

古沙漠沉积及其层序单元

——以鄂尔多斯白垩纪内陆古沙漠盆地为例

程守田 刘 星 郭秀蓉 李志德

(中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

摘要: 古沙漠是以风成沉积为特征的一种特殊环境的充填, 由于风成沉积与水成沉积机制不同, 目前以湖泛面为依据所开展的陆相湖盆层序地层研究的原则不能完全适用于古沙漠地层. 分析讨论了基于地下潜水面为沉积基准面的古沙漠沉积作用过程及其控制因素, 探讨了古沙漠层序地层的构成及其单元的划分, 并提出了古沙漠成因地层及沉积学研究的有关概念和方法.

关键词: 古沙漠盆地; 古沙漠层序单元; 古沙漠沉积体系域; 风成沉积生长模式; 地下潜水面.

中图分类号: P53 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)06-0587-05

作者简介: 程守田, 男, 教授, 1945年生, 1969年毕业于北京地质学院勘探系, 主要从事盆地分析及沉积学方面的教学和研究工作.

0 引言

古沙漠是沉积学的薄弱研究领域, 尤其是在古沙漠成因地层分析方面还涉及甚少. 古沙漠沉积以风成沉积为标志, 形成于底床总体暴露背景下的风成作用. 风成沉积基准面决定于地下潜水面高低. 鉴于气候波动、沉降速率变化及风力强弱交替等引起潜水面的经常变动, 沙漠充填总是以风成和与其伴生的水成沉积相互组合为特征^[1]. 随着陆相层序地层学研究的不断深入, 诸如古沙漠等特殊环境陆相沉积地层的研究已开始引起关注^[2].

目前关于陆相湖盆成因地层已有大量探讨. 鉴于陆相盆地的充填主要受控于构造和气候因素^[3,4], 湖盆层序的形成及其沉积体系配置直接受控于湖水升降所引起的沉积基准面变化, 与海平面变化无直接关系^[5]. 因此, 陆相湖盆层序及体系域单元通常是在对 Vail 等人的层序地层学作适当修改基础上, 采用以湖泛面为沉积界面而进行单元划分(据文献^[6]). 由于古沙漠与湖盆的沉积充填机制不同, 湖盆成因地层划分的原则和依据不能完全适用于古沙漠地层记录的研究.

本文旨在以鄂尔多斯白垩纪典型内陆古沙漠盆地为例, 通过风成古沙漠沉积的作用过程、沉积方式及其控制因素分析, 探讨古沙漠地层构成及其单元划分等沉积学问题, 并试图提出相关的概念和方法.

1 古沙漠充填及其作用过程

1.1 风成沉积及作用过程

风成沉积是风积和风蚀两个矛盾相互作用的结果. 风积作用形成规模、形态各异的沙质底形, 如风成沙丘; 风蚀作用是一种吹蚀改造作用, 它使原风积物被重新搬运并造成沙丘流动. 风成沉积与水成的背景条件和作用机制不同, 风成沉积是在底床暴露条件下的作用, 它发生于潜水面之上湿润的底床表面^[7], 其作用过程直接受地下潜水面变化的控制.

由于饱水砂具有粘着性, 不易受到侵蚀^[8], 当地下潜水面近地表、风成底床附近处于潮湿状态下, 沙丘才得以固着并增长, 风积作用强于风蚀作用; 当潜水面水位下降, 使底床变得干燥时, 强烈的风蚀作用可达至潜水面^[7], 沙丘被削蚀迁移, 风积物原地不易保留, 形成的风蚀面相当于一个潮湿面^[8]. 若潜水面持续升高并出现明水湖泊, 风成则被水成局部或全部暂时取代, 风成沉积减弱、终止或相变为水成沉

