

编号: 0258-7106(2011)02-0207-12

西藏墨竹工卡县甲玛矿区筒状矿体的发现及其地质意义*

郑文宝¹, 陈毓川², 唐菊兴^{2* * *}, 畅哲生³, 汪雄武¹, 应立娟², 黎枫信⁴,
王 焕², 唐晓倩¹

(1 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3 中国黄金集团, 北京 100011; 4 中国石油川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司, 四川 成都 610213)

摘 要 甲玛铜多金属矿床是冈底斯成矿带内与斑岩成矿作用有关的斑岩-矽卡岩型矿床。通过对甲玛矿区16号、32号勘探线剖面上主成矿元素以及其他常微量元素矿化分布规律的分析, 指出在16线ZK1620~ZK1618之间存在筒状钼铜矿体, 其角岩中矿体最大厚度491.38 m, 铜平均品位0.21%, 钼平均品位0.046%, 矿化中心位于ZK1616附近; 同时, 在林布宗组与多底沟组层间构造带中产出巨厚的矽卡岩型铜钼(金银)多金属矿体, 矿体厚度最大达252.2 m, 铜平均品位0.75%, 钼平均品位0.10%, 金平均品位0.24 g/t, 银平均品位12.26 g/t。在32线ZK3212~ZK3220范围内也存在筒状钼铜矿体, 角岩型矿体最大厚度826 m, 铜平均品位0.24%, 钼平均品位0.054%, 矿化中心位于ZK3216附近; 角岩矿体下部为矽卡岩型铜钼(金银)多金属矿体, 矿体最厚处超过127.9 m, 铜平均品位0.72%, 钼平均品位0.053%, 金平均品位0.11 g/t, 银平均品位7.02 g/t。研究表明, 甲玛铜多金属矿存在一个以ZK1616~ZK3216一带为矿化中心的筒状矿体(角岩+矽卡岩型矿体), 在筒状矿体的深部可能存在隐伏含矿斑岩体。

关键词 地质学; 筒状矿体; 巨厚层状矽卡岩; 矿床成矿系列; 斑岩-矽卡岩-角岩型矿体; 甲玛铜多金属矿床
中图分类号: P618.41 **文献标志码**: A

Discovery of the tubular ore body in Jiama ore district, Tibet and its geological significance

ZHENG WenBao¹, CHEN YuChuan², TANG JuXing², CHANG ZheSheng³, WANG XiongWu¹,
YING LiJuan², LI FengJi⁴, WANG Huan² and TANG XiaoQian¹

(1 College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 China National Gold Group Corporation, Beijing 100011, China; 4 Geophysical Exploration Company, CNPC Chuangqing Drilling Engineering Co. Ltd., Chengdu 610213, Sichuan, China)

Abstract

The Jiama polymetallic copper deposit in Tibet is a porphyry-skarn type ore deposit related to ore-forming process of porphyry. According to the analysis of main ore-forming elements, mineralization distribution regularities of major elements and trace elements along the profile of No. 16 and No. 32 exploration lines, this paper indicates that there exists a tubular molybdenum-copper ore body between ZK1620 and ZK1618 of No. 16 exploration line. The maximum thickness of the hornfels ore body is 491.38 m, the average grade of copper is 0.21%, and the average grade of molybdenum is about 0.046%. The mineralization center should be located

* 本文得到国家973项目(2011CB403103)中央公益性行业科研专项(200911007-02)国家科技支撑项目(2006BAB01A01)青藏专项(1212010818089)和技术开发项目(E0804)共同资助

第一作者简介 郑文宝,男,1982年生,在职博士生,矿床学专业。Email: zhengwenbao2009@sina.com。

**通讯作者 唐菊兴,男,1964年生,博士研究员,主要从事矿床勘查与评价。Email: tangjuxing@126.com。

收稿日期 2010-07-09; 改回日期 2011-01-08。张绮玲编辑。

near ZK1616. The very thick skarn type copper-molybdenum (gold and silver) polymetallic ore body is distributed in the expansion space between layers of J_3d and K_1l . Its maximum thickness is 252.2 m, and the average grade of copper is 0.75%, that of molybdenum is about 0.10%, that of gold is about 0.24 g/t, and that of silver is about 12.26 g/t. What's more, there is a tubular molybdenum-copper body between ZK3212 and ZK3220 of No. 32 exploration line. The maximum thickness of the hornfels ore body is 826 m, with the average grade of copper being 0.24% and that of molybdenum being about 0.054%. The mineralization center should be situated near ZK3216. Beneath the hornfels ore body there is a very thick skarn type copper-molybdenum (gold and silver) polymetallic ore body, whose maximum thickness is more than 127.9 m, and whose copper average grade is 0.72%, molybdenum average grade is about 0.053%, gold average grade is about 0.11 g/t and silver average grade is about 7.02 g/t. The Jiama copper-polymetallic ore deposit has a tubular ore body (hornfels + skarn type ore body), with the area of ZK1616~ZK3216 being the mineralization center. Whether there exists an ore-bearing porphyry body beneath the tubular ore body is an important subject in further research work.

Key words: geology, tubular ore body, very thick layered skarn, metallogenic series of ore deposits, porphyry-skarn-hornfels type ore body, Jiama copper-polymetallic deposit

西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床是冈底斯成矿带内中东段产出的超大型矿床,是矿床成矿系列理论指导找矿实践取得的重大找矿成果。该矿床的成因问题一直是国内地质学家争论的焦点。通过研究,人们认为该矿床是一个与斑岩有关的斑岩-矽卡岩-角岩型矿床(应立娟等,2009;2010;唐菊兴等,2009^①;2010;郑文宝等,2010)。根据最新的测年结果,甲玛矿床的成岩成矿时代介于18~14 Ma之间(应立娟等,2009;2010),否定了甲玛铜多金属矿床属于海底喷流成矿之说(成岩成矿时代应介于晚侏罗世至早白垩世之间)(杜光树等,1998;姚鹏等,2002)。目前,迫切需要解决的是甲玛矿区深部是否存在隐伏的含矿斑岩体。本文通过对甲玛矿区16号、32号勘探线剖面上主成矿元素以及其他常量、微量元素的分析,发现甲玛矿床内一个以ZK1616~ZK3216一带为矿化中心的筒状矿体(角岩+矽卡岩型矿体)(图1),并结合矿区其他证据,探讨了筒状矿体下部存在含矿斑岩体的问题。

1 地质概况

甲玛矿区位于冈底斯-念青唐古拉地体东段中部,距拉萨市68 km。

甲玛矿区及邻近区域的地层主要为被动陆缘火山沉积岩系,包括上三叠统麦隆岗组 T_3m 、中-下侏罗统叶巴组 J_{1-2y} 、上侏罗统却桑温泉组 J_3q 和多底沟组 J_3d 、下白垩统林布宗组 K_1l 、楚木龙组 K_1c 以及塔龙拉组 K_1t 。岩浆岩以发育侵入岩和火山岩为特征,侵入岩岩性上,从基性—中性—酸性;时间上有海西期—印支期、燕山期—喜马拉雅期,尤以燕山期、喜马拉雅期最发育;在空间上,侵入岩在各构造单元内均有分布,只是各构造单元的成岩环境不同造成了侵入岩特征各有差异。而火山岩则以林子宗组火山岩的广泛分布为特征。区内主要发育 NWW 向延伸的甲玛-卡军果推覆构造体系,甲玛矿区位于该推覆构造系前部带。

甲玛铜多金属矿床是冈底斯成矿带内典型的斑岩-矽卡岩-角岩型矿床,以矽卡岩型矿体为主矿体,呈层状、厚板状产于下白垩统林布宗组砂板岩、角岩(矿体顶板)与上侏罗统多底沟组灰岩、大理岩(矿体底板)的推覆-滑覆构造引起的扩容空间内。I号矽卡岩型主矿体走向约 300° ,矿体沿走向长为 3 000 m,倾向 30° ,延伸大于 2 500 m(尚未控制到边界)。矿体产状具明显的上陡下缓的特点,上部矿体倾角一般 $50\sim 70^\circ$,为铅锌(铜钼金银)矿石组合;下部矿体倾角一般小于 20° ,为铜钼(金银)矿石组合。除 I 号

① 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭娜,郭科,郑文宝,秦志鹏,李磊,凌娟,叶江,黎枫信,姚晓峰,李志军,孙艳,王友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区 0-16-40-80、0-15 线矿段铜多金属矿勘探报告.

