自身失效将导致其他构件失效，并危及承重结构系统安全的构件。

2.1.8 次要构件 secondary component

自身失效为孤立事件，不会直接导致其他构件失效的构件。

2.2 符 号

2.2.1 结构性能及作用效应：

E_p —— 常温下预应力钢丝、钢绞线弹性模量；

f_1 —— 常温下砖抗压强度平均值；

f_2 —— 常温下砂浆抗压强度平均值；

f_m —— 火灾后无筋砖砌体抗压强度平均值；

f —— 火灾后砌体抗压强度设计值；

f_t 、 f_{tm} 、 f_v —— 火灾后砌体抗拉、抗弯、抗剪强度设计值；

$f_{t,m}$ 、 $f_{tm,m}$ 、 $f_{v,m}$ —— 火灾后砌体抗拉、抗弯、抗剪强度平均值；

H_c —— 可燃物的燃烧热值；

M —— 实际烧掉的可燃物质量；

N^t —— 火灾后砌体结构轴心受压构件的轴向力设计值；

P_0 —— 常温下高强度螺栓的预拉力；

P_T —— 高温冷却后高强度螺栓的预拉力；

Q —— 可燃物总热值；

q_T —— 房间火灾荷载密度；

R —— 结构或构件的抗力；

S —— 结构或构件的作用效应；

T —— 火场温度；

T_d —— 砌体结构构件距迎火面 d (mm) 处的温度；

T_s —— 构件表面曾达到的最高温度；

t —— 升温时间；

t_c —— 当量标准升温时间；

- β 、 $[\beta]$ ——砌体结构构件的高厚比、允许高厚比；
- ϵ 、 ϵ' ——钢绞线轴向应变绝对值、偏轴应变绝对值；
- σ_{pc}^I ——火灾后预应力钢绞线剩余应力；
- ω ——火灾后受弯构件实际挠度；
- $[\omega]$ ——受弯构件的挠度限值。

2.2.2 几何参数：

- A ——截面面积；
- A_T ——房间所有内表面积；
- A_w ——房间通风口面积；
- b_c ——构件截面宽度；
- e ——轴向力的偏心距；
- H ——混凝土实心板板厚；
- H_w ——通风口高度；
- h ——矩形截面的轴向力偏心方向的边长；
- l_0 ——构件的计算跨度；
- l_c ——柱的计算长度；
- r ——混凝土圆形截面构件半径。

2.2.3 计算系数：

- C_{t1} ——火灾后砖抗压强度折减系数；
- C_{t2} ——火灾后砂浆抗压强度折减系数；
- F ——计算房间的通风系数；
- k_1 ——块体形状、尺寸、砌筑方法等因素的影响系数；
- k_2 ——砂浆强度不同对砌体抗压强度的影响系数；
- k_3 、 k_4 、 k_5 ——计算系数；
- k_p ——高强螺栓预拉力调整系数；
- α ——与砂浆强度有关的计算参数；

γ_0 ——结构重要性系数；

φ^f ——火灾后砌体结构轴心受压构件的纵向弯曲系数。

2.2.4 鉴定评级：

I、II_a、II_b、III、IV ——火灾后结构构件的初步鉴定评定等级；

a、b、c、d ——火灾后结构构件的详细鉴定评定等级。

3 基本规定

3.1 鉴定程序和工作内容

3.1.1 工程结构发生火灾后应对结构进行检测鉴定，现场检测应保证检测工作安全。

3.1.2 火灾后工程结构鉴定对象应为工程结构整体或相对独立的结构单元。

3.1.3 火灾后工程结构鉴定应分为初步鉴定和详细鉴定两阶段。初步鉴定应以构件的宏观检查评估为主，详细鉴定应以安全性分析为主。

3.1.4 火灾后工程结构鉴定，宜按规定的鉴定流程（图 3.1.4）进行，并应符合下列规定：

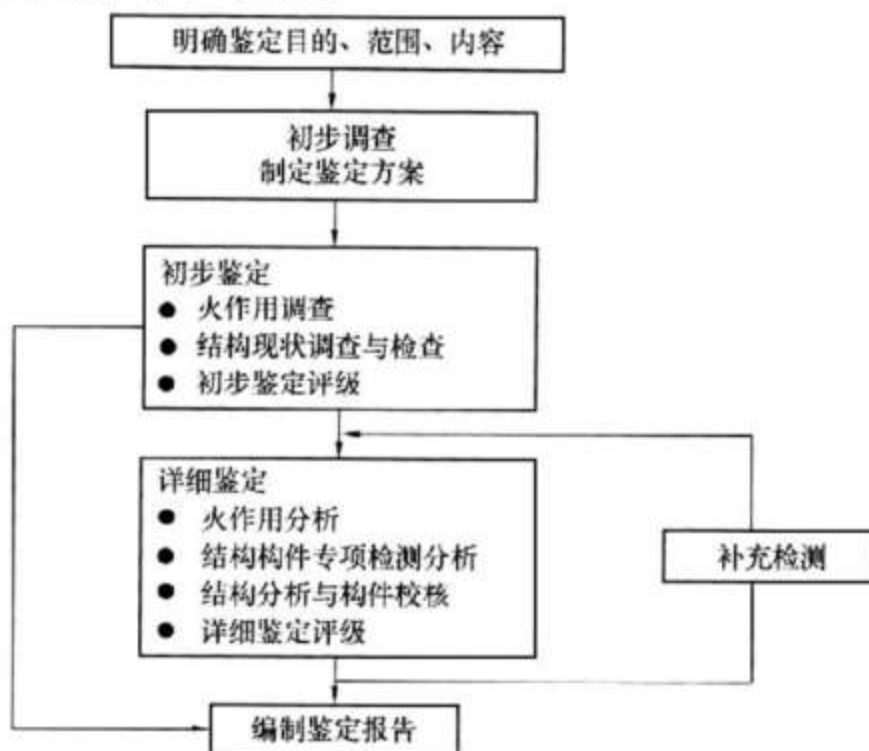


图 3.1.4 火灾后工程结构鉴定流程图

- 1 当仅需鉴定火灾影响范围及程度时，可仅做初步鉴定。
- 2 当需要对火灾后工程结构的安全性或可靠性进行评估时，

应进行详细鉴定。

3.1.5 初步调查应包括下列工作内容：

- 1 查阅图纸资料，包括结构设计和竣工资料；调查结构使用及改造历史、实际使用状况。
- 2 了解火灾过程及火灾影响区域，查阅火灾报告等资料。
- 3 现场勘查了解火场残留物状况、荷载变化情况。
- 4 观察结构损伤情况，判断主体结构及附属物的整体牢固性、出现垮塌的风险性。
- 5 制定鉴定方案。

3.1.6 鉴定方案宜包括下列内容：

- 1 工程概况。
- 2 检测鉴定的目的、依据和范围。
- 3 调查与检测的工作内容、方法和设备。
- 4 分析与校核内容。
- 5 现场检测相关安全保障措施。

3.1.7 初步鉴定应符合下列规定：

- 1 火作用调查应初步判断结构所受的温度范围和作用时间，包括调查火灾过程、火场残留物状况及火灾影响区域等。
- 2 结构现状调查与检查应调查结构构件受火灾的损伤程度，包括烧灼及温度损伤状态和特征等。
- 3 初步鉴定评级应根据结构构件损伤特征进行结构构件的初步鉴定评级，对于不需要进行详细鉴定的结构，可根据初步鉴定结果直接编制鉴定报告。

3.1.8 详细鉴定应符合下列规定：

- 1 火作用分析应根据火作用调查与检测结果，进行结构构件过火温度分析。结构构件过火温度分析应包括推定火灾温度过程及温度分布，推断火灾对结构的作用温度及分布范围，判断构

件受火温度。

2 结构构件专项检测分析应根据详细鉴定的需要，对受火与未受火结构构件的材质性能、结构变形、节点连接、结构构件承载能力等进行专项检测分析。

3 结构分析与构件校核应根据受火结构材质特性、几何参数、受力特征和调查与检测结果，进行结构分析计算和构件校核。

4 详细鉴定评级应根据受火后结构分析计算和构件校核分析结果，按国家现行有关标准规定进行结构整体的安全性鉴定评级或可靠性鉴定评级。

3.1.9 在火灾后工程结构鉴定过程中，当发现调查检测资料不足或不准确时，应进行补充调查检测。

3.1.10 火灾后工程结构鉴定工作完成后应提出鉴定报告。

3.2 鉴定评级标准

3.2.1 火灾后工程结构构件的初步鉴定评级，应根据构件的烧灼损伤程度按表 3.2.1 的规定评定。

表 3.2.1 构件的初步鉴定评级标准

级别	烧灼损伤程度	应对措施
I	未遭受烧灼作用，未发现火灾及高温造成的损伤，构件材料、性能及安全状况未受到火灾影响	不必采取措施
II _a	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	可不采取措施或仅采取提高耐久性的措施
II _b	轻度烧灼，构件材料及性能受到轻度影响，火灾尚不明显影响构件安全	应采取提高耐久性 or 局部处理和外观修复措施
III	中度烧灼，构件材料及性能受到明显影响，火灾明显影响构件安全	应采取加固或局部更换措施

续表 3.2.1

级别	烧灼损伤程度	应对措施
IV	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，危及结构安全	应立即进行安全防护，并采取彻底加固、更换或拆除的措施

3.2.2 火灾后工程结构构件的详细鉴定评级，应根据检测、分析和校核结果，按表 3.2.2 的规定评定。

表 3.2.2 构件的详细鉴定评定标准

级别	分级标准	应对措施
a	未受到火灾影响且符合国家现行标准安全性要求，安全，可正常使用	不必采取措施
b	受火灾影响，或略低于国家现行标准安全性要求，不影响安全，可正常使用	宜采取适当措施
c	不符合国家现行标准安全性要求，影响安全和正常使用	应采取措施
d	极不符合国家现行标准安全性要求，严重影响安全	应立即加固、更换或拆除

4 调查和检测

4.1 火作用调查与分析

4.1.1 火作用调查与分析，宜包括火作用调查、火场温度分布推断、构件表面温度及结构内部温度推断。

4.1.2 火作用调查应包括下列内容：

1 火灾过程调查，包括起火时间、部位、蔓延路径，燃烧特点和持续时间，灭火过程及措施等。

2 火灾荷载调查，包括可燃物种类、特性、数量、分布等。

3 火场环境调查，包括消防措施、燃烧环境、通风条件，受火墙体及楼盖的热传导特性等。

4 火场残留物状况调查，包括火场残留物种类及烧损状况等。

5 火灾影响区域调查与确定，应根据火灾过程、现场残留物状况及结构外观烧损状况综合判定。

4.1.3 火场温度分布推断，应根据火灾调查、结构表观状况、火灾荷载及火场残留物状况、火灾燃烧时间、通风条件、灭火过程等综合分析推断。

4.1.4 结构构件表面温度及作用范围推断可按下列规定的方法进行：

1 受火灾影响的混凝土构件表面曾经达到的最高温度及作用范围，可按本标准附录 A 推断。

2 受火灾影响的钢构件表面曾经达到的最高温度及作用范围，可按本标准附录 B.0.3 条推断。

3 受火灾影响的砌体构件表面曾经达到的最高温度及作用范围，可按本标准附录 C 推断。

4 受火灾影响的木构件表面曾经达到的最高温度及作用范

围，可根据木材表面颜色和炭化情况推断。

5 构件表面曾经达到的最高温度及作用范围可根据火场残留物分布、烧损状况等，可按本标准附录 B 0.1、B 0.2 条推断。

4.1.5 结构构件内部温度推定可按下列规定执行：

1 混凝土结构构件截面历经最高温度场，可根据当量标准升温时间 (t_e) 按本标准附录 D 推断。当量标准升温时间 (t_e) 可按下列规定取值：

- 1) 当发生过轰燃时，当量标准升温时间 (t_e) 可按本标准附录 E 推断。
- 2) 当未曾发生轰燃时，当量标准升温时间 (t_e) 可根据构件表面曾经达到的最高温度按下式推断：

$$t_e = \exp(T_s/204) \quad (4.1.5)$$

式中： T_s ——构件表面曾达到的最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

- 3) 对于直接受火的钢筋混凝土楼板，当量标准升温时间 (t_e) 可根据标准耐火试验中混凝土构件的外观特征按表 4.1.5-1 进行推断。

表 4.1.5-1 标准耐火试验中混凝土构件的外观特征与当量标准升温时间的关系

当量标准 升温时间 t_e (min)	炉温 ($^{\circ}\text{C}$)	外观特征				锤击 声音
		颜色	表面裂缝	疏松脱落	露筋	
20	790	浅灰白， 略显黄色	有少许细 裂缝	无	无	响亮
20~30	790~863	浅灰白， 略显浅黄色	有较多细 裂缝	表面疏松，棱 角处有轻度脱落	无	较响亮
30~45	863~910	灰白，显 浅黄色	有较多细 裂纹并伴有 少量贯穿 裂缝	表面起鼓，棱 角处轻度脱落， 部分石子石灰化	无	沉闷

续表 4.1.5-1

当量标准 升温时间 t_e (min)	炉温 ($^{\circ}\text{C}$)	外观特征				锤击 声音
		颜色	表面裂缝	疏松脱落	露筋	
45~60	910~944	浅黄色	贯穿裂缝 增多	表面起鼓, 棱 角处脱落较重	无	声哑
60~75	944~972	浅黄色	贯穿裂缝 增多	表面起鼓, 棱 角处严重脱落	露筋	声哑
75~90	972~1001	浅黄, 显 白色	贯穿裂缝 增多	表面严重脱落, 棱角处露筋	露筋	声哑
100	1026	浅黄, 显 白色	贯穿裂缝 增多	表面全部脱落, 棱角处严重露筋	严重 露筋	声哑

2 火灾后发生爆裂的混凝土结构构件截面历经最高温度场可按下列规定进行推断:

- 1) 火灾后发生爆裂的混凝土, 可根据常温下混凝土强度等级按表 4.1.5-2 判断混凝土表面爆裂临界温度, 混凝土表面爆裂临界温度应为混凝土发生首次爆裂时对应的温度。
- 2) 由表 4.1.5-2 确定混凝土爆裂临界温度后, 可由实际火灾升温曲线计算确定混凝土发生爆裂的时刻。当缺乏实际火灾升温曲线时, 也可按本标准附录 D 的曲线图推断混凝土发生爆裂的时刻。
- 3) 以混凝土发生爆裂的时刻为分界线, 爆裂前, 可按全截面计算温度场; 爆裂后, 可按爆裂后的剩余截面计算温度场。

表 4.1.5-2 混凝土爆裂临界温度 ($^{\circ}\text{C}$)

混凝土强度等级	爆裂临界温度
C20	510
C25	485

续表 4.1.5-2

混凝土强度等级	爆裂临界温度
C30	470
C35	460
C40	450
C45	440
C50	435
C55	430
C60	425
C65	420
C70	415
C75	410
C80	405

3 火灾后混凝土结构构件截面历经最高温度场，也可根据混凝土材料微观分析结果按本标准附录 F 推断。

4 结构构件截面历经最高温度场，可根据火场温度过程、构件受火状况及构件材料特性按热传导规律推断。

4.2 结构构件现状检测

4.2.1 结构构件现状检测应包括下列内容：

- 1 烧灼损伤状况检查。
- 2 温度作用损伤检查。
- 3 结构材料性能检测。

4.2.2 结构构件烧灼损伤状况检查应符合下列规定：

1 对直接暴露于火焰或高温烟气的结构构件，应全数检查烧灼损伤部位。

2 对于次要构件或连接可采用外观目测、锤击回声、探针、开挖探槽（孔）、超声等方法检查。

3 对于重要构件或连接，宜通过材料微观分析按本标准附录 F 判断。

4.2.3 结构构件温度作用损伤检查应符合下列规定：

1 对承受温度应力作用的结构构件及连接节点，应检查结构构件及连接节点的变形、裂损状况。

2 对于不便观察或仅通过观察难以发现问题的结构构件，可辅以温度应力分析判断。

4.2.4 结构材料性能检测应符合下列规定：

1 火灾后结构材料的性能可能发生明显改变时，应通过抽样检验或模拟试验确定材料性能指标。

2 对于烧灼程度特征明显，材料性能对结构性能影响敏感程度较低，且火灾前材料性能明确，可根据温度场推定结构材料的性能指标，并宜通过取样检验修正。

4.2.5 结构构件现状检测内容应包括表 4.2.5 规定的内容。

表 4.2.5 结构构件现状检测内容

类别	检测内容
混凝土结构构件	构件颜色、裂损情况、锤击反应、混凝土脱落及露筋情况、受力钢筋与混凝土粘结状况、变形、混凝土及钢筋材料性能等。预应力混凝土结构构件检测还包括预应力锚具和预应力筋历经温度等
钢结构构件	涂装与防火保护层、构件开裂情况、局部变形、整体变形、连接损伤情况、材料性能等
砌体结构构件	外观损伤情况、构件裂缝情况、结构变形、材料性能等
木结构构件	构件外观损伤、防火保护层、连接板残余变形、螺栓滑移构件变形、剩余有效截面尺寸等
钢-混组合结构构件	除混凝土结构构件和钢结构构件检测内容外，还包括混凝土与型钢之间的连接情况等

5 火灾后结构分析与构件校核

5.0.1 火灾后的结构分析与构件校核方法应符合国家现行设计标准的规定。

5.0.2 结构分析与构件校核所采用的计算模型应符合火灾后结构的实际受力和构造状况。

5.0.3 火灾后结构分析计算模型应计入下列火灾作用对结构受力性能的不利影响：

1 构件的局部屈曲或扭曲对结构承载力和刚度产生的不利影响。

2 焊缝连接的残余应力、高强螺栓应力损失、螺栓或铆钉松动、连接板变形等对节点连接约束的不利影响。

3 结构几何形状变化、结构位移、构件的变形等对结构刚度产生的不利影响。

5.0.4 火灾后结构分析可根据结构概念和结构鉴定的需要对计算模型进行合理的简化，并可按下列规定执行：

1 局部火灾未造成整体结构明显变位、损伤及裂缝时，可仅计算局部作用。

2 支座没有明显变位的板、梁、框架等连续结构可不计入支座变位的影响。

5.0.5 结构上的作用取值应符合下列规定：

1 符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 有关规定取值者，应按标准选用。

2 结构上的作用与国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 规定取值偏差较大

者，应按实际情况确定。

3 国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 未作规定或按实际情况难以直接选用时，可根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的有关规定确定。

5.0.6 结构上作用效应的分项系数和组合系数，应按国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定确定。

5.0.7 火灾后的结构构件材料性能，应根据火灾后结构构件残余状态的材料力学性能实测值或根据构件截面温度场按本标准第 6 章的规定取值。

5.0.8 火灾后结构或构件的几何参数应取实测值，并应计入火灾后结构实际的变形、偏差以及裂缝、损伤等影响。

5.0.9 火灾后构件的校核，应计入火灾作用对结构材料性能、结构受力性能的不利影响，按国家现行有关标准的规定进行计算分析。

5.0.10 对于烧灼严重、变形明显等损伤严重的结构构件，当需要判断火灾过程中温度应力对结构造成的潜在损伤时，火灾后结构构件的校核应采用更精确的计算模型进行分析。

5.0.11 对于特殊的重要结构构件，火灾后结构构件的抗力宜通过试验检验分析确定。

6 火灾后结构构件鉴定评级

6.1 一般规定

6.1.1 火灾后结构构件的初步鉴定评级应按本标准第 6.2 节～第 6.6 节中规定的项目评定，并取其中最严重等级作为结构构件的初步鉴定等级。

6.1.2 火灾后结构构件的初步鉴定评级应符合下列规定：

1 构件未遭受烧灼作用，未发现火灾及高温造成的损伤，构件材料、性能及安全状况未受到火灾影响，构件初步鉴定等级应评为 I 级。

2 混凝土结构构件和砌体结构构件火灾后严重破坏，难以加固修复，需要拆除或更换，构件初步鉴定等级应评为 IV 级。

3 钢结构构件火灾后出现下列情况时，初步鉴定等级应评为 IV 级：

1) 严重烧灼损坏、出现过大的整体变形、严重残余变形、开裂或断裂、局部屈曲、扭曲或部分焊缝撕裂导致承载力丧失或大部分丧失。

2) 火灾后钢结构连接大面积损坏、焊缝严重开裂、螺栓烧损或断裂脱落。

4 木结构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。

6.1.3 对初步鉴定等级为 IV 级的结构构件，详细鉴定应直接评为 d 级。

6.1.4 火灾后结构构件详细鉴定应按承载能力、构造连接两个项目分别评定等级，并应计入火灾后材料的实际性能和结构构造

以及火灾造成的变形和损伤的不利影响，取其中较低等级作为构件的详细鉴定等级。

6.1.5 火灾后结构构件承载能力、构造连接评级除应按本标准第 6.2 节~第 6.6 节中规定的项目评定外，还应计入火灾对结构的不利影响，根据工程结构的类型，按现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的规定进行。

6.1.6 火灾后结构整体的可靠性或安全性鉴定，应计入火灾对结构整体牢固性的不利影响。

6.2 混凝土结构构件

6.2.1 火灾后混凝土结构构件的初步鉴定评级应按表 6.2.1 和本标准第 6.1.2 条的规定进行，并按各项所评定的损伤等级中的最严重级别作为构件初步鉴定等级。对于截面单边长度或直径不大于 400mm 的钢筋混凝土柱，火灾后初步鉴定评级宜从严。

表 6.2.1 火灾后混凝土结构构件初步鉴定评级标准

评级项目	各损伤等级状态特征		
	Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
油烟和烟灰	局部有	大面积有或局部被烧光	大面积被烧光
混凝土颜色改变	基本未变或被黑色覆盖	粉红	土黄色或灰白色
火灾裂缝	无火灾裂缝	表面轻微或中等裂缝	粗裂缝
锤击反应	声音响亮，混凝土表面不留下痕迹	声音较响或较闷，混凝土表面留下较明显痕迹	声音发闷，混凝土粉碎或塌落

续表 6.2.1

评级项目		各损伤等级状态特征		
		Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
混凝土 脱落	实心板	无	不多于5处,且每处面积不大于0.01m ²	多于5处或单处面积大于0.01m ² ,或穿透或全面脱落
	肋形板	无	肋部有,锚固区无;板中个别处有,但脱落面积不大于20%且不在跨中	锚固区有,板有贯通,脱落面积大于20%,或穿过跨中
	梁	无	下表面局部脱落或少量局部露筋	跨中和锚固区单排钢筋保护层脱落,或多排钢筋大面积深度烧伤
	柱	无	局部混凝土脱落	大部分混凝土脱落
	墙	无	脱落面积不大于0.25m ² ,且为表面剥落	最大块脱落面积大于0.25m ² ,或大面积剥落
受力钢筋 露筋	板	无	有露筋,露筋长度不大于板跨的20%,且锚固区未露筋	大面积露筋,露筋长度大于板跨的20%或锚固区露筋
	梁	无	受力钢筋外露长度不大于梁计算跨度的30%,单排钢筋不多于1根,多排筋不多于2根	受力钢筋外露长度大于梁计算跨度的30%或单排钢筋多于1根,多排钢筋多于2根
	柱	无	轻微露筋,不多于1根,露筋长度不大于柱高或层高的20%	露筋多于1根,或露筋长度大于柱高或层高的20%
	墙	无	有露筋,露筋长度不大于墙高的10%,且锚固区未露筋	大面积露筋,露筋长度大于墙高的10%,或锚固区露筋

续表 6.2.1

评级项目	各损伤等级状态特征		
	Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
变形	无明显变形	略有变形	较大变形
柱倾斜	$\delta/h \leq 0.002$	$0.002 < \delta/h \leq 0.007$	$\delta/h > 0.007$
预应力锚具	封锚混凝土近表面历经最高温度不超过 200℃	封锚混凝土近表面历经最高温度超过 200℃, 但不超过 250℃	封锚混凝土近表面历经最高温度超过 250℃
预应力筋	<p>1 跨中为控制截面时, 混凝土表面历经最高温度不超过 200℃;</p> <p>2 支座为控制截面时, 混凝土表面历经最高温度不超过 100℃;</p> <p>3 当既有跨中截面又有支座截面时, 取两者较严重的进行评级</p>	<p>1 跨中为控制截面时, 混凝土表面历经最高温度超过 200℃、不超过 300℃;</p> <p>2 支座为控制截面时, 混凝土表面历经最高温度超过 100℃、不超过 150℃;</p> <p>3 当既有跨中截面又有支座截面时, 取两者较严重的进行评级</p>	<p>1 跨中为控制截面时, 混凝土表面历经最高温度超过 300℃;</p> <p>2 支座为控制截面时, 混凝土表面历经最高温度超过 150℃;</p> <p>3 当既有跨中截面又有支座截面时, 取两者较严重的进行评级</p>

注: 1 混凝土楼板、屋面板包含混凝土及预应力混凝土楼板、屋面板;

2 梁包括钢筋混凝土梁、预应力混凝土梁;

3 δ 为层间位移, h 为层高或柱高。

6.2.2 火灾后混凝土结构构件的详细鉴定评级应符合下列规定:

1 火灾后混凝土和钢筋力学性能宜通过钻取混凝土芯样、截取钢筋试样检验, 也可按本标准附录 G 判定。

2 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也可根据构件截面温度场按本标准附录 G 判定。

3 混凝土结构构件火灾后截面历经温度场应根据构件的截面形式、材料热性能、构件表面最高温度和火灾持续时间确定。

混凝土柱、梁、板的火灾后截面历经温度场可按本标准附录 D 判定。

4 火灾后混凝土结构构件的详细鉴定评级应按本标准第 6.1.4 条~第 6.1.6 条的规定进行, 评定为 b 级的重要构件宜采取加固处理措施。

6.3 钢结构构件

6.3.1 火灾后钢结构构件的初步鉴定评级应按表 6.3.1 和本标准第 6.1.2 条的规定进行, 并按各项所评定的损伤等级中的最严重级别作为构件初步鉴定等级。

表 6.3.1 火灾后钢结构构件的初步鉴定评级标准

评级项目	各损伤等级状态特征		
	Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
涂装与防火保护层	基本完好无损; 防火保护层有细微裂纹且无脱落	防腐涂装完好; 防火涂装或防火保护层开裂但无脱落	防腐涂装碳化; 防火涂装或防火保护层局部范围脱落
局部变形	无	有局部残余变形、轻度局部屈曲或扭曲, 对承载力无明显影响	主要受力截面有局部屈曲或扭曲, 对承载力有一定影响; 非主要受力截面有明显局部屈曲或扭曲; 局部残余变形对承载力有一定影响
整体变形	未见明显变形, 且变形不大于现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定的变形允许值	未见明显变形, 且变形不大于现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定的变形允许值	可见明显变形, 但变形不大于现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定的变形允许值的 2 倍

续表 6.3.1

评级项目		各损伤等级状态特征		
		Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
连接 损伤 情况	连接板 残余变形 与撕裂	无	轻度残余变形, 对 承载力无明显影响	主要受力节点板有一 定的变形, 或节点加劲 肋有较明显的变形
	焊缝撕裂 与螺栓滑 移及变形 断裂	无	个别连接螺栓松动	螺栓松动, 有滑移; 受拉区连接板之间脱开, 个别焊缝撕裂

注: 对于格构式钢构件, 还应按本表对缀板、缀条与格构分肢之间的焊缝连接、螺栓连接进行评级。

6.3.2 火灾后钢结构构件的详细鉴定评级应符合下列规定:

