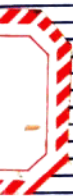


LA SHI LA SHI LA SHI LA SHI

蜡石

徐平坤 编著



冶金工业出版社

前 言

蜡石是重要的非金属矿物原料之一,是一种硅酸铝矿物原料。蜡石质耐火材料,在炼钢用盛钢桶、铁水罐、粒铁回转炉、玻璃窑拱顶、拱脚、胸墙、喷火口等部位以及浇钢用下注砖,有色金属精炼的氯化炉,加热炉底试用,取得令人满意的效果。特别是盛钢桶衬砖不挂渣、整体性好、抗侵蚀,显示出蜡石质耐火材料的独特优点。

蜡石作为雕刻材料,利用其天然的色石,雕刻成各种精美的艺术品。蜡石石质温润莹澈,具有各种天然的色泽,而且硬度适宜于奏刀镌刻,呈致密块体,是上好的雕刻材料。

蜡石的外观色泽及加工性质与大理石相近,特别是凝灰质蜡石、叶蜡石化凝灰岩及其围岩硅化凝灰岩。凝灰岩的强度较高,裂隙少,可以切割研磨成建筑装饰材料代替大理石,供作室内外装饰用。

蜡石品种繁多,名目各殊,近年来,蜡石的使用范围在不断扩大,已经大量用做陶瓷釉面砖、玻璃纤维、白水泥人造金刚石模具的原料,以及涂料、肥皂、牙粉、塑料原料的掺合料,最近有的部门试用作为塑料、农药的填料。可以预测,随着我国工业的现代化,蜡石的开发和利用也必定会有很大的发展。

在本书撰写过程中,得到了阳泉市老虎沟耐火材料厂史永记经济师、华跃耐火材料厂余保仓工程师,林里出口耐火材料厂王同敬工程师、前洼耐火材料厂陈清康工程师、孟县耐火材料厂韩喜来工程师、杨树沟耐火材料厂史彦福工程师的支持和资助,书中引用了许多作者的参考文献,福建省地质局宋祥铨高级工程师提供了许多宝贵资料,北京科技大学赵万智教授审阅了全书,在此表示感谢。

由于作者水平有限，缺点和错误在所难免，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1996 年 11 月

目 录

第一章 概论.....	1
第二章 叶蜡石矿物的基本性质.....	5
第一节 结构特点.....	5
第二节 叶蜡石的基本性质.....	6
第三章 蜡石矿石的性质与评价	15
第一节 颜色、结构与构造	15
第二节 蜡石的工艺性质	24
第三节 工业指标和工业类型	27
第四章 蜡石的应用	36
第一节 石雕和石材	36
第二节 陶瓷原料	39
第三节 耐火原料	45
第四节 玻璃和水泥原料	51
第五节 合成分子筛和人造金刚石模具	56
第六节 填料和涂料	59
第七节 日用化妆品及其他	69
第八节 综合利用	70
第五章 蜡石矿床	73
第一节 矿床成因类型及其地质特征	73
第二节 成矿地质条件	83
第三节 成矿规律	86
第四节 工业要求	87
第六章 蜡石的普查与勘探	89
第一节 地质普查	89
第二节 地质勘探	92

第七章 蜡石矿床的开采	104
第一节 露天开采.....	104
第二节 地下开采.....	114
第八章 蜡石的选矿与加工	134
第一节 概述.....	134
第二节 切割与琢磨.....	136
第三节 粗碎作业.....	137
第四节 中碎、细碎作业.....	141
第五节 磨细作业.....	148
第六节 超细磨碎作业.....	153
第七节 筛分与分级.....	158
第八节 浓缩、脱水和干燥.....	163
第九节 除铁与漂白.....	167
第十节 集尘.....	171
第十一节 蜡石加工流程.....	174
附表 1	183
附表 2	184
参考文献.....	186

第一章 概 论

蜡石是重要的非金属矿物原料之一。过去所称的蜡石，指具有滑腻感、脂肪光泽的致密块状矿物，这种广义的名称包括叶蜡石、高岭石、地开石、绿霞石、块滑石等。近来普遍习惯于将以叶蜡石为主要矿物的天然矿石称为蜡石，叶蜡石为矿物名称。

