

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.02.02

引用格式: 李建忠, 陆生林, 吴文贤, 等. 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, 2017, 4(2): 9-21.

# 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

李建忠<sup>1,2</sup>, 陆生林<sup>1,2</sup>, 吴文贤<sup>1,2</sup>, 丁俊<sup>1,2</sup>, 王保弟<sup>1,2</sup>, 赵作新<sup>3</sup>, 崔子良<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610081; 2. 国土资源部成都地质矿产研究所, 成都 610081; 3. 云南省地质矿产勘查院, 昆明 650011)

**摘要:** 通过对云南省腾冲市小龙河地区古永复式岩体原生构造、蚀变和矿化的类比、对比, 结合构造地球化学、年代学研究和初步预查, 新发现与之有关的热液弥散状蚀变、侵入角砾岩和大型稀土金属矿体, 并伴生稀有金属铷(Rb)、铌(Nb)和稀散金属镓(Ga), 存在晚期同岩浆断裂。花岗蚀变岩独居石、锆石和未蚀变黑云钾长花岗岩锡石、锆石 U-Pb 年龄分别为(75.61 ± 0.47) Ma、(75.68 ± 0.72) Ma、(76.3 ± 3.2) Ma 和(77.29 ± 0.54) Ma, 年龄相近, 反映它们可能是岩浆晚期同构造活动的产物。

**关键词:** 原生构造; 同岩浆断裂; 侵入角砾岩; 热液弥散状蚀变; 稀土矿; 古永复式岩体; 独居石 U-Pb 年龄

**中图分类号:** P618.7; P618.6; P618.44 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2017)02-0009-13

## 0 引言

稀土、稀有和稀散金属(简称“三稀”)在能源、化工、冶金、机械、轻工、环保、农业、电子信息以及航空航天等领域应用十分广泛<sup>[1]</sup>。近年来, 新兴工业、高新技术、磁悬浮轨道交通和航空、航天对“三稀”矿产资源的依赖程度愈来愈高, “三稀”成为国家之间竞相争夺的战略资源, 各国纷纷把稀土、稀有金属铷(Rb)列入限制出口名录。

云南省西南部、纬度与南岭相近, 是有色金属的王国。南岭造山带有丰富的有色金属、稀土金属矿<sup>[2]</sup>。然而, 迄今为止, 滇西南稀土矿发现较少。小龙河地区“三稀”矿产稀土普遍富钇(Y), 局部富钕(Nd)、镝(Dy)等, 普遍伴生稀有金属铷(Rb)和稀散金属镓(Ga)。许多地方铷(Rb)还是主要金属, 局部伴生铌(Nb), 即便是生产锡石后的尾矿砂“三稀”都有较高的商业利用价值。

小龙河锡矿是20世纪80年代以来一直在生产锡(Sn)的一个老矿山, 许多地勘单位、大专院校

和科研院所在此开展过地质调查、矿产勘查以及地质科研工作<sup>[3-6]</sup>, 也进行过矿田构造的专题研究<sup>[7]</sup>。20世纪80年代至90年代初, 云南省地质(矿产)局分别做了1:20万泸水幅水系沉积物测量和1:5万固东幅矿产地质调查, 未发现小龙河一带存在磷钇矿重砂异常, 而毗邻地区却均有发现。近10年来, 云南旧城—麻栗坝地区矿产远景调查也未发现小龙河一带的磷钇矿重砂异常<sup>[8]</sup>。2014年6、7月份, 在小龙河以及相邻地区野外考察时, 发现小龙河地质现象(尤其是蚀变)十分复杂, 特别是广泛发育高岭土, 包括蚀变岩型锡矿中普遍发育的高岭土。一般认为, 高岭土是风化成因, 因此, 前人把叠加强烈高岭土化的具有热液弥散状蚀变的花岗岩认为是“河流作用”形成的“砂岩”, 由此把蚀变成因的一部分锡矿体或花岗蚀变岩型锡矿当作“砂锡矿”或风化壳型“砂矿”<sup>[9]</sup>。

面型产出的蚀变岩型锡矿, 在外观上与河流相透镜状产出的砂体相近, 容易误认, 这好理解; 然而, 与大多数云英岩型产状一致的、脉型产出的蚀变岩型锡矿体, 若被误认为是“砂岩型锡矿”, 就难

收稿日期: 2016-10-05; 修订日期: 2017-02-13。

基金项目: 中国地质调查局“云南省腾冲—梁河地区锡多金属矿整装勘查区关键基础地质研究(编号: 12120114013801)之云南腾冲小龙河地区矿田构造研究及勘查方法示范与创新”项目资助。

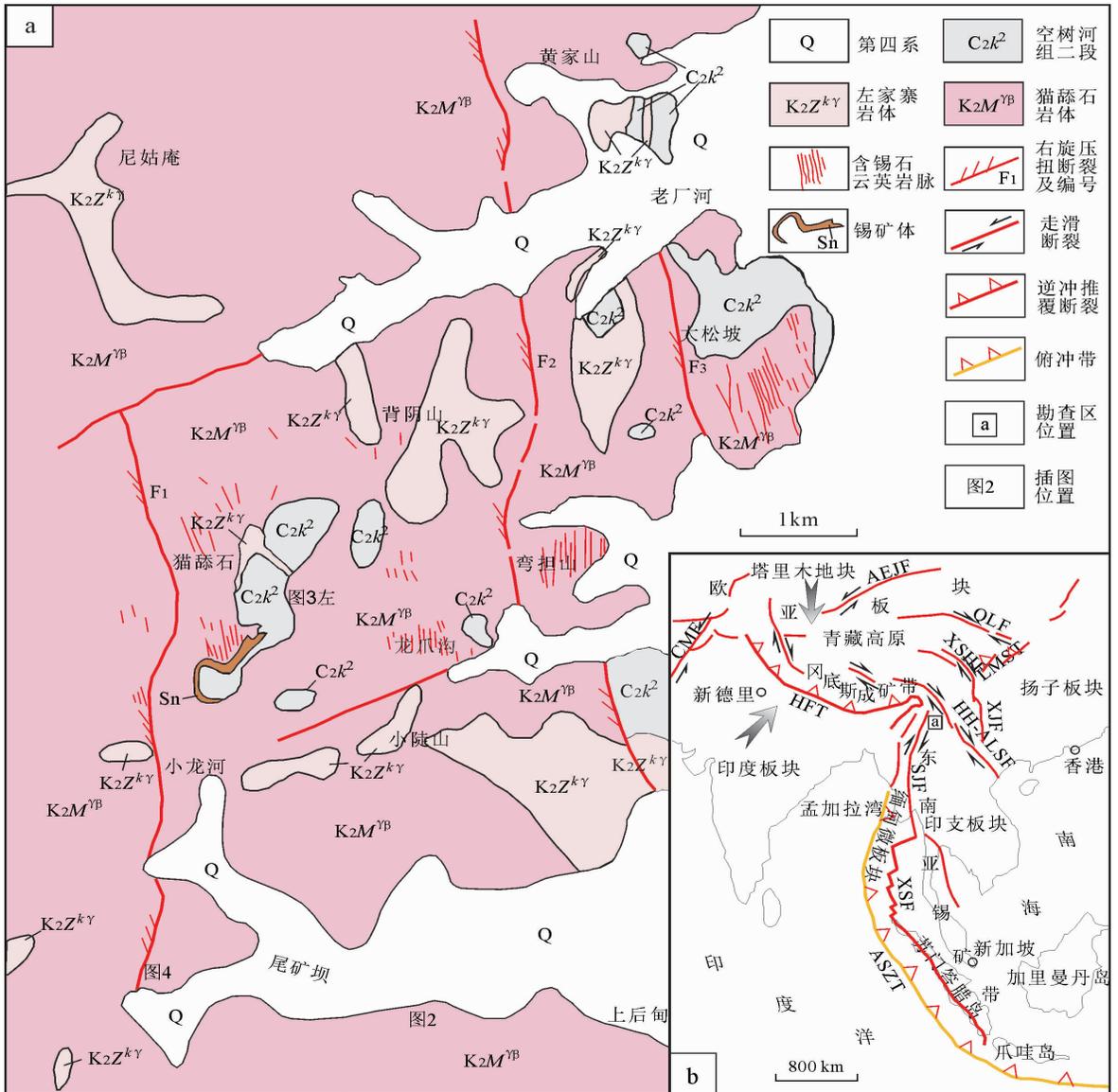
第一作者简介: 李建忠(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事矿产勘查、矿田构造研究工作。Email: 1463041860@qq.com。

