

玉龙斑岩铜矿含矿斑岩成因

姜耀辉 蒋少涌 戴宝章 凌洪飞 著



ORIGIN OF ORE-BEARING PORPHYRIES IN THE YULONG PORPHYRY COPPER DEPOSIT, EAST TIBET

YAO-HUI JIANG, SHAO-YONG JIANG, BAO-ZHANG DAI, HONG-FEI LING

地质出版社
Geological Publishing House
Beijing, China

国家重点基础发展规划项目

“印度与亚洲大陆主碰撞带成矿作用”(2002CB412600)资助

玉龙斑岩铜矿含矿斑岩成因

姜耀辉 蒋少涌 戴宝章 凌洪飞 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书对玉龙特大型斑岩铜矿含矿斑岩成因机制进行了系统解剖,从 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学、岩相学与矿物化学、元素地球化学和 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学等方面阐明了含矿斑岩的源区性质及岩浆形成与演化过程;同时,通过含矿斑岩与非含矿斑岩地质地球化学综合对比研究,阐明了含矿与不含矿的内在控制因素,并提出了区分含矿与非含矿斑岩的重要地球化学参数。

本书可供从事岩石学、矿床学与地球化学等学科的研究人员及相关院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

玉龙斑岩铜矿含矿斑岩成因/姜耀辉等著. —北京:地质出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-116-05892-7

I. 玉… II. 姜… III. 斑岩矿床: 铜矿床-矿床成因论-西藏 IV. P618.410.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 178979 号

YULONG BANYAN TONGKUANG HANKUANG BANYAN CHENGYIN

责任编辑: 蔡卫东

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324571 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地质印刷厂

开 本: 787 mm × 1092 mm^{1/16}

印 张: 8

字 数: 200 千字

印 数: 1—600 册

版 次: 2008 年 12 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05892-7

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

位于青藏高原东部的玉龙斑岩铜矿带形成于陆-陆碰撞造山环境,是我国迄今发现的最大的斑岩铜矿带。该矿带自 20 世纪 60 年代发现以来,已对其开展了较系统的勘探和科学研究工作,发现了一系列大型和超大型矿床,并取得了许多重要研究成果。然而,针对以下两个科学问题还存在很大的争论和不确定性。①成矿带中含矿斑岩成因。主要有 3 种观点:由幔源玄武质岩浆发生结晶分异和同化混染而形成;由加厚镁铁质地壳部分熔融而形成;由早先俯冲的洋壳板片部分熔融而形成。②成矿带中含矿与非含矿斑岩成因的内在控制因素还知之甚少。该矿带长约 300 km,带内已发现中酸性斑岩体近百个。但目前仅有 19 个斑岩体被查证为含矿斑岩,其余均因研究程度所限而难以确定其含矿性。为了从众多的斑岩体中准确地评价出含矿斑岩,我们必须回答这样一个科学问题:为什么有的斑岩体成矿而有的不成矿?它们的地球化学判别指标是什么?本次研究在国家重点基础发展规划项目“印度与亚洲大陆主碰撞带成矿作用”(2002CB412600)第三课题“主碰撞带壳/幔物质交换作用与成矿效应”(2002CB412603)资助下,对该矿带中玉龙特大型铜矿床含矿斑岩成因机制进行了重点解剖,从 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学、岩相学与矿物化学、元素地球化学和 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学等方面阐明了含矿斑岩的源区性质及岩浆形成与演化过程,作者认为含矿斑岩直接由当地 100 km 深处的交代富集地幔(金云石榴单斜辉石岩脉)低程度部分熔融而形成。相关成果发表在“Earth and Planetary Science Letters”(Jiang et al., 2006)和《岩石学报》(姜耀辉等, 2006a)上。国内外审稿专家对该成果给出了较高评价:“This paper is dealing with shoshonitic granitoids emplaced in a thick crust (Tibet) but whose source lies within the lithospheric mantle. This is a very interesting topic poorly described in the literature.”(EPSL 审稿意见);“此文创新性地提出了一个全新的大陆环境含 Cu 斑岩的成因模式,即 100 km 深处地幔中交代成因的金云-石榴辉石岩脉低程度部分熔融成因”(岩石学报审稿意见)。同时,通过该矿区内含矿与非含矿斑岩体地质地球化学综合对比研究,阐明了含矿与不含矿的内在控

制因素,认为含矿与非含矿斑岩是岩石圈地幔中交代成因脉先后发生不同程度部分熔融的产物,并提出了区分含矿与非含矿斑岩的重要地球化学参数。相关成果发表在“International Geology Review”(Jiang et al., 2008)和《岩石学报》(姜耀辉等, 2006b)上。IGR 刊物主编对该成果给出了较高评价:“This is excellent scientific research on an interesting and important topic, and will make a very good publication. Your new mineral and bulk - rock geochemistry makes available welcome new constraints on the petrogenesis of adakitic Cu - rich and Cu - deficient porphyries in continental collisional zones. The data provide important prospecting guides in east Tibet and probably elsewhere along convergent margins.”

本书是在上述 4 篇论文基础上撰写而成的,反映了玉龙斑岩铜矿最新研究成果。研究工作自始至终得到项目首席科学家侯增谦研究员以及课题负责人莫宣学教授和徐义刚研究员的指导。野外工作得到西藏地勘局黄卫高级工程师的帮助,在此一并致谢。