叶蜡石英语为 pyrophyllite，“pyr”希腊文的意思是“火”，“Phyllite”意思是岩石和石头，二者构成其名称。说明叶蜡石最早的用途是做耐火石，“Phyllite”的另一出处是由希腊文的 Phyllite “叶”而来的，指叶蜡石加热时产生美丽的白色放射状结晶集块而言。在自然界，纯叶蜡石矿物集合体很少见，一般都以叶蜡石及其类似的矿物集合体形式产出。日本称之为蜡石（日文ろう石；Rosek），朝鲜称之为蜡状石头（Nob-Suk），前苏联等国称之为叶蜡石岩或叶蜡石料，南非称之为奇异石……。

世界上蜡石的主要产地有美国的北卡罗来纳州、宾夕法尼亚州和乔治亚州，澳大利亚的新南威尔士，加拿大的温哥华岛；南非^①的特兰士瓦，前苏联的乌拉尔、乌克兰和哈萨克斯坦，日本的长崎、广岛、长野、北海道，韩国的莞岛等地。

蜡石最早发现于我国福建省福州郊区寿山乡，至今欧美仍把致密块状蜡石称做寿山石。随着寿山石名称的出现，以产地取名成为习惯。如浙江省青田产的蜡石称做青田石，昌化产的蜡石称做昌化石，内蒙巴林右旗林西产的蜡石称做林西石。福建省以产地所在县命名者就有：闽清石、莆田石、罗源石、连江石、松政石、长乐石、仙游石、长泰石、永泰石、南安石、安溪石、福鼎

① 在白人种族主义者统治下。

石、霞浦石等。在一个县里不同村不同矿点产的蜡石，又以村名、坑洞命名。如福建省福清县产的福清石当中又有坡兰石（产于坡兰村）、联华石（联华村）、东济石（东济村）、东张石（东张村）……。以坑洞命名，清初毛奇龄《后观石录》中评“田坑第一，水坑次之，山坑又次之”，传统习惯亦“田坑”、“水坑”、“山坑”分为总目，又有各种田坑石、水坑石、山坑石。还有按色象命名，如青田石当中的质纯白如水晶的蜡石称做鱼脑冻，以及灯光冻、五彩冻、封门青。昌化石当中的白者称为“白昌化”，灰色杂紫黑块者名为“黑昌化”，多色相间者名为“花昌化”，色红如血者名为鸡血石等等。此外尚有壶石、塔石、石碇石、印章石、石笔石等名称，质莹洁者又名冻石，有的学者亦将冻石做为矿物学名称。民间通俗亦有称蜡石为“都都石”，“珉珉”等。蜡石品种繁多，名目各殊，据有关人员初步统计，蜡石名称约有百余种^[5]。目前我国对蜡石名称的使用仍比较混乱，工艺美术部门大都使用前述的产地、色象及用途名称；地质部门以纯矿物名称叶蜡石命名；一些非金属矿物加工利用部门有的称做蜡石，有的称做叶蜡石岩，还有些也称为纯矿物名称叶蜡石。

据考古发掘者报道：福州地区的新石器时代遗址，曾发现过寿山石磨制的箭簇，从南朝（公元420~589年）墓葬中出土的寿山石雕更证明了早在1500多年以前，我国劳动人民就开始利用寿山石的不同形态，雕刻富有独特风格的工艺品。有人从芙蓉峰一岩洞古号灵洞岩证明五代时我国已开发寿山石，但不够精确。涉及开采的文字记录见于南宋，从宋墓中大量出土的寿山石俑，足以说明宋代已开采寿山石。明代也有开采做香炉、佛珠，末期作印章石。清代初期开采再度兴盛，同时青田石也被大量开采。近一个世纪以来，寿山石、青田石、昌化石、林西石引起中外科学界的广泛兴趣，1848年德国科学家温幕斯德（Walmstedt）认为中国印章石概分为：叶蜡石、绿霞石与块滑石三种；1858年美国学者布拉什（Brush）对我国寿山、青田两地产的蜡石进行化学分析，认为二者矿质柱相似。近半个世纪，我国科技工作者梁津、叶良

