

文章编号: 1000-0550(2008)01-0105-06

滦平盆地上白垩统九佛堂组中的熔积岩及地质意义

张英利¹ 孟庆任² 渠洪杰³

(1 西安石油大学油气资源学院 西安 710065; 2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029

3. 中国地质科学院地质力学研究所 北京 100081)

摘要 通过对滦平盆地沉积地层的野外观察,系统分析了九佛堂组的沉积特征及其变化规律,鉴别出特殊的岩石类型——熔积岩;较详细的描述了熔积岩所在剖面的沉积特征,最后结合盆地的区域地质背景,初步认为滦平盆地为火山—沉积盆地,强烈的同沉积构造运动伴随岩浆活动,致使盆地九佛堂组沉积地层内发育熔积岩。

关键词 熔积岩 滦平盆地 早白垩世 九佛堂组

第一作者简介 张英利 男 1979 年出生 博士 盆地分析 E-mail yinglizh@126.com

中图分类号 P588.21⁺1 P512.2 文献标识码 A

熔积岩 (peperite) 是火山碎屑岩的一种重要类型,早在 20 世纪 80 年代,一些学者就注意到岩浆与湿沉积物之间相互作用可形成熔积岩^[1,2],但定义多种多样,现在比较认可的是 White 等的定义“熔积岩本质上是岩浆侵入到未固结或弱固结的湿沉积物,原地混合形成的”^[3]。之后,许多火山碎屑岩专家对岩浆活动和熔积岩进行了研究。2000 年,在南非召开的火山学与地球内部化学会议上专门设立了熔积岩

专题讨论会,并在《Journal of Volcanology and Geothermal Research》刊登了论文集^[4],对熔积岩的类型和形成机理等进行了系统总结,推动了熔积岩的发展。

熔积岩是岩浆侵入和同时期沉积作用的产物,有良好的指相标志,但在国内尚未引起足够的重视,目前仅有白志达等^[5]阐述过。2005 年野外勘查燕山构造带中段滦平盆地时,在盆地早白垩世地层内发现了熔积岩(图 1)。下面将详细阐述。

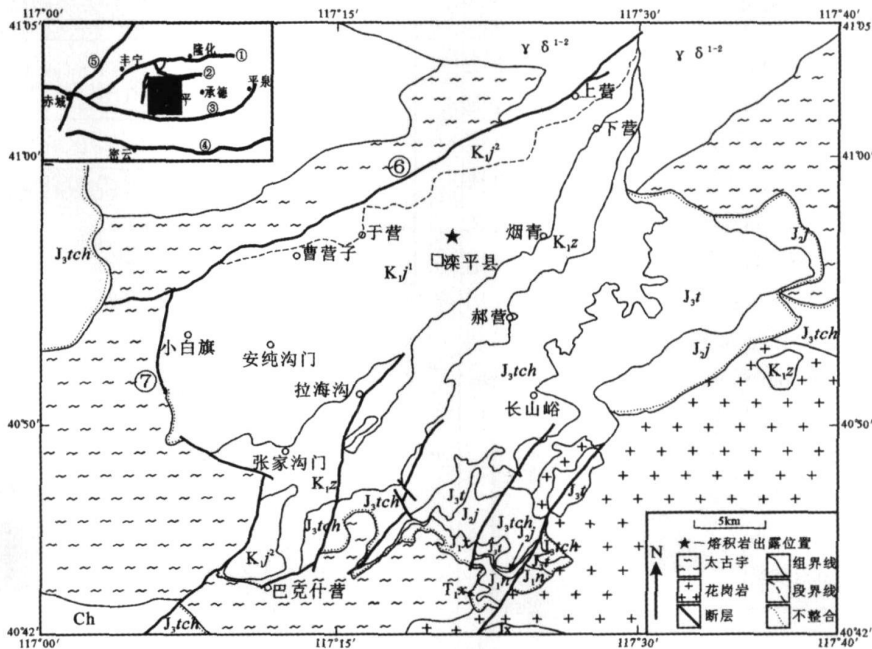


图 1 滦平盆地地质简图及熔积岩出露位置(据 1:50 000 地质图,有修改)

