



防火防爆技术

胡广霞 段晓瑞 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

防火防爆技术

胡广霞 段晓瑞 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据防火防爆现代理论和技术的发展趋势,结合最新法规和技术标准,系统阐述了燃烧与爆炸的理论基础、易燃易爆物品的理化特性、防火防爆的基本措施、工业建筑防火防爆、危险化学品储运防火防爆、烟花爆竹防火防爆、化工物料输送设备防火防爆、电气防火防爆和火灾扑救知识,具有完整的理论体系和较强的可操作性。

本书可供企业安全管理人员、安全技术人员以及其他生产管理人员作为安全培训教材及自学用书,也可供从事消防安全工作的人员及高等院校安全工程专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

防火防爆技术 / 胡广霞, 段晓瑞编著.
—北京: 中国石化出版社, 2012. 9
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1723 - 7

I. ①防… II. ①胡… ②段… III. ①防火 ②防爆
IV. ①X932

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 183737 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 18.5 印张 340 千字
2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷
定价:50.00 元

前言

随着现代化建设的飞速发展，各类工厂和产品的数量日益增加，尤其是易燃易爆物品被广泛应用于石油、化工、矿山等各个行业，发生火灾爆炸的危险也越来越大。世界各地因火灾和爆炸事故，每年都造成重大的人员伤亡和财产损失。因此，防火防爆一直是国际安全科学技术界研究的重要内容，也是安全工程专业教学的重要基础课程。

特别是新《消防法》的修订和重新颁布实施，对提高全社会火灾防控能力、有效防控灾害事故、促进社会安全稳定有着极其重要的作用。同时也说明我国的消防安全工作进入了一个新阶段，防火防爆工作任务重道远。在此背景下，为了使广大群众特别是企业员工能够了解和掌握有关防火防爆的知识与技能，我们编写了《防火防爆技术》这本书。

本书共分十章，即：第一章，燃烧理论基础；第二章，爆炸理论基础；第三章，易燃易爆物品的理化特性；第四章，防火防爆的基本措施；第五章，工业建筑防火防爆；第六章，危险化学品储运防火防爆；第七章，烟花爆竹防火防爆；第八章，化工物料输送设备防火防爆；第九章，电气防火防爆；第十章，火灾扑救。本书层次清晰、注重基础、知识全面、实用性强、适用范围广，可供企业安全管理人员、安全技术人员以及其他生产管理人员作为安全培训教材及自学用书，也可供从事消防安全工作的人员及高等院校安全工程专业的师生学习参考。

本书第一章~第五章、第十章的内容由胡广霞编写，第六章~第九章由段晓瑞编写。全书由中国劳动关系学院孟燕华教授担任主审。本书在编写过程中，参考了诸多文献资料，在此对其作者表示衷心的感谢。

由于本书涉及内容广泛，编者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。



第一章 燃烧理论基础	(1)
第一节 燃烧的本质	(1)
一、燃烧	(1)
二、燃烧的的必要条件	(1)
三、燃烧理论	(3)
第二节 燃烧过程	(7)
一、燃烧形式	(7)
二、燃烧过程	(9)
三、燃烧产物	(11)
第三节 燃烧特性	(14)
一、气体燃烧速度	(14)
二、液体燃烧速度	(17)
三、固体燃烧速度	(20)
四、热值、燃烧热	(21)
五、燃烧温度	(23)
第二章 爆炸理论基础	(26)
第一节 爆炸现象及其特征	(26)
一、爆炸及其分类	(26)
二、化学性爆炸的特征	(28)
三、爆炸的破坏作用	(29)
第二节 可燃气体的爆炸	(30)
一、可燃气体爆炸的典型形式	(30)
二、可燃混合气体的爆炸机理	(31)
三、可燃混合气体的爆炸极限	(32)
四、可燃气体爆炸效应计算	(38)
第三节 可燃粉尘爆炸	(42)
一、粉尘爆炸的机理	(42)
二、影响粉尘爆炸的主要因素	(43)

