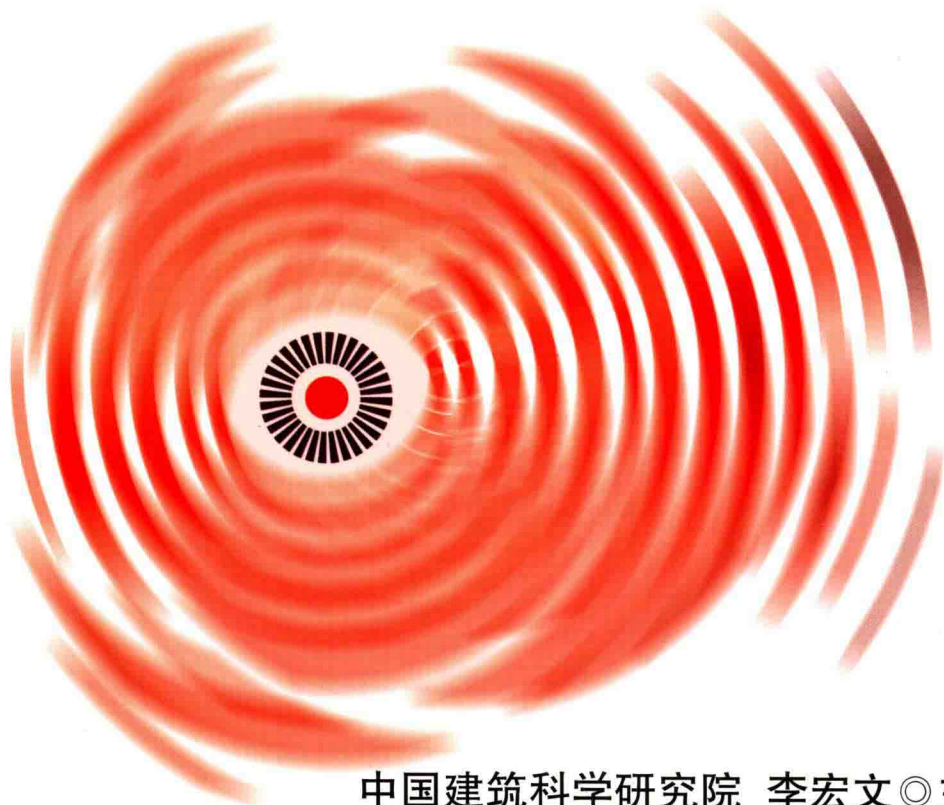




中国建筑科学研究院 李宏文◎主编

# 火灾自动报警 技术与工程实例

中国建筑工业出版社

# 火灾自动报警技术与工程实例

中国建筑科学研究院 李宏文 主编



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

火灾自动报警技术与工程实例/李宏文主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 2  
ISBN 978-7-112-18932-8

I. ①火… II. ①李… III. ①火灾自动报警 IV. ①TU998. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 320006 号

本书根据近十多年来火灾自动报警系统工程设计、技术咨询、工程管理的实践经验、研究成果以及查阅国内外相关文献、标准, 经过分析、总结和整理后编著成此书。内容包括火灾探测、火灾自动报警、火灾自动报警系统的工程设计、火灾探测性能化设计与仿真计算、高大空间建筑火灾探测、火灾自动报警系统在古建筑的应用、地铁火灾监控。

本书适合消防相关专业, 电气专业设计人员及相关专业的大中专院校师生学习参考。

\* \* \*

责任编辑: 张磊 岳建光

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 党蕾

## 火灾自动报警技术与工程实例

中国建筑科学研究院 李宏文 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

北京红光制版公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 498 千字

2016 年 1 月第一版 2016 年 1 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-18932-8

(27767)

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)

# 前 言

近年来,随着经济飞速发展,火灾发生的频度和扑救的难度,造成的损失都在增加。火灾自动报警系统是建筑物防火系统的重要组成部分。火灾自动报警系统通过对火灾产生的烟雾、温度、火焰和燃烧气体等火灾参量做出有效反应,在建筑物发生火灾的初期及时探测到火灾并发出报警信号,为人员安全疏散争取时间,有利于早期控制火情,减少火灾损失。

编者根据近十多年来火灾自动报警系统工程设计、技术咨询、工程管理的实践经验、研究成果以及查阅国内外相关文献、标准,经过分析、总结和整理后编著成此书。内容既涵盖了火灾自动报警系统的基础知识和一般工程设计方法,又囊括了高大空间建筑、古建筑、地铁等场所的火灾自动报警系统工程设计。计算机仿真计算在解决特殊复杂建筑的烟气控制、人员疏散等问题已经是较为常用的技术手段,但在火灾自动报警领域的应用还一直处于探索阶段。本书结合已经开展的工程仿真案例,对该种方法的设计、实施、应用等相关内容进行了介绍。

本书共7章。其中第一章第一节、第二节由申立新执笔;第一章第三、第四、第五节由魏毅宇执笔;第二章由沈景文执笔;第三章第一节、第三节、第五章第七节、第六章第三节由李宏文执笔;第三章第二节由郑斌执笔;第四章由姜云执笔;第五章第一节至第五节、第六章第一节、第二节由张昊执笔;第五章第六节、第七章第一节、第二节由张振娜执笔;第六章第三节、第四节由王燕平执笔。成燕萍、宋伟峰同志也参加了部分工作。全书由中国建筑科学研究院李宏文研究员统稿并定稿。本书在编著过程中得到了沈阳消防研究所丁宏军研究员、中国科学技术大学吴龙标教授、中国人民武装警察部队陈南教授的大力支持,在此表示衷心的感谢。本书编著过程中参照了大量文献,在此对相关人员的辛勤努力表示衷心感谢。由于篇幅和其他条件所限,书中所列的参考资料会有遗漏,特此说明。

