

元素周期表

维基百科，自由的百科全书

元素周期表是依原子序数、核外电子排布情况和化学性质的相似性来排列化学元素的表格。一如其名，元素周期表的排列展现元素性质的周期性趋势。其中，周期表的横列被称作周期，纵行则被称作族。一般而言，在同一周期内，金属元素位于表的左端，非金属位于右端；同族的元素则大多具有相似化学性质。周期表中六个族具有单独的别名，包括第17族（VIIA族）别名为卤素，第18族（VIIIA族）被称为稀有气体。此外，原子轨道的排布情况与表中周期的排列密切相关。

族→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓周期																		
1	1 H 氢																	2 He 氦
2	3 Li 锂	4 Be 铍											5 B 硼	6 C 碳	7 N 氮	8 O 氧	9 F 氟	10 Ne 氖
3	11 Na 钠	12 Mg 镁											13 Al 铝	14 Si 硅	15 P 磷	16 S 硫	17 Cl 氯	18 Ar 氩
4	19 K 钾	20 Ca 钙	21 Sc 钪	22 Ti 钛	23 V 钒	24 Cr 铬	25 Mn 锰	26 Fe 铁	27 Co 钴	28 Ni 镍	29 Cu 铜	30 Zn 锌	31 Ga 镓	32 Ge 锗	33 As 砷	34 Se 硒	35 Br 溴	36 Kr 氪
5	37 Rb 铷	38 Sr 锶	39 Y 钇	40 Zr 锆	41 Nb 铌	42 Mo 钼	43 Tc 锝	44 Ru 钌	45 Rh 铑	46 Pd 钯	47 Ag 银	48 Cd 镉	49 In 铟	50 Sn 锡	51 Sb 锑	52 Te 碲	53 I 碘	54 Xe 氙
6	55 Cs 铯	56 Ba 钡	镧系	72 Hf 铪	73 Ta 钽	74 W 钨	75 Re 铼	76 Os 锇	77 Ir 铱	78 Pt 铂	79 Au 金	80 Hg 汞	81 Tl 铊	82 Pb 铅	83 Bi 铋	84 Po 钋	85 At 砹	86 Rn 氡
7	87 Fr 钫	88 Ra 镭	锕系	104 Rf 钆	105 Db 铊	106 Sg 铷	107 Bh 铪	108 Hs 铪	109 Mt 铪	110 Ds 铪	111 Rg 铪	112 Cn 铪	113 Nh 铪	114 Fl 铪	115 Mc 铪	116 Lv 铪	117 Ts 铪	118 Og 铪
	镧系元素		57 La 镧	58 Ce 铈	59 Pr 镨	60 Nd 钕	61 Pm 钷	62 Sm 钐	63 Eu 铕	64 Gd 钆	65 Tb 铽	66 Dy 镝	67 Ho 钬	68 Er 铒	69 Tm 铥	70 Yb 镱	71 Lu 镥	
	锕系元素		89 Ac 锕	90 Th 钍	91 Pa 镤	92 U 铀	93 Np 镎	94 Pu 钚	95 Am 镅	96 Cm 锔	97 Bk 锫	98 Cf 锿	99 Es 镄	100 Fm 钔	101 Md 镆	102 No 镎	103 Lr 铹	

元素周期表排列的周期性趋势既可用于推演不同元素间性质的关系，也可用于预测未发现或新合成的元素的性质。周期表最早由俄罗斯化学家德米特里·门捷列夫在1869年发布，主要用于表现当时已知的元素之间的周期性规律，但他也借此基本成功预测当时尚未发现的、位于周期表空位中元素的相当一部分性质。随着新元素的发现和化学性质理论模型的健全，门捷列夫的思想也在不断完善。现代的元素周期表不仅为分析化学反应提供有用的框架，也在其他化学领域乃至核物理学中得到广泛应用。

自原子序数为1的元素（氢）至原子序数为118的元素（𫓫，Oganesson）均已被发现或成功合成，并填满周期表的前七个周期。^{[1][2]}不过，在自然界中天然存在的仅有前98种元素，且部分仅有痕量存在；99号及以后的元素都是在实验室或核反应堆中合成得到的。^{[a][3]}下一个合成的新元素将会开启周期表的第八周期，因此大量工作都在往这方面努力，且已有理论指出可能的新元素。此外，实验室中也合成多种元素的放射性同位素。

目录

概述

元素分组方式

族

周期

区

金属、类金属和非金属

周期表中的周期性与规律

核外电子排布

原子半径

电离能

电负性

电子亲和能

金属性

桥接元素族的特点

周期性的进一步表现

历史

早期历史

门捷列夫的初版元素周期表

门捷列夫的再版与其后的发展

其他种类的元素周期表

长式周期表（32列周期表）

其它结构的周期表

现存争议

氢与氦的位置

IIIB族与第6、7周期上的元素

镧与镧

镱与镱

镧系与镧系

过渡元素

化学性质未知的元素

周期表的后续扩展

原子序数最大的元素

玻尔模型

相对论性狄拉克方程

最优排列方式

[参见](#)

[注释](#)

[参考文献](#)

[引用](#)

[来源](#)

[拓展阅读](#)

[外部链接](#)

概述

每种化学元素都对应一个独有原子序数（通常记作*Z*），这个值即是原子核内的质子数量。^[b]对大多数元素而言，同种元素的原子可以包含不同数目的中子，可互称为同位素。例如，碳元素就有三种天然同位素，每种同位素原子都包含六个质子，但中子数量不同：绝大多数碳原子含有六个（碳-12），约1%含有七个（碳-13），极少数含有八个（碳-14）。元素周期表中对同位素不加区分。不少周期表会标出元素的原子量，但对于没有稳定同位素的元素，则会标出半衰期最长的核素的相对原子质量，在这种情况下原子量会带上括号。^[4]

在标准的元素周期表中，元素按照原子序数递增的顺序排列。当一个新的电子壳层开始填入电子时，周期表就从下一行（即下一个周期）继续开始排布。纵列（族）是由原子的电子构型决定的。对于同一族中的元素，原子的某一亚层中的电子数量总是相同的。例如，氧和硒位于同一族，而它们的原子最外层的p轨道中都填入了4个电子。同族元素通常具有相似的化学性质，而在周期表的f区与d区的一部分中，整个区域的元素都有相似的化学性质。因而，如果已知与某个元素相邻的其他元素的性质，这个元素的性质就不难猜测。^[5]

截至2016年，元素周期表共有118种已确认存在的元素。其中原子序数为113、115、117、118的四种元素是最新发现的，国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）于2015年12月确认这些元素成功合成，并于2016年6月公布了它们的英文名称（同年11月确定为官方名称），中国大陆于2017年5月公布了其中文名。其名称分别为铈（写如“𠩺尔”，英文名Nihonium，符号Nh）、镆（英文名Moscovium，符号Mc）、𪖇（写如“石田”，英文名Tennesine，符号Ts）、𪖈（“气”字头下加“奥”，英文名Oganesson，符号Og）。^{[6][7][8][9]}

前94号元素都天然存在，其他的24种元素则有赖于人工合成。在94种天然元素中，83种能够稳定存在（铋、钍和铀没有稳定同位素，但有半衰期超过10⁸年的同位素），另外11种只出现在这83种元素的衰变过程中。^[3]𪖇（85号元素）和比铍更重的元素（即99号以后的元素）尚未制备出宏观数量级的纯品，且𪖇（87号）仅在极微量的状态下，以光辐射的形式被观察到过（数量仅有约30万个原子）。^[10]

元素分组方式

族

周期表中的一个族指的是一个纵列（VIII B族除外）。一般而言，与同周期、同分区的元素相比，同族元素往往具有更相似的性质，但是另一些性质与原子序数的相关性更明显。依照现代原子结构量子力学的解释，同族元素的价层电子通常具有相同的排布方式，^[11]因而一般具有一系列共同的化学性质，且随着原子序数的递增，元素的性质亦呈现出明显有规律的变化。^[12]不过在周期表的部分分区，如d区与f区，沿横向排列的元素彼此间性质也很相似，甚至比同族元素的相似

性更强。^{[13][14][15]}

依照国际命名惯例，周期表中的族序号自左向右由1至18依次递增。^[16]此前常用的记法则是使用罗马数字，并加标“A”或“B”表示主族（s区、p区）或副族（d区、f区）。每一族所对应的罗马数字，正是现代使用的纯数字记法的个位数。例如，第4族被记作IVB族，而第14族则是IVA族。此前欧洲通用的也是“罗马数字+字母”这一体系，但不同的是，“A”用于表示前9列元素，“B”用于表示后9列元素。此外，第8、9、10族曾作为一个跨三列的族（VIII B族）而存在，但自1988年起，IUPAC已经放弃这种记法，并转而改用一列一号的标号方式。^[17]

部分族除了数字序号以外尚有其别名，不过有的别名很不常用。第3-10这8个族没有别名，通常以族序号或族首元素指代（比如第3族也可称作“钪族”）。这些族没有别名的一个原因是同族元素间的相似性较弱（相对于有别名的族而言）。^[16]

通常情况下，同族元素自上而下，原子半径递增，电离能和电负性递减。原子半径的递增是因为被填充的电子壳层越来越多，而价层电子离核越来越远。电离能和电负性的下降亦是由于价电子与核的距离增加而导致的，因为离核越远的电子所受的束缚越弱。^[18]不过这一规则存在例外，例如第11族（I B族）的底端，电负性就反而增大。^[19]

周期

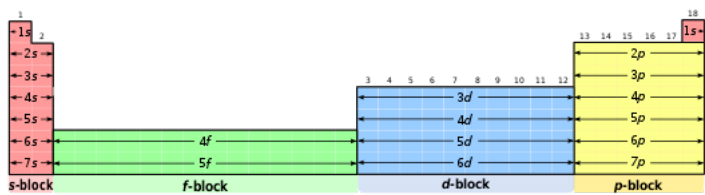
周期表中的一个横行称作一个周期。尽管一般而言同族元素的相似性更强，但部分区域中同周期元素（即，沿水平方向）相似性和变化规律更显著。比如f区中的两行，镧系和锕系元素，就体现了“同周期内元素性质相似”的特点。^[20]

同一周期内的元素随原子序数递增，其原子半径、电离能、电子亲和能和电负性各自呈现出不同的变化趋势。自左向右，质子数逐渐增加，核外电子所受的吸引力增强而更向核靠拢，因此原子半径通常随之递减。^[21]相应地，电离能和电负性随之增大，因为将电子从核外剥离需要消耗更多的能量。^[18]此外在同一周期中，金属的电子亲和能通常低于同周期的非金属（稀有气体除外）。^[22]

区

周期表中，依最后填充的电子亚层而划分的矩形块被称作区。各区大体上依照最后被填充的亚层的符号命名^{[23][a]}。s区由前两族（碱金属和碱土金属）外加氢和氦元素组成，p区则包含最后六个族，即13~18族（III A至0族）。所有的类金属都落在p区的范围内。d区包含第3至第12族（III B至II B），所有的过渡金属都位于此区域。

f区通常被单独放在周期表的最下方，不冠以族序号。镧系和锕系位于这个区域。^[24]

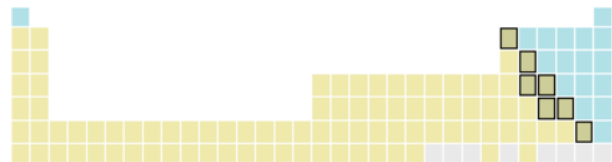


自左向右依次为：s区（红色）、f区（绿色）、d区（蓝色）、p区（黄色）。

金属、类金属和非金属

根据理化特性的不同，周期表中的元素可被分为金属、类金属和非金属三类。金属通常是具光泽的固体，电导率与热导率较高。金属元素彼此易形成合金，与非金属元素之间则容易形成离子盐类化合物（稀有气体除外）。大部分非金属在通常状况下则是气体或有色固体，绝缘性较好。非金属元素彼此间常以共价键结合形成化合物。金属与非金属间则是类金属，具有介于二者之间的性质。^[25]

金属与非金属可以进一步细分为多个子类。周期表中自左向右，这些子类的金属性依次减弱，而非金属性逐渐增强。金属从相当活泼的碱金属开始逐渐向右扩展，依次经过活性较弱的碱土金属、内过渡金属（镧系与锕系元素）、典型过渡金属，终止于物理化学活性都较弱的后过渡金属（即贫金属）。非金属自左向右则依次为多原子非金属、双原子非金属与单原子的稀有气体。多原子非金属靠近类金属区域，尚有残余的金属特性，双原子非金属则具有典型的非金属性，稀有气体更是几近完全惰性。过渡金属中还可细分出一些子类，如难熔金属和贵金属等较为知名的子类，^[26]但在周期表中较少单独标出。^[27]

