



从古气候学历史看 Nicholas Shackleton 的学术贡献

赵艳^{①*}, 周力平^②

① 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

② 北京大学城市与环境学院, 北京 100871

* E-mail: zhaoyan@igsrr.ac.cn

收稿日期: 2015-06-15; 接受日期: 2015-10-26; 网络版发表日期: 2015-11-20

摘要 Nicholas John Shackleton 生前是英国剑桥大学地球科学系教授。因为在利用氧-碳同位素研究第四纪气候变化方面的奠基性工作, 他于 1995 年获得 Crafoord 地球科学奖。他的主要学术成就包括: (1) 改进了同位素质谱仪, 使得小样品测试成为可能, 并确立了深海氧同位素可以作为全球冰量的指标; (2) 提供了验证米兰科维奇假说的深海氧同位素关键证据; (3) 对建立轨道调谐年代序列作出了突出贡献; (4) 在古大洋环流及 CO₂ 对全球气候的驱动和响应方面做了开创性研究工作。Shackleton 教授被誉为“深海氧同位素之父”, 他的里程碑式的研究影响着 20 世纪下半叶古气候的发展历程。本文简要介绍 Shackleton 教授的学习与科研工作经历、主要的学术成就及成功的素质, 希望从中得到一些对中国科学家有益的启示。

关键词

Crafoord 奖

Shackleton 教授

深海氧同位素之父

1 教育和工作经历简介

Nicholas John Shackleton 教授(以下简称为 Shackleton 教授)于 1937 年 6 月 23 日出生于英国。他于 1961 年获得剑桥大学物理学学士学位, 1964 年获得艺术学硕士学位(这是剑桥大学本科生毕业 3 年后自动获得的学位), 1967 年获得剑桥大学哲学博士学位。之后, 他一直在剑桥大学工作, 主要从事古气候学研究。他所在的 Godwin 实验室早期是设在植物学系第四纪研究亚系的实体, 1995 年重组改为跨系的虚体研究所, 由他担任该研究所所长(他本人也从植物学系正式转入地球科学系)。这是他一生中所任的最高官职, 也正因为如此, 他才有时间潜心于科学研究。1965 年, 在从事博士论文研究期间, 他被聘为第四纪研究亚系的 Senior Assistant in Research(这属于剑桥

大学的研究系列, 相当于初级讲师)。1972 年, 他晋升为 Assistant Director of Research, 1988 年被任命为第四纪研究亚系的主任。1987 年, 他被聘为高级讲师, 1991 年(时年 55 岁)晋升为剑桥大学教授。

Shackleton 教授一生中为国际学术界做了大量服务工作, 比如担任国际第四纪联合会(INQUA)副主席(1995~1999)、主席(1999~2003), 大洋钻探计划(ODP)Ocean History Panel 主席(1989~1991); 他还曾担任 Quaternary Research 和 Paleoclimatology 等 5 个国际学术期刊的编委。

2 获得的奖励和荣誉

因为在利用同位素研究第四纪气候变化方面的奠基性工作, Nicholas Shackleton 和 Willi Dansgaard 一

中文引用格式: 赵艳, 周力平. 2015. 从古气候学历史看 Nicholas Shackleton 的学术贡献. 中国科学: 地球科学, 45: 1791~1798

英文引用格式: Zhao Y, Zhou L P. 2015. Nicholas Shackleton and his contributions to palaeoclimatology (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 45: 1791~1798

起获得了1995年的Crafoord地球科学奖。除此之外, Shackleton一生还获得过许多奖励和荣誉, 这主要包括: 1985年当选英国皇家学会会员, 1998年因为其“services to science”被英国女王授予爵士, 1999年获得欧洲地球物理联合会的米兰科维奇奖章, 2000年当选美国科学院外籍院士, 在他去世的前两个月获得日本“蓝色星球奖”(2005年)。2010年2月英国皇家学会在庆祝建会350周年时, 从1000多名会员中选出了牛顿等10位科学家制作皇家邮政的纪念邮票, Shackleton也是其中一位(图1)。他究竟是一个什么样的科学家, 做出了怎样的学术贡献, 让他获得如此多的荣誉呢?

3 古气候学主要发展历程与 Shackleton 教授的学术贡献

3.1 四次冰期理论与米兰科维奇假说

近代的古气候学是从四次冰期理论和米兰科维奇假说的提出开始的。根据陆地山岳冰川研究, 地质学家们认为在欧洲阿尔卑斯山地区第四纪存在四次大的冰期, 从老到新包括贡兹、民德、里斯和玉木冰期。这就是著名的四次冰期理论, Walther Penck是该

