



辽西地区西灰同低品位磷矿地质特征及成因分析

陈军典^{1,2}, 杨红恩³, 李思晋³, 尹亮亮³, 罗银花⁴, 白昕冉^{1,2}, 楚颖³, 周泳君¹

1. 辽宁省物测勘查院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110031;
2. 辽宁省矿产资源绿色开发重点实验室, 辽宁 沈阳 110031;
3. 辽宁有色勘察研究院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110013;
4. 辽宁省地质矿产研究院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110032

摘要: 辽西西灰同低品位磷矿床位于中生代阜(新)义(县)盆地北西端, 矿体为含磷灰石石英闪长质片麻岩, 呈层状、似层状展布, P_2O_5 含量较低, 但较稳定。矿石中矿物成分主要为斜长石、黑云母、角闪石、磷灰石、石英、磁铁矿和辉石。通过对该磷矿床的成矿地质背景、地质特征和矿体特征研究, 从成矿物质来源、成矿构造环境、成矿作用等方面进行探讨, 初步认为该矿床受太古宙绿岩建造控制, 在时间与空间上与火山岩关系密切, 成矿阶段可分为初始成矿期、变质成矿期和热液改造期。

关键词: 磷矿; 矿体特征; 成矿作用; 火山岩; 辽宁省

GEOLOGY AND GENESIS OF XIHUITONG LOW-GRADE PHOSPHATE DEPOSIT IN WESTERN LIAONING PROVINCE

CHEN Jun-dian^{1,2}, YANG Hong-en³, LI Si-jin², YIN Liang-liang³, LUO Yin-hua⁴, BAI Xin-ran^{1,2},
CHU Ying³, ZHOU Yong-jun^{1,2}

1. Liaoning Geophysical Measuring Exploration Institute Co., Ltd., Shenyang 110031, China;
2. Liaoning Key Laboratory of Green Development of Mineral Resources, Shenyang 110031, China;
3. Liaoning Non-ferrous Geological Exploration Research Institute Co., Ltd., Shenyang 110013, China;
4. Liaoning Geology and Mineral Resources Institute Co., Ltd., Shenyang 110032, China

Abstract: The Xihuitong low-grade phosphate deposit in western Liaoning Province is located in the northwest of Mesozoic Fuxin-Yixian basin, with the orebody of apatite-bearing quartz diorite gneiss occurring in stratified and stratiform-like forms, and stable low P_2O_5 content. The main mineral compositions in the ores are plagioclase, biotite, hornblende, apatite, quartz, magnetite and pyroxene. Through the study of metallogenic geological setting, geological characteristics and orebodies of the phosphate deposit, the paper discusses the ore-forming materials, metallogenic tectonic setting, and mineralization. It is preliminarily considered that the deposit is controlled by the Archean greenstone formation, and is closely related to volcanic rocks in time and space. The ore-forming period can be subdivided into initial mineralization, metamorphic mineralization and hydrothermal transformation stages.

Key words: phosphate deposit; orebody characteristics; metallogenesis; volcanic rock; Liaoning Province

收稿日期: 2022-09-27; 修回日期: 2022-11-21. 编辑: 张哲.

基金项目: 辽宁省国土资源厅省级地质勘查项目“辽宁省阜新蒙古族自治县马牛草沟铁矿普查”(辽国土资项[2015]148号).

作者简介: 陈军典(1985—), 男, 硕士, 正高级工程师, 硕士生导师, 主要从事矿产普查与勘探、生态环境地质等领域工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区宁山中路 42 号羽丰大厦, E-mail//850449274@qq.com

通信作者: 杨红恩(1975—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事地质矿产勘查及经济评价工作, 通信地址 辽宁省沈阳市沈河区青年北大街 7 号辽宁有色大厦, E-mail//246114513@qq.com

0 引言

磷矿在工业上主要用于生产磷系肥料,也可以用来制造黄磷、磷酸、磷化物及其他磷酸盐类产品,这些产品广泛应用于农业、医药、食品、轻工、化工、国防等行业^[1-2]. 中国的磷资源特点主要表现为“丰而不富”,南多北少,形成“南磷北运,西磷东调”的产销格局. 目前我国北方可利用的磷矿资源很少,从磷矿资源可持续发展战略出发,必须重视和加强北方低品位磷矿的勘查、成矿理论及综合利用研究.

本研究依托辽宁省国土资源厅省级地质勘查项目,在收集辽西地区西灰同低品位磷矿地质资料的基础上,详细分析该磷矿床的区域地质背景、矿区地质、矿体、矿石特征和控矿因素等,并对该地区磷矿床的地质特征进行系统总结和研究,探讨矿床成因机理、有益元素的综合利用,以期为该矿床及区域磷矿的勘探提供参考.

