

东昆仑三岔口软玉成矿机制及成矿物源分析

周征宇, 廖宗廷, 马婷婷, 袁 媛

(同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092)

摘 要: 岩石地球化学分析表明, 东昆仑三岔口软玉矿床的成矿母岩主要为灰质白云岩, 与新疆和田等著名软玉矿区的成矿母岩相比, 该矿区软玉围岩贫 Mg 而富 Ca, 成矿 Mg 源相对不足而 Ca 强烈过剩。矿区出露的火成岩主要为基性辉长岩, 软玉为灰质白云岩与基性辉长岩岩体接触交代产物。通过对内外接触带常量元素含量变化趋势的分析, 认为碳酸盐岩提供了软玉成矿所需的 Ca, Mg 及 Fe^{2+} , 而火成岩体则提供了 Si, Fe^{3+} 以及 K, Na, Mn, Al, P 等物质。

关键词: 地球化学; 软玉; 矿床成因机制; 新疆

中图分类号: P611; P619. 283 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2006)03-0195-04

0 引言

软玉特指具有显微纤维交织结构的透闪石矿物集合体, 是经济价值较高的矿产资源之一。在中国悠久的历史传统文化中, 透闪石玉(软玉)一直占据着主导地位, 其中尤以和田羊脂白玉名扬天下。然而, 近 10 年来因软玉资源的日益枯竭, 市场上优质软玉的价格上涨已超过了 10 倍^[1]。值得关注的是, 自上世纪 90 年代在青海昆仑山三岔口地区发现软玉矿点以来, 沿东昆仑山脉又陆续发现了不少矿点。东昆仑地区极有可能是一极具潜力、储量巨大的软玉成矿带。因此, 对三岔口软玉矿床进行典型解剖将有助于我们更深入的了解东昆仑地区的软玉成矿规律、指导找矿勘探。我们曾撰文探讨了矿区火成岩体与成玉的关系^[2], 在此基础上, 本文拟结合对矿区碳酸盐岩围岩以及软玉矿体的岩石地球化学分析, 探讨该地区软玉的矿床成因机制, 以期为其他学者开展同类研究提供可借鉴的基础。

1 区域构造背景

通过 Magellan 320 型 GPS 对东昆仑三岔口软玉矿进行了精确定位, 矿区位于东经 $94^{\circ}22'125''$, 北

纬 $35^{\circ}54'627''$, 北距格尔木市 73.4 km, 海拔 4 250 m。矿区地处昆南断裂带以北, 昆中缝合带以南, 其中昆中断裂为南、北昆仑之间的分界断裂, 昆南断裂为东昆仑与巴颜喀拉地块的分界断裂, 分别代表了晚前寒武纪末期和晚古生代南北两侧陆块之间的碰撞和原、古特提斯洋盆的关闭^[3]。受板块开合运动的影响, 从元古代到晚白垩世都有岩浆活动^[4], 构造活动强烈, 断裂发育, 为软玉的形成和就位提供了良好的地质条件。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区内主要出露万保沟群青办食宿站组碳酸盐岩。地层分布于万保沟、青办食宿站及拖拉海沟一带^[5]。区域上分布于东昆仑中央断裂以南的广大地区, 为一套低绿片岩相浅变质岩石组成的碳酸盐岩构造地(岩)层。主要为硅质条带白云质大理岩、大理岩等, 厚度 543.15 m。

区内出露的火成岩主要为基性辉长岩体, 呈岩墙状沿断层侵入, 产状 $220^{\circ} \angle 61^{\circ}$ 。规模不大, 与碳酸盐岩层理斜交。断层两侧碳酸盐岩可见强烈褶皱, 并有硅化和滑石化。

2.1 矿体产状

三岔口矿区的软玉与围岩主要呈两种接触关系:

(1)与围岩呈渐变接触的软玉矿体。这类软玉矿体主要产于碳酸盐岩与侵入火成岩体的接触部位,从内接触带到外接触带依次为火成岩体→青玉→白玉→碳酸盐岩(图 1A)。

(2)与围岩呈突变接触的软玉矿体。这类软玉矿体主要产于接触带附近的碳酸盐岩围岩裂隙中。软玉矿脉的分布主要受围岩褶皱构造的控制,一般位于褶皱轴面弯曲处及褶皱轴附近的翼部。矿脉与碳酸