姜耀辉

2008 年 8 月于南京大学

目 次

前 言

第一章 区域地质概况	(1)
第一节 区域构造	(1)
第二节 区域地层	(2)
第三节 区域岩浆岩	(4)
第二章 玉龙含矿斑岩地质特征	(20)
第一节 成岩时代	(20)
第二节 岩相学	(20)
第三节 矿物化学	(22)
第三章 玉龙含矿斑岩地球化学特征	(28)
第一节 元素地球化学特征	(28)
第二节 Sr - Nd - Pb 同位素地球化学特征	(33)
第三节 锆石 Hf 同位素地球化学特征	(35)
第四章 玉龙含矿斑岩岩石成因	(36)
第一节 Sr - Nd - Pb - Hf 同位素对源区的制约	(36)
第二节 是部分熔融还是分异结晶?	(37)
第三节 源区矿物学	(38)
第四节 源区 $p-t$ 条件	(41)
第五节 成岩机制	(42)
第五章 玉龙含矿斑岩与非含矿斑岩的鉴别	(43)
第一节 含矿与非含矿斑岩体地质地球化学差别	(43)
第二节 含矿与非含矿斑岩体成岩机制及其对成矿作用的制约	(48)
第三节 含矿与非含矿斑岩体地质地球化学鉴别	(49)
第六章 结论与意义	(50)
参考文献	(52)

第一章 区域地质概况

第一节 区域构造

印度-亚洲大陆的碰撞造就了青藏高原。它由一系列呈近东西向展布的古生代-新生代地体组成，由北而南分别为：松潘-甘孜地体、羌塘地体和拉萨地体（图 1-1）。玉龙斑岩铜矿带位于青藏高原东部羌塘地体内（见图 1-1）。羌塘地体以金沙江缝合带和班公湖-怒江缝合带为界。金沙江缝合带形成于二叠纪，而班公湖-怒江缝合带形成于中侏罗世（莫宣学等，2001）。

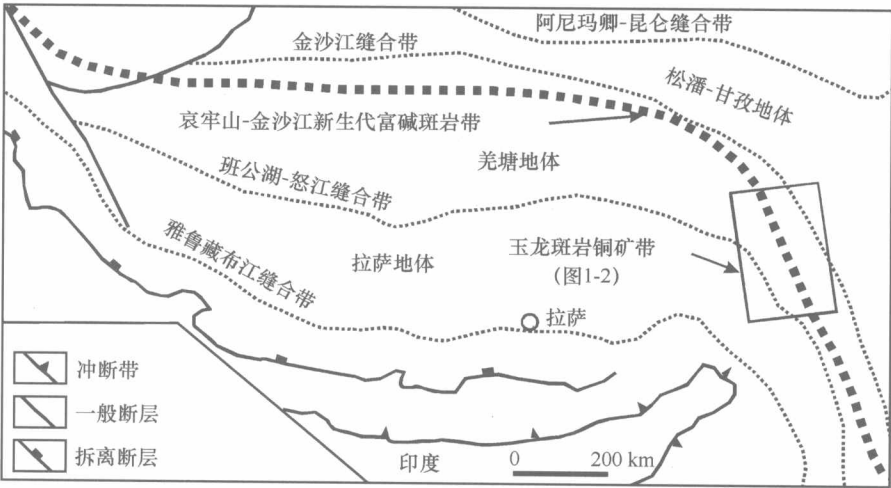


图 1-1 青藏高原构造略图

（据 Hou et al. , 2004, 经修改；哀牢山-金沙江新生代富碱斑岩带据张玉泉和谢应雯，1997）

印度-亚洲大陆古新世的陆-陆碰撞，形成了雅鲁藏布江缝合带，并诱发了金沙江大规模走滑断裂系统的形成（Hou et al. , 2003），它由字嘎走滑断裂、文泉走滑断裂和妥坝走滑断裂等分支断裂组成（图 1-2）。玉龙斑岩铜矿带中的含矿斑岩（41 ~ 34 Ma）呈北西向沿金沙江走滑断裂分布，属哀牢山-金沙江新生代富碱斑岩带的一部分。印度-亚洲大陆陆-陆碰撞还诱发了一系列新生代走滑拉分盆地的形成。玉龙含矿斑岩带受控于这些走滑拉分盆地（Hou et al. , 2003），其北东侧为贡觉盆地，南西侧为囊谦和拉屋盆地。盆地内充填了巨厚的红色磨拉石沉积物，并发育碱性火山岩系（42 ~ 34 Ma）（图 1-2）。

