

丹霞地貌的国内外研究对比

欧阳杰^{1 2} 朱 诚³ , 彭 华⁴

(1. 广东理工职业学院, 广东 广州 510091; 2. 广东广播电视大学, 广东 广州 510091; 3. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 4. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

摘要:丹霞地貌是中国地质学家命名的一种地貌类型,国内研究主要在丹霞地貌的理论方面、宏观的空间分布上、以及定性的分类描述上。此外,在丹霞地貌的定量研究、实验研究和可视化研究等方面也有所突破。目前,国外还没有统一使用丹霞地貌这个名词,但在砂岩、砾岩以及红层的微观、实验和定量等方面的研究成果丰富。通过国内外研究的对比,可以使丹霞地貌的研究朝着宏观与微观、定性定量、理论与实践相结合的方向发展,有利于“丹霞地貌”尽快成为国际认可并接受的地貌名词。

关 键 词:丹霞地貌;砂岩;砾岩;红层;可视化

中图分类号: P942.2(265)

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2011)08-0996-05

引 言

丹霞地貌是中国地质学家命名的一种地貌类型,至今已有80多年的研究历史。中国是世界上丹霞地貌分布最广、数量最多、研究最早、最深入的国家,丹霞地貌也成为中国开发、利用与保护最重要的景观之一。2010年8月2日在巴西首都巴西利亚召开的第34届世界遗产大会上,“中国丹霞”顺利地通过评审,被正式列入世界遗产名录,标志着中国丹霞地貌的研究已经得到世界的认可,因此,有必要对丹霞地貌的国内外研究动态进行对比分析。

彭华将国内丹霞地貌的研究分为3个阶段^[1]: 初创阶段(20世纪20年代至建国前)、成型阶段(建国后至20世纪80年代末)和发展阶段(90年代以来)。从1928年冯景兰、朱翔声命名“丹霞层”到1939年陈国达等正式使用丹霞地形这一地貌学学术名词,以及其他人的零星研究,可以看成丹霞地貌研究的初创阶段。解放以后直到1978年,曾昭璇、黄少敏在《中国东南部红层地貌》一文的后半部分,才开始使用丹霞地貌一词。1981年,黄进在山西大同召开的第一次构造地貌会议上宣读《丹霞地貌坡面发育的一种基本方式》,受到与会者的关注。至此,丹霞地貌这一学术名词开始在

全国范围内广泛流传和使用。80年代随着中国旅游发展对资源深层次开发的要求日益强烈,许多丹霞地貌风景区逐步开发,对丹霞地貌的基础研究和旅游开发研究产生有力推动。1991年在丹霞地貌的命名地广东丹霞山召开第一届全国丹霞地貌旅游开发学术讨论会并成立了研究会,丹霞地貌研究出现前所未有的发展局面。这个阶段,在陈传康、黄进、彭华的推动与组织下,丹霞地貌从基础研究迈向旅游开发研究。

1 国内研究

国内丹霞地貌的研究,注重宏观性、系统性,以及理论与实践的结合,在研究方法上,正在从传统的实地考察、定性描述向微观实验、定量解释以及国际对比等方面发展。在技术手段方面,利用计算机、遥感等技术处理数据,提取信息,发掘隐藏在现象背后的本质规律。

国内对丹霞地貌的认识首先来源于实践,研究过程中服务于社会,是目前国内理论研究与旅游开发结合得最好的地貌类型之一。例如,到2007年丹霞地貌旅游开发研究会已召开11届学术研讨会,出版10本论文集,在其它各类刊物上发表论文400多篇,出版3本丹霞地貌研究著作,研究内容涉及到基本理论、方法、开发利用和科普教育等多

收稿日期: 2010-10-11; 修订日期: 2010-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(基金号: 40871014, 40971115)资助。

作者简介: 欧阳杰(1969-),男,安徽省蚌埠市人,博士,讲师,主要研究丹霞地貌、景区旅游与管理等。E-mail: oyang692000@yahoo.

