

克莱尔·卡梅伦·帕特森：发现地球年龄的人

沈玉龙

唐山师范学院化学系, 唐山 063000

摘要 克莱尔·卡梅伦·帕特森是美国地球化学家, 1956年发现了目前仍被普遍接受的地球年龄值——45.5亿年; 1940年代末发现了含铅汽油带来的环境铅污染问题, 促进了在汽油中禁止使用四乙基铅法规的出台。介绍了帕特森的人生经历和科学成就, 呈现了其科学探索的过程。

关键词 克莱尔·卡梅伦·帕特森; 地球年龄; 铅污染

“地球的年龄是多少”一直都是人们非常关心的问题, 也是科学史上最有争议的问题之一, 人们利用不同的方法推测地球的年龄。结束数百年来对地球年龄争议的科学家是美国地球化学家克莱尔·卡梅伦·帕特森 (Clair Cameron Patterson, 1922—1995) (图1)。帕特森的科学成就一是发现了目前被普遍接受的地球年龄值——45.5亿年, 这是20世纪地球化学史上最伟大的成就之一; 另一是发现并力主阻止含铅汽油带来的环境



图1 克莱尔·卡梅伦·帕特森
Fig. 1 Clair Cameron Patterson

铅污染问题, 淘汰含铅汽油被认为是20世纪最伟大的公共卫生成就之一。

1 早年求学

1922年6月2日, 帕特森出生于美国艾奥瓦州得梅因市附近的小镇米切尔维尔。他在幼年时期就对科学表现出了浓厚的兴趣, 曾问他母亲“为什么水滴是圆的”; 当在他家附近的树林里发现动物骨骼时, 他会把它们重新拼装起来, 判断是何种动物的。帕特森5岁时进入米切尔维尔镇上唯一的一所学校学习, 这所学校是一所小型学校, 所有年级的学生总共只有100人, 他在这所学校一直读到高中毕业^[1]。帕特森12岁那年, 他母亲给他买了一套化学实验玩具, 他便在地下室里搭建了一个实验台和一些架子, 建了一个小型家庭化学实验室。当他上九年级的时候, 他的一个正在读大学的叔叔给了他一本大学化学实验室工作手册。从那时起, 他便在地下室开始自学化学, 学习了元素周期表和无机定性分析, 做了一些定性分析实验, 这是他一生追求化学事业的开始。

收稿日期: 2018-06-04; 修回日期: 2019-02-27

作者简介: 沈玉龙, 教授, 研究方向为化学史、科技史, 电子信箱: shen_yulong@126.com

引用格式: 沈玉龙. 克莱尔·卡梅伦·帕特森: 发现地球年龄的人[J]. 科技导报, 2019, 37(14): 100-104; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.14.013

1939年帕特森中学毕业后,进入他母亲的母校格林内尔学院学习化学。格林内尔学院是美国一流的小型文理学院。帕特森读大学期间非常喜欢做化学实验,多年后他还记得在大学三年级用重氮化合物做有机化学实验时发生了爆炸的情景。1943年帕特森大学毕业后,进入爱荷华大学攻读物理化学专业硕士研究生,只用9个月便获得了硕士学位。

1944年帕特森硕士毕业时,第二次世界大战正如火如荼。帕特森曾试图参军,但他的硕士导师邀请他一起到芝加哥大学参加曼哈顿计划的研究工作^[1]。芝加哥大学是曼哈顿计划的研究中心之一,为了保密把研究室称为“冶金实验室”。芝加哥大学冶金实验室(1946年7月1日正式更名为阿贡国家实验室)是为曼哈顿计划专门组建的秘密核实验室。帕特森在芝加哥大学冶金实验室主要是利用原子光谱法进行各种铀产品的分析。帕特森在芝加哥大学工作几个月后又报名参军,但因他正从事高度保密的研究工作,被军队拒绝了^[1]。随后帕特森被安排去了位于田纳西州橡树岭的克林顿实验室。克林顿实验室(1948年改称为橡树岭国家实验室)于1943年2月破土动工,作为曼哈顿计划铀同位素分离工厂基地,以生产和分离铀和钚为主要目的。在橡树岭,帕特森被分配在电磁分离铀浓缩厂工作,任务是用质谱仪确定铀产品的同位素组成。在那段时间里,他学到了很多新的思想、概念和思维模式。1946年帕特森回到芝加哥大学攻读化学专业博士研究生,开始了测定地球年龄的研究工作。

