

内 容 简 介

本书是关于氧化铍粉和氧化铍陶瓷的一部专著。书中详细而系统地介绍了一些先进的制造方法、各种性能以及在科学领域特别是尖端技术部门中的应用。与第一版本（1962年）相比较，除修改和补充了许多上述内容外，特别增添了“铍及其化合物的毒物学”一章。该章全面地阐述了铍的毒性、容许浓度、技安条例、厂房设计、环境保护、监测方法等。

本书可供有关专业的工程技术人员和大学生、研究生参考，亦可作为环保人员、有关建筑设计师、标准化工作者使用。

ОКИСЬ БЕРИЛЛИЯ

Р. А. БЕЛЯЕВ

Издание второе

переработанное и дополненное

МОСКВА АТОМИЗДАТ 1980

*

氧 化 铍

〔苏〕Р. А. 别利雅夫 著

高晓桥 忻崧义 译

毛蔚稚 校

责任编辑 杨其眉

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 7¹/₂ 196 千字

1985年6月第一版 1985年6月第一次印刷 印数：0,001—1,850册

统一书号：15034·2796 定价：1.45元

目 录

引言	1
第一章 氧化铍的制取	4
1.1 铍矿物	4
1.2 铍矿物的开采	6
1.3 矿石富集的方法	7
1.4 从铍矿物中制取氧化铍	8
1.5 氧化铍的种类	9
第二章 氧化铍制品的制造工艺	20
2.1 高密度多晶制品	20
2.2 低密度多晶制品	22
2.3 单晶	22
第三章 氧化铍的性质	26
3.1 结晶学资料	26
3.2 热力学性质	34
3.3 热导率	47
3.4 热膨胀	54
3.5 扩散	60
3.6 机械性能	65
3.7 氧化铍的辐射效应	79
3.7.1 晶格参数	80
3.7.2 β -相形成	81
3.7.3 肿胀	82
3.7.4 密度和气孔率	85
3.7.5 放气	86
3.7.6 热容	91
3.7.7 热导率	92
3.7.8 机械性能	93
3.7.9 储备能	98
3.7.10 电性能	98

IV

3.7.11	磁性能	99
3.7.12	光性能	99
3.7.13	缺陷特性	100
3.7.14	提高辐射稳定性的途径	102
3.7.15	氧化铍作为反应堆材料的评价	105
3.8	电和磁性能	107
3.9	光性能	112
3.10	蒸气压	116
3.11	在真空与各种气体介质中的挥发	125
3.11.1	真空	125
3.11.2	气体介质	127
3.12	吸附性和溶解度	147
3.13	浸润	149
3.14	化学性能	151
3.14.1	酸	152
3.14.2	周期表中Ⅰ族元素及其化合物	155
3.14.3	周期表中Ⅱ族元素及其化合物	159
3.14.4	周期表中Ⅲ族元素及其化合物	163
3.14.5	周期表中Ⅳ族元素及其化合物	166
3.14.6	周期表中Ⅴ族元素及其化合物	175
3.14.7	周期表中Ⅵ族元素及其化合物	176
3.14.8	周期表中Ⅶ族元素及其化合物	179
3.14.9	周期表中Ⅷ族元素及其化合物	185
第四章	氧化铍的应用	187
4.1	核反应堆	187
4.2	电气和无线电设备	193
4.3	火箭技术和航空技术	194
4.4	坩埚	195
4.5	窑炉和耐火材料	196
4.6	合金	196
4.7	合金添加剂	197
4.8	涂层	199
4.9	与金属封接	202
4.10	玻璃	203

4.11 催化剂	205
4.12 其它方面	206
4.13 价格	207
第五章 铍及其化合物的毒物学	210
5.1 铍对人体作用的有关因素	210
5.2 铍的容许浓度	214
5.3 技术安全要求	215
5.4 铍浓度的测定	217
参考文献	219

引言

氧化铍具有高的熔点、良好的核性能、较好的抗热冲击性能、与铜、银可比拟的热导率并兼有极好的电绝缘特性等，使其能应用于各种科学技术领域中：核动力和冶金工程、电工和航空事业、化学工业和火箭制造等等。

各行各业的专家们对如此独特和有前途的材料颇感兴趣，这一点可以从本书第一版本（国家出版社原子科学和技术部，1962年）问世后很快销售一空而得到证实。第二版本仍采用第一版本的书名、叙述顺序及其内容的严格分类，每类资料如同手册中的专论，这种写法曾受到第一版本读者的赞许。

