

黔中地区下震旦统含磷岩系对比及意义

陈学治¹, 陈仁²

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局117地质大队, 贵州贵阳 550018; 2. 贵州省地质调查院, 贵州贵阳 550005)

[摘要] 贵州省查明磷矿资源量全国排位第三, 高品位磷矿资源量全国排名第一, 目前建有亚洲最大的磷化工基地。开展黔中地区早震旦世含磷岩系的对比研究, 加强对“黔中古陆”或“黔中隆起”的认识, 对深部磷矿预测及勘查具有重要意义。本文以贵州瓮福地区大湾磷矿床含磷岩系剖面为对比标准, 通过对含磷岩系各岩性段、磷矿层、磷块岩特征的再认识, 将大湾磷矿床含磷岩系划分为两个岩性段六个岩性层, 进行纵、横剖面分析和对比, 总结其特征和变化, 进而分析“黔中古陆”或“黔中隆起”及周边沉积环境、沉积相。研究认为, 含磷岩系沉积底板凹凸不平, 在凹陷部位沉积厚度大, 凸起部位被剥蚀或存在沉积缺失; “黔中古陆”分布面积小, 在古陆周边及内部为洋水组浅水台地沉积, 远离古陆则为陡山沱组较深水缓坡沉积; 围绕“古陆”周缘早震旦世沉积环境变化大, 推测为黔中多岛隆起, 在多岛隆起范围内, 具有较好的成矿地质条件, 预测深部具有较好的磷矿资源找矿潜力。

[关键词] 含磷岩系 磷矿层 磷块岩 多岛隆起 黔中古陆 黔中隆起

[中图分类号] P6619.21+3, P539.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2025)02-0371-14

Chen Xuezhi, Chen Ren. Correlation and significance of the Lower Sinian phosphorus-bearing rock series in central Guizhou Province[J]. *Geology and Exploration*, 2025, 61(2): 0371-0384.

0 引言

黔中地区是全国重要的磷矿集区, 磷矿主要分布于贵州省黔中地区开阳县、息烽县和黔南州瓮安县、福泉市, 面积约6700 km²。目前区内已查明磷矿资源量53亿吨, 其中富磷矿(P₂O₅≥30%)占全省查明资源量的30.07%, 占全国富磷矿的78%(陈国勇等, 2024)。其含磷岩系为早震旦世洋水组和陡山沱组, 主要围绕“黔中古陆”或“黔中隆起”分布, 其展布面积广, 产出的磷矿体厚度大, 品位高。“黔中古陆”或“黔中隆起”在已往磷矿研究文献经常被提及(杨卫东等, 1997; 吴祥和等, 1999; 陈国勇等, 2015, 2023), 且一直沿用至今。在近期磷矿研究问题与讨论中, 有的学者强调“黔中古陆”的提法值得商榷, 认为“黔中隆起”在地史时期是长期存在的,

但在早震旦世时期或许称为“黔中多岛隆起”更合适(陈国勇等, 2023)。如果“黔中古陆”是多岛隆起, 则多岛隆起分布范围内可能具有磷矿找矿前景。针对“黔中古陆”是否为多岛隆起, 可通过开展区域含磷岩系的对比研究来深化认识。

《贵州省区域地质志》(贵州省地矿局, 1987)将下震旦统含磷岩系定义为灯影组/留茶坡组/老保组之下, 南沱组/桂平组之上的地层。将包括洋水组/陡山沱组及其上灯影组划归上震旦统, 将含磷岩系下部的南沱组/桂平组、大塘坡组、澄江组/马路平组/大塘坡组+铁丝坳组+两界河组/富绿组+长安组划为下震旦统。

根据第三届全国地层委员会(2000)对“震旦系”的定义, 《中国区域地质志·贵州志》(2017)将灯影组、洋水组/陡山沱组划归震旦系, 底界年龄

[收稿日期] 2023-05-06; **[改回日期]** 2024-12-30; **[责任编辑]** 郝病情。

[基金项目] 自然资源部地质数据更新与应用服务计划“国家基础地质数据更新工程”中的“中国矿产地质与区域成矿规律综合研究《中国矿产地质志》”项目(编号: DD20221695、DD20190379、DD20160346)资助。

[第一作者] 陈学治(1991年-), 男, 2014年毕业于中国地质大学江城学院, 资源勘查工程专业, 地质工程师, 长期从事固体矿产勘查和研究工作。E-mail: 139076678@qq.com。

[通讯作者] 陈仁(1972年-), 男, 2015年毕业于中国地质大学(武汉), 资源勘查工程专业, 高级工程师, 长期从事区域地质调查及矿产地质研究工作。E-mail: 565958212@qq.com。

680 Ma, 南沱组/桂平组、大塘坡组、澄江组/马路平组/大塘坡组+铁丝坳组+两界河组/富绿组+长安组划为南华系, 底界年龄 800 Ma。对早震旦世含磷岩系的定义是: 位于南华系南沱组(黎家坡组)之上, 灯影组之下的一套含磷岩系, 年代地层对应于上统吊崖坡阶和下统陈家园子阶、九龙湾阶(贵州

省地矿局, 1987; 贵州省地质调查院, 2017)。贵州早震旦世含磷岩系地层分为洋水组、陡山沱组, 二者为同时异相地层(表 1), 其中洋水组仅分布于开阳、息烽、瓮安及福泉一带, 主要为浅水台地白云岩、磷质岩、硅质岩沉积。陡山沱组分布于洋水组之外较深水的缓坡沉积(图 1)。

表 1 黔中地区震旦系地层划分(据贵州省地矿局, 1987; 贵州省地质调查院, 2017 修编)

Table 1 Classification of the Sinian Strata in Guizhou Province (modified from Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, 1987; Guizhou Geological Survey Institute, 2017)

年代地层			岩石地层			
系	统	阶	组		段	
寒武系	纽芬兰统	梅树村阶	牛蹄塘组			
		晋宁阶				
震旦系	上统	灯影峡阶	灯影组		老堡组	上段含磷白云岩段
		吊崖坡阶				藻白云岩段
	下统	陈家园子阶	洋水组		陡山沱组	上贫藻层
		九龙湾阶				富藻层
					下贫藻层	
南华系	上统		南沱组	南沱组		南沱组/桂平组
			大塘坡组			大塘坡组
	下统		铁丝坳	马路坪组	澄江组	富绿组
			两界河组			长安组
青白口系		下江时期	下江群	下江群		

注: 虚线为假整合接触。

本文对震旦系下统地层的划分, 与表 1 略有不同, 将含磷岩系可分两段: 第一段由①(“盖帽白云岩”)、②③(碳酸盐、碎屑岩及 a 层磷块岩, 或含磷碎屑岩)、④(硅质白云岩) 四个岩性层组成, 代表海进-海退的沉积旋回; 第二段由⑤(b 磷矿层)、⑥(角砾状白云岩) 组成, 代表海进-海退另一沉积旋回。

在靠近“黔中古陆”的区域, 含磷岩系底部出现沉积间断, 且沉积间断面上、下沉积岩及沉积相变化大, 长期存在地层划分争论。即: 黔中古陆西缘之金沙-开阳地区和东缘麻江地区, 震旦系/南华系界面上下的长石石英砂岩或粉砂岩、紫红色泥质粉砂岩或粉砂质泥岩, 是南华系马路坪组/澄江组? 还是震旦系地层的一部分? 对地层的认识, 涉及磷矿区域找矿和深部成矿预测等问题。

1 含磷岩系剖面

黔中古陆为区内磷块岩的形成提供了良好的

天然屏障和成磷条件(邓克勇等, 2015), 含磷岩系以黔中地区福泉市大湾磷矿床 ZK1108 等钻孔揭露的地层剖面完整(以下简称“完整剖面”), 是黔中古陆(图 1)周缘含磷岩系对比的参照。

1.1 福泉市大湾剖面

剖面位于福泉市北部, 含磷岩系发育完整(表 2)。代表黔中地区台地相区最完整的含磷岩系沉积, 分两段六个岩性层, 分层标志明显, 发育 a、b 矿层。自下而上为:

