

doi:10.3799/dqkx.2011.007

银根—额济纳旗及邻区石炭—二叠纪碳酸盐岩的沉积特征及其地质意义

赵省民, 陈登超, 邓 坚, 李锦平

中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘要: 从碳酸盐岩的岩石学、建造特征的分析入手, 研究了区内石炭—二叠纪碳酸盐岩的沉积特征及其地质意义。野外调查表明, 本区域石炭—二叠纪碳酸盐岩以砾屑灰岩、海百合灰岩和微晶灰岩为主, 块状构造和粒序层理常见, 作为碳酸盐岩建造底座及夹层的火山岩或火山碎屑岩发育, 显示了本区域石炭—二叠纪期间张裂频繁、火山作用强烈、地形较陡和覆水较深的浅海古地理背景。本区域石炭—二叠纪碳酸盐岩建造发育于火山岩或火山碎屑岩、辫状三角洲或扇三角洲砂砾岩、海岸泥岩和陆架泥岩等底座之上, 分别形成了火山抬高型(VEF)、三角洲垫高型(DEF)、海岸/隆起淹没型(CSF/USF)和陆架变浅型(SSF)4种碳酸盐岩建造。不同类型的碳酸盐岩建造, 是区域构造和海平面升降联合作用的产物, 但其形成机制有别, 其中, 火山垫高型建造最普遍, 含火山岩或火山碎屑岩夹层, 系区域海平面长期上升的背景下, 构造张裂引发的火山喷发引起相对海平面下降的产物; 三角洲垫高型建造分布也较广, 含砂砾岩夹层, 为区域海平面长期上升的背景下, 构造抬升造成辫状三角洲或扇三角洲进积导致相对海平面下降形成; 海岸/隆起淹没型和陆架变浅型建造为纯灰岩建造, 相对较少, 则是在区域构造稳定的构造背景下, 短期相对海平面变化驱动的结果。然而, 不同类型碳酸盐岩建造的沉积特征, 则受沉积环境制约。同时, 针对这4种不同的碳酸盐岩建造, 分别建立了火山垫高型碳酸盐台地(VEP)、三角洲垫高型碳酸盐台地(DEP)、海岸/隆起淹没型碳酸盐缓坡(CSR/USR)和陆架变浅碳酸盐缓坡(SSR)4种沉积模式, 不同的沉积模式形成了沉积特征有别的碳酸盐岩建造。该时期浅海陆棚的古地理背景, 不仅为区内海相烃源岩的发育创造了良好的古地理条件, 也使得这一时期的碳酸盐岩、底座火山岩或火山碎屑岩、辫状三角洲或扇三角洲砂砾岩, 以及碳酸盐岩建造中的火山岩、火山碎屑岩和砂砾岩夹层, 成为本区域石炭—二叠纪的潜在油气储层。

关键词: 碳酸盐岩; 沉积特征; 储层; 海平面变化; 石炭—二叠纪; 石油地质; 内蒙古。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2011)01-0062-11

收稿日期: 2010-05-31

Depositional Characteristics and Their Geological Implications of the Permo-Carboniferous Carbonate Rocks from Yingen-Ejinaqi and Their Surrounding Areas, Inner Mongolia, China

ZHAO Xing-min, CHEN Deng-chao, DENG Jian, LI Jin-ping

Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China

Abstract: A study of depositional characteristics on carbonate rocks of Permo-Carboniferous was carried out by analyzing of petrology and their formation characteristics of carbonate rocks. A lot of fieldworks of the Permo-Carboniferous system in the study area indicate that, the carbonate rocks of Permo-Carboniferous are dominated by calcirudite, crinoidal limestone and micrite with massive structure and graded bedding, volcanic or pyroclastic rocks acting as pedestals and interbeds of the carbonate formations prevail in the area, which show the neritic paleoenvironmental settings of frequent tension-faulting, strong volcanism, steep topography and deeper water during the period of Permo-Carboniferous. The Permo-Carboniferous carbonate rock formations respectively on the pedestals of volcanic or pyroclastic rocks, granulites from braided river or fan deltas, mudstones originated from littoral zone and shelf comprise volcano-elevated carbonate rock formation (VEF), delta-elevated carbonate rock formation (DEF), coast-subsiding carbonate rock formation (CSF) and shelf-shoaling carbonate rock formation (SSF). The formations, all of which were formed by working together of region tectonics and

基金项目: 中国地质大调查项目(No. 1212010733506)。

作者简介: 赵省民(1964—), 博士, 研究员, 从事沉积学、层序地层学和石油地质学研究。E-mail: xxmzhang@163.com

change in sea level, show the distinct mechanism of construction. Among of them, the volcano-elevated formation, with volcanic or pyroclastic interbeds and prevailing in the area, originated from the relative sea level fall driven by volcano eruption resulting from tectonic extension, in the setting of long-term rise in sea level. The delta-elevated formation inferior to the volcano-elevated in development, with granulite interbeds, arose from the relative sea level fall driven by braided river or fan deltas progradation resulting from tectonic uplifting, in the context of long-term rise in sea level. The coast-subsiding and shelf-shoaling formations, subordinate to the former two, came from short-term sea level fall under the circumstances of regional steady tectonics. However, the depositional characteristics of the carbonate rock formations having the differences in lithology, depositional texture, depositional structure and paleo-fauna assemblage, are constrained by depositional environment. Besides, four kinds of deposition models for the four carbonate rock formations above, i. e. volcano-elevated carbonate platform (VEP), delta-elevated carbonate platform (DEP), coast/uplift-subsiding carbonate ramp (CSR) and shelf-shoaling carbonate ramp (SSR), are produced with distinct depositional characteristics respectively. The neritic shelf paleoenvironment of the age is favorable to development of the marine-originated source rocks. As a result of this, the carbonate rocks, the volcanic rocks, pyroclastic rocks, and the granulites of pedestals and interbeds, originated from braided river and fan deltas become the potential reservoirs of Permo-Carboniferous for oil and gas in the area.

Key words: carbonate rocks; sedimentary characteristics; reservoirs; change in sea level; Permo-Carboniferous; petroleum geology; Inner Mongolia.

银根—额济纳旗及邻区位于我国西北地区中部,横跨内蒙古与甘肃两省区,主要包括西部的阿拉善和蒙甘交界的北山等广大地区。东以狼山、拉乌山为界,南抵雅布赖山和北大山,西临北山,北至中蒙边境,面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该区地处沙漠、戈壁,地形平缓起伏,自然条件恶劣。区内主要充填的古生界和中生界地层在周缘皆有零星出露,中西部腹部多为戈壁、沙漠覆盖。长期以来,自然地理及地质等复杂原因导致该区石炭—二叠系的石油地质相关调查及研究成果很少。

区域上,石炭—二叠系是研究区出露的古生界主体。地层充填期间,区内火山作用频繁,沉积作用复杂,形成了一套以暗色泥岩为主的细碎屑岩、火山岩或火山碎屑岩和碳酸盐岩交互的沉积建造。其中,碳酸盐岩赋存层位多,岩层形态特别,横向稳定性差,岩性组合样式独特,不仅研究区内广布,而且整个天山—兴蒙海槽区的石炭—二叠系也屡屡见及。所以对本区域碳酸盐沉积特征的研究不仅对分析本区乃至整个天山—兴蒙海槽区的石炭—二叠纪的古地理背景具有重要理论意义,而且对本区域石炭—二叠系的油气勘探也具有积极的促进作用。