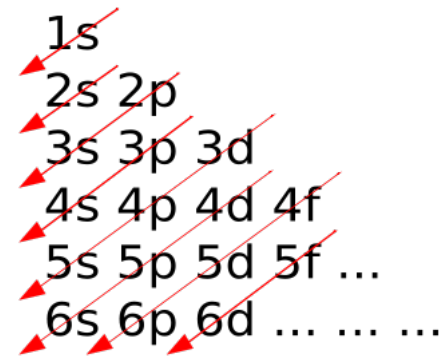


- * 浅黄色为金属
- * 深黄色为类金属
- * 蓝色为非金属
- * 灰色所示元素分类未定，不同的资料来源会将这些元素分在不同的类别。

不过，仅仅依据性质的相似性来对元素分类尚有缺陷。每一个子类中，元素彼此间的性质实际上都有一定的差异，处在两类边界上的元素性质又较为相似，分野不够明确。不过其它分类手段也会遇到类似的问题。^[28]比方说铍元素被归类为碱土金属，但它具有贫金属的特点，往往以共价形式参与化合，且能形成两性氧化物。又例如，氦被归为稀有气体，但能形成正离子，这是金属元素的典型特性。除去理化性质以外，还有一些其它的分类标准，例如按宿主矿物分类（哥德施密特分类法），或按晶体结构分类。目前的分类方法最早可以上溯到1869年，当时希里斯为了对这些元素加以区分，曾建议在金属、固态非金属、气态非金属的区域之间加注边界线。^[29]

周期表中的周期性与规律

核外电子排布

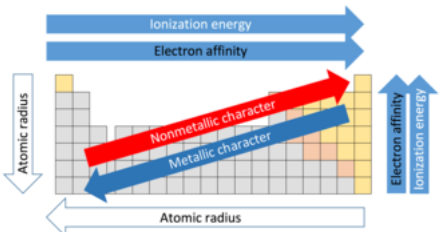


核外电子层与亚层随原子序数增加而排布的大致次序。该次序依照能量递增的顺序，利用马德隆规则确定。

电中性原子的核外电子排布情况随原子序数的增长展现出一种不断复现的规律（即所谓“周期”）。核外电子可以占据不同的电子层（以数字标识），每个层又包含一系列亚层（以字母s、p、d、f、g等标识）。随原子序数递增，电子依照构造原理

（即马德隆规则，或称能量递增原理）逐步填入各电子层与亚层中，顺序如左图所示。以氖元素为例，其核外电子构型为 $1s^2 2s^2 2p^6$ 。其10个核外电子中，两个最先填入第1层，而剩余八个填入第二层。这其中，2个填入2s亚层，6个则填

入2p亚层。在周期表中，一旦电子填入了一个此前从未填充过的新电子层，该元素就将作为一个新周期的起始元素而出现。目前这些起始元素包括氢和所有碱金属。^{[30][31]}



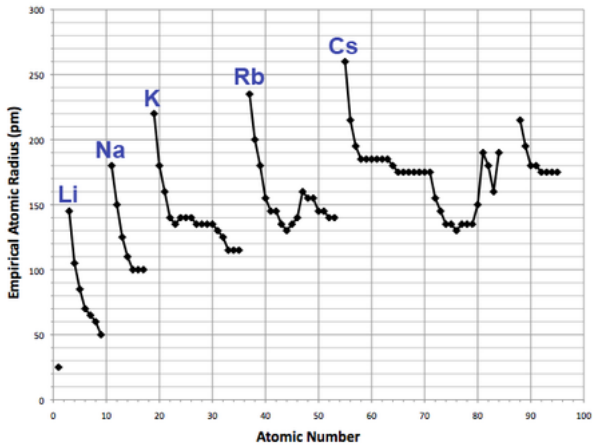
周期表中的性质变化趋势（沿箭头指示方向递增）

由于元素性质基本由核外电子的排布情况决定，因而元素的性质也随原子序数增长而体现出某种周期性。典型的例子是原子半径、电离能和电子亲和能。实际上，元素周期律的提出和周期表的发明，就是基于对这些周期性规律的观察和整理，因为彼时尚未出现与此相关的理论解释。^[30]^[31]

原子半径

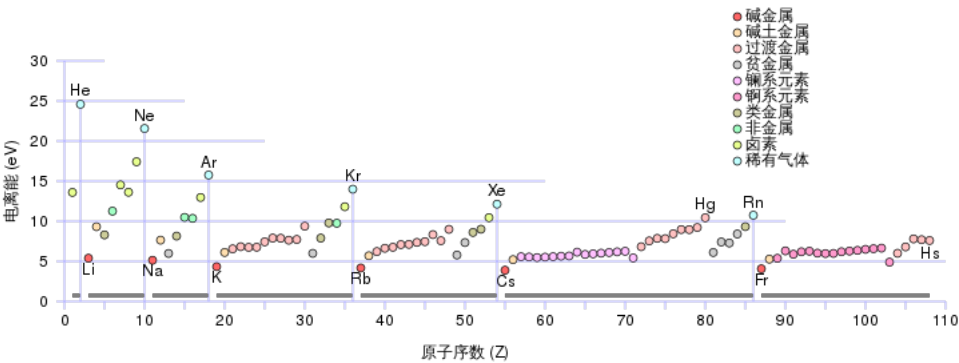
不同元素的原子半径可以利用周期表加以预测和解释。通常而言，沿周期方向，自左向右，原子半径依次递减，而沿着族的方向，自上而下，原子半径逐渐增大。从上一个周期的稀有气体到下一周期的碱金属，原子半径会突然增大。这些变化与其它的理化性质变化趋势一样，都可以用电子壳层填充理论解释。它们也为量子力学理论提供了重要的支持。^[32]

在镧系元素中，4f亚层的价电子自左向右逐步增加，但它们对于同步增加的核电荷的屏蔽效果不良。因此，原子核对于镧系元素外层电子的吸引力较强，导致镧系元素的原子半径偏小，即所谓的镧系收缩。受此影响，镧系后面的元素也有较小的原子半径。^[33]因此，铪的原子半径基本和锆相同，钽与铌的半径也相近，其后的元素依此类推。镧系收缩的影响一直波及到铂元素，此后才被惰性电子对效应（一种相对论效应）所掩盖。^[34]另外，和镧系收缩类似，d区元素也存在着收缩效应，只不过强度更弱，它是d亚层电子对外侧的p电子屏蔽不完全导致的。^[33]



原子半径对原子序数作图。^[b]

电离能



图示为电离能的变化趋势：每个周期自左向右，电离能逐渐增大。碱金属最小，稀有气体最大。

“第一电离能”是指从原子中移走一个电子所需要的能量，“第二电离能”是在此基础上移走第二个电子所需的能量，依此类推。对于同一个原子，各级电离能随着离子化程度的增加而增大，例如镁的第一电离能是738 kJ/mol，第二电离能为1450 kJ/mol。粗略地讲，这是因为越靠内的电子受到的静电吸引作用越强，移走它所需要的能量因此也越大。一般地，越靠近周期表右端，电离能也相应地越大。^[34]

当一个离子已经达到稀有气体电子排布时，移走下一个电子的电离能将突然上升。仍以镁元素为例，移走两个3s电子后，镁离子已经具有氖的电子排布，在此基础上移走下一个2p电子相当困难，因而第三电离能将明显高于前两级电离能，高达7730 kJ/mol。第三周期的其它元素中也可见这种现象。^[34]

电负性

一个原子吸引共用电子对的能力称作电负性。^[35]原子的电负性与该原子的原子序数有关，同时

也受价电子与核距离的影响。电负性越大，原子吸引电子（对）的能力越强。这个指标是莱纳斯·鲍林于1932年提出的。^[36]一般来说，在元素周期表中，自左向右，电负性依次递增；自上而下，电负性依次递减。因而，在电负性已知的元素中，靠近右上角的氟元素电负性最高，左下角的铯元素电负性最低^{[19][c]}。

需要注意的是，上述规则有几个例外。受d区收缩的影响（参见“原子半径”一节），镓和锗的电负性分别高于它们上方的铝和硅。第四周期过渡金属的前几个元素电负性上升得比较快，这是由3d电子对核电荷的屏蔽不完全，导致这几个元素的原子半径较小而引发的。^[19]

元素的电负性会因为失去电子而增加。^[37]这有时会造成很大的差别，例如+2氧化态的铅的电负性为1.87，而+4氧化态的铅则达到了2.33。^[38]

电子亲和能

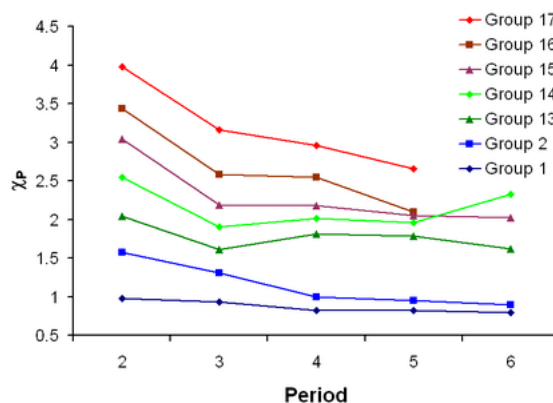
原子的电子亲和能是指向电中性的原子上加入一个电子，使之形成阴离子时释放的能量。不同元素电子亲和能的变化范围较大，不过其中仍有迹可循。一般而言，非金属的电子亲和能高于金属元素，其中氯元素的电子亲和能最大。关于稀有气体的电子亲和能尚无定论，因此其电子亲和能可能是负的（尽管绝对值很小），也可能不是。^[41]

大体上讲，沿同一周期自左向右，电子亲和能逐渐上升。由于越靠右端，原子的电子壳层填充得越满，因而向其中加入一个电子后，阴离子的结构越接近稳定的闭壳层，电子亲和能也相应地越高。^[41]

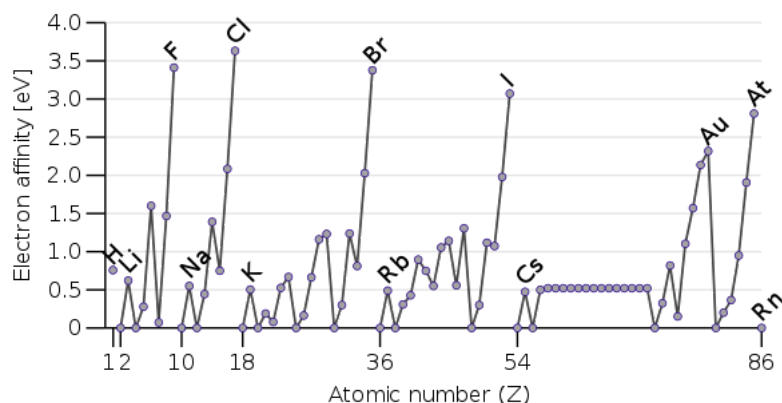
沿同一族自上而下，电子亲和能大体是逐渐下降的，因为新加入的电子离原子核越来越远，受到的吸引越来越弱，因而释放的能量也越来越少。不过实际上完全符合这个规律的只有第1族（IA族）——整个周期表约三分之一的元素不符合这个规律，即其电子亲和能高于上方紧邻的元素，这些例外多数情况下和d及f亚层的屏蔽效果不完全有关。^[42]

金属性

电离能，电负性和电子亲和力值越低，元素的金属性越强，非金属性越弱。^[43]鉴于这三种性质的周期性，金属性往往会在一周期（行）中由左至右递减（很多例外是由d和f亚层上的电子对原子核的不良屏蔽效果或者相对论效应导致），^[44]并且通常在一族（列）中由上至下递增。因此，大多数金属元素（如铯和钫）位于传统元素周期表的左下角，非金属元素（如氧，氟，氯）则位于右上角。金属性在元素周期表中的水平和垂直趋势组合解释了在一些周期表中发现的金属



图示同族元素电负性随原子序数增大而减小的趋势。每条折线对应一个特定的族。



电子亲和能随原子序数的变化趋势。^[39]一般而言，同一周期中，直到卤族元素以前，电子亲和能都呈增加趋势，到稀有气体时又急速下降。第1族（IA族）、第11族元素（IB族）处的局部极大值是由于s亚层将要填满而产生的（金元素的6s亚层尤甚：完全填满的4f亚层对其有进一步的稳定作用）。碱土金属、氮、磷、锰、铯等处的极小值则受相反的原因影响：这些元素的s亚层（或p亚层/d亚层）已经处于全充满或半满状态，因此对新电子的吸引能力减弱。^[40]

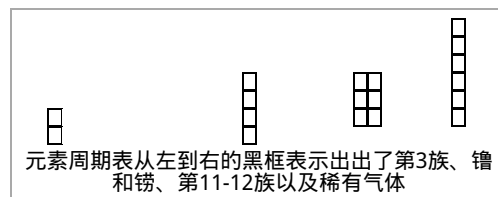
和非金属之间的阶梯形分界线，以及有时将与该线相邻的几个元素和与这些元素相邻的元素分类为类金属的做法。^{[45][46]}

桥接元素族的特点

桥接元素位于区与区之间。^[47]这些族的元素，比如非金属，具有临近族元素的混合特征。从化学性质上看，第3族元素、钪、钇、镧、铈都表现出了类似碱土金属^[48]

(也即s区金属^{[49][50]})的性质，但同时也具有d区过渡金属的物理性质。^[51]位于f区末尾的镥在化学性质上的表现

接近于镧，但在物理性质上综合了镧与过渡金属的特点。^{[52][53]}作为镧类似物的铥也可能会有类似的表现。^[d]第11族里的造币金属(铜、银和金)在化学性质上的表现能等同于过渡金属或主族金属。^[56]第12族里的不定性金属，如锌、镉、汞等有时被看作是d区到p区元素的桥接，它们表面上是d区元素，但几乎不具有过渡金属性质，而是更接近于相邻第13族的p区元素。^{[57][58]}第18族的惰性稀有气体桥接着最活泼的第17族卤素元素与第1族的强碱金属。^[47]



