

中国北方磷矿成矿类型和找矿方向

宋天锐

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要:笔者是在“五国编图项目”(中国、俄罗斯、哈萨克斯坦、蒙古国、韩国)的中国北方磷矿床资料研究基础之上完成本论文的。中国北方磷矿床分为“沉积型”、“沉积变质型”和“岩浆型”三大类型。沉积型磷矿床主要产生于晚震旦纪陡山沱期和早古生代寒武纪早期,磷质来源以海洋生物磷为主;沉积变质型磷矿床主要产生于中元古代,磷质来源以火山磷质为主,也可能有生物磷质参与;沉积型和沉积变质型磷矿床都包含陆地风化迁入盆地中的磷成分;岩浆磷矿床主要产生于海西期和加里东期的超镁铁岩浆岩,多与铁、钒、钛成为成矿系列。沉积型磷矿在华北地台南缘和塔里木地块北缘应重视,而沉积变质型在华北地台北缘有远景;岩浆型则主要勘查超镁铁岩系列。

关键词:五国编图项目(中国、俄罗斯、哈萨克斯坦、蒙古国、韩国);中国北方磷矿床;磷矿找矿方向和方法
中图分类号: P619.21*3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)02-0315-09

中国的磷矿居全球第三位,应该是磷矿大国,主要分布在南方,如云南、贵州、湖南、湖北和四川等省都有规模较大的磷块岩矿床;然而富矿少贫矿多, P_2O_5 大于 30%的磷矿床不多,已探明的储量只有 1.2 亿 t,只占总探明储量的 7%。北方按矿床成因类型比南方复杂,除了沉积的磷块岩矿床,还有沉积-变质的磷矿和岩浆成因的磷矿。最近在“五国编图”项目(中国、俄罗斯、哈萨克斯坦、蒙古国、韩国)工作的基础之上,对于秦岭以北地区的磷矿成矿类型进行了总结,笔者认为北方磷矿床的分布规律对找矿方向有一定的指导作用;特别是结合《中国国土资源报》2006 年公布的“中国重点金属矿区带勘查部署示意图”^[1],大多数的磷矿找矿地质工作也可以相互配合开展普查勘探。这也是从国际合作项目出发,达到为中国资源勘查服务的目的之一。中国南方沉积磷块岩矿床多数地层分布时代是震旦纪晚期的陡山沱组和寒武纪早期的筇竹寺组;当然泥盆纪也有规模可观的磷块岩矿床;但是中国北方磷矿的成矿时代,最早可出现在太古宙地层中,最晚出现在二叠纪地层中。然而比较有找矿远景的沉积磷块岩矿床还是集中在晚震旦纪至早寒武纪地层中;沉积变质磷矿床集中在中元古代地层;岩浆型磷矿床分布在几个时代的超镁铁岩中,但主要是海西期和加里东期的,元古宙、太古宙和燕山期的也有,但不是主要的。

1 沉积型磷矿床

沉积型磷矿床是中国甚至全世界磷矿床的主要成矿类型;中国南方沉积磷矿床主要是形成于下寒武统的筇竹寺组和上震旦统的陡山沱组,例如云南滇东磷矿和贵州黔中磷矿^[2]。

北方沉积磷矿包括磷块岩矿床、磷结核和磷质胶结的砂砾岩磷矿等,组成磷矿的矿物主要是碳、氟磷灰石。地理分布主要在秦(岭)、祁(祁连山及青海)、甘(肃)、宁(夏)、新(疆)等地(表 1)。地层时代以下寒武统为主包括部分上震旦统,与南方沉积磷块岩矿床的产出层位相当,只是含矿的岩性组合有所差异;在秦岭及周边地区的磷矿层主要包含在下寒武统的辛集组,例如豫西灵宝县朱阳磷矿可分 3 层:底部为砾质磷矿,中部多砂质磷矿,顶部为生物碎屑灰岩磷矿化,含 P_2O_5 可达 20%;反映了海进序列成磷以及与寒武纪生物大爆发提供了磷质的来源。河南济源县玉皇顶磷矿,晋南永济县陶家窑磷矿,山西芮城水浴和平陆县靖家山都是砂砾岩磷矿;陕西陇县景福山磷矿等也是下寒武统含磷的矿床,及至陕西镇巴县渔渡坝磷矿,出现在黑色硅质岩和黑色页岩及石灰质砂岩和石灰岩夹层内,然而陕西勉县茶店的观山磷矿,被确定为上震旦统陡山沱组形成的磷块岩都是些小矿;只有陕西汉中天台山磷矿开始成为一个大中型磷块岩矿床,其地层特点

收稿日期:2006-10-20;改回日期:2006-12-20

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212010511506)资助。

作者简介:宋天锐,男,1931 年生,研究员,博士生导师,主要从事矿物学、岩石学、沉积学研究;E-mail: songtianrui@cags.net.cn。

也是包含在黑色硅质岩、炭质千枚岩和含锰灰岩之中,成矿时代也应属于早古生代时期;直至宁强县阳平关磷矿、山阳县胡家沟磷矿包含在下寒武统水沟口组的灰黑色硅质岩中;还有陕西略阳县金家河磷块岩矿床产于中、下泥盆统的块状白云岩中,但未能形成规模。

