维普资讯 http://www.cqvip.com

第29卷 第4期
2007年12月

化 工 矿 产 地 质
GEOLOGY OF CHEMICAL MINERALS

Vol.29 No.4
Dec.2007

福泉磨坊晚震旦世磷块岩矿床地质特征及沉积环境

殷科华* 金华英 叶德书 朱成林

贵州省地矿局一〇六地质大队，贵州遵义，563000

摘 要 福泉磨坊磷块岩矿床是贵州瓮福磷矿的八大矿段之一.主要磷矿层赋存于晚震旦系上统陡山沱组上部，有砂砾状、致密状、团块状及条带状几种矿石类型。矿体厚度品位沿倾向均有线性变化规律；矿体间存在一有相当规模的无矿带，矿石露头局部见磷质叠层石；矿石中磷酸盐矿物以胶磷矿，伴生矿物以白云石为主；碘呈分散状态赋存于磷酸盐矿物中；矿体氧化带深度17～75m，浅部矿石质量优良。矿床成因类型属生物化学沉积的磷酸盐矿床。

关键词 磷块岩 矿床地质特征 沉积环境 福泉磨坊 贵州

中图分类号：P619.213 **文献标识码**：A **文章编号**：1006－5296（2007）04－0215－07

0 前言

福泉磨坊磷块岩矿床，是矿床规模巨大、矿石质量较佳的贵州省瓮福磷矿中八大矿段之一，现已载入《中国矿床发现史·综合卷》[1]内。磨坊磷矿经地质勘探，探明了磷矿石工业储量并求获伴生碘储量，从而进一步提高了磷块岩矿床综合利用的工业价值。

磨坊磷块岩矿床是贵州省瓮（安）福（泉）磷矿高坪矿区中矿石质量较佳、露采条件良好的主要矿段之一。磨坊矿段位于福泉市境内，属高坪镇管辖。1978年贵州省地矿局一〇六地质大队对该矿段进行了地质勘探工作，并于1982年12月由高企戎、郭文良、郭恒孝、朱成林等编写了《贵州省瓮安磷矿高坪矿区磨坊矿段详细勘探地质报告》。笔者在搜集和综合研究前人资料的基础上，结合近期在该区域内的地质工作撰写成文。

1 矿段地质概述

1.1 地层简述

磨坊矿段出露地层由新至老依次有第四系、寒武系、震旦系及板溪群。与磷矿有关的震旦系地层在矿段内发育完整，厚度230～250m。其上与寒武系下统牛蹄塘组，下与板溪群清水江组均呈假整合接触。震旦系在区内分为上统灯影组、陡山沱组，下统南沱冰碛岩组。兹将岩性特征简述如下：

灯影组（Z_2dn）细分为三段

第三段（$Z_2\ dn^3$）：为灰色厚层致密、细晶白云岩，近顶部夹两层泥质白云岩，下部含叠层藻体。厚65～97m。

第二段（$Z_2\ dn^2$）：浅灰、深灰色中厚层致密白云岩。顶部夹厚4～6m的含藻白云岩；中下部夹花斑状及条带状白云岩。厚27～48m。

第一段（$Z_2\ dn^1$）：灰、深灰色厚层细晶白云岩。顶部栉壳状构造发育；下部夹碎屑状白云岩及磷块岩条带。厚60～98m。

陡山沱组（$Z_2\ d$）

为含磷岩系，主要由磷块岩、硅质岩、白云岩及砾岩组成，细分为四段。

第四段（Z_2d^4）：由薄层至厚层不同自然类型的磷块岩组成，习称"B"矿层，为矿段主要勘探对象。厚0～28m。

* 第一作者简介：殷科华，（1956～），男，从事地质矿产勘查工作，地质工程师

收稿日期：2007-07-10

维普资讯 http://www.cqvip.com

第三段（Z_2d^3）：乳白色厚层块状硅质岩，层理不清。上部含黑色磷质团块；下部夹白云岩团块。厚 10～18m。

第二段（Z_2d^2）：紫灰色中厚层细晶白云岩。顶部偶夹一层厚 0～1.8m的深灰色板状致密磷块岩，习称"A"矿层。矿层厚度薄，变化大，呈扁豆状产出。厚 4～11m。

