第七章 晶体的规则连生

REGULAR GROUPING OF CRYSTAL

本章概要

1. 平行连生概念。
2. 双晶概念与双晶要素；双晶类型；若干常见矿物晶体的双晶律。
3. 浮生与交生概念。

第一节 平行连生

PARALLEL GROUPING

平行连生（parallel grouping）是指结晶取向完全一致的两个或两个以上的同种晶体连生在一起。具平行连生关系的晶体称**平行连晶**。平行连晶外形上表现为各晶体的所有几何要素相互平行，其连生部位出现凹入角但内部结构呈连续贯通的格子构造。因此，从结构特点上来看，平行连晶与单晶体没有什么区别。

图 7-1 展示了自然铜、明矾石和石英平行连生构成的奇妙景观。

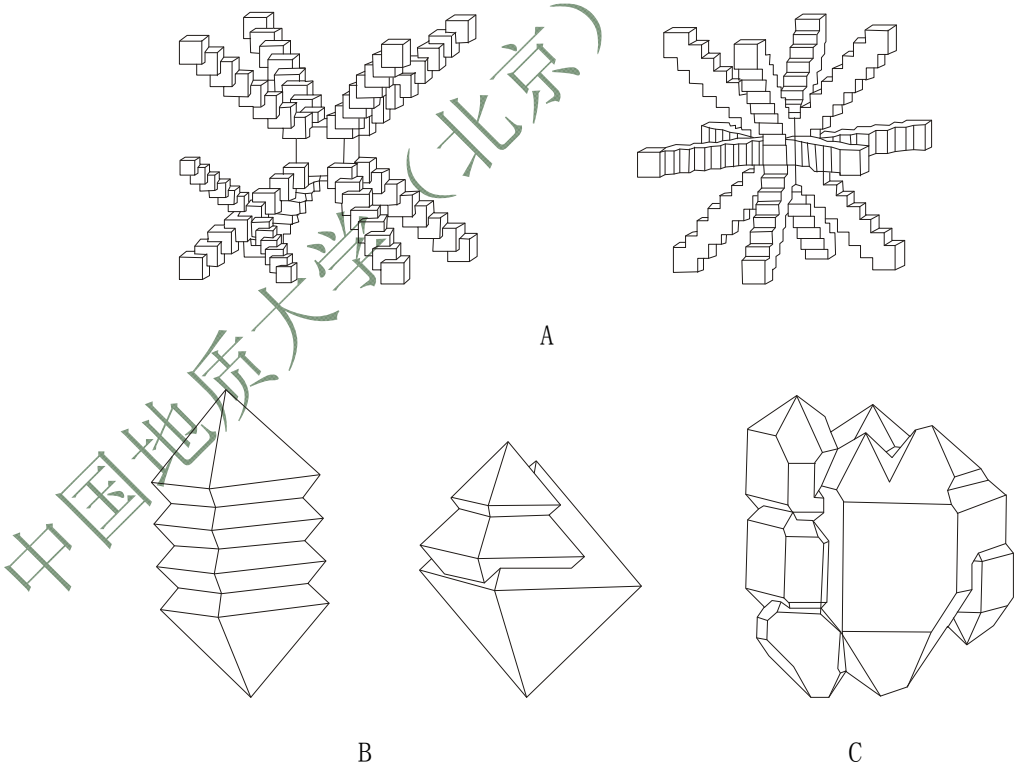


图 7-1 平行连晶。A-自然铜，由立方体单晶平行连生构成的树枝晶；B-明矾石，八面体单晶构成的宝塔状平行连晶；C-石英（罗谷风，1984）

第二节 双晶

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室

TWIN

1 双晶的概念

双晶(twin, twinned crystal)又称孪晶，是指两个或两个以上的同种晶体，其结晶学取向彼此呈现为一定对称关系的规则连生体。连生在一起呈双晶位的各单晶体之间，凭借某种几何要素（点、线、面等）实施对称操作（反伸、旋转、反映），可以达到彼此重合、平行或构成一个完整单晶体。在双晶的接合部位，多数都具有凹入角，而有的外形酷似单体，并不存在凹入角，但体现其内部结构特点的格子构造并非平行连续，呈共格过渡或相似面网衔接关系。