以理解了。理解“砂岩型锡矿”的关键是：普遍发育的高岭土是如何形成的。据相关研究<sup>[10-11]</sup>，高岭土既有风化成因，也有热液成因。2014年9、10月份，通过野外地质详细观察，特别是对不同类型的和同类型的岩石进行类比、对比，发现小龙河地区高岭土与同岩浆断裂活动有关的地质证据：热液弥散状蚀变<sup>[12]</sup>和侵入角砾岩。在测制小龙河构造地球化学剖面时，发现存在稀土工业矿体。2015年，在构造蚀变填图时，进一步确认小龙河地区存在具有商业价值、开采技术条件简单的大型稀土矿

体。经预查，矿床规模已达大型，远景资源量可超大型并伴生大型稀有金属铷(Rb)和稀有金属铌(Nb)、稀土金属镓(Ga)。本文介绍这一发现成果，以飨读者。

### 1 勘查区概况

勘查区是马来西亚—泰国—滇西—川西锡矿带的组成部分<sup>[6,13]</sup>，属于冈底斯—班戈—腾冲喜马拉雅期岩浆岩带(图1)。



F<sub>1</sub>. 猫舔石断层; F<sub>2</sub>. 背阴山断裂; F<sub>3</sub>. 大松坡断裂; ASZT. 安达曼—苏门答腊—爪哇俯冲带; XSF. 西安达曼—苏门答腊断裂; CMF. 恰曼断裂; SJF. 实皆断裂; HFT. 喜马拉雅前陆逆冲断裂; HH—ALSF. 红河—哀牢山断裂; XSHF. 鲜水河断裂; XJF. 小江断裂; LMST. 龙门山逆冲推覆带; AEJF. 阿尔金断裂; QLF. 秦岭断裂(图2,3,4 见后文,图1a 据云南省地质矿产局,1989)

图1 腾冲市小龙河锡稀土多金属矿地质图(a)及大地构造简图(b)

该成矿带受青藏滇缅印尼歹字型构造控制,在燕山期和喜马拉雅期最为活跃,导致青藏高原整体隆起,岩浆和热液活动频繁,内生金属矿产丰富。

## 1.1 区域成矿背景

### 1.1.1 地层

高黎贡山群、梅家山岩群构成勘查区的基底,其上发育上古生界,包括早泥盆世海陆交互相沉积、中晚石炭世早期的滨海相沉积,晚期正常海相碎屑岩系和二叠系—三叠系的浅海—滨海相碳酸盐岩系;侏罗纪—古近纪未有沉积;新近纪末期和第四纪发育中基性火山岩系和现代河流相沉积。上古生界地层最发育,是区域最重要的含矿层位。

### 1.1.2 变质岩

燕山期以来,由于构造运动和大规模的岩浆活动,在断裂带及侵入体与围岩界线附近形成动力变质岩和接触交代变质岩,变质程度不深,主要是碎裂岩、接触变质岩(热接触变质岩和接触交代变质岩)。接触变质岩呈不规则环状、半环状和条带状,蚀变晕宽达50~500 m,长达数千米。围岩接触变质主要发育在石炭系、二叠系及三叠系的部分地层中。岩石类型除典型的角岩、大理岩、斑点板岩、大理岩化灰岩和角岩化砂岩较发育外,沿花岗岩的接触带尚有矽卡岩零星分布。

### 1.1.3 岩浆岩

区域内岩浆活动频繁,有5期侵入岩和3期火山岩。侵入岩包括晋宁期晚元古代变质花岗岩、印支期三叠纪花岗岩、东河早白垩世花岗岩、古永晚白垩世花岗岩和槟榔江喜马拉雅期花岗岩,其中后3期花岗岩对成矿较为重要。火山岩虽然在整个腾冲地区极为发育,但出露不多,最老的为晚元古代二道河纹岩,其次为新生代新近纪上新世(N<sub>2</sub>)玄武岩和第四纪早更新世(Q<sub>1</sub>)英安岩、安山岩。另外,区域内还发育有伟晶岩脉、花岗斑岩脉和云英岩脉等。

燕山早期岩体主要出露于腾冲滇滩北部、明光一带,总面积约4 524 km<sup>2</sup>,年龄为152~111.7 Ma,为早白垩世。

燕山晚期岩体为古永复式岩体,位于棋盘石—固东—腾冲断裂以西,胆扎—古永—中和断裂以东。

古永复式岩体含矿的主要岩性是黑云钾长花岗岩、斑状黑云二长花岗岩和粒状黑云二长花岗岩。似斑状黑云二长花岗岩分布在岩体西部,出露

面积大,占岩体出露面积的70%以上。稀土矿化可能主要与岩浆晚期热液弥散状蚀变有关。这里把具有这类蚀变的花岗岩称之为花岗蚀变岩,把成岩后蚀变形成的花岗岩称之为蚀变花岗岩。

勘查区内含锡花岗岩主要为燕山晚期侵入岩,其中猫舔石侵入岩体(K<sub>2</sub>M<sup>rb</sup>)为区内最大的含锡花岗岩,小龙河大型锡矿床分布于该岩体中(图1a)。猫舔石岩体属于小龙河岩序,岩浆侵入的时代为70.3~75.5 Ma(锆石和锡石U-Pb年龄)<sup>[3]</sup>。

### 1.1.4 地质构造

区域构造形迹主要为一组NE向开阔、间距较大的褶皱及NNW向断裂,后者是该区主要控矿、容矿断裂。与勘查区关系紧密的区域性断裂分别是位于其外东西两侧的棋盘石—固东—腾冲断裂和胆扎—古永—中和断裂。

棋盘石—固东—腾冲基底断裂呈NNW向展布,断面倾向东,倾角65°左右,构造结构面早期呈压扭性,晚期呈张扭性。断裂破碎带宽7~80 m不等,最宽处在棋盘石一带可达90 m,沿断裂带见石英斑岩、二长花岗岩和花岗闪长岩的侵入体。早期,该断裂控制了早白垩世花岗岩的空间分布;晚期,控制了第四纪断陷盆地的形成及新生代火山岩喷发。它是古永岩体东侧最重要的构造力学边界,具有多期次、继承性活动的特征。

胆扎—古永—中和断裂呈NNW向展布,局部产状70°∠65°,早期地壳张扭,控制了胆扎、古永断陷盆地的格架,同时控制晚白垩世花岗岩与古近纪花岗岩的分布,晚期为压扭性(局部见挤压透镜体),表现在三草坝侵入体中断层发育花岗质角砾岩,有绿泥石化、硅化,偶见石英脉穿插,沿断陷盆地分布多处温泉。断裂具有多期、长期活动特征,产状变化大。

### 1.1.5 区域地球物理、地球化学及遥感影像特征

(1)区域地球物理背景。勘查区棋盘石—固东—腾冲断裂带上重力异常比较明显,布格值总体上呈南高北低。如腾冲附近重力值为-200 mGal,而到滇滩一带则为-230 mGal。勘查区位于布伽重力梯度带上。断裂东侧重力值增加,西侧则减小,但两侧增减幅度不相同,东侧重力值增加快、梯度大;西侧重力值减小缓慢。在小龙河矿区,磁异常不明显。

(2)区域地球化学背景。区域存在高温元素(W、Sn、Bi和Mo)、中温元素(Cu、Pb、Zn、Ag和

Cd)及中、低温元素(Au、Sb、As、Hg、Ag、Cu、Pb和Zn)异常,主要地球化学异常有小龙河、干柴岭和大歇顶异常。

小龙河异常位于棋盘石—固东—腾冲断裂中段西侧小龙河—大松坡一带,行政区属腾冲市滇滩镇云峰村、山寨村、河西村,呈NE向展布,面积约25 km<sup>2</sup>。异常区内石炭系呈零星残盖分布于岩体之上,岩体主要为晚白垩世猫舔石侵入体,岩性为黑云母花岗岩;其次为小山尖、背阴山侵入体,呈岩脉、岩枝状侵入早期花岗岩中,岩性为碱长花岗岩。岩体近SN向断裂十分发育,有的裂隙发育云英岩脉。异常元素以Sn为主,锡异常连续性好,规模大,有明显浓集中心,钨零星分布。经普查和详查,前人发现了小龙河、龙爪沟、弯旦山、大松坡和黄家山5个锡矿段的矿体(图1a)。

(3)区域遥感影像特征。区域SN向线性影像发育,其次为EW向、NW向和NE向。它们相互截切或复合叠加,呈多字形和棋盘格式构造特征。环形影像位于古永北东马踪岭—白草坡一带,其内线性影像以SN向为主,密集发育,NE(主)向及NW(次)向、EW向断裂交切于区内。小环多为同心放射状,组成环结,推测岩体内可能有隐伏岩体。

