

ICS 13.220.20

CCS P 16

DB 23

黑龙江省地方标准

DB23/T 3996—2026

寒区建筑空间结构消防安全技术规程

2026 - 04 - 07 发布

2026 - 07 - 07 实施

黑龙江省市场监督管理局
黑龙江省住房和城乡建设厅 发布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	2
5 消防安全基本规定	3
6 材料特性	6
7 耐火验算	8
8 防火保护设计	11
9 防火构造	12
10 施工与验收	15
11 维护与管理	16
12 评估与修复	17
附录 A（规范性）第 II 类空间结构失效判别方法	19
附录 B（规范性）典型建筑钢索涉及高温性能	20
附录 C（规范性）典型建筑铝材涉及高温性能	21
参考文献	22

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黑龙江省住房和城乡建设厅提出并归口。

本文件起草单位：哈尔滨工业大学、应急管理部天津消防研究所、黑龙江省消防救援总队、同济大学、北京科技大学、黑龙江省政务大数据中心、黑龙江省发展规划研究所、哈尔滨中庆清洁能源有限公司、黑龙江省城乡房屋和市政基础设施运行服务中心。

本文件主要起草人：尹亮、支旭东、张博凯、李国强、岳清瑞、刘宇峥、王宗存、梅英亭、翟美静、王斯文、付云鹏、张一男。

引 言

为解决黑龙江省建筑空间结构防火工程实践、全寿命期消防安全等方面仍存在标准不统一、规范化程度较低的问题及汲取大跨屋盖结构积雪压塌事故教训，实现顺应空间网格结构、膜结构、索结构、薄壳结构、排架结构、刚架结构、库架一体结构等新材料、新体系建筑空间结构蓬勃发展趋势，规范黑龙江省建筑空间结构防火技术及应用，兼顾灭火救援和全寿命期消防安全评估提升需求，指导灾后耐火性能评估与防火保护修复，制定本文件。

寒区建筑空间结构消防安全技术规程

1 范围

本文件规定了寒区建筑空间结构防火技术的符号和缩略语、消防安全基本规定、材料特性、耐火验算、防火保护设计、防火构造、施工与验收、维护与管理、评估与修复的内容。

本文件适用于寒区新建、扩建、改建和改造的工业与公共建筑内覆盖大空间场所的空间网格结构、膜结构、索结构、薄壳结构、排架结构、刚架结构、库架一体结构等建筑空间结构的防火技术及应用、施工与验收、维护与管理、灾后评估与修复。

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 50005 木结构设计标准
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50016—2014（2018年版） 建筑设计防火规范
- GB 50156—2021 汽车加油加气加氢站技术标准
- GB/T 50708 胶合木结构技术规范
- GB/T 50720 建设工程施工现场消防安全技术标准
- GB 51249—2017 建筑钢结构防火技术规范
- XF 588 消防产品现场检查判定规则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

建筑空间结构

覆盖有建筑大空间场所的屋盖及自延伸下部支承结构，包括空间网格结构、膜结构、索结构、薄壳结构、排架结构、刚架结构、库架一体结构等及其相互组合。

3.2

空间网格结构

由按一定规律布置的杆件、构件通过节点连接构成的建筑空间结构，包括网架、曲面型网壳和桁架等，不涉及使用拉索、使用张紧膜材时覆盖网格结构屋盖面积不大于10%。

[来源：JGJ 7—2010，2.1.1，有修改]

3.3

膜结构

由膜材和其他构件组成的建筑空间结构，包括整体张拉式、索系支承式、骨架支承式、充气式等，其中骨架支承式膜结构使用的骨架不为空间网格结构、使用张紧膜材时覆盖骨架结构屋盖面积不小于90%。

3.4

索结构

由拉索作为主要受力构件形成的预应力结构体系建筑空间结构，包括悬索结构、斜拉结构、张弦结构和索穹顶等，不包括由气枕或单层膜单元与索直接构成的张拉体系屋盖结构、由骨架支承式膜结构与索构成的斜拉结构。

[来源：JGJ 257—2012，2.1.3，有修改]

3.5

大空间场所

内部空间屋盖结构水平投影面积不小于 500 m²、可燃物表面或楼地面与屋盖结构垂直净距不小于 6.0 m、设定火灾场景为可持续燃料控制型局部火灾的场所。

3.6

小室房间

建筑面积为 20 m² ~ 80 m²、房间高度为 2.6 m ~ 3.5 m、可燃物及通风条件容易形成轰燃火灾的房间。

3.7

热暴露效应

未受力材料长时间处于高温环境而引发的高温下和冷却至室温后强度下降、脆性增加现象。

3.8

高温影响区

在大空间场所设定火灾场景下，近屋面空间温度场稳定后，烟气温度高于 120°C 的屋面区域。

3.9

设计耐火时间

火灾模拟试验的设定火灾场景中建筑空间结构及其子结构、构件从受到火的作用时起，能够持续保持承载能力、耐高温能力或安全疏散能力等的设计预期时间，用小时或分钟表示。

3.10

防爆单元

使用具备规定耐火极限或设计耐火时间的抗爆构件并与泄压设施或敞开洞口围合，构成生产、储存或使用易爆物质的建筑空间。

4 符号和缩略语

下列符号适用于本文件。

4.1 时间和温度

符号	描 述	单位
T_g	近屋面空间温度场稳定后温度	°C
$T_g(0)$	起火前场所内环境温度	°C
t_d	设计耐火时间	°C

t_m	实际耐火时间	°C
t_n	人员安全疏散及灭火救援需求时间	°C
t_s	人员安全疏散及灭火救援可用时间	°C

4.2 效应和抗力

符号	描 述
R_d	屋盖结构或构件的抗力设计值
S_{Gk}	按永久荷载标准值计算的荷载效应值
S_{Qk}	按屋面活荷载标准值计算的荷载效应值
S_{Sk}	按雪荷载标准值计算的荷载效应值
S_{Wk}	按风荷载标准值计算的荷载效应值
S_d	荷载及作用效应组合的设计值
S_T	按火灾下屋盖结构温度计算的作用效应值
S_{mT}	依据结构耐火重要性的荷载及作用效应组合的设计值
γ_{GT}	火灾下永久荷载的分项系数
γ_{OT}	火灾下屋盖结构的重要性系数
ϕ_{f_Q}	屋面活荷载的频遇值系数
ϕ_{f_s}	雪荷载的频遇值系数
ϕ_{f_w}	风荷载的频遇值系数
ϕ_{q_Q}	屋面活荷载准永久值系数
ϕ_{q_s}	雪荷载的准永久值系数

4.3 材料性能

符号	描 述
f_{dT}	不同温度下材料性能的强度设计值
f_{kT}	不同温度下材料性能的强度标准值
γ_{MT}	火灾下材料性能的分项系数

4.4 其他参数

符号	描 述	单位
A_{sp}	屋盖结构或构件的抗力设计值	m ²
H	按永久荷载标准值计算的荷载效应值	m
Q	按屋面活荷载标准值计算的荷载效应值	MW
μ_T	需求时间保证系数	

5 消防安全基本规定

5.1 一般规定

5.1.1 建筑空间结构应按被动防火原则进行防火设计，包括整体屋盖结构及构件耐火承载能力验算、构件防火保护设计和规定的防火构造。

5.1.2 建筑空间结构的防火设计方法应将执行处方式防火技术要求与采用性能化防火设计方法相结合。

5.2 工业建筑

5.2.1 工业建筑中的空间网格结构以及排架结构、刚架结构、库架一体结构的屋盖部分应按照屋顶承重构件的耐火极限规定进行构件防火设计。

5.2.2 工业建筑中库架一体结构连接于仓库外墙的货架应以累计层高不大于 6.0 m 水平向设置与仓库外墙直接连接的不燃性防火隔层，仓库外墙、水平向防火隔层、防火隔层所连非货架柱竖向支撑的耐火性能应分别符合防火墙、楼板、柱的耐火极限规定。

