

晶体的形成

A.B.舒布尼柯夫著

地质出版社

晶 体 的 形 成

A. B. 舒布尼柯夫 著

莫宝勋 潘兆椿 译

地 质 出 版 社

1958·北 京

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

А. В. ШУБНИКОВ
ОБРАЗОВАНИЕ
КРИСТАЛЛОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ
НАУК СССР
МОСКВА 1947 ЛЕНИНГРАД

本書是蘇聯的科學普及叢書中的一本，內容是談晶体的基本性質、晶体的生長和溶解及其伴生的各種現象。本書以有限的篇幅敘述了豐富的內容，可供我國地質院校的学生學習結晶學時參考。

本書由葛宝勛、潘兆樞合譯，彭志忠校校，葛宝勛復校。

晶 体 的 形 成

著 者	A. B. 舒 布 尼 柯 夫
譯 者	葛 宝 勛 潘 兆 樞
出版者	地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号
北京市書刊出版業營業許可證出字第050号

發 行 者	新 華 書 店
印 刷 者	地 質 印 刷 厂

北京广安門內教子胡同甲32号

印数(京)1—1,600册	1958年1月北京第一版
开本31"×43"1/32	1958年1月第一次印刷
字数50,000字	印張2 1/4
定价(10)0.30元	

目 錄

緒 言

(晶体的基本性質)

晶体的自然形态	5
結晶多面体的面角恒定	6
結晶多面体的对称	7
晶体的發芽和生長	8
晶体的熔点恒定	9
解理	10
晶体点格子構造	10
晶体物理性質的異向性	11
晶体的彈性	12
双折射	12
晶体的压电性	13
晶体的压电性	13

晶体的生長和溶解

I. 晶体形成的条件	15
純淨的結晶物質的溶解	15
純淨的結晶物質熔融体冷却时的結晶作用	15
液体的过冷却和固态非晶質物体的形成	16
从蒸汽中結晶	17
熔点(昇華点)与压力的关系	18
从溶液中結晶	18
II. 培养晶体的技術	20
III. 晶体的發芽和生長的过程	23
發芽	23
晶面的平行推移	24
沿切綫方向的生長	26
許多晶体的同时生長	27

IV. 晶体生长时所伴随的现象	29
热效应	29
收缩	30
流动	30
扩散与热的输出	31
结晶作用力	31
V. 生长、溶解和平衡的理想形态	32
生长形态	32
溶解形态	33
平衡形态	34
实际的生长形态	34
规律的连生体	39
VI. 生长构造	43
带状构造	43
生长缝	44
球晶构造	46
孪晶构造	46
VII. 晶面花纹	48
相邻接面与邻接面	48
蚀像	51
VIII. 生长条件对晶体形态的影响	51
热力学的因素	51
歪曲理想晶形的条件	53
IX. 生长的规律	57
柯塞尔—斯特兰斯基理论	57
吉布斯—居里平衡形态的理论	58
别克定律	60
几何淘汰定律	61
晶面收缩和扩展的规律	63
布拉维定律	66
晶体分裂的规律	69
球晶同时生长的规律	70

緒 言

（晶体的基本性質）

晶体的自然形态 大家都知道，在采礦中常能找到具有天然多面体形态的礦物。很久以來，它們就已具有“晶体”的称号了。像水晶（圖 1）、石鹽（圖 2）、方解石和許多寶石（金剛石、紅寶石、祖母綠、黃玉）都能形成發育良好的晶体。在希臘文中“晶体”这个字就是指冰，这是由于晶体和冰相似而得名的。石英的俄文名称——горный хрустал，——也是从这个字來的。



圖 1. 水晶

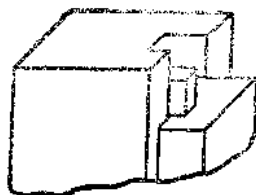


圖 2. 石鹽

成晶体形态出現的不僅只是礦物，而且還有許多人工製造的物質。如果我們在放大鏡下，或是用肉眼觀察普通的砂糖（圖 3）、明礬、硼砂、氯酸鉀時就不難發現，其中每一種物質都是由形成規則的多面体微粒所組成的，當然，這些

