

文章编号 :1000-0550(2001)02-0207-07

泌阳凹陷下第三系湖相白云岩形成条件^①

黄杏珍¹ 邵宏舜¹ 闫存凤² 妥进才¹ 何祖荣²
张新社² 王寿庆² 李玉兰²

1(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

2(河南石油局勘探开发研究院 河南南阳 473132)

摘要 中国中、新生代大多数湖盆湖相碳酸盐岩以灰岩沉积为主,但部分湖盆像南—襄盆地泌阳凹陷则主要沉积白云岩,其累计厚度达 900 余米,而白云岩层系的厚度(包括白云质、灰质泥岩、白云质粉、细砂岩等夹层)可达 2 200 m,并成为良好的生油岩系,形成小而肥的南阳油田。本文着重探讨如此巨厚的白云岩形成的古气候、古水体的物理化学性质和古环境条件。在目前湖相碳酸盐岩研究仍处于湖泊沉积学研究的极薄弱领域,湖相白云岩形成条件更是涉及较少的情况下,愿本文的研究能起到抛砖引玉的作用

关键词 湖相白云岩 形成条件

第一作者简介 黄杏珍 女 1938 年出生 研究员 石油地质及沉积学

中图分类号 P588.24+5 **文献标识码** A

泌阳凹陷位于河南省南部唐河县与泌阳县之间,属于南阳—襄樊盆地的一个次级凹陷,面积约 1 000 km²。下第三系核桃园组湖相碳酸盐岩沉积甚为发育,但以白云岩沉积为主,灰岩泥灰岩沉积较少,仅在浅水强蒸发环境中才有沉积。共观察了云 1、2 井,泌 96、185、93、64、73 井和王 15 井等八口井拼接的下第三系岩心剖面,系统进行了盐度、元素等分析和岩石薄片染色鉴定、菌藻类鉴定等,作为本项研究的基础资料。

1 湖相白云岩沉积概况

1.1 地层、沉积相和白云岩发育情况

凹陷内所见下第三系由老到新为(1)玉皇顶组(E_{2y})岩性为棕红色砾状砂岩与泥质岩互层,冲积平原相厚约 200~700 m(2)大仓房组(E_{2d}),为棕红、灰绿、深灰色泥岩,含碱泥质白云岩夹粉砂岩属浅水碱湖环境为滨、碱湖相,厚约 2 000 m(3)核桃园组(E_{2-3h}),白云岩沉积最为发育,乃是本文研究的主要层位,自下而上分为核三(H₃)又可分为 H₃⁸→H₃¹、核二(H₂) (又可分为 H₂³→H₂¹)和核一(H₁)三个段,其中 H₃ 至 H₂ 段为一套暗色泥质白云岩、白云质泥岩夹薄层粉、细砂岩的浅湖、较深湖相沉积,但 H₃ 上部至 H₂ 段由于气候变干,湖水略有变浅,在凹陷中心出现一套泥质白云岩,白云岩夹多层薄碱层沉积,为浅湖和碱湖相。核桃

园组与大仓房组相比较前者白云岩厚度大,碱层(成为碱矿)呈层状出现,形成于较深水的常年分层盐湖环境,后者白云岩薄,碱层成透镜状、团块状断续分布,形成于浅水强蒸发环境,因此前者白云岩沉积规模远大于后者,其分布面积一般稳定在 60~70 km²,但核三分布面积最大可达 300 km²(4)廖庄组(E_{3l}),杂色砂砾岩向上变为灰绿色膏泥岩,河流—膏盐湖相。从 H₁ 至廖庄组湖盆上升,湖面收缩白云岩不甚发育。

1.2 白云岩在核桃园组中的分布

由表 1 可见,核桃园组自下而上白云岩有明显增加趋势,下部 H₃⁸—H₃¹ 白云岩百分含量低仅占 20%~40%(H₃⁷~⁸ 未统计),而上部 H₃¹~H₂¹ 白云岩百分含量增高可达到 60%以上,白云岩沉积的多寡取决于是否充分具备白云岩形成的条件。

2 湖相白云岩特征

2.1 白云岩岩石学特征

白云岩层系基本上由白云岩类(占 40%~95%)、砂岩类(5%~45%)和泥岩类(10%~15%)及其间的过渡岩类约 20 余种按一定的序列组成互层,此外还含有特殊岩类天然碱等,白云岩类型主要有云泥岩(泥晶白云岩)、砂屑(包括竹叶状)云泥岩、泥质和砂质云泥岩以及含碱云泥岩等。白云岩纯度低,不溶残渣含量远超过海相白云岩(<5%),一般达 10%~49%。其平

① 国家自然科学基金资助项目(批准号:49872048)

