

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.05.004

# 新疆塔城结勒迪克增闪长岩体特征及其含矿性

刘伟<sup>1</sup>,殷勇<sup>2</sup>,杨忠明<sup>3</sup>,安乐<sup>1</sup>,刘鑫<sup>1</sup>

LIU Wei<sup>1</sup>, YIN Yong<sup>2</sup>, YANG Zhongming<sup>3</sup>, AN Le<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>1</sup>

1.甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院,甘肃 天水 741020;

2.甘肃地矿科技信息中心,甘肃 兰州 730000;

3.甘肃省地质调查院,甘肃 兰州 730000

1. *The First Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Tianshui 741020, Gansu, China;*

2. *Gansu Scientific Information Center of Geology and Mineral, Lanzhou 730000, Gansu, China;*

3. *Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China*

**摘要:**新疆准噶尔盆地西北缘属中亚造山-成矿带,是中国重要的铜多金属成矿带之一,区内侵入岩的成因及含矿性研究,对进一步提高本区地质矿产勘查程度具有重要的现实意义。针对新疆塔城结勒迪克增闪长岩体,在研究其地质特征、矿化赋存特征的基础上,利用其岩石地球化学数据,结合前人的年代学资料,初步探讨了该岩体的岩石成因、构造环境、含矿性及其与成矿作用的关系等,为该区地质找矿提供一些基础参考。新疆塔城结勒迪克增闪长岩序列由灰色细斑闪长岩、粗斑闪长岩、细-中粒闪长岩和灰白色黑云母石英闪长岩4个侵入期次组成。岩体岩石硅、镁、钾含量低而钠、铝、铁含量高;弱准铝质,为亚碱性系列岩石;富集Rb、Ba、Th等大离子亲石元素,亏损Nb、Ta、Y、Yb等高场强元素;稀土元素含量较低,配分模式呈右倾曲线,为轻稀土元素富集型,具Ce、Eu弱负异常。该闪长岩序列侵入成岩时代为早石炭世末期,形成于岛弧构造环境,属造山前I型科迪勒拉花岗岩,源岩成分可能来自岛弧型火山岩的部分重熔或同源岩浆演化。经对比研究,结勒迪克增闪长岩体内部各侵入期次Au、Ag、Cu、As、Pb等主要金属元素含量较高且浓集程度不同,Cu、Au等成矿元素分异程度较高,反映出区内多金属成矿与该岩体上侵强烈的岩浆热液作用密切相关。该岩体具备形成斑岩型铜矿、热液型金矿的岩浆岩条件。

**关键词:**闪长岩;地球化学特征;岛弧;多金属成矿;含矿性;结勒迪克增;新疆

**中图分类号:**P588.12<sup>+</sup>2;P618.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)05-0700-14

**Liu W, Yin Y, Yang Z M, An L, Liu X. Geochemical characteristics and ore bearing property of Jieledikezeng diorite in Tacheng, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(5): 700-713**

**Abstract:** The northwest margin of the Junggar Basin in Xinjiang belongs to the Central Asia orogenic metallogenic belt, which is one of the important copper polymetallic metallogenic belts in China. The study of the genesis and ore bearing properties of the intrusive rocks in the area has important practical significance for further improving the degree of geological and mineral exploration in the area. Based on the study of its geological characteristics and mineralization occurrence characteristics, Jieledikezeng diorite sequence in Tacheng, Xinjiang, has been systematically sorted and analyzed by using its rock geochemical data. Combined with the previous chronological data, the rock genesis, tectonic environment, ore bearing property and its relationship with mineralization of this rock mass have been preliminarily discussed, providing some basic references for geological prospecting in this area. Jieledikezeng diorite sequence in Tacheng, Xinjiang is composed of four intrusive periods, namely, gray fine-grained diorite porphyrite, coarse-grained diorite porphyrite, fine medium grained diorite and gray white biotite quartz diorite. The rock mass is low in silicon, magnesium and potassium and high in

收稿日期:2022-04-12;修订日期:2023-01-10

资助项目:新疆维吾尔自治区地质勘查项目《新疆塔城市塔尔巴哈台山一带1:5万区域地质矿产调查》(编号:QD200611)

作者简介:刘伟(1973-),男,硕士,高级工程师,从事地质矿产勘查与区域成矿规律研究工作。E-mail:569495218@qq.com

sodium, aluminum and iron; weakly quasi aluminous, subalkaline series rocks; Rb, Ba, Th and other large ion lithophile elements are enriched, while Nb, Ta, Y, Yb and other high field strength elements are depleted; the rare earth content is low, and the distribution pattern shows a right leaning curve. It is a light rare earth enriched rock, There is weak loss anomaly of cerium and europium. The intrusive diagenetic age of the rock mass is the end of the Early Carboniferous, formed in the island arc tectonic environment, and belongs to the pre orogenic I-type Cordillera granite, Its source rocks may be derived from partial remelting of island arc volcanic rocks or homologous magmatic evolution. Through comparative study, the contents of Au, Ag, Cu, As, Pb and other major metal elements in this rock mass at each intrusive stage are relatively high, and its element concentration is different, and the differentiation of copper, gold and other ore-forming elements is relatively high, reflecting that the polymetallic mineralization in the area is closely related to the strong magmatic hydrothermal process of the rock mass. This rock mass has the magmatic conditions for forming porphyry copper deposits and hydrothermal gold deposits.

**Key words:** diorite; geochemical characteristics; island arc; polymetallic mineralization; ore bearing property; Jieleikezeng; Xinjiang

新疆塔城结勒迪克增地区位于准噶尔盆地的西北边缘, 中国与哈萨克斯坦交界处的塔尔巴哈台山中段南坡。处在扎尔玛-萨乌尔成矿带和成吉思-塔尔巴哈台成矿带的南东延伸部位, 并与境内呈北东向展布的白杨河-乌伦古成矿带西端相复合(图 1), 扎

尔玛-萨乌尔成矿带和成吉思-塔尔巴哈台成矿带以产出斑岩型铜(钼)矿、浅成低温热液型金矿和脉岩-构造蚀变岩型金矿著称(李光明等, 2008; 王玉往等, 2015)。其中, 斑岩型矿床主要形成于早石炭世岛弧构造环境, 矿床赋存于古火山机构, 矿化与早石炭世中基性次火山玢岩有关(Zhukov et al., 1997; 朱永峰, 2014); 在斑岩型矿床的外围常伴生矽卡岩型铜矿、浅成低温热液型金矿等, 一起构成早石炭世岛弧环境斑岩型铜成矿系统(沈远超等, 1993; 芮宗瑶等, 2004; 李光明等, 2008; 欧阳刘进等, 2011; 申萍等, 2015)。

近些年来, 哈萨克斯坦一侧先后发现了多处大型或超大型多金属矿床, 如克孜尔卡茵斑岩型铜矿床、波谢库尔斑岩型铜金矿床、南马克苏特铜镍硫化物矿床等, 中国一侧西准噶尔地区在地质找矿上也取得了一些突破, 如萨乌尔山一带阔尔真阔腊金矿、罕哲尔能铜矿、谢米斯台铜矿、克拉玛依一带哈图金矿、包古图铜矿的发现等。这些矿床均与壳幔同熔型(I型)中酸性-中性钙碱性或高钾钙碱性花岗质岩侵入关系密切(李水河, 2002; 楚德元, 2007; 申萍等, 2009; 2010; 2012)。

前人对境内外成矿带开展了对比研究, 实现了成矿带初步对接, 认为境内外具有相同的成矿构造背景、矿床类型和成矿时代(李光明等, 2008; 申萍等, 2015; 袁峰等,

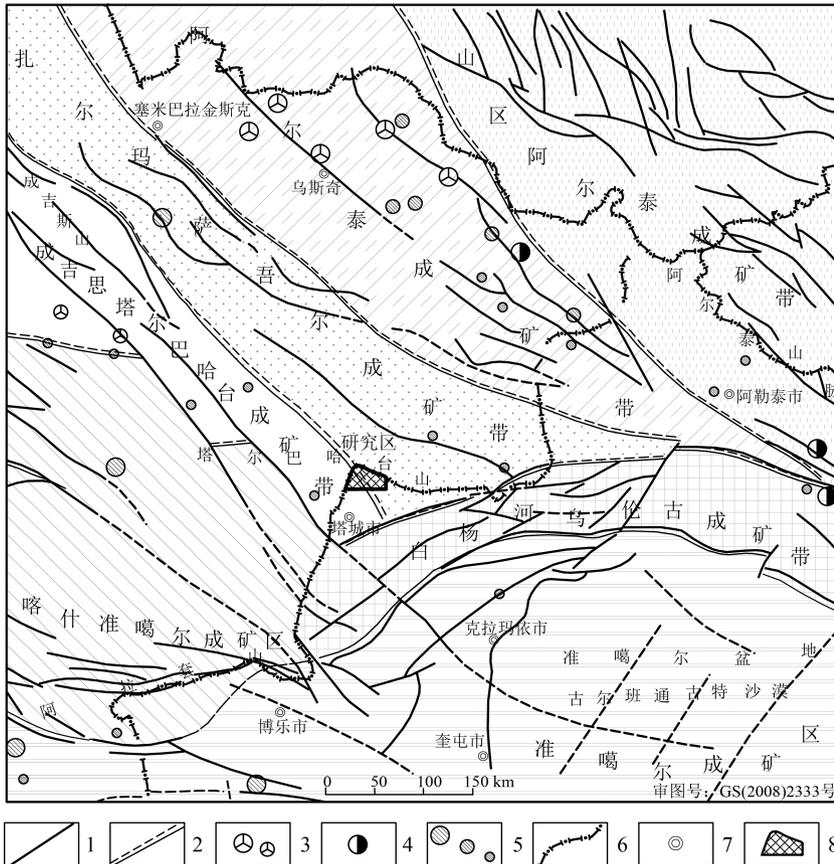


图 1 新疆塔城塔尔巴哈台地区构造纲要及成矿带分布示意图(底图据自然资源部网站)

