

# 新疆天山成矿带铁磷矿地质及成矿专属性

夏学惠<sup>1</sup> 谭云基<sup>2</sup> 杨辉艳<sup>1</sup> 袁家忠<sup>1</sup> 梁中朋<sup>1</sup> 郝国庆<sup>1</sup>

(1.中化地质矿山总局地质研究院,河北 涿州 072754;2.中化地质矿山总局地质调查总队,北京 100101)

**摘要:**本文对成矿带内的岩浆岩杂岩体进行了含矿性研究,划分出 4 个含矿杂岩带与 5 个矿床成因类型。成矿专属性研究表明:岩浆岩型铁磷矿受古地台边缘深大断裂控制;容矿岩石为主要偏碱性-铁质及铁镁质岩系列;容矿岩石主微量元素明显不和谐;岩石类型共生组合主要表现为黑云母透辉石岩、辉石岩、碱性辉长岩、斜长岩、碳酸岩的共生;矿物共生组合主要表现为透辉石+磷灰石+磁铁矿+黑云母,斜长石+磷灰石+磁铁矿+钠黝帘石组合,辉石+磷灰石+磁铁矿等特征;元素的共生组合主要表现为 P、Fe、Ti、V、REE 具显著相关性。通过预测研究,进行了找矿远景区的划分,划分出具有成矿条件的 9 个找矿远景区。

**关键词:**基性-超基性杂岩;铁磷矿;成矿专属性;找矿远景

**中图分类号:**P619.21\*3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)02-0486-11

天山成矿带铁磷矿床,是笔者等近年来在开展新疆塔里木地台北缘内生磷矿找矿预测评价工作的基础上,通过进一步普查勘探,首次发现的一系列隐伏大型、特大型低品位铁磷矿床<sup>[1-4]</sup>。在中国地质大调查项目与社会资金的支持下进行了评价与勘查,通过对成矿带内卡乌留克塔格铁磷矿、大西沟铁磷矿的详查,对奥尔塘铁磷矿的普查,以及对团结村北山、多克斯、皮羌、克其克果勒、黄土岭铁磷矿的预查,共提交铁磷矿资源量 3 亿多吨。

## 1 成矿带地质环境背景

天山成矿带是中亚古生代造山带的重要组成部分,分属哈萨克斯坦和塔里木两大板块,它是在长期的地质历史演化进程中,古板块的边部经复杂的裂解,在古洋中不断增生、拼合而成。

按张良臣(2003)的划分方案<sup>[5]</sup>,以古生代的地质结构为基础,将天山构造单元划分为 3 个一级板块,3 个二级微板块,18 个三级构造单元。天山成矿带铁

磷矿主要分布在塔里木—华北板块北缘的库鲁克塔格隆起、星星峡地块与觉罗塔格晚古生代裂陷槽边缘带、天山南麓山前凹陷、柯坪前陆盆地内。从铁磷矿产出的构造环境分析,内生铁磷矿明显受微板块边缘深大断裂的控制。

岩浆活动主要集中在塔里木板块边缘深断裂两侧,呈近 EW 向展布,自元古宙晚期一直到第四纪,该区岩浆杂岩均有强烈活动。地台北缘三条深断裂的多期次活动,控制了该带深源碱性岩浆的喷出和侵入。碱性杂岩活动主要以晚志留海盆扩张时形成的碳酸熔岩以及在微板块削减—收敛阶段侵入的半深成和中浅成碱性侵入岩和与其相关的碱性伟晶岩群为主。偏碱性杂岩主要分布于深断裂两侧,按深断裂的不同构造环境可把碱性杂岩划分为 2 种构造类型,即活动边缘型和板内型。与内生磷成矿作用有关的主要为板内型偏碱性杂岩。这种板内型偏碱性杂岩与世界上许多含超大型内生磷矿的杂岩类似。

目前已发现各类杂岩体多处。根据已掌握的资

收稿日期:2011-07-08;改回日期:2011-11-11

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目(200310300002,1212010632801)及中央地质勘查基金项目(2007651001)联合资助。

作者简介:夏学惠,男,1955年生,教授级高工,主要从事矿床地质研究与评价工作;E-mail:xxh@hgdy.com.cn。

料,可分为 4 个基性-超基性杂岩带。

## 2 含矿杂岩体的分布及地质特征

### 2.1 杂岩体的分布规律

天山成矿带含磷杂岩体分布规律比较明显,自东而西依次为:觉罗塔格基性-超基性杂岩带、库鲁克塔格基性-超基性杂岩带、温宿-拜城碱性-超基性杂岩带、巴楚-阿图什碱性-超基性杂岩带。

觉罗塔格基性-超基性杂岩带,主要分布在塔里木板块星星峡地块边缘,受康古尔塔格深断裂构造控制明显,华力西期侵入的基性-超基性杂岩体,其分布受区域性深大断裂及次一级断裂带控制。该带目前已发现航磁异常 100 多个,基性-超基性岩体 20 余处,这些异常与岩体分布在康古尔塔格断裂的两侧。主要岩性有:橄榄岩、辉石岩、辉长岩、斜长岩、橄榄苏长岩等。多数岩体岩相分异良好,特别是深部侧向分异明显,部分超基性杂岩体矿物组合上具有磷灰石、磁铁矿、透辉石、黑云母等矿物共生组合特点,是内生磷灰石成矿有利的杂岩体,具有形成岩浆岩型铁磷矿床的良好地质条件。

库鲁克塔格基性-超基性杂岩带,主要分布在塔里木板块库鲁克塔格隆起的边缘带,受兴地大断

裂控制明显。该杂岩带呈东西向展布,在长约 260 km 范围内分布航磁异常 18 个,杂岩体呈串珠状分布。自西向东依次为卡乌留克塔格辉石岩体(隐伏)、多克斯辉石岩体(隐伏)、奥尔塘角闪正长岩-辉石岩体(隐伏)、大西沟斜长岩岩体、且干布拉克杂岩体、向阳泉碱性正长岩体、团结村北山 I—II 号杂岩体以及兴地河 I—IV 号超基性杂岩体等(图 1)。

温宿-拜城碱性-超基性杂岩带,主要分布在塔里木板块北缘中部,在塔里木板块北缘的古海槽转变为陆台时,于晋宁晚期发生大面积的碱性岩浆活动。在拜城黑英山、依兰里克、波孜果尔等地形成了碱性霞石正长岩及碱性岩区。其中波孜果尔碱性杂岩体内发现最具找矿意义的含铌、钽矿物烧绿石,是寻找 Nb-Ta-P 矿床前景最佳的地区。在克其克果勒发现出露大面积霞石正长岩体,在碱性岩体的南部分布有志留纪中基性熔岩,在其熔岩分布区内发现有厚度达 200~300 m 的碳酸熔岩。在碳酸熔岩中含有较多的磷霞岩、霓霞岩、霓霞正长岩等捕虏体,推测在其深部有较大的碱性杂岩体存在。碳酸熔岩内的磷霞岩是重要的磷灰石矿物的富集体。如俄罗斯的希宾碱性杂岩型磷矿,主要磷灰石矿物均赋存在磷霞岩和含磷霓霞岩中,一般此种类型岩石含