理论后期的代表性人物。在中国, 李四光也提出了与之对应的四次冰期, 包括著名的庐山冰期。

为什么会产生冰期气候呢? 19世纪40年代法国人Joseph Adhémar提出地球轨道控制气候变化, 认为冬季日照量是冰期形成的主要因素, 并且强调岁差的作用。之后, 苏格兰人James Croll继承了他的观点, 但强调地球轨道偏心率的作用。他的结论与Adhémar类似, 即冰期气候在两半球交替出现, 他们的预测被后来的地质记录所否定(丁仲礼, 2013)。

20世纪40年代塞尔维亚天文学家米兰科维奇(Milutin Milankovitch)较系统地计算了一套完整的轨道参数, 包括偏心率、地轴倾角和岁差(即远近日点的季节进动)。它们的变化分别具有约10万年、4万年和2万年的周期。米兰科维奇继承了地球轨道影响气候的观点, 提出著名的米氏假说, 即北半球65°附近夏季日照量的变化是驱动冰期气候的主要因素。1941年他发表了计算的过去60万年北半球夏季日照量变化曲线, 在曲线的低谷处, 他标出了四次大冰期的时间位置。

在当时验证米氏假说是很困难的, 这主要是因为缺少连续的记录, 沉积物无法定年, 难以找到全球性气候指标(丁仲礼, 2013)。因而在当时米氏假说的信奉者并不多。

在这个阶段, Shackleton因为没出生或太小, 还没有登上古气候学的历史舞台。

3.2 海洋-陆地记录与多次冰期理论

就在陆地上的古气候研究被四次冰期理论主导的时候, 海洋的研究也拉开了序幕。1947年, 瑞典人Borje Kullenberg发明了活塞取样器, 使得钻取海洋连续长岩芯成为可能, 从此海洋古气候研究进入了一个新时代。

50年代初期古海洋学的奠基人Cesare Emiliani正在芝加哥大学著名化学家Harold Urey的实验室做博士后。Urey曾因为发现氘同位素获得1934年诺贝尔化学奖。Urey利用已经灭绝的动物箭石类化石分析, 发现碳酸盐氧同位素能指示温度的变化(Urey, 1947)。Emiliani率先将此方法引入海洋沉积物研究中。在海洋中, 有一种单细胞动物有孔虫, 它以浮游和底栖两种方式生活。壳体由方解石(CaCO_3)组成, 壳体所含的稳定同位素 ^{18}O 与 ^{16}O 的比值与海水保持平衡。Emiliani利用当时保存在美国Lamont实验室的加勒比

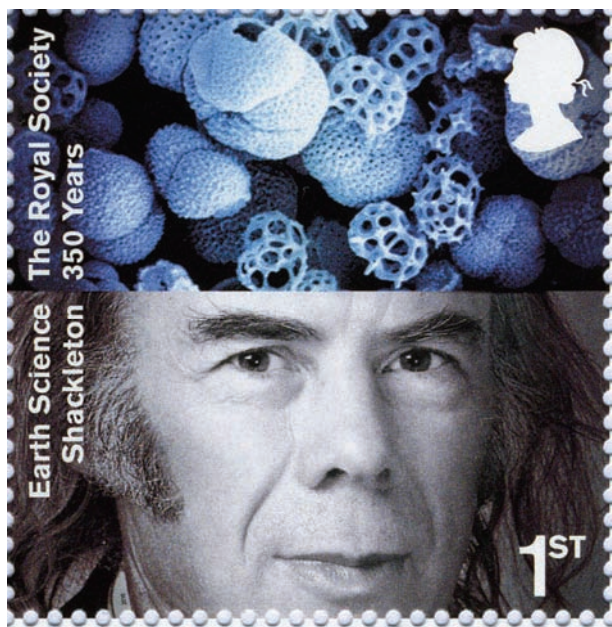


图1 2010年英国皇家邮政纪念邮票上的 Nicholas Shackleton 头像

为英国皇家学会建会350周年纪念时特制10枚邮票之一

海岩芯,进行了浮游有孔虫壳体氧同位素分析,重建了过去70万年的海水温度变化历史,并提出了深海 $\delta^{18}\text{O}$ 阶段性(Emiliani, 1955). 他发现仅在这个时段就有6次大的冰期. 他的研究对4次冰期理论提出了挑战,多次冰期理论开始出现.

陆地风尘堆积研究对多次冰期理论的建立也有重要贡献,最值得一提的是刘东生先生1961年在波兰国际第四纪大会上展示了中国黄土-古土壤多旋回沉积,代表着冰期-间冰期气候旋回;另一位有重要贡献的是刚去世的著名黄土科学家Gorge Kukla,他对中欧黄土研究发现,过去170万年里出现过17个间冰期(Kukla, 1970).