盐岩层理一致,产状也较为平缓。矿体规模不大,厚度一般不超过 50 cm,少数可达 1 m 以上(图 1B)。

从软玉矿体与围岩的接触关系我们可以看出,该矿区软玉是火成岩体和碳酸盐岩接触交代的产物,火成岩及碳酸盐岩不仅是软玉矿体的围岩,也是其成矿母岩。部分成矿流体曾经过一定距离的运移,由于环境(如 $p-t$ 条件)的骤变,在碳酸盐岩的裂隙中迅速交代填充,形成与围岩的突变接触关系。

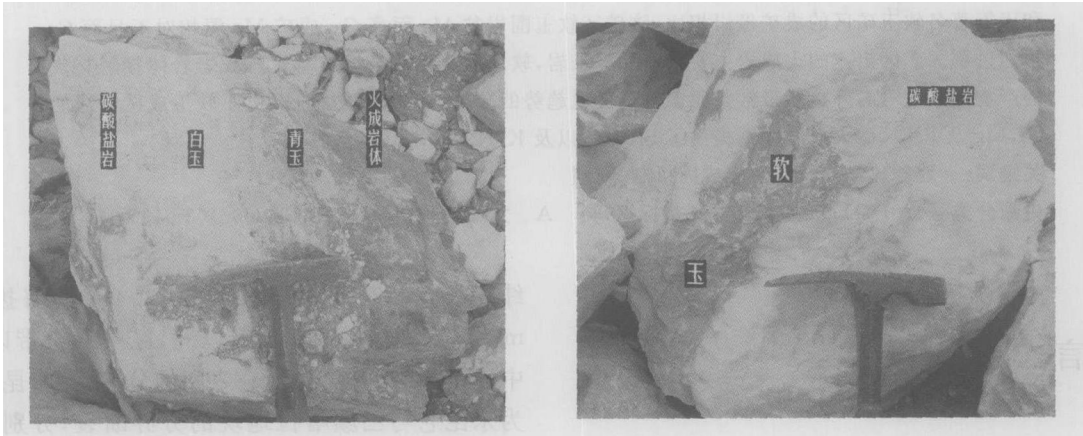


图 1 软玉与围岩的接触关系

Fig. 1 The contact relation of the country rock and the nephrite

3 岩石地球化学分析及解释

3.1 实验方法及测试结果

本次工作系统采集了东昆仑三岔口软玉矿区内出露的各类岩石化学样品,按照未蚀变围岩-矿化围岩-白玉-青玉-矿化火成岩体-未蚀变火成岩体的顺序,选取其中 16 个代表性岩样进行了 ICP-MS 岩石地球化学全分析(表 1)。

