

文章编号 0258-7106 (2006) 06-0652-11

西藏玉龙铜矿床——鼻状构造圈闭控制的 特大型矿床*

唐菊兴^{1,2}, 张 丽¹, 李志军², 陈建平³, 黄 卫⁴, 王 乾²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037 ; 2 成都理工大学 四川 成都 610059 ; 3 中国地质大学 ,
北京 100081 ; 4 西藏地质调查院 西藏 拉萨 851400)

摘 要 文章研究了背斜圈闭构造控制玉龙斑岩-矽卡岩型铜(钼) 矿的形成和矿体的分布。通过对成矿体系中各矿体的产出和形态特征、矿床地球化学原生晕分布特征、圈闭构造的古构造应力场恢复等的研究 , 认为玉龙铜矿的斑岩型(I 号矿体) 、矽卡岩型(II、V 号似层状原生矿体、V 号矿体上层矿体) 、矽卡岩-次生氧化富集型(II、V 号似层状次生氧化矿体) 、角岩型(接触带角岩中硫化物矿体) 、隐爆角砾岩型等矿体的分布受甘龙拉背斜的南段倾伏端的构造圈闭控制。因此 , 超大型玉龙铜(钼) 矿床的形成与良好的背斜圈闭构造有关。

关键词 地质学 ; 玉龙斑岩铜矿 ; 矿体类型 ; 次生氧化富集 ; 构造鼻 ; 甘龙拉倾伏背斜 ; 西藏

中图分类号 : P518.41

文献标识码 : A

Porphyry copper deposit controlled by structural nose trap: Yulong porphyry copper deposit in eastern Tibet

TANG JuXing^{1,2}, ZHANG Li¹, LI ZhiJun¹, CHEN JianPing³, HUANG Wei⁴ and WANG Qian²

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3 China University of Geosciences, Beijing 100081, China; 4 No.6 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa 851400, Tibet, China)

Abstract

This paper studied the formation of the Yulong porphyry copper deposit controlled by the anticline trap structure and the distribution of the ore bodies. According to such factors as the modes of occurrence of the ore bodies in the metallogenic series, the characteristics of mineralogy and geochemical primary halos, and the principal stress locus of the trap structure, the authors consider that the porphyry type (No. I ore body), skarn type (No. II and No. V primary layered ore bodies, No. V upper layered ore body), skarn-secondary enrichment copper type (No. II and No. V layered secondary oxidized ore body), hornstone type (sulfide ore body in the hornstone of the contact zone) and blind explosive breccia type ore body in the Yulong copper deposit were all controlled by the Ganlongla plunging anticline trap structure. Hence, this deposit is related to the structural nose trap of the plunging anticline.

Key words: geology, Yulong porphyry copper deposit, ore type, secondary enrichment, structural nose, Ganlongla plunging anticline, Tibet

* 本文得到 973 项目(No. 2002CB412607) 西藏地质勘查局资助项目([2001] 32) 中国地质调查局项目(70401154020 和 200110200010) 的联合资助

第一作者简介 唐菊兴 男 , 1964 年生 , 博士 , 教授 , 从事矿产普查与勘探的教学与科研。

收稿日期 2005-12-05 ; 改回日期 2006-09-19。李 岩编辑。

对于一个与岩浆及岩浆流体活动有关的超大型矿床而言,一个利于成矿流体聚集的良好圈闭是十分重要的条件,玉龙斑岩铜矿当然也不例外。玉龙矿化斑岩体就侵位于甘龙拉背斜的南段转折端,此背斜构造控制了矿化岩体的分布,也控制了玉龙铜矿各种类型矿体的分布。

玉龙铜矿床成矿作用的复杂,围岩物理性质的不同,构造形式的多样,成矿的多期次造成玉龙铜矿床具有多种矿化类型。自20世纪80年代初以来,众多学者对玉龙铜矿的矿床地质特征(芮宗瑶等,1984;唐仁鲤等,1995)、花岗岩类与成矿的关系(马鸿文,1989;1990;姚鹏等,1991;侯增谦等,2003b)、蚀变与成矿的关系(周宜吉,1980;1985;1986)、流体包裹体特征(李萌清等,1981;李萌清,1984;1985)、围岩与斑岩铜矿的关系(陈文明,1980;1983;陈建平,1997)、区域构造与成矿(唐仁鲤等,1995;Hou et al., 2003a)、成岩成矿年龄(曾普胜等,2006)、斑岩型铜矿的成矿构造背景(芮宗瑶等,1984;唐仁鲤等,1995;张洪涛,2004)等做了大量的研究。1995年以来的补充勘探工作,得以让人们更加清晰地了解玉龙斑岩铜(钼)矿的成矿体系(王成善等,1996;唐菊兴等,2004)和次生富集成矿作用(唐仁鲤等,1995;王成善等,1996;陈建平等,1998;胡明铭,1998;唐菊兴等,2004;顾雪祥等,2004)。本文侧重分析甘龙拉鼻状圈闭构造对斑岩型(I号矿体)、矽卡岩型(II、V号似层状原生矿体、V号矿体上层矿体)、矽卡岩-次生氧化富集型(II、V号似层状次生氧化矿体)、角岩型(接触带角岩中硫化物矿体)和隐爆角砾岩型矿体的控制。

1 矿床地质简介

玉龙斑岩铜(钼)矿床位于玉龙斑岩铜矿带的北亚带,从北至南依次为夏日多矿点(找矿潜力大,正在勘查)、恒星错矿点(找矿潜力大)、玉龙超大型斑岩铜矿、扎那尔中型斑岩铜矿、莽总中型斑岩铜矿、多霞松多大型斑岩铜矿、马拉松多大型斑岩铜矿等(图1),其中玉龙斑岩铜矿侵位于甘龙拉背斜的核部倾伏端,矿化最为强烈。

玉龙斑岩体侵位于甘龙拉背斜的南端倾伏端,其直接围岩为上三叠统甲丕拉组(T_{3j})砂岩、泥岩、波里拉组(T_{3b})碳酸盐岩、碎屑岩。含矿斑岩为二长花岗斑岩,地表出露面积 0.64 km^2 ,岩体平面上呈梨

形(图2、图4),岩体向深部陡倾。周宜吉(1980;1986)、芮宗瑶(1984)、马鸿文(1987b;1990)、唐仁鲤等(1995)通过对岩体的岩石学、岩石化学、矿物学、微量元素地球化学、成岩年代学等的研究,认为玉龙含矿岩体属富碱的I型钙碱性花岗岩,成岩时代约为 41.00 Ma (Sr-Rb法、SHRIMP)。岩体蚀变强烈,主要呈面形蚀变;岩体中发育钾硅化、硅化、绢英岩化、粘土化,在ZK109、ZK105与ZK106钻孔之间硅化最强,岩体接触带和近矿围岩中发育粘土化、矽卡岩化、硅化、青磐岩化、角岩化。玉龙斑岩体的成矿元素也存在着以岩体为核心的水平分带,这种分带和岩石的蚀变带基本吻合,即在岩体内部的钾化带、钾硅化带中为细脉浸染状Cu-Mo矿化;接触带附近的硅化、角岩化带中为角砾状、细脉浸染状、块状Cu(Mo)矿化;外接触带的硅化、矽卡岩带、青磐岩化带中为Cu(Fe、Co、Ag、Au)矿化;上三叠统矽卡岩化灰岩中为脉状Pb、Zn、Ag、W矿化。在II号似层状矿体中部和斑岩接触带中发现有隐爆角砾岩型的矿体(该类角砾岩的角砾主要由蚀变矿化斑岩和硅质、硫化物组成)。