然而,Emiliani对深海 $\delta^{18}\text{O}$ 的温度解释却遭到质疑,因为 $\delta^{18}\text{O}$ 可能同时受全球冰量和海洋温度的影响. 如冰期时,大陆冰盖储存大量来自海洋的 ^{16}O ,导致深海 $\delta^{18}\text{O}$ 偏正. Emiliani参照海洋微体动物气候记录,假设冰量仅解释0.5‰的变化,他在总变幅1.65‰中剔除这部分信号,认为温度变化在6℃左右(Emiliani, 1955). 后来的研究表明,他用于参照的微体动物可能与海水的盐度有关. 另外,他的分析结果主要来自浮游有孔虫,可能受很多复杂因素的影响. 这就迫切需要分析底栖有孔虫壳体 $\delta^{18}\text{O}$,而它们的壳体非常少,数量不足用以 $\delta^{18}\text{O}$ 的分析.

20世纪60年代初期,Shackleton正在剑桥大学学习物理学,但他对Emiliani的研究产生了浓厚兴趣. 这时,植物系第四纪研究亚系建立了 ^{14}C 年代实验室,他们期望进一步通过氧同位素重建温度. Shackleton作为博士生,“应招”开展“建立氧同位素古温度重建方法”研究(McCave和Elderfield, 2011). 他这时在技术上有一个创新,就是改进了同位素质谱仪,解决了小样品测试问题. 以往需要几百个壳体才满足分析要求,新的质谱仪只需10来个或更少的壳体. 小样品分析也使得底栖有孔虫壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 分析成为可能. 这是Shackleton在 $\delta^{18}\text{O}$ 分析技术上的一个里程碑式的贡献. 在此基础上,1967年他完成了博士论文“The Measurement of Palaeotemperatures in the Quaternary Era”. 同年他的成果发表在*Nature*上(Shackleton, 1967).

Shackleton分析了太平洋大量的底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$,结果显示在冰期-间冰期深海可能有6℃左右的变化. 然而,现代深海温度只有2℃左右,冰期时岂不变成冰洋了吗? Shackleton敏锐地意识到Emiliani的解释存

在的问题.

如果 $\delta^{18}\text{O}$ 变化主要是温度造成的,底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 就应该具有比浮游有孔虫小得多的变幅. Shackleton将自己和Emiliani在加勒比海同一个点分别做的底栖和浮游 $\delta^{18}\text{O}$ 的数据进行了对比. 他发现浮游与底栖的变幅是同步的(图2),表明它们主要不是温度的信号(Shackleton, 1967).

Shackleton进一步利用冰盖三维模型,重新评估了冰盖效应对 $\delta^{18}\text{O}$ 的影响,提出有孔虫壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 代表全球冰量. Emiliani解释的低温,实际上是冰量增加,也就是说 $\delta^{18}\text{O}$ 代表陆地冰盖而不是海洋事件.

全球冰量的变化一定会在海平面中得到体现. 为了验证他的观点,Shackleton利用 $\delta^{18}\text{O}$ 重建了末次间冰期以来太平洋海平面的变化,他将结果与基于珊瑚礁重建的海平面进行对照,发现吻合得非常好(Shackleton和Opdyke, 1973; Shackleton和Matthews, 1977),这进一步证实了其全球冰量观点的正确性. 深海 $\delta^{18}\text{O}$ 作为全球冰量变化的指示,一直被使用至今,这是又一个里程碑式的研究. 多次冰期理论也由此得到更直接的证据. 科学家们后来根据深海 $\delta^{18}\text{O}$ 的研究,发现在第四纪大约存在52个冰期-间冰期旋回. 因为在改进 $\delta^{18}\text{O}$ 分析质谱仪和确立冰量指标方面的突出贡献,Shackleton被誉为“深海氧同位素之父”.

3.3 CLIMAP和DSDP时代: 米兰科维奇理论的验证

探讨多次冰期的成因让科学家们又重新回到了

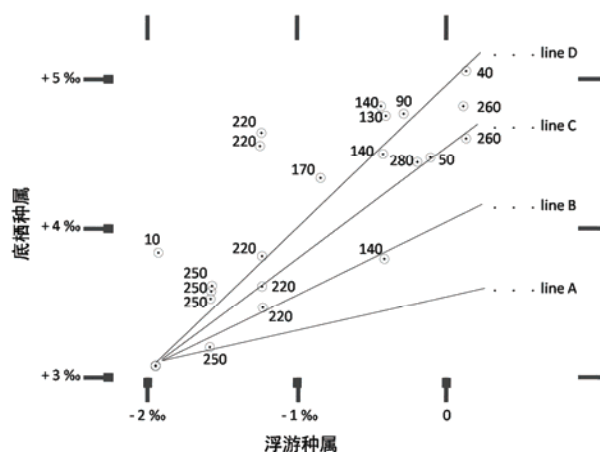


图2 Lamont 岩芯 A 179-4 底栖 vs 浮游有孔虫 (*Globigerinoides sacculifer*) 氧同位素组成

大多数点落在线 D 上,表明二者变幅一致. 根据 Shackleton (1976) 图 1 重绘

米兰科维奇假说. 在20世纪50~60年代定年技术已经发展起来, 这包括 ^{14}C 、古地磁和K-Ar测年等; 到70年代, 随着深海钻探DSDP(Deep Sea Drilling Project)的发展, CLIMAP(Long-Range Investigation, Mapping and Prediction)计划出现, 检验米氏假说成为主要目标之一.

