

浅析不同建筑结构材料的火灾特点分析

李 晓^①

(济宁市消防救援支队, 山东 济宁 277600)

摘要: 随着经济快速发展和社会不断进步, 人们的生活水平在不断提高, 对建筑结构的设计提出更高的要求。本文着重分析当前的不同建筑结构的耐火极限对消防灭火救援工作的影响, 研究其建筑材料的燃烧性能, 结合在灭火救援过程中的经验, 为建筑结构和灭火救援工作提供一些理论的依据, 以减少火灾中的财产损失和人员伤亡。

关键词: 建筑结构; 耐火极限; 消防救援
中图分类号: TU998.14 **文献标志码:** A



建筑物按其结构类型的不同, 可以分为砖木结构、砖混结构、钢筋混凝土结构和钢结构等四大类型。本文对不同结构类型的建筑材料的燃烧性能以及在火灾中对消防灭火救援工作的影响, 进行分类研究。

1 砖木结构

砖木结构建筑的承重结构主要是砖墙、砖柱、木屋架, 此类建筑主要存在于寺院、庙宇、宫殿、楼阁、古塔、宅院、历史建筑中, 建筑材料以柏木、松木、杉木为主。

1.1 木材的特性

木材具有强度高、导热系数小、轻便容易加工、装饰性好、取材广泛等优点, 因此作为一种重要的建筑材料在建筑工程中应用广泛。木材的缺点是容易燃烧, 在火灾高温下的性能主要表现为燃烧性能和发烟性能。

(1) 木材的燃烧性能。试验表明, 木材被加热到130℃, 首先是水分的蒸发, 接着开始微弱分解; 加热到150℃时木材开始显著分解; 温度升高到200℃以上, 木材主要成分——纤维素被分解; 加热到270~380℃, 木材发生剧烈的热分解, 热分解剩余物为30%~38%的碳^[1]。

木材燃烧基本上分为两个阶段: 有焰燃烧和无焰燃烧。木材有焰燃烧时, 燃烧速度快, 燃烧量大, 约占木材总质量的70%; 火焰温度高, 约700~1000℃, 燃烧时间短, 火灾发展迅速, 是火灾发展过程中的关键时期。在木材燃烧开始时, 木材表面产生的碳不燃烧, 而是处于灼热状态, 可分解物质的燃烧、阻止氧气到达碳表面。碳的无焰燃烧只有在木材不产生可燃

气体时才会发生。

(2) 木材的发烟性能。木材减光系数反映木材受热分解时某一时刻释放出的烟气的浓度。建筑火灾产生的烟是造成人员伤亡的主要原因。吴玉章、原田寿郎^[2]等对人工林木材燃烧性能的研究表明: 木材在整个受热过程中有两个强的发烟峰, 一个是木材从开始受热到着火前, 另一个是碳化过程结束后; 在碳化过程中和无焰燃烧阶段, 烟气浓度较低。

1.2 古建筑火灾特点分析

对1950—2021年我国古建筑发生的100余起火灾进行分析可知, 古建筑火灾具有以下特点: 古建筑耐火性能低, 火灾负荷大。

古建筑大多采用飞檐和高深的屋顶, 使用大量木材做其支撑结构与内外装饰, 其木构件具有很大的表面积, 并且集中于屋顶, 一旦发生火灾, 火势会迅速传播, 形成重大火灾。

2 砖混结构

砖混结构建筑的承重结构主要采用砖墙、砖柱、钢筋混凝土楼板和承重屋顶构件。砖混建筑结构用途广泛, 建筑技术比较成熟, 建筑造价低, 是目前在农村和城市房屋建设中最多和最常用的结构类型。砖混建筑中墙体的构造、圈梁、过梁、构造柱、楼板是要关键把握的地方。

2.1 砖混建筑特性

(1) 抗震能力差。根据住房城乡建设部发布的国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2016年版)^[3]的规定, 砖混结构根据地方的不同其抗震烈度不同, 其高度受限, 地上最多建6层(六度

作者简介: 李晓(1981—), 男, 汉族, 山东济宁人, 本科, 中级, 研究方向: 灭火救援指挥专业。

区)；非抗震区由钢筋砌体构成，高度可达30 m。

(2) 建筑自重大。砖混结构建筑由砂浆、黏土砖等砌筑而成，通常其承重墙体厚度为240 mm或360 mm，非承重墙体厚度为240 mm或120 mm，致使结构自重大，高度受到限制，稳定性较差，在此基础上很难实现大空间构造^[4]。

3 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构的梁、板、柱等主要承重构件均为钢筋混凝土结构。这种结构主要用于大型公共建筑、工业建筑和高层住宅。

3.1 混凝土在火灾中的高温力学性能

混凝土是非燃性建筑材料，在火灾中不燃烧、不发烟、不产生有毒气体。但混凝土在火灾高温作用下，抗压抗拉强度、弹性模量、黏结强度等力学性能均会降低，进而影响建筑物的稳定性，甚至倒塌。

