



# 电业火灾与防火防爆

时守仁  
编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 电业火灾与防火防爆

---

时守仁 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书阐述了燃烧、火灾、爆炸及防火防爆的基本理论,论述了电业火灾爆炸的危险性,分析了不同类型火灾的原因,列举了国内外火灾事故及沉痛教训,提出了电业防火防爆措施。书的最后叙述了灭火设施、电业火灾扑救方法和防火设计要点。

本书对认识电业火灾规律,掌握电业防火防爆技术,减少电业火灾,促进人类现代文明将起到有益的作用。

本书可作为电力企业管理人员、工程技术人员及工人培训用书,也可供高等院校、中等专业学校及技工学校的师生学习参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电业火灾与防火防爆/时守仁编著.-北京:中国电力出版社,1999.11

ISBN 7-5083-0181-1

I. 电… II. 时… III. ①发电厂-防火-基本知识  
②发电厂-防爆-基本知识 IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 63747 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2000 年 1 月第一版 2000 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28.5 印张 702 千字

印数 0001—3000 册 定价 42.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前言

电力工业是国民经济的基础，是促进经济发展，推进科技进步，提高人民物质文化生活水平的物质技术基础，是国家现代化的重要标志。

电业现代化的标志是发展大电网，建设高效大容量机组，采用超（特）高压交直流输电，实现高度自动化控制，实行统一调度，合理高效地利用和开发各种资源，向用户提供充足、可靠、合格、廉价的电能。

电力工业有其自身的特点：电力工业能将各种能源，如煤炭、石油、天然气、水力、风力、潮汐、核能等转换为电能，供人类使用；电力工业产品是无形的，产、供、销同时完成，生产和消费随时保持平衡，在目前技术条件下，电能尚不能大量储存；发电、输电、变电、配电、用电五个环节紧密相关，构成一个有机整体，实行统一调度；电力系统庞大，结构复杂，技术密集，设备贵重，控制保护系统高度自动化；电力系统设备多，内在联系紧密，一台设备故障，可波及全厂（全站）乃至全网，可使大批用户停电，后果非常严重；电力工业使用和储存有大量的可燃性液体、可燃气体、可燃粉尘和固体物质，有许多高温高压设备，电气设备常有火花、电弧和表面高温存在，因此存在有火灾和爆炸的危险性，火灾机率较高。

事故出于麻痹，火灾起于隐患。电业火灾隐患和危险因素存在于各个环节。一个1000MW燃煤电厂年燃煤量约250万t，200MW燃油电厂年燃油量约30万t，这些易燃物质在装卸、贮存、运输、制备和燃烧过程中，随时都有发生火灾的危险，特别是燃烧原油和天然气的发电厂，火灾爆炸危险性更大。

汽轮机油系统油压高，油量大，燃点低且与高温管道和高温热体相距较近，一旦泄漏或喷出，可立即燃起大火并且难以扑救。

氢冷发电机组，氢设备、氢管道的氢气发生泄漏（内泄或外漏），将引起着火或爆炸。

发电、输电、变电、配电、用电的电气设备如发电机、变压器、油断路器、电容器、电动机、电抗器等，在严重过热和故障情况下，也容易引起火灾。充油电气设备更加危险，260MVA变压器的油重约33.5t，一旦着火，可引起变压器爆炸，甚至波及其他电气设备。

发电厂、变电所、调度室及其他行业的电力车间，电缆密布，数量很大，分

布甚广，所处环境恶劣，遇有电缆本身故障，很容易引起电缆着火。电缆着火速度很快，聚氯乙烯电缆着火时以10~20m/min速度蔓延，从而将使相连的电气表盘、设备、仪表烧毁，酿成重大火灾。

在电力设备检修过程中，电火焊的焊渣、火星和高温金属块体很容易将现场的棉纱、木板、脚手架、绝缘材料、电缆及油渍燃着，甚至发生乙炔或氧气设施的着火和爆炸。

国内外统计资料表明，电力工业重大事故中火灾及伴随火灾事故所占比例较大，且一旦发生火灾事故，将造成设备损毁、人身伤亡和大面积停电。

电业火灾是国民经济和人民生活的灾难，是现代文明的恶魔。为了安全可靠供电，实现人民电业为人民的宗旨，在长期的电力生产实践中，作者深入研究电业安全生产和电业火灾的规律，分析电业火灾的特点，总结国内外电业火灾爆炸的教训，结合最新规程和规范，系统地归纳出各类火灾、爆炸事故的预防措施和火灾扑救方法，在此基础上编著本书，供读者参考。

