

课题2

原子结构

原子的体积很小。如果将一个原子与一个乒乓球相比，就相当于将一个乒乓球与地球相比（如图3-8）。原子能够结合成分子的奥秘，正是人们在研究这小小的原子的结构时被逐步揭示出来的。

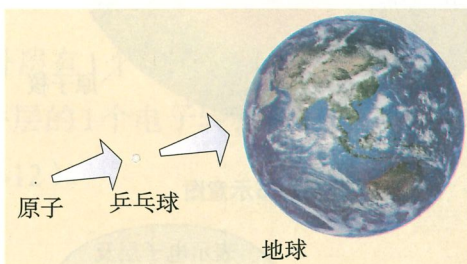


图3-8 原子的体积很小

一、原子的构成

科学实验证明，原子是由居其中心的原子核与核外电子构成的（如图3-9）。原子核一般由质子和中子构成。每个质子带1个单位的正电荷，每个电子带1个单位的负电荷，中子不带电荷。

由于原子核内质子所带正电荷与核外电子所带负电荷数量相等、电性相反，所以原子不显电性。可见，原子核所带的正电荷数（核电荷数）等于核内质子数，也等于核外电子数（如表3-1）。

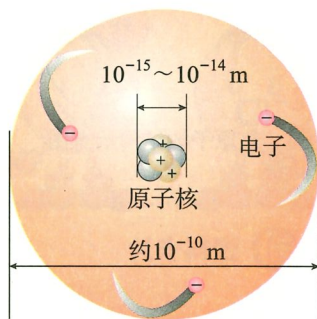


图3-9 原子的构成示意图

表3-1 几种原子的构成

原子种类	质子数	中子数	核外电子数
氢	1	0	1
碳	6	6	6
氧	8	8	8
钠	11	12	11
氯	17	18	17

电子 electron
质子 proton
中子 neutron

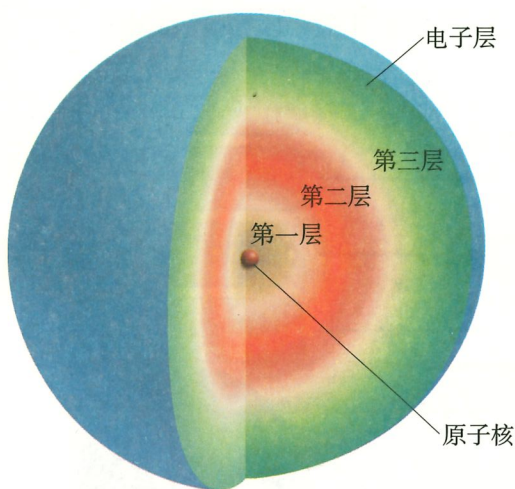


图3-10 核外电子分层排布示意图

二、原子核外电子的排布

与原子相比，原子核的体积更小，如果把原子比作一个体育场，那么原子核只相当于体育场中的一只蚂蚁。因此，原子核外有很大的空间，电子就在这个空间里不停地运动着。

科学研究表明，在含有多个电子的原子中，核外电子具有不同的运动状态，离核近的电子能量较低，离核越远，电子的能量越高。离核最近的电子层为第一层，次之为第二层，依次类推为第三、四、五、六、七层，离核最远的也叫最外层。核外电子的分层排布如图3-10所示。已知原子核外电子最少的只有1层，最多的有7层，最外层电子数一般不超过8个（只有1层的，电子数不超过2个）。

用原子结构示意图可简明、方便地表示原子核外电子的排布（如图3-11）。

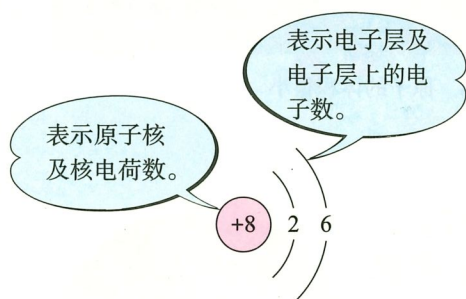


图3-11 氧原子的结构示意图

资料卡片

部分原子的结构示意图

氢 (H)



