文章编号:0258-7106(2013)04-0705-10

# 天山-阿尔泰地区古生代构造及相关的内生成矿作用

#### 万天丰

(中国地质大学,北京 100083)

摘 要 探讨天山-阿尔泰地区大地构造及其相关的内生成矿作用是一个重要而又有趣的研究课题。阿尔泰地 区属于早古生代碰撞带,天山地区属于晚古生代早期,晚泥盆世—早石炭世,碰撞带,均为区域性近南北向缩短-碰撞 作用的结果。在晚泥盆世—早石炭世,阿尔泰地区近 NW 向区域性断层呈现右行走滑的特征,天山地区近 EW 向的 区域性断层表现为逆断层的活动。但在晚石炭世—早二叠世,受乌拉尔碰撞带挤压作用远程效应的影响,该地区受 到较弱的向东挤压的作用,阿尔泰地区 NW 向断层转变成左行走滑断层,天山地区近 EW 向断层则转变为右行走滑 断层,使该区岩石发生适度的破碎,以致形成大量世界著名的内生金属矿床。对于亚洲大陆来说,碰撞作用最强烈 的时期并不一定是内生金属成矿作用最有利的阶段,应该审慎地对待所谓的'造山带成矿作用假说"。最后,笔者还 对该区深部隐伏内生金属矿床的找寻提出了一些建议。

## Paleozoic tectonics and its related endogenic metallogeny in Tianshan-Altay region

WAN TianFeng (China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

#### Abstract

The study of the Paleozoic tectonics and endogenic metallogeny in the Tianshan-Altay region constitutes an important and interesting project. The Altay area belongs to Early Paleozoic collision zone, and the Tianshan area belongs to the early period of Late Paleozoic (Late Devonian - Early Carboniferous) collision zone; they both resulted from nearly NS-trending shortening and collision. However, influenced by the distant effect of the compressional action of the Ural collision belt in the Late Carboniferous-Early Permian period, the Tianshan-Altay region experienced weak eastward compression, resulting in the change of NW-trending faults into sinistral strike-slip faults and the conversion of nearly EW-trending faults into dextral strike-slip ones as well as the crushing of the rocks to a certain extent, thus forming a lot of world-famous endogenic metallogenic ore deposits. In Asian continent, the strongest collision period is not necessarily the most favorable period for endogenic metallogeny, and therefore the "orogenic metallogeny hypothesis" should be treated carefully. Some suggestions concerning the prospecting for concealed endogenic metallogenic ore deposits are also put forward in this paper.

com

<sup>\*</sup> 本文得到中国地质调查局地质调查工作项目"1:10 000 000亚洲成矿图编制"项目(科〔2011〕01-48-11,中国地质科学院矿产资源研究 所承担)所属的二级课题的资助

第一作者简介 万天丰,男,1938 年生,教授,博士生导师,主要从事大地构造学与应用构造地质学研究。Email:wan-tianfeng@163.

Key words: geology, geotectonics, endogenic metallogeny, Tianshan-Altay region

近年笔者参加了裴荣富院士领导的科研集体, 在研究亚洲大地构造并编制亚洲大地构造区划图 (万天丰,2013)的过程中,对天山-阿尔泰地区的构 造-岩浆-成矿作用产生了浓厚的兴趣。现将一些新 认识奉献给读者,同时也在此恭祝裴荣富院士九十 华诞,祝裴老健康长寿、幸福安康!

## 1 大地构造背景

天山-阿尔泰地区处于中亚的哈萨克、吉尔吉 斯、乌兹别克、蒙古国和中国的西北地区,其北部与 俄罗斯相邻,是一个世界著名的内生金属成矿带。 天山-阿尔泰地区在大地构造上属于中亚-蒙古构造 域的中部。

中亚-蒙古构造域是由阿尔泰-中蒙古-海拉尔早 古生代(500~397 Ma)碰撞增生带、卡拉干达-吉尔 吉斯早古生代(500~397 Ma)碰撞增生带、土兰-卡 拉库姆板块、西天山晚古生代(360~260 Ma)碰撞增 生带、巴尔喀什-天山-兴安岭晚古生代(360~260) Ma)碰撞增生带以及准噶尔地块等构造单元组成 (万天丰 2013)。所谓"碰撞增生带"就是陆陆板块 之间规模较大、结构较复杂的碰撞带。一些学者喜 欢用'造山带'"的术语,是槽台假说习惯使用的。如 果赞成板块构造学说 ,就不宜再使用" 造山带 "的提 法。天山-阿尔泰地区的北部,即阿尔泰地区,主要 为早古生代碰撞带;南部的天山地区主要为晚古生 代碰撞带,内含许多个体较小的、较老的结晶地块, 它们随西伯利亚板块从南半球运移到北半球中高纬 度,经过古生代的两次碰撞作用而拼接到西伯利亚 板块南缘,也可以看作西伯利亚板块在古生代时期 的增生部分 万天丰 2011)。

总之,它们主要是古生代近南北向两次碰撞作 用的结果,其地质构造都是通过古生代构造-岩浆事 件而最后定型的。过去曾有在中亚地区存在"哈萨 克板块"的设想,现在看来并不妥当,该区发育着强 烈的古生代碰撞作用和多期构造-岩浆事件,最新的 研究成果已经改正了过去的设想,认为主要是古生 代碰撞作用的产物(李廷栋等,2008;Petrov et al., 2008;Pubellier,2008)。所谓的"哈萨克板块"其实 是在古特提斯洋内存在的许多古老的小结晶陆块 (都在 500 Ma 以前形成),在古生代的板块碰撞作用 中拼贴成为大陆板块的一部分。

## 2 晚古生代的两次构造-热事件

对于卡拉干达-阿尔泰-中蒙古地区早古生代的 碰撞事件,近年来没有什么争议(肖序常等,1992; 2010;Allen et al.,1992;车自成等,1994;Charvet et al.,2007;万天丰,2011;Wan,2011)就是说阿 尔泰地区的碰撞作用主要发生在早古生代晚期(400 Ma 左右)。但对于西天山和巴尔喀什-天山-兴安岭 晚古生代(360~260 Ma)碰撞增生带以及阿尔泰地 区的晚古生代构造事件,长期以来一直认为存在两 次重要的构造-热事件,并且在构造事件具体特征的 认识上还有分歧。

谢家荣(1936)最早将中国天山的构造事件划分 为两期:第一期为泥盆纪末或早石炭世末,第二期为 晚石炭世末期,该区存在两个显著的地层角度不整 合接触关系。几十年来,此认识被许多学者引用,并 一直以为在天山地区曾发生过两次碰撞作用或造山 作用(肖序常等,2010;万天丰,2011;Wan,2011)。

第一期 晚泥盆世的碰撞作用 长期以来得到许 多学者的认同(肖序常等,1992; Allen et al., 1992; 车自成等, 1994; Charvet et al., 2007)。在巴尔喀 什-天山-阿尔泰地区,晚古生代碰撞作用所造成的 构造变形带的宽度可达 1500 km 左右。近年来,根 据 Buslov 等(2004)对于许多 NW 向断层的活动性质 研究及其同位素测年结果发现,第一期晚泥盆世— 早石炭世(345~325 Ma)的碰撞作用是该区的主碰 撞时期,使区域性Charysh-Terckta和塔拉斯-费尔干 纳(Talas-Ferganan)等一系列走向 NW 向的断层均 表现为右行走滑活动。而对于近 EW 向的断层,公 认当时主要表现为逆断层的特征(图1)(Wang et al., 2008; 李锦轶等, 2002; 肖序常等, 2010)。 综合 上述资料 两类断裂活动可能都是由于天山-阿尔泰 陆块群相对向北运移所造成的 是巴尔喀什-天山-兴 安岭晚古生代早期碰撞增生带南北向缩短、碰撞作 用的表现 此种解释看来是比较合理的 认识也比较 一致(图1;肖序常等,1992;2010;Allen et al., 1992;车自成等,1994;Charvet et al., 2007;Han et al., 2011 ;万天丰, 2011 )。

对于第二期,即晚石炭世末期到二叠纪,甚至延



图 1 巴尔喀什-天山-阿尔泰地区主碰撞阶段(晚泥盆世一早石炭世)区域应力状态与断层的走滑方向 (据 Buslov et al., 2004 的资料改会)

大箭头示区域性挤压与缩短方向,有小箭头的断层表示逆断层,有一对反向小箭头的黑线示右行走滑断层

Fig. 1 Regional stress orientation and slike-slip faults in Balkhash - Tianshan -Altay region during the main collision period (Late Devonian—Early Carboniferous) (modified after Buslov et al., 2004)

The big arrow shows the direction of regional compression and shortening, the small arrows indicate the reverse faults, and the block line with a pair of arrows in opposite directions show the dextral strike-slip fault

续到三叠纪中期的碰撞事件,也得到许多学者的肯 定(Zonenshain et al., 1990; Shi et al., 1994; Bazhenov, 2003; 高俊等, 2006; Pickering et al., 2008; Xiao et al., 2008; Han et al., 2011)。尽管对 于延续的期限有些分歧,但他们都认为巴尔喀什-天 山地区仍继续发生了晚古生代晚期的第二次碰撞作 用。但值得关注的是,Buslov等(2004)发现,在晚石 炭世一二叠纪(316~280 Ma)的构造作用却使一系 列 NW 向断层(如 Chara、Irtysh 和 Krail Kuznetsk-Teletsk-Bashkauss、巴尔喀什以及阿尔泰地区及其东 部的许多断层)都呈现大幅度的左行走滑特征(图 2 上部),其运动滑移特征与晚泥盆世一早石炭世的完 全相反。Han等(2011)也确认,准噶尔与伊犁地块 之间的北天山 NW 向断裂(原来具蛇绿岩套)在早石 炭世之后,也变成左行走滑断层,其伴生的花岗质侵 入体的同位素年龄为 316~270 Ma,并认为此岩体 是后碰撞作用的产物;并引用 Bakirov 等(2000)和 Biske 等(2010)的成果,指出中天山-吉尔吉斯-伊犁 地块可能向东挤入到中国的南、北天山之间。

Wang等(2008)和李锦轶等(2002)对于天山地 区近 EW 向区域性断层进行了断层活动性与 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar测年的研究,明确地认定其在晚泥盆世— 早石炭世原为逆断层,而在晚石炭世—二叠纪却都 转变为右行走滑断层,并指出这是天山以北地块在 碰撞作用之后,向东嵌入作用的结果。这一点在卫 星影像上,东天山(吐鲁番-哈密)地区表现得尤为明 显,EW 向的断层表现为大幅度的右行走滑活动。 Laurent-Charvet 等(2002;2003)、Buslov 等(2004)、 Natal'in 等(2005)和 Van der Voo 等(2006)的研究 也得到类似的结果,都认为天山地区近 EW 向的主 断层在晚石炭世—二叠纪,甚至三叠纪早期表现为 走滑断层,而不是逆断层。

综合 Buslov 等(2004)、Wang 等(2008)、肖序常 等(2010)和 Han 等(2011)对于巴尔喀什-天山-阿尔 泰地区断裂活动的研究成果可以看出:在晚泥盆世 一早石炭世(345~325 Ma)走向 NW 的断层表现为 右行走滑活动,而近 EW 向断层为逆断层的特征,说 明该区受到近南北向的缩短和碰撞作用(图 1),这是 该区晚古生代碰撞作用的影响所致。而在晚石炭世 一早二叠世(316~280 Ma)的构造作用,却使多数 NW 向断层转变为大幅度的左行走滑,近 EW 向断 层则转变为右行走滑。其动力作用来源就无法用南



图 2 巴尔喀什-天山-阿尔泰地区后碰撞阶段(晚石炭世—早二叠世)区域应力状态与断层的走滑方向 (据 Buslov et al., 2004 的资料改绘)

大箭头示区域挤压与缩短方向,一对小箭头示左行或右行走滑断层的滑移方向,近 EW 向断层为右行走滑 NW 向的断层为左行走滑断层 Fig. 2 Regional stress orientation and slike-slip faults in Balkhash-Tianshan - Altay region during the post-collision period (Late Carboniferous—Early Permian) (modified after Buslov et al., 2004)

The big arrow shows the direction of regional compression and shortening , the block line with a pair of arrows in opposition directions shows the dextral or sinistral strike-slip fault

北向碰撞作用来解释,此时的最大主压应力方向显 然在 NW 向与 EW 向断层的锐角平分线附近(图 2)。因而,只可能是近东西向挤压作用所派生的现 象。故笔者推断,此时的东西向挤压作用只可能是 乌拉尔碰撞带(图2)向东挤压作用的远程效应。此 构造阶段也可称为后碰撞阶段,其实就是在原碰撞 带内,后来发生了明显的板内变形。整体来看,晚石 炭世—早二叠世近东西向挤压作用的强度毕竟有 限,其没有使整个地区的叶理面发生根本性的改造, 而只是沿断裂发生新的滑脱,改变了先存断裂的滑 动方向,派生了一些局部的褶皱与裂隙带。

还有一个问题值得探讨,即中国西南天山的构造活动性问题。近十年来,西南天山地区获得了许多晚石炭纪世—二叠纪蛇绿岩套、榴辉岩、蓝闪石和 其他变质岩的同位素年龄数据(Han et al., 2011)。 张招崇等(2009)认为,上述特征应该与碰撞作用相 关的、发生在326~308 Ma和263~243 Ma的两期 变质热事件有关。笔者认为,这两期变质热事件都 是在天山主碰撞期之后发生的,都是在中国南、北天 山之间的地块向东挤压、嵌入作用下所派生的。由 于西南天山构造带与主干断层均呈 ENE 走向,在晚 石炭世—二叠纪,受到乌拉尔碰撞带向东挤压的远 程效应影响,因而 ENE 向一系列断裂带都表现为压 -剪性的特征,它们既可形成类似于碰撞-挤压作用所 构成的变质-岩浆岩系,也有右行走滑的构造特征, 这是巴尔喀什-天山构造带主碰撞作用之后的板内 变形现象。巴尔喀什-天山碰撞带在晚泥盆世—早 石炭世是以近南北向的汇聚-缩短作用为主要特征 的,而认为西南天山的碰撞作用主要发生在晚石炭 世—二叠纪的认识,可能不太妥当。

由于发育在泥盆纪—石炭纪的乌拉尔碰撞带, 距离巴尔喀什-天山-阿尔泰地区约有上千千米的距 离,因而这个朝东的挤压作用对巴尔喀什-天山-阿尔 泰地区的影响滞后到晚古生代晚期(316~280 Ma)。 据笔者粗略地估算,此强构造应力作用向东的迁移、 传递速度约为 2.5~3.0 cm/a,看来是比较缓慢的。 根据笔者对古近纪太平洋板块向西俯冲、挤压所造 成的板内强构造变形带逐渐向西迁移资料的计算, 其迁移速度约为 65 cm/a(万天丰,2011),大约为乌 拉尔碰撞带向东挤压所造成的强变形带迁移速度的 20 倍左右。看来,由乌拉尔碰撞带所造成的向东挤 压作用不大强烈。这可能只是使岩石产生适度的破 碎 断层改变了活动性质 ,为巴尔喀什-天山-阿尔泰 地区形成大量内生金属矿床创造了十分有利的构造 条件。

乌拉尔碰撞带所造成的向东挤压的远程效应不 会是无限制地扩展。现有的资料显示,其影响的最 东地区可能达到贺兰山-六盘山一带。 耿元生等 (2012)在贺兰山-六盘山碰撞带西侧、阿拉善变质基 底中发现了大量的近南北向展布的早二叠世弱变形 花岗岩类。采自阿拉善东部的闪长质片麻岩、含石 榴英云闪长质片麻岩、英云闪长岩、条痕状黑云斜长 片麻岩和片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄均在(269 ±2.4) Ma 和(287±2.5) Ma 之间。采自阿拉善变 质基底西部的花岗闪长质片麻岩、闪长质片麻岩、粗 粒花岗闪长质片麻岩和中粒闪长质片麻岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄都在(289±3) Ma 和(276± 2) Ma 之间。尽管早二叠世花岗岩的岩石类型和化 学成分不同,但它们都形成于269~289 Ma 较短的 时间范围内,属于同一期构造-岩浆热事件的产物。 早二叠世花岗岩的形成年龄与基底变质岩中角闪石 <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar的坪年龄(277~288 Ma)也近于一致。在 阿拉善变质基底中发现大量早二叠世花岗岩类侵入 体 表明阿拉善变质结晶基底在古生代晚期可能受 到乌拉尔带向东挤压 碰撞作用的影响 这是贺兰山 -六盘山晚古生代发生东西向碰撞作用所伴生的构 造热事件。这也可能是贺兰山-六盘山晚古生代碰 撞带存在的一个重要的旁证资料。

经过晚泥盆世—早石炭世的碰撞作用和晚石炭 世—二叠纪的向东挤压变形的改造,巴尔喀什-天山-阿尔泰地区的构造格局就基本定型了。在三叠纪和 保罗纪时期,该区经历了较微弱的南北向挤压;白垩 纪—古近纪,该区地壳比较稳定,未发现明显的构造 变形;中新世受到更为微弱的东西向挤压。而使塔 里木和准噶尔地块朝天山之下俯冲,以致天山地区 大幅度隆升成山的作用过程,则发生在新近纪以来 的阶段,是印度板块向北运移、碰撞作用的远程效应 (万天丰 2011)。

#### 3 构造成矿作用

在巴尔喀什-阿尔泰地区,早古生代经历了很强的碰撞事件,但是在这个时期却很少形成超大型内 生金属矿田或矿床,主要成矿作用都在此碰撞作用 之后的晚古生代发生。如阿尔泰-斋桑铜、金、多金 属、稀有金属矿集区内 赋存了矿区阿尔泰的哈萨克 斯坦尼古拉耶夫(Nikolaev)超大型 VMS 型铜锌矿床 和孜良诺夫斯克超大型铅锌多金属矿床等,它们虽 然都位于早古生代碰撞带内,但其成矿作用却与晚 古生代的火山活动关系密切(毛景文等,2012b;吴振 寰等,1993)。

新疆阿尔泰富蕴县可可托海超大型花岗伟晶岩 型稀有\_稀土金属(锂、铍、铌、钽、铷、铯、铪)矿床研 究得比较精细,矿床也产在早古生代碰撞带内,但是 成矿作用却主要发生在晚古生代的 330~250.3 Ma (即石炭纪—二叠纪,邹天人等,2006)。该区以NW 向为主的含矿构造裂隙带,在泥盆纪—早石炭世 (345~325 Ma)受到区域性的右行剪切作用影响 裂 隙均呈张剪性,有利于含矿流体及岩浆的运移。而 在二叠纪(280~270 Ma),NW 向为主的裂隙带受到 区域性的左行剪切作用影响 裂隙呈现压剪性 遂使 构造裂隙相对闭合 ,从而有利于含矿流体与岩浆的 聚集与储存 ,以致赋存了大量的含矿伟晶岩脉。近 年来,Wang 等(2007)在可可托海主矿体三号伟晶岩 脉内获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 220~198 Ma, 即三叠纪。由此看来,此含矿伟晶岩脉可能最后定 型干三叠纪。

在中国阿尔泰山南缘还存在北西向的贵金属与 有色金属成矿带(以阿舍勒块状硫化物铜锌矿床为 代表)。该带为阿尔泰-中蒙古-海拉尔早古生代(500 ~397 Ma 碰撞增生带的西南部 其后又发育强烈的 晚古生代构造-岩浆活动,形成了阿舍勒火山岩带, 并赋存了大型阿舍勒块状硫化物铜锌矿床。阿舍勒 火山岩以富钠为特点,为海相细碧-角斑岩建造。阿 舍勒火山岩的同位素年龄为 352.3~386 Ma, 而热 液成矿年龄则主要在 262~242 Ma,即主要在二叠 纪末期(陈毓川等,1996)。根据区域构造应力状态 的特征 在早石炭世(345~325 Ma) 受走向 NW 向的 区域性断裂右行走滑活动影响 ,阿舍勒地区近 SN 向 的次级派生断裂呈张剪性,有利于含矿流体的运移。 而在早二叠世(280~270 Ma),当 NW 向区域性断裂 转为左行走滑活动时,矿区受到近东西向的局部挤 压 从而造成火山岩盆地内形成一系列次级的近南 北向褶皱,而近 SN 向的断裂、裂隙则呈现为压剪性, 具有一定的封闭作用 ,以致有利于阿舍勒块状硫化 物铜锌矿床的赋存。

在哈萨克斯坦的巴尔喀什矿集区内,赋存着许 多大型的斑岩型铜、钼、金矿床,如科翁腊德(Koun-

2013 年

rad)超大型铜金矿床。在科翁腊德铜金矿床附近出 露早石炭世的沉积-火山岩系和中石炭世中酸性花 岗岩类岩株、岩脉,它们均受 NW 向与 NE 向断裂交 叉点控制 此时的 NW 向主干断裂均呈现强烈的右 行走滑 控制了强烈的岩浆活动。然而 矿床却是在 晚石炭世—早二叠世(矿石的 Re-Os 年龄为 284 Ma) 形成的。其附近其他的特大型或超大型矿床,如阿 克斗卡超大型铜矿床(Aktogai 二叠纪成矿)、阿克沙 套铜钼矿床(Akshatau,矿石的 Re-Os 年龄为 285~ 289 Ma) 扎涅特钼矿床(Zhanet,矿石的 Re-Os 年龄 为 295 Ma),博尔雷铜钼矿床(Borly,矿石的 Re-Os 年龄为 315.9 Ma) 东科翁腊德铜矿床(E. Kounrad, 矿石的 Re-Os 年龄为 284 Ma ) Akzhal 以及 Sayak 矿 床等,也都不在主碰撞带形成时期成矿,而是在晚石 炭世—早二叠世较弱的近东西向挤压作用控制下, NW 向主干断裂呈左行走滑阶段时富集成矿(Golovanov et al., 2005; Cook et al., 2005; 聂风军, 2005 ).

在东天山,晚泥盆世—早石炭世为天山碰撞带 形成时期。而在晚石炭世—早二叠世,近 EW 向的 断层发生了大幅度的右行走滑活动,派生一系列的 ENE 向压剪性裂隙或小断层以及 WNW 向张剪性 裂隙或小断层,它们通常成为热液金属矿床的良好 赋存部位,构成了著名的东天山贵金属和多金属成 矿带内的一系列矿床(毛景文等,2002),如以香山铜 镍矿床和黄山东铜镍矿床为代表的矿床,都是晚石 炭世—早二叠世成矿作用的产物。继续向东,还发 育着白山石英脉型钼铼(Mo, Re)矿床,不过它是在 三叠纪[(224.8±4.5)Ma~(225±12)Ma))城内变 形阶段近南北向缩短作用控制下成矿的(Zhang et al.,2005)。

沿此带赋存的几个火山岩与岩浆矿床的形成年 代主要是 300~282 Ma,镁铁质-超镁铁质岩体和铜 矿床均主要赋存在主断裂带派生的 ENE 向次级压 剪性脆性断层之中,但其富矿体则主要赋存在其中 局部陡倾斜的、张剪性裂隙带内。绝大多数的热液 矿床则都在更晚些的时期形成,即二叠纪晚期(261 ~252 Ma,毛景文等 2002 )。由此可见,此带与成矿 作用关系密切的火山岩和矿化蚀变的形成时代,主 要都在晚古生代晚期,是在断层带转变成右行走滑 的阶段形成的,而不是天山带主碰撞期(345~325 Ma)的产物。总之,这些在天山碰撞带内二叠纪形 成的内生金属矿床,都是在碰撞作用发生之后,也可 称为后碰撞阶段 ,是在板块内部区域性断层调整为 右行大走滑过程中形成的。

在准噶尔地块的最南端,东天山近东西走向的 康古尔塔格俯冲-碰撞带(天山碰撞增生带北缘,断 层面为向南陡倾斜)内,还发育了土屋大型斑岩铜矿 床(毛景文等,2012a)。含矿岩体主要为闪长玢岩及 斜长花岗斑岩。该矿区内含矿侵入体——斜长花岗 斑岩的锆石 U-Pb年龄为 356 Ma 左右, Rb-Sr 等时 线年龄约为 369 Ma,辉钼矿的形成年龄为 322 Ma, 均为晚泥盆世—早石炭世的产物,它是天山碰撞增 生带主碰撞期形成的较罕见的一个实例。由于俯冲 带的主断面是向南倾斜的,土屋斑岩铜矿床的产状 与主断裂面几乎平行,也是走向东西、并向南陡倾斜 的,形成了规模较大的矿体。不过,该矿床并非赋存 在主断裂面内,而是在其旁侧的次级断裂内。

在天山西段,吉尔吉斯赋存着著名的库姆托尔 (Kumtor)超大型金矿床和波济穆恰克砂卡岩型铜金 矿床,也是二叠纪早期[Ar-Ar 坪年龄介于(284.3 ± 3.0) Ma和(288.4±0.6) Ma之间]形成的,主要赋 存在 ENE 向的右行走滑断裂带及其次级的压剪性 裂隙带内(陈喜峰等,2010),显然也属于碰撞后的 板内变形期成矿的。

在乌兹别克斯坦东部 ,西南天山是世界上著名 的金-汞-锑-稀有金属成矿带,以超大型的穆龙套 (Muruntau) 金矿床最为著名(Mao et al. ,2002)。穆 龙套金矿床内主要的褶皱构造为塔斯卡兹甘复背 斜,其枢纽走向近东西向,以低角度向东倾伏。矿 区出露的地层为寒武系和奥陶系 厚约 5 km 的别索 潘(Besapen)组,由一套变质粉砂岩、砂岩和泥岩组 成。金矿体的产状严格受控于剪切带及其衍生的韧 性-韧脆性断裂系统 ,矿床由大量的网状脉构成。根 据矿脉内矿石矿物的 Rb-Sr、Sm-Nd 和 Re-Os 等同位 素年龄 穆龙套金矿的成矿年龄在 270~290 Ma,即 二叠纪。此时 EW 向断裂呈现右行走滑活动 ,在其 派生的 NW 向张剪性裂隙系内富集成网脉状矿体。 而矿区内 ENE 向的断层表现为压剪性的特征,并不 特别有利于矿液的富集。近年来,从2个超深钻孔 (6000 多 m)的资料可以看出,穆龙套金矿的成矿物 质来源与深部花岗岩有关 ,而不是取自于杂色别索 潘组,或仅仅与黑色岩系相关(Mao et al., 2002)。 由于受波罗的板块向东运移和乌拉尔碰撞带向东挤 压作用的影响,矿区内近 EW 向与 NW 向的岩层沿 叶理面发生适度的张裂 并在断裂交叉点附近形成 此矿床金属元素的高度富集,从而构成总体呈陡立 状、柱状的网脉状矿体。显然此矿床的形成不像过 去认为的,是"早古生代黑色岩系同沉积作用"的产 物。中国一些学者总想在"黑色岩系"内找寻"穆龙 套式"金矿床,现在看来是不妥当的。

在蒙古国南部欧玉陶勒盖(Oyu Tologoi)赋存了 超大型斑岩型铜金矿床。此矿床处在巴尔喀什-天 山-兴安岭晚古生代(360~260 Ma)碰撞增生带中部 的北缘。欧玉陶勒盖铜金矿床赋存在上泥盆统斑岩 体内,围岩主要为酸性-中性的火山岩与火山碎屑 岩,并被早石炭世—早二叠世花岗质岩体所侵入。 据辉钼矿的 Re-Os 测年,此矿床的成矿年代为373~ 370 Ma,即晚泥盆世形成的(聂凤军等,2004;张新元 等,2010),为晚古生代主碰撞时期成矿的另一重要 的实例。矿床明显受 NNE 向张剪性断层(横张断 裂)所控制,而不是沿着碰撞带近 EW 向区域性主 干断层展布。

综上所述,晚古生代早期(晚泥盆世—早石炭 世,345~325 Ma)是巴尔喀什-天山碰撞带的主碰撞 时期,构造作用应是最强烈的,岩石较为破碎,十分 有利于成矿流体的运移,断裂容易与地表相连通,因 而也更容易使含矿流体散失。只有在主碰撞时期形 成的、规模较小的、与地表不连通的断裂及其附近的 次级裂隙带内才有利于聚集和赋存矿体,因此,在主 碰撞期成矿的机会比较少。而在晚古生代晚期(晚 石炭世—早二叠世,316~280 Ma)受乌拉尔碰撞带 向东挤压的、较弱的远程效应影响,使巴尔喀什-天 山-阿尔泰地区原来的构造裂隙适度地张开,很多构 造裂隙未与地表贯通,从而使该地区具有十分有利 的赋存矿床的条件,以致形成了大量的超大型内生 金属矿床。

4 讨论与建议

巴尔喀什-天山-阿尔泰地区位于古生代的碰撞 带内,是亚洲大陆岩石圈核心部分——西伯利亚板 块南部的外围增生带。其原来是由位于南半球的许 多小地块所组成,后来随西伯利亚板块一起运移到 北半球的中纬度地区,通过早、晚古生代的两次碰撞 事件使其构造格局基本定型,同时也在适度破碎的 部位构成一些内生金属矿床。在晚古生代晚期(晚 石炭世—早二叠世),受乌拉尔碰撞带向东挤压作用 的远程效应影响,造成部分裂隙重新适度地张开,使 该地区成为内生金属矿床极为有利的赋存部位 ,形 成了大量的内生金属矿床。

巴尔喀什-天山-阿尔泰地区,在主碰撞期之后大 量成矿的事实,并非特例。根据笔者的统计与研究, 在亚洲大陆,这是一种比较普遍的现象。对亚洲大 陆的 136 个大型或超大型内生金属矿床或矿田的成 矿期与构造变形阶段的关系进行统计,结果为:形成 于前碰撞期的(含结晶基底形成之前的)仅有4个; 同碰撞期的(包括结晶基底形成时期和同俯冲-碰撞 期)为 33 个,板内变形期或者虽然处在碰撞带内,但 在碰撞期之后形成的却为 99 个。这些都说明在构 造作用适度的、不太强烈的阶段,即板内变形期或 "后碰撞期",对亚洲大陆来说是最有利于形成大型 与超大型内生金属矿床的。同碰撞期形成的矿床, 一般也不赋存在主断裂面内,而是形成于主断裂面 附近的次级破碎带内,也就是说矿床仍主要赋存在 构造作用不是最强烈的部位。

国内一些学者盲目套用国外的说法,把中国绝大多数内生金属矿床都说成是"造山型"的,并以为 "造山带是找寻内生金属矿床的最佳部位"、"造山作 用越强烈就越有利于成矿作用"(邱小平,2002),这 些说法看来是不符合亚洲大陆的基本地质事实的。 上述事实显示,内生金属矿床常常不在构造作用最 强烈的时期形成,也不在构造作用最强烈的部位赋 存。"造山带成矿模式"的说法只能说在原来碰撞作 用较强烈的地区,在后来适度构造作用下,可能比较 容易形成大型矿床,此时的成矿作用与碰撞作用或 所谓的"造山作用"已经没有什么关系了。

综上所述,成矿规律的研究必须在弄清矿床的物质组成、成因类型、工业类型的基础之上,大力加强成矿年代学以及成矿时构造作用背景(即构造应力场)的研究。仅仅将矿床的赋存地点放在一张地质构造图上,是很难弄清其成矿规律的,也很难对进一步的找矿工作起到指导作用。

最后,笔者想对天山-阿尔泰地区的找矿工作提 出一些建议,供读者参考。鉴于天山-阿尔泰地区大 量的大型内生金属矿床是在晚古生代晚期构造作用 不太强的部位和岩体的顶上带最容易赋存的事实, 笔者认为应大力加强该区隐伏矿床的找寻,建议在 参考区域地球化学异常的基础上,首先选用大比例 尺的遥感影像或航空照片研究,这是找寻深部大型 矿床最关键的第一步工作。

根据现有资料,形成超大型矿床的隐伏含矿岩

质

体 地表通常都是小岩体 其岩株的直径一般仅为1 ~2 km,大一点的也不过3~4 km。所以,不少学者 都说'小岩体成大矿'。就临近地表的岩体大小来 看 此说法的确很有道理。但为什么一定要在小岩 体内才能成大矿呢?大量金属元素为什么一定要富 集到小岩体中,而不富集在大岩体中呢?笔者认为, 在大岩体附近含的金属元素总量其实应该更多一 些 上述的小岩体实际是大岩体上部的突出部位 因 而含矿流体易于在大岩体上突出部位的小岩株顶上 带聚集并富集成矿。由此就给人以"小岩体成大矿" 的印象。另外 希望找到的矿体深度 即小岩体顶上 带的深度,目前一定要在2000 m之内。因而,就必 须找寻埋深在数千米之内的隐伏含矿小岩体。为 此,选用的最佳方法是首先运用遥感技术来找环形 构造。应把关注点集中到主干断层旁侧附近(构造 作用较强的部位),找寻直径在4 km 之内、呈负地形 的环形构造。通常正地形的环形构造都被后期火山 岩占据。而近地表的隐伏岩体由于岩浆最后冷凝、 体积收缩,在地表呈现出具有一定程度塌陷的环形 断裂 而构成负地形的环形构造。为此最好选择高 精度大比例尺(1:50 000或1:25 000)的卫星影像资 料或航空照片 进行精细的搜索 以便发现隐伏岩体 存在的平面位置,当然并不是每个环形构造都会成 矿 因而必须进行进一步的筛选。

在研究环形构造的同时,还必须注意其附近是 否存在适度规模(长几km~几十km)的线性构造, 即断裂构造,这些断裂构造有可能成为赋矿断裂。 通常与成矿期的最大主压应力方向几乎平行的早期 断裂,呈张剪性,有利于含矿流体的流动与聚集,而 与成矿期的最大主压应力方向几乎垂直的断裂,则 呈压剪性,断裂较为闭合,不利于含矿流体的流动与 聚集。所以,在天山-阿尔泰地区寻找晚古生代晚期 形成的矿床时,应该特别注意近EW 向或 NW 向的、 规模不太大的、在环形构造附近的线性构造,或环形 构造近EW 向或 NW 向的段落。

至于此种隐伏岩体或由线性构造所指示的断裂 是否含矿?在有露头的地区,需通过研究地表围岩 蚀变来确定;在松散沉积物覆盖区,则需采用浅钻取 样和原生晕研究来确定之。如发现有可能含矿,才 进行隐伏岩体埋深的研究。

关于隐伏岩体的埋深,需要采用高精度(比例尺 为1:10 000或1:25 000)重、磁测量,进行重、磁资料 的三维反演及成像研究来判断。采用高精度重、磁 测量与反演研究的方法,仅用较少的费用就可预测 隐伏岩体的大致埋深,以减少盲目性。当弄清隐伏 岩体的埋深,在现行勘探深度附近的情况下,才可展 开进一步的找矿工作。

对于内生金属矿体的深部探测,已有的勘查经验证明,可控源音频大地电磁技术(CSAMT)是勘查 埋深在 2000 m 以内的金属硫化物矿体相对比较有效的手段之一。对于埋深在 2000 m 以内可能存在的隐伏矿床的地段,在地表布置若干条垂直于预测矿体走向的可控源音频大地电磁的测线,是必要而又可行的。

由于在板内变形较强地区 ,矿体经常赋存在环 形构造周边的某一侧、也可能赋存在附近的某些方 向的断裂内 因而 推测研究区可能的成矿时期及其 可能的构造应力状态,就成为布置可控源音频大地 电磁测线的关键。因为只有当测线几乎垂直于未知 矿体走向时,电磁法勘探才容易奏效,否则常易失之 交臂。在天山-阿尔泰地区 ,如在晚古生代早期(晚 泥盆世)成矿,当时在近南北向最大主压应力的作用 下 在环形构造的东、西两侧 ,或者在近 SN 向断裂 内 就易于赋存大型矿床 因而此时的测线应布置成 近东西向。如在晚古生代晚期(晚石炭世—二叠纪) 成矿 ,当时受到近东西向最大主压应力的作用 ,在环 形构造的南、北两侧近 EW 向或 NW 向的断裂内 就 易于赋存大型矿床 此时的测线就应该布置成近南 北向或北东向。在证实可控源音频大地电磁法所测 得的电磁异常可能为矿体后 ,才可布置钻探工程 ,进 行勘探工作,以探明矿体位置、形态、大小与矿石的 储量。

总而言之,系统研究天山-阿尔泰地区不同时期 的构造作用,对于了解该区内生金属矿床的成矿规 律和找寻隐伏矿床会有一定帮助,准确地弄清构造 作用和成矿作用的年代是十分关键的。同成矿期的 构造作用,才能真正控制矿床的形成过程。过分粗 略的构造作用年代资料,不可能合理解释成矿作用 的构造背景。

产于碰撞带(或者说"造山带")的矿床,多数不 是在主碰撞期形成,而通常是在其后的某一构造应 力场的作用下定型的,即在板内变形阶段才容易大 量成矿。因而,如果将这些矿床都归结为"碰撞带 型"或"造山带型"矿床,是很容易造成误解的。不 过,如果所谓的"造山带型"矿床定义,仅仅是指矿床 就位在造山带内,倒也说得过去。总之,内生金属矿 床最容易在适度构造作用的部位赋存,而不是构造 作用越强,就越有利于成矿作用。这与火山、地震是 很不同的,火山和地震都发育在构造作用最强烈的、 岩石最破碎的地方。

志 谢 感谢裴荣富院士、梅燕雄研究员及其 研究集体和中国地质科学院矿产资源研究所对本研 究课题的支持和帮助,也感谢王瑜教授、王涛研究 员、聂凤军研究员、毛景文教授和张作衡研究员等, 提供的宝贵资料和十分有益的讨论,在此还要感谢 两位审稿专家对本文提出的宝贵意见,他们的学术 思想对本文的完成起到了重要启迪作用。研究生刘 达对本文的图件进行了精心的绘制,在此一并志谢。

#### 参考文献/References

- 车自成,刘洪福,刘 良,等. 1994. 中天山造山带的形成与演化 [M]. 北京 地质出版社. 1-135.
- 陈喜峰,彭润民,刘家军,王建平,王小龙. 2010. 吉尔吉斯斯坦库姆 托尔超大型金矿床地质特征[J]. 黄金,31(12):15-19.
- 陈毓川,叶庆同,冯 京,等. 1996. 阿舍勒铜锌成矿带黄铁矿型多金 属成矿带和成矿预测[M]. 北京 地质出版社. 1-330.
- 高 俊,龙灵利,钱 青,黄德文,苏 文, Reiner KLZMD. 2006.南 天山:一个晚古生代或三叠纪造山带[J],岩石学报,22:1049-1061.
- 耿元生 周喜文. 2012. 阿拉善变质基底中的早二叠世岩浆热事件 ——来自同位素年代学的证据[]]岩石学报(9)3-21.
- 李锦铁,王克卓,李文铅,郭华春,宋 彪,汪 瑜,莫申国,赵子然,朱 志新,潘成泽. 2002,东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查 [J].新疆地质,20(4)295-301.
- 李廷栋, Uzhkenov B S, Mazorov A K, Kim B C, Tomurtogoo O, Petrov G V, Strelnikov S I. 2008. 亚洲中部及邻区地质图 (1:2 500 000 J M]. 北京地质出版社.
- 毛景文 杨建明 韩春明,王志良.2002.东天山晚古生代铜金多金属 矿床成矿系统和成矿地球动力学模型[J].地球科学,27(4): 413-424.
- 毛景文 涨作衡 裴荣富. 2012a. 中国矿床模型概论[M] 北京 地质 出版社. 1-560.
- 毛景文 涨作衡 ,王义天 ,等. 2012b. 国外主要矿床类型、特点及找矿 勘查[M]. 北京 地质出版社. 1-480.
- 聂凤军 江思宏 涨 义 ,刘 妍 ,胡 朋. 2004. 中蒙边境及邻区斑 岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质 , 23(2):176-189.
- 聂凤军 江思宏 白大明 ,王志良 ,朱成伟 ,徐有强 ,刘 妍 ,胡 朋. 2005. 中天山及邻区金属矿床成矿规律和找矿方向[M]. 北京: 地质出版社. 1-371.

- 邱小平. 2002. 碰撞造山带与成矿区划[J]. 地质通报, 21(10):675-681.
- 万天丰. 2011. 中国大地构造学[M] 北京:地质出版社. 1-497.
- 万天丰. 2013. 新编亚洲大地构造区划图[J]. 中国地质(待刊).
- 吴振寰, 邬统旦,唐昌韩. 1993. 中国周边国家地质与矿产[M]. 武 汉:中国地质大学出版社. 1-268.
- 肖序常 汤耀庆 冯益民 朱宝清 李锦轶 赵 民. 1992. 新疆北部及 其邻区大地构造 M]. 北京 地质出版社. 1-169.
- 肖序常,何国琦,徐 新,李锦轶,郝 杰,成守德,邓振球,李永安. 2010. 中国新疆地壳结构与地质演化[M].北京:地质出版社. 1-317.
- 谢家荣. 1936. 中国之矿产时代及矿产区域[J]. 地质论评,1(3): 363-380.
- 张新元, 聂秀兰. 2010. 蒙古国南部欧玉陶勒盖铜(金)/矿田找矿勘查 与成矿理论研究新进展[J]. 地球学报, 31(3): 373-382.
- 张招崇,董书云,黄 河,等. 2009. 西南天山二叠纪中酸性侵入岩的 地质学和地球化学:岩石成因和构造背景[J]. 地质通报 28: 1827-1839.
- 邹天人,李清昌. 2006. 中国新疆稀有及稀土金属矿床[M]. 北京 地 质出版社. 1-284.
- Allen M, Windley B and Zhang C. 1992. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tianshan, Central Asia J. Tectonophysics, 220:89-115.
- Bakirov A B and Kakitaev K. 2000. Information about geology of the Kyrgyz Republic (Kyrgyzstan J J]. International Consortium of Geological Survey Asia-Pacific Newsletter, 3:4-12.
- Bazhenov M L , Collins A Q , Degtyarev K E , et al. 2003. Paleozoic northward drift of the North Tian Shan ( Central Asia ) as revealed Ordovician and Carboniferous paleomagnetism J J. Tectonophysics , 366 : 113-141.
- Biske Y S and Seltmann R. 2010. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Ural-Turkestan ocean J J. Gondwana Research , 17 :602-613.
- Buslov M M, Watanabe T, Fujiwara Y, et al. 2004. Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia : Tectonic pattern and model of formation[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23:655-671.
- Charvet J , Shu L S and Laurent-Charvet S. 2007. Paleozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshar( NW China): Welding of the Tarim and Junggar plates J]. Episodes , 30:163-186.
- Cooke D R , Hollings P and Walshe J L. 2005. Giant porphyry deposits : Characteristics , distribution , and tectonic controls J ]. Econ. Geol. , 100 : 801-818.
- Golovanov I M, Seltmann R and Kremenetsky A A. 2005. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia: 2. The Almalyk (Kalmakyr-Dalnee) and Saukbulak Cu-Au porphyry system, Uzbeki-star[A]. In: Porter T M, eds. Super porphyry copper and gold deposits : A global perspective M]. Adelide: PGC Pulishing, 513-

524.

- Han B F , He G Q , Wang X C , et al. 2011. Late Carbonniferous Collision between the Tarim and Kazakhstan-Yili terranes in the western segment of South Tian Shan Orogen , Central Asia , and implications for the Northern Xinjiang , western China[ J ]. Earth-Science Reviews , 109 : 74-93.
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Shu L S, et al. 2002. Paleozoic late collisional strike-slip deformation in Tianshan and Altay, eastern Xinjiang, NW Chind J]. Terra Nova, 14:249-256.
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Monie P, et al. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern Central Asia (NW China): New structural and geochoronological data[J]. Tectonics, 22:1099-1101.
- Mao J W, Han C M and Wang Y T. 2002. Geological characteristics, metallogenic model and criteria for exploration of the large South Tianshan gold metallogenic belt in Central Asia[ J ]. Geological Bulletin of China, 21(12) 858-868.
- Natal 'in B A and Sengor A M C. 2005. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platform: The pre-history of the paleo-Tethyan closure J. Tectonophysics, 404:175-202.
- Petrov O, Leonov Y, Li T D, Tomurtogoo O and Hwang J H. 2008. Tectonic zoning of central asia and adjacent Areas (1:20 000 000)
  [M]. In: Atlas of Geological Maps of Central Asia and Adjacent areas (1:2 500 000). VSEGEI Cartographic Factory.
- Pickering K T , Koren T N , Lytochkin V N , et al. 2008. Silurian-Devonian active-margin deep marian systems and paleogeography , Alai Range , Southern Tian Shan , Central Asia[ J ]. Journal of the Geological Soiety of London , 165 : 189-210.

Pubellier M. 2008. Structural map of eastern Eurasia (1:12 500 000)

[M] Paris : CGMW.

- Shi Y , Lu H , Jia D , Cai D , et al. 1994. Paleozoic plate tectonic evolution of Tarim and Western Tianshan region , western China[ J ]. International Geological Review , 36 : 1058-1066.
- Van der Voo R , Levashova N M , Skrinnik L I , et al. 2006. Late orogenic large-scale rotations in the Tian Shan and adjacent mobilebelt in Kyrgyzstan and Kazakhstar[J]. Tectonophysics , 426 335-360.
- Wan T F. 2011. The tectonics of China-data , maps and evolutior [M]. Beijing , Dordrecht Heidelberg London and New York : Springer and Higher Education Press. 1-501.
- Wang T , Tong Y , Jahn B M , et al. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Altai No. 3 pegmatite , NW China , and its implications for the origin and tectonic setting of the pegmatite J ]. Ore Geology Review , 32 : 325-336.
- Wang Y, Li J Y and Sun G H. 2008. Post-collision eastward extrusion and tectonic exhumation along the eastern Tianshan orogen, central Asia: Constraints from dextral strike-slip motion and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronological evidence J]. Journal of Geology, 116:599-618.
- Xiao W J , Han C M , Yuan C , et al. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xijiang , NW China : Implications for the tectonic evolution of Central Asia
  [ J ]. Journal of Asian Earth Sciences , 32 :102-117.
- Zhang L C , Xiao W J , Qin K Z , et al. 2005. Re-Os isotopic dating of molybdenite and pyrite in the Baishan Mo-Re deposit , eastern Tianshan , NW China , and its geological significance J J. Mineralium Deposita , 39 :960-969.
- Zonenshain L P , Kuzmin M L and Natapov L M. 1990. Geology of the USSR : A Plate tectonic synthesis[ M ]. American Geophysical Union , Washington D C. 1-242.