Fig. 1 Geological sketch showing structural units and metallogenetic belt of Talbahatai area in Tacheng, Xinjiang

- 1—区域性断裂(带); 2—三级成矿带划分位置; 3—大、中型多金属矿床;
- 4—大型铅锌矿床; 5—大、中、小型铜(金)矿床;
- 6—国界线示意; 7—城市驻地; 8—研究区位置

2015)。区域三大成矿带(区)古生代构造和岩浆活动强烈,成矿作用丰富多样,具有巨大的找矿潜力。但同一成矿带中国境内已发现矿床规模较小、勘查程度偏低、成矿特点存在差异等,与哈萨克斯坦一侧资源勘查成果方面存在较大的差距。

长期以来,众多国内学者针对西准噶尔地区的构造演化、中酸性岩浆活动及成岩背景、典型矿床的成因与成矿作用等方面,已开展了大量的研究工作(朱永峰等,2006;袁峰等,2006;陈家富等,2010;高睿等,2013;尹继元等,2013;靳松,2016)。位于三大成矿带交接部位的研究区,受地处边界、位置相对偏远、交通不便等因素影响,区内地质工作程度较低,对该地区的系统性相关研究亦较少,并缺乏区内中酸性岩浆岩的成矿、含矿性评价等内容。

本文在研究结勒迪克增闪长岩体地质特征、岩石地球化学的基础上,探讨了该岩体的岩石成因、构造环境、含矿性及其与成矿作用的关系等,旨在

为该区域地质找矿工作提供基础参考信息。

### 1 区域成矿地质背景

研究区大地构造位置位于准噶尔-哈萨克斯坦板块之准噶尔微板块、萨吾尔山-二台晚古生代岛弧带(Ⅲ级)(肖序常等,1992;2006;董连慧等,2010;郭刚,2014),四级构造单元属结勒迪克增-喀拉扎尔晚古生代岛弧(大陆岛弧)带。

自中泥盆世一早石炭世,西准噶尔地区处于沉积盆地由中浅海到滨海的连续沉积过程,火山活动经历了开始—强盛—消亡的过程;之后,遭受了华力西中期的同碰撞闪长岩类的侵入作用(蔡土赐等,1999;龚一鸣等,2015)。研究区出露地层主要包括下古生界奥陶系科克沙依组、志留系克库都组、上古生界泥盆系萨吾尔山组、上泥盆统一下石炭统塔尔巴哈台组、石炭系黑山头组和姜巴斯套组、新生界新近系独山子组和第四系(图2)。

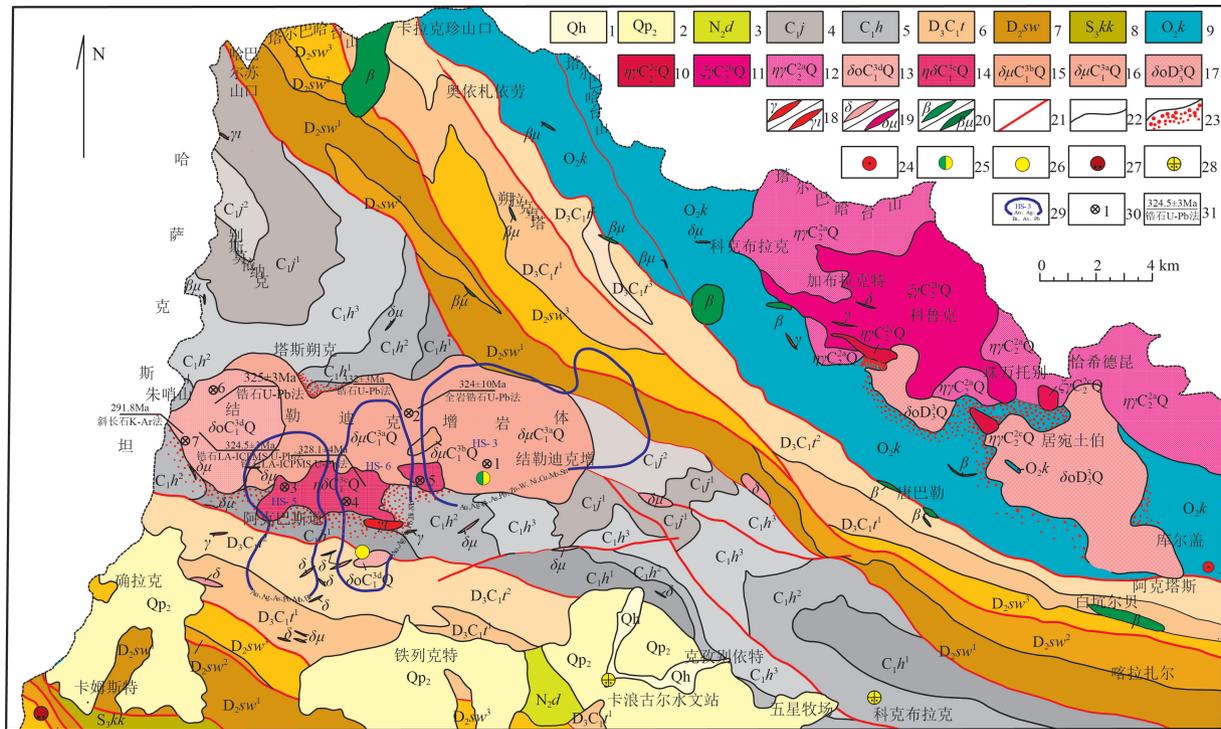


图2 新疆塔城结勒迪克增一带区域地质矿产简图(据项目资料①修改)

Fig. 2 Geological sketch map with mineral resources in Jieldikezeng area of Tacheng, Xinjiang

- 1—第四纪洪积层;2—第四纪残坡积层;3—新近系独山子组;4—下石炭统姜巴斯套组;5—下石炭统黑山头组;6—上泥盆统塔尔巴哈台组;7—中泥盆统萨吾尔山组;8—上志留统克库都组;9—中奥陶统科克沙依组;10—12—晚石炭世中期末期万托别花岗岩序列;13—16—早石炭世晚期结勒迪克增闪长岩序列;17—居宛土伯石英闪长岩序列;18—花岗岩脉/斜长细晶岩脉;19—闪长岩脉/闪长玢岩脉;20—辉绿岩脉/辉绿玢岩脉;21—断裂(带);22—地质界线;23—角岩化;24—铁矿点;25—铜金矿点;26—金矿点;27—铋矿点;28—砂金矿点;29—1:5万水系沉积物综合异常及编号;30—主量、微量及稀土元素样采集位置及序号;31—已有同位素年龄样位置及测值

研究区构造形迹极复杂,褶皱及断裂构造极为发育。区内褶皱总体属塔尔巴哈台复式向斜,其轴向北西—南东向,向北西倾没,向南东方向翘起收敛,为宽缓—半紧闭褶皱,核部为黑山头组和姜巴斯套组,南北两翼由科克沙依组、克克雄库都克组、萨吾尔山组、塔尔巴哈台组等构成。区域断裂系统由北西西向弧形逆推断裂(带)、近东西向压性逆冲断裂、北西向脆性断裂等构成,常将地质体切错或切割成条块。

研究区侵入岩极发育,从超基性岩到酸性岩都有分布。基性岩呈岩株、岩脉侵入,而中酸性岩以岩基为主侵入。侵入活动具有多期多次性特点,伴随岩浆侵入作用,亦发育潜火山作用。岩浆活动侵入时代基本属华力西期。自华力西早期—中期,侵入活动一直持续,尤其是中—晚石炭世,侵入活动规模及程度达到顶峰(高睿等,2013)。华力西早期主要表现为超基性岩沿断裂侵入,至中期岩浆侵入活动更加强烈,从基性的辉绿岩到中性的闪长岩、石英闪长岩,直至酸性的花岗岩、钾质花岗岩都有侵入,同时形成辉石安山玢岩、闪长玢岩等。

