

水泥熟料与高爐矿渣的 岩 相 檢 驗

H.A.托罗波夫教授 著
O.M.阿斯特列耶娃



建 筑 工 程 出 版 社

國立全蘇水泥工業科學研究院論文集

水泥熟料与高爐矿渣 的岩相檢驗

楊 璋 蘇宜詵 譯

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內容提要

本書闡明波特蘭水泥熟料及高爐礦渣岩相研究方法的原理，敘述了礦物的主要特征及光學性質、顯微鏡構造、礦物的顯微鏡檢驗方法，以及在生产条件下对熟料和矿渣进行岩相檢驗的組織工作等方面最重要的知識。

* 本書可供建築材料、建築及冶金企業的工廠化驗室工作人員及工程技術人員應用。

原本說明

書 名 ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОРТ-
ЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА и ДЮМЕН-
НОГО ШЛАКА

著 者 Н. А. Торопов, О. М. Астреева

出版者 Промстройиздат

出版地点 莫斯科—1948
及 年 份

水泥熟料与高爐礦渣的岩相檢驗

楊 璋 蘇宜詵 譯

1958年12月第1版

1958年12月第1次印刷

3.560冊

787×1092 · 1/32 · 60千字 · 印張2 5/8 · 定價(10) 0.36元

建築工程出版社印刷廠印刷 · 新華書店發行 · 書號: 974

建築工程出版社出版(北京市西郊官萬庄)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052號)

目 录

序 言	4
1. 矿物的主要特征	6
2. 矿物的光学性质	10
3. 显微镜的构造及使用规则	16
4. 在显微镜下测量颗粒的大小, 统计矿物和确定 筛子的号码	24
5. 制备显微镜研究的试样	28
6. 显微镜研究的方法	32
7. 熟料矿物的特征	50
8. 高炉矿渣矿物的特征	57
9. 测定游离石灰的乌依特微量化学反应	61
10. 进行熟料分析的組織工作	62
11. 进行矿渣分析的組織工作	67
12. 矿物的系統描述	71
鑑定矿物的附表	78
岩相实验室的必要设备表	82

序 言

在几个斯大林五年计划的年代里，苏联的水泥工业取得了巨大的成就。除了革新了旧水泥厂的技术装备和建筑了拥有近代设备的新的企业外，还显著地提高了水泥的质量。水泥工厂生产了高标号波特兰水泥及一系列新的特种水泥。

上述这些成就的获得，是由于祖国科学的巨大成就在水泥化学及水泥岩相学范畴中起了很大的作用。

苏联学者(Л.С.别亮金院士，H.H.斯密尔诺夫教授，H.A.托罗波夫教授，B.H.容克教授，B.B.拉宾等)在人造矿物方面，在研究结晶条件及水化过程方面，以及在系统地研究工厂熟料的矿物组成和结构方面的工作，对水泥生产的理论及实践上都有巨大的贡献。

由于这样，在工厂化验室的工作中，着手运用波特兰水泥熟料及高炉矿渣的岩相分析方法才成为可能。

工厂工作人员研究了熟料的显微结构及矿物组成，就能够获得有关工艺过程及在工艺过程中所发生问题的宝贵知识。因此岩相研究方法在进一步改进工艺过程，控制及提高水泥质量中起着很大的作用。

水泥科学研究所发表的H.A.托罗波夫教授和O.M.阿斯特列耶娃的著作是作者们多年来研究的总结，他们把说明熟料及矿渣岩相研究方法的原理作为自己的任务。

本书对于工厂工作人员是有益而实用的参考资料，广泛

地运用岩相分析方法会帮助他们在改进水泥生产工艺中得到新的成就。

水泥科学研究院院长

教授，工学博士 Б.Г. 斯克拉姆塔耶夫

科学部副主任

副教授，工学硕士 С.М. 洛雅克

1. 礦物的主要特征

在絕大多數的情況下，礦物都是結晶体，即：它們的特征是具有規則的內部結構，有一部分也具有規則的幾何外形。例如：食鹽結晶成立方體，石英結晶或兩端為六方錐的六面柱體(圖1)等。

水泥熟料及高爐礦渣中的礦物，也具有規則的幾何結構，但是只有將熟料及礦渣制成顯微鏡研究所需的特殊薄片或磨光片來研究這些礦物的不同斷面時，才能觀察到它們的結構。礦物幾何結構的規則性，在多數的情況下，首先表示在：這些斷面具有規則的



