

文章编号:1000-4734(2005)02-0191-06

九龙绿柱石晶体形貌研究

张良钜, 饶灿, 雷威

(桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

摘要:四川九龙绿柱石晶体形态有短柱状、板柱状、扁平板状以及板锥状晶体, 晶体上出现的单形有平行双面 $c\{0001\}$ 、六方双锥 $p\{10\bar{1}1\}$ 、 $s\{11\bar{2}1\}$ 、六方柱 $m\{10\bar{1}0\}$ 、 $a\{11\bar{2}0\}$ 以及复六方双锥 $v\{21\bar{3}1\}$ 、 $n\{31\bar{4}1\}$ 。利用微分干涉显微镜等手段, 对九龙绿柱石晶体进行了形貌研究, 发现 $\{0001\}$ 、 $\{11\bar{2}1\}$ 和 $\{10\bar{1}0\}$ 面上具有丰富的表面微形貌。晶面上的六边形溶蚀丘、六边形生长丘、拉长六边形螺旋生长纹和三角生长丘体现了相应面网结构的对称性, 螺旋生长纹发生束合、三角形圆化等现象均反映了环境条件的变化。

关键词:绿柱石; 晶体形貌; 表面微形貌; 晶体结构; 环境条件; 九龙

中图分类号: P572; P578.953 **文献标识码:** A

作者简介: 张良钜, 男, 1949年生, 教授, 矿物学专业, 联系电话: 13768337393。

矿物晶体的形貌, 包括晶体的宏观形态和表面微形貌, 是晶体成分和内部结构的反映。但由于晶体生成环境不同, 其形貌可相应地表现出不同的特征。因此, 研究矿物晶体形貌有助于人们了解矿物的成因和形成条件, 对人工晶体生长的研究有重要的理论和实践意义。四川九龙绿柱石矿床是近年发现的矿床, 作者等^[1-2]曾对该矿床绿柱石及其成因作过初步研究, 本文在此基础上对绿柱石晶体形貌作了进一步深入的研究, 获得了一些新的认识和研究成果。

1 概况

九龙绿柱石矿床属于热液型钨锡绿柱石矿床, 目前已发现数十条矿脉可手选绿柱石。大部分绿柱石形成于热液后期, 尤以钾长石化、白云母化强烈地段绿柱石矿化较明显。与绿柱石共生的矿物主要见有长石、电气石、白云母、锡石、绿柱石、白钨矿以及石英等(图1)。

2 宏观形态

绿柱石以晶洞状产出为主, 呈无色、浅绿色、淡蓝色, 透明至半透明。晶体多呈板状, 少数为六

方短柱状, 柱状晶体极为少见。晶洞脉壁附近绿柱石晶体、水晶晶体的 c 轴多数与晶洞脉壁呈近于平行关系(图1a)^[1]。

利用双圈接触测角仪(精确度为 0.5°) 对九龙绿柱石晶体进行测量(表1), 出现的单形有: 平行双面 $c\{0001\}$ 、六方双锥 $p\{10\bar{1}1\}$ 、 $s\{11\bar{2}1\}$ 、六方柱 $m\{10\bar{1}0\}$ 、 $a\{11\bar{2}0\}$ 以及复六方双锥 $v\{21\bar{3}1\}$ 、 $n\{31\bar{4}1\}$ (图2), 显示四川九龙绿柱石晶体中出现了 $6/mmm$ 对称型中的全部单形晶面(这种现象属少见)。总体上以 $c\{0001\}$ 最发育, $a\{11\bar{2}0\}$ 发育最差, 其它单形晶面随生长环境条件的变化有不同的发育程度, 当柱面 $m\{10\bar{1}0\}$ 不太发育时, 锥面的发育程度变好。

根据晶体习性、共生组合以及单形发育程度, 四川九龙绿柱石晶体的宏观形态可划分为四种类型(表2)。

(1) 短柱状晶体: 除 $c\{0001\}$ 发育外, $m\{10\bar{1}0\}$ 也较发育, 锥面发育较差, 晶体呈短柱状, 偶尔见到 $v\{21\bar{3}1\}$ 。

