

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.02.02

引用格式: 贺天全,李斌斌,张春颖.四川省昆阳式磷矿地质特征及成矿模式[J].中国地质调查,2022,9(2): 15-24. (He T Q, Li B B, Zhang C Y. Geological characteristics and metallogenic model of phosphate deposit of Kunyang type in Sichuan Province[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(2): 15-24.)

四川省昆阳式磷矿地质特征及成矿模式

贺天全, 李斌斌, 张春颖

(四川省化工地质勘查院, 四川 成都 611930)

摘要: 四川省昆阳式磷矿位于上扬子台拗峨眉山断拱和凉山陷褶束, 属川滇早寒武世成磷带北段, 磷矿赋存于下寒武统麦地坪组(ϵ_1m)的中下部, 层状延伸, 其产状与含磷层一致, 层位稳定, 分布广, 资源储量规模大, 具有巨大的找矿潜力。在收集、整理前人研究资料和勘查项目成果的基础上, 通过总结矿床地质特征及其矿床分布规律, 分析成矿古构造、古地理环境等成矿地质条件及其成矿要素, 建立了区域成矿模式。分析认为: 昆阳式磷矿成矿作用主要是生物-化学沉积作用, 属离子化合沉淀和胶体聚沉-盆内成屑再积成因的海相磷块岩矿床; 矿床的形成与分布均受古构造、古地理的控制, 磷矿床主要富集于沿SN向古断裂形成的断陷盆地中次一级凹陷盆地内; 成矿环境为海湾环境, 具备从低能到高能的水动力条件, 加之海湾内部的地貌分异, 所形成的若干次一级小盆地, 是成磷和聚磷的良好场所; 开阔海湾丰富的磷质来源、中-高能环境的破碎、冲刷、簸选、搬运等机械作用以及适宜的凹陷小盆地沉积环境是形成富磷矿的有利条件; 其成矿模式为生物-化学沉积-破碎、冲刷、簸选-搬运堆积成岩成矿。该成矿模式的建立为区内科学找矿提供了理论依据, 为下一步找矿提供了方向。

关键词: 昆阳式磷矿; 矿床地质特征; 成矿地质条件; 区域成矿模式

中图分类号: P619.21+3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2022)02-0015-10

0 引言

四川省昆阳式磷矿分布于金沙江以北乐山市、凉山州的川西南大凉山, 富集区主要分布在峨眉-马边、雷波-金阳、会理-会东3个地区, 集中分布了四川省大部分已查明的磷矿资源储量, 累计探获资源量19.96亿t, 矿床规模大, 为四川省磷矿主要基地。磷矿层累计厚度一般2~20m, 矿床 P_2O_5 品位为15%~35.43%, 具有钙高、镁低、铝铁较低、硅含量变化较大的特点, 矿石工业类型以硅钙镁质磷矿为主^[1-2]。前人对昆阳式磷矿, 特别是雷波-马边一带富磷聚集区的基本特征及分布规律、成矿地质条件、成矿规律、矿床成因、岩相古地理等有较多研究^[3-8], 但对川

西南全区昆阳式磷矿的总体地质特征、分布规律、成矿要素、区域成矿模式研究较少, 因此, 在前人矿区研究的基础上, 借鉴和利用区域研究成果^[9-13], 探讨昆阳式磷矿成因及区域成矿模式, 为下一步区内磷矿勘查规划、科学找矿提供地质依据具有现实意义。

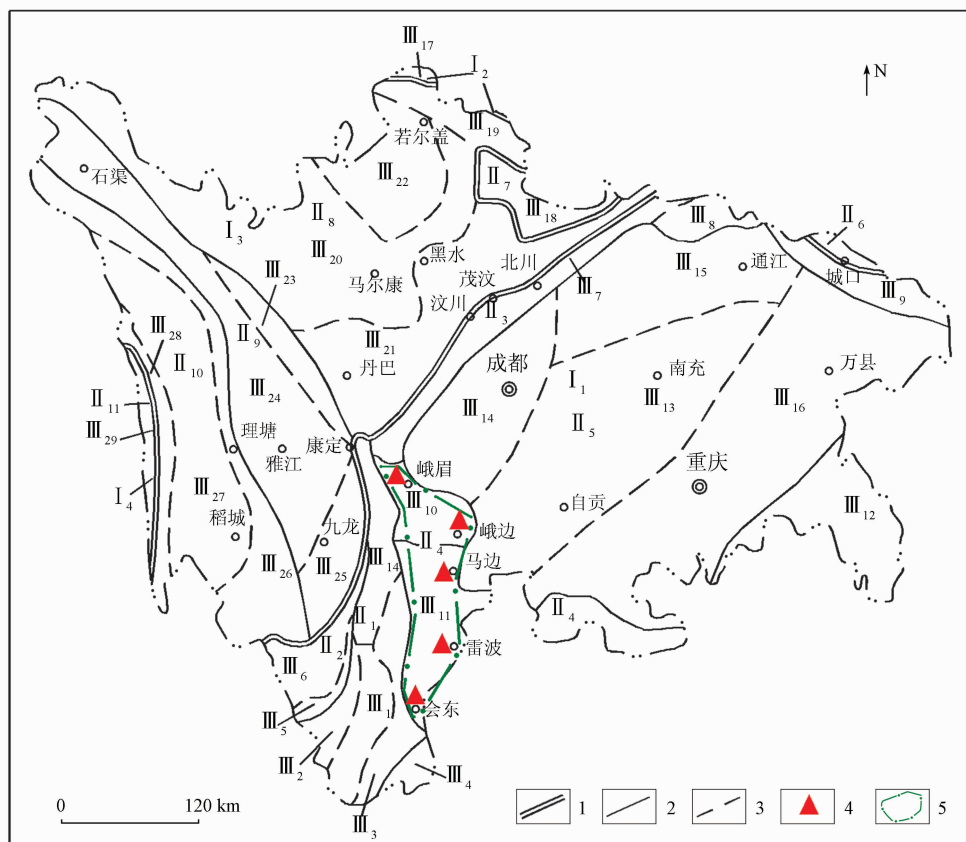
1 成矿地质背景

川西南昆阳式磷矿大地构造位置处于上扬子准地台(I₁)上扬子台拗(II₄)峨眉山断拱(III₁₀)和凉山陷褶束(III₁₁)(图1)。磷矿床沿区域性断裂、褶皱构造呈带状或线状展布, 其展布方向与区域构造线方向一致。

