

敦煌雅丹地貌

形成发育过程图谱

Ou Jianjun Niu Qinghe Gao Dexiang

屈建军 牛清河 高德祥 著

Formation and Development Processes Pattern
of Dunhuang Yardang Landforms

地质出版社
Geological Publishing House

科技部国家科技支撑计划课题项目 (2013BAC07B02) 资助

科技部科技基础性工作专项项目 (2012FY111700) 资助

国家自然科学基金项目 (41201003 和 40671021) 资助

敦煌雅丹地貌形成发育过程图谱

Formation and Development Processes Pattern of Dunhuang Yardang Landforms

屈建军 牛清河 高德祥 著

Qu Jianjun Niu Qinghe Gao Dexiang

地质出版社

Geological Publishing House

• 北京 •
• Beijing •

图书在版编目 (C I P) 数据

敦煌雅丹地貌形成发育过程图谱 / 屈建军等著 .

-- 北京 : 地质出版社 , 2014.4

ISBN 978-7-116-08872-6

I . ①敦… II . ①屈… III . ①风蚀地—敦煌市—图谱

IV . ① P942.424.73-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 147077 号

Dunhuang Yadan Dimao Xingcheng Fayu Guocheng Tupu

责任编辑: 李 颖 苗永胜

责任校对: 黄苏晔

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324502 (编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 82318790

印 刷: 郑州新海岸电脑彩色制印有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/12

印 张: 15

字 数: 150 千字

版 次: 2014 年 4 月北京第 1 版

印 次: 2014 年 4 月郑州第 1 次印刷

定 价: 158.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-08872-6

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)



屈建军 (Qu Jianjun)

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所敦煌戈壁荒漠研究站
中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室

Dunhuang Gobi Desert Research Station, Cold and Arid Regions
Environmental and Engineering Research Institute, Chinese
Academy of Sciences

Key Laboratory of Desert and Desertification, Chinese Academy
of Sciences

E-mail: qujianj@lzb.ac.cn



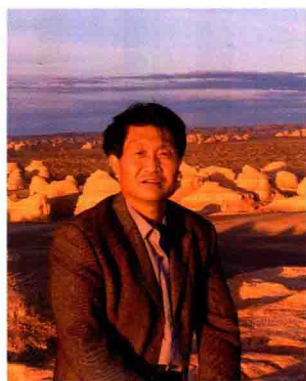
牛清河 (Niu Qinghe)

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所敦煌戈壁荒漠研究站
中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室

Dunhuang Gobi Desert Research Station, Cold and Arid Regions
Environmental and Engineering Research Institute, Chinese
Academy of Sciences

Key Laboratory of Desert and Desertification, Chinese Academy
of Sciences

E-mail: niuqh@lzb.ac.cn



高德祥 (Gao Dexiang)

敦煌文化学会

Dunhuang Cultural Society

E-mail: gdx2122@sina.cn

序

雅丹地貌具有奇特壮观的形态和神秘的成因，早在两千多年前的西汉时期，便为人类所知。然而，对雅丹地貌的科学研究则起步较晚。20 世纪初，瑞典探险家斯文·赫定在中国罗布泊地区正式命名了“雅丹”地貌，由此逐步展开了关于雅丹地貌的科学研究。近几十年来，随着高分辨率成像技术的发展和地外行星上相似地貌的发现，发表的相关研究论文数量也呈快速上升趋势，雅丹地貌成为行星地貌和风沙地貌学界研究的热点。

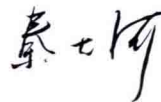
雅丹地貌形成发育过程不仅反映了地貌过程，而且反映了过去环境的变化过程。组成雅丹地貌的沉积地层也是环境变化的信息载体，是研究地质历史时期区域环境变化的天然剖面。敦煌地区位于青藏高原北缘和中国西北极端干旱区，研究该区域的雅丹地貌及其组成地层，对于揭示青藏高原北部隆升过程及其所产生的环境效应，分析中国西北气候干旱化过程，研究古罗布泊向西萎缩过程等都具有重要的意义。此外，雅丹地貌作为地质遗迹类自然资源，是大自然留给人类的宝贵遗产，也是干旱区重要的旅游资源，因此应受到有效保护和合理利用，雅丹地貌研究，对合理保护和开发雅丹地貌旅游资源具有重要意义。

