

滇西地区稀有金属宝石矿床成矿系列成矿规律 与找矿方向

施玉北^{1,4)}, 曾 妍^{2)*}, 李 蓉³⁾, 程胜辉³⁾, 邹积林¹⁾

1) 云南省地质调查局, 云南昆明 650051; 2) 云南省地质技术信息中心, 云南昆明 650051;
3) 云南省地质调查院, 云南昆明 650216; 4) 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 云南昆明 650051

摘 要: 本文按矿床成矿系列理论研究方法, 初步厘定了滇西地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的稀有金属宝石矿床成矿系列及亚系列, 与第四纪表生作用有关的稀有金属矿床成矿系列及亚系列, 研究结果表明本地区在燕山期—喜马拉雅期发生了大规模的中-酸性岩浆侵入活动, 并形成众多的伟晶岩, 发生了重要的岩浆-热液成矿事件, 稀有金属铍、铌、钽、锂、铷、铯等矿产成矿主要与其有关, 构成了特定的稀有金属矿产床成矿系列。本文初步总结了滇西地区稀有金属矿产资源及其特征、矿床成矿系列及成矿规律, 分析了找矿潜力, 划分出找矿远景区, 深化了该区稀有金属矿产成矿规律认识。

关键词: 伟晶岩; 稀有金属矿产; 矿床成矿系列; 找矿潜力; 滇西

中图分类号: P618.6 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.110701

Metallogenic Series, Regularities, and Prospecting Directions of Rare Metal Gemstone Deposits in West Yunnan

SHI Yu-bei^{1,4)}, ZENG Yan^{2)*}, LI Rong³⁾, CHENG Sheng-hui³⁾, ZOU Ji-lin¹⁾

1) Yunnan Geological Survey, Kunming, Yunnan 650051;

2) Yunnan Center of Geological Technology Information, Kunming, Yunnan 650051;

3) Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, Yunnan 650216;

4) Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Ministry of Natural Resources, Kunming, Yunnan 650051

Abstract: Using research methods based on metallogenic series deposit theories, this study preliminarily determined the metallogenic series and sub-series of rare metal and gem deposits related to Yanshanian–Himalayan pegmatite and the metallogenic series and sub-series of rare metal deposits related to quaternary supergenesis. The results indicated that large-scale intermediate-acid magmatic intrusions occurred that produced a number of pegmatite rocks and caused significant magma-hydrothermal metallogenic events in the Yanshanian–Himalayan epoch of this area. Rare metal mineralizations, including Be, Nb, Ta, Li, Rb, and Cs, were mainly related to Yanshanian–Himalayan granite and pegmatite and constituted specific rare metal mineral deposits. This study preliminarily described rare metal mineral resources, their characteristics, and metallogenic series deposits and regularities, and analyzed prospecting potential, delineated prospective areas, and deepened our understanding of the metallogenic regularities of rare metals in West Yunnan.

Key words: pegmatite; rare metal minerals; metallogenic series deposit; prospecting potential, West Yunnan

本文由中国地质调查局“中国矿产地志”项目(编号: DD20221695; DD20190379; DD20160346)和云南省自然资源厅“云南省矿产地质与区域成矿规律综合研究”项目(编号: 云自然资财[2019] 122 号; 云自然资财[2021] 107 号; 云自然资财[2022] 57 号)联合资助。
收稿日期: 2022-08-12; 改回日期: 2022-10-31; 网络首发日期: 2022-11-09。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 施玉北, 男, 1958 年生。本科, 正高级工程师。从事矿产地质勘查及研究工作。通讯地址: 650051, 云南省昆明市盘龙区东风东路东风巷 87 号。E-mail: ynsyb5856@163.com。

*通讯作者: 曾妍, 女, 1984 年生。高级工程师。主要从事矿产地质编图和数据库建设研究工作。通讯地址: 650051, 云南省昆明市盘龙区东风东路东风巷 87 号。E-mail: 59705843@qq.com。

滇西地区系指怒江以西地区,即贡山—泸水、腾冲—陇川、龙陵等地区,见图 1。区内中酸性岩浆岩发育,以花岗岩为主,是云南省重要的锡多金属成矿带之一,以往地质勘查、科研大多针对锡多金属矿,对稀有金属、宝石矿产研究报道少之又少,但该地区有形成稀有金属、宝石矿产的成矿地质背景,稀有金属及宝石矿产找矿潜力巨大,随着近年来战略性矿产找矿工作的不断推进,很有必要对该地区稀有金属、宝石矿床成矿信息进行总结,对矿床成矿系列进行厘定。笔者有幸参与了近期完成的《中国矿产地质志·云南卷》(施玉北等, 2021)项目研究工作,全程参与了云南卷研编及云南省矿床成矿系列的厘定工作。本文主要以《中国矿产地质志·云南卷》稀有金属矿产资料为基础,以矿床成矿系列为理论基础(陈毓川, 1994, 1997; 陈毓川等, 2006, 2015, 2016, 2020; 王登红等, 2020),通过分析总结该地区稀有金属矿产成矿地质背景、资源分布及其特征、厘定该地区稀有金属矿产矿床成矿系列及亚系列,力图反映该地区稀有金属、宝石矿产资源成矿规律,分析找矿潜力,指出找矿方向,以期对滇西地区稀有金属、宝石矿产找矿部署提供有益参考。

1 滇西地区稀有金属宝石矿床成矿地质背景

滇西地区,根据云南省侵入岩构造岩浆带划分(云南省地质调查院, 2022),属冈底斯构造岩浆岩带(I)和羌塘—三江构造岩浆岩带(II)之碧罗雪山—临沧构造岩浆岩亚带(II-1)的一部分,冈底斯构造岩浆岩带(I)以瑞丽断裂带为界,西为腾冲构造岩浆岩亚带(I-1)、东为保山构造岩浆岩亚带(I-2)。成矿带属III1 冈底斯—腾冲造山系成矿省,III1 独龙江—腾冲(岩浆弧)Sn-W-Bc-Nb-Ta-Rb-Li-Fe-Pb- Zn-Au 成矿带,包括IV1—独龙江(燕山期岩浆弧)Au-Pb-Zn 矿带,IV2— 榔 榔 江 (喜 马 拉 雅 期 岩 浆 弧) Be-Nb-Ta-Li-Rb-W-Sn-Au 矿带,IV3—棋盘石—小龙河(燕山晚期岩浆弧)Sn-W-Fe-Pb-Zn-Cu-Ag 矿带,IV4—东河—明光(燕山期岩浆弧) Sn-Cu-Pb-Zn-Ag-Fe-Mn 矿带;II2 三江<造山带>成矿省,III2 保山<地块>Pb-Zn-Sn-Hg 成矿带之IV5—潞西(断块)Cu-Pb-Zn-Fe-Au-Sn-W 矿带、IV6—保山(地块)Pb-Zn-Cu-Fe-Hg-Sb-As-Au 矿带(云南省地质调查局, 2014),见图 1。

腾冲构造岩浆岩亚带(I-1),出露地层主要有高黎贡山岩群(Pt₁GL)结晶基底残块、下二叠统空树河组(P₁k)、中二叠统大东厂组(P₂dd);在腾冲、瑞滇盆

地内零星分布有新生代火山岩。区内侵入岩十分发育,主要分属古元古代、三叠纪、侏罗纪—早白垩世、晚白垩世、古近纪五个地史时期,以花岗岩类为主,并广泛发育古近纪伟晶岩,见图 1。稀有金属宝石矿产主要与晚白垩世花岗岩及古近纪花岗岩、伟晶岩有关。晚白垩世花岗岩为“后造山”碱性-高钾钙碱性花岗岩组合(云南省地质调查院, 2022),主要分布于固东街—腾冲—梁河一线以西、古永—梁河一线以东的地区,在福贡—贡山一线以西的高黎贡山岩群分布区也广泛出露。主要岩性为中细粒黑云二长花岗岩、似斑状黑云二长花岗岩,另有少量的石英闪长岩、正长花岗岩、黑云母花岗斑岩、石英斑岩、碱长花岗岩等。28 件主元素分析成果表明其 SiO₂ 69.14%~78.22%,平均为 74.73%; MgO 0.08%~1.17%,平均为 0.31%; CaO 0.32%~2.93%,平均为 0.92%; alk=6.34%~10.02%,平均为 8.01%,具有“高硅、富碱、低钙、低镁”的特点。18 件稀土元素总量变化较大, $\sum \text{REE}=78.73 \times 10^{-6} \sim 718.94 \times 10^{-6}$,平均为 269.14×10^{-6} ;轻稀土元素有一定程度分馏, (La/Sm)*n*=0.97~5.91,平均为 4.04;重稀土元素分馏程度较低, (Gd/Yb)*n*=0.53~3.70,平均为 1.38。具有中等-强烈的负铕异常, $\delta \text{Eu}=0.11 \sim 0.62$,平均 0.45。大多数样品的稀土元素配分曲线呈“L”型,2 件样品呈“海鸥”型,并发育明显的负铈异常($\delta \text{Ce}=0.30 \sim 0.53$)。本期花岗岩的全岩 Rb-Sr 同位素年龄多为 86~71 Ma。

古近纪花岗岩为陆内俯冲-碰撞隆升花岗岩组合(云南省地质调查院, 2022),主要集中分布于古永—梁河一线以西的地区,主要岩石类型为二长花岗岩、正长花岗岩、花岗斑岩,另有少量的花岗闪长岩、碱长花岗岩出露。从 24 件主元素分析成果看,这一岩石构造组合的成分变化较大。其中, SiO₂ 64.09%~77.02%,平均为 73.36%; MgO 0.06%~1.16%,平均为 0.40%; CaO 0.37%~4.44%,平均为 1.28%; $\sum \text{FeO}$ 1.16%~6.05%,平均为 2.81%; alk=5.94%~10.67%,平均为 7.82%。其 A/CNK=0.90~1.51,平均为 1.22, K/N=0.33~2.53,平均 1.49,总体上为一套钾质的强过铝花岗岩。在 K₂O-Na₂O 图解中,大多数样品落入“A”型花岗岩区,少数样品落入“I”型、“S”型花岗岩区;暗示了较为复杂的岩浆源区。19 件稀土元素分析成果,其稀土元素总量变化较大, $\sum \text{REE}=51.17 \times 10^{-6} \sim 471.97 \times 10^{-6}$,平均为 231.04×10^{-6} ;轻、重稀土元素的分馏程度都较低, (La/Sm)*n*=1.41~4.44,平均为 2.80, (Gd/Yb)*n*=0.34~3.61,平均为 1.62。具有中等-强烈的负铕异常, $\delta \text{Eu}=0.07 \sim 0.75$,平均 0.36。大多数样