收稿日期: 2021-12-06; 修订日期: 2022-03-21。

基金项目: 中国地质调查局全国矿产资源潜力评价“四川省矿产资源潜力评价(编号: 1212010881629)”项目资助。

第一作者简介: 贺天全(1968—), 男, 高级工程师, 主要从事地质调查与矿产勘查工作。Email: 812029269@qq.com。



1. I级单元界线; 2. II级单元界线; 3. III级单元界线; 4. 昆阳式磷矿; 5. 研究区范围; I₁. 扬子准地台; I₂. 秦岭地槽褶皱系; I₃. 松潘—甘孜地槽褶皱系; I₄. 三江地槽褶皱系; II₁. 康滇地轴; II₂. 盐源—丽江台缘拗陷; II₃. 龙门山—大巴山台缘拗陷; II₄. 上扬子台拗; II₅. 四川台拗; II₆. 北大巴山冒地槽; II₇. 西秦岭冒地槽; II₈. 巴颜喀拉冒地槽; II₉. 雅江冒地槽褶皱带; II₁₀. 义敦优地槽褶皱带; II₁₁. 巴塘优地槽褶皱带; III₁. 泸定—米易台拱; III₂. 盐边台拱; III₃. 江舟—米市断陷; III₄. 东川断拱; III₅. 金河拱褶断束; III₆. 盐源陷褶束; III₇. 龙门山陷褶断束; III₈. 汉南台拱; III₉. 大巴山陷褶束; III₁₀. 峨眉山断拱; III₁₁. 凉山陷褶束; III₁₂. 川东南陷褶束; III₁₃. 川中台拱; III₁₄. 川西台陷; III₁₅. 川北台陷; III₁₆. 川东陷褶束; III₁₇. 降扎地背斜; III₁₈. 摩天岭地背斜; III₁₉. 阿尼玛卿地背斜; III₂₀. 马尔康地向斜; III₂₁. 茂汶—丹巴地背斜; III₂₂. 若尔盖中间地块; III₂₃. 炉霍地背斜; III₂₄. 雅江地向斜; III₂₅. 九龙地背斜; III₂₆. 理塘地背斜; III₂₇. 义敦地向斜; III₂₈. 中咱地背斜; III₂₉. 巴塘优地槽。

图1 研究区大地构造分区略图

Fig.1 Zonation diagram of geotectonic location of the study area

磷矿富集区地层属康定地层分区和上扬子地层分区(峨眉小区), 结晶基底以康定杂岩为代表, 中元古界为中、浅变质的火山沉积岩系, 晋宁运动后形成褶皱基底, 与其上的沉积盖层组成稳定的陆块型地层体系, 包括了会理群、河口群等地层单位。震旦系至二叠系以海相碳酸盐岩为主, 三叠系差别较大, 下、中三叠统地层展布格局与上二叠统相似, 自西向东由陆相紫红色碎屑岩向海相碳酸盐岩系过渡, 上三叠统普遍以陆相含煤碎屑岩系为主, 侏罗系至新近系为陆相碎屑岩^[14]。

区内地质构造以盖层褶皱构造为主, 断层比较发育。褶皱和断裂构造方向均呈SN向或近于SN向, 局部向西、向东偏转; 较大的褶皱、断裂构造多

成条成带有规律分布与出现。背斜构造一般紧密, 向斜构造相对较开阔。主要断裂的延展方向与褶皱轴基本一致, 且以高角度的逆断层为主, 多发生在背斜核部。

2 昆阳式磷矿成矿地质特征

2.1 总体地质特征

昆阳式磷矿赋存于下寒武统麦地坪组(C_1m), 分布于金沙江以北乐山市、凉山州的川西南大凉山, 磷矿大部分产出于峨眉—金阳大断裂带两侧及其附近的背、向斜构造之中, 产出层位稳定, 规模大, 比较集中地分布在峨眉—马边、雷波—金阳、会理—会东3个地区(图2)。

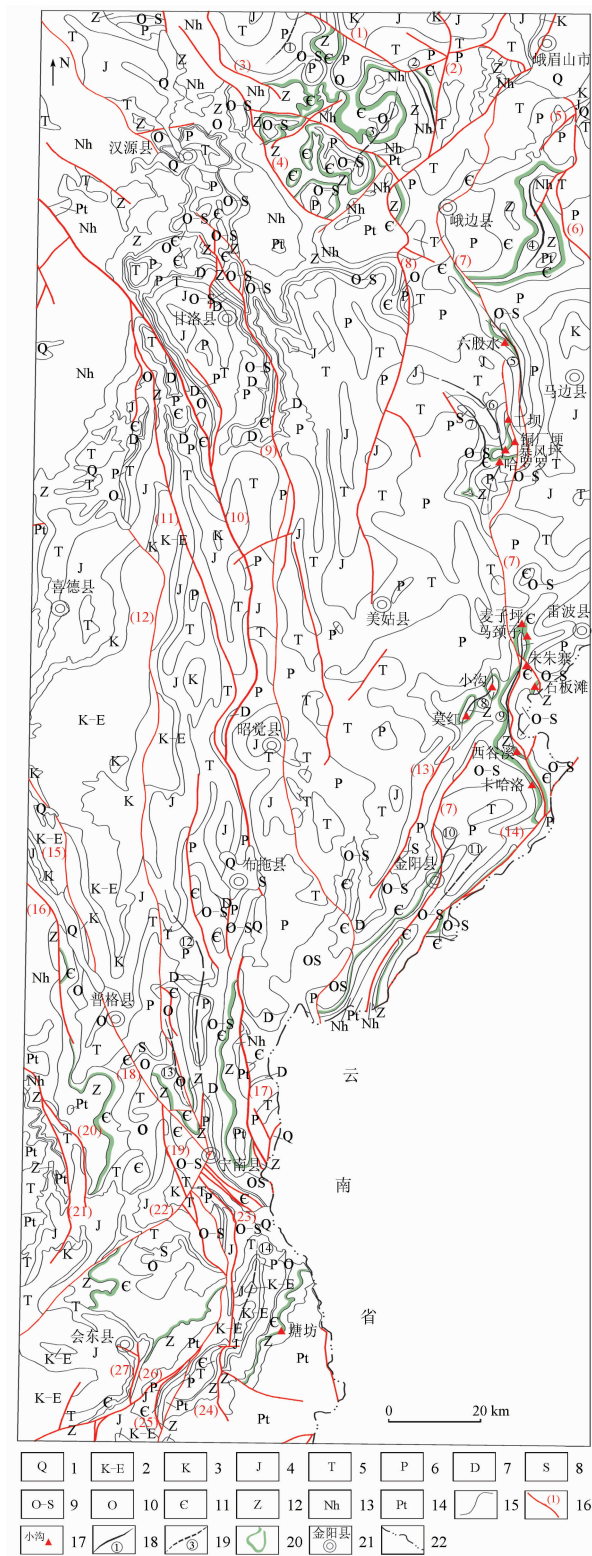


图 2 四川省昆阳式磷矿区域地质图

Fig. 2 Regional geological map of phosphate deposit of Kunyang type in Sichuan Province