1 火灾后钢结构受火钢材力学性能指标宜现场取样检验, 检验的力学性能指标应包括屈服强度和极限强度、延伸率、冲击韧性和弹性模量。现场取样应避免构件的主要受力位置和截面最大应力处, 并对取样部位进行补强。

2 对特殊重要结构取样受限时, 受火构件的材料强度与冲击韧性, 可通过同种钢材加温冷却试验确定。钢材试样的升降温过程应与构件在火灾中所经历的升降温过程相同, 并且冷却方式应能反映实际火灾中的情况。

3 当能确定钢结构构件表面温度时, 高温过火冷却后结构钢的屈服强度, 高强度螺栓、焊缝的强度折减系数可按本标准附录 H 确定。

4 火灾后钢结构构件的详细鉴定评级应按本标准第 6.1.4 条~第 6.1.6 条的规定进行, 并应计入火灾对材料强度、连接和构件变形的影响。

5 对于无冲击韧性要求的钢构件, 可按承载力评定等级。对于有冲击韧性要求的钢构件, 当构件受火后材料的冲击韧性不

满足原设计要求，且冲击韧性等级相差一级时，构件承载能力应评为 c 级；当其冲击韧性等级相差两级或两级以上时，构件的承载能力评定应评为 d 级。评定为 b 级的重要构件宜采取加固处理措施。

6.4 砌体结构构件

6.4.1 火灾后砌体结构构件的初步鉴定评级可按表 6.4.1 和本标准第 6.1.2 条的规定进行，并应按各项所评定损伤等级中的最严重级别作为构件初步鉴定等级。对于独立砖柱或截面面积小于 0.3m^2 的构件，火灾后鉴定评级宜从严。

表 6.4.1 火灾后砌体结构构件初步鉴定评级标准

评级项目		各损伤等级状态特征		
		Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
外观损伤		无损伤、墙面或抹灰层有烟熏	抹灰层有局部脱落，灰缝砂浆无明显烧灼	抹灰层有局部脱落或脱落部位砂浆烧灼在 15mm 以内，块材表面尚未开裂变形
变形 裂缝	墙、壁柱墙	无裂缝，略有灼烧痕迹	有裂痕显示	有裂缝，最大宽度不大于 0.6mm
	独立柱	无裂缝，略有灼烧痕迹	无裂缝，有灼烧痕迹	有裂痕
受压 裂缝	墙、壁柱墙	无裂缝，略有灼烧痕迹	个别块材有裂缝	裂缝贯通 3 层块材
	独立柱	无裂缝，无灼烧痕迹	个别块材有裂缝	有裂缝贯通块材
变形		无明显变形	略有变形	较大变形

注：表中适用于砖砌体结构，砌块砌体可按本标准第 6.2.1 条评级。

6.4.2 火灾后砌体结构构件的详细鉴定评级应符合下列规定：

- 1 火灾后砌体块材和砂浆强度宜现场取样检验。

2 当现场取样有困难时，火灾后砌体块材和砂浆强度也可按现行国家标准《砌体工程现场检测技术标准》GB/T 50315 或《非烧结砖砌体现场检测技术规程》JGJ/T 371 的有关规定进行现场检测。

3 火灾后砖砌体块材和砂浆强度可根据构件表面温度按本标准附录 J 推定。当根据温度场推定火灾后材料力学性能指标时，宜采用抽样试验进行修正。

4 火灾后砖砌体的轴心抗压、抗拉、抗弯与抗剪强度及承载力的计算可按本标准附录 J 进行；也可根据推定的砌体抗压强度按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定计算。

5 火灾后砌体结构墙、柱的允许高厚比 $[\beta]$ 应按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定取值，砂浆强度等级应以火灾后的评定等级为准。

6 火灾后砌体结构构件的详细鉴定评级应按本标准第 6.1.4 条～第 6.1.6 条的规定进行，评定为 b 级的重要构件宜采取加固处理措施。

6.5 木结构构件

6.5.1 火灾后木结构构件的初步鉴定评级应按表 6.5.1 和本标准第 6.1.2 条的规定进行，并按各项所评定损伤等级中的最严重级别作为构件初步鉴定等级。

表 6.5.1 火灾后木结构构件的初步鉴定评级标准

评级项目	各损伤等级状态特征		
	Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
外观损伤	基本无损伤，构件表面局部熏黑	构件表面局部碳化，对承载力无明显影响	构件表面碳化，对承载力有一定的影响

续表 6.5.1

评级项目	各损伤等级状态特征		
	Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
防火保护层	基本完好无损	防火涂装或防火保护层开裂但无脱落	防火涂装或防火保护层局部范围脱落
连接板残余变形	无	轻度残余变形,对承载力无明显影响	主要受力节点板有一定的变形
螺栓滑移	无	个别连接螺栓松动	螺栓松动,有滑移
变形	无明显变形	略有变形	较大变形

6.5.2 火灾后木结构构件的详细鉴定评级应符合下列规定:

1 火灾后木结构构件承载力可根据量测凿除碳化层后的剩余有效截面尺寸计算。

2 对于高温后水冷却的木结构构件剩余有效截面的材料性能指标尚应进行调整,各种木材的横纹承压强度设计值和弹性模量以及落叶松木材的抗弯强度设计值宜降低 10%。当采取其他冷却方式时,剩余有效截面的材料性能指标可根据受火前的结构材料性能确定。

3 火灾后木结构构件的详细鉴定评级应按本标准第 6.1.4 条~第 6.1.6 条的规定进行,评定为 b 级的重要构件宜采取加固处理措施。

6.6 钢-混组合结构构件

6.6.1 火灾后钢-混组合结构构件的初步鉴定评级应符合下列规定:

1 当钢-混组合结构构件中钢结构和混凝土结构都外露时,应按本标准第 6.2.1 条、第 6.3.1 条及表 6.6.1 进行鉴定评级,

应取其中最严重等级作为初步鉴定等级。

2 当钢-混组合结构构件中混凝土内置钢构件时，应按本标准第 6.2.1 条及表 6.6.1 进行鉴定评级。

3 当钢-混组合结构构件中钢结构内置混凝土时，应按本标准第 6.3.1 条及表 6.6.1 进行鉴定评级。

表 6.6.1 火灾后钢-混组合结构连接件的初步鉴定评级标准

评级项目	各损伤等级状态特征		
	Ⅱ _a	Ⅱ _b	Ⅲ
栓钉等连接件	无	轻度残余变形，对承载力无明显影响	有较明显的变形

6.6.2 火灾后钢-混组合结构构件的详细鉴定评级应符合下列规定：

1 火灾后钢-混组合结构构件承载能力除应符合本标准第 6.2.2 条、第 6.3.2 条规定外，还应计入组合结构连接性能的降低对结构构件的不利影响。

2 火灾后钢-混组合结构构件的详细鉴定评级应符合本标准第 6.1.4 条～第 6.1.6 条的规定。

7 鉴定报告

7.0.1 鉴定报告宜包括下列内容：

- 1 工程概况，包括工程结构概况和火灾概况。
- 2 鉴定的目的、范围、内容、依据以及检测方法。
- 3 调查、检测与分析结果，包括火灾作用和火灾影响的调查检测分析结果。
- 4 评定等级。
- 5 结论与建议。
- 6 附件。

7.0.2 鉴定报告编写应符合下列规定：

- 1 鉴定报告中应明确鉴定结论，指明被鉴定结构构件的最终评定等级或评定结果。
- 2 鉴定报告中应明确处理对象，对初步鉴定评为Ⅱ_b级、Ⅲ级和Ⅳ级构件及详细鉴定评为c级或d级构件的数量、所处位置应作出详细说明，并提出处理建议。

附录 A 混凝土构件表面特征与温度的关系

表 A 混凝土构件表面特征与温度的关系

构件表面最高温度 (°C)	颜色	爆裂, 剥落	开裂	锤击反应
<300	灰青, 近观正常	无	无	声音响亮, 表面不留下痕迹
300~500	浅灰, 略显粉红	局部粉刷层剥落	微细裂缝	较响亮, 表面留下较明显痕迹
500~700	浅灰白, 显浅红	角部混凝土剥落	角部出现裂缝	声音较闷, 混凝土粉碎和脱落, 留下痕迹
700~800	灰白, 显浅黄	大面积剥落	较多裂缝	声音发闷, 混凝土粉碎和脱落
>800	浅黄色	酥松、大面积爆裂剥落	贯穿裂缝	声音发哑, 混凝土严重脱落

附录 B 常见材料变态温度、燃点

B.0.1 玻璃、金属材料、塑料的变态温度可按表 B.0.1 取值。

表 B.0.1 玻璃、金属材料、塑料的变态温度

分类	名称	代表制品	形态	温度 (°C)
玻璃	模制玻璃	玻璃砖、缸、杯、瓶、玻璃装饰物	软化或粘着	700~750
			边角变圆	750
			流动	800
	片状玻璃	门窗玻璃、玻璃板、增强玻璃	软化或粘着	700~750
			边角变圆	800
			流动	850
金属材料	铅	铅管子、蓄电池、玩具等	锐边变圆，有滴状物形成	300~350
	锌	锚固件、镀锌材料	有滴状物形成	400
	铝及其合金	机械部件、门窗及配件、支架、装饰材料、厨房用具	有滴状物形成	650
	银	装饰物、餐具、银币	锐边变圆，有滴状物形成	950
	黄铜	门拉手、锁、小五金等	锐边变圆，有滴状物形成	950
	青铜	窗框、装饰物	锐边变圆，有滴状物形成	1000
	紫铜	电线、铜币	方角变圆，有滴状物形成	1100
	铸铁	管子、暖气片、机器支座等	有滴状物形成	1100~1200
	低碳钢	管子、家具、支架等	扭曲变形	>700
建筑塑料	聚乙烯	地面、壁纸等	软化	50~100
		隔热、防潮材料	软化	80~135

续表 B.0.1

分类	名称	代表制品	形态	温度 (°C)
建筑 塑料	聚丙烯	装饰材料、涂料	软化	60~95
	聚苯乙烯	隔热材料	软化	60~100
	硅	防水材料	软化	80~135
	氟化塑料	配管	软化	150~290
	聚酯树脂	地面材料	软化	120~230
	聚氨酯	防水、隔热材料、涂料	软化	90~120
	环氧树脂	地面材料、涂料	软化	95~290

B.0.2 部分材料燃点温度可按表 B.0.2 取值。

表 B.0.2 部分材料燃点温度

材料名称	燃点温度 (°C)	材料名称	燃点温度 (°C)
木材	240~270	聚氯乙烯	454
纸	130	粘胶纤维	235
棉花	150	涤纶纤维	390
棉布	200	橡胶	130
麻绒	150	尼龙	424
酚醛树脂	571	聚四氟乙烯	550
聚乙烯	342	乙烯丙烯共聚物	454

B.0.3 钢结构构件过火时的构件表面最高温度可根据表面油漆烧损状况按表 B.0.3 推断。

表 B.0.3 钢结构构件过火时的构件表面最高温度

烧损状况		构件表面最高温度 (°C)
一般油漆	防锈油漆	
表面附着黑烟	完好	<100
有裂缝和脱皮	完好	100~300
变黑、脱落	变色	300~600
烧光	烧光	>600

附录 C 砌块材料表面特征与温度的关系

表 C 砌块材料表面特征与温度的关系

构件表面最高温度 (℃)	外观特征							
	混凝土砌块和砖		黏土砖		水泥砂浆抹面		石灰砂浆抹面	
	颜色	裂损	颜色	裂损	颜色	裂损	颜色	裂损
200 以下	不变	无裂缝	不变	无裂缝	不变	无裂缝	不变	无裂缝
300~500	微粉色	无裂缝	不变	无裂缝	不变	无裂缝	不变	无裂缝
720~800	粉红见灰白	出现裂缝	不变	出现表面细裂缝	玫瑰色	出现细小裂缝	初现灰黄色	薄层煤烟分层
800~850	灰白	出现许多裂缝	不变	表面裂缝增多	浅灰色	出现裂缝	浅黄色	出现裂缝
850~900	浅黄色	裂缝增多、缝扩大	不变	表面裂缝增多	浅灰色	裂缝增多	浅黄色	裂缝增多
900~980	浅黄色	贯通裂缝	颜色转淡	表面裂缝增多	浅黄色	表面剥落	浅灰色	脱落
980 以上	白色	贯通裂缝增多	颜色转淡	严重裂缝	白色	表面剥落	白色	脱落

附录 D 混凝土构件在标准升温 条件下温度场曲线

D.0.1 单面受火混凝土实心板截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D.0.1）进行推断。

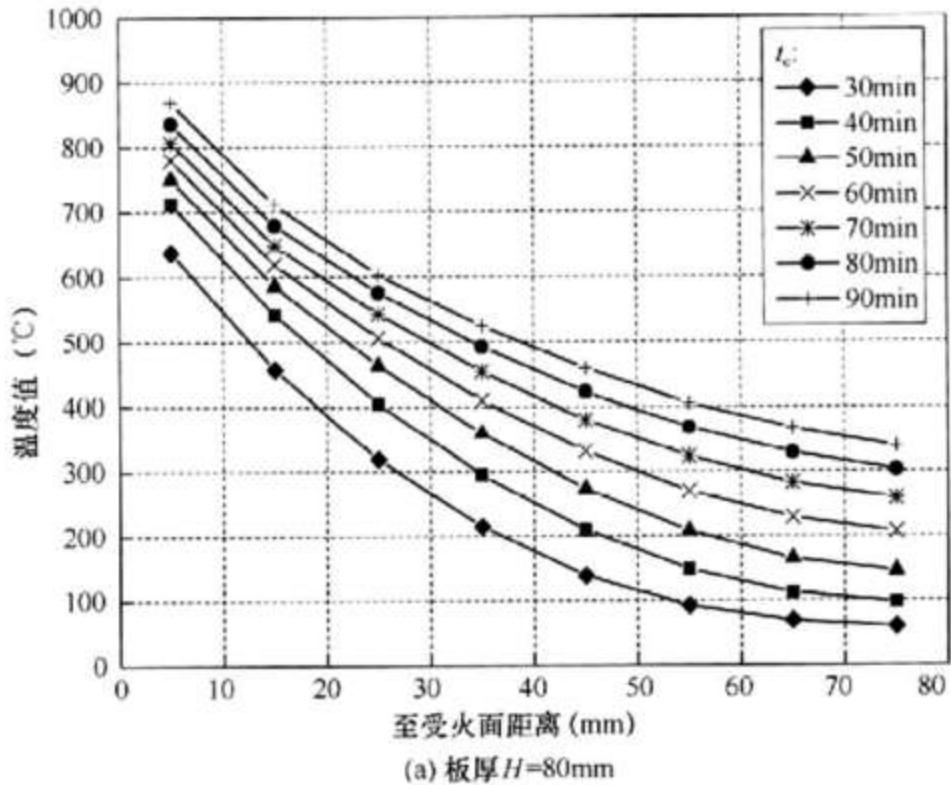


图 D.0.1 单面受火混凝土实心板在标准升温
条件下的截面温度场曲线（一）

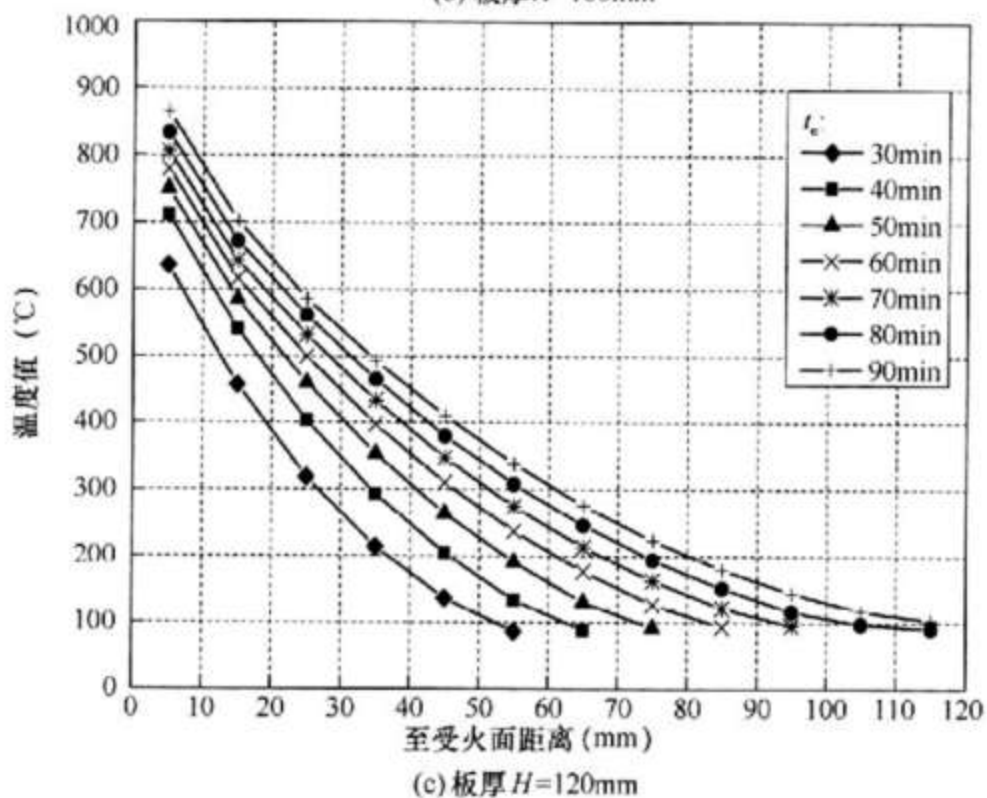
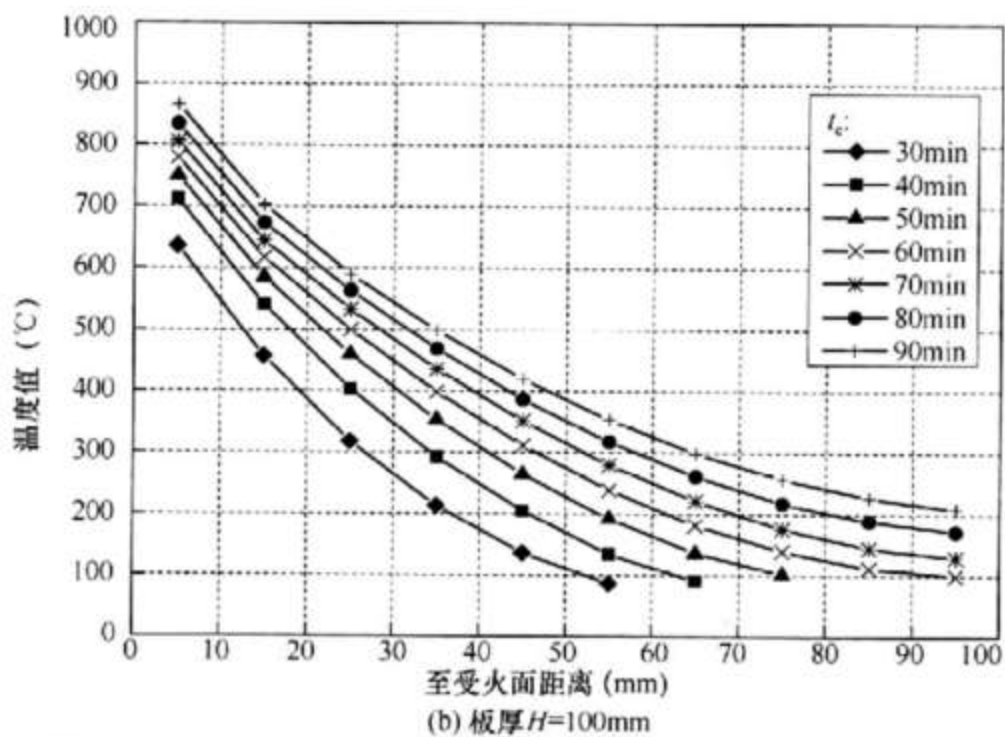


图 D. 0. 1 单面受火混凝土实心板在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

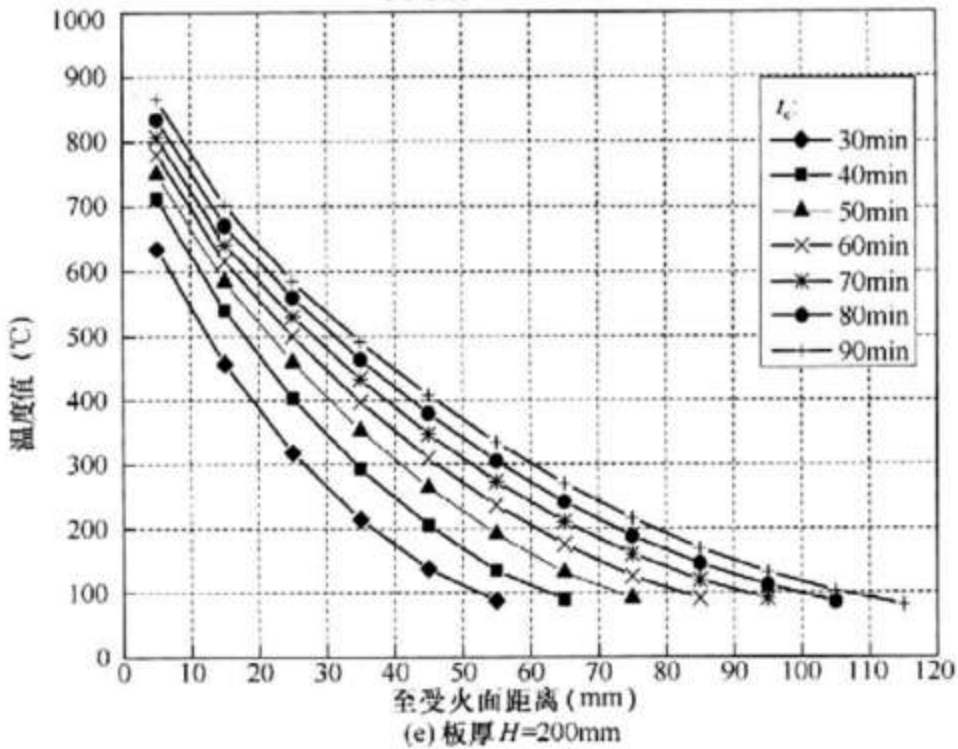
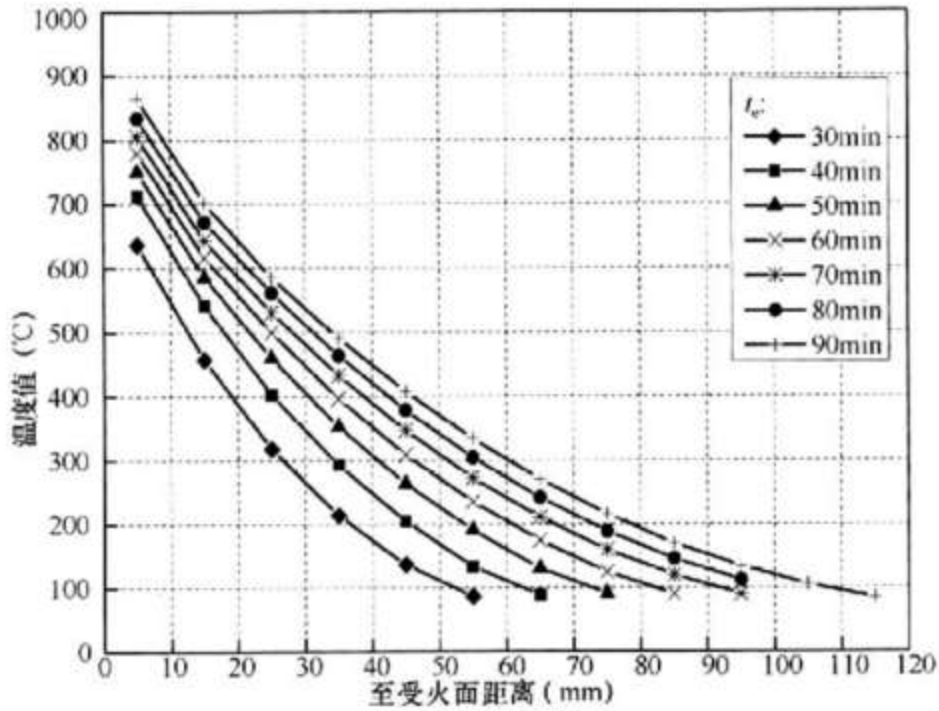


图 D. 0.1 单面受火混凝土实心板在标准升温条件下的截面温度场曲线 (三)

- 注: 1 图中温度值是厚为 10mm 板层中点处的温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 2 至受火表面的距离包括构件表面抹灰厚度 (mm);
 3 t_c 为当量标准升温时间 (min).