第一段划分为四个岩性层。

第一层: 浅灰、灰色细晶白云岩, 相当于“盖帽白云岩”。厚 1.14 m。

第二层: 泥质粉砂岩, 顶部为浅灰色细晶白云岩。厚 10.93 m。

第三层: 为灰-深灰色薄层状、条带状、纹层状磷块岩, 即 a 矿层。厚 11.03 m。

第四层: 浅灰色含硅质白云岩, 为 a、b 矿层之间

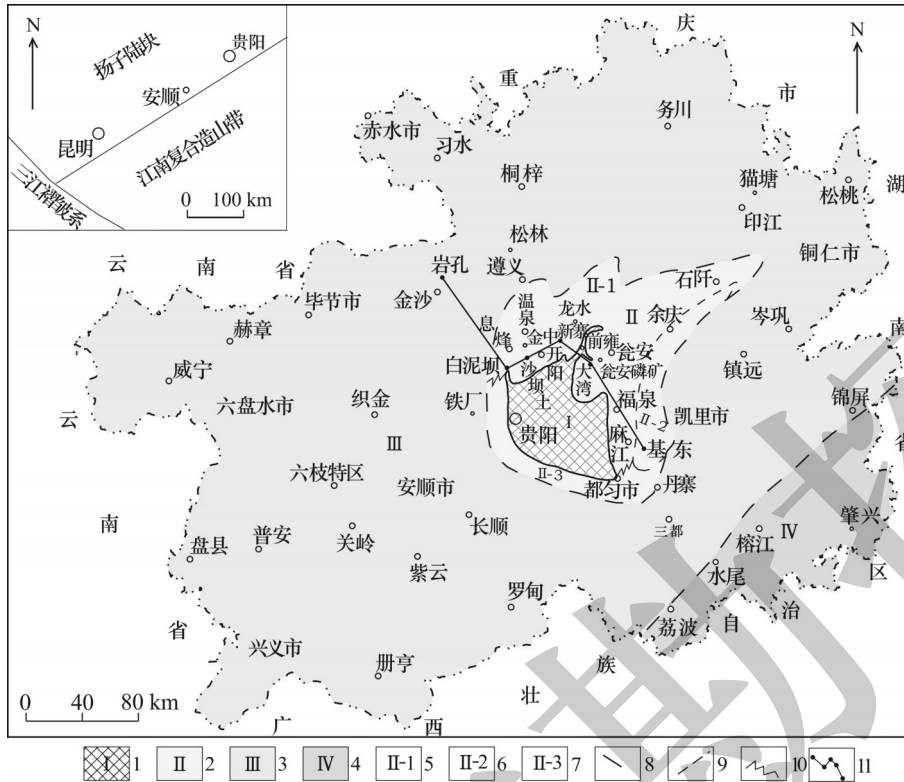


图 1 贵州省早震旦世晚期岩相古地理图 (据陈国勇等, 2022 修改)

Fig. 1 Lithofacies paleogeographic map of the late Early Sinian in Guizhou Province (modified from Chen et al., 2022)

1-古陆;2-初始台地;3-缓坡;4-盆地;5-生物滩(礁);6-水下隆起;7-古陆边缘陡岸带;8-相边界;9-微相边界;10-相变线;11-剖面对比线
 1-ancient land; 2-initial platform; 3-gentle slope; 4-basin; 5-biological beach (reef); 6-underwater uplift; 7-steep shore zone at the edge of ancient land; 8-facies boundary; 9-microfacies boundary; 10-facies transition line; 11-section correlation line

白云岩夹层。厚 7.48 m。

层。厚 7.11 m。

第二段分为两个岩性层:

第六层:灰色角砾状白云岩,为暴露条件下的

第五层:深灰-灰色角砾状硅质磷块岩,即 b 矿

沉积。厚 0.30 m。

表 2 福泉市大湾磷矿 ZK1108 钻孔地层划分^①

Table 2 Stratigraphic division of ZK1108 borehole in Dawan phosphate deposit, Fuquan City^①

剖面描述	地层划分		
	贵州省地矿局 104 队 (2012)	本文划分	
		组、段	层
20 浅灰色薄层细-中晶白云岩。大于 87.48 m。	灯影组	灯影组	
19. 灰色角砾状白云岩。0.30 m。	陡山沱组四段	洋水组二段	⑥ (角砾状白云岩)
18. 灰色薄层白云质磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 15.83%~21.42%。2.14 m。			⑤ (b 矿层)
17. 深灰色薄层磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 25.78%~32.94%。3.10 m。			
16. 深灰色薄层角砾状硅质磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 21.42%。1.87 m。			
15. 浅灰色中厚层含硅质白云岩。P ₂ O ₅ 含量 0.09%~7.99%。7.48 m。	陡山沱组三段	洋水组一段	④ (夹层白云岩)
14. 灰、浅灰色中厚层硅质磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 23.32%。1.93 m。	陡山沱组二段		③ (a 矿层)
13. 深灰色薄层层纹状磷块岩。P ₂ O ₅ 含量 30.74%~32.32%。2.47 m。			
12. 灰、深灰色薄层磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 32.32%。1.40 m。			
11. 灰色薄层磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 32.64%。1.40 m。			
10. 灰、深灰色薄层条带状磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 30.27%。1.40 m。			
9. 深灰色夹少量浅灰色薄层泥质磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 25.84%。1.40 m。			

续表 2

Continued Table 2

剖面描述	地层划分		
	贵州省地矿局 104 队 (2012)	本文划分	
		组、段	层
8. 深灰色条带状含泥质磷块岩, P ₂ O ₅ 含量 16.13%。1.03 m。	陡山沱组二段	洋水组一段	⑤ (a 矿层)
7. 浅灰色中厚层细晶白云岩, P ₂ O ₅ 含量 1.13%。1.07 m。	陡山沱组一段		②
6. 灰黑色中厚层含泥质粉砂岩, 顶部 P ₂ O ₅ 含量 0.80%。9.86 m。			① (盖帽白云岩)
5. 浅灰、灰色中厚层细晶白云岩。1.14 m。	南沱组	南沱组	
4. 灰绿色中厚层泥质粉砂岩。2.71 m。			
3. 紫红色中厚层泥质粉砂岩夹石英砂岩。2.82 m。			
2. 紫红、灰绿色中厚层冰碛砾岩。1.10 m。			
1. 浅灰绿色中厚层泥质粉砂岩。0.94 m。			

注: 虚线为假整合接触。

1.2 金沙县岩孔剖面

代表远离黔中古陆的较深水沉积剖面(表 3), ZK1003 钻孔打穿南沱组地层, 南沱组冰碛砾岩及盖帽白云岩沉积特征清晰, 反映南沱时期“雪球地球”冰冻解封后, 洋流变暖, 形成覆盖全球的“盖帽白云岩”(第①层), 随后形成一套厚度

达 103.43 m 红色细碎屑岩沉积(第②层), 当时该区处于陆相凹陷较深位置。此剖面提供了重要地质信息, 即在盖帽白云岩和含磷白云岩之间存在厚度较大的细碎屑岩, 为地表没有出露、深部没有揭穿陡山沱组/洋水组的探矿工程提供了地层对比依据。

表 3 金沙县岩孔磷矿区 ZK1003 钻孔含磷岩系地层划分对比表²

Table 3 Stratigraphic correlation of phosphorus-bearing rock series in ZK1003 borehole of the Yankong phosphate mine area, Jinsha County²

剖面描述	地层划分		
	贵州省地矿局 115 队 划分 (2013)	本文划分	
		组、段	层
20. 浅灰、灰色中厚层粉晶白云岩, 含少许硅质团块。厚 11.34 m。	陡山沱组第二段	灯影组	
19. 灰、深灰色中至厚层粉晶白云岩, 缝合线发育。厚 19.64 m。			
18. 深灰、灰色中至厚层粉晶白云岩, 含乳白色硅质岩团块, 顶部含硅质岩。17.12 m。			
17. 上部和底部为角砾岩, 角砾成分为灰色硅质岩、硅质白云岩, 大小不等, 棱角至次棱角状, 大小 0.5~2 cm, 胶结物为粉晶白云岩。中部为乳白色硅质岩。5.26 m。		洋水组二段	⑥ (角砾状白云岩)
16. 灰色中厚层粉晶白云岩, 含硅质团块及细晶黄铁矿, P ₂ O ₅ 含量 0.22%。3.50 m。			⑤
15. 灰色含磷砾屑白云岩, 砾屑次棱角状, 大小 1~6 cm, 砾屑中胶磷矿呈灰黑色, 白云质胶结。P ₂ O ₅ 含量 1.24%~4.44%。厚 3.84 m。			④
14. 灰、灰绿色薄层白云质粘土岩, 夹薄层白云岩, 含星点状细晶黄铁矿, P ₂ O ₅ 含量 1.34%。5.03 m。			③
13. 灰绿色薄层粘土岩, 含方解石细脉及黄铁矿。1.13 m。	陡山沱组第一段	洋水组一段	②
12. 紫红色薄层含砂质粘土岩、微绿色薄层粉砂质粘土岩互层, 局部含灰绿色粘土条带或团块, 含细晶黄铁矿。40.75 m。			
11. 浅紫红色薄层粘土岩与灰绿色薄层粘土岩互层, 见微层理构造。17.87 m。			
10. 紫红色薄层含粉砂粘土岩、灰绿色水云母粘土岩互层, 含少许后期穿插层理的白云石细脉。19.39 m。			
9. 紫色、微紫红色薄层粘土岩, 夹深灰色粘土岩及灰绿色水云母粘土岩。16.61 m。			

