

云南沉积型磷矿成矿特征与资源潜力预测

岳维好^{1,2}, 高建国¹, 李云灿², 李定平³, 常 河¹

YUE Wei-hao^{1,2}, GAO Jian-guo¹, LI Yun-can², LI Ding-ping³, CHANG He¹

1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 中化地质矿山总局云南地质勘查院, 云南 昆明 650100; 3. 云南省地矿局, 云南 昆明 650011

1. College of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;

2. Yunnan Geological Prospecting Institute, Sinochem Geological Mining Bureau, Kunming 650100, Yunnan, China;

3. Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources, Kunming 650011, Yunnan, China

摘要:在典型矿床与区域成矿特征研究的基础上, 系统总结云南沉积型磷矿的成矿地质、地球化学和岩相古地理特征, 深入分析沉积型磷矿的成矿控制因素, 建立了区域成矿模式。在此基础上, 运用基于 GIS 的矿床模型综合地质信息预测方法对云南沉积型磷矿进行综合定位和定量预测, 共圈定 130 个最小预测区, 估算未查明的磷矿预测资源量 $121.98 \times 10^8 \text{t}$ 。该成果对云南沉积型磷矿进一步的找矿工作具有重要的指导意义。

关键词:沉积型磷矿; 成矿控制因素; 矿产预测; 云南

中图分类号: P619.21⁺3; P612

文献标志码: A

文章编号: 1671-2252(2012)08-1323-09

Yue W H, Gao J G, Li Y C, Li D P, Chang H. Metallogenic characteristics and resource potential estimation of sedimentary type phosphorite deposits in Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(8): 1323-1331

Abstract: Based on previous researches on characteristics of regional sedimentary type phosphorite mineralization and typical deposits, the authors summarized minerogenetic, geochemical and lithofacies-paleogeographic characteristics of sedimentary type phosphorite deposits in Yunnan Province and analyzed the major ore-controlling factors. On such a basis, a regional ore-forming model was established. The comprehensive localization and quantitative estimation of sedimentary type phosphorite resources in Yunnan Province were carried out by GIS-based deposit modeling comprehensive geological information prediction model. As a result, 130 minimum tracts were delineated, and potential resources amount was estimated at about 12.198 billion tons. These results are of significant indicative significance for further prospecting of this type of phosphorite resources.

Key words: sedimentary type phosphorite; ore-controlling factors; mineral prediction; Yunnan province

云南省磷矿资源丰富, 截至 2008 年底, 已查明大、中型矿床 102 处, 累计查明资源储量、保有资源储量均位居全国第一位, 矿床类型有沉积型和风化淋滤型 2 种。新生代风化淋滤型磷矿主要赋存于禄劝县内地形平缓、有利于风化物残留堆积的地段, 矿石品位高但矿体不稳定且规模小, 目前尚未开发利

用。沉积型磷矿又分为中泥盆统海相沉积型和下寒武统海相沉积型。中泥盆统海相沉积型磷矿主要赋存于泥盆系榴江组硅质粉砂岩、硅质粘土岩中, 呈透镜状, 矿床具有规模小且零星分布的特点。下寒武统海相沉积型磷块岩产于早寒武世梅树村组中谊村段硅泥质-白云质-磷块岩建造中, 呈层状、似层状, 厚

收稿日期: 2011-12-02; 修订日期: 2012-04-09

资助项目: 中国地质调查局项目《云南省矿产资源潜力评价》(编号: 1212010813024) 和云南省国土资源厅项目《昆明-华宁聚磷盆地深部磷矿整装勘查》(编号: Z201009)

作者简介: 岳维好(1978-), 男, 在读博士, 工程师, 从事地质矿产勘查及科研工作。E-mail: 137053132@qq.com

通讯作者: 高建国(1954-), 男, 教授, 从事矿产资源勘查与教学工作。E-mail: 335150686@qq.com

度一般为 1~40.77m,平均厚度为 10.85m,具有品位高、厚度大、开采条件便利和勘查程度高的特点,已查明的资源储量占整个云南省磷矿已查明资源储量的 99.8%,是云南省磷矿资源勘查开发利用的主要对象,本文探讨的亦是此种类型。

1 沉积型磷矿成矿特征

1.1 成矿地质背景

云南沉积型磷矿主要分布于滇东地区,大地构造上属于上扬子南部被动陆源海盆威宁—昭通褶—冲带、落雪褶皱基底隆起、禄丰—江舟上叠陆内盆地、嵩明上叠陆内盆地、玉溪褶皱基底隆起、曲靖—水城褶—冲带及华南陆块西部陆源海盆滇东南逆冲—推覆构造带。地层自元古代至新生代各时期均有出露,特别是震旦系上统和寒武系下统出露较全,大致可以分为台盆相和台地相 2 种沉积类型,其中台盆相出露面积小,仅见于蒙自栏木桥一带,为含磷粉砂岩夹硅质白云岩和硅质岩,无工业磷块岩矿床。台地相分布于滇东地区,北接四川,东邻贵州,西到华坪县,南至石屏及建水县,由一套碳酸盐岩、磷块岩和硅质岩组成。区内褶皱构造发育,以碳酸盐为主的台地相沉积地层常形成箱状、屈状、拱状或穹隆等开阔平缓的褶皱,而槽地相地层多形成紧密褶皱。深大断裂以东北向为主,南北向和东西向次之,常构成Ⅲ级大地构造单元的分界线,具明显的控相、控岩、控矿作用。