与世界其他构造背景类似的地区一样,本区的石炭—二叠系,无论是整个地层,还是其中的某类岩石,它们的沉积特征或成因皆因地层埋藏深、露头变形强烈、缺乏钻井及地震品质差等不利因素难以为人们所了解(Zachariah *et al.*, 2009)。鉴于如前所述情形,本文将充分利用研究区周缘的地表露头,借助 3 年来近 30 条剖面(图 1a)的地质调查成果,以探讨石炭—二叠系石油地质条件为目的,从碳酸盐

岩的岩石学、形态及建造底座(即碳酸盐岩建造基底,下同)等方面的分析入手,研究区内石炭—二叠纪碳酸盐岩的沉积特征及其地质意义。

1 区域地质概况

研究区位居西伯利亚板块和中晚泥盆世形成的中国北方大陆之间的古亚洲洋(徐公愉,1993;高长林等,2006;李锦轶等,2006)或天山—兴蒙海槽(中国地质科学院地质研究所和武汉地质学院,1985;谢方克,2002;廖卓庭和刘陆军,2003;徐学义等,2008)西段,横跨以早海西褶皱带或前南华系为基底的裂谷裂陷系。具体包括北天山—红石山裂谷裂陷盆地、北山板内裂谷系和锡林浩特板内裂谷裂陷系等,其间以中天山—马鬃山隆起相隔,南部为阿拉善—阴山隆起阻隔(徐学义等,2008)(图 1b)。这些以深大断裂为界的裂谷裂陷系,其基底活动性质、方式、强度等方面难以呈现整体性和一致性,从而不可避免地影响着区内石炭—二叠系的沉积及演化。

区内石炭—二叠系主要是一套由浅海相的细碎屑岩、火山岩、火山碎屑岩及碳酸盐岩组成的沉积充填。由于构造活动的强度、方式及海平面相对变化等因素的影响,地层的建造组成复杂,岩性、岩相变化很大。常常是某类岩石集中于某个区段,而其他区段则迅速为其他类岩石所取代,使得地层横向对比的难度很大,造成了东西两套不同的岩石地层系统(表 1)。其中,研究区西部的石炭—二叠系出露较全,从下石炭统到上二叠统皆有分布;中东部的阿拉善地区,出露多为二叠系,石炭系仅有下统好比如组 and 上

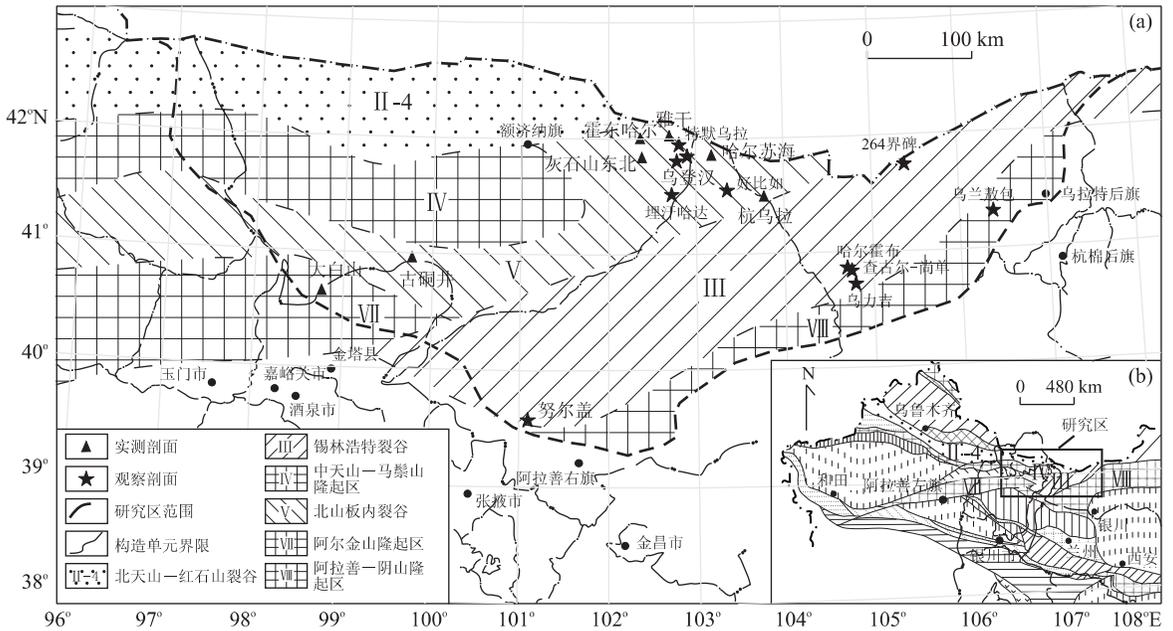


图 1 中晚泥盆世—三叠纪区域大地构造位置及部分野外工作剖面(图 b 据徐学义等, 2008 修改)

Fig. 1 Regional tectonics position from middle Devonian to Triassic and some fieldwork sections taken in the study area
 各剖面出露的石炭—二叠系: 1. 东部的乌兰敖包、264 界碑、哈尔霍布、查古尔—尚丹和乌力吉等剖面, 仅有上石炭统一二叠统阿木山组, 其中, 乌兰敖包、哈尔霍布和乌力吉等剖面为阿木山组中部, 查古尔—尚丹剖面包括中部和中下部, 264 界碑剖面为阿木山组上部; 2. 中东部的好比如仅有下石炭统好比如组; 3. 中部的乌登汗剖面仅有阿木山组; 4. 中部的埋汗哈达、杭乌拉剖面包括中下二叠统双堡塘组和中二叠统金塔组, 前者还包括乌哈西比组; 5. 中部的哈尔苏海、特默乌拉、哈尔霍布和灰石山东北剖面, 仅有上二叠统哈尔苏海组; 6. 西部的古洞井剖面仅有中、下二叠统双堡塘组; 7. 西部的大白山剖面包括下石炭统红柳园组 and 上石炭统芨芨台子组; 8. 南部努尔盖剖面包括上石炭统一二叠统干泉群、中二叠统菊石滩组 and 上二叠统

表 1 银根—额济纳旗及邻区石炭—二叠系横向对比

Table 1 The Permo-Carboniferous correlation from Yinggen-Ejinaqi and it's surrounding areas

年代地层	西部(北山)	中东部(阿拉善)
二叠系	上统	方山口组
	中统	金塔组
		菊石滩组
	下统	双堡塘组
干泉群		
石炭系	双堡塘组	阿木山组
	双堡塘组	乌哈西比组
	双堡塘组	乌哈西比组
石炭系	上统	芨芨台子组
	中统	石板山组
	下统	红柳园组/白山组
		绿条山组

注: 此表据宁夏回族自治区地质局, 1982^①; 中国地层典编委会, 2000a, 2000b; 中国地质调查局地层古生物研究中心(2005).