依据岩体分布位置、侵入体岩性组合等,将研究区主要中酸性岩划分为珠万托别花岗岩、居宛土伯石英闪长岩和结勒迪克增闪长岩 3 个岩浆侵入序列。

## 2 研究区主要矿床特征及铜金矿化类型

近年来,研究区先后发现金属矿床(点)8 处,矿种涵盖铜、金、锑、铁等,其中以铜、金矿化为主,代表性矿床为结勒迪克增铜金矿,其主要特征简述如下。

结勒迪克增铜金矿区出露地层主要为上泥盆统一石炭统塔尔巴哈台组和黑山头组。塔尔巴哈台组岩性组合主要为安山岩夹安山质熔结角砾岩、安山质凝灰岩与含粉砂灰岩、硅质岩等;黑山头组主要为灰黑色含炭粉砂岩夹灰绿色砂岩,含岩屑安山岩、安山岩与硅质岩、熔结角砾岩互层,局部夹灰色安山质火山角砾岩等。矿区北部出露结勒迪克增闪长杂岩体,岩性主要为灰色细斑闪长玢岩、灰色粗斑闪长玢岩、灰白色细—中粒(黑云)二长闪长岩等。地层岩石局部呈捕虏体包裹在闪长玢岩中,小规模褶皱或挠曲构造多见,区内近东西向和北东向断裂构造呈带状发育。

研究区铜金矿化主要赋存于结勒迪克增中酸性杂岩体中或其外接触带,受北东向、近东西向断裂带控制。研究区圈出主矿体 2 条,其中,Ⅰ-1 铜金矿体长 180 m,平均厚 0.82 m,含铜 0.28%~1.12%,平均品位 0.51%,含金  $0.21 \times 10^{-6} \sim 3.79 \times 10^{-6}$ ,平均品位  $2.0 \times 10^{-6}$ ;Ⅱ-1 金矿体长度 110 m,厚 4.33 m,Au 平均品位为  $3.23 \times 10^{-6}$ 。区内矿体沿走向延伸较稳定。矿体界线局部不清,矿体上下界线及品位高低受控于金铜矿化的蚀变强度和围岩的破碎程度。

矿区矿石的自然类型主要有褐铁矿化孔雀石化闪长玢岩和灰褐色褐铁矿化(硅化)含炭粉砂岩 2 种。矿石金属矿物主要有褐(黄)铁矿、黄铜矿、赤铁矿、自然金等,次生氧化物主要为孔雀石、褐铁矿,金主要以微细自然金的形式产于矿石矿物颗粒间。

对研究区多个矿床(点)进行初步研究和总结,将研究区金铜矿化大致划分为 3 种类型,其中一类是在结勒迪克增闪长岩体和闪长玢岩内部,或在岩体与围岩内接触带上,形成中高温岩浆热液型铜(金)矿化和斑岩型铜矿化;第二类主要分布于闪长玢岩与围岩的外接触带,以金(含铜)矿体为主;第三类矿化应与岩浆侵位形成的热液流体有关,这些热液流体沿着北东向或近东西向次级断裂迁移,并沉淀成矿,形成石英脉型或石英网脉型金矿体。

依据矿体赋存位置与矿化类型可知,研究区的铜、金矿床(点)均产于结勒迪克增闪长岩体南部侵入体内、外接触带上,受断裂构造控制较明显,Au、Cu 等成矿元素主要来自于构造—热液活动,推断其部分成矿物质来源于闪长玢岩体的上升侵入活动(郭刚,2014;陈大明,2021),矿床类型属与岩浆热液有关的中低温构造蚀变岩型。进一步研究表明,研究区铜金成矿作用主要与该岩体岩浆活动有关,且矿化事件略晚于岩体的侵位时代。

## 3 岩体岩石学特征

结勒迪克增闪长岩体呈椭圆状、东西向分布于研究区西部的朱哨山—结勒迪克增一带,出露面积为  $63.2 \text{ km}^2$ ,该序列内部有 6 个规模较大的侵入体,各侵入体之间均为脉动侵入接触。按照岩性特征和接触关系,将各侵入体归并为 4 个侵入期次,由早至晚叙述如下。

(1) 第一期灰色细斑闪长玢岩( $\delta\mu C_1^{3a}Q$ )

呈长轴近东西向的不规则状展布。该类岩石侵入于石炭纪及泥盆纪地层中,沿外接触带发育角岩化等蚀变(图版 I -d)。岩石呈灰色,块状构造,斑状结构,基质具半自形细粒结构、隐晶结构。岩石由斑晶和基质两部分组成。斑晶占 15%~37%,为斜长石和角闪石,斜长石呈半自形板状,聚片双晶发育;角闪石呈半自形粒状,发育闪石式解理。基质占 63%~85%,由斜长石、角闪石及隐晶质构成,其中斜长石呈细板条状,聚片双晶发育;角闪石呈他形—半自形粒状,具黄褐色—褐绿色多色性(图版 I -a,e);隐晶质约占 25%,另有少量磁铁矿,矿物粒度小于 0.5 mm。岩石局部边缘已蚀变,斜长石具轻微的绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化,角闪石具较强的绿泥石、绿帘石化,隐晶质具绿泥石化。

(2) 第二期灰色粗斑闪长玢岩( $\delta\mu C_1^{3b}Q$ )

由多个小规模的脉状侵入体组成,单个侵入体面积一般仅数平方米,杂乱分布于第一期灰色细斑闪长玢岩中。岩石呈白色与浅灰色、灰黑色构成的斑杂色,块状构造,斑状结构,具间隐间粒结构。岩石斑晶约占 30%,主要为斜长石、角闪石,二者互为消长关系,斜长石为半自形板状,发育聚片双晶;角闪石呈自形—半自形短柱状,具黄褐—褐色多色性;基质占 65%~75%,由细板条状斜长石、自形—半自形粒状角闪石及辉石、粒状隐晶质磁铁矿等构成。

(3) 第三期灰白色细—中粒二长闪长岩( $\eta\delta C_1^{3c}Q$ )

地表由 2 个侵入体组成。该类岩石呈小规模岩枝状、不规则状侵入于第一期的灰色细斑闪长玢岩和石炭纪地层中(图版 I -b)。岩石呈灰白色,块状构造,中—细粒结构。矿物成分有斜长石(约 40%)、微斜长石(约 30%)、角闪石(约 15%)、石英(小于 10%)、黑云母(约 5%)等。斜长石为半自形板状,聚片双晶及环带构造发育;微斜长石呈他形粒状,发育条纹结构及格子双晶;角闪石呈半自形柱状,具黄绿—褐绿色多色性;石英呈他形粒状,具波状消光;黑云母呈半自形板状。另有少量粒状磁铁矿零星分布(图版 I -f)。

(4) 第四期灰白色黑云母石英闪长岩( $\delta\sigma C_1^{3d}Q$ )

由 2 个侵入体组成,主要的侵入体呈不规则圆状分布于该序列最西侧,较小的侵入体位于岩体南

部。该岩石呈小规模岩枝状侵入于第一期的灰色细斑闪长玢岩和石炭纪地层中(图版 I -c)。南侧小侵入体存在由于不均匀冷凝结晶造成的相变带,其边缘相为细粒结构,内部相为中粒结构。岩石呈灰白色—深灰色,块状构造,中粒结构、细粒结构。岩石矿物成分为斜长石、普通角闪石、钾长石、石英、黑云母。斜长石为半自形板状,聚片双晶及环带构造发育;钾长石为他形粒状,含量小于 5%;普通角闪石呈长柱状,浅黄色—黄绿色,具闪石式完全解理;石英为他形粒状;黑云母呈浅黄色—黄褐色他形片状,分布不均。另有少量磁铁矿、微量的磷灰石及锆石等。

前人对多期次脉动形成的、与成矿有关的花岗杂岩体侵位机制开展了研究,将杂岩体划分为正环带状、反环带状和不规则状侵入岩浆组合(张天宇等,2012)。依据侵入期次、岩性组合、侵入位置等可知,结勒迪克增岩体中心单元早于边部单元侵位,由中心到边缘岩性从偏基性到偏酸性演化,其分布表现为反环带状。

## 4 岩石地球化学特征

## 4.1 主量元素

对结勒迪克增闪长岩序列主要侵入体采集了 7 件岩石样品开展分析测试,样品采集于 3 个期次侵入体的不同部位,均为具有代表性的新鲜岩石;样品均由新疆维吾尔自治区有色地质勘查局测试中心实验室测试。其岩石化学成分及特征参数见表 1,其中主量元素含量测试数据已在剔除烧失量后进行了百分百配比。

可以看出,岩石中主量元素含量  $SiO_2$  平均值为 58.03%,  $MgO$  平均值为 2.52%,  $K_2O$  平均值为 1.98%,  $MnO$  平均值 0.19%, 含量较低;  $Na_2O$  平均值为 4.21%,  $Al_2O_3$  平均值为 17.38%,  $TFeO$  平均值为 7.11%, 含量较高;  $CaO$  平均值为 7.03%,  $P_2O_5$  平均值为 0.47%,  $TiO_2$  平均值为 0.84%, 含量中等; 表现为低 Si、Mg、K, 高 Na、Al、Fe 的基本特征。

岩石中碱质( $Na_2O+K_2O$ )总量为 5.31%~8.56%, 含量中等, 钠质含量高于钾质含量,  $K_2O/Na_2O$  值在 0.04~0.83 之间, 变化范围较大, 表明其成岩物质来源复杂, 在成岩过程中可能有深部富钠质流体参与; 所有样品  $Fe_2O_3$  含量均低于  $FeO$  含量,  $Fe_2O_3/FeO$  值为 0.18~0.90, 表明岩石形成于还原环境。铝饱和

