

细水雾

吴龙标 张洪江 李 力 编著

XISHUIWU MIEHUO JISHU YU YINGYONG

灭火技术与应用



江西科学技术出版社

吴龙标 张洪江 李力 编著

细水雾

SHUIWU MIENMO JISHU YU YINGYONG
灭火技术与应用

赠江阴市图书馆

吴龙标

2014.4.1 于江阴市北街

江西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

细水雾灭火技术与应用/吴龙标,张洪江,李力 编著. —南昌:

江西科学技术出版社,2014. 1

ISBN 978 - 7 - 5390 - 4916 - 8

I. ①细… II. ①吴… ②张… ③李… III. ①水雾 - 灭火 - 研究

IV. ①TU998. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 316257 号

国际互联网(Internet)地址:

<http://www.jxkjcbbs.com>

选题序号:ZK2013171

图书代码:B13039 - 101

细水雾灭火技术与应用

吴龙标 张洪江 李力 编著

出版	江西科学技术出版社
发行	
社址	南昌市蓼洲街 2 号附 1 号
	邮编:330009 电话:(0791)86623491 86639342(传真)
印刷	江西千叶彩印有限公司
经销	各地新华书店
开本	787mm × 1092mm 1/16
字数	490 千字
印张	21.5
版次	2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷
书号	ISBN 978 - 7 - 5390 - 4916 - 8
定价	55.00 元

赣版权登字 - 03 - 2013 - 216

版权所有,侵权必究



序

近年来,城市重特大火灾事故时有发生,对人民生命财产安全造成巨大损失,对经济和社会可持续发展造成不利影响。面对控制火灾、保障安全的重大需求,科技减灾是必由之路。

传统的灭火方法采用以哈龙为代表的卤代烷灭火剂,尽管其具有高效的灭火性能,但由于在灭火过程中分解产生的自由基严重破坏大气臭氧层,威胁人类的生存环境。1987年,联合国通过《关于臭氧层物质的蒙特利尔议定书》的环境保护公约,明确要求各签约国在二十一世纪初叶全面取代哈龙系列产品,停止其生产和使用。因此,寻找新型的清洁、高效、对环境友好、对人员安全的灭火技术,进而全面取代哈龙灭火剂已迫在眉睫。

作为一种重要的哈龙替代,细水雾灭火技术具有灭火高效、环境友好、耗水量低、对防护对象安全等特点,因而成为当今火灾科学与消防工程领域国际前沿的研究热点。

细水雾是在与传统水喷淋比较研究基础上发展起来的新一代灭火技术,它是利用细水雾喷头在一定压力下将水射流破碎成细小雾滴,并与火焰相互作用,实现灭火、控火或抑火的目标。细水雾灭火技术在欧美等发达国家已经开展了广泛的应用。美国 NIST、国际海事组织 IMO、国际标准化组织 ISO、欧洲标准化委员会 CEN 等均颁布了细水雾的相关标准。欧美、加拿大、澳大利亚等发达国家也相继开发出多种类型的细水雾灭火系统,并在舰艇船舶、轨道交通、图书档案、电气机房等众多场所以得应用。

随着我国《船用细水雾灭火系统通用技术条件》《细水雾灭火系统及部件通用技术条件》《微水雾滴灭火设备认证技术规范》《细水雾灭火系统技术规范》等国家标准和技术规范的颁布,细水雾灭火技术的发展与应用亦必将进入一个崭新的阶段。

本书借鉴国内外细水雾灭火技术的研究成果,着重从细水雾的发展历





史、灭火机理、雾化原理、系统组成、部件介绍、工程设计、安装施工、行业应用、规范解读等方面对细水雾灭火技术及灭火系统作了较详尽的介绍,其特色是强调系统性、实用性、科学性与可读性尽可能的完美统一。全书共有七个章节:第一章介绍了细水雾灭火技术的发展历史;第二章介绍了细水雾灭火技术及系统;第三章介绍了雾化理论及喷头设计;第四章介绍了细水雾灭火系统的组成及主要部件;第五章介绍了细水雾灭火系统的设计、施工与维护;第六章介绍了细水雾灭火系统的应用;第七章介绍了细水雾灭火系统的标准规范和检测认证。

