

川西南马边—雷波地区早寒武世磷块岩 沉积环境分析

李佐强, 张芹贵, 卢君勇, 贺飞, 王格

四川省第七地质大队, 四川乐山, 614000

关键词: 马边—雷波地区; 麦地坪组; 磷块岩; 沉积环境

川西南马边—雷波地区是我国重要的磷矿能源资源基地, 下寒武统麦地坪组是主要赋矿层位, 含磷岩系麦地坪组沿扬子地台西缘呈北东—南西向延伸数百公里(陈天伦等, 1990)^①。研究表明, 梅树村期海相沉积型磷块岩的形成与沉积环境密切相关, 最有利于磷块岩沉积成矿的特定古地理环境是古陆边缘、古海岛、水下台地(高地)或水下隆起周围的浅水区域(韩豫川等, 2012)。但川西南地区含矿层麦地坪组地层厚度、岩性特征差异极大, 对于马边—雷波地区麦地坪组磷矿沉积环境的认识上存在较大差异, 前人沉积相的划分主要包括: 风暴浅滩、浅海陆棚、海湾潮坪、碳酸盐岩缓坡、台内裂陷槽、深水台盆等(陈志明等, 1987; 韩豫川等, 2012; 杨兵等, 2021), 对于含磷层的沉积亚相和微相的刻画较为模糊, 也未能建立一套完整的沉积演化体系。这极大制约了该区磷矿的勘查找矿工作。近期笔者及团队成员在开展川西南地区早寒武世磷矿资源潜力评价项目过程中, 对马边—雷波—金阳地区麦地坪组进行了系统的野外地质调查, 结合前人研究成果, 开展麦地坪组沉积相演化及成磷环境特征研究, 旨在为进一步的磷矿勘查提供详实的地质依据。

1 地质背景

四川盆地受扬子地台深大断裂活动而形成的菱形构造单元, 属典型的多旋回克拉通沉积盆地。新元古代期罗迪尼亚超大陆发生裂解, 在扬子

板块周缘形成康滇裂谷、南华裂谷和秦岭裂谷三大裂谷体系, 至南华纪晚期裂谷作用减弱。晚震旦世—早寒武世受桐湾运动影响, 在震旦系灯影组四段/下寒武统麦地坪组、下寒武统筇竹寺组/麦地坪组等界面常表现为平行不整合接触, 震旦纪后扬子地块逐步形成稳定发育的碳酸盐台地, 其沉积—构造特征表现为先抬升剥蚀再沉降充填的演化过程, 具有盆地内部相对稳定、盆地边缘相对活跃的特点。麦地坪组沉积期, 中上扬子区古地理格局为浅海环境, 自西向东依次发育潮坪相、陆棚斜坡相、盆地相, 同时尚存潮坪—浅滩—滨岸相沉积, 磷块岩富集于潮坪相潮下海湾地带, 沿西缘康滇古陆呈南北向展布, 构成了国内著名的成矿时期和磷矿成矿带。

2 沉积特征

马边—雷波地区磷矿勘查中麦地坪组地层常被划分为 3 个亚岩性段(C_1m^1 、 C_1m^2 、 C_1m^3), 其中第二段为磷块岩段, 常分为上、下 2 个矿层, 划分标志为高于磷矿石的边界品位(P_2O_5 含量 12%)。

2.1 沉积相类型

马边—雷波地区麦地坪组发育碳酸盐台地沉积体系—潮坪相沉积, 可进一步识别出潮上坪、潮间坪、潮下坪 3 个亚相, 马边地区磷块岩主要发育在潮间坪, 而雷波地区磷块岩主要发育在潮下坪, 各亚相可进一步细分多个沉积微相(表 1)。

2.1.1 潮下坪亚相

低能潮下坪微相: 岩性主要为深灰色中—厚层状泥质粉晶白云岩、粉晶白云岩与泥质白云岩互层, 夹极少量硅质条带, 局部见磷质砂砾屑白云岩,

注: 本文为四川省地矿局专项项目(编号: SCDZ-DZKC202303)和四川省第七地质大队科技创新项目(编号: 207 队科 2022-8 号、207 队科 2023-1 号)的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-01-05; 责任编辑: 郭现轻。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.s1.015