宁夏的成磷区是环绕着阿拉善地块东部边缘,在银川市—贺兰县一带的下寒武统苏峪口组形成磷矿,主要包含在砂岩、砾岩碎屑沉积层内。 P_2O_5 含量 10%~15%,都是小型矿床。值得指出的是在祁连山—北山一带出现中寒武统大豁落井组含磷矿层,例如肃北七角井子、敦煌市方山口、肃北西双鹰山磷矿点;更新的成磷时代有天祝的光明峡磷矿,产出于中奥陶统阴沟群钙质板岩和千枚岩中,更老一点的有永昌马房子沟磷矿,据认为是震旦系韩日山群草大板组千枚岩含矿,虽然这些含矿层都有变质作用,但比沉积-变质型磷矿的围岩变质程度仍较低。新疆下寒武统的肖尔布拉克组在乌什县的苏盖特布拉克组和阿克苏市的沙依里克组都是同一个含磷层位,也称为磷矿组^[3],有的是包括在白云岩层内的磷质结核^[4];向东至哈密的平台山磷矿和尉犁县的西山布拉克磷矿以及精河县的柯尔古琴磷矿等,也都属于下寒武统的双鹰山组;向西在柯坪地区有乌什磷矿和大西山磷矿是中寒武统^[5]。阜康县五工河磷矿赋存于上二叠统茆茆槽组的长石砂岩内,是一个陆相碎屑沉积的特殊例子。

汉中的天台山磷矿,其古地理都属于早寒武世箬竹寺期

扬子浅海的滞留浅海的炭泥质相,磷矿层与黑色硅泥岩和炭质千枚岩共生,其上部出现含锰灰岩夹磷矿条带, P_2O_5 可达 18%~20%。是北方沉积型磷矿的代表性类型;另一个是新疆塔里木盆地北缘的下寒武统和中寒武统磷矿,虽然目前只在阿克苏、乌什、柯坪和哈密等几处发现了磷矿,但是从大地构造分析,该地处于古陆块边缘,出现了同沉积大面积火山活动,生物磷和火山磷都很丰富。也应该是很有远景的代表性成矿区。

2 沉积变质型磷矿床

此种磷矿床多出现在北方地区而未在南方发现是与其总的地质背景有关的;连云港市海州地区的磷矿床规模可观,产出于中元古代海州群锦屏组,含矿围岩包括片麻岩、片岩、白云岩等,在苏鲁区海州群的沉积变质磷矿处于郯庐断裂以东,如果按照古胶辽海延伸到辽宁、吉林地区,吉林浑江大顶子磷矿含于老岭群珍珠门组,夹在变质的角砾岩、大理岩和白云岩中,应同属于一个古海相沉积带中,只是古地理位置不同而已,因此也不排除在该地区找寻新的沉积变质型磷矿的可能性,在华北地台北缘与内蒙古交界的 3 处沉积变质磷矿值得注意:一个是位于达尔罕茂明安联合旗的布龙土磷矿,包含在中元古界白云鄂博群的炭质板岩和变质的白云岩层中;另一个是乌拉特后旗炭密口磷矿,包含在上中元古界渣尔泰群的硅质板岩和变质白云岩中;还有一个是阿拉善

表 1 中国北方沉积型和沉积变质型磷矿床成矿时代分布

Table 1 Sedimentary and metamorphosed sedimentary phosphate deposits in northern China

参照	Ma	地 层	华北区	豫西、陕南、甘、宁、新区	苏鲁区	辽、吉、黑区	内蒙区	云贵区
M. Cambrian	513		中寒武统	大豁落井组				
L. Cambrian			馒头组 下寒武统 昌平组	馒头组 辛集组 双鹰山组 肖尔布拉克组、水沟组 罗圈组		黑沟组		箬竹寺组 梅树村组
Edicaran	542			灯影组 陡山沱组 韩日山群				灯影组 陡山沱组 南沱组 澄江组
Gryogenian	630							
Tonian	850	青白口系	景儿峪组 长龙山组 下马岭组	陶湾群 (汝阳群)				
Stenian	1000		铁岭组 洪水组					
Ectasian	1200	蓟县系	雾迷山组	宽坪群	海州群	云台组		渣尔泰山群
Calymmian	1400		杨庄组 高于庄组 大红峪组 团山子组 串岭沟组 常州沟组			老岭群 珍珠门组	白云鄂博群	
Statherian	1600	长城系						
Orosirian	1800			秦岭群	胶东群			
Rhyasian	2050							
Sedirian	2300		溇沱群					
Neoarchean	2500		五台群					
Mesoarchean	2800		阜平群					
Paleoarchean	3200							
Eoarchean	3600		迁西组					