圖1 石英晶体

外形，例如：阿里特、氫氧化鈣的六角片狀體，或斷面中常呈延長小柱體的鐵鋁酸四鈣晶体等。其次，在許多礦物中可看到解理紋，云母類礦物尤其明顯。

在熟料或礦渣的複雜礦物體中，各個晶体在成長過程中互相碰撞，通常不具有完全規則的外形，而形成粒狀。雖然如此，它們的光性和其他性質卻與規則的晶体一樣。

因此，為了識別在顯微斷面上所觀察到的晶体外形，還必須熟悉晶体在良好成長條件下發育時所生成的多稜外形。

一切結晶礦物根據它們的內部結構、外形及物理性質，分為六類或六個晶系。

1) **立方或等軸晶系** 晶体在均勻發育的情況下，在三個互相垂直的座標軸上的長短是一樣的。如：立方體，八面

体，菱形十二面体(图2)。属于立方晶系的矿物有：氧化钙—— CaO ，方镁石—— MgO ，尖晶石—— $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，铝酸三钙—— $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，三铝酸五钙—— $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ 。

2) **六方晶系** 为六方板状体或柱体，有时是锥体或菱面体(图3)。晶体沿着一个方向伸长或相反地缩短。例如：阿里特 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，石英 SiO_2 (见图1)，方解石(图4)等。

3) **正方晶系** 为正方柱体、正方板面或正方锥体(图5)，沿一个轴伸长或缩短。例如：矽铝酸二钙 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 。

4) **斜方晶系** 晶体在互成 90° 的三个轴上的长短不同，有锥体，柱体(图6)。例如：莫来石 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 。

5) **单斜晶系** 晶体在三个轴上的长短均不同，三轴中，二轴以斜角相交，而第三轴与它们垂直。有板面，柱体。例如：石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (图7)。

6) **三斜晶系** 三轴以斜角相交。有板面(图8)。例如：钙长石 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 。

在某些情况下，晶体本身相互间形成了双晶，即由各单独晶体以一定角度相互间有规律地连生在一起。石膏晶体形成极为特殊的燕尾双晶(图9)。双晶的两半相接合的面称为双晶面。这个面被薄片断面所截的痕迹是直线——双晶纹。

若不只是由两个晶体，而是由更多晶体联结而形成的双晶，就称为复合双晶或聚片双晶(图10)。

在偏光下观察双晶结构时，它们具有特别清晰的形状(图11)。

多晶转变 某些结晶物质在温度改变时(加热或冷却)，改变了自己的晶形、结构、比重等。这个物质产生了新的结



图 2 立方晶系晶体
立方体, 八面体, 菱形十二面体

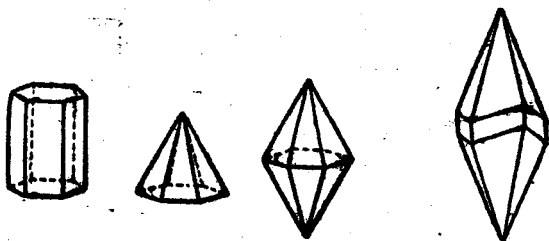


图 3 六方晶系晶体
柱体, 锥体, 双锥体

图 4 方解石晶体

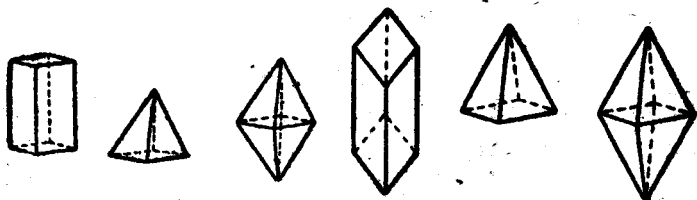


图 5 正方晶系晶体
柱体, 锥体, 双锥体

图 6 斜方晶系晶体
柱体, 锥体, 双锥体



图 7
单斜晶系晶体

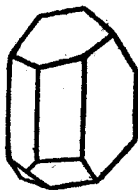


图 8
三斜晶系晶体



图 9
石膏双晶

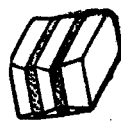


图 10
聚片双晶



图 11 偏光下，聚片双晶的显微照相，放大90倍

晶形或多晶变型。結晶物質本身的轉变称之为多晶轉变现象。在許多情况下，它引起物質的密度显著地改变，以致在晶体中发生內应力，最后终于形成裂縫或甚至使物質完全破坏。例如：将石英晶体加热时，在 575°C 发生了轉变，使石英晶体裂开。观察矽酸二鈣，也有同样的现象，因此，含有这种矿物的某些波特兰水泥熟料及碱性高炉矿渣会自动分散成細粉末。