以往工作表明,昆阳式沉积型磷矿矿产地共计 42 个,峨眉—马边地区大型 5 个,中型 9 个,小型 6 个,矿点 2 个;雷波—金阳地区大型 8 个,中型 4 个,小型 2 个,矿点 4 个;会理—会东地区大型 1 个,中型 2 个,小型 1 个。

2.2 赋矿地层特征

昆阳式磷矿赋存于下寒武统麦地坪组($\epsilon_1 m$),为一套含磷碳酸盐岩夹硅质岩条带或薄层,岩石类型以白云岩、磷块岩为主,硅质岩次之,分段岩性参见表 1,产小壳动物群,包括软舌螺类、骨片类、节肢类、海绵类、腹足类和腕足类^[15]。含磷地层呈 SN 向延伸,含矿岩系断续延长达 480 km。

表 1 研究区地层分段划分

Tab.1 Stratigraphic division of the study area

地层	地层特征
筇竹寺组	深灰色中层状粉砂质黏土岩夹黏土质粉砂岩。与下伏麦地坪组平行不整合接触
麦地坪组	上段: 为灰、灰黑色中至厚层细晶白云岩、砂砾屑白云岩,不等晶白云岩,含少量胶磷矿粒屑和球粒,或相变为泥晶灰岩、白云质灰岩、硅质灰岩。岩石中夹缝晶团块、条带或夹砂泥质条带和粉砂质页岩。具微波状水平层理、断续波状层理,小型浪成波痕,鸟眼构造,含软舌螺化石
	中段: 为灰黑至深灰色含磷(砂、砾)屑细晶至微晶白云岩,云基磷基砂砾屑磷块岩,假鲕粒、鲕粒胶磷矿条纹—条带状磷块岩,少量含藻凝胶状磷块岩,局部含硅质条带,具斜层理、波状层理、水平层理(纹理),小型浪成波痕,局部见滑塌构造,含藻迹和小壳化石碎屑
	下段: 为深灰色薄层微晶砂屑白云岩,硅质岩、灰岩,局部夹海绿石砂岩、粉砂岩,含胶磷矿、黄铁矿、碳质,产软舌螺化石,具水平层理。
灯影组第四段	浅灰色中层状微晶白云岩。与上覆麦地坪组整合接触

麦地坪组沉积厚度变化较大,北部荣经—峨边地区一般偏薄,厚 31 ~ 63 m,平均 44 m;中部马边—金阳地区厚度增大,厚 40 ~ 237 m,平均 102 m;南部宁南—会东地区厚度最大,厚 47 ~ 314 m,平均 143 m,全区平均厚度 96 m。全区明显表现出几个 EW 向的薄化带: 北部的石棉—峨边,中部普格—金阳,南部攀枝花—会东(南部)等。与之相伴有厚积区出现,如雷波、会东(北部)2 个厚度最大的沉积中心区。全区厚度等值线总体走向呈 SN 向,与区域成磷盆地方向一致,但因受 EW 向薄化带影响,又使各区段间的局部等值线呈现出 NW 至 SE 的指状弯曲,其弯曲方向即是每个聚磷盆地(厚积区)的展布方向。

2.3 矿体特征

矿体以层状为主,似层状次之,少数呈透镜状产出,其产状与围岩一致。磷矿层位稳定,严格受地层控制,主要产于麦地坪组中段含硅质条带白云岩及含磷砂屑砾屑白云岩中。矿层多为单层结构,但亦有跳跃式出现复层结构,如雷波、马边一带为双层、3 层结构,会东热水塘则多达 5 层。

矿体延长数百米至数千米,一般 2 000~5 000 m,个别可达 10.90 km(老河坝)、33 km(鲁吉一小街)。矿层累计厚度一般 2~20 m,个别达 40 m。磷矿总的变化趋势为:从北到南矿层层位降低,层数增加,夹层增多,在峨眉至金阳一线,矿层大多位于中段的上部和中部,少数在顶部,在布拖至会东一线,矿层大多数位于中段的中部和下部;磷矿富集有 2 个中心,即马边和雷波地段,其主矿层延伸很稳定,且矿层厚度显著增大,大致具有含矿层厚度越大、矿层厚度增加的正相关关系。

2.4 矿石特征

2.4.1 矿石矿物组分

磷块岩中磷酸盐矿物主要为胶磷矿,含量一般大于 50%,最高可达 90%,少量为细晶磷灰石。根据 X 光衍射分析和红外光谱分析,胶磷矿为氟磷灰石,根据显微镜下观察,矿石中氟磷灰石有 3 种结晶形态:一是泥晶磷灰石,常称为胶磷矿,粒径 0.001 mm;二是结晶磷灰石,为泥晶磷灰石在成岩后期重结晶而成;三是纤维集晶磷灰石,矿石中含量低。脉石矿物主要为白云石、方解石,次为石英、玉髓,少量高岭石、伊利石、水云母、海绿石、黄铁矿、重晶石及有机质等。副矿物有金红石、电气石、钛铁矿。后生表生矿物有方铅矿、闪锌矿、褐铁矿、绿泥石、菱锌矿、碳氟磷灰石、银星石等。