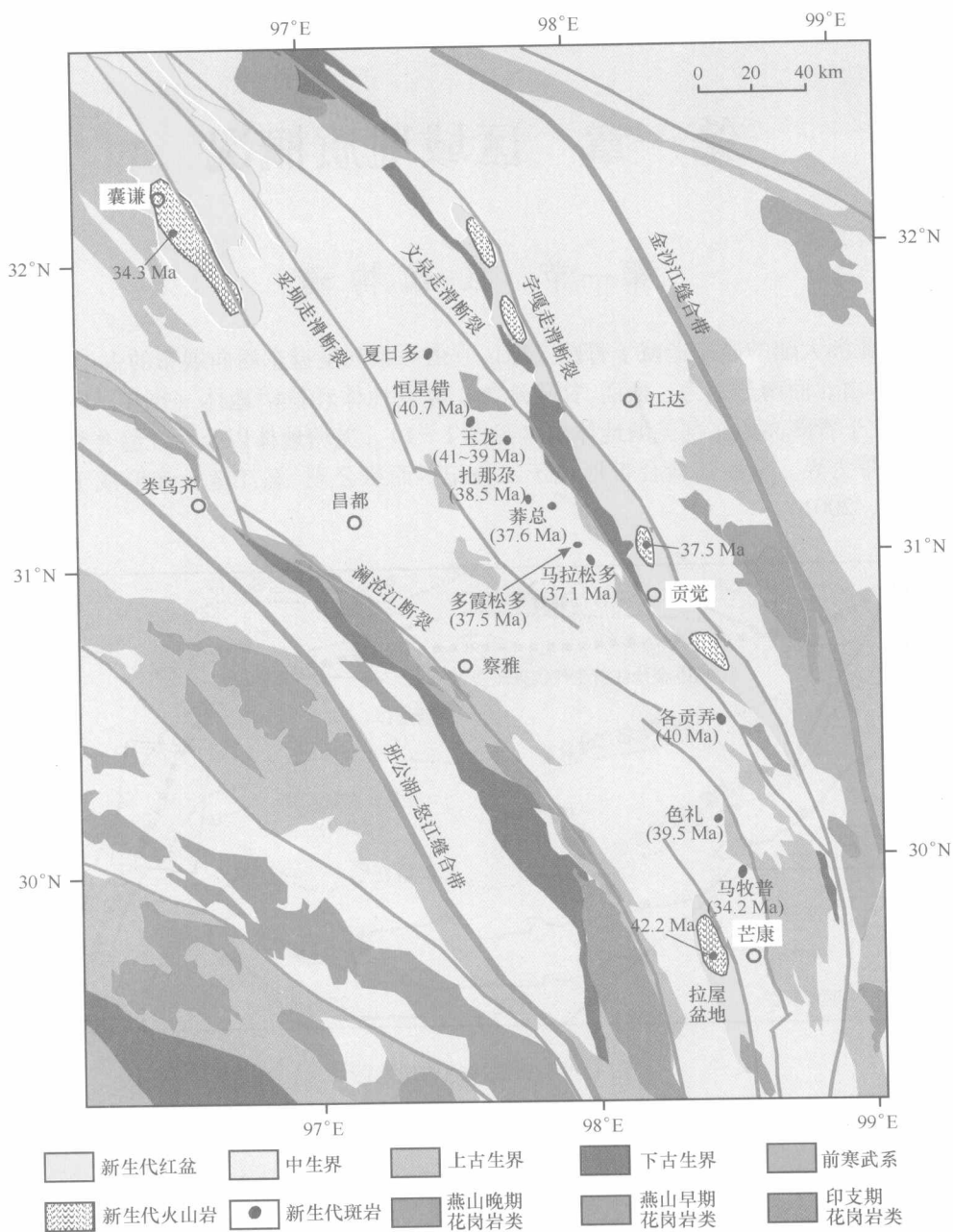


图 1-2 玉龙斑岩铜矿带地质略图
(据 Hou et al., 2003; 潘桂棠等, 2004; 经修编)

第二节 区域地层

本节主要简述玉龙斑岩铜矿带所在的羌塘地体内地层特征 (潘桂棠等, 2004)。

一、前寒武系

前寒武系出露有宁多群 (Pt₁) 和草曲群 (Pt₃)。宁多群由角闪岩相黑云斜长片麻岩、石英片岩夹变粒岩和斜长角闪岩等组成, 已获得片麻岩 U-Pb 年龄为 2200 ~ 1870 Ma, 并被 U-Pb 年龄为 1780 ~ 1706 Ma 之花岗岩侵位, 厚度 > 2000 m, 上被上三叠统角度不整合覆盖。草曲群岩性为绿泥绢云片岩、绢云石英片岩、千枚岩、结晶灰岩和变质砾岩夹变基性火山岩, 火山岩 U-Pb 年龄为 999 Ma 和 876 Ma, 上被古近系不整合覆盖, 与宁多群关系不明。

二、下古生界

出露的下古生界主要有奥陶系青泥洞群和曾子顶组以及志留系恰拉卡组。青泥洞群为浅海相石英砂岩、细砂岩、板岩夹结晶灰岩, 变形较强, 含笔石、腕足和三叶虫化石, 其上被下泥盆统角度不整合覆盖, 厚度 > 1754 m。曾子顶组下部为石英砂岩、粉砂岩、页岩与白云质灰岩互层, 上部为豹皮状灰岩、泥质白云岩夹砂板岩, 厚度 > 3100 m。恰拉卡组为次深海相笔石页岩、粉砂质页岩夹细砂岩、灰岩, 厚度 > 1000 m, 其上与下泥盆统平行不整合。

三、上古生界

上古生界出露较全, 泥盆系、石炭系和二叠系均有出露。下泥盆统岩性为浅海相灰紫色含炭质板岩夹砂岩、含砾砂岩、泥灰岩、白云岩, 底部为砾岩, 含腕足化石, 厚度 16 m。中泥盆统以浅海相泥质疙瘩状灰岩为主, 含有孔虫化石。上泥盆统为浅海相厚层块状灰岩、白云质灰岩、泥灰岩, 含腕足化石, 厚度 747 m。下石炭统下部为海陆交互相灰岩、硅质条带灰岩夹砂岩, 含腕足、珊瑚化石, 中部为含煤碎屑岩, 上部以灰岩为主, 含腕足类化石, 厚度 1485 m。上石炭统为浅水碳酸盐组合, 岩性为灰岩夹燧石条带, 含腕足化石。下二叠统为浅海相砾状灰岩、白云质灰岩夹炭质页岩, 厚度 > 420 m。中二叠统为滨-浅海相石英砂岩、粉砂岩、页岩和灰岩或以灰岩为主, 局部夹基性火山岩, 厚度 519 m。上二叠统为滨-浅海相安山质集块岩、凝灰岩, 厚度 313 m。

四、中生界

中生界在区内分布最广。下三叠统断续分布于昌都盆地东部的玉龙—马拉松多—海通一线, 为一套以流纹英安质熔岩、中酸性火山角砾岩、凝灰岩为主夹灰色砂页岩、灰岩及薄层硅质岩的地层, 厚度 520 ~ 3400 m, 不整合于古生界之上, 又被上三叠统角度不整合覆盖, 火山岩属高钾钙碱性系列。中三叠统分布于昌都盆地西部竹卡—脚巴山一带, 下部为灰色、灰黑色板岩夹变砂岩、大理岩, 厚度 520 m, 与下伏地层呈角度不整合接触; 上部为具弧火山特征的英安岩、流纹岩夹板岩和变砂岩, 厚度 > 3100 m。上三叠统在区内超覆不整合覆盖在古生代及早、中三叠世地层之上, 包括甲丕拉组、波里拉组和巴贡组, 累计厚度达 5000 m。甲丕拉组为紫红色砂岩、泥岩、粉砂岩夹灰岩, 下部砾岩, 为河湖—滨浅海相沉积; 波里拉组为浅海相浅灰色灰岩、泥灰岩、瘤状灰岩、生物碎屑灰岩; 巴贡组包括阿堵拉段和夺盖拉段, 前者为浅海灰色砂页岩, 后者为海陆交互相灰黑色、黑色泥