氦 (He)



锂 (Li)



铍 (Be)



硼 (B)



碳 (C)



氮 (N)



氧 (O)



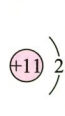
氟 (F)



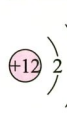
氖 (Ne)



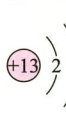
钠 (Na)



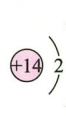
镁 (Mg)



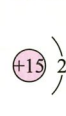
铝 (Al)



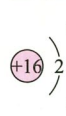
硅 (Si)



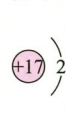
磷 (P)



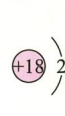
硫 (S)



氯 (Cl)



氩 (Ar)



氦、氖、氩等稀有气体不易与其他物质发生反应，化学性质比较稳定。它们的原子最外层一般都有8个电子（氦有2个电子），这样的结构被认为是一种相对稳定的结构。钠、镁、铝等金属的原子最外层电子一般都少于4个，在化学反应中易失去电子；氯、氧、硫、磷等非金属的原子最外层电子一般都多于4个，在化学反应中易得到电子；它们都趋向于达到相对稳定的结构。金属、非金属的化学性质与其原子的核外电子排布，特别是最外层电子的数目有关。

以钠与氯气的反应为例。钠原子的最外层有1个电子，氯原子的最外层有7个电子。当钠与氯气反应时，钠原子最外层的1个电子转移到氯原子的最外层，使两者都形成相对稳定的结构（如图3-12）。



图3-12 钠与氯气反应生成氯化钠的示意图

在上述过程中，钠原子因失去1个电子而带上1个单位的正电荷，氯原子因得到1个电子而带上1个单位的负电荷。这种带电荷的原子叫作**离子**。带正电荷的原子叫作阳离子，如钠离子（ Na^+ ）^①；带负电荷的原子叫作阴离子，如氯离子（ Cl^- ）。带相反电荷的钠离子与氯离子相互作用就形成了氯化钠。可见，离子也是构成物质的微观粒子。

离子 ion

^① Na^+ 表示1个钠离子带1个单位正电荷， Cl^- 表示1个氯离子带1个单位负电荷；右上角的“+”“-”表示电性。

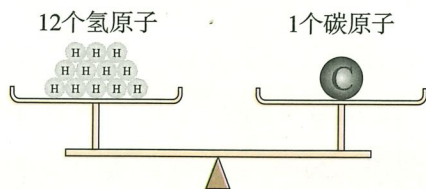


图3-13 相对质量示意图

相对原子质量
relative atomic mass

表3-2 构成原子的粒子的质量

粒子种类	质量
质子	$1.672\ 6 \times 10^{-27}$ kg
中子	$1.674\ 9 \times 10^{-27}$ kg
电子	质子质量的 $\frac{1}{1\ 836}$

三、相对原子质量

原子的质量很小。例如，1个氢原子的质量约为 1.67×10^{-27} kg，1个氧原子的质量约为 2.66×10^{-26} kg。由于原子质量的数值太小，书写和使用都不方便，所以国际上一致同意采用相对质量（如图3-13）。以一种碳原子^①质量的 $\frac{1}{12}$ 为标准，其他原子的质量与它相比，得到相对原子质量（符号为 A_r ）。根据这个标准，氢的相对原子质量约为1，氧的相对原子质量约为16。

如表3-2所示，构成原子的质子、中子的相对质量都约等于1；与质子、中子相比，电子的质量很小，整个原子的质量主要集中在原子核上。

在一般的化学计算中，多采用相对原子质量的近似值（如表3-3）。相对原子质量可从书后附录Ⅱ中查到。

资料卡片

张青莲与相对原子质量的测定

中国科学院院士张青莲教授（如图3-14）为相对原子质量的测定作出了卓越贡献。他于1983年当选为国际纯粹与应用化学联合会原子量与同位素丰度委员会委员。他主持测定的铟、铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈的相对原子质量数据被确认为国际标准。



