

# 预作用式充水法在钢结构建筑消防中的应用探究

张 怡 刘 焱

(东南大学市政工程系, 南京 210096)

**摘要** 分析了钢结构高层建筑的防火性能,总结了钢结构高层建筑的防火措施,提出了预作用式充水法、合建式自动喷淋系统以及钢柱式喷头,并对其进行了分析和评价。

**关键词** 预作用式充水法 合建式自动喷淋系统 柱式喷头 钢结构 消防

## 0 前言

随着建筑结构材料的不断更新,钢材料应用和生产的不断发展。钢结构建筑作为一种结构形式,以其强度高,质量小,工期短等优点,已经开始被广泛应用于建筑行业。同时,由于钢结构自身所具有的特点和优势,在高层、超高层以及大空间建筑的应用尤其广泛。截至1998年底,在世界上超过200m的建筑中,钢结构的占了72%,如表1。在最高的10栋建筑中,全钢结构的占了5栋,其余则是钢与

表1 世界10栋最高的高层建筑(到1998年)<sup>[1]</sup>

序号	建筑物	城市	建成年份	层数	高度/m	材料
1	双塔大厦	吉隆坡	1997	88	452	钢/混凝土
2	西尔斯大厦	芝加哥	1974	110	443	钢
3	金茂大厦	上海	1998	88	421	钢/混凝土
4	世贸中心北楼	纽约	1972	110	417	钢
5	世贸中心南楼	纽约	1973	110	415	钢
6	瑞凯特广场	吉隆坡	1998	77	382	钢/混凝土
7	帝国大厦	纽约	1931	102	381	钢
8	中心广场	香港	1992	78	374	钢/混凝土
9	中国银行	香港	1988	72	368	钢/混凝土
10	石油大厦	芝加哥	1973	83	346	钢

混凝土混合结构。在钢结构广泛应用于高层建筑的同时,其防火措施的重要性更加凸显。因此,很有必要针对高层钢结构建筑防火措施进行研究。

## 1 钢结构建筑的耐火性能分析

判断建筑结构构件耐火性能的指标有两个:燃烧性能和耐火极限。对于钢柱和钢梁来说,其燃烧性能和耐火极限如表2。

表2 常用钢结构构件的燃烧性能及耐火极限<sup>[2]</sup>

构件名称	耐火极限/h	燃烧性能
无防护层	0.25	不燃烧体
有120厚普通粘土砖耐火层	2.85	
有100厚C20混凝土耐火层	2.85	
有50厚C20混凝土耐火层	2.0	
有25厚M5水泥砂浆钢丝网耐火层	0.8	
有50厚M5水泥砂浆钢丝网耐火层	1.3	
有7厚薄涂型防火涂料保护层	1.5	
有30厚薄涂型防火涂料保护层	2.0	不燃烧体
有50厚薄涂型防火涂料保护层	3.0	
无防护层	0.25	
有7.5厚薄涂型防火涂料保护层	1.5	
有50厚厚涂型防火涂料保护层	3.0	

## 7 总结

对于济南奥体中心主体育场的消防设计是执行《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—95, 2005年),还是执行《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)是没有明确定论的,经过消防专家论证会论证,结论是按“建规”,靠“高规”,也就是基本数据参见“建规”,但考虑到项目的重要性,参照了

“高规”的部分条款。

本文要特别感谢我公司顾问总工刘文斌,从体育场的方案设计到施工图的最终完成,都提供了十分宝贵的建议。

收稿日期:2007-07-12

修回日期:2007-07-30

由表 2 可见,无防护措施的钢柱和钢梁的耐火极限只有 15 min。同时,在温度介于 300~750℃ 时,钢材的有效屈服强度  $\sigma_{yT}$  随温度的增加大致成线性下降,日本所采用的计算公式<sup>[2]</sup>为:

$$\sigma_{yT} = (750 - T_s) / 450 \quad (300^\circ\text{C} < T_s \leq 750^\circ\text{C}) \quad (1)$$

而当温度大于 750℃ 时  $\sigma_{yT}$  则等于 0。即当温度达到 500℃ 时,就能够使钢结构失去静态平衡稳定性。由于一般火场的温度都能够达到 800~1 000℃,因此对于钢结构建筑进行防火措施的设计是很有必要的。