辅、张更、李璜及李学清等人从地质学和岩石学角度研究蜡石，对蜡石的开发打下了基础。

日本在17世纪初德川时代即将蜡石用于装饰材料和石笔，19世纪初用做耐火材料，现在有60%的蜡石作为耐火原料，并且广泛用于陶瓷、水泥、玻璃、造纸、农药、橡胶等工业部门。美国于1888年在罗宾斯地区发现蜡石，1927年范德比尔特公司(R. T. Vanderbilt Co.)开始采用蜡石作为陶瓷原料，数年后这个公司申请用蜡石制造面砖的专利。近年来采用蜡石代替滑石作为填料，在油漆、油毡、农药等工业部门大量使用。苏联于1926年开始开采蜡石，30年代用做宝石，后来试制过耐火材料。意大利用做雕刻，澳大利亚用来铺设路面等。

我国蜡石资源丰富，地质部门在寿山、青田蜡石矿床的基础上又做了大量地质工作，先后在福建、浙江两省找到几十处蜡石矿点，确定了我国东南沿海中生代火山岩地区蜡石成矿带，有的矿点已被勘探为大型矿床。此外在内蒙古、辽宁、吉林、新疆等省区也发现蜡石矿床。蜡石矿床的成因主要为火山热液型，其次为变质型。同一矿床往往由许多矿体组成，一般矿体规模不大、形态复杂、有层状、似层状、不规则透镜状、条带状、脉状、网脉状及团块状等。矿石主要由叶蜡石、其次为石英、高岭石、水铝石等组成，因成因不同还伴生有玉髓、蛋白石、绢云母、明矾石、红柱石、刚玉、黄铁矿等。一般矿体埋藏不深，采用露天开采，亦有少数矿体延深较大，采用地下开采。

全国解放以后，我国蜡石的开发利用有很大的发展，古老的石雕艺术大放异彩，福州、青田等地原来的手工作坊，都发展成为规模较大的石雕厂，雕刻的产品大量出口。1958年中国科学院冶金陶瓷研究所张绶庆等从硅酸盐工业原料角度对青田蜡石的基本性质进行研究。1972年冶金部洛阳耐火材料研究所对福建峨嵋、浙江上虞等地的蜡石进行了基本性质及耐火材料工艺研究，同时洛阳耐火材料研究所与福州耐火材料厂共同研制了蜡石质耐火材料，在炼钢用盛钢桶、铁水罐、粒铁回转炉、玻璃窑拱顶、拱

脚、胸墙、喷火口等部位以及浇钢用下注砖，有色金属精炼的氯化炉，加热炉底试用，取得令人满意的效果。特别是盛钢桶衬砖不挂渣、整体性好、抗侵蚀，显示出蜡石质耐火材料的独特优点。1982年北京玻璃研究所研制的蜡石质玻璃坩埚代替白金坩埚取得很好的使用效果。近年来蜡石的使用范围在不断扩大，已经大量用做陶瓷釉面砖、玻璃纤维、白水泥、人造金刚石模具的原料，以及涂料、肥皂、牙粉、塑料原料的掺合料。最近有的部门试用作为塑料、农药的填料，可以预测，随着我国工业的现代化，蜡石的开发和利用也必定会有很大的发展。

叶蜡石、滑石、皂石三种矿物的外貌极其相似，性质也十分相同，许多国家都把蜡石当做滑石开采和销售，生产统计数字也是三者合在一起的。蜡石的化学成分和物理性质与高岭土也很相近，造纸工业用高岭土做涂料和填料的需要量不断增加，用蜡石粉代替高岭土用于造纸涂料前景可观。

我国蜡石的开采和利用比起美国、日本还有相当大的差距。我国蜡石储量不低于日本，可是现在每年的开采量仅是日本的五分之一。其开采方法简单落后，大都是土法开采，使用范围极其有限。

今后，应该对大型矿山全面综合开采，按矿石的品位和类型进行分级，不同类型的蜡石用途也不同，如水铝石、高岭石质蜡石用于玻璃坩埚；叶蜡石质蜡石用于填料、涂料、耐火材料；外貌好看的用做雕刻；高硅蜡石用做耐火材料；绢云母系蜡石用做特殊耐火材料……。

使用部门不同，对蜡石外观及化学成分、物理性质的要求也不同，用做雕刻、装饰材料、印章等的蜡石要求强度大、硬度大、外观彩色，无裂隙，耐火材料要求含碱成分低、耐火度高，涂料、填料要求细度和白度……。一般蜡石粗碎采用颚式破碎机，中碎、细碎采用轮碾机、双辊破碎机、锤式破碎机，磨细采用悬辊式粉磨机、球磨机，超细磨采用气流粉碎机、振动磨等，此外，还可将湿法球磨机磨出的物料用水力旋流器进行分级取得超细粉，湿法磨出的物料要经过浓缩、漂白、压滤和干燥，然后包装出厂。