三、粉尘爆炸危险性判断	(44)
四、粉尘爆炸的特点	(44)
五、控制粉尘爆炸的技术措施	(45)
六、生产场所粉尘爆炸的危险性评价	(46)
第三章 易燃易爆物品的理化特性	(47)
第一节 可燃气体	(47)
一、可燃气体分类	(47)
二、常见的可燃气体	(48)
三、按爆炸极限分级	(50)
四、影响可燃气体燃爆危险性的主要参数	(51)
第二节 可燃液体	(51)
一、可燃液体分类	(51)
二、常见的可燃液体	(52)
三、可燃液体燃爆危险性的判断	(53)
四、油品的沸溢和喷溅	(56)
第三节 可燃固体	(59)
一、可燃固体分类	(59)
二、影响可燃固体火灾危险性的主要参数	(60)
第四节 自燃性物质	(60)
一、物质自燃的机理	(60)
二、常见的自燃性物质	(61)
三、自燃性物质分类	(65)
第五节 遇水放出易燃气体的物质	(66)
一、几类遇水放出易燃气体的物质	(66)
二、遇水放出易燃气体的物质的分类	(66)
三、遇水放出易燃气体的物质的危险性	(67)
四、防止遇水放出易燃气体的物质火灾的主要措施	(68)
第六节 氧化性物质与过氧化物	(68)
一、氧化性物质分类	(68)
二、影响氧化性物质危险性的因素	(69)
三、氧化性物质的危险性和防护	(70)
第七节 爆炸性物质	(70)
一、爆炸性物质分类	(70)
二、几种常见炸药	(71)

三、炸药爆炸参数	(72)
四、炸药的爆炸性能	(73)
第四章 防火防爆的基本措施	(76)
第一节 火灾与爆炸事故	(76)
一、火灾及其分类	(76)
二、爆炸事故类型及其特点	(77)
三、火灾与爆炸的关系	(79)
四、防火防爆的基本原则	(79)
第二节 防止形成可燃可爆系统	(79)
一、采用火灾爆炸危险性低的物料	(80)
二、生产设备及系统尽量密闭化	(80)
三、采取通风除尘措施	(81)
四、安全监测及联锁	(81)
五、惰性气体保护	(83)
六、采取有针对性的防范措施	(84)
第三节 控制着火源	(86)
一、明火	(86)
二、摩擦和撞击	(87)
三、高温表面	(87)
四、自然发热	(88)
五、电气设备	(88)
六、静电火花	(88)
七、雷电火花	(91)
第四节 防火防爆安全装置	(91)
一、阻火装置	(91)
二、泄压装置	(97)
三、指示装置	(99)
第五节 防火防爆检测报警装置	(100)
一、火灾探测器	(100)
二、可燃气体监测报警器	(105)
第五章 工业建筑防火防爆	(107)
第一节 建筑材料的耐火性能	(107)
一、木材	(107)
二、钢材	(107)

三、混凝土和钢筋混凝土	(108)
第二节 建筑构件的耐火性能	(111)
一、建筑构件的燃烧性能	(111)
二、耐火极限的定义	(111)
三、建筑构件的耐火性能	(112)
四、提高建筑构件耐火性能的途径	(115)
第三节 建筑物的耐火等级	(115)
一、建筑物耐火等级的分类	(115)
二、生产和储存物品的火灾危险性分类	(117)
三、建筑物耐火等级的选择	(118)
第四节 建筑防火分区	(121)
一、防火分区的定义和作用	(121)
二、防火分区的类型	(121)
三、防火分隔物	(122)
第五节 防火间距	(125)
一、厂房的防火间距	(125)
二、仓库的防火间距	(127)
第六节 安全疏散	(128)
一、安全疏散设计的基本原则	(128)
二、允许疏散时间及安全疏散距离	(130)
三、疏散楼梯	(131)
四、厂房的安全疏散	(137)
五、仓库的安全疏散	(139)
第七节 厂房防爆	(140)
一、正确设置泄压面积	(140)
二、防爆厂房的建筑结构	(141)
三、防爆厂房的平面布置	(142)
第六章 危险化学品储运防火防爆	(143)
第一节 危险化学品的概念及分类	(143)
一、基本概念	(143)
二、危险化学品分类	(143)
三、危险货物分类	(146)
第二节 危险化学品安全技术说明书和化学品安全标签	(147)
一、化学品安全技术说明书(CSDS)	(148)

