

钢结构防火

施丽彦

(重庆大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400045)

摘要:钢结构的防火是钢结构建筑主要存在的安全问题,通过对钢结构防火原理的介绍探讨钢结构防火的方法、措施。从结构设计和建筑技术的角度出发,分别探讨了相关的钢结构防火问题。

关键词:结构抗火; 防火板材; 耐火涂料; 耐火极限

中图分类号: TU391

文献标识码: A

2001年9月11日上午,发生了让世界震惊的“9.11”事件。著名建筑师山崎实在纽约的标志性建筑世界贸易中心成为恐怖分子袭击的目标,两架空中客机撞击了贸易中心的两座塔楼,一个小时后,两座塔楼先后垮塌,这座著名的高层建筑灰飞烟灭,这个高层钢结构的倒塌在建筑界引起了极大的轰动,钢结构的防火成为一时的话题。

在消防管理规范条例中,建筑安全防火一直是很重要的部分。建筑是人类生存的庇护场所,建筑安全直接关系到人类生存安全,火灾是威胁建筑安全的一个重要原因,在建筑设计的不断发展过程中,防火问题已经成为建筑师主要考虑的安全问题,尤其是在钢结构建筑中。

以钢结构为主的金属结构的崛起与发展,全新的结构形式、材料特性使建筑防火遇到新的挑战。传统的砌体与钢筋混凝土结构本身就是耐火结构,与它们不同的是,钢结构构件本身不是耐火构件,不加保护的钢结构构件的耐火极限仅为10~20 min,因此钢结构的防火设计成为安全设计的主要问题。

我们国家正处于钢结构建筑的发展期,针对钢结构建筑的各种设计规范不是十分成熟。国内现有的关于钢结构防火方面的要求还是仅满足六七十年代钢结构建筑要求的、简单的一些钢梁、钢柱的防火要求,没有完整的、针对现代钢结构形式的规范,这方面,国内处于落后的状态。



图1 遇袭起火的世贸大厦

1 结构构件在火灾条件下的破坏机理

火灾发生时产生的热量是以辐射和对流传给结构构件的,即使构件是不燃的,由于温度上升也会引起膨胀和强度的降低。热膨胀引起构件伸长,或两侧受热不均时引起构件弯曲,产生位移或约束力,在刚性框架结构中,由于横梁伸长而产生的约束增大,可能把柱子从其承载处推开,使结构受到破坏,引起垮塌。钢结构构件在温度升高时,强度会降低。

钢结构构件在达到屈曲强度时会有很大的塑性变形,肉眼很容易观察。很多研究成果表明,当温度不超过600℃时,在恒定荷载作用下,钢材的变形过程可以考虑为不依赖于时间的过程,其余

■ 收稿日期:2001-12-10

作者简介:施丽彦(1978-),女,江苏启东人,硕士生,主要从事建筑技术研究。

变的影响可以包括在应力—应变关系中(图2是高温下屈服强度为 255 N/mm^2 钢材的应力—应变曲线)。在最低温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,承受 240 N/mm^2 左右的应力时应变为 2.54 mm ;在临界温度 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 时,同样应变为 2.54 mm 时,只能承受约 30 N/mm^2 左右的应力,相差了约7倍。因此,高温时钢结构构件的受力状况十分不利,防火设计是钢结构的结构和构造设计过程中十分重要的一环。

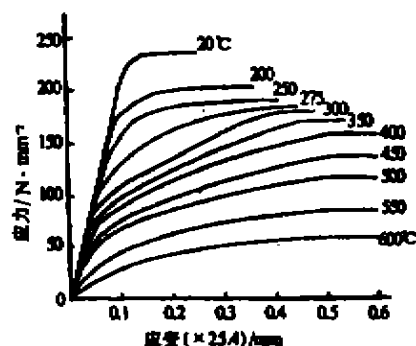


图2 高温下钢材的应力应变关系

2 结构抗火设计方法的理论阐述

钢结构的“抗火设计”是结构设计的专业用语,将抵抗火灾与抵抗重力、抵抗风荷载、抵抗地震作用相提并论,通过对结构构件采取防火保护措施,使其在火灾中承载力降低不多而满足受力要求来实现,强调的是结构抵御火灾影响(包括温度应力、高温材性变化等),需要考虑荷载与约束条件,此时火灾是一种结构荷载,影响承重构件的尺寸和构造。总而言之,“抗火设计”可以归结为设计“结构防火”保护措施,使构件在承受确定外荷载条件下,满足“结构耐火”时间要求。这些要求是钢结构防火设计规范制定的基础。