图3-14 张青莲（1908—2006）

① 这种碳原子叫作碳-12（含有6个质子和6个中子），其质量的 $\frac{1}{12}$ 约等于 $1.660\ 5 \times 10^{-27}$ kg。

课题 1

质量守恒定律

我们已经知道，在化学反应前后，物质的种类发生了变化，如红磷与氧气化合生成五氧化二磷，电解水产生氢气和氧气。在这些变化中，反应物和生成物的质量之间存在什么关系？化学家很早就关注了这个问题，意识到需要在定性研究的基础上，进一步从定量的角度认识化学变化的规律。

18世纪，拉瓦锡借助天平，对大量化学反应进行了较为精密的定量研究。他将45.0份质量的氧化汞加热分解，恰好得到41.5份质量的汞和3.5份质量的氧气，反应前后各物质的质量总和没有改变。这难道是巧合吗？



探究

化学反应前后物质的质量关系

【问题】

当物质发生化学反应生成新物质时，参加反应的物质的质量总和与生成物的质量总和有什么关系？

【预测】

你的预测：_____。

【实验】

根据以下实验方案分组进行实验^①。

^① 也可以选择其他方案，在教师指导下完成实验。

方案一 如图5-1所示，将铜粉平铺于锥形瓶的底部，把上端系有小气球的玻璃导管插入单孔橡胶塞，用橡胶塞塞紧锥形瓶口。将装置放在天平^①上称量，记录所称的质量 m_1 。再将锥形瓶置于陶土网上，用酒精灯加热，观察实验现象。反应一段时间后停止加热，待装置冷却后再次称量，记录所称的质量 m_2 。

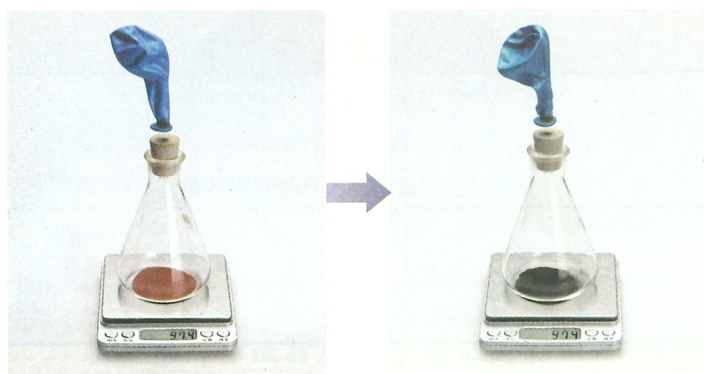
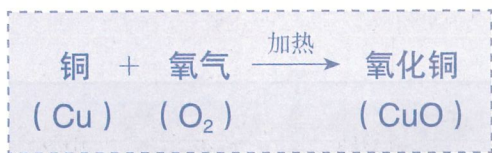
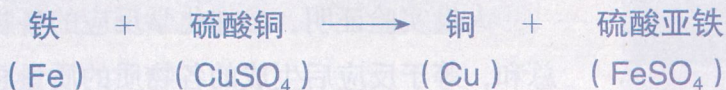


图5-1 铜与氧气反应前后质量的测定

方案二 如图5-2所示，在锥形瓶中加入用砂纸打磨干净的铁丝，再小心地放入盛有硫酸铜溶液的小试管，塞好橡胶塞。将装置放在天平上称量，记录所称的质量 m_1 。取下锥形瓶并将其倾斜，使小试管中的硫酸铜溶液流入锥形瓶，观察实验现象。反应一段时间后再称量，记录所称的质量 m_2 。