1976年, Shackleton与James Hays和John Imbrie合作在*Science*上发表了一篇划时代的论文, 题目是: Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages(Hays等, 1976). Hays是CLIMAP计划的发起人, Imbrie和Shackleton都是该计划的重要成员. 他们利用该计划钻取的位于南印度洋的两个深海钻孔, 进行了有孔虫壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 等气候指标研究. 当时天文学家(著名的有A. D. Vernekar, André Berger等)也能更准确地计算轨道参数了. 通过深海 $\delta^{18}\text{O}$ 的频谱分析, Hays他们发现过去40多万年的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化与轨道周期高度吻合, 存在显著的10万年、4万年和2万年周期, 其中10万年最为突出(图3). 这是科学家第一次在古气候记录里清晰地检测出地球轨道的周期信号. 至此, 米兰科维奇假说得到验证, 成为解释气候变化的理论之一. 它和板块构造学说一道, 被认为是20世纪产生的地球科学两个最重要的理论.

Shackleton在其中的贡献体现在两方面: 一是提供了深海 $\delta^{18}\text{O}$ 序列关键证据. 二是他在 ^{14}C 及古地磁

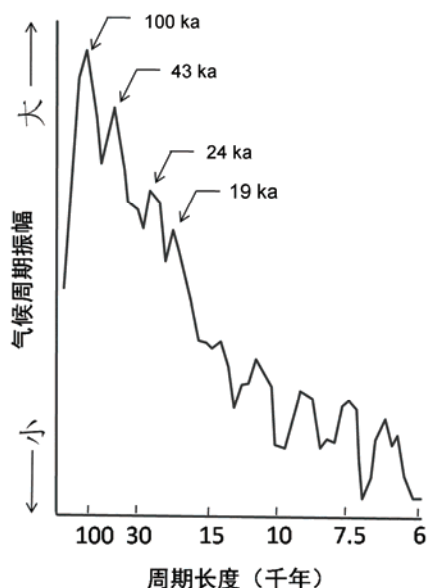


图3 南印度洋两个深海岩芯有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 周期频谱

根据 Hays 等(1976)图 6(b)绘制

定年基础上建立的精确年代时间标尺. 而这正是验证米氏理论的关键.

在深海研究验证米兰科维奇理论后, 黄土记录、南极冰芯也进一步检测出10万年、4万年和2万年的气候周期, 10万年周期也表现最为明显(如Ding等, 1994; Lu等, 2004; Petit等, 1999). 米兰科维奇理论目前已被大家普遍接受. 海洋、冰芯和黄土研究也因此被称为古气候学的三大支柱.

虽然米氏理论已得到了广泛的接受, 但它对有些现象仍然无法解释. 这主要包括: (1) 周期问题, 如为什么偏心率对日照量的贡献很小, 但过去90万年气候10万年周期表现最强? 为什么具2万年周期的岁差对日照量贡献最大, 但第四纪早期4万年周期最强? (2) 驱动敏感区问题, 如一些低纬气候记录显示了很强的2万年岁差周期(Wang等, 2008), 表明可能存在更多的敏感驱动区. (3) 南北半球某些时段环境不对称问题(Guo等, 2009). 尽管如此, 米氏理论目前依然是古气候学的圣经.

3.4 SPECMAP 和 ODP 时代: 冰期全球记录与耦合机制

20世纪80年代, 深海研究进入了大洋钻探计划(Ocean Drilling Project)时代, 美国发起了SPECMAP(SPECTral Mapping Project)计划, 目的就是利用深海沉积物建立冰期气候时间序列, 进而探讨全球气候耦合机制.

当时建立时间序列的主要困难是年代控制点少. 因为米氏理论得到验证, 就有可能通过气候记录与轨道参数进行对比获得沉积年龄, 这就是常说的轨道调谐. 这使第四纪甚至整个新生代的气候记录获得了可以信赖的年龄, 堪称又一个里程碑.

SPECMAP利用轨道调谐, 在20世纪80年代建立了过去75万年深海 $\delta^{18}\text{O}$ 标准年代序列(Imbrie等, 1984; Martinson等, 1987). 之后Lisiecki和Raymo(2005)在57个深海 $\delta^{18}\text{O}$ 记录基础上, 建立了过去530万年标准曲线(LR04). Shackleton在这个阶段的贡献在于对大量的高分辨率深海记录进行轨道调谐, 获得了年代序列, 这包括经典的V19-30, ODP site 677, ODP site 846等沉积序列(Shackleton, 1990), 它们构成深海 $\delta^{18}\text{O}$ 标准曲线的重要组成. 尤其值得一提的是他对渐新世-中新世交界处的年代调谐, 将深海 $\delta^{18}\text{O}$ 年代序列从第四纪推到了过去2400万年(Shackleton

等, 2000). 此外, 他利用轨道调谐方法修正了基于 K-Ar 测年的深海记录中古地磁 B/M 界限的年龄, 这就是我们今天广泛采用的 78 万年 (Shackleton 等, 1990; Rudimman, 2006). Shackleton 还利用海陆记录对比首次发现了深海氧同位素 5e 阶段 (Shackleton, 1969). 这些研究结果都成为 SPECMAP 重要的时间控制点.