续表 3

Continued Table 3

剖面描述	地层划分		
	贵州省地矿局 115 队 划分 (2013)	本文划分	
		组、段	层
微红色中厚层细晶白云岩。2.74 m。	陡山沱组第一段	洋水组一段	① (盖帽白云岩)
6. 杂色 (灰绿、紫红色) 冰碛砾岩, 砾径 0.5~5.0 cm, 磨园度高, 大小杂乱分布, 由泥质、粉砂质胶结, 顶部 0.20 m 见微层理构造。12.26 m。	南华系上统南沱组	南华系上统南沱组	
5. 紫灰、灰绿色冰碛砾岩, 砾径 0.5~15.0 cm, 磨园度中等, 局部砾石为硅质岩, 被砂质紧密胶结。19.08 m。			
4. 杂色 (紫色、微紫红色、灰绿色) 冰碛砾岩, 砾径 0.5~5.0 cm, 磨园度高, 被砂泥质胶结。9.44 m。			
3. 浅灰、紫红色中厚层变余长石岩屑粉砂岩, 中部夹紫色薄层细砂岩。12.59 m。	新元古界青白口系	新元古界青白口系	
2. 浅紫色中厚层变余长石细砂岩, 顶部夹 2~8 cm 细砂岩。7.62 m。			
1. 浅紫色中厚层夹薄层变余玻璃屑晶屑凝灰岩、粉砂岩, 变余层纹状构造。17.78 m。			

注：虚线为假整合接触。

1.3 开阳县白泥坝剖面

位于开阳县以西, 代表距“黔中古陆”最近的含磷岩系沉积剖面 (表 4), 磷矿沉积时期, 该区为古陆

剥蚀区。与金沙岩孔剖面对比分析, 早震旦世地层具有超覆特点, 代表海平面逐渐上升, “黔中古陆”范围缩小的沉积。

表 4 开阳县白泥坝矿勘查区 ZK201 地层划分对比³

Table 4 Stratigraphic correlation of ZK201 borehole in the Bainiba ore exploration area, Kaiyang County³

剖面描述	地层划分		
	贵州省地矿局 105 地质队	本文划分	
		组、段	层
3. 灰白色、肉红色薄层至中厚层细晶白云岩、硅质白云岩。28.37 m。	震旦系上统灯影组	灯影组	
2. 灰、灰绿色含粉砂、含磷角砾岩。角砾成分为硅质磷块岩, 角砾呈棱角状、次棱角状, 大小 10~15 mm。胶磷矿呈碎屑状, 胶结物为磷质、粉砂质。1.11 m。	陡山沱组	洋水组二段	⑥ (角砾状白云岩)
1. 灰绿、绿色薄层粘土岩, 见黑色硅质层纹, 偶见黄铁矿细脉顺层分布, 脉厚 0.1 cm 左右。大于 1.66 m。		洋水组一段	③

注：虚线为假整合接触。

1.4 开阳县沙坝土剖面

位于黔中古陆北西边缘开阳磷矿洋水矿区沙坝土矿段, 代表开阳、息烽地区开阳式磷矿含磷岩系沉积剖面 (表 5), 代表黔中古陆磷酸盐缓坡沉积 (杜远生等, 2017), 含磷岩系下部为紫红色夹灰绿色页岩, 局部夹粉砂岩, 未见底, 相当于大湾剖面第 ② 层和第 ③ 层; 中下部为灰绿色中厚层含磷细砂岩, 相当于大湾剖剖面第 ③ 层、第 ④ 层; 中上部为富磷矿层, 相当于大湾剖面 b 矿层; 上部为细晶白云岩、条带状白云岩、同生角砾状白云岩, 相当于完整剖面第 ⑥ 层, 顶部同生角砾状白云岩为暴露标志,

是区别于灯影组的沉积特征。

1.5 开阳县新寨剖面

代表开阳县以东、瓮安县以西的含磷剖面, 是开阳式磷矿与瓮福式磷矿过渡地带的含磷岩系沉积剖面 (表 6)。剖面以东出现 a、b 两矿层, 以西仅有 b 矿层产出。第 ① 层岩性为中厚层状灰岩夹石英砂岩, 相当于“盖帽白云岩”, 处于黔中古陆东侧凹陷较深位置; 第 ② 层及第 ③ 层为杂色 (紫红色、灰绿色、深绿色) 细碎屑岩 (中下部) 及海绿色中厚层砂岩 (上部)。南沱组之上灰岩及白云岩, 反映新寨地区以往大多数勘查钻孔未打穿含磷岩系。

表5 开阳磷矿沙坝土矿段 ZK423 钻孔地层划分对比表^④

Table 5 Stratigraphic correlation of ZK423 borehole in the Shabatu ore section, Kaiyang County^④

剖面描述	地层划分		
	化学工业部地质勘探公司贵州地质勘探大队 (1987)	本文划分	
		组、段	层
9. 灰至灰白色中厚层状细晶白云岩、条带状白云岩、鲕状白云岩及同生角砾状白云岩。15.32 m。	灯影组	洋水组二段	⑥ (角砾状白云岩)
8. 浅灰色中厚层含锰细晶白云岩。2.0 m。			
7. 乳白色含磷硅质岩。P ₂ O ₅ 含量 4.97%。1.01 m,	陡山沱组	洋水组一段	⑤ (b 矿层)
6. 深灰色致密状磷块岩。P ₂ O ₅ 含量 35.10%。1.67 m。			
5. 深灰色碎屑状磷块岩。P ₂ O ₅ 含量 37.12%。1.56 m。			
4. 灰色砂粒状磷块岩。P ₂ O ₅ 含量 31.60%。0.61 m。			
3. 灰绿色中厚层含磷细砂岩, 含星散状黄铁矿, 顶部 P ₂ O ₅ 含量 5.02%~0.75%。厚 6.0 m。			
2. 灰绿色薄层泥质粉砂岩。厚 6.87 m。	南沱组		④
1. 紫红色页岩夹灰绿色页岩, 局部夹粉砂岩。大于 125.85 m。			③
			② (未见底)

表6 开阳县新寨磷矿床 ZK717 钻孔地层划分^⑤

Table 6 Stratigraphic division of ZK717 borehole in the Xinzhai phosphate deposit, Kaiyang County^⑤