断层:①丰宁—隆化断层;②大庙—娘娘庙断层;③尚义—平泉断层;④密云—喜峰口断层;⑤上黄旗—乌龙沟断层;⑥红旗—岗子正断层;⑦小白旗—付家店正断层。图中地质体代号:γδ⁻²—花岗闪长岩;Ch—长城系;Jx—蓟县系;T_{1x}—杏石口组;J_{1n}—南大岭组;J_{1x}—下花园组;J₂—九龙山组;J_{3t}—髻髻山组;J_{3tch}—土城子组;K_{1z}—张家口组;K_{1j1}—九佛堂组一段;K_{1j2}—九佛堂组二段。

Fig 1 Simplified geological map of the Luoping Basin and peperite outcrop (according to 1:50 000 geological maps)

1 盆地区域背景

滦平盆地行政区位于河北省滦平县境内, 区域构造位置上位于尚义—平泉断裂和丰宁—隆化断裂之间, 但盆地中生代时期的发展主要受北侧红旗—岗子断层和西侧小白旗—付家店断层控制。盆地西侧和北侧为太古代变质岩, 东南边缘为燕山期花岗岩。该盆地呈北东—南西向延展, 长约 40 km, 宽约 24 km, 面积约 900 km² (图 1)。

2 盆地地层

滦平盆地自晚三叠世开始形成, 不仅沉积了正常陆源碎屑岩, 而且还发育大量火山碎屑岩以及火山岩, 于早白垩世晚期发生抬升 (图 2)。滦平盆地主要充填了三叠系—下白垩统。滦平盆地中生代地层自下而上可分成 8 个岩性组, 即上三叠统杏石口组、下侏罗统南大岭组和下花园组、中侏罗统九龙山组、上侏罗统髫髻山组和土城子组, 以及下白垩统张家口组和九佛堂组 (图 2)。下白垩统张家口组主要由流纹岩、粗面岩以及流纹质凝灰岩组成, 部分地区夹有安山岩、粗安岩和少量砂岩, 与下伏地层呈角度不整合接触。九佛堂组主要由碎屑岩构成, 下段为灰色砾岩、砂岩和灰绿色粉砂岩、泥岩组合, 上段则主要为砾岩。

3 九佛堂组沉积特征

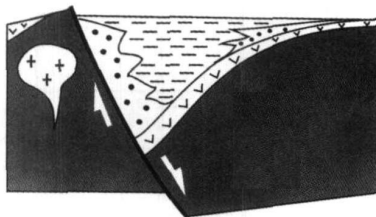
九佛堂组是一套陆源碎屑沉积, 沉积厚度达 2 000 m, 主要分布在盆地的北缘和西缘。根据盆地的构造—沉积演化, 可将九佛堂组沉积分为两个过程 (图 3)。沉积早期, 受盆地边界断层的控制, 盆地快速沉降, 在盆地的北部和西部发育冲积扇砾岩, 而在盆地中心则主要为深水湖泊细粒沉积, 二者之间为扇三角洲沉积体系 (图 3A)。盆地东缘和南缘没有出现同期断裂构造, 总体表现为向盆地内部缓倾的斜坡, 以发育河流和冲积扇沉积为特征。沉积后期, 湖

盆开始萎缩, 区域上大规模的沉积作用趋于结束, 形成以基底变质岩为主的冲积扇砾岩, 并遍布于全盆地 (图 3B)。

界	系	统	组	代号	柱状图	岩性描述	同位素年龄 /Ma		
中生界	白垩系	下统	九佛堂组	K _{1j}		黄土以及冲积层			
				K _{2j}		以紫灰色砾岩为主, 夹砂砾岩和粗砂岩以及中性、酸性火山岩			
		侏罗系	中统	张家口组	K _{1z}		以泥岩、粉砂岩、砂岩为主, 底部为砾岩	120	
					K _{2z}		以灰绿色、紫红色流纹岩为主, 夹大量灰绿色流纹质凝灰岩及少量安山岩	133.9±1.3 135.7±1.8 135.4±1.6	
				上统	土城子组	J _{1tc}		紫红色砾岩	
						J _{2tc}		紫红色砂岩、泥岩	
			下统	髫髻山组	J _{1j}		紫红色火山碎屑岩		
					J _{2j}		以暗紫色、紫红色安山岩、安山玄武岩为主, 夹紫红色、灰褐色砂岩、砾岩、粉砂岩	147.6±2.6	
					J _{3j}		紫红色砂岩、粉砂岩、泥岩夹灰绿色凝灰质砂岩		
					J _{4j}		灰绿色、灰黑色泥岩、粉砂岩		
下统	南大岭组	J _{1n}		以暗紫色安山岩和灰绿色玄武岩为主, 夹黄绿色砂岩、砾岩和粉砂质泥岩	191~198				
		J _{2n}							
三叠系	上统	杏石口组	T _{3x}		以棕黄色砾岩为主, 夹少量土黄色粉砂岩和砂岩				
			T _{2x}						
元古界	蓟县系	长城系	Jx		粉晶、泥晶白云岩				
			Ch		泥晶白云岩、泥岩				
太古代			Ar		岩性比较复杂, 主要以角闪斜长变粒岩、黑云斜长变粒岩、斜长片麻岩、斜长角闪岩为主				