均含量是:白云石 65%~80%、方解石 0.5%~2.5%、泥质约 10%、砂质 5%~10%、黄铁矿达 1%~2%。白云岩主要由原生泥晶级颗粒白云石(直径 $3\ \mu\text{m}\pm$)铁白云石组成,为同沉积和准同生阶段形成,也有少量成岩作用阶段形成的次生粉晶白云石,其洁净、透明度高,易于与原生白云石区分。白云岩单层厚度较小,多为几十厘米至几米,最薄者小于 1 mm,岩性更替快,呈韵律状与纹层状互层,说明白云岩沉积时严格受陆源补给、水介质等白云岩形成条件的制约,造成白云岩沉积呈旋回式变化。

表 1 核桃园组各段白云岩的分布

Table 1 Distribution of each dolomite rock interval in Hetao Yuan Formation

层段	地层厚度	白云岩厚度	白云岩占地层%	碱层厚度	层段	地层厚度	白云岩厚度	白云岩占地层/%
H ₂ ¹	400	240	60	10.5	H ₃ ¹	290	120	41
H ₂ ²	270	180	67	2.5	H ₃ ²	400	140	35
H ₂ ³	190	120	63	9.0	H ⁴	300	80	27
H ₃ ¹	200	120	60	18.0	H ₃ ⁵⁻⁶	350	145	41

表中厚度单位为 m

2.2 白云岩的地球化学特征

贾振远等曾对本工作区白云岩进行各项地球化学分析。^①据 X 衍射和红外光谱分析泌阳凹陷白云岩主要由铁白云石组成,电子探针分析结果 Mg:Fe 的原子比大于 2,属铁白云石(Ca(Mg,Fe)CO₃)₂,笔者进行的矿物染色鉴定也证实这一点。此外,Mg/Ca 比值一般小于 1,说明白云石是理想的有序白云石,形成于较稳定的还原环境。据等离子体光谱分析结果,白云岩中富含 Fe(4.77%)、K(2.68%)、Na(3.7%)和一定数量的 Ca(6.52%)、Mg(3.13%),表明白云岩形成于以化学沉积为主的碱性湖泊环境,富含的铁并非三价铁而是二价铁,也表明白云岩形成于还原环境。据云 1、云 2 井五个白云岩样品的氧、碳同位素分析结果可知, $\delta^{18}\text{O}$ (PDB)变化在 -2.53‰至 -7.49‰之间, $\delta^{13}\text{C}$ (PDB)在 -2.71‰至 2.37‰间,重同位素没有富集,与 Muller (1968)和 Hudson (1977)碳酸盐岩的碳同位素与环境关系相对比,泌阳凹陷白云岩应沉积于湖泊较深处凹陷中心部位(边缘岸堤 $\delta^{13}\text{C}$ 为 4.21‰~4.13‰,斜坡带为 2.93‰,盆地中心 2.68‰),因此多方面的白云岩地球化学特征表明,白云岩形成于湖水较深的还原环境。

3 湖相白云岩形成条件

3.1 白云岩形成的古气候条件

古植被的孢粉对于气温、降雨量等气候要素反应

最为灵敏,据不同孢粉组合计算的喜热系数和旱生系数的变化⁽¹⁾可作为评估古气候(温度)演变的有效指标。由表 2 可知,泌阳凹陷早第三纪以北亚热带气温为主,年平均温度在 14~16℃。从玉皇顶组和大仓房组的半干旱—干旱气候向核桃园组变为潮湿气候,但从核一至廖庄组复又变为半干旱气候。结合前面巨厚白云岩系分布在核桃园组和白云岩沉积模式研究⁽⁴⁾均表明白云岩主要形成在潮湿气候下,雨量充沛,湖面扩大,湖水加深,湖泊发育的全盛时期。由于淡水补给丰富,湖水盐度处于湖泊演化的相对淡化时期。而大仓房组白云岩则形成于干旱气候,降雨量低,气温较高 16~20℃的浅水强蒸发作用下,处于湖水相对咸化时期,并不十分有利于白云岩形成,因此其沉积规模远小于核桃园组。

表 2 泌阳凹陷下第三系气候参数

Table 2 Parameters of the paleoclimate during Tertiary time Biyang in depression

时代	气候区带	喜热系数	旱生系数	年平均温度 /℃	年降雨量 /mm ²
E ₃ l	北亚热带半干旱	0.5~0.8	0.2~0.4 偏湿	14~16	300~800
E ₂₋₃ h	北亚热带潮湿	0.5~0.8	0.1~0.2	14~16	1500
E ₂ d	中亚热带干旱	0.9~1.4	0.8	16~20	100~200
E ₂ y	北亚热带半干旱	0.5~0.8	0.2~0.4	14~16	300~800