—— 磷块岩—磷结核含于硅质岩、页岩、灰岩、锰质灰岩
 磷矿含于砂岩、砂砾岩
 ~~~~~ 磷矿含于片麻岩、片岩和大理岩  
 - - - - - 磷矿含于变质碎屑岩、麻粒岩  
 ▲▲▲ 冰砾层

右旗中元古界变质砂岩层中的青井子砂质磷块岩矿。这 3 处矿床的沉积成矿时代应该大体相当,只是古地理环境有差别,都形成于古蒙古洋周边,但以成磷时代比较与海州群和老岭群大致相当。华北地台最早的变质磷矿应首推山西忻州五台群巨厚变质白云岩中的磷块岩矿,其次是晋南常州沟组富钾砂岩中的磷矿和河北蓟县团山子组白云岩中包含的磷矿,虽然矿床规模都不大但是矿床成因值得重视(表 1)。

中元古代的沉积变质磷矿床以海州群锦屏组的最具代表性,同位素地质年龄为 1 701~1 735 Ma,相当于北方的串岭沟期,磷块岩形成于浅海台地边缘的低能滩相,受区域变质和火山作用的影响而成矿,  $P_2O_5$  平均为 11%~12%(最高可达 16%),含铀较高,常和含锰灰岩共生,矿床分布面积广,包括海州、肥东、宿松和大悟等地区。这一类矿床具有“似经向”的特点,又在郯庐断裂以东,找矿应在辽吉地区加以注意。另一个代表性的矿床是华北地台北缘的布龙土磷矿,矿层夹于炭质板岩、砂质板岩和变质砂岩中,  $P_2O_5$  含量为 5%~9%;分布面积广但品位低。这一类磷矿床具有“似纬向”分布的特点,在找矿方面值得注意。

### 3 岩浆型磷矿床

岩浆型磷矿床也是中国北方磷矿有别于南方的特征之一;其特别之处是磷矿床都是由结晶磷灰石组成,而且磷矿多与铁、钒、铜等矿物共生而成为成矿系列,程裕淇<sup>[6]</sup>多次强调研究成矿系列的重要性。包含磷矿的岩浆岩有超镁铁岩(辉石岩、基性杂岩等)、花岗岩、煌斑岩和伟晶岩等,华北地台内自显生宙以来的构造-岩浆岩带直接控制岩浆热液矿床<sup>[7]</sup>,但是有一定规模的磷矿床是包含在超镁铁岩中(表 2);乔秀夫等<sup>[8]</sup>认为这些岩浆岩与燕辽和郯庐断裂有关,因此这一成矿带必然伴随有地层中的古地震。

岩浆型矿床总的特点是具有成矿系列,以河北阳原县姚家庄磷矿为例,含矿的海西期超镁铁岩侵入于太古宙迁西群

变质岩地层中,矿石矿物有磷灰石、磁铁矿和钛矿物等都可综合利用,  $P_2O_5$  含量为 2%~3%,  $Fe_3O_4$  为 8%~10%;而承德县马营中元古代大庙黑山基性杂岩含铁磷矿,其中  $P_2O_5$  7.68%,  $V_2O_5$  0.21%,  $TiO_2$  6.96%, TFe 24.47%。另一个例子是吉林敦化县塔东加里东期花岗岩型磷铁矿,其中 TFe 最高 54.96%,  $P_2O_5$  最高 10.81%,  $V_2O_5$  最高 0.52%, Co 最高 0.075%, 一般含磷品位都很低。

岩浆型磷矿一般  $P_2O_5$  品位不高,含量多为 2%~5.5%,虽然总的储量可以很大,但是多数是铁钒矿物的副产品,综合利用的潜在价值(表 2)。

岩浆型磷矿的成矿时代不是很准确,虽然许多超镁铁岩侵入在元古宙或太古宙地层中,但是实际的含矿岩石可能形成于更晚的年代,多数产生于海西期和加里东期,进一步进行寄主岩石的同位素年龄测定很有必要。

### 4 磷矿床的磷质来源问题

寒武纪以来开始有大量海生生物出现<sup>[9]</sup>,无疑是“生物大爆发”成磷理论的证据,即使在寒武纪以前的震旦纪晚期陡山沱组也有所谓“瓮安动物群”的出现提供了磷质来源。这些特点也许可以解释中国南方和北方陡山沱组沉积型磷块岩矿床的成因。同时,对于南沱组冰碛层和罗圈组冰碛层的形成是否对其上部磷矿的形成起到促进作用也有所议论。问题是中国北方元古宙时期沉积变质型磷矿的磷质来源值得关注,尤其是像连云港市海州群和内蒙古白云鄂博群和渣尔泰山群巨厚的沉积变质型磷矿的磷质来源问题,如果依靠生物磷只有含磷极低的蓝细菌(叠层石)比较丰富<sup>[10]</sup>,虽然有埃迪卡拉动物群遗迹化石在 630 Ma 出现,还有瓮安动物群(原肠胚化石、地衣化石、小春虫化石等等)<sup>[11]</sup>,更早一些的生物遗迹在 1 000 Ma 也曾发现<sup>[12]</sup>,至于出现在 1 600 Ma, 1 800 Ma 的藻类丝状体<sup>[13]</sup>和疑生物化石遗迹<sup>[14]</sup>,以及 2 000 Ma 的痕迹化石<sup>[15]</sup>是否能作为生物磷的来源加以考虑,仍是值得探讨的问

表 2 中国北方岩浆型磷矿床

Table 2 Magmatic phosphate deposits in northern China

| 含磷岩石及矿床                                         | 侵入地层                 | 成矿时代 | 伴生矿物          |
|-------------------------------------------------|----------------------|------|---------------|
| 超镁铁岩(辉石岩等)黑山杂岩体(河北承德罗锅子沟磷铁矿,隆化大乌苏沟磷矿,河北琢鹿凡山铁磷矿) | 中元古代蓟县,雾迷山组苏长岩、辉石岩等  | 海西期  | 钒钛磁铁矿、黄铁矿、磁铁矿 |
| 超镁铁岩(辉石岩,角闪岩等)(河北丰宁县招兵沟铁磷矿)                     | 太古宙单塔子群片麻岩、大理岩、石英岩   | 海西期  | 钒钛磁铁矿、磁铁矿     |
| 超镁铁岩(辉石岩等)(河北阳原县姚家庄-怀安右所堡铁磷矿)                   | 太古宙迁西群斜长角闪片麻岩等       | 海西期  | 磁铁矿、钛矿物       |
| 超镁铁岩(碱性岩杂岩体)陕西凤县九子沟铁磷矿                          | 寒武-奥陶系碳酸盐岩           | 加里东期 | 磁铁矿           |
| 煌斑岩(北西繁峙林子沟)                                    | 混合片麻岩、黑云母花岗岩         | 元古宙  | 磁铁矿、白钨矿、金红石   |
| 煌斑岩(黑龙江鸡西毛磷矿)                                   | 太古宙麻山群余庆组麻粒岩、片麻岩、混合岩 | 太古宙  | 金云母、钾长石       |
| 花岗岩(吉林敦化塔东磷矿)                                   | 寒武-奥陶系西保安组碳酸盐岩、页岩    | 海西期  | 磁铁矿、黄铁矿、辉钼矿   |
| 伟晶岩(河北丰镇县旗杆梁磷矿)                                 | 太古宙桑干群黑云斜长片麻岩        | 太古宙  | 稀土元素矿物        |