矿区内出露的岩体围岩主要为上三叠统,包括甲丕拉组、波里拉组、阿都拉组(图2)。甲丕拉组构成甘龙拉背斜的核部,波里拉组构成背斜的两翼,发育比较广泛,出露齐全,硅化、矽卡岩化、大理岩化强烈,是矽卡岩型、矽卡岩-次生氧化富集型矿体的直接围岩,阿都拉组主要分布在甘龙拉背斜的转折端,其碳泥质岩是良好的流体阻挡层。形成了背斜倾伏端和地层共同组成的一个双重圈闭构造(图2)。

玉龙铜矿床可以划分出5种主要矿体类型:斑岩型(I号矿体)、矽卡岩型(II、V号似层状矿体、V号矿体上层矿体)、矽卡岩-次生富集型(II、V号似层状氧化矿体)、角岩型(接触带角岩中的硫化物矿体)和隐爆角砾岩型(图3、图4和图5)。

从成矿元素的组合特征来看,斑岩型、角岩型、隐爆角砾岩型、矽卡岩型矿体属Cu(Mo)建造型矿体,矽卡岩-次生氧化富集型矿体中,II号矿体属Cu-Ag-Co-Au建造,V号矿体属Cu-Co-W-Ag-Au建造。

2 成矿体系中各矿体产出及分布特征

2.1 斑岩型细脉浸染状硫化矿体(I号矿体)

该类矿体主要位于斑岩体中,产出有斑岩体中的铜(钼)矿化、侵位于围岩及背斜虚脱部位斑岩中

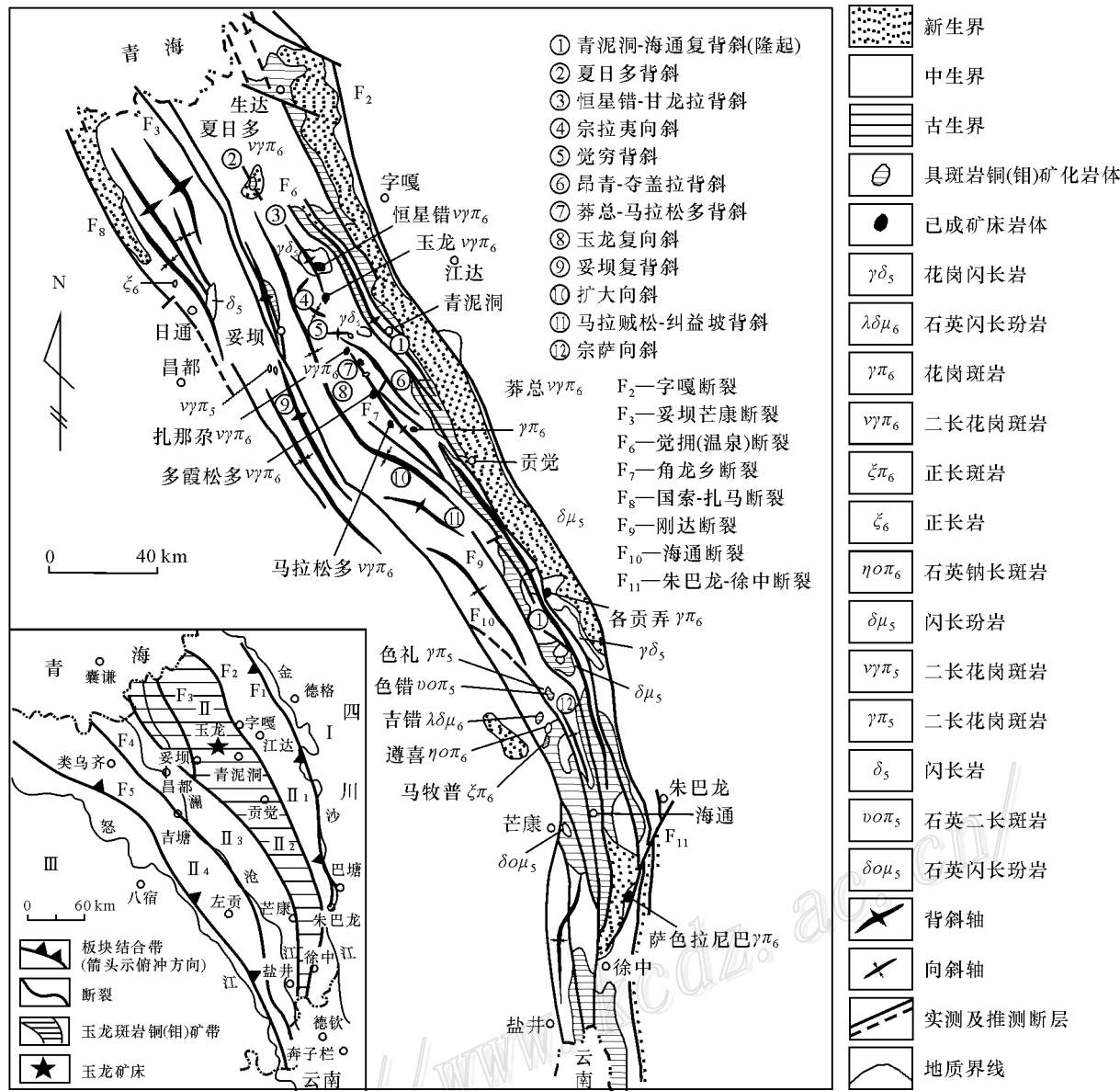


图 1 玉龙矿带地质构造略图(据唐仁鲤等,1995)

Fig. 1 Geological-structural sketch map of the Yulong ore belt (after Tang et al., 1995)

的矿化(图3)。斑岩体中的矿化形态与斑岩体一致,据现有资料(唐仁鲤等,1995;王成善等,1996),矿体平均厚度大于330 m,矿体中部海拔4 721 m处向下为无矿核。矿体呈一倒置的杯状,在矿化斑岩体的北侧夹无矿核(图3、图4)。被动侵位于甘龙拉背斜倾伏端虚脱部位角岩(T_{3j})与上三叠统(T_{3b})大理岩、矽卡岩之间的斑岩型矿体规模大(图3、图4),品位高,特别是在矿化斑岩体与角岩的接触带附近(图3),Cu、Mo品位高,蚀变强。该类矿的重要意义不容低估。

2.2 矽卡岩型细脉浸染状硫化矿体

矽卡岩型矿体一般产于上三叠统波里拉组

(T_{3b})中,以及波里拉组(T_{3b})与甲丕拉组(T_{3j})之间的层间破碎带内。该类矿体是Ⅱ、Ⅴ号矿体的主体,矿体厚可达100 m以上。矿体一般呈似层状、鞍状、透镜状(图2、图3和图4)。矽卡岩型矿体是似层状次生氧化矿体的原生矿体。甘龙拉背斜转折端的上层硫化物矿体是典型的矽卡岩型矿体(图4),该矿体呈鞍状,产于背斜核部的虚脱空间,矿体厚30 m以上。