1 区域地质背景

研究区大地构造位置处于华北地台北缘中生代阜(新)义(县)盆地的北西端. 区域构造以北东向断裂为主,北西向次之(图1).

区域出露地层为中生界和新生界第四系. 中生界以白垩系分布最广,岩性为火山碎屑岩及火山熔岩. 区域岩浆岩从老到新分别为中元古代石英二长岩、闪长岩类,古生代二叠纪钾长花岗岩、闪长岩、角闪石岩类和中生代侏罗纪二长花岗岩和闪长岩类^[3-4]. 变质岩类为新太古代片麻岩类.

区域矿产主要为铁矿、磷矿、建筑用石料等. 西灰同低品位磷矿床赋存于新太古代含磷灰石英闪长质片麻岩中. 1:20万区域地球化学异常图(图2)显著显示矿区内磷元素最高值为 $1\ 941\times 10^{-6}$ ^①.

2 矿区地质

矿区内出露地层为第四系(Q)及中生界白垩系义县组(K_{1y})火山碎屑岩和熔岩,断裂构造、岩浆岩不发育. 变质岩为石英闪长质片麻岩和二长花岗质片麻岩,其中石英闪长质片麻岩是区内磷矿赋矿岩石(图3).

义县组分2个岩性段:一段为安山质角砾凝灰岩、

凝灰岩,局部夹有膨润土;二段主要为玄武岩,局部夹有角砾凝灰岩,角砾成分主要为片麻岩角砾及安山岩角砾,与下覆结晶基底呈角度不整合接触.

岩浆岩主要为脉岩类,为安山玢岩脉、玄武岩脉,规模较小,多呈北东向展布.

石英闪长质片麻岩是矿区内赋矿岩石,在地表呈黄色、黄褐色,深部灰-刚灰色,鳞片花岗变晶结构,片麻状-条带状构造. 主要矿物组成:斜长石为不规则粒状,半自形板状,粒度0.9~2.5 mm, An=28~45,含量50%;石英为他形粒状、不规则状,晶粒变形拉长,具波状消光,含量25%;黑云母为褐色,片状,与角闪石一起构成暗色条纹,晶内见有斜长石、石英等矿物,形成筛状结构,含量20%;角闪石呈绿色,柱状,于石英、长石粒间分布,含量2%. 磷灰石多为他形短柱状及粒状晶体,部分为半自形晶体,多呈单体出现,个别呈3~4个颗粒集合体出现,沿黑云母或角闪石间生长. 一般粒径0.1~0.5 mm,最小为0.02 mm,最大的可达2 mm,含量一般为5%~8%,最高可达10%,是形成磷矿的矿石矿物.

二长花岗质片麻岩呈灰色和浅肉红色,变余似斑状结构,块状-弱片麻状构造. 斑晶以钾长石为主,含量约15%,大小1 cm×0.5 cm,多沿片麻理定向排列. 斜长石斑晶为更长石,部分具环带构造、绢云母化,含量30%~35%. 基质钾长石为微斜长石,呈不规则粒状,含量35%~40%. 石英多呈他形粒状,沿片麻理定向排列,重结晶作用明显,含量20%~25%. 黑云母呈褐色鳞片状,在岩石中沿片麻理定向排列,含量约5%.

3 矿床特征

西灰同磷矿赋存在太古宇片麻岩中,属变质型低品位磷灰石矿床,矿体主要由含磷灰石石英闪长质片麻岩组成,呈层状、似层状展布,可分为上部矿体和下部矿体(图4). 上部矿体呈褐黄色、土黄色,东西长300~860 m,南北宽200~650 m,厚度17~29 m,平均22.11 m, P₂O₅含量0.79%~3.20%,平均1.89%,变化系数30.84%;下部矿体为原生矿,呈灰-钢灰色,东西长300~900 m,南北宽350~620 m,厚度18.43~31.63 m,平均25.98 m, P₂O₅含量0.94%~2.76%,平均2.09%,变化系数13.24%^②. 上、下矿体 P₂O₅含量一般较低,但

①辽宁省1:20万水系沉积物地球化学测量报告. 2015.

②辽宁省阜新蒙古族自治县王府镇超贫磷灰石矿资源储量核实报告. 2018.