题。但是元古宙的疑源类是很普遍的<sup>[6]</sup>,此外也有中元古代宏观生物化石的发现<sup>[7]</sup>,以上成分对磷质的贡献到底有多大值得专门研究。中国北方各时代的火山岩很发育<sup>[8]</sup>(图1),由此可见在中国北方岩浆喷发的磷质特别是火山喷发的磷质是一个重要因素。北方元古宙的火山活动期主要是大红峪期,其地层地球化学特征中K,P,B,As是标型元素<sup>[9]</sup>,在北京十三陵大红峪组发现自生的磷酸盐稀土矿物说明这一点<sup>[9]</sup>。值得注意的是以前认为有些火山岩和次火山岩是中生代的,最近经过同位素测年确认是新元古代的<sup>[20]</sup>,这就为北方寻找新的含磷层位提供了路径。但是不管是生物磷或火山磷,来自陆地风化的磷也是存在的,因为磷元素也可和一些近陆源元素形成自生独居石(Ce,La,Th)PO<sub>4</sub><sup>[21]</sup>;笔者等曾提出“关于华北元古宙富钾富稀土沉积岩是白云鄂博稀土矿源层的讨论”<sup>[22]</sup>,现在看来白云鄂博群的磷质也是该矿的矿源之一。

海洋中的磷质经过上升洋流迁移到海岸带的滞流区,并沉积于低纬度合适的地理环境中,严格的古地理限制是磷矿床形成的必要条件<sup>[23]</sup>,按照沉积成矿系列的理论,较大的矿床系列都是在盆地内形成的,磷矿也不例外,特别是陆表海环境和陆海过度的盆地内环境是磷沉积的主要场所<sup>[24-25]</sup>(图2)。

## 5 中国北方磷矿找矿问题

《中国国土资源报》2006年2月28日第一版报道了“我国重点金属成矿区带勘查部署示意图”,其中共包括16个成矿区带<sup>[1]</sup>;该图件与耿树方1974年4月发表的“中国斑岩型铜(钼)矿带分布示意图”基本一致<sup>[26]</sup>,笔者建议磷矿的找矿工作可以结合一部分金属成矿区带勘查部署范围进行;例如:塔里木盆地北缘天山成矿带南部地区(3)、阿拉善地块北缘北山成矿带(8)、华北地台南缘的秦岭成矿带(9)、晋冀铁矿产区(11)、豫西成矿带(12)、辽东—吉南成矿带(14)等几个成矿区带中都有有利于形成磷矿的地区。

### 5.1 沉积型磷矿的找矿

沉积型磷矿分布的大地构造位置是在古陆块边缘,应以早寒武世至晚震旦世为重点,结合“勘查部署示意图”;在华北地台南缘的秦岭成矿带(9)和豫西成矿带(12)最为有利;李廷栋<sup>[27]</sup>认为华北构成一个东西向的统一的岩石圈块体,为指导找磷矿很有意义;此外,塔里木盆地北缘天山成矿带南部地区(3),早寒武世地层分布区也是磷矿成矿有利的范围,值得指出的是该段地层不仅有生物磷质的来源,而且有隐伏的火山活动迹象<sup>[28]</sup>,是否也提供了磷质值得引起注意。至于处于阿拉善地块东缘的磷矿,虽然不在“重点金属成矿区带勘查部署”范围之内,但是也可在进行北山成矿带(8)勘查中顺便调查,因为在毗邻金川成矿区的震旦—寒武纪地层中已经发现有马房子沟和方山口等磷块岩矿床。

### 5.2 沉积变质型磷矿的找矿

目前已发现两个比较有规模的沉积变质型磷矿带,一个

在华北地台北缘中元古代白云鄂博群和渣尔泰山群,另一个在苏鲁地区的海州群是处于地台南缘。值得注意的是前者在郯庐断裂以西,后者在断裂以东。耿树方<sup>[29]</sup>提出中国北方大多数规模较大的矿床为“似纬向”分布,只有在靠东部边缘呈“似径向”分布。沉积变质型磷矿的找矿也应注意此趋向;内蒙古一带可结合“勘查部署”的北山成矿带(8)东翼附带寻找沉积变质型磷矿;而海州群式沉积变质型磷矿,可结合“勘查部署”的辽东—吉南成矿带(14)寻找同类型磷矿,吉林浑江市中元古代的珍珠门组磷矿就是例证。

### 5.3 岩浆型磷矿的找矿

岩浆型磷矿的找矿是寻找一个成矿系列的问题,程裕祺等<sup>[6-7]</sup>在上世纪80年代以后多次论述“成矿系列”的重要性;目前中国北方发现的几个规模比较大的岩浆岩型磷矿都是与铁—钼—铜等形成成矿系列。这一类矿床磷的品位一般很低,只有综合利用才能具有经济效益。北方各个时代的岩浆岩都十分发育(图1),为寻找磷矿成矿系列奠定了基础,如果要结合“重点金属成矿区带勘查部署”首先要结合晋冀铁矿产区(11)进行;同时要注意古地震构造,有可能发现新矿床,例如:河北规模较大的矾山磷矿和吉林塔山磷矿,就分别分布在燕辽地震带和郯庐地震带之内<sup>[8]</sup>。

## 6 磷矿找矿标志和方法

### 6.1 大地构造位置

有利的大地构造位置是古陆块的边缘地带,对于沉积型和沉积变质型磷矿都是如此,然而被动大陆的边缘和古陆块的缓坡更为有利,例如在塔里木地块北缘,因为这些地带更容易形成广阔的陆表海以及局限盆地,至于岩浆磷矿的勘查应注意燕辽地震带和郯庐地震带<sup>[8]</sup>。

### 6.2 古地理

重要磷矿床的形成都与海洋洋流上升带来的磷质有关<sup>[23]</sup>,当然也有由陆地风化带来的磷质。在磷矿形成过程中,沿岸的封闭半封闭地带对于磷质聚集起到重要作用,然而磷矿的富集不是一性沉积的,也有成岩阶段粒间流体中磷质的富集,是由海水磷、粒间磷和成岩阶段富磷溶液逐步运移成矿的,有时与陆源的稀土元素形成磷酸盐矿物独居石<sup>[29-30]</sup>。更近岸地区的内碎屑风暴力也能更进一步使磷矿聚集,因此,陆表海的近岸区和陆海过度相的局限盆地是有利于磷矿沉积的主要环境(图2);浅水碳酸盐岩颗粒含量高的地区尤其值得注意,冯增昭等<sup>[6-9]</sup>指出,柯坪地区乌什磷矿就是产生在这一环境中。

### 6.3 海进海退和古海水温度

现代海洋中磷的富集均出现在低纬度地区,世界各地已成岩的磷矿层恢复后的纬度也都是低—中纬度区,测定碳氧同位素可计算古海水温度,利用与磷矿共生的碳酸盐岩判别海进海退及古海水温度和古纬度,也有助于划定有利的磷矿预测区,这方面的研究可以结合碳酸盐岩的旋回与层序进行<sup>[31]</sup>。

①耿树方.对大兴安岭及邻区区域成矿规律与找矿方向的新认识.振兴东北老工业区东北亚矿产资源响应学术研讨会论文集摘要汇编,2006:15-19.

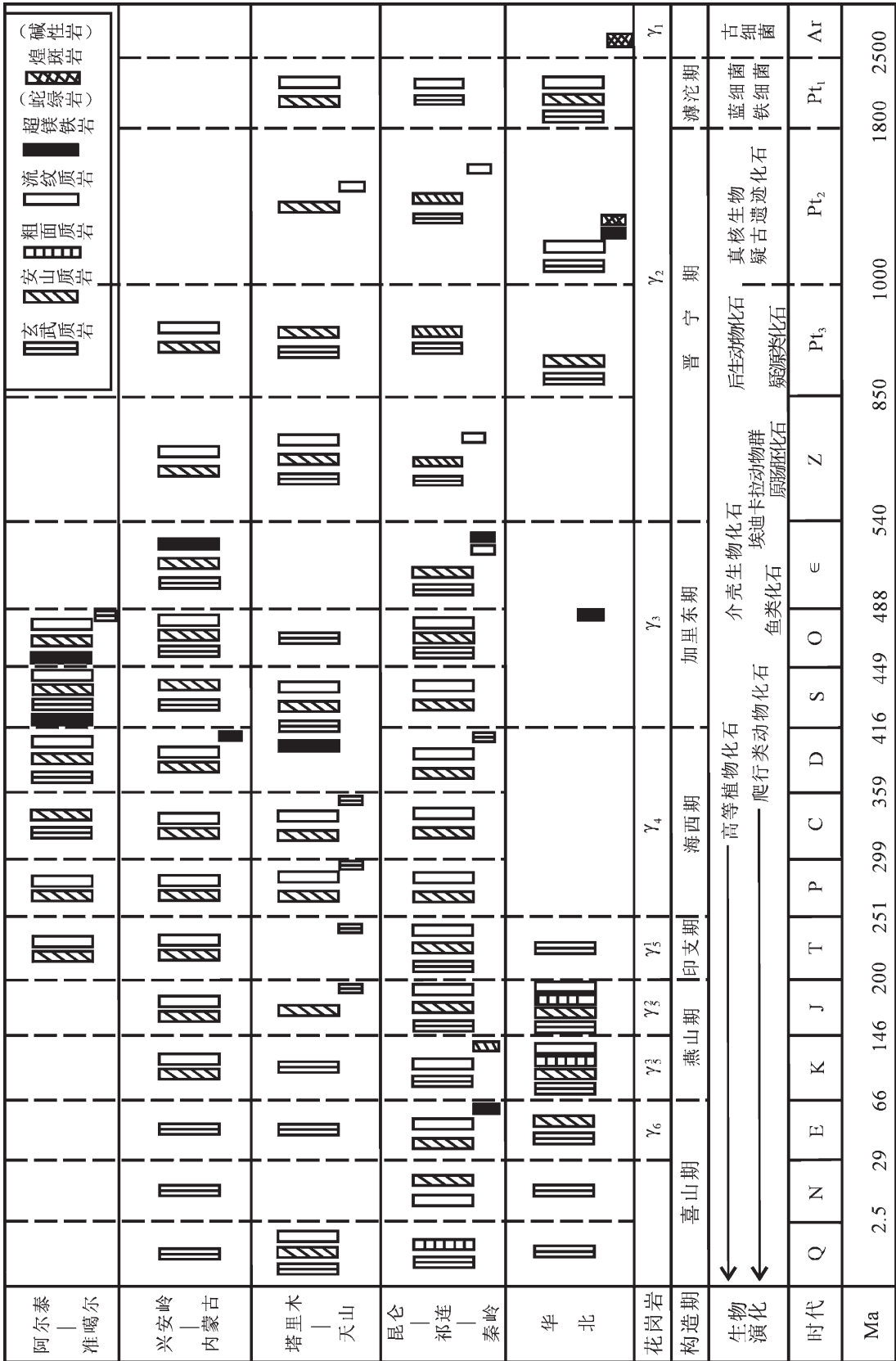


图 1 中国北方岩浆岩和火山岩分布的时代背景  
 Fig. 1 Age background for the distribution of magmatic and volcanic rocks in northern China

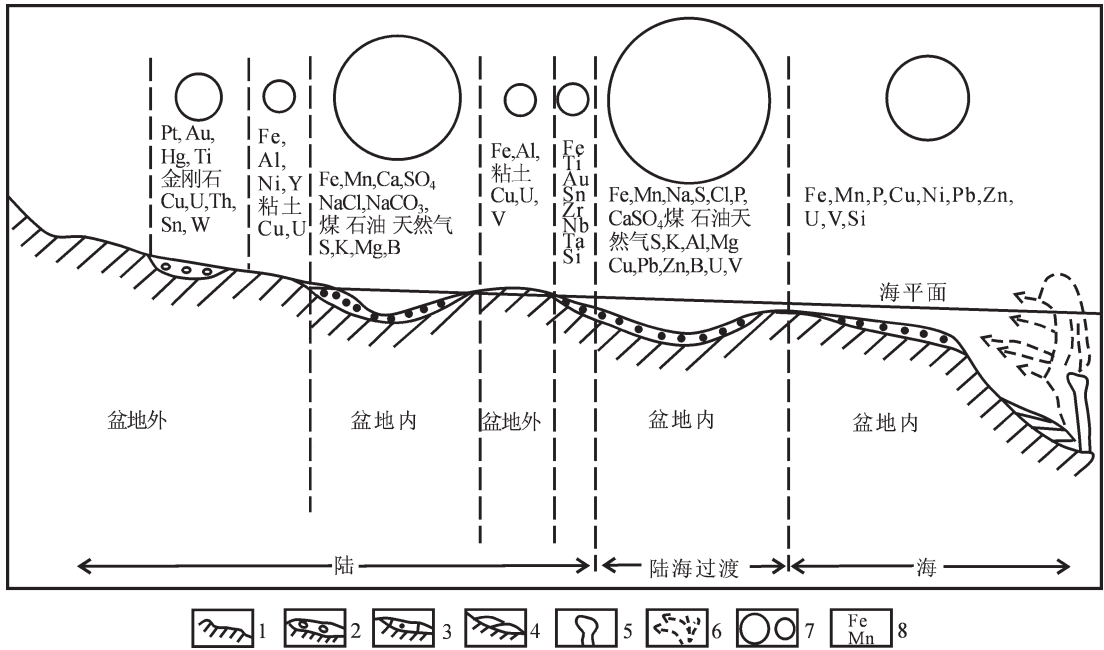


图2 沉积成矿系列富矿分布与盆地内、外关系示意图

1—基岩;2—粗碎屑为主的沉积物;3—细碎屑为主的沉积物;4—重力流为主的沉积物;5—海底火山活动;6—火山扩散流、气及有关元素;7—成矿系列的相对规模示意;8—矿床代号