2.3 矽卡岩-次生氧化富集型矿体

此类矿体主要产于波里拉组和甲丕拉组之间的层间破碎带内,为矽卡岩型矿体经后期次生氧化富集而成。矿体呈似层状,以往把此类矿体分为Ⅱ、Ⅴ

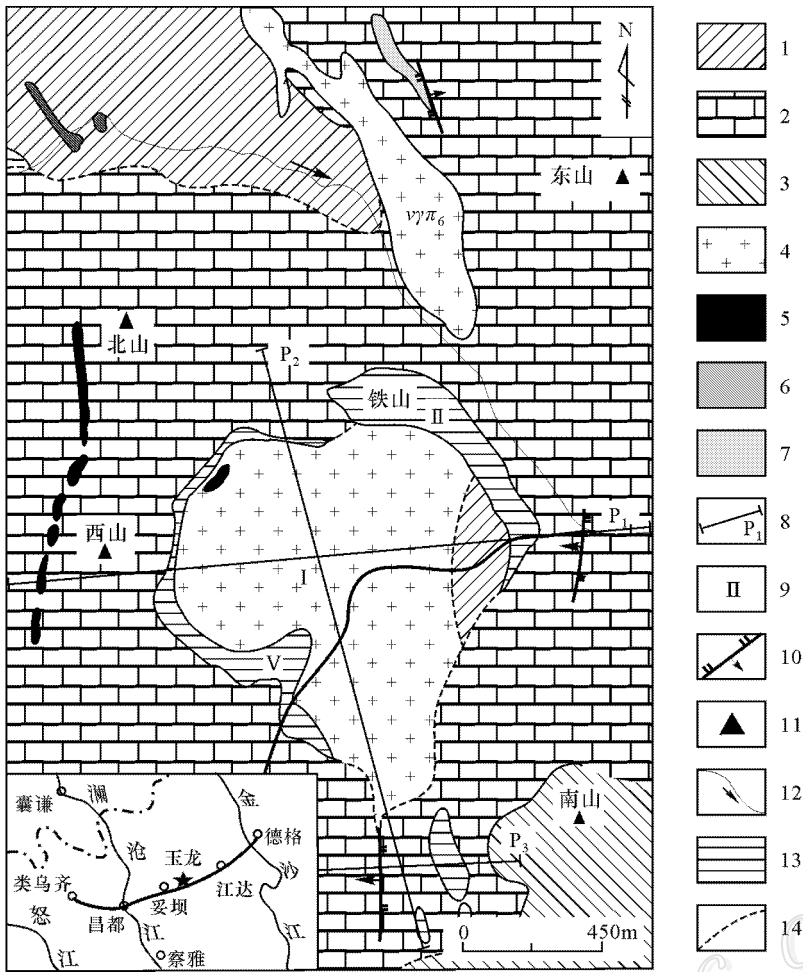


图 2 玉龙斑岩铜矿矿区地质图

1—上三叠统甲丕拉组碎屑岩 2—上三叠统波里拉组灰岩、大理岩 3—上三叠统阿堵拉组粉砂岩、泥岩 4—二长花岗斑岩 5—钠长斑岩；6—花岗闪长玢岩 7—石英二长斑岩 8—剖面及其编号 9—矿体编号 10—逆断层 11—山峰 12—溪沟及流向 13—铁帽 14—推测地质界线

Fig. 2 Generalized geologic map of the Yulong porphyry copper ore district

1—Clastic rock of Upper Triassic Jiapila Formation 2—Limestone and marble of Upper Triassic Bolila Formation 3—Siltite and mudstone of Upper Triassic Adula Formation 4—Monzonitic granite-porphry 5—Albitophyre 6—Granodiorite porphyry 7—Adamellite porphyry 8—Geological section and its serial number 9—Serial number of ore body 10—Reversed fault 11—Peak 12—Stream and its flow direction 13—Limonite gossan 14—Inferred geological boundary

号似层状氧化矿体(唐仁鲤等,1995;王成善等,1996)(图2、图3、图4及图5),认为是热水岩溶作用形成的(唐仁鲤等,1995)或将其归为岩浆后期浅成低温热液的沸腾-酸滤作用形成(顾雪祥等,2004)。但陈建平(1996)、胡明铭等(1998)、唐菊兴等(2004)认为是传统的氧化富集成矿作用叠加侧向的迁移富集而成。其中,Ⅱ号似层状砂卡岩-次生氧化矿体位于斑岩型细脉浸染状的筒状矿体的外侧接触带内,至甘龙拉背斜转折端与V号似层状砂卡岩-次生氧化矿体相接(图5),V号似层状氧化矿体位于斑岩型矿体的NW-SW侧,尤以SW侧矿化强烈,矿体赋存在斑岩与围岩外接触带的甲丕拉组(T_{3j})角岩(长英

质角岩)和波里拉组(T_{3b})大理岩之间。该类矿体厚度大,产状稳定。矿体的最厚部位产出在Ⅱ号似层状氧化矿体的中部V号似层状氧化矿体的SE侧靠近背斜转折端处以及Ⅱ、V号似层状氧化矿体的结合带,在海拔5020m以下该类矿体呈向西开口的鼻状(图5)。

2.4 接触带角岩型硫化矿体

在以往的研究中,由于研究程度、工作侧重及资料等原因,前人大多忽略了对接触带角岩型硫化矿体的研究(唐仁鲤等,1995;芮宗瑶等,1984),甚至没有把此类矿体划分出来。通过近年来的工作(唐菊兴等,2004),笔者认为该类矿(化)体是玉龙铜矿床

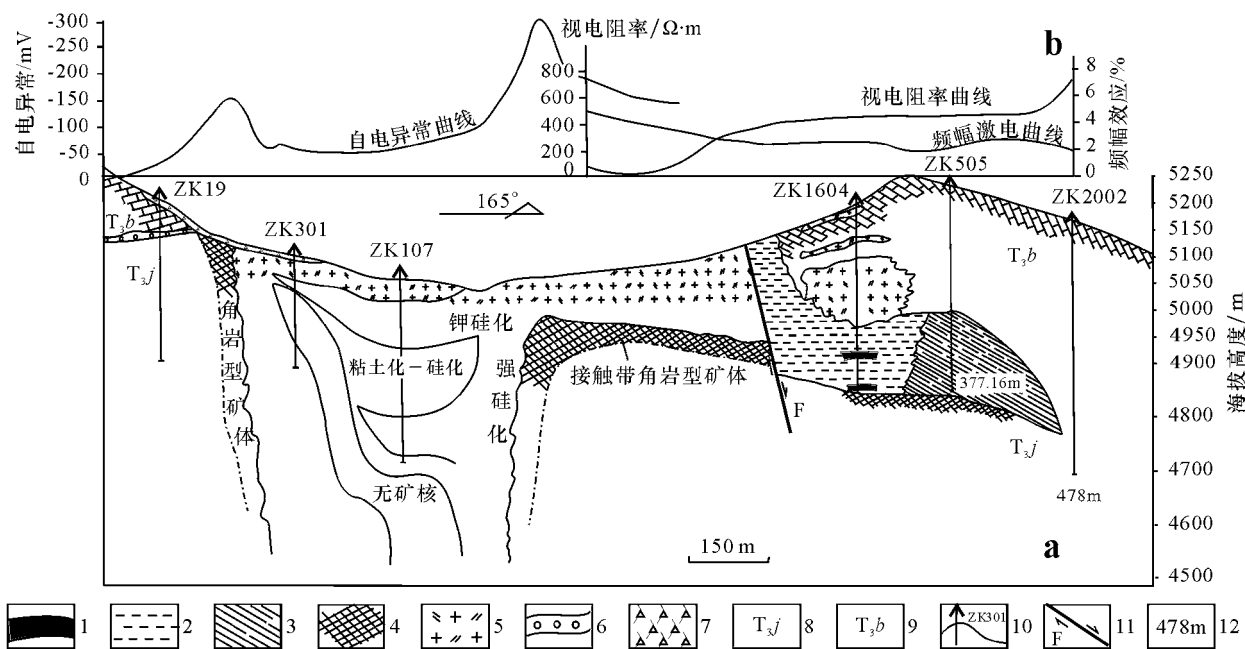


图3 玉龙铜矿南北向各矿(化)体分布图(a.地质剖面图;b.地球物理探测曲线图)(剖面位置见图2中的P₂)

1—铁帽(蜂窝状、块状) 2—氧化矿体(土状) 3—次生氧化富铜矿体 4—角岩型矿体 5—斑岩型矿体 6—矿化矽卡岩 7—残坡积物;
8—上三叠统甲不拉组碎屑岩 9—上三叠统波里拉组灰岩、大理岩; 10—钻孔及其编号; 11—断层; 12—钻孔孔深