D.0.2 周边受火混凝土圆形柱截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D.0.2）进行推断。

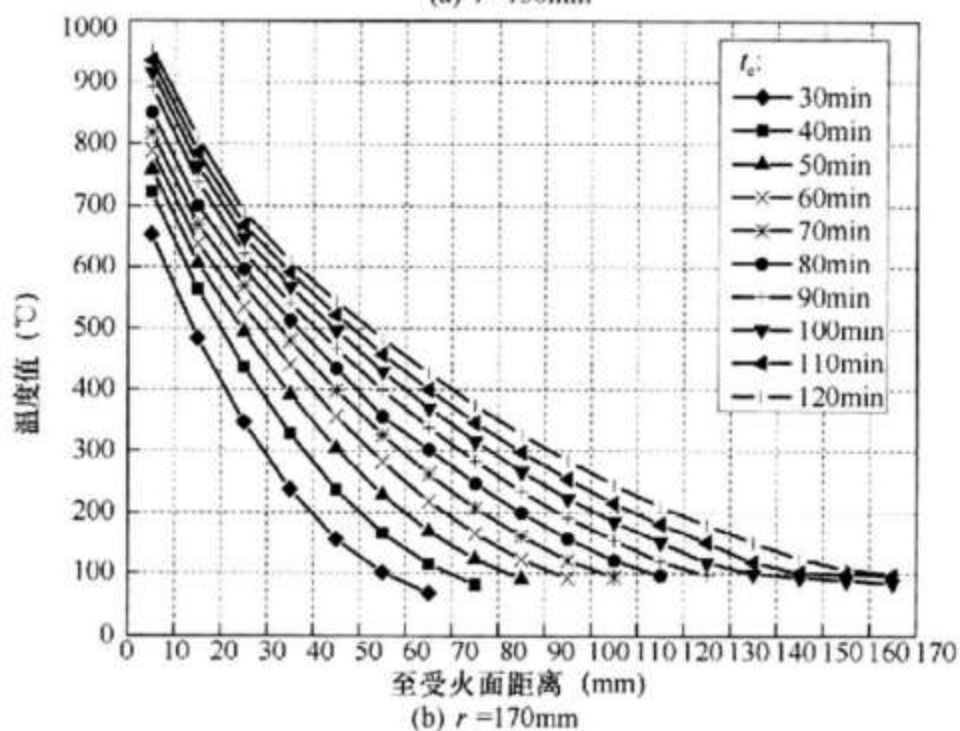
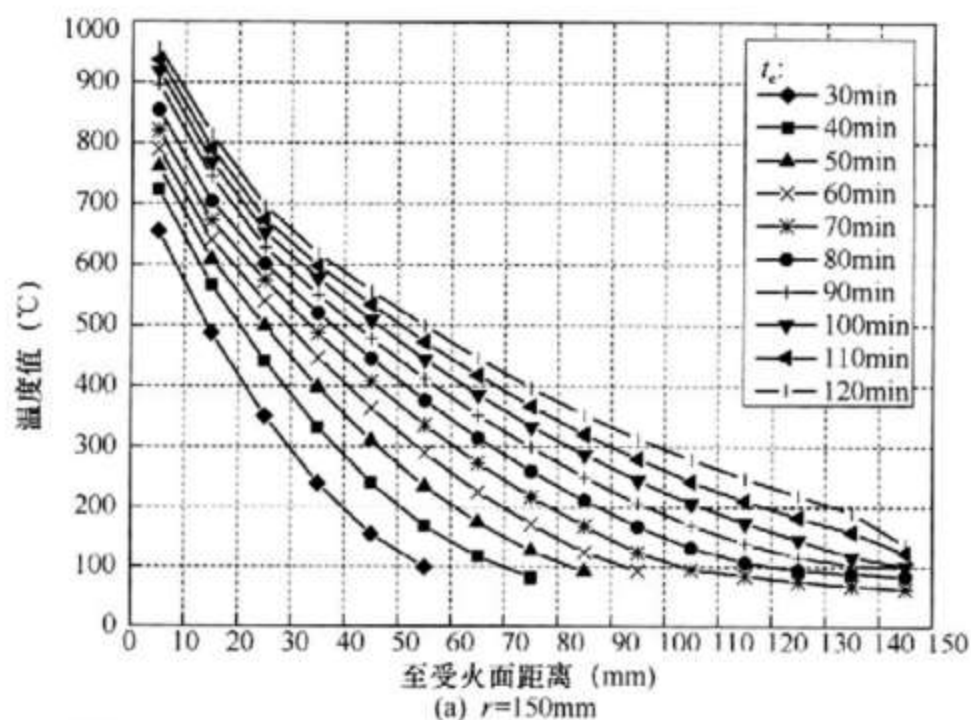


图 D.0.2 周边受火混凝土圆形柱在标准升温条件下的截面温度场曲线（一）

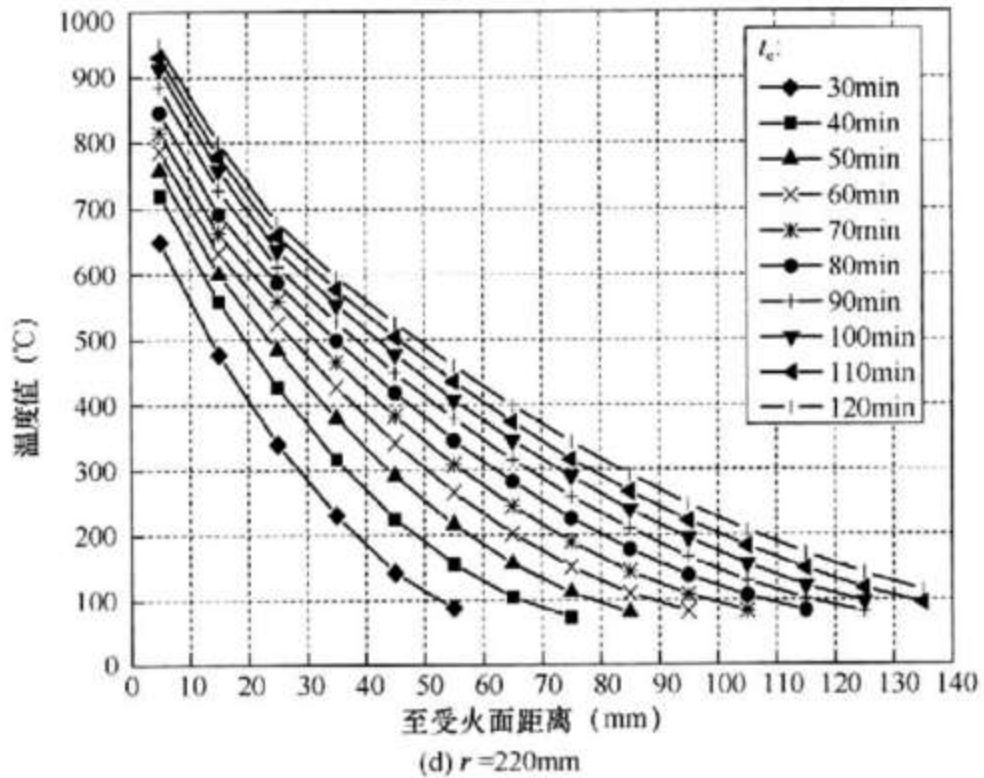
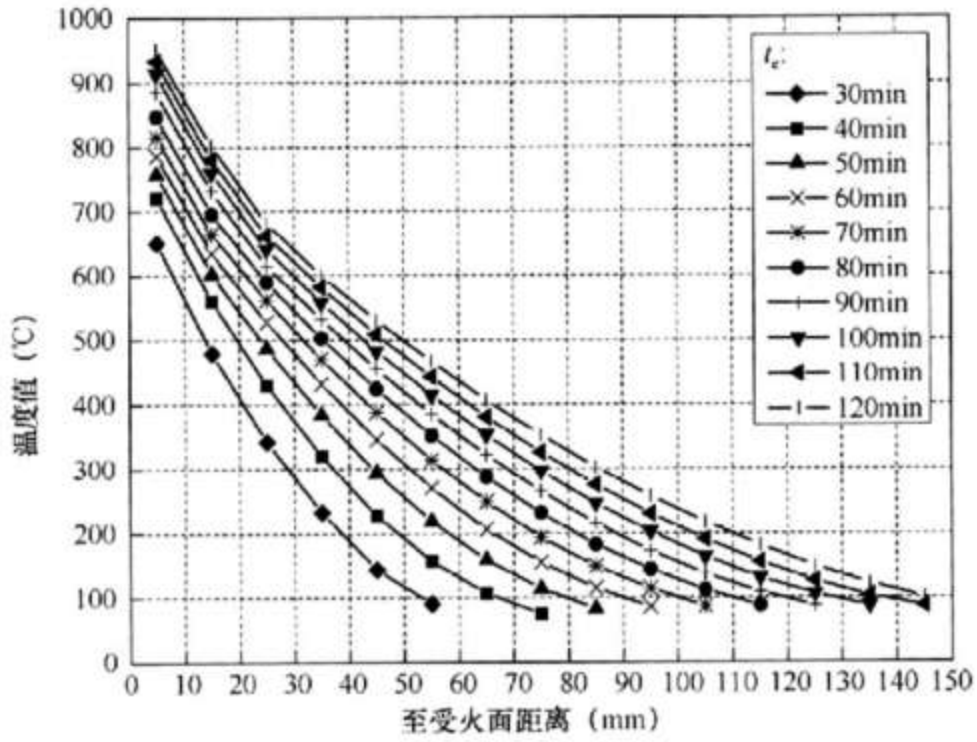


图 D.0.2 周边受火混凝土圆形柱在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

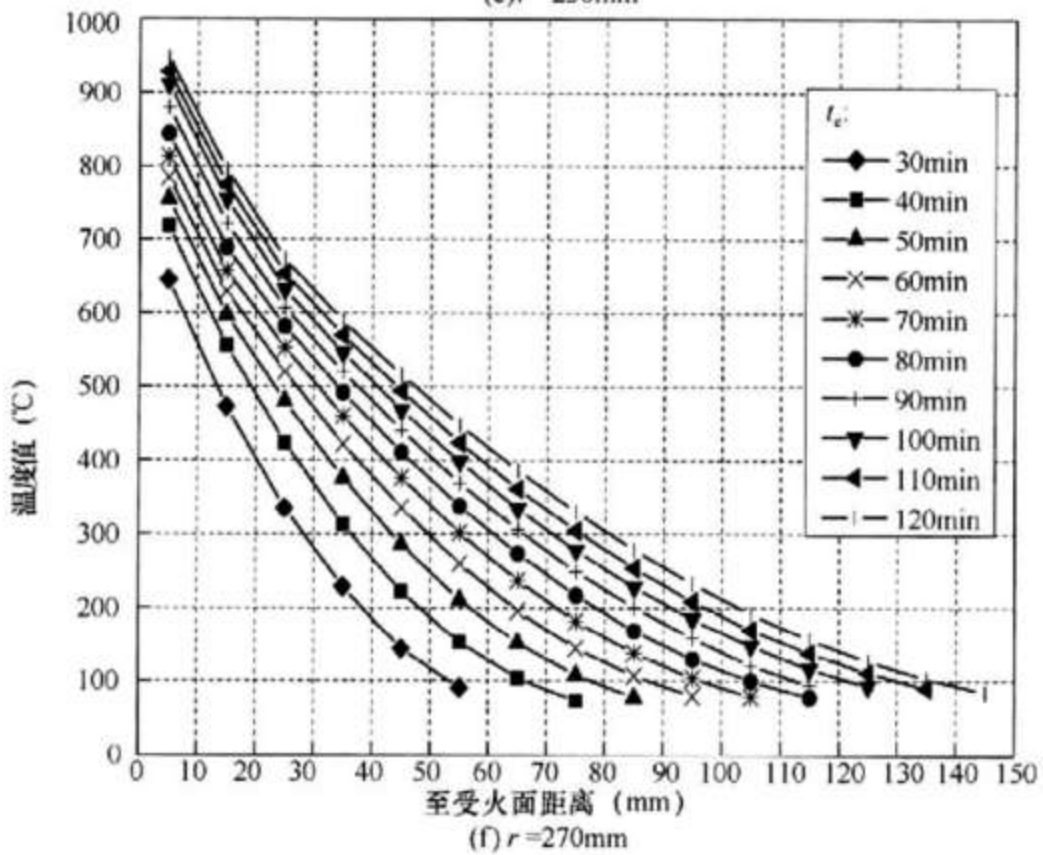
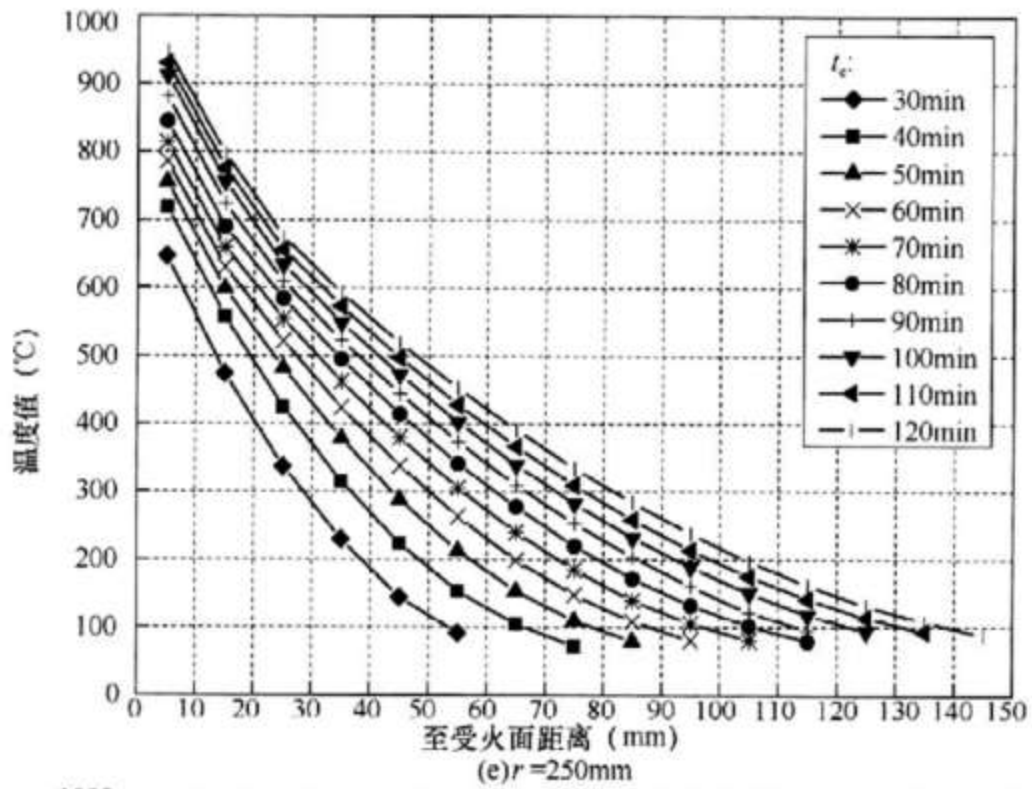


图 D.0.2 周边受火混凝土圆形柱在标准升温条件下的截面温度场曲线 (三)

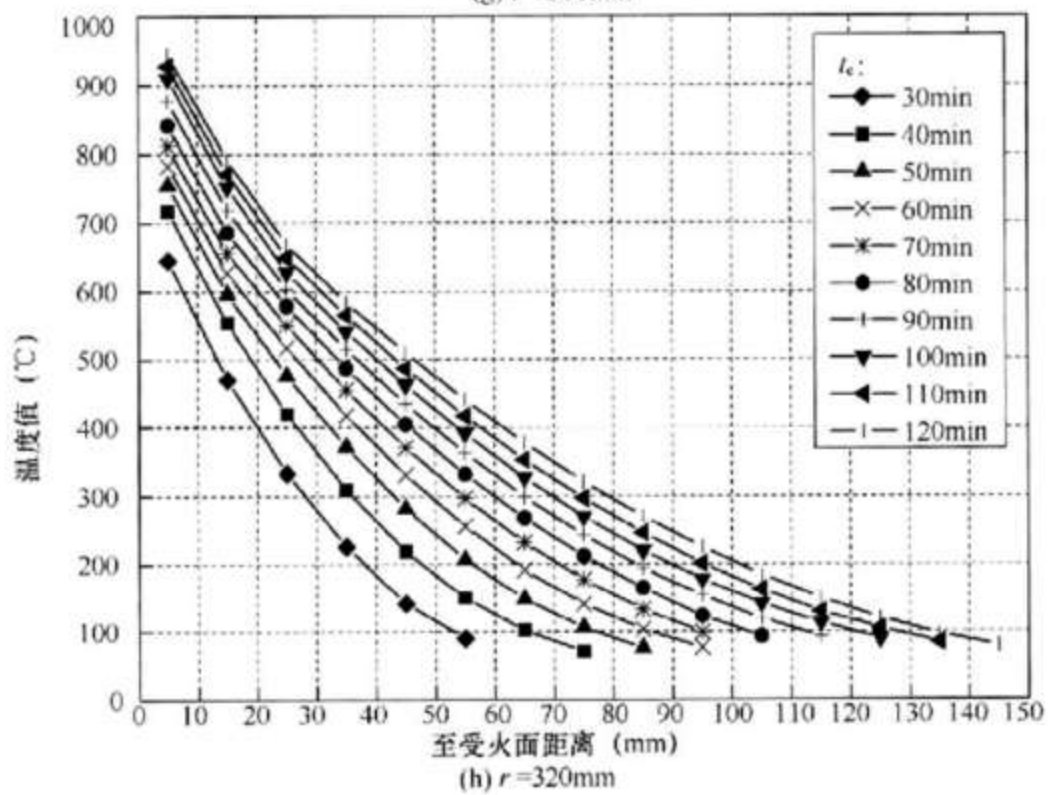
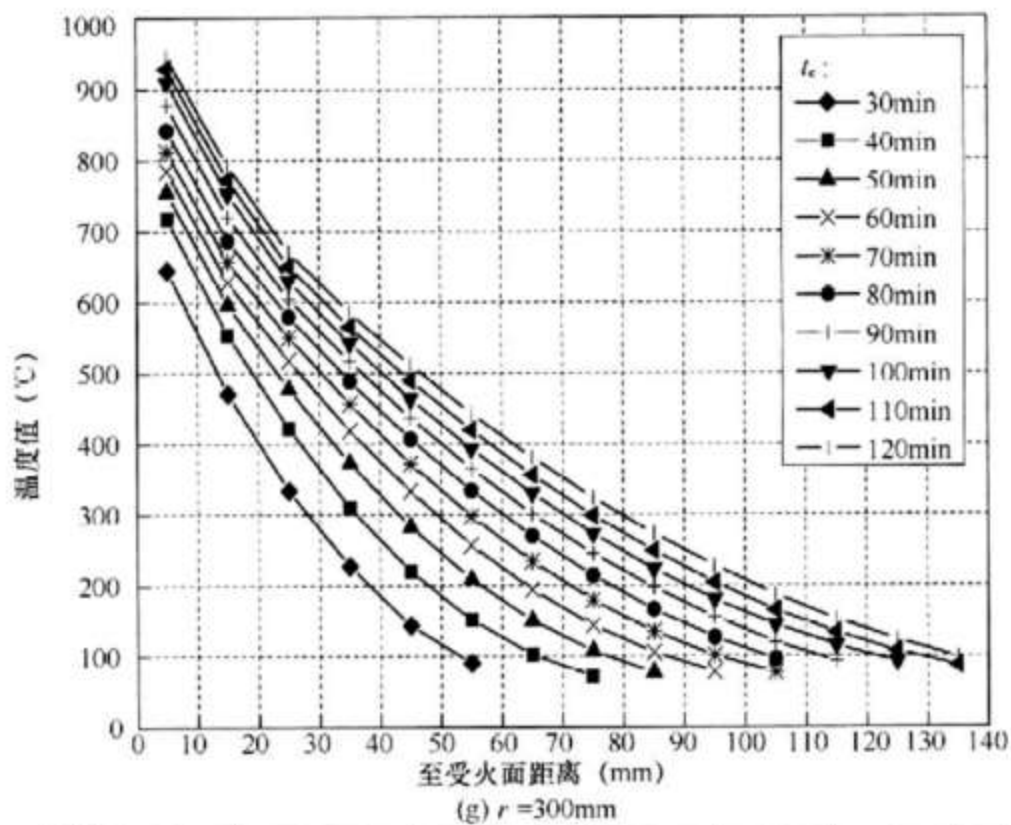


图 D.0.2 周边受火混凝土圆形柱在标准升温条件下的截面温度场曲线 (四)

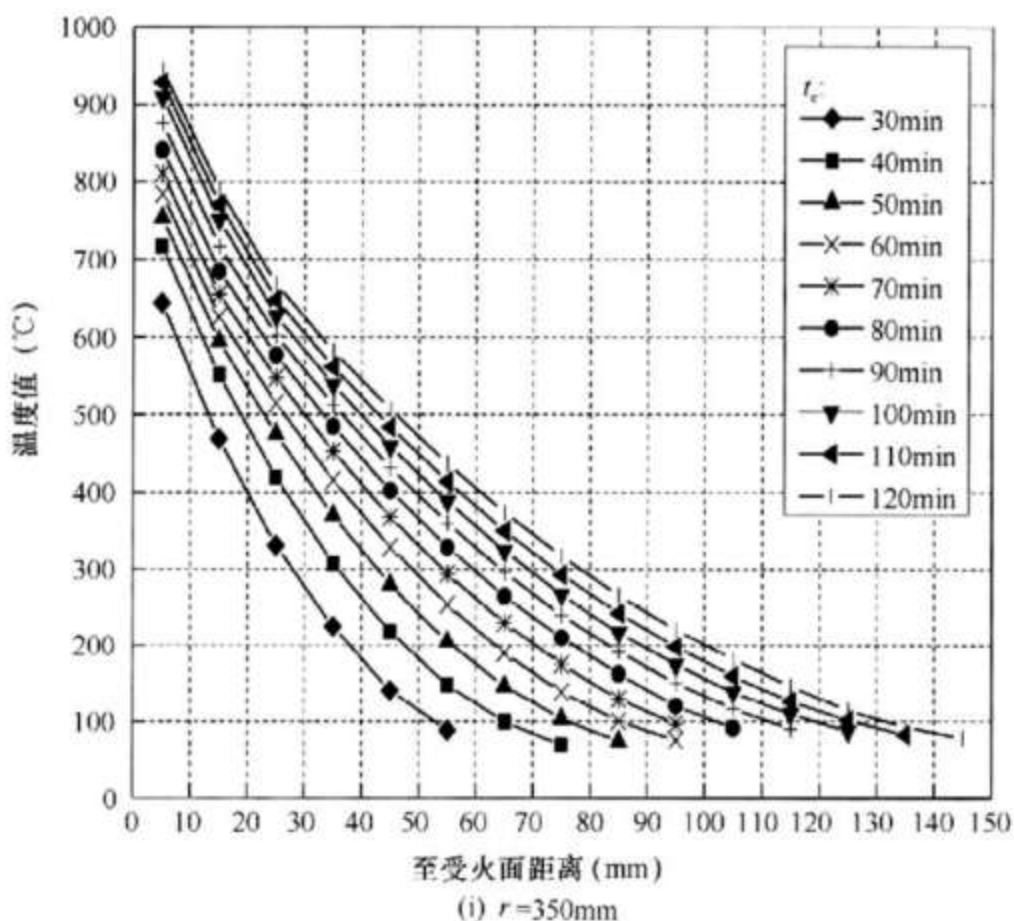


图 D.0.2 周边受火混凝土圆形柱在标准升温条件下的截面温度场曲线（五）

- 注：1 图中温度值是层厚为 10mm 的圆环中点处的温度（℃）；
 2 至受火表面的距离包括构件表面抹灰厚度（mm）；
 3 t_e 为当量标准升温时间（min）。

D.0.3 三面受火梁或四面受火柱混凝土矩形截面构件截面历经的最高温度场，可按下列规定执行：

1 截面宽度 b_c 为 200mm 的矩形截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D.0.3-1）进行推断。

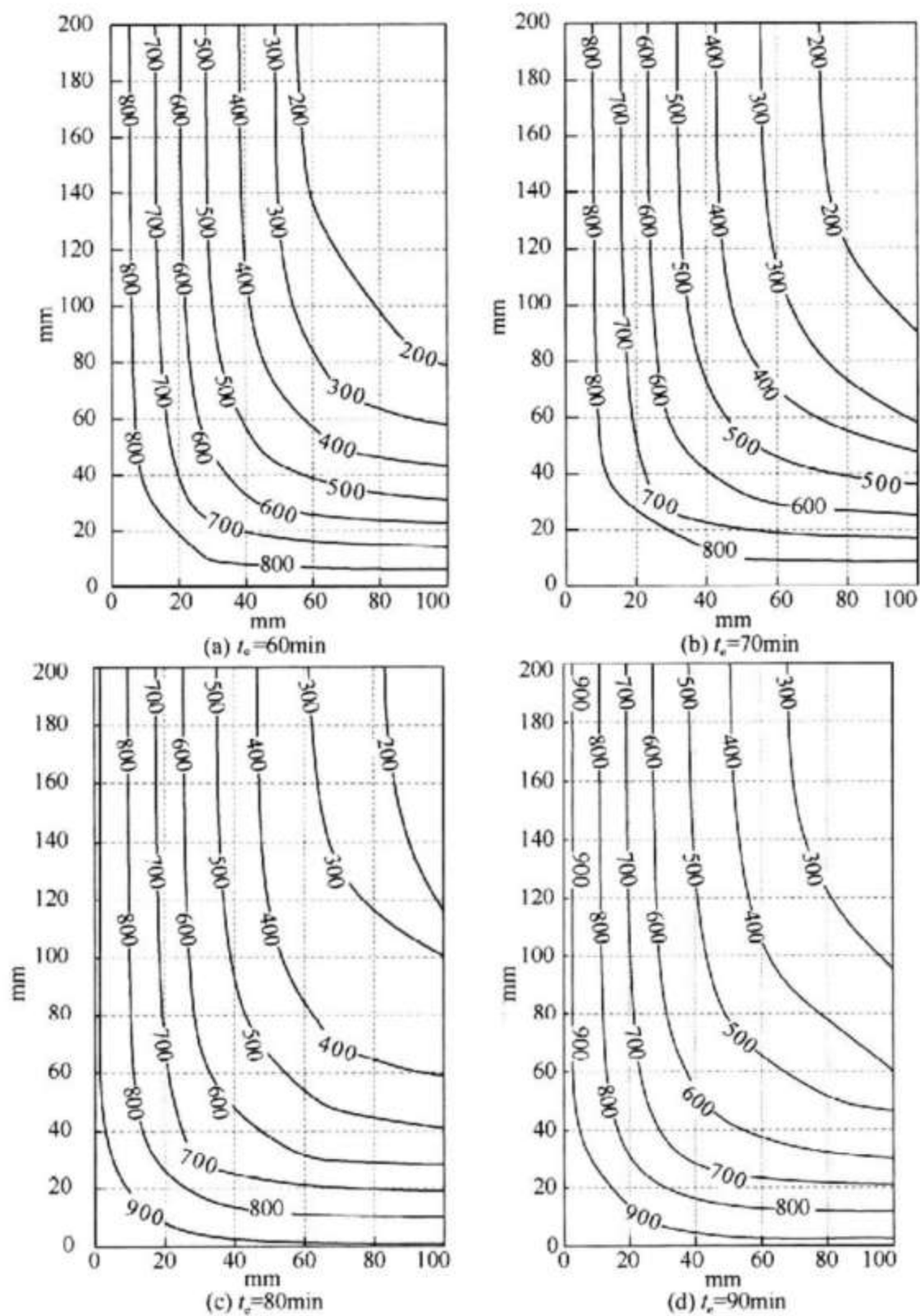


图 D. 0. 3-1 截面宽度 b_c 为 200mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (一)

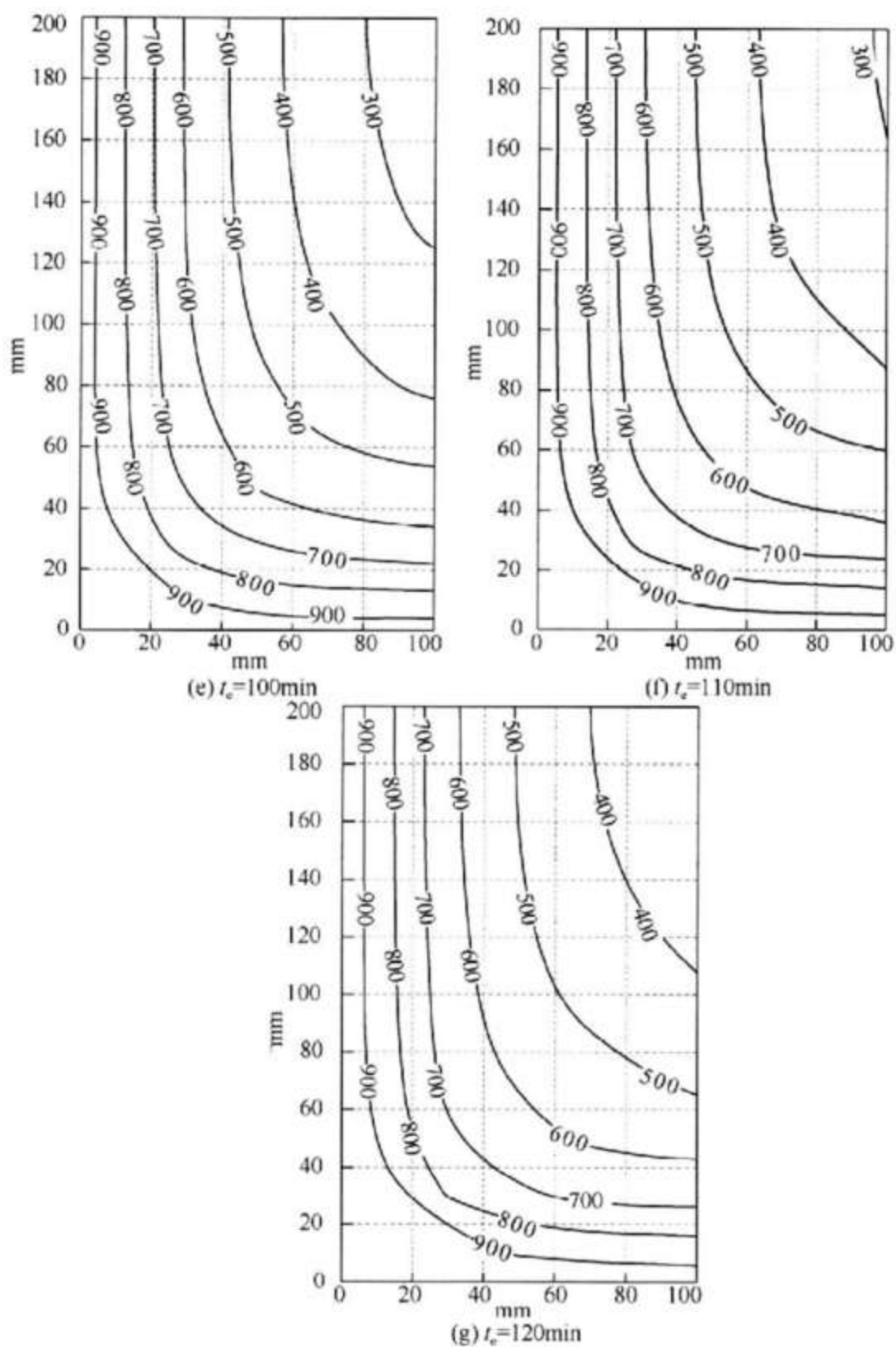


图 D. 0. 3-1 截面宽度 b_c 为 200mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

2 截面宽度 b_c 为 240mm 的矩形截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D.0.3-2）进行推断。

