

文章编号:0258-7106 (2009) 01-0157-13

青海杂多地区新生代构造特征与两种类型矿床的关系*

王召林¹, 侯增谦¹, 杨竹森², 田世洪², 刘英超², 杨志明¹,
宋玉财¹, 刘 焰¹, 张洪瑞¹, 王 猛¹, 鲁海峰³

(1 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘 要 青海南部存在着巨大的成矿潜力, 研究该区的构造变形与成矿作用的关系, 对于认识区内众多矿床(化)的构造背景和控矿要素具有重要意义。新生代的走滑断裂和逆冲推覆构造是大陆碰撞造山带成矿理论中晚碰撞阶段在青藏高原东、北缘的重要构造形式。走滑断裂呈北西向, 控制着藏东一系列走滑拉分盆地和斑岩的产出; 逆冲推覆构造走向北西, 整体自南向北呈现很好的分带特征, 可分为根带、中带和前锋带。研究区存在两种类型矿床, 分别为走滑断裂控制的斑岩型矿床和逆冲推覆构造控制的热液型矿床。其中, 切过地壳尺度的走滑断裂因减压作用导致含水地幔的部分熔融, 进而导致富含挥发分的含矿斑岩上涌、侵位, 形成纳日贡玛斑岩型钼(铜)矿; 逆冲推覆作用是流体长距离迁移的动力来源, 逆冲推覆构造前锋带的逆冲断层上(下)盘破碎带或次级断层附近是成矿流体迁移的疏导系统和金属汇聚、淀积的重要场所。

关键词 地质学; 构造控矿; 走滑断裂; 逆冲推覆构造; 斑岩型矿床; 铅锌银矿床; 青藏高原

中图分类号: P546; P618.65; P618.42; P618.43

文献标志码: A

Structural characteristics of Cenozoic strata and relationship between two types of ore deposits in Zaduo area, southern Qinghai

WANG ZhaoLin¹, HOU ZengQian¹, YANG ZhuSen², TIAN ShiHong², LIU YingChao²,
YANG ZhiMing¹, SONG YuCai¹, LIU Yan¹, ZHANG HongRui¹, WANG Meng¹ and LU HaiFeng³

(1 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract

Great ore-prospecting potential exists in southern Qinghai, and this study aims at clarifying ore-forming tectonic settings and ore-control characteristics of this area. Cenozoic strike-slip and thrust faults constitute significant characteristics of late collision settings of the continental collisional orogenic belt in eastern and northern margins of Tibet plateau. The pull-apart basins and porphyry in eastern Tibet are controlled by the NW-striking strike-slip fault, and the thrust faults can be divided into three types based on their deformation styles from north to south, i. e., root belt, middle belt and front belt. There exist

* 本文受国家科技支撑计划项目〔“三江”北段铜、铅、银矿床综合评价技术开发与应用(编号:2006BAB01A08)〕和国土资源大调查项目“青海沱沱河-玉树地区大型逆冲推覆构造与Pb-Zn-Ag矿成矿作用研究(编号:1212010818096)”的联合资助

第一作者简介 王召林,男,1978年生,博士研究生,研究方向为大陆碰撞与成矿。Email: geology231@126.com

收稿日期 2008-10-22; 改回日期 2008-12-18。李德先编辑。

two types of ore deposits, namely strike-slip-controlled porphyry Mo(Cu) deposits and thrust-controlled hydrothermal deposits. The decompression effect of strike-slip faults cutting through the crust might have caused partial melting in the water-bearing mantle, and resulted in the upwelling and emplacement of volatiles-rich ore-bearing porphyry and the formation of the Narigongma porphyry molybdenum (copper) deposit. As the driving force of hydrothermal migration, thrust structures formed fracture belts and second-order faults on the footwall or hanging wall in the front belt, which made up a significant transporting system for ore-forming fluids as well as the space for ore accumulation.

Key words: geology, structural control, strike-slip fault, thrust nappe system, porphyry deposit, Pb-Zn-Ag deposit, Tibetan plateau

青藏高原东缘“三江”成矿带中、南段的玉龙斑岩铜矿床和兰坪盆地内的一系列铅锌矿床分别受控于走滑断裂(刘增乾, 1993; Hou et al., 2003; Liang et al., 2006; Jiang et al., 2006a; 姜耀辉等, 2006b; 王召林, 2008; 杨志明, 2008)和逆冲推覆断裂(覃功炯, 1991; 1994; 何龙清等, 2004; Xue et al., 2007; 侯增谦等, 2008), 是大陆碰撞造山带成矿系统中晚碰撞阶段的产物(侯增谦等, 2006b)。与“三江”中、南段相似, 位于“三江”北段的青海杂多-囊谦地区也存在大量的走滑断裂和逆冲推覆构造系统。研究该区新生代走滑断裂、逆冲推覆构造的地质特征、形成演化是解决找矿问题的关键。迄今为止, 除青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床研究程度较高外, 对于该区其他许多热液型矿床(点)的构造控制因素及成因类型的研究还很粗浅。本文试图从青海南部新生代构造变形特征入手, 着重厘定走滑断裂和逆冲推覆构造与两种类型矿床之间的关系。

1 区域地质背景

研究区位于青海省南部杂多-囊谦地区, 构造位置上处于“三江”构造带北段, 金沙江缝合带与班公湖-怒江缝合带所夹持的羌塘地体北缘, 是青藏高原遭受强烈挤压、变形和隆升的部位(Tapponnier et al., 1982; Yin et al., 2000)(图 1a)。区内出露的地层主要为古生界和中生界, 其次为新生界。古生界包括石炭系杂多群和二叠系开心岭群, 主要分布于研究区西南部, 多呈逆冲断片出露, 杂多群主要为被动大陆边缘陆棚相碎屑岩-碳酸盐岩沉积, 开心岭群为弧后拉张环境下的碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩

建造。中生界在区内出露广泛, 包括上三叠统巴颜喀拉群、巴塘群和结扎群、侏罗系雁石坪群和白垩系风火山群, 为中生代盆地内发育的碎屑岩-碳酸盐岩建造。新生界主要为陆相盆地沉积的古近系沱沱河组、雅西错组和第四系碎屑岩系。区内的构造线总体呈北西走向, 以逆冲断裂为主, 受后期构造作用影响, 沿构造应变较强烈地带产生一系列北西西向和北西向展布的褶皱。

研究区先后经历了古特提斯阶段的洋盆扩张、俯冲造山、弧-陆碰撞及新生代碰撞叠加过程。古特提斯阶段洋盆扩张、俯冲造山作用主要表现为古特提斯多岛洋扩张及随后的洋盆向南发生 B 型俯冲消减, 形成岛弧和相应的弧后盆地^①。晚二叠世末—早三叠世是区内重要的构造转折时期, 即由 B 型俯冲向陆内 A 型俯冲的转变阶段, 由于金沙江洋的闭合而发生弧-陆碰撞, 在早期的岛弧基础上叠加了晚三叠世碰撞型火山弧, 二叠纪弧后盆地转化为弧后前陆盆地^②。侏罗纪—白垩纪, 研究区北部处于隆升状态, 没有接受沉积; 南部发育侏罗纪-白垩纪地层, 不整合在石炭系上。自古近纪开始, 印度-亚洲大陆大规模汇聚, 在青藏高原东(北)缘形成一系列北西西向走滑断裂和大型逆冲推覆构造系统。大型走滑断裂包括车所右行走滑断裂、温泉右行走滑断裂、妥坝左行走滑断裂和囊谦走滑断裂带(刘增乾, 1993; Hou et al., 2003), 伴随上述走滑断裂, 形成贡觉、芒总、拉羌、囊谦等走滑拉分盆地; 逆冲推覆构造带包括玉树-囊谦逆冲推覆构造带和风火山逆冲推覆构造带(Spurlin et al., 2005; 李亚林等, 2006), 与逆冲推覆构造伴生的收缩拗陷盆地有上拉秀等盆地(图 1a)。对应于走滑断裂和大型逆冲推覆

① 青海地质调查院. 2006. 1: 25 万杂多幅区域地质调查报告.

② 西安地质调查中心. 2006. 1: 25 万玉树幅区域地质调查报告.

