

综述与专论

中国磷矿资源现状及磷矿国家级实物地质资料筛选*

张苏江, 易锦俊, 孔令湖, 姜爱玲, 刘桂云

(国土资源实物地质资料中心, 河北三河 065201)

摘要:磷矿是指在经济上具有利用价值的磷酸盐类矿物的总称, 是一种重要的工农业矿物原料, 在国内外诸多领域中有举足轻重的经济价值。磷矿是中国重要的战略矿种之一, 在全国范围内均有分布。在分析研究中国磷矿资源特点和成因类型的基础上, 将全国磷矿床划分为 4 个矿床类型, 其中最为重要的磷矿床类型包括岩浆岩型磷灰石矿床、沉积型磷块岩矿床及变质岩型磷灰岩矿床。国家实物地质资料馆磷矿实物地质资料筛选应考虑磷矿床成矿规模、矿床类型、成矿省(带)、成矿时代等因素, 同时兼顾具有典型、潜力巨大的磷矿床作为筛选对象。

关键词:磷矿资源; 实物地质资料; 矿床类型; 成矿省(带)

中图分类号: TQ126.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-4990(2016)02-0001-05

Current status of phosphorite-ore resources in China and screening for national-class physical geological data of phosphorite

Zhang Sujiang, Yi Jinjun, Kong Linghu, Jiang Ailing, Liu Guiyun

(Cores and Samples Center of Land and Resources, Hubei 065201, China)

Abstract: Phosphorite is a general term for all phosphate rocks which are economically valuable. It's a very important mineral raw material in agricultural and industrial fields. It has a high economic value in many fields at home and abroad. Phosphorite is one of the strategic mineral resources in China and distributed extensively in the whole country. The phosphorous deposits in China have been divided into four types during analysing the formation cause and resource characteristics, the most important types of which are magma phosphate deposit, sedimentary phosphorite deposit, and metamorphic phosphate deposit. Screening of object phosphorous-ore geological data by Cores and Samples Center of Land and Resources should consider scales of gold-ore deposits, genetic types, mineralization provinces (belts), and metallogenic epochs, as well as the typical gold deposits with enormous potential.

Key words: phosphorite resources; object geological data; deposit type; mineralization province (belt)

磷矿是指在经济上能被利用的、以含磷灰石矿物为主要组分的非金属矿产, 是一种重要的不可再生的工农业化工矿物原料。磷矿资源主要可用于制取磷肥、赤磷、黄磷、磷酸、磷化合物及其他磷酸盐类, 具有重要的经济价值和社会价值, 在现代国防、工农业生产和人类生活中都占有举足轻重的地位^[1]。

我国磷矿资源储量丰富, 全国已发现主要磷矿产地 500 余处, 重要磷矿赋矿层位 20 余个^[1]。根据《2015 中国矿产资源报告》(国土资源部, 2015)统计, 截至 2014 年底, 全国磷矿查明资源储量达 214.5 亿 t, 较 2010 年增长 28.2 亿 t, 增幅达 15.14%^[2]。然而, 随着中国磷肥产业的迅速发展, 针对磷矿石的需求量也不断加大。据预测, 中国的富磷矿将在 10 a 后开

采耗尽, 进而影响国内磷化工产业的发展与全国粮食生产安全, 形势十分严峻^[3]。为保证磷矿资源供应、促进磷矿产业可持续开发与利用^[4], 近年来中国加大了磷矿找矿勘查及相关地质科研的力度。在这种形势下, 为配合与服务全国磷矿相关的地质工作, 国家实物地质资料馆应尽快开展磷矿床实物地质资料的系统筛选、采集、整理与开发, 为进一步建立系统的磷块岩矿床成矿理论及扩大磷矿地质找矿勘查前景提供公益性信息服务^[5]。

