

新疆塔里木盆地西南缘塔木铅锌矿床矿石管状构造特征与成因*

杨向荣^{1,2,3} 彭建堂¹ 胡瑞忠^{1**} 戚华文¹ 刘燊¹
YANG XiangRong^{1,2,3}, PENG JianTang¹, HU RuiZhong^{1**}, QI HuaWen¹ and LIU Shen¹

1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002
 2. 新疆大学地质与勘查工程学院, 乌鲁木齐 830049
 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049
1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China
2. College of Geology and Engineering of Exploration, Xinjiang University, Urumqi 830049, China
3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
- 2008-09-25 收稿, 2008-12-26 改回.

Yang XR, Peng JT, Hu RZ, Qi HW and Liu S. 2009. Characteristics and genesis of ore tube structure of Tamu zinc-lead deposit, southwest margin of Tarim Basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4):977-983

Abstract Based on the observation of hand specimens and microscopic scale section samples, the tube structure ores show axisymmetric characteristics in Tamu zinc-lead deposit. This structure is resulted from dissolution and metasomatism, which reflect the sulfide mineralization (sphalerite) and dissolution (dolostone I) are contemporaneous and indicate mineralization relates to two processes dissolution-metasomatism and cavity filling. Moreover, the pulse-styled fluid movement induces the more complex axisymmetric tubes.

Key words Tube structure; Genesis; Tamu zinc-lead deposit; Tarim Basin

摘要 通过对塔木铅锌矿手标本和显微镜下光薄片的观察, 矿石管状构造特征尤其是闪锌矿等硫化物分布形成的轴对称性管脉, 为溶蚀-交代和空隙充填作用的产物, 表现为硫化物沉淀伴随白云岩化灰岩溶解而发生, 暗示硫化物与溶蚀-交代及孔洞充填这两个过程有关。脉动成矿流体运动成了更为复杂的轴对称性管脉。

关键词 管状构造; 成因; 塔木铅锌矿; 塔里木盆地

中图分类号 P618.42; 618.43

矿石的结构构造记录了成矿物质迁移演化机制, 并反映成矿温度、压力、组份等特征, 具有重要的成因指示意义(如 Bogacz *et al.*, 1973; Ohle, 1980; Fontboté and Amstutz, 1982; McClay and Ellis, 1983; Sass - Gustkiewicz and Mochnacka, 1994; Corbella *et al.*, 2004; Kelley *et al.*, 2004), 是矿床研究的基础和重点之一。铅锌矿床矿石结构构造特征及其成因指示意义因此倍受关注(Bogacz *et al.*, 1973; Fontboté and Amstutz, 1982, 1983; Fontboté and Gorzawski, 1990; Sass-

Gustkiewicz and Mochnacka, 1994; Corbella *et al.*, 2004)。

塔木铅锌矿(东经 76.18°, 北纬 38.42°)位于塔里木西南缘泥盆系-石炭系碳酸盐岩及碎屑岩断褶带中(图 1), 为塔木-卡兰古铅锌成矿带典型矿床。前人对该区矿床进行了大量的稳定同位素、铅同位素、流体包裹体等的研究(祝新友等, 1997, 1998; 王书来等, 2001, 2002; 匡文龙等, 2002a, b; 印建平等, 2003a, b)。但塔木铅锌矿床手标本及显微尺度下矿石管状构造这一重要地质现象却被忽视了, 鉴于其具有