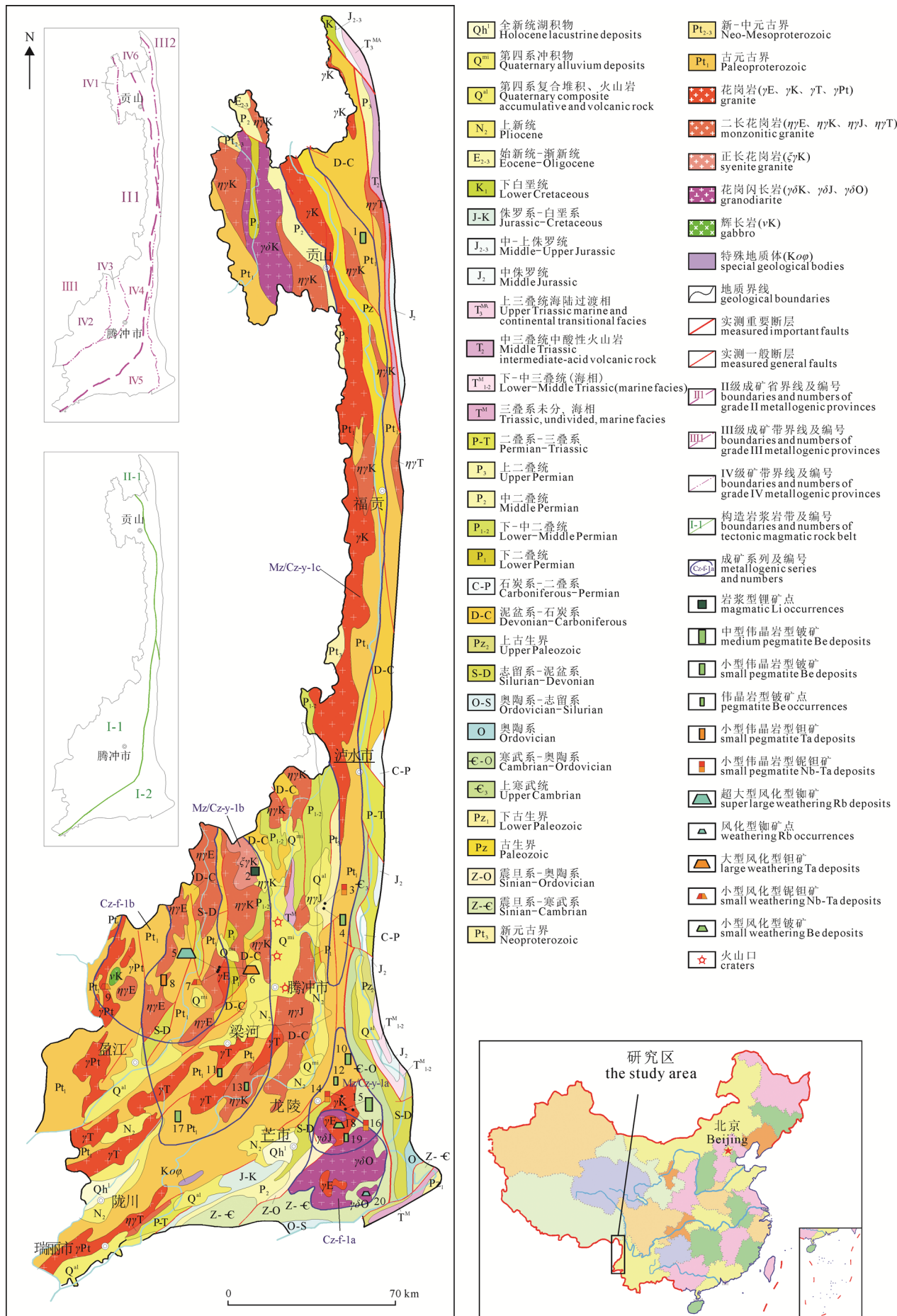


图 1 滇西地区稀有金属矿产地质及矿床成矿系列图

Fig. 1 Map of rare metal mineral geology and metallogenetic series deposits in West Yunnan

品的稀土元素配分曲线接近“海鸥”型,少数呈“L”型。古一始新世花岗岩的全岩同位素年龄主要集中于三个阶段,花岗闪长岩及二长花岗岩主要集中在 66~58 Ma 之间,正长花岗岩为 54~52 Ma,花岗斑岩及碱长花岗岩为 43~41 Ma;可能包括了不同构造阶段的岩浆岩。

喜马拉雅晚期(新近纪以来)沿腾冲—瑞滇断裂,有火山喷发活动,并伴有地热(温泉)产出。

保山构造岩浆岩亚带(I-2), 本文只涉及怒江以西部分, 区内主要分布有震旦系—侏罗系, 从震旦系—奥陶系, 本区东部存在一陆缘斜坡, 沉积了厚达近千米的半深海斜坡沟谷或斜坡扇的沉积-蒲满峭群。在其西侧, 则发育奥陶系—二叠系的陆源碎屑-碳酸盐岩台地。至早三叠世, 该区三台山一带发育有一小洋盆, 沉积了一套含蛇绿岩的浊积岩组合。该洋盆于中三叠世发生碰撞作用而闭合, 形成了三台山蛇绿混杂岩。区内岩浆岩发育, 主要有奥陶纪花岗岩、侏罗纪花岗岩、晚白垩世花岗岩和古近纪花岗岩; 同时有基性、超基性岩和古近纪伟晶岩分布。稀有金属矿产主要与晚寒武世—晚奥陶世花岗岩、古近纪花岗岩和伟晶岩有关; 晚寒武世—晚奥陶世花岗岩分布有平河岩体、勐堆岩体、平达岩体等, 早期(486~510 Ma)为黑云二长花岗岩-似斑状中粒-中粗粒黑云二长花岗岩-花岗闪长岩-英云闪长岩, 晚期(446~466 Ma)为细粒白云母二长花岗岩。

岩-灰白色中-细粒二云二长花岗岩-似斑状细粒中粒白云母二长花岗岩组合(云南省地质调查院, 2022)。古近纪花岗岩均呈小岩株产出, 有大鹅脑、大坡、平达西等 10 余个岩体, 主要有花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩, 偶见少量具稀有金属矿化的碱长花岗岩类。

碧罗雪山—临沧构造岩浆岩亚带(II-1), 本文只涉及碧罗雪山一带, 区内碧罗雪山—崇山变质基底主要出露地层有崇山岩群变质岩(Pt₁C), 岩浆岩有三叠纪、白垩纪花岗岩和古近纪伟晶岩。稀有金属宝石矿产主要与花岗岩和伟晶岩有关。

该地区晚寒武世—晚奥陶世、古近纪等形成的含稀有金属岩体出露地表,经风化淋滤和次生富集作用,形成了本区特有的风化壳型稀有金属矿床。

2 滇西地区稀有金属宝石矿产资源及其特征

该地区目前发现的稀有金属矿产主要有铍、铌、钽、锂、铷、铯等矿产,多为多种稀有金属矿产共伴生,品位偏低,有矿产地 20 处(表 1、图 1),其中超大型 1 处、大型 1 处、中型 1 处、小型 11 处、矿点 6 处。其主要分布在贡山、腾冲、梁河、龙陵等地,矿产地分布与区内中酸性岩浆岩带、伟晶岩带相吻合;矿床类型以伟晶岩型和风化壳型为主,其次为蚀变花岗岩型。成矿时代主要集中在喜

表 1 滇西地区稀有金属矿产地一览表
Table 1 Rare metal occurrences in West Yunnan

编号	矿产地名	矿床类型	矿产	规模	成矿时代
1	云南省贡山县普拉底云母稀有金属矿	伟晶岩型	云母、铍	铍小型	E
2	云南省腾冲市小龙河锡多金属矿共伴生稀有金属矿	蚀变花岗岩型、云英岩型	铷、铯、锂	矿点	K
3	云南省腾冲市贡源锡矿	伟晶岩型	锡、铋、钽	小型	E
4	云南省腾冲市宝华山锡矿(云南省腾冲市宝华山稀有多金属矿)	伟晶岩型	锡、铋、钽、铍、锂	小型	E
5	云南省腾冲市卜锅脑钼矿	风化型、蚀变花岗岩型	钼、锡	钼大型	Q
6	云南省腾冲市新歧稀有稀土锡多金属矿	风化型、蚀变花岗岩型	铷、钽、铋、铈、锂、铯、稀土(钇)、锡、钨	铷超大型	Q
7	云南省腾冲市茶塘河南钽铋矿	风化型、蚀变花岗岩型	铋、钽、锡	小型	Q
8	云南省盈江县核桃寨钼锡矿	伟晶岩型	钼、锡	小型	E
9	云南省盈江县卡场稀有稀土元素矿	风化型、伟晶岩型	铋、钽、铍、云母	小型	Q
10	云南省龙陵县回欢铍矿	伟晶岩型	铍、钽	小型	E
11	云南省梁河县芒东镇那俄铍多金属矿	伟晶岩型	铍、铋、钽、铷	矿点	K
12	云南省龙陵县达摩山—黄草坝铍钼钽矿	伟晶岩型	铍、铋、钽	矿点	E
13	云南省梁河县章巴铍钽矿	伟晶岩型	铍、钽	矿点	E
14	云南省龙陵县三台坡铋钽矿	伟晶岩型	钽、铋	小型	E
15	云南省龙陵县黄连沟稀有多金属矿	伟晶岩型	铍、铷、钽、铋、锂、铯、	铍中型	E
16	云南省龙陵县黄家寨铋钽矿	伟晶岩型	铋、钽	小型	E
17	云南省陇川县麻栗脑铍矿	伟晶岩型	铍	小型	E
18	云南省龙陵县大坡铍矿	风化型、蚀变花岗岩型	铍	小型	Q
19	云南省龙陵县茅草寨铍钽矿	伟晶岩型	铍、钽	矿点	E
20	云南省龙陵县团坡铷矿	风化型	铷	矿点	Q

马拉雅期和燕山期。另还有大量的含碧玺等宝石的伟晶岩分布,有铍、锂等稀有金属矿化;该区还分布有大量的温-热泉(群),部分温-热泉(群)已发现稀有金属矿化信息。

2.1 伟晶岩型稀有金属矿床特征

区内已发现伟晶岩型稀有金属矿床(点)14处(见表1),以腾冲市宝华山稀有多金属矿床、龙陵县黄连沟稀有多金属矿床、梁河县芒东镇那俄铍多金属矿床等为代表。

腾冲市宝华山稀有多金属矿床,为花岗伟晶岩型矿床,分布于下元古界高黎贡山岩群(Pt_1GL)中,发现厚度大于1m的伟晶岩脉近200条(宝华山矿段100余条、大水井矿段76条),见图2。其稀有金属BeO含量0.023%~0.078%、 Ta_2O_5 含量0.004%~0.099%、 Nb_2O_5 含量0.009%~0.018%、 Li_2O 含量0.04%~0.537%、 Rb_2O 含量0.12%、 Cs_2O 含量0.01%、Sn含量0.003%~0.145%。其中以P103、P123含矿伟晶岩脉规模最大,P103脉为白云母微斜长石钠长石型含矿伟晶岩脉,控制长100m,厚度最大40m,平均9m; Nb_2O_5 含量0.014%、 Ta_2O_5 含量0.005%、BeO含量0.031%、Sn含量0.047%。P123脉为白云母微斜长石钠长石锂辉石型伟晶岩脉,控制长100m,厚度最大15m,平均8m; Nb_2O_5 含量0.015%、 Ta_2O_5 含量0.01%、BeO含量0.056%、 Li_2O 含量0.537%、Sn含量0.07%。资源量估算结果铌、钽、铍、锂、锡矿床规模均为小型(李建伟等,2020)。在同一矿带北部贡山依玛洛伟晶岩及贡山嘎拉博伟晶岩中,分别获得长石Rb-Sr等时线法测年16.2Ma,白云母Rb-Sr等时线法测年61.5Ma(云南省地质科学研究所,1986),推测宝华山含稀有金属伟晶岩形成于古近纪(喜马拉雅期)。

龙陵县黄连沟稀有多金属矿床,为以铍为主的花岗伟晶岩型矿床,区内岩浆活动强烈,燕山晚期—喜马拉雅期的花岗岩在区内分布较广,称为龙泉(黄连沟)岩体。斑状花岗岩是其主体部分,细分为三个岩相带:黑云母斑状花岗岩带、角闪石黑云母斑状花岗岩带和闪长斑岩带。黑云母斑状花岗岩为主体部分,角闪石黑云母斑状花岗岩分布不广,多成一些长条状透镜体产于黑云母斑状花岗岩中,闪长斑岩出露极少,呈透镜体分布于前两种岩石中。其同位素年龄数据主要有90Ma(云南省地质局第二十地质队,1964)和(60.9±1.4)Ma(Chen et al., 2007)两组,成岩时代为燕山晚期—喜马拉雅早期。黄连沟矿床共有伟晶岩脉2390余条,几乎均有不同程度的矿化,伟晶岩脉体即是矿(化)体。从各类型伟晶岩含矿性来看,交代作用最为强烈的钠长石-白云

