板块构造理论的先行者 ——William R. Dickinson教授成就解读

胡修棉*

南京大学地球科学与工程学院, 南京 210023

* E-mail: huxm@nju.edu.cn

收稿日期: 2018-04-23; 收修改稿日期: 2018-06-19; 接受日期: 2018-07-25; 网络版发表日期: 2018-08-10

国家自然科学基金项目(批准号: 41525007)资助

摘要 美国科学院院士William R. Dickinson教授是享誉世界的地质学家。他被誉为板块构造理论的先行者, 开创了沉积大地构造学科, 推动了板块构造理论的建立和发展。他架起了地质学与考古学的桥梁, 为恢复大洋洲岛屿人类的迁徙过程提供了关键证据。文章通过对Dickinson教授的生平介绍及其主要学术成就解读, 探讨其取得巨大成就的原因, 冀望为中国科学家(尤其是地质学家)的成长提供借鉴和启示。

关键词 William R. Dickinson教授, 地质学, 板块构造, 沉积盆地, 地质考古, 科学人物

1 生平和荣誉

William R. Dickinson教授(图1)是享誉世界的地质学家。他是沉积大地构造学科的奠基人, 被誉为板块构造的先行者。William Dickinson于1931年10月26日出生于美国田纳西州Nashville镇, 15岁时举家搬迁到加州Santa Barbara郊区Rancho Oso镇。William学习成绩优异, 于1948年考入斯坦福大学石油工程专业深造; 大学毕业后前往美国空军服役, 并于1954年返回母校继续攻读地质学专业研究生, 先后获得地质学硕士和博士学位; 博士毕业后, William留校任教, 37岁时(1968年)成为斯坦福大学终身教授; 1979年到亚利桑那大学工作, 1991年退休。退休后, 他依旧投身于地质研究事

业中, 2015年7月21日在汤加王国野外考察时不幸突然辞世, 享年84岁。

Dickinson教授1992年当选美国科学院院士。2000年荣获国际沉积地质学会(SEPM)颁发的最高奖Twenhofel奖。他是美国地质学会、美国科学促进会(AAAS)会士。Dickinson教授还先后获得美国地质学会颁发的3个重要奖项: 1991年荣获美国地质学会最高奖Penrose奖、1999年荣获沉积地质分会Sloss奖、2014年荣获考古地质分会颁发的Rip Rapp奖。

Dickinson教授最看重的荣誉是2015年斯坦福大学颁发的杰出校友奖, 他是该校地球、能源和环境领域的首位获奖者¹⁾。在授奖典礼上他兴奋而谦虚地说: “如果你看看斯坦福大学60多年以来培养的众多的杰

1) E. Oliveira. Bill Dickinson honored with distinguished alumni award. July 08, 2015. School of Earth, Energy & Environmental Sciences, Stanford University. <https://earth.stanford.edu/news/bill-dickinson-honored-distinguished-alumni-award>

中文引用格式: 胡修棉. 2018. 板块构造理论的先行者——William R. Dickinson教授成就解读. 中国科学: 地球科学, 48: 1267–1274, doi: [10.1360/N072018-00124](https://doi.org/10.1360/N072018-00124)

英文引用格式: Hu X M. 2018. The pioneer of the plate tectonic theory—Towards understanding the achievement of Prof. William R. Dickinson (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 48: 1267–1274, <https://doi.org/10.1360/N072018-00124>

图1 William R. Dickinson教授照片

摄于2011年亚利桑那野外考察，摄影Edward R. Dickinson. 引自Burley和Weisler(2016)

出地质学家名单，获得杰出校友奖对我而言简直就是莫大的荣誉，而成为第一个获奖者那就绝对超出想象了”(Burley和Weisler, 2016)。

2 学术贡献解读

Dickinson教授的学术贡献归纳起来有以下4个方面。

2.1 推动了板块构造理论的建立和发展

板块构造理论的形成是20世纪科学的重要成就。Dickinson教授因其在板块构造理论的建立和发展方面做出的杰出贡献，被誉为“板块构造理论的先行者”(Lawton, 2015a; 图2)。