屈建军研究员领导的课题组，长期致力于罗布泊周边及敦煌地区的雅丹地貌研究，取得了一些创新性研究成果。《敦煌雅丹地貌形成发育过程图谱》是一部科普著作，全书图文并茂，简要介绍了雅丹地貌的研究历史、研究进展、主要问题和研究意义，以及敦煌地区雅丹地貌的研究历史和研究进展，用精美的图片，形象、具体、直观地展示了敦煌地区雅丹地貌形成发育过程的幼年期、青年期、壮年期和老年期等四个阶段，给人以深刻的印象。该著作不仅对推动以雅丹地貌为载体的地貌学、第四纪地质学和全球变化科学等理论研究具有重要意义，同时对宣传敦煌旅游、提高公众环境保护意识、加强地质遗迹类自然资源的保育和合理开发等具有重要的实践意义。

中国科学院院士

中国科学院学术委员会主任

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所敦煌戈壁荒漠研究站学术委员会主任



2014 年 4 月 16 日

Preface

Yardang landforms have peculiar and magnificent shapes and mystery origin. As early as 2000 years ago in the Western Han Dynasty of China, people had known of this landforms. However, the scientific study on yardang landforms was initiated at a later date. In the early 20th century, Swedish explorer Sven Hedin explored the Lop Nur region in Xinjiang of China and officially named local landforms “yardang”. Since then the scientific studies on yardang landforms were gradually carried out in many countries of the world. With the development of high-resolution imaging techniques and the discovery of similar landforms on extraterrestrial planets in recent several tens of years, the published papers dealing with the researches of yardang landforms exhibited a rapid increase trend, and the yardang landforms become a research hot spot of the planet geomorphologic and aeolian sand geomorphologic academic circles.

The formation and developmental processes of yardang landforms not only reflect the geomorphologic processes but also reflect the environmental change processes in the past. The sedimentary strata formed yardang landforms are also the carriers of environmental change information and are the natural profiles of regional environment changes in geologic historical period. Dunhuang is located in the hyper-arid zone in northwestern China and at the northern edge of the Qinghai-Tibet Plateau, the studies on the yardang landforms and their formation strata in Dunhuang have an important significance to reveal the uplift processes of the northern part of the plateau and their environmental effects, to analyze the climatic aridification processes of northwestern China and to research the shrinking processes of the ancient Lop Nur. In addition, yardang landforms as a natural resource of geological remains are human valuable heritage left by the nature and also important tourism resources in arid regions. Therefore, they should be effectively protected and rationally developed and the study of yardang landforms also has an important practical significance to the rational protection and development of yardang landform resources.

The research panel led by the Prof. Qu Jianjun has been engaged in the studies of yardang landforms in Lop Nur region and Dunhuang area for a long time and achieved some innovated results. The “Formation and Development Processes Pattern of Dunhuang Yardang Landforms” written by Qu Jianjun et al. is a popular science reading. This book with excellent pictures and accompanying essay briefly introduced the research history, latest research progress, main problems and research significance of yardang landforms, as well as the research history of yardang landforms in Dunhuang. The exquisite pictures and images in the book concretely and straightforwardly display the four formation and developmental stages of yardang landforms, i.e. young stage, adolescent stage, mature stage and old stage in Dunhuang, which leave a deep impression on readers. This book not only has an important significance to promote the theoretical researches of the disciplines such as geomorphology, Quaternary Geology and global changes with yardang landforms as carrier, but also has a practical significance to propagate Dunhuang tourism, to enhance public awareness of environmental protection, to strengthen the conservation and rational development of natural resources of geological remains.

Academician of China Academy of Sciences(CAS)

Director of Academic Board of CAS

Director of Academic Board of Dunhuang Gobi Desert Res Sta, Cold & Arid Regions of Env & Eng Res Inst, CAS



April 16, 2014

目 录

第一章 雅丹地貌研究简史·····	1
第一节 20 世纪前的研究历史·····	1
第二节 20 世纪后的研究历史·····	3
第二章 雅丹地貌研究进展·····	6
第一节 雅丹定义研究·····	6
第二节 雅丹空间分布研究·····	7
第三节 雅丹形态特征研究·····	9
第四节 雅丹形成发育条件研究·····	11
第五节 雅丹形成发育过程研究·····	13
第六节 雅丹形成年代研究·····	14
第七节 雅丹与环境关系研究·····	15
第八节 雅丹分类研究·····	16
第三章 雅丹地貌研究中存在的主要问题·····	18
第四章 雅丹地貌研究意义·····	20
第一节 理论意义·····	20
第二节 实践意义·····	20
第五章 敦煌雅丹地貌研究·····	22
第一节 敦煌雅丹地貌研究简史·····	22
第二节 敦煌雅丹国家地质公园区雅丹地貌研究进展·····	24
主要参考文献·····	27
幼年期·····	72
青年期·····	82
壮年期·····	90
老年期·····	116
后记·····	167