多面体的形态对于不同的物質來說是不同的。

結晶多面体的面角恒定 任何一种物質或礦物的晶体的

特点就在于对于同一种物質的

晶体來說，在所有的标本中，

晶面間的夾角永远是不变的。

如果物質不同，那么晶体中晶

面間的夾角就会不同。至于晶

体的大小、晶面的形态、晶面和

晶稜的数目即使是对于同一种

物質仍然可能是彼此大不相同

的。例如讓我們來观察石英晶

体的形态(圖4)。晶体常是由柱

面所組成，在所有的晶体中柱面 m 間的夾角永远是相同的，

等于 120° ；而对不同的晶体來說，則这些晶面的形态是不同的。

除了柱面以外，石英晶体还具有菱面体的晶面 r 和 r' ①，

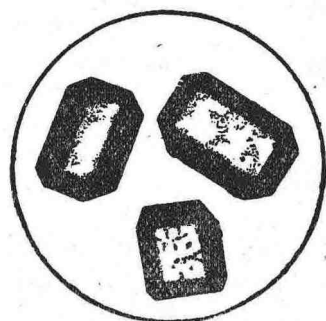


圖 3. 顯微鏡下的砂糖

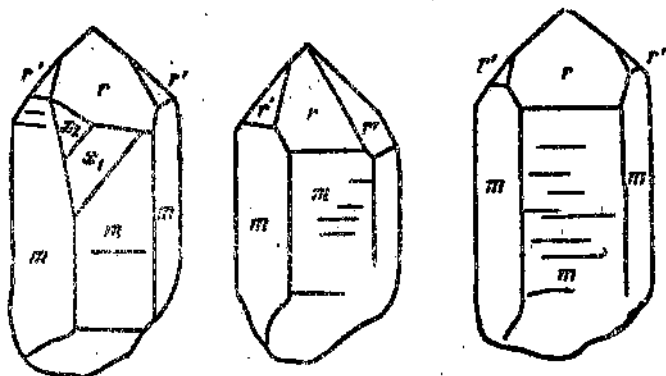


圖 4. 石英晶体中相应晶面間的角度相等

①菱面体就是將立方体沿某一对角綫压缩或拉長而獲得的几何圖形；菱面体的所有的面皆是菱形的。

不管这些晶面的大小和形态是怎样的，但是在所有晶体中，位置相应的菱面体晶面间的角度永远是相同的。除了上述对所有石英晶体都具有的晶面外，在个别的标本上还可能出現晶面 x_1, x_2 ；这可以作为这一晶体的特征或是作为一定类型的石英的特征。

结晶多面体的对称 对于结晶多面体來說，重要的不僅在于同一物質的晶体在所有的或接近于所有的标本中面角都是恒等的。并且在这些条件下，即指把所有的晶面都放在同样的生成条件下，則晶体的所有性質——不僅是面角，而且包括所有一般的几何性質和物理性質——都將在其本身中重复。通常是重复几次、許多次，甚至是无限次。这种理想的（指形态、構造和物理性質）晶体本身的部分和特征的重复叫做对称。

在圖 5 上画出了石英晶体的理想形态，在晶体中只有一根垂直的軸 Z ，按結晶学的術語來說，垂直軸重复一次，垂直軸通过的角頂重复兩次，水平軸 X 重复三次，晶面 m 重复六次，这些晶面間的夾角重复六次等等。石英晶体的理想形态是立方体，在晶体中每一晶面重复六次，每一晶稜重复十二次，每一角頂重复八次。

