

# 第一章 地球上的化学元素

## 1.1 地球上化学元素的来源

学过化学的人们都知道元素周期表，现在的元素周期表上已有112个化学元素，它还在不断地增加。从1号（氢）到92号（铀）元素是自然界存在的天然元素，它们绝大部分是稳定的化学元素。92号铀以后的元素都是人造元素，在自然界中不存在，而是科学家在实验室里人工制造出来的，故称为人造元素。

自然界中存在的天然元素是从哪里来的？是地球形成时固有的还是地球形成后合成制造出来的。现代科学告诉我们，地球上的化学元素来自宇宙，地球上不能制造出元素，因为制造元素需要很高的温度，例如几千万度，甚至几亿度的高温，地球上不具备这样的条件，当然无法制造出元素来。因此，讨论地球上化学元素的来源就要从地球形成入手，这就必然要追溯到宇宙的起源。在这一节里，我们要告诉读者，宇宙中元素是怎样诞生的？地球上的元素来自何方？元素的年龄有多大？

### 1.1.1 原子的结构

原子由原子核和核外电子组成，原子的半径约为 $10^{-10}$ 米，原子核处于原子的中心。原子核由质子和中子组成，原子核的半径约为 $10^{-14}$ 米，是原子半径的万分之一，所以原子核的体积很小。质子带正电荷，中子是中性的，不带电荷。质子、中子的质量比电子大得多，因此，原子的质量集中在原子核上。原子的结构可描述为在原子的中心有一个带正电荷的原子核，它的质量几乎等于原子的全部质量。核外电子受原子核的吸引，围绕核不停地运动。电子的半径很小，大约在 $10^{-16}$ 米以下，因此，原子核和核外电子的总体积仅占整个原子所占空间的极小一部分，原子中的绝大部分空间是

“空”的。表 1-1 列出了电子、质子和中子的质量和电荷数据。

表 1-1 电子、质子、中子的质量和电荷

粒子	质量/kg	质量/amu	电荷/C	电荷/e
电子	$9.10953 \times 10^{-31}$	0.00055	$-1.60219 \times 10^{-19}$	-1
质子	$1.67265 \times 10^{-27}$	1.00728	$+1.60219 \times 10^{-19}$	+1
中子	$1.67495 \times 10^{-27}$	1.00866	0	0

### 1.1.2 元素和核素

**元素** 常称化学元素。具有相同核电荷数（即质子数）的同一类原子统称为元素，所以元素是某一种原子的总称。例如氢是一种元素，含一个质子，元素氢是氢原子的总称。

**核素** 核素是指具有特定质子数和特定中子数的同一类原子的总称。同种元素的原子核中，其所含的质子数相同，但中子数可以不同。例如氢元素有 3 种核素： $^1\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 、 $^3\text{H}$ 。 $^1\text{H}$  叫氢，左上角的数字表示质量数，质量数等于质子数和中子数之和， $^1\text{H}$  含有一个质子，不含中子。 $^2\text{H}$  叫氘，又称重氢，含一个中子。 $^3\text{H}$  叫氚，即超重氢，含 2 个中子。 $^2\text{H}$  和  $^3\text{H}$  是制造氢弹的材料。又如铀（U）元素也有 3 种核素： $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ ，其中  $^{235}\text{U}$  是制造原子弹的材料。

**同位素** 同一种元素的不同核素互称为同位素。 $^1\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 、 $^3\text{H}$  3 种核素是氢元素的同位素。同理， $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$  3 种核素是铀元素的同位素。

### 1.1.3 元素家族的老大——氢和氦

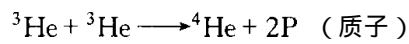
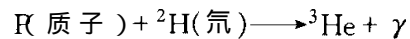
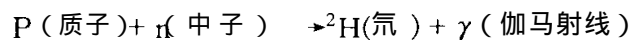
经过许多天文学家的观测研究，使人们知道今天的宇宙至少存在 1 千多亿个星系，如太阳系所处的银河系是其中的一个星系。银河系是一个由 1400 亿颗恒星及大量星云物质组成的巨大系统，年龄在 100 亿年以上，太阳是银河系中的一颗恒星，年龄有 46 亿年。这浩瀚无际的宇宙是怎样形成的？宇宙的起源是什么？这些问题对了解宇宙中元素的存在有密切的关系。