2.4.2 化学组分

磷矿石的有用组分为 P_2O_5 ,矿石以中低品位为主, $P_2O_5 \geq 30\%$ 的磷块岩富矿的分布较局限,见于马边、雷波、会东、金阳局部地段。矿石中主要有害组分有 CaO 、 MgO 、 SiO_2 、 CO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 F (表 2)。矿石中化学组分其含量据不同矿石类型有所不同, P_2O_5 与 CaO 、 F 呈正相关,与 MgO 、 SiO_2 呈负相关。伴生有益组分有 I 、 U 、稀土等,其中老汞山和大桥磷矿中 I 含量较高,达到综合利用指标。

表 2 矿石化学组分含量

Tab.2 Chemical composition content of ore

矿石化学组分	组分含量/%
P_2O_5	12.00~35.43
CaO	24.50~47.19
MgO	0.96~8.95
SiO_2	3.11~46.15
CO_2	2.29~22.52
Al_2O_3	0.43~4.20
Fe_2O_3	0.40~2.44
F	1.19~3.15

2.4.3 矿石结构和构造

矿石常见结构有砂屑、砂屑凝胶、砂屑粉至细晶 3 种内碎屑结构,砂屑是麦地坪组磷块岩中最主要的颗粒,含量高的可超过 90%,当碎屑和胶结物都是磷质时,则多组成富矿。其他结构有粉屑、砾屑、鲕粒、(团)球粒等类型。

矿石常见构造有块状构造、条带-条纹状构造、豆荚状构造、粒状构造。块状构造由胶磷矿砂屑、团粒、鲕粒和磷质基质组成,密集堆积成致密块状的为富磷矿石, $P_2O_5 > 30\%$,分布局限,仅见于马边、金阳、会东等地的部分矿区;磷酸盐颗粒稀疏堆积或混有岩屑,且基质又为碳酸盐、硅质、泥质的为贫磷矿石, $P_2O_5 < 20\%$,常见于雷波。条带-条纹状构造由黑色砂屑胶磷矿为主的条带与浅色白云石为主的条带相间组成,宽 1~5 mm,一般为低品位矿石,部分达中品位,是分布最广泛的一种矿石类型。豆荚状构造在黑灰色致密块状砂屑凝胶磷块岩基底上,含灰白色扁平砂屑及砾屑磷块岩岩屑沿层面断续分布呈豆荚状,粒径 1~15 mm,为马边高品位富磷矿的特征构造。粒状构造为胶磷矿砂屑均匀分布于白云岩中,略显粒序层理, P_2O_5 含量为 15%~28%,见于会东大梁子一带。此外,在地表风化淋滤带还可见孔洞状、粉状构造。

2.4.4 矿石类型

矿石自然类型主要有块状磷块岩、条带-条纹状磷块岩、豆荚状磷块岩、粒状磷块岩。

昆阳式磷矿具有钙高、镁低、铝铁较低、硅含量变化较大的特点。矿石工业类型以硅钙镁质磷矿为主,分布较普遍;其次为钙镁质磷矿。

2.5 风化特征

昆阳式磷矿石在地表风化作用下,碳酸盐矿物流失,使矿石中 P_2O_5 含量相对富集, MgO 含量降低,故磷矿矿石常见有表富深贫的次生富集现象。但多数矿区地形陡峭,矿层风化带很窄,部分探槽矿石已接近原生带,具有一定规模的风化富磷矿较为少见。

3 成矿条件分析

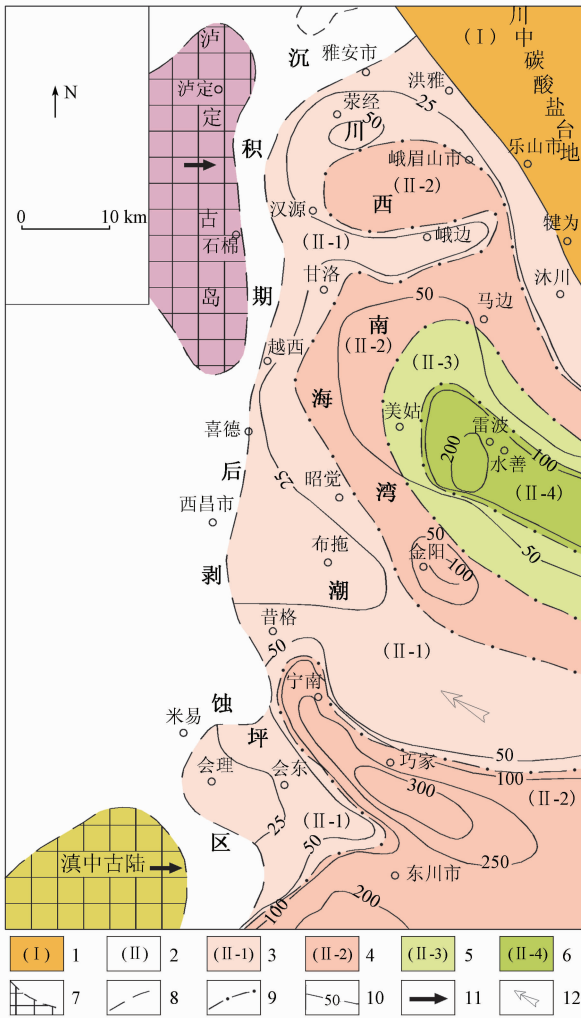
3.1 控制成矿的古构造条件

晚元古代澄江运动之后,扬子准地台最终形成,上震旦统为地台第一盖层,其基底构造和早震旦世的构造直接控制着晚震旦世的沉积,SN 向隆起的坳陷带,和 EW 向的古断裂、古隆起,组成了晚震旦世古构造基本格架,控制着早寒武世的古地貌及含磷建造,对研究区磷块岩富集及磷矿带的分布起着直接的控制作用。

研究区在早寒武世麦地坪期,西为康滇古岛链,东系川中台地,北为宝兴—泸定水下高地,形成三面局限、仅东南与广海相连的海湾。在川滇古岛链东侧至川中极浅水台地之间,由于川滇古断裂的影响,形成了 SN 向的断陷槽地,即川西南海湾潮坪。海湾的东、西、北三面为水下隆起,在寒武纪初,区内产生海侵,海水由南东向北西侵进,海湾正迎洋流,物质来源十分丰富,这样的浅水海湾环境有利于磷质的聚集。上升洋流将深部富磷海水沿大洋边缘带到海湾水下浅滩的适当部位,因水域压力减小,水温升高,CO₂大量逸出,pH 值升高达到饱和或过饱和,在陆缘近岸地带沉积^[16]。区域上,一般凹陷部位形成了同沉积盆地,如马边、雷波盆地等,工业磷矿床都形成于此,而隆起部位则为沉积薄化区,很少形成工业磷矿床^[17]。