以下是抗火设计的几种方法:

1) 基于试验的构件抗火设计:一种简单、直观的方法,通过对不同构件(梁、柱)在规定荷载分布和标准升温条件下进行耐火试验,确定在采取不同防火措施后构件的耐火时间。我国《现行建筑设计防火规范》(GBJ16—87)中关于钢梁和钢柱的防火措施的要求正是基于此法。由于无法考虑荷载分布与大小、构件端部约束状态的影响,此法有很大的缺陷,是最基本的、最原始的方法。

2) 基于计算的构件抗火设计方法:以有限元或经典解析分析方法为主,进行理论研究,考虑任意荷载形式和端部约束状态影响的钢构件抗火设计。上海市标准《钢结构防火技术规程》即采用此法。

3) 基于计算的结构抗火设计方法:以防止整体结构倒塌为目的,基于整体结构的承载能力极限状态进行抗火设计。此法尚未有适于工程实用的方法被有关规范采纳。

4) 考虑火灾随机性的结构抗火设计方法:概率可靠度是现代结构设计中不可或缺的因素,结构抗火的概率可靠度设计必须考虑火灾与空气升温的随机性。这涉及到另一门学科的研究,有待发展。

以上考虑的是通过结构设计的途径来设计金属结构的抗火能力,然而改变不了金属结构本身不能抗火的事实,也许随着材料工业的发展,这个问题能得到最终的解决,但不是现在,现在的金属结构仍要依靠不同的外在保护措施才能达到对它的不同耐火极限的要求。

3 钢结构的防火保护措施

现有的钢结构防火保护措施有很多种,从原理来分主要可以分为屏蔽型和涂料型。这两种方法都是外保护的措施,原理很简单,但难免有治标不治本之弊。

3.1 屏蔽型防火

屏蔽型防火的原理是通过将金属构件用耐火材料与火源隔断,从而保护钢构件。从建筑构造的角度看有以下几种常见形式:

1) 在一些特殊的部位设置防火屏障,将火源隔开,起到防火墙的作用(图3)。如:钢梁下安装防火平顶、钢柱外侧设置一定宽度的防火板等,可以省却钢桁架、钢网架等的防火保护层。在室内防火处理时,有时可以采用这种方法将火灾发生频率高的防火分区与主要结构构件隔离开。另外,在很多现代金属建筑中有一种结构外露的现象,除了展现结构与构造节点的力量美之外,在防火方

面也很有益处。金属构件置于围护结构的外围,并保持一定的距离,当火灾发生时金属构件可以免受火焰的作用,隔墙板则可以起到隔热的作用,而且在发生火灾的情况下,外部空气保证了自然通风,起到了自然冷却金属构件的作用,也是一种变相的防火屏障。

2) 使用混凝土与耐火砖完全封闭钢构件(图4)。混凝土与砖是天然的耐火材料,它们本身具有耐火性能,根据厚度的不同耐火极限也不同,因此可以使用混凝土或砖来包裹钢构件,使钢构件达到一定的耐火极限。上海浦东的世界金融大厦的钢柱即采用这种方法。但是,混凝土与砖的耐火极限随着厚度的增加而增加,因此采用这种防火措施的钢构件通常身材臃肿占地较多,同时在一些构件上的施工也较为困难,特别是钢梁、斜撑等构件。同时也不利于材料的经济节约,在要求达到通透轻盈效果的钢结构建筑中,采用这种保护方法是很困难的。