母伟晶岩矿化最好,富含铍及铌、钽、锂、铷、铯等稀有元素,其平均含量分别为BeO 0.054%、 Nb_2O_5 0.018%、 Ta_2O_5 0.0044%、 Li_2O 0.028%、 Rb_2O 0.068%、 Cs_2O 0.004%,大部分脉体的BeO达工业要求;钠长石-微斜长石-白云母伟晶岩分布较广,但稀有元素含量分布不均,其含量也较低,平均含量分别为BeO 0.029%、 Nb_2O_5 0.018%、 Ta_2O_5 0.0025%、 Li_2O 0.024%、 Rb_2O 0.063%、 Cs_2O 0.0025%,微斜长石-白云母型伟晶岩中含有少量稀有元素,且分布极不均匀,其平均含量分别为BeO 0.007%、 Nb_2O_5 0.018%、 Ta_2O_5 0.0014%、 Li_2O 0.019%、 Rb_2O 0.049%、 Cs_2O 0.0018%,仅极少部分具有工业价值。《云南省2019年矿区及所属矿山矿产资源储量简表》(云南省自然资源厅,2020)中的上表资源储量达到中型铍(氧化铍)矿床规模,BeO含量0.05%。陶琰等(2015)研究认为,龙泉(黄连沟)花岗岩体为黄

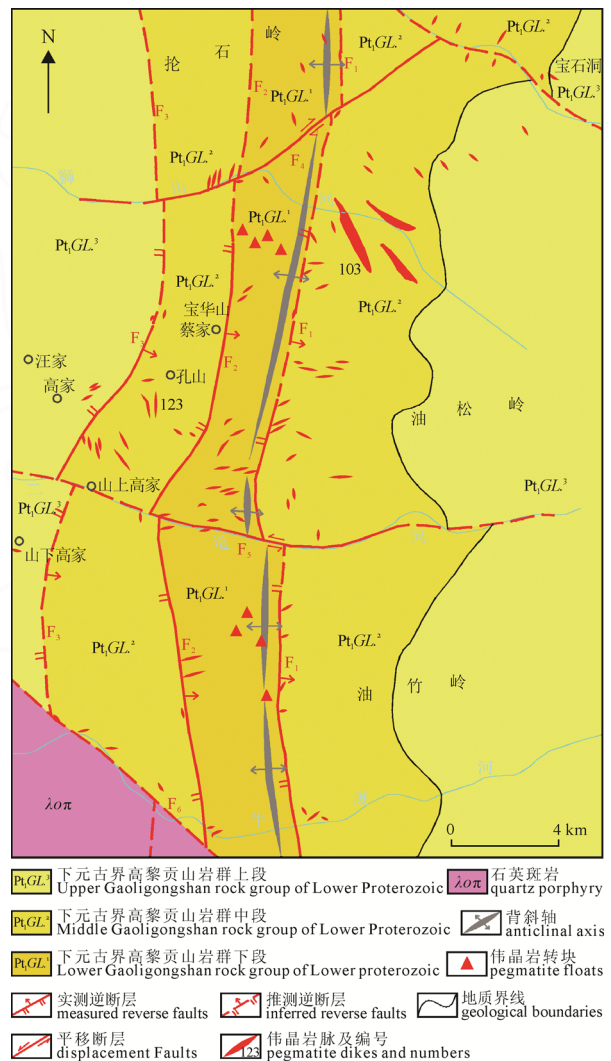


图2 腾冲市宝华山稀有多金属矿床地质简图

(据云南省地质局第四地质大队,1982,有修改)

Fig. 2 Simplified geological map of the Baohuashan rare metals deposit, Tengchong (modified from the 4th Geological Brigade of Yunnan Bureau of Geology, 1982)

连沟稀有多金属矿床成矿母岩,测得矿区花岗伟晶岩锆石 U-Pb 平均年龄为(59.9±2.7) Ma;王登红等(2005)对花岗伟晶岩中白云母进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测试,其年龄为(30.8±1.8) Ma,等时线年龄为(31.51±2.40) Ma。由此可看出,黄连沟铍矿床主成矿时代为新生代古近纪(古新世—渐新世)。

梁河县芒东镇那俄铍多金属矿床,含绿柱石花岗伟晶岩分布于勐养岩体北西缘,区内广泛分布有细-中粒二长花岗岩、中粗粒黑云母二长花岗岩、片麻状细粒二长花岗岩、细粒花岗闪长岩、片麻状中粒英云闪长岩等,勐养岩体侵位年代为(127.9±1.0)~(115.2±1.1) Ma(丛峰等, 2010; 李再会等, 2012; 邹光富等, 2013; 吴嘉林等, 2020)。目前发现有 7 条含绿柱石花岗伟晶岩型铍矿体(燕利军等, 2021), 共伴生铌钽铷等稀有金属矿产, 见图 3。矿体呈脉状, 整体走向北东—南西, 延伸长 50~1200 m, 厚度 0.36~3.70 m, 平均厚 2.35 m, BeO 品位 0.045~1.79%, 平均 0.212%; (Ta, Nb) $_2\text{O}_5$ 品位 0.012%~0.073%, 平均 0.024%; Rb $_2\text{O}$ 品位 0.040%~0.357%, 平均 0.126%。伟晶岩形成年代推测为白垩纪(燕山期)。

另在贡山县黑马地区白云母伟晶岩群分布区发现 1 个高锂异常区(云南省地质调查局, 2016), 部

分白云母伟晶岩 Li $_2\text{O}$ 含量 1.571%~3.452%, 平均 2.973%, 含锂矿物主要为铁锂云母、次为锂辉石。在贡山县普拉底发现含绿柱石的 17 条白云母花岗伟晶岩脉, 其中 V $_{381}$ 脉和 V $_{387}$ 脉, 生料云母平均含量为 28.85~561.62 kg/m 3 。共伴生绿柱石, 绿柱石最大晶体达 1 kg, 大部分可手选回收, 手选品位 4.85~42.5 kg/m 3 , 平均 16.58 kg/m 3 。据高子英等(1993)研究成果, 伟晶岩中还富含 Li、Rb, 云母中 Li $_2\text{O}$ 、Rb $_2\text{O}$ 含量分别为 3.94%、1.09%。在盈江县卡场一带伟晶岩中有锂云母存在。

2.2 伟晶岩型宝石矿床特征

在高黎贡山及碧罗雪山西坡古元古界高黎贡山岩群、崇山岩群变质岩系中, 分布有很多大小不等的花岗岩体、花岗伟晶岩脉。伟晶岩即为宝玉石的成矿母岩, 有海蓝宝石、碧玺、托帕石、水晶、天河石等宝玉石产出, 已发现有宝石矿点 25 处(图 4), 构成了云南著名的宝玉石矿带, 在多数宝石矿点中有绿柱石产出。但未对其进行过系统评价, 对稀有金属矿产了解不多, 推测可能含铍、锂等稀有金属矿产。代表性矿床有福贡县害咱碧玺矿等。

福贡县害咱碧玺矿为伟晶岩型碧玺矿, 矿区出露石炭系变质岩, 分布有燕山晚期二长花岗岩(图 5)。目前发现两条电气石伟晶岩脉, 沿层间裂隙呈脉状产出。伟晶岩脉长分别为 1050 m、500 m, 厚分别为 12.50 m、6 m。岩性为灰白色巨粒电气石伟晶岩。巨粒结构, 块状构造。矿物成分为微斜长石, 呈半自形板状, 粒径 3~21 mm 不等, 含量约占 50%; 他形-半自形板状斜长石, 粒径 1~5 mm, 含量约占 20%; 他形粒状石英, 粒径 0.8~15 mm, 含量约占 20%; 短柱状电气石, 粒径一般为 2~10 mm, 含量约占 5%~10%; 另含少量黑云母、白云母, 电气石伟晶岩脉晶洞和裂隙中有绿色、浅绿色透明的宝石级电气石(碧玺)产出。

2.3 风化壳型稀有金属矿床特征

风化壳型稀有金属矿床(点)6 处(见表 1), 以腾冲市新歧稀有稀土锡多金属矿床、龙陵县团坡铷矿床为代表。

腾冲市新歧稀有稀土锡多金属矿床, 主要为蚀变花岗岩经后期表生风化作用, 进一步富集形成风化型稀有稀土多金属矿床。矿区出露的新歧花岗岩体为古永花岗岩基的南延部分, 多呈椭圆状、不规则状和脉状, 岩体主体部分为似斑状二长花岗岩, 分布于西北部, 全岩 Rb-Sr 同位素年龄为 59.79 Ma(陈吉琛等, 1991), 锆石 U-Pb 同位素年龄为(61.9±1.4) Ma(周新平等, 2015); 钾化花岗岩分布于其东部边缘, 与变质岩多为断层接触。钠长石化花

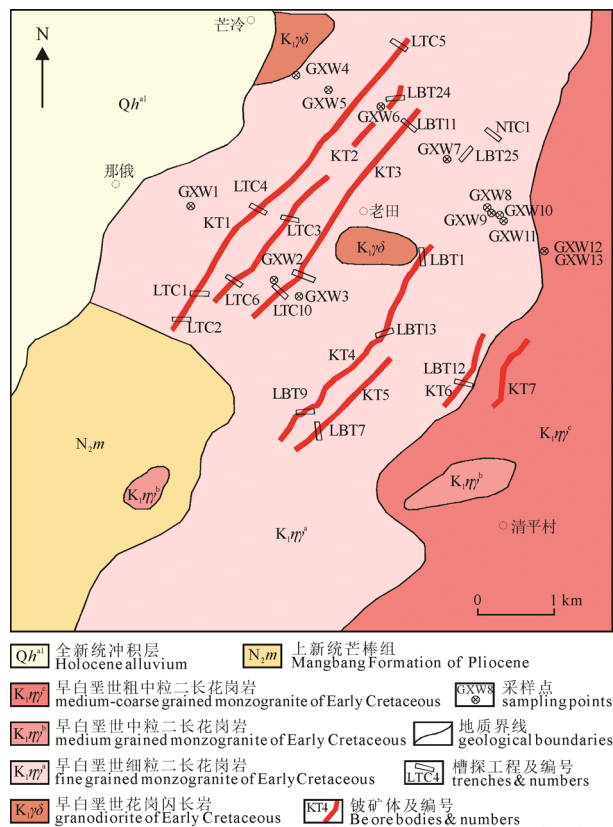
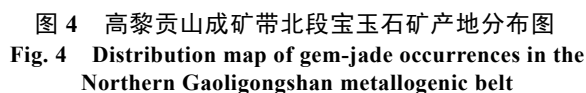


图 3 那俄铍多金属矿地质简图

(据燕利军等, 2021, 有修改)

Fig. 3 Simplified geological map of Na'e Be polymetal deposit (modified from YAN et al., 2021)



矿区内钠长石化花岗岩呈NNE-SN向条带状分

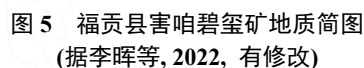


Fig. 5 Simplified geological map of the Haiza tourmaline deposit, Fugong (modified from LI et al., 2022)