Contents

Chapter 1 Brief study history of yardang landforms.....	33
1.1 Study history before the 20 th century.....	33
1.2 Study history after the 20 th century.....	36
Chapter 2 Advances in yardang landforms study.....	39
2.1 Yardang definition.....	39
2.2 Spatial distribution of yardangs.....	40
2.3 Morphological characteristics of yardangs.....	43
2.4 Formation and developmental conditions of yardangs.....	45
2.5 Formation and developmental processes of yardangs.....	48
2.6 Formation ages of yardangs.....	50
2.7 Relation between yardangs and environment.....	51
2.8 Yardang classifications.....	52
Chapter 3 Main problems of current research on yardang landforms.....	54
Chapter 4 Significance of yardang landforms study.....	56
4.1 Theoretical significance.....	56
4.2 Practical significance.....	56
Chapter 5 Study of Dunhuang yardang landforms.....	58
5.1 Brief study history of Dunhuang yardang landforms.....	58
5.2 Advances in the study of yardang landforms in the National Dunhuang Yardang Geo-park.....	60
References.....	64
Young stage.....	72
Adolescent stage.....	82
Mature stage.....	90
Old stage.....	116
Postscript.....	168



第一章 雅丹地貌研究简史

雅丹地貌通常被认为是风蚀地貌类型的典型代表，也有人认为是干旱区特有的风水复合侵蚀地貌类型。19 世纪末 20 世纪初，瑞典探险家斯文·赫定在中国罗布泊考察时，根据当地维吾尔族向导的说法，音译为“Yardang”，随其著作《中亚和西藏》在全球广泛流传，被广大地貌学者所接受，并成为地貌学的专业术语，又传入中国，又被音译为“雅尔丹”和“雅丹”，而“雅丹”一词被更多的人所广泛接受。但在斯文·赫定命名之前，已有诸多学者和探险家注意到这一形态独特、成因神秘的地貌，只是名称不完全相同。

第一节 20 世纪前的研究历史

西汉时期，张骞出使西域，开辟了闻名遐迩的陆上丝绸之路，但它真正发展的鼎盛时期是公元元年前后，并形成了多条道路（图 1），其中的中道和南道都途经罗布泊地区，而罗布泊及其周边地区是我国雅丹地貌的主要分布区之一。随着丝绸之路的繁荣，官商士旅往来不绝，在历史上对雅丹地貌多有记述。