图 2 滦平盆地地层格架 (资料来源: 参考文献 [6~11])
Fig 2 Stratigraphy in the Luaping Basin (after references [6~11])

A—断陷期 (快速沉降—沉积)



B—后断陷期 (沉积填平—抬升)

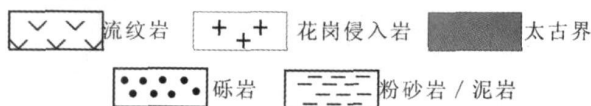
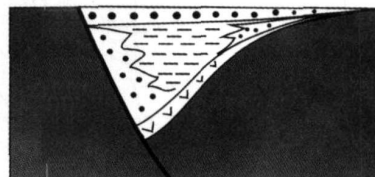


图 3 滦平盆地九佛堂组构造—沉积过程

4 熔积岩所在剖面分析

熔积岩主要发育在九佛堂组早期的沉积地层中, 剖面主要由三部分组成, 即下部的沉积岩、中部的熔积岩以及上部的沉积岩 (图 4、图 5A)。根据岩性可分为 5 个岩层, 自下而上依次为:

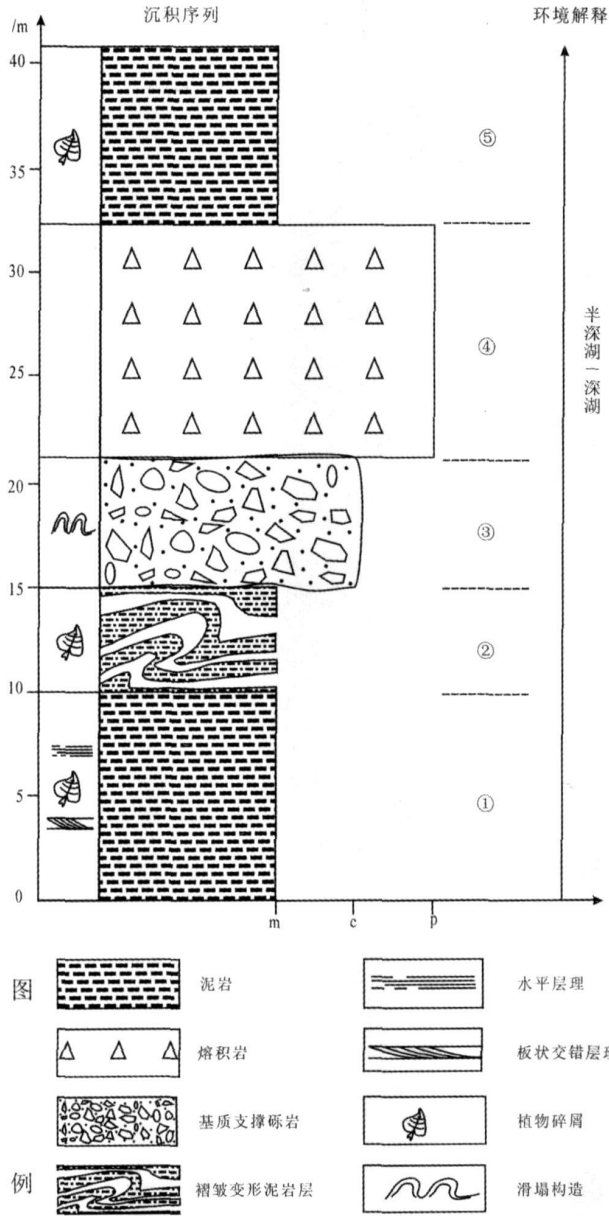


图 4 滦平盆地剖面处九佛堂组沉积序列

Fig 4 Jiufutang Formation sedimentary successions of the section in the Luoping Basin