周期性的进一步表现

在整个周期表中，不属于同一族的元素之间还有一些其它关系，例如对角相邻的元素(例如锂和镁)之间的对角线关系。^[59]当元素具有相同的价电子数时，在主族和过渡金属之间，或早期铜系元素和早期过渡金属之间也可以发现一些相似之处。因此铍有点类似于6族元素中的铬和钨，^[59]因为它们都有6个价电子。^[60]

每个区块的第一行往往表现出与其他行截然不同的属性，因为每个区块的第一个轨道(1s、2p、3d、4f、5g等)都比预期的要小得多。^[61]这种异常在s区块中最强，在p区块中中等，在d区块和f区块中不明显。^[59]除了s区块以外，其它区块的周期之间也存在奇偶差异，有时称为次级周期性：偶数周期的元素具有较小的原子半径并且更倾向于失去较少的电子，而奇数周期的元素(第一周期除外)则相反。因此，很多p区块的性质是锯齿状的，而不是平滑的一条线。举个例子，氮族元素中，奇数周期的磷和铋准备达到+5氧化态，而偶数周期的氮、砷和铋则留在+3态。^[59]^[62]

当原子核变得高度带电时，就需要狭义相对论来衡量原子核对电子云的影响。这些相对论效应导致重元素与其在元素周期表中的较轻同系物相比性质越来越不同。例如，相对论效应解释了为什么金是金色的，而汞在常温下是液体。^{[63][64]}预计这些影响将在第七期后期变得非常强烈，可能导致元素周期性的崩溃。^[65]已知电子构型和化学性质的元素只到元素108(鿏)，因此最重元素的化学特性仍然是当前研究的主题。^[66]

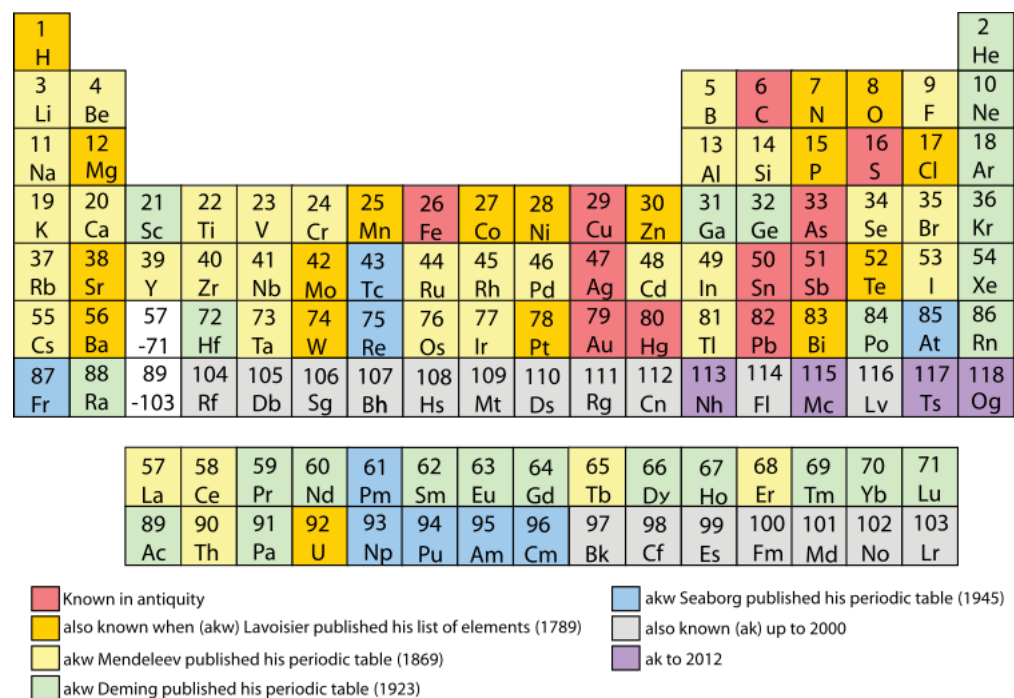
元素的许多其他物理性质也会按照周期律表现出周期性变化，如熔点、沸点、熔化热、汽化热、原子化能等。化合物也会出现类似的周期性变化，这可以通过比较氢化物、氧化物、硫化物、卤化物等来观察。^[37]化学性质更难以定量描述，但同样表现出其自身的周期性。例子元素及其化合物的酸性和碱性的变化，化合物的稳定性和分离元素的方法。^[32]周期性已非常广泛地用于预测未知的新元素和新化合物的性质，并且是现代化学的核心。^[67]



狭义相对论导致室温下的汞为液态

历史

早期历史



一张化学元素发现年表，列出元素周期表在各个重大发展时期发现的元素。

1789年，安托万-洛朗·德-拉瓦锡发表一个含33个化学元素的元素列表，并将它们分为气体元素、金属元素、非金属元素和土元素。^[68]在接下来的一个世纪，化学家们一直在寻找一个更准确的分类体系。1829年，约翰·沃尔夫冈·德贝莱纳发现很多元素都可以根据他们的化学性质每三个分成一组。比如锂、钠、钾三种元素就可以同时作为软金属和活泼金属被分为一组。他还发现，若每组按原子量排序，第二个元素的原子量约等于第一个和第三个元素原子量之和的一半，这也被称为德贝莱纳三元素组定律。^[69]德国化学家利奥波德·格梅林对这个理论进行研究，并在1843年证实10个三元素组、3个四元素组和1个五元素组的存在。让-巴蒂斯特·杜马在1857年发表文章，描述不同族金属之间的关系。尽管很多化学家都发现元素组与组之间的关系，但他们都还没有建立一个能涵盖所有元素的完整体系。

1857年，德国化学家弗里德里希·奥古斯特·凯库勒·冯·斯特拉多尼茨发现每个碳原子通常都会与四个原子相连，比如甲烷的结构为一个碳原子连着周围的四个氢原子。^[70]这个概念即是现在所称的化合价：每个原子都与特定数目的原子相连。^[71]

1862年，法国地质学家贝吉耶·德·尚古尔多阿发表一篇论文，当中包含一张被他称作“地球物质螺旋”的图表。这张图表成为元素周期表的雏形，尚古尔多阿也因此成为第一个注意到元素周期性的人。他将元素按原子量螺旋排列在圆柱上，并发现性质相似的元素会周期性出现。他的图表中除了化学元素，还包含一些离子和化合物。由于他的论文中使用很多地质学术语而不是化学术语，且发表时没有附带图解，所以这篇论文直到门捷列夫的研究之后才得到关注。^[72]

1864年，德国化学家尤利乌斯·洛塔尔·迈耶尔发表一张按化合价排列的元素表，共包含44个元素。这个表显示有相似化学性质的元素，其化合价通常相同。^[73]与此同时，英国化学家威廉·奥德林发表一个按原子量排序的元素排列，当中包含57个元素，指出元素在原子量上的周期性和他们通常的分组方式相符。^[74]奥德林还提出一个关于周期律的想法，但并没有继续深究。^[75]随后，他在1870年提出按化合价分类元素。^[76]

英国化学家约翰·纽兰兹在1863至1866年发表一系列论文指出，当元素按照原子量排序时，拥有

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50	
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 52	
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 48	Ba & V 55	Hg 58	
B 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53	
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 46	Pb 54	
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55	
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56	

门捷列夫的初版元素周期表



伊利亚·叶菲莫维奇·列宾
绘制的水彩《德米特里·
门捷列夫》



门捷列夫所著《An Attempt Towards a Chemical Conception of the Ether》书中的元素周期表

俄国化学家德米特里·门捷列夫和德国化学家尤利乌斯·洛塔尔·迈耶尔分别于1869年和1870年独立出版他们的元素周期表。^[84]门捷列夫的元素周期表是首次出版；而迈耶尔的是再版，是对1864年第一版的扩充。^[85]他们都在周期表中将元素按原子量横向或纵向排列，并在元素的化学性质开始出现重复时另起一行（列）。^[86]

门捷列夫的周期表逐渐获得广泛的承认和接受，这源于他作出的两个决定：其一，他在表中为未知元素留下空位^[87]（门捷列夫并不是第一个这样做的化学家，但是他被认为是第一个用元素的周期性质预测未知元素的）。例如门捷列夫利用同族元素具有相似性质的特性，大胆提出未知元素的原子量、物理及化学性质等，^[88]而这些元素都在随后陆续被发现，如镓和锗；其二，他为了让同族元素应具有相似性质这一特点，偶尔会刻意不跟从原子量的大小去安放元素，如碘这元素的原子量较碲为低而应在碲的前方，但碲

在1911年卢瑟福发现原子核后，科学家发现元素的整数核电荷数与其在周期表的排名相同。1913年，亨利·莫塞莱在X射线光谱实验中证实这一发现，确定每个元素的核电荷数，并表明门捷列夫实质上是按核电荷数排序元素的。^[91]原子的核电荷数等于其质子数，并决定每个元素的原子序数（Z），而原子序数可以确定一个基于整数的元素排序。莫塞莱就此预言，在铝（Z=13）和金（Z=79）间的未知元素的原子序数应为43、61、72和75（这些元素之后都被发现）。原子序数成为确定化学元素的绝对标准，并给元素周期表的排序提供事实基础。自此，元素周期表被用于在研究和制造新合成元素之前预测该元素的性质。^[92]

ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,

ОСНОВАННО Я НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Tl=50	Zr= 90	?=180.
			V=51	Nb = 94	Ta=182.
			Cr=52	Mo= 96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,1.
			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=27,3	?=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	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204.
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		Th=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

Д. Менделѣвъ

门捷列夫于1869年发表的元素周期表的一个版本：“一个基于原子量和化学性质系统化元素的实验”。这个早期周期表的纵向为周期，横向为族。

门捷列夫的再版与之后的发展

Reihen	Gruppe I. — R ² O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ RO ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. — RO ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35.5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	— — — —
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	

1871年门捷列夫提出的周期表(有8族)，其中横线代表1871年仍然未知的元素。

		Group																							
		a	I	b	a	II	b	a	III	b	a	IV	b	a	V	b	a	VI	b	a	VII	b	a	VIII	b
1	I	1 H																				2 He			
2	II	3 Li		4 Be		5 B		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne									
3	III	11 Na		12 Mg		13 Al		14 Si		15 P		16 S		17 Cl		18 Ar									
4	IV	19 K		20 Ca		21 Sc		22 Ti		23 V		24 Cr		25 Mn		26 Fe		27 Co		28 Ni					
	V	29 Cu		30 Zn		31 Ga		32 Ge		33 As		34 Se		35 Br		36 Kr									
5	VI	37 Rb		38 Sr		39 Y		40 Zr		41 Nb		42 Mo		43 Tc		44 Ru		45 Rh		46 Pd					
	VII	47 Ag		48 Cd		49 In		50 Sn		51 Sb		52 Te		53 I		54 Xe									
6	VIII	55 Cs		56 Ba		57–71		72 Hf		73 Ta		74 W		75 Re		76 Os		77 Ir		78 Pt					
	IX	79 Au		80 Hg		81 Tl		82 Pb		83 Bi		84 Po		85 At		86 Rn									
7	X	87 Fr		88 Ra		89–103		104 Rf		105 Db		106 Sg		107 Bh		108 Hs		109 Mt		110 Ds					
	XI	111 Rg		112 Cn		113 Nh		114 Fl		115 Mc		116 Lv		117 Ts		118 Og									
Higher oxides		R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄									
Volatile hydrogen compounds						[(RH ₃) _x]		RH ₄		RH ₃		RH ₂		RH											
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu											
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr											

以8个族为形式的周期表，其中包含所有2016已知的元素。

1871年，门捷列夫出版新版元素周期表，把性质相似的元素排在同一纵列当中（此前版本以横向排列），并且按照常见氧化态将几组元素纵列标记I到VIII的编号。对于几种他此前认为理应存在但尚未发现的元素，门捷列夫也详细地给出了他预测的元素性质。^[93]随着科学家发现更多自然存在的元素，周期表中的空白也逐渐被填补。^[94]例如元素钫（之前被门捷列夫称为铯下元素，eka-caesium）于1939年被法国科学家玛格丽特·佩里发现，也是最后一个在自然界中发现的元素；^[95]元素钷于1940年合成生产，于1971年证实在自然界中微量存在。^[96]

现时流行的^[97]周期表布局，也称为通用形式或标准形式（如本文中多处所示），是由美国化学家霍勒斯·戴明（Horace Groves Deming）确定的。1923年，戴明发表简短版本（门捷列夫式(http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=456)（[页面存档备份](https://web.archive.org/web/20120129134521/http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_)（https://web.archive.org/web/20120129134521/http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_

pt/pt_database.php?PT_id=456), 存于互联网档案馆)) 和中等版本 (18列 (http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=360) (页面存档备份 (https://web.archive.org/web/20120613031117/http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=360), 存于互联网档案馆)) 的周期表^{[98][e]}。1928年, 默克公司发布戴明的中等版本的18列周期表的讲义版, 此版在美国的学校广为流传。到了1930年代, 戴明的周期表已经出现在诸多化学手册和百科全书中。萨金特-威尔奇科技公司 (Sargent-Welch Scientific Company) 也将此版本发行多年。^{[99][100][101]}