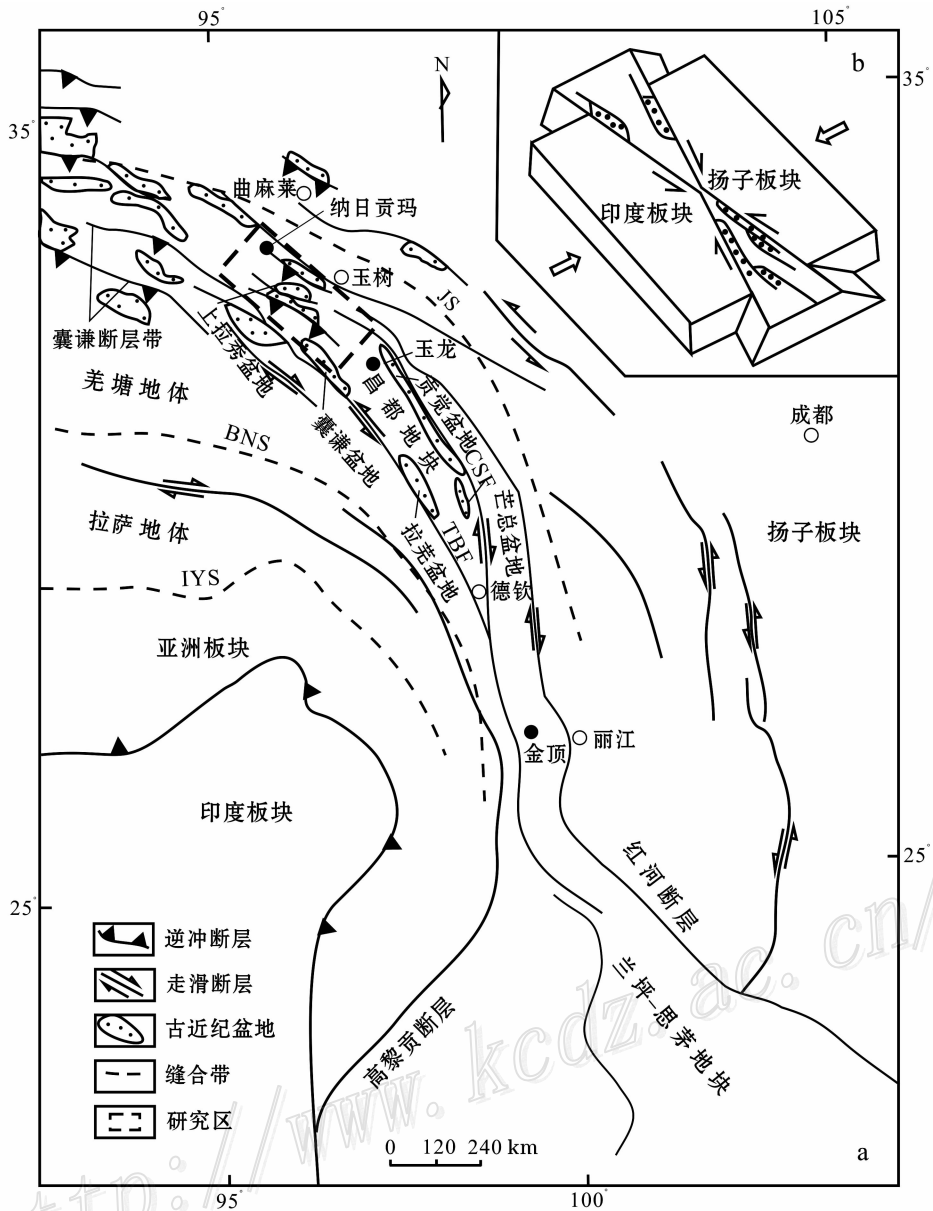


图 1 青藏高原东缘构造简图(据 Wang et al., 2001; Hou et al., 2003 修改)

JS—金沙江缝合带; BNS—班公湖-怒江缝合带; IYS—印度河雅鲁藏布江缝合带; TBF—妥坝断层; CSF—车所断层

Fig. 1 Simplified tectonic map of eastern Tibet(modified from Wang et al., 2001; Hou et al., 2003)

JS—Jinshajiang suture; BNS—Bangonghu-Nujiang suture; IYS—Indus-Yalu suture; TBF—Tuoba fault; CSF—Chesuo fault

构造系统,在青海杂多-囊谦地区分别发育有与喜马拉雅期岩浆活动有关的斑岩型钼(铜)矿床和与大规模逆冲推覆构造有关的铅锌、银矿床(化)。

2 新生代构造特征

2.1 走滑断裂及拉分盆地

古新世—始新世,在印度板块和亚洲板块的大规模挤压、汇聚的背景下,由于东部的扬子板块和

北部的塔里木板块强烈的阻挡作用,羌塘地体东北缘的德钦一带受到强烈挤压,在中生代前陆盆地的基础上,其北部昌都和南部思茅地块向两端挤出,形成“X”形共轭走滑断裂系统(图 1b)。其北部的昌都地块东缘形成右行的车所走滑断裂,西缘形成左行的妥坝走滑断裂,中部形成温泉右行走滑断裂,沿温泉断裂产生一系列呈北西-北北西向雁列式褶皱(刘增乾等, 1993; Hou et al., 2003)。通过野外调查和对该地区航磁图的分析发现,车所走滑断裂

向北西可延至治多-曲麻莱地区,相当于潘桂棠等(1990)认为的北澜沧江断裂。断裂切割的地质单元和岩性层明显具有右行走滑特征,断裂邻侧岩石发现糜棱岩化、角砾岩化,断裂两侧磁场特点差异明显,东部为一平缓降低的负背景特征,西部为高磁异常。妥坝走滑断裂向北西与囊谦断层带相连,根据 Spurlin 等(2005)的研究,囊谦断层带分为南、北2个断层,北端的断层倾向南西,近水平的断层擦痕和断层对晚始新世盆地的控制作用表明,该断层为走滑断层,且晚始新世仍在活动;南部的断层呈明显的右行走滑特征,断层北西部切过下石炭统杂多群碳酸盐岩组($C_1 z d^1$)和早始新世盆地,向南东切断中始新世火山岩(37 Ma)和中部逆冲断层形成的北西向褶皱。

昌都地块内沿共轭走滑断裂系形成了一系列走滑拉分盆地,东侧的车所走滑断裂发育贡觉、芒总等拉分盆地,沿妥坝走滑断裂形成拉羌、囊谦等走滑拉分盆地(图1a)。这些盆地均具有长轴呈北西向斜列式分布的特征,盆地内发育大量渐新世的斑岩侵入体(尤以贡觉盆地最多)和各类火山岩(唐仁鲤等,1995;张玉泉等,1997)。囊谦盆地为一走向近北北西的狭长盆地,长约50 km,宽10~20 km。盆地内古新统与其下伏的石炭系和上三叠统的碳酸盐岩基底呈角度不整合关系。盆地内的沉积充填序列可分为2个岩性段:下部为粗碎屑岩段,主要由冲积扇体系的泥石流砾岩相、扇面河道砂砾岩相和席状漫流砂岩相组成;上部为砂泥岩段,主要为湖泊-三角洲体系的泥岩、泥灰岩、膏岩、砂岩和薄层灰岩组成,并包含有高钾火山岩、火山碎屑岩和中酸性岩墙。对囊谦盆地内的火山岩研究表明(Sun et al., 2001;邓万明等,2001;周江羽等,2002;Spurlin et al., 2005),上述盆地及其内部火山岩的形成都与切过地壳的大型走滑断裂有关,而对贡觉盆地内的斑岩侵入体研究则认为,大规模的走滑断裂直接或间接诱发了含矿斑岩的侵位,形成了玉龙斑岩铜矿带(Hou et al., 2003)。

从渐新世开始,由于印度板块的持续挤压、汇聚,盆地性质由走滑型转换为挤压型,控制盆地的走滑断裂逐渐显示出逆冲断裂的性质,拉分盆地逐渐萎缩。

2.2 逆冲推覆构造

野外地质调查发现,南起类乌齐,北至上拉秀,存在一个大型逆冲推覆构造带。该构造带主要由一

系列规模不等、主体向南倾的逆冲断层和其间的叠瓦扇组成。构造带整体向北东推覆、叠置,沿走向向北西方向可与唐古拉-沱沱河大型逆冲推覆构造相连(李亚林等,2006)。研究区内整个构造带近北西向延伸,长约350 km,宽约120 km。根据整个推覆构造带纵向上不同部位构造变形特点与构造组合样式特征,将该逆冲推覆构造带在逆冲方向上由南向北分为根带、中带和前锋带,各带之间分别以主逆冲断裂相隔,即根带与中带之间为吉塘逆冲断层,中带与前锋带之间为囊谦逆冲断层(图2)。

