

310239

成都工学院图书馆

基本工業礦物原料叢書

剛玉

科依夫曼著



1143
2425

地质出版社

剛 玉

科 依 夫 曼 著

地質出版社

1958·北 京

目 錄

原 序.....	4
一、總述、成分和性質	5
二、礦石和礦床的類型	9
三、可作為礦產的圍岩和伴生礦物	23
四、初步加工和選礦	24
五、用途和技術要求	27
六、剛玉與雜剛玉的代用品.....	56
七、質量試驗.....	60
八、一些最重要的經濟資料.....	69
九、對礦床進行初步評價所必需的主要地質資料和技術 經濟資料.....	75
參考文獻	77

原 序

這套叢書的任務，是爲了幫助地質工作者對於礦物原料質量進行評價；針對着這個任務，本叢書主要是敘述各個工業部門對各種礦物原料及其加工產品所提出來的技術要求。

書中所列述的技術定額均附有說明及技術根據，這就大大地便於了解各種指標的作用及意義。

本書對於地質學、礦物學、技術樣品的取樣、加工、選礦、經濟學以及野外試驗及實驗室試驗等問題，也都約略談到。

這樣，野外地質工作者就有可能從一本小冊子中來找到他們在勘探某種礦產時，有關工業評價上的許多極重要的實際問題的答案。

本叢書擬分冊出版，共分六十冊。其中有五十冊敘述最重要的礦產，其餘十冊是對於根據工業上不同的用途而分類的各種礦物原料的綜合性的敘述。例如磨料、填料、陶瓷原料、光學礦物等。

這樣的小冊子還是初次編印出版，無論是在國內或國外的文獻中，都沒有類似的出版物，書中可能有遺漏、錯誤、含混及其他疏忽的地方。編輯部要求所有的讀者對於每一冊書都提出自己的批評和希望。我們將非常感謝，並在再版時很好地考慮這些意見。

本手冊是由蘇聯地質部委託全蘇礦物原料研究所編寫而成。

一、總述、成分和性質

剛玉礦物是結晶的氧化鋁。在工業技術上，富含結晶氧化鋁的剛玉礦石，以及成分中除了剛玉礦物外還含有其他雜質的破碎剛玉磨料和耐火材料統稱為剛玉。

剛玉是一種少見的礦產。只有在特殊條件下，氧化鋁才能大規模地結晶成剛玉。

在火成岩、結晶片岩、泥質頁岩、黏土、高嶺土以及鋁土礦中，皆含有大量的氧化鋁。但是，儘管地殼中氧化鋁分佈甚廣，而富集成剛玉礦物的情況却為數不多。這是因為氧化鋁對二氧化矽的化學親和力很大，它們一起形成矽酸鋁。

在自然界中，剛玉呈小的、中等的或極大的（達幾十公分）單個晶體，以及呈中粒或細粒的集合體存在。

礦物學和工業技術中，主要根據晶體的純度和透明度，將剛玉分為下列主要的兩種：

（1）貴剛玉：紅寶石和藍寶石；

（2）普通剛玉。

紅寶石和藍寶石是剛玉的兩種透明異種。紅寶石的顏色從深紅到粉紅；藍寶石——從淺藍到深藍色。

普通剛玉在外表上並不透明。

普通剛玉在岩石中常呈較大的單獨晶體，以及細粒單礦岩、剛玉—紅柱石岩、剛玉—藍晶石岩、剛玉—石英岩及其他的岩石存在。

透明的剛玉單晶體和技術上用的普通剛玉，現在都能用

人工方法製得。

天然的剛玉晶體從來不會是完全純的。甚至連紅寶石和藍寶石都含有少量雜質。在這兩種貴剛玉中 Al_2O_3 含量為 97—99%、 Fe_2O_3 為 0.3—0.9%、 SiO_2 為 0.8—1.2%。謝米茲—布古 (Семиз-Бугу) 的純剛玉中, Al_2O_3 含量達 95—97%。德蘭士瓦 (Трансвааль) 礦床產的剛玉晶體中, Al_2O_3 的含量為 93.1—96.9%。加拿大剛玉中 Al_2O_3 達 95—97%。