作者简介: 李佐强, 男, 1995 年生, 硕士, 助理工程师, 主要从事地质调查与矿产勘查; Email: lzqydcut@163.com。通讯作者: 张芹贵, 男, 1991 年生, 工程师, 主要从事区域地质调查与矿产勘查; Email: 904553794@qq.com。

表 1 马边—雷波地区麦地坪组沉积相划分简表

相	亚相	微相	水动力	岩性特征	层厚	沉积构造
潮坪	潮上坪	潮上云坪	低能	粉晶白云岩	薄层	鸟眼构造、石膏溶孔
		潮上滩	间歇高能	含磷砂砾屑白云岩	薄层	冲刷面、粒序层理
	潮间坪	潮汐水道	高能	砂砾屑磷块岩、含磷细晶白云岩	中-薄层	冲刷面、粒序层理
		潮间滩	高能	砂砾屑磷块岩、含磷砂屑白云岩	中-薄层	脉状层理、冲刷面、微波状层理
		潮间灰坪	低能	瘤状灰岩、含磷粉晶白云岩	薄-厚层	水平层理、冲刷面
	潮下坪	低能潮下坪	低能	泥质粉晶白云岩、硅质白云岩	中-厚层	水平纹层
		高能潮下坪	间歇高能	粉-砂屑磷块岩、硅质白云岩	薄-厚层	水平层理、微波状层理、冲刷面

多见泥质条带，具水平纹层，零星发育冲刷面。在雷波地区同时表现为浅灰色粉晶白云岩与深灰色硅质岩、硅质白云岩互层，夹大量硅质条带，反映滞流水体低能还原环境。

高能潮下坪微相：该微相在雷波地区较为发育，岩性为灰色粉—砂屑磷块岩夹硅质白云岩，磷质砂屑密集分布，见絮状胶凝矿团块，常发育条纹条带状构造，具水平纹层、微波状层理，偶见正粒序层理、底冲刷面构造、小型洼状层理等，单个沉积序列厚度较小，反映间歇性受风暴浪的作用。

2.1.2 潮间坪亚相

潮汐水道微相：岩性为砂砾屑磷块岩，常发育致密块状构造，底部多具冲刷面，冲刷面之上为正粒序层理，冲刷作用频繁。磷质砂砾屑多为棱角状，部分砾屑呈直立状，指示尚未完全固结前受到强水流冲刷破碎后迅速堆积而成，反映高能的潮道水流或风暴流再改造作用。

潮间滩微相：岩性以砂屑磷块岩、含磷砂屑白云岩为主，局部夹硅质透镜体，常发育条纹条带状构造，磷质条带多呈透镜体状向两侧逐渐尖灭。发育脉状层理、微波状层理、冲刷面构造，磷块岩内常见鲕粒结构，磷质颗粒周缘普遍发育等厚纤维状磷质包壳，磷质砂砾屑长轴具定向性，分选性、磨圆度较好，指示潮汐水流作用的强水动力环境。

潮间灰坪微相：岩性为含磷粉晶白云岩、瘤状灰岩、水云母黏土岩。粉晶白云岩及水云母黏土岩内发育水平层理，为海进—海退序列深水环境下的产物，水体环境相对低能。瘤状灰岩内零星见灰岩内碎屑和磷质砾屑，发育冲刷面、正粒序层理，指示间歇性受风暴水流冲刷作用。

2.1.3 潮上坪亚相

潮上滩微相：岩性为砂砾屑白云岩、含磷质砾屑白云岩，发育底冲刷面，砾屑长轴呈定向排列，砾屑多为水流搅动原地破碎而成，无分选和磨圆，部分长条状砾屑呈直立状陷入先期沉积物内，指示随着风暴潮能量衰减形成的快速堆积，填隙物为亮