Fig.2 Sketch showing the distribution of rich phosphatic deposits in the sedimento-minerogenetic series and its relationships with the interior of the basin and areas outside the basin

1—Bed rock;2—Mainly coarse-grained clastic sediments;3—Mainly fine-grained clastic sediments;4—Mainly gravity-flow deposits;5—Submarine volcanic activity;6—Dispersed lava flows, gas and related elements;7—Relative size of sedimento-minerogenetic series;8—Symbols of mineral deposits

6.4 岩性组合

由表1可以看出,中国北方沉积型磷矿和沉积变质型磷矿中,其岩性组合凡包含在硅质岩、大理岩和炭质板岩夹碳酸盐岩地层中的多成为规模较大的磷矿床,而与砾岩-砂岩、角砾岩等陆源碎屑物为主的岩层共生则磷矿床规模相对比较小,因此,纵横方向沿走向和倾向追索岩性有利组合是有效的找矿方法。

6.5 成矿系列

由图2可知磷矿主要是沉积于“陆海过渡相”盆地内和“海相”盆地内,但是同时也可伴随着相应的矿产出现,在中国北方和南方的磷矿床都可伴生锰、钒、铀、磷、铜等,因此在部署勘查其他金属或非金属矿产时,也应注意其中也可能包含磷矿床的线索。

6.6 地球化学和测 δ<sup>30</sup>Si

岩石的随机取样分析也应注意,例如北京十三陵元古宙的景儿峪组和洪水庄组磷含量异常值得得横向追索<sup>[32]</sup>;另外,硅同位素对于指示陆源硅和海源硅以及火山活动形成的硅有指示作用,而无论在中国南方和北方磷矿层上下都可能包含大量硅质岩,用同位素方法加以测定对比可供成磷环境的分析研究工作参考<sup>[33-34]</sup>,进而达到找矿目的。

6.7 钼酸铵测磷

这是一种古老的方法,在野外工作中含磷岩石很难与

不含磷的岩石用肉眼分辨,往往是用采岩石样品后,做室内鉴定和化学分析后才能得出结论,特别是对一个新的勘查区进行调查时,最容易漏掉含磷岩石,上个世纪就采用过钼酸铵法找磷成效显著,即:在野外先将岩石表面用酸浸后,滴上钼酸铵溶液,含磷岩石呈现黄色磷钼酸铵沉淀。现代人更倚重高新技术和仪器的利用,忽视了这种古老方法,笔者还是认为,野外调查人员仍然有必要用实践和检验这种方法去寻找含磷的岩石。

致谢:本文初稿曾请耿树方研究员审阅并提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 中国国土资源报. 加强我国重点矿种重点成矿区带勘查[N]. 2006-02-28(1).  
 Zhonguo Guotuzhiyuan Bao (News of Chinese Land and Resources), February, 28th, 2006. To strengthen prospecting work of important minerals and mineralization areas in China [N]. 2006-02-28(1)(in Chinese).

[2] 叶连俊, 陈其英. 中国的磷块岩[C]//冯增昭, 等. 中国沉积学. 北京:石油工业出版社, 1994:752-773.  
 Ye Lianjun, Chen Qiyang. Phosphate of China[C]//Feng Zengzhao, et al (eds.). Chinese Sedimentology. Beijing:Petroleum Industrial

- Press, 1994:752-773.
- [3] 马丽芳, 乔秀夫, 闵隆瑞, 等. 中国地质图集[M]. 北京:地质出版社, 2002:113-172.
- Ma Lifang, Qiu Xiufu, Ming Lunrui, et al. Geological Atlas of China[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2002:113-172(in Chinese with English abstract).
- [4] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国早寒武世岩相古地理 [J]. 古地理学报, 2002, 4(1):1-12.
- Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies palaeogeography of the early Cambrian in China [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [5] 冯增昭, 鲍志东, 吴茂炳, 等. 塔里木地区寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:地质出版社, 2005:1-184.
- Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Wu Maobing, et al. Lithofacies Paleogeography of the Cambrian and Ordovician in Tarim Area[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2005:1-184(in Chinese with English abstract).
- [6] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 地质论评, 1983, 29(2):127-130.
- Cheng Yuchi, Chen Yuchun, Zhao Yiming, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. Geological Review, 1983, 29(2):127-130 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 等. 中国矿床成矿系列初论 [M]. 北京:地质出版社, 1998:1-103.
- Chen Yuchuan, Pei Runfu, Song Tianrui, et al. On Minerogenetic Series of Mineral Deposits in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1998:1-103(in Chinese with English abstract).