图版 I Plate I



a. 细斑闪长玢岩(第一期)野外露头;b. 中粒二长闪长岩(第三期)侵入于闪长玢岩体中;c. 黑云石英闪长岩(第四期)与细斑闪长玢岩侵入接触界线;d. (二长)闪长玢岩侵入于黑山头组灰绿色砂岩夹安山岩地层;e. 闪长玢岩;f. 细-中粒二长闪长岩,有少量粒状磁铁矿零星分布;g. (中粒)黑云石英闪长岩;h. (细粒)黑云石英闪长岩。Bit—黑云母;Cbn—碳酸盐;Hb—角闪石;Kp—钾长石;Mu—白云母;Pl—斜长石;Qtz—石英

表1 结勒迪克增序列闪长岩体岩石化学成分及主要特征参数

Table 1 Petrochemical composition and main characteristic parameters of diorite in Jiedikezeng sequence

化学成分/参数	灰色细斑闪长玢岩( $\delta\mu C_1^{3a}Q$ )			灰白色细一中粒二长闪长岩( $\eta\delta C_1^{3c}Q$ )				灰白色黑云母石英闪长岩( $\delta\sigma C_1^{3d}Q$ )		
	1	2	平均	3	4	5	平均	6	7	平均
SiO <sub>2</sub>	56.43	58.46	57.44	56.56	56.97	57.77	57.10	57.04	62.99	60.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.72	1.97	2.85	2.55	1.36	4.41	2.77	1.15	1.88	1.51
FeO	4.41	4.83	4.62	7.27	4.26	4.90	5.48	6.39	2.40	4.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.35	18.15	18.25	17.35	19.61	15.78	17.58	14.87	17.57	16.22
CaO	6.99	7.29	7.14	8.59	6.55	7.59	7.58	8.37	3.84	6.11
MgO	2.97	2.15	2.56	1.51	2.89	1.53	1.97	4.98	1.60	3.29
K <sub>2</sub> O	0.22	1.34	0.78	1.65	2.90	1.93	2.16	1.90	3.89	2.90
Na <sub>2</sub> O	5.25	4.41	4.83	3.78	4.09	3.84	3.91	3.41	4.67	4.04
MnO	0.23	0.18	0.21	0.27	0.13	0.20	0.20	0.18	0.10	0.14
TiO <sub>2</sub>	0.95	0.86	0.91	0.07	0.77	1.22	0.69	1.20	0.79	1.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.35	0.41	0.39	0.46	0.84	0.56	0.52	0.27	0.39
TFeO	7.76	6.60	7.18	9.57	5.48	8.86	7.97	7.42	4.09	5.76
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	5.47	5.75	5.61	5.44	6.99	5.77	6.07	5.31	8.56	6.94
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.04	0.30	0.17	0.44	0.71	0.50	0.55	0.56	0.83	0.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	0.84	0.41	0.63	0.35	0.32	0.90	0.52	0.18	0.78	0.48
A/CNK	0.85	0.83	0.84	0.74	0.90	0.71	0.78	0.65	0.93	0.79
碱度率(AR)	1.55	1.58	1.57	1.53	1.73	1.66	1.64	1.59	2.33	1.96
里特曼指数( $\sigma$ )	2.23	2.14	2.19	2.18	3.50	2.25	2.64	2.01	3.67	2.84
固结指数(SI)	17.91	14.64	16.28	8.98	18.65	9.20	12.28	27.94	11.07	19.51
R <sub>1</sub>	2612	2777	2695	2670	2578	2723	2657	2753	2806	2780
R <sub>2</sub>	1077	1067	1072	1165	1039	1044	1083	1292	664	978

注:数据由新疆维吾尔自治区有色地质勘查局测试中心测试。碱度率  $AR = [\omega(Al_2O_3) + \omega(CaO) + \omega(Na_2O) + \omega(K_2O)] / \{ \omega(Al_2O_3) + \omega(CaO) - [\omega(Na_2O) + \omega(K_2O)] \}$ ; 里特曼指数  $\sigma = [\omega(K_2O + Na_2O)]^2 / [\omega(SiO_2 - 43)]$ ; 固结指数  $SI = 100\omega(MgO) / (\omega(MgO) + \omega(FeO) + \omega(Fe_2O_3) + \omega(Na_2O) + \omega(K_2O))$ ;  $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ ;  $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$

指数(A/CNK)为0.65~0.93,为准铝质岩石。岩石碱度较低,碱度率(AR)为1.53~2.33;岩石固结指数(SI)为8.98~27.94,分异性较差,大多数分异程度相当于辉长岩分异程度(20~30),而远低于标准闪长岩的分异程度(48)。

本序列岩石里特曼指数( $\sigma$ )为2.01~3.67,均小于4,确定为太平洋型钙碱性岩石;依据TAS分类图解(图3),1件样品投入石英二长岩区域,1件样品投入二长岩中,其他样品均位于辉长闪长岩与闪长岩交接部位,根据岩石结构构造及岩石组分综合分类定名,与投影结果基本一致;除1件样品落在亚碱性系列与碱性系列的分界线上之外,其他样品均位于亚碱性系列区,表明该序列岩石属亚碱性系列。

在A-C-F图解中,该序列岩石主要落在I型花岗岩区,少数落在I型与S型花岗岩的过渡区(图4),表明该序列岩石具有I型花岗岩的特征。

#### 4.2 微量和稀土元素

结勒迪克增闪长岩侵入体岩石微量和稀土元素含量及主要特征参数见表2。与区域其他中酸性侵入岩相比,各期侵入岩微量元素含量均具有低Li、高Sr、高Ba的特点<sup>①</sup>。对样品以洋脊花岗岩(ORG)标准化后做比值蛛网图,图形呈右倾多峰谷模式,具有火山弧花岗岩的特征(图5)。岩石(Rb/Yb)<sub>N</sub>值为2.34,远大于1,为强不相容元素富集型;Rb/Sr值为0.011~0.087,平均值为0.051,略大于地幔平均值(约0.025);Nb/Ta值为17.08~

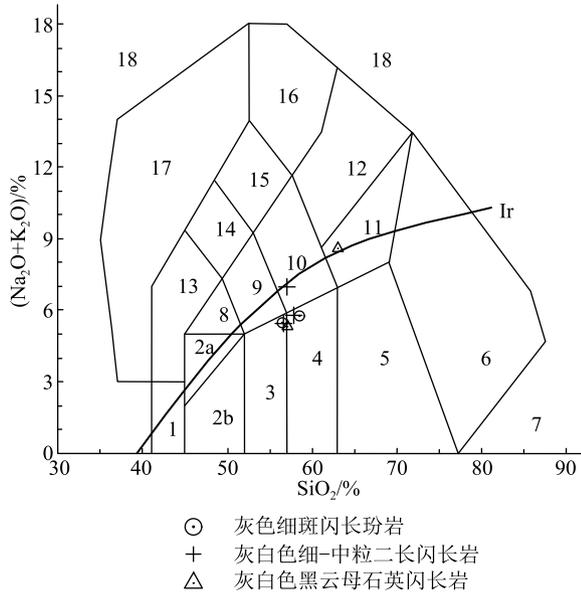


图 3 结勒迪克增闪长岩序列  $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (TAS) 分类图解 (Middlemost, 1994)

Fig. 3 Classification diagram of  $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (TAS) for Jieleedikeng diorite sequence

Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性;1—橄榄辉长岩;2a—碱性辉长岩;2b—亚碱性辉长岩;3—辉长闪长岩;4—闪长岩;5—花岗闪长岩;6—花岗岩;7—石英岩;8—二长辉长岩;9—二长闪长岩;10—二长岩;11—石英二长岩;12—正长岩;13—副长石辉长岩;14—副长石二长闪长岩;15—副长石二长正长岩;16—副长正长岩;17—副长深成岩;18—霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

21.33,平均为 19.60,高于球粒陨石平均值(17.57)和地壳平均值 6.818 (赵振华,1997),反映壳源特征;Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素富集,高场强元素 Nb、Ta、Hf、Zr、Sm、Y、Yb 等亏损,表明其具有岛弧花岗岩的特征。

从表 2 可知,该序列内部各岩石稀土元素含量及稀土元素总量相当,稀土元素总量为  $147.26 \times 10^{-6} \sim 186.26 \times 10^{-6}$ ,高于地幔中的稀土元素平均值 ( $85 \times 10^{-6}$ ),低于上部地壳的平均值 ( $210.1 \times 10^{-6}$ );  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值为 3.36 ~ 7.36,大于地壳的平均值 (0.35) (Rudnick et al., 2003),表明其与下地壳有关;岩石中轻稀土元素含量为  $99.87 \times 10^{-6} \sim 140.42 \times 10^{-6}$ ,重稀土元素含量为  $38.36 \times 10^{-6} \sim 49.82 \times 10^{-6}$ ,轻、重稀土元素分异程度较高,其比值为 2.11 ~ 3.08,为轻稀土元素富集型。 $\text{Ce}$  ( $\delta\text{Ce}$  值为 0.90 ~

