

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

周期王国

 **eBOOK**
内容资料 非卖品

序 言

萨默塞特·莫姆(somerset Maugham)所著《遭天谴的人们》(The Vessel of Wrath)一书的开篇一直使我很陶醉。我坐在书斋里,翻阅着“扬子江引水人”一节,对潮汐表和航行方向渐渐有了真实感。当意识到树木、屋顶以至民众是书中故事的主题时,在我的想象中那些等高线和图表消失了,出现的是美丽的幻景,因此,我愿你能陪伴我,以元素周期表为规范的航行图,在化学领域里做一次想象中的旅行。但在我们心目中,应把这一周期表视为有人生活的国家——一个周期表王国,就像我们降落在地面上见到的一般。我们要飞越王国的大地,看一看起伏的丘陵、山脉、峡谷和平原。我们要登上陆地,步行于广阔的草原之间及湖泊周围。我们还要到地下勘查,去发现隐伏的构造,即控制和支配着王国的机理,因为那里是需要理性认识的地方。

无论在原理上或实践中,周期表都可被认为是化学中最重要的概念。它是学生们日常所必需的,它为专业人员提供新的研究途径,并为整个化学变化过程规划出简明条理。它清楚地证明这样的事实,即化学元素并不是一堆无规则的东西,而是彼此间存在着诸多关系,显示出种种趋势,一族一族地处在一起的。了解周期表对于每一位希望认识世界并弄清世界是怎样由化学的基本结构单元——化学元素所构成的人来说非常重要。任何试图以科学家的眼光来熟悉世界的人都应该认识周期表的全貌,因为它是科学修养的一部分。

我把周期表描述成在一个想象中的国家旅行的指南,将各种元素比拟成不同的领地。这一王国有其地貌:各种元素以特有的方式互相排列,由它们可产生出各种各样的东西,就像大草原上能长出谷物和湖中能生长鱼类。王国也有历史。实际上它有三方面的历史:我们几乎像发现陆地那样发现了元素;像绘制世界地图一样,画出王国的地图,其中元素的相对位置具有非常重要的意义;元素还有它们自己的宇宙历史,这可以追溯到星球。

周期王国也有管理部门,有控制各种元素特性的规律,支配元素的行为变化以及确定它们所能形成的联合体。这一行政职能是从原子以及构成原子的电子和核子的特性中发现的。

我不想臆断原先的化学知识,我只要求你根据具体存在的实物运用你的想象力,理解书中地理学方式的类比。我们将一起飞行,穿越山山水水,在合适的地方登陆。这样,我们会发现一个富饶的王国,现实世界就是它的一个表现形式。

我要感谢杰里·莱昂斯(Jerry Lyons),他为本书担任编辑并提出一些有益的建议。

1995年1月于牛津

《科学大师佳作系列》中文版序

人类正在迎接世纪之交。即将消逝的 20 世纪，科学技术又有了过去无法比拟的巨大发展与进步。科学上的重大发现，与技术发明、创造相互交替影响与促进，使人们对客观世界的认识更深入、更丰富多采了。

以“宇宙演化”这一课题为例，《科学美国人》杂志 1994 年 10 月号以“宇宙中的生命”为题的专刊，登载了詹姆士·皮博（P. James E. Peebles）等 4 位科学家的综述文章，介绍了近年来对宇宙起源的演化问题的研究成果——大爆炸标准模型。按照这一理论，宇宙是在大约 150 亿年以前从炽热而且稠密的物质与能量“大爆炸”而形成，随着它急骤膨胀、冷却，逐渐衍生出众多的星系、星体、行星，直至出现生命。人类生活于其中的太阳系，约在 50 亿年前才开始出现。这篇文章指出，研究宇宙学问题的还有哲学家、神学家、神秘主义者；然而，与他们不同的是，科学家们只接受经过实验或观测检验过的事实。文章还指出：“我们对宇宙起源与演化的认识，是 20 世纪科学研究的重大成就之一，这正是基于几十年的创新实验与理论研究的结果。用地面和发射到空间的现代望远镜，可探测到远在数十亿光年之外的星系发出的光，它告诉我们宇宙年轻时是何种模样。用粒子加速器可探索宇宙演化初期其高能环境的基础物理学。用人造卫星可探测到宇宙早期膨胀后留下的本底射线，使我们在能观察到的宇宙最大尺度范围内勾画出它的大致图象。”当然，由于观察和实验受到条件和能力的局限，正如过去许多理论认识仅是客观真实的一种近似那样，也还有许多问题尚不能由这一理论作出回答，需要科学家们继续努力进行创新研究，并通过更多的观察、实验来解决。

江泽民同志近年来多次指出，各级领导干部要努力学习与掌握现代科学技术知识。1994 年 12 月，中共中央、国务院发出了《关于加强科学技术普及工作的若干意见》，要求从科学知识、科学方法和科学思想的教育普及 3 个方面推进科普工作。问题是：当代科学之发展如此迅速，其前沿领域又如此艰深，究竟能不能凭借通俗的语言，使广大干部和社会公众对当代科学成就取得比较中肯的了解？

这很不容易，但回答仍是肯定的。已故美国科普泰斗艾萨克·阿西莫夫（Isaac Asimov）曾经说过：“只要科学家担负起交流的责任——对于自己干的那一行尽可能简明并尽可能多地加以解释，而非科学家也乐于洗耳恭听，那么两者之间的鸿沟便有可能消除。要能满意地欣赏一门科学的进展，并不非得对科学有透彻的了解。归根到底，没有人认为，要欣赏莎士比亚，自己就必须能写出一部伟大的文学作品。要欣赏贝多芬的交响乐，也并不要求听者能作出一部同等的交响乐。同样地，要欣赏或享受科学的成就，也不一定非得躬身于创造性的科学活动。”

这番话很有道理。而美国布罗克曼公司组织编写的《科学大师佳作系列》（Science Masters series）则堪称贯彻这一宗旨的上乘之作。该系列的作者们，既是当代科学前沿研究领域中有盛誉的专家，又是成绩卓然的科普作家。他们的这些作品内涵丰富，深入浅出，水准确实是很高的。同时，该系列的选题布局也很有特色：既有选择地抓住了当前科学发展的若干热点或焦点，又从整体上兼顾了学科覆盖面。这从该系列第一辑 12 本书和第二辑 10 本书的选题即可见一斑。

《科学大师佳作系列》是世界科普出版界的一项盛举：它将在全球范围

内的十几个国家中，以二十几种语言出版。上海科学技术出版社与布罗克曼公司签约，取得了出版中译本的版权。为确保中译本早日问世，出版社邀请了 10 余位专家、学者组成中文版编译委员会，决定每拿到一本英语原著打字稿，即着手组织本学科领域中既有学术专长、又有著译和科普写作经验的学者翻译。经过编译委员会诸同仁和全体译、校、编者的共同努力，《科学大师佳作系列》中译本中首先推出的 3 本已呈献于读者面前，即《宇宙的起源》、《宇宙的最后三分钟》与《人类的起源》。这 3 本书也正好是我前面举例讲到的介绍“宇宙的起源与演化”课题的精辟之作。作为中文版编译委员会的主任，我对此委实是不胜欣喜的。

该系列的作者之一、哲学家丹尼尔·丹尼特说过：“我将这项计划（按：即出版《科学大师佳作系列》）视为向这个世界撒下了一张网，它捕获的将是我们这颗行星的下一代思想家和科学家。”但愿果真如此。与此同时，我也衷心地企盼我国的科学家、科普作家、出版家们能并肩奋斗，不懈努力，写作和出版一批足以雄视世界科普之林的传世佳作，为我国科学事业的长足进步作出更大的贡献。

谨序如斯，愿与读者共勉。

朱光亚

1995 年 1 月 20 日于北京

内容提要

《周期王国》为美国约翰·布罗克曼公司组织世界著名科学家分别撰写，并于 1994 年开始推出的一套反映世纪之文科学前沿问题的《科学大师佳作系列》丛书之一，全世界有 20 多个国家和地区共同推出这套丛书的各种文本。

本书将化学元素周期表比拟成一个有山有水的自然王国，并借用地理学上的许多术语对王国进行了描述。在描述过程中穿插介绍了有关这一领域内存在的各种不同的学术观点，以及最新的研究成果，读来饶有趣味。

第一章 地理

1. 地形

欢迎您到王国来。这是一个想象中的国家，但它比看上去更实在，它就是化学元素的王国。一切有实体的东西都由王国里的物质构成。王国的幅员并不辽阔，只有一百来块领地（以下我们经常用“领地”一词代表元素），但却拥有构成我们现实世界中每一样东西的物质。我们故事中讲到的这上百种元素能造就出所有行星、岩石、植物和动物。这些元素还是空气、海洋和地球的基本成分。我们依赖元素，食用元素，甚至我们自身就是各式各样元素组合的。由于我们的大脑由元素构成，所以从某种意义上讲，我们的思想意识也是由王国居民——各种元素所具有的特性产生的。

事实上，这一王国并非是一群乌合之众，而是一个有着严密组织的国家，这里每块领地的臣民都与相邻领地的臣民亲密无间，各个领地之间几乎没有明显的界线，因为王国地形的主要特征就是逐渐过渡：平原与平缓的山谷相连，又逐渐沉降为深不可测的峡谷；山坡从平原缓缓升起，又渐渐形成耸入云端的高山。当然，这些都是想象和比拟，为的是让我们感觉正在王国旅行。要记住这样一条原理，不仅这个物质世界是由上百种元素构成的，而且这些元素有着一定的排列模式。

我们眼下的目的是了解元素排列模式，熟悉王国地域情况。从图 1 的上端，也就是从氢元素开始，直到相隔很远的铀元素以外地区，展现出一片美妙景色。目前，对铀元素以外地区，人们已有所知，但在更远处尚有一道未勘察过的地界，有待未来的哥伦布去发现。离我们较近的是比较熟悉的地区，即碳、氧、氮、磷、氯和碘的领地。在初步观察后，我们还要熟悉更多的领地，了解一下这些地区是否为旱地、沼泽、湖泊或牧场。

即使从这样的高度，我们也能看出王国地形的全貌（见图 1）。一些地区闪闪发光，那是由金属组合的。这些地区连在一起，位于我们所要说的西部沙漠。整个沙漠情况大体一致，但淡淡的阴影处显示出不同的特点。浅浅的色斑随处可见，如同人们常见的金子闪光和铜的红色泛光。十分奇怪的是，这些荒芜的地区竟占了王国的大部分（109 种元素中的 86 种），然而，这个王国仍能为我们这个真实世界提供丰富的物质！物质的丰富表明，认为沙漠贫瘠是一种错觉。当我们接近它时将会发现，它的矿藏十分丰富。从广泛的物理和化学性质来讲，荒凉的地表事实上有很多性格不同的臣民。到更近处去观察留待以后。我们此刻还远在这片国土的上空，它的丰富多采还不十分明显。

即使从这样的高处俯视，东部地表的景色也是变化多端的。这里是王国中地势比较平坦的地区，并能看到一个湖泊。但很明显这不是一个普通王国，因为这里的湖泊不像地球上的湖泊那样清澈，呈现灰色或蓝色，而是深红色或近于褐色。这块领地属于汞，是这一奇特国度里仅有的两个湖泊之一。另一个湖泊在西部沙漠的东部边缘，且外表很不一样，它发出刺眼的银色光泽。这里属于汞，是在金属的乱石中出现的一个清澈湖泊。

东部的陆地形态多样，色彩丰富，接近东部海岸处变化更大。首先，西部沙漠在这里逐渐转变，有些地方看起来是金属的领地，但金属性已经变弱，而具有两性，这样的元素包括硅和砷，以及不大为人们所知的碲和钋。看来，

这里的土地在化学上是丰产的，但在这块不寻常的土地上实际情况可能与我们最初的印象不同。在同一高度上，我们能够很明显地看出地表的颜色。有常见的硫黄色强烈闪光。与硫相邻的是硒，它似乎随季节变化，一会儿呈现银灰色，一会儿呈现宝石红的颜色，表明它具有两性。一种单纯的物质怎么会具有如此不同的色彩呢？并不只是硒有这样的变化。普通的碳元素也有这种奇特的变化：最常见的碳呈乌黑色，但它能转变成闪亮的钻石、钢灰色的石墨和最近发现的呈浅棕色微晶状蒙脱石。我们必需认识已知元素的不同变形，以及怎样用比喻的方法称呼它的“季节”，因为不知道“季节”会导致混淆，而我们登上王国的陆地时会发现处在任何一个季节里的元素。

接近东部海岸处，地表颜色的变化更大。最明显的是卤素，这是领地间有着紧密结合的一个家族，包括清澈的红色溴湖。在同样的高度上，我们能看出它们的色彩层次，从远在北方毫无颜色的氟加深到黄绿色的氯，再变成与氯相邻的红色的溴。溴的南面，接近南部海岸处是闪烁发光的紫黑色碘。碘的南面是元素碲，关于碲的其他情况一无所知。就像在真实世界里常见的那样，之所以不了解碲，是因为还没有找到它的用处。如果你从来听说过碲，是因为它是一块未开发的不毛之地，去了解它似乎没有什么意义。碲在王国里只是一块表面上调查过的领地。

这一地带的颜色变化是这里的元素在特性上渐变得较为明显的情况之一。它以悦目的色彩变换引起人们的注意，并且使人想到也许有更为微妙的潜在变化趋势，需要更加密切地去观察，甚至去发现和识别。实际情况就是如此，当我们步行穿过王国时，需要注意这样的变化，因为变化本身表现得并不那么清楚。研究化学变化过程的一部分乐趣就在于揭示出潜在的周期性变动，周期性变动遍及王国的各个领地，并把各个领地联合成一个个家族。

总的变化趋势基本上是肉眼难以辨认的。正如我们看不见所呼吸的空气，有些领地属于气体，看起来缺乏物质。那些看上去无人居住的领地位于王国东部和东北部的海岸上，形成一些空无所有的海岸面，似乎还不如西部沙漠富足。但这样的海岸面非常有用，那里有宇宙生命的先驱——氧。氧对有机生命是那样重要，一刻也不可缺。我们带着氧气瓶潜水或去月球；我们把它输入垂危的人体，维持人的生命；我们用管子把它吸入发动机又喷出来使机器运转和排出废气。氧有激发生机的本质，没有氧，生机和运动就要终止。王国北部边缘上这一貌似无物质的地区就具有这样的潜在能力。

这种看不见的潜能并非氧独有。它的西面邻区氮看起来似乎也没有物质，但氮对于生命同样必不可少。许多生物学上的和工业上的化学活动都集中于从地球的大气中吸取氮，大气中的氮非常丰富。人们把对它的吸取称为“固氮”。固氮是地球上极为重要的化学活动，就像光合作用，将空气中以气态二氧化碳形式存在的碳固定下来。在人类开始主宰地球之前，早就需要使氮得到固定，因为蛋白质由氮合成，而蛋白质又是一切有机生物必不可少的。甚至遗传信息一代代留传也要依靠氮，因为它是脱氧核糖核酸的组成部分。如果没有这一表面上看来荒芜的领地——氮，就不可能有遗传，不仅生命将终止，而且一切活动都将停止，因为有了生命的齿轮——蛋白质。没有氮，光合作用不会发生，就如同上紧了发条而没有联结它的齿轮。

东部海岸的领地是另外一种情况。那里也属于气体，但主要是惰性气体。自19世纪末从事化学研究的“麦哲伦”首先发现这些领地以来，它们已有过各种名称，人们认为这类气体稀少，一度称之为“稀有气体”。它们之中有

些气体确是稀少，但并不都是这样。例如，地球大气中的氖就比二氧化碳还要多。地球上的氦很少，但在整个宇宙中氦却非常多，它在宇宙所有的气体中占 25%，数量上仅次于氢。尤其是东海岸最南处的氦，已多至危险的程度，致使世界各地出现天然放射现象，足以令人担心。因此，对于这些极为丰富的气体来说，“稀有”一词已不太合适而被放弃。这一海岸地带长时期没有被发现，是因为上述元素既不与别的元素化合，彼此之间也不化合，所以在命名过程中又把它们称做“不起化学作用的”气体。对于过去想要通过对化合起来的元素进行分析以求了解各个元素的化学家们来说，这些沿海领地仍是看不见，甚至是不可知的。然而在近代，对这些元素进行处理使之结合的尝试已获得成功，沿海领地的贫瘠已得到改观。这并不是说沿海沙漠现在已繁花似锦，而只是有少许的繁荣，从化学观点来看，只相当于萌发出一根小草而已。以上所述也只能说明“不起化学作用的”不过是表示性质和特性的形容词。作为最后的一着，对这些领地的命名使用“惰性”一词，将那儿的各个领地通称为惰性气体。如此定名并不是想要含有化学意味，而是为了简洁高雅。

简言之，这个国家总的布局是西部属于金属区，向东逐渐过渡为景观不同的非金属区，东部海岸线上基本是惰性元素。大陆的南面有一个近海岛屿，我们将称之为南方岛屿，该岛完全由特性有微妙转变的金属组成（如下文所述）。大陆的北面有一个孤立的元素——氢，它在位置上颇似靠近西北欧边缘的冰岛。这一单纯而有天赋的元素是王国的重要前哨阵地。尽管它很单纯，但富有化学特性。它也是宇宙中最丰富的元素及恒星的燃料。

2. 领地的物产

这些领地有些什么物产？就氧和氮而言，我们已经知道，它们虽然看不见，但并不意味着没有用处。同样，那些与金属沙漠近似的地区，只要适当加以利用，也是财富的源泉。由于目前还不知道王国的物产是否有用，以及在我们充分认识王国的物产之前需要进一步了解王国的制度，有必要对整个王国进行调查。这里先做一个初步调查。

无论对真实世界的自然景观来说，还是对手工制品和科学发明的机械产品来说，金属元素都极其重要。例如，沙漠中有一块领地是铁。这一元素曾有助于人类脱离石器时代，并推动人们进行工业革命。这一领地的用途在工业革命进程中进一步得到拓展，铁与邻近地区的钴、镍、钒、锰结合，可变成钢。毫不夸张地说，钢可算是现代社会的基石。有一点不应忽视，铁在王国中能够很容易地与邻近元素结合，这一特征表明，王国地表下的深处有类似的结合趋势，很像文化和经济的联系能加强国与国之间的相互理解。

铁的附近地区在真实国家的历史上也有特殊重要的意义。在铁以东几步远处是铜，由于它很容易提炼，所以在我们摆脱石器时代的长途跋涉中，它是第一个被用来制造工具的元素。为此，我们需要逐点说明铜的用途。铜在一定程度上耐得住腐蚀，而腐蚀是一种有害的化学变化。在日常生活中，铜的耐腐蚀性有两项用处。一是用铜做水管，水管经常会受到具有腐蚀性的化合物——水的作用。二是铜与邻近元素结合而成的铜锡合金（青铜）和铜镍合金可以用于制造钱币。这里我们还可以见到王国中另一些潜在的周期性转变，靠近铜的银和金，长期以来已因其悦人的外表、产量不多及耐腐蚀性而被用于贸易、装饰和钱币。铜、银、金这三种金属在社会中的作用是人所公认的，因而被称为“货币金属”。

概括而言，西部沙漠已由东向西经过勘察和开发，即上述元素已按照它们的位置由东向西依次在技术和工艺上得到利用。最初，铜取代石头而进入青铜时代。后来，探索者们坚持向西前进（实际是使用更加有效的勘察方法），发现了铁的领地，并利用铁制造出更多的杀人武器。在自然淘汰法则的驱使下，一些国家出于屠杀、征服和生存的目的，用这些武器改进了装备，从而兴旺起来，国家强盛，摆脱了经常受侵略的处境，就能腾出时间来繁荣学术。经过相当时期，探索者们深入西部沙漠的腹地，发现了意外的财富。

在西部沙漠的深处，他们终于发现了钛。这确实是意外收获。钛所具有的特性，正是极力要拥有高级工业技术的人类社会所需要的。钛不易磨损，经得住腐蚀，而且很轻，堪称西部沙漠地区的代表。钛和邻近地区的钒及钼在王国中显示出周期性的变化，它们与铁结合能形成工业上需要的韧性钢。这种钢耐腐蚀，能切割石头。王国中有一个值得注意的特征，即一条像地峡似的狭长地带，把东西部的矩形地块连结起来。地峡开发后，能为人类社会提供很多的汽车、轮船和机器，而且地峡里的成员极易结合在一起。

狭窄的地峡从东面的钒至西面的锌横跨王国，地峡两端有两个矩形地块。西面的矩形地块是西部沙漠的一部分，其中的领地比地峡中的各个领地更为引人注目。那里是高活性金属的所在地，大自然中还从未发现过这些金属的天然纯净物（这是对游离态所用的专有名词）。大多数高活性金属有剧毒，以致无法接触。在那里我们可以看到王国周期性的化学变化，虽然不如东部海岸的色彩层次那样显而易见，但也不乏引人注目。为了解这一周期性

变化，我们需要研究一种简单的反应，即假定王国内这一很少有人观光游览的地区一旦下起雨来会怎么样，也就是说，我们要了解这些元素对水会有什么反应。

雨水对西北边缘的锂作用不大。诚然，锂所在的地表会起泡沫沸腾，但总的说来反应不大，领地内没有什么扰动。其南面邻区的钠却不同。雨水会与钠的地层产生激烈冲突，凡是雨点滴注的地方。土壤就会起泡和沸腾，钠领地的反应明显大于锂的领地。如果说钾和钠的领地还经得住雨水冲击，那么在南面与钠相邻的钾就难说了。遇到雨水，不仅地面鼓胀和沸腾，而且整个领地都会着火燃烧起来。反应之所以会如此强烈，是因为这种金属与水作用可以产生氢，氢会引起大火，所以这一地带雨天不适宜居住。那么再往南是否也如此呢？这时，雨水就带有爆炸性了。在锂的南面较远处是铯和铷的领地，那里，每一个雨滴无疑都是一颗潜伏的炸弹，雨滴会因撞击地面而引起爆炸。这四种元素由北向南，化学活力呈现不断增强的趋势。

西部沙漠边缘那些统称为碱金属的元素都具有毒性，但这并不意味着这些金属在自然界和工业上没有用处。事实上，只要加以控制，毒性就有用处。例如，钠是普通食盐（氯化钠）的组成部分。食盐这种物质非常有用。氯化钠中的钠是神经系统和大脑的重要活性组分，没有它我们复杂的有机体将成为无生命和基本上无功能的物体。此外，钾在性能上与邻区的钠有细微的区别。钾，也是神经细胞的重要活性组分。钠和钾这两种相似元素之间微妙的相互作用维持着思维和行动，否则机体就没有生命了。与此同时，我们还可以看到王国中相邻元素相互结合的潜在能力，相邻元素性质的协调和相互影响能使单调的变化旋律大为丰富。思维是物质最微妙的现象，可以说它部分地产生于钠和钾这两个相邻领地的相互作用，而这两种元素在性质上只有细小的差别。

从碱金属向东跨越一步，是另一组性质极为相似的元素领地。这一区域里的一族元素包括钙。钙很像附近的锂，遇到雨水也会起泡，轻轻地沸腾并产生氢。然而钙比钾有用得多。在人类发现钾的用途（主要在制造原子弹方面）以前，人们早已发现了沙子中钙的用途。钙与邻区的钠和钾一样，也是构成神经的活性组分。钙还是一种具有构造特性和易于保持形态特征的元素。当人们进入王国西部沙漠时便可发现，钙是坚韧物质的组成部分，例如，一般动物的骨骼是磷酸钙，甲壳类动物的外壳是碳酸钙。甲壳类动物遗留下的碳酸钙，日积月累，最终形成地表的坚硬结构。石灰岩就是生物体的遗骸，由于其中含有钙而凝结成坚硬持久的岩体。

人类文明已反复证实自然界中有丰富的钙，而钙具有耐久性和坚韧性。从石灰岩丘陵中可以获得大量的石灰石，营造出可屹立千载的建筑物。古罗马人曾发现了混凝土和灰泥，但当时他们并未意识到正在从周期王国中开采钙。当我们用混凝土、砖块和灰泥营造建筑物时，我们这些古罗马人的后代也许和他们一样没有意识到这一点。假如没有西部沙漠中这一地区的产物，也就不可能有动物坚固的骨骼和长牙利齿的攻击武器，以及生物用以自卫的甲壳，更不可能有文明社会中大量实用而耐久的建筑。

钙的北面有一块稍具不同特点的领地，属于元素镁。镁与钙颇为相似，同样能使万物坚固耐久。镁发现于奥地利白垩状的白云石矿脉中。镁是金属，与钙一样，降雨时它的地层基本上没有什么变化。这一领地有一种特别重要的产物——叶绿素，这是一种有机分子，每个叶绿素分子的眼状物上含有一