本书不仅可供从事细水雾灭火技术的科研教学人员、设备研发人员、相关专业的高年级大学生和研究生等使用,而且可供从事细水雾防火系统消防监督人员、工程设计人员、施工安装人员以及维护管理人员等参考。本书的出版必将为细水雾灭火技术的推广应用提供科学的理论指导和实践基础,满足实际细水雾灭火系统工程设计的重要需求,并为消防产业的发展和提升做出积极的贡献。

廖光焯

教授,博士生导师

中国科学技术大学

火灾科学国家重点实验室

2013年12月6日



前言

沉睡了半个世纪的细水雾灭火技术在哈龙的替代声中被唤醒,又经过了二十年锤炼和发展,如今人们逐渐认识到了它在灭火技术中的重要价值,特别在提倡环境友好型、资源节约型的今天,细水雾灭火技术更加受到人们的重视、热议。为了使人们更加系统、全面地了解细水雾灭火技术,更加准确、合理地应用细水雾灭火技术,特编写了本书。

全书共分七章:第一章介绍了细水雾灭火技术的发展历程,从发展历程看出客观需求是推动新技术产生和发展的原动力;第二章深入讨论了细水雾的灭火机理、细水雾与火焰的相互作用和适用场所等深层次问题,由此得出细水雾灭火技术的特点;第三章雾化理论及喷头设计;第四章介绍了细水雾灭火系统的组成及其主要部件,细水雾喷头是细水雾灭火系统中的关键部件,是技术含量最高,最能体现系统性能差异的部件,所以收集了国内外各种细水雾喷头外形图,以集思广益;第五章介绍了系统的设计、施工、维护管理等问题,第六章介绍了典型应用场所,五、六章解决了“那里用、如何用”的问题;第七章介绍了消防产品的标准、规范、检测和认证等问题,这些对于发展中的中国安全产品来说尤其重要。为了使读者对国外标准及认证有所了解,罗列了国外标准制定单位及认证机构。希望本书的出版能对从事或关心细水雾灭火技术和细水雾灭火系统的读者有所帮助,能有助细水雾灭火技术的发展,能助推细水雾灭火系统的应用。

本书由张洪江、吴龙标负责策划、组稿等事宜,吴龙标编写第五章 5.5 及全书的审稿,张洪江编写第一章、第二章 2.4、2.5、2.6、2.7,李力编写第五章 5.1、5.2、5.3 和第六章 6.5,万瑞明编写第四章和第六章 6.7,张然编写第七章和第六章 6.6,刘炳海编写第三章 3.1,姚斌编写第二章 2.3,罗瑶编写第六章 6.1、6.2、6.3、6.4,张笑男编写第二章 2.2,凌宗余编写第三章 3.3、3.4,王文伟编写第二章 2.1,许军编写第五章 5.4,陆嘉编写第三章 3.2。





在编写本书的过程中,得到了得到中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室、江西省公安消防总队、合肥科大立安安全技术股份有限公司和江西科学技术出版社的大力支持和帮助,使得本书顺利出版。对江西省公安消防总队防火监督部马辛部长、中国科学技术大学张和平教授、宋卫国教授、北京航空航天大学杨立军教授、立安公司的洪亮、石晓龙、杨晓娟、乔艺强等工程师以及江西科学技术出版社温青社长、冷辑林编审给予的帮助表示感谢!书中和每章结束列出了参考资料,向其作者表示诚挚的谢意!书中参考和引用了一些单位的数据和图表,在此向他们表示深深的谢意!

本书作者是多年从事细水雾灭火技术研究、设备制造、工程施工、维护管理、消防监督的工程技术人员,既是本人研究的心得、实践的体会,又吸取了他人的经验和成果。由于细水雾灭火技术在中国尚无系统的著作可供参考,加上作者水平有限,时间仓促,难免有不妥,甚至错误之处,请广大读者批评指正!

