

滇东北会泽地区磷矿地质特征及资源潜力

王艳 周宇 杨俊楠

云南省有色地质局地质地球物理化学勘查院 云南 昆明 650216

摘要:滇东北会泽地区位于扬子地块西南缘,是川—滇—黔铅锌多金属成矿域的重要组成部分。该区构造背景复杂,受小江断裂、紫云—班都断裂及弥勒—师宗断裂围限,形成独特的“三角区”构造格局。区内磷矿资源主要赋存于震旦系—寒武系灯影组碳酸盐岩及二叠系峨眉山玄武岩地层中,成矿受地层岩性、构造活动及古地理环境联合控制。本文通过系统分析区域地质背景、磷矿赋存层位、元素地球化学特征及成矿条件,总结会泽地区磷矿的分布规律及资源潜力,为后续勘探提供理论依据。

关键词:滇东北;会泽地区;磷矿

滇东北会泽地区以富锗铅锌银多金属矿床闻名,但近年来,该区磷矿资源的勘探潜力逐渐受到关注。区内磷矿化主要与震旦系—寒武系灯影组碳酸盐岩和二叠系峨眉山玄武岩密切相关,其成矿过程受多期构造活动及古沉积环境影响。本文基于区域地质调查及水系沉积物地球化学数据,结合前人研究成果,重点探讨会泽地区磷矿的地质特征、元素富集规律及资源分布模式,以揭示其成矿机制与找矿方向。

1 区域地质背景

滇东北会泽地区位于扬子地台西南缘,处于川滇隆起与滇东凹陷带的构造交界部位,隶属于镇雄-巧家-会泽断褶带Pb-Zn-Ag-Fe-REE-Al-P-煤-煤层气成矿带。该区紧邻康滇古陆东缘,受晋宁期小江古断裂控制,形成南北向展布的古海槽构造格局。小江断裂作为扬子地块与滇东凹陷的分界断裂,其两侧因多期次构造运动(如晋宁运动、加里东运动)及差异边界条件,表现出显著的构造分异特征:西侧以刚性基底为主,东侧则发育前寒武纪变质岩系,并在早古生代形成被古陆围限的半封闭海湾环境。这种特殊的古地理格局为磷矿富集提供了关键条件:一方面,海侵期古陆风化剥蚀的磷质碎屑经河流搬运至凹陷带沉积;另一方面,闭塞的海湾环境促进了生物繁盛,其遗体分解与海水溶解态磷结合,在还原条件下形成胶磷矿沉淀。区内震旦系—寒武系灯影组碳酸盐岩作为主要含磷层位,其硅质条带与白云岩互层结构进一步为磷质吸附与保存提供了岩相条件。此外,二叠纪峨眉山玄武岩喷发事件带来的火山热液活动,可能对早期磷矿层进行了叠加改造,形成局部高品位磷矿化。

作者简介:王艳,1989年10月,女,白族,云南大理人,本科,地质工程师,研究方向:地质

2 磷矿地质特征

2.1 赋矿层位

滇东北会泽地区磷矿主要赋存于震旦系—寒武系过渡层位,具有典型的层控特征。区内最古老的含磷层为上震旦统灯影组(Zz2dn),由浅灰至灰白色中厚层粉—细晶白云岩构成,普遍发育硅质条带及团块,局部可见肉红色白云岩,厚度变化于258~458m之间,其顶部与上覆寒武系呈假整合接触,界面处常见古风化壳及铁锰质薄膜。下寒武统中谊村组($\epsilon 1z$)为区内主要工业磷矿层,可划分为下部磷块岩段($\epsilon 1z1$)和上部白云岩段($\epsilon 1z2$)。磷块岩段厚0.61~18.53m,以深灰色砂屑状白云质磷块岩为主,发育条纹—条带状构造,胶磷矿与白云岩条带交替出现,矿石多因构造挤压呈菱形碎块;白云岩段厚25.95~44.36m,为细晶白云岩,局部保留胶磷矿残余条纹,风化后常退变为砂土或粘土。(见图1)上覆筇竹寺组($\epsilon 1q$)底部存在0.17~0.45m的褐红色含铁粉砂质泥岩标志层,向上过渡为黄灰色白云质粉砂岩与黑色炭质页岩互层,反映海侵背景下还原—氧化交替的沉积环境。(见图2)