* 中科院创新项目(KZCX2-YW-107-6)和国家科技支撑计划项目(2006BAB07B04-04)资助。

第一作者简介: 杨向荣, 1972年生, 副教授, 博士研究生, 矿物、岩石、矿床学专业, E-mail: paul_yxr@sina.com

** 通讯作者: 胡瑞忠, E-mail: huruizhong@vip.gyig.ac.cn

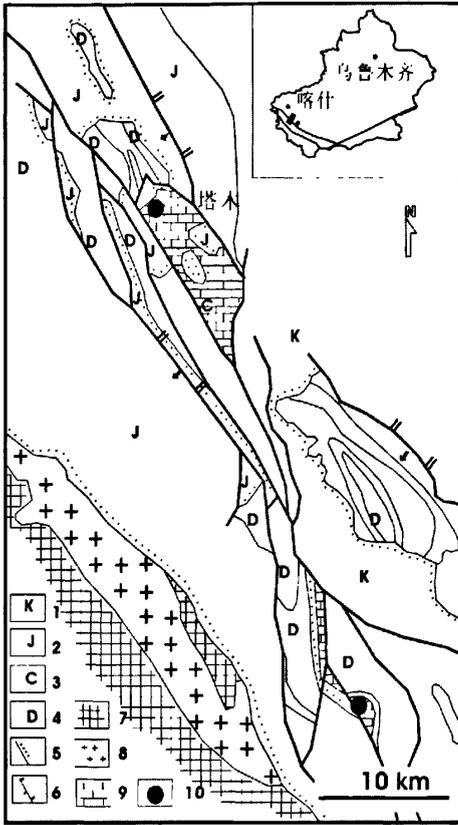


图1 塔木铅锌矿床区域地质略图
 1-白垩系;2-侏罗系;3-石炭系;4-泥盆系;5-不整合接触界线;6-逆冲断层;7-中-上古元古变质岩;8-花岗岩;9-碳酸盐岩;10-铅锌矿
 Fig. 1 The geological sketch map of Tamu lead-zinc deposit
 1-Cretaceous; 2-Jurassic; 3-Carboniferous; 4-Devonian; 5-unconformable contact; 6-trust fault; 7-mid-upper Proterozoic metamorphic rock; 8-granite; 9-carbonate; 10-zinc-lead ore deposit

重要成因指示意义,本文拟就塔木铅锌矿矿石管状特征及成因意义进行讨论。

1 矿床地质特征

1.1 赋矿围岩

塔木铅锌矿床赋存于泥盆纪碎屑岩和石炭纪碳酸盐岩白云岩化断层角砾岩接触带,并沿断层角砾岩带展布(图2)。断层角砾岩带中的角砾呈次棱角状-次圆状且不含硫化物,碳酸盐脉穿插在角砾岩带中,硫化物呈管脉、网脉及团包分布其中。

区域上,上泥盆统奇自拉夫组(D₃q)为一套滨海-陆相正常沉积的碎屑岩,由紫红、灰绿色石英砂岩、粉砂岩和砾岩组成,与上覆克里塔格组(C₁k),下伏克孜勒陶组(D₂kz)以沉

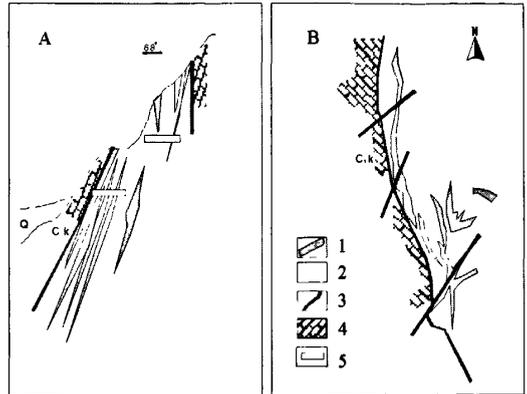


图2 塔木铅锌矿床剖面示意图(A)及地质略图(B)
 (修改自李博泉和王京彬, 2006)

1-矿体;2-角砾岩带;3-断层;4-C₁k白云岩化灰岩;5-平巷
 Fig. 2 Section sketch map (A) and regional sketch map (B) of Tamu zinc-lead deposit (Modified from Li and Wang, 2006)
 1-Orebody; 2-Breccia belt; 3-Fault; 4-Dolomitized carbonate, C₁k; 5-Level

积物变质,生物碎屑灰岩出现分界,皆为整合接触,局部为断层接触,该组含少量植物化石,依据 *Leptophloeum rhombicum* 植物化石而定为晚泥盆世形成。下石炭统克里塔格组(C₁k)与上覆和什拉甫组及下伏奇自拉夫组均为整合接触的一套含海相珊瑚、腕足类、腹足类、双壳类的碳酸盐岩夹少量碎屑岩建造,与下伏奇自拉夫组以红色陆相粗碎屑岩的出现分界,化石丰富,根据岩石组合特征及所产化石,应属浅海相沉积环境,形成时代为早石炭世早期(蔡士赐,1999)。

1.2 矿脉与含矿岩石接触关系

塔木铅锌矿矿脉与赋矿围岩的接触关系主要有穿切接触(图版 2a, b)、平行接触(图版 2c)以及胶结接触(图版 2d)。矿脉多穿切成岩期压溶缝合线或压实作用形成的微细亮晶碳酸盐脉(图版 2a, b)。

在裂隙发育或碎裂明显的样品中,矿脉与含矿岩石接触关系突然由穿切或胶结接触,转变为矿脉的局部膨大。平行或近似平行矿脉截面呈现出不规则且具对称韵律的条带特征(图版 1a~e),垂直矿脉截面上呈现管状形态(图版 3a~d)。

矿脉与角砾接触边形态与角砾自身结构构造有一定的联系。角砾为薄层状构造,其接触边多为锯齿状(图版 4a);角砾为块状构造,其接触边多为渐变(图版 4b),或不规则胶结(图版 4c)。