2 双晶要素

双晶要素(twin element)是假想的点、线、面等几何要素，凭借其进行反伸、旋转、反映等对称操作后，可使双晶的一个单体的方位发生变换而与另一个单体实现重合、平行或拼接成一个完整的晶体。双晶要素包括双晶面、双晶轴和双晶中心。其中，双晶面和双晶轴在描述双晶特征中具有重要意义。

(1) 双晶面(twinning plane)：是一个假想的平面，通过该面的镜象反映可以使呈双晶位的两个单体实现重合、平行或拼合成一个完整晶体。从图 7-2 石膏的燕尾双晶可以看出，双晶面 tp 两侧的晶体呈镜象对称关系。在实际双晶中，双晶面常常平行于单晶体的某个晶面，或垂直于某晶带轴。所以，双晶面的空间方位常借助与其平行的晶面符号来表达。如，石膏燕尾双晶的双晶面 tp 平行于单晶体的（100）晶面，可写作双晶面 tp∥（100）。

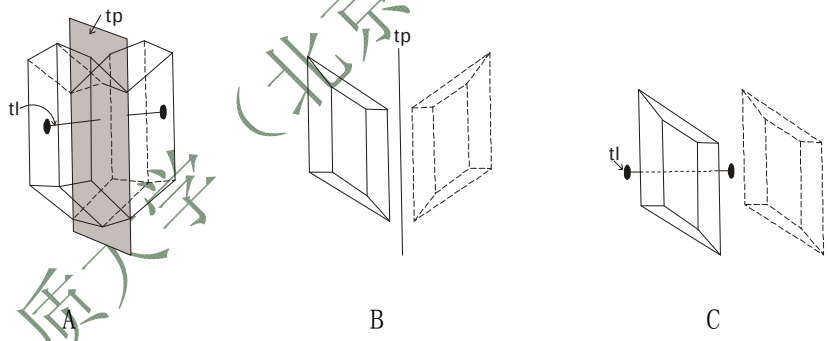


图 7-2 石膏的燕尾双晶（A）及其双晶面（B）和双晶轴（C）（秦善，2004）

(2) 双晶轴(twinning-axis)：为一假想直线，双晶的其中一单体围绕该直线旋转 180°后，可与另一单体重合、平行或拼合成一个完整晶体。图 7-3 中的直线 tl 即是石膏燕尾双晶的双晶轴。双晶轴常常垂直于单晶体的某个晶面，或平行于其中一个单晶体的某些晶棱或晶带轴。所以，双晶轴的空间方位也常借用其垂直的晶面或平行的晶带轴的符号来表示。如，石膏燕尾双晶的双晶轴 tl 垂直于单晶体的（100）晶面，可写作双晶轴 tl⊥（100）。

(3) 双晶中心(twinning-center)：为一假想的几何点，通过该点将双晶的其中一个晶体进行反伸操作后，两个单体实现相互重合、平行或拼合成一个完整晶体。

3 双晶接合面

双晶接合面(composition surface，规则平面时可用 composition plane)，即双晶单体间的实际接合界面。通常情况下，该接合界面可以是简单的平面或折面。但有时由于双晶单体的

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室

接合关系复杂，其接合面可以很复杂。由于双晶的单体往往结晶取向不一致，所以其接合面处的晶格并非呈连续一贯的面网，即接合面两侧的晶格取向是不一致的。从晶体化学的角度看，这种结晶取向不一致又能接合在一起的晶体，其接合面的晶格面网应当是个共格面网（common net, 该面网与两侧延伸的面网均有相似之处），只有这样它们才能“有机地”接合在一起。