米兰科维奇理论的验证、地质记录时间标尺的进展, 使古气候学研究进入另外一个新阶段. 米氏理论主张, 北半球高纬夏季日照量变化是控制全球冰期-间冰期旋回的根本原因. 但随之而来的问题是, 北半球高纬的日照量为什么影响全球的气候? 这是 SPECMAP 后期探讨的主要科学问题.

Imbrie 等科学家提出了“响应传输链”, 认为大洋环流可能是将高纬日照量热量传输至低纬及南半球的重要环节之一. 但是这种观点或多或少带有假说的成分. 其中突出的问题是如何示踪大洋环流, 即如何重建古大洋环流.

Shackleton 首次系统地开展了有孔虫壳体 $\delta^{13}\text{C}$ 分析, 发现冰期、间冰期的值存在差异 (Shackleton, 1977). 与深海 $\delta^{18}\text{O}$ 不同, 对 $\delta^{13}\text{C}$ 的解释在学界仍然没有获得统一的认识, 它可能指示海洋生产力、海陆碳库的格局或季风 (Wang 等, 2003). Shackleton 和他的合作者法国科学院院士 Jean-Claude Duplessy 系统地分析了全球海洋 $\delta^{13}\text{C}$, 发现冰期、间冰期的值存在时空差异, 并且揭示了北大西洋深层水的生产在冰期更缓慢 (Duplessy 和 Shackleton, 1985). 他还对末次冰期太平洋深层水进行 ^{14}C 定年, 发现其流通年龄比现代 (间冰期) 老 500 年 (Shackleton 等, 1988). Shackleton 的研究为 $\delta^{13}\text{C}$ 作为古大洋环流指标奠定了重要基础. 当然必须指出的是, 美国哥伦比亚大学的 Wally Broecker 在大洋环流对气候系统变化的影响研究中也发挥了关键作用.

3.5 冰芯记录与温室气体历史

在海洋 SPECMAP 时代, 古气候学出现了另一个重大突破, 即两极冰芯记录与温室气体研究.

SPECMAP 后期提出 CO_2 也可能是导致冰期-间冰期全球一致性重要的传输链条. 可是当时直接的 CO_2 记录只有 20 多年历史, 冰芯的气泡 CO_2 数据也仅涵盖 16 万年. Shackleton 在利用代用指标估算 CO_2 和探讨 CO_2 对气候的影响方面做了很多开创性工作 (Shackleton 等, 1983; Shackleton, 1990). 但直到 1999

年 Petit 等人发表了 Vostok 冰芯过去 40 万年 CO_2 曲线 (Petit 等, 1999), 才使得探讨 CO_2 与轨道尺度气候之间的关系成为可能.

2000 年 Shackleton 在 *Science* 上发表了一篇重要论文, 利用深海和冰芯记录的对比探讨冰量、温度和 CO_2 的关系 (Shackleton, 2000). 他首先利用北纬 65° 轨道参数将深海和冰芯记录调到同一个时间标尺上. Shackleton 早期的工作奠定了全球冰量指标, 但他晚年也意识到温度对深海 $\delta^{18}\text{O}$ 也有一定的贡献, 因而他必须把这部分信号从 $\delta^{18}\text{O}$ 里剔除, 以获取准确的冰量信号. 因为冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 是温度信号, 所以可通过与冰芯的对比剔除深海 $\delta^{18}\text{O}$ 温度信号. 但这种对比存在一个问题: 即道尔效应, 也就是现代空气比海水氧同位素高约 24‰, 并且过去的道尔效应并不是固定不变的. 所以, 他进一步估算了古道尔效应的值, 在此基础上, 他分解了深海 $\delta^{18}\text{O}$ 中全球冰量及深海温度信号, 这样就可以对比全球冰量、温度、 CO_2 之间的相位关系了. 他发现在 10 万年周期上, CO_2 、温度与日照量基本同相位, 而全球冰量则明显滞后. 他提出轨道偏心率可能是通过对 CO_2 的影响调节全球气候, 形成 10 万年气候周期的.

后来 William Ruddiman 提出了不同观点, 他认为低纬过程对全球气候的驱动是非常重要的, 他将冰芯和深海氧同位素用 CH_4 调到一个时间尺度, 发现 CO_2 是不可能驱动全球冰量的 (Ruddiman 和 Raymo, 2003). 由此可见, 不同的假设前提, 得出了不同的结果. 但 Shackleton 的贡献在于他在研究思路上的引领作用.