剛玉屬六方晶系, 呈雙錐體、長柱體、菱面體和軸面體。

雙錐體主要是由角錐晶面和不大發育的底菱面體晶面組成的。在斜長石和硬綠泥石的雜剛玉中, 晶體呈紡錘狀, 有時也呈小桶狀 (產在鹼性正長岩中的剛玉偉晶岩)。結晶石灰岩中的紅寶石多呈長柱狀。產在花崗片麻岩中的剛玉偉晶岩中, 有板狀軸面體或葉狀軸面體和短柱狀軸面體。產在次生石英岩中的白雲母剛玉岩石、紅柱石剛玉岩石和浸染狀剛玉岩石中的剛玉, 以及產在結晶片岩中的白雲母砂線石剛玉岩石和藍晶石剛玉岩石中的剛玉和尖晶石雜剛玉中的剛玉, 常常都具有葉狀。

剛玉晶體的形狀與礦床地質特徵及礦床成因有關。

據奧澤羅夫 (К. Н. Озеров) 說, 沿主晶軸延長的雙錐體和長柱體以及等軸狀的菱面體, 可作為產於非矽酸鹽岩石或缺少二氧化矽而富含鹼 (Na_2O 、 K_2O 、 FeO 、 MgO 、 CaO) 的岩石中的礦床, 即產於鹼性正長岩及霞石正長岩、超基性岩、基性岩和碳酸鹽岩石中的礦床的特徵。在富含二氧化矽和缺鹼的岩石 (即在次生石英岩、石英雲母片岩、片麻岩和花崗片麻岩中) 中的礦床中, 只能見到葉狀和板狀的軸面體。

經光譜分析確定, 在第一類晶體中, 有相當多的 CaO 和

MgO，而在謝米茲—布古的次生石英岩中的剛玉晶體裏，這些元素幾乎完全沒有（Mg）或根本沒有（Ca）。當剛玉在富含 MgO 和 CaO（在超基性岩—蛇紋岩以及石灰岩等岩石中）的介質中結晶時，則 Mg 和 Ca 進到剛玉的晶格中，相應地改變晶格增長的方向。在酸性岩（鋁石英岩、花崗片麻岩、片麻岩、結晶片岩）中，剛玉晶格的排列沒有這些元素的參加，因此生長成軸面形晶體。

奧澤羅夫所指出的晶形與介質中化學成分的關係，是以單憑經驗的資料作基礎，因而需要作進一步的研究。

剛玉的折射率為 $N_o = 1.7676 - 1.7695$ ， $N_e = 1.7594 - 1.7613$ 。

剛玉有粉紅色和紅色的是因為其中含有被溶解的 Cr_2O_3 的緣故。藍色、綠色和黃色剛玉是因為其中含有鈦鐵礦的極小微粒而引起的（克列姆、維爾德）。如果這種微粒的含量多剛玉就呈藍色，如果少就呈綠色和黃色。光譜分析確定：在藍色剛玉中有鐵和鈦存在，光譜線的強度與剛玉顏色的深度有關。據加弗魯謝維奇（Гаврусевич）（1941）說，烏拉爾區剛玉的主要着色劑是 Fe^{II} 、 Fe^{III} 、Ti 和 Mn，Ni 和 V 則較次要。

硬度大是剛玉的重要特點。按摩斯硬度表剛玉的硬度是9，僅次於金剛石。

藍寶石和紅寶石的硬度都比剛玉要大。藍寶石又比紅寶石硬。如果剛玉成分稍有改變或受到風化都能減低本身的硬度。例如在南非有人認為：班多利爾科普區產的淺藍灰色和淺藍綠色的剛玉要比查烏斯潘斯別爾格區北部產的紅色剛玉軟些。阿克塔什礦床浸染狀貧礦石中所產剛玉的特點是硬度

大，並且具有很大的機械堅固性。這種剛玉有相當高的“韌性”，且具有貝殼狀斷口。

剛玉的研磨能力高是因其硬度大。

各種物質研磨性能的指數是由加工材料的種類和試驗或應用的條件來決定的。目前，人們將與玻璃比較的研磨能力指數，當作剛玉和其他磨料研磨性能的定量特徵。如果把石英的總研磨能力定為1，則根據科依夫曼（М. И. Койфман）（全蘇礦物原料科學研究所）的試驗，剛玉和其他天然及人造磨料與玻璃和鋼比較的總研磨能力的相對值，可用下列各數值表示（表1）：

