

团 体 标 准

T/CECS ×××××—2025

建筑空间结构构件耐火试验方法

Fire simulation test requirement and method for
building spatial structures

（征求意见稿）

2025-××-××发布

2025-××-××实施

中国工程建设标准化协会 发布

目 次

前言

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 实体试验模型.....	2
5 试验场地及装置.....	4
6 试验条件.....	7
7 模型准备.....	9
8 仪器使用.....	10
9 试验程序.....	11
10 判定准则.....	13
11 实体试验有效性.....	14
12 试验结果外延.....	14
13 试验结果表示.....	16
14 试验报告.....	17
附录 A（资料性）点型热释放速率火源构造.....	19
附录 B（规范性）耐高温能力温度指标.....	20
附录 C（规范性）主动熔断破裂气枕单元的特殊要求.....	21
参考文献.....	22

前 言

《建筑空间结构构件耐火试验方法》（以下简称“文件”）按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》和 GB/T 20001.10—2014《标准编写规则 第 10 部分：产品标准》给出的规定起草。

本文件是按中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 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〔2022〕40 号）的要求制定。

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

本文件由中国工程建设标准化协会提出。

本文件由中国工程建设标准化协会消防系统专业委员会归口管理。

本文件负责起草单位：哈尔滨工业大学

本文件参加起草单位：

本文件主要起草人：

本文件审查人：

建筑空间结构构件耐火试验方法

1 范围

本文件规定了建筑空间结构及其子结构、构件在实体以及数值火灾模拟试验条件下确定耐火性能的试验方法。

本文件适用于各类型建筑空间结构。

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。

GB/T 16839.1 热电偶 第1部分：电动势规范和允差

GB 51251—2017 建筑防烟排烟系统技术标准

T/CECS 1852—2025 建筑空间结构防火技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

实体火灾模拟试验 actual fire simulation test

以假定或复现的建筑场所可燃物种类和摆放实景或以基于场所内火灾荷载、可燃物燃烧特征等效的木垛、油盘、可燃气体燃烧器为燃料控制型火源，测试空间结构屋盖实体试验模型受火响应的真火试验。

3.2

数值火灾模拟试验 numerical fire simulation test

根据外延实体火灾模拟试验结果需要，利用仿真计算软件平台开展的火灾数值模拟分析试验。

3.3

原位空间结构屋盖 in-situ spatial structure

工程项目现场建造的空间结构屋盖。

3.4

全尺屋盖结构 full-size roof structure

一般为原位空间结构屋盖开展数值火灾模拟试验提供模拟参数而另行搭建且反映原位空间结构屋盖主要传力路径、支承边界、围护结构等情况的实体火灾模拟试验模型。

3.5

屋盖子结构 substructure of the roof

从原位空间结构屋盖中选出、由数个屋盖结构节点及与之相连的构件、屋面围护组成，一般为原位空间结构屋盖开展数值火灾模拟试验提供模拟参数的脱离体试验模型。

3.6

屋盖关键构件 key element of the roof

从原位空间结构屋盖中选出、由单根梁、杆、拉索或单个节点、张拉膜片、气枕单元等及据实连接的一定面积屋面围护组成，用于评价防火保护或防火构造等有效性的单构件试验模型。

3.7

设计耐火时间 design fire resistance rating

区别于标准耐火试验，火灾模拟试验的设定火灾场景中空间结构屋盖及其子结构、构件从受到火的作用时起，至失去承载能力、耐高温能力或安全疏散能力等时止所用时间，用小时表示。

4 实体试验模型

4.1 一般要求

实体火灾模拟试验的试验模型设计要求如下：

- a) 根据开展结构响应试验或温度场试验的目的需要，可选择以下四种尺度试验模型：原位空间结构屋盖、全尺屋盖结构、屋盖子结构、屋盖关键构件；
- b) 应明确试验模型对原位空间结构屋盖的代表程度。当全尺屋盖结构、屋盖子结构用于直接评价原位空间结构屋盖耐火性能时，应开展结构响应试验且专项论证试验方案；
- c) 宜使用与原位空间结构屋盖一致的全尺寸构件搭建试验模型且采用相同的施工工艺，应确保试验模型的养护成形过程及火灾模拟试验前模拟服役损伤状态与原位空间结构屋盖一致。

4.2 原位空间结构屋盖

以原位空间结构屋盖为试验对象时应仅用于开展温度场试验且满足以下要求：

a) 为避免高温烟气损坏或烟尘大范围污染原位空间结构屋盖，试验方案中需要对原位空间结构屋盖暴露于高温影响区的范围进行详细说明，并对高温影响区以外的构件进行临时包覆保护；

b) 基于原位空间结构屋盖模型现场情况确定实体火灾模拟试验的设计耐火时间，以尽可能多获得实测数据为原则，满足支撑数值火灾模拟试验在复现实体火灾模拟试验主要现象和数据的基础上合理外延需要。