## 2 常用的钢结构建筑防火措施

### 2.1 截流法

截流法的“流”指的是热量的流动,它是通过截断或延缓火场内产生的热量传输到钢结构构件表面从而达到防护的目的。截流法的做法一般是在钢结构构件表面裹附一层导热系数小、热容量大的保护材料,通过这层保护材料来实现钢结构构件的防火保护。常用的具体方法有喷涂法、包封法、屏蔽法、水喷淋法几种。

### 2.2 疏导法

疏导法则允许热量传输到钢结构构件上,但采用其他介质从钢构件处导出热量,使钢构件在规定的耐火极限时间内达不到其临界温度而保持其承载力。该方法具体做法目前仅有充水冷却法一种。

## 3 充水冷却法

充水冷却法是在空心封闭的钢构件(主要是空心钢柱)内充水形成循环冷却系统。图 1 是采用压力水箱对钢柱群进行循环保护的示意<sup>[3]</sup>。图 1 中柱群之间形成循环冷却管道系统,当任一钢柱或任一部分钢柱受热时,该钢柱内的水受热,密度变小,有的甚至汽化向上升腾,使该柱内的水呈上升趋势,而其他不受热的柱及高位水箱的供水管不断向受热钢柱供应冷水,推动着柱群系统的冷却循环。高位水箱则为柱群系统的水循环提供压头<sup>[4]</sup>。从理论上讲这是保护钢结构构件的最行之有效的方法。

但充水冷却法有着其先天性的弊端。由于充水冷却法需要在钢构件内充水,因此对于构件的包封措施有着很高的防水要求,这会提高施工成本。同

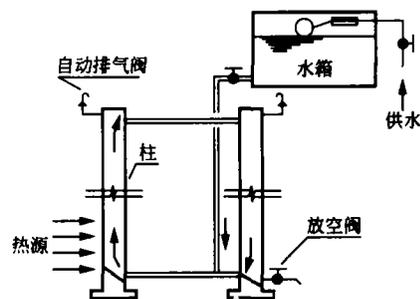


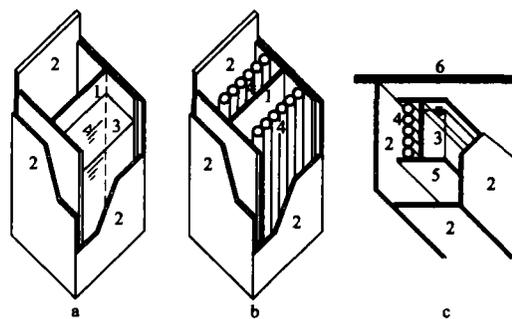
图 1 空心钢柱充水冷却循环保护原理

时,该方法需要在水内添加防腐剂和防冻剂以防止锈蚀和结冰,从经济角度综合分析来说是劣于截流法的。因此虽然该方法在美国的堪萨斯州银行大厦和匹兹堡钢铁公司大厦得到了应用,但由于对结构有着特殊的要求,没有成熟的资料可供参考,因此该方法在国内还没有得到应用。

## 4 预作用式充水法的提出及其分析评价

### 4.1 预作用式充水法的提出

鉴于充水冷却法的这些优缺点,提出一种新型防火方法——预作用式充水法。该法在充水冷却法的基础上,将自动喷水灭火系统中的预作用式方法同充水冷却法进行了有机结合。其主要原理是:在钢结构构件内留出自上而下的柱群空隙,平时充气,发生火灾时,通过人工或自动控制将气体排出使水流充满其内部并循环流动,从而带走热量,如图 2。具体可有两种做法:一是在钢柱内空心部分留出适当的空隙供平时充气,火灾发生时将水导入并形成流动管网,从而带走热量;另一是在钢柱内部配置若干自喷管道,该管道与钢柱表面紧密贴附或者通过导热性能好的材料粘附,在发生火灾时,管道内充



1 钢柱 2 防水层 3 自喷用水(平时充气)  
4 自喷管网 5 钢梁 6 楼板  
图 2 预作用式充水法示意

水,即可将钢柱内的温度及时传递到管壁,进而传递给水流带走从而达到冷却的目的。前者需要在钢柱外做一防水层,通过钢构件和防水层共同将水包裹起来,形成水流通道。后者虽不需要严格做防水层,但其传热效果明显不如前者好。