个镁原子。没有这些叶绿素，世界将成为潮湿炎热的大岩体，而不再是气候温和、绿荫葱茏的生物乐园。叶绿素用那些含镁的眼状物对着太阳，在光合作用的最初阶段，吸收太阳的能量。正因为镁具备这种有效特征，才使光合作用成为可能，所以我们必须仔细研究镁。如果王国没有镁这种元素，叶绿素的“眼睛”就会失明，光合作用就不会发生，生物也就根本不会存在。这个元素族的南端还有一些金属，叫作镨、钕和镱。王国的周期性变动使我们可以预测这些地区的金属比北边的金属要活泼得多。的确，金属镨、钕、镱对周围环境的侵蚀性太强，所以用途不大，也尚未发现大自然对这些金属的利用。然而，大自然的儿女——人类，却可以利用这些金属。例如，镱以其放射性（是原子核的特性而不是化学特性）闻名于世。用镱可以杀死迅速繁殖的有害细胞。

现在我们该再次穿过地峡到东部的矩形地块走一走。这一地带的丰富物产令人难以置信。而最令人感兴趣的地区是北部边缘。我们对氧和氮已有所了解。但无论是在这一地带，还是在王国别处都找不到一块领地能比北海岸上碳的领地更加肥沃。碳是一种极为普通的元素，它不像西南端的铯或东北角的氟，碳算不上活泼，但碳却易于和别的元素建立联系。碳的这种随和的脾性，使它在化学上和为人处世一样，得到了好处。碳以平易的作风使自身成为国中之王。诚然，碳是构成有机物的元素，被我们称为生命起源的特殊而复杂的物质特性几乎完全来自王国北部的这一黑色地区。

碳的南面近邻是硅。它像邻里间常见的那样，是个不易接近和具有双重性格的邻居。硅不像碳那样具备造就有机生命的能力，因为构成有机生命物的诸种元素对硅来说是相对稳定的，它们不易找到与硅结合的适当位置，硅也不像有机体那样会死亡和经常遇到竞争，硅可能是一个沉睡者。当碳的主要产物——生物有机体为了建立传递和积累有机化合物信息（即生命）的机制而不得不奋斗几十亿年的时候，硅尚处于等待状态。碳和硅这两个地区在近代联合起来了，它们所形成的碳基硅有机体使硅的用途扩展到信息技术领域，于是硅被北面的碳征服而处于从属地位。然而，这只是碳基硅有机体的早期作用，硅的潜在能力还在不断地被发掘。最为不可思议的是，硅终究会推翻北方的碳这一宗主而担任起主要角色。硅的新陈代谢和复制过程不像碳那样难以完成，因而硅必然具有更为持久的潜能。在这里我们可以随处看到王国内联合体之间的一种最微妙的相互作用。如果不是碳最先担负起带领硅开辟新领域的责任，那么硅就不可能发挥它的潜力。

我们在这一地区上空盘旋时，还应注意王国一种特殊的周期性变化。碳和西邻的硼及东邻的氮一样，是相当典型的非金属元素。当我们向南飞行时，便进入西部沙漠的边缘，这一边缘从西北到东南斜向伸入东部矩形地块。突出在碳西南面的三角地带是残余的沙漠，其中有我们熟悉的金属元素铝、锡和铅，以及不太熟悉的元素镓和铊，现在我们要注意的是这一对角线图形：若干边远地区和相似的元素形成一条条由西北到东南穿越王国的对角线。

我们已经知道，西海岸的金属非常活泼，甚至达到危险的程度。沙漠东部残存三角地带的金属要稳定得多，甚至在化学上是惰性的。例如，锡，在其北面附近的铝代替它用做普通饮料和腐蚀性较强的可乐类饮料包装的铁坯及锡皮之前，曾一度用作铁皮罐头的防锈涂层。锡南面的邻居是铅，由于铅本身的化学惰性，其历史更为悠久。早在古罗马时期，铅即被人使用。由于铅能免受液体和水的腐蚀，许多家用的铅制品一直延用至今。遗憾的是，铅

遇水后并非完全不起化学反应，而少量的铅侵入人的大脑会引起智力衰退，这曾导致一些帝国的崩溃。因此可以说，最北边的碳和远在南面的铅明显地属于同类。

沙漠东部边缘的金属性质稳定而安分守己；西部边缘的金属却有毒性且桀骜不驯。两者的区别表明地峡在这两类地区之间架起一座过渡桥梁（见图2）。其实，地峡本身的过渡性也很明显，其西面的铀是一种烈性金属，而靠近东部边缘的铜却是稳定的金属，因此地峡中的元素被称为过渡金属。严格说来，有理由把地峡东部与矩形地块接壤处的元素锌、镉和汞排除在这一名称之外，但广义地说，我们还是可以认为地峡上的过渡金属代表了由西往东元素的化学活动性逐渐减弱的一个坡度。

我们再回到东部矩形地块，在西部沙漠对角线边界地区，即由西北向东南的斜线附近，金属逐渐消失而让位于非金属，这里有一个准金属区，该地区元素兼具金属和非金属的特性。这些领地包括我们熟悉的硅和砷以及或许还不熟悉的锑和钋。值得注意的是，碳靠近这条线，硅处在这条线上，这一两性地区包含了使最复杂特性——生命和意识成为可能的元素，这一点很可能不是偶然的。

穿过准金属领地的疆界，可以十分确切地说，我们已到达东部矩形地块的中心地带，进入了非金属区。这里有一些我们熟悉的领地，如氮、氧和卤素，在氮和氧南面两块地域，我们（至少对其特性）已熟悉多年并且已充分开发。紧靠着氮的是磷，这一元素先经过蒸馏腐朽，再用尿进行处理，可有多种形态：白磷、红磷和类似的黑色金属物。但这并不是我们在这里所要关注的课题，要注意的是从北部海岸往南旅行，内陆地区在特性上的变化有多么剧烈。岸边的氮元素是无色不活泼气体，氮南面的内陆是有色活泼的固体磷。向东走一步会发现类似的差异，无色气体氧的南邻是黄色的固体硫。在北部海岸平原和南面紧邻的一排陆地之间有一道相互区分的急陡坡。北部海岸从硼到氟的地区明显不同于其南邻铝到氯的地区。以后我们会看到，与目前仅限于外貌和实用的表面观察相比，这两排元素在更深层次上是基本相似的，而且在周期王国里让它们处在现今的位置上是恰当的。

生命的主要构成单元是王国里这样一块狭小区域的元素，即碳、氮、氧和磷，由微妙的不同的亲族关系能结出复杂的硕果。我们已经知道，磷是骨骼（磷酸钙）的组成部分，但在自然界开采磷这块地域不仅仅是为构成脊椎动物的骨架，磷还有其奇特性质，特别适合于生物体内能量的产生。生命有一个非常重要的特点，它不是一纵即逝，而是缓慢地伸展，并谨慎地支配着能量：这里一点，那里一点，而不是突然倾泻的一场暴雨，生命就是有节奏地释放能量。经证明，以三磷酸腺苷（ATP）形式存在的磷，是能量产生的理想载体。事实上，它已为一切活体细胞所共有。病毒不含磷，但病毒可以从宿主那里获取磷，而且它一旦获得磷就能迸发出活力。在这里我们看到氮和磷之间存在着另一种有机的联合，氮对于能量的利用和转换有决定性意义，而磷在氮所构成的蛋白质控制下对能量的调动非常重要。磷的这一重要性决定了农用化学品工业必然把主要活动放在王国的这一地区，因为农作物生长取决于是否能迅速得到大量的磷。每年大量种植的农作物，其每个细胞都需要磷，正像我们需要从生长的农作物中获取磷一样。

人们在研究早期生命的产生时，无意间发掘出硫的领地。人们发现，几乎可以像在光合作用过程中利用水那样，在某些方面利用与水（ H_2O ）相似的

硫化氢 (H_2S)。硫化氢可以作为氢的一部分来源，但却与水有很大差异。我们注意到，氢从绿色植物中的水分解出来后，释放出的残余物是气态的氧，氧随风飘散，混合在地球上空弥漫的大气之中。然而，当氢从细菌体内的硫化氢分解出来后，余下的是固体硫，硫不能飘散，生物群体不得不在逐渐积累自身分解的剩余物基础上建立其生存模式。不过，我们仍然发掘出了这些长期堆积起来的剩余物。硫北边的邻居是氧，氧紧靠着北部海岸。在大自然逐步进入信息转换和信息积累时代后，可以证明氧是硫的一种非常合适的替代元素，于是有机物就很少利用硫了。

这并不是说，某些现代的有机体不设法为自身目的利用硫。硫与氧的化合物硫酸就是化学工业的主要产品。据说，还没有哪一样工业产品在它的某个生产阶段是不和硫酸发生关系的。此外，硫酸的产量已被用来表示一个国家的生产能力，这一指标也日益成为表示一个国家农业活力的标志，因为硫酸与化肥的生产密切相关。说到这里，硫还有一项主要用途就是它可以把磷从含磷的矿石中分离出来。于是就有了另一种联合体，其中碳基有机物利用硫酸提取磷肥，从而使蛋白质更加具有活力。

在北部海岸以南地区，特性变化并不明显。总的趋势是，越往南走，元素的非金属特性就逐渐被金属特性取代。人类对那里的领地几乎未曾着力去开发过，已知的有硒、碲和钋，稍微往西是砷、锑和铋。砷的领地位于磷南面，磷可以赋予生命，而砷却是传统的毒药源。砷作为一种毒药，其毒性起因于它与磷非常相似但又有细微的差别。与磷的相似使它能参与磷所经历的反应；与磷的细微差别使它能导致细胞新陈代谢的紊乱。砷还具有巧妙的杀伤性。从积极意义讲，利用砷的杀伤性可以生产某些抑制传染病的药物；从消极意义讲，用砷的杀伤性可制造神经毒气。

上述地区以东是卤族元素领地：从北面的氟到南面的碘，碘下面是鲜为人知的砹，它位于南部海岸。除了砹以外，卤族元素对人类和工业生产都大有用处，因而它们的领地广为人类和工业生产所利用。19 世纪后期，首批化学探索者进入卤族的领地时，最北面的氟基本上还只是实验室里的希罕之物，氟是极具毒性的气体，而且由于它强烈腐蚀容器，使容器壁出现许多筛孔而难以贮存。然而，战争的迫切需要刺激着人们对氟的研究。20 世纪中期，人们为了实现原子核分裂，必须分离出铀的同位素，才切实认识到需要大量的氟，因为分离过程中利用了具有挥发性的六氟化铀。于是，当今世人找到了控制这一元素的方法，氟得以大量获取。一项有益的结果是氟可以用来制作牙齿珐琅质的硬化剂，使人们牙齿的健康得到改善。有了氟，就有了氟塑料，也就有了方便实用的无粘性涂料。

氯，位于氟的南面，由于大量存在于海水中，人类和工业生产已充分利用了它。在海洋中，氯和钠以氯化钠形式存在，经过某种程度的加工就成为我们厨房和餐桌上的食盐。我们的体内也有大量的氯。总之，我们的体液与我们祖先最初形成时的水生环境十分相似。氯在人体中的作用与在海洋中一样，多少处于被动状态。它好像是钠的婚姻伴侣，单独不起什么作用。然而气态氯就与北面邻居氟很相像，十分活泼，氯气可以将微生物和人置于死地。氯能以一种微妙的方式伤人。例如，用氯制成的氯烃和氯氟烃制冷剂逸散到大气层上空可以使臭氧层出现空洞，而臭氧层是一个气体防护罩，可阻挡来自太阳的紫外线辐射危害。王国中的氯对人类大有好处，但另一方面也对环境造成巨大的破坏。

再往南走，会碰到溴，这是东部矩形地块上唯一的湖泊，也是王国中仅有的两个湖泊之一。人们基本上不重视对溴的利用，认为氯比溴丰富得多，足以替代溴，没有必要去区分溴的作用。然而，化学家们已经发现，溴是很容易得到的一种元素。溴能够附着在有机分子上，也能从有机分子上脱开，因此可以利用溴来改变有机分子，使之更加适合工业需要。溴在暗室中具有实用意义，是一块可供大量利用的领地。溴虽然少见，却不容忽视。涅普遍用于摄影技术方面：利用溴化银的某些特殊光化学性能可加强显影效果。实际上，碘对人类更为有用。碘和氯有很大的不同，将碘用于某些生物化学过程，可以防止外来化学物质和生物体的侵袭。

南部近海岛屿是王国不平常的附属地，它实际上是西部沙漠的延伸部分，在某些周期王国地图上把这一岛屿放在大陆内，成为过渡金属地峡上的狭长组成部分。岛屿包括两块面积基本相等的平原。在较北的平原上有一个由性质明显相似的金属组成的家族，通常被称作“稀土元素”，较为正式的称谓是“镧族元素”（有人还因为这一狭长岛屿被并入地峡而称之为“内过渡金属元素”），镧族元素彼此非常相似，直到近期，人们才克服巨大困难将它们区分开来。镧族元素彼此近似的特性，使人感到真不值得花大力气去区分它们，大自然似乎用不着这些元素去创造生命，人类也只是在最近才发现了镧族元素的个别用途。其中之一是用作电视机显象管的介质，将电子束的能量转变成彩色的可见光。

狭长岛屿的南部由锕类元素组成。在 20 世纪 40 年代执行发展原子能的“曼哈顿计划”以前，王国的领土还没有超过南方海岸上铀的领地（也许在遥远的星球上除外）。“曼哈顿计划”实际上是一项在这个岛屿上开垦荒地的计划，一些所谓“超铀元素”的发现和大量生产拓展了王国的领土，使南方这个狭长岛屿得以完整出现。一项类似的拓荒计划同样在大陆上施行，因而每隔几年南部海岸就会向旁侧地区扩大一些。但这些扩大的地区多数没有什么用处，因为它们很不稳定，存在的时间很短。

从卤族元素直到惰性气体所在的东海岸还有一道反映化学活性的急陡坡。我们有必要了解为什么这两个相邻区域在特性上有如此巨大的不同。从地理学角度讲，有理由说明地形的急剧隆起。从化学上看，也有理由说明化学活性从惰性气体的海岸到极其活泼的卤族元素高地的激烈上升趋势。现在我们必须解决这个问题。

惰性气体基本上不参与一切化学活动，这并不意味着它们是王国中无用的领地。在某些情况下，正是由于缺少活性而使得它们有用。当普通大气甚至是纯氮的气体仍显得过于活泼时，可以用惰性气体提供局部的惰性环境。惰性气体某些其他的物理特性也使它们成为可利用的气体。其一是氦的沸点非常低，当需要特别低的温度时，氦可以成为有用的制冷剂。另外，通过惰性气体放电，能够发出艳丽的色彩，这一现象可用于生产霓虹灯。

王国里只有少数的领地还没有被利用，没有在自然环境或工业上被开发。这里我们谈到的只是一些元素的主要用途和它们的所在地。如果把它们全部列出来，这本旅游指南将成为一部生物化学、矿物学和工业化学的百科全书。在我们的现实世界中，有些地区还没有对全球经济做出大的贡献，同样，王国的有些领地由于种种原因还处于沉寂状态。每一块领地至少在个性方面都有一些小的变化，使它基本上成为有用的领地，也许在某一特定用途上还强于相邻地区。因此一个地区尚未开发必然有一些原因，而不在于元素

本身的固有特性。

一个地区的元素未被开发，一般说来有两个原因。一是这种元素存在的数量极少，人们对它只有概念上的了解，而不知它的储量。钷和砹的情况就是如此，它们属于超微量元素，没有指望大量开发。据估计，在任何情况下整个地球只有约 17 个钷的原子。在南部海岸上目前开垦过的地区里，各种超铀元素的数量预计也类似，同样不太可能去开发它们。二是有些元素具有放射性。东南方边境处的铀是王国中稳定元素的前哨，其后的元素都具有放射性。王国南部边境和南方狭长的近海岛屿（锕类元素）是危险地带，到处都有放射性，例如，氡虽然丰富，但这一危险的放射性气体不具有促使人们去利用它的特性。整个南部海岸都有骷髅图形标志，警告人们回避。在这里，化学家们的兴趣减退，警惕心抑制住了他们的求知欲。

3. 自然地理

就像在真实的国土上观看景色和地形一样，对王国的特征如果只是走马观花式地去浏览，那意义就不会很大。要深入了解王国各个领地以及潜在的变化规律，必须进行测量。有些测量比较简单，有些测量则需要较先进的技术。但就一般情况而论，我们可以给每一块领地编上号码，用数字表示地形在某一方面的变化。与制作真实的地形图一样，先测量海拔，然后用颜色或者用模型显示地势的升降。还可以用颜色和等高线表示其他一些特征，如人口密度或土壤酸度变化。

在这一节里我们将要对王国地形做第二次想象，用海拔来描述各种性质的变化。既然这是一个想象中的王国，一片化学家所幻想的国土，描述它时就不需要有所限制，地势可以按照我们想要的特征上升或下降来描绘。我们已经看到根据化学活动性强弱用想象模拟地势升降的例子，东部的急陡坡是由卤族所在的平原地带下降到惰性气体沿海地区所形成的。在此以前，我们还谈到过另一处想象中的海拔，那里我们所描绘的北部海岸在物理性质和化学性质上与处于它南面的高地大不相同。叙述中未做实际的定量，只简单地采用了象征手法。然而，我们现在要描绘出以明确的物理测量所获得的具体数值。现在想象的地势高度和深度要比以前真实得多，虽然不是实际的高度和深度。

全面探测王国的自然地理还要求我们采取另一个重要步骤。到现在为止，我们已经从空中大体上对王国进行了观察，并从远处看到各个领地以及它们起伏的变动规律。我们已经对元素做了现象上的分析，分析了它们的外貌、形态、色泽和物理状态。现在我们应该降落到地面上，在降落的地方我们可以详细研究这个国家的结构，并通过想象把实际上需要使用精密仪器仔细观察和测量的情况描述出来。也就是说，可以把构成元素的各种原子的形象描绘出来，根据每块领地里原子的个性、形状和结构把各个领地区分开来。

原子将是下文中进一步详细讨论的主题，因为原子及原子内部的情况是彻底说明王国的依据。目前我们只需要设想它们具有卵石般的结构，而且每一个指定领地里的每一块卵石都与这个领地里的其他卵石完全一样，但与别的领地里的卵石不同。在王国里，微观结构是原子功能的基础和原子特性的区分界线。尤其原子是以它们的质量、直径和需要仔细观察才能明白的一些特征来区分的。

首先，我们考虑原子的一个简单特性，即它们的质量。原子的质量都很小，大约在 1×10^{-31} 千克到 1×10^{-29} 千克之间，通过对它们的相对值进行研究要简便得多。为了方便起见，我们假定氢原子的质量为 1，然后拿其他元素的原子质量与这一值相比。例如，1 个碳原子的质量为 1 个氢原子质量的 12 倍，那么它的相对质量就是 12；再如，铀原子的质量为氢原子质量的 238 倍，那么它的相对质量就是 238。现代的化学家们已经改进这一相对比例的确定方法，然而，人们常称为相对原子质量的数值非常接近于我们用这种较原始的方法所获得的数值。

现在请您根据海拔高度来想象王国的地势，这一海拔高度即代表了各个元素原子的相对质量（见图 3）。想象时，应将王国西北端到东南端危险的放射性地区的一段地势看成一向上的斜坡。南部海域的近岸岛屿也由西往东向上倾斜，南部的狭长地带始终高于北部的狭长地带。任何一位在陆地上朝

正东方向旅行的游客都会发现，地势是在上升；任何一位游客在王国的任何一块领地朝正南方向旅行时也会发现，地势同样明显上升。氢元素所在的北方边远地区和氦元素所在的东北海角海拔最低。此外，锂元素所在的西北部岬角略高一些。几乎在所有的地方海拔都均匀地上升，旅游者在南部海岸线上所处的位置比地势很低、海水环绕的北海岸高出 200 倍以上。在王国的这一奇特景象中，人们发现远在东南方开垦出的新土地高耸入云，在具有放射性的南部海岸线上形成高不可攀的悬崖峭壁，甚至比南部岛屿上的山峰还要高。

有几处地方，那里海拔高度的变化会使粗心大意的行人绊倒。在东部矩形地块上的碲与碘之间，在地峡上的铜与镍之间，地面不是连续上升而是出现一些下沉，因而会使心不在焉的人跌倒。地表上这种微小的断层显然需要像地质工作者那样作出相应的说明，但对于周期王国在上述地面出现的下沉现象，我们却只能留待继续观察以求得到解释。更扼要地说，地面上的微小“断层”是一种征象，提醒我们注意原子质量不能作为元素的基本特性。因为，原子真正的基本特性是与其物理、化学方面的所有性质相关的，根据基本特性才能对周期王国作出彻底的解释，而这种基本特性是绝对不容许产生任何“断层”的。显然，王国地势总的来讲是平稳上升的，因而原子质量与元素真正的基本特性相关；但王国地势又确实存在有小的“断层”，所以，原子质量又不能作为元素真正的基本特性。尽管如此，对王国的拓荒者来说，了解东南地区的原子比北面和东面的原子更重，的确很有用。他们可以知道，南行和东去需要向上爬坡，而反过来向西北的海角前进却总是往下坡走。

原子直径同样反映了原子特性。原子直径的变化远远小于原子质量的变化，例如，重元素铀原子的直径只是最轻元素氢原子直径的 2 倍或 3 倍。一个典型原子的直径约为 0.3 纳米。1 纳米等于十亿分之一米，即等于百万分之一毫米。这几乎小得连点影子也没有了。所以，以高度表示原子直径的地势比代表原子质量的地势要平坦多了（见图 4）。这样的地势，使我们直观地感到直径不是原子的基本特性。尽管如此，绘制在图上的原子直径变化，仍将使我们了解更多的情况，正如下文所述。

概括地说，代表原子直径的地势由北向南上升，自西向东下降，但有很多例外。初看起来，这与直观很矛盾，原子由西北向东南越来越重，体积也越变越小。这一明显的异乎寻常的趋势在由西往东穿过地峡时有一个十分重要的例子。当我们往东行进时，地面逐渐下沉。在进入东部矩形地块前达到最低值，而后上升进入东部矩形地块，再后又重新向下倾斜。地面有如此明显的下降趋势，想必王国内部有什么地质因素在起作用，这又是一个有待解释的问题。

王国地势还有一种特色。虽然从地势上看，原子质量几乎毫无例外地从北向南逐渐增大，而反映原子直径的地势在南部地区却近于平坦。事实上，在南海岸内侧甚至有些倒退，靠近铂和铱的地区比紧靠它们北面的地区要低一些。这一趋势与它们原子质量的趋势相反。显然，反映原子直径的地势表现出一些复杂的潜在因素的作用，对此，我们目前还难以推测。但这些作用对地势特征具有意义深远的影响，因此可以预料它们对元素特性是有影响的。尽管如此，这种复杂的变化掩盖不住这样一个事实，即地势高度的变化并非无规则。王国的地势表现出平缓趋势，河谷渐渐上升，高原慢慢下降，峡谷、沟壑和山峰有规律地排列着。这都是潜在的地质因素在起作用。王国

存在着周期性变动，元素的排列有其根本的原因。

现在，我们从研究原子的领域返回到现实世界，接触一下日常的实际情况，考虑元素的密度（单位体积质量）（见图 5），特别要弄清西部沙漠金属元素的密度。我们设想有一张薄板覆盖在西部矩形地块和地峡之上，薄板高度就是代表元素密度的地面。概括地说，这一想象的薄板由钾所在的西北海角一直向上延伸到铅所在的东南方沙漠边缘。地势隆起并不均匀，王国南面高耸的山脊构成地势的一大特征，顶峰靠近铯和钡。最后两个元素的密度最大，每立方厘米接近 22 克。铅是典型的高密度金属之一，但每立方厘米只不过 18 克。与此相反，远在北方的锰，其密度只有每立方厘米 3 克。

现在，我们对王国的自然地理已经有了足够的了解，可以对元素实质的特性变化，即元素密度变化，作一初步解释。我们知道，原子质量从王国的西北部到东南方逐渐增大，在东部沙漠地区尤其如此。我们还知道（但尚不能解释），虽然原子直径有变化，但这种变化不大，特别是由北往南，随着原子质量的增加，直径增加不甚明显。质量大而体积小，密度当然就大，我们可以预计南部海岸和海岸内侧的元素密度特别大。当然，只有在了解原子直径变化的原因之后，我们才能深入了解密度变化。尽管如此，我们已经先行一步，对元素特性作了某些科学的描述，并证实了解释某些现象的观点。