com.cn

个方面。

2006 年 1 月, 丹霞地貌作为一个独立类型第一次以专章的分量被写入“十五”规划教材《现代地貌学》, 丹霞地貌作为地貌学的一个分支, 成为当代地貌学的一个重要生长点, 作为一个独立学科的基本框架已经形成。目前, 国内丹霞地貌的研究, 主要体现在定性的地貌类型分类方面、地貌演化的定量测算方面、区域地貌类型的空间组合方面、岩性差异的实验研究方面^[2]、国际对比方面和丹霞地貌的可视化研究方面等。

1.1 国内定性与定量研究

对于研究对象进行科学分类是任何一个学科深入发展的基础, 在丹霞地貌名词提出之后的很长时间内, 虽然有很多学者对丹霞地貌类型进行初步分类, 但是系统性不强。彭华将丹霞地貌的分类依据概括为物质基础、地质构造、主导动力、地貌形态、发育阶段等 5 项^[3]。在此基础上, 某些因素可以再划分为次级依据, 例如, 从地貌形态的角度丹霞地貌可以分作单体和群体两大类, 其中单体形态又分为正地貌和负地貌两类, 这样的分类体系为目前国内大多数学者所采纳和使用。

中山大学的黄进教授先后对中国 23 个省区近 800 处丹霞地貌进行实地考察, 各地学者也把研究区域不断扩大, 研究逐步走向深入。从 1990 年以来, 他提出及逐步改进地壳上升速率、地貌年龄、崖壁后退速率及侵蚀速率等地貌发育的定量公式。根据实地采样、实验和计算得出, 丹霞山 180 km² 的丹霞地貌每年被蚀去的物质有 9 997.2 m³^[4]。

朱诚等于 2007 年 12 月在江郎山小弄峡具有垂直贯穿永康群岩体的辉绿岩脉处采集两块岩石标本, 对江郎山的辉绿岩脉进行了测年研究^[5], 此标本由国家地震局地质研究所 K-Ar 年龄国家重点实验室用 K-Ar 法测年, 经反复验证, 测出的年龄为 77.89 ± 2.6 Ma B. P. (应属于晚白垩世 K₂), 使人们对丹霞岩体形成年代的认识更加深入。

在岩性差异的实验研究方面, 朱诚等对广东丹霞山、湖南崀山、福建泰宁、江西龙虎山-龟峰世界自然遗产地进行实地考察、钻孔获取岩芯标本 131 块, 在实验室进行丹霞地貌岩体的抗压、抗酸和抗冻融实验, 并对实验现象进行了分析, 对实验数据进行挖掘。实验数据显示: 24 块岩芯的(包括砂岩和砾岩)干抗压时强度最大(一般大于 60 MPa), 最高为 140 MPa。24 块岩芯的湿抗压和 20 块岩芯冻

融后抗压强度大都在 15 ~ 60 MPa, 实验模拟的环境下, 温度的变化和干湿变化这两种状况对丹霞地貌岩体造成的影响不是很大。相比较而言, 酸侵蚀对丹霞地貌岩体破坏力最大。在 63 块抗酸侵蚀实验的岩芯中, 有 49 块岩芯被酸侵蚀破裂, 剩下 14 块岩芯中的 3 块砂岩抗压强度数值小于 10 MPa; 11 块砾岩岩芯的抗压强度数值在 15 ~ 45 MPa 之间, 丹霞地貌岩体抗酸侵蚀的高度脆弱性由此可见。

丹霞地貌的可视化研究主要是运用计算机技术进行数据处理、图像制作和空间分析, 探讨中国丹霞地貌的空间分布与地形、气候、红层等要素的关系。可视化(Visualization)概念最早出现于计算机科学领域, 运用到丹霞地貌研究领域思路的主要是: 首先利用 Google Earth 4 软件对中国 799 处丹霞地貌进行空间定位, 获得它们的经纬度; 再使用 Free Version of GPS Track Maker#13.6 软件提取空间数据; 然后在 Excel 中对数据处理、保存; 最后使用 Arcgis 9.2 编辑保存的数据, 进行空间数据叠加、制图和可视化分析。目前丹霞地貌的可视化研究仍在进行中, 笔者另有成果将进行专门的探讨。

