

proportion of snout/skull shall not be used to differentiate species in *Xinpusaurus*.

Keywords: Late Triassic; Carnian; morphology; ontogeny; allometric growth

Acknowledgements: We thank Prof. LIU Jun and Dr. Andrzej S. Wolniewicz for the discussion of the specimen and the improvement of the manuscript, LI Liangyou and Tetsuya Sato for preparing the specimen, and other members from the Paleontological Lab of HFUT for their help in the field. Prof. LIU Jun from the Institute of Vertebrate Palaeontology and Palaeoanthropology, Chinese Academy of Sciences provided helpful comments that improved the manuscript.

First author: HE Jing, female, born in 1998, master's degree, is major in geology; Email: he1998jing@163.com

Corresponding author: SHEN Yuefeng, male, born in 1986, doctor, is engaged in biosedimentology, paleontology and stratigraphy; Email: yuefengshen@hfut.edu.cn

Manuscript received on: 2022-12-12; Accepted on: 2023-05-10; Published online on: 2023-06-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2023.06.012

Edited by: LI Ming

川西义敦岛弧燕山期岩体带多种稀有金属矿(化)脉的发现及其意义

彭宇¹⁾, 郝雪峰¹⁾, 唐屹¹⁾, 梁斌²⁾, 潘蒙¹⁾, 杨荣¹⁾, 范俊波¹⁾

1) 四川省地质调查院稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室, 成都, 610081;

2) 西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳, 621000



www.
geojournals.cn/georev

关键词: 稀有金属; 义敦岛弧; 川西地区

稀有金属是战略性新兴产业的关键性矿产资源, 无论是在高端装备制造业还是在新能源汽车领域均发挥着不可替代的作用, 其重要性越来越突显, 其中锂、铍、钽是当前稀有金属中关注度最高的3个矿种(王登红等, 2017)。川西义敦地区位于松潘—甘孜义敦岛弧带内(图1), 属松潘—甘孜稀有金属成矿带西侧的石渠—义敦—贡山—巍山稀有金属成矿亚带, 带内印支期、燕山期、喜山期岩体分布广泛, 具有多期岩浆活动的特点, 与之相关多期成矿作用复合、叠加或改造, 具备形成中—大型稀有金属矿床的条件和潜力。

多年来, 四川省稀有金属矿产调查研究工作主要集中在松潘—甘孜造山带的主体部位, 而在义敦岛弧带内的稀有金属找矿和研究工作却鲜有报道。本次以义敦岛弧燕山期岩体分布区域为主要对象的稀有金属找矿工作获得了重大发现, 提醒我们过去未被重视的义敦岛弧也具有相当可观的稀有金属找矿潜力, 且区内稀有金属具有更丰富的矿床成因类型, 其成矿地质背景与川西地区其它稀有金属矿床不尽相同(康定甲基卡、马尔康可尔因), 在该地区进行更加深入的地质

调查与研究对完善川西地区稀有金属成矿理论以及获得新的找矿突破具有十分重要的意义。

笔者等通过综合资料研究圈定有利成矿区域、地质填图、主干路线地质调查、地质矿产剖面测量、采样分析等工作手段, 对义敦岛弧燕山期岩体带稀有金属矿床特征、成矿潜力等进行分析研究。

本次重点研究的燕山期措普岩体位于研究区北部, 哈嘎拉岩体位于研究区中部(图1), 岩体岩性均为灰白色似斑状黑云母二长花岗岩, 主要矿物成份为钾长石与斜长石, 长石的总体含量60%~70%, 钾长石含量稍多于斜长石, 斜长石主要由斑晶斜长石与基质斜长石组成, 其次为石英与黑云母等, 副矿物以富含黄玉和萤石为主。本次调查在以上二个岩体带均发现了稀有金属矿点, 类型主要有伟晶岩脉型、细晶岩脉型二类。

在措普岩体的北东发现一处伟晶岩型铍矿点(编号为No. 1), 在措普岩体中北部发现一处细晶岩型铍—钽—铌—铷矿化点(编号为No. 2), 在哈嘎拉岩体北东部发现一处伟晶岩脉型钽—铌—锂—铍—铷矿点(编号No. 3)。各矿