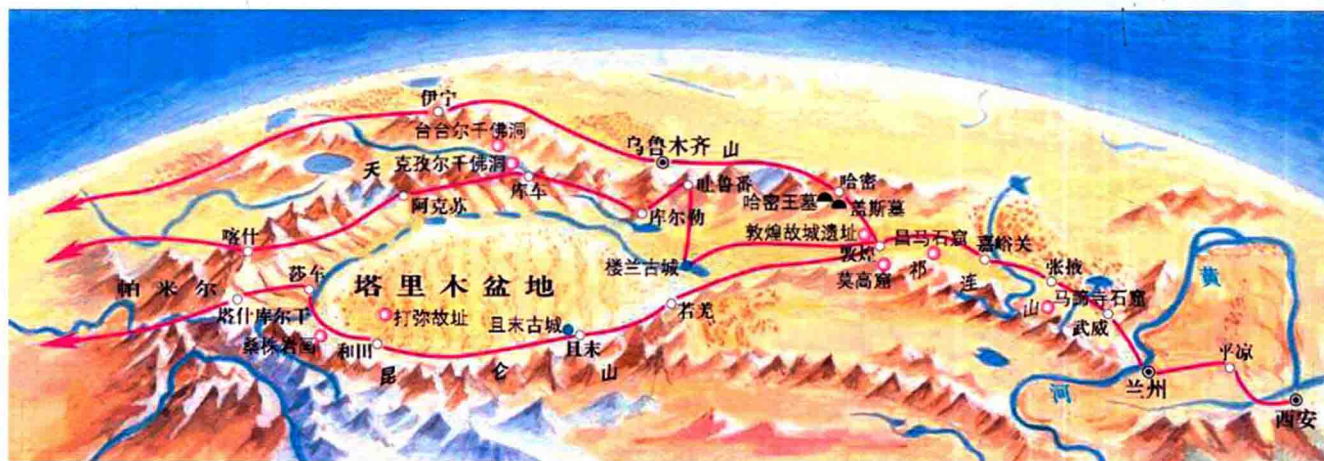


图 1 丝绸之路示意图

“（白）龙堆”一词可能是对雅丹地貌的最早命名。西汉著名学者扬雄（公元前 53—18），他在著作《法言·孝至》中写道：“龙堆以西，大漠以北，鸟夷兽夷，郡劳王师，汉家不为也。”东晋李轨注“龙堆”即指“白龙堆也”。东汉史学家班固（32—92），其著作《汉书·地理志（下）》（《汉书》卷二八下）中记载：“敦煌郡，武帝后元年分酒泉置。正西关外有白龙堆沙，有蒲昌海。”《汉书·西域传（上）》（《汉书》卷九六上）中记载“楼兰国最在东垂，近汉，当白龙堆，乏水草。常主发导，负水僦粮，送迎汉使，又数为吏卒所寇，惩艾不便与汉通。”（班固著，颜师古注，2000）。南北朝时期宋代史学家裴松之（372—451）注解的《三国志·魏书》（卷三十，《乌丸鲜卑东夷传》）中，引用了三国曹魏时期鱼豢所著《魏略·西戎传》中关于丝绸之路中段路线的记述：“从玉门关西出，发都护井，回三陇沙北头，经居卢仓，从沙西井转西北，过龙堆，到故楼兰，转西诣龟兹，至葱岭，为中道。从玉门关西北出，经横坑，辟三陇沙及龙堆，出五船北，到车师界戊己校尉所治高昌，转西与中道合龟兹，为新道。”（陈寿著，裴松之注，2006）夏训诚等（2007）考证认为，“五船”即指现今哈密五堡魔鬼城雅丹地貌。从上述可以明确地看出，白龙堆在今三垄沙以西，楼兰古城以东，且离楼兰古城较近，与现今所说的白龙堆雅丹区大体一致，同时也说明雅丹地貌区是丝绸之路上最为险恶的一段。对此也有不同的看法，有人认为白龙堆指现今的库姆塔格沙漠（史为乐，2005）^①。

北魏时期，杰出的地理学家酈道元（约 470—527）在所著的《水经注》（《水经注·河水二》，卷二）中就有这样的描述：“河水又东，注于渤海，即《经》所谓蒲昌海也。水积鄯善之东北，龙城之西南。龙城故姜赖之虚，胡之大国也。蒲昌海溢，烫覆其国，城基尚存而至大，晨发西门，暮达东门。浚其崖岸，余溜风吹，稍成龙形，西面向海，因名龙城。地广千里，皆为盐而刚坚也。”他虽然将罗布泊东北的雅丹地貌误认为是姜赖国的城郭废墟，因罗布泊湖水上涨泛滥而淹没城郭，只有断壁残垣尚在，但客观上对雅丹地貌进行了形象的命名，并说明了其规模宏大，推断其经历了先水蚀后风蚀的发育过程（吴正，2009）。而“龙城”一词也沿用至今，在罗布

① 《中国历史地名大辞典》对白龙堆的解释是指今库姆塔格沙漠。唐代历史学家颜师古（581—645）注解的《汉书》，其在《汉书·匈奴传（下）》中对“岂为康居、乌孙能踰白龙堆而寇西边哉，乃以制匈奴也”一句做注解时，引用了三国曹魏时期精通天文地理的著名学者孟康（生卒年不详）的解释：“龙堆形如土龙身，无头有尾，高大者二三丈，埤者丈余，皆东北向，相似也，在西域中。”也就是说龙堆形态如蚯蚓，只能看到尾部而看不到头部，高者达 5～7 米，低者也有 2.5 米左右，他们形态相似，且均为东北走向，分布在西域。这相当符合当前库姆塔格沙漠东北部羽毛状沙丘的沙垄形态特征。



泊西端孔雀河下游分布有大片雅丹地貌，其中北部被称为龙城雅丹地貌。

清代地理学家徐松（1781—1848）在其《西域水道记》的补注中记述道：“小南路有小山丘，长各半里许，顶上平，而首尾截立，或谓五船也。”徐松对哈密五堡魔鬼城的雅丹形态进行了详尽的描述，长两百多米，顶部平坦，为四周陡立的小山丘（史为乐，2005）。