- [8] 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 地层中地震记录(古地震)[M]. 北京:地质出版社, 2006:1-255.
- Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi et al. Seismic Records in Strata (Ancient Earthquakes) [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2006:1-255(in Chinese with English abstract).
- [9] 项礼文, 李善姬, 南润善, 等. 中国的寒武系, 中国地层 (4)[M]. 北京:地质出版社, 1981:1-195.
- Xiang Liwen, Li Shanji, Nan Rongshan, et al. Cambrian System of China, Chinese Stratigraphy (4)[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1981:1-195(in Chinese).
- [10] 戴永定, 等. 生物矿物学[M]. 北京:石油工业出版社, 1994:3-72.
- Dai Yongding, et al. Bio-mineralogy [M]. Beijing:Petroleum Industrial Press, 1994:3-72(in Chinese with English abstract).
- [11] 尹崇玉, 岳昭, 高林志. 磷酸盐化原肠胚化石在瓮安陡山沱组磷块岩中的发现[J]. 科学通报, 2001, 46(12):1036-1039.
- Yin Chongyu, Yue Zhao, Gao Linzhi. Discovery of phosphatized *Gastrola* from the Doushantuo Formation, Wengan, Guizhou Province, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (20):1713-1716.
- [12] Seilacher A, Bose P K, Pflugger F. Triploblastic animals more than 1 billion years ago: trace fossil evidence from India [J]. Science, 1998, Vol. 282:80-83.
- [13] 宋天锐, 高健. 北京十三陵地区上前寒武系沉积岩中发现 16 亿年的藻类丝状体[J]. 科学通报, 1985, (10):769-771.
- Song Tianrui, Gao Jian. Discovery of algal filaments from sedimentary rock in Upper Precambrian (1600 Ma) of the Ming Tombs District, Beijing [J]. Chinese Science Bulletin, 1985, 30(9):1227-1230.
- [14] 宋天锐, 高健. 这些是中国发现的最古老的后生动物痕迹化石? [J]. 科学通报, 1985, 3(2):926-928.
- Song Tianrui, Gao Jian. Are these the oldest metazoan trace fossils discovered from China? [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(12):831-834.
- [15] Kauffman F G, Steidmann J R. Are these the oldest metazoan trace fossil? [J]. Journal of Paleontology, 1981, 55:75-79.
- [16] 邢裕盛, 段承华, 梁玉左, 等. 中国晚前寒武纪古生物[M]. 北京:地质出版社, 1985:182-193.
- Xing Yusheng, Duan Chenghua, Liang Yuzhuo, et al. Late Pre-Cambrian fossils in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1985:182-193(in Chinese).
- [17] 杜汝霖, 田立富, 李汉棒. 蓟县长城系高于庄组宏观生物化石的发现[J]. 地质学报, 1986, (2):115-120.
- Du Rulin, Tian Lifu, Li Hanbang. Discovery of mega-fossils in the Gaoyuzhuang Formation of the Changcheng system, Jixian [J]. Acta Geologica Sinica, 1986, (2):115-120 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘益丰, 秦正永, 王长尧, 等. 冀北燕山沉降带地层地球化学剖面研究[M]. 天津:天津科技翻译出版公司, 1991:57-74.
- Liu Yifeng, Qin Zhenyong, Wang Changyao, et al. Study on geo-chemical sections of Yanshan depression of north Hebei Province [M]. Tianjin:Tianjin Scientific-Technological Translation Company, 1991:57-74.
- [19] 宋天锐, 万渝生, 陈振宇, 等. 中国北方元古宙沉积岩中自生稀土矿物特征及其意义——以北京、大连地区为例[J]. 地质学报, 2004, 78(6):822-828.
- Song Tianrui, Wan Yusheng, Chen Zhenyu, et al. Characteristics of REE minerals from Precambrian sedimentary rocks of north China and their significance—Case studies of Beijing and Dalian areas [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(6):822-828 (in Chinese with English abstract).