4.3 全尺屋盖结构

全尺屋盖结构试验模型可用于开展结构响应或温度场试验且应满足以下要求：

a) 全尺屋盖结构与屋面围护的连接关系做到与原位空间结构建筑的屋面系统一致或能代表二者间典型连接特性；

b) 屋面及立面围护应与原位空间结构建筑有一致构造。当采用替代围护结构时，其综合耐火隔热性能不低于原位空间结构建筑相应部位；

c) 围护结构拼接部位应具备可靠的耐火密封连接，实体火灾模拟试验中避免出现非代表原位空间结构建筑实际情况的围护结构间缝隙、漏烟等情形；

d) 确保全尺屋盖结构采用的支承边界和约束与原位空间结构屋盖一致；

e) 确保全尺屋盖结构完全沉浸于高温烟气中，或采用代表原位空间结构建筑屋面围护局部设置排烟排热措施的实际情形，如气枕主动熔断破裂。

4.4 屋盖子结构

对屋盖子结构试验模型要求如下：

a) 选取的屋盖子结构应为位于大空间场所设定火灾场景中火源位置上方及处于高温影响区内，对原位空间结构屋盖耐火性能起关键作用的局部屋盖结构；

b) 屋盖子结构可采用替代原位空间结构屋盖剩余部分对其约束作用的边界条件或自由边界条件。前者用于结构响应试验，以测试原位空间结构屋盖的局部变形为主，后者用于温度场试验，以测试原位空间结构屋盖的局部升温响应为主；

c) 应根据原位空间结构建筑屋面系统实际情况采用一定面积的屋面围护并应符合4.3的规定。

4.5 屋盖关键构件

对屋盖关键构件试验模型要求如下：

a) 选取的屋盖关键构件应为位于大空间场所设定火灾场景中火源位置上方及处于高温影响区内，对原位空间结构屋盖耐火性能起关键作用或自身易破坏的屋盖结构单构件；

b) 屋盖关键构件可采用替代原位空间结构屋盖节点对其约束作用的边界条件或自由边界条件。前者用于结构响应试验，以测试关键构件的变形为主，后者用于温度场试验，以测试关键构件内部升温响应为主；

c) 应根据原位空间结构建筑屋面系统实际情况采用一定面积的屋面围护并应符合4.3的规定。

5 试验场地及装置

5.1 场地空间

开展实体火灾模拟试验的场地空间要求如下：

a) 对于全尺屋盖结构试验模型，当试验室室内场地空间不满足时，可于试验室外场搭建试验模型；

b) 对于屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型，宜于试验室室内开展试验，且试验室内空间不应小于8万m³。

5.2 加载装置

加载装置的选用应满足以下要求：

a) 对于全尺屋盖结构试验模型，首选屋面围护外重物加载；

b) 对于屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型，当需要加载时，首选机械和重物加载。

加载装置不应影响全尺屋盖结构、屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型周围的羽流运动、空间温度场、构件内部热量传播。在加载期间，加载装置应能够维持试验模型加载量的恒定（偏差在规定值的±2.5%以内），并且不改变加载的分布。在实体火灾模拟试验期间，加载装置应能够跟踪试验模型的最大变形量和变形速率。

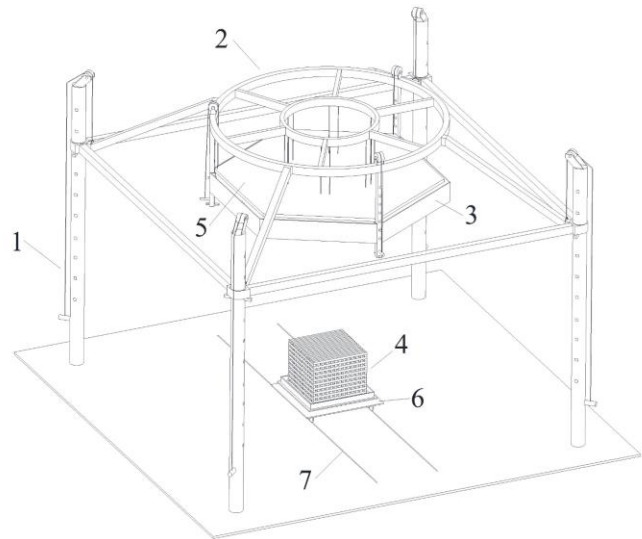
使用重物加载时，应采取防止试验模型失效后重物抛落的安全措施。

5.3 支承和约束

支承结构和支座约束的选用要求如下：

a) 对于全尺屋盖结构试验模型，应根据需要采用特定下部支承结构和支座约束模拟原位空间结构屋盖的边界条件，使实体试验模型结构边界的标高及支座自由度满足试验方案。特定下部支承结构应具备充分的面内和面外刚度，可采用实体墙或钢结构框架。支座约束可根据试验方案采用部分平动和转动自由度约束的带防护保护钢制支座。

b) 对于需要计入原位空间结构屋盖对其约束作用的屋盖子结构、屋盖关键构件试验模型，实体火灾模拟试验中提升并保持模型达到指定净高的支承结构及支座约束可采用图1所示框架。

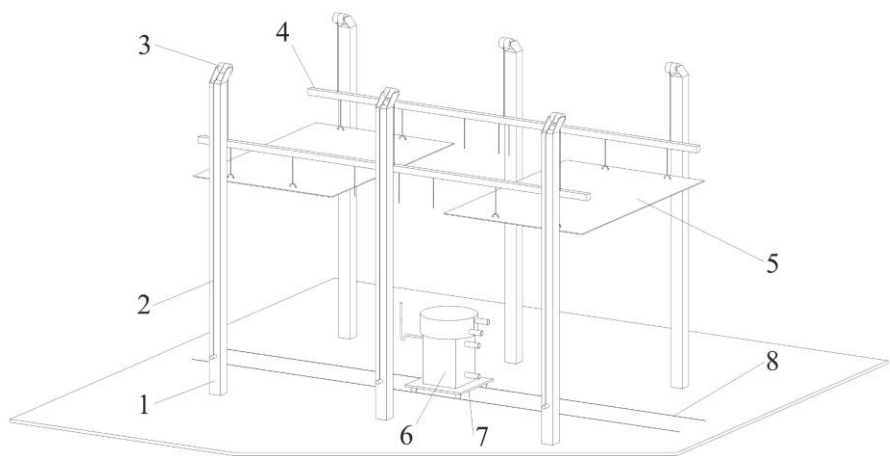


标引序号说明：

- | | |
|--------------|-------------|
| 1 — 提升装置 I； | 5 — 烟气遮罩装置； |
| 2 — 提升装置 II； | 6 — 滑车； |
| 3 — 加载装置； | 7 — 滑道。 |
| 4 — 火源装置； | |