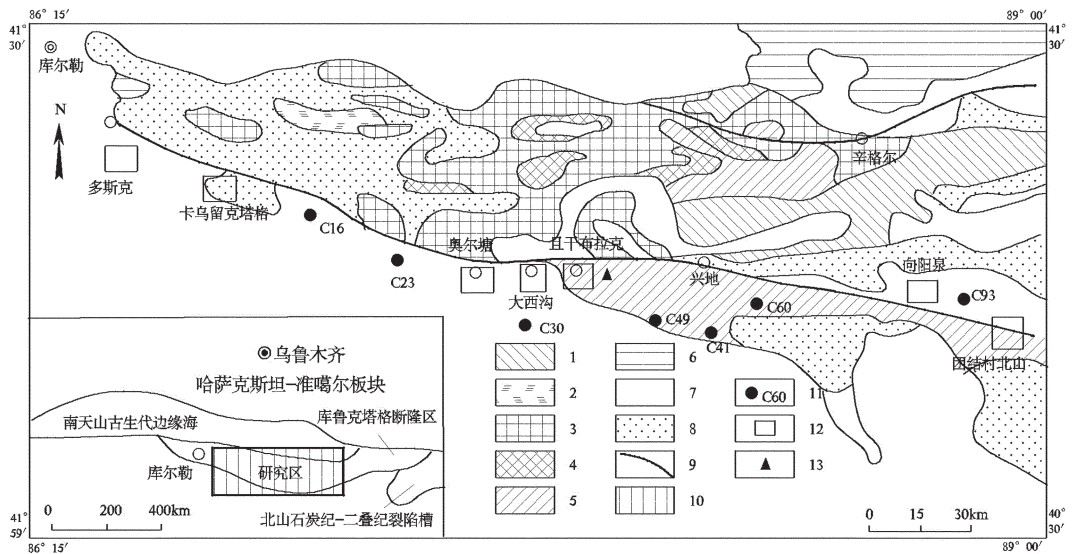


图 1 库鲁克塔格基性-超基性杂岩带分布略图

- 1—早中元古界;2—晚中元古界;3—早新元古界;4—晚新元古界;5—早古生界;6—晚古生界;7—新生界;8—侵入岩;9—大断裂;
- 10—研究区位置;11—航磁异常及编号;12—铁磷矿区及含矿杂岩体;13—铁矿床

Fig.1 The distribution of the basic-ultra basic complexes belt in Kuruktag

- 1—Lower-Mesoproterozoic; 2—Upper-Mesoproterozoic; 3—Lower-Neoproterozoic; 4—Upper- Paleoproterozoic; 5—Lower-Paleozoic;
- 6—Upper-Paleozoic; 7—Cenozoic; 8—Intrusive rock; 9—Geofracture; 10—Study area; 11—Aeromagnetic anomaly;
- 12—Iron phosphate ore zone and ore-bearing complex mass; 13—Iron deposit

磷灰石 15%~75%, 是重要的找矿标志。

巴楚—阿图什碱性—超基性杂岩带, 分布在塔里木板块的西北缘, 杂岩带受地台边缘深断裂带控制。主要有瓦吉尔塔格超基性—碳酸岩杂岩体, 麻扎尔塔格超基性—碱性杂岩体, 皮羌基性—偏碱性杂岩体。

## 2.2 杂岩体地质特征

成矿带区内分布的含矿杂岩体地质特征见表 1。

## 3 岩浆岩型铁磷矿床地质特征

根据天山成矿带含矿杂岩体及铁磷矿床基本特

征, 综合目前已取得的地质资料与成果, 对该区岩浆岩型铁磷矿进行了初步分类。根据含铁磷杂岩体性质与有用矿物组合特点, 将成矿带内磷矿划分出 5 种类型。

### 3.1 超基性—碳酸岩型蛭石—磷灰石矿床

以且干布拉克磷灰石矿床为例: 该类矿床主要分布在古老地台区超基性—碳酸岩体内。含矿杂岩体受兴地深断裂控制, 侵位元古宇片麻岩中。杂岩体主要由辉石岩、纯橄岩、碳酸岩组成, 根据岩体分异情况可划分出含磷灰石黑云母次透辉石岩相、金云

表 1 杂岩体地质特征一览

Table 1 Geological characteristics of complex body

岩体名称	产出位置	规模	岩石组合特征
卡乌留克塔格角闪石岩—辉石岩杂岩体	位于兴地大断裂南侧	长轴呈北西向椭圆形, 地表仅零星出露, 岩体倾向南西, 岩体长约 3 km, 宽约 1.5 km, 顶部埋藏深度 20~40 m	杂岩体主要由辉石岩与角闪石岩组成, 局部地段出现黑云母辉石岩和磁铁矿辉石岩或含磷灰石角闪辉石岩等
奥尔塘正长岩—辉石岩杂岩体	位于兴地大断裂南侧	该岩体为一处隐伏岩体, 通过地面磁测与钻探验证, 杂岩体磁异常圈闭约面积 12 km <sup>2</sup>	杂岩体由正长岩、角闪正长岩、辉石岩、辉长岩、含磷铁透辉石岩等组成, 含磷铁透辉石岩呈层状分布
大西沟辉长斜长岩—斜长岩杂岩体	位于兴地大断裂南侧, 受该断裂次级断裂控制明显	杂岩体呈隐伏—半隐伏状, 长约 2.1 km, 宽约 900 m	岩体主要由斜长岩构成, 辉石角闪岩呈零星出露。根据蚀变特征和暗色矿物含量, 可进一步划分为钠黝帘石化斜长岩、绿泥石化斜长岩、纤闪石化斜长岩
且干不拉克超基性—碳酸岩杂岩体	杂岩体受兴地大断裂次级断裂控制	侵入于元古宇片麻岩中, 岩体岩株状, 长 4 km, 平均宽 650 m	杂岩体主要由辉石岩、黑云母辉石岩、纯橄岩、碳酸岩组成, 根据岩体分异情况可划分出含磷灰石黑云母次透辉石岩相、金云母岩相、磁铁矿次透辉石岩相、纯橄岩相和碳酸岩相
向阳泉碱性杂岩体	受兴地大断裂次级断裂控制	侵入于元古宇兴地塔格群大理岩和片岩中, 岩体呈扁平小椭圆形岩株, 长 9.5 km, 露面积约 17.5 km <sup>2</sup>	自边部到中心可分为霓石钠长岩、霓石角闪正长岩和角闪正长岩三个岩相带, 岩石矿物组合主要有钠长石、微斜长石、霓石、钠铁闪石、锆石、烧绿石、磷灰石、磁铁矿、硅钛钵硼矿等
团结村北山黑云母辉石岩岩体	受兴地大断裂次级断裂控制, 分布在大断裂两侧东段	该异常为一隐伏杂岩体。据磁异常分析, 岩体平面形态为一不规则的椭圆形, 长约 3.2 km, 直立式向南陡倾的岩体	岩体主要由黑云母透辉石岩、辉石岩组成, 普遍含磷灰石, 成矿条件有利, 局部富集成磷灰石岩
兴地河基性—超基性杂岩体	分布于兴地大断裂南侧, 呈近东西向展布, 目前发现 4 个岩体	由 4 个不同规模的岩体构成, 岩体侵入于元古界变质岩中	杂岩体主要由辉长岩、辉石岩和橄榄岩类组成。辉长岩类主要包括橄榄苏长辉长岩、苏长辉长岩和辉长岩; 橄榄岩类主要包括二辉橄榄岩和含长二辉橄榄岩
多克斯超基性岩体	分布在兴地大断裂南侧西段, 区内全部为第四系覆盖	推测磁性体顶部埋深 70 m 左右, 经钻探验证推测岩体长约 1200 m, 宽约 750 m	岩体主要由辉石岩、含磁铁辉石岩组成
黄土岭辉石岩体	位于觉罗塔格基性杂岩带内, 受康古尔塔格深断裂控制, 沿大断裂断续出露	岩体长约 6400 m, 呈岩墙状产出	岩体主要由辉石岩、角闪石岩组成, 局部形成含磷磁铁矿辉石岩
皮羌辉长岩—辉石岩杂岩体	位于塔里木板块北缘西段柯坪前陆盆地内, 分布在巴楚—阿图什碱性—超基性杂岩带内	杂岩体呈不规则椭圆状侵入于上石炭统大理岩和石英绢云母千枚岩中。岩体长约 7.5 km, 宽约 3.5 km	杂岩体主要由辉石岩类和辉长岩类组成, 由于岩浆分异作用形成了辉长岩、橄榄辉长岩、含磁铁矿辉长岩、黑云母辉长岩、含磷灰石辉长岩及含长辉石岩等, 含磷灰石辉长岩主要分布于岩体的南北边缘
瓦吉尔塔格基性—超基性—碳酸岩杂岩体	位于塔里木地台北缘的西段巴楚隆起, 巴楚—阿图什碱性—超基性杂岩带内	杂岩体呈岩株状侵入于震旦系上统地层组成的穹窿斜核部 <sup>[6]</sup> , 出露面积约 11 km <sup>2</sup>	杂岩体由橄榄辉石岩、辉石岩、辉长岩、碱性角闪正长岩、方钠霓霞正长岩、碳酸岩组成