① 可使用托盘天平或电子天平，天平的使用方法参见初中物理教科书。

注意

用天平称量化学试剂时，干燥的固体试剂应放在纸上或容器（如小烧杯、表面皿）中称量，易潮解的试剂应放在容器中称量。

想一想

在方案一的实验装置中，橡胶塞和小气球的作用是什么？如果没有它们，实验可能出现哪些结果？

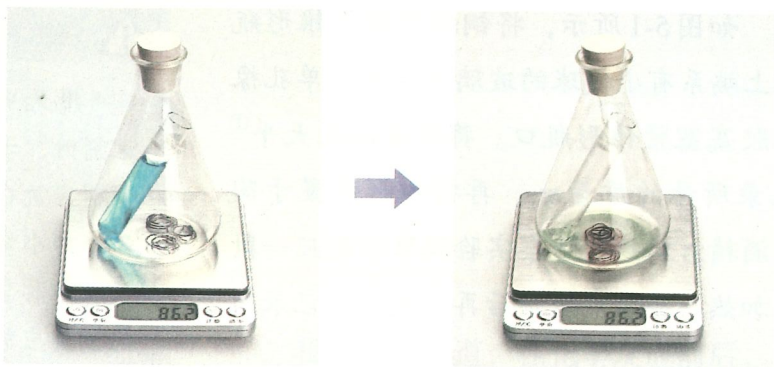


图5-2 铁与硫酸铜溶液反应前后质量的测定

实验记录：

实验方案	方案一	方案二
实验现象		
反应前总质量 (m_1)		
反应后总质量 (m_2)		

【分析与结论】

(1) 请根据实验现象和数据，分析反应前后的总质量分别来源于哪些物质，并结合反应前后总质量的关系和物质的变化情况进行讨论。

(2) 结论：_____。

质量守恒定律

law of mass conservation

大量实验证明，参加化学反应的各物质的质量总和，等于反应后生成的各物质的质量总和。这个规律叫作**质量守恒定律**。

【实验5-1】

在烧杯中加入碳酸钠，再小心地放入盛有盐酸的小试管，将装置放在天平上（如图5-3），记录所称的质量。取下烧杯并将其倾斜，使小试管中的盐酸流入烧杯，观察现象。反应一段时间后再称量。比较反应前后的称量结果。

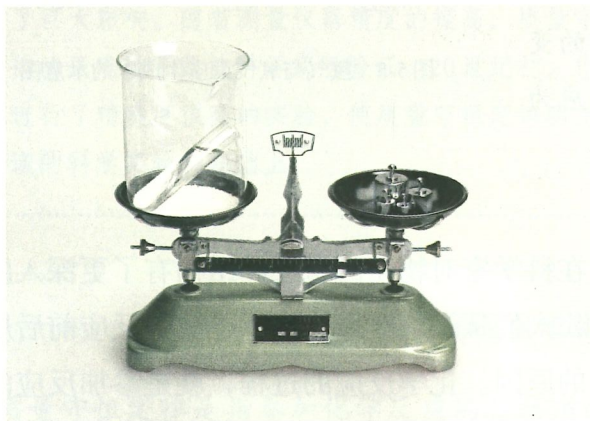
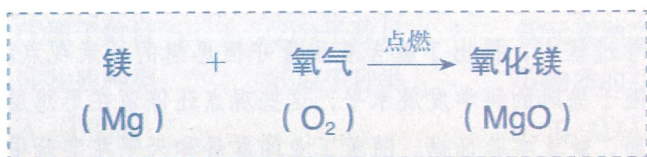


图5-3 盐酸与碳酸钠反应及质量测定的装置

【实验5-2】^①

取一根用砂纸打磨干净的长镁条和一个陶土网，将它们一起放在天平上称量，记录所称的质量。在陶土网上方将镁条点燃（如图5-4），观察现象。将镁条燃烧后所得固体与陶土网一起放在天平上称量，比较反应前后的称量结果。



