

水灭火系统详解

李悦 余威 李念慈 主编

中国建筑工业出版社

水灭火系统详解

李 悦 余 威 李念慈 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水灭火系统详解 / 李悦, 余威, 李念慈主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013.8

ISBN 978-7-112-15533-0

I. ①水… II. ①李…②余…③李… III. ①自动灭火—液体灭火—防火系统 IV. ①TU998.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 131695 号

本书是国内首部以大量工程照片来阐明水灭火系统工程在设计、安装方面的禁忌, 并针对每张照片, 指明存在的问题, 分析产生问题的原因和危害, 讲述规范的要求和为什么必须这样做。为了使读者清楚地认识水灭火系统在建筑火灾中的任务和相辅相成的关系, 本书结合建筑火灾的发展和灭火系统的启动, 阐述了水灭火系统按规范设置的重要性。

本书包括的主要内容有: 基础知识、水灭火系统的稳压设施、水灭火系统的管网、消防主泵及其控制、报警阀、室内外消火栓及水泵接合器、闭式喷头、管道支吊架制作和安装、水灭火系统常见问题及工程照片解读。

本书可供从事消防工程设计、施工、管理等人员使用, 也可供大专院校师生使用。

责任编辑: 胡明安

责任设计: 董建平

责任校对: 王雪竹 赵 颖

水灭火系统详解

李 悦 余 威 李念慈 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 插页: 35 字数: 533 千字

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月第一次印刷

定价: 85.00 元

ISBN 978-7-112-15533-0

(24109)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《水灭火系统详解》

主 审：张耀泽 陶李华

主要作者：李 悦 余 威 李念慈 张 刚

参 编：李 悦 余 威 张 刚 李桂芳 马恩强
 张明灿 刘激扬 沈 纹 张 哲 吴思君
 许为乐 李 强 李金梅 马 宁 姜 宁
 徐向芳 蒋向荣 向 东 李念慈

前言

水灭火系统是建筑消防设施的重要组成部分，无数火灾实践证明，水灭火系统对于预防、扑救火灾至关重要。本书是国内首部结合大量工程实践照片，具体指出水灭火系统在设计、施工安装方面常见问题及其产生问题的原因和危害，提出正确设计、施工安装水灭火系统的具体内容、方法和要求的操作性极强的工程实践类书籍。

全书共分10章，第1章介绍了建筑火灾的基础知识和建筑内水灭火系统概况；第2章介绍了高位消防水箱、稳压泵、气压给水设备等水灭火系统的稳压设施；第3章介绍了水灭火系统的供水管网和配水管网；第4章介绍了消防主泵及其控制设备；第5章重点介绍了湿式报警阀、干式报警阀、雨淋阀和预作用装置；第6章介绍了室外消火栓、水泵接合器的布置安装和室内消火栓系统的设计安装；第7章介绍了闭式喷头的分类和命名，喷头的灭控火性能与其试验方法的关系，以及影响喷头有效控火的因素，剖析了工程中喷头选用、布置、安装存在的隐患问题；第8章介绍了管道支吊架的形式、结构、生根方式和制作安装要求；第9章介绍了水灭火系统组件、系统安装的常见问题，水灭火系统3大试验装置的常见问题；第10章列举了大量的工程照片来说明问题。

参加本书编写的人员有：第1章由李桂芳、沈纹、张哲编写；第2章由李悦、吴思君、李桂芳编写；第3章由马恩强、徐向芳、向东编写；第4章由余威、马宁、姜宁编写；第5章由张明灿、李金梅、蒋向荣编写；第6章由刘激扬、余威、李悦编写；第7章由李悦、刘激扬、余威编写；第8章由张刚、李强、许为乐编写；第9章、第10章由李悦、余威、刘激扬、李念慈编写。

本书最后由李悦、余威、李念慈终审。

本书收录彩色工程照片363张，图文并茂、通俗简明，具有较强的可读性和应用性，相信本书的出版能够对广大读者认识、学习水灭火系统相关知识有所帮助。本书可供从事建筑消防设施设计、施工、监理人员，消防监督人员，消防设施检测、维护保养人员参考使用。

由于编者学识有限、时间仓促，本书难免存在疏漏或者不当之处，诚挚希望广大读者给予批评指正。

目 录

第1章 基础知识

1.1 建筑火灾的基本知识	001
1.2 建筑内水灭火系统简述	011

第2章 水灭火系统的稳压设施

2.1 高位消防水箱	042
2.2 稳压泵	046
2.3 气压给水设备	047

第3章 水灭火系统的管网

3.1 供水管网	053
3.2 配水管网	065

第4章 消防主泵及其控制

4.1 消防主泵	074
4.2 消防泵的控制	089

第5章 报警阀

5.1 各类报警阀综述	098
5.2 湿式报警阀	100
5.3 干式报警阀	105
5.4 雨淋报警阀	111
5.5 预作用装置	118

第6章 室内外消火栓及水泵接合器

6.1 室外消火栓的布置和安装	122
6.2 水泵接合器的布置安装	125
6.3 室内消火栓系统设计安装	127

第7章 闭式喷头

7.1 喷头的分类和命名	162
7.2 喷头的灭控火性能与其检验方法的关系	165
7.3 喷头在火灾中的启动数量	167
7.4 影响喷头有效控火的因素	172
7.5 工程中喷头选用、布置、安装隐患剖析	185