(2) 板柱状晶体: $m\{10\bar{1}0\}$ 和 $s\{11\bar{2}1\}$ 几乎同等发育, 复锥面几乎不发育, 少数晶体上可见 $v\{21\bar{3}1\}$ 、 $n\{31\bar{4}1\}$ 等单形晶面。

收稿日期: 2004-08-20

基金项目: 广西自然科学基金资助项目(桂科自 0229054)

表2 九龙绿柱石的晶体形态以及矿物共生组合

Table 2, the morphology and mineral paragenetic association of beryl crystals from Jiulong

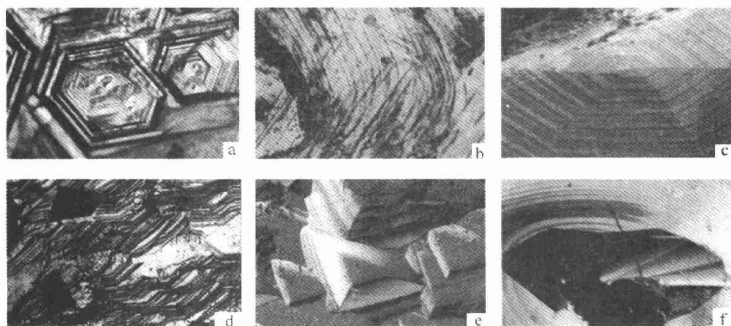
晶体习性	主要单形组合	矿物共生组合
短柱状晶体	$c\{0001\} + m\{10\bar{1}0\} + p\{10\bar{1}1\} + s\{11\bar{2}1\} + v\{21\bar{3}1\}$	白云母-绿柱石
板柱状晶体	$c\{0001\} + m\{10\bar{1}0\} + s\{11\bar{2}1\} + p\{10\bar{1}1\}$	白云母-长石-水晶-绿柱石; 白云母-电气石-绿柱石(图1b)
扁平板状晶体	$c\{0001\} + s\{11\bar{2}1\} + m\{10\bar{1}1\} + p\{10\bar{1}1\} + v\{21\bar{3}1\} + n\{31\bar{4}1\}$	白云母-锡石-绿柱石; 白云母-白钨矿-绿柱石(图1c)
板锥状晶体	$c\{0001\} + s\{11\bar{2}1\} + p\{10\bar{1}1\}$	白云母-长石-绿柱石(图1d)

3 表面微形貌

将各种形态绿柱石晶体样品用丙酮清洗干净,然后进行镀银(FINE COATION SPUTTER JFC-

1100),再把样品放在反射微分干涉镜(日本, Nikon66)下进行晶体表面微形貌观察,显示不同晶面上的微形貌具有明显不同的特征(图3)。

(1) $c\{0001\}$ 面; $c\{0001\}$ 是九龙绿柱石晶体中



a, b. $\{0001\}$ 面上的六边形溶蚀丘和束合螺旋生长纹 c, d. $\{110\bar{1}0\}$ 面上的拉长六边形螺旋生长纹和阶梯状生长层
e, f. $\{11\bar{2}1\}$ 面上的三角形生长丘和闭合圆形螺旋纹

测试单位:中国地质大学(武汉)晶体微形貌实验室

图3 九龙绿柱石晶体的微分干涉照片

Fig. 3. Differential interference photographs of beryl crystals from Jiulong.