(页) 岩、粉砂岩夹长石石英砂岩及薄煤层和煤线, 含植物化石。

侏罗系主要为陆相的杂色泥岩、粉砂岩、砂岩组合, 中部时夹泥灰岩、介壳灰岩及砾岩, 上部和下部含脊椎动物化石, 中部含双壳化石, 总厚度 3370 m, 与上三叠统不整合接触。白垩系为陆相紫红色砂岩、粉砂岩及砂砾岩, 含恐龙、鱼类化石, 厚度 2047 m, 与下伏侏罗系整合接触。

五、新生界

区内新生界主要分布于贡觉、囊谦和拉屋等走滑拉分盆地中。贡觉和囊谦盆地主要发育一套紫红色山麓相、河湖相磨拉石建造, 下部为紫红色细粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩、钙质粉砂岩, 底部紫红色砾岩, 上部灰紫色砂砾岩、细砂岩夹泥灰岩、灰绿色砂页岩, 总厚度 3638 m, 盆地中均发育火山岩, 在贡觉盆地中火山岩层最厚可达 400 m。拉屋盆地中新生界为紫红色砂砾岩、泥岩、粉砂岩夹粗面岩、粗安岩及薄煤层, 厚度 420 m。

第三节 区域岩浆岩

玉龙斑岩铜矿带所在的羌塘地体内前新生代岩浆活动非常强烈 (图 1-2), 但不是本书阐述的重点。本节重点阐述研究区新生代岩浆作用的主要特征。

一、侵入岩

1. 地质特征

羌塘地体东部在新生代时期形成了一系列小斑岩体, 构成了玉龙斑岩铜矿带中重要的成矿母岩, 代表性含矿斑岩主要有夏日多、恒星错、玉龙、扎那尕、莽总、多霞松多、马拉松多、各贡弄、色礼和马牧普 (图 1-2), 其中玉龙斑岩体中赋存有超大型铜矿床, 多霞松多和马拉松多斑岩体中均赋存有大型铜矿床, 扎那尕和莽总斑岩体中均赋存有中型铜矿床。这些含矿斑岩均为浅成-超浅成以二长花岗斑岩为主体的小岩株, 单个小岩株出露面积不超过 1 km²。含矿斑岩主要沿背斜核部侵入于上三叠统甲丕拉组和波里拉组中, 侵位时代为始新世 (41 ~ 34 Ma, 表 1-1)。

表 1-1 玉龙斑岩铜矿带含矿斑岩及新生代火山岩同位素年龄

斑岩/火山岩	岩石类型	分析对象	分析方法	年龄/Ma	资料来源
恒星错	二长花岗斑岩	钾长石	K - Ar	40.7	马鸿文, 1990
玉龙	二长花岗斑岩 (含矿)	锆石	SHRIMP U - Pb	41.0 ± 1.0	郭利果等, 2006
	二长花岗斑岩 (非含矿)	锆石	SHRIMP U - Pb	38.9 ± 0.8	本次研究
扎那尕	二长花岗斑岩	锆石	LA - ICP - MS U - Pb	38.5 ± 0.2	Liang et al., 2006
莽总	二长花岗斑岩	锆石	LA - ICP - MS U - Pb	37.6 ± 0.2	Liang et al., 2006
多霞松多	二长花岗斑岩	锆石	LA - ICP - MS U - Pb	37.5 ± 0.2	Liang et al., 2006
马拉松多	二长花岗斑岩	锆石	LA - ICP - MS U - Pb	37.1 ± 0.4	Liang et al., 2006
各贡弄	二长花岗斑岩	全岩	Rb - Sr	40.0	Hou et al., 2003

续表

斑岩/火山岩	岩石类型	分析对象	分析方法	年龄/Ma	资料来源
色礼	二长花岗斑岩	黑云母	K - Ar	39.5 ± 0.6	张玉泉和谢应雯, 1997
马牧普	正长岩	长石	K - Ar	34.2 ± 0.6	张玉泉和谢应雯, 1997
囊谦	粗面岩	全岩	K - Ar	36.5 ± 0.6	邓万明等, 1999
	安粗岩	全岩	K - Ar	36.4 ± 0.5	邓万明等, 1999
	碱玄岩	黑云母	K - Ar	36.1 ± 0.6	邓万明等, 1999
	安粗岩	黑云母	K - Ar	34.8 ± 0.5	邓万明等, 1999
	安粗岩	全岩	K - Ar	34.1 ± 0.4	邓万明等, 1999
	云煌岩	全岩	K - Ar	33.4 ± 0.6	邓万明等, 1999
	安粗岩	全岩	K - Ar	33.2 ± 0.5	邓万明等, 1999
	安粗岩	全岩	K - Ar	32.4 ± 0.6	邓万明等, 1999
	正长斑岩	全岩	K - Ar	32.0 ± 0.4	邓万明等, 1999
贡觉	粗安岩	全岩	K - Ar	37.5	Hou et al. , 2003
拉屋	粗面岩	全岩	K - Ar	42.4	Hou et al. , 2003

2. 岩相学特征

含矿斑岩体岩石类型有二长花岗斑岩、正长花岗斑岩、碱长花岗斑岩、石英碱长正长斑岩和石英二长斑岩（图 1-3）。岩石具有典型的斑状结构，斑晶矿物有斜长石、角闪石、黑云母、碱性长石和石英。此外，本次研究发现玉龙斑岩体还含有少量的辉石斑晶。