第8章 管道支吊架制作和安装

8.1 管道支吊架的功能	189
8.2 管道支吊架的结构形式、生根方式	189
8.3 管道支吊架制作安装要求	212

第9章 水灭火系统常见问题

9.1 湿式报警阀组常见问题	213
9.2 喷头设计安装常见问题	223
9.3 消防水泵及其附件安装常见问题	228
9.4 消防泵电气控制柜(盘)常见问题	232
9.5 底部商业网点室内消火栓箱布置常见问题	235
9.6 消防气压水罐、稳压泵安装常见问题	237
9.7 室内消火栓箱布置安装常见问题	240
9.8 消防给水管道安装常见问题	244
9.9 水泵接合器和室外消火栓常见问题	250
9.10 管道支吊架制作安装常见问题	252
9.11 湿式一泡沫联用装置常见问题	256
9.12 水灭火系统的三大试验装置常见问题	262

第10章 工程照片

10.1 湿式报警阀组安装	267
10.2 喷头安装	276
10.3 消防水泵及附件安装	289
10.4 消防泵电气控制柜安装	298
10.5 底部商业网点室内消火栓箱布置安装	300
10.6 消防气压水罐、稳压泵安装	305
10.7 室内消火栓箱布置安装	308
10.8 消防给水管道安装	313
10.9 水泵接合器、室外消火栓安装	324
10.10 支吊架制作和安装	326
10.11 湿式一泡沫联用装置安装	330
10.12 工程质量较好的现场照片	335

第1章 基础知识

自动喷水灭火系统是固定的，感受火灾特征物理量而自动喷水灭火的设备。因此，从事自动喷水灭火系统安装的专业人员必须具备建筑火灾的基本知识，流体力学的基本知识以及其他相关的基础知识。

1.1 建筑火灾的基本知识

建筑火灾是不可避免的，防范建筑火灾的目标只能是防燃和减灾，设置自动喷水灭火系统是最经济，最有效的减损措施之一。

自动喷水灭火系统贵在自动地向火区喷水来控制扑灭火灾。

自动喷水灭火系统在火灾中是如何自动喷水实现自动灭火的呢？这主要依靠自动喷水灭火系统上安装的自动喷头和火灾探测控制元件。

自动喷头上设置有感温释放元件，在火灾中它能感应火场温度，当升温到其动作温度时，它能自动解体，把喷头出水孔打开，实现自动喷水灭火。

研究发现火灾时火源产生的顶棚射流是使自动喷头动作的传热源。要了解顶棚射流必须了解建筑火灾的发展过程。

1.1.1 建筑火灾的发展过程

建筑火灾中绝大多数可燃物为固体，通常认为建筑火灾为固体可燃物火灾或固体可燃物和少量液体可燃物的混合火灾。但以固体可燃物火灾为最多。

固体可燃物的燃烧特性决定了建筑火灾的发展进程。

固体可燃物的燃烧形式有蒸发燃烧（如沥青、蜡烛、硫磺等）、表面燃烧（如木炭、焦炭等）、分解燃烧（如木材、煤、塑料等）。建筑火灾的燃烧形式取决于室内燃烧物的类别，显而易见，在民用建筑中火灾时的固体燃烧物以纤维类、合成材料为主体，其燃烧形式以分解燃烧为主。

可燃固体在初燃时，由于加热温度低，分解出的可燃气体不足以供给燃烧，或者由于空气不流通，没有充足的氧气供给，或由于可燃物含水过多，消耗了大量燃烧热，不能形成明火，即阴燃。很多固体燃烧的早期阶段都经历了一个阴燃过程。阴燃是一个不稳定的过程，它可以自行熄灭，也可以发展为有焰燃烧而引发火灾，不过发展为火灾的比例较大。由于阴燃不易被发现，而发展为火灾的比例大，所以阴燃具有很大的危险性。

建筑火灾的发展可能是不受控制的，也可能是受控制的。

1. 不受控制的火灾发展过程

所谓不受控制是指在一个着火区域内,火灾能够得到充分发展并自行衰减熄灭的火灾,它经历了火灾自然发展的全部过程,即起火期、成长期、全盛期、衰减期。

如果用图示表示的话,可以用4个图来概括建筑火灾的起火期,成长期和全盛期。

以下4个图描述的是在一间房间门全开的情况下,软包座椅上发生火灾,当火灾不受干扰时,房间火灾发展的三个时期。

图1-1中初始火源在沙发椅上,明火点燃后火羽流撞击顶棚,在顶棚下形成薄的顶棚射流,射流温度和速度分布很不均匀,在撞击中心区温度最高,离开撞击点中心区射流温度是逐渐降低的。在半径方向上射流的速度分布和温度分布具有相同的变化规律。

图1-2中初始火源仍在沙发椅上,不过随着沙发椅上更多可燃物参与燃烧,火源燃烧强度增大,火羽流变粗,火羽流卷吸空气的能力加强,产烟量增大,顶棚烟气层增厚,各点温度相差在逐渐缩小。而且由于火羽流对空气的吸卷和房间热烟向外的溢流,形成了室内外空气的对流,门的上方热烟外溢,下方冷空气的流入形成热对流态势。

图1-1和图1-2描述了室内火灾的起火期状态。此期间是灭火的最好时机。

图1-3是室内火灾发展期状态。这时由于初始火源强度的进一步增大,烟气温度升高,对室内可燃物的热辐射逐步增强,可燃物升温,热分解产物增多。这时,无论顶棚、墙壁、地面的固体可燃物都开始进入热分解状态。