图1 约束装置示例图

c) 对于不需要计入原位空间结构屋盖对其约束作用，即可采用自由边界条件的屋盖子结构、屋盖关键构件试验模型，实体火灾模拟试验中提升并保持模型达到指定净高的支承结构可采用图2所示框架。



标引序号说明：

- | | |
|---------|-----------|
| 1 — 立柱； | 5 — 盖板； |
| 2 — 缆索； | 6 — 火源装置； |
| 3 — 滑轮； | 7 — 移动车； |
| 4 — 横梁； | 8 — 轨道。 |

图2 非约束装置示例图

5.4 仪器

5.4.1 热电偶

使用前，应对批量采购的热电偶进行抽样校验检定，对每种外径的抽样数量不应少于2根，且在400℃、600℃、800℃、1000℃、1200℃下的实测温度偏差应在±5℃以内。

5.4.1.1 火源热电偶

应通过在火源中心线设置热电偶对羽流火焰及烟气温度进行测量。热电偶可采用符合GB/T 16839.1规定的镍铬-镍硅（K型）热电偶，宜使用外径3.0 mm不锈钢铠装热电偶且内丝径不应小于0.80 mm。

5.4.1.2 空间热电偶

应在实体火灾试验模型屋面围护水平投影的全范围内设置近屋面空间热电偶。热电偶可采用符合GB/T 16839.1规定的镍铬-镍硅（K型）热电偶，宜使用外径为2.0 mm不锈钢铠装热电偶。

5.4.1.3 构件热电偶

应根据试验方案在不同尺度实体试验模型的构件表面和内部安装热电偶。热电偶的选定安装部位不应影响试验模型构件的性能。热电偶可采用符合GB/T 16839.1规定的镍铬-镍硅（K型）热电偶，宜使用外径为1.0 mm～2.0 mm不锈钢铠装热电偶。

5.4.2 环境风速风向仪

试验室外场实体火灾模拟试验中应设置固定式风速风向仪记录试验全过程数据。风速仪的测量范围不宜窄于0～15 m/s，且精度不应大于0.1 m/s。风向仪的测量应为水平360°，且测量准确度不应大于15°。

试验室内实体火灾模拟试验中应使用手持式风速仪测量火源四周方位风速，尤其在观察到火焰偏离火源中心线时。风速仪的测量范围不宜窄于5 m/s～10 m/s，且测量准确度不应大于0.1 m/s。

5.4.3 加载系统

当使用重物加载时，应使用通过标准计量的质量砝码，试验中不需要进一步测量荷载。

当使用液压机械加载时,应使用压力传感器监测加载位置荷载在实体火灾模拟试验全过程中的保持,或使用其他具有同等准确度的相应仪器,测量准确度应在试验荷载的 $\pm 1.5\%$ 以内。

5.4.4 变形测量仪

变形宜优先使用接触式测量方式,测量仪测量分度值不大于 1.0 mm ,测量准确度应在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 以内。应采取各种必要的预防措施以避免测量探头由于受热产生数值漂移。

当使用非接触测量方式时,应充分估计由高温烟热干扰引起的测量偏差。

5.4.5 重量测量仪

重量测量仪及其配件的选用应确保对木垛火源、油盘火源在实体火灾模拟试验全过程中的重量变化进行连续测量采集并应实时显示,且测量分度值不应大于 0.1 kg ,测量准确度应在 $\pm 0.1\text{ kg}$ 以内。

5.4.6 流量测量仪

流量测量仪及其配件的选用应确保对可燃气体燃烧器火源在实体火灾模拟试验全过程中的流量变化进行连续测量采集并应实时显示,且测量分度值不应大于 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$,测量准确度应在 $\pm 0.2\text{ m}^3/\text{s}$ 以内。

试验室对流量测量仪进行计量校准的周期不应超过 1.0 年。

6 试验条件

6.1 实体火源

6.1.1 火源选用

实体火灾模拟试验火源的选用应以安全、燃烧稳定、热释放速率全过程可计量为原则并要求如下;

a) 对于原位空间结构屋盖试验模型,火源可采用假定或复现建筑场所原位可燃物摆放实景且经锥形量热仪对燃烧全过程计量的实物,宜采用等效的木垛火源、正庚烷等油盘火源、丙烷等可燃气体燃烧器火源分别代表A类、B类和C类火灾;

b) 对于全尺屋盖结构、屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型,火源宜采用丙烷等可燃气体燃烧器火源。当不测试受喷水防护构件试验模型时,可采用经锥形量热仪对燃烧全过程计量的木垛火源、正庚烷等油盘火源。

可燃气体燃烧器火源应确保形成自然扩散的羽流火焰,即火焰中的气体流动由浮力控制。

6.1.2 火源规模

实体火灾模拟试验中选定的火源热释放速率应能满足原位空间结构建筑场所设定火灾场景对火灾规模的要求，且应注意选取单位面积热释放速率的合理性。典型建筑场所的火灾热释放速率可符合GB 51251中表4.6.7的规定。