本书得到中国建筑科学研究院的大力支持。中国建筑科学研究院建筑防火研究所的李宏文同志曾主持完成了“西藏三大古建布达拉宫、罗布林卡、萨迦寺火灾自动报警系统设计”,先后负责完成了“高大空间建筑火灾探测技术的试验研究”课题、“北京地铁火灾探测器选型及设置试验研究”课题及“地铁工程消防系统检测技术与评定方法研究”课题。此书的部分内容,即为相关的设计与研究成果。同事们在编著过程中提出了大量好的建议,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 火灾探测 .....          | 1  |
| 第一节 感烟火灾探测器 .....       | 2  |
| 一、离子感烟火灾探测器 .....       | 2  |
| 二、光电感烟火灾探测器 .....       | 3  |
| 三、激光感烟火灾探测器 .....       | 8  |
| 四、吸气式感烟火灾探测器 .....      | 9  |
| 五、感烟火灾探测器的选用 .....      | 11 |
| 六、异常环境下使用的感烟火灾探测器 ..... | 13 |
| 第二节 感温火灾探测器 .....       | 14 |
| 一、定温火灾探测器 .....         | 14 |
| 二、差温火灾探测器 .....         | 17 |
| 三、差定温火灾探测器 .....        | 18 |
| 四、光纤感温火灾探测器 .....       | 18 |
| 五、感温火灾探测器的选用 .....      | 23 |
| 第三节 火焰探测器 .....         | 24 |
| 一、火焰光谱 .....            | 24 |
| 二、火焰探测 .....            | 25 |
| 三、紫外火焰探测器 .....         | 26 |
| 四、红外火焰探测器 .....         | 28 |
| 五、紫外、红外复合火焰探测器 .....    | 30 |
| 六、火焰探测器的发展 .....        | 30 |
| 七、火焰探测器的选用 .....        | 30 |
| 第四节 图像型火灾探测器 .....      | 31 |
| 一、图像型火灾探测器原理 .....      | 31 |
| 二、图像型火灾探测器组成 .....      | 32 |
| 三、视频图像火焰探测算法 .....      | 33 |
| 四、视频图像烟雾探测算法 .....      | 35 |
| 五、图像型火灾探测器的主要功能 .....   | 37 |
| 六、图像火灾探测器主要特点 .....     | 38 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 七、图像型火灾探测器的适用场所 .....      | 38 |
| 第五节 其他火灾探测器 .....          | 39 |
| 一、可燃气体探测器 .....            | 39 |
| 二、复合火灾探测器 .....            | 42 |
| 第二章 火灾自动报警 .....           | 43 |
| 第一节 火灾自动报警系统的组成 .....      | 43 |
| 一、火灾触发装置 .....             | 43 |
| 二、火灾报警装置 .....             | 44 |
| 三、火灾警报装置 .....             | 46 |
| 四、消防联动控制系统 .....           | 47 |
| 五、消防设备应急电源 .....           | 57 |
| 第二节 火灾自动报警系统的工作原理 .....    | 58 |
| 一、火灾触发装置的工作原理 .....        | 58 |
| 二、火灾报警控制器的工作原理 .....       | 60 |
| 三、消防联动控制器的工作原理 .....       | 62 |
| 第三节 火灾自动报警系统的功能 .....      | 63 |
| 一、火灾探测报警功能 .....           | 63 |
| 二、消防设备联动功能 .....           | 63 |
| 三、火灾疏散、救援指示功能 .....        | 64 |
| 第四节 消防联动控制 .....           | 64 |
| 一、消防联动控制系统的构成 .....        | 65 |
| 二、消防联动的控制方式 .....          | 65 |
| 三、消防联动控制系统工作原理 .....       | 66 |
| 第五节 火灾自动报警系统的信息传输 .....    | 73 |
| 一、现场设备信息传输 .....           | 74 |
| 二、控制层信息传输 .....            | 75 |
| 三、管理层信息传输 .....            | 76 |
| 第六节 火灾自动报警系统的智能化发展 .....   | 77 |
| 一、火灾自动报警系统智能化发展阶段及特点 ..... | 77 |
| 二、火灾自动报警系统智能化产品应用现状 .....  | 78 |
| 三、火灾自动报警系统智能化发展趋势 .....    | 78 |
| 第七节 无线火灾自动报警系统 .....       | 80 |
| 一、工作原理 .....               | 80 |
| 二、适用范围 .....               | 80 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 三、特点 .....                | 80  |
