

引用格式:梁平,祝培刚,祝德成,等.胶西北大尹格庄斑状花岗岩地球化学特征及地质意义[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(4):22-34.

LIANG Ping, ZHU Peigang, ZHU Decheng, et al. Geochemical characteristics and geological significance of porphyritic granite in Dayingezhuang, northwestern Jiaodong[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2018, 37(4):22-34.

# 胶西北大尹格庄斑状花岗岩地球化学特征及地质意义

梁平<sup>1</sup>, 祝培刚<sup>2</sup>, 祝德成<sup>2</sup>, 马莉<sup>2</sup>, 王巧云<sup>2</sup>, 杨振毅<sup>2</sup>, 刘汉栋<sup>2</sup>

(1. 山东招金地质勘查有限公司, 山东招远 265400; 2. 山东省地质调查院, 山东济南 250013)

**摘要:**郭家岭型花岗岩主要分布于胶西北北部的上庄、丛家、郭家岭一带,近年在大尹格庄金矿钻孔中发现了斑状花岗岩。本次研究采取大尹格庄斑状花岗岩样品,测试了岩石主量元素、微量元素和稀土元素含量。岩体具有高的 Ba( $1.187 \times 10^{-6} \sim 1.897 \times 10^{-6}$ )、Sr( $931.25 \times 10^{-6} \sim 989.54 \times 10^{-6}$ )、轻稀土( $113.17 \times 10^{-6} \sim 167.68 \times 10^{-6}$ )含量,低的 Nb( $3.81 \times 10^{-6} \sim 6.09 \times 10^{-6}$ )、Ta( $0.18 \times 10^{-6} \sim 0.31 \times 10^{-6}$ )和重稀土( $4.21 \times 10^{-6} \sim 5.63 \times 10^{-6}$ )含量,轻稀土富集、重稀土亏损(LREE/HREE=26.07~32.04),无明显 Eu 异常,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti,与上庄岩体同属郭家岭型花岗岩。岩浆具有壳幔混合特点,成岩背景为活动大陆边缘。大型金矿附近都有郭家岭型花岗岩存在,金矿的形成与郭家岭型花岗岩相依;成岩时间早于金矿成矿时间 5~10 Ma,与岩浆期后热液矿床成矿时间差相符;郭家岭型花岗岩为金矿成矿提供了成矿物质、热源和矿化剂,胶东金矿的形成与郭家岭型花岗岩关系密切。

**关键词:**胶西北;大尹格庄;斑状花岗岩;地球化学;地质意义

中图分类号:P595

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2018)04-0022-13

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.04.003

## Geochemical Characteristics and Geological Significance of Porphyritic Granite in Dayingezhuang, Northwestern Jiaodong

LIANG Ping<sup>1</sup>, ZHU Peigang<sup>2</sup>, ZHU Decheng<sup>2</sup>, MA Li<sup>2</sup>, WANG Qiaoyun<sup>2</sup>,  
YANG Zhenyi<sup>2</sup>, LIU Handong<sup>2</sup>

(1. Shandong Zhaojin Geological Survey Co. Ltd, Zhaoyuan, Shandong 265400, China;

2. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250013, China)

**Abstract:** Guojialing granites are mainly distributed in Shangzhuang, Congjia and Guojialing in the northern part of northwestern Jiaodong. In recent years, porphyritic granites have been found in the drills of the Dayingezhuang gold deposit. In this study, Dayingezhuang porphyritic granite samples were used to test the contents of main element, trace elements, and rare earth elements. With high contents of Ba ( $1.187 \times 10^{-6}$  to  $1.897 \times 10^{-6}$ ), Sr ( $931.25 \times 10^{-6}$  to  $989.54 \times 10^{-6}$ ), and light rare earth ( $113.17 \times 10^{-6}$  to  $167.68 \times 10^{-6}$ ), low contents of Nb ( $3.81 \times 10^{-6}$  to  $6.09 \times 10^{-6}$ ), and heavy rare earth ( $4.21 \times 10^{-6}$  to  $5.63 \times 10^{-6}$ ), light rare earth enrichment, heavy rare earth depletion (LREE/HREE=26.07~32.04), no obvious Eu anomaly, depletion of high field strength elements Nb, Ta, P, Ti, and the same type of Guojialing granite in Shangzhuang. The magma has a mixed crust-mantle characteristic, and the background is an active continental margin. Large gold mines are all associated with Guojialing granite. The formation of gold mines is related to Guojialing granite; the crystallization time is earlier than the gold mineralization time by 5~10 Ma, and the time difference between the formation of the gold mine and the hydrothermal vein deposit is consistent; Guojialing granite provides ore-forming substances, heat source and mineralization agent for the formation of gold mines in the Jiaodong Peninsula, and the relationship between Guojialing granite and gold mines is close.

收稿日期:2018-03-01

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0601506);中国地质调查局地质矿产调查评价专项(12120113060500);山东省重点研发计划项目(2017CXGC1606)

作者简介:梁平(1965—),男,山东招远人,工程师,主要从事矿产勘查方面的工作。

祝德成(1979—),男,山东安丘人,高级工程师,主要从事地质矿产勘查工作,本文通信作者。

E-mail:zhudecheng1038@126.com

$6.09 \times 10^{-6}$ ), Ta ( $0.18 \times 10^{-6}$  to  $0.31 \times 10^{-6}$ ) and heavy rare earth ( $4.21 \times 10^{-6}$  to  $5.63 \times 10^{-6}$ ), enrichment of light rare earth, loss of heavy rare earth (LREE/HREE = 26.07-32.04), no obvious anomaly of Eu, and loss of high field strength elements Nb, Ta, P, Ti, the rock masses belong to the Guojialing type granite with Shangzhuang rock mass. The magma has the characteristics of crust-mantle mixing and the diagenetic background is the active continental margin. Guojialing granites exist near large gold deposits and the formation of gold deposits depends on the Guojialing granites. The diagenetic time is earlier than the 5-10 Ma gold mineralization time, and the diagenesis and mineralization time difference of the post-magmatic mineral deposits in the magmatic phase is consistent. Guojialing granites provide mineralization materials, heat sources, and mineralizers for gold mineralization. The formation of Jiaodong gold deposit is closely related to Guojialing granites.

**Key words:** northwestern Jiaodong; Dayingezhuang; porphyritic granite; geochemistry; geological significance

胶东是我国最重要的金矿集区,金矿资源储量和黄金产量均占全国四分之一以上<sup>[1-2]</sup>,多数超大型、大型金矿床集中产于胶西北地区<sup>[3]</sup>。区内广泛分布中生代燕山期花岗岩,前人对该地区花岗岩的构造环境<sup>[2,4-5]</sup>、形成时代<sup>[3,5-6,8,10]</sup>、岩石地球化学<sup>[4-5,8,10]</sup>、成因演化<sup>[4-5,11]</sup>、与金矿关系<sup>[12-13]</sup>等进行了大量的研究。

区内金矿的形成与中生代岩体的关系一直是争论的焦点和热点。姚凤良等<sup>[14]</sup>认为金矿与玲珑花岗岩(包括玲珑型花岗岩和滦家河型花岗岩)侵入演化有关;关康等<sup>[6]</sup>、李士先等<sup>[15]</sup>认为胶西北金矿为郭家岭型花岗岩岩浆期后热液矿床;罗镇宽等<sup>[16]</sup>认为郭家岭型花岗岩与金矿化成矿流体具同源性,且成矿略晚于岩浆侵位;孙华山等<sup>[13]</sup>认为金矿床受郭家岭型花岗岩体接触带和断裂构造蚀变带联合控制;张旗等<sup>[17]</sup>认为胶东郭家岭型花岗岩具有埃达克岩的特征,金的来源与埃达克岩有关;李洪奎等<sup>[18]</sup>认为金矿的形成与造山期郭家岭型花岗岩关系密切;叶天竺等<sup>[19]</sup>认为郭家岭型花岗岩是成矿地质体,而滦家河岩体及玲珑岩体都是成矿的先期围岩;宋明春等<sup>[2]</sup>认为金矿的形成与伟德山型花岗岩及相关的中基性脉岩有关,岩浆活动在金矿成矿中起到了“热机”作用,并提供了部分成矿物质。