统阿木山组; 东部的乌拉特后期一带(图 1a)仅出露阿木山组。

研究区构造活动强烈, 火山作用频发, 断裂褶皱发育。这不仅导致地层的建造类型多样化, 也使得其因遭受强烈改造而复杂化。前者主要表现为西部的

白山组、甘泉群、方山口组和东部金塔组集中发育火山岩或火山碎屑岩夹浅海相砂泥岩, 其余地层组则主要为浅海相砂泥岩、台地相碳酸盐岩夹火山岩或火山碎屑岩, 碳酸盐岩集中分布于芨芨台子组、好比如组、阿木山组、双堡塘组和菊石滩组; 后者则表现为地层断失、重复频繁、褶皱强烈、硅化普遍, 局部发生板岩化、千枚岩化和大理岩化。

2 碳酸盐岩的岩石学特征

2.1 主要岩石类型

野外初步调查表明, 研究区石炭—二叠纪的碳酸盐岩多为原生的各类石灰岩, 主要有生物碎屑灰岩、内碎屑灰岩和微晶灰岩, 鲕粒灰岩和硅质灰岩偶可见及。此外, 后生硅化灰岩和大理岩也有一定分布。

生物碎屑灰岩以海百合灰岩最为普遍, 是研究区最主要的碳酸盐岩类型, 石炭系和二叠系中均普遍发育(图 2a, 2b), 表明了本区域该时期为覆水较深的浅海古地理背景。此类灰岩在甘肃大白山上石炭统的芨芨台子组、内蒙额济纳旗乌登汗一带上石

^①宁夏回族自治区地质局, 1982. 区域地质调查报告——哈日奥日布格幅(地质部分)(1: 20 万). 宁夏.

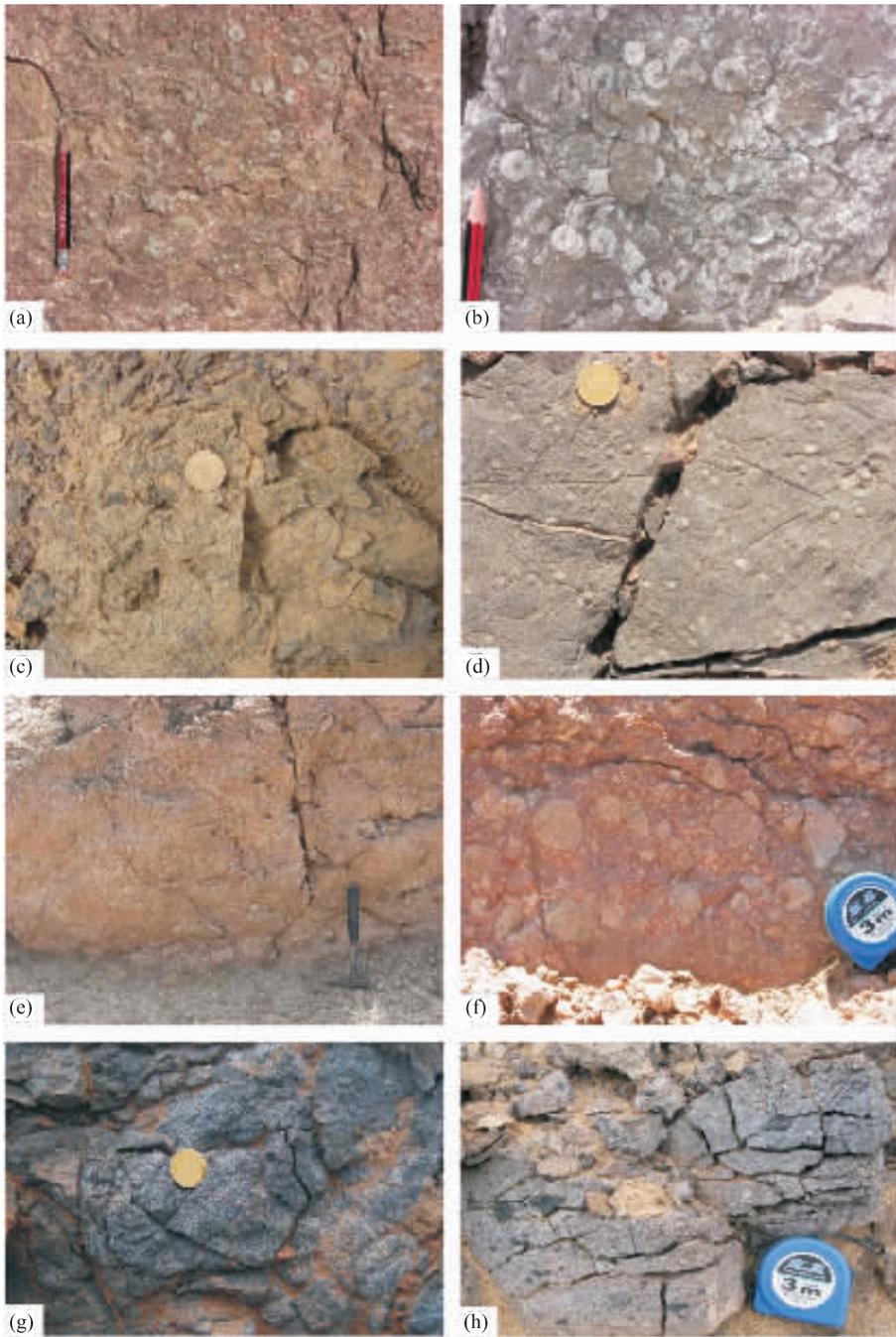


图 2 石炭—二叠纪的碳酸盐岩及结构

Fig. 2 Carbonates and their textures of Permo-Carboniferous in the study area

a. 海百合灰岩(甘肃大白山, 上石炭统笄笄台子组); b. 海百合灰岩(内蒙额济纳旗乌登汗, 上石炭统一下二叠统阿木山组); c. 介壳灰岩(内蒙乌兰特后期乌兰敖包, 上石炭统一下二叠统阿木山组); d. 鲕壳灰岩(内蒙阿左旗哈尔霍布, 上石炭统一下二叠统阿木山组); e. 砾屑灰岩(甘肃大白山, 上石炭统笄笄台子组); f. 砾屑灰岩(内蒙阿左旗哈尔霍布, 上石炭统一下二叠统阿木山组); g. 鲕粒灰岩(内蒙阿左旗哈尔霍布, 上石炭统一下二叠统阿木山组); h. 含砾砾屑灰岩(内蒙额济纳旗埋汗哈达, 中下二叠统双堡塘组)

炭统一下二叠统的阿木山组、阿右旗杭乌拉和额济纳旗埋汗哈达中、下二叠统的双堡塘组均有分布(图 1a)。另外, 珊瑚灰岩也较常见, 鲕壳灰岩和介壳灰岩相对较少(图 2c, 2d)。前者见于甘肃大白山的笄笄台子组和内蒙阿左旗查古尔尚丹的阿木山组, 后两

者见于阿左旗哈尔霍布和乌兰特后期乌兰敖包(图 1a)的阿木山组。

内碎屑灰岩以砾屑灰岩最常见, 为本区域又一个重要的碳酸盐岩类型。主要发育于上石炭统(图 2e, 2f)。显示了这一时期地形高差较大、斜坡较发育

的地貌特征. 这类石灰岩在甘肃大白山的茈茈台子组和内蒙阿左旗哈尔霍布上石炭统一二叠统的阿木山组均有发育. 此外, 砂屑灰岩在本区域亦有分布, 见于阿右旗杭乌拉和额济纳旗埋汗哈达一带的双堡塘组.

微晶灰岩在本区域也较为常见, 是区内较重要的碳酸盐岩类型, 进一步表明了覆水较深的古地理环境, 主要分布于内蒙乌拉特后旗的乌兰敖包—264 界碑一带(图 1a)的阿木山组和中东部大部地区的双堡塘组和菊石滩组(中二叠统).

硅化灰岩作为一种后生的碳酸盐岩, 在本区域

较为广布, 除了在额济纳旗雅干(图 1a)南部一带的哈尔苏海组中作为巨厚单层(约 8~10 m)产出外, 多数地区呈不规则状分布于石灰岩层内. 区域上看, 其分布可能与断裂发育有关.