剖面描述	地层划分		
	贵州省地矿局 105 队 (2014)	本文划分	
		组、段	层
27. 浅灰色厚层细晶白云岩。厚>11.99 m。	灯影组	灯影组	
26. 灰白、灰黑色杂色含磷硅质角砾岩。角砾为白云岩 (1~20 mm)、硅质岩 (10~30 mm), 硅质胶结。P ₂ O ₅ 含量 0.58%~2.07%。1.94 m。			
25. 乳白色薄层硅质岩。P ₂ O ₅ 含量 0.15%~0.22%。1.36 m。	陡山沱组	洋水组二段	⑥ (角砾状白云岩)
24. 浅灰色、深灰色中厚层白云岩。1.59 m。			
23. 浅灰色角砾状细晶白云岩, 角砾大小 10~15 mm, 钙质及粘土胶结。P ₂ O ₅ 含量 0.14%~0.44%。4.50 m。			
22. 灰白色砂状含磷白云岩。P ₂ O ₅ 含量 0.14%。1.03 m。			
21. 深灰色角砾状白云岩。P ₂ O ₅ 含量 0.12%~0.23%。2.01 m。			
20. 深灰、灰黑色碎屑状、角砾状磷块岩。角砾呈棱角状、次棱角状, 大小 1~10 mm。P ₂ O ₅ 含量 12.60%。0.56 m。			
19. 灰色中厚层含磷白云岩。P ₂ O ₅ 含量 4.35%。厚 1.0 m。			
18. 深灰、灰黑色碎屑状、角砾状磷块岩。角砾呈棱角状、次棱角状, 大小 1~10 mm。P ₂ O ₅ 含量 12.78%。厚 1.57 m。			
17. 微红、浅灰色含锰质角砾状白云岩, 底部见立方体黄铁矿, 颗粒大小 1~3 mm。角砾大小 0.1~6.0 cm, 胶结物灰绿色粘土。0.49 m。			
16. 海绿色中厚层砂岩。8.44 m。			
15. 紫红色中厚层粘土质粉砂岩。3.15 m。			
14. 灰绿色薄层粘土岩。2.03 m。			
13. 灰绿色薄层粘土岩偶夹薄层砂岩。4.12 m。			
12. 深灰、灰黑色薄层砂岩夹薄层粘土岩。5.74 m。			
11. 浅灰、深灰色中厚层砂岩。厚 5.03 m。			
10. 深灰色薄层砂岩夹薄层粘土岩。14.78 m。			
9. 浅灰色中厚层石英砂岩。4.31 m。			
8. 浅灰、灰绿色薄层粘土岩。15.88 m。			
7. 深绿色薄层钙质粉砂岩。7.31 m。	青白口系		④ (夹层白云岩)
6. 深绿色中厚层钙质砂岩。25.18 m。			
5. 深灰色薄至中厚层粘土岩。8.66 m。			
			③
			②

续表 2

Continued Table 2

剖面描述	地层划分	
	贵州省地矿局 105 队 (2014)	本文划分
4. 灰色中厚层状灰岩。2.50 m。	青白口系	洋水组一段 ① (相当于盖帽白云岩)
3. 浅灰色、灰绿色中厚层砂岩夹薄层至中厚层石英砂岩。7.70 m		
2. 灰色中厚层状灰岩。0.9 m。		新元古界青白口系
1. 浅灰色、灰绿色中厚层变余砂岩夹薄层至中厚层变余石英砂岩，与下伏地层为断层接触。11.01 m。		

注：虚线为假整合接触。

1.6 麻江县基东剖面

位于黔中古陆南东麻江县基东, 由于沉积或剥蚀原因缺失“盖帽白云岩”, 含磷岩系相变为泥

质石英粉-细砂岩、薄层泥质白云岩(表 7)。代表障壁岛(水下隆起)边缘沉积, 只有第②、⑤、⑥层沉积。

表 7 麻江县基东剖面地层划分⁶

Table 7 Stratigraphic division of the Jidong section in Majiang County⁶

剖面描述	地层划分	
	贵州省地矿局 104 队 (1994)	本文划分
7. 浅灰色薄-中厚层细-粉晶白云岩。大于 20 m, 未见顶。	灯影组	灯影组
6. 含粉砂质泥岩。3.0 m。	南沱组第二段	洋水组第二段 ⑥
5. 灰色薄层泥质白云岩。2.91 m。		⑤
4. 紫红色铁染粉砂质泥岩。15.85 m。		洋水组第一段 ②
3. 暗灰色薄层纹状泥质石英粉-细砂岩。78.66 m。	南沱组第一段	南华系上统南沱组
2. 暗灰色、灰绿色、巨厚层含砾粉砂质泥岩。砾石次圆状-次棱角状, 无分选, 大小不一, 含量 5%~15%, 砾石为石英砂岩、泥岩、硅质岩、蚀变花岗岩及石英碎屑等。79.89 m。		
1. 暗灰色粉砂质页岩。未见底板。	大塘坡组	南华系上统大塘坡组

注：虚线为假整合接触。

2 岩层对比

为了讨论含磷岩系洋水组岩性层变化, 本文对洋水组定义为: 位于灯影组薄至中厚层粉-细晶白云岩之下、南沱组杂色(灰绿、紫红色)冰碛砾岩之上的一套含磷岩系, 代表台地相沉积。在福泉大湾磷矿床剖面岩性层发育完整, 顶部为灰色角砾状白云岩, 底部为厚 1~2 m 厚的中厚层细晶白云岩(盖帽白云岩), 中部发育 a 矿层(第⑤层)、b 矿层(第③层), a、b 矿层间为含磷白云岩(第④层); 在台地相区外围称“陡山沱组”, 代表缓坡相沉积的地层单元。

2.1 第①层

即盖帽白云岩。盖帽碳酸盐岩是全球性沉积事件, 称之为“盖帽白云岩”, 是在 Marinoan 冰期后, 气候变暖, 在温暖、清澈浅水环境中沉积的位于南华系南沱组之上的白云岩。盖帽碳酸盐岩形成环

境可以从深水-半深水盆地和斜坡延伸至陆架(Hoffman and Macdonald, 2010; Hoffman et al., 2011)。

新元古代发生的 Sturtian 冰期和 Marinoan 冰期, 其中以 635 Ma 左右的 Marinoan 冰期强度最大, 冰川覆盖了整个地球(“雪球地球”), 冰期后都出现了碳酸盐岩帽沉积(Kennedy et al., 1998; Walter et al., 2000; Knoll, 2000)。在贵州是指位于南华系南沱组地层之上的一套中薄层状细晶白云岩, 厚 2~5 m。与下伏地层南沱组为假整合接触, 部分地区缺失南沱组, 直接与青白口系下江群上部不同地层单元接触, 如鹅家坳组或清水江组等(图 2), 它是洋水组与南沱组最可靠的划分标志。

金沙县岩孔和福泉市大湾剖面为细晶白云岩, 新寨剖面为灰岩夹石英砂岩, 白泥坝 ZK201、沙坝土 ZK423 未揭露到位, 基东剖面没有沉积。



图2 盖帽白云岩与青白口系鹅家坳组假整合接触

Fig. 2 Disconformable contact between cap dolomite and the Ejiiao Formation of the Qingbaikou system

2.2 第②层

岩性为粉砂岩及粘土岩,从金沙县岩孔剖到开阳县新寨剖面,岩性基本没有变化,但新寨剖面颜色偏深(灰绿色),反映沉积水体变深;基东剖面为紫红色、暗灰色粉砂岩和石英砂岩。此层岩性为快速沉积,填平了南沱期沉积形成的凹陷(图3、4)。



图3 开阳县极乐矿段马路坪组第二段含海绿石岩屑砂岩
Fig. 3 Glauconite-containing lithic sandstone in the second member of Maluping Formation in Jile ore section, Kaiyang County

2.3 第③层

本文将开阳地区原划归马路坪组第二段划属为洋水组第③层。

在开阳地区岩性为灰绿色中-厚层状、薄层-条带状含海绿石不等粒长石岩屑砂岩。底部为0~25 cm厚楔状砾质砂岩,之上为黄灰、黄褐色块状砂质砾岩,顶为含磷质砂岩。砾石呈次棱角状、次圆状、圆状,呈团块状、长条状、扁平状,分选性极差,矿物成熟度低。底为澄江组灰绿色泥岩,含磷质砂岩上覆为砂屑磷块岩(b矿层)。所含的海绿

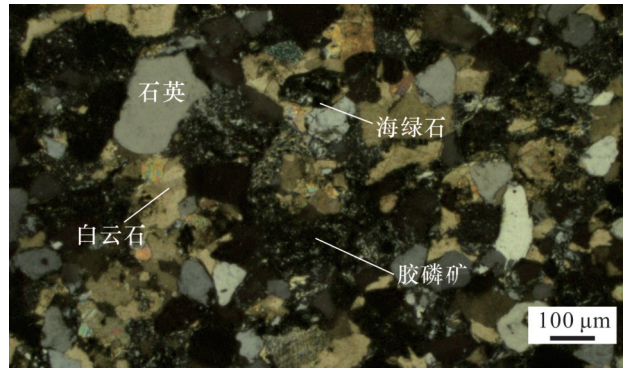


图4 开阳磷矿马路坪矿段含海绿石砂岩镜下特征(正交偏光)
Fig. 4 Microscopic characteristics of glauconite-bearing sandstone in Maluping ore section of Kaiyang phosphate mine (orthogonal polarization)