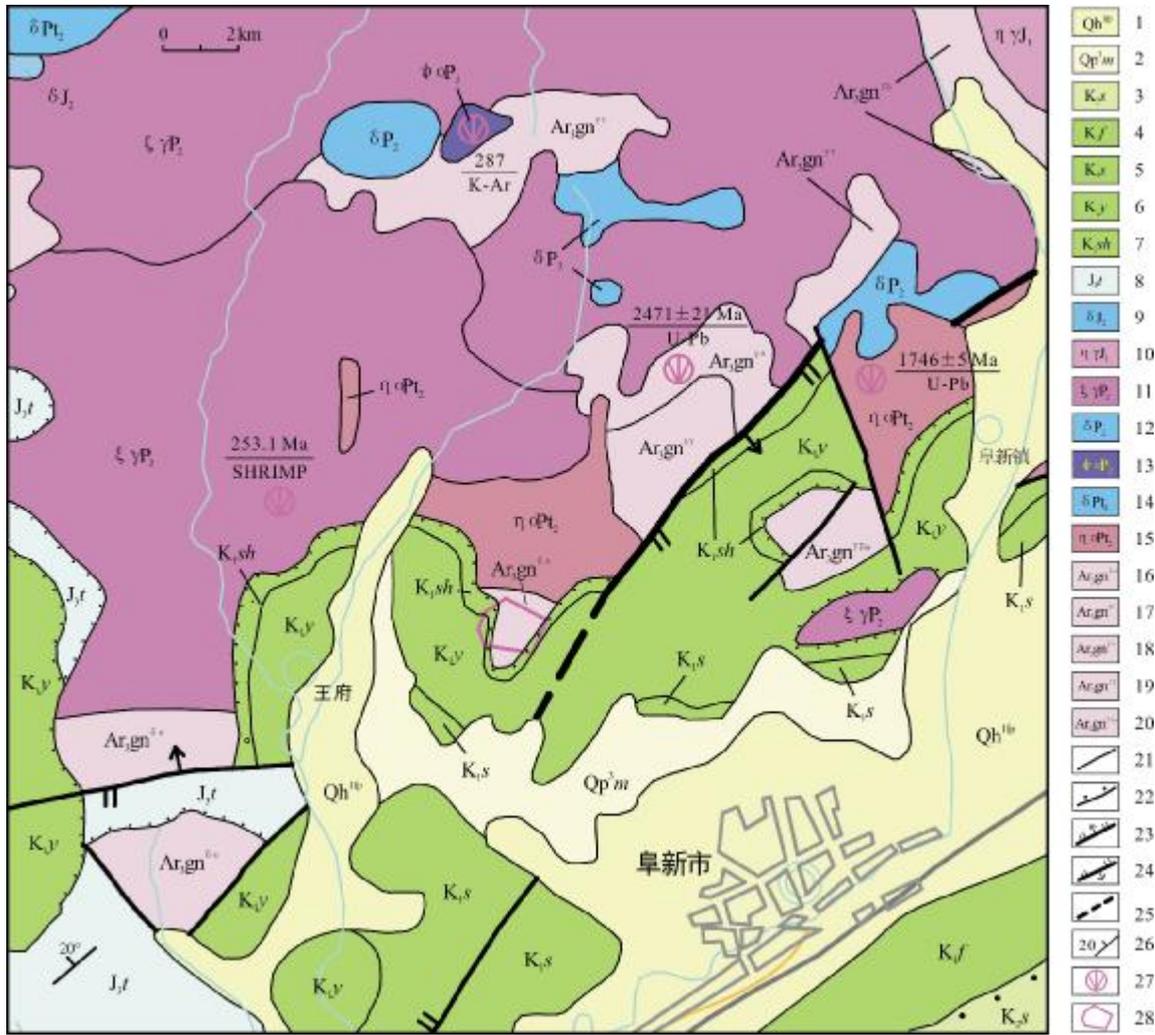


图 1 辽西西灰同磷矿区及附近地质简图
(据文献[3])

Fig. 1 Geological sketch map of Xihuitong phosphorite orefield and vicinity
(From Reference [3])