第一段（Z_2d^1）：黄灰色砾岩。厚 1～3m。

————假整合————

南沱冰碛岩组（Z_1nn）

为绿灰色冰碛砾岩。厚 1～5m。

1.2 构造概况

磨坊矿段地处扬子地台南缘，位于高坪背斜的北段。高坪背斜轴向北北东 10°，西翼地层发育完整，地层倾向北西西 280～295°，倾角 10～25°；东翼地层则因受 F_1 的破坏，矿层缺失，地层倾向南东东 100～110°，倾角 20～28°。背斜于塘边一带向北倾伏（图 1），倾伏角 13°左右。高坪背斜在矿段内以两翼倾角平缓、向北倾伏及形态简单为其特点。

矿段内断层有南北向及北西向两组。南北向规模较大，是破坏矿层的一组纵向断层，主要有 F_1、F_{211} 及 F_5 三条，分布于矿段的东部和北部；北西向断层较为发育，但断距不大，集中分布于矿段南部背斜的西翼，由南往北依次有 F_4、F_{202}、F_{18}、F_{26}、F_{215} 及 F_{206} 六条。上述断层中，F_1 为区域一级断层，F_4 为区域二级断层，它们分别构成矿段南东部边界和南部边界；其余断层断距小于 30m，它们以倾角陡（大于 80°）为其特点，虽然在不同程度上破坏了矿层的连续性和完整性，但未导致矿体空间形态的根本变化。

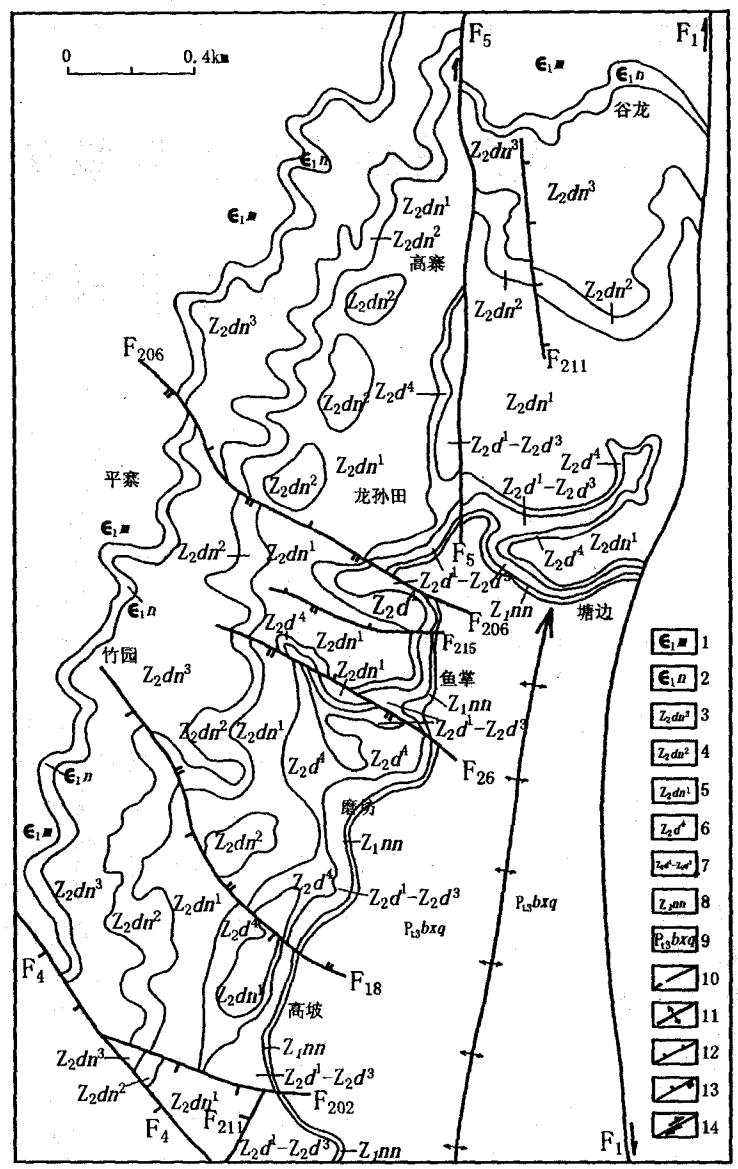


图 1 福泉磨坊磷块岩矿床地质略图

Fig.1 Geological scheme of the Mofang phosphorite deposit in Fuquan

1.明心寺组；2.牛蹄塘组；3.灯影组第三段；4.灯影组第二段；5.灯影组第一段；6.陡山沱组第四段；7.陡山沱组第三至一段；8.南沱冰碛岩组；9.板溪群清水江组；10.地质界线；11.背斜轴；12.正断层；13.逆断层 14.平推断层