本书由原电力部安生司陈占梅处长审稿，在此表示深深谢意！

由于本书内容广泛，涉及专业多，加上编者水平有限，书中难免有错误之处，敬请读者批评指正。

时守仁

1999年元月

## 前 言

第一章 燃烧、爆炸及防火防爆的基本理论 .....	(1)
第一节 燃烧 .....	(1)
第二节 火灾与防火技术的基本理论 .....	(7)
第三节 爆炸与防爆技术的基本理论 .....	(12)
第二章 电业火灾事故与防火防爆技术 .....	(34)
第一节 输煤系统火灾事故 .....	(35)
第二节 制粉系统的自燃和爆炸 .....	(45)
第三节 燃油系统火灾事故 .....	(60)
第四节 锅炉炉膛爆炸与尾部烟道再燃烧 .....	(76)
第五节 汽轮机油系统火灾事故 .....	(108)
第六节 发电机火灾事故 .....	(130)
第七节 氢气系统和氢冷发电机火灾爆炸事故 .....	(146)
第八节 变压器火灾爆炸事故 .....	(157)
第九节 油断路器火灾爆炸事故 .....	(202)
第十节 电缆火灾事故 .....	(216)
第十一节 电动机火灾事故 .....	(247)
第十二节 铅酸蓄电池火灾爆炸危险性 & 防爆措施 .....	(253)
第十三节 冷水塔火灾事故 .....	(258)
第十四节 照明火灾事故 .....	(262)
第十五节 控制室、调度室、计算机室、通信室、 计量室、档案室的火灾事故 .....	(277)
第十六节 静电火灾事故 .....	(280)
第十七节 气焊与气割火灾爆炸事故 .....	(305)
第十八节 氧气瓶爆炸事故 .....	(321)
第十九节 核电厂火灾事故 .....	(326)
第二十节 油处理室、修理场、汽车库及易燃易爆 物品库防火措施 .....	(337)
第三章 火灾报警与灭火设施 .....	(339)
第一节 常用灭火剂和灭火器 .....	(339)

第二节	火灾自动报警灭火系统 .....	(347)
第三节	火灾自动报警装置 .....	(349)
第四节	自动灭火系统 .....	(351)
第五节	消防给水系统 .....	(363)
第六节	手抬机动消防泵 .....	(363)
<b>第四章</b>	<b>电业火灾扑救 .....</b>	<b>(365)</b>
第一节	电气设备灭火 .....	(365)
第二节	氢系统及其设备的火灾扑救 .....	(373)
第三节	汽轮机油系统火灾扑救 .....	(373)
第四节	燃气轮机火灾扑救 .....	(374)
第五节	柴油发电机火灾扑救 .....	(375)
第六节	燃油系统和油库火灾扑救 .....	(375)
第七节	制粉系统火灾扑救 .....	(376)
第八节	锅炉设备火灾扑救 .....	(378)
第九节	铅酸蓄电池火灾扑救 .....	(378)
第十节	电火焊设施火灾扑救 .....	(379)
第十一节	输煤系统火灾扑救 .....	(379)
第十二节	冷水塔火灾扑救 .....	(379)
第十三节	修理场、汽车库、油处理室及易燃 易爆物品库的火灾扑救 .....	(380)
<b>第五章</b>	<b>电业防火设计要点 .....</b>	<b>(381)</b>
第一节	电业防火设计的指导思想 .....	(381)
第二节	建(构)筑物的火灾危险性分类及其 耐火等级 .....	(381)
第三节	发电厂厂区总平面布置的防火要求 .....	(388)
第四节	发电厂厂房安全疏散和建筑构造 .....	(390)
第五节	发电厂主要设备及工艺系统 .....	(391)
第六节	发电厂火灾检测与灭火设施 .....	(400)
第七节	变电所 .....	(404)
第八节	断路器、电容器等储油设备 .....	(408)
第九节	电缆 .....	(410)
第十节	照明 .....	(416)
第十一节	控制室、调度室、通信室、计算机室等 .....	(417)
第十二节	火灾和爆炸危险环境的电气装置 .....	(419)
第十三节	气焊(割)设施 .....	(431)
第十四节	消防给水灭火系统 .....	(437)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(448)</b>

# 第一章

## 燃烧、爆炸及防火 防爆的基本理论

人类自发现火、利用火和火药以来，燃烧和爆炸在人类生活和生产中被广泛应用，给人们的生活和生产提供了有利条件，促进了人类社会的发展。

但是，人们一旦对火和燃烧失去控制，或者可燃物质管理不严，对其特性认识不足，就会产生火灾、爆炸等灾害事故，给人类生命、财产造成严重的损害。因此，我们必须研究和掌握可燃物质的特性，掌握防火、防爆的基础技术理论和现代消防灭火知识，以减少火灾和爆炸事故，使燃烧和爆炸为人类文明起到有益的作用。