5.2.3 工业建筑中使用气承式膜结构的无机原料仓、工业固体废物仓、储煤仓、粮仓等物料种类的仓储大空间场所，内部同时容纳作业人数不应超过 10 人；消防设施应根据物料、工艺特点配备。当占地面积超过 13 000 m² 或膜面外附着有除索网外的其他附属物时应进行消防安全论证。

5.2.4 排架结构或刚架结构的甲、乙、丙类厂房、仓库建筑中，在火灾危险性较大区段的屋面及纵向外墙上应以 50.0 m 为边缘间隔设置围护结构应急破拆带，且应具备外部破拆所需场地条件。单条破拆带在建筑纵向的宽度不应小于 2.0 m，位于屋面的长度不应小于屋面横跨长度的 1/3，且构造应易于外部灭火救援破拆，并应设置易于严寒天气室外识别的永久性明显标志。

5.2.5 有爆炸危险的单层工业建筑宜采用排架结构、刚架结构或采用空间网格结构屋盖。

5.2.6 储存丙类物品的库架一体结构自动化立体仓库和有粉尘爆炸危险的空间网格结构顶盖大型粮食筒仓应整体划分为防爆单元，应在屋面或顶盖设置泄压设施，外墙或筒壁构件应满足抗爆要求且应以高度间隔不大于 6.0 m 设置水平环绕的拉结加强措施。

5.3 公共建筑

5.3.1 公共建筑空间结构基于防火设计采取的安全目标应分为以下两类：

- a) 第 I 类空间结构同时满足人员安全目标和屋盖结构财产保护目标，包括空间网格结构、索结构、薄壳结构、排架结构和刚架结构；
- b) 第 II 类空间结构满足人员安全目标，包括膜结构在内，除第 I 类空间结构外的其余建筑空间结构。

5.3.2 公共建筑空间结构的防火设计功能要求如下：

- 第 I 类空间结构在设计耐火时间内、各设定火灾场景下，屋盖结构的竖向变形应未达到失效判定准则，构件宜未发生塑性变形；
- 第 II 类空间结构在人员安全疏散及灭火救援需求时间内、各设定火灾场景下，屋盖结构坍塌不应引起人员受到伤害。

5.3.3 公共建筑空间结构防火设计功能的实现方法应符合下列要求：

- 第 I 类空间结构通过整体屋盖结构耐火承载能力验算；
- 第 II 类空间结构通过对人员安全疏散及灭火救援可用时间进行预测，并符合本规程附录 A 的规定；
- 第 I 类和第 II 类空间结构均满足规定的防火构造。

5.3.4 设定火灾场景的火源位置应选择大空间场所内火灾危险性或火灾荷载较大位置、影响人员疏散位置、影响整体屋盖结构耐火性能的局部关键构件下方位置。第 I 类空间结构防火设计的设定火灾场景，应包括场所内排烟系统、灭火系统失效场景。

5.3.5 确定设定火灾时，第 I 类空间结构应包括建筑火灾全过程，相应的设计耐火时间应为单次建筑火灾全过程持续时间，且总时长不应小于 1.00 h；第 II 类空间结构应包括建筑火灾的增长和完全发展阶段。

5.3.6 公共建筑大空间场所设定火灾的增长阶段应按 t^2 火灾增长特点，火灾增长系数和完全发展阶段的火灾热释放速率应根据场所安全性需求分析、潜在起火点位置等因素确定，并可符合 GB 51251 的规定。

5.3.7 公共建筑中的空间网格结构按照屋顶承重构件耐火极限规定进行构件防火设计时，应判定为防火设计功能符合 5.3.2 a) 的规定，可不进行整体屋盖结构耐火承载能力验算。

5.3.8 公共建筑中的空间网格结构，在各设定火灾场景中及相应设计耐火时间的任意连续 20 s 内，燃烧物正上方构件周围的烟气温度均值，对于钢构件不超过 300℃、铝合金构件不超过 150℃，应判定为防火设计功能符合 5.3.2 a) 的规定，可不进行整体屋盖结构耐火承载能力验算。

5.3.9 在近似立方体的大空间场所内，对于由钢网架、桁架结构支承的混凝土板屋面围护，当纤维类燃烧物位于地面中央附近时，燃烧范围正上方屋盖结构构件周围烟气温度可按公式 (1) 计算：

$$T_g = (20Q + 80) - (0.4Q + 3)H + (52Q + 598) \times 10^2 / A_{sp} + T_g(0) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- T_g ——近屋面空间温度场稳定后温度，单位为摄氏度 (°C)；
- Q ——局部火灾稳定燃烧阶段热释放速率，单位为兆瓦 (MW)；
- H ——燃烧物表面与正上方构件间垂直净距，单位为米 (m)；
- A_{sp} ——大空间场所内地面面积，单位为平方米 (m²)；
- $T_g(0)$ ——起火前场所环境温度，单位为摄氏度 (°C)。

5.3.10 公共建筑中的第 I 类空间结构屋盖，同时覆盖大空间和非大空间场所时，非大空间场所屋盖部分及场所间承重或非承重耐火垂直分隔构件防火设计使用的升温曲线，应根据非大空间场所使用功能选取，且应采用与屋面围护直接紧密连接的不燃性耐火垂直分隔构件，屋盖结构构件穿透耐火垂直分隔构件的洞口应采用满足相应耐火极限规定的不燃性封堵构造。

5.3.11 使用标准升温曲线对大空间场所第 I 类空间结构构件进行防火保护设计时，应以标准升温曲线下构件表面温度达到大空间场所设定火灾场景下构件表面全时程最高温度的时间作为该构件在标准升温曲线下的等效曝火时间。

5.3.12 公共建筑中的气承式膜结构，使用功能应使人员活动于与疏散门等高的地面，不应用作体育比赛设施。当用于人员密集场所或占地超过 4 000 m² 时应进行消防安全论证。膜面外不准许附着除索网外的其他附属物。

5.3.13 位于公共建筑空间结构屋盖与楼地面之间的使用天然气场所应单独划分为防爆单元。泄压设施可设置在防爆单元向上投影的第 I 类空间结构屋盖局部且泄压面积不应小于防爆单元占地，或可借助大空间场所外墙设置。

5.3.14 允许储存含甲、乙类物质生活物品的第 I 类空间结构公共建筑，应在作为防爆单元的小室房间内集中储存，房间应采用不燃性实体抗爆水平分隔构件且耐火极限不应小于 1.50 h，房间之间应采用具有抗爆功能的实体防火墙，泄压设施宜借助大空间场所外墙设置。

5.4 其他

5.4.1 气承式膜结构的建筑高度应按场所内气压稳定时的外膜面或其附属物顶点高度确定，气压值应采用基准工作内压上限值或 400 Pa。

- 5.4.2 内嵌或覆盖于空间网格结构的气枕或单层膜单元，占网格结构屋盖面积大于 10%时，宜依靠自身火灾受热破裂或主动熔断破裂形成满足面积和分布要求的可溶性采光带。
- 5.4.3 商业路演以及增建于单、多层建筑屋面的气承式膜结构，当用作临时结构时，应采取与使用功能相匹配的消防安全措施。
- 5.4.4 遮罩于设置有满均布支护基坑上部的气承式膜结构，在其与基坑共同封闭构成的施工作业空间内，可不限制作业人数，应具备火灾时排烟功能，且应具备起火后 1 min 内将全部作业人员疏散至膜结构外部地面或内部疏散缓冲区的条件。
- 5.4.5 遮罩于设置有满均布支护基坑上部的气肋式、骨架支承式膜结构应具备火灾时屋面移动开启或山墙主动打开功能。
- 5.4.6 矩形平面气承式膜结构应沿其单侧长边外墙设置消防救援口，中心间距不应大于 30.0 m；圆形平面气承式膜结构应在建筑两相互垂直半径指向的外墙设置消防救援口。消防救援口室内侧上部应设不燃性实体支护结构，宽度不应小于 1.2 m 且耐火极限不应小于 1.00 h。
- 5.4.7 屋面围护板材单元及支承、固定边框等屋面围护组件与屋盖结构应确保火灾下连接可靠，设计耐火时间内不应发生脱落。
- 5.4.8 应急和救援等临时用途建筑空间结构的消防安全应符合本文件的规定。