2.2 岩石结构构造

与岩石的类型及分布相对应, 本区域的石炭—二叠纪石灰岩, 以生物碎屑结构、砾屑结构和微晶结构最为常见(图 2a~2f). 鲕粒结构、砂屑结构仅在阿左旗乌力吉、阿右旗杭乌拉的阿木山组、双堡塘组石灰岩零星见及(图 2g); 含砾生物碎屑结构仅分布于额济纳旗埋汗哈达双堡塘组的石灰岩中(图 2h).

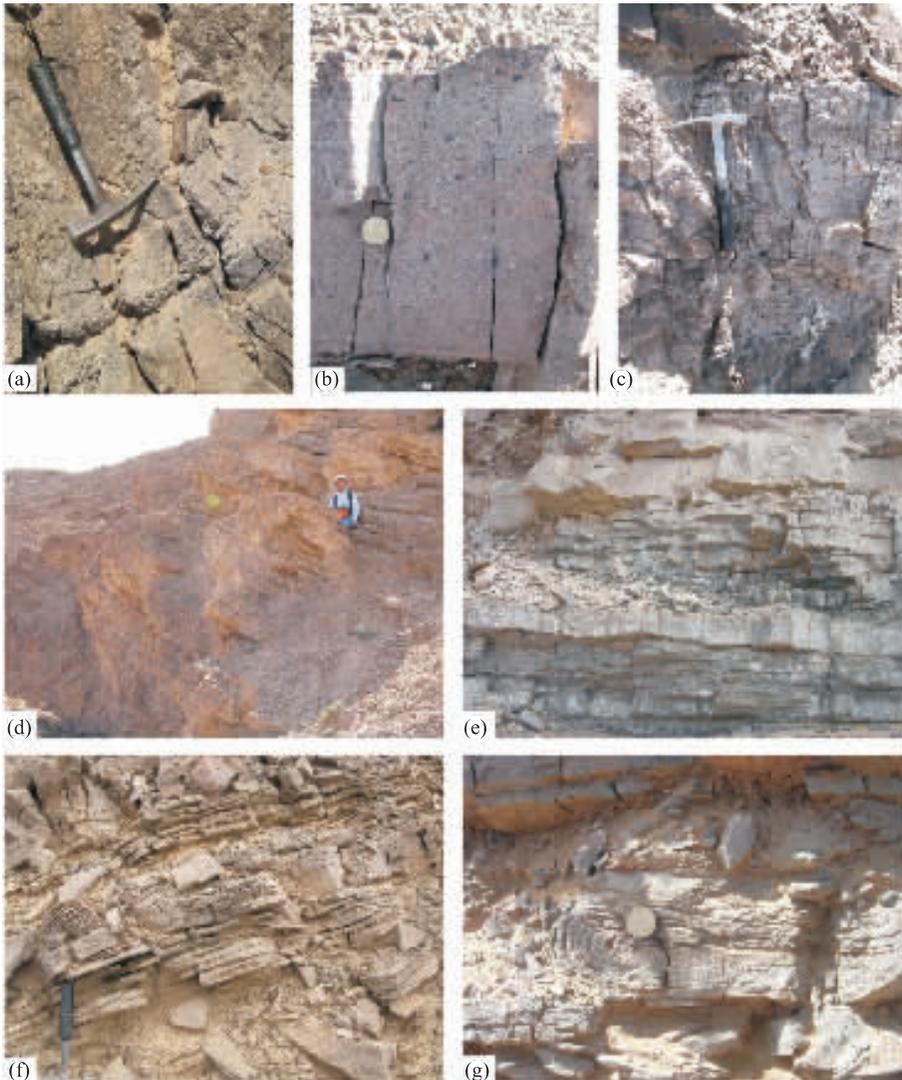


图 3 石炭—二叠纪碳酸盐岩中的沉积构造

Fig. 3 Sedimentary structures from Permo-Carboniferous carbonates in the study area

a. 海百合灰岩中的粒序层理(正粒序)(内蒙阿右旗杭乌拉, 中、下二叠统双堡塘组); b, c. 海百合灰岩中的粒序层理(逆粒序)(内蒙额济纳旗埋汗哈达, 中、下二叠统双堡塘组); d. 微晶灰岩中的水平层理(内蒙阿左旗哈尔霍布, 上石炭统一二叠统阿木山组); e. 微晶灰岩中的水平层理(内蒙阿右旗杭乌拉, 中、下二叠统双堡塘组); f. 砾屑灰岩中的交错层理(内蒙阿右旗杭乌拉, 中、下二叠统双堡塘组); g. 微晶灰岩中变形层理(内蒙乌兰特后期乌兰敖包, 上石炭统一二叠统阿木山组)

与其他地区的情形一样,本区域的石炭—二叠纪石灰岩以块状构造最普遍。除此之外,粒序层理也是该区石炭—二叠纪石灰岩中常见的沉积构造类型,正、反粒序均可见(图 3a~3c),内蒙阿右旗杭乌拉—额济纳旗埋汗哈达一带的双堡塘组石灰岩中皆有分布;水平层理在区内石炭—二叠纪石灰岩中也较常见,见于阿左旗乌力吉阿木山组和阿右旗杭乌拉一带埋汗哈达组的石灰岩中(图 3d、3e);交错层理和变形层理零星分布(图 3f、3g)。

3 碳酸盐岩的沉积特征

3.1 主要沉积特征

长期的地质调查发现,研究区的石炭—二叠纪碳酸盐岩建造通常发育于火山岩(或火山碎屑岩)、砂砾岩、泥岩和泥灰岩等岩性的底座(即碳酸盐岩建造基底,下同)之上。前两种建造是在区域海平面长期上升的背景下,分别由火山喷发、辫状三角洲或扇三角洲进积、短期相对海平面下降产生的水下高地上发育而成;后两种分别是在短期海平面下降,造成海岸隆起淹没和陆架变浅形成的浅水台地上发育而成。基于前文所述,本文将区内石炭—二叠纪的碳酸盐岩建造划分为火山垫高型、三角洲垫高型、海岸隆起淹没型和陆架变浅型 4 种。就其沉积特征分别开展讨论如下。

3.1.1 火山垫高型碳酸盐岩建造(VEF) 该类碳酸盐岩建造在区内分布最广。底座通常为基性、中基性和中酸性的火山岩或火山碎屑岩。建造与底座间常夹以砂砾岩、粉细砂岩或蚀变粘土岩等不同岩性的岩层(图 4)。这方面的实例有:内蒙古洞井(图 1a)菊石滩组碳酸盐岩建造与底座火山岩间为泥质粉砂岩;内蒙阿左旗乌力吉查古尔尚丹阿木山组碳酸盐岩建造与底座火山岩间为砂砾岩;内蒙阿左旗乌力吉哈尔霍布阿木山组碳酸盐岩建造与底座火山岩间为蚀变粘土岩等。

在建造组成上,此类碳酸盐岩,或全为石灰岩(图 4a),或除了石灰岩外,还夹有相当数量的火山岩、火山碎屑岩及其岩屑砂岩(图 4b、4c)。前者如内蒙阿左旗哈尔霍布、额济纳旗乌登汗等地阿木山组的纯灰岩建造,显示了建造发育期间相对稳定的构造环境;后者如额济纳旗古洞井菊石滩组的石灰岩夹流纹岩、蚀变玄武岩的混合沉积建造,显示出火山作用对碳酸盐岩发育过程的制约,实属碳酸盐岩沉积期间区域张裂活动的表现。