板块构造理论的诞生，主要来自对现今大洋盆地的调查和对古地磁和地震学的成功运用。创立之初，地质界面临的一个重要科学问题是：板块构造理论虽合理地解释了现今大洋的基本格局，它是否具有普遍规律？这就迫切需要地质记录的验证和完善。Dickin-

图2 赠予William R. Dickinson教授的“板块构造理论的英雄”餐盘

引自Lawton(2015b)

son把板块构造基本概念运用到造山带研究中，为板块构造理论解释地质历史时期造山带的演化提供了可能(Dickinson, 1971)，这直接推动了板块构造理论的蓬勃发展，引起了地质学家更广泛的关注。

Dickinson教授早期主要在美国西部加利福尼亚州和俄勒冈州从事岩石学研究，硕士论文和博士论文均是基于野外地质填图基础而开展岩石学、沉积学和构造地质学研究。20世纪60年代，开展太平洋和美国西部弧火山岩研究。Dickinson教授通过对地震带、弧火山岩钾含量的测定，认识到安山岩形成于100km之下，是板块俯冲导致地幔-地壳的混合产物(Dickinson和Hatherton, 1967)，第一次合理阐述了安山岩与板块俯冲的关系，该研究成果对于认识俯冲带岩浆作用、识别古老俯冲带具有重要意义。20世纪70年代初，他撰写了一系列有关岩石与板块构造的论文，系统揭示了安山岩、花岗岩与板块俯冲之间的内在关系，为板块构造理论的创立做出了重要贡献(Dickinson, 1972)。

板块构造诞生于20世纪60年代后期至70年代初，正值Dickinson教授年富力强的时期。基于他多年野外工作的第一手资料，积极投身于板块构造与槽台学说的争论。在被认为板块构造理论创立的标志性事件之中——1969年美国地质学会在加州Asilomar举办的彭罗斯会议，Dickinson是会议第一召集人。会后，Dickinson系统总结了彭罗斯会议的学术成果，推动了板块构

造理论的进一步发展(Dickinson, 1970a, 1970b). 多年以后, 板块构造理论的重要贡献者Eldridge Moores教授(1999)专门评述了会议盛况: “在会议上, 板块构造革命产生的全面冲击倾泻到与会者身上, 就像溃坝突然爆发一样. 最后一天Dickinson教授对活动构造环境与沉积作用关系的总结, 像是压死骆驼的最后一根稻草, 给予地槽学说最后一击. 我清楚地记得, 那是我学术生涯中最激动人心的时刻”. 会议期间, 会议代表激动地在一个餐盘上写下“板块构造的英雄”, 会议闭幕时将之赠予Dickinson教授, 以感谢他为此次会议组织和为板块构造理论的建立所做的突出贡献(图2).

2.2 提出了沉积盆地划分方案, 开创了沉积大地构造学科

板块构造理论发展初期, Dickinson教授敏感地意识到, 沉积岩中的砂岩因其连续性、稳定性, 可以用来最大程度地反演大陆的大地构造演化. 由此, Dickinson教授推开了沉积作用与板块构造的大门, 创立了沉积大地构造学科, 这一创举直接推动了板块构造理论的完善和发展. 时至今日, 沉积大地构造仍然显示出强大的生命力, 是地质学中最富有生命力的学科之一.

Dickinson教授先后围绕沉积与大地构造组织了多次专题讨论会, 1974年组织出版了“大地构造与沉积作用”论文集, 开创了沉积大地构造的新时代. 论文集的第一篇论文是由他本人撰写的著名的“Tectonic and Sedimentation”文章(Dickinson, 1974). 该文系统阐述了板块构造体系中沉积盆地的不同沉降机制, 第一次从板块构造角度阐释了为什么会有沉积盆地, 并概念性地论述了不同类型的沉积盆地的演化模型, 包括被动边缘盆地、大洋俯冲相关盆地、大陆碰撞相关盆地等(图3). 此外, 他创造性地提出了沉积盆地分类划分的3个准则: 基底的类型(是大陆地壳、大洋地壳还是过渡陆壳)、盆地距离板块边缘的距离、板块边界的类型(汇聚板块、离散板块、走滑板块). 这3个准则一直沿用至今. 他提出的基于板块构造背景的盆地划分方案得到国际学术界和石油工业界的广泛认可和采用. Dickinson教授创造性地提出了砂岩碎屑组分的定量统计方法, 被称之为Gazzi-Dickinson法(Dickinson和Suczek, 1979). 他开创性地运用砂岩碎屑组分, 反演物源区的大地构造环境, 提出了一系列大地构造判别图

