

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.003

贵州瓮福磷矿含磷岩系层序特征 及黔中古陆控矿意义

宋小军,曾道国,巩鑫,刘波,杜茵,李光春,曾凡祥,
苏永虎,郭东杭,张能,罗勇军

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院,贵阳 550005)

摘要: 新元古代末期震旦系陡山沱阶和早古生代早期寒武系梅树村阶是全球两大成磷时期。贵州瓮福磷矿含磷岩系一早震旦世陡山沱组磷矿a矿层与b矿层,是震旦系陡山沱阶成磷事件的典型代表。瓮福磷矿含磷岩系为在浅水陆棚地区沉积的一套与磷矿有成因联系的岩石组合,属于浅海台地相型;含磷岩系具备早期准备阶段、磷质富集阶段及晚期磷质贫化消失阶段的沉积特征,在纵向上呈三段式递变;以陡山沱组内三段(Z_1d^3)与四段(Z_1d^4)侵蚀间断面分隔,两次海侵旋回造成两次磷质的富集,经生物化学、机械破碎簸选及后期改造形成a、b两层工业磷矿体。瓮福磷矿陡山沱期构造位置位于上扬子陆块东南部,雪峰运动结束冒地槽沉积造就了黔中古陆以及东部半封闭的海湾浅滩。瓮福磷矿陡山沱期处于黔中古陆东缘,东临大海,整体地势西高东低;以黔中古陆为中心,从西到东、由陆向海形成古陆—滨岸—浅海—深海的古地理格局。黔中古陆在陡山沱期两次海侵旋回中,一方面其边缘海湾浅滩为磷质富集提供有利的沉积环境,另一方面其遭受剥蚀和夷平作用后为磷块岩矿床的形成提供含石英、长石、白云石、黏土等矿物的陆源碎屑。通过典型岩相剖面分析,黔中古陆边缘海湾浅滩的沉积环境及岩相直接控制了瓮福磷矿床的形成和分布,其具有重要的控矿意义。

关键词: 含磷岩系;层序特征;黔中古陆;控矿意义;瓮福磷矿;贵州

中图分类号: P619.213 **文献标识码:** A

0 引言

磷矿资源是重要的农业、工业原材料,广泛应用于医药、军工、食品等领域,对国家粮食安全和产业发展具有重要的战略意义^[1-2]。我国磷矿资源主要集中分布在贵州、湖北、云南、湖南、四川5省区,可供经济开采的磷矿资源急剧变少,已被国家列入2010年以后的紧缺资源^[3]。

瓮福磷矿地处上扬子地台东缘成矿带渝东南—

黔中锰、铝、铅锌、磷成矿远景区^[3-4],其位于贵州中部的瓮安县及福泉市境内(图1a),含磷岩系保存面积超100 km²,磷矿资源量近40×10⁸ t,为大型海相生物化学沉积磷块岩矿床,在我国磷矿生产基地建设中具有重要地位^[4-5]。1974—1985年贵州省地矿局对瓮福磷矿地表及浅部进行了大规模的勘查工作,按照构造特征划分为9个矿段(图1b),自北向南分别为玉华矿段、王家院矿段、大塘矿段、穿岩洞矿段、磨坊矿段、新桥矿段、小坝矿段、大寨矿段及英坪矿段^[4-5]。2017年至今,贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院、七总队对磨坊矿段、

收稿日期: 2020-06-04; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:U1812402)资助。

作者简介: 宋小军(1985—),男,本科,高级工程师,主要从事地质找矿及磷矿研究工作。通信地址:贵州省贵阳市南明区宝山南路564号,贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院;邮政编码:550005;E-mail:285008743@qq.com

通信作者: 曾道国(1969—),男,工程硕士,正高级工程师,从事矿产勘查及技术管理工作。通信地址:贵州省贵阳市南明区宝山南路564号,贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院;邮政编码:550005;E-mail:826845843@qq.com