3.2 岩相古地理

区内梅树村早期属康滇古岛链东侧的 SN 向川西南海湾沉积环境,因 SN 向的古断裂和 EW 向古隆起构造的控制作用,导致沉积相上的东西分带和南北分区^[18]。沉积相带的展布为 SN 延伸,自中心向东、北、西三面由潮下海湾逐渐过渡为潮下浅滩、潮间带、潮上带,呈较对称的环带状分布。在此东西向分带的背景下,由于存在石棉—峨边、普格—金阳、会理—通安等 EW 向的潮上高地,将沉积区分隔成次一级的高地—低地、隆起—凹陷相间的若干分区,总体上从北到南由潮上带及潮间带变化到海湾,再变化到潮间带(图 3),从而控制了磷块岩、白云岩及硅质岩等的分布。



1. 川中碳酸盐台地; 2. 川西南海湾潮坪; 3. 潮上带; 4. 潮间带; 5. 潮下浅滩; 6. 潮下海湾; 7. 推测(定)古陆及边界线; 8. 沉积期后剥蚀边界线; 9. 沉积相区边界线; 10. 地层等厚线及厚度值,m; 11. 陆源物资供给方向; 12. 海侵方向。

图 3 川西南早寒武世麦地坪期岩相古地理
Fig.3 Lithofacies paleogeography of Medippian stage in Early Cambrian in Southwestern Sichuan

区内岩相由北到南由白云岩相及含磷白云岩相变化到含磷灰岩相,再到白云岩相及含磷白云岩,根据岩石结构—成因类型、沉积构造及生物组合等特征及其分布变化特点,区内可大致划分出雷波潮下海湾、马边—美姑潮下浅滩、峨眉潮间坪和普格—会东潮间带及石棉—会理潮上带 4 个相带,参见表 3。

从麦地坪组沉积序列上看,上段属潮间—潮上环境,中段属潮间海湾或台地边缘斜坡环境,下段属潮下低能环境。反映麦地坪组经历了潮下—潮间—潮上的环境更迭,能量由低—中—高—中低的变化。

表 3 区内沉积相带划分
Tab.3 Division of sedimentary facies zones in the area

主要沉积相、亚相	区内分布	岩石组合	结构与沉积构造	矿石类型	品位/%	化石与指相矿物	水动力条件	代表性矿床
石棉—会理潮上泥带	荣经、汉源、越西、布拖、普格、会理及会东(西部)	白云岩,夹少量硅质条带与团块	岩石中颗粒少于 15%,具微波状、水平状、纹层状层理,常见晶洞、鸟眼构造和石膏假象	无工业磷块岩	局部含磷	石膏	长期出露水面,水流循环受限制,潮汐作用弱	会东淌塘锅千崖、普格大槽河
峨眉潮间坪和普格—会东潮间带	峨眉—峨边、宁南—会东塘房	含砾砂屑白云岩—砾屑粉晶白云岩—条带状白云质砂屑磷块岩石—砂屑鲕粒磷块岩	颗粒为粗砂—砂级。具波状、透镜状层理,间层多冲刷及扁平砾石,常见生物碎屑杂乱堆积	磷基云基含砾屑砂屑磷块岩	10~30	软舌螺、海绵骨针、海绵绿石	水动力能量由弱到中等,变动频繁。中—高能带簸选作用强	会东塘坊、峨边华竹沟、马边六股水
马边—美姑潮下浅滩	马边、美姑、雷波南部及金阳东北部	砂、砾屑白云岩,夹磷块岩	颗粒为砂砾级,具波状层理、小型交错层理、粒序层理、塑性变形层理,常见定向排列、底冲刷现象	砾屑磷块岩、砂砾屑磷块岩	8~32	软舌螺	潮汐作用为主,冲刷回流	马边老河坝、金口河老汞山、暴风坪、哈罗罗、小沟、莫红、西谷溪、卡哈洛
雷波潮下海湾	区内东部中段	泥质条带微晶灰岩—瘤状灰岩—黏土岩—粉砂岩—藻球粒磷块岩—泥质砂屑磷块岩	颗粒为砂—粉砂级,具水平层理,纹层构造发育,富含有机质、黄铁矿结核	条带状砂—粉砂屑磷块岩、藻球粒磷块岩	15~33	黄铁矿有机质软舌螺	波浪与潮汐作用,水体间歇搅动	雷波马颈子—牛牛寨

3.3 沉积环境

马边—美姑潮下浅滩是区内富磷块岩聚集带,大型磷矿床如老河坝、暴风坪、哈罗罗等都产于此沉积环境,临近大型海湾,磷质供给丰富。潮下浅滩环境颗粒含量高,大多为砂砾级,反映沉积环境能量较高。

区内所产藻核形石、海绵类、软舌螺等生物组合及磷矿层上部出现的斜层理、底冲刷说明磷矿沉积于浅水环境。

从岩性纵横变化系列上看,磷矿岩出现于硅质岩向碳酸盐岩过渡的部位,表明磷矿岩是在由弱酸性向弱碱性过渡的介质条件下沉积,区内大型磷矿床的矿层之上均有灰岩,但磷矿的直接顶底板都是白云岩,灰岩的出现反映了较为开阔的环境,由白云岩往上过渡到灰岩,是海侵的结果,磷矿层位于海侵层位的下部或者接近底部。

4 成矿要素与成矿模式分析

4.1 成矿要素

通过对昆阳式磷矿资料进行综合研究,分析与磷矿形成有关的要素,如成矿时代、地质背景、沉积建造、

岩相古地理、沉积相、岩性特征、矿体厚度、品位、矿石结构构造等,总结出磷矿的成矿要素,对成矿要素进行归类,划分出必要、重要、次要 3 类(表 4)。

表 4 四川昆阳式磷矿成矿要素
Tab.4 Metallogenic elements of phosphate deposit of Kunyang type in Sichuan Province