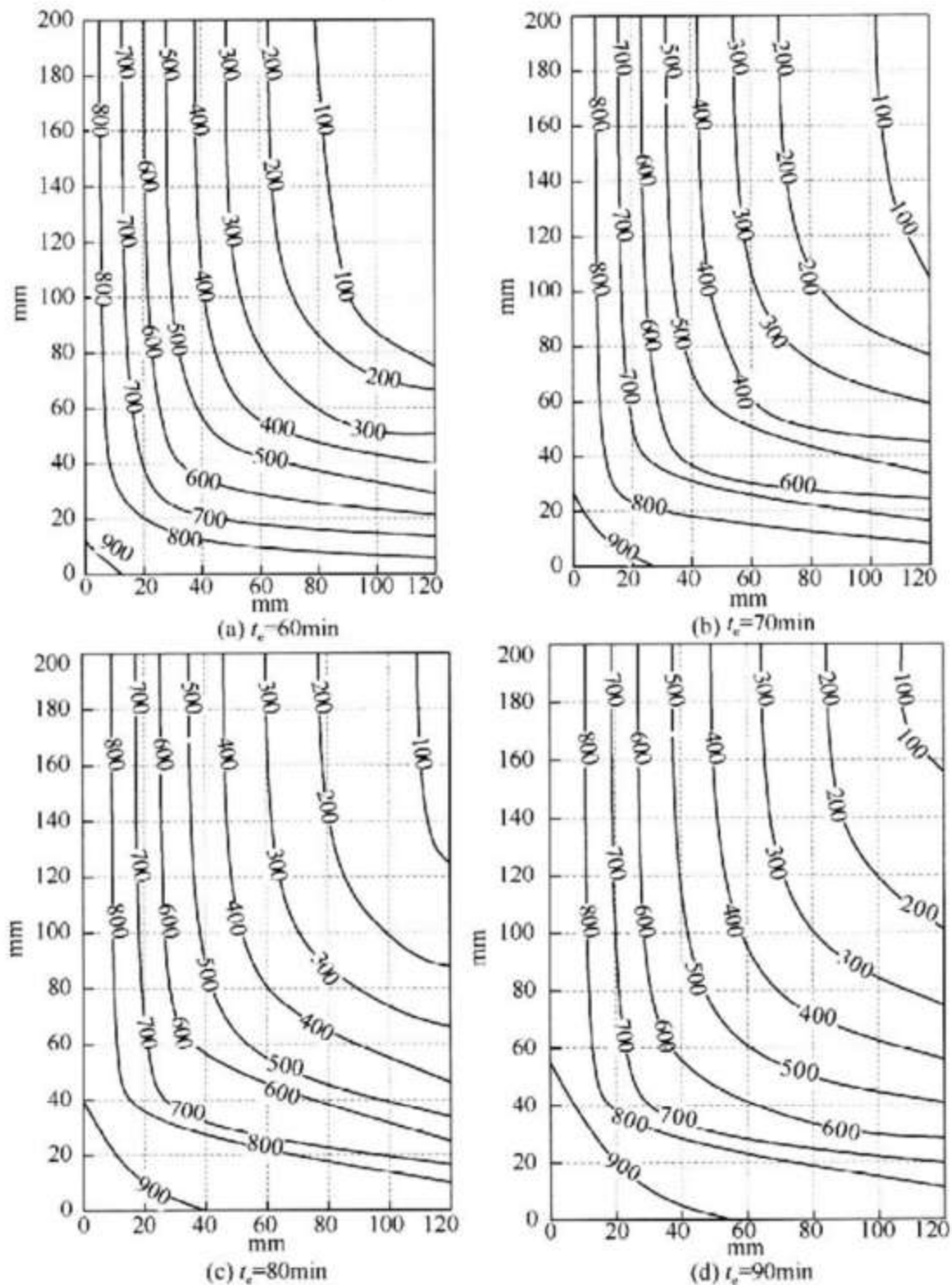


图 D.0.3-2 截面宽度 b_c 为 240mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线（一）

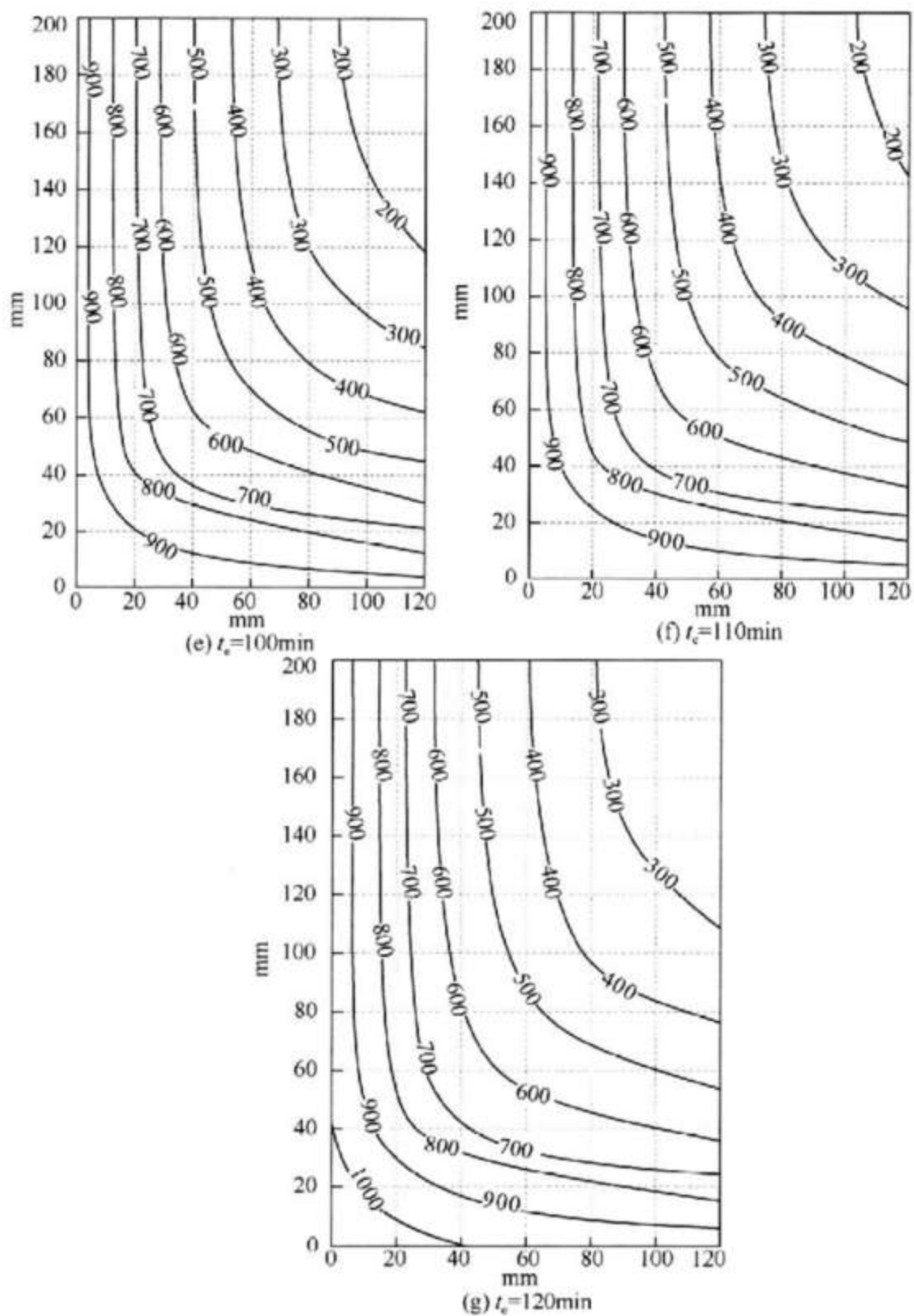


图 D. 0. 3-2 截面宽度 b_c 为 240mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

3 截面宽度 b_c 为 280mm 的矩形截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D. 0. 3-3）进行推断。

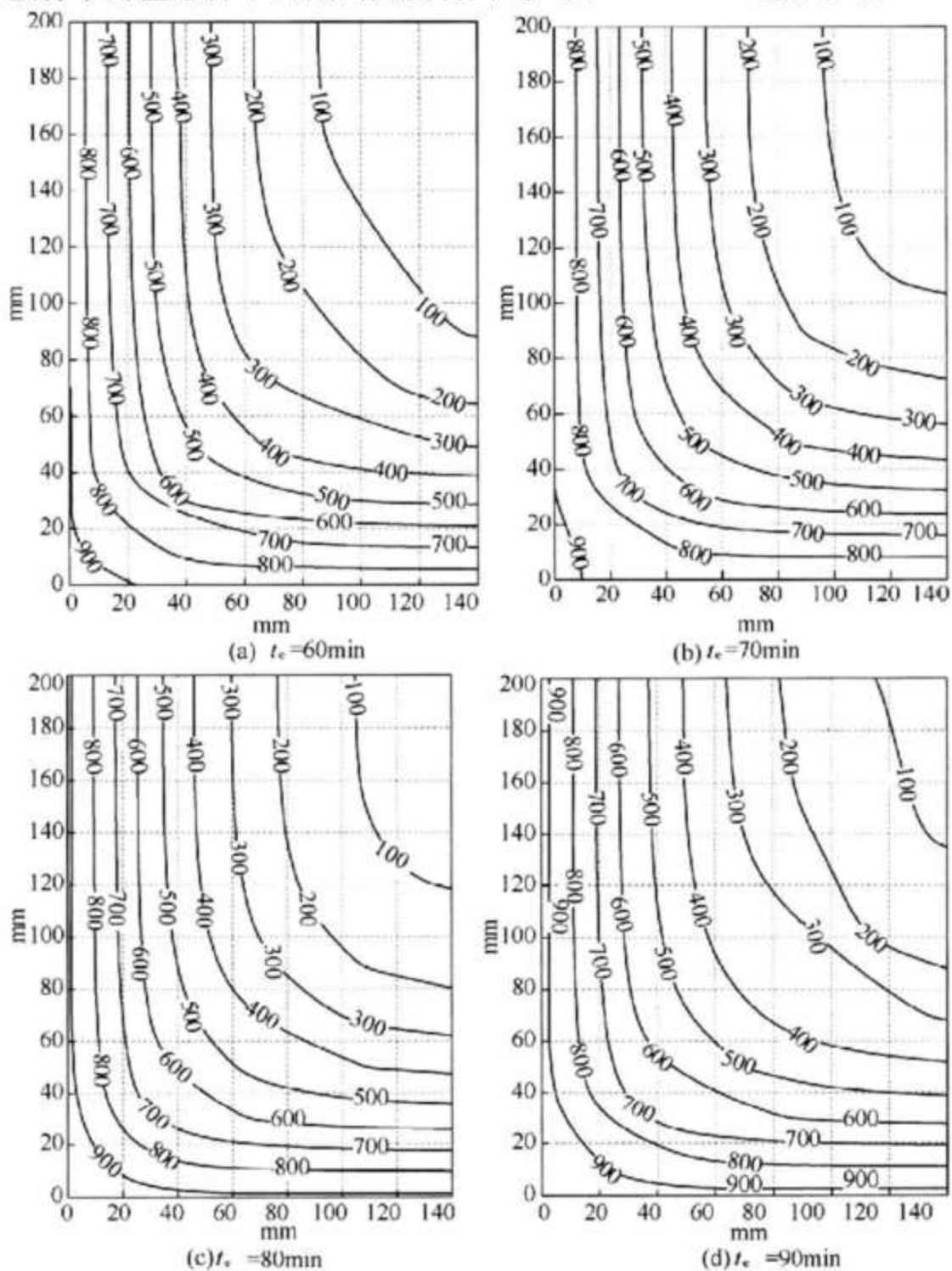


图 D. 0. 3-3 截面宽度 b_c 为 280mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线（一）

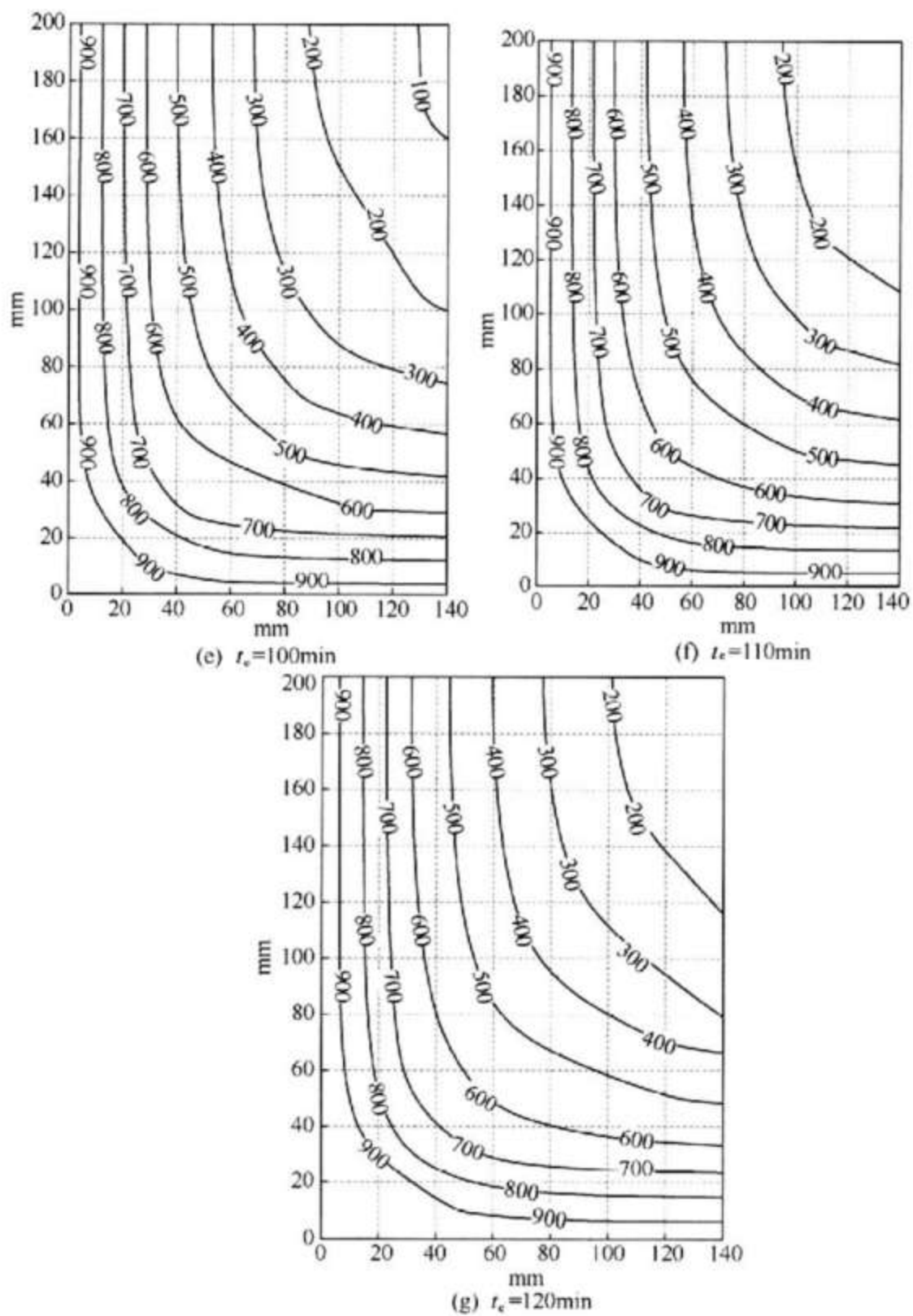


图 D. 0. 3-3 截面宽度 b_c 为 280mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

4 截面宽度 b_c 为 320mm 的矩形截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D.0.3-4）进行推断。

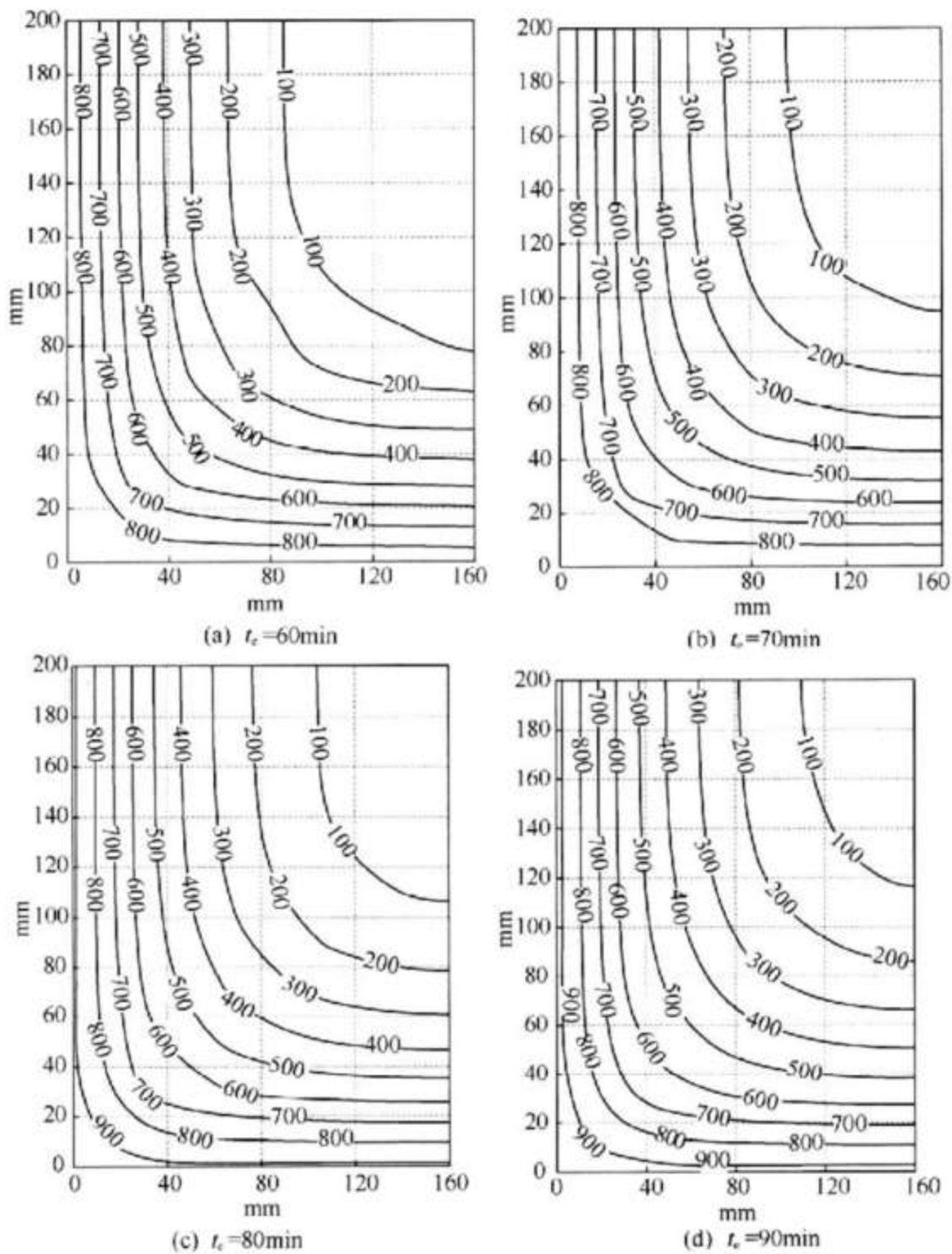


图 D.0.3-4 截面宽度 b_c 为 320mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线（一）

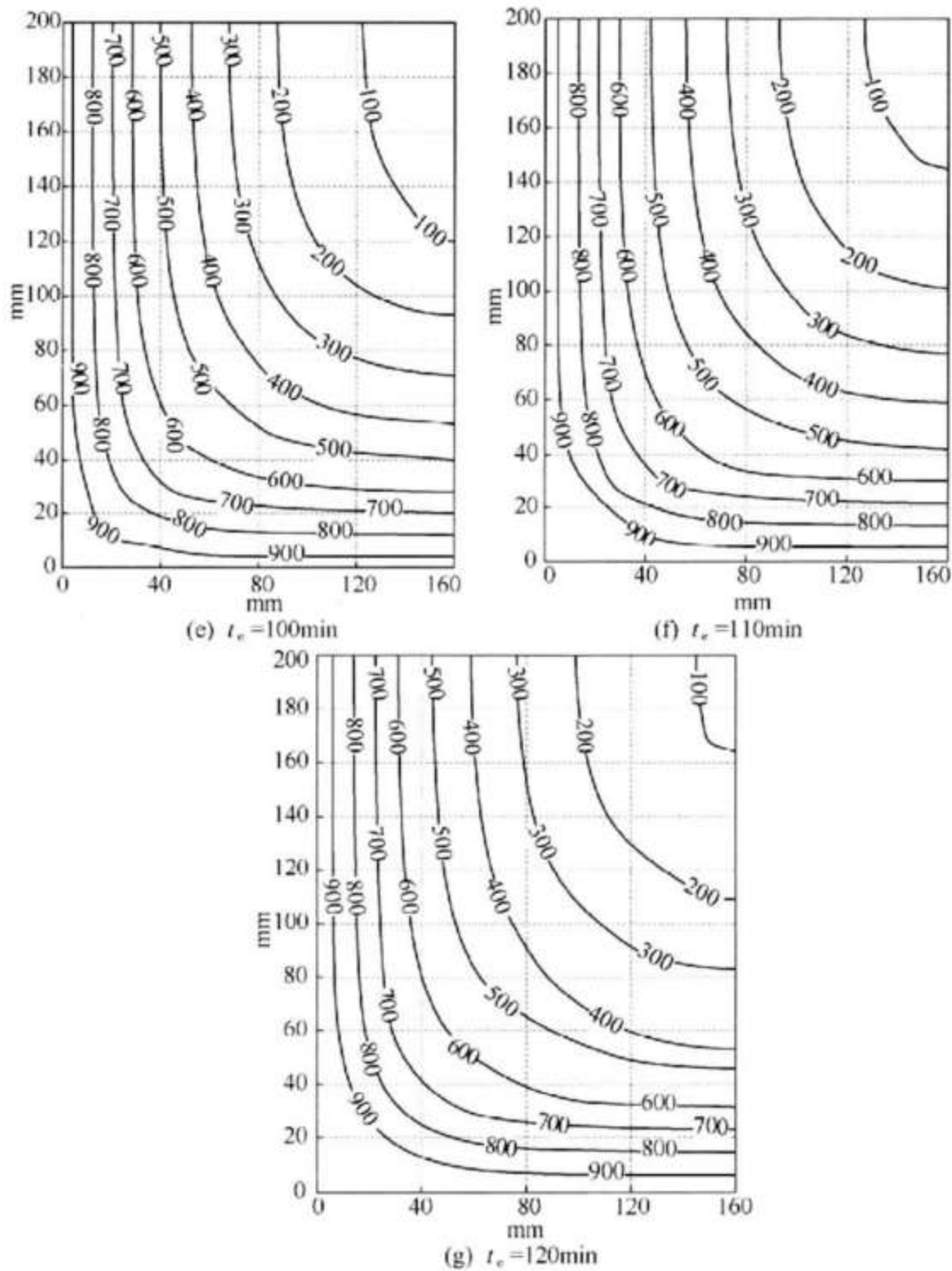


图 D. 0. 3-4 截面宽度 b_c 为 320mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

5 截面宽度 b_c 为 360mm 的矩形截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D. 0. 3-5）进行推断。

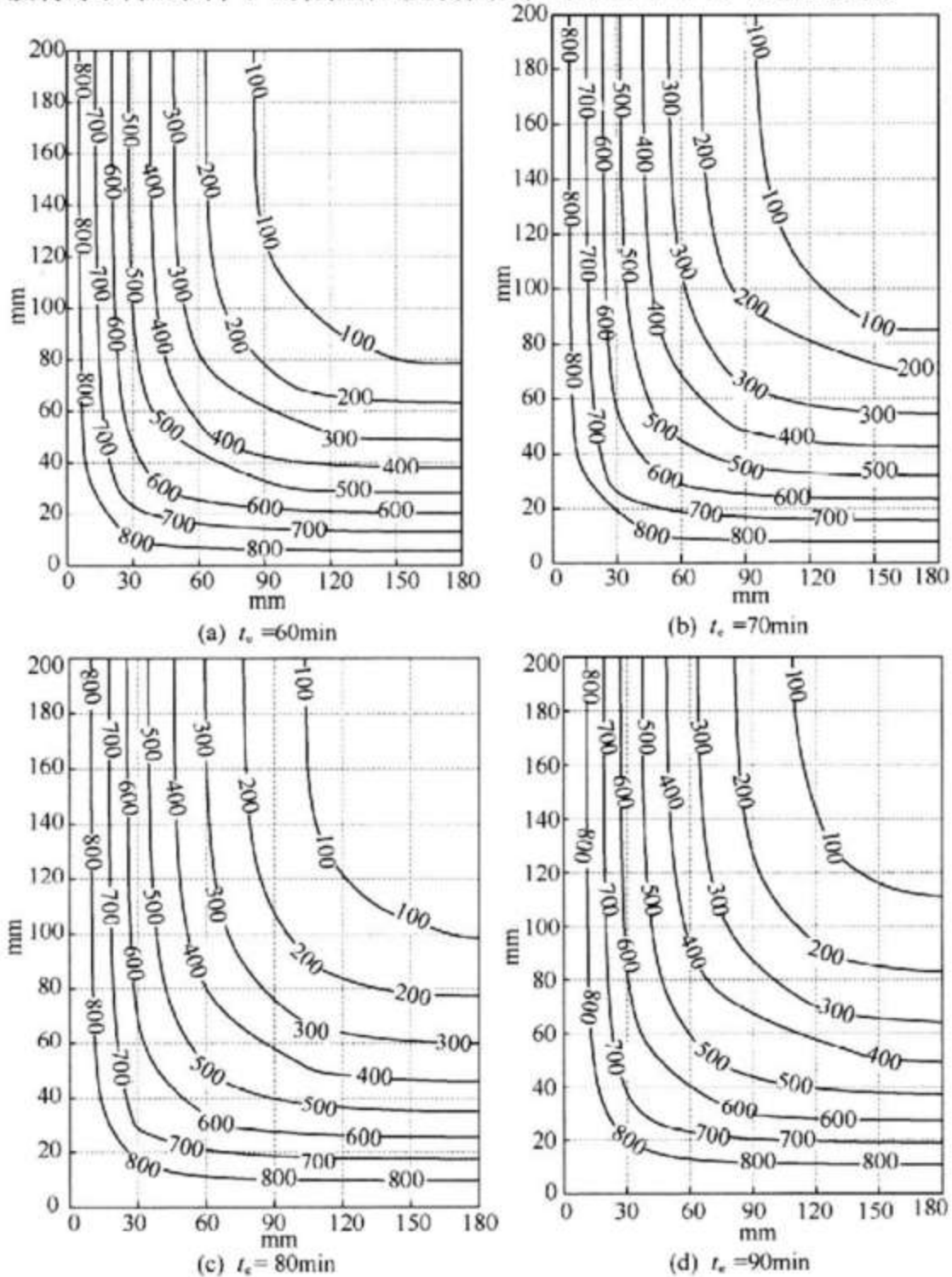


图 D. 0. 3-5 截面宽度 b_c 为 360mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线（一）