3) 采用耐火轻质板材作为防火外包保护层(图5)。耐火轻质板材的主要材料是水泥、石膏、硅酸钙、蛭石、陶瓷纤维、岩棉、砾石这些耐火、无毒的物质,加工成板材以后,通过不同的构造方法制成保护层。有采用软性的陶瓷纤维毡缠绕在钢构件上的,有使用掺无机纤维硅钙板、蒸压轻质混凝土板、无机纤维强化石膏板、挤压成型水泥、预制混凝土板直接贴敷的……

板材保护的做法有直接包裹或贴敷、使用加固铁件连接、软性材料缠绕等。

3.2 涂料型防火

涂料型防火的原理较为简单,通过涂抹耐火的涂料来抵抗火焰。通常防火涂料分为两种:薄型和厚型,也可以说是膨胀型和非膨胀型。

1) 薄型涂料(膨胀型涂料):涂膜厚度为1~2mm,常温下较稳定,火灾时受热起泡、膨胀数十倍,形成隔热性能极佳的碳化层,保护钢构件不受火灾的毁损。这种耐火材料制成的保护层很薄,色彩多样,装饰性能极佳,适合于结构外露的金属建筑,有助于展现金属构件的力量美。

薄型耐火涂料的构成很简单(图6),经过对钢构件的基底清理和涂完防锈漆(底漆)之后,涂刷具有耐火性的耐火底衬(中间涂层),接着涂敷外保护层(外饰层)就可以了。耐火底衬在常温下稳定,一旦受热就会起泡和膨胀,形成含有气态成分的、绝热的碳化层。耐火底衬由四种材料制成:①触媒,通常是聚磷酸铵;②碳素源及碳水化合物等;③树脂或粘结剂;④发泡剂。受热时,碳素源与从触媒放出的无机酸相结合,形成碳化层,在粘结剂溶化的同时,发泡剂发生分解,产生二氧化碳、水蒸气等气体,粘结剂变成泡沫状,将碳化层鼓起,形成达到漆膜原有厚度几十倍的含有气态的绝热层。耐火底衬的漆膜厚度的大小决

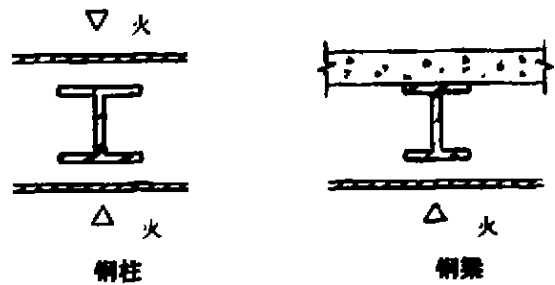
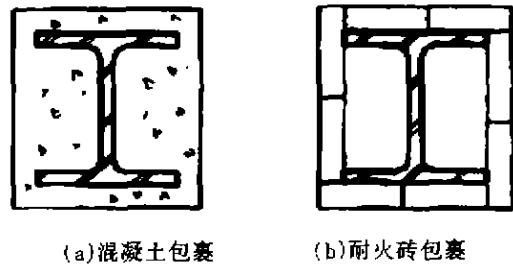