晋宁运动使云南东部地区形成西高东低、近南北向延伸的凹陷区,为磷矿的沉积奠定了有利的地形因素。早寒武世中谊村期,来自太平洋、印度洋广海的海水(携带大量陆源碎屑物及海洋生物)从各个不同方向侵入各聚磷盆地,流速由急变缓,磷酸盐堆积由贫到富,在半封闭海湾的大陆斜坡上距大陆 0~30km、水体深度 0~150m 范围内沉积下来形成矿体。早寒武世主要发育潮坪相、台地相和台盆相,前 2 种岩相形成碳酸盐岩—磷块岩—硅质岩建造,台盆相则形成含磷粉砂岩夹硅质白云岩及硅质岩建造,磷矿主要产于潮坪相和台地相的碳酸盐岩—磷块岩—硅质岩建造中。

1.2 矿床特征

1.2.1 含矿建造的特征

云南沉积型磷矿主要分布于绥江—永善—昭阳区、镇雄—威信、巧家—会泽—武定、安宁—华宁—曲靖、蒙自—屏边等地区。沉积型磷矿均产于早寒武世梅树村组中谊村段的白云岩、磷块岩和硅质岩中,含矿岩系一般厚 1.30~91.36m,最厚可达 150m,与下伏小歪头山段假整合接触,具明显的冲刷面,矿层在滇东大部分地区主要表现为明显的 2 层矿结构(局部地区亦可见单层及多层矿)(图 1)。

(1)顶板岩系:为下寒武统筇竹寺组(ϵ_1q),上部为页岩,下部泥质粉砂岩与下伏梅树村组中谊村段假整合接触。

(2)含磷岩系:为下寒武统梅树村组中谊村段

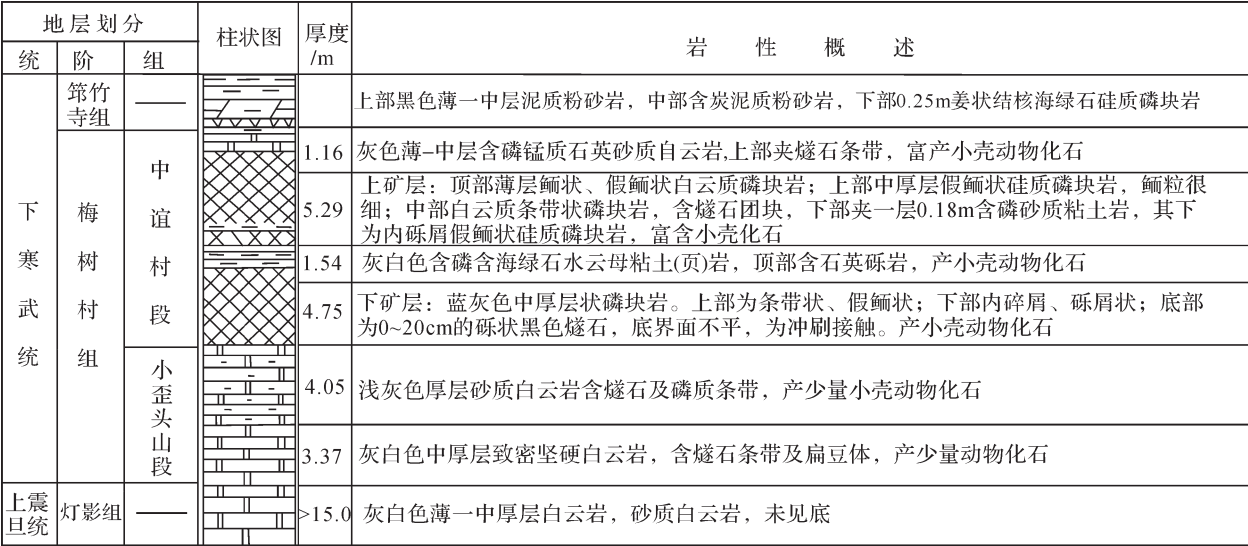


图 1 沉积型磷矿含矿建造柱状示意图

Fig. 1 Geological columnar section showing ore-bearing formation of the sedimentary type phosphorite deposit

($\in \epsilon_2$),划分为上、下 2 个岩段,上段为含磷砂质白云岩段,下段为磷块岩段。上段含磷砂质白云岩段($\in \epsilon_2$)厚 1~4m,灰白色含磷砂质白云岩夹硅质团块。下段磷块岩段($\in \epsilon_1$)含有上、下 2 个主要的工业矿层,中间夹灰白色凝灰质粘土岩。