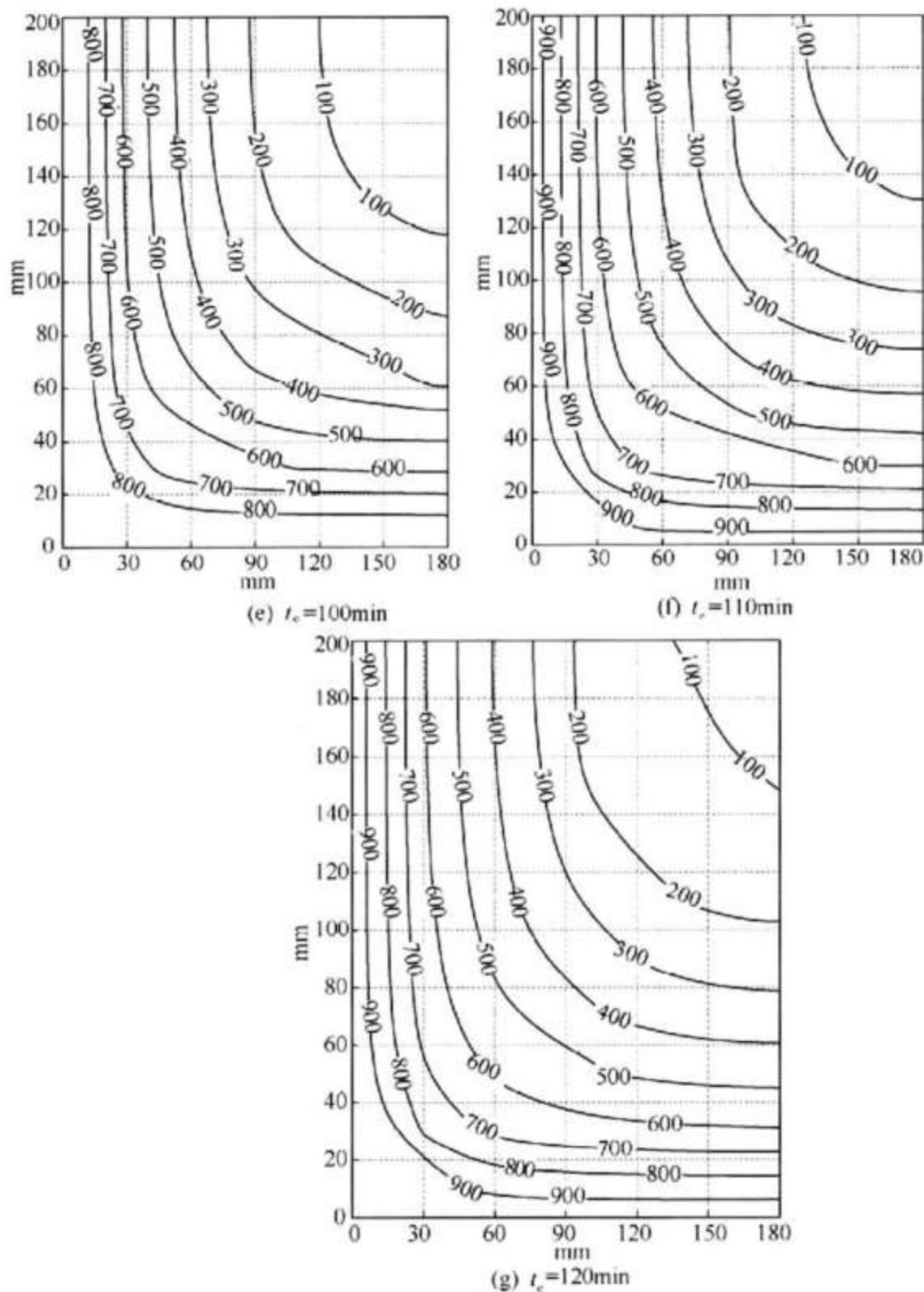


图 D. 0. 3-5 截面宽度 b_c 为 360mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

6 截面宽度 b_c 为 400mm 的矩形截面历经的最高温度场，可按标准升温条件下的截面温度场曲线（图 D.0.3-6）进行推断。

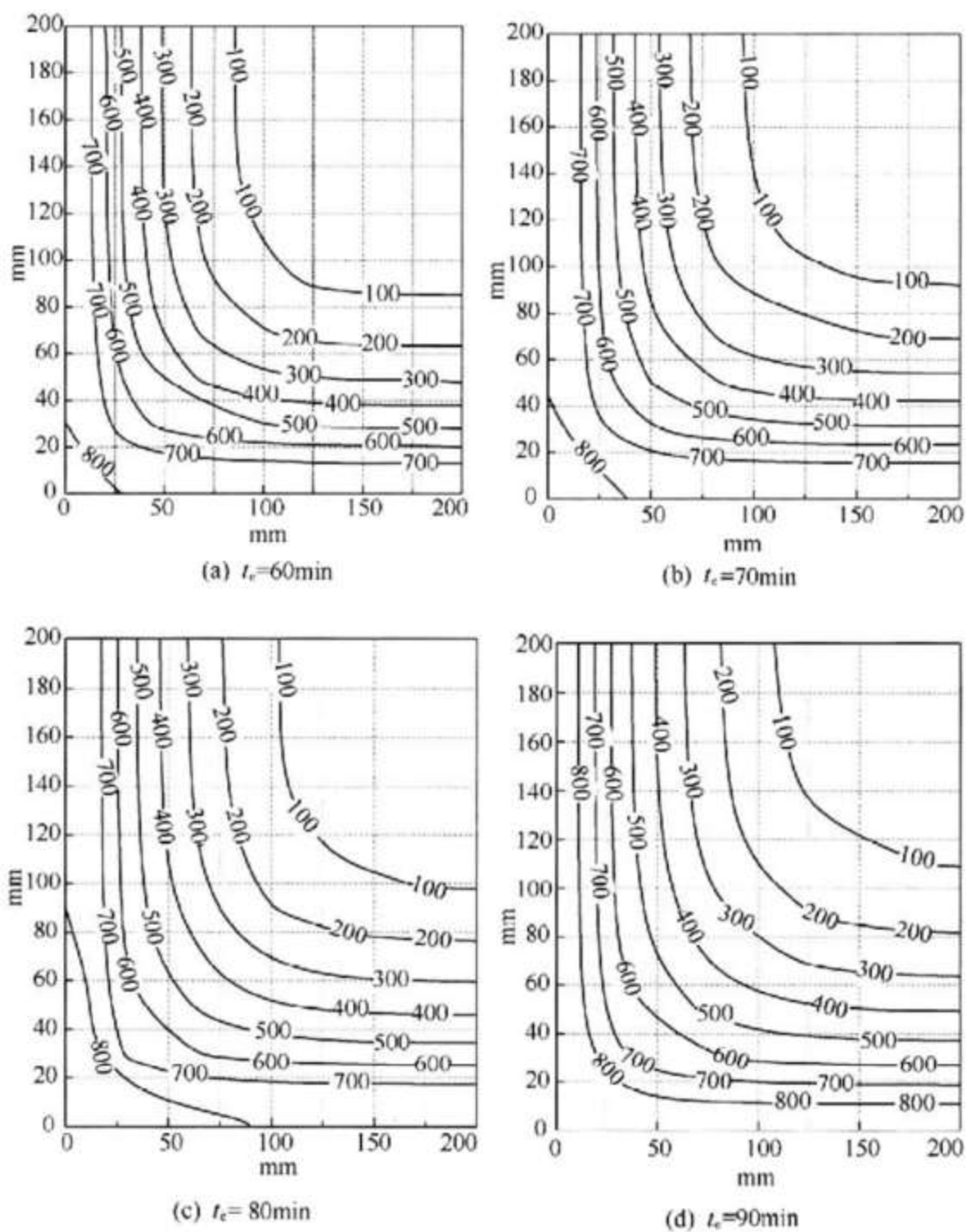
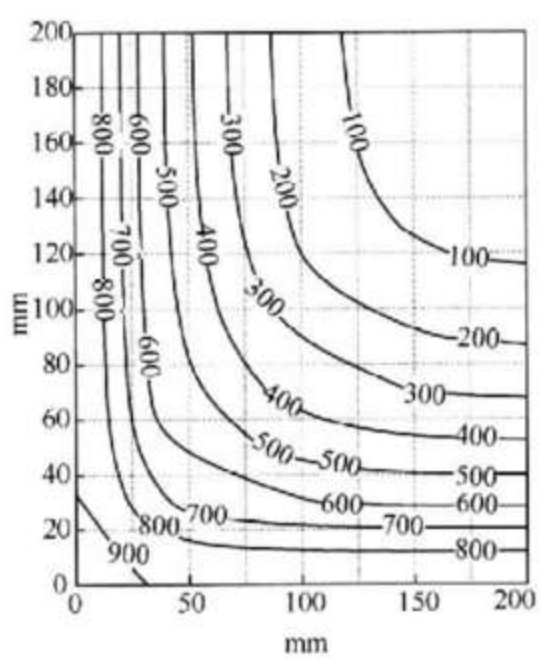
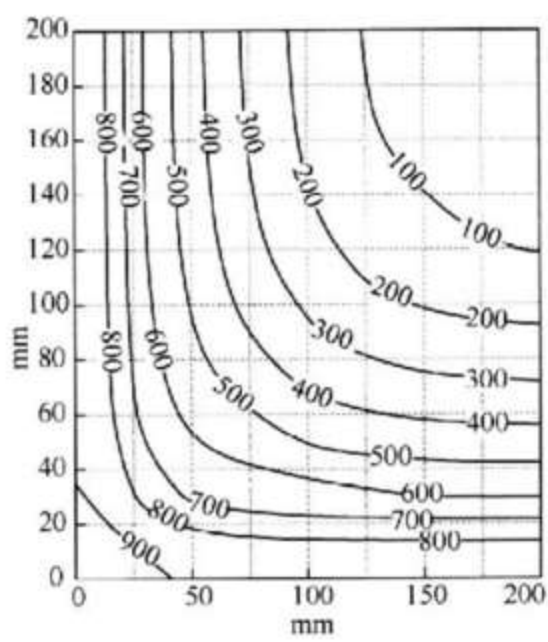


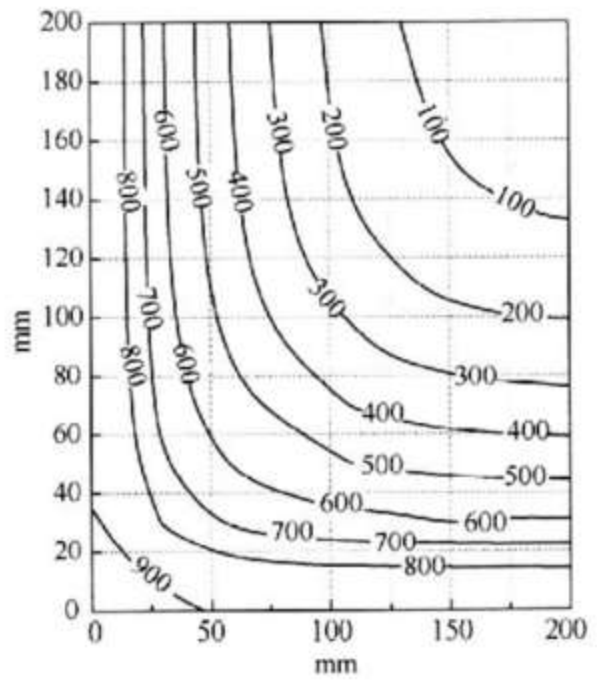
图 D.0.3-6 截面宽度 b_c 为 400mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线（一）



(c) $t_c=100\text{min}$



(f) $t_c=110\text{min}$



(g) $t_c=120\text{min}$

图 D. 0. 3-6 截面宽度 b_c 为 400mm 的矩形截面在标准升温条件下的截面温度场曲线 (二)

7 截面宽度 b_c 大于 400mm，受火侧面高度大于 200mm 的情况下，可按本标准图 D.0.3-6 推断温度值，但需把对称轴边上的数值重复外推，直至所研究的宽度为止。

注：1 图 D.0.3-1~图 D.0.3-6 中给出受火侧面高度 200mm 范围内对称轴一侧的温度场；

2 图中温度值是边长 20mm 的正方形中心处的温度 ($^{\circ}\text{C}$)， t_e 为当量标准升温时间 (min)，确定界面温度时应包括构件表面抹灰厚度 (mm)。

附录 E 常见可燃物发生轰燃情况下 当量标准升温时间的确定

E.0.1 调查确定着火房间烧掉的可燃物的种类和数量后，可按
下式计算室内实耗可燃物总热值（ Q ）：

$$Q = \sum M_i H_{ci} \quad (\text{E.0.1})$$

式中： M_i ——实际烧掉的第 i 种可燃物质量（kg）；

H_{ci} ——第 i 种可燃物的燃烧热值（MJ/kg），按表 E.0.1
取值。

表 E.0.1 可燃物的燃烧热值（MJ/kg）

名称	H_c	名称	H_c	名称	H_c
无烟煤	34	橡胶轮胎	32	聚苯乙烯塑料	40
石油沥青	41	丝绸	19	石油	41
纸及制品	17	稻草	16	聚氨酯泡沫塑料	25
炭	35	木材	19	聚碳酸酯	29
衣服	19	羊毛	23	聚丙烯塑料	43
煤、焦炭	31	合成板	18	聚氨酯	23
软木	29	ABS 塑料	36	聚氯乙烯	17
棉花	18	聚丙烯酸酯	28	甲醛树脂	15
谷物	17	赛璐珞塑料	19	汽油	44
油脂	41	环氧树脂	34	柴油	41
厨房垃圾	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	聚乙烯塑料	44	甲醇	23
石蜡	47	甲醛泡沫塑料	14	乙醇	27

E. 0.2 房间火灾荷载密度可按下式计算:

$$q_T = \frac{Q}{A_T} \quad (\text{E. 0.2})$$

式中: q_T ——房间火灾荷载密度 (MJ/m^2);

A_T ——房间所有内表面积 (包括通风口) (m^2)。

E. 0.3 房间的通风系数可按下式计算:

$$F = 0.53 \frac{\sum A_w H_w^{1/2}}{A_T} \quad (\text{E. 0.3})$$

式中: F ——计算房间的通风系数 ($\text{m}^{1/2}$);

A_w ——房间通风口面积 (m^2);

H_w ——通风口高度 (m)。

E. 0.4 常见可燃物发生轰燃情况下的当量标准升温时间可按表 E. 0.4 确定。

表 E. 0.4 当量标准升温时间 t_e (min)

$F(\text{m}^{1/2})$ \n $q_T(\text{MJ}/\text{m}^2)$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
50	21	20	19	17	15	14	13	12	12	10	10
75	32	27	25	23	21	21	19	18	17	16	15
100	40	36	32	29	27	25	23	22	21	20	19
125	51	43	39	35	33	31	29	26	24	23	22
150	60	53	46	41	38	36	34	32	29	28	25
175	70	60	54	48	44	40	37	35	34	32	31
200	79	67	59	54	49	45	41	38	36	35	34
225	88	75	66	59	53	50	47	43	41	39	36
250	99	81	72	64	58	54	51	47	44	42	40
275	108	89	78	69	64	58	54	51	49	45	43
300	116	97	83	75	68	64	58	54	51	50	46
325	124	103	89	81	73	67	62	58	55	52	49

续表 E.0.4

$F(m^{1/2})$ $q_r(MJ/m^2)$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
350	132	110	96	85	78	72	67	63	58	54	53
375	142	117	102	90	82	76	71	65	61	58	55
400	150	124	108	96	86	79	74	69	66	61	58
425	158	130	112	100	91	83	77	73	68	64	61
450	166	136	119	105	96	87	82	76	72	68	64
475	—	—	124	109	100	91	85	79	74	71	67
500	—	—	128	115	103	96	88	82	78	74	69
525	—	—	134	120	108	100	92	86	81	77	74
550	—	—	139	124	111	103	96	90	83	79	76
575	—	—	144	128	116	107	100	92	87	81	78
600	—	—	150	133	121	110	102	96	90	84	80
625	—	—	155	138	125	115	106	99	93	88	82
650	—	—	160	143	129	118	109	102	97	90	85
675	—	—	—	147	133	122	113	106	99	94	89
700	—	—	—	151	138	126	117	109	102	97	91
725	—	—	—	155	141	129	120	111	105	99	95
750	—	—	—	160	144	132	123	114	108	102	97
775	—	—	—	164	149	136	126	117	110	104	99
800	—	—	—	169	153	139	129	121	113	107	102
825	—	—	—	173	156	143	132	124	117	109	104
850	—	—	—	176	160	147	136	127	119	112	107

附录 F 火灾后混凝土材料的微观分析

F.0.1 火灾后混凝土结构构件截面内部的历经最高温度可根据火灾后混凝土材料 X 衍射的特征温度确定，按表 F.0.1 推定。

表 F.0.1 X 衍射分析

物相特征	特征温度 (°C)
水化物基本正常	<280
水泥水化产物水化铝酸三钙脱水 $C_3A(aq) \rightarrow C_3A + nH_2O$	280~330
水泥水化产物氢氧化钙脱水 $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$	580
或砂石中 α -石英发生变相 $\alpha-SiO_2 \rightarrow \beta-SiO_2$	570
骨料中白云石分解 $CaMg(CO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + MgO + CO_2 \uparrow$	720~740
骨料中方解石及水泥石碳化生成物分解 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \uparrow$	900

F.0.2 火灾后混凝土结构构件截面内部的历经最高温度也可根据火灾后混凝土材料电镜分析结果的特征温度确定，按表 F.0.2 推定。

表 F.0.2 电镜分析

物相特征	特征温度(°C)
混凝土各骨料物相基本完整，水泥浆体较密实，连续性好	<280
钙矾石分解完毕，少量水化物开始脱水，水泥浆体内部有微裂纹	280~500
石英晶体完整，水泥浆体中水化产物氢氧化钙脱水，浆体开始发现酥松，但仍较紧密，连续性好，氢氧化钙晶型缺损、有裂纹	500~650
水泥浆体已脱水，收缩成为酥松体，氢氧化钙脱水、分解，并有少量氧化钙(CaO)生成，而吸收空气中水分产生膨胀	650~700

续表 F.0.2

物相特征	特征温度(℃)
水泥浆体脱水, 收缩成团块板块状, 并有氧化钙(CaO)生成吸收空气中水分、内部结构破坏	700~760
浆体脱水放出氧化钙(CaO)成为团聚体, 浆体酥松、孔隙大	760~800
水泥浆体成为不连续团块, 孔隙很大, 氧化钙(CaO)增加	800~850
水泥浆体成为不连续的团块, 孔隙很大, 但石英晶体较完整	850~880
方解石出现不规则小晶体, 开始分解	880~910
方解石分解成长方形柱状体, 浆体脱水、收缩后孔隙很大	910~940
方解石分解成柱体状, 浆体脱水、收缩后孔隙更大	980

附录 G 火灾后钢筋混凝土的力学性能

G.0.1 普通混凝土和高强混凝土高温自然和浇水冷却后的抗压强度折减系数可按表 G.0.1-1 和表 G.0.1-2 确定。

表 G.0.1-1 混凝土高温自然冷却后的抗压强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	普通混凝土	高强混凝土
常温	1.00	1.00
100	1.00	0.90
200	0.90	0.80
300	0.75	0.65
400	0.60	0.55
500	0.50	0.45
600	0.35	0.30
700	0.20	0.20
800	0.10	0.10

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

表 G.0.1-2 混凝土高温浇水冷却后的抗压强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	普通混凝土
常温	1.00
100	0.90
200	0.80
300	0.65
400	0.55
500	0.45
600	0.35
700	0.20
800	0.10

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

G.0.2 HPB235 钢筋、HRB335 钢筋和 HRB400 钢筋高温冷却后的屈服强度折减系数可按表 G.0.2 确定。

表 G.0.2 钢筋高温冷却后的屈服强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	HPB235、HRB335	HRB400
常温	1.00	1.00
100	1.00	1.00
200	0.95	1.00
300	0.93	0.96
400	0.92	0.93
500	0.90	0.90
600	0.88	0.87
700	0.87	0.83
800	0.85	0.80

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

G.0.3 高温自然冷却后混凝土弹性模量、钢筋与混凝土粘结强度折减系数可分别按表 G.0.3-1 和表 G.0.3-2 确定。

表 G.0.3-1 高温自然冷却后混凝土弹性模量折减系数

构件表面最高温度 (°C)	普通混凝土	高强混凝土
常温	1.00	1.00
300	0.75	0.79
400	0.46	0.61
500	0.39	0.37
600	0.11	0.18
700	0.05	0.03
800	0.03	0.01

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

表 G. 0. 3-2 高温自然冷却后混凝土与钢筋粘结强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	光圆钢筋	HRB335 钢筋	HRB400 钢筋 HRB500 钢筋
常温	1.00	1.00	1.00
300	0.90	0.90	0.91
400	0.70	0.90	0.72
500	0.40	0.80	0.51
600	0.20	0.60	0.31
700	0.10	0.50	0.18
800	0.00	0.40	0.14

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

G. 0. 4 火灾后预应力钢绞线剩余应力 σ_{pe}^T 可采用钢绞线偏轴应变放松法测量。对火灾后预应力钢绞线，剔除钢绞线周边混凝土，暴露出 1 根钢绞线，将应变片沿外表面钢丝方向粘贴。切断粘贴应变片的钢绞线，钢绞线释放应力，测量其偏轴应变绝对值 ϵ' ， ϵ' 乘以 1.1，转化为轴向应变绝对值 ϵ 。火灾后预应力钢丝、钢绞线弹性模量 E_p 与常温相同，则 σ_{pe}^T 可按式计算：

$$\sigma_{pe}^T = E_p \epsilon = 1.1 E_p \epsilon' \quad (\text{G. 0. 4})$$

式中： σ_{pe}^T ——火灾后预应力钢绞线剩余应力；

ϵ' ——钢绞线偏轴应变绝对值；

ϵ ——轴向应变绝对值；

E_p ——常温下预应力钢丝、钢绞线弹性模量，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值。

G. 0. 5 1570 级、1720 级、1860 级、1920 级预应力钢丝、钢绞线高温后的强度折减系数可按表 G. 0. 5 确定。

表 G.0.5 高温后预应力钢丝、钢绞线强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	强度折减系数
室温	1.00
100	0.98
200	0.98
300	0.98
400	0.89
500	0.72
600	0.55
700	0.38

附录 H 火灾后钢结构钢材、高强度螺栓及焊缝的力学性能

H. 0.1 结构钢高温冷却后的屈服强度折减系数可按表 H. 0.1 确定。

表 H. 0.1 结构钢高温冷却后的屈服强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	Q235 钢、Q345 钢
常温	1.00
200	1.00
300	1.00
400	0.96
500	0.94
600	0.93
700	0.90
800	0.85
900	0.82

H. 0.2 高强度螺栓高温冷却后的屈服强度折减系数可按表 H. 0.2 确定。

表 H. 0.2 高强度螺栓高温冷却后的屈服强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	8.8s 级螺栓	10.9s 级螺栓
常温	1.00	1.00
100	1.00	1.00
200	1.00	1.00
300	1.00	1.00

续表 H. 0. 2

构件表面最高温度 (°C)	8. 8s 级螺栓	10. 9s 级螺栓
400	1. 00	1. 00
500	0. 98	0. 85
550	0. 94	0. 79
600	0. 87	0. 72
700	0. 63	0. 58
800	0. 31	0. 50

H. 0. 3 对接焊缝、正面角焊缝、侧面角焊缝高温冷却后的强度折减系数可按表 H. 0. 3 确定。

表 H. 0. 3 焊缝高温冷却后的强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	对接焊缝抗拉强度折减系数	正面角焊缝抗剪强度折减系数	侧面角焊缝抗剪强度折减系数
常温	1. 00	1. 00	1. 00
100	1. 00	1. 00	1. 00
200	1. 00	1. 00	1. 00
300	1. 00	1. 00	1. 00
400	1. 00	1. 00	1. 00
450	0. 97	0. 95	0. 96
500	0. 93	0. 90	0. 92
600	0. 87	0. 80	0. 83
700	0. 80	0. 70	0. 75
800	0. 80	0. 70	0. 75
900	0. 80	0. 70	0. 75

H. 0. 4 高温冷却后高强度螺栓的预拉力可按下式计算：

$$P_T = k_P P_0 \quad (\text{H. 0. 4})$$

式中： P_T ——高温冷却后高强度螺栓的预拉力；

P_0 ——常温下高强度螺栓的预拉力，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定取值；

k_P ——折减系数，按表 H. 0. 4 确定。

表 H. 0. 4 高温冷却后高强度螺栓预拉力的折减系数

构件表面最高温度 (°C)	折减系数
20	1.00
200	1.00
300	1.00
350	0.80
400	0.60
450	0.40
500	0.20
600	0.15
700	0.10

附录 J 火灾后砌体强度及承载能力的计算方法

J. 0. 1 火灾后砖砌体抗压强度平均值可按式计算：

$$f_m^t = k_1 (C_{t1} f_1)^\alpha (1 + 0.07 C_{t2} f_2) k_2 \quad (\text{J. 0. 1})$$

式中： f_m^t ——火灾后无筋砖砌体抗压强度平均值；

f_1 ——常温下砖抗压强度平均值；

f_2 ——常温下砂浆抗压强度平均值；

α ——与砂浆强度有关的计算参数；

k_1 ——不同类型砌体的块体形状、尺寸、砌筑方法等因素的影响系数；

k_2 ——砂浆强度不同对砌体抗压强度的影响系数；

C_{t1} ——火灾后砖抗压强度折减系数，根据实测值或墙体表面受火温度按表 J. 0. 1-1 推定；

C_{t2} ——火灾后砂浆抗压强度折减系数，根据实测值或砂浆内部受火温度按表 J. 0. 1-2 推定。

对于烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖， $\alpha = 0.5$ ， $k_1 = 0.78$ ，当 $f_2 < 1\text{MPa}$ 时， $k_2 = 0.6 + 0.4f_2$ ，其他情况为 1；其他类型的砌体，参数按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定取值。