| 四、国外无线火灾报警系统发展现状 .....    | 81  |
| 五、国内无线火灾报警系统的发展 .....     | 81  |
| 第八节 消防远程监控系统 .....        | 81  |
| 一、系统构成及特点 .....           | 82  |
| 二、系统功能 .....              | 83  |
| 三、系统性能要求 .....            | 85  |
| 四、系统发展及应用现状 .....         | 85  |
| 第三章 火灾自动报警系统的工程设计 .....   | 87  |
| 第一节 系统设计 .....            | 87  |
| 一、设计的前期工作 .....           | 87  |
| 二、报警区域和探测区域的划分 .....      | 87  |
| 三、系统设计一般规定 .....          | 88  |
| 四、火灾自动报警系统的形式和设计要求 .....  | 89  |
| 五、手动火灾报警按钮的设置 .....       | 93  |
| 六、消防应急广播与警报器的设置 .....     | 93  |
| 七、消防电话的设置 .....           | 94  |
| 第二节 火灾探测器的设置 .....        | 95  |
| 一、火灾探测器的设置部位 .....        | 95  |
| 二、感烟火灾探测器在格栅吊顶场所的设置 ..... | 96  |
| 三、点型火灾探测器的设置 .....        | 96  |
| 四、线型火灾探测器的设置 .....        | 105 |
| 五、吸气式感烟火灾探测器的设置 .....     | 111 |
| 六、图像型火灾探测器的设置 .....       | 114 |
| 七、可燃气体探测器的设置 .....        | 117 |
| 第三节 设计举例 .....            | 118 |
| 一、某办公楼火灾自动报警系统设计 .....    | 118 |
| 二、吸气式感烟探测器的设计 .....       | 123 |
| 第四章 火灾探测性能化设计与仿真计算 .....  | 135 |
| 第一节 消防安全性能化设计概述 .....     | 135 |
| 一、消防安全性能化设计起源与发展 .....    | 135 |
| 二、消防安全性能化设计步骤与方法 .....    | 139 |
| 三、火灾仿真模型 .....            | 145 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第二节 火灾探测性能化设计与仿真 .....      | 148 |
| 一、火灾探测性能化设计 .....           | 148 |
| 二、火灾探测的仿真 .....             | 151 |
| 第三节 各种火灾探测技术的仿真计算 .....     | 154 |
| 一、感温探测器的仿真计算 .....          | 154 |
| 二、感烟探测器的仿真计算 .....          | 156 |
| 三、辐射能探测器的仿真计算 .....         | 166 |
| 四、其他火灾探测器的仿真计算 .....        | 169 |
| 第四节 火灾探测仿真的应用 .....         | 171 |
| 一、问题的提出 .....               | 171 |
| 二、研究范围与方法 .....             | 172 |
| 三、CFD 仿真 .....              | 173 |
| 四、实验验证 .....                | 174 |
| 五、规范的完善 .....               | 176 |
| 第五章 高大空间建筑火灾探测 .....        | 177 |
| 第一节 概论 .....                | 177 |
| 第二节 高大空间建筑特征及火灾特性 .....     | 178 |
| 第三节 高大空间建筑烟气流动与控制研究概况 ..... | 179 |
| 第四节 高大空间建筑火灾探测技术发展 .....    | 181 |
| 一、高大空间建筑火灾探测技术发展情况 .....    | 181 |
| 二、高大空间建筑火灾探测产品对比 .....      | 181 |
| 第五节 高大空间建筑火灾探测试验 .....      | 182 |
| 一、火灾科学技术研究方法 .....          | 182 |
| 二、试验研究设计 .....              | 183 |
| 三、高大空间烟气运动分析 .....          | 193 |
| 四、火灾探测试验结果与分析 .....         | 201 |
| 第六节 高大空间建筑火灾探测仿真计算 .....    | 212 |
| 一、吸气式火灾探测器的仿真计算 .....       | 212 |
| 二、红外光束感烟探测器的仿真计算 .....      | 215 |
| 第七节 高大空间建筑火灾探测设计举例 .....    | 225 |
| 一、设计前准备 .....               | 225 |
| 二、某体育馆火灾探测设计 .....          | 226 |
| 三、某会议中心火灾探测设计 .....         | 228 |