2 测定地球年龄

1946年,帕特森的博士生导师哈里森·布朗(Harrison Scott Brown, 1917—1986)从克林顿实验室回到芝加哥大学任化学助理教授,他和一些来自曼哈顿计划的前同事组建了美国第一个研究地球化学的团队。布朗凭借自己出色的直觉把研究课题集中在3个主要领域:通过确定陨石的组成来估算太阳系中元素的相对丰度、通过测量普通火成岩的铀-铅年龄确定地壳岩浆演化的时间进程、通过测量铁陨石中铅的同位素组成确定地球的年龄^[2]。因此,布朗要寻找非常熟悉质谱分析的学生分析古代铁陨石和现代岩石中铅的同位素,而帕特森因为有质谱仪知识和使用背景,被布朗选入了课题组,让他测定地球的年龄。

当时的科学家已经知道,地球包含了各种铅同位

素,一些铅是原始的,在地球形成的初始时刻就存在了,一些铅是后来由于铀和钍的放射性衰变而形成的。因此,地球上铅的同位素组成不是静态的,而是不断变化的。通过对现今地球地壳中与地球形成时的铅同位素比例进行比较,就可以确定出地球的年龄。20世纪早期的物理学家已经研究出了计算行星年龄的方程,但是他们不能计算出地球的年龄,是因为不能确定地球形成最初时刻原始铅的同位素组成。一旦这个数据被测量出来,代入方程中便可计算出地球的年龄。布朗提出了一个概念,即铁陨石中的铅是太阳系最初形成时的铅,自太阳系形成以来没有改变,因为在铁陨石中没有铀,不会因铀的衰变而改变。布朗认为铁陨石与地球在同时形成,测定出铁陨石的年代就得到了地球年龄^[3]。

1948年,布朗安排帕特森与乔治·蒂尔顿(George R. Tilton, 1923—2010)合作,开始进行锆石的年龄测定,这作为测定陨石年龄的前期工作。蒂尔顿在1947年从伊利诺伊大学香槟分校化学专业毕业后,来到芝加哥大学攻读化学专业博士研究生。如果能精确地确定锆石的铅同位素组成,帕特森和蒂尔顿就会知道他们的技术是可靠的,进而可利用相同的技术测定铁陨石的铅同位素组成。锆石是地球火成岩中的一种常见矿物,最初锆石晶体仅含有微量的铀元素,没有铅元素,但是随着锆石的老化,它的铀衰变为铅。通过测量出锆石晶体中微量铀与衰变产物铅的比例,便可计算出锆石的年龄。蒂尔顿负责测量锆石中的铀含量,帕特森负责测量锆石中各种铅同位素的含量。锆石晶体只有沙粒大小,每个沙粒大小的锆石晶体中仅含有百万分之一的铀,而铀衰变为更少量的铅。帕特森使用质谱仪分离和测量铅同位素,很快就意识到他的铅样品受到了污染。他们知道锆石的来源——火成岩的年代,蒂尔顿的铀测量值与特定年代锆石中的铀含量是一致的,而帕特森的数据总是偏向过多的铅含量。按照标准的化学操作方法,他进行了空白实验,发现不仅在空白实验中有铅,有时还会比他们预期的多出200倍。帕特森开始想进各种办法消除样品处理过程中额外铅的来源,最终实现在空白实验中只有0.1 μg的背景铅^[3]。1951年6月,虽然帕特森和蒂尔顿还不知道地球的年龄,但他们已经开发出了精确的测量微克级数量样品的技术,确定了锆石的铅同位素组成,并得到实验所用的锆石的年龄为10.5亿年。其后2人获得了芝加哥大学的博士学位。

帕特森博士毕业后继续留在芝加哥大学跟随布朗进行博士后研究,这时他把注意力转向了陨石。1952年布朗接受了加州理工学院的教职,帕特森跟随他来到加州理工学院继续进行博士后研究。帕特森在布朗的帮助下申请到原子能委员会的拨款,建立了铅同位素化学领域的第一个洁净实验室。1953年,帕特森用亚利桑那州迪亚布洛峡谷铁陨石进行分离,终于得到足够的超洁净的原始铅样品,他把珍贵的样品带到阿贡国家实验室做质谱分析。当他完成实验的时候,他知道了陨石、地球和太阳系都有45亿年的历史。1953年9月,他在威斯康星州格林湾由美国国家科学基金会国家研究委员会主办的地质环境中核过程会议上宣布了这一研究成果。1956年,帕特森以《陨石和地球的年龄》为题在《地球化学与宇宙化学学报》上发表论文,将地球的年龄精确到 45.5 ± 0.7 亿年。这一研究成果发布至今已60余年了,地球年龄只经历了轻微的调整,目前认为地球的年龄为 45.4 ± 0.5 亿年^[4-5],这是令人惊讶的。这一基准性工作为20世纪地球化学史上最伟大的成就之一^[6]。