2 管状构造

通常硫化物可形成于沉积、成岩及成岩后三个阶段。沉

表 1 闪锌矿条带形态特征要素对比

Table 1 Comparison of geometric elements distinguished in sphalerite rhythmities

| 阶段 | 塔木铅锌矿 | 波兰 Trzebionka 矿 ^[1] | 波兰 Trzebionka 矿 ^[2] | 波兰 Trzebionka 矿 ^[3] |
|-------------|---------------------------|--|--|--|
| 成 岩 后 | 充填期 | (8),(9),(10) 充填期闪锌矿 III(IIIa, IIIb), 粗粒方铅矿 (5) 白云石 II (7) 闪锌矿 II, 中粒方铅矿 | 4 未矿化白云岩崩解 3 闪锌矿交代边 2 闪锌矿结壳 1 溶蚀空洞 | d 中央空洞 c 白铁矿 ZnS IIIb 自形晶体 ZnS IIa 集合体 b ZnS II 交代边 ZnS I 浸染状 a 未矿化白云岩崩解 |
| | 溶蚀-交代期 | (6) 闪锌矿 I, 细粒方铅矿, 微量 黄铁矿和黄铜矿 | | |
| | 白云岩化- 重结晶期 | (4) 白云石 I (3) 重结晶第 I 期白云岩化灰岩 | | |
| 成岩期 | (2) 第 I 期白云岩化灰岩 (1) 灰岩 | | III 中央空洞 II c 黄铁矿和白铁矿 b 半自形闪锌矿 a 块状闪锌矿集合体 I 闪锌矿和白云石集合体 | |

注:[1] Bogacz *et al.* (1973); [2] Fontboté and Amstutz (1982); [3] Sass-Gustkiewicz and Mochnacka (1994)

积形成的硫化物纹层多呈层状,在平行纹层层面上表现出层状特点,该纹层具有层理,且与上下细层整合接触,层内可浸染状、树枝状、不规则束状分布硫化物(Kelley *et al.*, 2004),可见有闪锌矿、方铅矿及重晶石显微尺度条带或间层(worm fossils)(Moore *et al.*, 1986),在垂直纹层的断面上表现出条带特征,条带可表现出垂向上的韵律(如 Large *et al.*, 2001; Dumoulin *et al.*, 2004; Kelley *et al.*, 2004; Holland, 2005),但无明显的对称性。

成岩期常见的成岩作用有溶解作用、胶结作用、重结晶作用、压溶作用、压实作用及交代作用。压实作用多导致颗粒之间出现面接触,颗粒内部出现裂纹或裂隙(McClay and Ellis, 1983),这些颗粒内部孔隙为亮晶充填,塑性-半塑性颗粒呈长条状定向排列,甚至被挤压进入相对刚性的颗粒间孔。交代作用多为白云岩化、去白云岩化、硅化作用、硫酸盐化、去硫酸盐化作用等(Kelley *et al.*, 2004)。

成岩后主要以溶蚀作用、交代作用及孔隙充填作用为主(Corbella *et al.*, 2004)。溶蚀-孔隙充填多形成以孔隙中心为轴的对称性(abcba),表现出轴对称的特点,垂直截面上,表现出管脉特点,平行截面呈现条带特点,而塔木铅锌矿大量的样品就表现出手标本尺度或显微尺度下的管状构造(图版 1a~e)。

除沉积过程形成的无明显对称性韵律和上下细层整合接触的矿石条带(纹层)易于鉴别外,成岩期溶解、交代及重结晶作用与成岩后溶蚀、交代及充填作用的鉴别就成为讨论重点。

Bogacz *et al.* (1973), Fontboté and Amstutz (1982) 和 Sass-Gustkiewicz and Mochnacka (1994)就波兰与岩浆活动不密切的赋存于碳酸盐岩中的铅锌矿—Trzebionka 矿区讨论了闪锌矿条带及其成因。类似研究还可见于 Fontboté and

Amstutz (1983) 和 Fontboté and Gorzawski (1990)对秘鲁中部与岩浆活动关系不密切的赋存于碳酸盐岩中的铅锌矿—San Vicente 矿区和欧洲中部及南部层状 Pb-Zn-(Ba-F) 矿床。但 Bogacz *et al.* (1973) 和 Fontboté and Amstutz (1982) 就 Trzebionka 矿床各自提出了两个截然相反的闪锌矿条带成因模式,而关键分歧是闪锌矿条带是成岩期的还是成岩后的。

对于波兰 Trzebionka 矿区 Fontboté and Gorzawski (1990) 将闪锌矿韵律条带解释为这种韵律条带尽管不是对沉积韵律的继承,但却是结晶与重结晶的产物,通常其发生在成岩期,并建议使用“结晶韵律条带”或“成岩期结晶韵律条带(DCR)”这一术语。但是 Bogacz *et al.* (1973) 将闪锌矿韵律条带的成因解释为含矿白云石(OBD)的溶解,硫化物在孔隙中的沉淀及孔隙侧壁的交代作用的共同作用结果。

由于塔木铅锌矿平行矿石管状构造截面呈现对称韵律条带特征,且赋存于碳酸盐岩,与岩浆活动关系不密切,因此关于波兰 Trzebionka 矿床的闪锌矿条带讨论有助于理解塔木矿石管状构造并揭示其成因指示意义。