母岩相、磁铁矿次透辉石岩相、纯橄岩相以及碳酸岩相。其中磷灰石矿床主要赋存在含磷灰石黑云母次透辉石岩相、碳酸岩相和磁铁矿次透辉石岩相内。

磷灰石矿体可进一步划分为透辉石岩型和碳酸岩型2种类型。矿体规模一般长1 000~3 200 m,平均厚度变化在36~97 m,最厚达317 m。矿石 $P_2O_5$ 平均品位为3.99%~5.09%,TFe含量为12.56%~16.37%。

黑云母透辉石岩型磷矿:矿石类型主要有浸染状、团块状和细脉状磷矿石。主要矿物成分:主要矿石矿物有磷灰石、磁铁矿;主要脉石矿物有透辉石、黑云母、金云母、蛭石、楣石、纤闪石等。

碳酸盐型磷矿:矿石类型主要有块状和条带状磷矿石。主要矿物成分:主要矿石矿物为磷灰石,脉石矿物有方解石、磁铁矿,少量独居石等。

矿石中的磷灰石粒度在0.15~2 mm,个别可达5 mm,多呈自形—半自形粒状。磷灰石在浸染状矿石中含量3%~15%;在团块状矿石中磷灰石含量70%~90%;在细脉状矿石中磷灰石含量20%~30%;在碳酸盐型磷矿石中,磷灰石呈自形—半自形,多出现六方柱状晶体。近地表的金云母岩和含金云母透辉石岩经风化作用形成蛭石矿。

### 3.2 超基性岩型钛磁铁矿—磷灰石矿床

以卡乌留克塔格铁磷矿为例,铁磷矿床主要赋存超基性杂岩体内,钻探证实铁磷矿主要赋存在杂岩体的辉石岩中<sup>[4]</sup>。自上而下按一定标高可划分出11个较大矿体,矿体多呈近水平的似层状、透镜状。矿区大部以铁磷矿为主,含矿岩石类型以辉石岩为主。矿体长400~1 000 m,宽400~800 m,平均厚度4.01~43.42 m。 $P_2O_5$ 平均品位2.25%~9.26%;TFe平均品位14.77%~28.68%。矿体总厚度达242.99 m。矿体厚度变化较大,近地表及浅部矿体较薄,深部矿体较厚;矿体中间较厚,两端变薄。矿体沿走向变化较大,沿倾向变化不大。

矿石矿物主要有磷灰石、磁铁矿,脉石矿物主要有辉石(透辉石、斜方辉石)、角闪石,少量黑云母、绿泥石,微量钛铁矿、黄铁矿、斜长石、绿帘石等。

矿石结构主要有自形—半自形晶粒状结构,半自形—他形晶粒状结构。

矿石构造有浸染状构造,磁铁矿呈半自形或他形粒状,呈细粒浸染状嵌布;块状构造,矿石的组成矿物无定向排列,颗粒大小分布均匀;斑杂状构造,

磁铁矿、磷灰石集合体颗粒大小不等,呈不均匀分布,构成斑杂状构造。

矿石化学组成,主要有用组分为Fe、P,呈独立矿物磁铁矿和磷灰石赋存在矿石中。矿石中其他主要化学成分平均含量为:SiO<sub>2</sub> 34.84%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7.34%、TiO<sub>2</sub> 3.65%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.53%、FeO 9.56%、MgO 8.89%、CaO 13.72%、Na<sub>2</sub>O 1.36%。

矿石中伴生有益组分TiO<sub>2</sub>含量变化在2.44%~4.80%,通过单矿物分析,证明Ti主要以钛铁矿存在矿石中。REE主要赋存在磷灰石中,是生产稀土磷肥的重要原料,综合利用效益明显。

### 3.3 基性岩型钛磁铁矿—磷灰石矿床

以大西沟铁磷矿为例,铁磷矿体主要赋存基性杂岩体内,通过钻探证实铁磷矿主要赋存在杂岩体的蚀变斜长岩中。矿区以铁磷矿为主,伴生钛,含矿岩石类型以钠黝帘石化斜长岩为主<sup>[5]</sup>。自上而下按一定标高可划圈出5个较大矿体,矿体多呈似层状、透镜状。矿区以铁磷矿为主,含矿岩石类型以斜长岩为主。矿体长228~850 m不等,矿体厚度变化在16.68~49.60 m。矿体沿走向变化较大,沿倾向变化不大。

矿石矿物主要有磁铁矿、磷灰石、钛磁铁矿、微量钛铁矿;脉石矿物主要有斜长石、次为辉石、钠黝帘石、纤闪石,少量绿泥石等。磁铁矿:呈深灰色、黑色,结晶程度不等,以半自形晶为主,自形、他形晶次之。粒径一般为0.2~3 mm,大者达5 mm以上,多以集合体形式嵌布;钛磁铁矿:以半自形晶为主,粒径一般为0.3~0.5 mm,多以集合体形式嵌布;钛铁矿:以他形粒状为主,粒径一般为0.2~0.3 mm,多包裹在钛磁铁矿中;磷灰石:一般为半自形,呈六方柱状及粒状产出,少量呈长柱状或针状,粒径一般为0.1~1 mm,一般情况下,磷灰石与周围矿物接触线平整,呈分散颗粒状或集合体嵌布。斜长石:呈半自形板状,粒径为2.0~3.5 mm,是含矿斜长岩的主要组成矿物;辉石呈短柱状或他形粒状,粒径为1~2 mm,粗粒可达5 mm,内部常见他形细粒磁铁矿和磷灰石等包裹体,多被绿泥石交代。