- [20] 柳永清, 高林志, 刘燕学, 等. 徐淮地区新元古代初期镁铁质岩浆事件的锆石 U-Pb 定年[J]. 科学通报, 2005, 50(22):2514-2521.
- Liu Yongqing, Gao Linzhi, Liu Yanxue, et al. Zircon U-Pb dating for the earliest Neoproterozoic mafic magmatism in the southern margin of the north China block [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(22):2514-2521 (in Chinese).
- [21] 宋天锐. 大连地区前寒武纪沉积岩中发现自生独居石及其意义[J]. 沉积学报, 1999, 17(增刊):663-667.
- Song Tianrui. Discovery of rare earth mineral monazite in Precambrian sedimentary rocks of Dalian area and its significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(Supp.):663-667.
- [22] 宋天锐, 万渝生, 陈振宇. 关于华北元古宙富钾、富稀土沉积岩是白云鄂博大型稀土矿床矿源层的讨论[J]. 矿床地质. 2005, 24

- (5):543-552.
- Song Tianrui, Wan Yusheng, Chen Zhenyu. Discussion on Proterozoic K-and REE-rich sedimentary rocks in North China as ore source of Bayan Obo rare earth deposits [J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24(5):543-552(in Chinese with English abstract).
- [23] 叶连俊, 等. 生物有机质成矿作用和成矿背景[M]. 北京:海洋出版社,1998:1-24.
- Ye Lianjun, et al. Biomerization and Its Geologic Background, Microbes and Their Hosting Organic Sediments [M]. Beijing: Ocean Publishing House, 1998:1-24(in Chinese).
- [24] 宋天锐. 关于“沉积成矿系列”的若干理论问题[J]. 中国地质科学院院报, 1987, 第 16 号, 83-93.
- Song Tianrui. On some theoretical problems of “sedimento-minerogenetic series” of mineral deposits[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1987, 16, 83-93(in Chinese).
- [25] 宋天锐. 沉积成矿系列研究的新进展[J]. 地质论评, 1987,4 2(4): 357-363.
- Song Tianrui. New advances in the study of the sedimento-minerogenetic series [J]. *Geological Review*, 1987, 42(4):357-363 (in Chinese with English abstract).
- [26] 耿树方. 初谈我国斑岩型铜(钼)矿区域成矿特征及找矿远景, 附:图外斑岩铜(钼)矿简图,简表(1974年编)[J]. 地质矿产研究, 1976,(2):10-20.
- Geng Shufang. Preliminary discussion on porphyritic copper (molybdenum) mineralization characteristics and prospecting area in China[J]. *Geology and Mineral Deposits Research*, 1976, (2):10-20 (in Chinese).
- [27] 李廷栋. 中国岩石圈构造单元[J]. 中国地质, 2006,33(4):700-710.
- Li Tingdong. Lithospheric tectonic units of China [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (4)700-710( in Chinese with English abstract).
- [28] 王鸿祯(主编). 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社, 1985:1-34.
- Wang Hongzheng (chief Editor). *Atlas of the Palaeogeography of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985:1-34.
- [29] 宋天锐, 张巧大, 万渝生. 一种含自生独居石富钾富稀土的多硅白云母泥岩[J]. 沉积学报, 2003, 21(3):428-433.
- Song Tianrui, Zhang Qiaoda, Wan Yusheng. A K and REE-rich authigenic monazite-bearing phengite mudstone [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21 (3):428-433 (in Chinese with English abstract).
- [30] 宋天锐, 和政军, 万渝生, 等. 前寒武纪沉积岩中自生独居石的发现及其意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(1):118-124.
- Song Tianrui, He Zhengjun, Wan Yusheng, et al. Discovery of authigenic monazite in Precambrian sedimentary rocks and its significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1):118-124 (in Chinese with English abstract).