根带 根带是逆冲作用起始发育的部位,一般具有挤压强烈,面理、小褶皱轴面和小断层等构造产状陡峻,以韧-塑性变形为主,劈理和韧性剪切发育的特征(朱志澄,1991)。研究区的推覆构造根带位于吉塘断裂以南地区,为南羌塘-左贡陆块的组成部分,其北缘以吉塘断裂与以石炭纪碳酸盐岩台地为主的中带分隔(图3)。吉塘断裂相当于北澜沧江断裂带的西支(刘增乾等,1993),主断面倾向南西,倾角 $50\sim 70^\circ$,沿断裂具宽50~100 m的断层破碎带,带内岩石破碎,发育杂色断层泥及构造角砾岩,主断面两侧岩层产状紊乱,为一高角度逆冲断层。该断裂于新生代发生继承性活动,沿断裂由南向北逆冲推覆,将南羌塘-左贡陆块中元古代吉塘群的深变质岩系和中-新元古代花岗片麻岩逆冲推覆于石炭纪及新近纪地层之上。

整个根带内可见多条发育良好的韧性剪切变形带,变形带呈北西-南东走向,塑性变形具透入性面理、片理和片麻理,并发育中深构造层次的塑性流变褶皱。新生代构造变形主要体现在对中生代及其以前形成的构造格架的叠加改造,在吉塘附近可见到形成于喜马拉雅期、倾向南西的透入性面理叠加于早期面理之上(谭富文等,2001)。卷入新生代逆冲构造的地层包括吉塘群中深变质岩系、中-新元古代花岗片麻岩、早石炭世杂多群、晚三叠世结扎群和古近系沱沱河组。

另外,在该根带东延的左贡、类乌齐一带的北澜沧江逆冲推覆构造带,自西向东发现一系列断面西倾的逆冲推覆构造。其主推覆面由元古界、上古生界、下-中三叠统、海西期-印支期花岗岩构成的变质岩及其上由上三叠统、侏罗系红层构成的推覆体组成。这些推覆体被始-渐新统磨拉石红层不整合覆盖,红层底部的石英电子自旋共振(ESR)测年结果(41.8 Ma)表明,该大规模的逆冲推覆时间应为早

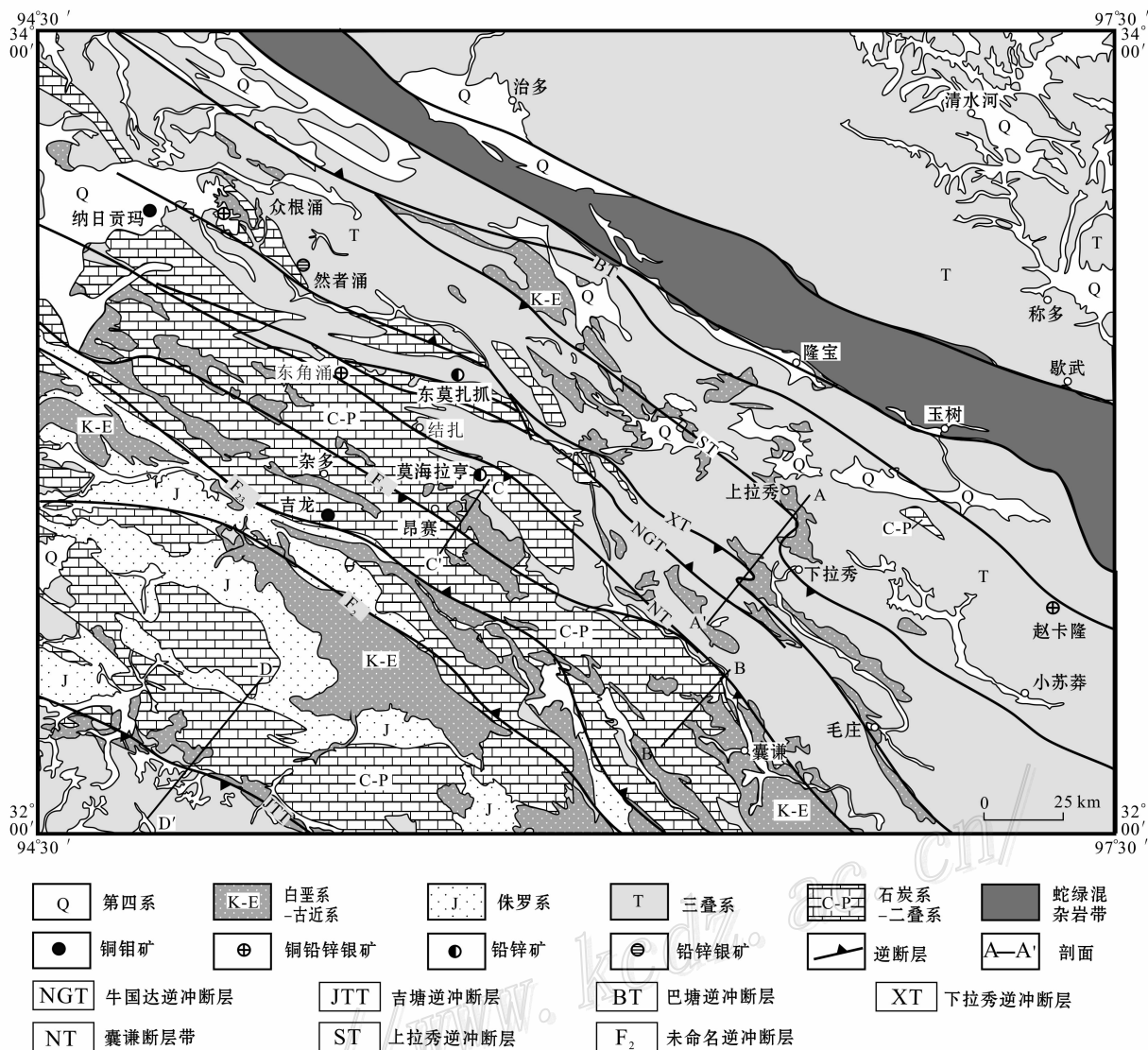


图 2 青海南部构造与矿点分布图(据侯增谦等, 2008 修改)

Fig. 2 Structural map showing the distribution of metallic deposits in southern Qinghai(modified from Hou et al. , 2008)

喜马拉雅期(钟康惠, 2005)。

中带 中带位于根带和前锋带之间, 与根带相比, 中带的构造变形以次级断层和褶皱产状相对稳定为特征。该带大部分位于吉塘断层带和囊谦断层带之间, 中带的前缘主要为三叠系结扎群与石炭系杂多群之间的囊谦断层带, 相当于北澜沧江断裂带的东支(刘增乾等, 1993), 是多期构造变形的组合形式(Spurlin et al. , 2005)。断层倾向南西, 倾角 30~70°, 主断层上、下盘地层时代差异较大, 对断层南、北侧沉积具有一定的控制作用。上盘为石炭纪逆冲岩席, 岩席内杂多群发育反向逆断层及北西向褶皱, 褶皱发生局部倒转, 指示次级断层向南逆冲

的特征。据 Spurlin 等人(2005)在玉树南部所做的平衡剖面推测, 上盘的石炭系曾遭受过严重的剥蚀, 是囊谦盆地的主要沉积物来源。在囊谦县城附近可见由倾向南西的基底滑脱断层(NT)将下部三叠系结扎群(T_{3jz})地层倒转, 这一基底滑脱断层与另一条倾向北东的反冲断层和其下部的三叠系结扎群(T_{3jz})形成构造三角带(图 4)。

中带内总的特点表现为一系列断面倾向北东或南西的北西向逆冲断裂(如图 2 中 F₂₃、F₂ 断层)及次级断裂将下石炭统灰岩逆冲到古近系渐新统砾岩之上, 在局部还可见到上三叠统结扎群逆冲到古近系渐新统之上(图 5)。断层破碎带内, 破劈理、构造角