#### 4.2 预作用式充水法的分析评价

通过跟截流法和疏导法的比较可以看出,在水力条件稳定有效的情况下,该方法至少具有以下几点优势:

(1) 防护效果好。从理论上讲,在水量充分,接触完整,水温合适的情况下,钢构件内的温度会非常有效的传递到水中。该法类似于用锅烧水一样,锅的温度会稳定在水的沸点上下。

(2) 省材,省药剂。该法基本上可同普通结构住宅采取同样的耐火材料甚至无需耐火材料。但需要包封应用到的钢柱或钢梁四周,以保证火灾时水流能正常流通。此时水中亦无需添加任何药剂,平时可将水储存于高位消防水箱,其用水量可参见下文。

(3) 水质稳定。且如果循环末端仍有水流则可以继续用泵提升以循环利用。

同充水法一样,预作用式充水法也有其应用的局限性:

(1) 钢柱或钢梁内的空间对于水流流态的影响特别大。众所周知,当水流被圆形钢管所包围时,并且在充满流的情况下,其流态是最稳定的。当水流被方形钢柱包围,并且柱内存在螺栓等构件时,流经其中水流的流态将会产生比较大的扰动,而这种波动可能会造成水流对钢柱的吸热不均或者部分构件未被保护到。因此,在钢构件的连接等处应当采取适当措施防止局部受热过度。

(2) 以上行下给式水流为例,若火灾发生时上端钢构件遭到像弯曲变形等严重损伤,则会直接影响到下端的水流流量和流态,甚至会造成下端没有水保护。因此该方法应该充分考虑水流保护的稳定性。

(3) 水流的流量也将成为影响防护效果的重要因素之一。对于不同受热面积的钢材,所需的疏导水量也不同。如果对于较大受热面积的钢材,其疏导水量相对较小,则不能达到及时输送热量的效果。该部位就有可能因为水分完全被蒸发

而成为保护盲区。因此,此法应当建立在合适的热能传递方程上。

如上所述,预作用式充水法在采取了针对性的措施后是可行的。

#### 4.3 预作用式充水法同自动喷淋系统的合建

鉴于预作用式充水法的原理及优点,可以考虑将预作用式充水法可同自动喷水灭火系统进行合建,如图3、图4。传统自动喷水灭火系统的喷淋水通过消防水箱,经过自动喷水灭火系统立管和支管到达喷头。而同预作用式充水法合建后的自动喷水灭火系统可通过柱式主干通道和分支通道进行输水(下文均称为柱式通道),进而到达喷头。

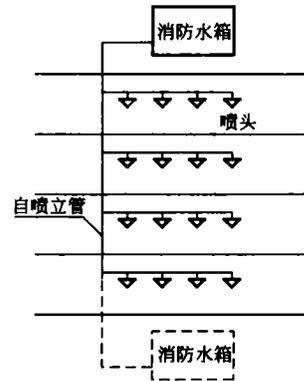


图3 传统自动喷水灭火系统示意

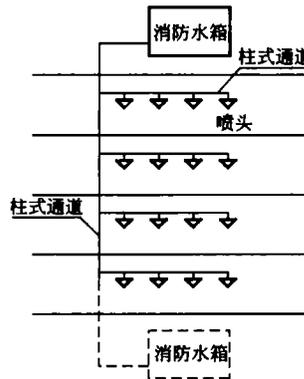


图4 合建后自动喷水灭火系统示意

##### 4.3.1 对于合建后的自动喷水灭火系统的分析评价

同预作用式充水法合建的自动喷水灭火系统既能够满足自动喷水灭火系统的基本需要,又能够保护到钢柱,起到一举两得的作用,但其缺点也很明显。由于在该系统中用柱式通道代替了管道,会造成通道内水流流态不好,水压、水量都难以保证,从