据张师本等⁽¹⁾资料收引

此外,元素和盐度变化对气候及环境的响应比古生物更为灵敏。对元素和盐度变化的研究⁽²⁾认为,在核桃园组有多次短周期的气候变化,如 H₃¹→H₃²、H₃²→H₃³、H₃³下→H₃³上-H₂²为三次由半潮湿向潮湿短周期的气候旋回,在气候相对变干的时期,湖水变浅变咸,盐度增高,甚至在 H₃¹至 H₃²下部出现碱层沉积。此时白云岩与碱层呈薄互层或共生。

3.2 白云岩形成的水化学条件

(1)白云岩形成的水化学类型:湖泊的水化学类型根据湖水中主要离子含量的多少而确定,水化学类型的划分原则见表 3⁽³⁾。据岩心样品的水溶性离子分析结果计算了特征系数并按表 3 标准划分了水化学类

① 贾振远,孙永传,李惠生等.泌阳凹陷下第三系核桃园组白云岩层序沉积环境及储集性能.1986.

表 3 湖水化学类型的划分

Table 3 Chemical classification of water types of lake

水化学类型 特征系数	碳酸盐	硫酸盐		氯化物
		硫酸钠	硫酸镁	
$K_{n1} = CO_3^{2-} + HCO_3^- / Ca^{2+} + Mg^{2+}$	> 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
$K_{n2} = CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-} / Ca^{2+} + Mg^{2+}$	≥ 1	≥ 1	≤ 1	≤ 1
$K_{n3} = CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-} / Ca^{2+}$	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≤ 1
$K_{n4} = CO_3^{2-} + HCO_3^- / Ca^{2+}$	≥ 1	< 1, > 1	< 1, > 1	< 1

表中离子含量为当量离子含量

型。由表 4 可见, 核桃园组水化学类型以碳酸盐型为主, 其次为硫酸盐型中的硫酸钠镁亚型, 少量的出现硫酸钠亚型。仔细研究表 4 中岩性和水化学类型关系可知, 白云岩类(包括泥质、碳质、含碱白云岩等)无例外的沉积于碳酸盐型水体中, 而含灰质岩类和灰岩类则沉积于硫酸钠镁亚型, 部分云质泥岩和泥页岩属硫酸钠亚型, 同时表明核桃园组不存在氯化物型水。从与白云岩共生的盐类标志矿物主要为苏打($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$)、水碱($Na_2CO_3 \cdot H_2O$)和重碳酸盐($NaHCO_3$)等也证实白云岩形成于碳酸盐水型。

(2) 白云岩沉积的湖水离子组成: 湖水虽然主要由钾、钠、钙、镁、氯根、硫酸根、重碳酸根和碳酸根等八大离子组成, 但受湖泊所处古气候和自然地理位置的影响, 各种离子的含量变化极大, 才导致沉积不同的盐类和岩石类型。由表 4 可见, 白云岩沉积时湖泊化学成份中富含 K^+ 、 Na^+ (40 ~ 100) 和 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- (30 ~ 60), 而贫 Ca^{2+} (4 ~ 12)、 Mg^{2+} (1 ~ 10) 和 SO_4^{2-} (10 ~ 30) 形成碳酸盐水型, 有利于大量沉积白云岩和进一步沉积碱层^[4], 当泥灰岩、灰质泥页岩沉积时, 湖泊相对白云岩沉积时富含 Ca^{2+} (50 ~ 270)、 Mg^{2+} (一般 10 ~ 20, 可高达 130) 和 SO_4^{2-} (150 ~ 500), 而贫 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- (10 ~ 30), 属硫酸盐水型, 因此, 巨厚白云岩的沉积主要取决于湖泊原始的离子组成。

3.3 白云岩形成的水介质条件

湖水是一种十分复杂的溶液, 常溶有一定数量的阴阳离子、溶解性气体、微量元素和生物营养元素等导致湖水化学性质差异很大, 湖相白云岩乃是以生物作用参与下的化学沉积为主, 什么样的湖水化学性质有利于白云岩的沉积和保存呢? 这里选择湖水矿化度(盐度)和酸碱度(pH 值)这两个能代表湖泊化学属性的指标进行研究。盐度除可反映湖水化学类型外, 还可反映湖泊各种盐类物质能否达到沉积的浓度, 而 pH 值在某种意义上决定了盐类沉积后能否得以保存而不被溶解的条件。