最初，在我们尝试用自然地理学方法进行解释时，主要讨论王国的西部沙漠地区，是因为考虑那里全是固态元素，都由球形卵石状的原子构成，而原子又都以几乎相同的方式紧密结合在一起。其实，这并不完全正确。根据对这一地区的精确鉴定，可以发现各种原子的结合方式稍有不同，有些原子有 8 个最接近的邻居，有些原子则有 12 个。不过，在结合模式上相差甚微。与此相反，东部矩形地块中的元素却在结合方式上更为多样化，而且一般而言，邻居较少，结构松散得多，虽然有可能找出原子本身的密度与原子直径和原子质量之间的关系，但困难很多。

我们在以自然地理学的方法观察王国后，现在要戴上另一副眼镜，以一种不同的眼光来观察它。我们把视线从那些卵石块的质量和大小转向它们所经历的某种变化。化学毕竟是一门涉及物质变化的科学，所以我们一定要研究王国这方面的情况。在这一阶段旅行中，我们仍将把注意力放在原子所经历的最基本的变化模式上，并绘制出代表王国这一特性的地图。我们会再次看到王国的周期性变化。在适当的时候，我们还会看到王国的布局甚至能反映出最复杂的化学变化类型，而周期性正是王国布局方式的基础。特别是，我们对王国要建立一种观点，使我们得以衡量碳的潜在效能，从而认识碳为什么是生命所必不可少的。

我们每次涉足王国地面都会产生一种新的概念。在最初踏上王国领土时，我们发现了大地的构造，并由此引发出关于元素的原子结构概念。现在，要透视地面下的结构，就需要离子的概念了。离子是获得电子或失去电子的原子，因而带有电荷。电子是带负电荷的基本粒子，是原子的组成部分，并且基本上是形成原子化学特性的主要因素。原子失去电子，就带正电荷，失去几个电子，就带几个单位的正电荷。带正电荷的离子叫作阳离子（cations）。一个原子获得若干个电子时，就带负电荷。获得 1 个电子，就带 1 个单位的负电荷；获得 2 个电子，就带 2 个单位的负电荷，依此类推。带负电荷的原子叫作阴离子（anions），这两个名称起始于 19 世纪，当时，法拉第（M. Faraday）正在研究电流对离子溶液的效应。他发现在有电极的情

况下，各种类型的离子都作与电极电性相反方向的移动（“ion”源于希腊文“旅行者”一词；“cat”源于希腊文“向下”一词，“an”由希腊文“向上”一词而来）。

我们现在要构造的想象中的地势将显示原子形成离子的难易程度。由于有如此之多的化学变化涉及到离子的形成及离子的初始形成，这一地势非常接近于对实际的化学特性的描述。正如我们将要看到的那样，王国存在着复杂而微妙的周期性变化，但这些变化是可以说明的、有规律性的，而不是无规律的变化。

我们先来看一看带正电荷的离子（即阳离子）的形成。某种元素的一个原子形成阳离子所需的能量叫作该元素的电离能。可以采用不同单位表示电离能，但最便于我们使用的是电子伏特（eV），因为我们需要用简便的方法检验它的量值，而得出的数值又不能过于远离1。1电子伏就是1个电子克服1伏（1V）电位差所需的能量。在盒式录音机和小型收音机常用的1.5伏电池中，1个电子由一个电极位移到另一个电极时，释放的能量为1.5电子伏。12伏的汽车用电池中，1个电子从一个电极位降到另一个电极时，释放的能量为12电子伏。1个氢原子的电离能力13.6电子伏。为了使这一能量具体化，我们可以认为氢原子内部的电位为13.6伏，而远离原子直到电子可以脱离原子的那些地方电位为0伏。电离能约处于一个中间值，一般在4电子伏（电位差4伏）到15电子伏（电位差15伏）之间。从电中性原子中移去第二个电子所需的能量总是高于移去第一个电子所需的能量，而移去第三个电子所需的能量则更多。为了使问题简单化，我们只研究第一电离能，也就是从中性原子移去第一个电子所需的能量。

地势图上电离能的标高在4电子伏（铯的所在地）到25电子伏（氦的所在地）之间。图6上有一个容易辨认的大致的趋势，以及需要注意的那些不同的波峰、波谷和波幅（见图6）。所谓大致的趋势是王国的电离能由西往东普遍增大，由北往南普遍减小。例如，碱金属所在的西部沿海地区，从锂的所在地到铯的所在地，电离能由5.4电子伏减小到3.9电子伏。这里有一个明显的化学上的相关性：当从锂的所在地往南到达铯所在地时已经看到，雨水在这一地带激起的反应由比较缓和转为极其强烈。强烈的反应与铯原子极易释放电子密切相关。这一趋势又与原子直径的变化有关。当原子由锂到铯时，原子直径逐渐变大，也就更容易丢失电子。王国正开始以均匀的周期变动代替一系列不连贯的律动。

电离能由西向东逐渐增大的趋势并非完全均匀的，即使随便观望一下也会发现，东部矩形地块各领地的电离能大大高于西部矩形地块各领地的电离能。最复杂的变化发生在地峡处，正如我们将要看到的那样，地峡上各元素复杂的化学反应正是这种复杂变化的映照。尽管如此，地峡上电离能的总趋势是自西向东上升，这与地峡上金属显示出的过渡性特征是吻合的。

西部沙漠的低地势不应让人感觉意外。我们都知道金属的特征是易于传导电流，电流就是穿行于固体中的电子流。之所以能如此，至少原子中的某些电子必须是容易流动的，也就是说，固体中组合在一起的原子必须能把它们的一些电子释放进一个共同的水池，这个水他就像电子释放时产生的阳离子中间的一片海洋。我们不必把这块金属领地内的卵石想象成原子，而将它想象为阳离子，所有的阳离子都沉浸和聚拢在充满电子的大海中。这些电子能够对外加的电场起反应。如果这一电场是由恒定电位差（俗称“电压”）

的电源提供的，比如金属被连接在电池的电极上，电子便会流动而形成电流。如果电场是入射光线（即电磁辐射，也即电场和磁场的振荡波）形成的，那么电子就会对由辐射引起的均匀振荡作出反应，产生电子射线。如果金属面是平坦的，入射象在新产生的辐射中重现出来，我们就能看见镜象。我们自己在光滑的金属面上显出的镜象是流动电子的波动产生的，而这种波动是由我们身上反射出的光线引起的。

从某种意义上说，作为金属，需要具备释放电子的性能。由于越往东走电离能越大，西部沙漠逐渐被东部矩形地块的非金属代替，那里的电离能太大，不可能有电子被释放。元素的电离能不断增大的部分原因在于越向东行原子的直径越小，由于某种原因要从王国东部已发现的紧密的原子中释放出电子就越来越困难。现在我们有了另一个与原子大小有关的化学上的相关性，可见，如果我们能够了解原子直径的变化，那么我们就能够很好地了解电离能的变化情况。

我们不可能指望轻易地发现远在王国东部地区的阳离子，因为那里原子的电离能太大，因此，原子很难逸出电子，也许我们能指望发现阴离子（带负电荷的富电子离子）。阴离子的形成过程要比阳离子的形成过程微妙得多，然而可以测量的是电子附着于原子时的能量变化。这种能量变化称做元素的电子亲和势，它也可以用电子伏特为单位来度量。（1个正的电子亲和势表明1个电子附着于1个中性原子时释放的能量。1个负的电子亲和势表明1个原子获得1个附加电子为克服障碍必须补充的能量。）有些元素，如卤素，具有正电子亲和势，有些元素，如镁和氦，具有负电子亲和势。所有元素在附加第二个或第三个电子时都产生负电子亲和势，因为阴离子和电子都带负电荷，同性电荷相斥，于是需要能量克服斥力。与对待电离能一样，我们将只考虑元素的第一电子亲和势，也就是考虑1个电子附着于中性原子时发生的能量变化。

描述电子亲和势变化的地势比我们已见到过的其他地势都缺乏规律。一些地方沉降在海平面以下，那里的电子亲和势是负值，另一些地方明显地隆起，那里的亲和势很大，即当电子附着在原子上形成阴离子时，释放出能量。然而，总的地势仍然可以辨认。虽然峡谷交错，山峰高耸，但峡谷的走向朝着西海岸，而山峰的走向朝着靠近氟的东北海角。惰性气体的沿海平原由于电离能特别巨大，至少在北方的一些地区具有负电子亲和势，因而代表卤族元素的一些高山朝着惰性气体的谷地急剧下降。但这一地势引人注意的主要特点是，山脉聚集在东北部，在卤族元素的附近很高，尤其是在氮、氧、氟、氯附近的东北海角处地势更高。因此这些元素的电子亲和势最大，那里产生阴离子的可能性最大。

电子亲和势与原子直径之间存在一个相互关系，至少，一般说来大的电子亲和势与小而密实的原子相关，这样的原子处在王国的东北部。要了解阴离子的形成，更广义地说要了解电子附着于原子的更多情况，我们需要了解为什么亲和势与原子的大小有这种负相关性，然后了解原子大小的变化。

对大地构造和各地区自然地理的勘察，使我们能够看出各个领地的位置和它们的某些特性之间存在着相互关系，周期王国并不是由一些漫无规律的领地七拼八凑起来的，而是体现着某些潜在的趋势，这些趋势以元素的不同特性显现于地表。

以上所述可能有助于我们回到更高的认识程度上，来总结一下对王国的

不同见解。第一，关于原子质量：原子质量看来肯定与元素所在位置有最密切关系，它由西北向东南逐渐增大，只是偶而稍有减小。其次，关于原子直径：在这一方面，元素直径在往南的方向上逐渐增大，由西向东越来越小。原子直径的变化比质量变化小得多，变比方式也更为复杂，在大范围的平稳趋势上也有局部的下降、凹陷和鼓凸。更为重要的一点是，南部海岸的元素及其内陆上的邻居的原子半径均小于从北方简单推断得出的结果。西部沙漠上元素的密度总的说来由西北向东南逐渐增大，最大的密度是在原子异常小的领地，也就是南部海岸的各个元素以及它们内陆上的邻居。元素性能与电离能的关系多多少少粗略地反映出原子直径的变化。金属的电离能低，最低处在西南方的远处，靠近元素铯。接近东北海角的元素电离能最高，我们不能指望那里的元素会轻易地产生阳离子。电子亲和势的变化方式更为复杂，高值之后往往出现低值，甚至是负值。尽管如此，从总的趋势上看，最高值是在东北，尤其是在靠近氟的那些元素的地区。虽然我们不能指望这些元素会产生阳离子，但我们能推测它们会产生阴离子。

第二章 历史

4. 发现过程

众多的化学家、物理学家和工程师曾为发现王国领地做出了贡献。有些人偶然发现了一种新元素；另有一些人已计划勘察旅行，期望能向世人宣告和证实某一特殊领地的存在。有些勘察相当于开疆拓土，因为在南部海岸完全有可能增添新的领地。

许多元素的发现过程早在古代已被人遗忘。是哪一位天才首先分离出铜，开辟了社会前进的通道？是谁最先鉴定出铁，加快了人类社会的进程？这些都无人知晓。化学界一些探险家的名字，大约从 17 世纪以后才流传下来，而在此以前元素的发现者，与古代陆地的发现者一样；留下的是无名氏。甚至有些领地名称的由来实际上也不知道，或者只能是妄加推测。近些时期以来，领地的命名成为发现者的特权（虽然这一特权正在被一些委员会所占有），而且新元素名称的来历也有较可靠的记载。这方面仍然有些争论，因为有时并不完全清楚究竟是谁首先提出对王国海岸某一特定地段的命名，一些国际委员会也在设法解决这方面的矛盾。

多数元素并不是懒懒散散凭着运气就能发现的，探索者不能像采矿人淘金和洞穴人拾到一块光彩的石头或陨石那样，偶然发现某个新领地。王国中多数新元素的发现都是对艰辛的勘察工作的回报，勘察者正是利用了新技术的力量把人类知识推向新的领域。最初利用的新技术是火，火能使化合物分离开来。当初利用火时，还令人难以理解，看上去就像变魔术一样。例如，只是在用火燃烧某种石头时，才获得了成块的铁。小心地控制火，不让火烧得过猛，燃烧物经过缓慢燃烧就会剩下另一种元素——碳（即木炭）。人们发现，燃烧炭可以得到更强烈的火焰，使这种火焰作用于某些石头，可以余留下一些金属。王国地峡上与铁邻近的锡、铅和另一些元素正是以这种方式发现的，并依次发现了其他的元素。

概括地说，新元素的发现有赖于新技术的发展，而新发现的元素又反过来引发更新的技术。利用这些新技术可分离出原先只存在于化合物中的元素。人们曾竭力想辨认出某一新物质是否为一种元素，但结果还是错了。现代技术可以消除这种认识上的分歧。现在，我们可以取某一试样，使之分裂成原子，然后测定原子质量，并确定它们是否都相同，即所得样品是否为单一元素。很久以前，根据定性资料推断是确定元素的主要方法，这是人类智慧力量值得纪念的成就，因为正是依靠这种方法才使我们对周期王国有如此之多的了解。

有些元素，最明显的是金、铜和硫，能以天然形态出现。在这些元素中还有地球大气层的气体。然而，要鉴别大气层，则需要一些先进技术。大气是若干元素（以及这些元素的某些化合物）的混合物，这在王国历史上很晚才认识到。即使最简单的元素氢，除了被地下岩层封存的纯氢气囊外，地球上几乎也没有发现它的天然形态。氢是宇宙中最丰富的一种元素，然而和其他所有元素（除了氦很丰富但不活泼外）一起，都被认为数量很少并对宇宙有严重的污染。直到 20 世纪早期，人们才承认氢在宇宙中普遍存在的事实。与哲学家的预言相反”，天文学家研制出各种形式的分光镜，用以监测物质对辐射的吸收和发射的特性，以此测定那些远离地球的天体的成分。

1774 年，有人利用遥远的太阳这一核子火焰发现了氧。18 世*1835 年，实证主义哲学家孔德（Comte）在谈到太阳和其他天体时曾经断言：“我们相信有可能测定它们的形状、距离、大小和运动，却无论如何也不可能研究出它们的化学成分、矿物结构，乃至生活在它们表面的有机物。”哲学家坐在椅子上空想的推断，就是如此。纪，一位英国化学家，也是一位牧师，约瑟夫·普里斯特利（Jeseph Priestley）利用透镜把太阳光聚焦到装有氧化汞的小瓶上，产生了一种能使人提神的气泡。把普里斯特利定为氧的最后发现者，也许是最合适的。因为，在此之前也曾有人报道过氧的制备，但并未说明它是一种元素。事实上，瑞典化学家卡尔·谢勒（Karl Scheele）比普里斯特利还要早两年就发现了氧，但因未及时公布而失去了本应享有的领先权。与地球上发现新领土的情况一样，后人总是纪念最后发现那个地区的人。早在古怪守旧的隐士兼化学家亨利·卡文迪什（Henry Cavendish，剑桥大学的卡文迪什实验室就是用他的财产建立的）承认氢是一种元素以前，氢就被制备出来了。鉴别出氢和氧以后，就像 1781 年卡文迪什所做的那样，很容易证明由氢和氧这两种气体结合而成的水不是一种元素。

19 世纪初期，又有一项非常特殊的技术进展，至今仍广泛应用于工业生产，那就是电解法。所谓电解法就是借助于电流使物质分解。18 世纪末，由于伏打电池和其他一些由化学反应产生稳定电流的装置已研制成功，通过当时看来十分新奇的电现象去研究能够获得哪些成果，就成为很自然的事情了。当时已了解到电能产生冲击波，那么如果利用电把物体冲击成不同的形状，又会怎样呢？1807 年汉弗莱·戴维（Humphry Davy）在当时英国伦敦大不列颠皇家协会新建的第一个专用实验室里，将电流施加于熔融状的苛性钾（现在我们知道就是氢氧化钾），获得一种活性金属的银色小珠，他把这种金属命名为钾。钾位于周期王国的西海岸，是用电解法分离出的第一种金属。几天之内，戴维又设法使用同样的方法处理苛性苏打（氢氧化钠），并获得了钾的同族兄弟，命名为钠。钠是钾的北面邻居。在那久远的年代，盛行谦虚之风，如果按现代风气，他很可能要在这些名称之前冠以皇家协会、伦敦、甚至汉弗莱·戴维等名词。

电解法很快就应用于各类物质。1808 年，戴维用电解法从镁的化合物中提取出镁，随后又提取出钙和锶。在这一重要技术的影响下，对王国的认识达到了当时的最高水平，王国领地有了空前的扩展，周期王国在欧洲大陆取得了诸多方面的发展。探索者们绘制出卤族元素所在的王国东部海角的地图，恢复了对氯和溴的认识[谢勒于 1774 年发现了氯，戴维于 1810 年辨认出氯是一种元素并加以命名，安东尼·杰罗姆·巴拉尔（Antoine Jerome Balard）于 1826 年发现了溴]。王国东部矩形地块山峰上活泼的氟，直到 19 世纪后期仍未查明，更没有在图上绘出，但这座“山峰”最终于 1886 年被亨利·穆瓦桑（Henri Moissan）用电解法征服，使之加入了周期王国。

到 18 世纪 60 年代，人们已对周期王国的 60 多个领地有了认识，而绘制王国地图的一大好处是使人们可以联想到还有一些领地应该出现在什么地方，勘察者应该往哪个方向安排他们的旅程。此外，王国并不是由一些领地胡乱拼凑起来的，而是一个由许多同族邻居组成的国家。所以，只要留心邻居们的特性，就至少可以概括地推测出，或在某些方面详细地推测出被遗漏领地的特性。德米特里·门捷列夫（Dmiiri Mendeleev）是周期王国的主要历史人物之一，他于 1869 年即基本上按照现今的方式划分了王国，并证明了

上述方法发现新领地的效率。例如，门捷列夫辨认出靠近硅有一个尚未命名的空白地区，他称之为准硅（eka-silican，eka 在梵文中是 1 的意思），并根据该空白区所要求的条件和对硅的认识推测了准硅的特性。当德国化学家克莱门斯·温克勒（Clemens Winkler）于 1886 年发现这块领地并称之为锗时，证明了门捷列夫基本上是对的。准硼（即钪）和准铝（即镓）的情况也一样。虽然钪在 1876 年已为人所知，但到 1936 年才被分离出来。镓于 1875 年被发现。玛丽·居里（Marie Curie）是一位坚韧不拔的女探索者，她根据镭北面邻居钋的特性，对镭可能具有的特性进行推测，并从数吨沥青铀矿（一种不纯的铀矿石）中分离出放射性的镭。

这种逐步探索的方法是很不错的，但有时也会失败。王国东部矩形地块上就曾有过引人注目的例证。我们知道，王国西海岸有一座陡峭的悬崖，这是由非常活泼的碱金属在那里形成的，矗立在西部沙漠的边缘，该悬崖内侧是由碱土金属形成的稍低的山脉。在王国东部矩形地块的东边缘上与这些西部的活性元素山峰相对应的首先是元素氧和硫的领地，然后是高高的卤素山脉，情况似乎和遥远的西部一样，卤素山脉应旋即伸向空荡荡的大海，但王国的这种对称性完全是一种错觉，因为在卤素山峰的低处还存在着稀有气体，即后来被称作惰性气体的海岸地区。

此外，还有一件意外的事。1894 年，化学家威廉·拉姆赛（William Ramsay）和物理学家洛德·瑞利（Lord Rayleigh）注意到从含氮化合物分解出的氮与从大气中分离获得的氮在密度上有差异（应该说明的是，这种现象一直未完全被承认，直到 1785 年，卡文迪什推测出可能有一种不活泼的气体，但他对推测没有继续进行验证）。瑞利猜想，这种密度上的差异，是否意味着含氮化合物中可能还有一种较轻的物质存在？拉姆赛则持相反的观点，他猜想从大气中获得的气体氮可能混杂有一种较重的气体。经过一段时间，他发现能够把大气中的“氮”分离成真正的氮和另一种气体，后者甚至更缺乏活性，由此，他发现了氩（该名称来自希腊语“懒惰的”）的存在，东部海岸边缘低地的第一块领地露出了它的外貌。正如我们已注意到，氩一点也不稀有，大气中氩的含量甚至比二氧化碳还要丰富，意想不到的是王国地势毫无迹象表明氩元素的存在。当我们转而考虑王国的结构，即王国的构成原理时，我们就会了解到，氩原本是可以预测的，因为对王国地下结构来说，氩定然存在。不过，1894 年王国的地下结构尚未被发现，惰性气体所在的东海岸地带就像是一个被遗忘的世界。顺便提一句，这种地下结构模式排除了在西部悬崖那边也存在相应的地势低平而被遗忘的世界的可能，所以年轻的考察者不要浪费时间去探索碱金属西面有些什么，而年长的考察者也不必对此进行推测。王国很可能有一个亚特兰蒂斯岛，但它肯定不在西面。请继续往下看。

氩的发现使人们认识到东海岸区域还有另外一些领地，于是很快就发现了氦、氖和氙，这些元素都是由拉姆赛于 1898 年发现的。北部海滨地区孤独的海角上的氦早已发现，但不是地球上发现的，而是发现于太阳，并因此而得名。从某种意义上讲，氦的发现是一件很不寻常的事情。首先，氦大约占宇宙元素的 25%，但它潜藏在暗中不露面，一直没有人注意它。直到 1868 年的一次日食，人们才使用光谱术发现了它。其次，尽管氦如此丰富，却一直未能在地球上找到它，直到 1895 年拉姆赛报道说，借助于加热铀矿石发现了一种新奇的气体，才分离出了氦气。第三，虽然气体氦最先发现于太阳这

一局部宇宙中最热的地方，但实际上氦却促进了最冷的技术领域的发展。氦气经冷却加压后可变成液态氦，液氦是低温实验和低温工艺不可缺少的物质。直至最近，液氦仍然是实现超导的唯一途径。

进入 20 世纪，东部海岸只剩下一个地区有待发现。又是拉姆赛开辟了通往这一领地的道路。拉姆赛于 1908 年分离出放射性气体氦。当然，拉姆赛和一批化学家共同开展工作，有些发明是他单独完成的，有的尚有争议，但王国中其他整块地带被发现还没有如此多地归功于某个个人。

20 世纪中叶，由于战争的迫切需要，勘测周期王国的工作发展十分迅速。20 世纪 10 年代，为制造原子弹而制订的曼哈顿计划同时也成为一项巨大的开垦计划，在王国南部海域拓展了王国的领土，在那里找到并辨认出一些新的元素。首先，在南部海域向南开拓了狭长的近海岛屿，即发现了锕类金属。曼哈顿计划开始时，位于岛屿末端的元素是铀。但只要把这种元素适当地组合成铀堆（当时的叫法），即现在的原子反应堆，便具有产生新元素的潜能。最初，铀产生出镭和钚，于是岛屿的南海岸开始向东扩展。甚至南方岛屿北面的狭长地带（镧族元素），也从其南面领土的扩展中受到益处。人们研究出一些特殊方法，把几乎相同的锕类元素一一分离开来，并将这些方法应用于其北面的狭氏地带，又大大促进了镧族元素的分离，尤其是色谱法，可根据核素穿过某种粘性介质所需的时间不同来分离元素。

稍后一些时候，人们开始采用合成法来开发王国领土，即用较简单的成分来构成元素。执行曼哈顿计划的另一项结果是人们已能使用一些设备装置研制出王国南部海岸的高瞬变元素，其中包括使用回旋加速器、同步加速器和线性加速器。从那些基本无用的元素中任选一种制造出几个瞬变原子，就如同要求拥有王国的整个新海岸，或是制造那些太阳系任何地方都不存在的种种物质。要制造新的原子，就要使原子撞击原子。如果撞击成功，它们就混为一体并在几分之一秒的瞬间粘着在一起，形成某种新元素的原子。

靠近王国南方前哨阵地可能有一个尚未被发现的亚特兰蒂斯岛。现行的科学观点认为，虽然王国南部海岸由瞬变元素的领地组成，但更往外去，在不稳定的海洋中存在着一个稳定的岛屿，岛上的元素至今无人知晓，而这些元素或许比我们现今努力制备的那些元素存在得时间更长些。几乎可以肯定，这一岛屿如果被开发也会由于放射性而不适合人们居住，并且这些新元素的原子只能持续几个月，所以这个地区的生命短暂，也基本上没有用处。但无论如何，这足以鼓舞那些寻求原子能的哥伦布们扬帆驶向这些地区，即使仅仅对这些地区稍有了解，也是无法估价的成绩。

5. 领地的命名

对王国的研究成为一门学科以后，各个领地的命名也在一定程度上系统化。如前所述，除了某些适当的限制，领地的命名一直是发现者的特权，那些限制大都属于常识性的，无价值的词（如米老鼠）、亵渎神灵的词和猥词均在回避之列，无论如何不能采用。但由于措词上采用了诙谐或无心的玩笑话，命名中仍存在纰漏。如镓(gallium)，或许是它的发现者法国人 Le Coq de Boisbaudran 命名的，而更可能是取自拉丁文 gallus 一词，意为公鸡(cock)。不过，一些委员会正在加强对王国狭长地带的工作，希望规范命名的程序。这一愿望目前特别强烈，因为有些国家为开发南部海岸可能从科学预算中拨出大量款项，而南部海岸是唯一需要有新名称的剩余土地。（虽然王国的其他一些地方，偶而仍然有用老的名称拼凑新名称的现象。）