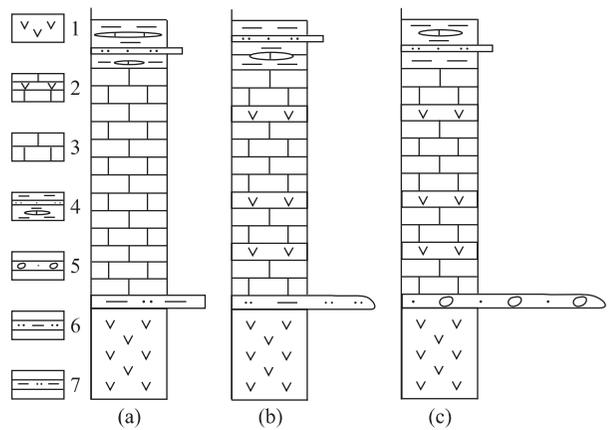


图 4 火山垫高型碳酸盐岩的建造模式

Fig. 4 The sketch of carbonate formation models from volcano-elevated carbonate platform in the study area

a. 含火山岩的碳酸盐岩建造与底座间夹砂岩层; b. 含火山岩的碳酸盐岩建造与底座间夹砂砾岩层; c. 纯碳酸盐岩建造与底座间夹泥岩层; 1. 底座火山岩; 2. 台地相石灰岩夹火山岩; 3. 台地相石灰岩; 4. 浅海陆棚相泥岩夹粉细砂岩和透镜状灰岩; 5. 碳酸盐岩建造与底座间的砂砾岩夹层; 6. 碳酸盐岩建造与底座间的泥质粉砂岩夹层; 7. 碳酸盐岩建造与底座间的含粉砂泥岩夹层

关于建造中石灰岩的形态及组成,可能因底座火山岩规模有限,常呈似层状,或由多个灰岩透镜体叠置而成,额济纳旗乌登汗—特默乌拉一带(图 1a)阿木山组的海百合灰岩就呈现此种形态。同样,可能因火山岩底座规模有限、侧翼地形陡峭的缘故,该类建造的石灰岩主要为砾屑灰岩、生物碎屑灰岩和微晶灰岩(图 2e、2f),偶见硅质灰岩和鲕粒灰岩(图 2g),含大量海百合和腕足、珊瑚、筴等海相化石(图 2a、2b),具块状构造、水平层理和粒序层理(图 3d)。甘肃大白山上石炭统筴筴台子组、额济纳旗乌登汗和阿左旗哈尔霍布的阿木山组及额济纳旗古洞井菊石滩组中的石灰岩,都是这类岩石组成实际例子。

3.1.2 三角洲垫高型碳酸盐岩建造(DEF) 这类碳酸盐岩建造分布也很广。底座通常为辫状三角洲相或扇三角洲相的砂砾岩。砂砾岩多为同期早先的火山岩、火山碎屑岩和石灰岩改造再沉积而成,显示出本区域该时期经历了频繁的结构抬升过程。同时,此类碳酸盐岩建造可直接覆于砂砾岩底座之上(图 5a),但建造与底座间夹以薄层粉砂岩或泥岩(图 5b、5c)的情况更常见。前者如阿左旗查古尔尚丹阿木山组的碳酸盐岩建造,后者分别以乌兰特后期乌兰敖包阿木山组、阿右旗杭乌拉双堡塘组的碳酸盐岩建造为代表。

与火山垫高型碳酸盐岩建造略有不同,这类碳

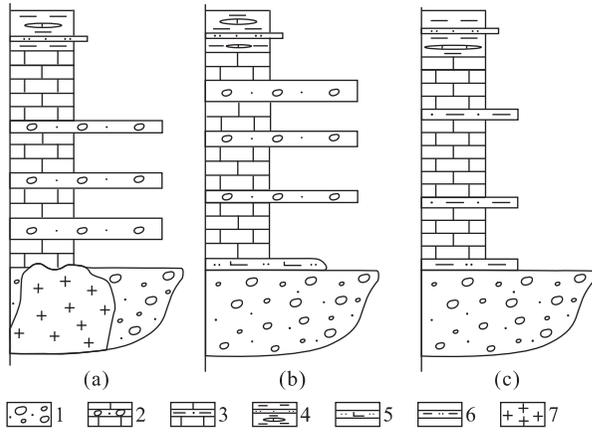


图 5 三角洲垫高型碳酸盐岩的建造模式

Fig. 5 The sketch of carbonate formation models from delta-elevated carbonate platform in the study area

a. 含砂砾岩的碳酸盐岩建造与底座直接接触; b. 含砂砾岩的碳酸盐岩建造与底座间夹砂岩层; c. 含泥岩的碳酸盐岩建造与底座间夹泥岩层; 1. 辫状三角洲或扇三角洲相底座砂砾岩; 2. 台地相石灰岩夹砂砾岩; 3. 台地相石灰岩夹砂质泥岩; 4. 浅海陆棚相泥岩夹粉细砂岩和透镜状灰岩; 5. 碳酸盐岩建造与底座间的钙质粉砂岩夹层; 6. 碳酸盐岩建造与底座间的含粉砂泥岩夹层; 7. 中酸性岩体

酸盐岩建造全部由石灰岩夹碎屑岩组成。碎屑岩夹层主要是同期早先的火山岩或石灰岩经改造再沉积的砂砾岩和泥岩,且分布呈现规律性变化。夹层层数及厚度或者自下而上减少,显示区域构造抬升活动逐渐减弱(图 5a);或者呈现反向变化,显示构造抬升活动逐渐增强(图 5b)。前者以阿左旗乌力吉查古尔尚丹阿木山组的生物碎屑灰岩建造内的复成分砾岩夹层为例;后者如乌兰特后期乌兰敖包阿木山组的生物碎屑灰岩内砂岩、砂砾岩夹层。

与火山垫高型碳酸盐岩建造相似,该类碳酸盐岩建造中的石灰岩,也多呈似层状或透镜状。岩石类型也主要为砾屑灰岩、生物灰岩和微晶灰岩,具块状构造或水平层理(图 3e),生物主要为珊瑚、腕足和筴等浅海生物化石(图 2c、2d),见于阿左旗乌力吉查古尔尚丹和乌兰特后期乌兰敖包的阿木山组;覆水较深的石灰岩,也可见到大量海百合和粒序层理(图 3a),如阿右旗杭乌拉双堡塘组的海百合灰岩。另外,辫状三角洲或扇三角洲斜坡部位的碳酸盐台地还发育了变形层理(图 3g)。

3.1.3 海岸/隆起沉没型碳酸盐岩建造(CSF/USF)

这类碳酸盐岩建造在本区域石炭—二叠系中也有分布。底座多为海岸相的砂泥岩。建造通常由纯灰岩组成,两者直接接触。由于底座宽阔平缓,环境相对简单,此类建造中的石灰岩常呈似层状,主要由微晶

灰岩和生物灰岩组成,含腕足等海相生物,块状构造、水平层理;若覆水较深,则有硅质灰岩,富含海百合,具粒序层理(图 3b、3c)。前者以额济纳旗红柳井双堡塘组的碳酸盐岩建造为代表,后者如额济纳旗埋汗哈达一带双堡塘组的碳酸盐岩建造。