除上述中国古代的记述外，在国外，也有许多这方面的记录，不过相比中国，他们相对较晚。

1887年，德国地质学家 Friclrich Stapff 在西南非洲纳米布沙漠的库塞布干谷考察时，在坚硬的基岩上发现了大风雕刻的“空气动力地形”。“风蚀使得一些低丘变成圆形丘脊，强风搬走了地表的风化物，使丘体变成拱圆型。”此外还有 Walther (1891) 将埃及的“塔状岩石体”称之为“狮身人面像”；俄国学者 P. K. 科兹洛夫对中国罗布泊东部的丘陵做过描述，并认为是风从通道吹蚀砂粒后，形成了相对增高的“台地”等 (Halimov et al., 1989)。

第二节 20 世纪后的研究历史

一、“雅丹”一词的由来

1899～1901年，瑞典探险家斯文·赫定在中国罗布泊进行了第二次探险考察。考察过程中，斯文·赫定在罗布泊附近的孔雀河两岸看见了一种特殊的“台地”，并向他的维吾尔族向导问起这种地貌类型的名字，斯文·赫定则根据其读音写为“yardang”，该词在维吾尔语中的原意是“具有陡壁的小丘”。1903年斯文·赫定在此次考察报告《中亚和西藏》中，提到了这种特殊地貌的命名过程 (Hedin, 1903)。在其此后的诸多著作中，都提到了“yardang”一词，其中在《游牧的湖》中对其形态进行了详细的描述：这些雅丹越来越高，形态也越来越精彩，如桌状、飞檐、雕塑、塔形、城墙状、古屋、壁垒、卧狮、伏龙、狮身人面像和睡犬等 (Hedin, 1940)。

随着该著作被译为多国语言，在全球广泛流传，很多地质地理学者也逐渐接受了“yardang”这一地貌名词，并将与此相似的地貌类型称为“yardang”。斯文·赫定的著作中最早被翻译成中文的是《我的探险生涯》，李述礼根据德译本做了翻译（斯文·赫定等，1934），孙仲宽则根据其英译本翻译了此书（斯文·赫定等，2010），在这两本书中，都提到了“雅尔丹”一词，这也许是该词最早出现于中文图书中。据目前所查到的文献资料来看，国内最早使用“雅丹”一词是在1936年陈宗器发表于《地理学报》的《罗布淖尔和罗布荒漠》一文。在该文中将现在所说的雅丹地貌分为迈赛、雅丹和白龙堆三种。此后“雅丹”一词也逐渐被国内学者所接受，



成为此类特定地貌的称谓。

与此同时,在“雅丹”一词还未广泛接受之前,还有如“剥蚀蚀丘”(Masibroda, 1952),“沙漠城”(Gabriel, 1938),“泥狮(mud lions)”(Bagnold, 1939),“土阜”(黄文弼, 1948),“魔鬼城”等不同命名。这些名称虽然形象,但其科学内涵和流传欠缺,并未受到国内外学者的认可。

二、20 世纪以来雅丹地貌研究历史

20 世纪以来,国内外地质地貌学家对雅丹地貌的分布、定义、形成年代、发育过程等方面进行了大量研究,并在国内外先后出现了具有不同阶段特征的发展阶段。

在国外可分为三个阶段:第一阶段是 20 世纪上半叶,是雅丹地貌研究的萌芽阶段,也是“Yardang”一词为大地学者所逐渐接受的阶段。随着斯文·赫定著作的传播,学者开始纷纷报道雅丹在世界各地的分布情况(Hedin, 1903; Hobbs, 1917; Bosworth, 1922; Krenkel, 1928; Blackwelder, 1930; Blackwelder, 1934; Gabriel, 1938; Bagnold, 1939; Bohlin, 1940; Baker, 1951; Masibroda, 1952)。第二阶段是 20 世纪 60 年代末至 90 年代初,随着航空航天影像技术的发展和广泛应用,在地球和其他类地行星上不断发现更多类似地貌形态,国际地貌学家争先恐后地开展研究,在国际上掀起了雅丹研究的热潮(Morrison et al., 1965; McCauley et al., 1977a; McCauley et al., 1977b; El-Baz et al., 1979; Ward, 1979; Grolier et al., 1980; Ward et al., 1984; Halimov et al., 1989; Trego, 1992; Greeley et al., 1995)。第三阶段是在 20 世纪 90 年代末至今,随着科学技术的进步,特别是高分辨率成像技术(HiRISE)的发展,激发了人类对地外行星雅丹地貌研究的更大兴趣,也带动了地球上雅丹地貌的研究,持续了自 20 世纪 60 年代出现的雅丹研究热潮(Goudie, 1999; Edgett et al., 2000; Howard, 2000; Brookes, 2001; Inbar et al., 2001; Gutiérrez-Elorza et al., 2002; Ritley et al., 2004; Vincent et al., 2006; Bailey et al., 2007; Bridges et al., 2007; Goudie, 2007; Watters et al., 2007; Ehsani et al., 2008; Laity, 2008; Mandt et al., 2008; Al-Dousari et al., 2009; Carter et al., 2009; Ekhtesasi et al., 2009; Mandt et al., 2009; Bridges et al., 2010; de Silva et al., 2010; Harrison et al., 2010; Zimbelman et al., 2010)。