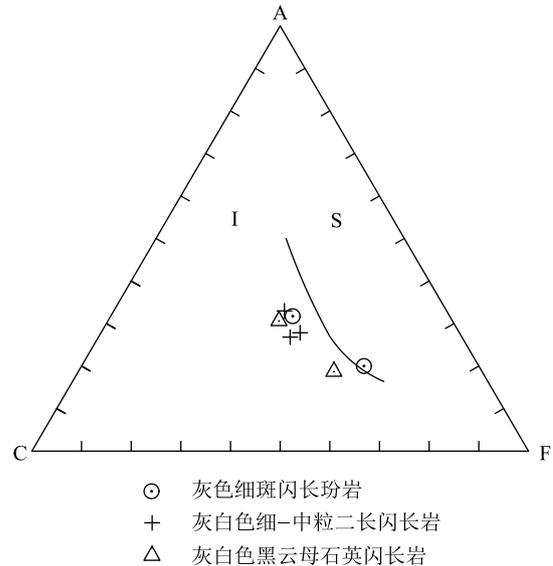


图 4 结勒迪克增闪长岩序列成因 A-C-F 图解 (Chappell, et al., 1992)

Fig. 4 A-C-F genetic diagram of Jieleedikeng diorite sequence

0.97) 为弱负异常;Eu 亦为弱负异常, $\delta\text{Eu}$  值为 0.79 ~ 0.98,表明其具有壳幔型花岗岩特点。 $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$  值为 2.89 ~ 5.50,  $(\text{La}/\text{Sm})_N$  值为 1.87 ~ 3.33,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$  值为 1.01 ~ 1.80,表明在岩浆作用过程中轻稀土元素与重稀土元素之间具有一定的分馏作用,但轻稀土元素之间、重稀土元素之间分馏程度较差或不明显。

该序列稀土元素球粒陨石标准化配分模式呈右倾曲线(图 6),多条曲线基本呈平行分布,表明它们属同源岩浆侵位的产物。

## 5 形成环境及侵入时代

大量研究表明,西准噶尔地区自泥盆纪末全部转入汇聚型过渡壳阶段,成为宽阔的弧-盆系环境(何国琦等,1995)。早石炭世,额尔齐斯-斋桑洋尚未闭合,并向其南北两侧的哈萨克斯坦和阿尔泰板块之下俯冲,发生了俯冲-增生作用(肖文交等,2006;高睿等,2013)。伴随着环境动荡抬升剥蚀和准噶尔洋盆的拉裂,在板块聚敛消减带深层形成了岩浆上涌通道,为包括结勒迪克增岩体在内的基性—中酸性岩浆岩上侵创造了条件。

表2 结勒迪克增序列闪长岩体微量和稀土元素含量及主要特征参数

Table 2 Contents of trace and rare earth elements and main characteristic parameters of Jiedikezeng diorite

微量及稀土元素/ 特征参数	灰色细斑闪长玢岩( $\delta\mu C_1^{3a}Q$ )			灰白色细一中粒二长闪长岩( $\eta\delta C_1^{3c}Q$ )				灰白色黑云母石英闪长岩( $\delta\sigma C_1^{3d}Q$ )		
	1	2	平均	3	4	5	平均	6	7	平均
Li	10.3	9.0	9.67	13.2	10.3	12.8	12.10	16.5	13.7	15.10
Rb	8.9	10.0	9.43	41.2	31.7	53.1	42.00	52.3	39.7	46.00
Sr	835	943	889	652	818	727	732	598	563	581
Ba	185	118	152	465	374	480	440	473	484	479
V	162	154	158	115	152	153	140	207	191	199
Sc	13.4	14.7	14.05	14.2	15.4	15.1	14.90	20.9	21.2	21.05
Nb	11.8	10.9	11.33	11.0	11.6	11.1	11.23	23.8	20.9	22.35
Ta	0.55	0.52	0.54	0.69	0.58	0.65	0.64	1.16	0.98	1.07
Zr	273	200	237	150	182	87	140	183	172	178
Hf	5.86	4.81	5.34	4.44	4.85	3.01	4.10	5.19	4.79	4.99
Be	1.44	1.33	1.39	1.40	1.31	1.58	1.43	1.26	1.39	1.33
Ga	20.1	13.9	17.0	18.3	16.9	17.0	17.4	19.8	17.4	18.6
Th	4.60	4.02	4.31	7.00	4.30	4.46	5.25	9.03	5.62	7.33
La	24.9	20.2	22.55	23.1	18.6	21.4	21.03	30.3	29.5	29.90
Ce	48.5	45.4	46.95	45.8	41.6	46.0	44.47	59.1	61.1	60.10
Pr	5.55	6.43	5.99	6.12	6.03	6.50	6.22	6.47	8.30	7.39
Nd	28.0	27.3	27.65	25.5	25.9	27.4	26.27	24.3	32.9	28.60
Sm	5.45	6.34	5.90	5.96	6.13	5.84	5.98	5.73	6.86	6.30
Eu	1.39	1.55	1.47	1.54	1.61	1.76	1.64	1.42	1.76	1.59
Gd	5.09	5.06	5.08	4.96	4.88	5.04	4.96	4.69	6.19	5.44
Tb	0.73	0.91	0.82	0.59	0.87	0.79	0.75	0.61	0.97	0.79
Dy	3.59	5.53	4.56	4.44	5.36	4.40	4.73	4.67	5.36	5.02
Ho	0.72	1.12	0.92	0.79	1.08	0.84	0.90	0.74	1.01	0.88
Er	2.31	3.26	2.79	2.55	3.10	2.49	2.71	2.78	2.99	2.89
Tm	0.31	0.57	0.44	0.38	0.55	0.39	0.44	0.32	0.46	0.39
Yb	2.28	4.00	3.14	2.81	3.73	2.74	3.09	2.88	3.22	3.05
Lu	0.30	0.57	0.44	0.42	0.53	0.37	0.44	0.38	0.44	0.41
Y	25.1	28.8	26.95	21.9	27.3	21.3	23.50	24.3	25.2	24.75
Rb/Sr	0.011	0.011	0.011	0.063	0.039	0.073	0.058	0.087	0.071	0.079
Nb/Ta	21.36	20.96	21.16	15.94	20.00	17.08	17.67	20.52	21.33	20.92
Rb/Yb	0.81	0.52	0.67	3.06	1.78	4.05	2.96	3.80	2.58	3.19
$\Sigma$ REE	154.22	157.04	155.63	146.86	147.27	147.26	147.13	168.69	186.26	177.48
LREE	113.79	107.22	110.51	108.02	99.87	108.90	105.60	127.32	140.42	133.87
HREE	40.43	49.82	45.13	38.84	47.40	38.36	41.53	41.37	45.84	43.61
LREE/LREE	2.81	2.15	2.48	2.78	2.11	2.84	2.58	3.08	3.06	3.07
$\delta$ Ce	0.95	0.92	0.94	0.91	0.91	0.90	0.91	0.97	0.90	0.94
$\delta$ Eu	0.79	0.82	0.81	0.84	0.88	0.98	0.90	0.81	0.82	0.82
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	5.50	2.89	4.20	4.22	3.16	4.28	3.89	5.31	4.85	5.08
(La/Sm) <sub>N</sub>	2.87	1.93	2.40	2.44	1.87	2.28	2.20	3.33	2.62	2.97
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.80	1.01	1.41	1.42	1.16	1.47	1.35	1.31	1.54	1.43
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.36	3.40	5.38	5.54	3.36	5.27	4.72	7.09	6.18	6.63

注:数据由新疆维吾尔自治区有色地质勘查局测试中心测试

前人针对结勒迪克增闪长岩体的研究,积累了一些同位素年龄数据,基本上介于 291.8(K-Ar 法)~332±3 Ma(锆石 U-Pb 法)之间,为限定研究区岩浆活动时限提供了重要的年代学信息(Chen et al., 2010;陈家富等,2010)。周涛发等(2015)对该岩体开展锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素定年,分别获得的年龄值为 328.1±4.0 Ma 和 324.5±3.0 Ma,属早石

炭世末期,为该岩体的最新研究成果,可以代表该岩体侵入的成岩年龄。

结勒迪克增岩体位于萨吾尔山-二台晚古生代岛弧带内,主要侵入于早石炭世姜巴斯套组和黑山头组中。姜巴斯套组和黑山头组均为海陆交互火山-陆源碎屑岩建造,且研究区各组地层间均为不整合,表明早石炭世该区地壳活动频繁,沉积环境由海逐渐向陆演化。通过  $R_1-R_2$  图解(图 7)判断结勒迪克增闪长岩序列的形成环境,有 6 个样品落在造山(碰撞)前的 I 型花岗岩区,仅 1 个样品落在造山晚期花岗岩区;以  $Rb-(Y+Nb)$  和  $Ta-Yb$  图解判断其构造环境,样品点均落在火山弧花岗岩区(图 8)。由此初步判断,结勒迪克增序列形成于岛弧构造环境,属造山前 I 型科迪勒拉花岗岩,其成岩与古大洋板块的汇聚、俯冲作用导致的洋壳部分熔融有关。

