北京构力科技有限公司
Beijing Glory PKPM Technology Co.,Ltd.

钢结构防火设计及应对

刘孝国

中国建筑科学研究院

2022年3月15日

中国建筑科学研究院
China Academy of Building Research

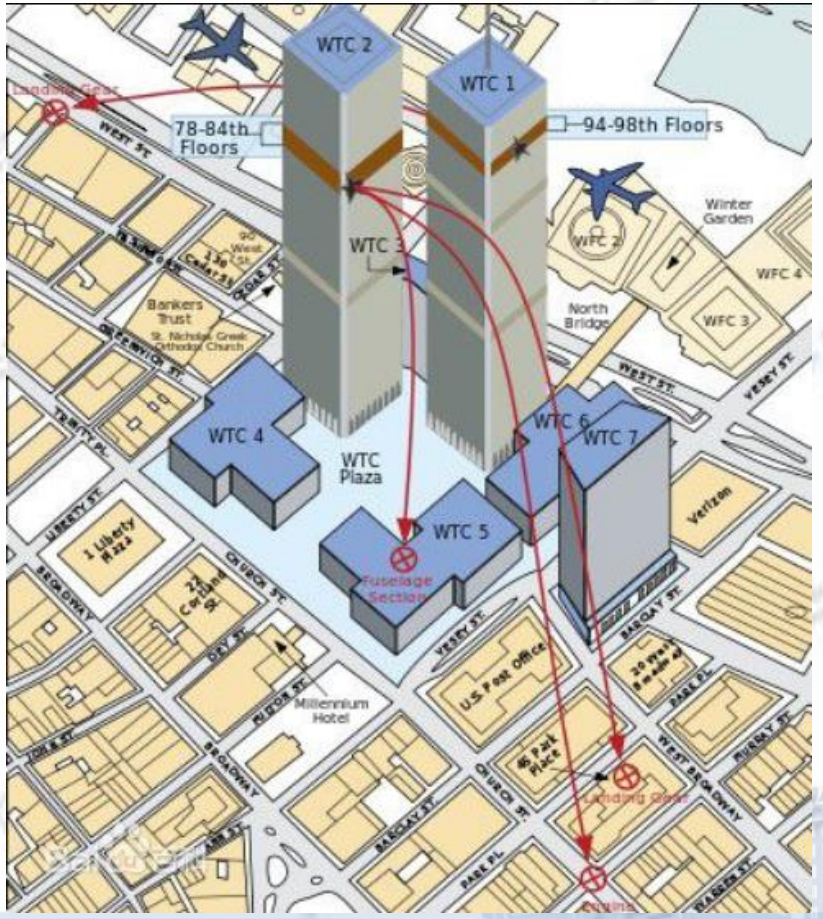
目录

- 1.钢结构的火灾及危害
- 2.建筑钢结构防火保护方法
- 3.钢结构防火规范发布前的设计
- 4.钢结构防火设计相关规范对防火设计要求
- 5.钢结构防火涂料规范及涂料介绍
- 6.采用钢结构防火规范防火设计的流程
- 7.采用钢结构防火规范设计存在的问题
- 8.钢管混凝土的防火设计
- 9.大空间结构的防火设计

钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（9.11事件）





钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（9.11事件）
- 双子塔倒塌原因分析:
- 911恐怖袭击中的双子塔为何在短时间的燃烧之后就会轰然倒塌呢?
- 1、双子塔并不是在飞机撞上之后立即倒塌的，一般大家都会认为飞机的撞击载荷是一个非常大的载荷，但是其实不尽然。

- 2、世贸双子塔而言，其倒塌是逐层倒塌的，而实际上并不是说这个过程是不可抑制的，因为在冲击载荷下材料会发生塑性变形是可以耗散能量的。

PKPM®

钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（9.11事件）
- 双子塔倒塌原因分析:
- 关于飞机的撞击本身到底造成了多大影响，可以从力和能量两个方面进行剖析。

> The energy absorbed by plastic deformation and fracture of the ill-fated column is only 6.7% of the initial kinetic energy of the wing.

也就是说，当时撞击中大楼所吸收的能量非常的小，只有机翼动能的 *6.7%*

另外，根据估计撞击速度应该为 500km/h,而按照考虑到大量燃油没有使用飞机的重量约为160t，其动能在 $1.54 \times 10^9 J$ 。而撞入北楼的飞机在楼宽 $s = 63.5m$ 的距离中被截停，其平均减速度为 $a = V^2/2s = 150m/s^2$ ，所以平均的撞击力 $2.4 \times 10^7 N$

尽管这是一个看上去很大的力，但是世贸中心大楼并未被撞倒。这是因为在大楼的设计时考虑到了高达 $225km/h$ 的风载，可以抵抗的风压达 $2kPa$ ，所以其总的横向力可以达到 $5 \times 10^7 N$ 。

这说明：**飞机撞击的力实际上并没有超过可以承受的最大风力。**

钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（9.11事件）
- 双子塔倒塌原因分析:
- 关于飞机的撞击本身到底造成了多大影响，可以从力和能量两个方面进行剖析。

- 根据后续的多篇研究报告和论文显示:

- 主要的原因是后序燃油燃烧所产生的高达1100度的高温使得钢铁软化（钢铁一般在425度开始软化，650度会丧失一半强度）撞机引发的大火首先可以使钢柱与楼层之间的连接件以及钢结构之间的螺栓损毁，继之由于材料的软化和蠕变，许多钢柱都发生屈曲和断裂，致使该层结构逐渐丧失承载能力并坍塌。

钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（1996年北京玉泉营环岛家具城“5·5”特大火灾）





钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（1996年北京玉泉营环岛家具城“5·5”特大火灾）
- 火灾情况介绍
- 5月5日下午5时38分，位于北京南三环西段的玉泉营家具城发生特大火灾。大约在18时15分左右，其家具城钢结构屋架经不起灼热的火焰，有逐渐扭曲到错位继而招架不住轰然倒塌。
- 大火于19时19分扑灭，两万平方米的钢结构家具城及展销家具均被化为一片灰烬。
- 17.38-18.15，不到1小时，钢结构屋架倒塌。
- 营业面积达1.7万平方米的家具商场变成废墟，直接财产损失6000余万元。
- 万幸的是，火灾发生在非营业事件，无人员伤亡。

PKPM®

钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（1996年北京玉泉营环岛家具城“5·5”特大火灾）
- 火灾事故原因分析及认定

- 北京市消防部门认定：这起特大火灾的起火原因是由于家具城北厅的电铃钱圈过热，引燃了裹在线圈外部的牛皮纸、塑料布及后盖底座，火星掉落在沙发上而燃烧、蔓延扩大。

PKPM®

钢结构的火灾及危害

- 钢结构火灾事件（1996年北京玉泉营环岛家具城“5·5”特大火灾）
- 火灾事故处理及经验教训
- 在大火发生前，该家具城的三期工程均未依法进行消防验收，火患依旧，该工程的钢结构虽作过防火喷涂，但却是按0.5耐火小时施工的，涂层厚度不够，达不到防火技术规范及审核意见中提出的柱2.0耐火小时，梁1.5耐火小时的要求；

- 数万平方米的营业厅内未作防火分区，以致大火发生时火势无遮无挡。

- 另外，按要求该家具城应建6个室外消火栓，但事实仅建了2个；

- 火灾自动报警设施也没有根据要求及时安装。

PKPM®

钢结构的火灾及危害

- 其他钢结构火灾事件
- 1967年美国蒙哥马利市的一个饭店发生火灾，钢结构屋顶被烧塌。
- 1973年天津市体院馆钢屋架19min倒塌。
- 1990年英国一幢多层钢结构建筑在施工阶段发生火灾，造成钢梁、钢柱和楼盖钢桁架的严重破坏。
- 1993年福建泉州的一座钢结构冷库发生火灾，造成3600m2厂房倒塌。
- 1996年江苏省昆山市的一座轻钢结构厂房发生火灾，4320m2厂房烧塌。
- ……

PKPM®

火灾下钢结构破坏机理

- 与混凝土结构相比，钢结构的耐火性能较差，钢材耐热不耐高温。
- 美国建筑师协会成员R.G.,Morse对纽约世贸中心双子塔的钢承重结构耐火保护方面进行了全面的调查研究。
- 报告显示，钢结构尽管不会燃烧，但是在火灾下它是非常脆弱的。
- 腐蚀对钢结构来说，其危害是慢性的，而火灾则会在15--20分钟左右就把一座钢结构建筑摧毁。
- 无防火保护的钢结构，在火灾作用下极易被破坏。

PKPM®

火灾下钢结构破坏机理

- 从著名的英国BER Cradintgon钢结构火灾实验中总结出以下几点：
- 第一，钢结构热传导系数大，高温使钢材的弹性模量降低，结构刚度下降；
- 第二，高温使材料强度降低，甚至熔化，导致结构承载能力下降；
- 第三，构件内部不均匀升温，使构件内部以及整个建筑结构中产生不均匀的热膨胀，从而使构件内部及整个结构中产生很大的附加应力。
- 这三个方面的共同作用，导致建筑构件变形增大、开裂、屈曲、破坏，甚至局部或整体倒塌。

PKPM®

火灾下钢结构破坏机理

- 火灾对于生命和财产的损失，是及其巨大的。
- 当钢结构防火保护措施不利时，一旦发生火灾其承载能力将下降，变形迅速增加，可能会在较短时间内就达到极限状态而发生破坏。
- 为了防止和减少建筑钢结构的火灾危害，保护人身和财产安全，必须对钢结构进行科学的防火设计。
- 采取安全可靠、经济合理的防火保护措施。

PKPM®

建筑钢结构防火保护方法

- 钢结构建筑的防火保护措施分为主动式和被动式两类：
- 主动防火措施
- 1、建筑物的防火安全设计。
- 2、火灾探测报警技术。
- 3、烟气控制技术。
- 4、喷水灭火和其他灭火技术。

PKPM®

建筑钢结构防火保护方法

- 钢结构建筑的防火保护措施分为主动式和被动式两类：
- 被动防火措施
- 1、疏导法和截流法。
- 2、防火涂料在钢结构防火中的应用。

- 钢结构防火涂料是钢结构防火保护的主要选材，按照其厚度可分为：厚涂型、薄涂型和超薄型钢结构防火涂料。

- 钢结构防火涂料存在价位高、装饰性差等缺点，而且随着保护时间的增长，会使其综合性能下降，降低其防火能力。

- 3、防火板材在钢结构防火中的应用。

PKPM®

建筑钢结构防火保护方法

- 防火涂料保护机理：
- 非膨胀型防火涂料，国内称厚型防火涂料，其主要成分为无机绝热材料，遇火不膨胀。
- 其防火机理是利用涂层固有的良好的绝热性以及高温下部分成分的蒸发和分解等烧蚀反应而产生的吸热作用，来阻隔和消耗火灾热量向基材的传递，延缓钢构件升温。

- 非膨胀型防火涂料一般不燃、无毒、耐老化、耐久性较可靠，适用于永久性建筑中的钢结构防火保护。

- 非膨胀型防火涂料涂层厚度一般为7mm～50mm，对应的构件耐火极限可达到0．5h～4．0h。
- 非膨胀型防火涂料为无机材料，耐久性、耐老化性能良好。

建筑钢结构防火保护方法

- 防火涂料保护机理：
- 非膨胀型防火涂料如何实现防火功能
- （1）非膨胀型防火涂料本身是由一种难燃烧或不燃烧材料构成，自身具有耐热性，它的涂层都较厚，使被保护基材不直接与空气接触，延迟物体着火和减少燃烧的速度。
- （2）一旦着火，在高温下形成一种釉状物，这种釉状物在一定的时间内起到一定的隔热作用，这种釉状物结构很致密，能有效地隔绝氧气（不与空气接触），使被保护的物体缺氧而不能着火燃烧或延缓着火时间。
- （3）它还具有较低的导热系数，可以延迟火焰温度向被保护基材的传递 。

PKPM®

建筑钢结构防火保护方法

- 防火涂料保护机理：
- 非膨胀型防火涂料如何实现防火功能

- （4）非膨胀型防火涂料中大多含有较高比例的卤素化合物，这些化合物在高温下，分解释放出大量的卤化氢，卤化氢（是一种惰性气体）冲淡了物体表面的氧和可燃性气体，从而抑制了燃烧和降低了燃烧的反应速率。

- （5）含氮的防火涂料受热分解出 NO 、 NH3 等基团，与有机游离基化合，中断连锁反应，降低温度。

PKPM®

建筑钢结构防火保护方法

- 防火涂料保护机理：
- 膨胀型防火涂料如何实现防火功能

- 膨胀型防火涂料，国内称超薄型、薄型防火涂料，其基料为有机树脂，配方中还含有发泡剂、阻燃剂、成碳剂等成分，遇火后自身会发泡膨胀，形成比原涂层厚度大数倍到数十倍的多孔碳质层。

- 多孔碳质层可阻挡外部热源对基材的传热，如同绝热屏障。
- 膨胀型防火涂料在一定程度上可起到防腐中间漆的作用，可在外面直接做防腐面漆，能达到很好的外观效果（在外观要求不是特别高的情况下，某些产品可兼作面漆使用）。

- 采用膨胀型防火涂料时，应特别注意防腐涂料、防火涂料的相容性问题。

- 膨胀型防火涂料在设计耐火极限不高于1.5h时，具有较好的经济性。

PKPM®

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火设计（按耐火极限法设计）.
- 钢结构传统防火设计方法
- 《建筑钢结构防火技术规范》 GB51249-2017实施之前，钢结构防火设计主要根据防火涂料检测报告（按照《钢结构防火涂料》GB 14907-2002测试）。

- 例如：某检测报告中，涂抹了d厚度的防火涂料，构件耐火试验测试得到的耐火极限为2.0小时。则在设计时，对于耐火极限要求为2.0小时的构件，其防火涂料保护层厚度均直接取d。

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火设计（按耐火极限法设计）

4.5 钢构件的防火：

4.5.1 钢结构的防火应符合《建筑设计防火规范》(GB 50016-2006)、《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045-95(2005年版))与《建筑钢结构防火技术规程》(CECS 200:2006)的要求。

4.5.2 本工程耐火等级为一级，柱、支撑的耐火极限为3小时，一般区域梁的耐火极限为2小时。楼板采用组合楼板时耐火极限为1.5小时，钢楼梯的耐火极限为1.5小时。钢拱在24m标高环梁以下部分耐火时限为3小时，24m标高环梁以上为1.5小时，环梁为2小时。雨蓬钢桁架耐火时限为1.5小时。

4.5.3 钢构件的耐火极限可根据整体结构的消防性能化分析结果的要求进行适当调整。

4.5.4 本设计要求对柱、梁、钢桁架、钢楼梯等做防火喷涂。柱、钢桁架采用厚涂型防火涂料，建筑无外观要求时梁采用厚涂型防火涂料。防火涂料的厚度须达到构件耐火极限。防火涂料与钢结构防锈漆必须相容。防火涂料的性能、涂层厚度及质量要求应符合《钢结构防火涂料》(GB 14907)和《钢结构防火涂料应用技术规范》(CECS 24)的要求。本工程所选用的防火涂料必须通过国家级检测单位的检测。防火涂料基本配套须经设计认可，防火涂料的施工应由专业队伍承担。

4.5.5 钢表面做防火涂层时，防火涂层与防腐涂层性能相适配情况下，并经建筑师允许，防火涂层可代替防腐涂装的面层，但应能保证防火涂层与防腐涂层之间的附着力满足要求。防火防腐涂层施工完毕后，应对漆膜厚度、附着力等数据进行测试。

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火设计（按耐火极限法设计）存在的问题：
- 传统设计方法存在较大的问题，可能造成不安全，或不经济。
- 原因如下：
- （1）防火涂料检测报告给出的涂层厚度，是针对特定构件和指定荷载比。
- 《钢结构防火涂料》GB 14907-2002规定采用I36b或I40b工字钢；
- 《钢结构防火涂料》GB14907-2018规定采用HN400*200热度H型钢（截面系数为161m-1）或者I36b热度工字钢（截面系数为126m-1）。

- 但实际工程中构件截面、荷载比，一般都不同于规范规定。

PKPM®

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火设计（按耐火极限法设计）存在的问题：
- 传统设计方法存在较大的问题，可能造成不安全，或不经济。
- （2）构件的荷载比是影响构件耐火时间的主要因素之一。
- 极端考虑，当构件的荷载比为0时，火灾下构件不会出现破坏，除非熔化；
- 当构件的荷载比接近于1时，温度较低的时候，构件就会出现破坏。

- 注意：抗火设计应考虑构件的实际受力情况（荷载比）。

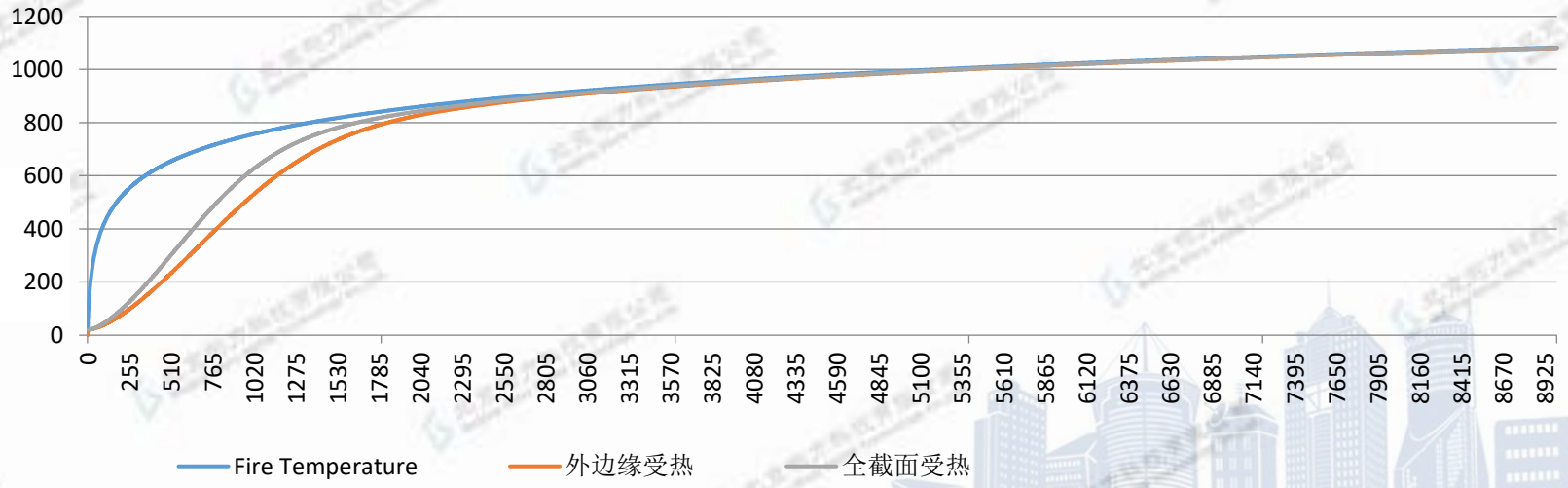
PKPM®

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火设计（按耐火极限法设计）存在的问题：
- 传统设计方法存在较大的问题，可能造成不安全，或不经济。
- （3）构件的截面形状系数是影响构件耐火时间的主要因素之一。
- 构件的截面形状系数为：截面周长与截面面积之比，表征了构件的厚实程度。
- 钢板越薄，截面形状系数越大，火灾下升温越快，耐火极限越小。
- 也就是说同样条件下，矩形形式的保护层要比周边形式保护层，所需保护层厚度要小。

F/V截面形状系数

$$\Delta T_s = \alpha \bullet \frac{1}{\rho_s c_s} \bullet \frac{F}{V} \bullet (T_g - T_s)\Delta t$$



钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火设计（按耐火极限法设计）存在的问题：
- 传统设计方法存在较大的问题，可能造成不安全，或不经济。
- （4）涂料规范以I36b或HN400*200钢梁加载，钢梁三面受火，试件挠度达到计算跨度1/20时判定构件丧失承载力的时间来确定对应涂料厚度的防火时限。

- 工程中的钢构件处于实际其他构件的约束之中。

- 工程中的构件，尤其对柱构件更多的是压弯构件，不是纯弯构件。

- 涂料规范的耐火极限不同于结构中钢构件的耐火极限。

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火涂料
- 《钢结构防火涂料》GB 14907-2002规范对钢结构防火涂料厚度分类