图1-4是室内火灾进入轰燃状态。当室内热分解产物和空气混合达到一定的混合比时,房间充满的可燃气体,可在瞬间被点燃,发生预混燃烧,瞬间间房间内全部可燃物都进入燃烧状态。室内火灾由局部燃烧转变为全面燃烧,火灾进入全盛期。这一燃烧现象,称为轰燃。轰燃是危险状态,应尽力避免。轰燃发生烟气层温度可达 600°C ,轰燃后由于更多燃料参与燃烧,房间温度可达 1100°C 左右。

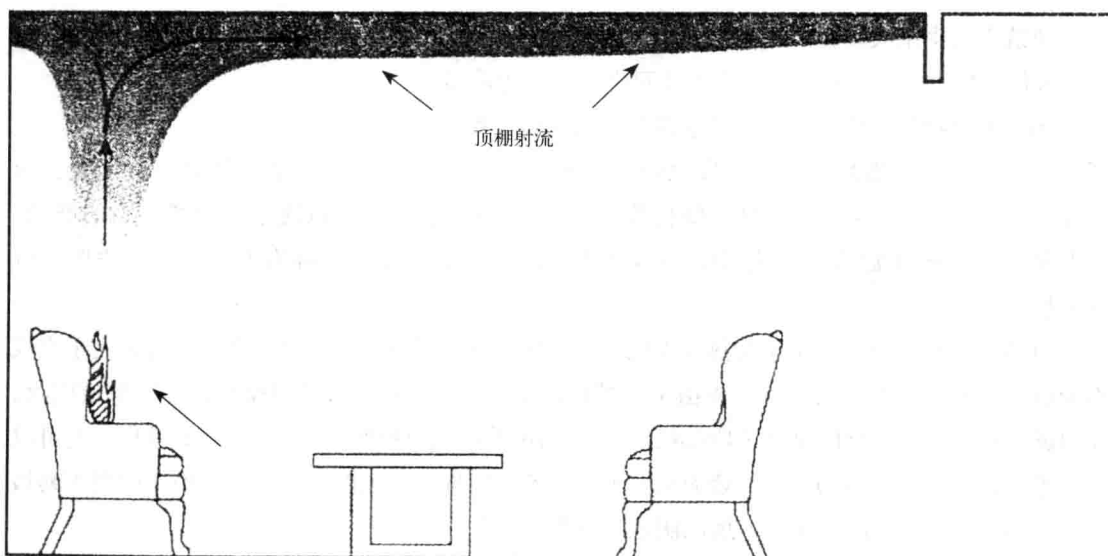


图1-1 室内火灾早期阶段

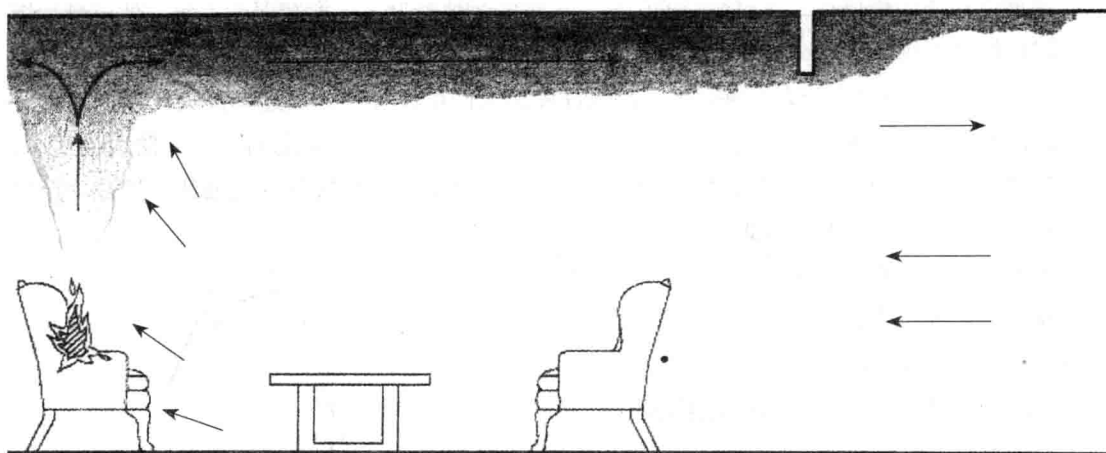


图 1-2 室内浮顶层烟气的蔓延

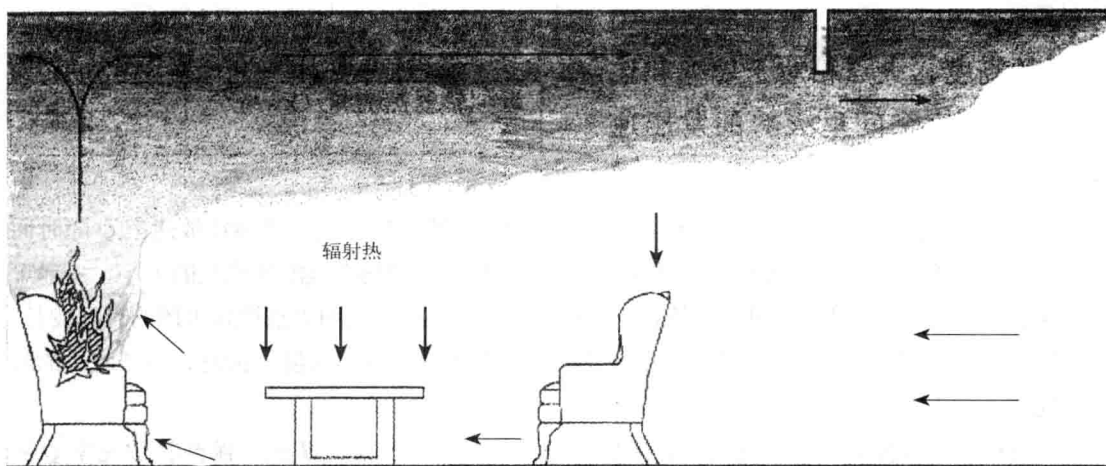


图 1-3 室内火灾轰燃前状况

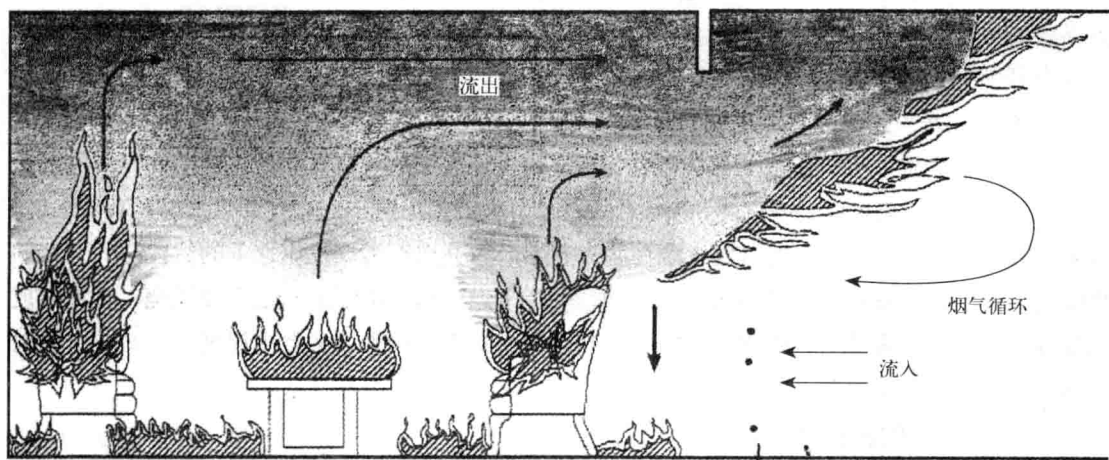


图 1-4 室内轰燃状况

房间进入全面燃烧后,随着燃料的消耗,火灾的燃烧强度是逐渐减弱的。每一件可燃物燃尽后即自行熄灭成为余烬。房间逐渐降温。

为了更直观地研究不受控制的火灾燃烧过程,人们用火灾热释放速率或火场温度随火灾发展时间的变化曲线来描述室内火灾的发展过程。图1-5是建筑火灾过程的4个阶段曲线图,它描述了室内火灾时,火场温度 T 或火源热释放速率 Q 随时间发展的变化曲线。这是一个室内火灾不受控制,自由发展的曲线图。

A点是室内火源引燃点。

B点是明火点燃,可燃物开始有焰燃烧,已经形成了火羽流。

C点是轰燃发生点,房间由局部燃烧进入全面燃烧。