1 磷矿资源特点

1.1 资源丰富且相对集中

中国磷矿资源蕴藏量相当丰富, 是全国优势矿产之一。但其资源分布极不平衡, 保有储量的 78%

* 基金项目: 中国地质调查局科研项目《国家级岩心标本采集及数字化》(1212011120404)。

集中分布在云、贵、川、湘、鄂 5 省(5 省磷矿已查明资源储量:矿石储量为 144.7 亿 t, P_2O_5 储量为 30.88 亿 t, 分别占全国磷矿总资源储量的 77% 与 92%), 其余则散布于辽、蒙、冀、苏、皖等省及自治区, 从而形成中国“南磷北运”、“西磷东运”的局面^[5]。较长距离的运输与高额的运费, 不仅限制了云、贵、川、湘、鄂等主要磷矿省份的资源开发, 同时较大影响了磷肥企业的原料供给与磷化工产品的成本, 制约了现有磷矿企业的生产能力^[1]。

1.2 富矿易选矿少, 贫矿难选矿多

中国磷矿富矿少, 贫矿多^[5]。全国富磷矿(P_2O_5 品位 >30%) 仅为 11.2 亿 t, 占探明总资源储量的 22.5%, 且高度集中于除西藏外的其他 8 个西南部地区(四川: 金河-清平地区、马边地区; 贵州: 开阳地区、瓮福地区; 云南: 滇池地区; 湖北: 宜昌地区、胡集地区、保康地区); 而 P_2O_5 品位 <18% 的贫磷矿储量约占全国探明总资源储量的 50% (全国磷矿石 P_2O_5 的平均品位仅为 16.85%)。为满足高浓度磷肥及磷酸的生产要求, 需对绝大部分磷矿经选矿富集后才能利用^[1,5]。另外, 全国保有储量中胶磷矿、高镁磷矿多, 且大部分为中低品位矿石。除少数富矿能直接作为生产高效磷肥的原料外, 绝大多数矿石需经选矿才能为工业部门所利用。这类矿石中有价元素的含量一般较高, 矿石颗粒细, 嵌布紧密, 不易分离, 且选别比较困难^[1,5]。

1.3 较难开采的倾斜至缓倾斜、薄至中厚层矿体多

全国磷矿床多数成矿时代久远, 岩化作用强, 埋藏深, 矿石矿物嵌布紧密, 且大部分磷矿体为薄至中厚层分布, 以倾斜至缓倾斜方式产出, 开采难度较大。同时, 受开采技术水平的影响, 这种产出特征容易造成损失率高、氧化率高、资源回收率低及地下坑采难以实现大型机械化开采等问题^[1,5]。

1.4 伴生丰富的有用元素, 可综合开发利用磷块岩

中国磷矿床以海相沉积型磷块岩为主, 几乎全部为地台区, 且磷块岩中伴生丰富的有用元素, 可对其加以综合开发利用。如黔中瓮安磷矿伴生碘含量(质量分数, 下同) 达 7.10×10^{-4} (块段平均品位), 综合开发获得了较好的经济效益; 云晋宁昆阳六街磷矿铀含量达 $3.00 \times 10^{-4} \sim 5.80 \times 10^{-4}$, 川北至陕南汉中地区下寒武统含铀磷块岩形成多处铀矿床伴生矿床, 在当前核电矿产资源紧缺、大力开展新能源建设的形势下, 这是一个潜力巨大的伴生铀矿资源; 黔西毕节织金下寒武统白云岩型磷矿稀土总含量

达 5.336×10^{-4} , 湘西下寒武统黑色页岩型磷块岩稀土总含量达 $8.66 \times 10^{-4} \sim 1.849 \times 10^{-3}$, 豫辛集磷块岩中稀土总含量平均达 4.990×10^{-4} 。另外, 海相沉积型磷块岩矿床的形成环境接近于陆缘泻湖环境, 其中 Ba、Sr 含量极高。如川泥盆系磷矿易形成磷铝锶石, Sr 含量为 8.270×10^{-4} 以上, 可作为光学 Sr 元素矿产综合开发利用。而黑色页岩型磷块岩矿床中普遍共生钒, 如甘方山口钒磷矿石 V_2O_5 含量为 0.3% 以上, 达到了工业品位; 湘西寒武系黑炮台页岩型磷矿钒含量为 1.798×10^{-3} 以上^[5-6]。