3 发现铅污染

利用铅同位素技术确定地球年龄后,帕特森及其同事们意识到,铅同位素技术是一种有价值的新工具,它可以用于测量普通地质样本如花岗岩、玄武岩和沉积物等所含的铅同位素,这样就可以利用铅作为示踪物追踪地球化学演化的过程。开始时,帕特森想要找到一个能代表当今地球所有铅的单一样本,考虑到岩石被侵蚀,最终会被冲进海洋进入到海洋沉积物,海洋沉积物的铅可能是地球上所有铅的混合物。帕特森把目光投向了海洋,从收集海底沉积物样本开始。

1955年,布朗说服美国石油学会为帕特森的项目提供了资助,帕特森和他的第一个博士后周载华(1924—2006)开始研究海底沉积物样品的铅浓度和同位素组成,通过测量这些沉积物中的铅含量,揭示有多少铅穿过海洋,沉积在这些沉积物中。周载华在1946年从上海国立交通大学毕业后到美国求学,1953年在华盛顿大学获得博士学位,1955—1959年在加州理工学院跟随帕特森从事博士后研究,后成为美国海洋化学家。他们从美国斯克里普斯海洋研究所得到了太平洋沉积物样本。1962年,帕特森和周载华在《地球化学与宇宙化学学报》上发表了一篇长达45页的百科全书

式的论文,报道了他们对海洋沉积物中铅的浓度和同位素组成的研究成果。同时,他们也意外发现当时每年人为分散到环境中铅的数量大约是进入海洋沉积物中沉积铅的80倍。

随后,帕特森开始测量海水中的铅含量。他测定了不同深度太平洋海水样本的铅含量,发现深层海水的铅含量比表层海水少3~10倍,这与大多数元素的趋势相反^[3]。为确定他的太平洋样本是否代表了其他海洋的情况,帕特森研究了大西洋和地中海水域的海水中铅的分布,发现大西洋和地中海水域与太平洋水域一样,铅主要集中在海水的上层。帕特森思考为什么上层海水铅含量上升到如此之高?因为雪和雨水给海洋表层的水提供了供给,帕特森想知道降水中的铅含量是否在正常的范围内。帕特森来到洛杉矶北500英里处的拉森火山国家公园,徒步进入了一片原始的高山草甸,从一条自第一场降雪以来一直封闭的支线公路上收集了干净的雪样。他发现这个受保护的河谷里的雪样中铅的浓度比海水中铅的浓度高10~100倍,这样用一年的降雪量就可以解释海洋表层的所有铅的来源,甚至不用考虑来自空气中的铅。他同时发现雪样品中铅的同位素组成与过去10万年期间沉积在海底的铅的组成有很大的不同^[7]。在拉森火山国家公园雪样中有铅同位素混合的特征标志,可以识别出它是来自一些铅矿的人造混合物,而不是来自大陆表面的天然混合物,这很容易地解释大部分铅是来源于含铅汽油。在20世纪60年代,加入抗爆剂四乙基铅的含铅汽油是美国十大工业化学品之一,占美国所有汽车燃料的90%。1963年,《Nature》发表了帕特森描述雪和海水中的工业铅的论文,这篇文章的脚注提到美国石油学会为他提供了资金支持。论文的发表使帕特森意识到麻烦就要来了,果然此后不久,四乙基铅工业的代表开始四处活动,试图阻止帕特森所有的资助资金。随后美国公共卫生局便拒绝与帕特森续签研究合同;美国石油学会也拒绝继续执行支持帕特森研究的多年合同。他们试图也让原子能委员会停止给帕特森任何资助,但没有成功^[7]。帕特森的挚爱是科学研究,没有资助,研究就不能继续,这是在他最敏感的地方打击他。帕特森的另一个软肋是,当时他还不是加州理工学院的终身教职。因为帕特森一直想做全职研究工作,所以他多年来始终担任非终身的高级研究助理,这意味着他随时都可能被解雇。一家生产含铅汽油的石油公司的副总裁是加州理工学院董事会的成员,给加州理