**宇宙大爆炸理论** 天文学家通过观测发现宇宙正处于不断膨胀

之中，为什么宇宙会处于膨胀状态呢？科学家为了要解释实验事实而提出各种假设，宇宙大爆炸理论是其中的一种假设。根据宇宙大爆炸理论的观点，认为在很早很早以前，宇宙是一个高温高密度的火球。这个大火球终于在 150 亿年前发生了一次大爆炸，爆炸后产生极高的温度，所有的物质只能以中子的形式存在，稍后才出现质子（即氢核），由于温度太高，中子和质子无法结合成为核。爆炸后的宇宙随着时间很快地冷却和膨胀，宇宙温度  $T$  与时间  $t$  的关系为：

$$T = \frac{1.5 \times 10^{10}}{\sqrt{t}}$$

由上式可算出由 1 千亿度下降到 1 百亿度，只需要 1 秒钟时间。再过 3 分钟，宇宙温度可降至 10 亿度，此时宇宙中有中子、质子、电子、光子和中微子等粒子，这些微粒子之间可以发生下列 3 种反应：



先由质子与中子结合形成  ${}^2\text{H}$ （氘），再生成  ${}^3\text{He}$ ，最后由 2 个  ${}^3\text{He}$  生成  ${}^4\text{He}$ （氦核）。宇宙大爆炸后，宇宙温度在 3 分钟左右从 1 千亿度下降到 10 亿度，宇宙中的中子全部结合变为氦核，此时宇宙中只有氢核和氦核。但在 10 亿度温度下，氢核和氦核都不能与电子结合形成原子，一直经过几百万年后，质子（ ${}^1\text{H}$ ）和 1 个电子结合，形成氢原子；氦核（ ${}^4\text{He}$ ）和 2 个电子结合，形成氦原子。这就是元素周期表中第 1、2 号元素的来源，它俩是所有的元素中最早被合成的。因此，氢和氦两个元素的年龄粗略地算大约是 150 亿岁，他俩是元素家族中名副其实的老大哥了。

宇宙大爆炸理论发表后，得到一些实验观测的支持，如 1965 年有人观测到宇宙背景辐射，这种来自宇宙空间背景上的各向同性的微波辐射被认为是宇宙大爆炸后留下的余光，在宇宙空间无处不在；宇宙中氢和氦两元素的含量与理论预测值十分吻合；观测到河外天体有系统性的谱线红移，而且红移与距离大体成正比，这正是

大爆炸后宇宙膨胀的反映等。

**阿尔法磁谱仪** 宇宙大爆炸理论虽然得到一些实验观测的支持，但仍有不少科学家提出质疑。根据粒子物理理论，宇宙大爆炸后应产生同样数量的物质和反物质，但是迄今为止，人们还没有在宇宙中观测到反物质的存在。如果在宇宙中找到了反物质，那当然是对大爆炸理论强有力的支持。天文学家观测宇宙所用的光学方法无法区分物质和反物质，只有用磁谱仪才能观测到反物质。美籍华裔物理学家、诺贝尔奖获得者丁肇中领导由 10 多个国家参加的阿尔法磁谱仪国际科研计划，目标是寻找宇宙中的反物质和暗物质，进而探索宇宙的成因。

阿尔法磁谱仪的磁体由中国科学院电工所研制，他们用钕铁硼永磁合金研制成功两吨重的磁体，质量达到预期指标要求。阿尔法磁谱仪将放置在美国阿尔法空间站上，成为主要的观测仪器之一。

**反物质** 众所周知，物质分子是由原子通过化学键结合而形成的，原子则由原子核和核外电子组成，而原子核中有质子和中子。质子、中子的反物质是反质子和反中子，如果由反质子和反中子组成反原子核，由反原子核和核外的反电子（即正电子）组成反原子，再由各种反原子通过化学键结合成为各种反分子，即为反物质。宇宙中究竟有没有反物质，人们将拭目以待。

#### 1.1.4 化学元素的合成

宇宙大爆炸后，随着温度的下降，最早形成的元素是氢和氦，氢约占 76%，而氦占 24% 左右。以后的 40 亿年里，再没有其他元素合成了。当宇宙温度降到几千度时，辐射减退，存在宇宙中的主要是气态物质，气体逐渐凝聚成气云，再进一步形成星系、恒星及大量星云物质，其中恒星的演化对宇宙中重元素的合成起到重要的作用。

**恒星的演化** 恒星来源于大爆炸后形成的星际气体和尘埃物质，恒星形成后有它自己的演化过程和归宿。宇宙大爆炸后经过 40 亿年才形成第一代恒星。恒星的演化大致经历原始星、主序星、红巨星等阶段，质量小的恒星从主序星直接演化为白矮星，不经历

红巨星阶段，并以白矮星为归宿，它们对重元素的合成没有贡献。质量大的恒星演变到红巨星阶段后转变为超新星，超新星爆发后将成中子星、黑洞，同时向宇宙喷射出含有大量重元素的星际物质，它们参与形成第二代恒星。图 1-1 示出恒星的演化过程和归宿示意图。第二代恒星形成于 100 亿年前，并开始新一轮的恒星演化过程。第三代恒星形成于 50 亿年前，太阳属于银河系第三代恒星中的一颗恒星。