二叠系地层中,梁山组(P2l)含煤碎屑岩系与阳新组(P2y)碳酸盐岩不整合覆盖于寒武系之上,局部可见玄武岩风化壳中磷灰石富集现象。值得注意的是,灯影组白云岩与中谊村组磷矿层在空间上常与铅锌矿化伴生,硅质条带既作为磷质吸附载体,又为后期热液改造提供了渗透通道。第四系冲积物中偶见磷矿碎屑,暗示原生矿体可能遭受剥蚀再沉积。该区磷矿的层序特征显示,其形成受控于震旦纪—寒武纪之交全球性磷成矿事件,而后期构造运动导致矿层发生褶皱破碎,形成现今断续分布的矿化格局^[1]。



图1 揭露的磷矿层



图2 底部的褐红色含铁粉砂质泥岩

2.2 地球化学特征

滇东北会泽地区磷矿的地球化学特征显示出明显的沉积-改造双重成因标志。区域水系沉积物测量数据表明,磷异常($P > 1500 \times 10^{-6}$)与Pb、Zn、Ag、U等元素异常空间套合良好,形成NE向展布的复合异常带,与区域构造线方向一致。在马路磷矿区, F1断裂带附近磷元素含量呈现明显的梯度变化,断裂上盘 P_2O_5 平均含量较下盘高出5%-8%,显示构造活动对磷质再富集的控制作用。矿石的 $\delta^{34}S$ 值分布范围较宽(-15‰至+25‰),指示硫源可能混合了海水硫酸盐和生物成因硫;而 $\delta^{18}O_{PO4}$ 值(+16‰至+20‰)则与典型海相磷块岩范围一致,印证了原始沉积环境的海相属性。

值得注意的是,矿区西部灯影组白云岩中发育的硅质条带普遍含磷(P_2O_5 3%-8%),其稀土配分模式与主矿层高度相似,但Eu正异常更显著,可能代表早期成磷阶段的产状。峨眉山玄武岩风化壳中检测到磷灰石微晶(P_2O_5 1%-3%),其Ce负异常特征与海相磷矿明显不同,反映火山热液对磷的局部活化作用。元素相关性分析显示,P与CaO、MgO呈正相关($r > 0.7$),与 SiO_2 、 Al_2O_3 负相关,揭示成矿过程受碳酸盐岩相控制;而P与U、Y的正相关性($r = 0.4-0.6$)则暗示生物化学作用对磷富集的重要贡献。这些地球化学特征共同勾勒出会泽地区磷矿“沉积成矿-构造改造成藏”的独特演化轨迹。

2.3 矿床成因

该地区磷矿的形成与早寒武世全球性磷沉积事件密切相关,具有典型的浅海相沉积成因特征。在震旦纪末至寒武纪初,该区经历了显著的海平面变化,晚震旦世灯影组沉积后出现沉积间断,至早寒武世中谊村期发生大规模海侵,形成北西向开口的浅海环境。古地理重建显示,会泽地区处于潮间带至潮下带过渡区,远离古陆边缘,陆源碎屑输入有限,为磷质富集创造了有利条件。海水中的溶解态磷通过生物化学作用被大量固定,主要赋存形式包括被粘土矿物吸附的胶体磷、生物有机磷以及化学沉淀的磷酸盐微粒。这些磷质在潮汐和波浪作用下不断迁移、分选,最终在能量适中的浅水环境中堆积成矿。

沉积相分析揭示,磷矿层自下而上呈现明显的岩相序列变化:底部为潮间高能环境形成的条带状白云质磷块岩,发育典型的砂屑结构,磷质颗粒呈浑圆状,表面常见塑性变形特征,指示经历了反复的搬运-磨蚀过程;中部过渡为潮下带中低能环境的块状磷基质磷块岩,胶磷矿颗粒中保留大量尘点状泥质包裹体及自生石英微晶,反映相对安静的沉积条件;顶部则转变为开阔台地相的微晶白云岩^[2]。这种垂向序列记录了海平面持续上升过程中沉积动力条件的变化。值得注意的是,磷矿层中硅质与碳酸盐矿物呈现明显的消长关系,硅质主要富集于矿层上部,而下部以白云石为主,这种分异现象受控于古海水pH值的波动——当 $pH > 7$ 时 SiO_2 优先沉淀,而pH降低则促进 $CaCO_3$ 沉积^[3]。