1.2 发育机制及空间组合方面

在区域丹霞地貌发育机制研究方面, 朱诚等分别对福建冠豸山、安徽齐云山、浙江江郎山和方岩^[6]等地进行实地考察, 在此基础上, 概括这几处丹霞地貌发育的特征。在丹霞地貌类型和空间组合内在的有机联系方面, 欧阳杰等通过实地考察发现, 浙江方岩突出的丹霞地貌类型有凹槽和岩穴、新鲜崩积石、围谷和峰丛以及石鼓和石柱等, 它们的空间组合沿着北西-南东方向有规律的排列^[7]。这种丹霞地貌类型空间组合体现了随着构造隆升, 在以外力作用为主的不断“雕塑”下, 丹霞地貌的发育一般经历差异风化、重力崩塌、流水侵蚀搬运, 完成地貌循环侵蚀的过程, 并孕育了绚丽多姿的丹霞地貌。此外, 齐德利等对中国丹霞地貌的空间分布进行初步研究, 初步划分中国丹霞地貌的密集地带, 但对其中的发育机制问题没有进行更深入的探讨^[8]。

1.3 国际对比方面

在 20 世纪 90 年代, 国内学者开始把丹霞地貌研究投向世界。彭华等^[9]、尹德涛^[10]、张忍顺等^[11]对美国、澳大利亚、英国、印度、阿富汗等国家的丹霞地貌进行介绍。他们对这些国家丹霞地貌地理位置、地层与构造、丹霞地貌特征进行系统比较。其中, 张忍顺、齐德利研究英国位于波伊斯

(Powys) 郡南端,南威尔士布雷肯-毕肯山国家公园,这里有大量由泥盆系红层发育的丹霞地貌,是英国一处规模较大、形态独特、发育典型的丹霞地貌。

2009 年 5 月 26~28 日,在广东韶关召开了首届丹霞地貌国际研讨会,会上张珂从全球的视角下,讨论了红层及其发育的丹霞地貌,发现几乎在各个地质历史时期都有红层发育,但是主要集中在志留纪-泥盆纪、二叠纪-侏罗纪、白垩纪-第三纪,而元古代和寒武纪的红层很少。王颖研究了位于 Colorado 高原西南部位于 Flagstaff 及 Phoenix 之间的北美 Sedona 红层地貌。赵逊从地质学的角度,对全球丹霞地貌的发育进行总结,认为东亚的燕山运动、北美的内华达-拉拉米运动、南美的安第斯运动、欧洲的阿尔卑斯运动、非洲的阿特拉运动中形成的红色陆相碎屑岩建造,经阿尔卑斯后期或喜马拉雅运动成景,是分布相当普遍的一种特殊地貌类型。与国内的丹霞地貌发育基础相比,欧洲、非洲、澳洲、南美洲以及南亚是成陆时间较早的地区,大部分为老红层,局部或底部有不同程度变质,但均以块状构造为特征,发育的地貌与国内丹霞地貌差别不大。笔者受朱诚和彭华两位教授的委托,在大会上还做了“中国丹霞”申遗地丹霞岩体抗酸、抗压、抗冻融实验初步研究成果的汇报,可以看成国内丹霞地貌实验研究的新动向^①。

2 国外研究

由于国外还没有正式统一使用丹霞地貌这个专用名词,故缺少系统的专门论述,但关于红层(red bed)方面^[12~14]、砂岩(sandstone)^[15~17]和砾岩(conglomerate)^[18,19]等方面研究成果较多。

Penck 把蜂窝状凹槽命名为“alveoles”(直径<0.5 m),大于0.5 m的凹槽(或岩穴)称为“tafoni”;Wilhelmy 把凹槽(tafoni)的发育机制划分4种类型;M. Hajpal 等研究石英砂岩中矿物随温度升高变化的特点^[20],在扫描电镜下观察矿物受热后结构的变化精度可达0.001 mm;G. M. E. Kamh 利用扫描电镜和 X-ray 分析 Jedburgh Abbey 教堂 18 个砂岩样品的氧化物含量变化规律^[21,22]。

Allison 在实验室中定量研究温度升高对岩石风化的破坏作用^[23,24],S. McCabe 等不仅研究了砂岩的抗冻融能力,还在实验室中用 10% 的 NaCl 和