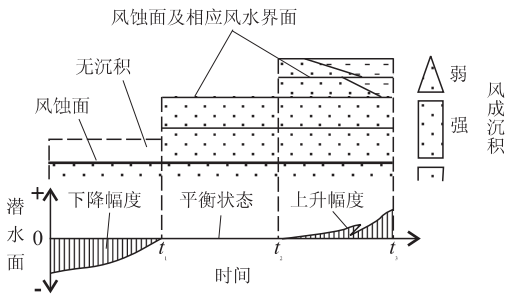


图 1 风成作用过程及沉积生成模式

Fig. 1 Aeolian depositional process and sedimentary growing model

积,二者之间形成风水界面.由此可以看出,只有潜水面水位与风积作用达到平衡状态,风成沉积才能持续发育;也只有被明水淹覆,原风积物才能保存下来.因此,盆地潜水面水位高低适度及其稳定性成为风成沉积物持续发育的决定条件,这一过程与沼泽水位变化控制泥炭层形成的过程十分类似.图 1 为风成沉积过程及其动态生长模式,反映了潜水面高低对风成沉积形成及保存的控制关系.这种特殊的沉积过程和沉积物保存的苛刻条件,正是地史中风积记录远少于水成记录、古沙漠风成与水成沉积总是相互伴生的重要原因.

1.2 沙漠沉积与沙漠环境

内陆沙漠是干旱缺水、植被稀少、风成作用强烈的一种区域性风成地理景观,由于降水量与蒸发量关系和沉降速率的变化,沙漠环境为一个具成因联系的多种沙漠亚环境构成的复杂的地理系统,既包含风成环境,又包含水成环境.因而,沙漠沉积是以风成沉积和与其相伴生的水成沉积所共同构成的一套多种成因类型的沉积组合^[1],为风成事件反复作用的记录和结果.

盆地潜水面控制着沙漠地理系统的环境格局,决定了沙漠风成沉积发育的沉积基准面,是沙漠进退及其风成沉积与水成沉积交替关系和不同沉积成因类型发育、分布及演化的直接因素.盆地潜水面高低适度,风成沉积发育,沙漠不断扩展;潜水面持续升高,沙漠湖泊出现并扩展,风成沉积演化为水成沉积,沙漠发生退缩.由于控制潜水面变化的构造沉降、气候波动等因素具一定的阶段性和周期性,因而沙漠发育及其风成事件沉积均具有分期性,沙漠风成沉积演变和与水成沉积伴生的交替组合关系有规律可循,这为古沙漠建造成因地层划分提供了可能性及其依据.

须要指出的是,尽管风成沉积是沙漠沉积体系中具象征性的组成部分和其环境判识的独特标志,但从严格定义上讲,风成沉积不完全等同于沙漠沉积,其存在不一定代表沙漠环境.显而易见,风成沉积可以作为伴生沉积物局部出现于诸如滨岸(海或湖)、冰川及泛滥平原等其他任何环境中.因此,从沉积学角度需将二者的含义加以界定和区别.

1.3 沙漠盆地及其沉积充填

沙漠盆地是风成沉积物堆积的场所.就全球而言,沙漠发育受气候带控制,按照地理分布有内陆、海岸和极地等类型沙漠^[7].最为典型的沙漠是发育于内陆克拉通地区干旱气候背景下的巨大“沙海”(Ergs)^[8],或称之为沙质沙漠.古沙漠盆地是地史时期形成的古代沉积盆地,鉴于其属于特殊气候成因,亦可称之为气候盆地.

鄂尔多斯白垩纪大型内陆古沙漠盆地^[9],其充填厚度、风成规模、沉积类型和保存的完整性等方面均十分典型.沉积学研究表明,白垩纪志丹群为一套红色风成沉积建造,厚度超过 1 km.由于西缘有同沉积断裂活动,西部基底沉降幅度相对较大,地层厚度总体由东向西变厚.宜君组—洛河组古沙漠沉积最为发育,风成沉积厚度达 300 余 m;向上环河组在盆地西南部以干旱湖相泥岩沉积为主,夹有风成沉积,东部风成沉积比例增大,古沙漠明显向东退缩;罗汉洞组风成沉积夹有湖相泥岩,显示古沙漠再次向西扩展;顶部泾川组泥岩最为发育,古沙漠出现大规模退缩,并过渡为湖泊沉积.志丹群沉积序列(图 2)所显示的古沙漠两次由强到弱的交替发育,反映了古沙漠充填的阶段性及其古沙漠进退的周期性,每期沙漠沉积又由低级的风成事件沉积旋回所组成.