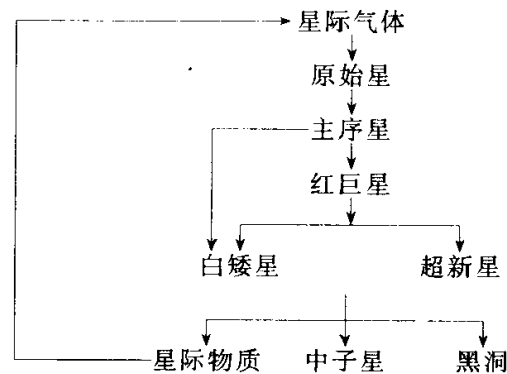
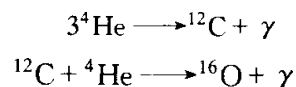


图 1-1 恒星的演化和归宿示意图

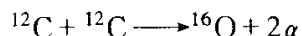
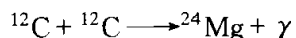
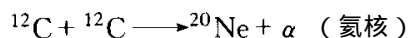
**元素的合成** 在恒星的演化过程中，从星云物质收缩到抵达主序星，这中间不会发生元素合成，对于大质量恒星元素合成主要发生在从主序星到达红巨星和超新星阶段。恒星处于主序星时，其内部温度可达 1 千万度以上，可以发生氢核聚变反应，或叫氢燃烧，其产物是氦。恒星氢燃烧的时间很长，约占恒星整个寿命的 90%，氢燃烧为恒星提供了能源。

当恒星内部的氢燃烧把氢耗尽了，其主要成分变为氦，这时恒星受引力的作用，继续收缩，使温度和密度进一步提高。当温度达到 1 亿度时，可以发生氦核聚变反应，也就是氦燃烧。氦燃烧的主要产物是碳和氧：



碳和氧将成为下一阶段碳燃烧和氧燃烧的原料。恒星发生氦燃烧后，开始从主序星往红巨星转移。

当氢燃烧完成后，恒星内部的成分主要是碳和氧，又将发生进一步的引力收缩，导致温度继续升高。当达到 6 亿度时，碳的核聚变反应可有许多种产物：



当碳燃烧完成后，随着引力收缩、温度升高依次能点燃更重的元素燃烧，如氧燃烧、镁燃烧、硅燃烧等，合成各种重元素，它们的年龄约为 110 亿岁。

当恒星内部发生了一系列核聚变反应之际，恒星已从红巨星转移到超新星阶段，这是大质量恒星的最后演化阶段。由于发生了重元素的核燃烧后，引力作用极强，就会发生迅猛异常的收缩，使恒星内部的温度、密度极高，最后以猛烈的爆发结束其一生，这就是超新星爆发。超新星爆发的瞬间亮度可增加几千万倍，甚至几亿倍，同时把大量含有重元素的恒星物质抛向宇宙空间，向宇宙空间抛射物质的速度可达每秒 1 万公里。大质量恒星通过最后超新星爆发变为中子星，质量更大的恒星则会坍缩成黑洞，而抛射出去的含大量重元素的恒星物质成为宇宙空间的星际物质，去参与新一代恒星的形成。

### 1.1.5 地球的形成

地球是太阳系的一颗行星，讨论地球的形成，必然会追溯到太阳系的形成。康德对太阳系的起源提出了星云假设，大约在 50 亿年前，太阳系还是一团弥漫的缓慢转动的气体云，后来受到其他天体的引力扰动和冲击波的影响，气体云发生分裂，形成大小不等的 9 颗行星，即水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。除此之外，太阳系还有几十万颗小行星。

太阳系的中心天体是太阳，它是银河系中一颗第三代恒星。太阳的质量为  $2 \times 10^{30}$  千克，是一个半径为 70 万公里，表面温度达 6 千度的气体球，其中含氢特别多，约占太阳质量的 75%。太阳的

核心温度高达 1500 万度，因此，可发生氢核聚变反应（氢燃烧），有专家估计太阳每秒钟要烧掉 6 亿吨氢，因此，太阳上的氢燃烧至少可持续 100 亿年。太阳的年龄为 46 亿年，大概还可燃烧 50 亿年左右。太阳作为第三代恒星，目前还处于主序星阶段，等到氢燃烧结束才会转移到红巨星阶段。

根据太阳系形成的星云说，可以认为地球是由太阳系中原始星云里的气体、尘埃形成的，其中当然含有宇宙空间合成的各种化学元素。地球是一颗行星，质量只有太阳的百万分之三，地球的年龄也有 46 亿年，但从诞生以来，从未达到过 1 千万度以上的高温，所以地球不具备发生氢核聚变反应的条件，不可能发生星际氢燃烧这样的过程。因此，科学家在地球上发现的元素应来自宇宙，地球上的化学元素来自太阳系的星际物质。