### 第一节 燃 烧

#### 一、燃烧

燃烧就是可燃物质与氧或氧化剂发生氧化反应，而发光发热的现象（有时还伴随声音）。

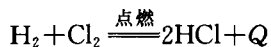
例如，碳与氧反应生成二氧化碳并放出热量：



氢与氧反应生成水并放出热量：



氢与氯化合反应生成氯化氢气体，放出热量并呈现火焰：



上述反应中的氧和氯均为氧化剂。

#### 二、燃烧应具备的条件

燃烧必须具备三个条件，即可燃物质、助燃物和火源（一定温度和热量强度的能源）。这三个条件必须同时存在并相互作用才能发生燃烧，这就是如图 1-1-1 所示的经典着火三角形理论。

##### 1. 可燃物

凡是能与空气、氧气和其他氧化剂发生剧烈氧化反应的物质，称为可燃物质。可燃物质按状态不同可分为气态、液态和固态三种。按其组成不同，可分为无机可燃物质和有机可燃物质两类。

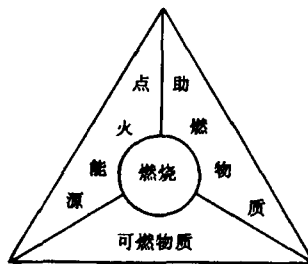


图 1-1-1 着火三角形



## 2. 助燃物

具有较强的氧化性能，能与可燃物发生化学反应并引起燃烧的物质，称为助燃剂（物），如空气、氧气等。

## 3. 着火源

具有一定温度和热量，能引起可燃物质着火的能源，称为着火源，如明火、电火花和高温热体等。

## 三、燃烧类型

燃烧按可燃物质的状态不同，可分为气体燃烧、液体燃烧和固体燃烧三种。

按照燃烧反应进行的程度不同，分为完全燃烧和不完全燃烧两种。

按照燃烧的特性不同，燃烧可分为自燃、闪燃和着火（燃烧）三种类型。每一种燃烧的类型都有其各自的特点，在防火技术中，必须具体地分析每一类型燃烧发生的特殊原因，从而针对性地采取有效的防火与灭火措施。

### 1. 自燃和自燃点

(1) 自燃的定义。可燃物质受热升温而不需明火作用就能自行着火的现象称为自燃。引起物质自燃的最低温度称为自燃点，又叫该物质的自燃温度（引燃温度）。

(2) 自燃的分类。根据促使可燃物质升温的热量来源不同，自燃可分为受热自燃和本身自燃两类。

1) 受热自燃：可燃物质由于外界加热，温度升高至自燃点而发生自行燃烧的现象，称为受热自燃。如白炽灯泡附近的纸张，因受热温度升高到 333℃ 以上纸就被燃着。

2) 本身自燃：可燃物质由于本身的化学反应、物理或生物作用等所产生的热量（即本身的热效应），使温度升高至自燃点而发生自行燃烧的现象，称为本身自燃，亦称为自燃。引起物质自燃的发热原因有分解热、氧化热、吸附热、聚合热、发酵热等。

由于可燃物质本身自燃不需外来热源，所以在常温下，甚至在低温下也能发生自燃。因此能够发生本身自燃的可燃物质比其他可燃物质引起火灾的危险性更大。

在一般情况下，本身自燃的起火特点是首先积热、升温、冒气、阴燃；从可燃物内部向外碳化、延燃；在内部发现明显的碳化结块。如稻草、烟草、干草、煤粉等在空气中氧化自燃，即为本身自燃。而受热自燃往往是从外向内延燃，如一叠纸张在温度达到 333℃ 时，由外部自燃向内延燃。

### (3) 自燃的影响因素。

1) 自燃与热量的积累有关，热量积累越多，越容易发生自燃；

2) 自燃与热量发生速率有关，热量发生速率越大，热量积累越多，越容易发生自燃。

(4) 自燃点的影响因素。自燃点与压力的高低、大气中氧含量、化学组成、有无催化剂、粒度大小、气体析出量、受热时间长短、分子结构等因素有关。

压力越高、氧含量越高、化学组成越接近化学计算量、有活性催化剂的存在、粒径越小、受热时间越长、气体析出量越大，自燃点越低；自燃点与分子结构有密切关系，在有机物的同系物中，自燃点随分子量的增加而降低，如甲烷自燃点（540℃）>乙烷自燃点（520℃）>丙烷自燃点（440℃）>丁烷自燃点（405℃）；对石油产品而言，密度越大，闪点越高，而自燃点却越低。如汽油、煤油、轻柴油、重柴油、蜡油、渣油的闪点随着密度增大，依次升高，而自燃点依次降低，详见表 1-1-3。因此，从自燃点来说，重质油比轻质油的火灾危险性大，

如汽油自燃点 415~530℃，而渣油自燃点为 230~270℃。

## 2. 闪燃与闪点

可燃液体和易燃液体，因环境温度缘故，有可燃蒸气蒸发出来，积存在液面上，液面上少量蒸气与空气混合，遇明火发生一闪即灭（延续时间少于 5s）的燃烧现象（短暂的燃烧过程）叫做闪燃。

