

蔡永乐 编著

矿井内因

火灾

防治理论与
实践

煤炭工业出版社

f2.2
9012

矿井内因火灾防治理论与实践

蔡永乐 编著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井内因火灾防治理论与实践/蔡永乐编著. —北京:
煤炭工业出版社, 2001

ISBN 7-5020-2001-2

1. 矿… I. 蔡… II. ①内因火灾—矿山防火
②内因火灾—矿山灭火 IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 12936 号

矿井内因火灾防治理论与实践

蔡永乐 编著

责任编辑: 史彦 王铁根

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京市房山宏伟印刷厂 印刷

*

开本 787×1092mm^{1/32} 印张 4^{3/4}

字数 125 千字 印数 1—400

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

社内编号 4772 定价 10.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书共分五章,第一章介绍了过去讨论较少的火源燃烧特性及影响;第二章介绍了内因火灾发生、发展机理及其预防措施;第三章论述了均压防灭火技术措施和均压机理,重点论述了闭区连通管均压过程及开区均压防灭火定量分析技术;第四章探讨了火区燃烧状态分析方法及火区管理;第五章介绍了该技术具体应用实例。

前 言

矿井火灾是煤矿五大自然灾害（水、火、瓦斯、煤尘及冒顶）事故之一。矿井火灾发生后，往往会造成人员伤亡、物资器材损失、煤炭资源大量被烧毁或被冻结。根据发火原因不同，矿井火灾分为内因火灾和外因火灾。内因火灾与外因火灾相比，其发生、发展缓慢，根据预兆可以早期发现，但火源隐蔽，经常发生在人们难以到达的采空区或煤柱之内，以致火灾可以持续数月、数年、甚至几十年之久，有时燃烧范围逐渐扩大，烧毁大量煤炭，冻结大量煤炭资源。所以，关于内因火灾的治理应受到人们的重视，成为人们研究的重点。

“预防为主”是我们在开采煤炭过程中同各种自然灾害事故作斗争的指导方针，也是防治自燃火灾必须遵循的原则。因此本书重点论述了煤炭自燃火灾预防的理论及其措施。

均压防灭火是预防煤炭自然发火的主要措施之一。它与灌浆防火、加注阻化剂防火、注惰性气体防火等技术相比，具有工程量少、投资少、见效快等优点，因此，在20世纪60年代被世界各主要产煤国竞相采用。然而，在实际应用中，人们多以经验试探法或定性分析法确定均压设施的位置与大小，由于风网的复杂性、均压方法的多样性及人的思维能力所限，人们难以预计均压区域的均压对整个通风网络的影响，致使均压措施实施后，均压区域均压效果不佳；为提高均压应用效果，人们不得不多次调整均压设施的位置与大小，以求均压区域压力的平衡；然而这种多次均压试调，会引起风

网压力的频繁变化，最终对火区有类似“人工呼吸”的供氧作用。所以，应用经验试探法或定性分析法进行均压调节，有时并不能有效地控制采空区煤炭自燃，尤其是在压力“误调”的情况，可能使均压区域不均压，结果使火区火势更旺或引起瓦斯爆炸。所以，为提高均压防灭火这一先进技术应用的安全性，需要找到一种既能恰当地控制自燃，又能预见均压通风对矿井通风系统各区域影响的均压方法，这就是以计算机模拟技术应用于均压通风的定量分析方法。

20世纪50年代后期，计算机已开始应用于矿井通风网络计算。70年代末，已发展比较成熟。现在，矿井风流优化调节的数学模型和程序已问世，从而为均压通风的计算机模拟技术打下基础。为弥补均压定性分析方法的缺陷，本书重点论述了均压防灭火定量分析研究最新成果及其应用。

作者编著本书，旨在针对火灾防治的需要，对过去讨论较少的内容作一补充，希望对从事矿井通风、防灭火工作的工程技术人员及大、中专院校师生有所裨益。

此书编写过程中，得到了太原理工大学吕光华教授的大力支持和帮助，在此表示感谢。由于作者水平有限，书中难免有不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

