



元素周期表中的氡

揭秘“氡”温泉

文 | 邢林啸 王贵玲 李 曼

“氡”，一种放射性稀有气体元素，地质工作者将氡气作为探测地球的信号，世界卫生组织把氡定为致癌物质，有些地方把“氡温泉”作为温泉旅游、温泉疗养的金字招牌。而更多的普通大众对氡则是不甚了解，不同的认知让“氡”披上了神秘面纱。地热是一种清洁能源，温泉疗养是人们最为熟知的地热利用方式之一。氡是什么？它和地热有什么关系？泡“氡温泉”会不会对人体造成伤害？本文将对这些问题进行回答。

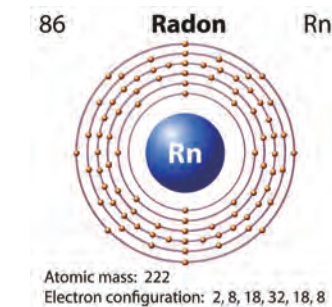
“氡”是什么？

“氡”(Radon)是一种化学元素，符号是Rn，属于稀有气体元素，它的相对原子质量为222，属单原子分子，是一种无色、无嗅、无味的惰性气体，密度约是空气的7.5倍。

氡的发现过程与放射性物质研究有关，最初它被称“射气”。19世纪末20世纪初，加拿大人欧文斯和英国物理学家卢瑟福在研究钍的放射性时，发现“钍射气”(Thoron)，德国物理学家多恩发现了“镭射气”(Radon)，法国化学家德比耶纳和德国化学家吉赛尔分别独立发现了“锕射气”(Actinon)。

英国化学家拉姆塞自1904年开始研究，4年后测定了这些“射气”的光谱和原子量，确定它们属于同一种元素，都是化学性质不活泼的惰性气体，并确定了它在元素周期表中的位置——第86位，排在惰性气体的最末端。1923年的国际化学会议决定，以“Radon”(拉丁文，意为“源自镭”)作为这种元素的名字，缩写为“Rn”，译为中文“氡”。科学家们最初发现的三种“射气”正是氡的三种天然放射性同位素，分别是三种天然放射系的中间产物：钍系的氡220(^{220}Rn)、铀系的氡222(^{222}Rn)和锕系的氡219(^{219}Rn)。

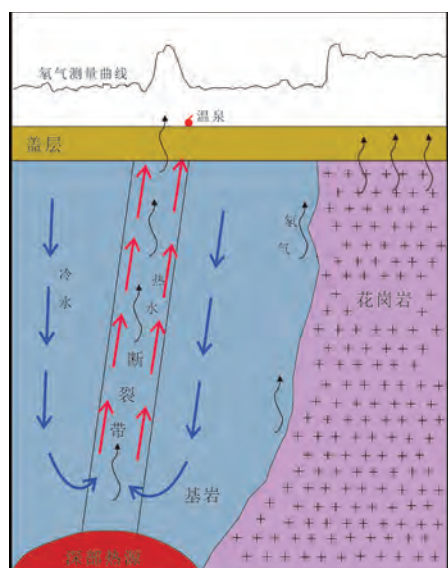
元素周期表中原子序数大于83的元素都具有放射性，氡也不例外，它会通过释放 α 粒子，形成新的元素，这些新元素被称为氡子体。氡衰变过程中释放的 α 粒子是形成核辐射的三种粒子(α 、 β 、 γ)之一，它的穿透能力最弱，可以被一张纸阻挡，一般能量的 α 射



氡原子结构示意图



氡位于元素周期表中的第86位



① 氡气在地球中的运移示意图

线都能被人体的皮肤所阻挡，而不会进入人体，所以 α 射线外照射对人体的损害比较小。但是，如果 α 粒子进入人体内部，则会对人体组织造成伤害。氡作为唯一一种以气态存在的天然放射性元素，气体的易扩散性和它本身的放射性，让它成为一把利弊并存的双刃剑。

“氡”——探寻地热的利器

铀、钍、镭是产生氡的最主要元素，它们主要以固态形式存在于地下的岩石或者土壤中。氡是它们衰变的中间产物，以气体方式存在。相较于其他放射性元素，氡的迁移能力大为提升，它可将地球深部的信息带到地

表，成为人们获取地球深部地质信息的使者。

“地热”是地球中蕴藏的天然地热资源，通常是指封闭在地壳浅部范围内可被经济开采的热能资源，其热量来自于地球深部和地壳的放射性生热。那么，氡气是靠什么成为地热探测的利器呢？首先，氡及其子体衰变过程产生的氦核会与氡子体结合形成“团簇”，就像给氡子体绑上了“氦气球”，能让氡子体的运动方向以垂直向上运移为主；第二，氡气还具有易溶于水的特点，地下水的运移让岩土体中氡的迁移从走路变成坐车，大大提高了运移速度，尤其是存在热对流时，这种作用更为明显；第三，当岩土体中孔隙、裂隙的发育程度控制着其中水和气体的迁移速度时，断裂构造破碎带往往能够成为地下水和气体的良好储存场所和运移通道，而断裂往往也是热水运移的通道；最后，地壳中放射性元素衰变产生氡气的同时，还能释放热量，使得地温梯度升高，气体会在热的作用下由高温区向低温区迁移，地温梯度越大，这种作用会越明显。因此，利用氡气测量来寻找地热资源是一种十分有效的方法，特别是在沿深大断裂分布的对流型地热资源，氡气的指示作