随着现代量子力学对原子内电子排布理论的发展, 科学家推论出表中每个周期 (行) 实际对应着电子层的电子填充。较大的原子有更多的电子亚层, 因此后来的周期表需要更长的族表示元素。^[102]

1945年, 美国科学家格伦·西奥多·西博格提出有关于镧系元素的理论, 就如镧系元素一样地填充f亚电子层。在这个构想之先, 镧系元素被认为是对应填充第四行的d区壳层。西博格的同僚建议他不要发表这个颇为激进的理论, 这或会毁掉他的前程。西博格认为自己并没有什么事业生涯会遭受损害, 便发表理论。这个理论后来被证实是正确的, 他本人亦于1951年赢得诺贝尔化学奖, 以表彰他对镧系元素合成的贡献^{[103][104][f]}。



1945年, 美国核化学家格伦·西奥多·西博格提出新的元素周期表, 以表示镧系元素对应着第二个f区壳层

尽管少量的超铀元素会自然产生,^[3]但是这类元素一开始是在实验室中发现的, 并极大地拓宽周期表的范围。1939年, 人类成功合成第一个超铀元素: 镎。^[105]由于许多超铀元素非常不稳定且很快衰变, 所以即使成功合成, 探测和描述其性质就是很大的挑战。此外, 因为首个发现某元素的一方拥有对该元素的命名权, 人们对某些新元素的发现顺序存在争议, 需要第三方的独立审查。^[106]最新发现的一个元素是在2010年俄罗斯莫斯科州的杜布纳, 一个美俄联合科学团队声明合成六个𫓪 (Tennessine, 117号元素) 原子。𫓪 (117号元素) 和铼 (113号元素)、镆 (115号元素) 以及鰐 (118号元素) 是最新命名的四个元素, 2016年11月28日, 这四个新元素的命名都得到官方认可。^[107]

为了庆祝元素周期表诞生150周年, 联合国将2019年设为“国际元素周期表年”, 庆祝“科学史上最伟大的成就之一”。^[108]

其他种类的元素周期表

长式周期表 (32列周期表)

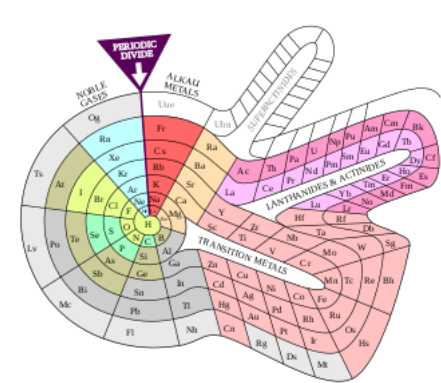
→ **1 2**

图解：

现代周期表有时会将f区元素恢复到其自然位置（在s和d区元素之间），拓展为长式周期表（32列周期表）。与18列周期表不同的是，这样的排列使得“递增的原子序列不会间断”，^[109]f区元素和其他区元素的关系也会更加容易看出。^[110]学者威廉·B·詹森担心，学生们在使用现有的18列周期表时可能会将镧系和锕系忽略掉，误认为它们是不重要的元素，因此提倡使用32列周期表。^[111]尽管有这些优点，长式周期表仍因其形状过宽，^[112]加之及化学家对（由西博格引入的）现有形式更熟悉^[113]而未被广泛使用。

元素周期律可以以多种方式呈现，其中经典的元素周期表只是其中一种。^[114]在1869年门捷列夫的周期表出现后的100年之中，人们出版了大约700种不同版本的周期表。^{[60][115]}其中除了数种矩形的周期表外，也包含了不少种其他形状结构的周期表，^[g]如圆形、立方体、圆柱、建筑物、螺旋形、双扭线、^[116]八角柱、金字塔锥形、球形、三角形等。这些替代版本的周期表常是为了

彰显或强调各种元素在传统的元素周期表中不明显的化学或物理性质而打造的。^[114]



西奥多·本菲的螺旋形元素周期表

西奥多·本菲在1960年制作的元素周期表是一个传播较为广泛的替代版本。^[117]表中的元素被安排成连续的螺旋状，氢元素位于中央，而过渡元素、镧系及锕系元素则位于图中突出的“半岛”部分。^[118]

多数元素周期表是二维的，^[3]而三维的元素周期表最早可追溯至1862年（较门捷列夫的二维周期表的1869年更早）。后来陆续出现的三维周期表有库尔蒂纳“周期表分类”（Courtines' Periodic Classification，1925年）、^[119]瑞格理“分层系统”（Wringley's Lamina System，1949年）、^[120]保罗·安托万-吉格尔的“螺旋型周期表”（Periodic helix，1965年）^[121]及“杜福尔树状周期表”（Dufour's Periodic Tree，1996年）。^[122]甚至有人曾建立出“四维”的周期表，

如蒂莫西·斯托（Timothy Stowe）的“物理学家的周期表”（Physicist's Periodic Table，1989年），^[123]当中包含了三个空间维度和一个色彩维度。^[124]

各式周期表可依照其更强调物理性质还是化学性质而进行归类。^[125]例如，雷那·坎汉（Rayner Canham）“不规矩”^[126]的“无机化学家的元素周期表”（Inorganic Chemist's Periodic Table，2002年）着重元素的化学性质，^[127]强调趋势与规律，以及元素不寻常的化学关系与性质。强调物理性质的则有夏尔·让内的“左阶元素周期表”（Left-Step Periodic Table，1928年），其结构清楚显示了电子填入电子层的顺序和量子力学性质的紧密关系。^[128]阿尔珀曾提出类似的电子亚层周期表的想法，^[129]但被埃里克·塞利批评为“忽视了周期表展示物理及化学周期性的需求”。^[130]而目前最常被使用，且最广为人知的标准周期表则介于以上两者之间，人们认为它在表达各种物理性质（如电导率和热导率）的趋势时更清楚，在阐释如氧化数等可以简单地以实验室内常用的传统方法推得的化学性质也简单明了。^[131]此周期表融合了其他周期表的各种特点，大小和形状易于建构，对原子序及周期性的描述浅显易懂，因而最为广泛接受。^{[75][132]}

左阶元素周期表（夏尔·雅内版）

	<u>f</u> ¹	<u>f</u> ²	<u>f</u> ³	<u>f</u> ⁴	<u>f</u> ⁵	<u>f</u> ⁶	<u>f</u> ⁷	<u>f</u> ⁸	<u>f</u> ⁹	<u>f</u> ¹⁰	<u>f</u> ¹¹	<u>f</u> ¹²	<u>f</u> ¹³	<u>f</u> ¹⁴	<u>d</u> ¹	<u>d</u> ²	<u>d</u> ³	<u>d</u> ⁴	<u>d</u> ⁵	<u>d</u> ⁶	<u>d</u> ⁷	<u>d</u> ⁸	<u>d</u> ⁹	<u>d</u> ¹⁰	<u>p</u> ¹	<u>p</u> ²	<u>p</u> ³	<u>p</u> ⁴	<u>p</u> ⁵	<u>p</u> ⁶		
1s																																
2s																																
2p 3s																										<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>Ne</u>	
3p 4s																											<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	<u>Ar</u>
3d 4p 5s															<u>Sc</u>	<u>Ti</u>	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ga</u>	<u>Ge</u>	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	<u>Kr</u>		
4d 5p 6s															<u>Y</u>	<u>Zr</u>	<u>Nb</u>	<u>Mo</u>	<u>Tc</u>	<u>Ru</u>	<u>Rh</u>	<u>Pd</u>	<u>Ag</u>	<u>Cd</u>	<u>In</u>	<u>Sn</u>	<u>Sb</u>	<u>Te</u>	<u>I</u>	<u>Xe</u>		
4f 5d 6p 7s	<u>La</u>	<u>Ce</u>	<u>Pr</u>	<u>Nd</u>	<u>Pm</u>	<u>Sm</u>	<u>Eu</u>	<u>Gd</u>	<u>Tb</u>	<u>Dy</u>	<u>Ho</u>	<u>Er</u>	<u>Tm</u>	<u>Yb</u>	<u>Lu</u>	<u>Hf</u>	<u>Ta</u>	<u>W</u>	<u>Re</u>	<u>Os</u>	<u>Ir</u>	<u>Pt</u>	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	<u>Tl</u>	<u>Pb</u>	<u>Bi</u>	<u>Po</u>	<u>At</u>	<u>Rn</u>		
5f 6d 7p 8s	<u>Ac</u>	<u>Th</u>	<u>Pa</u>	<u>U</u>	<u>Np</u>	<u>Pu</u>	<u>Am</u>	<u>Cm</u>	<u>Bk</u>	<u>Cf</u>	<u>Es</u>	<u>Fm</u>	<u>Md</u>	<u>No</u>	<u>Lr</u>	<u>Rf</u>	<u>Db</u>	<u>Sg</u>	<u>Bh</u>	<u>Hs</u>	<u>Mt</u>	<u>Ds</u>	<u>Rg</u>	<u>Cn</u>	<u>Nh</u>	<u>Fl</u>	<u>Mc</u>	<u>Lv</u>	<u>Ts</u>	<u>Og</u>		

f区

d区

p区

这种形式的周期表与理想状况下电子按构造原理填充的顺序更为相符，如表中左侧所示。实际的电子填充顺序中有多处不规律。

现存争议

氢与氦的位置

如果单是按照氢和氦两者的电子排布来看，氢（电子排布为 $1s^1$ ）和氦（ $1s^2$ ）应分别置于锂（ $1s^2 2s^1$ ）和铍（ $1s^2 2s^2$ ）两者之上。^[23]相对于氢会较常使用这种排列方式，氦的位置却甚少以此方式排列。原因可以追溯至1900年代：当稀有气体（当时称为“稀有气体”）被首次发现时它们被称为“第0族”，反映出当时并无发现这一族元素有任何化学反应。氦之所以会置于该族之上，是因为它确实具有此族元素的极端化学惰性。后来当这一族元素更名为“第18族”元素后，许多作者仍照旧把氦置于氩的上方，其中包括国际纯化学和应用化学联合会的周期表。^[133]

氢的化学性质与第1族的碱金属并不相似，因此有时会把氢置于其他位置。其中一种常见的排列方式是将氢放在第17族之上^[130]，这个做法考量到了氢和其他的卤素都倾向于处于1价的状态，并且都具备强烈的非金属性。有时候，氢会同时被放在第1族及第17族之上，以表示其性质分别与碱金属及卤素相似之处。^[134]另一个方案是将氢放在第14族之上，也就是碳的正上方，这么做可以保持周期表中的电离能及电子亲合能的递增性，并且与电负性的趋势也不致相差太远，但是此方案的主要问题在于氢无法如其他第14族元素一般存在稳定的4价态。^[135]最后，有些周期表将氢从各族中分离来独立放置，因为氢与其他各族的常见性质都不完全相同。

而现时，除了依传统把第1周期的另一个元素氦置于第18族之上以外，（如前文所指，因其的极端惰性与氩及氡十分相似^[136]），有时候氦也会被独立放置，^[137]因为氦的表层轨道只有2个电子而其他稀有气体则有8个。此外依照现在的推测，氦会比氩更为活泼，这会打破第18族当中，越重的元素越活泼的趋势（氩的电子排布是 $[\text{He}]2s^2 2p^6$ ，而氡的是 $[\text{Ne}]3s^2 3p^6$ ，依此类推）。

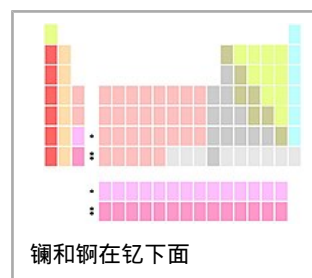
IIIB族与第6、7周期上的元素

因为历史上镧系元素在表中的位置一直无法确定，加上f区元素的范围一向存在争议。尽管铈和钇一直都是第三族元素的前两个，但接下来的两个所属元素仍有待商榷。一般认为它们是镧和铪，但有时被认为是镨和钨。^{[138][h][i]}有人声称这样的争议证明，“将周期系统分拆为明确划分的区块是错误的”。^[140]第三种排列方式则将整组镧系元素和铪系元素全部放入IIIB族。^[141]

已经有化学和物理论据提出来支持镨和钨要置于这两个位置，^{[142][143]}但大多数元素周期表制作者对此则抑或不置信，抑或不了解，^[144]绝大部分活跃的化学家对此争议毫不知情。^[145]2015年12月，国际纯化学和应用化学联合会成立了一个项目，并建议那个位置要么是镧和铪，要么是镨和钨。^[146]