## 1.2 矿床地质

### 1.2.1 地层、变质岩和岩浆岩

小龙河地区主要分布上石炭统空树河组(C<sub>2</sub>k<sup>2</sup>)地层,该套地层属滨海—浅海相沉积,零星出露于李家山、白草坡、大窑坝等地,厚度1 190.5~1 367.9 m,以残盖分布于古永复式岩体顶部,与古永复式岩体呈侵入接触。

小龙河地区花岗岩为S型,年龄89~52 Ma,锡矿与之有关<sup>[4,6]</sup>。没有明显蚀变的花岗岩主要有黑云二长花岗岩和黑云钾长花岗岩,分别在猫舔石断裂西和老厂河西可以见到,高岭土化、钠长石化和钾长石化常见,尤其是前者。在小龙河露天采场主要发育钾长花岗岩蚀变岩、含锡石云英岩和角岩以及松软的泥岩(推测至少局部有泥化)。花岗蚀变岩有比较典型的热液弥散状蚀变特征,后来叠加高岭土化。野外观察,花岗蚀变岩有粗大的半自形、自形钾长石和浑圆状钾长石共生,这2种钾长石都包裹着细小的斜长石和黑云母以及高岭土,强烈泥化,局部可见自形的钾长石斑晶呈流面、流线排列。围岩发育接触变质岩,主要为角岩和矽卡岩。角岩和

泥岩分别有等间距的黄铁矿和高岭土脉发育。角岩主要有黑云角岩和矿化绿帘石角岩。

岩石化学显示该区花岗岩属于高钾钙碱性系列和铝过饱和系列,二长(正长)花岗岩具有高度分异的特点:①高硅[w(SiO<sub>2</sub>)为65.31%~75.99%],富碱[w(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)达6.57%~8.30%],高钾[K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O值为1.23~43.2],低钛[w(TiO<sub>2</sub>)为0.017%~0.113%],贫钙和镁[w(CaO)为0.041%~0.678%,w(MgO)为0.052%~0.339%];②岩石富铝,铝饱和指数A/CNK[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O),分子比]为0.94~2.07(平均为1.41)。③全铁w(TFeO)介于0.50~2.00,高TFeO/MgO值。上述数据与文献[14-15]的结论基本一致。

古永复式岩体花岗岩轻重稀土分异明显,无铈异常,负铈异常突出。在小龙河地区,云英岩和锡矿石的稀土及微量元素含量均低于该区古永复式岩体内花岗蚀变岩,然而,相似的稀土配分模式和微量元素蛛网图分布型式,暗示其有相同的物质来源<sup>[14]</sup>。

### 1.2.2 矿田构造

小龙河矿田规模的构造按与成矿的关系分为成矿前、成矿期和成矿后构造。成矿前构造由于受上述构造、岩浆活动改造,厘定它的形态、展布特征十分困难,这里只阐述成矿期和成矿后构造。

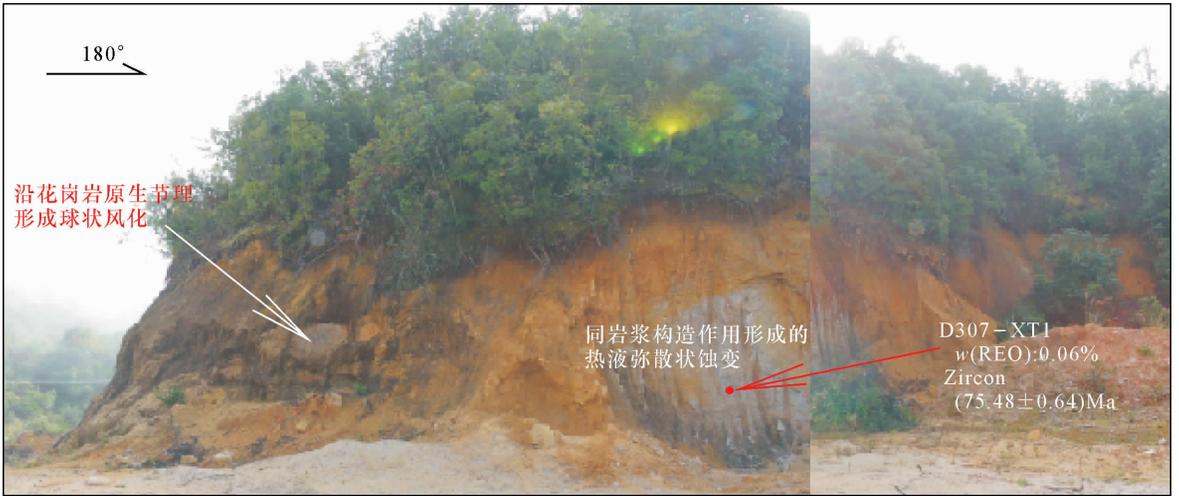
(1)成矿期构造。主要是晚期同岩浆构造活动形成的断裂。同岩浆构造活动形成含锡云英岩脉、含矿构造蚀变岩(脉)、构造蚀变岩筒等同岩浆断裂,以及广泛发育的热液弥散状蚀变、云英岩化、萤石化、黄玉化和锡石化<sup>[16]</sup>。稀土矿化可能与这一期次的岩浆作用晚期的热液活动有关。

含锡云英岩脉(图1a)是典型的在成矿期压扭性裂隙基础上发展起来的容矿构造,有云英岩发育,走向NNW(340°~355°)。已发现2个含矿云英岩脉带,分别分布于矿区西部和南部,长72~900 m,厚0.58~6.77 m,倾斜延深20~286 m,锡品位为0.082 3%~0.235%。单脉宽0.5~6.7 m,锡含量0.205%~1.25%;围岩含锡0.05%。

含锡蚀变岩(脉)是成矿期压扭性裂隙基础上发展起来的容矿构造,有明显绢英岩化,没有明显云英岩化(?),发育浸染状、细脉状和团块状锡石。当2组或以上含锡蚀变岩(脉)相交时,形成蚀变岩筒。当没有后期的高岭土化叠加时,可以明显观察

到热液弥散状蚀变(图2),以及侵入角砾岩(图3)<sup>[17]</sup>。当经历强烈的构造(岩浆)热事件,叠

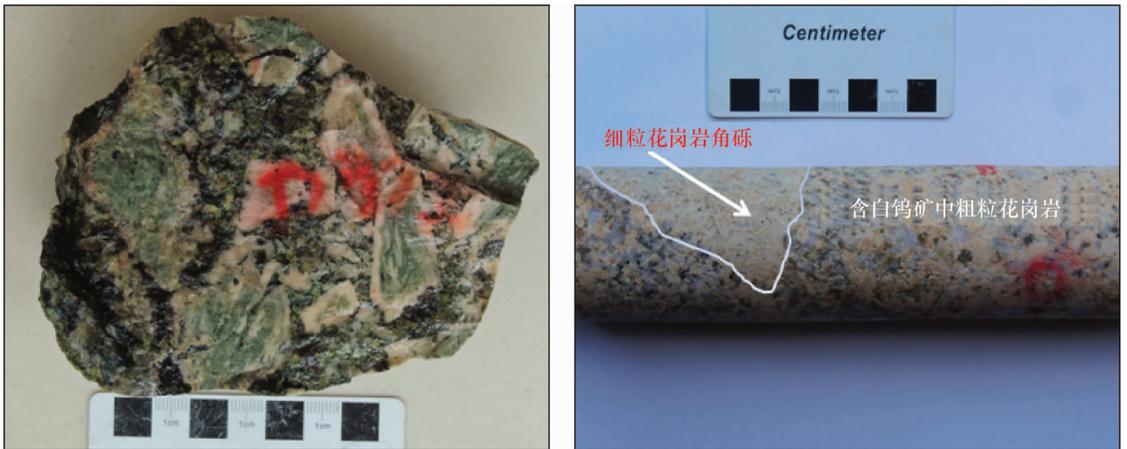
加了强烈的高岭土化后,很容易把花岗蚀变岩误认为是风化成因的。



晚期同岩浆构造活动形成的热液弥散状蚀变,不发育原生节理,发育流线;热液弥散状蚀变不太发育的花岗岩发育原生节理(D307-XT1: 稀土和年龄样号; Zircon: 定年矿物锆石)

图2 花岗岩原生节理和热液弥散状蚀变(地点: 小龙河尾矿坝东,位置见图1)

Fig. 2 Pervasive hydrothermal alteration and primary joints in the Xiaolonghe granite body



(左: 照片中角砾边缘有明显蚀变,填充物和角砾均为砂卡岩,转石,地点: 花斑竹园; 右: 钻孔 ZK32-1 岩心发育的细粒花岗岩角砾,被矿物颗粒较大的含白钨矿花岗岩贯入胶结,地点: 大松坡)