(E-mail:15107916666@139.com)

作者

2013.11.12



目录

序 / 廖光煊

前 言

1 细水雾灭火技术的发展史 / 1

1.1 火灾的发生与扑救 / 1

1.1.1 火灾产生的必要条件 / 1

1.1.2 火灾产生的充分条件 / 2

1.1.3 火灾扑救 / 2

1.2 自动喷水灭火技术 / 3

1.2.1 自动喷水灭火系统 / 3

1.2.2 细水雾灭火技术的提出 / 5

1.3 哈龙灭火系统的兴衰 / 6

1.3.1 需求成就了哈龙灭火剂的诞生 / 6

1.3.2 哈龙灭火系统的快速发展期 / 8

1.3.3 环境保护迫使哈龙停止使用 / 9

1.4 细水雾灭火技术的快速发展期 / 13

1.4.1 新的历史机遇 / 13

1.4.2 我国的细水雾灭火技术 / 15

1.4.3 细水雾灭火技术的发展趋势 / 17

参考文献 / 18



目
录



2	细水雾灭火技术及系统 / 19
2.1	细水雾灭火机理 / 19
2.1.1	吸热冷却 / 19
2.1.2	隔氧窒息 / 27
2.1.3	衰减热辐射 / 29
2.1.4	动力学作用 / 31
2.2	细水雾灭火的影响因素 / 32
2.2.1	细水雾特性参数 / 32
2.2.2	影响细水雾灭火的其他因素 / 35
2.3	细水雾与火焰的相互作用 / 45
2.3.1	细水雾与固体木垛火焰相互作用 / 45
2.3.2	细水雾与油池火焰相互作用 / 46
2.3.3	细水雾与油雾火焰相互作用 / 49
2.3.4	细水雾与气体射流火焰相互作用 / 50
2.4	细水雾与烟气的相互作用 / 54
2.4.1	烟气的特性 / 54
2.4.2	细水雾对烟颗粒的影响 / 56
2.4.3	细水雾对烟气特性参数的影响 / 57
2.5	细水雾灭火系统分类 / 59
2.5.1	按工作压力分类 / 60
2.5.2	按流动介质分类 / 60
2.5.3	按应用方式分类 / 61
2.5.4	按喷头型式分类 / 61
2.5.5	按系统操作方式分类 / 61
2.5.6	按给水方式分类 / 61
2.6	细水雾灭火系统的适用场所 / 62
2.6.1	A 类火灾场所 / 62
2.6.2	B 类火灾场所 / 63
2.6.3	C 类火灾场所 / 63



2.6.4	E 类火灾场所 / 63
2.6.5	F 类火灾和 K 类火灾场所 / 64
2.6.6	人员密集场所 / 65
2.6.7	防火隔断玻璃的冷却防护 / 65
2.7	细水雾灭火技术的特点 / 67
2.7.1	与气体灭火系统比较 / 67
2.7.2	与水喷淋/水喷雾系统比较 / 68
	参考文献 / 69
3	雾化理论及喷嘴设计 / 73
3.1	雾化理论概述 / 73
3.1.1	低速液体射流雾化机理 / 73
3.1.2	高速液体射流雾化机理 / 75
3.2	液体破碎的主要形式 / 79
3.2.1	圆射流破碎 / 79
3.2.2	液膜碎裂 / 90
3.2.3	液滴破碎 / 100
3.2.4	雾化的影响因素 / 105
3.3	喷嘴设计 / 105
3.3.1	喷嘴的分类及其特性 / 105
3.3.2	喷嘴的特征参数 / 107
3.3.3	喷嘴设计计算 / 107
3.4	雾化的主要参数及测量 / 115
3.4.1	雾化锥角的定义及测量 / 115
3.4.2	雾通量的定义及测量 / 118
3.4.3	雾动量的定义及测量 / 122
3.4.2	雾滴粒径表征及测量 / 123
	参考文献 / 138



4	细水雾灭火系统的组成及主要部件 / 140
4.1	细水雾灭火系统组成 / 140
4.1.1	开式细水雾系统 / 141
4.1.2	闭式细水雾系统 / 142
4.1.3	瓶组式细水雾系统 / 145
4.1.4	移动式细水雾系统 / 147
4.2	给水装置 / 147
4.2.1	泵组式给水装置 / 147
4.2.2	瓶组式给水装置 / 150
4.2.3	过滤器 / 150
4.3	分区控制阀 / 151
4.4	细水雾喷头 / 153
4.4.1	开式喷头 / 153
4.4.2	闭式喷头 / 161
4.5	管道 / 165
4.6	火灾报警控制器 / 168
4.6.1	火灾自动报警系统 / 169
4.6.2	细水雾灭火系统的控制 / 176
	参考文献 / 178
5	细水雾灭火系统的设计、施工与维护 / 179
5.1	系统设计 / 179
5.1.1	系统选型 / 181
5.1.2	系统设计参数 / 183
5.1.3	水力计算 / 188
5.1.4	消防水源与给水系统 / 192
5.2	设计举例 / 193
5.2.1	细水雾灭火系统在某档案馆的设计应用 / 193
5.2.2	细水雾灭火系统在某烟草高架库的设计应用 / 198