2 古沙漠层序地层单元

2.1 古沙漠沉积序列(构造—气候层序)

古沙漠沉积序列为古沙漠盆地的充填记录,是由古沙漠多阶段发育所构成的一套沉积地层序列,它以古沙漠沉积及其反复发育为特征.由于古沙漠盆地出现于叠合盆地特定的构造、气候阶段,其顶底以区域不整合面为边界.因此,古沙漠沉积序列属于一个构造—气候层序.如鄂尔多斯志丹群古沙漠沉积序列与下伏中侏罗统直罗—安定组和上覆第三系之间均呈不整合接触关系,其顶底被两期燕山古构造运动面所限定,构成鄂尔多斯叠合盆地发育史

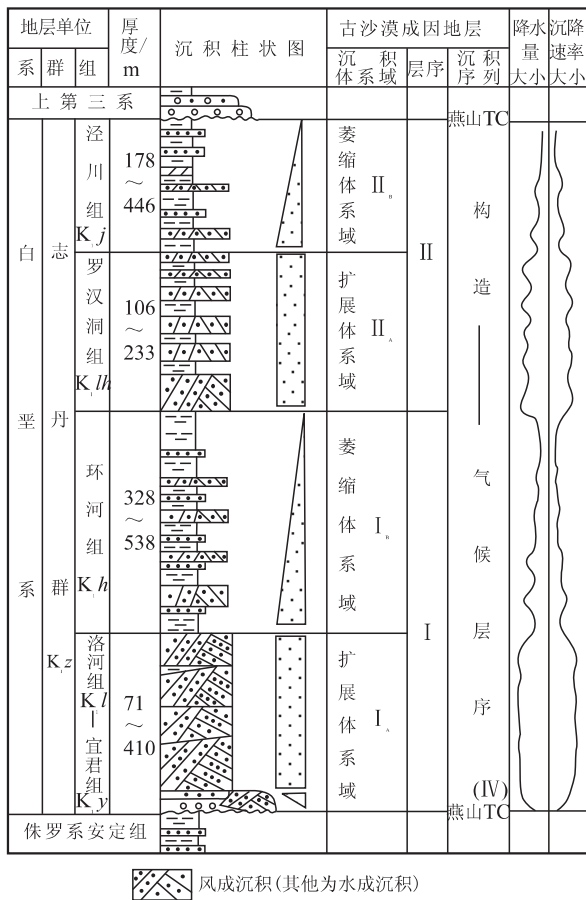


图 2 鄂尔多斯白垩纪古沙漠层序地层单元及幕式沉积旋回

Fig. 2 Desert sequence units and episodic depositional cycles of Cretaceous Ordos basin

中的一个盆地原型^[6],反映了该构造阶段古气候出现了重大变化,其发生受区域气候带变迁和区域构造演化阶段等因素控制。

2.2 古沙漠层序(气候层序)

古沙漠层序是古沙漠盆地某一阶段性充填的岩石记录,为古沙漠沉积由进到退构成的高级别沉积旋回。一个古沙漠沉积序列内部可以进一步划分为数个这样的沉积旋回,每个沉积旋回为一个古沙漠层序单元,亦可称为气候层序。古沙漠层序的构成总是由沙漠扩展开始,到沙漠萎缩结束,在垂向上沙漠由强到弱显示为风成沉积向上规模变小,甚至出现湖泊沉积,反映古沙漠发育由风成沉积强烈期到衰退期的演化。如鄂尔多斯志丹群古沙漠充填就是由两个阶段性出现的沉积旋回组成,因而可划分为上下两个古沙漠层序单元(图 2)。