1.5 易选且具综合利用价值的岩浆岩型磷矿少

中国易选、具综合利用价值的岩浆岩型磷矿探明资源储量少、矿床规模小、矿石品位低, 主要集中分布于华北与西北地区。此类型磷矿中常含有 Fe、Ti、V 及稀土等有益伴生组分, 并且有的伴生元素及矿物超过了磷矿本身的价值, 构成多元素、低品位、综合性的中至以上规模矿床; 大部分矿体裸露地表, 适于露天; 矿石易磨易选, 选址基建投资小、见效快, 可就地采选、制肥、开发、利用, 短距离运输交通成本低。这些优势将不同程度地补偿北方以岩浆岩型为主的磷矿床矿石低贫的劣势, 未来综合开发利用经济潜在价值巨大^[5]。

2 磷矿床类型及其特征

中国的工业磷矿床大部分与构造活动相对稳定的地台区及其边缘地带有关。20 世纪 80 年代, 叶连俊等即对中国磷矿的产出时代及含磷层位做了系统的归纳与总结。近些年, 随着磷矿地质工作的不断深入与发展, 学者们又针对磷矿床类型做了不同的划分, 但各分类方案与理论依据差异不大。笔者采用夏学惠等^[7]以成矿地质作用为主要依据、成矿物质组合为次要标准的分类方案, 将全国磷矿划分为 4 种类型。

2.1 岩浆岩型

岩浆岩型磷矿是中国重要的磷矿床类型之一, 其资源储量约占中国磷矿总资源储量的 18.2% (图 1)。这类磷矿多与幔源岩浆活动紧密联系, 含矿母岩一般为幔源岩浆岩岩体^[7-8]。磷矿主要产自华北地块北缘与太古宙陆核区, 其次为塔里木地块北缘及其与地槽的过渡带, 集中分布于冀、蒙、辽、鲁、陕、新等省与自治区^[7]。根据矿石类型、岩石矿物组合等地质特征^[9], 可分为超基性-碳酸岩型、碳酸岩型、超基性-碱性岩型、碱性岩型、超基性岩型、基性岩型及伟晶

岩型磷矿床等7个亚类,其中以超基性-碱性岩型、超基性-碳酸岩型及碱性岩型磷矿床最为重要。

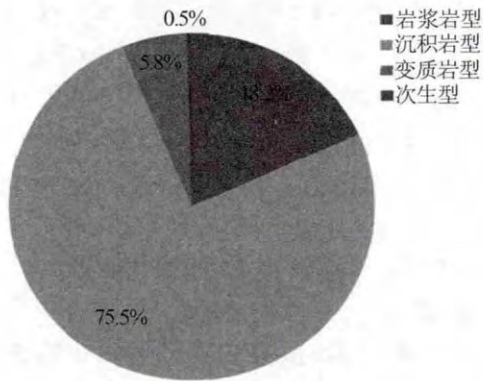


图1 中国磷矿床成矿类型所占的资源比例^[10]

超基性-碱性岩型磷矿(矾山式)为中国北方岩浆岩型磷矿的主要类型,是华北地块目前发现规模最大的岩浆岩型磷矿床。矿床主要分布在受2组大断裂构造控制的古老地台区或地台与沉降拗陷交界处^[7,11]。磷灰石主要赋存于早期形成的辉石岩及黑云母辉石岩中。矿石品位较高, P_2O_5 质量分数一般为3%~15%,最高达38.69%,总铁(TFe)质量分数一般为11%左右。此外,该类矿床亦常与磁铁矿、稀土金属等矿物或铜、钨、钼等元素伴生,大多具有综合利用的经济价值^[7,11]。典型矿床有冀逐鹿矾山、冀城孤山子、阳原姚家庄等^[7,11]。

超基性-碳酸岩型磷矿(且干布拉克式)多以岩浆结晶分异及晚期交代作用方式成矿。此类矿床规模较大,储量从几千万吨到几亿吨,在世界磷矿资源中占有一定比例^[7,11]。磷灰石多赋存于地台内部或地台边缘地带由超基性岩、碱性岩-碳酸岩共同组成的杂岩体中^[7,11]。矿石 P_2O_5 质量分数一般为4%~10%,除此之外,常伴生稀土、铁、铌、钽等有用元素,具有较高的经济价值^[7,11]。已发现塔里木准地台新且干布拉克蛭石-磷灰石矿床(超基性-碳酸岩型)与中朝准地台北缘蒙白云鄂博含铌、稀土磷灰石矿床(碳酸岩型)^[11],矿石类型为白云石稀土磷灰石型与白云石(方解石)磷灰石型^[11]。