石具有明显的指相意义。海绿石矿物(glaucinite)是一类具云母结构的二八面体层状硅酸盐海相自生沉积矿物,海绿石相(glaucony)则泛指海绿石质蒙脱石(glaucinitesmectite)、海绿石质云母(glaucinitic mica)以及铁质伊利石(ferric illite),前寒武纪90%以上的海绿石集中分布于具有较高沉积速率的潮间带到潮下带环境,而显生宙70%以上的海绿石则集中分布于具有较低沉积速率的中陆棚到上斜坡较深水环境(Banerjee et al., 2008; Banerjee et al, 2015; Banerjee et al., 2016a, 2016b)。

海绿石存在指示海相沉积环境。以往文献将此砂岩层划归陆相沉积的澄江组或马路坪组的依据是不充分的。由于风暴高峰期后,水动力减弱,重力分异作用使沉积层有规律的沉降,进而形成粒序层,当重力大于剪切力时形成正粒序,反之形成逆粒序(谭志远和刘小龙, 2022),开阳地区含磷砂岩中存在条状砾屑,砾屑长边垂直或呈陡倾状斜交层面,并见逆粒层,显示风暴沉积特点(图5)。

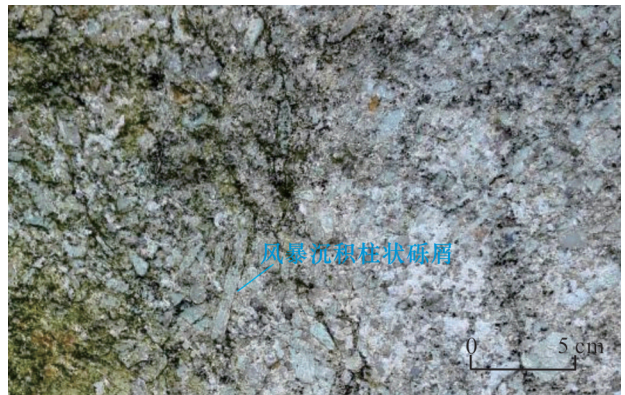


图5 开阳地区洋水组含磷砂岩层中风暴沉积
Fig. 5 Storm sedimentation in the phosphorous sandstone section of the Yangshui Formation in the Kaiyang area

磷矿层之下的砂岩层上部普遍含胶磷矿,1:20万息烽幅区调报告资料反映,开阳县中心镇马路坪剖面,磷矿层之下海绿石和胶磷矿砂屑的厚层石英岩屑砂岩夹粉砂岩厚达17.10 m^⑦,在开阳磷矿洋水矿区沙坝土矿段和马路坪矿段南部,磷矿层之下砂岩取样分析^⑧,P₂O₅含量0.16%~8.08%(表8、图4),说明此层砂岩与上覆磷矿层,是同一成磷事件先后

不同时期的沉积的产物。从北西的金沙岩孔到南东的麻江基东,岩性变化大。在金沙岩孔为灰色含磷砾屑白云岩,大湾剖面为浅灰色中厚层含磷含硅质白云岩,沙坝土剖面为含磷砂岩。新寨剖面上部为微红、浅灰色含锰质砾状白云岩,下部为紫红色中厚层粘土质粉砂岩。在白泥坝、沙坝土和基东剖面没有沉积。

表8 开阳式磷矿矿层底板砂岩P₂O₅含量Table 8 P₂O₅ content in sandstone on the bottom floor of the Kaiyang phosphate mine

矿床名称	钻孔编号	岩石名称	厚度 (m)	P ₂ O ₅ 含量 (%)
开阳磷矿洋水矿区沙坝土矿段 ^③	ZK542	灰绿色石英砂岩	1.06	0.19
		灰绿色石英砂岩	1.45	0.16
	ZK201	灰绿色石英砂岩	0.96	1.62
	ZK202	深灰色细粒石英砂岩、灰绿色粘土质砂岩	0.65	1.54
			1.07	1.02
	ZK402	灰绿色中厚层粉砂岩	0.42	8.08
			0.90	0.77
	ZK701	灰绿色中厚层砂岩、细砂岩	0.54	11.35
			0.50	0.86
	ZK905	砂质白云岩	0.59	0.38
开阳磷矿洋水矿区马路坪矿段南段 ^⑧	ZK1102	灰绿色粘土质砂岩	0.34	5.61
			0.69	0.82
	ZK1501	灰色中粒砂岩	2.21	2.22
	ZK1502	灰绿色粘土质砂岩	0.32	0.63
			0.20	0.20
		1.0	0.28	

开阳地区磷矿层之下的砂岩,已往认为属陆相沉积之澄江组或马路坪组。如上所述,含海绿石说明是海相沉积产物,条形状岩屑说明具风暴沉积特点,普遍含P₂O₅进一步说明与成磷事件关系密切,故将其划归含磷岩系洋水组。在东部瓮福地区相变为a矿层(表6)。

2.4 第④层

在开阳地区为磷矿层(⑤)与含磷砂岩③之间,常发育厚度小于2 m的含锰质角砾状白云岩,在瓮福地区为a(③)、b(⑤)矿层间白云岩。

2.5 第⑤层

黔中地区最主要的磷矿层,已往勘查资料称为b矿层。开阳地区洋水组沉积期处于黔中古陆北缘磷质海岸环境(张亚冠等,2016),产出一层b矿层,磷矿厚度稳定,P₂O₅含量高,全区平均品位大于30%,为世界少有富磷矿层,代表开阳台地无障壁海岸沉积;在瓮安、福泉地区(简称“瓮福地区”,以下同),为白云质磷块岩,称b矿层,生物化石丰富(张

亚冠等,2019),瓮安白岩磷矿床穿岩洞矿段和大塘矿段磷块岩Ba、As等元素富集(梁坤萍,2022),产胚胎化石、凝原类、藻类、后生动物、胚胎化石,表明磷块岩的形成与生物作用密切相关。

2.6 第⑥层

为含磷硅质角砾岩,为暴露沉积标志。

3 沉积相及变化

南华纪南沱期福泉-瓮安-开阳-永温-松林-石阡一线形成向东开口的半封闭海湾环境(陈国勇,2015),瓮福地区处于海湾中心。

早震旦世早期,金沙岩孔及周边、麻江基东以东,主要为较深水缓坡沉积,沉积了陡山沱组地层。在开阳、瓮安、福泉和麻江地区,含磷岩系洋水组的沉积相变化特征如下:

第①层沉积微相:即盖帽碳酸盐岩或盖帽白云岩段。是冰川融化后,气候变暖,海平面上升形成的碳酸盐沉积,具有低角度交错层理、角砾状构造

(图6a)、帐篷构造、硅化等,具有浅水局限台地相沉积特征。大湾剖面为浅灰色中厚层细晶白云岩,推测为局限潮坪相沉积。沙坝土剖面和白泥坝剖面未揭穿,靠近黔中古陆,推测为潮上沉积环境;新寨