图3 小龙河侵入角砾岩(采样位置见图1)

Fig. 3 Intrusive breccias of Xiaolonghe area

根据对小龙河蚀变、含矿云英岩脉展布(主要走向 NW20° ~ NE5°, 主要倾向南西, 倾角 60° ~ 85°)的初步分析,成矿期应力场受印度板块和欧亚板块碰撞的控制,其形成与印度-亚洲大陆碰撞有关<sup>[4]</sup>,含矿云英岩脉是小龙河岩体侵入围岩、岩浆未固结时,同断裂作用形成的右旋近 SN 向裂隙,被岩浆晚期分异形成的含矿热液充填、矿化蚀变形成的。

小龙河露天采场风化剥蚀残留围岩与岩体接触面强烈弥散状蚀变显示,面型矿体受晚期同岩浆断裂和围岩与岩体接触面的控制。

(2)成矿后构造。有花岗岩的原生节理(图2)和次生构造。花岗岩的次生构造有近 EW 向、NE 向、NW 向以及 SN 向成矿后的断裂构造,有的以右旋错断或破坏矿体。

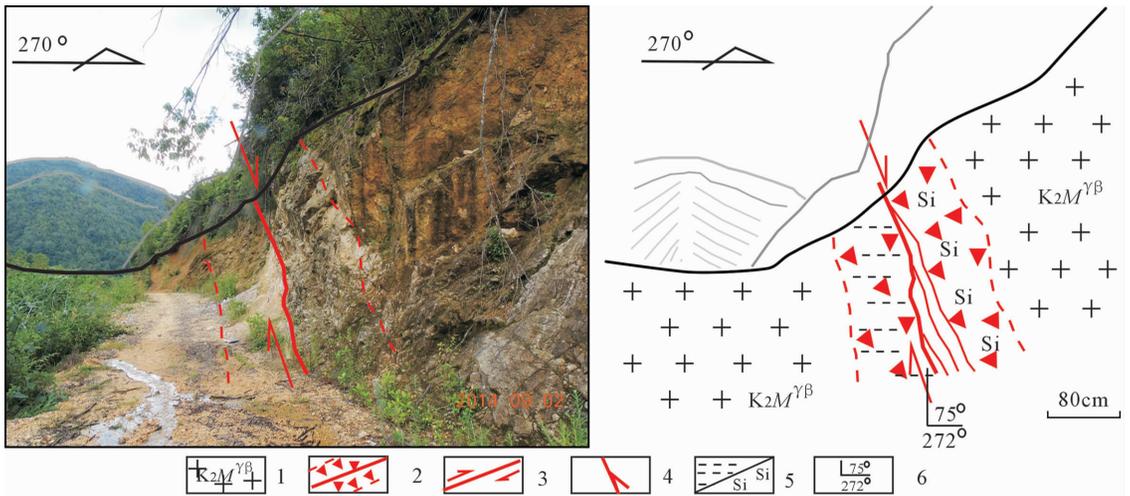
侵入体与围岩接触面是最重要的成矿结构面。

发现有较大的3条SN向断裂,由西往东分别

为猫舔石断层( $F_1$ )、背阴山断裂( $F_2$ )和大松坡断裂( $F_3$ )。如图1所示,3条断裂总体倾向西,倾角 $75^\circ$ 左右。由于SN向构造有的具有继承性活动特征,有的与成矿关系密切,有的与成矿关系不大,与成矿关系密切的是成矿期构造(见上述)。

猫舔石断层位于猫舔石和小龙河锡矿露天采场西,破碎带宽数10 m,局部5 m,南北向纵断小龙河矿区。全长15 km,北段NNW向(卫片显示)南段SN向,产状 $270^\circ \angle 70^\circ$ ,断裂带宽1~2.5 m;具强绿泥石化、硅化;上盘发育2组节理,产状分别为 $55^\circ \angle 80^\circ$ 、 $20^\circ \angle 80^\circ$ ,沿上盘见细粒斑状二云碱长

花岗岩岩脉侵入,小龙河矿段的云英脉产于断裂下盘。在古永至固东公路北侧,主断面和旁侧低序次构造组成的“入”字型构造显示为右旋,总体具有压扭性特征(图4);有的可见数10m宽的硅化带,有的上盘发育硅化,而下盘则发育泥化。在猫舔石一带,断裂上、下盘岩石蚀变有较大差异,上盘岩性较为坚硬,存在钠长石化;下盘岩性较为松软,存在钾化、高岭土化。顺着固东至古永的公路,岩石固结前的热液弥散状蚀变明显。沿断层带发育近SN向冲沟,遥感线性影像特征明显。



1. 燕山晚期二长花岗岩; 2. 断层破碎带; 3. 压扭性断层及两盘相对水平运动方向; 4. 入字型构造, 锐角指示对盘运动方向; 5. 高岭土化/硅化; 6. 产状

图4 猫舔石断层野外照片(a)和照片素描(b)(地点:猫舔石西,位置见图1)

Fig. 4 Photo (a) and sketch (b) of the Maotianshi fault

1.2.3 矿化与蚀变

猫舔石岩体在晚期岩浆同构造活动中发生了广泛的热液弥散状蚀变,形成了比较松软的花岗蚀变岩,可能先后伴随着稀有、有色和稀土成矿作用。广泛发育的热液弥散状蚀变,伴随着含Rb钾长石化、锡石化、独居石(磷铈镧矿)化和镧石化、氟碳铈矿化、磷钇矿化、钇铈矿化和稀土矿化等。与之有关的蚀变有泥化、高岭土化、钾长石化、钠长石化、地开石化、硅化、黄玉化、绿帘石化、萤石化、钾化、绿泥石化、白云母化及绢云母化等。

1.2.4 矿体

(1)矿体产出特征。稀土矿体受岩体和围岩接触面的形状、成矿期断裂、成矿后断裂和地形等因素综合控制。

稀土矿体呈面状、线状、伞状和岩筒状产出。岩体与围岩接触平缓,面状蚀变强烈持久,容易形成平缓宽大的面状矿体,呈丘状产出;在猫舔石岩体东部,由于地形切割较为强烈,在小龙河和花斑竹园形成的矿体规模有近 $1 \text{ km}^2$ 。在成矿期2组断裂交切的地方形成脉状和岩筒状矿体;在小龙河露天采场,蚀变岩筒状矿体经过构造地球化学剖面控制直径大于100 m,边界尚未控制,可能与面状产出的矿体连为一体。

(2)矿体特征。矿体露头出露中等,地表有87个样品控制,在露头出露好的地方受多年采矿活动影响,所采样品可能受到污染。有4个钻孔控制脉状蚀变岩型矿体深延达60~70 m。

小龙河矿体总体呈伞状产出,出露标高2 100~2 500 m,伞面厚度零至数十米不等,平面分

布范围未能控制住;伞柄相当于岩筒,蚀变岩筒具有继承性活动特征,岩筒状矿体地面直径100~200 m,深度未能控制,根据旁边施工的钻孔推算,至少向深部延伸200~300 m。

尾矿坝东矿体,根据花岗蚀变岩的原生构造和出露情况推测,可能为岩筒状产出,出露标高1 810~1 820 m,直径数十米,至少向深部延伸200~300 m。

### 1.2.5 矿石矿物及结构构造

小龙河伞状矿体,伞柄主要矿石矿物有锡石、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、独居石(磷铈镧矿)、磷钇矿、氟碳铈矿、镧石、钇铈矿、锆英石,少量碲铋矿、碲银矿、自然铋矿、含铋金红石、黑钨矿、铋钽矿,以及放射性矿物铀钍矿、品质铀矿等大量稀土、有色和稀有金属矿物;其次是方铅矿、含镉闪锌矿、辉钼矿、白钨矿、磁铁矿、锂黑云母、含Rb钾长石。在伞面的矿体锡石含量较少。脉石矿物有高岭土、地开石、石英、黄玉、绿帘石、萤石、绿泥石、白云母及绢云母等。

在干柴岭、小龙河、弯旦山和大松坡一带采取93个样品(包括2件尾砂、2件围岩和1件高岭土化伟晶岩),结果显示,稀土元素氧化物(rare-earth oxide, REO)的 $w(\text{REO})$ 为 $49.17 \times 10^{-6} \sim 2\,034.91 \times 10^{-6}$ ,平均值为 $495.90 \times 10^{-6}$ ( $w(\text{REO})$ 为0.50%),有20个样品低于边界品位0.03%,有44个样品低于工业品位0.05%,有39个样品高于工业品位0.05%,有8个样品高于0.10%。钇 $w(\text{REO})$ 为 $87.63 \times 10^{-6}$ ,稀土矿物中含钇主要矿物为磷钇矿、铋钇矿,尾砂和松散的花岗蚀变岩中均以磷钇矿含量粗略估算: $7.56 \sim 1\,357.59 \text{ g/m}^3$ ,平均为 $210.91 \text{ g/m}^3$ ( $\text{Y}(\text{PO}_4)$ 含 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 大约62%,尾砂和松散的花岗蚀变岩按 $1.5 \text{ t/m}^3$ 计算),93个样品只有4个低于 $50 \text{ g/m}^3$ ,小龙河锡矿尾矿砂和尾矿库的尾砂磷钇矿分别可达 $148.04 \text{ g/m}^3$ 和 $111.49 \text{ g/m}^3$ 。从地表来看,可以说是全岩成矿,还有轻中稀土可以回收利用。