4.1.2 钢结构防火涂料按使用厚度可分为：

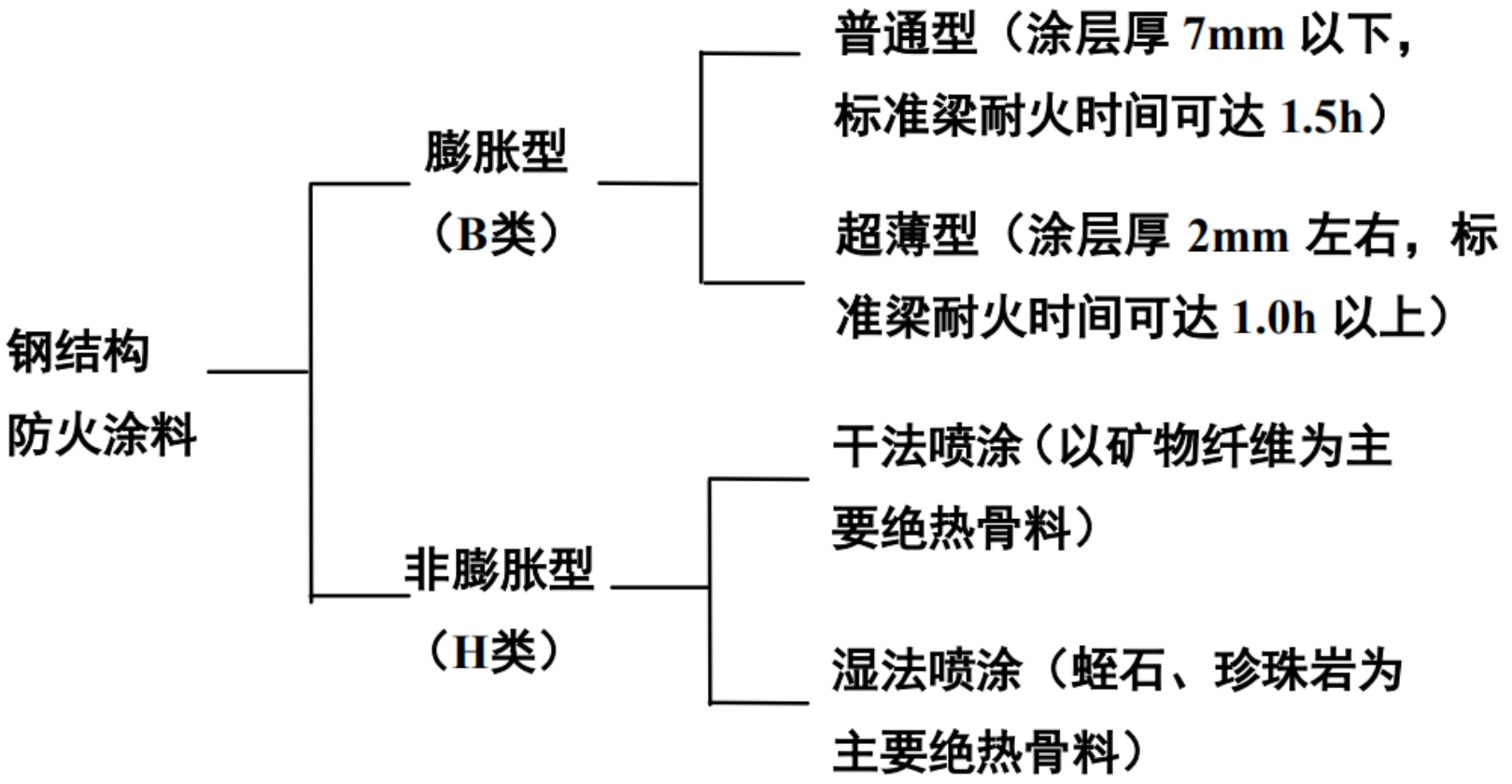
a）超薄型钢结构防火涂料：涂层厚度小于或等于 3 mm；

b）薄型钢结构防火涂料：涂层厚度大于 3 mm 且小于或等于 7 mm；

c）厚型钢结构防火涂料：涂层厚度大于 7 mm 且小于或等于 45 mm。

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火涂料
- 《钢结构防火涂料》GB 14907-2002规范对钢结构防火涂料厚度分类



钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火涂料产品（超薄型钢结构防火涂料）

产品介绍

室内超薄钢结构防火涂料是一种防火涂料，适用于工业厂房、车站、机场、体育馆、电视塔、冶金、电力设备及高层建筑等重钢结构。

室内超薄最新产品

1、防火性能：

耐火极限（min）306090120150

涂层厚度（mm）0.5-0.60.9-1.11.5-2.02.1-2.63.0-3.2

参考理论用量（kg/m²）0.6-0.80.8-1.01.6-1.82.0-2.52.8-3.6

2、抗震性：饶曲L/200，涂层不起层，不脱落。

3、抗性变：饶曲L/100，涂层不起层，不脱落。

4、耐冻融循循环性：≥15次

5、耐水性：≥24小时

6、粘结强度：≥0.15Mpa(0.2Mpa)

7、表干时间：≥3h

8、外观：白色（可根据工程需要调制成各种颜色）

二、施工及贮运：

1、施工方法：可采用喷涂、刷涂、辊涂

2、施工前应充分搅拌均匀，待涂基材表面先行除锈处理，刷防锈漆一遍。

3、每次施工涂刷之湿腊厚度以0.2-0.3mm为宜，间隔8-12小时涂刷一次。

4、雨天或钢结构件表面结露（霜）不宜施工，涂后24小时内避免雨淋。

5、施工现场和涂膜未实干前禁止明火。

6、本涂为溶剂型，不含苯类，无毒，应贮存于室内干燥环境中，运输是要求密封，防火，防漏：贮存期半年。

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范发布前的钢结构防火涂料产品（厚型钢结构防火涂料）

虹牌涂料 RAINBOW

F-100 防火被覆(工业用)

FIRE PROTECTION COATING (EXTERIOR)

产品号码	F-100
型别	内含水泥、蛭石及特殊高耐化性纤维之非石棉类无机防火材料(H类)。
用途	适用于钢骨结构建筑大楼及石化油气厂房钢骨结构体，可达4小时耐火时效。
特性	1、优异的物性：含抗裂纤维坚固而强韧，遭重击而不龟裂。 2、耐候性佳：通过UL1709模拟大气环境测试。 3、不含石棉：经检验证明完全不含石棉成分。 4、燃烧完全无烟：依UL723（ASTM E84）测试发烟量为零。 5、具备自我防蚀性：直接接触钢材亦不会造成腐蚀。 6、易施工、低污染：加水搅拌后即可喷涂或镘涂。
颜色	灰白色
不流挂厚度	每道15mm以上（正常操作下）
适用底材	钢材或混凝土
防火性能	1、符合GB14907-2002对室外厚型钢结构防火涂料通用技术条件H类厚涂型钢结构防火涂料，耐火极限可达4小时。 2、符合UL263建筑结构耐火测试标准，测试合格，具备钢梁及钢柱可达4小时防火时效，并登录在UL年度防火字典。 3、符合ANSI/UL1709钢结构防火材受急速升温火焰测试标准，并通过UL1709室外模拟环境测试。
理化性能	符合GB14907-2002钢结构防火涂料（H类）之技术性能标准： 1、干燥时间（表干）≤ 24小时 2、初期干燥抗裂性：允许出现1～3条裂纹，其宽度≤ 1mm 3、粘结强度≥ 0.04MPa 4、抗压强度≥ 0.5MPa 5、耐湿热性≥ 504小时 6、耐冻融循环次数≥15 次 7、干密度≤650kg/m3

钢结构防火规范发布前的设计

- 钢结构防火规范的执行，与传统钢结构防火设计方法有较大的区别，在实际设计中需要计算并进行钢结构防火保护。
- 如果没有做计算，仅按照传统方式进行防火设计违反强条。

3.2 防 火 设 计

3.2.1 钢结构应按结构耐火承载力极限状态进行耐火验算与防火设计。

3.2.2 钢结构耐火承载力极限状态的最不利荷载(作用)效应组合设计值，应考虑火灾时结构上可能同时出现的荷载(作用)，且应

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 钢结构防火设计相关的规范


UDC

中华人民共和国国家标准

P GB 50017－2017

钢结构设计标准

Standard for design of steel structures

2017－12－12 发布 2018－07－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 联合发布


UDC

中华人民共和国国家标准

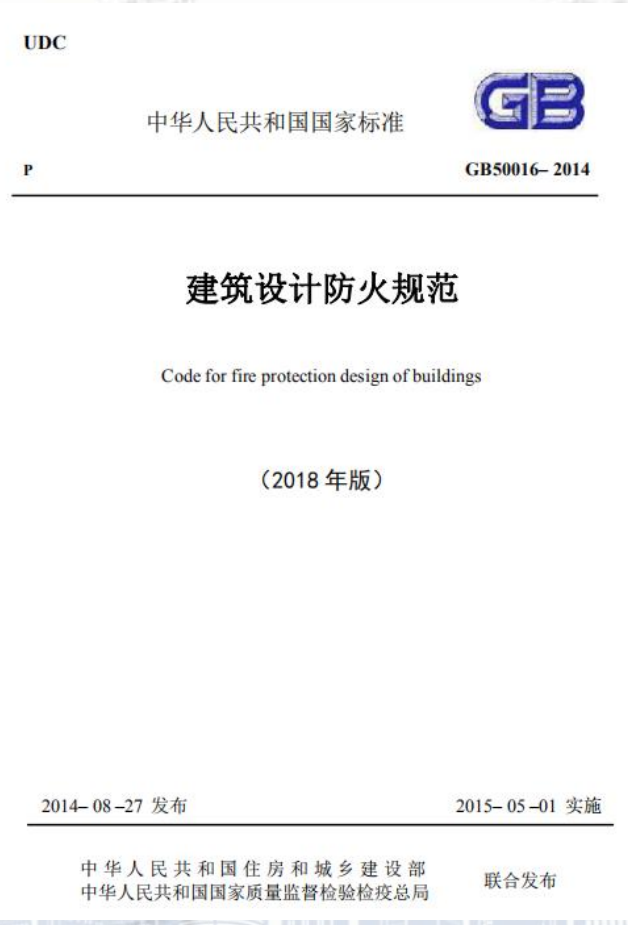
P GB 51249－2017

建筑钢结构防火技术规范

Code for fire safety of steel structures in buildings

2017－07－31 发布 2018－04－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 联合发布


UDC

中华人民共和国国家标准

P GB50016－2014

建筑设计防火规范

Code for fire protection design of buildings

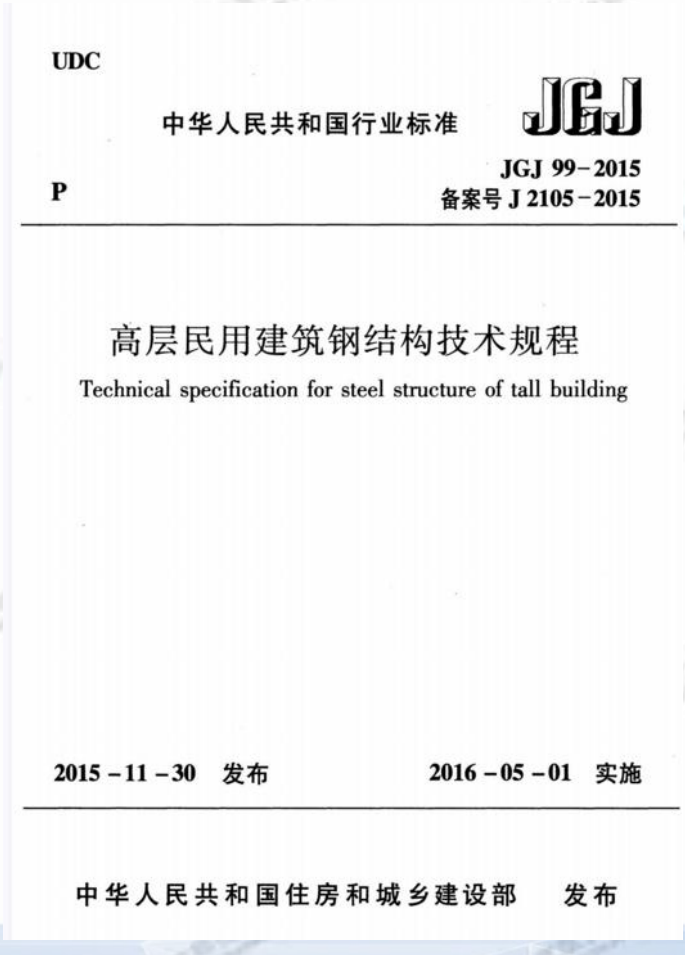
（2018 年版）

2014－08－27 发布 2015－05－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 联合发布

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 钢结构防火设计相关的规范



UDC

中华人民共和国行业标准 JGJ

JGJ 99-2015

P 备案号 J 2105-2015

高层民用建筑钢结构技术规程

Technical specification for steel structure of tall building

2015-11-30 发布 2016-05-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布



ICS 13.220.50
C 84

GB

中华人民共和国国家标准

GB 14907—2018
代替 GB 14907—2002

钢结构防火涂料

Fire resistive coating for steel structure

2018-11-19 发布 2019-06-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《钢结构设计标准》GB50017-2017与防火相关的主要条文

18.1.1 钢结构防火保护措施及其构造应根据工程实际，考虑结构类型、耐火极限要求、工作环境等因素，按照安全可靠、经济合理的原则确定。

18.1.2 建筑钢构件的设计耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 中的有关规定。

18.1.3 当钢构件的耐火时间不能达到规定的设计耐火极限要求时，应进行防火保护设计，建筑钢结构应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 进行抗火性能验算。

18.1.4 在钢结构设计文件中，应注明结构的设计耐火等级，构件的设计耐火极限、所需要的防火保护措施及其防火保护材料的性能要求。

18.1.5 构件采用防火涂料进行防火保护时，其高强度螺栓连接处的涂层厚度不应小于相邻构件的涂料厚度。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《钢结构设计标准》GB50017-2017与防火相关的主要条文
- 第18.1.1条文说明

钢结构工程中常用的防火保护措施有：外包混凝土或砌筑砌体、涂覆防火涂料、包覆防火板、包覆柔性毡状隔热材料等。这些保护措施各有其特点及适用条件。钢结构抗火设计时应立足于保护有效的条件下，针对现场的具体条件，考虑构件的具体承载形式、空间位置及环境因素等，选择施工简便、易于保证施工质量的方法。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《钢结构设计标准》GB50017-2017与防火相关的主要条文
- 第18.1.4条文说明
- 注意：实际采用的防火涂料的热传导系数与设计不符时，经设计单位确认。

18.1.4 本条为新增条文。本条规定了钢结构抗火设计技术文件编制的要求。其中，防火保护材料的性能要求具体包括：防火保护材料的等效热传导系数或防火保护层的等效热阻、防火保护层的厚度、防火保护的构造、防火保护材料的使用年限等。

当工程实际使用的防火保护方法有更改时，应由设计单位出具设计修改文件。当工程实际使用的防火保护材料的等效热传导系数与设计文件不一致时，应按“防火保护层的等效热阻相等”原则调整防火保护层的厚度，并由设计单位确认。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99-2015与防火相关的主要条文

11.1.4 结构构件抗火设计应按下列步骤进行：

1 确定防火被覆厚度；

2 计算构件在耐火时间内的内部温度；

3 计算构件在外荷载和受火温度作用下的内力；

4 进行构件荷载效应组合；

5 根据构件和受载的类型，按本规程第 11.2 节的有关规定，进行构件抗火验算；

6 当设定的防火被覆厚度不适合时（过小或过大），调整防火被覆厚度，重复本条第 1 款至第 5 款的步骤。

11.1.6 进行结构构件抗火验算时，受火构件在外荷载作用下的内力，可采用常温下相同荷载所产生的内力。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99-2015与防火相关的主要条文

11.3.1 当压型钢板组合楼板中的压型钢板仅用作混凝土楼板的永久性模板、不充当板底受拉钢筋参与结构受力时，压型钢板可不进行防火保护。

11.3.2 当压型钢板组合楼板中的压型钢板除用作混凝土楼板的永久性模板外、还充当板底受拉钢筋参与结构受力时，组合楼板应按下列规定进行耐火验算与防火设计。

1 组合楼板不允许发生大挠度变形时，在温升关系符合国家现行标准规定的标准火灾作用下，组合楼板的耐火时间 t_d 应按式（11.3.2-1）进行计算。当组合楼板的耐火时间 t_d 大于或等于组合楼板的设计耐火极限 t_m 时，组合楼板可不进行防火保护；当组合楼板的耐火时间 t_d 小于组合楼板的设计耐火极限 t_m 时，应按本规程第 11.3.3 条规定采取措施。

11.3.2 组合楼板中压型钢板、混凝土楼板之间的粘结，在楼板升温不高时即发生破坏，压型钢板在火灾下对楼板的承载力实际几乎不起作用。但忽略压型钢板的素混凝土板仍有一定的耐火能力。式（11.3.2-1）给出的耐火时间即为素混凝土板的耐火时间，此时楼板的挠度很小。

组合楼板在火灾下可产生很大的变形，“薄膜效应”是英国 Cardington 八层足尺钢结构火灾试验（1995 年～1997 年）的一个重要发现（图 6），这一现象也出现于 2001 年 5 月我国台湾省东方科学园大楼的火灾事故中。楼板在大变形下产生的薄膜效应，使楼板在火灾下的承载力可比基于小挠度破坏准则的承载力高出许多。利用薄膜效应，发挥楼板的抗火性能潜能，有助于降低工程费用。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99-2015与防火相关的主要条文

11.3.3 由于楼板的面积很大，对压型钢板进行防火保护，工程量大、费用高、施工周期长。在有些情况下，将压型钢板设计为只作模板使用是更经济、可行的解决措施。

压型钢板进行防火保护时，常采用防火涂料。对于防火涂料保护的压型钢板组合楼板，目前尚没有简便的耐火验算方法，因此本条规定基于标准耐火试验结果确定防火保护。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 钢结构防火规范的主要条文要求

3.1.1 钢结构构件的设计耐火极限应根据建筑的耐火等级，按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定确定。柱间支撑的设计耐火极限应与柱相同，楼盖支撑的设计耐火极限应与梁相同，屋盖支撑和系杆的设计耐火极限应与屋顶承重构件相同。

3.1.2 钢结构构件的耐火极限经验算低于设计耐火极限时，应采取防火保护措施。

3.1.3 钢结构节点的防火保护应与被连接构件中防火保护要求最高者相同。

3.1.4 钢结构的防火设计文件应注明建筑的耐火等级、构件的设计耐火极限、构件的防火保护措施、防火材料的性能要求及设计指标。

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 钢结构防火规范的主要条文要求
- 钢结构的防火设计需要经过验算。

3.2 防 火 设 计

3.2.1 钢结构应按结构耐火承载力极限状态进行耐火验算与防火设计。

3.2.2 钢结构耐火承载力极限状态的最不利荷载(作用)效应组合设计值,应考虑火灾时结构上可能同时出现的荷载(作用),且应

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 钢结构防火规范的主要条文要求
- 钢结构防火设计三种设计方法（其中耐火极限法无法应用于工程设计中）

3.2.6 钢结构构件的耐火验算和防火设计，可采用耐火极限法、承载力法或临界温度法，且应符合下列规定：

1 耐火极限法。在设计荷载作用下，火灾下钢结构构件的实际耐火极限不应小于其设计耐火极限，并应按下式进行验算。其中，构件的实际耐火极限可按现行国家标准《建筑构件耐火试验方法 第1部分：通用要求》GB/T 9978.1、《建筑构件耐火试验方法 第5部分：承重水平分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.5、《建筑构件耐火试验方法 第6部分：梁的特殊要求》GB/T 9978.6、《建筑构件耐火试验方法 第7部分：柱的特殊要求》GB/T 9978.7通过试验测定，或按本规范有关规定计算确定。

$$t_m \geqslant t_d \tag{3.2.6-1}$$

2 承载力法。在设计耐火极限时间内，火灾下钢结构构件的承载力设计值不应小于其最不利的荷载（作用）组合效应设计值，并应按下式进行验算。

$$R_d \geqslant S_m \tag{3.2.6-2}$$

3 临界温度法。在设计耐火极限时间内，火灾下钢结构构件的最高温度不应高于其临界温度，并应按下式进行验算。

$$T_d \geqslant T_m \tag{3.2.6-3}$$

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《建筑设计防火规范》（2018版）GB50016-2014主要条文要求

5.1.2 民用建筑的耐火等级可分为一、二、三、四级。除本规范另有规定外，不同耐火等级建筑相应构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表5.1.2的规定。

表5.1.2 不同耐火等级建筑相应构件的燃烧性能和耐火极限(h)

构件名称		耐火等级			
		一级	二级	三级	四级
墙	防火墙	不燃性 3.00	不燃性 3.00	不燃性 3.00	不燃性 3.00
	承重墙	不燃性 3.00	不燃性 2.50	不燃性 2.00	难燃性 0.50
	非承重外墙	不燃性 1.00	不燃性 1.00	不燃性 0.50	可燃性
墙	楼梯间和前室的墙 电梯井的墙 住宅建筑单元之间的墙和分户墙	不燃性 2.00	不燃性 2.00	不燃性 1.50	难燃性 0.50
	疏散走道两侧的隔墙	不燃性 1.00	不燃性 1.00	不燃性 0.50	难燃性 0.25
	房间隔墙	不燃性 0.75	不燃性 0.50	难燃性 0.50	难燃性 0.25
柱		不燃性 3.00	不燃性 2.50	不燃性 2.00	难燃性 0.50
梁		不燃性 2.00	不燃性 1.50	不燃性 1.00	难燃性 0.50
楼板		不燃性 1.50	不燃性 1.00	不燃性 0.50	可燃性

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《建筑设计防火规范》（2018版）GB50016-2014主要条文要求

构件类型	建筑耐火等级					
	一级	二级	三级		四级	
柱、柱间支撑	3.00	2.50	2.00		0.50	
楼面梁、楼面桁架、楼盖支撑	2.00	1.50	1.00		0.50	
楼板	1.50	1.00	厂房,仓库	民用建筑	厂房,仓库	民用建筑
			0.75	0.50	0.50	不要求
屋顶承重构件、屋盖支撑、系杆	1.50	1.00	厂房,仓库	民用建筑	不要求	
			0.50	不要求		
上人平屋面板	1.50	1.00	不要求		不要求	
疏散楼梯	1.50	1.00	厂房,仓库	民用建筑	不要求	
			0.75	0.50		

钢结构防火设计相关规范对防火设计要求

- 《建筑设计防火规范》（2018版）GB50016-2014主要条文要求

		5. 陶粒混凝土，厚度(mm)：80	—	3.00	不燃性
		6. 薄涂型钢结构防火涂料，厚度(mm)：5.5	—	1.00	不燃性
		7.0	—	1.50	不燃性