2 矿床地质特征

2.1 矿层（体）描述

磨坊磷块岩矿床是一个规模较大、露采条件良好、矿石质量较佳的海相含碘磷块岩矿床。矿层产于震旦系上统陡山沱组的上部，下距南沱冰碛岩组古侵蚀面 17～28 m。矿体展布面积 3.0km^2。矿体倾角平缓，矿体厚度 0～28m，平均厚度 10m，厚度变化系数 44%，沿走向变化小，沿倾向变化东厚西薄。矿石含 P_2O_5 为 17～38%，平均 27%，品位变化系数 18%，矿石具有地表富深部贫的特点。矿体厚度、矿石品位沿

维普资讯 http://www.cqvip.com

倾向均有线性变化规律（图 2），这是矿段矿床中的主要特征之一。矿体结构简单，一般无夹石。矿体顶板为白云岩，分界清晰；矿体底板为乳白色硅质岩，其中含形状不一、大小不等的黑色磷质团块，含 P_2O_5 一般小于 7%。硅质岩与磷块岩接触面凹凸不平（图 3），实属冲刷面。矿体厚度变化受其制约，在冲刷面凹陷处矿体厚度大，凸起处矿体厚度变薄甚至尖灭。

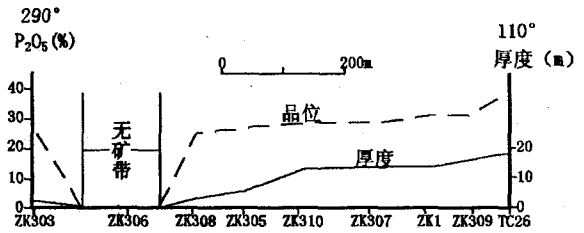


图 2　3 勘探线矿体厚度、品位沿倾向变化曲线图

Fig.2 Diversification of the thickness and grade of the ore body in No.3 prospecting line across the strike

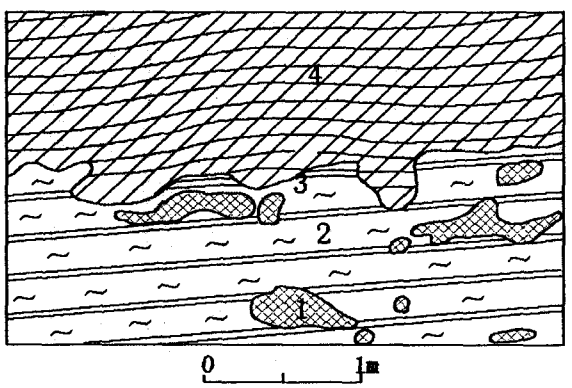


图 3　矿层底板冲刷面素描图(高寨 TC112)

Fig.3 Sketch of the erosion surface of the ore bed footwall (Gaozhai TC112)

1.磷质团块;2.硅质岩;3.冲刷面;4.致密状磷块岩

矿段内经勘探工程证实，在背斜的西翼存在着一个走向北北东，长 4.4 k m、宽 0.15～0.65km，面积为 1.8km^{2}的长条形无矿带（图 4）。灯影组一段白云岩与陡山沱组三段含磷质团块硅质岩直接接触，说明当时该处并无陡山沱组四段磷块岩的沉积。像规模如此之大的无矿带，在一个晚震旦世陡山沱期海相大型磷块岩矿床内出现还是少见的。因此，笔者把它列为矿段中的第二个主要矿床特征。