第六章 火灾自动报警系统在古建筑的应用 ..... 235

第一节 古建筑火灾风险 ..... 235

一、古建筑火灾 ..... 235

二、古建筑的火灾危险性 ..... 238

第二节 古建筑火灾探测试验 ..... 240

一、试验场所 ..... 240

二、试验设计 ..... 241

三、试验结果及分析 ..... 242

第三节 布达拉宫火灾自动报警系统设计 ..... 245

一、工程概况 ..... 245

二、火灾危险性分析 ..... 245

三、消防对策 ..... 246

四、布达拉宫火灾自动报警系统设计 ..... 249

第七章 地铁火灾监控 ..... 252

第一节 地铁火灾 ..... 252

一、地铁发展的简史 ..... 252

二、中外地铁火灾案例 ..... 253

三、地铁火灾的特点 ..... 256

四、地铁火灾原因 ..... 257

五、地铁车站可燃物分析 ..... 259

六、地铁车站火灾危险性 ..... 261

第二节 地铁车站镂空吊顶公共区火灾烟气运动分析 ..... 261

一、地铁车站常见镂空吊顶样式 ..... 262

二、不同形式吊顶的镂空率 ..... 265

三、北京地铁车站公共区的吊顶设置情况 ..... 265

四、地铁车站无干扰环境（夜间停运）烟气运动规律 ..... 266

五、通风空调系统运行对烟气运动的影响分析 ..... 268

六、地铁列车活塞风对站台环境的影响作用 ..... 272

七、列车运行对烟气运动的影响分析 ..... 274

第三节 地铁车站火灾探测技术试验研究 ..... 278

一、试验方案设计 ..... 278

二、试验结果分析 ..... 283

三、主要试验结论 ..... 291

第四节 地铁火灾自动报警系统设计 ..... 292

    一、总体设计思路 ..... 292

    二、主要设计原则 ..... 292

    三、设计依据 ..... 293

    四、系统方案 ..... 293

    五、系统功能 ..... 297

参考文献 ..... 301

# 第一章 火灾探测

火灾是指在时间和空间上失去控制的燃烧造成的灾害。物质燃烧是可燃物与氧化剂发生的一种氧化放热反应，并伴随有烟、光、热的化学和物理过程。

根据《火灾分类》(GB/T 4968—2008)，火灾根据可燃物的类型和燃烧特性，分为A、B、C、D、E、F、K七类。

A类火灾：固体物质火灾。这种物质通常具有有机物质性质，一般在燃烧时能产生灼热的余烬。如木材、煤、棉、毛、麻、纸张等火灾。

B类火灾：液体或可熔化的固体物质火灾。如煤油、柴油、原油，甲醇、乙醇、沥青、石蜡等火灾。

C类火灾：气体火灾。如煤气、天然气、甲烷、乙烷、丙烷、氢气等火灾。

D类火灾：金属火灾。如钾、钠、镁、铝镁合金等火灾。

E类火灾：电气火灾。物体带电燃烧的火灾。

F类火灾：烹饪器具内的烹饪物（如动植物油脂）火灾。

K类火灾：食用油类火灾。通常食用油的平均燃烧速率大于烃类油，与其他类型的液体火灾相比，食用油火灾很难被扑灭，由于有很多不同于烃类油火灾的行为，它被单独划分为一类火灾。

火灾探测也就是对物质燃烧过程的探测，是以物质燃烧过程中产生的各种现象为依据，获取物质燃烧发生、发展过程中的各种信息，并把这种信息转化为电信号进行处理。根据火灾初起时的燃烧生成物及物理现象的不同，可以有不同的探测方法。如对烟雾、温度、火焰、一氧化碳进行探测等。根据火灾探测方法和原理，目前世界各地生产的火灾探测器，按对现场的火灾参数信息采集类型主要分为感烟式、感温式、感光式、可燃气体探测式和复合式等。火灾探测器还可以按探测器与控制器的接线方式分为总线制、多线制，其中总线制又分编码的和非编码的，而编码的又分电子编码和拨码开关编码。编码又分为二进制编码，十进制编码。火灾探测器按使用环境分为：防水型、防爆型、防雾型、低温型。火灾探测器还可以按照火灾信息处理方式的不同，分为阈值比较型（开关量）、类判断型（模拟量）和分布智能型（参数运算智能化火灾探测）等。

另外火灾探测器按结构造型分类，可以分成点型和线型两大类。

(1) 点型探测器：这是一种响应某一点周围的火灾参数的火灾探测器。大多数火灾探测器，属于点型火灾探测器。

(2) 线型火灾探测器：这是一种响应某一连续线路周围的火灾参数的火灾探测器，其连续线路可以是“硬”的，也可以是“软”的。如空气管线型差温火灾探测器，是由一条细长的铜管或不锈钢管构成“硬”的连续线路。又如红外光束线型感烟火灾探测器，是由发射器和接收器二者中间的红外光束构成“软”的连续线路。

第一节 感烟火灾探测器

感烟火灾探测器能对燃烧或热解产生的固体或液化微粒子以响应，它能探测物质燃烧初期所产生的气溶胶或烟雾粒子。因而对早期逃生和初期灭火都十分有利。目前应用比较广泛的感烟火灾探测器有离子感烟火灾探测器和光电感烟火灾探测器。其中光电感烟火灾探测器：按其动作原理的不同，还可以分为散光型（应用烟雾粒子对光散射原理）和减光型（应用烟雾粒子对光路遮挡原理）两种。

一、离子感烟火灾探测器

离子感烟火灾探测器主要由电离室和电子线路构成。根据探测器内电离室的结构形式，可以分为双源离子感烟探测器和单源离子感烟探测器两种。

最初使用的离子感烟探测器是阈值比较型双源离子感烟探测器，它由两个串联的电离室和电子线路组成，电离室是敏感部件。其中一个电离室叫外电离室，又称检测电离室，烟雾可以进入其中；另外一个电离室叫内电离室，又称补偿电离室，空气可以缓慢进入，而相对于烟雾是密封的。

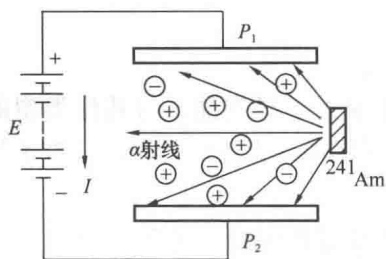


图 1-1 离子电流流动示意图

在电离室内部，有一片同位素<sup>241</sup>Am 放射源，放置在两个相对的电极之间。<sup>241</sup>Am 放射出的 α 射线使两电极间的空气分子电离，形成正离子和负离子。当在两电离室间施加一定的电压时，正离子和负离子在电场的作用下将定向移动，从而形成离子电流。离子电流的流动情况见图 1-1。

当发生火灾时，烟雾进入外电离室，烟雾粒子很容易吸附被电离的正离子和负离子，因而减慢了离子在电场中的移动速度，而且增大了移动过程中正离子和负离子相互中和的几率。从图 1-2 所示的