在国内也可分为三个阶段:第一阶段是新中国成立以前,特别是 20 世纪 30 年代初,中国西北科学考察团在罗布泊等地进行考察时,对区域内雅丹地貌的形态特征进行描述和分类,并对古人将雅丹命名为龙城、白龙堆做出了合理而科学的解释(陈宗器, 1936; 黄文弼, 1948);第二阶段是 20 世纪 80 年代,中国科学院新疆分院罗布泊综合考察队进一步详细报道了罗布泊地区的雅丹分布状况和形态特征,并对其形成机理与过程等进行了推断性的和初步的研究(中



国科学院新疆分院罗布泊综合科学考察队, 1985, 1987); 第三阶段是 21 世纪以来, 随着国内干旱区旅游资源的开发及库姆塔格沙漠考察研究的深入, 又一次促发中国学者对雅丹地貌分布、形成发育过程及其旅游资源开发研究的热潮(李志忠等, 1999; 赵兴有等, 2002; 郑本兴等, 2002; 屈建军等, 2004; 姜红忠, 2004; 林鹰, 2005; 王帅等, 2009; 曹俊等, 2009; 董治宝等, 2009; 杨更, 2009)。



第二章 雅丹地貌研究进展

第一节 雅丹定义研究

如前所述,在“雅丹”一词未被地学界广泛应用前,拥有诸多称谓,但其科学内涵和流传欠缺,并未受到国内外学者的认可,而只有“雅丹”随斯文·赫定著作在全球广泛传播,并得到大家的认可。根据赫氏的描述和研究,“雅丹”概念具有以下限定:①形成于极端干旱区;②物质组成以第四纪河湖相沉积物为主,岩性松软—中等固结;③外营力以水蚀和风蚀为主;④分布范围较大,相对集中,且排列整齐;⑤高度和长度达到一定规模;⑥形态千姿百态。

但在国内外掀起的多次雅丹研究热中,随着研究范围的扩大,许多学者在应用雅丹定义研究时,其内涵与原创者并不完全一致,而是有不同程度的扩展。在国际上,大致有以下四种观点:一是 Blackwelder(1934)认为,雅丹是具有陡壁的垄岗与垄间槽地的组合,高数英寸(约几厘米)到 25 英尺(约 7.6 米)以上,不仅在松软物质上,而且在古近纪—新近纪湖相沉积和更新世沙丘等黏结沉积物上都有发育,强调了雅丹是垄岗和槽地组合形态,以及其组成物质的多样性。二是 Cooke 等(1993)、McCauley 等(1977a)和 Mainguet(1968)等认为,雅丹是发育在包括固结中等的第四纪湖相粉砂和粘土沉积物、硅藻土、白垩土和坚硬的砂岩、花岗岩及其他坚硬的岩石上的风蚀垄,其典型形态长宽比 4 : 1,有些大雅丹的长宽比率达 10 : 1,使雅丹发育的物质组成进一步扩展,同时强调了形态为长垄状。三是 Halimov 和 Fezer 等(1989),Goudie 等(1999),Brookes(2001)和 Laity(2008)泛指分布于世界绝大多数沙漠中,发育在软硬和时代不同岩性地层上的流线型丘陵,雅丹发育的物质基础不再受岩性限制,并强调了形态上的流线型。四是 Ward 和 Greeley(1984)、Breed 等(1997)则强调仅指发育在第四纪松软沉积物上的小型风蚀地貌形态。在国内也存在三种观点:夏训诚(1987)在研究罗布泊地区雅丹时,认为它发育在河湖相泥岩、粉砂岩和砂岩互层上,在指出有风力作用参与的同时,特别强调了流水在雅丹形成发育过程中的作用。吴正等(2001, 2003)则强调雅丹发育在包括河湖相沉积物等未固结的土状堆积物上,在强调主要分布于极端干旱区外,在湿润的近海岸地区也有分布。杨更(2009)则认为,雅丹经长期风力侵蚀,由一系列平行的