② 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭娜,郭科,郑文宝,秦志鹏,李磊,凌娟,叶江,黎枫信,姚晓峰,李志军,孙艳,王友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛矿区外围铜多金属矿详查报告.

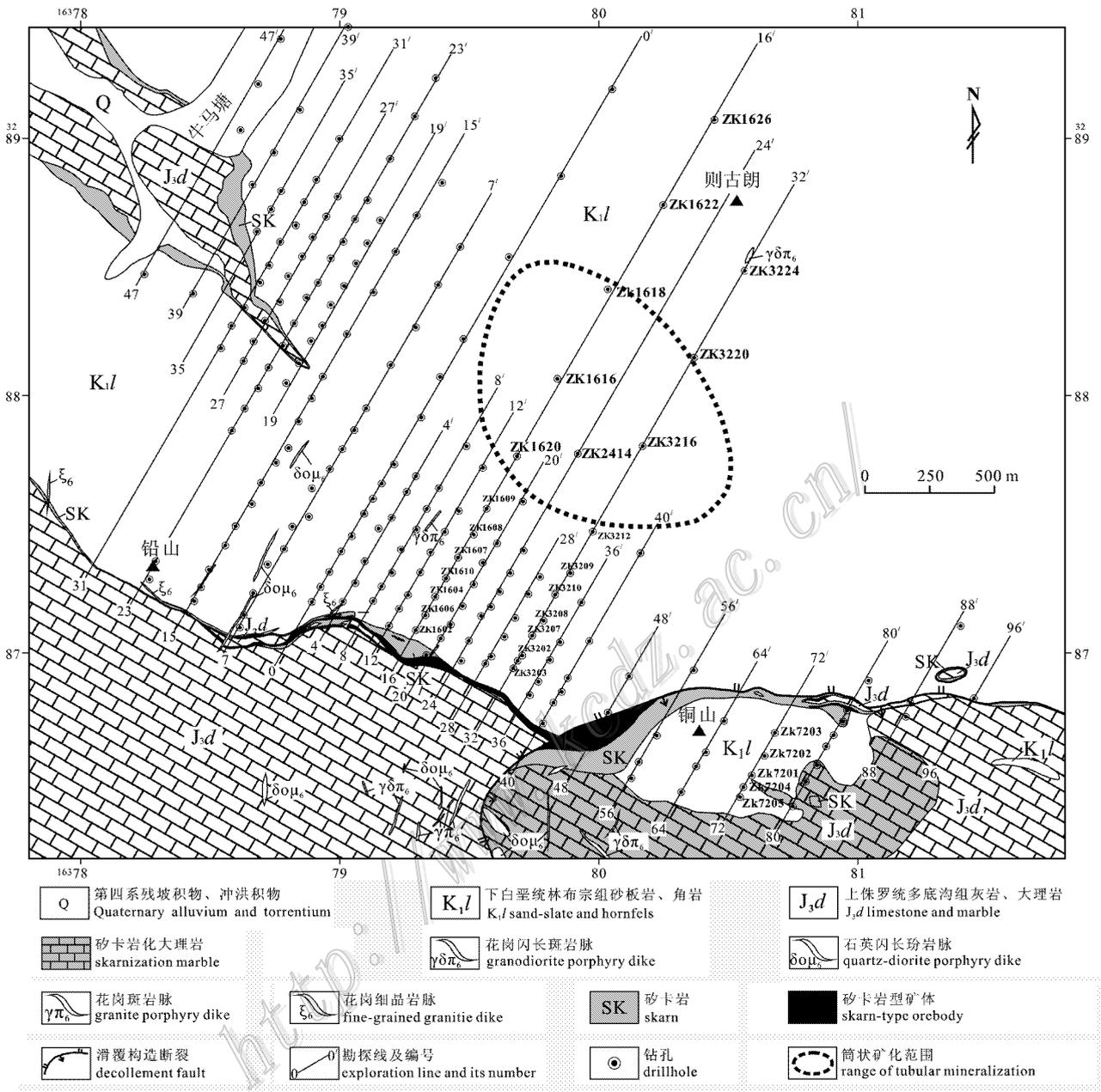


图 1 甲玛矿区地质图(坐标为北京 54 公里网)

Fig. 1 Geological map of the Jiama ore district

砂卡岩型矿体产于层间构造中,另有 7 个砂卡岩型小矿体均产于滑覆体内,受滑覆构造产生的次级褶皱控制(图 2)。

2 典型剖面的矿化分布规律

甲玛铜多金属矿床属于与喜马拉雅期与中新世偏碱性岩浆活动有关的斑岩-砂卡岩-角岩型铜铅锌金银矿床成矿亚系列。其斑岩型矿体、角岩型矿

体和砂卡岩型矿体同属于该成矿亚系列的重要组成部分。以下列举了 2 个比较典型的勘探线剖面的实例,显示了成矿元素和部分常量、微量元素的分布特征。样品测试单位为具有国家计量认证资质的西南冶金地质测试所。测试方法: Au 采用王水 + 氟化物溶解,活性炭富集, AAS 石墨炉原子吸收测定 (w_{Au} 为 $0.01 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$) ; AAS 火焰法原子吸收测定 ($w_{Au} > 0.3 \times 10^{-6}$) ; Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 采用王水 + 氢氟酸 + 高氯酸溶解,全谱直读等离子发射光