4 双晶律

双晶律(twin law)即双晶中单体的连生规律。双晶律一般以双晶要素与双晶接合面组合的方式来表述，也可有如下的一些命名方式：

(1) 以矿物命名：如果某双晶律常出现在固定的矿物中，就以某特征矿物的名称命名该双晶律。例如钠长石律、尖晶石律、云母律、文石律等等。

(2) 以发现地命名:有时为了纪念某双晶律的最初发现地,就以地名作为双晶律的名称。例如，正长石的卡斯巴律双晶(捷克斯洛伐克地名)、石英的道芬律 (法国地名)、巴西律和日本律双晶等等。

(3) 以形态命名：一些双晶体的形态特殊，为便于记忆就以形态特征为名称。例如，金红石族矿物的膝状双晶(或肘状双晶)、十字石的十字双晶、石膏的燕尾双晶、黄铁矿的铁十字双晶等等。

5 双晶类型

按照双晶各单体间接合方式的不同，一般把双晶分成两大类，即接触双晶和贯穿双晶。以下简述之。

(1) 接触双晶(contact twin))：各邻接单体以简单的平面相接触构成的双晶。接触双晶又可进一步划分出简单接触双晶、聚片双晶、环状双晶和复合双晶等类型。

① 简单接触双晶(simple contact twim)：由两个单体以一个平面接合在一起而成的双晶。如石膏的燕尾双晶（图 7-3）。

② 聚片双晶(polysynthetic twin)：多个单晶体以双晶接合面彼此平行的关系生长在一起构成的双晶。如，斜长石的聚片双晶是由多个板状斜长石晶体以一组平行（010）的双晶接合面连生而成的双晶，其相间单晶体片的结晶学取向相同（图 7-3）。

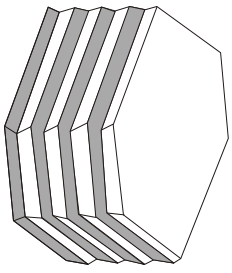


图 7-3 斜长石的聚片双晶

③ 环状双晶(cyclic twin)：指两个以上的单体彼此以简单接触关系呈环状或轮辐状连生而成的双晶。环状双晶中相邻单体的接合面为平面，若干接合面呈等角度放射状排列。按组成双晶的单体个数，可将环状双晶进一步分为三连晶(trilling)、四连晶(fourling)、五连晶(fiveling)、六连晶(sixling)（见图 7-4)、八连晶(eightling)等。

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室

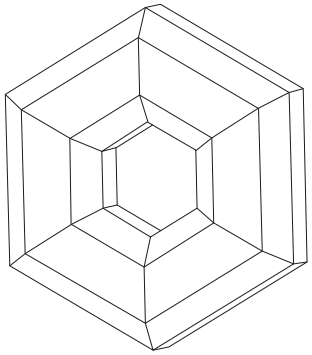


图 7-4 金红石的环状六连晶

④ 复合双晶(compound twin)：是由两种以上的简单接触双晶关系组成的双晶复合体。例如，图 7-5 所示卡钠复合双晶中，单体 1 与 2 以及单体 3 与 4 彼此间按钠长石律接合，双晶轴⊥(010)；单体 2 与 3 之间按卡斯巴律接合，双晶轴∥z 轴。在接触双晶当中，复合双晶是较为复杂的双晶类型，实际晶体中较为少见。

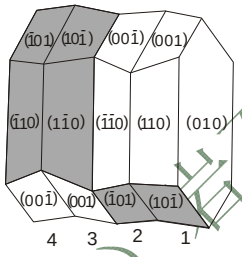
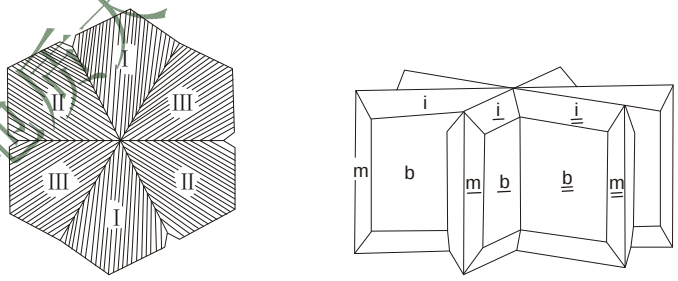