MgSO₄ 溶液对砂岩进行了侵蚀实验,结果发现在进行了 20 次盐溶液侵蚀之前,6 组样品的质量损耗不大,20 次以后 B-E 两组样品质量耗损开始加大,而 A 和 F 两组的样品的质量耗损仍然比较低,反应不同样品抗盐溶液侵蚀的复杂性^[25]。

Tony W. 等研究澳大利亚 Hunter 谷地砂岩的风化速率^[26];Sergei S. 等定量试验分析了砂岩的压缩带(compaction bands,即“CB”)和砂岩的干、湿单轴抗压强度(axial compression tests)^[27];Kinji Magar 利用计算机技术对砂岩进行了分类研究^[28];Robert S. 对比研究中欧盆地边缘南、北部红层成岩作用的差异^[29];Alexandre R. C. 等研究加拿大魁北克内陆红层 Cu-Pb-Zn-Ag 等金属迁移规律^[30]。

以上分析国外学者在红层、砂岩和砾岩方面的微观、试验、定量研究成果,总的来说国外研究还缺乏宏观系统的研究体系。虽然国际上还没有将丹霞地貌作为一个独立类型进行研究,但随着中国丹霞研究的影响不断扩大,很多国外学者开始了解中国丹霞地貌的研究成果。

2009 年 5 月底,在首届丹霞地貌国际论坛上,很多国外专家从他们的视角里,发表对丹霞地貌的理解。其中,吉尔吉斯斯坦地貌和地震考古专家 Andrey M. K. 介绍的在他们国家发现的一处丹霞地貌,可以看成是在温带大陆性气候条件下发育的丹霞地貌的代表,与中国东南部湿润地区丹霞地貌极具比较性。Andrey M. K. 介绍研究区的地理位置、区域构造运动、沉积特征、孢粉特征等,并提出在吉尔吉斯斯坦这种独特的地貌类型的开发与保护问题。虽然中亚地区丹霞地貌发育的地质基础和气候条件与中国西北地区接近,但与中国东南部季风环境下发育的丹霞地貌有着一定的差异,这方面可以做一些更深入细致的国际对比研究。Wolfgang E 和 Chris Wood 从全球视角阐述中国丹霞地貌的特点与科学地位,说明中国东南部丹霞景观的重要性,同时提出中国丹霞在具有全球意义的对比过程中存在的问题。Piotr Migon 研究中东和中欧的砂岩地貌,目的是推动和中国东南部丹霞地貌的全球化对比,通过对这些地区砂岩地貌的岩性和组成的分析,可以发现很多因素影响砂岩地貌的发育,例如,岩性和结构的差异、岩性的抗侵蚀差异、形成的年代、气候和环境的变化因素等等。砂岩地

① 第一届丹霞地貌国际学术讨论会,“世界的丹霞”第二卷会议论文集,2009:31~66。

貌往往和当地的文化遗产密切相关,有些甚至具有全球意义,并且为我们提供探索古人类活动与岩石、地貌等各种关系的机会。Robert Wray 通过澳大利亚的红层和砂岩地貌与中国丹霞地貌的比较认为,在澳大利亚发育的砂岩地貌,在视觉上与中国东南地区的丹霞地貌极为相似,但在岩石的年代、类型、板块运动、侵蚀过程、气候等因素方面,与中国发育的丹霞地貌不同。所以,他提出“类丹霞”(Danxia-like)地貌概念,由此也从一个侧面反映出中国丹霞地貌的研究已经在世界范围内造成一定的影响。此外,Lynn Highland 还评价了美国科罗拉多高原 3 个公园地质滑坡灾害情况。

3 总 结

综上所述,中国丹霞地貌在世界上研究最早,在基础研究方面(尤其在旅游规划方面)、定量测算方面、区域丹霞地貌空间组合方面,以及国际对比方面都取得一定进展。但目前中国丹霞地貌研究旅游开发研究的较多,理论方面研究的较少;宏观定性描述的较多,微观定量研究的较少;关于各类红层的岩性及抗风化、抗侵蚀能力研究比较薄弱,关于丹霞地貌研究的高水平论文还不是很多。