最为发育的一个单形,其表面微形貌以六边形溶蚀丘(图3a)和束合螺旋生长纹(图3b)为特征。其中六边形溶蚀丘主要在扁平板状和板锥状绿柱

石晶体上出现,是平行双面上薄弱部分经过溶蚀后,形成的六边形图形,有较为明显的生长层,平行于 $\{10\bar{1}1\}$ 面,并且伴有一些阶梯状溶蚀,它实

质上是六边形生长丘的反向引伸。束合螺旋生长纹是晶体在生长过程中,由于杂质的干扰,产生晶体缺陷,两个相邻的阶梯扭合而成,它主要出现在板锥状和扁平板状绿柱石上。

(2) $m\{10\bar{1}0\}$ 面: 九龙绿柱石晶体柱面相对锥面发育较差,其表面微形貌主要有拉长六边形螺旋生长纹(图 3c)和阶梯状生长层(图 3d)。其中拉长六边形螺旋生长纹呈压扁状,压扁方向平行于 $\{0001\}$ 面,显示对称性 L^2 ,主要受晶面上结晶方向的影响,螺旋纹阶梯的扭曲密度较小,常出现在短柱状和板柱状绿柱石晶体上。阶梯状生长层的厚度不均匀,呈规则菱形或不规则锯齿状、梯田状等,在板柱状习性的绿柱石柱面上较易出现;这种生长层与生长时溶液过饱和度较高有关外,还与溶液的补给方向有密切关系。

(3) $s\{11\bar{2}1\}$ 面: $s\{11\bar{2}1\}$ 是九龙绿柱石中另一重要单形,晶面发育程度变化较大,随着柱面 $\{10\bar{1}0\}$ 发育程度变差, $\{11\bar{2}1\}$ 锥面的发育程度变好,其典型的微形貌有: 三角形生长丘(图 3e)、圆化三角形生长丘、三棱锥、阶梯状生长层和闭合圆形螺旋纹(图 3f)。三角形生长丘常在短柱状和板柱状绿柱石晶体上出现,它是由 $\{10\bar{1}0\}$ 面法线方向和 $\{10\bar{1}0\}$ 面网的两对角线方向组成,呈等腰三角形,显示对称性 L^2 。圆化三角形生长丘是由于温度升高,溶液的过饱和度增大,生长界面粗糙,晶面上的三角形生长丘逐渐向圆形转变,这种现象在扁平板状绿柱石晶体上较易出现。闭合圆形螺旋纹是由杂质(如白云母)的干扰所引起的螺旋纹,这说明晶体在生长过程中,杂质也可以改变生长机制。

(4) $p\{10\bar{1}1\}$ 面: $p\{10\bar{1}1\}$ 相对于 $s\{11\bar{2}1\}$ 发育较稳定,晶面呈梯形或三角形,其典型表面微形貌有: 平直条纹、细梭状生长螺旋纹和阶梯状生长层。平直条纹是 $\{0001\}$ 面上的生长层在 $\{10\bar{1}1\}$ 面上的显现,主要见于扁平板状绿柱石,条纹的宽窄不均匀,受生长界面的物理化学条件的影响。

(5) $a\{11\bar{2}0\}$ 面: 在九龙绿柱石中,柱面 $\{11\bar{2}0\}$ 极少显露,在板柱状绿柱石晶体中出现一个细小的晶面,其发育程度差,其晶面花纹以螺旋生长纹为特征。

(6) $v\{21\bar{3}1\}$ 面: 在晶体生长过程中,由于溶液过饱和度较低,致使高指数晶面 $v\{21\bar{3}1\}$ 面显露,其表面微形貌以叠三角状生长丘为特征,在扁平板状绿柱石晶体上出现。

(7) $n\{31\bar{4}1\}$ 面: 锥面 $n\{31\bar{4}1\}$ 相对于 $v\{21\bar{3}1\}$ 发育,并常一起在扁平板状绿柱石上显露,晶面以椭圆螺旋生长丘为特征,生长丘上有明显的螺旋生长纹,表面有较多的杂质。