碱性岩型磷矿(希宾式)是全球主要的岩浆岩型磷矿床类型之一,其矿床规模较大,矿石品位较高,具有重要的工业意义^[7]。如东非及亚洲朝鲜以此类磷矿为主要磷矿床类型,北欧科拉半岛希宾磷矿储量达27亿t(矿石中 P_2O_5 质量分数达16%~28%),属于世界级的超大型碱性岩型磷矿床^[7]。目前,在中国尚未发现有较大工业价值的碱性岩型磷矿,仅在

辽宁凤城施家堡与凌源河坝子、天津蓟县马伸桥、新疆克其克果勒、山西紫金山等地发现碱性岩体。当前碱性岩体研究程度较低,但随着矿产工艺技术的不断发展,后期可望在碱性岩体分布区开展碱性岩型找磷工作^[7]。

2.2 沉积岩型

海相沉积型磷块岩作为世界范围内重要的磷矿资源,在中国也是主要的磷矿床类型之一^[7]。此类矿床磷资源储量约占全国磷矿总资源储量的75.5%(以早震旦世-早寒武世磷块岩为主,其磷矿资源储量约占全国海相沉积型磷块岩总资源储量的80%^[7]),如图1所示。主要产自扬子地块东南缘(震旦系陡山沱组)与西北缘(下寒武统梅树村阶)、华北地块西南缘、秦岭褶皱系东缘(下寒武统)及塔里木地块北缘^[5],集中分布于扬子地区的云、贵、川、湘、鄂、陕等省(即湘黔、川滇、鄂西、陕鄂及浙桂成矿带等)^[7]。按形成时代、大地构造、沉积环境等地质特征^[12],可分为震旦世、寒武纪及泥盆纪海相沉积型磷矿3个亚类。

震旦纪海相沉积型磷矿主要赋存于下震旦统陡山沱阶^[7](除鄂南漳邓家崖、湘大庸天门山晚震旦世灯影组磷块岩外^[13]),探明储量占中国磷矿石总储量的40%以上,主要分布在扬子地块东-东南缘黔中、鄂西、湘西等聚磷区,其余则集中于浙西、赣东北、川北、湘东等地^[7]。代表性矿床有贵州的开阳(开阳式含磷磷矿,以量大质优为特征,其矿体厚度一般为3.52~7.14 m, P_2O_5 平均质量分数为31.02%,最高达35.41%;磷平均品位为0.004%~0.0046%)、瓮福、湖北荆襄(荆襄式含磷岩系具有如下顶底层找矿标志:上部以“含竹叶状磷块岩砾屑、卵形白云质砾屑及硅质、磷质核形石和硅质条带或团块泥质白云岩”顶面为界,下部以“含锰白云岩、白云质底砾岩”底面为界,其厚度稳定,沉积相变化小。矿体厚度一般为2~10 m,磷块岩 P_2O_5 品位为19.83%~25.20%)、宜昌、湖南东山锋(湘西式磷矿,磷块岩以泥晶结构和结核状为主,含较高的硅质及有机质。矿体厚度为1.16~6.47 m,矿石平均品位为17.66%~19.63%)及贵州朝阳等磷矿床^[7]。

寒武纪是中国另一个主要成磷期^[7],其中以海相沉积型梅树村阶磷矿最为突出,探明储量占全国磷矿总资源储量的30%以上,集中分布于黔西北、陕南、湘西、湘北、滇东、川中及鄂西等地^[7,11-14]。主要的典型矿床有滇东昆阳(昆阳式磷矿,磷块岩厚度为

