

建筑钢结构防火设计分析与研究

王尧

淮安市体育中心发展有限公司

DOI:10.12238/btr.v5i2.3937

[摘要] 随着钢构工程的广泛应用,钢构防火设计尤为重要。论文关于建筑钢结构防火设计中的一些问题,主要根据GB50016—2014《建筑设计防火规范》(二零一八年版)、GB51249—2017《建筑钢结构耐火技术标准》等标准的有关内容,主要介绍了建筑钢结构防火设计的主要特点、方式以及建筑钢结构耐火涂料的使用情况,对相关标准中一些术语的认识以及对一些新规定的把握,供设计人员在实际工程设计中参考使用。

[关键词] 建筑钢结构; 防火设计; 分析研究

中图分类号: TU71 **文献标识码:** A

Fire protection design analysis and research of building steel structure

Yao Wang

Huai'an Sports Center Development Co., Ltd

[Abstract] With the wide application of steel structure engineering, steel structure fire protection design is particularly important. The paper on some issues in the fire protection design of building steel structures, mainly based on GB50016—2014 "Code for Fire Protection of Building Design (2018 Edition)", GB51249—2017 "Building Steel Structure Fire Resistance Technical Standards" and other standards, mainly introduces the main characteristics and methods of fire protection design of building steel structures and the use of fire resistant coatings for building steel structures, the understanding of some terms in related standards and the grasp of some new regulations. For designers to refer to in actual engineering design.

[Key words] building steel structure; fire protection design; analysis and research

引言

钢构施工技术建筑物以其自重较轻,抗震能较好,装配化水平程度高,施工进度较快等优点,在近年来受到广泛应用。一般钢属于不燃建筑材料,而在失火条件下,由于一般钢的沸腾临界仅为550℃,不加保护的钢构耐火特性极限为15min内左右,所以失火时钢构温度就会出现很大的变化,进而没有了承载力。所以,钢构的耐火工程设计尤为重要。本文将按照GB50016—2014《建筑设计防火规范》(2018版)、GB51249—2017《建筑钢结构防火技术标准》的相关规定,将钢材构件采用抗火设计与处理,以避免钢材构在大火中急剧因高温发生变化而坍塌。

1 建筑钢结构防火的要求

理论上讲,没有烧不垮的建筑工程,只有坚持的时间很短而已。建筑工程钢结构消防目的是确保失火时,建筑材料钢构在规定时间内不损毁,所以,建筑材料钢构消防应当严格按照GB50016—2014《建筑设计防火规范》(二零一八年版)对建筑工程类别及其火灾危险性合理定性,明确建筑材料的消防分级及其建筑工程结构的消防限度和易燃特性等,建筑工程结构的易燃特性和消防限度决定了整体建筑工程的消防级别。GB50016—2014《建筑设计防火规范》(二零一八年版)附件中注9:无消防保护层的钢梁、钢柱、钢模板和钢棚架等,其消防限值都只有0.25h。可见钢铁的防火特性极差,而且钢结构建筑也极其怕火,在火灾下由于钢强度,刚性迅速减弱。无防护状况

下15min就几乎丧失了承载能力,所以建设钢材结构一定要进行防火设计,目前建设钢材结构的最常见防火措施就是在建设钢材结构表面铺设耐火涂层^[1]。

2 建筑钢结构防火设计方法

2.1 建筑钢结构防火涂料

根据GB14907—2018《钢构耐火涂层》,钢构耐火涂层一般包括扩张型和非扩张型二种。膨胀类也叫做薄型耐火涂层(厚度大小为或超过3mm为超薄型,大小为或超过7mm为薄型),此类的耐火涂层以有机树脂用量为基材,再配以发泡剂、阻火剂、成碳剂等,遇火后自身发泡并扩张,产生的多孔碳化层可遮挡外界热源对基体的传热,因此具有保温屏障的功能。但由于随着时间增长,部分有机物出现分解、降解现象,“老化”或失效,

涂膜出现粉化、剥落现象,且持久性不好,对防火性能要求较高的建筑物材料和构件将不能使用。膨胀型的防火涂层耐火极限温度可达 $0.5\sim 2.0$ h。而非膨胀型的也叫做厚型耐火涂层(厚度一般为 $7\sim 50$ mm),该种耐火涂层以余孔的轻质无机绝热材料为主要基质,并配以无机粘附力剂等,涂料的物理化学性质比较稳定,遇火不膨胀,其耐火原理依靠涂料良好的保温性能和在高温下部分成分的挥发分解和燃烧反应所形成的热虹吸效应,从而限制和减少了火灾热能向基体的传导,有效缓解了钢结构高温。非膨胀类防火涂层的耐火极限可达 $0.5\sim 3.0$ h。一般室内外溶剂性膨胀型普通钢构件耐火涂层,一般户外用水基性非膨胀型特种钢构件耐火涂层,和水环氧类膨胀型耐火涂层。部分特殊结构如柔性支座、拉索等由于直径较小,用非膨胀式耐火涂层的附着厚度并不能够满足该种耐火涂层的需要;用膨胀式耐火涂层附着厚度较薄,膨胀效果不好,耐火效果也较差;因此一般应选用柔性的毡状隔热材料。钢结构耐火漆和防锈漆兼容,是钢结构耐火保温的主要技术难题。在实际施工中,为降低生产成本,大量钢结构企业使用调和漆作防腐油漆。调和漆涂层附着力低,易空鼓、剥落,所以建议使用环氧等涂层的防锈油^[2]。