表 J. 0. 1-1 火灾后 240mm 砖砌体中砂浆和黏土红砖抗压强度折减系数

构件表面最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)	砂浆折减系数		黏土红砖折减系数	
	一面受火	两面受火	一面受火	两面受火
<700	1.0	1.0	1.0	1.0
700~850	1.0	0.95	1.0	1.0

续表 J. 0. 1-1

构件表面最高温度 (°C)	砂浆折减系数		黏土红砖折减系数	
	一面受火	两面受火	一面受火	两面受火
850~900	0.94	0.88	0.97	0.94
900~1000	0.93	0.86	0.92	0.84

注：表中的温度指受火构件表面最高温度。

表 J. 0. 1-2 砂浆受火作用后的强度折减系数

构件表面最高温度 (°C)	M2.5	M5.0	M7.5	M10
≤464	1.0	1.0	1.0	1.0
536	1.0	0.82	0.87	0.85
688	0.88	0.77	0.83	0.82
700	0.67	0.75	0.78	0.78
783	0.57	0.66	0.74	0.71
822	0.27	0.55	0.67	0.68
857	0.00	0.46	0.63	0.66
875	0.00	0.43	0.61	0.65
898	0.00	0.38	0.59	0.63
986	0.00	0.00	0.00	0.00

注：1 中间可以插值；浇水冷却情况，表中系数宜乘 0.83 的折减系数；

2 表中的温度指受火砂浆内部温度。

J. 0. 2 火灾后砖砌体结构抗压强度设计值可按下式计算：

$$f^t = 0.45f_m^t \quad (\text{J. 0. 2})$$

式中： f^t ——火灾后砌体的抗压强度设计值。火灾后砌体的抗压强度设计值的调整系数 γ_a 按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定取值。

J. 0. 3 火灾后砌体的抗拉强度平均值可按下式计算：

$$f_{t,m}^t = k_3 \sqrt{C_{12} f_2} \quad (\text{J. 0. 3})$$

式中： $f_{t,m}^t$ ——火灾后砌体轴心抗拉强度平均值；

k_3 ——系数，对于烧结普通砖、烧结多孔砖砌体取 0.141，其他情况按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定取值。

J. 0.4 火灾后砌体弯曲抗拉强度平均值可按下式计算：

$$f_{tm,m}^t = k_4 \sqrt{C_{12} f_2} \quad (\text{J. 0. 4})$$

式中： $f_{tm,m}^t$ ——火灾后砌体弯曲抗拉强度平均值；

k_4 ——系数，对于烧结普通砖、烧结多孔砖砌体，取 0.250（沿齿缝）、0.125（沿通缝），其他情况按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定取值。

J. 0.5 火灾后砌体抗剪强度平均值可按下式计算：

$$f_{v,m}^t = k_5 \sqrt{C_{12} f_2} \quad (\text{J. 0. 5})$$

式中： $f_{v,m}^t$ ——火灾后砌体抗剪强度平均值；

k_5 ——系数，对于烧结普通砖、烧结多孔砖砌体取 0.125，其他情况按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定取值。

J. 0.6 火灾后砌体的抗拉、抗弯、抗剪强度的设计值可按下列规定执行：

1 抗拉强度设计值可按下式计算：

$$f_t^d = 0.42 f_{t,m}^t \quad (\text{J. 0. 6-1})$$

2 弯曲抗拉强度设计值可按下式计算：

$$f_{tm}^d = 0.42 f_{tm,m}^t \quad (\text{J. 0. 6-2})$$

3 抗剪强度设计值可按下式计算：

$$f_v^d = 0.42 f_{v,m}^t \quad (\text{J. 0. 6-3})$$

J. 0.7 火灾后砌体结构构件受压承载能力可按下列公式计算：

$$N^d \leq \varphi^d A f^d \quad (\text{J. 0. 7-1})$$

$$\varphi' = \frac{1}{1 + 12 \left[\frac{e}{h} + \beta \sqrt{\frac{\alpha}{12}} \right]^2} \quad (\text{J. 0. 7-2})$$

式中：\$N'\$——火灾后砌体结构轴心受压构件的轴向力设计值；

\$\varphi'\$——火灾后砌体结构轴心受压构件的纵向弯曲系数；

\$\alpha\$——与砂浆强度有关的系数，当砂浆强度等级大于 M5 时取 0.0015；当砂浆强度等级为 M2.5 时取 0.002；当砂浆强度等级为零时取 0.009；火灾后砂浆的强度等级，根据实测强度或火灾温度推定。

J. 0. 8 火灾后砌体结构构件其他承载能力计算，应按推定的火灾后砌体强度和现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定计算。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《砌体结构设计规范》 GB 50003
- 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 《工业建筑可靠性鉴定标准》 GB 50144
- 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
- 《民用建筑可靠性鉴定标准》 GB 50292
- 《砌体工程现场检测技术标准》 GB/T 50315
- 《非烧结砖砌体现场检测技术规程》 JGJ/T 371
- 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60

中国工程建设标准化协会标准

火灾后工程结构鉴定标准

T/CECS 252 - 2019

条文说明

目 次

1	总则	(75)
2	术语和符号	(76)
2.1	术语	(76)
2.2	符号	(76)
3	基本规定	(77)
3.1	鉴定程序和工作内容	(77)
3.2	鉴定评级标准	(79)
4	调查和检测	(81)
4.1	火作用调查与分析	(81)
4.2	结构构件现状检测	(84)
5	火灾后结构分析与构件校核	(85)
6	火灾后结构构件鉴定评级	(87)
6.1	一般规定	(87)
6.2	混凝土结构构件	(88)
6.3	钢结构构件	(91)
6.4	砌体结构构件	(94)
6.5	木结构构件	(97)
6.6	钢-混组合结构构件	(99)
7	鉴定报告	(100)
附录 A	混凝土构件表面特征与温度关系	(101)
附录 B	常见材料变态温度、燃点	(102)
附录 C	砌块材料表面特征与温度的关系	(103)
附录 D	混凝土构件在标准升温条件下温度场曲线	(104)

附录 E	常见可燃物发生轰燃情况下当量标准升温 时间的确定	(107)
附录 F	火灾后混凝土材料的微观分析	(109)
附录 G	火灾后钢筋混凝土的力学性能	(110)
附录 H	火灾后钢结构钢材、高强度螺栓及焊缝的 力学性能	(118)
附录 J	火灾后砌体强度及承载能力的计算方法	(119)

1 总 则

1.0.1 随着国民经济的迅速发展，既有建筑、桥梁等工程结构数量迅速增长，涉及的结构类型也越来越广泛。据统计，我国每年发生火灾约 10 万起，死亡 2000 多人，伤 3000 人~4000 人，每年火灾造成的直接财产损失 10 多亿元，给国家和人民群众的生命财产造成巨大损失。为了做好火灾后工程结构恢复重建、维修管理、工程事故处理等工作，需要对火灾后的工程结构进行鉴定，以评估火灾后工程结构的损伤范围、影响程度、安全性能。为了使火灾后工程结构鉴定有章可循，制定本标准。

1.0.2 本标准不仅适用于火灾后工业与民用建构（筑）物的鉴定，而且适用于火灾后桥梁、隧道等工程结构构件的鉴定。结构类型除原有的混凝土结构、钢结构、砌体结构外，增加了木结构、钢-混组合结构。

1.0.3 本标准以火灾后工程结构的构件安全性鉴定为主，火灾后结构整体安全性和可靠性鉴定，还需要依据国家现行有关标准进行，如现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292、《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 等。此外，还需要区分由火灾及其他原因造成的结构安全性不足。

1.0.4 为了保证检测鉴定结果的正确性、严肃性，火灾后工程结构鉴定必须由有结构安全性与可靠性鉴定能力，并具有火灾后结构鉴定业绩的检测鉴定机构和人员承担。

2 术语和符号

2.1 术语

本节所给出的术语，为本标准有关章节中所引用的、用于火灾后工程结构鉴定的专用术语。在编写本节术语时，还参考了现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《建筑结构荷载规范》GB 50009 等国家标准中的相关术语。

2.2 符号

符号主要是参照现行国家标准《工程结构设计通用符号标准》GB/T 50132、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《砌体结构设计规范》GB 50003、《钢结构设计标准》GB 50017 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 等，并根据本标准的需要规定的。

3 基本规定

3.1 鉴定程序和工作内容

3.1.1 为掌握火灾信息（火场物品分布及损伤状况；物品的变形、可燃物或残渣数量、分布等），或现场不被破坏，以便全面准确推断火灾参数。有些结构表面火灾后会随时间发生变化，例如火灾后 $200^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 混凝土表面随时间发生变化，时间长了就看不清楚了，结构鉴定应在火灾后尽快进行。

现场检测前应对主体结构及其附属物进行垮塌风险性评估，对于确认有塌落风险的工程结构，需要采取设置警戒、及时拆除、支承加固等防护措施。进行结构现状检测、调查应在保障安全的前提下进行，必要时应采取专门的安全措施。

3.1.2 火灾后鉴定不应局限于过火部位，应把相对独立的工程结构单元作为鉴定对象。火灾作用对结构可能造成的损伤，有直接烧灼损伤和温度应力作用损伤两个主要方面，直接烧灼损伤一般局限于火场和高温烟气弥漫区域的结构，但温度应力作用可能遍及整个工程结构，因此本条规定工程结构火灾后鉴定对象应当是整个工程结构或相对独立的结构单元。但是，对于采用砌体或其他耐火墙体材料分割的小房间建筑，火灾可能仅在小范围、短时间发生，火灾温度应力作用影响有限，经初步调查确认，允许仅仅将火灾影响区域范围内的结构或构件列为鉴定对象。

3.1.3 火灾后工程结构的鉴定分初步鉴定和详细鉴定两个阶段，这是筛选法的具体应用。初步鉴定以构件的宏观检查评估为主，详细鉴定以安全性分析为主。初步鉴定主要从构件外观和状态进行评估，这对构件火灾损伤的整体了解是非常重要的，也是概念

鉴定与火灾后加固概念设计的首要条件。详细鉴定是在初步鉴定的基础上进行，需要根据结构上的作用及实测的结构参数进行定量的承载力计算分析。在实际鉴定评级中，应该将两级鉴定评级要求紧密地结合起来，使火灾后结构宏观损伤与剩余承载力两组鉴定内容起到互为校核的作用。

3.1.4 本标准鉴定工作流程框图是根据国际标准《结构设计基础-既有结构的鉴定》ISO 13822 制定的。本次修订考虑到近 10 年来实际鉴定工作的经验，对流程框图进行了部分修改，并对初步鉴定和详细鉴定的工作内容进行了明确划分。详细鉴定完成后，如果发现不满足鉴定要求，可进行补充调查检测。对初步鉴定损伤状态等级为Ⅳ级的结构构件，可不进行详细鉴定，也可根据鉴定目的进行详细鉴定。

3.1.5 本条规定了火灾后初步调查的内容，包括查阅工程结构图纸资料，调查使用历史和使用状况；查阅火灾报告，访问目击者，了解火灾过程；现场勘查，确定火灾影响区域，了解主要燃烧物及残留物状况；判断结构发生倒（坍）塌的风险；与委托方确定火灾后鉴定的范围、内容等。

3.1.6 本条规定了制定鉴定方案应考虑的基本内容，鉴定方案应根据鉴定对象的特点和初步调查结果、鉴定目的和要求制定，也可以根据现场特殊情况进行补充。检测鉴定的范围应和委托方商定，并考虑火灾可能影响到的范围，应包括保障现场检测安全的相关措施，还可以增加工作进度计划、由委托方配合完成的工作内容等。

3.1.7 本条规定了初步鉴定应包括的内容。大量火灾后工程结构鉴定的工程实践经验表明，在下列情况下可以在初步鉴定完成后不必再作详细鉴定：

- 1) 工程结构全面烧损严重，应当拆除；

2) 工程结构过火烧损非常轻微, 仅仅是表皮损伤的一般工程结构;

3) 工程结构烧损比较严重, 修复费用超过拆除重建费用等。
除此之外, 大多数需要保留工程结构均宜进行详细鉴定。

3.1.8 本条对详细鉴定作出了规定。

详细鉴定是在初步鉴定的基础上进行, 主要内容包括火作用分析、结构构件专项检测分析、结构分析与构件校核和详细鉴定评级。详细鉴定是根据结构上的作用及实测的结构参数进行定量的剩余承载力计算分析, 然后进行可靠性评级。详细鉴定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。火灾后结构整体的安全性鉴定评级或可靠性鉴定评级应按国家现行有关标准规定进行, 例如现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 等。

3.2 鉴定评级标准

3.2.1 火灾后结构构件的初步鉴定评级主要从构件外观和状态进行评级, 这对构件火灾损伤的整体了解是非常重要的, 也是概念鉴定与火灾后加固概念设计的首要条件。例如, 对于混凝土构件, 火灾后外观和状态的改变较为明显, 且与内部细微观结构及剩余承载力的改变又有密切联系。因此, 构件的初步鉴定在鉴定工作中, 起着非常重要的作用。

本次修订要求火灾后工程结构的鉴定对象应为工程结构整体或相对独立的结构单元, 考虑到保险理赔方面要求, 增加了关于Ⅰ级的规定。为了对火灾后结构状态全面把控, 火灾后结构构件的初步评级根据外观损坏状态进行评级, 只要受到火灾影响, 均

不评为Ⅰ级，对于未遭受烧灼作用并未出现火灾及高温损伤的结构构件，可以评为Ⅰ级，以便更好区分理赔等。并对Ⅱ_a级、Ⅱ_b级评级标准更加明确了对结构安全的影响程度要求。

3.2.2 火灾后结构构件的详细鉴定评级是根据结构上的作用及实测的结构参数进行定量的剩余承载力计算分析，然后进行安全性或可靠性鉴定评级。详细鉴定评级应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。火灾后构件评级标准与工业建筑、民用建筑鉴定标准基本相同。对于未受火影响构件且符合国家现行标准要求的构件才能评为a级。

4 调查和检测

4.1 火作用调查与分析

4.1.1 本条规定了火灾后工程结构火作用调查与分析的主要内容，针对具体项目，可根据火场残留物、结构构件现状、火灾规模、燃烧和灭火信息掌握情况等，在满足结构鉴定评估要求条件下，简化有关内容。

4.1.2 本条规定了火作用调查的基本内容，火灾影响区域调查是火灾鉴定中必须确定的，所谓火灾影响区域，是指火场区域、高温烟气弥漫区域和不可忽略的温度应力作用区域的总称。可能发生的火灾损坏（包括：高温灼烤所致的结构材料劣化损坏和温度应力所致的结构或构件变形开裂损坏）均应分布在火灾影响区域范围内。

4.1.3 火场温度过程及温度分布，是指随着火灾引燃、蔓延、熄灭的过程所发生的温度升降变化过程和结构表面受热温度的宏观分布。当需要进一步分析结构温度应力或变形的传播规律特点时，应调查火场温度过程，火场温度过程可根据火灾荷载、可燃物特性、受火构件的热传导特性、通风条件及灭火过程等按燃烧规律推断；必要时可采用模拟燃烧试验确定。火灾温度判断是为了宏观上判定不同区域结构相对的烧灼损伤程度。

4.1.4 本条给出了构件表面温度的几种推定方法，鉴定人可根据实际情况选用。

判断混凝土结构构件表面受火最高温度时应注意，由于混凝土原材料的不同、构件尺寸大小不同、受火后搁置时间的影响等，有关特征可能会存在差异，检测时应注意与未受灾的同类构

件进行对比判断。

对于钢结构构件表面曾经达到的最高温度，可结合表面油漆的烧损程度按本标准附录 B 分析推断。

砌体结构构件的表面温度判断是新增内容，我国闪明保、李延和等人在 20 世纪 90 年代做过研究，得出了砖和水泥砂浆表面颜色、裂缝情况与温度的关系。

木结构构件的表面温度判断是新增内容，受火灾影响的木结构构件表面曾经达到的最高温度及作用范围，可根据木材表面颜色和炭化情况推断。例如，木材表面温度达到约 200℃ 时颜色变黑，表面温度达到约 300℃ 时发生炭化。

4.1.5 本条规定了判断一般结构构件内部受火温度的方法，根据受火构件表面残留物判断构件表面曾经达到的温度，操作简单，判断直观。在实际操作中应注意火场残留物的发现位置不一定就是受火作用时的位置，应注意区分。一般钢结构构件表面与内部温度一致。

本条也给出了推断混凝土构件内部截面温度（场）的几种实用方法，鉴定人可根据现场实际情况选用。

对当量标准升温时间（ t_e ）的定义，可理解为：若实际火灾对混凝土结构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结构的热损伤作用相等，则可将该标准火灾的这一特定持续时间定义为标准当量时间。

不同的通风系数和火灾荷载，具有不同的温度-时间曲线。如果直接以燃烧理论计算曲线作为升温条件计算构件温度场，由于失火房间通风系数和火灾荷载的多变性，只能采用计算机数值解法，因而不便直接使用。使用当量时间（ t_e ）可把千变万化的火灾下构件温度场的计算统一为标准升温条件下的计算，同时还考虑了火灾的实际情况，因而具有实用的价值。

本条第1款第1项基于轴心受压(素)混凝土构件在遭受标准升温火作用和一般火灾火作用后承载能力相等的原则,将一般火灾作用时间(t)等效为当量标准升温作用时间(t_e)。

本条第1款第2项根据构件受火后的特征推定当量标准升温时间的一个方法。本标准公式(4.1.5)依据标准耐火试验中钢筋混凝土板、墙实测的构件表面温度($T_s, ^\circ\text{C}$)与升温时间(t_e, min)回归得到,上式的平均回归误差为2%。

本条第1款第3项给出根据构件受火后的特征推定楼板当量标准升温时间的一个方法。根据构件受火后的特征推定当量标准升温时间,当温度小于 600°C 时,可能会出现较大误差。

本标准表4.1.5-1的数据引自四川消防科学研究所试验结果,该试验是采用标准火灾-温度曲线进行试验。目前我国采用国际标准化组织《Fire-resistance tests—Elements of building construction—Part 1: General requirements》ISO 834-1的火灾标准时间-温度曲线,表达式为:

$$T_f(t) = 345\lg(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

式中: $T_f(t)$ —— t 时刻的温度($^\circ\text{C}$);

20——初始环境温度($^\circ\text{C}$);

t ——升温时间(min)。

试验结果可参阅应急管理部四川消防科学研究所研究报告《钢筋混凝土建筑火灾烧损程度鉴定技术的研究报告》(1990.11)。

本条第2款给出火灾后发生爆裂的混凝土结构构件截面历经最高温度场推断方法,可以根据混凝土表面爆裂临界温度和火灾升温曲线来推断火灾后发生爆裂的混凝土结构构件截面历经最高温度场。影响混凝土高温爆裂的因素较多,为便于工程应用,哈尔滨工业大学、华南理工大学搜集了国内外关于混凝土高温爆裂

临界温度的 30 篇文献，基于 82 个爆裂临界温度与混凝土强度的试验数据，提出了相关计算公式。随混凝土强度提高，爆裂临界温度降低，这主要是随混凝土强度提高，其微观结构更致密、水蒸气逃逸更困难所致。

本条第 3 款是基于材料微观分析结果，是推断混凝土构件内部截面温度（场）的实用方法之一。火灾中结构所受热温度由于受多种因素影响，任何一种推断方法都存在其局限性。为较准确地推断结构受热温度，应采用多种方法分析推断，互相补充印证。其中以结构材料微观分析的方法判断结构受火温度较为直接、可靠。采用衍射分析、电镜分析等手段检验岩相组织等。

4.2 结构构件现状检测

4.2.1 本条是对结构现状检测内容的一般规定。

4.2.2 本条是对结构烧灼损伤现状检测方法的一般规定。

4.2.3 本条是对结构温度应力作用损坏现状检测方法的一般规定。

4.2.4 本条是对结构材料性能检验的一般规定。结构材料性能的取样检验，一般采用对比试验法，即分别在受损程度不同的部位和未受损部位取样，进行对比试验，以确定火作用的影响程度。

4.2.5 本条明确了火灾后混凝土结构、钢结构、砌体结构、木结构、钢-混组合结构的现状检测内容。

结构整体结构变形及轮廓尺寸复核检测，包括：整体位移、侧移或挠曲变形，必要时还需要进行结构构件几何（包括截面）尺寸的校核检验。检查检测结果记录应详细、完整，宜绘制描述损伤的图表，并应有照片或其他影像记录资料。

5 火灾后结构分析与构件校核

5.0.1~5.0.4 火灾后结构分析与构件校核所采用的分析方法，应符合国家现行设计标准的规定，例如《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017、《砌体结构设计规范》GB 50003、《木结构设计标准》GB 50005 等。当受力复杂或国家现行设计标准没有明确规定时，可根据国家现行设计标准规定的原则进行分析验算。计算分析模型应符合结构的实际受力和构造状况。火灾后结构分析计算模型尚应考虑火灾作用对结构受力性能的不利影响，由于节点连接烧损变形等损伤的存在，会导致结构承载力和刚度降低，对节点连接的约束也会有不利影响。

5.0.5、5.0.6 对火灾后结构构件进行分析与校核，首先要考虑的问题是如何确定符合实际情况的作用（荷载）。因此，要准确确定施加于结构上的作用（荷载），首先要经过现场调查、检测和核实。

5.0.7~5.0.9 火灾后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。钢构件强度分析时，应考虑火作用造成的钢构件局部变形及连接螺栓强度降低的影响。

5.0.10 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。

5.0.11 特殊重要结构构件一般指《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 规定的安全等级为一级的结构构件。

6 火灾后结构构件鉴定评级

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.3 初步鉴定状态分级中的Ⅰ级、Ⅱ_a级、Ⅱ_b级、Ⅲ级的条文原则一定要掌握。有时火灾表面现象呈伪状态，例如混凝土表面被黑色覆盖，一般定为Ⅱ_a级状态，即基本正常，没有明显降低构件承载能力和耐久性。但是，在有些情况下，严重火灾后，混凝土构件变形和裂缝非常严重，已严重影响构件承载能力和耐久性，然而表面却仍被碳粒子覆盖，也呈黑色，因此，应先刮去覆盖的碳粒子再检查，此时构件表面混凝土呈灰白色或土黄色，再将这一情况与严重变形或裂缝综合考虑，该构件损伤等级应定为Ⅲ级，因此，在初步鉴定中，首先应掌握Ⅰ级、Ⅱ_a级、Ⅱ_b级、Ⅲ级状态的伪像和基本特征，再依据本标准表6.2.1的内容进行混凝土构件火灾后的状态检查。

初步鉴定过程中对于初步判断未遭受烧灼作用，未发现火灾及高温造成的损伤，构件材料、性能及安全状况未受到火灾影响的构件，初步鉴定损伤等级可定为Ⅰ级状态。初步鉴定结果也便于保险理赔区分是否受到火灾的影响。

能够明显判别构件已经严重烧灼或破坏、烧塌等时，初步鉴定损伤等级应评为Ⅳ级，这些构件可不进行详细鉴定分析，可直接给出详细鉴定评级为d级。

6.1.4、6.1.5 本标准中火灾后结构构件详细鉴定分级主要以构件的安全性鉴定为主。构件的安全性鉴定依据现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144，按承载能力、构造连接两个项目分别评定等级，还应结合实际工程情况，考虑构件过大变

形、过宽裂缝、腐蚀及缺陷损伤严重程度及其对构件安全性的影响，并应取其中较低等级作为构件的详细鉴定等级。现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292，构件的安全性鉴定也有相应的规定，按承载能力、构造、不适于承载的位移或损伤等项目进行评定，取其中较低等级作为构件的详细鉴定等级。

6.1.6 本条针对火灾后结构整体的可靠性或安全性鉴定，除了要对构件进行鉴定外，还需要考虑结构整体性的连接构造受到火灾的影响，分析结构整体性连接构造性能时，也应考虑火灾或高温对结构性能的影响。火灾后结构整体的安全性鉴定评级或可靠性鉴定评级应按国家现行有关标准规定进行，例如现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 等。

6.2 混凝土结构构件

6.2.1 混凝土结构构件评级一般按板、梁、柱、墙等构件来评定。本条中，火灾后混凝土的颜色改变应注意熏黑与碳化变黑的区别，此处被黑色覆盖指熏黑。

在对火灾后混凝土构件进行初步调查时，除了解混凝土构件设计施工情况和被调查构件周围各种材料的高温变态情况外，主要还应了解火灾后混凝土构件外观特征情况，作为判断火灾的火场温度及构件灼着温度的主要依据。

从试验结果和大量的调查中可以知道，混凝土构件的外观在受到火灾高温作用后会发生一系列的变化，比如温度不超过 300°C 时，混凝土表面仅看见黑烟；当温度由 $300^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土表面会逐渐变色，由粉红色加深到铁锈红；当温度由 600°C 上升到 $700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土表面颜色逐渐泛黄，由浅黄色到土黄色；当温度超过 800°C 后混凝土表面颜色开始由土黄

色变到灰白色。又比如，混凝土受到高温作用后，其表面会生成许多网状裂缝，特别当混凝土达到临界温度 580℃后，其表面会产生大量裂缝，并会发生爆裂和露筋现象，如果火灾后混凝土构件有爆裂和露筋现象，也说明该构件截面温度梯度变化很大，强度损失亦较大。

在进行混凝土构件外观调查时，还应注意由于构件设计的标准不同（如截面尺寸、配筋大小、强度等级），构件形状不同以及所处火灾区域不同，混凝土构件所受温度的作用和强度降低的程度都不尽相同。在同等温度作用下，构件截面设计越大，因尺寸效应的缘故，构件灼着温度相对较低，构件强度降低也较小，构件的形状不同，如楼板厚度较薄，又直接受到火焰冲击，热量不易逸散，其灼着温度较高，强度降低较大，梁虽截面较大，但三面受火，其灼着温度及强度降低次之，柱因截面较大，且侧面受火，其灼着温度及强度降低相对较小。

本条中火灾后混凝土楼板、屋面板和梁初步评级中关于火灾裂缝和变形值的定量问题，考虑到混凝土结构火灾裂缝和变形等损伤参数离散性较大，且构件在结构不同部位的重要性不一样，因此正文条文中采取粗线条评判法，由检测鉴定人员在考虑构件火灾损伤程度及构件重要性等诸因素后进行综合评定。也可参照下列值评定，即：

裂缝宽度 $< 0.2\text{mm}$ 为轻微火灾裂缝；

裂缝宽度 $0.2\text{mm} \sim 0.4\text{mm}$ 为中等火灾裂缝；

裂缝宽度 $> 0.4\text{mm}$ 为粗火灾裂缝。

表 1 中变形主要指火灾引起板、梁构件的挠度，可参照下列值作初步评定，即：

$\delta \leq [\delta]$ 为 II_s 级，无明显变形；

$[\delta] < \delta \leq 3[\delta]$ 为 II_s 级，中等变形；

$\delta > 3[\delta]$ 为Ⅲ级，较大变形。

其中： δ 为火灾后受弯构件实际挠度； $[\delta]$ 为受弯构件的挠度限值，按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2010（2015年版）的有关规定取值，其规定如下：