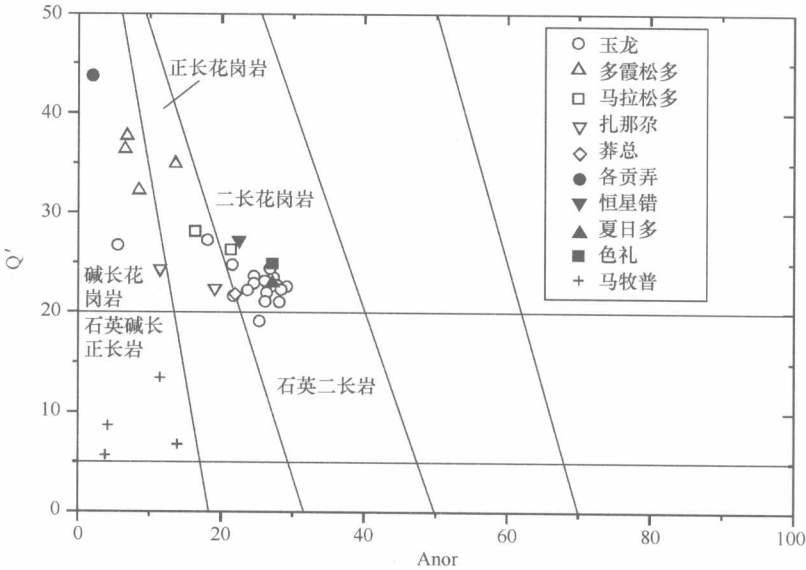


图 1-3 Q'-Anor 分类图解
(据 Streckeisen and Le Maitre, 1979)

原始数据来源：玉龙为本次研究；多霞松多、马拉松多、扎拉尕、莽总和色礼据马鸿文（1990）；
各贡弄、恒星错、夏日多和马牧普据唐仁鲤和罗怀松（1995）

基质为细粒花岗结构，主要由碱性长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母组成。斜长石斑晶具有正常环带结构，中心为中长石，边部为更长石，基质中斜长石主要为钠长石。黑云母中富含镁，主要为铁金云母和富镁黑云母。有些石英斑晶显示熔蚀结构，辉石斑晶表面被熔蚀成麻点状，表明它们是较早结晶的矿物。

3. 地球化学特征

(1) 主元素

表1-2 列出玉龙斑岩铜矿带中代表性含矿斑岩岩石化学成分。从中可以看出，含矿斑岩为酸性岩石，其SiO₂含量变化于64.3%与71.2%之间。岩石具有较高的Al₂O₃含量(13.8%~16.4%)，其铝饱指数ASI [=w(Al₂O₃)/w(CaO+Na₂O+K₂O)]为0.82~1.55。含矿斑岩第一个显著特点是具有钾玄质岩石的亲 and 性。岩石富碱，K₂O+Na₂O含量为7.5%~11.0% (绝大多数>8.0%)，绝大多数样品分布于碱性岩区(图1-4a, 5)。岩石同时具有很高的K₂O含量和较高的K₂O/Na₂O比值(图1-4b, c)，绝大多数样品分布于钾玄岩系列范围内。较高的Mg# [Mg/(Mg+Fe_T)] (0.35~0.52)是含矿斑岩另一个显著特点，它们的Mg#比纯的地壳部分熔融体明显要高(图1-6)。

表1-2 玉龙斑岩铜矿带中代表性含矿斑岩岩石化学成分 (w_B/%)

斑岩体	夏日多	恒星错	玉龙	扎那尕	莽总	多霞松多	马拉松多	各贡弄	色礼	马牧普
样品数	1	1	18	2	1	4	2	1	1	4
SiO ₂	70.06	68.14	67.24	67.84	67.29	71.18	69.59	70.31	67.69	64.34
TiO ₂	0.36	0.38	0.37	0.33	0.42	0.25	0.26	0.4	0.37	0.47
Al ₂ O ₃	14.41	14.85	16.36	15.07	14.58	13.79	13.83	14.05	14.74	15.74
Fe ₂ O ₃	0.91	1.36	1.40	1.36	1.68	1.13	0.95	2.13	1.59	1.66
FeO	1.26	1.72	0.90	1.08	1.68	1.07	1.54	1.06	1.15	1.41
MnO	0.01	0.06	0.03	0.11	0.07	0.10	0.12	0.01	0.09	0.07
MgO	1.24	1.32	1.10	1.09	1.47	0.83	0.87	0.91	1.13	1.55
CaO	1.84	2.53	2.03	1.40	2.82	0.76	1.63	0.13	2.77	2.66
Na ₂ O	3.48	4.11	3.78	3.56	3.72	2.85	3.41	1.35	3.39	4.47
K ₂ O	4.95	4.29	4.76	5.63	5.01	5.25	5.17	6.12	4.86	6.57
P ₂ O ₅	0.13	0.14	0.19	0.13	0.23	0.13	0.10	0.13	0.17	0.26
LOI	1.39	0.81	1.49	2.01	1.02	1.92	1.09	1.14	0.73	0.35
Total	100.04	99.71	99.64	99.59	99.99	99.25	98.54	97.74	98.68	99.53
ASI	1.00	0.93	1.09	1.04	0.87	1.17	0.98	1.55	0.93	0.82
Mg#	0.52	0.44	0.48	0.46	0.45	0.42	0.39	0.35	0.44	0.49

原始数据来源：玉龙为本次研究；多霞松多、马拉松多、扎拉尕、莽总和色礼据马鸿文(1990)；各贡弄、恒星错、夏日多和马牧普据唐仁鲤和罗怀松(1995)。

(2) 微量元素

表1-3 列出玉龙斑岩铜矿带中代表性含矿斑岩微量元素含量。从中可以看出，含矿斑岩富集稀土元素，尤其是轻稀土元素，它们的稀土元素总量为201×10⁻⁶~481×10⁻⁶，