D点是室内最高温度点或火灾最大热释放速率点。

E点是火场烧损严重点,此后室内火灾进入衰退期。

阴燃的发展方向是不确定的,发展时间的长短随现场条件差别很大。

B-C线段是一条抛物线,它表示在明火点燃后,火场温度 T 或火源热释放速率 Q 随时间的延续而快速增长的趋势,增长的快慢取决于单位面积上可燃物燃烧的发热量的大小,一般可分为4种类型,即慢速火,中速火,快速火,超快速火。慢速火从明火点燃到轰燃的时间较长,曲线较平缓;而超快速火从明火点燃发展到轰燃的时间很短,曲线很陡。因此,成长阶段的时间取决于火灾发展的类型。

C-D-E曲线表示了室内火灾在轰燃发生之后的室内火场温度 T 或火源热释放速率 Q 随时间延续的变化。通常发生轰燃时,热烟气层温度不超过 600°C ,而轰燃后火场温度可高达 1000°C ,所以轰燃后,火源热释放速率 Q 及火场温度会迅速上升。当达到极值时,由于没有新燃料的参与,当整个燃料的70%被烧完后,火场的全盛期结束。全盛期的时间长短,取决于室内可燃物数量的多少。

E-F曲线是室内火灾在衰退期的曲线。

对于扑灭和控制火灾而言,应在轰燃发生之前发现火灾,并将其扑灭,愈早发现火灾、愈早采取灭火措施,灭火成功率愈高,灭火代价愈低,火灾损失愈小。对自动喷水灭火系统来说,最能有效启动,并有效控火的时段,应在明火点燃后的B点至轰燃发生之前的这段时间。在阴燃阶段,由于发热量小,自动喷头难以启动,而在轰燃以后,由于室内已全面燃烧,火灾强度已超过了喷头的灭火能力,喷水也不能将火扑灭。而且火灾损失已达严重程度,为此,自动喷头洒水应在轰燃发生之前。