作 者

2001年1月

目 录

第一章 矿井火灾燃烧特征及危害·····	1
第一节 燃烧的基本概念·····	1
第二节 矿井火灾分类及危害·····	8
第三节 火灾时期风流紊乱及防治·····	14
第二章 内因火灾机理及预防·····	22
第一节 自燃火灾与煤炭自燃·····	22
第二节 内因火灾防治措施·····	33
第三章 均压防灭火技术·····	45
第一节 概 述·····	45
第二节 均压防灭火理论基础·····	47
第三节 均压防灭火技术措施·····	56
第四节 连通管均压过程定量分析·····	64
第五节 开区均压防灭火定量分析·····	73
第四章 火区火源燃烧状态分析与管理·····	91
第一节 气样的可靠性分析·····	91
第二节 火源燃烧状态的判别指标和方法分析·····	94
第三节 火区管理·····	101

第五章 均压防灭火技术应用实例	106
附表 1 输入数据文件	128
附表 2 输入数据文件说明	142
主要参考文献.....	144

第一章 矿井火灾燃烧特征及危害

第一节 燃烧的基本概念

一、燃烧的特征

可燃物与氧化剂两组分在空间发生化学反应的过程叫做燃烧。它常伴随着放热、发光的过程，即“火”的现象。这种化学反应是氧化反应，有新物质生成。反应物中化学性质活泼的氧原子组分称为氧化剂，被氧化剂氧化的物质叫做燃料或可燃物，反应的生成物叫做燃烧产物。

放热、发光和有新物质生成是燃烧反应的三个特征，是区别燃烧和非燃烧现象的依据。如点亮灯泡中的钨丝放热、发光，但无新物质形成，属于物理过程，而非燃烧现象；金属生锈、动物呼吸会放热且有新物质形成，但反应速度低，放热速度慢，无发光现象，所以也非燃烧反应。

火焰是可燃物在气相状态条件下发生燃烧的外部表现，除具有放热、发光的特征外，还有自行蔓延、电离等特征。火焰具有自行蔓延的特征是指燃烧一旦开始，在适当的条件下，会不断向四周蔓延直至整个反应结束。

二、燃烧的条件

燃烧必须具备三个条件：可燃物（燃料）、氧气和热源。

三个条件中缺少其中任一条件，燃烧都不可能发生；燃烧发生后缺少其中任一条件，燃烧将会终止，这是防灭火工作的根本依据。矿井防灭火的目的就是为了消除燃烧的全部或部分条件。值得注意的是，燃烧除具备上述三个条件外，还要求可燃物、助燃物和热源应具备一定的数量、浓度和能量。例如，瓦斯浓度低于4%，或空气中氧气浓度低于12%，或热源温度低于595℃的瓦斯与空气的混合气体，将不能燃烧。所以，一定数量或浓度的可燃物、充足的供氧及具备一定能量的热源是燃烧的充分必要条件。

三、燃烧的本质

近代燃烧理论认为：燃烧是一种游离基的链锁反应。链锁反应也称链式反应，即在瞬间进行的循环连续反应。游离基是一种瞬间的不稳定的化学物，可能是原子、分子碎片或其它中间物，它们的活性非常强，当设法使反应物产生少量的活性中心——游离基时，即可使链式反应发生。反应一经开始，就可经过许多链锁步骤自动发展下去，直至反应物全部变完为止。当活性中心由于某种原因全部消失时，链锁反应就会中断，燃烧也就停止。链锁反应机理大致分为三步：第一，链引发，即生成游离基。生成方法有热解法、光化法、放射线照射法、氧化还原法、催化及机械法等；第二，链传递，游离基与反应物作用产生新的游离基并不断重复这一过程；第三，链终止，当反应物被完全消耗或由于惰性物质作用，使游离基失去活性而减少以至消失，链式反应终止。链式反应分为不分支和有分支反应两种。不分支反应时，每个参与反应的游离基只生成一个游离基；有分支反应时，一个游离基可以生成一个以上的游离基。有分支的链反应，当生成的游

