

地球化学元素图谱 与衣食住行

□ 文 / 王学求

作者简介 王学求，汉族，1963年1月生，长春地质学院地球化学专业博士毕业，研究员，联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心常务副主任和首席科学家，国土资源部地球化学探测技术重点实验室主任。

神奇的化学地球： 地球化学元素图谱如何绘制？

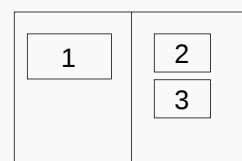
地球具有物理和化学属性。地球的物理属性包括大小、空间、形状、密度、电性、磁性、引力、运动等，研究地球这些物理属性的学科叫地球物理。地球的化学属性包括化学元素及其化合物的组成、含量、分布、变化等，研究地球化学属性的学科叫地球化学。“化学地球”不是一个学科概念，而是特指将组成地球的岩石圈、土壤圈、水圈、大气圈和生物圈的化学元素及其化合物的含量和时空分布生成矢量图形，以图形化和可视化形式展现在地球

上，是一种数字地球。用地理信息技术、互联网技术和空间大数据技术，生成一个虚拟的“化学元素地球”，便于大家从互联网上进行查询和使用。地球化学元素图谱用途奇妙，值得探究。

“化学地球”更形象的解释，就是绘制地球化学元素图谱，将元素周期表上所有化学元素的含量和分布绘制在地球上，为全球资源可持续利用和全球环境变化研究提供基础数据，为政府决策提供科学依据，为社会提供公共服务。进入“化学地球”，就可图形化查询你想得到的地球化学街景。她可以告诉你：你佩戴的金银首饰是哪来的；哪里产的大米可能含镉；哪里的地下水可以



周期	族	IA																	0	
1		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1	2																	18
		1																		



- 1 地球 —— 我们的家园
- 2 “化学地球”界面 —— 全球地球化学大数据平台
- 3 元素周期表

直接饮用；我们呼吸的空气除了 PM2.5，还含有哪些重金属和有机污染物。

神奇的化学地球：地球化学元素是哪来的？

地球是由化学元素组成的。我们要想了解化学地球，首先要了解地球都由哪些化学元素组成，这些化学元素是哪来的。自 1869 年俄国科学家门捷列夫发现元素周期表以来，截至 2015 年，共有 118 种元素被发现，其中存在于自然界的化学元素有 92 种，即排在 92 号元素铀以前的元素。地球这 92 种化学元素是哪来的？目前科学界比较认可的理论是，元素起源于 137 亿年前的宇宙大爆炸，大爆炸

后 10~12 秒，质子和中子及其反粒子形成，玻色子、中微子、电子、夸克以及胶子稳定下来。大爆炸 10 秒后，氢元素形成。氢发生聚变反应，形成氦。这一聚变反应，还在太阳中发生。太阳每秒消耗掉 6 亿吨氢，转化成 5.6 亿吨氦。另外的 400 万吨去哪了呢？按照爱因斯坦方程 $E=mc^2$ ，其转变为能量。值得庆幸的是，地球上之所以出现生命，是由于氢以精确而较为稳定的方式转化为氦，即以将千分之七的质量转化为能量的方式，转化为氦。要是哪个值稍稍低一点，比如从千分之七降至千分之六，那么就不可能发生转化，宇宙只会由氢组成。要是哪个值稍稍高一点，高到千分之八，转化就会不

间断地发生，氢早已消耗殆尽。氢耗尽了，即使出现了氧，也不能形成水，没有水的出现，生命也就不会出现。元素的精确演化造就了生命，造就了人类，从这个意义上说，我们之所以能幸运地诞生在这个地球上，是元素演化的恩赐。氢持续发生聚变反应，继续形成锂、铍、硼等元素。氢原子再轰击锂、铍、硼等元素的原子，就会产生中子，这些中子被轻元素的原子核俘获，就形成较重的元素，从碳、氮、铁一直到原子序数为 92 的元素铀。对太阳和行星的光谱分析和对陨石组分的分析所得结果说明，宇宙中含量最多的元素是氢，占 99% 左右，其次是氦。地球形成过程中，这些化学元素产生了分异，比较重的元素像铁、镍进入地核，比较轻的元素钾、钠、钙、镁、硅、铝、氧进入地壳。更轻的气态元素氢、氦、氮逃逸到大气圈中。