6 材料特性

6.1 屋盖结构材料

- 6.1.1 钢材的高温热工性能，结构钢和耐火钢的高温下弹性模量、屈服强度折减系数应符合 GB 51249 的规定。
- 6.1.2 普通混凝土和轻骨料混凝土的高温下热工性能、弹性模量和轴心抗压强度折减系数应符合 GB 51249 的规定。
- 6.1.3 木材有效炭化速率应符合 GB 50005 和 GB/T 50708 的规定，其燃烧性能不应低于 B₁ 级。
- 6.1.4 典型建筑钢索、铝材的短时热暴露下及热暴露后力学性能折减系数分别不应低于附录 B、附录 C 的规定。
- 6.1.5 膜结构用膜面材料燃烧性能不应低于 B₁ 级，且燃烧滴落物或微粒等级应为 d0 级，产烟毒性危险级别应为 AQ 级。敷设于膜面内的线缆应采用穿有伸缩镀锌金属管的阻燃线缆且适应膜结构极端天气时变形。
- 6.1.6 屋面封闭的公共建筑大空间场所，索结构屋盖宜使用封闭索、高钒镀层索、锌铜合金热铸锚，不宜使用聚乙烯（PE）护套索、冷铸锚，有耐火要求的建筑不准许使用巴氏合金热铸锚，使用非钢质索材时应进行消防安全论证。
- 6.1.7 屋面围护板材、保温和防水层材料均应符合抗冻融性能的规定，燃烧性能均不应低于 B₁ 级，且燃烧滴落物或微粒等级均应为 d0 级，产烟毒性危险级别均应为 AQ 级。
- 6.1.8 建筑空间结构用加固材料的燃烧性能不应低于 B₁ 级。

6.2 防火保护材料

- 6.2.1 建筑空间结构构件防火设计选用的保护材料要求如下。
- 防火保护材料产烟毒性危险级别应为 AQ 级。
 - 防火涂料产品应提供有资质的检验检测机构出具的耐火性能检验报告。非膨胀型防火涂料经标准耐火测试后不应从试件表面脱落，且表面裂纹宜呈致密蜂窝状。

- 防火板材、防火棉毡、防火布毯的燃烧性能应为 A 级。
- 防火棉毡实际容重不应小于 120 kg/m³。卷状防火棉毡自一端拎起时应担负 1.5 m 长度自身重量且不发生断裂。
- 不准许使用水泥成分含量大于 70%的防火板材。
- 暴露于室外的防火保护材料应符合抗冻融性能的规定。

6.2.2 非膨胀型防火涂料等效热传导系数、膨胀型防火涂料保护层等效热阻的计算应符合 GB 51249 的规定。

6.2.3 防火板材中，防火纸面石膏板、玻镁板的高温热工性能应符合下列要求：

- a) 防火纸面石膏板、玻镁板相对密度见表 1；

表1 防火纸面石膏板、玻镁板相对密度

板材名称	温度 °C									
	5	30	100	140	200	300	400	600	700	1000
防火纸面石膏板 %	1.00	△	1.00	0.83	△	△	△	0.83	0.80	0.80
玻镁板 %	1.00	1.00	△	△	0.78	0.73	0.52	0.46	△	0.46

注：△表示可通过对前后数据使用内插法计算该温度点下的结果。

- b) 防火纸面石膏板、玻镁板比热容见表 2；

表2 防火纸面石膏板、玻镁板比热容

温度 °C	板材名称		温度 °C	板材名称	
	防火纸面石膏板 kJ/(kg·°C)	玻镁板 kJ/(kg·°C)		防火纸面石膏板 kJ/(kg·°C)	玻镁板 kJ/(kg·°C)
5	1	1.5	300	△	1.5
50	△	1.5	390	△	9.0
85	1	△	450	△	2.4
100	△	7.5	525	△	4.0
122	△	5.0	600	1	1.5
130	22	△	660	3	△
160	1	△	700	1	△
170	△	7.0	1000	1	1.5
200	△	1.5	—	—	—

注：△表示可通过对前后数据使用内插法计算该温度点下的结果。

- c) 防火纸面石膏板、玻镁板导热系数见表 3。

表3 防火纸面石膏板、玻镁板导热系数

温度 °C	板材名称		温度 °C	板材名称	
	防火纸面石膏板	玻镁板		防火纸面石膏板	玻镁板

	W/(m·°C)	W/(m·°C)		W/(m·°C)	W/(m·°C)
5	0.2500	0.400	450	△	0.120
50	△	0.400	650	0.1200/0.2175 ^a	△
100	0.2500/0.1200 ^a	△	800	0.2700	△
200	△	0.160	1000	0.5300	0.285
300	△	0.140	—	—	—
注：△表示可通过对前后数据使用内插值法计算该温度点下的结果；					
^a 数据表示在同一温度下导热系数值突变后的结果。					

6.2.4 防火棉毡中，硅酸铝棉、岩棉的高温热工性能应符合下列要求：

- 硅酸铝棉、岩棉不同温度下的相对密度为 1.0；
- 硅酸铝棉、岩棉不同温度下的比热容分别为 800 kJ/(kg·°C)、900 kJ/(kg·°C)；
- 硅酸铝棉、岩棉导热系数见表 4。

表4 硅酸铝棉、岩棉导热系数

棉毡名称	温度 °C				
	5	400	600	900	1000
硅酸铝棉 W/(m·°C)	0.05	0.05	△	0.20	1.00
岩棉 W/(m·°C)	0.036	△	0.168	△	1.000
注：△表示可通过对前后数据使用内插法计算该温度点下的结果。					

7 耐火验算

7.1 一般规定

7.1.1 在公共建筑大空间场所各设定火灾场景下，高温影响区内的第 I 类空间结构节点或连接部位以及支座或锚固部位应确保不先于被连接构件发生破坏；当不满足时，应对屋盖结构相应部位进行防火保护设计，且位于大空间场所内的支座或锚固部位设计耐火时间不应低于 1.00 h。

7.1.2 整体屋盖结构耐火承载能力检验或验证宜采用原位空间结构屋盖或屋盖结构模型的实体火灾模拟试验法。搭建屋盖结构模型宜采用全尺寸构件，试验设计应符合相应试验方法标准规定，并宜进行消防安全论证。

7.1.3 整体屋盖结构耐火承载能力验算可采用包括近屋面空间温度场计算、构件内温度场计算、屋盖结构受火行为热力耦合计算等在内的有限元热力耦合分析法。

7.1.4 第 I 类空间结构的耐火承载能力验算，数值模型计算边界应从与地面或下部钢筋混凝土、钢结构空间框架房间顶板的连接部位算起，应确保自平衡体系完整及传力路径延伸至支座、锚固部位。当屋盖结构边缘支承于单柱、平面框架及跨内支承于单柱时应进行协同分析。

7.1.5 第 I 类空间结构受火行为有限元热力耦合计算宜进行精细化建模分析，数值模型应计入材料非线性、几何非线性，对特殊连接部位宜计入接触非线性，且应计入屋盖结构金属材料的热膨胀效应。

7.1.6 铝合金结构屋盖耐火承载能力验算中，板式节点可作为刚接，应计入 H 形截面杆件吸热和挡烟垂壁效应对近屋面空间温度场的影响，且应计入建筑铝材的高温蠕变效应。