但是，由于近十五年来大量报导了有关氧化铍问题的文献，第二版本的内容已进行了充分的修改。笔者对1855~1975年内公布的大约二千五百篇著作进行了分析，确定了每年文献发表数量的动态。图1是1930~1975年内文献发表的状况。

在1855~1929年期间，每年发表的数量不超过或大致相当于1930~1945年的水平。

从图1可以看出：大量发表文献的阶段在1958~1969年间，而在这段时期中又出现两个高峰，即1959~1964年和1968年。显然，第一个高峰是由于实施了氧化铍在核动力工程中的一系列应用计划（见4.1）以及1964年在澳大利亚举办了第一届国际氧

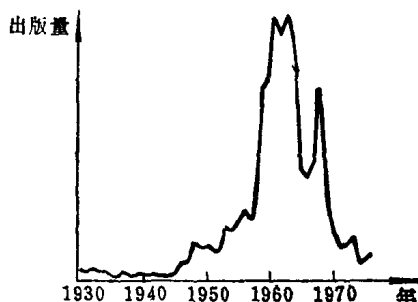


图1 每年发表氧化铍制造工艺、性能和应用的文献动态

化铍会议的缘故。我们有足够的把握可以认为，继此会议之后，又激起第二个高峰，这就是在 1968 年会议论文集的俄译本问世^[228]。一方面由于大量发表了氧化铍的有关资料，另一方面又由于本书的篇幅有限，因此笔者不仅不可能引用自己已得到的全部原始资料，而且甚至于还不可能给出本书所援引资料的索引。因此，在所有可能的场合下，本书的索引发表在我国的一些综合评论中^[68,72,84,157,158,178等]。按照同样的原因，虽然在许多情况下可以利用俄译本，但索引只引用英文版的第一届国际氧化铍会议论文集（俄译本有很大的缩减，缩减的部份多半是苏联广大读者已知的一些报导和一些不感兴趣的报告。因此，一系列报告已用摘要来代替，此外还完全省略了讨论时的发言部份）。

正如第一版那样，第二版的书名仍称之为《氧化铍》。显然，更确切地说，应称之为“氧化铍为基的材料”更为合适。原因在于：氧化铍的极大多数性质（当然，其它材料也是这样）是对结构敏感的，也就是说依赖于表征多晶材料结构的许多因素（晶粒的形状和大小、平均晶粒度、晶粒择优取向的存在与否及其程度、杂质的质和量、及其按体积在材料中的分布、气孔的形状、大小及其总的数量等）。所有这些因素都直接与原材料的性质和制品的制备工艺有关。由于各方面的不断改进，制品的性能日益提高。例如，氧化铍的抗弯强度在 1935~1962 年期间就增大到十五倍之多^[238,242,475]。

年	1935	1940	1950	1957	1958	1960	1962
$\sigma_{\text{弯}}$ 、兆帕	25	34	98	147	206	304	383

现在已测得了线状 BeO 单晶的抗弯强度为 14.7 千兆帕，并着手研制用线状 BeO 单晶来增强多晶氧化铍材料等等。

因此，我们已有和将有许多在结构上不同的 BeO 样品和制品。虽然，从表面看来它们之间的差别并不大，但毕竟是不同的。因而，我们一说到“氧化铍”时，实际上指的是以氧化铍为基的各种材料。

虽然人们早就知道，杂质的质和量的稍微变化，就会在很大

程度上改变材料的性能。遗憾的是在技术文献中，至今这样的评价尚未肯定：究竟引入多少杂质以后，“元素”或“氧化物”的概念就变为“元素（或氧化物）为基的材料”的概念。

应强调指出，并非在所有的著作中，作者们都能充分地鉴定试验制品的结构参数。因而，往往出现这种情况：对材料同一性能的数据，实际上将随作者而异。

由此得出结论：为了实际工作需要，而必需采用文献数据时，应该十分小心。特别是对国外资料，由于原材料不同、工艺细节不详等原因，更应如此。所以，当谈到陶瓷的机械性能时，金盖里（Кингери）指出：“……我们应该怀疑某些手册所提供的强度平均值，因为强度的平均值及其数据的零散值取决于许多因素：微观结构、气孔率、温度等”^[12]。

因此，在研究性能时所得到的每一个结果，不能笼统地认为是被研究材料的，而是试样具体结构参数的综合。由于这些参数是不固定的（任何一个工艺师都知道，这些参数不仅一批与一批之间不同，而且就是在同一批中也不同），笔者在本书中力求不是援引某一数值，而是援引大家所知的许多数值。这样读者可以估计出一个范围，而所研究的每一性能可以在该范围内变化。