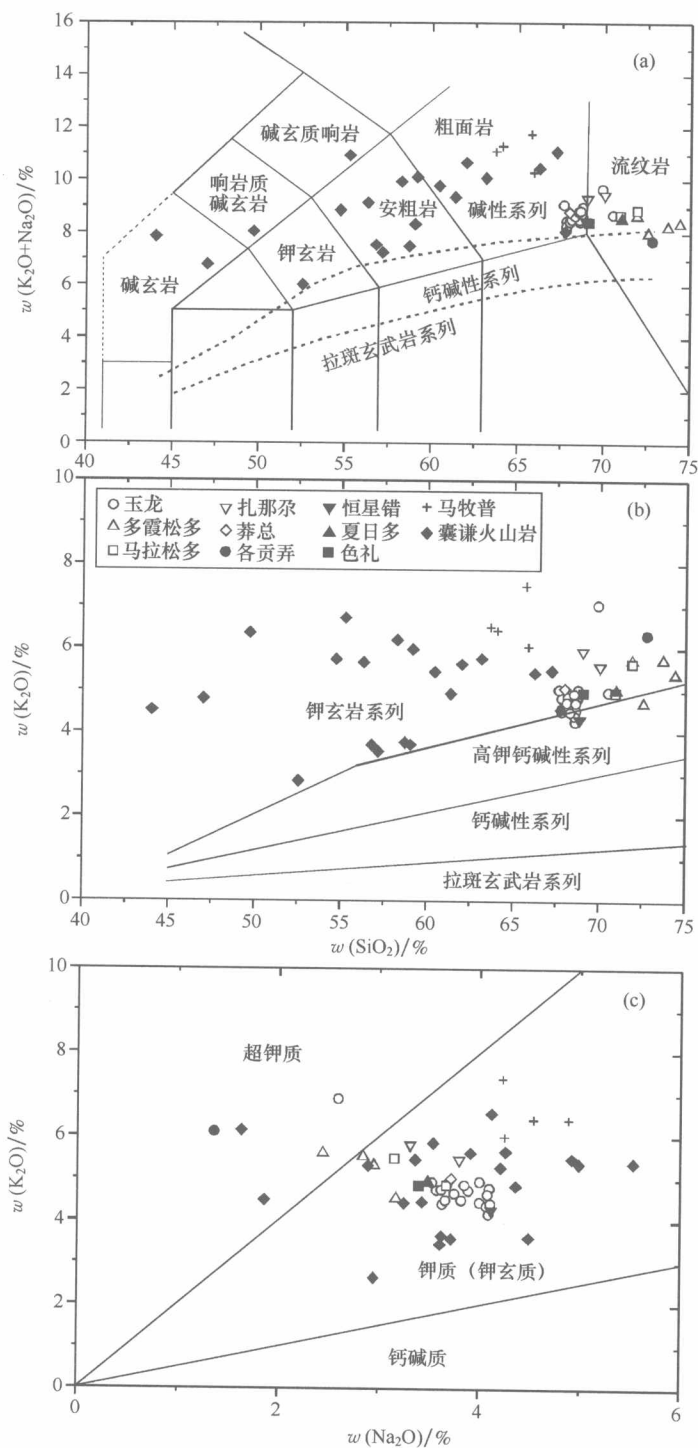


图 1-4 $w(K_2O + Na_2O) - w(SiO_2)$ 图解 (a)、 $w(K_2O) - w(SiO_2)$ 图解 (b) 和 $w(K_2O) - w(Na_2O)$ 图解 (c)

数据来源: 囊谦火山岩 (孙宏娟等, 1999); 其他同图 1-3

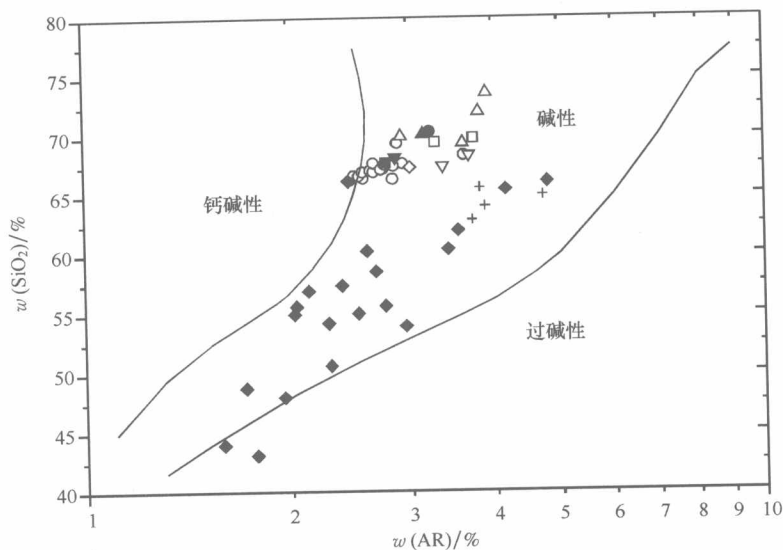


图 1-5 $w(\text{AR})-w(\text{SiO}_2)$ 图解

(据 Wright, 1969)

$$\text{AR(碱度率)} = w[\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] / w[\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] (\%) ;$$

图例和数据来源同图 1-4

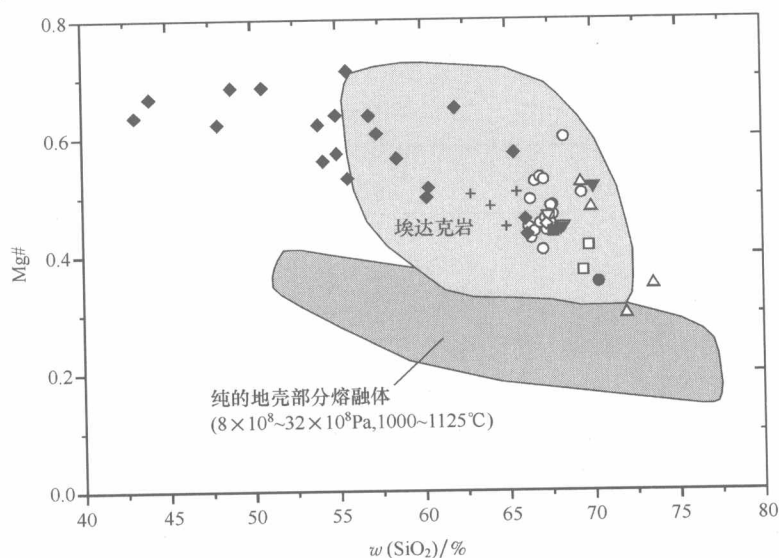


图 1-6 $\text{Mg\#}-w(\text{SiO}_2)$ 图解

纯的地壳部分熔融体范围据 Rapp and Watson (1995); 埃达克岩范围据 Xiong et al. (2006);

