

文章编号: 1001—1749(2011)02—0165—10

西藏沙让钼矿首采地段地质特征研究

许远平^{1,2}, 何政伟¹, 刘严松¹, 唐 凤², 韦柳春²

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059;

2. 四川省冶金地质勘查局 水文工程大队, 成都 610501)

摘要: 沙让钼矿是近年来新发现的斑岩型辉钼矿床, 于斜长花岗斑岩体的构造破碎带中形成细脉状、网脉状矿脉, 后期热液作用明显, 矿体总体呈近东西走向。矿石工业类型属原生硫化钼矿, 金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿、钛铁矿。辉钼矿呈片状、粒状、粉末状分布于矿石中, 其单晶粒度 $\leq 0.1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$, 矿体 Mo 平均含量为 $0.038 \times 10^{-2} \sim 0.222 \times 10^{-2}$, 单样最高含量为 3.35×10^{-2} 。依据含矿岩体岩石化学分析, 这里指出在碰撞过程和后造山过程中, 由于重熔岩浆与地壳物质混染程度不同, 以及重熔岩浆分异程度差异较大, 因此形成了矿区含矿岩体既不同于典型的 S 型, 也不同于典型 I 型岩浆岩的特征。

关键词: 斑岩型钼矿; 原生硫化矿床; 地质特征; 沙让钼矿床

中图分类号: P 61 **文献标识码:** A

0 前言

沙让钼矿区属于西藏自治区工布江达县金达镇管辖, 矿区地理坐标: 东经 $92^{\circ}40'00'' \sim 92^{\circ}42'00''$, 北纬 $30^{\circ}10'30'' \sim 30^{\circ}12'00''$ 。1987 年 ~ 1989 年西藏物探队开展了 1: 500 000 那曲幅区域化探扫面工作, 发现了沙让钼异常, 并对异常进行了 III 级查证。2004 年西藏区调队开展了钼矿预查工作, 发现了两条钼矿化异常带。辉钼矿产于斜长花岗斑岩体的构造破碎带中, 属岩浆热液型的辉钼矿床。2007 年由四川省冶金地质勘查局 606 大队进一步勘查和研究, 获得了一些新的认识, 进一步提高了研究程度。通过研究认为, 沙让钼矿床具有斑岩型矿床的特征, 具有极好的找矿前景, 从认识上扩大了找矿思路。

1 地质特征

1.1 地层

矿区首采地段地层区划属于冈底斯 ~ 腾冲地

层区拉萨 ~ 察隅地层分区^[1], 出露地层主要有二叠系洛巴堆组 (P_1lb) 和蒙拉组 (P_2m)、第四系 (Q) (见下页图 1)。

下二叠统洛巴堆组 (P_1lb) 分布于矿区西北部, 多呈条带状展布, 出露面积较小, 是一套浅滨海环境下的条带状灰岩、泥质灰岩夹浅灰白色白云岩。与区域上其它地层相比, 洛巴堆组不发育火山岩, 与上覆蒙拉组为整合接触。

上二叠统蒙拉组 (P_2m) 是一套浅海环境沉积的碎屑岩夹碳酸盐岩, 其岩性主要为灰色、米黄色变质砂岩、厚层灰岩及白云岩, 底部见有 5 m 厚的中砾岩。蒙拉组在矿区东部与角闪闪长岩呈侵入接触, 与花岗斑岩为断层接触。

第四系 (Q) 分布在勘查区东北部的高原河谷及山间洼地中, 主要为河流冲积物, 组成的物质为砂砾石、砂及亚砂土、亚粘土。此外, 还有冲洪积、残坡积、崩积及冰碛堆积物。

1.2 岩浆岩

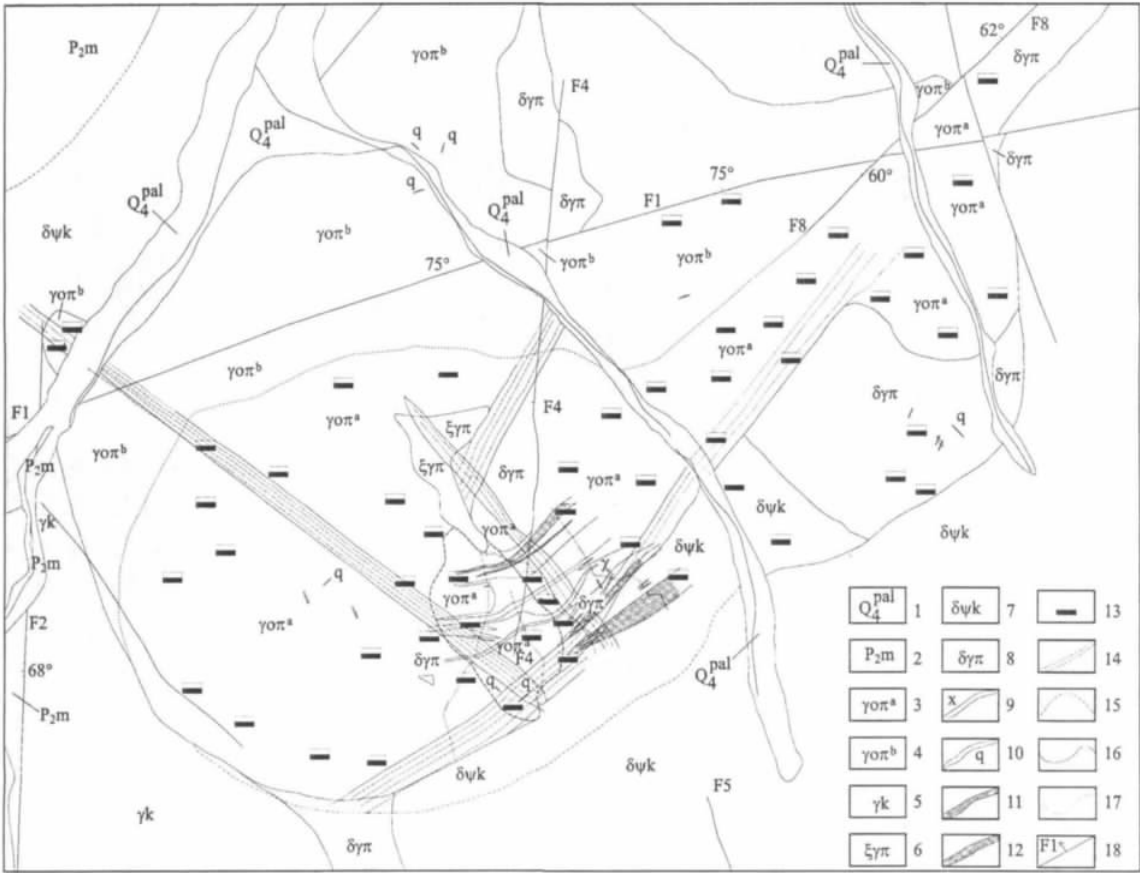
1.2.1 侵入岩

与区域背景一致, 矿区内侵入岩极为发育, 产状复杂, 有岩基、岩墙、岩株等。侵入时代为白垩纪

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20070616014); 四川省杰出青年学科带头人培养计划项目(06ZQ026-014)