第一章 氧化铍的制取

1.1 铍 矿 物

氧化铍常以稀有铍石矿的形态存于自然界中。但是，为了制造高级耐火制品，仅采用经化学处理铍矿物而获得的氧化铍。

在工业和新技术中，铍化合物应用领域的不断扩大，自然引起了铍矿物学，地球化学及其矿产的研究工作的飞速发展。事实上，二十世纪初期人们才知道 17 种铍矿物，而今天大概已扩大到三倍，而且，很大部份是在第二次世界大战后发现的^[25]。

目前已知的铍矿物中，绿柱石在地壳中分布最广，并且在工业上最广泛地用于制取铍及其化合物。绿柱石性质的变易性及其极多的矿产和共生，决定其有很多的变体和形形色色的分类。仅石英在变体的多样性方面可与绿柱石相比拟。

在各个研究阶段中，绿柱石变体基本上是按其颜色、透明度而较少是按形态特征来区分的：其实绿柱石是这些变体中最通常的形态，呈微黄-绿色并且多半不透明；其他变体如祖母绿呈光亮绿色（人工合成的称伊格梅拉里德《Игмеральд》）；海蓝宝石是透明的并呈海水色（从青到蓝）；黄透绿柱石是透明的并呈微黄-褐、黄、橙和金色；碱绿柱石是片状并呈白或浅玫瑰色；金绿柱石呈金色。

基于绿柱石化学组成的特点，其变体可区分为：红绿宝石呈红-褐色并富有锰和铯；含铍钙铝黄长石呈苹果绿色并富有钠；铯绿柱石呈浅玫瑰或黄色（也可呈其他颜色）并富有铯；铁硅铈石则富有铈、铁和其他稀土元素。

绿柱石变体之间不仅能从颜色和化学组成而且也可从晶格参数相区别。例如，十六种不同绿柱石晶格参数可具有下面不同的

数值: $a_0 = 9.185 \sim 9.51 \text{ \AA}$; $c_0 = 9.10 \sim 9.36 \text{ \AA}$; $c_0/a_0 = 0.959 \sim 1.030$ 。

就铍矿物来说, 金绿宝石 (希腊语称黄金) 按地壳里分布量属第二位。变石为金绿宝石的变体, 是一种呈宝石绿的宝石, 其颜色是由于存在 0.1% 铬所致。此种变体在灯光下呈樱桃红色。

在人类的历史上, 宝石的寻找和研究得到了高度的重视, 因而还在远古时期人类就找到了绿柱石的产地。代表性的例子是: 在三千多年以前, 埃及人发现并开采了阿拉伯沙漠的祖母绿矿产。公元前 77 年勃里尼 (Плини) 曾对祖母绿第一次作了科学的叙述。海蓝宝石也早已为人所共知了。稍后, 又出现了绿柱石的名称。

在俄国乌拉尔山中部鞑靼人区, 高尔希克·米哈依·屠马舍夫 (Горшик Михайл Тумашев) 于 1668 年发现了第一个有价值的绿柱石和黄玉的矿产。几乎经过六十年 (即 1724 年), 古德科夫 (Гудков) 在尼布楚居民区发现了中国淘金工人早已在古代就知道的海蓝宝石矿产, 并于 1831 年报导了在乌拉山境内发现首批祖母绿矿产, 该地方后来命名为乌拉山“祖母绿地带”。从此, 在俄国就开始了铍矿石的开采和应用。

由于苏联领土具有特殊的各式各样的地质结构, 因而它不仅实际上拥有世界上已发现的全部各种铍矿, 而且还有许多其他国家未曾发现的有趣和独特类型的铍矿^[25]。

在地壳中, 铍的含量是相当大的。在地壳形成和岩浆凝固过程时, 铍富集于残余岩浆中。因此, 铍矿多半出现在伟晶岩脉和扁平矿体中的花岗岩最后结晶的地方。因为这种在残余伟晶岩中的富集 (常以绿柱石大晶体形态出现) 是有很重大意义的, 所以, 与铍在地壳上分布量预料相当小的情况相比, 铍元素倒还是较易获得的。其性质与像镓这样的元素大不相同, 尽管镓在地壳上有较大的分布量 ($15 \times 10^{-4} \%$), 但无论在怎样的地质过程中, 它是不富集的, 故矿物中镓的含量还是相当少^[186]。