离基数大于断裂数时，反应速度加剧，达一定数量时就发展为爆炸。例如，氟气与氢气的反应属于典型的不分支反应，氢气与氧气的反应、甲烷与氧气的反应都属于有分支反应。

综上所述，燃烧是一种复杂的物理化学反应，游离基的链式反应说明了燃烧反应的化学性质，光和热说明了燃烧过程中发生的物理现象。

四、燃烧的过程

可燃物质的燃烧一般不是可燃物质本身在燃烧，而是可燃物受热分解出的气体或升华或沸腾、蒸发而成的蒸气在空气中燃烧。可燃物质的燃烧过程如图 1-1 所示。但也有些可燃物不能成为气态燃烧，如焦炭燃烧时呈灼热状态，而不显现火焰。气体物质燃烧比固体和液体物质燃烧要容易得多。

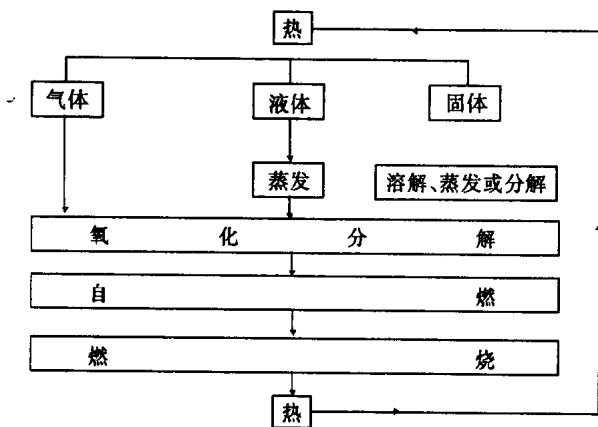


图 1-1 可燃物的燃烧过程

因为气体可燃物质燃烧不需要像固体和液体那样经过熔化、蒸发等准备过程，而在常温下就准备好了燃烧条件。气体物质燃烧所需的热量仅用于氧化和分解气体并将气体加热到燃点，所以容易燃烧。任何物质的燃烧都需要温度与空气。

五、燃烧的分类

如上所述，根据可燃物燃烧过程不同，可燃物的燃烧形式可分为以下几种形式：

1. 扩散燃烧

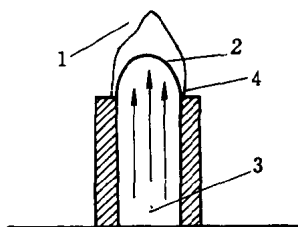


图 1-2 扩散燃烧火焰结构图

- 1—空气；2—扩散汇合区；
3—气态燃料；4—管口

亦叫气体燃料燃烧。甲烷(CH_4)、一氧化碳(CO)、乙炔(C_2H_2)等可燃气体从喷燃器孔口或巷道局部空间流出，在与空气汇合时，可燃气体与空气分子间扩散而汇合，当汇合浓度达到燃烧界限时，遇火源则在该范围内燃烧。由于可燃气体和氧气的不断补给、汇合使燃烧持续进行。如图 1-2 所示。

2. 分解燃烧

出现于固体和部分液体燃料的燃烧中。在燃烧过程中，可燃物首先遇热分解，热分解产物和氧气反应产生火焰燃烧。如木材、煤、橡胶、合成高分子化合物等固体燃料。例如木材在空气中燃烧时，火源首先加热木材，使其失去水分而干燥，然后木材发生分解，释放出挥发性气体，产生火焰燃烧，放出热量；释放的热继续加热木材使木材不断分解出可燃气体，

从而使燃烧持续进行。

3. 蒸发燃烧

出现于液体可燃物的燃烧。如醇类、煤油、石蜡等液体燃料，由于液体的蒸发而产生的蒸气在空气中遇火产生火焰燃烧，该火焰温度加热液体的表面又促进了液体的蒸发，以至形成持续燃烧。