3.1.4 陆架变浅型碳酸盐岩建造(SSF) 此类碳酸盐岩建造相对较少。底座为陆棚相泥岩。建造也全由石灰岩组成,两者直接接触。石灰岩常呈层状或似层状,主要由块状微晶灰岩组成,块状构造。额济纳旗东部灰山一带的哈尔苏海组中石灰岩建造是这类碳酸盐岩建造的典型代表。

3.2 碳酸盐沉积模式

由上述可见,碳酸盐岩建造成因的差异造成了各自不同的沉积特征。此处从分析碳酸盐岩建造形成机制的角度出发,以上述碳酸盐岩建造沉积特征为基础,结合本区域石炭—二叠纪的构造背景,并借鉴相关学者的研究成果(Wilson, 1975; Read, 1985; Burchette and Wright, 1992; Bosence, 2005; 顾家裕等, 2009),建立了研究区统一构造背景下、不同碳酸盐岩建造的沉积模式。

3.2.1 火山垫高型碳酸盐台地(VEP)模式 火山垫高型碳酸盐岩建造是发育在由海底火山作用形成的火山岩底座上的碳酸盐台地,即火山垫高型碳酸盐台地形成的(图 6b、6c、6e)。通常,裂隙较深的区域,火山作用较频繁,为碳酸盐台地发育建设水下高地的同时,不时中断了碳酸盐岩沉积,形成了内含火山岩或火山碎屑岩夹层的碳酸盐岩建造;相反,裂隙较浅的区域,火山作用较弱,火山喷发形成水下高地后很少再次活动,为碳酸盐台地的发育提供了较为持续、稳定的环境,形成了纯灰岩建造。前者如额济纳旗古洞井菊石滩组的微晶灰岩、生物灰岩、硅质灰岩夹酸性火山岩组成的碳酸盐岩建造,后者以额济纳旗乌登汗—特默乌拉一带阿木山组的海百合灰岩建造为代表。

此种碳酸盐台地类似于孤立碳酸盐台地(Read, 1985),可能也类似于岩隆型孤立碳酸盐台地(顾家裕等, 2009)。所形成的石灰岩层的形态、岩性及结构构造,取决于火山岩底座的规模及岩层产出位置。底座较小的碳酸盐台地,形成的石灰岩常呈透镜状;底座较大者,形成的石灰岩多呈似层状。一般而言,火山岩底座的顶部浅水区可发育台地浅滩,形成鲕粒灰岩和砂屑灰岩,如阿左旗乌力吉哈尔霍布阿木山组的鲕粒灰岩(图 2g);侧翼陡坡和坡趾区形成台地斜坡和台地坡趾(Wilson, 1975),发育由斜

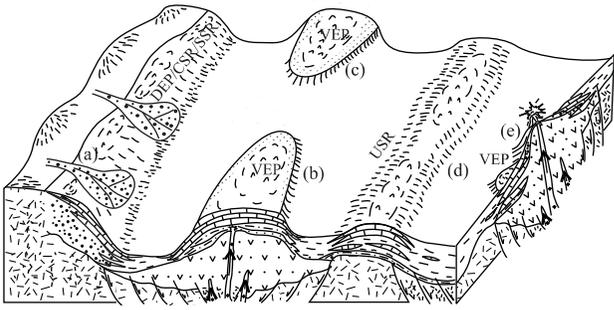


图 6 石炭—二叠纪碳酸盐岩的沉积模式

Fig. 6 The Permo-Carboniferous depositional models of the carbonate rocks in the study area

a. 三角洲垫高型碳酸盐台地/海岸沉没型碳酸盐缓坡/陆架变浅型碳酸盐缓坡模式; b, c, e. 火山垫高型碳酸盐台地模式; d. 隆起沉没型碳酸盐缓坡模式

坡上部滑塌产生的砾屑灰岩,如甘肃大白山茈茈台子组的砾屑生物灰岩(图 2e);火山岩底座四周的碳酸盐岩趾部,则发育具粒序层理的生物(如海百合)灰岩,如额济纳旗乌登汗—特默乌拉一带阿木山组的海百合灰岩(图 2b)。

3.2.2 三角洲垫高型碳酸盐台地(DEP)模式 三角洲垫高型碳酸盐岩建造,是由辫状三角洲或扇三角洲进积形成的砂砾岩底座上发育的碳酸盐台地,即三角洲垫高型碳酸盐台地形成的(图 6a)。一般地,断陷盆地的滨岸是辫状三角洲或扇三角洲的活跃地带,其快速的堆积建设为碳酸盐岩台地的发育提供了良好的平台。随着构造活动减弱,三角洲朵叶状废弃,陆源碎屑随即贫化,碳酸盐台地开始发育。期间,若盆缘间歇性轻微活动,则不时有扇三角洲(或辫状三角洲)侵入台地内部,形成含有砂砾岩夹层的碳酸盐岩建造;反之,若盆缘持续相对平静,则沉积环境稳定,形成纯灰岩建造。前者如乌拉特后期乌兰敖包阿木山组的微晶灰岩或生物灰岩夹砂砾岩、砂泥岩的混合碳酸盐岩建造;后者以阿右旗杭乌拉双堡塘组的海百合灰岩建造为代表。

这种碳酸盐台地类似于远端变陡的碳酸盐缓坡(Read, 1985)。所形成的石灰岩层的形态、岩性及结构构造,同样取决于碳酸盐台地三角洲朵叶体底座的规模及岩层产出位置。底座较小的碳酸盐台地,形成的石灰岩层也呈透镜状;底座较大者,形成的石灰岩层多呈似层状。一般地,扇三角洲或辫状三角洲平原,类似于远端变陡碳酸盐缓坡的缓坡部分,只是其坡度更缓、水深更浅(相对滨岸),波浪作用微弱,可形成缓坡开放且无镶边的碳酸盐台地(顾家裕等, 2009),主要沉积的应是泥晶或微晶灰岩,含浅海生

物和少量砂质,具块状构造或水平层理,乌兰特后期乌兰敖包阿木山组的含生物(腕足)微晶灰岩即属此例。扇三角洲或辫状三角洲的前缘类似于远端变陡碳酸盐缓坡的陡坡部分,水体较深,波浪作用强烈,可形成陡坡开放且无镶边的碳酸盐台地(顾家裕等, 2009),主要沉积的是异地的内碎屑灰岩,块状构造或具滑塌变形层理;而陡坡坡趾—陆棚区,波浪作用微弱,仅受风暴浪影响,主要沉积了具粒序层理的微晶灰岩。前者以乌兰敖包阿木山组具变形层理的微晶灰岩为代表(图 3g),后者以阿右旗杭乌拉双堡塘组具粒序层理的海百合灰岩(夹海百合泥岩)为例(图 3a)。

3.2.3 海岸/隆起沉没型碳酸盐缓坡(CSR/USR)模式 海岸淹没型碳酸盐岩建造,可能系短期海平面上升导致宽阔平坦的海岸平原或裂谷—裂陷系内的隆起被海水淹没形成(图 6a、6d)。短期海平面上升期间,这些长期露出水面的地区逐渐为海水所淹没而开始发育碳酸盐岩台地,形成厚度稳定、横向连续较好、分布较广的碳酸盐岩建造。