Fig. 3 Geological section showing distribution of ore bodies from north to south in the Yulong porphyry copper deposit
a. Geological section; b. Curve based on geophysical exploration (for location of the section see P₂ in Fig. 2)

1—Iron gossar (honeycomb structure, massive structure) 2—Oxidized ore body (argillaceous) 3—Copper ore body of secondary enrichment 4—Hornstone type ore body 5—Porphyry type ore body 6—Mineralized skarn 7—Residual-slope material; 8—Clastic rock of Upper Triassic Jiapila Formation; 9—Limestone and marble of Upper Triassic Bolila Formation; 10—Drill hole and its serial number; 11—Fault; 12—Drill hole depth

重要的矿化类型,接触带角岩(T_{3j})中的矿体一般作为矽卡岩-次生氧化富集型Ⅱ、Ⅴ号次生氧化矿体的直接底板,可见多层矿化,矿体一般数十米厚,矿石品位高于斑岩型硫化矿,深部该类矿体围绕斑岩型矿体的外接触带分布,矿石的裂隙、节理发育,硫化物呈细脉浸染状。矿化深度较大,其铜钼资源量规模尚未查明,需进一步勘查,其矿化规模及潜在的经济价值甚至要大于Ⅱ、Ⅴ号次生氧化矿体。特别是矿区南部矿化斑岩(铜、钼矿体)超覆侵位于角岩之上,在矿化斑岩之下形成多层角岩型矿体(图3),规模较大。

2.5 隐爆角砾岩型矿体

隐爆角砾岩型矿体是1995年被首次识别确认的(王成善等,1996),在岩体与角岩接触带中部ZK59钻孔中发现该类矿体的存在。该类矿体与斑岩体小岩枝侵位于角岩或矽卡岩中有关,矿体的形状和泥化、硅化斑岩体小岩枝的形状一致。由于矿体的铜、钼矿化均较强烈,矿化特殊,鉴于其对矿体产出状态的研究有着特殊的意义,故单独把它作为

一种矿(化)体类型(图5)。在与ZK59孔相对的岩体西南缘,TC41探槽中也见到该类矿化,由角砾状矿化斑岩和角砾状矿化矽卡岩组成,具隐爆角砾岩特征。这类矿(化)体的规模尚未查明,有待进一步工作,但其工业意义和成因意义均十分重要,是玉龙铜矿床矿化系列的一个重要组成部分。

3 甘龙拉背斜对玉龙铜矿床各矿体的控制作用

3.1 甘龙拉背斜的形态特征及控矿特征

良好的圈闭构造是超大型矿床形成的首要条件之一。尽管已经认识到温泉断裂(觉拥断裂)的走滑作用是形成甘龙拉背斜等控岩、控矿构造的主要因素(唐仁鲤,1995;Hou et al., 2003a;芮宗瑶等,1984;陈建平等,1997;马鸿文,1989,1990;Gu et al., 2003;王成善等,2001),但温泉断裂及其次一级断裂对成矿的控制仅仅局限于宏观分析。甘龙拉背斜是恒星错—甘龙拉背斜的南段部分,由上、下三叠统组

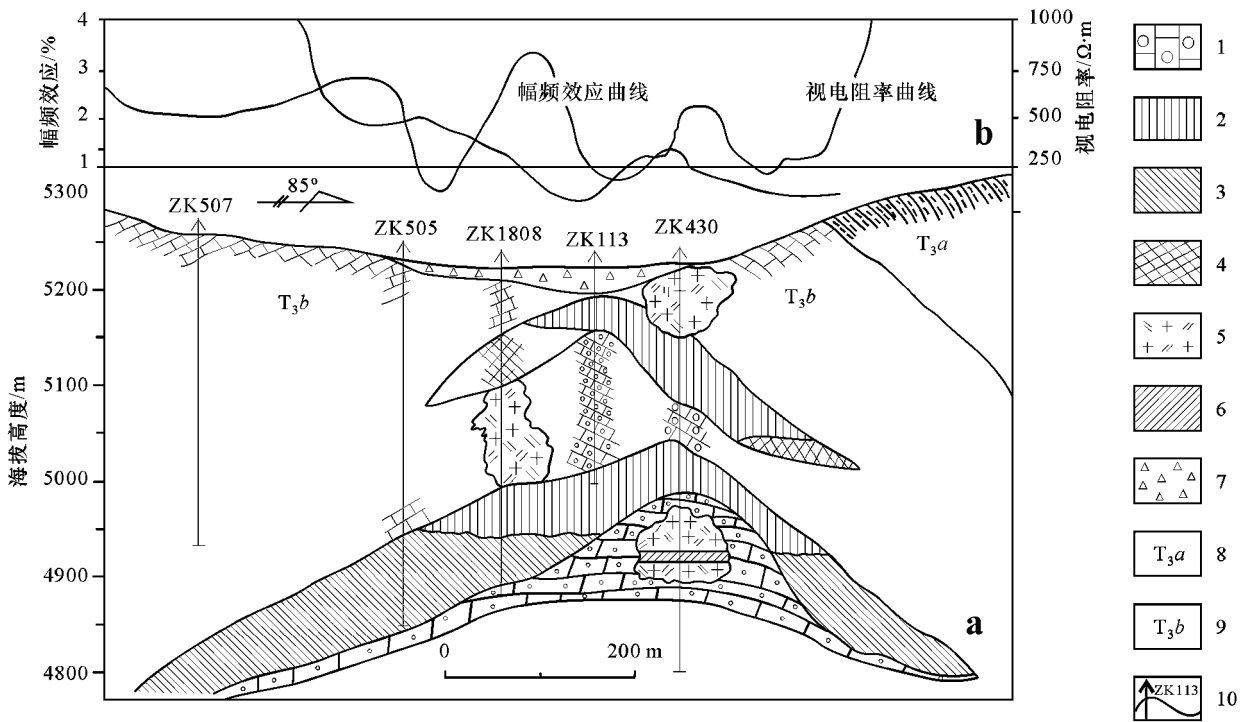


图 4 玉龙铜矿甘龙拉背斜倾伏端控矿示意图(a. 地质剖面图 b. 激电探测曲线图)(剖面位置见图 2 中的 P₃)

1—矿化砂卡岩 2—隐伏铁帽 3—次生氧化富铜矿体 4—砂卡岩型脉浸染状硫化矿体 5—泥化斑岩 6—斑岩中的次生氧化矿；
7—残坡积物 8—上三叠统阿都拉组粉砂岩、泥岩 9—上三叠统波里拉组灰岩、大理岩 10—钻孔及其编号

Fig. 4 Diagrammatic map showing ore-control condition at the terminal point of the Ganlongla plunging anticline in the Yulong porphyry copper deposit

a. Geological section b. Curve based on frequency polarization survey (For section location see P3 in Fig. 2)

1—Mineralized skarn ; 2—Blind iron gossan ; 3—Copper ore body of secondary enrichment ; 4—Skarn type veinlet disseminated sulfide ore body ;
5—Argillized porphyry ; 6—Secondary oxidized ore in porphyry ; 7—Residual-slope material ; 8—Siltite/mudstone of Upper Triassic Adula Formation ;
9—Limestone/marble of Upper Triassic Bolila Formation ; 10—Drill hole and its serial number