郭家岭型花岗岩地表出露于上庄、北截、丛家、郭家岭等地,近年在仓上、三山岛金矿床深部也发现了郭家岭型斑状花岗(闪长)岩,王中亮等<sup>[4]</sup>、刘跃等<sup>[5]</sup>认为新城金矿床的赋矿围岩属于郭家岭型花岗岩,称为新城花岗岩。胶西北地区多数金矿床分布于郭家岭型花岗闪长岩附近(图1),大尹格庄-夏甸金矿田虽然有过郭家岭花岗岩的报道<sup>[20]</sup>,但未对其岩石地球化学特征及与成矿关系进行深入探讨;栖霞金矿田也未发现郭家岭型花岗岩的报道。2014年,招金集团在大尹格庄金矿北部孙家乔附近施工的24ZK1、128ZK1两个钻孔,在招平断裂带之下发现了隐伏的斑状花岗岩,从岩心观察,与上庄岩体巨斑花岗岩的岩性特征基本一致,称之为大尹格庄岩体。为探讨该岩石的地球化学特征、岩石成因以及郭家岭型花岗岩与胶西北金矿成矿的关系,在野外钻孔岩心观察及样品采集基础上,进行地球化学分析,并与已有的典型郭家岭型花岗岩上庄岩体<sup>[8]</sup>的研究成果对比分析,探讨郭家岭型花岗闪长岩对金矿成矿的地质意义。

## 1 区域地质背景

区内变质地层由太古宙唐家庄岩群和胶东岩群、古元古代荆山群和粉子山群及新元古代蓬莱群组成(图1)。唐家庄岩群主要为紫苏磁铁石英岩、磁铁二辉麻粒岩等,形成时代为中太古代<sup>[21]</sup>;胶东岩群主要为斜长角闪岩、黑云变粒岩及角闪变粒岩夹磁铁角闪石英岩组合,形成于新太古代<sup>[21]</sup>,唐家庄岩群和胶东岩群多呈规模不等的包体状“漂浮”于太古宙栖霞TTG花岗岩中。古元古代荆山群和粉子山群岩性为高铝片岩、大理岩、石墨片麻岩、黑云斜长片麻岩、透辉岩等,形成于2.1~2.2 Ga<sup>[22]</sup>。新元古代蓬莱群为一套大理岩、千枚岩、板岩夹石英岩,顶为灰岩,底为砾岩的岩石组合<sup>[21]</sup>。

岩浆岩主要有太古宙超基性-基性岩组合、新太古代栖霞-谭格庄TTG片麻状-条带状花岗岩类、古元古代超基性-基性岩组合,中生代玲珑型花岗岩、郭家岭型花岗岩、伟德山型花岗岩等。

其中,玲珑型和郭家岭型花岗岩是胶东金矿主要的赋矿围岩。玲珑型花岗岩呈NNE-NE向分布于焦家断裂与招平断裂之间(图1),以黑云母花岗岩为主,前人<sup>[16]</sup>高精度定年结果显示形成于160~150 Ma,为加厚的下地壳部分熔融的产物,没有地幔成分加入<sup>[23]</sup>;郭家岭型花岗岩由石英二长岩、二长花岗岩和花岗闪长

岩组成,形成时间为126~130 Ma<sup>[16]</sup>;伟德山型花岗岩形成于127~105 Ma<sup>[24]</sup>,由二长花岗岩组成,是中下地壳的部分熔融形成的酸性岩浆与幔源的基性岩浆相互作用的结果<sup>[25]</sup>。

与早白垩世花岗岩类同时代(130~110 Ma)形成的白垩纪青山群火山岩分布在胶莱盆地,由碱性玄武岩、玄武粗安岩、安粗岩和粗面岩等组成,富集轻稀土(LREE)和大离子亲石元素(LILE),是由交代的富集岩石圈地幔部分熔融形成<sup>[26]</sup>。

沿玲珑型花岗岩和前寒武纪变质岩接触带及附近发育的一系列 NNE-NE 向拆离断裂(自西向东依次为三山岛断裂、焦家断裂和招平断裂)以及发育在玲珑型和郭家岭型花岗质岩体中的次级 NNE-NE 向断裂裂隙控制了该区金矿床产出(图1)。

郭家岭型花岗岩自西向东由三山岛、上庄、北截、丛家、曲家、郭家岭等岩体组成,这些岩体大致呈近东西向串珠状展布(图1)。除西部的三山岛、新城、上庄和北截岩体为岩株状产出外,其余均为复式岩基或岩株状产出。岩体与围岩界线清晰,平直圆滑,内接触带韧性剪切发育。岩体内部闪长质包体发育,形态以椭圆状为主,具定向排列。在内接触带或顶盖处有浅源围岩捕虏体。

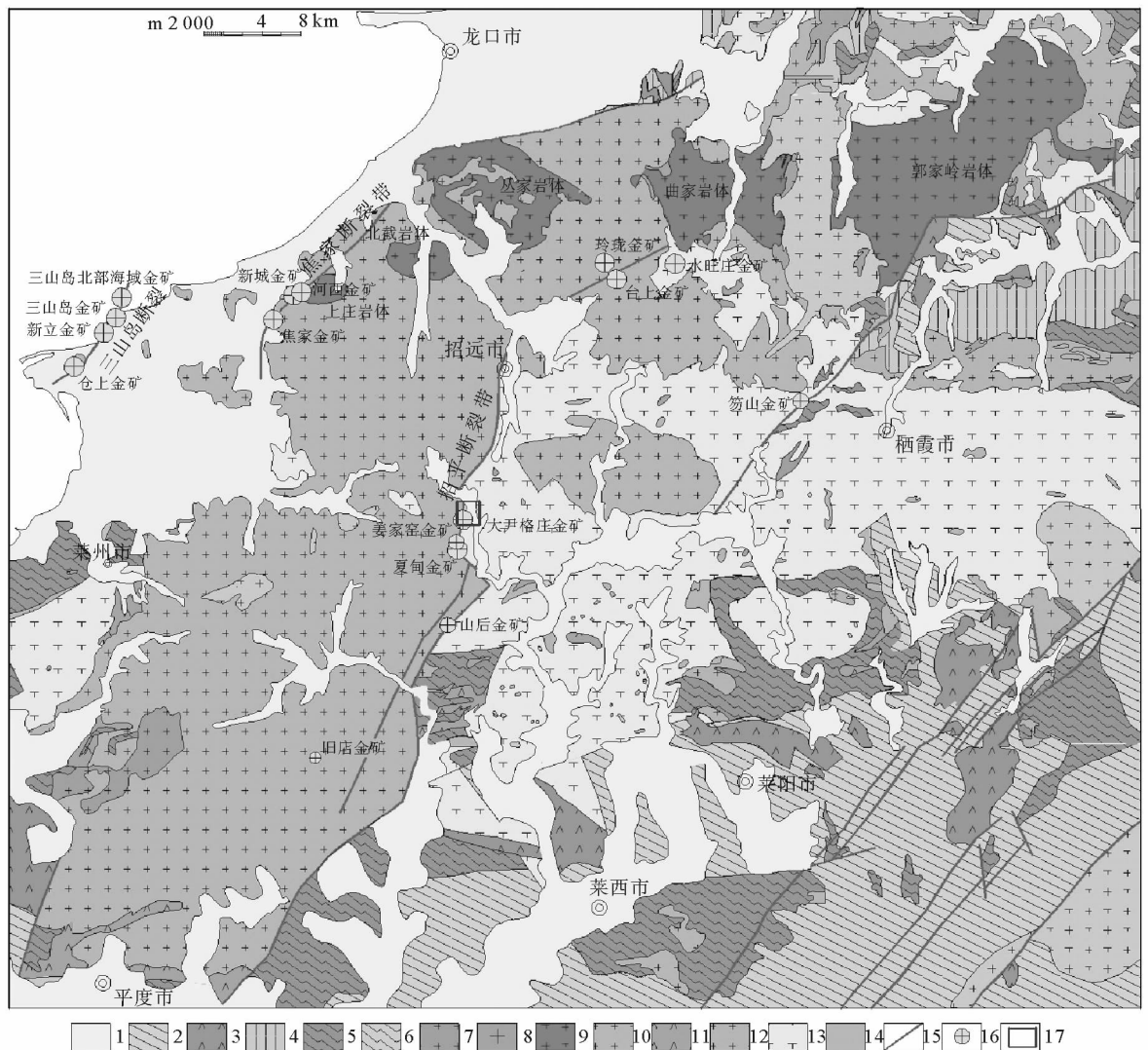
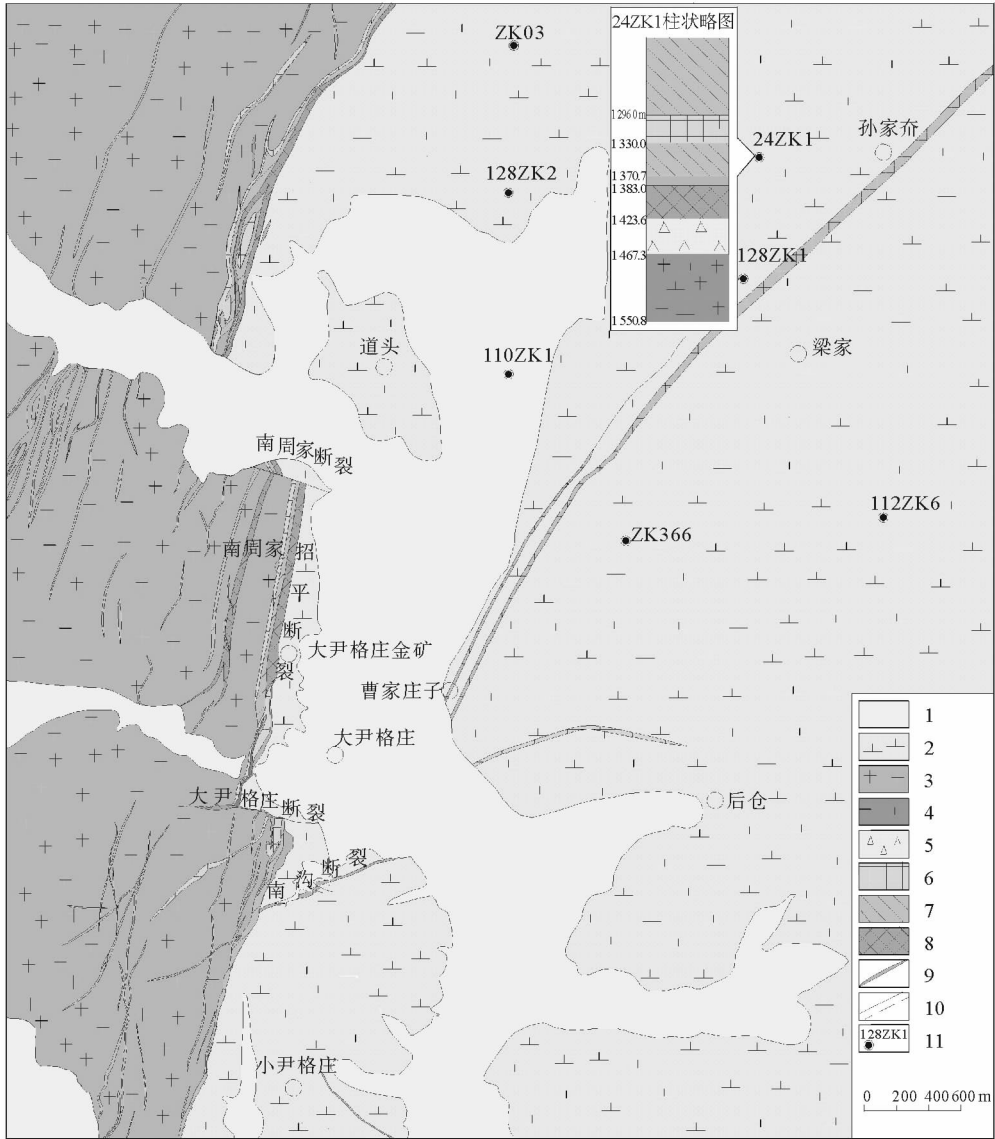