收稿日期: 2010-09-13

改回日期: 2011-01-10



1 - 全新统冲洪积物; 2 - 上二叠统蒙拉组; 3 - 中细粒斜长花岗斑岩; 4 - 中粗粒斜长花岗斑岩; 5 - 花岗岩; 6 - 钾长花岗斑岩; 7 - 角闪闪长岩; 8 - 花岗闪长岩; 9 - 煌斑岩; 10 - 石英脉; 11 - 辉钼矿脉; 12 - 辉钼矿体 (矿化蚀变带); 13 - 辉钼矿化; 14 - 劈理化带; 15 - 蚀变分带界线; 16 - 岩相分界线; 17 - 实测、推测地质界线; 18 - 实测、推测断层位置及编号

图1 沙让钼矿床首采区地质图

Fig.1 Geological map of primary mining area in Sharang molybdenum deposit

~古近纪,初步确定岩浆岩体侵入有四期: 第一期为闪长岩类(角闪闪长岩、花岗闪长岩); 第二期为花岗岩类; 第三期为钾长石化斜长花岗斑岩类; 第四期为斜长花岗斑岩类。岩石特征分述如下:

(1) 花岗闪长岩: 灰色半自形粒状结构, 块状构造, 其矿物成份为斜长石 50%、普通辉石 ≤2%、石英 20%、正长石 3%、黑云母 3%、普通角闪石 18%、磷灰石 <1%、榍石少许, 不透明矿物 2%, 手标本中见有稀疏分布的星点状黄铁矿。

(2) 角闪闪长岩: 主要分布于勘查区北东、南东的广大地区, 区域上角闪闪长岩与二叠系蒙拉组呈侵入接触。岩石具粒状结构, 块状构造, 其矿物成份为斜长石 55%、角闪石占 33%、黑云母占 1%、石英占 5%、磷灰石 1%、不透明矿物占 5%。岩石中黄铁矿含量较高, 约为 5% ~ 8%。

(3) 花岗岩: 主要为灰白色, 局部可见浅红色, 风化面褐黄色, 微细粒结构, 块状构造。矿物粒度 0.05 mm ~ 0.4 mm, 少许 (占 1% ~ 4%) 粒度 1 mm

~ 3 mm, 矿物组成主要为斜长石 (占 55% ~ 65%)、石英 (占 25% ~ 35%), 局部钾长石含量较高达 10%, 黑云母含量一般 <1%, 偶达 5%。岩石常见硅化脉, 脉中见钛铁矿, 局部岩石中有星点黄铁矿分布。在地表呈小岩脉状与角闪闪长岩呈侵入接触。

(4) 斜长花岗斑岩: 灰白色, 中细粒斑状结构, 块状构造。矿物成份: 斜长石 (占 60%), 次为石英 (占 30%), 少量钾长石 (1% ~ 5%)、黑云母 (2%) 及黄铁矿 (3% ~ 5%)。斑晶成份: 斜长石 10%、石英 5%、黑云母 2%, 斑晶大小 0.8 mm ~ 2 mm; 基质: 斜长石 50%、石英 25%、磷灰石少量, 不透明矿物 1%、云母 1%, 基质粒度 <0.3 mm。岩石基本全岩矿化, 其表面见黄铁矿, 呈星点状分布, 见有星点状及细脉状辉钼矿化。斜长花岗斑岩侵入于其它岩体中, 呈岩株状, 宽 700 m, 长约 1 000 m, 面积约 0.85 km²。在平面上呈葫芦状分布, 北东 ~ 南西向展布, 岩石具变余斑状结构和显微鳞片变晶结

构。在区内可见二期斜长花岗斑岩体,二者为侵入接触关系,明显具有相带变化特征。在岩石中硅化、绢云母化明显,裂隙中常充填石英脉,脉宽一般>1 cm,极值 30 cm,斜长石斑晶部份已蚀变为绢云母。

(5) 斜长花岗斑岩体中局部出现黑云斜长花岗斑岩: 岩石呈浅灰色、变余斑状结构,基质为变余花岗结构,显微鳞片变晶结构,块状构造。岩石中斑晶占 2%,主要为斜长石;基质中斜长石 61%,石英 24%、黑云母 5%、磷灰石少许、钛铁矿<1%、黄铁矿 3%、石英脉 5%、绢云母脉 1%。黄铁矿呈星散状散布于岩石中。

(6) 钾长石化斜长花岗斑岩: 呈浅灰白色,局部可见浅肉红色,即是由钾长石化形成的钾长石引起,具有中粗粒花岗斑状结构,块状构造。矿物主要成份为: 斜长石(占 55%),次为石英(占 30%),少量钾长石(3%~12%)、黑云母(3%)、角闪石(3%)、及黄铁矿(3%~5%)。斑晶成份: 斜长石(10%)、石英(5%)、黑云母(2%)、钾长石(1%);基质: 斜长石(45%)、石英(25%)、磷灰石少量,不透明矿物(1%)、云母(1%)。在岩石中可见灰色细小粒状及薄膜状黄铁矿化,基本不含辉钼矿化,仅在中粗粒斜长花岗斑岩体碎裂岩化破碎带内岩石节理裂隙面上,见少许薄膜状辉钼矿化。花岗斑岩中的钾长石呈中粒,形晶完整,具环带结构,蚀变后保留原晶形假象。“钾化”形成的钾长石,呈它形细粒状集合体,并环绕其它矿物,岩石总体呈浅肉红色,与钼矿化关系较密切。

(7) 钾长花岗斑岩: 浅肉红色,风化面具褐色调,表面凹凸粗糙,斑状结构,块状构造。斑晶粒度 0.5 mm~6 mm,含量 20%~30%,斑晶成份为钾长石、石英,少许黑云母、斜长石;基质粒度<0.3 mm,呈微细粒,多为长英质。岩石中黑云母含量 3%~5%。钾长花岗斑岩产状上常为岩脉形式。局部岩石分布星点状黄铁矿及细脉状石英脉(脉宽 1 mm~3 mm),多具星点状辉钼矿化。在钻孔中深部可见厚度较大,其中包含有厚 6 m~25 m 的花岗闪长岩捕虏体。辉钼矿体的分布与斜长花岗斑岩及钾长花岗斑岩关系密切,中细粒斜长花岗斑岩体及钾长花岗斑岩体内几乎达到全岩矿化。经对比钻孔和地表资料,发现钾长石化斜长花岗斑岩地表矿化减弱。

1.2.2 火山岩

区域上火山活动频繁,主要分布于勘查区西部,夹于古近系林布宗组、典中组、帕那组中,为中

性喷出岩类岩石组合及火山碎屑岩,是冈底斯火山~岩浆岛弧的重要组成部份。侵入岩与喷出岩在时空上有着极为密切的联系,均受控于喜马拉雅陆块俯冲,消减的板块构造机制,形成时代上侵入岩早于喷出岩。岩浆活动与钼多金属成矿关系密切。