晶方解石，反映风暴浪和潮汐水流的共同作用。

潮上云坪微相：岩性主要为粉晶白云岩，发育鸟眼构造、齿状石膏溶孔，黏土含量相对较高，基本无生物扰动，显示潮上蒸发暴露特征。

2.2 磷矿层沉积环境

马边—雷波地区磷矿层均产出于高能水动力沉积相带，常位于相对海平面短暂升高后的下降期，垂向上表现为低能带向高能带过渡的海退—海侵转换期，与云贵地区寒武系底部富磷层发育在海侵序列晚期特征一致，仅不同地区相带类型有所差异。马边地区磷矿层整体位于潮间坪高能相带，下矿层属潮间滩和潮汐水道的微相组合，上矿层属潮间滩微相；而雷波地区磷矿层整体位于高能潮下坪微相，下、上矿层分别处于正常浪基面之上下，下矿层水动力作用强度显著强于上矿层。马边—雷波地区下矿层的高能水流冲刷明显更强，因此形成两区下矿层的 P_2O_5 品位皆明显高于上矿层。

3 马边—雷波地区沉积环境特征差异及控矿因素

马边、雷波地区为两大聚磷拗陷，川西南地区磷矿体集中出于这两大拗陷，形成大量有工业价值的磷矿床，北部为峨边水下隆起，南边为金阳水下隆起，拗陷间存在大谷堆水下隆起，形成 3 隆 2 拗的古地理格局（图 1）。两大拗陷中麦地坪组岩性及厚度特征存在显著差异。厚度特征：雷波地区受区域差异沉降影响，在雷波马颈子至牛牛寨一带最厚达 220 m，马边老河坝一带最厚约 60 m，由沉积中心向四周逐渐减薄。岩性特征：雷波地区发育大量硅泥质白云岩、硅质层及条带，矿石类型以具水平层理的团粒磷块岩、粉屑磷块岩为主；马边地区硅质层不发育，矿石类型为具粒序层理、波状层理、冲刷面构造的鲕粒磷块岩、砂砾磷块岩。