①上矿层($\in \epsilon_1$)厚 1.97~14.86m,上部为白云质磷块岩,中下部为粒屑磷块岩,底部为白云质硅质条带磷块岩。

②夹层($\in \epsilon_1$)厚 0.5~4.0m,一般厚约 2m,灰白色凝灰质粘土岩,主要由粘土矿物伊利石、蒙脱石—伊利石混层及石英、长石晶屑组成,含少量的白云母、黄铁矿、绿泥石和磷酸盐矿物。

③下矿层($\in \epsilon_1$)厚 0~6.89m,一般厚约 3m,顶部为白云质硅质条带磷块岩,中、下部为粒屑磷块岩及砾状磷块岩,与下伏小歪头山段假整合接触,具明显的冲刷面。

(3)底板岩系:下寒武统小歪头山段,为白云岩,与下伏上震旦统灯影组基底厚层状含石英砂屑粉晶白云岩假整合接触。

(4)基底岩系:上震旦统灯影组(Zbdn),厚 430~600m,上部为厚层状含磷硅质白云岩及紫色泥质灰岩,夹燧石扁豆体,中下部为厚层状白云质灰岩及硅质灰岩,夹薄层灰岩和紫黄色页岩。

1.2.2 矿体特征

矿体呈层状、似层状产出,倾角 10~30°,一般有 2 层矿,个别地段出现 1 层、多层及不稳定透镜型。上矿层比下矿层的分布面积广,矿化连续性好,矿体规模较大,沿走向延伸多达 10km。矿层厚 1~19.25m,平均厚度为 8.01m,平均含矿率 355~877kg/m³,矿体厚度、规模、矿石质量与古沉积环境关系密切。

1.2.3 矿石特征

矿石矿物组分较为复杂,主要矿物为胶磷矿,次为微—细晶磷灰石及少量白云石、方解石、玉髓、海绿石、绿泥石等^[1]。

矿石主要呈微粒结构、内碎屑结构、鲕粒结构、壳粒结构、生物碎屑结构及结晶结构。矿石构造主要为块状构造、条带状构造、条纹状构造、透镜状构造及结核状构造。

矿石的化学成分主要为 SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO、P₂O₅、F、CO₂,伴生 Ba、Cr、Cu、Ga、Mn、Mo、Na、Ni、Pb、Sn、Sr、Ti、V 等有益元素及 As、F 等有害元素,矿石品级多为 II—III。

1.2.4 地球化学特征

用 4km² 网格元素含量圈定元素等值线图,以累积频率为 85%、92%、98% 的含量作为异常的外、中、内带进行单元素异常圈定。经典型矿床(晋宁县昆阳磷矿)研究发现,P、Ag 和 F 异常规模大、强度高、浓度分带明显,其分布与已知矿床(点)套合较好,异常是由沉积磷矿矿层引起的,属矿致异常,具有重要的找矿意义(图 2)。

1.2.5 古构造运动控制的古地理特征

晋宁运动奠定了扬子地区的基本格架,早震旦世前,元江—红河岩石圈断裂等深大断裂的活动,使扬子地台整体上升,结束了地槽阶段而转入地台的发育阶段^[2]。震旦纪和寒武纪,扬子地台进入稳定发展时期,扬子地台周边深大断裂的活动和扬子地台内部大断裂的活动,使地台内部形成数个隆起和断陷,各类磷块岩都形成于陆架区域的沉积盆地之中。海湾、泻湖、台地或水下高地的边缘、水下洼地、岸外沙坝、浅滩、外陆架盆地的向陆一侧等成为工业磷块岩形成环境中不可缺少的重要因素,所有这些有利的停积洼陷或捕集场,都必须是形成在浅海浪基面以上的海域^[3](图 3)。

1.3 成矿地质作用

1.3.1 成矿控制因素

(1)成矿物质来源:云南沉积型磷矿的成矿物质来源于含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物^[4]。

(2)古构造:总体来说,磷块岩形成在古陆或同生水下隆起的边缘、水下浅滩或同生隆起带中的相对洼陷地带。

(3)沉积环境及古地理条件:早寒武世梅树村阶与筇竹寺阶地层中共包括 4 个由海水震荡运动造成的沉积旋回,每个震荡旋回都由海侵开始,至海侵的顶峰,海面相对稳定,沉积速度变慢,形成了胶磷矿硬地,这些硬地胶磷矿在海退过程中被冲刷破坏,又在下一个震荡运动的海侵过程中被簸选和再沉积,从而形成了具颗粒结构的磷块岩矿层,这种强海流的冲刷簸选作用是工业磷块岩形成环境的一个必然因素,被强的海流冲刷簸选的胶磷矿颗粒还需要有水流速度的突然减弱才能够沉积下来成为富矿层,而海湾、泻湖、台地或水下高地的边缘、水下洼地、岸外沙坝、浅滩、外陆架盆地的向陆侧等成为工业磷块岩形成环境中不可缺少的重要因素^[4]。