1.3 变质岩

变质作用较弱,类型简单,其变质程度浅,分布具局限性。主要变质作用有动力变质和气成热液变质,接触变质。动力变质作用的代表性岩石,分别为构造角砾岩和碎裂岩、矿化硅化蚀变岩。后者由于遭受多期强烈硅质交代,原生矿物均被热液石英、微粒石英及硅质所代替。岩石矿物成份主要为热液石英等,金属矿物主要为钼、铁。

1.4 构造

矿区内的构造作用,主要表现为线性断裂构造和劈理化带中的碎裂岩化作用。矿区以线性断裂构造和节理、劈理化带发育为特征,主要发育三期断裂构造,互相切错,但错距一般都不大。

1.4.1 近东西向断裂构造

发育最早,控制了区内岩浆岩分布形态,并具有多期活动的特点。倾向北北西发育,倾角 60°~75°,具逆断层性质,形成宽约 20 m~30 m 的碎裂岩带,带中多发育细脉状、薄膜状辉钼矿化,局部使矿化富集。

1.4.2 近南北向构造

在区内出露较大规模的有四条,表现为断层角砾岩带,宽 2 m~8 m,性质为矿区西倾正断层。造成蒙拉组(P_2m)与花岗岩呈断层接触,局部夹持、切错并形成了花岗闪长岩捕虏体。在断层带中,主要蚀变见有硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、粘土化。

1.4.3 北西及北东向构造

在区内发育有四组,呈 X 形交叉,岩石碎裂岩化强烈,形成了岩体中的劈理、节理化带,辉钼矿化呈细脉状、网脉状、大脉状产出,多使矿化富集。

各期代表性断层特征简述如下:

(1) 早期断裂(F1): 早期断裂为东西向区域性断裂构造,可与区域构造线接轨。该断层具有多期活动的特点,在早期地貌上表现为紧闭平直的特征,具压扭性,走向近东西向,倾角 60°~75°。而在晚期具伸展、剪切特征,导致岩石破碎、剪理化、节理化,碎裂岩化强烈,形成宽约 2 m~10 m 的碎裂岩带。

(2) 晚期断裂(F2): 晚期断裂呈南北走向,延长 1.2 km,切割了东西向断裂(F1),断距 5 m~

20 m 左右,控制了沙让沟两侧近南北走北向的侵入岩。断层效应为形成宽窄不一的断层角砾岩带,沿断裂带发育褐铁矿化、绢云母化、高岭土化、硅化。在地貌上表现为对头沟、线状地形。

从天然露头 and 工程揭露露头观察,斜长花岗斑岩节理裂隙十分发育,主要有四组,其产状为: $175^{\circ} \angle 75^{\circ}$, $275^{\circ} \angle 50^{\circ}$, $155^{\circ} \angle 10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 及 $240^{\circ} \angle 19^{\circ}$,辉钼矿充填其中形成细脉状、网脉状,特别沿后一组形成可见脉宽达 0.5 cm ~ 30 cm 厚的硅化石英脉型大矿脉,钼含量 > 5% 的富矿体 (西矿段北侧高程 5 220 m ~ 5 240 m 之间)。

在区内,花岗斑岩体内几乎全岩矿化,经对断裂构造与矿体的空间分布位置及赋矿层位分析可知,区内主干断裂中基本未赋存矿体。近南北向及东西向展布的断裂,基本控制了含矿(黑云)斜长花岗斑岩的分布和产出形态,这表明含矿斑岩体与近南北向及东西向断裂关系密切,为岩体的侵入和矿体的定位提供了条件,为成矿作用提供了部份热液、矿源通道和岩石条件,为成矿前构造。而北西向、北东向构造破碎带劈理化带为形成富矿的主要容矿构造。

2 首采段矿床地质特征

金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,含少量钛铁矿,少见黄铜矿等。其中,辉钼矿呈片状、粒状、粉末状,单晶粒度 $\leq 0.1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$,垂向上粗下细。

辉钼矿分布于矿石中,含量在 0.1% ~ 3.35% 之间。脉石矿物主要为长石、石英及绢云母,含量 95% 以上。矿石主要有用组份为 Mo,化学成份以 SiO_2 为主,其次为 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 、 Fe_2O_3 等,含少量 TiO_2 及 P_2O_5 等。

据光片观察并结合研究区矿体特征,金属矿物生成顺序大致为:黄铁矿 ~ 钛铁矿 ~ 辉钼矿。

2.1 矿石自然类型

辉钼矿体总体呈近东西走向脉状,产于斜长花岗斑岩及外接触带角闪闪长岩、花岗闪长岩中(见图 2)。辉钼矿与钛铁矿、石英组合,充填岩石节理裂隙,局部呈现单脉、平行脉、网脉状,单脉宽 $\leq 1\text{ mm} \sim 10\text{ mm}$,少许达 $10\text{ mm} \sim 30\text{ mm}$ 。矿石自然类型,按组成矿石主要脉石矿物可分为石英型、石英 ~ 斜长石型,二者常共存,前者主要出现于地表段(孔深 < 70 m),后者自地表以下都见及。石英型矿物组合为石英 + 辉钼矿(+钛铁矿),石英 ~ 斜长石型矿物组合主要为斜长石 + 石英(+绢云母或黑云母) + 黄铁矿 + 辉钼矿(+钛铁矿)。