马边拗陷区磷块岩整体处于潮间高能（少量潮下）环境，可容空间较小，磷块岩沉积厚度较薄，受强水动力冲刷，容易对早先沉积的中、低品位矿

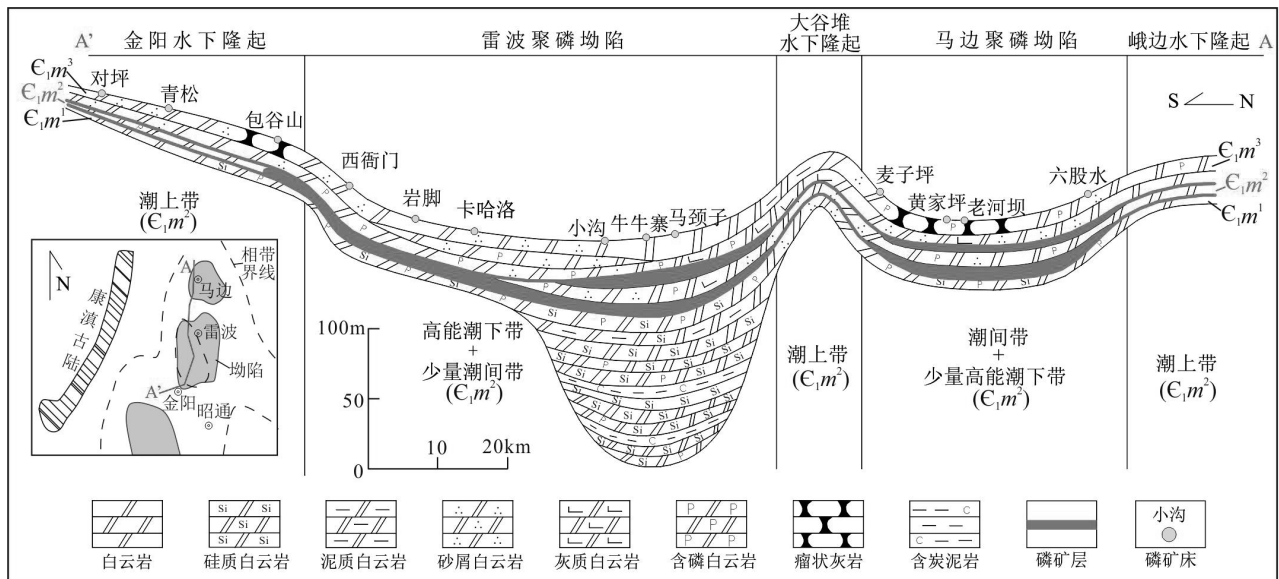


图1 马边-雷波地区含磷层麦地坪组沉积剖面图

石进行充分的簸选,使矿石中的硅泥质、白云质等杂质被冲洗,形成的矿石品位富至中等(P_2O_5 平均品位约27%),是区内富磷块岩聚集带;而雷波拗陷区磷块岩整体处于潮下高能(少量潮间)环境,可容空间较大,沉积厚度较大,但因水动力条件相对减弱,水体间歇搅动,硅泥质掺和作用强,矿石的品位普遍较低(P_2O_5 平均品位约20%)。

具体到沉积环境控矿方面,马边—雷波聚磷拗陷地处特定的古地理成矿环境—海湾潮坪相,麦二段形成高能潮下坪、潮间滩、潮汐通道等亚环境,为磷块岩有利成矿场所;而在浅水的水下隆起地带,磷屑被搬运到较远的潮上泥坪、潮上云坪、潮上滩等亚环境(潮上带),由于环境的改变,所剩磷质甚少,往往为成磷拗陷间的沉积薄化区,多为零星的磷矿化,很少有工业磷矿体存在。

4 结论

(1) 马边—雷波地区麦地坪组属碳酸盐台地沉积体系—潮坪相,进一步划分为潮上坪、潮间坪、潮下坪3个亚相共计7种微相类型。潮上坪包括潮上滩和潮上云坪;潮间坪包括潮汐水道、潮间滩、潮间灰坪;潮下坪发育低能潮下坪和高能潮下坪,沉积层序为海退—海侵的演化特征。

(2) 磷矿层均发育在海退—海侵的转换期,不同地区相带类型有所差异。马边地区磷矿层整体位于潮间坪高能相带,水动力强,形成厚度小、品

位高的磷块岩;而雷波地区磷矿层整体位于潮下坪高能相带,水动力相对减弱,形成的磷块岩厚度较大、品位偏低。

(3) 磷块岩的富集与沉积环境密切相关。马边—雷波聚磷拗陷属海湾潮坪,利于磷质富集,麦地坪组二段在聚磷拗陷内属高能潮下带+潮间带组合沉积,为磷块岩的有利成矿场所;而拗陷间的水下隆起区属潮上带沉积,难以形成磷矿层。

注 释 / Note

①四川省第七地质大队. 1990. 四川省西南部早寒武世磷块岩矿床远景调查报告,未刊资料。

参 考 文 献 / References

- 陈志明, 陈其英. 1987. 扬子地台早寒武世梅树村早期的古地理及其磷块岩展布特征. 地质科学, (3): 246~257.
- 韩豫川, 夏学惠, 肖荣阁, 魏祥松, 姚超美, 杨金湖, 田升平, 连卫, 袁从建, 郝尔宏, 梁中朋, 王炳铨. 2012. 中国磷矿床. 北京: 地质出版社: 1~649.
- 杨兵, 金承胜, 刘欣, 韦一. 2021. 云南昆明寒武纪早期浅水相磷块岩的氧化还原环境及成因机制. 地质学报, 95(12): 3858~3868.

LI Zuoqiang, ZHANG Qingui, LU Junyong, HE Fei, WANG Ge: Sedimentary environment analysis of Early Cambrian phosphate in Mabian-Leibo area, southwest Sichuan

Keywords: Mabian—Leibo area; Maidiping Formation; phosphorite; sedimentary environment