镧与铪

镧和铪通常被描述为剩余的第三族元素。^{[147][j]}研究指出这种布局起源于20世纪40年代，其排列依据是元素的电子构型和区分电子的概念。铈、钡和镧的构型是 $[\text{Xe}]6s^1$ 、 $[\text{Xe}]6s^2$ 和 $[\text{Xe}]5d^1 6s^2$ 。因此，镧具有5d分化电子，这使其“在第3族中作为第6周期的d区的第一个成员”。^[148]然后在第3族中可以看到一组一致的电子构型：铈 $[\text{Ar}]3d^1 4s^2$ 、钇 $[\text{Kr}]4d^1 5s^2$ 和镧 $[\text{Xe}]5d^1 6s^2$ 。还是在第六周期中，铪的电子排布是 $[\text{Xe}]4f^{13} 5d^1 6s^2$ ，而镨为 $[\text{Xe}]4f^{14} 5d^1 6s^2$ ，“导致4f的电子分化，并且将镨牢固地确定为第6周期的f-区块的最后一个成员”。^[148]后来的电子能谱研究发现，铪的电子构型实际上是 $[\text{Xe}]4f^{14} 6s^2$ 。这意味着铪和镨——后者为 $[\text{Xe}]4f^{14} 5d^1 6s^2$ ——都有14个f电子，对于镨来说“导致d-而不是f-分化电子”，使其成为钇下第三族周期表位的镧（ $[\text{Xe}]5d^1 6s^2$ ）的“同等有效候选者”。^[148]镧更适合划分在这个位置，因为5d¹电子首次在镧中出现，而后才在镨中第三次出现，也在钇中短暂地第二次出现。^[149]

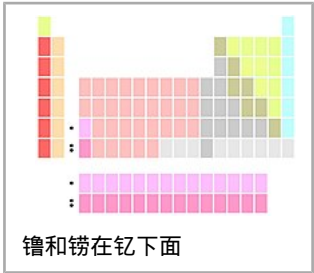


在化学行为方面，^[150]以及第3族关于熔点，电负性和离子半径等性质的趋势，^{[151][152]}铈、钇、镧和铪类似于它们的1-2族对应物。在该变体中，f区块元素的最常见（三价）离子中的f电子的数量始终与它们在f区块中的位置匹配。^[153]例如，前三个f-区元素的三价离子的f-电子计数是

Ce为1，Pr为2和Nd为3。 [154]

镧与铈

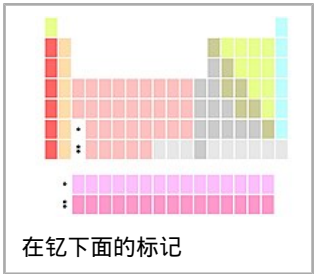
在其他表格中，镧与铈是剩余的第三族元素。 [k] 早期人们用化学方法分离钪、铈和镧，其理论依据是当时人们认为这些元素一起出现在所谓的“铈族”中，而镧和铈一起出现在“钪族”中。 [148] 因此，在20世纪20、30年代，一些化学家将镧而不是镧归入第三族。 [l] 此外，20世纪50、60年代的一些物理学家将镧的物理性质与镧互相比拟后，也认为这个位置应当属于镧。 [148] 由于镧没有f电子，因此一些学者反对将镧定为f区的第一个元素。但是也有人认为，元素周期表其他的一些位置也有不合规律的排列方式，因此这个问题没有意义——例如，钪尽管没有f电子，但它还是f区的一部分。 [155] 至于铈，其气相原子电子构型在2015年被确认为[Rn]5f¹⁴7s²7p¹。无论铈是在位于f区还是d区中，都会造成周期表的元素异常排列问题。因为唯一可能适用的p区块位置已被预留给了铈，人们预测它的电子排布是[Rn]5f¹⁴6d¹⁰7s²7p¹。 [156][m]



在化学上，钪，铈和镧（可能也有铈）表现得像1-2族金属的三价形式。 [158] 另一方面，元素的熔点，电负性和离子半径等性质下降的趋势与4-8族相似。 [148] 在该变体中，f区原子的气态形式中的f电子的数量通常与它们在f区中的位置相匹配。例如，前五个f区元素的f电子计数是La为0，Ce为1，Pr为3，Nd为4和Pm为5。 [148]

镧系与铈系

一些学者将镧系和铈系的所有30个元素都放在了铈下面的两个位置（通常通过脚注标记）。这一排列方式强调了15种镧系元素化学性质的相似性，规避了“具体把哪两个元素放在铈下面”的问题，但会导致f区块有15列宽（f区任意一行中只能有14个元素）。 [n]



过渡元素

按照IUPAC的定义，过渡金属（即过渡元素）是指其原子或阳离子含未充满的d亚层的元素。 [159] 此定义下，第3~11族的元素是过渡金属，而第12族的锌、镉、汞和铊不是。

部分化学家认为“d区元素”和“过渡金属”是同义词。按此定义，过渡金属包括3~12列的所有元素。这时12族的元素就成了过渡金属中的特例——他们的d电子通常并不参与成键。2007年，有报告称在四氟化汞（HgF₄）中，汞使用其d电子成键，部分人因而认为汞可被视为过渡元素。 [160] 也有人，如詹森，认为像HgF₄这样的化合物只能在极端条件下存在——实际上其存在性尚有争议——因此汞在通常状况下不能被合理地视为过渡元素。 [161]

还有部分化学家将第三族元素从过渡金属的定义中排除出去，其理由是第三族元素所形成的阳离子的d亚层全是空的（而典型的过渡金属则有部分填充），因此第三族没有表现出过渡金属特有的化学性质。 [162] 此时只有4~11族被视为过渡金属。尽管3族元素的化学性质与典型的过渡金属不尽相同，它们的物理性质却较相似。（因其每个原子上有且仅有1个d电子） [51]

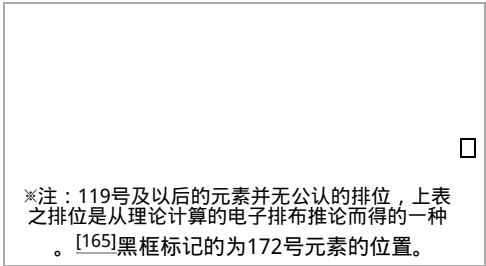
化学性质未知的元素

氮（118号）及其之前的元素均已发现，然而目前为止，在鐳（108号）之后的10个元素中，科学界只对鐳（112号）、铈（113号）和铈（114号）的化学性质略知一二，而铈（112号）是唯一足够了解、可以进行归类的元素。其他元素可能因相对论效应而表现出与目前的预测（用外

推法得到)不同的性质。例如，尽管铁位于碳族，它被预测拥有与稀有气体类似的性质。^[163]但目前的观测尚不能确定铁的性质更接近金属还是稀有气体。^[164]

周期表的后续扩展

目前并不确定第八周期的元素是否会延续现有的周期律。西博格预计第八周期的元素会按现有规律，119号和120号两个元素填充s区，接下来的18个元素填充g区，后面的30个元素填充现有的f区、d区和p区，第八周期在下一个稀有气体168号处结束。^[166]后来，物理学家佩卡·皮克等人建立了新理论，认为之后的元素不再满足现有的构造原理。现在对172号内的元素的电子排布有若干种互不相容的理论。不论如何，所有这些理论都预测下一个稀有气体元素并不是168号，而是172号。但所有这些多还只是推测，目前还没有对123号后的元素的详尽计算。^[167]



原子序数最大的元素

现时人们还尚未确定元素数量的上限在哪里。早在1911年，美国化学家艾略特·亚当斯就基于每个周期中元素的排布给出了一个估计：原子质量在256以上（约相当于原子序数99~100）的元素无法存在。^[168]后来有新的推测认为，元素周期表可能在稳定岛后不久结束^[169]（所谓稳定岛是指以126号元素Ubn为中心、被质子和中子滴线所限制的周期表和核素表扩展）。^[170]其他关于周期表结束的预测包括：128号（约翰·埃姆斯利）^[3]；137号（理查德·费曼）^[171]；146号（约根德拉·甘比尔，Yogendra Gambhir）；^[172]155号（艾伯特·卡赞，Albert Khazan）。^{[3][o]}

玻尔模型

非相对论性的玻尔模型对137号以上的元素失效，因为此处1s电子的速率超过了光速。^[173]因此非相对论性的玻尔模型对这些元素并不准确。

相对论性狄拉克方程

相对论性的狄拉克方程在质子数多于137的元素上会出现病态的解。这些元素的基态波函数为波动的扩展态而非定域束缚态，且其正负能谱之间没有能隙，与克莱因悖论的情况相同。^[174]考虑到了原子核尺寸的更精确的计算显示，结合能在原子序数为173的元素中将达到一个阈值。若比这更重的原子的最内层轨道（即1s轨道）没有充满，原子核的电场将强到能够从真空中创造出电子，并因此产生自发的正电子发射。^[175]不过如果1s轨道被电子填充，这就不会发生，因此173号元素不一定是元素周期表的终点。^[171]

最优排列方式

各种不同格式的周期表使人们不禁心生疑问，最理想或格式确定的周期表是否真的存在。^[176]一般认为，这个问题的答案取决于元素的化学周期性是否基于某种扎根在宇宙运行法则中的真理，又或者这些周期性都只是基于人类观察者的环境、信仰和偏好所主观解释的产物。化学周期性的一个客观标准将解决有关氢和氦的位置与第3族元素的组成的问题。即便真的存在这一“宇宙真理”，现时人类仍然未能发现该理论。这种情况下，各种不同格式的周期表可以看作是在解释化学周期性的不同方面，每一种周期表都探究并强调了这些元素之间不同的特征、性质、属性和关系。^[p]

参见

- [化学元素丰度](#)
- [元素的电子排布列表](#)
- [元素收藏](#)
- [元素列表](#)
- [化学序](#)
- [标准模型](#)
- [核素图](#)
- [化学元素发现年表](#)
- [扩展元素周期表](#)

注释

- 元素分区的方式与此叙述实际上略有出入。例如，氦是位于第18族（0族）中的元素，但划分时它被分在s区；此外，d亚层在第11族（I B族）就已经被填满了，第12族（II B族）中新电子填入的是s亚层，但它仍然被分入d区。
- 图中不包括稀有气体、砹、钷、镅和镅之后的所有元素，因其数据不详。
- 视标度种类的不同，电负性最大和最小的元素可能与此所列的存在差别。在某些标度中，氟元素的电负性最大，钫元素的电负性最小。
- 尽管目前一般认为镱原子基态电子排布中，最外层应是p电子，且镱元素应具有活泼金属的特点，即在溶液中能形成正一价离子，但试图证明这些特点的实验还尚未获得过成功。^[54]早先的观点认为，镱原子最外层可能是d电子^[54]，这对于金属态的镱而言可能仍然成立；但气态的镱原子拥有的则很可能是p电子。^[55]
- 戴明的18列周期表的一种原型是亚当斯1911年版的16列周期表。[2018-08-01]。（原始内容存档于2016-04-18）。亚当斯的版本中，主表不含稀土元素及“放射性元素”（即锕系元素）。出于节省空间的目的，它们被单独用加字符号和大括号补注出来（稀土元素加在钡和“铋下元素”之间，锕系元素加在“碲下元素”和“碘下元素”之间）。参见 Elliot Q. A. (1911). "A modification of the periodic table". *Journal of the American Chemical Society*. **33**(5): 684-688 (687).
- 用于容纳重于铋的元素（如钿、镱、铀）的第二个超长行早在1892年就已经被引入。但早先的研究者一般认为这些元素是第三行过渡金属镉、铟、锡的同族元素。直到锕系元素与镧系元素间的电子结构相似性被揭示出来以前，锕系元素作为一组“内过渡元素”而单独存在的观点都不受学界主流认可。参见 van Spronsen, J. W. (1969). *The periodic system of chemical elements*. Amsterdam: Elsevier. p. 315–316, ISBN 0-444-40776-6.
- 关于这些周期表的具体形状，参见 The Internet database of periodic tables. [2016-02-28].（原始内容存档于2016-03-24）。
- “第3族的元素究竟应该如何确定”纯粹是因为镧系元素的插入才成为一个话题，因为钪-钇-镧-铈之间的性质渐变和第2族钙-锶-钡-镭的表现其实是一致的。^[139]
- 将镧系元素从周期表主表中分离出来的做法是由捷克化学家博胡斯拉夫·布劳纳于1902年首创的。他将这些元素放在了第4族锆元素的下方。这种编排模式是基于“小行星假说”而创设的，该假说类比太阳系中小行星通常占据独立轨道的运行方式，提出了这种镧系元素单独排布的模式。此前，大多数人都是直接将镧系元素（不成功地）填充进老式8列周期表的I~VIII族中。这种1902年正式发布的编排模式实际上早在1895年即出现在书面记录中，而“化学小行星”的概