特别的，对于原位空间结构屋盖，实体火灾模拟试验中使用的火源热释放速率应不低于设定火灾场景对火灾规模要求的50%。

实际热释放速率的计算，对于木垛火源、正庚烷等油盘火源应使用失重速率法，对于丙烷等可燃气体燃烧器火源应使用气体流量法。

6.1.3 火源燃料

木垛火源所用木材的含水率不应大于15%，宜使用国产松木，估算实际燃烧效率可按70%。

正庚烷燃料的纯度不应低于99.50%，名义热值按44.6 MJ/kg计，估算实际燃烧效率可按90%。

丙烷燃料的纯度不应低于99.50%，名义热值按46.4 MJ/kg计，估算实际燃烧效率可按90%。

6.1.4 燃烧状态偏差

判定不满足6.1.1规定的火源燃烧稳定要求的条件如下：

- a) 按8.1.1安装的火源热电偶在实体火灾模拟试验期间温度时程曲线出现“V字形”陡降回升的持续时间累积大于火源燃烧总持续时间的5%；
- b) 按8.4安装的重量测量仪、流量测量仪在实体火灾模拟试验期间按9.4.4实时计算出的热释放速率偏差超出6.1.2选定火源热释放速率的±10%且累积时间大于火源燃烧总持续时间的10%。

6.1.5 安全防护

应针对选用的火源制定安全预案并采取意外情况下及时灭火的安全措施。

6.2 加载

委托试验方案中应清楚的给出试验荷载的确定依据并要求如下：

- a) 对于需要加载的全尺屋盖结构试验模型，一个火灾模拟试验工况由“基于一个火灾荷载效应组合计算出的荷载值及分布”+“一个相应于设定火灾场景的实体火源”共同构成，即试验荷载应根据所测试火灾模拟试验工况对应的火灾荷载效应组合确定；
- b) 对于需要加载的屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型，可根据位于原位空间结构屋盖中各火灾荷载效应组合下实际分担的最大荷载值及分布或自身极限承载力值的一定百分比确定。

6.3 支承和约束

试验模型应安装在特殊的支承和约束框架内,且与实体火源顶面保持试验方案要求的指定净高。

全尺屋盖结构试验模型的结构边界与下部框架支承结构、支座约束间应采用不燃性且综合隔热性能不低于屋面或立面围护的封堵材料填塞密实,且不应妨碍支座约束的变形。

屋盖子结构、屋盖关键构件试验模型的反力框架支承结构、支座约束应采取可靠的防火保护措施,且该保护措施同样不应影响试验模型周围的羽流运动、空间温度场、构件内部热量传播。

6.4 环境条件

开展实体火灾模拟试验时的环境条件要求如下:

- a) 以原位空间结构屋盖为试验对象,试验过程中不应启动排烟系统、灭火系统;
- b) 应注意试验模型内部空间或试验室室内气流环境对实体火源即时燃烧状态的影响,应采取措施防止贴地气流引起火源焰体摆动;
- c) 对于全尺屋盖结构试验模型,在外场开展试验过程中室外环境风速不宜高于2级且不应高于3级。

7 模型准备

7.1 模型材料

加工全尺屋盖结构、屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型的结构材料和工艺应与原位空间结构屋盖一致,且应附试验模型相应部位材料的检验检测报告、施工工艺标准或方案。

7.2 模型数量

试验模型数量由实体火灾模拟试验的工况数量确定。

当完成特定试验工况测试后,试验模型未出现明显变形、表面状态未出现明显改变、材料性能未出现损伤或可能的损伤不影响拟继续测试的性能指标时,试验模型可重复使用,例如:实体火灾模拟试验中仅模型材料的力学性能受到高温损伤,则不影响继续开展以测试模型内部升温响应为目的的试验。

7.3 模型养护

试验前,可通过自然养护使实体火灾模拟试验模型的强度和含水量、围护结构的含水量与预期的实际使用条件相当。必要时可采用不影响试验结果的人工烘干加速养护措施。对于防火涂料,应严格按照相应产品标准进行施工和养护。

7.4 模型确认

试验前,委托方应向试验室提供完整的实体火灾模拟试验模型及其各组成部分信息,如结构图纸、材料种类及技术指标、构造细节、相关检验检测报告等。

在试验前,向试验室及时完整地提供以上资料信息将有助于试验室根据提供的资料信息对试验模型进行一致性检验,并尽可能在试验前处理好不一致部分。为确定组分的描述,特别是它的结构,与试验模型保持一致,试验室可以检验具体组分或要求提供一个或多个同组分备用材料。若上述不一致部分无法解决,则试验室应拒绝接收送检试验模型。

如果在试验前无法检查确认试验模型结构所有方面的一致性,在试验后也无法获得足够的信息,而必须依靠委托方所提供的信息时,应在试验报告中清楚的说明。试验室在试验报告中仍应全面正确地评定试验模型的设计,并在试验报告中准确的记录试验模型的结构细节。

8 仪器使用

8.1 温度测量

8.1.1 火源热电偶

位于火源燃烧面与试验模型间的成束热电偶。宜将火源燃烧面与试验模型间竖直距离等分且应按不大于1.0 m等间距设置。每支热电偶的热端头部位于火源中心线且热端自固定支架外伸 50 ± 2 mm,固定方式应确保试验期间热电偶不移动。

8.1.2 空间热电偶

空间热电偶用做近屋面测点布置于试验模型中屋盖构件或屋面围护下方时,应与其保持竖直距离10 cm ~ 20 cm。

8.1.3 构件热电偶

构件表面和内部热电偶的安装数量和位置应由试验方案确定,且宜与空间热电偶的位置在竖直方向对应。水平投影在火源中心线半径5.0 m范围内的不同尺度试验模型构件,每根构件内至少应安装一支热电偶。