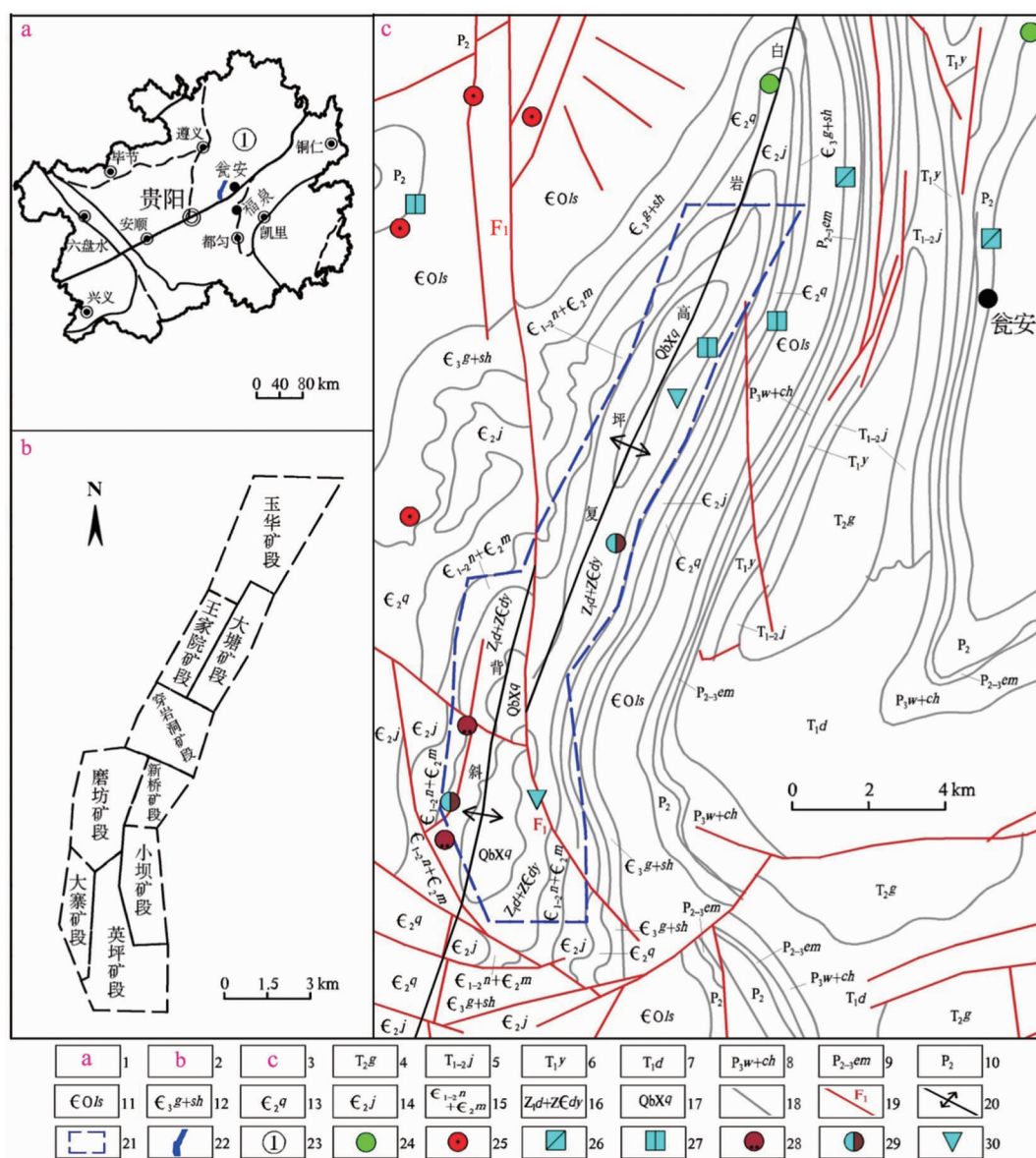


图1 瓮福磷矿大地构造、矿段分布及区域地质略图(据文献[9,11],修改)

Fig. 1 Map showing geotectonic position, ore domain distribution and regional geology of Wengfu phosphate deposit

1. 贵州大地构造略图; 2. 瓮福磷矿矿段分布略图; 3. 区域地质略图; 4. 三叠系中统关岭组;
5. 三叠系下统一统嘉陵江组; 6. 三叠系下统夜郎组; 7. 三叠系下统大冶组; 8. 二叠系乐平统吴家坪组—长兴组;
9. 二叠系阳新统一乐平统峨眉山组; 10. 二叠系阳新统; 11. 寒武系第三统一芙蓉统一奥陶系下统娄山关组;
12. 寒武系第三统高台组—石冷水组; 13. 寒武系第二统清虚洞组; 14. 寒武系第二统金顶山组;
15. 寒武系第二统明心寺组、寒武系组芬兰统一第二统牛蹄塘组;
16. 震旦系上统一寒武系组芬兰统灯影组、震旦系下统陡山沱组;
17. 青白口系下江时期下江群清水江组; 18. 地质界线; 19. 断层及编号;
20. 背斜轴; 21. 矿区范围; 22. 矿区位置; 23. IV-4-1-3(3); 24. 铜矿;
25. 铁矿; 26. 高岭土; 27. 白云岩; 28. 汞矿; 29. 铅锌矿; 30. 磷矿

新桥矿段、小坝矿段、英坪矿段深部进行了勘查工作,进一步证实了瓮福磷矿具有规模大、矿石质量较好、矿石加工性能成熟及矿床开采技术条件好的特点^[6-18]。

新元古代末期震旦系陡山沱阶和早古生代早期寒武系梅树村阶是中国的两大成磷时期,同时也是全球范围内的两大成磷时期,黔中瓮福磷矿是新元古代末期震旦系陡山沱阶全球性成磷事件的产

物^[19-20];瓮福磷矿含矿岩性为新元古代末期早震旦世陡山沱组磷矿 a 矿层与 b 矿层,以及晚震旦世灯影组 Zb-P 含磷标志层^[11]。瓮福磷矿陡山沱组沉积时期处于黔中古陆东缘,东临大海,整体地势西高东低;其成磷事件与黔中地区古地理环境、岩相分布以及海平面的升降密切相关^[21-25];黔中古构造运动促使黔中古陆古地理格局的形成和演变,造就了含磷碳酸盐浅水的海湾浅滩沉积环境,也控制了瓮福磷矿床的形成和分布^[26]。

1 区域地质背景概述

新元古代末期 Rodinia 超大陆发生裂解^[27-28],全球冰期结束,气候开始变暖,扬子板块东南缘发生自南东向北西的大规模海侵,并在陡山沱期沉积了一套以碎屑岩、碳酸盐岩夹磷块岩为主的混合沉积序列^[24,29-32],其中瓮福磷矿是本次沉积响应的典型代表^[22-24]。早震旦世陡山沱期黔中地区位于扬子地台东南部^[22-24,33],以上扬子地台内的古陆或隆起为中心由陆向海形成古陆—滨岸—浅海—深海的古地理格局,地台陆架向南东延伸依次形成斜坡相到深水盆地相沉积环境^[24,30],古陆或隆起边缘的海湾浅滩为有利的成磷环境^[5,26,34]。

瓮福磷矿大地构造位置,不同学者有不同的划分方案^[8,11]。根据《中国区域地质志:贵州志》(2017 年)推荐的构造划分方案,当前黔中瓮福地区大地构造位置位于上扬子陆块(二级分区)上扬子地块(三级分区)黔北隆起区(四级分区)之凤冈南北向隔槽式褶皱变形区即 IV-4-1-3(3)(五级分区)内^[35]。构造样式以宽缓背斜与紧闭向斜组合构成的隔槽式褶皱为主,具有典型的侏罗山式褶皱组合特点;同时具有近南北向的构造线特征,控制了区域矿产的展布方向和地质体赋存的空间位置^[6,8-11,35],见图 1c 中所示。

区域构造主要有白岩—高坪复背斜以及切错背斜的小坝断层 F_1 。背斜为区内一级构造,轴部呈 NNE 向—近 SN 向展布,为一不对称的斜歪倾伏褶皱(图 1c);受小坝断层 F_1 错切为北段的白岩背斜及南段的高坪背斜^[6,8-11]。

区域地层由老到新出露有青白口系、南华系、震旦系、寒武系、少量奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系及第四系。其中,青白口系下江群清水江组分布于白岩—高坪复背斜核部,中三叠统地层出露于背斜

两翼,其两者之间缺失大部分奥陶纪、志留纪、泥盆纪时期的沉积地层;第四系零星分布,不整合覆于前述出露地层之上^[6,8-11]。

区域轻度变质岩有青白口系清水江组(QbXq),可成为瓮福磷矿含磷岩系沉积所需的陆源碎屑补给区;区域岩浆岩有二叠系峨眉山玄武岩($P_{2-3}em$),该岩浆活动与含磷岩系没有直接联系^[8]。

区域矿产主要有早震旦世陡山沱组磷矿 a 矿层及 b 矿层,晚震旦世灯影组 Zb-P 含磷标志层,早寒武世牛蹄塘组的上磷矿层、钼镍多金属层、石煤,以及其他地质时期内形成的铜矿、铁矿、汞矿、铅锌矿、石灰岩、煤矿、高岭土等矿产资源^[8]。