- 念更是早在1881年就出现在了写给门捷列夫的信中。其他一些作者通常会把镧系元素放进第3族、第3~4族或第2~4族中。1922年，尼尔斯·玻尔进一步把镧系元素置于s区与d区之间。1949年，格伦·西奥多·西博格（重新）引进了时下通行的周期表编排方式，即将镧系与锕系元素置于脚注位置上。西博格的这种编排方式最早出现于1944年，并由他本人与1945年重新发表在期刊《化学化工新闻》上。这种编排主张直到1949年才终于为一些作者所认同。同年，西博格称处理锕系元素最好的方法是和镧系一样，将其排在周期表底部。参见：Thyssen P. and Binnemans K. (2011). "Accommodation of the Rare Earths in the Periodic Table: A Historical Analysis". In K. A. Gschneider Jr. (ed). *Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths*. **41**. Amsterdam: Elsevier, pp. 1–94; Seaborg G. T. (1994). Origin of the Actinide Concept'. In K. A. Gschneider Jr. (ed). *Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths*. **18**. Amsterdam: Elsevier, pp. 1–27.
- j. 图表的更多例子请见：彼得·阿特金斯 (2006). *Shriver & Atkins Inorganic Chemistry* (4th ed.). Oxford: Oxford University Press • Myers et al. (2004). *Holt Chemistry*. Orlando: Holt, Rinehart & Winston • Chang R (2000). *Essential Chemistry* (2nd ed.). Boston: McGraw-Hill
- k. 第三族的钪-钇-镧-镨表的例子详见 Rayner-Canham G. & Overton T. (2013). *Descriptive Inorganic Chemistry* (6th ed.). New York: W. H. Freeman and Company • Brown et al. (2009). *Chemistry: The Central Science* (11th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education • Moore et al. (1978). *Chemistry*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha
- l. 碱度随原子半径增加而逐渐增强是同一金属族的特征，但这并不是钪下方出现镧而非镧的根本原因。基于同样的理由，尽管第2族碱土金属中的镁（弱碱性）属于“可溶族”，而钙、锶、钡（碱性更强）属于“碳酸铵族”，但它们仍然都被排在第2族中。参见Moeller et al. (1989). *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis* (3rd ed.). San Diego: Harcourt Brace Jovanovich, pp. 955–956, 958.
- m. 虽然金属镧基态价层排布中有一个p电子，但简单的建模研究表明，在凝聚态和一般的化学环境中，该元素具有6d价电子，因而性质类似镧系元素。^[157]其它重锕系元素也具有这个特点。^[154]
- n. 关于第3族上放置所有镧系和锕系元素的例子，参见Housecroft C. E. & Sharpe A. G. (2008). *Inorganic Chemistry* (3rd ed.). Harlow: Pearson Education • Halliday et al. (2005). *Fundamentals of Physics* (7th ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons • Nebergall et. al. (1980). *General Chemistry* (6th ed.). Lexington: D. C. Heath and Company
- o. Karol (2002, p. 63)认为，当原子序数变得如天文数字般大时，引力效应会变得显著，因而能够克服超重原子核明显的不稳定现象。因此，原子序数约为 10^{21} 的中子星被认为代表目前宇宙中最重的已知元素。（中子星内部可有部分游离质子与电子，因而原子序数可能非常大。——译注）参见Karol P. J. (2002). "The Mendeleev-Seaborg periodic table: Through Z-1138 and beyond". *Journal of Chemical Education*. **79** (1): 60-63.
- p. 周期表历史上最权威的专家之一^[177]埃里克·赛睿早年间即已意识到多种类型的周期表各有其价值，但近些年也支持存在一种“最优周期表”的观点。^[176]


参考文献


引用

1. Chemistry: Four elements added to periodic table. BBC News. 2016-01-04 [2018-08-01]. （原始内容存档于2016-01-04）.
2. St. Fleur, Nicholas. Four New Names Officially Added to the Periodic Table of Elements. New York Times. 2016-12-01 [2018-08-01]. （原始内容存档于2017-08-14）.

3. Emsley, J. Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements New. New York, NY: Oxford University Press. 2011. ISBN 978-0-19-960563-7.
4. Greenwood & Earnshaw, pp. 24–27
5. Gray, p. 6
6. CNN, Ashley Strickland. New elements on the periodic table are named. CNN. [2016-06-11]. (原始内容存档于2016-06-10) .
7. Discovery and assignment of elements with atomic numbers 113, 115, 117 and 118. 国际纯化学和应用化学联合会. 2015-12-30 [2018-08-01]. (原始内容存档于2016-06-13) .
8. Hello, Nihonium. Scientists Name 4 New Elements On The Periodic Table. NPR.org. [2016-06-11]. (原始内容存档于2016-06-10) .
9. Koppenol, W. H. Naming of New Elements (IUPAC Recommendations 2002) (PDF). Pure and Applied Chemistry. 2002, **74** (5): 787–791 [2012-03-28]. doi:10.1351/pac200274050787. (原始内容 (PDF)存档于2008-10-31) .
10. Silva, Robert J. Fermium, Mendelevium, Nobelium and Lawrencium. Morss, L. R.; Edelstein, N. M.; Fuger, J. (编). The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements 3rd. Dordrecht, The Netherlands: 施普林格科学+商业媒体. 2006. ISBN 1-4020-3555-1.
11. Scerri 2007, p. 24
12. Messler, R. W. The essence of materials for engineers. Sudbury, MA: Jones & Bartlett Publishers. 2010: 32. ISBN 0-7637-7833-8.
13. Bagnall, K. W. Recent advances in actinide and lanthanide chemistry. Fields, P. R.; Moeller, T. (编). Advances in chemistry, Lanthanide/Actinide chemistry. Advances in Chemistry **71**. American Chemical Society. 1967: 1–12. ISBN 0-8412-0072-6. doi:10.1021/ba-1967-0071.
14. Day, M. C., Jr.; Selbin, J. Theoretical inorganic chemistry 2nd. New York: Nostrand-Rienhold Book Corporation. 1969: 103. ISBN 0-7637-7833-8.
15. Holman, J.; Hill, G. C. Chemistry in context 5th. Walton-on-Thames: Nelson Thornes. 2000: 40. ISBN 0-17-448276-0.
16. Leigh, G. J. Nomenclature of Inorganic Chemistry: Recommendations 1990. Blackwell Science. 1990. ISBN 0-632-02494-1.
17. Fluck, E. New Notations in the Periodic Table (PDF). 纯粹与应用化学 (国际纯化学和应用化学联合会). 1988, **60** (3): 431–436 [2012-03-24]. doi:10.1351/pac198860030431. (原始内容存档 (PDF)于2012-03-25) .
18. Moore, p. 111
19. Greenwood & Earnshaw, p. 30
20. Stoker, S. H. General, organic, and biological chemistry. New York: Houghton Mifflin. 2007: 68. ISBN 978-0-618-73063-6. OCLC 52445586.
21. Mascetta, J. Chemistry The Easy Way 4th. New York: Hauppauge. 2003: 50. ISBN 978-0-7641-1978-1. OCLC 52047235.
22. Kotz, J.; Treichel, P.; Townsend, John. Chemistry and Chemical Reactivity, Volume 2 7th. Belmont: Thomson Brooks/Cole. 2009: 324. ISBN 978-0-495-38712-1. OCLC 220756597.
23. Gray, p. 12
24. Jones, C. d- and f-block chemistry. New York: J. Wiley & Sons. 2002: 2. ISBN 978-0-471-22476-1. OCLC 300468713.
25. Silberberg, M. S. Chemistry: The molecular nature of matter and change 4th. New York: McGraw-Hill. 2006: 536. ISBN 0-07-111658-3.
26. Manson, S. S.; Halford, G. R. Fatigue and durability of structural materials. Materials Park, Ohio: ASM International. 2006: 376. ISBN 0-87170-825-6.

27. Bullinger, H-J. Technology guide: Principles, applications, trends. Berlin: Springer-Verlag. 2009: 8. ISBN 978-3-540-88545-0.
28. Jones, B. W. Pluto: Sentinel of the outer solar system. Cambridge: Cambridge University Press. 2010: 169–71. ISBN 978-0-521-19436-5.
29. Hinrichs, G. D. On the classification and the atomic weights of the so-called chemical elements, with particular reference to Stas's determinations. Proceedings of the American Association for the Advancement of Science. 1869, **18** (5): 112–124 [2018-08-01]. (原始内容存档于2016-08-02) .
30. Myers, R. The basics of chemistry. Westport, CT: Greenwood Publishing Group. 2003: 61–67. ISBN 0-313-31664-3.
31. Chang, R. Chemistry 7. New York: McGraw-Hill. 2002: 289–310; 340–42. ISBN 0-07-112072-6.
32. Greenwood & Earnshaw, p. 27
33. Jolly, W. L. Modern Inorganic Chemistry 2nd. McGraw-Hill. 1991: 22. ISBN 978-0-07-112651-9.
34. Greenwood & Earnshaw, p. 28
35. 国际纯化学和应用化学联合会 . "Electronegativity (<http://goldbook.iupac.org/E01990.html>)" . 《化学术语总目录》在线版 . (英文)
36. Pauling, L. The Nature of the Chemical Bond. IV. The Energy of Single Bonds and the Relative Electronegativity of Atoms. 美国化学会志. 1932, **54** (9): 3570–3582. Bibcode:1932JChS..54.2610C. doi:10.1021/ja01348a011.
37. Greenwood and Earnshaw, pp. 25–6
38. Dieter, R. K.; Watson, R. T. Transmetalation reactions producing organocopper compounds. Rappoport, Z.; Marek, I. (编). The Chemistry of Organocopper Compounds 1. John Wiley & Sons. 2009: 443–526 [2022-04-08]. ISBN 978-0-470-77296-6. (原始内容存档于2022-05-06) .
39. Huheey, Keiter & Keiter, p. 42
40. Siekierski, S.; Burgess, J. Concise chemistry of the elements. Chichester: Horwood Publishing. 2002: 35–36. ISBN 1-898563-71-3.
41. Chang, pp. 307–309
42. Huheey, Keiter & Keiter, pp. 42, 880–81
43. Yoder, C. H.; Suydam, F. H.; Snively, F. A. Chemistry 2nd. Harcourt Brace Jovanovich. 1975: 58. ISBN 0-15-506465-7.
44. Huheey, Keiter & Keiter, pp. 880–85
45. Sacks, O. Uncle Tungsten: Memories of a chemical boyhood. New York: Alfred A. Knopf. 2009: 191, 194. ISBN 0-375-70404-3.
46. Gray, p. 9
47. MacKay, K. M.; MacKay, R. A.; Henderson, W. Introduction to Modern Inorganic Chemistry 6th. Cheltenham: Nelson Thornes. 2002: 194–196. ISBN 0-7487-6420-8.
48. Remy, H. Kleinberg, J. , 编. Treatise on Inorganic Chemistry 2. Amsterdam: Elsevier. 1956: 30.
49. Phillips, C. S. G.; Williams, R. J. P. Inorganic Chemistry. Oxford: Clarendon Press. 1966: 4–5.
50. King, R. B. Inorganic chemistry of main group elements. New York: Wiley-VCH. 1995: 289.
51. Greenwood & Earnshaw, p. 947
52. Spedding, F. H.; Beadry, B. J. Lutetium. Hampel, C. A. (编). The Encyclopedia of the Chemical Elements. Reinhold Book Corporation. 1968: 374–378.

53. Settouti, N.; Aourag, H. A Study of the Physical and Mechanical Properties of Lutetium Compared with Those of Transition Metals: A Data Mining Approach. JOM. 2014, **67** (1): 87–93. Bibcode:2015JOM....67a..87S. doi:10.1007/s11837-014-1247-x.
54. Silva, Robert J. Chapter 13. Fermium, Mendelevium, Nobelium, and Lawrencium. Morss, Lester R.; Edelstein, Norman M.; Fuger, Jean (编). The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements. Netherlands: Springer. 2011. ISBN 978-94-007-0210-3. doi:10.1007/978-94-007-0211-0_13.
55. Sato, T. K.; Asai, M.; Borschevsky, A.; Stora, T.; Sato, N.; Kaneya, Y.; Tsukada, K.; Düllman, Ch. E.; Eberhardt, K.; Eliav, E.; Ichikawa, S.; Kaldor, U.; Kratz, J. V.; Miyashita, S.; Nagame, Y.; Ooe, K.; Osa, A.; Renisch, D.; Runke, J.; Schädel, M.; Thörle-Pospiech, P.; Toyoshima, A.; Trautmann, N. Measurement of the first ionization potential of lawrencium, element 103 (PDF). Nature. 2015-04-09, **520** (7546): 209–11 [2018-08-01]. Bibcode:2015Natur.520..209S. PMID 25855457. doi:10.1038/nature14342. (原始内容存档 (PDF)于2018-10-30) .
56. Steele, D. The Chemistry of the Metallic Elements. Oxford: Pergamon Press. : 67.
57. Greenwood, N. N.; Earnshaw, A. Chemistry of the Elements 2nd. Oxford: Elsevier Science Ltd. : 1206. ISBN 0-7506-3365-4.
58. MacKay, K. M.; MacKay, R. A.; Henderson, W. Introduction to Modern Inorganic Chemistry 6th. Cheltenham: Nelson Thornes. 2002: 194–196, 385. ISBN 0-7487-6420-8.
59. Scerri, pp. 407–420
60. Jensen, William B. Classification, symmetry and the periodic table (PDF). Comp. & Maths. With Appls. 1986, **12B** (I/2) [18 January 2017]. (原始内容存档 (PDF)于31 January 2017) .
61. Kaupp, Martin. The role of radial nodes of atomic orbitals for chemical bonding and the periodic table. Journal of Computational Chemistry. 1 December 2006, **28** (1): 320–25. PMID 17143872. S2CID 12677737. doi:10.1002/jcc.20522 .
62. Kulsha, Andrey. Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева [D. I. Mendeleev's periodic system of the chemical elements] (PDF). primefan.ru. 2004 [17 May 2020]. (原始内容存档 (PDF)于22 October 2020) (俄语) .
63. Pyykkö, Pekka; Desclaux, Jean Paul. Relativity and the periodic system of elements. Accounts of Chemical Research. 1979, **12** (8): 276. doi:10.1021/ar50140a002.
64. Norrby, Lars J. Why is mercury liquid? Or, why do relativistic effects not get into chemistry textbooks?. Journal of Chemical Education. 1991, **68** (2): 110. Bibcode:1991JChEd..68..110N. doi:10.1021/ed068p110.
65. Kulsha, A. V. Есть ли граница у таблицы Менделеева? [Is there a boundary to the Mendeleev table?] (PDF). www.primefan.ru. [8 September 2018]. (原始内容存档 (PDF)于17 October 2020) (俄语) .
66. Schändel, M. The Chemistry of Superheavy Elements. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2003: 277. ISBN 978-1-4020-1250-1.
67. Greenwood and Earnshaw, pp. 29–31
68. Siegfried, R. From elements to atoms a history of chemical composition. Philadelphia, Pennsylvania: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 2002: 92. ISBN 0-87169-924-9 (英语) .
69. Horvitz, L. Eureka!: Scientific Breakthroughs That Changed The World. New York: John Wiley. 2002: 43. ISBN 978-0-471-23341-1. OCLC 50766822.
70. Aug. Kekulé. Über die s. g. gepaarten Verbindungen und die Theorie der mehratomigen Radicale. 利比希化学纪事. 1857, **104** (2): 129–150. doi:10.1002/jlac.18571040202.
71. van Spronsen, J. W. The periodic system of chemical elements. Amsterdam: Elsevier. 1969: 19. ISBN 0-444-40776-6.