成核部为馬拉松多组,在玉龙矿区核部为上三叠统甲丕拉组,两翼为上三叠统波里拉组和阿都拉组(图 1)。背斜轴向 NW-NE,南段转为 SSE,两翼倾角 10~30°,延长约 30 km,背斜向两端倾伏。在玉龙矿区,背斜在甘龙拉开始向南倾伏,至玉龙南山顶倾伏端的上三叠统阿都拉组(T_{3a})粉砂质泥岩产状为 150°∠32°,在南山后侧的上三叠统阿都拉组(T_{3a})地层的倾角可达 60°以上,表明背斜已倾伏。由此可见,从甘龙拉到玉龙南山顶形成了一个总体向北开口的鼻状圈闭构造(图 5)。而玉龙含矿花岗斑岩恰好侵位于该鼻状圈闭构造中,为斑岩铜矿(I 号矿体)的形成提供了一个不可多得的成矿空间。甘龙拉背斜作为良好的控岩、控矿圈闭,保证了斑岩成矿流体循环系统中成矿物质的有效聚集和沉淀;其次,在背斜形成时,甲丕拉组与波里拉组的接触带发生层间滑动,形成的层间破碎带,为 II、V 号矿体的形成准备了良好的成矿空间;此外,在背斜倾伏端形成

规模较大的虚脱部位,是南垭口上层硫化物矿和下层砂卡岩型-次生氧化富集型矿体的主要成矿空间(图 4、图 5)。

从岩体→接触带矿化体→围岩的地质-地球化学剖面特征见图 6,该图反映了背斜控岩、控矿构造致使成矿元素存在具一定规律性的空间分布。其中 Cu、Mo、Au、Ag、W 含量变化呈典型的“M”型成矿元素分布特征,背斜的两翼元素含量低,接触带矿化强烈,核部矿化斑岩体中成矿元素的含量低于接触带。其他伴生元素如 Zn、As、Sb 也具相似的特征。但造岩元素(除 Fe 以外)含量变化呈对称的“W”型,核部的矿化斑岩中造岩元素含量高,接触带中下降,两翼围岩中含量有所增加。显示出明显的背斜控矿特征。

3.2 圈闭构造的古构造应力场恢复及对成矿的控制

由于背斜形成时轴部本身发育了大量的节理、

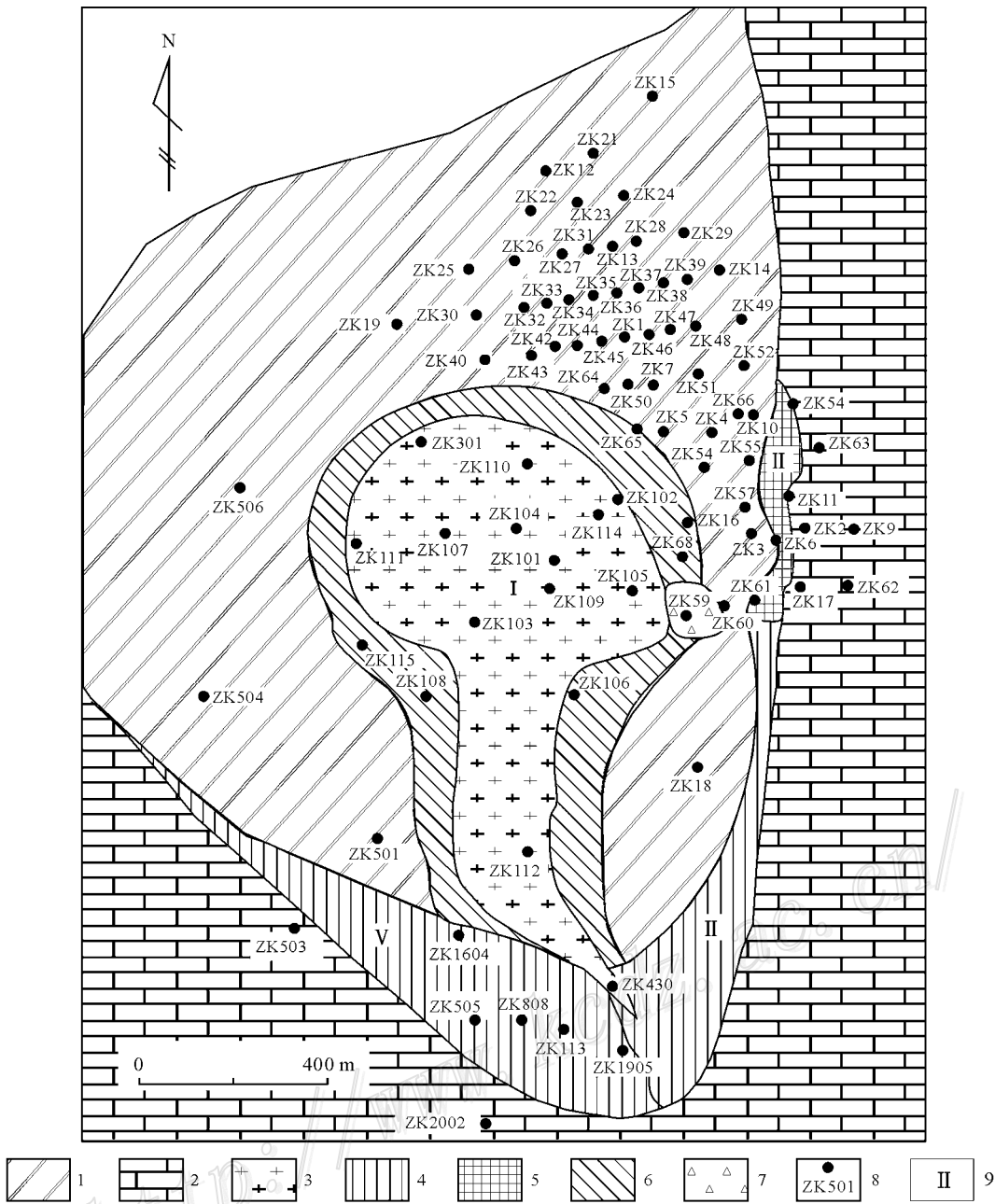


图 5 玉龙斑岩铜矿 4950 断面各矿体分布图(据唐菊兴等 2004)

1—上三叠统甲丕拉组碎屑岩;2—上三叠统波里拉组灰岩、大理岩;3—斑岩型矿体(I号矿体)4—矽卡岩-次生氧化富集型矿体(Ⅱ、Ⅴ号矿体)5—Ⅱ号矿体北段次生氧化富集型矿体 6—角岩型矿体 7—隐爆角砾岩型矿体 8—钻孔及其编号 9—矿体编号

Fig. 5 Geological section showing distribution of the ore bodies at 4950 level in the Yulong porphyry copper deposit (after Tang et al., 2004)

1—Clasic rock of Upper Triassic Jiapila Formation; 2—Limestone and marble of Upper Triassic Bolila Formation; 3—Porphyry type ore body 4—Skarn-secondary enrichment copper ore body 5—Secondary enrichment copper ore body in the northern part of No. II ore body 6—Hornstone type ore body 7—Blind eruptive breccia type ore body 8—Drill hole and its serial number 9—Serial number of ore body

裂隙,加上斑岩体在被动侵位的同时受温泉断裂喜马拉雅雅期右旋走滑作用的影响(唐仁鲤,1995;芮宗瑶等,1984;陈建平等,1997;Hou et al., 2003a),使玉龙矿区斑岩体及其围岩中的节理、裂隙更为发育。由于玉龙铜矿床成矿时代较新,矿区未经历多期构

造作用的叠加和改造,现存的构造格局主要为喜马拉雅雅期构造作用的产物,因而可以利用共轭剪节理来恢复成矿时期的古构造应力场。为此,在玉龙斑岩体及围绕斑岩体四周的波里拉组(T_{3b})围岩中均匀选择了18个节理产状测量点,其中10个位于图区