可燃液体和易燃液体发生闪燃的最低温度，叫做该可燃液体的闪点。闪点数值通过标准仪器测定，测定方式有开杯式和闭杯式两种。常见闪点如无说明，系指闭杯式测定值。

在闪点温度时，可燃液体与易燃液体蒸发慢，空气中含可燃气体不多，只闪燃一下，可燃气体便燃烧殆尽，不能维持继续燃烧。燃性液体温度低于闪点温度时，可燃液体的蒸发更慢些，空气中可燃蒸气浓度很低，不会着火；燃性液体的温度超过闪点时，蒸发速度加快，空气中可燃气体浓度增大，若接触明火，立即着火燃烧并爆炸。

按照燃性液体闪点高低，可分为甲、乙、丙三类。丙类可燃液体按 120℃为界分为 A、B 两类。具体参见表 1-1-1。

燃性液体的闪点越低，发生火灾、爆炸的危险性愈大。如石油醚的闪点为 -50℃，煤油的闪点为 28~45℃，这说明石油醚比煤油的火灾危险性大得多。石油醚和乙醚在室温和低温状态就具有着火爆炸的危险性，因此，这些物质的运输、储存和使用必须有可靠的防火措施。

一般来说，沸点愈低的燃性液体，蒸发速度愈快，闪点也愈低，容易与空气混合成爆炸性混合物，爆炸危险性就愈大，愈容易引起火灾。因此，对这些物质的储存、运输应特别慎重。沸点低于全年平均气温的液体，如丁烯的沸点为 -6.9℃，应储存在冰窖里，运输需用专用的绝热容器。几种常用油品的闪点见表 1-1-2。

表 1-1-1 燃性液体火灾危险性分类

类别	闪点 (℃)	物质名称
甲	<28	汽油、原油
乙	28~60	煤油、-35 号轻柴油
丙	A	重柴油、20 号重油
	B	润滑油、变压器油、200 号重油

表 1-1-2 几种常见油品的闪点

油品名称	闪点 (℃)	油品名称	闪点 (℃)
10 号机油	165	20 号燃料油	80
20 号机油	170	60 号燃料油	100
30 号机油	180	100 号燃料油	120
40 号机油	190	国产重柴油	>65
50 号机油	200	国产轻柴油	>50
70 号机油	210	透平油	180~200
90 号机油	220	变压器油	135~150

对于同系列的燃性液体，其闪点将随分子量的增加而增高；随密度的增加而增高；随沸

点的增高而增高；随蒸气压力的降低而增高。可燃液体混合物的闪点不具有加和性，高闪点的液体中即使加入少量低闪点液体也会大大降低闪点，增加火灾的危险性。因此不同型号的绝缘油或润滑油，不允许混合使用，如若混合，必须重新测定有关性能指标。

### 3. 着火（燃烧）与燃点

着火是可燃物质与火源接触而能够燃烧，并且在火源移去后，仍能继续维持燃烧，持续时间在5s以上的现象。因为可燃物质在某一点着火引燃后，该点燃烧所放出的热量足以把邻近的可燃物质的温度提高到燃烧所必须的温度，火焰就将蔓延开来，燃烧就能继续维持下去。

可燃物质发生着火的最低温度，称为该物质的着火点或燃点。物质的燃点低于该物质的自燃点。不同的可燃物质处在相同火源条件作用下，燃点低的物质首先着火。燃点越低的物质，火灾的危险性也愈大。

可燃物质与空气（氧气）接触表面积越大，如固体可燃物质粉碎，液体燃料喷成雾状；空气中含氧量越高，通风条件越好，愈容易燃烧。

燃性液体的闪点与其燃点是不同的。两者的区别是燃性液体在燃烧时，燃烧的不仅是蒸气，而且是液体（即液体已达到燃烧温度，可以供给保持继续燃烧的蒸气）。在闪点时，移去火源后，闪燃即熄灭；在燃点时，则能继续维持燃烧。一般石油产品燃点比闪点高1~5℃，闪点在100℃以上的油品燃点较闪点高出30~40℃。

控制可燃物质的温度在燃点以下，是预防发生火灾的重要措施之一。例如用冷却法（浇水、水喷雾）灭火，其原理就是将燃烧物质的温度降低到燃点以下，使燃烧停止。

几种常用物质的自燃温度、燃点温度、闪点温度见表1-1-3。几种纤维的燃烧性能见表1-1-4。

表 1-1-3 几种常见物质的自燃温度、燃点温度、闪点温度

名 称	自燃温度 (°C)	燃 点 (°C)	闪 点 (°C)	名 称	自燃温度 (°C)	燃 点 (°C)	闪 点 (°C)
氢气	560			轻柴油	350~380	90~140	45~120
原油	380~530		-6~45	重柴油	300~350	95~160	65~140
重油	250~270		80~230	蜡油	300~380		>120
煤粉	250~700	162~234		渣油	230~270		>120
透平油	300~350	240~250	180~200	聚乙烯	440	340	
柴油	300~380	90~160	45~140	二硫化碳	112	100	-30
木柴	350	295		聚氯乙烯	540	390	
一氧化碳	610			航空润滑油		230~260	180~210
纸张	333	130		变压器油	330	165~180	135以上
甲烷	540			国产建筑石油沥青	270~300		230
汽油	415~530		<28	国产铺路沥青	270~300		180~230
煤油	380~425		28~45				