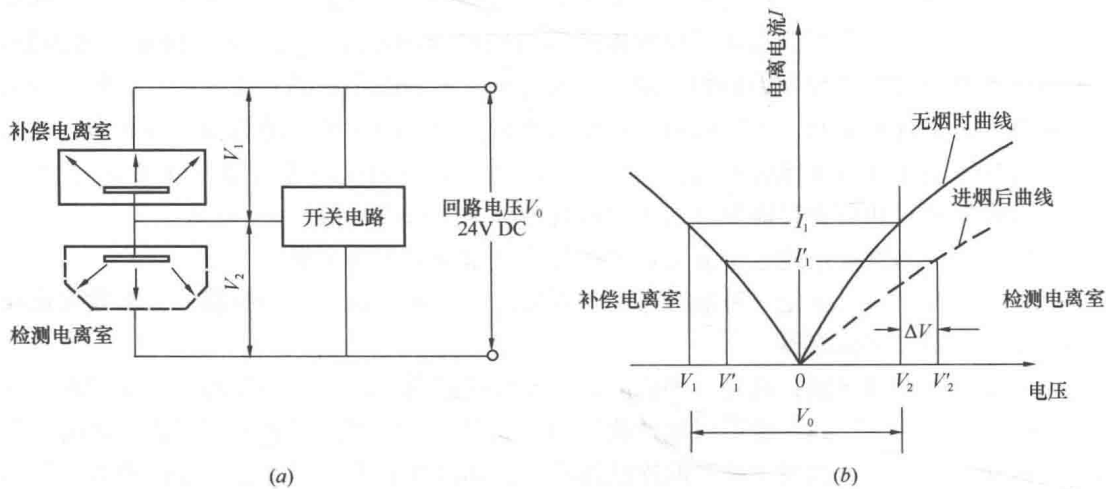


图 1-2 电离室的电流—电压特性

(a) 检测电离室和补偿电离室示意图；(b) 检测电离室和补偿电离室曲线

电离室的  $I-V$  特性曲线上, 可以清楚地看到电压、电流的变化与燃烧生成物的关系。

由图 1-2 可见, 在正常情况下, 内电离室两端的电压等于外电离室两端的电压, 即  $V_1 = V_2$ 。探测器两端的外加电压  $V_0$  等于内电离室电压  $V_1$  与外电离室电压  $V_2$  之和, 即  $V_0 = V_1 + V_2$ 。当发生火灾时, 烟雾进入外电离室后, 电离电流从正常的  $I_1$  减少到  $I'_1$ , 此时外电离室两端的电压从  $V_2$  增加到  $V'_2$ 。

$$\Delta V = V'_2 - V_2 \quad (1-1)$$

外电离室的电压增量  $\Delta V$  随着进入外电离室的烟雾浓度增加而增大, 当  $\Delta V$  增大到超过阈值时电路动作, 输出火灾信号。

## 二、光电感烟火灾探测器

光电感烟探测器是利用火灾烟雾对光产生吸收和散射作用来探测火灾的一种装置。烟粒子和光相互作用时, 有两种不同的过程: 粒子可以以同样波长再辐射已接收的能量, 再辐射可在所有方向上发生, 但不同方向上的辐射强度不同, 称为散射; 另一方面, 辐射可以转变成其他形式的能, 如热能、化学能或不同波长的二次辐射, 称为吸收。为了探测烟雾的存在, 可以将发射器发出的一束光打到烟雾上: 如果在其光路上, 通过测量烟雾对光的衰减作用来确定烟雾的方法, 称为减光型探测法; 如果在光路以外的地方, 通过测量烟雾对光的散射作用产生的光能量来确定烟雾的方法, 称为散射型探测法。光电感烟探测器主要有发光元件和受光元件两部分组成。为了消除环境光对受光元件的干扰, 收、发元件安装在一个小的暗室里, 这个暗室烟雾能进去, 光线却不能进去, 这就是点型光电感烟探测器。当收、发元件安装在大范围的开放空间里, 对收发之间光路上的烟雾进行检测, 便构成了红外光束感烟探测器。

火灾是在时间和空间上失去控制的燃烧过程, 根据燃烧物的不同在燃烧的各个阶段会伴随着产生粒子直径在  $0.01 \sim 1 \mu\text{m}$  液体或固体颗粒。产生的液体或固体颗粒(对感烟探测器而言为烟雾)有的是肉眼看不见的, 有的是颜色较浅的白色或灰色烟雾, 有的是颜色很深的黑色烟雾。在可见光和近红外光谱范围内, 黑色烟雾(简称黑烟), 吸收光线的能力很强, 对于照射在其上的光辐射以吸收为主, 散射光很弱。而对于灰烟、白烟, 则以散射为主。

### 1. 散射光式光电感烟探测器

散射光式光电感烟探测器的检测室内装有发光元件(光发射器)和受光元件(接收器), 发光元件目前大多数采用发光效率高的红外发光二极管; 受光元件大多采用半导体硅光电池(或光电二极管)。在正常无烟的情况下, 受光元件接收不到发光元件发出的光, 因此不产生光电流, 在火灾发生时, 当产生的烟雾进入探测器的检测室时, 由于烟粒子的作用, 使发光元件发射的光产生漫反射(散射), 这种散射光被受光元件所接受, 使受光元件阻抗发生变化, 产生光电流, 将烟雾信号转变成电信号。电信号经过分析处理, 从而实现火灾的探测报警。