(4)古气候:在低纬度(南北纬 18°之间)干旱炎

热的气候条件下,风化作用迟滞,从大陆带入海洋的物质少,沉积速度较慢,海水的盐度,特别是浅海陆架地区的海水盐度必然相应较高,会提高其对磷的溶解度。

(5)次生变化:矿石经过风化后,颜色变浅,孔隙度增加,体重减小,品位提高,形成富矿。

1.3.2 成矿模式

早寒武世中谊村期是一个漫长的成磷时期,磷矿层为滨海、浅海相沉积形成。来自太平洋、印度洋广海的海水从各个不同方向侵入各聚磷盆地,流速由急变缓,磷酸盐堆集由贫到富。聚磷盆地地处低纬度地区,由于太阳热能和地球自转引起地壳上部海水搅动、CO₂减少、海水中P₂O₅形成过饱和状态,磷酸盐不断地随上升洋流运移至聚磷盆地半封闭海湾的大陆斜坡上,在距大陆0~30km、水体深度0~150m范围内沉积下来(图4)。

磷矿层底部砾状磷块岩的存在说明,当时处于半固结状态的磷质沉积物经过海水的冲刷作用和一定的搬运过程重新胶结成岩,矿床是经过一定的物理机械作用富集形成的。

2 沉积型磷矿资源潜力预测

2.1 矿产预测类型与预测方法

矿产预测类型是开展矿产预测工作的基本单元,凡是在同一地质作用下形成的矿床,成矿要素和预测要求基本一致,可以在同一张预测底图上把预测的矿床、矿点和矿化线索归为同一矿产预测类型^[8]。云南沉积型磷矿形成于寒武纪,矿床赋存于早寒武世梅树村组中谊村段的硅泥质-白云质-磷块岩中,成矿物质来源于含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物,按照全国潜力评价矿产资源预测类型划分原则,本区沉积型磷矿划属为“昆阳式”下寒武统海相沉积型层状磷块岩矿床,预测方法类型选择沉积型矿产预测方

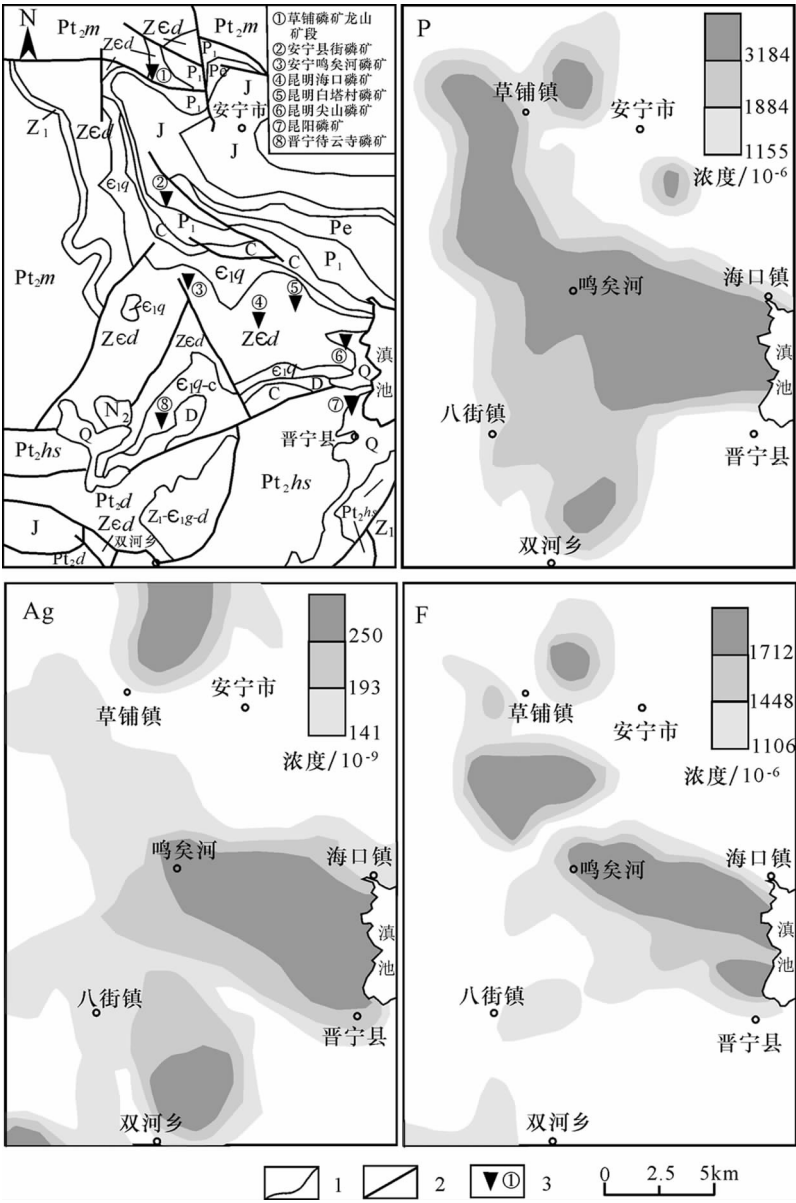


图2 昆阳磷矿及周边矿床地球化学剖析图

Fig. 2 Maps showing geochemical anomalies of theKunyang phosphorite deposit and peripheral deposits