2.1 管状构造的形成

Sass-Gustkiewicz and Mochnacka (1994)总结了闪锌矿条带的形态特征及其成因联系,并指出其具有鉴别比较意义。但对于这些形态特征及其成因,不同研究者有着不同的认识(表 1)。

塔木铅锌矿床管状构造垂直截面如图版 3a~d,鉴于图 3 所示现象完整且很具代表性,特以其为例作详细讨论。含矿白云岩化碳酸盐岩起源于灰岩(图 3-(1))。早期的交代作用主要导致第 I 期白云岩化灰岩(图 3-(2))的形成,包括以镶嵌接触雾心亮边结构为特点的重结晶第 I 期白云岩(图 3-(3))。进一步的白云岩化导致形成了局部星点状纯的白

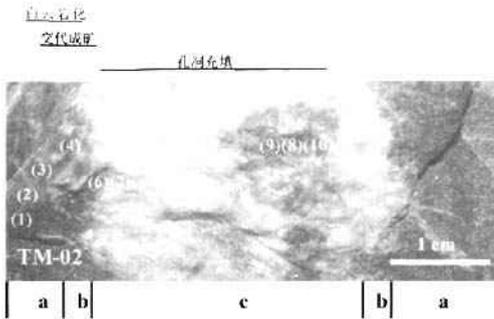


图3 管状构造

(1)-灰岩;(2)-第1期白云岩化灰岩;(3)-重结晶第1期白云岩;(4)-白云石 I;(5)-白云石 II;(6)-闪锌矿 I;(7)-闪锌矿 II;(8)-闪锌矿 IIIa;(9)-闪锌矿 IIIb;(10)-闪锌矿 III; a-白云岩化; b-交代成矿; c-孔洞充填

Fig. 3 The tube structure of ore

(1)-limestone; (2)-dolostone I; (3)-recrystallized dolostone I; (4)-dolomite I; (5)-dolomite II; (6)-sphalerite I; (7)-sphalerite II; (8)-sphalerite IIIa; (9)-sphalerite IIIb; (10)-sphalerite III. a-dolomitization; b-ore replacement; c-open space filling

白云石 I(图 3-(4))。充填期形成自形、中粗粒、镶嵌接触的白云石 II(图 3-(5))。白云岩化过程伴随碳酸盐矿物的溶解及孔洞的形成。这些孔洞多被粗粒白云石(图 3-(5))(白云石 II)充填。

伴随着第 1 期白云岩化灰岩的交代形成了星点状的交代成因暗黑色闪锌矿(闪锌矿 I, 图 3-(6))、细粒方铅矿、微量黄铁矿和黄铜矿,进一步的交代作用导致第 1 期白云岩化灰岩的崩解和局部形成纯白云石(白云石 I),产生大量的暗绿色-暗黄色闪锌矿(闪锌矿 II, 图 3-(7))和中粒的方铅矿。闪锌矿 II 总体出现于充填期白云石(白云石 II)靠溶蚀侧壁,白云石从侧壁向内粒度变粗。闪锌矿 I 与闪锌矿 II 呈渐变接触关系,向孔洞中心方向粒度变粗,于孔洞侧壁形成类管壁形态。继续的溶蚀交代作用导致孔洞继续扩大,孔洞被白云石 II 所充填并嵌布着自形-半自形亮黄色或浅棕色粗粒闪锌矿(闪锌矿 III, 图 3-(10))或粗粒方铅矿,闪锌矿 III 可以分为两类,即边缘处亮黄色结晶粗粒闪锌矿(闪锌矿 IIIb, 图 3-(9))以及位于中心的亮黄色集合体闪锌矿(闪锌矿 IIIa, 图 3-(8))。黄铁矿和方铅矿可以出现在多个阶段,但以闪锌矿 I、II 形成阶段为主。对于孔洞充填这一现象,其可以发生在溶蚀交代作用完成后的任何时间。

因此从矿主管脉单个截面所展示的形成顺序上可以看出,溶蚀作用开辟了交代空间,交代作用导致了闪锌矿 II 为代表的硫化物的形成并进一步促进了侧壁溶蚀作用,形成了大量的中央空洞,同时导致多个溶蚀孔洞互联互通并沿流体运动空间的侧壁形成硫化物层,后期的碳酸盐矿物的充填作用填补了这些孔洞并在局部嵌布闪锌矿 III。