序号	构件名称		构件厚度或截面最小尺寸(mm)	耐火极限(h)	燃烧性能
4	有保护层的钢柱，保护层	7. 厚涂型钢结构防火涂料，厚度(mm)：15	—	1.00	不燃性
		20	—	1.50	不燃性
		30	—	2.00	不燃性
		40	—	2.50	不燃性
		50	—	3.00	不燃性

钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018

- 对钢结构防火涂料的定义
- 定义：是指施涂于建（构）筑物钢构件表面，能形成耐火隔热保护层以提高钢结构耐火极限的涂料。

钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018对涂料的分类

4.1 分类

4.1.1 按火灾防护对象分为：

a) 普通钢结构防火涂料：用于普通工业与民用建(构)筑物钢结构表面的防火涂料；

b) 特种钢结构防火涂料：用于特殊建(构)筑物(如石油化工设施、变配电站等)钢结构表面的防火涂料。

4.1.2 按使用场所分为：

a) 室内钢结构防火涂料：用于建筑物室内或隐蔽工程的钢结构表面的防火涂料；

b) 室外钢结构防火涂料：用于建筑物室外或露天工程的钢结构表面的防火涂料。

4.1.3 按分散介质分为：

a) 水基性钢结构防火涂料：以水作为分散介质的钢结构防火涂料；

b) 溶剂性钢结构防火涂料：以有机溶剂作为分散介质的钢结构防火涂料。

4.1.4 按防火机理分为：

a) 膨胀型钢结构防火涂料：涂层在高温时膨胀发泡，形成耐火隔热保护层的钢结构防火涂料；

b) 非膨胀型钢结构防火涂料：涂层在高温时不膨胀发泡，其自身成为耐火隔热保护层的钢结构防火涂料。

钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018对涂料的分类

4.2 耐火性能分级

4.2.1 钢结构防火涂料的耐火极限分为：0.50 h、1.00 h、1.50 h、2.00 h、2.50 h 和 3.00 h。

4.2.2 钢结构防火涂料耐火性能分级代号见表 1。

表 1 耐火性能分级代号

耐火极限(F_r) h	耐火性能分级代号	
	普通钢结构防火涂料	特种钢结构防火涂料
$0.50 \leqslant F_r < 1.00$	$F_p0.50$	$F_t0.50$
$1.00 \leqslant F_r < 1.50$	$F_p1.00$	$F_t1.00$
$1.50 \leqslant F_r < 2.00$	$F_p1.50$	$F_t1.50$
$2.00 \leqslant F_r < 2.50$	$F_p2.00$	$F_t2.00$
$2.50 \leqslant F_r < 3.00$	$F_p2.50$	$F_t2.50$
$F_r \geqslant 3.00$	$F_p3.00$	$F_t3.00$

注：F_p 采用建筑纤维类火灾升温试验条件；F_t 采用烃类(HC)火灾升温试验条件。

钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018对涂料的分类

- 18防火涂料规范取消02规范的薄型、超薄型防火涂料的定义，统一称为膨胀型钢结构防火涂料

4.1.2 钢结构防火涂料按使用厚度可分为：

a）超薄型钢结构防火涂料：涂层厚度小于或等于 3 mm；

b）薄型钢结构防火涂料：涂层厚度大于 3 mm 且小于或等于 7 mm；

c）厚型钢结构防火涂料：涂层厚度大于 7 mm 且小于或等于 45 mm。

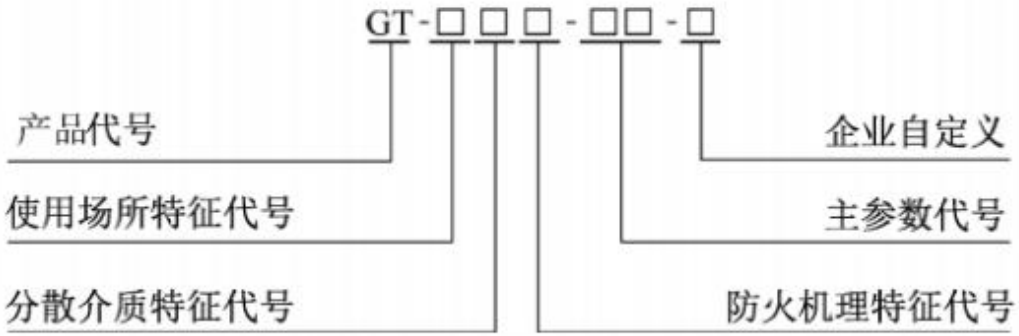
钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018对涂料的型号的要求

4.3 型号

钢结构防火涂料的产品代号以字母 GT 表示；钢结构防火涂料的相关特征代号为：使用场所特征代号 N 和 W 分别代表室内和室外，分散介质特征代号 S 和 R 分别代表水基性和溶剂性，防火机理特征代号 P 和 F 分别代表膨胀型和非膨胀型；主参数代号以表 1 中的耐火性能分级代号表示。

钢结构防火涂料的型号编制方法如下：



示例 1：

GT-NRP-F_p1.50-A，表示室内用溶剂性膨胀型普通钢结构防火涂料，耐火性能为 F_p1.50，自定义代号为 A。

示例 2：

GT-WSF-F_t2.00-B，表示室外用水基性非膨胀型特种钢结构防火涂料，耐火性能为 F_t2.00，自定义代号为 B。

钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018对试验的要求

新规范

6.5.3 试件制作

呈用 GB/T 11263—2017 规定的 HN400×200 热度 H 型钢(截面系数为 161 m^{-1})和 GB/T 706—2016 规定的 36b 热度工细钢(截面系数为 126 m^{-1})经为试验态材。试件制经象,首先按 GB/T 9978.6 的相稠规定膨置试件热缺偶(强用适或量试件的平强泡目),抗纹依据产品表用说致书规定的工艺条件期试件受火面块初涂覆,别符涂覆的钢基试件,并放搅 6.2 规定的条件下养在,养在干由委托方确定。

10	耐火性能	涂层厚度(不大于)/mm	2.00±0.20	5.0±0.5	25±2	A
		耐火极限(不低于)/h(以 I36b 或 I40b 标准工字钢梁作基材)	1.0	1.0	2.0	
注:裸露钢梁耐火极限为 15 min(I36b、I40b 验证数据),作为表中 0 mm 涂层厚度耐火极限基础数据。						

02旧规范

I40b (H=400 B=144 Tw=12.5 Tf=16.5)

钢结构防火涂料规范及涂料介绍

- 《钢钢结构防火涂料》GB14907-2018对涂料的厚度的最薄构造要求
- 膨胀性1.5mm，非膨胀性15mm。

5.1 一般要求

5.1.1 用于生产钢结构防火涂料的原材料应符合国家环境保护和安全卫生相关法律法规的规定。

5.1.2 钢结构防火涂料应能采用规定的分散介质进行调和、稀释。

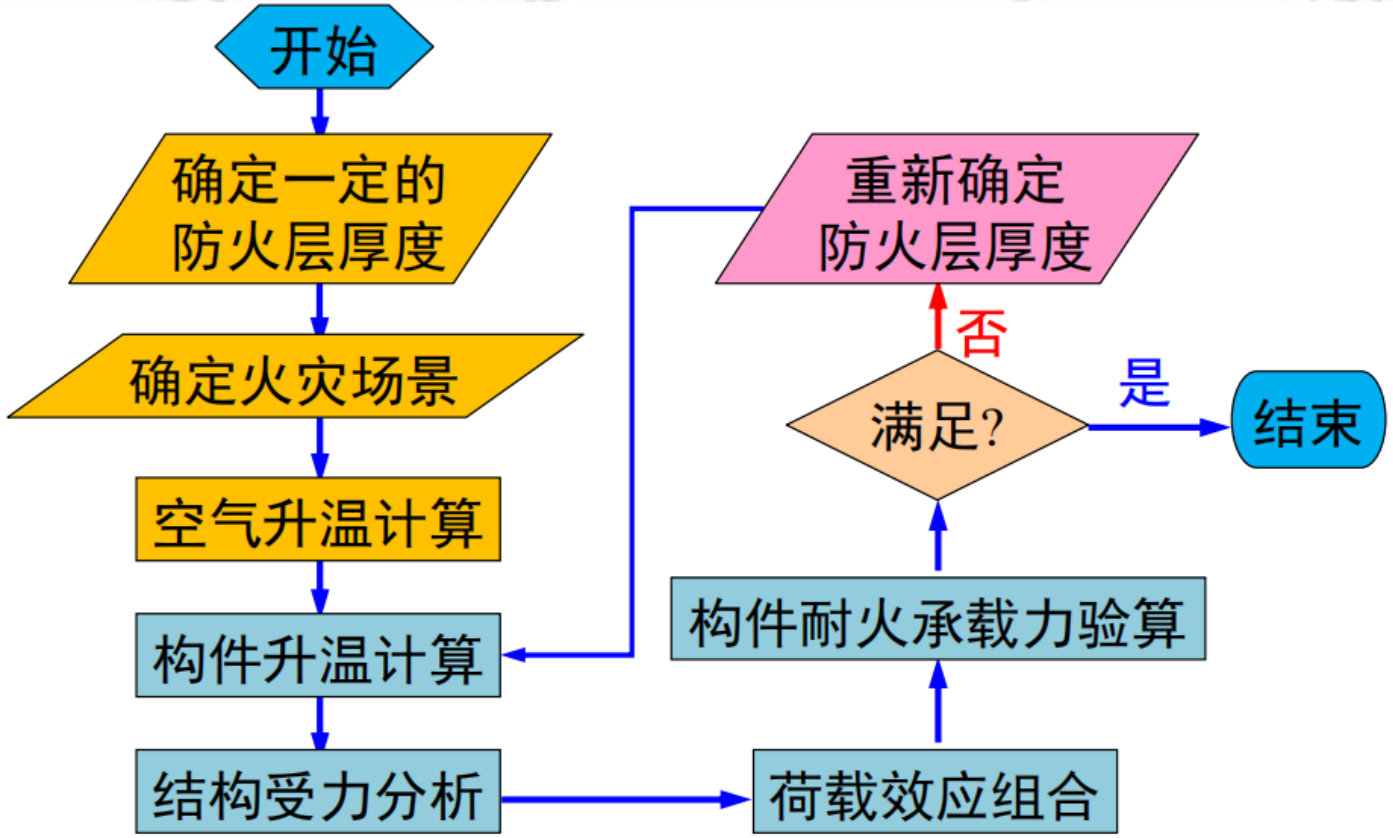
5.1.3 钢结构防火涂料应能采用喷涂、抹涂、刷涂、辊涂、刮涂等方法中的一种或多种方法施工，并能在正常的自然环境条件下干燥固化，涂层实干后不应有刺激性气味。

5.1.4 复层涂料应相互配套，底层涂料应能同防锈漆配合使用，或者底层涂料自身具有防锈性能。

5.1.5 膨胀型钢结构防火涂料的涂层厚度不应小于1.5 mm，非膨胀型钢结构防火涂料的涂层厚度不应小于15 mm。

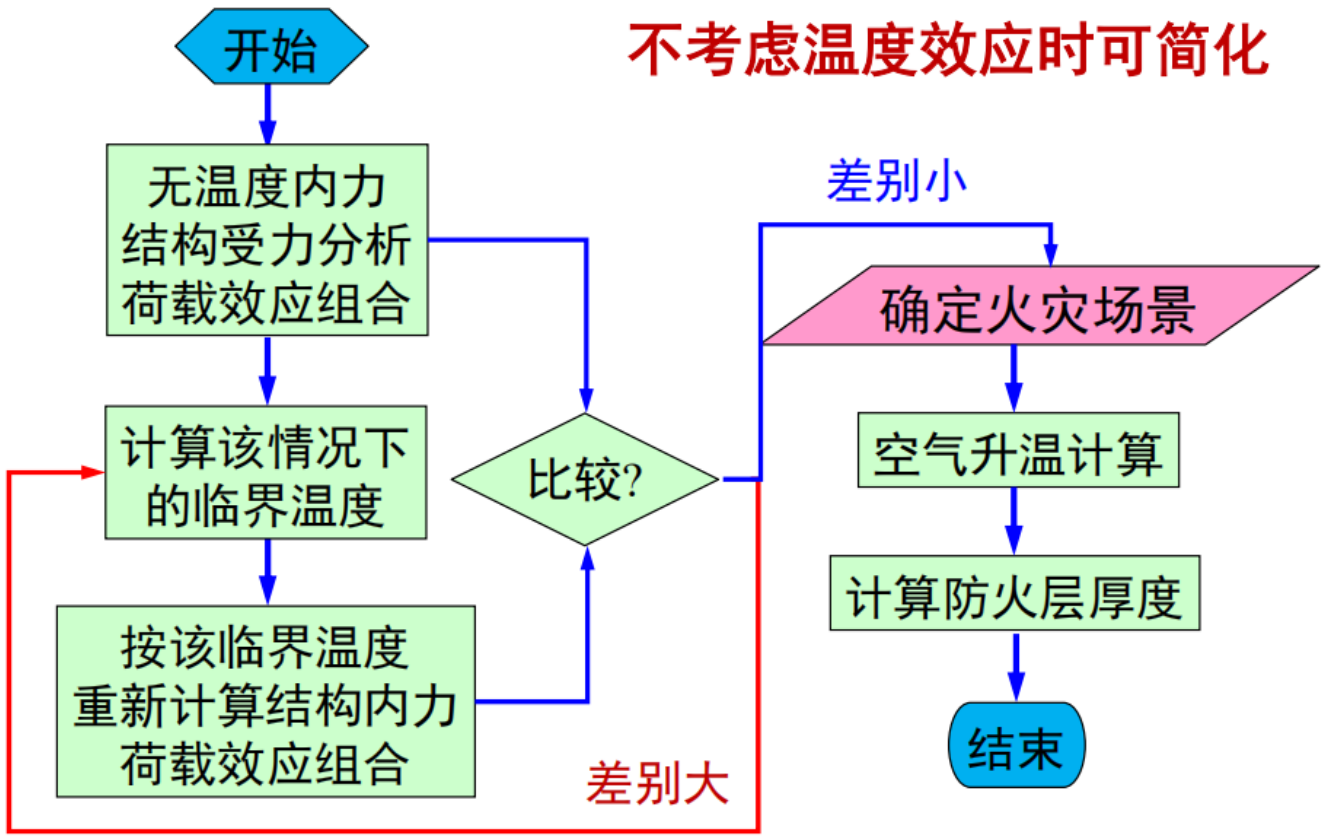
采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 承载力法 Rd≥Sm，承载力法设计流程图如下：



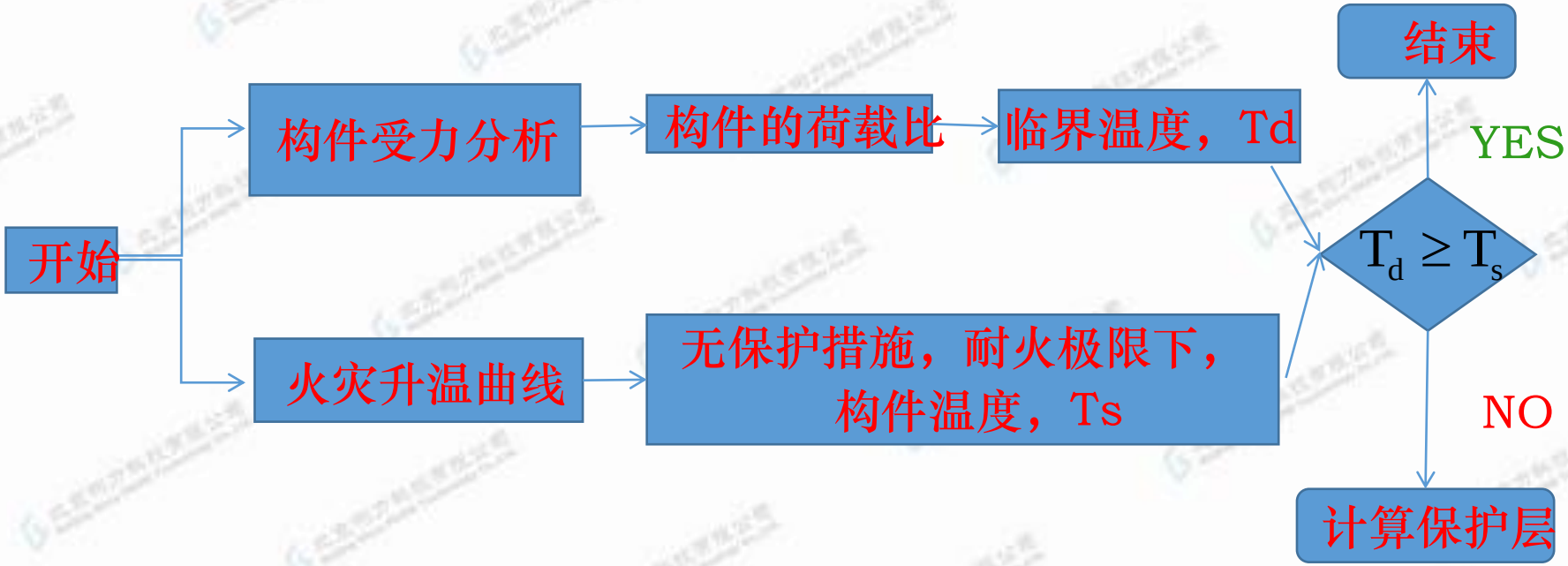
采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 临界温度法 Td ≥ Tm，临界温度法设计流程图如下：



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 钢结构防火设计采用临界温度法的完整流程

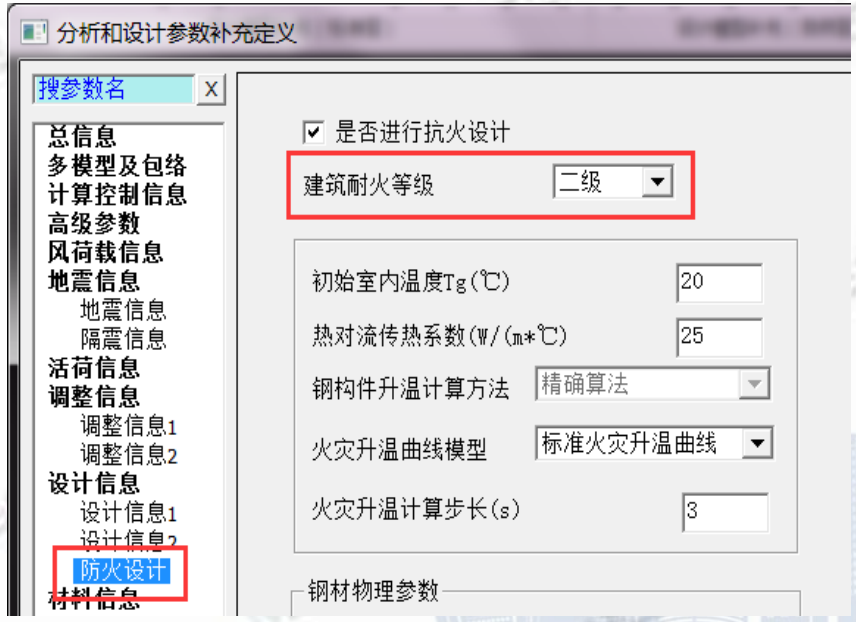


采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 1.确定钢构件的耐火等级及耐火时间
- 钢结构构件的设计耐火极限应根据建筑的耐火等级，按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016的规定确定。
- 不同构件的耐火等级对应的耐火时间如下图所示：

表 1　构件的设计耐火极限(h)

构件类型	建筑耐火等级					
	一级	二级	三级		四级	
柱、柱间支撑	3.00	2.50	2.00		0.50	
楼面梁、楼面桁架、楼盖支撑	2.00	1.50	1.00		0.50	
楼板	1.50	1.00	厂房、仓库	民用建筑	厂房、仓库	民用建筑
			0.75	0.50	0.50	不要求
屋顶承重构件、屋盖支撑、系杆	1.50	1.00	厂房、仓库	民用建筑	不要求	
			0.50	不要求		
上人平屋面板	1.50	1.00	不要求		不要求	



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 1.确定钢构件的耐火等级及耐火时间
- 《建筑高度大于250米民用建筑防火设计加强性技术要求（试行）（公消[2018] 57 号）》





中华人民共和国公安部

关于印发《建筑高度大于 250 米民用建筑防火设计加强性技术要求（试行）》的通知

各省、自治区、直辖市公安消防总队，新疆生产建设兵团公安局消防局：

为保障建筑高度大于 250 米民用建筑的消防安全设防水平，提高其抗御火灾能力，我局组织制定了《建筑高度大于 250 米民

采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 1.确定钢构件的耐火等级及耐火时间
- 《建筑高度大于250米民用建筑防火设计加强性技术要求（试行）（公消[2018] 57 号）》
- 建筑高度大于250米民用建筑（第二条）：提高了1.0h
- 实施日期：2018年4月10日

- 1.承重柱（包括斜撑）、转换梁、结构加强层桁架：4.0h
- 2.梁、与梁结构功能类似构件：3.0h
- 3.楼板和屋顶承重构件：2.5h
- 4.核心筒外围墙体：3.0h
- 5.建筑中的承重钢结构，当采用防火涂料保护时，应采用厚涂型结构防火涂料。