布, 断续长约 7 km, 具有受 SN 向及 NNE 向断裂联合控制的特点(图 6)。矿区南段(百花脑—茶塘河)沿似斑状二长花岗岩与钾化花岗岩接触部位产出, 北段干河—大秧田产于钾化花岗岩内(云南省地质局第三地质队, 1983)。此外, 矿化岩体上部发育有大小不一、形状似椭圆形的云母云英岩分离体, 以及数量较多的天河石花岗岩脉和含 Sn、W 及稀有金属花岗伟晶岩脉、云英岩脉。依据岩石结构特征, 可将矿化岩体分为细粒、不等粒、粗粒三个相带。细粒带多出现于钾化花岗岩一侧, 不等粒带在似斑状花岗岩一侧。剖面上, 下部为含斑细-中粒、不等粒似斑状结构, 上部为细粒、等粒花岗结构。钠长石化花岗岩的矿物成分主要是钠长石(含量 35%~40%)、石英(含量 25%~35%)、钾长石(含量 15%~35%)和云母类矿物(1%~5%), 据 X 射线分析, 钾长石有序度值为 0.93; 钾微斜长石富含 Rb、Cs, Rb_2O+Cs_2O 含量 $\geq 1.8\%$, 且 $K_2O/Rb_2O < 20$; 次要矿物为铁锂云母、锰铝榴石、黄玉、白云母及高岭石。金属矿物主要有锡石、黑稀金矿、铌钽铁矿、独居

石及锆石等。岩石化学特征： $\text{SiO}_2 > 75\%$ ， $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > 7\%$ ， $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ，属高硅富钠花岗岩。由于矿化岩体碱性长石含量高，地表强烈风化后为疏松砂糖粒状，景观上显现为耀眼白色。以钠长石交代为特征，交代强烈者为细粒，含矿性较好；交代弱者，呈不等粒状，含矿性较差；交代更弱者为粗粒状，含矿微弱。矿化岩体 Sn、W 等有色金属及稀有金属元素丰度值均高于中国花岗岩平均含量。Rb 含量高，全岩平均为 0.13%；此外，还含一定量 Nb、Ta、W、Sc、REE 和 Y 等。矿化岩体的稀土元素总量为 216×10^{-6} ，轻稀土/重稀土比值为 0.3~0.52， $\delta\text{Eu} = 0.08 \sim 0.16$ ，属铕严重亏损的重稀土富集型。

风化类型矿体主要分布于新歧岩体的顶部呈面形展布，地表风化强烈，风化壳的垂直分带不明

显，坡积层、残积层及原生岩石带的岩性及元素含量均较近似，属全岩矿化。经工程控制，风化壳的厚度 3.80~30.1 m，控制长 8000 m 以上，宽 370~500 m，平均 400 m。矿体形态较简单，为稳定面形分布的层状矿体，内部无夹石或很少夹石，个别地段有分枝复合现象。矿体基本连续，有用矿物颗粒较小，分布均匀。Rb₂O 含量相对较高，一般 0.06%~0.189%，平均 0.1% 以上；Nb₂O₅ 含量一般 0.005%~0.009%，最高 0.026%，低者 0.003%~0.004%；Ta₂O₅ 含量一般 0.001%~0.004%，最高 0.009%，个别为 0%；Li₂O 含量一般 0.01%~0.077%，最高 0.112%，低者 0.003%~0.009%；Cs₂O 含量一般 0.001%~0.003%，最高 0.006%，最低为 0%；Sc₂O₃ 含量一般 0.000 4%~0.003%，最高 0.007 4%，最低为 0%；Y₂O₃ 含量一般 0.01%~0.043%，低者 0.001%~0.008%；Sn 含量一般 0.005%~0.03%，高者 0.04%~0.06%，最低为 0%；WO₃ 含量很低，一般 0.000 1%~0.009 0%，高者 0.02%~0.036%。

据云南省地质局第三地质队 1983 年 3 月提交的《云南省腾冲县新歧钨(锡)矿及含锡稀有多金属矿区初步普查地质报告》，估算原生矿 C 级钨金属储量 634 t，WO₃ 含量 1.38%，锡金属储量 87 t，Sn 品位 0.21%，D 级钨金属储量 378 t，WO₃ 含量 1.29%，锡金属储量 74 t，Sn 品位 0.25%；风化壳型铷、钽、铈等矿产资源量估算结果，铷、钽、铈已具超大型矿床规模，铈达大型矿床规模，铷、钽、铈、稀土(钇)达中型矿床规模。

龙陵县团坡铷矿，为风化壳型矿床，矿区大面积出露的岩浆岩，为区域性平河岩体的一部分，称为松坡岩体，含铷、铈、钽等稀有元素。平河岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(525.9 \pm 13.4) \text{ Ma}$ 、黑云母 K-Ar 同位素年龄为 349~456 Ma(秦德先, 1990)，LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 480~486 Ma(董美玲等, 2012)，表明其侵入时代为加里东期—华力西期(奥陶纪—石炭纪)，主体成岩时代应为加里东期。松坡岩体呈岩株产出，平面上呈顶角向南之不规则三角形。出露面积约 40 km²。岩石化学特征 SiO_2 73.75%~77.05%， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 6.74%~8.56%， $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 0.33~1.73(平均 1.17)， Al_2O_3 12.34%~14.91%， TiO_2 0.02%~0.11%， MgO 0.07%~0.30%，总体上富钾、富铝，属高钾钙碱性系列二长花岗岩。岩体主要有粗粒含黑云母二长花岗岩、中细粒含黑云母二长花岗岩 2 个岩相。粗粒含黑云母二长花岗岩分布于岩体中部及深部，Rb₂O 含量为 0.015%~0.043%；中细粒含黑云母二长花岗岩分布于岩体边部及顶部，Rb₂O 含量为 0.039%~0.143%、Li₂O 含量为 0.068%、Cs₂O 含量为 0.004 8%，为风化壳型铷矿的含矿母岩。

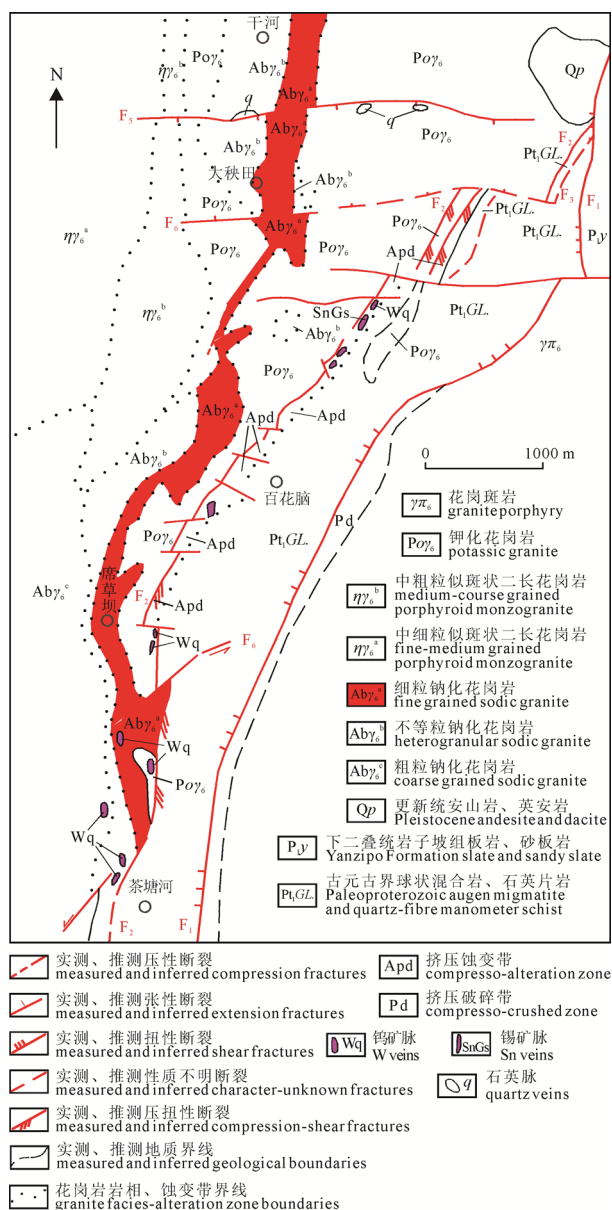


图 6 腾冲市新歧稀有金属矿地质简图

(据李良等, 2009 修改)

Fig. 6 Simplified geological map of the Xinqi rare metal deposit, Tengchong (modified from LI et al., 2009)

铷矿体就产于中细粒含黑云母二长花岗岩顶部地表及近地表的风化壳中, 矿体呈面形沿山脊及斜坡展布, 东西宽约 1270 m, 南北宽约 300~1000 m, 平均厚 5.46~13.26 m, 平均 Rb_2O 含量 0.082%~0.105%, 含铷主要矿物为钾长石、斜长石和绢-白云母。风化壳最大厚度达 30 m, 地表为浮土层, 浅表、近地表为风化、半风化花岗岩, 以下为弱风化花岗岩-花岗岩。初步预测铷矿规模可达到中-大型。

此外, 还有腾冲市新歧卜锅脑铌钽矿、腾冲市勐蚌钨钼多金属矿, 均为喜马拉雅期中酸性花岗岩体风化后形成的风化壳型矿床。新歧卜锅脑铌钽矿累计查明(332+333)类钽(Ta_2O_5)资源量为小型规模, Ta_2O_5 含量 0.032%~0.041%; 其中双营盘矿段提交的 339.27 t 资源量已列入《云南省 2019 年矿区及所属矿山矿产资源储量简表》(云南省自然资源厅, 2020)。2005—2006 年, 云南省地质勘察总公司对矿区开展了普查工作, 提交了《云南省腾冲县勐蚌钨钼矿地质普查报告》, 估算 332+333 类钨(WO_3)资源量 4 350.89 t, WO_3 含量 0.37%; 钽(Ta_2O_5)资源量为小型规模, Ta_2O_5 含量 0.032%。

2.4 与温-热泉(群)有关的稀有金属矿化信息

在腾冲—瑞丽地区, 即龙川江断裂、瑞丽断裂以西地区, 是云南省地热资源最丰富、最集中地区, 也是我国地热资源最丰富的地区之一, 区内大面积出露的中生代花岗岩和新生代火山岩, 为该地区地热提供了良好的导热通道和强大的热源(佟伟和章铭陶, 1994), 现代水热流体活动强烈, 部分温-热泉(群)富含 Au 及稀有金属 Li、Rb、Cs 及分散元素 Se 等。区内有温-热泉(群)163 个, 占全省总数的 19%, 其形成时代为更新世, 根据《云南省地热资源调查评价与区划》(云南省地质环境监测院, 2015)¹⁴C 测龄资料, 腾冲市热海热田曩宋热水塘年龄为 (20 900±140) a。据胡云中等(2002)研究成果, 硫磺塘地段的热沸泉(大滚锅、眼镜泉、怀胎泉、鼓鸣泉)Au、Li、As、Se 元素平均含量分别为: 0.55 $\mu\text{g/L}$ 、