矿石结构构造主要有结晶粒状结构,磁铁矿、磷灰石、呈自形、半自形、他形晶体,呈集合体或分散粒状分布;半自形—他形晶粒状结构:磁铁矿呈半自形晶粒状或他形晶粒状集合体,呈细粒浸染状嵌布或包裹于其他矿物中。矿石构造以浸染状构造为主,团块状构造次之。矿石化学组成,矿石中主要有用组分

为 Fe、P、Ti,呈独立矿物磁铁矿、磷灰石和钛磁铁矿赋存在矿石中。TFe 平均含量 14.15%~20.92%, $P_2O_5$  为 2.53%~6.83%, $TiO_2$  为 4.23%~8.10%。

### 3.4 超基性-碳酸岩型稀土-磷灰石矿床

该类矿床主要分布在古老地台区超基性-碱性-碳酸岩杂岩体内,以瓦吉尔塔格矿床为例。岩体主要由辉石岩类、辉长岩类和碳酸岩类组成,岩石类型繁多。从总体上看,杂岩体中部为超基性辉石岩带,两侧为辉长岩带。在辉石岩的边缘分布有碱性岩体,辉石岩中常见霓辉石和方解石晶体。在瓦吉尔塔格杂岩体的北部,辉石岩类岩石中分布有规模大小不等的 40 余条含稀土、磷碳酸脉。

矿体呈脉状产于辉石岩中,长度一般在 20~350 m,厚度 0.6~15 m, $P_2O_5$  平均含量变化在 2.18%~6.64%,最高 17.33%, $TR_2O_3$  平均含量变化在 2.02%~10.03%,最高含量 12.41%,稀土含量与  $P_2O_5$  呈正消长关系。

矿石类型主要为碳酸岩型含稀土磷灰石矿石,矿石呈块状、浸染状构造。矿石矿物主要为磷灰石,次为氟碳铈矿、烧绿石;脉石矿物主要为白云石、方解石,含量 80%~90%,含少量锆石。磷灰石呈细粒状与石英伴生,往往交代白云石;石英呈浸染状、细脉状分布,含量约 1%;磷灰石多呈半自形粒状,粒径一般在 0.14~0.6 mm。

### 3.5 基性-超基性岩型钒钛磁铁矿-磷灰石矿床

该类矿床主要分布在巴楚-阿图什杂岩带内,矿床以皮羌为例。含磷杂岩体由辉长岩、斜长岩、少量橄榄辉长岩等组成。特征矿物可进一步划分出黑云母辉长岩、斜长辉石岩、含磷灰石辉长岩、含钛磁铁矿辉长岩等。岩体的西北边缘发育有不规则含磷灰石铈钍钙钛矿霓辉岩脉,磷灰石含量较高。岩石化学成分中, $Na_2O$  和  $K_2O$  总含量高达 5.69%,杂岩体以碱性辉长岩类为主。

钛磁铁矿-磷灰石主要赋存在杂岩体的含磷灰石辉长岩、含钛磁铁矿辉长岩内。其中含磷灰石辉长岩主要分布于岩体的南部边缘。磷矿体主要赋存在斜长辉石岩、黑云母辉长岩中。矿体呈不规则透镜状、团块状产出,厚度变化较大。 $P_2O_5$  平均含量为 6.18%,TFe 25.6%~41.26%, $TiO_2$  为 4.17%~13.3%, $V_2O_5$  0.17%。

矿石结构构造:矿石主要为全晶质自形半自形粒状结构、海绵陨铁结构,以浸染状构造为主,块状

构造次之。

矿石矿物成分:主要矿石矿物有磷灰石、钛磁铁矿、磁铁矿,主要脉石矿物有普通辉石、斜长石、黑云母、绿泥石、少量铈钍钙钛矿等。

磷矿化体多出现在岩体的边缘,因针对磷矿投入的工作量较少,进一步找矿前景较大。

## 4 铁磷矿床岩矿石地球化学特征

### 4.1 主元素特征

天山地区铁磷矿床容矿岩(矿)石化学组成见表 2。从岩石化学分析可看出,黑云母透辉石岩类(黑云母透辉石岩、磁铁矿透辉石岩、矿化黑云母透辉石岩) $SiO_2$  含量变化不大,一般为 37.16%~44.54%, $K_2O+Na_2O$  变化在 1.46%~3.28%;辉石岩类(矿化辉石岩、辉石岩、角闪辉石岩、辉石角闪岩), $SiO_2$  含量 35.88%~38.54%, $Na_2O$  含量变化于 0.61%~2.42%, $K_2O$  含量变化在 0.35%~0.84%;斜长岩类(斜长岩、辉石斜长岩、矿化斜长岩), $SiO_2$  含量为 33.06%~48.74%, $TiO_2$  为 2.34%~5.42%, $Na_2O$  为 2.05%~4.56%, $K_2O$  变化在 0.60%~1.24%。将不同类型岩矿石分析数据投在镁铁比值( $Mg/TFe$ )与基性度( $TFe+Mg/Si$ )变异图 2 中,主要落在铁质区,部分落在铁镁质区,反映出容矿岩主要为铁质岩及铁镁质岩类。容矿岩石碱质含量均较高, $Na_2O$  最高可达 4.56%。在  $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$  关系图上(图 3),岩石投影几乎都落在碱性玄武岩系列区,只有个别样品落在碱性玄武岩与拉斑玄武岩分界线附近,而含矿岩则主要分布在碱性玄武岩系列区。由黑云母辉石岩到辉石岩类,钾钠比则由高到低,辉石岩到斜长岩,钾钠比则由低向高演化,容矿杂岩体应属钠质偏碱性岩系列。

在基性-超基性岩类为明显的硅酸不饱和岩石,当  $SiO_2$  质量分数大于 55%时,构成工业磷矿的机会较少。该类型岩石  $CaO$  含量一般较高,尤其在岩浆演化到晚期, $CaO$  含量明显增高。因为在岩浆作用的晚期,磷灰石的析出,除了具有磷酸根的矿化剂外,必须有足够的  $CaO$  浓度,作为磷酸盐阴离子的沉淀剂,因此,只有在  $CaO$  含量相对较高的基岩中,才有较多的机会形成磷灰石富集。

含矿岩石的固结指数(SI)均小于 40,变化在 7.77~28.50,说明岩浆经过结晶分异作用较明显。在岩浆分异早期阶段,磷灰石呈副矿物从岩浆中结晶出来,一般均匀地分散在岩体的各个部位。到岩浆冷

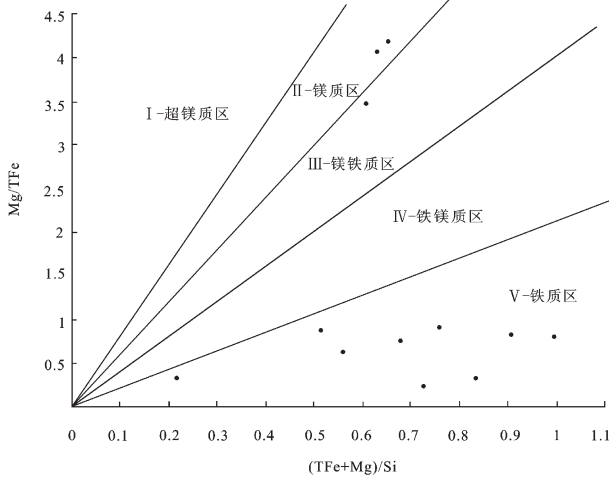


图 2 杂岩体(TFe+Mg)/Si 与 Mg/TFe 变异图  
Fig.2 (TFe+Mg/Si)-(Mg/TFe)variagram of complex body