2.2 管状构造特征与形成机制

根据塔木铅锌矿手标本和镜下观察,管脉为溶蚀-交代作用的产物,即白云岩化灰岩溶蚀-硬石膏(李博泉和王京彬, 2006)被富烃流体交代形成硫化氢等产物导致金属硫化物沉淀,并进一步导致白云岩化灰岩的溶蚀的共同结果。由于交代作用可以在任何阶段终止,因此矿石中可以表现出多种交代产物组合形成的不规则截面下的对称韵律条带,如白云岩化灰岩-白云石 I-白云岩化灰岩、白云石 I-浸染状硫化物-白云石 I、白云石 II-硫化物集合体-白云石 II 等。若存在成矿流体再次沿原管状构造未完全充填孔洞发生溶蚀-交代作用则多形成硫化物₁-白云石 II₁-硫化物₂-白云石 II₂-硫化物₂-白云石 II₁-硫化物₁的复杂对称韵律(图版 1c~e)。沉淀的硫化物可以是闪锌矿、方铅矿也可以是黄铁矿,其管状截面可综合概括为:白云岩化灰岩-白云石 I-黄铁矿、黄铜矿、细粒方铅矿、闪锌矿 I-中粒方铅矿、闪锌矿 II-白云石 II-闪锌矿 III、粗粒方铅矿-白云石 II-闪锌矿 II、中粒方铅矿-闪锌矿 I、细粒方铅矿、黄铜矿、黄铁矿-白云石 I-白云岩化灰岩,其中黄铁矿、黄铜矿、粗粒方铅矿、中粒方铅矿较为少见(图版 2e)。

这一溶蚀-交代作用可被概括为碳酸盐岩易于溶解于弱酸性环境、塔里木盆地西部和西南部半闭塞台地相沉积的碳酸盐岩-碎屑岩为石炭系烃质源岩(贾承造等, 1997)、矿床中可见沥青球粒或团块(图版 5a-5c)和硬石膏(李博泉和王京彬, 2006),由于存在 $\text{SO}_4^{2-} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ (Worden *et al.*, 1996; Spangenberg *et al.*, 1996; Corbella *et al.*, 2004; 朱光有等, 2006),及 $\text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} + 2\text{H}^+$,故溶蚀-交代作用得以发生,具体硫化物沉淀次序受金属离子浓度及其硫化物溶度积(K_{sp})控制。

2.3 管状构造的继承性

通过对塔木铅锌矿大量的镜下及手标本的观察,可以指出:①交代作用和碳酸盐岩的溶蚀广泛存在;②交代作用伴随溶蚀作用发生;③溶蚀作用强度与交代作用强度相关。

硫化物主要为溶蚀-交代作用及孔洞充填作用形成,早期阶段以浸染状交代为主,形成白云岩化灰岩中的星点状硫化物,并产生早期显微尺度下的溶蚀孔洞。当溶蚀继续发展,这些孔洞为大规模含矿流体的运移开辟了通道。随后的交代作用导致孔洞的扩大及相互间的连通(图版 2d),持续的含矿流体通过孔洞与未交代部分发生溶蚀-交代并导致矿化(闪锌矿、方铅矿)和溶蚀(白云岩化灰岩)的同时发生。孔洞的增大过程伴随着白云岩化灰岩被彻底溶蚀或为闪锌矿 II 代表的硫化物在孔洞侧壁的沉淀(图版 1e)。最后孔洞为白云石 II 及闪锌矿 III 或粗粒方铅矿所充填(图版 3a~d)。

因此塔木铅锌矿管脉侧向截面表现出的对称韵律条带并非对沉积层理的继承,而是后生溶蚀-交代作用沿易溶蚀方向溶蚀交代的产物,其可以为沉积岩中不同岩性的界面,

也可以是裂隙、破碎带等。

3 管状矿脉的成因

塔木铅锌矿管脉及其侧向截面表现出的对称韵律条带为白云岩化灰岩溶蚀及硫酸盐还原导致硫化物交代沉积的产物。交代与溶蚀作用是紧密相关的、同时发生的，且其发生早于孔洞充填。鉴于闪锌矿条带穿切压溶缝合线构造及重结晶亮晶碳酸盐微细脉，故塔木铅锌矿管脉形成晚于成岩早期，且矿化包括两个过程：溶蚀-交代及孔洞充填。

通过上述讨论，塔木铅锌矿管脉具有以下成因特点：

- (1) 塔木铅锌矿管状构造是白云岩化灰岩溶蚀-交代的产物，具有轴对称特征；
- (2) 矿化与白云岩化灰岩的溶蚀是同时发生的；
- (3) 塔木铅锌矿管状构造分布不均匀且空间上连续性差，受岩性界面、裂隙或破碎带控制；
- (4) 矿化包括两个过程：溶蚀-交代过程及孔洞充填过程；
- (5) 成矿流体运动具有脉动特征。

4 结论

通过对塔木铅锌矿结构构造特征及成因分析可以指出：

- (1) 塔木铅锌矿成矿流体来自于深部或侧向，沿断层破碎带通过对碳酸盐岩原生空隙或围岩裂隙进行溶蚀开辟成矿流体运移空间。
- (2) 随着运移通道的扩大和溶蚀大量的白云石，成矿流体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 过量积累产生大量碳酸盐矿物充填于运移通道，成矿流体中少量的金属离子 Zn^{2+} 在稀溶液条件下产生结晶粗大的闪锌矿充填于成矿流体运移通道轴部。