地球离太阳的平均距离约 1.496 亿公里，这个距离最为适中，比地球更靠近太阳的行星会太热，比地球更远离太阳的行星又太冷，两者都不适合生命物质的存在。

迄今为止，除了地球外，在其他星体上尚未发现有生命物质存在。最近报道说月亮上有水，火星上也可能有水，水是生命之源，究竟其他星体有无生命物质，有待于科学家去发现和证实了。

地球的形状是一个略扁的椭圆形球体，赤道半径为 6378 公里，极半径为 6357 公里。地球的中心部分称为地核，表面部分称为地壳，在地壳和地核之间广大的区域称为地幔，如图 1-2 所示。

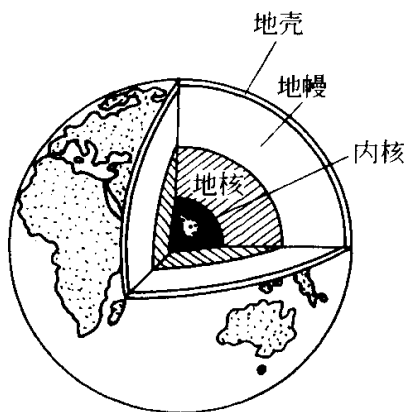


图 1-2 地球断面示意图

## 1.2 化学元素之间的关系

### 1.2.1 元素的发现

面对丰富多彩、五色缤纷的物质世界，古代中外思想家都在思

考许许多多不同的物体中是否由最基本的物质所组成，他们把这些最基本的物质称为元素。有人认为金、木、水、火、土是元素，有人认为空气也是元素，甚至把当时不能再分解的物质都看成元素。一直到 18 世纪中叶，欧洲兴起工业革命，近代科学诞生了，化学家陆续发现了化学元素，并随着科学仪器和实验技术的发展，发现的化学元素越来越多。

**借天平发现元素** 空气曾经被认为是一种元素，现在我们知道空气是多种气体的混合物，主要含氮和氧。18 世纪中期，瑞典化学家卡尔·舍勒（C.W.Scheele）做了一个磷的燃烧实验。他将一小块磷放在烧瓶里，塞上瓶塞，加热让它燃烧，燃烧完毕待烧瓶冷却后，把瓶颈朝下浸入一盆水中，然后拔去瓶塞，盆里的水从下而上涌入烧瓶中，填充了烧瓶体积的  $\frac{1}{5}$ 。舍勒把这  $\frac{1}{5}$  体积的空气叫“活空气”，把另外  $\frac{4}{5}$  空气叫“死空气”。后来法国化学家拉瓦锡（A.L.Lavoisier）也做了磷的燃烧实验，他用了当时的精密仪器——天平完成了磷的燃烧定量实验。他把一小块磷放在烧瓶里先称了，再加热燃烧，待烧瓶凉却后再称一次，从而知道磷的燃烧产物比磷来得重，那  $\frac{1}{5}$  “活空气”与磷结合了。最后拉瓦锡证明了那“活空气”就是氧，他借助天平的帮助发现了氧元素。后来更确定那  $\frac{4}{5}$  体积“死空气”就是氮，氮元素也被发现了，空气是元素的说法自然地推翻。

**伏打电池的诞生** 古时候水也被认为是一种元素，一直到 18 世纪，人们没有办法能使水分解。19 世纪初，意大利物理学家伏

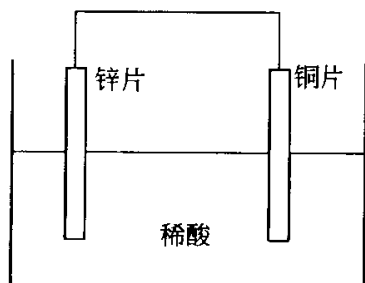
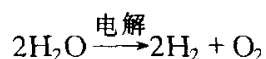


图 1-3 原电池示意图

打（A.Volta）发明了原电池，创制了产生电流的第一个装置。若将盐水或稀酸倒入一个容器中，插入一铜片和一锌片作电极，用导线把锌片和铜片连接起来，就能产生电流，这就是原电池，也称伏打电池（如图 1-3）。若把多个原电池串联起来成为电池组，产生的电流较强。人们发现利用电流不但能使水分

解，还能使过去认为不能分解的物质如苛性碱分解。电解法成为新的技术，推动化学元素的发现。

用电解法分解水，得到氢和氧，证明水不是元素，是氢和氧结合的化合物



苛性碱是指氢氧化钠、氢氧化钾，或称苛性钠、苛性钾，俗称烧碱。由于人们找不到一种方法可以去分解苛性碱，因此，以为苛性碱是不可再分解的简单物质，被认为是一种元素。电解法问世后，英国化学家戴维（H. Davy）试验电解熔融的苛性钠或苛性钾，得到金属钠和金属钾，后来又得到金属钙、镁、锶、钡等金属元素。借助伏打电池和电解法，科学家又发现了一批化学元素。

