

# 气体地球化学新进展

——纪念著名气体地球化学专家 David R. Hilton 教授

郑国东 郭正府 王云鹏 陈践发

1. 甘肃省油气资源研究重点实验室 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 兰州 730000; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质环境重点实验室 北京 100029;
3. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室 广州 510640;
4. 中国石油大学(北京) 地球科学学院 北京 102249

尽管气体地球化学属于一个相对年轻的分支学科,其研究领域却非常广泛,几乎涉及地球各层圈的物质组成、循环及能量交换等许多重大基础科学问题。尤其在当今大气环境恶化、能源资源紧缺、人类健康遭受威胁的严峻形势下,气体地球化学研究的广度和深度均在不断增加,并逐渐形成了一个独立、完整的学科体系,相应的分析测试技术也突飞猛进,学术活动非常活跃,专业研究者和专业群体与日俱增,其中涌现出了一些知名学者,为推进气体地球化学理论研究和分析测试技术的发展做出了卓越贡献。

然而,在气体地球化学蓬勃发展的同时,国际气体地球化学界多位著名学者却英年早逝,其中包括国立台湾大学地质系的杨灿尧教授(1961~2015)和美国加州大学圣地亚哥分校斯克里普斯海洋研究所的 David R. Hilton 教授(1958~2018)。这些优秀学者的逝世,令人痛惜和遗憾,他们是国际上著名的地球化学专家,长期与中国大陆地球化学学者开展了紧密的科研合作与学术交流,并帮助大陆学者进行了多方面的气体地球化学基础研究、技术研发和人才交流工作,极大地促进了我国气体地球化学的发展。为了纪念 David R. Hilton 教授,深切缅怀他对我国气体地球化学研究发展的贡献,经与国内多位从事气体地球化学研究的中青年学者商议,决定在《矿物岩石地球化学通报》组织出版“气体地球化学新进展”专题。

## 1 David R. Hilton 教授生平简介

David R. Hilton 教授 1958 年 12 月 6 日出生于英国威尔士,先后在利物浦大学(1978~1981)、伦敦大学(1981~1982)和剑桥大学(1982~1985)获得地球化学学士学位、水文地质学硕士学位和理学博士学位,并在美国加利福尼亚大学斯克里普斯海洋研究所(1986~1988)和德国柏林自由大学(1989~1993)做博士后研究。之后,Hilton 博士到荷兰阿姆斯特丹自由大学(1993~1995)从事地质研究工作,

1996 年重返加利福尼亚大学斯克里普斯海洋研究所,先后任助理研究员、副教授、全职教授。

David R. Hilton 教授是国际气体地球化学领域的权威专家,更是稀有气体地球化学基础理论研究和技术的开创者之一。早在 1996 年,他就在斯克里普斯海洋研究所创建了稀有气体地球化学专门实验室,以其出色的测试技术和应用研究很快就在国际同类实验室中占据领先地位。Hilton 教授毕生致力于火山和热泉二氧化碳排放研究,尤其是利用稀有气体同位素判识地球释放气体的来源和过程,在深部来源气体地球化学特征判识方面做出了突出的学术贡献。他的研究领域非常广泛,涉及大洋玄武岩挥发组分、海底和海岛环境的稀有气体、岛弧岩浆的壳幔源贡献、地热流体与地震、干旱半干旱环境流体逸出及其来源的稀有气体判识、地下水稀有气体含量与古气候,以及气体样品采集保存技术的开发等。Hilton 教授对世界上几乎所有的现代火山地区进行过野外考察,其中包括我国的长白山、腾冲、喜马拉雅山等火山地热区,以及新疆准噶尔盆地南缘的泥火山等,拥有十分丰富的野外考察经验,其气体样品采集和实验室分析技术长期居于世界领先地位。他提出的俯冲带稀有气体和挥发分再循环与火山深部气体脱气模式为稀有气体同位素端元以及地球深部脱气过程的研究奠定了坚实基础,并被气体地球化学界广泛引用。他在 *Nature*、*Science*、*GCA*、*EPSL* 等国际知名期刊发表学术论文 120 多篇。由于研究成绩突出,Hilton 教授曾获得 AGU Fellow、法国 CNRS 访问学者、Goldschmidt 地球化学奖等 18 个重要奖项,并长期担任 *Chemical Geology* 主编、*Geochemistry*, *Geophysics*, *Geosystems* 和 *Geological Society of America Bulletin* 副主编,以及 *Geochimica et Cosmochimica Acta* 编委等。