瓮福磷矿各矿段内 Zb-P 含磷标志层产出极不稳定且规模小,不具工业价值;而 a、b 矿层在不同矿段有着不同程度的发育和规模。其中,王家院矿段、大塘矿段、穿岩洞矿段、磨坊矿段及新桥矿段 a、b 矿层完全发育,均具有工业价值;玉华矿段、小坝矿段、大寨矿段及英坪矿段 a 矿层呈零星透镜状产出而不具工业价值,b 矿层以厚度大、品位高、资源量大为特点具有工业价值^[5,11]。

2 含磷岩系层序特征

瓮福磷矿含磷岩系为在浅水陆棚地区沉积的一套与磷矿有成因联系的岩石组合,也是受古构造制约下沉积域内成磷大旋回的产物^[5];以波浪作用为主的潮下带及潮间带沉积,属于浅海台地相型;岩石组合主要为白云岩、泥云岩、硅质岩、黏土岩、颗粒磷块岩、叠层石磷块岩、凝胶磷块岩^[5,26]。

受黔中古陆制约下的古地理环境的时空演化,瓮福磷矿含磷岩系具备早期准备阶段的沉积、磷质富集阶段的沉积、晚期磷质贫化消失阶段的沉积,纵向上呈三段式递变。含磷旋回海侵伊始,粗细陆源碎屑物沉积是准备阶段的产物;含磷碳酸盐岩(白云岩)等化学岩的大量沉淀,意味着磷质富集阶段的开始,潮上藻白云岩及具暴露特征的硅质岩大量发育,表征进入磷质贫化消失阶段。三段纵向消长递变,反映了古地理演化特征^[4-5,36]。瓮福磷矿含磷岩系沉积旋回情况,见图 2 所示。

青白口系下江时期下江群清水江组(QbXq)变余凝灰质砂岩及板岩,厚度 >200 m;主要为海相陆源碎屑浊流沉积,夹火山碎屑重力流沉积,显韵律特征,属于大陆边缘的冒地槽沉积^[5,36-37];雪峰运动结

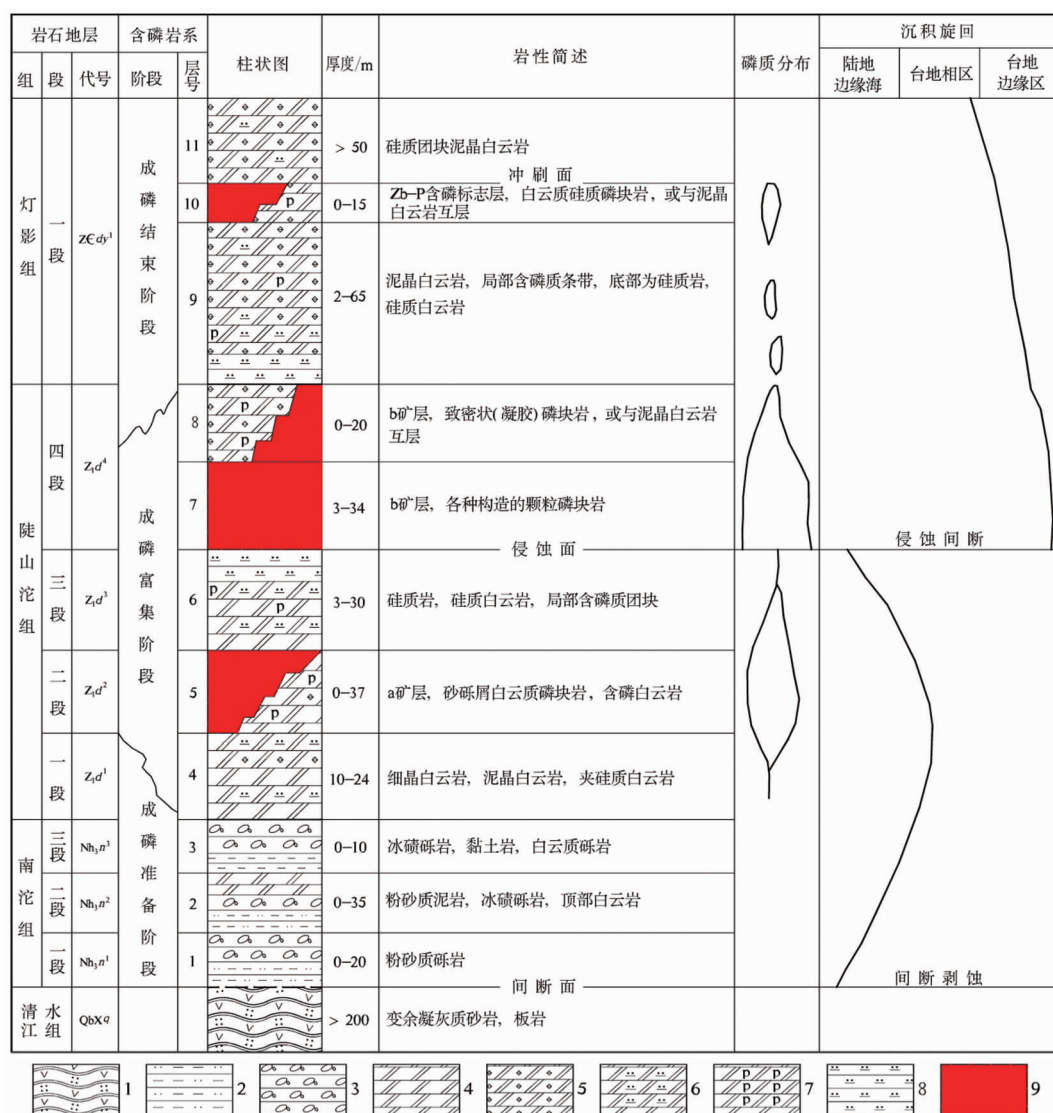


图2 瓮福磷矿含磷岩系沉积旋回图(据文献[5,36],修改)

Fig. 2 Sedimentary cycle diagram of phosphorus rock series in Wengfu phosphate deposit

1. 变余凝灰质砂岩、板岩; 2. 粉砂质泥岩; 3. 冰碛砾岩; 4. 白云岩;