2.2 规范中几个术语的理解

2.2.1 构件截面外形系数:具有耐火材料保护层钢结构的截面尺寸外形系数,不但与钢结构的截面尺寸特性相关,还与耐火材料保护层的做法相关。该系数在进行钢结构防火保护计算过程中都会遇到。GB51249—2017《建筑钢结构消防技术规范》中6.2.2条的定义是“结构的消防保护材料内表面与单位长度钢结构的容积之比”,与建筑节能计算中建筑体型系数值计算是一致的。钢结构(如轻薄直径)的外形系数值越大,耐火材料持续时间越短。反之,钢结构(如厚实直径)的形体系数值越小,则耐火持续时间就越长。

2.2.2 负荷比:火灾下建筑或结构材料的负荷效应设计值与其在正常温度下的强度设计值的比率。是判断大火下结

构形式及建筑物承重程度的主要技术指标,是临界温度法进行建筑物防火试验的重要参考。荷载比越高,防火持续时间越长。反之,荷载比越小,耐火时间越短。结构安全与耐火措施为基础,传统的钢结构工程设计一般包括两大验算:构件承载能力的极限状况和正常使用能力极限状况。而上述验算中一般包含的计量参数则有:负荷、材料力学等特性;重要的统计指标有:受力(内力/应力)和变化。构造防火设计最大的优点,就是除了恒载、活载、风荷载等基本负荷之外,还必须考虑火灾所引起高温环境的影响,也称为火灾影响。水泥、钢铁等构成建筑材料的力学性能往往随着环境温度的增加而不断减弱,因此建筑或材料耐火强度极限状态的概念就是在由火源所诱发的高温环境下,受力的建筑材料进入了无法经受外力作用或不适宜持续忍受温度的变化的状况,而将建筑或材料从受火初始时刻到进入耐火强度极限状态的时间定义为耐火性能极限。受火时间长短,以及结构构件的温度升温是影响通过消防极限验算的钢构安全耐火措施的最主要因素。钢构防火设计中必须完成的耐火特性验算主要是采用承载能力极限状态下的验算。在验算时,偶然负荷组合中一般可不考虑震害和火灾的复合影响,只计算恒载、活载、风负荷的作用,当结构轴流式变化特征显著时,还应计算因高温而引起的次内力。

2.3 环境温度和传热

钢建筑构件的高温是影响其着火下动力学特性的关键因素,钢构耐火特性极限验算时应先采用钢建筑构件高温估算。主要影响钢建筑构件高温的各种因素主要有着火环境保护、钢建筑构件几何特性(外形、尺度)、受火状况(受火面总量)、受火延续时间长短,以及消防措施等。着火环境影响主要指影响钢建筑构件的着火事件所引起的温度变化。在实际条件下,着火事件引起的温度变动大致由上升段和降温阶段构成,但均可包括着火、蔓延、轰燃、继续燃烧和降低等五个阶段。在工程钢构的安全消防措施中,一般不选择与着火事件衰减过

程同步的温度降低段。火灾事故的严重性主要与周围空气环境条件、消防排烟方法、有害物(着火荷载)总量和堆放方法等各种因素直接相关,在实际情况下也存在着相应的随机性,因此目前评判结构材料及构件的防火特性均是在标准中给出的标准及火灾事故高温环境条件下考察的。而按照中国钢构建筑防火标准,目前适用于钢构设计的常见室内火灾事故上升曲线,主要有由纤维类物质所组成的火灾事故上升曲线,以烃类物质为主的火灾升温曲线(又称碳氢升温曲线)。必须注意的是,由于大空间建筑物结构的真实火势和一般室内火势有一定区别,尽管已有许多相关理论研究,但由于当前没有提供建筑设计使用的普通火势模型,因此往往必须结合实际情况研究,并通过ISO-834标准火灾模拟才能得出保守的分析结论^[3]。

2.4 荷载作用

火灾事故时,构件上可以共同发生的负荷(功能)一般为恒载、活载和风负荷。抗震功能与着火事故相同的几率相对而言较低,钢结构消防技术规范里不顾及抗震功能的重叠,并明文规定火灾事故时构件上可以共同发生的负荷(功能),但必须说明的是,对受弯构件、拉弯构件和压弯构件等以屈曲形式进行的构件,也可以不顾及热膨胀效果;尽管标准中提出了对轴受拉、轴受力等以轴向变化主导的构件,应当充分考虑热胀冷缩效应对内里的效应(即荷载作用形式中的STk或ST),但鉴于实际建筑中的各种类型结构约束条件较复杂,且热胀冷缩效应的非线性现象较明显,各标准中均未能具体提出在基于构件的安全耐火措施中如何简单估计热膨胀效果,如按完全约束情形下的热膨胀估计,则无法得出与建筑实际状况一致的结论。在无法正确地合理考察以轴向变形方式构成的热膨胀效果时,作为一个简单方案,高钢规中要求当热荷载效应综合中不顾及温度设计内力时,对在构造中所受约束较大的材料,应把估计得到的保护层材料厚度提高约百分之三十为材料的保护层材料设计厚度。