解, 被称为Dickinson图解(图4; Dickinson等, 1983). 他与G. Gehrels教授合作开展的基于碎屑锆石年龄的物源分析方法(Gehrels和Dickinson, 1995), 被认为开启了物源分析的新时代. 这些研究, 极大地推动了沉积学学科的发展, 开创了砂岩研究的新思路, 奠定了沉积大地构造学科的基础.

2.3 提出大洋俯冲“沟-弧-盆”体系, 成为北美大地构造研究的奠基人

Dickinson教授是最早系统地研究北美科迪勒拉造山带沟-弧-盆体系的学者(图5). 他先后研究过盆岭省内华达岩基的岩浆岩、加州大峡谷弧前盆地、加州Coast Range蛇绿岩、弗朗西斯科杂岩、落基山弧前陆盆地、拉拉米造山作用等(Dickinson, 2001a). 他创造性地把沟-弧-盆体系联系在一起, 运用大洋板块俯冲合理解释了晚中生代美国西部大地构造格架(Dickinson, 1971). 他是最早识别中生代加州弧前盆地并开展系统研究的学者, 同时也是最早从沉积角度研究圣安德鲁斯断裂并成功定量获得走滑位移量的学者. 他提出的北美科迪勒拉造山带地质演化模型得到了学术界的广泛认可(Dickinson, 2004). 这些研究极大地提高了对北美科迪勒拉造山带的认识, 为认识大洋俯冲造山与沉积盆地演化提供了经典实例. 也正是因为这些北美西部开创性的研究工作, 他被后人誉为北美大地构造研究的奠基人(Spencer, 2016).

2.4 架起一座地质学与考古学的桥梁, 为恢复大洋洲岛屿人类迁徙过程提供了关键证据

作为地质学家, Dickinson教授还架起了地质学与考古学的一座桥梁, 解决了考古学的重要疑难问题, 开创了利用沉积物源进行考古的先河.

1965年, 正在斐济岛考察火山岩的Dickinson遇到了考古学家Lawrence and Helen Birks夫妇. 当时, 考古学界的一个关键问题是: 大洋洲是人类最后涉足的地区, 这里最早的人类从哪里迁徙来的? 是从东南亚、澳大利亚还是从美洲大陆? 陶器碎片是大洋洲史前考古的重要文物, 但考古学家面临的难题是无法确定陶器碎片的来源. Dickinson教授注意到, 陶器制作过程中, 需要掺砂, 类似淬火材料, 以防止烧制过程中陶器开裂. Dickinson开启了对陶器中的砂子长达40多年的探索性研究, 成功地开辟了他学术生涯的第二事

图3 沉积盆地的大地构造背景及其演化模型

(a)~(c) 裂谷-大陆边缘盆地演化, 从(a)~(c)代表裂谷-大陆边缘盆地的演化过程, 纵坐标放大10倍; (d)~(e) 沟-弧-盆体系中弧后拉张(d)和弧后挤压(e)相关的沉积盆地; (f)~(h)与大陆碰撞相关的沉积盆地演化: (f) 显示碰撞前被动大陆边缘侧与活动大陆边缘侧发育的沉积盆地; (g) 显示初始碰撞时沉积盆地; (h) 显示碰撞后沉积盆地. (i) 主要沉积盆地类型与板块构造格架关系横剖面图. 引自Dickinson(1974)、Dickinson和Yarborough(1979)

业——大洋洲地质考古. 他研究了来自大洋洲的150多个岛屿的陶器砂薄片, 亲自考察了120多座(Burley和Weisler, 2016)的岛屿, 发表了120多篇有关这方面的论著, 占他所有论著的1/3多.