7550 $\mu\text{g/L}$ 、613 $\mu\text{g/L}$ 、14.7 $\mu\text{g/L}$; 热海热田内的硅华, Rb_2O 、 Cs_2O 含量分别为 0.014%、0.019%, Li、Be、Nb、Au 含量分别为 16.4×10^{-6} 、 167×10^{-6} 、 17.82×10^{-6} 、 45×10^{-9} , 较老时期形成的硅华, 其 Li、Be、Au 含量更高于现代硅华。刘明亮等(2014)测得热海热泉水 Li、Rb、Cs 含量分别为 0.50×10^{-6} ~ 6.13×10^{-6} 、 0.26×10^{-6} ~ 1.28×10^{-6} 、 0.02×10^{-6} ~ 0.67×10^{-6} , 郭唯明等(2019)测得大滚锅沸泉 Li、Rb、Cs 含量分别为 7076 $\mu\text{g/L}$ 、1936 $\mu\text{g/L}$ 、836 $\mu\text{g/L}$, 由此表明, 腾冲地区的热泉富含稀有元素且比较稳定。该区目前已发现小型热泉型金矿 1 处(腾冲市两河金矿), 但对 Li、Rb、Cs 等稀有元素的勘查评价尚未展开, 据郭唯明等(2019)测算, 每年随着水热活动带出的锂金属量可达 500 余吨, 而近 20 年来热泉中 Li 含量均是相对稳定的。腾冲地区与青藏高原南部地热型锂资源有相似性, 青藏高原南部热泉中 Li 含量 12.7~239.00 mg/L, 并伴生有 B、Cs 和 Rb 元素等(王晨光等, 2020); 腾冲地区与之比较 Li 含量相对较低, 除伴生 Rb、Cs 外, 还富含 Au, 但工作程度低。因此, 腾冲—瑞丽地区热泉型金矿及地热型锂等矿产值得注意。

3 滇西地区稀有金属宝石矿床成矿系列及成矿规律

按矿床成矿系列“四个一”划分原则(陈毓川, 1994, 1997; 陈毓川等, 2006, 2015, 2016, 2020; 王登红等, 2020), 即在一定的地质历史期间或构造运动阶段, 在一定的地质构造单元及构造部位, 与一定的地质成矿作用有关, 形成一组具有成因联系的矿床组合自然体, 为矿床成矿系列。将该地区矿床成矿系列初步厘定为滇西地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的稀有金属宝石矿床成矿系列(Mz/Cz-y-1)和滇西地区与第四纪表生作用有关的稀有金属矿床成矿系列(Cz-f-1), 见图 1、表 2。

表 2 滇西地区稀有金属宝石矿床成矿系列划分表

Table 2 Metallogenic series division of rare metal gemstone deposits in West Yunnan

	矿床成矿系列或亚系列	矿床代表矿床
滇西地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的稀有金属宝石矿床成矿系列(Mz/Cz-y-1)	龙陵地区与喜马拉雅期伟晶岩有关的铍、锂、铌、钽等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1a)	黄连沟式/云南省龙陵县黄连沟稀有多金属矿
	盈江—梁河地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的白云母、铍、锂等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1b)	那俄式/云南省梁河县芒东镇那俄铍多金属矿
	高黎贡山—碧罗雪山与喜马拉雅期伟晶岩有关的白云母、铍、锂等稀有金属宝石矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1c)	宝华山式/云南省腾冲市宝华山锡矿(云南省腾冲市宝华山稀有多金属矿) 害咱式/云南省福贡县害咱碧玺矿
滇西地区与第四纪表生作用有关的稀有金属矿床成矿系列(Cz-f-1)	龙陵地区与第四纪表生作用有关的铷矿床成矿亚系列(Cz-f-1a)	团坡式/云南省龙陵县团坡铷矿
	腾冲—梁河地区与第四纪表生作用有关的铷、钽、锂、铯等稀有金属及稀土矿床成矿亚系列(Cz-f-1b)	新歧式/云南省腾冲市新歧稀有稀土锡多金属矿

3.1 滇西地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的稀有金属宝石矿床成矿系列(Mz/Cz-y-1)

该矿床成矿系列,根据矿床成矿规律、空间分布、矿化组合的不同,进一步划分为3个矿床成矿亚系列,即龙陵地区与喜马拉雅期伟晶岩有关的铍、锂、铌、钽等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1a)、盈江—梁河地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的白云母、铍、锂等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1b)、高黎贡山—碧罗雪山与喜马拉雅期伟晶岩有关的白云母、铍、锂等稀有金属宝石矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1c)。

龙陵地区与喜马拉雅期伟晶岩有关的铍、锂、铌、钽等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1a),分布在属冈底斯构造岩浆岩带(I)之保山构造岩浆岩亚带(I-2),成矿带为喀喇昆仑山—三江<造山带>成矿省,保山<地块>Pb-Zn-Sn-Hg成矿带之IV潞西(断块)Cu-Pb-Zn-Fe-Au-Sn-W矿带(图1)。区内燕山晚期—喜马拉雅期的花岗岩分布较广,围绕燕山晚期—喜马拉雅期花岗岩形成众多蚀变花岗岩型、伟晶岩型铍、铌、钽等稀有金属矿产地,成矿以铍为主,其次为锂、铌、钽等。伟晶岩型以黄连沟式为代表,蚀变花岗岩型则以龙陵县大坡小型铍、铌、钽矿床最具代表性。目前发现稀有金属矿床(点)6处(表1),其成矿时代为古近纪(古新世—渐新世),成矿年龄为 $(59.9\pm 2.7)\sim(30.8\pm 1.8)$ Ma(王登红等, 2005; 陶琰等, 2015)。

盈江—梁河地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的云母、铍、锂等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1b),分布在冈底斯构造岩浆岩带(I)之腾冲构造岩浆岩亚带(I-1);成矿带属冈底斯—腾冲造山系成矿省,班戈—腾冲(岩浆弧)Sn-W-Bi-Li-Fe-Pb-Zn成矿带(图1)。区内燕山晚期(白垩纪)、喜马拉雅早期(古近纪),发生了大规模的酸性、偏碱性岩浆侵入活动,稀有金属矿产与其有关。沿梁河—腾冲地区的槟榔江岩带,围绕燕山晚期—喜马拉雅期古永花岗岩演化后期的新歧花岗岩体(百花脑、茶塘河、干河、大秧田岩体),在岩体及内外接触带形成蚀变花岗岩型、伟晶岩型、云英岩型、风化型的稀有金属矿化类型。岩体同位素年龄为 $33.22\sim(61.9\pm 1.4)$ Ma。在盈江卡场、梁河那俄一带形成了大量的伟晶岩。稀有金属矿床类型以伟晶岩型为主,其次为蚀变花岗岩型、云英岩型。伟晶岩型稀有金属矿产目前发现梁河县芒东镇那俄铍多金属矿、盈江县卡场稀有稀土矿、盈江县核桃寨钽锡矿、梁河县章巴铍钽矿和陇川县麻栗脑钼矿等5处矿床(点);蚀变花岗岩型、云英岩型仅发现腾冲市小

龙河锡多金属矿共伴生稀有金属矿1处。成矿以铍、锂为主,其次为铌、钽、云母等。那俄铍多金属矿伟晶岩围岩勐养岩体侵位年代为 $(127.9\pm 1.0)\sim(115.2\pm 1.1)$ Ma(丛峰等, 2010; 李再会等, 2012; 邹光富等, 2013; 吴嘉林等, 2020),从区域上分析推测伟晶岩成岩时代稍晚,可能为喜马拉雅期。腾冲市小龙河锡多金属矿共伴生稀有金属矿,成矿年龄 $78.7\sim 70$ Ma(陈吉琛, 1987; 施琳等, 1991; 马楠, 2014; 李建忠等, 2017),为燕山晚期(晚白垩世)。

高黎贡山—碧罗雪山与喜马拉雅期伟晶岩有关的云母、铍、锂等稀有金属宝石矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1c)。主体分布在冈底斯构造岩浆岩带(I)之腾冲构造岩浆岩亚带(I-1),北部碧罗雪山一带跨羌塘—三江构造岩浆岩带(II)之碧罗雪山—临沧构造岩浆岩亚带(II-1);冈底斯—察隅弧盆系之班戈—腾冲新生代岩浆弧,成矿带主体属冈底斯—腾冲造山系成矿省,班戈—腾冲(岩浆弧)Sn-W-Bi-Li-Fe-Pb-Zn成矿带,东部喀喇昆仑山—三江<造山带>成矿省之保山<地块>Pb-Zn-Sn-Hg成矿带一部分(图1)。该地区广泛发育燕山期花岗岩,构成了腾冲岩浆弧主体之贡山—腾冲花岗岩带,伟晶岩也很发育,稀有金属矿床类型以伟晶岩型为主,成矿以铍、锂为主,其次为铌、钽、钷,共伴生云母、锡和碧玺等宝石。含稀有金属元素伟晶岩主要分布于高黎贡山、碧罗雪山2个变质岩带内,下元古界高黎贡山岩群、崇山岩群是滇西地区含矿伟晶岩的主要围岩,富含稀有金属元素Li、Rb、Cs。据施琳等(1989)研究成果,此3种元素在高黎贡山岩群中含量分别为 $33\times 10^{-6}\sim 34\times 10^{-6}$ 、 $177\times 10^{-6}\sim 232\times 10^{-6}$ 、 $11.8\times 10^{-6}\sim 12\times 10^{-6}$,崇山岩群中含量分别为 $33\times 10^{-6}\sim 45\times 10^{-6}$ 、 $116\times 10^{-6}\sim 195\times 10^{-6}$ 、 $15.8\times 10^{-6}\sim 19.2\times 10^{-6}$,远高于地壳克拉克值,也表明稀有金属元素在变质作用过程中,有一定的富集。由此表明,变质作用与稀有金属成矿关系密切。含稀有金属元素伟晶岩同时富含海蓝宝石、碧玺、托帕石、水晶等宝石矿产,目前发现宝石矿点达25处之多(图4),稀有金属矿产有腾冲市宝华山稀有多金属矿、贡山县普拉底云母稀有金属矿、腾冲市贡源锡矿(共伴生铌、钽)等3处,但在多数宝石矿点中有绿柱石产出,在贡山县黑马地区白云母伟晶岩群中 Li_2O 含量 $1.571\%\sim 3.452\%$,平均 2.973% ;含锂矿物主要为铁锂云母、次为锂辉石。成矿时代依据贡山依玛洛伟晶岩及贡山嘎拉博伟晶岩成岩年龄 $61.5\sim 16.2$ Ma(云南省地质科学研究所, 1986),推测该矿床成矿系列成矿年龄为喜马拉雅期。

3.2 滇西地区与第四纪表生作用有关的稀有金属矿床成矿系列(Cz-f-1)

该矿床成矿系列, 根据矿床成矿特点、空间分布、矿化组合、成矿母岩时代的不同, 进一步划分为 2 个矿床成矿亚系列, 即龙陵地区与第四纪表生作用有关的铷矿床成矿亚系列(Cz-f-1a)、腾冲—梁河地区与第四纪表生作用有关的铷、钽、锂、铯等稀有金属及稀土矿床成矿亚系列(Cz-f-1b), 见图 1。

龙陵地区与第四纪表生作用有关的铷矿床成矿亚系列(Cz-f-1a), 在芒市—龙陵一带的加里东期平河复式岩体的松坡二长花岗岩中, 普遍具有铷、锂、铯等稀有金属矿化, 含稀有金属花岗岩体经风化富集后形成风化壳型铷矿床, 如龙陵团坡铷矿。该类型矿床一般分布在含稀有金属花岗岩体顶部, 沿山脊及斜坡展布, 多为风化、半风化花岗岩, 风化壳最大厚度达 30 m。

腾冲—梁河地区与第四纪表生作用有关的铷、钽、锂、铯等稀有金属及稀土矿床成矿亚系列(Cz-f-1b)。在腾冲—梁河槟榔江一带, 分布有古近纪碰撞后裂谷岩浆杂岩, 主要岩石类型为二长花岗岩、正长花岗岩、花岗斑岩, 另有少量花岗闪长岩、