至七十年代初, 具有工业意义的铍矿物仅仅是高品位的绿柱

石 ($\geq 10\% \text{BeO}$)。但自七十年代初以后就开始报导了工业开采低品位绿柱石和其他铍矿物。例如, 美国政府曾资助低品位铍矿石的研究工作。至少, 布若西 (Brush) 铍公司在不预先选矿的情况下采用有效的工艺从低品位铍矿石来制取氧化铍。该公司投资二百万美元以上的资金来开采在美国犹他州的低品位高硅酸铍的矿产^[536]。其他美国公司, 例如梅空 (Mincon) 有限公司, 除采用低品位绿柱石 (约 $1\% \text{BeO}$) 外, 还利用硅铍石和蓝柱石来制取氧化铍^[268, 349]。

应该指出, 虽然硅铍矿和日光榴石在自然界中的分布量是较小的, 但用其作为原料来在工业上制取氧化铍的可能性也是存在的^[186]。

可以推测, 铍矿物在工业上应用的数量将日益增大。

1.2 铍矿物的开采

铍及其化合物应用范围和部门的日益增多, 自然引起铍矿开采量的增大。图 2

所示的数据不包括苏联和一些东欧国家绿柱石的开采量, 也不包括具有工业价值的其他铍矿物的开采量, 例如高硅铍石、日光榴石、硅铍石、蓝柱石等。在最初的十五年内, 按 1935~1940 年、1941~1945 年和 1946~1950 年期间所提供的开采量是接近相等的。

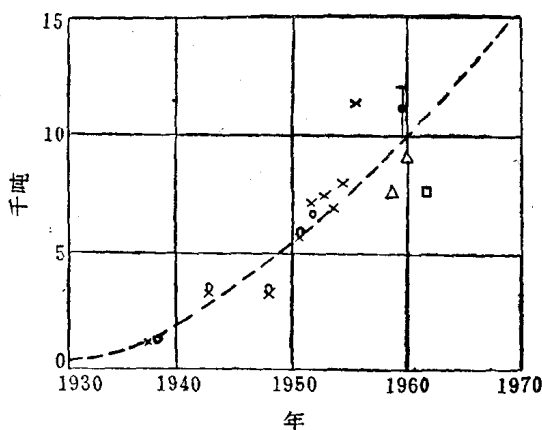


图 2 绿柱石世界开采量 (不包括苏联和东欧一些国家) 来自于下列文献:

×—[53, 334]; ○—[162]; △—[294];
□—[243]; ●—[475]。

1970年氧化铍的需要量大概是1963年需要量的五倍多^[536]。有关处理和富集铍矿石工厂的设计和建设的数量报导就间接证明了铍矿物需要量的增大。

1.3 矿石富集的方法

在自然界并不存在这样的富铍矿产地：开采是足够经济的而产物又仅仅是铍及其化合物。因此就一般来说，铍矿石是作为副产物而得到的。例如，绿柱石就是在开采长石伟晶岩、锂矿物或云母时作为副产物而得到的^[53]。为了提高矿石中铍的含量，可采用各种富集的方法。

一、人工选矿法

不久以前，在世界上几乎全部绿柱石是从破碎的岩石中，用人工挑选不均匀伟晶岩的最富有绿柱石的部分来富集的。只是在廉价的劳动力和绿柱石晶体足够大的情况下（最小尺寸约为10毫米），人工选矿在经济上才是合理的。这种方法不适于较小的晶体。用此法挑选的精矿，其氧化铍在岩石中的含量不超过20~30%^[53, 186]。

二、机械选矿法

在一个自动选矿的装置中，将铍矿石连续地通过一定强度的 γ -射线源，以借助于“铍计”来挑选绿柱石，通过后的铍矿石落入由中子计数管控制运转的收料器中。用比例为1:80的绿柱石和石英的混合物（颗粒组成为13~19毫米）在此自动装置中做试验，已成功地选出90%的绿柱石，而且落入精矿中的空岩只占12%。因此，富集的程度达10倍之大。该自动装置按每秒挑选五块矿石时，其精确度很高，甚至可达1克^[475]。