天然磨料和人造磨料的總研磨能力 表1

磨料名稱	與玻璃比較 (馬爾天斯硬度150)	與鋼比較 (含碳0.2%；馬爾天斯硬度76)
石英（柳別烈茲石英砂）	1.0	1.0
伊賽爾礦床的石榴石	3.3	1.7
謝米茲—布古剛玉（84%結晶氧化鋁）	4.8	2.6
電剛玉（96%Al ₂ O ₃ ）	5.0	2.7
金剛砂（87%SiC）	10.3	3.5
金剛石（粉碎的圓粒金剛石）	35.4	4.4

剛玉礦物的另一特點是比重大。貴剛玉的比重更大；紅寶石的比重在4.28—3.98之間，藍寶石的比重介於4.16—3.90之間。據德—布爾農（де—Бурнон）說，16種藍寶石試樣的平均比重為4.016；20種紅寶石試樣的比重為3.977。加拿大剛玉的純晶體的比重在4.02—3.92之間（平均為3.95），而德蘭士瓦礦床所產的剛玉晶體比重在3.94—3.82之間。

謝米茲-布古礦床的單礦剛玉礦石比重達3.82—3.84。

剛玉的熔點—2050°C。

化學穩定性大也是剛玉的重要特點。

二、礦石和礦床的類型

含有剛玉的岩石，按礦物成分和結構以及技術性能可分成剛玉礦石(корундовые руды) (“剛玉”) 和雜剛玉(наждак) 兩類。

剛玉與長石、白雲母、石英、紅柱石、藍晶石及其他淺色礦物伴生的各種粒度的剛玉岩都屬剛玉礦石類。剛玉礦石中鐵的氧化物的含量通常不大於 3%。有時，剛玉礦石中除了上述礦物外，還含有黃鐵礦。

在其中除了有富含鐵的磁鐵礦、硬綠泥石和其他深色礦物外，剛玉是一種主要的造岩礦物的黑色、灰色或淡綠色的微粒、細粒和中粒岩石屬於雜剛玉礦石類。剛玉和其他組成岩石的礦物的緊密結合是雜剛玉的特點。剛玉和硬綠泥石或磁鐵礦時常相互連生。雜剛玉中鐵的氧化物的含量經常為 10—15%，有時達到20—25%。

岩石學和工業技術上把剛玉岩劃分為剛玉(剛玉礦石)和雜剛玉自然是相對的。往往把本來是剛玉礦石的岩石，但是它生於以雜剛玉為主的礦床中，也稱為雜剛玉。例如，在烏拉爾的伊爾嘉什附近地區(Прииртяшский район) (在這裡開採過雜剛玉礦床)捷恰(Теченское)礦床的粗粒剛玉岩石，雖然按剛玉含量和晶體的大小這種粗粒的剛玉岩石應

當稱為剛玉，但過去也叫作雜剛玉。某些岩石（如西西伯利亞錫干戈依礦床的矽線石—長石雜剛玉，中亞細亞礦床的雜剛玉）也是貧剛玉礦石。

根據礦物的聚合、地質條件和礦床的圍岩，可將剛玉礦石和雜剛玉的最重要的變種分為以下幾類。

剛玉礦石

1. 剛玉斜長石岩；
2. 剛玉正長偉晶岩；
3. 次生石英岩中的剛玉、剛玉紅柱石和浸染狀礦石；
4. 片麻岩石中的剛玉和剛玉藍晶石礦石。

雜剛玉

1. 硬綠泥石—剛玉；
2. 磁鐵礦—剛玉和尖晶石—磁鐵礦—剛玉；
3. 水鉛石—剛玉。

由於剛玉含量與加工性質不同，剛玉礦石和雜剛玉又可分為兩類：

（1）不需專門選礦即可使用的礦石（富的剛玉礦石和雜剛玉）；

（2）需要選礦的礦石（不合標準的及貧的剛玉礦石）。

剛 玉 礦 石

次生石英岩中的剛玉、剛玉—紅柱石和浸染礦石。與次生石英岩有關的礦石曾是蘇聯一種主要的天然剛玉原料。次生石英岩是一種特殊的酸性噴發岩和火成碎屑岩經過氣成變質和熱液變質後的產物，這種變質是因年輕侵入體—花崗岩、花崗閃長岩、花崗斑岩和微晶花崗岩的作用而引起的（奧