图1 胶西北地区地质简图  
1-第四系;2-白垩纪沉积岩;3-白垩纪火山岩;4-新元古代蓬莱群;5-古元古代粉子山群、荆山群;6-新太古代胶东岩群;7-白垩纪伟德山型花岗岩;8-白垩纪玲珑型花岗岩;9-白垩纪郭家岭型花岗岩;10-侏罗纪玲珑花岗岩;11-元古宙变质基性-超基性岩;12-古元古代花岗岩;13-太古宙 TTG 片麻岩;14-太古宙变质基性-超基性岩;15-断层;16-金矿床;17-研究区

图1 胶西北地区地质简图  
Fig.1 Geological map of Northwestern Jiaodong

## 2 岩石学特征

大尹格庄金矿位于招平断裂带中段,招平断裂带上盘为太古宙变质基底岩系,下盘为中生代玲珑型花岗岩(图 2),郭家岭型花岗岩未出露地表,隐伏于招平断裂带下盘,埋深 1 300 ~ 1 500 m<sup>[20]</sup>。由斑状花岗岩组成。



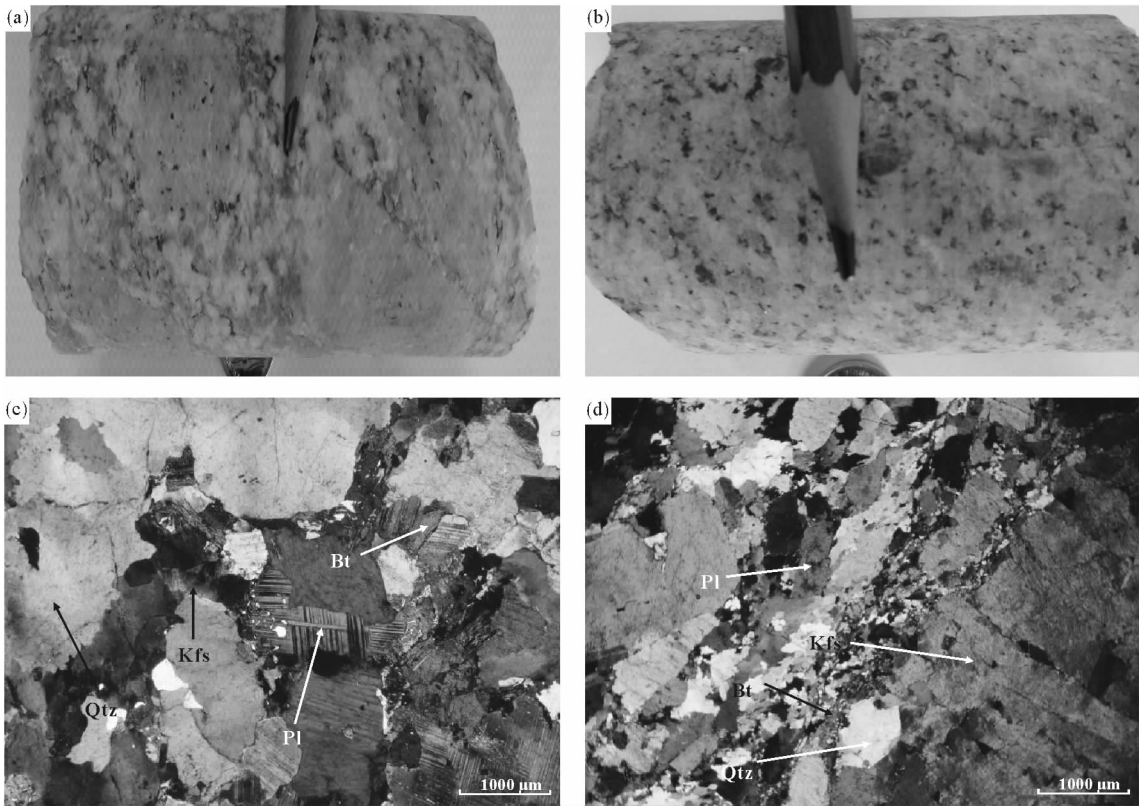
1—第四系;2—太古宙变质基底;3—二长花岗岩;4—斑状花岗岩;5—钾化花岗岩;6—钾化花岗岩质碎裂岩;7—(黄铁)绢英岩化花岗岩质碎裂岩;8—(黄铁)绢英岩化碎裂岩;9—中基性脉岩;10—实测(推测)地质界线;11—钻孔及编号

图 2 大尹格庄金矿地质简图

Fig. 2 Geological map gold deposit of Dayingezhuang

岩石呈浅肉红色、灰白色,似斑状结构,基质为中细粒花岗岩结构,块状构造(图 3(a)、3(b))。其主要造岩矿物为斜长石(35%~55%)、石英(20%~25%)、钾长石(10%~30%)及少量黑云母、角闪石(图 3(c)、3(d)),副矿物有锆石、榍石和磷灰石等。斑晶主要为肉红色微斜长石,粒径 3~5 cm,部分发育环带结构。基质中石英呈它形粒状充填在长石之间,粒径大小一般为 0.05~8 mm,可见波状、带状消光,显示岩体经历了后期变形和重结晶作用;斜长石呈半自形板状,常见聚片双晶,偶见环带结构,粒径一般为 2~5 mm 的中

粒, 0.1~2 mm 的细粒次之; 钾长石主要为微斜长石, 呈它形粒状, 在基质中大小一般为 0.1~2 mm 的细粒, 2~4 mm 的中粒次之; 黑云母呈它形鳞片状-叶片状, 常定向排列或环绕长石斑晶分布, 或呈集合体产出; 角闪石呈它形-半自形柱粒状, 多为普通角闪石, 局部发生绿泥石化、绿帘石化。