5. 泥晶白云岩; 6. 硅质白云岩; 7. 含磷白云岩; 8. 硅质岩; 9. 磷块岩矿体

束冒地槽沉积,造就了黔中古陆,后期遭受剥蚀和夷平作用后为瓮福磷矿含磷岩系的沉积提供陆源碎屑^[5,11]。

南华系上统南沱组(Nh₃n)即第1—3层,厚度0~65 m,是瓮福磷矿含磷岩系的早期部分,区内零星分布,局部地段完全缺失,与下伏地层清水江组(QbX_q)呈假整合或微角度不整合,两者之间为沉积间断^[5]。岩石组合为冰碛砾岩、粉砂质泥岩、黏土岩及少量白云岩,主要为陆地边缘海砂砾碎屑沉积。其中,磷质与碳酸盐(含磷白云岩)有关,常含胶磷矿颗粒;而在砂砾碎屑中磷质难以聚集和沉积^[5,38]。

震旦系下统陡山沱组(Z₁d)即第4—8层,厚度

16~145 m,是瓮福磷矿含磷岩系的主体部分,整合于南沱组(Nh₃n)或超覆于清水江组(QbX_q)之上。陡山沱期经历了长期的海侵与短暂的海退^[11,21-23],岩石组合出现大量化学岩,由白云岩、硅质岩、磷块岩及少量黏土岩组成,为磷质富集阶段的沉积^[6-11]。

陡山沱组一段(Z₁d¹)即第4层,厚度10~24 m,其岩性以白云岩为主,代表陡山沱初期海侵黔中古陆东缘台地相区的沉积,磷质开始富集。

陡山沱组二段(Z₁d²)即第5层,厚度0~37 m,岩性以砂砾屑白云质磷块岩或含磷白云岩为主,代表陡山沱早期海侵向中期短暂海退转变,由黔中古陆东缘台地相区向陆地边缘海转变的沉积;在台地

相区内当磷质高度富集,便形成工业矿体a矿层。

陡山沱组三段(Z_1d^3)即第6层,厚度3~30 m,其岩性以硅质岩、硅质白云岩为主,代表陡山沱中期持续海退黔中古陆东缘陆地边缘海的沉积,海平面大幅度下降,浅部海水磷质供应不足;本段顶部可见晶洞、团块等暴露构造,指示了潮上带暴露侵蚀的沉积环境;硅化作用强烈,局部相变为硅质岩,与上覆第7层有明显的侵蚀间断面^[11,23,37]。

陡山沱组四段(Z_1d^4)即第7—8层,厚度3~54 m,岩性以颗粒磷块岩、凝胶状磷块岩为主,个别地段顶部为含磷白云岩、硅质岩;代表陡山沱晚期大规模海侵黔中古陆东缘台地边缘区的沉积。其中,第7层为磷矿富集层位,下部为黑色泥质砂屑磷块岩、蓝灰色磷基砂屑磷块岩,具波状层理;上部为灰色团块状白云质砂屑磷块岩,团块由黑色凝胶状胶磷矿与细晶白云石组成。第8层体现为磷质由高峰期沉积转入贫化的层位,由凝胶状磷块岩夹大量白云岩及硅质岩组成,具浅水相特征^[5]。

震旦系上统一寒武系组芬兰统灯影组一段($Z \in dy^1$)即第9—11层,厚度>50 m,是瓮福磷矿含磷岩系的晚期部分,整合于陡山沱组(Z_1d)之上。灯影组一段为一套潮间逐渐向潮上环境过渡的岩性单调的白云岩,有间歇性暴露构造的硅质岩、隐藻硅质白云岩的形成,仅底部含少量磷质内碎屑、凝胶状磷质砾块及磷质叠层石形成Zb-P含磷标志层,厚度0~15 m,产出极不稳定,不能形成工业磷矿体。

综上,陡山沱组是瓮福磷矿含磷岩系的主体部分,岩石普遍含磷;陡山沱组底界、顶界较为整齐统一,磷酸盐化系数与陡山沱组厚度成正比^[10]。从瓮福磷矿含磷岩系沉积旋回图(图2)中可以看出,磷块岩的出现受控于海侵旋回及规模。以组内三段(Z_1d^3)与四段(Z_1d^4)侵蚀间断面分隔,两次海侵旋回造成两次磷质的富集,形成a、b两层工业磷矿体^[5]。

3 黔中古陆控矿意义

瓮福磷矿位于黔中地区,新元古代末期在构造上处于扬子准地台的黔中隆起的东部地带。在整个地史时期中随着扬子准地台经历多旋回构造运动,黔中隆起也在不断演化。雪峰运动结束了地台基底的冒地槽沉积,造就了扬子准地台,同时也在原冒地槽阶段,本身就是相对隆起的地带,形成了黔中隆起

的雏形。雪峰运动使贵州除东南一隅外,地壳不断上升,黔中隆起变成黔中古陆,长期遭受剥蚀和夷平作用^[5]。黔中地区陡山沱期的岩相古地理状况,见图3所示。

黔中地区新元古界下江群清水江组为一套以灰、深灰色为主间杂紫红色的变余玻屑凝灰岩与含凝灰质长石石英砂岩互层,夹变余长石石英岩屑砂岩及凝灰质板岩。岩石含大量火山碎屑物,变质较浅;火山碎屑岩与沉积岩单调重复,韵律清楚。经长期剥蚀和夷平,泥质碎屑岩难以形成陡峭的海岸地形,而形成缓坡地貌类型。新元古代末期,在贵州境内福泉—瓮安—新寨—温泉—松林—石阡—一线围成半封闭的海湾,海湾以东为凹陷区,北西为川滇黔高地,西部为黔中古陆^[3,11,22-24]。早震旦世陡山沱期瓮福磷矿处于黔中古陆东缘,海水自东向西发生大规模海侵,形成了西靠古陆,东临大海,整体地势西高东低,由西向东呈古陆—滨岸—浅海—深海的古地理格局^[11,23,39]。

雪峰运动造就了黔中古陆及以东半封闭海湾的形成,对黔中地区陡山沱期浅海台地相及瓮福磷矿带或矿体有着明显的控制作用^[5]。一方面黔中古陆快速隆升,从东部上升的含磷酸盐洋流以古陆作为屏障运移至半封闭的海湾浅滩,为磷质富集提供有利的古地理环境^[22];另一方面黔中古陆长期遭受剥蚀和夷平作用,陆源碎屑岩经风化剥蚀、冲刷、溶解后形成硅酸盐及碳酸盐,经后期改造形成石英、长石、白云石、黏土等矿物,为磷块岩矿床的形成提供源源不断的物质基础^[40-41]。

总之,黔中古陆使瓮福地区形成西部为古隆起区、东部为古凹陷区的古地形特征,这种构造格局也就控制了本区沉积岩相带呈南北向展布、东西向变化的总体轮廓。由于受黔中古陆的隆起分割,造成了瓮福磷矿北部海湾浅滩和南部广阔海滩的成磷环境,因此直接控制着瓮福磷矿的形成及空间分布^[5]。