成矿要素	描述	成矿要素分类
成矿时代	早寒武世梅树村早期	必要
构造背景	上扬子古陆块四川前陆盆地峨眉山断块、上扬子古陆块康滇前陆逆冲带康滇基底断隆带	重要
含矿层及沉积建造	麦地坪组磷质岩建造	必要
地质环境	潮上泥坪(Ⅱ-1):无工业磷矿体产出	必要
	潮间砂坪(Ⅱ-2):产出中等品位磷矿体	
	潮下浅滩(Ⅱ-3):产出中等—富品位磷矿体	
	潮下海湾(Ⅱ-4):产出低品位磷矿体	
沉积相	川西南上扬子古陆块相对封闭的海湾潮坪	必要
成矿作用	生物—化学沉积作用为主	重要

			(续表)
成矿要素		描述	成矿要素分类
矿床特征	含矿岩性组合	白云岩(或灰岩) + 硅质岩 + 磷块岩组合: 有不同品位磷矿体产出	重要
		泥晶白云岩类组合: 无磷矿体产出	
	矿体特征	矿层结构: 峨边、金阳、雷波、马边地区为多层, 富矿见于多层结构	次要
		矿体厚度 0.57 ~ 32.13 m, 一般厚度越大对成矿越有利	重要
		P ₂ O ₅ : 9.43% ~ 35.43%	次要
矿物组合	磷酸盐矿物主要为氟磷灰石及微量银星石, 杂质矿物主要为白云石	重要	
矿石特征	矿石结构	砂屑结构、砾屑结构、泥晶结构、结晶结构	重要
	矿石构造	致密块状构造、豆荚状构造、条纹条带状构造、孔洞状构造	重要

控矿条件: 矿床受沉积地层控制, 含矿岩系为麦地坪组, 磷矿成矿时代为梅树村早期。岩相古地理条件为川西南海湾, 西部靠近康滇古陆, 东部为川中碳酸盐台地。磷矿形成的古构造条件为上扬子古陆块四川前陆盆地峨眉山断块、康滇前陆逆冲带康滇基底断隆带。

4.2 成矿模式分析

昆阳式磷矿主要聚磷环境是川西南海湾潮坪, 早寒武世峨眉—会东处于中低纬度, 上升洋流从深处带来的富磷海底淤泥, 从东南方向进入浅水盆地。由于受三面水下高地的阻限, 仅从东南方向迎临上升洋流, 物质来源十分丰富, 这样的浅水海湾环境有利于磷质的聚集。富磷海水进入盆地时, 因菌藻生物的存在, 改变了水介质化学条件, 加速了磷酸盐的沉淀。同时磷质被大量生物所吸收, 许多菌类生物也参与了成磷作用或作为生物碎屑组分从海水中沉积下来, 一般初始沉积过程中掺合作用较强, 掺合物以碳酸盐类为主, 磷酸盐质点呈细粒的质点散布, 磷块岩较薄, 主要沉积在潮下低能环境, 并逐渐富集而成半固结或固结磷块岩。随着沉积环境的更替, 这些半固结或固结磷块岩, 经盆地内的潮汐流、波浪作用, 发生破碎、冲刷、簸选等机械作用而颗粒化, 连同碳酸盐泥和硅泥或粉砂一起经搬运, 按机械沉积的规律在凹陷部位重新汇聚成矿, 再沉

积成岩。

区域上, 昆阳式磷矿的分布与海湾的潮下带、潮间带、潮上带的分布一致, 主要沉积和富集在潮间—潮下带更为有利, 具体富集区是峨眉、峨边、马边、雷波、金阳、会东一线。由于区内存在石棉—峨边、普格—金阳, 会理—通安等 EW 向的潮上高地, 出现石棉—峨边金口河、金阳对坪—普格、会东淌塘—云南会泽 3 个 EW 向的磷矿薄化带, 造成富磷矿体在区域上一般不连续, 由潮上带向潮间带、潮下带过渡, 出现矿层厚度中等、矿石品位相对变富的矿区。雷波为潮下低能环境, 水动力条件微弱, 陆源组分含量增加, 沉积了藻球粒磷块岩、凝胶磷块岩、凝块石磷块岩, 磷矿层厚度较大, 但品位偏低; 马边等地为潮下一潮间开阔环境, 有利于磷质的带入, 潮下高能带水动力强, 以潮汐作用为主, 就地或异地磷质内碎屑被充分簸选, 去掉黏土及碳酸盐杂基, 主要沉积砂屑磷块岩、藻包粒磷块岩, 磷基亮晶胶结, 矿层品位高、矿层厚, 为中高品位磷矿的聚集带, 在潮间环境的中—高能带, 因水介质条件多变, 常形成条带状白云质磷块岩、砂砾屑白云质磷块岩、鲕粒磷块岩, 以云基亮晶胶结为主, 矿层厚度不大且有变化, 矿石品位中等偏富; 汉源—甘洛—越西—普格—会理一带为潮上带环境, 一般以厚大白云岩为主, 磷质分散, 偶尔组成条带状磷块岩、夹砾屑、砂屑磷块岩, 呈透镜状产出。

由此可见, 昆阳式磷矿成矿作用主要是生物—化学沉积作用, 属离子化合沉淀和胶体聚沉—盆内成屑再积成因的海相磷块岩矿床。磷块岩的形成与分布均受古地理、古构造的控制, 海湾环境具备从低能到高能的水动力条件, 加之海湾内部的地貌分异, 所形成的若干次一级小盆地, 乃是成磷和聚磷的良好场所。开阔海湾丰富的磷质来源、中—高能环境的破碎、冲刷、簸选、搬运等机械作用以及适宜的凹陷小盆地沉积环境是形成富磷矿的有利条件, 其成矿模式为: 生物—化学沉积—破碎、冲刷、簸选—搬运堆积成岩成矿(图 4)。