在这里回顾一下历史或许有好处。近年来，有人设计出一项命名方案，取消以人名为领地名称的方法，使命名系列化，而不再是个人妄自尊大和沽名钓誉的手段。现在，歌功颂德和骄傲自大的命名都被摒弃，代之以平凡的命名方式。例如，有人把第 1 号元素氢称做 unium，把第 2 号元素氦称做 bium，把第 10 号元素氟称做 decium，把第 100 号元素镱称做 unnilnillium，并依此类推。目前已开发到第 107 号元素 unnilseptium 和第 108 号元素 ununniloc-tium。赞同这种命名方法的说法很多。我的表述可能有点不对，但应当理解这种方法的真正目的。首先，并不是想要更换王国中已为人所熟知的名称，好像要把美国重新命名为 1 号国家，把英国改称为 44 号国家似的，或者要像电话号码那样去排列元素的次序。确切地说，系列化的命名可使考察者便于说明那些尚未命名的元素。如果南方确实有一个亚特兰蒂斯岛，那么未来发现它的考察者就有特定的术语讲述岛上领地的特征，而无需事先揣测某一天某一领地是否会用阿蒙森(Amundsen)和斯科特(Scott)的名字命名为 amundsenium 或 scottium*。只要国旗插上领地，无意义的命名也就成为何意义的命名而留传后世了。

比这种独具匠心的系统命名法有趣得多的是一些杂七杂八的命名法。长期以来，领地的发现人运用他们的想象力，或许由于缺乏想象力，把一些凑合起来的名称加给了王国。古时候的一些名称就像欧洲许多国家的名称一样，它们的来历随着时间的推移，或者已被人们遗忘，或者只是依稀可忆，其中包括硫(sulfur，源于梵文 sulvere)、铁(iron)、金(gold)、银(silver)（源于古英语 iron, gold 和 seolfer）。铜(copper)被发现已有几千年，它的命名取自塞浦路斯的拉丁文名称 cuprum，因为那里盛产铜。

我们经过史前时代，来到有历史记载的年代，这时已有完整的记录，对于王国更多的领地，可以有把握地推断它们的名称由来。我们知道戴维(Humphry Davy)所发现的两种元素钠(sodium)和钾(potassium)的名称取自于碳酸钠(soda)和碳酸钾(potash)。沙漠偏东的金属起名情况也相同。钙(calium)的名称取自于氧比钙(拉丁文称做 calx)；镁(magnesium)的名称取自于氧化镁(Magnesia，希腊塞萨利的一个地区)。转过来到达东部矩形地块，氮(nitrogen)的命名是因为认识到它产生于硝酸盐(nitrates)。它的东面邻居氧(oxygen，所谓“酸的形成物”)的命名则是一种误解。18 世纪晚期安托万·拉沃西尔(Antoine Lavoisier)命名氧时，人们普遍认为氧是酸类的一般成分。这一观点后来被推翻(氢和氯的化

合物盐酸则是一个相反的例子)。但选定的名称,就像给小孩起的名字那样,一直被人叫着。

有些元素是根据颜色命名的。两个突出的例子是氯(chlorine)和碘(iodine)。氯是淡黄绿色气体,取自于希腊文 *chloros*,意思是“黄绿色”。碘是紫色固体,取自于希腊文 *ioeides*,意思是“紫色”。*阿蒙森和斯科特是最早的南极探险家,这里既是人名,也是南极的两个地名——译者注另外有些元素虽用颜色命名,但它们的颜色并不是立刻可以看出来的。例如,铷(rubidium)不是红色的元素,其名称取自拉丁文 *ru-bidus* 一词,意思是“深红的”、“发红的”,它具有西部沙漠中典型金属的银灰色。不过,铷的化合物燃烧时会发出红色的光辉。铯(ce-sium)的情况也一样,它燃烧时发出天蓝色的火焰,命名时即用拉丁文 *caesius* 一词,意思是“天蓝色”。铊(thallium)取自于拉丁文 *thallos* 一词,意思为“嫩绿色”,用在这块领地上是因为这一元素的化合物能发出嫩绿色的光辉。有些领地根据特征命名的意义更为深刻。例如,地峡上的钒,它能构成一系列彩虹色的化合物,这一美丽的元素是以斯堪的纳维亚美貌女神的名字命名的。色彩丰富的铬(chromium)取自于希腊文 *chroma* 一词,意思是“彩色”,同时也反映出它的一系列化合物具有鲜明的色彩。铱(iridium)取自于拉丁文 *iris* 一词,意思是“彩虹”。铑(rhodium)取自于拉丁文 *rhodon* 一词,意思是“玫瑰”。

有不同的感觉就有不同的命名。嗅觉是化学探索者的忠实伴侣,有些元素凭嗅觉命名也就不奇怪了。香味很少是元素的属性,嗅觉灵敏的反应通常是皱眉。例如,溴是东部矩形地块上雾气腾腾带有刺鼻气味的湖泊,它取自于希腊文 *brome* 一词,意思是“恶臭”。在地峡上再往西走是锇(osmium),它也是一种有臭味的元素,是由希腊文 *osme* 一同命名,意思是“臭味”。

许多元素的命名与其产地密切相关。锶(strontium)依照它的产地苏格兰的斯特朗廷(Strontian)命名就是一个例子。此外,还有许多同样的例子。以大陆的名称命名的元素有:铕(europium)借用欧洲(Europe)的名称,镅(Americium)借用美洲(America)或北美的名称命名。到目前为止,还没有元素借用亚洲、非洲或澳洲的名称命名,估计也不会有用北极或南极洲命名的元素。

许多国家的名称和它们的地理特征经过改头换面也隐藏在王国一些元素的名称中。冬季的夜晚我们愉快地坐在炉边猜谜,也许会破解出其中的奥秘来。钪(scandium)取自斯堪的纳维亚(Scan-dinavia)半岛的名称(拉丁文为 *Scandia*),钫(francium)取自法国(France)的名称,锗(germanium)取自德国(Germany)的名称。这些都容易识别。比较难的是铼(rhenium),它以莱茵河(Rhine,拉丁文是 *Rhenus*)的名字命名。还有钌(ruthenium)以俄罗斯(Russia,拉丁文是 *Ruthenia*)的名字命名。州和城市与命名的关系比较容易辨认,其中包括镅(californium)和锫(berkelium),这两种元素的名称确认了加利福尼亚大学伯克利分校对王国的开拓所起的巨大作用。尽管命名时常有改头换面的做法,但从词源上分析,城市的名称仍然隐约可辨。例如,地峡西部地界的铪(hafnium)只是把哥本哈根(Copenhagen,拉丁文称 *Hafnia*)的地名稍微改动了一下。钬(holmium)或许较易识别,稍作思考就可明白,拉丁文的 *Holmia* 就是斯德哥尔摩(Stockholm)。镱(lutetium)的命名隐含着巴黎的名字,因为巴黎古时称做 *Lutetia*,意思是光明之城。此外,王国中没有一处地方比瑞典斯德哥尔摩郊外的小镇意特

贝尔 (Yt-terby) 更受到广泛的注意。人们对那里的矿产资源的认定可能有些夸大或缩小, 换句话说可能传闻失实, 但真实世界中的勘察者已在这个地方发现了王国中的许多元素。例如, 钇 (yttrium) 以及镧系元素镱 (ytterbium)、铽 (terbium) 和铒 (erbiun), 这些元素虽然对世界经济还没有做出大的贡献, 但地球上这一富饶地区还是值得纪念的。

此外, 有些人在王国中得到永久的和应有的纪念。我们已经知道勒科克 (Le Coq) 在镓的命名时闹过小的笑话。另有些人与元素并没有直接关系, 却得到了荣誉。南部海岸线以及南海岛屿上南边一条地带 (据我们看来) 应当永远纪念这样一些人: 艾伯特·爱因斯坦 (Alberi Einstein), 封赠他领地铷 (einsteiniurn); 恩里科·费米 (Enrico Ferm), 封赠他领地镆 (fermium); 德米特里·门捷列夫 (Dmitri Mendeteev), 封赠他领地钿 (mendelevlum); 艾尔弗雷德·诺贝尔 (Alfred Nobel), 封赠他领地锿 (nobelium), 他们对元素的发现起了启发激励作用, 而不在于发现元素本身; 欧内斯特·劳伦斯 (Ernest Lawrence), 封赠他领地鐳 (lawrencium), 这位伯克利的科学家发明的核粒子加速器, 至今仍在世界范围内用于王国领地的开发。最近, 命名工作已接近南部海岸的一些地区, 这些地区原子的存在只有一眨眼的功夫, 但却成为科学家的成名之地 (见图 7)。国际委员会赋予这些元素的名称, 在某些情况下与发现者的愿望相左, 仍然引起一些麻烦, 并没有普遍被认同。那里的元素有: Dubnium¹ 是根据俄国人对扩展王国做出重要贡献的一个地点杜布纳 (Dubna) 的名称命名的; Joliotium、Rutherfordium、Bohrium、Hahnium, 分别以皮埃尔·居里 (Pierre Jliot)、欧内斯特·卢瑟福 (Ernest Rutherford)、尼尔斯·玻尔 (Niels Bohr)、奥托·哈恩 (Otto Hahn) 等人的名字命名, 当然, 也有用妇女的名字命名的, 如: 镅 (curium) 和 Meitnerium 分别以玛丽·居里 (Marie Curie) 和莉斯·梅特纳 (Lise Meitner, 哈恩的合作者) 的名字命名。目前, Meitnerium 是王国的最后一块边远领地。

有时也借用神鬼的名字来命名元素。希腊大地女神的儿子泰坦兄弟 (Titans) 力量强大, 因而借用他们的名字为钛 (titanium) 命名。从钷 (promethium) 的名称里可以看出普罗米修斯 (Prometheus) 的名字。罗马神话中的传信之神飞毛腿墨丘利 (Mercury) 用来为快速流动的水银 (mercury) 命名。妖魔鬼怪也粉墨登场, 例如, 镍 (nickel) 取名于德文的 Nicel 一词, 意即魔鬼 (Old Nick) 撒旦。钴 (cobalt) 取自德文 Kobold 一词, 意即妖怪。这样命名是因为炼铜时很难把这两种元素掺进去。有的元素则很难离析, 故而镱 (dysprosium) 取名于希腊文 dysprositos 一词, 意思是“难以提取”。有些元素看来命名有误。除了氧, 我们已知其取名不当外, 还有重金属中的钼 (molybdenum) 取自希腊文 molybdos 一词, 这个词的意思是“铅”; 银白色的铂 (silvery platinum) 取名于西班牙文 plata 一词, 这个词的意思却是“银”。

除了抽象的天神和神话中的人物以外, 天体也被用来为许多元素命名, 用距离最近的天体命名的是硒 (selenium), 希腊文 selēnē 一词的意思是“月亮”。铈 (cerium) 是在名叫谷神星 (Ceres) 的小行星被发现后两天发现的; 钯 (palladium) 大约与名叫智神星 (Pallas) 的小行星同时被发现。颇为奇

¹ 104 号以后的元素, 命名方法各国争论很大, 目前国际上尚未统一, 国内还没有定译——译者注

怪的是，没有用火星和金星的名字命名的元素。南海岛屿上南面一条地带的元素是战争时期为战争目的而发现的，它们以战神的名字命名，例如，钚（plutium）用的是冥王普路托（Pluto）的名字，镎（neptunium）用的是海神兼地震之神尼普顿（Neptune）的名字，钍（Thor）用的是北欧人信奉的雷神兼风雨、五谷之神托尔（Thor）的名字。如果亚特兰蒂斯岛在和平时期出现，那么别的神仙也许会把自已的名字借给它用，我们或许会有以希腊或罗马美丽的女神和爱神阿佛罗狄特和维纳斯命名的金属元素 aphroditium 和 venusium，也或许会有用其他非希腊和非罗马传说中神仙的名字来命名的元素。

6. 国土的起源

王国的各个领地都有各自的形成过程。这些领地并非早就存在着的。在想象的宇宙中，它们像雨水那样从天而降，淌满整个大地。大约 150 亿年以前，宇宙刚一形成，一些元素雨转眼间降落下来。当时标志着宇宙开端的大爆炸，也即大灾变，震撼出时空，属于氢元素的北方近海岛屿从空荡荡的大海中露出，并在那里存在下来。氢是最先形成的元素。在宇宙肆虐的时刻，它只形成了王国的一个小小立足点，但就是这个小小的立足点此后竟成为富饶王国的发祥地。

几乎这个小岛刚在波涛中出现，北方海角也出现了。在波涛汹涌的最初 3 分钟，氢原子之间发生猛烈撞击，原始风暴轰鸣咆哮，雨点稠密，原子熔入原子。碰撞的结果，使王国大陆上的第一块领地，即氢所在的北方海角从波涛中升起。观察这块富饶地区的风景可以发现，氢所属的近海基地是一根耸入云端的擎天柱，氢所在的北方海角也是一根拔地而起的立柱，后者的高度为前者的四分之一。

看，王国只是由两根孤零零的柱子支撑着，王国要富起来还有待时日。光阴一分分，一年年地流逝着，成千上万年过去了，王国依然如故。

虽然物质组成保持不变，但宇宙正在发生另外一些事件。既然氢和氦已经形成，它们虽稀薄但却可辨认，于是发生的事件就可能留下明确的痕迹，留下可记忆、可遗传的东西。由氢、氦两种元素构成的巨大云团弥漫在当时的太空，虽然不完全均匀，但在原子与原子间微弱的引力作用下，密度较大的地区（元素）渐渐形成，并且慢慢地裸露出其他一些元素。宇宙的原始成分不变，但浓缩成块粒，最后，块粒开始形成结构物，原始块粒的最终（或至少是当今的）后代，就是你我。早期的结构物逐渐变大，物质与真空空间的差别也日益明显。早期的物质块粒是不均匀的，在密度较大的巨型云团中，仍存在着一些密度更大的局部地区（元素）。经过相当长的时期，那些密度大的局部地区逐渐形成星球，而包含星球的大区域则逐渐形成星系，形成至今仍高悬于我们头顶的太空。在这些事件发生并形成奇特的团块时，王国北方的那座岛屿及东北海角，依旧孤零零地屹立在那里，因为当时它们仍然是宇宙中仅有的两种元素。

正如后来伴随着技术进步和能量利用而发现大批新元素一样，星球的形成提供了许多新的机会，王国的一些新地区逐渐出现，从而打破了海面上几乎空荡无物的局面。新的地区在远处的西北部浮出水面，形成一条由锂到铍向东延伸的北方海岸线，并横跨至东部矩形地块。于是，氢和氦这一对位于北部和东北部的原始山峰，不再是孤零零的了。

这些新国土的来源，也就是大多数元素的起源，是星云内部扰动的结果。星球形成时，其中的氢原子重新获得相互撞击的机会，并取得了在距今 10 亿年前曾具有的活力。氢原子和氢原子相互撞击，为王国增加了一些氦，使东北海角稍有升高，而北部属于氢的岛屿略有降低，但这种升降变化几乎难以察觉。这种消蚀和增高至今仍在继续，一直要进行到星球消亡为止，因为这一核聚变过程中释放的能量是点亮众星球乃至我们的恒星太阳的燃料。此外，核聚变还产生其他一些元素。例如，氢与氦结合，使锂从海中浮现；锂和氢撞击，或氦与氢撞击，都可产生铍。

有一些专门术语用来说明元素宇宙丰度的分布情况。反映元素宇宙丰度

的地势是依元素所在位置确定的，为了观察王国的这一高低不平的地势，我们需要从氢、氦所在的高处开始，向王国其余起伏不定的较低地势扫视。从氢的高度看，王国的地势几乎始终是由北向下倾斜的平原，随后朝着铁上升，又向下倾斜直到南部海岸地面。可是当我们踏上锂的领地，缓步向东行进时，地面却极不平坦，那里起伏明显，锂、铍和硼处于低地，然后地势又朝着碳、氮和氧急剧上升，事实上，这3种元素在丰度上仅次于氢和氦；再后是稍低一些的山峰——铁。

要了解这些情况，了解我们随后在横穿王国的艰难跋涉中将要遇到的地势起伏，就需要掌握一点点有关原子内部构造的知识。尤其是，我们必须知道，王国里的卵石并不像正常卵石那样坚实，而是有其内部的结构（见图8）。的确，如果你从王国任何地方拾起一块卵石，你可能会对它那犹如蛛丝般轻得难以察觉的重量而感到吃惊。一个原子实际看上去几乎什么也没有。只有超人的眼睛才能看出蛛丝中心的一个微观尺度的小点。尽管这一小点的体积极其微小，但它几乎决定了原子的全部质量，这具有质量但体积极其微小的点就是原子核。就我们所知，原子核是由质子和中子这两种基本粒子组成的，它们紧紧地结合在一起成为坚实的核心。我们说到原子在星球内部相互撞击，实际上就是指这些极微小的原子核在碰撞，核聚变就是质子和中子结合，产生出更复杂、更大的原子核，进而形成一种新元素。因此，我们把周期王国的形成称作“核合成”。在恒星内部发生热骚动时，原子核的稳定性是一个极为重要的问题，因为一颗脆弱的原子核在第二次碰撞时就有可能破碎，而每秒钟要发生10亿次碰撞，为了自身的稳固，原子核必须由足够多的质子和中子结合在一起，形成一种特殊的力（一般称之为强力），借助于这种力，粒子与粒子相互作用。同性电荷之间的排斥力，可以抵消强力，这是原子核内带正电的质子挤在一起时的一种特性。只有在足够的带电的中子提供强力来源，而不致使电排斥力导致原子核分裂时，原子核才能继续存在。具体地说，只是在有足够的质子和中子互相紧紧地粘合在一起时，原子核才能在恒星的骚动中保存下来，这多少有些像在暴风雨中的海面上，一只摇摇晃晃不结实的木筏上的幸存者。实际上，令人惊奇的是，任何原子核都能完好地保持在恒星之中。铍（其核有4个质子和5个中子）和硼（其核有5个质子及5个或6个中子）好不容易才幸存下来，它们在宇宙中含量很少，因为铍和硼的原子核刚一形成，就有许多被震碎了，我们现在所拥有的铍和硼大部分来自较大的原子核分裂产生的碎碴。

对于我们来说，幸而铍和硼存在下来了，因为在形成碳这位“平凡的国王”过程中，通过铍和硼进行核合成是必由之路，最终使人类能欣赏王国。其实，碳原子核还有一些特殊性能，使之能迅速形成。如果不存在这种被称作共振的特殊性能，就不可能有如此丰富的碳，宇宙中的碳就只能是一点点微不足道的元素，所以，没有共振，也就没有生命。

由于共振，形成大量的碳，使碳的丰度在所有元素中居于第三位。碳的形成，还为其他元素的核合成打开了大门，并由此发现了王国矩形地块北部海岸的第二排元素领地，以及地峡上直至铁的一些元素的领地。然而当我们慢慢走过王国这些地区时，我们就会注意到，虽然这里的地势朝着铁所在的低矮山丘逐渐上升，但却出现了地势有规律的交替现象。这时，王国显示出其特性和位置之间的另一种相互关系，高低地势相间出现，交替出现的较高地势区域的元素比介于其中间的元素更加丰富。例如，在北部海岸，碳、氧

和氦是山脊，而氮和氟却是凹陷的地槽。除了有些地方稍有不同外，这一模式遍及王国各处。王国地势总体来说在通过铁所在的山丘之后朝着大海向下倾斜，湮没在南面的波涛之中。南方近海岛屿上也发现了这一模式，那里的地势不是平坦地向下倾斜，而呈锯齿状高低不平。如果真有亚特兰蒂斯岛，估计它的特征也是这样的。

王国地表之所以像沙浪一样起伏，可以从原子核结构的详细情况，特别是从质子和中子在原子核中堆积的方式来加以说明，如果原子核中的质子与中子都是偶数，那么就能形成特别稳定的堆积模式，其稳定性一定程度上比相邻元素的原子核强。

到目前为止，上述情况中存在着两个问题。一是在铁之后原子核变得很大，原子核中的质子和中子相互间不能形成强有力的作用，原子核的稳定性因而减弱。假使一颗恒星燃烧到最后，只剩下铁的灰渣，那么王国的领土就不可能扩展到地峡的第一排元素之外；如果铁像我们前述那样是核合成之路的终点，此后不再有变化过程，则王国领土也只能有现今面积的一小半。第二个问题是，如果在恒星的制约下，王国领土只有现今面积的一半，那么宇宙中也就几乎不会有生命存在了。我们需要的是，王国摆脱恒星的制约而存在，这样周期王国能够继续发展，而且一些偶然的事件能使无机物转变成有机物。

核合成的必然结果解决了上述的两个问题。现在，我们对核合成有较为详细的了解，这对我们来说是有帮助的。当一颗新形成的恒星温度升高到1000万度（107K）时，它开始进入星球生命的第一阶段。这就是恒星生命周期中氢燃烧阶段，在这个阶段中氢的原子核聚变成氦。在太阳这颗中年恒星中，每秒钟约有6000亿千克的氢在经历着这一变化过程。当恒星中的氢消耗掉10%左右时，就发生收缩，恒星中心部位的温度升高到1亿度以上。同时，由于恒星内部的活动，恒星外层被中心区域推开，膨胀的恒星变成一颗红巨星。于是，在星球密度很大温度极高的中心部分开始发生氦燃烧，氦的原子核聚变成铍、碳和氧。这一阶段一直延续到恒星中心部分的氦消耗殆尽，碳和氧所占比例大致相等时才结束。值得指出的是，碳和氧的丰度在宇宙中仅次于氢和氦。生命的基本构造单元，在这一阶段已经形成。

氦的燃烧阶段结束时，星球中心内部区域收缩，温度重新上升。在一些质量足够大（质量至少是太阳的4倍）的恒星里，中心的温度可以升高到10亿度（109K），碳和氧的燃烧得以开始。这些变化过程的结果是，在极重元素的边缘部位形成一些元素，包括钠、镁、硅和硫。现在，王国陆地上的一些元素形成了。

当恒星中心部分的碳和氧消耗殆尽并富含硅时，便开始了硅的燃烧阶段，硅转化成硫、氩和其他一些更重的元素。如果恒星通过收缩，能使内部温度升到30亿度左右，那么恒星便开始了它生命周期中所谓的平衡阶段，铁附近的一些元素得以形成。铁在所有元素中，其原子核最为稳定。如果一颗恒星能燃烧到生命的终结，那它就会变成一个铁球。

同时，在恒星的外层区域，原子核可能遭遇到中心部分核转化过程中产生的强大的中子流，这些不带电的中子在核碰撞过程中被原子核俘获，若干个中子可能积累在某一个原子核中。在中子积累的某一阶段，原子核很不稳定，它甚至会破裂和爆出一个电子。事实上，中子已经塌缩成为质子，一种新的较重的元素已经形成。于是，王国逐渐向铁以外区域延伸，直到铀（或

超铀)，形成了一系列的元素。

恒星从诞生开始到消亡，并不是在平静中燃烧的。恒星燃烧消耗原子核，中心随之变小并逐渐老化，这个阶段一直继续到燃料耗尽。在此阶段中，恒星的外层区域会像脱落的屋顶那样倒塌下来，陷入灼热的深渊。外层区域的物质溅落入恒星核心部分，又反跳出来。恒星可能以这种方式甩脱它的外层，把外层撒落在宇宙之中。母体恒星的燃烧可能长一些，也可能再次爆炸，直到后来，它把宝贵的尘埃，即新形成的元素撒向太空。宇宙不再只是充满着由氢和氦构成的原始的稀薄云团，而是遭到了严重污染。第一次超乎寻常的污染发生后，恒星之外才有了出现自然景观、生命、技术和能源的可能。还可能有一些其他的恒星形成，不过形成这些恒星的气状物已经被周期王国中至少一半的元素所污染。这些凝缩而又受到污染的气体云团以它们的方式进行核燃烧，将周期王国熔炼得像羹汤一样浓稠。经过相当时候，轮到这些恒星以其典型的爆炸方式消亡。星震发生时，有更多的元素喷溅物和反喷溅物撒进宇宙。