而可能会造成喷头喷出的水量和水压不足以扑灭火灾。鉴于此,可能需要在自动喷水灭火系统起端选取加压设备进行加压,增加了建设费用。

同时,该系统的用水量应当根据蒸发的损失水量进行校核。对于一般钢结构建筑来讲,火灾所产生的,传递到钢柱、钢梁上的热量是可以计算出来的。同传统自动喷水灭火系统用水量相比,多出的这部分水量应当正是被钢柱、钢梁上的热量加热升温至 100℃ 并且蒸发的水量。因此有如下关系式:

$$\text{对于水量: } Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

$$\text{对于热量: } q_2 = q_3 = q_4 \eta \quad (3)$$

式中  $Q_0$ ——整个自动喷水灭火系统所需水量;

$Q_1$ ——喷头总共所需水量;

$Q_2$ ——柱式通道中初蒸发的水量;

$Q_3$ ——漏失水量;

$q_2$ ——整个合建系统所蒸发的热量;

$q_3$ ——钢梁、钢柱中所吸收火场的热量;

$q_4$ ——火场所产生的热量;

$\eta$ ——热量传递效率。

由上可见,确定了  $Q_2$ ,控制好  $Q_3$ ,就能够确定  $Q_0$ ,而  $Q_2$  可由  $q_2$  计算出来。 $q_2$  则同梁柱的浸水面积、导热系数、火场温度  $T$ 、钢柱温度  $T_g \approx 100^\circ\text{C}$ 、消防水温  $T_s$ 、热量传递效率  $\eta$  有关。而这些因素也都是可求的。因此,同自动喷水灭火系统合建在理论上是完全可行的。

#### 4.3.2 钢柱式喷头的提出及其分析评价

在此基础上,可以考虑将靠近钢柱部分的(若柱与柱之间跨度较小亦可考虑将全部)喷头改在柱内设置,喷头平时可直接伸出钢柱,也可藏在柱内不影响美观,火灾时再通过水压压出,如图 5。这种设置方法类似与边墙式喷头<sup>[3]</sup>,只是水源直接从柱式通道而来。该方法可降低喷头高度,对于一般火灾来讲可以更加靠近地面火源。另外一个优点是有可能改变传统喷头在楼板下设置的方法,增加建筑内部净高。但该方法喷头喷水的方向需要加以控制,且保护面积需要重新进行核算。类似的可提出钢梁式喷头,原理如图 6。

### 5 结论与展望

笔者认为,本文所提出的预作用式充水法在理论上是可行的,但要达到实际应用的目标还需

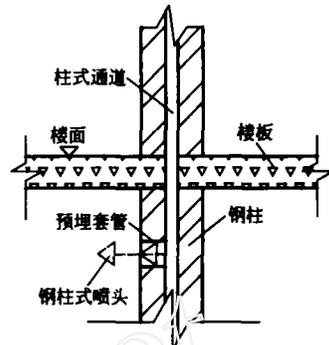


图5 钢柱式喷头

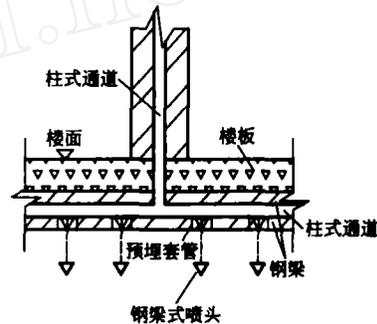


图6 钢梁式喷头

要更进一步的细化和深入研究,目前相关试验正在进行。其中,如何确定系统内水流的流态,流速,水量以及压强,将会是试验的关键。同时,合建式自动喷水灭火系统的提出也给高层钢结构建筑的自动喷水灭火系统提供了一个新方法。热量传递模型和水力模型的建立将是该系统建立的理论基础。相信预作用式充水法在钢结构建筑中将有其广阔的发展前景。

#### 参考文献

- 1 李焕群,李驰原. 钢结构防火措施的对比研究. 工业建筑,2005,35(增刊):35~38
- 2 邱洪兴,舒贻平,曹双寅,等. 建筑结构设计,2002,(3):19~25
- 3 李国强,蒋首超,林桂祥. 钢结构抗火计算与设计,1996,(6):75~101
- 4 李念慈,张明灿,万月明. 建筑消防工程技术,2006,(5):90~92
- 5 赖海灵. 无吊顶房间喷头暗装方法浅析. 给水排水,2000,26(4):51~53

通讯处:210096 江苏省南京市四牌楼2号

电话:(025)83790750

E-mail:liuyian@seu.edu.cn

收稿日期:2007-04-06