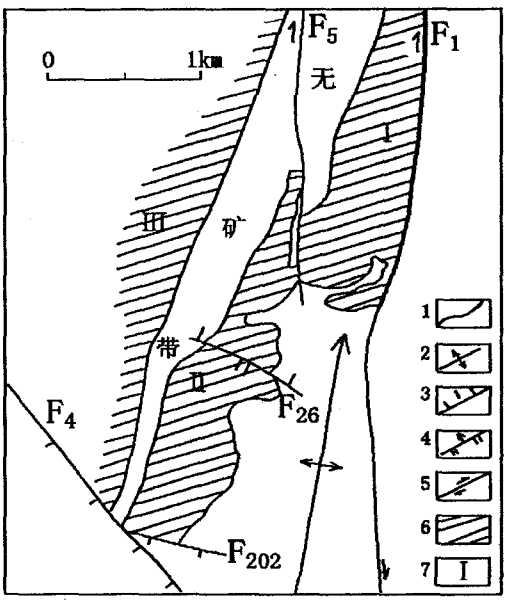


图 4　无矿带及矿体分布略图

Fig.4 Distribution of the ore bodies and the dead belts

1.矿层(体)底板界线; 2.背斜轴; 3.正断层; 4.逆断层; 5.平推断层; 6.矿体; 7.矿体编号

2.2 矿石特征

2.2.1　矿物成分　矿石矿物主要有胶磷矿、细晶磷灰石及碳磷灰石，三者含量之和在矿石中占矿物总量的 65%。其中，胶磷矿占 55%；细晶磷灰石占 6%；碳磷灰石占 4%。伴生矿物主要为白云石，其次有石英、玉髓、海绿石、绿泥石、褐铁矿、水云母以及少量的有机质。伴生矿物占矿石矿物总量的 35%。

2.2.2 化学成分　矿石化学成分见表 1。根据矿石中 P_2O_5 与其它主要化学成分之间的相关性，推导矿石化学成分与矿物成分的关系如下：

表 1　磷块岩 矿石化学成分一览表

Table 1 Schedule of the chemical composition in phosphorite

矿石类型	化学成分（平均值%）												
(碳酸盐型)	P_2O_5	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	CO_2	F	TiO_2	MnO	K_2O	Na_2O	I
致密状磷块岩	33	52	1.9	0.5	0.6	2.0	6.0	3.3	0.02	0.02	0.02	0.31	0.007
砂砾状磷块岩	30	48	3.6	0.8	0.8	3.7	9.1	2.9	0.03	0.03	0.05	0.35	0.006
条带状磷块岩	20	40	9.6	0.2	0.2	7.9	19.1	2.0	0.02	0.01	0.02	0.24	0.005
团块状磷块岩	17	38	11.3	0.2	0.3	8.3	22.2	1.8	0.01	0.01	0.02	0.24	0.005

注：　Na_2O、K_2O、MnO 及 TiO_2 由贵州省地质局实验室分析，其余成分由一〇六地质大队实验室分析，1978、1979。

维普资讯 http://www.cqvip.com

(1) P_2O_5 与 F 相关系数为 0.92，属正相关。F 含量为 P_2O_5 的 10%，说明 P_2O_5 与 F 主要为胶磷矿（非晶质碳氟磷灰石）的组分。其次，P_2O_5 为细晶磷灰石及碳磷灰石的组分。

(2) P_2O_5 与 CaO 相关系数为 0.88，属正相关。CaO 主要为磷酸盐矿物的组分，其次为白云石的成分。

(3) P_2O_5 与主要有害杂质 MgO 的相关系数为-0.70，属负相关（图 5）。MgO 纯属白云石的成分。

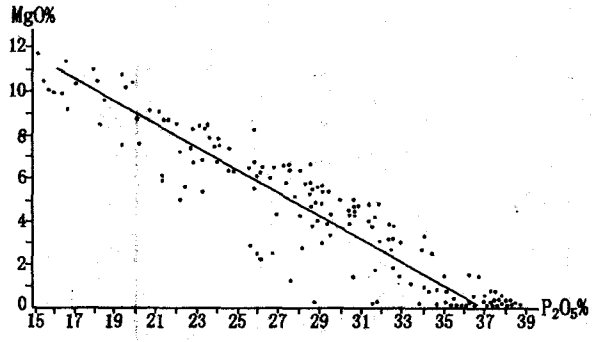


图 5 P_2O_5 与 MgO 相关图
(根据单项工程组合样品编绘)
Fig.5 The correlation diagram of the P_2O_5 and MgO