(1) 盐度条件: 由图 1 和表 4 可见, 沉积物随着

埋藏深度的增加, 盐度会增加, 这是成岩过程中孔隙水矿化度增高的影响, 排除此影响后, 在相同的埋深条件下, 碳酸盐水型盐度最低为 3‰ ~ 10‰, 硫酸钠镁亚型最高为 6‰ ~ 30‰, 总是高于碳酸盐水型, 硫酸钠亚型介于二者之间(4‰ ~ 12‰), 而且湖盆凹陷中心区(如云 1、2 井和泌 196 井等)盐度高于凹陷边缘区(泌 185 井), 因边缘区淡水补给丰富, 从泌阳凹陷白云岩主要形成于碳酸盐水型和白云岩实测盐度数据表明, 白云岩沉积的盐度一般较低为 3‰ ~ 10‰, 即相当于微咸水(0.5‰ ~ 5‰)至半咸水(5‰ ~ 30‰), 当含碱白云岩沉积时其盐度可高达 45‰, 说明白云岩形成的盐度较低, 但变化范围很宽, 对盐度的要求并不严格, 而泥灰岩、灰质泥页岩沉积的水体盐度则高于白云岩, 一般大

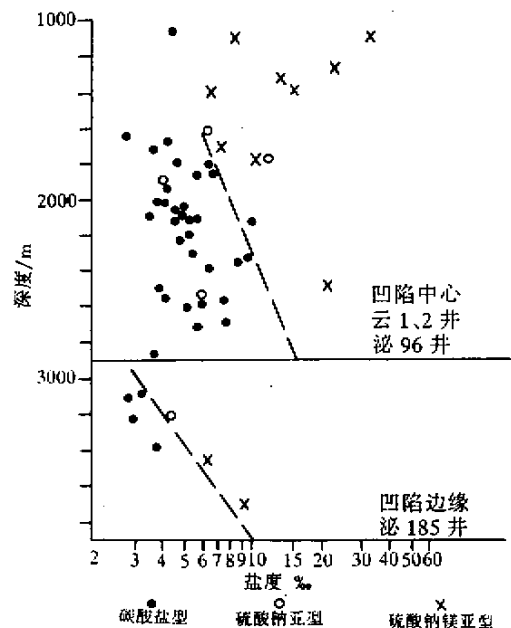


图 1 泌阳凹陷下第三系湖泊水化学类型与盐度关系

Fig.1 Relationship between chemistry type and salinity of the lake water of Bi yang Depression in lower Tertiary

表 4 泌阳凹陷核桃园组水溶性离子的毫克当量浓度与古水化学类型

Table 4 Miliequivalent concentration of water-soluble ions and paleo chemistry of Hetao Yuang Formation in Biyang depression