散射光式光电感烟探测器主要工作原理为: 通过接收某一角度上的散射光强来探测是否有颗粒进入探测器的散射腔室, 并根据接收光强的强弱做出是否发生火灾的判断。根据光电感烟探测器中接收散射光的角度大小, 可分为前向散射与后向散射两种形式。

散射光式探测器光电接收器输出信号与许多因素有关, 如光源辐射功率和光波长、烟

粒子的浓度、烟粒径、烟的灰度、复折射率、散射角以及探测室的散射体积（由发射光束和光电接收器的“视角”相交的空间区域），还有光敏元件的受光面积及光谱响应等都会影响探测器的响应性能。因此，为了提高探测器的响应性能，在设计探测器的结构时，要考虑各种有关因素，协调他们之间互相干扰的有关参数。探测器的入射光波长要根据粒径大小情况进行合理选择，大多数烟粒子的粒径范围为  $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 。波长应尽可能地短到使大部分被测烟粒子都处在较强的散射性上。自从发光二极管广泛应用于火灾探测器以来，由于较短波长的发光二极管量子效应降低，目前较普遍采用的是红光和红外光波长。如果发光二极管效能允许，应尽量采用波长较短的发光元件。探测室的“迷宫”既要设计的有较强的抗环境光线干扰性，又要考虑使烟雾进入的畅通性和各个方位的均匀性。散射角是影响散射光接收的重要因素，很小粒径（比如波长的  $1/100$ ）的前向散射光（与入射光束同一方向的散射）和后向散射光（与入射光束相反方向的散射）相差不大，随着粒径的逐渐增大，前向散射显著增大，后向散射减小。若光电感烟探测器采用前向散射原理，它对于产生的粒径较大的灰烟（比如标准试验火 SH1、SH2 产生的烟）反应灵敏。关于光电感烟探测器的响应性能，不同的生产企业存在差别，不论是结构上、技术上还是算法上的稍微不同都能影响探测器的响应性能。

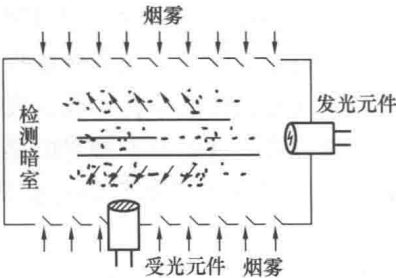


图 1-3 前向散射光电感烟火灾探测原理

(1) 前向散射光电感烟探测器

前向散射光电感烟火灾探测器原理如图 1-3 所示。进入遮光暗室的烟雾粒子对发光元件（光源）发出的一定波长的光产生散射作用（按照光散射定律，烟粒子需轻度着色，且当其粒径大于光的波长时将产生散射作用），使得处于锐角位置的受光元件（光敏元件）的阻抗发生变化，产生光电流。此光电流的大小与散射光强弱有关，并且由烟粒子的浓度和粒径大小及着色与否来决定。根据受光元件的光电流大小（无烟雾粒子时光电流大小约为暗电流），当烟粒子浓度达到一定值时，散射光的能量就足以产生一定大小的激励用光电流，可以用于激励遮光暗室外部的信号处理电路发出火灾信号。显然，遮光暗室外部的信号处理电路采用的结构和数据处理方式不同，可以构成不同类型的火灾探测器，如阈值报警开关量火灾探测器、类比判断模拟量火灾探测器和参数运算智能化火灾探测器。

烟颗粒光散射模型表明，散射光随着散射角度的增大其光强急剧减小，这也是为何前向散射式光电感烟探测器首先出现的原因之一。

然而，由于火灾中一些明火燃烧生成的黑烟颗粒具有较强的光吸收能力，使得这种前向散射式感烟探测器对黑烟响应灵敏度较差；另一方面，由于前向散射光电感烟探测器对阴燃生成的灰烟响应灵敏度较好，即该类探测器对各种火灾烟颗粒响应灵敏度的不一致，造成探测器报警算法中阈值的确定较困难，有时不得不降低探测器的响应灵敏度，导致其对黑烟颗粒易形成漏报。目前光电感烟探测器采用的光波长有 850nm、940nm 和 1300nm 几种，一个优良的光电感烟探测器除了有好的电子电路和机械结构外，还要调整好光波长、散射角和烟粒子粒径之间的关系，使探测器对不同的烟谱都有较平稳的响应。

(2) 后向散射光电感烟探测器

针对前向散射式光电感烟探测器对光吸收能力较强的黑烟响应灵敏度较差的状况，通过对火灾烟颗粒光散射过程的进一步深入研究发现：在颗粒光散射角度为钝角时，尽管颗粒散射光强较弱，但该角度上的散射光强对各种颜色的烟颗粒的一致性较好。基于这种原理，设计出了后向散射式光电感烟探测器，其结构原理如图 1-4 所示。这种感烟探测器对各种烟颗粒的响应灵敏度较一致，从而有利于感烟探测算法中阈值的选取，而较微弱的散射信号可通过探测器中信号放大倍数的调节来补偿。