10.06 m,分上下 2 层; P_2O_5 平均质量分数为 26.24%,地表氧化矿石含 P_2O_5 最高达 30%)、川西马边(马边式磷矿)、雷波、陕汉中天台山(天台山式含铀锰磷矿)、金家河、甘文县、徐家沟、黔织金(新华式含稀土磷矿,以生物内碎屑磷块岩为特征,其 P_2O_5 平均质量分数为 22.56%)、苏铜山磨石塘;皖风台、豫鲁山辛集(辛集式含膏磷矿)、晋芮城水浴、陕陇县景福山、新哈密平台山(平台山式含矾磷矿,矿体厚度为 1.5~7.5 m。 P_2O_5 质量分数为 3.28%~24.52%, V_2O_5 质量分数为 0.21%以上、甘敦煌方山口、陕汉源万里(汉源式含钾磷矿)、市荣、水汉源桶沟、浙西桐庐分水(东溪式含镍铂钒磷矿)、琼田独(大茅式含锰磷矿)等磷矿床^[7,14]。

泥盆纪海相沉积型磷矿以四川什邡马槽滩-岳家山磷锶矿床(什邡式含锶磷矿)为典型,该矿床规模大,品位优,尤其是矿石物质成分、矿石类型都独具一格,并首次发现含硫和钙的磷锶铝石矿^[6-7];上部硫磷铝锶矿层不仅含有一定数量的 P_2O_5 (19.74%),而且锶含量(6.61%)与铝含量(27.19%)都较高,此外还伴生总 S 与稀土等有益组分,具有综合利用价值;下部磷块岩矿层具有硅镁低、铁铝高、含碘较高(P_2O_5 为 28.01%、 Al_2O_3 为 4.63%、 SrO 为 1.85%、总 S 为 2.56%、F 为 2.54%,均为质量分数)的特点,已达到综合利用的要求^[7]。

2.3 变质岩型

变质岩型磷矿(指早、中前寒武纪变质岩中的磷矿床)是中国,尤其是北方缺磷省(区)重要的磷矿床类型之一(其资源储量约占中国磷矿总资源储量的 8.2%)^[8,13],见图 1。它有三大成因类型,即绿岩带型、变质混合岩型及沉积变质型^[13]。主要产于华北地块东南缘,集中分布于冀、辽、吉、黑、鲁、苏、皖、鄂等省(即吉南-辽东、苏北、皖东北成矿带等)^[7]。

绿岩带型磷矿主要分布在华北地块北缘,集中分布于由华北陆核、辽吉南-朝鲜北陆核及鲁陆核共同组成的太古宙克拉通陆核区^[7],属低品位易选磷块岩矿^[5]。代表性矿床有冀丰宁招兵沟(招兵沟式磷矿, P_2O_5 质量分数为 3.83%~5.23%)、辽建平勿兰乌苏(勿兰乌苏式磷矿, P_2O_5 质量分数为 3.25%~6.68%)、鲁掖县等磷矿床^[7]。

变质混合岩型磷矿(麻山式含石墨磷矿)多产于古元古界早期麻山群变质岩系中,主要分布于吉、黑褶皱系佳木斯地块内^[7]。以黑龙江鸡西麻山、新开、林口余庆等磷矿床为代表,矿床规模一般为中小

型^[7,13]。

沉积变质型磷矿主要产于古元古界与溱沱群相当的地层层位中,较集中分布在鄂、皖、冀、辽、苏等省^[7]。由北向南其含磷岩系具有沉积厚度增大、矿化渐强的趋势^[7]。典型矿床如苏海州[海州式含锰镓磷矿,中国最主要的变质磷矿类型,矿石中 P_2O_5 平均质量分数为 12.32%~16%、 $w(Ga)=0.033\%~0.13\%$ 、 $w(Mn)=6.5\%~18.61\%$]、皖宿松、鄂大悟、复县罗屯(罗屯式磷矿)、矿洞山、许屯等磷矿床。

2.4 次生型

次生型磷矿(指原有含磷层经物理风化淋滤作用后,所含磷质就地残积、异地迁移或再沉积等富集形成的磷矿床^[13])占磷矿床总数较少,矿床规模较小,在已探明储量中仅 0.5%(图 1)。主要分布于川桂湘云黔吉陕苏闽等省,可分为风化-淋滤残积型、洞穴堆积型及鸟粪堆积型等 3 种类型^[7,13],其中以风化-淋滤残积型及鸟粪堆积型为主。