5.2.3	细水雾灭火系统对某油浸式电力变压器的应用 / 200
5.3	施工调试 / 204
5.3.1	施工准备 / 204
5.3.2	管道施工 / 206
5.3.3	设备安装 / 210
5.3.4	系统调试 / 212
5.4	系统验收 / 216
5.4.1	系统验收应提供的资料 / 216
5.4.2	一般验收 / 216
5.4.3	设备验收 / 217
5.5	维护管理 / 218
5.5.1	一般要求 / 218
5.5.2	日检 / 219
5.5.3	月检 / 219
5.5.4	季检 / 219
5.5.5	年检 / 219
	参考文献 / 220
6	细水雾灭火系统的应用 / 221
6.1	舰艇船舶 / 221
6.1.1	概述 / 221
6.1.2	船舶的火灾特点 / 222
6.1.3	船舶防火对策 / 227
6.1.4	细水雾灭火技术在船舶火灾中的应用 / 229
6.2	钢铁冶金 / 235
6.2.1	概述 / 235
6.2.2	钢铁行业中的火灾危险性分析 / 236
6.2.3	细水雾灭火技术在钢铁冶金企业中的应用 / 238
6.3	图书馆档案馆 / 245



- 6.3.1 概述 / 245
- 6.3.2 图书档案馆火灾 / 245
- 6.3.3 图书档案馆防火 / 248
- 6.3.4 细水雾灭火技术在图书档案馆火灾中的应用 / 250
- 6.4 轨道交通 / 253
 - 6.4.1 概述 / 253
 - 6.4.2 细水雾在地铁车站公共区内的应用 / 253
 - 6.4.3 细水雾在轨行区站台侧的应用 / 255
 - 6.4.4 细水雾在部分设备机房内的应用 / 257
 - 6.4.5 细水雾在电缆隧道内的应用 / 260
- 6.5 电子信息系统机房 / 261
 - 6.5.1 概述 / 261
 - 6.5.2 电子信息系统机房的火灾特点 / 262
 - 6.5.3 电子信息系统机房的防火对策 / 263
 - 6.5.4 细水雾灭火系统在计算机房中的应用 / 265
- 6.6 高层建筑 / 271
 - 6.6.1 概述 / 271
 - 6.6.2 高层建筑火灾特点 / 274
 - 6.6.3 高层建筑的防火对策 / 277
 - 6.6.4 细水雾灭火技术在高层建筑中的应用 / 279
- 6.7 烟草企业 / 282
 - 6.7.1 概述 / 282
 - 6.7.2 烟草行业火灾的危险性 / 282
 - 6.7.3 细水雾灭火系统在烟草企业中的应用 / 286
- 参考文献 / 296
- 7 标准、规范和认证 / 299
 - 7.1 国外标准与认证 / 299
 - 7.1.1 国外细水雾灭火技术研究、生产单位介绍 / 299

7.1.2	国外标准、检测与认证机构的介绍 / 301
7.1.3	国外标准、规范概况 / 319
7.2	国内标准与规范 / 320
7.2.1	检测中心简介 / 320
7.2.2	产品标准 / 321
7.2.3	地方规范 / 322
7.2.4	国家和行业规范 / 324
	参考文献 / 329





1 细水雾灭火技术的发展史

在历史发展的长河中,科学技术的每一个重大发现都将极大地推动生产力的发展,促进人类社会的进步,而每一个科学技术的产生和发展又都是从人类社会需要出发应运而生的。如果说细水雾灭火技术的产生是自动喷水灭火技术的自然延伸,顺理成章的事,那么哈龙灭火技术的产生和消失又将左右着细水雾灭火技术的发展轨迹,而石油化工工业的出现、电气火灾的频发为细水雾灭火技术发展起到了推波助澜的作用,为此在介绍细水雾灭火技术发展史之前,有必要简要介绍一下火灾发生的条件及其他灭火技术的情况。