(a)、(b)一斑状花岗闪长岩, 似斑状结构, 基质细中粒花岗岩结构, 斑晶钾长石; (c)、(d)一花岗岩结构, 钾长石、斜长石、石英、黑云母组成  
矿物代号: Qtz—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Bt—黑云母。

图 3 大尹格庄斑状花岗岩岩相学特征

Fig. 3 Petrogeochemical characteristics of porphyritic granite from Dayingezhuang

### 3 岩石地球化学

样品采自钻孔中的斑状花岗岩, 所有样品均远离矿体, 手标本及镜下观察显示蚀变较弱。上庄岩体数据引自罗贤冬等<sup>[8]</sup>。岩石主、微量元素测试在山东省物化探勘查院实验测试中心完成, 测试仪器分别为 Philips PW2404 X 荧光光谱仪和 Finnigan-MAT 有限公司制造的 ELEMENT-I 等离子质谱仪, 精度分别优于 1% 和 5%。

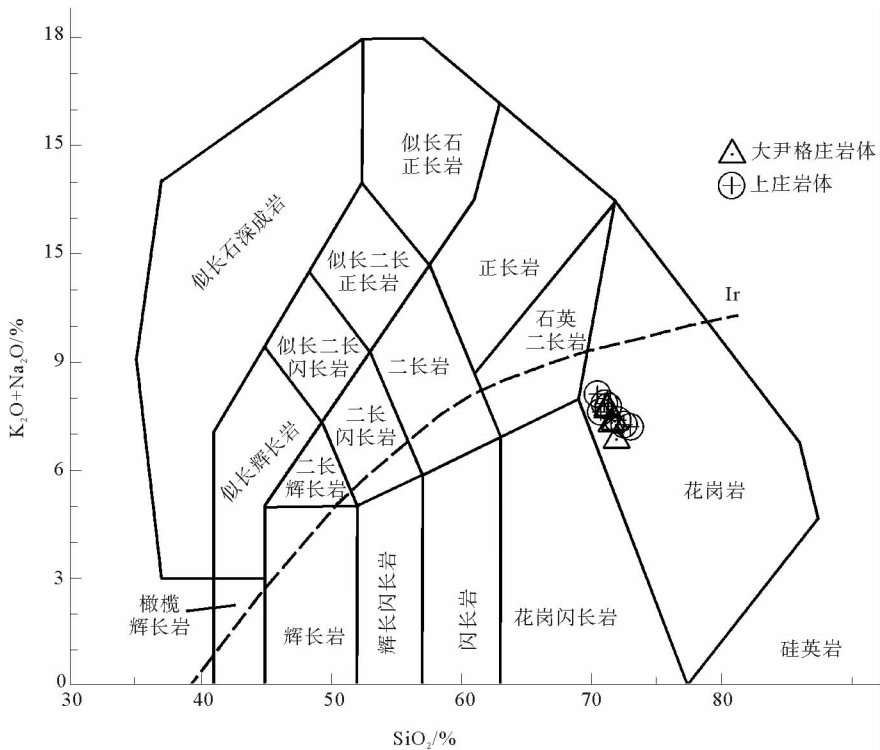
岩石主量元素分析表明(表 1), 大尹格庄斑状花岗岩 SiO<sub>2</sub> 含量变化于 71.23%~71.94%, 平均 71.54%, 属于酸性岩类; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 13.94%~14.35%, 平均 14.19%; 岩石全碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)含量介于 6.85%~7.72%, 平均 7.38%; MgO 含量 0.64%~0.72%, CaO 含量 1.96~2.17%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup> 介于 4.75%~5.87%; K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 为 0.57~0.88, 平均 0.74, 表现为富钠特征。里特曼指数 δ=1.63~2.12, 小于 3.3, 属钙碱性岩系列; 在 TAS 图解(图 4)中落入花岗岩范围; 在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解(图 5(a))中属于高钾钙碱性-钙碱性岩石系列; 铝饱和指数(A/CNK)=0.99~1.01, 平均 1.00, 在 A/CNK-A/NK 图解(图 5(b))中落入准铝质-过铝质 I 型花岗岩区域。镁质指数(Mg<sup>#</sup>)高, 为 10.93~14.22, 显示有幔源物质参入。在 ACF 图解(图 6(a))和 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O 图解中(图 6(b)), 落入 I 型花岗岩范围内, 反映其源区为火成岩。与上庄岩体相比, 岩石化学成分含量相近, 各类投点图上位置一致。

表 1 大尹格庄斑状花岗岩主量元素(wt%)组成及特征值

Tab.1 Major elements (wt%) of porphyritic granite from Dayingezhuang

样品号	39	40	42	43	44
SiO <sub>2</sub>	71.52	71.23	71.23	71.94	71.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.14	14.35	14.32	13.94	14.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	2.34	2.93	3.06	2.80
MnO	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
CaO	2.17	1.96	1.96	2.16	2.06
MgO	0.66	0.71	0.64	0.72	0.65
Na <sub>2</sub> O	4.23	4.12	4.22	4.36	4.30
K <sub>2</sub> O	3.07	3.60	3.45	2.49	3.05
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.22	0.21	0.22	0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.05	0.05	0.06	0.07
LOI	0.93	0.98	0.77	0.61	0.45
Total	99.98	99.59	99.81	99.59	99.61
δ	1.88	2.12	2.10	1.63	1.90
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.72	0.88	0.82	0.57	0.71
A/CNK	1.49	1.48	1.49	1.55	1.51
A/NK	1.94	1.86	1.87	2.04	1.93
Mg <sup>#</sup>	12.21	14.22	10.93	11.90	11.42

注: A/NK=(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O); A/CNK=(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO); Mg<sup>#</sup>=(MgO)/[(MgO)+FeO+0.9(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)]



(底图据 Eric A K, 1994<sup>[7]</sup>), 上庄岩体数据引自罗贤冬等<sup>[8]</sup>)

图 4 大尹格庄、上庄花岗岩 TAS 图解

Fig. 4 TAS diagram of granodiorite of Dayingezhuang and Shangzhuang

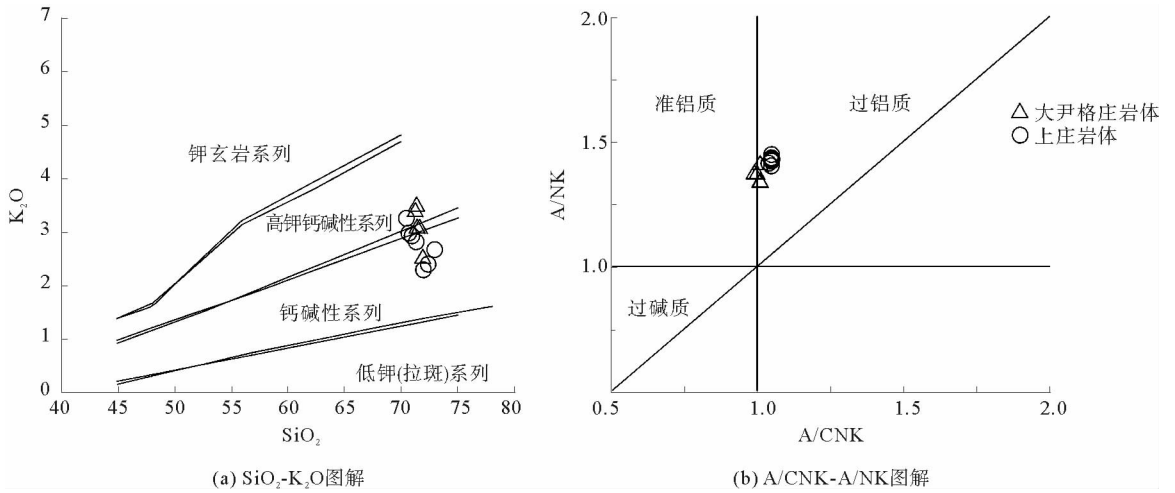


图 5 大尹格庄、上庄斑状花岗岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解和 A/CNK-A/NK 图解(上庄岩体数据引自罗贤冬等<sup>[8]</sup>)  
 Fig. 5 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram and A/CNK-A/NK diagram of porphyritic granite of Dayingezhuang and Shangzhuang