碱长花岗岩出露。本期花岗岩的岩石化学成分变化不大, 且具有“高硅、富碱、过铝、低钙、低镁”特点, 花岗岩的全岩同位素年龄主要集中为三个阶段, 二长花岗岩主要集中在 65.58~58 Ma(云南省地质调查局, 2013), 正长花岗岩主要为 54~52 Ma, 花岗斑岩及碱(钠)长花岗岩主要为 43~33.22 Ma; 可能代表了挤压作用主期、松弛期、快速伸展塌陷期的时限。区域上钨锡、稀有、稀土矿化与其关系较密切。稀有金属矿产地主要围绕燕山晚期—喜马拉雅期古永花岗岩演化后期的新歧花岗岩体产出, 是区内含锡稀有金属矿的成矿母岩。其钠长石化花岗岩为矿化岩体, 富含稀有金属元素 Rb、Cs, 钾长石中 Rb_2O+Cs_2O 含量 $\geq 1.8\%$, Li、Nb、Ta 等元素的含量也较高。在岩体及内外接触带形成蚀变花岗岩型、伟晶岩型、云英岩型、风化型的稀有金属矿化类型。风化型以腾冲新歧超大型稀有、稀土多金属矿床最具代表性, 有成矿元素多、规模大、品位低等特点, 5 种成矿稀有金属元素中, 铷、钽达超大型矿床规模, 铯达大型矿床规模, 锂、铯为中型矿床规模。伟晶岩型、云英岩型稀有金属矿规模较小, 多为小型矿床或矿点。

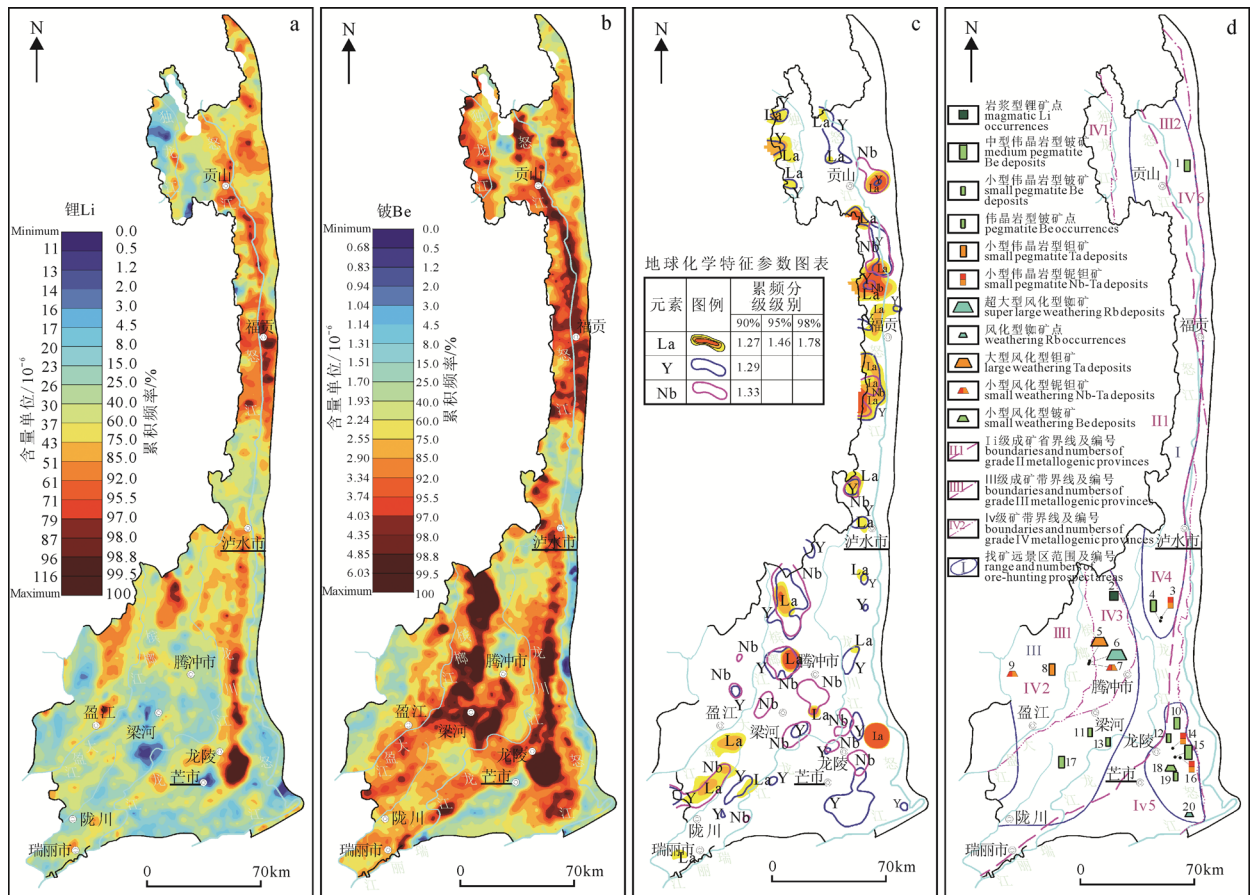


图 7 滇西地区 Li(a)、Be(b)地球化学图、La-Y-Nb 地球化学组合异常图(c)及稀有金属矿产找矿远景区图(d) (a、b、c 据陈元坤等, 2015, 有修改)

Fig. 7 Geochemical map of Li (a) and Be (b), composite geological anomalies map (c), and rare metal prospect area map of West Yunnan (d) (a, b, and c: modified from CHEN et al., 2005)

4 找矿潜力

滇西地区锂、铍、铌、钽、铷、铯等稀有金属成矿与岩浆作用密切相关,主要集中分布于腾冲—盈江、芒市—龙陵2个中酸性岩浆岩带上,形成云南重要的稀有金属矿化集中区,稀有金属矿产成矿地质条件十分有利,以往地质勘查工作对稀有金属矿产重视不够,总体勘查工作及综合研究程度普遍较低,但找矿潜力巨大。在综合地质、物化探、遥感、重砂等各类信息的基础上,以成矿规律为主导,通过综合类比研究,圈定出找矿远景区3处,见图7。

4.1 贡山—泸水找矿远景区

该远景区沿高黎贡山及碧罗雪山西坡分布有大量含宝玉石稀有金属的伟晶岩脉,多产于下、中元古界变质岩中,与燕山晚期中酸性岩浆作用及喜马拉雅期伟晶岩有关;主要成矿元素为锂、铍、铷、铯,少量伴有铌、钽,目前发现以矿点为主,少量达小型矿床规模,如贡山县普拉底云母稀有金属矿、腾冲市宝华山稀有多金属矿。该地区中酸性岩浆岩及伟晶岩发育,是云南著名的宝石成矿带(图4),远景区主体分布在高黎贡山—碧罗雪山与喜马拉雅期伟晶岩有关的白云母、铍、锂等稀有金属宝石矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1c)(图1),近二十年来当地居民在该地区伟晶岩脉中采出海蓝宝石、碧玺、托帕石、水晶等宝石,1994—1997年期间民采曾在福贡县采出水晶晶体直径达0.5~0.7 m,重量近100 kg的大晶体若干,推测有大伟晶岩脉存在。该地区有Li、Be地球化学异常及La-Y-Nb地球化学组合异常分布(图7);云南省综合重砂异常图说明书(1:100万)在腾冲锡钨铌钽重砂异常带(编号I)、泸水—陇川锡钨铌独居石异常带(编号II)(云南省地质矿产局区域地质调查大队,1987),有用重砂矿物组合为锡石、黑(白)钨矿、铌钽铁矿等。据云南省矿产资源国情调查项目成果《云南省铍矿潜力预测成果图说明书》(云南省地质调查局,2022)在贡山预测工作区圈定预测区面积194.1 km²,预测500 m以浅铍矿潜在资源量BeO 9900 t。以寻找伟晶岩型锂、铍等稀有金属矿产为主攻方向,找矿方向为该地区含宝玉石伟晶岩脉。

4.2 龙陵找矿远景区

远景区在龙陵一带有多处Li、Be、La、Nb、Ta、Rb等稀有金属化探异常和锡石、黑(白)钨矿、独居石、磷钇矿、铌钽铁矿、金绿宝石等重砂异常(云南省地质矿产局区域地质调查大队,1987),Li、Be、La异常浓集中心明显(图7)。区内大面积出露加里东期、华力西期—印支期、燕山晚期—喜马拉雅期

中酸性岩体,加里东期以平河复式岩体最具代表性。作为平河岩体一部分的松坡岩体,岩性主要为二长花岗岩,富含稀有金属元素铷、锂、铯。岩体中、深部的粗粒含黑云母二长花岗岩Rb₂O含量0.015%~0.043%,边部及顶部的中细粒含黑云母二长花岗岩Rb₂O含量0.039%~0.143%、Li₂O含量0.068%、Cs₂O含量0.0048%,为团坡风化壳型铷矿的成矿母岩。在该地区还分布有大量的喜马拉雅期伟晶岩,目前已发现稀有元素中型矿床1处(龙陵黄连沟)、小型及矿床点5处,据云南省矿产资源国情调查《云南省铍矿潜力预测成果图说明书》(云南省地质调查局,2022),在龙陵预测工作区圈定预测区面积48.03 km²,预测500 m以浅铍矿潜在资源量BeO 9900 t。找矿应以寻找黄连沟式伟晶岩型及团坡式风化型铷矿等为主攻方向。远景区包括龙陵地区与喜马拉雅期伟晶岩有关的铍、锂、铌、钽等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1a)、龙陵地区与第四纪表生作用有关的铷矿矿床成矿亚系列(Cz-f-1a),见图1。

另外在远景区分布有龙陵县八〇八铁矿,原铁矿石为含磁铁矿磷灰石方解石大理岩,一直以来作为铁矿进行开采。但其可能为岩浆成因的方解石碳酸岩,可能有稀土、稀有矿产存在。基于几个方面依据:一是2005年云南地矿资源股份公司保山分公司采集八〇八铁矿矿石岩矿鉴定结果,其主要成分为方解石、磷灰石、磁铁矿、赤铁矿,含有金云母、白云母、黄铁矿、透闪石、磷钇矿、褐帘石、氟磷灰石等矿物,鉴定为磁铁矿化含磷灰石方解石大理岩等。其矿物成分与非洲大裂谷东支新生代苏库卢碱性杂岩体之碳酸岩体相似,含有磷钇矿等稀土矿物。二是2019年云南省第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查工作,在龙陵县八〇八铁矿选矿厂尾矿库中(现已停产)测到γ剂量率达16 892 nGy/h(云南省生态环境厅,2019),放射性γ剂量是云南伴生放射性矿普查矿区中最高的。三是1:20万区域化探有La、Y、Nb异常分布,并具有明显的浓集中心(图7)。四是云南省综合重砂异常图说明书(1:100万)在八〇八铁矿分布区域的IV潞西锡钨铌钽重砂异常区(云南省地质矿产局区域地质调查大队,1987),有用重砂矿物组合为锡石、黑(白)钨矿、独居石、磷钇矿、铌钽铁矿等。因此八〇八铁矿可能存在有岩浆成因的方解石碳酸岩,原开采的铁矿体即可能为含磁铁矿磷灰石磷钇矿方解石碳酸岩,有望找到稀土、稀有金属矿产等。这对研究该地区地质构造背景、怒江深大断裂及其成岩成矿,寻找稀土、稀有金属矿产等资源具有重要意义。