他通过研究发现, 陶砂可分为当地的陶砂和外地的陶砂. 在系统调查岛屿岩石组成的情况下, 外来陶砂的来源就可以成功确定. 这些不同岛屿陶砂的组成信息就可以用来恢复陶器的贸易路径, 为理解岛屿、岛屿群间的迁移、贸易或交换提供了最直接的物证(Dickinson和Shutler, 2000). 陶砂研究表明, 大洋洲史

前陶瓷贸易和迁徙是从塞班岛开始, 经关岛, 再到其他马里亚纳群岛; 从Yap岛, 经Belau, 向东迁徙到加罗林群环礁岛(Carolines). 所罗门群岛、Vanuatu群岛的陶器主要来自澳大利亚东北部的新加里东群岛. 斐济、汤加和萨摩亚岛的陶器多为本土生产. 这些研究结果, 为恢复1200BC~750BC年大洋洲岛屿人类迁徙过程、为深刻理解Lapita文化的形成和发展提供了重要证据.

Dickinson教授在考古学上的另一贡献在于太平洋岛屿地貌学(Dickinson等, 1999; Dickinson, 2001b). 基于他详细的沉积学调查, 他创新地提出: 大洋洲早期

图4 Dickinson图解(Qm-F-L图解和Qm-F-Lt图解)

Q, 石英颗粒数; Qm, 单晶石英数; F, 单晶长石数; L, 不稳定岩屑; Lt, 多晶质岩屑。三角形外侧数字代表相邻端元的相对百分比。引自Dickinson等(1983)

人类Lapita文化时期的海岸线并非是现今位置,原因在于海平面变化和岛屿区域隆升对其的影响。他识别出大洋洲岛屿古滨岸线位置,为考古学家成功挖掘Lapita文化遗址提供了科学依据。

为表彰他在大洋洲考古方面做出的杰出贡献,美国地质学会考古地质分会2014年授予他考古地质学最高奖——Rip Rapp奖。随后,美国考古学会于2015年4月在旧金山学术会议设置了专题讨论会,以示庆祝。

3 学术团体服务与人才培养

Dickinson教授积极为学术共同体服务,先后任美国地质学会主席、美国国家研究理事会地质科学委员会首任主席、美国地球动力委员会主席、美国科学院地质部主席、国际沉积地质学会(SEPM)副主席等。长期担任《美国地质学会通报》、《美国科学杂志》等期刊的编委、主编等。1986~1991年期间担任亚利桑那大学地质系主任。

他担任美国国家研究理事会地球动力学委员会主席期间,领导撰写并出版了“沉积盆地动力学”白皮书(National Research Council, 1997)。前瞻性地指出盆地构造、环境与流体是沉积盆地研究的3个重要研究方向;把盆地的形成与地幔对流联系起来。向科学界和工

业界提出研究沉积盆地的重要性,其影响一直持续至今。

Dickinson教授一直在大学工作,培养了一批杰出的地质学家。1991年退休时,先后指导了85名研究生,其中45名获得博士学位,40名获得硕士学位,如斯坦福大学Steve Graham教授、加州大学洛杉矶分校Ray Ingersoll教授、怀俄明大学Paul Heller教授、澳大利亚麦考瑞大学William Griffin教授等。他的学生以及学生的学生们担任了美国沉积地质和盆地研究相关学术机构的大多数教职¹⁾。

当问起他人才培养的秘籍时,他说²⁾：“每一个学生都是独特的。回想起亚里士多德,他辅导亚历山大大帝时,谁能想象到这个哑少年的未来?亚里士多德并没有先知先觉,我怀疑他只是做了老师应该做的全部努力而已。”

4 感悟与启示

当记者问起Dickinson教授取得如此巨大成就的秘诀时(<https://www.youtube.com/watch?v=XRwxwCp65OM>),他归结于以下几点:聪明(Intelligent)、激情(Passion)、专注(Focus)以及机遇(Opportunity)。

2) Mari N. Jensen. William R. Dickinson, Major Figure in Plate Tectonics and Pacific Archaeology, Dies. UA College of Science, July 27, 2015. <https://uanews.arizona.edu/story/william-r-dickinson-major-figure-in-plate-tectonics-and-pacific-archaeology-dies>