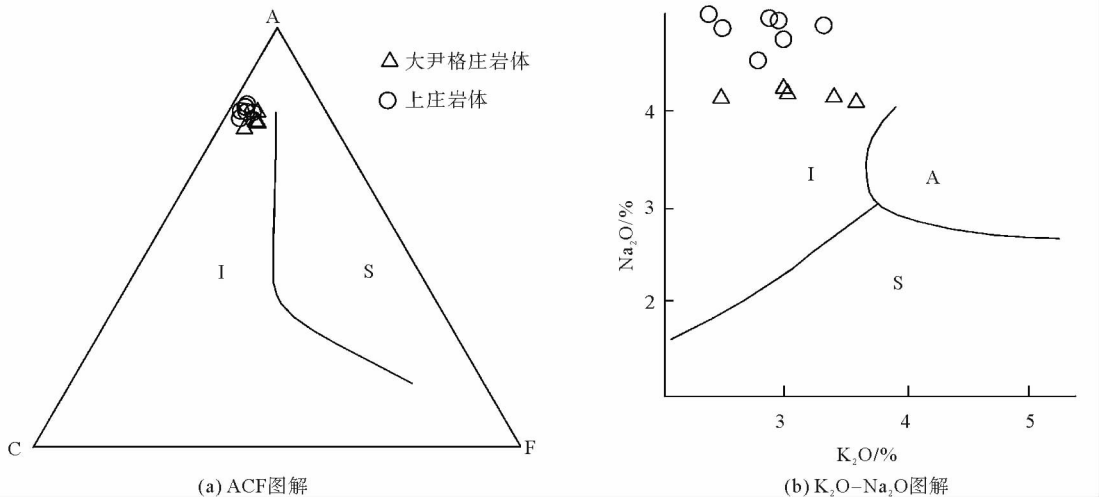


图 6 大尹格庄、上庄斑状花岗岩 ACF 图解和 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O 图解(上庄岩体数据引自罗贤冬等<sup>[8]</sup>)  
 Fig. 6 ACF diagram and K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O diagram of porphyritic granite of Dayingezhuang and Shangzhuang

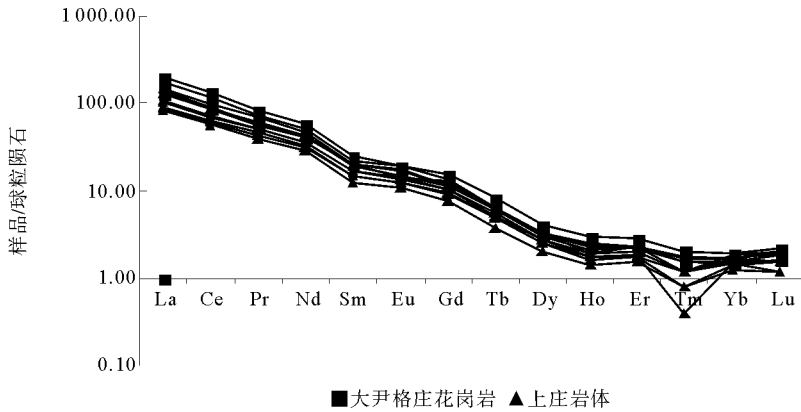
稀土元素是良好的物源示踪剂,可追溯其来源,为找矿提供重要依据。大尹格庄斑状花岗岩的稀土元素质量分数见表 2,质量分数总量较高,∑REE=117.51×10<sup>-6</sup>~173.32×10<sup>-6</sup>,平均 137.88×10<sup>-6</sup>,远高于上地幔稀土元素含量(17.70×10<sup>-6</sup>),低于上地壳稀土元素含量(165.35×10<sup>-6</sup>)。在稀土元素球粒陨石标准化配分图上(图 7),呈 LREE 富集、HREE 亏损的右倾型,LREE/HREE=26.07~32.04,(La/Yb)<sub>N</sub>=78.27~115.17,轻重稀土分馏明显,(Gd/Yb)<sub>N</sub>=6.95~8.51,表明重稀土之间也发生了分馏。δEu=0.95~1.12,平均 1.05,无明显的异常,暗示在成岩过程中不存在斜长石分离结晶作用。(La/Sm)<sub>N</sub>=6.61~8.20,表明轻稀土富集程度较高。与上庄岩体具有相似的配分曲线形态,表明它们为同源岩浆活动的产物。

大尹格庄斑状花岗岩的微量元素质量分数见表 2,具有高的 Sr、Ba 和低的 Rb 含量,Sr 含量 931.25×10<sup>-6</sup>~989.54×10<sup>-6</sup>,Ba 含量 1187×10<sup>-6</sup>~1897×10<sup>-6</sup>,Rb 含量 63.79×10<sup>-6</sup>~93.64×10<sup>-6</sup>。原始地幔标准化图解(图 8)显示,岩体富集 Rb、K、Ba、Sr、Pb 等大离子亲石元素(LILE)以及轻稀土元素(LREE)富集,亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素(HSFE)和重稀土元素(HREE)。微量元素特征与上庄岩体一致。

表2 大尹格庄斑状花岗岩微量元素( $\mu\text{g/g}$ )组成及特征值Tab. 2 Trace element( $\mu\text{g/g}$ ) composition and eigenvalue of porphyritic granite of Dayingezhuang

样品号	39	40	42	43	44
Li	18.00	20.70	10.60	21.00	15.00
Be	2.27	2.15	2.56	2.34	2.18
Sc	2.08	1.82	1.79	1.96	2.17
V	17.22	14.22	12.71	13.80	12.29
Cr	26.56	23.34	28.67	32.83	12.53
Co	3.42	3.12	3.09	3.37	2.65
Ni	13.13	18.85	17.28	19.25	13.43
Cu	7.52	8.45	10.96	7.05	4.06
Zn	49.85	47.26	22.20	51.59	36.33
Ga	22.32	22.70	23.64	24.03	22.87
Rb	66.12	81.64	93.64	63.79	73.05
Sr	989.54	967.89	931.25	963.16	954.29
Y	4.85	3.83	4.12	3.99	3.87
Nb	6.09	3.81	4.70	4.05	4.02
Mo	1.32	1.12	1.52	1.94	0.21
Cd	0.06	0.03	0.05	0.06	0.02
Cs	0.77	1.03	1.76	0.88	1.20
Ba	1 456.00	1 897.00	1 646.00	1 187.00	1 460.00
Ta	0.31	0.18	0.20	0.19	0.18
W	0.49	0.31	2.60	0.46	0.17
Pb	28.06	33.2	31.01	27.55	29.52
Th	9.30	7.97	6.47	6.64	6.74
U	1.43	1.84	2.36	1.57	2.10
Hf	3.25	3.17	3.59	3.85	3.43
Zr	124.17	116.36	128.57	165.30	123.36
Sn	1.49	1.29	1.78	1.87	0.54
As	2.21	1.51	1.56	1.85	0.90
La	47.82	42.41	31.00	32.81	31.98
Ce	80.67	71.65	53.83	56.74	55.99
Pr	7.77	6.86	5.30	5.58	5.46
Nd	26.46	23.23	19.00	20.11	19.91
Sm	3.84	3.34	3.03	3.08	3.07
Eu	1.12	1.10	1.02	0.97	0.98
Gd	3.21	2.72	2.39	2.46	2.36
Tb	0.31	0.24	0.24	0.24	0.24
Dy	1.05	0.80	0.82	0.84	0.79
Ho	0.16	0.13	0.14	0.14	0.13
Er	0.47	0.39	0.38	0.37	0.36
Tm	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
Yb	0.33	0.26	0.28	0.28	0.25
Lu	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04
Nb*	0.10	0.06	0.08	0.09	0.08
P*	0.24	0.17	0.18	0.20	0.21
Rb/Sr	43.99	54.56	48.74	52.00	53.16
$\Sigma$ REE	173.32	153.22	117.51	123.72	121.61
LREE	167.68	148.59	113.17	119.29	117.40
HREE	5.63	4.64	4.34	4.43	4.21
LREE/HREE	29.78	32.04	26.07	26.94	27.88
$\delta$ Eu	0.95	1.08	1.12	1.04	1.07
(La/Yb) <sub>N</sub>	104.55	115.17	78.27	83.19	90.59
(La/Sm) <sub>N</sub>	8.03	8.20	6.61	6.87	6.72
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	8.09	8.51	6.95	7.18	7.72





(球粒陨石标准化值据 Sun and McDonough, 1989<sup>[9]</sup>; 上庄岩体数据引自罗贤冬等<sup>[8]</sup>)