澤羅夫)。

除石英外，次生石英岩中尚含有紅柱石、白雲母、絹雲母、水鋁石、葉蠟石、高嶺石(迪凱石)、鈉明礬石，偶而也有剛玉、藍線石、黃玉、電氣石、綠泥石、赤鐵礦等造岩礦物和金紅石、黃鐵礦等附生礦物。次生石英岩中除石英外，根據其他礦物含量的多寡又分成紅柱石石英岩、白雲母石英岩、絹雲母石英岩和其他的鋁石英岩。

次生石英岩中剛玉礦石的礦物成分和結構是各種各樣的。在某些情況下，剛玉礦石純得幾乎是單礦礦石。但在其他的剛玉礦石中，則有大量的紅柱石、白雲母、赤鐵礦和黃鐵礦。除這種原料外，還有極貧的浸染類型礦石。

剛玉礦石的原生礦床是剛玉岩石的透鏡狀和似脈狀的礦體及礦巢，以及圍岩——石英岩中有剛玉浸染的剛玉細脈和礦巢所形成的網狀脈。

在剛玉礦石及其周圍的紅柱石石英岩和紅柱石—絹雲母石英岩間呈現着逐漸的過渡。在石英岩中起初是紅柱石含量增加，其次是形成一種幾乎是單礦紅柱石岩石，這些岩石組成剛玉礦體的邊緣部分。然後紅柱石—剛玉岩石轉變為剛玉岩石和白雲母—剛玉岩石。

次生石英岩中剛玉礦體的長度由幾公尺到175公尺，厚度由0.1到35—40公尺，垂直或陡峭的礦體，其水平切面的面積隨深度而減小以至尖滅。謝米茲—布古礦床的主礦體是目前已知的最大剛玉礦體，由剛玉岩石組成的中心部分長達135公尺，厚度為5.5—30公尺。

在規模上和原料質量上獨一無二的謝米茲—布古礦床過去是蘇聯天然研磨原料的主要來源。該礦床的礦石質量不

同，在坡積砂礦和主礦體最上部的礦石幾乎是單礦物的。這種礦石中結晶氧化鋁的含量由75—80%至90—95%， Al_2O_3 的含量由85—87%至95—97%， $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 由0.6—0.7%至2.3%， SiO_2 由0.1—0.2%至3—5%， H_2O 由0.8%至2—3%。白雲母—剛玉礦石中，剛玉的含量由50—60%至80%。

除剛玉和雲母外，謝米茲—布古的富礦石還含有少量的水鋁石、金紅石、黃鐵礦和其他的礦物。

根據晶體的結構和大小，謝米茲—布古礦床的富礦石顯然可分為兩個類型：藍色粗粒的和淡灰色細粒的。剛玉晶體的長度為0.02—0.03至2—5公厘，而寬達0.5公厘。

剛玉晶體一般都是裂開的。晶體碎塊的大小由百分之幾至0.3—1.0公厘。細粒礦石中，裂隙時常能把剛玉晶體分裂為幾微米大小的微粒。

剛玉岩石的構造是塊狀的，偶而是片狀的。某些岩石還具有角礫狀構造（灰色和淡藍灰色細粒岩石的碎屑好像被藍色粗粒剛玉所膠結）。

謝米茲—布古的各種富礦石，在密度和機械強度方面有着很大的不同。有的具有很大的強度、硬度和密度，因而在破碎到小於1.0—0.5公厘時，能形成結實而堅固的顆粒。有的強度極差，很容易破碎，因而是破碎狀態時，便成為一些脆的、疏鬆的顆粒。

謝米茲—布古的礦石分為：含剛玉65—100%的剛玉礦石；含剛玉25—75%和含紅柱石5—65%的紅柱石—剛玉岩石；含剛玉2—15%和紅柱石50—95%的紅柱石變種。

在謝米茲—布古的剛玉紅柱石的主礦體的最深層位有絹雲母剛玉岩石、紅柱石剛玉岩石、黃鐵礦剛玉岩石、剛玉紅柱

石岩石和其他的岩石。所有這些礦石都含有很多的黃鐵礦。

採自挖掘勘探坑道時採出的礦堆中的平均樣品含28%的剛玉、24%的紅柱石和10%的黃鐵礦（全蘇礦物原料科學研究所）。

謝米茲—布古礦床中有一個礦體中的礦石含有很多的赤鐵礦。根據剛玉含量（10—95%）和赤鐵礦含量（5—65%）的多寡，可將這種礦石分成赤鐵礦—剛玉礦石和剛玉—赤鐵礦礦石。含赤鐵礦的剛玉礦石暫時尚未被應用。