①浅灰黑色粉砂岩, 出露厚度 10.0 m。岩层内发育大量水平层理、少量低角度交错层理和植物碎片以及黄色铁质结核, 岩层的个别部位发育同沉积正断

层 (图 5B), 同时还有少量火山碎屑颗粒。解释: 沉积物以粉砂岩为主, 粒度细, 颜色深, 发育层理代表深水悬浮沉积, 水动力条件相对弱。大量出现的结核也证明处于还原环境。在未变形岩层中, 正断层多形成于伸展环境, 伸展应力场反映了同时期构造活动或者是沉积物沿斜坡进行块状移动^[12]。

②褶皱变形的浅灰黑色泥岩, 发育大量植物碎片。变形岩层中发育大量褶皱 (图 5C), 泥岩中含火山碎屑颗粒 (图 5D) 以及发育烘烤边 (图 5E)。解释: 该岩层褶皱为滑塌成因, 经历了塑性或韧性同沉积软变形过程。褶皱多为斜歪褶皱, 枢纽处岩层厚度大。褶皱轴方位是 NNW—SSE 褶皱轴垂直于古水流方向, 指示古水流由 NEE 流向 SWW。岩层中火山碎屑颗粒及烘烤边的出现表明当时岩浆喷发, 并可能诱发了滑塌变形。

③基质支撑砾岩。以较大规模的透镜体形态出现。岩层内发育滑塌构造。砾石成分以流纹岩、花岗岩为主, 流纹岩约 70%, 花岗岩占 25%, 其它为安山岩和石英岩等。砾石分选差, 砾径从 1 cm 至 18 cm 不等, 平均 1.5 cm。砾石磨圆度较差, 呈角砾状。解释: 砾岩的形成可能与滑塌作用相关。砾石成分中流纹岩源自盆地早期张家口组, 而花岗岩则源自太古代地层。砾石分选和磨圆较差表明近源堆积。滑塌构造则表明沉积过程处于水下。

④紫红色、紫灰色的熔积岩 (图 5F) 成分为流纹岩。解释: 熔积岩从本质上来说, 是岩浆侵入破碎, 与未固结或固结性差的湿沉积物原地熔结混合形成的。同样, 熔岩及热火山碎屑岩与未固结或固结性差的湿沉积物混合也可形成^[3]。因此说, 湿沉积物是形成熔积岩所必需的, 但同时还要有流纹岩岩浆的破碎与混合。这与研究区熔岩和正常沉积物是不同的。熔岩呈灰色, 具有流纹构造。正常沉积物具有水平层理, 而熔积岩则不发育层理。

Busby-Spera 和 White^[13] 根据熔岩碎屑的形状将熔积岩分成块状 (blocky) 和流状 (fluidal) 两种类型, 本次研究发现的熔积岩属于前者。熔积岩颗粒二维形态呈现块状 (有时为锯齿状), 表面呈曲线状。锯齿状碎屑具有不规则的刺状边缘。碎屑具有原地破碎的特征。熔积岩中流纹岩碎屑成分与熔岩相同, 主要是流纹岩, 个别是浮岩质。含量从 10% ~ 90% 不等, 颗粒分散排列, 大小介于 2 ~ 20 cm 之间 (图 5F)。熔积岩的基质主要是泥岩 (图 5F)。Hanson 等^[14] 表明块状岩浆源碎屑形成于沿侵入边缘的淬碎裂解, 后

来在非爆炸过程分布于寄主沉积物中。在剖面处,熔积岩成“层”分布,但在空间上,熔积岩横向展布差,仅以“透镜体”形态分布。

⑤灰黑色粉砂岩,横向连续性好,未见顶。解释:岩相以粉砂岩细粒沉积物为主,代表深水悬浮沉积^[15]。

根据沉积序列分析,剖面主要以灰黑色或黑色粉

砂岩和泥岩细粒沉积物为主,缺乏牵引流沉积构造,主体以深水悬浮为特征,指示半深湖—深湖沉积环境(图 4)。发育的滑塌构造表明九佛堂组湖相沉积物处于尚未固结状态。火山碎屑颗粒、烘烤边以及熔积岩的出现表明流纹岩岩浆侵入到九佛堂组湖相未固结或弱固结的湿细粒沉积物。