1.1 火灾的发生与扑救

1.1.1 火灾产生的必要条件

火灾是一种在时间和空间上失去人为控制的燃烧现象,是可燃物与氧化剂在着火源作用下发生的一种氧化还原反应,所以,产生火灾的必要条件有可燃物、氧化剂和着火源以及它们之间的相互作用。通常将可燃物、氧化剂和着火源称为燃烧三要素,但只有三要素没有相互作用也不会产生火灾,这三个参量还要相互作用才能发生火灾,于是燃烧三要素及其相互作用就构成一个燃烧三角形,如图 1.1 所示,这是无焰燃烧的必要条件。



图 1.1 燃烧三角形

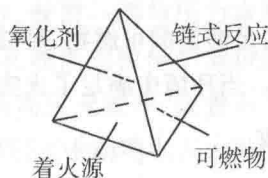


图 1.2 燃烧四面体

对于有焰燃烧来说,燃烧过程中,某些可燃物受热发生热裂解作用,产生 $H\cdot$ 、 $O\cdot$ 、 $OH\cdot$ 等强自由基。自由基是一种高度活泼的化学形态,能与其他自由基和分子起反应,

使燃烧持续反应,这就是燃烧的链式反应。所以,有焰燃烧除了可燃物、氧化剂和着火源相互作用外,还有链式反应参与燃烧过程,于是可以用图 1.2 的燃烧四面体来表示这种燃烧现象。

1.1.2 火灾产生的充分条件

有了燃烧三要素以及三要素之间的相互结合和相互作用,火灾还不一定发生,这是由于:凡是能与空气中的氧气或其他氧化剂发生燃烧反应的物质都称为可燃物,否则称为不燃物。有些不燃物,如铁和铜在常温、常压下不能燃烧,但赤热的铁和铝在纯氧中能剧烈燃烧;聚氯乙烯、酚醛塑料为难燃物,但在强烈火焰中能够燃烧,离开火焰又不能燃烧。物质燃烧性能通常用氧指数来表示,所谓氧指数是指在规定条件下,物质在氧氮混合气流中,维持平衡燃烧所需要的最低氧气浓度,其值以氧所占的体积百分比表示。可燃物的浓度不够,火灾不会发生,如 4% 的氢气就燃烧不起来。另外,火灾要维持,可燃物要有一定的数量,如果可燃物数量不够,燃烧不会持久,结果起火不成灾。如点燃几张报纸,如果没有足够的可燃物支持,几张报纸烧完了,火也就熄灭了。

凡使物质开始燃烧的外部热源统称为着火源(又称引火源)。着火源必须有一定的温度和足够的热量:一根燃烧的火柴能点燃香烟,但是点燃不了煤球,这是由于火柴燃烧产生的温度和热量达到了香烟燃烧需要的温度和热量,但没有达到煤球燃烧所需要的温度和热量;又如气焊火花温度可达 1000°C 以上,它可以使一定浓度的可燃气体与空气混合气体点燃、引爆,但不能将木块点燃。所以,着火源必须具有足以将可燃物加热到能发生燃烧的温度所需要的能量,否则可燃物是燃烧不起来的。可燃物发生着火的最低温度称为着火点或燃点,不同的可燃物,其着火点不同,如甲醇的着火温度为 385°C ,甲烷的着火温度为 537°C ,红松的着火温度为 430°C ,庚烷的着火温度为 204°C ,一氧化碳的着火温度为 609°C 等等。

凡与可燃物质相结合导致燃烧的物质称为氧化剂(又称助燃物)。氧气是最常见的氧化剂,氯、氟、氯酸钾等也是氧化剂。在正常的空气中,存在大约 21% 的氧气,在一般燃烧环境中,只要含氧量低于 15%,大部分物料都燃烧不起来。又如煤油燃烧的最低氧气浓度为 15%,汽油燃烧的最低氧气浓度为 14.4%,黄磷燃烧的最低氧气浓度为 10%,乙炔燃烧的最低氧气浓度为 3.7% 等等。所以,不同的可燃物,燃烧需要的氧气浓度是不同的。