想一想

做实验5-1和实验5-2之前，你预测反应前后的称量结果是否会有变化？

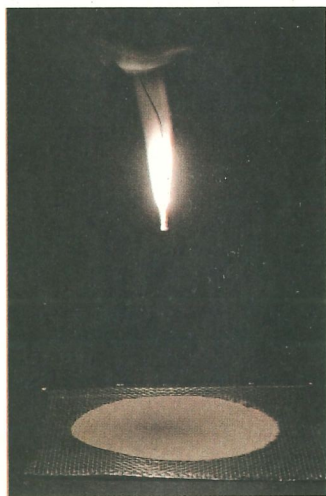


图5-4 镁条燃烧

① 建议本实验由教师演示。

思考与讨论

(1) 实验5-1和实验5-2的称量结果与你实验前的预测是否一致? 这样的结果是否与质量守恒定律矛盾? 为什么?

(2) 以氢气在氧气中燃烧生成水(如图5-5)为例, 分析化学反应前后分子、原子的种类、数目和质量的变化情况, 从微观视角说明化学反应为什么遵守质量守恒定律。

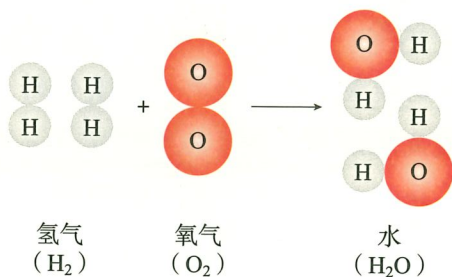


图5-5 氢气与氧气反应生成水的示意图

在科学家对物质的组成和结构有了更深入的认识后, 人们从微观本质上揭示了化学反应前后质量守恒的原因。化学反应的过程, 就是参加反应的各物质(反应物)的原子重新组合生成新物质(生成物)的过程。化学反应前后, 原子的种类和数目不变, 原子的质量也没有改变, 因此参加反应的各物质的质量总和一定等于生成的各物质的质量总和。

科学史话

质量守恒定律的发现

质量守恒定律又称物质不灭定律, 是自然科学的基本规律之一。古代哲学家在对物质本原及变化的思考过程中, 提出了蕴含着质量守恒思想的朴素观点。限于当时的科学发展水平, 这些观点还停留在思想层面, 缺乏实验证据。随着工业的发展和天平在实验中的广泛应用, 人们对物质的研究从简单定性发展到较精密的定量阶段。到了17世纪, 化学家在探索燃烧现象和空气成分的过程中, 研究了化学变化中的质量

课题2

碳的氧化物

二氧化碳

carbon dioxide

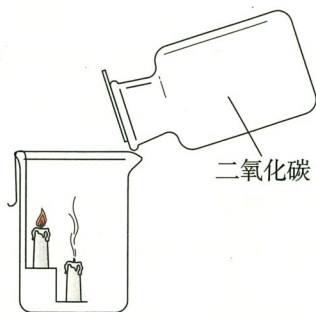


图 6-10 倾倒二氧化碳



图 6-11 二氧化碳的溶解性实验

常见的碳的氧化物有二氧化碳和一氧化碳。从化学式来看，1个二氧化碳(CO_2)分子比1个一氧化碳(CO)分子多1个氧原子，这就使得它们的性质有很大不同。

一、二氧化碳

1. 二氧化碳的性质和用途

【实验6-3】

如图 6-10 所示，将二氧化碳气体慢慢倒入烧杯中，观察现象并分析。

现象	
分析	

【实验6-4】

如图 6-11 所示，向一个收集满二氧化碳气体的质地较软的塑料瓶中加入约 $\frac{1}{3}$ 容积的水，立即旋紧瓶盖，振荡。观察现象并分析。

现象	
分析	

根据实验 6-3 和实验 6-4 完成下表。

物质	颜色	气味	密度 (与空气的比较) ①	溶解性	是否支持燃烧
二氧化碳					

二氧化碳能溶于水。在通常状况下, 1 体积的水能溶解约 1 体积的二氧化碳, 增大压强会溶解得更多。生产汽水等碳酸饮料就是利用了二氧化碳的这一性质。二氧化碳溶于水的过程中, 有没有发生化学变化呢?