图例和数据来源同图 1-4

La/Yb 比值为 28 ~ 71, 具有弱的 Eu 负异常或正异常 (图 1-7)。岩石同时富集大离子亲石元素, 它们的 Rb, Sr, Ba 含量分别为 $197 \times 10^{-6} \sim 305 \times 10^{-6}$, $294 \times 10^{-6} \sim 2327 \times 10^{-6}$ 和 $591 \times 10^{-6} \sim 2271 \times 10^{-6}$, 相对亏损高场强元素 ($\text{Nb} = 6 \times 10^{-6} \sim 16 \times 10^{-6}$, $\text{Y} = 12 \times$

表 1-3 玉龙斑岩铜矿带中代表性含矿斑岩微量元素含量 ($\times 10^{-6}$)

斑岩体 样品数	夏日多	玉龙	扎那尕	莽总	多霞松多	马拉松多	色礼	马牧普
Li	30	22	35	12	24	21	22	35
Be	3.3	3.8	4.4	4.5	4.5	4.5	6.0	4.5
Sc		4.6	4.0	5.1	3.1	4.6	5.4	6.7
V	65	48	43	54	35	37	52	80
Cr	49	29	28	47	28	44	49	10
Co	7.2	4.8	5.5	7.0	<5	5	5.0	4.0
Ni	20.0		8.5	15.0	6.8	14.0	19.0	16.0
Cu	217	401	566	171	1573	1272	25	8
Zn	33	63	88	32	39	24	74	11
Ga		20	18	20	18	19	18	18
Rb	264	197	278	227	272	204	222	305
Sr	294	859	521	1068	493	646	1151	2327
Y	15	12	12	13	12	16	19	21
Zr	183	285	130	94	117	114	87	618
Nb	16	9.0	8.0	7.0	12	14	6.0	15
Mo	13.00	29.21	<2	<2	18	12	<2	7.20
Ba	1111	1004	631	835	965	591	946	2271
La	45	55	63	62	71	46	78	119
Ce		109	111	120	131	91	149	206
Pr		11	11	13	13	10	16	20
Nd		41	38	46	44	35	58	102
Sm		6.4	6.0	7.2	6.2	5.7	9.5	11.3
Eu		1.53	1.18	1.50	1.06	1.00	2.10	2.91
Gd		4.5	4.5	5.3	4.4	4.4	7.1	7.3
Tb		0.53	0.48	0.50	0.37	0.34	0.69	1.00
Dy		2.5	2.6	2.9	2.5	3.0	4.0	5.5
Ho		0.44	0.46	0.56	0.46	0.59	0.71	1.03
Er		1.2	1.3	1.4	1.3	1.6	2.0	2.5
Tm		0.18	0.23	0.25	0.19	0.30	0.26	0.31
Yb		1.0	1.2	1.2	1.3	1.7	1.6	1.7
Lu		0.16	0.26	0.21	0.24	0.32	0.22	0.25
Hf		6.6	6.0	9.0	5.5	6.0	7.0	9.0
W	22.0	6.2	24.0	19.0	22.3	19.5	17.0	3.0
Pb	50	29	70	32	65	33	82	10
Bi	1.60	45.84	0.90	0.20	2.90	1.20	0.60	0.50
Th	16	22	40	38	51	37	35	42
U	5.6	5.9	13.5	20.0	18.8	16.0	18.0	12.0
Σ REE		234	240	262	277	201	329	481
La/Yb		54	55	50	56	28	49	71
Sr/Y	20	73	43	82	42	42	61	111

原始数据来源：玉龙为本次研究；多霞松多、马拉松多、扎拉尕、莽总、色礼和马牧普据马鸿文（1990）；夏日多据唐仁鲤和罗怀松（1995）。

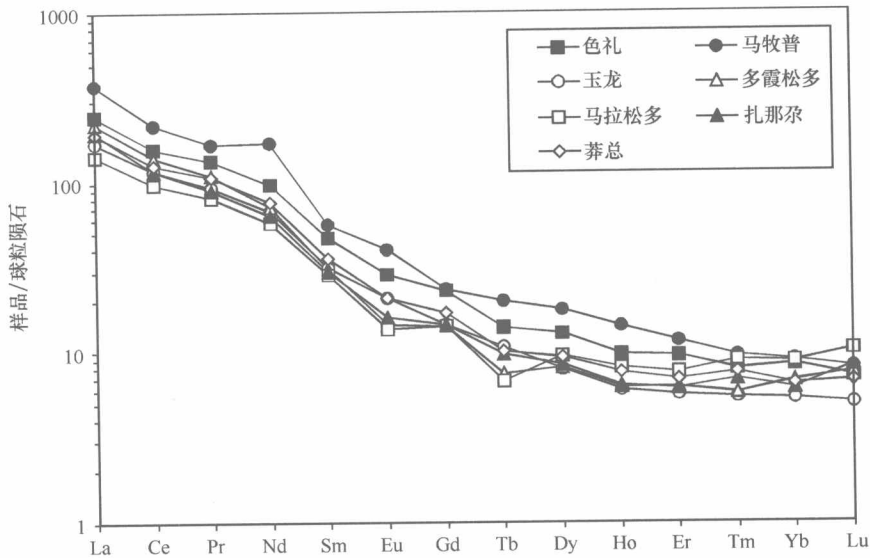


图 1-7 玉龙斑岩铜矿带中含矿斑岩稀土元素球粒陨石标准化曲线

原始数据来源：玉龙为本次研究；其他据马鸿文（1990）

$10^{-6} \sim 21 \times 10^{-6}$ ），具有相对较高的 Sr/Y 比值（20 ~ 111），在原始地幔标准化图解中显示出明显的 Nb 负异常（图 1-8）。