凝过程的晚阶段,在富含挥发分的作用下,含矿残余熔浆在封闭的环境中缓慢结晶,此时熔体中充足的Ca<sup>2+</sup>与挥发分中(PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup>形成含量较高、矿物结晶粗大的团块、囊状及似层状铁磷矿体。

4.2 微量元素特征

从不同类型容矿岩石微量元素分析结果(表 3)可以看出,过渡族亲铁元素 V 变化范围为 (192~783)×10<sup>-6</sup>, Cr 的变化范围较大,为(6.2~864)×10<sup>-6</sup>, Co 的含量为 (25.7~75.1)×10<sup>-6</sup>, Ni 的含量变化为

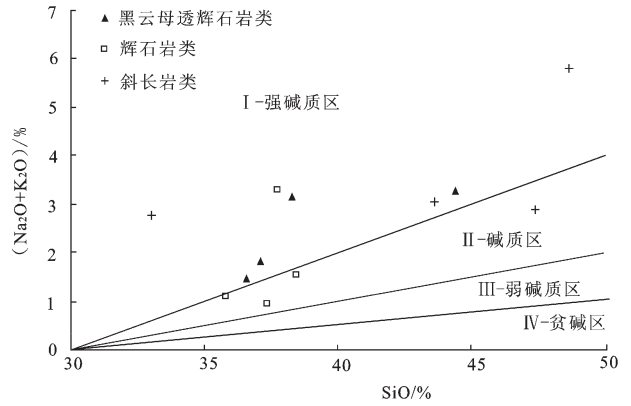


图 3 杂岩体 SiO<sub>2</sub> 与 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 变异图  
Fig.3 SiO<sub>2</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) variagram of complex body

(7.3~150)×10<sup>-6</sup>。总的来看,与维诺格拉夫元素在超基性岩中的丰度值比较,不同类型含磷岩体岩石 V 明显偏高,黑云母辉石岩中 V 含量高出超基性岩中的丰度值的 10 余倍。Cr、Co、Ni 的含量则明显偏低。

亲硫族造矿元素 Cu 为(9.45~282)×10<sup>-6</sup>, Pb 为(5.5~41.4)×10<sup>-6</sup>, Zn 为(66.4~280)×10<sup>-6</sup>, Mo 为(0.47~19.3)×10<sup>-6</sup>,可以看出,造矿元素 Cu、Pb、Zn、Mo 含量明显高于其在超基性岩中的背景值。

大离子亲石元素 Sr 的含量变化在(205~4409)×10<sup>-6</sup>, Ba 的含量变化在(438~4745)×10<sup>-6</sup>,远远高于其在基性和超基性岩中的背景含量,尤其在辉石岩

表 2 杂岩体容矿岩石化学成分(%)  
Table 2 Chemical composition of complex body (%)

岩石名称	岩石类型	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
矿化黑云母透辉石岩	黑云母	37.16	4.36	1.04	3.35	2.50	0.07	21.21	12.64	1.74	0.07	—	9.86
黑云母透辉石岩	透辉石	44.54	5.36	1.58	2.64	4.30	0.11	16.59	15.76	2.74	0.54	—	0.71
黑云母透辉石岩	岩类	38.27	4.30	0.11	2.62	3.87	0.09	20.94	12.21	2.60	0.54	—	1.06
磁铁矿透辉石岩		36.60	2.94	1.80	11.00	7.20	0.16	19.51	9.04	0.62	0.84	—	1.64
矿化辉石岩		35.88	6.32	1.82	12.95	9.79	0.18	17.33	9.97	0.52	0.61	0.80	2.74
角闪辉石岩	辉石	37.82	10.24	3.80	18.79	9.63	0.34	10.08	3.63	0.84	2.47	0.48	1.50
辉石岩	岩类	38.54	12.61	1.63	9.12	9.54	0.25	15.72	7.65	0.59	0.96	0.70	1.62
矿化角闪石岩		37.44	4.64	2.17	17.29	9.42	0.16	14.36	11.15	0.35	0.62	1.14	0.10
斜长岩		47.47	12.61	2.34	5.30	10.89	0.22	7.29	7.60	0.65	2.23	1.18	1.31
斜长岩	斜长	48.74	18.84	2.60	5.94	4.33	0.087	7.87	1.69	1.24	4.56	1.42	1.38
辉石斜长岩	岩类	43.71	12.77	5.42	7.36	11.69	0.21	7.78	6.24	0.60	2.43	0.33	1.14
矿化斜长岩		33.06	10.68	5.15	26.47	1.09	0.19	9.25	4.58	0.71	2.05	3.50	2.65

注:数据分析由中化地质矿山总局中心实验室用原子吸收分光光度计法(2010)完成,分析精度 5%。

表3 杂岩体容矿岩石微量元素含量(10<sup>-6</sup>)  
Table 3 Trace element content of complex body (10<sup>-6</sup>)

岩石名称	岩性	Sr	Ba	Zr	Sb	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Mo	V	Sn	Ga	As
1 黑云母透辉石岩	黑云母	881	691	66.2	0.046	196	6.18	280	30.9	72.0	75.1	1.21	444	1.52	18.2	0.26
2 矿化黑云母透辉石岩	透辉石	832	752	54.4	0.68	282	8.28	113	298	65.4	43.1	19.3	193	1.06	11.4	11.8
3 黑云母透辉石岩	岩类	285	1240	45.69	0.20	9.45	5.5	66.4	864	150	41.7		783			
4 含磷金云母碳酸岩	碳酸岩类	4409	1201	130		122.5			55.51	62.56	33.08		362			
5 矿化辉石岩		716	438	76.4	0.082	107	6.33	168	6.20	7.30	59.2	2.32	470	2.10	24.6	1.04
6 辉石岩	辉石	478	882	58.2	0.18	28.9	41.4	150	21.6	55.8	53.3	0.68	323	1.56	15.2	0.81
7 角闪石岩	岩类	1606	4745	142	0.076	118	14.1	121	6.03	12.2	25.7	0.76	122	2.52	14.6	0.00
8 斜长岩		684	504	110.2	0.23	29.4	6.33	118	67.9	62.62	47.6	0.50	188	1.54	16.4	0.43
9 斜长岩	斜长	519	523	110.8	0.46	30.6	7.18	135	53.9	66.5	53.3	0.48	185	1.41	16.5	0.12
10 矿化斜长岩	岩类	873	1089	156.0	0.12	25.5	5.62	103	31.1	14.2	26.6	0.47	149	1.70	28.7	0.41
11 矿化斜长岩		1115	1270	63.0	0.076	72.3	12.9	119	17.1	39.2	30.0	0.97	152	1.21	23.2	0.54
12※超基性岩 <sup>[8]</sup>		10	1.0	30	0.1	20	0.1	30	2000	2000	200	0.2	40	0.5	2.0	0.5