2. 受控火灾的发展过程

完整的火灾过程只存在于人们对火灾的研究和认识中,在现实生活中并不多见。因为它的

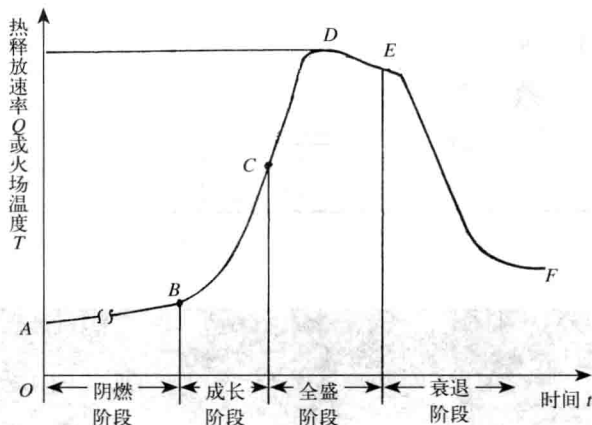


图1-5 建筑火灾过程的4个阶段曲线图

发生条件是,火场必须有充足的燃料和充分供应的空气,火灾燃烧过程不会受到人和灭火设备的干预。显而易见,在建筑火灾中的绝大部分火灾是受到控制的火灾。

建筑火灾的早期是阴燃,阴燃是没有火焰的燃烧现象,它发生在固体可燃物被引燃的早期,而且自身具有阴燃的理化特性,周围环境条件有利于阴燃的发生。绝大多数纤维类固体可燃物和多孔物质都能够发生阴燃。

阴燃只能向两个方向发展,一是自灭,另一个是点燃成为明火。

如果可燃物的阴燃传播方向与氧气供给方向相反时,阴燃反应区将被气流冷却而降温,阴燃将难以转化为明火。如果阴燃传播方向与氧气供给方向一致,反应区能及时得到氧气供应,对燃烧有利,燃烧区发热量大,而且气流方向有利于把热量带到未燃的可燃物,起预热作用,反应区升温加快,温度提高,反过来又促进了燃烧的化学反应速度,当达到明火燃烧条件时,阴燃会转变为明火。当然,阴燃能否转变为明火或自行熄灭的条件还有许多,如物质结构,通风条件,含水量等,都会影响阴燃的发展方向。

当明火点燃后,火灾的发展方向也由条件决定。在不受灭火设备控制时,火灾可能是闷烧自熄,也可能是燃尽自灭。

如果在房间体积不大而又密闭的条件下发生明火点燃,由于可燃物在缺氧的条件下燃烧,燃烧速率会缓慢降低,甚至发生闷烧窒息,使明火熄灭。这种火灾燃烧过程是受到通风控制的。显然,受通风控制的火灾,一旦控制解除(如门被打开,窗玻璃破碎等)室内火灾立刻又可以旺盛起来。

在一些大空间内,由于体量大,火灾热量难以积累,火场发生轰然可能性较小,如果初始火源难以将邻近可燃物引燃,由于燃烧所需空气能充分供应,燃烧可以一直持续下去,直到将燃料燃尽。火灾自行熄灭,这种火灾进程是受燃料控制的。

在房间内如果安装有自动灭火系统,如气体灭火系统、喷淋系统等,由于自动灭火系统的动作能够将火灾予以控制,这种火灾的进程是受灭火系统控制的。自动灭火系统所能控制的火灾规模的大小,取决于自动灭火系统启动的快慢和时机,这主要由系统对火灾的探测灵敏度决定。

自动喷水灭火系统中绝大多数是用自动喷头来探测火灾的,而且是以探测火灾烟气的温度来启动系统的。那么,自动喷头在火灾中是如何启动的呢?

1.1.2 建筑火灾的顶棚射流是启动喷头的热源

火灾是可燃物的燃烧现象,烟气是燃烧的产物。确切地说,烟气是燃烧产生的火羽流在流动过程中卷吸空气而产生的。由燃烧的气相产物和许多微小的固态和液态物质构成,它携带着大量热量,依靠冷空气的浮力而运动。

1. 火羽流和顶棚射流

火羽流是指火源上方的火焰和流动的烟气的统称。其中分为连续火焰区、断续火焰区和浮力羽流区。如果顶棚较高,火源较小时,浮力羽流在升腾中充分卷吸空气,而被冷却,升腾不到顶棚就向四周扩散,并逐渐沉落。

当顶棚高度和火源热释放速率相匹配时,火羽流升腾到顶棚,撞击顶棚后改变运动方向,在浮力作用下向四周扩散运动,这时顶棚下形成一层薄的,而且运动着的热烟气,称为顶棚射流。图1-6是建筑火灾的火羽流和顶棚射流图。

研究发现,顶棚射流有以下两个特性:

(1) 运动特性:顶棚射流在浮力作用下向四周自由流动,而且运动速度是逐渐衰减的。

(2) 射流参数分布不均特性:与传热有关的射流参数是温度和流速。射流在厚度方向和流动方向上的温度和速度分布是极不均匀的。

在运动方向上,离撞击点中心愈近,射流的温度愈高,速度愈快。在撞击点中心,射流参数达到最大值。而离开撞击点沿半径方向上顶棚射流的温度与火源热释放速率 $Q^{\frac{2}{3}}$ 成正比,与顶棚高度 H 和计算点离撞击点的半径方向距离 $r^{\frac{2}{3}}$ 的乘积成反比,而射流的流速则与火源热释放速率 $Q^{\frac{1}{3}}$ 和顶棚高度 $H^{\frac{1}{2}}$ 的乘积成正比,而和计算点至撞击点中心的径向距离 $r^{\frac{5}{2}}$ 成反比。

在顶棚射流的厚度方向上,顶棚射流的温度分布也不均匀,其最高温度在顶棚之下 $y \leq 0.01H$ 区域,并不紧贴顶棚。在此区域之外射流温度是下降的。

由于顶棚射流的温度和流速的不均匀性,正好被人们所利用,因为在对流传热中,温差和流速是决定传热效率的重要参数,射流温度高,射流与喷头的温差愈大,射流流速愈大,传热效率愈高,喷头升温快,达到其动作温度的时间愈短。而且由于顶棚射流在撞击点中心区及其附近的温度和流速最大,安装在这个区域内的喷头最先启动,它们洒出的水都在火源区内,直达燃烧面,直接灭火,而离火源区较远的喷头不启动,有利于减少水渍损失,即便启动也对灭火帮助不大。