至此, 米兰科维奇理论的内涵已远远超越米兰科维奇当初的假说, 科学家们对地球轨道如何驱动全球气候的认识已大大扩展了. 米兰科维奇理论更准确地说应该是“气候变化天文理论”. Shackleton 因为其在该理论研究方面的贡献获得 1999 年“米兰科维奇奖”.

Shackleton 的学术成就贯穿着 20 世纪下半叶整个古气候学的发展, 在每一个研究节点他都作出了突出的贡献 (图 4): (1) 多次冰期旋回理论阶段, Shackleton 改进了质谱仪, 确立了深海 $\delta^{18}\text{O}$ 是全球冰量的指标, 为认识第四纪冰期-间冰期旋回奠定了至关重要的基础; (2) 在 CLIMAP 阶段, 提供了深海 $\delta^{18}\text{O}$ 关键证据, 验证米兰科维奇理论; (3) SPECMAP 阶段, 他的贡献体现在建立轨道调谐年代序列及重建古大

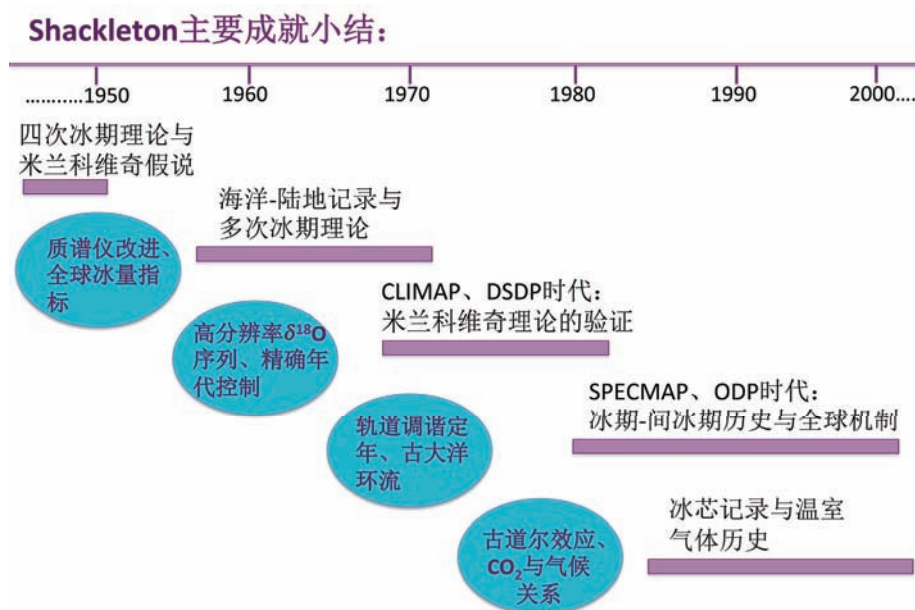


图4 Nicholas Shackleton 在古气候学发展各个阶段学术贡献小结

上横轴代表年代, 椭圆内为主要学术贡献

洋环流方面, 其成果促进了对全球气候耦合机制的认识; (4) 在冰芯研究及温室气体探讨阶段, 他在古道尔效应及 CO_2 对全球气候的响应传输作用研究方面做了开创性工作。如果用一句话来概括他的成就, Crafoord奖的颁奖词是最合适的, 即在利用同位素研究第四纪气候变化方面做了奠基性工作。

以上四方面只是Shackleton的主要学术贡献, 实际上他的研究涉猎非常广, 比如他对南极环流与南极冰盖关系(Kennett和Shackleton, 1976)和海陆对比(刘东生, 2006; Zhou和Shackleton, 1999; Shackleton等, 1995)的研究。他一生共发表了300多篇论文, 其中44篇发表在*Science*和*Nature*上。因为篇幅所限, 在此不一一介绍。

今天看来, Shackleton的工作也有一定局限性, 比如他过度地强调北半球高纬地区的作用以及低估了温度对氧同位素的影响。但这丝毫不有损于一代伟大科学家的形象, 因为科学本身就是在不断修正中前进的。