7.1.7 木结构屋盖耐火承载能力验算中，木构件应仅计入设计耐火时间对应的剩余截面并采用炭化前的原始线重量。

7.2 荷载效应与抗力

7.2.1 火灾作用于建筑空间结构引起的荷载应属于偶然荷载。

7.2.2 第 I 类空间结构耐火承载能力验算应根据实际情况计入可变荷载种类及量值，包括屋面活荷载、风荷载和雪荷载。

7.2.3 计算荷载效应和有关系数的取值应符合 GB 50009 和 GB 51249 的规定，且火灾条件下荷载及作用效应组合工况中的最不利工况确定应符合下列要求。

a) 荷载及作用效应组合的设计值按公式(2)计算：

$$S_{mT} = \gamma_{0T} S_d \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_{mT} ——依据结构耐火重要性的荷载及作用效应组合的设计值；

γ_{0T} ——火灾下屋盖结构的重要性系数；

S_d ——荷载及作用效应组合的设计值。

b) 上人的平板网架、桁架结构屋盖按公式(3)计算：

$$\begin{cases} S_d = \gamma_{GT} S_{Gk} + S_T + \phi_{f_Q} S_{Qk} + \phi_{qs} S_{Sk} \\ S_d = \gamma_{GT} S_{Gk} + S_T + \phi_{q_0} S_{Qk} + \phi_{is} S_{Sk} \\ S_d = \gamma_{GT} S_{Gk} + S_T + \phi_{q_0} S_{Qk} + \phi_{qs} S_{Sk} + \phi_{f_w} S_{Wk} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_d ——荷载及作用效应组合的设计值；

γ_{GT} ——火灾下永久荷载的分项系数；

S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_T ——按火灾下屋盖结构温度计算的作用效应值；

ϕ_{f_Q} ——屋面活荷载的频遇值系数；

S_{Qk} ——按屋面活荷载标准值计算的荷载效应值；

ϕ_{qs} ——雪荷载的准永久值系数；

S_{Sk} ——按雪荷载标准值计算的荷载效应值；

ϕ_{q_0} ——屋面活荷载的准永久值系数；

ϕ_{is} ——雪荷载的频遇值系数；

ϕ_{f_w} ——风荷载的频遇值系数；

S_{Wk} ——按风荷载标准值计算的荷载效应值。

c) 不上人的平板网架及其他结构屋盖按公式(4)计算：

$$\begin{cases} S_d = \gamma_{GT} S_{Gk} + S_T + \phi_{iQ} S_{Qk} \\ S_d = \gamma_{GT} S_{Gk} + S_T + \phi_{is} S_{Sk} \\ S_d = \gamma_{GT} S_{Gk} + S_T + \phi_{qs} S_{Sk} + \phi_{fw} S_{Wk} \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- S_d ——荷载及作用效应组合的设计值；
- γ_{GT} ——火灾下永久荷载的分项系数；
- S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值；
- S_T ——按火灾下屋盖结构温度计算的作用效应值；
- ϕ_{iQ} ——屋面活荷载的频遇值系数；
- S_{Qk} ——按屋面活荷载标准值计算的荷载效应值；
- ϕ_{is} ——雪荷载的频遇值系数；
- S_{Sk} ——按雪荷载标准值计算的荷载效应值；
- ϕ_{qs} ——雪荷载的准永久值系数；
- ϕ_{fw} ——风荷载的频遇值系数；
- S_{Wk} ——按风荷载标准值计算的荷载效应值。

7.2.4 整体屋盖结构耐火验算应按承载能力极限状态确定，并应满足下列公式要求：

$$S_m \leq R_d = R(f_{dT}) \dots\dots\dots (5)$$

$$f_{dT} = f_{kT} / \gamma_{MT} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- R_d ——屋盖结构或构件的抗力设计值；
- f_{dT} ——不同温度下材料性能的强度设计值；
- f_{kT} ——不同温度下材料性能的强度标准值；
- γ_{MT} ——火灾下材料性能的分项系数，取1.0。

7.2.5 火灾下，无防火保护钢构件、铝合金构件、钢索索体的升温计算应符合 GB 51249 的规定。对于金属实腹深梁可按梁高范围内的温度梯度划分条状等温带；对于直径不大于 30 mm 的钢质拉索，索体温度可直接使用周围高温烟气温度。

7.3 判定准则

7.3.1 对于第 I 类空间结构，当按火灾条件下的各荷载及作用效应组合工况加载，在一次设定火灾场景下获得的实际耐火时间与设计耐火时间相比不满足公式(5)要求时，应判定在本次设定火灾场景下屋盖结构耐火性能失效：

$$t_m \geq t_d \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- t_m ——实际耐火时间，单位为秒（s）；
- t_d ——设计耐火时间，单位为秒（s）。

7.3.2 判定耐火性能失效的第 I 类空间结构，应对设定火灾场景下高温影响区内的构件及节点进行防火保护设计，并应继续评估屋盖结构实际耐火时间，直到满足公式(7)的要求为止。

7.3.3 对采用不同体系、形态的第 I 类空间结构，确定屋盖结构实际耐火时间的承载能力判定准则应符合表 5 的规定。

表5 第 I 类空间结构屋盖耐火承载能力判定准则

屋盖结构体系、形态	判定失效条件 (无室外悬挑屋面)	附加条件
上凸形及平板屋面空间网格结构	屋盖结构起拱膨胀结束、开始出现局部凹陷	带悬挑屋面，悬挑末端挠度达到悬挑跨度的 1/200
下凹形屋面空间网格结构、悬索结构、张弦结构	屋盖结构任一点挠度达到短向跨度的 1/200	单根索体破坏，节点、锚固部位破坏，或屋盖结构自平衡体系失效
与拉索连接部位在屋面围护外的斜拉结构	屋盖结构任一点起拱变形达到短向跨度的 1/200	

7.3.4 大空间场所索结构屋盖锚固部位应采用附加温度判定准则以辅助确定屋盖结构实际耐火时间，判定失效条件应以锚具内填料块体表面任意位置达到临界温度计，并应符合下列要求：

- 锌铜合金热铸锚填料临界温度取 250℃；
- 环氧树脂冷铸锚填料临界温度取 150℃。

8 防火保护设计

8.1 一般规定

8.1.1 第 I 类空间结构需要进行防火保护设计的构件、节点或连接部位以及支座或锚固部位，应由设定火灾场景下耐火承载能力验算结果确定，且应满足对特殊部位的补充要求。

8.1.2 大空间场所设定火灾场景高温影响区内的索结构屋盖不同方向索节点、木结构屋盖钢木连接部位，应采用设计耐火时间不小于 1.00 h 的防火保护。

8.1.3 构件防火保护设计可采用基于等效曝火时间的耐火性能检验法、大空间实体火灾模拟试验验证法、等效热传导系数或等效热阻计算法、有限元传热分析法。

8.1.4 膨胀型防火涂料与单独施用的非膨胀型防火涂料的涂覆厚度计算应符合 GB 51249—2017 中 5.3 和 6.2.2 的规定，且涂覆厚度不应小于有资质的检验检测机构出具的耐火性能检验报告中耐火极限达到等效曝火时间要求时对应的厚度。

8.2 保护方案

8.2.1 确定工业建筑屋盖结构和第 I 类空间结构构件防火保护方案应因地制宜地兼顾大空间场所使用功能、美观需求、性能造价比、长期使用可靠性等因素，其要求如下。

- 工业建筑场所及不突出结构观赏性场所、吊顶上方及其他隐蔽部位、等效曝火时间大于 1.00 h 的屋盖结构构件均应选用非膨胀型防火涂料，其他场所和部位的屋盖结构构件宜选用非膨胀型防火涂料，突出结构观赏性场所、等效曝火时间不大于 1.00 h 的屋盖结构构件可选用膨胀型防火涂料。
- 支座或锚固部位宜采用预制化程度较高的包覆法干作业防火保护。当支座或锚固部位暴露于 0℃ 以下环境或相对湿度大于 80%、小于 20% 环境时间大于全年的 1/3 时，宜采用外包湿作业防火保护。