古沙漠层序单元的边界可以是不整合面,如志丹群古沙漠下部层序的底界面和上部层序的顶界

面,亦可以是盆地内的一级风蚀面及相应的风水沉积界面,如两个古沙漠层序单元之间的界面。层序界面可通过上下层序单元沉积物的差别及其相互关系加以识别,如上部单元风积强烈发育并对下部单元风成或水成沉积超覆;风蚀界面平直削切下伏沙丘,其上下沙丘交错层理指示的古风向不同等。古沙漠层序的形成可能主要受盆地气候波动的周期性和基底沉降的阶段控制。

2.3 古沙漠沉积体系域(古沙漠小层序组)

一个古沙漠层序充填演化阶段,可以出现几个强弱不等的古沙漠期,每个沙漠期沉积构成一个中等级别的古沙漠沉积旋回,相当于一个小层序组。一个古沙漠层序单元可划分为几个沙漠进退不同的小层序组。由于不同类型小层序组的沙漠沉积面貌不同,故小层序组可用沉积体系域概念表示。

按照古沙漠期风成沉积总体的相对发育强度,可分为古沙漠扩展和萎缩两种相互耦合出现的沉积体系域单元,反映了不同期古沙漠发育的进退性质及特征。古沙漠体系域单元的边界为较高级别的风蚀面及相应的风水沉积分界面。如志丹群下部层序宜君组—洛河组至环河组和上部层序罗汉洞组至泾川组,每个层序单元内部均由古沙漠扩展体系域到古沙漠萎缩体系域单元组成。体系域单元类型可能主要受控于降水量变化和沉降速率波动二者的配置关系(图 2)。

古沙漠体系域是古沙漠沉积学的一个重要概念^[1],它提供了古沙漠成因地层的基本构成单元,据此可以建立古沙漠盆地等时地层格架。另外,它可以用来表征古沙漠分期及其发育程度。以体系域单元为单位所编制的古地理图,能反映出风成与水成等亚环境相带空间分布及其组合等环境特征,从而可揭示古沙漠进退的正、逆过程及其演化的周期性。

2.4 古沙漠沉积体系单元(古沙漠小层序)

一个古沙漠期由多个风成事件组成。在一个古沙漠体系域发育期间,由于潜水面高度及积水程度处于变化状态,每个风成事件沉积发育程度不同,风成沉积有可能被水成沉积暂时取代;因此,一个古沙漠体系域单元除风成沉积体系发育之外,还有诸如干旱湖泊体系和冲积体系等水成沉积体系伴生^[9],由风成及其伴生的水成等具成因联系的多种类型沉积的三维组合构成古沙漠沉积体系。每种成因类型的沉积体系,构成一个古沙漠沉积体系单元,相当于一个古沙漠小层序。各种沉积体系单元在垂向上可