4 讨 论

根据九龙绿柱石各种晶面的出现频率及发育程度,各种单形形态的重要性序列为: 平行双面 $\{0001\}$ 最发育,柱面 $\{10\bar{1}0\} > \{11\bar{2}0\}$, 锥面 $\{11\bar{2}1\} > \{10\bar{1}1\} > \{31\bar{4}1\} > \{21\bar{3}1\}$, 其中锥面 $\{11\bar{2}1\}$ 通常比柱面 $\{10\bar{1}0\}$ 更发育,使得九龙绿柱石整体多呈扁平板状。根据分析,绿柱石晶体的平行双面 $\{0001\}$ 、锥面 $\{11\bar{2}1\}$ 和柱面 $\{10\bar{1}0\}$ 有三条 PBC 键链,属于 F 面^[1]。在较高温条件下,溶液的过饱和度大,晶体的生长速度较快,又由于九龙绿柱石晶体 c 轴方向与晶洞的脉壁大致平行(图 1a), $\{0001\}$ 面网生长朝向溶液的补给方向,在 $\{0001\}$ 面网上发育有规则的六边形生长层(图 3a),致使晶体的 $\{0001\}$ 晶面特别发育,在晶洞脉壁附近形成少见的扁平板状、板锥状晶体习性。由于温度较高,晶体生长速度较快,容易产生缺陷,面网对杂质的排斥力弱,使这些扁平板状、板锥状晶体含有较多杂质和包裹体,透明度较差。随着结晶作用的不断进行,温度逐渐下降,溶液的过饱和度减小,晶体的生长速度也相应减慢,如果晶体的柱面生长方向朝向溶液补给方向时,则形成短柱状或板柱状晶体,晶体习性向柱状发展,这种现象在晶洞脉壁往晶洞中心部位最为明显。晶洞近中心部位的晶体生长缓慢,其结构缺陷少,面网对杂质的排斥力增强,使晶体中的杂质减少,晶体的净度和透明度相应较好。由此可见,九龙绿柱石罕见的板状和板锥状晶体习性,除与晶体内部结构的 PBC 强键的数目和方向有关外,还与晶体生长时的温度、溶液过饱和度以及溶液的补给方向有密切关系,其中溶液的过饱和度大小和补给方向是影响晶体各单形晶面相对发育程度的主要因素,晶体中杂质包裹体的含量和透明度又与晶体生长速度密不可分。

从晶体微形貌看,四川九龙绿柱石晶体的 $\{0001\}$ 、 $\{10\bar{1}0\}$ 和 $\{11\bar{2}1\}$ 单形晶面均显 F 面性质,具有较丰富的表面花纹。按其形态可分为两种类型: 一种是与面网结构对称性有关的多边形的规则花纹,主要有六边形生长层、六边形溶蚀丘、拉长六边形螺旋生长纹和三角形生长丘;另一

种是与面网结构对称性无关的不规则花纹,主要有束合螺旋生长纹、圆化三角形生长丘和闭合圆形螺旋纹。规则的生长花纹表明晶体开始生长时,溶液过饱和度高,表现为层生长机制,形成多边形生长层;随着结晶作用不断进行,溶液的过饱和度减小,相应由早先的层生长逐渐被螺旋生长所取代,生长花纹的形态与面网结构对称性一致,如 $\{0001\}$ 面网上的六边形生长层及六边形溶蚀丘,柱面 $\{10\bar{1}0\}$ 上的阶梯状生长层和拉长的六边形螺旋生长纹(图3c),锥面 $\{11\bar{2}1\}$ 上的三角形生长丘(图3e)及圆化三角形生长丘或螺旋纹。不规则生长花纹主要是与溶液中的杂质有关,在温度较高、过饱和度大的条件下,晶体开始生长时是以层生长机制进行生长,由于杂质的干扰,生长机制发生转变,如白云母的干扰致使晶体由早先的层生长机制转为螺旋生长机制,形成闭合圆形螺旋纹(图3f)。在高温下,生长溶液中杂质较多、生长速度快,在扁平板状、板锥状晶体上常常发育束合螺旋纹(图3b),这些束合螺旋纹是由多个杂质干扰生长的多个螺旋纹在不断发育长大过程中相遇时形成的。它的特点具有明显不规则性,一侧宽,一侧较窄,两个螺旋纹相遇部位,螺旋纹的阶梯间距变窄,高度变大。圆化三角形生长丘或螺旋纹是由于溶液得过饱和度增大,生长界面粗糙,导致螺旋纹发生圆化。因此,九龙绿柱石晶体的闭合圆形螺旋纹以及束合螺旋纹的形成与生长过程中的杂质干扰有关,圆化三角形生长丘或螺旋纹与生长过程中的过饱和度变化有关。