表 1 三岔口矿区围岩、软玉及火成岩体常量元素质量分数统计

Table 1 Petrochemical data for carbonate rocks occurred in Sandhakou, East Kunlun														$w_B/\%$
编号	Al	Ca	Fe ³⁺	Fe ²⁺	TFe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti	CO ₂	H ₂ O ⁺	备注
1	0	26.45	—	—	0.10	0	12.05	0.01	0	0.01	0	—	—	围岩(未蚀变)
2	0	23.49	—	—	0.13	0	10.84	0	0	0	0	—	—	围岩(未蚀变)
3	0	22.64	—	—	0.09	0	8.97	0	0	0	0	—	—	围岩(未蚀变)
4	0	25.33	—	—	0.04	0	7.11	0	0	0	0	—	—	围岩(弱矿化)
5	0.01	14.26	—	—	0.04	0	6.44	0.02	0	0	0	—	—	围岩(强烈矿化)
6	0.01	14.27	—	—	0.02	0	5.61	0.01	0	0	0	—	—	围岩(强烈矿化)
7	0.20	11.70	—	—	0.22	0	9.17	0	0.01	0	0	—	—	软玉(浅灰白)
8	0	11.49	—	—	0.16	0	11.44	0	0	0	0	—	—	软玉(浅灰白)
9	0.07	11.38	—	—	0.23	0	11.49	0	0.01	0	0	—	—	软玉(浅灰绿)
10	0.24	11.46	—	—	0.37	0.01	9.78	0.01	0.03	0	0	—	—	软玉(浅青灰)
11	0.51	10.86	—	—	0.48	0.19	8.34	0.01	0.02	0.01	0	—	—	软玉(浅青灰)
12	0.47	11.09	—	—	0.59	0.17	9.44	0.02	0.02	0.01	0	—	—	软玉(深青灰)
13	0.24	11.55	—	—	0.69	0	9.17	0.01	0.03	0.01	0	—	—	软玉(深青灰)
14	6.38	18.40	1.25	3.25	4.08	0.07	7.08	0.05	0.18	0.11	0.61	16.87	5.27	火成岩体(矿化)
15	6.23	6.99	2.34	3.15	5.49	0.66	4.32	0.08	2.99	0.19	0.61	0.06	1.17	火成岩体(未蚀变)
16	7.14	6.10	2.66	3.69	6.35	1.82	4.58	0.09	2.56	0.21	0.64	0.06	1.50	火成岩体(未蚀变)

注 1:测试单位:同济大学海洋地质国家重点实验室(样品 1~ 13),湖北省地质实验研究武汉综合岩矿测试中心(样品 14~ 16)。

注 2:“—”代表未测

3.2 岩石地球化学特征及其对成玉的影响

(1) 矿区围岩主要为由 Ca, Mg 组成的碳酸盐岩, $\text{Ca/Mg} = 1.31 \sim 1.53$, 根据 Todd (1966) 对碳酸盐岩的分类^[6], 围岩落入白云岩-灰质白云岩范围内。与纯透闪石 ($\text{Ca/Mg} = 0.4^{[7]}$) 相比, 围岩中的 Mg 严重不足。与新疆于田县阿拉玛斯玉矿和且末县塔特勒克苏玉矿的碳酸盐岩围岩 ($\text{Ca/Mg} = 1.04^{[8]}$, 属富镁白云岩) 相比, Ca 含量过高而 Mg 含量低。邓燕华 (1991) 曾指出碳酸盐岩中的 Mg 含量、厚度等因素对软玉的形成规模甚至种类都起着至关重要的作用^[9]。而正是由于矿区围岩无法源源不断地输出足够的 Mg, 同时 Ca 又始终处于过饱和状态, 因此形成了大量硅灰石、方解石等含钙较高的杂质矿物, 有时含量甚至可达 10% ~ 20% 以上^[10]。严重影响了三岔口软玉的质量^[11]。

未蚀变围岩 REE 型式显示 Eu 富集, Ce 正常 (图 2), 指示围岩形成于还原环境^[13]。

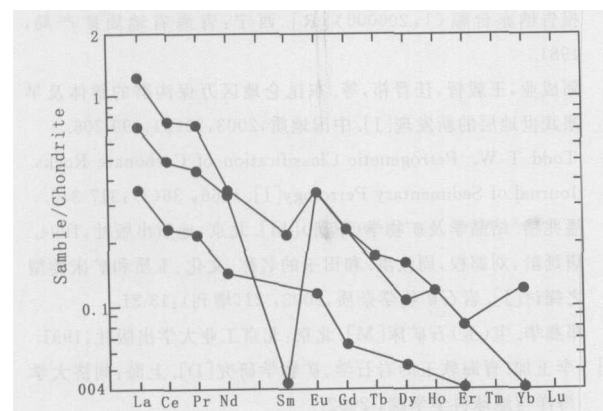
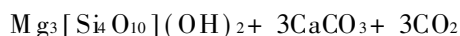
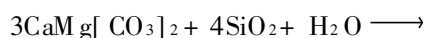


图 2 球粒陨石标准化 REE 型式 (Taylor 等, 1985^[12])