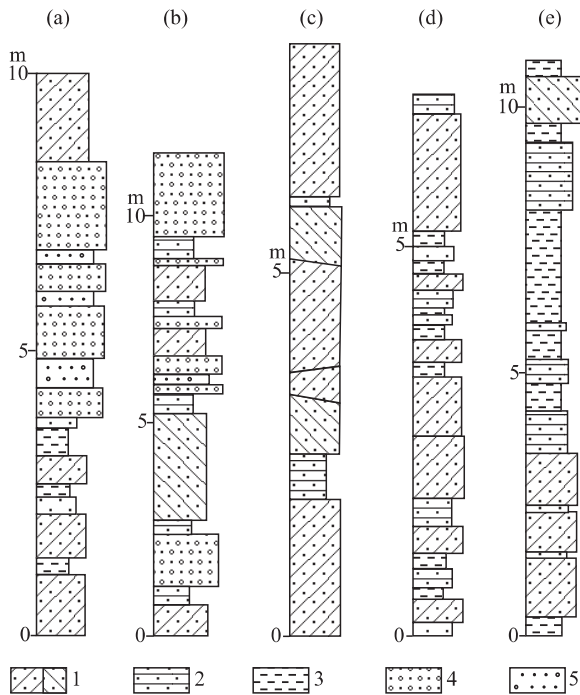


图 3 古沙漠风成与水成沉积体系的几种垂向组合形式
Fig. 3 Some vertical stacking patterns of aeolian and aqueous depositional system in paleodesert

a, b. 风成与冲积扇体系沉积组合关系(东胜 K_1L); c, d. 风成沉积体系砂丘与砂丘间相的沉积组合关系(c. 彬县, K_1L ; d. K_1lh); e. 风成沉积与干旱湖泊沉积组合关系(草碧沟, K_1lh). 1. 风成砂丘; 2. 砂丘间风成席状砂; 3. 砂丘间明水(湖)沉积; 4. 泥石流沉积; 5. 漫流沉积

出现多种型式的交互和过渡(图 3), 在空间上可互为消长. 风成与水成沉积的边界为风水界面, 依据沉积物构成、沉积构造及其二者之间冲刷或风蚀关系, 二者通常容易区分.

沙漠沉积体系类型的发育情况与风成事件沉积期沙漠地势有关^[10], 风成体系主要发育于较平坦的区域, 沙漠湖泊体系出现于相对低洼地带, 在盆地边缘一般有冲积体系形成. 风成期潜水面、风力及物源等因素配置关系的小幅变化均可使沉积类型之间发生转变.

2.5 古沙漠沉积相

沉积相是构成古沙漠沉积体系基本的相单元, 包括风成相和与其相关的水成相. 如鄂尔多斯古沙漠风成沉积体系由沙丘、沙丘间、沙席等风成相沉积组成; 古沙漠边缘的冲积体系为季节性砾质辫状河和泥石流等沉积构成的冲积扇, 其中旱谷、砾漠等属于冲积物的再风蚀相, 沙漠湖泊相为杂色泥岩、泥灰岩、灰岩沉积及蒸发相膏盐沉积等, 并伴有泥裂及其

砂脉充填. 沉积相是古沙漠成因地层及沉积体系研究的基础, 其中风成相的识别及其与水成相关系的研究至关重要.

3 结论及讨论

(1) 古沙漠充填是地史上特殊的气候、水文及构造等地质条件下形成的一种独特的岩石地层记录, 这种极干旱气候环境类型的沉积由风成和与其伴生的水成沉积组合构成. 它的发育受气候与构造双重因素及其配置关系的控制. 一般陆相湖盆成因地层分析的原则和方法不适用于古沙漠地层.

(2) 风成沉积和沙漠沉积、风成沉积体系和沙漠沉积体系等是含义不同的沉积学术语. 风成沉积是沙漠沉积的标志沉积物, 但不一定代表沙漠环境. 沙漠沉积体系包含风成沉积体系, 亦包含所伴生的水成沉积体系. 在古沙漠沉积学理论上需要建立和明确区别这些术语的概念及含义.

(3) 风成沉积是底床暴露背景下风积与风蚀相互矛盾作用的结果, 风成沉积发育及作用过程决定于地下潜水面水位, 潜水面近地表是保持风积物持续增长的最佳平衡状态. 区域潜水面变化决定着沙漠沉积的基准面, 是控制古沙漠周期性进退及其风成沉积发育强弱交替的直接因素, 潜水面变化又受控于构造沉降速率、降水量与蒸发量关系等多种背景条件.