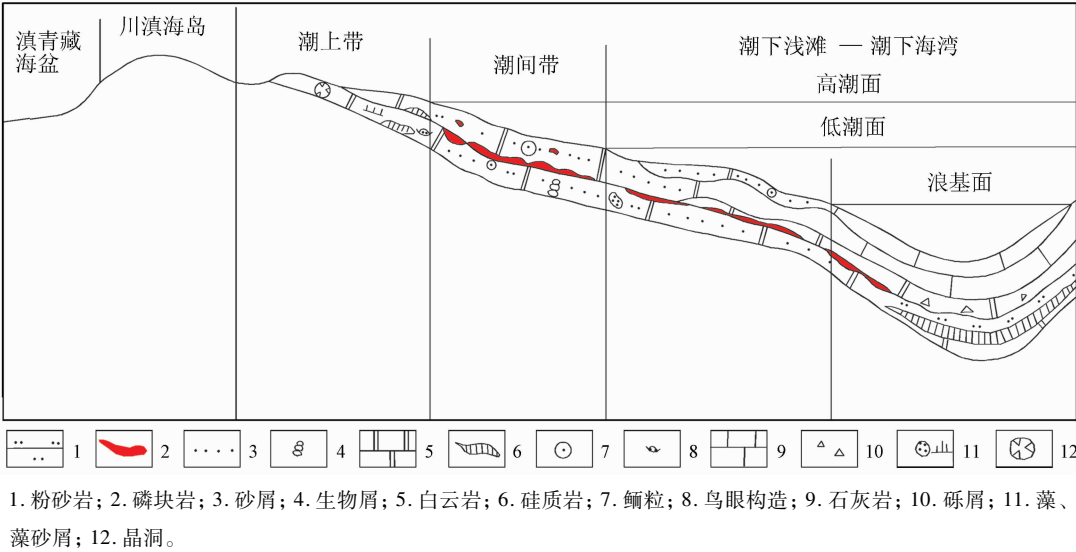


图 4 四川省昆阳式磷矿成矿模式

Fig. 4 Metallogenic model of phosphate deposit of Kunyang type in Sichuan Province

5 结论

(1)昆阳式磷块岩的形成与分布均受古构造、古地理的控制,沿 SN 向古断裂形成的断陷盆地形成不同类型的磷质岩建造,磷块岩矿床的规模和质量随含矿岩系的岩相组合而变化,磷矿床主要富集于断陷盆地中次一级凹陷盆地内。磷块岩的堆积部位与沉积环境和水介质能量有关,海湾环境具备从低能到高能的水动力条件,加之海湾内部的地貌分异,所形成的若干次一级小盆地,乃是成磷和聚磷的良好场所。总的来说开阔海湾丰富的磷质来源、中—高能环境的破碎、冲刷、簸选、搬运等机械作用以及适宜的凹陷小盆地沉积环境是形成富磷矿的有利条件。

(2)磷矿成矿作用主要是生物—化学沉积作用,属离子化合沉淀和胶体聚沉—盆内成屑再沉积成因的海相磷块岩矿床。磷块岩的最初物质来源是陆源和生物,大量含磷陆源碎屑和富含磷质的海洋生物,它们共同形成海底淤泥,在成岩过程中成为凝胶状磷矿沉积物的直接来源,经上升洋流作用、有机腐解作用、生物化学作用及潮汐沉积作用等成矿作用、机械作用的反复叠加,形成工业磷矿床。

(3)昆阳式磷块岩其成矿模式为:生物—化学沉积—破碎、冲刷、簸选—搬运堆积成岩成矿。该成矿模式的建立为区内科学找矿提供了理论依据,为下一步找矿提供了方向。

本次工作对区内个别矿床勘查成果资料收集不全,对区内沉积相带的划分粗略,建议以后在进一步收集勘查成果资料的基础上,加强区内地质特征及沉积相带的研究工作。

参考文献 (References):

[1] 郭强,张君,赖贤友,等. 四川省磷矿资源潜力调查评价报告[R]. 成都:四川省化工地质勘查院,2005:73-78.
Guo Q,Zhang J,Lai X Y,et al. Report on Evaluation Results of Phosphate Rock Resource Potential in Sichuan Province [R] Chengdu:Sichuan Institute of Chemical Geological Exploration, 2005:73-78.

[2] 李光荣,刘怀仁,杨兆先. 四川省峨眉—金阳地区早寒武世麦地坪期磷块岩成矿远景区划说明书[R]. 成都:四川省地质局二〇七地质队,1982:17-47.
Li G R,Liu H R,Yang Z X. Description of Metallogenic Prospective Zoning of Early Cambrian Maidipingphosphorite in EmeiJin-yang Area,Sichuan Province[R]. Chengdu:207 Geological Team of Sichuan Geological Bureau,1982:17-47.

[3] 陈天伦,曹学铎,李光荣,等. 四川省马边老河坝磷矿床地质研究报告[R]. 成都:四川省地矿局 207 地质队,1989:23-35.
Chen T L,Cao X D,Li G R,et al. Geological Research Report of Laoheba Phosphorus Deposit in Sichuan Province[R]. Chengdu:

- 207 Geological Team of Sichuan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, 1989: 23 – 35.
- [4] 张君, 张珂, 杨豫川, 等. 四川雷波矿集区磷矿沉积特征及成矿规律研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2018, 38(4): 76 – 84.
Zhang J, Zhang Y, Yang Y C, et al. Sedimentary characteristics and mineralization of the phosphorite deposits in the Leibo ore field, Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2018, 38(4): 76 – 84.
- [5] 杨豫川, 彭向辉, 张君, 等. 四川马边麦地坪组磷矿沉积特征及其成矿模式[J]. 科技通报, 2019, 35(1): 29 – 36.
Yang Y C, Peng X H, Zhang J, et al. Sedimentary characteristics and phosphorite mineralization model of Maidiping Formation in Mabian area, Sichuan [J]. Bulletin of Science and Technology, 2019, 35(1): 29 – 36.
- [6] 刘建清, 何利, 江永富, 等. 四川雷波地区下寒武统麦地坪含磷地层特征及磷矿资源潜力分析[J/OL]. 中国地质, 2020: 1 – 16. (2020 – 07 – 22). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200722.1432.004.html>.
Liu J Q, He L, Jiang Y F, et al. Phosphorus strata in Maidiping formation of lower Cambrian in Leibo area of Sichuan Province and its potential analysis of phosphate resources[J/OL]. Geology in China, 2020: 1 – 16. (2020 – 07 – 22). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200722.1432.004.html>.
- [7] 赵伟, 陈敏, 唐茂林, 等. 四川雷波县小沟磷矿床地质特征及成因[J]. 四川地质学报, 2015, 35(3): 399 – 403.
Zhao W, Chen M, Tang M L, et al. Geological features and prospecting potential of the Xiaogou phosphorite deposit in Leibo, Sichuan [J]. Acta Geologica Sichuan, 2015, 35(3): 399 – 403.
- [8] 何艳丽, 张君, 游学军. 四川马边老河坝矿区铜厂埂矿段八号矿块磷矿矿石物质组分特征[J]. 四川地质学报, 2015, 35(3): 407 – 411.
He Y L, Zhang J, You X J. Ore material components of the 8th phosphorite deposit in Mabian, Sichuan [J]. Acta Geologica Sichuan, 2015, 35(3): 407 – 411.
- [9] 郭强, 马红熯, 胡朝云, 等. 四川省重要非金属矿产成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 27 – 32.
Guo Q, Ma H M, Hu C Y, et al. Metallogenic Regularity of Important Non – Metallic Minerals in Sichuan Province [M]. Beijing: Science Press, 2016: 27 – 32.
- [10] 田升平. 中国磷矿基本特征及分布规律[J]. 化工矿产地质, 2000, 22(1): 11 – 16.
Tian S P. Typical features and distribution of Chinese phosphate deposits [J]. Geology of Chemical Minerals, 2000, 22(1): 11 – 16.
- [11] 郭强, 武敏建, 李斌斌. 四川的梅树村阶磷矿[J]. 化工矿产地质, 2012, 34(4): 193 – 200.
Guo Q, Wu M J, Li B B. Sichuan phosphorite deposits in the time of Meishucunian age [J]. Geology of Chemical minerals, 2012, 34(4): 193 – 200.
- [12] 徐无恙, 汤勇, 尹明德, 等. 四川省磷矿成矿远景区划及资源总量预测报告——暨四川省磷矿成矿规律研究报告[R]. 成都: 四川省地矿局地质矿产研究所, 1985: 22 – 35.
Xu W Y, Tang Y, Yin M D, et al. Report on metallogenic prospective Zoning and Total Resource Prediction of Phosphate Ore in Sichuan Province and Research Report on Metallogenic Law of Phosphate Ore in Sichuan Province [R]. Chengdu: Institute of Geology and Mineral Resources, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985: 22 – 35.
- [13] 徐无恙, 李光荣, 吴运富, 等. 四川早寒武世磷块岩沉积相及古地理特征[C]//第五届国际磷块岩讨论会论文集 2. 北京: 地质出版社, 1984: 123 – 137.
Xu W Y, Li G R, Wu Y F, et al. Sedimentary facies and paleogeographic characteristics of Early Cambrian phosphorite in Sichuan [C]//Proceedings of the Fifth International Phosphorite Symposium 2. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 123 – 137.
- [14] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 55 – 58.
Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Sichuan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 55 – 58.
- [15] 胡正纲. 四川省区域矿产总结(非金属分册)[R]. 成都: 四川省地质矿产局, 1990: 81 – 90.
Hu Z G. Summary of Regional Minerals in Sichuan Province (nonmetal volume) [R]. Chengdu: Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1990: 81 – 90.
- [16] 刘怀仁, 李光荣. 中国扬子区早寒武世磷块岩沉积相及古地理[C]//第五届国际磷块岩讨论会论文集 2. 北京: 地质出版社, 1984: 75 – 83.
Liu H R, Li G R. Sedimentary facies and paleogeography of Early Cambrian phosphorite in Yangtze region, China [C]//Proceedings of the Fifth International Phosphorite Symposium 2. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 75 – 83.
- [17] 曾良奎, 吴荣森, 罗代锡, 等. 四川省寒武纪岩相古地理及沉积层控矿产[M]. 成都: 四川省科学出版社, 1992: 5 – 12.
Zeng L K, Wu R S, Luo D X, et al. Cambrian Lithofacies Paleogeography and Sedimentary Stratabound Minerals in Sichuan Province [M]. Chengdu: Sichuan Science Press, 1992: 5 – 12.
- [18] 曾允孚, 王宝清. 峨眉—雷波地区早寒武世初期麦地坪段磷矿沉积环境[C]//第五届国际磷块岩讨论会论文集 2. 北京: 地质出版社, 1984: 145 – 159.
Zeng Y F, Wang B Q. Sedimentary environment of phosphate rock in Maidiping section of Early Cambrian in Emei-Leibo area [C]//Proceedings of the Fifth International Phosphate Rock Symposium 2. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 145 – 159.

Geological characteristics and metallogenic model of phosphate deposit of Kunyang type in Sichuan Province

HE Tianquan, LI Binbin, ZHANG Chunying

(Sichuan Exploration Institute of Chemical Geology, Sichuan Chengdu 611930, China)

Abstract: The phosphate deposit of Kunyang type in Sichuan Province is located in Emeishan fault arch and Liangshan depression fold bundle of upper Yangtze platform depression, belonging to the northern part of the Early Cambrian. The occurrence of phosphate deposit is in the middle and lower part of Mediping Formation of Lower Cambrian and it extends in layers, similar with the phosphorus bearing layer. The phosphate deposit has characters of stable sequence, wide distribution and large reserves, with great prospecting potential. The authors in this paper summarized the geological characteristics of the deposit and the distribution regularity of the deposit to analyze the metallogenic geological conditions and metallogenic elements such as metallogenic paleostructure and palaeogeographic environment, and establish the regional metallogenic model, on the basis of collecting and sorting out previous research data and achievements of exploration projects. It is considered that the mineralization of phosphate deposit of Kunyang type is mainly biochemical sedimentation, which belongs to a marine phosphate rock deposit formed by ionic combined precipitation and debris accumulation in a basin. The formation and distribution of the deposit are controlled by paleogeography and paleostructure, and the phosphorus deposits are mainly concentrated in the secondary sagbasin of the faulted basin formed along the South north oriented paleofault. The bay environment has hydrodynamic conditions from low energy to high energy, and several sub primary small basins formed by the geomorphic differentiation inside the bay, which make the bay a good place for phosphorus formation and accumulation. The results show the favorable conditions for the formation of phosphorus rich deposit are the abundant phosphorus source, the mechanical effects of crushing, scouring, winnowing and transportation in the medium high energy environment, and the suitable sedimentary environment in the small depression basin. The metallogenic model is biochemical deposition, crushing, scouring, winnowing, transportation and accumulation diagenesis and mineralization. The establishment of the metallogenic model provides a theoretical basis for scientific prospecting in the area and a direction for further prospecting.

Keywords: phosphate deposit of Kunyang type; geological characteristics of deposit; metallogenic geological conditions; regional metallogenic model

(责任编辑: 常艳)