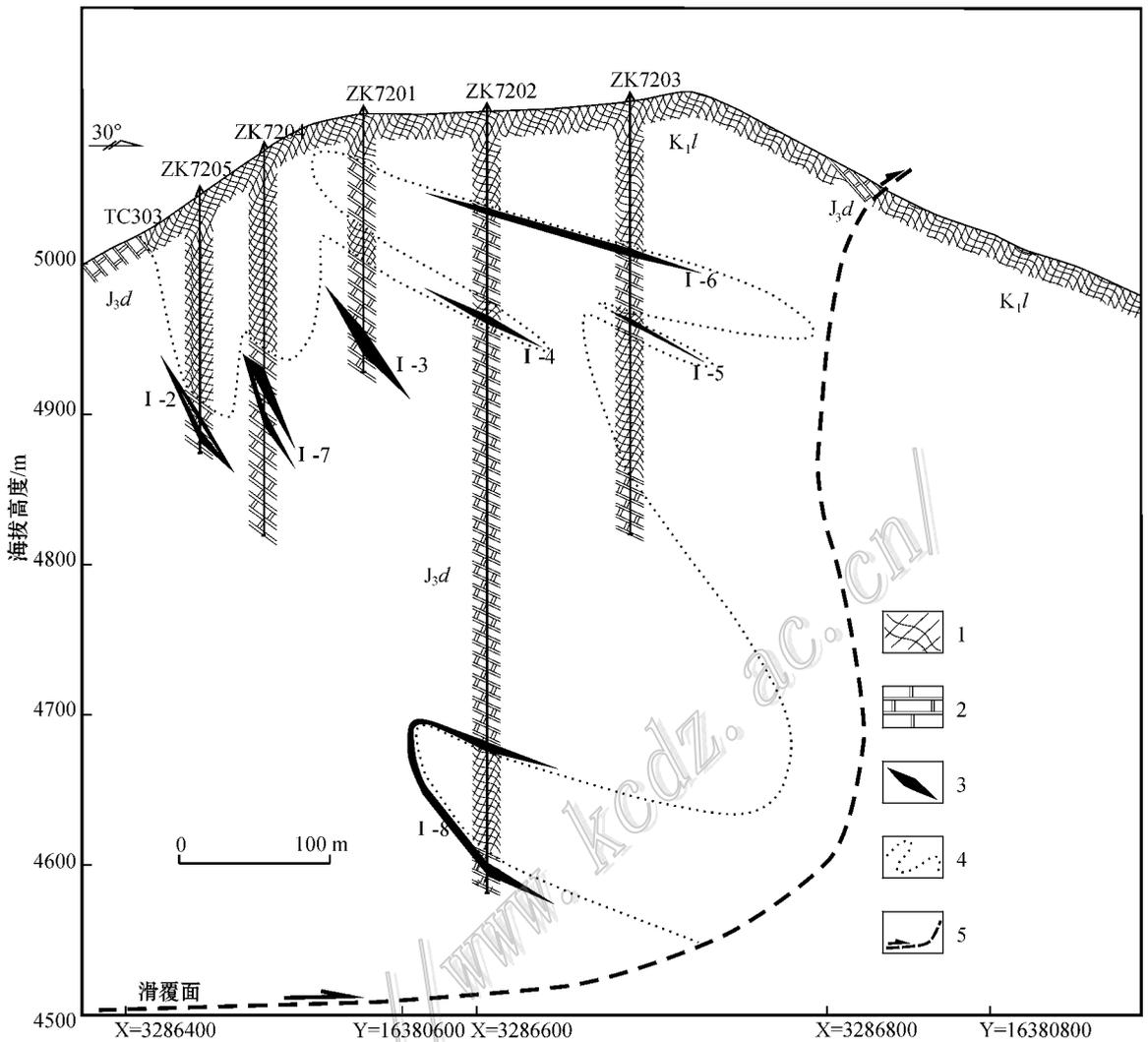


图 2 甲玛矿区 72 号勘探线剖面图

1—下白垩统林布宗组角岩；2—上侏罗统多底沟组大理岩；3—矽卡岩型矿体及编号；4—角岩与矽卡岩界线；5—推测滑覆断裂

Fig. 2 Geological section along No. 72 exploration line of the Jiama ore district

1—Hornfels of Lower Cretaceous Linbucong Formation；2—Marble of Upper Jurassic Duodigou Formation；3—Skarn ore body and its serial number；4—Boundary between hornfels and skarn；5—Inferred decollement fault

谱法测定。测试精度：通过样品内检以及外检控制（外检单位：国家地质测试中心），内检或外检分析同基本分析值误差一般在 5% 以内，视样品基本分析值可靠。

2.1 16 号勘探线剖面地质地球化学特征

主成矿元素的矿化分带：甲玛矿区的主成矿元素为铜、钼。根据该剖面上 12 个钻孔 3 433 件样品的分析数据（样品在整个剖面上分布较均匀，可满足绘制等值线时克里格插值的要求），在剖面上绘制铜、钼等值线图（图 3）。根据图 3a 铜矿化分布图，从 ZK1620~ZK1618 存在一个筒状铜矿化体，铜矿化

强度为 0.3% 左右，矿化中心集中在 ZK1616 位置〔ZK1616 孔角岩型矿体厚度 491.38 m，铜平均品位（质量分数，下同）为 0.21%，钼平均品位 0.046%；矽卡岩型矿体厚度 252.2 m，铜平均品位 0.75%，钼平均品位 0.10%〕。而对于钼矿化分布图（图 3b），在 ZK1620-ZK1618 范围内则存在一个非常明显的筒状钼矿化体，其钼矿化强度为 0.03%~0.06%。综合 16 号勘探线剖面上的铜、钼矿化分布情况，在 ZK1620~ZK1618 范围内存在明显的筒状铜钼矿化体，其矿化中心位于 ZK1616 附近，由上部角岩型钼铜矿体和下部的矽卡岩型铜多金属矿体组成。

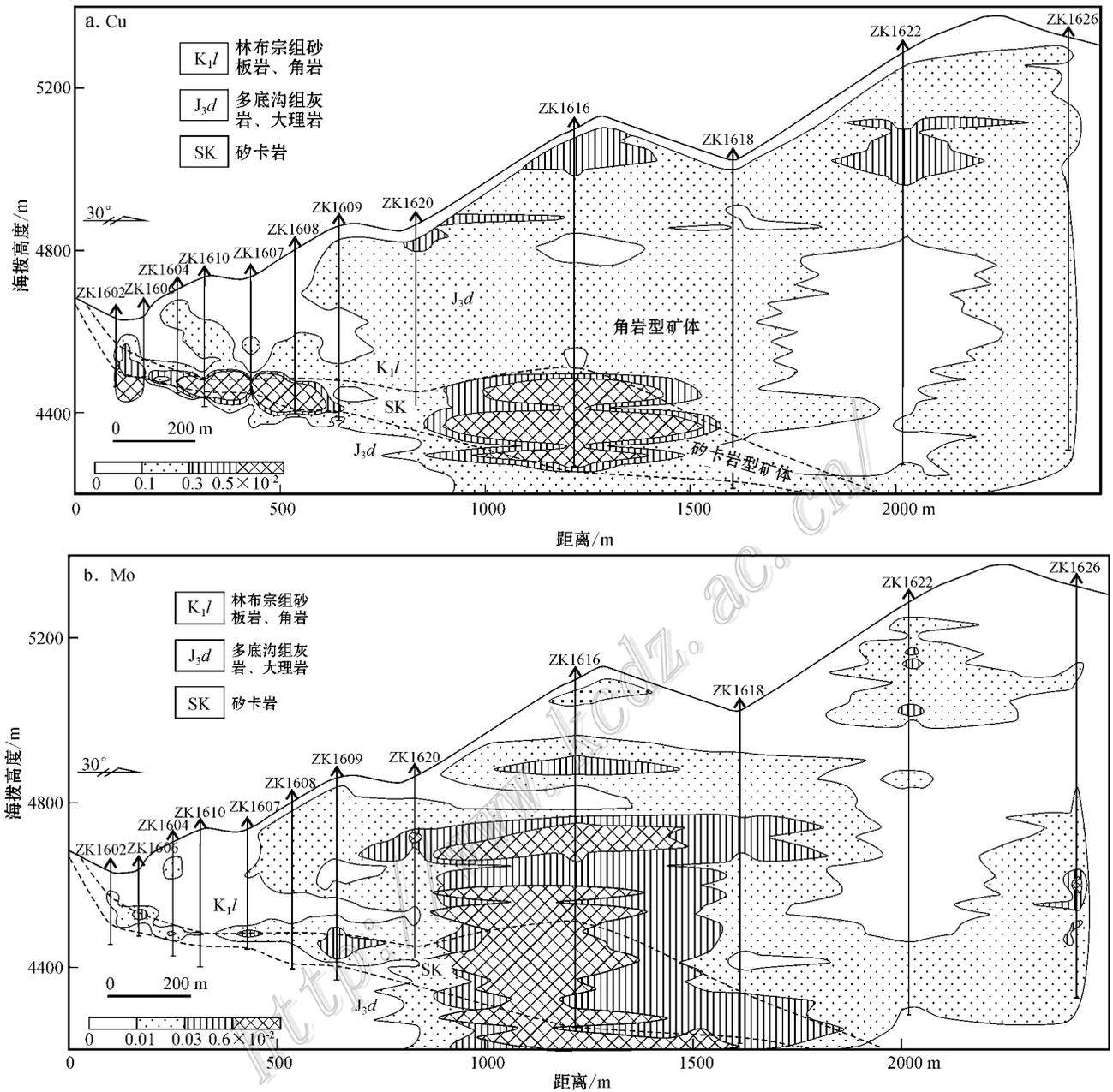


图 3 甲玛矿区 16 号勘探线剖面铜 (a) 钼 (b) 元素矿化分布图

Fig. 3 Distribution of copper (a) and molybdenum (b) mineralization along No. 16 exploration line of the Jiama ore district

某些常量、微量元素的分带特征：16 号勘探线剖面处于矿区中部，为甲玛矿区的典型剖面。本次研究工作针对该剖面每个钻孔上间隔一定的间距（50~100 m）进行样品系统采集，对采集的样品进行硅酸盐、微量元素以及稀土元素分析。本文仅对部分常量、微量元素的分布情况进行分析（表 1 图 4）。