注: 本文为四川省地质调查研究院科研项目“川西义敦地区稀有金属超常富集规律及成矿机理研究(编号: SCIGS-CYBXM-2023010)”、自然资源部中国地质调查局矿产资源研究所“松潘—甘孜成矿带锂铍多金属大型资源基地综合调查评价(编号: DD20190173)”、“稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室”项目的成果。

收稿日期: 2023-02-27; 改回日期: 2023-05-15; 网络首发: 2023-05-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2023.05.065

作者简介: 彭宇, 男, 1979年生, 高级工程师, 主要从事矿产地质调查工作; Email: 35310583@qq.com。通讯作者: 郝雪峰, 男, 1979年生, 高级工程师, 主要从事矿产地质调查工作; Email: 87483931@qq.com。

(化)点特征如下:

No. 1 矿点由 2 条富绿柱石伟晶岩脉组成,伟晶岩脉出露于岩体北东 50~150 m 范围内,地表出露宽度 2~6 m,地表可追索长度 40~110 m(图 2a),脉体倾向 345°~350°,倾角 75°~80°,受近东西向张性构造所控制,围岩地层为上三叠统拉纳山组(T_3l),岩性组合为变质砂岩夹粉砂质绢云母板岩。脉体具有较明显的分带性,可分为微斜长石、石英块体带和石英钠长石电气石带,石英钠长石电气石带是绿柱石的主要富集带,在局部绿柱石的最高含量目估可达 20%~30%,绿柱石呈自形—半自形无规则穿插状,晶柱一般宽 0.5~3.0 cm,长 3~10 cm,少量超过 10 cm(图 2b)。根据对其中规模较大的伟晶岩脉所采集的 6 件样品分析结果显示(表 1),脉体铍矿化品位较好,其他稀有金属矿化则不明显,所有样品均达到伟晶岩型铍矿工业品位以上($BeO>0.08\%$),矿化品位在 2.1662%~0.0998%之间,平均品位 0.5984%,远超工业品位。

No. 2 矿化点由 5 条铍钼铌钽矿化细晶岩脉组成,细晶岩脉出露于措普岩体中北部,距岩体约 200~350 m。主要矿物为细粒石英、钠长石、少量鳞片状白云母、少量电气石等组成。脉体地表走向呈截然不同的两个方向,分别是 115°~120°和 12°~15°,受“X”型剪张构造裂隙所控制。其中规模最大的细晶岩脉在地表形成陡坎,出露宽度为 5~21 m,地表可追索延伸长度超过 1000 m(图 2c),脉体边部局部地带可见富铷堆晶脉,主要以天河石组成(图 2d)。围岩地层为上三叠统拉图姆沟组(T_3t),围岩岩性为块状安山岩。根据对其中规模最大的细晶岩脉所采集的 5 件样品分析结果显示(表 1),脉体的铍矿化品位在 0.1336%~0.0171%之间,平均品位 0.0627%,接近工业品位($BeO>0.08\%$),5 件样品中有 1 件在工业品位以上,3 件达到边界品位,1 件未达到边界品位。脉体的钼钽矿化品位在 0.019%~0.007%之间,平均品位 0.012%,超过伟晶岩型矿床伴生钼钽工业品位($(Nb,Ta)_2O_5>0.007\%$),5 件样品中有 1 件达到工业品位,有 2 件达到边界品