工学院校长打电话,要求解雇帕特森。幸好加州理工学院地质与行星科学部主任非常欣赏帕特森,认为他是最具独创性的思想者,据理力争,保住了他的职位。

帕特森面临着选择,如果他屈服于石油工业,他可以回到地球进化领域的纯学术研究。但帕特森决定直面铅、石油和化学工业,继续进行他的环境铅污染研究。促使帕特森做出决定的一个原因是与哈佛大学毒理学家哈丽特·哈代(Harriet Louise Hardy, 1906—1993)的一次谈话。1963—1964年,他在麻省理工学院学术休假期间,与哈代进行了一天的讨论,哈代急切地告诉他,波士顿的很多孩子死于铅中毒,并强调说只有他知道如何测试微量铅。帕特森坚信科学应该为社会服务,必须专注于环境中的铅,在接下来的30年里,他使用质谱仪和清洁实验室技术,证明了铅污染的普遍性,并致力于避免铅进入环境而造成污染。

4 反抗铅污染

帕特森研究铅污染的基本观念很简单:欲了解当今世界的污染程度,首先必须了解工业化前的世界是什么样子的。他的朋友——美国斯克里普斯海洋研究所的海洋化学家爱德华·哥德堡(Edward D. Goldberg, 1921—2008)告诉他,世界气候最好的纪录之一已经被嵌入在高海拔或南北两极附近的冰川的薄薄冰层中。雪、尘埃和雾等把化学物质从大气中沉积到冰中,不受干扰地在那里它们保持了数千年。帕特森想把古代冰的和新冰的铅含量进行比较,他很快意识到:地球上只有在干旱、永远冰封的极地地区的静止冰盖能提供不受渗透和机械混合干扰的每年降水层,同时降水层相对地不受沙尘和盐的影响。

经过几个月的规划,1965年7月,帕特森来到位于格陵兰岛的美国北极研究中心。他和他的研究生挖出大块的冰,然后使用酸洗过的锯子,慢慢地切成2英尺边长的冰块,把它们放在超净的塑料容器里,用电加热融化成水,运回加州理工学院的实验室。他们采集的样本年代回溯至18世纪,有的甚至是公元前800年^[8]。帕特森对每个时间段的样品都进行4次分析,每次分析需要100加仑熔化的冰样品。1966年1月,帕特森和他的研究生来到了南极洲收集雪样本。他的团队穿着清洁的塑料套装,用电动链锯,在雪地上挖了300英尺长、140英尺深的隧道,收集了10个不同时期的雪样本^[8]。为了收集年代较近的雪样,他们驾驶一辆履带式汽车

逆风行驶了130英里后,挖了一个50英尺深、100英尺长干净的斜井,收集了雪样本。

回到加州理工学院后,帕特森与他的团队分析了样本,结果极地冰是极其纯净的,但现代的格陵兰岛积雪的铅含量是工业化之前积雪的100倍,积雪中的大部分铅从20世纪开始沉积的^[7]。南极地区铅的浓度自工业革命以来也大幅上升^[9]。帕特森非同寻常的极地研究,提供了第一个明确的证据表明空气污染甚至到达了地球上最偏远的地区。

1965年帕特森应《环境卫生纪要》总编辑的邀请,以《人类被污染的和天然的铅环境》为题,撰写了一篇铅污染的论文。他在文中集中抨击了铅工业,认为美国的普通居民正遭受严重的慢性铅损害。他呼吁禁止在汽油、杀虫剂、食品罐焊料、水管、厨具釉料和油漆等产品中使用铅,并迫切要求公共卫生官员重新审视他们的责任。当帕特森的文章在1965年8月出版后,立即在铅领域引起了轰动。他的观点遭到当时被公认的专家的反对,对他进行嘲弄,甚至轻蔑的侮辱,指责帕特森是一个进入自己陌生领域——生物学的投机狂热分子,一个天真、轻信、甚至是魔幻的不诚实的地质学家。尽管帕特森的论文受到了攻击,但它也标志着美国公共卫生署对环境中铅的态度发生重大改变的开始。作为对帕特森论文的回音,1965年12月美国公共卫生署召开了一次环境铅污染主题的研讨会,但研讨会的唯一结论是呼吁进行更多的研究。在此次会议之前,美国公共卫生署一直关注碳氢化合物和二氧化硫,很少将四乙基铅作为污染问题。

1965年10月,帕特森给美国国会参议员埃德蒙·马斯基(Edmund S. Muskie, 1914—1996)写信,当时马斯基担任参议院空气与水特别小组委员会主席。帕特森告诉马斯基:认为大气中的铅来自陨石的观点已经过时了,实际上陨石所含的铅比地球上任何一种岩石含的铅都要少。在大多数的美国大城市里,它只占到空气中铅含量的十亿分之一。1966年6月,马斯基在华盛顿举行了公众听证会。听证会并没有立即引起轰动,但确立了一个新的前提:铅中毒不仅仅是工人的一种疾病,它可能是一种潜伏的、无声的危险。帕特森的证词促进了国会通过了1970年的《清洁空气法》,这是第一次尝试减少汽油中铅的立法,但这项法律并没有完全禁止使用含铅汽油,这一点让帕特森感到失望。