分光镜的发明 当化学家发现第 57 号化学元素钆以后，再也没有关于新元素发现的报道了，似乎地球上的所有元素都已找全了。正当山穷水尽疑无路的时候，本生（R. W. Bunsen）和基尔霍夫（G. R. Kirchhoff）两人合作发明了分光镜，建立了光谱分析法，提供了寻找新元素的锐利武器，使人们在发现新元素的道路上呈现出柳暗花明又一村的光明前景。

本生是一位德国的化学家，而基尔霍夫是德国物理学家，化学家与物理学家携手合作，用现在的话来说，具有学科综合交叉的优势。一开始他们两位就自己动手制造观察光谱的仪器——分光镜。他们在镜筒的一端开一条狭缝，这样就做成一条平行光管，让光通过平行光管后落到三棱镜上，三棱镜把狭缝里射来的光经过折射而形成光谱，通过观察镜可观察到光谱。

他们利用分光镜观察已知元素的光谱，例如取一点钠盐放在煤气灯火焰中燃烧，让光通过分光镜，则可观察到两条明亮的黄线，这是钠元素的特征光谱；钾盐的特征谱线是一条紫线和一条红线；锂盐则产生一条明亮的红线和一条较暗的橙线；所有锶盐的光谱上，都有一条明亮的蓝线和几条暗红线。对于已知元素的光谱他们都观察了，并把它们的光谱记录下来作为底样。有一次本生配制了

一个混合样，内含 4 种不同金属的盐，然后叫基尔霍夫观察混合样的光谱，并要他报出内含什么元素。基尔霍夫观察到钠、钾、锂、铯 4 种元素的光谱，与本生配制的完全一致。

本生和基尔霍夫利用研制的分光镜建立了光谱分析法，完成了已知元素的光谱谱图。在此基础上，他们着力寻找新元素。只要试样做出来的光谱在已知元素光谱谱图中找不到的，就可能是新的元素，他们利用光谱法找到的新元素铯 (Cs) 和铷 (Rb)。光谱分析这种方法非常灵敏，试样中含微量待分析的元素都能检测出来。光谱分析法传开后，很多科学家动手制造分光镜来观察各种各样样品，又发现了铊 (Tl)、铟 (In) 等新元素。

来自太阳的元素 基尔霍夫不满足于寻找发现新元素，他要用分光镜研究太阳光谱。他把分光镜对准太阳光，让太阳光线入射平行光管，在三棱镜后看到了太阳光谱。经过仔细的研究、基尔霍夫查出了太阳光谱中有钠、铁、铜、铅、锡、氢、钾等 30 多种元素，证明太阳上也有存在我们地球上拥有的常见元素，说明太阳和地球几乎是由相同的化学元素组成的，由此，使人们深信地球上的元素起源与太阳上的元素起源也是相同的。

### 1.2.2 元素周期律

化学家利用先进的仪器设备，新发现的化学元素日益增加，总数达到了 63 种。每一种元素可以和其他元素化合而形成各种各样的化合物，构成五光十色多姿多彩的物质世界。化学家面对已发现的 63 种化学元素不免要问：这地球上究竟有多少种化学元素？还有多少种化学元素等待发现？到哪里去寻找尚未发现的元素呢？地球上的化学元素之间是各自独立、漫无秩序的，还是彼此之间有规律可循，这个规律又是怎样的呢？

门捷列夫的贡献 1867 年门捷列夫在俄罗斯彼得堡大学担任普通化学教授，他对元素化学深有研究。他用硬纸片做了 63 个卡片，每一张卡片记录了一个化学元素的名称、原子量、密度以及其他化学物理性质。门捷列夫反复摆弄这些卡片，不断调换位置，希望能找到元素之间的某种规律。到了 1869 年，门捷列夫终于有了

突破，他抓住了元素的原子量，若按元素的原子量大小把元素排列起来，门捷列夫发现元素的性质是呈周期性变化规律，形成了一个元素的自然系统，人们称它为元素周期律。原来存在于自然界中的化学元素表面看来好像是独立的，而实质却是统一的，元素周期律深刻地反映了化学元素之间的内在联系，使杂乱无章、无序的众多化学元素一下变得井井有条。门捷列夫发现了元素周期律对化学的发展做出了巨大的贡献。

世界上第一张元素周期表 门捷列夫根据他发现的元素周期律将当时已发现的 63 个化学元素排成一个表，这就是有历史意义的世界上第一张元素周期表（如图 1-4）。门捷列夫在他制定的元素

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ**  
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