稀土矿体中伴生有稀有金属铷(Rb)和微量元素镓(Ga)。稀有轻金属铷的 $\text{Rb}_2\text{O}$ 品位最低为 $521.65 \times 10^{-6}$ ,最大 $897.57 \times 10^{-6}$ ,平均为 $642.00 \times 10^{-6}$ ,均达到综合利用边界品位;含锡白云英岩<sup>[14]</sup>中的铷品位为 $3\,550.01 \times 10^{-6}$ ,远超工业品位0.1%<sup>万方数据</sup>,作为伴生的铷可以综合利用。花岗蚀

变岩中含铷斜长石和钾长石品位( $\text{Rb}_2\text{O}$ 为0.21%~0.39%),已达工业品位,可作为独立矿石开采。微量元素镓,品位为 $21.10 \times 10^{-6} \sim 37.90 \times 10^{-6}$ ,平均品位为 $25.17 \times 10^{-6}$ ,达到伴生金属综合利用品位 $10 \times 10^{-6}$ ,其中1个样品超过工业品位 $30 \times 10^{-6}$ 。

除上述稀土、铷(Rb)和镓(Ga)等有益组分外,还有锆(Zr) $90.4 \times 10^{-6} \sim 119.00 \times 10^{-6}$ ,锂(Li) $9.3 \times 10^{-6} \sim 110.00 \times 10^{-6}$ ,铌(Nb) $40.5 \times 10^{-6} \sim 74.8 \times 10^{-6}$ 等,可综合利用。

由于未取物相分析样,估计近地表(0~200 m)氧化程度高,形成以褐铁矿、孔雀石等为伴生的找矿标志。有用组分稀土据扫描电镜观察,可能主要以稀土矿物形式存在,粒径为10~200  $\mu\text{m}$ 。伴生的锡(Sn)以锡石的形式存在,粒径20~100  $\mu\text{m}$ 。

小龙河锡稀土多金属矿可能是晚期岩浆含矿热液充填交代形成的,形成后又经历了复杂的构造或岩浆热液作用,形成了复杂多样的矿石组构。在扫描电镜下,可以观察到矿石的溶蚀港湾结构、交代结构、镶嵌结构、碎裂结构、浑圆状结构、他形晶结构、半自形晶结构、胶状结构、泥状结构和絮状结构。矿石呈浸染状构造、细脉状构造、星散状构造、细脉-浸染状构造和团块状构造。

矿石自然类型有氧化矿石和原生矿石。氧化矿石推测有风化壳离子吸附型,分布于地表及浅部,黄灰色或杂色,呈土状,有褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、石英、萤石、白云母和黏土矿物。

原生矿石为花岗蚀变岩型,在地表深处及地表都有分布,系晚期岩浆作用发生的广泛的热液弥散状蚀变形成,是一种花岗蚀变岩,有明显的泥化,外貌类似砂石,在地表有一定氧化,呈粉黄褐色、褐灰色、灰色。如有后期高岭土化叠加,形成类似于风化壳的原生矿石,呈灰色、灰白色土状、泥砂状和砂状。

原生矿石当有后期的高岭土化强烈影响时,肉眼不易将其与氧化矿石分开。

## 2 分析方法

### 2.1 类比和对比法

在小龙河地区,花岗岩蚀变发育,风化作用强。不同海拔或同一海拔的同一个花岗岩岩体(如猫舔石岩体),有的花岗岩结构构造保存完好,有的看似砂糖状甚至河流形成的沉积物,有的则看似含

砂的泥；同一个岩体发育类似残留的围岩，有的花岗岩原生节理发育，有的则不发育。简单地吧高岭土化归结为主要由风化作用形成的，显然不

合理。为弄清成因，对不同海拔的有和无盖层残留的花岗岩进行了类比、对比，见表1。推理过程及结果见3.1。

表1 小龙河地区有和无盖层残留的花岗岩类野外特征类比和对比

Tab.1 Analogies and contrasts for the granites with and without the overlying stratum

类比	对比										
	花岗岩类	地点	地貌	海拔/m	a	b	c	d	e	f	g
有盖层残留的 花岗岩	花岗蚀变岩 A1	小龙河锡矿露天采场	山坡	2 250	有	有	无	理论有	有	无	有
	花岗岩 B1	黄家寨老厂河南	小山梁	1 800	无	无	有	无	有	无	无
	蚀变花岗岩 C1	小龙河矿部东一垭口东	山坡	2 180 ±	无	有	有	理论有	无	无	有
无盖层残留的 花岗岩	花岗蚀变岩 A2	小龙河锡矿露天采场	山坡	2 250	有	有	无	理论有	有	无	有
	花岗蚀变岩 A3	小龙河尾矿坝东	圆丘	1 800 ±	有	有?	无	有	有	无	有
	花岗岩 B2	老厂河林场西	河谷	2 250	无	无	无	无	有	无	无
	蚀变花岗岩 C2	猫舔石断裂西	沟谷	2 020 ±	无	有	无	无	无	无	无

注：花岗蚀变岩和蚀变花岗岩松散状外貌、状如砂子，没有沉积构造发育；没有成岩后强烈高岭土化的花岗蚀变岩含大量钾长石，颜色发红，有则发白。a. 热液弥散状蚀变；b. 成岩后高岭土化；c. 原生节理；d. 流面、流线；e. 黑云母；f. 沉积构造；g. 松散似砂状。

### 2.2 扫描电镜样品制作与观察

将小龙河地区岩石样品送至中国地质调查局成都地质调查中心磨片室，经过切片、粗磨、细磨、抛光、编号，磨制成一个大约 2 cm × 1.5 cm × 1 cm

的长方形光片，供 Leitz ORTHOLUX - II POL BK 透反射偏光显微镜观察、鉴定和研究。将光片放在日立 Hitachi S - 4800 扫描电子显微镜下，做微区观察、照片，并进行定性分析，结果如图 5 所示。

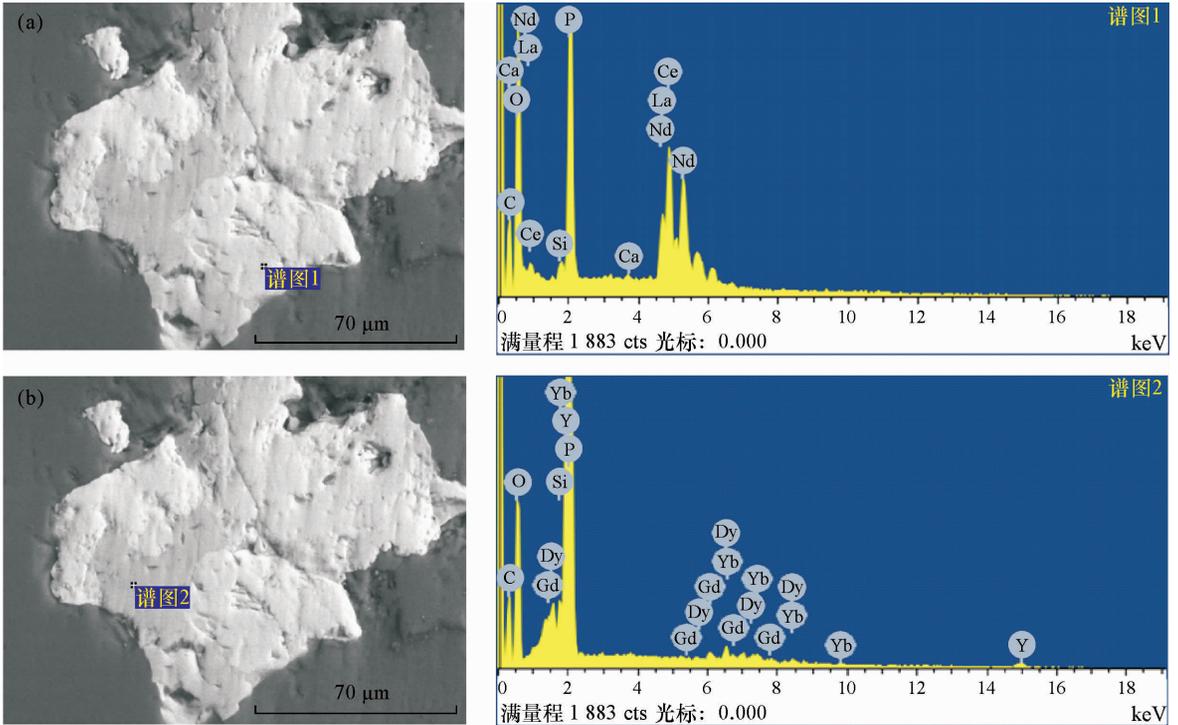


图5 磷铈镧矿 (a)与磷钇矿 (b)扫描电子图像 (左)和谱图 (右) (样品编号: XLH - 1)