在較高温度下稳定的变型，通常称为 α -变型。如： $\alpha\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 在它的熔点 $2130^{\circ}\text{--}1435^{\circ}$ 的范围内稳定，在 1435° 时它轉变为 β -变型。在 670° ， β -变型又轉变为 γ -变型。与后者轉变的同时，物質的体积增加了10%，并引起矽酸二鈣如上所述地自动分散。必須指出，由于过冷现象，这种轉变和相应的分散甚至在較低的温度下也会发生。

再举一个例子。偏矽酸鈣形成两个变型： $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ （假矽灰石）及 $\beta\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ （矽灰石），其轉变温度是 1150°C 。借助于显微鏡研究所确定的特征，可以容易地区别开各种

变型。

固溶体及混合晶体 固态物质与液态相似，可以互相溶解。有色的石英晶体（紫色石英——紫水晶、烟晶）以及呈浅蓝色及红色的岩盐晶体等可作为这些固溶体的例子。固态物质互溶所得到的晶体称为混合晶体，而生成混合晶体的物质，处于固溶体状态。例如：氧化镁可溶解氧化铁 FeO 及 Fe_2O_3 ，依据溶解氧化铁的量而呈浅黄色或暗黄色。特别是在所谓同晶现象情况下，结晶构造彼此相近的物质（如：碳酸盐，不同成分的尖晶石等）在彼此相混（互相溶解）时，生成了浓固溶体。混晶的生成通常使晶体同时发生一系列的光性变化，并且这个变化与固溶体组成部分的含量成比例。

有时当生成固溶体时，在结晶过程中，晶体中心与边缘部分的含量不同，而生成了十分特殊的所谓分区晶体。

研究磨光片中波特兰水泥熟料的结构时，在某些情况下，可看到波特兰水泥熟料的主要矿物——阿里特晶体——具有同样的分区结构，这说明它是有些不均匀的。

混晶的生成可防止高温变型 $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 转变为低温变型 $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ，因而也就防止含有大量矽酸二钙的物质发生上述的分散。磷、硼、锰、铬、钡等的化合物可用来作为溶质。在制造白云石耐火砖时，为了防止因结晶的 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 由 β 型转变为 γ 型而引起分散，实际上要加入这些物质。

2. 矿物的光学性质

光在矿物中透射或折射所引起的现象对显微镜分析来说

有着十分重要的意义，所以需要比較詳細地來討論礦物的光學性質。

光傳播的速度與光綫所通過的介質的密度有關。光在光性較密的介質中傳播的速度比在光性較疏的介質中要小些，所以當光綫從一種密度的介質進入到另一種密度的介質時，就要發生折射及反射現象。

光的折射 當光綫從光性密度較小的介質Ⅰ進入到光性密度較大的介質Ⅱ時(圖12)，要發生折射。入射光綫與介質Ⅰ、Ⅱ面的垂綫所夾的入射角 i 和折射光綫與該垂綫延長綫所夾的折射角 r 之間存在着一定的比例關係，而與這些角的絕對值無關。這個關係可以用公式 $\frac{\sin i}{\sin r} = N = \frac{v_1}{v_2}$ 表示，即這個比值等於入射介質中的光速與折射介質中的光速之