4 典型岩相剖面分析

磷矿床沉积最明显、最直接的控制因素是沉积环境及岩相^[5,11,26,37]。对瓮福磷矿英坪矿段陡山沱期典型岩相剖面分析结果(图4)表明,期内海平面频繁的进退使海湾浅滩已沉积的磷块岩遭受多期次的冲蚀、暴露、淋滤、胶结及磷质再沉积作用,经生物化学、机械破碎簸选及后期改造,形成大规模的工业

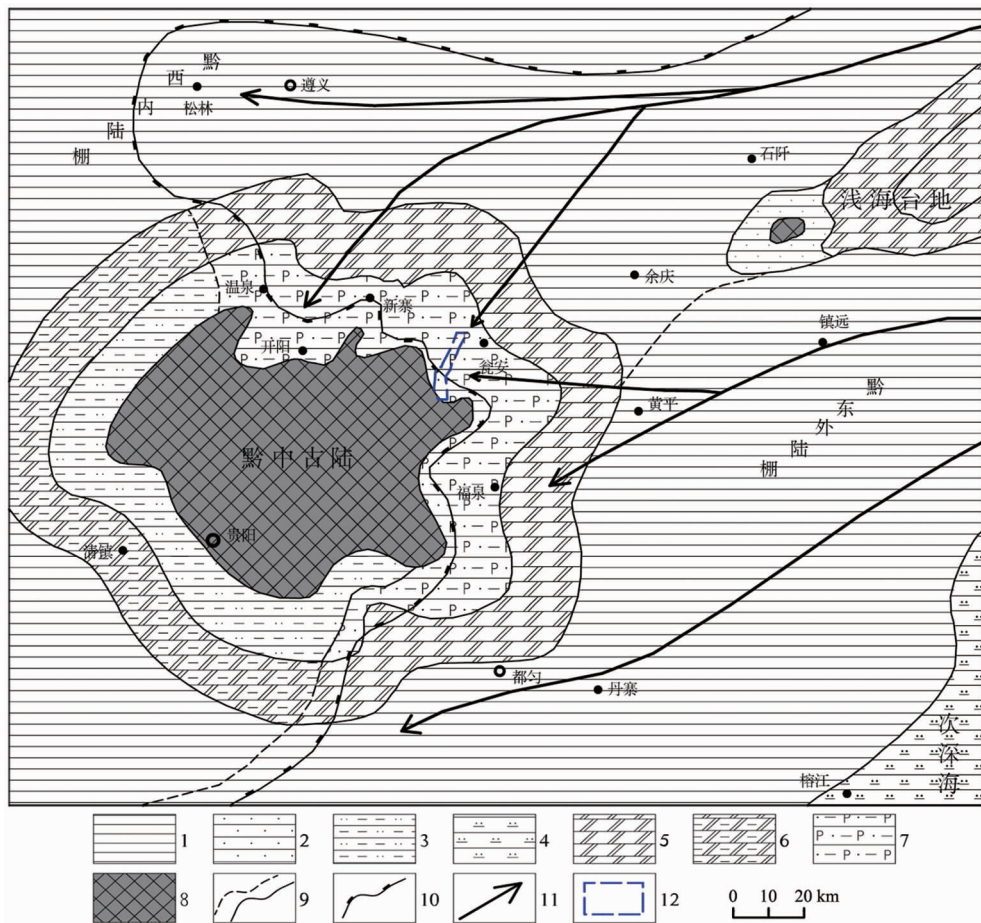


图3 黔中地区陡山沱期岩相古地理图(据文献[3,22-24],修改)

Fig. 3 Lithofacies palaeogeographic map of Doushantuo Stage in central Guizhou

1. 页岩;2. 砂岩;3. 粉砂质泥岩;4. 硅质岩;5. 白云岩;6. 泥质白云岩;7. 含磷岩系;8. 黔中古陆;

9. 相边界;10. 南沱组沉积边界;11. 上升洋流方向;12. 矿区范围

磷矿体^[42-43]。

早震旦世陡山沱初期海侵在黔中古陆东缘岸冰碛砾岩或砂岩、粉砂岩之上沉积了一套以白云岩为主,少量砂岩、砂质白云岩的岩石组合;层内水平层理、透镜体层理发育,代表海侵初期水体环境为较低能的潮间—潮上带,为瓮福磷矿陡山沱组第一段沉积(图4a)。

陡山沱早期海侵规模进一步扩大,瓮福磷矿继承陡山沱初期的古地理面貌,大量富磷海水在浅滩聚集,沉积物由白云岩向磷块岩转变,a矿层开始沉积^[11,23];随后便经历了时间短暂且规模较小的海退,在黔中古陆—滨岸水体环境变迁,水动力条件变弱,磷质供应不足,对a矿层沉积影响较大,仅在相对低洼的盆地、潮坪浅滩内沉积规模有限的矿体,平面上呈零星透镜状分布^[11];但相对水体较深的滨岸—浅海水体环境不受影响,水动力条件相对较强,磷质供应充足,形成了品位高、厚度大、富含藻类生

物的a矿层工业矿体。从而进一步解释了瓮福磷矿陡山沱早期,处于滨岸—浅海水体环境的王家院矿段、大塘矿段、穿岩洞矿段、磨坊矿段及新桥矿段a矿层发育且具有工业价值,而处于黔中古陆—滨岸水体环境的玉华矿段、小坝矿段、大寨矿段及英坪矿段a矿层不完全发育^[5,11](图4b)。

陡山沱中期瓮福磷矿海退持续,海平面大幅度下降,浅部海水磷质供应不足,a矿层之上沉积一层微晶白云岩,上段可见晶洞、团块等暴露构造,指示了潮上带暴露的沉积环境,硅化作用强烈,局部相变为硅质岩(图4c)。

陡山沱晚期大规模海侵的到来,海平面迅速上升^[11,23,26,44],为b矿层的形成创造条件。瓮福磷矿先在聚磷浅滩潮间带向陆一侧,形成了以砾屑结构、交错层理构造为主的砂砾状磷块岩(图5a,图5b),该类矿石多分布于平缓、高能的海滩沉积环境之中;随着海侵持续进行,形成了团块状磷块岩(图5c),