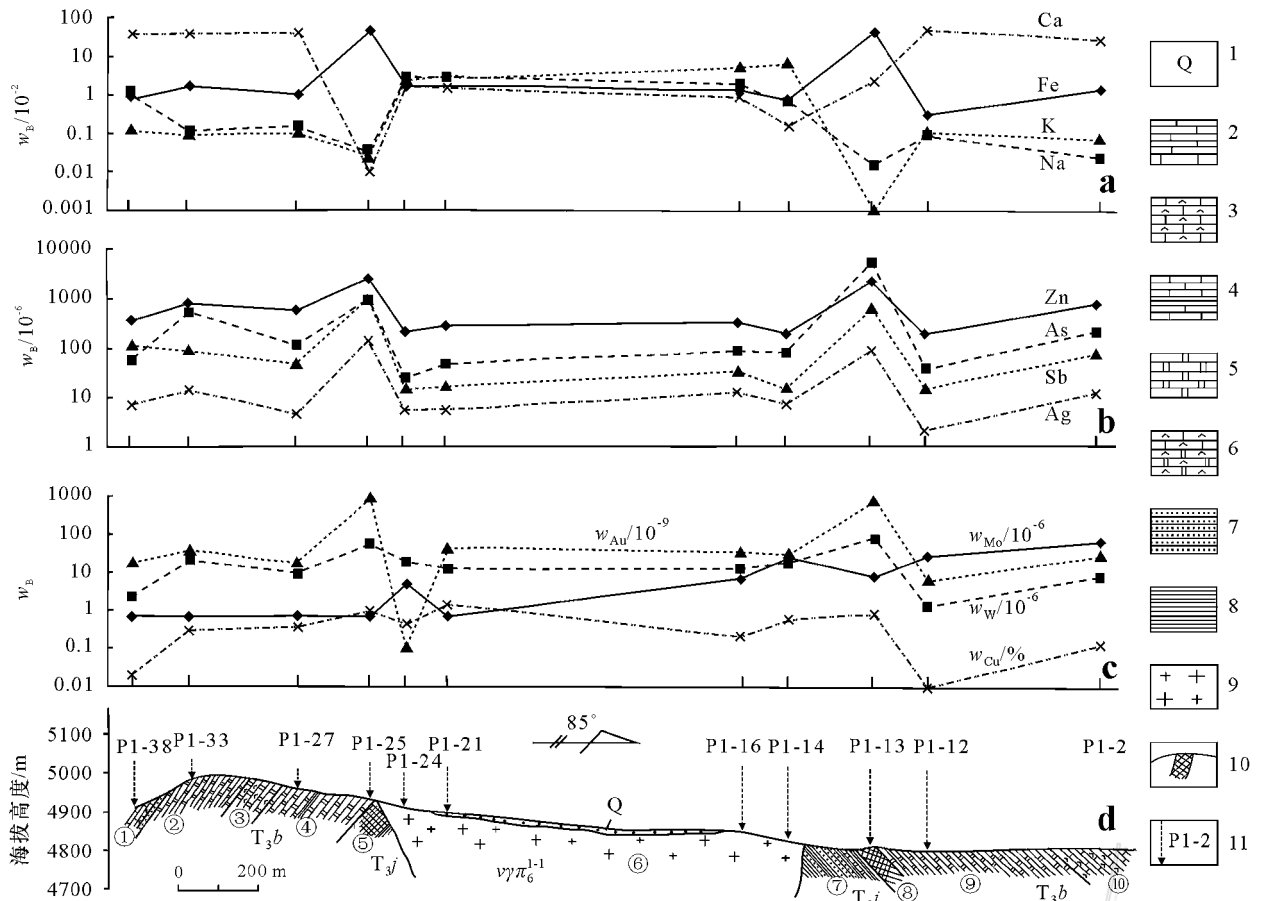


图6 玉龙铜矿床地质-地球化学剖面(a、b、c. 元素地球化学曲线;d. 地质剖面)(剖面位置见图2中的P₁)

1—第四系 2—灰岩 3—角砾状灰岩 4—含泥质条带灰岩 5—大理岩 6—生物碎屑灰岩、大理岩 7—砂岩 8—角岩、粉砂质角岩 9—二长花岗斑岩;10—褐铁矿帽;11—采样位置及样品编号。地层代号:T_{3j}—上三叠统甲丕拉组;T_{3b}—上三叠统波里拉组。分层岩性:①—灰色-灰白色灰岩夹砂岩、粉砂岩;②—白色-灰白色细晶大理岩;③—灰白色中细晶含生物碎屑、大理岩;④—灰白色-白色中晶大理岩,局部夹泥质条带,近岩体处已砂卡岩化;⑤—块状、蜂窝状褐铁矿(铁帽);⑥—蚀变与矿化二长花岗斑岩;⑦—粉砂质角岩、角岩夹砂岩;⑧—块状、蜂窝状褐铁矿(铁帽);⑨—白色-灰白色中细晶大理岩;⑩—灰色-灰白色灰岩,局部夹角砾状灰岩和生物碎屑灰岩。化学成分分析方法:中子活化法

Fig. 6 Geochemical section of the Yulong porphyry copper deposit

a, b, c. Element geochemical curve; d. Geological section (for section location see P₁ in Fig. 2)

1—Quaternary; 2—Limestone; 3—Brecciated limestone; 4—Argillaceous stripped limestone; 5—Marble; 6—Bioclastic limestone, marble; 7—Sandstone; 8—Hornstone, silty sandstone hornstone; 9—Monzonitic granite-porphyry; 10—Limonite gossan; 11—Sampling place and serial number of sample. Strata: T_{3b}—Upper Triassic Bolila Formation; T_{3j}—Upper Triassic Jiapila Formation. Lithologic characters: ① Grey-grayish white limestone intercalated with sandstone and siltstone; ② White-grayish white fine crystalline marble; ③ Greyish white fine crystalline bioclastic marble; ④ Greyish white mesocrystalline marble intercalated with argillaceous stripes, with skarnization close to monzonitic granite-porphyry; ⑤ Massive and cellular limonite gossan; ⑥ Alteration and mineralized monzonitic granite-porphyry; ⑦ Silty sandstone hornstone, hornstone intercalated with sandstone; ⑧ Massive and cellular limonite gossan; ⑨ White-grayish white fine crystalline and mesocrystalline marble; ⑩ Grey-grayish white limestone intercalated with brecciated limestone and bioclastic limestone (Analytical method for geochemical data: neutron activation analysis)

范围内(图7)根据裂隙发育程度、配套特征、互错关系以及充填物特征,确定其共轭关系并测量其产状。

根据各节理测量点全部节理的走向玫瑰花图,并对各节理测量点可以确定共轭关系的节理作出的主应力轴图解(表1,图7),认为:共轭剪节理的交线平行于中间主应力轴 σ_2 ,其锐角平分线对应最大主应力轴 σ_1 ,钝角平分线对应最小主应力轴 σ_3 〔上三叠

统波里拉组(T_{3b})碳酸盐岩为脆性岩石〕。再将相邻测点的主应力轴 σ_1 和 σ_2 分别按方位及其变化趋势用平滑曲线相连,得到反映古构造应力场的主应力轴轨迹图(图7)。从图7中可以看出,最小主应力轴(σ_3)的轨迹主要是NW-SE走向,倾角较缓,与恒星错—甘龙拉背斜的轴向相一致;最大主应力轴(σ_1)的轨迹主要为NE-SW向,倾角也较缓,代表构造