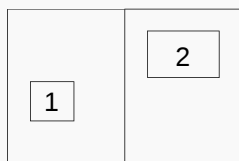
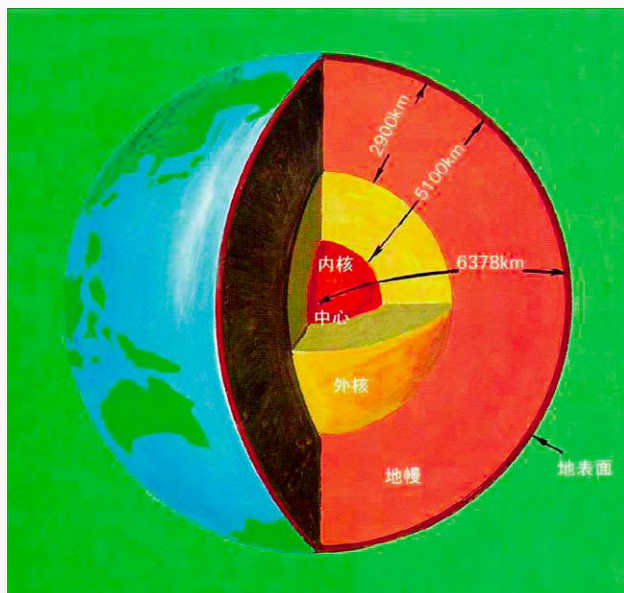
少数化学元素以游离状态存在于地壳中，例如氧、氮、氢、氦、氩、氖、氙、氪、硫、铜、银、

金、铂、钨、钼、铀、钍、钽、铌、钽、铯。大多数化学元素都以化合物形式存在，如氧化物、硫化物、含氧酸盐（硅酸盐、碳酸盐等）。地壳中含量最多的元素是氧，含量为 48.6%，这些氧主要以硅酸盐矿物形式存在于地壳中。地壳中最少的元素是卤素家族的一员，一种叫做砹的元素，少到可以忽略不计的程度，几乎检测不到它的存在。地球上所有的生命和非生命都是由这 92 种化学元素组成的。人类利用的自然资源都是由这些化学元素组成的，如金矿就是金元素组成的；油气是由碳和氢元素组成的；全球气候与环境变化与自然和人为碳排放有关；环境污染是由有毒重金属元素，如镉、汞等引起的。下面我就从衣、食、住、行四个方面介绍一下化学地球与人们日常生活的关系。

化学地球与衣食住行

“衣”——你佩戴的金银首饰是哪来的？

广义的“衣”已经超越了防寒保暖的功能，作为女士，你们可能都佩戴过金银首饰。你知道这些贵金属是哪来的吗？它们来自于一种叫做贵金属的矿产资源。贵金属矿产资源包括金、银、铂、钯（钨、钼、铂、钽、铌、钽）。贵金属的贵重，不仅体现在它的化学性质稳定，不易被腐蚀，金光灿烂，还体现在它储量的稀少。这些贵金属在地球上含量极低，在地壳中的含量只有十亿分之几到百亿分之几。要富集 1 000 倍以上，即百万分之几，才能成为人类现有技术能够提炼的矿床。如金在地壳中的平均含量只有十亿分之一，要成为人类能够开采的矿床，必须富集到百万分之二以上，即一吨矿石中要含有 2 克黄金才能被开采利用。就是说你要戴一个 5 克的戒指，要开采至少 3 吨的矿石，因为，矿石中的金不能被 100% 提取出来。金可能是被人类所利用的第一种金属，由于它可以在砂矿中以自然金的形式产出，因而不需要复杂的分离技术就能够将其分离出来。它的开采历史可以追溯到 6 000 年以前。在文明古国埃及、中国和印度，黄金很早就被用作装饰品和



1 地球的内部结构

2 寻梦 秦幸福 / 摄



首饰。正是由于它的自然魔力和永恒价值，吸引人们顶严寒，冒酷暑，远涉重洋，跨越崇山峻岭，穿越戈壁沙漠、茂密森林去实现寻金梦。

经过几千年的寻找，地表已经难以凭肉眼和经验找到金光灿灿的黄金。20 世纪中后期，一种叫做地球化学填图的技术，被广泛地应用于找金中。地球化学填图就是通过地球表面系统的采样，应用现代实验分析技术，将检测结果绘制成地球化学图，根据含量的高低圈定异常区，再进行钻探，直到发现金矿。今天地球化学技术的进步，不仅可以检测到十亿分之几含量的金，而且还可以观测到纳米颗粒的金。技术的进步大大提高了我们的肉眼分辨能力，可以有效地发现我们以前无法观测到的金矿。中国是目前世界第一产金大国，这得益于使用地球化学技术在中国发现近 1 000 处金矿床，占已发现的金矿储量近一半左右。当你佩戴金银首饰时，别忘了有我们这些地球化学工作者的功劳。由此观之，化学地球是不是与“衣”有很大关系呢？