第二章 叶蜡石矿物的基本性质

叶蜡石是一种含水的铝硅酸盐矿物，其晶体结构、物理化学及热学性质有许多特点。

第一节 结构特点

一、叶蜡石的晶体结构

叶蜡石属层状硅酸盐矿物，其晶体结构是每一结构单位层由上下二层(Si—O)四面体层中间夹一层(Al—O、OH)八面体层

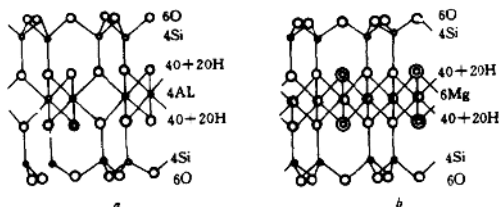


图1 叶蜡石(a)和滑石(b)晶体结构示意图

组成，如图1所示。每个四面体顶端的氧都指向结构单位层中央而与八面体所共有，此种结构单位层沿 a 轴和 b 轴方向无限地铺开，同时沿 c 轴方向又以一定间距重迭起来，构成叶蜡石晶体。结构单位层的距离是 $9.13\text{\AA}$ ，即是单位晶胞的 c 轴长度。

在叶蜡石的八面体层中，铝充填于八面体空隙中，配位数为6，即被四个氧离子和两个氢氧根离子所包围，八面体层中有六个位置可以安置Al，但实际上在叶蜡石的晶体结构中只有四个Al，即只占有三分之二的位置，因此叶蜡石属二八面体型结构，这点

与滑石不同，滑石属三八面体型结构（八面体空隙中全被 Mg 充填），与云母结构不同之处在于层间无其他阳离子。因此，叶蜡石中结构单位层之间的键力较云母弱得多，故而硬度低，同时可以推测层与层之间堆积时会有杂乱情况发生，所以叶蜡石也可以出现结构单位层具有无序性排列的多型性，最常见的多型为 2M 型，如广西德保县二迭纪煤系地层中呈石棉状的叶蜡石。叶蜡石与蒙脱石结构一样，蒙脱石含层间水。叶蜡石的结构单位层中，单位晶胞内正负电荷各为 44，恰巧平衡，一般不发生离子置换。

二、化学组成

根据叶蜡石晶体结构特点，其结构式可写成 $\text{Al}_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2$ ，实验式可写作 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。理论化学成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 28.3\%$ ， $\text{SiO}_2 66.7\%$ ， $\text{H}_2\text{O} 5.0\%$ 。但由于在叶蜡石的晶体结构中，四面体层中的 Si 可以被少量的 Al 置换，八面体层中的 Al 可以被少量的 Mg^{++} 、 Fe^{++} 、 Fe^{+++} 置换，结构单位层之间还可能少量的 K、Na、Ca，所以叶蜡石的化学成分与其理论成分可以有些出入。自然界很少见到纯叶蜡石，常有各种杂质伴生。

三、叶蜡石中常见的伴生矿物

从大量的显微镜薄片鉴定中可以看到，叶蜡石的主要伴生矿物是石英、高岭石、水铝石。其次是黄铁矿、玉髓、蛋白石、绢云母、明矾石、水云母、金红石、红柱石、蓝晶石、硅线石、刚玉、地开石、板钛矿，也有的发现黄玉、氟黄晶、蓝线石、绿泥石、蒙脱石、重晶石、镁蛋白石、赤铁矿、褐铁矿、勃姆石、叙永石（变水高岭石+水赤铁矿）、 β -硅铝钾石， β -方镁石等。

第二节 叶蜡石的基本性质

一、物理化学性质

叶蜡石晶体主要为单斜晶系，通常为片状、放射状的集合体，带珍珠状晕彩，或者为隐晶质鳞片状致密块，也发现有三斜晶系

的叶蜡石(如日本长野县信阳矿山)。

叶蜡石一般为白色,微带浅黄或淡绿色,条痕白色,从玻璃光泽、珍珠光泽、脂肪光泽、蜡状光泽到无光泽。从半透明到不透明。性柔,具滑腻感。密度 $2.75 \sim 2.80 \text{ g/cm}^3$, 摩氏硬度 $1.5 \sim 2.5$ 。