4 成功的素质

Shackleton之所以能取得这些成就, 与他具备的科学素质是密不可分的(Hays, 2006): (1) Shackleton

是一个非常勤奋的人。到去世前不久, 他还一直坚持亲自在显微镜下挑取用于同位素分析的有孔虫壳体。(2) 他具有非常强的合作精神。Shackleton的很多学术思想火花源于他与各领域科学家的交流合作。他与著名的Emiliani, Opdyke, Kennett和Duplessy的合作在学界都是传为佳话的。比如, 虽然Shackleton与Emiliani在学术观点上存在很大分歧, 但他们却是终生的朋友, 这是非常难能可贵的。二人还曾在*Science*合作发表论文探讨深海 $\delta^{18}\text{O}$ (Emiliani和Shackleton, 1974)。(3) 科学兴趣十分广泛, 对科学非常敏锐, 同时具备地质学家和物理学家的思维。这也正是他能与各个领域科学家进行广泛合作的基础。(4) 他是一个纯粹的科学家。Shackleton在国际学术界享有盛誉, 但是他几乎从未出现在媒体上。他对荣誉的态度很独特, 每次得大奖后, 他都亲自买一瓶香槟酒, 在实验室茶歇的时候请大家喝, 算是庆祝和感谢。尽管他把被封爵看作很高的荣誉, 但是女王在白金汉宫授予他爵位后, 他非常淡然(周力平, 2006)。对他来说, 认识事物的真相和规律才是从事科学研究的终极追求。而我们觉得除了以上这些素质, 他的家庭背景和生活情趣或许也是其作出突出学术贡献的两个重要因素。

他的叔祖父是英国传奇式的探险家 Ernest

Shackleton爵士. 他以带领“猎人号”(1907~1909年)向南极进发和1914~1916年带领“坚忍号”的南极探险的经历而闻名于世. 1907年他率领探险队将英国国旗首次插在了距离南极点仅97英里的地方. 他的传奇经历还被拍成了电视剧. Ernest Shackleton在探险过程中表现出了超常的领导才能和合作能力. 尽管他的探险大多以失败告终, 但是对于人类探索南极与科学研究的意义是异常深远的.

Ernest有一个侄子, 名叫Robert Shackleton, 他就是Nick Shackleton的父亲. Robert Shackleton是英国著名的地质学家, 在研究中他十分重视实证. 他因为在结晶岩研究方面的贡献, 1971年入选皇家学会会员. 也就是说, 他们家三代人出了两个爵士, 两位皇家学会会员. 与一般的科学家相比, 他从小所受的潜移默化的教育是得天独厚的. 也许前两代人的探索、实证、合作精神对Nick Shackleton起到了极好的熏陶作用.

Shackleton常年留着一头长发, 四季都穿凉鞋, 看起来似乎不像古气候学家, 而更像音乐家. 实际上他在音乐方面也确实颇有天赋. 他是一位单簧管收藏家, 他将收藏的900件单簧管等乐器全部遗赠给了爱丁堡大学, 成为单簧管界的珍贵档案. 他一直在剑

桥大学讲授Physics of Music课程, 他还发表了很多音乐理论方面的论文. 不仅如此, 他还是一位出色的单簧管表演家. 在大多数周日, 他都和朋友们演出或排练, 夏天休假有时会 and 夫人一起去英国北部一个音乐大师班进行一周的音乐活动(周力平, 2006). 在他担任INQUA副主席、主席期间, 四年一度的INQUA会议也因为其组织的音乐活动变得生动活泼. 2003年在美国Reno举办的INQUA晚宴上, Shackleton的单簧管独奏至今还让人难以忘怀. 音乐的一个基本特质是tune, 或许这激发了他在古气候学研究上的tuning灵感.

2006年1月24日, Shackleton因白血病去世, 终年69岁. 世界各国的科学家纷纷在包括*Nature*和*Science*在内的国际学术期刊和媒体上撰文纪念他卓有成就的一生. 英国著名古气候学家Chronis Tzedakis把他比喻为照亮古气候学界的一盏灯. 我国的刘东生先生盛赞Shackleton是“给深海沉积以生命的人”. 他去世后, 国际第四纪联合会设立了Sir Nicholas Shackleton Medal爵士奖, 以激励在第四纪研究领域做出突出贡献的青年科学家. 古气候学界的这盏灯虽然熄灭了, 可是他的精神永存(Tzedakis, 2006).

致谢 感谢《中国科学: 地球科学》主编郑永飞院士、副主编郭正堂院士及编委会的支持和两位审稿人的宝贵建议.

参考文献

- 丁仲礼. 2013. 固体地球科学研究中的思维方法浅析——以米兰科维奇理论为例. 见: 丁仲礼, 主编. 固体地球科学研究方法. 北京: 科学出版社. 13–34
- 刘东生. 2006. 给深海沉积以生命的人——纪念中国黄土研究的挚友Nicholas John Shackleton爵士. 第四纪研究, 26: 497–498
- 周力平. 2006. 沉醉于科学与音乐一生的普通人——纪念国际第四纪科学大师Nicholas John Shackleton教授. 第四纪研究, 26: 499–501
- Ding Z L, Yu Z, Rutter N W, Liu T. 1994. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits. *Quat Sci Rev*, 13: 39–70
- Duplessy J C, Shackleton N J. 1985. Response of global deep-water circulation to the Earth's climatic change 135000–107000 years ago. *Nature*, 316: 500–507
- Emiliani C. 1955. Pleistocene temperatures. *J Geol*, 63: 538–578
- Emiliani C, Shackleton N J. 1974. The Brunhes epoch: Isotopic paleotemperatures and geochronology. *Science*, 183: 511–514
- Guo Z T, Berger A, Yin Q Z, Qin L. 2009. Strong asymmetry of hemispheric climates during MIS-13 inferred from correlating China loess and Antarctica ice records. *Clim Past*, 5: 21–31
- Hays J D. 2006. Nick Shackleton. *Quat Sci Rev*, 25: 3090–3091
- Hays J D, Imbrie J, Shackleton N J. 1976. Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science*, 194: 1121–1132
- Imbrie J, Hays J D, Martinson D G, McIntyre A, Mix A C, Morley J J, Pisias N G, Prell W L, Shackleton N J. 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. In: Berger A, ed. *Milankovitch and Climate, Part 1*. New York: Springer. 269–305
- Kennett J P, Shackleton N J. 1976. Oxygen isotopic evidence for the development of the psychrosphere 38 Myr ago. *Nature*, 260: 513–515
- Kukla G J. 1970. Correlation between loesses and deep-sea sediments. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 92: 148–180