当新释放的原子核撒向宇宙时，它们的组成很复杂，这说明它们产生于不同的方式。不同质量的恒星，其燃烧方式不同。有的不能使氦燃烧，有的不能达到平衡；有些燃烧得迅速，有些燃烧得缓慢。然而它们有一个共同的特征，就是核合成机制仅能产生极少量的锂、铍和硼，因为这些轻元素或是在合成中被绕过，或是它们一经形成很快就消耗掉了。王国这些属于轻元素的地区，在恒星演化的这一阶段，尚存在于大海之下。可是，核子穿过太空的行程危险重重，因为到处都是宇宙射线，那是一种飞速运动的粒子流。撞击时有发生，从较重的原子核上会撞落许多碎屑，这一过程叫作散裂，撞落的碎屑包括锂、铍、硼的原子核，在远离恒星危险四伏的星际空间，发生着上述变化过程，使王国中较轻元素的地区逐渐露出海面。

至此，王国实际上已完全形成。王国出现在没有生命的大海上，几乎永远保持不变。王国形成于恒星之中和恒星之间。在想象的周期王国中和我们真实的地球上，周围的一切元素都曾在遥远的恒星中经受熔炼，而那些久已熄灭的古老恒星在垂死挣扎中，将元素抛撒在广阔无垠的太空。

元素诞生后，摆脱了恒星内部激烈的骚动，过了一段较为平静的日子。它们在太空中漫无目的地遨游，在碰撞和辐射的作用下，被移动中的气体云携带着运行，最后，有些元素在云中聚积起来（请注意，王国的历史是如何经常包含云的，而云后来又获得更具结构的造型）。有一种特殊的云，主要由氢和氦构成，不过现在已被周期王国中的许多元素污染了，这仅仅是距今四五十亿年前后，即在宇宙最初变化的100亿年以后的事。尽管变化过程中存在着反收缩力，但当引力能够控制粒子把它们吸引在一起时，被污染的云便凝聚起来。经过相当时候，核子活动突然爆发，氢聚合成氦并释放出能量，照亮了四周的天空。但并不是所有的被污染尘埃都能凝聚起来。一些关键的残余物仍然围绕着炽热的恒星运动，它们相互碰撞，粘结成颗粒状物，形成岩石，再形成山脉，最后成为一个个巨大的球体，环绕着我们的恒星太阳超速飞行。再经过相当的时候，其中的一个球体发展为被认作是熔融状的行星，它后来成为我们现今一切活动的场所——地球。

这里，有关周期王国还要继续讲述的观点是，有两幅描述王国丰度的地势图。我们已经通过想象，从宇宙的角度观察了王国，看到氢和氦高高耸立在逐渐上升而后又下降的地面上。现在，我们要变换一下角度，观察以地球

上的元素丰度绘制的地势图。按照这种方式观察，景观大不相同。雄伟的氢和氦的山峰消失了，它们只处于比地面略高的地方。而铁、氧、硅和镁的山峰高出地面，与它们相伴的是稍低的硫、镍、钙和铝的山峦。“高山为谷，深谷为陵”，是什么使王国发生如此的沧桑巨变？

虽然地球的形成比恒星元素的形成要和缓得多，但按现在的标准看，仍然是颇具活力的。尤其是年轻的地球整个处于熔融状态，就像现今地球内部那样，高温会把易挥发的化合物驱赶出来。气泡中包含的氢元素迅速被驱出，返回到最初在太空中的藏身之地。氢在化学上属于惰性元素，不可能粘结在其他元素上，必然同样消失在太空中。因此，除了能与不易挥发物结合而被固定下来的氢外，氢和氦的山峰完全气化掉了，留给我们的只是一些低地。事实上，早期地球上氢已消失得一点不剩了，只是由于镭、铀这些重元素的放射性衰变，不断产生氢，氢才没有从视野中完全消失。

尽管仍有热辐射，王国中能形成化合物的元素还是在地球上存在下来了。特别是硅和北面的氧及西邻铝，正是因为它们的存在，才得以形成硅酸盐类化合物和硅酸铝类化合物，这就是我们脚下的岩石。这些轻元素浮在铁、镍等密度较大的元素上面，而铁、镍等则沉降到一定深度，在那里隐伏下来。有些元素与硫结成了不明智的联盟，所谓不明智是因为硫的许多化合物容易挥发，并因此而从沸腾的地球中被驱赶出来。反映王国元素宇宙丰度的地势，随各地区形成的化合物的挥发性大小而上升、下降，王国现今的地势与把宇宙视为一个整体所观察到的地势有很大差别。

我们对远古和近代的王国有了一点认识，对现代的王国的了解，那么，未来的王国是什么样的呢？它是永恒的，还是会沉入大海的波涛之中呢？有一个良机，就是有朝一日人们将会发现亚特兰蒂斯岛，这将是一项智慧的成就，但也许不会有什么重大的实际意义。这一目标可能在几年内实现，至多不过几百年。说到遥远未来的周期王国，更为令人感兴趣的是，将来有一天所有的恒星都消亡了，而我们的描述又会回到茫茫太空。情况可能是（但不一定是）这样：在遥远的未来，即从现在起的大约 10^{100} 年以后，所有的物质都会衰变成放射物，王国将潜入大海的波涛之中。我们可以根据铁的稳定性想象这一过程。当所有的元素都衰变成惰性的和低能量的状态后，王国的山峰和溪谷也随之逐渐消失，铁的山丘将有所升高。只要这一物质不衰变成放射物，王国就将保持着孤零零的山峰状，只有铁凸出在一无所存的大海之上。然而铁也要衰变，经过相当时候，铁也要沉入波涛，于是王国也随之消失。

可以设想，我们的一切成就统统留给了放射性物质，因此可能有这样一个时代，那时人们将追忆起我们的雄心壮志，并为我们这些前人的存在而竖起一座纪念碑。我们关于先前王国的资料 and 知识也会遗留下来，或许被埋藏于放射物之下。然而也可以想象，在一个更为遥远的时代，由于宇宙不断膨胀，所有的放射物都将伸展成为平面，我们这些前人的痕迹不复存在。那时，宇宙只不过成为宁静而平坦的时空，连一个王国的智慧实体都没有。那时，王国真正地淹没于波涛，往日的一切，包括与往昔有关的记忆和知识都荡然无存。

7. 制图人

最初人们并未意识到，元素会构成一个理性的周期王国。虽然 18 世纪我们就对氢、氧、铁、铜有所了解，至 19 世纪早期，已有好几十种元素的领地被开发，但当时认为它们只是互不相关的群岛，无规律地散布在浩瀚的大海上。的确，那时几乎没有理由相信这些分散的岛屿有亲缘关系。

周期王国的第一位制图人是德国化学家约翰·德贝赖纳（Johann Döbereiner）。德贝赖纳生于 1780 年，他是一位马车夫的儿子，曾经跟药剂师当过学徒。他在那拿大学担任化学助教时注意到，有几位化学探索者在回忆他们发现某些领地的报告中指出，领地之间存在着一种类似于兄弟的关系。他于 1829 年证明了在群岛中有若干 3 个一组的岛屿，表明它们至少有表兄弟的关系。德贝赖纳提出的这一元素三元组合，比那种看来在物理性质和化学性质上逐渐变化的元素组合，稍稍跨进了一步。元素的三元组合具有明显的特征，即中间元素的原子量是两边元素原子量的平均值。元素亲族和位置之间的数据关系开始出现了。例如，德贝赖纳在上述群岛中的某个地区发现铁、钴和镍是一个三元组合（三元素的原子序数依次为 26, 27, 28，原子量为：58.85, 58.93, 58.69），于是周期王国地峡上的这个三元组合地带出现了。在另外的地方，他发现氯、溴、碘（原子序数为：17, 35, 53，原子量为：35.45, 79.90, 126.9）是三元组合，而钙、锶、钡（原子序数：20, 38, 56，原子量：40.08, 87.62, 137.3）是另一个三元组合，它们与其他地区的相应的三元组合连成排，再不是一些分散的点了。

从我们的观点看，区分三元组合并不那么困难，因为三个相邻的元素都非常相似，也就是说，每个中间元素的两边各有一个和它相似的元素。不过要对几十种元素有一个全面的认识，就困难多了。更大的困难在于，德贝赖纳的时代，人们只对周期王国中的少数元素有过报道，资料极度匮乏，尤其是对原子量更是知之甚少。德贝赖纳根据一些拼凑的资料，试图识别元素排列的模式，但这些资料缺少大片大片的元素领地（或许还没有补上），使用的也是可能产生误导的数据。他的成就则在于他设法从群岛中辨认出那些局部的三元组合地区。至于三元组合为什么通过明显巧合的原子量而相互联系，还很不清楚。当时这些组合看来没有什么关系。由于我们在回顾这段历史时立足点高，所以能辨认出王国不同地区的三元组合关系。德贝赖纳和他的同代人着眼于一些零碎拼凑的资料，当然看不出整体模式。

提出上述元素之间的关系，存在一定的风险。固然有理由使人相信这种关系，但在 18 世纪后期和 19 世纪早期却几乎没有人相信物质有其内在的模式。物质不像一些抽象的数字，物质是有形的。抽象概念是智力的产物，是经过系统思考的，因而它必然具有某种模式。另一方面，物质是构成地球的原材料，而不是臆造的事物。物质是真实的，其组分可能是一个个挑选和鉴别出来的，怎么能认为它们是属于一种抽象的模式呢？

在最初认识到元素的组合模式时，甚至有人表示出轻蔑。直到 19 世纪 60 年代，开拓出的元素领地达到足够大范围，才有可能认识周期王国存在着持续性的周期变动。第一个总体模式是由法国地质学家贝古耶·德·尚库尔托伊斯（Béguyer de Chancourtois）于 1862 年提出的。他把元素排列在雕成螺旋形的圆筒上，顺着螺纹安放 24 个元素。他注意到元素性质的周期性变动，性质相似的元素每隔 7 个元素出现一次。

1864 年英国化学家约翰·纽兰兹 (John Newlands) 提出一种更好的二维排列模式，他排列了 35 个元素，从这一排列中很容易看出现今周期王国布局的原型。纽兰兹的祖先是意大利人，他本人于 1837 年生于伦敦。纽兰兹曾随意大利爱国主义者加里波的 (Garibaldi) 将军的部队在那不勒斯打仗，有过一段颇具传奇色彩的英雄历史，后来成为制糖工业的化学家。遗憾的是，他选择并无把握的音乐比拟法报道他的观察结果。他提出，像音乐中的音阶每 8 度重复一次和声那样，元素可以分为 8 个一组，并且，每 8 个元素出现一次性质上的“和声”。这在某种程度上是正确的。回到我们前面的飞行高度进行观察，我们可以看到，在王国北部沿海地区，有从锂到氖 8 个领地。在纽兰兹时代，并不知道惰性气体所属的东部海岸尚未露出海面，我们可以假想东海岸这一低洼地并不存在，那么锂之后的第 8 个元素就不是氖而是钠，这是碱金属的领地，明显地和锂十分相似。另一组 8 个元素，即由钠向东跨过 8 格，如果海岸惰性气体的平地不计，我们就又回到钠的另一个同族元素——钾。把这些元素领地按照它们的原子质量（即原子量）排列起来，纽兰兹发现，每 8 个已知元素（惰性气体是一个问题，留待以后讨论）产生一次性质上的“和声”。

纽兰兹已窥见王国领地的布局。直到那时，除了德贝赖纳有一些零星的类似观察结果外，有关王国领地的报道只限于分散的独立岛屿。纽兰兹选用音乐比拟法发表他的观察结果，以致受到他人嘲笑，这的确令人遗憾。自然界的根本规律怎么能和音乐上的和声联系起来呢？多么荒谬！莫扎特是否也选择化学上的化合物作曲呢？海顿 是否只需配制一些药水灌入人的耳朵就能使人感到舒适？纽兰兹先生为什么不设法用字母顺序去排列元素呢？

然而这些嘲笑和奚落并未使争取王国布局条理化的努力停顿下来，有 3 位科学家继续进行探索，目的是使看起来荒谬的事变为合理。一位是在皇家学院继承法拉第事业的威廉·奥德林 (William Odling)，他后来成为牛津大学的化学教授。1864 年，奥德林发表了一幅王国示意图，这幅图与现代的一些王国地图非常相似。其中大约有 57 个元素的位置至今仍可承认，只有一二个元素所在地区并在一起，不能完全辨认。他还留下两处空白，明显地表明遗漏了一些元素。可是奥德林大部分工作受到不公正的对待，他的成绩很少受到称赞。稍稍令人欣慰的是，奥德林活到 91 岁高龄，在早期的制图人中只有他到 20 世纪还健在，奥德林于 1921 年谢世。

几乎就在同一时期，德国的朱利叶斯·洛撒尔·迈耶 (Julius Lothar Meyer) 于 1864 年证明，元素相互形成化合物的能力随原子量而呈现周期性变化，并提出一幅简略的王国示意图。他还研究了各地区元素的物理性质，特别是他能根据元素密度和原子质量计算出每个原子所占据的空间（原子体积）。他标绘出原子体积对原子质量的关系曲线，得到了区分元素的最基本的参数，并把这些参数依次排列起来，结果发现了元素的周期性变动（见图 9）。纽兰兹的元素八元组合是可靠的，原子体积通过一个峰值，在元素的八元组合后是另一个峰值，之后又是一个元素的八元组合。不过，这时的周期变动有所改变，原子体积的峰值间隔加大了，实际上达到了 18 个元素。因此，在已知元素的范围内，原子体积再次出现峰值前，有一个长周期。迈耶揭示出元素特性的周期变化规律，这是一种复杂的周期变动，可以把它视为通过

元素序列的波。迈耶的认识比纽兰兹推测的周期变动更为复杂。纽兰兹仅仅领悟到元素周期变动的入门途径，奥德林和迈耶则大约排列了 60 个元素，并进行了较为透彻的研究。

远在俄国的圣彼得堡，化学家门捷列夫注意到同样的问题，但他更多地应用化学观点去处理问题。显然他并不知道奥德林和迈耶已取得的成就。门捷列夫看上去有点像狂热的修道士拉斯普廷（Rasputin），名声也不相上下。门捷列夫出生于西伯利亚，是 14 个兄弟姐妹中最小的一个。在圣彼得堡，他显得直率、激进和好与人争论。按照当时俄国的法律，他必须在离婚 7 年后才能再婚，可是他没有做到，离婚不久就再婚了，所以被指控犯了重婚罪。沙皇没有禁止他出入宫廷，理由是：虽然门捷列夫被认定有两个妻子，但沙皇只有一个门捷列夫。

这位沙皇唯一的门捷列夫当时已经知道周期王国拥有 67 个岛屿（见图 10），他认为这 67 个地区之间存在着化学上的联系，因而可以把它们排列成一个整体。因为当时他只了解王国领土的三分之二，他必须有勇气面对内心的想法，即考虑到可能有些地区尚未发现。那么，让空白处留下来以后再填补齐全，先把勘探人员领进王国总比由于错误的估计，硬把谬误掺杂进元素的排列模式要好。据说，门捷列夫在撰写化学教科书时，打了一个短暂的瞌睡，梦中还为解决元素排列问题冥思苦想。醒来，他立刻按照梦中假想的最后模式，匆匆地画下了他的元素排列草图。这是发生在 1869 年 2 月 17 日的一个故事。这一传闻可能和门捷列夫玩纸牌游戏时的发现有关，据说他把元素写在纸牌上，横竖排列起来。

门捷列夫认为，原子量是元素唯一的基本特性，因为它不受温度和其他可变因素的影响。他发现，按原子量逐渐增大的顺序排列元素，则对许多元素可以有相当精确的了解，也有胆量在看来需要的地方为一些元素留下空档。他将各个元素的领地布置在矩形阵列中，类似于现今的王国布局。门捷列夫抓住了元素的相似之处。第一个和第二个元素表兄弟位于从北向南的纵列中，和现今王国中的情况一样。当我们从西向东行进时，各纵列中的元素性质逐渐变化。现在，纵列元素称为族，横排元素称为周期。与如今我们掌握的 100 个左右的元素相比，门捷列夫当时只知道 62 个元素，而在他首次尝试时，只把 32 个元素绘入了王国地势图，这已足够表现出王国的布局。不过，他还得一处一处地对元素序列进行修补，并凭着化学的直觉指正那些按简单数学推理所导致的错误。按照原子量排列顺序，必然使同族元素出现位置上的倒置，钴和镍是一例，碲和碘也属于这种情况。在这两个例子中，显然是忽视了原子质量。门捷列夫凭着直觉把元素安排在更为恰当的元素族中：根据各方面的化学特性，碘属于卤族，所以他把这个元素调整到现在的位置。钴，非常简单，至少就化学直觉来说是这样的，它应该位于王国地峡上的铁和镍之间，而不应按照原子量的排列顺序安放。所以这些元素领地被安放在那些理应属于它们的位置上。

为了使元素能归属于它们所适合的族，门捷列夫在图上留下了一些空档。正如我们所了解的，这些空档指引着探索者去发现那些未知的元素，于是在地球上很快地发现了准硅（锗）和准铝（镓），德国人发现的锗和法国人发现的镓填补了周期王国的两处空白。但门捷列夫也弄错了一些地方，他

提出的有些空白地区就什么也没有发现。

门捷列夫绘制的王国地势图与我们今天使用的地势图有一点不同，不过把元素排列起来的最初尝试往往与流传下来的形式不同。首先，他并没有认识到王国有一个狭长的地峡，所以把所有的元素都挤放在一个矩形的阵列之中。自从门捷列夫第一幅应该说是著名的王国地势图发表以来，描绘图形的方法不断发展，直到 20 世纪也没有完全定型。

现代的王国布局图已经摆脱了以原子量为主的绘制方式，人们不再根据质量排列元素，而是按照一个重要得多的定量数据，即原子序数来排列元素。某元素的原子序数就是它的 1 个原子核内的质子数（对原子量有贡献的中子数不计）。例如，氢原子核含有 1 个质子，它的原子序数就是 1；氦原子核内含有 2 个质子，它的原子序数就是 2；铀原子核含有 92 个质子，它的原子序数就是 92。

这一含义明确的序数在元素周期表上平稳地增大。同一横排，原子序数由西向东增大；越往南排，原子序数越大。从原子序数的角度看，王国地势图是一个平稳上升的平面，这个平面完整无缺，自西北向东南朝上倾斜。通过一个横跨王国的周期，不会走错步子，但若是按照原子质量排列元素，有时就要走错。即使在南部的近海岛屿上，北面一排元素的原子序数也是一步一步平稳上升的，然后顺着南边一排元素，原子序数升到更高的水平。假如我们能把这个岛屿拖移到陆地，我们就能确切地知道应该把岛屿上的元素安放在什么位置了。

特别重要的是，由于王国中每个地区的元素，通过单独测量都能得到一个序号，我们可以知道不会遗漏什么元素。如果在 19 世纪末之前就形成原子序数的概念，那么当时就会知道紧贴着卤族元素的东侧存在着一条尚未发现的狭长地带，因为在一个周期的东端和下一个周期西首之间，原子序数存在着 2 的跃差。也由于这样的原因，我们可以有把握地说，周期王国西部沙漠以西没有类似的尚未发现的地带，即没有被遗漏的大草原。简单地说，这里的原子序数没有丢失。假定原子序数是元素排列的基本依据（没有人会对此产生怀疑），那么元素的名次排列是完整的，至少从 1 到 109 号元素是如此。

一个原子序数联系着王国中的一个地区，这还意味着，我们从南海岸起步，沿着开发的土地每走一格就可以根据测定的原子序数标上一个序号，如果原子序数偶尔跳过 2，我们就知道那里漏掉了一个地区，可以留下一个空格。在南部海岸这一危险而寿命短暂的地区，原子序数不是根据元素发现的顺序确定的，而是通过一种专门的测定方法预测，并相应给出元素的所在位置。同样道理，根据核结构知识，我们至少能知道王国亚特兰蒂斯群岛中某个岛屿离开海岸的大致距离，因为第一个稳定的岛屿应该位于原子序数接近 115 的地方。我们甚至可以推测出，所谓的亚特兰蒂斯岛应该是群岛，而不是孤立的一个岛屿，因为据核结构理论，还有一个稳定的岛屿位于原子序数接近 180 的位置上。

给周期王国中各个元素领地确定序数还有一个很大的好处，那就是人们不会再去争论每个元素所在位置，虽然我们还会看到有关元素领地其他方面的争论。的确，和当今所有的地图完全一样，按照原子序数的顺序把王国划分成区，以前关于一些不定地区，如钴和镍、碲和碘位置上的歧议即可全都消除，这些元素可以回归到探索者凭借化学分析直觉预期能找到它们的位置上。我们必须得出这样的结论：原子质量与原子序数在多数情况下是同步增

长的，这基本上是好事情，正因为如此，早期的制图人才掌握了一个相关的原子特性，尽管它被后来的研究证明并非是原子的基本特性。

至于争论，共有 3 项，其中两项是化学方面的，一项纯属墨守陈规。第一项化学方面的争论（小范围的，而非世界大战）集中在南部近海岛屿。化学家们准确了解王国这一地区元素的排列次序，并且知道一旦将这个岛屿移向海岸并插入陆地，它应该处于什么位置。王国中各个地区的排列顺序完全取决于元素的原子序数。不过，应该把陆地上的哪些地区切割下来并移向大海，则取决于能够判断出哪些元素十分相似，可以形成彼此密切联系的整体。对于岛屿的两端，特别是岛屿东端一些元素地区间颇为复杂的关系，尚存在着分歧，因此，有些王国地图把稍有区别的几排元素移向大海。在我们的王国地图中，是把大陆上最大的一条地带移往大海，即为南海群岛中的一个特大岛屿。

究竟为什么要把一些地区移开呢？原因是相当实际的，一幅完整的王国地图实在太长，很难容纳在一页纸上。（有时甚至把向西部沙漠过渡的地峡也丢弃了，特别当注意点集中在王国变化的总趋势时，更容易这样做。我们不会采用这种删节太多的简略格式，但你可能会碰到这样的地图，并因王国明显的残缺而困惑不解。）

第二个化学方面的争论是关于王国的最北部，涉及北部近海岛屿氢所在位置。对于那些不喜欢近海岛屿的人来说，问题是应把氢所在的岛屿移到海岸的什么地方。这里爆发了一场“大头派”与“小头派”之间的战争。“大头派”争着要把这个岛屿移到王国的岸上，使它成为邻近碱金属北侧的西北海角，这样做在化学上有相当的理由。我们将了解到，这些理由是以原子的内部结构为基础的，而原子间在结构上又密切相关。但有一点难以处理，氢是整个西部沙漠中唯一的气体元素地区，把它的位置定在那里并不合适。“小头派”则担把氢的岛屿往相反的方向移动，让它和王国大陆卤族元素的北部地区相连，也就是给氢增加一个大陆上的邻居，于是西北海角的范围将扩大一倍。他们争辩道，氢是气体，在化学性质和结构上都和氦很相似。可是，把氢归并在这一地区的论点与“大头派”显然难以处理的选择，几乎没有差别。有些人采取折衷的办法，允许代表氢的地区出现在上述的两个位置上。根据很久以前的观察结果，我们采取不同的方式去分析问题，在王国最初形成的边缘部位，即北海岸上，那里的元素与其南面相邻的元素相比，有许多明显的不同，这表明王国存在着明显的北部边缘。于是有理由推测，王国所有元素中最早发现的元素是一位值得注意的外来者，把它移到岸上的任何地方都不合适，不然元素之间的相似性就不真实了。因此，在我们的王国地图（而不是在一些你可能见到的其他王国地图）上，氢的领地定位在王国北部海岸之外。

第三个墨守陈规的争论涉及到元素族的划分问题。横排上的元素周期是很明确的，对此没有争论。由氢到氦标明为周期 1，然后下续的横排元素依次标明为周期 2、周期 3，依此类推。按照这样的排列，可以把王国南部近海岛屿上的元素看做是大陆的一部分，岛屿北侧的一排元素属于周期 6 的一部分，南侧的一排元素属于周期 7 的一部分。在周期 7 的东面，人们正忙于开

“大头派”，指主张剥熟蛋时应先敲破蛋的大头。“小头派”则指先敲破蛋的小头。源出英国作家 J·斯威夫特（J.Swift）的小说《格列佛游记》——译者注

拓国土。而对纵列中元素族的编排则发生了争议。门捷列夫和他的继承者把西部矩形地块上的元素组列为 族和 族，把东部矩形地块上的元素组列为 族到 族。地峡上的各列元素也被列为 族到 族（记得曾一度将地峡上的元素集中到两个矩形地块中去并平均分组），由此开始出现混乱。 族元素具有特别明显的过渡性质，而且混杂着德贝赖纳的模式，每排元素都含有三元组合。这似乎很复杂，铁、钴、镍是德贝赖纳的典型三元组合，它们全都被归入 族。紧接着，铜被归入 族，于是它就不得不与相距很远的碱金属共用一个标号（这样的划分方法在化学上也有一些难以使人信服的理由），而锌就不得不与镁和钙共用 族的标号。为了区别这种性质差异很大的元素，只能使用字母 A 和 B。这样，碱金属被定为 A 族，铜和它的同伴被定为 B 族，镁归为 A 族，锌（大约相隔十代的一个姑表亲）归为 B 族。此外，卡瓦利埃（Cavaliers）、朗德黑兹（Roundheads）以及所谓的“大头派”和“小头派”也都在进行这项工作。卡瓦利埃采用上述的系统命名法，朗德黑兹则把 A 和 B 对调了一下。按照朗德黑兹的方法，铜属于 A 族，锌属于 A 族；德贝赖纳提出的过渡性三元组合元素属于 A 族，惰性气体归入 B 族。而按照卡瓦利埃的方法，三元组合元素归入 B 族，惰性气体在 A 族。另外还分出了一个被认为独具特性的地区，在无化学反应的海岸上安置惰性气体，这就是 0 族，没有罗马数字的标志。