剖面顶底为灰岩,中间为杂色砂岩,结合其上灰绿色和深绿色粘土质、砂质沉积,推测为古陆边缘凹陷较深水沉积(图7);基东剖面缺失,推测沉积环境为障壁岛(水下隆起)。

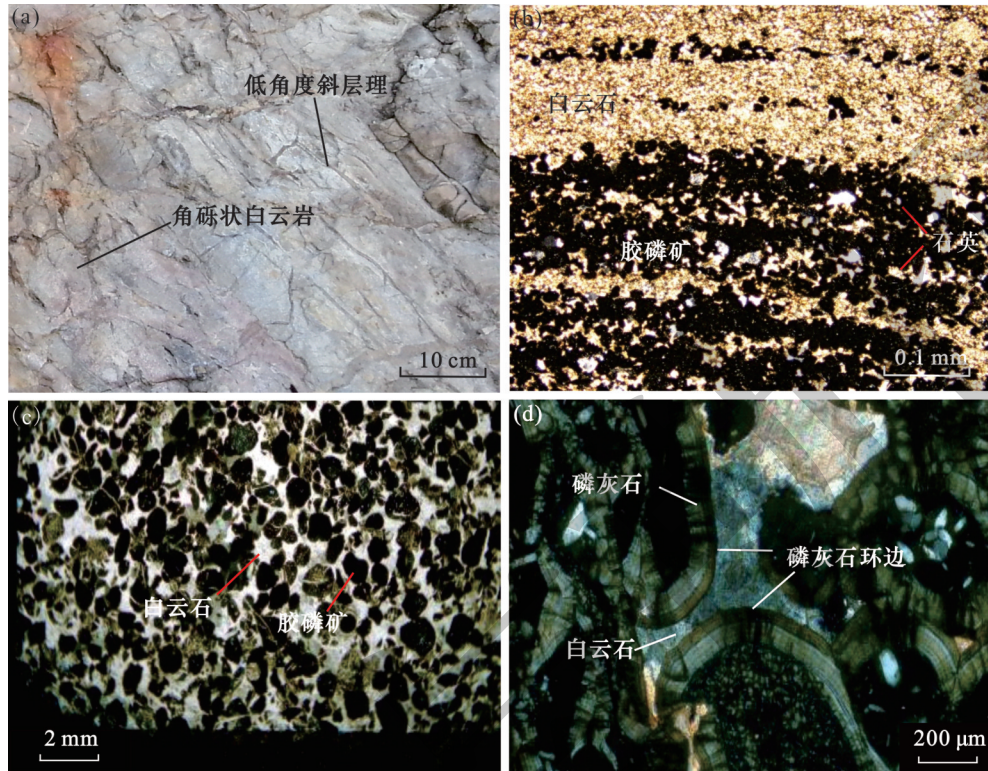


图6 黔中地区“盖帽白云岩”手标本及磷块岩显微照片

Fig. 6 Hand specimens of the cap dolomite and photomicrographs of phosphorite from central Guizhou Province

a-瓮安县北斗山磷矿盖帽白云岩;b-瓮福式磷矿 ZK119-27 钻孔 a 矿层条带状砂屑磷块岩;c-瓮福式磷矿 b 矿层砂屑磷块岩;d-瓮福式磷矿 ZK511 钻孔 b 矿层具环边结构砂屑磷块岩

a-cap dolomite of Beidoushan phosphate mine in Weng'an County;b-banded arenaceous phosphate rock in a ore layer of Wengfu-style phosphate deposit;c-arenaceous phosphate rock in b ore layer of Wengfu-type phosphate deposit;d-arenaceous phosphate rock with annular structure in b ore layer of borehole ZK511 in Wengfu-style phosphate rock

第②层、第③层沉积微相:为潮坪环境沉积。金沙、沙坝土剖面岩性为紫红色,为水体较浅的砂泥坪沉积,金沙地区同期沉积水体偏深。白泥坝剖面没有沉积,新寨剖面位于黔中古陆东缘凹陷,水体深,沉积厚度大(104.63 m),沉积物为杂色砂泥质沉积,反映含磷岩系沉积的中早期,黔中古陆周缘地形地貌起伏较大,为台地凹陷区沉积;在瓮安、福泉地区相变为有障壁局限潮坪环境,沉积含磷白云岩和 a 矿层,形成瓮福式磷矿 a 矿层,具有条带状构造,砂屑状结构(图6b),为朝间-潮下沉积;麻江地区相变为紫红色铁染粉砂质泥岩和暗灰色薄层层纹状泥质石英粉-细砂岩,为障壁岛(水下隆起)边缘沉积(图7),为潮上带沉积,没有第③层沉积。

开阳、新寨地区 b 磷矿层之下、盖帽白云岩之上的砂岩、砂泥岩、粘土岩沉厚度大,说明在开阳地区形成的磷酸盐缓坡沉积环境(图7),是在早期沉积凹陷充填的基础是发展起来的,而非古陆边缘夷平作用形成。

第④层沉积微相:大湾剖面为浅灰色中厚层含硅质含磷白云岩,是局限潮坪环境,在瓮安磷矿一带见波状叠层石白云岩,为潮间带沉积;金沙剖面为含深色胶磷矿、砾屑为次棱角状、似水体较深斜坡相沉积特征,但此区整体为缓坡沉积。沙坝土剖面为灰绿色中厚含磷细砂岩,为潮上带沉积。白泥坝剖面没有第④层沉积。新寨剖面相变为潮上含锰质角砾状白云岩。麻江地区此岩性层没有沉积。

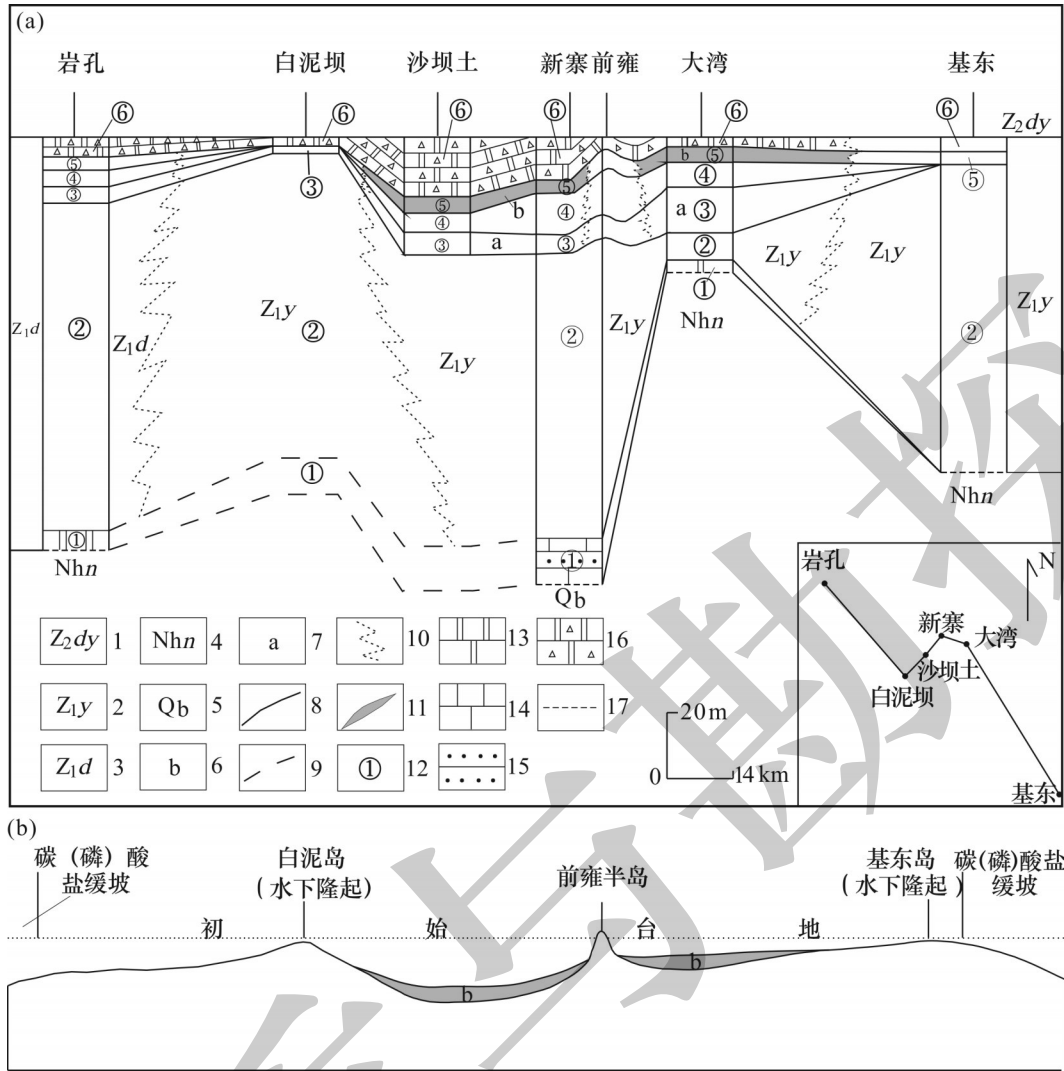


图 7 黔中地区下震旦统含磷岩系柱状对比图(a)及 b 矿层沉积模式图(b)

Fig. 7 Columnar correlation of the Lower Sinian phosphorus-bearing rock series in the Qianzhong area (a) and sedimentary model of the b ore layer (b)

1-上震旦统灯影组;2-下震旦统洋水组;3-下震旦统陡山沱组;4-南华系南沱组;5-青白口系;6-b 磷矿层;7-a 磷矿层;8-地层对比线;9-推测地层对比线;10-岩相变化线;11-磷矿层;12-岩性层编号;13-白云岩;14-灰岩;15-砂岩;16-角砾状白云岩;17-假整合接触