井名	井深 /m	层位	岩性	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺ Na ⁺	HCO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻	古盐度/%	Kn1	Kn2	Kn3	Kn4	水化学类型
泌 93	1098	H ₁	泥岩(岩屑)	64.4	12.1	100.1	1.3	44.0	18.1	8.5	0.24	1.59	1.85	0.29	2—2
	1339		泥灰岩	114.7	22.1	169.2	2.7	57.3	22.2	13.5	0.16	1.40	1.67	0.19	
云 1	1500	H ₂	泥质云岩	* 12.1	7.0	28.9	5.4	52.2	37.0	5.1	1.94	3.45	5.47	3.07	1
云 2	1633	H ₂	云质泥岩	24.1	28.2	53.6	2.7	39.1	35.2	6.4	0.67	1.70	3.68	1.46	2—1
	1684		泥质云岩	4.0	1.0	24.6	2.7	55.6	33.3	4.2	6.62	11.52	14.41	8.28	1
	1713		云质页岩	32.1	17.1	74.0	2.7	55.0	27.8	7.3	0.56	2.06	3.16	0.86	2—2
	1731		泥质云岩	4.0	2.0	18.2	2.7	48.2	33.3	3.8	5.52	8.54	12.81	8.28	1
	1757		页岩	54.2	18.1	96.4	2.7	91.4	64.8	12.0	0.89	2.23	2.97	1.19	2—1
	1792		泥质白云岩	6.0	8.1	12.9	2.7	53.3	51.8	4.6	3.67	4.59	10.72	8.59	1
	1811		泥质云岩	8.0	2.0	29.0	2.7	66.0	44.6	6.6	4.44	7.32	9.16	5.56	1
	1846		云质页岩	16.1	4.0	68.6	2.7	73.3	22.2	6.7	1.10	4.51	5.64	1.38	
	1869		泥质云岩	24.2	10.1	40.7	2.7	62.1	37.0	5.8	1.08	2.27	3.22	1.53	
	1934	含泥云岩	0.0	6.0	19.3	1.3	45.2	40.7	4.2	6.74	9.93	60E + 6	40E + 6		
	1971	含碱云岩	6.0	0.0	270.1	6.7	766.1	458.9	45.2	76.10	121.04	121.04	76.1		
	2006	泥质云岩	6.0	18.1	4.3	2.7	38.3	55.5	4.0	2.30	2.48	9.92	9.21		
	2045		6.0	2.0	15.9	1.3	67.3	48.1	5.0	5.98	7.95	10.59	7.97		
	2093	H ₃	泥岩	4.0	8.1	16.1	2.6	36.7	48.1	5.0	3.98	5.31	15.93	11.94	
	2114		含碱云岩	8.1	1.0	9.6	5.4	191.3	181.3	11.4	20.02	21.08	23.22	22.53	
	2116			12.1	6.0	10.7	1.3	60.9	62.9	5.6	3.48	4.07	6.10	5.22	
	2105	泥质云岩	6.0	1.0	21.4	2.7	53.5	44.4	4.5	6.31	9.35	10.92	7.36		
	2162		6.0	1.0	21.4	1.3	51.8	37.0	4.4	5.26	8.30	9.69	6.14		
	2191	H ₃	泥质云岩	6.0	1.0	27.9	2.7	64.2	40.7	5.3	5.78	9.74	11.37	6.75	
2218	6.0			2.0	27.9	2.7	63.2	40.7	4.8	5.1	8.53	11.37	6.75		
2306	6.0			1.0	22.5	2.7	70.0	51.8	5.4	7.36	10.55	12.32	8.59		
2370	12.1			1.0	24.6	4.0	108.1	93.0	8.6	7.08	8.96	9.71	7.67		
2394	9.0			2.0	39.6	2.7	84.4	48.1	6.3	7.98	14.55	21.83	11.97		
2491	H ₃	灰质页岩	188.8	20.1	271.0	2.7	82.9	18.5	20.2	9.08	1.37	1.53	0.1	2—2	
2515		泥质云岩	16.1	8.1	20.4	2.7	31.3	31.5	3.9	1.3	2.15	3.22	1.96	1	
2530		云质泥岩	40.2	16.1	54.6	1.2	18.1	18.5	5.2	0.33	1.30	1.82	0.46	2—2	
2549		含砂泥岩	11.1	7.0	33.2	2.7	40.0	22.2	4.2	1.23	3.06	5.01	2.01	1	
2567		云质泥岩	14.1	4.0	67.5	1.3	84.0	33.3	7.4	1.84	5.57	7.17	2.37		
2592		页岩	28.1	8.1	51.4	1.3	46.1	29.6	6.0	0.82	2.24	2.88	1.05	2—1	
2613		碳质云岩	4.0	1.0	29.6	2.7	76.7	44.4	5.2	8.82	14.72	18.42	11.05	1	
2695		云质泥岩	28.1	30.2	86.8	2.7	57.0	25.9	8.0	0.43	1.92	3.98	0.90	2—2	
2718		泥质云岩	10.0	8.1	36.4	2.7	58.0	37.0	5.6	2.05	4.06	7.31	3.68	1	
王 15	1387	H ₃	灰质页岩	80.5	22.1	211.0	2.7	133.3	22.2	16.1	0.22	2.27	2.90	0.28	2—2
1401	泥岩		36.2	26.2	65.3	2.7	31.5	25.9	6.5	0.42	1.46	2.52	0.71		
泌 64	1075	H ₃	泥质云岩	6.0	2.0	12.9	5.4	54.6	44.4	4.5	5.52	7.11	9.48	7.35	1
1089	灰质泥岩		273.7	54.3	484.1	2.7	173.6	14.8	34.4	0.05	1.52	1.82	0.05	2—2	
泌 185	2865	H ₃	泥岩	4.0	2.0	21.4	2.7	44.0	25.9	3.7	4.29	7.83	11.74	6.43	1
3083	页岩		6.0	2.0	24.6	2.7	37.8	18.6	3.3	2.30	5.36	7.14	3.06		
3104	页岩		8.1	2.0	15.0	2.7	29.8	22.2	2.9	2.21	3.71	4.6	2.76		
泌 93	3220	H ₃	含泥云岩	6.0	4.0	9.6	2.7	30.0	27.8	3.0	2.76	3.71	6.19	4.59	1
泌 96	3397		云质泥岩	5.0	2.0	15.0	1.3	42.6	33.3	3.7	4.73	6.82	9.60	6.62	
泌 185	3209	H ₃ ⁶	云质泥岩	30.2	8.1	37.5	2.7	24.1	22.2	4.5	0.58	1.56	1.98	0.74	2—1
	3456	H ₃ ⁷	泥岩	54.3	12.1	78.2	2.7	27.2	13.0	6.5	0.19	1.37	1.68	0.24	2—2
泌 93	3707		灰质页岩	54.3	12.1	117.8	1.3	67.9	11.1	9.1	0.17	1.94	2.37	0.20	
泌 64	1280	H ₃ ⁸	灰质泥岩	159.0	128.8	369.5	5.4	113.0	25.9	26.78	0.09	1.37	2.49	0.16	2—2