2.2 矿石工业类型

根据对地表矿体及 PD2 平硐中辉钼矿的矿物学研究表明,矿区钼矿物在地表氧化程度不强烈,辉钼矿基本呈原生片状、板粒状晶体,矿石工业类型基本属原生硫化钼矿。

2.3 矿石品位

在矿石中,有用组份主要为 Mo,伴生组份有 Re、S。在研究区内,Mo 为主成矿元素,其品位一

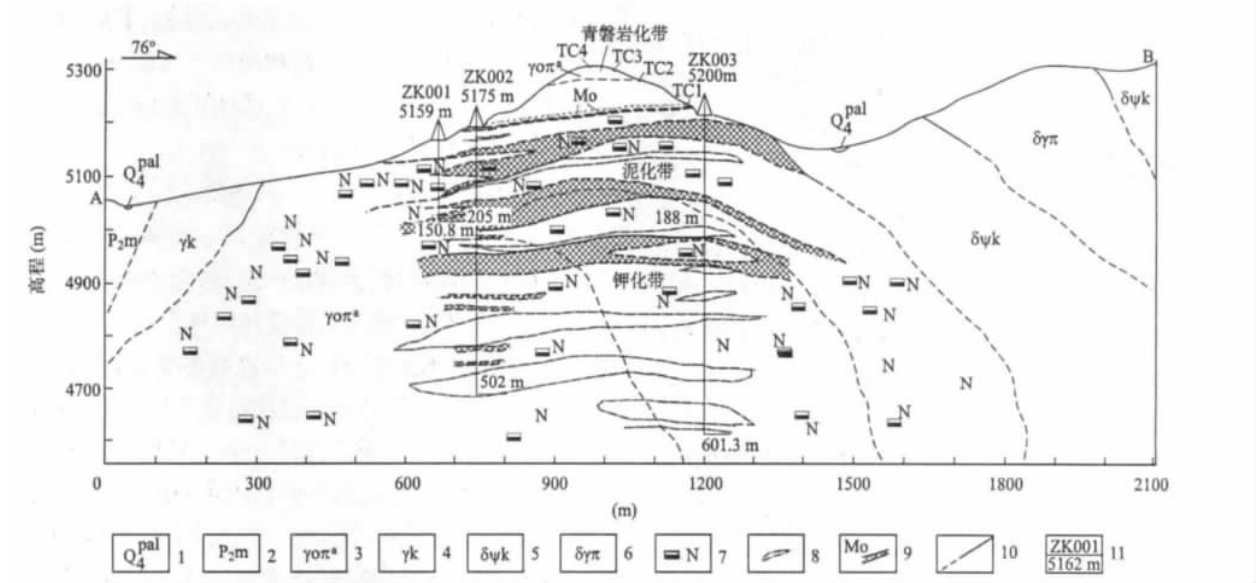


图 2 沙让钼矿床首采区地质剖面图
Fig. 2 Geological section map of primary mining area in Sharang molybdenum deposit

一般在 $0.01 \times 10^{-2} \sim 0.06 \times 10^{-2}$ 之间, 单样最高品位达 3.35×10^{-2} , 单矿体平均品位 Mo 为 $0.038 \times 10^{-2} \sim 0.222 \times 10^{-2}$, 矿体平均品位 0.062×10^{-2} 。伴生组份 S 元素有一定含量, 可考虑综合利用。影响矿石选冶的有害杂质 As 及粘土矿物等含量低, 均未超出选冶标准。

沙让钼矿区的主矿层赋存于灰白色中细粒斜长花岗斑岩体中, 矿化岩石为碎裂状斜长花岗斑岩或石英脉, 矿体与围岩界线呈渐变或突变关系。矿层的顶板围岩为处于外接触带的角闪闪长岩、花岗闪长岩、钾长石化中粗晶斜长花岗斑岩。由于后期构造改造影响, 热液活化花岗斑岩中的钼元素在外接触带围岩中, 沿岩石劈理及节理裂隙充填有辉钼矿化硅化石英脉及辉钼矿细脉, 辉钼矿呈脉状、星点状及薄膜状产出, 形成不同程度的辉钼矿化带。

在洞中弄沟以西斜长花岗斑岩体南部, 经探槽揭露取样分析, 外接触带内的角闪闪长岩劈理化带中, 钼的含量大于 0.011×10^{-2} 的样品, 厚度达到 61 m, 最高品位达到了 1.95×10^{-2} , 大于 0.01×10^{-2} 样品平均品位达到了 0.72×10^{-2} , 圈出了厚 2 m ~ 61 m 的辉钼矿体。在斜长花岗斑岩南部外接触带内, 在花岗闪长岩体中还发现了宽度近 300 m 的矿化体, 其中有三条富矿体, 厚度 1.5 m ~ 6 m, 钼品位 $1 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-2}$ 。

夹石岩性为含辉钼矿化斜长花岗斑岩、角闪闪长岩、花岗闪长岩、钾长石化中粗晶斜长花岗斑岩。在围岩和夹石中, 有用、有益和有害的组份, 总体与矿体相似。

2.4 围岩蚀变及分带特征

矿区围岩蚀变较为发育, 分布广泛, 常见的有硅化、高岭土化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硬石膏化及黄铁矿化等。在矿化斜长花岗斑岩深部, 还可见黑云母化, 其中硅化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、高岭土化在区内均有不同程度发育。硅化、黄铁矿化与矿化关系密切, 与成矿相关性显著。另一个特点是在钾化带绿帘石化也较发育。在岩体中, 各种蚀变带总体呈似层状、帽状, 倾角一般在 $8^\circ \sim 30^\circ$ 之间。

通过地表填图和钻孔地质观察, 与典型的斑岩型钼矿床相比, 沙让钼矿也具明显的面型蚀变分带特征, 由地表向深部可划分出绿磐岩化带→泥化带→钾化带。

(1) 绿磐岩化带: 在高程 5 260 m ~ 5 350 m 为绿磐岩化带, 发育有硅化、绿帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、高岭土化等。岩石节理裂隙发育, 普遍具

辉钼矿化, 局部形成矿体。

(2) 泥化带: 斜长花岗斑岩体在 5 260 m 以下至 4 985 m 段为泥化带, 高岭土化广泛, 黄铁矿化、硅化强, 局部形成硅化石英脉。泥化带岩石节理裂隙发育, 局部形成劈理化带, 辉钼矿化明显增强, 倾角陡的形成细脉、网脉状, 倾角缓的形成大脉富矿体。主矿段东部在标高 5 220 m ~ 5 240 m 之间地表, 已见到有两层条带状辉钼矿化硅化石英脉组成块状、条带状的富矿体, 单层厚 15 cm ~ 35 cm; 西部 5 160 m ~ 5 180 m 之间见到同类型的富矿体, 矿体产状相同, 倾向 240° , 倾角 $19^\circ \sim 25^\circ$, 推测为同一矿体。

(3) 钾化带: 钻孔 ZK002 在标高 4 961 m ~ 4 970 m 之间见辉钼矿化钾长花岗斑岩(厚 9 m), 在 4 970 m 之下至 4 706 m, 为主要中细晶灰白色斜长花岗斑岩, 4 706 m 至孔底主要为浅灰绿色粗晶斜长花岗斑岩, 几乎无矿化。ZK003 孔于标高 5 012 m 至孔底, 全为钾长花岗斑岩(钾化带), 有钾化、硅化、绿帘石化、绿泥石化、黄铁矿化等矿化蚀变。钾化带岩石呈浅肉红色, 该带发育星点状、细脉状及薄膜状辉钼矿化。

2.5 资源量估算

对矿床的首采地段进行了资源量估算, 获得钼矿石预测资源量 $10\,506 \times 10^4$ t, 钼金属资源量 (334) $102\,337.2$ t, 矿床钼矿平均品位 0.062×10^{-2} , 而首采地段仅占矿化斑岩体面积的 $1/14 \sim 1/20$ 。综合地物化探资料对矿区加以研究分析, 随着下一步勘探工作的进一步控制, 沙让钼矿床首采段的规模有望达到钼金属量 50×10^4 t, 达到超大型矿床规模。

3 含矿岩体岩石化学特征

岩石主量元素化学分析结果见下页表 1。岩石化学参数及 CIPW 标准矿物含量见后面表 2。

由表 1 可见, 首采段侵入岩 SiO_2 含量介于 $56.84 \sim 80.14$ (10^{-2}) 之间, 平均 70.92 (10^{-2}), 接近中国花岗岩平均值^[2]。除个别样品外, 岩石主要为铝过饱和即 SiO_2 过饱和类型, 里特曼组合指数 (σ) 平均为 2.3, 碱度率 (A. R.) 平均 2.6。由后面图 3 可见, 岩石主要为钙性岩, 少数落入碱性岩区。岩石化学成份投影名称主要为钾长花岗岩, 少量落入富石英花岗岩、正长花岗岩、石英二长岩、石英二长闪长岩等。有三件落入了白岗岩区(见后面的图 4 及表 2)。CIPW 标准矿物多数有刚玉分