图 7 大尹格庄、上庄岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图

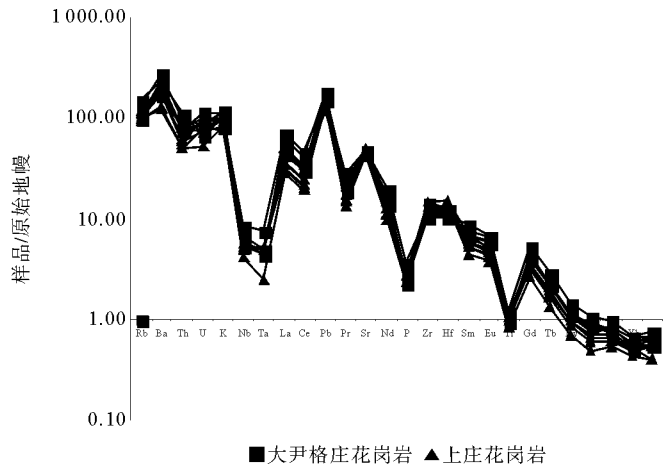
Fig. 7 Standardized distribution map of chondrites of rare earth elements of Dayingezhuang and Shangzhuang

### 4 讨论

#### 4.1 岩浆成因与构造环境

大尹格庄斑状花岗岩具有高的 Ba、Sr 含量,明显亏损 Nb、Ta、Th、Y 等高场强元素,无明显 Eu 异常,显示出典型环太平洋地区高 Ba-Sr 花岗岩所具有的地球化学特征<sup>[4]</sup>。岩石高 Mg<sup>#</sup>,以及含有较多暗色闪长质包体的现象,表明幔源物质参与成岩作用<sup>[2]</sup>。“TNT”(Ta、Nb 和 Ti)明显的负异常,通常代表俯冲带幔源岩石的成分特点,有大陆地壳物质的参入。Nb\* [Nb\* = 2Nb<sub>N</sub>/(K + La)<sub>N</sub>] = 0.06 ~ 0.10, P\* [P\* = 2P<sub>N</sub>/(Nd + Hf)<sub>N</sub>] = 0.17 ~ 0.24, 皆小于 1, 说明岩浆混染了大陆壳物质或花岗质岩石<sup>[27]</sup>。Rb/Sr 比值 0.07 ~ 0.10, 平均 0.08, 介于上地幔值(0.034)与地壳值(0.35)之间,反映岩浆具有壳幔混合源的特点。在 A/FM-C/FM 图解(图 9)上,投点落入基性岩部分熔融区域或附近,显示岩体是下地壳早期的铁镁质岩石(可能是胶东岩群)部分熔融形成的。

由于高场强元素的活动性较低,受各种地质作用的影响较弱,因此可以突出显示源区的性质<sup>[10]</sup>。Rb、Nb、Ta 和 Yb 能有效区分不同大地构造环境的花岗岩,因而被选择来区分火山弧花岗岩、同碰撞花岗岩、板内花岗岩和洋脊花岗



原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989<sup>[9]</sup>; 上庄岩体数据引自罗贤冬等<sup>[8]</sup>

图 8 微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 8 Primitive mantle-normalized spider diagram of trace element

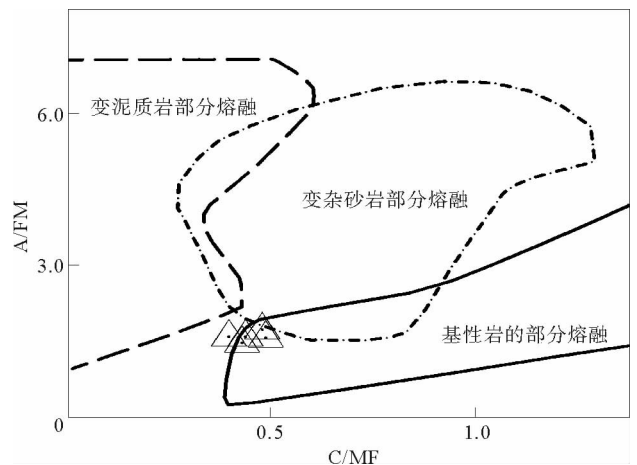
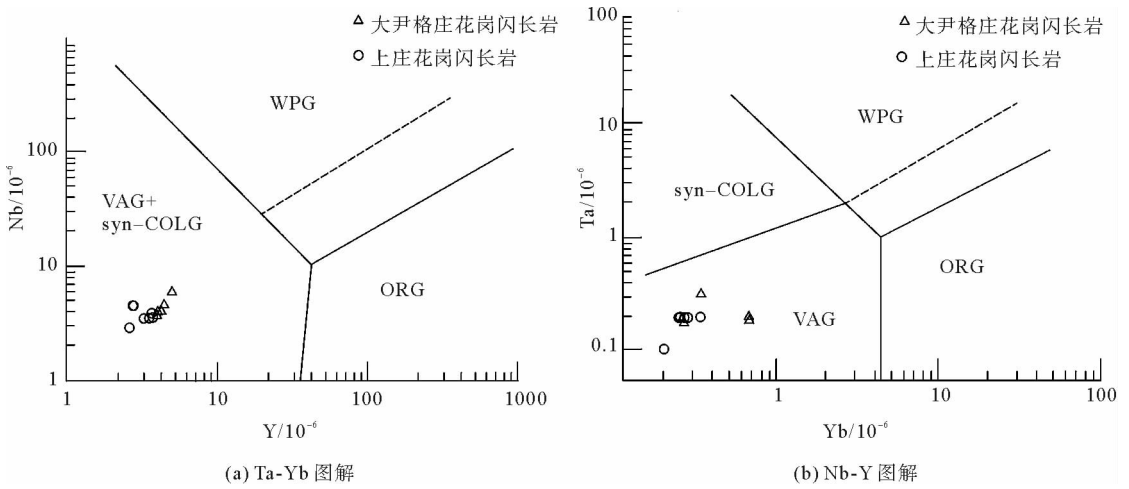


图 9 A/FM-C/FM 图解

Fig. 9 A/FM-C/FM diagram

岩。在花岗岩 Nb-Y 和 Ta-Yb 构造环境判别图解上(图 10),大尹格庄和上庄花岗岩均落在火山弧花岗岩范围;将样品投入 Rb/10-Hf-Ta×3 和 Rb/30-Hf-Ta×3 图解上(图 11),结果显示岩体具有火山弧性质,成岩背景为活动大陆边缘,与太平洋板块俯冲具有密切关系<sup>[28]</sup>。



VAG—火山弧花岗岩;syn—COLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;ORG—洋脊花岗岩;虚线区域是 ORG 的异常区

图 10 大尹格庄、上庄斑状花岗岩 Nb-Y(a)和 Ta-Yb(b)构造环境判别图解

Fig. 10 Tectonic environment discrimination diagram of porphyritic granite Nb-Y(a) and Ta-Yb(b) of Dayingezhuang and Shangzhuang

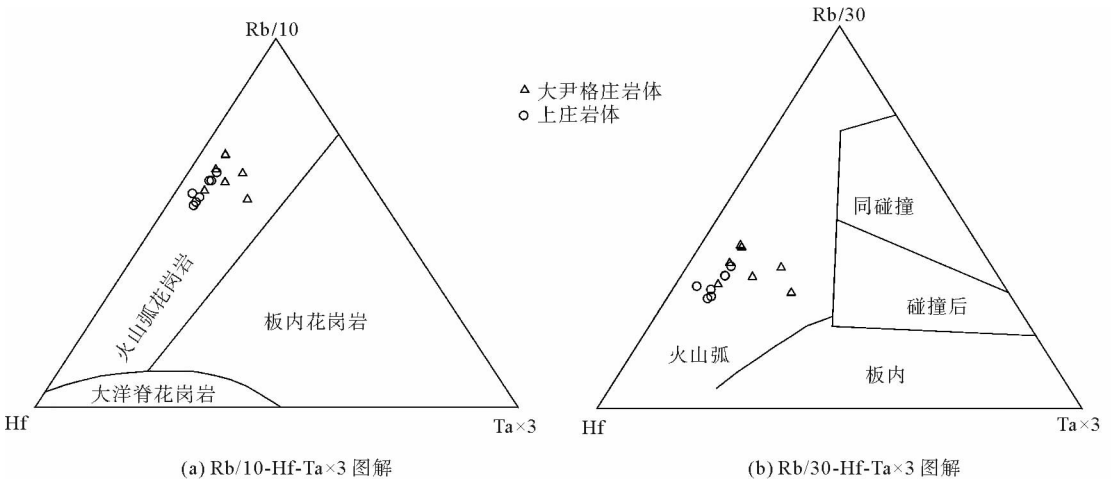


图 11 大尹格庄、上庄岩体 Rb/10-Hf-Ta×3 和 Rb/30-Hf-Ta×3 图解

Fig. 11 Rb/10-Hf-Ta×3 diagram and Rb/30-Hf-Ta×3 diagram of Dayingezhuang and Shangzhuang rock mass

