



O_2

氧的故事

YANGDEGUSHI

天津科学技术出版社

氧 的 故 事

周 辛 刚

天津科学技术出版社

N49
91

封面设计：曹知非

氯 的 故 事

周 辛 刚

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

*

开本 787×1092毫米 1/32 印张 2 1/2 字数 53,000

一九八〇年六月第一版

一九八〇年六月第一次印刷

印数1—8,000

统一书号：13212·12 定价：0.23 元

目 录

一、氧气的发现.....	(1)
二、自然界中的氧.....	(12)
三、氧的结构.....	(20)
四、氧气的性质.....	(30)
五、氧气的应用.....	(40)
六、氧气的生产.....	(52)
七、氧气的循环.....	(60)
八、氧气的兄弟——臭氧.....	(72)

一、氧气的发现

氧气的发现，不仅在化学史上是件大事，而且在人类文明史上也是一件值得大书特书的大事。

早在远古时代，我们的祖先就学会了火的利用。如：利用火发出的光来照明；火发出的热来取暖，烧熟食物，以及利用火来击退毒蛇猛兽，等等。所以说，火的利用可以看作人类历史的一个新开端。

火，给人类带来了文明。可是，宝贵的火是从哪儿来的呢？在一个很长的时期内，人们沉缅在古老的传说中。我国古代传说火是来自燧人氏。欧洲人则相信火是希腊神话中的普罗米修斯从上帝那儿偷来给人间造福的。这些娓娓动听的神话，作为文学作品，未尝不可，但作为人们对自然现象的反映来说，说明还缺乏本质的理解。

人们从火的利用到正确地解释燃烧现象，经过了一个漫长的年代。而正是在寻找正确的理论来解释燃烧这个极其平常而又极其重要的现象时，人们发现了氧气这种物质。氧气的发现揭开了化学这门科学的新篇章，使近代科学进入了新的境界。

从燃素学
说谈起

“水有源，事有头”，氧气的发现，还得从燃素学说谈起。燃素，从目前的观点看，是个很不科学、含糊不清的名词，但它在历史上却起过一定的作用。

在十八世纪初，当时的欧洲工业革命正在兴起，生产上的需要必须对燃烧理论提出新的解释，以冲破古老的带有宗教色彩的炼金术理论对人们的思想束缚。

当时，德国的科学家斯塔尔提出了一种物质燃烧的理论——燃素学说。这种理论认为：一切可以燃烧的物质都是由灰和一种叫燃素的東西所組成。当时有些人，往往将那些不能解释的现象归结为有某某素的存在，如光素、热素、电素等等，燃素这个名称也是由此而来的。燃素理论，用数学公式可以这样来表示：

$$\text{物质} = \text{灰} + \text{燃素}$$

当物质燃烧以后，剩下的是灰，而燃素就变成了光和热散发到空间去。按照斯塔尔燃素学说，木头这物质就是由灰和燃素组成的。即：

$$\text{木头} = \text{灰} + \text{燃素}$$



图1 燃素学说认为：木材燃烧时燃素变成光和热散发了，剩下的是灰。

当木头燃烧时，灰留下来。而燃素就变成光和热散发出去。另有象花岗石、大理石一类难以燃烧的物质，根据斯塔尔的燃素学说，则认为它们不含有燃素的成份（即燃素等于零），而只含有灰渣。即：

$$\text{石头} = \text{灰}$$

所以它不能燃烧。而象硫磺、磷、汽油一类的易燃物则是因为它们几乎都是由燃素组成的，所以燃烧就很猛烈，发出大量的光和热，几乎没有剩下灰渣（灰等于零）。

硫、磷、汽油等易燃物 = 燃素

根据燃素学说：

原来木头的重量 - 剩下灰渣的重量 = 燃素的重量。

用燃素学说解释燃烧现象及一切与燃烧有关的化学变化都可以归结为物质吸收燃素和释放燃素的过程。这学说，虽然在某些场合不免有些牵强附会，但是，用燃素学说来解释燃烧现象，比起十八世纪以前统治了上千年的与宗教迷信紧密相连的炼金术者的奇谈怪论，确是一个很大的突破。这样，燃素学说便使化学这门科学从玄妙莫测的炼金术者的手中解放出来。