成岩阶段的物理化学改造对磷矿的最终富集起到关键作用。在还原性孔隙水环境中(Eh值降低,pH升高),间隙水中的磷酸盐浓度显著增加,导致沉积物发生广泛的磷酸盐化^[4]。这一过程不仅使原始磷质进一步富集,还促使胶磷矿重结晶形成环带状结构。电子探针分析显示,胶磷矿颗粒边缘普遍发育次生加大边,成分为结晶度更高的碳氟磷灰石,证实了成岩流体的叠加改造。断层构造对矿体的空间分布具有重要控制作用,如马路断层附近磷矿体发生明显加厚现象,可能与断裂活动引发的热液循环有关。然而,区域变质作用对该区磷矿影响较弱,仅导致局部出现绢云母化、硅化等低温蚀变,未改变矿床的原始沉积组构。综合沉积学、地球化学及矿相学证据,会泽磷矿应归类于受后期改造的浅海相沉积型磷矿床,其成矿模式可概括为“生物化学富集-水动力分选-成岩改造”三部曲。

3 资源潜力分析

本地区马路磷矿区作为滇东成磷带的重要组成部分

分,其资源潜力评价需基于详实的勘探数据和系统的矿体特征分析。矿体严格受层位控制,赋存于下寒武统中谊村组磷块岩段($\in 1z1$),整体呈单斜构造向南东倾斜,倾角 27° - 45° ,走向延伸达2580m,倾斜延伸约550m。工程控制显示,矿体最高出露标高2438m,最低控制标高1924m,埋深0-337m,均位于最低侵蚀基准面(1492m)之上,水文地质条件简单,开发条件优越。矿体厚度0.62-18.29m,平均6.04m,厚度变化系数59.21%,反映沉积环境的空间差异性; P_2O_5 品位16.05-38.63%,平均26%,品位变化系数54.49%,显示矿化强度在区域上的不均一性。值得注意的是,矿体被F3、F4、F5等断裂分割为北东和南西两个区段,其中北东区矿体连续稳定,南西区受构造破坏较强,呈现透镜状特征,这种构造分异性对资源开发方案制定具有重要指导意义。

矿体厚度变化呈现明显的空间规律性。走向上自北东向南西,含矿层厚度由8-12m逐渐减薄至3-5m,矿石结构由砾屑状过渡为细砂屑状,指示古沉积环境能量由高向低转变。特别在20线附近出现厚度异常区(12.21-18.29m),伴生厚1.00-7.55m的含磷白云岩透镜体,可能代表古海底局部洼地的高能沉积中心。(见图3)垂向上,风化带(0-60m)内I品级矿石($P_2O_5 \geq 30\%$)占主导,平均厚度4.2m;向深部过渡为II、III品级矿石,厚度稳定在5-7m,反映原生矿体受风化淋滤改造的表生富集效应。(见图4)矿石品级分带明显:I品级集中分布于地表至斜深60m范围,形成氧化富集带;II品级($P_2O_5 24\%-30\%$)构成矿体主体,占资源总量的55%;III品级($P_2O_5 15\%-24\%$)主要赋存于矿体顶底板,与白云岩条带互层产出。夹石分布零星,厚度0.55-3.54m, P_2O_5 含量4.98-11.48%,多呈透镜状穿插于主矿体中,对资源连续性影响有限。

矿石工业类型划分显示,54件组合样中碳酸岩型占63%(CaO/P_2O_5 比值1.8-2.2),硅质硅酸盐型占31%(CaO/P_2O_5 比值 < 1.6),混合型占6%,反映原始沉积环境以碳酸盐台地相为主。值得注意的是,I品级矿石多属硅质硅酸盐型, MgO 含量 $< 2\%$,特别适合湿法磷酸生产;而III品级碳酸岩型矿石虽品位较低,但经简单擦洗脱泥后 P_2O_5 可提升至22%-25%,仍具工业价值。

资源潜力评估需重点关注三个维度:一是深部延伸前景,现有钻孔在1924m标高仍未穿透矿体,按 25° 倾角推算,矿体向SE方向尚有300-500m延伸空间;二是构造控矿规律,F3、F4断裂带附近出现的厚度突变区(如ZK20-2揭露18.29m厚矿体)暗示构造转换带可能是磷质二次富集的有利部位;三是共伴生资源,矿石中稀土元