Fig.5 SEM (scanning electron microscope) images (left) and spectrums (right) of the monazite (a) and the xenotime (b)

### 2.3 稀土元素分析

全岩薄片分析样品的制备按相关规范和实验

要求进行：先用德国 Retsch 生产的 BB200 鄂式破碎机将样品磨至粒径 10 mm 以下，然后用贵阳探矿

机器厂生产的 2PG-200×125 型双棍破碎机磨至 0.8~4 mm,再用武汉探矿机器厂生产的 XPM-φ100×4 行星式四筒研磨机磨至 0.074 mm(200 目);缩分、成正样和副样各 100~200 g,以满足分析和检查要求。相关样品分别在成都地质矿产研究所测试中心 iCAP Q 型和核工业北京地质研究院测试中心 Elan DCR-e 型等离子体质谱仪用 ICP-MS 法分别测试。

### 3 分析结果

根据上述研究,识别出同岩浆断裂,发现存在大型稀土、稀有、稀散多金属矿体。

#### 3.1 类比、对比结果和同岩浆断裂特征

根据表 1 的推理结果如下:

有盖层残留的花岗蚀变岩 A1 有 a、b、d、e、g,无 c、f;

无盖层残留的花岗蚀变岩 A3 有 a、b、d、e、□,无 c、f。

其中,□代表 A3 可能具有的与 A1 类似的特征 g。

所以,无残留盖层的花岗蚀变岩 A3 有 g,呈松散的砂状,就很好理解了。

同理,无盖层残留的蚀变花岗岩 C2 呈松散的砂状,也很好理解。这种推理,在下面讨论花岗蚀变岩的内生成因时,还要给出详细具体的地质证据。

对不同海拔有和没有盖层残留的花岗岩进行了类比,对花岗蚀变岩、蚀变花岗岩和花岗岩进行

了对比,发现热液弥散状蚀变以及侵入角砾岩可能是晚期岩浆同构造活动的产物<sup>[12,19]</sup>。这里把具有岩浆晚期成岩固结前蚀变(热液弥散状蚀变)的花岗岩称之为花岗蚀变岩,成岩固结后蚀变的花岗岩称之为蚀变花岗岩。

#### 3.2 稀土矿物扫描电镜特征

稀土矿物颗粒细小,在扫描电镜下观察,主要矿石矿物磷铈镧矿、独居石和磷钇矿的特征如下:

磷铈镧矿又名独居石。花岗蚀变岩中的独居石呈不规则状、港湾状,有的发育环带(图 5a);黑云二长花岗岩中呈他形、半自形晶,有的呈港湾状,粒径 10~100 μm,含钹。与磷钇矿共生(图 5b)。磷钇矿呈不规则状、港湾状,粒径 10~70 μm,含镨、铈和钷。

不规则状、港湾状稀土矿物与小龙河露天采场观察到的蚀变岩筒,在锡石和稀土矿化作用形成后,推测又经历了强烈的高岭土化。

#### 3.3 稀土元素剖面

课题组于 2014 年检测发现可能存在稀土矿体后(表 2 样品 XLH-2 和 XLH-3 的  $w(\text{REE})$  分别为  $1\ 039.71 \times 10^{-6}$  和  $963.14 \times 10^{-6}$ ),2015 年 7 月对小龙河露天采场布置近 EW 向稀土元素剖面(PM1)。EW 向剖面 REE 品位分别达到边界品位和工业品位(表 2)。小龙河一带的花岗蚀变岩稀土分析结果与未蚀变花岗岩的稀土特征类似,花岗蚀变岩轻重稀土分异较明显,无铈异常,负铈异常突出。与未蚀变的花岗岩的轻重稀土分异较明显、无铈异常、负铈异常突出的特征一致<sup>[14]</sup>。

表 2 云南省腾冲市小龙河地区锡稀土多金属矿稀土分析结果

Tab. 2 REE analysis results of the tin-REE polymetallic deposit in Xiaolonghe area of Tengchong, Yunnan ( $10^{-6}$ )

野外样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE
HBZ-1	70.80	149.00	17.10	64.20	13.10	0.30	10.40	1.99	11.10	2.28	5.99	0.95	6.82	1.00	57.50	412.53
HBZ-2	67.20	46.90	18.30	79.70	24.10	0.48	19.70	4.64	26.80	5.65	15.00	2.49	19.10	2.44	159.00	491.50
XLH-D29	70.20	73.70	17.40	66.30	13.70	0.72	10.30	1.99	11.40	2.38	6.70	1.18	8.15	1.16	66.40	351.68
XLH-2	187.00	123.00	40.60	161.00	36.60	1.29	33.40	7.65	45.20	9.82	25.80	4.18	27.20	3.97	333.00	1039.71
XLH-3	189.00	144.00	40.10	154.00	33.60	1.02	29.30	6.59	36.30	8.03	21.60	3.54	22.80	3.26	270.00	963.14
WDS-1	89.10	83.20	22.10	85.10	21.90	0.46	20.30	5.52	35.70	8.40	24.60	4.26	28.00	4.37	310.00	743.01
PM1-H1	65.90	145.00	17.00	60.80	9.83	0.29	6.57	1.18	5.76	1.04	2.99	0.45	2.99	0.45	18.40	338.65
PM1-H2	60.70	135.00	16.10	53.80	9.98	0.50	7.39	1.54	9.13	1.87	5.20	0.83	5.57	0.80	32.60	341.01
PM1-H3	71.00	82.00	13.50	46.70	7.25	0.21	4.99	0.90	4.60	0.90	2.62	0.40	2.67	0.40	23.50	261.64
PM1-H4	109.00	179.00	25.80	91.90	16.50	0.49	12.30	2.56	14.30	2.82	7.98	1.27	7.89	1.10	76.70	549.61
PM1-H5	107.00	101.00	24.30	82.60	11.50	0.52	7.42	1.41	7.75	1.54	4.58	0.71	4.65	0.69	33.30	388.97
PM1-H6	37.30	89.20	9.01	32.10	5.60	0.21	4.31	0.83	4.82	0.98	3.02	0.50	3.41	0.51	23.10	214.90
PM1-H7	89.60	143.00	25.60	96.50	18.70	1.36	12.40	2.56	15.10	2.87	8.40	1.29	8.46	1.26	71.60	498.70
PM1-H8	7.70	10.20	2.48	10.20	2.65	0.16	1.98	0.56	3.74	0.84	2.58	0.41	2.71	0.41	19.20	65.82

注: HBZ-1、2, XLH-D29, XLH-2、3, WDS-1 由核工业北京地质研究院测试中心张彦辉测试; PM1-H1-8 由国土资源部西南矿产资源监督检测中心高级工程师冉静测试。

从小龙河锡矿露天采场实测蚀变岩筒稀土元素剖面 PM1<sup>[20]</sup>可以看出,除去取样位置影响,稀土矿化应该与岩浆最晚期广泛的热液弥散状蚀变有关,而与后期强烈的高岭土化无关,也与成矿后的断裂无关。

## 4 讨论

我国南岭地区的花岗岩风化壳离子吸附型稀土矿被认为是外生作用形成的外生矿床,如江西龙南县足洞、关西和大田<sup>[1,21-22]</sup>。风化壳离子吸附型稀土矿矿体为裸露地面的风化花岗岩,稀土主要以水合或羟基水合阳离子被吸附在黏土矿物上(60%以上)<sup>[22]</sup>;华南离子吸附型稀土矿的海拔大多小于550 m,高差250~60 m<sup>[23]</sup>,气候炎热。目前,相当紧缺的重稀土资源主要来源于外生稀土矿床<sup>[1]</sup>。滇西锡矿带在纬度成矿背景方面与之类似,人们预测其存在外生离子吸附型稀土矿<sup>[24]</sup>。然而,腾冲小龙河一带海拔一般要比江西稀土矿的高1 200 m以上(小龙河、大松坡和黄家山一带海拔1 800~2 300 m,高差300~500 m,气候宜人),岩体上还有其围岩残留,扫描电镜下可观察到大量稀土矿物,以富集钇(Y)、铌(Nb)为特征。