表 1 受弯构件的挠度限值

构件类型		挠度限值
吊车梁	手动吊车	$l_0/500$
	电动吊车	$l_0/600$
屋盖、楼盖及 楼梯构件	当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0/200(l_0/250)$
	当 $7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0/250(l_0/300)$
	当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0/300(l_0/400)$

注：1 l_0 为构件的计算跨度；计算悬臂构件的挠度限值时，其计算跨度 l_0 按实际悬臂长度的 2 倍取用。

2 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。

本条中关于预应力锚具的规定来源于哈尔滨工业大学所完成的 65 组锚具-预应力 PC 钢棒组装件高温时、高温后锚固性能试验。结果表明：火灾后锚具历经最高温度超过不 200°C 时，其锚固能力几乎完全损失。基于高温后预应力锚具锚固能力退化规律，推测封锚混凝土近表面经历最高温度。因此，建议火灾后封锚混凝土近表面历经最高温度不超过 200°C 时，评价为Ⅱ_a级，封锚混凝土近表面历经最高温度超过 200°C 、不超过 250°C 时，评价为Ⅱ_b级，封锚混凝土近表面历经最高温度超过 250°C 、不超过 300°C 时，评价为Ⅲ级。按预应力锚具初步评价为Ⅱ_a级、Ⅱ_b级、Ⅲ级时，对应的预应力混凝土构件承载力损失分别不超过 2%、5%、10%。详见文献“侯晓萌，郑文忠，孙洪宇，《火灾作用下锚具对预应力钢棒锚固性能退化规律研究》[J]，建筑结构学报，2014，35（3）：110-118”。

6.2.2 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。

现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 在构件层次，评定为 a、b、c、d 四级，具体见表 2。

表 2 混凝土构件承载能力评定等级

构件种类		$R_i/\gamma_0 S$			
		a	b	c	d
重要构件	工业建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.90	< 0.90 ≥ 0.83	< 0.83
	民用建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.95	< 0.95 ≥ 0.90	< 0.90
次要构件	工业建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.87	< 0.87 ≥ 0.80	< 0.80
	民用建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.90	< 0.90 ≥ 0.85	< 0.85

注： R_i 为结构构件火灾后的抗力； S 为作用效应； γ_0 为结构重要性系数，按现行国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的有关规定取值。

6.3 钢结构构件

6.3.1 火灾后钢结构构件的初步鉴定评级主要根据火灾后比较容易观测到的宏观现象，例如构件的涂装与防火保护受损情况、构件开裂、局部变形、整体变形等，初步判断出哪些构件明显损坏（IV级），哪些构件火灾损伤较小（II₀级），对IV级构件一般情况下无须再进行进一步检测，从而可大大减少需要鉴定的构件数量。

对于有防火保护的钢构件，火灾后防火保护完好且基本无损，则表示火灾中构件所经历的温度不高，构件的损坏很小，因

此评为Ⅱ级。至于构件保护层脱落或出现明显裂缝，则表示构件可能在火灾中经历较高的温度，应根据构件的局部屈曲和变形等情况对其损伤做进一步检测。

从火灾后的钢结构建筑案例现场调查来看，局部残余变形与局部屈曲是钢构件在火灾中常见的一种损伤，且构件有局部损伤时，并不一定出现很大的整体变形，因此钢结构的局部残余变形、局部屈曲是独立的火灾损伤现象，应单独评定。

表 6.3.1 中，Ⅲ级损伤变形界限值取为Ⅱ级损伤变形限值的 2 倍，当火灾后构件的残余变形超过该值，说明构件的变形很大，损伤已很严重。

此外，还可借助高温过火冷却后钢材表面的颜色来大致判定构件曾经历的最高温度及损伤，表 3 列出了结构钢高温过火冷却后的颜色变化情况。大体上，钢材表面颜色随着钢材所经历的最高温度的升高而逐步加深。但是，由于高温过火冷却后钢材表面的颜色与钢材的种类、高温持续时间、冷却方式等因素有关，而实际构件表面在绝大多数情况下或有防腐涂料或有锈蚀，以此钢材的表观颜色只能作为参考。

表 3 高温过火冷却后钢材表面的颜色

试件经历的最高温度 (°C)	试件表面的颜色 (Q235)	
	初步冷却	完全冷却
240	与常温下基本相同	—
330	浅蓝色	浅蓝黑色
420	蓝色	深蓝黑色
510	灰黑色	浅灰黑色
600	黑色	黑色

摘自：曹文銜，损伤累积条件下钢框架结构火灾反应的分析研究 [D]，上海：同济大学，1998.

火灾后钢结构应特别加强对连接节点的检测。连接节点处往往局部应力集中，现场焊接施工质量不易保证，因此在火灾下钢结构连接也时有出现损坏的。对于高强度螺栓连接，只要螺栓出现松动，就应予以更换。

6.3.2 受火构件的材料特性可能发生较大的变化，故详细鉴定时应应对受火构件的材料特性进行调查，并作为承载力与冲击韧性评定的依据。本次修编结合国内近年来相关研究成果，增加了通过火灾作用温度判定高强螺栓、焊缝屈服强度以及高强螺栓预拉力，以方便检测评级。受火钢构件的材料特性一般包括：

- (1) 屈服强度与极限强度；
- (2) 延伸率；
- (3) 冲击韧性；
- (4) 弹性模量。

受火钢构件的承载力包括：

- (1) 截面抗弯承载力；
- (2) 截面抗剪承载力；
- (3) 构件和结构整体稳定承载力；
- (4) 连接强度。

一般地，受火构件的材料特性宜采用现场取样试验测定，取样过程中保证现场安全。当现场不易取样或现场取样对构件有较大的损害时，可采用同种钢材加温冷却试验确定。采用同种钢材加温冷却试验来确定受力构件的材料强度与冲击韧性时，钢材的最高温度应与构件在火灾中所经历的最高温度相同，并且冷却方式应能反映实际火灾中的情况（泼水冷却或是空气冷却）。

现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 按表 4 评定为 a、b、c、d 四级。

表 4 钢构件承载能力评定等级

构件种类		$R_i/\gamma_0 S$			
		a	b	c	d
重要构件、 连接	工业建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.95	< 0.95 ≥ 0.88	< 0.88
	民用建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.95	< 0.95 ≥ 0.90	< 0.90
次要构件	工业建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.92	< 0.92 ≥ 0.85	< 0.85
	民用建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.90	< 0.90 ≥ 0.85	< 0.85

注：表中 R_i 为结构构件火灾后的抗力， S 为作用效应， γ_0 为结构重要性系数，按现行国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 的有关规定取值。

6.4 砌体结构构件

6.4.1 砌体结构构件初步鉴定评级中，结构构件变形主要指侧移变形，表 6.4.1 中变形的判定可参照表 5 和表 6。表 5 和表 6 中的值与《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 - 2015 和《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 - 2019 保持一致。

表 5 火灾后民用建筑砌体结构侧向位移变形的初步鉴定评级标准

评级项目		Ⅱ _a 级或Ⅱ _b 级	Ⅲ级
多层房屋 (墙承重)	层间	$> H_i/550, \leq H_i/450$	$> H_i/450$
	结构顶点	$> H/650, \leq H/550$	$> H/550$
多层房屋 (柱承重)	层间	$> H_i/600, \leq H_i/500$	$> H_i/500$
	结构顶点	$> H/700, \leq H/600$	$> H/600$

注：1 表中限值系对一般装修标准而言，若为高级装修应事先协商确定；

2 表中 H 为结构顶点高度； H_i 为第 i 层的层间高度。

表 6 火灾后工业建筑砌体结构侧向位移变形的
初步鉴定评级标准 (mm)

评级项目		Ⅱ _a 级或Ⅱ _b 级	Ⅲ级
多层房屋 (包括多层厂房)	层间位移或倾斜	$>5, \leq 20$	>20
	顶点位移或倾斜	$>15, \leq 30$ 和 $3H/1000$ 中的较大者	>30 和 $3H/1000$ 中的较大值
单层房屋 (包括单层厂房)	有吊车厂房墙、 柱位移		$>H_T/1250$ 限值, 但不影响吊车运行
	无吊车厂 房位移或 倾斜	独立柱	$>10, \leq 15$ 和 $1.5H/1000$ 中的较大者
		墙	$>10, \leq 30$ 和 $3H/1000$ 中的较大值
			>15 和 $1.5H/1000$ 中的较大值
			>30 和 $3H/1000$ 中的较大值

- 注：1 表中 H 为自基础顶面至柱顶总高度； h 为层高； H_T 为基础顶面至吊车梁顶面的高度；
- 2 表中吊车房屋柱的水平位移限值，是在吊车水平荷载作用下按平面结构图形计算的厂房柱的横向位移；
- 3 在砌体结构中，墙包括带壁柱墙；
- 4 多层房屋中，可取层间位移和结构顶点总位移中的较低等级作为结构侧移项目的评定等级；
- 5 当结构安全性无问题，倾斜超过表中Ⅱ级的规定值但不影响使用功能时，仍可评为Ⅱ_b级。

6.4.2 本条对火灾后砌体结构构件的详细鉴定评级作出了规定。

1 砌体结构构件火灾后截面温度场取决于火灾过程、火灾影响区域及持续时间、构件表面最高温度、截面形式、材料的热工性能等。

火灾后砌体结构构件检测的规定，是根据火灾后建筑结构检测鉴定经验，并参照《建筑物火灾后诊断与处理》《房屋结构灾害检测与加固》等文献制定的。火灾后砂浆和块材强度的分析判定有三种方法，分别是现场原位检测、抽样实验室检测和根据构件截面温度场判定。本标准附录 J 给出了砂浆和黏土砖块材火灾

后的强度折减系数；本标准表 J.0.1-1 根据墙体表面最高温度推定黏土砖及砂浆的强度；本标准表 J.0.1-2 是根据高温实验结果推定砂浆强度。实际火灾情况下，墙体截面温度场是非均匀温度场，表面温度高、内部温度低，而实验温度场一般为均匀温度场，因此本标准表 J.0.1-2 的数值低于本标准表 J.0.1-1 的数值。实际鉴定时，宜根据火灾持续作用时间等因素，采用不同的分析判定方法，确定砂浆及黏土砖的强度折减系数。

由于目前大多数黏土砖砌体结构均采用黏土红砖，已有的研究及现场调查结果基本也是黏土红砖的，现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 也未对黏土砖进行区分，本标准中也未对黏土砖的类别进行区分。

已有的试验研究表明，混合砂浆的高温性能略好于水泥砂浆，本标准偏于安全地采用水泥砂浆的强度折减系数。

火灾后砌体结构构件表面温度 T_s ，可根据构件所处区域的火场温度推定公式 (2)；截面内部温度 T_d 可根据表面温度推定公式 (3)：

$$T_s = 1.227T - 315 \quad (T_s \geq 20^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$T_d - T_s = 8.30d \quad (3)$$

式中： T ——火场温度 ($^\circ\text{C}$)；

T_s ——砌体结构构件表面温度 ($^\circ\text{C}$)；

T_d ——砌体结构构件距迎火面 d (mm) 处的温度。

公式 (2) 和公式 (3) 适用于黏土砖砌体结构构件，其他砌块形式的砌体结构构件尚缺少相应的试验和调查数据支撑。

2 本次修订增加了砌体抗压、抗拉、抗弯及抗剪强度设计值的推定方法，同时也给出了火灾后砌体抗压承载能力计算方法及其相关系数的取值方法。砌体强度设计值取值、抗压承载能力计算及其参数取值的原则与现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 一致。

4 现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和

《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 按表 7 评定为 a、b、c、d 四级。

表 7 砌体构件承载能力评定等级

构件种类		$R_f/\gamma_0 S$			
		a	b	c	d
重要构件	工业建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.90	< 0.90 ≥ 0.83	< 0.83
	民用建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.95	< 0.95 ≥ 0.90	< 0.90
次要构件	工业建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.87	< 0.87 ≥ 0.80	< 0.80
	民用建筑	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.90	< 0.90 ≥ 0.85	< 0.85

注：表中 R_f 为结构构件火灾后的抗力， S 为作用效应， γ_0 为结构重要性系数，按现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的规定取值。

6.5 木结构构件

6.5.1 本条是参照现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 制定的。

考虑到初步鉴定评级时，木构件变形的测量较粗略，因此条文中采取粗线条评判法，由检测鉴定人员在考虑构件火灾损伤程度及构件重要性等诸因素后，综合评定。若无经验，可按表 8 评定。

表 8 火灾后木构件基于整体变形的初步鉴定评级标准

评级项目	构件类别	各级变形损伤等级状态特征	
		Ⅱ _a 级或Ⅱ _b 级	Ⅲ级
挠度	桁架、屋架、托架	$> l_0/400, \leq l_0/200$	$> l_0/200$
	主梁	$> l_0/250, \leq l_0/150$	$> l_0/150$
	搁栅、檩条	$> l_0/250, \leq l_0/120$	$> l_0/120$
	椽条	$> l_0/150, \leq l_0/100$	$> l_0/100$

续表 8

评级项目	构件类别	各级变形损伤等级状态特征	
		Ⅱ _a 级或Ⅱ _b 级	Ⅲ级
侧向弯曲的 矢高	柱或其他受压构件	$>l_c/400, \leq l_c/200$	$>l_c/200$
	矩形截面梁	$>l_0/300, \leq l_0/150$	$>l_0/150$

注：1 表中 l_0 为计算跨度， l_c 为计算长度；

2 侧向弯曲主要是由木材生长原因或干燥、施工不当所引起的。

6.5.2 本条第 2 款主要参考了国家标准《木结构设计标准》GB 50005-2017 第 4.3.2 条关于干材和湿材的强度折减规定。由于木结构在建造和使用过程中木构件的含水率已基本稳定，设计强度值均按照正常含水率取值，火灾后浇水冷却木材含水率会明显上升，参照国家标准《木结构设计标准》GB 50005-2017 第 4.3.2 条予以折减。

木结构构件火灾后承载力参考了现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 的有关规定进行计算；对于高温后水冷却木材，参考《木结构设计标准》GB 50005-2017 表 4.3.2-3 针对含水率大于 25% 的湿材的规定进行强度折减。

《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292-2015 按表 9 将木构件承载能力评定为 a、b、c、d 四级。

表 9 木构件承载能力评定等级

构件种类	$R_i/\gamma_0 S$			
	a	b	c	d
主要构件及连接	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.95	< 0.95 ≥ 0.90	< 0.90
次要构件	≥ 1.00	< 1.00 ≥ 0.90	< 0.90 ≥ 0.85	< 0.85

注：表中 R_i 为结构构件火灾后的抗力， S 为作用效应， γ_0 为结构重要性系数，按现行国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 的有关规定取值。

6.6 钢-混组合结构构件

6.6.1、6.6.2 近些年，随着国内钢-混组合结构构件的快速发展，钢-混组合结构发生火灾的案例陆续出现，为了更准确地对此部分受火结构构件进行鉴定，本次修编汇总了国内多家科研院所的相关研究成果，增加了此部分内容。

火灾后钢-混组合结构构件的初步鉴定评级中，混凝土结构内置钢结构一般包括：型钢混凝土框架梁、型钢混凝土框架柱、型钢混凝土框架梁柱节点、型钢混凝土剪力墙等。钢结构内置混凝土一般包括：钢管混凝土柱、钢板组合剪力墙、外包钢-混凝土组合梁、钢管混凝土支撑等。

7 鉴定报告

7.0.1 依据现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 和《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 的有关规定，鉴定报告除本条文规定的内容外，还包含标题、日期、委托人、承担鉴定的单位、签章、摘要、目录、鉴定目的、范围、工程结构火灾和火灾后的状况、检测项目、检测依据、取样原则、试验方法、试验分析结果、结构分析与校核、构件可靠性评级、结论、建议和附录（包括相关照片、材质检测报告、证据资料等）内容。火灾概况叙述的主要内容包括：起火时间、主要可燃物、燃烧特点和持续时间、灭火方法和手段等。

7.0.2 本标准明确规定了鉴定报告编写要点，以保证鉴定报告的质量。

附录 A 混凝土构件表面特征与温度关系

附录 A 主要是根据江苏省建筑科学研究院闵明保等《建筑物火灾后诊断与处理》的试验研究；苏联《建筑物火灾后混凝土结构鉴定标准》（1987）、《火灾损伤建筑物技术鉴定》；李引擎等《建筑防火设计与研究》等试验资料 and 标准基础上制定的。

附录 B 常见材料变态温度、燃点

附录 B 资料引自段文玺论文《建筑结构的火灾分析和处理》(《工业建筑》, 1985. 5-7) 及闵明保论文《建筑结构火灾温度的判定方法》(《建筑结构》, 1994. 1: 37-42)。

附录 C 砌块材料表面特征与温度的关系

附录 C 是根据江苏省建筑科学研究院闵明保等《建筑结构火灾温度的判定方法》的研究成果，并综合国内外近些年的科研成果，对部分内容进行了调整。

附录 D 混凝土构件在标准升温 条件下温度场曲线

D. 0. 1 附录曲线是标准升温条件下单面受火的截面温度场曲线。计算中板的分层厚度为 10mm，图中的受火实时间 t_e 是指当量标准升温时间 (min)。应用温度场曲线确定任意受火时间板中任意点的温度可以插值。

D. 0. 2 附录曲线是标准升温条件下周边受火的圆形构件截面温度场曲线。计算中截面的分层厚度为 10mm，图中的受火时间 t_e 是指当量标准升温时间 (min)。应用温度场曲线确定任意受火时间圆形截面构件任意点的温度可以插值。

D. 0. 3 附录曲线图是按照钢筋混凝土构件的导热微分方程，在标准火灾条件下，按照数值计算结果编制。其中矩形截面温度场表格可用于三面受火梁和四面受火柱。详细内容可参阅路春森等编著的《建筑结构耐火设计》(建材工业出版社，1995)。

本附录中有关板的部分计算结果与应急管理部天津消防科学研究所实测数据(参阅原公安部天津消防科学研究所研究报告: Fire resistance of beam-slab specimens-experimental studies, 1993) 对比见表 10。

表 10 板厚 80mm 时计算与实验实测温度对比表

$t(\text{min})$	30		40		50		60	
S (mm)	实/计	误差 (%)	实/计	误差 (%)	实/计	误差 (%)	实/计	误差 (%)
10	524/547	+3.8	592/627	+5.9	651/668	+2.6	688/700	+1.7
20	352/388	+10.2	428/473	+10.5	488/524	+7.3	537/562	+4.7

续表 10

$t(\text{min})$	30		40		50		60	
S (mm)	实/计	误差 (%)	实/计	误差 (%)	实/计	误差 (%)	实/计	误差 (%)
40	209/177	-18.0	274/253	-7.7	330/317	-3.9	379/371	+2.1
60	136/81	-40.0	180/131	-27.2	231/187	-19.0	279/250	-10.4

注： t 为板升温时间， s 为板内温度测点距受火面的距离。

从表 10 数值可见，在板内靠近受火面附近处，计算值比实测值大；在距受火面较远点，计算值比实测值小。

由于混凝土构件截面内的温度分布与诸多因素有关，如混凝土的热参数取值、截面尺寸误差、试验炉升温曲线控制水平、热电偶位置误差、受热后构件内水分的迁移等，即使在同一构件中对称位置处(理论上应相等)所测得的温度也相差较大。表 11 数据是由应急管理部天津消防科学研究所实测数据(参阅原公安部天津消防科学研究所研究报告：Fire resistance of reinforced concrete columns-experimental studies, 1993)。试件尺寸为 $305\text{mm} \times 305\text{mm}$ ，在每个试件的对称轴上共设置 8 个两两对称的热电偶，分别距受火表面为 12mm、25mm、38mm、63mm。在各受火时刻，实测的最大、最小和温度值见表 11。最大值与本附录计算值的误差列于表 12。

表 11 温度实测值($^{\circ}\text{C}$)

$S(\text{mm})$	12			25			38			63		
$t(\text{min})$	T_{max}	T_{min}	T_{m}	T_{max}	T_{min}	T_{m}	T_{max}	T_{min}	T	T_{max}	T_{min}	T_{m}
60	659	463	548	475	344	390	302	192	260	171	106	142
70	692	496	582	494	377	425	339	221	294	202	125	168
80	723	526	614	528	404	459	373	252	328	231	150	196
90	749	553	649	559	433	496	404	282	362	260	180	225
100	772	577	675	586	460	520	434	311	390	288	205	247
110	792	598	686	610	485	543	461	338	414	316	231	268
120	811	619	706	632	509	566	487	365	441	344	258	296

表 12 温度误差 (%)

t (min)	S (mm)			
	12	25	38	63
60	+8.7	+14.7	+33.7	+20.0
70	+8.0	+17.8	+31.0	+23.8
80	+6.4	+15.0	+27.6	+24.2
90	+5.0	+12.2	+24.0	+23.0
100	+4.0	+10.2	+20.5	+21.1
110	+3.2	+8.4	+17.6	+19.0
120	+2.3	+7.0	+15.2	+16.6

从表 12 中可见，计算值均比实测值大，主要是含水率的影响。计算时混凝土的含水率采用平衡含水率（混凝土质量的 2%~4%），而试件试验时含水率较高，相对含水率达 63%~98%。但计算值要比法国混凝土结构耐火设计规范所给值偏小（参见李引擎等译《混凝土结构耐火设计强度实用计算法》，1989）。

附录 E 常见可燃物发生轰燃情况下 当量标准升温时间的确定

本附录是基于轴心受压（素）混凝土构件在遭受标准升温火作用和实际火灾火作用后承载能力相等的原则，将实际火灾作用时间（ t ）等效为标准升温作用时间（ t_e ），由此可以在实际工程中应用标准火灾试验的一些成果曲线。

之所以用作对比的混凝土构件采用轴心受压素混凝土柱，不考虑钢筋的作用，其原因是火灾后钢筋的强度恢复较大，而混凝土的强度损伤较大且不能恢复。

图 1 示出以 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 混凝土柱为对比对象的计算结果。图中以实际火灾条件下承载力曲线的最小值作水平线相交于标准火灾下柱承载力曲线，该交点所对应的时间即为当量标准升温时间（ t_e ）。图中， $F=0.06\text{m}^{1/2}$ ， $q_T=300\text{MJ}/\text{m}^2$ 时，当量标准升温时间约为 68min。

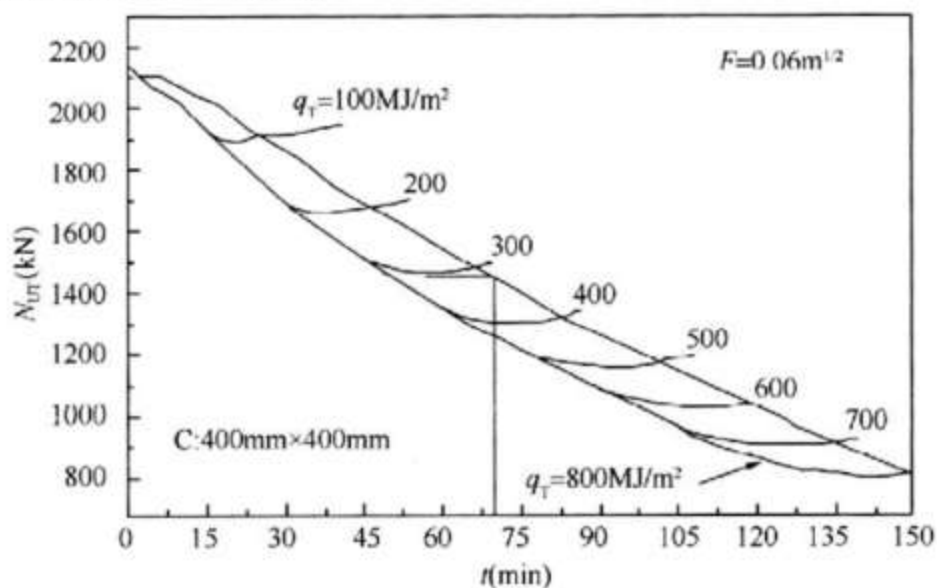


图 1 实际火灾和标准火灾条件下混凝土柱的承载力曲线

实际火灾和标准火灾条件下混凝土柱的承载力曲线计算结果表明，所选柱截面由 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 改变为 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 时，当量标准升温时间 (t_e) 基本无变化。

本标准表 E.0.4 数据仅适用于发生轰燃的情况，其中轰燃是指着火房间内所有可燃物表面均开始剧烈燃烧。

附录 F 火灾后混凝土材料的微观分析

F.0.1、F.0.2 X衍射分析和电镜观测都是在微观领域中对火灾后混凝土构件进行分析。

X射线衍射分析首先解决待测物的物相组成，并由此推知混凝土中各种成分的原始状况，经历过哪些变化。由特征峰的弥散或明锐程度（通常用峰的半高宽度），表示结晶的好坏。这些信息与混凝土构件受火损伤的程度相关，从而为评价混凝土构件的强度提供信息。条文中列出这些物相反应的特征温度可以帮助判定混凝土小样所在部位的历经温度，而混凝土构件的历经温度一经确定，即可利用混凝土在高温下的折减系数（附录 F）评定火灾混凝土的实际强度。事实上，混凝土中的各种原始材料以及水泥水化产物，碳化产物等都能在火灾中发生各种变化，其热致相变（脱水、分解、高温相反应等）常需要一定的温度，火灾后各种相变产物的检出都可以对混凝土的历经温度提供依据。

扫描电镜观测分析也是近几十年发展起来的现代化分析手段，它着眼于待测物的显微形貌，可放大到十万倍，比普通光学显微镜的分辨率高得多。混凝土材料微观晶格结构拍照立体感极强。当用于火灾后混凝土构件分析时，用电镜分析获得的各种物相显微形貌变化，如玻璃态化、CSH 凝胶的干缩、产生微裂纹，各种水化产物的变化等与物相组成分析配合，可以从混凝土材质的微观结构变化中找出混凝土强度及混凝土破坏的实质。

X射线衍射分析和电镜观测都采用分层切片办法试验。分层切片的厚度视构件火灾损伤状况而定，如果截面温度场或火灾损伤梯度较大，切片厚度宜小，目前的切片厚度一般在 5mm~10mm 之间。

附录 G 火灾后钢筋混凝土的力学性能

G.0.1 不同学者给出的普通混凝土和高强混凝土高温自然冷却后的抗压强度折减系数试验结果分别见图 2 和图 3，图中同时展示了本标准表 G.0.1-1 中相应取值的连线。不同学者给出的普通混凝土浇水冷却后的抗压强度折减系数试验结果见图 4，图中同时展示了本标准表 G.0.1-2 中相应取值的连线。本标准表 G.0.1-1 和本标准表 G.0.1-2 中的取值是根据《高温后混凝土和钢筋强度的统计分析》（华南理工大学学报，Vol.36，No.12，2008）的建议，大体具有 95% 的保证率。