位,钼钼比均超过 1。脉体的铷矿化平均品位为 0.0688%,超过边界品位。

No. 3 矿点由 3 条钼铌铍钽矿化伟晶岩脉组成,出露于哈嘎拉岩体北东缘,距岩体 500~700 m,受北西向构造裂隙所控制,脉体产状 45°~73° $\angle$ 62°~78°,规模最大的脉体地表可追索的延伸长度约 530 m,地表出露宽度 3~12 m(图 2e)。脉体总体分带性较明显,主要分为细粒及粗粒带(图 2f)。细粒带主要组成矿物为钠长石、粒状石英、白云母以及少量钾长石等。粗带主要组成矿物为团块状石英、钠长石、板柱状微斜长石、白云母等(图 2g),局部富集黑色粒状钼钽铁矿(图 2h)。围岩地层为上三叠统拉图姆沟组(T_3t),围岩岩性为灰白色中—粗粒大理岩,主要由粒状方解石晶体组成。研究过程中对其中最大的脉体进行了较为系统的样品采集。根据所采集的 17 件样品分析结果显示(表 1),脉体钼钽矿化品位在 0.284%~0.008%之间,平均品位 0.048%,超过伟晶岩型钼钽矿床工业品位 2 倍($(Nb,Ta)_2O_5>$

表 1 稀有金属分析结果表

Table 1 Analysis results of rare metals

所属矿点	脉体规模	样品编号	质量分数(%)						Ta ₂ O ₅
			Li ₂ O	BeO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	(Nb,Ta) ₂ O ₅	Rb ₂ O	Nb ₂ O ₅
No. 1	出露宽度:3~6m;可见延伸长度:110m	H0209-H1	0.187	0.081	0.007	0.010	0.017	0.013	1.39
		H0209-H2	2.166	0.014	0.006	0.004	0.010	0.012	0.63
		H0210-H1	0.745	0.020	0.003	0.002	0.005	0.011	0.96
		H0210-H2	0.128	0.074	0.010	0.009	0.019	0.015	0.89
		ZY03-H1	0.264	0.004	0.002	0.001	0.003	0.030	0.47
		ZY03-H2	0.100	0.005	0.003	0.001	0.004	0.041	0.42
		平均品位	0.598	0.033	0.005	0.004	0.009	0.020	0.90
No. 2	出露宽度:5~21m;可见延伸长度:>1000m	D1103-H1	0.017	0.003	0.005	0.008	0.012	0.058	1.71
		D1103-H2	0.044	0.005	0.005	0.008	0.013	0.059	1.48
		D1203-H1	0.056	0.005	0.004	0.006	0.010	0.063	1.39
		D1203-H2	0.134	0.004	0.003	0.004	0.007	0.058	1.26
		D1204-H1	0.063	0.027	0.006	0.013	0.019	0.106	2.08
		平均品位	0.063	0.009	0.005	0.008	0.012	0.069	1.58
No. 3	出露宽度:3~12m;可见延伸长度:530m	D0106-H2	0.368	0.014	0.015	0.019	0.034	0.124	1.27
		D0107-H1	0.352	0.011	0.005	0.008	0.013	0.236	1.37
		D0108-H1	0.193	0.013	0.011	0.017	0.028	0.169	1.55
		D0110-H2	0.270	0.015	0.007	0.006	0.013	0.170	0.84
		PM01-12H1	1.071	0.026	0.009	0.014	0.023	0.285	1.57
		PM01-14H1	0.958	0.066	0.007	0.015	0.022	0.409	2.21
		D0105-H1	1.376	0.127	0.006	0.012	0.018	0.476	1.94
		D0105-H2	1.058	0.106	0.007	0.013	0.021	0.408	1.82
		D0106-H1	0.404	0.019	0.018	0.022	0.041	0.160	1.21
		D0106-H3	0.326	0.046	0.014	0.022	0.036	0.209	1.58
		D0107-H2	0.964	0.069	0.087	0.197	0.284	0.410	2.27
		D0108-H2	0.173	0.048	0.015	0.026	0.041	0.194	1.69
		D0109-H1	0.120	0.013	0.017	0.014	0.031	0.111	0.83
		D0109-H2	1.325	0.011	0.016	0.028	0.044	0.330	1.74
		D0110-H1	0.199	0.033	0.003	0.004	0.008	0.119	1.29
		PM01-12H2	1.661	0.165	0.026	0.035	0.061	0.401	1.33
		PM01-14H2	0.046	0.272	0.039	0.055	0.094	0.220	1.40
		平均品位	0.639	0.062	0.018	0.030	0.048	0.261	1.52