表 1-1-4

几种纤维的燃烧性能

纤维名称 \ 性能	闪点 (°C)	燃烧热 (kJ/g)	最高燃烧 温度 (°C)	氧指数	熔 点 (°C)
棉	361	18.8	860	17~19	
粘纤	327	16.3	—	17~19	
醋纤	363	—	885	17~19	
羊毛	500~650	20.7	680	24~26	
蚕丝	622	—	—	23~24	
涤纶	448	23.8	690	20~22	256~265
锦纶	459	33.0	875	20~21.5	215~260
丙纶	448	43.9	840	18~19	165~173
腈纶	331	35.9	855	17~18.5	不明显
氯纶	>650	20.3	—	37~39	200~210
改性腈纶	>650	—	—	29~30	
芳纶 1313	>650	—	—	28.5~30	
氟纶	不燃	4.2	—	95	

#### 四、燃烧形式

可燃物质有气体、液体和固体，所以，燃烧形式是多种多样的。

按照产生燃烧反应相的不同，可分为均相燃烧和非均相燃烧。均相燃烧是指燃烧反应在同一相中进行，比如天然气在空气中燃烧是在同一相中进行。燃烧反应在非同一相中进行属非均相燃烧，如木材、石油等固体和液体在空气中的燃烧就属非均相燃烧。非均相燃烧比较复杂，必须考虑可燃液体及固体物质的加热及由此而产生的相变化。

可燃气体的燃烧有混合燃烧和扩散燃烧两种形式；可燃液体和固体的燃烧分别属于蒸发燃烧、分解燃烧及表面燃烧。

##### 1. 混合燃烧

将可燃性气体预先与空气混合，在这种情况下发生的燃烧称为“混合燃烧”。燃烧反应迅速，温度高，传播速度快，具有冲击波效应，爆炸反应属于混合燃烧形式。

##### 2. 扩散燃烧

可燃性气体由管中喷出，与周围空气接触，可燃性气体与氧分子相互扩散，一边混合一边燃烧，如氢气管道泄漏与空气中氧反应、着火燃烧即属于扩散燃烧形式。

##### 3. 蒸发燃烧

可燃液体燃烧时，通常液体本身并不燃烧，而只是由于液体蒸发产生的蒸气进行燃烧，这种形式的燃烧叫做蒸发燃烧，如煤油、汽油、酒精等易燃液体的燃烧属于蒸发燃烧。

##### 4. 分解燃烧

固体或不挥发性液体，由于受热分解而产生可燃性气体，例如木材和油脂大多是先分解产生可燃气体，再进行燃烧反应，这种形式的燃烧称为分解燃烧。

##### 5. 表面燃烧

可燃固体燃烧到后期，分解不出可燃气体，只剩下无定形炭和灰，此时没有可见火焰，燃烧是在高温可燃固体与空气相接触的表面上进行的，这种燃烧称为表面燃烧。

## 五、燃烧理论

燃烧是一种化学反应，燃烧理论归纳起来有三种，即活化理论、过氧化理论和链锁反应理论。

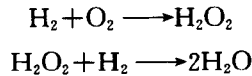
### 1. 活化理论

燃烧是物质或元素的化学反应，反应的首要条件是分子相互碰撞，在碰撞中具有一定能量的活化分子发生反应。可燃物质接触明火时，部分分子获得能量成为活化分子，活化分子的有效碰撞次数增加，使反应加速，从而发生燃烧。

### 2. 过氧化理论

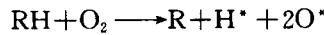
在燃烧反应中，氧在热能作用下，被活化形成—O—O—键，使可燃物变为过氧化物。过氧化物极不稳定，在受热、撞击、摩擦时分解、反应后，发生燃烧或爆炸。

如氢和氧的燃烧反应中，首先生成过氧化物，然后过氧化物与氢反应生成水，具体反应为



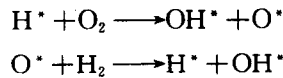
### 3. 链锁反应理论

燃料 (RH) 在火焰高温作用下，吸收活化能而被活化，产生活性自由基

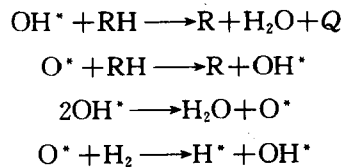


式中 R——活泼性较低的自由基。

活性自由基与其他分子作用产生新的自由基



新自由基与燃料分子作用，产生更新的活性自由基和氧化物，并放出大量的热能，即



在燃烧过程中，不断产生自由基  $\text{OH}^*$ 、 $\text{H}^*$ 、 $\text{O}^*$ ，它们又迅速参加反应，形成一系列的链锁反应，使燃烧不断的继续进行。灭火时，利用灭火介质，消除燃烧过程中必需的自由基，从而可终止链锁反应，使燃烧停止，火被扑灭。