【实验 6-5】

取三朵用石蕊^②溶液染成紫色的干燥的纸花。如图 6-12 所示, 向第一朵纸花喷水; 将第二朵纸花放入盛满二氧化碳的集气瓶中; 将第三朵纸花喷上水后, 再放入盛满二氧化碳的集气瓶中。观察三朵纸花的颜色变化。将第三朵纸花取出, 小心地用吹风机吹干, 观察现象。



图 6-12 二氧化碳与水反应的实验示意图

实验内容	I	II	III	吹干第三朵纸花
现象				

二氧化碳与水反应生成碳酸, 碳酸能使紫色石蕊溶液变成红色。



① 空气的平均相对分子质量为 29。如果某气体的相对分子质量大于 29, 则这种气体的密度比相同状况下空气的大; 如果小于 29, 则其密度比相同状况下空气的小。

② 石蕊是一种色素, 遇酸变成红色。

碳酸很不稳定，容易分解生成二氧化碳和水。



当吹干纸花时，碳酸分解，二氧化碳从溶液里逸出，所以纸花的颜色又变成紫色。

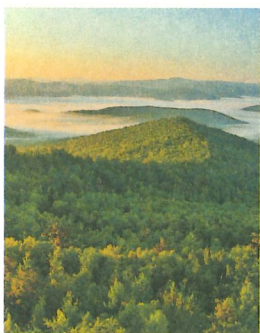
二氧化碳能使澄清石灰水变浑浊，是因为二氧化碳与氢氧化钙 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 反应，生成了白色的碳酸钙沉淀。这个反应可以用来检验二氧化碳。



图6-13 干冰

在一定条件下，二氧化碳气体会变成液体或固体。固态二氧化碳叫“干冰”（如图6-13）。干冰升华时，吸收大量的热，因此可作制冷剂，广泛用于食品的冷藏保鲜和运输、医疗上血液制品和疫苗的储存和运输等方面。如果用飞机向云层中撒布干冰，由于干冰升华吸热，空气中的水蒸气迅速冷凝变成水滴，形成降雨。这就是干冰用于人工增雨的奥秘。

此外，二氧化碳在生产和生活中还具有广泛的用途（如图6-14）。



光合作用的原料



灭火



化工产品的原料



气体肥料

图6-14 二氧化碳的用途

2. 二氧化碳对生活和环境的影响

二氧化碳本身没有毒性，但二氧化碳不能供给呼吸。当空气中的二氧化碳超过正常含量时，会对人体健康产生影响（如表6-1）。因此，在人群密集的地方应该注意通风换气。

表6-1 二氧化碳对人体健康的影响

空气中二氧化碳的体积分数/%	对人体健康的影响
3	使人呼吸急促
10	使人丧失知觉、呼吸停止，以致死亡

大气中的二氧化碳就像温室的玻璃或塑料薄膜一样，既能让阳光透过，又能吸收地面散发的热量，起到了使地球升温的作用，这种现象叫作温室效应。正是因为有了温室效应，地球表层温度才能适合人类生存。能产生温室效应的气体除了二氧化碳，还有臭氧（ O_3 ）、甲烷（ CH_4 ）、一氧化二氮（ N_2O ）、氟氯代烷（商品名为氟利昂）等。

人和动植物的呼吸，煤、石油和天然气等化石燃料的燃烧消耗氧气，产生二氧化碳；而绿色植物等的光合作用吸收二氧化碳，释放氧气。自然界中存在碳循环（如图6-15），大气中二氧化碳的含量相对稳定。