注:数据分析由中化地质矿山总局中心实验室完成,分析方法:电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)测定,平均相对标准偏差<5%;1、2 采自团结村北山,3~4 且干布拉克数据源自文献[9],5~7 采自卡乌留克塔格,8~11 采自大西沟。

类中高度富集。

不活动组分 Zr 在超基性岩中含量为  $30 \times 10^{-6}$ , 不同类型岩石 Zr 含量变化在  $(63 \sim 156) \times 10^{-6}$ ; Ga 在基性岩中背景值为  $18 \times 10^{-6}$ , 在超基性岩中为  $2 \times 10^{-6}$ , 研究区 Ga 的含量为  $(11.4 \sim 28.7) \times 10^{-6}$ , 稍高于背景值。

岩石中不相容元素明显富集 (Ba、Sr、Zr、P), 尤其是 Ba、Sr 和 LIL, 相容元素 (Cr、Co、Ni 等) 明显亏损。经原始地幔标准化后容矿岩石微量元素蛛网图 (图 4) 显示, 不同类型岩石曲线形态基本一致, 且呈“W”形变化, 反映从黑云母辉石岩到斜长岩岩石具有相同的演化特征。

### 4.3 稀土元素特征

稀土元素总量  $\sum REE$  为  $(176.81 \sim 1365.39) \times 10^{-6}$ , 稀土总量较高 (表 4), 其中黑云母透辉石岩类

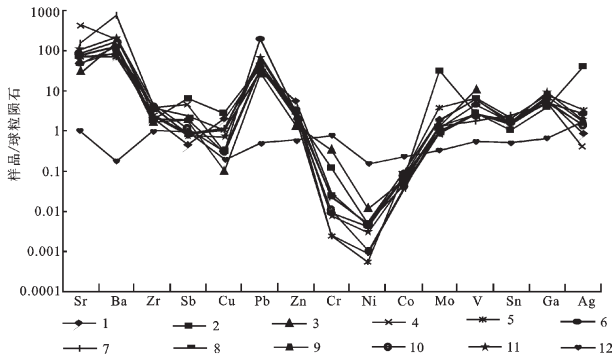


图 4 容矿岩石微量元素蛛网图 (样号同表 3)  
Fig.4 Primitive mantle-normalized trace element patterns of host rocks

$\sum REE$  在  $(301.94 \sim 494.99) \times 10^{-6}$ , 碳酸岩类  $(808.69 \sim 1365.39) \times 10^{-6}$ , 辉石岩类  $(176.81 \sim 381.66) \times 10^{-6}$ , 斜长岩类  $(183.09 \sim 225.88) \times 10^{-6}$ . LREE/HREE 值变化较大, 黑云母透辉石岩类和碳酸岩类在 13.61~22.58, 辉石岩类与斜长岩类在 4.59~12.23。前者轻稀土元素高度富集, 后者重稀土含量明显增高。稀土元素标准化采用赫尔曼 22 个样品的球粒陨石平均值<sup>[10]</sup>,  $\delta Eu$  值为 0.92~1.20, Eu 无明显异常, 稀土配分曲线为向右倾斜较平直的曲线, 其  $\delta Eu$  值与碱性玄武岩 ( $\delta Eu=1.08$ ) 接近, 说明杂岩体岩浆来源于地壳深部。由于主、微量元素的和谐性, 从而造成黑云母透辉石岩中大量磷灰石的晶出, 并使得游离  $REE^{3+}$  元素优先进入磷灰石晶格, 从而造成稀土元素在含矿黑云母透辉石岩中的高度富集。稀土配分曲线 (图 5) 基本上呈向右倾斜较为平滑的曲线, 其中 Ce 呈轻

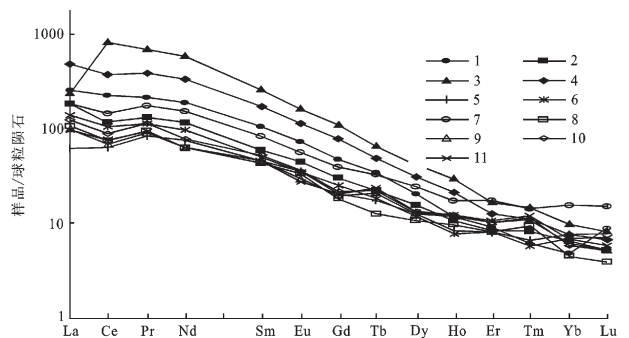


图 5 容矿岩石稀土元素配分曲线模式 (样号同表 4)  
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of anorthosite mass

表 4 杂岩体稀土元素含量( $10^{-6}$ )  
Table 4 Analytical result of rare earth elements in complex body

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
岩石名称	透辉 石岩	黑云母透 辉石岩	含磷 碳酸岩	磷灰石 碳酸岩	角闪 石岩	辉石岩	矿化辉 石岩	斜长岩	斜长岩	矿化斜 长岩	辉长 斜长岩
La	79.18	56.79	74.22	149.2	19.7	43.5	56.8	33.4	31.0	39.4	30.0
Ce	206.9	107.8	751.5	338.4	59.2	95.8	132	68.4	62.5	82.8	70.8
Pr	24.85	15.49	80.12	45.60	9.72	13.5	20.4	10.9	10.6	13.4	11.3
Nd	111.0	68.34	339.2	192.0	45.0	57.4	89.4	37.4	36.5	45.6	37.2
Sm	20.53	11.61	50.84	33.43	8.97	9.94	16.3	8.48	8.96	10.4	9.12
Eu	5.24	3.20	11.60	8.17	2.60	2.56	4.06	2.42	2.12	2.54	2.03
Gd	14.23	9.28	33.72	23.95	6.24	7.70	12.1	5.54	6.00	6.71	6.10
Tb	1.72	1.11	3.25	2.40	0.86	0.91	1.60	0.62	1.04	1.08	1.16
Dy	6.30	4.78	12.72	9.35	3.90	3.64	7.43	3.30	3.89	4.08	4.06
Ho	0.83	0.76	2.14	1.55	0.62	0.57	1.26	0.70	0.86	0.88	0.92
Er	1.91	1.77	3.49	2.62	1.70	1.68	3.62	1.68	2.12	2.14	2.25
Tm	0.20	0.27	0.48	0.36	0.22	0.19	0.47	0.31	0.36	0.37	0.40
Yb	0.92	1.24	1.86	1.45	1.44	1.32	2.96	0.85	1.18	1.12	1.29
Lu	0.27	0.16	0.25	0.21	0.24	0.22	0.46	0.12	0.16	0.16	0.18
Y	20.91	19.37			16.4	15.2	32.8	13.6	15.8	15.2	16.8
$\Sigma$ REE	494.99	301.94	1365.39	808.69	176.81	254.13	381.66	187.72	183.09	225.88	193.61
$\delta$ Eu	1.05	0.91	0.96	0.98	1.09	0.94	0.92	1.20	0.99	1.04	0.93
(Sm/Nd) <sub>N</sub>					0.60	0.52	0.55	0.68	0.74	0.68	0.74
LREE/HREE	16.97	13.61	22.58	18.31	4.59	7.09	5.09	12.27	9.72	11.74	9.81

注:数据分析由中化地质矿山总局中心实验室(2010)完成,分析方法为电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS),平均相对标准偏差<5%。