72. Alexandre-Emile Bélguier de Chancourtois (1820–1886). Annales des Mines history page. [2014-09-18]. (原始内容存档于2014-11-27) (法语) .
73. Venable, pp. 85–86; 97
74. Odling, W. On the proportional numbers of the elements. Quarterly Journal of Science. 2002, **1**: 642–648 (643).
75. Scerri, E. The periodic table: A very short introduction. Oxford: Oxford University Press. 2011. ISBN 978-0-19-958249-5.
76. Kaji, M. Discovery of the periodic law: Mendeleev and other researchers on element classification in the 1860s. Rouvray, D. H.; King, R. Bruce (编). The periodic table: Into the 21st Century. Research Studies Press. 2004: 91–122 (95). ISBN 0-86380-292-3.
77. Newlands, J. A. R. On Relations Among the Equivalents. Chemical News. 1864-08-20, **10**: 94–95 [2012-03-28]. (原始内容存档于2011-01-01) .
78. Newlands, J. A. R. On the Law of Octaves. Chemical News. 1865-08-18, **12**: 83 [2012-03-28]. (原始内容存档于2011-01-01) .
79. Bryson, B. 万物简史. Black Swan. 2004: 141–142. ISBN 978-0-552-15174-0.
80. Scerri 2007, p. 306
81. Brock, W. H.; Knight, D. M. The Atomic Debates: 'Memorable and Interesting Evenings in the Life of the Chemical Society'. Isis (芝加哥大学出版社). 1965, **56** (1): 5–25. doi:10.1086/349922.
82. Scerri 2007, pp. 87, 92
83. Kauffman, G. B. American forerunners of the periodic law. Journal of Chemical Education. March 1969, **46** (3): 128–135 (132). Bibcode:1969JChEd..46..128K. doi:10.1021/ed046p128.
84. Mendelejew, D. Über die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente. Zeitschrift für Chemie. 1869: 405–406 (德语) .
85. Venable, pp. 96–97; 100–102
86. Ball, pp. 100–102
87. Pullman, B. The Atom in the History of Human Thought. Translated by Axel Reisinger. Oxford University Press. 1998: 227. ISBN 0-19-515040-6.
88. Ball, p. 105
89. The periodic table. BBC Bitesize. BBC. [2020-05-15]. (原始内容存档于2020-05-16) .
90. Masanori Kaji, Helge Kragh, Gabor Pallo (编). Early Responses to the Periodic System. Oxford University Press. 2015-03-02. ISBN 978-0190200077.
91. Atkins, P. W. The Periodic Kingdom. HarperCollins Publishers, Inc. 1995: 87. ISBN 0-465-07265-8.
92. Samanta, C.; Chowdhury, P. Roy; Basu, D. N. Predictions of alpha decay half-lives of heavy and superheavy elements. Nucl. Phys. A. 2007, **789**: 142–154. Bibcode:2007NuPhA.789..142S. arXiv:nucl-th/0703086 . doi:10.1016/j.nuclphysa.2007.04.001.
93. Scerri 2007, p. 112
94. Kaji, M. D. I. Mendeleev's Concept of Chemical Elements and the Principle of Chemistry (PDF). Bull. Hist. Chem.. 2002, **27** (1): 4–16 [2018-08-01]. (原始内容 (PDF)存档于2016-07-06) .
95. Adloff, J-P.; Kaufman, G. B. Francium (Atomic Number 87), the Last Discovered Natural Element. The Chemical Educator. 2005-09-25 [2007-03-26]. (原始内容存档于2013-06-04) .

96. Hoffman, D. C.; Lawrence, F. O.; Mewherter, J. L.; Rourke, F. M. Detection of Plutonium-244 in Nature. *Nature*. 1971, **234** (5325): 132–134 [2012-03-28]. Bibcode:1971Natur.234..132H. doi:10.1038/234132a0. (原始内容存档于2011-06-23) .
97. Gray, p. 12
98. Deming, H. G. General chemistry: An elementary survey. New York: J. Wiley & Sons. 1923: 160, 165.
99. Abraham, M.; Coshov, D.; Fix, W. Periodicity:A source book module, version 1.0 (PDF). New York: Chemsources, Inc. : 3 [2018-08-01]. (原始内容 (PDF)存档于2012-05-14) .
100. Emsley, J. Mendeleev's dream table. *New Scientist*. 1985-03-07: 32–36(36).
101. Fluck, E. New notations in the period table. *Pure and Applied Chemistry*. 1988, **60** (3): 431–436 (432). doi:10.1351/pac198860030431.
102. Ball, p. 111
103. Scerri 2007, pp. 270–71
104. Masterton, W. L.; Hurley, C. N.; Neth, E. J. Chemistry: Principles and reactions 7th. Belmont, CA: Brooks/Cole Cengage Learning. : 173. ISBN 1-111-42710-0.
105. Ball, p. 123
106. Barber, R. C.; Karol, P. J.; Nakahara, Hiromichi; Vardaci, Emanuele; Vogt, E. W. Discovery of the elements with atomic numbers greater than or equal to 113 (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem*. 2011, **83** (7): 1485. doi:10.1351/PAC-REP-10-05-01.
107. Эксперимент по синтезу 117-го элемента получает продолжение [Experiment on synthesis of the 117th element is to be continued]. *JINR*. 2012 [2018-08-01]. (原始内容存档于2013-08-01) (俄语) .
108. Briggs, Helen. Happy birthday, periodic table. 2019-01-29 [2019-02-08]. (原始内容存档于2019-02-09) (英语) .
109. Scerri, Eric. Element 61—Promethium. A Tale of 7 Elements. New York: 牛津大学出版社 (USA). 2013: 175–194(190) [2018-08-01]. ISBN 978-0-19-539131-2. (原始内容存档于2017-09-10) . "... no interruptions in the sequence of increasing atomic numbers ..."
110. Newell, S. B. Chemistry: An introduction. Boston: Little, Brown and Company. 1980: 196 [2016-08-27]. ISBN 978-0-316-60455-0. (原始内容存档于2019-03-28) .
111. Jensen, W. B. Classification, Symmetry and the Periodic Table. *Computers & Mathematics with Applications*. 1982, **12B** (1/2): 487–510(498). doi:10.1016/0898-1221(86)90167-7.
112. Leach, M. R. Concerning electronegativity as a basic elemental property and why the periodic table is usually represented in its medium form. *Foundations of Chemistry*. 2012, **15** (1): 13–29. doi:10.1007/s10698-012-9151-3.
113. Thyssen, P.; Binnemans, K. Gschneidner Jr., K. A.; Bünzli, J-C.G; Vecharsky, Bünzli , 编. Accommodation of the Rare Earths in the Periodic Table: A Historical Analysis **41**. Amsterdam: Elsevier. 2011: 76. ISBN 978-0-444-53590-0. |journal=被忽略 (帮助)
114. Scerri 2007, p. 20
115. Finding Aid to Edward G. Mazurs Collection of Periodic Systems Images. *Science History Institute*. [2 October 2018]. (原始内容存档于27 March 2019) . "Click on 'Finding Aid' to go to full finding aid."
116. Weird Words of Science: Lemniscate Elemental Landscapes. *Fields of Science*. fieldsofscience.com. 2009-03-22 [2016-01-04]. (原始内容存档于2016-03-04) .
117. Emsely, J.; Sharp, R. The periodic table: Top of the charts. *The Independent*. 2010-06-21 [2018-08-01]. (原始内容存档于2017-07-01) .

118. Seaborg, G. Plutonium: The Ornery Element. Chemistry. 1964, **37** (6): 14.
119. Mark R. Leach. 1925 Courtines' Periodic Classification. [2012-10-16]. (原始内容存档于2016-05-16) .
120. Mark R. Leach. 1949 Wringley's Lamina System. [2012-10-16]. (原始内容存档于2011-12-03) .
121. Mazurs, E. G. Graphical Representations of the Periodic System During One Hundred Years. Alabama: University of Alabama Press. 1974: 111. ISBN 978-0-8173-3200-6.
122. Mark R. Leach. 1996 Dufour's Periodic Tree. [2012-10-16]. (原始内容存档于2010-04-18) .
123. Mark R. Leach. 1989 Physicist's Periodic Table by Timothy Stowe. [2012-10-16]. (原始内容存档于2012-06-05) .
124. Bradley, D. At last, a definitive periodic table?. ChemViews Magazine. 2011-07-20 [2018-08-01]. doi:10.1002/chemv.201000107. (原始内容存档于2013-05-01) .
125. Scerri 2007, pp. 285–86
126. Scerri 2007, p. 285
127. Mark R. Leach. 2002 Inorganic Chemist's Periodic Table. [2012-10-16]. (原始内容存档于2013-03-09) .
128. Scerri, E. The role of triads in the evolution of the periodic table: Past and present. Journal of Chemical Education. 2008, **85** (4): 585–89 (see p.589). Bibcode:2008JChEd..85..585S. doi:10.1021/ed085p585.
129. Alper, R. The simplified periodic table: elements ordered by their subshells. The Journal of Biological Physics and Chemistry. 2010, **10** (2): 74–80. doi:10.4024/43AL09F.jbpc.10.02.
130. Scerri, E. Some comments on the recently proposed periodic table featuring elements ordered by their subshells. Journal of Biological Physics and Chemistry. 2012, **12** (2): 69–70.
131. Bent, H. A.; Weinhold, F. Supporting information: News from the periodic table: An introduction to "Periodicity symbols, tables, and models for higher-order valency and donor–acceptor kinships" . Journal of Chemical Education. 2007, **84** (7): 3–4. doi:10.1021/ed084p1145.
132. Francl, M. Table manners (PDF). Nature Chemistry. May 2009, **1** (2): 97–98 [2018-08-01]. Bibcode:2009NatCh...1...97F. PMID 21378810. doi:10.1038/nchem.183. (原始内容 (PDF)存档于2012-10-25) .
133. IUPAC. IUPAC Periodic Table of the Elements (PDF). iupac.org. IUPAC. 2013-05-01 [2015-09-20]. (原始内容 (PDF)存档于2015-08-22) .
134. Seaborg, G. The chemical and radioactive properties of the heavy elements. Chemical English Newspaper. 1945, **23** (23): 2190–2193.
135. Cronyn, M. W. The Proper Place for Hydrogen in the Periodic Table. Journal of Chemical Education. August 2003, **80** (8): 947–951. Bibcode:2003JChEd..80..947C. doi:10.1021/ed080p947.
136. Lewars, Errol G. Modeling Marvels: Computational Anticipation of Novel Molecules. Springer Science & Business Media. 2008-12-05: 69–71 [2018-08-01]. ISBN 978-1-4020-6973-4. (原始内容存档于2019-03-28) .
137. Greenwood & Earnshaw, throughout the book
138. Thyssen, P.; Binnemans, K. Gschneidner Jr., K. A.; Bünzli, J-C.G; Vecharsky, Bünzli , 编. Accommodation of the Rare Earths in the Periodic Table: A Historical Analysis **41**. Amsterdam: Elsevier. 2011: 1–94. ISBN 978-0-444-53590-0. |journal=被忽略 (帮助)
139. Hevesy, G. Redkie zemeli s tochki zreniya stroeniya atoma [Rare earths from the point of view of structure of atom] (cited in Trifonov 1970, p. 188). Leningrad: NKhTI. 1929 (俄语) .