(4) P_2O_5 与 SiO_2 的相关系数为-0.55，属负相关。SiO_2 有两种赋存形式，一是与石英及玉髓之类的硅质矿物有关，二是与粘土矿物及海绿石等有关。

(5) 有害杂质 Al_2O_3 为水云母等粘土矿物及海绿石的组分。

(6) 有害杂质 Fe_2O_3 主要为褐铁矿的组分，其次为绿泥石及海绿石氧化后的产物。

(7) CO_2 主要为白云石组分，部分属磷酸盐矿物及有机质组分。

(8) 伴生有益组分 I 与 P_2O_5 相关系数为 0.39，为正相关关系，但不密切。根据单矿物样品分析结果，碘在胶磷矿中含量为 0.005～0.026%，在磷灰石中为 0.004%，而在白云石及石英中含量为 0.001%。碘呈分散状态赋存于磷酸盐矿物中。

2.2.3 *矿石结构构造及矿石类型* 矿石结构有凝胶结构、砂屑结构、砾屑结构及藻灰结构四种[1]。矿石构造有致密块状、团块状及条带状等。根据矿石结构构造，矿石自然类型分为致密状磷块岩、团块状磷块岩、砂砾状磷块岩及条带状磷块岩四种。它们有一定层序和分布范围，在一定程度上反映了矿体结构及沉积环境的特点。兹按出露层序由下至上分述如下：

(1) 砂砾状磷块岩 矿石呈灰至深灰色，主要由砂砾屑胶磷矿、细晶磷灰石及碳磷灰石组成。砂砾屑呈滚圆状，可细分为砂砾状磷块岩及砾状磷块岩两种。胶结物以白云石为主，其次为胶磷矿、泥质及铁质等。砾石在水平方向上大小比较均匀；在垂直方向上，下粗上细，分选性良好。矿石在深部含 P_2O_5 为 15～25%，为二级品；地表氧化后质地疏松，白云石被淋失，常具孔洞，矿石含 P_2O_5 为 33～38%，属一级品。该类矿石主要在磨坊一带见及，分布有其局限性。

(2) 致密状磷块岩 矿石呈蓝灰、灰及灰白色，下部色深，上部颜色变浅。其中，蓝灰色者比较普遍，灰白色者习称"白矿"。矿石矿物以胶磷矿为主，其中混杂少量白云石、石英，常被氧化铁及泥质所污染。矿石露头上局部见有磷质叠层石，这是矿段矿床中的第三个主要特征。矿石 P_2O_5 含量一般在 30%以上，属一级品。这类矿石在矿段内分布最广。

(3) 团块状磷块岩 白云岩或硅质岩呈形状不一、大小不等的团块嵌布于致密状磷块岩或条纹状磷块岩中。矿石品位的高低与含杂质团块的多少、大小有关，矿石 P_2O_5 含量一般在 15～20%之间，属二级品。这类矿石主要分布在塘边以北一带。

(4) 条带状磷块岩 由磷酸盐条带和以白云岩杂质为主的条带相间构成。矿石品位的高低，取决于磷酸盐条带的疏密与厚薄。条带密集细小则构成条纹状磷块岩。矿石 P_2O_5 含量一般为 15～23%，属二级品。该类矿石主要分布在鱼掌以北一带，高坡以南零星见及。

据上述可知，矿石自然类型较多，但矿石中矿物共生组合简单，磷酸盐矿物以胶磷矿为主，伴生矿物以白云石为主，这是矿段矿床中的第四个主要特征。

[1]据一〇六大队，王世祥等，磨坊矿段岩矿鉴定报告，1978、1979

维普资讯 http://www.cqvip.com

2.2.4 矿石表生变化　矿段内Ⅰ、Ⅱ号两个矿体地表及近地表部分，普遍发育着氧化带，这是因为有的矿体顶板已被剥蚀，矿体长期裸露地表，形成所谓"露天矿"；有的矿体倾角平缓，且顺坡向分布，盖层很薄。它们都具有充分或比较充分的氧化条件。因此，地表水的长期作用成为矿石中碳酸盐被淋失和磷酸盐相对富集的主要因素。氧化后的矿石具有以下特点：

(1) 碳酸盐矿物显著减少。矿石在原生带中碳酸盐矿物含量较高，矿石工业类型属碳酸盐型白云质磷块岩；而矿石在氧化带中，碳酸盐矿物含量明显下降，矿石 P_2O_5 含量普遍在30%以上，形成磷酸盐富矿石。