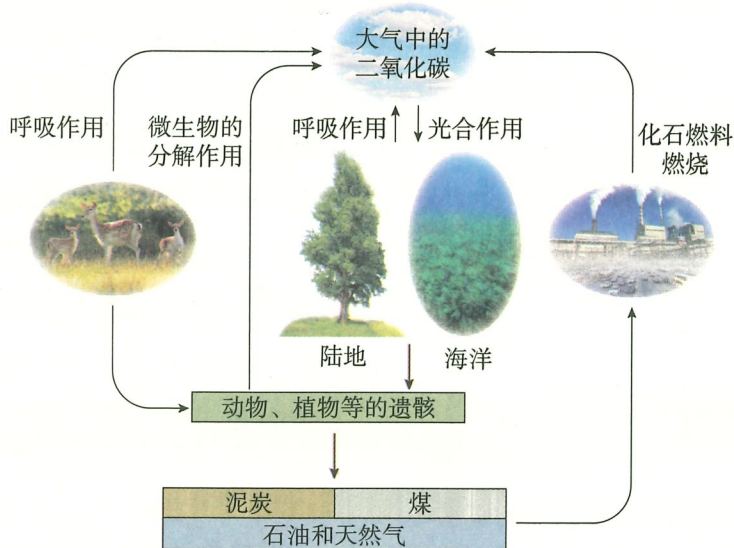


图6-15 自然界中的碳循环示意图（部分）



图 6-16 全球变暖导致北极熊的栖息地缩小

但是近几十年来，一方面，随着工业的高速发展和人们生活水平的不断提高，人类消耗的化石燃料急剧增加，排入大气中的二氧化碳越来越多；另一方面，能够吸收二氧化碳的森林却因为人类的乱砍滥伐和天灾等因素不断减少，结果大气中二氧化碳的含量不断上升，导致温室效应增强，全球变暖。全球变暖已使人类的生存环境遭受严重的威胁。例如：导致两极的冰川融化，使海平面升高，可能淹没部分沿海城市；使土地沙漠化，造成农业减产；使暴雨等极端天气事件发生的频率和强度增大，导致旱涝灾害加剧；影响自然生态系统，改变生物多样性（如图 6-16）；等等。

3. 低碳行动与可持续发展

“人类只有一个地球！”为应对全球变暖这一重大挑战，实现人类社会可持续发展，国际社会倡导采取低碳行动，控制大气中二氧化碳的含量，防止温室效应进一步增强（如图 6-17）。例如：世界各国签署限制二氧化碳排放的国际公约，并严格执行；减少使用化石燃料，更多地利用太阳能、风能等清洁能源；促进节能产品和技术的进一步开发和普及，提高能源的生产效率和使用效率；大力植树造林，严禁乱砍滥伐森林；采用物理、化学等方法，捕集、利用与封存二氧化碳；等等。在这一行动中，我国明确提出了减排目标：二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。

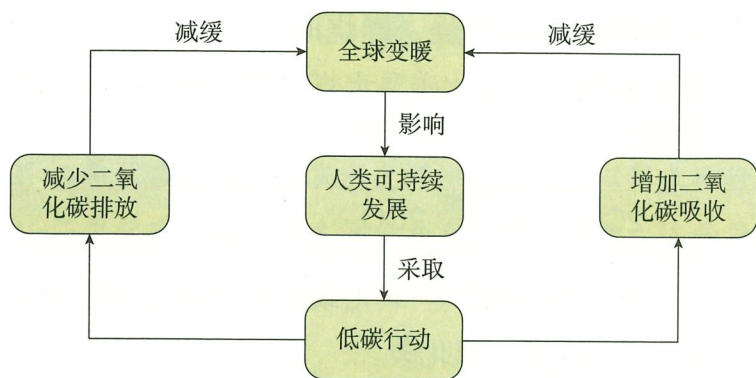


图 6-17 低碳行动是人类应对全球变暖的重要措施

低碳行动关系到人类的生存和可持续发展，需要全面的国际合作和国家政策支持，还需要科学技术创新与产业结构调整，也离不开每个人的努力。化学在减少二氧化碳排放、增加二氧化碳吸收的科学技术创新方面发挥着重要作用。