## 六、燃烧过程

可燃物质分固态（如煤、木柴）、液态（如油类）和气态（如天然气、煤气）三种。由于状态不同，在燃烧时会发生不同的变化。

固态可燃物质在燃烧时先受热分解，析出各种可燃气体和蒸气，对煤来说，受热后先是水分蒸发，再是受热分解，挥发分析出。煤的挥发分组成中除了少量不可燃气体（如  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  等）外，主要是  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  及碳氢化合物等可燃气体，这些可燃气体与空气混合而燃烧，燃烧完毕剩余的部分是焦炭，焦炭是由固定碳和灰分组成的。煤中含灰量多时，可燃成分必然降低，再加上灰分包围可燃物质，影响正常燃烧，排出的灰渣又带走较多热量，使煤的发热量大大降低。

气体性可燃物质如水煤气，主要成分是CO(30%~34%)，H<sub>2</sub>(45%~52%)，CO<sub>2</sub>(8%)，N<sub>2</sub>(4%)。CO和H<sub>2</sub>与空气混合后燃烧，放出热量。

液体可燃物质在燃烧时，一般也是先受热蒸发为蒸气，如石油由碳、氢、氧、氮、硫、灰分、水分等组成，碳和氢的含量很高(占组成石油元素的96%~99%)，灰分和水分含量极少(如一35号柴油，几乎不含水分，灰分仅为0.025%以下)，受热分解出的大部分是可燃性蒸气，与空气混合燃烧，产生大量的热。

某些可燃性固体如硫、磷、石蜡等的燃烧是先受热熔融，而后气化为蒸气，再与空气混合发生燃烧。对于复杂物质(如煤、木材、沥青等)，受热时先分解生成气态和液态物质，气态和液态产物的蒸气与空气混合燃烧着火，最后剩下若干固定残碳。

由此看来，绝大多数固态和液态可燃物质，在温度作用下，受热后气化或分解为气态，与空气混合后燃烧，燃烧是在气态下进行的，并生成火焰。因此，大多数可燃物质的燃烧过程，实际上是气体的氧化反应、自燃、燃烧的放热过程，如图1-1-2所示。

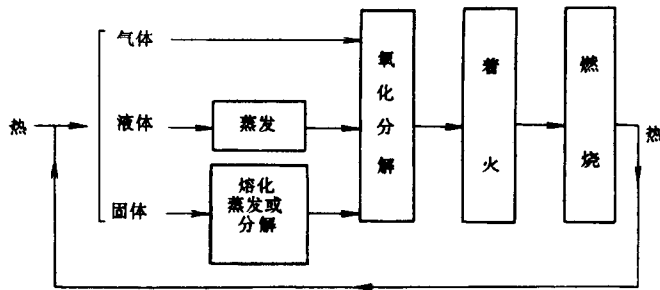


图 1-1-2 物质燃烧的过程

在燃烧过程中，由于燃烧反应，产生热量和新活性基团。活性基团参加反应，形成链锁反应，如果所产生热量足以补充燃烧时所消耗的热量，燃烧将继续进行下去，直至燃料燃烧殆尽。

## 七、燃烧的产物和后果

### 1. 燃烧的产物

可燃物完全燃烧时，其产物为化合物。不同的物质燃烧时产物也不同，碳氢化合物燃烧生成比较稳定的分子，如水和二氧化碳；碳燃烧生成二氧化碳并放出热量；氢燃烧生成水并放出热量；硫燃烧生成二氧化硫等。

### 2. 燃烧的后果

燃烧继续进行如果是可以控制的，它将服务于人类的生产和生活，为人类造福。如果燃烧是不可控制的，将会形成火灾和爆炸事故，给人类造成灾害。

## 第二章 火灾与防火技术的基本理论

### 一、火灾

火灾是失去控制并对财产和人身造成损害的燃烧现象，它是一种事故，在生产过程和日常生活中时有发生。凡是超出有效范围的燃烧都称为火灾。在日常生活中烧火做饭、打火、照

明或吸烟时，将周围的可燃物质（如被褥、木柜、棉纱等）引燃着火，家用天然气或液化气泄漏遇明火着火爆炸，家用电线或电器设备短路着火将周围易燃物质引燃，都将引起火灾事故。