8.2 风速风向测量

外场实体火灾模拟试验用固定式风速风向仪的安装高度应不低于试验模型屋面围护外表层标高1.0 m,当试验模型屋面围护有开洞时,仪器与洞口边缘的水平距离不应小于5.0 m。

室内实体火灾模拟试验用手持风速仪进行测量的位置应至少在火焰偏离方向的上风向,且与实体火源的水平距离应根据现场热释放速率情况,在保证安全的前提下宜为5 m ~ 10 m。

8.3 变形测量

对于在试验室外场开展实体火灾模拟试验的全尺屋盖结构试验模型,变形测量仪本体应安装在试验模型外固定支架上,测量探头宜与自屋盖结构节点伸出屋面围护的测量辅助杆连接。

对于在试验室内开展实体火灾模拟试验的屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型,变形测量仪同样应固定在附属屋面围护背火侧的固定支架上,测量探头宜通过钨丝延长线穿过屋面围护与试验模型连接。

8.4 重量/流量测量

应在重量测量仪现场就位并安装牢固后使用标准质量砝码对其进行连续卸载标定,卸载过程应模拟火源连续失重实际过程。试验前,应将木垛火源、正庚烷等油盘火源对中放置于重量测量仪中央。应对重量测量仪及其配件采取可靠的防火保护。

应将流量测量仪与丙烷等可燃气体燃烧器火源的主干及支线管连接。应对流量测量仪及其配件、燃烧器及其输气管路采取可靠的防火保护并监测可能的燃气泄漏。

9 试验程序

9.1 约束应用

应根据实体火灾模拟试验模型设计要求,采用合理的安装顺序将试验模型与支座约束、支承结构连接从而获得约束作用。

9.2 荷载使用

对于需要加载的实体火灾模拟试验模型,试验加载至少应在试验开始前15 min完成,且应对加载前后的各测点变形进行测量记录。根据需要,试验期间荷载值应保持稳定,并且当试验模型发生变形时,加载系统应能快速做出响应保持荷载的恒定。

对于需要加载的全尺屋盖结构试验模型,应按火灾荷载效应组合计算出的荷载值及分布并且由试验模型跨中向支承边界轮换对称进行重物加载。

对于需要加载的屋盖子结构和屋盖关键构件试验模型,应对设计加载总量进行分级并逐步加载,每级加载应保持时间等间隔且模型受前一级荷载后变形达到稳定。

9.3 试验开始

试验开始前5 min内,应对所有热电偶的初始温度进行一次检查。同时应记录试验模型的各位移测点初始变形数据、环境风速风向数据、木垛或正庚烷等油盘火源的初始重量数据。

试验开始时,应记录所有热电偶的初始温度值和场地空间环境温度值。

对于木垛火源应以点火棍（如附录A图3所示）被全部引燃为试验开始标志，对于正庚烷等油盘火源、丙烷等可燃气体燃烧器火源则应以火焰覆盖全燃烧面且高度达到1.0 m。

9.4 测量和观察

从试验开始，应进行以下相关测量和观测：

9.4.1 温度测量

对试验期间全部热电偶应实时测量试验模型的火源、空间和构件表面/内部温度，且应以固定时间间隔不超过1 s/次进行记录。

9.4.2 风速测量

外场实体火灾模拟试验时，对固定式风速风向仪实时测量的风速和风向应以固定时间间隔不超过2 s/次进行记录。

室内实体火灾模拟试验时，对手持式风速仪测量的风速应以时间间隔不超过5 min/次进行手动记录。

9.4.3 变形测量

对试验期间全部变形测量仪应实时测量各测点变形量，且应以固定时间间隔不超过1 s/次进行记录。

9.4.4 重量/流量测量

使用木垛火源、正庚烷等油盘火源时，对重量测量仪实时测量的重量数据应以固定时间间隔不超过1 s/次进行记录并应实时计算转化为火源热释放速率进行显示。

使用丙烷等可燃气体燃烧器火源时，对流量测量仪实时测量的气体流量数据应以固定时间间隔不超过1 s/次进行记录并应实时计算转化为火源热释放速率进行显示。

9.4.5 加载和约束

对于6.2需要加载的试验模型，应记录模型承载能力丧失的时间。为维持试验模型约束条件，力和/或力矩所发生的适当改变同样应记录。

9.4.6 一般现象

实体火灾模拟试验期间应对试验模型的试验现象进行观察，如果模型构件出现变形、开裂、材料熔化或软化、材料剥落或烧焦，模型围护结构出现大量漏烟，实体火源火焰出现偏移、接触构件等相关现象，连同对应的时刻，均应记录在报告中。