在偏光显微镜下观察,呈无色透明、中正突起、(001)解理完全、最高干涉色达三~四级,平行解理切面方向为一级,平行消光或小角度斜消光,沿解理方向正延性,其主要光学常数是 $N_g = 1.596 \sim 1.601$, $N_m = 1.586 \sim 1.589$, $N_p = 1.543 \sim 1.556$, $N_g - N_p = 0.046 \sim 0.062$, 二轴晶负光性,光轴角 $2V = 53^\circ \sim 62^\circ$, 色散 $2E = 110^\circ$, $r > V$ 弱。消光角,光轴面 $\perp$ (010)、解理片有挠曲性、无弹性。

叶蜡石和滑石在外貌和物理性质上是极相似的两种矿物,滑石的 $2V$ 较小。用硝酸钴 $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2]$ 溶液浸湿并强烈灼烧,叶蜡石呈蓝色,而滑石呈玫瑰色。野外可用测 pH 值法来区分叶蜡石和滑石,叶蜡石的 pH 值为 6,滑石为 9。叶蜡石在水和有机化合物的溶液里没有膨胀性,离子交换能极小,因此不具染色特点,以此可与蒙脱石及伊利石相区别。一般叶蜡石无可塑性,有人认为极细的叶蜡石有弱可塑性。

二、热学性质

(1) 差热分析 是用差热分析仪测定叶蜡石矿物在加热过程中的热效应,以鉴定矿物成分的一种方法。叶蜡石在加热过程中差热曲线较为单调,只是在 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 之间有一个平稳的吸热反应谷,也有的在 $700 \sim 800^\circ\text{C}$ 发生吸热反应,叶蜡石到 1000°C 还没有出现放热反应峰。这是由于叶蜡石脱水后结构未被破坏,不发生新的结晶作用和结合作用,峨嵋的叶蜡石差热分析曲线见图 2。

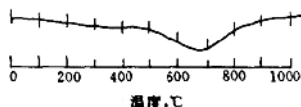


图 2 峨嵋叶蜡石的差热曲线

(2) 热重分析 是根据矿物在加热过程中所发生的

脱水、排气、氧化等反应而测定样品的重量变化，不同矿物的重量变化值也不一样。利用加热过程中样品重量变化来研究和鉴定矿物的方法叫热重分析。叶蜡石是利用脱水反应所引起重量变化来分析鉴定的，故又称之为脱水分析。

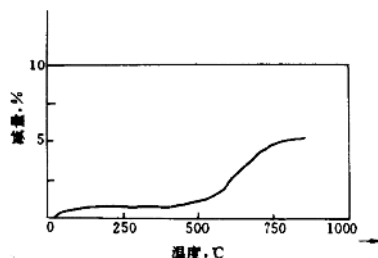


图3 青田叶蜡石的脱水曲线

通常是在自动记录仪器中，利用热天平称出重量相同的两个样品，一个是标准试样，一般为 Al_2O_3 粉末；另一个是被鉴定的矿物，在同步加热过程中记录二者重量差 ΔP ，然后以 ΔP 为纵坐标轴，温度为横坐标轴，连续记录，可获得脱水曲线。

叶蜡石在 $500\sim 800^\circ\text{C}$ 的温度范围内出现吸热反应，脱水失重只 5% 左右，所以由热天平测得的脱水失重曲线，以极为平缓为特征，见图 3。