二、化学品安全标签	(151)
第三节 危险化学品的储存、包装、运输及废弃处理	(154)
一、危险化学品的储存	(154)
二、危险化学品的包装	(159)
三、危险化学品的运输	(160)
四、废弃危险化学品的处理	(161)
第七章 烟花爆竹防火防爆	(164)
第一节 烟花爆竹的分类和分级	(164)
一、烟花爆竹分类	(164)
二、烟花爆竹分级	(165)
第二节 烟花爆竹的危险性分析	(166)
一、烟火剂的组成及其燃烧反应机理	(166)
二、烟花爆竹的主要危险特性及其危险性分类	(168)
三、燃放烟花爆竹对人体健康的危害	(168)
第三节 烟花爆竹储存防火防爆	(169)
一、烟花爆竹储存的防火安全要求	(169)
二、烟花爆竹仓库的防火管理	(171)
第四节 烟花爆竹运输防火防爆	(176)
一、烟花爆竹的道路运输安全	(177)
二、烟花爆竹的铁路运输安全	(180)
三、烟花爆竹的水路运输安全	(183)
第五节 烟花爆竹及其物料的着火应急措施	(186)
一、烟花爆竹着火可选择的灭火剂和紧急处置方法	(186)
二、不同物料着火的紧急处置方法	(187)
第八章 化工物料输送设备防火防爆	(190)
第一节 气体物料压缩输送设备的防火防爆	(190)
一、气体压缩输送设备	(190)
二、气体压缩输送设备火灾爆炸危险性分析	(194)
三、防火防爆安全措施	(196)
第二节 液体物料输送设备的防火防爆	(199)
一、液体物料输送方法和输送设备	(199)
二、液体物料输送设备火灾爆炸危险性分析	(203)
三、防火防爆安全措施	(205)
第三节 固体物料输送设备的防火防爆	(208)

一、固体物料输送方法和输送设备	(208)
二、固体物料输送设备火灾爆炸危险性分析	(211)
三、防火防爆安全措施	(212)
第九章 电气防火防爆	(213)
第一节 电气火灾的原因	(213)
一、电气设备安装使用不当	(213)
二、雷电	(214)
三、静电	(215)
第二节 火灾、爆炸环境防爆电气设备的选择	(215)
一、爆炸性混合物的分类、分级和分组	(215)
二、火灾、爆炸危险环境区域划分	(216)
三、防爆电气设备类型及选择	(219)
第三节 防爆电气的应用	(225)
一、火灾爆炸环境附近的变配电气防爆	(225)
二、电气线路防爆	(225)
三、照明灯具防爆	(226)
第四节 防雷和防静电	(228)
一、静电的产生和危害	(228)
二、防静电措施	(230)
三、雷电种类和危害	(232)
四、防雷基本措施	(234)
五、建筑物防雷要求	(237)
第十章 火灾扑救	(240)
第一节 灭火的基本原理和方法	(240)
第二节 灭火剂	(241)
一、水灭火剂	(242)
二、泡沫灭火剂	(243)
三、干粉灭火剂	(245)
四、二氧化碳灭火剂	(246)
五、卤代烷灭火剂	(247)
六、其他灭火剂	(248)
七、灭火剂的选用	(248)
第三节 灭火器	(249)
一、灭火器分类	(249)