晶体所具有的多面体形态是晶体的重要特征之一。但是也并不是說任何晶体都具有多面体形

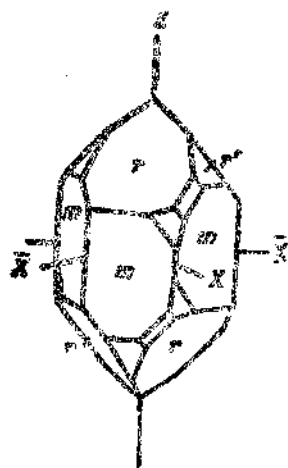


圖 5. 石英晶体的理想多面体

态。大家都知道，在某些情況下，晶体还能長成針狀、樹枝狀的（樹枝晶和骸晶），而在不利的生長条件下，甚至能長成

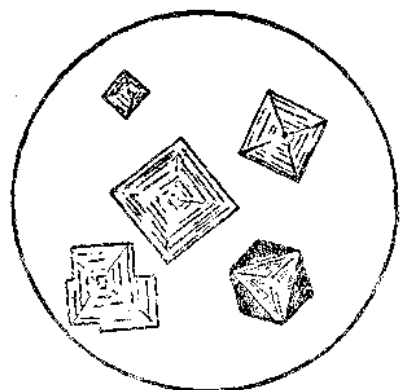


圖 6. 顯微鏡下，在一滴干涸了的溶液中的食鹽晶体

完全不規則的形态。也可以用人工的方法來破坏晶体的天然形态，就像可以把水晶制成任何形狀的裝飾品，但是它仍然是晶体。因为它仍然具备着晶体的其他重要特征。

晶体的發芽和生長

晶体具有發芽和生長的能力是它最重要的特征之一。人們早就知道，当溶液蒸發、熔融体冷却或由化学反应的結果等等，都能有晶体的發生和生長。这个現象是很容易观察到的。如果把一滴食鹽溶液、明矾溶液、礬砂溶液（氯化氨），或任何一种鹽溶液放在玻璃上，等它完全干涸后，用肉眼，当然最好是在顯微鏡下，可以看到已經干涸的小滴是由許多晶体所組成的。当然每一种鹽类的晶体都具有其特殊的形狀（圖6—8）。也能用熔融体來做类似的实验。如果拿一些水楊酸苯酯放在玻璃片上，再放

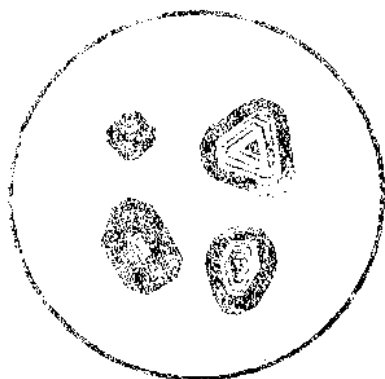


圖 7. 顯微鏡下的明矾晶体

晶体都具有其特殊的形狀（圖6—8）。也能用熔融体來做类似的实验。如果拿一些水楊酸苯酯放在玻璃片上，再放

在酒精灯上熔化，然后使它冷却，拿一小粒固体的水楊酸苯酯作为“晶芽”放入熔融体中，那么在顯微鏡下就能看到具有菱形的晶体出現

(圖 9)。并且晶体將繼續生長，直到最后相互接触，形成形态不規則的連生体 (спок-ток)。这种連生体叫做結晶集合体。大多数的固体(金屬、岩石和人工制造的固体)都是这样的結晶集合体。由此可知，晶体在自然界中的分布是多么广泛。

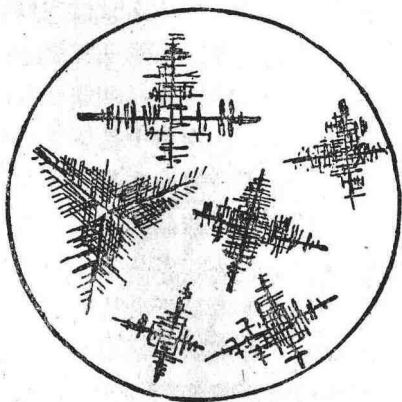


圖 8. 顯微鏡下的矽砂骸晶

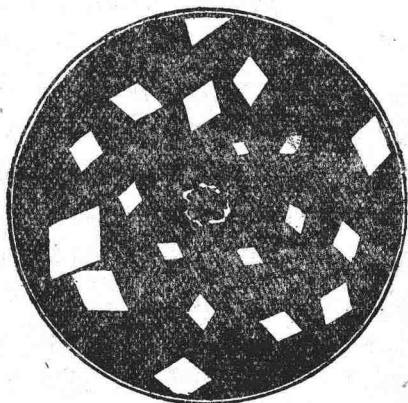


圖 9. 顯微鏡下水楊酸苯酯晶体的生長

晶体的熔点恒定

所有化学成分固定的結晶物質的最重要的性質之一就是它具有完全固定的熔点(如果在溶解时不發生分解和其他的化学变化)。根据这个性質我們可以把結晶的物質——成为單个晶体的或是成为結晶集合体的——和非晶質的物質(无定形物質)区別