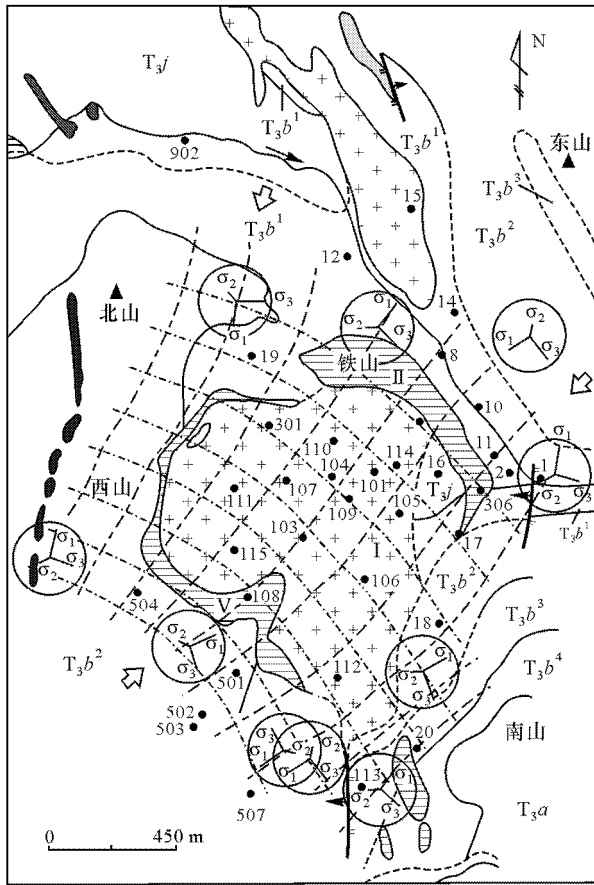


图 7 玉龙铜矿床成矿期主应力轨迹恢复图

1—上三叠统阿堵拉组 2—上三叠统波里拉组第四段 3—上三叠统波里拉组第三段 4—上三叠统波里拉组第二段 5—上三叠统波里拉组第一段 6—上三叠统甲丕拉组 7—二长花岗岩 8—钠长斑岩 9—花岗岩闪长玢岩 10—石英二长斑岩 11—铁帽 12—矿体编号 13—实测与推测地质界线 14—逆断层 15—钻孔及编号 16—主应力轴图解 17—最小主应力轴轨迹线(上)最大主应力轴轨迹线(下) 18—主应力方向。图上仅标出了详查时施工的钻孔, 补勘时钻孔见图 5

Fig. 7 Restoration of the principal stress locus at the mineralization stage of the Yulong copper deposit

1—Upper Triassic Adula Formation 2—4th Member of Upper Triassic Bolila Formation 3—3rd Member of Upper Triassic Bolila Formation 4—2nd Member of Upper Triassic Bolila Formation 5—1st Member of Upper Triassic Bolila Formation 6—Upper Triassic Jiapiia Formation 7—Monzonitic granite-porphry 8—Albitophyre 9—Granodiorite porphyry 10—Adamellite porphyry 11—Limonite gossan 12—Serial number of ore body 13—Measured and inferred geologic boundaries 14—Reversed fault 15—Drill hole and its serial number 16—Diagram of the principal stress axis 17—Locus of the smallest principal stress axis(upper), Locus of the maximum principal stress axis(lower) 18—Direction of principal stress(For locations of other drills see Fig. 5)

表 1 玉龙铜矿围岩中共轭剪节理产状统计表

Table 1 Attitude statistics of the conjugate joints in wall rock of the Yulong porphyry copper deposit

观测点号	节理产状		观测点号	节理产状	
	I 组	II 组		I 组	II 组
No. 2	270°/86°	135°/90°	No. 11	111°/90°	359°/80°
No. 4	275°/64°	342°/78°	No. 13	270°/56°	346°/77°
No. 6	110°/90°	181°/90°	No. 16	280°/90°	315°/60°
No. 9	255°/77°	135°/90°	No. 17	296°/66°	200°/81°
No. 10	243°/90°	302°/77°	No. 18	190°/68°	112°/86°

挤压力的方向。以上表明, NE-SW 向的构造挤压, 必将在背斜的 NE 和 SW 翼上三叠统甲丕拉组和波里拉组的层间发生较大规模的层间滑动和破碎, 形成良好的有利于矽卡岩型矿(化)体的成矿空间。

3 结 论

由上述可见, 恒星错—甘龙拉背斜是玉龙斑岩铜钼矿的控岩控矿构造, 其南段倾伏端的鼻状构造圈闭是玉龙铜矿形成超大型矿床的重要条件。玉龙斑岩铜矿中成矿元素的巨量堆积首先得益于背斜构造的高度圈闭性, 其两翼及倾伏端的阿都拉组(T_3a)碳质页岩、粉砂岩透水性差, 致使斑岩-矽卡岩成矿流体循环系统中的流体不至于逃逸散失; 其次核部地层甲丕拉组(T_3j)中富含铜质, 被圈闭的成矿流体在成矿系统中循环时, 将其中富含的铜质带入成矿溶液中, 对玉龙铜矿 Cu、Co、Ag、Au 等元素的巨量堆积具有积极意义。玉龙铜矿区的主要构造应力方向为 NE-SW 向, 近于水平, 这种构造应力是字嘎断裂、温泉断裂的右旋走滑作用派生出的挤压力, 所形成的恒星错—甘龙拉背斜及密集的节理和裂隙为斑岩体侵位及侵位后矿液的循环提供了空间, 在节理和裂隙中常见矽卡岩化和青磐岩化、黄铁矿化等就是佐证。在斑岩体和接触带裂隙内节理的密度大多大于 200 条/m, 且倾角较大(大于 55°者居多), 倾向变化也较大。对钻孔岩芯的观察发现, II、V 号矽卡岩-次生氧化富集型矿体的底板甲丕拉组角岩中裂隙十分发育, 以剪节理为主, 节理面光滑, 其产状主要有 3 组, 一组较平缓而另 2 组近于直立。这些节理和裂隙在斑岩热液作用早期阶段作为含矿流体循环的通道, 为次生氧化矿体的形成输送矿质, 后期大多被矽卡岩矿物、绿泥石、绿帘石、粘土矿物、菱铁矿、石英和硫化物等充填和“焊接”; 在晚期的次生氧化

富集阶段, 由于裂隙已被“焊接”, 加上角岩本身较为致密, 使含 Cu 的下渗地下水侧向流动而不至流失, 从而发生侧向的次生氧化富集作用。这一切均得益于甘龙拉背斜创造的得天独厚的构造条件。