表 1 沙让钼矿首采段侵入岩主量元素特征(10⁻²)

Tab. 1 Major element character of intrude rock in the primary mining area (10⁻²)

编号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	Loss
q1	灰色细粒花岗闪长岩	58.08	0.87	17.06	3.29	4.23	0.16	3.45	5.76	2.91	3.21	0.29	0.58	0.65
q2	灰色细粒花岗闪长岩	61.94	0.59	16.12	1.47	2.96	0.17	3.18	2.54	3.23	4.99	0.23	1.15	1.97
q3	灰色黄铁矿化花岗闪长岩	56.25	0.46	18.04	5.76	2.38	0.24	2.37	2.53	4.70	2.68	0.35	1.27	4.18
q4	灰白色辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	77.81	0.039	9.29	0.41	0.87	0.045	0.32	0.64	1.69	6.96	0.019	0.69	1.33
q5	灰白色辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	80.21	0.087	10.31	1.29	1.11	0.021	0.30	0.18	0.28	3.37	0.024	1.16	2.19
q6	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	71.96	0.21	14.49	0.59	1.10	0.062	0.59	1.18	3.72	4.94	0.083	0.55	0.68
q7	灰白色条带状辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	72.54	0.19	11.59	1.38	0.66	0.10	0.22	1.13	3.51	6.16	0.097	0.86	1.77
q8	灰白色条带状辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	72.84	0.17	13.44	0.80	0.79	0.058	0.60	0.73	2.80	6.59	0.056	0.65	0.99
q9	灰白色条带状辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	73.19	0.095	12.72	1.03	0.63	0.094	0.40	1.06	2.87	5.56	0.062	0.77	1.70
q10	灰白色辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	72.24	0.17	13.66	0.85	0.87	0.092	0.47	1.40	2.60	6.02	0.07	0.66	1.39
q11	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	70.86	0.17	14.78	1.35	0.74	0.027	0.68	0.38	7.09	0.48	0.094	1.11	2.82
q12	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	70.68	0.23	14.68	1.23	1.22	0.031	0.45	1.03	3.09	5.85	0.096	0.73	0.92
q13	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	77.9	0.12	11.13	0.65	0.37	0.12	0.15	0.49	2.55	4.77	0.068	0.61	1.07
q14	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	70.15	0.20	14.42	1.12	0.48	0.15	0.46	1.26	4.57	5.05	0.14	0.93	1.33
q15	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	72.9	0.12	13.47	0.76	0.42	0.096	0.12	0.63	2.74	7.04	0.077	0.71	1.10
q16	深灰色花岗闪长岩	57.37	0.62	15.55	4.07	3.44	0.24	2.06	3.49	3.92	3.81	0.29	1.26	4.56
q17	辉钼矿化斜长花岗斑岩	79.92	0.10	7.64	0.93	1.63	0.039	0.37	0.77	0.45	5.31	0.088	1.28	2.06
q18	浅肉红色钾长花岗斑岩	73.04	0.17	11.62	1.41	1.78	0.084	0.42	1.32	2.48	5.58	0.067	0.66	1.70
q19	辉钼矿化细粒斜长花岗斑岩	76.25	0.098	11.95	1.65	0.95	0.036	0.72	0.42	0.29	3.75	0.12	1.56	3.20
q20	浅肉红色钾长花岗斑岩	71.08	0.19	14.09	0.37	1.62	0.072	0.61	1.53	2.21	6.56	0.07	0.56	1.54
q21	灰白色中粗粒斜长花岗斑岩	74.53	0.088	12.89	0.38	1.19	0.043	0.26	0.64	3.01	5.84	0.047	0.53	0.96
q22	灰白色中细粗粒斜长花岗斑岩	73.28	0.13	13.09	3.47	0.79	0.019	0.49	0.17	0.33	4.66	0.036	1.13	3.37
q23	深灰色细粒花岗闪长岩	56.84	0.62	17.2	3.37	4.27	0.19	4.37	2.11	1.88	5.81	0.37	1.27	2.46
q24	灰白色辉钼矿化斜长花岗斑岩	80.14	0.11	8.87	1.81	0.81	0.021	0.37	0.14	0.29	4.06	0.034	0.87	2.66

测试单位: 国土资源部宜昌地质矿产研究所检测中心,2007。H₂O⁺、Loss: GR(重量法); FeO: VOL(容量法); 其它: XFS(X射线荧光光谱法)。

表 2 沙让钼矿首采段岩石化学参数及 CIPW 标准矿物
Tab. 2 Lithochemistry Parameter and CIPW normative mineral in primary mining area

样号	岩石名称	分异指数 DI	组合指数 σ	AR	CIPW 标准矿物(10 ⁻²)												在 QAPF 图解中的区号及名称			
					Q	An	Ab	Or	ac	ns	Di	Wo	Fs	En	c	Hy			Il	Mt
q1	灰色细粒花岗岩闪长岩	53.84	2.48	1.68	10.16	24.01	24.62	18.97			2.33	1.20	4.62	7.88		12.50	1.65	4.10	0.63	9* 石英二长辉长岩
q2	灰色细粒花岗岩闪长岩	70.10	3.57	2.06	12.27	11.25	27.33	29.49					3.56	7.92	1.28	11.48	1.12	2.13	0.50	8* 石英二长岩
q3	灰色黄铁矿化花岗岩闪长岩	65.15	4.11	2.12	7.43	10.49	39.77	15.84					5.58	5.90	3.56	11.48	0.87	4.68	0.76	9* 石英二长辉长岩
q4	灰白色辉钼矿化细粒斜长花岗岩	92.97	2.15	14.52	41.69		9.03	41.13	1.19	0.91	2.60	1.28	0.73	0.36		1.09	0.08		0.04	2 白岗岩
q5	灰白色辉钼矿化细粒斜长花岗岩	87.18	0.36	2.07	63.41	0.78	2.37	19.92					2.02	0.75	5.92	2.77	0.17	1.19	0.04	1b 富石英花岗岩类
q6	灰白色中粗粒斜长花岗岩	88.50	2.59	2.81	27.35	5.38	31.48	29.19						1.47	1.05	2.77	0.40	0.86	0.17	3b 二长花岗岩
q7	灰白色条带状辉钼矿化细粒斜长花岗岩	90.48	3.17	3.46	27.32		25.32	36.40	2.89	0.26	4.31	2.10	0.03	0.01		0.04	0.36		0.22	2 白岗岩
q8	灰白色条带状辉钼矿化细粒斜长花岗岩	91.48	2.95	2.31	28.40	3.27	23.69	38.94					0.67	1.49	0.50	2.16	0.32	1.13	0.13	3a 正长花岗岩
q9	灰白色条带状辉钼矿化细粒斜长花岗岩	90.22	2.35	2.43	31.68	4.91	24.29	32.86					0.97	1.00	0.18	1.97	0.19	1.10	0.13	3a 正长花岗岩
q10	灰白色辉钼矿化细粒斜长花岗岩	88.21	2.54	2.05	29.82	6.53	22.00	35.58					0.90	1.17	0.47	2.07	0.32	1.16	0.15	3a 正长花岗岩
q11	灰白色中粗粒斜长花岗岩	86.21	2.06	2.99	38.27	1.36	4.06	41.90					1.14	1.69	5.82	2.83	0.32	1.30	0.20	2 白岗岩
q12	灰白色中粗粒斜长花岗岩	88.17	2.89	2.30	26.85	4.52	26.15	34.57					1.07	1.12	1.61	2.19	0.44	1.68	0.22	3a 正长花岗岩
q13	灰白色中粗粒斜长花岗岩	93.89	1.54	2.56	43.10	2.02	21.58	28.19					0.69	0.37	1.03	1.06	0.23	0.64	0.15	3a 正长花岗岩
q14	灰白色中粗粒斜长花岗岩	90.23	3.41	3.80	20.73	3.92	38.67	29.84			1.23	0.63	0.54	0.79		1.33	0.38	1.12	0.31	3a 正长花岗岩
q15	灰白色中粗粒斜长花岗岩	93.74	3.20	5.53	28.08	2.66	23.19	41.60					0.57	0.30	0.37	0.87	0.23	0.84	0.17	3a 正长花岗岩
q16	深灰色花岗岩闪长岩	66.15	4.16	2.37	7.84	13.58	33.17	22.52			1.68	0.85	4.34	4.70		9.04	1.18	4.52	0.63	8* 石英二长岩