图 5 北美西部大地构造示意图

(a) 基于北美西部地质资料, 概括总结的大洋板块俯冲“沟-弧-盆”体系图; (b) 美国西海岸地质示意图, 显示大洋俯冲体系的平面分布; (c) 美国西海岸横剖面示意图, 显示大洋俯冲体系的垂向剖面分布。 (a)图引自Dickinson(1971); (b)和(c)图引自Dickinson(2001a)

Lawton(2015b)认为, Dickinson教授之所以成为地质巨人的原因有五点: 天分(Genius)、强推断(科学方法, Strong inference)、交流技巧(Communication skills)、和蔼可亲(Accessibility)、高产(Productivity)。

仅就“高产”而言, Dickinson教授一生笔耕不止, 著作等身。据不完全统计, 他一生出版论著300多篇(部)。图6是Web of Science检索收录的198篇论著, 这些文章中108篇(55%)是他退休后完成的。

图6 Dickinson教授发表的部分学术论文统计表

据Web of Science, 2018-04-18检索

是什么因素促使Dickinson教授取得如此大的科学成就? 除了以上提及的因素外, 笔者认为有以下4方面:

(1) 具有杰出科学家所拥有的品质: 天赋+勤奋+激情. Dickinson教授在斯坦福大学经过严格的科学训练, 具有敏锐的科学洞察力; 他具有忘我的工作热情; 热爱科学、热爱地质. 他说, 地质就是我的激情(“Geology is my passion”). 退休后全身心投入到科学研究中. 与世界上成功的科学家一样, 例如, 本刊曾经介绍的2010年Crafoord奖获得者Walter Munk教授(陈朝晖等, 2016), 拥有“执着持久的科研热情”是取得成功的关键. 只有热爱, 才能无畏, 才能勇攀高峰.

(2) 几十年如一日地专注于特定的研究领域. Dickinson教授在沉积大地构造研究、北美科迪勒拉造山带研究以及大洋洲考古地质研究等诸多方向都有超过40年的持续性研究, 具有很深的学术造诣. 地质研究不同于其他学科的一点在于, 它具有很强的专业性, 大多数地质学家通常都有自己的学术属地. 例如, 一些地质学家以“时代”为研究领域, 一些学者对某一“地区”地质尤为关注, 而更多的地质学家是以学科领域为专长, 如碳酸盐岩、物源分析、蛇绿岩、榴辉岩等. 个人认为, 时至今日, 由于科学体系不断细分, 文献浩如

烟海, 地质学家拥有自己擅长的领域仍然是有必要的. 因为, 熟悉一个地区、时代或学科领域, 是一个持久的更新发展的过程. 像Dickinson教授这样涉猎广泛并能在各个方向都有所发展和造诣的地质学家实属罕见.

(3) 极其重视野外和实验工作. 回顾Dickinson教授的学术生涯, 与许多杰出的地质学家一样, 他极其重视野外地质填图和调查, 是一个不折不扣的野外地质学家, 在对沉积学和考古地质的研究, 他对北美、大洋洲的很多地方进行了勘察, 在野外的第一手资料也促使他的学术结论坚实.

Dickinson教授曾经说²⁾: “我喜欢弄清楚石头想告诉我的故事. 我从古老的土地上认识了许多没有被理论覆盖的事实, 而现在人们先学板块构造理论, 然后再出野外, 因此他们总是要与一切正好的认识倾向做斗争.”

在Dickinson的时代, 缺乏现代的地球化学的高精尖设备. Dickinson以岩石薄片观察为主要手段, 被后人称为Gazzi-Dickinson的碎屑统计方法把砂岩研究带入了半定量-定量分析的新时代. Dickinson图解是基于持续多年、超过7500个砂岩样品定量统计基础上的总结(Dickinson等, 1983). 考古地质研究方面, 他先后系统鉴定的陶器砂薄片超过2850个(Burley和Weisler,

2016).

(4) 迷人的人格魅力. Dickinson教授具有极强的沟通能力, 真诚合作的精神, 待人真诚而友善. 这些人格魅力让人乐意跟他合作, 乐意与他分享. 他曾经说: 科学是所有人类共同努力的结晶, 我们彼此都不能孤立地存在(Dickinson, 2000).