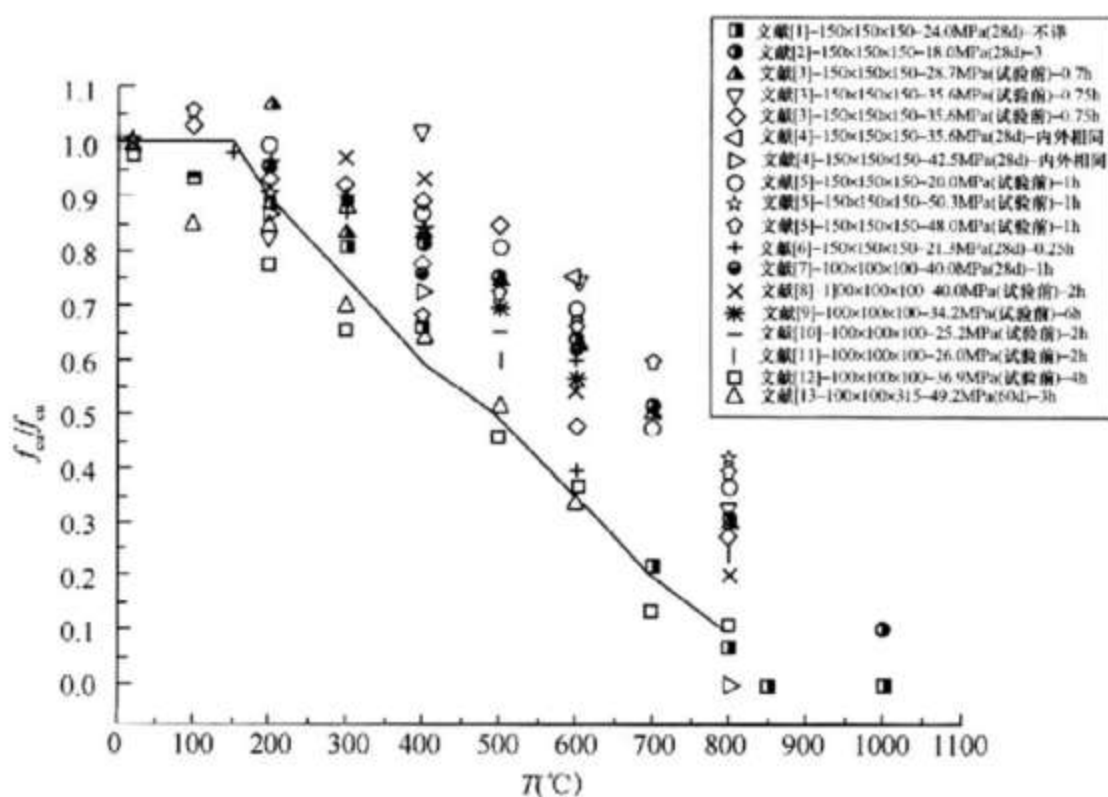


图 2 普通混凝土自然冷却抗压强度折减系数曲线

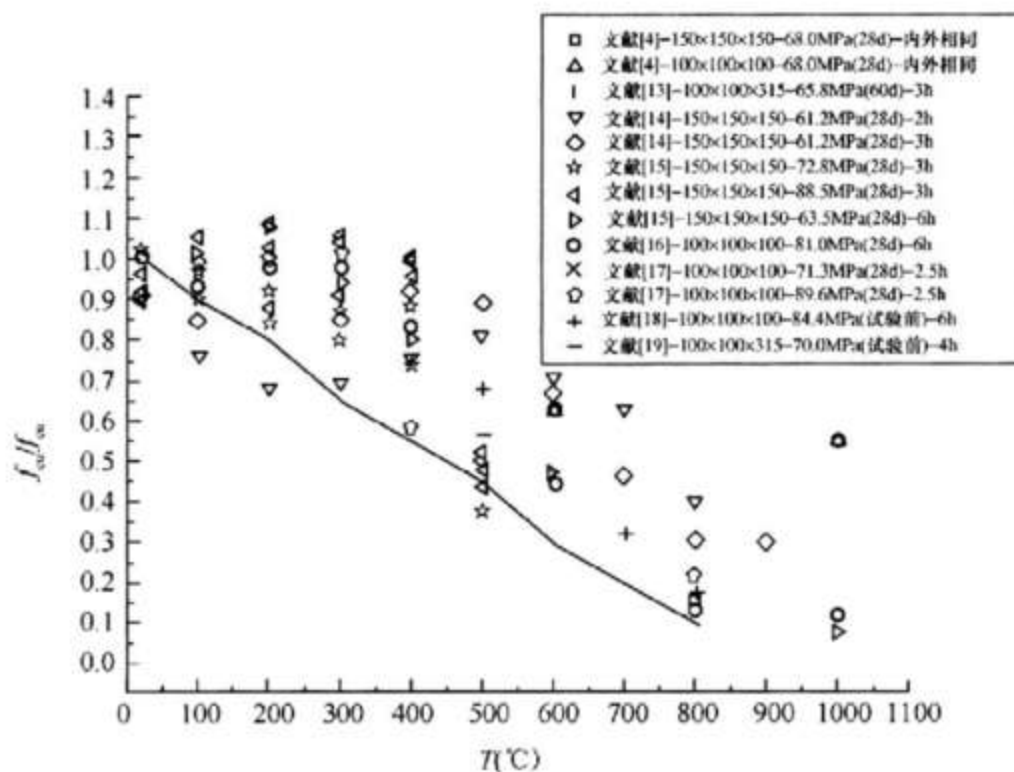


图3 高强混凝土自然冷却抗压强度折减系数曲线

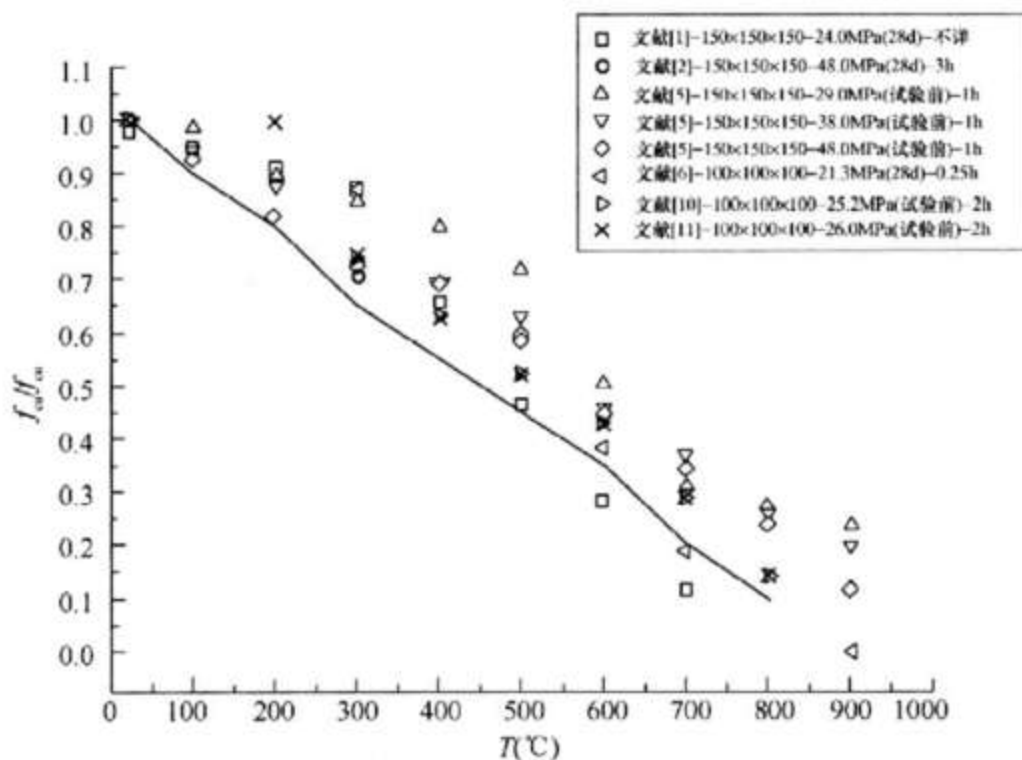


图4 普通混凝土浇水冷却后抗压强度折减系数曲线

混凝土高温下的抗压强度折减系数按表 13 确定。表 13 中的取值是根据《高温下混凝土和钢筋强度的统计分析》（自然灾害学报，Vol. 19，No. 1，2010）的建议，大体具有 95% 的保证率。

表 13 混凝土高温下抗压强度折减系数

温度(℃)	室温	100	200	300	400	500	600	700	800
普通混凝土	1.00	1.00	1.00	0.85	0.71	0.57	0.45	0.30	0.15

不同学者给出的普通混凝土高温下的抗压强度折减系数试验结果分别见图 5，图中同时展示了表 13 中相应取值的连线。

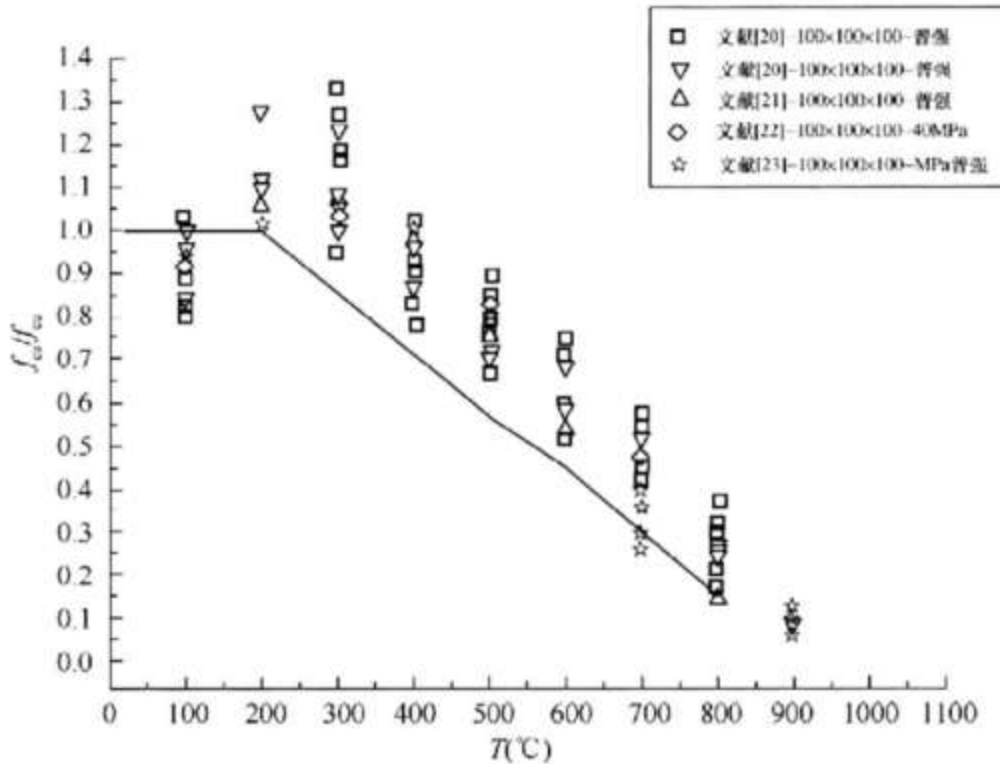


图 5 普通混凝土高温下的抗压强度折减系数曲线

G. 0. 2 不同学者给出的 HPB235 钢筋和 HRB400 钢筋高温自然冷却后的屈服强度折减系数试验结果分别见图 6 和图 7，图中同时展示了本标准表 G. 0. 2 中相应取值的连线。本标准表 G. 0. 2 中的取值是根据《高温后混凝土和钢筋强度的统计分析》（华南理工大学学报，Vol. 36，No. 12，2008）的建议，大体具有 95% 的保证率。

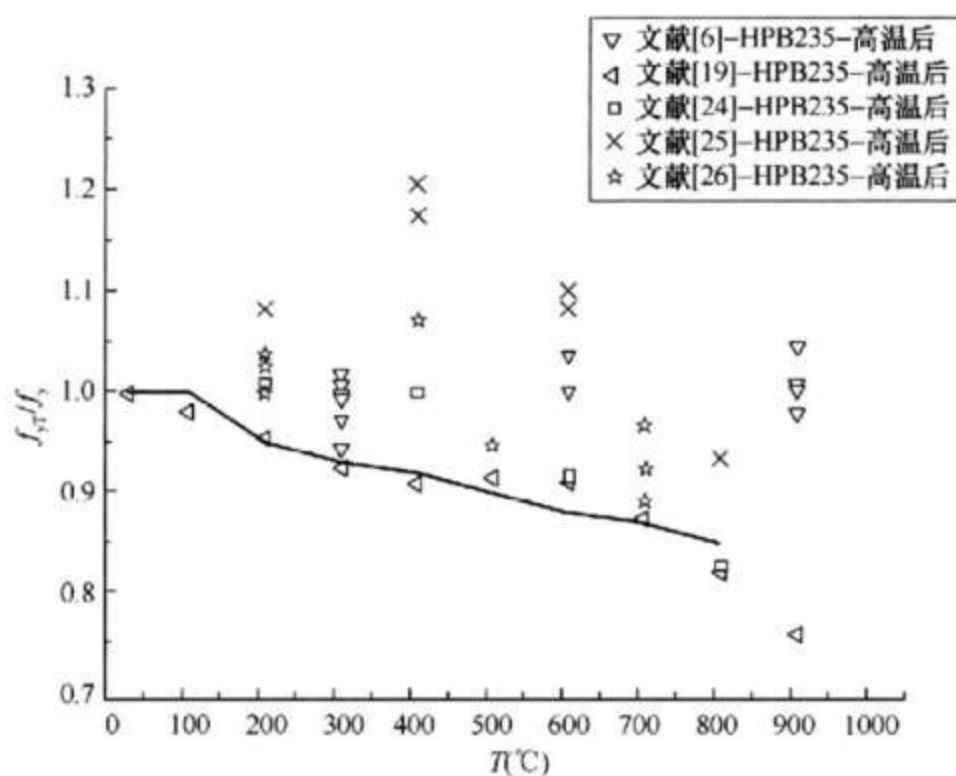


图 6 HPB235 钢筋自然冷却后的屈服强度折减系数

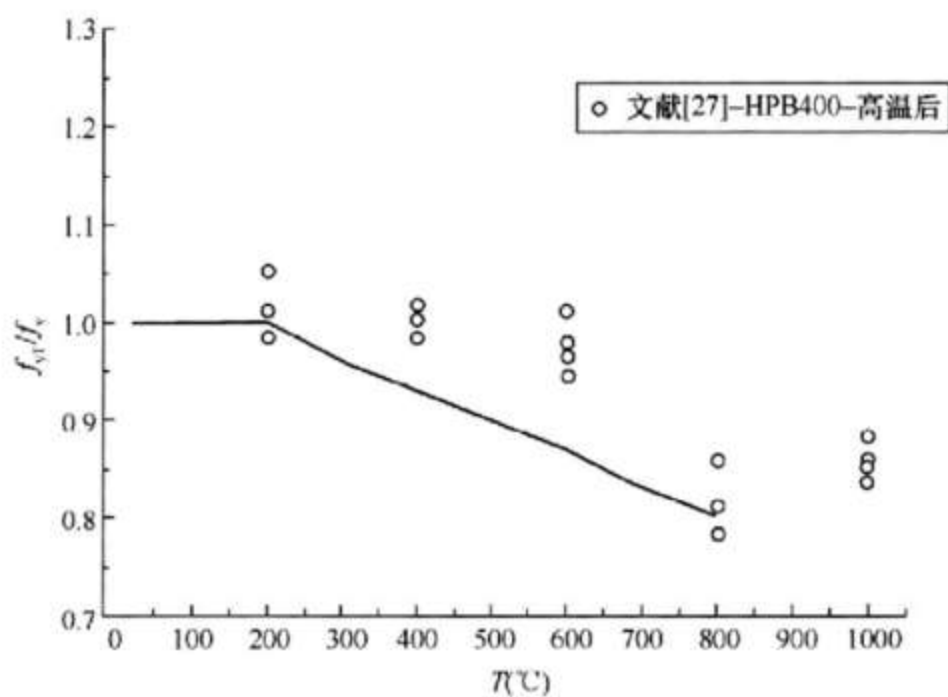


图 7 HRB400 钢筋自然冷却后的屈服强度折减系数

HPB235 钢筋、HRB335 钢筋和 HRB400 钢筋高温下的屈服强度折减系数按表 14 确定。

表 14 钢筋高温下屈服强度折减系数

温度 (°C)	常温	100	200	300	400	500	600	700	800
钢筋牌号									
HPB235、 HRB335、 HRB400	1.00	1.00	0.87	0.75	0.63	0.50	0.35	0.23	0.1

不同学者给出的 HPB235 钢筋和 HRB400 钢筋高温下的屈服强度折减系数试验结果分别见图 8 和图 9，图中同时展示了表 14 中相应取值的连线。表 14 中的取值是根据《高温下混凝土和钢筋强度的统计分析》(自然灾害学报, Vol. 19 No. 1, 2010) 的研究结果取整得到的，大体具有 95% 的保证率。

G. 0.3 折减系数根据已有研究成果和文献资料，在考虑 95% 保

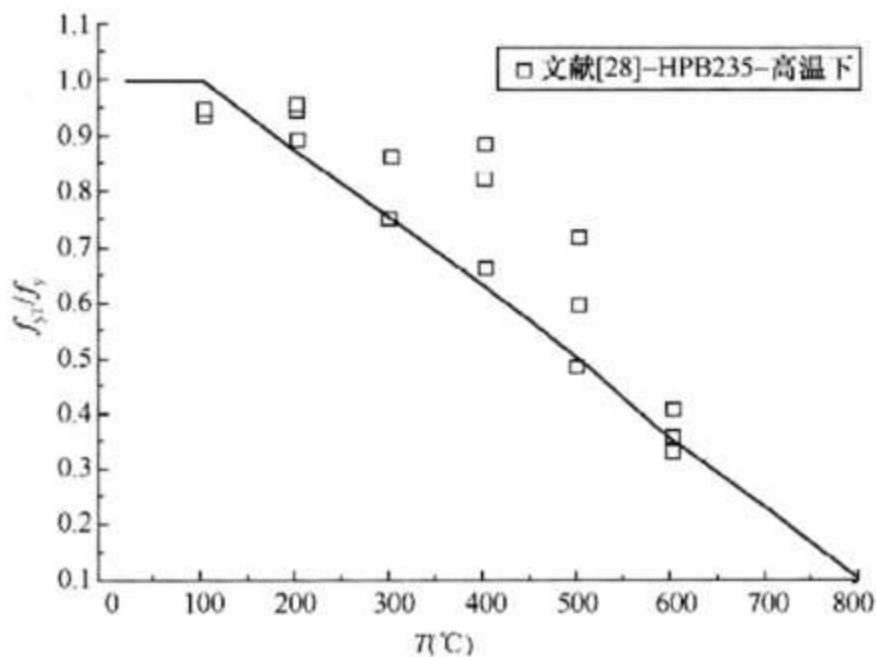


图 8 HPB235 钢筋高温时的屈服强度折减系数

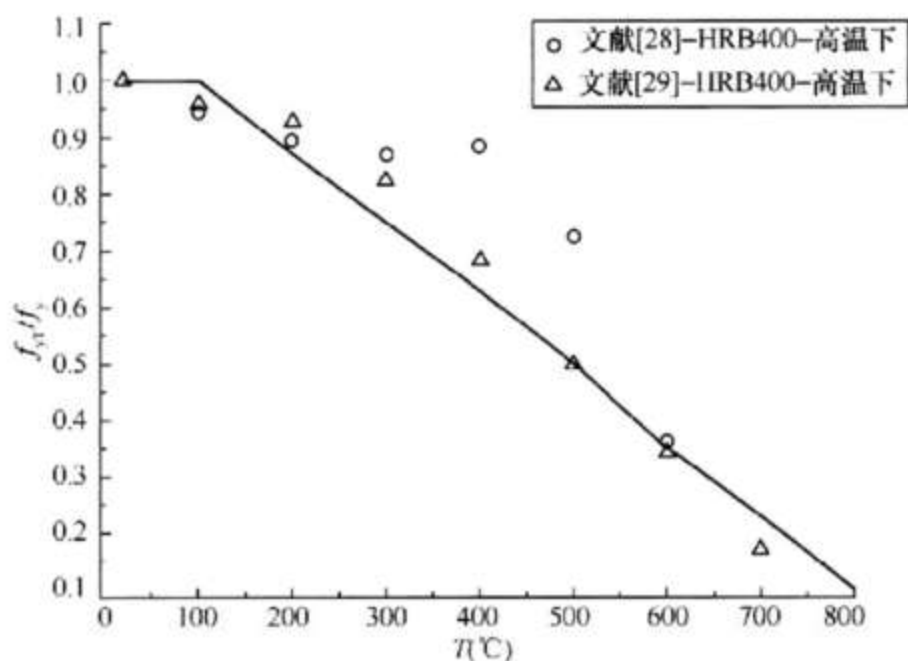


图9 HRB400 钢筋高温时的屈服强度折减系数

证率的基础上确定。

火灾后混凝土经高温作用后，其弹性模量及混凝土与钢筋间粘结强度随温度的升高而降低。当温度达到 500℃ 以后，混凝土的弹性模量下降速度比混凝土抗压强度降低速率更为迅速，下降约 60% 左右。在此温度下，由于混凝土与钢筋间的变形差异增大，使得混凝土与钢筋间粘结强度也大为降低，由于光圆钢筋与带肋钢筋本身的摩阻力和咬合力的不同，因而在高温作用后的粘结强度下降程度也有所不同，光圆钢筋在 500℃ 以后粘结强度下降约 50%，而 HRB335 级钢筋下降则不到 20%。当温度达到 700℃~800℃ 以后，混凝土的弹性模量几乎为零，而此时的混凝土与钢筋间的粘结强度，光圆钢筋已全部丧失，HRB335 级钢筋也丧失了 60%，可以看出火灾对光圆钢筋的粘结强度影响较大。

当温度低于 400℃ 时，普通混凝土弹性模量的降低速率大于高强混凝土，超过 400℃ 后，高强混凝土的弹性模量下降速率比普通混凝土快。高强钢筋与混凝土之间的粘结强度随过火温度的退化关系与普通钢筋与混凝土之间的粘结强度随过火温度的退化

关系接近。

G.0.4 为测量火灾后预应力钢绞线剩余应力，哈尔滨工业大学完成了 30 根应力水平（外荷载引起的拉应力与钢绞线抗拉强度标准值之比）为 0.3~0.7 的 1770 级钢绞线拉伸、卸载试验，其中，偏轴应变测量方法（偏轴应变测量应变片贴方法如图 10 所示）和轴线应变测量方法各 15 根。结果表明：按轴向应变计算钢绞线应力误差较大，这主要是由于环氧树脂打磨很难完全平整，且在应变片的粘贴过程中无法保证应变片与钢绞线轴线平行，使得应变片测量过程中偏移其钢绞线轴线所致。

将偏轴应变绝对值 ϵ' 乘以系数 K ，得到轴向应变绝对值 ϵ ，结合相关文献（易贤仁，钢绞线偏轴应变测量方法及实验研究 [J]，华中科技大学学报（城市科学版），2008，25（3）：211-213）的试验结果，系数 $K=1.1\sim 1.25$ ，偏于保守取 $K=1.1$ ，按本标准公式（G.0.4）计算钢绞线应力，计算值与实测值吻合较好。

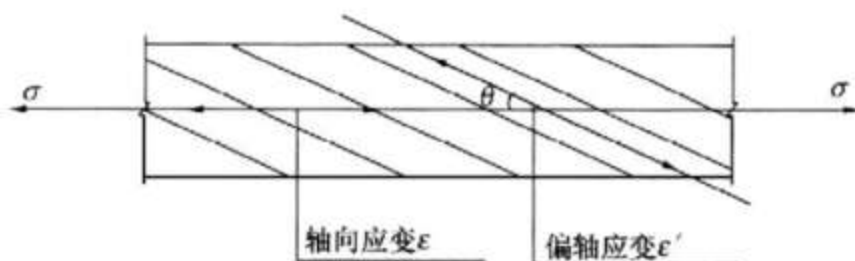


图 10 偏轴应变测量应变片贴方法

G.0.5 哈尔滨工业大学对不同抗拉强度等级的低松弛高强预应力钢丝、钢绞线进行了高温时、高温后力学性能试验，量测了火灾下预应力钢丝、钢绞线的条件屈服强度、极限强度等。基于试验数据，确定了本规程高温时、高温后预应力钢丝、钢绞线强度折减系数。除高温后预应力钢丝、钢绞线强度折减系数列于本标准表 G.0.5 外，为便于参考，本条文说明给出高温时预应力钢丝、钢绞线强度折减系数如表 15 所示。

表 15 高温时预应力钢丝、钢绞线强度折减系数

温度 (°C)	强度折减系数
室温	1.00
100	0.92
200	0.80
300	0.63
400	0.43
500	0.22
600	0.06
700	0.03

注：本表引自郑文忠，侯晓萌，闫凯. 预应力混凝土高温性能及抗火设计 [M].
哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2012。

附录 H 火灾后钢结构钢材、高强度螺栓及焊缝的力学性能

H. 0.1~H. 0.3 各种钢材由于化学组分及其所经受的一系列加工过程（包括生产轧制、热处理方式、冷加工工艺等）的不同，其常温下的性能、高温下的性能以及高温过火对钢材性能的影响均有较大的差别。

一般地，普通热轧结构钢在高温过火冷却后的强度降低很小，而经过热处理、冷拔加工得到的高强度钢（如 35 号钢、45 号钢）以及薄壁冷弯型钢在高温过火冷却后强度降低较多。

H. 0.4 高强度螺栓预拉力决定了钢结构高强螺栓节点的连接强度，连接节点高温过火冷却后其参数降低较多。

附录 J 火灾后砌体强度及承载能力的计算方法

J. 0. 1~J. 0. 8 砌体强度包括抗压、抗拉、抗弯和抗剪强度。火灾后砌体强度平均值根据砂浆和块材的强度按照现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的相关方法推算。普通黏土砖砌体火灾后砂浆强度和块材强度可采用现场检测的方法检测，也可以根据表 J. 0. 1-1 推算，或根据火场温度及构件截面温度场分析结果，按表 J. 0. 1-2 进行推定。对于其他类型的砌体结构，由于缺乏试验研究成果，强度应采用现场检测的方法确定。使用表 J. 0. 1-2 时，黏土砖受火温度小于 900℃ 时的强度不折减，受火温度超过 900℃ 时可按系数 0. 75 进行折减。

火灾后 240mm 黏土砖、砂浆与受火温度对应的抗压强度折减系数按表 J. 0. 1-1 确定。根据砂浆试块受高温作用试验得到的受火作用后砂浆强度折减系数按表 J. 0. 1-2 确定。

已有的研究文献表明：砂浆及砌块其强度随高温作用的变化规律有较大的离散性，还没有公认的公式。实际砌体结构中砂浆及砌体受火灾作用与实验室又有很大不同，原标准第 K. 0. 1 条的系数在实际应用时的参考意义不大。本次修订用火灾后 240mm 砖砌体中黏土砖抗压强度折减系数取代。本次折减系数是综合了实际火灾构件截面温度场对砂浆和黏土砖抗压强度的折减。

附录 J 中的砌体抗压、抗拉、抗弯和抗剪强度设计值及纵向弯曲系数的推定方法，明确了火灾后砌体结构承载能力计算方法。

表 J. 0. 1-1 中的折减系数是对于 240mm 厚黏土砖墙体中黏

土砖块材的，是截面平均折减系数，可以根据火场温度直接得到砂浆及块材的强度折减，然后根据公式 (J.0.1) ~ (J.0.3) 计算各种强度平均值及相应的设计值。

实际应用时，可以根据公式 (2) 和公式 (3) 分析截面每一点的温度，然后推算每一点的强度折减，适用于采用数值分析构件承载能力的情况。