(2) 主要杂质 MgO 含量普遍降低，R_2O_3 含量相对增高。矿石在原生带中 MgO 含量为1.5～6.5%，R_2O_3 含量为 0.2～0.7%；而在氧化带中 MgO 含量降低为0.1～0.6%，R_2O_3 增高为0.7～2.0%。

(3) P_2O_5 含量普遍增高。不同矿石类型增高的幅度不一。致密状矿石在原生带中 P_2O_5 含量为26～35%，在氧化带中为31～39%，P_2O_5 含量相对提高4～5%；团块状矿石在氧化带中 P_2O_5 含量相对提高3%左右；砂砾状矿石 P_2O_5 含量相对提高13～18%。条带状矿石 P_2O_5 含量相对提高2～3%。

(4) 矿石体重减小。如致密状矿石在原生带中，体重平均值为 2.87g/cm^3，而在氧化带中偏低，体重平均值为 2.63 g/cm^3；砂砾状、团块状及条带状矿石在原生带中，体重平均值为 2.83 g/cm^3，而在氧化带中矿石体重平均值下降到 2.65 g/cm^3。氧化矿石淋失多孔、孔隙度大，这是体重减小的主要原因。

综上所述，氧化后的矿石不同程度上改变了原生矿石中的矿物含量及化学组分之间的比值，亦随之改变了矿石的质量特征。矿段中氧化程度较高的高坡、磨坊、鱼掌及龙孙田等几个块段，其 P_2O_5 平均含量大于34%，有害杂质 MgO 含量小于1%，$Fe_2O_3+Al_2O_3$ 小于2%，已达到优质矿石的工业要求。

关于矿床氧化的深度，主要取决于地貌特征及潜水面深度。矿体氧化带沿倾向深度一般在17～75m之间。基于上述认识，地表和近地表出现的优质矿石，乃是由于矿石表生变化的结果。这是矿段矿床中的第五个主要特征。

3　矿床沉积环境

3.1 磷质来源

众所周知，磷质是直接来源于海水（洋），即海源说已被中外地质学者所公认，兹不赘述。但关于在海水（洋）中磷质的来源，却众说纷纭，主要有火山来源说、陆源聚集说和生物成磷说。笔者认为，堪称矿床规模巨大的瓮福磷矿（包括磨坊等8个矿段），其成矿物质来源应该特别丰富，因此，笔者倾向于"多源说"似更恰当，主要有以下4个依据：

(1) 本区板溪群中火山碎屑岩发育，在变余玻屑凝灰岩中平均含 P_2O_5 高达0.65%，层凝灰岩平均含 P_2O_5 为0.43%，变余凝灰质砂岩中平均含 P_2O_5 为0.27%，比正常沉积岩中的 P_2O_5 含量0.18%高出1.5～3.6倍之多。不难看出，火山喷发活动使磷质首先进入扬子古海，成为形成本区晚震旦世磷块岩矿床的物质基础。

(2) 瓮福磷矿各矿区（段）的磷块岩矿石中普遍含氟，磨坊矿段也不例外，经矿石薄片鉴定和化学分析，磷灰石矿物中含氟为3.60～3.84%，属碳氟磷灰石，这也是海水（洋）中磷质来源于火山的一个旁证。

(3) 环绕扬子海域的周边古陆含磷较高，如康滇古陆岩石中 P_2O_5 平均含量为0.25%，高出背景值的1.4倍。经长期的风化剥蚀、冲刷、溶解淋滤出来的磷质，再被搬运进入早震旦世扬子海域储磷海盆（据王砚耕、吴昌炽等，1984）之中，为本区晚震旦世陡山沱期磷块岩矿床的形成不断地提供物质来源。这是陆源聚集说的主要依据。

(4) 与磨坊矿段相毗邻的高坪矿区英坪矿段，在南沱冰碛岩组砾岩杂基中平均含 P_2O_5 为0.09～.0.21%[1]，普遍＞0.1%，经换算，其含磷

[1] 王志武、祝德裕、李忠惠、张重英，贵州瓮福磷矿地质特征和成矿规律研究报告，1989.10

维普资讯 http://www.cqvip.com

浓度达 761×10^{-6}，高出现代海水中 P_2O_5 平均含量 0.071×10^{-6} 的一万倍[2]之多，加之南沱冰碛岩组厚度较大（0～63m），分布较广。因此，早震旦世冰川所形成的沉积冰碛物，也是一个不容忽视的磷质“矿源层”[2]，即磷质的又一个间接来源。

