

燕山地区宣龙拗陷高于庄组—雾迷山组 沉积相与地球化学特征

罗顺社^{1,2}, 尚飞^{1,2}, 吕奇奇², 张建坤³, 谈卫东⁴, 赵文栋⁵

(1 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室; 2 长江大学地球科学学院; 3 中国地质大学(武汉)资源学院)

(4 长庆油田分公司勘探开发研究院; 5 中国石油集团渤海钻探工程有限公司)

摘要 通过对野外剖面的观察和测量,根据剖面岩性及古生物等相标志,结合室内薄片资料的研究,认为燕山地区宣龙拗陷中元古界高于庄组—雾迷山组主要发育一套海相碳酸盐岩,局部夹少量海相碎屑岩,韵律性和旋回性明显,叠层石形态丰富,可划分为海相碳酸盐岩台地和生物礁2个相带,进一步可细分为潮坪和障积-黏结礁2种亚相以及潮上带、潮间带、潮下带和障积-黏结岩4种微相,其中以潮汐作用控制的碳酸盐岩潮坪亚相为主,障积-黏结礁亚相仅在研究区高于庄组九、十段发育。建立了研究区高于庄组和雾迷山组的碳酸盐岩沉积模式。通过对微量元素(V、Rb、Sr、Ba、Be、B)和常量元素(Al、Si、Fe、Mg、Ca、K、Mn、P)分析结果按不同相带进行的统计认为,研究区碳酸盐岩地球化学特征与原始沉积环境有着极为密切的关系,可作为沉积环境判别的有效标志。

关键词 燕山地区; 宣龙拗陷; 高于庄组; 雾迷山组; 杨庄组; 沉积相特征; 地球化学特征

中图分类号: TE111.3; TE122.3

文献标识码: A

1 区域地质背景

燕山地区位于华北地块东北部,是我国中、新元古界地层发育最全、保存最好的地区之一,其构造单元包括山海关隆起、密怀隆起、宣龙拗陷、京西拗陷、冀北拗陷、冀东拗陷和辽西拗陷(图1)。宣(化)龙(关)拗陷位于华北地台燕山沉降带最西部,北临内蒙地轴,南临蓟县,东以鸡鸣山断裂和沿河城断裂为界,与密怀隆起相邻^[1]。研究区位于河北赤城县古子房附近,区内中元古界地层出露良好,分布广泛,具有代表性。地层自下而上分别为长城系大红峪组和高于庄组,蓟县系杨庄组、雾迷山组和洪水庄组。高于庄组沉积时期,燕山北部地形平坦,气候温暖,地壳广泛平稳下降导致海域面积进一步扩大,沉积物由陆源碎屑岩转变为碳酸盐岩为主,初期基本上继承了大红峪期的浅水环境,为发育范围广泛的碳酸盐潮坪环境,中期海平面上升,到晚期水体相对变浅。杨庄组继承了高于庄晚期海退趋势,到雾迷山组沉积时期,地壳下降幅度较大,为广泛的海侵时期^[2]。区内

高于庄组、杨庄组和雾迷山组实测厚度2713.57m,是中元古界典型的碳酸盐岩台地沉积,以白云岩、石灰岩为主,硅质条带也较发育,偶见其它岩类。

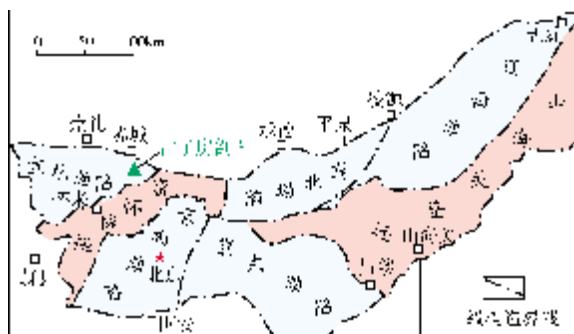


图1 燕山地区中元古界实测剖面位置示意图

2 沉积相特征

研究区中的高于庄组、杨庄组和雾迷山组,系燕山沉降带西端宣龙拗陷巨厚海相沉积的一部分,古地理背景为平坦、低坡度、延伸范围广而且水浅。从剖面上看,其地层岩性和岩相没有明显的变化,颗粒