在工业条件下，此方法需要便宜的高强度 γ -射线源，并且必须解决其防护问题。

与人工选矿一样，此法的缺点是受到材料脆性性能的限制，因而它对于仅仅粉碎后才能富集的大规模贫铍矿是不合适的。

三、重力选矿法

绿柱石的密度很接近长石、石英以及其他普通非铍矿物的密度，因而用重力法富集铍矿是非常困难的。但是，应用四溴乙烷溶解在煤油或其他溶剂中形成的溶液可以获得各种精确密度的介质，并且可以保证区分各种伟晶岩矿物：硅铍石、绿柱石、似晶石以及金绿柱石。在一次实验室的试验中，从密度为 $1.5 \sim 3.0$ 克/厘米³的五个级别（或更多）的溶液中已区分出含于伟晶岩矿中的硅铍石、绿柱石、石英、氟化物、黑云母以及绢云母等。用此法，已从试样中选出三种氧化铍矿物，其三种铍矿物中铍总含量占全部试样铍含量的97.9%^[222]。

四、浮选法

浮选法是富集绿柱石矿最有前景的方法。众所周知，在工业上已有很多用浮选法富集绿柱石矿的工艺方法。典型的流程图包括下列几个步骤：破碎、粉碎、去矿泥、加化学试剂、浮选。

从含有0.1~0.2%氧化铍的伟晶岩中，用浮选法能得到含2~10%氧化铍精矿^[186]。在实验室条件下，从含氧化铍小于0.1%的矿石中，已成功地得到含8~11.5%氧化铍精矿（几乎达纯绿柱石中铍的含量），而且回收率可达70~80%。工业试验证实上述结果^[63]。约含1%氧化铍的矿物可以富集到18~20%^[849]，贫矿也可以富集到含15~30%氧化铍的精矿^[408]。

1.4 从铍矿物中制取氧化铍

到目前为止，氧化铍主要是用绿柱石来制取的。因此，文献中所介绍的氧化铍制取工艺通常是以绿柱石作为原料。

分解绿柱石和分离氧化铍已有许多不同的方法，例如早在1955年就知道了三十种以上的方法^[2]。但是，在工业上广泛而实际应用的是硫酸法。剥离绿柱石是应用络合氟化物和氯化作用法^[18, 63, 186]。此外，还有许多衍生的方法。用上述从铍矿物中制取氧化铍的方法，其最终产物常是含有大量杂质的氢氧化铍，用这样的氢氧化铍煅烧得到氧化铍通常也是很脏的。因此，在必要

的情况下，氢氧化铍应作进一步的净化，其结果形成各种铍盐：主要是碳酸盐、硫酸盐、醋酸盐等。煅烧这些盐类则获得纯氧化铍^[18]。

1.5 氧化铍的种类

众所周知，陶瓷材料原始粉末的性质在很大程度上决定了最终陶瓷制品的性能。因此，知道原始粉末的基本参数，例如化学组成、比表面值、晶体的大小和形状等等，就可以正确地分析不同研究者研究同一性能所得到的不同结果的原因，也可以将某些条件下得到的结果运用到其他条件上去等等。

正如世界上研究氧化铍及其制品各种性能的主要资料所表示的那样，氧化铍原始粉末的种类是相当少的。

下面大致按氧化铍粉末的生产规模介绍一下各国主要的一些氧化铍粉末的情况[●]。

美国：氧化铍粉末主要的供应方是布若西 (Brush)、梅空 (Mincon) 和国家氧化铍公司 (Beryllco)^[495]。

布若西是资本主义国家中生产和供氧化铍规模最大的公司之一。仅在1962~1963年一年中，该公司就加工了4000~5000吨铍矿石，即超过整个资本主义国家总产量的一半^[538]。

UOX：这是一种易烧结高纯度的氧化铍粉，它是该公司从1957年开始的按美国原子能委员会一项研究和制取烧结氧化物及其混合物计划的科研成果。其研究内容包括：研究和确定高纯度氧化物的性质及其对烧结性的影响；晶体的尺寸和形状，盐类分解和炉膛气体的化学吸附残渣以及其他氧化物和工艺杂质（例如润滑油）的引入等等因素对氧化铍粉末聚集性的影响^[215]。

硫酸盐工艺是该公司制取 UOX 和其他种类氧化铍粉的工业生产过程的基础。UOX 氧化铍粉的特性是：其所压制成型和烧结后的制品，沿圆柱体试样轴线方向（即压制方向）上，晶体 c

● 有关氧化铍粉末及其性能更详细的叙述见[18]。

轴方向具有优先取向^[246,266]。而且, 织构的程度随着晶粒的增大而增加, 当试样中晶粒尺寸达50微米或更大时, 则织构度将达80%^[267]。自然, 这种试样呈现各向异性。