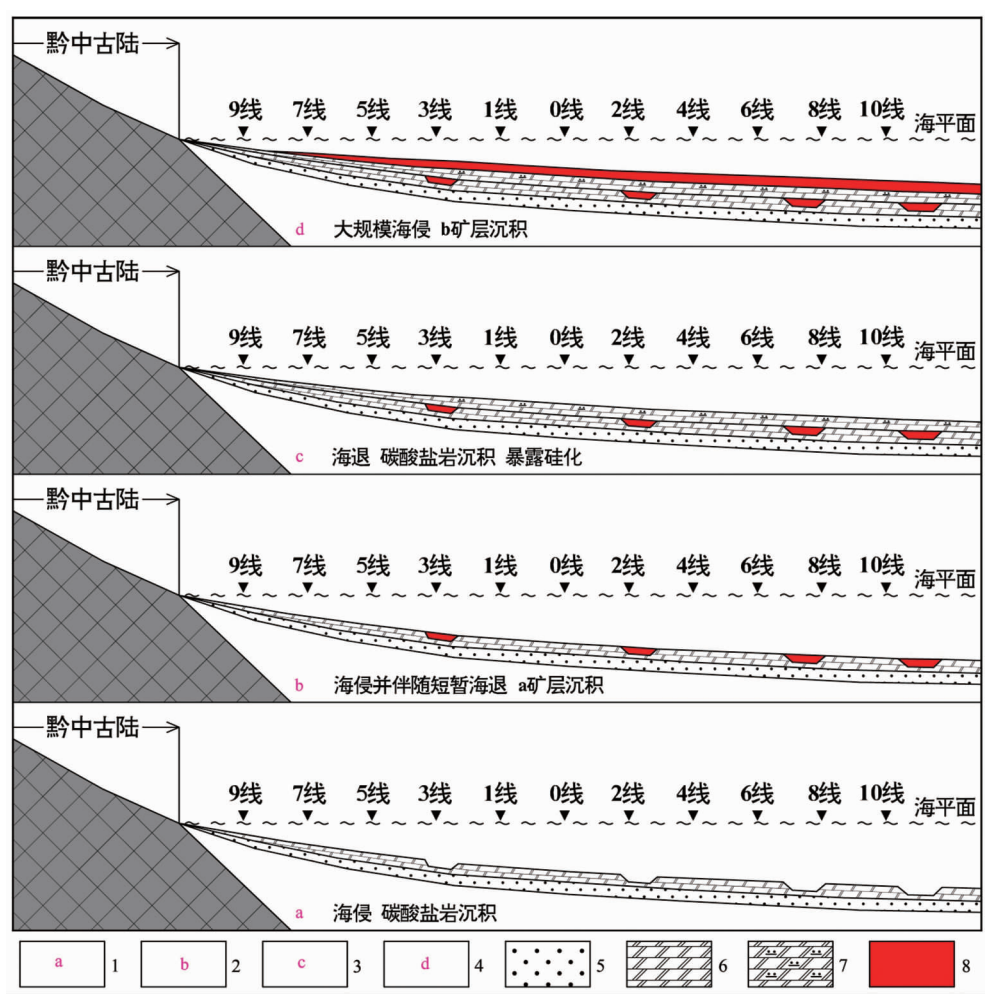


图 4 瓮福磷矿英坪矿段陡山沱期典型岩相剖面图(据文献[11],修改)

Fig. 4 Typical lithofacies palaeogeographic section of Doushantuo Stage in Yingping ore domain of Wengfu phosphate deposit

1. 陡山沱组一段沉积; 2. 陡山沱组二段沉积; 3. 陡山沱组三段沉积; 4. 陡山沱组四段沉积;
5. 冰碛砾岩或砂岩; 6. 白云岩; 7. 硅质白云岩; 8. 磷块岩矿体

其特征介于砂砾状磷块岩与致密状磷块岩之间;而后海侵进一步加大,水体环境相对较深,演变为聚磷浅滩潮下带,总体靠海,水动力条件弱,形成了以凝胶结构、水平层理构造为主的致密状磷块岩^[6,9-11,26](图 5d)。总体上,陡山沱晚期瓮福磷矿沉积环境是水体由浅至深、水动力条件由强到弱、环境为聚磷浅滩由潮间带向潮下带的演变过程,该过程实为海侵^[6,9-11,26,44]。可见,瓮福磷矿沉积相属海湾浅滩相,是磷质富集沉淀的最佳场所;其原因在平缓开阔的海湾浅滩古地理环境之中,容磷海水为成矿提供了丰富物质来源;当沉积环境物化条件改变及生物作用参与后,磷质逐渐析出并沉淀,经高度富集后形成了厚大、质优的工业矿体 b 矿层(图 4d)。

综上,根据瓮福磷矿英坪矿段陡山沱期典型岩

相剖面分析,黔中古陆边缘海湾浅滩的沉积环境及岩相直接控制了瓮福磷矿床的形成和分布,具有重要的控矿意义。

5 结论

(1)瓮福磷矿是新元古代末期震旦系陡山沱阶全球性成磷事件的产物,其含磷岩系为在浅水陆棚地区沉积的一套与磷矿有成因联系的岩石组合,即以波浪作用为主的潮下带及潮间带沉积,属于浅海台地相型;也是受古构造制约下沉积域内成磷大旋回的产物,具备早期准备阶段,磷质富集阶段及晚期磷质贫化消失阶段的沉积特征,在纵向上呈三段式