1973年12月,美国环境保护局颁布了基于健康的逐步降低汽油中铅含量的法规。1986年美国环境保护

局呼吁禁止使用含铅汽油,1996年1月1日,美国50个州完全禁止了含铅汽油的使用。美国环境保护局报告表明,美国在1976—1989年铅在汽油中的用量下降了99%,相应地,血铅水平从20世纪70年代的17.1 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 下降到20世纪90年代的2.7 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ^[10]。2011年联合国宣布已经成功地在全球范围内淘汰了含铅汽油,但是帕特森不能看到这一天了,他于1995年12月5日在加州的家中因为严重的哮喘去世。帕特森用几十年的斗争,换来了20世纪公众健康方面的重大胜利。

5 荣誉

帕特森在科学领域的地位几乎是独一无二的,因为他在地球化学、环境科学2个相当独立的科学领域都做出了重要贡献。这些成就也给他带来了许多获奖与荣誉:1973年获得美国科学院颁发的约翰·劳伦斯·史密斯奖章,1980年获得美国地球化学学会颁发的戈尔德施米特奖章,1981年获得芝加哥大学授予的专业成就奖,1995年获得最具声望的国际环境奖——泰勒环境成就奖;1973年获得他的母校格林内尔学院荣誉博士学位,1975年获得巴黎第7大学荣誉博士学位,1987被遴选为美国科学院院士。1967年南极洲女王莫德山脉南纬85°44′、西经55°59′的山峰用帕特森的名字命名;1983年小行星2511用帕特森的名字命名。1998年美国地球化学学会为了纪念帕特森,设立帕特森奖章,奖励在环境地球化学领域取得重大突破的科学家。

克莱尔·卡梅伦·帕特森作为伟大的科学家,为守护着人类的命运,抛弃了舒适的生活,发掘到了人生的

美和意义。

参考文献(References)

- [1] Cohen S K. California Institute of Technology oral history project: Interview with Clair C. Patterson[EB/OL]. [2018-07-27]. http://oralhistories.library.caltech.edu/32/1/OH_Patterson.pdf.
- [2] Revelle R. Harrison Brown[C]//National Academy of Sciences, Biographical Memoir. Washington DC: National Academies Press, 1994: 41-55.
- [3] Tilton G R. Clair Cameron Patterson[M]//National Academy of Sciences, Biographical Memoir. Washington DC: National Academies Press, 1998: 3-22.
- [4] Redd N T. How old is earth[EB/OL]. (2014-02-27) [2018-07-27]. <https://www.space.com/24854-how-old-is-earth.html>.
- [5] Dalrymple G B. The age of the Earth in the twentieth century: A problem (mostly) solved [M]// Lewis C L E, Knell S J. The Age of the Earth: From BC 4004 to AD 2002. London: The Geological Society, 2001: 205-221.
- [6] Casanova I. Clair C. Patterson (1922—1995), discoverer of the age of the Earth[J]. International Microbiology, 1998(1): 231-232.
- [7] McGrayne S B. Prometheans in the lab[M]. New York: McGraw-Hill Companies Inc, 2001: 168-197.
- [8] Denworth L. Toxic truth[M]. Boston: Beacon Press, 2008: 47-76.
- [9] Patterson C C. Duck soup and lead[J]. Engineering & Science, 1997(1): 21-31.
- [10] Tsai P L, Hatfield T H. Global benefits from the phaseout of leaded fuel[J]. Journal of Environmental Health, 2011, 74(5): 8-14.

Clair C. Patterson: Discoverer of the age of the Earth

SHEN Yulong

Department of Chemistry, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, China

Abstract Clair Cameron Patterson was an American geochemist. By using lead isotopic data from the Canyon Diablo meteorite, Patterson calculated the age of the Earth: 4.55 billion years, a figure far more accurate than those suggested at the time, and this figure has remained largely unchallenged since 1956. Patterson had first encountered the lead contamination in the late 1940s. His work on this subject led to a total re-evaluation of the growth in industrial lead concentrations in the atmosphere and the human body, and his subsequent campaigning was seminal in the banning of tetraethyllead in gasoline. This paper introduces Patterson's life experiences and scientific achievements, especially the process of his scientific exploration.

Keywords Clair Cameron Patterson; earth's age; lead contamination ●



(责任编辑 陈广仁)