当时，这种燃素学说的理论统治了整个化学界。随着工业的发展，陆续出现了许多奇异的现象，而这些现象是燃素学说所不能解释的，因此燃素学说也成了前进道路上的障碍。

冲击燃 素学说



图2 铁在炉子里灼烧后形成一层灰渣，重量反而增大。

十八世纪以来，欧洲的工业革命开始了，开矿、冶金、机械制造等技术在生产实践中给化学带来了许多新问题，这些问题冲击着旧有的理论，也冲击着燃素学说。

铁匠把铁块放在燃烧的炉子里，用风箱给它鼓风，这块铁就在炉子里烧得通红，并且发出耀眼的光焰。然后将这块燃烧过的铁从炉子里取出来，让它慢慢地冷却，发现在铁块的表面上也留下了一层灰色的铁渣，当我们将已经跑掉燃素后剩下的留有铁渣的铁块（要注意！根据燃素学

说，铁渣重 = 铁块重 - 燃素），放到天平上一称，就发现了一个奇怪的现象：燃烧过的留有铁渣的铁块的重量不是减轻，而是比原来铁块的重量增加了。

燃素从铁块里跑出去了，铁渣的重量怎么反而会增大了呢？这个令人困惑不解的问题，使燃素学说的创立者和信徒们瞠目结舌，难以回答。

燃素学说的创造者斯塔尔和他的拥护者们，开始不相信铁块的重量会增加，认为是天平“不精确”的毛病，这正如“蹩脚的跳舞者埋怨地不平”一样。可是，世上总有许多迷信权威非要把问题弄个水落石出不可的人。他们又做了许多实验：将铜放在炉子里燃烧，燃烧时发出淡绿色的火焰，烧完后取出来冷却，发现与铁块燃烧后的现象一样，也有一层暗灰色的铜渣覆盖在铜块的表面上。将这跑掉燃素表面蒙有铜渣的铜块放到更精确的天平上一称后，发现重量也增加了。难道这也能归咎于精确的天平还“不精确”吗？

把铅块、锡块、银块、汞等等，当时几乎所有能拿到手的金属放到炉子里用烈火燃烧，然后从火中取出来，发现表面都能蒙上一种所谓的灰渣。将它们放到天平上一称，都比原来那块金属要重。这样在无数事实面前，斯塔尔及其拥护者不能再怀疑天平的毛病了。

那么怎样去解释上述现象呢？燃素学说的创立者为自圆其说，便假定燃素有两种：一种燃素的重量是正值；另一种燃素的重量是负值。物质的重量竟然有负值，这是不可思议的。可是，斯塔尔认为，减掉一个负值的燃素，它的重量当然就增加了。这样就能圆满地解释金属体燃烧后重量增加的现象。其公式成为：

物质重量 - 燃素（负值）= 灰渣（重量要大于原来的物质）

这简直是在做数学游戏了。

燃素学说在解释许多其它问题时，也出了不少破绽。如把一支燃烧的蜡烛放在一个密闭的钟罩里，为什么燃烧一会儿后就熄灭呢？按燃素学说的理论，蜡

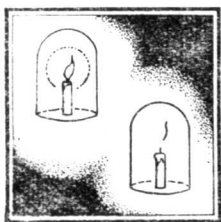


图 3 按照燃素学说，钟罩里的燃素达到了饱和了。

饱和和蜡烛就熄灭了。

一会儿说燃素有重量，一会儿说燃素的重量是负值，一会儿说没有燃素是不能燃烧的，一会儿说充满着饱和的燃素却不能燃烧。燃素究竟是什么东西？既然这个钟罩里充满着饱和了的燃素，那就是说制得了纯燃素，可是燃素看不见，摸不着，说有就有，说无即无。燃素学说在事实面前已是山穷水尽了。至此，燃素学说及其死抱住这一理论不放的斯塔尔等燃素学者已成为阻碍科学发展的绊脚石。