素(特别是Y、Nd)含量达80-150ppm,在选矿尾砂中可富集至200-300ppm,具备综合回收潜力。技术经济评价表明,矿区浅中部(标高2100m以上)资源量约8000万吨,平均品位26.5%,剥采比 $< 3:1$,适合露天开采;深部资源需结合构造研究实施坑探验证。综合来看,通过深化沉积相带研究和构造控矿分析,矿区有望新增资源量3000-5000万吨,特别是在20线厚大矿体走向延伸方向和F1断裂下盘找矿前景广阔。未来开发应建立“磷矿主体-稀土伴生-白云岩综合利用”的三元开发模式,实现资源效益最大化。

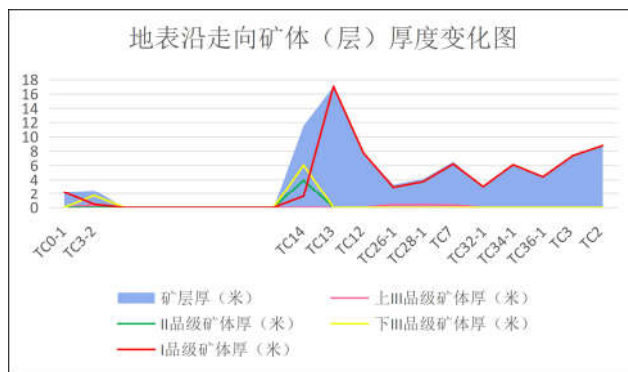


图3 马路磷矿矿体厚度在地表沿走向变化示意图

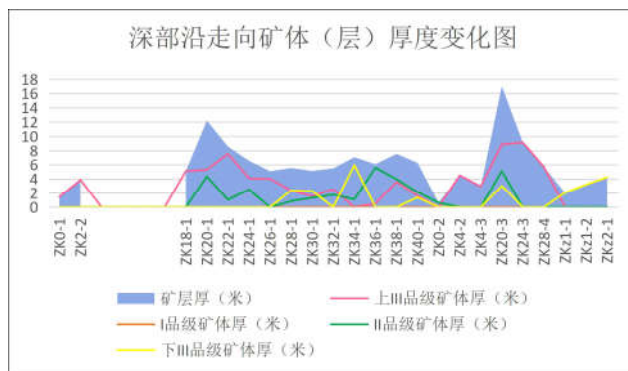


图4 马路磷矿矿体厚度在深部沿走向变化示意图

4 总结

综上所述,滇东北会泽地区磷矿赋存于下寒武统中谊村组,具有典型的浅海相沉积成因特征。矿体呈层状、似层状产出,受NE向断裂构造控制,形成北东、南西两个自然区段。矿石以砂屑状磷块岩为主, P_2O_5 平均品位26%,I、II品级矿石占比达80%,有害杂质含量低,具备良好的工业利用价值。矿体厚度与品位变化显示明显的沉积相带分异,20线附近厚大矿体(18.29m)可能代表古潮汐通道的高能沉积中心。深部钻探证实矿体向SE方向稳定延伸,资源潜力巨大。矿石中稀土元素($\sum REE$ 80-150ppm)的规律性分布,暗示该区可能形成“磷为主、稀土为辅”的综合型矿床。未来勘探应聚焦

构造转换带与沉积相变带,重点验证深部矿体连续性和稀土富集规律,为资源开发提供更精确的地质依据。

参考文献

[1]岳维好,黄艳华,刀听红.上扬子西南缘云南镇雄县羊场超大型优质磷矿地质特征及资源潜力[J].地质通报,2022,41(5):846-856.

[2]夏学惠,袁俊宏,杜家海,等.中国沉积磷矿床分布特

征及资源潜力[J].武汉工程大学学报,2011,33(2):6-11.

[3]杨光亮,何洪茜,李斌,等.贵州开阳大坪磷矿地质特征及找矿预测[J].矿产勘查,2024,15(9):1642-1652.

[4]米云川,黄太平,周骞,等.云南镇雄地区新发现羊场超大型磷矿沉积环境及资源潜力分析[J].地质与勘探,2021,57(4):808-824.