从 SiO₂ 与 CaO 的含量在剖面上的分布情况（图 4a、4b）可以看出，二者的分带与岩石类型基本一致，反映了成矿流体沿林布宗组与多底沟组的层间构造

带运移过程中，同多底沟组大理岩进行双交代形成砂卡岩后，流体进一步在砂卡岩中通过交代-充填的方式成矿的特点。而林布宗组角岩中 $w(\text{SiO}_2)$ 大多大于 60%，这与角岩中大量发育石英网脉有关系。在 ZK1616 的深部显示 $w(\text{SiO}_2)$ 有增高的趋势，表明深部存在富硅流体源。此外，从图 4a、4b 上清晰可见成矿流体沿层间扩容空间对角岩和大理岩有渗滤交代的现象，大理岩中有硅化，角岩中有钙化的现象。

表1 16号勘探线样品部分常量、微量元素分析结果

Table 1 Major and trace element analyses of some samples collected along No. 16 exploration line

样品编号	岩石名称	$\sum(B)\%$				$\sum(B)10^{-6}$					LREE/HREE
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	Bi	U	Y	Sn	\sum REE	
ZK1602-22.1	角岩	63.8	1.2	4.62	2.28	0.35	2.13	24.4	1.66	155.2	7.7
ZK1602-63.5	含硅灰石石榴子石砂卡岩	40.1	12.3	0.93	33.9	9.17	6.53	49	14	152.6	5.7
ZK1602-65.87	石榴子石砂卡岩	43.2	9.58	5.46	24.6	1541	—	17.7	12.6	54.5	3.7
ZK1602-99.08	大理岩	5.7	0.2	0.47	51.8	3.52	—	8.21	0.35	24.7	4.0
ZK1602-127.7	含石榴子石硅灰石砂卡岩	46.6	2.31	0.59	43.3	3.82	3.45	36.6	2.18	103.0	5.0
ZK1604-76.6	硅化角岩	65.6	2.93	2.26	2.18	0.47	2.15	26.7	1.99	156.6	7.7
ZK1604-147.6	角岩	58.4	0.74	5.57	4.38	1.45	—	27.6	1.41	197.4	7.4
ZK1604-200.64	石榴子石砂卡岩	40.7	14.7	4.15	27.8	106	—	31.4	17.7	101.6	4.2
ZK1604-241.87	大理岩化灰岩	9.1	0.2	0.18	53	1.56	—	2.9	0.22	8.1	3.5
ZK1607-13.8	角岩	54.2	0.99	2.5	8.12	0.42	2.44	30	2.72	182.2	8.2
ZK1607-101.14	角岩	64.8	1.61	4.74	1.6	0.56	—	31.1	1.5	208.5	7.5
ZK1607-158.8	角岩	62.3	2.36	2.01	2.34	1.3	2.09	24.1	2.76	127.6	7.0
ZK1607-242	硅化砂卡岩化角岩	72.8	3.83	1.17	1.14	2.26	2.33	22.8	2.36	116.4	6.7
ZK1607-278	硅灰石砂卡岩	45.0	0.89	1.29	40.7	2254	—	3.79	0.58	13.8	4.3
ZK1608-260.3	角岩	64.9	1.86	4.2	1.06	0.09	1.33	23.6	1.06	133.0	7.2
ZK1608-326.4	石榴子石硅灰石砂卡岩	50.7	6.26	0.75	39.9	0.91	2.09	10.8	29.1	26.7	4.7
ZK1608-332.2	石榴子石砂卡岩	40.7	13.5	1.58	37.4	41.6	—	11.1	56.5	28.8	3.8
ZK1608-392.8	硅灰石砂卡岩	40.4	0.83	2.32	44.9	317	—	4	2.46	10.1	3.1
ZK1608-393.89	大理岩	17.0	0.32	0.34	52	22.7	—	1.47	0.81	3.6	4.0
ZK1609-28.7	角岩化板岩	60.8	2.6	3.27	1.17	3.1	—	31.6	3.22	202.1	7.9
ZK1609-88.0	硅化角岩	68.1	2.42	2.51	2.55	0.49	2.05	28.5	2.07	160.5	7.5
ZK1609-148.1	角岩	61.0	2.39	2.51	1.17	0.55	2.34	22.8	2.3	141.6	8.2
ZK1609-294	角岩	59.5	2.94	2.68	1.1	7.4	—	25.6	2.75	175.1	8.0
ZK1609-335.2	角岩	62.4	1.78	3.32	1.08	0.46	2.34	31.4	2.64	187.0	8.0
ZK1609-378.3	砂卡岩	54.7	2.32	1.02	11	9.5	—	30.6	9.03	102.0	3.4
ZK1609-413.1	砂卡岩化角岩	60.9	0.97	1	5.32	1.24	—	29.1	1.55	159.7	6.1
ZK1609-416.4	砂卡岩化角岩	59.5	0.47	0.9	6.9	0.94	2.29	29	2.77	124.3	5.4
ZK1609-442.9	石榴子石砂卡岩	46.1	0.55	2.86	44	498	—	4.51	3.58	21.3	6.5
ZK1609-460.4	石榴子石砂卡岩	38.9	21.7	0.7	34.7	1.45	2.43	5.01	8.43	31.2	9.1
ZK1609-461.03	大理岩	11.8	0.49	0.31	52.3	15.8	—	1.72	0.71	8.7	6.2
ZK1620-44.25	硅化角岩	67.0	1.64	3.04	0.84	5.97	—	28.2	3.87	169.7	6.7
ZK1620-141.15	角岩	62.4	1.91	1.49	5.16	2.95	—	23.3	2.34	165.9	7.9
ZK1620-215.15	硅化角岩	66.5	0.69	2.89	1.17	5.58	—	25.8	2.54	185.3	8.1
ZK1620-295.85	硅化角岩	74.6	0.94	1.69	1.13	1.59	—	19.5	1.61	128.6	7.3
ZK1620-337.25	硅化角岩	70.5	0.68	2.21	1.36	1.35	—	19.4	1.5	140.6	8.3
ZK1616-20.66	角岩化板岩	67.9	2.41	2.78	0.64	3.39	—	24.8	5.59	160.9	6.3
ZK1616-86.88	角岩化板岩	63.9	2.65	1.67	0.52	5.45	—	29.4	3.58	209.9	7.6
ZK1616-112.93	角岩	64.0	2.54	0.88	0.67	0.76	—	27.9	2.82	198.1	7.8
ZK1616-151.2	角岩	61.9	2.63	1.37	1.43	0.44	2.72	30.1	2.69	188.3	8.4
ZK1616-217.44	角岩	58.2	3.66	1.24	2.11	2.21	—	30.2	2.79	195.8	7.2
ZK1616-284.8	硅化角岩	66.1	1.69	0.9	3.4	1.18	4.59	6.04	1.48	98.4	17.6
ZK1616-448.66	角岩	63.2	1.3	2.77	0.52	2.45	—	24.4	2.28	164.0	7.6
ZK1616-492.66	硅化角岩	66.9	0.83	2.77	0.75	1.71	—	24.4	1.53	165.0	7.8
ZK1616-535.66	硅化角岩	65.6	2.19	3.92	0.47	5.45	—	26	2.76	139.9	6.9
ZK1616-610.16	石榴子石砂卡岩	36.9	15.3	2.66	30.6	40.5	—	49.5	35.6	143.5	6.9
ZK1616-660.26	石榴子石砂卡岩	37.0	13.8	3.09	29.3	336	—	2.99	32.3	15.6	7.5
ZK1616-698.26	石榴子石砂卡岩	58.6	7.84	4.02	22.3	155	—	6.37	18.2	26.5	6.8
ZK1616-798.26	石榴子石砂卡岩	41.0	17.5	4.26	29.6	303	—	2.99	30	23.3	12.0
ZK1616-838.86	强硅化岩	91.9	0.9	2.84	2.88	11.4	—	2.59	3.07	10.0	5.5
ZK1618-86.95	硅化角岩	66.1	1.77	3.47	0.69	1.58	—	30.2	4.36	196.4	7.5
ZK1618-196.02	硅化角岩	67.1	2.03	1.53	1.76	2.38	—	25.6	1.99	173.3	7.6