可以推测, UOX 粉中少量针形晶粒的存在将有利于试样中晶体的取向^[234]。分析表明, 该粉中含有尺寸小于1微米的无定形聚集体^[209]。而且, 还看到含量为1%以下(体积百分数)的单个针形晶体, 其长度为100~150微米, 厚度约为30微米^[209,210]。

这种粉末经冷压成型和烧结后制得的试样, 在出现很大的晶体之前, 其晶粒和密度数值的波动一直是很大的^[457]。

若将粉末进行预处理, 则优先取向和晶粒尺寸的波动均不复存在。虽然预处理的方法总是离不开再次的研磨、干燥和筛分, 但工艺不尽一样。现列举三个例子说明如下:

1. 在干燥的聚乙烯圆筒中, 粉末与酒精混磨二十四小时(100克粉加200毫升), 然后蒸发至干燥^[210]。

2. 用氧化铍球水磨一小时, 然后筛分、过滤、干燥^[330]。

3. 为了破坏聚集块和进一步研磨粉末, 将粉末装入氧化铍筒中进行振动球磨, 然后筛分、干燥。粉末研磨前后的研究表明, 研磨后的针形晶体的长度将消失或减小。

用类似的方法处理得到的 UOX 粉末易于在不同气氛和低温下烧结, 并且具有较高的密度和较好的重复性。例如, 在1500°C空气中和1600°C氢气中烧结都能保证密度大于2.9克/厘米³, 而且无论由同一批或不同批所制得的制品的性能均具有足够好的重复性^[538]。

比较各种氧化铍粉(UOX、PY、经两次煅烧的PY和Minox AAA)表明, UOX 粉具有最好的烧结性^[209]。其原因可以从不同种类氧化铍有不同的物理性质(表1)和化学组成(表2)看出。

关于表2必须作如下三个说明:

1. 表中 UOX 杂质含量的平均值和最大值符合布若西《Brush》公司规定的技术条件^[234]。而以“范围”形式所表示

表 1

粉末种类	比表面 (米 ² /克)	微晶平均直径 Å	松 装 密 度 (克/厘米 ³)	注
UOX	11.2~13.2 [209, 210, 251] 10~14[536]	1800~2000[209, 210] 500~5000[251]	0.3[209]	松装密度是在振动后测得的。体积密度是在 0.309 千兆帕加压后测得的, 并分别等于 0.4~0.5 和 1.77 克/厘米 ³ [209, 251], 粉末含水量为 0.3%[251]。
AOX	—	~400[91]	—	—
Minox AAA	16.0~16.6 [209, 424]	1300[209]	0.379[209]	松装密度是在振动后测得的。体积密度是在 0.309 千兆帕加压后测得的, 并分别为 0.56 和 1.63 克/厘米 ³ [209]。
HPA	—	1000[266]	—	—
PY40	8[536] 11.8[209]	2000[536] 1700[209]	—	体积密度是在 0.309 千兆帕加压后测得的, 并为 1.74 克/厘米 ³ [209]。
PV (经两次煅烧后)	3.3[209]	6100[209]	—	体积密度是在 0.309 千兆帕加压后测得的, 并为 1.88 克/厘米 ³ 。
CH	4.35[369, 417] 23[369]	4600[369, 417] 500~1000[369]	—	—
工业用 BeO	—	5000~60000 (聚集体) [10]	0.25[10]	—
醋酸净化 BeO (消石灰法)	—	5000[10]	0.10~0.15[10]	—
高温煅烧高纯 化 BeO	—	达 30000[10]	0.5~0.6[10]	—

(续)

BeO 种类	F	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	OH ⁻	P
UOX	<(5.10)	20/40	15/50	<1/3	50/80	2/5	<3/10	25/50	3/10	~2000	Be
AOX	100~166	25	—	45	170	~100	<10	100~750	<10	—	14
MinoxAAA	40~50	30~65	15	0.7	10~20	—	—	<35~60	—	—	70
HPA	10	37	—	<1	10	<10	<10	17	<10	—	15
PY40	370	150	—	—	20	—	—	<40	—	—	—
PY (经两次煅烧)	50	170	—	—	20	—	—	280	—	—	—
CH	—	20	—	0.5	20	10	—	50	20	—	—
CF	—	10	—	H.O.	22	5	—	48	<4	—	—
BeO (醋酸净化、消石灰法)	—	10~30	—	—	—	<3	—	—	<20	—	—