度负异常。4 种类型含矿岩石的稀土配分型式一致,这可能与岩浆演化过程中挥发分逐渐增高有关。

## 5 岩浆岩型铁磷矿成矿专属性

### 5.1 古老地台边缘深大断裂控岩控矿

内生磷矿在大地构造上多产于古老地台区,尤其是在地台边缘及地台活化区的边缘带。在地台内部的活动带、裂谷带也是有利的成岩成矿部位。如华北地台北部以及俄罗斯地台边缘等<sup>[4]</sup>,已发现磷矿床(点)多处,为内生磷矿有利的成矿区。塔里木地台北缘产出的内生磷矿处在哈萨克斯坦板块及塔里木古板块的边缘带内。正处在这种地台活动边缘带,成矿大地构造条件优越。

深大断裂,特别是区域性的穿壳断裂对含磷杂岩起重要的控制作用,这类区域性断裂与其控制的杂岩常常形成具有很大成矿远景的构造-岩浆岩

带,构成具有明确的找矿方向的成矿带。含矿杂岩和矿体多产于主干断裂与其羽状断裂交汇处或不同方向的区域性断裂交汇处。磷矿体形成的构造环境大体有 2 类:一类是环形构造,多在杂岩侵位过程中形成,多穿切早期形成的岩体、矿体或产生于早期不同相带、不同成分的岩石接触带,这正是岩体多期性的控制构造;第二类是线状构造,与区域性断裂构造环境密切相关,构造线方向与区域断裂走向一致,这种构造控制的杂岩体形态较简单,对磁铁橄磷岩和磁铁磷灰岩矿床有重要的控制作用。内生磷矿的形成受深大断裂控制,矿床(点)多分布于断裂交汇、分支部位。塔里木地台北缘杂岩体主要受瓦吉尔塔格—库尔勒—兴地近东西向深断裂控制,已发现的尉犁—兴地杂岩带受库尔勒—兴地深大断裂控制明显,含磷杂岩体主要分布在深大断裂旁侧或次级断裂构造交叉处。



## 5.2 容矿岩石为偏碱性-铁质岩系列

岩浆岩型铁磷矿床的岩石化学成分具有独特的特征,  $\text{SiO}_2$  的含量明显偏低, 一般在 35%~45%, 属于超基性岩范畴;  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的含量明显偏高, 容矿岩石碱质含量均较高, 在  $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$  关系研究中, 反映容矿岩石原始岩浆应为碱性玄武岩系列;  $\text{MgO}$  的含量不高, 镁铁比值( $\text{Mg}/\text{TFe}$ )与基性度( $\text{TFe}+\text{Mg}/\text{Si}$ )研究表明, 容矿岩石主要为铁质岩及铁镁质岩类。

## 5.3 容矿岩石主微量元素明显不和谐

主微量元素具明显的不谐和性, 容矿岩石中不相容元素明显富集 ( $\text{Ba}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{P}$ 、 $\text{REE}$ ), 相容元素 ( $\text{Cr}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  等) 明显亏损。

从容矿岩体中主量元素与微量元素的关系可以看出, 二者间的不谐和性, 超基性岩中丰度高的元素  $\text{Cr}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Co}$  等含量却低, 而中酸性岩中富集的元素却含量高。这些特点是含磷偏碱性铁镁质-铁质岩所特有的, 是磷、铁在岩浆演化中富集的重要因素。

杂岩含矿性受  $\text{SiO}_2$  活度和  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  化学位的双重控制。低硅高钙和一定的碱是磷灰石富集的有利条件。

## 5.4 稀土元素平缓右倾斜模式

稀土元素总量  $\sum \text{REE}$  较高, 轻稀土元素高度富集,  $\text{Eu}$  无明显异常,  $\delta \text{Eu}$  值接近 1,  $\text{Ce}$  呈轻度负异常。稀土配分模式为向右倾斜较平直的曲线。

## 5.5 共生组合特征规律

岩浆岩型铁磷矿具有共生组合规律, 表现为元素的共生、矿物的共生、岩石类型的共生等。元素的共生主要表现为  $\text{P}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{REE}$  具显著相关性。矿物的共生主要表现为透辉石+磷灰石+磁铁矿+黑云母组合; 斜长石+磷灰石+磁铁矿+钠黝帘石组合; 辉石+磷灰石+磁铁矿组合等特征。岩石类型的共生表现在黑云母透辉石岩、辉石岩、碱性辉长岩、斜长岩、碳酸岩的共生等。

## 5.6 磷、铁、钛、钒、稀土综合利用效益

天山成矿带内的岩浆岩型磷矿, 一般都含有  $\text{Fe}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{REE}$  等有益伴生组分, 有的伴生元素和矿物超过了磷矿的价值。铁磷矿作为主要利用对象的晶质磷灰石, 易于选矿富集成磷精矿。有益伴生组分, 构成了综合性铁磷共生的铁磷矿床。选矿试验表明磁选获得铁精矿; 在选铁尾矿中采用浮选回收磷精矿; 通过磁-浮选后的选铁、磷的尾矿, 采用重-磁

选工艺回收钛和钒。

铁磷矿中伴生的稀土元素, 主要赋存在磷灰石中, 是制造稀土微肥的天然原料。施用“稀土微肥”后的农作物果实饱满, 对人体没有任何毒副作用。“稀土微肥”所需原料是该类型磷矿所特有的, 其开发前景可观<sup>[2]</sup>。

## 6 找矿前景分析

找矿远景分析与远景区的划分是在大量区域地质、矿床地质和含矿地区成矿规律研究的基础上, 运用适合本地区的成矿理论, 以成矿模式为基础, 采用资料综合分析 with 野外路线调查相结合方法进行的。在找矿工作中, 首先要明确提出控矿的主要因素, 在明确找出成矿条件总结成矿规律的基础上, 根据不同构造-环境单元与基性-超基性杂岩体含矿性的含矿特点、杂岩体分布范围、含矿建造的分布和已知矿床、矿点的集中程度、磁异常特征等, 划分出铁磷成矿区带。

天山成矿带根据基性-超基性杂岩体的展布, 含矿杂岩体及矿床的分布规律及矿化特征等以及成矿构造条件相同, 有杂岩体分布, 有磁异常, 地表有矿化、矿点或深部有钻孔见矿等综合因素, 在天山成矿带划分出多克斯-卡乌留克塔格找矿远景区、且干布拉克-大西沟找矿远景区、奥尔塘找矿远景区、向阳泉找矿远景区、团结村北山找矿远景区、瓦吉儿塔格找矿远景区、皮羌找矿远景区、克其克果勒找矿远景区、黄土岭找矿远景区等 9 个找矿远景区。

## 7 结 论

通过天山成矿带内铁磷矿地质及找矿前景的研究, 对成矿带内的岩浆岩杂岩体进行了含矿性分析, 划分出 4 个含矿杂岩带与 5 个矿床成因类型。对不同容矿岩石进行了地球化学特征研究, 容矿岩主要为偏碱性-铁质岩及铁镁质岩类。主微量元素具明显的不谐和性, 容矿岩石中不相容元素明显富集 ( $\text{Ba}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{P}$ 、 $\text{REE}$ ), 相容元素 ( $\text{Cr}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  等) 明显亏损。这一特点是含磷偏碱性铁镁质-铁质岩所特有的, 是磷、铁在岩浆演化中富集的重要因素。杂岩含矿性受  $\text{SiO}_2$  活度和  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  化学位的双重控制。低硅高钙, 一定的碱是磷灰石富集的有利条件。成矿规律及成矿专属性研究表明: 岩浆岩型铁磷矿受古地台边缘深大断裂控制; 容矿岩石为主要