续表 1
Cont. Table 1

样品编号	岩石名称	$\sum(B)/\%$				$\sum(B)/10^{-6}$					LREE/HREE
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	Bi	U	Y	Sn	\sum REE	
ZK1618-270.86	角岩	64.9	1.81	1.06	1.22	0.97	—	28.9	2.79	194.9	7.9
ZK1618-350.86	硅化角岩	76.2	1.24	1.42	1.06	0.74	—	18.4	1.81	124.5	7.5
ZK1618-441.18	硅化角岩	65.7	1.03	1.78	1.58	0.68	—	30	2.56	212.9	8.1
ZK1618-548.27	角岩	64.5	2.29	1.06	2.62	0.86	—	24	1.55	159.7	7.7
ZK1618-617.96	角岩	64.6	1.39	1.62	2.14	0.62	—	29	1.58	218.9	8.4
ZK1618-725.26	角岩	53.1	3.91	1.37	31	100	—	7.68	10.6	22.9	4.1
ZK1622-28.6	硅化角岩	72.4	2.34	0.34	0.05	0.39	1.62	17.4	3.39	146.1	9.7
ZK1622-84.6	角岩	61.5	3.02	1.38	0.17	0.69	1.42	18.8	3.35	128.7	8.2
ZK1622-175.2	角岩	62.1	4.22	1.64	0.25	0.52	3.05	39.1	5.08	186.7	6.4
ZK1622-256.7	硅化角岩	72.7	2.31	0.68	0.26	1.07	2.32	23.6	3.01	150.2	8.0
ZK1622-323.1	硅化角岩	75.5	2.74	1.35	0.18	1.75	2.15	20.5	2.34	99.2	6.1
ZK1622-384.1	角岩	55.5	3.29	1.31	0.46	0.52	3.08	25.3	4.57	180.2	8.0
ZK1622-464	角岩	64.0	1.63	0.7	0.27	0.22	1.44	17.2	3.62	147.4	9.5
ZK1622-564.3	硅化角岩	66.6	1.9	0.68	3.11	0.96	3.99	6.28	1.33	83.3	15.3
ZK1622-638.2	硅化角岩	69.5	1.42	0.97	2.57	0.64	4.45	6.07	1.31	90.3	16.5
ZK1622-726.2	硅化角岩	68.0	1.46	0.86	2.62	0.75	4.62	5.82	1.26	82.4	15.0
ZK1622-807	角岩	60.8	3.31	1.04	1.13	0.43	2.27	20.8	2.38	119.5	7.6
ZK1622-872	硅化角岩	68.3	2.07	1.51	1.59	0.4	2.45	24.9	1.93	144.6	7.7
ZK1622-961.23	硅化角岩	71.4	1.24	1.6	0.97	0.35	2.76	25.8	1.78	155.9	8.1
ZK1626-433.8	强硅化角岩	81.9	3.62	0.81	0.18	2.19	3.16	27.7	1.9	106.5	4.9
ZK1626-513.89	角岩	59.7	6.9	0.7	1.51	1.72	1.93	25.4	3.06	161.9	7.6
ZK1626-573.79	硅化角岩	74.7	4.41	0.84	0.41	2.35	1.91	18.9	2.98	107.6	7.4
ZK1626-645.52	角岩	64.8	2.92	1.17	0.27	2.33	3.05	28.1	4.5	177.6	8.2
ZK1626-695	硅化角岩	67.5	2.36	1.67	1.12	0.76	2.19	24.9	2.92	155.5	8.0
ZK1626-755.45	硅化角岩	71.4	1.59	0.34	0.05	0.9	2.59	22.6	5.16	193.1	11.8
ZK1626-802.4	强硅化角岩	85.2	2.17	1.28	0.1	0.93	1.76	14.9	2.53	100.8	9.1
ZK1626-874.8	角岩	57.6	1.31	0.42	0.22	0.31	1.45	18.1	4.13	154.3	9.7
ZK1626-981.06	角岩	58.7	1.52	0.92	0.3	0.58	1.73	16.2	4.19	132.8	10.1

注 测试由国家地质测试中心完成,表 1 只列出了与文章有关的部分元素的测试结果。

剖面上,Fe₂O₃、FeO 以及 U、Bi、Sn 的矿化分布均与 ZK1620~ZK1618 之间的筒状铜钼矿化体基本一致(图 4c、4d、4g、4h、4i),与主成矿元素铜钼的矿化分布相似。这些更倾向于富集于花岗斑岩体中的元素在剖面上的分布特征,同样暗示了深部可能有岩体的存在。

稀土元素总量的分布表现出,矽卡岩中的 REE 总含量一般为 60×10^{-6} 左右,石榴子石矽卡岩的 REE 总含量可达到 100×10^{-6} 左右(如 ZK1609 孔上部为石榴子石矽卡岩),介于大理岩与矿区斑岩的 REE 总含量之间(唐菊兴等,2009^{①②}),加上稀土元素总量的分布与矽卡岩的分布基本一致,这说明矽卡岩中的 REE 主要继承了岩浆热液流体中 REE 的

特征(图 4e)。另外,从图 4f 可以清楚地看出,在 ZK1616 孔深部矽卡岩矿体中有明显的轻稀土元素富集,这可能与深部斑岩矿化有关。秦志鹏等(2011)认为甲玛含矿斑岩具有埃达克质岩的特征,具有明显的低 Y 特征,一般小于 16×10^{-6} ,图 4j 显示, ZK1620~ZK1618 范围内矽卡岩型矿体的 $\sum(Y)$ 在 9×10^{-6} 左右,这是否暗示了含矿流体继承了斑岩成矿流体的性质,有待进一步研究。

通过对 16 线剖面上部分常量、微量元素含量分布规律的分析,认为 Cu、Mo 元素矿化分布具有筒状矿化的分布特征,筒状矿体由上部的筒状角岩型钼铜矿体和下部的矽卡岩型矿体构成,其中矽卡岩型钼铜矿体厚度最厚可达 250m,两者同属于斑岩

① 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭娜,郭科,郑文宝,秦志鹏,李磊,凌娟,叶江,黎枫佶,姚晓峰,李志军,孙艳,王友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区 0-16-40-80、0-15 线矿段铜多金属矿勘探报告.

② 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭娜,郭科,郑文宝,秦志鹏,李磊,凌娟,叶江,黎枫佶,姚晓峰,李志军,孙艳,王友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛矿区外围铜多金属矿详查报告.