我们可以断定，这样很可能造成混乱，物极必反嘛！王国的监督人把国际间的混乱抛在一边，组成类似于联合国的一种组织（IUPAC），商定应采用的系统命名法。他们提出一项合理化建议：取消旧的元素排列次序，代之以新的元素排列次序。他们采用简单的阿拉伯数字，以 1~18 这 18 个数字表示王国大陆上连续排列的各个纵列元素，以数字 1 从最西端开始，以数字 18 在最东端结束。这样就不再使用罗马数字 ~ 和单独的 0 了，字母 A, B 也不再使用。在这样的图幅上，南方近海岛屿上各纵列元素都不标以族号，不过由于这一地区的元素彼此间在化学上几乎难以区别，所以这样做不会有损实际性的内容。按照王国的“联合国”分族方案，地峡上各个地区则有单独的族，编号从 3 到 12。

我们的王国地图采用了现在讲述的方案，但由于某些非常重要的原因，保守派仍坚持老的分族办法。这些重要原因在我们研究王国的管理制度时，将会显示出来。保守派认为，老的方案更为直接地抓住了化学上的周期变动，而化学上的周期变动毕竟是王国存在的主要特征。然而革新派看来似乎占了上风，虽然离胜利还很远，但争论一直文雅地通过笔墨在进行。有关王国还有小规模争论，王国西部沙漠地区还有隆隆炮声，但有迹象表明革新派将取得最终胜利。不过，他们会尊重保守派，还不时要提一提保守派意见的种种好处。

这里还要谈谈系统命名法的最后一个要点。我们谈到过王国东部和西部的两个地块，连接这两个地块的地峡，以及南部的近海岛屿。令人毫不奇怪的是，王国的这些地区有其更为正式的名称，每一个块状地区都如实地称为“地块”。这样，王国就正式拥有 4 个地块，每个地块都有它的识别符号。在我们研究王国的行政区划和管理制度之前，这些符号似乎有些神秘，因为它们来源于一些专门术语。这里，我们要简单地加以说明：西部矩形地块称

为 s 地块，东部矩形地块称为 p 地块。由于目前看来很难理解的原因，地峡称为 d 地块，而南部近海岛屿称为 f 地块。现在，可以暂时认为这仅仅是联邦王国各地区的不同命名罢了。

概括地说，关于王国的制图法目前就是这个样子。总之，王国中各个地区根据元素原子序数的递增顺序排列着，横排的第一周期至第十七周期和纵列的第一族至第十八族，共同构成 s, p, d, f 4 个地块系列。

然而，在深入研究王国的组织情况之前，我们必须强调，制图学不是一门静止的科学。人们竭尽全力想把王国地图画得更为精细，特别是也想像绘制地球本身的图形那样，把王国地图画成三维的。王国是否和地球一样，是一个球体呢？能否像绘制立体地图那样，把王国中的关系表示得更为清楚、明确并不只限于二维呢？是否多维的图示比我们已绘制的投影式平面图形更加有效，也更为准确呢？

花一点时间到制图人家里去看看他们究竟提出什么方案是值得的。大部分的方案已成为博物馆里的老古董，久已被人遗忘了，对于我们在王国上空的航行也没有什么影响。我们了解到钱库尔托伊斯 (Chancourtois) 曾把王国想象为圆柱体上的螺旋，这是他神秘的所谓“大地螺旋” (telluric screw)，碲 (tellurium) 的领地处于中心点。(碲 tellurium 一词根据大地 earth 一词得名，显然是很合适的。) 这个螺旋造型以及稍后更复杂的螺旋造型，包括纽结状的凹角螺旋和双螺旋，都巧妙地避开了中断王国连续性的问题。在这些螺旋上，王国的西部地区与东部地区就像地球上的阿拉斯加与西伯利亚那样面对面地接近起来。

因为这是一个想象中的王国，无需仿造一个像地球那样的真实王国的立体图形。关于用立体方法描绘王国的一种最有趣的方案是风车叶片式的模型 (见图 11)。在这个模型中，s 地块是车轴，p 地块在第二族元素和第一族元素之间从 s 块伸出，形成一张叶片；依次，d 地块在第二族元素和第十三族元素之间从 p 地块伸出，形成另一张叶片；f 地块则从 d 地块伸出，形成叶片上的另一张叶片。像这样，用同一方法处理王国的所有地区，那么有朝一日未来的探索者如果发现了 g 地块，就能很方便地把它表示成一张新的叶片。就这一方案而言，有很多变更方案。但所有的变化都遇到了同样的困难，就像我们在一般球体上遇到的困难一样，伸出叶片以后就不再是二维的了。

完全可能找到一种描绘王国的方法，比现今已发现的任何描绘方法都更为深刻。计算机所具有的直观显示能力，最终会把王国的各种关系呈现给我们，比任何平面图形都更为生动、丰富，更具参考价值。甚至可能是一种完全不同的描绘方式，即分层描绘法，这种方法比我们现在的想象要更加丰富。不过，谈到王国的其他方面，我们还得回到现今世界，并采用那幅始终保留在记忆中而且经常查阅的王国简图，这幅图是由德贝赖纳的元素三元组合说、纽兰兹的元素八元组合说、奥德林的表格、迈耶的周期变动说和门捷列夫的综合见解共同形成的。

第三章 行政区划和管理制度

8. 内部规律

谈到王国的内部规律，即决定原子结构和产生原子特性的规律，需要把个人的观点暂时搁置一边。这样说，是把问题看得有点严重了，因为可能有人争辩说主宰化学元素王国的规律要比主宰我们自身生命的规律简单得多；甚至有人可能争辩说这个规律比支配恒星、行星和其他一切看得见的所谓宏观物体的变化过程要简单得多。量子力学象征着与过去的决裂，它代表着 20 世纪的科学。量子力学对于了解周期王国的结构，解释王国的周期性变动，认识王国中各个领地为什么以特殊的方式排列着，都极其重要。事实上，量子力学是阐明周期王国的关键。如果我们要把以经验为主的各族元素关系图改进成更为实用、更为明了的图表，那就必然需要量子力学了。

量子力学是必需的，因为我们不可避免地要谈到原子，而微小的原子只能用量子力学的语言来说明。根据量子力学关于自然现象的描述，能量只能以不连续的被称为量子的特定量值转变成某种客体，而不能像经典物理学家所推测的那样连续而平稳地转变。此外，宏观世界中粒子和波动的区别已经消失，两种概念合二为一。在量子领域中，可以认为物体具有粒子和波动的双重属性，而且根据人们观察的方式，总有这样或那样的描述比较合适。周期王国受这种不连续性以及波粒二相性支配，为了了解王国的制度和管理机构，我们需要接受上述看来似乎有些古怪的概念。

我们用王国中的一颗卵石表示某种元素的一个原子，我们已经知道，这颗卵石是极其微小的实体，其中的空隙比实际物质要多。具体他说，原子中心含有一个结实而微小的原子核，原子核周围几乎是真空空间，然而这一空间并非完全是真空的，其中弥漫着自然界（对化学来说）最重要的一种基本粒子，即电子。因此，某种元素最初的原子简图就是由电子云包围着原子核的微粒。

19 世纪初，曼彻斯特一位名叫约翰·道尔顿（John Dalton）的中学教师，用实验方法仔细分析互相化合的一些物质质量，首先证实了原子的存在。他虽然没有直接的证据说明原子的存在，但他从测量结果推断出在化学变化中含有某种不变的实体。现在，我们拥有大量实在的关于原子的直接证据。我们的仪器主要是精心改进的显微镜，可以把原子完完全全地展现在眼前。

19 世纪末 20 世纪初，人们经过一系列实验，已经测定出原子的内部结构。在剑桥大学工作的 J.J 汤姆森（J.J. Thomson）证明，电子是物质普遍的一种组成成分。他使用一种仪器，即现代电视机显象管的前身，证明了可以把任何元素的某种基本粒子显示出来。这种基本粒子称为电子。此后，经过一段时间，又测定出电子的质量和它的负电荷。从某种意义上讲，整个王国是由电子覆盖着的，我们将会看到，电子的不同排列方式决定了元素的不同特性。这里（如氢的领地），电子是两两成组；那里（如镁的领地），电子是 12 个聚集在一起。法拉第一定曾为这一发现而欣喜万分，因为这位电学方面的头号奇才深信，电与物质结构是以某种方式密切联系的。最后，电解法的研究表明，通过电流，可以使物质变成不同类型的物质。由于汤姆森的工作，人们明白了电子无所不及，物质是由电子以某种方式构成的，电流仅仅是一连串的电子在流动。

最初发现电子时，关于电子及电子对原子结构的作用，存在两个意味深长的问题。其一是在一个已知的原子中，究竟有多少个电子。因为人们知道1个原子比1个电子要重几千倍，所以，即使是最简单的元素氢，它的原子也可能是由数以百计的电子构成的。我们现在知道，事实上在这个按宇宙进化应属于旧石器时代的元素氢中，只有1个电子。第二个问题是，原子中必须有正电荷，才能使整个原子呈不带电这一自然状态。那么，关于这个问题，是像汤姆森认为的那样，正电荷的基本状态犹如胶冻，其中隐含着成百上千的电子？还是它颇有几分结构并十分复杂呢？

原子不带电虽是一种自然现象，但是这个现象却比较复杂。1910年，欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford）以他卓越的实验才能着手解决王国中卵石的结构问题。卢瑟福在学生汉斯·盖革（Hans Geiger）和爱德华·马斯登（Edward Marsden）的帮助下，测试了。粒子。这是一种极微小的粒子，可由重元素在金箔上的放射性衰变产生。他原以为这样做时会像把牛奶冻扔到涂有牛奶冻的墙壁时那样，牛奶胶粒混入墙壁上的牛奶胶粒，但他后来回想说：“这是我一生所发生的最不可思议的一件事。”实验结果出乎意料，就像当时流行的一句话：“你对着一张棉纸发射十五英寸口径的炮弹，结果炮弹反而射中了你自己。”假定上述的是一些胶粒，那么这些胶粒具有特殊的反射能力。卢瑟福仔细考虑实验结果后得出一个看法，即正电荷不是质地柔软的胶质球体，而是一个非常结实、非常集中的核心，原子的其余大部分空间是真空。1911年，核型原子诞生了。在这一模型中，原子中心有一个微粒状、大而重的原子核，它集中了原子的正电荷及几乎整个原子的质量，原子核周围的稀薄电子云中有足够的电子可以抵销原子核的全部正电荷。王国中的每一颗卵石都是一个带核的实体，一个带电的微粒控制着几乎是真空的空间。

卢瑟福能够估算出金原子核的正电荷，并得出几十个单位电荷的电量。于是他断定，原子中并没有成百上千的电子，最多只有几十个电子。这一数字被卢瑟福的另一位学生、年轻的物理学家亨利·莫塞列（Henry Moseley）用不同的观测方法测量出来。莫塞列对原子发射的X射线的特性进行了研究，计算出原子核的正电荷。他可以用这种方法测定出原子中心有条不紊的顺序数，即元素的原子序数，后来被认作是原子核的单位正电荷数。我们知道，氢的原子序数为1，所以它的原子核带有1个单位的正电荷，并被1个电子环绕着，抵消了它的核电荷。碳的原子序数为6，它的原子核带有6个单位的正电荷，因此只有6个电子围绕它才形成一个中性原子。王国南部海岸卵石的原子序数为100左右，所以它们所带的电子也在100个左右。

大约就在这个时期，已有可能通过实验精确测定原子核质量。一个多世纪以后，道尔顿关于某一元素所有原子都相同的观点，终于可以由试验加以证明。令人意想不到的，试验结果证明道尔顿的推测是错的。人们发现某个元素的原子质量有一系列值。这些质量不同但却属于王国同一领地的原子，被叫作同位素（isotopes），源于希腊文“相同的位置”一同。有些元素，特别是轻元素，含有1个，最多2个或3个同位素；但王国南部较重的元素却常常含有12个左右的同位素。显然，正如我们已推测的那样，元素的原子质量并非其基本特性。

某种元素的一个原子只具有一个表示其特性的原子序数，而它的质量却可以在一定范围内变动，这一认识使我们能进一步了解原子核的内部结构，

即原子核由一些更小的微粒构成。这样，就形成了一种模型，每个原子核包含一组带正电荷的基本粒子，叫作质子，其数目等于元素的原子序数。例如，氢的原子核含有 1 个质子，碳的原子核含有 6 个质子，铀的原子核含有 92 个质子。这些质子的数目不变，质子数目一旦改变，元素也就不同了。质子数是识别元素性质的唯一合格的参量。然而，我们还知道，每一种元素的原子核可能含有数目不等的中子，除了不带电，中子几乎和质子一样，它也是一种基本粒子。

原子核内的中子数不会使元素性质发生变化，但却能使元素的原子质量发生一定变化。原子核内的中子数一般与质子数相近（通常稍多一些），但有时也有些变化。例如，碳的原子核内除含有 6 个质子，一般含有 6 个中子，但现已得知，也存在含有 7 个和 8 个中子的碳的同位素。在王国的南部，中子数的变化幅度逐渐增大，同时，中子所占的比例也逐渐增大，这是富含质子的原子核得以牢固结合所要求的。例如，在铀的领地，原子核中有 92 个质子，大约伴有 150 个中子，最常见的是 146 个。

现在我们可以了解，为什么原子量大致与王国的周期性相关，但又为什么有时会产生误差。首先要指出的是，元素的许多特性决定于原子核周围的电子数目及电子的排列方式，原子核外的电子易于重新排列，而且有些电子容易丢失。因为原子的电荷等于零，原子所含有的电子数必然等于原子核内的质子数。于是我们可以推测元素特性与其原子序数之间存在着某种联系。然而，某种元素，其原子核内的中子数与原子序数相比虽略有超出，但大体上也随原子序数同步增大。因此，当核外电子数增加时，核内较重的质子和中子总数也增加。由于原子核内质子和中子的总数决定着原子质量，所以可以知道，当核外电子数增加时，原子质量也加大。结果是，原子核外的电子数（和元素特性）与原子质量之间存在着相关性。

然而，有一个值得注意的细节，即除了特殊情况外，某一“原子量”的测定结果并不就是单个原子的质量。我们通常测定试样的平均原子质量，而试样中含有若干不同的同位素。由于试样的平均原子质量不能保证与原子序数准确地同步增大，所以我们可以预料，在反映原子质量的王国地势图上会略有误差。正如门捷列夫不得不承认的那样，元素特性与原子量之间的相关性并不精确。他承认某些测定数值不正确。但我们从认识原子核后的观察高度考虑问题，就能了解上述误差产生的原因并对这些误差进行解释。

9. 外部规律

现在，我们该把注意力转向更为广泛的领域，即电子所占据的区域，也就是转向化学作用的范围，在这里，人们可以发现王国元素之间差异和相似的原因所在。当人们想到原子，想到那些微小的电子就像行星环绕着太阳运行那样，环绕着原子核作轨道运行时，一定会对一幅令人钦佩的直观的图形记忆犹新，那是由一位日本物理学家于 1904 年提出的。不过，当时仅仅是原子结构概念形成的早期阶段，随着量子力学的出现，这幅图就被另一完全不同的图取代了。由于电子具有波动的特性，这幅描述物质特性的新图形认为电子不可能有严格的轨道。我们在这里所要讲述的模型，是由奥地利人欧文·薛定谔 (Erwin Schrödinger) 于 1926 年正式提出的，除了若干改进外，它一直延用至今。

在现代的氢原子图中，原子核外有一个电子，它像一个球状的云团环绕着原子核。可以认为，云团在某处的浓度表示电子在该处出现的可能性。原子核上的电子云最浓，越向外电子云越稀薄。所以，在原子核上发现电子的可能性最大。云状的电子分布称为原子轨函数，选择“轨函数”这一名称，是为了表示电子的运转不如行星“轨道”那样精确。对这里所说的“不精确”，不应当误解。任何一点的电子云密度都可以准确计算出来，所以可以准确地认识轨函数的形状。所谓“不精确”指的是根据电子所在位置来描述轨函数。我们对电子云的某个特定点上是否真有电子存在，并没有把握，我们所能做的只是指出在电子云的哪个方位上可能存在电子。有些人断言，这种不精确表明我们对所研究的对象并未完全了解。不过，另一种较为宽容的说法是，传统的原子图使我们误认为我们能更为详细地了解实际情况。依我看，较好的做法是，认识到量子力学可以说明我们对周期王国能了解到哪些情况，而由于过分的渲染使我们误认为经典力学能使我们了解到哪些情况。

氢是周期王国中所有原子的典型，但在进一步对氢进行讨论之前，我们还需要一些资料。首先，我们必须知道，氢的球形轨道称为 s 轨道。虽然，可以认为 s 代表球形 (spherical) 一词，但这仅仅是巧合。实际上，选用 s 与分光镜有关，因为氢的光谱线非常强烈，s 代表“强烈” (sharp) 一词。

其次，我们必须知道轨道有多种形状，即使是球形的 s 轨道也是多种多样的，例如，如果向氢原子内加入足够的能量，则原子中的电子就会膨胀为第二种 s 轨道 (见图 12)。如果第一种轨道称为 1s 轨道，那么，当然就应该把第二种称为 2s 轨道。当氢原子的电子具有 2s 构型时，我们说电子占据 2s 轨道。如果向氢的原子内加入更多的能量，它的电子会继续膨胀，直至占据 3s 轨道。这时，有一个小的中心云团，然后接连有两个云团密集的同心层，按此接续下去，直到电子占据能量更高的 ns 轨道。

现在我们遇到复杂的情况了。我们要了解周期王国的结构，就必须掌握其中的一种复杂情况。当氢原子的电子获得足够的能量占据 2s 轨道时，还能形成一个形状完全不同的云团，即 p 轨道 (见图 13)。根据 p 轨道两个叶片状云团在想象中的 X 轴、Y 轴或 Z 轴上的所在位置，它又可以分为三种，即 2p_x 轨道、2p_y 轨道和 2p_z 轨道。p 轨道有一个有趣但似乎并不重要的特性，

为了便于说明，以下我们将电子在原子中的构型，即轨函数仍简比类比作轨道——译者注

不过随后我们将看到这个特性对王国结构来说却是个关键。那就是，有一个想象的平面将 p 轨道的两个叶片状云团一分为二，在这个平面上不可能有电子出现。这个平面称为节面。s 轨道没有这样的节面，由 s 轨道所描绘的电子可能就出现在原子核上。而每个 p 轨道都具有节面，但在原子核上却找不到占据 p 轨道的电子，我们将了解到，从这些微小的差异中却可以产生巨大的王国。

当向氢原子中加入足够的能量时，它的电子能占据 3s 轨道。用同样的能量，也可以使氢原子的电子占据三种 3p 轨道中的任何一个。所谓 3p 轨道实际上就是上述 2p 轨道膨胀后的变型。如果向氢原子中加入的能量很大，它的电子还会有更为复杂的分布形式。这时，能量增加使电子获得自由度，结果，电子能以五种四叶片状云团中的任何一种形式分布，称为 d 轨道。为什么有五种这样的 d 轨道，而且只有五种，关于这个问题很难用图象去证明。

对氢原子中可能存在的电子分布模式，我们现在应该清楚了。电子拥有最低能量的状态称为原子的基态，这时电子遵循 1s 轨道作云团状分布。电子拥有较大的能量时，它的分布范围膨胀为较大的 2s 轨道，或者电子可以占据三种 2p 轨道中的任何一种。当向氢原子加入的能量更大时，电子将占据 3s 轨道及三种 3p 轨道中的任何一种轨道，或占据五种 3d 轨道中的任何一种轨道。向氢原子中加入的能量比上述情况更大时，这一系列将延续下去。电子遵循的分布方式是：球状的 4s 轨道，三种双叶片状 4p 轨道中的一种，五种四叶片状 4d 轨道中的一种，或七种六叶片状轨道中的一种。六叶片状轨道称为 f 轨道。这样的叙述可以继续下去，不过现在我们不必再往下讲了。

人们可能不明白，既然宇宙中发现的每一个氢原子几乎都是以基态存在的，为什么我们还要长篇累牍地讨论激发态的氢原子呢？周期王国中有 110 块不同的领地，其中只有 1 块领地属于氢，而不同激发态氢的原子又很难发现，那么究竟周期王国的结构与不同态势的氢又有什么关系呢？事实上，只要花费一点时间，稍微考虑一下某些字母和数字，就能明白以上的问题。

首先，考虑一下字母。我们已经知道，氢原子 1 个电子所拥有的轨道，可以根据其轨道叶片状云团的数目而分别称为 s 轨道、p 轨道、d 轨道，或 f 轨道。而这些字母正如我们所见到的那样，分别用作王国西部矩形地块、东部矩形地块、地峡和南部近海岛屿的正式名称。这样使用字母并非巧合，不久我们将了解氢的难以认识的（至少是很难得的）高能区与周期王国之间的关系。

其次，考虑一下数目。氢在基态下，只有 1 个轨道；在第一级高能状态下，有 4 个轨道。现在，我们看看开始出现的一种关系：第 1 周期有 2 种元素，即氢和氦；第 2 周期从钾到氖有 8 种元素，恰恰都是上述轨道数目的 2 倍。的确，西部和东部矩形地块每一横排共有 8 种元素。s 地块中纵列的数目恰巧是某一给定能级的 s 轨道数目的 2 倍，p 地块中纵列的数目则是某一给定能级的 p 轨道数目的 2 倍，这难道是巧合吗？以 d 地块为例，就王国的每个周期来说，地峡中都相应地有 10 种元素，这恰好是某一给定能级的 d 轨道数目的 2 倍。在王国南部的近海岛屿上，有些情况似乎难以理解，在这个 f 地块中，每一横排有 15 种元素，而不是本该按照某一给定能级下 7f 轨

我们已经说明，s 代表光谱学术语中“强烈”（sharp）一词。字母 p,d,f 也代表光谱学中“主要的”（principal）“漫射的”（diffuse）和“灵敏的”（fine）这样一些描述光谱特征的词。

道所预计的 14 种元素。不过，我们早已指出，有关这一地区元素排列的争论一直在激烈地进行着，岛屿与大陆的区域划分尚未解决。王国第 6 周期的各个元素领地，也在争论范围之内，总数包括 32 个元素。而这一数字恰好是这个地区内轨道总和数 $16 (1 + 3 + 5 + 7 = 16)$ 的 2 倍。虽然对这里元素的排列方式尚有争论，但元素总数与所拥有的轨道数目之间却有着非常明显的相关性。

说到这里，我们似乎找到了发现王国“行政区划”的线索，至少就王国的行政机构布局，即地块的排列是这样的。那么，激发状态的氢又与王国有什么关系呢？这里，我们把各种论点汇集起来，引用一条新的特殊的规律，并揭示其错综复杂的关系。

丹麦物理学家玻尔 (Niels Bohr) 最先想象出一个方案，称为合成原理。化学家们根据他的方案，按照氢原子的轨道特性用逐一添加电子的方法组建周期王国。他们设想先把一个电子放进像氢那样的 $1s$ 轨道，然后再放进第二个电子，组合成带有 2 个电子的氦核。如果我们用 $1s1$ 代表氢的原子结构，其右上角的 1 代表轨道中的电子数，那么，氦的原子结构可以用 $1s2$ 代表。但这两种原子的 $1s$ 轨道并不完全一样，因为氦的原子核所带的电荷较多，它把周围的电子云吸引得更接近自己，但两者总的形状是一样的，所以这种表示方法是有意义的。

现在我们研究一下锂，这种元素的每个原子有 3 个电子。锂使我们认识到有关周期王国行政机构的两个重要事实。第一，我们必须知道第三个电子不能加入到前两个电子所在的 $1s$ 轨道中。王国有一条像“诺亚的命令”那样的基本规律，它要求电子只能两个两个地进入轨道。即根据奥地利出生的物理学家泡利 (Wolfgang Pauli) 1924 年阐明的不相容原理，一个轨道中不能有两个以上的电子同时存在。这是量子力学中一条非常深奥的原理。这条原理可以表达得更深刻，并追溯到时空结构所蕴含的基本原理。在所有制约这个想象中的周期王国的原理中，不相容原理或许最为深奥，由于周期王国实际上并非完全虚构，所以这一原理也制约着现实中的王国。至今还没有能够解释这个原理的图象，它就像手工雕刻的格言在石碑上流传下来，延用至今。