注:测试单位:No. 1、No. 2—西南冶金地质测试所;No. 3—四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心。

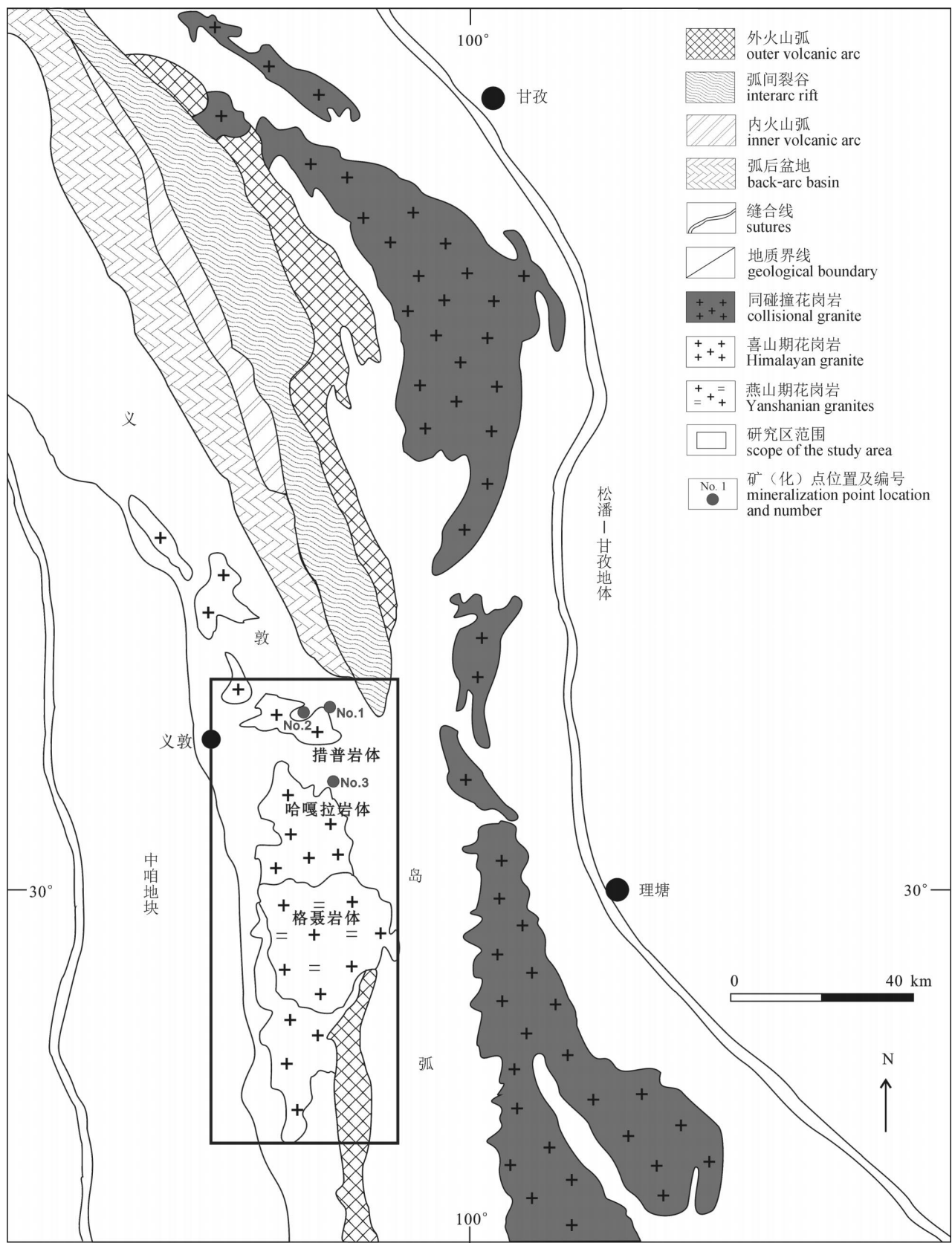


图 1 川西义敦岛弧大地构造位置及岩浆岩分布示意图(据侯增谦等,2001 修改)
Fig. 1 Schematic diagram of regional tectonic location and distribution of magmatic rocks
(modified from Hou Zengqian et al., 2001)