开。大家都知道，冰正好在 0°C 熔化，錫在 230°C 熔化，

铁在 1550°C 熔化。这些都是結晶質的物質。而玻璃、塑膠和樹脂則沒有固定的熔点。当加热时，它們逐漸变軟，但是不能准确地指出，在什么时候它們恰巧从固态变成液态。这些是非晶質的物質。上面已經說过：大多数固体都是由晶体組成的，而无定形物質，即非晶質的物質，在自然界中，或是在人工所制成的物品中是要远少得多。许多具有相近熔点的結晶物質的熔合体和非晶質物質相似，沒有特別明顯的熔点，这些熔合体結晶的實質可以用其他方法来証实。

解理 这是許多晶体，甚至是所有晶体的特性。这就是晶体或多或少地易于沿某些一定的面而裂开的性能。这种現象在石鹽、方解石和螢石（螢石）晶体中特別容易看到。把原來是任何形狀的，比如是人工琢磨过的石鹽晶体拿來，

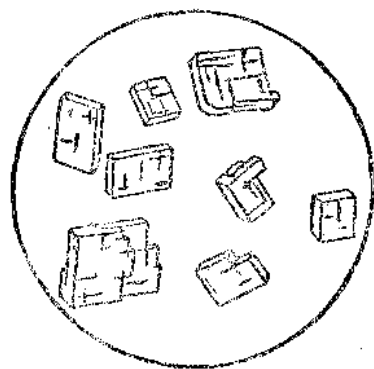


圖 10. 沿解理面裂开的冰洲石晶体碎塊

面体（圖10）。云母的晶体也具有良好解理，它可以沿着解理面撕成極薄的薄片。

晶体的格子構造 用机械方法把晶体打碎成規則形态的碎塊究竟可以到什么样的限度呢？結晶学家早已得出結論：

把它用錘子打碎成大小不同的碎塊，此时这些碎塊都会具有成直角的平行六面体的形狀。还可以把其中的任一碎塊再打碎成同樣的多面体。也可以用方解石来做类似的实验，同样也可以得到平行六面体的碎塊。虽然碎塊將不再是成直角的，但它將仍然是具有一定角度的平行六

認為在理論上，這種分割應該進行到由一個或幾個分子所組成的微粒般的大小，並在這些概念的基礎上逐漸地建立起有關晶體構造的完整理論。根據這個理論，晶體的內部構造是成為一種稱為空間格子的形狀的，在空間格子中的每一相同的晶胞（具有平行六面體形狀的）

中都按照對稱規律分布着相同的最小物質質點——分子、原子、离子或是分子團、原子團、离子團（圖11）。實際上，用機械的方法來破碎晶體是遠不能達到理論上的限度的，因而甚至對於最小的結晶物質的粉末來說，我們也可以分辨出結晶物質所具有的特性。晶體物理性質的異向性是和晶體的格子構造密切相關的。

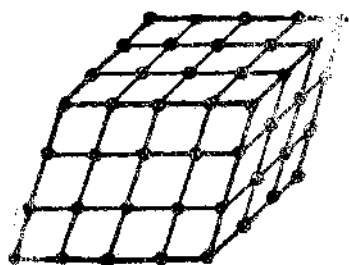
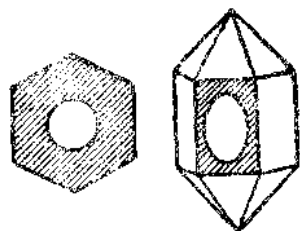


圖 11. 空間格子。點表示結點的位置，也就是原子團、分子團、离子團或者是獨立質點的位置

晶體物理性質的異向性 從晶體能沿着解理面而裂開的性能中就能清楚地看到，晶體的性質在不同方向上可能是不同的。比如晶體在不同的方向上具有不同的堅固性。正由於這個原因，晶體就容易沿着某些方向破裂，而沿另一些方向則很難破裂。晶體在不同方向上物理性質的不同稱為異向性或向量性（векториальность）。晶體不僅在機械性質方面，而且在許多其他的物理性質方面也具有異向性。例如在一定物質的晶體中，光在各個不同方向上的傳播速度就不同。在加熱晶體時，晶體在不同的方向上的膨脹也不一樣。還可以碰到這樣的晶體，當加熱時，它們在某些方向膨脹，而同時在另一些方向收縮。導熱性、導電性等性質也是如