在电业生产中，因有大量易燃、可燃物质如燃油、透平油、柴油、煤粉、氢气、乙炔等；有许多高温热体；有良好的通风助燃条件，因此，很容易发生火灾事故，而且后果非常严重。

## 二、火灾发展的过程

火灾的形成一般是由小到大，由阴到明，由阴燃、起火、蔓延、扩大成灾的过程。火灾发展过程分四步：

- (1) 酝酿期：有阴燃和冒烟；
- (2) 发展期：火苗窜起，火势扩大；
- (3) 全盛期：大火燃起，全面着火，形成火灾；
- (4) 衰灭期：灭火见效或燃烬后，火势衰落、熄灭。

## 三、火灾发生的条件

可燃物、助燃物及火源（高温能源）分别是燃烧产生的必要条件，三个条件同时存在并相互作用则是燃烧发生的充分条件。燃烧反应产生大量的自由基和氧化物，并放出大量热能，所产生的热量大于燃烧反应必须消耗的热量时，燃烧链锁反应才能继续维持下去，燃烧不可控制时将形成火灾。因此自由基的不断产生和燃烧反应产生热量大于维持燃烧所需要的能量，是火灾事故形成的充分条件。若燃烧链锁反应终止，燃烧过程自行终结，火灾即被扑灭。

## 四、火灾危险环境

火灾危险环境，是指可燃液体（柴油、变压器油、润滑油等）、可燃粉尘（煤粉、焦炭粉、铝粉、面粉、树脂粉等）、可燃纤维（棉花、麻、丝、毛、木质及合成纤维等）、固体可燃物质（如木材、煤炭等），在生产、使用、加工、处理、储存或转运过程中，其数量和配置上能引起火灾危险的环境。

火灾危险环境按照火灾事故发生的可能性、后果以及火灾危险程度和物质状态分为 21 区、22 区和 23 区三个区（级），分别对应于老标准的 H-1、H-2、H-3 级。

21 区——具有闪点高于环境温度的可燃液体，在数量和配置上能引起火灾危险的环境。

22 区——具有悬浮状、堆积状的可燃粉尘或可燃纤维，虽不可能形成爆炸性混合物，但在数量和配置上能引起火灾危险的环境。

23 区——具有固体状可燃物质，在数量和配置上能引起火灾危险的环境。

## 五、火灾种类

火灾种类应根据物质种类及其燃烧特性进行划分，共分为五类。

- (1) A 类火灾：指含碳固体可燃物，如木材、棉、麻、纸张等燃烧的火災；
- (2) B 类火灾：指甲、乙、丙类液体，如汽油、煤油、柴油、甲醇、乙醚、丙酮等燃烧的火災；
- (3) C 类火灾：指可燃气体，如煤气、天然气、甲烷、丙烷、氢气等燃烧的火災；
- (4) D 类火灾：指可燃金属，如钾、钠、镁、钛、锆、锂、铝镁合金等燃烧的火災；

(5) 带电火灾：指带电物体燃烧的火灾。

## 六、电业火灾的特点

电业生产环境中储存、使用有大量的可燃性物质，如易燃气体、易燃液体、可燃液体、可燃粉尘、可燃固体物质；带电设备多，经常产生火花和表面高温；电缆密布于电业生产场所；生产场所高温管道密集，高温热体遍布厂房；现场通风良好，具备助燃条件，因此电业生产火灾隐患多。一旦发生火灾，火势发展快，扑救困难，二次危害严重，经济损失大，修复时间长。

### 1. 火势凶猛，蔓延迅速

电业生产场所储存和使用有大量的可燃油，如汽轮机油、汽油、柴油、机油、重油等。汽轮机油系统火灾尤其严重，汽轮机油管路一旦泄露，高压油喷至保温不良的高温管道和高温热体上，会立即起火，火苗窜起，火势将迅速扩大。由第二章汽轮机油系统火灾事故资料统计可见，由开始着火到酿成大火，一般仅为1~3min。如某电厂的一次火灾事故，8min大火冲开了屋面板，16min大火烧塌屋架，20min大火引燃至集控室，烧毁了控制室的全部设备。大火共燃烧83min，火势蔓延之快，使人触目惊心。

油系统着火多伴随电缆着火。带火的油流流至电缆上，将电缆燃着，大火迅速沿电缆蔓延至电缆竖井、夹层及继电器室和控制室，使火灾迅速扩大。由第二章几起严重的电缆火灾事故统计中可知，从电缆着火开始到大火延燃至电缆夹层及集控室的时间分别为6、9、10、15、20min等，平均12min左右集控室、电缆夹层即燃起大火，可见电缆火灾蔓延之快。

锅炉燃油系统火灾事故，其迅猛程度与汽轮机油系统火灾相同。当火灾将氢气或乙炔等可燃气体引燃后，还将发生爆炸事故，灾情更加严重。

### 2. 带电设备周围存在有接触电压和跨步电压

发生电气火灾后，部分电气设备可能仍然带电，在一定范围内存在有接触电压和跨步电压，当其数值达到40~55V时，有致命危险，灭火时会引起人身触电伤亡事故。因此必须将设备外壳保护接地，深埋接地极，采用环路接地网，敷设水平均压带等，以降低接触电压和跨步电压。