Q—第四系;N₂—上新统;J—侏罗系;Pe—上二叠统峨嵋山玄武岩;P₁—下二叠统;C—石炭系;D—泥盆系;ε_{1q-c}—筇竹寺组、沧浪铺组并层;ε_{1q}—下寒武统筇竹寺组;Z₁—灯影组(震旦系跨寒武系,含矿地层);Z_{1-ε_{1g-d}}—观音崖组、灯影组并层;Z₁—下震旦统;Pt_{2m}—美垷组;Pt_{2d}—大龙口组;Pt_{2hs}—黑头山组;1—地质界线;2—断层;3—磷矿床及编号

法,预测底图采用 1:5 万构造建造图,定量预测方法为体积法。

2.2 预测要素与预测模型

通过对典型矿床(昆阳磷矿)和预测工作区的成

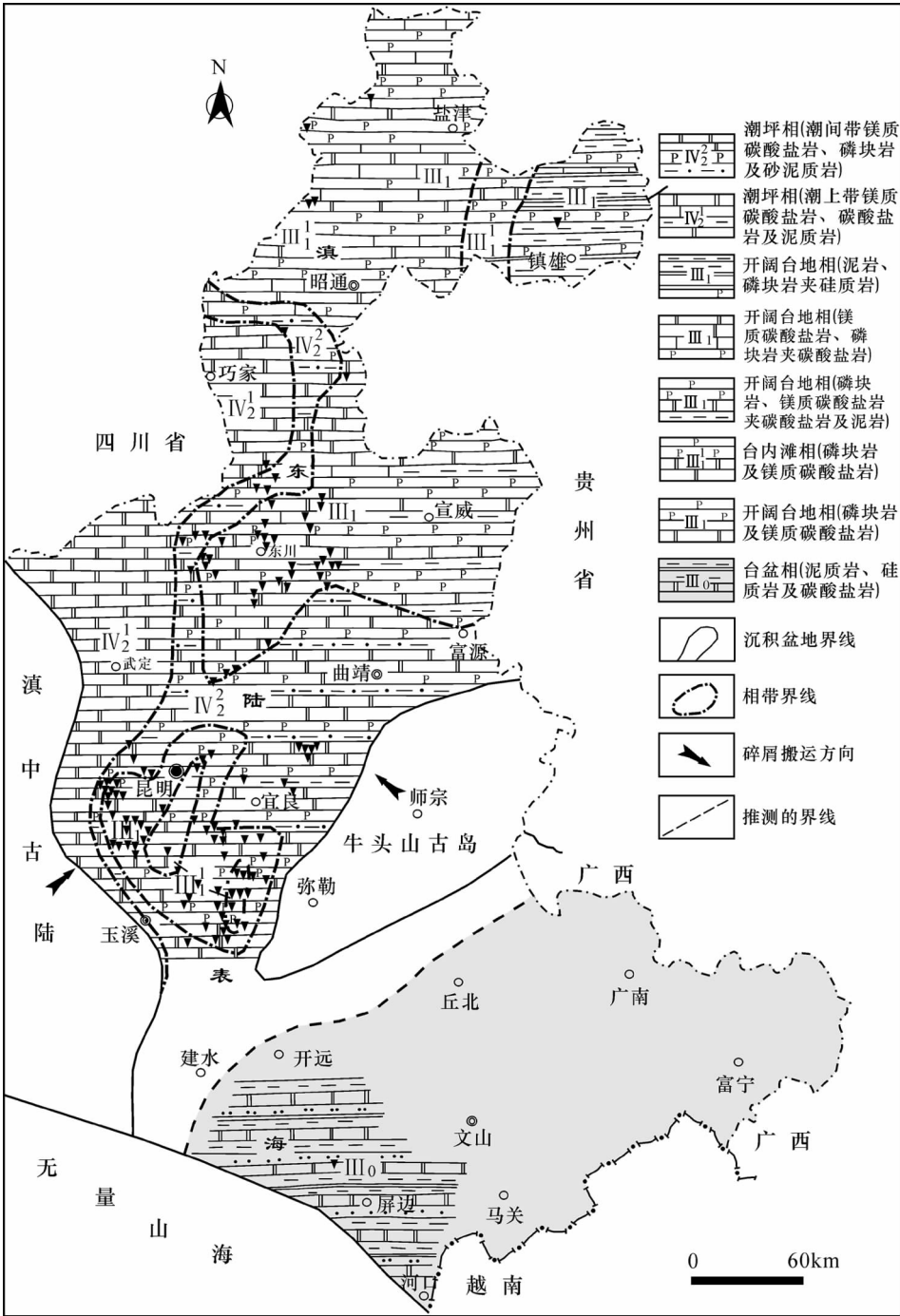


图 3 滇东早寒武世梅树村中期岩相古地理及矿床(点)分布图(据参考文献[4]修改)