图 7-5 斜长石的卡钠复合双晶

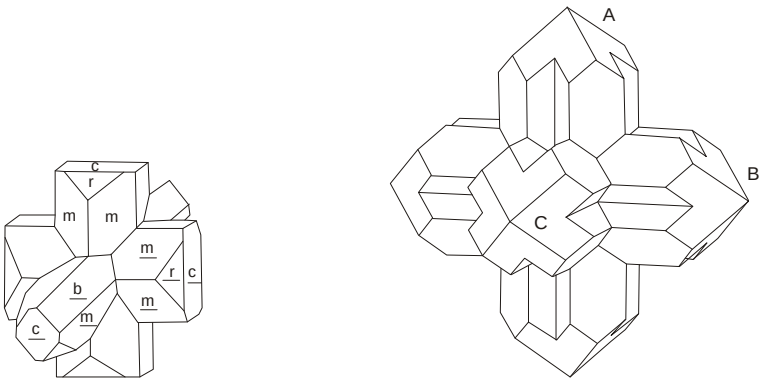
(2) 贯穿双晶(penetrate twin，interpenetrate twin)：双晶的各单体彼此相互穿插，形成复杂的穿插接触关系，其接合面呈复杂折面。简单的穿插关系可以通过双晶接合面加以描述，但有时穿插关系太复杂只能描述其接合面的主要特征。如正长石的卡斯巴律双晶，其接合面可以描述为“以∥（010）为主的曲折接合面”。贯穿双晶可以呈现许多不同的形态（图 7-6、7-7）。



A B

图 7-6 文石（A）(C.S.Hurlbut,JR.1977)与白铅矿(B)(罗谷风，1984)的贯穿三连晶

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室



A　　B

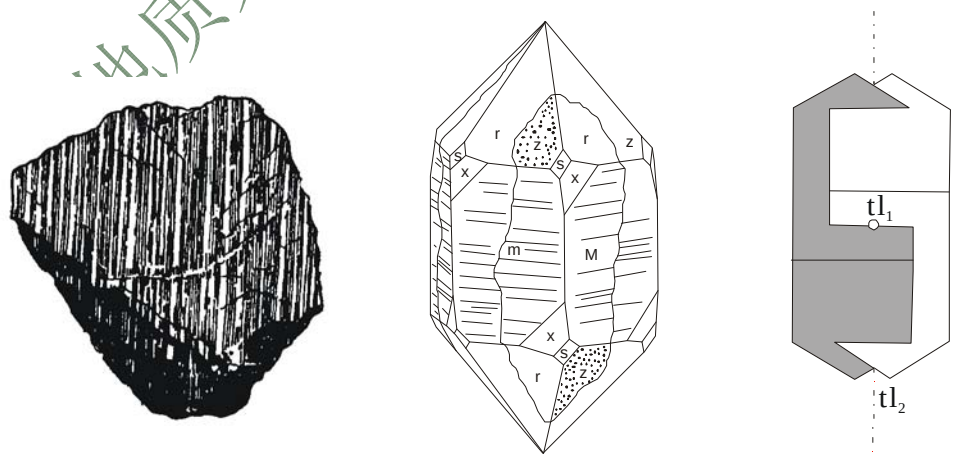
图 7-7 十字石（A）（潘兆橹等，1993）和钙十字沸石（B）（秦善，2004)按两种双晶律形成的贯穿双晶

6 双晶的识别

实际晶体中，一些双晶有明显的宏观特征，易于识别，而有些双晶则需借助晶面上的微形貌才能识别。下面是一些常用的双晶识别标志。

(1) 凹入角：由单形、聚形和本章上文的学习可知，单晶体均为凸多面体，平行连晶及双晶中单体的接合部位常常形成凹入角。所以，同种晶体上出现凹角有可能构成双晶。但需要注意，凹角既不是识别双晶的必要条件，也不是识别双晶的充分条件，尚需结合下述标志进一步鉴别。