岩石学及岩石化学特征表明,该序列岩石为弱准铝质中等碱质的亚碱性系列岩石,富钠质,具备低硅镁钾和高钠铝铁的特点;岩石富集 Rb、Ba、Th、LREE 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Hf、Zr、Sm、Y、Yb 等高场强元素,为强不相容元素富集型岩石;稀土元素总量显示其与下地壳关系密切,轻、重稀土元素分异程度高,暗示其源岩成分可能来自岛弧型火山岩的部分重熔或同源岩浆演化。

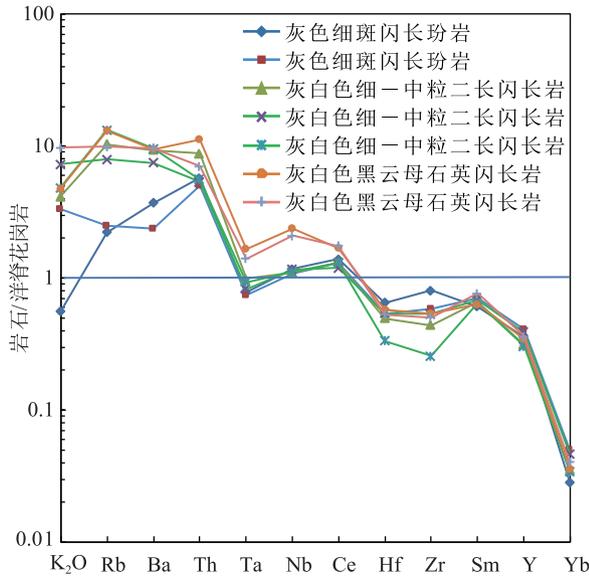


图 5 微量元素洋脊花岗岩标准化比值蛛网图(Pearce et al., 1984)

Fig. 5 Spider diagram of normalized ratio of trace elements in rock mass to Mid Ocean Ridge Granite

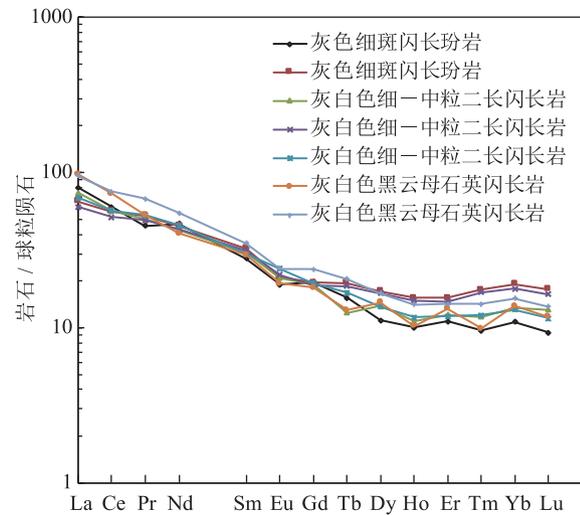


图 6 结勒迪克增闪长岩序列稀土元素球粒陨石标准化配分型式图

Fig. 6 Distribution pattern of normalized ratio of rare earth elements and chondrites in Jielekizeng diorite sequence

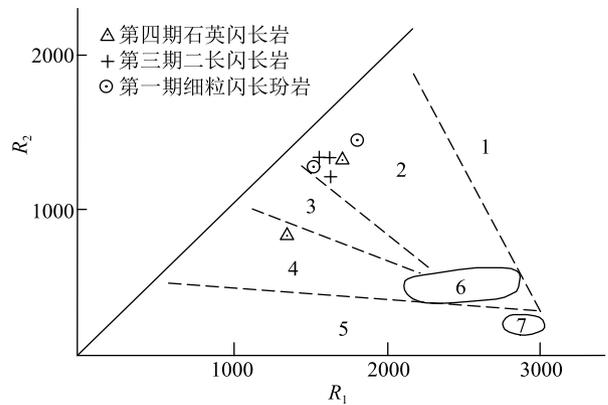


图 7 结勒迪克增闪长岩序列  $R_1-R_2$  图解 (Batchelor, 1985)

Fig. 7  $R_1-R_2$  diagram of Jielekizeng diorite sequence  
1—地幔斜长花岗岩(M型);2—板块碰撞前消减带花岗岩(I型);  
3—板块隆起期花岗岩(I型);4—造山晚期-晚造山期花岗岩;  
5—非造山期A型花岗岩;6—同造山(同碰撞)期花岗岩(S型);  
7—造山期后的A型花岗岩

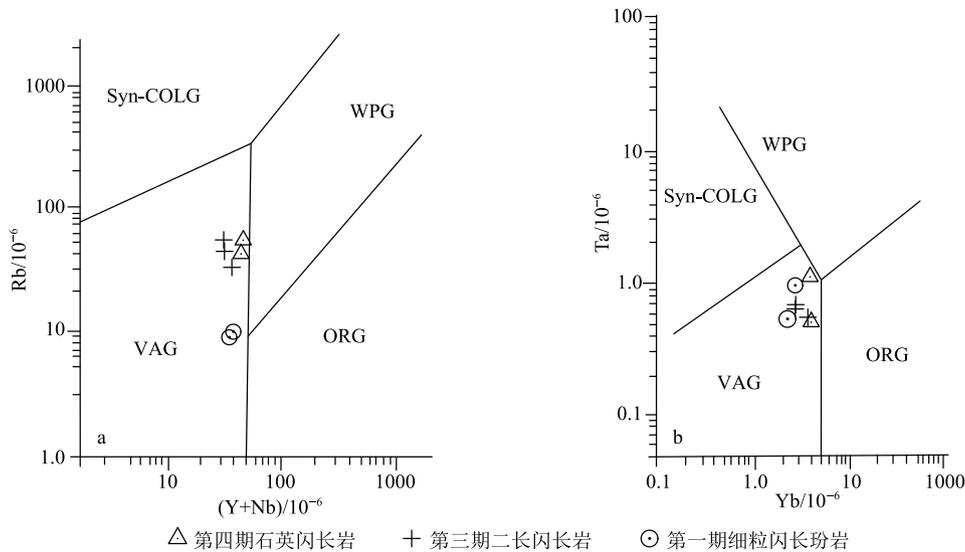


图8 结勒迪克增闪长岩体构造环境判别(Y+Nb)-Rb(a)和Yb-Ta(b)图解

Fig. 8 Tectonic environment discrimination of Jiele迪克增 diorite (Y+Nb)-Rb(a) and Yb-Ta(b) diagrams

ORG—大洋脊花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;WPG—板内花岗岩;Syn-COLG—碰撞带花岗岩

## 6 岩体含矿性研究

### 6.1 区域岩石中重要成矿元素对比

研究区各地质体岩石中元素的分布情况见表3。将研究区岩石元素平均值与新疆全域岩石中元素背景值分别比较,可得富集系数 $K_x$ 。经计算,研究区获得的14种元素的 $K_x$ 值均大于1,其含量均高出新疆背景平均值(杜佩轩等,2001)。其中Pb、Zn、Ag、Sn、W、Ni、Co、Cr、Bi元素高出新疆背景平均值1~1.5倍,Cu、Au、Sb、Mo、As元素高出新疆背景平均值2~2.8倍。因此,研究区具备铜、金、锑等金属富集成矿的物质基础。

将研究区各地质体岩石中元素平均含量与全区岩石元素背景值比较,可得浓集比率 $K$ ,根据统计可知,区域主要地层岩石中,志留系岩石Cu、Pb、W、Au元素属浓集,Zn、As、Sb元素属强浓集,其主要成矿元素的浓集程度明显优于其他地层,表明志留纪地层为研究区富含多金属成矿的初始矿源层,这与研究区早志留世库尔盖初始岛弧开始形成阶段强烈的火山喷发、喷流作用相对应。结勒迪克增闪长岩体主要金属元素Au、Ag、Cu等呈微浓集,而其周边石炭纪、泥盆纪地层岩石中呈贫化状态,表明该岩体中矿源物质较丰富,Cu、Au为主成矿元素,分异程度高,有利于局部富集成矿。

### 6.2 结勒迪克增岩体中主要成矿元素含量对比

对结勒迪克增岩体基岩样品按照侵入体进行

统计,并与研究区岩石均值相比较,岩石中成矿元素含量及浓集比率见表4。与全区平均值相比较,第一期细粒闪长玢岩中Au、Ag、Cu、Bi元素含量高,其中Au为强浓集;第二期粗粒闪长玢岩中Co、Ag、Cu含量较高;第三期二长闪长岩中Pb、Zn、Co、Ag、Cr、Sb、Au、Sn、W等元素含量高;第四期石英闪长岩中Au、As、Pb、Cr、Ni、Co、Ag、Zn等元素含量高,尤其是Au,浓集比率高达7.14,这一方面反映出,该序列闪长杂岩体的侵入过程,伴随有金、银、铜、铅、锌、锑、铋、镍、铬、钴、砷的成矿作用,并具有某些中温元素组合的成矿特征;另一方面,各期次侵入体多金属元素的浓集程度不同,反映出主要成矿元素的分异程度也较高,有利于多金属矿化。

### 6.3 区域地质时空演化与元素富集成矿

研究区在构造地质演化上表现为加里东褶皱基底在海西期的活化演变过程,且具有继承性特点(王玉往等,2012;2015)。多数元素在地史演化过程中都处于贫乏分散的状态,直到造山末期出现大规模的岩浆侵入作用,才伴随有元素的富集和分异,这也是主要的成矿期(Xiao et al.,2008)。