致谢 在本文撰写过程中，中国地震局刘春茹博士帮助查阅了大量文献，中国科学院地球化学研究所李晓彪博士、周家喜博士为本次研究提供了岩矿光薄片鉴定、照相等方面；耿跃成工程师为本次研究磨制了大量的光薄片，薛春纪教授、祝新友教授级高工审阅稿件提出宝贵修改建议，使本文得以完善，在此一并表示感谢。

References

Bogacz K, Dzylunski S, Haranczyk C and Sobczynski P. 1973. Sphalerite ores reflecting the pattern of primary stratification in the Triassic of the Cracow-Silesian Region. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 43: 285 - 300

Cai TC. 1999. *Petrological Strata of Xinjiang Uigur Municipality*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 236 - 256 (in Chinese)

Corbella M, Ayora C and Cardellach E. 2004. Hydrothermal mixing, carbonate dissolution and sulfide precipitation in Mississippi Valley-type deposits. *Mineralium Deposita*, 39(3): 344 - 357

Dumoulin JA, Harris AG, Blome CD and Young LE. 2004. Depositional settings, correlation, and age of Carboniferous rocks in the Western Brooks Range, Alaska. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 99(7): 1355 - 1384

FontbotéL and Amstutz GC. 1982. Observations on ore rhythmites of the Trzebieńka Mine, Upper Silesian-Cracow Region, Poland. In: Amstutz GC, El Goresy A, Frenzel G, Kluth C, Moh G, Wauschkuhn A and Zimmermann R (eds.). *Ore Genesis; the State of the Art*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 83 - 91

FontbotéL and Amstutz GC. 1983. Facies and sequence analysis of diagenetic crystallization rhythmites in strata-bound Pb-Zn-(Ba-F) deposits in the Triassic of Central and Southern Europe. In: Schneider HG (ed.). *Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe*. Heidelberg: Springer-Verlag, 347 - 358

FontbotéL and Gorzawski H. 1990. Genesis of the Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit of San Vicente, Central Peru: Geologic and isotopic (Sr, O, C, S, Pb) evidence. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 85(7): 1402 - 1437

Holland HD. 2005. 100th Anniversary Special Paper: Sedimentary mineral deposits and the evolution of Earth's near-surface environments. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 100(8): 1489 - 1509

Jia CZ, Wei GQ, Wang LS, Jia D, Guo SJ, Shao XZ, Mao RS, Gao ZH, Zhang ZM, Xiao AC, Zhang JR, Chen ZC, Li LC, Zhou YD, Lu HX, He DF, Yin XH, Fang DJ, Lv BQ, Zhang ZS, Zhou ZY, Yang SF, Zhao JZ, Xu BR, Lin HS and Wang J. 1997. *The Characteristics of Structures and Oil of Tarim Basin, China*. Beijing: Industry of Petroleum Press, 398 - 398 (in Chinese)

Kelley KD, Leach DL, Johnson CA, Clark JL, Fayek M, Slack JF, Anderson VM, Ayuso RA and Ridley WL. 2004. Textural, compositional, and sulfur isotope variations of sulfide minerals in the Red Dog Zn-Pb-Ag deposits, Brooks Range, Alaska: Implications for ore formation. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 99(7): 1509 - 1532

Kuang WL, Gao ZQ, Yin JP, Zhu ZQ and Liu SH. 2002a. Study on metallogenetic process of Tamu MVT type lead-zinc ore deposit and the source of metallogenetic material in west of Kunlun. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 21(4): 253 - 257 (in Chinese with English abstract)

Kuang WL, Liu JS, Zhu ZQ and Liu SH. 2002b. Metallogenesis of Kalangu MVT type lead-zinc deposit and sources of mineralogical materials in Western Kunlun. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(4): 423 - 428 (in Chinese with English abstract)

Large RR, Bull SW and Winefield PR. 2001. Carbon and oxygen isotope Halo in carbonates related to the McArthur River (HYC) Zn-Pb-Ag deposit, North Australia: Implications for sedimentation, ore genesis, and mineral exploration. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 96(7): 1567 - 1593

Li BQ and Wang JB. 2006. *Lead-Zinc Deposits in Xinjiang, China*. Beijing: Geological Publishing House, 66 - 68 (in Chinese with English abstract)

McClay KR and Ellis PC. 1983. Deformation and recrystallization of pyrite. *Mineralogical Magazine*, 47(345): 527 - 538

Moore DW, Young LE, Modene JS and Plahuta JT. 1986. Geologic setting and genesis of the Red Dog zinc-lead-silver deposit, Western Brooks Range, Alaska. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 81(7): 1696 - 1727