(2) 双晶纹和双晶缝合线：双晶表面常留有其接合面的线状痕迹，由于单体接合紧密呈细线状，所以称为双晶纹和双晶缝合线。双晶缝合线是一根孤立的线条，可以是直线，也可以是折线或曲线。双晶纹通常是一组平行线。例如，在斜长石聚片双晶⊥（010）方向，可见一组平直细密的双晶纹(图 7-8A)；在石英道芬双晶的柱面可见一条细的曲线状缝合线(图 7-8B)；在正长石卡斯巴双晶的⊥（010）方向可见一条折线状缝合线（图 7-8C)。缝合线有时不能直接被观察到，而要依据其它晶面微形貌的不连续性推断获得。如，具道芬双晶或巴西双晶的石英柱面上双晶缝合线两侧的晶面横纹不连续。



A　　B　　C

图 7-8 斜长石⊥（010）方向的聚片双晶纹（A）(Hurlbut C S,Jr.,1977)、石英道芬双晶柱面的曲线状缝合线（B）(潘兆橹等，1993) 和正长石卡斯巴双晶⊥（010）方向的折

线状缝合线(C)（罗谷风，1984）

(3) 蚀像：蚀像也是识别双晶的标志之一。对于容易被风化刻蚀的晶体，其表面常常留有蚀象。由于双晶中单体的取向不一致，因而在相邻单体中的蚀象取向也不一致，据此能推定双晶的存在。例如，石英柱面上缝合线两侧的蚀坑呈现二次旋转对称关系（图 7-9）。此外，由于双晶接合面的格子构造不连续，容易出现结构“缺陷”，也是易被风化的薄弱部位，所以，沿双晶缝合线有时出现的线状排列的蚀象。

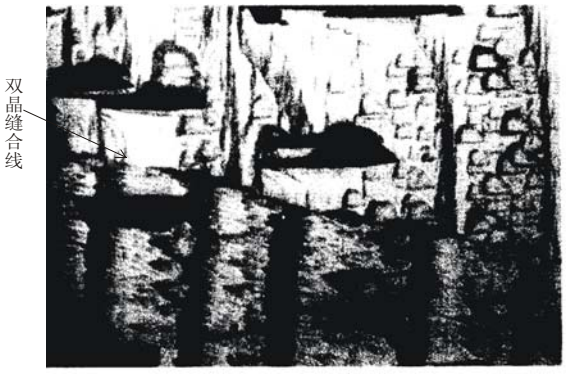


图 7-9 石英双晶缝合线两侧的蚀象（赵珊茸，2004）

(4) 假对称:任何晶体都有固定的对称性。如果某晶体的对称不符合其固有的对称特点，则该晶体应由双晶组成。例如，图 7-10 所示以(110)为双晶面的黄铁矿铁十字律贯穿双晶，外形呈立方体，晶面条纹也表现为 m3m 对称。但黄铁矿的固有对称为 m3，该 m3m 对称显然为假对称。

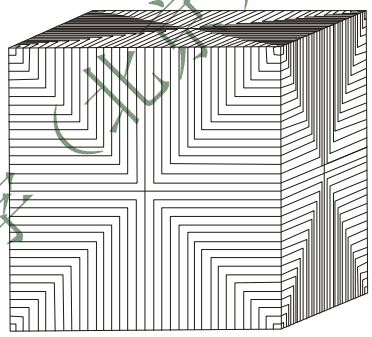


图 7-10 黄铁矿铁十字双晶的 m3m 假对称（南京大学岩矿教研室，1978）

7 双晶的成因

一般认为，双晶的成因主要有以下 3 种：

(1) 在双晶位取向的晶核基础上生长。在晶体生长的早期成核过程中，两个或若干个晶核的位置处在双晶中单体的结晶学方位上，即呈“双晶位取向”。如果晶体继续长大，并逐渐连生在一起，最终就会发育成双晶。由这种方式形成的双晶称为**生长双晶（growth twin）**。因为从呈“双晶位”的晶核生长到彼此即将连接时，结晶就位的原子或离子等质点对于两个晶核上相似面网的就位几率相同，因而在接合面处形成共格面网。按共格面网形成双晶时所需能量较小，因而易于形成并稳定存在。生长双晶是最常见的一种双晶类型。