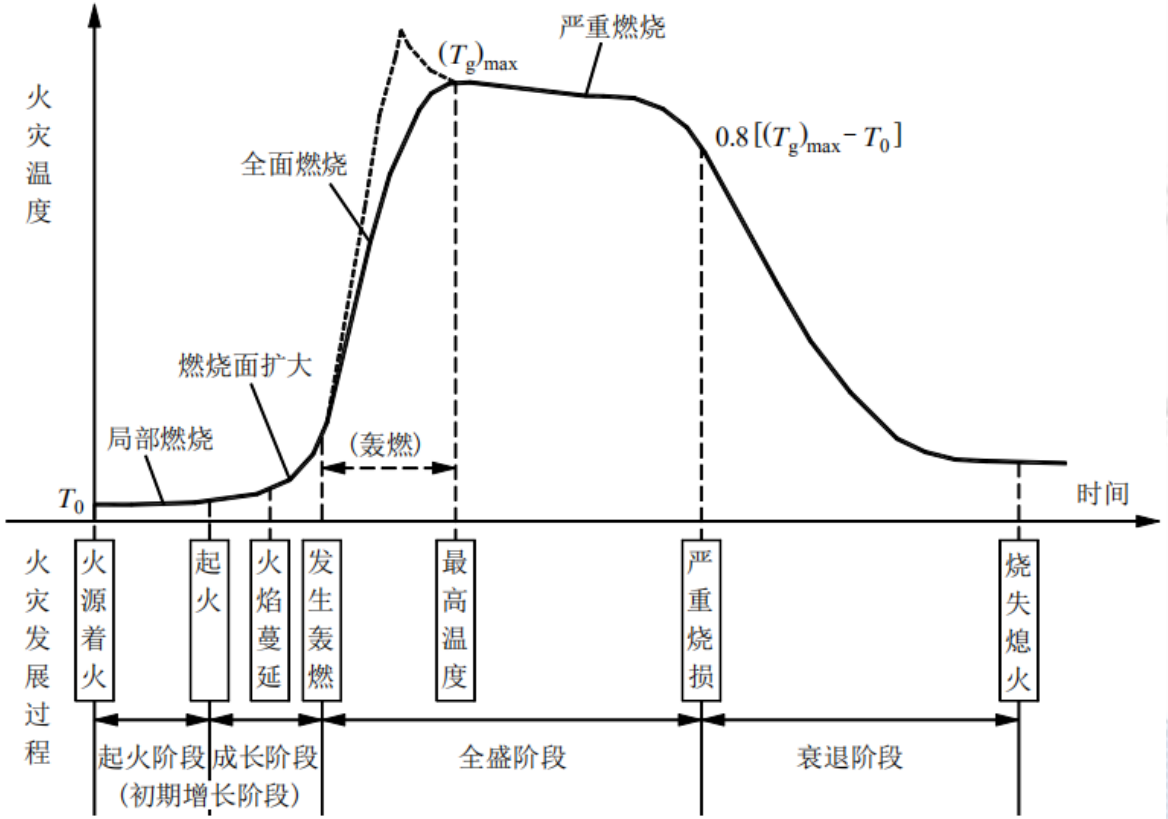
采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 2.确定火灾升温曲线

2.1.10 本条术语解释中的“标准耐火试验条件”是指符合国家标准规定的耐火试验条件。对于升温条件，不同使用性质和功能的建筑，火灾类型可能不同，因而在建筑构配件的标准耐火性能测定过程中，受火条件也有所不同，需要根据实际的火灾类型确定不同标准的升温条件。目前，我国对于以纤维类火灾为主的建筑构配件耐火试验主要参照ISO 834 标准规定的时间-温度标准曲线进行试验；对于石油化工建筑、通行大型车辆的隧道等以烃类为主的场所，结构的耐火极限需采用碳氢时间-温度曲线等相适应的升温曲线进行试验测定。对于不同类型的建筑构件，耐火极限的判断标准也不一样，比如非承重墙体，其耐火极限测定主要考察该墙体在试验条件下的完整性能和隔热性能；而柱的耐火极限测定则主要考察其在试验条件下的承载力和稳定性能。因此，对于不同的建筑结构或构、配件，耐火极限的判定标准和所代表的含义也不完全一致，详见现行国家标准《建筑构件耐火试验方法》系列 GB/T 9978.1～GB/T 9978.9。

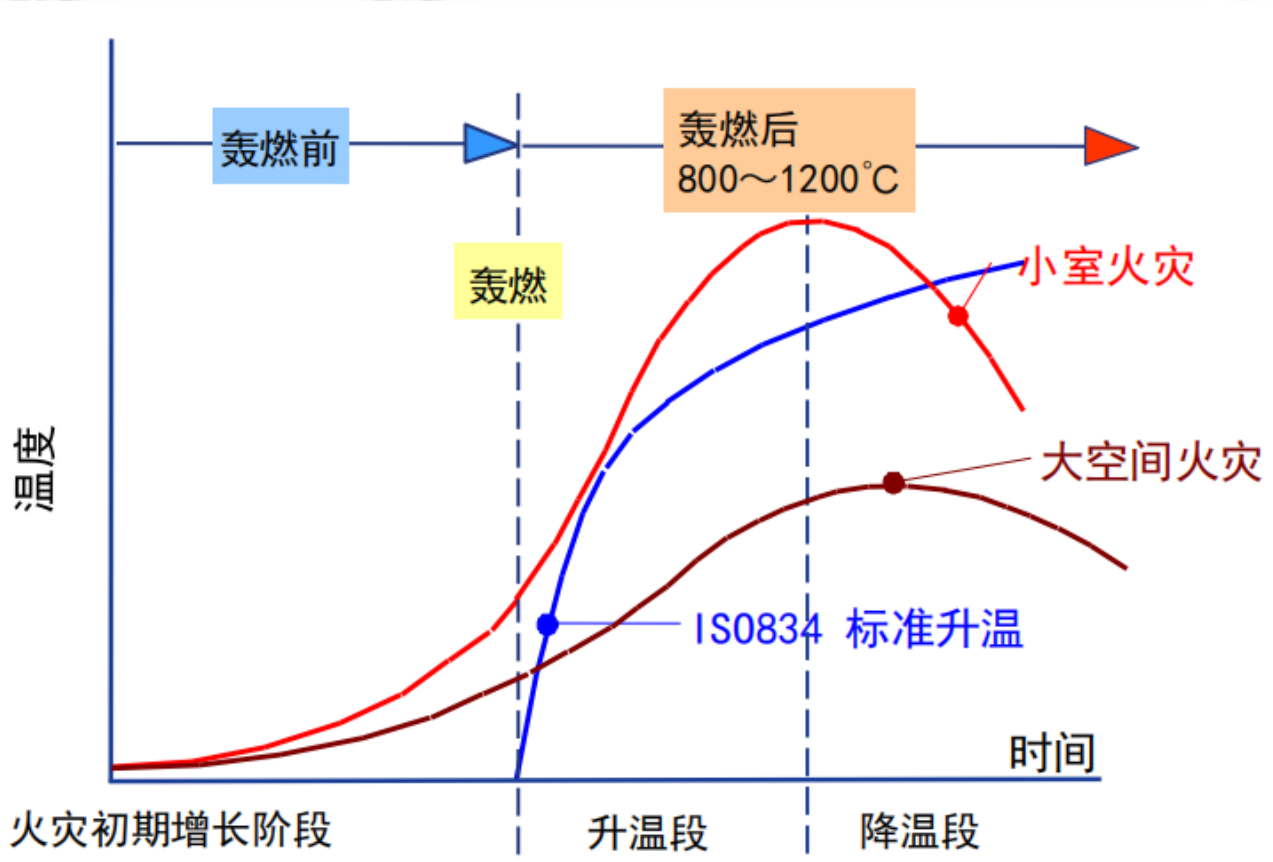
采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 2.确定火灾升温曲线



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 2.确定火灾升温曲线



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 2.确定火灾升温曲线
- 一是对于以纤维类物质为主的火灾，可按下式计算，该曲线也称为火灾标准升温曲线：

$$T_g = 345 \times \lg(8t + 1) + T_{g0}$$

- 二是对于以烃类物质为主的火灾，可按下式计算：

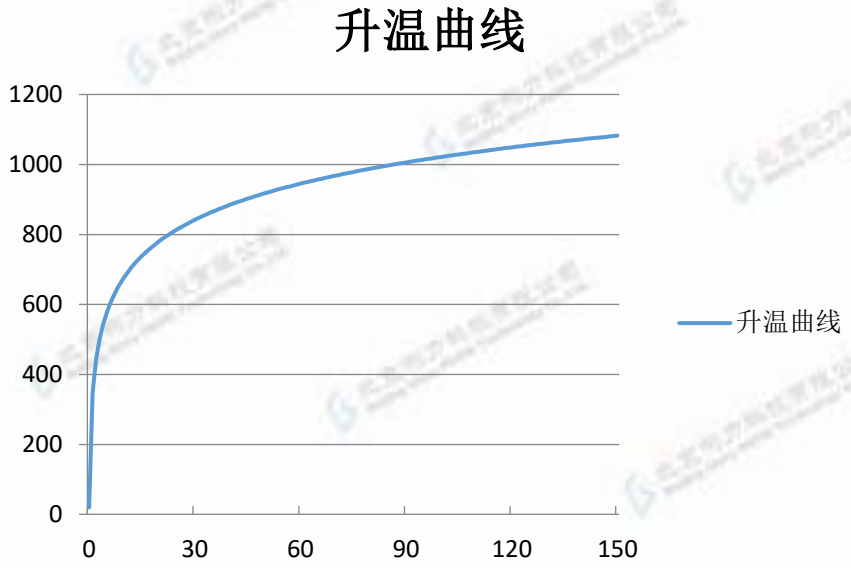
$$T_g = 1080 \times (1 - 0.325e^{-t/6} - 0.675e^{-2.5t}) + T_{g0}$$

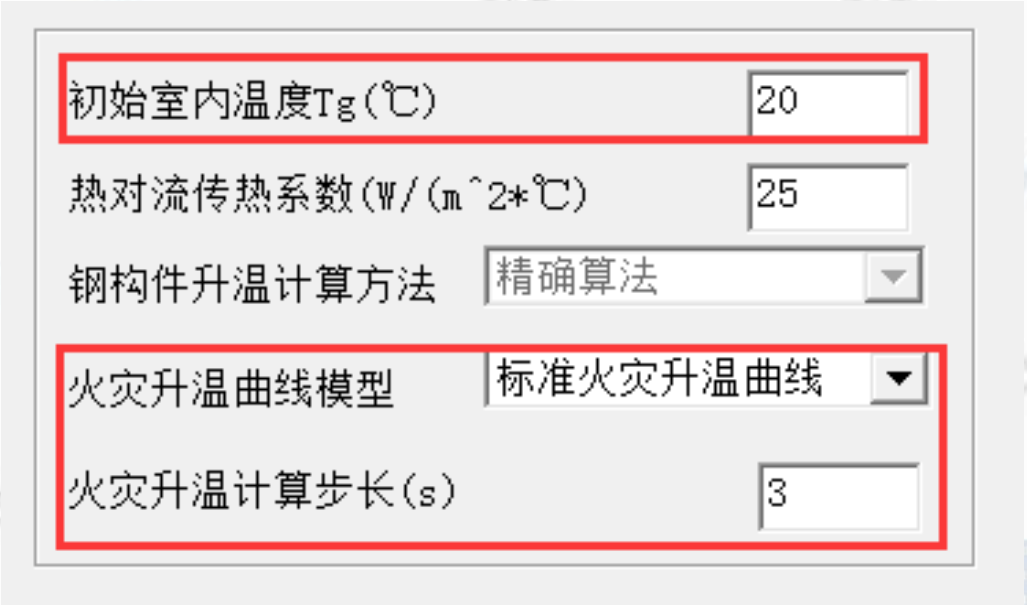
- 其中程序开放计算步长t，供用户定义，根据规范要求该步长不应大于5s，以避免计算结果失真。

采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 2.确定火灾升温曲线

$$T_g = 345 \times \lg(8t + 1) + T_{g0}$$





采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 3.火灾下构件的升温温度
- 火灾下钢构件的温度根据下式进行计算：

$$\Delta T_s = \alpha \bullet \frac{1}{\rho_s c_s} \bullet \frac{F}{V} \bullet (T_g - T_s)\Delta t$$

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_r$$

$$\alpha_r = \varepsilon_r \sigma \frac{(T_g + 273)^4 - (T_s + 273)^4}{T_g - T_s}$$



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 3.火灾下构件的升温温度

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_r$$

热对流传热系数　　热辐射传热系数

$$\alpha_r = \varepsilon_r \sigma \frac{(T_g + 273)^4 - (T_s + 273)^4}{T_g - T_s}$$

- ε_r 为综合辐射率，程序根据下表进行取值。
- σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数。

表 6.2.1　综合辐射率 ε_r

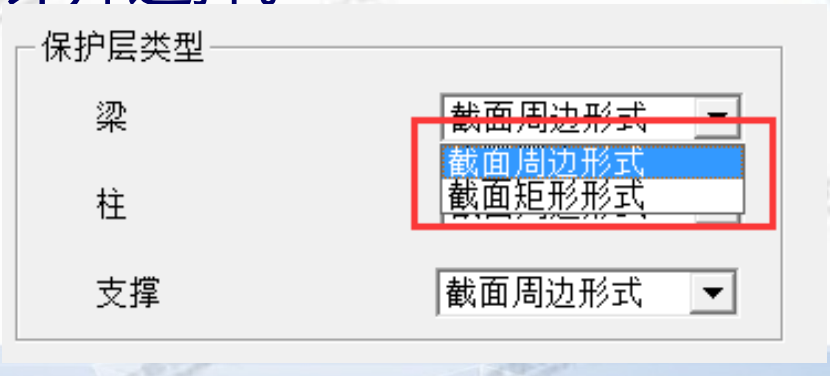
钢构件形式			综合辐射率 ε_r
四面受火的钢柱			0.7
钢梁	上翼缘埋于混凝土楼板内，仅下翼缘、腹板受火		0.5
	混凝土楼板放置在上翼缘	上翼缘的宽度与梁高之比大于或等于 0.5	0.5
		上翼缘的宽度与梁高之比小于 0.5	0.7
箱梁、格构梁			0.7

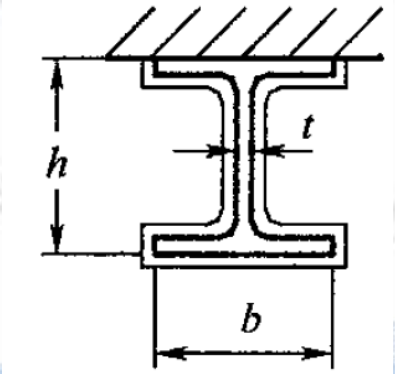
采用钢结构防火规范防火设计的流程

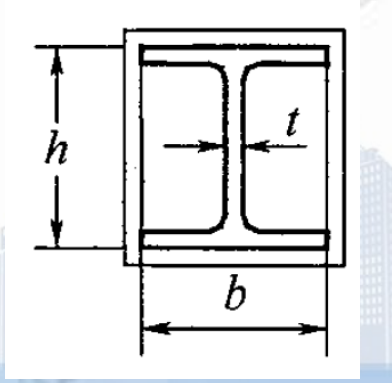
- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 3.火灾下构件的升温温度
- 火灾下钢构件的温度根据下式进行计算：

$$\Delta T_s = \alpha \bullet \frac{1}{\rho_s c_s} \bullet \frac{F}{V} \bullet (T_g - T_s)\Delta t$$

- F/V是截面形状系数，它等于构件受火面积/相应的体积，不同构件的计算公式可参考本规范的相应条文说明。程序提供规范中给出两种保护层的布置方式，供设计师选择。







采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 4.火灾下的荷载组合信息

$$S_m = \gamma_{0T}(\gamma_G S_{Gk} + S_{Tk} + \phi_f S_{Qk}) \qquad (3.2.2\text{-}1)$$

$$S_m = \gamma_{0T}(\gamma_G S_{Gk} + S_{Tk} + \phi_q S_{Qk} + \phi_w S_{Wk}) \qquad (3.2.2\text{-}2)$$

- 钢结构应按结构耐火承载力极限状态进行耐火验算与防火设计。
- 钢结构耐火承载力极限状态的最不利荷载（作用）效应组合设计值，应考虑火灾时结构上可能出现的荷载（作用），且应按下列组合值中的最不利值确定。SATWE程序按规范要求进行防火设计组合。



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 4.火灾下的荷载组合信息
- 根据荷载组合结果，计算构件荷载比，确定临界温度Td
- 荷载比：火灾下结构或构件的荷载效应设计值与其常温下的承载力设计值的比值

- 轴心受拉钢构件强度荷载比：$R=\frac{N}{A_n f}$
- 轴心受压钢构件强度荷载比：$R=\frac{N}{A_n f}$
- 稳定荷载比：$R'=\frac{N}{\varphi A f}$
- 单轴受弯钢构件强度荷载比：$R=\frac{M}{\gamma W_n f}$
- 稳定荷载比：$R'=\frac{M}{\gamma_b W f}$
- 拉弯钢构件强度荷载比：$R=\frac{1}{f}[\frac{N}{A_n}\pm\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}}\pm\frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}}]$
- 压弯钢构件强度荷载比：$R=\frac{1}{f}[\frac{N}{A_n}\pm\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}}\pm\frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}}]$
- 稳定荷载比：$R'_x=\frac{1}{f}[\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_x(1-0.8N/N'_{Ex})}+\eta\frac{\beta_{ty}M_y}{\varphi_{by}W_y}]$ $R'_y=\frac{1}{f}[\frac{N}{\varphi_y A}+\eta\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_{bx}W_x}+\frac{\beta_{my}M_y}{\gamma_y W_y(1-0.8N/N'_{Ey})}]$

采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 4.火灾下的荷载组合信息
- 根据荷载比查表得到临界温度
- 荷载比
- 钢材类型
- 长细比
- 稳定系数

表 7.2.2　根据稳定荷载比 R' 确定的轴心受压钢构件的临界温度 T''_d（℃）

构件材料		结构钢构件					耐火钢构件				
$\lambda\sqrt{f_y/235}$		≤50	100	150	200	≥250	≤50	100	150	200	≥250
R'	0.30	661	660	658	658	658	721	743	761	776	786
	0.35	640	640	640	640	640	709	727	743	758	767
	0.40	621	623	624	625	625	697	715	727	740	750
	0.45	602	608	610	611	611	682	704	713	724	732
	0.50	582	590	594	596	597	666	692	702	710	717
	0.55	563	571	575	577	578	646	678	690	699	703
	0.60	544	553	556	559	560	623	661	675	686	691
	0.65	524	531	534	537	539	596	638	655	669	676
	0.70	503	507	510	512	513	562	600	623	644	655
	0.75	480	481	480	481	482	521	548	567	586	596
	0.80	456	450	443	442	441	468	481	492	498	504
	0.85	428	412	394	390	388	399	397	395	393	393
	0.90	393	362	327	318	315	302	288	272	270	268

注：表中 λ 为构件的长细比，f_y 为常温下钢材强度标准值。

采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 4.火灾下的荷载组合信息
- 根据荷载比查表得到临界温度
- 荷载比
- 钢材类型
- 长细比
- 稳定系数

表 7.2.3　根据构件稳定荷载比 R' 确定的受弯钢构件的临界温度 T'_d（℃）

构件材料		结构钢构件						耐火钢构件					
φ_b		≤0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	≤0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
R'	0.30	657	657	661	662	663	664	764	750	740	732	726	718
	0.35	640	640	641	642	642	642	748	734	724	717	712	706
	0.40	626	625	624	623	623	621	733	720	712	706	701	694
	0.45	612	610	608	606	604	601	721	709	701	694	688	679
	0.50	599	594	591	588	585	582	709	698	688	680	672	661
	0.55	581	576	572	569	566	562	699	685	673	663	653	641
	0.60	563	557	553	549	547	543	688	670	655	642	631	618
	0.65	542	536	532	528	526	523	673	650	631	615	603	590
	0.70	515	511	508	506	505	503	655	621	594	580	569	557
	0.75	482	482	483	483	482	482	625	572	547	535	526	517
	0.80	439	439	452	456	458	459	525	496	483	476	471	466
	0.85	384	384	417	426	431	434	393	393	397	399	400	400
	0.90	302	302	371	389	399	405	267	267	290	299	306	311

采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 5.防火材料属性指定
- 根据防火材料厂家给出的防火材料属性进行填写。（热传导系数）
- 对于膨胀型防火材料，程序根据规范的相关公式只给出等效热阻；
- 对于非膨胀型防火材料，程序根据规范的相关公式给出等效热阻和所需保护层厚度。