表 2 沙让钼矿首采段岩石化学参数及 CIPW 标准矿物(续表 2)

Tab. 2 Lithochemistry Parameter and CIPW normative mineral in primary mining area

样号	岩石名称	分异指数 DI	组合指数 σ	AR	CIPW 标准矿物(10^{-2})													在 QAPF 图解中的区号及名称						
					Q	An	Ab	Or	ac	ns	Di	Wo	Fs	En	c	Hy	Il			Mt	Ap			
q17	辉钼矿化斜长花岗岩斑岩	89.96	0.90	5.35	53.44	3.14	3.81	31.38				0.12	0.06	2.09	0.90		2.99	0.19	1.35	0.20			3a	正长花岗岩
q18	浅肉红色钾长花岗岩斑岩	88.40	2.16	2.24	33.20	4.09	20.99	32.98				1.72	0.85	1.40	0.74		2.14	0.32	2.04	0.15			3a	正长花岗岩
q19	辉钼矿化细粒斜长花岗岩斑岩	83.31	0.49	1.97	56.79	1.38	2.45	22.16						2.17	1.79	6.91	3.96	0.19	1.29	0.26			1b	富石英花岗岩类
q20	浅肉红色钾长花岗岩斑岩	86.07	2.74	3.56	27.70	7.18	18.70	38.77						2.49	1.52	0.72	4.01	0.36	0.54	0.15			3a	正长花岗岩
q21	灰白色中粗粒斜长花岗岩斑岩	92.45	2.48	2.60	31.96	2.88	25.47	34.51						1.80	0.65	0.56	2.45	0.17	0.55	0.11			3a	正长花岗岩
q22	灰白色中细粒斜长花岗岩斑岩	82.98	0.82	2.21	50.49	0.61	2.79	27.54						3.26	1.22	7.28	4.48	0.25	2.19	0.09			1b	富石英花岗岩类
q23	深灰色细粒花岗岩闪长岩	62.06	4.27	2.32	10.75	8.29	15.91	34.33						4.83	10.88	4.78	15.71	1.18	4.63	0.81			7*	石英正长岩
q24	灰白色辉钼矿化斜长花岗岩斑岩	89.52	0.51	2.87	60.79	0.52	2.45	23.99						2.03	0.92	3.81	2.95	0.21	1.35	0.07			1b	富石英花岗岩类

表 3 沙让钼矿首采段侵入岩稀土元素含量及特征值

Tab. 3 Rare - earth element content and eigenvalue of intrude rock in primary mining area

样号	稀土元素含量(10 ⁻⁶)														稀土特征值									
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	ΣCe/ΣY	δEu	(La/Yb)N	(Ce/Yb)N	δCe	(La/Sm)N
XW-1	36.8	65.3	8.01	27.7	5.04	1.4	5.83	0.72	3.27	0.62	1.81	0.3	2.03	0.29	16.1	159.12	144.25	9.04	15.96	0.79	2.20	1.50	0.88	1.47
XW-2	28.6	54.7	6.84	24.5	4.67	1.19	5.3	0.68	3.16	0.6	1.76	0.3	2	0.29	16	134.59	120.50	8.79	13.71	0.73	1.71	1.25	0.91	1.36
XW-3	45.1	81.9	10.1	34.5	6.22	1.35	7.64	0.94	4.47	0.85	2.63	0.45	3	0.42	23.8	199.57	179.17	12.76	14.04	0.60	2.69	1.88	0.89	1.44
XW-4	44.9	83.7	10.4	36.5	6.65	1.67	7.85	0.94	4.18	0.79	2.36	0.4	2.66	0.38	21.1	203.38	183.82	11.71	15.70	0.71	2.68	1.92	0.90	1.40
XW-5	27	59.6	6.56	23	4.23	1.14	5.14	0.66	3.14	0.61	1.82	0.32	2.07	0.3	16.2	135.59	121.53	8.92	13.62	0.75	1.61	1.37	1.05	1.18
XW-6	37.9	74.5	10	37.9	7.67	1.96	8.17	1.07	4.77	0.87	2.43	0.38	2.55	0.35	22.7	190.52	169.93	12.42	13.68	0.75	2.26	1.71	0.90	1.33

XW-1、XW-3:钾长花岗岩;XW-2、XW-5:斜长花岗岩斑岩;XW-4:花岗岩闪长岩;XW-6:角闪闪长岩。测试单位:国土资源部宜昌地质矿产研究所检测中心(2007)。

子,白岗岩则一般有 Ac、Ns 分子。分异指数平均为 83.8,其中白岗岩、钾长花岗岩等的分异指数相比富石英花岗岩、石英二长岩等明显较高,显示一定的分异趋势。

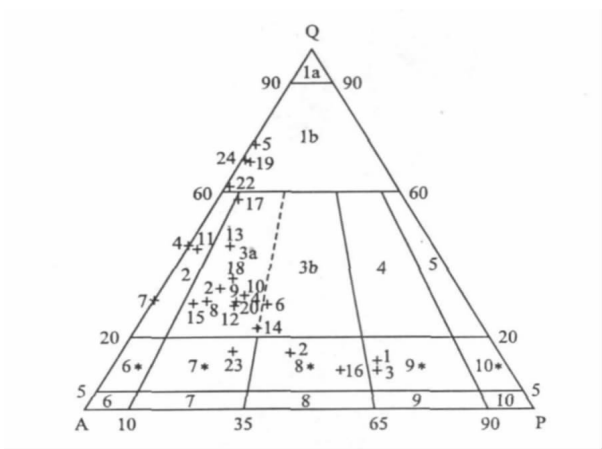


图3 深成岩 Q - A - P 分类图解
Fig.3 Q - A - P diagram of abyssal rock

4 含矿岩体岩石地球化学特征

侵入岩稀土元素含量见上页表 3,稀土元素配分模式见图 5。

侵入岩 ΣREE 介于 $134.59 \times 10^{-6} \sim 203.38 \times 10^{-6}$ 之间, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 平均 14.45,属轻稀土富集型。 δEu 介于 0.60 ~ 0.79, Eu 轻微亏损 ~ 亏损。 δCe 介于 0.88 ~ 1.05,略有亏损或富集。在不同样品之间,稀土特征十分接近,可能显示了同源性和基本一致的分异过程。