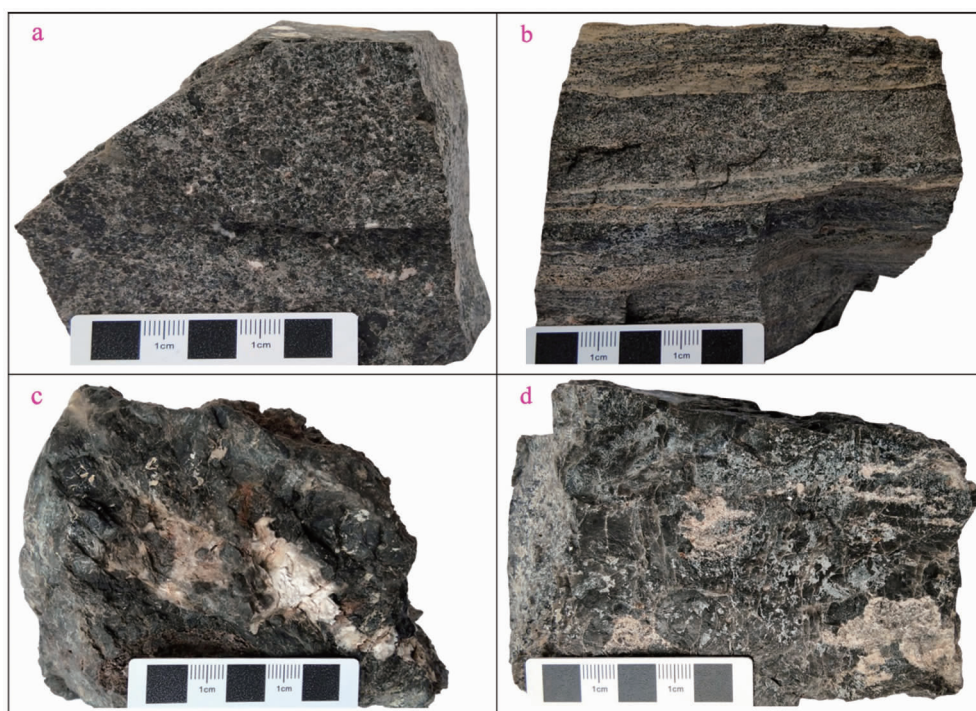


图5 瓮福磷矿英坪矿段b矿层纵向矿石类型

Fig. 5 Longitudinal ore type distribution of ore layer b in Yingping ore domain of Wengfu phosphate deposit

- a. 砂砾状磷块岩,具砂(砾)屑结构、块状、团块状构造;
b. 条带状砂砾磷块岩,具砂(砾)屑结构、条带(层纹)状构造;
c. 团块状磷块岩,具砂屑结构、团块状构造;d. 致密状磷块岩,具凝胶结构、块状构造

递变。受控于海侵旋回及规模,以陡山沱组内三段(Z_1d^3)与四段(Z_1d^4)侵蚀间断面分隔,两次海侵旋回造成两次磷质的富集,形成a、b两层工业磷矿体。

(2)瓮福磷矿陡山沱期构造位置位于上扬子陆块东南部,以黔中古陆为中心从西到东由陆向海形成古陆—滨岸—浅海—深海的古地理格局,地台陆架向南东延伸依次形成斜坡相到深水盆地相沉积环境,黔中古陆边缘的海湾浅滩为有利的成磷环境。其原因一方面黔中古陆快速隆升,从东部上升的含磷酸盐洋流以古陆作为屏障运移至半封闭的海湾浅滩,为磷质富集提供有利的古地理环境;另一方面黔中古陆长期遭受剥蚀和夷平作用,陆源碎屑岩经风化剥蚀、冲刷、溶解后形成硅酸盐及碳酸盐,经后期改造形成石英、长石、白云石、黏土等矿物,为磷块岩矿床的形成提供源源不断的物质基础。

(3)通过瓮福磷矿英坪矿段陡山沱期典型岩相剖面分析,期内海平面频繁的进退使海湾浅滩已沉积的磷块岩遭受多期次的冲蚀、暴露、淋滤、胶结及磷质再沉积作用,经生物化学、机械破碎簸选及后期改造,形成大规模的工业磷矿体。黔中古陆边缘海

湾浅滩的沉积环境及岩相直接控制了瓮福磷矿床的形成和分布,具有重要的控矿意义。

参考文献:

- [1] 鄢正华. 我国磷矿资源开发利用综述[J]. 矿冶, 2011, 20(3): 21-25.
- [2] 杜春丽, 黄曼, 洪诗佳. 我国磷矿资源开发利用研究综述[J]. 中国国土资源经济, 2019, 32(4): 32-38.
- [3] 刘建中, 王泽鹏, 杜远生, 等. 贵州开阳地区富磷矿成矿作用过程与找矿潜力[J]. 贵州地质, 2019, 36(1): 10-17.
- [4] 陈群, 吴明梅, 戴晓燕, 等. 贵州瓮(安)福(泉)地区磷矿地质特征与潜力预测[J]. 贵州地质, 2019, 36(3): 219-227.
- [5] 王志武, 祝德裕, 李忠惠, 等. 贵州瓮福磷矿地质特征和成矿规律研究报告[R]. 贵阳: 贵州省地矿局115地质大队, 1990.
- [6] 宋小军, 曾道国, 蔡健龙, 等. 贵州省福泉市英坪磷矿矿石特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2019, 33(2): 203-212+219.
- [7] 薛洪富, 蒲庆隆, 宋小军, 等. 黔南瓮福磷矿英坪矿段含磷岩系特征及典型沉积构造的指示意义[J]. 矿产勘查, 2019, 10(4): 890-897.
- [8] 宋小军, 曾道国, 蔡健龙, 等. 贵州英坪铝镍多金属矿地质特征及成矿条件[J]. 矿产勘查, 2019, 10(9): 2270-2279.
- [9] 宋小军, 曾道国, 杨胜波, 等. 贵州英坪磷矿伴生元素碘赋存