- Lisiecki L E, Raymo M E. 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, 20: PA1003, doi: 10.1029/2004PA001071
- Lu H Y, Zhang F Q, Liu X D, Duce R. 2004. Periodicities of palaeoclimatic variations recorded by loess-paleosol sequence in China. *Quat Sci Rev*, 23: 1891–1900
- McCave I N, Elderfield H. 2011. Sir Nicholas John Shackleton. 23 June 1937–24 January 2006. *Biogr Mem Fell R Soc*, 57: 435–462
- Martinson D G, Pisias N G, Hays J D, Imbrie J, Moore Jr T C, Shackleton N J. 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high resolution 0–300000 year chronostratigraphy. *Quat Res*, 27: 1–29
- Petit J R, Jouzel J, Raynaud D. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429–436
- Ruddiman W F. 2006. Nicholas J. Shackleton (1937–2006). *Science*, 312: 711
- Ruddiman W F, Raymo M E. 2003. A methane-based time scale for Vostok ice. *Quat Sci Rev*, 22: 141–155
- Shackleton N J. 1967. Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed. *Nature*, 215: 15–17
- Shackleton N J, Opdyke N D. 1973. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 and 10^6 year scale. *Quat Res*, 3: 39–55
- Shackleton N J, Matthews R K. 1977. Oxygen isotope stratigraphy in Late Pleistocene coral terraces in Barbados. *Nature*, 268: 618–619
- Shackleton N J, An Z, Dodonov A E, J Gavin, Kukla G J. 1995. Accumulation rate of loess in Tadjikistan and China: relationship with global ice volume cycles. *Quat Proc*, 4: 1–6
- Shackleton N J, Berger A, Peltier W R. 1990. An alternative astronomical calibration of the Lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *T Roy Soc Edinburgh Earth Sci*, 81: 251–261
- Shackleton N J, Hall M A, Raffi I, Tauxe L, Zachos J. 2000. Astronomical calibration age for the Oligocene-Miocene boundary. *Geology*, 28: 447–450
- Shackleton N J. 1969. The last interglacial in the marine and terrestrial records. *Proc R Soc B-Biol Sci*, 174: 135–154
- Shackleton N J. 1977. Tropical rain forest history and the equatorial Pacific carbonate dissolution cycles. In: Anderson N R, Malahoff A, eds. *The Fate of Fossil Fuel CO_2 in the Oceans*. New York: Plenum. 401–428
- Shackleton N J, Duplessy J C, Arnold M, Maurice P, Hall M A, Cartlidge J. 1988. Radiocarbon age of last glacial Pacific deep water. *Nature*, 335: 708–711
- Shackleton N J, Hall M A, Line J, Cang S X. 1983. Carbon isotope data in core V19-30 confirm reduced carbon dioxide concentration in the ice age atmosphere. *Nature*, 306: 319–322
- Shackleton N J. 1990. Estimating atmospheric CO_2 . *Nature*, 347: 427–428
- Shackleton N J. 2000. The 100000-Year Ice-Age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide and orbital eccentricity. *Science*, 289: 1897–1902
- Tzedakis C. 2006. Professor Sir Nicholas J. Shackleton, FRS (1937–2006). *Quat Sci Rev*, 25: 403
- Urey H C. 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *J Chem Soc*, 562–581
- Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, Kong X G, Shao X H, Chen S T, Wu J Y, Jiang X Y, Wang X F, An Z S. 2008. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224000 years. *Nature*, 451: 1090–1093
- Wang P X, Tian J, Cheng X R, Liu C L, Xu J. 2003. Carbon reservoir changes preceded major ice-sheet expansion at the mid-Brunhes event. *Geology*, 31: 239–242
- Zhou L P, Shackleton N J. 1999. Misleading positions of geomagnetic reversal boundaries in Eurasian loess and implications for correlation between continental and marine sedimentary sequences. *Earth Planet Sci Lett*, 168: 117–130