- [31] 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序[M]. 贵阳:贵州人民出版社:1993: 29-49.
- Mei Mingxiang. Carbonate Cycles and Sequence [M]. Guiyang: Guizhou People Publishing House, 1993:29-49.
- [32] 宋天锐, 赵震, 王长尧, 等. 华北元古宙沉积岩[M]. 北京:北京科学技术出版社, 1991:1-93.
- Song Tianrui, Zhao Zhen, Wang Changyao, et al. Proterozoic Sedimentary Rocks in North China [M]. Beijing:Beijing Scientific and Technological Press, 1991:1-193(in Chinese with English abstract).
- [33] 宋天锐, 丁悌平. 硅质岩中硅同位素( $\delta^{30}\text{Si}$ )应用于沉积相分析的新尝试[J]. 科学通报, 1989, 34(18):615-623.
- Song Tianrui, Ding Tiping. A new probe of application of silicon isotope  $\delta^{30}\text{Si}$  in siliceous rocks to sedimentary facies analysis [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1990,35(9):761-766.
- [34] 丁悌平, 等. 硅同位素地球化学[M].北京:地质出版社, 1994:31-49.
- Ding Tiping, et al. Silicon Isotopic Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:31-49(in Chinese with English abstract).



## On the types of phosphate deposit in northern China and direction for ore finding

SONG Tian-rui

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** This research was based on the study of the data of phosphate deposits of northern China, which was a part of the “Project of Atlas Compilation by Five Countries’ Geologists (China, Russia, Kazakhstan, Mongolia, and the Republic of Korea)”. Phosphate deposits in northern China may be divided into the sedimentary type, metamorphosed sedimentary type and magmatic type. Sedimentary phosphate deposits mainly formed in the late Sinian Doushantuoan period and Early and Middle Cambrian, and phosphate is mainly of marine organic origin. Metamorphosed sedimentary phosphate deposits mainly occurred in the Mesoproterozoic, and phosphate is mainly volcanic phosphate, possibly also mixed with organic phosphate. Both sedimentary and metamorphosed sedimentary types contain phosphate transported into the basin due to terrestrial weathering. Magmatic phosphate deposits are mainly related to Hercynian and Caledonian ultramafic magmatic rocks, and they form a mineralogenetic series together with iron vanadium and titanium. Attention should be paid to looking for sedimentary phosphate deposits in Sinian and Lower Cambrian strata on the southern margin of the North China platform and in Lower Cambrian strata on the northern margin of the Tarim block, while metamorphosed sedimentary phosphate deposits are promising on the northern margin of North China. For magmatic phosphate deposits it is necessary to carry out exploration in Caledonian and Hercynian ultramafic rocks.

**Key words:** Project of Atlas Compilation by Five Countries’ Geologists (China, Russia, Kazakhstan, Mongolia, and the Republic of Korea); phosphate deposits in northern China; direction and method for phosphate search

---

**About the author:** SONG Tian-rui, male, born in 1931, senior researcher and director of Ph.D Students, mainly engages in the study of mineralogy, petrology and sedimentology; E-mail: songtianrui@cags.net.cn.