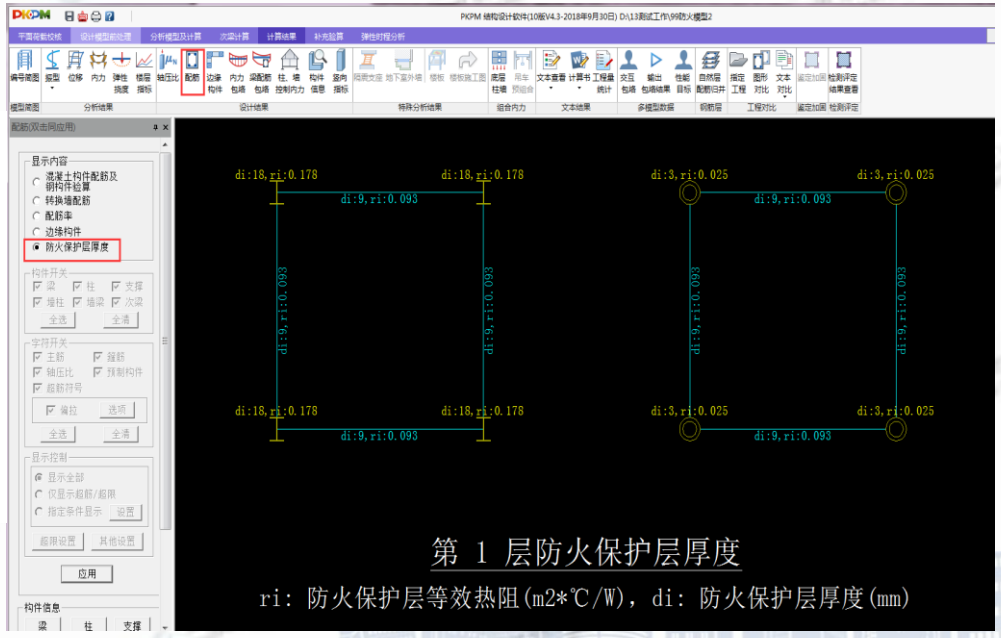




采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 6.构件防火设计结果输出
- 程序文本中输出每个构件的相应属性、截面系数、荷载比、无保护层时构件在耐火等级下相应的温度、根据荷载比等到的构件临界温度、以及需要进行防火处理时的等效热阻和保护层厚度（只有非膨胀型输出厚度）。

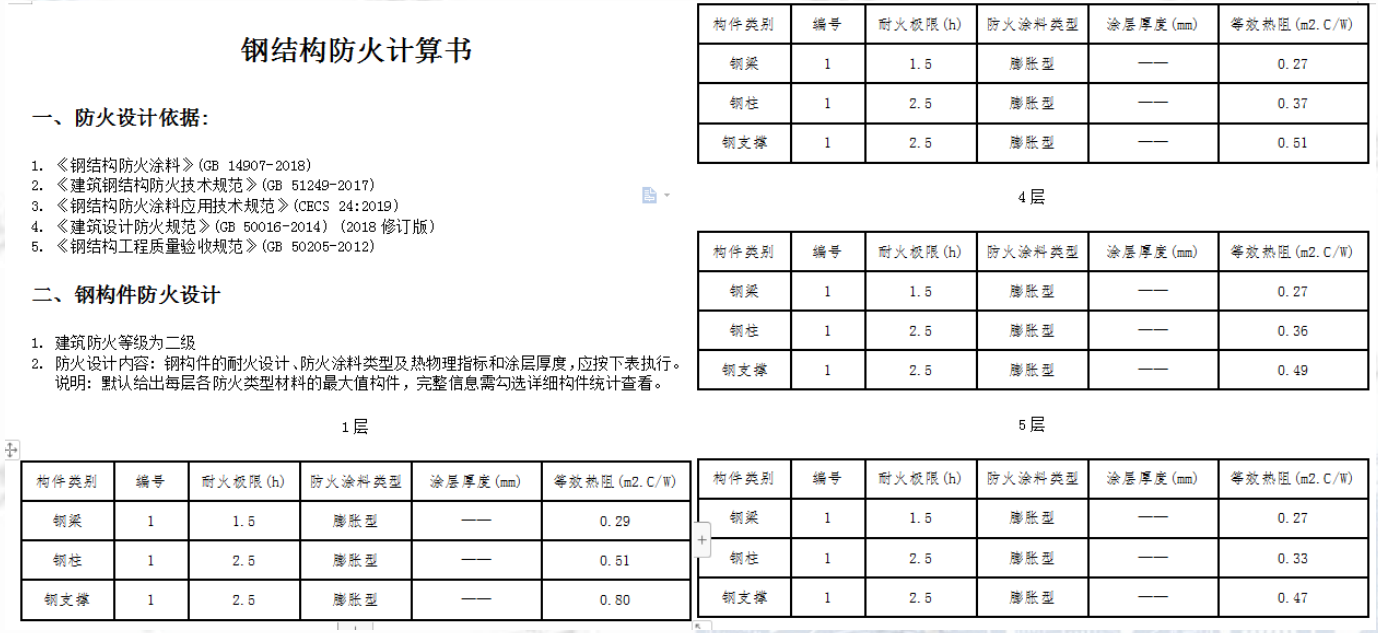
强度验算	(6) N=5.96, M=66.26, F1/f=0.18
稳定验算	(6) N=0.00, M=66.26, F2/f=0.20
抗剪验算	(19) V=-5.70, F3/fv=0.01
下翼缘稳定	正则化长细比 r=0.00, 不进行下翼缘稳定计算
宽厚比	b/tf=7.68 ≤ 12.38 《钢结构设计标准》GB50017-2017 3.5.1条给出宽厚比限值
高厚比	h/tw=31.78 ≤ 102.34 《钢结构设计标准》GB50017-2017 3.5.1条给出梁的高厚比限值
强度荷载比	(1) N=2.01, M=41.76, R1=0.11
平面内稳定荷载比	(1) N=2.01, M=41.76, R2=0.00
防火保护层	(1) Ts=1003.15, Td=663.00, Ri=0.15, di=0.0152



采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 6.构件防火设计结果输出
- 一键生成钢结构防火报告





钢结构防火计算书

一、防火设计依据：

1. 《钢结构防火涂料》(GB 14907-2018)
2. 《建筑钢结构防火技术规范》(GB 51249-2017)
3. 《钢结构防火涂料应用技术规范》(CECS 24:2019)
4. 《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014) (2018 修订版)
5. 《钢结构工程质量验收规范》(GB 50205-2012)

二、钢构件防火设计

1. 建筑防火等级为二级
2. 防火设计内容：钢构件的耐火设计、防火涂料类型及热物理指标和涂层厚度，应按下表执行。
   说明：默认给出每层各防火类型材料的最大值构件，完整信息需勾选详细构件统计查看。

1层

构件类别	编号	耐火极限(h)	防火涂料类型	涂层厚度(mm)	等效热阻(m2.C/W)
钢梁	1	1.5	膨胀型	——	0.29
钢柱	1	2.5	膨胀型	——	0.51
钢支撑	1	2.5	膨胀型	——	0.80

4层

构件类别	编号	耐火极限(h)	防火涂料类型	涂层厚度(mm)	等效热阻(m2.C/W)
钢梁	1	1.5	膨胀型	——	0.27
钢柱	1	2.5	膨胀型	——	0.37
钢支撑	1	2.5	膨胀型	——	0.51

5层

构件类别	编号	耐火极限(h)	防火涂料类型	涂层厚度(mm)	等效热阻(m2.C/W)
钢梁	1	1.5	膨胀型	——	0.27
钢柱	1	2.5	膨胀型	——	0.36
钢支撑	1	2.5	膨胀型	——	0.49

6层

构件类别	编号	耐火极限(h)	防火涂料类型	涂层厚度(mm)	等效热阻(m2.C/W)
钢梁	1	1.5	膨胀型	——	0.27
钢柱	1	2.5	膨胀型	——	0.33
钢支撑	1	2.5	膨胀型	——	0.47

采用钢结构防火规范防火设计的流程

- 具体设计步骤及在软件中的实现：
- 6.构件防火设计结果输出
- 一键生成钢结构防火报告，构件等效热阻及涂层厚度验算结果

三. 钢构件防火设计

1、建筑耐火等级为二级。

2、防火设计内容：钢构件的耐火极限、防火涂料类型及热物理指标和涂层厚度，应按下表执行。

构件类别	编号	耐火极限（h）	防火涂料类型	涂层厚度（mm）	等效热阻(m^2*℃/w)
钢柱	1	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	2	2.50	非膨胀型	42.81	0.4281
钢柱	3	2.50	非膨胀型	41.74	0.4174
钢柱	4	2.50	非膨胀型	42.81	0.4281
钢柱	5	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	6	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	7	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	8	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	9	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	10	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	11	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	12	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	13	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	14	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	15	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877
钢柱	16	2.50	非膨胀型	38.77	0.3877

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 钢结构防火设计报告：
- 钢结构防火设计应注明建筑结构的耐火等级、构件的设计耐火极限，构件的防火保护措施、防火材料性能。
- 要求及设计指标。防火保护措施及防火材料的性能要求。
- 指标包括：防火保护层的等效热阻、防火保护材料的等效热传导系数、防火保护层的厚度、防火保护的构造等。

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 钢结构防火设计存在的几个问题：

1.耐火极限法能否用于现在的钢结构防火设计？
2.如何从结构经济性角度协调构件应力比与防火涂料的厚度？
3.如何确定膨胀型涂料的厚度？
4.大跨、高大、空旷钢结构的防火计算？
5.钢结构设计中对于非膨胀型涂料重量的考虑。
6.钢结构防火涂料与防腐漆的相容问题？
7.薄壁钢构件、角钢构件及格构式截面的防火设计问题？
8.钢结构中的楼板防火设计如何计算？
9.是选择膨胀型涂料还是非膨胀型涂料？
10.超出规范构件荷载比时，钢构件如何进行防火设计？
11.钢结构檩条、系杆及支撑的防火设计？

PKPM®

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 1.涂料的选择问题:
- （1）对薄型涂料性能的争议大，属于有机材料，持续高温下，后期隔热性能衰减很大，并且大面积膨胀后，在火湍流作用下，非常容易脱落。
- （2）面漆虽对膨胀型涂料提高寿命有帮助，但是也有限制膨胀的负面作用。
- （3）与防腐漆的相容问题、使用环境等也需要特别注意的问题，建议设计图纸进行专项说明。
- （4）相对而言，厚型防火涂料性能优于薄型防火涂料。

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 2.不同荷载比对应的受弯构件的临界温度

表 7.2.3　根据构件稳定荷载比 R' 确定的受弯钢构件的临界温度 T''_d（℃）

构件材料		结构钢构件						耐火钢构件					
φ_b		≤0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	≤0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
R'	0.30	657	657	661	662	663	664	764	750	740	732	726	718
	0.35	640	640	641	642	642	642	748	734	724	717	712	706
	0.40	626	625	624	623	623	621	733	720	712	706	701	694
	0.45	612	610	608	606	604	601	721	709	701	694	688	679
	0.50	599	594	591	588	585	582	709	698	688	680	672	661
	0.55	581	576	572	569	566	562	699	685	673	663	653	641
	0.60	563	557	553	549	547	543	688	670	655	642	631	618
	0.65	542	536	532	528	526	523	673	650	631	615	603	590
	0.70	515	511	508	506	505	503	655	621	594	580	569	557
	0.75	482	482	483	483	482	482	625	572	547	535	526	517
	0.80	439	439	452	456	458	459	525	496	483	476	471	466
	0.85	384	384	417	426	431	434	393	393	397	399	400	400
	0.90	302	302	371	389	399	405	267	267	290	299	306	311

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 3.防火涂料与防腐涂料的相容性问题。
- 尤其是膨胀型防火涂料，因为它与防腐油漆同为有机材料，可能发生化学反应。
- 在不能出具第三方证明材料证明“防火涂料、防腐涂料相容”的情况下，应委托第三方进行试验验证。
- 膨胀型防火涂料、防腐油漆的施工顺序为：防腐底漆、防腐中间漆、防火涂料、防腐面漆，在施工时应控制防腐底漆、中间漆的厚度，避免由于防腐底漆、中间漆的高温变性导致防火涂层的脱落，避免因面漆过厚、过硬而影响膨胀型防火涂料的发泡膨胀。

- 膨胀型防火涂料中有机高分子成分高，耐老化问题可能较为突出，但由于膨胀型防火涂料在工程中的大量应用主要始于20世纪90年代中后期，目前这一问题还未引起足够重视。

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 4.结构设计时对非膨胀型涂料重量考虑问题。

室内厚型钢结构防火涂料的商品信息

NH(ZS-08)室内厚型钢结构防火涂料是我厂开发出的最新产品，它取代了以前厚型钢结构防火涂料双组份的施工工艺，使施工工艺变得更加简单易行，而且附着力强，耐火隔热性能好，25mm的涂层厚度耐火极限可以达到3个小时。

室内厚型钢结构防火涂料的产品组成

膨胀蛭石、高强度粘结剂、阻燃纤维、耐高温材料、隔热材料助干剂等复合原料制作而成，不含石棉、甲醛及苯类等挥发性有害物质。

室内厚型钢结构防火涂料的应用范围：可适用于建筑工程中钢结构构件的防火保护

室内厚型钢结构防火涂料的施工工艺

1、钢结构表面应彻底除锈，涂刷防锈漆两遍，表面清洁无尘土、无油污;

2、在施工现场先将涂料和水按(1：1.5)的比例充分搅拌均匀，最好使用电动搅拌器加以搅拌;

3、注意：为了涂料内的各种材料更好的分散溶解，需要等待三十分钟再搅拌一次然后进行喷涂;

4、该涂料的施工方法为喷涂法;

5、第一遍涂层厚度不能超过5mm，待第一遍涂层表干后再进行第二遍喷涂，涂层厚度可以适量加大，一般喷4-5遍可达到25mm;

注意：配比搅拌均匀好的涂料应在12小时内使用完毕;

6、当天气温低于0℃时，风力大于5级时不得施工;

7、施工应在通风良好的室内进行，当在室外施工时遇有雨天气时不能施工。

室内厚型钢结构防火涂料的耐火性能

涂层厚度25 mm，耐火极限不低于3小时，每平方米用量约为10公斤

室内厚型钢结构防火涂料的包装、贮存及运输

包装为纺织袋，每袋净重25公斤，运输和存放要注意防潮，有效期为六个月。

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 4.结构设计时对非膨胀型涂料重量考虑问题。
- 非膨胀型防火涂料最小厚度的要求。（注意：涂料规范与防火规范要求不同）

4.1.3 钢结构采用喷涂防火涂料保护时，应符合下列规定：

1 室内隐蔽构件，宜选用非膨胀型防火涂料；

2 设计耐火极限大于1.50h的构件，不宜选用膨胀型防火涂料；

3 室外、半室外钢结构采用膨胀型防火涂料时，应选用符合环境对其性能要求的产品；

4 非膨胀型防火涂料涂层的厚度不应小于10mm；

5 防火涂料与防腐涂料应相容、匹配。

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 4.结构设计时对非膨胀型涂料重量考虑问题。
- 非膨胀型防火涂料最小厚度的要求。
- （注意：涂料规范与防火规范要求不同）
- 设计中按照涂料规范的要求，取涂层厚度不小于15mm。

5.1 一般要求

5.1.1 用于生产钢结构防火涂料的原材料应符合国家环境保护和安全卫生相关法律法规的规定。

5.1.2 钢结构防火涂料应能采用规定的分散介质进行调和、稀释。

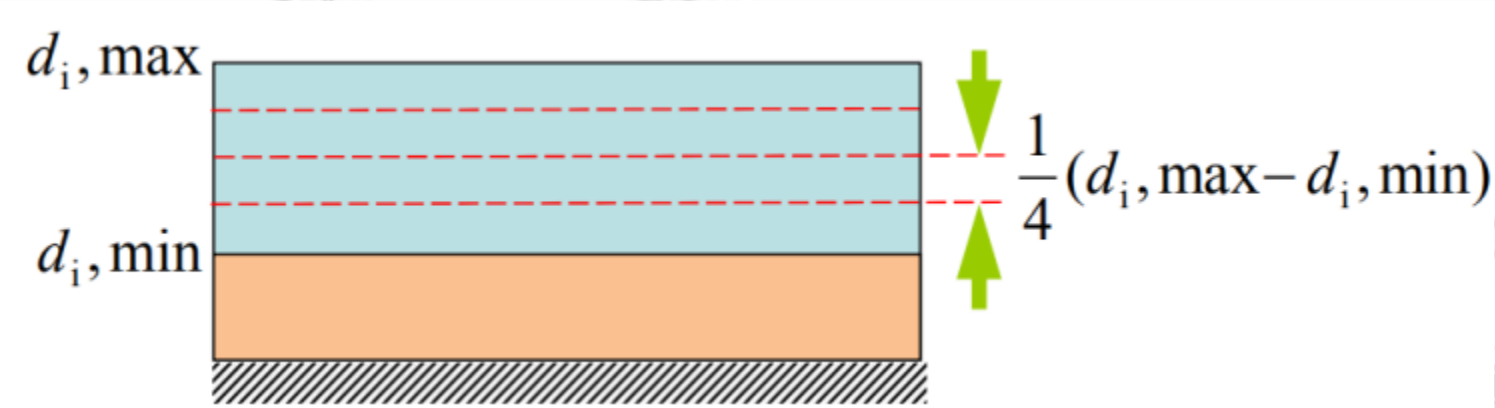
5.1.3 钢结构防火涂料应能采用喷涂、抹涂、刷涂、辊涂、刮涂等方法中的一种或多种方法施工，并能在正常的自然环境条件下干燥固化，涂层实干后不应有刺激性气味。

5.1.4 复层涂料应相互配套，底层涂料应能同防锈漆配合使用，或者底层涂料自身具有防锈性能。

5.1.5 膨胀型钢结构防火涂料的涂层厚度不应小于 1.5 mm，非膨胀型钢结构防火涂料的涂层厚度不应小于 15 mm。

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 5.膨胀型涂料厚度确定问题。
- 膨胀型防火涂料的等效热阻及厚度确定
- 膨胀型防火涂料的等效热阻与厚度不是线性关系；
- 应给出最大使用厚度、最小使用厚度的等效热阻；
- 应给出最大使用厚度与最小厚度之差1/4递增的等效热阻；
- 膨胀型涂料的最小喷涂厚度不小于1.5mm。



采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 5.膨胀型涂料厚度确定问题。
- 膨胀型防火涂料的等效热阻及厚度确定
- 涂层厚度和等效热传导系数为非线性关系。

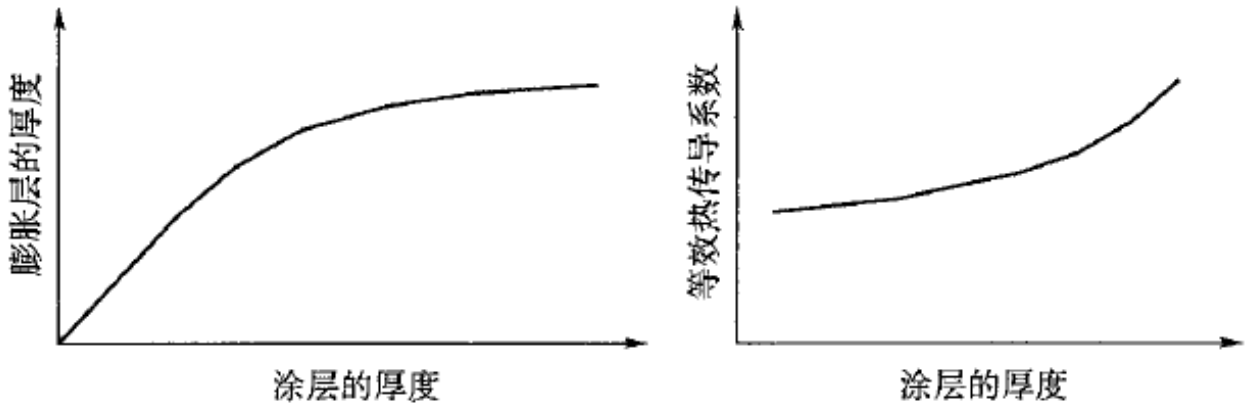


图 5　膨胀型防火涂料的膨胀层厚度、等效热传导系数

5.3.2　膨胀型防火涂料保护层的等效热阻，可根据标准耐火试验得到的钢构件实测升温曲线按下式计算：

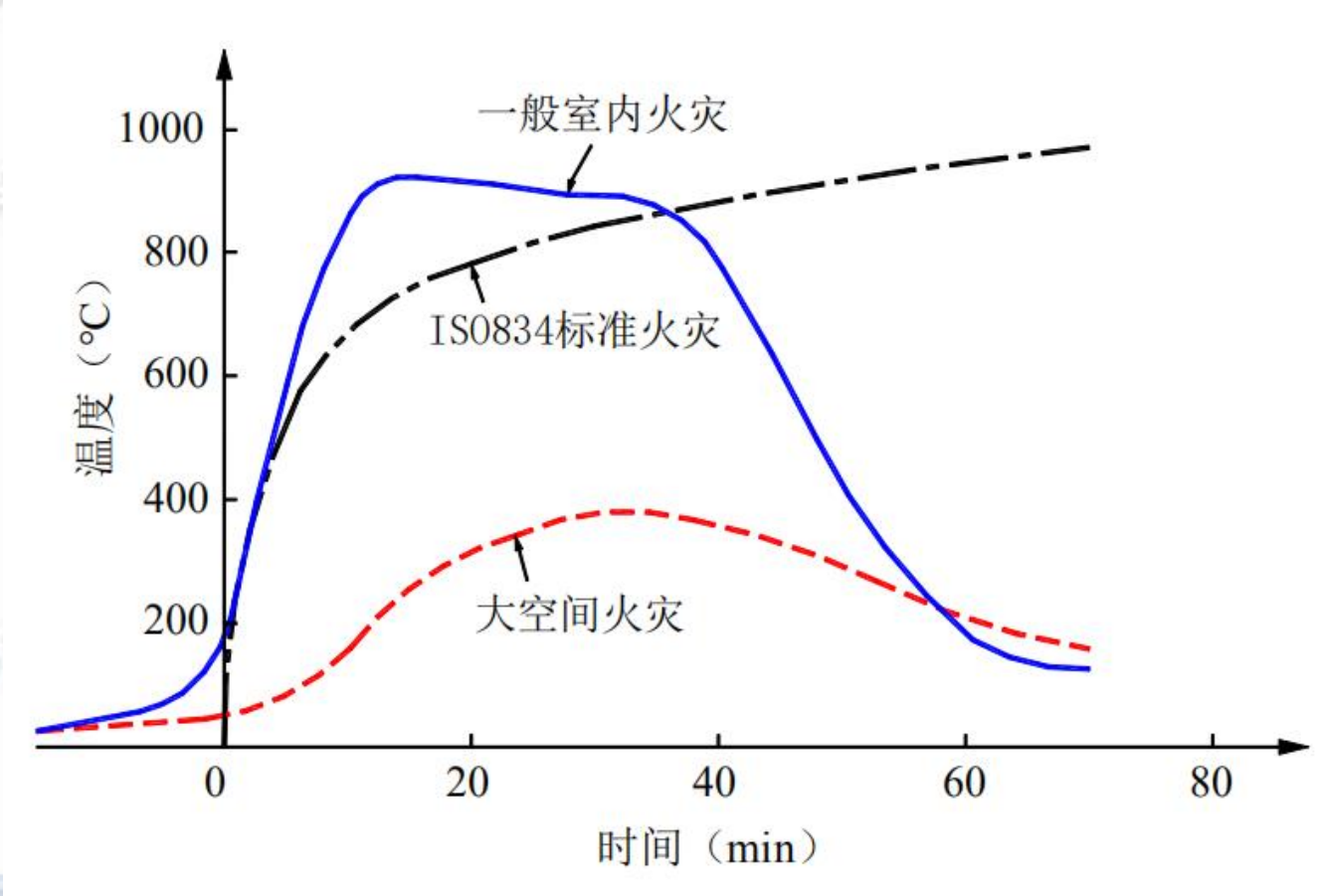
$$R_i = \frac{5\times10^{-5}}{\left(\frac{T_s - T_{s0}}{t_0} + 0.2\right)^2 - 0.044} \cdot \frac{F_i}{V} \qquad (5.3.2)$$

式中：R_i ——防火保护层的等效热阻（对应于该防火保护层厚度）（$m^2 \cdot ℃/W$）。

5.3.3　膨胀型防火涂料应给出最大使用厚度、最小使用厚度的等效热阻以及防火涂料使用厚度按最大使用厚度与最小使用厚度之差的 1/4 递增的等效热阻，其他厚度下的等效热阻可采用线性插值方法确定。

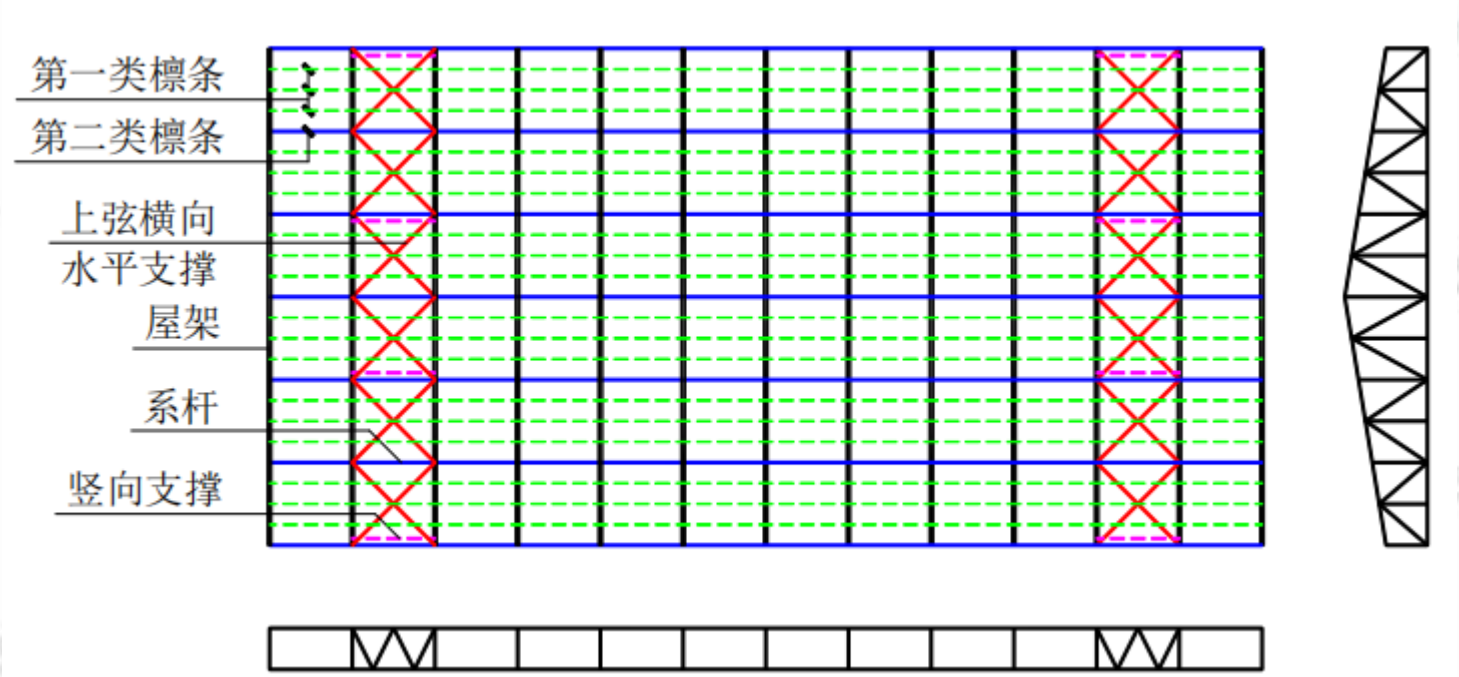
采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 6.大空间、空旷结构的防火设计问题。
- 大空间结构的火灾升温曲线



采用钢结构防火规范设计存在的问题

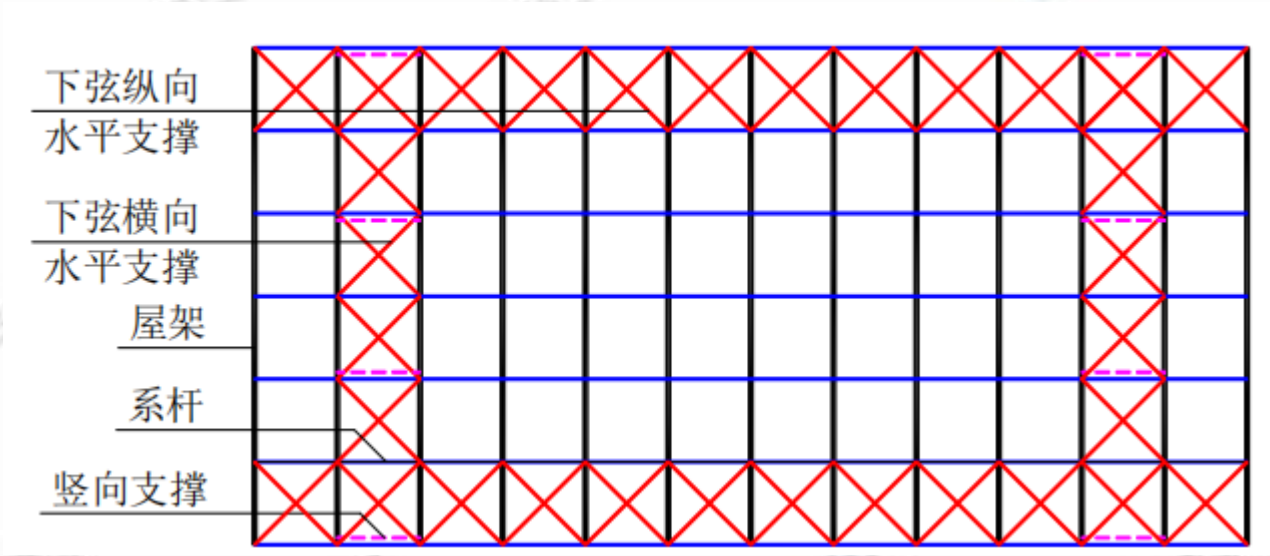
- 7.钢结构檩条、系杆及支撑的防火设计问题。



作为系杆的檩条按承重构件；
作为梁面外稳定支撑的隅撑按承重构件

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 7.钢结构檩条、系杆及支撑的防火设计问题。



屋顶承重构件、屋盖支撑及系杆

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 8.膨胀型防火涂料及非膨胀型防火涂料检测报告。
- 膨胀型涂料
- 检验报告

检 验 报 告

认 证 委 托 人： 海虹老人涂料（广州）有限公司

产品型号名称： GT-WRP-Fp1.50-HEMPACORE ONE 43600
室外膨胀型钢结构防火涂料

检 验 类 别： 型式试验

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 8.膨胀型防火涂料及非膨胀型防火涂料检测报告。
- 膨胀型涂料
- 检验报告

序号	检验项目	标准条款号	标 准 要 求	检验结果	结 论
1	耐火性能	GB14907-2018，5.2.3 6.5.6 6.5.7	1.50h≤F_p1.50<2.00h；试件的最大弯曲变形量不应超过L_0^2/400h mm（L_0为试件的计算跨度，h为试件截面上抗压点与抗拉点之间的距离）；试件的平均温度≤538℃	涂层厚度2.1mm（含防锈漆厚度0.05mm）；耐火性能试验时间1.50h；试件的最大弯曲变形量36.4mm；试件的平均温度522℃	F_p1.50合格

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 8.膨胀型防火涂料及非膨胀型防火涂料检测报告。
- 膨胀型涂料
- 检验报告

序号 No.	检测项目 Item of Testing	标准值 Criterion	检测结果 Results	检测方法 Method	单项判定 Judgement
1	耐火性能 (涂层厚度 0.6mm) Fire Resistance (Coating thickness 0.6mm)	--	试件一平均温度到达540℃时间为3000s。The average temperature of sample 1 reached 540° C for 3000s.	GB/T 9978.1-2008	--
			试件二平均温度到达540℃时间为3120s。The average temperature of sample 2 reached 540° C for 3120s.		--
			试件三平均温度到达540℃时间为3000s。The average temperature of sample 3 reached 540° C for 3000s.		--
	耐火性能 (涂层厚度 0.9mm) Fire Resistance (Coating thickness 0.9mm)	--	试件一平均温度到达540℃时间为3420s。The average temperature of sample 1 reached 540° C for 3420s.	GB/T 9978.1-2008	--
			试件二平均温度到达540℃时间为3780s。The average temperature of sample 2 reached 540° C for 4620s.		--
			试件三平均温度到达540℃时间为3600s。The average temperature of sample 3 reached 540° C for 3600s.		--
	耐火性能 (涂层厚度 1.2mm) Fire Resistance (Coating thickness 1.2mm)	--	试件一平均温度到达540℃时间为3780s。The average temperature of sample 1 reached 540° C for 3780s.	GB/T 9978.1-2008	--
			试件二平均温度到达540℃时间为4260s。The average temperature of sample 2 reached 540° C for 4260s.		--
			试件三平均温度到达540℃时间为4260s。The average temperature of sample 3 reached 540° C for 4260s.		--
	耐火性能 (涂层厚度 1.5mm) Fire Resistance (Coating thickness 1.5mm)	--	试件一平均温度到达540℃时间为4560s。The average temperature of sample 1 reached 540° C for 4560s.	GB/T 9978.1-2008	--
			试件二平均温度到达540℃时间为4440s。The average temperature of sample 2 reached 540° C for 4440s.		--
			试件三平均温度到达540℃时间为4560s。The average temperature of sample 3 reached 540° C for 4560s.		--

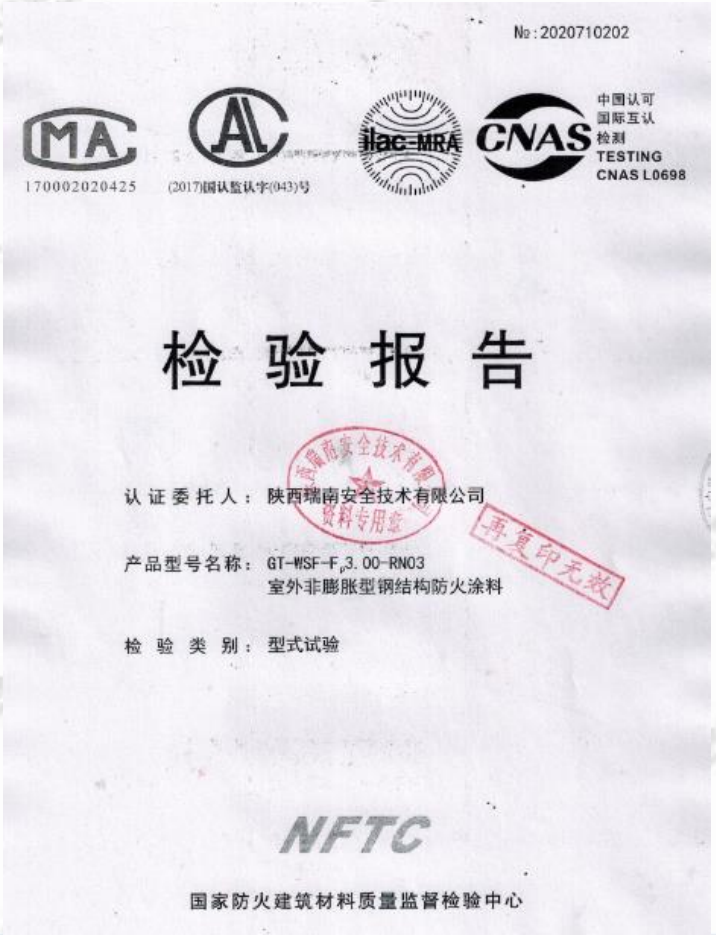
采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 8.膨胀型防火涂料及非膨胀型防火涂料检测报告。
- 膨胀型涂料
- 检验报告

Steel structure	HP/A (mm^{-1})	DFT (mm)	Critical temp. (℃)	R_i (m^2 · ℃/W)
I-section	126	1.50	538	0.15
I-section	126	3.20	538	0.23
H-section	160	1.50	538	0.16
H-section	160	2.10	538	0.20
H-section	160	4.20	538	0.31

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 8.膨胀型防火涂料及非膨胀型防火涂料检测报告。
- 非膨胀型涂料
- 检验报告



№:2020710202

CMA 170002020425　CAL (2017)国认监认字(043)号　ilac-MRA　CNAS 中国认可 国际互认 检测 TESTING CNAS L0698

检 验 报 告

认证委托人：陕西瑞南安全技术有限公司

产品型号名称：GT-WSF-F_p3.00-RN03
室外非膨胀型钢结构防火涂料

检验类别：型式试验

NFTC

国家防火建筑材料质量监督检验中心



国家防火建筑材料质量监督检验中心

检验结果汇总表

№：2020710202　　共 5 页 第 2 页

序号	检验项目	标准条款号	标准要求	检验结果	结论
1	耐火性能	GB14907-2018，5.2.3 6.5.6 6.5.7	F_p3.00≥3.00h；试件的最大弯曲变形量不应超过L_0^2/400h mm（L_0为试件的计算跨度，h为试件截面上抗压点与抗拉点之间的距离）；试件的平均温度≤538℃	涂层厚度33mm；耐火性能试验时间3.00h；试件的最大弯曲变形量17.3mm；试件的平均温度453℃	F_p3.00合格
2	在容器中的状态	5.2.2 6.4.1	经搅拌后呈均匀稠厚流体状态，无结块	/	/
3	干燥时间（表干）/h	5.2.2 6.4.2	≤24	/	/
4	初期干燥抗裂性	5.2.2 6.4.3	允许出现1～3条裂纹，其宽度应≤0.5 mm	/	/
5	粘结强度/MPa	5.2.2 6.4.4	≥0.04	0.19	合格
6	抗压强度/MPa	5.2.2 6.4.5	≥0.5	/	/
7	干密度(kg/m³)	5.2.2 6.4.6	≤650	/	/
8	pH值	5.2.2 6.4.8	≥7	/	/
备注	1、该普通钢结构防火涂料耐火性能试件的涂层构造依次为XH-1003省工型环氧富锌防锈底漆和防火涂料，涂料施工至厚度为20mm时铺设一层钢丝网，网孔尺寸20mm×20mm，涂料施工至厚度为30mm时铺设一层玻纤网格布，网孔尺寸5mm×5mm； 2、基准隔热效率（涂层厚度24mm）：78min。				

采用钢结构防火规范设计存在的问题

- 9.防火报告中对构件涂料的涂抹厚度归类问题。

- 对每个构件都给出不同的防火保护厚度，工程中是难以实施的。
- 为简化设计和便于施工，有必要对构件按照楼层、构件截面等进行适当归类，取其最不利的结果作为该归类集合组构件的防火保护厚度。

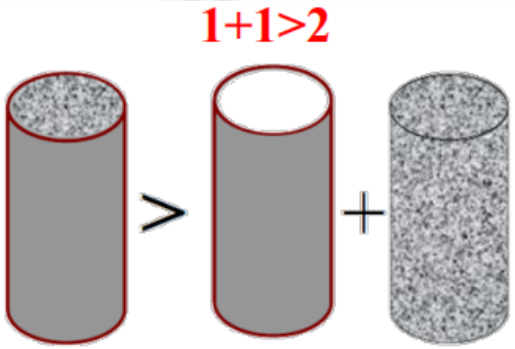
- 如果存在个别荷载比过大的构件，会导致涂层厚度过后，造成较大浪费。

- 从防火涂料的造价方面考虑，优化钢结构设计。

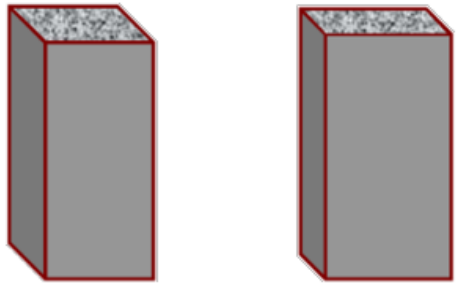
钢管混凝土结构的防火设计

钢管混凝土柱的防火设计

- 钢管混凝土优势：特别适合轴向承载力大的构件



圆钢管混凝土



方、矩形钢管混凝土

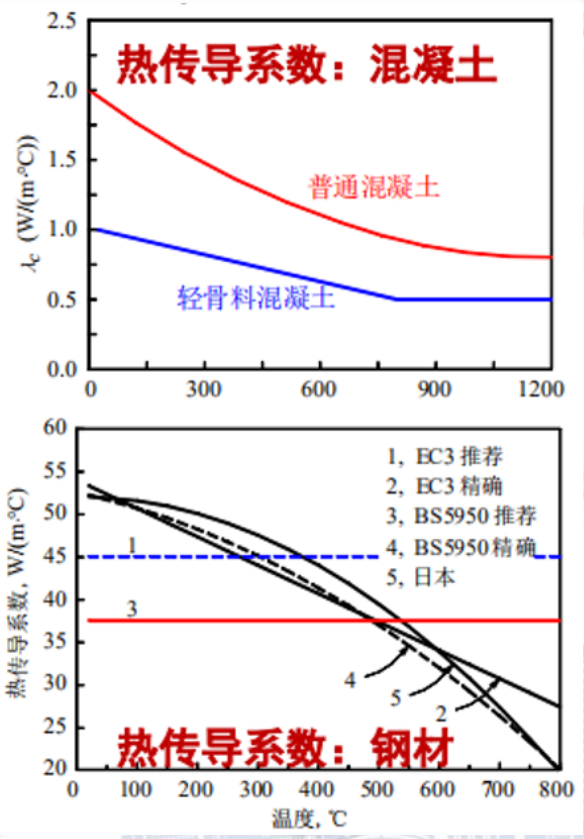
- 钢管约束了混凝土，可改善其脆性。
- 混凝土可延缓或避免钢管过早地发生局部屈曲

- 承载力高，塑性和韧性好
- 施工方便，经济效果好
- 耐火性能优于钢结构

钢管混凝土柱的防火设计

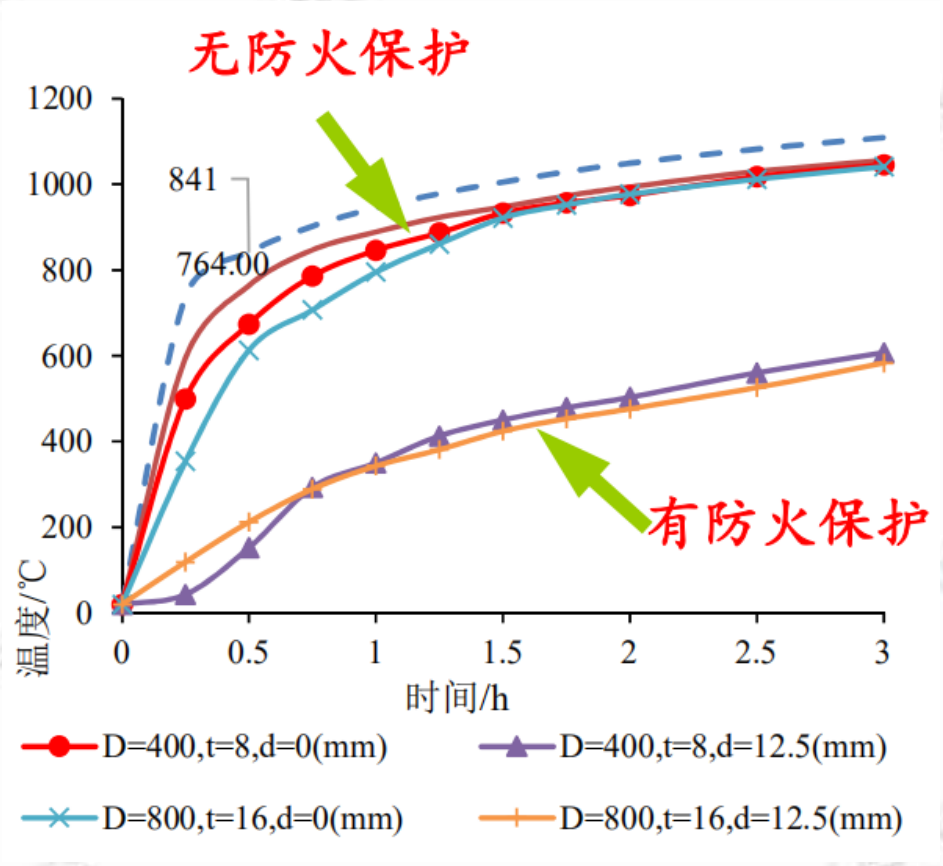
- 钢管混凝土柱抗火性能远好于纯钢结构，但比混凝土结构差
- 混凝土体积大，能吸收大量热量，降低了外包钢管的升温速度
- 热传导系数：钢>>混凝土
- 混凝土升温慢，火灾下承载力损失小

- 钢管混凝土柱抗火设计
- 按纯钢结构设计：造成浪费
- 不进行防火保护，工程中大部分钢管混凝土柱
  不能满足耐火极限要求，特别是柱截面尺寸较小时



钢管混凝土柱的防火设计

- 钢管混凝土有无防火保护构件升温对比



钢管混凝土柱的防火设计

- 钢管混凝土的防火保护措施
- GB51249推荐采用金属网抹M5水泥砂浆和喷非膨胀型钢结构防火涂料两种防火



喷防火涂料



抹水泥砂浆



贴防火砖

钢管混凝土柱的防火验算

- 钢结构防火规范对钢管混凝土柱防火验算的条件

8.1.1 符合下列条件的实心矩形和圆形钢管混凝土柱，可按本规范第 8.1.2 条～第 8.1.9 条进行耐火验算与防火保护设计。

1 钢管采用 Q235、Q345、Q390 和 Q420 钢，混凝土强度等级为 C30～C80，且含钢率 A_s/A_c 为 0.04～0.20；

2 柱长细比 λ 为 10～60；

3 圆钢管混凝土柱的截面外直径为 200mm～1400mm，荷载偏心率 e/r 为 0～3.0（e 为荷载偏心距，r 为钢管截面外半径）；矩形钢管混凝土柱的截面短边长度为 200mm ～1400mm，荷载偏心率 e/r 为 0～3.0（e 为荷载偏心距，r 为荷载偏心方向边长的一半）。

钢管混凝土柱的防火验算

- 钢结构防火规范对钢管混凝土柱防火验算的方法

8.1.2 钢管混凝土柱应根据其荷载比 R、火灾下的承载力系数 k_T 按下列规定采取防火保护措施。荷载比 R 应按本规范第 8.1.3 条计算，圆钢管混凝土柱、矩形钢管混凝土柱火灾下的承载力系数 k_T 应分别按本规范第 8.1.6 条、第 8.1.7 条的规定计算，且应符合下列规定：

1 当 $R < 0.75\,k_T$ 时，可不采取防火保护措施。

2 当 $R \geqslant 0.75\,k_T$ 时，应采取防火保护措施。对于圆钢管混凝土柱，按第 8.1.8 条计算防火保护层厚度；对于矩形钢管混凝土柱，按第 8.1.9 条计算防火保护层厚度。

钢管混凝土柱的防火验算

- 钢结构防火规范对钢管混凝土柱防火验算的方法

8.1.3 钢管混凝土柱的荷载比应按下式计算：

$$R = \frac{N}{N^*} \tag{8.1.3}$$

式中：R ——钢管混凝土柱的荷载比；

N ——火灾下钢管混凝土柱的轴压力设计值；

N^* ——常温下钢管混凝土柱的抗压承载力设计值，可按本规范第 8.1.4 条、第 8.1.5 条的规定确定。

钢管混凝土柱的防火验算

- 钢结构防火规范对钢管混凝土柱防火验算的方法

8.1.4 常温下圆钢管混凝土柱的抗压承载力设计值 N^*，当 $M/M_u \leqslant 1$ 时，应按式(8.1.4-1)计算确定；当 $M/M_u > 1$ 时，应按式(8.1.4-2)计算确定：

$$\begin{cases} \dfrac{N^*}{\varphi N_u} + \dfrac{1-2\varphi^2\eta_0}{1-0.4N^*/N_E}\dfrac{\beta_m M}{M_u} = 1 \\ 2\varphi^3\eta_0 \leqslant \dfrac{N^*}{N_u} \leqslant 1 \end{cases} \tag{8.1.4-1}$$

钢管混凝土柱的防火验算

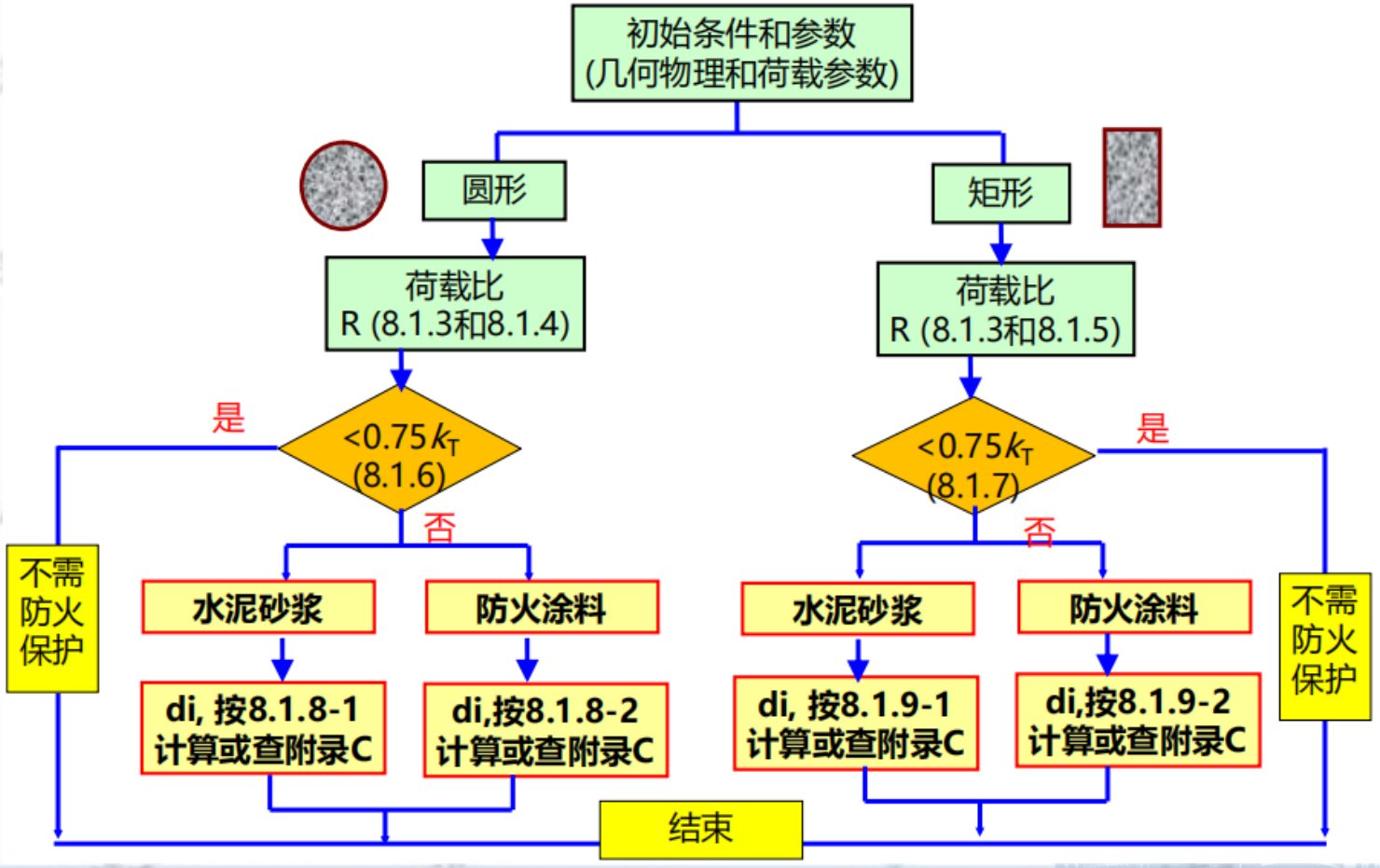
- 钢结构防火规范对钢管混凝土柱防火验算的方法

8.1.6 标准火灾下受火时间小于或等于3.0h的无防火保护圆钢管混凝土柱，其火灾下的承载力系数 k_T 可按式(8.1.6-1)计算，也可按本规范附录B查表确定；对于非标准火灾，式(8.1.6-1)中的受火时间 t 应取等效曝火时间。

$$k_T=\begin{cases}\dfrac{1}{1+at_0^{2.5}} & t_0\leqslant t_1\\ \dfrac{1}{1+at_1^{2.5}+b(t_0-t_1)} & t_1<t_0\leqslant t_2\\ \dfrac{1}{1+at_1^{2.5}+b(t_2-t_1)}+k(t_0-t_2) & t_0>t_2\end{cases}\qquad(8.1.6\text{-}1)$$

钢管混凝土柱的防火设计流程

- 钢管混凝土构件防火设计的流程

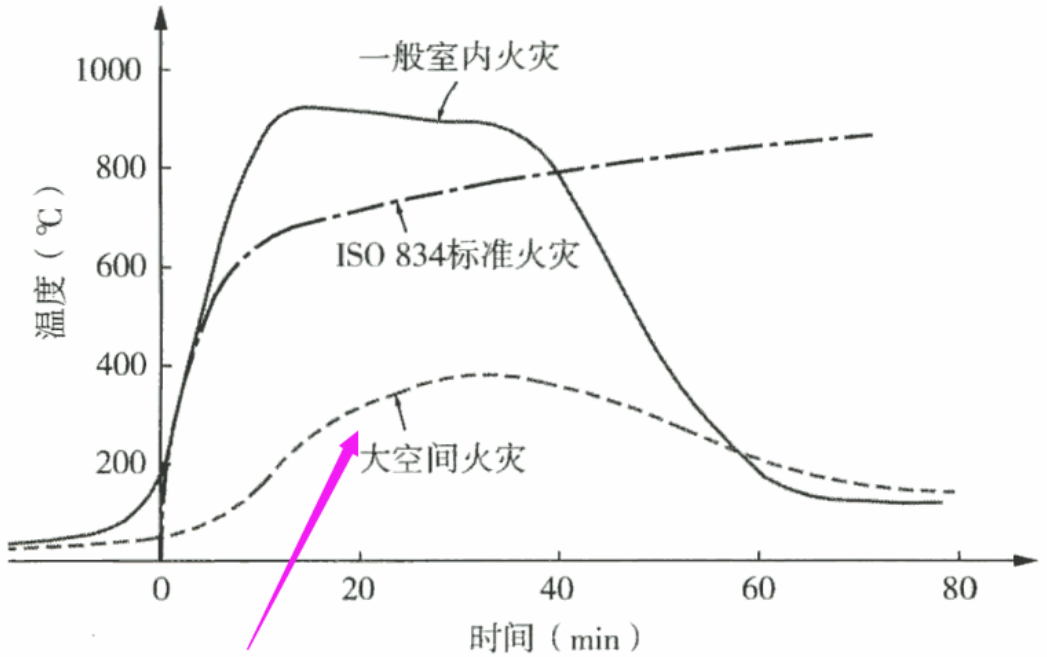


大跨度结构的防火设计

PKPM®

大空间结构的火灾曲线

- 大空间结构的火灾升温曲线



一般室内火灾与高大空间火灾的升温曲线比较

大空间结构的防火设计方法

- 大空间结构的杆件主要受轴力，温度作用效应引起的内力不容忽视，建议设计采用承载力法



大空间结构的防火设计方法

- 大空间结构的杆件主要受轴力，建议设计采用承载力法



大空间结构的防火设计方法

- 大空间结构的杆件主要受轴力，建议设计采用承载力法

7.1 承 载 力 法

Ⅰ 基本钢构件

7.1.1 火灾下轴心受拉钢构件或轴心受压钢构件的强度应按下式验算：

$$\frac{N}{A_n} \leqslant f_T \qquad (7.1.1)$$

7.1.2 火灾下轴心受压钢构件的稳定性应按下列公式验算：

$$\frac{N}{\varphi_T A} \leqslant f_T \qquad (7.1.2\text{-}1)$$

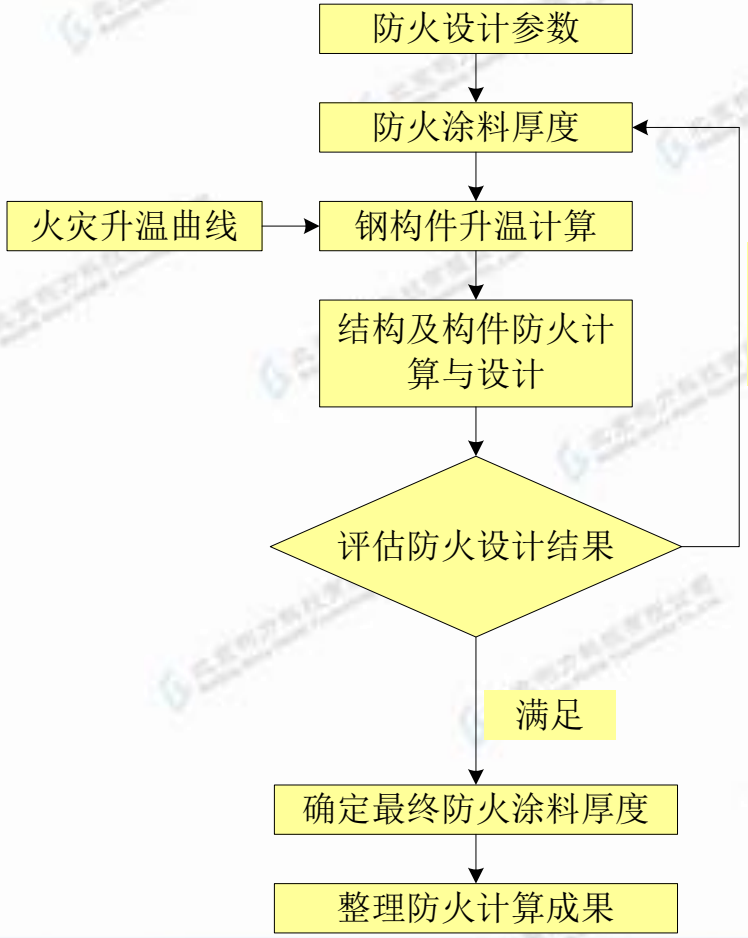
$$\varphi_T = \alpha_c \varphi \qquad (7.1.2\text{-}2)$$

表 7.1.2 高温下轴心受压钢构件的稳定验算参数 α_c

构件材料		结构钢构件						耐火钢构件					
$\lambda\sqrt{f_y/235}$		≤10	50	100	150	200	250	≤10	50	100	150	200	250
温度（℃）	≤50	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	100	0.998	0.995	0.988	0.983	0.982	0.981	0.999	0.997	0.993	0.989	0.989	0.988
	150	0.997	0.991	0.979	0.970	0.968	0.968	0.998	0.995	0.989	0.984	0.983	0.983
	200	0.995	0.986	0.968	0.955	0.952	0.951	0.998	0.994	0.987	0.980	0.979	0.979
	250	0.993	0.980	0.955	0.937	0.933	0.932	0.998	0.994	0.986	0.979	0.978	0.977
	300	0.990	0.973	0.939	0.915	0.910	0.909	0.998	0.994	0.987	0.980	0.979	0.979
	350	0.989	0.970	0.933	0.906	0.902	0.900	0.998	0.996	0.990	0.986	0.985	0.985
	400	0.991	0.977	0.947	0.926	0.922	0.920	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.996
	450	0.996	0.990	0.977	0.967	0.965	0.965	1.000	1.001	1.008	1.012	1.014	1.015

大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：（给定防火涂料厚度进行防火验算）





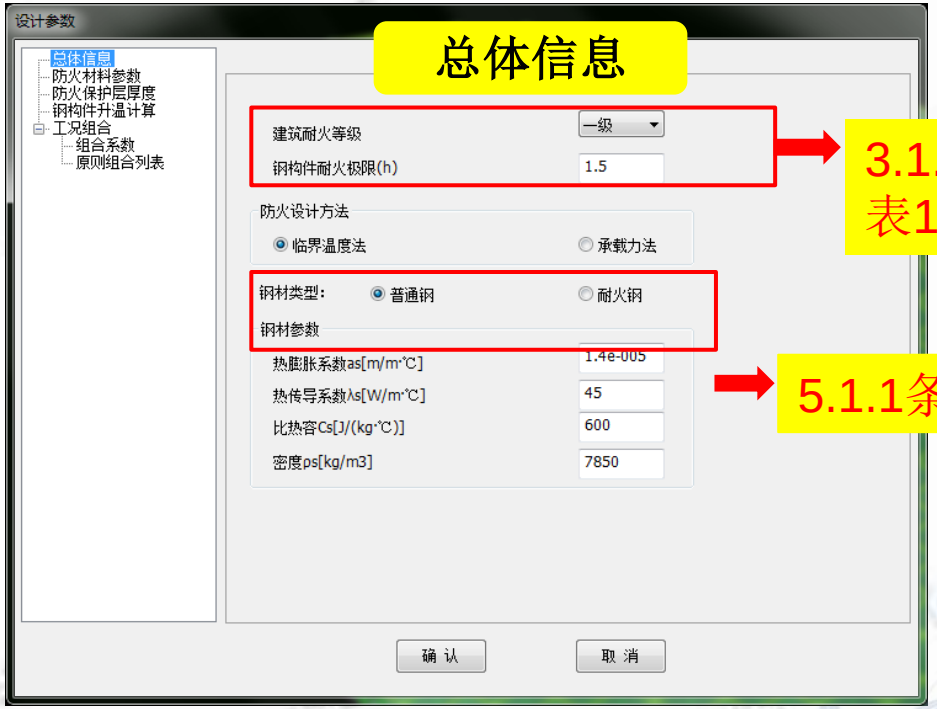
大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 1.指定设计参数



设计参数

- **总体信息**
- 防火材料参数
- 防火保护层厚度
- 钢构件升温计算
- 工况组合



3.1.1条、3.1.2条、表1

5.1.1条~5.1.5条

大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 1.指定设计参数



设计参数
- 总体信息
- **防火材料参数**
- 防火保护层厚度
- 钢构件升温计算
- 工况组合



大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 1.指定设计参数



设计参数

- 总体信息
- 防火材料参数
- **防火保护层厚度**
- 钢构件升温计算
- 工况组合



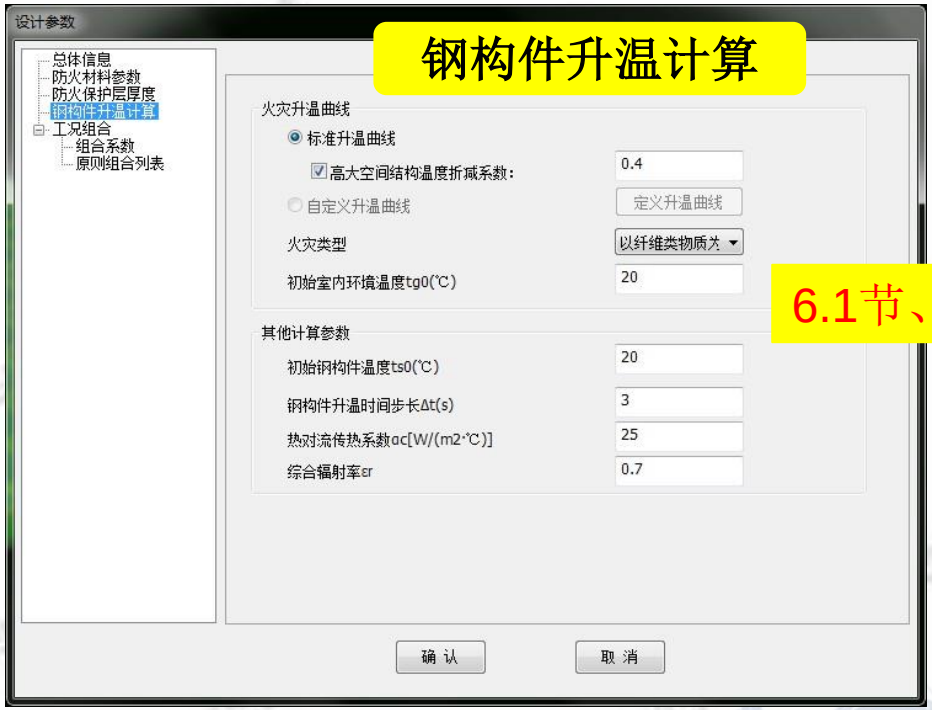
大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 1.指定设计参数



设计参数

- 总体信息
- 防火材料参数
- 防火保护层厚度
- **钢构件升温计算**
- 工况组合



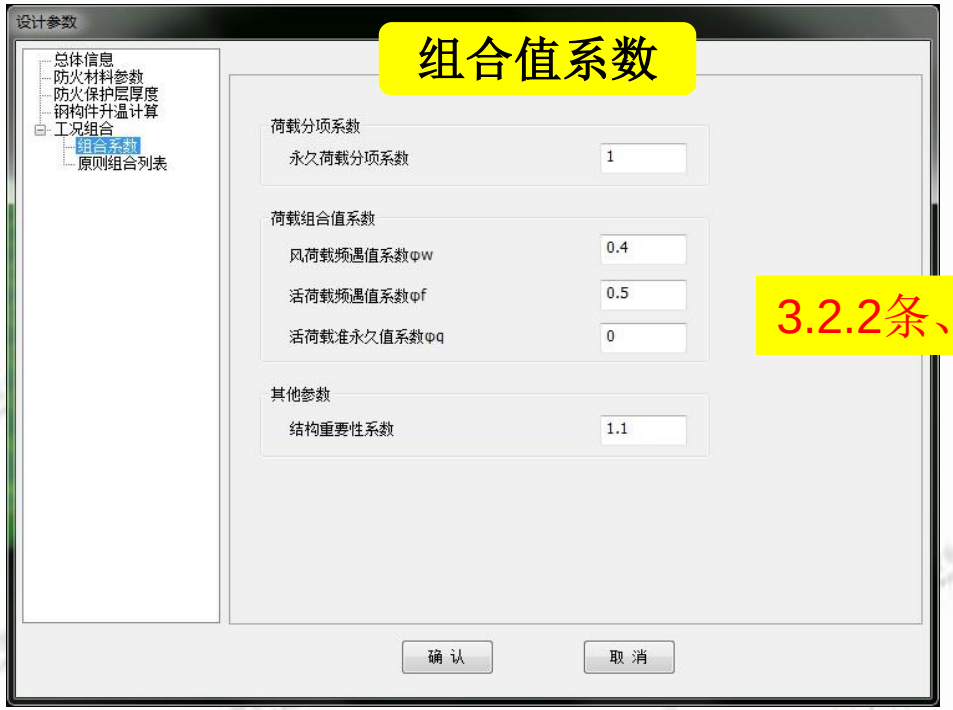
6.1节、6.2节

大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 1.指定设计参数



设计参数
- 总体信息
- 防火材料参数
- 防火保护层厚度
- 钢构件升温计算
- **工况组合**



3.2.2条、《荷规》

大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 2.交互修改：补充修改各种构件的单独防火设计参数



大空间结构的防火设计流程

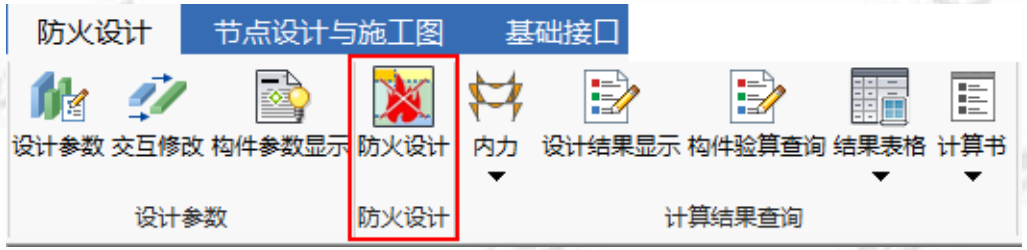
- 大空间结构防火设计流程：
- 3.构件参数显示：显示已定义各种防火参数。





大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 4.防火计算及设计。





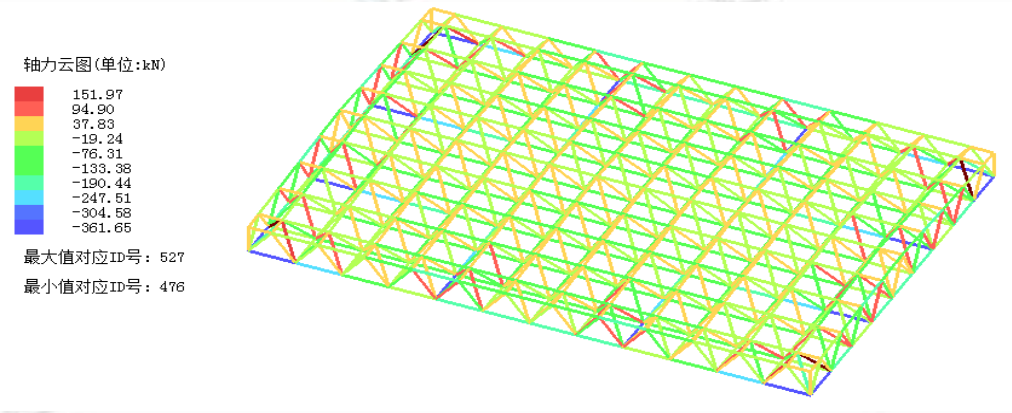
大空间结构的防火设计流程

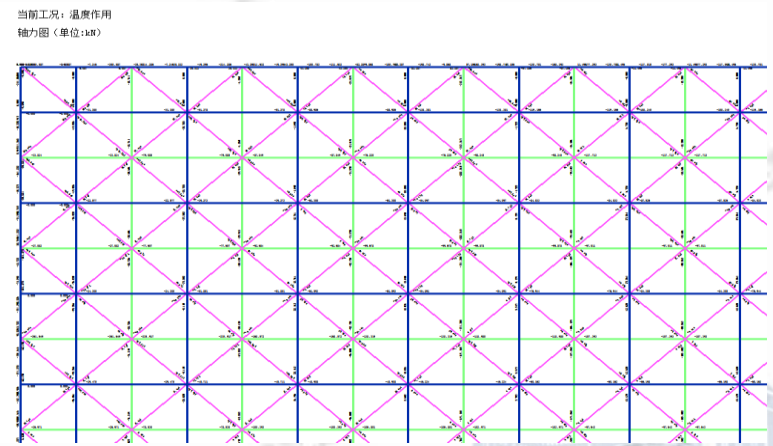
- 大空间结构防火设计流程：
- 5.防火计算结果的查看。



结果查询

- **内力**
- 设计结果显示
- 构件验算查询
- 结果表格
- 计算书





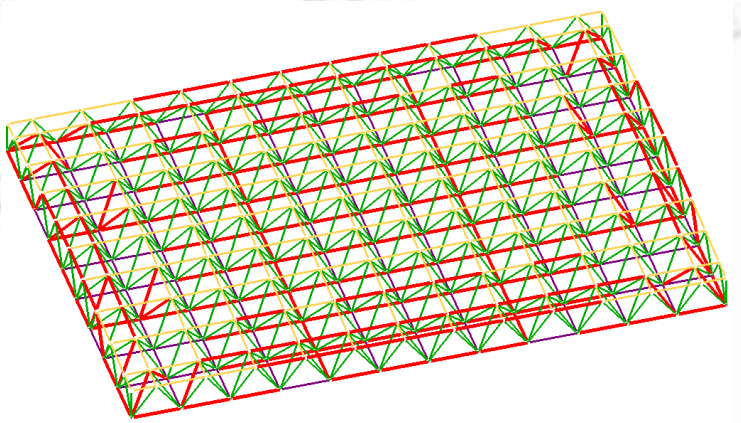
大空间结构的防火设计流程

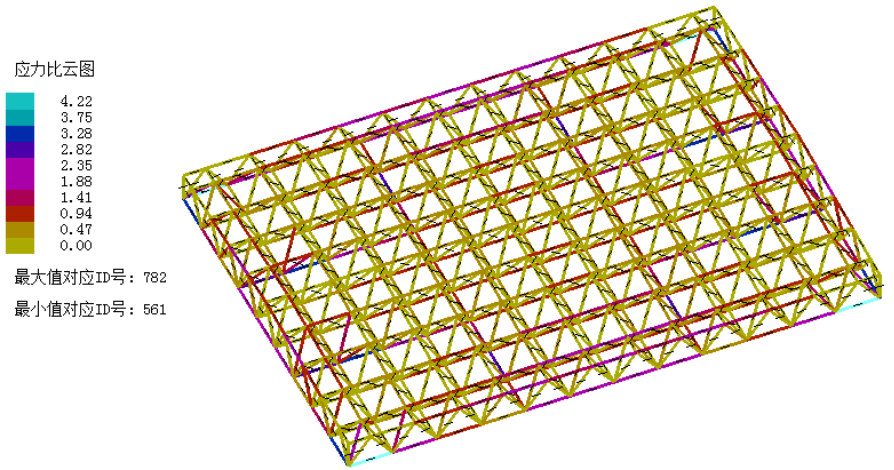
- 大空间结构防火设计流程：
- 5.防火计算结果的查看。



结果查询
- 内力
- **设计结果显示**
- 构件验算查询
- 结果表格
- 计算书





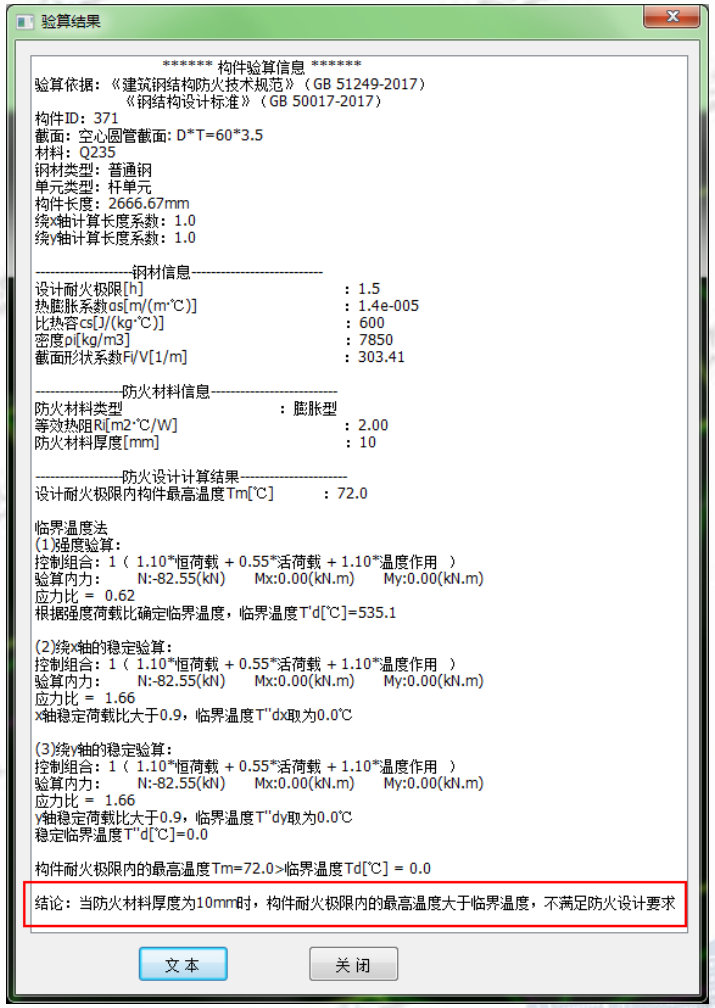


大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 5.防火计算结果的查看。



结果查询
- 内力
- 设计结果显示
- **构件验算查询**
- 结果表格
- 计算书



大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 5.防火计算结果的查看。



结果查询
- 内力
- 设计结果显示
- 构件验算查询
- **结果表格**
- 计算书



序号	杆件ID	位置	N(kN)	Vx(kN)	Vy(kN)	Mx(kN.m)	My(kN.m)	T(kN.m)
1	425	1端	-54.965	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	425	2端	-54.965	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	850	1端	-18.923	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	850	2端	-18.923	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	306	1端	-25.337	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	306	2端	-25.337	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	731	1端	-37.229	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	731	2端	-37.229	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	187	1端	-0.278	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	187	2端	-0.278	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	612	1端	-71.620	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	612	2端	-71.620	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	1037	1端	-26.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	1037	2端	-26.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	68	1端	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



序号	杆件id	防火材料名称	防火保护层类型	防火材料厚度(mm)	防火材料面积(m2)
1	581	膨胀型1	膨胀型	10	0.529
2	310	膨胀型1	膨胀型	10	0.422
3	891	膨胀型1	膨胀型	10	0.510
4	39	膨胀型1	膨胀型	10	0.471
5	620	膨胀型1	膨胀型	10	0.236
6	349	膨胀型1	膨胀型	10	0.471
7	930	膨胀型1	膨胀型	10	0.236
8	78	膨胀型1	膨胀型	10	0.529
9	659	膨胀型1	膨胀型	10	0.503

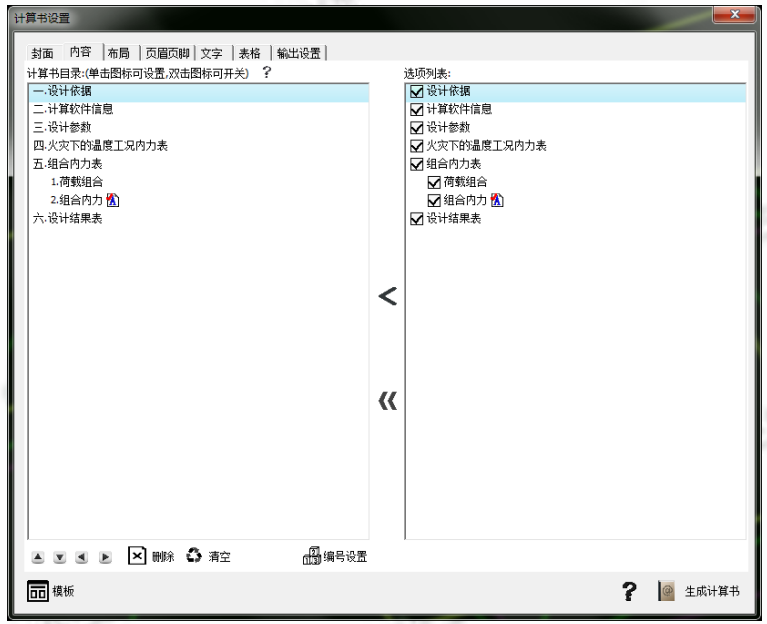
大空间结构的防火设计流程

- 大空间结构防火设计流程：
- 5.防火计算结果的查看。



结果查询

- 内力
- 设计结果显示
- 构件验算查询
- 结果表格
- **计算书**





一、设计依据

《建筑钢结构防火技术规范》(GB51249-2017)

《钢结构设计标准》(GB50017-2017)

二、计算软件信息

1.本工程计算软件为 PKPM 钢结构设计软件。

2.计算时间为 2019 年 11 月 1 日 16 时 36 分 57 秒。

三、设计参数

建筑耐火等级	一级
结构重要性系数	1.1
防火设计方法	临界温度法
火灾前室内温度 Tg0(℃)	20.0
火灾前构件温度 Ts0(℃)	20.0
火灾类型	以纤维类物质为主
钢构件升温时间步长(s)	3

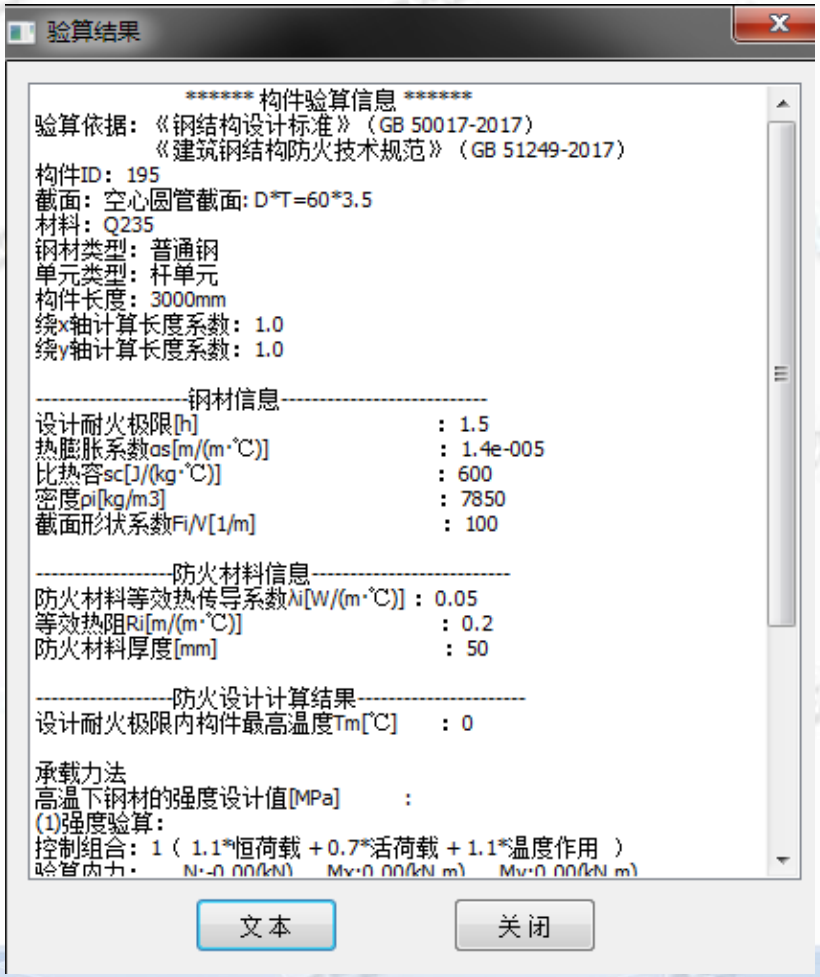
四、火灾下的温度工况内力表

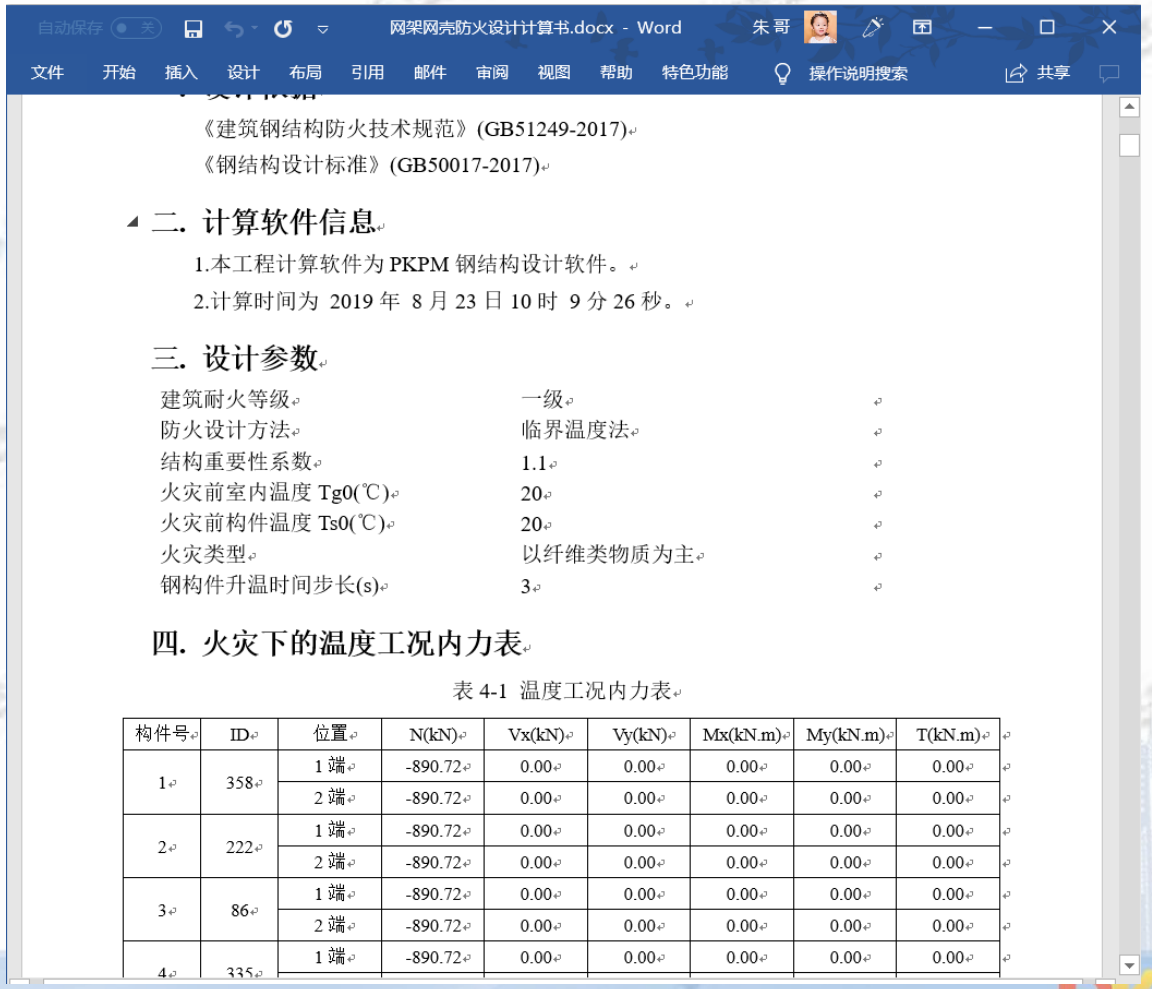
表 4-1 温度工况内力表

构件号	ID	位置	N(kN)	Vx(kN)	Vy(kN)	Mx(kN.m)	My(kN.m)	T(kN.m)
1	497	1 端	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	749	1 端	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	380	1 端	-5.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-5.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	11	1 端	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	534	1 端	-167.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-167.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	318	1 端	4.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	4.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	625	1 端	-5.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-5.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	993	1 端	-32.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-32.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

大空间结构的防火设计计算书

- 大空间结构防火计算书。





构件号	ID	位置	N(kN)	Vx(kN)	Vy(kN)	Mx(kN.m)	My(kN.m)	T(kN.m)
1	358	1 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	222	1 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	86	1 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	335	1 端	-890.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

个人联系方式

- 中国建筑科学研究院
- 北京构力科技有限公司
- 刘孝国　13519315404　　QQ 563193037
- 个人新浪微博：刘孝国-建研院PKPM
- 北三环东路30号中国建筑科学研究院主楼17楼
- 技术咨询电话：400-8000-900
- www.pkpm.cn百度云下载区

谢谢大家



THANKS