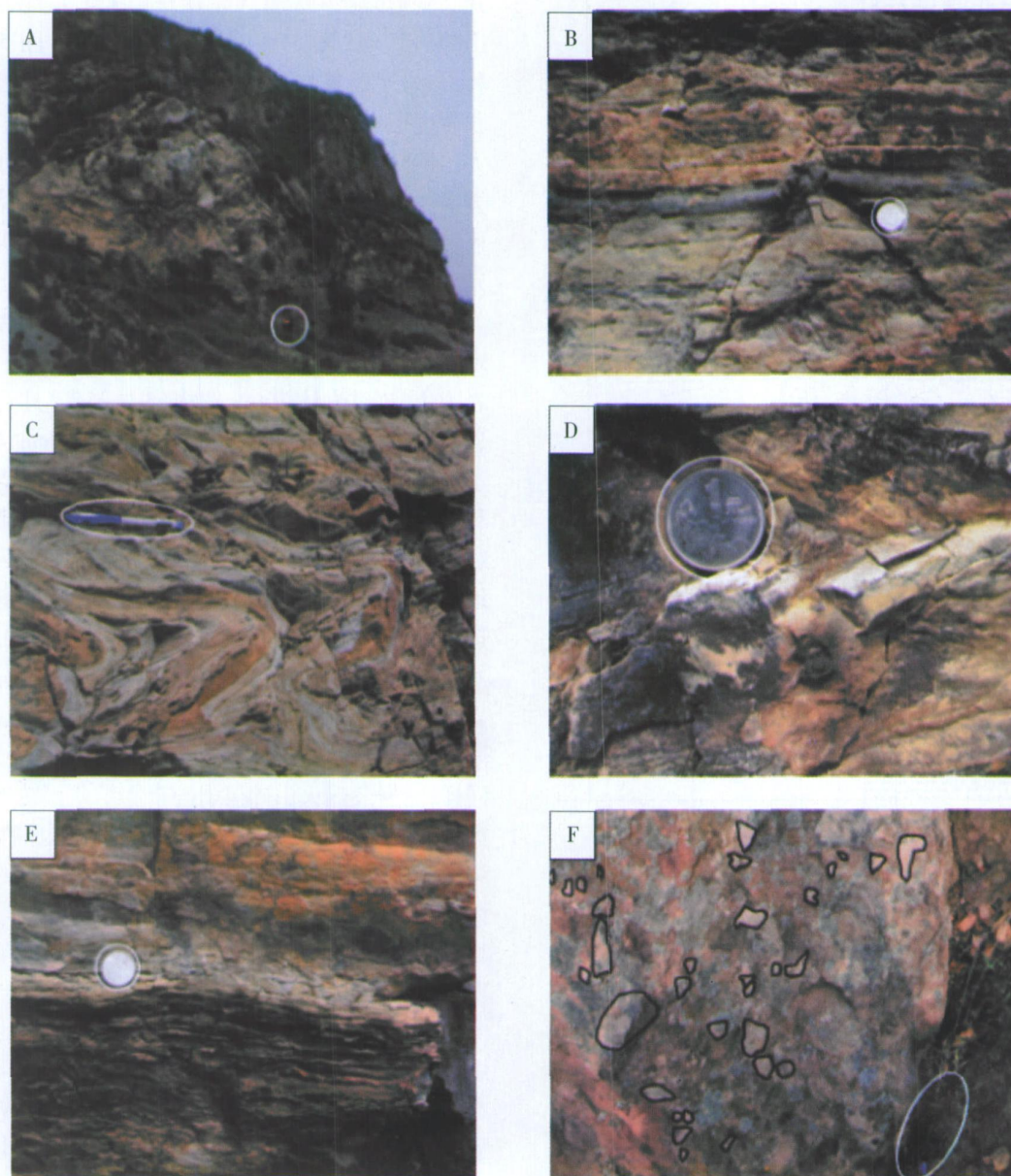


图 5 野外照片。A 熔积岩所在剖面; B 粉砂岩中同沉积正断层; C 褶皱变形的岩层; D 泥岩中火山碎屑颗粒; E 泥岩中火山烘烤边; F 熔积岩,黑色曲线代表流纹岩碎屑。

Fig 5 Field photographs A section including peperite B synsedimentary normal fault of siltstones C folded beds D pyroclastic particle of mudstones E mudstones rimmed by magma F peperite Rhyolitic clasts are irregular (black curved line).