二、灭火器的适用范围	(250)
三、灭火器的使用与保养	(251)
第四节 灭火器的配置	(258)
一、灭火器配置场所的火灾种类和危险等级	(258)
二、灭火器的选择	(259)
三、灭火器的设置	(261)
四、灭火器的配置	(262)
五、灭火器配置设计计算	(263)
第五节 危险化学品火灾的扑救	(265)
一、压缩或液化气体火灾的扑救要点	(265)
二、易燃液体火灾的扑救要点	(266)
三、爆炸品火灾爆炸的扑救要点	(267)
四、遇湿易燃物品火灾的扑救要点	(267)
五、易燃固体、自燃物品火灾的扑救要点	(268)
六、氧化剂和有机过氧化物火灾的扑救要点	(268)
七、毒害品、腐蚀品火灾的扑救要点	(269)
第六节 火场人员安全疏散与自救	(269)
一、人员安全疏散	(269)
二、火场逃生自救方法	(271)
附录一 108 种物质的防火防爆安全参数	(273)
附录二 生产的火灾危险性分类举例	(277)
附录三 储存物品的火灾危险性分类举例	(278)
附录四 工业建筑灭火器配置场所的危险等级举例	(279)
附录五 民用建筑灭火器配置场所的危险等级举例	(282)
参考文献	(284)

第一章 燃烧理论基础

第一节 燃烧的本质

一、燃烧

燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴有火焰和发光和(或)发烟的现象。放热、发光和生成新物质是燃烧现象的三个主要特征。根据这三个特征，可以区别燃烧现象与其他现象。例如灯泡中的钨丝接通电源后虽然同时发光、放热，但这并不是一种燃烧现象，因为它没有发生化学反应，没有产生新物质，而只是由电能变为光能的一种物理现象；又如铁生锈是一种氧化反应，生成新物质氧化铁，但反应不激烈，虽然放热，但放出的热量不足以使反应产物发光，所以也不是燃烧现象。

物质的燃烧是一种氧化反应，而氧化反应不一定是燃烧，能够被氧化的物质不一定都能燃烧，而能燃烧的物质一定能被氧化。简言之：氧化反应包括燃烧，而燃烧只是氧化反应中的一类。

需要注意的是，燃烧是一种氧化反应，氧气是最常见的氧化剂，但氧化剂并非限于氧气。在化学反应中，失掉电子的物质被氧化，得到电子的物质被还原，氧化并不限于同氧的化合。例如金属钠在氯气中燃烧、炽热的铁在氯气中燃烧等，它们虽然没有同氧化合，但所发生的反应却是激烈的氧化反应，并伴有发光和放热现象。

二、燃烧的必要条件

燃烧必须同时具备下列三个条件才能进行。

1. 可燃物

一般说来，凡是能在空气、氧气或其他氧化剂中发生燃烧反应的物质都称为可燃物，否则称为不燃物。可燃物既可以是单质，如碳、硫、磷、氢、钠、铁等，也可以是化合物或混合物，如乙醇、甲烷、木材、煤炭、棉花、纸、汽油等。

可燃物按其组成可分为无机可燃物和有机可燃物两大类。从数量上讲，绝大部分可燃物为有机物，少部分为无机物。

无机可燃物主要包括化学元素周期表中 I ~ III 主族的部分金属单质(如钠、钾、镁、钙、铝等)和 IV ~ VI 主族的部分非金属单质(如碳、磷、硫等)以及一氧

化碳、氢气和非金属氢化物等。不论是金属还是非金属，完全燃烧时都变成相应的氧化物，而且这些氧化物均为不燃物。

有机氧化物种类繁多，其中大部分含有碳(C)、氢(H)、氧(O)元素，有的还含有少量氮(N)、磷(P)、硫(S)等。这些元素在可燃物中都不是以游离状态存在，而是彼此化合为有机化合物。碳是有机可燃物的主要成分，它基本上决定了可燃物发热量的大小。碳的发热量为 $3.35 \times 10^7 \text{ J/kg}$ 。氢是有机可燃物中含量仅次于碳的成分。它的发热量是碳的4倍多，为 $1.42 \times 10^8 \text{ J/kg}$ 。有的有机可燃物中还含有少量硫、磷，它们也能燃烧并放出热量，其燃烧产物(SO_2 、 P_2O_5 等)会污染环境，对人有害。