9.5 试验终止

实体火灾模拟试验有以下任意一个原因即可终止：

- a) 威胁人员安全、试验室场馆安全或可能损坏重要仪器设备；

- b) 试验模型整体或局部达到选定的判定准则；
- c) 委托方提出要求。

10 判定准则

10.1 一般要求

本条描述了4.1规定的不同尺度试验模型在火灾模拟试验条件下确定耐火性能的判定准则，具体要求如下：

a) 对代表原位空间结构屋盖，采用新材料、新体系、新技术、新工艺的试验模型应在一般性能判定准则基础上增加部分特殊性能判定准则，或是对一般性能判定准则原条款的技术参数进行部分论证修改；

b) 实体火灾模拟实验中，对于排架结构、刚架结构、空间网格结构、索结构等全尺屋盖结构试验模型，结构响应试验部分，在设计耐火时间内应将满足耐火承载能力作为一般性能判定准则；温度场试验部分，可将基于保全屋盖结构本体材料、构件表面附着材料提出的耐高温能力（主要为耐高温热解）作为特殊性能判定准则；

c) 实体火灾模拟实验中，对于需要加载的屋盖子结构和屋盖关键构件，即作为结构响应试验模型，在设计耐火时间内应将满足耐火承载能力作为一般性能判定准则；对于不需要加载的温度场试验模型，在设计耐火时间内应将基于火灾后构件材料强度不降低提出的耐高温能力（主要为耐高温损伤）作为一般性能判定准则。

d) 数值火灾模拟试验中，对于气承式膜结构等原位空间结构屋盖，在设计耐火时间内应将满足屋盖结构坍塌不低于特定高度，即具备安全疏散能力作为一般性能判定准则。

部分耐火性能判定准则应由委托方根据试验目的明确提出于试验方案中。

耐火性能判定准则用时间长短表示，单位为min。如果同时使用一般性能判定准则和特殊性能判定准则，则应在一次火灾模拟试验中分别判定并应同时满足。

10.2 判定准则的细则

10.2.1 承载能力

试验模型在火灾模拟试验中能够保持其承载能力的时间。判定试验模型耐火承载能力的参数是变形量，即相应于实体试验模型的原位空间结构屋盖在数值火灾模拟试验中超过T/CECS 1852中5.3.3规定的变形指标时，认为屋盖结构丧失耐火承载能力，同时供相应全尺屋盖结构试验模型在实体火灾模拟试验中判定耐火承载能力参照。

10.2.2 耐高温能力

试验模型结构或构件本体材料、构件表面附着材料、关键围护结构材料在火灾模拟试验中能够保持其耐高温能力（耐高温热解或损伤等）的时间。判定试验模型耐高温能力的参数是温度，即以允许达到的最高温度阈值作为附加温度判定准则。

确定试验模型的耐高温能力温度指标时，应基于对原位空间结构屋盖耐火性能的需要，并在试验方案中清楚的说明特殊性能需求及取值依据。

当试验模型特定部位的该种材料超过自身温度指标时，认为模型丧失耐高温能力。试验模型耐高温能力温度指标应符合本文件附录B的规定。

10.2.3 安全疏散能力

试验模型在火灾模拟试验中能够保持内部人员安全疏散能力的时间。判定试验模型安全疏散能力的参数是火灾下屋盖结构坍塌高度。对于原位气承式膜结构，当膜面任意点坍塌至人员活动平台以上2.2 m高度处，认为试验模型丧失火灾下安全疏散能力。

11 实体试验有效性

当实体火灾模拟试验模型、试验场地及装置、试验条件、模型准备、仪器使用、试验程序等均在本文件规定的限制条件之内时，试验结果有效。

当实体火源燃烧状态偏差超出6.1.4 a)规定的偏差限值时，也可经论证考虑试验结果的有效性，但超出6.1.4 b)规定的偏差限值时，应认为试验结果无效。

实体火灾模拟试验结果仅针对试验室现场检验的实体试验模型有效。

12 试验结果外延

12.1 一般要求

对于委托方而言，通过数值火灾模拟试验对实体火灾模拟试验结果进行外延为可供选择的附加程序，具体适用情形如下：

a) 对于原位空间结构屋盖，当需要按照需要按10.2.1或10.2.3判定耐火性能时，或受实体火灾模拟试验现场条件限制，实体火源热释放速率低于设定火灾场景火灾规模时，或需要评价未开展实体火灾模拟试验的其他设定火灾场景下屋盖结构耐火性能时；

b) 对于全尺屋盖结构、屋盖子结构，当实体火灾模拟试验结果仅用于为原位空间结构屋盖耐火性能评价的数值火灾模拟试验提供模拟参数时。

用于外延的实体火灾模拟试验，试验结果中近屋面温度场宜已达到热平衡或温度处于缓慢增长阶段且实际耐火时间不宜小于15 min，否则应专项论证作为外延依据的有效性。

12.2 复现位置

基于实体火灾模拟试验结果外延判定原位空间结构屋盖耐火性能的前序工作应通过数值火灾模拟试验对实体火灾模拟试验获得的近屋面温度场、屋盖构件表面/内部温度场、屋盖结构变形及主要现象进行复现，且复现位置的选择应满足以下要求：

a) 对于原位空间结构屋盖，近屋面温度场复现选择火源中心线上方及至少两个在屋盖结构短向跨度1/4或1/6处且连线过火源中心线的近屋面测点，屋盖构件内部温度场复现选择不少于3根与火源中心线不同水平距离的屋盖构件内部测点；

b) 对于全尺屋盖结构，近屋面温度场复现选择距火源中心线远端的模型支承边界处近屋面测点，屋盖构件内部温度场复现选择不少于3根与火源中心线不同水平距离的屋盖构件内部测点，屋盖结构变形复现选择模型跨中顶点和屋盖结构跨度1/4附近处节点；

c) 对于屋盖子结构，近屋面温度场复现选择距火源中心线水平距离不小于5.0 m的近屋面测点，屋盖构件内部温度场复现选择不少于3根子结构边缘构件内部测点。

屋盖构件表面温度场的复现位置应由委托方提出。

12.3 数据及偏差

近屋面温度场和屋盖构件表面/内部温度场的复现应以比较全过程温度时程曲线为主。屋盖结构变形响应的复现应以比较全过程变形时程曲线为主，屋盖结构最终失效模式或构件最终破坏模式为辅。