收稿日期: 2011-01-18; 改回日期: 2011-05-05

罗顺社: 1961年生, 1983年大学毕业, 博士, 教授。现主要从事沉积学方面的教学及科研工作。通讯地址: 434023 湖北省荆州市南环路1号 长江大学地球科学学院; 电话: (0716)8060466

碳酸盐岩类型多样,韵律性和旋回性明显,叠层石形态丰富。本文根据剖面岩性及古生物等相标志,运用现代沉积学等理论对沉积相进行详细分析后认为,该区发育有海相碳酸盐岩台地相和生物礁相,其中碳酸盐岩台地相以潮汐作用控制的碳酸盐岩潮坪亚相发育为特征,可分潮上带、潮间带及潮下带三种微相,且均在研究层段广泛发育,而生物礁相仅在高于庄组的九、十段发育。

2.1 潮上带

位于平均高潮面和最大高潮面之间,常暴露于大气中,与潮间带上部常呈过渡关系,只有在大风暴和大潮汐时才被海水淹没。该地带准同生白云岩化作用较强烈,岩性主要为浅灰色、灰色、褐灰色薄—厚层

状或纹层状泥—粉晶白云岩、泥晶灰岩,局部夹硅质条带,也可见由碎屑物质混入所形成的如泥质或砂质白云岩等过渡类型(图2a)。常见干裂、石膏及石盐假晶等蒸发沉积标志(图2b),藻叠层石不太发育。潮上带微相主要发育在高于庄组下部和雾迷山组下部。

2.2 潮间带

位于平均高潮面与平均低潮面之间,以间歇能沉积为特点,为潮坪环境中最宽的地带。岩性主要为粉细晶白云岩和内碎屑白云岩,夹黑灰色硅质白云岩、硅质页岩或硅质团块(条带),含少量锰质,有时有少量陆源粉砂质和泥质混入而形成泥质(粉砂质)白云岩或石灰岩,局部可见鲕粒白云岩。其中内碎屑白云岩主要为砂屑白云岩或砾屑白云岩(图2c),砂砾屑