沉没海岸或隆起可能类似于碳酸盐缓坡(Read, 1985)或缓坡开放无镶边碳酸盐台地(顾家裕等, 2009)。其形成的碳酸盐岩建造,主要由石灰岩组成,可夹少量细碎屑岩,这取决于短期海平面的稳定性。此种模式形成的石灰岩多呈似层状,横向延伸较好。通常,沉没海岸上部类似于等斜碳酸盐缓坡,因水体浅、水动力强度弱,主要形成泥晶或微晶灰岩,块状构造,含少量腕足等浅海生物,如额济纳旗红柳井一带菊石滩组中的微晶灰岩;沉没海岸下部或沉没隆起类似于远端变陡斜坡部分,因水体较深、波浪作用强烈,常形成碎屑灰岩和泥晶生物灰岩,含浅海生物,块状构造或具粒序层理。阿右旗埋汗哈达一带双堡塘组中的具粒序层理的海百合灰岩、块状硅质灰岩及生物灰岩(含少量腕足)便是此种成因的典型例子(图 3b、3c)。

3.2.4 陆架变浅碳酸盐缓坡(SSR)模式 与海岸沉没型碳酸盐岩建造相反,陆架变浅型碳酸盐建造可能是短期海平面下降的产物,因短期海平面下降引起宽阔陆架水体变浅而形成(图 6a)。此种模式形成的碳酸盐岩建造厚度稳定、横向连续好,分布也较广。

变浅的陆架可能也类似于碳酸盐缓坡(Read, 1985)或缓坡开放无镶边碳酸盐台地(顾家裕等, 2009),水体极浅,水动力微弱,属于典型的陆表海环境。该种模式形成的石灰岩多呈似层状,厚度较稳

定,横向延伸较好.主要形成泥晶灰岩或微晶灰岩,块状构造,含少量生物.额济纳旗东部灰石山一带哈尔苏海组的块状微晶灰岩,即属此种成因.

4 讨论

本区域石炭—二叠系中广泛分布的酸盐岩建造底座及夹层的火山岩或火山碎屑岩和辫状三角洲或扇三角洲砂砾岩,反映了本区域该时期频繁的张裂活动及由其引发的火山作用;辫状三角洲或扇三角洲砂砾岩的大量同期早先火山岩、火山碎屑岩和石灰岩的砾石,则展示了本区该时期频繁的构造抬升和“短命”的碳酸盐台地发育幕(Álvaro *et al.*, 2008).由此可见,石炭—二叠纪期间,本区域处于频繁张裂、频繁抬升的构造背景.

其次,本区域石炭—二叠纪碳酸盐岩广泛发育的砾屑灰岩、海百合灰岩和泥晶(或微晶)灰岩,遍布的海百合以及较为常见的珊瑚、腕足和筴等浅海生物,说明石炭—二叠纪时期,本区域总体为一地形较陡、斜坡发育和覆水较深的浅海环境.这是因为较陡的斜坡促进了碳酸盐沉积物的滑塌,导致了砾屑灰岩的形成,而海百合是陆棚覆水较深的表现.另一方面,作为碳酸盐岩建造底座及夹层的火山岩或火山碎屑岩普遍发育的事实,表明了本区域该时期强烈的火山活动及其形成火山岛的广泛分布.同时,裂谷裂隙背景和火山喷发,也为区内陡倾斜坡的形成创造了条件.可见,石炭—二叠纪时期,本区域总体为一地形较陡、火山岛广布和覆水较深的浅海古地理背景.

再次,区内不同类型的碳酸盐岩建造及其地层结构,是区域构造与海平面升降联合作用的结果.很明显,火山垫高型和三角洲垫高型的碳酸盐岩建造,是在区域海平面长期上升的背景下,由构造活动诱发的火山喷发和辫状三角洲或扇三角洲进积等地质过程,造成短期相对海平面下降的产物.这两种地质作用在造成水深变浅、海相生物发育的同时,还为碳酸盐工厂的形成提供了广阔平台,并不时中断碳酸盐岩沉积而形成火山岩或砂砾岩夹层.与之相应,海岸/隆起淹没型和陆架变浅型碳酸盐岩建造,则可能是区域构造稳定的背景下,分别由短期海平面升降驱动而成.两者纯灰岩组成的沉积建造,简单的沉积结构(不含任何夹层),以及稳定条件下形成的泥质底座沉积,无不显示了建造发育前及发育期间较为稳定的构造、沉积环境.总体上看,构造活动和海平

面变化,可能共同控制了本区域石炭—二叠纪碳酸盐岩建造的发育.这与相关学者关于构造、海平面相对变化和局部生态因素联合控制复合沉积建造形成的认识基本一致(Cherchi *et al.*, 2000; Vigorito *et al.*, 2005; Álvaro *et al.*, 2008; Castro *et al.*, 2008).

同时,本区域不同类型的碳酸盐岩建造,其岩性组成、沉积结构、沉积构造及古生物组合等沉积特征,则主要受古地形、古水深和水动力条件等沉积环境因素制约.很显然,无论哪种类型的碳酸盐台地或碳酸盐缓坡,只要有类似的古地形、古水深和水动力条件,就可能有相似的岩层形态、岩性、沉积构造和古生物组合.如前述的两种碳酸盐台地,皆形成透镜状或似层状石灰岩层,发育砾屑灰岩、微晶灰岩、海百合灰岩,具水平层理和粒序层理,也都含有珊瑚、腕足和海百合等海相生物.同时,两类碳酸盐缓坡,均形成层状或似层状灰岩,由微晶灰岩组成,具块状构造,也含珊瑚、腕足等生物,水深合适时,还富含海百合和粒序层理.由此可见,古地形、古水深等环境因素是本区域碳酸盐岩建造沉积特征的决定因素.

此外,石炭—二叠纪期间,本区域所处的覆水较深的浅海陆棚背景,造就了浅海陆棚相泥岩的广泛发育.同时,本区域的碳酸盐岩建造(包括火山岩和砂砾岩夹层)及其底座的火山岩、火山碎屑岩和砂砾岩,也时常为浅海相的暗色泥岩所包围(另文发表).所有这些都使得前述的碳酸盐岩及其底座的火山岩、火山碎屑岩和砂砾岩,可能成为本区域石炭—二叠系潜在的油气储层.

5 初步认识及成果

(1)本区域石炭—二叠纪的碳酸盐岩发育于火山岩或火山碎屑岩、辫状三角洲或扇三角洲砂砾岩和海岸相泥岩的底座之上,分别形成了火山抬高型(VEF)、三角洲垫高型(DEF)、海岸/隆起沉没型(CSF/USF)和陆架变浅型(SSF)4种碳酸盐岩建造.其中,火山抬高型建造最发育,三角洲垫高型次之,其中时常含有火山岩、火山碎屑岩和砂砾岩夹层.同时,底座和夹层砂砾岩多为同期早先火山岩、火山碎屑岩和石灰岩改造再沉积的产物.这说明石炭—二叠纪期间本区域处于频繁张裂、频繁抬升的构造背景.