图1-6中的顶棚射流是轴对称射流,它只发生在火源远离墙面的场合,由于火羽流能从四周吸卷空气,火羽流能达到充分冷却。如果火源紧靠墙面,火羽流只能从圆周的一半区域吸卷空气,火羽流不能被充分冷却,火羽流以更高的温度到达顶棚,顶棚射流的温度将升高。当火源紧靠墙角时,两面墙将限制75%的空气被吸卷入火羽流,这时火羽流和顶棚射流的温升

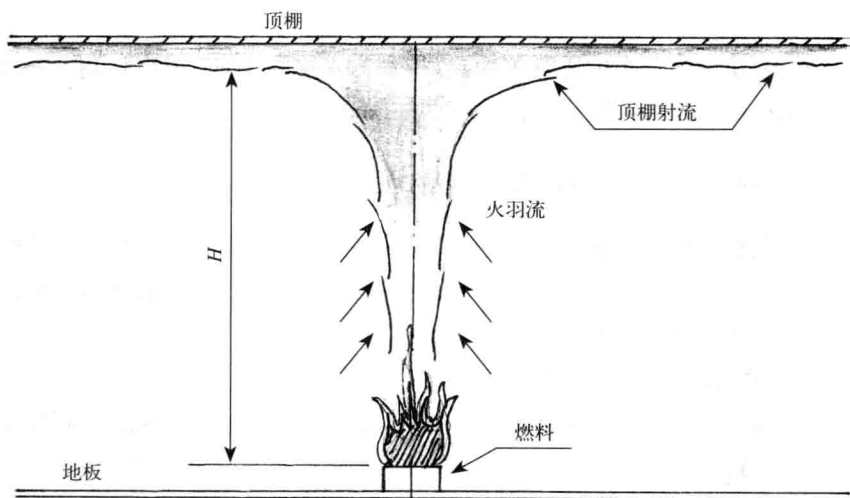


图1-6 建筑火灾的火羽流和顶棚射流

将更高,甚至可以夹带火焰在顶棚下持续燃烧。因此,火羽流有3种类型,即中央对称型,墙面型和墙角型。

火羽流和顶棚射流的温度和流速,是由火源热释放速率决定的,也与火羽流的类型有关。

2. 火源热释放速率

热释放速率是表征火灾燃烧强度的重要参数,即火灾时,火源在单位时间内放出的热量,用 kJ/s (或 kW) 来表示。

在平面火灾中,火源在蔓延扩展时,火源热释放速率 Q 是按时间的平方增大的,称为 t^2 火。可按下式计算其热释放速率 Q :

$$Q = \alpha t^2 \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中 α —火灾增长系数 (kW/s^2);

t —火灾发展时的火灾延续时间 (s)。

人们为了方便地预测火灾中火源热释放速率的大小,把建筑火灾按增长速率分为4种类型:

慢速火(S):火灾发展时间在600s时,火源热释放速率可达到1055kW, (即1000Btu/s)。其 α 系数为0.002931 (kW/s^2)。

中速火(M):火灾发展时间在300s时,火源热释放速率可达到1055kW,其 α 系数为0.01172 (kW/s^2)。

快速火(F):火灾发展时间在150s时,火源热释放速率可达到1055kW,其 α 系数为0.04689 (kW/s^2)。

超快速火(VF):火灾发展时间在75s时,火源热释放速率可达到1055kW;其 α 系数为0.1878 (kW/s^2)。

图1-7是用热释放速率 Q (kW) —时间 t (s) 曲线表示的4种火灾增长类型的发展趋势。曲线I表示慢速火,曲线II表示中速火,曲线III表示快速火,曲线IV表示超快速火。

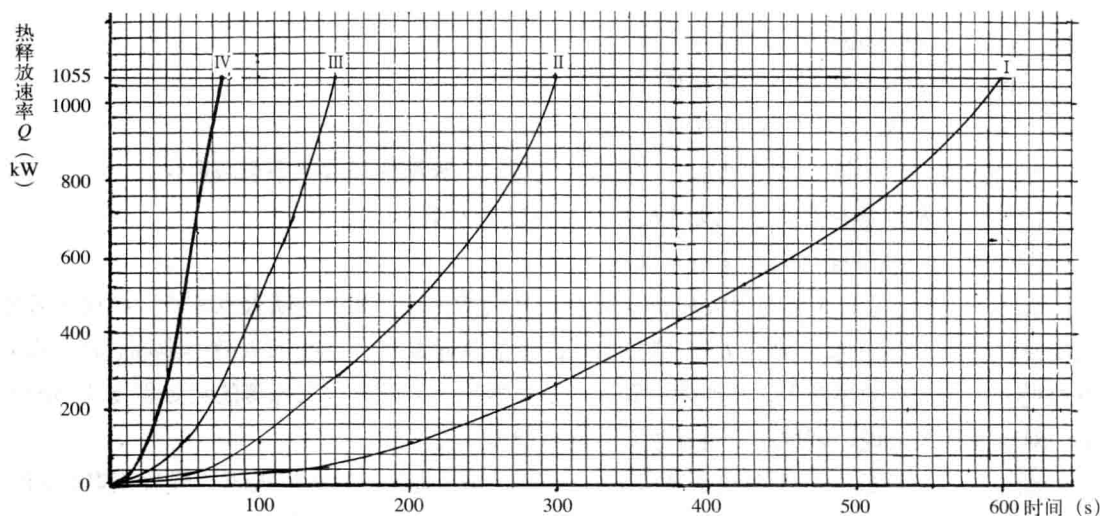


图 1-7 用热释放速率 Q —时间 (t) 曲线表示的4种类型火灾发展趋势

由图 1-7 可知, 图中的各条曲线表达的是室内火灾从明火点燃发展到火源热释放速率达到 1055kW 时的 $Q-t$ 曲线, 它是图 1-5 中成长阶段中的一段曲线。1055kW 仅是衡量火灾增长类型的数据, 实际火灾中热释放速率 Q 可以超过这一数值, 曲线是可以延伸的。只要火场有足够的燃料和空气供给。