1-Dengying Formation of Upper Sinian System; 2-Yangshui Formation of Lower Sinian System; 3-Doushantuo Formation of Lower Sinian System; 4-Nantuo Formation of Nanhua System; 5-Qingbaikou System; 6-b phosphate rock layer; 7-a phosphate rock layer; 8-stratigraphic correlation line; 9-inferred stratigraphic correlation line; 10-lithofacies change line; 11-phosphate rock layer; 12-lithological section number; 13-dolomite; 14-limestone; 15-sandstone; 16-brecciated dolomite; 17-disconformable contact

第⑤层沉积微相：瓮福地区为潮下-潮间带沉积，沉积 b 矿层，著名的胚胎化石产于其中(袁训来，2007)。含硅质和黄铁矿，为水体较深的缓坡沉积。开阳地区为磷酸盐缓坡沉积，形成砂屑状、致密块状富磷块岩沉积，磷块岩普遍具砂屑结构，胶磷矿边部具有环边结构(图 6c、图 6d)。开阳白泥坝没有沉积。新寨地区形成潮上角砾状磷块岩沉积。麻江地区没有此岩性层沉积(图 7)。

第⑥层沉积微相：总体为潮上带含硅、含磷角

砾状白云岩，发育角砾状构造、栉壳状构造，各地厚度不一，最厚为新寨地区，厚 12.43 m。之后的灯影组继承了古陆边缘潮下局限环境(张伟等，2015)。

对比发现沙坝土剖面灰绿色砂岩顶部有透镜状含锰白云岩及 2.05 m 厚的砂质白云岩，常见胶磷矿砂砾屑，并在其中及其下青灰色岩屑石英砂岩和“紫色页岩段”上部的岩屑石英砂岩夹层的中，在岩石薄片中发现磷酸盐化和硅化的球形绿藻化石 *Protosphearidium* sp.A, P.sp.B 和 *Eozygion* s. (薛耀松

等,1995),进一步说明此段岩性属洋水组地层。

开阳、新寨地区磷矿层底板是在南沱期形成凹凸不平的基础上经过沉积填平作用发展起来的,结合瓮福地区含磷岩系为障壁海岸沉积(范玉梅,2017),推测“黔中古陆”可能为多个岛屿组成的隆起,并非连成一片的古陆,这一分析判断对深化黔中地区聚磷盆地认识具有重要意义,并推测“黔中古陆”分布区有找到磷块岩矿床的可能。

4 结论

(1)厘清了“黔中古陆”周缘含磷岩系分层。将含磷岩系划分为两个岩性段和6个岩性层,“黔中古陆”两侧及内部的岩孔、沙坝土、白泥坝、新寨和基东剖面,含磷岩系各岩性段基本可以对比。

(2)以往划分的“马路坪组”第二段,本文划属洋水组地层。洋水组地层总体为黔中古陆边缘浅水沉积岩性组合,陡山沱组地层为较深水缓坡盆地的沉积岩性组合。

(3)“黔中古陆”不是连片的古陆。在金沙县岩孔北西和麻江县基东之南东发育开阔缓坡。其间,开阳地区为磷酸盐碎屑滩,形成开阳式磷矿沉积;福泉、瓮安间为多岛半封闭盆地,形成瓮福式磷矿沉积;麻江基东为障壁岛(水下隆起),形成障壁岛型沉积;新寨位于开阳与瓮安、福泉间,显示含磷岩系为水体较深的凹陷沉积,形成开阳式和瓮福式磷矿的过渡型沉积。推测“黔中古陆”不是一个真正的古陆,可能是一个多岛屿组成的隆起。基于此认为“黔中隆起”分布区有较大的磷矿找矿潜力。

致谢:在论文编写过程中,得到《中国矿产地质志·贵州卷·磷》编写组相关老师的指导,贵州省地矿局115队陈群研究员、105队王泽鹏研究员和贵州省地质调查院王敏研究员分别提供了金沙岩孔磷矿、开阳新寨磷矿勘查资料和岩矿鉴定指导,编辑部老师对本文作了精心指导,在此一并致谢。

[注 释]

- ① 贵州省地矿局104地质大队.2012.贵州省福泉市大湾磷矿详查地质报告[R].
- ② 贵州省地矿局115地质大队.2003.贵州省金沙县岩孔磷矿勘查报告[R].
- ③ 贵州省地矿局105地质大队.2003.贵州省白泥坝查区地质报告[R].
- ④ 化工部地质勘探公司贵州地质勘探大队.1988.贵州省开阳县磷矿洋水矿区沙坝土矿段勘探地质报告[R].
- ⑤ 贵州省地矿局105地质大队.2016.贵州开阳地区富磷矿整装勘查区专项填图与技术应用示范成果报告[R].

- ⑥ 贵州省地矿局104地质大队.1995.贵州省1:5万麻江幅(G48E010023)区域地质报告[R].
- ⑦ 贵州省地质局区域地质调查大队.1981.1:20万息烽幅区调报告[R].
- ⑧ 化工部地质勘探公司贵州地质勘探大队.1983.开阳磷矿洋水矿区马路坪矿段南段补充勘探报告[R].

[References]

- Banerjee S, Bansal U, Pande K, Meena S S. 2016a. Compositional variability of glauconites within the Upper Cretaceous Karai Shale Formation, Cauvery Basin, India: Implications for evaluation of stratigraphic condensation[J]. *Sedimentary Geology*, 331:12-29.
- Banerjee S, Bansal U, Thorat A V. 2016b. A review on palaeogeographic implications and temporal variation in glaucony composition [J]. *Journal of Palaeogeography*, 5(1):43-71.
- Banerjee S, Jeevankumar S, Eriksson P G. 2008. Mg-rich ferric illite in marine transgressive and highstand systems tracts: Examples from the Paleoproterozoic Semri Group, central India [J]. *Precambrian Research*, 162:212-226.
- Banerjee S, Mondal S, Chakraborty P P, Meena S S. 2015. Distinctive compositional characteristics and evolutionary trend of Precambrian glaucony: Example from Bhalukona Formation, Chhattisgarh Basin, India [J]. *Precambrian Research*, 271:33-48.
- Chen Guoyong, Chen Ren. 2024. China Mineral Geology Journal • Guizhou Volume • Phosphate Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House: 13-81 (in Chinese).
- Chen Guoyong, Chen Ren, Du Yuansheng, Liu Janzhong, Wang Zepeng, Chen Qun, Ren Houzhou. 2023. Research progress and prospect on the mineralization regularity of phosphate deposits in Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 40(4): 378-388 (in Chinese with English abstract).
- Chen Guoyong, Du Yuansheng, Zhang Yaguan, Chen Qinggang, Fan Yumei, Wang Zepeng, Tan Hua. 2015. Spatial and temporal variation and mineralization model of the Sinian phosphorus-bearing sequences in central Guizhou Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 34(6): 17-24 (in Chinese with English abstract).
- Deng Keyong, Wu Bo, Luo Mingxue, Luo Chun, Long Jianxi. 2015. Phosphate rock geochemistry of the Doushantuo Formation in Shuangshanping, Kaiyang of Guizhou Province and its genetic significance [J]. *Geology and Exploration*, 51(1): 123-130 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Chen Guoyong, Zhang Yaguan, Liu Janzhong, Chen Qinggang, Zhao Zheng. 2017. Sedimentary geology of phosphorite deposit from the Sinian Doushantuo Formation in Guizhou Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1-80 (in Chinese).
- Fan Yumei. 2017. Early barrier island and phosphorite-formation controlling process of Late Nanhua Period—Early Sinian Period in Middle and South Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 34(3): 175-182, 198 (in Chinese with English abstract).
- Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. 1987. Regional geology of Guizhou Province [M]. Beijing: Geological Publishing