4. 预混燃烧

是指可燃气体与空气预先充分混合的燃烧，这种燃烧在混合气体分布的空间可以快速蔓延，一定条件下会转化为爆炸。矿井火灾引起的爆炸事故往往是由预混燃烧引起的。

5. 表面燃烧

发生于固体燃料燃烧的后期。固体可燃物燃烧时，不断分解出挥发性气体，而挥发性气体燃烧放出的热量继续维持新的固体燃料热分解和燃烧。当原来燃烧的燃料所含挥发性

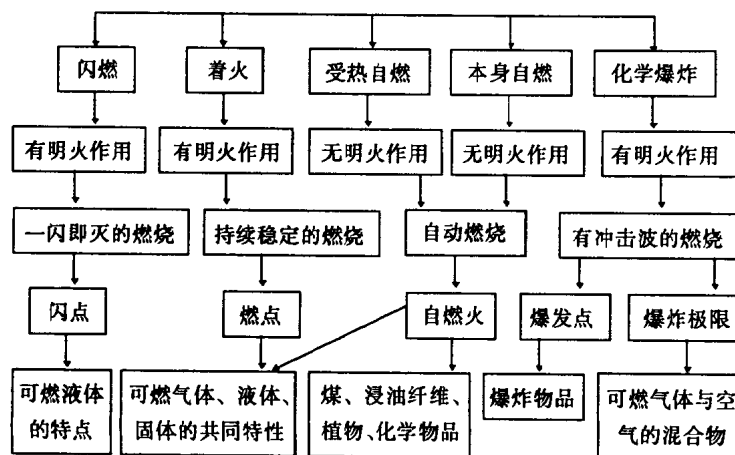


图 1-3 可燃物燃烧的类型及特点

气体、煤焦油分解完后，剩下固体炭（焦炭），这时，燃烧在焦炭与空气的接触表面进行，称为表面燃烧。固体燃料呈红热表面，但无火焰。

上述 1、2、3、4 的燃烧形式最终可归结为可燃气体燃烧或蒸气的燃烧，而第 5 种燃烧形式属于固体燃烧，不产生火焰。

由于可燃物质的化学组成不同，所以燃烧过程和燃烧速度也不同。可燃物的燃烧速度一般在 $0.1\sim 10\text{m/s}$ 的范围内。例如，甲烷与空气混合气体的最大燃烧速度为 0.5m/s ，氢气与空气的混合气体为 2.7m/s 。

按氧化速度不同，可燃物燃烧一般分为闪燃、着火、自燃、化学爆炸几种类型，各自特点如图 1-3 所示。

六、关于燃烧的几个概念

1. 闪燃、闪点与燃点

任何一种液体的表面都有一定量的蒸气，而蒸气浓度则决定于该液体所处的温度。在一定温度下，易燃、可燃液体（包括能蒸发出蒸气的少量可燃固体，如石蜡、樟脑等）表面上所产生的蒸气，达到一定浓度与空气混合后，一遇火源就会发生一闪即灭的燃烧，这种现象叫做闪燃。

易燃、可燃液体表面上挥发出的蒸气与空气形成混合物后，遇火源能发生闪燃的最低温度叫闪点，以“ $^{\circ}\text{C}$ ”来表示。

闪燃是火警的先兆，闪点是评价液体火灾危险的主要依据。一般情况下，闪点越低，火灾危险性就越大。通常把闪点在 45°C 以下的液体称为易燃液体，在 45°C 以上的称为可燃性液体。

燃点是使可燃物持续燃烧（不少于 5s）的最低温度，在

这个温度以上，燃烧产生的热量大于向环境散失的热量。对于固体可燃物燃点也叫着火点，可燃液体的燃点实际意义不大。

2. 自燃与自燃点

凡是没有明火作用而发生自行燃烧的现象，统称自燃。由于热的来源不同，自燃又分为受热自燃和本身自燃。

受热自燃：凡是由于外界加热达到自燃点引起的自行燃烧现象称为受热自燃。如可燃物质在加热、烘烤、熬炼和热处理中或者受摩擦热、辐射热、化学反应热和压缩热的作用所引起的燃烧都属于受热自燃。