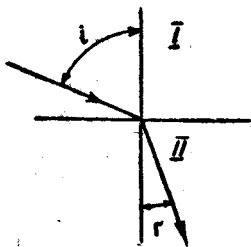


圖 12 從較疏介質進入較密介質時光綫的折射

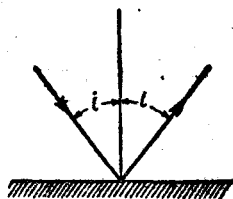


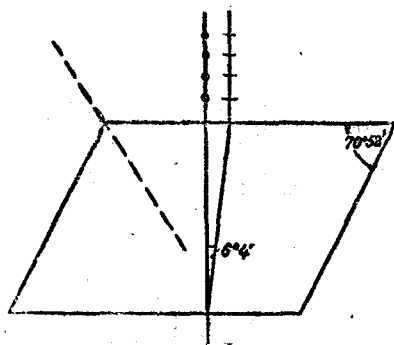
圖 13 光的全內反射

比。因為光速之比與入射角和折射角^①的大小無關，那麼很顯然，對這一对介質來說， N 為一常數，稱為折射率。對每一礦物來說折射率都是一個十分重要的特性常數。所以在岩相分析上，測定礦物的折射率有着重要的意義。

① 原文為“反射角”系為“折射角”之誤——譯注。

当光线从密度较大的介质进入密度较小的介质时，折射角大于入射角，所以当入射角达到某一临界值时，折射角等于 90° ，光线在二个介质的分界面上发生了全内反射(图13)。入射角 i 大于临界值时，如光线从水进入空气，或从玻璃进入空气，或从玻璃进入任一折光较弱的液体时，均可观察到同样的现象。全内反射现象也应用到岩相分析上。

光的双折射 在不属于立方晶系的晶体中，除了有光线的折射现象外还能观察到光线分叉或双折射的现象(图14)；



还在1669年在透明方解石的大晶体上(即所谓的冰洲石)就已初次发现了这一现象。

假如透过冰洲石的薄片观察任一点，那么可得到双象(图15)。

当光在任意方向通过方解石的透明晶体时，均可得到两种光，

光通过与晶体垂直轴相一致的那个方向是例外，沿着这个方向只有一条光线通过。沿着其余方向所透过的两条光中，一条符合光折射的一般定律，并在晶体中的各个方向上有相同的折射率，即以同一速度传播，这种光称为常光。第二种光改变折射率，当光线垂直于方解石晶体垂轴透过时，它的折射率最小，当平行于垂轴透过时，它的折射率最大，这种光称为非常光。随方向不同而改变折射率的介质称为各向异性介质以区别于在各个方向上有着同一折射率的各向同性介质。



图 15 轉动晶体时方解石晶体的双折射

O —常光； E —非常光

光的偏振 如实验指出，双折射与折射光的偏振同时发生。偏振光和普通光的区别在于：偏振光，介质质点的振动（光线随着质点的振动而传播出去）只在一个平面上，而普通光线，质点在与光线传播方向相垂直的各个方向的平面上振动。

研究通过冰洲石晶体的光线，说明了无论常光或非常光均为偏振光(图16)。

光线的复合或光的干涉 偏振光在一个平面上振动，那么当两束光的偏振面相重合时，就要发生相互作用(或干涉)。

随着质点的振动同时有两束偏振面相重合的偏振光 a 及 b 传播着，这些质点的振动相互作用的结果与这些质点的振动曲线(表示质点在任一瞬间的振动状态)的相互位置有关。

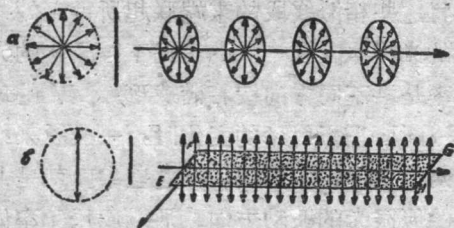


图 16

a —普通光的振动； b —面偏振光的振动

如果这些曲线的最高点与最低点的位置相同(图17)，那

么偏振光的强度和光线的亮度将增加；若最高点与最低点的位置相反，那么光线的亮度将减弱(图18)，并且当振动着的质点离开零点位置的距离相等时，一束光线将完全为另一束光线所抵消(图19)。