② 地热山谷



用更为明显。

由于氡气是由放射性元素衰变而来，且化学性质稳定易溶于水，它在指示地热的同时，还能够溶于热水形成“氡”温泉。因此，氡温泉的分布往往与断裂带和放射性岩体相关。我国氡温泉分布遍布全国各地，较著名的氡温泉，北有吉林抚松温泉、辽宁汤岗子温泉、北京小汤山温泉、河北平山温塘白鹿温泉和陕西华清池温泉等；南有湖南汝城温泉、广东从化溪流河温泉、广东梅州汤坑丰顺邓屋温泉、浙江泰顺承天温泉、贵州息

烽温泉和四川降札温泉等。根据氡的含量不同，氡温泉可分为低氡泉（小于370 Bq/L）、中氡泉（370~1110 Bq/L）和高氡泉（大于1110 Bq/L）。目前我国已经开发利用的氡温泉以低氡泉为主。

“氡”温泉——是治病还是致病？

电离辐射是人类的致癌因素之一，它无处不在，全世界人均天然辐射的剂量约为2.4 mSv/年（毫西伏，辐射剂量单位），我国人均剂量约为2.3 mSv/年。氡是自然界中唯一一种以气态存在的放射性元素，是人们接触最多的放射性元素。联合国原子辐射效应委员会给出的数据显示，每人每年接受的天然辐射剂量中约有一半都来自于氡气。世界卫生组织（WHO）将氡作为19种致癌物质之一，使得有些人谈氡色变，唯恐避之不及。在我国，将氡浓度超过110Bq/L的水命名为“氡水”，是理疗天然矿泉水中的一种，有些地方将氡温泉作为治病的“神汤”，氡温泉成为了温泉旅游的金字招牌。

研究表明，氡气被吸入人体后，衰变产生的 α 粒子给人的呼吸系统造成辐射损伤，氡气是除吸烟外造成人类肺癌的第二大因素。但同时也有相关医学研究表明，氡温泉在改善人体健康方面有很多作用，如：氡温泉具有消炎、镇静、止痛等作用，可调节人体机能平衡，增强新陈代谢和免疫功能，对人体的消化系统、心血管系统、呼吸系统、运动神经系统、免疫系统等方面的疾病有特殊疗效。放射性氡温泉可以通过浴用和吸入两种方式对高血压、关节炎、神经痛等疾病起到治疗作用。氡温泉水较普通热水浴有两种特殊效应，可以显著降低静息心率和舒张压。



❶ 断裂是氡气运移的良好通道

那么,氡温泉到底是致病还是治病呢?虽然低剂量辐射对人体的危害争议已久,但对于电离辐射的剂量限值是有共识的,即辐射剂量在一定范围内时,被认为对人体健康是安全的。*WHO*建议因室内氡暴露带来的辐射累积剂量应控制在3mSv每年,最高不超过10mSv。氡泉在开发利用过程中,随着水的搅动,氡气会加速逸出,被人吸入体内,带来电离辐射风险。有人曾以白鹿温泉所在的平山县温塘镇为例开展过相关研究,结果表明在当地居民利用氡浓度为94~121Bq/L的氡泉水过程中,因洗浴造成的年有效剂量小于0.01mSv,远低于健康限值。在某高辐射背景地区的疗养温泉开展的类似研究中,科研人员发现对于普通游客,单次游玩2小时的附加剂量在0.03~0.04mSv;对于疗养患者在浴室治疗20~30天,每天按照2h计算,接受的内外照射剂量在0.36~0.54mSv,也没有超过1mSv的附加剂量限值。我们可以将氡温泉引起电离辐射带来的健康风险,认为是其治疗作用的“副作用”。因此,合理使用氡温泉是利大于弊的。但是,科研人员在温泉疗养区房屋内测得的氡浓度均超过了控制限值,需要引起注意。对此可以通过一定方式加以控制,其中最实用的就是加强通风。由于氡气密度比空气重,温泉区域中低部位的通风尤为重要。而室外露天环境中泡氡温泉比室内更安全。