5 结 论

(1)九龙绿柱石晶体习性除受晶体内部结构的PBC强健数量和方向的制约外,还与溶液补给方向有密切关系。当溶液的补给方向与晶体 c 轴近一致时, $\{0001\}$ 发育,形成扁平板状、板锥状晶

体;当溶液补给方向与晶体 c 轴有较大的夹角时, $\{10\bar{1}0\}$ 发育,形成短柱状或板柱状晶体,晶体习性向柱状发展。

(2)九龙绿柱石晶体中,不同单形显示出不同的表面微形貌;在 $\{0001\}$ 、 $\{10\bar{1}0\}$ 和 $\{11\bar{2}1\}$ 面上分别显示六边形溶蚀丘、拉长六边形螺旋生长纹和三角生长丘等,其生长花纹的形态与面网结构对称性相一致。

(3)九龙绿柱石晶体的闭合圆形螺旋纹以及束合螺旋纹的形成与生长过程中的杂质干扰有密切关系,圆化螺旋纹与晶体生长过程中的过饱和度增大有关。

(4)根据矿物共生组合,绿柱石晶体的生长具有多世代性,在每一次热液的后阶段,溶液的过饱和度减小,晶体的生长由层状向螺旋生长过渡,在发育的柱面和锥面上都能见到规则的螺旋生长纹,其生长机制为层—螺混合生长机制, $\{0001\}$ 面网以层状生长为主,这种生长机制表明 $\{0001\}$ 在晶体形态中起着主要控制作用,制约晶体的习性。

(5) $\{11\bar{2}1\}$ 面是九龙绿柱石晶体最重要的单形之一,它的发育程度不但影响绿柱石的形态特征,而且可根据 $\{11\bar{2}1\}$ 面上的生长花纹的形态特征获得晶体生长时的温度、溶液过饱和度、杂质、热动力条件与生长机制等生长环境条件的信息。

(6)在高温条件下,溶液过饱和度大,生长速度较快,使晶体产生较多的缺陷,且面网生长时对杂质的排斥力减弱,造成晶体内部含有较多杂质,透明度降低,特别是晶洞脉壁附近的绿柱石晶体表现得较明显;温度降低时,溶液的过饱和度减小,晶体的生长速度也相应减慢,晶体结构中的缺陷相应减少,同时排斥生长界面前方杂质的能力增强,因而晶体中的杂质减少,晶体的净度和透明度增加,这种现象主要发生在晶洞中心附近的绿柱石晶体中。

参 考 文 献:

- [1] 饶灿,四川九龙绿柱石的形貌特征与研究[D].桂林:桂林工学院,2004.
- [2] 张良钊,饶灿,雷威,四川九龙绿柱石晶体形貌与成因[J].桂林工学院学报,2004,24(4):529-530.

RESEARCH ON CRYSTAL MORPHOLOGY OF BERYL FROM JIULONG COUNTY

ZHANG Liang-ju, RAO Can, LEI Wei

(*Department of Resource and Environment Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*)

Abstract: According to the habit of beryl crystal and the relation of intergrowth, the beryls which were found in Jiulong county, Sichuan province were classified as short prismatic, tabular prismatic, flat tabular and tabular pyramidal crystals. There are some simple crystal forms: pinakoid (c), hexagonal prism (m & a), hexagonal bipyramid (s & p) and dihexagonal bipyramid (n & v). By means of differential interference microscopy, and so on, the authors studied the morphology of beryl crystals from jiulong county. Pinakoid, hexagonal prism and hexagonal bipyramid possess abundant surface microtopography among the surfaces of beryl crystals. Hexagonal corrosion hillock, elongated hexagonal spiral growth layers and triangular growth hillock reflect the symmetrical characteristics of surface-net structure. Bunching of spiral growth lamellae, the roundness of triangle and so on all reflect conditional variations in the environment. This paper also discussed growth mechanism of beryl and the influence of growing conditions on beryl crystal morphology.

Key words: beryl; crystal morphology; surface microtopography; crystal structure; growth condition; Jiulong county; Sichuan