在安装有自动喷水灭火系统的建筑中, 火灾是受喷淋控制的。否则就失去了设置喷淋系统的意义。而且为了保证系统控制火灾的能力, 最大限度地减少火灾损失, 喷淋系统启动愈早洒水时间愈早, 灭火效率就愈高。这里就有个洒水起始点问题, 即喷淋系统在什么时候洒水, 对应于图 1-5 中 $Q-t$ 曲线上的哪一点开始洒水?

首先喷淋系统开始洒水点不应在轰燃发生的前后, 因为这时洒水, 由于火源强度已远超过系统的喷水强度, 系统不能控制火势。而且火灾损失已很大, 灭火系统的性能效用比很差。

如果希望喷头在明火点燃后就即刻喷水, 这是最理想的, 火势小, 灭火成功率高, 火灾损失小, 系统的性能效用比也最高, 但对于感温启动的闭式喷头来说, 很难做到, 因为喷头启动需要足够的温度, 而早期火灾的热烟难以升腾到顶棚。在一般情况下, 闭式喷头的响应时间, 从明火点燃后, 需要 52 ~ 235s 才能动作, 大多数喷头会在 180s 以内动作洒水使火灾得到控制, 其标志是火源热释放速率 Q 不应再增长, 而是应逐渐衰退。否则喷淋系统的设计是失败的。所以, 喷淋系统洒水时刻的火源热释放速率 Q , 可以认为是系统能够控制的火灾最大热释放速率。喷淋系统洒水后火源热释放速率是喷水时间和喷水强度的函数, 可用 NIST 方程来表达。

$$Q_t = Q_{act} / e^{\left[\frac{(t-t_{act}) \cdot W^{1.85}}{3} \right]} \quad (1-2)$$

式中 Q_t — 喷淋洒水后, 在 t 时刻的火源热释放速率 (kW);

Q_{act} — 喷淋启动洒水时刻、火源热释放速率 (kW), 也是喷头能够控制的最大热释放速率;

t — 计算时刻的时间 (s);

t_{act} — 喷淋系统开始洒水时刻 (s);

$(t-t_{act})$ — 喷淋系统持续洒水时间 (s);

W — 喷淋系统的设计喷水密度 (mm/s);

e — 无理数。 $e=2.7182818284\cdots$ 。

从公式可知, 持续洒水时间愈长, 喷水强度愈大, 火源热释放速率衰减愈快。

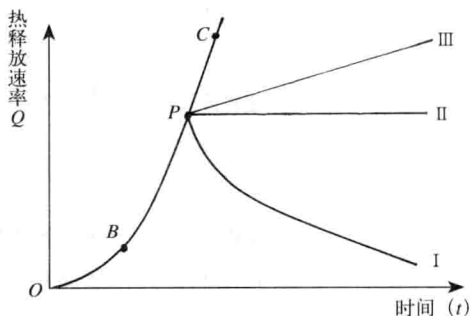
同样受喷淋控制的火灾也可以用火灾 $Q-t$ 曲线来表示。

图 1-8 是受喷淋控制的火场 $Q-t$ 曲线图。

曲线 $B-C$ 是图 1-5 中的火灾成长阶段 $Q-t$ 曲线的一段。 B 点是明火点燃点, C 点为轰燃发生点。喷淋开始洒水点 P 在 $B-C$ 线段上, P 点愈靠近 B 点, 系统灭火效率愈高, P 点离 C 点愈近, 系统灭火效率愈差, P 点能否靠近 B 点, 取决于系统对火灾探测的灵敏程度及系统类型, 对湿式系统来说, 则取决于自动喷头的开放快慢。

图中有 3 条曲线, $P-I$ 曲线是系统抑制火灾的 $Q-t$ 曲线, 喷水后火源热释放速率 Q 随喷水时间的持续逐渐减弱。但衰减速率随喷水强度的增大而加快。如果设定喷水开始时刻的火

源功率为 3000kW, 用喷水强度 $6\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ (即 0.1mm/s) 时, 持续喷水 1000s, 火源功率可降到 27kW, 用喷水强度 $8\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ (即 0.1333mm/s) 时, 持续喷水时间 600s, 火源功率可降至 25kW 水平, 用喷水强度 $12\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ (即 0.2mm/s) 时, 持续喷水 280s, 火源功率可降至 26kW 水平。该 $P-I$ 曲线上各点可用 NIST 方程求解。

图 1-8 喷淋控制的火场 $Q-t$ 曲线图

$P-II$ 曲线是系统喷水控制火灾的 $Q-t$ 曲线, 喷水后, 火源功率不降低, 也不增大。火势已被喷水控制住了, 这种情况发生在洒水时没有足够的水滴能够穿透火羽流, 直达燃烧面, 但是在火羽流外围的水滴却可以洒落在没有被点燃的可燃物上, 将它们淋湿, 使火势的发展受到限制, 由于没有新的燃料投入燃烧, Q 不会明显增大。