“食”——大米中的镉是哪来的？

说完了“衣”，我们再说“食”。“镉大米，又是镉大米”。媒体曾多次报道，大米中镉超标事

件。镉在元素周期表中排在第 48 位，镉的毒性较大，最早发现镉中毒事件是日本的“痛痛病”。“痛痛病”起源于日本富山县，1931 年出现，病症表现为腰、手、脚等关节疼痛，行动困难，甚至呼吸都会带来难以忍受的痛苦。到了患病后期，患者骨骼软化、萎缩，四肢弯曲，脊柱变形，骨质松脆，就连咳嗽都能引起骨折。患者不能进食，疼痛无比，常常大叫“痛死了！痛死了！”这种病由此得名为“骨癌病”或“痛痛病”。病因是由于一处炼锌厂排放的废水中含有大量的镉，整条河都被炼锌厂（镉总是与铅锌矿伴生）的含镉污水污染了，农民用河水灌溉稻田，水稻吸收镉，稻米富集大量的镉，然后又通过食物链，使这些镉进入人体富集下来，造成镉中毒。土壤被镉污染主要通过如下几种途径：一是有色金属开采与冶炼，含镉粉尘向四周扩散，经自然沉降，蓄积于工厂周围土壤中，含镉废水进入水系，灌溉农田，使土壤受到镉的污染；二是电镀厂，镉被用于金属件的电镀，电镀废液进入水体，污染土壤；三是镍镉电池，镍镉电池最早应用于手机、电动玩具、电动工具、剃须刀等，也用于汽车、飞机等发动机的启动电源。由于废弃镍镉电池往往随生活垃圾一起进入水体和土壤，对环境产生

污染，镍镉电池逐渐被锂电池等取代；四是磷肥的大量施用，我国四川、云南都有磷肥厂，生产磷肥的磷块岩含有一定量的镉，特别是南方地区，为了确保一年三季高产，又大量施用磷肥，加重了土壤污染。我们国家对土壤环境质量限值的规定是：一级土壤镉的含量限值为百万分之零点二（大于这一限值为轻度超标）；二级土壤限值为百万分之零点三（大于这一限值为中度超标）；三级土壤限值为百万分之一（大于这一限值为重度超标）。根据全国地球化学基准网的监测数据，2010 年与 1995 年相比，三级土壤的比例从 0.4% 增加到 2.1%，二级土壤比例从 4.3% 增加到 12.3%。主要分布于湖南、贵州、广西、云南和四川，除此之外珠三角、长三角、环渤海地区的城市群镉含量也显著增加，这反映了 15 年来人为原因注入的加重，值得高度关注。要从根本上清除“镉米”，先要遏制日积月累的土壤镉污染，斩断排污源头。土壤的重金属污染不仅是镉，还包括其他重金属，如汞、砷、锑、铅、铬、镍、锌，等等。粮食生于土长于地，为了我们的健康，每个公民和企业除了遵守国家有关环境保护法律法规和标准以外，还应了解环境保护知识，如减少重金属的排放。

“住”——装修使用的建筑材料有放射性吗？

说完了“食”，我们再说“住”。我们使用的建筑材料水泥、砖瓦、石材来自岩石，岩石是由硅、铝、钙、铁、钾、钠、镁、锰、磷、钛、碳、氧等造岩元素组成的。家里装修也许会用到石材，如大理石、花岗岩，等等。出售者往往会介绍这些都是大理石。其实大理石和花岗岩成分差别极大，大理石主要成分是碳酸钙或碳酸镁，由钙（镁）、碳和氧组成，对健康无害。花岗岩就有放射性，有一种含有粉红色或肉红色的花斑状花岗岩，含有一种叫做钾长石的矿物，其中钾 40 本身就是一种放射性元素，还会含有一些铀、钍等放射性元素。放射剂量达到一定值，就对人体健康造成危害。地球化学工作者把每一种岩石和土壤中的元素含量都测出来，是为了告诉人们，钾的含量是多少，哪些钾会产生放射性，放射性计量率有多高，对身体是否有