科学 · 技术 · 社会

二氧化碳的捕集、利用与封存

二氧化碳的捕集、利用与封存，是指将排放源产生的二氧化碳捕获、压缩后，作为工业原料利用，或输送到选定地点长期封存，而不是释放到大气中。这一过程主要利用了二氧化碳的物理性质和化学性质。

二氧化碳的捕集可以采用化学吸收法，利用碱性吸收剂与二氧化碳反应生成不稳定的物质，该物质在一定条件下可发生分解

重新释放二氧化碳，从而实现二氧化碳的捕集和利用。二氧化碳的封存主要是将捕集到的二氧化碳封存于地层深处或海底。

2021年，我国首个海上二氧化碳封存示范项目启动，将在南海海底永久封存超过146万吨二氧化碳。2022年，我国首个百万吨级碳捕集、利用与封存项目投产，每年可减排二氧化碳超过100万吨。

二、一氧化碳

一氧化碳是一种无色、无臭的气体，难溶于水。

一氧化碳
carbon monoxide

一氧化碳能够燃烧，燃烧时放出大量的热，火焰呈蓝色。一氧化碳是水煤气等气体燃料的主要成分。



与木炭一样，一氧化碳也能使氧化铜还原成铜，同时生成二氧化碳。



一氧化碳与某些氧化物的反应可用于冶金工业。例如，可利用一氧化碳来炼铁。

一氧化碳极易与人体血液中的血红蛋白结合，使血红蛋白不能再与氧气结合，造成人体缺氧，严重时危及生命。因此，冬天用煤火取暖时，一定要装烟囱，并且注意室内通风，防止一氧化碳中毒。

如果发生一氧化碳中毒，轻度的应呼吸大量新鲜空气，严重的要立即送到医院进行治疗。

思考与讨论

煤气厂为什么在家用煤气（含有一氧化碳）中掺入微量具有难闻气味的气体？如果发生煤气泄漏应该怎么办？

调查与研究

(1) 查阅资料，了解历史上大气中二氧化碳含量的变化及其影响。

(2) 查阅资料，围绕自然界中的碳循环过程，运用图示等说明碳达峰、碳中和的含义。



1. 二氧化碳不能燃烧，也不支持燃烧；二氧化碳能与水反应。
2. 二氧化碳使澄清石灰水变浑浊的反应可以用来检验二氧化碳。
3. 二氧化碳在生产和生活中具有广泛的用途，这些用途是由其性质决定的。
4. 二氧化碳是一种温室气体。低碳行动是防止温室效应进一步增强的重要措施。
5. 一氧化碳能够燃烧，能与某些氧化物反应，具有毒性。



练习与应用

1. 下列关于二氧化碳用途的叙述中，不正确的是（ ）。
A. 生产碳酸饮料
B. 用作气体肥料
C. 供给呼吸
D. 用于人工增雨
2. CO_2 和 CO 具有相同的（ ）。
A. 相对分子质量
B. 元素种类
C. 碳元素的质量分数
D. 分子种类
3. 选择氧气、二氧化碳或一氧化碳填空，并写出有关反应的化学方程式。
(1) 能使带火星的木条复燃的是_____，能用于灭火的是_____。
(2) 绿色植物进行光合作用吸收的是_____，释放的是_____；能产生温室效应的气体是_____。
(3) 能在空气中燃烧的是_____，反应的化学方程式为_____。
(4) 能使澄清石灰水变浑浊的是_____，反应的化学方程式为_____；将_____通入紫色石蕊溶液，溶液变成红色，它与水反应的化学方程式为_____。
(5) 能使氧化铜还原成铜的是_____，反应的化学方程式为_____。
(6) 影视舞台上经常见到云雾缭绕的景象，为产生这种景象，可以使用固态_____；吸烟对人体有害，燃着的香烟产生的烟气中含有几百种有害物质，其中能与人体血液中的血红蛋白结合的有毒气体是_____。