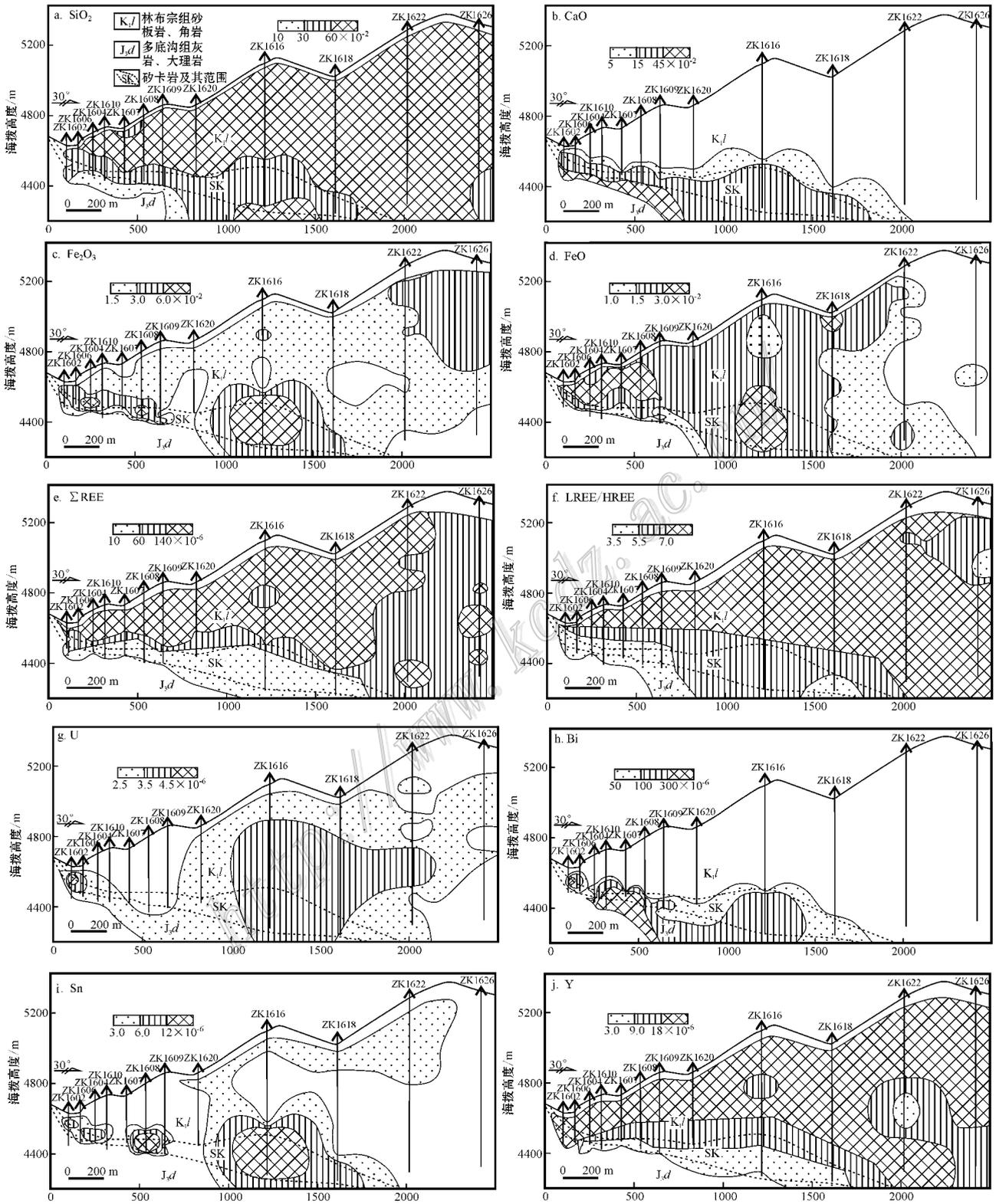


图 4 16号勘探线剖面部分常量、微量元素含量分布图

Fig. 4 Distribution of some major and trace elements along No. 16 exploration line

成矿系统的一部分。同时, Fe_2O_3 、 FeO 、 $LREE/HREE$ 、 U 、 Bi 、 Sn 、 Y 等组分的剖面分布特征, 指示筒状矿化的下部可能是流体源或含矿斑岩体。

2.2 32号勘探线剖面 Cu、Mo 元素地球化学特征

32号勘探线剖面上共计 11 个钻孔, 3 359 件样品分析数据, 样品分布较均匀。由图 5a 可以看出,

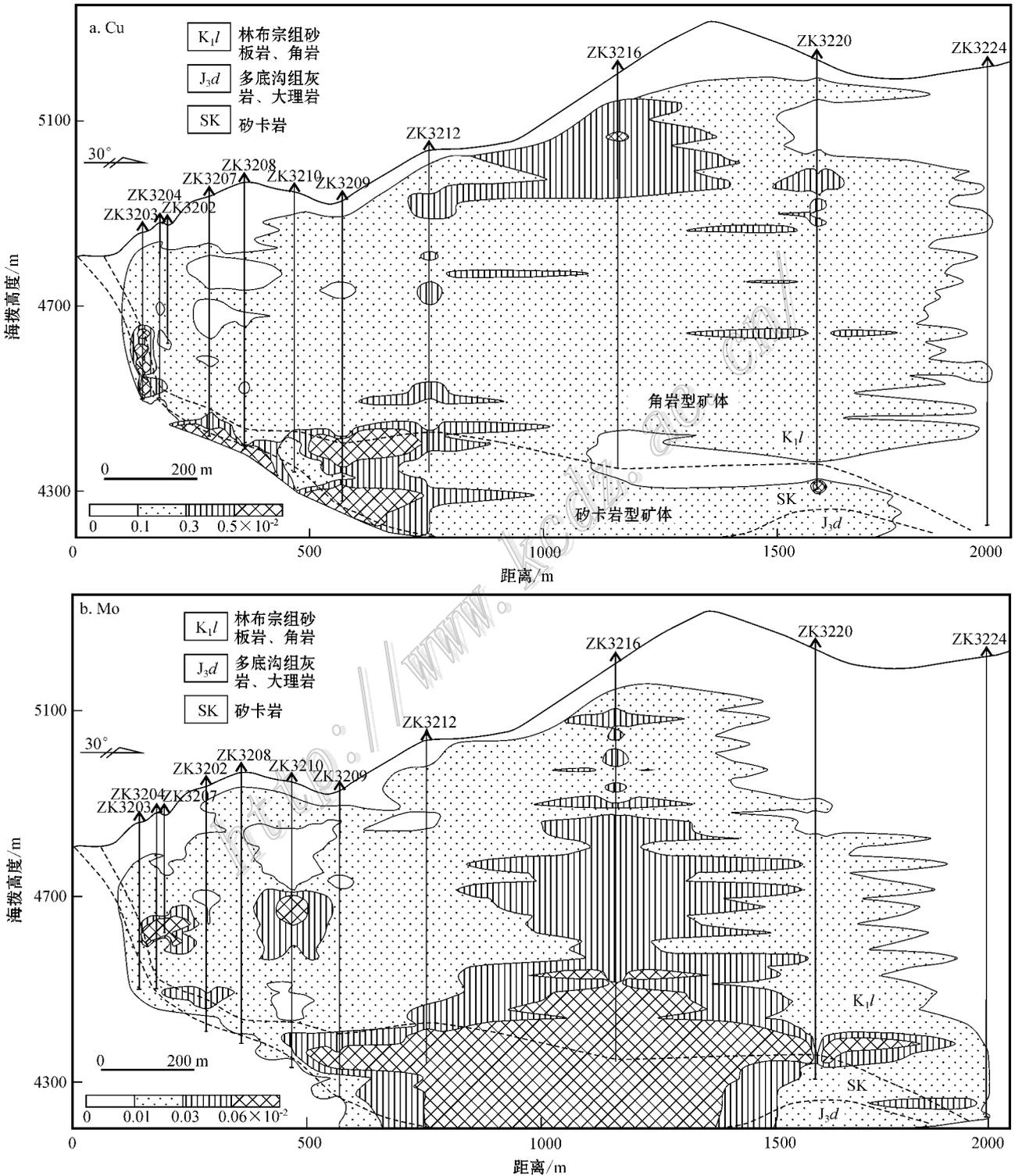


图 5 甲玛矿区 32 号勘探线剖面铜 (a) 钼 (b) 元素矿化分布图

Fig. 5 Distribution of copper (a) and molybdenum (b) mineralization along No. 32 exploration line of the Jiama ore district

该剖面上铜矿化较均匀,Cu品位基本都大于0.1%,规律性不明显,角岩中Cu品位大于0.3%部分都位于上部(近地表)。图5b所示的钼矿化分布,非常明显的显示在ZK3212~ZK3220范围内存在筒状矿化现象,矿化中心位于ZK3216位置,ZK3216中角岩型矿体厚度826m,铜平均品位0.24%,钼平均品位0.054%,矿石品位一般为0.03%~0.06%,但深部常见钼品位大于0.1%的富矿石。在图5a上可以看出,矿化中心附近显示的上部角岩矿石中富集铜元素,深部富集钼元素,与斑岩型矿体的元素分带基本一致。