根据不相容原理，不允许 3 个电子排在一个轨道中，所以锂的原子结构不可能是 $1s3$ 。第三个电子进入轨道所需要的能量大于另外两个电子占据轨道所需要的能量。我们立即可以明白，为什么我们涉及氢的高能状态是切题的。根据不相容原理，增加的电子必然进入高能状态下的轨道。然而我们遇到的问题是第二能级的 4 个轨道中，即在 $2s$ 轨道和 3 个双叶片状的 $2p$ 轨道中，第三个电子可能占据哪一个轨道？对氢来说，这 4 个轨道的能量相等，没有选择的余地。但在不只有一个电子的原子中，这 4 个轨道所拥有的能量却并不完全相等。

对周期王国的解释取决于节面的存在，这是个关键。回顾以上所述，一个 s 轨道上的电子能够非常靠近原子核，而其他任何类型轨道中的电子，特别是 p 轨道中的电子，都不能那样靠近原子核。请记住这一点，并设想一下铯原子中 $2s$ 轨道的电子分布。铯在 $2s$ 轨道上的电子分布基本上像一个云的壳层包围着 2 个电子，这 2 个电子占据着内层球状的 $1s$ 轨道。铯的 2 个内层电子有效地抵销了原子核所带的 2 个单位正电荷，结果，最外层的电子，我们称之为 $2s$ 电子，只受到被部分抵销或屏蔽后剩下的电荷作用。然而， $2s$

轨道是内含密实核心的一个云团（见图 12），这意味着占据 2s 轨道的电子，直接穿射到原子核心并受到原子核全部吸引力的概率不等于零。所以，就 2s 电子而言，原子核只是部分地受到屏蔽，穿透能力在一定程度上超过屏蔽效应。

现在我们想象一下占据 2p 轨道的 2p 电子。这是一个因节面的存在而被原子核排斥在外的电子，原子核吸引力对它的作用更小，所以被原子核控制得并不牢固。换句话说，由于屏蔽和穿透这两种相反的作用，2s 轨道中的 1 个电子被原子核吸引得较紧，所以 2s 轨道的能量低于 2p 轨道的能量。于是，锂的第三个电子，即最后一个电子，进入 2s 轨道，锂的总体结构为 $1s^2 2s^1$ 。

有关王国西北海角的情况，值得重复一下，因为它给予我们那么多的知识。自从汲取了王国西北海角的经验以后，我们立刻（唔，差不多是立刻）可以用合成原理解释王国其他地区。首先，泡利不相容原理确定了轨道的占有方式，即任何一个给定的轨道不能由两个以上的电子占据。其次，在屏蔽和穿透的共同作用下，一定等级的 s 轨道在能量上略低于同等级的 p 轨道。引申一下，当可能存在其他类型轨道时，ns 和 np 轨道在能量上都低于 nd 轨道。依此类推，nd 轨道上的能量低于 nf 轨道上的能量。前面已经讲过，s 轨道没有节面，原子核上可能有电子；p 轨道有节面，电子被排斥在原子核之外；d 轨道有 2 个相互交叉的节面，对电子的排斥力更大；f 轨道有 3 个节面，对电子的排斥力也相应增大。

现在我们已充分懂得该怎样根据对王国的了解去旅行了。我们拜访过锂，锂的 1 个 2s 电子围绕着由 2 个 1s 电子形成的内部核心。我们用 [Helium]（氦）或简单地用 [He] 表示这一与元素氦相似的内部核心。这样，锂的电子结构可以表示为 $[\text{He}] 2s^1$ ，这就强调了它像一个电子围绕着惰性气体氦状的核心。构成铍的第四个电子可以加入到 2s 轨道中，因此可以预期铍原子的基态为 $[\text{He}] 2s^2$ 。到此，2s 轨道已经满载了（它只能容纳 2 个电子），我们也旅行到王国西部矩形地块的东边缘。为了形成硼的 5 个电子的组合，下一个电子将成为 3 个 2p 电子中的一员，2p 轨道的两个叶片正以稍高的能态等待着新成员的到来。因此，硼的基态为 $[\text{He}] 2s^2 2p^1$ 。

这里有两个问题。一个次要的问题是，3 个 2p 轨道能量相等，只是它们的叶片在空间的方向不同，所以占据其中的哪一个轨道并不重要。主要的问题是一旦 p 轨道开始被占据，我们发现自己已处于东部矩形地块的西边缘，开始进入 p 地块。现在王国各地区命名的由来就清楚了。这些地区的命名与电子陆续填充的轨道名称是一致的。

东部矩形地块有 6 个纵列，有 3 个 2p 轨道，每个轨道可容纳 2 个电子。当我们从硼开始向东行走，经过碳、氮、氧和氟，每到一个领地就向 3 个 2p 轨道中增添 1 个电子，于是氖原子的基态结构为 $[\text{He}] 2s^2 2p^6$ 。现在 2p 轨道已经满载，我们实际上到达东部矩形地块的东边缘。为了在下文中简便起见，我们用 [Ne] 表示与氖相似电子排列。

在旅途中这里值得停留一下，以便导游为你指出两点。一点是关于各族元素的编号。我们记得王国两个主要矩形地块上各族元素的编号有时是从到。现在我们知道这些号码恰好是最外层轨道上电子的总数。例如，锂（Ⅰ族）在内核电子之外有 1 个电子，铍（Ⅱ族）有 2 个电子，硼（Ⅲ族）共有 3 个电子（2 个 s 电子，1 个 p 电子），依此类推直到最东部，那里的氖（Ⅵ族）有 8 个电子。这种对原子最外层电子总数的表示方法使人更有理由

坚持旧有的元素族表示法。第二点是关于周期的编号。我们已经知道，编号从最北边的 1 开始，向南逐渐增大。周期的号码就是原子最外层轨道的等级数。例如，在第一周期内（氢和氦），1s 轨道被占据；我们已经知道，第二周期内最外层的是 2s 轨道和 2p 轨道。在接下去的周期排列中我们可以预计电子占据的是 3s, 4s 和依此类推的轨道。因此，周期数就与原子的同心层状电子结构中轨道的等级一致。

现在我们先继续我们的旅程。第十一个元素是钠，它有 11 个电子，比氖多 1 个电子。然而氖的 2s 和 2p 轨道已经满载，所以新增添的电子不能进入这两个轨道。的确，已没有同样等级的轨道剩余下来。根据不相容原理，新增添的电子不得不去占据能量等级较高的轨道。所以，由于穿透和屏蔽的作用，这个电子进入下一个可能占据的轨道，即 3s 轨道。于是，我们可以预计钠原子的基态结构应是 $[\text{Ne}]3s^1$ 。

导游坚持让汽车在这里停一下。王国的一大特征突然出现在眼前。再加上 1 个电子，我们就看到一种结构，这种结构与我们早先经过的一个领地，锂的原子非常相似。锂的结构是 $[\text{He}]2s^1$ ，即在惰性气体状的核心外面有 1 个 s 电子。钠的结构是 $[\text{Ne}]3s^1$ ，也是在惰性气体状的核心外面有 1 个 s 电子，就是说，我们已经遇见原子结构的周期性：王国中相似的电子结构在做周期性的循环。的确，现在我们才能充分理解，钠和锂属于同一个元素族是因为它们的电子结构相似。

我们现在能够意识到，原子表现出的周期性变化是整个王国的基础，也是更深刻的周期性，即电子结构周期性的体现。当汽车沿着这条想象中令人生畏的山脊边缘缓缓前进时，我们能够明白上述概念的真实性，这就犹如奇妙的景观展现在我们下方。我们驶向第十二块领地镁。它的基态结构是 $[\text{Ne}]3s^2$ ，可以预料它与北面的近邻铍（ $[\text{He}]2s^2$ ）相似。第十三个元素是铝，因为 3s 轨道已经满载，它要增添的电子必然在 3p 轨道上。因此，我们可以预料，铝位于东部地块的西边缘，它的结构为 $[\text{Ne}]3s^23p^1$ ，在硼（ $[\text{He}]2s^22p^1$ ）的正南方。情况正是这样！元素陆续地填补进东部矩形地块，直到氩，结构为 $[\text{Ne}]3s^23p^6$ ，第三级的 s 和 p 轨道都已满载，我们又来到惰性气体的海岸平原。

王国中很少有几处景观比我们刚才看到的更令人惊异。识别元素的族属关系、联合体的形成、王国的确立在于这些带有经验主义倾向的描述。由于我们迄今对王国只是部分了解，有关阐述只限于大量化学现象的概括。尽管目前对原子轨道、不相容原理、穿透和屏蔽等这样一些概念的认识还极其不足，但我们对王国已有了合理的解释。即使由德贝赖纳、纽兰兹、奥德林、迈耶和门捷列夫等人观察结果得出的一些原理还很不详尽，所取得的成就却是值得重视的。

你的导游还会指出王国景观中其他一些特征，这是一些术语而不是什么令人兴奋的景观。我们需要知道下面的一些术语。上文所说轨道的“级”，实际上就是“层”。例如，1s 轨道（唯一的一级轨道）本身形成一个电子层，第二级的 2s 轨道和 2p 轨道共同形成原子的第二电子层，3s, 3p 和 3d 轨道共同形成原子的第三电子层。可以把这些层想象得像一层层的洋葱头，第二层包着第一层，第三层包着第二层，依此类推。一个层内同类型（即叶片数相同）的几组轨道称为这个层的次层。例如，2s 轨道构成原子第二电子层的一个次层，3 个 2p 轨道分别构成原子第三电子层的另一个次层。当一个次层

补足电子时（一个 s 次层有 2 个电子，一个 p 次层有 6 个电子，一个 d 次层有 10 个电子，一个 f 次层有 14 个电子），我们说这一次层已满载。当一个给定层的 s 次层和 p 次层都补足电子，我们说这一给定层本身也满载。与较为主要的 s 次层和 p 次层相比，d 次层和 f 次层稍有不同，因为按常规并不需要它们补足电子，给定层本身才能列为满载。最后，原子的最外层电子，即构成原子时最后 1 个电子所占据的轨道那一层电子，称为价电子层。我们已经知道，内层电子全都构成核心。“价”一词在我们论述原子形成的“键”时还将再次出现，它对最外层电子的用处反映出这样一个事实：这些电子支配着化学键的形成。

我们的旅行已经有了足够的名词术语可以继续我们的行程，现在要更加明确地叙述横穿矩形地块间狭长地峡的历程。我们的行程从第三周期末尾重新开始，那里的第三电子层在惰性气体氩的地方已经满载。氩的电子排列我们用 [Ar] 表示。原子核内每增添一个质子，核外就增加一个电子，我们再回到遥远的西部，钾的领地，钾的基态结构为 $[\text{Ar}]4s^1$ ，与王国西部边缘北面各元素的结构一致。下一个元素是钙，基态结构为 $[\text{Ar}]4s^2$ ，钙是铍和镁南面的同族元素。但王国的周期变动在这里出现了变化。

现在终于进入占据 3d 轨道的界线。不过我们发现汽车并未驶向东部矩形地块，而是在地峡的西部边界上颠簸着。我们从钪 ($[\text{Ar}]4s^23d^1$) 和钛 ($[\text{Ar}]4s^23d^2$) 一直驶向锌 ($[\text{Ar}]4s^23d^{10}$)，5 个 3d 轨道在不断地被占据。此时，地峡东面的接界处 3d 次层已全部满载，任何新增添的电子不得不去占据 4p 轨道，这里已是占据下一个轨道的界线。现在我们进入东部矩形地块，又回到 p 地块，脚下是这一矩形地块里我们所熟悉的一些地区，直到氦为止。我们应该注意，为什么会十分自然地形成第一个这样的长周期，也就是地峡上的周期。新的现象往往并不需要用不同的原理去解释，这显示了科学的力量。

王国南半部的周期变动现在已经确定，下一排第五周期重复着上述的原子结构，4d 轨道开始被占据。由于受到不相容原理和节面的制约，王国最下面一些元素的原子结构超乎情理地出现跳动。

第六周期，也即另一种周期变动开始出现。六叶片状的 f 轨道最终开始被占据，南方岛屿从海面浮现。14 个电子填满大陆的这一地带，于是我们在岛屿北部有了第一排还不十分明确的元素。现在重又回到地峡，f 次层被占满，而且很快就到达地峡尽头。接下去来到位于东部矩形地块南面的危险岬角。第六周期在氫的领地结束。在返回地峡之前还有另一排元素、另一个周期，即南方岛屿的另一条地带。但是地峡还没有到达终点，因为东面的一些地区还沉没在海水之下。在用科学知识对王国进行过解释和对经验主义的制图人作过论证之后，我们的旅行到此结束。

10. 地区管理

对王国早期的观察使我们看到，各个领地的某些特征显示出由北向南和由东向西的趋势：根据不同的特征观察，王国的地势由西北海角朝着东南地区向下倾斜，或者有规则地向其他方向倾斜。时而出现山岭，时而形成谷地，但并非杂乱无章。即使领地各不相同，看来也是分类聚集：金属在辽阔的西部沙漠，非金属在东部矩形地块，活泼的碱金属高山出现在最西边，卤族元素位于最东部。王国是一个有组织的地方，经过我们了解，这反映着原子内电子结构的周期性变化，可以认为，我们能够认识王国辖地内的区域性变化，也就是说能弄清楚一处又一处元素性质的变化。

首先，我们已经知道，王国原子质量的变化几乎都具有规律（见图3）。而且我们对这种规律性变化，已经根据原子核内质子和中子总数随原子序数的增加（由氢的1增加到南部海岸的110左右）而同步增加的情况，进行了说明。不过，即使在一幅完善的王国地势图上，偶尔也会出现误差，这是因为人们采用的是样品的平均质量，而样品由几种同位素混合组成，不是质量相等的同一种原子。门捷列夫认为以前测定的原子量不正确。我们现在知道，这些误差在表示平均值的地势图上是微不足道的。

此外，我们看到代表原子直径的地势，在一个周期的跨度内自西往东向下倾斜，各周期间地势由北向南上升，在南部海岸的内侧高地，上升趋势出现奇怪的停顿（见图4）。我们可以认为，王国大陆由北向南普遍升高是因为，随着元素周期序数的增加原子中也相应地形成新的电子层。例如，锂的1个电子围绕着氦型的核心，形成几乎是中空的壳层；往南的下一个元素钠也有1个电子形成类似的壳层，不过壳层中是氖型的核心，而氖型的核心又包含着一个氦型的核心，依此类推。随着周期序数的增加，元素的原子就像一层又一层的洋葱头那样，逐渐增大。

要解释同一周期内自西向东的变化，并不很简单。乍看起来，令人感到奇怪，因为原子随着所含电子数目的增加反而缩小了。然而，我们不能忘记原子核的作用。当我们向东行走经过一个周期时，核电荷逐渐增加。增加了的核电荷以更强的吸引力吸引周围电子，并且向内拖拽电子。不过，这种收缩作用又会受到电子间排斥力的反作用，而且电子间的排斥力在同一个周期内又随着电子数自西向东的逐渐增多而越来越强。一般说来（也就是几乎到处如此），收缩作用超过膨胀作用，因而反映原子直径的地势是朝东下倾的。当接近地峡东端时，各处地势先是上升，然后重新下降；不过，也有一两处的地势，并不遵循总趋势上升。在这些地方，电子间排斥力增大所引起的原子膨胀趋势占了上风，胜过了原子核与电子间吸引力增大所引起的原子收缩趋势。

有一个重要的哲学观点不能不予以注意。我们知道，反应原子直径的倾斜的地势上偶而出现平缓的上升，是完全均衡的力的较量结果。即原子核对电子的引力作用恰好达到了控制地势的程度，这种引力稍有减弱，王国就会向其他方向倾斜。由几乎相等的均衡力这样来确定地势，是从各种角度看到的王国整个地势的一大特征，这是化学上的一个基本特征。这就说明了为什么化学是一门如此微妙的学科。在这个学科中，很难预料观测结果，因为往往难以确定某一特殊效应是否处于支配地位，或者这一效应是否会起反作用。王国就像一个非常和谐的民主国家，党派代表制近乎平等，不过有时左

翼获胜，有时右翼获胜。

我们还必须说明，在反映原子直径的地势图上，王国南部地区特别平坦。你应该注意到，如果把王国南部岛屿上的元素移到大陆的停靠地，使它们形成狭长的次生地峡，那么出现在这些元素之后的一些地区，就变得平坦了。从这个线索可以说明，确实存在着 f 地块上的各种元素，确实存在着 f 电子，这是地势变为平坦的主要原因。这一解释至少部分地说明了，当我们在狭长的地峡上自西向东行走时，核电荷逐渐平稳地增大，可以预料原子在慢慢缩小。此外，f 电子的分布犹如一条细长的稀薄云团，它不能有效地屏蔽不断增大的核电荷作用。因此，原子核的吸引力将占支配地位，原子在通过 f 地块时，会有相当明显的收缩。如果原子不发生收缩，那么当我们重新进入真正的地峡时，那里的原子要比预计的大得多。尽管原子序数、原子的电子数和原子质量都明显地增大了，但人们确实发现，那里的原子直径与上一排的原子直径却是相似的。当南方岛屿的各个元素脱离大陆停靠地重新返回大海时，仍然是地势平坦的一片平原。

现在我们看看图 5 中反映西部沙漠金属元素密度的地势。这一地势在接近南部海岸处，特别是在铍和钪的领地，已达到喜马拉雅山的高度，并一直延续到铅。这是在构成这些元素的原子时，把 f 轨道纳入原子结构体系的结果。由此可见，根据 f 轨道这样看似隐约的抽象概念，是能对真实世界作出结论的。随后，请你停下脚步，捡起一块铅，你可以认为铅的密度即来源于这些抽象概念，来源于这些抽象概念对王国的支配方式。

由于地峡上原子直径的相似，上述隐藏地下的各种元素，在技术和商业的现实世界中又一次地引起了沸腾。基于原子直径的相似，地峡上的元素能够彼此混和，形成我们称之为合金的材料。这就好比一个食品商人，只要有点技巧，就能很容易地把苹果和橘子码成一堆，不过要把橘子和西瓜码成一堆，就比较困难。因此，冶金工作者能够把地峡上各种元素的原子混合起来，特别是使铬、锰、镍、钴与铁构成现代工业合金。我们应当认识到，正是这些潜伏在王国地下深处的抽象的 d 电子，使得我们的技术获得蓬勃发展。

其次，我们要把注意力转向那些易于丢失电子而形成阳离子的原子。电离能地势图上的周期变动比原子直径地势图上的周期变动更为微妙，但总的说来，反映电离能的地势，在王国西南方较低，朝着东北海角逐渐上升（见图 6）。更概括地说，这一地势在西部沙漠较低，而在东部矩形地块上称之为非金属的各个地区较高。电离能地势图的倾斜方向与原子直径地势图的倾斜方向大体相反。这一情况正是我们假定原子核（对电子的）引力占主导地位时所预料的。当我们从西南向东北行进时，原子逐渐变小，原子的最外层电子越来越接近原子核，原子核对外层电子吸引得也越来越紧，因而电离能增大。在整个西部沙漠范围，元素的电离能都很小，原子很容易失去电子，所以那里的元素形成固态金属。金属中的一排排阳离子就像陈列着的橘子那样叠放着，在四周弥漫的电子海洋作用下，它们紧密地结合在一起。在矩形地块的东北部地区，原子很小，电子结合得很紧，不易丢失，所以这里的元素是非金属。

我们可以借助已掌握的电子结构特征，通过某些方法，来充实我们的王国地势图。首先，我们知道，第二电离能，即转移第二个电子所需的能量，要大于第一电离能，因为第二个电子必须摆脱一个已带有正电荷的离子。不过，我们对反映原子电子结构的电离能的增大，有一个模式。以钠为例，钠

在类似惰性气体的紧密核心（其结构为 $[\text{Ne}]3s^1$ ）之外，有 1 个电子。钠的第一个电子很容易转移，只需要消耗 5.1 电子伏的能量，但钠的第二个电子来自与原子核非常接近的类似氦的核心，转移这个电子需要很大的能量（47.3 电子伏，实际上约为转移第一个电子所需能量的 10 倍）。从类似氦的核心排除电子是可以实现的（例如，太阳中几乎所有的电子都是在热的作用下由原子发射出来的），不过总的来说，化学过程涉及的能量都太弱，除了能转移第一个电子外，不能转移其他电子。

现在我们向东来到钠的邻居镁的领地。镁在 $[\text{Ne}]3s^2$ 的核心之外有 2 个电子，其中有 1 个电子极易转移（镁的第一电离能为 7.6 电子伏）。镁丢失第一个电子后，在 $[\text{Ne}]3s^2$ 的核心之外的轨道上还剩下 1 个电子，这个电子距原子核仍然很远，受到的吸引力很弱。因此，尽管转移镁的第二个电子需要较大的能量，但只不过消耗 15.0 电子伏也就够了，这个数值远远小于使钠的核心破裂的能量。通过常规的化学过程，就可以获得转移镁第二个电子所需要的能量。要从镁原子排除第三个电子，有 1 个电子就得来自类似氦的核心。这一步所需的电离能非常大，为 80.1 电子伏之多，用化学方法是难以达到的。所以，我们可以预料，镁形成的阳离子带 2 个电荷，而钠形成的阳离子只带 1 个电荷。

类似的理论也适用于西部矩形地块上的元素，我们已经揭示了王国的另一个周期变动规律。第一族元素能形成带 1 个电荷的阳离子，第二族元素能形成带 2 个电荷的阳离子。这是化学家们观察的结果，西部地块上所有元素的化学特性几乎都可以用以上观点解释。

王国东部矩形地块（p 地块）上的金属元素不多，但我们期望能用类似的理论进行解释。东部矩形地块上对工业来说最重要的一个金属领地是铝。这个元素属于第十三族（旧分类为 III 族）。它的结构为 $[\text{Ne}]3s^23p^1$ ，即在类似氦的紧密核心外有 3 个电子。现在我们可以预料，铝这个元素大概能较容易地（即在化学能量消耗范围内）失去 3 个电子，但不能失去更多的电子。这样推测的根据是，转移 3 个电子开始需要的 3 级电离能分别为 6.0 电子伏、18.8 电子伏和 28.4 电子伏，随后是能量的一个跳跃，即转移第四个电子需要 120 电子伏这样巨大的电离能。化学家们当然知道，铝所涉及的所有反应几乎都是失去 3 个电子，不会失去更多，但也难得更少。顺便说一下，至此我们可以理解，某些人之所以偏爱老的元素族分类法的另一个充分理由，那就是 III 族的 3 正好代表铝能形成带 3 个正电荷的阳离子；而把铝分在第十三族反而表达得不那么直接。

王国这部分元素和西部矩形地块上各元素的不同之处，在于它们的电子转移是发生在两种轨道上的。就铝而言，它的 2 个电子来自 s 轨道，而另 1 个电子来自 p 轨道。可以推测，这里一定潜伏着另一种周期变动规律，只要对王国大地仔细观察便可以发现这种规律。情况是这样的：当化学勘察者向南行进到第十三族元素领地时发现，形成阳离子的元素领地在排列上有所变化。在最南部，多数反应只失去 p 电子，形成带 1 个电荷的阳离子。在王国的这个地区，我们必须注意的是，某些元素有双重性，即它们可以形成两种不同的阳离子，一种是失去外层的全部电子，形成带 3 个电荷的阳离子；另一种是只失去最外层的 p 电子，形成带 1 个电荷的阳离子。化学家们正是利用这一双重性以不同的方法制备出这些元素的不同化合物。

东部矩形地块上元素丢失电子的数目可变性不仅仅是第十三族的特征，

为了说明这一点，我们再研究一下东面相邻的第十四族元素。这里是铅，电子结构为 $[\text{Xe}]6s^26p^2$ ，在类似氙的核心之外有 4 个电子。现在我们已经非常了解工国的规律，完全可以推测出铅能相当容易地失去 4 个电子。要超越这一步丢失更多的电子，就不得不打破像氙那样的紧密核心，使紧靠着原子核的电子释放出来，不过这已属于物理作用的范畴，不是一般的化学过程中投入较小的能量所能达到的。随着化学家们视野的扩大，可以推测电子能够分成截然不同的两群。某些反应只能使铅最外层结合得最弱的 2 个 6p 电子丢掉。可以预期，如果反应力量更强，可以使铅外层的 4 个电子全部丢掉，这样，类似氙的核心之外就没有电子壳层存在了。于是，化学家们可以根据铅的阳离子能带 4 个电荷和 2 个电荷的特点，开始预测铅的化学性质。总的说来，情况就是这样。