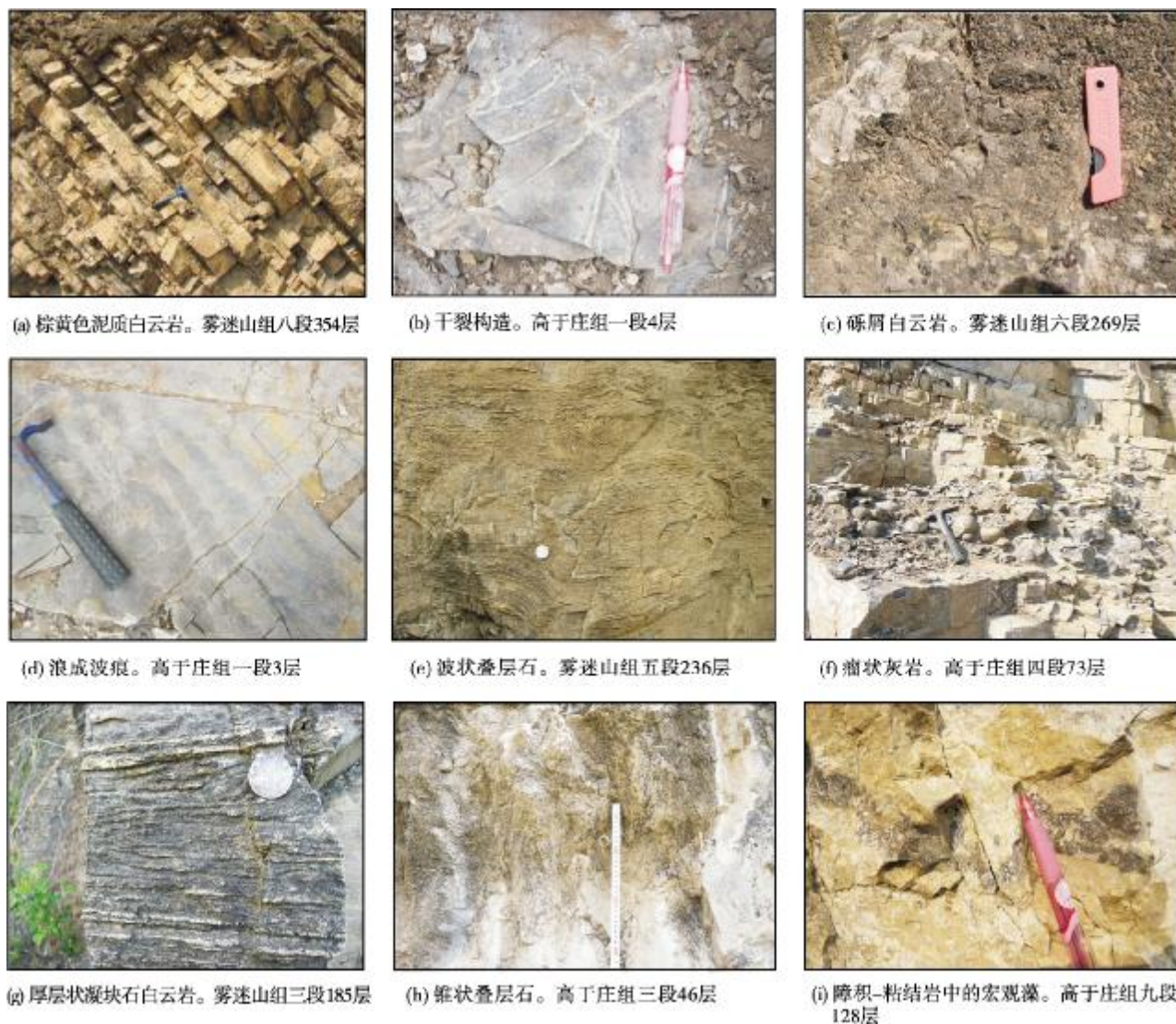


图2 宣龙坳陷中元古界高于庄组—雾迷山组野外露头岩石沉积特征

粒径0.2~10cm不等,含量为40%~80%,次圆—次棱角状,分选中等—差,粒间大多为亮晶胶结,偶见泥质充填;鲕粒多被亮晶的白云石或硅质胶结,常与波状或者穹窿状叠层石共同产出。发育平行层理、交错层理、浪成波痕、鸟眼构造等沉积构造(图2d),可见冲刷现象。叠层石较发育,多为波状和层状(图2e),偶见锥柱状。潮间带微相主要发育在高于庄组中上部、雾迷山组中上部以及杨庄组,且多与潮上带呈过渡沉积。

2.3 潮下带

位于平均低潮面之下。在低能环境,因水体较深,光线微弱,藻类活动少,主要为贫藻迹的化学沉淀为主的泥晶白云岩或石灰岩、瘤状灰岩、页岩(图2f),有时含较多锰质,可见水平层理。水动力较强的高能带,岩石类型为砂砾屑白云岩(石灰岩)、鲕粒白云岩、凝块石白云岩(图2g)等颗粒白云岩。发育丘状交错层理和羽状交错层理等,常见大型锥状或柱状藻叠层石以及藻