- 自身耐锈蚀或通过处理满足耐锈蚀要求的金属结构、木结构屋盖构件、节点或连接部位以及支座或锚固部位，可采用自动喷水系统防火保护。对于混凝土结构屋盖，不应采用喷水防火保护。
- 不应采用向构件内注水或其他液体冷却保护等导致火灾前后屋盖结构或屋面系统自重增减突变的保护方案。

8.2.2 建筑空间结构构件防火保护材料组合使用方式要求如下。

- 膨胀型防火涂料不宜与其他防火保护材料组合使用。
- 非膨胀型防火涂料可与防火板材组合使用，不宜与其他防火保护材料组合使用。当非膨胀型防火涂料与防火板材之间存在空腔时，应折减计算组合使用的耐火隔热效果，但按实际组合使用方式及固定关系通过有资质的检验检测机构耐火性能检验的除外。
- 防火棉毡应与防火板材组合使用，且应界面接触密实。

8.3 公共建筑屋盖结构保护

8.3.1 当建筑空间结构下方垂直净距不小于 6.0 m 的小室房间采用不燃性实体屋面并达到 1.50 h 耐火极限，且确定实体屋面向上投影范围内屋盖结构不在小室房间占地区域外设定火灾场景的高温影响区内时，向上投影范围内屋盖结构构件可不采取防火保护。

8.3.2 当大空间场所内地面的部分区域不存在可燃物或不存在引起火灾的使用功能，且确定部分区域向上投影范围内的建筑空间结构不在此区域外设定火灾场景的高温影响区内时，向上投影范围内屋盖结构构件可不采取防火保护。

8.3.3 屋面封闭且内部地面面积不大于 2 000 m² 的大空间场所，当燃烧物在设定火灾的稳定燃烧阶段热释放速率不大于 5.0 MW 时，与燃烧物表面净高 8.0 m 以上的钢空间网格结构构件和 10.0 m 以上的铝合金、木空间网格结构构件可不采取防火保护。

8.3.4 位于与大空间场所第 I 类空间结构连接可靠且满足 0.75 h 耐火极限不燃性装饰吊顶上方的屋盖结构构件可不采取防火保护，单片吊顶的短边或直径不应小于 6.0 m。

9 防火构造

9.1 构造要求

9.1.1 采用膨胀型防火涂料保护第 I 类空间结构构件时，涂覆厚度不应小于 1.5 mm；采用非膨胀型防火涂料保护第 I 类空间结构构件时，涂覆厚度不应小于 15.0 mm。

9.1.2 防火棉毡与防火板材组合使用时，宜根据构件尺寸将防火棉毡平整预制填塞于轻钢龙骨内，再将轻钢龙骨与防火板材固定。对于各种截面构件，均应同时确保防火棉毡与构件外表面贴紧、防火棉毡与防火板材间填塞密实。

9.1.3 防火板材宜先通过自攻螺钉固定于轻钢龙骨，再平面对接或直角顶接。螺钉距离板边缘不应小于 18.0 mm，钉头宜沉入板内 1.0 mm ~ 1.5 mm，且应使用防火腻子或耐火胶封堵抹平钉孔。平面对接或直角顶接处拼缝宽度不应大于 3.0 mm，且应使用防火腻子或耐火胶嵌缝封堵。

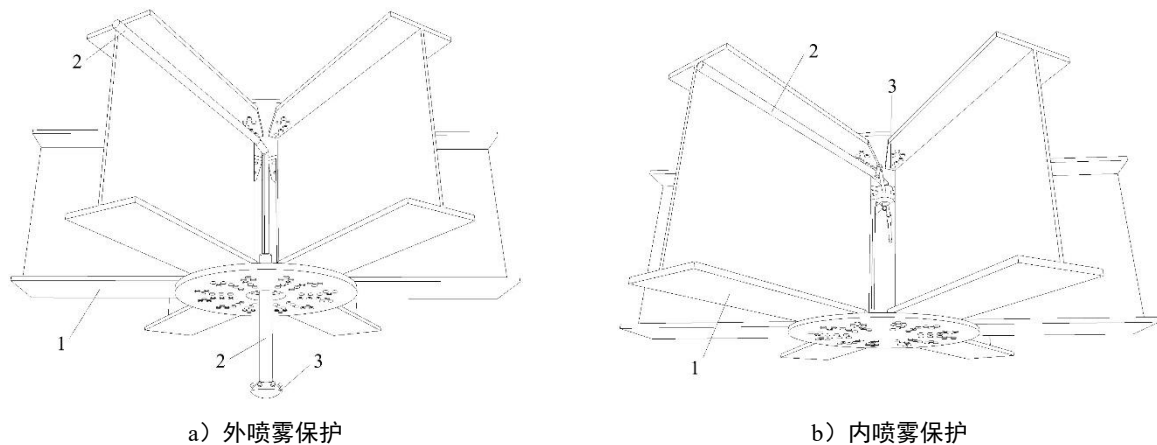
9.1.4 木结构屋盖节点螺栓组件末端宜沉入所连接的木构件内且不小于 15.0 mm，并应使用防火腻子填塞密实、找平。

9.2 构造样式

9.2.1 当采用 GB 50016 附录各类建筑构件的燃烧性能和耐火极限中列举的相应耐火极限防火构造样式对第 I 类空间结构构件进行保护时，可不进行构件防火保护设计。

9.2.2 采用防火涂料、防火板材、防火棉毡及其相互组合对大空间场所钢结构屋盖构件、下部单柱、平面框架构件进行防火保护的构造样式可符合 GB 51249 的规定。

9.2.3 使用自动喷水系统对铝合金板式节点网壳结构屋盖进行防火保护的构造样式宜按图 1 选用，其水雾喷头的启闭及流量控制可通过监测板式节点温度或节点域近屋面空间温度，采取水量分级自动响应。

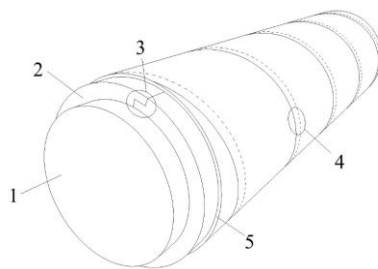


标引序号说明：

1——板式节点； 2——管路； 3——水雾喷头。

图1 自动喷水系统保护铝合金板式节点构造

9.2.4 使用包覆法对索结构屋盖中钢索索体进行防火保护的基本构造样式宜按图 2，防火棉毡的压层宽度不宜小于 15.0 mm，且螺旋缠绕防火布毯的压层宽度不宜小于 20.0 mm，可在防火布毯表面增加其他耐火隔热及加强紧固构造。



标引序号说明：

1——钢索索体； 4——布毯压层；
2——防火棉毡； 5——防火布毯。
3——棉毡压层；

图2 包覆法保护钢索索体构造

9.3 公共建筑气承式膜结构

9.3.1 气承式膜结构内可燃物与内膜面间的垂直净距不应小于 4.0 m，设计使用人数大于 40 人时，膜面在疏散门处的支承边界距人员活动平台的垂直净距不应小于 3.0 m。