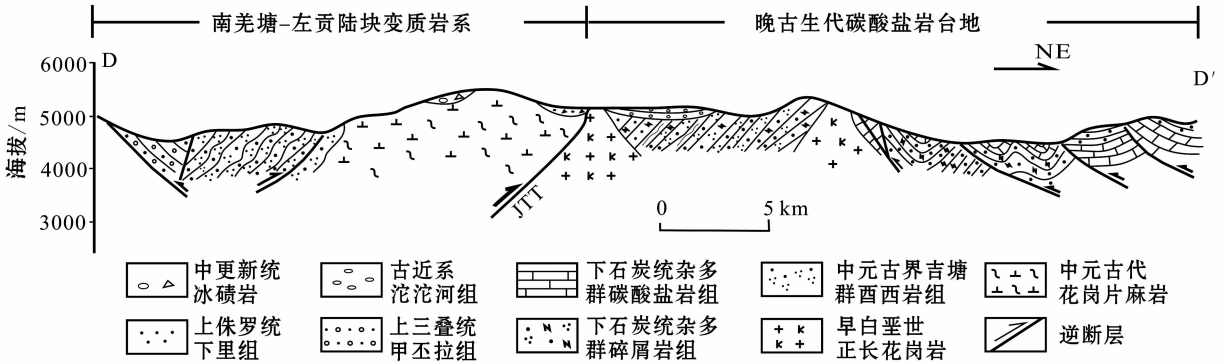


图3 逆冲推覆构造根带剖面图

Fig. 3 Geological section of the root thrust zone

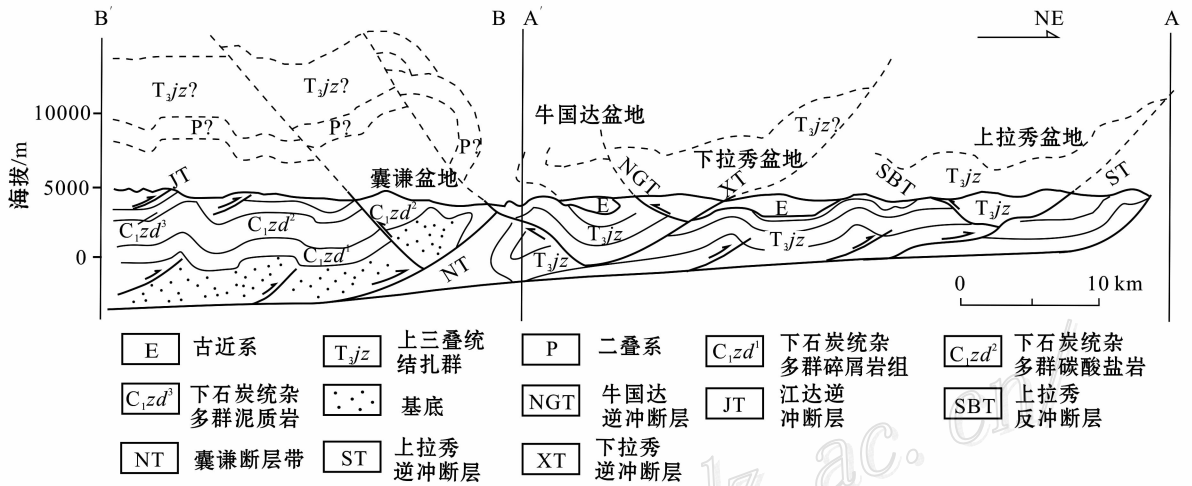


图4 逆冲推覆构造前锋带剖面图(据 Spurlin et al., 2005)

Fig. 4 Cross section of the front thrust zone (after Spurlin et al., 2005)

砾岩、透镜体和断层泥发育。在该构造带内的昂赛乡东部发现石炭系岩层低角度逆冲推覆到白垩系之上，呈孤立的岩块覆于白垩系的砂岩之上，形成“飞来峰”构造(图6)。在F₂₃断裂的将青附近可见北侧上三叠统结扎群向南逆冲到渐新世盆地上，受逆冲作用影响，盆地内褶皱发育。同时，在将青东侧的日青班巴出现早二叠世构造层向南逆冲于渐新世盆地上，形成较宽的挤压破碎带。以上地层叠置关系表明，新生代发生过明显的逆冲推覆作用。

前锋带 前锋带是逆冲推覆构造带靠近前陆(盆地)的部分，挤压作用相对于中带明显增强。位于囊谦逆冲断裂下盘结扎-下拉秀一带，以发育北西走向断裂和古近纪线性褶皱盆地间隔排列为特征。

下拉秀地区逆冲断裂由北向南包括上拉秀逆冲断层(ST)、上拉秀反冲断层(SBT)、下拉秀逆冲断层(XT)、牛国达逆冲断层(NGT)、囊谦逆冲断层(NT)，相应的古近纪盆地有上拉秀盆地、下拉秀盆地、牛国达盆地和囊谦盆地(图4、图7)。

上拉秀逆冲断层主体倾向南西，倾角20~30°，在区域上延伸较远。由于受右行走滑断层的影响，上拉秀断层中段走向发生急转，由北西向转为近南北向(图7)。卷入上拉秀断层系统的有三叠系结杂群碳酸盐岩序列和古新统一下始新统，老地层明显叠置到新地层之上。倾向南西和北东方向的逆冲岩席，将下三叠统地层单元逆冲至更新的三叠系上，局部出现三叠系逆冲岩席叠置到古近纪的上拉秀盆

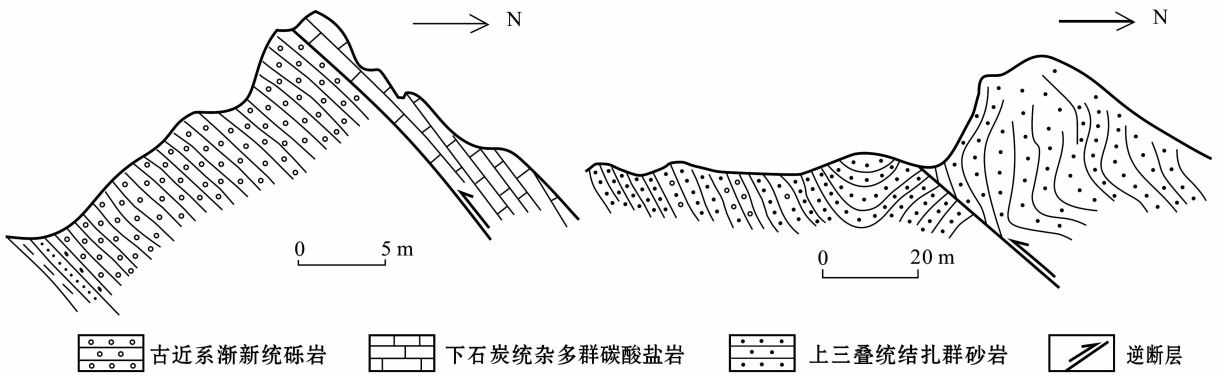


图 5 逆冲推覆构造中带典型剖面

左图为热及弄下石炭统灰岩推覆到渐新统砾岩上^①;右图为将青南上三叠统结扎群向南逆冲到渐新统砂岩上^②

Fig. 5 Typical geological section of the middle thrust zone

The left figure shows that the Early Carboniferous limestone was thrust onto Oligocene conglomerate in Rejinong area, whereas the right figure indicates that Jiezha Group was thrust onto Oligocene sandstone in southern Jinagqing area

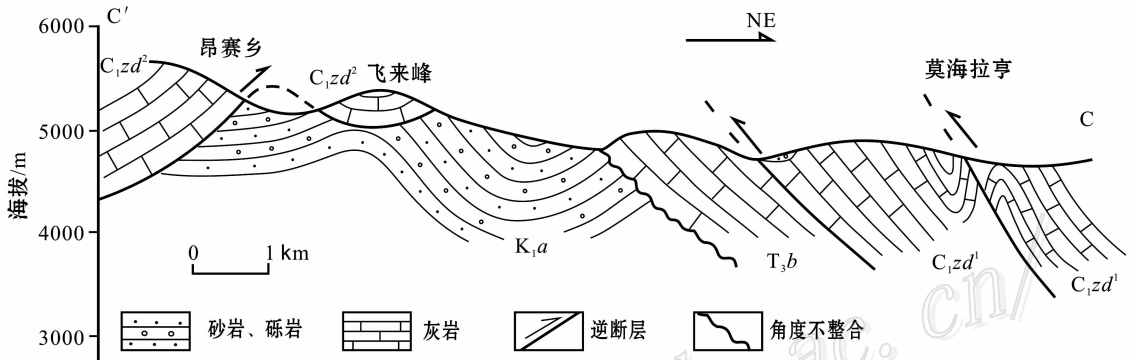


图 6 逆冲推覆构造中带剖面图^②

K_{1a}—下白垩统; T_{3b}—上三叠统波里拉组; C_{1zd¹}—下石炭统杂多群碳酸盐岩、碎屑岩组; C_{1zd²}—下石炭统杂多群碳酸盐岩组

Fig. 6 Geological section of the middle thrust zone

K_{1a}—Early Cretaceous; T_{3b}—Late Triassic Bolila Formation; C_{1zd¹}—Carbonate and clastic Formation of Early Carboniferous Zado Group; C_{1zd²}—Carbonate Formation of Early Carboniferous Zado Group

地之上,盆地内未变形的火山岩黑云母 Ar-Ar 年龄为 51.2 Ma (Spurlin et al., 2005),说明上拉秀逆冲断层在 51.2 Ma 已经趋于停止。该火山岩可能形成于控制盆地形成的走滑拉张时期,而上拉秀逆冲断层则形成于该火山岩形成之后,即 51.2 Ma 之后。因此可以大致认为,该区的走滑断裂形成在前,而逆冲断裂形成稍晚。

上拉秀反冲断层倾向北东,倾角小于 35°,形成上拉秀盆地和下拉秀盆地之间的冲起构造。该反冲断层将三叠系结扎群中下部叠置到三叠系中上部之

上,局部被盆地内下始新统火山岩覆盖,并一同卷入到北西向展布的褶皱带上 (Horton et al., 2002; Spurlin et al., 2005)。根据 Roger 等 (2000) 对断层带流纹英安岩中黑云母 Ar-Ar 的测年结果和 Spurlin 等 (2005) 在同一位置所测的流纹岩和花岗岩 (已变形) 中黑云母 Ar-Ar 的测年结果,上拉秀反冲断层至少在 48.6 Ma 之前仍在活动。

下拉秀逆冲断层总体倾向南西,可能由于右行走滑所致,沿走向局部发生急转,呈“Z”字型。该逆冲断层将老的三叠系结扎群叠置到古近纪下拉秀盆

① 青海地质调查院. 1983. 囊谦幅 1: 20 万地质调查报告.

② 青海地质调查院. 2006. 1: 25 万杂多幅区域地质调查报告.

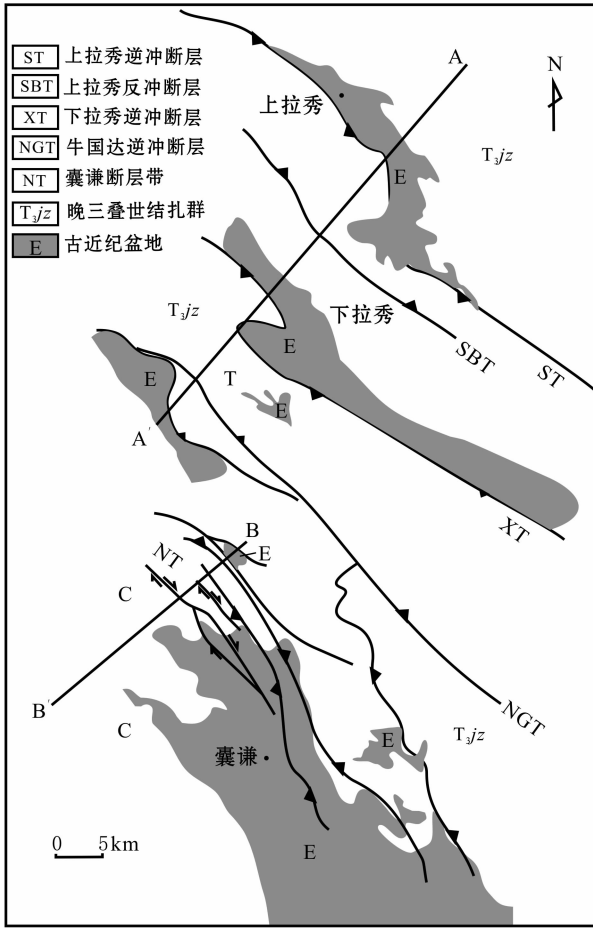


图7 下拉秀地区逆冲断层和古近系盆地
(据 Spurlin et al., 2005 修改)

Fig. 7 Thrust fault and Neogene basins in Xialaxiu region(modified from Spurlin et al., 2005)

地之上, 强烈的褶皱冲断作用使断层的上、下盘均发生褶皱。牛国达逆冲断层也呈北西走向, 倾向北东。该断层将下部三叠系结扎群灰岩叠置到结扎群泥、页岩和古近纪牛国达盆地之上。由于断层内缺少可以约束断层发育时限的样品, 上述 2 个逆冲断层的时代至今还无法确定。但从 Spurlin 等(2005)所做的平衡剖面来看, 该 2 个断层的启动时间应界于北部的上拉秀断层和南部的囊谦断层之间。

值得说明的是, 与上述逆冲断层对应的盆地, 在逆冲的早期可能属于逆冲推覆构造带的前陆(盆地)(图 8a); 强烈的逆冲推覆使位于前锋带前缘的前陆, 即现在的结扎-下拉秀地区也卷入到逆冲推覆构造带的前锋中, 盆地内开始呈现地势分异(图 8b); 随着逆冲推覆作用的进行, 多条逆冲断裂切穿地表, 褶皱冲断盆地系统开始形成, 呈现出现今褶皱

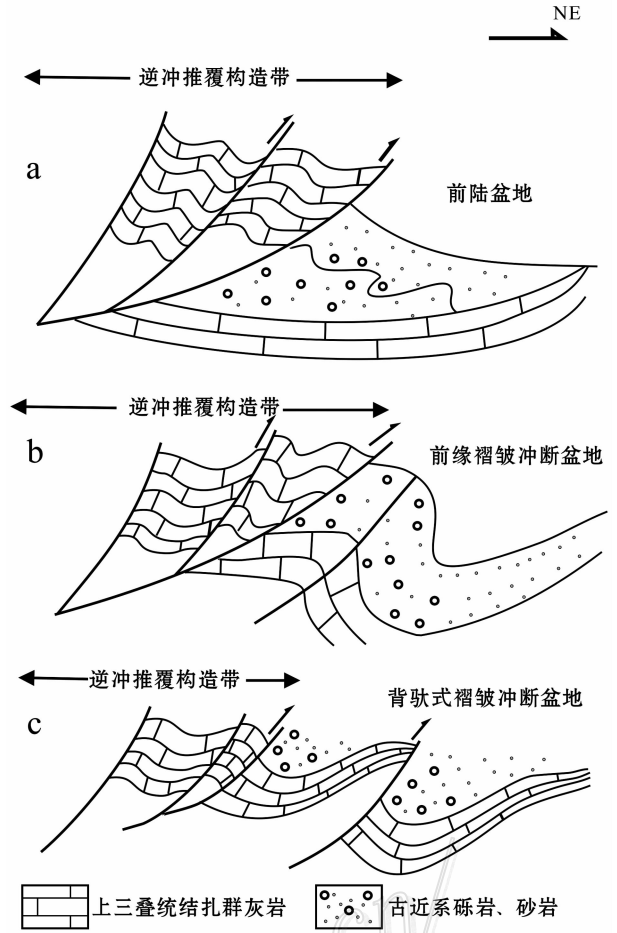


图8 下拉秀地区褶皱冲断盆地演化示意图

Fig. 8 Sketch showing the evolution of fold-thrust basins in Xialaxiu region

盆地和冲断裂间隔排列的格局(图 8c)。这些盆地总体上表现为宽缓褶皱, 两翼倾向南西或北东, 但受断层影响, 造成褶皱两翼产状不对称, 受断层影响大的产状变陡。

除前面讨论的盆地内火山岩的年龄可以制约盆地的演化历史外, 盆地充填物也可提供盆地演化的历史资料。据周江羽等(2002; 2003)的研究, 囊谦盆地和下拉秀盆地始新世早期和中-晚期存在 2 次明显的粗碎屑沉积, 预示着这 2 个时期存在大规模冲断造山作用和大量粗碎屑物源供给, 也预示着该区域大规模逆冲推覆事件的发生时间, 这从另外一个角度间接解决了该地区难于准确界定逆冲推覆构造和盆地形成、演化时代的难题。由以上的论述可以发现, 昌都地块的断裂特征向北西段由走滑逐渐变为以逆冲为主, 盆地的性质也由走滑型盆地向挤压型盆地转化。此外, 从盆地发育的时间上来看, 走滑

盆地的发育时代早,后期逐渐被挤压型盆地所取代。

根据以往的造山带至前陆的褶皱-冲断特征的研究,自造山带向前陆变形逐渐减弱,被断层切割的紧闭-倒转-平卧褶皱越来越开阔、平缓,而顺基底拆离的薄皮构造越来越明显(Lowell, 1985)。在研究区整个逆冲推覆构造带中,从根带至前锋带内南倾的逆冲断层存在向深部变缓的趋势,很有可能为统一的拆离滑脱带,这种薄皮构造的发育表明,上地壳通过挤压、逆冲而缩短、加厚,中下地壳则通过拆离、滑脱与上地壳解耦。

3 与两种类型矿床的关系

一定的金属矿床往往形成于特定的大地构造背景(侯增谦等, 2006a; Hou et al., 2007)。青海南部地区分布着众多的金属矿床(点),尤以纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床和东莫扎抓-莫海拉亨铅锌矿床为代表(图 2)。这些矿床的形成与该区的构造密切相关。

3.1 斑岩型钼(铜)矿床及构造控制

受新生代以来大规模陆内走滑断裂的控制,在杂多县西北形成了以纳日贡玛、陆日格含矿斑岩体为中心的斑岩型成矿系统。纳日贡玛斑岩型钼(铜)矿床含矿岩石为黑云母花岗斑岩,属高钾钙碱性-钾玄岩系列,显示了埃达克岩的地球化学特征;斑岩体具有典型斑岩型矿床的蚀变特征,剖面上从内向依次出现钾硅酸盐化、绢英岩化、青磐岩化和后期叠加在绢英岩化上的泥化蚀变。矿化类型主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿化,呈现出石英+辉钼矿、石英+辉钼矿+黄铁矿、石英+黄铜矿的矿物组合。纳日贡玛矿床目前共发现 22 条铜矿体,矿体赋存于硅化、绢云母化、高岭石化黑云母花岗斑岩与围岩的接触带上,形态呈带状、厚板状及不规则状,铜平均品位为 0.33%,金属量达 25.16 万吨,具中型规模;钼矿化主要产于硅化、绢云母化黑云母花岗斑岩内及蚀变玄武岩内、外接触带。钻孔资料表明,靠近接触带钼矿体厚度大、品位高,斑岩体中心钼矿化相对较弱,钼矿体厚度、品位变化均较大,钼平均品位为 0.079%,估算金属量 67.5 万吨。含矿斑岩锆石 U-Pb 年龄为 (43.3 ± 0.5) Ma(杨志明等, 2008),成矿年龄为 (40.85 ± 0.86) Ma(王召林等, 2008),与该区域走滑断裂发育的时间大致相当(Spurlin et al., 2005)。

关于纳日贡玛斑岩型钼(铜)矿床的构造控制作

用已有大量的论述(杨志明等, 2008; 王召林等, 2008)。纳日贡玛斑岩体位于北西-南东向的格龙涌断裂和北东向纳日贡玛断裂的交汇部位。格龙涌断裂为一深大断裂,虽然目前具有逆断层的特征,其早期具有走滑性质,向南东可能与“X”型共轭走滑断裂的北支相连,该断裂切割深度较大,诱发了纳日贡玛花岗质岩浆的侵位。而纳日贡玛断裂发育较晚,呈北东向,控制了纳日贡玛岩体的就位和岩体的长轴方向。

3.2 逆冲推覆热液型铅-锌矿床及构造控制

东莫扎抓矿区铅锌矿体分布不集中,根据矿体所处空间位置和矿体特征,该矿区共划分了 4 个矿化带: M I 矿化带呈长条带状赋存于上三叠统结扎群波里拉组(T_3b),矿体长度大于 8 km,宽度约 20~300 m,是目前区内最具规模的矿化带之一。矿化带倾向 10~25°,倾角 40~55°,呈似层状近东西向展布,沿走向西段逐渐变宽。矿化带中铅锌矿体长 200~1 820 m,平均厚度为 1.50~20.60 m,铅平均品位达 0.98%~6.09%,锌平均品位 1.60%~4.09%。矿体层控特征明显,锌矿体主要呈长条带状产出,铅矿体主要呈透镜状,矿石中有伴生银; M II-M IV 矿带规模相对较小,且研究程度较低,矿体形态复杂,分枝复合、尖灭再现及膨大收缩等现象普遍存在。矿石矿物组合比较简单,原生金属矿物主要为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,有少量褐铁矿、白铅矿、菱锌矿等次生矿物。矿石构造主要为浸染状、脉状、团块状、皮壳状、角砾状构造。矿体围岩蚀变强烈,蚀变的强度、规模与铅锌品位的高低及矿体规模成正比,蚀变类型有白云岩化、硅化等,表现为中-低温热液成矿蚀变类型。

东莫扎抓矿区区内铅锌矿化体分布明显受构造控制,在逆冲断面上盘的灰岩中形成大量的裂隙空间,碎裂灰岩带的规模、产状、形态直接控制着矿化体的规模、产状和形态。矿体含矿较高的 M I 和 M IV 矿化带内含矿最好的部位分别沿向南西和北东方向逆冲的断层上盘的破碎带分布。在 M IV 矿化带断层面上盘见巨晶方解石和重晶石矿,而相应位置的钻孔揭示的断层下盘却没有见到这些典型的热液矿物,说明活动热液沿断层面上运移,胶结了这里的断层构造角砾岩。另外,沿着断层构造裂隙面也充填了方解石、黄铁矿、闪锌矿和方铅矿脉体。

莫海拉亨矿区目前为止共发现有 4 条矿化带, M I 矿化带中圈定锌矿体 1 个, M III 矿化带中圈定

铅锌矿体 1 个, MIV 矿化带中圈定铅锌矿体 3 个。其中以 MI 矿化带 1 号体最具规模, 其长约 1 800 m, 平均厚度 7.18 m, 矿体呈北西-南东向展布, 具分枝复合、局部膨大等现象, 产状 $18\sim 30^\circ \angle 28\sim 40^\circ$, 矿体形态变化较大。地表见褐铁矿化, 局部地段亦可见原生的致密块状黄铁矿和铅锌矿, 主要分布于岩石裂隙、灰岩溶(孔)洞等。矿石构造呈星散状、细脉状构造, 偶见块状构造, 铅锌矿物含量 $5\% \sim 10\%$ 。矿石中单样铅的最高品位为 2.06%, 平均品位 1.15%; 锌最高品位 18.40%, 平均品位 2.68%。金属矿物主要为黄铁矿、褐铁矿、方铅矿、闪锌矿。脉石矿物主要为石英、方解石、萤石。矿石构造以细脉状、星点状、浸染状、角砾状和团块状构造为主, 局部发育岩溶构造。矿石结构以半自形-他形粒状结构为主, 亦见自形-他形粒状结构、交代残余结构、碎裂结构, 与方解石共生的方铅矿、闪锌矿多呈巨晶出现。围岩蚀变主要为黄铁矿化、硅化、碳酸盐化, 局部发育重晶石化。

从莫海拉亨矿区已发现的矿(化)体分布特征来看, 其展布方向基本与逆冲断裂构造线方向一致, 呈北西-南东向, 矿体分布于构造线两侧, 表明北西-南东向断裂可能为区内主成矿期构造, 为成矿热液活动提供了良好的运移条件, 因而在近地表有利的构造部位富集成矿。

4 成矿模型

纳日贡玛斑岩体的构造控岩(矿)模型可以用图 9 表示。走滑断裂不仅提供斑岩侵入体和钾质火山岩上升的通道, 而且是交代地幔熔融的因素。“X”形共轭走滑断裂系统的形成, 导致了走滑拉分盆地的形成和应力的释放, 切过地壳尺度的走滑断裂因减压作用导致含水地幔的部分熔融, 进而导致富含挥发分的含矿斑岩上涌、侵位。同时, 囊谦盆地和贡觉盆地内碱性火山岩(42.4~37.5 Ma)的年龄说明, 火山岩的发育可能与 42 Ma 左右的走滑断层活动过程中的应力释放和转换有关系^①, 这一年龄与 Hou 等(2003)认为的约 41 Ma 左右在青藏高原东缘存在着一个应力释放, 同时伴随着走滑断裂, 并因此形成玉龙斑岩铜矿带的认识一致。

逆冲推覆构造对青海南部铅锌、银多金属矿床

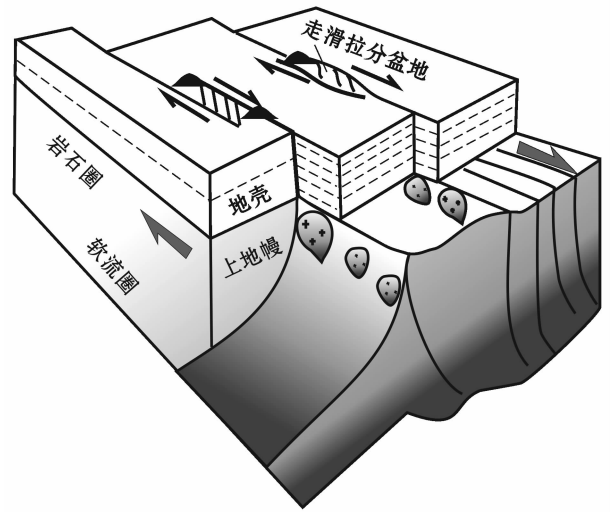


图 9 走滑断裂与斑岩侵位关系示意图

(据 Storti et al., 2007 修改)

Fig. 9 The relationship between the strike-slip faults and the emplacement of the porphyry intrusion (modified from Storti et al., 2007)

的形成和分布具有重要意义(侯增谦等, 2008)。逆冲推覆构造内分为根带、中带和前锋带的这些南倾的逆冲断层向深部逐渐变缓, 形成统一的拆离滑脱带, 这些拆离滑脱带和逆断层作为流体运移的通道, 形成流体运移的疏导系统(见图 10); 大规模逆冲推覆不仅可以作为流体长距离迁移的动力来源, 而且相应的推覆构造也是成矿流体迁移的疏导系统和金属汇聚、淀积的重要场所。流体长距离迁移是形成热液型矿床的首要条件(Oliver, 1986; Garven et al., 1997; Leach et al., 2005), 而逆冲推覆为流体长距离迁移提供了动力, 大量的流体在逆冲挤压过程中得以释放和运移, 流体在运移的过程中与碳酸盐岩相互作用, 形成富铅、锌的成矿流体。前锋带内断层倾角较缓, 甚至近水平, 使不同时代地层单元作为构造岩片叠覆于下盘地层之上, 其间形成良好的岩性或构造圈闭系统, 通常是流体大规模汇聚和金属堆积的场所。同主逆冲断裂伴随的次级构造(次级断裂系统、反向逆冲断层及其冲起构造、构造穹隆和层间破裂带)和由于强烈挤压形成的岩层破碎带是很好的容矿构造。

成矿流体在适当的容矿空间聚集、淀积, 形成延伸上百公里的风火山-囊谦逆冲推覆铅锌、银多金属成

① 汪名杰. 2000. 昌都盆地演化及其成矿条件研究. 地质矿产部“九五”三江科技攻关项目课题研究报告(编号 952022001).

矿系统,如本区的东莫扎抓和莫海拉亨铅锌矿(图 10)。研究发现,青海南部和藏北沱沱河地区的多金属矿床主要位于上述逆冲推覆构造带的前锋带,这些矿床(点)多产在叠瓦状逆冲断层的上(下)盘破碎带或反冲断层附近,形成“东莫扎抓式”逆冲推覆成矿系统(侯增谦等,2008),该类型矿床的金属组合多以铅锌、银为主,从成矿物质来源、成矿流体和构造控制要素等方面来看,明显区别于受斑岩体控制的以钼(铜)为主的斑岩-矽卡岩型矿床,形成青藏高原独具特色的、受逆冲推覆构造控制的热液型铅锌、银矿床。

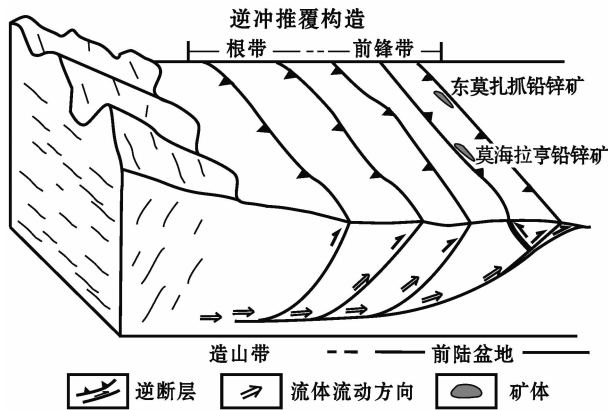


图 10 逆冲推覆构造与铅锌矿关系示意图
(据侯增谦等,2008 修改)

Fig. 10 The relationship between Pb-Zn deposits and thrust-nappe structures
(modified from Hou et al., 2008)

总之,青海南部新生代以来存在两大构造动力学体制:走滑拉张和挤压收缩。这两种动力学体制改变了该地区新生代以前的构造格局,形成了走滑拉张构造成矿系统和挤压收缩构造成矿系统,即斑岩型矿床沿新生代走滑断裂呈北西-北北西向带状分布,铅锌、银多金属矿床受逆冲推覆构造控制,具有北西成带、南北成列的特点。

志 谢 感谢青海省地质调查院王富春和薛万文高级工程师对作者野外工作的大力帮助,感谢审稿人对本文提出的评审意见,特别感谢中国地质科学院杨天南研究员在行文过程中的亲切指导。

References

Deng W M, Sun H J and Zhang Y Q. 2001. Petrogenesis of Cenozoic potassic volcanic rocks in Nangqian basin[J]. *Scientia Geologica*

Sinica, 36(3): 304-318 (in Chinese with English abstract).

Garvern G and Raffensperger J P. 1997. Hydrogeology and geochemistry of ore genesis in sedimentary basins [A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*[C]. New York: Wiley. 125-189.

He L Q, Chen K X, Yu F M, Wei J Q, Yang A P and Li H. 2004. Nappe tectonics and their ore-controlling of Lanping basin in Yunnan Province[J]. *Geology and Prospecting*, 40(40): 7-12 (in Chinese with English abstract).

Horton B K, Yin A, Spurlin M S, Zhou J Y and Wang J H. 2002. Paleocene-Eocene syncontractional sedimentation in narrow, lacustrine-dominated basins of east-central Tibet[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 114: 771-786.

Hou Z Q, Ma H W, Khin Z, Zhang Y Q, Wang M J, Wang Z, Pan G T and Tang R L. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. *Econ. Geol.*, 98:125-145.

Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, Wang A J, Pan G T, Qu X M and Nie F J. 2006a. Metallogensis in the Tibetan collision orogenic belt: Tectonic setting tempo-spatial distribution and ore deposit type[J]. *Geology in China*, 33(2): 348-359 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qing K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Yang Z S, Fei H C, Meng X J and Li Z Q. 2006b. The Tibetan collisional orogenic belt: II. Metallogensis in late-collisional epoch[J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 337-358 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Khin Z, Pan G T, Mo X X, Xu Q, Hu Y Z and Li X Z. 2007. Sanjiang Tethyan metallogensis in S. W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. *Ore Geology Reviews*, 31: 48-87.

Hou Z Q, Song Y C, Li Z, Wang Z L, Yang Z M, Yang Z S, Liu Y C, Tian S H, He L Q, Chen K X, Wang F C, Zhao C X, Xue W W and Lu H F. 2008. Thrust-controlled sediment-hosted Pb-Zn-Ag-Cu deposits in the east and north margins of Tibetan orogenic belt [J]. *Mineral Deposits*, 27 (2): 123-144 (in Chinese with English abstract).

Jiang Y H, Jiang S Y, Ling H F and Dai B Z. 2006a. Low-degree melting of a metasomatized lithospheric mantle for the origin of Cenozoic Yulong monzogranite-porphyry, east Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic constraints[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 241:617-633.

Jiang Y H, Jiang S Y, Ling H F and Dai B Z. 2006b. Petrogenesis of Cu-bearing porphyry associated with continent-continent collisional setting: Evidence from the Yulong porphyry Cu ore-belt, east Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (3): 489-502 (in Chinese with English abstract).

Leach D L, Sangster D F, Kelley K D, Large R R, Garven G, Allen C R, Gutzmer J and Walters S. 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective[J]. *Econ. Geol.*, 100th

Anniversary Volume: 561-607.

- Li Y L, Wang C S, Yi H S, Liu Z F and Li Y. 2006. Cenozoic thrust system and uplifting of the Tanggula Mountain northern Tibet [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(8): 1118-1131 (in Chinese with English abstract).
- Liang H Y, Campbell Ian H, Allen Charlotte, Sun W D, Liu C Q, Yu H X, Xie Y W and Zhang Y Q. 2006. Zircon Ce^{4+}/Ce^{3+} ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet[J]. *Miner. Deposita*, 41:152-159.
- Liu Z Q, Li X Z, Ye Q T, Luo J N, Shen G F and Yang Y Q. 1993. Division of tectono-magmatic belts and the distribution of deposits in the Sanjiang area[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-246 (in Chinese with English abstract).
- Lowell J D. 1985. Structural styles in petroleum exploration[M]. Tulsa: Oil and Gas Consultants International (OGCI) Pub. 1-42.
- Oliver J. 1986. Fluids expelled tectonically from the orogenic belts; Their role in hydrocarbon migration and other geological phenomena [J]. *Geology*, 14:99-102.
- Pan G T, Wang P S, Xu Y R, Jiao S P and Xiang T X. 1990. Cenozoic tectonic evolution of Qinghai-Xizang plateau[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-190 (in Chinese with English abstract).
- Qin G J and Zhu S J. 1991. Genetic model and prospecting prediction of Jinding lead-zinc ore deposit[J]. *Yunnan Geology*, 10(2): 145-190 (in Chinese).
- Qin G J and Peng S Z. 1994. Nappe-sliding structure and balanced cross-section of the Lanping-Jinding region, Yunnan, China [J]. *Geoscience*, 8(2): 177-194 (in Chinese with English abstract).
- Roger F, Tapponnier P, Arnaud N, Scherer U, Maurice B, Zhiqin X and Jingsui Y. 2000. An Eocene magmatic belt across central Tibet: Mantle subduction triggered by the Indian collision[J]? *Terra Nova*, 12: 102-108.
- Spurlin M S, Yin A, Horton B K, Zhou J Y and Wang J H. 2005. Structural evolution of the Yushu-Nangqian region and its relationship to syncollisional igneous activity, east-central Tibet [J]. *GSA Bulletin*, 117: 1293-1317.
- Storti F, Holdsworth R E and Salvini F. 2007. Intraplate strike-slip deformation belts [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 210: 1-14.
- Sun H J, Deng W M and Zhang Y Q. 2001. Petrogenesis of Cenozoic potassic volcanic rocks in the Nangqian basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75:27-40.
- Tan F W, Wang G M, Hui L Wang M J, Li Z X and Wang X L. 2001. The relationship between Cenozoic tectonic regime and mineralization in eastern Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 22(2):123-128 (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. 1-320 (in Chinese with English abstract).
- Tapponnier P, Peltzer G and Le Dain A Y. 1982. Propagating extension tectonics in Asia; New insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 10:611-616.
- Wang J H, Yin A, Harrison T M, Grove M, Zhang Y Q and Xie G H. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 188:123-133.
- Wang Z L, Yang Z M, Yang Z S, Tian S H, Liu Y C, Ma Y Q, Wang G R and Qu W J. 2008. Narigongma porphyry molybdenite copper deposit, northern extension of Yulong copper belt; Evidence from the age of Re-Os isotope[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3):503-510 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J, Zeng R, Liu S W, Chi G X, Qing H R, Chen Y C, Yang J M and Wang D H. 2007. Geologic, fluid inclusion and isotopic characteristics of the Jinding Zn-Pb deposit, western Yunnan, South China; A review[J]. *Ore Geology Reviews*, 31: 337-359.
- Yang Z M, Hou Z Q, Yang Z S, Wang S X, Wang G R, Tian S H, Wang Z L, Liu Y C and Wen D Y. 2008. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma porphyry Mo(Cu) deposit, southern Qinghai[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 489-502 (in Chinese with English abstract).
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 28: 211-280.
- Zhang Y Q and Xie Y W. 1997. Geochronology of Ailaoshan-Jinshajiang alkali-rich intrusive rocks and their Sr and Nd isotopic characteristics[J]. *Science in China (Series D)*, 40(5): 524-529.
- Zhong K H. 2005. The Changdu-Simaó Cenozoic orogen zone in east margin of Qinghai-Tibet plateau and its geodynamics (dissertation for PhD)[D]. Nanjing: Nanjing University (in Chinese with English abstract).
- Zhou J Y, Wang J H, Yin A, Spurlin M S and Horton B K. 2002. Depositional patterns and tectonic setting of early Tertiary basins in the NE margin of the Tibetan plateau: A case study of the Nangqian and Xialaxiu basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(1): 85-91 (in Chinese with English abstract).
- Zhou J Y, Wang J H, Yin A, Horton B K and Spurlin M S. 2003. Sedimentology and tectonic significance of paleogene coarse clastic rocks in eastern Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 262-272 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Z C. 1991. Thrust-Nappe Tectonics[M]. Wuhan: China University of Geosciences Pub. House. 1-113 (in Chinese).

附中文参考文献

- 邓万明, 孙宏娟, 张玉泉. 2001. 囊谦盆地新生代钾质火山岩成因岩石学研究[J]. *地质科学*, 36(3): 304-318.
- 何龙清, 陈开旭, 余凤鸣, 魏君奇, 杨爱平, 李航. 2004. 云南兰坪盆地推覆构造及其控矿作用[J]. *地质与勘探*, 40(4):7-12.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂荣, 曲晓明, 聂凤军. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 348-359.

- 侯增谦,潘桂棠,王安建,莫宣学,田世洪,孙晓明,丁林,王二七,高永丰,谢玉玲,曾普胜,秦克章,许继峰,曲晓明,杨志明,杨竹森,费红彩,孟祥金,李振清. 2006b. 青藏高原碰撞造山带:II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 25(5):521-533.
- 侯增谦,宋玉才,李政,王召林,杨志明,杨竹森,刘英超,田世洪,何龙清,陈开旭,王富春,赵呈祥,薛万文,鲁海峰. 2008. 青藏高原碰撞造山带 Pb-Zn 矿床新类型:基本特征与成矿模型[J]. 矿床地质, 27(2): 123-144.
- 姜耀辉,蒋少涌,凌洪飞,戴宝章. 2006b. 陆-陆碰撞造山环境下含铜斑岩岩石成因—以藏东玉龙斑岩铜矿带为例[J]. 岩石学报, 24(3):489-502.
- 李亚林,王成善,伊海生,刘志飞,李勇. 2006. 西藏北部新生代大型逆冲推覆构造与唐古拉山的隆起[J]. 地质学报, 80(8): 1118-1131.
- 刘增乾,李兴振,叶庆同,罗建宁,沈敢富,杨岳清. 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京:地质出版社. 1-246.
- 潘桂堂,王培生,徐耀荣,焦淑沛,向天秀. 1990. 青藏高原新生代构造演化[M]. 北京:地质出版社. 1-190.
- 覃功炯,朱上庆. 1991. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测[J]. 云南地质, 10(2):145-190.
- 覃功炯,彭斯震. 1994. 兰坪金顶地区推覆-滑动构造及其平衡剖面[J]. 现代地质, 8(2):177-194.
- 谭富文,王高明,惠兰,汪名杰,李忠雄,王小龙. 2001. 藏东地区新生代构造体系与成矿的关系[J]. 地球学报, 22(2):123-128.
- 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. 1-320.
- 王召林,杨志明,杨竹森,田世洪,刘英超,马彦青,王贵仁,屈文俊. 2008. 纳日贡玛斑岩铜钼矿床:玉龙铜矿带的北延——来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据[J]. 岩石学报, 24(3):503-510.
- 杨志明,侯增谦,杨竹森,王淑贤,王贵仁,田世洪,王召林,刘英超,温德银. 2008. 青海纳日贡玛斑岩铜(钼)矿床:岩石成因及构造控制[J]. 岩石学报, 24(3):489-502.
- 钟康惠. 2005. 青藏高原东缘昌都-思茅新生代造山带及其地球动力学[D]. 南京大学博士论文. 32-88.
- 周江羽,王江海,尹安,Spurlin M S, Horton B K. 2002. 藏东早第三纪盆地充填的沉积型式及构造背景——以囊谦和下拉秀盆地为例[J]. 沉积学报, 20(1): 85-91.
- 周江羽,王江海, Yin A, Horton B K, Spurlin M S. 2003. 青藏高原东缘古近纪粗碎屑岩沉积学及其构造意义[J]. 地质学报, 77(2): 262-272.
- 朱志澄. 1991. 逆冲推覆构造[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1-113.