礁等(图2h),局部含锰质和硅质条带,夹风暴岩。潮下带微相主要发育在高于庄组中部及雾迷山组中上部。

2.4 障积—黏结礁

位于平均低潮面附近,属于生物礁亚相。岩性主要为浅灰色巨厚块状粉—细晶藻白云岩,内部隐约可见藻丝体或宏观藻,原地固着生长呈垂直和分枝状,藻间为粉细晶白云石充填,发育大量孔洞,其延伸方向大多垂直层面,内被结晶白云石或硅质逐石、石英充填或半充填。该生物礁的造礁生物为蓝绿藻和宏观藻(图2i),由于对海水中沉积物进行障积和黏结,形成障积—黏结礁。

在上述野外剖面沉积相研究的基础上,结合区域地质背景和岩相古地理,参考欧文(Irwin)^[3]、杨(yang)等^[4]采取海水能量及潮汐作用划分相带的方法和威尔逊模式,建立了研究区的高于庄组—雾迷山组碳酸盐岩沉积模式(图3)。

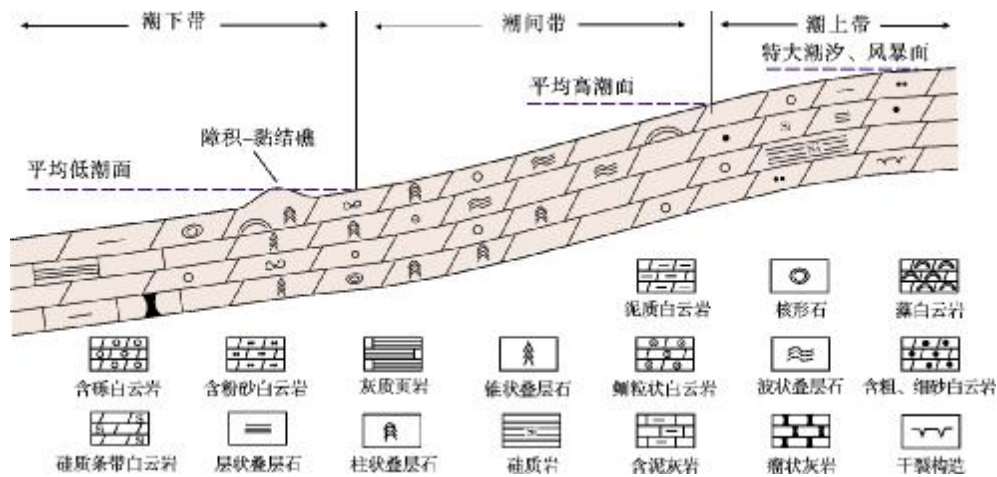


图3 宣龙拗陷中元古界高于庄组—雾迷山组沉积模式

3 样品

本次用于常量元素、微量元素分析的碳酸盐岩样品均采自河北赤城古子房实测剖面,共计378件,其中高于庄组119件,杨庄组6件,雾迷山组253件。所采样品均未经蚀变、矿化或次生风化作用,覆盖了研究区发育的4种微相类型,由国土资源部

武汉资源环境监督检测中心(中国地质大学(武汉)分析测试中心)分别采用电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7500a型)和Axios-Advanced X射线荧光光谱仪测定。被检测的元素包括常量元素Al、Si、Fe、Mg、Ca、K、Mn、P及微量元素Sr、Ba、V、Rb、Be、B。对分析数据按不同沉积相带进行统计研究,结果如表1和表2所示。

表1 宣龙拗陷古子房剖面高于庄组、杨庄组和雾迷山组不同沉积环境微量元素统计表

微相	V (×10 ⁻⁶)	Rb (×10 ⁻⁶)	Sr (×10 ⁻⁶)	Ba (×10 ⁻⁶)	Be (×10 ⁻⁶)	B (×10 ⁻⁶)	Sr/Ba	Sr/Ca (×10 ⁻⁶)
潮上带	3.963	9.002	21.261	52.276	0.158	18.243	1.15	0.992
潮间带	4.797	12.864	27.128	54.8333	0.205	16.866	1.53	1.222
潮下带	6.145	16.359	32.418	42.761	0.263	14.434	1.94	1.407