Fig. 3 Sedimentary facies palaeogeography of Early Cambrian middle Meishucun Formation in east Yunnan and distribution of ore deposits (ore spots)

矿地质背景、成矿规律的分析研究,总结提取了云南沉积型磷矿预测要素,其中矿物质来源、岩相古地理及寒武系梅树村组中筇竹寺段(ϵ_{12})是必要的预测要素,在此基础上建立了沉积型磷矿的描述性预测模

型^[9](表 1)。

2.3 预测单元划分与变量选择

预测单元的划分方法大致可分为网格单元法和综合信息地质单元法。根据云南沉积型磷矿的成

矿特点与工作程度，本次预测选择综合信息地质单元法来划分沉积磷矿的预测单元。综合信息地质单元法，是指用对预测矿种具有明显控制作用的地质条件和找矿意义明确的标志圈定地质统计单元的方法，该方法主要取决于综合信息解译模型中的 2 种找矿标志，即以成矿的必要条件为基

础,并以有利(或不利)标志为补充来确定综合信息地质统计单元。

云南沉积型磷矿预测思路可概括为：在云南早寒武世中谊村期岩相古地理为潮坪相和台地相的地区,在寒武系梅树村组中谊村段出露的一定范围内，如果具有 P、Ag、F 的化探异常，则可以预测该区域

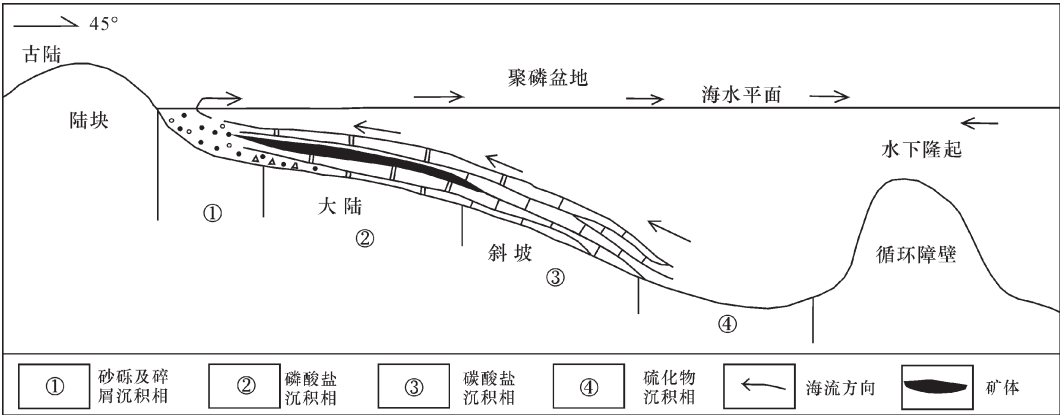


图 4 云南下寒武统磷块岩矿床成矿模式(据参考文献[7]修改)

Fig. 4 Mineralization model of Lower Cambrian sedimentary type phosphorite deposits in Yunnan

表 1 云南“昆阳式”海相沉积型磷矿描述性预测模型

Table 1 Descriptive prognostic model of "Kunyang type" marine facies sedimentary type phosphorite deposits in Yunnan Province

分 类		区 域 成 矿 要 素 及 其 特 征	要素 分类
区域成矿地质作用	成矿时代	古生代(Pz)	必要
	大地构造演化环境(位置)	上扬子南部被动陆缘海盆	必要
	成矿构造环境	古生代浅海碳酸盐台地干热潮坪环境	必要
	赋矿地层	古生代下寒武统梅树村组中谊村段(\in_1z)	必要
	岩石组合	磷块岩-白云质磷块岩类，产出 $P_2O_5 \geq 24\%$ 的工业富矿体；磷块岩-白云岩组合，产出 P_2O_5 15%~24% 的工业中富矿体；含磷白云岩-磷质白云岩-硅质白云岩类岩石组合，产出低品位矿，风化后部分可达工业矿体；白云岩-硅质白云岩类岩石组合，无工业矿体产出	重要
	沉积建造	硅泥质-白云质-磷块岩建造，硅质白云岩建造	必要
	矿源	含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物	必要
	古地理	有利的停积洼陷或捕集场，一般是沉积盆地	必要
	控矿条件	古生代浅海碳酸盐台地干热潮坪环境，含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物在上扬子南部被动陆缘海盆中沉积	必要
磷矿矿床特征	已知矿床	大型矿床 64 个、中型矿床 38 个、小型矿床 11 个、矿点 8 个	重要
	矿层厚度	上矿层 5~7m,下矿层 3~4m	重要
	含矿率	355~877kg/m ³	次要
	矿石品位	P_2O_5 15.06%~37.56%	重要
	矿物组合	主要为胶磷矿、次为微—细晶磷灰石	次要
化探信息	结构构造	砾状、粒屑、鲕状、生物碎屑及凝胶状结构，层状、条带、条纹状构造	次要
	元素化探异常	P、Ag、F 等的 1：25 万化探异常与磷矿床(点)套合较好	重要