## 2 与中国学者的交流与合作

David R. Hilton 教授与中国学者的交往由来已

V  
久。20 世纪 80 年代初 ,Hilton 在剑桥大学攻读博士学位期间 ,就与到访的中国科学院地质研究所周新华研究员等在同位素测试技术方面进行过友好合作 ,并且有过从英国到法国快乐的旅行(图 1) 。Hilton 教授很早就对喜马拉雅山及其周边地区的地质问题很感兴趣 ,例如西藏南部地区和云南腾冲地区的近现代火山活动和地热作用等。然而 ,由于历史原因 ,很长一段时间国外科学家不能到访这些地区。随着我国改革开放政策的不断扩大和实施 ,国外学者逐渐被允许进入中国境内某些地区开展野外地质工作(图 2) 。由此 ,Hilton 教授及其研究团队也就有机会亲自到这些地区进行实地野外考察。基于在印度、缅甸等喜马拉雅山外围地区考察和研究的坚实基础 ,他与许多中国学者建立了良好的合作关系 ,而且还有机会参与并承担了一系列实际的课题研究。2011~2013 年 ,由中国科学院地质与地球物理研究所郭正府研究员与兰州油气中心郑国东研究员、意大利国立地球物理与火山研究所 Giuseppe Etiope 博士、中国台湾大学杨灿尧教授及美国加州大学 David R. Hilton 教授联合申请 ,获得中国自然科学基金委员会的国际合作重点项目“青藏高原及其周边新生代典型火山和泥火山区的温室气体排放”。在项目执行期间 ,Hilton 教授与课题组成员一起 ,多次深入青藏高原东缘的云南腾冲新生代典型火山-地热区、四川盆地西部等地进行实地考察。在对众多的地热温泉考察过程中 ,Hilton 教授现场指导国内学者进行气体样品采集 ,并就如何进行稀有气体和二氧化碳的组分和同位素地球化学研究进行了深入探讨(图 3-4) 联合发表了一系列学术论文 ,部分论文目前正在发表中。伴随中美学术交流与合作的不断开展 ,Hilton 教授也热情邀请多位中国学者到他的实验室进行学术访问、交流和学习 ,并接受多名中国学生攻读学位课程。无论是在他的实验室还是来访中国 ,Hilton 教授始终都无私地教授和指导中国学生以及中青年科学家进行科学研究、技术开发乃至英语论文写作等(图 5) 。

作为国际气体地球化学委员会( ICGG) 的发起者和美国国家委员 ,Hilton 教授长期致力于国际气体地球化学的学术交流。2011 年 11 月 ,他作为主席在美国圣地亚哥成功主办了第 11 届国际气体地球化学会议 ,并亲自组织了美国墨西哥边境附近的泥火山野外考察。Hilton 教授也非常支持中国学者申请和承办国际学术会议 ,如帮助中国学者成功申办了第 13 届国际气体地球化学会议之后 ,会议于 2015 年 8 月 23~31 日在我国成都召开 ,来自国内外



图 1 剑桥大学同位素地球化学团队在美军坦克车上合影。1985 年在由剑桥去法国斯特拉斯堡参加欧洲地科联年会路过比利时的一个小镇 ,当时正值二战胜利 40 周年 ,团队成员全体登上正在陈列的当年美军坦克车拍照留念。(后排右 2 为周新华 ,右 3 为 David R. Hilton ,周新华提供)



图 2 云南省腾冲地区野外考察照片(2011 年 1 月;从左向右 ,依次为张茂亮 ,Peter Barry ,David Hilton ,成智慧 ,郭正府摄)



图 3 现场指导学生设计和收集气体样品(2015 年 9 月初川西-云南温泉考察途中 ,郑国东摄)

的 120 余名专家和学者参加。会议内容覆盖范围广、议题集中、报告丰富精彩、成果丰硕。在会议正式召开的前一天 ,兰州油气资源研究中心与日本学术振兴会北京办事处联合举办了为期一天的国际稀



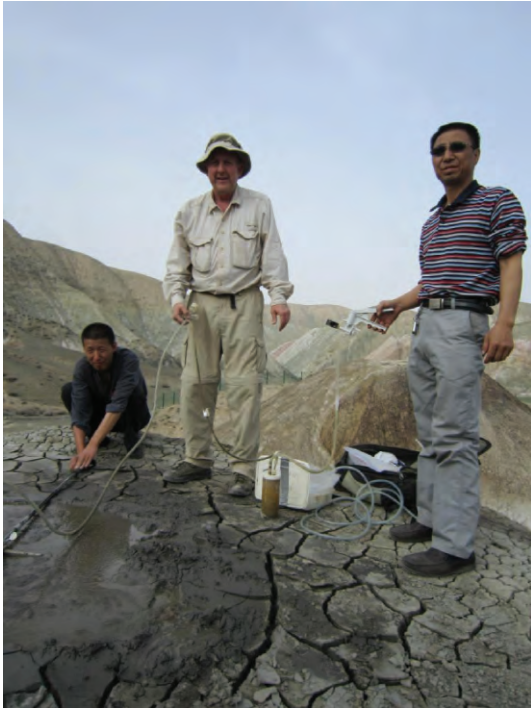


图4 新疆艾奇沟泥火山野外考察照片(郭正府摄于2010年4月27日)