4.3 腾冲—陇川找矿远景区

远景区大面积出露燕山晚期—喜马拉雅期中酸性岩体(图 1, 7), 各类岩石普遍富含稀有金属元素, 尤其是喜马拉雅期槟榔江岩带, 演化晚期的钠长花岗岩最为重要, 围绕岩体及内外接触带, 形成一系列蚀变花岗岩型、云英岩型、伟晶岩型、风化型稀有金属矿化, 具有较好的找矿前景。区内有多处 Be、Li、Nb、Ta 等稀有金属化探异常(陈元坤等, 2015)和铌钽重砂异常(云南省地质矿产局区域地质调查大队, 1987), 目前已发现超大型矿床 1 处(腾冲新歧)、大型矿床 1 处(卜锅脑)、小型矿床及矿点 10 余处, 腾冲新歧风化壳矿体下的基岩也具有稀有金属矿化, 外围茶塘河以南、干河一带尚有大量矿化岩体分布, 找矿潜力巨大。据云南省矿产资源国情调查项目成果《云南省铍矿潜力预测成果图说明书》(云南省地质调查局, 2022), 在梁河预测工作区圈定预测区面积 113.78 km², 预测 500 m 以浅铍矿潜在资源量 BeO 11 000 t。找矿应以寻找新歧式钠长花岗岩型+风化型稀有金属矿、伟晶岩型铍、锂稀有金属矿等为主攻方向。该远景区由盈江—梁河地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的云母、铍、锂等稀有金属矿床成矿亚系列(Mz/Cz-y-1b)、腾冲—梁河地区与第四纪表生作用有关的铷、钽、锂、铯等稀有金属及稀土矿床成矿亚系列(Cz-f-1b)组成(图 1)。

该地区除稀有金属矿床外, 稀土矿产也较丰富, 目前已发现陇川县龙安稀土矿床(中型), 在陇川营盘山、大曼别, 腾冲一碗水、土官寨, 龙陵蕨叶坝、尖山脚等地发现多个离子吸附型稀土元素矿产地, 预测该区稀土资源远景可达 300×10⁴ t(张彬等, 2019), 极具找矿潜力。

另在地区广泛分布的热泉中, 部分富含锂、铷、铯等稀有金属元素, 具有较好的稀有金属矿产找矿前景, 应引起重视。

5 结论

研究表明, 滇西地区在燕山期—喜马拉雅期发生了大规模的中-酸性岩浆侵入活动, 并形成众多的伟晶岩, 区内稀有金属、宝石矿产成矿与其有关, 同时富含稀有金属元素花岗岩在表生风化作用下, 形成了风化壳型稀有金属矿床, 具有较好找矿勘查前景。

本文初步整理了滇西地区稀有金属宝石矿产资源及其特征, 重点突出了稀有金属矿产, 以矿床成矿系列理论为研究方法, 厘定出滇西地区与燕山期—喜马拉雅期伟晶岩有关的稀有金属宝石矿床成矿系列和与第四纪表生作用有关的稀有金属矿床

成矿系列, 分析了该地区的找矿潜力, 划分了找矿远景区, 指出了找矿方向, 深化了对滇西地区稀有金属及宝石矿产的认识, 意在抛砖引玉, 旨在今后在该地区从事地质找矿和科研的大专院校、科研院所、地勘单位等提供参考, 并为地方政府部门制定矿产资源规划、勘查工作部署及开发利用决策提供依据。本地区稀有金属及宝石矿产地质工作程度偏低, 地质基础研究薄弱, 期待广大地质同仁共同探讨滇西地区稀有金属及宝石矿产成矿规律和找矿工作。

致谢: 本文是在《中国矿产地质志·云南卷》相关成果基础上总结提升而成, 至此要特别感谢《中国矿产地质志·云南卷》全体编著人员。同时感谢《中国矿产地质志》总主编中国地质科学院矿产资源研究所陈毓川院士、王登红研究员及全国项目办给予这次机会。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20221695; DD20190379; DD20160346), and Department of Natural Resources of Yunnan Province (Nos. Yunziranzicai[2019] 122; Yunziranzicai[2021] 107; Yunziranzicai[2022] 57).

参考文献:

- 陈吉琛, 林文信, 陈良忠. 1991. 腾冲—梁河地区含锡花岗岩序列—单元研究[J]. 云南地质, 10(3): 241-289.
- 陈吉琛. 1987. 滇西花岗岩类时代划分及同位素年龄值选用的讨论[J]. 云南地质, 6(2): 101-113.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 黄凡. 2016. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 37(5): 519-527.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 黄凡. 2020. 论地球系统四维成矿及矿床学研究趋势向——七论矿床的成矿系列[J]. 矿床地质, 39(5): 745-753.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 王平安. 2015. 论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J]. 矿床地质, 34(6): 1092-1106.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘, 1(3-4): 90-94.
- 陈毓川. 1997. 矿床的成矿系列研究现状与趋势[J]. 地质与勘探, 33(1): 21-25.
- 陈元坤, 杨功, 李开毕, 谢岩锐, 计克谦. 2015. 云南省地球物理地球化学图集[M]. 北京: 地质出版社.
- 丛峰, 林仕良, 谢韬, 李再会, 邹光富, 梁婷. 2010. 滇西腾冲—梁河地区花岗岩锆石稀土元素组成和 U-Pb 同位素年龄[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 40(3): 573-580.
- 董方浏, 侯增谦, 高永丰, 曾普胜, 蒋成兴. 2006. 滇西腾冲新生代花岗岩: 成因类型与构造意义[J]. 岩石学报, 22(4): 927-937.

- 董美玲, 董国臣, 莫宣学, 朱弟成, 聂飞, 谢许峰, 王霞, 胡兆初. 2012. 滇西保山地块早古生代花岗岩类的年代学、地球化学及意义[J]. 岩石学报, 28(5): 1453-1464.
- 高子英, 吕伯西, 段建中, 潘长云. 1993. 滇西花岗伟晶岩[J]. 云南地质, 12(4): 367-372.
- 郭唯明, 马圣钊, 孙艳, 赵芝, 钟海仁, 姚垒珊. 2019. 云南腾冲热泉中稀有金属矿化特征及其意义[J]. 地质学报, 93(6): 1321-1330.
- 胡云中, 邓坚, 郭唯明. 2002. 腾冲现代活动水热流体的地质成矿作用[J]. 矿床地质, 21(S1): 967-969.
- 李晖, 程胜辉, 施玉北. 2022. 中国矿产地志·云南卷·宝玉石矿产[R]. 昆明: 云南省地质调查局.
- 李建伟, 程胜辉, 施玉北. 2020. 中国矿产地志·云南卷·铋铊汞稀土稀有分散元素及水气矿产[R]. 昆明: 云南省地质调查局.
- 李建忠, 陆生林, 吴文贤, 丁俊, 王保弟, 赵作新, 崔子良. 2017. 云南省腾冲市小龙河锡稀土多金属矿田新知及其稀土矿的发现[J]. 中国地质调查, 4(2): 9-21.
- 李良, 陈永健, 秦金虎. 2009. 腾冲新歧碱长花岗岩稀有多金属风化壳矿床[J]. 云南地质, 28(1): 72-77.
- 李再会, 林仕良, 丛峰, 邹光富, 谢韬. 2012. 滇西腾冲—梁河地块石英闪长岩—二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 地质学报, 86(7): 1047-1062.
- 刘明亮, 曹耀武, 王敏黛, 李洁祥, 郭清海. 2014. 腾冲热海热泉水化学组分来源及其形成机制探讨[J]. 安全与环境工程, 21(6): 1-7.
- 马楠. 2014. 西南三江腾冲地区早白垩—古近纪典型 Fe-Sn 矿床成岩成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学.
- 秦德先. 1990. 龙陵东部花岗岩及其成矿作用[J]. 矿产与地质, 4(2): 25-34, 45.
- 施琳, 陈吉琛, 吴上龙, 彭兴阶, 唐尚鹑. 1989. 滇西锡矿带成矿规律[M]. 北京: 地质出版社.
- 施琳, 唐良栋, 赵珉, 张为鹑. 1991. 腾冲—梁河地区原生锡矿床类型及成矿机理[J]. 云南地质, 10(3): 290-322.
- 施玉北, 卢映祥, 李文昌. 2021. 中国矿产地志·云南卷[R]. 昆明: 云南省地质调查局.
- 陶琰, 邓贤泽, 熊风. 2015. 云南龙陵黄龙沟伟晶岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 矿物学报, 35(S1): 344-345.
- 佟伟, 章铭陶. 1994. 横断山区温泉志[M]. 北京: 科学出版社.
- 王登红, 陈毓川, 徐珏. 2005. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 黄凡, 王裴, 裴荣富. 2020. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 94(1): 18-35.
- 吴嘉林, 柏杨, 浦涛, 朱勋早. 2020. 滇西陇川县护国晚寒武世花岗岩体的识别及意义[J]. 云南地质, 39(3): 349-358.
- 燕利军, 王胜江, 陈曹军, 严志安, 余中明, 邓志祥, 吴清华, 殷伟. 2021. 滇西梁河县新发现那俄铍矿岩石地球化学特征及铍成矿事件[J]. 地质与勘探, 57(4): 739-750.
- 张彬, 祝向平, 潘泽伟, 杨清标, 罗建宏. 2019. 云南腾冲—陇川地区新发现一批中—大型离子吸附型稀土矿[J]. 中国地质调查成果快讯, 5(7-8): 1-6.
- 周新平, 戚华文, 胡瑞忠, 毕献武, 孟郁苗. 2015. 滇西腾冲新歧花岗岩年代学、地球化学及其构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 34(1): 139-148.
- 邹光富, 毛英, 林仕良, 丛峰, 李再会, 谢韬, 高永娟. 2013. 滇西梁河勐养花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 33(1): 87-99.
- 王晨光, 郑绵平, 张雪飞, 叶传永, 伍倩, 陈双双, 黎明明, 丁涛, 杜少荣. 2020. 青藏高原南部地热型锂资源[J]. 科技导报, 38(15): 24-36.
- 云南省地质环境监测院. 2015. 云南省地热资源调查评价与区划(1: 50 万)[R]. 昆明: 云南省地质环境监测院资料室.
- 云南省地质局第二十地质队. 1964. 云南省龙陵县黄连沟矿区含铍花岗伟晶岩矿床普查勘探工作报告[R]. 昆明: 云南省自然资源厅.
- 云南省地质局第三地质队. 1983. 云南省腾冲县新歧钨(锡)矿及含锡稀有多金属矿区初步普查地质报告[R]. 昆明: 云南省自然资源厅.
- 云南省地质局第四地质大队. 1982. 云南省腾冲县宝华山矿区稀有金属伟晶岩普查地质报告[R]. 保山: 云南省地质矿产勘查开发局第四地质大队.
- 云南省地质科学研究所. 1986. 云南省宝玉石分布及找矿前景(1984 年~1986 年)[R]. 昆明: 云南省地质矿产勘查开发局.
- 云南省地质矿产局区域地质调查大队. 1987. 云南省综合重砂异常图说明书(1: 100 万)[R]. 玉溪: 云南省地质矿产勘查开发局区域地质调查大队.
- 云南省地质调查局. 2013. 云南省三年地质找矿行动计划成果报告[R]. 昆明: 云南省地质调查局.
- 云南省地质调查局. 2014. 云南大地构造单元及成矿区带划分研究新进展[J]. 云南地质, 33: 48-59.
- 云南省地质调查局. 2016. 云南三稀资源综合研究与重点评价子项目成果报告(2012-2015 年)[R]. 昆明: 云南省地质调查局.
- 云南省地质调查局. 2022. 云南省铍矿潜力预测成果图说明书[R]. 昆明: 云南省地质调查局.
- 云南省生态环境厅. 2019. 云南省第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查工作总结暨数据分析报[R]. 昆明: 云南省生态环境厅.
- 云南省自然资源厅. 2020. 《云南省 2019 年矿区及所属矿山矿产资源储量简表》[R]. 昆明: 云南省自然资源厅.
- 云南省地质调查院. 2022. 中国区域地质志·云南志[R]. 昆明: 云南省地质调查院.