由上述可见,足够量的可燃物、足够的温度和热量的着火源、一定的氧气浓度是火灾产生的充分条件。当环境中满足了火灾发生的充分和必要条件,火灾就会发生。

1.1.3 火灾扑救

说到火灾扑救,首先要预防火灾的发生,防止火灾发生就是破坏燃烧产生的条件。如在控制可燃物方面,尽可能采用难燃或不燃材料建造或装饰建筑物;控制空气中可燃气体、蒸汽、粉尘的浓度;对可燃物进行阻燃处理;限制库房存储物品的种类和数量;对建筑物进行防火分隔等等。在控制着火源方面,严格控制生产、生活中使用的各种明火及





用火设备;按照国家的法规设计、安装和使用各种电气设备;严格管理自燃、易燃、可燃物品;避雷、防静电等。尽管人们想方设法防止着火源与可燃物的接触,但日常生活中无法控制空气中氧气的浓度,也无法防止空气中的氧气与可燃物接触,至于有些在空气中就能燃烧的物品,一定要隔绝空气保存,如将钠保存在煤油中,磷存放在水中。易燃易爆物质在生产、运输、存储和使用过程中,建立相应措施,严格管理。

发生火灾后,就要进行火灾扑救。火灾扑救的本质也是破坏燃烧产生的条件,也就是破坏燃烧三角形或燃烧四面体,使火灾熄灭。降低火场的温度、降低氧气浓度、切断燃烧三要素的相互作用和连锁反应是目前常用的方法,于是产生了基于冷却、窒息、隔离和化学抑制等灭火机理的各种灭火系统。细水雾灭火系统就是这众多灭火系统中的一种,下面会简单介绍一下细水雾灭火系统的产生和发展过程。

最后需要指出的是:有少数可燃物,如次氯酸盐、氯酸盐、过氯酸盐、硝酸盐、铬酸盐、氧化物、过氧化物、低氮硝化纤维、硝酸纤维的赛璐珞等含氧物质,一旦受热后,能自动释放出氧气,不需要外部氧化剂就能发生燃烧,稀释氧气浓度的方法(窒息)对这些可燃物是无效的,这在火灾预防中要引起重视。活泼金属,如 Na、K、Ca、Mg 等在空气中就能燃烧,所以,这些金属要用特殊的方法保存,如 Na、K、Ca 保存在煤油中,Mg 是因为能够被空气中的氧气完全氧化生成致密的氧化膜,但能够跟水发生反应,所以,不能像黄磷一样保存在水中,而可以保存在干燥的环境中。Na、K、Ca、Mg 一旦燃烧起来,不能用水(H_2O)和二氧化碳(CO_2)气体灭火系统来灭火,必须用沙子隔绝空气阻止其燃烧。如 Mg 剧烈燃烧,释放大热量,产生耀眼白光,生成白色固体(MgO)和少量黑色颗粒(C),其化学反应方程式: $2Mg + CO_2 = 2MgO + C$ 。同样,Mg 的活性比 H_2O 中的 H 强,所以,Mg 能与水发生反应。故不能用水和二氧化碳扑灭 Na、K、Ca、Mg 等火灾^[2]。

1.2 自动喷水灭火技术

1.2.1 自动喷水灭火系统

19 世纪初叶,西方资本主义社会迅速发展,各类建筑日益增多,生产规模不断扩大,物资储运不断增加,而火灾损失也日益严重。为了及时扑救火灾,人们首先研究和设置了城市消防给水管网系统,这就是固定式或半固定式水灭火系统的雏形。1812 年,英国第一次出现了用穿孔管道安装在建筑物屋顶下方,管道一端与压力水源连接,发生火灾后手动打开控制阀门,使管道内的水从管道的小孔喷洒到被保护部位进行灭火的装置,这是世界上最早的固定式喷水灭火系统。为了提高灭火效率,改善布水状况,用开式喷洒喷头替代管道穿孔,结合手动控制阀门,组成固定式手动喷水灭火系统^[2]。

闭式喷洒喷头的出现,才改手动喷水灭火系统为自动喷水灭火系统。所谓闭式喷头,是指喷头由热敏元件组成的释放机构封闭,当喷头附近达到一定温度时能自动开启的喷头。1874 年,帕米里^[3]发明了易熔合金闭式喷头,并将这种喷头安装在手动控制的固定式喷水灭火系统的管道上,替代原来的开式喷头,并省掉管网的控制阀门。当火灾