2. 氧化剂

氧化剂能和可燃物发生反应并引起燃烧。氧化剂的种类很多。氧气是一种最常见的氧化剂，它存在于空气中(体积分数约为21%)，故一般可燃物质在空气中均能燃烧。例如1kg 木柴完全燃烧需 $4 \sim 5 \text{ m}^3$ 空气，1kg 石油完全燃烧需 $10 \sim 12 \text{ m}^3$ 空气。空气供应不足时燃烧就会不完全，隔绝空气能使燃烧停止。

其他常见的氧化剂有卤族元素，如氟、氯、溴、碘等。此外还有一些化合物，如硝酸盐、氯酸盐、重铬酸盐、高锰酸盐及过氧化物等，它们的分子中含氧较多，当受到光、热或摩擦、撞击等作用时，都能发生分解放出氧气，能使可燃物氧化燃烧，因此它们也属于氧化剂。

3. 点火源

点火源是指具有一定能量，能够引起可燃物质燃烧的能源，有时也称着火源。点火源的种类很多，如摩擦、撞击、电气火花、静电火花、高温表面、化学反应热、光能和热辐射等。

可燃物、氧化剂和点火源是构成燃烧的三个要素，缺一不可。

(1) 具备一定数量的可燃物 在一定条件下，可燃物若不具备足够的数量，就不会发生燃烧。例如在温度为 20°C 条件下，用明火接触汽油和煤油时，汽油会立刻燃烧起来，煤油则不会。这是因为汽油的蒸气量已经达到了燃烧所需浓度(数量)，而煤油的蒸发量不够，在气相中浓度较低，接触明火也不会被点燃。

(2) 有足够数量的氧化剂 要使可燃物质燃烧，或使可燃物质不间断地燃烧，必须供给足够数量的空气(氧气)，否则燃烧不能持续进行。一般来说，当空气中的氧的体积分数低于14%时可燃物质不会发生燃烧。表1-1中列出了几种可燃物燃烧时所需氧的最低体积分数。

(3) 点火源要具有一定的能量 一定能量的着火能量是指激发某一可燃物质所需的最小着火能量值，若点火源没有足够的点火能量，则不会引起点火或燃烧。例如一根火柴可点燃一张纸而不能点燃一块木头；又如气焊火花温度可达

1000℃以上，它可以将达到一定浓度的可燃气与空气的混合气体引燃爆炸，但却不能将木块、煤块引燃。某些可燃物的最小着火能量见表 1-2。

表 1-1 几种可燃物质燃烧所需氧的最低体积分数

可燃物名称	氧的最低体积分数/%	可燃物名称	氧的最低体积分数/%
汽油	14.4	乙炔	3.7
乙醇	15.0	氢气	5.9
煤油	15.0	大量棉花	8.0
丙酮	13.0	黄磷	10.0
乙醚	12.0	橡胶屑	12.0
二硫化碳	10.5	蜡烛	16.0

表 1-2 某些可燃物的最小着火能量

物质名称	最小着火能量/mJ	物质名称	最小着火能量/mJ
汽油	0.2	甲醇(2.24%)	0.215
氢(28%~30%)	0.019	呋喃(4.4%)	0.23
乙炔(7.7%)	0.019	苯(2.7%)	0.55
甲烷(8.5%)	0.28	丙酮(5.0%)	1.2
丙烷(5%~5.5%)	0.26	甲苯(2.3%)	2.5
乙醚(5.1%)	0.19	醋酸乙烯(4.5%)	0.7

总之，要使可燃物发生燃烧，不仅要同时具有三个基本条件，而且每一条件都必须具有一定的“量”，并彼此相互作用，否则就不能发生燃烧。

一切防火与灭火措施的基本原理就是根据物质的特性和生产条件，阻止燃烧三要素同时存在、互相结合、互相作用。

三、燃烧理论

1. 热自燃理论

现以某种可燃混合气的热自燃介绍这种理论。设在某一体积为 V 、表面积为 S 的密闭空间中存在一定的可燃混合气，开始时其氧化速率很慢，但随着温度的升高，其反应速率亦逐渐加快；与此同时，可燃气会通过系统的壁面向外散热。若系统的放热速率大于散热速率，则到一定时间后就会达到该可燃物的着火温度，进而发生着火。为了便于分析，还要作以下主要假设：