- 9.3.2 人员密集场所内应至少沿装有疏散门的墙边设置向两侧延伸的疏散缓冲区，并要求如下。
- 疏散缓冲区水平投影面积不应小于 $0.25 \text{ m}^2/\text{人}$ ，向室内宽度不应小于 1.2 m ，应于地面设置明显标识，且区域内不准许放置可燃物，地面不应设置补风口或排风口。
 - 疏散缓冲区上部应设不燃性实体支护结构且耐火极限不应小于 1.00 h ，并应担负坍塌膜面重量。支护结构朝向室内的前端边沿应设置标示疏散缓冲区的连续灯光指示标识，且紧急状态下应为室内提供疏散照明。
 - 疏散缓冲区应采取避免火灾烟气侵入区域内及区域内人员受到焰体辐射侵害的措施。
 - 矩形平面场所位于两长边的疏散缓冲区间距不应大于 50.0 m ，圆形平面场所围绕周边的疏散缓冲区间距不应大于 60.0 m ，且疏散设施均应符合 GB 50016—2014（2018 年版）的规定。
- 9.3.3 气承式膜结构场所内的疏散指示标志、应急广播系统应与火灾报警联动或手动启动，指引室内人员进入疏散缓冲区并继续有序疏散至室外。
- 9.3.4 火灾探测器报警后，回风系统应联动关闭，机械单元应切换至以事故下工作内压为目标的持续运行状态且应在场所内采取不超过事故内压的措施。
- 9.3.5 火灾探测器报警后 150 s 内应确保疏散门全部向室外开启，且应确保内部人员可以自行开启。应配置动作状态下利于维持气承式膜结构工作内压的疏散门系统。
- 9.3.6 气承式膜结构建筑室外应具备使人员安全疏散至距膜面支承边界 4.0 m 以外宽敞地带的条件，并应配备消防应急照明。
- 9.3.7 气承式膜结构建筑室外附属机电设备应采用不燃性防火遮罩且应与膜面支承边界保持不小于 3.0 m 的水平净距。距离不足时，应增加防火遮罩的耐火极限且不应小于 1.00 h 。附属机电设备起火时，相连的地下风道应自动关闭。
- 9.3.8 气承式膜结构的膜面与有外立面开口的相邻建筑间的防火间距应在 GB 50016—2014（2018 年版）的规定基础上增加 3.0 m ，或应在靠近室外膜面部位设置高出相邻建筑外立面开口上沿 1.0 m 以上的不燃性连续耐火垂直分隔构件且耐火极限不小于 1.00 h 。
- 9.3.9 气承式膜结构场所内独立小室房间与内膜面的垂直净距不应小于 6.0 m 并应采用耐火极限不小于 1.50 h 的不燃性实体屋面和洞口挑檐，且挑檐向洞口两侧延伸不应小于 0.2 m 、宽度不应小于 0.5 m 。
- 9.3.10 支承气承式膜结构边界的小室房间面向膜结构场所内的立面应采用耐火极限不小于 2.00 h 的不燃性耐火垂直分隔构件。
- 9.3.11 对于场所使用功能无法使人员全部活动于与疏散门等高地面的气承式膜结构，应在跨内设置膜面坍塌支护装置并应配备应急避险自救工具。支护装置可与室内其他构筑物共建，高度距上方膜面宜为 $2.0 \text{ m} \sim 3.0 \text{ m}$ ，且应具备下穿地面排烟、补风以及应急照明功能。
- 9.3.12 设置于气承式膜结构场所外墙的窗应满足 800 Pa 设定内压下的气密性和面外抗压能力要求。

9.4 其他膜结构

- 9.4.1 可溶性采光带选用主动熔断破裂气枕单元时，要求如下：
- a) 加热丝应压紧于气枕单元固定边框内，且可预制于膜材层间；
 - b) 加热丝应围绕气枕单元周边连续设置，且应预留气枕单元一角部作为膜面材料熔断破裂后提吊端；
 - c) 除预留的提吊端外，气枕单元不大于 45° 夹角的端部应增加膜面配重辅助熔断破裂；
 - d) 在设计最低使用环境温度下，气枕单元主动熔断破裂响应时间不应大于 60 s ，且应提供有资质的检验检测机构出具的检验报告。
- 9.4.2 整体张拉式膜结构桅杆、柱底端应设置限位装置等防受火倒塌措施。

9.4.3 索系支承式膜结构应采取安全防护措施，确保火灾下张紧膜面局部破裂后屋盖结构自平衡体系不连续失效，且剩余屋盖结构不应降至人员活动平台以上 2.2 m 高度处。

9.4.4 临时搭建于大空间场所内的膜结构方舱应符合下列要求：

- a) 结构选型及构造应有利于维持火灾中自身稳定；
- b) 应搭建于场所内地面，舱体高度不应大于 3.5 m，与场所内原有非不燃性固定设施的间距不应小于 4.0 m；
- c) 应结合舱体使用功能进行消防安全评估、规划应急逃生路线并标识；
- d) 应在贴邻火灾危险性较大的舱体外设置临时不燃性连续耐火垂直分隔构件且耐火极限不小于 1.00 h、高出舱体不小于 1.0 m。

9.4.5 工业建筑气承式膜结构附属的物料运输、装卸作业压力过渡室不宜布置于膜结构水平投影范围内。压力过渡室的楼板、墙体及与膜结构大空间场所共同保压的卷帘均应满足 1.00 h 耐火极限。卷帘应确保发生火灾后即时关闭，使压力过渡室内的火灾不发生蔓延。

10 施工与验收

10.1 施工现场消防安全应符合 GB/T 50720 的规定，施焊、动火作业点周围不准许存放可燃物。室外防火保护施工应在 5℃ 以上环境进行。

10.2 工业建筑屋盖结构和第 I 类空间结构构件防火保护施工技术文件对施工质量的要求不应低于本文件的规定。

10.3 设计单位应向施工单位及监理单位做设计交底，内容应包括项目特点、防火要点、防火保护材料、防火保护部位、质量关键控制点等。

10.4 防火保护分项工程施工单位应根据设计文件制定施工工艺流程文件，内容应包括施工环境条件、质量控制点保障措施、施工程序步骤、养护条件等，并应组织施工文件评审及工艺流程演示且应获得监理单位书面认可。

10.5 监理单位应按照设计文件及产品出厂说明书对进场防火保护材料实施检查，不准许使用进场检验不合格的产品。进场检查时，符合下列条件之一即应判定为不合格。

- 外观：防火板材出现孔洞、裂痕、泛出物、翘曲，岩棉呈现碎絮状、纤维不连续，指压瘫软；
- 含水率：防火板材和防火棉毡受潮或含水率超出产品出厂说明书；
- 容重或密度：防火板材和防火棉毡的实际容重或实测密度低于设计要求；
- 产品说明及检验报告：涂料产品信息遗漏、失效，持有非同批次有效耐火性能检验报告。

10.6 对于 GB 50156—2021 中 B.0.1 规定的重要公共建筑，其第 I 类空间结构构件使用的防火涂料、防火板材和防火棉毡应进行进场耐火隔热性能见证检验。

10.7 进场防火保护材料应贮存于正常使用环境或符合相应产品贮存条件，避免受潮和冻损等引起性能劣化。

10.8 建筑空间结构防火施工质量验收应符合 GB 51249 等的规定以及设计文件要求。

10.9 监理单位应按照设计文件和有关标准对防火保护施工质量进行过程控制，并应包括下列要点。

- 施工工序是否符合施工工艺流程。
- 防火板材、防火棉毡的固定和连接部位是否满足封堵要求；对于平面对接或直角顶接的防火板材，嵌缝防火腻子或耐火胶与两侧板面是否牢固粘接。

- 防火涂料涂覆完工后的厚度及表观是否满足设计要求；膨胀型防火涂料成型表面的裂纹宽度不应大于 0.3 mm，且一个节点或构件在 1.0 m 长度内的裂纹不应多于 1 条，并应符合 GB 51249 的规定。
- 施工和养护完成后，防火保护材料实际厚度平均值与设计值的允许偏差，非膨胀型防火涂料和防火板材应为±10%，膨胀型防火涂料应为±5%；任意 10 m² 区域内防火保护材料的最大和最小厚度与平均值间的允许偏差不应超过 10%。

10.10 防火保护材料一致性验收应包括下列要点。

- 阶段性验收中，应对使用的防火涂料现场抽样，送交有资质的检验检测机构开展耐火性能委托检验，并将检验报告与材料供应商提供的耐火性能检验报告进行耐火极限一致性判别，相对偏差在-10%以内可认为合格。每批次产品抽样不应少于 1 件。
- 阶段性验收中，使用的防火棉毡应现场抽样、观察外观、测试含水率和容重，并与技术文件进行一致性判别，可根据需要开展耐火隔热性能见证检验。每批次产品抽样不应少于 1 件。
- 完工验收中，对已安装的防火板材应原位取样，并就板材材质、容重、厚度与技术文件进行一致性判别。可根据需要开展耐火隔热性能见证检验。