综上所述，本区富磷海水中磷质的来源应该是多方面的，但以火山提供磷质来源为主。

3.2 沉积环境

笔者认为，磷块岩矿石的结构构造是反映矿床沉积环境的重要标志。因此，根据矿石的结构构造特征，本区磷块岩形成于滨海台地环境。砂砾状磷块岩中的胶磷矿砂砾屑滚圆度高，分选性好，颗粒较均匀，又多为白云质胶结；而致密状磷块岩中的砂屑为次棱角状，分选度低颗粒大小不均匀。说明前者处于水动力能量相对高的沉积环境中，即处于潮间带中向陆的一侧；而后者则处于水动力能量相对低的沉积环境中，即处于潮间带向海的一侧。具凝胶结构的磷块岩则处于平静和较平静的沉积环境中，故未受破碎和冲刷，系潮下带或潮间带内有砂坝阻隔的半泻湖内的产物。

和其它晚震旦世陡山沱期磷块岩矿床一样，在磷矿层与底板之间，存在着一个侵蚀面，凹凸不平，与层理略为斜交，它是海底冲刷作用形成的所谓古冲刷面。说明磷矿沉积初期，海盆表现了微弱的震荡运动[3]。砂砾状磷块岩的出现，表明极其短暂露出海面的障壁岛和水下隆丘在海流与潮汐作用下多次反复地淘洗冲刷着尚未完全固结的沉积物，随着底盘地形的起伏，这些滨岸的磷块岩砂粒及砾石等才零星地、机械地堆积在冲刷凹槽之中，因而决定了砂砾状矿石的分布有其局限性这一特点。团块状磷块岩与砂砾状矿石相似，也属内碎屑产物，说明磷酸盐在形成的过程中，由于间断性的海水冲蚀将成岩早期半固结状态的磷酸盐或硅酸盐、碳酸盐沉积物破坏并在盆地内部被搬运而再沉积下来[4]。而其它某些地段及在砂砾状磷块岩形成之后，当时海水深度较大，底部的沉积物没有受到海浪的搅动，因而形成了分布较广的致密状磷块岩。与海岸线近于平行的障壁岛由于露出海面，因而无磷块岩的沉积，形成了今日的具有方向性且有一定规模的无矿带。

冰期之后，即陡山沱期气候由寒冷潮湿向炎热干燥转变，磷块岩就是在这样一个特定的古气候条件下形成的。众所周知，冰碛砾岩是当时气候寒冷潮湿的标志。白云岩的广泛分布，进而说明矿床是在偏热条件下形成的。条带状矿石，反映了在沉积磷矿后期富磷海水与碳酸盐的交替变换。磷块岩和硅质岩、白云岩密切共生，反映了由陆源含磷物质机械分异[5]、海解作用及富磷海水沉淀的全过程。凝胶结构及藻灰结构的存在，说明了本区磷块岩在海水中是以化学方式为主，并伴有藻类生物作用从而促进了磷酸盐的沉淀，形成了晚震旦世陡山沱期的海相磷块岩矿床。矿床成因类型应属生物化学沉积磷块岩矿床。

致谢：本文在撰写的过程中，引用了《贵州瓮安磷矿高坪矿区磨坊矿段详细勘探地质报告》集体成果的部分资料，并得到了一〇六地质大队总工程师李沛刚的大力支持，在此深表谢意。

参 考 文 献

1 中国矿床发现史综合卷编委会. 中国矿床发现史·综合卷 [M]，北京：地质出版社，2001

2 吴昌炽，熊荣廉，向林娥，等. 湖南西北部晚震旦世早期磷块岩沉积岩相古地理特征及其成矿作用 [A]. 见:国际地质对比计划中国委员会，主编. 第五届国际磷块岩讨论会论文集 2 [C]，北京：地质出版社，1984

3 陈昌守，任建国. 贵州洋水磷矿地质特征简介 [J]. 地质科技，1974，(4)