全过程温度时程曲线、全过程变形时程曲线的复现均应以实体火灾模拟试验获得数据为基础，全过程复现偏差不应大于15%，且对复现的全过程变形时程曲线产生正向偏差的原因应予以分析。

12.4 外延规定

12.2规定的前序工作及试验结果外延所需的数值火灾模拟试验工作应由委托方完成并送试验室，且满足以下要求：

a) 外延用数值试验模型与实体试验模型应基于同一原位空间结构建筑及屋盖；
b) 数值火灾模拟试验应为结构响应试验，相应的实体火灾模拟试验宜为结构响应试验；
c) 数值试验模型中原位空间结构屋盖与设定火灾场景火源顶面间净高不应超过6.3中实体试验模型与火源顶面间净高的2.0倍；设定火灾场景的火灾规模不应超过实体试验模型的1.0倍，且应保持一致的单位面积热释放速率、稳定燃烧的燃料控制型火源条件；

d) 为满足原位空间结构屋盖设定火灾场景高温影响区内构件规格的多样性，当数值试验模型的构件仅规格相比与实体试验模型增大时，应从构件的毕渥数、内部温度梯度一致性

及对近屋面高温烟气运动影响等方面专项论证试验方案，且截面方向尺寸增大不应超过1.0倍；

e) 外延获得的实际耐火时间不超过实体火灾模拟试验结果1.0倍。

13 试验结果表示

13.1 实际耐火时间

试验模型的实际耐火时间是指满足选定耐火性能判定准则和外延规定的时间。

13.2 判定准则

13.2.1 承载能力对耐高温能力

如果试验模型的“承载能力”已不符合要求，则将自动认定模型的“耐高温能力”不符合要求，试验终止。

13.2.2 耐高温能力对承载能力

如果试验模型的“耐高温能力”已不符合要求，则自动认定模型耐火性能失效，可继续进行试验，在获得达到“承载能力”不符合要求的时间后终止试验。

13.3 提前终止试验

在相关性能判定准则条件下，如果在试验模型丧失性能判定准则前终止试验，则应陈述终止试验的原因。在试验结果中应给出并确认试验终止的时间。

13.4 结果表示

13.4.1 实体火灾模拟试验

以下是举例说明空间网格结构的全尺屋盖结构试验模型实体火灾模拟试验结果表示方法。在该例中首先“耐高温能力”不符合判定准则要求，并且在试验模型达到“承载能力”判定准则前委托方要求终止试验。

例如：结果表示为“承载能力 $\geq 45 \text{ min}$ （委托方要求终止试验）；

耐高温能力 30 min ”。

13.4.2 数值火灾模拟试验

以下是举例说明相应于13.4.1的原位空间结构屋盖数值火灾模拟试验结果表示方法。在该例中基于工程实际性能要求，不再关注“耐高温能力”，并且通过数值火灾模拟试验外延获得的“承载能力”试验结果为95 min。

例如：结果表示为“承载能力 $\geq 90 \text{ min}$ （达到外延允许获得实际耐火时间限值）。

14 试验报告

14.1 实体火灾模拟试验

试验报告应在显著位置描述以下内容。

“试验报告应提供实体试验模型详细的结构和构造资料、试验条件及模型按本文件规定的方法程序进行试验所获得的试验结果。声明试验结果仅代表与送检试验模型相对应的原位空间结构屋盖该部分在设定火灾场景火灾规模下的耐火性能,对原位空间结构屋盖的其他部分或在材质、尺寸、详细结构和构造资料、荷载、应力、约束和边界条件等方面不一致的其他空间结构屋盖,试验结果无参考价值。”

试验报告应含与试验模型及实体火灾模拟试验相关的所有重要信息,包括但不限于以下项目:

- a) 试验室的名称和地址,唯一编号和试验日期;
- b) 委托方的名称和地址,试验模型所有组成部件的产品名称和制造厂,如果缺少该信息应进行说明;
- c) 试验模型的详细结构和构造以及加工组装程序方法,在模型图中含有结构和构造尺寸,如可能可附带照片、使用材料的相关性能和规格参数;
- d) 对试验模型耐火性能的判定及判定方法有影响的信息,例如:模型的含水率及养护期信息;
- e) 对需要加载的各尺度试验模型的加载量、分布及计算依据;
- f) 使用的支承和约束条件及选择理由;
- g) 对设定火灾场景的描述及选择理由,火灾规模及单位面积热释放速率;
- h) 所有热电偶、风速风向测量、变形测量、重量/流量测量仪器的安装信息和试验时从这些仪器上所测及计算的数据制成的曲线或图表;
- i) 试验期间模型发生现象的描述,并且依据第10章的判定准则所确定试验的终止;
- j) 试验终止时表征试验模型状态的照片;
- k) 试验模型实际耐火时间,表示见13.4.1的规定;
- l) 本文件要求提供的其他论证部分内容及试验方案信息作为附件。

14.2 数值火灾模拟试验

数值火灾模拟试验与实体火灾模拟试验应为同一委托方,且试验报告应由同一试验室出具。

试验报告应在显著位置描述以下内容。

“试验报告应提供数值试验模型依托的仿真计算机软件平台信息、相关联的实体火灾模拟试验报告编号、数值火灾模拟试验对实体火灾模拟试验的复现结果、外延结果。声明数值火灾模拟试验结果仅代表与实体火灾模拟试验送检试验模型相对应的原位空间结构屋盖在设定火灾场景下的耐火性能，对其他工程项目的原位空间结构屋盖，试验结果无参考价值。”