5 含矿岩体成因探讨

在 $\text{Al}/(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca}/2)$ 图解上(见下页图 6),

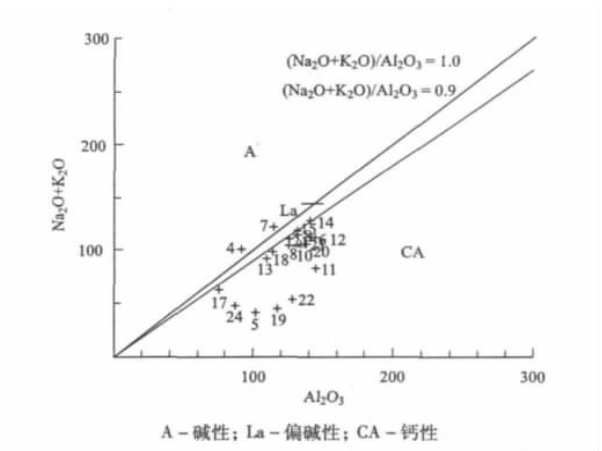


图4 花岗岩碱性程度的判别图解(据洪大卫,1987 改编)
Fig.4 Alkalinity grade discrimination diagram of granity
(Modified from Hong Da - wei,1987)

样品既有落入 I 型,也有落入 S 型花岗岩区的,在分界线附近较集中。

在 Na - K - Ca 判别图解(见下页图 7)上,岩石投影区显示既有岩浆花岗岩,也有交代花岗岩。

在 $R_1 - R_2$ 图解(见下页图 8)上,岩石主要落入 6 区同碰撞花岗岩区,少部份落入造山晚期。从岩石化学和岩石地球化学特征上,印证了在该区域上既存在与后碰撞伸展环境相关的斑岩型铜钼矿床(30 Ma ~ 13 Ma),也存在与碰撞环境相关的斑岩型钼矿床(53 Ma ±)的观点^[3]。

从含矿岩体的化学特征和地球化学特征来看,可能反映了碰撞过程和后造山过程中由于重熔岩浆具有与地壳物质不同的混染程度,以及分异程度有较大差别,故形成既不同于典型的 S 型,也异于典型 I 型岩浆岩的特征。

致谢: 在西藏沙让钼矿项目的勘查实施过程中得到了陈毓川院士、唐菊兴教授的指导,在此表示

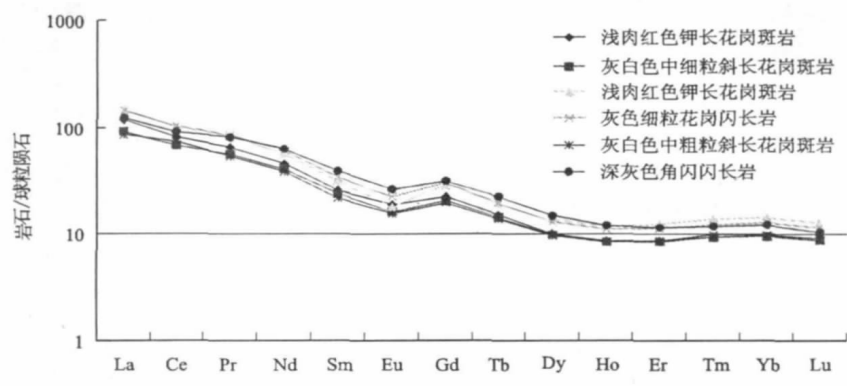


图5 沙让钼矿首采区侵入岩稀土配分模式
Fig.5 Rare earth elements pattern in the primary mining area

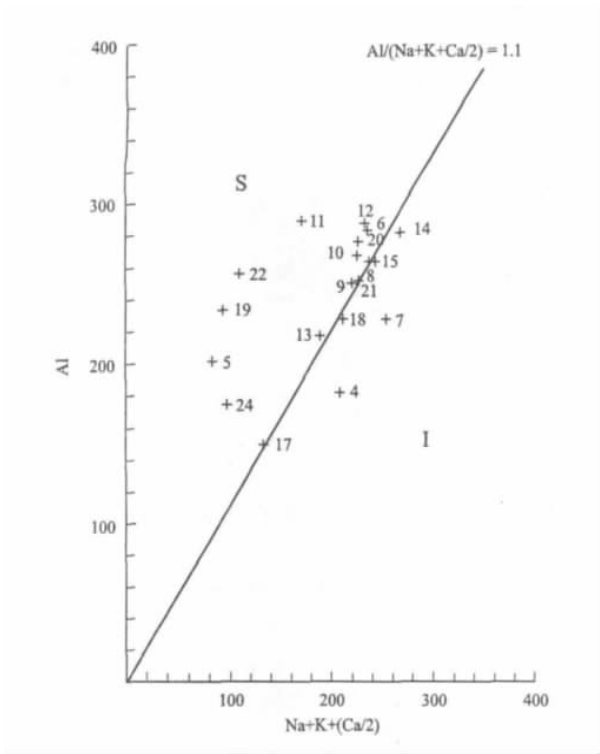


图6 S型、I型花岗岩判别图解
Fig.6 Discrimination diagram of S-type and I-type granites

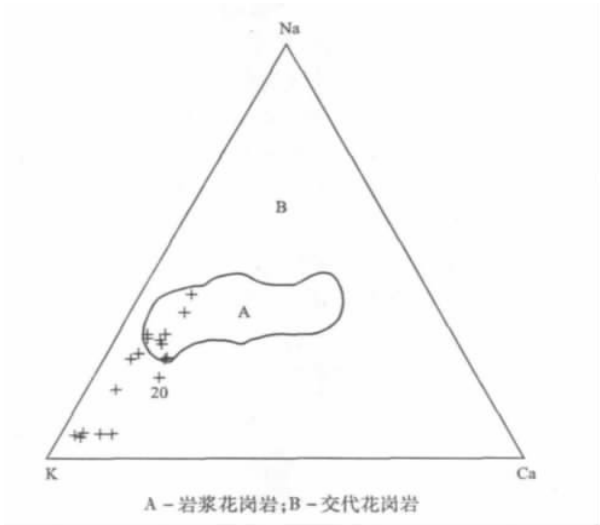


图7 Na-K-Ca 判别图解(据 R. D. Raju,1972)
Fig.7 Discrimination diagram of Na-K-Ca (Modified from R. D. Raju,1972)

衷心地感谢!