与国内丹霞地貌宏观、定性、系统的研究相比,国外学者在红层、砂岩、砾岩等方面微观、定量、实验的研究比较深入,但缺乏系统的研究思想体系,正好可以和中国丹霞地貌的研究互相补充,以促进丹霞地貌研究的国际化研究进程。

致谢:对评审专家提出详细的修改意见,表示衷心感谢!感谢美国地质局 Lynn Highland 女士帮助修改本文的英文摘要。

参考文献:

- [1] Peng H. Danxia Geomorphology of China: A review [J]. Chinese Science Bulletin 2001 **46** (Suppl): 38–44.
- [2] Cheng Zhu ,Hua Peng Jie Ouyang et al. Rock resistance and the development of horizontal grooves on Danxia slopes [J]. Geomorphology 2010 **123**(1–2): 84–96.
- [3] 彭 华. 丹霞地貌分类系统研究[J]. 经济地理 2002 **22**(增刊): 28–35.
- [4] 黄 进. 丹霞山地貌[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 227–235.
- [5] Zhu C ,Peng H ,Li Z X ,et al. Age and genesis of the Danxia landform on Jianglang Mountain ,Zhejiang Province [J]. Journal of Geographic Sciences 2009 **19**(5): 615–630.
- [6] 朱 诚 彭 华. 欧阳杰等. 浙江方岩丹霞地貌发育的年代、成因与特色研究[J]. 地理科学 2009 **29**(2): 229–237.
- [7] Ouyang J ,Zhu C ,Peng H ,et al. Types and spatial combinations of Danxia landform of Fangyan in Zhejiang Province [J]. Journal of Geographic Sciences ,2009 **64** (3): 631–640.
- [8] Qi D L ,Yu R ,Zhang R S ,et al. On the spatial pattern of Danxia landform in China [J]. Acta Geographica Sinica 2005 **60** (1): 41–52.
- [9] 彭 华 蔡 辉. 阿切斯—丹霞拱桥大观园[J]. 经济地理, 1998 **18**(增刊): 191–195.
- [10] 尹德涛. 澳大利亚 Uluru-Kata Tjuta 丹霞地貌[J]. 经济地理, 2002 **22**(增刊): 235–236.
- [11] 张忍顺 齐德利. 英国布雷肯毕斯国家公园丹霞景观及旅游开发[J]. 经济地理 2003 **23**(增刊): 194–199.
- [12] Koji U ,Kuniyuki F. Timing of remanent magnetization acquisition in red beds: A case study from a syn-folding sedimentary basin [J]. Tectonophysics 2005 **406**(1–2): 67–80.
- [13] Harald G D ,Obidjan K ,Yura T et al. Palaeogeography of Neogene red bed sequences along the Aksa-Ata River in the Parkent-Nurekta intermontane basin (Tien Shan Mountains ,Uzbekistan): With special reference to the magnetic susceptibility of siliciclastic rocks [J]. Journal of Asian Earth Sciences 2007 **29**(5–6): 960–977.
- [14] Kazuto K ,Tetsuichi T. Paleomagnetism of mid-Cretaceous red beds in west-central Kyushu Island ,southwest Japan: paleoposition of Cretaceous sedimentary basins along the eastern margin of Asia [J]. Earth and Planetary Science Letters 2002 **201**(1): 233–246.
- [15] Alice V T ,Thomas R P. Sandstone weathering: a century of research and innovation [J]. Geomorphology 2005 **67**(1–2): 229–253.
- [16] N C Davatzes ,A Aydin. Overprinting faulting mechanisms in high porosity sandstones of SE Utah [J]. Journal of Structural Geology 2003 **25**(11): 1795–1813.
- [17] A Wolela. Diagenetic evolution of the Ansian – Pliensbachian Adigrat Sandstone ,Blue Nile Basin [J]. Ethiopia ,Journal of African Earth Sciences 2010 **56** (1): 29–42.
- [18] Atsushi N ,Makoto T ,Mamoru A. Provenance of the Murihiku Terrane ,New Zealand: evidence from the Jurassic conglomerates and sandstones in Southland [J]. Sedimentary Geology 2004 **164** (3–4): 203–222.
- [19] Gérard B ,Jssa B ,Jean J P et al. Origin and age of Paleoproterozoic conglomerates and sandstones of the Tarkwaian Group in Burkina Faso ,West Africa [J]. Precambrian Research ,1996 **80** (3–4): 153–172.
- [20] M Hajpal ,A Torok. Mineralogical and colour changes of quartz sandstones by heat Environmental [J]. Geology 2004 **46**: 311–322.
- [21] G M E Kamh. (A) Weathering at high latitudes on the Carboniferous Old Red Sandstone ,petrographic and geotechnical investigations ,Jedburgh Abbey Church ,Scotland a case study [J]. Environ Geol 2005 **47**: 482–492.
- [22] G M E Kamh. (B) Mechanism of concave ‘tafoni’ and convex ‘domal shape’ formation on TRIASSIC red sandstone of