140. Stewart, P. J. The Flyleaf Table: An Alternative. Journal of Chemical Education. 2008, **85** (11): 1490. Bibcode:2008JChEd..85.1490S. doi:10.1021/ed085p1490.
141. 引用错误：没有为名为 McGraw-Hill 的参考文献提供内容
142. Thyssen, P.; Binnemanns, K. 1: Accommodation of the rare earths in the periodic table: A historical analysis. Gschneidner Jr., K. A.; Bützli, J.-C. J.; Pecharsky, V. K. (编). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths **41**. Amsterdam: Elsevier. 2011: 80–81. ISBN 978-0-444-53590-0.
143. Keeler, J.; Wothers, P. Chemical Structure and Reactivity: An Integrated Approach. Oxford: Oxford University. 2014: 259. ISBN 978-0-19-960413-5.
144. Scerri, E. Mendeleev's Periodic Table Is Finally Completed and What To Do about Group 3?. Chemistry International. 2012, **34** (4) [2018-08-01]. doi:10.1515/ci.2012.34.4.28. (原始内容存档于2015-09-15) .
145. Castelvechi, D. Exotic atom struggles to find its place in the periodic table. Nature News. 2015-04-08 [2015-09-20]. (原始内容存档于2015-10-05) .
146. The constitution of group 3 of the periodic table. IUPAC. 2015 [2016-07-30]. (原始内容存档于2016-07-05) .
147. Emsley, J. Nature's Building Blocks new. Oxford: Oxford University. 2011: 651. ISBN 978-0-19-960563-7.
148. William B. Jensen. The Positions of Lanthanum (Actinium) and Lutetium (Lawrencium) in the Periodic Table. J. Chem. Educ. 1982, **59** (8): 634–636. Bibcode:1982JChEd..59..634J. doi:10.1021/ed059p634.
149. Trifonov, D. N. Rare-earth elements and their position in the periodic system (translated from Russian). New Delhi: Indian National Scientific Documentation Centre. 1970: 201–202.
150. Greenwood, N. N.; Harrington, T. J. The chemistry of the transition elements. Oxford: Clarendon Press. 1973: 50. ISBN 0-19-855435-4.
151. Aylward, G.; Findlay, T. SI chemical data 6th. Milton, Queensland: John Wiley & Sons. 2008. ISBN 978-0-470-81638-7.
152. Wiberg, N. Inorganic Chemistry. San Diego: Academic Press. 2001: 119. ISBN 0-12-352651-5.
153. Wulfsberg, G. Encyclopedia of Inorganic Chemistry. New York: John Wiley & Sons. 2006: 3. ISBN 978-0-470-86210-0. |article=被忽略 (帮助)
154. Cotton, S. Lanthanide and Actinide Chemistry. Chichester: John Wiley & Sons. 2007: 150. ISBN 978-0-470-01006-8.
155. Scerri, E. Five ideas in chemical education that must die – Group three. Education in Chemistry (英国皇家化学学会). 2015-09-15 [2015-09-19]. (原始内容存档于2015-12-23) . "It is high time that the idea of group 3 consisting of Sc, Y, La and Ac is abandoned"
156. Jensen, W. B. Some Comments on the Position of Lawrencium in the Periodic Table (PDF). 2015 [2015-09-20]. (原始内容 (PDF)存档于2015-12-23) .
157. Xu, W.-H.; Pyykkö, P. Is the chemistry of lawrencium peculiar?. Physical Chemistry Chemical Physics. 2016, **18** (26): 17351–17355. Bibcode:2016PCCP...1817351X. doi:10.1039/C6CP02706G.
158. King, R. B. Inorganic Chemistry of Main Group Elements. New York: Wiley-VCH. 1995: 289. ISBN 1-56081-679-1.
159. 国际纯化学和应用化学联合会 . "transition element (<http://goldbook.iupac.org/T06456.html>)" . 《化学术语总目录》在线版 . (英文)

160. Xuefang, W.; Andrews, L.; Riedel, S.; Kaupp, M. Mercury Is a Transition Metal: The First Experimental Evidence for HgF₄. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007, **46** (44): 8371–8375. PMID 17899620. doi:10.1002/anie.200703710.
161. Jensen, W. B. Is Mercury Now a Transition Element?. *J. Chem. Educ.* 2008, **85** (9): 1182–1183. Bibcode:2008JChEd..85.1182J. doi:10.1021/ed085p1182.
162. Rayner-Canham, G.; Overton, T. *Descriptive inorganic chemistry* 4th. New York: W H Freeman. 2006: 484–485. ISBN 0-7167-8963-9.
163. Schändel, M. *The Chemistry of Superheavy Elements*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2003: 277. ISBN 1-4020-1250-0.
164. Yakushev, Alexander; Eichler, Robert. *Gas-phase chemistry of element 114, flerovium* (PDF). Nobel Symposium NS160 – Chemistry and Physics of Heavy and Superheavy Elements. 2016 [2018-08-01]. doi:10.1051/epjconf/201613107003. (原始内容存档 (PDF)于 2017-03-31) .
165. Fricke, B.; Greiner, W.; Waber, J. T. The continuation of the periodic table up to $Z = 172$. The chemistry of superheavy elements. *Theoretica chimica acta* (Springer-Verlag). 1971, **21** (3): 235–260. doi:10.1007/BF01172015.
166. Frazier, K. Superheavy Elements. *Science News*. 1978, **113** (15): 236–238. JSTOR 3963006. doi:10.2307/3963006.
167. Pyykkö, P. A suggested periodic table up to $Z \leq 172$, based on Dirac–Fock calculations on atoms and ions. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2011, **13** (1): 161–168. Bibcode:2011PCCP...13..161P. PMID 20967377. doi:10.1039/c0cp01575j.
168. Elliot, Q. A. A modification of the periodic table. *Journal of the American Chemical Society*. 1911, **33** (5): 684–688 (688). doi:10.1021/ja02218a004.
169. Seaborg, G. *transuranium element (chemical element)*. *Encyclopædia Britannica*. c. 2006 [2010-03-16]. (原始内容存档于2010-11-30) .
170. Cwiok, S.; Heenen, P.-H.; Nazarewicz, W. Shape coexistence and triaxiality in the superheavy nuclei. *Nature*. 2005, **433** (7027): 705–9. Bibcode:2005Natur.433..705C. PMID 15716943. doi:10.1038/nature03336.
171. Ball, P. *Would Element 137 Really Spell the End of the Periodic Table? Philip Ball Examines the Evidence*. *化学世界* (英国皇家化学学会). November 2010 [2012-09-30]. (原始内容存档于2012-10-21) .
172. Gambhir, Y.K; Bhagwat, A.; Gupta, M. The highest limiting Z in the extended periodic table. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*. 2015, **42** (12): 125105 [2019-06-06]. doi:10.1088/0954-3899/42/12/125105. (原始内容存档于2021-07-04) .
173. Eisberg, R.; Resnick, R. *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*. 约翰威立. 1985.
174. Bjorken, J. D.; Drell, S. D. *Relativistic Quantum Mechanics*. McGraw-Hill. 1964.
175. Greiner, W.; Schramm, S. Resource Letter QEDV-1: The QED vacuum. *American Journal of Physics*. 2008, **76** (6): 509. Bibcode:2008AmJPh..76..509G. doi:10.1119/1.2820395., and references therein.
176. Scerri, Eric. *Is there an optimal periodic table and other bigger questions in the philosophy of science*. ericscerri23.blogspot.com.au. Eric Scerri. 2013-08-09 [2013-09-04]. (原始内容存档于2017-06-13) .
177. Sella, Andrea. *An elementary history lesson*. *新科学人*. 2013-08-07, (2929) [2017-06-13]. (原始内容存档于2016-07-03) .

来源

- Ball, P. The Ingredients: A Guided Tour of the Elements. Oxford, England: Oxford University Press. 2002. ISBN 978-0-19-284100-1.
- Chang, R. Chemistry 7th. New York, NY: McGraw-Hill Higher Education. 2002. ISBN 978-0-19-284100-1.
- Gray, T. The Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe. New York, NY: Black Dog & Leventhal Publishers. 2009. ISBN 978-1-57912-814-2.
- Greenwood, N. N.; Earnshaw, A. Chemistry of the Elements. Oxford, England: Pergamon Press. 1984. ISBN 978-0-08-022057-4.
- Huheey, J. E.; Keiter, E. A.; Keiter, R. L. Principles of structure and reactivity 4th. New York, NY: Harper Collins College Publishers. ISBN 978-0-06-042995-9.
- Moore, J. T. Chemistry For Dummies. For Dummies 1st. New York, NY: Wiley Publications. 2003. ISBN 978-0-7645-5430-8.
- Scerri, E. The periodic table: Its story and its significance. Oxford, England: Oxford University Press. 2007. ISBN 978-0-19-530573-9.
- Scerri, E. The periodic table: A very short introduction. Oxford, England: Oxford University Press. 2011. ISBN 978-0-19-958249-5.
- Venable, F. P. The Development of the Periodic Law. Easton, Pennsylvania: Chemical Publishing Company. 1896 [2018-08-01]. OCLC 776059614. (原始内容存档于2016-08-02) .

拓展阅读

- Emsley, J. The Periodic Table. Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements New. Oxford: Oxford University Press. 2011: 634–651. ISBN 978-0-19-960563-7.
- Mazurs, E. G. Graphical Representations of the Periodic System During One Hundred Years. Alabama: University of Alabama Press. 1974. ISBN 978-0-19-960563-7.
- Rouvray, D.H.; King, R. B. (eds). The Periodic Table: Into the 21st Century. Proceedings of the 2nd International Conference on the Periodic Table, part 1, Kananaskis Guest Ranch, Alberta, 14–20 July 2003. Baldock, Hertfordshire: Research Studies Press. 2004. ISBN 978-0-86380-292-8.
- Rouvray, D.H.; King, R. B. (eds). The Mathematics of the Periodic Table. Proceedings of the 2nd International Conference on the Periodic Table, part 2, Kananaskis Guest Ranch, Alberta, 14–20 July 2003. New York: Nova Science. 2006. ISBN 978-1-59454-259-6.
- Scerri, E. Books on the Elements and the Periodic Table (PDF). n.d. [2018-07-09]. (原始内容存档 (PDF)于2020-08-11) .
- Scerri, E.; Restrepo, G (eds). Mendeleev to Oganesson: A Multidisciplinary Perspective on the Periodic Table. Proceedings of the 3rd International Conference on the Periodic Table, Cuzco, Peru 14–16 August 2012. Oxford: Oxford University Press. 2018. ISBN 978-0-86380-292-8.
- van Spronsen, J. W. The Periodic System of Chemical Elements: A History of the First Hundred Years. Amsterdam: Elsevier. 1969. ISBN 978-0-444-40776-4.
- Verde, M. (ed.). Atti del convegno Mendeleeviano: Periodicità e simmetrie nella struttura elementare della materia [Proceedings of the Mendeleevian conference: Periodicity and symmetry in the elementary structure of matter]. 1st International Conference on the Periodic Table, Torino-Roma, 15–21 September 1969. Torino: Accademia delle Scienze di Torino. 1971.

外部链接

- IUPAC网站上的元素周期表 (<http://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements>) ([页面存档备份](https://web.archive.org/web/20160523002056/http://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements) (<https://web.archive.org/web/20160523002056/http://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements>) , 存于 [互联网档案馆](#)) , 注意IUPAC没有所谓的“官方”周期表
- 动态元素周期表 (<http://www.ptable.com>) ([页面存档备份](https://web.archive.org/web/20161120061736/http://www.ptable.com/) (<https://web.archive.org/web/20161120061736/http://www.ptable.com/>) , 存于 [互联网档案馆](#))
- The INTERNET Database of Periodic Tables (http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php) ([页面存档备份](https://web.archive.org/web/20160324070522/http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php) (https://web.archive.org/web/20160324070522/http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php) , 存于 [互联网档案馆](#)) , 元素周期表互联网数据库
- “濒危”元素的元素周期表 (<https://web.archive.org/web/20180112160406/https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/research-innovation/research-topics/endangered-elements.html>)
- 周期表各元素样本 (<http://www.periodictable.com/>) ([页面存档备份](https://web.archive.org/web/20201209204920/http://www.periodictable.com/) (<https://web.archive.org/web/20201209204920/http://www.periodictable.com/>) , 存于 [互联网档案馆](#))
- 周期表各元素视频 (<http://www.periodicvideos.com>) ([页面存档备份](https://web.archive.org/web/20160304043827/http://www.periodicvideos.com/) (<https://web.archive.org/web/20160304043827/http://www.periodicvideos.com/>) , 存于 [互联网档案馆](#))
- WebElements (<http://www.webelements.com>) ([页面存档备份](https://web.archive.org/web/20140104110225/http://www.webelements.com/) (<https://web.archive.org/web/20140104110225/http://www.webelements.com/>) , 存于 [互联网档案馆](#))

取自“<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=元素周期表&oldid=73993095>”

本页面最后修订于**2022年10月8日 (星期六) 04:39**。

本站的全部文字在知识共享 署名-相同方式共享 3.0协议之条款下提供，附加条款亦可能应用。（请参阅使用条款）
Wikipedia®和维基百科标志是维基媒体基金会的注册商标；维基™是维基媒体基金会的商标。
维基媒体基金会是按美国国内税收法501(c)(3)登记的非营利慈善机构。