(2)区内石炭—二叠纪的碳酸盐岩以海百合灰岩、砾屑灰岩和微晶灰岩为主,含海百合、珊瑚、腕足

等浅海生物化石, 块状构造和粒序层理发育。同时, 作为碳酸盐岩建造的底座及夹层的火山岩、火山碎屑岩广为发育。显示了本区域石炭—二叠纪期间张裂频繁、火山作用强烈、地形较陡和覆水较深的浅海古地理背景。

(3) 不同类型的碳酸盐岩建造, 乃区域构造与海平面升降联合作用的产物, 但形成机制有别。其中, 火山抬高型 (VEF) 碳酸盐岩建造, 是在区域海平面长期上升的背景下, 构造张裂诱发火山喷发, 造成相对海平面下降的产物; 三角洲垫高型 (DEF) 碳酸盐岩建造, 则是在区域海平面长期上升的背景下, 构造抬升造成的辫状三角洲或扇三角洲进积, 引起相对海平面下降形成的; 海岸/隆起沉没型碳酸盐岩建造, 是在区域构造稳定的背景下, 短期海平面上升的产物; 陆架变浅型 (SSF) 碳酸盐岩建造, 则是在区域构造稳定的背景下, 短期海平面下降驱动而成。

(4) 不同类型的碳酸盐岩建造, 其岩性组成、沉积结构、沉积构造及古生物组合等沉积特征, 主要受古地形、古水深和水动力条件等沉积环境因素制约, 而基本与该时期的区域构造和海平面升降无关。也就是说, 区域构造和海平面升降主要影响碳酸盐建造的底座、岩层形态和地层结构等宏观方面, 而沉积环境则控制了建造的岩性、沉积结构、沉积构造及古生物组合等微观方面。

(5) 针对上述的 4 种碳酸盐岩建造, 建立了 4 种相应的沉积模式, 即: 火山抬高型碳酸盐台地 (VEP)、三角洲垫高型碳酸盐台地 (DEP)、海岸/隆起沉没型碳酸盐缓坡 (CSR/USR) 和陆架变浅型碳酸盐缓坡 (SSR)。其中, 火山抬高型台地, 类似于以往的孤立碳酸盐台地; 三角洲垫高型台地, 相当于远端变陡的碳酸盐缓坡; 沉没的海岸/隆起和变浅的陆架类似于碳酸盐缓坡。

(6) 本区域石炭—二叠纪浅海陆棚的古地理背景, 为区内海相烃源岩的发育创造了良好的古地理条件, 也使得研究区石炭—二叠纪的碳酸盐岩, 底座火山岩或火山碎屑岩、辫状三角洲或扇三角洲砂砾岩, 以及碳酸盐岩建造中的火山岩、砂砾岩夹层, 成为本区域石炭—二叠纪的潜在油气储层。

References

Álvarez, J. J., Ezzouhari, H., Ayad, N. T., et al., 2008. Short-term episodes of carbonate productivity in a Cambrian uplifted rift shoulder of the Coastal Meseta, Morocco. *Gondwana Research*, 14: 410—428. doi: 10. 1016/j. gr.

2008. 04. 003

- Bosence, D., 2005. A genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic. *Sedimentary Geology*, 175 (1—4): 49—72. doi: 10. 1016/j. sedgeo. 2004. 12. 030
- Burchette, T., Wright, V. P., 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79: 3—57. doi: 10. 1016/0037—0738(92)9003—A
- Castro, J. M., De Gea, G. A., Ruiz-Ortiz, P. A., et al., 2008. Development of carbonate platforms on an extensional (rifted) margin: the Valanginian-Albian record of the Prebetic of Alicante (SE Spain). *Cretaceous Research*, 29 (5—6): 848—860. doi: 10. 1016/j. cretres. 2008. 05. 012
- Cherchi, A., Murru, M., Simone, L., 2000. Miocene carbonate factories in the syn-rift Sardinia Graben sub-basins (Italy). *Facies*, 43 (11), 223—240. doi: 10. 1007/BF02536992
- Gao, C. L., Huang, Z. G., Liu, G. X., 2006. Paleo-Asian ocean and Palaeozoic basins in West China. *West China Petroleum Geosciences*, 2(2): 123—129, 180 (in Chinese with English abstract).
- Gu, J. Y., Ma, F., Ji, L. D., 2009. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform. *Journal of Palaeogeography*, 11 (1): 21—27 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences, Wuhan College of Geosciences, 1985. Atlas of the paleogeography of China. Cartographic Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, J. Y., Wang, K. Z., Sun, G. H., et al., 2006. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan-Hami basin: geological records of subduction of the Paleo-Asian ocean plate in Central Asian regions. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1087—1102 (in Chinese with English abstract).
- Liao, Z. T., Liu, L. J., 2003. The Carboniferous and Permian of Gansu-Xinjiang border area with remarks on the age of the surrounding strata of the Jinwozi gold ore. *Journal of Stratigraphy*, 27(3): 163—172 (in Chinese with English abstract).
- Read, J. F., 1985. Carbonate platform facies models. *AAPG Bull.*, 69(1): 1—21.
- Stratigraphical Lexicon of China Compiling Commission, 2000a. Stratigraphical lexicon of China—Carboniferous system. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Stratigraphical Lexicon of China Compiling Commission, 2000b. Stratigraphical lexicon of China—Permian system. Geolog-

ical Publishing House, Beijing (in Chinese).

- The Researching Centre of Stratigraphy and Paleontology, China Geological Survey, 2005. Division and correlation on the strata of all the geological ages in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Vigorito, M., Murru, M., Simone, L., 2005. Anatomy of a submarine channel system and related fan in a foramol/rhodalgal carbonate sedimentary setting; a case history from the Miocene syn-rift Sardinia basin, Italy. *Sedimentary Geology*, 174(1-2): 1-30.
- Wilson, J. L., 1975. Carbonate facies in geologic history. Springer Verlag, New York.
- Xie, F. K., 2002. Brief analyses on Carboniferous-Permian hydrocarbon prospective area in the north of China. *Journal of Xinjiang Petroleum Institute*, 14(3): 1-4 (in Chinese with English abstract).
- Xu, G. Y., 1993. The tectonic evolution of paleo-Asiatic ocean in the Northeast Asia area. *Jilin Geology*, 12(3): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. Y., He, S. P., Wang, H. L., et al., 2008. An introduction to geology of Northwest China; Qinling, Qilian and Tianshan areas. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zachariah, A. J., Gawthorpe, R., Dreyer, T., 2009. Evolution and strike variability of early post-rift deep-marine depositional systems; Lower to Mid-Cretaceous, North Viking Graben, Norwegian North Sea. *Sedimentary Geology*, 220 (1-2): 60-76.

附中文参考文献

- 高长林, 黄泽光, 刘光祥, 2006. 中国西部古中亚洋与古生代沉积盆地. *中国西部油气地质*, 2(2): 123-129, 180.
- 顾家裕, 马锋, 季丽丹, 2009. 碳酸盐岩台地类型、特征及控制因素. *古地理学报*, 11(1): 21-27.
- 李锦轶, 王克卓, 孙桂华, 等, 2006. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片: 中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录. *岩石学报*, 22(5): 1087-1102.
- 廖卓庭, 刘陆军, 2003. 甘(肃)新(疆)交界地区的石炭系和二叠系——兼论金窝子金矿围岩地层的时代. *地层学杂志*, 27(3): 163-172.
- 谢方克, 2002. 中国北方石炭—二叠系油气远景浅析. *新疆石油学院学报*, 14(3): 1-4.
- 徐公愉, 1993. 东北亚地区古亚洲洋的构造演化特点. *吉林地质*, 12(3): 1-8.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 等, 2008. 中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区. 北京: 科学出版社.
- 中国地层典编委会, 2000a. 中国地层典——石炭系. 北京: 地质出版社.
- 中国地层典编委会, 2000b. 中国地层典——二叠系. 北京: 地质出版社.
- 中国地质调查局地层古生物研究中心, 2005. 中国各地质时代地层划分与对比. 北京: 地质出版社.
- 中国地质科学院地质研究所, 武汉地质学院, 1985. 中国古地理图集. 北京: 地图出版社.