试验报告应含与试验模型及数值火灾模拟试验相关的所有重要信息，包括但不限于以下项目：

- a) 试验室的名称和地址，唯一编号和试验日期；
- b) 委托方的名称和地址，相关联的实体火灾模拟试验报告编号；
- c) 仿真计算机软件平台信息，几何模型、材性模型、边界条件和模拟参数等；
- d) 对实体火灾模拟试验的复现结果及对12.3的满足情况；
- e) 原位空间结构建筑场所设定火灾场景下，对原位空间结构屋盖耐火性能的外延结果，如可能可附带软件平台输出的典型时刻数值试验模型温度、变形云图和时程曲线；
- f) 原位空间结构屋盖的实际耐火时间，表示见13.4.2的规定。
- g) 本文件要求提供的其他论证部分内容及试验方案信息作为附件。

附 录 A

(资料性)

点型热释放速率火源构造

A. 1 木垛火源

如图3所示构造的国产松木木垛火源，能够满足代表无喷淋其他公共场所火灾达到稳定时热释放速率为8.0 MW的需求。

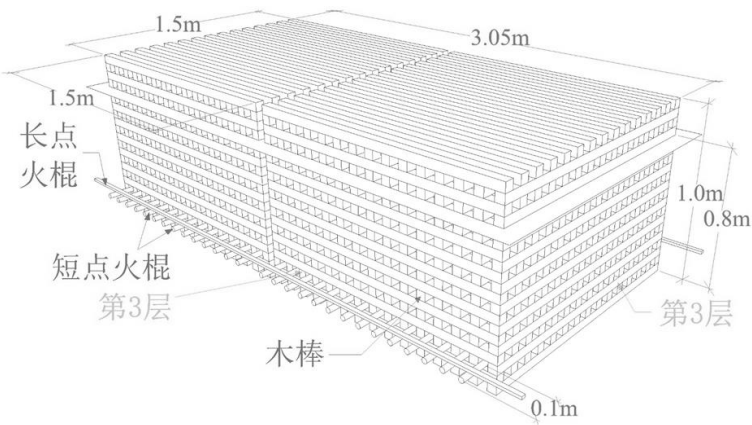


图3 8.0 MW热释放速率规模木垛火源构造示例

注：该木垛由两个平面1.50 × 1.50 m、高度1.00 m的子木垛等高间隔0.05 m对齐摆放组成，子木垛的每层平行等间距摆放20根横截面0.05 × 0.05 m、长度1.50 m的木棒。木垛使用浸润有120#溶剂油且贯穿插入在自底向上第3层缝隙内的长短点火棍引燃。

附 录 B
(规范性)
耐高温能力温度指标

B.1 空间网格结构

B.1.1 铝合金网壳结构

表1 铝网壳性能要求及温度指标

序号	性能要求	温度指标
1	允许网壳局部烧蚀熔化且整体不发生过度变形；	—
2	基于商业运行连续需要，不允许网壳局部烧蚀熔化且整体不发生过度变形；	570℃
3	不允许网壳杆件力学性能受到损伤且屋盖结构整体完好；	175℃（牌号 6061-T6） 160℃（牌号 6082-T6）

B.1.2 木网壳结构

表2 木网壳性能要求及温度指标

序号	性能要求	温度指标
1	不允许木构件表面发生炭化（性状改变层不超过 2.0 mm）；	280℃

B.2 索结构

表3 索结构性能要求及温度指标

序号	性能要求	温度指标
1	不允许索的锚固部位发生熔化；	锌铜合金热铸锚填料； 250℃
2		环氧树脂冷铸锚填料； 150℃

B.3 膜结构

表4 膜结构性能要求及温度指标

序号	性能要求	温度指标
1	不允许膜材发生熔化；	PVC 类膜材； 120℃
2		PTFE 类膜材； 150℃

附 录 C

（规范性）

主动熔断破裂气枕单元的特殊要求

C.1 实体试验模型

气枕单元应包括膜面及固定边框，其实体试验模型要求如下：

a) 应选用原位空间结构屋盖中两边夹角小的气枕单元为试验对象并加工屋盖关键构件试验模型；

b) 选定的试验对象若可嵌入C.2 a) 规定的支承结构中，则应按照试验对象加工全尺寸试验模型，否则应保持试验对象形状、固定边框横截面构造一致且以最小比例减小固定边框边长加工试验模型以适应支承结构；

c) 委托方提供的试验模型所用膜面材料、固定边框构造、必要的膜面配重及相互连接，气枕内部压力均应与原位空间结构屋盖一致且应符合7.4的规定，模型数量不应少于1个。

参 考 文 献

- [1] Yin L, Ni Z-P, Fan F, Qiu P-F, Kan Q, Ou-yang Y-W. Temperature field characteristics of cylindrical aluminum alloy reticulated roof system under localized fire [J]. Fire Safety Journal, 2021, 121: 103267.
- [2] GB 55037—2022 建筑防火通用规范
- [3] GB 51249—2017 建筑钢结构防火技术规范
- [4] GB/T 4968—2008 火灾分类
- [5] GB/T 9978—2008 建筑构件耐火试验方法
- [6] GB/T 26784—2011 建筑构件耐火试验 可供选择和附加的试验程序
- [7] GB/T 31593.4—2015 消防安全工程 第4部分：设定火灾场景和设定火灾的选择
- [8] JGJ 7—2010 空间网格结构技术规程
- [9] JGJ 257—2012 索结构技术规程
- [10] CECS 158 : 2015 膜结构技术规程
-