氧的发现

一七四二年十二月，一个名叫舍勒的人诞生在瑞典斯特拉松特镇一个贫困的家庭里。因为上不起学，舍勒年仅十四岁就到一家药房当学徒，由于要配制许多药剂，他夜以继日地埋头于配药和实验，成为一个勤奋的药剂师。一七七一年的一天，舍勒又在做

一个他曾做了多次的实验。他把一蒸发皿浮在水上，在蒸发皿里放一小块磷，然后将磷点燃，马上将钟罩扣上，磷在钟罩里燃烧时发出浓浓的白烟，过了一会，磷就停止燃烧，然后生成的白烟慢慢地溶解到水里去，这



图4 舍勒在做将磷放在钟罩里燃烧的实验。

时他发现钟罩里的水面徐徐地上升了。测量结果，水面上升的高度是整个钟罩的五分之一。他重复做了许多次实验，每当钟罩里的磷不再燃烧时（蒸发皿中的磷总有一些剩余而没有燃烧完），水面就总要上升五分之一。而且再次实验都一样，总是不多不少减少了五分之一。舍勒得出结论：水面上升五分之一说明钟罩里的空气减少了五分之一。即：磷在燃烧时消耗了钟罩内五分之一的空气，而那剩余的五分之四的空气在燃烧过程中没有被消耗。舍勒还捉了一只老鼠放到剩余的五分之四的空气里去，一会儿，这只欢蹦乱跳的老鼠就挺直四肢死去了。他又捉了一只，放进去，也死了。舍勒还捉了

一些别的小动物放进去，所有的动物都无一幸免。因此，他把剩余的五分之四叫做死空气，而把那被磷在燃烧过程中消耗掉的五分之一叫活空气。舍勒大胆地提出原来空气并不是过去所认为的是一种纯净物质，而是由五分之四的死空气和五分之一的活空气所组成（这五分之一的活空气就是今天所说的氧气）。舍勒在一七七二年还利用加热硝酸镁成功地制取了他所说的纯净的活空气。但由于舍勒是一个燃素学说的忠实信徒，所以未能冲破陈旧理论的羁绊，进而用活空气来解释燃烧现象，更没有明确提出活空气是一种被他发现的新元素。

几乎与舍勒发现活空气和死空气的同时，在一七七四年八月一日，有一个英国人普利斯特列独立地做了一个这样的实验：在水银槽里倒立一根玻璃管，玻璃管内装有水银，在玻璃管的水银上面再装进一些“三仙丹”（学名叫氧化汞，在中药铺中可以买到），他用



图5 普利斯特列在做分解氧化汞的实验。

凸透镜将太阳光聚焦在三仙丹上面，当三仙丹被照射后不久，竟产生了许多气体，这些新生成的气体将玻璃管内的水银顶了出来。他设法将从三仙丹中释放出来的气体收集起来，把点燃着的蜡烛放进盛有这种气体的瓶子里，发现蜡烛燃烧得比空气中燃烧要剧烈，而且还发出异常耀眼的光焰；普利斯特列也捉来两只老鼠放进盛有这种气体的瓶子里，发现老鼠在瓶子里活的更活泼。普利斯特列又将自己的鼻子接近这种气体，深深地吸了一口，顿时觉得身心十分轻快舒畅。实际上他通过这个实验与舍勒不约而同地各自用不同的途径发现了氧气，可是普利斯特列和舍勒一样，也是一位燃素学说的盲目崇拜者，他把他制取出来的气体当作无燃素空气，认为与普通空气没有太大区别，只不过普通的空气含有一些燃素，而他制取的“空气”是纯净的空气罢了。这样，氧气的发现也从普利斯特列的手中溜走了。