(2) 同质多象转变。在同质多象转变过程中，驱动发生转变的物理化学条件不均一或发生不同结构转变的趋势近乎均等，因而可能导致晶体的一部分发生转变而另一部分不发生转变或晶体不同部位发生不同趋向的转变，最终使得原晶体的两部分呈“双晶位”关系。由同

中国地质大学（北京）岩石矿物学教研室

质多象转变方式形成的双晶称为**转变双晶（transformation twin）**。图 7-11 为β-石英转变为α-石英（即通常所称石英）时形成道芬双晶的图示。

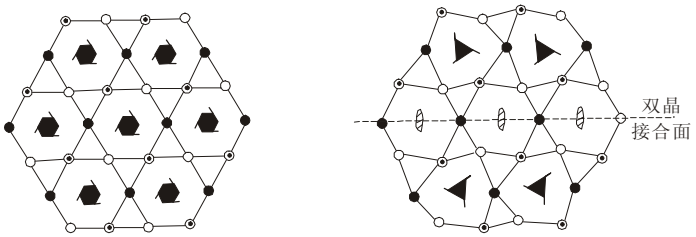


图 7-11 β-石英（A）转变为α-石英的道芬双晶（B）前后 Si^{4+}在（0001）面的投影（罗谷风，1984）

(3) 机械外力的作用。晶体形成后，受机械外力的作用，晶格内的面网可能发生整体性滑移但不破裂，滑移的结果可能使晶体结构形成具“双晶位”特征的两部分，即构成双晶（图 7-12）。这种双晶称为**机械双晶(mechanical twin)**或**滑移双晶（gliding twin）**或**形变双晶（deformation twin）**。例如，大理岩中的方解石晶体，常由于机械作用而形成以{01$\underline{1}$2}为双晶面和接合面的负菱面聚片双晶。

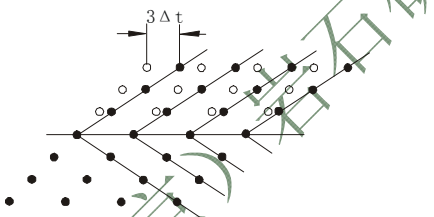


图 7-12 在剪切力作用下晶格产生机械双晶时面网上结点的滑移变形（赵珊茸，2004）

上述 3 种双晶若以时间分类，则生长双晶因其形成与晶体的生长是同时的，故称为**原生双晶（primary twin）**；机械双晶和转变双晶都晚于其原始晶体的形成，故都被称为**次生双晶（secondary twin）**。

8 研究双晶的意义

在自然形成的矿物晶体中，约有 1/5 可出现双晶，其中一些非常重要的矿物晶体还总是出现特有的双晶类型，如斜长石的聚片双晶、正长石的卡斯巴双晶等，所以双晶是鉴定某些矿物、确定矿物空间取向的重要标志。

此外，机械双晶是地质构造变动的产物，据以可以确定构造运动的方向和强度，具有十分重要的地质意义。

在宝玉石和矿物晶体材料工业领域，有些矿物晶体的利用价值还与双晶密切相关，如双晶的出现会严重影响某些晶体的加工性能和光学效应，具双晶的水晶不能用作压电材料，具双晶的冰洲石不能用于制造光学材料等等。

因此，双晶是结晶学、矿物学、地质学、宝石学和晶体材料科学学科中一个颇具实际意义的研究领域。

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室

第三节 浮生与交生

OVERGROWTH AND INTERGROWTH

1 浮生

浮生（overgrowth）是指一种晶体以一定的面网和确定的取向关系附着生长于另一种晶体表面，或者同种晶体以不同单形相似面网的晶面附生在一起的规则连生。

例如：斜方晶系十字石的(010)面网与三斜晶系蓝晶石的(100)面网的结构和成分均相似，故十字石晶体的(010)面常依蓝晶石的(100)面生长（图 7-13）。三方晶系赤铁矿的（0001）面网与四方晶系金红石（100）面网结构相似（图 7-14），故它们常以这两种面网浮生。