References

- Chen J P, Deng J H, Li B H, Tang J X, Wang J Z and Wang C S. 1997. Sedimentary characteristics and copper ore provenance effect of Jiapela Formation of Upper Triassic in the East Tibet [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 15(1): 111~117 (in Chinese with English abstract).
- Chen J P, Wang C S, Tang J X, Li B H and Wang J Z. 1998. Mechanism of secondary oxidation and enrichment in the Yulong copper deposit, Xizang (Tibet) [J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(2): 153~161 (in Chinese with English abstract).
- Chen W M. 1980. Discussion about the relationship of the Yulong porphyry copper deposit with sandstone copper deposits [J]. *Geological Review*, 26(6): 526~528 (in Chinese with English abstract).
- Gu X X, Tang J X, Wang C S and Li B H. 2004. The mechanism of stratiform oxidation rich copper orebody of Yulong copper deposit, Tibet: The mode of boil-acid leaching [M]. *The theory and practice of ore geology*. Beijing: Science Press. 140~151 (in Chinese with English abstract).
- Hu M M, Tang J X and Chen J P. 1998. Discussion on supergene ore forming processes of stratiform like orebody of Yulong copper deposit, eastern Tibet [J]. *J. Mineral. & Petrol.*, 18(2): 78~84 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Ma H W, Zaw K and Zhang Y Q. 2003a. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in Eastern Tibet [J]. *Econ. Geol.*, 98(1): 125~145.
- Hou Z Q, Mo X X, Gao Y F, Qu X M and Meng X J. 2003b. Adakite, A possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in Northern Chile [J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Li Y Q, Rui Z Y and Cheng L X. 1981. Fluid inclusions and metallogenesis of the Yulong porphyry copper (molybdenum) deposits [J]. *Acta Geologica Sinica*, 55(3): 216~237 (in Chinese with English abstract).
- Li Y Q. 1984. Melt and fluid inclusions in some intermediate-acidic intrusions and volcanic complex in the Yulong copper (molybdenum) belt [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 8: 85~106 (in Chinese with English abstract).
- Li Y Q. 1985. Evolution mechanism of inclusions and metallogenic pH condition of some major porphyry copper (molybdenum) deposits in China [J]. *Mineral Deposits*, 4(2): 51~60 (in Chinese with English abstract).
- Ma H W. 1983. On the petrology of the porphyries of Malasongduo, eastern Xizang, China, with special reference to the relationship between magmatism and mineralization [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 9(1) (in Chinese with English abstract).
- Ma H W. 1989. On the tectonic environment of magmatism in Yulong porphyry copper belt, eastern Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, (1): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Ma H W. 1990. Granitoid and mineralization of the Yulong porphyry copper belt in eastern Tibet [M]. Beijing: Press of China University of Geosciences. 157p (in Chinese with English abstract).
- Ma H W. 1991. The metallogenic environment and ore-controlling factors of the Yulong porphyry copper belt in eastern Tibet, the tectonic evolution of the Tethys and metallization in western China [M]. Chengdu: Press of University of Science and Technology (in Chinese).
- Rui Z Y, Huang C K, Oi G M, Xu Y and Zhang H T. 1984. The porphyry copper (molybdenum) deposits in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Wang C S, Hu W, Chen J P, Gu X X, Su D K, Li Z J and Dong S Y. 2004. The presence form of orebodies and orientation forecast in the mineralization series of the Yulong copper deposit, Xizang (Tibet) [M]. *The theory and practice of ore geology*. Beijing: Sci. Press. 282~292 (in Chinese).
- Tang R L, Luo H S and others. 1995. The geology of Yulong porphyry copper (molybdenum) ore belt, Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- The Sixth Geology Team, Xizang (Tibet) Municipality Geology Mine Office. 1996. The prospecting geology report of orebody II 0~10 ore segment of Yulong copper deposit, Jiangda, Xizang (Tibet) Municipality [R]. The Sixth Geology Team, Xizang (Tibet) (in Chinese).
- Wang C S, Chen J P, Tang J X and others. 1996. Research on the ore forming processes and the exist state of stratiform like orebody of Yulong copper deposit, Xizang (Tibet) [R]. Chengdu University of Technology Archives (in Chinese).
- Wang C S, Tang J X, Gu X X and Lu Y. 2001. Preliminary analysis on Himalayan tectonic-metal-logenetic domain and its mineralization effect [J]. *J. Mineral. & Petrol.*, 22(3): 146~153 (in Chinese with English abstract).
- Gu X X, Tang J X, Wang C S and Chen J P. Himalayan magmatism and porphyry copper-molybdenum mineralization in the Yulong ore belt, east Tibet [J]. *Mineral. & Petrol.*, 78: 1~20.
- Zeng P S, Hou Z Q, Gao Y F and Du A D. 2006. The Himalayan Cu-Mo-Au mineralization in the eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of Molybdenite [J]. *Geological Review*, 52(1): 72~84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H T, Chen R Y and Han F L. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China [J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 150~163 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y J. 1980. Ore-controlling factors and genesis of the porphyry copper deposits in the Yulong ore belt [J]. *Geological Review*, 26(4):

357~361 (in Chinese with English abstract).

Zhou Y J. 1985. Alteration and mineralization zoning of ore deposits in the Yulong porphyry copper belt [J]. Mineral Deposits, 4(2): 23~30 (in Chinese with English abstract).

Zhou Y J. 1986. The effect and experience about synthesizing application of method of finding out ores in the Yulong porphyry copper belt, eastern Tibe [J]. Geology and Prospecting, 12: 16~19 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈建平, 邓江红, 李葆华, 唐菊兴, 王奖臻, 王成善. 1997. 西藏玉龙上三叠统甲丕拉组沉积特征及铜矿质的初步富集 [J]. 沉积学报, 15(1): 111~117.

陈建平, 王成善, 唐菊兴, 李葆华, 王奖臻. 1998. 西藏玉龙铜矿床次生氧化富集作用机制 [J]. 地质学报, 72(2): 153~161.

陈文明. 1980. 斑岩铜矿与杂色砂页岩型层状铜矿内在联系的初步探讨 [J]. 地质评论, 26(6): 526~528.

顾雪祥, 唐菊兴, 王成善, 李葆华. 2004. 西藏玉龙铜矿床似层状氧化富铜矿体的形成机制: 沸腾-酸滤模式 [M]. 矿床学理论与实践. 北京: 科学出版社. 140~151.

胡明铭, 唐菊兴, 陈建平. 1998. 论藏东玉龙铜矿似层状矿体的表生氧化成矿作用 [J]. 矿物岩石, 18(2): 78~84.

侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003b. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例 [J]. 矿床地质, 22(1): 1~12.

李萌清, 芮宗瑶, 程莱仙. 1981. 玉龙斑岩铜(钼)矿床的流体包裹体及成矿作用研究 [J]. 地质学报, 55(3): 216~237.

李萌清. 1984. 玉龙某些酸性侵入岩和火山杂岩中的熔融和流体包裹体 [J]. 中国地质科学院院报(地球学报), 8: 85~106.

李萌清. 1985. 我国几个重要(主要)斑岩铜(钼)矿床的包裹体演化机制及成矿 pH 条件 [J]. 矿床地质, 4(2): 51~60.

马鸿文. 1983. 藏东马拉松多铜矿区斑岩岩石学及其与成矿关系的

研究 [J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 9(1).

马鸿文. 1989. 论藏东玉龙斑岩铜矿带岩浆活动的构造环境 [J]. 岩石学报, (1): 1~11.

马鸿文. 1990. 藏东玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

马鸿文. 1991. 西藏玉龙斑岩铜矿带的成矿地质背景与控矿因素, 中国西部特提斯构造演化及成矿作用 [M]. 成都: 电子科技大学出版社.

芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 徐钰, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床 [M]. 北京: 地质出版社.

唐仁鲤, 罗怀松, 等. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质 [M]. 北京: 地质出版社.

唐菊兴, 王成善, 黄卫, 陈建平, 顾雪祥, 栗登逵, 李志军, 董树义. 2004. 西藏玉龙铜矿成矿体系各矿体存在形式及其定位预测 [M]. 矿床学理论与实践. 北京: 科学出版社. 282~292.

王成善, 陈建平, 唐菊兴, 等. 1996. 西藏玉龙铜矿床似层状矿体成矿作用及有用元素赋存状态研究 [R]. 成都理工大学档案馆.

王成善, 唐菊兴. 2001. 喜马拉雅构造-成矿域及其成矿效应初步分析 [J]. 矿物岩石, 22(3): 146~153.

西藏自治区地矿厅第六地质大队. 1996. 西藏自治区江达县玉龙铜矿 II 矿体 0~10 线矿段勘探地质报告 [R]. 西藏地质矿产勘探开发局第六地质大队档案馆.

曾普胜, 侯增谦, 高永峰, 杜安道. 2006. 印度-亚洲碰撞带东段喜马拉雅期铜-钼-金矿床 Re-Os 年龄及成矿作用 [J]. 地质论评, 52(1): 72~84.

张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件 [J]. 矿床地质, 22(2): 150~163.

周宜吉. 1980. 玉龙矿带中斑岩铜矿的控矿因素及其成因探讨 [J]. 地质评论, 26(4): 357~361.

周宜吉. 1985. 试论玉龙斑岩铜矿带内矿床的蚀变和矿化分带 [J]. 矿床地质, 4(2): 23~30.

周宜吉. 1986. 西藏东部玉龙斑岩铜矿带找矿方法综合运用效果和经验 [J]. 地质与勘探, 12: 16~19.