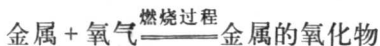
对氧气的存在有一个明确的认识、并研究了氧气的性质、最后对燃素学说予以致命打击的，是法国化学家拉瓦锡。一七七四年十月，拉瓦锡在普利斯特列的启发下，重复了他的实验，并进行了进一步的观察和研究，他发现一切燃烧着的物质放到舍勒所说的活空气中，都比在空气中燃烧要猛烈；放到舍勒所说的死空气中都立即熄灭；小动物放到活空气中能愉快地生活，放进死空气后立即窒息死亡。借助天平，他又做了许多精细的研究，从而发现：金属放到空气中燃烧后增加的重量，就是空气中活空气减少的重量。于是他明确地指出，燃烧根本不是什么放出了神秘的燃素，而是物质与活空气相结合的一个化学过程。拉瓦锡将这种活空气起名叫氧气。意思是说这种气体是养活人类及一切动物的气

体。我国早期的化学书就是把氧气翻译成养气。后来才将养气改为氧气。由于对氧气的研究使拉瓦锡推翻了统治一时的燃素学说，确定了燃烧理论的科学解释：一切燃烧过程实际上都是与氧气进行的化学反应过程，燃烧



图6 拉瓦锡借助于天平，得出结论：物质在空气中燃烧时重量增加的量就等于氧气减少的量。

以后增加的重量就等于空气中氧气减少的重量。前面所说的那个铁渣就是铁的氧化物，铜渣、铅渣、锡渣……都是其金属的氧化物。拉瓦锡用下列等式来表示金属的燃烧过程：



木头燃烧以后重量是否真的减少了呢？原来木头燃烧以后除剩下看得见的灰渣外，还有大量看不见的二氧化碳飞走了，如果将二氧化碳收集起来加上灰渣，那它一定会比原来的木头要重，而且所增加的重量就是空气中消耗掉的氧气的重量。用等式来表示应该是：

木头 + 氧气 $\xrightarrow{\text{燃烧过程}}$ 灰渣 + 二氧化碳

后来又经过无数次的实验证明，凡是参加化学反应物质的总重量必然会等于化学反应以后生成新物质的总重量。这就构成了一个重要的定律，即物质不灭定律，也叫质量守恒定律。这个定律是唯物主义的基础，就是讲世界是物质的，而物质不会无中生有，也不会自行消灭，它只能以一种形式转化为另一种形式。

氧气的发现表明早期炼金术家们的神学观点和燃素学说的形而上学的彻底破产。伟大的导师马克思在评论氧的发现时指出，氧是使化学发生革命的元素。

中国人可能是氧气的最早发现者

我国是世界文明古国之一，有着悠久的文明史。我国劳动人民在长期生产实践中积累了丰富的科学知识，对古代科学技术发展有过重大的贡献：如指南针的制造和使用，造纸术及印刷术的发明及黑火药的配制，等等。

早在公元前二百多年的战国时代，我国就出现了一种炼丹术，这是最早的化学。到公元三百来年的晋朝，炼丹术有了更广泛的传授与发展；到公元八百年的唐代，由于社会稳定，生产发展和对外战争的需要，炼丹术者发明了黑火药，约在这个时候，一个名叫马和的炼丹术士，在仔细观察木炭、硫磺在空气中燃烧之后，发现空气的成分有变化。他认为空气不是单一的物质，而含有阴气和阳气两种成分，并指出空气中阳气的成分比较多，阴气的成分比较少。还知道如果将铜、水银一类物质在空气中加热灼烧，则其中阴气被引入到这些加热过的金属上面去了，而使空气中阳气的成分

相对地增加，而木炭和硫磺等物质都可以和阴气发生作用，而阳气则完整无恙，甚至更进一步指出象火硝（即硝酸钾）一类硝石受热后可分解出阴气，甚至还指出水里有阴气。这里马和所说的阴气就是目前所指的氧气。