叶蜡石的脱水温度比地开石还高， 800°C 尚需相当长的时间。因此，叶蜡石的结构比高岭石族矿物稳定，脱水后保持原来的晶体结构。

(3) 热膨胀或收缩

一般把叶蜡石切成 $\phi 10 \times 50\text{mm}$ 的圆柱体，在热膨胀仪上，按一定的升温速度测得膨胀或收缩曲线。

叶蜡石的加热过程，如说没有收缩，莫如说有膨胀的特点。从图 4 可以

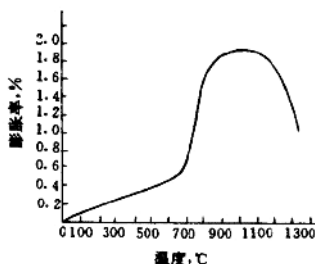


图4 叶蜡石的热膨胀变化

看出, 600℃以前有微弱的膨胀, 600℃左右有收缩的趋向, 700~900℃剧烈的膨胀, 1050℃左右有收缩的趋向, 直到 1200℃以后可能有异常膨胀, 1300~1400℃膨胀较大。700℃开始属于脱水膨胀, 常温由 (006) 面算出晶格常数 $18.40 \text{ \AA}$, 900℃脱水后是 $18.67 \text{ \AA}$, C 轴方向有 1.47% 的残余膨胀。结构水跑出后, 体积逐渐缩小。1100℃叶蜡石破坏, 1200℃叶蜡石完全消失了, 明显表现收缩。1300℃游离石英变成方石英, 体积产生膨胀。膨胀是有方向性的, 垂直 c 轴最大。采用蜡石粉的成型体测定膨胀率比较均匀。

(4) 加热过程相变化 将叶蜡石进行煅烧, 在 600℃以前, 没有明显变化, 还是叶蜡石。在 600℃的时候, 有一部分结构水脱出, 成为无水叶蜡石。600~700℃因局部 (OH) 脱掉, 为无水叶蜡石和叶蜡石, 800~1000℃为脱水叶蜡石, 1100℃脱水叶蜡石崩坏, 1200℃叶蜡石完全消失, 生成莫来石和石英, 1300~1350℃莫来石和石英的数量增加, 1400℃时石英完全变成方石英。叶蜡石加热过程的物相变化基本符合图 5 所示的规律。

三、X 射线衍射特征

X 射线是一种波长很短 ($0.01 \sim 10 \text{ \AA}$) 的电磁波。其波长与矿物晶格之间距为同等数量级。因此它可以穿过矿物的晶体格架, 并发生衍射现象。

根据 X 射线分析仪器的一些常数和它所照出的晶体结构衍射图谱数据, 通过布拉格公式 $2d \sin Q = n\lambda$, 其中 λ ——波长, Q ——X 射线入射角, $n=1, 2, 3, \dots$ 整数, d ——面网间距, 求出 d 值, 按 d 值鉴定矿物。

细小的叶蜡石矿物, 一般采用粉末法鉴定。将磨成细粉末 ($<0.001 \text{ mm}$) 的叶蜡石制成粉末柱 (直径 $0.2 \sim 1.0 \text{ mm}$), 再用 X 射线照相。

粉末照相法的分析结果是在长条形的照相底板上, 获得一圈圈近似圆弧形的曲线, 就是德拜图, 叶蜡石的德拜图如图 6 所示。

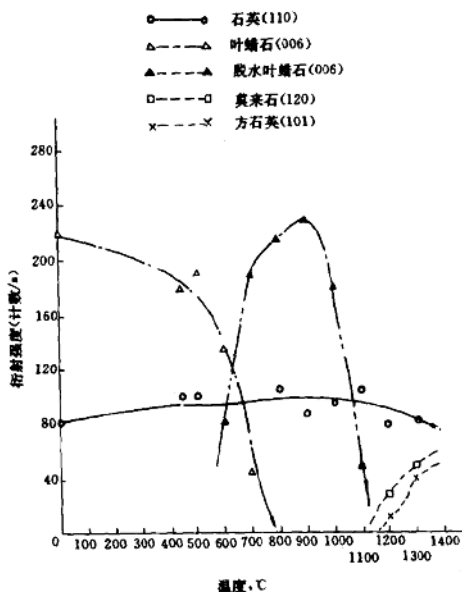


图 5 叶蜡石加热过程相变化示意图

按图上每对弧线之间的距离与 X 射线入射角 Q 成正比关系，量出每对弧线的距离后，就可以按公式算出与每对弧线相当的面网之间的间距 d 。尤其其中一些特征性的 d 值，并结合每对弧线的强度（一般分为 10 级），再查阅有关 X 射线分析鉴定手册，就可以鉴定叶蜡石，叶蜡石的 X 射线分析数据如表 1 所示。