风化-淋滤残积型磷矿以湘湘潭黄荆坪中型磷矿床(黄荆坪式磷矿)为典型,矿石化学成分主要为 P_2O_5 、 SiO_2 及 CaO ,并伴生 Th、U、稀土元素(REE)等较高组分。原含磷母岩(白云岩、含磷白云岩及硅质岩)中 P_2O_5 质量分数为 0.2%~4.79%,经风化淋滤作用后, P_2O_5 在残积层以下含量升高,在土状层中含量达最高,其含量为 18.91%~28.27%^[7]。相对于原生磷块岩矿床而言,风化-淋滤残积型磷矿具有富集、易采选、无污染等独特优势,可作为一种工业磷矿床类型单独圈定^[7]。

鸟粪堆积型磷矿是一种独特类型的磷矿床^[7]。分布于海南与南海诸岛。其磷矿层位属全新统,自上而下由腐泥状鸟粪、粒状鸟粪、块状鸟粪及碎屑状鸟粪等 4 层鸟粪组成^[7]。矿石矿物以胶磷矿与方解石为主,其次含少量硅质、长石及水云母等^[7]。

3 磷矿实物地质资料筛选因素

国家实物地质资料馆中实物地质资料的筛选遵循典型性、代表性、特殊性及系统性等原则,筛选出的磷矿床应能够总体上反映中国磷矿床的成矿地质条件和成矿特征,对今后磷矿的地质勘查及科学研究有重要的利用价值。因此,依据当前中国磷矿床资源特点、矿床类型、矿床规模、成矿区(带)及时空分布等因素,对磷矿实物地质资料的筛选做了考量^[9]。

3.1 矿床规模

中国磷矿资源十分丰富。已勘查的大型及以上

规模磷矿床(河北矾山、新疆且干布拉克、内蒙古白云鄂博、河北招兵沟、贵州开阳、贵州瓮福、湖北荆襄、湖北宜昌、湖北保康、云南昆阳、四川马边、四川雷波、贵州织金、四川什邡、江苏海州、黑龙江鸡西麻山等)都具有独特的、复杂的成因及形成条件,加强大型及以上规模磷矿床的时空分布、成矿背景研究,对于总结磷块岩矿床的控矿模式、指明找磷勘查目标、分析不同成磷区域伴生元素种类与成矿作用、发展磷矿成矿理论大有裨益^[5]。因此,重点收藏大型及以上规模磷矿床实物地质资料,具有极高的经济价值和地质意义。

3.2 成因类型

中国磷矿主要分为岩浆岩磷灰石型、沉积磷块岩型、变质磷灰岩型及次生型4种^[5]。其中沉积型磷矿矿石品位高、矿床规模大,探明储量占全国总量的75.5%,为当前主要开采对象。岩浆岩型(常伴生铁、蛭石、石墨等矿产)和变质岩型磷占24%,这2类磷矿床一般规模较小,品位低,但矿石易选。在目前经济条件下,绝大多数可综合开采利用^[5]。因此,在筛选磷矿床时,要重点收藏沉积磷块岩型,同时兼顾岩浆岩磷灰石型及变质磷灰岩型。

3.3 成矿省(带)

扬子成矿省(即滇东-川南-黔西、湘黔、大巴山-鄂西、龙门山及浙西-赣东北成矿带)是中国最为重要的磷矿成矿省(带),也是当前地质勘查与科

学研究的重点成矿省(带),因此对于该区域的磷矿床和成矿远景区要重点关注^[10];塔里木(库鲁克塔格、北山成矿带)、华北陆块(龙首山、贺兰山-六盘山、张家口-承德成矿带)及秦岭-大别成矿省(南秦岭、桐柏-大别、苏鲁成矿带)在中国磷矿成矿省(带)中也占有很重要的地位,国家馆藏机构也要将其作为主要目标加以关注^[10]。其他成矿带由于磷矿床规模较小、数量较少,可选择性地将其作为次要目标进行少量收藏。