- some old buildings ,Chester City ,U K ,Case study [J]. Environ Geol 2005 **48**: 625 – 638.
- [23] Allison R J ,Bristow G E. The effects of fire on rock weathering: some further considerations of laboratory experimental simulation [J]. Earth Surf Processes Landforms ,1999 **24**: 707 – 713.
- [24] Allison R J ,Goudie A S. The effects of fire on rock weathering: an experimental study [M] // Robinson D A , Williams RBG (eds) . Rock weathering and landform evolution. Wiley: Chichester , 1994: 41 – 56.
- [25] S McCabe ,B J Smith ,P A Warke. Preliminary observations on the impact of complex stress Histories on sandstone response to salt weathering: Laboratory simulations of process combinations [J]. Environ Geol 2007 **52**: 251 – 258.
- [26] Tony W ,Greg H ,John F. Weathering rates of sandstone in a semi-arid environment (Hunter Valley ,Australia) [J]. Environ Geol 2008 **54**: 1047 – 1057.
- [27] Sergei S ,Jerom F ,Yves G ,et al. Initiation and Propagation of Compaction Bands in Dry and Wet Bentheim Sandstone [J]. Pure appl. Geophys 2009 **166**: 843 – 868.
- [28] Kinji M. Identification of Sandstone Body Types by Computer Method [J]. Mathematical Geology ,1979 **11**(3) : 269 – 283.
- [29] Robert Schoner ,Reinhard Gaupp. Contrasting red bed diagenesis: the southern and northern margin of the Central European Basin [J]. J Earth Sci (Geol Rundsch) 2005 **94**: 897 – 916.
- [30] Alexandre R C ,Georges B ,Bruce E T. The Transfiguration continental red-bed Cu – Pb – Zn – Ag deposit ,Quebec Appalachians [J]. Canada , Miner Deposit 2009 **44**: 285 – 301.

A Contrast Introduction to Danxia Landforms from a World-wide References for Similar Landforms

OUYANG Jie^{1 2} , ZHU Cheng³ , PENG Hua⁴

(1. Guangdong Polytechnic Institute ,Guangzhou ,Guangdong 510091 ,China; 2. Radio and TV University of Guangdong , Guangzhou ,Guangdong 510091 ,China; 3. School of Geographic and Oceanographic Sciences , Nanjing University ,Nanjing , Jiangsu 210093 ,China; 4. School of Geography and Planning of Sun Yat-sen(Zhongshan) University ,Guangzhou ,Guangdong 510275 ,China)

Abstract: The term “Daxia Landform” was first identified and coined in China. Daxia Landform research in China is focused on primary theoretical research ,scientific discussions of macro spatial distribution and qualitative description of the classification. New studies have recently been concerning quantitative ,visualization and experimental research for Daxia Landform. Other countries do not currently refer to Daxia Landform as a reference for this unique type of landform very frequently ,but foreign scholars have abundant research in sandstones , conglomerates , and red beds in micro , experiments , and quantitative areas. For comparisons with national and international research ,Daxia Landforms should be applied as a primary example of macro and micro , qualitative and quantitative , theoretical and practical descriptions and analysis. It is instructive to use the term “Daxia Landform” as an acceptable international term when comparing and contrasting with other like landforms around the world.

Key words: Daxia Landform; sandstone; conglomerate; red bed; visualization