References:

- 20th Geological Brigade of Yunnan Bureau of Geology. 1964. Geological prospecting and detailed exploration report on Be-bearing granitic pegmatite deposit in Huangliangou Mine, Longling, Yunnan[R]. Kunming: Yunnan Department of Natural Resources(in Chinese).
- 3rd Geological Brigade of Yunnan Bureau of Geology. 1983. Preliminary geological prospecting report on Xinqi W (Sn) deposit and Sn-bearing rare metals mining field in Tengchong, Yunnan[R]. Kunming: Yunnan Department of Natural Resources.

- sources(in Chinese).
- 4th Geological Brigade of Yunnan Bureau of Geology. 1982. Geological prospecting report on rare metals-bearing pegmatite in Baohuashan mining field, Tengchong, Yunnan[R]. Kunming: 4th Geological Brigade of Yunnan Bureau of Geology(in Chinese).
- CHEN Fu-kun, LI Xiang-hui, WANG Xiu-li, LI Qiu-li, SIEBEL W. 2007. Zircon age and Nd-Hf isotopic composition of the Yunnan Tethyan belt, southwestern China[J]. International Journal of Earth Sciences, 96: 1179-1194.
- CHEN Ji-shen, LIN Wen-xin, CHEN Liang-zhong. 1991. Series and unit research on tin-bearing granites of Tengchong-Lianghe area[J]. Yunnan Geology, 10(3): 241-289(in Chinese with English abstract).
- CHEN Ji-shen. 1987. Discussion on the age division and the selectes of isotopic age determination for granitic rock in western Yunnan[J]. Yunnan Geology, 6(2): 101-113(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuan-kun, YANG Gong, LI Kai-bi, XIE Kui-rui, JI Ke-qian. 2015. Geophysical and geochemical atlas of Yunnan[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, HUANG Fan. 2016. Minerogenetic series for mineral deposits: Discussion on minerogenetic series (V)[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(5): 519-527(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, HUANG Fan. 2020. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion on minerogenetic series (VII)[J]. Mineral Deposits, 39(5): 745-753(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, WANG Ping-an. 2015. Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits (IV)[J]. Mineral Deposits, 34(6): 1092-1106(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong. 2006. On minerogenetic (metallogenetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, 1(3-4): 90-94(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan. 1997. Present sityation and trend of research on metallogenic series of ore deposits[J]. Geology and Prospecting, 33(1): 21-25(in Chinese with English abstract).
- CONG Feng, LIN Shi-liang, XIE Tao, LI Zai-hui, ZOU Guang-fu, LIANG Ting. 2010. Rare earth element geochemistry and U-Pb age of zircons from granites in Tengchong-Lianghe area, western Yunnan[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 40(3): 573-580(in Chinese with English abstract).
- DONG Fang-liu, HOU Zeng-qian, GAO Yong-feng, ZENG Pu-sheng, JIANG Cheng-xing. 2006. Cenozoic granitoid in Tengchong, western Yunnan: Genesis type and implication for tectonics[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 927-937(in Chinese with English abstract).
- DONG Mei-ling, DONG Guo-chen, MO Xuan-xue, ZHU Di-cheng, NIE Fei, XIE Xu-feng, WANG Xia, HU Zhao-chu. 2012. Geochronology and geochemistry of the Early Palaeozoic granitoids in Baoshan block, western Yunnan and their implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(5): 1453-1464(in Chinese with English abstract).
- GAO Zi-ying, LÜ Bo-xi, DUAN Jian-zhong, PAN Chang-yun. 1993. Granitic pegmatites in west Yunnan[J]. Yunnan Geology, 12(4): 367-372(in Chinese with English abstract).
- GUO Wei-ming, MA Sheng-chao, SUN Yan, ZHAO Zhi, ZHONG Hai-ren, YAO Lei-shan. 2019. Characteristics and significance of rare metal mineralization in hot-springs of Tengchong area, Yunnan[J]. Acta Geologica Sinica, 93(6): 1321-1330(in Chinese with English abstract).
- HU Yun-zhong, DENG Jian, GUO Wei-ming. 2002. Geological metallogenesis of active hydrothermal fluid in Tengchong, Yunnan Province, China[J]. Mineral Deposits, 21(S1): 967-969(in Chinese).
- LI Hui, CHENG Sheng-hui, SHI Yu-bei. 2022. China minerals geology • Yunnan volume • gem & jade minerals[R]. Kunming: Yunnan Geological Survey(in Chinese).
- LI Jian-wei, CHENG Sheng-hui, SHI Yu-bei. 2020. China minerals geology • Yunnan volume • Sb, Bi, Hg, REE, RDE, ground water and gas minerals[R]. Kunming: Yunnan Geological Survey(in Chinese).
- LI Jian-zhong, LU Sheng-lin, WU Wen-xian, DING Jun, WANG Bao-di, ZHAO Zuo-xin, CUI Zi-liang. 2017. New cognition and discovery of rare earth deposits in the Xiaolonghe tin-REE polymetallic orefield of Tengchong in Yunnan Province[J]. Geological Survey of China, 4(2): 9-21(in Chinese with English abstract).
- LI Liang, CHEN Yong-jian, QIN Jin-hu. 2009. The Xinqi rare-metal multimetallic deposit of syenogranite weathering crust, Tengchong[J]. Yunnan Geology, 28(1): 72-77(in Chinese with English abstract).
- LI Zai-hui, LIN Shi-liang, CONG Feng, ZOU Guang-fu, XIE Tao. 2012. U-Pb dating and Hf isotopic compositions of quartz diorite and monzonitic granite from the Tengchong-Lianghe block, western Yunnan, and its geological implications[J]. Acta Geologica Sinica, 86(7): 1047-1062(in Chinese with English abstract).
- LIU Ming-liang, CAO Yao-wu, WANG Min-dai, LI Jie-xiang, GUO Qing-hai. 2014. Source of hydrochemical composition and formation mechanism of Rehai geothermal water in Tengchong[J]. Safety and Environmental Engineering, 21(6): 1-7(in Chinese with English abstract).
- MA Nan. 2014. The magmatism and mineralization of typical Fe-Sn deposits in the Tengchong area, Southwest Sanjiang[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).

English abstract).

- QIN De-xian. 1990. Granites and their metallogenesis in east Longling[J]. Mineral and Geology, 4(2): 25-34, 45(in Chinese with English abstract).
- SHI Lin, CHEN Jin-shen, WU Shang-long, PENG Xing-jie, TANG Shang-chun. 1989. Metallogenic regularities of tin belts in West Yunnan[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- SHI Lin, TANG Liang-dong, ZHAO Min, ZHANG Wei-li. 1991. Types of primary tin ore deposit and metallogenetic mechanism in Tengchong-Lianghe area[J]. Yunnan Geology, 10(3): 290-322(in Chinese with English abstract).
- SHI Yu-bei, LU Ying-xiang, LI Wen-chang. 2021. China minerals geology · Yunnan Volume[R]. Kunming: Yunnan Geological Survey(in Chinese).
- TAO Yan, DENG Xian-ze, XIONG Feng. 2015. Huanglonggou pegmatite zircon U-Pb age, in Longling, Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 35(S1): 344-345(in Chinese).
- TONG Wei, ZHANG Ming-tao. 1994. Thermal springs in Hengduan Mountains[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- WANG Chen-guang, ZHENG Mian-ping, ZHANG Xue-fei, YE Chuan-yong, WU Qian, CHEN Shuang-shang, LI Ming-ming, DING Tao, DU Shao-rong. 2020. Geothermal-type lithium resources in Southern Tibetan Plateau[J]. Science and Technology Review, 38(15): 24-36(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Jue. 2005. Cenozoic ore-forming progress in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Zhi-gang, HUANG Fan, WANG Yan, PEI Rong-fu. 2020. Minerogenetic series group: discussion on minerogenetic series (VI)[J]. Acta Geologica Sinica, 94(1): 18-35(in Chinese with English abstract).
- WU Jia-lin, BAI Yang, PU Tao, ZHU Xun-zao. 2020. The identification and significance of Huguo Late Cambrian granite body in Longchuan, western Yunnan[J]. Yunnan Geology, 39(3): 349-358(in Chinese with English abstract).
- Regional Geological Survey Brigade of Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1987. Manual for Map of Comprehensive Heavy Mineral Anomalies of Yunnan (1:1000000)[R]. Yuxi: Regional Geological Survey Brigade of Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- YAN Li-jun, WANG Sheng-jiang, CHEN Cao-jun, YAN Zhi-an, SHE Zhong-ming, DENG Zhi-xiang, WU Qing-hua, YIN Wei. 2021. Petrochemical characteristics and metallogenetic process of the newly discovered Na⁺e beryllium deposit in the Lianghe area, western Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 57(4): 739-750(in Chinese with English abstract).
- Yunnan Geological Environment Monitoring Institute. 2015. Geothermal resources survey, assessment and regional planning (1:500000) of Yunnan[R]. Kunming: Data Section of Yunnan Geological Environment Monitoring Institute(in Chinese).
- Yunnan Institute of Geosciences. 1986. Gem-jade distribution and prospecting potential of Yunnan (1984-1986)[R]. Kunming: Yunnan Bureau of Geology Mineral Resources Exploration and Development(in Chinese).
- ZHANG Bin, ZHU Xiang-ping, PAN Ze-wei, YANG Qing-biao, LUO Jian-hong. 2019. Medium-large ion-absorbing type rare earth deposits discovered in Tengchong-Longchuan area, Yunnan[J]. Newsletters of China Geological Survey, 5(7-8): 1-6(in Chinese).
- ZHOU Xin-ping, QI hua-wen, HU Rui-zhong, BI Xian-wu, MENG Yu-miao. 2015. Geochronology and geochemistry of granites in the Tengchong Xinqi area, western Yunnan and their tectonic implication[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 34(1): 139-148(in Chinese with English abstract).
- ZOU Guang-fu, MAO Ying, LIN Shi-liang, CONG Feng, LI Zai-hui, XIE Tao, GAO Yong-juan. 2013. Zircon U-Pb age and geochemistry of Mengyang intrusion and its tectonic implications in the Lianghe, western Yunnan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 33(1): 87-99(in Chinese with English abstract).
- Yunnan Geological Survey. 2013. Results report on 3-year geological prospecting plan of Yunnan[R]. Kunming: Yunnan Geological Survey(in Chinese).
- Yunnan Geological Survey. 2014. Study on ground tectonic units and metallogenic belts classification of Yunnan—New Progresses[J]. Yunnan Geology, 33: 48-59(in Chinese with English abstract).
- Yunnan Geological Survey. 2016. Comprehensive research and important subproject results assessment report on rare element, rare and sparse metals of Yunnan (2012-2015)[R]. Kunming: Yunnan Geological Survey(in Chinese).
- Yunnan Geological Survey. 2022. Manual for map of Be potential prospecting results of Yunnan[R]. Kunming: Yunnan Geological Survey(in Chinese).
- Yunnan Department of Ecology and Environment. 2019. Summary of 2nd national pollution source associated radioactive minerals prospecting and data analysis report of Yunnan[R]. Kunming: Yunnan Department of Ecology and Environment(in Chinese).
- Yunnan Department of Natural Resources. 2020. Summary table of mineral resources reserve of mine fields and metal mines of Yunnan, 2019[R]. Kunming: Yunnan Department of Natural Resources(in Chinese).
- Yunnan Institute of Geological Survey. 2002. Regional geology of China · Yunnan[R]. Kunming: Yunnan Institute of Geological Survey(in Chinese).