5 讨论和结论

从上述剖面以及野外观察发现, 九佛堂组中熔积岩主要发育于颗粒相对较细的沉积岩层中, 而粗粒岩层中较少见。这从另外一个方面反映了盆地演化早期构造活动较强烈, 在湖相沉积物中发育熔积岩。在盆地演化后期, 构造运动渐趋停止, 熔积岩不发育。

晚侏罗—早白垩世, 蒙古—鄂霍茨克洋岩石圈向下俯冲导致中蒙边界及邻区地幔岩石圈拉张, 岩石圈伸展减薄^[16], 引发岩浆活动^[17-18], 形成大量伸展构造。燕山构造带大范围的火山喷发与同时期花岗岩侵入相一致^[19], 反映燕山构造带很可能受深部热—构造过程的控制。对早白垩世火山岩和花岗岩的岩石地球化学分析显示, 它们形成于岩石圈伸展环境中^[19]。滦平盆地位于燕山构造带的中段, 早白垩世首先是火山喷发, 形成张家口期的流纹岩。九佛堂盆地发生断陷, 接受陆源碎屑沉积, 主体为湖泊相的细粒沉积物。由于断层活动频繁, 湖泊相沉积物尚未固结或弱固结时, 岩浆侵入, 形成熔积岩。

湖相熔积岩的出现表明滦平盆地九佛堂组沉积作用与火山作用同时存在, 因此滦平盆地属于火山—沉积盆地, 而不是简单的沉积盆地。

参考文献 (References)

- 1 Kokear B P. Fluidization of wet sediments during the emplacement and cooling of various igneous bodies [J]. *Journal of the Geological Society London* 1982 139: 21-33
- 2 Kokear B P. Magma-water interaction in subaqueous and emergent basaltic volcanism [J]. *Bulletin of Volcanology* 1986 48: 275-289
- 3 White JD L, McPhie J, Skilling I P. Peperite: a useful genetic term [J]. *Bulletin of Volcanology* 2000 62: 65-66
- 4 Skilling I P, White JD L, McPhie J. Peperite: Processes and products of magma-sediment mingling [M]. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 2002 1-255
- 5 白志达, 孙善平, 徐德斌, 等. 火山碎屑岩的一种重要类型——熔积岩 [J]. *地质前缘*, 2004 11(3): 134 [Bai Zhida, Sun Shaping, Xu Debin, et al. Peperite: an important pyroclastic rock [J]. *Earth Science Frontiers* 11(3): 134]
- 6 Davis G A, Wang C, Zheng Y D, et al. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: new views on its intraplate contractional styles [J]. *Geology* 1998 26: 43-46
- 7 He H, Wang X, Zhou Z, et al. Timing of the Jiufotang Formation (Jehol Group) in Liaoning, northeast China, and its implications [J]. *Geophysical Research Letters* 2004 31: doi: 10.1029/2004GL019790
- 8 Ni B, He Zh, Song B, et al. SHRIMP geochronology of volcanics of