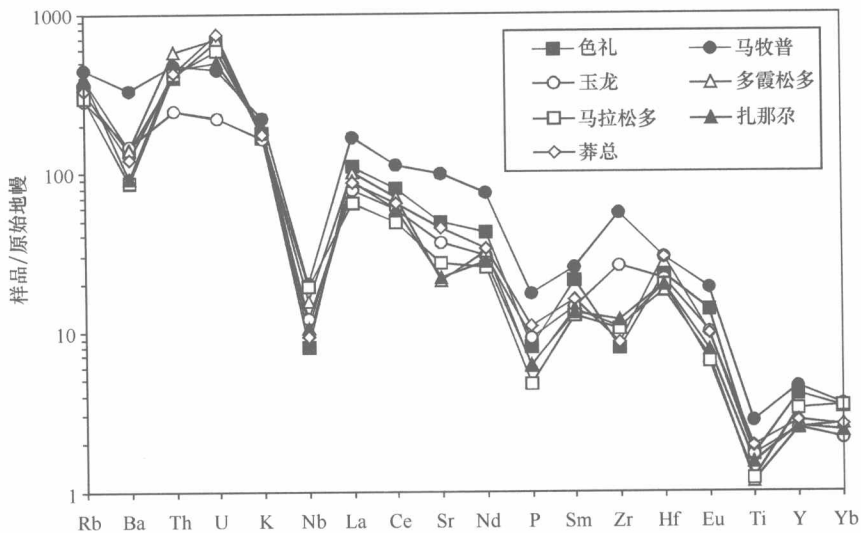


图 1-8 玉龙斑岩铜矿带中含矿斑岩微量元素原始地幔标准化曲线

原始数据来源：玉龙为本次研究；其他据马鸿文（1990）

(3) Sr - Nd - Pb 同位素

玉龙斑岩铜矿带中含矿斑岩具有非常相似的 Sr - Nd 同位素组成（表 1-4）。它们的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$ 变化于 -2.0 ~ -4.1 之间，与下述新生代囊谦火山岩（-0.6 ~ -3.2）相似。

表 1-4 玉龙斑岩铜矿带中代表性含矿斑岩 Sr-Nd-Pb 同位素组成

斑岩	岩石类型	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	$\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
玉龙	二长花岗斑岩	0.706771 ± 12	0.512482 ± 6	-2.6	18.7136 ± 3	15.6578 ± 3	38.8947 ± 7
	正长花岗斑岩	0.706958 ± 15	0.512478 ± 6	-2.5	18.7125 ± 3	15.6456 ± 3	38.8668 ± 11
	碱长花岗斑岩	0.707075 ± 13	0.512486 ± 18	-2.4	18.8240 ± 3	15.6650 ± 2	38.9990 ± 6
	石英二长斑岩	0.707260 ± 12	0.512513 ± 12	-2.0	18.7180 ± 7	15.6522 ± 6	38.8951 ± 14
扎拉杂	二长花岗斑岩	0.705817 ± 21	0.512509 ± 9	-2.5	18.867	15.661	38.963
	正长花岗斑岩	0.705997 ± 9	0.512485 ± 8	-3.0	18.870	15.648	38.955
莽总	二长花岗斑岩	0.706329 ± 14	0.512522 ± 9	-2.3	18.883	15.629	38.921
多霞松多	二长花岗斑岩	0.705453 ± 20	0.512532 ± 11	-2.1	18.852	15.634	38.915
	碱长花岗斑岩	0.706576 ± 8	0.512492 ± 14	-2.8			
马拉松多	碱长花岗斑岩	0.706832 ± 10	0.512473 ± 9	-3.2			
色礼	二长花岗斑岩	0.706801 ± 10	0.512432 ± 17	-4.1			
马牧普	正长岩	0.706191 ± 6	0.512496 ± 10	-2.5	18.825	15.659	38.958
	正长斑岩	0.706212 ± 8	0.512464 ± 8	-3.4			

原始数据来源：玉龙为本次研究；其他据张玉泉等（1998）。

含矿斑岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值（0.7055~0.7073）比囊谦火山岩（0.7050~0.7061）稍高。它们明显不同于雅鲁藏布江 MORB 以及由板片熔融形成的埃达克岩。含矿斑岩富含放射性成因铅成分，它们的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值分别为 18.71~18.88，15.63~15.67 和 38.89~39.00（表 1-4）。它们位于北半球参考线（NHRL；Hart, 1984）上方。含矿斑岩与囊谦火山岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值（18.62~18.97；邓万明等，2001）相似，但含矿斑岩比囊谦火山岩具有更高的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值（15.51~15.64；邓万明等，2001）。含矿斑岩和囊谦火山岩的铅同位素组成也明显不同于雅鲁藏布江 MORB 以及由板片熔融形成的埃达克岩。

二、火山岩

新生代火山岩主要分布于贡觉、囊谦和拉屋等走滑拉分盆地中，喷发时代为始新世（42~34 Ma）（图 1-2），与新生代含矿斑岩侵位时代基本一致。囊谦火山岩研究得比较系统（孙宏娟等，1999；邓万明等，2001）。下面重点阐述囊谦火山岩的地质地球化学特征。

1. 地质特征

囊谦火山岩分布与盆地主要构造走向基本一致。火山活动以裂隙线状溢出为主，中心式喷发次之，具早期爆发晚期溢流特征。主要构成两大旋回，早期以火山碎屑岩类为主，主要分布在盆地东侧，构成盆地中红层夹层；晚期主要为熔岩类、次火山岩和煌斑岩脉。邓万明等（1999）对囊谦火山岩进行了系统的 K-Ar 同位素稀释放定年，结果表明 9 个样品的全岩或单矿物黑云母的表面年龄在 36.5~32.0 Ma 之间（表 1-1），并且在 K- $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ 图解中 9 组数据构成一条相关性非常好（ $r=0.99$ ）的通过原点的等时线。9 组数据的平均年龄为（34.3±0.4）Ma。