Fig. 2 The chondrite-normalized REE pattern of the carbonate rocks

(2) 火成岩体属典型的基性辉长岩^[2]。靠近软玉矿体一侧的矿化火成岩中 $w(\text{CO}_2)$ 高达 16.87%, 比未蚀变火成岩样品 (0.06%) 高出上百倍, 表明火成岩体遭受了碳酸盐岩的强烈交代。同时, 矿区有大量滑石与软玉伴生。滑石是典型的热液型矿物, 一般认为与含硅溶液作用条件下镁质碳酸盐岩的分解有关^[7]:



结合笔者在矿区采集的不少火成岩样品的裂隙中均见有方解石脉充填, 认为上述反应曾在矿区广

泛进行过。

大量滑石的出现对于软玉的形成可能具有双重意义: 一是表明矿区曾有大量的含硅热液活动, 有利于软玉的形成; 二是随着上述反应的进行, 消耗了碳酸盐岩中大量的 Mg, 不利于软玉的形成。

3.3 成矿元素的迁移

(1) Ca, Mg 的迁移。从未蚀变围岩 → 矿化围岩, Ca, Mg 含量总体呈逐渐减小的趋势 (图 3), 表明 Ca, Mg 属围岩带出成分。从未蚀变火成岩体 → 矿化的岩体, Ca, Mg 含量有显著增加的趋势, 表明对于火成岩 Ca, Mg 均属带入组分。因此, 软玉成矿流体中的 Ca, Mg 均应当来自于围岩。

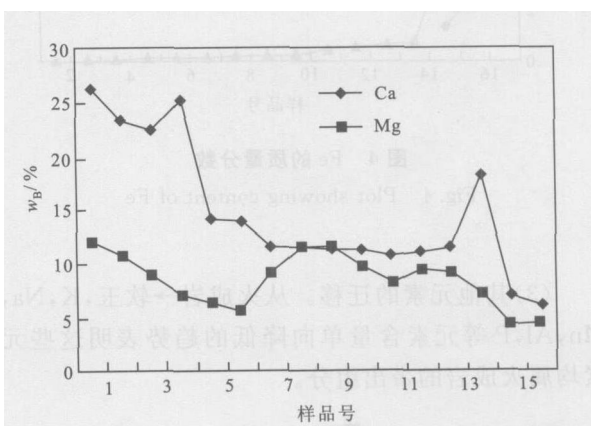


图 3 Ca, Mg 的质量分数

Fig. 3 Plot showing content of Ca, Mg

虽然 Ca, Mg 含量随采样点的迁移有着类似的变化趋势, 但其变化曲线的展布型式又有着明显的不同。突出表现在: Ca 含量变化曲线在位于软玉矿体两侧的样品 4 和样品 14 中均显示一高峰值。这可能代表成矿流体中存在大量过饱和 Ca, 一方面透闪石不断沉淀结晶, 另一方面 Ca 仍然不断从碳酸盐岩迁出, 最终于矿体两侧大量堆积。Mg 含量变化曲线在蚀变围岩中显示一低谷带, 并且离软玉矿体越近 Mg 含量越低。这可能代表碳酸盐岩中 Mg 曾被成矿流体大量的萃取, 而且越接近接触带, 萃取就愈强烈。这也从另一个侧面表明成矿流体中的 Mg 始终处于不饱和状态。

(2) Fe 离子的迁移。从火成岩 → 软玉, Fe^{3+} 含量有着单向减小的趋势; 而从未蚀变火成岩体 → 矿化火成岩, Fe^{2+} 含量则几乎未变。表明在成玉过程中火成岩中的 Fe^{3+} 有逐渐向围岩迁移的趋势, 而 Fe^{2+} 则几乎未有带进带出。

从围岩→软玉, Fe 元素总含量在未蚀变围岩中较高,而在矿化围岩中则较低。表明在与火成岩交代时,围岩中也有部分 Fe 离子被带出。而根据上文的分析,围岩处于较强的还原状态,在还原环境下, Fe^{3+} 呈惰性而 Fe^{2+} 为活性状态,据此可以认为围岩中迁出的多为 Fe^{2+} 。