4 张士才. 怎样找磷矿 [M]. 北京：地质出版社，1979

5 中国科学院地质研究所. 海相磷块岩形成条件的若干问题. 磷矿地质（一）[M]，北京：地质出版社，1976

维普资讯 http://www.cqvip.com

GEOLOGIC FEATURE AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF UPPER SINIAN MOFANG PHOSPHORITE DEPOSIT IN FUQUAN

Yin Kehua　Jin Huaying　Ye Deshu　Zhu Chenglin
No. 106 team, Guizhou Geology and Mine Exproration Bereau, Zunyi, Guizhou, 563000, china

Abstract

Mofang phosphorite deposit in Fuquan is one of the main ore blocks of Wengfu phosphorite deposit. The major ore bed locates in the Doushantuo Formantion upper Sinian System. There are some ore types, including gritty ore, compact ore, cloddy ore and banded ore. The thickness and grade linear changed across the strike. The dead belt presents between the ore bodies. The phosphate mineral in the ore is cellophane, in which I dispersed and the associate mineral is dolomite. The depth of the oxidation zone is about 17～75meter. The deposit is phosphate biochemical deposit.

Keywords: phosphorite; geologic feature of the deposit; sedimentary environment; Fuquan Mofang; Guizhou Province

国外矿产资源综合利用概况

近20年，世界各国十分重视矿产资源的综合利用，并据此制定了资源开发对策，制定了综合找矿、综合利用与综合评价的策略，开辟了矿产资源综合利用的多种途径。

前苏联已注意到充分利用矿石、顶板和围岩，广泛采用少尾矿和无尾矿工艺。如从有色金属矿石中回收74种元素，其中62种是作为副产品回收的，金属矿副产品产值占总产值的20%～50%，各种金属的回收率可达60%～90%，许多企业矿产资源综合利用系数达83%～85%，前苏联黑色冶金工业每年排放采矿剥离岩石（包括地表耕土和沃土）15亿t；有色冶金年排剥离岩石12亿t。一般将耕土与沃土单独堆放，矿石采出后复田时，再撒开这些土以利农作物的生长，黑色冶金矿山用这种方法恢复农业田4000多km^2。黑色冶金年排采矿废石5亿t中，20%已用作建筑碎石（比建筑材料矿山生产碎石价格低30%～40%）、16%制水泥、11%制陶瓷、7%制硅酸盐墙板。有家选矿厂从含20种元素的原矿中回收了18种，其尾矿石英砂是很受欢迎的廉价质优的铸造型砂，不用建尾矿库，节省了土地费用。一些铁矿石选矿厂，还从矿石中回收钒，钛，含钴、铜、锌的黄铁矿，磷灰石等副产品；尾矿渣用来生产建材，如水泥、砖、饰面板、砂、砾石等，经济效益显著。有的矿冶公司铁产值占55%，副矿产值占45%。前苏联从有色金属矿石中回收的副产品有硒、碲、铋、镉、铟、钌、镓、铱、铊、铪、铷、金、银、铂等，几乎全部的银、铂族与分散元素，大量的金、80%的黄铁矿、90%以上的重晶石是综合利用矿石原料副产品回收到的。

日本采用各种先进的采矿方法、设备与运输机械，以加强采矿能力，合理开发中低品位矿石，提高矿物回收率。综合回收矿物元素含量达45%～95%；尾矿损失率分别为0.1%～3.72%、0.1g/t、11.5g/t，远远优于国外选厂一般水平。日本还采用先进的冶炼技术和工艺流程，使铜、锌、金、银等的回收率达到87%～98%。并综合利用冶炼炉渣、烟尘、烟气与阳极泥，从中回收二氧化硫、铜、铅、金、银等。日本每年有500万t以上的浓硫酸靠回收烟气制取。

其他各国采矿部门也重视矿产资源的合理开发利用。如美国加强低品位矿石的加工，有7座铜矿石选矿厂的金、银、铅、锌、铝、萤石的综合利用系数达88%～91%。南非一家金矿厂处理了1169万t的旧尾矿，生产了2641 kg黄金、114.9t钒，盈利1000万美元。加拿大从石棉废料中提取镁，4t废料可炼出1t镁。保加利亚将尾矿中回收的石英用作水泥混合料与炼铜熔剂。

杨玲　供稿