11 维护与管理

11.1 使用维护

11.1.1 对于工业建筑屋盖结构和第 I 类空间结构构件，防火涂料保护应每 3 年进行一次检查维护，防火板材和防火棉毡保护应每 5 年进行一次检查维护；当遭遇非破坏性地震、风雪、火灾爆炸等灾害、事故后应检查维护。

11.1.2 对于甲、乙、丙类工业建筑、GB 50156—2021 中 B.0.1 和 B.0.2 规定的重要公共建筑 and 一类保护物建筑的空间结构屋盖，应至少每 5 年进行一次耐火性能评估；或结合建筑改扩建或改造需求、大空间场所使用功能改变、重大赛事用途等对既有空间结构屋盖进行评估。

11.1.3 有爆炸危险的空间结构工业建筑、GB 50156—2021 中 B.0.1 和 B.0.2 规定的重要公共建筑 and 一类保护物建筑的防爆单元，应至少每 10 年进行一次防爆性能评估；或结合防爆单元内扩展既有、新增有爆炸危险使用功能的需要进行评估。

11.1.4 气承式膜结构补风、防烟系统维护保养周期不应超过 2 个月，其他消防设施的维护保养应符合规定，且应能有效维持消防系统的联动工作状态。

11.1.5 气承式膜结构应以防风灾、雪灾等极端天气的目标工作内压为保压值进行保压性能测试，且应于每年夏初、冬初分别进行，单次设计保压时间不应小于 2.0 h。

11.2 现状检查

11.2.1 对于保护第 I 类空间结构构件的膨胀型防火涂料，当一个节点或构件在 1.0 m 长度内涂料表面出现 2 条及以上宽度大于 0.5 mm 的裂纹或 2 处及以上起层、发泡、脱落、局部变色、粉化时，应判定已失去耐火隔热性能。

11.2.2 对于保护工业建筑屋盖结构和第 I 类空间结构构件的非膨胀型防火涂料，当一个节点或构件在 1.0 m 长度内涂料表面出现 2 条及以上宽度大于 1.2 mm 的裂纹或 2 处及以上起层、发泡、脱落、局部变色、粉化时，应判定已失去耐火隔热性能。

11.2.3 对于保护支座或锚固部位的防火板材，当拼缝宽度增加到 5.0 mm，嵌缝封堵材料与一侧或两侧板材粘接失效，或某一边缘出现 2 处及以上板材沿钉孔脱出时，应判定已失去耐火隔热性能。

11.2.4 对于保护支座或锚固部位的防火棉毡，当棉毡在受潮或重力、振动作用下发生坍塌致使棉毡之间的拼缝敞开至 8.0 mm 时，应判定已失去耐火隔热性能。

11.3 防火管理

11.3.1 消防安全管理应及时了解屋盖结构构件防火保护功能及自身局部锈蚀现状、大空间场所使用功能现状及业态种类，应检查日常维护记录并指导建筑管理方整改消除屋盖结构火灾安全隐患。

11.3.2 屋盖结构防火检查应配备的工具包括照相机、垂直度测定仪、多功能坡度测量仪、激光测距仪、测厚仪、破拆取样工具、衡器、回弹仪、碳化深度测定仪，同时宜配备具有裂纹扫描、材质智能识别等功能的专业化装备。

11.3.3 膨胀型防火涂料的膨胀倍数现场测试应符合 XF 588 的规定，并应据此判定膨胀型防火涂料功能现状并作为管理、维护的依据。

11.3.4 对于检查判定失去耐火隔热性能的防火保护材料和构造及发生部位应记录并及时更换。当换用不同防火保护材料、不同施工工艺时，应重新设计并组织专业施工。

12 评估与修复

12.1 一般规定

12.1.1 灾害事故后，建筑空间结构耐火性能评估应包括构件防火保护和防火构造性能评估、整体屋盖结构及构件剩余或加固后耐火承载能力复算。

12.1.2 对于灾害事故后仅有防火保护轻微损坏并经简单修复还原、整体屋盖结构及构件经鉴定无损伤、建筑场所使用功能或用途未发生改变的屋盖结构，可不进行剩余耐火承载能力复算。

12.1.3 屋盖结构构件防火保护简单修复过程中变更材料及构造时，应确保耐火隔热性能不降低，可根据需要开展耐火隔热性能见证检验。

12.1.4 对于灾害事故后防火保护严重损坏、整体屋盖结构及构件需采取加固措施、建筑场所使用功能或用途发生改变的屋盖结构，应进行剩余或加固后耐火承载能力复算。

12.1.5 经耐火承载能力复算判定耐火性能失效的第 I 类空间结构，应对设定火灾场景下高温影响区内构件、节点或连接部位等进行防火保护修复设计，并应继续评估屋盖结构实际耐火时间，直到满足公式(7)的要求为止，之后再行进行构件防火保护修复施工。修复的第 I 类空间结构还应满足规定的防火构造。

12.2 损坏程度评估

12.2.1 火灾后防火保护材料及构造损坏程度的判别应符合表 6 的规定。

表6 防火保护材料及构造的损坏程度判别依据

防火保护材料名称	损坏程度及主要痕迹现象 ^a	
	轻微损坏	严重损坏
膨胀型防火涂料	涂料表面刚出现膨胀发泡	涂料已完全膨胀发泡，局部从构件表面脱落
非膨胀型防火涂料	涂料表面刚出现硬化及致密裂纹	涂料表面仍有致密裂纹，厚度方向已完全板结，边角部位出现局部通缝或脱落，手持呈砂质状
防火纸面石膏板	纸面烧焦变黑、发生龟裂，板材受火面有石膏露出但相对完好，有潮湿痕迹	板材受火面已完全无纸面，石膏呈蜂窝状开裂，已大面积脱落或经轻微振动即可脱落，板材已从大量钉孔脱出

玻镁板	板材受火面无明显变化,指压尚坚硬,轻敲声脆	板材受火面略微起鼓、颜色纯白至黑灰,轻微指压即可穿透;板材之间拼缝宽度增加到 5.0 mm,嵌缝封堵材料与一侧或两侧板材粘接失效
纤维增强硅酸钙板	板材受火面无明显变化或颜色轻微变灰,指压坚硬,轻敲声脆	板材受火面明显起鼓、颜色发白,沿钉孔出现明显裂纹并向板中心延伸,碎板块坚硬;板材之间拼缝宽度增加到 5.0 mm,嵌缝封堵材料与一侧或两侧板材粘接失效
硅酸铝棉	颜色由白向深灰发展,表层略微硬化	颜色变为纯白,硬化厚度达到 70%
岩棉	表面出现较薄硬化层,内层棉絮尚软,颜色向灰黄转变	表面出现密集的孔洞,颜色偏灰及橘黄,厚度方向变薄可达 30%,且凹凸不平,局部已硬化或粉化
^a 主要痕迹现象为定性描述,可进行原位取样并开展耐火隔热性能见证检验。		