			Тi = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4
			Fe = 56	Ru = 104.4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106.6	Os = 199
H = 1			Cu = 63.4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9.4		Mg = 24	Zn = 65.2	Cd = 112
	B = 11	Al = 27.4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79.4	Ta = 128?	
	F = 19	Cl = 35.5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85.4	Ca = 133	Ti = 204
		Ca = 40	Sr = 87.6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75.6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

图 1-4 门捷列夫元素周期表初稿（1869 年）

周期表中留了 3 个空格，他给它们定名为埃卡硼、埃卡铝和埃卡硅，埃卡在梵语里是“一”的意思，门捷列夫预言硼加一、铝加一和硅加一是 3 个未发现的新元素，并描述了这 3 个未知元素的物理化学性质。1875 年法国化学家布瓦斯博德朗（P.E.L.Boisbandran）发现了元素镓（Ga），令人吃惊的是镓的性质与门捷列夫预言的埃卡铝完全符合，这是元素周期律的第一次伟大胜利。接着瑞典两位化学家尼尔生（L.F.Nilson）和克利夫（P.T.Cleve）几乎同时在稀有的硅铍钇矿中发现了新元素钪（Sc），它实际上就是门捷列夫预言的埃卡硼。1886 年德国化学家温克勒（C.A.Winkler）又发现了新元素锗（Ge），对锗所测得的性质与门捷列夫预言的埃卡硅的性质吻合到令人难以相信的地步。无可置疑，这些新元素的发现是门捷列夫的元素周期律最辉煌的胜利。

**稀有气体元素的发现** 第一个稀有气体元素氦不是化学家发现的，也不是在地球上发现的。1868 年法国天文学家让逊和英国天文学家洛克儿（J.N.Lockyer）用分光镜对准太阳，在太阳光谱中钠的黄线附近找到另外一条明亮的黄线，这就是元素氦（He）的特征谱线。1895 年，英国物理化学家拉姆齐（W.Ramsay）从钇铀矿气体中也发现了那条明亮的黄线，在地球上终于找到了元素氦，但迟了 20 多年。然而门捷列夫没有把太阳上发现的氦元素列入元素周期表中，因为地球上那时还未发现氦元素。后来拉姆齐相继又发现了氩（Ar）、氖（Ne）、氪（kr），氙（Xe）等稀有气体元素，并因此而荣获 1904 年诺贝尔化学奖。氦、氖、氩、氪、氙这 5 种性质非常相似的化学元素自然地组成新的一族，填入元素周期表中，使门捷列夫提出的第一张元素周期表更加完整，内容更为丰富。

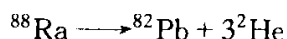
元素周期表中大多数元素已经找到，构建物质组成的秘密已被揭穿，整个宇宙万物的组成就由大约 80 多种化学元素组成的。那时候人们认为元素是最简单的物质，每一种元素的原子不可再分解，因为原子是物质的最小微粒。但是人类进入 20 世纪后，化学家发现了放射性现象，推翻了元素永恒不变、原子不可分解的旧观

念，促使化学又大踏步地向前迈进。

### 1.2.3 人造元素

**居里夫人的故事** 居里夫人原名叫玛丽·斯可罗多夫斯卡，波兰人，青年时来到巴黎上大学，后与法国物理学家皮埃尔·居里(P. Curie)结婚。居里夫人上大学期间，生活清贫，靠打杂工为生，艰辛地完成学业。她一生从事放射性研究，开始先研究铀的放射性，后来她丈夫与她一起研究。她们从沥青铀矿和铜铀云母中提炼铀的化合物时，发现了放射性元素钋(Po)和镭(Ra)。为了得到这些天然放射性元素的样品，居里夫妇向奥地利要了一吨沥青铀矿炼完铀后的矿渣，在学校弃置不用的旧房里，工作了两年时间才炼出了0.3克镭。由于他们出色的工作，1903年居里夫妇获得诺贝尔物理学奖。

放射性铀、钋、镭等元素的原子核能够自行衰变，变成其他元素的核，同时放射出 $\alpha$ 射线(带2个正电荷的氦核流)、 $\beta$ 射线(电子流)或 $\gamma$ 射线(波长极短的电磁波)，这种性质叫放射性。自然界存在的放射性元素叫天然放射性元素，例如镭，它的半衰期为1600年左右，镭衰变为铅和氦，同时放射出 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 三种射线。



上式表示放射性元素镭，它的原子核内含有88个质子，镭衰变为铅和氦，铅的核内含82个质子，3个氦核共含6个质子，所以衰变前后总的质子数保持不变。

元素放射性的发现，打破了元素不会改变的旧观念，元素镭可以衰变为元素铅和元素氦，从质子数来看，质子数88的镭减去3个 $\alpha$ 粒子(即质子数6)，剩下的是质子数为82的铅。如果把这种看做减法，那么是否可以存在一种加法，即一定质子数的某元素加上一个氦核或氦核可得到另一种元素。