(1) 密闭空间中的可燃混合气的温度与浓度分布均匀。空间的壁温在反应前与环境温度 T_0 相同，在反应过程中与混合气的温度相同。

(2) 开始时刻混合气之初温与环境温度相同，为 T_0 ，反应过程中混合气的瞬时温度为 T ，假定密闭空间内各点的温度、浓度相同，其中既无自然对流，又无强迫对流。

(3) 环境与密闭空间之间有对流换热，其表面传热系数为 h ，它不随温度变化。

(4) 着火前反应物浓度的变化很小，即 $\rho = \rho_0 = \text{常数}$ 。

混合气体化学反应产生的热量为：

$$Q_e = vQ$$

式中 Q_e ——密闭空间内单位体积混合气体在单位时间内反应放出的热量，通称放热速率， $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ ；

v ——化学反应速度， $\text{mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ ；

Q ——可燃气体反应热， kJ/mol 。

可燃气体向四周散失的热量为：

$$Q_r = hS(T - T_0)/V$$

式中 Q_r ——密闭空间内单位体积混合气体在单位时间内向外界散发的热量，通称散热速率， $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ ；

h ——可燃气体与四周介质的传热系数。

可燃气体自身升温所需要的热量为：

$$Q_s = \rho c_v \frac{dT}{dt}$$

式中 ρ ——可燃气体的密度， kg/m^3 ；

c_v ——质量定容热容， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

t ——时间， s 。

根据反应系统热量守恒定律可得：

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = vQ - hS(T - T_0)/V = Q_e - Q_r$$

现结合图 1-1 来讨论 Q_e 和 Q_r 随温度的变化情况。设可燃混合气由 A、B 两种组分组成，且反应形式为 2 级。根据阿累尼乌斯公式，其化学反应速率可表示为：

$$v = ZC_A C_B e^{-\frac{E}{RT}}$$

则

$$Q_e = QZC_A C_B e^{-\frac{E}{RT}}$$

式中 Z ——频率因子， $\text{m}^3/(\text{mol} \cdot \text{s})$ ；

C_A, C_B ——反应物 A 和 B 的浓度， mol/m^3 ；

E ——反应的活化能， kJ/m^3 ；

R ——普适气体常数， $\text{kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ；

T ——气体的热力学温度， K 。

根据上式，可认为放热速率与温度呈指数曲线关系。而系统的散热速率可认为与其内外温差呈线性关系。随着环境温度 T_0 的不同，可得到图 1-1 中所示的一组平行的散热曲线，其中 T_{01} 、 T_{02} 、 T_{03} 分别代表三种不同的环境温度，且 $T_{01} < T_{02} < T_{03}$ 。若环境温度较高，散热速率较慢，则 Q_e 与 Q_r 有 A 和 B 两个交点。

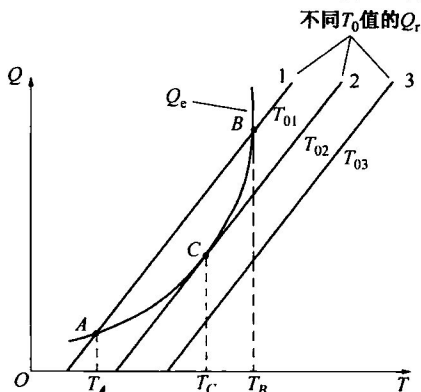


图 1-1 放热速率和散热速率与系统温度关系图

反应开始时，可燃混合气的温度等于环境温度 T_0 ，因此散热损失 $Q_r = 0$ 。在缓慢化学反应的影响下，混合气的温度上升。随着混合气与环境的温差逐渐增大，散热速率也逐渐增大，逐渐接近放热速率，并最终使系统的放热速率等于散热速率，即达到 A 点。故 A 点是个稳定工况点，就是说，即使系统发生微小的温度扰动，结果都能使混合气的温度回到 T_A ，反应不会自动加速而着火。