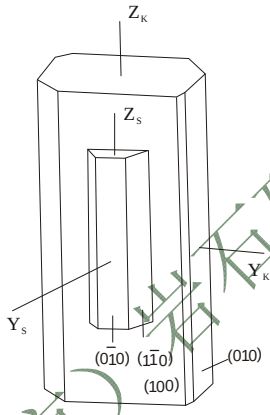
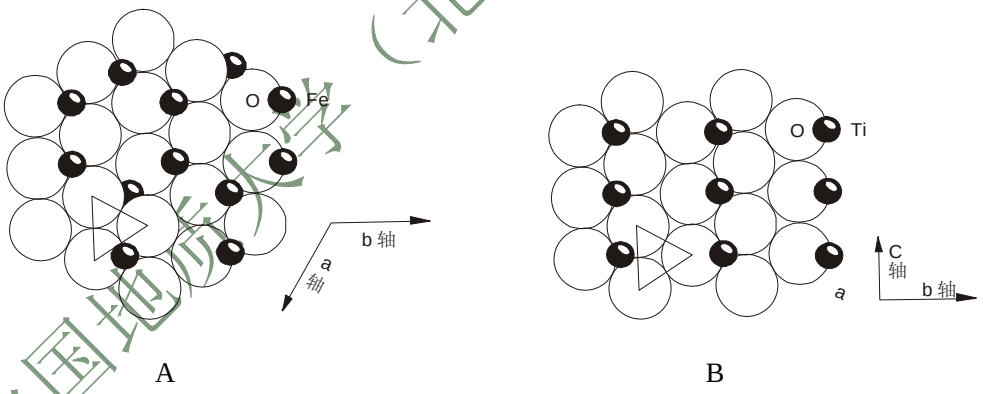


图 7-13 十字石以(010)面浮生于蓝晶石(100)面上（潘兆橹等，1993）



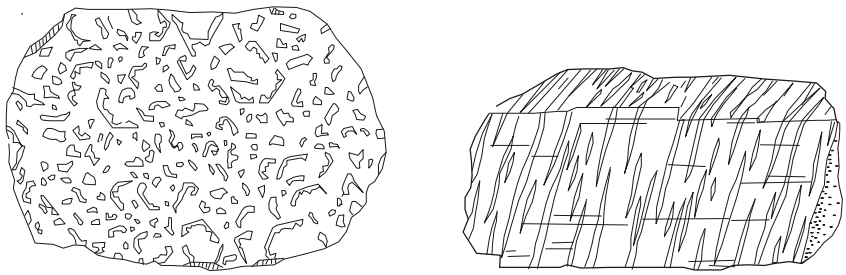
A B

图 7-14 赤铁矿（0001）面网（A）与金红石（100）面网（B）的结构（罗谷风，1984）

2 交生

交生（intergrowth）指两种不同的晶体彼此以一定的取向关系交互结晶生长，形成交叉连生体的现象。交生晶体的接合部位与浮生很类似，所不同的是呈交生关系的两种晶体互呈交嵌关系。例如：石英嵌生于粗粒钾长石中形成文像结构，钾钠长石固熔体降温时钠长石析出形成条纹长石（图 7-15）以及长柱状角闪石穿插在普通辉石中以（100）和（100）面接触（图 7-16）等均是交生的实例。

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室



A　　B

图 7-15 石英嵌生于钾长石中的文像结构（A）和钠长石嵌生于钾长石中的条纹长石（B）罗

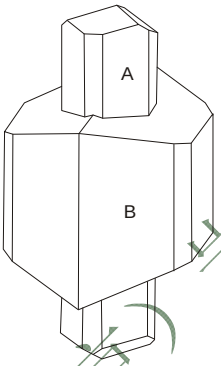


图 7-16 角闪石与普通辉石的交生（秦善，2004）

中国地质大学（北京）岩石矿物教研室