这要比舍勒、普里斯特列和拉瓦锡发现氧气的存在大约要早一千年。马和将他这些观察到的现象和他自己对问题的分析写进一本名叫《平龙认》的

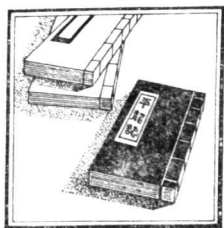


图7 马和将他观察到的现象和对问题的分析写进一本叫《平龙认》的著作里。

著作里。可惜《平龙认》这本书在解放前被帝国主义分子劫夺而去，国内目前还未发现另外的抄本，所以缺乏进一步研究的资料。另外，在马和提出的这些论点中也有一些难以解释的地方。如他指出水中有氧气，以一千多年前的技术水平看是难以通过实验来证实的。可能只是马和对氧气的一种推理性的预测，但在“雕虫小技，壮夫不为”的封建思想桎梏下，他的发现没有得到发扬光大，就自行熄灭了。目前我们找不到原版本，难作进一步的考查，只有待以后获得更多的资料，再研究证实。

二、自然界中的氧

我们生活的自然界是一个物质世界，这个物质世界由千千万万、形形色色、各种各样的物质组成。可是这么多的物质实际上都是由九十四种天然元素按照一定的规律、经过不同形式的排列组合而成的（在元素周期表中，除九十四种天然元素之外，其余都是人造元素），这好象音乐中的七个音符，这七个不同的音符按一定规律进行不同的排列组合，就可以谱写出各种音调

的歌曲。在组成自然界所有物质的九十四种天然元素中又以氧为最多，氧的重量占我们地壳总重量的48.6%，差不多占一半了！

而其余的九十多种元素才约占另外一

半的重量。氧是地球上分布最广、数量最多的一种元素。

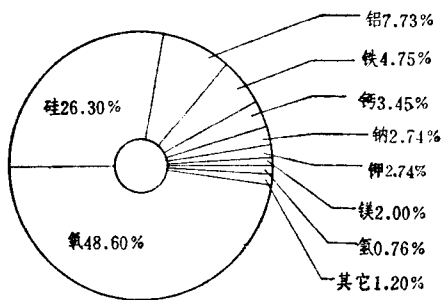


图8 地壳中各元素的重量百分比组成。

空气中
的氧

从我们脚踏的地球表面向上伸展一百公里这个空间范围，我们叫它大气层。在大气层中充满着空气，无论是什么地方，空气的组成总是比较固定的：不论从首都北京上空收集来的空气，还是在

边疆田野上空收集来的空气，其中组成的成分大致是一样的（高空上的空气要稀薄一些，但组成仍然是不变的），经过分析化验证明，每一体积的空气中，氧气占其中体积的21%，氮气占其中体积的78%，惰性气体中的氩占其中体积的0.94%，二氧化碳占0.03%，其余的0.03%是一些如：臭氧、甲烷等气体，也就是说，在一升空气中氧气占210立方厘米，氮气占780立方厘米。由于氧气的分子量是32，而氮气的分子量是28，所以同一体积的氧气要比同一体积的氮气重，如果按重量计算，氧气就应占空气总重量的23.2%，氮气应占空气总重量的75.3%。根据计算：在大气层中空气的总重量是 6×10^{15} 吨，那么在大气层中氧气的总重量就是 $23.2\% \times 6 \times 10^{15}$ 吨等于 1.39×10^{15} 吨。

大气层中的氧是我们人类及陆上一切动物新陈代谢中必不可少的物质之一。

氧的重要 储 存 库 ——水

氧的主要储存仓库还是地球上的水。地球的表面面积有70%被水所覆盖，据计算，地球上的总水量约为十四亿五千万立方公里，其中百分之九十四是海水。其余百分之六分布在陆地上，存在于江河、湖泊、冰山、雪地之中。

水中的氧一般指如下两部分：一是溶解于水的单质氧气，二是水分子中所含的氧原子。

先让我们来看一看溶解于水的单质氧气。由于各种气体在水中的溶解度各不相同，所以溶解于水中空气的各个成分含量与大气层中空气各成分含量就不一样。实验证明，在标准状况下（即在一个大气压的压强和0℃的温度下），在1升的水中溶解有10立方厘米的氧气和19立方厘米的氮气。大气