而软玉中 Fe 总含量较蚀变围岩更高,则与成矿流体同时萃取吸收了火成岩体中的 Fe^{3+} 有关。

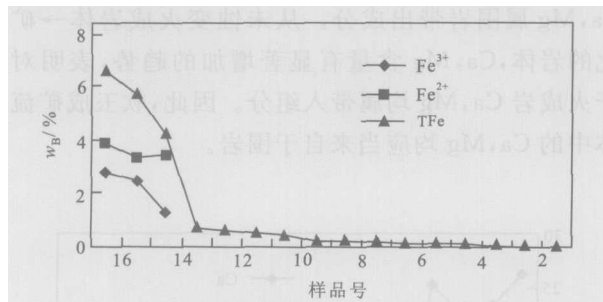


图 4 Fe 的质量分数

Fig. 4 Plot showing content of Fe

(3) 其他元素的迁移。从火成岩→软玉, K, Na, Mn, Al, P 等元素含量单向降低的趋势表明这些元素均属火成岩的带出组分。

4 结论

通过以上分析,得出以下几点结论:

(1) 东昆仑三岔口软玉为白云岩-灰质白云岩与基性辉长岩体接触交代的产物,不同于任何现有的报道过的软玉矿床成因类型,属于一种新的成因类型。

(2) 与新疆和田等地区相比,三岔口矿区围岩 Ca 过饱和而 Mg 严重不足,加上滑石的生成消耗了

大量的 Mg, 导致成矿 Mg 源供应不足而使大量 Ca 处于过饱和,因而三岔口软玉中常夹有大量的含钙杂质矿物。

(3) 碳酸盐岩提供了软玉成矿所需的 Ca, Mg 及 Fe^{2+} , 而火成岩体则提供了 Si, Fe^{3+} 以及 K, Na, Mn, Al, P 等物质。

参考文献:

- [1] 于莹. 2010 年我国珠宝销售将达 1800 亿[EB/OL]. <http://www.ben.com.cn/WLZB/20031028/GB/WLZB%5E838%5E7%5E28R645.htm>, 2004.
- [2] 周征宇, 廖宗廷, 马婷婷. 三岔口火成岩特征及其与软玉成矿的关系[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(11): 1532-1536.
- [3] 郑健康. 东昆仑区域构造的发展演化[J]. 青海地质, 1992, 1(1): 15-25.
- [4] 青海省地质矿产局第一区调队. 中华人民共和国区域地质调查报告纳赤台幅(1:200000)[R]. 西宁: 青海省地质矿产局, 1981.
- [5] 阿成业, 王毅智, 任晋祁, 等. 东昆仑地区万保沟群的解体及早寒武世地层的新发现[J]. 中国地质, 2003, 30(2): 199-206.
- [6] Todd T W. Petrogenetic Classification of Carbonate Rocks. Journal of Sedimentary Petrology[J]. 1966, 36(2): 317-340.
- [7] 潘兆橹. 结晶学及矿物学(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [8] 唐延龄, 刘德权, 周汝洪. 和田玉的名称、文化、玉质和矿床类型之探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(增刊): 13-21.
- [9] 邓燕华. 宝(玉)石矿床[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1991.
- [10] 李玉加. 青海软玉的岩石学、矿物学研究[D]. 上海: 同济大学海洋与地球科学学院, 2002.
- [11] 李冉, 廖宗廷, 李玉加, 等. 青海软玉中硅灰石的确定及其意义[J]. 宝石和宝石学杂志, 2004, (1): 17-19.
- [12] Taylor S R, Mclebbab S M. The continental crust: its composition and evolution[M]. London: Oxford, 1985.
- [13] 中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

STUDY ON THE GENETIC MECHANISM AND MATERIAL SOURCE OF SANCHAKOU NEPHRITE DEPOSIT IN EAST KUNLUN

ZHOU Zheng-yu, LIAO Zong-ting, MA Ting-ting, YUAN Yuan

(Ocean and Earth Science School, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: Through the geochemical study, we come to the conclusion that the wall rock of the nephrite deposit is mainly composed of dolomitized limestone. Compared with Hetian nephrite deposit, the wall