Ohle EL. 1980. Some considerations in determining the origin of ore deposits of the Mississippi Valley type; Part II. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 75(2): 161 - 172

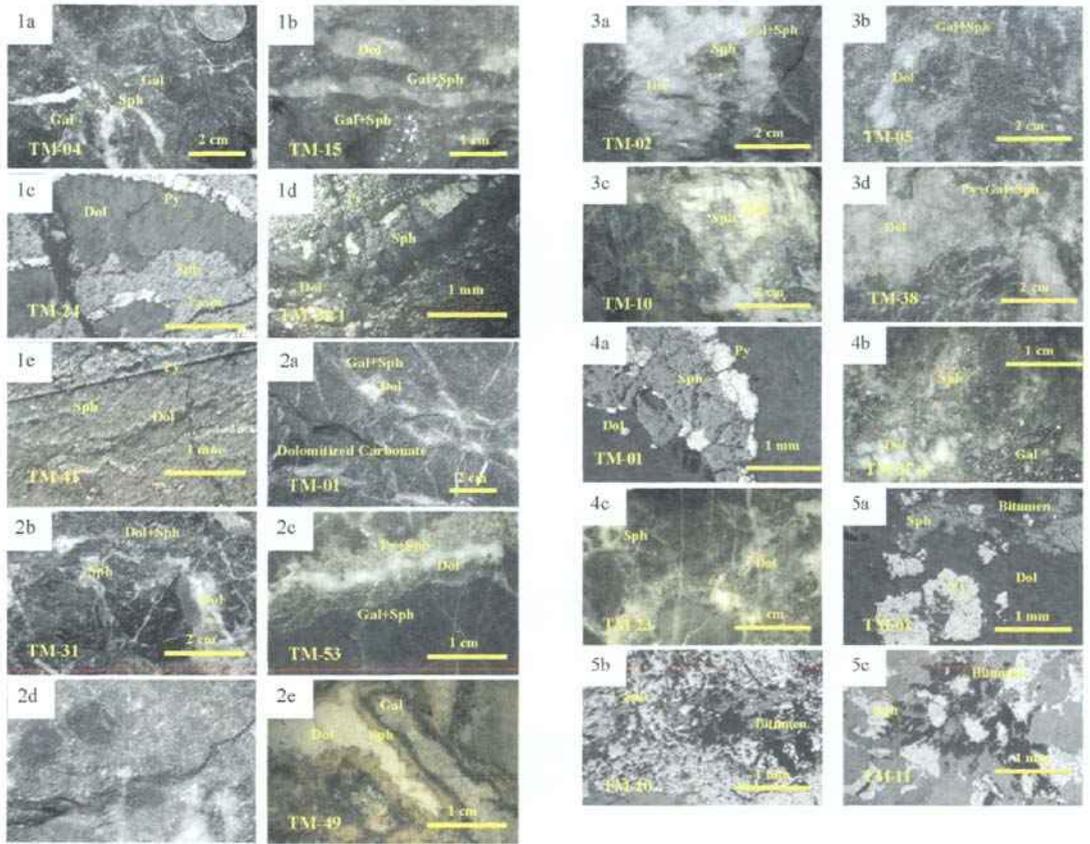
Sass-Gustkiewicz M and Mochacka K. 1994. Genesis of sphalerite rhythmites from the Upper-Silesian zinc-lead deposits: A discussion. In: FontbotéL and Boni M (eds.). *Sediment-Hosted Zn-Pb Ores. Special Publication of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: Springer-Verlag, 219 - 227