1. 碳酸盐型; 2. 硫酸盐型 2—1. 硫酸钠亚型 2—2. 硫酸钠镁亚型

于 10‰,可高达 35‰或更高,在碱性环境中,当湖水盐度很高时,白云岩与灰泥岩会共生。

化度(盐度)关系(见图 2)可见,碳酸盐型水 pH 值皆大于 9,变化在 9~10.5 之间,硫酸盐型水虽有随矿化度增高 pH 值增大的趋势,但 pH 值都小于 9,变化在 7.5

(2) pH 值条件 根据我国主要现代湖泊 pH 值矿

增高 pH 值增大的趋势,但 pH 值都小于 9,变化在 7.5

~9.0 之间。由表 5 可见,核桃园组 7 个白云岩样品 pH 值都是大于 9,变化在 9.25~10.55 之间,而泥页岩类 pH 值在 7.68~8.74 之间。因此,白云岩形成于碳酸盐型 pH 值应大于 9,这从实测数据计算出的 pH 值也得到证实,pH 值降至酸性环境下不具备白云岩沉积的离子组成条件,沉积的白云岩也不能得以保存^[7]。在同一个湖泊中 pH 值也是变化的,从鄱阳湖、洞庭湖^[5]和岱海^[8]实测资料表明,在湖泊沿岸带河流入湖处 pH 值低分别为 7.0~8.1 和 7.78~7.95,而在湖内或湖泊中心(敞水带)pH 值增高分别为 7.5~7.7、8.3 和 8.1~8.3,由此可推知,湖泊中心 pH 值高,更有利于白云岩的沉积。

3.4 白云岩形成的生物化学作用条件

(1) 生物在提供 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 和提高 pH 值方面的作用:核桃园组沉积时,蓝、绿藻和菌类等生物虽种属较少,但十分繁盛^[9],在自营养性作用中产生大

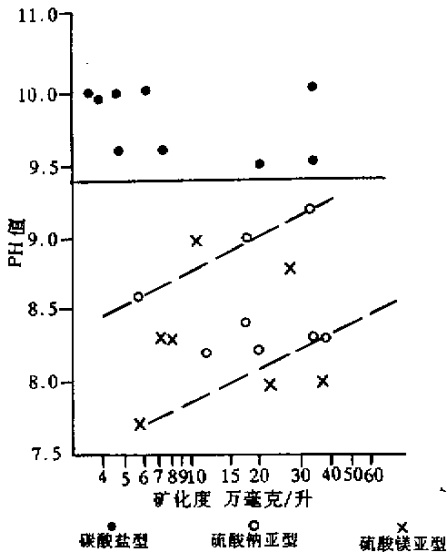


图2 我国主要现代湖泊 pH 值与矿化度关系 (据文献[5]分析数据编图)

Fig.2 Relationship between pH value and salinity in the water of the main modern lakes in China

量的 CO₂ 等气体,同时,菌、藻类等微生物在还原环境下分解藻体和陆生植物残体的降解作用也产生大量 CO₂ 气体和 HCO₃⁻,它们溶解在水中提高了 pH 值,创造了持续的碱性环境,十分有利于白云岩的沉积。

(2) 生物使 SO₄²⁻ 含量降低:湖泊沉积物和底层水体中有机质丰度高,在浅湖和较深湖咸化的碱性水体还原环境下,由于硫酸盐还原菌的作用,使 SO₄²⁻ 被还原成 HS⁻、H₂S 气体,并与 Fe²⁺ 结合形成黄铁矿(FeS₂)或将高价铁还原为低价铁,在钻井岩芯中普遍可见暗色地层中富含星散状、透镜状和层状黄铁矿,使

湖水中 SO₄²⁻ 大大降低,利于白云岩形成。Baker 和 Kastner 指出^[10],白云岩形成的主要条件不是高 Mg²⁺/Ca²⁺ 比值,而是低的 SO₄²⁻ 浓度,核桃园组沉积阶段正符合此条件。因此,凹陷中白云岩系是在碳酸盐型水体背景下,由生物和化学双重因素综合作用下形成。