12.2.2 风雪、地震灾害及无次生火灾的爆炸事故后典型防火保护材料及构造的损坏程度判别应符合 11.2.1 ~ 11.2.4 的规定。

12.2.3 受水浸泡的防火板材、防火棉毡应拆除,宜使用原性能材料和施工工艺重新施工。受水浸泡的防火涂料,涂层出现起层、发泡、脱落现象时,应整构件拆除涂层。

12.3 防火保护修复

12.3.1 工业建筑屋盖结构和第 I 类空间结构的加固部位应进行防火保护修复设计,应根据加固材料高温特性确定附加温度判定准则以辅助评估屋盖结构实际耐火时间。

12.3.2 火灾后不同损坏程度的防火保护材料及构造的处理和修复宜符合表 7 的规定。

表7 防火保护材料及构造的处理和修复

损坏程度	处理方式	适用防火保护材料
轻微损坏	更换防火保护材料,进行修复施工并满足规定的防火构造	膨胀型防火涂料; 非膨胀型防火涂料; 防火纸面石膏板; 硅酸铝棉; 岩棉
	无需处理及修复	玻镁板; 纤维增强硅酸钙板
严重损坏	逐一观察并清除严重损坏层防火保护材料,判断是否存在轻微损坏层;必要时进一步依据结构鉴定以及加固结果,在屋盖结构耐火承载能力复算后进行构件防火保护修复	防火纸面石膏板; 玻镁板; 纤维增强硅酸钙板; 硅酸铝棉; 岩棉
	清除全部防火保护材料,进一步依据结构鉴定以及加固结果,在屋盖结构耐火承载能力复算后进行构件防火保护修复	膨胀型防火涂料; 非膨胀型防火涂料

12.3.3 火灾后判定为无需处理的防火板材,当识别出曾暴露于火场的高温影响区时,应对板间嵌缝防火腻子或耐火胶进行修复施工,并应满足规定的防火构造。

附录 A

(规范性)

第 II 类空间结构失效判别方法

A.1 第 II 类空间结构的人员安全疏散及灭火救援需求时间应计入火灾报警时间、人员响应时间、进入疏散缓冲区的行走时间及灭火救援需求时间等因素，并应计入保证系数。

A.2 第 II 类空间结构的人员安全疏散及灭火救援可用时间应自火灾发生起至半数疏散门开启情况下，膜面任意点坍塌至人员活动平台以上 2.2 m 高度处止。

A.3 第 II 类空间结构的人员安全疏散及灭火救援的可用时间与需求时间应满足公式(A.1)要求，当不满足时应减少场所内可燃物或对可燃物采取不燃性遮罩等防火措施：

$$t_s \geq \mu_T t_n \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- t_s ——人员安全疏散及灭火救援可用时间，单位为秒（s）；
- μ_T ——需求时间保证系数，不应低于 1.2；
- t_n ——人员安全疏散及灭火救援需求时间，单位为秒（s）。

附 录 B
(规范性)
典型建筑钢索涉及高温性能

B.1 钢索及钢丝短时热暴露下力学性能折减系数参考值应符合表 B.1 的规定。

表B.1 钢索及钢丝短时热暴露下力学性能折减系数

暴露温度 °C	弹性模量	0.2%残余应变下 规定塑性延伸强度	抗拉强度
常温	1.000	1.000	1.000
100	0.960	0.940	0.980
200	0.920	0.840	0.900
300	0.830	0.680	0.710
400	0.640	0.470	0.430
500	0.370	0.220	0.200
600	0.160	0.074	0.070
700	0.060	0.026	0.025
800	0.040	0.021	0.020

B.2 钢索及钢丝短时热暴露后力学性能折减系数参考值应符合表 B.2 的规定。

表B.2 钢索及钢丝短时热暴露后力学性能折减系数

暴露温度 °C	弹性模量	0.2%残余应变下 规定塑性延伸强度	抗拉强度
常温	1.00	1.00	1.00
100	△	1.00	△
200	△	0.98	1.00
300	△	0.95	0.98
400	△	0.86	0.87
500	△	0.70	0.59
600	△	0.53	0.39
700	△	0.36	0.33
800	△	0.27	△
900	△	0.25	△
1000	1.00	0.25	0.33

注：△表示可通过对前后数据使用内插法计算该温度点下的结果。

附录 C

(规范性)

典型建筑铝材涉及高温性能

C.1 人工时效合金在热暴露效应起始温度以上进行短时高温拉伸测试采用的保温时间不应小于设计耐火时间。6061-T6 牌号建筑铝材的热暴露效应起始温度应为 175℃，6082-T6 牌号建筑铝材的热暴露效应起始温度应为 160℃。

C.2 牌号为 6061-T6、6082-T6 的建筑铝材短时热暴露下力学性能折减系数参考值应符合表 C.1 的规定。

表C.1 6061-T6、6082-T6 建筑铝材短时热暴露下力学性能折减系数

暴露温度 ℃	6061-T6			6082-T6		
	弹性模量	0.2%残余应变下 规定塑性延伸强度	抗拉强度	弹性模量	0.2%残余应变下 规定塑性延伸强度	抗拉强度
常温	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
100	0.964	0.948	0.910	0.927	0.881	0.811
150	0.917	0.898	0.839	0.883	0.774	0.792
200	0.859	0.766	0.690	0.832	0.645	0.745
250	0.780	0.468	0.446	0.780	0.374	0.585
300	0.679	0.255	0.257	0.679	0.199	0.393
350	0.539	0.099	0.125	0.539	0.109	0.261
400	0.399	0.065	0.065	0.399	0.082	0.127
450	0.267	0.040	0.042	0.267	0.056	△
500	0.132	0.016	0.017	0.132	0.026	0.046
550	0	—	—	0	—	—

注：△表示可通过对前后数据使用内插法计算该温度点下的结果。

C.3 牌号为 6061-T6、6082-T6 的建筑铝材短时热暴露后力学性能折减系数参考值应符合表 C.2 的规定。

表C.2 6061-T6、6082-T6 建筑铝材短时热暴露后力学性能折减系数

暴露温度 ℃	6061-T6			6082-T6		
	弹性模量	0.2%残余应变下 规定塑性延伸强度	抗拉强度	弹性模量	0.2%残余应变下 规定塑性延伸强度	抗拉强度
常温	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
100	△	0.969	0.973	△	△	△
150	△	△	△	△	1.000	1.000
200	△	0.962	0.976	△	0.967	0.962
250	△	1.000	0.970	△	0.817	0.851
300	△	1.000	0.964	△	0.459	0.597
350	△	0.778	0.733	1.000	0.244	0.469
400	△	0.560	0.622	0.285	0.143	0.389
450	△	0.171	0.423	0.691	0.139	0.408
500	△	0.261	0.459	0.910	0.397	0.704
550	1.000	0.292	0.562	—	—	—

注：△表示可通过对前后数据使用内插法计算该温度点下的结果。

参 考 文 献

- [1] Y. Du, G.-Q. Li. A new temperature-time curve for fire-resistance analysis of structures, *Fire Saf. J.* 54(11) (2012) 113-120.
- [2] L. Yin, Z.-P. Ni, F. Fan, P.-F. Qiu, Q. Kan, Y.-W. Ou-yang, Temperature field characteristics of cylindrical aluminum alloy reticulated roof system under localized fire, *Fire Saf. J.* 121(5) (2020) 103267.
- [3] W. Chen, J.-H. Ye, X.-Y. Li, Thermal behavior of gypsum-sheathed cold-formed steel composite assemblies under fire conditions, *J. Constr. Steel Res.* 149 (2018) 165-179.
- [4] 尹亮, 倪照鹏, 范峰, 叶继红. 6061-T6 铝合金力学性能试验研究, *建筑结构学报* 44(8) (2023) 196-206.
- [5] GB/T 4968—2008 火灾分类
- [6] GB/T 9978.1—2008 建筑构件耐火试验方法 第1部分: 通用要求
- [7] GB 14907—2018 钢结构防火涂料
- [8] GB/T 26784—2011 建筑构件耐火试验 可供选择和附加的试验程序
- [9] 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
- [10] GB 51236—2017 民用机场航站楼设计防火规范
- [11] GB 51251 建筑防烟排烟系统技术标准
- [12] GB 55037—2022 建筑防火通用规范
- [13] JGJ 7—2010 空间网格结构技术规程
- [14] JGJ 257—2012 索结构技术规程
- [15] CECS 158 : 2015 膜结构技术规程
- [16] T/CECS 1852—2025 建筑空间结构防火技术规程
- [17] T/CECS 10527—2025 建筑空间结构火灾模拟试验要求及方法
- [18] T/CECS 200—2025 建筑钢结构防火技术标准
-