- House:28-40(in Chinese).
- Guizhou Geological Survey Institute.2017.Regional geology of China, Guizhou [M]. Beijing: Geological Publishing House: 104-105, 937-1016(in Chinese).
- Hoffman P F, Macdonald F A, Halverson G P.2011.Chemical sediments associated with Neoproterozoic glaciation: Iron formation, cap carbonate, barite and phosphorite[J] Geological Society, London, Memoirs,36: 67-80.
- Hoffman P F, Macdonald F A.2010.Sheet-crack cements and early regression in Marinoan (635 Ma) cap dolostones: Regional benchmarks of vanishing ice-sheets? [J]. Earth and Planetary Science Letters, 300: 374-384.
- Kennedy M J, Runnegar B, Prave A R, Hoffmann K H, Arthur M A.1998. Two or four Neoproterozoic glaciations?[J].Geology, 26(12): 1056-1063.
- Knoll A H.2000.Learning to tell Neoproterozoic time [J].Precambrian Research, 100:3-20.
- Liang Kunping. 2002. Study on geological characteristics and geochemistry of phosphorus deposit in Wengfu phosphate mine, Guizhou [D]. Guiyang: Guizhou University: 82-83 (in Chinese with English abstract).
- Tan Zhiyuan, Liu Xiaolong.2022.Discovery and significance of the storm deposit within the Early Silurian Shiniulan Formation in the Boxiangtian area, south Sichuan[J]. Geology and Exploration, 58(4): 875-886(in Chinese with English abstract).
- Walter M R, Veevers J J, Calver C R, Gorjan P, Hill A C. 2000.Dating the 840-544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon, and sulfur in seawater, and some interpretative models[J]. Precambrian Research, 100:371-433.
- Wu Xianghe, Han Zhijun, Cai Jifeng, Xiao Yongnian. 1999. Guizhou phosphorite [M]. Beijing: Geological Publishing House: 64-66 (in Chinese).
- Xue Yaosong, Tang Tianfu, Yu Congliu and Zhou Chuanning.1995.Large spheroidal chlorophyta fossils from Doushantou Formation phosphoric sequence (Late Sinian), central Guizhou, South China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 34(6): 689-690(in Chinese with English abstract).
- Yang Weidong, Xiao Jinkai, Yu Bingsong, Fang Tao, Chen Feng, Lu Xiaoying. 1997. Sedimentology, geochemistry and sustainable development strategies of the Dian-Qian phosphorites [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-5(in Chinese).
- Yuan Xunlai, Wang Dan, Xiao Shuhai. 2009. Animals in the Neoproterozoic Doushantuo Epoch [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 48(3):375-389(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wei, Yang Ruidong, Ren Haili, Gao Junbo, Mao Tie.2015. Sedimentary characteristics of phosphorite deposits in the Sinian Dengying Formation of Weng'an County, Guizhou Province [J]. Geology and Exploration, 51(2): 238-241 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yaguan, Du Yuansheng, Chen Guoyong, Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Xu Yuanyuan, Tan Daiwei, Li Lei, Wang Dafu, Wu Wenming.2016. Sedimentary characteristics and mineralization model of high-grade phosphorite in the Sinian Doushantuo Age of Kaiyang area, central Guizhou Province[J]. Journal of Palaeogeography, 18(4): 582-585(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yaguan, Du Yuansheng, Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Chen Guoyong.2019. Neoproterozoic great oxygenation event and large-scale phosphorus formation [C]. Mineral Deposits Branch of the Chinese Geological Society. Proceedings of the 9th National Symposium on Metallogenic Theory and Prospecting Methods: Conference Printing: 588-589(in Chinese).
- [附中文参考文献]
- 陈国勇, 陈仁, 杜远生, 刘建中, 王泽鹏, 陈群, 任厚州.2023. 贵州磷矿成矿规律研究进展与展望[J]. 贵州地质, 40(4): 378-388.
- 陈国勇, 陈仁.2024. 中国矿产地质志·贵州卷·磷矿[M].北京:地质出版社:13-81.
- 陈国勇, 杜远生, 张亚冠, 陈庆刚, 范玉梅, 王泽鹏, 谭华.2015. 黔中地区震旦纪含磷岩系时空变化及沉积模式[J].地质科技情报, 34(6):17-24.
- 邓克勇, 吴波, 罗明学, 罗春, 龙建喜.2015. 贵州开阳双山坪陡山沱组磷块岩地球化学特征及成因意义[J].地质与勘探, 51(1): 123-130.
- 杜远生, 陈国勇, 张亚冠, 刘建中, 陈庆刚, 赵征等. 2017. 贵州省震旦纪陡山沱组磷矿沉积地质学[M].武汉:中国地质大学出版社: 1-80.
- 范玉梅.2017. 黔中南华纪末期-震旦纪早期障壁岛及成磷控制作用[J]. 贵州地质, 34(3): 175-182, 198.
- 贵州省地矿局.1987. 贵州省区域地质志[M].北京:地质出版社:28-40.
- 贵州省地质调查院.2017. 中国区域地质志·贵州志[M].北京:地质出版社:104-105, 937-1016.
- 梁坤萍.2022. 贵州瓮福磷矿白岩矿区磷矿床地质特征及地球化学研究[D]. 贵阳:贵州大学:82-83.
- 谭志远, 刘小龙.2022. 川南柏香田地区早志留石牛栏组风暴沉积的发现及意义[J].地质与勘探, 58(4):875-886.
- 吴祥和, 韩至钧, 蔡继锋, 肖永年.1999. 贵州磷块岩[M].北京:地质出版社:64-65.
- 薛耀松, 唐天福, 俞从流, 周传明.1995. 贵州瓮安-开阳地区陡山沱期含磷岩系的大型球形绿藻化石[J] 古生物学报, 34(6):689-690.
- 杨卫东, 肖金凯, 于炳松, 方涛, 陈丰, 鲁晓莺.1997. 滇黔磷块岩沉积学、地球化学与可持续发展战略[M].北京:地质出版社:1-5.
- 袁训来, 王丹, 肖书海.2009. 新元古代陡山沱期的动物[J].古生物学报, 48(3):375-389.
- 张伟, 杨瑞东, 任海利, 高军波, 毛铁.2015. 贵州瓮安震旦系灯影组磷矿沉积特征[J].地质与勘探, 51(2):238-241.
- 张亚冠, 杜远生, 陈国勇, 刘建中, 王泽鹏, 徐圆圆, 谭代卫, 李磊, 王大福, 吴文明.2016. 黔中开阳地区震旦纪陡山沱期富磷矿沉积特征与成矿模式[J].古地理学报, 18(4):582-585.
- 张亚冠, 杜远生, 刘建中, 王泽鹏, 陈国勇.2019. 新元古代大氧化事件与大规模成磷作用[C].中国地质学会矿床分会.第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集: 588-589.

Correlation and Significance of the Lower Sinian Phosphorus-Bearing Rock Series in Central Guizhou Province

CHEN Xuezhì¹, CHEN Ren²

(1. 117 Geological Brigade, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550018; 2. Guizhou Geological Survey Institute, Guiyang, Guizhou 550005)

Abstract: Guizhou Province ranks third in China in terms of identified phosphate resources, and ranks first about its high-grade phosphate resources. Currently, it hosts the largest phosphate chemical base in Asia. Comparative studies on the Early Sinian phosphate-bearing rock series in central Guizhou Province aim to enhance the understanding of the Qianzhong ancient land or Qianzhong uplift, which are of significant importance for the prediction and exploration of deep phosphate resources. This work took the phosphate-bearing rock series profile of the Dawan phosphate deposit in the Wengfu area of Guizhou as a comparative standard. Through the re-examination of the lithological section of the phosphorite series, the phosphorite layers and phosphorites, the well-developed phosphate-bearing rock series of the Dawan phosphate deposit was divided into two lithological sections and six lithological layers. Vertical and horizontal profile analyses and comparisons were conducted to summarize their characteristics and variations, thereby analyzing the sedimentary environment and facies around the Qianzhong ancient land or Qianzhong uplift. It is suggested that the sedimentary base of the phosphate-bearing rock series is uneven, with greater deposition thickness in depressed areas and erosion or depositional gaps in raised areas. The Qianzhong ancient land covers a small area, with shallow water platform sediments of the Yangshui Formation around and within the ancient land, and deeper water slope sediments of the Doushantuo Formation further away from the ancient land. The Early Sinian sedimentary environment around the ancient land varies greatly, suggesting a multi-island uplift. Within the range of the multi-island uplift, there are favorable geological conditions for mineralization, indicative of a good potential for deep phosphate resource exploration.

Key words: phosphate-bearing rock series, phosphate ore layer, phosphorite, multi-island uplift, Qianzhong ancient land, Qianzhong uplift