综合矿区16号、32号勘探线剖面上主元素的矿化分布和微量元素的分布特征,可以看出:以ZK1616~ZK3216一带为矿化中心,存在一个筒状钼铜矿化体(图1)。筒状矿化体的深部可能是流体源或是深部隐伏斑岩体。从角岩型矿体、矽卡岩型矿体的分布来看,反映了成矿流体既具有垂向运移又有侧向运移的特征,受斑岩流体系统的垂向运移循环形成筒状巨厚的钼铜矿体,有角岩中的钼铜矿化,也有矽卡岩中的铜钼多金属矿化;受区域构造动力驱动的成矿流体沿层间扩容空间形成层状矽卡岩型铜多金属矿体。

3 讨论

3.1 筒状矿体存在的地质意义

筒状矿体的发现和客观存在,对斑岩型铜钼矿体的寻找是至关重要的。玉龙铜矿斑岩型矿体形态总体上呈“蘑菇状”,筒状矿体构成“蘑菇茎”,产状基本直立,筒状矿体由斑岩型矿体和角岩型矿体共同构成(唐仁鲤等,1995;唐菊兴等,2006)。很多斑岩铜矿床的主矿体产在围岩中,如在矽卡岩、角岩中,德兴铜厂、朱砂红、富家坞矿区的矿体,1/3产于斑岩体中,而另外的2/3产于上部围岩双桥山群中,整个矿体是由上部围岩中的矿体与下部斑岩型矿体构成的筒状矿体(朱训等,1983)。而大冶铜山口铜矿床的矿体主要由接触交代型铜钼矿体和斑岩型铜钼矿体构成,矿体的总体形态为似筒状矿体(黄崇轲等,2001)。中国最大的斑岩铜矿——驱龙超大型斑岩铜矿,目前已探明的矿体基本上都赋存于花岗闪长斑岩体内,其矿体形态也呈筒状(杨志明等,2008)。

筒状铜钼矿体已经成为围岩下部可能存在隐伏斑岩的直接标志。芮宗瑶等(1984)通过对国内外著

名斑岩型铜钼矿床的大量研究表明,岩浆在向上侵位过程中,由于压力降低,岩浆会发生二次沸腾。二次沸腾一方面会产生大量上升热流体;另一方面会产生强大的机械能。强大的机械能必然会引起斑岩顶部以及上部围岩破裂,使成矿系统打开,而上升热流体就可在斑岩顶部以及上部围岩这样的开放系统中沉淀成矿(图6)。因此,众多大型、超大型斑岩铜钼矿床都是由围岩+斑岩筒状矿体组成。

以上研究表明,甲玛矿床很可能就是围绕深部斑岩体,发育的一组在时间上、空间上和成因上有联系的斑岩型矿体、矽卡岩型矿体与角岩型矿体的组合,即构成了甲玛斑岩-矽卡岩-角岩型矿体组合的矿床式。因此,甲玛矿区斑岩上部角岩中筒状矿化的发现(该部分筒状矿化的角岩型矿体333级铜资源量已超过100万吨,钼资源量超过25万吨),对寻找深部隐伏斑岩体的意义是显而易见的。

3.2 隐伏斑岩体存在的证据

矿区矿化分布的研究成果可以作为预测隐伏斑岩体存在的证据之一,但是如上文所述,在甲玛矿区能够找到许多隐伏斑岩体存在的证据,综合起来包括以下几方面:

(1)郭娜等(2010)对矿区遥感影像的构造解译表明,甲玛矿区存在明显的环形构造;

(2)矿区的“火烧皮”、角岩蚀变范围达到20 km²,预示着深部必有大热源存在;

(3)甲玛铜多金属矿具有典型的与岩浆成矿作用有关的元素分带特征,矿体由深部向浅部具有Mo→Mn(Cu)→Cu+Mo→Cu(Pb+Zn+Mo)→Cu(Pb+Zn)→Pb+Zn的成矿元素分带现象,具有高温→中低温成矿演化的特点(郑文宝等,2010);

(4)筒状矿化的存在亦是深部斑岩体存在的重要证据;

(5)如此大规模矽卡岩的存在,以及矽卡岩矿物(石榴子石、透闪石、硅灰石)的粒度可达2 cm的事实,本身就说明了在矽卡岩形成过程中,必定存在规模巨大并持续一定时间的岩浆热液流体;

(6)筒状矿化分布的范围内,岩石的破裂裂隙十分发育,据不完全统计,ZK1616上部角岩中裂隙率最高可达95条/m,ZK3216上部角岩中裂隙率最高也可达101条/m。同时,裂隙率发育范围也是石英脉/岩石的比率达到最高的;

(7)另外,根据对矿区斑岩中熔融包裹体以及矽卡岩中流体包裹体的均一温度、盐度最新研究

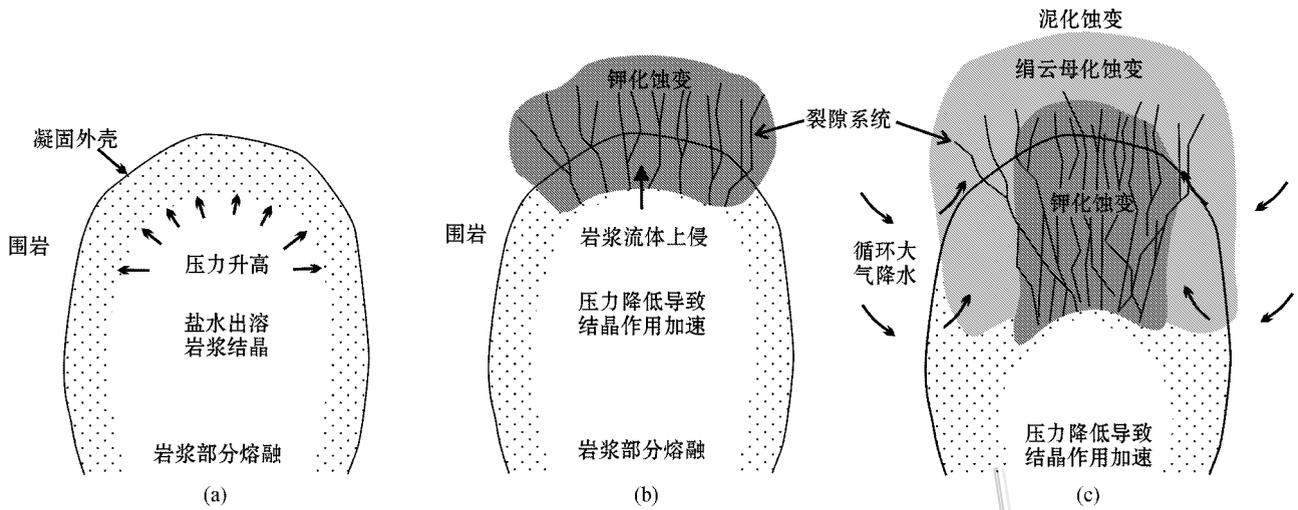


图6 筒状矿体形成模式(斑岩型矿床成因理想模型)

a. 早期侵入体内部结晶作用、部分熔融作用与盐水出溶导致侵入体内压力急剧升高,压力通过隐爆等方式使侵入体外围形成的冷凝外壳和围岩破碎形成筒状裂隙系统得到释放;b. 高温热卤水随筒状裂隙系统上升在岩石中形成钾化和低品位矿化,同时压力的释放使侵入体内部结晶作用加速;c. 随着岩浆流体涌入减弱,大气降水流经已凝固侵入体,在侵入体的加热和驱动作用下,形成循环热流体并同岩石继续发生反应,形成绢云母化蚀变,这种循环的热流体同时在绢云母化蚀变周围会形成泥化蚀变以及外围的青磐岩化蚀变

Fig. 6 Formation model of the tubular ore body (ideal model for porphyry ore deposit)

成果(周云 2010;周云等 2011),从铅山至则古朗方向,流体包裹体均一温度、盐度均逐渐升高,在筒状矿化范围内的均一温度、盐度达到最高。这也充分说明了筒状矿化范围就是深部隐伏岩体的位置。

通过以上分析,可以认为甲玛矿区深部存在隐伏斑岩,预测其部位正是筒状矿化分布范围之下。根据最新的勘查情况,在筒状矿化范围内施工的ZK2414孔已经见到了近400 m基本连续的斑岩型钼(铜)矿化体(图1)。