表2 宣龙坳陷古子房剖面高于庄组、杨庄组和雾迷山组不同沉积环境常量元素统计表

微相	Al ₂ O ₃ (×10 ⁻²)	SiO ₂ (×10 ⁻²)	Fe ₂ O ₃ (×10 ⁻²)	MgO(×10 ⁻²)	CaO(×10 ⁻²)	K ₂ O(×10 ⁻²)	P ₂ O ₅ (×10 ⁻²)	MnO(×10 ⁻²)
潮上带	0.817	13.652	0.349	17.722	27.701	0.196	0.020	0.052
潮间带	0.773	11.387	0.395	18.065	28.783	0.264	0.026	0.081
潮下带	0.731	5.411	0.295	19.719	30.624	0.173	0.029	0.097

4 地球化学特征

4.1 微量元素

Sr、Sr/Ba 及 Sr/Ca 值 Sr 是碳酸盐岩中重要的微量元素之一,许多学者认为从浅水碳酸盐岩到深水碳酸盐岩,Sr 的绝对含量有增加的趋势^[5-7],Sr/Ca 值也呈类似的规律。Ba 的化学性质与 Sr 相似,但由于淡水中的 Ba²⁺易与海水中的 SO₄²⁻结合生成 BaSO₄ 沉淀,使其迁移能力相对较弱,多在近岸沉积物中富集,而 SrSO₄ 溶解度较大,可以继续迁移到远海,故 Sr/Ba 值常是海水深度、盐度和离岸距离的重要判别标志。由于研究区发育在水体较浅的潮坪位置,Sr 含量总体上相对深水区较低,而且 Sr 与 Ca 同时受到陆源浑水泥质含量的影响,因此采用 Sr/Ca 和 Sr/Ba 进行研究。从表 1 中可看出,Sr/Ba 值在各相带中均大于 1,表明研究区为正常的海相沉积环境。其中 Sr 的含量从潮上带到潮下带明显递增,Sr/Ca 和 Sr/Ba 值也依次升高。

B 的含量变化 沉积物中的 B,除来自陆源碎屑(电气石)外,主要从海水中吸取。现代海水中 B 约为 4.7×10⁻⁶,而淡水中一般不含 B。沉积物中 B 的含量与水体中 B 的含量有关,因而也和水体的盐度存在着函数关系,这表明 B 含量可以作为古沉积环境指标的依据。一般认为,湖相沉积物中 B 含量最低,海相沉积物中约为 100×10⁻⁶ 或更高,成盐泻湖中含盐粘土 B 含量达 1000×10⁻⁶。据沃克等^[8-9]研究,B 含量大于 400×10⁻⁶ 为超盐度环境,(300~400)×10⁻⁶ 为正常海相,(200~300)×10⁻⁶ 为半咸水沉积,小于 200×10⁻⁶ 为低盐度环境。在各类岩石中 B 含量不等,以泥岩中为最高。表 1 中 B 的平均含量由潮上带到潮下带逐渐降低均小于 200×10⁻⁶,为低盐度环境,反映出沉积区泥质含量随水体加深而逐渐降低。

Be 的含量变化 Be 为碱土金属元素,性质与 Sr 相似,随着离岸越远,伴随生物堆积作用而沉积的 Be 含量就越高,区内其含量在潮上带(0.158×10⁻⁶)最小,潮间带(0.205×10⁻⁶)次之,潮下带(0.263×10⁻⁶)最大。在不同相带 Be 的含量变化范围不同(表 3),根据上述特征,利用 Be 的含量变化可以作为划分沉积相的标志。

表3 宣龙坳陷古子房剖面高于庄组—雾迷山组不同相带的 Be、P₂O₅ 含量表

沉积相	Be(×10 ⁻⁶)	P ₂ O ₅ (×10 ⁻²)
潮上带	0.02~0.13	0.001~0.015
潮间带	0.13~0.23	0.015~0.022
潮下带	>0.23	>0.022