在区域构造和成矿作用上,印度与欧亚板块的碰撞形成冈底斯成矿带、东南亚锡矿带,在滇西古永形成S型花岗岩、A型花岗岩和小龙河锡矿床<sup>[4,6,14]</sup>。小龙河地区局部富含重稀土(HREE),伴生战略稀有金属铷(Rb)。根据近2~3 a的实践和上述类比、对比以及REE测试数据,认为小龙河稀土多金属矿应该是晚期岩浆热液成因,不排除风化作用对有用组分的影响,主要依据如下。

(1) 腾冲地块从印支期以来,经历了长期的岩浆、构造热液作用,富集有色金属钨(W)、锡(Sn)。这些有色金属和“三稀”元素稀土(REE)、稀有金属铷(Rb)、以及稀散元素镓(Ga)是地壳中丰度很低的元素,其富集可能需要地壳有一个长期演化的过程<sup>[24]</sup>。

(2) 锡稀土多金属矿体主要受近SN向同岩浆断裂和岩体与围岩接触面控制,发育侵入角砾岩;侵入角砾岩一般被认为岩浆侵入末期与同岩浆的构造活动<sup>有关</sup>。

(3) 存在广泛的热液弥散状蚀变,发育花岗蚀变岩,稀土已达工业品位(图2,  $w(\text{REO})$  为0.06%),其中,与高岭土共生的岩浆热液蚀变形成的矿物地开石呈显微鳞片状、束状,未经后期强烈高岭土化的花岗蚀变岩可见流面和流线,可能是晚期岩浆同构造作用的产物<sup>[12]</sup>。

(4) 古永复式岩体与南岭离子吸附型稀土矿床成矿母岩  $w(\text{SiO}_2)$  分别为65.31%~76.2%和70%~75%;  $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  分别为6.57%~9.17%、7.85%或>8%;  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值分别为1.23~43.2和1.42<sup>[5,24-25]</sup>。古永岩体比南岭的更偏酸性、更偏碱性,更富钾,变化范围更大。这与有色金属钨、锡和稀土富集的趋势一致,符合钙碱性岩浆岩成矿专属性的一般规律<sup>[25]</sup>。

(5) 岩体剥蚀程度低,不可能经过风化剥蚀次生富集形成稀土矿体:古永岩体有上石炭统空树河组( $\text{C}_2k$ )地层残留。空树河组( $\text{C}_2k$ )地层和未蚀变的花岗岩稀土REE含量分别为(183.12~222.79)  $\times 10^{-6}$ 、(215.00~583.00)  $\times 10^{-6}$ <sup>[14-15]</sup>,再次生富集,也形不成数倍于(未蚀变的)花岗岩的稀土矿体( $w(\text{REE})$ 为0.10%~0.20%)。

(6) 小龙河锡矿露天采场数十米的上石炭统空树河组( $\text{C}_2k$ )地层残留,其下强烈高岭土化的花岗蚀变岩发育泥化的围岩捕虏体。这些高岭土化的花岗蚀变岩稀土REE含量为(963.14~1 039.71)  $\times 10^{-6}$ (XLH3,2),已大大高于未蚀变的花岗岩,显然它们未经过明显的次生富集作用。

(7) 小龙河锡矿露天采场残留的上石炭统空树河组( $\text{C}_2k$ )地层发育一组与含锡云英岩脉产状一致的平行排列的白色高岭土脉,推测花岗蚀变岩的高岭土可能来自于成岩后的热液蚀变,或隐伏的高岭土化的花岗伟晶岩脉(体)。

(8) 花岗蚀变岩中锆石属典型的岩浆锆石,主要呈长柱状,有四方双锥晶型,晶面平直,阴极发光图像具清晰的震荡环带,U含量较高,变化范围较大,如尾矿坝东(图2)和尾矿坝西3件锆石样品U含量较高((113~5 171)  $\times 10^{-6}$ ,  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  为0.424~0.910,仅仅1个点小于0.4(0.368)),其余均大于0.4,具有岩浆锆石的地球化学特征<sup>[26-27]</sup>。

(9) 大松坡西南、弯担山山坡和山丘发育的

“残坡积型砂锡矿”<sup>[13]</sup>不发育沉积层理,沉积层理仅仅发育于冲沟及其附近;小龙河锡矿区小龙河矿段11勘探线揭示的脉状产出的与含锡云英岩脉产状一致的残坡积或风化壳型“砂锡矿体”也不发育沉积层理;小龙河尾矿坝东河床旁的小山丘发育的“砂状”花岗蚀变岩不发育沉积层理,其选出的均为岩浆锆石,锆石的地球化学和一致的年代学也支持它是岩浆成因(图2),而非沉积成因。

(10) 松散的花岗蚀变岩独居石(均为岩浆独居石)、锆石U-Pb年龄分别为(75.61±0.47)Ma、(75.68±0.72)Ma,与未蚀变黑云钾长花岗岩锡石和锆石U-Pb年龄((76.30±3.2)Ma、(77.29±0.54)Ma)的误差在允许范围。

Ishihara等<sup>[28]</sup>在南岭富稀土的岩体中发现花岗岩中的稀土矿物主要产在造岩矿物和其他副矿物的粒间,将其富集作用归因于晚期岩浆热液活动,而不是在岩浆结晶作用过程中形成的。这一发现与本课题的观察研究结果相符。

通过上述原生构造、构造结构面、蚀变以及构造地球化学剖面的研究,结合初步预查工作,新发现与之有关的热液弥散状蚀变、侵入角砾岩和大型稀土金属矿体,并伴生稀有金属铷(Rb)和稀散金属镓(Ga),存在晚期同岩浆断裂。对该地区长期存在的有关部分“砂岩型”或风化壳“砂岩型”<sup>[9]</sup>锡矿和“残坡积砂锡矿”<sup>[13]</sup>再认识,发现了其存在脉型、面型和岩筒状蚀变岩型锡稀土、稀有、稀散多金属大型矿体。

## 5 结论及建议

本研究通过对古永岩体的原生节理、流面流线、蚀变和矿化的类比、对比,结合构造地球化学、年代学研究和初步预查,识别出小龙河地区岩体顶部存在的高岭土化及泥化主要是晚期岩浆热液或构造热液蚀变所致,存在广泛的热液弥散状蚀变和与之相关的大型面型稀土金属矿体。稀土矿体主要受燕山晚期侵入体与围岩接触面以及晚期同岩浆断裂控制,经预查,稀土、稀有和稀散金属规模已达大型。

(1) 大型稀土矿体伴生稀有金属铷(Rb)、稀散金属镓(表1数据)根据全岩铷(Rb)品位( $Rb_2O$ :

0.052%~0.073%)、含铷(Rb)斜长石和钾长石品位( $Rb_2O$ : 0.21%~0.39%,富矿( $Rb_2O$ :  $\geq 0.09%$ ))和类似蚀变岩筒推算,铷(Rb)资源量可能达到大型规模。铌(Nb): ( $40.5 \sim 74.8$ )  $\times 10^{-6}$ ,局部达工业品位( $Nb_2O_5$ :  $107.00 \times 10^{-6}$ )。镓(Ga)品位( $Ga$ : ( $21.1 \sim 37.9$ )  $\times 10^{-6}$ ),均超过边界品位( $10 \times 10^{-6}$ ),局部达工业品位( $30 \times 10^{-6}$ )。矿区其他微量稀有金属含量较高:铍(Be) ( $6 \sim 23.9$ )  $\times 10^{-6}$ ,镧(La) ( $67.2 \sim 189$ )  $\times 10^{-6}$ ,钇(Y) ( $57.5 \sim 333$ )  $\times 10^{-6}$ ,钕(Nd) ( $19.11 \sim 161.00$ )  $\times 10^{-6}$ ,钍(Th) ( $54.7 \sim 62.1$ )  $\times 10^{-6}$ ,锆(Zr) ( $94.8 \sim 119$ )  $\times 10^{-6}$ ,均可综合利用。其中,91个样品中分别有53个样品钕(Nd) ( $Nd_2O_3$  ( $66.65 \sim 187.79$ )  $\times 10^{-6}$ ),72个样品钇(Y) ( $Y_2O_3$  ( $73.02 \sim 422.89$ )  $\times 10^{-6}$ )平均含量较高。含钕、钇的矿物是磁悬浮交通用途和重稀土的主要来源,埋藏浅,岩性松软,水文条件简单,商业利用价值较大,预测地质资源量均可达大型规模,稀有、稀散金属有较大的找矿潜力。