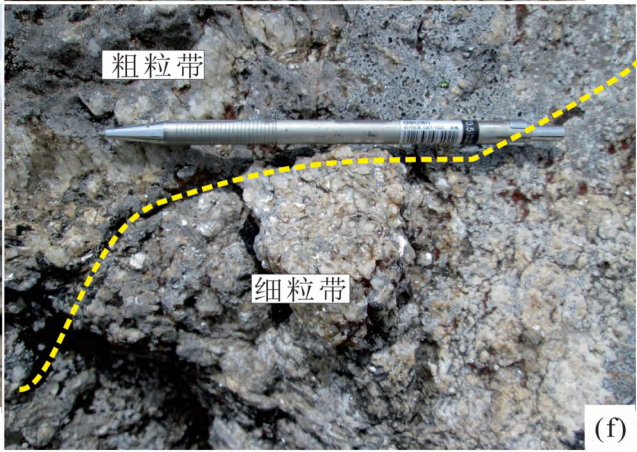
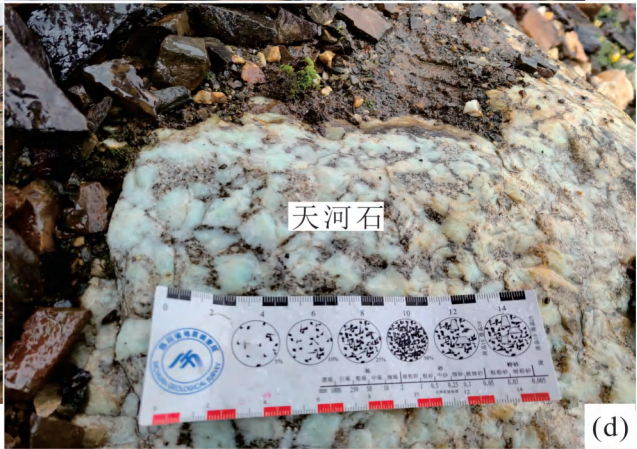


图 2 川西义敦岛弧稀有金属矿脉特征:(a)铍矿化伟晶岩脉出露特征;(b)伟晶岩脉绿柱石特征;(c)铍铌钽矿化细晶岩脉出露特征;(d)铍铌钽矿化细晶岩脉边部富铷堆晶脉特征;(e)钽铌锂铍钷矿化伟晶岩脉出露特征;(f)钽铌锂铍钷矿化伟晶岩脉分带特征;(g)钽铌锂铍钷矿化伟晶岩表面特征;(h)钽铌锂铍钷矿化伟晶岩新鲜面特征

Fig. 2 Characteristics of rare metal veins in Yidun Island Arc area, western Sichuan: (a) outcropping characteristics of beryllium-mineralized pegmatite dike; (b) characteristics of beryl of pegmatite dike; (c) outcropping characteristics of beryllium niobium tantalum mineralized fine crystalline dike; (d) characteristics of rubidium-rich reactor dikes at the edge of beryllium—niobium—tantalum mineralized fine-grained dike; (e) outcropping characteristics of lithium beryllium niobium tantalum rubidium mineralized pegmatite dike; (f) zonal characteristics of lithium beryllium niobium tantalum rubidium mineralized pegmatite dike; (g) surface characteristics of lithium beryllium niobium tantalum rubidium mineralized pegmatite; (h) characteristics of fresh surface of lithium beryllium niobium tantalum rubidium mineralized pegmatite