V 与 Rb 的含量变化 V 与 Rb 主要与浮游和固着的藻类有关,离岸远,含量相对增高,可反映水体深浅的变化。从表 1 中可看出,从潮上带到潮下带 V 和 Rb 的含量都逐渐增加。

4.2 常量元素

CaO、MgO 与 SiO₂ 的含量变化 通过统计,研究区目标层段常量元素主要以 MgO 和 CaO 为主,CaO 含量大于 MgO,且其含量随着离岸越远,因水体加深而变大。SiO₂ 则随着离岸越远,含量相对变少,如表 2,在潮上带(13.652×10⁻²)最大,潮间带(11.387×10⁻²)次之,潮下带(5.411×10⁻²)最小。MgO 和 CaO 的含量表明碳酸盐岩的发育程度,SiO₂ 的含量代表陆源碎屑的供应情况。研究区在研究层段主要发育着一套碳酸盐岩沉积,以白云岩为主,且在潮上带陆源碎屑的供应相对较多,潮间带次之,而在潮下带几乎没有陆源碎屑的供应。SiO₂ 的含量与 CaO、MgO 的含量呈明显的负相关,表明沉积环境中的陆源物质会抑制碳酸盐岩矿物的沉淀。

MnO 与 Fe₂O₃ 的含量变化 Mn 在海水中以 Mn²⁺的形态比较稳定地存在,能聚集在水体较深的地方,甚至聚集在大洋的洋底^[10]。因此,Mn 含量(除局限海湾环境外)从浅水区至深水区依次增高。本区 MnO 的质量分数,从潮上带的 0.052%,上升至潮间带的 0.081%,到潮下带增至 0.097%(表 2),与上述规律相吻合。而铁极易氧化成 Fe³⁺,Fe³⁺在 pH>3 时就形成 Fe(OH)₃ 沉淀。被搬运到海洋中的铁大多以胶体溶液呈悬浮状态出现,所以铁的化合物易在浅海地区发生聚集。因此,Fe₂O₃ 的含量在潮间带最大,潮上带次之,潮下带最小。相比之下,MnO 比 Fe₂O₃ 更加稳定。

P_2O_5 的含量变化 研究表明,海水中 P 主要来自陆源碎屑和海洋生物,在海水表面其含量最低,到 1000m 深处达到最高,更深处含量又降低。故 P_2O_5 可作为海水深度的指示标志。研究区从潮上带到潮下带, P_2O_5 的平均含量逐渐变大,且不同相带 P_2O_5 的含量变化范围不同,如表 3 所示,在潮上带 P_2O_5 的含量变化范围为 0.001~0.015,潮间带为 0.015~0.022,潮下带则大于 0.022。根据上述特征,利用 P_2O_5 的含量变化可以作为划分沉积相的标志。

5 结 论

(1)燕山地区宣龙拗陷中元古界地层出露良好,分布稳定,发育比较完整,顶、底界线清晰,叠层石丰富,是一套未变质的沉积岩系。剖面自下而上组成多个沉积旋回,使这套古老地层具有形成原生气藏的条件。研究区高于庄组中部丰富的叠层石表明该沉积期藻类繁盛,可形成良好的烃源岩层段。高于庄组下部及雾迷山组中上部白云岩中溶孔和裂缝较发育,可作为良好的储层。

(2)研究区高于庄组、杨庄组和雾迷山组为一套巨厚的海相碳酸盐岩夹碎屑岩地层,可划分为海相碳酸盐岩台地和生物礁 2 种相,潮坪和障积-黏结礁 2 种亚相,以及潮上带、潮间带、潮下带和障积-粘结岩 4 种微相。