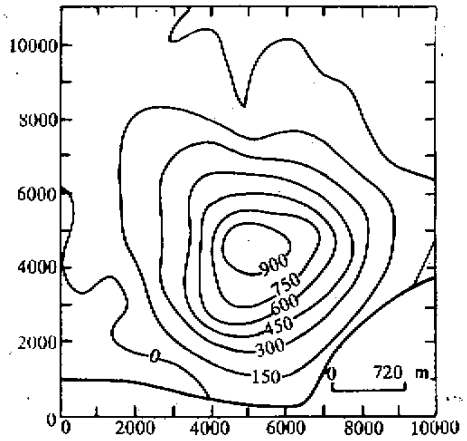


图3 泌阳凹陷中心核二、核三上段白云岩等厚度图

Fig.3 Contour map of the upper dolomite rocks of H₂ and H₃ intervals in the center of Bi yang depression

3.5 白云岩形成的沉积环境

据大量的岩芯观察认为,白云岩与砂、泥岩互层并伴有隐藻纹层、灰质泥、页岩时,白云岩形成于滨湖和湖湾泥坪环境;白云岩与含碱碳酸盐岩和碱层互层时,形成于滨湖至近岸浅湖和碱湖,而泌阳凹陷较厚的层状白云岩系主要形成于浅湖、较深湖环境^[4,11],其依据如下:在白云岩系中很少出现中、粗砂岩,仅夹有薄层粉砂岩条带,表明远离湖岸缺乏碎屑物补给,据几十个砂岩的粒度概率累计曲线都呈跳跃—悬浮两种搬运状态,而且悬浮组分占 50%~80%,属浅湖、较深湖粒度概率曲线特征;在一套暗色具有水平层理、韵律层理,富含黄铁矿(还原环境)的白云岩系剖面中夹有具鲍马序列的浊流沉积层^①,乃是深水沉积的标志之一;由图 3 可见,H₂ 和 H₃⁺ 白云岩厚度从凹陷边缘向中心从零米逐渐加厚至 900 米以上,图 4 显示了地层厚度由凹陷边缘向中心从 1 600 m 加厚至 2 050 m 以上,将图 3 和图 4 对照可知,白云岩沉积最大厚度区与地

① 黄杏珍 邵宏舜.湖相碳酸盐岩的形成条件,泌阳凹陷湖相碳酸盐岩油气勘探新领域的研究,1994(内部报告)

表 5 核桃园组岩样的 pH 值分布

Table 5 The pH values of the rock samples of Hetaoyuang Formation

井号	井深/m	层位	岩性	pH	井号	井深/m	层位	岩性	pH
泌 116	2422.4	H ₃	油页岩	7.44	云 2	2043.8	H ₃	泥质云岩	10.13
泌 97	2040.4	H ₂	白云质泥岩	8.63		2119.4	H ₃	白云岩	9.78
	2046.0	H ₂	白云岩	10.21		1971.5	H ₂	云质泥岩	9.02
泌 96	2760.0	H ₃	灰色泥岩	7.89		1998.6	H ₂	云质泥岩	8.65
	3395.7	H ₃	泥质云岩	9.69	云 1	2073.3	H ₃	灰褐色泥岩	7.68
泌 70	2197.4	H ₃	油页岩	7.76		2490.3	H ₃	灰褐色泥岩	7.86
	2664.2	H ₃	深灰色泥岩	8.07		2540.0	H ₃	白云岩	10.28
泌 115	2838.4	H ₃	云质泥页岩	8.74		2553.1	H ₃	白云岩	9.52
泌 118	3009.8	H ₃	深灰色泥岩	8.61		2607.3	H ₃	泥质云岩	10.65

pH 值按许琪公式计算[6]

层最厚区相吻合,充分证明湖盆凹陷沉积中心区,即浅湖、较深湖区是最有利于白云岩形成的沉积环境,这与向湖盆中心 pH 值增大,盐度增高^[12]有利于白云岩形成相一致。

浅湖、较深湖环境(5)提高湖水 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 含量和增加 pH 值,而降低 SO₄²⁻ 含量的生物化学作用强。