- the Zhangjiaku and Yixian Formations, northern Hebei Province, with a discussion on the age of the Xing'anling Group of the Great Hinggan Mountains and volcanic strata of the southeastern coastal area of China [J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)* 2004 78: 1214-1228
- 9 柳永清, 李佩贤, 田树刚. 冀北滦平晚中生代火山碎屑 (熔) 岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2003 22(3): 237-244 [Liu Yongqing, Li Peixian, Tian Shugang. SHRIMP U-Pb zircon age of Late Mesozoic tuff (lava) in Luanping basin, northern Hebei, and its implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* 2003 22(3): 237-244]
 - 10 邵济安, 张履桥, 储著银. 冀北早白垩世火山—沉积作用及构造背景 [J]. *地质通报*, 2003 22(6): 384-390 [Shao Ji an, Zhang Liaoqiao, Chu Zheyin. Early Cretaceous volcanism-sedimentation in northern Hebei and its tectonic setting: a discussion [J]. *Geological Bulletin of China* 2003 22(6): 384-390]
 - 11 张宏, 柳小明, 张晔卿, 等. 冀北滦平—辽西凌源地区张家口组火山岩顶、底的单颗粒锆石 U-Pb 测年及意义 [J]. *地球科学*, 2005 30(4): 387-401 [Zhang Hong, Liu Xiaoming, Zhang Yeqing, et al. Zircon U-Pb ages and significance of bottom and top beds of Zhangjiaku Formation in Liaoning and Hebei Provinces [J]. *Earth Science* 2005 30(4): 387-401]
 - 12 Malin A. The geological deformation of sediments [M]. London: Chapman & Hall, 1994 95-125
 - 13 Busby-Spera C J, White JD L. Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties [J]. *Bulletin of Volcanology* 1987 49: 765-775
 - 14 Hanson R E, Wilson T J. Large-scale rhyolitic peperites (Jurassic, southern Chile) [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1993 54: 247-264
 - 15 Low D. Sedimentary gravity flows II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents [J]. *Journal of Sedimentary Petrology* 1982 52: 279-297
 - 16 Meng Q R. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? [J]. *Tectonophysics* 2003 369: 155-174
 - 17 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄 [J]. *长春科技大学学报*, 1999 29(4): 313-318 [Wu Fuyuan, Sun Deyou. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology* 1999 29(4): 313-318]
 - 18 许文良, 王清海, 王冬艳, 等. 华北克拉通东部中生代岩石圈减薄的过程与机制: 中生代火成岩和深源捕虏体证据 [J]. *地质前缘*, 2004 11(3): 309-317 [Xu Wenliang, Wang Qinghai, Wang Dongyan, et al. Processes and mechanism of Mesozoic lithospheric thinning in eastern North China Craton: Evidence from Mesozoic igneous rocks and deep-seated xenoliths [J]. *Earth Science Frontiers* 2004 11(3): 309-317]
 - 19 Wu F, Lin J, Wilde S, et al. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 2005 233: 103-119

Peperite in the Jiufotang Formation of the Luanping Basin and Its Geological Implications

ZHANG Ying-li¹ MENG Qing-ren² QU Hong-jie³

(1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065)

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081)

Abstract Based on observation in the field, this paper documents the sedimentary features and variations of Jiufotang Formation in the Luanping basin. A special kind of rock, namely peperite, was identified and described in detail. Taking the geological setting of the basin into account, the author believes that the Luanping basin is a volcanic sedimentary basin. The intensive synsedimentary tectonic activity has resulted in the peperite in the Jiufotang Formation. **Key words** Peperite, Luanping Basin, Early Cretaceous, Jiufotang Formation

(Continued from page 99)

the careful analysis of the configuration of the lithological profile, there are 2 third-order, 6 fourth-order and 14 fifth-order sequences distinguished in the Jialingjiang Formation. It indicates that there are the distinct patterns of lithological profile for the high-frequency sequence in the TST and HST. Furthermore, the third-order and high-frequency sequence frameworks of the Jialingjiang Formation are established for the study area. Based on the knowledge of the reservoir features in the Jialingjiang Formation in the study area, using the theory of the sequence stratigraphy, by the analysis of the relationship between the growth of carbonate and the relative sea level change and the controls of the climate pattern on the evolution of the high-frequency sequence, we establish the models of the relationship between the high-frequency sequence and the formation of dissolution-porosity reservoir in arid climate in HST and in TST, respectively, and it shows that the sequence controls on the development and distribution of the dissolution-porosity reservoir and the dissolution-cavity reservoir; and we believe the second-order tectonic sequence exerts an influence on the formation and development of the karst reservoir and the fracture-cavity reservoir. It is summarized that the dissolution of the atmospheric water during the exposure (including penecontemporaneous and hypergene) related to the different order sequences is the main mechanism of the reservoir formation for the Jialingjiang Formation in the study area.

Key words Luzhou paleohigh, Jialingjiang Formation, arid climate, sequence, high-frequency sequence, carbonate reservoir