本身自燃：亦称自热自燃，是可燃物质由于生物、物理、化学的作用发热而达到自燃点引起的燃烧。如煤的自燃、稻草的自燃、硫化铁的自燃，都属于自热自燃。

能使可燃物质受热自燃的最低温度叫自燃点或着火点，以“ $^{\circ}\text{C}$ ”来表示。可燃物自燃点越低其危险性就越大。

可燃性气体自燃点受压力、浓度、催化剂、容器大小等因素影响。固体可燃物自燃点受其粉碎程度、受热时间长短、化学成分等因素影响。

3. 火烟燃烧与阴燃

火烟燃烧是一种伴随可燃性挥发气体析出并燃烧的迅速氧化的过程，通常有放热、放光的现象。火烟燃烧一般发生在氧气浓度 $10\% \sim 12\%$ 以上。

阴燃，又称闷燃或冒烟燃烧。氧化过程发生在固体可燃物的表面，也能维持自我持续燃烧，但不足以分解足够的挥发气体产生火烟燃烧。一般情况下，空气中氧气浓度低于 2% 时阴燃终止。

4. 燃烧与爆炸

燃烧与爆炸的共同点，都是一种放热、发光的化学反应。燃烧与爆炸一经发生，并不是在整个范围内同时进行，而是在一局部区域以化学反应的形式按一定方向、一定速度一层一层自动进行，直到满足燃烧和爆炸条件的区域反应全部完毕为止。燃烧与爆炸最本质区别在于燃烧蔓延的速度比较低，一般为每秒几厘米至几米，而爆炸传播的速度为每秒几百米至数千米。此外，燃烧过程的蔓延容易受外界环境（如温度、压力和风向）的影响；而爆炸几乎不受外界环境的影响。

第二节 矿井火灾分类及危害

一、矿井火灾的概念和条件

凡是发生在井下巷道、工作面、采空区等地点火灾，以及发生在井口附近的地面火灾所产生火焰或气体随同风流进入井下而威胁到矿井安全生产的火灾均称为矿井火灾。矿井火灾是煤矿五大自然灾害（水灾、火灾、瓦斯、煤尘和冒顶）之一。在火灾事故中，常常会造成人员伤亡、物资器材损失、煤炭资源被烧毁或被冻结。据统计，我国重点煤矿中，至今因火灾冻结的煤量有 6000 多万吨，因火灾引起的人身伤亡事故也屡有发生。

矿井火灾发生条件同燃烧发生条件一样，也必须具备以下三个条件：

(1) 热源：具有一定温度和足够的热量的热源才能引起火灾。在矿井里煤的自然、瓦斯煤尘爆炸、放炮作业、机械摩擦、电流短路、吸烟、烧焊以及其它明火等都可能是引火的热源。

(2) 可燃物：在煤矿矿井里，煤炭本身就是一个大量而且普遍存在的可燃物。另外，坑木、各类机电设备、油料、炸药等都具有可燃性。可燃物的存在是火灾发生的基础。

(3) 空气：燃烧是剧烈的氧化反应，任何可燃物只有点燃热源但缺乏足够的氧气，燃烧是无法进行的，或不能持续进行。实验证明，在氧气浓度为3%的空气环境中，燃烧不可能维持；空气中氧浓度低于14%，点燃的蜡烛就要熄灭。

上述是火灾发生的三要素，它们必须同时存在，相互结合，才能导致火灾的发生。

二、矿井火灾分类

虽然矿井火灾由于其发生、发展演变过程的特殊和复杂环境而没有两场完全相同的火灾，使得人们很难依据一种既定的原则予以分类。然而，根据它的某些主要特征和防火技术的需要，把它们归纳成若干类型还是可能的，也是必要的，具有实际意义。

1. 按火灾发生原因分

(1) 外因火灾：由于外部高温热源（如放炮、烧焊、电流短路、明火等）引起可燃物质燃烧造成的火灾。这种火灾多发生在井口房、井筒、井底车场、石门及机电硐室和有机电设备的巷道等地点。外因火灾具有火源明显、发生突然、来势凶猛等特点，若发现不及时，则可能酿成恶性事故。由于外因火灾往往是由表及里进行的，若发现及时，还是容易扑灭的。

矿井外因火灾所占的比重一般都比较小，尤其在开采易燃煤层的矿井里更为明显。如抚顺矿区在1949~1992年间，外因火灾占同期矿井火灾总数的3.57%。尽管从数量上说外