偏碱性-铁质及铁镁质岩系列;容矿岩石主微量元素明显不和谐;岩石类型共生组合主要表现为黑云母透辉石岩、辉石岩、碱性辉长岩、斜长岩、碳酸岩的共生;矿物共生组合主要表现为透辉石+磷灰石+磁铁矿+黑云母,斜长石+磷灰石+磁铁矿+钠黝帘石组合,辉石+磷灰石+磁铁矿等特征;元素的共生组合主要表现为P、Fe、Ti、V、REE具显著相关性。

在此基础上进行了找矿远景区的划分,划分出9个找矿远景区。目前在卡乌留克塔格、阿斯廷布拉克、大西沟等区进行了勘查,探获(332+333)铁磷矿资源量3亿多吨。取得了北方找磷的突破。

### 参考文献(References):

- [1] 夏学惠,袁家忠,郗国庆,等.塔里木地台北缘内生磷矿预测及资源远景评价[J].化工矿产地质,2009,31(3):129-158.  
Xia Xuehui, Yuan Jiazhong, Xi Guoqing, et al. Prediction and resources perspective appraisal of endogenesis apatite on the north edge of Tarim Platform [J]. Geology of Chemical Minerals, 2009, 31(3):129-158(in Chinese with English abstract).
- [2] 夏学惠,谭云基,袁家忠,等.新疆库鲁克塔格地区铁磷矿成矿条件及找矿预测[J].化工矿产地质,2008,30(2):91-98.  
Xia Xuehui, Tan Yunji, Yuan Jiazhong, et al. Metallogenic conditions and prospecting prediction of Magnetite and Apatite in Kuluke Tag Area of Sinkiang [J]. Geology of Chemical Minerals, 2008, 30(2):91-98(in Chinese with English abstract).
- [3] 夏学惠,袁家忠,郗国庆,等.新疆大西沟杂岩体地球化学及铁磷矿床特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2010,40(4):879-885.  
Xia Xuehui, Yuan Jiazhong, Xi Guoqing, et al. Geochemistry of complex rocks and characteristics of Daxigou iron-phosphorite deposits, Xinjiang [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(4):879-885(in Chinese with English abstract).
- [4] 夏学惠,袁家忠,郗国庆,等.新疆卡乌留克塔格铁磷矿床地质及综合利用前景[J].矿产综合利用,2009,(增刊),60-64.  
Xia Xuehui, Yuan Jiazhong, Xi Guoqing, et al. Study on geology and comprehensive utilization of magnetite and apatite deposit of Kawuliuke Tag in Sinkiang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2009,(supp.),60-64(in Chinese with English abstract).
- [5] 张良臣,吴乃元.天山地质构造及演化史 [J].新疆地质,1985,3(3):1-14.  
Zhang Liangcheng, Wu Naiyuan. The geotectonic and its evolution of Tianshan [J]. Xinjiang Geology, 3 (3):1-14 (in Chinese with English abstract).
- [6] 芮行健,贺菊瑞,郭坤一,等.塔里木地块矿产资源 [M].北京:地质出版社,2002:220-245.  
Rui Xingjian, He Jurui, Guo Kunyi, et al. Mineral Resource in Tarim block [M].Beijing:Geological Publishing House, 2002:220-245(in Chinese with English abstract).
- [7] 张雯华,从柏林.一种简单的基性-超基性岩岩石化学研究方法 [J].科学通报,1976,(4):179-183.  
Zhang Wenhua, Cong Bolin, A simple research method of basic-ultrabasic Rocks[J]. Chinese Sciences Bulletin, 1976, (4):179-183 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984:1-518.  
Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, et al. Elements Geochemistry [M]. Beijing:Science Press, 1984:1-518 (in Chinese with English abstract).
- [9] 孙宝生,周可法.新疆且干布拉克超基性-碳酸岩杂岩体地质特征和地球化学研究[J].干旱区地理,2008,31(5):633-640.  
Sun Baosheng, Zhou Kefa. Characteristics of Qieganbulak ultrabasic-Carbonite complex in Xinjiang, China and its geochemistry[J]. Arid Land Geography, 2008, 31 (5):633-640 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王中刚,于学元,赵振华,等.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社.1989:3-16.  
Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zao Zhenghua. Rare Earth Element Geochemistry [M]. Beijing:Science Press, 1989:3-16(in Chinese with English abstract).
- [11] 夏学惠.中国北方某些地区偏碱性杂岩型磷矿岩石化学与含矿性[J].地质论评,1987,33(1):40-47.  
Xia Xuehui. Petrochemistry and phosphorus potentiality of the phosphorite deposits associated with slightly alkaline complexes in certain areas in northern China [J].Geological Review, 1987, 33 (1): 40-47(in Chinese with English abstract).
- [12] 夏学惠,东野脉兴.中国北方内生低品位磷铁矿床综合利用前景[C]//中国地质矿产经济学会.资源环境循环经济.北京:中国大地出版社,2005:256-262.  
Xia Xuehui, Dong Yemaixing. Comprehensive utilization prospects of Endogenetic low-grade Magnetite and Apatite Deposit of north China [C]// Chinese Society of Geological and Economy·Circular Economy of Resources and Environment. Beijing:Chinese Land Press,2005:256-262(in Chinese with English abstract).

## Iron-phosphate deposit geology and metallogenic specialization in the Tianshan metallogenic belt, Xinjiang

XIA Xue-hui<sup>1</sup>, TAN Yun-ji<sup>2</sup>, YANG Hui-yan<sup>1</sup>, YUAN Jia-zhong<sup>1</sup>,  
LIANG Zhong-peng<sup>1</sup>, XI Guo-qing<sup>1</sup>

(1. *Research Institute of Geology, China Chemical Geology and Mine Bureau, Zhuozhou 072754, Hebei, China*; 2. *General Institute of Geological Investigation, China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** This paper deals with the mineral-bearing characteristics of magmatite complex rocks in the Tianshan metallogenic belt. 4 mineral-bearing complex rock belts and 5 deposit genetic types have been determined. The research on metallogenic specialization shows the following characteristics: 1) Magmatite iron phosphate is controlled by the deep fracture at the edge of the platform; 2) The host rock is mainly of the alkaline ferruginous-mafic rocks suite; 3) The major and trace elements in host rock are obviously inconsistent with each other; 4) The paragenesis of rock types mainly shows the association relationships of biotite diopside, pyroxenite, alkaline gabbro, plagioclase and carbonate rock; 5) Mineral paragenesis mainly shows the characteristics of diopside + apatite + magnetite + biotite, plagioclase + apatite + magnetite + soda-zoisite and pyroxene + apatite + magnetite. The elements paragenesis shows notable correlation of P, Fe, Ti, V and REE. Based on prognostic research, the authors delineated 9 ore perspective areas with ore-forming conditions.

**Key words:** basic-ultrabasic rock; iron-phosphate ore; metallogenic specialization; ore-prospecting potential

---

**About the first author:** XIA Xue-hui, male, born in 1955, professor, mainly engages in the study and evaluation of mineral deposits; E-mail: xxh@hgdy.com.cn.