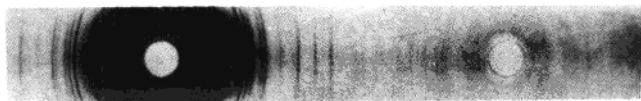


图 6 叶蜡石的德拜图

表 1 叶蜡石 X 射线粉晶数据

$d/\text{\AA}$	I/I_0 强度	$h \cdot K \cdot l$	$d/\text{\AA}$	I/I_0 强度	$h \cdot K \cdot l$
9.21	60	002	2.07	6	222, 204
4.58	50	004	1.895	2	136, 045
4.40	20	110	1.848	6	00, 10, 029
4.17	16	$11\bar{2}$, 111	1.692	6	02, 10
3.08	100	006	1.542	6	00, 12, 246
2.59	6	130, 131	1.492	10	060
2.55	10	$\bar{2}02$, 130	1.475	2	
2.44	16	210, 133	1.437	2	
2.31	6	008	1.388	10	
2.17	6	$\bar{1}18$, 042	1.373	10	
2.09	6	043			

用粉末法鉴定矿物速度慢,而且不够精确。目前鉴定粘土矿物常用自动记录的 X 射线衍射法,这种方法快速精确(不是目估强度),分析结果是一条连续曲线。叶蜡石的 X 射线衍射图谱如图 7。

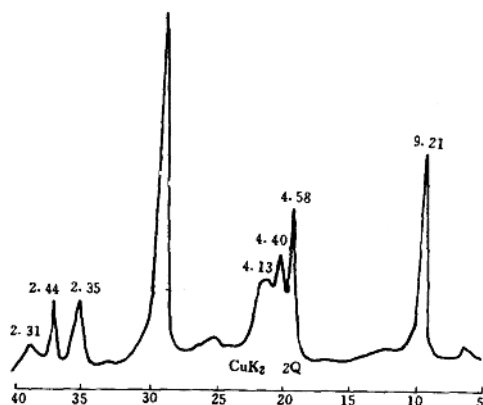


图 7 叶蜡石 X-射线衍射图谱
(图中最强衍射峰的 d 值是 $3.08\text{\AA}$)

图中每个峰都代表一组面网的反射强度，并都对应着一个固定的 2θ 值，所以根据峰的位置，可以读出 θ 值，然后根据布拉格公式算出各面网的 d 值，亦可从有关鉴定手册中查出 d 值，就可以确定叶蜡石矿物。

表 1 和图 7 图谱中数据表明，叶蜡石的特征 d 值是 $9.21\text{ \AA}$ 、 $4.58\text{ \AA}$ 、 $4.40\text{ \AA}$ 、 $4.17\text{ \AA}$ 、 $3.08\text{ \AA}$ 、 $2.55\text{ \AA}$ 、 $2.44\text{ \AA}$ 、 $1.492\text{ \AA}$ 、 $1.388\text{ \AA}$ 、 $1.373\text{ \AA}$ 。

四、红外吸收特点

组成物质分子中的原子并不是静止不动的，而是不断地在振动，振动的频率在每秒 $10^{13}\sim 10^{14}$ 周的范围内，这和红外线辐射的频率基本相同，因此当红外线照射时，它可以吸收一定波长或频率的红外线。

被吸收的特征频率取决于组成分子的原子质量，键之间的束缚力，以及分子中原子的几何状况。因此，把具有一定结构特征和化学组成的矿物当做相同分子的话，每一族，每一种矿物就有自己的特征吸收谱。包括谱带位置、谱带数目、带宽的强度。红外吸收光谱是以波长或波数为横坐标轴，以分吸收率或透过率为纵坐标轴，把这谱带记录下来，就得到该物质的红外吸收光谱图。叶蜡石的谱图如图 8 所示。习惯上将红外区的波长用 μm 来表示，波数用 cm^{-1} 来表示，波数与波长的关系是：

$$\text{波数} (\text{cm}^{-1}) = \frac{10^4}{\text{波长} (\mu\text{m})}$$

叶蜡石的原始单位晶胞含有两个羟基，因此可能有两种羟基伸缩振动，二八面体矿物，羟基差不多在层面上。叶蜡石 OH 伸缩频率为 3675cm^{-1} ，可以观察到 $\text{AlFe}^{3+}\text{OH}$ 吸收在 3647cm^{-1} ，它靠近 3675cm^{-1} 处的 Al_2OH 吸收。

在二八面体系列中，OH 的摆动频率比伸缩频率更能清楚的表明八面体组成、环境和其他因素对摆动频率的影响不太灵敏。所有二八面体系列中 Al_2OH 摆动位于 $915\sim 950\text{cm}^{-1}$ 区间，以上讨论的频率是面内摆动。面外摆动的位置不太确定，因为它们的吸