有可能存在沉积型磷矿。具体预测单元的划分是在 MRAS(基于 GIS 的矿产资源评价系统)软件中使用要素叠加法,以云南早寒武世中谊村期岩相古地理为潮坪相和台地相的地区为先导,以寒武系梅树村组中谊村段分布为限定,结合化探、矿产地等成矿有利标志信息来确定预测远景区的边界,并通过与邻区已知矿床的类比研究,对预测远景区的边界进行适当的人工修正^[10]。

预测变量的筛选以地质研究为基础,在不损失与变量对象有直接或间接联系的主要信息的同时,精简变量,突出必要和重要的预测要素^[11]。经选择,云南沉积型磷矿预测变量为:早寒武世中谊村期岩相古地理为潮坪相和台地相的地区,寒武系梅树村组中谊村段($\in z$)存在标志,P、Ag、F 化探异常存在标志,已知沉积型磷矿(点)存在标志。

2.4 预测区圈定与优选

运用 MRAS 矿产资源评价系统,分别对岩相古地理,寒武系梅树村组中谊村段($\in z$),P、F、Ag 化探异常等前述优选的 4 个预测变量进行叠加分析。根据叠加分析结果初步圈定预测靶区范围之后,再结合已知矿床(点)的分布情况,对其进行人工经验修正,获得各预测靶区的准确范围(图 5)。对云南绥江—永善—昭通、镇雄—威信、巧家—会泽—武定、安宁—华宁—曲靖、蒙自—屏边 5 个预测工作区进行定位预测,累计圈定了 130 个最小预测区。最后,利用特征分析法,选用 P、F、Ag 化探异常和已知矿床(点)的分布变量进行预测区的优选,通过计算各最小预测区的成矿概率值并依此划分 A 类(成矿概率 ≥ 0.8)、B 类($0.6 \leq$ 成矿概率 < 0.8)、C 类($0.3 \leq$ 成矿概率 < 0.6)预测区。经预测区优选,全区 130 个预测区可划分为 A 类预测区 72 个、B 类预测区 55 个、C 类预测区 3 个。

2.5 预测资源估算与资源潜力评价

云南沉积型磷矿属寒武纪沉积型矿产,成矿物质来源于含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物;成矿时代为早寒武世梅树村组中期;矿床成因为沉积并经过次生变化(矿石风化)而富集成矿,矿体呈层状、似层状产出。迄今已查明的近 113 处大、中、小型工业矿床,矿床类型相同、成矿特征相似,适合建立定量方法模型,因此本次选用体积法来估算各最小预测区的预测资源量^[12]。体积估算法的实质是将模型区某种矿产的平均含量的估计值外推到预测区

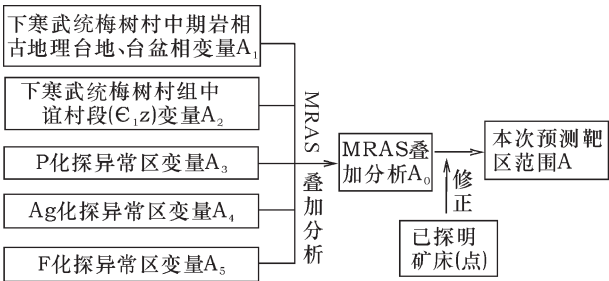


图 5 预测单元圈定流程

Fig. 5 Flow chart of delineating prognostic units

的体积上,其关键是模型区的平均含矿率和反映模型区与预测区关联程度的修正系数的确定,预测单元资源量估算公式为^[13]:

预测单元资源量=含矿体体积×矿石密度
×成矿概率×含矿系数×修正系数

其中:预测单元资源量为磷矿的矿石量(10⁴t);含矿体体积是由预测单元面积、含矿岩系厚度、矿层倾角等综合影响的一个参数,矿层倾角是各预测单元的矿层平均倾角;矿石密度为该区磷矿矿石的密度平均值,即 2.45t/m³;含矿系数为各单元内已知矿床(点)根据“已勘查资源量/含矿地质体体积”求得的已知矿床(点)含矿系数,以其作为该单元的含矿系数,若一个单元内有多于个已知矿床(点),则以各已知矿床(点)的资源量为权重,对各个含矿系数作加权平均,并以此加权平均值作为该单元的含矿系数,无已勘查资源量的单元以预测区全部有已勘查资源量的单元含矿系数的平均值为含矿系数;成矿概率即预测单元的成矿概率:

预测单元的成矿概率= $\sum_{i=1}^n i$ 预测单元的预测
变量值×预测变量的权重(预测单元的预测
变量值为二态变量值)。

云南沉积型磷矿的 5 个预测工作区除镇雄—威信、蒙自—屏边工作区只有 1 处矿点外,均分布至少 4 处已知矿床(点),特别是安宁—华宁—曲靖工作区已查明小型以上沉积型磷矿床达 67 处,依据这些已知矿床的矿体厚度、矿石体重和资源储量数据,运用 MRAS 系统可方便地计算出各模型区的平均含矿率,对于修正系数可用反映成矿可能性大小的成矿概率值来代替。经估算,云南 130 个沉积型磷矿最小预测区累计预测资源量为 178.45×10⁸t,其中 A 类

预测区 $164.3 \times 10^8 \text{t}$ 、B类预测区 $14.06 \times 10^8 \text{t}$ 、C类预测区 $0.09 \times 10^8 \text{t}$, 主要集中分布于安宁—华宁—曲靖预测工作区(占48.3%)和巧家—会泽—武定预测工作区(占48.5%)。截至2008年底,已查明沉积型磷矿资源储量 $56.47 \times 10^8 \text{t}$, 即云南尚有 $121.98 \times 10^8 \text{t}$ 的沉积型磷矿资源潜力有待进一步挖掘, 其中安宁—华宁—曲靖预测工作区 $57.7 \times 10^8 \text{t}$ (占47.3%)和巧家—会泽—武定预测工作区 $59.39 \times 10^8 \text{t}$ (占48.7%)(图6)。

3 结论与认识

(1)云南沉积型磷矿矿源来自于含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物, 成矿构造背景为上扬子南部被动陆缘海盆, 成矿环境为浅海碳酸盐台地干热潮坪环境, 赋矿建造为梅树村组中谊村段泥质—白云质—磷块岩建造, 成矿时代为早寒武世梅树村组中谊村段, 在地表经过次生变化(风化)后富集形成富矿。

(2)首次综合利用地质、化探、综合信息, 集成众多专业知识, 通过对云南沉积型磷矿成矿规律的梳理与研究, 分析云南沉积型磷矿的成矿规律, 同时运用MRAS软件对资源量进行了预测。

(3)首次运用P、Ag、F地球化学异常对沉积型磷矿进行定位预测, 经校验其作为定位预测的重要要素有效可行。

(4)云南沉积型磷矿资源预测结果显示, 安宁—华宁—曲靖和巧家—会泽—武定2个预测工作区未查明的预测资源量达 $117.09 \times 10^8 \text{t}$, 其中A类预测区预测资源量约占92%, 主要分布于昆明晋宁、安宁和西山, 玉溪澄江、江川和华宁, 曲靖会泽、沾益等地, 这为整装勘查和大规模的地质找矿工作部署提供了十分重要的资料依据。

本次云南沉积型磷矿成矿特征与资源潜力预测

研究成果, 已经应用到云南省3年找矿计划——云南省磷矿整装勘查项目中。从2010—2011年度项目勘查成果来看, 共施工18孔, 16孔见矿, 预期到2012年年底可提交333+334类磷矿石资源量 $2.5 \times 10^8 \text{t}$ 。

致谢:项目组杨志鲜、龚正龙、邓泉江、霍正平等技术人员的相关工作成果为本文的编写奠定了基础, 云南省地调局薛顺荣博士给予了热忱的指导, 在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]杨帆, 肖荣阁, 夏学惠. 昆阳磷矿沉积环境与矿床地球化学[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 294–303.
- [2]邓小林, 姚超美, 王吉平, 等. 扬子地区磷矿成矿规律[J]. 化工矿产地质, 2009, 31(1): 1–12.
- [3]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, 23(4): 193–209.
- [4]王祖关, 江能人. 云南岩相古地理图集[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1995: 31–35.
- [5]叶连俊, 陈其英, 赵东旭. 中国磷块岩[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 237–247.
- [6]曾允孚, 杨卫东. 滇东磷块岩的沉积环境和成矿机理[J]. 矿物岩石, 1989, 9(2): 45–59.
- [7]杨荆舟, 罗君烈, 赵准. 云南矿床区域成矿模式[J]. 云南地质(增刊), 1998: 75–79.
- [8]肖克炎, 张晓华, 李景朝, 等. 全国重要矿产总量预测方法[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 11–19.
- [9]岳维好, 高建国, 李云灿, 等. 云南省勐野井式钾盐矿找矿模型及预测[J]. 地质与勘探, 2011, 47(5): 809–822.
- [10]娄德波, 肖克炎, 丁建华, 等. 矿产资源评价系统(MRAS)在全国矿产资源潜力评价中的应用[J]. 地质通报, 2010, 29(11): 1677–1684.
- [11]陶平, 许启松, 刘坤. 沉积型铝土矿预测方法及其影响因素[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 1533–1538.
- [12]肖克炎, 娄德波, 阴江宁, 等. 中国铁矿资源潜力定量分析[J]. 地质通报, 2011, 30(5): 650–660.
- [13]肖克炎, 叶天竺, 李景朝, 等. 矿床模型综合地质信息预测资源量的估算方法[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 1404–1412.