4 结论

通过对甲玛矿区16号、32号勘探线剖面上元素矿化分布规律的研究,发现甲玛矿区存在一个以ZK1616~ZK3216一带为矿化中心的筒状钼铜矿体(角岩+矽卡岩型矿体),同时存在一个层状、似层状规模巨大的矽卡岩型矿体。角岩型矿体、矽卡岩型矿体的分布规律,反映了成矿流体既具有垂向运移又有侧向运移的特征,受斑岩流体系统的垂向运移循环形成筒状巨厚的钼铜矿体,有角岩中的钼铜矿化、也有矽卡岩中的铜钼多金属矿化;受区域构造动力驱动的成矿流体沿层间扩容空间形成层状矽卡岩型铜多金属矿体。而矿区筒状矿体的发现和客观存在,对深部斑岩型铜钼矿体的寻找是至关重要的,结

合矿区隐伏斑岩体存在的其他证据,筒状矿体的分布范围应该就是深部隐伏斑岩体的位置。

志 谢 本文的完成首先要特别感谢王登红研究员在作者野外样品采集和室内样品处理过程中,给予及时的指导与启发。同时要感谢多吉院士、叶天竺研究员、王瑞江研究员、粟登奎高级工程师、刘鸿飞教授级高级工程师的指导!感谢西藏华泰龙矿业开发有限公司为作者的野外工作和室内工作提供了资助。

References

- Du G S, Yao P, Pan F C, Su D K, Li W B and Ning Y Y. 1998. Sedimentation-exhalation skarn and ore-formation exemplified by Jiama copper-polymetallic deposit, Xizang [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Pub. House. 123-132 (in Chinese with English abstract).
- Guo N, Chen J P, Tang J X and Guo K. 2010. A study of the metallogenetic prognosis for the periphery of Jiama copper-polymetallic ore, Tibet based on the RS method [J]. Earth Science Frontiers, 17 (2): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Huang C K, Bai Y, Zhu Y S, Wang H Z and Shang X Q. 2001. Copper deposit of China (on [M]). Beijing: Geol. Pub. House. 199-362 (in Chinese).
- Qin Z P, Wang X W, Tang J X, Zhou Y, Gao Y M, Ying L J, Tang X

- Q and Peng H J. 2011. Adakite's Zircon cathodoluminescence, U-Pb age and trace element characteristics of Jiama Cu-polymetallic deposit in tibe[J]. *Geochimica*, (In press).
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, Xu J and Zhang H T. 1984. The porphyry Cu(Mo) deposits in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 223-300 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Wang D H, Wang X W, Zhong K H, Ying L J, Zheng W B, Li F J, Guo N, Qin Z P, Yao X F, Li L, Wang Y and Tang X Q. 2010. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(4): 495-506 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Zhang L, Li Z J, Chen J P, Huang W and Wang Q. 2006. Porphyry copper deposit controlled by structural nose trap: Yulong porphyry copper deposit in eastern Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 652-660 (in Chinese with English abstract).
- Tang R L and Luo H S. 1995. The geology of Yulong porphyry copper (molybdenum) ore belt, Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 157-213 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, Song Y C, Li Z Q, Xia D X and Pan F C. 2008. Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet: Geology, alteration and mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 27(3): 279-284 (in Chinese with English abstract).
- Yao P, Zheng M H, Peng Y M, Li J G, Su D K and Fan W Y. 2002. Sources of ore-forming materials and the genesis of the Jiama copper and polymetallic deposit in Gandise island-arc belt, Xizang [J]. *Geological Review*, 48(5): 469-478 (in Chinese with English abstract).
- Ying L J, Tang J X, Wang D H, Chang Z S, Qu W J and Zheng W B. 2009. Re-Os Isotopic dating of molybdenite in skarn from the Jiama copper polymetallic deposit of Tibet and its metallogenic significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 265-268 (in Chinese with English abstract).
- Ying L J, Wang D H, Tang J X, Chang Z S, Qu W J, Zheng W B and Wang H. 2010. Re-Os dating of molybdenite occurring in different rocks from the Jiama copper deposit in Tibet and its metallogenic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(8): 1165-1174 (in Chinese with English abstract).
- Zheng W B, Chen Y C, Song X, Tang J X, Ying L J, Li F J and Tang X Q. 2010. Element distribution and geological significance of Jiama copper-polymetallic deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 29(5): 775-782 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y. 2010. Characteristic and evolution of ore-forming fluids from Jiama polymetallic copper deposit, Mozhugongka County, Tibet [D]. Chengdu University of Technology. 69-70 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y, Wang X W, Tang J X, Qin Z P, Peng H J, Li A G, Yang K, Wang H, Li J and Zhang J C. 2011. Origin and evolution of ore-forming fluids from the Jiama polymetallic copper deposit in Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 30(2): 111 (in Chinese with English abstract).
- Zhu X, Huang C K, Rui Z Y, Zhou Y H, Zhu X P, Hu Z S and Mei Z K. 1983. Porphyry copper deposit of Dexing [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-298 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 杜光树, 姚鹏, 潘凤雏, 粟登奎, 李文彬, 宁英毅. 1998. 喷流成因矽卡岩与成矿——以西藏甲玛铜多金属矿床为例 [M]. 成都: 四川科技出版社. 123-132.
- 郭娜, 陈建平, 唐菊兴, 郭科. 2010. 基于RS技术的西藏甲玛铜多金属矿外围成矿预测研究 [J]. *地学前缘*, 17(2): 1-8.
- 黄崇珂, 白冶, 朱裕生, 王惠章, 尚修洽. 2001. 中国铜矿床(上册) [M]. 北京: 地质出版社. 199-362.
- 秦志鹏, 汪雄武, 唐菊兴, 周云, 高一鸣, 应立娟, 唐晓倩, 彭慧娟. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿床钾质似埃达克岩锆石阴极发光、U-Pb 年龄及其微量元素特征 [J]. *地球化学待刊*.
- 芮宗瑶, 黄崇珂, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 223-300.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫佶, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型 [J]. *地球学报*, 31(4): 495-506.
- 唐菊兴, 张丽, 李志军, 陈建平, 黄卫, 王乾. 2006. 西藏玉龙铜矿床——鼻状构造圈闭控制的特大型矿床 [J]. *矿床地质*, 25(6): 652-660.
- 唐仁鲤, 罗怀松. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质 [M]. 北京: 地质出版社. 157-213.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 李振清, 夏代详, 潘凤雏. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床 地质、蚀变与成矿 [J]. *矿床地质*, 27(3): 279-284.
- 姚鹏, 郑明华, 彭勇明, 李金高, 粟登奎, 范文玉. 2002. 西藏冈底斯岛弧带甲玛铜多金属矿床成矿物质来源及成因研究 [J]. *地质论评*, 48(5): 469-478.
- 应立娟, 唐菊兴, 王登红, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝. 2009. 西藏甲玛铜多金属矿床矽卡岩中辉钼矿铼-钨同位素定年及其成矿意义 [J]. *岩矿测试*, 28(3): 265-268.
- 应立娟, 王登红, 唐菊兴, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝, 王焕. 2010. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿不同矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义 [J]. *地质学报*, 84(8): 1165-1174.
- 郑文宝, 陈毓川, 宋鑫, 唐菊兴, 应立娟, 黎枫佶, 唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿元素分布规律及地质意义 [J]. *矿床地质*, 29(5): 775-782.
- 周云. 2010. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿成矿流体特征及演化 [硕士学位论文] [D]. 成都理工大学. 69-70.
- 周云, 汪雄武, 唐菊兴, 秦志鹏, 彭慧娟, 李爱国, 杨科, 王华, 李炯, 张继超. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿成矿流体来源及演化 [J]. *矿床地质*, 30(2):
- 朱训, 黄崇珂, 芮宗瑶, 周耀华, 朱贤平, 胡宗声, 梅占魁. 1983. 德兴斑岩铜矿 [M]. 北京: 地质出版社. 1-298.