早白垩世,中国东部岩石圈构造体制发生重要转换,构造应力由挤压为主向伸展为主转换,胶东地区处于伸展的构造环境中,增厚的岩石圈发生巨量减薄,诱发了软流圈中局部对流,致使地幔物质上涌,岩石圈拆沉,区域呈现热异常,同时太平洋板块向欧亚板块俯冲引起大流体喷流,发生增温、减压、流体事件,导致深部下地壳熔融,地幔岩浆与地壳熔融的岩浆混合,形成早白垩世郭家岭型壳幔混合花岗岩<sup>[2,18]</sup>。

### 4.2 郭家岭型花岗岩与金矿的关系探讨

#### 4.2.1 成岩成矿时间

郭家岭型花岗岩成矿年龄 130~126 Ma<sup>[6]</sup>,中科院杨奎锋等 2015 年采自 24ZK1 钻孔中的斑状花岗岩

的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄  $128 \pm 1 \text{ Ma}$  ( $\text{MSWD} = 4.3$ ), 形成时代与郭家岭型花岗岩一致。胶西北地区金矿成矿年龄集中在  $120 \pm 5 \text{ Ma}$ <sup>[29]</sup>。谭俊等<sup>[30]</sup>认为, 侵入岩体冷凝时间需  $7.2 \sim 10 \text{ Ma}$ , 一个中大型金矿形成主成矿阶段可以持续  $8 \text{ Ma}$ , 同源岩浆成因金矿的成岩成矿时差为  $0 \sim 16 \text{ Ma}$ 。叶天竺等<sup>[19]</sup>认为, 岩浆期后热液矿床成矿和成岩年龄差可达  $10 \text{ Ma}$  左右。郭家岭型花岗岩为胶西北金矿的成矿母岩。豆敬兆等<sup>[31]</sup>认为, 郭家岭岩体约  $130 \text{ Ma}$  侵位, 侵位温度  $726 \sim 800 \text{ }^\circ\text{C}$ , 固结温度  $650 \sim 700 \text{ }^\circ\text{C}$ , 就位压力  $4 \sim 5 \text{ kbar}$ , 至  $124 \text{ Ma}$  时温度降为  $300 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$  左右, 在  $126 \sim 116 \text{ Ma}$  期间发生了快速隆升剥蚀, 隆升剥蚀量约  $10 \text{ km}$ , 其发生时间与中国东部中生代岩石圈减薄的峰时期耦合, 暗示胶东西部地壳快速隆升剥蚀是深部地质过程的浅部响应。胶东金矿成矿作用爆发于  $120 \pm 10 \text{ Ma}$ <sup>[2, 19, 29]</sup>, 说明成矿作用发生在地壳快速隆升剥蚀过程中, 金矿爆发成矿期间与地壳快速隆升过程中相关的郭家岭型花岗岩的岩浆-构造热事件紧密相关。

#### 4.2.2 空间关系

从岩、矿体分布来看, 玲珑型和郭家岭型花岗岩体内及内、外接触带附近均有金矿产出。前人<sup>[14]</sup>曾认为玲珑型花岗岩与成矿关系密切, 金矿床最多, 资源储量最大。但随着勘查、科研工作的深入, 地学工作者<sup>[18-19, 29-30]</sup>认为郭家岭型花岗岩与金矿更为密切。郭家岭型花岗岩为在地表呈近东西向串珠状分布的小岩体或岩株, 在深部是连通的大岩基<sup>[32]</sup>。万国普等<sup>[33]</sup>、孙华山等<sup>[13]</sup>根据物探及地质资料, 推断焦家断裂带、招平断裂带(包括北段破头青断裂带)大部分金矿深部均有郭家岭花岗岩的存在, 大尹格庄金矿北部钻孔中郭家岭型花岗岩的发现, 证实了深部隐伏郭家岭岩体的存在, 金矿床的产出受郭家岭型花岗岩的分布区域和断裂构造蚀变带联合控制。在胶西北地区, 大型-超大型金矿床多位于郭家岭型花岗岩内及附近, 且距离一般不超过  $5 \text{ km}$ , 三山岛金矿田有隐伏的三山岛、仓上岩体, 焦家-新城金矿田有上庄岩体(包括新城花岗岩, 招贤地区勘查发现焦家金矿深部有隐伏郭家岭型花岗岩), 北截金矿田有北截岩体, 玲珑金矿田附近有丛家、曲家岩体分布, 蓬莱大柳行-黑岚沟金矿田有郭家岭岩体分布, 大尹格庄-夏甸金矿田发现大尹格庄岩体, 在栖霞金矿田发现了郭家岭岩体的浅成相<sup>[34]</sup>, 郭家岭型花岗岩与大型、特大型金矿形影不离(图 1), 大型、特大型金矿分布于郭家岭型花岗岩附近区域。

#### 4.2.3 成因关系

一般来说, 花岗岩类侵入体与金矿床或金矿化间可能存在以下几种关系: ①提供成矿物质; ②提供成矿流体; ③提供热源或热动力; ④提供赋矿空间, 其侵位通道为成矿流体通道(构造)<sup>[12]</sup>。从宏观地质特征分析, 郭家岭岩体对本区金成矿的主要贡献在于: 其一, 提供了部分成矿物质、热源和矿化剂, 强烈的壳幔混合岩浆活动为金矿形成提供了适宜的物源、热源、流体, 使金质进一步迁移、富集; 其二, 伴随着郭家岭岩体的侵位, 玲珑型花岗岩侵位形成的北东向拆离断裂进一步发育、启张, 形成张扭性扩容空间, 对金矿的富集、叠加和定位起了主导作用。

总之, 郭家岭花岗岩与胶西北地区的金成矿关系密切, 是成矿的重要因素。郭家岭型花岗岩为胶东金矿成矿提供了成矿物质、热源和矿化剂, 是其重要的物质来源; 郭家岭型花岗岩的侵位形成、启张了张扭性扩容空间, 对金矿的富集、叠加和定位起主导作用。

## 5 结论

1) 大尹格庄斑状花岗岩与郭家岭型花岗岩的岩石学、岩石地球化学特征相同, 其为中生代白垩纪早期郭家岭型花岗岩的组成部分。

2) 大尹格庄斑状花岗岩和上庄巨斑花岗岩具有相似的稀土元素和微量元素含量和分配模式, 表现出明显的 LREE 富集和 HREE 亏损, 没有明显的 Eu 异常。均具有高 Sr、低 Y 特征, 郭家岭型花岗岩形成于岛弧环境下的活动大陆边缘。

3) 郭家岭型花岗岩与胶西北地区金矿成矿的时空及成因关系密切, 其为成矿提供了部分成矿物质、热源和矿化剂, 它的侵位启张、形成了张扭性扩容空间, 并对金矿的富集、叠加和定位起重要作用。