参考文献:

[1] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
[2] 邱家骧. 岩浆岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.
[3] 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 等. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义

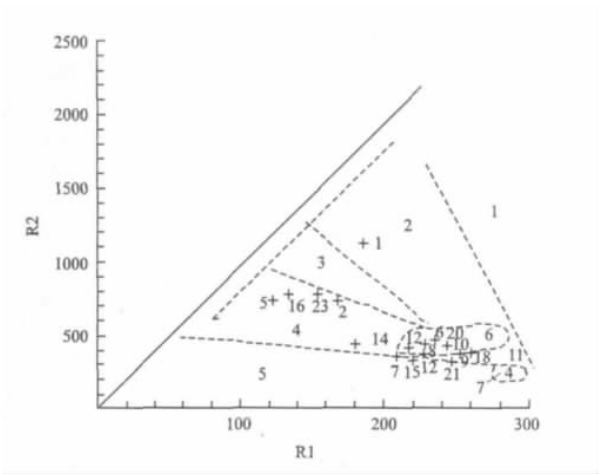


图8 R₁-R₂ 图解
Fig.8 R₁-R₂ diagram

[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 698.
[4] 李金祥, 秦克章, 李光明, 等. 冈底斯中段尼木斑岩铜矿田的 K-Ar、⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄: 对岩浆-热液系统演化和成矿构造背景的制约 [J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 953.
[5] LI GUANGMING, QIN KEZHANG, DING KUISHOU, et al. Geology, Mineralogy Ar-Ar age and Mineral Assemblage of Eocene Skarn Cu-Au-Mo deposits in the Southeastern Gangdese Arc, Southern Tibet: Implications for Deep Exploration [J]. Resource Geology, 2006(56): 315.
[6] 郑有业, 张刚阳, 许荣科, 等. 西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成岩成矿时代约束 [J]. 科学通报, 2007, 52(21): 2542.
[7] 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用 [J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 337.
[8] 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用 [J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 629.
[9] 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升 [J]. 矿床地质, 2003, 22(30): 217.
[10] 李光明, 芮宗瑶. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 22(2): 165.
[11] 秦克章, 李光明, 赵俊兴, 等. 西藏首例独立钼矿——冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义 [J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1101.
[12] 张刚阳, 郑有业, 龚福志, 等. 西藏吉如与陆陆碰撞过程相关的斑岩铜矿成岩成矿时代约束 [J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 473.
[13] 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴. 西藏沙让斑岩钼矿床锆石 SHRIMP 定年和角闪石 Ar-Ar 定年及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 323.

作者简介: 许远平 (1963-), 男, 四川成都人, 地质高工, 博士, 主要研究方向为地质勘查与研究。

si-analytical solution of cube model. Due to the complex model decomposing into some cubes, the study of the cube model can pave way for the quasi-analytical method used in fast forward and inverse modeling of the complex model in the 3D D. C. electric field.

Key words: integration equation; the quasi-analytical method; D. C. electrical field; cube

DISCUSSION ON THE SENSITIVITY OF EACH MODE DISPERSION CURVES RAYLEIGH WAVE WITH THE SHEAR WAVE VELOCITY AND DEPTH OF STRATUM

ZHANG Ming-cai, XIONG Zhang-qiang, ZHANG Da-zhou, et al. (School of Info-physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 153

The exploration of Rayleigh surface wave aimed at effectively using dispersion curves to inverse the shear wave velocity and depth of stratum, but sensitivity of each mode with the shear wave velocity and depth of stratum are different. Frequency-phase velocity difference curve of each mode is obtained by subtracting the dispersion curve from the dispersion curve with one of the media parameter 10% changed. The sensitivity of each mode of Rayleigh wave with the shear wave velocity and depth of stratum of every layer is analyzed and discussed. Experimental results show that fundamental mode is more sensitive to the shear wave velocity and depth of stratum of shallow layer, and sensitive areas mainly concentrate on the narrow frequency range, while higher modes are more sensitive to the shear wave velocity and depth of stratum of deeper layer, and sensitive areas mainly concentrate on the wide frequency range, the distributions of frequency bands with strong sensitivity are scattered. The results can provide a theoretical basis for the multi-mode joint inversion of rayleigh surface waves.

Key words: dispersion curve of rayleigh wave; shear wave velocity; depth of stratum; sensitivity

APPLICATIONS OF STABILITY EXPLORATION WITH HIGH - DENSITY ELECTRICAL METHOD IN THE XILING SNOW MOUNTAIN RESERVOIR

TAN Da-long, TUO Xian-guo, ZHAO Si-wei (College of Information Engineering of Chengdu University of technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 159

According to the shallow survey on the constructing working area in Snow Mountain reservoir, the study on the covering layer of working area and the electrical differences of bedrock, the abnormal characteristics of fracture and some comparing and correcting are carried out based on borehole data. The results show that there is obvious electrical differences among the bedrock, overburden rock and cracks and surrounding rock in working area. After the test line inversion of apparent resistivity anomalies and cross-section, a clear reflection of the up and down of bedrock and extension distribution of fracture underground rock and underground depth of the situation are showed, and thus the adverse geological scale can be delineated, and geological condition is provided to reservoir constructions.

Key words: high-density electrical method; cover layer thickness; crack

STUDY ON THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE PRIMARY MINING AREA OF SHARANG MOLYBDENUM DEPOSIT, TIBET

XU Yuan-ping^{1,2}, HE Zheng-wei¹, LIU Yan-song¹, et al. (1. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Hydro - engineering Team of Sichuan Metallurgical & Geologic Exploration Bureau, Chengdu 610501, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 165

Sharang molybdenum deposit is magmatic hydrothermal mineral deposit, the molybdenum orebodies mainly occur as veinlet and netted venation within the plagioclase granite-porphyry fracture zone, and the general strike of the orebody is EW. The industrial type of the ore is primary molybdenum sulfide, the main metallic mineral are molybdenite, pyrite, ilmenite. Molybdenite occur as schistose, granular and powdered in the ore, and the grain size of molybdenite single crystal $\leq 0.1 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$, the content of molybdenite in the ore is 0.1% ~ 3.35%. Based on the petro-chemistry analysis, the paper indicates that in the collision process and post-orogenic process, the magma hybridization is distinct from crustal matter, and the magmatic differentiation of anatectic magma is widely different. For that reason, the ore-bearing rock bodies in the Sharang deposit have the characteristic which is not only different from typical S-type granites, but also different from typical I-type granites.

Key words: granite-porphyry; primary sulfide deposit; geological character; sharang molybdenum deposit

STUDY OF CORRELATION OF FRACTURE CAUSED BY COAL MINE PRODUCTION AND RADON CONCENTRATION

BAI Qiang¹, FANG Fang¹, LI Xiang² (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. The National Energy Bureau, Beijing 100824, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR*