



# “三江”北段茶曲帕查矿区构造变形与铅锌矿化

张洪瑞<sup>1</sup> 杨天南<sup>1</sup> 侯增谦<sup>1</sup> 宋玉财<sup>1</sup> 汪元奎<sup>2</sup> 刘群<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 青海地质调查院, 青海 西宁 810012)

**摘要:** 位于青藏高原中部的茶曲帕查铅锌矿床为“三江”复合造山成矿带北段的典型矿床, 基础地质研究工作的欠缺制约了控矿机制的探讨。通过详细的野外填图, 重新厘定了矿区地层系统, 进而修正了矿区构造框架以及变形历史, 结合矿石结构的显微变形特征, 对成矿过程提出了新的认识。矿区近东西向的逆断层和其北侧的正断层(局部为不整合)奠定了矿区的主要构造框架, 并将矿区分为3个部分: ① 渐新世五道梁组; ② 中二叠世九十道班组; ③ 晚二叠世那益雄组。二叠纪地层褶皱明显, 枢纽多变, 经历了多期挤压作用叠加, 新生代地层产状平缓。铅锌矿化与灰岩关系密切, 受新生代伸展构造控制, 开放空间充填特征明显。成矿发生在中新世初, 为边破碎-边沉积-边成矿的过程。

**关键词:** 构造变形; 控矿构造; 沉积岩型铅锌矿床; 茶曲帕查; “三江”北段

中图分类号: P613

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)03-0463-12

## Structural control of lead-zinc mineralization in the Chaqupacha ore deposit, northern segment of the Sanjiang region

ZHANG Hong-rui<sup>1</sup>, YANG Tian-nan<sup>1</sup>, HOU Zeng-qian<sup>1</sup>, SONG Yu-cai<sup>1</sup>, WANG Yuan-kui<sup>2</sup> and LIU Qun<sup>2</sup>

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

**Abstract:** Located about 60 km west of the Tuotuohe Town in central Tibet and occurring in the hinterland of Tibetan continent-continent collisional orogen, the Chaqupacha lead-zinc deposit has developed into a major ore deposit in the northern segment of the Sanjiang polymetallic metallogenic belt. In this paper, the authors collated the structures of the ore district on field and microscopic scales, and then analyzed ore-controlling structures. Detailed geological mapping reveals two stages of folding that caused the deformation of the Late Palaeozoic-Early Mesozoic strata, with two Cenozoic thrust nappe systems, i. e., the Tanggula Thrust System (TTS) and the Fenghuoshan-Nangqian Thrust System, superimposed on the folds. Thrust in Chaqupacha has a northward, northwestward, or northeastward dipping plane, dependent on its location, characterized by the thrusting of middle Permian limestone onto late Permian clastic rocks. Miocene Wudaoliang Formation muddy limestone and mudstone occur in the north of Permian limestone, and the strata dip gently or subhorizontally over vast areas, implying that no evident crustal shortening has occurred since Miocene. Field observation and drill data indicate that the contact relationship between Permian and Miocene is unconformity. Besides, normal faults commonly have zigzag geometry in map. These extensional fractures are locally filled with marl of Wudaoliang Formation, where Pb-Zn minerals are well developed. Drilling data reveal that main ore bodies are located at ca. 20 m below the surface and is strictly confined in breccia belts. All Pb-Zn minerals are deposited in open space of the

收稿日期: 2011-02-15; 修订日期: 2011-04-11

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2006BAB01A08)、国家自然科学基金资助项目(U09336051)、973 资助项目(2009CB421001)、国土资源大调查资助项目(1212010818096); 中央级公益性基本业务费专项基金(J1123)

作者简介: 张洪瑞(1982-), 男, 矿床学博士, E-mail: hongrui\_1982@126.com; 通讯作者: 侯增谦(1961-), 男, 研究员, 博士生导师, 长期从事海底与大陆成矿作用研究, E-mail: houzengqian@126.com.

breccia belts, coexistent with marl of Wudaoliang Formation where horizontal stratiform structure is preserved. Such phenomenon suggests that lead-zinc mineralization occurred during the period when the Wudaoliang Formation was deposited.

**Key words:** structural deformation; ore-control structure; sediment-hosted Pb-Zn deposit; Chaqupacha; northern segment of the Sanjiang polymetallic metallogenic belt

茶曲帕查矿床位于“三江”复合成矿造山带北段,青藏高原中部,沱沱河南岸,东距青藏公路沱沱河大桥约 60 km,处于与印-亚大陆碰撞有关的古新世-中新世沱沱河盆地边缘,是青海地调院在 2004 年发现的大型铅锌矿床。由于矿区研究条件艰苦,基础地质研究薄弱,严重制约了铅锌矿体的控矿构造和成矿机制研究以及对成矿过程的理解和找矿工作的继续进行,因此急需开展矿区的详细构造解剖。

本文选取茶曲帕查矿区为解剖对象,通过详细的野外填图,对矿区地层系统及构造变形框架做了重新厘定,同时结合矿石结构的显微变形特征,对成矿过程提出了新的认识。

## 1 构造背景

“三江”北段西起阿尔金断裂,东至玉树、甘孜,主要由松潘甘孜地块、北羌塘地块及其间的金沙江缝合带组成(如潘桂棠等,2004)。两地块在印支期已完成拼合,形成一个整体,较完整地记录了古特提斯洋盆的演化过程。新生代时“三江”北段已成为青藏高原碰撞造山带的重要组成部分,遭受了印-亚大陆碰撞的叠加影响,形成大型逆冲推覆系统(图 1a)。因而,“三江”北段的构造演化主要分为两个阶段:① 印支期古特提斯洋演化阶段;② 中生代及其后的陆内构造演化阶段。

### 1.1 古特提斯演化阶段

该区晚古生代—早中生代地层序列完整,出露的最早地层是石炭系,主要为浅海相-海陆交互相含煤碎屑岩、碳酸盐建造(青海省地质矿产局,1997),含大量腕足、珊瑚、类化石,属低纬度暖水型特提斯动物群(赵政璋等,2001;牛志军等,2006)。二叠系总体为碎屑岩-碳酸盐岩-火山岩序列,其中的火山岩横向延伸不稳定。火山岩及其上覆的碳酸盐岩双层模式反映了当时陆壳基底的(火山)岛海相间的古地理格局(牛志军等,2008)。三叠系分布有三套沉积序列:金沙江缝合带北侧为深海-半深海的复理石沉积,即松潘甘孜浊积岩(SGC,许志琴等,1992;

Burchfiel *et al.*, 1995; Ingersoll and Busby, 1995; Zhou and Graham, 1996; Bruguier *et al.*, 1997; Ingersoll *et al.*, 2003; Weislogel *et al.*, 2006; Enkelmann *et al.*, 2007; Weislogel, 2008),区内称巴颜喀拉山群;缝合带南侧为岛礁相的巴塘群(Pearce and Deng, 1988; 李善平等, 2009);更南侧称结扎群,最新研究表明所含火山岩为富 Nb 玄武岩、高 Mg 安山岩(Wang *et al.*, 2008),生物化石组合显示为拉丁晚期到卡尼期甚至诺利早期(赵政璋等, 2001)。

三叠纪末金沙江古特提斯洋盆闭合,北羌塘地块与松潘甘孜地块发生碰撞。主要的地质记录在松潘甘孜地块内保留较多,表现有挤压碰撞相关的大规模逆冲褶皱变形(许志琴等, 1992; Harrowfield and Willson, 2005)及同构造岩体的大规模侵位(Roger *et al.*, 2003; Harrowfield and Willson, 2005; 胡健民等, 2005)。

“三江”北段有关古特提斯演化的构造变形资料极少,最近项目组对歇武—囊谦一带路线考察表明,缝合带之北的巴颜喀拉山群构造变形强烈,发育直立的等斜褶皱,枢纽近水平,走向稳定,为北西西向。从北向南至靠近缝合带处,褶皱从紧闭变成了等斜,出现轴面劈理置换层理的现象。缝合带之南的羌塘北缘发育寄生小褶皱,小褶皱枢纽多变,层理产状投影表明褶皱为非圆柱状。挤压事件发生在三叠纪末,与古特提斯洋盆的消减闭合有关(杨天南未刊资料)。

### 1.2 陆内演化阶段

新生代“三江”北段处于印亚大陆碰撞后陆区,远离主碰撞带和碰撞相关的构造转换带,但也遭受了强烈的碰撞影响,形成有新生代两大逆冲系统(风火山—囊谦、沱沱河)。

风火山逆冲褶皱带是 1985 年中英拉萨—格尔木综合地质考察队在二道沟地区识别出来的(Coward *et al.*, 1988; Dewey *et al.*, 1988),位于羌塘地块北缘,金沙江缝合带南侧,表现为中生代地层逆冲至始新世红层之上。断层带整体北西西走向,逆冲断面变化较大,南倾、北倾都有,总体表现为背驮式扩展

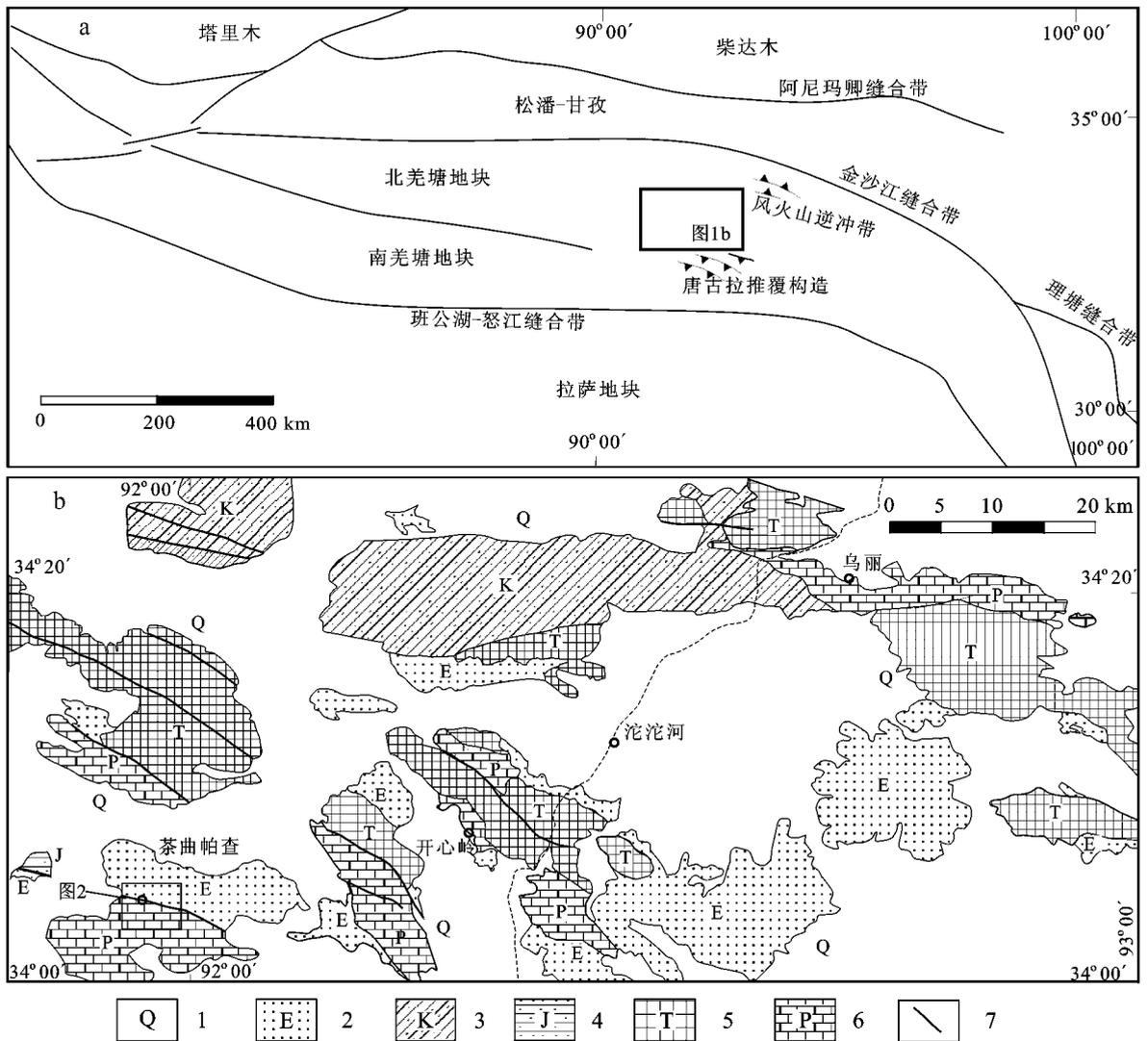


图 1 青藏高原地质简图(a, 据潘桂棠等 2004)和沱沱河地区区域地质图(b, 据沱沱河幅 1:25 万地质图<sup>①</sup>修改)  
 Fig. 1 Simplified geological map of the Qinghai-Tibetan plateau(a, modified after Pan and Ding, 2004) and geological map of the Tuotuohe area(b, modified after 1:250 000 regional geological survey data of Tuotuohe sheet<sup>①</sup>)  
 1—第四系; 2—古-新近系; 3—白垩系; 4—侏罗系; 5—三叠系; 6—二叠系; 7—断层  
 1—Quaternary; 2—Paleogene-Neogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic; 5—Triassic; 6—Permian; 7—fault

(Coward *et al.*, 1988)。逆冲位移量在数 km 至 10 km 之间(Yin and Harrison 2000),造成了二道沟-五道梁地区约 40% 的地壳短缩和加厚(Coward *et al.*, 1988, 刘顺等, 2001)。Leeder 等(1988)认为风火山附近的新生代沉积与这期逆冲作用密切相关。

最近,李亚林等(2006)通过对唐古拉山北坡温泉兵站至沱沱河镇一带的研究,提出了唐古拉山推覆构造(Tanggula Thrust System, TTS)。该构造带

位于唐古拉山北坡,由一系列北西-北西西走向的逆冲断层和褶皱构造组成,大部分逆冲断层向西南倾斜。可分成根带、中带和前锋带。根带位于唐古拉主峰北侧,发育高角度叠瓦状逆冲断层;中带在改纳-温泉-雀莫错一带,发育规模较大的褶皱构造和逆冲断层;前锋在沱沱河镇附近,发育中低角度逆冲断层。

逆冲推覆活动控制了新生代沉积盆地的发育,形成了分布局限的古近纪-新近纪内陆河流-湖泊相

① 青海地质调查院. 2005. 1:25 万沱沱河幅区域地质调查报告.

红色碎屑岩沉积,自下而上可分为沱沱河组( $E_t$ )、雅西措组( $EN_y$ )、五道梁组( $N_{zw}$ )等,与下伏地层多呈角度不整合或断层接触。

盆地沉积物中的化石、地层磁性和沿断裂带侵入的花岗岩体等限定的年龄数据表明新生代逆冲断裂为多期次活动。粗碎屑岩沉积磁性年代界定了“三江”北段早期逆冲发生在始新世(Liu and Wang, 2001),囊谦盆地内细碎屑岩中的介形虫、孢粉化石<sup>①</sup>和所夹火山岩年龄(Horton *et al.*, 2002;周江羽等, 2002;Spurlin *et al.*, 2005)说明始新世末(38~33 Ma)区内逆冲活动被走滑拉分所取代,雅西措组和五道梁组之间的不整合界限(23 Ma)说明晚期逆冲活动集中在渐新世末;五道梁组平缓沉积(Wu *et al.*, 2008)表明中新世后区内无较大构造活动。

## 2 矿区地层

详细的岩相-构造填图结果(图2)表明,矿区主要发育4套地层:中新世五道梁组、始新世沱沱河组、晚二叠世那益雄组、早-中二叠世九十道班组。新的地层系统改变了矿区构造框架,为矿区进一步研究奠定了基础。

九十道班组( $P_j$ )主要由浅海相生物碎屑灰岩组成,厚层块状,发育生物介壳滩、生物礁粘结灰岩,表明当时为温暖、清澈透明的浅海环境。局部见竹叶状、条带状灰岩、粉晶粒屑灰岩,反映成岩于滨、浅海高能带环境。含层状、团块状燧石夹层或结核。化石丰富,富含类。其中的密斯系暖水型生物。化石指示沉积时代为中二叠世祥播期至茅口期(段其发等, 2006)。那益雄组( $P_n$ )主要岩性为石英钙质细砂岩、岩屑砂岩、硅质岩及火山岩,见含砾中厚层藻灰岩,灰岩含双壳类、腹足类及藻类化石。火山岩有安山岩、火山角砾岩、熔结凝灰岩,熔结角砾岩中含赤铁矿、镜铁矿。角砾多为安山岩,棱角状,紫红色熔浆胶结。镜铁矿脉状,沿裂隙贯入。沱沱河组( $E_t$ )出露有限,主要为红褐色钙质砾岩。五道梁组( $N_{zw}$ )为一套中新世湖相沉积,主要岩性为浅青灰色薄层状泥灰岩夹土黄色薄层泥岩,含膏盐层,见菊花状、纤维簇状石膏嵌于泥灰岩中,在矿区北部大片发育,不整合于九十道班组、那益雄组之上,局部为断层接触。

最近矿区报道了一套晚二叠世石英正长斑岩(张洪瑞等, 2010),侵位于九十道班组灰岩和那益雄组碎屑岩中,地表为零散出露的小岩枝,钻孔揭示岩体形态为地下100 m深处的岩株或岩席。斑岩中含有含砾灰岩的捕掳体。LA-ICPMS方法测得锆石U-Pb年龄为 $253.9 \pm 4.3$  Ma(李政, 2008)。

## 3 构造变形特征

受多期区域演化影响,矿区构造变形呈现出明显的叠加改造特征,其中,晚期的断裂系统限制了现今矿区构造格架。

### 3.1 总体构造格架

从构造纲要图(图3)上来看,茶曲帕查矿区最醒目的构造是近东西向的逆断层和北侧的不整合,其奠定了矿区主要构造框架,并将矿区分为3个部分:①渐新世五道梁组;②中二叠世九十道班组;③晚二叠世那益雄组。北部五道梁组地层产状平缓,未受明显褶皱作用改造;九十道班组内发育开阔-中等紧闭水平褶皱,南部那益雄组变形样式复杂,紧靠逆断面处岩层明显变陡,向南变形较弱处为单斜构造,叠加改造明显处为紧闭褶皱。

### 3.2 褶皱

矿区褶皱构造在剖面图上表现明显。沿4条剖面(图4)开展了详细野外观察与测量。从西往东描述如下:

A—A'—A''剖面(1.6 km):逆断层将剖面分为两段,北段为九十道班组灰岩,南端出露那益雄组碎屑岩。灰岩产状变化显示一个开阔的东西向背斜及一个开阔向斜,产状投影统计显示枢纽产状为 $280^\circ \angle 25^\circ$ (图4投影d),褶皱波长约400 m。碎屑岩产状平缓,剖面图上表现为“两背两向”,形态属平缓开阔型,波长约200 m,枢纽略向南倾伏。少量的碎屑岩产状投影数据没有显示明显极密,无法拟合大圆。五道梁组泥灰岩不整合覆盖在九十道班灰岩之上。

B—B'剖面(1 km):二叠纪地层总体表现为南倾的单斜,九十道班组夹在逆断层和正断层之间,破碎严重;五道梁组南界表现出生长断层的特征。

C—C'剖面(3.1 km):剖面明显分为碎屑岩、灰岩、泥灰岩三段,那益雄组长石砂岩夹泥岩表现出紧闭的东西向直立褶皱,波长约150 m,尤以石英正长斑

① 青海省地质矿产局第二区域地质调查队, 1983. 中华人民共和国区域地质调查报告囊谦县幅(1:20万)。

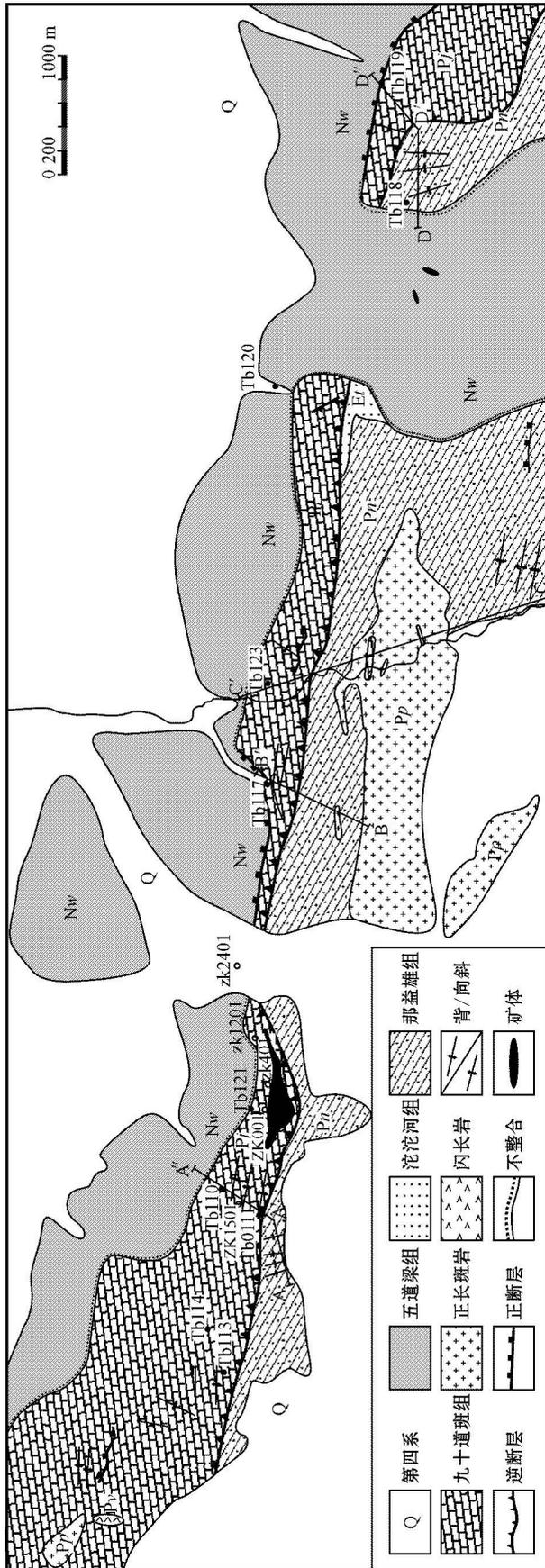


图 2 茶曲帕查矿区地质图  
Fig. 2 Simplified geological map of the Chaqapacha ore deposit, Tuotuohe area

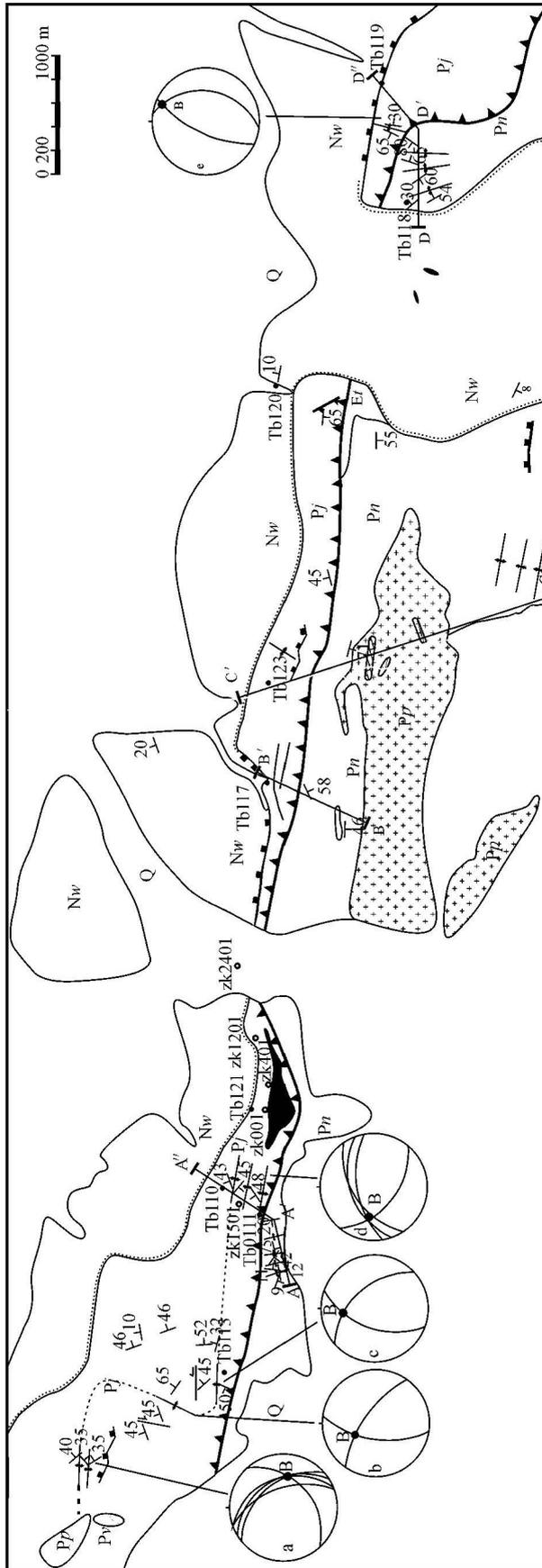
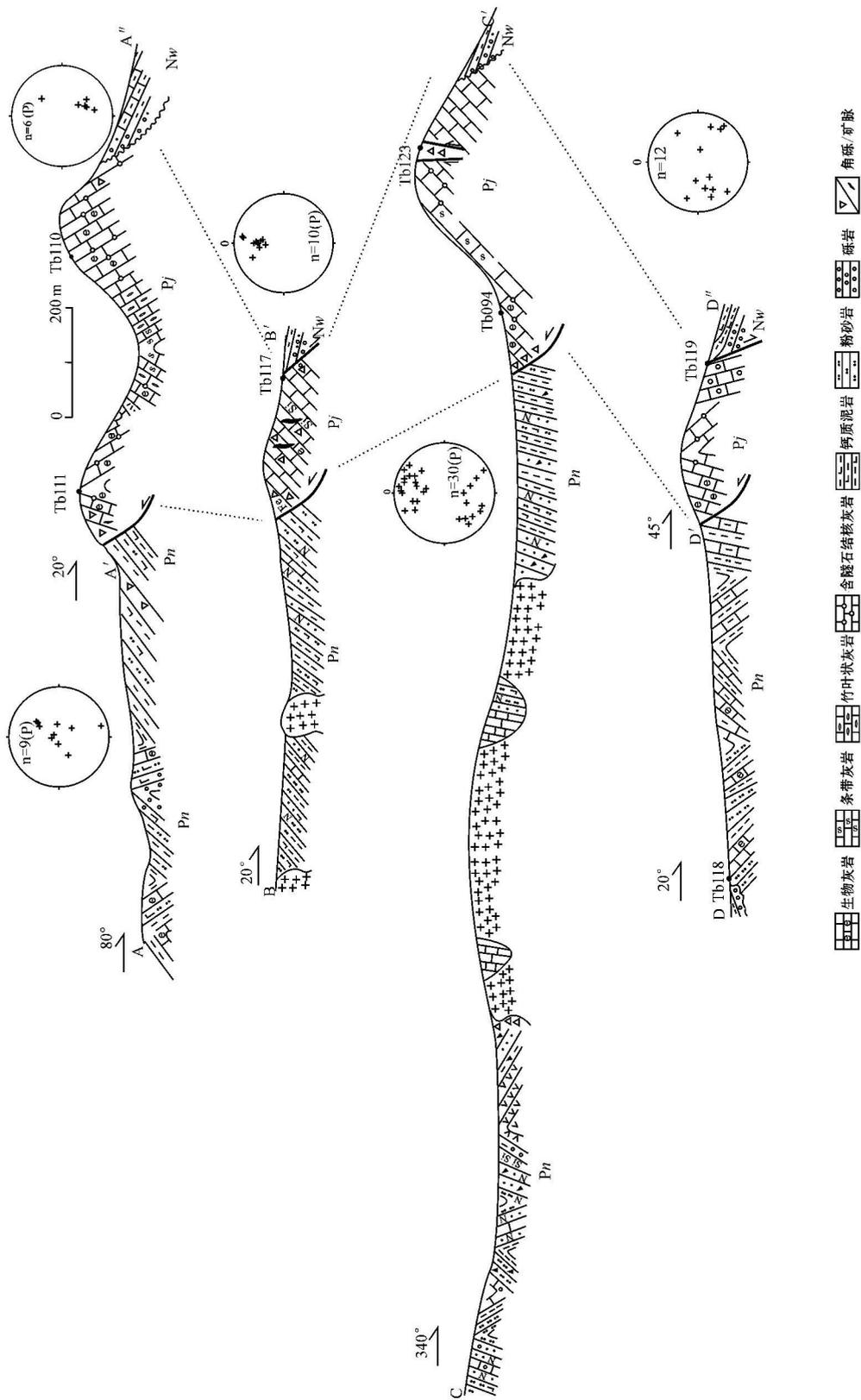


图 3 茶曲帕查矿区构造纲要图(图例同图 2)  
 Fig. 3 Structure outline map of the chaupacha ore district. Tuotuohe area (symbols as for Fig. 2)



岩以南最明显,九十道班组灰岩岩石破碎明显,在茶曲帕查山顶(Tb123)处见锯齿状张断层通过;五道梁组泥灰岩不整合覆盖在灰岩之上。

D—D'剖面长1.2 km,正断层、逆断层将剖面分为3段,北段为五道梁组泥灰岩,产状平缓;中段为九十道班组灰岩,显示了近南北向的中等紧闭背斜,波长约600 m,地层层面投影统计结果显示枢纽产状为 $21^\circ \angle 7^\circ$ 近水平略北倾(图4投影e);南段碎屑岩为连续的南北向宽缓背、向斜交互出现,波长约500 m,地层产状投点分布散乱,说明存在后期变形作用的叠加。

除剖面上显示的图面级构造外,露头级褶皱也很发育。九十道班组灰岩变形在矿区西部表现清楚,石英正长斑岩附近发育近水平宽缓褶皱,岩层产状 $<40^\circ$ ,褶轴东西走向,枢纽近水平,略向东倾(图4投影a),向南东岩层产状变陡,褶皱两翼夹角收紧,褶轴转为北东向,枢纽北西倾伏(图4投影b、c);继续向东,至Tb111处,褶轴又转为东西走向,但枢纽已经略向西倾(图4投影d)。那益雄组碎屑岩褶皱变形以矿区中南部C—C'剖面南段、矿区东部D—D'剖面附近表现明显,其中C—C'剖面南段发育大量露头尺度的紧闭褶皱,褶轴东西向,枢纽水平;而D—D'剖面上褶皱直立,枢纽水平,向东至逆断裂附近岩层产状变陡,褶皱枢纽也由水平变为向北倾伏,显示了逆断层对早期褶皱的影响。

平面图上来看,矿区西部的地层产状平面变化反映了九十道班组灰岩中的褶皱组合形式,褶皱轴脊走向为“z”形,系两期较大交角应力叠加的产物,其叠加式样为Ramsay等(1987)的类型2,早期形成了开阔—中等褶皱,晚期不同方向的挤压造成早期褶皱的枢纽和轴面都发生了弯曲。

### 3.3 逆断层

逆断层横亘矿区,整体近东西向延伸,在矿区东部有波状弯曲,显示出“z”字形走向。总体倾向北,走向转为北西、北北西时,则倾向变为北东、北东东,倾角 $30^\circ \sim 50^\circ$ 。主要卷入地层为九十道班组和那益雄组,前者逆冲至后者之上(图5a)。逆断层下盘局部发育始新世沱沱河组钙质砾岩,靠近断面砾岩砾石碎裂变形明显,岩层产状变陡。地貌上断层面处多为负地形,由于覆盖严重,逆断层详细的运动学特征无法观测。

根据逆断层走向,从1:25万沱沱河幅地质图(图1b)上可以看出,矿区逆断层向东被晚更新世冲积泥质覆盖,向西表现为中侏罗世夏里组逆冲至渐

新世雅西措组之上。地质图显示逆断层东西延伸长度 $>40$  km。

矿区断层下盘沱沱河组地层受断层影响变形,说明逆断层活动晚于始新世。区域上向西延伸断层变为中侏罗世夏里组逆冲至渐新世雅西措组( $31.3 \sim 23.8$  Ma,刘志飞等,2005)之上,说明断层活动下限是在渐新世。中新世五道梁组泥灰岩( $23 \sim 16$  Ma)覆盖于逆断层之上,而且产状平缓,无较大的脆性破裂,说明中新世时断层停止活动。综合来看逆断层发育在雅西措组沉积末期,即23 Ma之前。

结合区域资料,该逆冲断层位于风火山—囊谦逆冲褶皱带(Yin and Harrison, 2000)和南部的唐古拉山推覆构造(TTS)之间,处于两套逆断裂系统的末梢部位。

### 3.4 正断层

近东西走向的锯齿状正断裂断续发育于矿区北部,在茶曲帕查、孔莫隆、多才玛等地段都有表现,可以出现在九十道班组灰岩内,也可以发育在九十道班组和五道梁组的接触部位。

灰岩内露头尺度的正断层呈锯齿状(图5b),断面总体走向近东西(图3)。断裂中心为碎裂灰岩,带宽 $0.5 \sim 2$  m,断面近直立,局部断面产状有 $180^\circ \angle 72^\circ$ 、 $225^\circ \angle 85^\circ$ 、 $218^\circ \angle 76^\circ$ 、 $163^\circ \angle 80^\circ$ 、 $167^\circ \angle 74^\circ$ 。断面上见有方解石脉,褐铁矿化强烈。这种断裂一般延伸不远( $<1000$  m),端部渐被节理及轻微破碎灰岩所代替。

九十道班组和五道梁组接触部位的断裂在地表表现为大量断层角砾,成分有钙质、硅质,多被方解石胶结,远离断面接近五道梁组沉积层位时,角砾逐渐变小,渐变为泥砂质胶结,胶结物中含有方铅矿。这种构造角砾与沉积角砾渐变过渡关系表明,该断层为同沉积生长断层,与五道梁沉积界面的变化特点吻合(钻孔资料,宋玉财,2009)。断层带上的灰岩碎裂面上有皮壳状菱锌矿。露头良好处断裂“之”字走向特征明显,露头不发育处更新世泥质覆盖,甚至无法判断五道梁组与九十道班组的接触关系。

鉴于锯齿状正断层显示出了同沉积生长的特征,断层时代可由五道梁组沉积时代限定,即中新世初( $23 \sim 16$  Ma, Yi et al., 2000)。

## 4 控矿构造

### 4.1 赋矿部位

露头尺度上矿化与九十道班组灰岩密切共生。

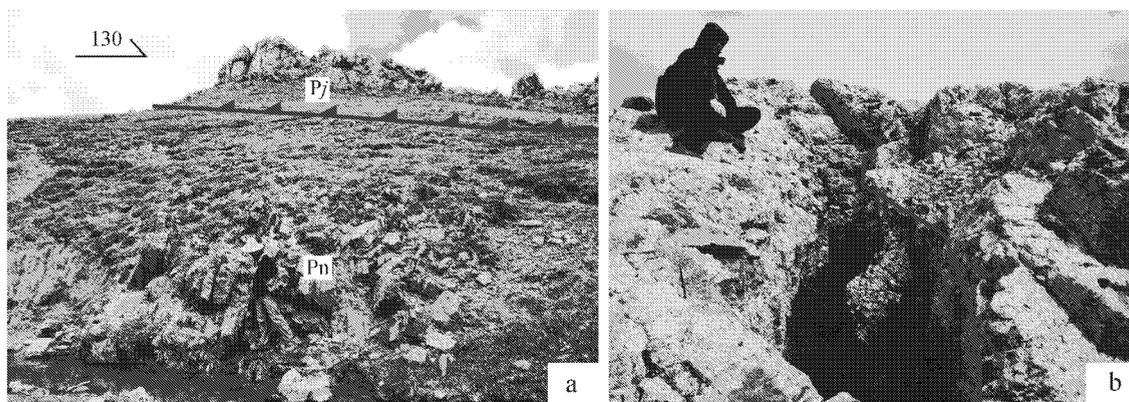


图5 断层(a为逆断层,b为锯齿正断层)

Fig. 5 Reverse fault (a) and serrated normal fault (b)

在灰岩内部矿化出现在锯齿状正断层附近,断面上方解石+褐铁矿化明显;在灰岩与泥灰岩接触带上矿化出现在正断层附近,含有树枝状或角砾状方铅矿,远离断层矿化迅速减弱。

钻孔资料显示主矿体与张性角砾共生,但矿化并不连续,中间被厚度不等(0.1~20 m)的完整灰岩分隔,难以圈定连续、完整矿体。角砾的详细研究表明,控矿张性角砾为坍塌成因(张洪瑞,2010)。

#### 4.2 显微控矿特征

脉体记录了岩石碎裂过程及含矿流体的温压条件(Nelson,2001;Belayneh and Cosgrove,2010),对其研究有助于加深对成矿过程的认识和理解。显微观察发现矿区矿化典型特征是与方解石脉共生,含矿脉体分布在灰岩角砾裂隙内,主要显示不规则树枝状和皮壳状等。树枝状者是流体围绕甚至包裹灰岩角砾沉淀而成,为白色方解石,或含金属矿物,树枝状延伸,宽窄不一,局部膨大,与围岩界限清楚(图6b)。

在钻孔中常见皮壳状脉体,由方解石+方铅矿组成,宽度1~5 mm,围绕灰岩角砾形成皮壳状矿化(图6a)。皮壳层状结构在浅层低温环境下常见,通常认为是异常变化条件导致的晶体重复、快速生长,如间歇的沸腾、压力变化等(Taylor,1992)。灰岩碎块被皮壳状包裹,形成帽徽结构(cockade texture);皮壳中间常被晶形粗大的矿物充填,形成晶簇结构(vug texture,图6c,d);角砾彼此接触,中间空隙被充填,称三角结构。这些都说明了开放空间充填的特征(Taylor,1992)。

矿区发育一种含矿脉体与泥质共生的层状矿化现象,泥质层有土黄色、灰白色,也有黄褐色,多发育水平层理。方解石+方铅矿椭圆形气泡状,以泥质

层包体的形式沉淀,泥质层理在包体附近弯曲,造成软沉积变形构造(图6e),说明含矿热液是与泥质一起沉淀,封存于泥岩中而成。

## 5 讨论

### 5.1 成矿时代

矿石矿物沉淀顺序、脉体穿插等现象可以为矿化时限提供约束。水平层理和软沉积变形等特征说明矿化与泥质为同期沉积,而这种泥质与矿区北部五道梁组沉积特征相同,说明矿化与五道梁组沉积同时(23~16 Ma)。另外,矿区北部与九十道班组灰岩接触部位的五道梁组泥灰岩中也见有矿化,为树枝状或角砾状方铅矿,为矿化属中新世的论断提供了另一力证。

### 5.2 构造变形与铅锌矿化

矿区褶皱构造反映了多期挤压变形的叠加,结合对玉树地区变形的考察结果,受古特提斯洋盆闭合影响,羌塘北缘在三叠纪末普遍遭受了强烈挤压事件,矿区二叠纪地层很可能卷入了这期变形,但另一期不同方向的挤压目前还没有资料来限定。矿化可以出现在东西向褶皱附近(zk001),也可以出现在南北向褶皱附近(Tb123),甚至出现在没有明显褶皱的五道梁组,说明褶皱对矿化没有明显的控制作用。

新生代之初,印亚大陆碰撞,风火山、唐古拉山逆冲推覆系统形成,矿区逆断层也是挤压变形的响应,约23 Ma左右九十道班组灰岩逆冲到那益雄组碎屑岩之上。矿化主要出现在逆断层上盘的灰岩中,逆断层对矿化的作用更多的是控制有利赋矿层位,从而间接控制了矿体的分布。

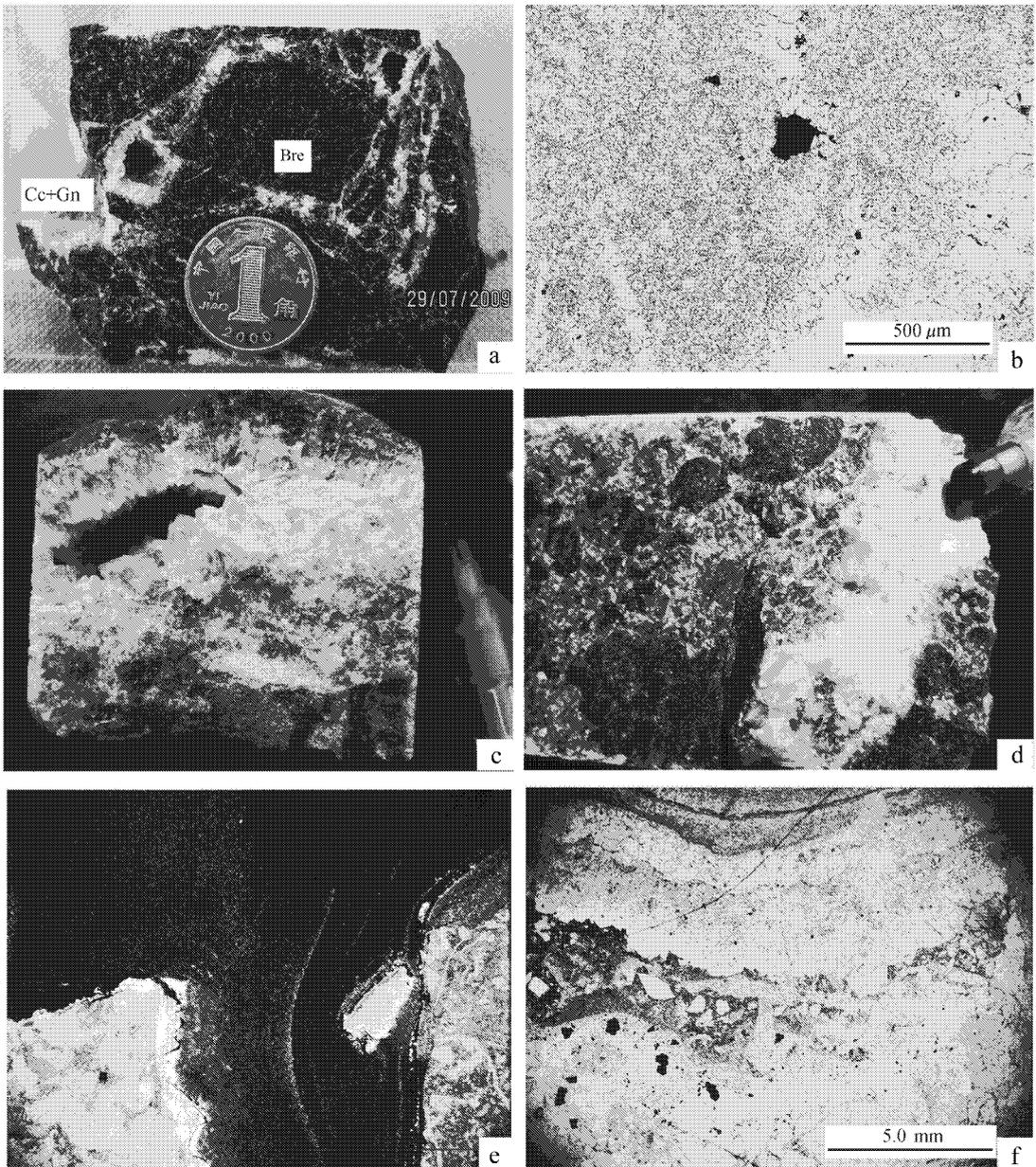


图6 茶曲帕查矿区矿化现象

Fig. 6 Mineralization in the Chaqupacha ore district

a—围绕灰岩角砾的皮壳状矿化 b—灰岩裂隙中的树枝状方铅矿+方解石脉体；c—对壁生长的方解石组成晶簇结构；d—方解石+闪锌矿充填灰岩角砾间；e—泥质层与方铅矿互层状，中间含有气泡状方解石+方铅矿包体，注意到泥质层理在包体附近弯曲形成软沉积变形构造；f—方解石+方铅矿与含砾泥质互层状沉积；Cc—方解石；Gn—方铅矿；Bre—灰岩角砾

a—limestone breccias surrounded by colloform calcite and galena ; b—dendritic calcite and galena vein in limestone fissure ; c—vug texture composed of syntaxial calcite vein ; d—limestone breccias filled with calcite and sphalerite ; e—interlayered mud and galena , containing inclusions of bubble-like calcite and galena , with soft deformation shown by mud bedding ; f—calcite + galena and argillaceous exhibiting interlayering structure ; Cc—calcite ; Gn—galena ; Bre—limestone breccias

中新世开始整个青藏高原上地壳发生伸展作用(侯增谦等, 2010), 矿区形成东西向锯齿状正断层。这期伸展构造与矿化关系密切, 灰岩内正断层附近见有浸染状矿化, 灰岩空隙内发育皮壳状矿化, 灰岩与泥灰岩接触部位的断层附近发育角砾状、层状、树

枝状矿化。皮壳状矿化说明矿质在张性空间下充填, 层状矿化表明铅锌成矿与泥质沉积同时进行, 角砾状矿化系矿石沉淀后遭受破碎作用再沉积而成, 树枝状矿化则为泥质沉淀后的矿质交代。考虑到钻孔中几种矿化交替出现的现象, 本文用含矿热液的

幕式涌入来解释,矿区经历了边破碎-边沉积-边成矿的过程。

## 6 结论

(1) 茶曲帕查矿区主要由中新世五道梁组、始新世沱沱河组、晚二叠世那益雄组、早-中二叠世九十道班组4套地层系统组成。除沱沱河组分布局限外,其他3套地层东西条带状连续出露,彼此间被断层切割。二叠纪地层普遍经历了褶皱叠加,新生代早阶段逆冲、晚阶段伸展形成了矿区“三单元夹两断层”的构造格局。

(2) 铅锌矿化出现在灰岩内部或灰岩与泥灰岩接触部位,与张性破碎角砾密切共生,矿石结构表明开放空间充填的特征。成矿发生在中新世初,为边破碎-边沉积-边成矿的过程。

## References

Belayneh M and Cosgrove J W. 2010. Hybrid veins from the southern margin of the Bristol Channel Basin, UK [J]. *Journal of Structural Geology*, 32(2): 192~201.

BGMERD of Qinghai Province. 1997. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China(63): Stratigraphy lithostratic of Qinghai Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House (in Chinese).

Bruguier O, Lancelot J R and Malavielle J. 1997. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch (Central China): provenance and tectonic correlations [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 152(1~4): 217~231.

Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y, et al. 1995. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China [J]. *International Geology Review*, 37(8): 661~735.

Coward M P, Kidd W S F, Yun P, et al. 1988. The structure of the 1985 Tibet geotraverse, Lhasa to Golmud [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 327(1594): 307~333.

Dewey J, Shackleton R, Chang C, et al. 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A—Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 327: 379~413.

Duan Qifa, Wang Jianxiong, Niu Zhijun, et al. 2006. Discovery of Middle Permian radiolarians in the Chaggar area, Zhidoi County, southern Qinghai, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(1~2): 173~175 (in Chinese with English abstract).

Enkelmann E, Weislogel A, Ratschbacher L, et al. 2007. How was the Triassic Songpan-Ganzi basin filled? A provenance study [J]. *Tectonics*, 26: doi:10.1029/2006TC002078.

Harrowfield M J and Wilson C J L. 2005. Indosinian deformation of the Songpan Garze Fold Belt, northeast Tibetan Plateau [J]. *Journal of*

*Structural Geology*, 27(1): 101~117.

Horton B K, Yin A, Spurlin M S, et al. 2002. Paleocene-Eocene syn-contractational sedimentation in narrow, lacustrine-dominated basins of east-central Tibet [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 114(7): 771~786.

Hou Zengqian. 2010. Metallogensis of Continental Collision [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(1): 30~58 (in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Meng Qingren, Shi Yuruo, et al. 2005. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi terrane and its implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 867~880 (in Chinese with English abstract).

Ingersoll R V and Busby C J. 1995. Tectonics of sedimentary basins [A]. Busby C J and Ingersoll R V. *Tectonics of Sedimentary Basins* [C]. Cambridge: Blackwell Science, 1~51.

Ingersoll R V, Dickinson W R and Graham S A. 2003. Remnant-ocean submarine fans: Largest sedimentary systems on Earth [J]. *Geological Society of America Special Paper*, 370: 191~208.

Leeder M R, Smith A B and Yin J. 1988. Sedimentology, Palaeoecology and Palaeoenvironmental Evolution of the 1985 Lhasa to Golmud Geotraverse [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A—Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 327: 287~305.

Li Shanping, Ma Haizhou, Chen Youshun, et al. 2009. Characteristics of volcanic rocks in Songsainong of Zhidoi area, North Qiangtang basin, Qinghai-Tibet Plateau, and their tectonic significance [J]. *Geology in China*, 36(1): 85~92 (in Chinese with English abstract).

Li Yalin, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. 2006. Cenozoic Thrust System and Uplifting of the Tanggula Mountain, Northern Tibet [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(8): 1118~1130 (in Chinese with English abstract).

Li Zheng. 2008. A genesis Study of Chaqupacha Lead-Zinc Deposits Tuotuohe Area, Qinghai Province [D]. University of Science & Technology Beijing (in Chinese with English abstract).

Liu Shun, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. 2001. Tertiary N-S Direction Crustal Shorting of Fenghuoshan area in central Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Seismology and Geology*, 23(1): 122~125 (in Chinese with English abstract).

Liu Z and Wang C. 2001. Facies analysis and depositional systems of Cenozoic sediments in the Hoh Xil basin, northern Tibet [J]. *Sedimentary Geology*, 140(3~4): 251~270.

Liu Zhifei, Wang Chengshan, Jin Wei, et al. 2005. Oligo-Miocene Depositional Environment of the Tuotuohe Basin, Central Tibetan Plateau [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(2): 210~217 (in Chinese with English abstract).

Nelson R A. 2001. *Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs* [M]. Gulf Professional Publishing.

Niu Zhijun, Duan Qifa, Wang Jianxiong, et al. 2006. Early Carboniferous Eostaffella fauna in the Zhidoi-Zadoi area, southern Qinghai, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(1~2): 163~167 (in Chinese with English abstract).

Niu Zhijun, Xu Anwu, Wang Jianxiong, et al. 2006. The volcanic islands sedimentary facies model of Luodian stage in southern Qinghai [J]. *Science China Earth Sciences (Science in China Series D)*, 38(2): 145~156 (in Chinese).

Pan Guitang and Ding Jun. 2004. Atlas of Geological Map on 1:

- 1500000 Scale of the Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Regions [M]. Map Press of Chengdu( in Chinese ).
- Pearce J A and Deng W. 1988. The Ophiolites of the Tibetan Geotraverses, Lhasa to Golmud ( 1985 ) and Lhasa to Kathmandu ( 1986 [ J ]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences, 327 : 215~238.
- Ramsay J G and Huber M I. 1987. The Techniques of Modern Structural Geology : Folds and Fractures [ M ]. Academic Pr.
- Roger F, Arnaud N, Gilder S, *et al.* 2003. Geochronological and geochemical constraints on Mesozoic suturing in east central Tibet [ J ]. Tectonics, 22( 4 ): 1~11. Artn 1037, Doi 10.1029/2002tc001466.
- Song Yucai. 2009. Characteristics and Genetic Model of Sediment-hosted Base Metal Deposits in Sanjiang area, Southwest China [ D ]. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences( in Chinese with English abstract ).
- Spurlin M S, Yin A, Horton B K, *et al.* 2005. Structural evolution of the Yushu-Nangqian region and its relationship to syncollisional igneous activity, east-central Tibet [ J ]. Geological Society of America Bulletin, 117( 9~10 ): 1 293~1 317.
- Taylor R. 1992. Ore Textures : Recognition and Interpretation 1. Infill Textures [ M ]. Springer Verlag.
- Wang Q, Wyman D A, Xu J F, *et al.* 2008. Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane ( Central Tibet ): evidence for metasomatism by slab-derived melts in the mantle wedge [ J ]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 155( 4 ): 473~490.
- Weislogel A L, Graham S A, Chang E Z, *et al.* 2006. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex : Sedimentary record of collision of the North and South China blocks [ J ]. Geology, 34( 2 ): 97~100.
- Weislogel A L. 2008. Tectonostratigraphic and geochronologic constraints on evolution of the northeast Paleotethys from the Songpan-Ganzi complex, central China [ J ]. Tectonophysics, 451( 1~4 ): 331~345.
- Wu Z, Barosh P J, Wu Z, *et al.* 2008. Vast early Miocene lakes of the central Tibetan Plateau [ J ]. Geological Society of America Bulletin, 120( 9~10 ): 1 326~1 337.
- Xu Zhiqin, Hou Liwei and Wang Zongxiu. 1992. The Orogenic Process of Songpan-Ganzi Orogenic Belt [ M ]. Beijing : Geological Publishing House( in Chinese ).
- Yi H S, Wang C S, Liu S, *et al.* 2000. Sedimentary record of the plation surface in the Hoh Xil region of the northern Tibet Plateau [ J ]. Acta Geologica Sinica, 74( 4 ): 827~835.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan oroger [ J ]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28 : 211~280.
- Zhang Hongrui. 2010. Deformational Structures and Metallogenetic Model of Sediment-hosted Pb-Zn Deposits in Northern Segment of the Sanjiang Orogenic Belt, Southwest China [ D ]. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Hongrui, Hou Zengqian, Yang Tiannan, *et al.* 2010. Subduction-related quartz syenite porphyries in the eastern Qiangtang terrane : Constraints from geochemical analyses [ J ]. Geological Review, 56( 3 ): 403~412( in Chinese with English abstract ).
- Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, *et al.* 2001. The Strata of the Tibetan Plateau [ M ]. Beijing : Science Press( in Chinese ).
- Zhou D and Graham S A. 1996. Songpan-Ganzi complex of the west Qinling Shan as a Triassic remnant-ocean basin [ A ]. Yin A and Harrison T. Tectonic Evolution of Asia [ C ]. Cambridge : Cambridge University Press.
- Zhou Jianguy, Wang Jianghai, Yin An, *et al.* 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 ).

## 附中文参考文献

- 段其发, 王建雄, 牛志军, 等. 2006. 青海南部治多县扎河地区发现中二叠世放射虫化石 [ J ]. 地质通报, 25( 1~2 ): 173~175.
- 侯增谦. 2010. 大陆碰撞成矿论 [ J ]. 地质学报, 84( 1 ): 30~58.
- 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 2005. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义 [ J ]. 岩石学报, 21( 3 ): 867~880.
- 李政. 2008. 青海省沱沱河地区茶曲帕查铅锌矿床的成因研究 [ D ]. 北京 : 北京科技大学.
- 李善平, 马海州, 陈有顺, 等. 2009. 青藏高原北羌塘盆地治多地区松弄一带火山岩的特征及构造意义 [ J ]. 中国地质, 36( 1 ): 85~92.
- 李亚林, 王成善, 伊海生, 等. 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 ): 1 118~1 130.
- 刘顺, 王成善, 伊海生, 等. 2001. 青藏高原中部风火山地区第三纪地壳南北缩短量研究 [ J ]. 地震地质, 23( 1 ): 122~125.
- 刘志飞, 王成善, 金玮, 等. 2005. 青藏高原沱沱河盆地渐新—中新世沉积环境分析 [ J ]. 沉积学报, 23( 2 ): 210~217.
- 牛志军, 段其发, 王建雄, 等. 2006. 青海南部杂多—治多一带发现早石炭世 *Eostaffella* 动物群 [ J ]. 地质通报, 25( 1~2 ): 163~167.
- 牛志军, 徐安武, 王建雄, 等. 2008. 青海南部二叠纪罗甸期火山岛沉积相模式及对类动物群分布的制约 [ J ]. 中国科学( D 辑 地球科学 ), 38( 2 ): 145~156.
- 潘桂棠, 丁俊. 2004. 1:150 万青藏高原及邻区地质图 [ M ]. 四川 : 成都地图出版社.
- 青海省地质矿产局. 1997. 全国地层多重划分对比研究( 63 ) 青海省岩石地层 [ A ]. 武汉 : 中国地质大学出版社.
- 宋玉财. 2009. “三江”沉积岩容矿贱金属矿床发育特点与成矿模型 [ D ]. 北京 : 中国地质科学院.
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀. 1992. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程 [ M ]. 北京 : 地质出版社.
- 张洪瑞, 侯增谦, 杨天南, 等. 青藏高原北羌塘南缘俯冲型石英正长斑岩的发现 : 来自地球化学分析证据 [ J ]. 地质论评, 56( 3 ): 403~412.
- 张洪瑞. 2010. “三江”北段沉积岩容矿铅锌矿床矿区构造变形与控矿模型 [ D ]. 北京 : 中国地质科学院地质研究所.
- 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 2001. 青藏高原地层 [ M ]. 北京 : 科学出版社.
- 周江羽, 王江海, 尹安, 等. 2002. 青藏东北缘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.