(1) 混凝土在火灾高温作用下的抗压强度。混凝土被加热到300 ℃以下，温度与抗压强度的关系不明显，一般强度还略有升高。当混凝土加热到100~150 ℃时，发生自蒸养护过程，水蒸气促进水泥熟料水化，水泥石强度增高；加热到200~300 ℃时，将从硅酸二钙凝胶中去除水分，氧化钙水合物的结晶和硅酸三钙水合物的水化导致混凝土硬化和抗压强度

表1 混凝土高温时的弹性模量折减系数 K_{ce}

温度(℃)	100	200	300	400	500	600	700
K_{ce}	1.00	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30

表2 钢筋同混凝土黏结力温度降低系数

温度(℃)	100	200	300	400	500	600	700
圆钢筋	0.70	0.55	0.40	0.32	0.05	—	—
螺纹钢筋	1.00	1.00	0.85	0.65	0.45	0.28	0.10

(4) 抗拉强度。在火灾高温作用下，由于混凝土中水泥结石的微裂纹扩展，其抗拉强度降低比抗压强度下降多达10%~15%。对钢筋混凝土楼板受拉面的损坏极大，易造成结构坍塌。

3.2 钢筋混凝土建筑结构火灾特点分析

钢筋混凝土结构的应用，高度促进建筑的发展，同时给消防的防火工作和灭火工作带来巨大的挑战。

(1) 易形成立体火灾

在发生火灾时，高层建筑可能形成烟囱效应，加快火灾的蔓延。试验证明，在火灾初期阶段，因空气对流而产生的烟气，水平方向扩散速度为0.3 m/s，在火灾的剧烈燃烧阶段，烟气扩散速度由于高温作用下热对流为0.5~0.8 m/s；烟气在垂直方向的扩散速度为3~4 m/s。

(2) 倒塌因素不确定

① 高温影响

在我国，建筑的耐火性能划分标准是由楼板的耐火极限确定的。火灾统计表明，我国95%的火灾延续时间在2 h以内，在1 h内扑灭的火灾约占80%以上，

的增加。

混凝土被加热到300 ℃以上时，其水合铝酸钙和水合硅酸钙脱水。现阶段水泥石受热膨胀，脱水收缩，随着温度的增高，脱水收缩相对受热膨胀越来越显著，由于混凝土内的复杂收缩、膨胀以及水泥石凝胶体、结晶体的破坏，使混凝土温度被加热到300 ℃后，强度迅速下降；600 ℃时强度损失50%；800 ℃以上强度损失80%^[5]。

混凝土内有铁的化合物，温度升高时，伴随发生颜色的变化。深红色混凝土的温度在300~600 ℃；变成灰色时，混凝土温度高于600 ℃，混凝土变得脆而多孔。

(2) 混凝土在火灾高温作用下的弹性模量。温度的升高伴随着混凝土内部凝胶和结晶体的脱水，结构松动，孔隙度增大，变形增大，导致混凝土弹性模量减小。定义混凝土在热态状态下的弹性模量与常温下的弹性模量之比为混凝土的弹性模量折减系数，见表1。

(3) 混凝土在火灾高温作用下的黏结力。随着混凝土温度的升高，水泥结石发生脱水收缩，钢筋热膨胀，增加了两者的摩擦力，同时水泥结石由于脱水而变得松弛，强度降低，混凝土与钢筋的黏结力降低。在不同温度下钢筋同混凝土黏结温度降低系数见表2。

在1.5 h内扑灭的火灾约占90%以上。钢筋混凝土结构建筑以及耐火等级建筑物，主要承重结构（柱、防火墙等）的耐火极限应不低于3 h。建筑发生火灾，尽管整个建筑连续燃烧几个小时，但就受热构件而言，并不能达到试验所规定的温度，因此，部分情况下，建筑连续燃烧几个甚至十几个小时，并没有倒塌事故发生。

② 其他因素

a. 爆炸：建筑内如果发生液化石油气、天然气等爆炸事故，即使建筑没有当时倒塌，其结构和强度也已遭到严重损坏，消防队员进入建筑内部和救人时必须注意安全，有条件时应采取加固和其他保护措施。

b. 附加荷载：如果建筑内装有大量吸水物质，如海绵、纸张、棉花等，灭火时，大量的水被物质吸收，会使建筑荷载大大增加，很容易使本已脆弱的建筑倒塌。另外，在火灾刚刚结束后，若使用大型机械，其引起的振动、碰撞，也会导致建筑迅速被破坏。

c. 消防射水：消防水枪、水炮的强大冲击力、附加加热应力以及对混凝土的破坏力，也有可能使建筑破坏^[6]。

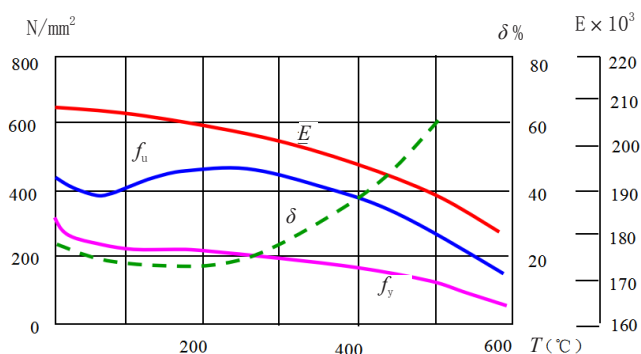
4 钢结构

钢结构因自身强度高、塑性韧性好、抗震性能强,可回收重复使用、节约资源等优点,在国内外被广泛应用到高层、超高层及大跨度、大空间建筑上,同时也大量应用于工业厂房、库房、大型购物中心、大型物流仓库等建筑中。