(下转第 202 页)

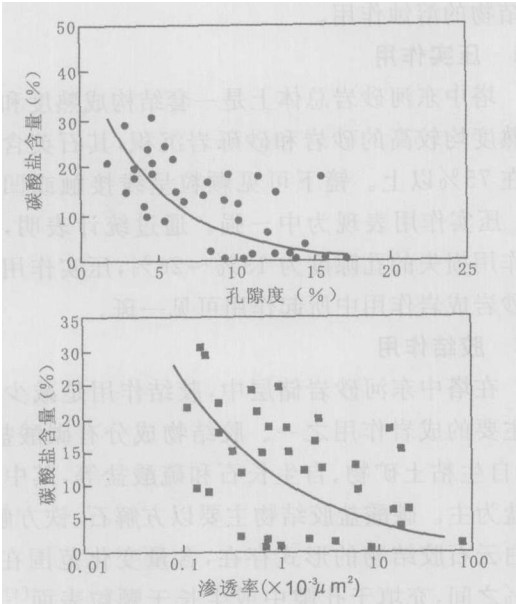


图 4 塔中东河砂岩物性与碳酸盐胶结物的关系

Fig.4 A diagram showing relation of physical property of Donghe sandstone to cementing carbonates

(2) 塔中东河砂岩粒度均值与孔隙度和渗透率的关系并不太密切,但仍具有一定的正相关关系,随

着砂岩颗粒的粒度增大,孔隙度和渗透率逐渐增高。

(3) 奥陶系碳酸盐岩潜山高部位及其周边地区,东河砂岩储层孔隙度与砂岩厚度存在正相关关系。当东河砂岩超覆在前石炭系的砂泥岩地层上时,砂岩厚度与孔隙度没有明显关系。

(4) 影响本区储层发育的主要成岩作用有压实作用、胶结作用和溶蚀作用,其中碳酸盐胶结物的溶蚀再迁移有效地改善了东河砂岩储层的物性。

参考文献:

[1] 钟大康,朱筱敏,周新源,等.塔里木盆地中部泥盆系东河砂岩成岩作用与储集性能控制因素[J].古地理学报,2003,5(3):378-390.
[2] 顾家裕.塔里木盆地石炭系东河砂岩沉积环境分析及储层研究[J].地质学报,1996,70(2):153-161.
[3] 赵澄林.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2001.
[4] 郑秀才.塔中地区东河砂岩的成岩作用和孔隙演化[J].西安地质学院学报,1997,19(2):35-40.

STUDY ON THE PHYSICAL FACTORS OF CARBONIFEROUS DONGHE SANDSTONE RESERVOIR IN TAZHONG AREA

WU Chang-jiang, DAI Zong-ang, LIU Shan-hua

(Resources and Environment Dept. of the Southwest Petroleum Institute, Chengdu 610500, China)

Abstract: The Carboniferous Donghe sandstone reservoir is an important oil-producing horizon in Tazhong area. Based on comprehensive study of the thin section of casting sand and cathode luminescent thin section, core and drill log data, grain size, thickness, diagenesis etc. of the sandstone are determined as the main influencing factors on physical property of the reservoir and compaction, cementing and dissolution are the main diagenetic factors that control the reservoir's physical property.

Key Words: Donghe sandstone; physical property of reservoir; grain size; thickness of sandstone; diagenesis; Tarim basin

(上接第 198 页)

rock here is short of Mg but enriched with Ca. The igneous rock exposed in the mining area is mainly gabbro. The nephrite is the result of the contact metasomatism of igneous rocks and carbonates. Trend analysis of the common elements change at the contact zone between the igneous rock and carbonate rock shows that the carbonates supplied the nephrite with Ca, Mg and Fe²⁺, and the igneous rocks Si、Fe³⁺ and some other trace elements such as K, Na, Mn, Al, P.

Key Words: geochemistry; nephrite; genetic mechanism; Xinjiang