害。全球地球化学家正在合作，建立一张全球地球化学基准网，就包含铀、钍、钾三个放射性元素含量基准及其在空气中的放射性吸收剂量率，以便实时监测人为活动引起的放射性注入量。这张看不见的地球化学网就是在守护着你的健康。

“行”——你每天排放多少二氧化碳？

说完了“住”，我们再说“行”。现代社会，行已经离不开小汽车。我们就从小汽车排放说起。我们上中学就知道，地球大气圈除了水汽以外，氮占 78.08%，氧占 20.95%，氩占 0.93%，还有少量的二氧化碳。今天，大气中二氧化碳含量是 385ppm（0.038%，1ppm 等于百万分之一）。你知道 100 年前大气中二氧化碳浓度是多少吗？100 年前为 280ppm，比现在低 100ppm。工业化时代的 200 年前是 180~280ppm。国际多个研究组织对过去 1 000 年的全球温度进行研究发现，从 20 世纪初开始至今，地球表面的平均温度增加了约 0.6℃，全球变暖的程度超过过去 400~600 年中任何一段时间。尽管变暖的原因，各种研究观点存在较大争议。但主流观点认为人类工业化以后燃烧化石能源（煤炭、石油、天然气等）产生二氧化碳，使大气二氧化碳浓度从工业化前的 180~280ppm，增加到现在的 385ppm。大量的二氧化碳，对来自太阳辐射的可见光具有高度透过性，而对地球辐射出来的长波辐射具有高度吸收性，能强烈吸收地面辐射中的红外线，导致地球温度上升，即温室效应。尽管二氧化碳的排放主要来自煤炭的燃烧。但也许有你的小汽车燃油的小小贡献。一般情况下，1 升燃油排放 2.3 千克二氧化碳，家用小轿车平均百千米燃油 10 升，每天行驶 50 千米，每天排放二氧化碳大约 10.5 千克，每年排放的二氧化碳大约 3.8 吨。除了人类燃烧化石能源排放二氧化碳以外，还有自然排放吗？自然界还会有二氧化碳吸收吗？答案是肯定的。作为地球化学工作者，更多会考虑自然引起的碳排和碳库。自然源碳排放主要是含碳质岩石和碳酸盐岩的风化，如炭质页岩风化会排放二氧化碳，碳酸盐岩（石灰岩）在酸雨条件下风化也会释放二氧化碳。含



> 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心成立剪影

碳质岩石碳排放计算很复杂，需要测定岩石中碳的含量，包括全碳和有机碳，根据岩石风化速率，含碳质岩石出露面积，有机碳氧化成二氧化碳的比例等，计算释放的碳量。我国酸雨区的面积有 100 余万平方千米，碳酸盐岩会被分解。从全国氧化钙地球化学基准图可以看出，酸雨区碳酸钙的含量明显偏低，与酸雨分布具有一致性。按每年岩石风化 2 毫米计算，每年释放的二氧化碳会达到 10 亿吨，我们国家化石能源（煤炭、石油、天然气）燃烧，每年排放的二氧化碳大约在 25 亿吨左右。大自然本身是一个物质和能量循环的过程。海洋每时每刻都在形成碳酸盐岩，这一过程会吸收大量二氧化碳，土壤及植物也会吸收一部分二氧化碳。大家知道恐龙时代的侏罗纪大气中二氧化碳含量是多少吗？是大约 1 500ppm，可能为现在的 4~5 倍。侏罗纪温暖潮湿，植物生长茂盛，这一点从北方大量形成的煤炭就可以看出。植物越茂盛，光合作用就越强，海洋生物大量吸收二氧化碳转化成生物灰岩（碳酸钙），消耗大气中的二氧化碳就越多。结果大气中二氧化碳就减少了。二氧化碳的减少必导致大气保温能力减弱、温度降低。地球就是这

样周而复始地运行了 46 亿年。我们不必为地球的一次冷暖过度担忧，但节约能源、减少排放是应该大力提倡的。

结语：

化学地球探索的不尽话语

人类面临全球性环境变化和资源短缺的严峻挑战，为应对这一挑战，联合国教科文组织需要一个权威机构提供全球性、系统性和持续性的地球化学观测数据。

联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心的成立就是为了获得这种权威的科学数据，同时他的其中一项使命是“提供平等获取全球尺度地球化学数据与知识共享的机会，架起科学界、决策者和公众之间的桥梁”。科普是知识共享和架起科学界与公众之间桥梁的一种有效途径。📖

（作者单位：中国地质科学院地球物理地球化学研究所、联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心、国土资源部地球化学探测技术重点实验室）