4.1 钢材的火灾特性

(1) 钢材在高温下的强度

图1显示,100℃时抗拉强度略有降低,在250℃时升高到最大值,温度升高到500℃时,抗拉强度降低到常温时的一半,600℃时为常温的1/3。延伸率、颈缩率在250℃左右为极小,称为蓝脆区。蓝脆性是由碳和氢引起的,它们的溶解度随温度而变化,随着温度的升高而上升,表明钢在高温下具有较好的塑性^[7]。



注: f_u 为钢材抗拉强度; f_y 为钢材屈服强度; E 为钢材弹性模量; δ 为钢材塑性性能

图1 温度对钢材机械性能的影响

(2) 钢结构的临界温度

承重钢构件失去承重能力的温度是钢结构的临界温度。影响钢结构临界温度的因素有结构荷载大小、构件截面形状、构件承载能力、钢柱伸长率等。在实践中,静态确定的梁温度可在420℃左右;超静定梁的临界温度可在520℃左右。钢柱,细长比 $\lambda \geq 100$ 的可在520℃左右,细长比 $\lambda < 100$ 的可在420℃左右。

(3) 钢结构的耐火极限

在发生火灾时,由于高温,钢结构会很快失去其强度。一段时间后,它们会失去承载能力,并因扭曲而倒塌。耐火试验表明,无保护的钢结构的耐火时间仅为15~30 min。

4.2 钢结构火灾特点分析

(1) 火灾荷载多、火势蔓延速度快

大跨度、大空间钢结构建筑物中的大型商场、超市等建筑本身的消防设施不完善或未建成,防火分区过大,或其内部无防火或防烟分隔设施不健全,一旦起火,在热气流的作用下,将很快形成大面积火灾,蔓延非常迅速,燃烧猛烈^[8]。

(2) 有毒有害气体、浓烟多

大型物流仓库、大型超市商场、生产车间等建筑内部存放的大量可燃物品,在火灾中会产生氨、卤化

氢、HCN、一氧化碳、二氧化碳、一氧化氮、二氧化氮、氯、溴等有毒有害气体,会对人员疏散和灭火救援造成困难。

(3) 高温下建筑易倒塌

火灾时钢结构建筑倒塌的主要原因如下:

① 高温因素

由于钢结构不耐火,钢材的强度随温度升高而下降,当温度达到450~650℃时,钢结构会失去承载能力,会发生大变形,导致钢柱和钢梁弯曲,因过大变形而引起垮塌。在全负荷的情况下,钢结构失去平衡稳定性的临界温度为500℃。

② 消防射水

在冷却建筑物灭火的过程中,可能引起局部的受热不均匀或即冷现象,破坏结构之间的张力关系;消防队员在灭火时通常使用高压直流水枪或水炮。水的冲击力很容易使建筑物的承重构件倾覆。同时,在灭火过程中,大量的水可能增加楼板的荷载,使楼板超载而倒塌。

5 结束语

本文对建筑结构特性和火灾特点的分析,希望可以为建筑设计人员对建筑结构的防火、抗震、耐火极限等性能的提高和改善,提供一些参考;同时为消防人员在实际的火灾救援战斗中采取的措施提供指导,以达到最有效的成功灭火与救人的目的,同时避免一定的人员伤亡和财产损失。

参考文献

- [1] 张泽江,覃文清,兰彬,等.古建筑防火保护研究现状[J].消防技术与产品信息,2007(2):52-54.
- [2] 吴玉章,原田寿郎.人工林木材燃烧性能的研究[J].林业科学,2004,40(2):131-136.
- [3] 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.建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S].2016年版.北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [4] 周白露.高层住宅火灾特点及火灾预防[J].山西建筑,2016,42(32):243-244,245.
- [5] 李耀庄,李昀晖.中国建筑火灾引起坍塌事故的统计与分析[J].安全与环境学报,2006,6(5):133-135.
- [6] 韦耿新.浅谈火灾后混凝土结构的力学性能[J].建筑工程技术与设计,2018(31):2954.
- [7] 查晓雄,钟善桐.钢筋混凝土构件在受火时的力学性能分析[J].华中科技大学学报(城市科学版),2002,19(1):86-90.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑设计防火规范:GB 50016—2014[S].2018年版.北京:中国计划出版社,2006.