## 参考文献:

- [1]宋明春,宋英昕,沈昆,等.胶东焦家深部金矿床地球化学特征及有关问题讨论[J].地球化学,2013,42(3):274-289.  
SONG Mingchun,SONG Yingxin,SHEN Kun,et al. Geochemical features of deeply-seated gold deposit and discussions on some associated problems in Jiaojia gold ore field,Shandong Peninsula,China[J]. Geochimica,2013,42(3):274-289.
- [2]宋明春,张军进,张丕建,等.胶东三山岛北部海域超大型金矿床的发现及其构造-岩浆背景[J].地质学报,2015,89(2):365-383.  
SONG Mingchun,ZHANG Junjin,ZHANG Pijian,et al. Discovery and tectonic-magmatic background of superlarge gold deposit in offshore of Northern Sanshandao,Shandong Peninsula,China[J]. Acta Geologica Sinica,2015,89(2):365-383.
- [3]耿科,王瑞江,李洪奎,等.胶西北丛家花岗岩闪长岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究[J].地球学报,2016,37(1):90-100.  
GENG Ke,WANG Ruijiang,LI Hongkui,et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of Congjia granodiorite from northwest Jiaodong area[J]. Acta Geoscientica Sinica,2016,37(1):90-100.
- [4]王中亮,赵荣新,张庆,等.胶西北高 Ba-Sr 郭家岭型花岗岩岩浆混合成因:岩石地球化学与 Sr-Nd 同位素约束[J].岩石学报,2014,30(9):2595-2608.  
WANG Zhongliang,ZHAO Rongxin,ZHANG Qing,et al. Magma mixing for the high Ba-Sr Guojialing-type granitoids in Northwest Jiaodong Peninsula:Constraints from petrogeochemistry and Sr-Nd isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica,2014,30(9):2595-2608.
- [5]刘跃,邓军,王中亮,等.胶西北新城金矿床二长花岗岩岩石地球化学、锆石 U-Pb 年龄及 Lu-Hf 同位素组成约束[J].岩石学报,2014,30(9):2559-2573.  
LIU Yue,DENG Jun,WANG Zhongliang,et al. Zircon U-Pb age,Lu-Hf isotopes and petrogeochemistry of the monzogranites from Xincheng gold deposit,northwestern Jiaodong Peninsula,China[J]. Acta Petrologica Sinica,2014,30(9):2559-2573.
- [6]关康,罗镇宽,苗来成,等.胶东招掖郭家岭型花岗岩锆石 SHRIMP 年代学研究[J].地质科学,1998,33(3):318-328.  
GUAN Kang,LUO Zhenkuan,MIAO Laicheng,et al. SHRIMP in zircon chronology for Guojialing suite granite in Jiaodong Zhaoye district[J]. Scientia Geologica Sinica,1998,33(3):318-328.
- [7]ERIC A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-science Review,37(3/4):215-224.
- [8]罗贤冬,杨晓勇,段留安,等.胶北地块与金成矿有关的郭家岭岩体和上庄岩体年代学及地球化学研究[J].地质学报,2014,88(10):1874-1888.  
LUO Xiandong,YANG Xiaoyong,DUAN Liuan,et al. Geochemical and geochronological study of the gold-related Guojialing Pluton and Shangzhuang Pluton in Jiaobei block[J]. Acta Geologica Sinica,2014,88(10):1874-1888.
- [9]SUN S S,MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt implications for mantle composition and process[J]. Geological Society,London,Special Publications,1989,42(1):313-345.
- [10]陈俊,孙丰月,王力,等.胶东招掖地区深家河花岗岩锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学及其地质意义[J].世界地质,2015,34(2):283-295.  
CHEN Jun,SUN Fengyue,WANG Li,et al. Zircon U-Pb geochronology and petrogeochemistry of Luanjiahe granite in Jiaodong region and their geological significance[J]. Global Geology,2015,34(2):283-295.
- [11]杨进辉,朱美妃,刘伟,等.胶东地区郭家岭花岗岩闪长岩的地球化学特征及成因[J].岩石学报,2003,19(4):692-700.  
YANG Jinhui,ZHU Meifei,LIU Wei,et al. Geochemistry and petrogenesis of Guojialing granodiorites from the northwestern Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica,2003,19(4):692-700.
- [12]苗来成,朱成伟,翟裕生,等.山东招掖金矿带内花岗岩与金矿化关系探讨[J].黄金地质,1999,5(4):7-11.  
MIAO Laicheng,ZHU Chengwei,ZHAI Yusheng,et al. Discussion on the relationship between granitoid and gold mineralization in the Zhaoyue gold belt,Shandong province[J]. Gold Geology,1999,5(4):7-11.
- [13]孙华山,孙林,赵显辉,等.招掖地区郭家岭花岗岩控矿的几点证据及找矿指示意义[J].黄金,2007,28(4):14-18.  
SUN Huashan,SUN Lin,ZHAO Xianhui,et al. Ore-controlling evidence and ore prospecting significance of Guojialing granodiorite in northwest Jiaodong Peninsula[J]. Gold,2007,28(4):14-18.
- [14]姚凤良,刘连登,孔庆存,等.招掖金矿带的稳定同位素地质及金矿床成因[J].长春地质学院学报,1983(4):7-18.  
YAO Fengliang,LIU Liandeng,KONG Qingcun,et al. The stability isotopic geology and the origin of the gold deposit in the Zhaoyuan-Yexian gold belt,Shandong province[J]. Journal of Changchun University of Earth Science,1983(4):7-18.
- [15]李士先,刘长春,安郁宏,等.胶东金矿地质[M].北京:地质出版社,2007.

- [16]罗镇宽,苗来成.胶东招莱地区花岗岩和金矿床[M].北京:冶金工业出版社,2002.
- [17]张旗,金惟俊,王焰,等.花岗岩与金铜及钨锡成矿的关系[J].矿床地质,2010,29(5):729-758.  
ZHANG Qi, JIN Weijun, WANG Yan, et al. Relationship between granitic rocks and Au-Cu-W-Sn mineralization[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(5): 729-758.
- [18]李洪奎,李逸凡,耿科,等.山东鲁东碰撞造山型金矿成矿作用探讨[J].大地构造与成矿学,2011,35(4):533-542.  
LI Hongkui, LI Yifan, GENG Ke, et al. Study on the orogenic type gold deposits in eastern Shandong province[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2011, 35(4): 533-542.
- [19]叶天竺,吕志成,庞振山,等.勘查区找矿预测理论与方法:总论[M].北京:地质出版社,2014.
- [20]杨斌,杨牧,向胤合,等.大尹格庄金矿似斑状花岗岩的发现及其成矿意义[J].矿物学报,2015(增):88-89.  
YANG Bin, YANG Mu, XIANG Yinhe, et al. The discovery of the porphyreous granites in the Dayingezhuang gold deposit and its metallogenic significance[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015(S): 88-89.
- [21]王来明,王世进,宋志勇,等.中国区域地质志:山东志[R].济南:山东省地质调查院,2016.
- [22]田瑞聪,李大鹏,侯建华,等.胶东昌邑地区古元古代二长花岗岩锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素组成及其构造岩浆演化意义[J].地质学报,2017,91(12):2710-2726.  
TIAN Ruicong, LI Dapeng, HOU Jianhua, et al. Zircon U-Pb dating, Hf isotope composition and tectono-magmatic evolutionary significance the paleoproterozoic monzogranite in Changyi area, Eastern Shandong[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(12): 2710-2726.
- [23]ZHANG J, ZHAO Z F, ZHENG Y F, et al. Postcollisional magmatism: Geochemical constraints on the petrogenesis of mesozoic granitoids in the Sulu orogen, China[J]. Lithos, 2010, 119(3/4): 512-635.
- [24]宋明春.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社,2008:23-155.
- [25]GOSS S C, WILDE S A, WU F, et al. The age, isotopic signature and significance of the youngest Mesozoic granitoids in the Jiaodong Terrane, Shandong province, North China Craton[J]. Lithos, 2010, 120(3): 309-326.
- [26]FAN W M, GUO F, WANG Y J, et al. Post-orogenic bimodal volcanism along the Sulu orogenic belt in eastern China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, 2001, 26(9): 733-746.
- [27]李昌年.火成岩微量元素地球化学[M].北京:地质出版社,1992:96-105.
- [28]陈广俊,孙丰月,李玉春,等.胶东郭家岭花岗闪长岩 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义[J].世界地质,2014,33(1):39-47.  
CHEN Guangjun, SUN Fengyue, LI Yuchun, et al. U-Pb dating, geochemical characteristics and geological significance of Guojialing granodiorite in Jiaodong Peninsula[J]. Global Geology, 2014, 33(1): 39-47.
- [29]李俊建,罗镇宽,刘晓阳,等.胶东中生代花岗岩及大型-超大型金矿床形成的地球动力学环境[J].矿床地质,2005,24(4):361-372.  
LI Junjian, LUO Zhenkuan, LIU Xiaoyang, et al. Geodynamic setting for formation of large-superlarge gold deposits and Mesozoic granites in Jiaodong area[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(4): 361-372.
- [30]谭俊,魏俊浩,杨春福,等.胶东郭城地区脉岩类岩石地球化学特征及成岩构造背景[J].地质学报,2006,80(8):1177-1188.  
TAN Jun, WEI Junhao, YANG Chunfu, et al. Geochemistry and tectonic setting of dikes in the Guocheng area, Jiaodong Peninsula[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(8): 1177-1188.
- [31]豆敬兆,付顺,张华锋.胶东郭家岭岩体固结冷却轨迹与隆升剥蚀[J].岩石学报,2015,31(8):2325-2335.  
DOU Jingzhao, FU Shun, ZHANG Huafeng, et al. Consolidation and cooling paths of the Guojialing granodiorites in Jiaodong Peninsula: Implication for crustal uplift and exhumation[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(8): 2325-2335.
- [32]徐金芳.山东内生金矿床谱系及其致矿地质异常[J].山东地质,2001,17(2):32-36.  
XU Jinfang. Spectrum of endogenetic gold deposits and its ore-generating geological anomalies in Shandong province[J]. Geology of Shandong, 2001, 17(2): 32-36.
- [33]万国普,庞绪贵,肖霏岳.招远地区隐伏郭家岭花岗闪长岩的分布及其找矿意义探讨[C]//中国金都招远国际金矿地质与勘查学术论坛.北京:地震出版社,2002:162-166.
- [34]王英鹏,张文,朱继托,等.山东栖霞-蓬莱成矿区金铜多金属矿调查评价成果报告[R].济南:山东省地质调查院,2016.