$P-III$ 曲线是缓慢增长的 $Q-t$ 曲线, 喷水后火势增长速率变慢。这种情况发生在喷头洒水较迟, 火灾热释放速率已经超过了喷淋系统的灭火能力, 但仍然有水落在燃烧面上, 使热释放速率增长速率有所降低。

喷淋系统能够达到 $P-I$ 曲线的, 系统设计是成功的。这种系统是能够灭火的系统, 叫灭火型系统。相对于 $P-I$ 曲线而言, $P-II$ 曲线表达的是火灾受到控制的火场 $Q-t$ 曲线, 只要火灾热释放速率不增长, 没有新的可燃物被点燃, 火灾损失不扩大, 消防救援难度就不会增加。但这种动态平衡是暂时的。

喷淋系统喷水后, 火场 $Q-t$ 曲线大多数是 $P-I$ 和 $P-II$ 曲线。控制火势是喷淋系统的最低目标。而 $P-III$ 曲线的喷淋系统则是失败的。应当知道多数喷淋系统的目标都是把火灾控制在初期阶段, 使火源功率不再增大, 为消防队到达利用室内消火栓灭火, 保证其灭火成功率创造条件, 由于洒水喷头应用场所的条件是不确定的, 难以保证喷头在任何场景下都有相同的启动时间。

喷淋系统控制火灾的重要保证是喷头早洒水, 而闭式系统喷头早洒水的两个条件是: 喷头早开放和报警阀早动作。在相同条件下, 闭式喷头对火灾的响应是相同的, 但不同类型的报警阀的动作时间却不相同。

3. 顶棚射流对喷淋系统的启动

顶棚射流是启动喷头和雨淋阀的物质条件, 湿式阀和干式阀是随闭式喷头的开放而启动, 只有雨淋阀是由火灾探测信号启动。

图 1-1 中的顶棚射流不仅携带大量热量, 而且还有烟粒子。因此能使自动喷头开放, 也能使感烟和感温探测器动作, 从而使雨淋阀开放。

自动喷头的感温开放, 会使湿式报警阀、干式报警阀随之动作。喷头洒水的必须条件是自动喷头的感温释放机构应能在顶棚射流中感温释放和报警阀应能开启。如果设定闭式喷头感温元件吸收的热量只用于升温而没有其他损失则自动喷头与顶棚射流的对流传热方程如下:

$$t_0 = \frac{\theta}{a} + \frac{C_p \cdot m}{h \cdot A} \quad (1-3)$$

式中 t_0 — 喷头响应时间 (s) ;

θ — 热敏元件动作时的温度 ($^{\circ}\text{C}$) ;

a — 热敏元件的升温速率 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) ;

C_p — 热敏元件的比热 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$] ;

m — 热敏元件的质量 (kg) ;

h — 热敏元件的对流传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$] ;

A — 热敏元件的有效传热面积 (m^2)。

从公式 (1-3) 可知,自动喷头的动作时间由两部分组成。第一部分是 $[(C_p \cdot m)/(h \cdot A)]$,它由喷头感温元件的热物理特性决定,被定义为时间常数 τ 。感温元件一定时, τ 值也就决定了。第二部分是 (θ/a) ,它是由火场升温速率和感温元件热物理性能共同决定的。当火场升温很快时,感温元件升温速率增大, (θ/a) 值变小,以致可忽略不计,这时喷头响应时间就完全由 τ 值决定。当火场升温速率很慢时, a 值很小,而 (θ/a) 值很大,这时 τ 值的地位不起主导作用。在考虑自动喷头在火场中的响应快慢时,都按火场升温速率较快的情况,而将 (θ/a) 忽略不计。

1981 年美国联合研究所 (FMRC) 给出了自动喷头热敏性能的重要参数 RTI ,即响应时间系数。该系数等于热敏元件的时间常数与其热气流流速的平方根的乘积,即:

$$RTI = \tau \cdot u^{1/2} \quad (\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$$

按照自动喷头在热气流中的传热平衡方程即可推导出下式:

$$RTI = \frac{-t_r \cdot u^{1/2}}{\ln \left[1 - \frac{\Delta T_{ca}}{\Delta T_g} \right]} \quad (1-4)$$

式中 RTI — 闭式喷头的响应时间系数 ($\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$;

t_r — 喷头热敏元件在标准热气流中动作所需时间 (s) ;

u — 标准热气流流速 (m/s) ;

ΔT_{ca} — 喷头平均动作温度与环境温度之差 ($^{\circ}\text{C}$) ;

ΔT_g — 标准热气流温度与环境温度之差 ($^{\circ}\text{C}$)。

该公式被我国国家标准 GB5135.9—2006 确定为标定 ESFR 喷头的 RTI 值时的计算公式。

如果我们已知喷头的 RTI 值,并知道喷头动作时的热气流流速 u 及 ΔT_{ca} , ΔT_g 值时,也可将上式变形,预测到该喷头在上述热气流中动作的时间 t_r 。

顶棚射流的温度、流速分布极不均匀,在火羽流撞击点中心处,温度和流速最高,此后随着离撞击点中心半径的增大,温度和流速很快衰减,这是由于顶棚射流不受阻碍地运动,在运动中吸卷冷空气造成的。所以顶棚射流只能启动撞击点中心及其附近的喷头,从而使火源上方的喷头开放,喷头在燃烧面上洒水。

顶棚射流在运动受阻后,即在顶棚下积聚,成为浮顶层烟气,烟气流动性小,随着厚度的