参 考 文 献

- 1 张师本,沈后,曲新国,高琴琴等.中国油气区第三系(V)鄂豫皖油气区分册[M].北京:石油工业出版社,1993.97~156,191~215
- 2 王随继,黄杏珍,妥进才,邵宏舜等.泌阳凹陷核桃园组微量元素演化特征及其古气候意义[J].沉积学报,1997,(15):65~70
- 3 张彭熹,张保珍,唐渊著.中国盐湖自然资源及其开发利用[M].北京:科学出版社,1999.1~25
- 4 黄杏珍,闫存凤,王随继,邵宏舜,妥进才等.苏打湖型的湖相碳酸盐岩特征及沉积模式[J].沉积学报,1999,(17(增刊)):728~733
- 5 施成熙,汪宪妮,龚鸿身,张立,王洪道.中国湖泊概论[M].北京:科学出版社,1989.82~103
- 6 许琪.用煤层中铁、钴、镍的含量计算成煤沼泽的古 pH 值和古 Eh 值[J].沉积学报,1992,(4):78~86
- 7 Bass Becking L G M, Kaplan I R, Moore D. Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials[J]. J. Geology, 1960, 68: 243~284
- 8 王苏民,余源盛,吴瑞金,冯敏.岱海湖泊环境与气候变化[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1990.75~95
- 9 闫存凤,黄杏珍,王随继.泌阳凹陷核桃园组湖相碳酸盐岩系藻类组合及古环境[J].沉积学报,1996,(14(增刊)):57~62
- 10 Baker P A, Kastner M. Constraints on the formation of sedimentary dolomite[J]. Science, 1981, 213: 4504
- 11 张晓宝.准噶尔盆地南缘东部中二叠统芦草沟组黑色页岩中白云岩夹层的成因探讨[J].沉积学报,1993,(1(2)):133~138
- 12 Huang Xingzhen, Shao Hongshun, Lei Zhenfeng. The relationship between carbonate sedimentation and salinity in brackish lake basin[A]. Chinese Academy of Sciences, Developments in Geoscience[C]. Beijing: Science Press, 1989. 319~327

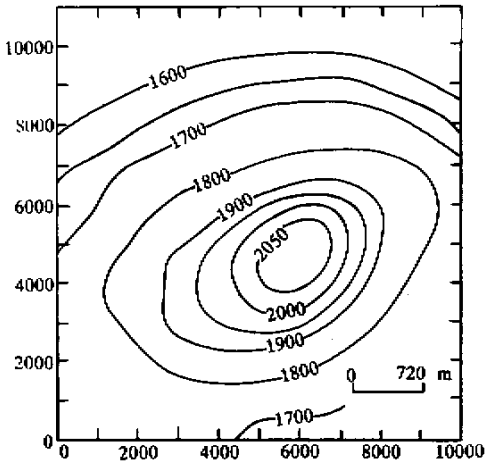


图 4 泌阳凹陷中心核二、核三上段地层等厚度图

Fig. 4 Contour map of the deposits of H₂ and the upper H₃ intervals in the center of the Bi yang depression

4 结 论

有利于厚度大、分布稳定的湖相白云岩形成的主要条件为(1)半潮湿和潮湿的较炎热的古气候(2)沉积水体的水化学类型应为碳酸盐型,其离子组成必须具有富 K⁺、Na⁺、HCO₃⁻ 和 CO₃²⁻,而贫 Ca²⁺ 和 SO₄²⁻ 的特点(3)古水介质应偏碱性 pH 值 ≥ 9,古盐度较低一般为 3‰~10‰,即微咸水(0.5‰~5‰)至半咸水(5‰~30‰)或更高的盐度范围,但白云岩沉积对盐度的要求并不严格(4)具有湖泊全盛时期较稳定的

Sedimentary Condition of Lacustrine Dolomite in the Lower Tertiary Biyang Depression

HUANG Xing-zhen¹ SHAO Hong-shun¹ YAN Cun-feng² TUO Jin-cai¹
HE Zu-rong² ZHANG Xin-she² WANG Shou-qing² LI Yu-lan²

¹ (Lanzhou Institute of Geology ,Chinese Academy of Sciences Lanzhou 730000)

² Institute of Petroleum Exploration & Development , Henan Bureau of Petroleum Administration , Nanyang ,Henan 473132)

Abstract

Most of lacustrine carbonate rocks of Mesozoic – Cenozoic era consist of limestone mainly. However , in some lake basins such as the Nan – Xiang basin , it mainly deposited dolomite with a net accumulative thickness of 900 meters. While the entire dolomite sedimentary , sequence can be more than 2100 meters , which formed a set of good oil – generation source rocks , and a small and rich Nan – Yang oil field has been found there. This paper describes , taking the Biyang depression as an example , the genetic conditions of the thick lacustrine dolomite of stable sedimentary facies : 1. A hot paleoclimate which is semi – wet to wet ; 2. A water body of carbonate type which contains plenty of K^+ , Na^+ , HCO_3^- and CO_3^{2-} , but less Ca^{2+} and SO_4^{2-} ions ; 3. A medium of paleowater with a pH value of ≥ 9 , and a low water salinity of generally 3‰ ~ 10‰ , which belongs to the range of slight salty < 0.5‰ ~ 5‰ > to semi – salty < 5‰ ~ 30‰ > , or even higher salinity , although the deposition of dolomite may not be so strict on the paleosalinity ; 4. A stable shallow lake and deep lake condition of a broad lake basin ; 5. The biological and chemical effect may be strong so that the contents of CO_3^{2-} and HCO_3^- , as well as the pH value will be increased while the content of SO_4^{2-} decreased.

Key words lacustrine dolomite sedimentary genetic condition