由于氡气引起的电离辐射“副作用”的存在,

对于氡温泉的开发利用应该做到科学、理性而全面,在利用其治病的同时,不可忽视辐射带来的健康风险。氡温泉的使用有别于普通温泉,应该加以防控,如:健康人群不宜单次长时间或频繁地使用氡温泉;婴幼儿和孕妇等特殊人群,应该避免使用氡温泉理疗;对于长期在氡温泉工作的人员,受到的附加辐射剂量很有可能超过安全限值,应该通过通风、控制作业时间和佩戴个人防护用品等方式降低风险。此外,高氡温泉往往与断裂和高放射性花岗岩体相伴而生,附近区域房屋建筑内的氡浓度超过安全值的可能性远比一般地区大,相比于洗氡温泉带来的附加辐射剂量,人们更应该关心的是室内氡气超标带来的健康危害,并做好相应的防护措施。

氡温泉——我国氡温泉赏析

河北省平山县白鹿温泉

世传汉武帝拜谒王母,因其貌丑戏之,王母唾之,面生奇疮,久治不愈。汉武帝无奈拜求,得示:“欲疗疾,浴温泉”。汉武帝乘鹿寻泉,行至现鹿台村,白鹿刨地,见一热泉喷涌,试之汤烫,掬水洗面,舒适无比,命人掘泉,浴之,恶疮即愈,以为神奇,被汉武帝御封为“宝泉圣水”。后人遂名“白鹿神汤”,曾传说中的“白鹿神汤”就是今天的白鹿温泉。白鹿温泉位于河北平山县温塘镇,

① 河北省平山县白鹿温泉





① 湖南省汝城县热水圩温泉

泉水来自地下的太古界花岗片麻岩中,富含30多种矿物质微量元素,温泉水氡含量最高可达121 Bq/L,泉水温度常年保持在70℃,属于保健型氡温泉。

湖南省汝城县热水圩温泉

在湖南省汝城县热水镇,这里分布着我国中南六省最大的热田——湖南热水圩地热田。热田上有一条清清的河水流过,沿着河床和岸边出露着许多泉眼,泉水晶莹剔透,有的宁静无息,有的翻腾不止。冬春时节,气温降低,泉眼周边就会雾气蒸腾,河面上烟雾缭绕,仙气缥缈,这就是汝城热水温泉,这条河被称之为热水河。北魏著名的地理学家郦道元在《水经注》中记载,这里的居民用热水河的水灌溉水稻田,水稻可以“一年三熟”。热水镇温泉是华南地区流量最大,水温最高,水质最好,面积最广的天然温泉,含有硅、钠、钾、锶等30多种对人体有益的矿化物,特别是氡的含量最高可达536.5Bq/L,温度最高可达98.5℃,有“华南养生第一泉”的美称,《汝城县志》称此泉为“灵泉”。

贵州省息烽温泉

在贵州省息烽县的天台山脚下,有数股清泉沿着岩石的缝隙涌出,形成温泉河,这就是久负盛名的息烽温泉。息烽温泉是世界三大“氡泉”之一和中国八大名泉之一,享有“天下第一神汤”、“国泉神汤”等美誉。据考证,距今600多年前的明朝洪武年间,人们便发现了息烽温泉,始名为“圣水”,又名“热水”和“朱砂泉”。《大清一统志》中对息烽温泉也有“热水喷涌”记载,当地人“挖地为坑,露天沐浴”。息烽温泉,它是贵州省众多温泉中发现的第一处氡泉,因此被誉为云贵高原上的一颗明珠。据文献记载,这里的温泉水中氡浓度可达151 Bq/L,泉水温度多在53~56℃。适宜的氡含量及水温,使其可与法国维琪温泉和卢昆温泉相媲美。依托这里的温泉资源打造的贵州息烽温泉疗养院还是全国劳模疗休养基地。

浙江省泰顺县承天温泉

泰顺承天温泉是浙江省现存唯一以上升泉的形式出露地表后开发利用的温泉,水质清澈透明,出水口最高水温可达62℃,一般为45~51℃,偏硅酸74~106mg/L、氟含量10~14mg/L、氡浓度高时为47.8~59.2Bq/L,达到具有医疗价值的浓度,属含氡的



偏硅酸·氟热矿水。承天温泉开发利用历史悠久，还有许多民间（神话）传说。清光绪《泰顺分疆录》就有记载，“惜在幽僻，鲜有知者”；直到1973年浙江省水文地质大队进行水文地质调查，因发现泉水中含有氡而被命名“氡泉”；1994年4月白求恩医科大学对氡泉水及其医疗作用进行专题考察；1997年被评为省级自然保护区，1999年被评为温州四大王牌景区之一，2001年5月被列为国家级浴用医疗矿泉水名单。泉水中含有丰富的微量元素及其他活性离子，对风湿病、关节炎、银屑病、神经性皮炎等多种疾病有显著的治疗效果。

病、神经性皮炎等多种疾病有显著的治疗效果。

本文由自然资源部中国地质调查局地质调查项目（编号：DD20190555）“冀中拗陷深部碳酸盐岩热储调查评价”资助。

作者单位/中国地质科学院水文地质环境地质研究所

责任编辑：伍美茹



泰顺县氡泉自然保护区



贵州省息烽温泉