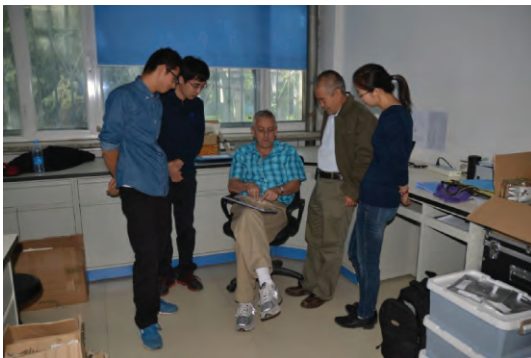


图5 2015年9月10日在中国科学院兰州油气资源研究中心稀有气体地球化学实验室与实验技术人员现场讨论(郑国东摄影)

有气体地球化学培训班,由两位稀有气体地球化学专家,日本东京大学的佐野有司教授和 Hilton 教授担任主讲教师。此次国际气体地球化学会议提交的论文,分别在 *Chemical Geology* 和 *Marine and Petroleum Geology* 等期刊上出版,正式发表学术论文 42 篇,其中 29 篇论文由中国学者撰写发表。作为客座编辑之一, Hilton 教授为这些论文的遴选、评审和修改都付出了辛勤劳动,特别是在 *Chemical Geology* 的专辑,他从策划、论文组织与评选、主题确定、论文定稿以及出版都付出了极大的心血。2017 年 8 月,他对专辑出版前言做了最后修订,并在邮件中提到他不能参加该年度的 Goldschmidt 和 ICGG

会议,等将来身体恢复后继续参加学术活动。

基于出色的研究成果和多年的友好合作, David R. Hilton 教授获得了中国科学院外籍专家特聘教授的资助,并于 2015 年 8~9 月再次来访中国。期间,他与中国科学院兰州油气资源研究中心郑国东研究员及其课题组成员一起在青藏高原东缘川、滇地区的龙门山断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂带、红河-哀牢山断裂带等进行野外地质考察,系统采集了温泉气体样品,并在中国科学院兰州油气资源研究中心和美国加州大学圣地亚哥分校做平行实验。 Hilton 教授毫无保留地就野外考察经验和采样方法、测试项目设计和实验技术等进行了现场指导(图 3 5 6)。近些年来,国内多个单位新建了一些稀有气体地球化学实验室,但具体的配套设施和稀有气体样品前处理分离系统的设计和装置材料等都或多或少地存在一些缺陷和问题,尤其是对低含量氦、氡气体样品的定量和同位素测试结果误差过大,导致测试数据与国外公认的高水平实验室差距明显。 Hilton 教授在兰州油气资源研究中心工作期间,与实验技术人员一起现场检查同位素测试分析设备和操作过程,发现并提出了测试系统设计中存在的一系列问题,有针对性地讲解、讨论和操作,及时指导实验技术人员改进进样程序,正确操纵仪器设备,并对相应的样品前处理和各种气体分离系统的更新改造提出具体建议,对我国稀有气体化学组分和同位素测试分析技术的提高具有十分重要的意义。

Hilton 教授生活俭朴、风趣幽默,具有极大的人格魅力和学者风范。2015 年 9 月 14 日,在兰州油气中心举办的外籍专家特聘教授聘任仪式暨学术报告会上,主持人在展出了一张拍摄于 2010 年 7 月 16 日 Hilton 在兰州油气中心作报告的照片(图 7)。



图6 在中国科学院兰州油气资源研究中心稀有气体同位素实验室指导学生做实验(郑国东摄影 2015 年 9 月)

## VII

他发现自己五年前穿的是同一件短袖衫,并且在同一地点作报告后,幽默地说“地球化学家实在太穷,前后五年穿同一件衬衫在同一地点做学术报告;不过也说明,这件衬衫的质量确实很好,有可能是中

国制造;长期穿着也是低碳减排的具体实践”。Hilton 教授诙谐幽默的话语引发了在场各参会者的会心微笑和深深敬佩。然而,很遗憾,2015 年的那次学术报告竟是他在中国大陆所做的最后一次报告!



图7 中国科学院外籍专家特聘教授聘任仪式(左上图摄于2015年9月14日,右下图摄于2010年7月16日,兰州油气中心科技处提供)

Hilton 教授具有对待生命十分坚强的意志和非常乐观豁达的态度。2017 年下半年,他的病情恶化,家人和同事以及很多学界友人对他的身体状况都很关心和担忧。但他仍坚持工作,保持与世界同行之间的邮件交流。在接受化疗的间断时间,他还断续到实验室转一转,甚至布置和检查研究与实验工作。2017 年底,他几次跟女儿讲:他自己到过世界上 58 个国家,他要努力争取活过这个数(58,一岁相当于一)。2017 年圣诞节,Hilton 教授还跟女儿一起特别庆祝自己将很有希望顺利活过 59 岁。然而,非常不幸,2018 年 1 月 8 日 Hilton 教授与世长辞。我们永远失去了一位好学长、好伙伴、好朋友!