- 1—冲洪积物 (alluvial diluvium); 2—马兰黄土 (Malan loess); 3—孙家湾组砂砾岩 (glauconite of Sunjiawan fm.); 4—阜新组砂岩、页岩夹煤层 (sandstone, shale with coal seam of Fuxin fm.); 5—沙海组砂岩、粉砂岩夹页岩 (sandstone, siltstone with shale of Shahezi fm.); 6—义县组火山岩 (volcanic rocks of Yixian fm.); 7—沙河子组砂岩、粉砂岩夹页岩 (sandstone, siltstone with shale of Shahezi fm.); 8—土城子组砂岩、砾岩和泥岩 (sandstone, conglomerate and mudstone of Tuchengzi fm.); 9—中侏罗世闪长岩 (M. Jurassic diorite); 10—早侏罗世二长花岗岩 (E. Jurassic monzogranite); 11—中二叠世钾长花岗岩 (M. Permian K-feldspar granite); 12—中二叠世闪长岩 (M. Permian diorite); 13—中二叠世角闪岩 (M. Permian hornblende gneiss); 14—中元古代闪长岩 (Mesoproterozoic diorite); 15—中元古代石英二长岩 (Mesoproterozoic quartz monzonite); 16—新太古代石英角闪片麻岩 (Neoproterozoic quartz amphibolite gneiss); 17—新太古代片麻状二长花岗岩 (Neoproterozoic gneissic monzogranite); 18—新太古代奥长花岗岩片麻状 (Neoproterozoic trondhjemite gneissoid); 19—新太古代花岗闪长质片麻岩 (Neoproterozoic granodioritic gneiss); 20—新太古代英云闪长质片麻岩 (Neoproterozoic tonalite gneiss); 21—地质界线 (geological boundary); 22—不整合接触界线 (unconformity); 23—正断层 (normal fault); 24—逆断层 (reverse fault); 25—性质不明断裂 (property unknown fault); 26—产状 (occurrence); 27—测年点 (dating point); 28—矿区位置 (mining area)

较稳定(表 1)。

矿石矿物成分为磷灰石、磁铁矿、辉石、斜长石、电气石、黑云母、角闪石、石英等(图 5),有用组分是磷灰石和磁铁矿。磷灰石多呈他形柱状、粒状,粒径 0.1~

0.5 mm,个别达 2~3 mm,与黑云母和角闪石关系密切。磁铁矿为磷灰石的伴生矿产,呈自形—他形、粒状,含量 5%~8%。

矿石结构主要为粒状变晶结构、鳞片柱状粒状变

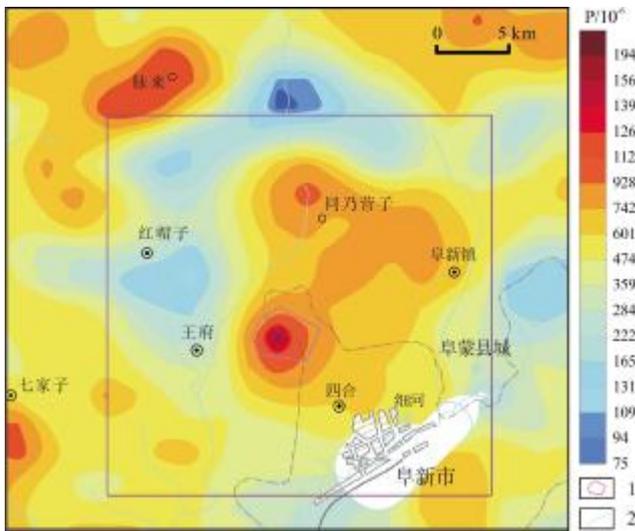


图2 研究区磷元素水系沉积物地球化学异常分布简图
Fig. 2 Geochemical anomaly of P in stream sediments in the study area

1—矿区范围(mining area); 2—河流水系(river system)

晶结构, 矿石构造主要为片麻状构造、条带状构造、块状构造及斑杂构造, 其中片麻状构造是主要构造。

从化学组分关系(图6)上看, 随着 P_2O_5 含量增加, SiO_2 、 CaO 、 MgO 和 Al_2O_3 含量变化较大; P_2O_5 与 Fe_2O_3 含量呈正相关; mFe 含量低且较稳定, 不随 P_2O_5 含量的增减而变化。

在化学成分上, 西灰同低品位磷矿体中主元素含量与国内外太古宙绿岩带中相应的岩石具有一定的相似性(表2), 属于变质碱性-铁镁质火山岩(含矿岩石)^[5], 矿石自然类型为火山岩型(绿岩带型)磷矿床^[6-7]。

西灰同矿区矿石为太古宙含磷灰石石英闪长质片

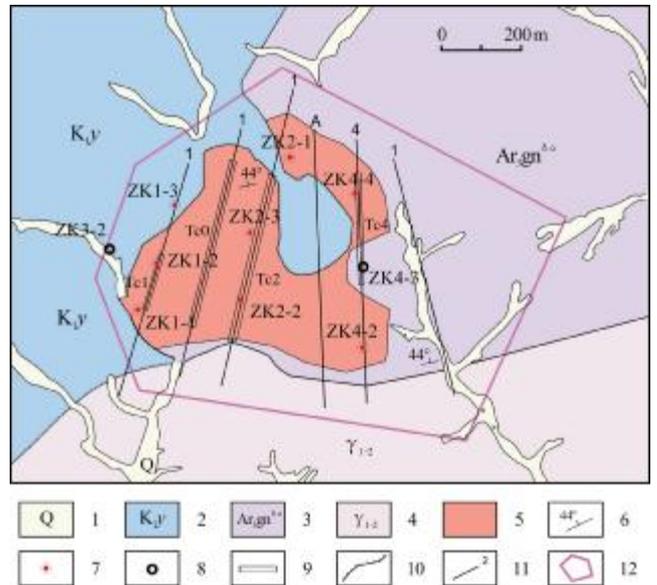


图3 矿区地质简图

Fig. 3 Geological sketch map of the mining area

1—第四系(Quaternary); 2—义县组火山碎屑岩(pyroclastic rock of Yixian fm.); 3—含磷灰石石英黑云母闪长岩(apatite-bearing quartz biotite diorite); 4—二长花岗质片麻岩(monzogranitic gneiss); 5—磷矿体(phosphate orebody); 6—产状(occurrence); 7—见矿钻孔(borehole with ore discovery); 8—未见矿钻孔(barren borehole); 9—探槽(exploratory trench); 10—地质界线(geological boundary); 11—勘查线及编号(exploratory line and number); 12—矿区范围(mining area)

麻岩, 伴有少量的磁铁石英岩、变粒岩等, 局部可见较强的硅化、绿泥石化、钠长石化、绢云母化和碳酸盐化。蚀变对磷矿具有破坏作用, 常使品位降低。

4 矿床成因

辽西西灰同低品位磷矿赋存于石英闪长质片麻岩

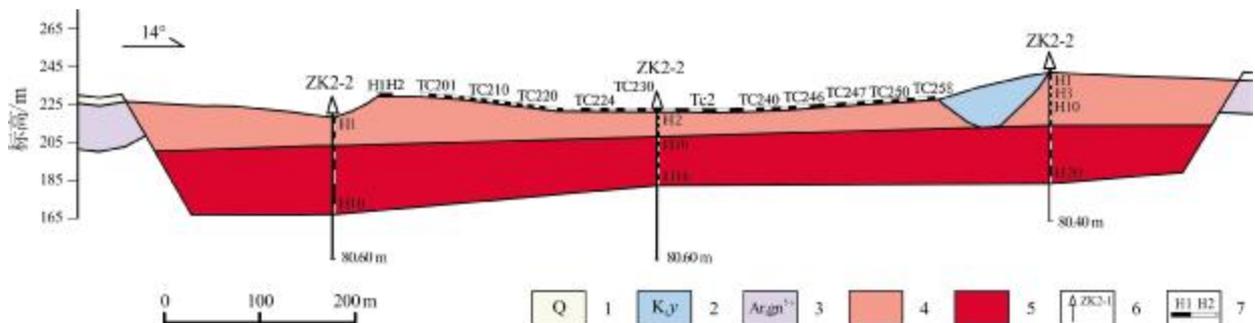


图4 2 勘查线地质剖面图

Fig. 4 Geological profile along No. 2 exploratory line

1—第四系(Quaternary); 2—义县组火山碎屑岩(pyroclastic rock of Yixian fm.); 3—含磷灰石石英黑云母闪长岩(apatite-bearing quartz biotite diorite); 4—上部矿体(upper orebody); 5—下部矿体(lower orebody); 6—钻孔及编号(borehole and number); 7—采样位置及编号(sampling position and number)

表1 矿区内上、下部矿体 P₂O₅ 含量分布统计表Table 1 Distribution of P₂O₅ content in upper and lower orebodies of the mining area

矿体部位	剖面号	总样品数/ 个	平均值	含量<1.0%		1.0%~1.5%		1.5%~2.0%		>2.0%		变化系数/ %
				样品数/个	比例/%	样品数/个	比例/%	样品数/个	比例/%	样品数/个	比例/%	
上部矿体	0	95	1.95	0	0	4	27	4	27	7	46	27.93
	1	43	2.03	1	2	2	5	16	37	24	56	19.05
	2	19	2.01	0	0	1	5	6	32	12	63	17.78
	4	43	1.42	21	49	3	7	10	23	9	21	46.56
	A	22	1.78	2	9	3	14	9	41	8	36	22.65
	6	50	2.16	3	6	5	10	2	4	40	80	25.59
	小计	192	1.89	27	14	18	9	47	24	100	52	30.84
下部矿体	0	57	2.13	1	2	2	4	12	21	42	74	15.22
	1	24	2.02	0	0	0	0	13	54	11	46	11.28
	2	42	2.13	0	0	1	2	12	29	29	69	12.22
	4	11	1.97	0	0	0	0	7	64	4	36	6.95
	A	10	2.03	0	0	0	0	3	30	7	70	9.78
	小计	144	2.09	1	1	3	2	47	33	93	64	13.24

表2 太古宙绿岩带型磷矿(岩)石化学成分

Table 2 Chemical compositions of Archean greenstone belt phosphate ore/rock

岩(矿)石类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
西灰同-石英闪长质片麻岩	50.82	13.20	1.60	16.17		0.19	3.97	5.64	1.59	2.12	1.89
西灰同-石英闪长质片麻岩	47.02	13.98	1.44	16.18		0.15	4.86	8.14	2.38	2.20	2.09
辽宁建平乌兰乌苏磷矿-斑杂状黑云斜长混合岩 [*]	52.75		2.02	14.58	5.39	0.12	2.35	5.16	3.93	3.70	0.18
河北丰宁招兵沟-混合质黑云角闪斜长片麻岩 [*]	49.53	16.05	1.25	5.37	7.49	0.12	6.36	8.86	2.93	0.58	0.16
国外绿岩带-安山岩 [*]	56.70	14.00	0.92	2.30	7.00		5.40	6.60	3.40	0.67	0.64
国外绿岩带-拉斑玄武岩 [*]	49.50	15.20	1.49	2.80	9.17	0.18	6.82	8.79	2.70	0.66	0.17

* 据文献[8], 含量单位:%.

中,主要化学成分可与国内外典型绿岩带对比,其含矿建造受太古宙绿岩带控制.从岩石地球化学角度分析,磷为亲石元素,同时具有明显的亲铁性,因此磷、铁可以密切共生而成矿^[6,9-10].新太古代,研究区发生大规模岩浆活动特别是火山喷发.火成岩中磷的平均量0.21%~0.3%,其中基性岩中磷含量0.32%~0.40%^[1],

磷在岩浆岩中大多呈分散状态.因此,新太古代的大规模火山喷发活动是矿区内P、Fe成矿物质来源^[6,8].

火山喷发物质遭受区域变质作用,含矿建造发生了不同程度的重结晶和化学作用,使磁铁矿、磷灰石等矿物粒径变大和局部富集,这种改造作用是在基本封闭的体系中进行,总化学成分基本保持不变,但可以使

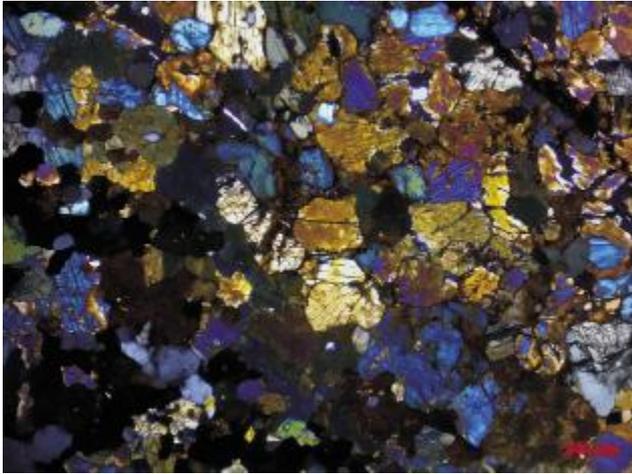
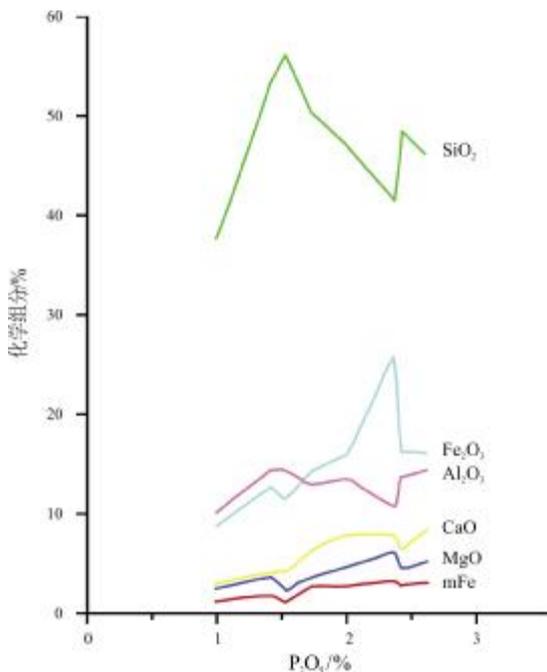


图5 矿石薄片影像

Fig. 5 Micrograph of ore

图6 西灰同磷矿石化学组分与 P₂O₅ 含量关系图Fig. 6 Relationship between contents of P₂O₅ and other compositions in phosphate ore

成矿物质局部富集或贫化^[6]。

印支—燕山期大规模岩浆活动使含矿建造遭受进一步改造,含矿石英闪长质片麻岩发生硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化等热液蚀变作用。因P、Fe与角闪石和黑云母关系密切,蚀变导致P、Fe等成矿物质含量的降低^[11-14],如角闪石发生绿泥石化,会释放出Fe,使Fe含量降低,绢云母化使Ca含量降低。总之强烈的岩浆改造作用使P、Fe等成矿物质贫化^[15-16]。

矿区位于华北地台北缘,区域内磷-铁矿具有相似的成矿演化历史,成矿具有多阶段性。根据杜美艳对内蒙古赤峰大西沟磷-铁矿的研究结果^[1],结合西灰同磷矿地质特征,可将成矿作用大致划分为3个时期,由早到晚依次如下。

1)太古宙火山-沉积作用与初始成矿时期:即含矿建造形成时期,火山喷发-沉积作用形成含矿火山-沉积建造,它构成了矿床物质成分和规模的雏形^[17-18]。

2)前中生代区域变质作用与富集成矿时期:该阶段含矿建造遭受改造,主要形成角闪岩相石英闪长质片麻岩,并使Fe、P等成矿物质在其局部富集。

3)印支—燕山期岩浆热液改造时期:岩浆侵入作用使含矿石英闪长质片麻岩发生广泛的热液蚀变作用,导致蚀变石英闪长质片麻岩中Fe、P等成矿物质贫化^[1]。

综上所述,该矿床成因类型应为变质型磷-铁矿床。

5 结论

1)辽西西灰同低品位磷矿床矿体赋存于太古宙石英闪长质片麻岩中,属于绿岩建造成矿,矿体呈层状、似层状展布。有用矿物为磷灰石和磁铁矿,矿体中P₂O₅含量一般较低,但较稳定。矿体与围岩界线不明显。矿石主要为变晶结构,片麻状构造,局部可见较强的硅化、绿泥石化、钠长石化、绢云母化和碳酸盐化等。

2)矿床的主要找矿岩性标志是含磷灰石英闪长质片麻岩,即石英闪长质片麻岩的分布区域为该类型磷矿的找矿方向^[19-20]。

3)矿床受太古宙绿岩建造控制,在时间与空间上与火山岩关系密切,成矿具有多期次性,可分为初始成矿期、变质成矿期和热液改造期等3期成矿。

4)矿床成因类型应为变质型低品位磷-铁矿床。

参考文献(References):

- [1]杜美艳. 赤峰东南部大西沟磷-铁矿床地球化学特征及成因[D]. 长春: 吉林大学, 2012: 61-63.
Du M Y. Geochemical characteristics and genesis of Daxigou magnetite-apatite deposit in southeast Chifeng[D]. Changchun: Jilin University, 2012: 61-63.
- [2]郭嘉. 辽西某含铁低品位磷矿选矿工艺技术研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2008: 21-22.
Guo J. Research on mineral processing technology of containing iron

- low-grade phosphate ores of Liaoxi [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2008: 21-22.
- [3] 杨中柱, 陈树良, 董万德. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 1171-1173.
- Yang Z Z, Chen S L, Dong W D. Regional geology of Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 1171-1173. (in Chinese)
- [4] 曹金鑫, 陈吉艳, 汪龙波. 扬子区寒武系底部含磷岩系沉积特征对比与成矿规律[J]. 地质与资源, 2022, 31(1): 47-58, 27.
- Cao J X, Chen J Y, Wang L B. Sedimentary characteristics and metallogenic regularity of phosphoric rock series at the bottom of Cambrian in Yangtze region [J]. Geology and Resources, 2022, 31(1): 47-58, 27.
- [5] 崇霄霄, 刘创脱, 宋泽峰, 等. 河北矾山铁磷矿矿床地质特征[J]. 河北地质大学学报, 2019, 42(6): 33-36.
- Chong X X, Liu C T, Song Z F, et al. The geological features of Fanshan phosphosiderite deposit in Hebei Province, China [J]. Journal of Hebei GEO University, 2019, 42(6): 33-36.
- [6] 韩豫川, 夏学惠, 肖荣阁, 等. 中国磷矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 117-148.
- Han Y C, Xia X H, Xiao R G, et al. Phosphorus deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012: 117-148. (in Chinese)
- [7] 吴发富, 王建雄, 刘江涛, 等. 磷矿的分布、特征与开发现状[J]. 中国地质, 2021, 48(1): 82-101.
- Wu F F, Wang J X, Liu J T, et al. Distribution, geology and development status of phosphate resources [J]. Geology in China, 2021, 48(1): 82-101.
- [8] 《中国矿床》编委会. 中国矿床(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 26-36.
- Editorial Board. Mineral deposits in China (Volume II) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 26-36. (in Chinese)
- [9] 朱林生, 朱杰勇, 陈启亮, 等. 云南安宁磷矿区富矿的分布规律及控制因素[J]. 地质与资源, 2008, 17(1): 40-44.
- Zhu L S, Zhu J Y, Chen Q L, et al. The distribution law and controlling factors of the rich phosphorite ore in Anning phosphorous deposit, Yunnan Province [J]. Geology and Resources, 2008, 17(1): 40-44.
- [10] 夏学惠, 魏祥松. 河北丰宁招兵沟铁磷矿床地质及综合利用前景[J]. 化工矿产地质, 2005, 27(1): 1-5.
- Xia X H, Wei X S. Comprehensive utilization and its geology of Zhaobingou iron/phosphate deposit in Fengning, Hebei Province [J]. Geology of Chemical Minerals, 2005, 27(1): 1-5.
- [11] 夏学惠, 谭云基, 杨辉艳, 等. 新疆天山成矿带铁磷矿地质及成矿专属性[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 486-496.
- Xia X H, Tan Y J, Yang H Y, et al. Iron-phosphate deposit geology and metallogenic specialization in the Tianshan metallogenic belt, Xinjiang [J]. Geology of China, 2012, 39(2): 486-496.
- [12] 谢宏. 应用铈异常示踪沉积构造环境——以贵州铜仁坝黄磷矿为例[J]. 地质与资源, 2012, 21(4): 406-409.
- Xie H. The cerium anomaly tracer for sedimentary tectonic environment: A case study of the Bahuang phosphorite deposit in Tongren, Guizhou Province [J]. Geology and Resources, 2012, 21(4): 406-409.
- [13] 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): 824-828.
- Song T R, Wan Y S, Chen Z Y, et al. Characteristics of REE minerals from Proterozoic sedimentary rocks of Northern China and their significance: Case studies of Beijing and Dalian areas [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(6): 824-828.
- [14] 邓久信. 辽宁仰山磷矿地质特征[J]. 化工地质, 1979(1): 48-55.
- Deng J X. Geological characteristics of Yangshan phosphate mine in Liaoning Province [J]. Geology of Chemical Minerals, 1979(1): 48-55. (in Chinese)
- [15] 吴兴乐, 冯闯, 姜红英. 辽宁省辽阳市甜水磷矿床地质特征及成矿条件[J]. 吉林地质, 2007, 26(4): 47-53.
- Wu X L, Feng C, Jiang H Y. Geologic features and metallogenic condition of the Tianshui P-deposit, Liaoyang area, Liaoning Province [J]. Jilin Geology, 2007, 26(4): 47-53.
- [16] 王莹, 熊先孝, 东野脉兴, 等. 中国磷矿资源预测模型及找矿远景分析[J]. 中国地质, 2022, 49(2): 435-454.
- Wang Y, Xiong X X, Dongye M X, et al. Prediction model and exploration prospect analysis of phosphate mineral resources in China [J]. Geology in China, 2022, 49(2): 435-454.
- [17] 张允平, 宋维民, 那福超, 等. 蒙古-鄂霍次克褶皱系地质特征及构造属性讨论[J]. 地质与资源, 2022, 31(3): 259-274, 288.
- Zhang Y P, Song W M, Na F C, et al. Geological characteristics and tectonic attribute of Mongolia-Okhotsk fold system [J]. Geology and Resources, 2022, 31(3): 259-274, 288.
- [18] 姚宾宾, 范应, 蒲东. 甘肃龙首山绿草泉沟磷矿矿床地质特征和成因分析[J]. 地质找矿论丛, 2021, 36(2): 171-176.
- Yao B B, Fan Y, Pu D. Geological characteristics and genesis of the Lvcaoquangou phosphorus deposit in Longshou Mountain, Gansu Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2021, 36(2): 171-176.
- [19] 宋天锐. 中国北方磷矿成矿类型和找矿方向[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 315-323.
- Song T R. On the types of phosphate deposit in Northern China and direction for ore finding [J]. Geology in China, 2007, 34(2): 315-323.
- [20] 东野脉兴. 中朝准地台北缘岩浆岩型磷矿成矿带东端朔州碱性杂岩及磷矿地质特征[J]. 化工矿产地质, 2020, 42(1): 12-18.
- Dongye M X. Geologic features of Shuozhou alkali mixtite and phosphate deposits in the eastern end of magmatic phosphate metallogenic belt of China-Korea paraplatform north margin [J]. Geology of Chemical Minerals, 2020, 42(1): 12-18.