### 3. 充油电气设备火灾易发生喷油或爆炸

充油电气设备如变压器、油断路器、电容器等发生火灾后，产生爆炸性气体混合物，可引起喷油或爆炸，危及灭火人员安全，造成火灾蔓延。

### 4. 高温设备或管道遇水会急剧冷却引起变形

火灾现场，用水灭火时，消防水喷洒至高温设备表面（如汽轮机汽缸、大轴和管道等），局部急剧冷却，产生较大的热应力易使其变形、弯曲或裂纹，以致损毁设备。

### 5. 扑救困难

电业各类火灾事故中，特别是油管路喷油至高温蒸汽管道或高温热体上，如同火上加油，会迅速起火。再加上油压高、油量大、着火油流蔓延面积大、通风条件好，因此，火势迅猛，火焰强度高，燃烧温度可高达1500℃以上，火柱有时高达30m以上。在这种情况下，扑救人员难以靠近火场，灭火介质难以发挥抑制火情作用，扑救非常困难。第二章中6起汽轮机油系统火灾事故延续时间统计为：55、83、60、20、155、50min，直至油箱的油全部着完。其中最短的为20min，是因为及时开启了事故排油门，将油迅速排入事故油坑，大大缩短了火灾



扑救时间。其他火灾延续时间均在 50min 以上。

几起电缆火灾事故延续时间的统计为：160、115、83、168、45、190min，多在 115min 以上才将电缆火灾扑灭。

电力设备和线路由许多可燃物质构成，如环氧树脂、酚醛树脂、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯、尼龙、木材、棉花、人造纤维等，在火灾中，不仅会有大量的浓烟，而且释放出许多有毒气体，如氯化氢、一氧化碳、二氧化碳、氰化氢、丙酮、甲苯、苯等。这些气体对人的呼吸和生命构成威胁，使扑救人员难以靠近火场。

电业生产场所所有许多高速旋转的高温高压设备、高电压电气设备、精密仪器和仪表，不允许用直流水或泡沫喷洒灭火，增加了灭火难度。

在多数火灾现场中，消防水的压力和流量供给不足，扑救大火时需要 30L/s 以上的喷洒流量（个别需要 80L/s），这样大的消防用水量，由于种种原因一般难以满足，给扑救火灾造成困难。

#### 6. 二次危害严重

电业火灾中，产生大量的浓烟和有毒气体，弥漫于电气装置室内。有些气体（如稀盐酸）附着在表盘、仪表、端子等装置上，形成一层导电膜，严重降低设备和导电回路的绝缘，火灾扑灭后，这些二次污染必须清除，否则将影响设备的安全可靠运行。例如，某电厂 1984 年电缆头火灾爆炸事故之后，耗费大量的人力、物力和时间，清洗和漂洗覆盖在设备和装置表面的污染层之后，才使绝缘恢复至生产条件。

#### 7. 损失严重，修复时间很长

电业火灾由于火势迅猛，蔓延迅速，扑救困难，因此设备损毁严重，再加上电力设备和装置均属技术密集型、资金密集型、精度高的设备和仪器，安装恢复要花费大量的人力、物力、财力和时间，如某电厂 1973 年汽轮机油系统火灾事故，使汽机房屋架烧塌，控制室设备全部烧毁，电缆烧坏 20km，直接经济损失 150 万元，修复时间长达 363 天，少发电 7.5 亿 kW·h。某电厂高位油箱溢油着火，引燃电缆，将电缆夹层、继电器室、电气控制室全部烧毁，直接损失 134 万元。两机修复时间 50 天，少发电 2.1 亿 kW·h。1962~1984 年的重大电缆火灾事故中，修复时间达半年以上的超过 1/4。

### 七、防火基本理论与防火技术

研究燃烧理论及其规律是为了防火和灭火。防火就是采取措施防止燃烧的三个必要条件的同时存在并避免它们的相互作用。这是防火技术的基本理论，是防火技术措施的实质。灭火就是要消除（或者避开）发生燃烧三个条件中的一个，从而破坏并终止燃烧链锁反应，使燃烧停止，火灾熄灭，这是灭火技术的基本理论，也是灭火的基本原则。据此，可以采用隔离、冷却和窒息的方法，即除掉可燃物、将可燃物冷却到燃点以下、隔绝氧气（降低氧气浓度）等灭火措施进行灭火。

#### 1. 严格管理可燃物质

可燃物质的生产、运输、储存、现场存放及使用应严格遵守防火规定；在生产和使用可燃液体、可燃粉尘、可燃纤维的过程中，应提高有关设备检修质量、加强生产维护、严格执行安全规程，使设备、容器、管道严密不漏；将可燃物质远离火源或高温热体，从根本上消除火灾隐患；发生火灾时，将可燃物质移走、拿开，燃烧就会停止，例如将汽轮机油排入事故油坑，火灾即可很快扑灭。