0.022%),17 件样品中有 13 件样品超过工业品,有 3 件超过边界品位($(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_5>0.012\%$)。17 件样品中有 15 件样品钽铌比超过 1,在 1.21~2.27 之间,钽铌比平均值为 1.52,可以看出脉体的钽铌矿化程度均匀良好,可以作为主矿种;脉体锂矿化品位在 1.661%~0.046% 之间,平均品位 0.639%,超过伟晶岩型矿床伴生锂工业品位近 3 倍($\text{Li}_2\text{O}>0.2\%$),接近于伟晶岩型锂矿床工业品位($\text{Li}_2\text{O}>0.8\%$);脉体铍矿化品位在 0.272%~0.011% 之间,平均品位 0.062%,超过伟晶岩型矿床伴生铍工业品位($\text{BeO}>0.04\%$),接近伟晶岩型铍矿床近工业品位($\text{BeO}>0.08\%$);脉体铷矿化品位在 0.476%~0.111% 之间,平均品位 0.261%,超过伟晶岩型铷矿床工业品位 2 倍($\text{Rb}_2\text{O}>0.1\%$)。

义敦岛弧燕山期岩体带是稀有金属有利成矿区域,通过本次调查成果进一步印证了该区域稀有金属成矿与找矿前景,通过基于脉体规模、品位等数据的初步分析计算,在措普岩体带与哈嘎拉岩体带的稀有金矿脉均有较好的矿化品位,具备形成中—大型矿床的潜力。

义敦岛弧带燕山期岩体主体为造山期后花岗岩,岩体的侵位深度较浅,产生于深源浅成环境(侯增谦等,2003),是形成于伸展环境下的 A 型花岗岩,岩浆源为壳、幔混源且以壳源为主(管士平,1999、侯增谦等,2001),侵位时代为晚燕山期(1:20 万义敦幅区域地质调查报告,1980、屈凌飞,2016),义敦岛弧稀有金属成矿年代最早为晚燕山期。而川西地区以甲基卡稀有金属矿床为代表的典型矿床其成矿母岩体是陆壳改造型的 S 型花岗岩,其侵位与稀有金属成矿时代在印支期(郝雪峰等,2015),可以看出义敦岛弧的稀有金属矿与川西典型的基卡式稀有金属矿床在成矿地质背景与成矿时代方面均有很大的不同,继续开展相关研究工作对完善川西地区稀有金属成矿理论并指出了新的找矿方向具有重要意义。

致谢:感谢四川省地质调查院付小方教授对调查研究工作的帮助;感谢审稿老师对文章提出的修改意见。

参 考 文 献 / References

管士平. 1999. 川西若洛隆—措莫隆复式花岗岩体岩石学及其有关锡矿成矿的物理化学条件. 特提斯地质, 23: 58~72.
郝雪峰, 付小方, 梁斌, 袁茼平, 潘蒙, 唐屹. 2015. 川西甲基卡花岗岩和新三号矿脉的形成时代及意义. 矿床地质, 34(6): 1199~1208.
侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 杨岳清, 黄典豪, 吕庆田, 唐绍华, 余金杰, 王海平, 赵金花. 2001. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录. 地质学报, 75(4): 484~497.
侯增谦, 杨岳清, 王海平, 曲晓明, 吕庆田等. 2003. 三江义敦岛弧碰撞造山过程与成矿系统. 北京: 地质出版社: 75~97.
屈凌飞. 2016. 义敦岛弧带高贡—格聂(北)花岗岩带岩石学及年代学研究. 导师: 张成江. 成都理工大学硕士学位论文: 45~62.
四川省地质局区域地质调查队二分队. 1980. 1:20 万义敦幅区域地质调查报告: 157~173.
王登红, 王成辉, 孙艳, 李建康, 刘善宝, 饶魁元. 2019. 我国锂铍钽矿床调查研究进展及相关问题简述. 中国地质调查, 4(5): 1.

PENG Yu, HAO Xuefeng, TANG Yi, LIANG Bin, PAN Meng, YANG Rong, FAN Junbo: Discovery and significance of several types of rare metal mineralization dikes in Yanshanian pluton belt of Yidun Island Arc, western Sichuan

Keywords: rare metals; Yidun Island arc; western Sichuan
Doi:10. 16509/j. georeview. 2023. 05. 065
Edited by: ZHANG Yuxu