奥陶纪,研究区形成初始岛弧,即处在大洋岛弧环境,早期以钙碱性玄武岩—中酸性火山喷发为主,晚期接受了陆源碎屑沉积。自中奥陶世早期,形成于寒武纪和志留纪的岛弧火山岩系(火山弧)持续向南西方向迁移,并在该古老火山岛弧组合上

表 3 研究区各地质体元素含量均值及浓集比率

Table 3 Mean content and concentration ratio of elements in the study area

元素	奥陶系岩石(46)		志留系岩石(5)		泥盆系岩石(71)		石炭系岩石(31)		珠万托别花岗 杂岩体(23)		结勒迪克增闪 长杂岩体(357)		研究区岩石		新疆 全域
	X	K	X	K	X	K	X	K	X <sub>0</sub>	K	X	K	X <sub>0</sub>	K <sub>x</sub>	X <sub>x</sub>
Au	0.80	0.50	2.60	1.63	0.90	0.56	1.00	0.63	0.80	0.50	2.30	1.44	1.60	2.76	0.58
Ag	0.05	0.60	0.12	1.33	0.07	0.81	0.09	1.01	0.04	0.47	0.11	1.18	0.09	1.50	0.06
Cu	35.00	0.72	75.10	1.55	46.70	0.96	41.00	0.84	28.70	0.59	55.20	1.14	48.60	2.18	22.30
Pb	13.00	0.92	31.30	2.22	15.90	1.13	13.70	0.97	17.70	1.26	12.50	0.88	14.10	1.12	12.60
Zn	98.10	0.94	421.90	4.05	112.90	1.08	88.70	0.85	92.00	0.88	99.20	0.95	104.10	1.65	63.00
Mo	1.34	0.94	1.54	1.08	2.02	1.41	1.70	1.19	1.09	0.76	1.15	0.80	1.43	2.34	0.61
Sn	3.50	1.37	2.07	0.81	2.77	1.08	2.16	0.84	3.22	1.26	2.42	0.95	2.56	1.41	1.81
W	1.08	1.04	1.97	1.89	1.10	1.06	1.37	1.32	0.91	0.88	0.92	0.88	1.04	1.37	0.76
Ni	22.30	1.23	21.60	1.19	24.10	1.33	15.90	0.88	16.80	0.93	15.80	0.87	18.10	1.34	13.50
Co	14.80	1.00	12.60	0.85	15.70	1.06	12.30	0.83	15.00	1.01	15.20	1.03	14.80	1.50	9.85
Cr	38.20	1.18	48.70	1.50	40.20	1.24	28.00	0.86	28.60	0.88	30.10	0.93	32.50	1.22	26.60
As	12.37	1.30	62.98	6.61	10.16	1.07	15.14	1.59	5.52	0.58	6.73	0.71	9.53	2.34	4.08
Sb	0.71	0.76	2.93	3.12	1.45	1.54	0.84	0.89	0.49	0.52	0.78	0.83	0.94	2.76	0.34
Bi	0.16	1.00	0.13	0.81	0.14	0.88	0.17	1.06	0.14	0.88	0.17	1.06	0.16	1.14	0.14

注:括号内为样品件数;X—岩石含量平均值;X<sub>0</sub>—研究区岩石全域均值;X<sub>x</sub>—新疆全域岩石背景均值;K—地质体浓集比率, K=X/X<sub>0</sub>; K<sub>x</sub>—区域浓集系数;K<sub>x</sub>=X<sub>0</sub>/X<sub>x</sub>。元素单位 Au 为 10<sup>-9</sup>,其他元素含量单位为 10<sup>-6</sup>,其中浓集比率 K<1.0 为贫化,1.0<K≤1.5 为微浓集,1.5<K≤2.5 为浓集, K>2.5 为强浓集

表 4 结勒迪克增序列岩石中成矿元素含量

Table 4 Contents of ore-forming elements in rocks of Jieledikezeng diorite sequence

元素代号	δμC <sub>1</sub> <sup>3a</sup> Q		δμC <sub>1</sub> <sup>3b</sup> Q		ηδC <sub>1</sub> <sup>3c</sup> Q		δoC <sub>1</sub> <sup>3d</sup> Q		研究区岩石均值
	均值 X <sub>y1</sub>	K1	均值 X <sub>y2</sub>	K2	均值 X <sub>y3</sub>	K3	均值 X <sub>y4</sub>	K4	X <sub>0</sub>
Au	2.50	2.69	0.82	0.88	1.07	1.15	6.64	7.14	0.93
Ag	0.10	1.11	0.09	1.00	0.12	1.33	0.11	1.22	0.09
Cu	51.83	1.07	56.71	1.17	33.47	0.69	26.58	0.55	48.60
Pb	11.20	0.79	12.77	0.91	30.53	2.17	31.25	2.22	14.10
Zn	98.60	0.95	101.70	0.98	151.10	1.45	131.00	1.26	104.10
Mo	0.91	0.64	0.99	0.69	1.03	0.72	0.55	0.38	1.43
Sn	2.53	0.99	2.48	0.97	2.72	1.06	1.94	0.76	2.56
W	0.98	0.94	0.78	0.75	1.12	1.08	0.66	0.63	1.04
Ni	13.40	0.74	16.70	0.92	14.80	0.82	25.80	1.43	18.10
Co	14.20	0.96	18.10	1.22	20.20	1.36	18.00	1.22	14.80
Cr	23.70	0.73	31.00	0.95	38.60	1.19	59.10	1.82	32.50
As	4.93	0.52	4.39	0.46	4.59	0.48	22.20	2.33	9.53
Sb	0.63	0.67	0.63	0.67	1.10	1.17	1.13	1.20	0.94
Bi	0.17	1.06	0.12	0.75	0.12	0.75	0.13	0.81	0.16

注:Au 元素含量单位为 10<sup>-9</sup>,其他元素含量单位为 10<sup>-6</sup>;岩性代号同表 1

沉积了厚层的凝灰岩和火山碎屑岩,中奥陶世形成弧前盆地复理石和海相磨拉石,晚奥陶世—中泥盆世,岛弧边缘不断形成增生楔(朱永峰等,2006),与火山热液密切相关的 Bi、As、Sn 元素特别集中富集, Pb、Zn、Mo、Sb 相对集中。由于热卤水的交代作用,使得与基性火山岩关系密切的 Cu、Co 及 Ag 元素

略显亏损分散, Au、Cr、Ni 严重分散亏损。这时大多数元素表现为均匀—不均匀型分布特征,分异性差,也就是说元素在快速的火山喷发过程中,均匀地混入岩石中,局部富集成矿的可能性低。

到晚志留世,研究区开始接受陆源碎屑及火山碎屑沉积,代表剥蚀区性质的 Bi、As、Pb、Zn、Sb 元

素特别集中富集;并且由 Bi 到 Pb、Zn 再到 As、Sb, 元素分异程度逐渐增高。代表火山活动的元素 Cu、Mo、Ag、Sn、W 相对集中,Au、Co 分散亏损,Ni、Cr 元素严重分散亏损;其中 Cu、Ni 元素分异性好,具有一定的成矿可能性。

中泥盆世开始,区域大规模发育陆相火山活动,构成流纹岩、英安岩等岩石组合,并与陆相碎屑岩相伴生(朱永峰等,2006;2014)。研究区向大陆岛弧演化,以安山质为主的火山活动非常强烈,此时与火山岩关系密切的 Bi、As、Sb、Pb、Zn、Mo、Sn、W 等元素相对集中,而 Cu、Ni、Cr、Co、Ag、Au 等元素显示出(弱)亏损。此时,大多数元素的分异性很差,不利于成矿。

在早石炭世,研究区演化为成熟的大陆岛弧,即陆缘安山岩带,区内断裂构造发育,使得与火山热液相关的元素 Bi、As、Pb、Ag、Mo、Sn、W、Sb 等集中;而与安山岩关系密切的元素 Cu、Zn、Ni、Co、Cr 出现亏损。此时大多数元素的分异程度偏低。

早石炭世末期—晚石炭世,研究区发生大规模的褶皱造山,导致大规模深源花岗岩浆的入侵,构造活动和壳幔相互作用强烈,造成区内 Sn、As、Bi、Pb 元素进一步富集,而因为岩浆的亲水性,导致 Cu、Ag、Ni、Co、Cr、Au 元素在周围地层中进一步贫化。伴随着造山运动,壳源安山质物质熔融入侵,多期次的结勒迪克增闪长杂岩体最终定位,在强烈的岩浆热液作用影响下,岩体接触带及内部裂隙带上出现 Au、Sb、Cu 及其伴生元素 Ag、As、Pb、Zn、Mo、Bi、Sn、W 等的局部富集,其分异性高,局部形成多金属异常或矿化。结勒迪克增铜金矿床就形成于该阶段。

研究区复杂增生造山作用最终结束于晚石炭世晚期—二叠世早期(Windley et al., 2007;周涛发等,2015)。区域自早二叠世后,进入陆内盆地演化阶段(Pirajno et al., 2010;李智佩等,2020)。研究区处于挤压褶皱抬升剥蚀阶段,没有地层沉积记录或已被剥蚀。受印支—燕山构造旋回运动影响,研究区主要发生地壳间歇性隆升、断裂走滑活动、断块差异升降等构造活动,为区内多金属矿化形成起到了改造富集的作用。