在偏光显微镜下研究矿物时，在某些情况下也利用两束偏振光的干涉和复合现象。

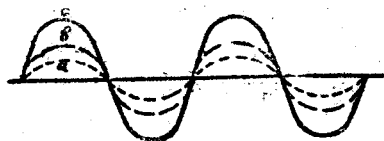


图 17 光波干涉时，光亮度的增强



图 18 光波干涉时，亮度的减弱

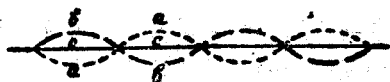


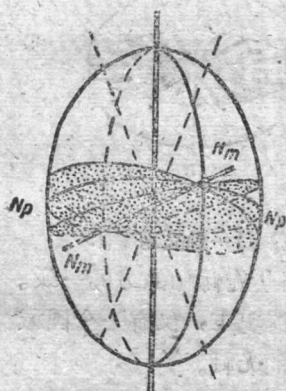
图 19 光波干涉时，光相互抵消

假若想象在晶体中心有一光点作为光线传播的点源，从这一点沿着不同方向繪置綫段，这些綫段按一定的比例尺来表示这些光线的折射率，那么将这些相似綫段的末端联起所得到的共同的面，就是该晶体的光率体。在一般的情况下，晶体的光率体是椭球形。折射率是沿不同方向按着椭球形而变化的球，并且在研究晶体任一断面上折射率的变化时，一般說来，我們可得到一个具有两个主半軸的椭圆。而这些半軸就是与晶体該断面垂直传播的偏振光的振动方向。所以应用光率体能够很容易来理解光线透过晶体时所发生的一切现象。

根据内部结构，晶体的光率体可分为三种类型：

1) 斜方、单斜及三斜晶体的光率体的略图如图20所

示。在这种情况下椭球体有三个不同的半轴 N_g 、 N_m 、 N_p ，及两个半径等于 N_m 的圆截面。垂直通过圆截面的光线无双



折射，而这些光也不是偏振的。垂直于圆截面的方向称为晶体的光轴。以所述光率体为特征的这三个晶系的晶体是光学上的二轴晶。

二轴晶的特征是它们的二个光轴位于光率体的截面上，该截面同时包含最大折射率 N_g 及最小折射率 N_p 。这个截面称为二轴晶的光轴面。

我们将二轴晶分为两类：假如 N_g 平分二光轴间的锐角，那么称为正光性的二轴晶，假若是 N_p 平分这个锐角，那么就属于负光性的二轴晶。光轴间的夹角通常以符号 $2V$ 来表示。在晶轴相互垂直的斜方晶体中，显然，这些晶轴与光率体的 N_g 、 N_m 、 N_p 的方向永远一致。

在二个晶轴相互垂直，而第三晶轴与它们倾斜的单斜晶体中，仅沿着一个晶轴相一致。最后在晶轴斜交的三斜晶体中，一般说来，椭球体的轴 (N_g 、 N_m 、 N_p) 与晶体的几何轴不一致。

2) 六方晶系和正方晶系晶体的光率体是一个椭圆围绕其长轴(图21)或短轴(图22)旋转所得之旋转椭球体。

在同一椭球体的任一断面上，我们始终得到一个具有定值的半轴。这个值与它的折射率相适应。在一切断面上这个固定的折射率以符号 N_o 来表示。第二个折射率的大小随着从一个断面换到另一个断面而改变，以符号 N_e 来表示。

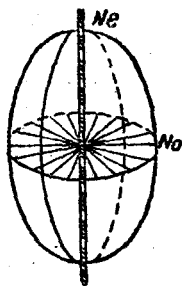


图 21 正一軸晶光率体

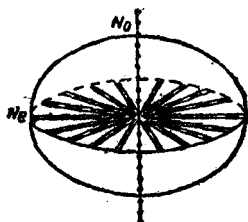


图 22 負一軸晶光率体

相似类型橢球体的半軸 N_e 。显然与其旋轉軸的方向一致。圓截面垂直于 N_e 。这样在这种情况下，仅有一个圓截面，因之，只有一个与圓截面相垂直的光軸。

所以六方晶系和正方晶系的晶体在光性上說是一軸晶。

与二軸晶分为正負光性的情况一样，我們將一軸晶也分为正光性与負光性的晶体。凡 N_e 大于 N_o 时，是正一軸晶（光率体是长橢球体），而 N_o 大于 N_e 时，是負一軸晶（光率体是扁橢球体）。

3) 在立方晶系的晶体中，折射率不随光綫透过晶体的方向而改变，光率体是球形。所以在立方晶系的晶体中，观察不到双折射现象。

3. 顯微鏡的構造及使用規則

不同类型和不同构造的顯微鏡都是进行岩相分析的主要工具。

由于熟料及矿渣中各个矿物的顆粒很小，所以确定波特兰水泥熟料及高炉矿渣的結構和矿物組成时，一定要用顯微