图3 防火屏障示意图



(a)混凝土包裹 (b)耐火砖包裹

图4 外包混凝土和耐火砖防火示意

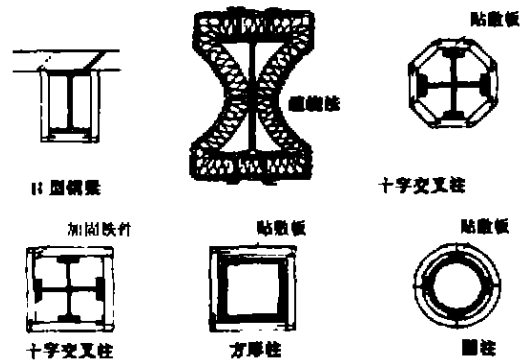


图5 板材防火保护示意图

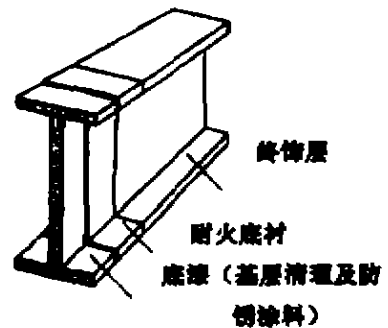


图6 耐火涂料的构成

定了金属构件不同的耐火时间。

最近,从有关资料获悉,有一种高强混凝土也可以用来做钢结构的防火涂料,它的厚度相当于薄型防火涂料的厚度,依靠混凝土自身的耐火强度来支持钢结构,可以使用喷涂法施工。

2) 厚型涂料(非膨胀型涂料):主要为无机绝热材料,受热不膨胀,自身有良好隔热性,涂层厚度不等,可有7~50 mm,对应耐火极限为0.5~3 h以上,以蛭石、珍珠岩、矿物纤维为主要绝热骨料,分为干、湿法施工,现在也有混合施工法。

防火涂料的选用有很多讲究,如:适用于室内的防火涂料不能用于露天结构等,此处不作详细介绍。

在“9.11”事件后,防火涂料的抗冲击性能也得到专家们的普遍关注,但有关这方面的研究较少涉及,不能不说是个缺憾。

另外,还有其他的一些防火措施,如:水冷却法,即在空心截面的钢柱内充水,与设在高处或顶部的水箱相连,形成封闭的冷却系统。受热时,钢柱内部产生水循环,将热量带走,但是这种方法需特殊的结构设计,比较复杂,很少使用。美国匹兹堡的美国钢铁公司大厦就使用了这种防火方法。

4 对于钢结构防火的一点认识

在不断研究开发出新的防火板材材料的同时,研究可以耐火的钢材是全世界从事钢结构研究的工程师们共同努力的目标。大家都希望有一天钢材象混凝土和耐火砖一样能靠自己来决定耐火时限,目前当然是不可能的。

4.1 采用不同的防火极限

火灾的发展状况通常是通过火灾标准实验得到的。在钢结构的建筑中,同一种建筑类型可以采用不同的防火极限。对于可燃物少的建筑和空间大的房屋,不是依据标准的火灾加热法来测试,而是根据可能设定的、与用途相吻合的加热条件来测试,可以相应降低钢结构构件的保护层厚度。

4.2 对建筑物进行耐火设计

根据建筑物火灾的规定、建筑的使用材料以及施工方法等的不同对建筑进行单体评估。通过对火灾温度和发生时间、钢材温度和相关时间的测定以及对构件及结构的承载力、变形和相关时间的测定来评测钢材的温度、结构的变形是否满足要求。

4.3 被动防火与主动防火的结合

在钢结构防火设计中考虑主动的防护保护措施,如喷水装置。在一栋发生火灾但未失稳的建筑物里,致命的危险是烟而不是火,喷水装置可以切断烟气有效的保障生命。

4.4 发展的趋势

在英国卡丁顿进行的一系列大型钢结构建筑的火灾实验堪称世界上最大规模的火灾实验,包括一栋八层钢结构建筑物,它的结果可能导致新的防火规范的产生。

在实验中,发现标准构件和实际结构构件的变形有很大的出入。标准实验中,梁的温度达到700℃就可以引发1/30梁跨的挠曲,而在实际实验中梁的挠曲是标准实验的3/4,证明建筑结构的耐火性能较单独计算构件的耐火性更好。同时,实验结果表明柱子是结构安全最重要的构件,而且当梁的温度达到1100℃几乎失去承载能力时,金属复合楼板尽管已经变形但没有倒塌,使建筑结构的耐火性大大超过当前的假设。

在钢结构火灾的设计与防护方面将有更大的发展,除了钢材本身成分的改变成为耐火钢以外,还将通过结构计算的处理让钢结构在火灾时发挥最好的承载能力。

(下转第60页)