### 3 纪念专题主要内容

中国大陆幅员辽阔,几乎囊括了所有类型的地质作用和地质现象。与之相对应,中国的气体地球化学现象更是多种多样。经过多年的不懈努力,中国科学家在气体地球化学研究方面也与世界同步,

尤其是不少的中青年学者在很多领域做出了突出成绩,包括烃类气体、非烃类气体、稀有气体、温室气体等方面。为了适应基础研究与应用实践飞速发展的需求,许多单位引进仪器设备,不断创新分析测试技术。本专题征集的 11 篇论文主要是由中青年学者和研究生主笔撰写,而且大多数作者都与 Hilton 教授有着良好合作关系,其中不少人都曾受教于 Hilton 教授。这些论文不仅是对国内气体地球化学热点领域新进展的良好总结,也是对气体地球化学发展方向和前景的预测。主要内容包括:簇同位素技术在天然气形成理论研究中的应用、以四川盆地为代表的我国南方页岩气资源主控因素、火山区气体检测以及温室气体释放调查、活动地震断裂带(区)气体释放以及流体特征、区域大气汞时空变化及其意义、月球陨石稀有气体特征等方面。希望能够以此专题,深切缅怀永远纪念我们的好朋友、国际友好合作伙伴 David R. Hilton 教授!

致谢:借助于中国矿物岩石地球化学学会气体地球化学专业委员会成立的良好契机,在多位国内外专家学者的鼓励与支持,和国家自然科学基金(41572352, 41772355, 41020124002)的资助下,本专题顺利出版。



## 特约主题：气体地球化学新进展

编者按语: 在当今大气环境恶化、能源资源紧缺、人类健康遭受威胁的严峻形势下, 气体地球化学研究逐渐形成了一个独立、完整的学科体系, 相应的分析测试技术也突飞猛进, 学术活动活跃, 专业研究者和专业群体也与日俱增, 并涌现出了不少知名学者, 为推进气体地球化学理论研究和分析测试技术的发展做出了卓越的贡献。为了深切缅怀 David R. Hilton 教授对我国气体地球化学研究发展的贡献, 经国内多位从事气体地球化学研究学者商议, 决定组织国内气体地球化学研究者征集论文, 以“气体地球化学新进展”《矿物岩石地球化学通报》上以专题发表为主题, 谨以此纪念 David R. Hilton 教授。



特邀主编: 郑国东, 研究员, 博士生导师。兰州大学理学学士(1983), 东京大学学术博士(2001)。先后在中国科学院兰州地质研究所(1983-), 捷克马萨里克大学(1992-1994), 日本东京大学(1996-2002)、京都大学(2002)、广岛大学(2003-2004)、英国卡迪夫大学(2003)、美国史蒂文斯理工学院(2005-2006)等求学或工作。2006年入选中国科学院“百人计划”, 就职于中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心。主要从事元素化学种应用研究, 涉及油气储层、环境污染、湖海沉积、滑坡面黏土和断层泥, 以及气体地球化学等领域。现为中国矿物岩石地球化学学会终身会员及气体地球化学专业委员会主任委员, 中国可再生能源学会天然气水合物专业委员会委员, 中国核物理学会穆斯堡尔谱学专业委员会委员, 中国灾害防御协会火山专业委员会委员, 兼任多家国际学术期刊的评审员。

### 专栏作者简介



帅燕华, 女, 1971年生, 中国石油勘探开发研究院高级工程师。主要从事油气形成与成藏、地质盆地内有机-无机相互作用、同位素地球化学示踪研究。目前主要工作集中在簇同位素技术

及应用其解决复杂油气成因成藏。在 GCA、EPSL、JGR、CG 等发表第一作者论文 10 余篇。先后承担 4 项国家自然科学基金项目、多项省部级项目。获省部级特等/一等/二等奖 4 项。



张同伟, 1965年生, 德州大学奥斯汀分校经济地质局研究员, 2017年入选“长江学者”讲座教授。主要研究石油、天然气地质地球化学及成藏地球化学; 页岩气、页岩油成藏描述; 有机-无机相互作用

及化学动力学; 气体吸附及泥岩纳米级孔隙结构描述。在国内外期刊发表论文 80 余篇, SCI 论文 45 篇, 包括在 2017 年评出的地球科学领域高引用量论文 5 篇, 单篇最高引用达 297 次(2012 年以