3 常用防火保护措施及构造

常见的钢结构耐火措施,一般有喷涂耐火油漆、包覆耐火板、覆盖柔性毡状隔热建筑材料,或外包水泥、金属网抹水泥以及砌筑气体。其中,涂刷或抹涂耐火涂料是最普遍的耐火保护方式一种。除耐火水泥材质以外,常规的耐火涂层可分成非膨胀型(原厚型)和扩张型(原薄型和超薄型)两类,并且按应用场合可分成室内耐火涂层和户外耐火涂层,按扩散介质分成水基性钢构件耐火涂层和溶液性钢构件耐火涂层。按照耐火材料的性质划分,非膨化的耐火材料一般由水泥基、石膏基,并掺有蛭石、膨胀珍珠岩粒等所组成的无机物质,在着火所产生的高热下并不进行发泡化学反应,而基本上是靠其本身的强度产生了耐火隔热层;膨胀式耐火涂料,是由树脂基材质、膨胀剂、成炭剂、填充物、颜料混合而制成的有机材料,具备抗曝热性能、抗潮湿性能、抗冻融循环性能、抗酸性能、抗碱性能、抗盐雾腐蚀性和抗紫外辐射性能等特点。至于非膨胀式耐火涂层,鉴于其是无机材质,通过提高厚度也能够达到对钢结构构件长达3h以上的耐火保温效果,但膨胀式耐火涂层则因为其在高热下的粘着性能衰减、由于膨化起泡原理而产生的疏松气泡状耐火隔热层的稳定性变差,以及在高热下产生的烧蚀现象等因素,通常只应用在耐火极限不大于2h的钢结构构件,而钢结

构耐火涂层标准中对膨胀式耐火涂层的等级代号也仅到了2h。对钢砼复合结构建筑物,可选用涂锌的铁丝网、钢丝网以及玻璃钢材料布;对膨胀型耐火涂层,也可选择玻璃纤维织物,但应选取适当的网格尺寸以减少其对涂层在受火灾时膨胀发泡产生的不良影响。

4 设计要点及讨论

随着由国标钢结构耐火标准与国际新钢结构耐火涂料标准所组成的新标准实施或升版,中国建筑钢结构工程安全防火措施也迎来了很大的变革,从原来相对粗糙的基于结构说明性要求的工程设计方式,升级到了基于构造耐火特性承载力与极限状态验算的防火设计方式。在这样大的变革下,在材料标准与测试要求、设计规范等之间仍然没有一些衔接,并且由于实际的工程状况不同,导致钢结构防火设计过程中在有测试数据的条件下,执行标准条文具有相当的难度。汇总一下,主要有如下几个方面值得注意:(1)除特殊情形外,一般的工业和民用建筑钢结构防火设计都应当严格按照ISO-834规范的火灾升温曲线进行设计,使用非规范火灾升温曲线设计或进行消防性能化设计则须经过专门讨论,或取得国家消防主管部门的确认。(2)针对大空间结构的建筑物结构,采用整体结合防火验算的安全防火措施方法,需要根据建筑防火分区设计并选择最不利的火灾场景实施试验,同时还应当充分考虑

建筑空间结构的热膨胀效应、结合建筑材质特性的高温因素以及建筑结构中非线性面板的因素。且既有的国家标准钢梁结构耐火特性测试的参数范围也相对单一而无法涵盖实际状况,所以合理而充足的国家标准材料测试数据的欠缺也是制约采用国家标准防火特性验算法的施工钢材结构安全防火措施的主要原因所在。尽管热膨胀式耐火涂料已以涂层薄、施工简单、美观等原因而获得了建筑师的认可,仍应鉴于其防火性能有限、耐久性差等原因而慎重采用。

5 结语

根据建筑钢材构件安全防火措施有关新标准的颁布和工程计算特点,本章对建筑安全耐火措施有关的标准以及基于构件防火承载力极限状态验算的钢材构件安全耐火措施技术进行基本阐述了,并着重阐述了基于耐火验算的钢材构件安全耐火措施规范和技术要求。

[参考文献]

- [1]谈建国,谈路遥,金烁.建筑钢结构防火设计分析与研究[J].工程建设与设计,2022(01):14-17.
- [2]陈凯.性能设计方法在钢结构建筑防火设计中的应用研究[J].中国建筑金属结构,2021(10):46-47.
- [3]匡文杰.大跨度钢结构建筑防火设计分析[J].中国建筑金属结构,2021(07):44-45.