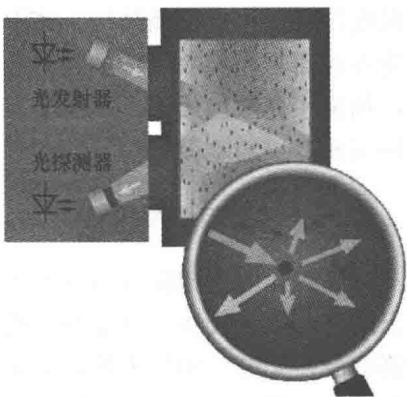


图 1-4 后向散射光电探测器的结构原理

(3) 散射光式光电感烟探测器基本结构

散射光式光电感烟探测器由检测暗室、发光元件、受光元件和电子线路所组成。检测暗室是一个特殊设计的“迷宫”，外部光线不能到达受光元件，但烟雾粒子却能进入其中。另外，发光元件与受光元件在检测暗室中成一定角度设置，并在其间设置遮光板，使得从发光元件发出的光不能直接到达受光元件上，如图 1-5 所示。

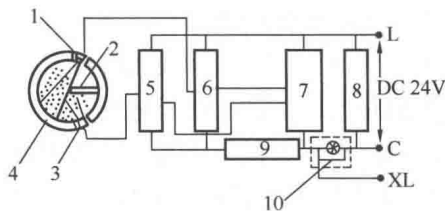


图 1-5 散射光式光电感烟探测器原理框图

- 1—发光元件；2—遮光板；3—受光元件；
- 4—检测暗室；5—接收放大回路；6—发光回路；7—同步开关回路；8—保护回路；
- 9—稳压回路；10—确认灯回路

散射光式光电感烟探测器，通过检测被烟粒子散射的光而对烟雾进行探测。烟雾一旦产生，随着其浓度的增大，烟粒子数的增多，则被烟雾粒子散射的光量就增加。当该被散射的光量达到设定值时，阈值比较型探测器就把该物理量转换成电信号送给报警控制器。

散射光式光电感烟探测方式一般只适用于点型探测器结构，其遮光暗室中发光元件与受光元件的夹角在  $90^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 。不难看出，散射光式光电感烟火灾探测原理，实质上是利用一套光学系统作为传感器，将火灾产生的烟雾对光的传播特性的影响，用电的形式表示出来并加以利用。

由于光学器件的寿命有限，特别是发光元件，因此在电—光转换环节较多采用脉冲供电方案，通过振荡电路使得发光元件产生间歇式脉冲光，并且发光元件多采用红外发光元件——砷化镓二极管（发光峰值波长为  $0.94\mu\text{m}$ ）与硅光敏二极管配对。一般地，散射光式感烟火灾探测器中光源的发光波长约在  $0.94\mu\text{m}$  左右，光脉冲宽度在  $10^{-2}\sim 10\text{ms}$ ，发光间歇时间在  $3\sim 5\text{s}$ ，对燃烧产物中颗粒粒径在  $0.9\sim 10\mu\text{m}$  的烟雾粒子能够灵敏探测，而对  $0.01\sim 0.9\mu\text{m}$  的烟雾粒子浓度随着粒径的减小灵敏度迅速减小，直到无灵敏反应。

散射光式光电探测器根据散射角的大小基本上分为前向散射、后向散射两种类型。散射角是光发射器与接收器在发射光线方向与接收的折射光线方向之间的夹角。前向散射就是采用散射角小于  $90^{\circ}$  的散射方式，后向散射就是采用散射角大于  $90^{\circ}$  散射方式。前向散射原理和后向散射原理各有自己的特点，可以考虑充分利用两者的探测优势，将他们组合起来实现感烟探测。其方法是在探测室内设置两个相对着的光发射器，光接收器选择合适



的角度设置，构成探测结构。其中一个光发射器与光接收器构成前向散射探测结构，另一个光发射器与光接收器构成后向散射探测结构。光接收器将接收到烟粒子的两路散射光作用，加强了光散射效果，从而增大了光电接收器输出信号，达到对黑烟响应的目的。但是这种探测器探测室设计信号处理更为复杂，生产成本也随之增加。

2. 减光式光电感烟探测器

减光式光电感烟探测器的原理如图 1-6 所示，进入光电检测暗室内的烟雾粒子对光源发出的光产生吸收和散射作用，使通过光路上的光通量减少，从而使受光元件上产生的光电流降低。光电流相对于初始标定值的变化量大小，反映了烟雾的浓度，据此可通过电子线路对火灾信息进行处理，发出相应的火灾信号。

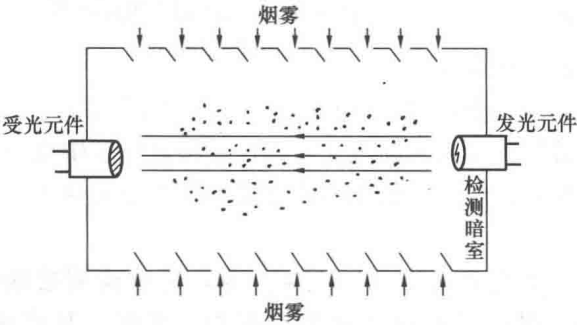


图 1-6 减光式光电感烟探测器原理示意图

减光式光电感烟探测原理可用于构成点型感烟探测器，用微小的检测暗室探测烟雾浓度大小。但是，减光式光电感烟探测原理更适合于构成线型感烟探测器，如红外光束感烟探测器。

红外光束感烟探测器是对警戒范围中某一线路周围的烟雾粒子予以响应的火灾探测器。它的特点是监视范围广，保护面积大。它的工作原理与遮光型光电感烟探测器类似，仅是光束发射器和接收器分别为两个独立的部分，不再有光敏室，作为测量区的光路暴露在被保护的空间，并加长了许多倍。在测量区内无烟时，发射器发出的红外光束被接收器接收到，这时的系统调整在正常监视状态。如果有烟雾扩散到测量区，对红外光束起到吸收和散射作用，使到达接收器的光信号减弱，接收器则对此信号进行放大、处理并输出。线型红外光束感烟探测器的光路和电路原理方框图如图 1-7 所示。