敦煌雅丹



垄脊和沟槽构成的景观，地层产状近水平，多为湖积相，但对地层软硬程度和年代未作限制。

第二节 雅丹空间分布研究

各学者的定义不同，加之技术手段的不断更新和研究的深入，雅丹地貌在各地陆续得到发现，分布地点也在不断增多。目前，除大洋洲和南极洲外，其他各大洲均有发现报道。主要分布于降雨稀少、植被稀疏、风蚀作用强烈的干旱区和极端干旱区沙漠边缘，如西亚（特别是阿拉伯半岛）和中亚，非洲撒哈拉沙漠和纳米布沙漠，北美西部荒漠地区，南美洲西部海岸荒漠区，欧洲西班牙的埃布罗低地。中国主要分布在罗布泊、哈密、疏勒河中下游地区、柴达木盆地和内蒙古乌盟等地。雅丹地貌发育的物质基础广泛，有河湖相沉积物，也有火成岩、变质岩等；组成物质地质年代跨度大，从全新世到元古代均有报道（表1）。

此外，在火星赤道附近 Amazonis Planitia 地区的梅杜莎槽沟层上也有大面积的分布。

表1 文献报道的雅丹地貌发现地点

分布区	岩性	报道来源
亚洲		
中国新疆罗布泊孔雀河下游 龙城雅丹地貌	中晚更新世河湖相泥岩、砂质泥岩、砂岩	夏训诚, 1987; 杨更, 2009
中国新疆罗布泊孔雀河下游 楼兰古城雅丹地貌	中晚更新世湖相富含石膏层的浅棕色泥岩	夏训诚, 1987; 杨更, 2009
中国新疆罗布泊白龙堆雅丹 地貌	中晚更新世湖相灰白色砂泥岩夹石膏层	夏训诚, 1987; 杨更, 2009
中国敦煌雅丹国家地质公园 (三垄沙雅丹地貌)	中晚更新世河湖相浅棕色泥岩和砂岩互层	夏训诚, 1987; 郑本兴等, 2002; 杨更, 2009
中国新疆阿奇克谷地雅丹	中晚更新世河湖相灰白色泥岩和砂岩互层	夏训诚, 1987; 屈建军等, 2004; 杨更, 2009
中国新疆乌尔禾魔鬼城	中生界白垩系吐谷鲁群的灰绿色、棕红色 泥岩、砂质泥岩、砂岩、砾岩	杨更, 2009
中国新疆奇台魔鬼城	侏罗纪、白垩纪的陆相地层	杨更, 2009
中国新疆五彩湾雅丹地貌	中-上侏罗统石树沟群泥岩夹砂岩、含砾 砂岩	杨更, 2009
中国新疆哈密五堡魔鬼城	古近系-新近系粉红色、灰白色砂岩、泥 岩和砂砾岩水平地层	杨更, 2009