**第一个人造元素** 欲往某种元素的原子核里加入1个或多个质子，使它变成另一种元素，称为人造元素。美国物理学家劳伦斯(E.O. Lawrence)发明了回旋加速器，若把氘核或氦核放入加速器

中，使核获得极高的速度，然后如炮弹似的去轰击别的原子核，从而人工制造得到想要的元素。

化学元素周期表中从第 1 号元素氢到第 92 号元素铀，中间尚有第 43 号、61 号、85 号、87 号 4 个元素未曾找到。1937 年，劳伦斯取氦原子核（含 1 个质子）放入回旋加速器中，经加速后去轰击第 42 号元素铝，期望实现“ $42+1$ ”，得到第 43 号元素，实验结果真是如愿所望，并把第 43 号元素命名为镅，希腊文镅的意思是“人工制造的”。1940 年，美籍中国物理学家吴健雄和美籍意大利物理学家西格雷（E.G.Seger）在铀的裂变产物中也发现了镅。1939 年法国化学家佩雷在研究第 89 号元素锕时，发现锕具有放射性，放出 1 个  $\alpha$  粒子（即氦核）后，变为第 87 号元素，这是一个新元素，命名为钷。1940 年西格雷和美国核物理学家科森（D.R.Corson）、麦肯齐（K.R.Mackenzie）合作，用回旋加速器加速氦核去轰击金属铋（Bi），铋是第 83 号元素，加入氦核中的 2 个质子后便成为第 85 号元素，这又是一个未发现的新元素，命名为砹。1945 年，美国核物理学家马林斯基（J.A.Marinsky）、格伦德宁（L.E.Glendenin）和科里宁（C.D.Covyll）从原子能反应堆中铀的裂变产物中，分离出第 61 号元素，命名为钷。到此为止，地球上存在的化学元素都找到了，元素周期表也填满了，人们正在庆祝大功告成之际，第 93 号元素被发现了。

铀不是元素周期表的终点 1934 年，意大利物理学家费米（E.Fermi）认为元素周期表的终点不在第 92 号元素铀，并预言在铀之后还存在超铀元素。1940 年后，一批美国核物理学家先后从铀裂变产物和铀矿石中发现第 93 号元素镎和第 94 号元素钚。钚在铀矿石中含量极微，但它和 $^{235}\text{U}$ 一样，可以做原子弹的核燃料。天然铀矿中主要含 $^{238}\text{U}$ ，而 $^{235}\text{U}$ 只占 0.7%，人们千方百计从铀矿石中提取、富集、浓缩 $^{235}\text{U}$ ，用它制造原子弹，而把大量的 $^{238}\text{U}$ 废弃了。后来科学家经过深入的研究，发现用 $^{238}\text{U}$ 可以制得钚，于是大量被废弃的 $^{238}\text{U}$ 变成制造钚的原料，用于制造原子弹和原子能反应堆的核燃料。

铀以后的新元素大都是核物理学家发现的，因为它们几乎都是人工制造的元素，在自然界并不存在，而是科学家在实验室里用加速器加速粒子去轰击某种元素而得到的。1944年后相继得到第95号元素镅（Am）、第96号元素锔（Cm）、第97号元素锫（Bk）、第98号元素锎（Cf）、第99号元素镅（Es）、第100号元素镻（Fm）……，如今第112号元素已经制造出来了。

登上“稳定岛”什么是稳定岛？原来在30多年前科学家预测在元素周期表上存在着一个“稳定岛”，它是指存在于周期表中的一组性质特别稳定的超重元素，其中子数在184左右，半衰期可长达数年。之所以称其为“稳定岛”，是因为它们周围的元素都很不稳定，半衰期极短，这些相对稳定的超重元素就像一个岛屿存在于很不稳定元素形成的海洋之中。但是核物理学家和化学家经过几十年的努力，未能在实验上证实“稳定岛”的存在。最近国际科学家在超重元素研究方面不断取得突破，第114号、116号和118号超重元素陆续被发现，第166号元素也被俄罗斯科学家在实验室合成成功。这些成果表明，科学家已开始“稳定岛”上登陆。

#### 1.2.4 元素周期表

门捷列夫提出了第一张元素周期表，它是按照元素原子的原子量大小来排列顺序的，但在两处地方出现例外，钴（Co）的原子量为58.93，镍（Ni）的原子量为58.69，然而镍却排在钴的后面；同样碲（Te）和碘（I）的原子量分别为127.6和126.9，而碘却排在碲的后面。为此，科学家做了修正，现在的元素周期表是按照元素的原子序数（即元素的质子数或核电荷数）来排列顺序的，所以元素的性质是它们的原子序数的周期性函数。