(2) 对此大型“三稀”矿床和类似地区的勘查开发,将产生数百亿甚至千亿元级的经济效益,这将带动滇西地区社会经济的发展,为我国国防、航空航天、磁悬浮技术、新型发电技术、信息技术、新材料和新能源,以及节能环保事业提供资源保障和材料支撑。

(3) 目前该稀土(REE)、稀有金属铷(Rb)、铌(Nb)以及稀散金属镓(Ga)的赋存状态和分布还有待进一步研究。另外,该地区设置了大量的钨锡探矿权,有的探矿权益人以探代采,有关“三稀”资源基本未综合利用。从尾矿砂随机取样分析,铷、镓和稀土均达到工业品位或综合利用工业品位,“三稀”资源浪费严重。

(4) 建议国家有关部门和权益人整合矿权,避免国家重要的战略自然资源浪费。从节约时间和经费的角度,缩减勘查程序,通过2~3a的勘查工作,使小龙河地区2~3个重点区块基本达到详查。综合利用构造蚀变地质填图和构造地球化学剖面测量、山地工程、钻探、化探和物探等各种勘探手段,查明稀土、稀有、稀散金属矿体样品的物相、赋存状态、自然类型、工业类型及平面分布,花岗岩风化壳离子吸附型和蚀变岩型稀土矿剖面上的分带特征和浸出率,对花岗蚀变岩

型矿石进行必要的选冶试验,对矿床开发的经济意义提供初步评价。选择 1 ~ 2 个重点块段,通过 3 ~ 5 a 的野外勘查工作,力争达到勘探要求,对矿床进行可行性评价。

另外,与古永岩体毗邻的且时代相近的岩体具有类似的成矿条件,建议对滇西锡矿带进行“三稀”资源远景评价,以指导进一步的资源勘查。

**致谢:** 国土资源部西南矿产资源监督检查中心研究员徐金莎、工程师董俊分别在扫描电镜观察和稀土数据测试中给予了指导与帮助;核工业北京地质研究院测试中心分析师张彦辉测试了部分稀土;成都地质调查中心高级工程师朱华平、高级工程师张景华分别参加了野外和室内工作。

**参考文献**

[1] 许成,宋文磊,何晨,等. 外生稀土矿床的分布、类型和成因概述[J]. 矿物岩石地球化学通报,2015,34(2):234-241.

[2] 陈毓川,裴荣富,张宏良,等. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1989:1-508.

[3] 马楠,邓军,王庆飞,等. 云南腾冲大松坡锡矿成矿年代学研究:锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄和锡石 LA-MC-ICP-MSU-Pb 年龄证据[J]. 岩石学报,2013,29(4):1223-1235.

[4] Wang C M, Deng J, Carranza E J M, et al. Tin metallogenesi associated with granitoids in the southwestern Sanjiang Tethyan Domain: Nature, deposit types, and tectonic setting[J]. Gondw Res, 2014, 26(2): 576-593.

[5] Deng J, Wang Q F, Li G J, et al. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. Gondw Res, 2014, 26(2): 419-437.

[6] Cao H W, Zou H, Zhang Y H, et al. Late Cretaceous magmatism and related metallogeny in the Tengchong area: Evidence from geochronological, isotopic and geochemical data from the Xiaolonghe Sn deposit, western Yunnan, China[J]. Ore Geol Rev, 2016, 78: 196-212.

[7] 李光勋,孔雷. 区域控岩控矿构造和矿田构造课题报告[R]. 成都:中国地质调查局西南地质资料馆,1985:1-60.

[8] 云南省地质调查院. 云南旧城—麻栗坝地区矿产远景调查[R]. 2008:1-80.

[9] 刘素芳,张士鲁. 腾冲—梁河锡矿带砂锡矿成矿机理及普查勘探方法研究[J]. 云南地质,1991,10(4):385-393.

[10] Murray H H, Janssen J. 氧同位素可作高岭土成因的指示剂

[J]. 易发成,译. 基础地质译丛,1987(2):56-62.

[11] 张元厚,毛景文,于明旭,等. 一种酸淋滤成因的含铅石英脉——来自小秦岭北矿带大湖—秦南矿区的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(4):1011-1025.

[12] Misra K S. Understanding mineral deposits[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000:409-411.

[13] 施琳,陈吉琛,吴上龙,等. 滇西锡矿带成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1989:1-272.

[14] 江彪,龚杰庆,张静,等. 滇西腾冲大松坡锡矿区晚白垩世铝质 A 型花岗岩的发现及其地质意义[J]. 岩石学报,2012,28(5):1477-1492.

[15] 张巧,金灿海,范文玉,等. 腾冲地区与锡矿床有关的花岗岩地球化学特征及类型判别[J]. 地质学报,2013,87(12):1852-1863.

[16] 李建忠,赵作新,陆生林,等. 云南腾冲县小龙河锡稀土多金属矿田同岩浆构造地质特征[J]. 矿物学报,2015(s1):406-407.

[17] 周济元,崔炳芳,陈宏明,等. 赣南红山—锡坑迳地区铜锡矿地质及预测[M]. 北京:地质出版社,2000:55-61.

[18] 陈莉,徐军,陈晶. 扫描电子显微镜显微分析技术在地球科学中的应用[J]. 中国科学:地球科学,2015,45(9):1347-1358.

[19] Sillitoe R H, Halls C, Grant J N. Porphyry tin deposits in Bolivia[J]. Economic Geology, 1975, 70(5): 913-927.

[20] 李建忠,陆生林,丁俊,等. 云南省腾冲市小龙河锡矿田取得新认识并发现稀土矿[J]. 中国地质调查成果快讯,2016,2(11):23-26.

[21] 范飞鹏,肖惠良,陈乐柱,等. 赣南波头一带风化壳淋积型稀土矿成矿地质特征[J]. 中国稀土学报,2014,32(1):101-107.

[22] 池汝安,田君. 风化壳淋积型稀土矿评述[J]. 中国稀土学报,2007,25(6):641-650.

[23] 张祖海. 华南风化壳离子吸附型稀土矿床[J]. 地质找矿论丛,1990,5(1):57-71.

[24] 王登红,赵芝,于扬,等. 离子吸附型稀土资源研究进展、存在问题及今后研究方向[J]. 岩矿测试,2013,32(5):796-802.

[25] 王登红,陈振宇,黄凡,等. 南岭岩浆岩成矿专属性及相关问题探讨[J]. 大地构造与成矿学,2014,38(2):230-238.

[26] 吴元保,郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报,2004,49(16):1589-1604.

[27] 褚慧力. 藏北阿里地区改则县雀康一带纳丁措组火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. 中国地质调查,2016,3(6):37-48.

[28] Ishihara S, Hua R M, Hoshino M, et al. REE abundance and REE minerals in granitic rocks in the Nanling Range, Jiangxi Province, Southern China, and generation of the REE-rich weathered crust deposits[J]. Res Geol, 2008, 58(4): 355-372.

## New cognition and discovery of rare earth deposits in the Xiaolonghe tin-REE polymetallic orefield of Tengchong in Yunnan Province

LI Jianzhong<sup>1,2</sup>, LU Shenglin<sup>1,2</sup>, WU Wenxian<sup>1,2</sup>, DING Jun<sup>1,2</sup>, WANG Baodi<sup>1,2</sup>, ZHAO Zuoxin<sup>3</sup>, CUI Ziliang<sup>3</sup>  
(1. Chengdu Geological Survey Center, CGS, Chengdu 610081, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, MLR, Chengdu 610081, China; 3. Yunnan Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Kunming 650011, China)

**Abstract:** By the analogy and contrast of the primary structure, alteration and mineralization in Guyong rock body of Xiaolonghe area in Tengchong city, combining with tectonic geochemistry, geochronology and preliminary investigation, pervasive hydrothermal alteration, intrusive breccia and large REE ore bodies were discovered. And the rare metals (Rb and Nb) and scarce metal (Ga) were accompanied. Also the symmagmatic faults were found in the later period. The U – Pb ages for the monazite and zircon of the altered granitic rocks are  $(75.61 \pm 0.47)$  Ma and  $(75.68 \pm 0.72)$  Ma, and the U – Pb ages for the cassiterite and zircon of the biotite K – feldspar granites are  $(76.3 \pm 3.2)$  Ma and  $(77.29 \pm 0.54)$  Ma. These ages are very close, which reflects that they may be the products of tectonic activities at later period of the magmatic action.

**Key words:** primary structure; symmagmatic faults; intrusive breccia; pervasive hydrothermal alteration; tin-REE polymetallic deposit; Guyong rock body; monazite U – Pb age

(责任编辑: 刁淑娟)