此。

導熱性的異向性是易于觀察到的。例如在磨光的石英薄片上塗以白蠟，用加熱過的金屬絲尖端與之接觸。于是白蠟



a

b

圖 12. 石英導熱性的異向性
a—晶體的底面；b—旁側的柱面

熔化了，在柱面上形成橢圓形的凹坑，而在底面上——就是在垂直晶体主軸方向所切下來的面上，則形成圓形的凹坑（圖12）。這些凹坑在白蠟冷凝後仍然能夠保存着。

如果从晶体中某一点出發，按比例地沿各个相应的方向作直綫，用來表示晶体的導熱性、導電性以及許多其他性質，那么这些綫段的末端都將沿着三軸橢球体的曲面而分布。在个别情況下能形成旋轉橢球体或圓球体^①。

晶体的彈性 晶体的異向性并不总是用橢球体能表現的，在許多情況下形成更為複雜的曲面。例如，晶体在各个不同方向上彈性的大小，或与之相反的壓縮率的大小就能產生那樣的曲面。如果沿不同方向，以与石英晶体的彈性係數（即引起石英晶体在受力方向作相同收縮的力）成比例的綫段來作圖，那么可以獲得如圖13所示的曲面。

双折射 在許多晶体中可以觀察到双折射。这一現象首先是在冰洲石晶体中發現的。双折射是指透過晶体觀察物体时，这一物体或多或少地被人們看成为两个物体（圖14）。

①三軸橢球体是一种變形的球体，所有通过中心的切面均为橢圓。旋轉橢球体是橢圓圍繞其兩軸中之任一軸旋轉而成的。

这一異向性的現象是由于物像分开的程度不一致而造成的；物像分开的程度取决于我們用來观察的晶体片是怎样切的。

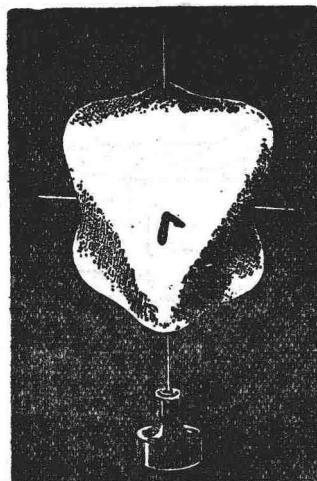


圖 13. 石英晶体的彈性係数
曲面

在方解石晶体中还有完全观察不到双折射的方向，这称为光軸。

晶体的焦电性 常能遇到在加热时能產生电荷的晶

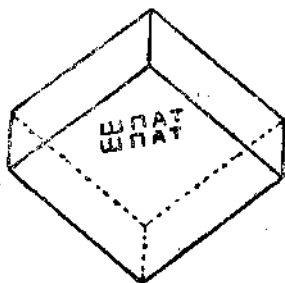


圖 14. 冰洲石中的双折射。
置于晶体后面的字，看上去
像是两个

体。这种性質称为焦电性。例如电气石（圖15）就是具有这种性質的晶体。在加热时，晶体的一端產生正电荷，而在另一端則產生相反的負电荷。所產生的电荷及其符号可以用各种不同的方法來發現。例如往加热过的晶体上撒以由硫和鉛丹所組成的粉末，那么电气石帶有正电荷的一端將吸引硫的粉末（此时硫本身帶有負电荷），并排斥帶有正电荷的鉛丹，而晶体的另一端將吸引鉛丹的粉末而排斥硫的粉末。因而晶体帶正电的一端將因硫的粉末而染成黄色，帶負电的一端將因鉛丹粉末而染成紅色。当晶体冷却时，电荷的符号作相反的变化。