### 1.3 元素是宇宙万物的组成者

人们仰望天空，看见那光辉的太阳、秀丽的月亮、闪烁的星星、奇妙的彗星，它们都是由什么组成的？从宇宙空间落到地球上的陨石，人类居住的地球以及地球上的生命，又是由什么组成的？答案是宇宙万物中，包括地球和地球上人类社会构建的现代文明都

含有相同的一些最简单的组成，这就是元素。因此，人类生活在由化学元素构建的五彩缤纷的物质世界中。

### 1.3.1 陨石的化学组成

陨石俗称天上掉下来的石头，绝大部分坠落在地球上的陨石来自宇宙空间的小行星带，还有少数来自月球和火星的陨石。研究宇宙科学的专家欲向宇宙采集样品来研究是比较困难的，因此，陨石成为来自宇宙十分珍贵的样品。对陨石的研究不但能够知道陨石的组成和结构，它还可提供许多有关太阳系早期历史的信息。

目前科学家在地球上收集到的陨石已有 1 万余块，其中大多数是石陨石，其次是铁陨石和石铁陨石，I 型碳质球粒陨石只占 0.6% 左右，后者对了解宇宙的元素丰度是最宝贵的，因为 I 型碳质球粒陨石可能是原始太阳星云中的早期冷凝产物，与太阳的元素丰度比较一致。表 1-2 列出 I 型碳质球粒陨石的部分元素丰度。

表 1-2 I 型碳质球粒陨石的部分元素丰度

元素	元素丰度	元素	元素丰度	元素	元素丰度
Li (6)	1.59	K (6)	569	As (6)	1.91
Be (9)	26.7	Ca (3)	9.02	Se (6)	18.2
B (6)	1.25	Se (6)	5.76	Br (6)	3.56
C (3)	34.5	Ti (6)	436	Rb (6)	2.30
O (3)	464	V (6)	56.7	Sr (6)	7.91
N (6)	3180	Cr (3)	2.65	Y (6)	1.50
F (6)	58.2	Mn (3)	1.96	Zr (6)	3.69
Na (3)	4.83	Fe (3)	185.1	Nb (9)	250
Mg (3)	95.5	Co (6)	509	Mo (9)	920
Al (3)	$8.49 \times 10^4$	Ni (3)	11.0	Ru (9)	714
Si (3)	$1.00 \times 10^6$	Cu (6)	112	Rh (9)	134
P (6)	1180	Zn (6)	308	Pd (9)	557
S (3)	52.5	Ga (6)	10.1	Ag (9)	220
Cl (6)	698	Ge (6)	32.2	Cd (9)	673

表 1-2 中元素符号后面括号内的数字与元素丰度的单位有关  
3 为 mg/g; 6 为  $\mu\text{g/g}$ ; 9 为 ng/g.

“苏梅克”降落“爱神” 2001年2月12日美国无人驾驶宇宙飞船“苏梅克号”成功地降落在“爱神”小行星上。“爱神”小行星实际上是块土豆状的大石头，长33.8公里，宽12.9公里，高12.8公里。与地球一样，“爱神”小行星也绕太阳运转，但它的吸引力只有地球的千分之一。如果这颗小行星落在地球上将成为巨大的陨石，对地球和人类带来灾难，这类“近地球小行星”大约有900多颗。科学家研制“苏梅克”无人探测器，携有磁力针、激光测星仪、多光谱摄像机、光谱仪和无线电追踪系统等仪器设备，通过探测“爱神”小行星的大小、形状、体积、地貌、质量、磁场、重力场、密度、表面成分、地质构成、旋转状态、宇宙线和太阳风等数据和照片，研究小行星的物理性质和化学构成，了解近地小行星的运动规律，为防止小行星撞击地球提供依据。

### 1.3.2 月亮上有什么元素

“嫦娥奔月”反映了人类向往月亮的美好愿望，在20世纪70年代末，人类终于如愿以偿。1969年7月20日，美国宇航员阿姆斯特朗等人驾驶的“阿波罗11号”宇宙飞船首次在月面着陆。由于月球的重力很小，只有地球的六分之一，所以宇航员在上面行走如像袋鼠那样蹦跳。月球上温差很大，白天月球受到太阳直射时温度高达127℃，而到夜晚温度降到-183℃，是名副其实的“广寒宫”。

根据宇航员从月球上采集回来的许多月岩和月壤样品，经过分析发现有氧、硅、氢、铁、锰、钴、镍、钛、铬、铝、镁等多种元

表 1-3 月球的部分元素丰度

元 素	质量丰度/%	元 素	质量丰度/%
O	41.42	S	0.39
Si	18.62	Ti	0.34
Mg	17.37	Cr	0.12
Fe	9.00	Na	0.09
Ca	6.37	P	0.05
Al	5.83	Mn	0.03
Ni	0.51	Co	0.02