线型红外光束感烟探测器基本结构由下列三部分组成：

(1) 发射器

发射器由间歇振荡器和红外发光管组成，通过测量区向接收器间歇发射红外光束，这类似于点型光电感烟探测器中的脉冲发射方式。

(2) 光学系统

光学系统采用两块口径和焦距相同的双凸透镜分别作为发射透镜和接收透镜。红外发光管和接收硅光电二极管分别置于发射与接收端的焦点上，使测量区为基本平行光线的光路，并可方便调整发射器与接收器之间的光轴重合。

(3) 接收器

接收器由硅光电二极管作为探测光电转换元件，接收发射器发来的红外光信号，把光信号转换成电信号后，由后续电路放大、处理、输出报警。接收器中还设有防误报、检查

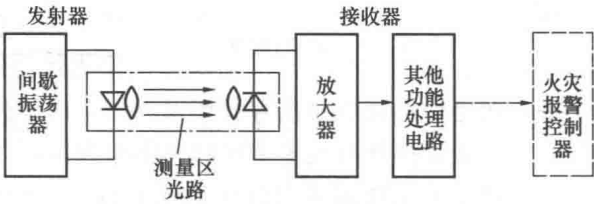


图 1-7 线型红外光束感烟探测器原理框图



及故障报警等电路,以提高整个系统的工作可靠性。

红外光束探测器的发射器、接收器和光学系统这三部分或完全分开,或完全综合,具体情况取决于所选用的系统。当发射器和接收器处于同一个单元时,棱镜板则被安设在对面的墙壁上(该处在正常情况下是接收器所在的位置),从而可把光束反射回光源。

手电筒的可见光束是一个很形象的例子。手电光束按圆锥形向外扩散,其强度随光束偏离中轴线的距离而下降,其光束可以交叉而不发生散射,这正是反射光束探测系统赖以工作的性质。之所以使用红外光束是因为它主要受烟雾颗粒和火焰热霾的影响,而且无法被人眼所看到——红外光束实际上比手电光束更不易受干扰。

反射式探测器的光束发射器和接收器处于同一个单元内,反射板位于对面的墙壁上,最远距离可达100m。反射板呈棱形,即使安装的与传输路径不完全垂直,也仍然可以把光束直线返回。反射式探测器虽然可能对光路附近的物体很敏感,但它易于安装,布线简单,因为只有有一个收发单元需要用电。

利用反射光束法探测火灾,其优点在于不需要单独的发射器和接收器,只需一个探测单元;另外,探测单元与反射镜之间无电气连线,因此减少了成本及调试时间。反射光束探测器安装简单,光束只需在一个探测单元中调整,这对于很高的现场是特别有利的。

反射式光束感烟探测器的光线要经过一次反射和两次穿过探测区域。而对射式光束感烟探测器则不同,它主要由发射和接收两个部分组成,并且两部分是分开安装的,最远距离可达100m。接收器与控制单元相连接,目的是便于维护。发射部分安装位置相对于反射式探测器来说在探测器主体一边,接收部分在反射板的一边,因此光线只需要一次穿过探测区域就直接到接收部分。对射式相对来说不受周围物体表面和光束路径附件障碍物所造成的杂光反射的影响。对射式一般能传过狭窄“空隙”有效工作,通常更适于受限区域,或多障碍区域(如具有杂乱屋顶的空间)。在没有这类物体的空间,反射式探测器通常更方便。

无论是对射式还是反射式光束感烟探测器,都需要重点处理和解决以下几个方面存在的问题:

- 1) 环境温度湿度、空间飘尘和长期漂移变化对判断火灾的有效信号产生影响,导致火灾识别困难。
- 2) 阳光光线和环境的灯光对探测器的干扰,使信噪比下降,探测系统的可靠性降低。
- 3) 由于发光器件的功率限制而不能使用很强功率的探测光线,因此有效信号强度小,淹没在噪声信号中,给信号处理带来困难。
- 4) 系统使用红外光线,为不可见光,存在信号对准的问题。

光束探测技术的新发展使人们可在廉价简单与智能之间进行选择。传统上,调节光束功率和方向必须在安装时由人工进行,然后,还要经常维护,以补偿灰尘积聚和“建筑偏移”。在发生这种现象的地方,建筑构件会以非常小的增量缓缓移动,从而影响光束的目标和探测的效果。最近不同的产品已经问世,人们可以自行选择自动光束调节方式,这种新技术是利用探测装置内长期积累的数据自动调节光束的方向和灵敏度,以使光束精确校准,信号保持最佳电平。该技术快速可靠,便于安装,既可减少维护,又可节约时间。

遮光(减光)程度的小规模逐渐增加不是烟雾的典型表现,大多时候是因为发射表面