(3)研究区碳酸盐岩地球化学特征与原始沉积环境有着极为密切的关系,可作为沉积环境判别的有效标志。元素 V、Rb、Sr、Be、Mn、P、Ca、Mg 及 Sr/Ba、

Sr/Ca 值对环境变化敏感,由潮上带→潮间带→潮下带,具有随沉积水体加深而变大的趋势,而 B、 Al_2O_3 和 SiO_2 ,具随沉积水体加深而变小的趋势,可以指示古水深变化。特别是 Be 和 P 在不同相带具有不同的分布范围,可以作为沉积相划分的依据。

参 考 文 献

- [1] 王曰伦. 中国震旦亚界[M]. 天津:天津科学技术出版社, 1980:103-168.
- [2] 吉利明, 陈践发, 郑建京, 等. 华北燕山地区中新元古代沉积记录及其古气候、古环境特征[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 777-784.
- [3] Irwin M L. General theory of epiiric clear water sedimentation[J]. AAPG Bulletin, 1965, 49(4): 445-459.
- [4] Young L M, Fidler L C, Jones R W. Carbonate facies in Ordovician of Northern Arkansas[J]. AAPG Bulletin, 1972, 56(1): 68-80.
- [5] Veizer J, Demovic R. Environmental and climatic controlled fractionation of elements in Mesozoic carbonate sequences of the western Carpathians[J]. Sedimentary Petrology, 1973, 43(1): 258-271.
- [6] Veizer J, Demovic R. Strontium as a tool for facies analysis[J]. Sedimentary Petrology, 1974, 44(1): 93-115.
- [7] 刘文均. 湘南泥盆系碳酸盐岩中锶的分布特点及其环境意义[J]. 沉积学报, 1989, 7(2): 15-19.
- [8] Walker C T, Price N B, Wales S. Departure curves for computing palaeosalinity from boron in illites and shales[J]. AAPG Bulletin, 1963, 47(5): 833-841.
- [9] Walker C T. Evaluation of boron as a palaeosalinity indicator and its application to off-shore prospects[J]. AAPG Bulletin, 1968, 52(5): 751-766.
- [10] 郭成贤, 胡明毅. 中扬子台地边缘上震旦统沉积成岩作用研究[M]. 北京:地质出版社, 1997: 81-83.

编辑:金顺爱

Sedimentary Facies and Geochemical Features of Mesoproterozoic Gaoyuzhuang-Wumishan Formations in Xuanlong Depression, Yanshan

Luo Shunshe, Shang Fei, Lü Qiqi, Zhang Jiankun, Dan Weidong, Zhao Wendong

Abstract: Based on observation of field profiles, study of facies markers in rock profiles and paleontology, and analysis of geochemical data, it is suggested that in Yanshan area, Mesoproterozoic Gaoyuzhuang and Wumishan Formations are a set of marine carbonate rock bedded locally with marine clastic rock, in which there are obvious rhythms and cycles and various stromatolite structures. The formations can be divided into carbonate terrace facies and biohermal facies, and can be further subdivided into tidal flat and baffle-bond reef subfacies and into four microfacies: supratidal zone, intertidal zone, subtidal zone and baffle-bond reef. Among these subfacies, the carbonate tidal flat subfacies is dominated and baffle-bond reef subfacies only develops in the 9th and 10th Members of Gaoyuzhuang Formation. A sedimentation model of carbonate rock is established. Through statistical analysis on trace elements (V, Rb, Sr, Ba, Be and B) and invariable elements (Al, Si, Fe, Mg, Ca, K, Mn and P) in different sedimentary environments, it is shown that geochemical features of the carbonate rock are closely related with primary sedimentary environment in this area, which can be used as the effective mark to identify sedimentary environments.

Key words: Mesoproterozoic; Sedimentary Facies; Geochemistry; Xuanlong Depression

Luo Shunshe, male. Doctor, Professor. Add: Geoscience Faculty of Yangtze University, 1 Nanhuan Rd., Jingzhou, Hubei 434023, China