我们还没有仔细讨论地峡的情况。d 地块上元素的电子结构类似 $[\text{Ar}]4s^23d^5$ （此为锰原子结构），对这种结构来说，化学反应能足以使 2 个 s 电子和数目不定的 d 电子发生转移，从而形成各式各样的阳离子。生命的变化过程以及人类从王国土地上建立起来的技术的上层建筑，正是受益于对原子丢失电子（以及与之相反的获得电子）不局限于一种格式的认识。例如，铁在血红素核心中以 4 个血眼的形式出现，它很容易改变血红素的电子组成，使血红素可以接纳氧分子并把氧输送到人体需要的部位，然后再若无其事地把氧释放出来，从而促进人体健康。凡需要电子促进生物细胞发生某些变化时，往往要靠铁的原子释放出电子。再如，在地球上经由光合作用吸取太阳能而产生可用能源的地方，镁都执行着调整电子的微妙任务。太阳能首先使电子释放出来，而后对释放出的电子进行调整，结果产生我们所阐明的效应，使我们具有活动能力。

化学工业十分依赖地峡上的元素，化学工业的几乎每一种产品都要利用催化剂。催化剂是能使我们所希望的化学反应加速进行的一类物质，如果没有催化剂，一些本来可以实现的化学反应甚至会变得无法实现。几乎所有的催化剂都以地峡金属元素释放电子为基础。

把氮固定下来可以制成肥料，为我们提供粮食。氮还可借助于铁迅速释放并回收电子，改进我们的蛋白质。巴克特利亚（Bacteria）发现如何利用钼延长电子的释放时间，以完成同一任务，而无需增加资金。主要来源于 P 地块的硫酸可在铂和钒的催化作用下制成，硝酸则可借助于铈的催化作用产生。在各式各样的特殊表面上，以及在作为催化剂的化合物上，来自地下的碳氢化合物发生分解、断裂、混合、键合、扭转、延伸、固定、增大等等变化。所有这些社会的深层基础，从生机勃勃的有机物质到工业的生存能力，从根本上看，都要利用隐伏在王国机房下深处的 d 轨道这一抽象概念的现实性。

在概述阳离子的形成时，最后值得一提的是，阳离子的直径问题。阳离子形成时，电子从原子最外的壳层被剥离开来，暴露出原子的核心，例如钠的阳离子像是裸露的氖核心，镁和铝的阳离子也如此。因此，我们可以预料，在所有情况下，阳离子的直径都远远小于母原子的直径。此外，阳离子直径的变化也反映了母原子直径的变化。反映原子直径的地势图，除偶尔有丘陵和河谷出现外，总体上是从王国西部沙漠的西南角朝着王国东北部向下倾斜的。

那么，阴离子的情况又如何呢？关于这个问题，王国的地下结构也能使

我们编织出一幅合理的织锦图案，不过不如阳离子的织锦图案那样丰富多采。因为，在化学反应的环境条件下，阴离子形成时，它的直径几乎不变；而且阴离子的形成只限于原子直径不变和变化不大的地区。我们在对王国的初步观察中发现，电子的吸附能力和阴离子的形成，均以元素的电子亲合势为度量。当电子吸附在原子上时，电子亲合势高的元素能释放出巨大的能量。此外，我们还发现，紧靠王国东北海角的氟，是电子亲合势最高的元素。为什么会这样？王国这一地区的周期变动规律又是怎样的呢？

需要回顾一下，氟原子的电子结构为 $[\text{He}]2s^22p^5$ ，比满载的氖的壳层只少1个电子。当1个电子吸附在氟原子上时，这个电子就进入原子的最外电子壳层，并把这个壳层填满。由于电子间排斥力的增大，这时氟原子稍有膨胀。我们可以预料，氟的阴离子（严格说，是氟化物离子）要略大于母原子。当电子进入氟原子时，它能和电荷相当高的原子核非常靠近并吸附在原子核上，所以可释放出3.4电子伏的能量。现在，我们研究一下在氟原子上添加第二个电子使氟离子带有2个负电荷的情况。有两种作用妨碍着这一操作的成功。一是必须把第二个电子添加到已经带负电荷的离子上，因而产生同性电荷的排斥作用，使最终目标无法实现。在电子最终到达离子时，一直受到排斥，而且所有的轨道均已满载，它根本不能进入外层轨道，不得不环绕着氖型的离子形成一个新的壳层，而且不能靠近中心的原子核。氟的第二个电子一方面受到轨道上的电子排斥，一方面被远远隔离在原子中心部位的原子核所吸引，而吸引力又非常微弱，因此对能量的投入者来说，总的结论是没有吸引力，氟根本不能形成带2个电荷的阴离子。同样的结论也适用于氟以南的其他卤族元素。它们都只能容纳1个电子，而不能再多。所有的卤化物阴离子（如氟化物、氯化物、溴化物和碘化物等卤化物离子），都只能带1个负电荷。

在王国北方海岸从氟再向西跨过一步，就是氧。氧的电子结构为 $[\text{He}]2s^22p^4$ ，其外壳层有2个空位，因而氧的性能大体是清楚的。氧易于接纳1个电子（释放出1.5电子伏的能量），这个电子能从近旁的原子核处接受强大的吸引力。第二个电子必须克服离子的负电荷作用，才能添加到氧原子上去，所以必须投入能量，这与氟添加第二个电子的情况几乎一样。不过，这一目标是值得争取的。氧的带有1个电荷的阴离子，其最外壳层还没有填满，第二个电子能在这个壳层上找到落脚处，稳定下来，并与相距不远的原子核产生和谐的相互作用。不过，从氧的带1个电荷的阴离子上产生带2个电荷的阴离子（氧化物离子），需要补充8.8电子伏的能量，这个数值不大，可以从其他化学反应过程释放的能量获得。至于在氧化物离子上添加第三个电子，是毫无希望的，因为这第三个电子必须添加在已带有2个电荷的阴离子上，而一旦电子到达那里，必然处在氦型的密闭核心之外，显然不能和中间的原子核相互作用。因此，可以预期，氧和氧以南的同族元素都只能形成带2个电荷的阴离子。这就是化学家的发现。

现在我们可以返回基本上贫瘠的王国东部海岸，这里是惰性气体的驻地。惰性气体的轨道都已填满，新来的电子只有在新壳层上占据一个轨道，才能附着在原子上，而这个新添的电子将环绕在原子周围，远离中心处的原子核。在这样的位置上没有能量效益，所以惰性气体的电子亲合势力负值。例如，把1个额外电子固定在氖原子上需要1.2电子伏的能量，同样，把1个额外电子固定在氩原子上需要1.0电子伏的能量。这些能量相当于保住已

有电子的能量，而绝非增添电子的能量。因此，惰性气体恰如其分地位于王国中基本上属于死角的地区。

最后要谈的是阴离子的大小问题。我们已知，氟和氟化物的阴离子大于母原子，因为新增添的电子为克服原子核的引力作用，而使原子膨胀。例如，氟化物和氯化物的离子分别大于氟和氯的原子，氧化物离子大于氧原子。除了阴离子普遍膨胀外，王国这一三角地带的阴离子（直到王国东北海角附近）大小有变化，而且这种变化明显地反映了母原子直径的变化。根据阴离子直径，对王国这一三角地带勾画出的王国地势图，显示出由北向南上升和由西向东下降的趋势，而且这个地带反映离子直径的地势都略高于反映中性原子直径的地势。

11. 联系与联合

在我们的现实世界里，即使不是所有的一切，但多数财富都源于王国成员之间形成的各种化合物。就像字母表上的字母能够组合成无穷无尽的文学作品那样，100 多种元素可以组成数以百万计的这种联合体。我们要想在潜在的和现实的联合体范围内遨游根本是不可能的，不过联合体的某些特征显示出的周期性却与王国的周期变动一致。化学家们经常参考已研究过的一些地区位置，设法对这些联合体进行分类，我们也准备这样做。在这里我们要研究可能形成的联合体类型，把各联合体成员的特性及其所形成的化合物与它们在王国中的位置联系起来。

化合物产生于王国某些地区原子间紧密的内部结合，而不仅仅是掺混在一起形成的混合物。在某些情况下，原子紧密的内部结合非常稳定，甚至能永世长存。地心和地表的结合就是这样。其他一些结合就不太稳定，可能在短时间内就会瓦解。自然界形成的许多含碳有机化合物，结合得就不太稳定，只能维持 1 天、1 年，或 60 年，然后分解成不太复杂的原子集合体。原子的某些联合非常短暂，需要训练有素的眼睛才能加以辨认并把它们记录下来。

化合物借助于化学键或原子键而形成。众所周知，这种键起因于原子的最外层电子，即所谓价电子层电子的分布情况。原子价是表示原子形成化学键的专门术语，它来源于拉丁文“Vatete”一词，意为“力量”。罗马人在告别时常说“Vatete”，意思是“祝您健康”。我们知道，原子的电子结构体现着由元素布局所确定的周期性。因此可以预料，元素形成化学键的能力也具有周期性。在这里，我们只讨论化学键的数目和类型等一般的周期性规律。

化学键主要分为两种，即离子键和共价键。顾名思义离子键，是原子所形成的离子间的相互作用，这种作用产生于阳离子和阴离子间相反电荷的吸引力。共价键则是原子通过共用电子而产生的一种较为松散的缔合。首先，我们要较为详细地研究一下这两种化学键，然后再看看这两种键的形成怎样反映出元素在王国中的位置分布。倘若在原子间有化学键形成，便会释放出能量，所以在所有的情况下，我们都凭借王国中的一个路标式的表示符号，指向王国中低能量的方向。每当我们要对化学键和联合体的形成找出解释时，都需要确定为什么能量表示符号的箭头朝下，即为什么生成物的能量低于构成生成物的单个原子的总能量。

为了弄清楚导致离子键形成的效应，我们必须研究一下气态的钠原子（电子结构为 $[\text{Ne}]3s^1$ ）与王国另一端的氯原子（电子结构为 $[\text{Ne}]3s^23p^5$ ）混合在一起的情况。开始，两种原子仅仅处于相互混合的阶段，原子间的联合体尚未形成。我们需要考虑一下，在这样的混合体内是否也有能量表示符号箭头朝下的情况，不过，肯定能量表示符号的箭头是竖直朝上的。从每个钠原子转移出 1 个电子需要 5.1 电子伏的能量，但可以证明，在这方面做些投入完全值得，所以我们这样做了。我们还知道，当 1 个电子进入 1 个氯原子形成 1 个氯离子时，可以释放 3.6 电子伏的能量。在这个反应步骤中，我们把电子从一种原子转移到另一种原子，得到了两种像惰性气体结构的离子，即钠的阳离子和氯的阴离子。不过，这时的能量差值为 5.1 电子伏—3.6 电子伏=1.5 电子伏时，能量表示符号箭头仍然朝上，似乎没有什么理由可以产生离子。

然而，还有第三个非常重要的因素在起作用，那就是带有相反电荷的离子间的电吸引力。当离子互相接近时，电吸引力变得很强，以致电吸引力所减少的能量胜过了我们不得不投入的能量。正负电荷相互作用产生的能量一旦超过上述差值 1.5 电子伏时，能量表示符号就像交通信号灯周期性变换那样，变为箭头朝下。所以，当阴离子和阳离子聚集成团时，每个阴离子周围环绕着若干个阳离子；同样，每个阳离子周围环绕着若干个阴离子，能量就达到了最低值。这时产生的结构称为离子型固体。更为详细的测量结果表明，在离子型固体中，每个阴离子周围有 6 个阳离子，每个阳离子周围有 6 个阴离子（见图 14）。实际上，这就是普通食盐的结构，而食盐就是取自盐矿和海水的氯化钠。

我们将运用上述观点分析由元素组成的各种化合物，并进一步说明王国显示出的自然界周期性变化规律。这种化学上的周期性变化规律，实际上是门捷列夫绘制元素分布图的一个强有力的证据。首先，请注意钠只易于释放 1 个电子，同样，氯只能接受 1 个电子，这正是钠和氯在食盐中的比例。当然，我们可以利用已掌握的表示王国电子布局的地势图预计，在由第一族碱金属与第十七族卤素所形成的各种化合物中，两种原子的比例总是相等的。现已观察到，所有碱金属的卤化物（包括氟化锂、溴化钠、碘化钾和这两个元素地区可能形成的 30 种二无比合物）都是这样一比一的组合。于是，王国的规律，即潜在的电子结构，也控制着王国的各种联合体。

如果我们向东移动一族，就跳到西部沙漠钙和碱土金属的领地。这些元素在暴露出它们难以破坏的核心之前，都易于释放出 2 个电子。但每个卤素原子仍然只能接受 1 个电子。这表明，在碱土金属和卤素形成化合物时，对每个碱土金属的原子来说，就有 2 个卤素原子与之结合。已知的元素组成正是这样。

现在我们可以反过来论证。假设我们返回第一族碱金属的领地，但现在考虑它们与第十六族元素氧和氧以南同族元素形成类似比合物的情况。碱金属的每一个原子能释放出 1 个电子，第十六族元素的每一个原子能接受 2 个电子，因而我们可以预计，在化合物中，对每一个氧原子或硫原子来说，有 2 个碱金属原子与之结合。得出的结果也正是这样。

为了圆满结束以上讨论，我们向东转到第二族元素，同时向西转到第十六族元素。每个碱土金属的原子能释放出 2 个电子，每个和氧同族的原子能接受 2 个电子。于是，在我们重新得出的化合物模式中，对每个第二族的原子来说，有 1 个第十六族的原子。这一模式正好与观测结果相符，说明了像石灰石（氧化钙，1 个钙离子对 1 个氧离子）那样的化合物的组成情况。

化学家们想要解释或预测离子型固体的结构时，总是使用这样的论据。只有形成阳离子所需要的能量不太大时，能量表示符号的箭头才会朝下；形成阳离子所需要的能量如果太大，这个能量就不可能从相反电荷的吸引力中获得，能量表示符号的箭头也就不会朝下。这就限定了，元素形成离子键时，其中必有一种金属元素，因为只有金属元素的电离能很低。我们从上空鸟瞰王国时，只见下面的西部沙漠在闪闪发光，现在我们知道，那里正是可能形成离子型固体的元素所在地，而且它们所形成的离子型固体的组成情况，取决于元素族在王国中的所在位置。

离子型固体有一系列的共同特点，根据这些特点，可以很容易地把它们从现实世界中辨认出来。首先，由于它们是紧密堆积在一起的坚固的离子聚

合体，因而是刚性和脆性的固体。如果要使离子型固体变成液态，则需要强烈加热，以使离子彼此松散开来。所以，离子型固体的熔点通常都很高。其次，更为重要的一个特点是，当离子型固体溶解于水（决非都如此）时，离子漂散开来，变为可以流动的导体。因此，离子型固体是潜在的电解质，或者说离子型固体在熔融态或溶解于水时，都是能够传导电流的物质。

现在我们研究一下共价键的形成。在化合物的形成不涉及金属元素时，为了使电子从原子中释放出来需要花费很大的能量，以致根本不可能形成离子键。即使考虑到最终可能形成的离子间相反电荷的吸引力，总能量表示符号的箭头仍然朝上。可能发生的最好情况是，原子能有效地保留住自己的电子，不过要开始与其他原子共用电子了。当 2 个相邻的原子共用一对电子时，我们说这两个原子被一个共价键结合在一起。

首先，我们需要了解为什么 2 个电子构成一个共价键，而不是由 1 个电子或其他数目的电子构成共价键。原因可以追溯到泡利的不相容原理，这一原理限定占据同一轨道的原子数不能超过 2 个。当形成共价键的 2 个原子靠在一起时，它们的最外电子壳层（我们称之为价电子层）不再只限于各自的原子，而是像网一样覆盖在两个原子上面。我们知道，原子的电子分布称为“原子轨道”，依此类推，在分子中覆盖着两个原子的电子分布我们可称之为“分子轨道”。虽然分子轨道的覆盖面比较大，形状也比较复杂，但轨道终究是轨道，不相容原理依旧适用。因此，一条分子轨道只能容纳 2 个电子，一个共价键只能由一对电子构成。这对电子由两个原子共有，也就是覆盖着两个原子。

附带说一下，两个原子也可以共用两个以上的电子，因为能够覆盖这两个原子并把它们网罗在一起的轨道不只是一条。每一对共有的电子算作一条共价键，因此原子可以借助于单价键（一对共价电子）、双价键（两对共价电子）、三价键（三对共价电子）和极为罕见的四价键（四对共价电子）结合起来。一般说来，原子的价键数越高，其结合越稳固。与离子键的形成一样，共价键只在它们能使能量降低的情况下才会形成。不过在共价键形成时，我们不必担心会像离子形成时需要投入那么巨大的能量，因为共用电子所涉及的能量要远远小于电子重新分配所需要的能量。因此，我们可以预料，如果发生反应的元素不涉及西部沙漠地区，就会形成共价键。实际上，东部矩形地块上部三角地带的元素形成的化合物，是典型的共价化合物。

原子形成共价键所产生的整体称为分子。由共价键形成而产生的化合物明显地不同于由离子键形成而产生的化合物。分子型化合物一般是（我们将看到不一定是）原子的不连续组合，它不是原子无限连续的聚合体。此外，由于电子共用比电子丢失更难以捉摸，某个电子部分地脱开其他电子而在空间的某一方向上形成共价键的能力，会影响到这个电子在不同方向上脱开其他电子形成共价键的能力。因此，共价化合物分子中的原子排列具有特定的几何形状，也就是说，王国中的共价化合物是不连续的，经常为具有明显特定形状的小原子团。

事实上，离子聚集体不仅是无穷无尽的，而且在常温下总是固体；分子聚集体则往往很小，在常温下能够形成气体或液体。即使分子聚集体能形成固体，其分子间的作用力一般也比离子型固体中分子间的作用力要弱得多。因此，多数分子型固体比离子型固体更软。此外，只要稍稍加热（产生一种振动作用），就能使分子型固体振裂为它的组成分子，所以分子型固体的熔

点和沸点一般都较低。

概括地说，分子型化合物是自然界的软表面，而离子型化合物是自然界的硬表面。这种区分以地球表面的软化最为明显，河流、空气、草原和森林都是分子型化合物，地表下坚硬的地层基本是离子型化合物。这就是为什么东部矩形地块上部三角地带对生物的存在如此重要，而为什么王国其余地区对形成坚固稳定的地台是如此重要了。

共价键形成软性结合的情况并非一成不变。在某些情况下，原子与相邻的原子形成共价键，而相邻的原子又与下一个相邻原子结合，依此无限地类推下去，直至本质上形成了无限连续的固体。一个特殊的例子就是金刚石，它是碳的一种存在形式。这种形式的碳元素，硬度极大，这几乎弥补了碳在别处表现的软性。金刚石的硬度起因于在整个全刚石固体中都展布着刚性的框架式的键，通过这种键把原子和原子无穷尽地结合起来，就像巨型建筑的钢架结构一样。

在我们离开王国这种形式的联合体之前，需要涉及几个问题。其一是关于碳参与分子形成时造成拱形的本领。碳的这种本领能形成错综复杂的结构和合作关系，使其所形成的联合体变得有活力，并可能影响到联合体自身。碳这个单独的领地之所以有这种潜在本领是因为它内在的中立性，也就是碳缺乏自我要求。碳位于王国北海岸的中部。碳既不像左边的元素那样，是电子的释放体；也不像右边原子那样，是亲合力强的电子接受体。碳对形成联合体的需求量不高。此外，碳甚至还能自给自足，即碳和碳之间能发生广泛的自身联系，形成链状、环状和树枝状的原子结构。碳是否易于放弃电子，这要看另外一个原子的需要，还要取决于碳在准确的排列下是否有足够的电子与其他的原子结合。如果碳还有电子亲合势，它就会迅速满足碳之间的键合倾向，而没有机会与其他元素巧妙地结合在一起。因为碳处于中立状态，既不需求什么，也不特别富有，所以碳能延长联合体的稳定期，而不是充当一个短暂协调者的角色。

后 记

我们广泛地遨游了王国，从高空做过不同角度的观察，还在陆地上进行过艰苦跋涉，我们已了解了王国的结构。我们曾潜在王国地下探索王国的内部活动规律。在结束这次旅行之时，如果还不明了，我们可以把有关这一想象中的国度的看法集中起来，系统地说明为什么它是如此的重要。

现实世界纷繁复杂，既令人生畏，又使人无比欢欣。即使是在没有生命的无机界，岩石、石块、河流、海洋、空气和风，都那样蔚为奇观，再加上生物的组成部分，奇迹层出不穷，几乎超出人们想象。然而，所有这些奇观都来源于大约 100 种成分。这些成分就像文学作品中的字母，彼此串联，相互掺混，密切结合在一起。这种认识就是早期的化学家们用原始实验方法取得的一项巨大成就，而且人类这种惊人的理性的力量，依旧能像当时那样有效地用来解释、探索并说明世界可以被分解为若干组分，即各种元素的现象。这样的分解，非但不会减少我们的乐趣，而且能够使我们感性认识加深理解，并由此而增进我们的乐趣。

此外，人类还取得了更大的成就。上述元素虽然都是普通物质，当时也很少有人想到元素之间彼此有什么联系，但化学家们却通过一些表面现象辨认出一个包含有亲属关系、家族关系、联合关系、相同性和相异性的王国。经过化学家们的实验和思考，一片陆地从大海中隆起，而且人们可以看出由元素形成的地势。重要的一点是，从不同角度看来，王国地势都是有规律的，并不仅仅是杂乱群集的一些山峰和谷地；特别是，人们还发现王国地势呈现出周期性的变化规律。这是最惊人的发现，为什么实实在在的物质会显示出音乐般的旋律呢？

正如科学发现中常见的那样，理解往往产生于简单的概念，正是这些简单概念在事实根源处起着潜伏作用并构成了客观事实。原子一经了解，有识之士就用量子力学这一伟大发明的观点去解释原子结构，并把王国的基础揭示出来。一些简单原理，特别是揭示了不相容之谜的原理，表明原子的电子结构具有周期性的排列规律。立即，眼睛上的阴影消失了，人们认识到王国的周期性正反映了原子中电子结构的周期性变化。

现在，我们对王国的结构、布局 and 可能的拓展范围，已有充分了解。还有一些流行趋势比我们这里介绍的还要深奥，不过人们对这些流行趋势已有所认识。尽管我们对王国有一定了解，王国依然是谜一般的地域。我们对王国某些地区的特征可以作出合理解释，并在一定范围内能够有把握地预测出某一元素的化学性质和物理性质，预测出这个元素所形成的各种化合物。王国，即周期表，是一个最重要的统一的化学原理，全世界的墙壁上都悬挂着元素周期表，掌握化学知识并在化学研究中产生新途径的最好方法就在于要懂得并利用周期表的布局。但是，正如我们所见，王国是一个矛盾四伏的地方。某一具体领地的特性，有时是方向相反的两种效应相互作用的结果，有时是几种效应相互作用的结果。通常，这些效应最终达到平衡，即使根据积累的丰富经验，也难于绝对肯定某一元素不会有预测不准的独特性质，或者据此可以开辟一条令人振奋的新途径。

王国中的元素恰似字母表上的字母，同样具有使人无限惊喜的功能。字母表没有基础结构，与此不同，王国却有足够的基础结构，使它能产生理性上达到饱和的一系列聚集体。因为这一系列聚集体就是最终达到平衡状态的

各种生龙活虎的元素个体，它们各具特癖，有一定布局，但又未必总是分布明确，所以王国始终是一片使人感到有无穷趣味的乐土。

· 科学大师佳作系列 ·

* 《宇宙的起源》	约翰·已罗
* 《宇宙的最后三分钟》	保尔·戴维斯
* 《人类的起源》	理查德·利基
* 《周期王国》	彼得·阿特金斯
* 《大脑如何思维》	威廉·H·卡尔文
* 《自然之数》	伊恩·斯图尔特
* 《伊甸园之河》	理查德·道金斯
《粒子物理学》	莫雷·盖尔曼
《生物共生的行星》	林恩·马古利斯
《语言与心智》	史蒂文·平克
《大气与环境》	斯蒂芬·H·施奈德
《癌分子起源》	罗伯特·A·温伯格
《适应性》	乔治·C·威廉斯
《社会变化与适应》	玛丽·凯瑟琳·贝特森
《认知科学》	丹尼尔·C·丹尼特
《人类进化与环境》	贾里德·戴蒙德
《生物进化的模式与方向》	斯蒂芬·杰伊·古尔德
《计算机的未来》	丹尼·希利斯
《思维机器：计算机与人工智能》	马文·明斯基
《时间的起源》	乔治·斯穆特
《蜗牛，苍蝇与蝴蝶》	史蒂夫·琼斯
《你的大脑》	苏珊·格林菲尔德

带*为已出书