- 特征及富集规律[J]. 矿产与地质, 2019, 33(5): 800-807.
- [10] 宋小军, 曾道国, 蔡健龙, 等. 贵州省福泉市英坪磷矿矿床地质特征及成因探讨[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(11): 189-194+197.
- [11] 宋小军, 曾道国, 蔡健龙, 等. 贵州英坪磷矿Ⅱ号矿体地质特征及控矿因素[J]. 矿产勘查, 2020, 11(1): 136-149.
- [12] 杨正坤, 杜茜, 向明坤, 等. 贵州省福泉市磨坊铅镍多金属矿地质特征及找矿标志[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(7): 133-136+141.
- [13] 杨正坤, 杜茜, 向明坤, 等. 贵州省磨坊地区磷矿沉积特征与沉积古环境[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(9): 187-192.
- [14] 刘东, 王琼, 龙中伏, 等. 贵州省福泉市磨坊磷矿区地层岩石放射性分析评价[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(12): 133-138+141.
- [15] 向明坤, 杨正坤, 刘波. 贵州省磨坊地区深部磷矿体特征及其古地理意义[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(4): 127-131.
- [16] 赵祥聪, 洪超. 贵州福泉鸡公岭磷矿地质特征及成矿条件初步探讨[J]. 资源信息与工程, 2018, 33(1): 47-48+50.
- [17] 赵祥聪, 洪超, 梁丰. 贵州福泉鸡公岭磷矿矿石结构构造特征[J]. 有色金属设计, 2018, 45(1): 21-24.
- [18] 温奎奎, 赵祥聪, 黄伟星. 贵州福泉鸡公岭陡山沱组磷块岩地球化学特征[J]. 有色金属设计, 2018, 45(4): 46-50.
- [19] 东野脉兴. 扬子地块陡山沱期与梅树村期磷矿区域成矿规律[J]. 化工矿产地质, 2001(4): 193-209.
- [20] Cook P J, Shergold J H. Phosphorus, phosphorites and skeletal evolution at the Precambrian-Cambrian boundary [J]. *Nature*, 308, 1984: 231-236.
- [21] 邓克勇, 吴波, 罗明学, 等. 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, 2015, 51(1): 123-132.
- [22] 陈国勇, 杜远生, 张亚冠, 等. 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, 2015, 34(6): 17-25.
- [23] 杜远生, 陈国勇, 张亚冠, 等. 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, 2017.
- [24] 张亚冠, 杜远生, 陈国勇, 等. 富磷矿三阶段动态成矿模式: 黔中开阳式高品位磷矿成矿机制[J]. 古地理学报, 2019, 21(2): 351-368.
- [25] 张亚冠. 新元古代大氧化事件与大规模成磷作用[C]//矿物岩石地球化学学会. 第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集, 2019: 607-608.
- [26] 叶德书, 赵爽, 陈海, 等. 贵州省瓮福磷矿沉积环境及矿床成因探讨[J]. 矿产与地质, 2014, 28(4): 422-430.
- [27] Hoffman P F. The break-up of Rodinia, birth of Gondwana, true polar wander and the snowball Earth [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1999, 28(1): 17-33.
- [28] Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis [J]. *Precambrian Research*, 2008, Vol. 160: 179-210. (doi:10.1016/j.precamres.2007.04.021)
- [29] 朱茂炎, 张俊明, 杨爱华, 等. 中国南方埃迪卡拉纪(震旦纪)综合年代地层学[C]//中国古生物学会. 远古生命与现代研究途径: 第二届国际古生物学大会论文摘要专辑, 2006: 307-308.
- [30] 刘静江, 李伟, 张宝民, 等. 上扬子地区震旦纪沉积古地理[J]. 古地理学报, 2015, 17(6): 735-753.
- [31] 汪泽成, 刘静江, 姜华, 等. 中-上扬子地区震旦纪陡山沱组沉积期岩相古地理及勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(1): 39-51.
- [32] 杨爱华, 朱茂炎, 张俊明, 等. 扬子板块埃迪卡拉系(震旦系)陡山沱组层序地层划分与对比[J]. 古地理学报, 2015, 17(1): 1-20.
- [33] 王剑, 段太忠, 谢渊, 等. 扬子地块东南缘大地构造演化及其油气地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(11): 1739-1749.
- [34] 密文天, 范昱. 贵州瓮安磷矿岩石学及沉积序列研究[J]. 中国矿业, 2012, 21(2): 51-54.
- [35] 贵州省地质调查院. 中国区域地质志: 贵州志[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [36] 任海利. 贵州瓮安-福泉地区晚震旦世成磷期沉积环境与磷块岩中磷富集机理[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [37] 殷科华, 金华英, 叶德书, 等. 福泉磨坊晚震旦世磷块岩矿床地质特征及沉积环境[J]. 化工矿产地质, 2007(4): 215-221.
- [38] 顾尚义, 毕晨时. 贵州地区南沱冰期的冰下化学风化作用及其对海洋磷富集的意义[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2015, 32(6): 22-28.
- [39] 范玉梅. 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, 2017, 34(3): 175-182+198.
- [40] 王砚耕, 朱士兴. 黔中陡山沱时期含磷地层及磷块岩研究的新进展[J]. 中国区域地质, 1984(1): 129.
- [41] 陈多福, 陈光谦, 陈先沛. 贵州瓮福新元古代陡山沱期磷矿床铅同位素特征及来源探讨[J]. 地球化学, 2002(1): 49-54.
- [42] 周茂基, 盛章琪. 贵州晚震旦世陡山沱期磷块岩的岩相古地理[J]. 地质学报, 1981(4): 297-307+325.
- [43] 杨海英, 肖加飞, 李艳桃, 等. 黔中地区陡山沱期开阳、瓮安磷矿区成矿作用研究现状探讨[J]. 地质找矿论丛, 2017, 32(4): 551-561.
- [44] 肖朝益, 张正伟, 何承真, 等. 华南埃迪卡拉纪磷矿的沉积环境[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2018, 37(1): 121-138.

Characteristics of phosphate rock series sequenc in Wengfu phosphate deposit and ore control significance of the Qianzhong ancient continent

SONG Xiaojun, ZENG Daoguo, GONG Xin, LIU Bo, DU Lin,

LI Guangchun, ZENG Fanxiang, SU Yonghu,

GUO Donghang, ZHANG Neng, LUO Yongjun

(Geological and Mineral Exploration Institute, Nonferrous Metals and Nuclear Industry

Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China)

Abstract: The late Neoproterozoic Sinian Doushantuo Stage and the Early Paleozoic Early Cambrian Meishucun Stage are the two major phosphorus-forming periods in the world. Phosphate ore layer a and b of the phosphate deposits in the Early Sinian Doushantuo Formation in Wengfu Phosphate deposit are the typical representatives of the Sinian Doushantuo phosphorus-forming event. The phosphorus rock series is a rock association deposited in the shallow shelf area and related genetically to the phosphate deposit belonging to the shallow-sea platform sedimentary facies. Sedimentation of the phosphorous rock series shows the early preparation stage, the enrichment stage and the late phosphorus-depletion stage and three-stage gradual changes in the vertical direction. The two phosphorous enrichments brought by two transgression cycles are separated by the erosion discontinuities between the third (Z_1d^3) and fourth (Z_1d^4) members in the Doushantuo Formation which turn to the industrial ore layer a and b through biochemistry, mechanical crushing and separation. The Doushantuo period tectonics is positioned in the southeast Upper Yangtze Block. At end of the Xuefeng movement miogeosynclinal sedimentation resulted in the Qianzhong ancient continent and the semi-closed bay shoal in the east. The Doushantuo Stage of Wengfu Phosphate Mine is located on the eastern margin of the Qianzhong ancient continent facing the sea to the east. The overall terrain is high-low from the west to the east and is configured from the west to the east the paleogeographic pattern: ancient continent-shore-shallow-deep sea. During the two transgression cycles in the Doushantuo period the Qianzhong ancient continent provided a favorable sedimentary environment for phosphorus enrichment on the marginal shoals of the bay on the one hand, on the other hand, erosion and leveling of the continent provided terrestrial debris of quartz, feldspar, dolomite, clay and other minerals for formation of the phosphorite deposit. Through the analysis of typical lithofacies profile, the sedimentary environment and lithofacies of the bay shoal on the margin of the Qianzhong ancient continent is of ore-controlling significance. It directly controls the formation and distribution of the Wengfu phosphate deposit.

Key Words: phosphorous rock series; sequence characteristics; Qianzhong ancient continent; ore-controlling significance; Wengfu phosphate deposit; Guizhou