## 7 结论

(1)新疆塔城结勒迪克增闪长岩序列主要岩性组合为细斑—粗斑闪长玢岩、细—中粒二长闪长

岩、黑云母石英闪长岩等,该序列侵入时代为早石炭世末期,形成于岛弧构造环境,属造山前 I 型科迪勒拉花岗岩,其源岩成分可能来自岛弧型火山岩的部分重熔或同源岩浆演化。

(2)结勒迪克增闪长岩序列为来自同一岩浆房(或岩浆源地)的同源岩浆,经多次分离、上升和侵入定位后形成岩体共生组合,其分布表现为反环带状特征。在岩体上侵机制下,晚期侵位的岩浆更可能与围岩或早期岩浆冷凝体接触而发生频繁的物质和能量交换,在岩体四周形成接触交代矿床、斑岩型或热液型矿床。

(3)研究区为 Cu、Au、Sb、Mo、As 等元素的高背景区。分别对结勒迪克增岩体与周边各地质体之间、其内部侵入体之间的金属元素含量进行了对比研究,结果显示,在周边地层主要金属元素呈贫化的状态下,岩体中主成矿元素 Au、Cu 等呈微浓集状态,且分异程度较高;各侵入体内成矿元素含量分布不均,分异程度亦不同,Cu 在第一、二期侵入体内为浓集状态;Au 在第一、四期侵入体内为强浓集状态,表明在岩体上侵成岩过程中发生了强烈的岩浆热液作用和金属元素分异富集现象,区内具备 Cu、Au 等元素富集成矿的物质基础。

(4)区域构造演化和岩石化学特征表明,结勒迪克增岩体具备形成斑岩型铜矿、热液型金矿的岩浆岩条件,与铜金等成矿作用关系密切,近年来岩体南接触带及内部裂隙带上已发现有多处铜金多金属矿化信息,但受限于勘查投入不足等客观因素,这些斑岩—浅成低温热液型金铜矿床仅进行了预查或浅部勘探,区内找矿效果不明显,进一步开展系统的矿床成矿规律研究,加大勘探力度和深度,一定能实现找矿突破。

## 注释

①新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地球物理探矿队.奥依札依劳幅(部分)、科克布拉克幅(部分)、卡姆斯特幅(部分)、克孜别依特幅、喀拉扎尔幅 1:50000 区域地质调查报告[R].2009.

## 参考文献

- Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of grunitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48: 43-55.
- Chappell B W, White A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt[J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences, 1992, 83(1/2): 1-26.

- Chen J F, Han B F, Ji J Q, et al. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China[J]. *Lithos*, 2010, 115(1/4): 137-152.
- Henderson P. General geochemical properties and abundances of the rare earth elements [C] // Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry*. New York: Elsevier, 1984: 1-32.
- Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth-science reviews*, 1994, 37(3/4): 215-224.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 956-983.
- Pirajno F, Seltmann R, Yang Y Q. A review of mineral systems and associated tectonic settings of northern Xinjiang, NW China [J]. *Geoscience Frontiers*, 2010, 2(2): 157-185.
- Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust [C] // Holland H D, Turekian K K. *Treatise on geochemistry*. Oxford, Elsevier - Pergamon, 2003: 1-64.
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the central Asian Orogenic Belt [J]. *J. Geol. Soc.*, 2007, 164(1): 31-47.
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, et al. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(2/4): 102-117.
- Zhukov N M, Kolesnikov V V, Miroshnichenko L M, et al. Copper deposits of Kazakhstan (in Russian) [M]. Kazakhstan: Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 1997.
- 陈大明. 新疆塔城北他乌山一带金矿地质特征及找矿远景分析 [D]. 西南科技大学硕士学位论文, 2021.
- 楚德元. 新疆吉木乃县罕哲尔能铜矿地质特征及成矿条件浅析 [J]. *新疆有色金属*, 2007, (3): 1-3.
- 陈家富, 韩宝福, 张磊. 西准噶尔北部晚古生代两期侵入岩的地球化学、Sr-Nd 同位素特征及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2317-2335.
- 蔡土赐, 孙巧缙, 缪长泉, 等. 新疆维吾尔自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- 董连慧, 冯京, 刘德权, 等. 新疆成矿单元划分方案研究 [J]. *新疆地质*, 2010, 28(1): 1-15.
- 董连慧, 屈迅, 朱志新, 等. 新疆大地构造演化与成矿 [J]. *新疆地质*, 2010, 28(4): 351-357.
- 杜佩轩, 田素荣. 新疆岩石、岩屑、水系沉积物元素背景平均值 [J]. *物探与化探*, 2001, (2): 117-122.
- 郭刚. 新疆结勒迪克增闪长岩体地质特征及成矿条件浅析 [J]. *新疆有色金属*, 2014, 37(5): 7-8.
- 高睿, 肖龙, 王国灿, 等. 西准噶尔晚古生代岩浆活动和构造背景 [J]. *岩石学报*, 2013, 29(10): 3413-3434.
- 龚一鸣, 纵瑞文. 西准噶尔古生代地层区划及古地理演化 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2015, 40(3): 461-484.
- 何国琦, 刘德权, 李茂松, 等. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列 [J]. *新疆地质*, 1995, (2): 99-176, 178-196.
- 靳松. 新疆西准噶尔地区古生代岩浆活动的年代学和地球化学研究 [D]. 中国地质大学(武汉)博士学位论文, 2016.
- 李光明, 秦克章, 李金祥. 哈萨克斯坦环巴尔喀什斑岩铜矿地质与成矿背景研究 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(12): 2679-2700.
- 李水河. 阔尔真阔腊金矿床地质特征及成矿机理 [J]. *新疆有色金属*, 2002, (1): 1-4.
- 李智佩, 吴亮, 颜玲丽. 中国西北地区蛇绿岩时空分布与构造演化 [J]. *地质通报*, 2020, 39(6): 783-817.
- 欧阳刘进, 梁伟超. 新疆斑岩型铜矿成因地质特征分析与找矿远景 [J]. *西部探矿工程*, 2011, 23(9): 132-134.
- 芮宗瑶, 张立生, 陈振宇, 等. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨 [J]. *岩石学报*, 2004, 20(2): 229-238.
- 申萍, 沈远超, 刘铁兵, 等. 新疆包古图斑岩型铜矿床容矿岩石及蚀变特征 [J]. *岩石学报*, 2009, 25(4): 777-792.
- 申萍, 董连慧, 冯京, 等. 新疆斑岩型铜矿床分布、时代及成矿特点 [J]. *新疆地质*, 2010, 28(4): 358-364.
- 申萍, 董连慧, 潘鸿迪, 等. 新疆斑岩型铜矿床基本特征 [J]. *矿床地质*, 2012, 31(S1): 33-34.
- 申萍, 周涛发, 袁峰, 等. 环巴尔喀什-西准噶尔成矿省矿床类型、成矿系统和跨境成矿带对接 [J]. *岩石学报*, 2015, 31(2): 285-303.
- 沈远超, 金成伟. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-239.
- 王玉往, 王京彬, 龙灵利, 等. 新疆北部大地构造演化阶段与斑岩-浅成低温热液矿床的构造环境类型 [J]. *中国地质*, 2012, 39(3): 695-716.
- 王玉往, 王京彬, 龙灵利, 等. 新疆准噶尔北缘早石炭世金-铜-钼成矿事件: 年代学证据 [J]. *岩石学报*, 2015, 31(5): 1448-1460.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- 肖文交, 韩春明, 袁超, 等. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1062-1076.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-169.
- 肖序常. 新疆及邻区大地构造图 (1: 250 万) [M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案 [M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- 袁峰, 周涛发, 谭绿贵, 等. 西准噶尔萨吾尔地区 I 型花岗岩同位素精确定年及其意义 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1238-1248.
- 袁峰, 周涛发, 邓宇峰, 等. 西准噶尔萨吾尔地区主要矿床类型及成矿规律 [J]. *岩石学报*, 2015, 31(2): 388-400.
- 尹继元, 陈文, 袁超, 等. 新疆西准噶尔晚古生代侵入岩的年龄和构造意义: 来自锆石 LA-ICPMS 定年的证据 [J]. *地球化学*, 2013, 42(5): 414-429.
- 周涛发, 袁峰, 张达玉, 等. 新疆西准噶尔塔北地区晚古生代中酸性侵入岩的成因分析 [J]. *岩石学报*, 2015, 31(2): 351-370.
- 张天宇, 樊双虎, 白金鹤, 等. 花岗岩体侵位机制及成矿作用研究进展 [J]. *西北地质*, 2012, 45(S1): 147-150.
- 朱永峰, 徐新. 新疆塔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(12): 2833-2842.
- 朱永峰. 中亚成矿域核心区地质演化和巨型成矿带划分 [J]. *矿床地质*, 2014, 33(3): 471-485.
- 朱永峰, 徐新, 罗照华, 等. 中亚成矿域核心区地质演化与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 2014: 19-81.
- 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 221-225.