3.4 成矿时代

在地质历史中,磷酸盐堆积规模最大的时期只有3个,即震旦-寒武纪、二叠纪及晚白垩-新第三纪,堆积强度具有依次加强的趋势^[6]。然而,中国工业磷块岩规模最大的成矿期是震旦纪,其次是寒武纪与泥盆纪,而二叠纪和晚白垩-新第三纪2个最大堆积期在中国都没有形成具有工业价值的磷矿床^[6]。因此在收藏磷矿床时,应优先筛选采集震旦纪、寒武纪及泥盆纪磷矿床实物地质资料,同时兼顾其他几个非主成矿期的磷矿床实物地质资料。

4 磷矿床筛选名录

综合考虑上述筛选因素,在中国范围内确定8个磷矿床筛选名录为国家实物地质资料馆优先采集、重点保管对象,具体名录与位置如表1。

表1 国家实物地质资料馆磷矿床筛选名录

序号	物源	矿床类型	矿床式(类型)	典型矿床	地质地理分布	筛选依据
1	内源	岩浆岩型	矾山式铁磷灰石矿	河北矾山	华北地台	华北地块目前发现规模较大的岩浆岩型磷矿床,矿石品位高
2	外源	沉积岩型	昆阳式早寒武世磷块岩(滇东式)	云南昆阳	扬子地台西北部	中国早寒武世较大的磷块岩矿床之一,与贵州开阳、湖北襄阳并为三大磷矿基地
3	外源	沉积岩型	荆襄式晚震旦世磷块岩(鄂西式)	湖北荆襄	秦岭褶皱系以南、扬子地台区	矿层厚、层数多、规模大、质量佳,为中国重要的磷块岩矿床之一
4	外源	沉积岩型	开阳式震旦纪磷块岩(黔中式)	贵州开阳	黔中开阳-瓮福	矿层厚度及品位稳定,矿床规模大,矿石质量好,为国内外少见的优质磷矿床
5	外源	沉积岩型	瓮福式震旦纪磷块岩	贵州瓮福	黔中开阳-瓮福	黔中又一特大型磷矿床,其陡山沱组剖面完整,磷矿石类型齐全,富含碘
6	外源	沉积岩型	新华式早寒武世磷块岩	贵州织金	黔中织金至金沙	新华式含稀土磷矿,以生物内碎屑磷块岩为特征,其P ₂ O ₅ 平均质量分数为22.56%
7	外源	沉积岩型	什邡式泥盆纪沉积变质型磷块岩	四川什邡	扬子地台西南部	规模大、品位富,矿石物质成分、矿石类型独具一格,首次发现含硫和钙的磷锆铝石矿
8	外源	变质岩型	海州式元古宙沉积变质型磷块岩	江苏海州	苏北	前寒武纪元古代晚期变质岩系中的沉积变质磷灰岩矿床

5 结论

通过综合考虑中国磷矿床的矿床类型、矿床规模、成矿区(带)及时空分布等因素,并结合磷矿资源特点与现状,共筛选出滇东-川南-黔西、湘黔、大巴山-鄂西、苏鲁等5个主要磷矿成矿带内的

8个磷矿床入库国家实物地质资料馆。后期,随着国家找矿突破行动的开展及磷矿地质勘查工作的不断深入,未来新发现的具重大意义的磷矿实物地质资料将陆续收录于国家馆藏机构,用以反映中国磷矿

(下转第17页)

随着总铁浓度的减小和碱化程度的逐步加强, Fe₃O₄、Fe(OH)₂ 向着生成 HFeO₂ 和 FeO₂ 的方向进行, 固相组分 Fe(s)、Fe₃O₄(s)、Fe(OH)₂(s)、和 FeOOH(s) 的稳定区域明显减小, 而相应的溶液区域面积有所增大。

参考文献:

- [1] 宋冠宇, 赵杰, 程从前, 等. 核电用奥氏体不锈钢表面铁素体污染的影响及对策[J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(10): 813-816.
- [2] 李茂东. 工业锅炉铁杂质污染与控制[J]. 腐蚀与防护, 2002, 23(9): 414-416.
- [3] 曾英, 马旻锐. 高浓度 V-H₂O 体系的溶解组分优势区域图和 Pourbaix 图[J]. 物理化学学报, 2009, 25(5): 953-957.
- [4] 丁明刚, 曾英, 孙世林. 电位-pH 图及其研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(3): 20.
- [5] 李洪桂. 湿法冶金学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2002: 38-62.
- [6] 梁成浩, 黄乃宝, 扈显琦. 铜在 55%LiBr 溶液中的电势-pH 图[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2006, 18(3): 157-160.
- [7] 吴玉林, 徐志峰, 郝士涛. 炼铜烟灰碱浸脱砷的热力学及动力学[J]. 有色金属: 冶炼部分, 2013(4): 34-37.

- [8] 赵开乐. 磁黄铁矿微生物浸出机理研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [9] 程珊珊. 含铁闪锌矿的难选铅锌硫化矿电位调控浮选工艺原理与应用[D]. 赣州: 江西理工大学, 2008.
- [10] 吴进明, 曾英. V-H₂O 体系的溶解组分优势区域图和电势-pH 图[J]. 物理化学学报, 2007, 23(9): 1411-1414.
- [11] 易清风, 赵红钢, 刘小平, 等. Cu-S-H₂O 系和 Zn-S-H₂O 系电势-pH 图[J]. 湘潭矿业学院学报, 2002, 17(1): 51-54.
- [12] 易清风. 用同时平衡原理绘制综合平衡电势-pH 图[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 67-86.
- [13] 尚久方, 操时杰, 辛无名, 等译. 兰氏化学手册[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 67-86.
- [14] Lide D R. CRC handbook of chemistry and physics [M]. Florida: CRC Press, 2004: 5-86.
- [15] 吴维昌, 冯洪清, 吴开治译. 标准电极电位数据手册[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 24-28.

收稿日期: 2015-08-14

作者简介: 黄旺银(1982—), 男, 博士, 主要从事地下水、地表水体环境污染防治学研究, 已公开发表文章 6 篇。

联系方式: huangwy@163.com

(上接第 5 页)

成矿地质特征及当前磷矿找矿勘查与地质科研总体水平, 为国家和社会提供公益性服务。

参考文献:

- [1] 温婧. 中国磷矿资源类型和潜力分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2011.
- [2] 中华人民共和国国土资源部. 2015 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 1-46.
- [3] 王邵东, 张红映. 中国磷矿资源和磷肥生产与消费[J]. 化工矿物与加工, 2007, 36(9): 30-32.
- [4] 张苏江, 夏学惠, 曹文龙, 等. 中国磷矿资源现状分析及可持续发展建议[J]. 中国矿业, 2014(S2): 8-13.
- [5] 韩豫川, 夏学惠, 肖荣阁, 等. 中国磷矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 1-22.
- [6] 冯本智, 兰心严, 周裕文, 等. 非金属矿产地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 232-255.
- [7] 夏学惠, 郝尔宏. 中国磷矿床成因分类[J]. 化工矿产地质, 2012, 32(1): 1-14.
- [8] 宋叔和, 康永孚, 涂光炽, 等. 中国矿床下册[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-544.

社, 1994: 1-544.

- [9] 崔立伟, 夏浩东, 王聪, 等. 中国铁矿资源现状与铁矿实物地质资料筛选[J]. 地质与勘探, 2012, 48(5): 894-905.
- [10] 薛天星, 熊先孝, 田升平. 中国磷矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 化工矿产地质, 2011, 33(1): 9-20.
- [11] 熊先孝, 李博昀, 姚超美, 等. 中国北方磷矿矿床类型及成矿规律[J]. 化工矿产地质, 2007, 29(3): 159-168.
- [12] 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.
- [13] 朱训, 尹惠宇, 项仁杰, 等. 中国矿情 第三卷 非金属矿产[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-749.
- [14] 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.

收稿日期: 2015-08-14

作者简介: 张苏江(1984—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事矿产勘查及实物地质资料汇交筛选采集研究。

联系方式: safei_271112891@qq.com

欢迎浏览《无机盐工业》网站: www.wjygy.com.cn