从 A 点到 B 点的过程中，散热速率一直大于放热速率。对此，如果仅依靠系统自身的反应，其温度不可能继续升高，只有由外界向系统补充能量，才可能使系统从 A 点过渡到 B 点。

B 点则是不稳定工况点。当系统到达该点时，如果某些原因致使系统的温度略有增加，则由于系统的放热速率总是大于散热速率，从而使系统达到着火温度，即自动加速至着火。相反，若对系统提供一个温度略低的扰动，则由于散热速率总是大于放热速率，使系统的温度不断下降，直至返回 A 点。

若环境温度 T_0 增加，则系统的散热曲线将会向右平移，最终可出现放热曲线和散热曲线在 C 点相切的情况。C 点的物理意义是系统的放热速率与散热速率达到平衡，它也是一个不稳定工况点。若在某些因素影响下，系统的温度出现下降，则系统返回 A 点；若由于某些原因使系统的温度继续增高，则将使系统的反应自动加速直至发生着火。因此 C 点标志着系统由低温缓慢反应到自动加速反应的过渡。根据着火的定义，C 点便代表热自燃点， T_C 是该可燃混合气的热自燃

温度。

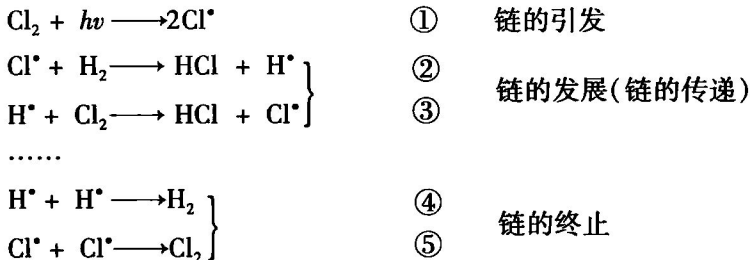
由上所述，热自燃理论成功地说明了可燃物质由于自加热而引起的着火燃烧或由阴燃到明燃以及起爆的现象。

2. 链反应自燃理论

人类用火已有几十万年的历史，然而人们对燃烧实质的认识却远远不够。18世纪前，欧洲盛行燃烧素学说，直到1777年法国科学家拉瓦锡提出了燃烧的氧学说，认为燃烧是可燃物与氧的化合反应，同时放出光和热，这是对燃烧科学的一大贡献。在此基础上进一步研究燃烧的反应机理，曾有燃烧的分子碰撞理论、活化能理论及过氧化物理论等。20世纪初，苏联科学家谢苗诺夫创建了燃烧的链式反应理论，才比较圆满地对燃烧机理作了解释，得到了各国化学界的公认。

链式反应理论也称连锁反应理论。它认为：气态分子之间的作用，不是两个分子直接作用生成最后产物，而是活性分子先离解成自由基(游离基)，然后自由基与另一分子作用产生一个新的自由基，新自由基又与分子反应生成另一新自由基……如此延续下去形成一系列的反应，直至反应物耗尽或因某种因素使链中断而造成反应终止。

以氯气与氢气的反应为例：



从上例可以看出，链式反应一般可以分为链的引发、链的发展(链的传递)及链的终止三个阶段。

(1) 链引发阶段 分子在某种能量的作用下生成自由基，使链反应开始，如①式。

(2) 链发展阶段 自由基很不稳定，易与反应物分子作用生成燃烧产物分子和新的自由基，使链反应得以持续下去，如②、③式。

(3) 链终止阶段 自由基减少、消失，使链反应终止。造成自由基消失的原因有：自由基相互碰撞生成分子；自由基撞击器壁将能量散失或被吸附等，如④、⑤式。

链式反应通常分直链反应与支链反应两种。直链反应的基本特点是：每个自由基与其他分子反应后只生成一个新自由基。氯气与氢气的反应是典型的直链反