续表

分布区	岩性	报道来源
中国新疆哈密十三间房	白垩系、侏罗系和古近系 - 新近系白色、红色砂岩、泥岩和砂砾岩层	杨更, 2009
中国甘肃瓜州布隆吉雅丹	晚更新世粘土和亚粘土组成的河流淤积层	黄可光和汤乐中, 1986
中国甘肃瓜州桥湾古城雅丹	晚更新世粘土和亚粘土组成的河流淤积层	黄可光和汤乐中, 1986
中国甘肃瓜州双塔水库西	晚更新世粘土和亚粘土组成的河流淤积层	黄可光和汤乐中, 1986
中国甘肃瓜州锁阳城南	晚更新世洪积层	黄可光和汤乐中, 1986
中国甘肃瓜州百齐堡	全新世冲积层	黄可光和汤乐中, 1986
中国柴达木盆地西北	古近纪 - 新近纪泥岩、粉砂岩和砂岩	范锡朋, 1987; Halimov and Fezer, 1989
中国内蒙古乌盟后山地区	第四纪冲积物和风积物	林儒耕, 1977; 董治宝和陈广庭, 1997
中国广东惠来靖海资深园	晚更新世中晚期的风沙沉积物 (老红砂)	吴正和王为, 2001
蒙古东戈壁省 Tavan Har	上白垩纪砂岩和泥岩	Ritley and Odontuya, 2004
塔吉克斯坦喀拉 - 布拉	第四纪冲积物	Goudie, 2007
印度杰伊瑟尔梅尔	始新世石灰岩	Goudie, 1979
阿富汗哈姆恩	第四纪沉积物与湖相沉积物	Goudie, 2007
伊朗卢特沙漠	更新世泥质粉砂岩和含石膏的砂岩	Gabriel, 1938
叙利亚 Trochengebiete 地区	固结沙丘	Rosner, 1998
巴林	风成沉积岩与始新世石灰岩	Doornkamp et al., 1980
阿曼沃希拜沙漠	风成沉积岩	Goudie, 1989
沙特阿拉伯北部	寒武纪 - 奥陶纪砂岩和其他基岩	Vincent and Kattan, 2006; Goudie, 2007
科威特北部 Um Al-Rimam 低地	中新世中期砂岩, 渐新世 - 中新世晚期钙质岩和第四纪沉积物	Al-Dousari et al., 2009
非洲		
马里	全新世湖相沉积物	Riser, 1985
埃及哈里杰	全新世湖泊与沼泽相沉积物	Goudie et al., 1999
埃及费拉菲拉	干湖盆沉积物; 全新世湖相沉积物	Hassan et al., 2001; Embabi, 2004
埃及达赫莱地区	古近纪石灰岩	Brookes, 2001
埃及西部沙漠	硅化石灰石, 湖相沉积岩和白垩石灰岩; 结晶石灰岩、砂岩、页岩和花岗岩	Grolier et al., 1980; Breed et al., 1989; Goudie, 2007
埃及西奈半岛	努比亚组砂岩	Goudie, 1989
纳米比亚南部	火山侵入岩、片岩、流纹岩、砂岩和白云岩等; 古老的复杂结晶变质岩	Krenkel, 1928; Corbett, 1993; Goudie, 2007

敦煌雅丹



续表

分布区	岩性	报道来源
纳米比亚北部库内纳尔格	元古宙 Swakop 组火成岩和变质岩（片岩、大理岩、千枚岩等）	Goudie, 2007
乍得博尔库	古生代和下中生代砂岩	Mainguet, 1972; Breed et al., 1989
北美洲		
美国罗格湖	中等固结的更新世近岸和湖岸线沉积物（砾、砂、粉砂和粘土沉积物）	Ward and Greeley, 1984
美国南达科他州	页岩	Baker, 1951
美国加利福尼亚州莫哈维	全新世干湖盆沙丘沉积	Blackwelder, 1934; Clarke et al., 1996
美国科罗拉多高原	纳瓦霍组砂岩和中生代泥岩和粉砂岩	Goudie, 1989
南美洲		
秘鲁北部塔拉拉	上始新世 - 古新世页岩和砂岩	McCauley et al., 1977b
秘鲁中部帕拉卡斯 - 伊卡谷地	古近纪 - 新近纪页岩、粉砂岩和砂岩	McCauley et al., 1977b
秘鲁皮斯科	海相沉积物	McCauley, 1973
阿根廷门多萨 Payun Matru 火山区	火山凝灰岩和火山熔岩	Inbar and Risso, 2001
智利、玻利维亚和阿根廷的安第斯山中段	不同硬度的火山凝灰岩	Goudie, 1989; Bailey et al., 2007; de Silva et al., 2010
欧洲		
西班牙埃布罗低地	中新世石灰岩和石膏，未固结的湖相沉积物	Gutiérrez-Elorza et al., 2002

随着科学技术的进步和人类活动范围的扩大，将来还会在地球和其他星球上有更多的雅丹地貌被发现。但由于定义不统一，各学者所说的雅丹地貌在形态、规模、形成条件、动力、年代和环境等方面存在明显的差异，将使进一步全面对比研究面临很大困难。

第三节 雅丹形态特征研究

雅丹地貌形态特征主要采用定性和定量描述两种方法研究。在雅丹研究史上，定性描述始终占有重要地位。早年斯文·赫定在描述罗布泊地区雅丹地貌时，曾形象地描述为桌状、飞檐、雕塑、塔形、城墙状、古屋、壁垒、卧狮、伏龙、狮身人面像和睡犬等 (Hedin, 1940)。此后在其他各地的研究中，有学者也描述了长垄状 (Mainguet, 1968; McCauley et al., 1977a; Goudie et al., 1999)、覆舟状 (Bosworth, 1922; Laity, 2008) 和流线型 (Laity, 1994; Breed et al., 1997; Laity,