(4) 内陆古沙漠盆地充填是由古沙漠沉积构成的一套岩石地层记录, 形成于特定的气候、构造演化阶段. 如果以叠合盆地充填序列为 I 单元, 依据构造不整合面、不同级别的风蚀面和风水沉积界面等为边界面, 古沙漠成因地层可划分为古沙漠沉积序列(构造—气候层序)(II)、古沙漠层序(气候层序)(III)、古沙漠沉积体系域单元(古沙漠小层序组)(IV)、古沙漠沉积体系单元(古沙漠小层序)(V)、古沙漠沉积相(VI)等不同级别的层序地层单元. 地层构成中第 III, IV, V 级单元分别反映了盆地古沙漠充填阶段、古沙漠期及其风成事件等不同级别的古沙漠幕式沉积旋回.

(5) 沉积相、沉积体系等低级别单元是古沙漠沉积学研究的基本内容, 风成沉积相、风成沉积体系及其风蚀面、风水沉积界面的识别是地层合理划分的关键. 必须以露头 and 钻井岩心观察为基础, 依据风成交错层理及风成砂形貌特征等宏观与微观特殊标

志,并结合测井资料分析才能正确识别风成沉积相和确定风成沉积体系。

(6)沙漠扩展与萎缩体系域是反映古沙漠进退及其沉积演化和沙漠古地理特征的一个重要概念,它是对各期古沙漠发育的相对强弱而言。体系域单元提供了古沙漠分期、地层格架建立及其沉积体系分析的基本地层单位。可依据风成体系规模及其与水成体系发育的相互关系等特征对古沙漠沉积体系域加以划分和确定。

参考文献:

- [1] 程守田,刘星. 风成古沙漠沉积体系[J]. 地学前缘, 1999, (增刊): 80.
- [2] 程日辉,刘招君,王东波. 陆相盆地充填层序的类型——以辽西地区中生代盆地为例[J]. 沉积学报, 1997, 15 (3): 166~170.
- [3] Shanley K W, McCabe P J. Prospectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG

Bulletin, 1994, 78(4): 544~568.

- [4] 解习农,程守田,陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21 (1): 27~33.
- [5] 王龙樟,刘海兴. 基准面变化与层序地层——以塔里木盆地陆相地层为例[J]. 岩相古地理, 1998, 18(3): 1~7.
- [6] 李思田,杨士恭,林畅松. 论沉积盆地的等时地层格架和基本建造单元[J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 12~22.
- [7] Galloway W E, Hobday D K. Terrigenous clastic depositional systems [M]. New York: Springer-Verlag, 1983. 204~221.
- [8] Reading H G. 沉积环境和相[M]. 周明鉴,译. 北京: 科学出版社, 1985. 105~126.
- [9] 程守田,李思田,黄焱球,等. 鄂尔多斯盆地白垩统风成沉积与内陆古沙漠环境[A]. 见: 李思田,编. 含能源盆地沉积体系[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 138~147.
- [10] 董光荣,高尚玉,金炯,等. 毛乌素沙漠的形成、演变和成因问题[J]. 中国科学(B辑), 1988, (6): 634~642.

PALAEO-DESERT DEPOSITION AND SEQUENCE STRATIGRAPHIC UNITS: AN EXAMPLE FROM CRETACEOUS CONTINENTAL PALAEO-DESERT BASIN IN ORDOS

Cheng Shoutian Liu Xing Guo Xiurong Li Zhide

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The palaeo-desert is a special aeolian depositional system. Because of the difference in mechanism between the aeolian and the hydrotogenic depositions, the principle presently applied to the sequence stratigraphic research into the continental lacustrine basins in line with the lake flooding surface, is not perfectly appropriate for the research into the palaeo-desert strata. This paper is focused on the palaeo-desert depositional process and controlling factors with the underground water surface as the depositional base level. In addition, this paper also deals with the construction and unit classification of the palaeo-desert sequence stratigraphy, and introduces concepts and methods for the research into the palaeo-desert genetic strata and sedimentology.

Key words: palaeo-desert basin; palaeo-desert sequence unit; palaeo-desert depositional systems tract; aeolian depositional growth model; underground water surface.