Dickinson教授2015年7月21日晚在汤加王国Tongatapu岛野外考察时, 在睡眠中安然去世. 遵照其家属意愿, 遗体安葬于汤加王国著名的Nukuleka考古遗址附近的沙滩旁. 墓碑上写着: William R. Dickinson, 地质学家和学者(Geologist and scholar). 让我们一起记住这位为地质学做出巨大贡献的学者.

致谢 感谢郑永飞院士、吴福元院士的邀请和鼓励. 感谢王成善教授的鼓励和建议. 感谢第三届地球科学论坛(2016, 乌鲁木齐)与会者的有益讨论. 感谢文献和备注中参考资料的撰写者. 感谢傅烱埔同学重绘部分图件, 感谢祝上对文字润色. 仅以此文纪念Dickinson教授逝世三周年, 纪念板块构造理论诞生50周年.

参考文献

- 陈朝晖, 吴立新, 荆钊. 2016. 探知海洋七十载——2010年Crafoord奖获得者Walter H Munk教授成就解读. 中国科学: 地球科学, 46: 1555–1563
- Burley D V, Weisler M. 2016. William R Dickinson: Our appreciation of an archaeologist's geologist. *Archaeol Ocean*, 51: 81–83
- Dickinson W R. 1970a. Global tectonics. *Science*, 168: 1250–1259
- Dickinson W R. 1970b. The new global tectonics. *Geotimes*, 15: 18–20
- Dickinson W R. 1971. Plate tectonics in geologic history. *Science*, 174: 107–113
- Dickinson W R. 1972. Evidence for plate-tectonic regimes in the rock record. *Am J Sci*, 272: 551–576
- Dickinson W R. 1974. Plate Tectonics and Sedimentation. Special Publication of SPEM, 22: 1–27
- Dickinson W R. 2000. Twenhofel Medalist for excellence in

- Sedimentary Geology Response. *J Sediment Res*, 70: 1357
- Dickinson W R. 2001a. The coming of plate tectonics to the Pacific rim. In: Oreskes N, ed. *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, Chapter 16. Boulder: Westview Press. 264–287
- Dickinson W R. 2001b. Paleoshoreline record of relative Holocene sea levels on Pacific islands. *Earth-Sci Rev*, 55: 191–234
- Dickinson W R. 2004. Evolution of the North American cordillera. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 32: 13–45
- Dickinson W R, Hatherton T. 1967. Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific. *Science*, 157: 801–803
- Dickinson W R, Shutler R. 2000. Implications of petrographic temper analysis for Oceanian prehistory. *J World Prehistory*, 14: 203–266
- Dickinson WR, Suczek C A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bull*, 63: 2164–2182
- Dickinson W R, Yarborough H. 1979. Plate tectonics and hydrocarbon accumulation. An author-prepared publication distributed by the AAPG Department of Educational Activities. United States
- Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, Erjavec J L, Ferguson R C, Inman K F, Knepp R A, Lindberg F A, Ryberg P T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol Soc Am Bull*, 94: 222–235
- Dickinson W R, Burley D V, Shutler R. 1999. Holocene paleoshoreline record in Tonga: Geomorphic features and archaeological implications. *J Coast Res*, 15: 682–700
- Gehrels G E, Dickinson W R. 1995. Detrital zircon provenance of Cambrian to Triassic miogeoclinal and eugeoclinal strata in Nevada. *Am J Sci*, 295: 18–48
- Lawton T F. 2015a. Plate tectonic pioneer. *Nat Geosci*, 8: 750
- Lawton T F. 2015b. William Richard Dickinson (1931–2015) a personal farewell. *New Mexico Geology*, 37: 70–74
- Moores E M, Sloan D, Stout D L. 1999. Classic Cordilleran Concepts: A View From California. *Geol Soc Am Spec Pap*, 338: 6
- National Research Council. 1997. *The Dynamics of Sedimentary Basins*. Washington D C: National Academy Press. 43
- Spencer J E. 2016. William R. Dickinson. A Biographic Memoir for the National Academy of Sciences. 1–17

(责任编辑: 郑永飞)