晶体的压电性 还有这样的一些晶体，它們在受压縮和

拉伸时能够带电。这种现象称为压电性。例如石英晶体就具有压电性。如果从石英晶体中平行其光轴 Z ，垂直 X 轴

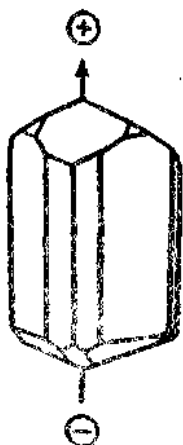


圖 15. 电气石晶体。
当加热时尖的一端带
正电荷

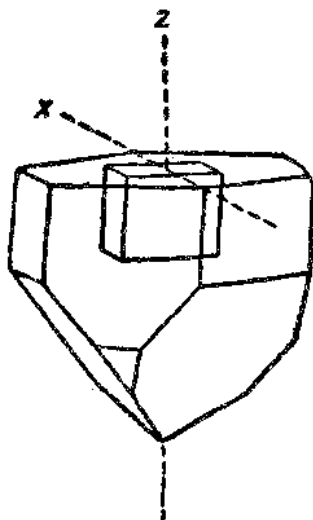


圖 16. (为了恢复压电现象)
切割石英薄片的方法：
 Z —光轴， X —电轴

(圖16)切下一塊薄片，并使薄片沿 X 軸方向受到壓縮，那么在 X 軸的一端的晶面上將帶有負电荷。而在相反一端的晶面上則將帶有正电荷。改变变形的方式，即使薄片遭受的不是壓縮而是沿 X 軸的拉伸，那么我們將獲得相反符号的电荷。 X 軸称为电軸，而上述作用称为正压电效应。除此以外，在石英晶体中还能观察到相反的效应，即当以同样方式对石英薄片加以电荷，使当壓縮时帶正电的晶面獲得正电，使相反的晶面獲得負电，則石英薄片將沿电軸的方向收縮。当改变电荷符号时則变形也將改变，即石英薄片將沿电軸伸長。

晶体的生長和溶解

I. 晶体形成的条件

純淨的結晶物質的熔解 如果將某一易熔的純結晶物質（亞硫酸鹽、水楊酸苯酯）加熱，同時并作圖。這圖的水平軸作為時間、縱軸作為物質的溫度。那么在開始時，曲

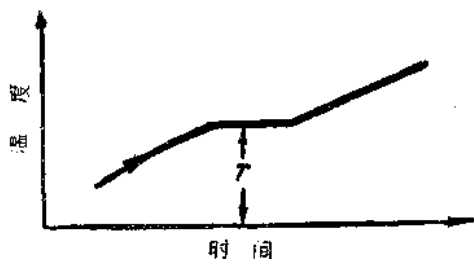


圖 17. 純淨的結晶物質的加熱曲綫

綫將平穩地上升；然後，當物質開始熔解時，曲綫將水平地前進，而最後，當熔解完了時，曲綫又將平穩地上升（圖 17）。與曲綫上水平綫段相當的溫度 T 就是該物質的熔點。

純淨的結晶物質熔融體冷卻時的結晶作用 當熔融物質在開口的器皿中冷卻時，如果實驗室中所常有的該物質的固體塵粒有可能掉入熔融體中，並且將物質充分均勻攪拌，那么可以獲得一條行程相反的曲綫：在開始時溫度將平穩地

下降，然后随着結晶作用的开始在一段時間內，溫度將固定不變。而直到最后，溫度又將平穩地下降（圖18）。如果

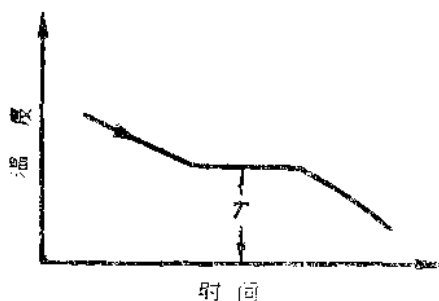


圖 18. 純粹的結晶物質的熔融體的正常冷卻曲線

把熔融體冷卻進行得很小心，既不攪拌，也不使塵粒從空氣中掉入熔融物質中，那麼冷卻的曲線在某些情況下可能和以前的曲線一樣，而在另一些情況下溫度將逐漸下降，一直下



圖 19. 當過冷卻時的冷卻曲線

降到熔點以下。在這種情況下：當到達某一溫度時，結晶作用常會自發地開始，並且從這一瞬間起，溫度將開始迅速地上升，在某一些情況下能上升到達熔點，在另一些情況下也可能上升不到熔點。以下的過程則將和

以前一樣（圖19）。

液體的過冷卻和固態非晶質物體的形成 在熔融體冷卻的過程中，曲線可能在所有時間中都平穩地下降而不形成曲線中的水平部分。在這種情況下，液態的熔融體在冷卻的