Spangenberg J, FontbotéL, Sharp ZD and Hunziker J. 1996. Carbon and

- oxygen isotope study of hydrothermal carbonates in the zinc-lead deposits of the San Vicente District, Central Peru: A quantitative modeling on mixing processes and CO₂ degassing. *Chemical Geology*, 133(1-4): 289-315
- Wang SL, Wang DP and Zhu XY. 2001. The fluid inclusion in MVT lead-zinc deposit in southwest margin of Tarim. *Mineral Resources and Geology*, 15(4): 238-242 (in Chinese with English abstract)
- Wang SL, Wang DP, Zhu XY, Wang JB and Peng SL. 2002. Ore-fluid geochemistry of Tamu-Kala Pb-Zn deposit in Xinjiang. *Geology-Geochemistry*, 30(4): 34-39 (in Chinese with English abstract)
- Worden RH, Smalley PC and Oxtoby NH. 1996. The effects of thermochemical sulfate reduction upon formation water salinity and oxygen isotopes in carbonate gas reservoirs. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(20): 3925-3931
- Yin JP, Tian PR, Qi XX and Chen KQ. 2003a. Characteristics of geology and geochemistry of ore-bearing formation in Tamu-Kalangu lead-zinc-copper ore belts in western Kunlun Mountain. *Geoscience*, 17(2): 143-150 (in Chinese with English abstract)
- Yin JP, Wang XD, Li M and Zhou ZJ. 2003b. A cobalt deposit discovered in copper-bearing sandstone-shale in the Karatax ore district, western Kunlun Mountains. *Geological Bulletin of China*, 22(9): 736-740 (in Chinese with English abstract)
- Zhu XY, Wang DP and Wang SL. 1997. Geology of the Tamu-Kalangu MVT Pb-Zn belt, Xinjiang. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 6(4): 202-207 (in Chinese with English abstract)
- Zhu XY, Wang DP and Wang SL. 1998. Geology and sulfur isotope geochemistry of the Tamu-Kalangu lead-zinc deposits, Akto County, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 17(3): 204-214 (in Chinese with English abstract)
- Zhu GY, Zhang SC, Liang YB, Ma YS, Dai JX and Zhou GY. 2006. Dissolution and alteration of the deep carbonate reservoirs by TSR: An important type of deep-buried high-quality carbonate reservoirs in Sichuan Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 22(8): 2182-2194 (in Chinese with English abstract)
- 张宗命, 肖安成, 张家茹, 车自成, 李良辰, 周东延, 卢华复, 何登发, 殷秀华, 方大钧, 吕炳全, 张振生, 周中毅, 杨树锋, 赵靖舟, 许炳如, 陈汉林, 王钧. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 398-398
- 匡文龙, 高珍权, 印建平, 朱自强, 刘石华. 2002a. 西昆仑地区塔木 MVT 型铅锌矿床成矿作用和成矿物质来源探讨. *矿物岩石地球化学通报*, 21(4): 253-257
- 匡文龙, 刘继舜, 朱自强, 刘石华. 2002b. 西昆仑地区卡兰古 MVT 型铅锌矿床成矿作用和成矿物质来源探讨. *大地构造与成矿学*, 26(4): 423-428
- 李博泉, 王京彬. 2006. 中国新疆铅锌矿床. 北京: 地质出版社, 66-68
- 王书来, 汪东波, 祝新友. 2001. 塔里木西南缘 MVT 型铅锌矿床流体包裹体研究. *矿产与地质*, 15(4): 238-242
- 王书来, 汪东波, 祝新友, 王京彬, 彭省临. 2002. 新疆塔木—卡兰古铅锌矿床成矿流体地球化学特征. *地质地球化学*, 30(4): 34-39
- 印建平, 田培仁, 戚学祥, 陈克强. 2003a. 西昆仑塔木—卡兰古铅锌铜矿带含矿岩系的地质地球化学特征. *现代地质*, 17(2): 143-150
- 印建平, 王旭东, 李明, 周志坚. 2003b. 西昆仑卡拉塔什矿区含铜砂页岩中发现钴矿. *地质通报*, 22(9): 736-740
- 祝新友, 汪东波, 王书来. 1997. 新疆塔木—卡兰古 MVT 铅锌矿带地质特征. *有色金属矿产与勘查*, 6(4): 202-207
- 祝新友, 汪东波, 王书来. 1998. 新疆阿克陶县塔木—卡兰古铅锌矿带矿床地质和硫同位素特征. *矿床地质*, 17(3): 204-214
- 朱光有, 张水昌, 梁英波, 马永生, 戴金星, 周国源. 2006. TSR 对深部碳酸盐岩储层的溶蚀改造——四川盆地深部碳酸盐岩优质储层形成的重要方式. *岩石学报*, 22(8): 2182-2194

附中文参考文献

- 蔡士赐. 1999. 新疆维吾尔自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 236-259
- 贾承造, 魏国齐, 王良书, 贾东, 郭召杰, 邵学忠, 马瑞士, 高增海,



1 塔木铅锌矿闪锌矿管网(矿体 I)

1a-2590 中段; 1b-2590 中段; 1c-2560 中段, 反射偏光; 1d-2560 中段, 反射偏光; 1e-2560 中段, 反射偏光

2 闪锌矿脉与赋矿围岩接触关系(矿体 I)

2a-穿切接触, 2590 中段; 2b-穿切接触, 2560 中段; 2c-平行接触, 2560 中段; 2d-胶结接触, 2560 中段; 2e-2560 中段, 反射偏光

Sph-闪锌矿; Py-黄铁矿; Dol-白云石; Gal-方铅矿; Dolomitized Carbonate-白云岩化灰岩; Bitumen-沥青

3 闪锌矿管网垂直切面(矿体 I)

3a-2590 中段; 3b-2590 中段; 3c-2653 中段; 3d-2560 中段

4 闪锌矿与围岩接触关系(矿体 I)

4a-锯齿状, 2590 中段, 反射偏光; 4b-渐变, 2560 中段; 4c-不规则胶结, 2560 中段

5 塔木铅锌矿中固态沥青

5a-反射偏光, 2590 中段; 5b-反射偏光, 2653 中段; 5c-反射偏光, 2653 中段