謝米茲—布古礦床中已知的最大坡積砂礦中的剛玉礦石成大小不同的岩塊和碎屑，直徑大至1公尺以上，小至幾公分。這種礦石在質量上超過了主礦體中的富剛玉岩石。除易用手選法從礦砂中揀出的大塊礦石外，砂礦中還有只能用機械選礦法才能提取的小塊礦石和小顆粒剛玉。

產在次生石英岩中的其他剛玉礦床，在質量方面，特別是在規模方面，是不能和謝米茲—布古礦床相比擬的。在這些礦床中至今尚未找到單礦礦石。

例如，南哈薩克斯坦省的阿克塔什礦床的剛玉—藍晶石—絹雲母化的貧礦石，就是含細小的（大小為0.05到1—2公厘）呈不均勻星散狀分佈的剛玉的絹雲母—石英岩石。剛玉的含量由千分之幾到9%，在富集段為2—9%。除剛玉、石英和絹雲母外，岩石中還含有水鋁石、藍線石和紅柱石。在該礦床的其他剛玉—紅柱石礦體中，有為量不多的富結晶氧化鋁的結核。在阿克塔什礦床的已勘探的個別地區，剛玉的平均含量為3—4%。

這樣的礦石在目前沒有工業價值。

片麻岩中的剛玉和剛玉藍晶石礦石（蘇聯（雅庫蒂亞）已

知的恰依內特剛玉礦石礦床產於彎曲得很厲害的片麻岩中。該礦床是由長10公尺以上，厚3—4公尺的幾個透鏡狀礦體組成的。礦床在幾公尺（有時達10公尺）的深處就已尖滅。

剛玉的含量由邊緣向礦體中心部分一般是增加的。在內部帶含較富的、有時幾乎是單礦剛玉礦石。礦體的邊緣部分是由含剛玉少的綠泥石和白雲母岩石組成的。

根據礦物成分可分成：“剛玉岩石”（剛玉含量多於60%）剛玉—白雲母岩石（剛玉含量少於60%）、藍晶石—剛玉岩石和剛玉—藍晶石岩石（這幾種礦物的總含量不低於60—70%），以及不含剛玉的藍晶石岩石，白雲母岩石和綠泥石岩石（奧澤羅夫、貝霍魏爾 [Быховер]）。剛玉岩石一般為細粒或中粒（由不足1公厘到1—2公厘）。

恰依內特剛玉晶體時常為裂隙網所破裂。晶體碎塊的大小為0.1—0.2公厘。

最富的剛玉礦石（紅寶石礦石和純灰色的礦石）含85—90%的結晶氧化鋁。個別礦塊和樣品中， Al_2O_3 含量為90—96%。除剛玉外，這裡有雲母、綠泥石、藍晶石、金紅石和水鋁石。白雲母—剛玉岩石中多是含45—65%剛玉的異種。藍晶石—剛玉岩石和剛玉—藍晶石岩石中呈現着從純剛玉礦石向純藍晶石礦石的一系列的逐漸過渡。剛玉通常在藍晶石的巨大晶體結核中間成細粒聚集。

像在謝米茲—布古礦床中一樣，在片麻岩的剛玉礦石中也能見到緻密的、具有很大的機械強度（堅固性）的剛玉岩石，但也有膠結得很差疏鬆的剛玉岩石。

恰依內特礦床的礦石，在破碎時能得到工業需用量極大的粗粒級和中粒級部分的數量，要比破碎謝米茲—布古的礦

石所得到的數量多得多。

剛玉斜長石岩 剛玉斜長石岩是由剛玉和斜長石組成的特殊礦石。這種礦石的礦床在蘇聯（烏拉爾契利亞賓斯克省克什堤姆 卡斯林區）和南非（德蘭士瓦北部和東北部）都已發現。

烏拉爾的剛玉斜長石岩及其變化後的產物（剛玉珠雲岩）的礦床屬超基性岩石（橄欖古銅輝岩、陽起岩和蛇紋岩）。剛玉岩石通常產於岩脈中，偶而形成礦株。如含剛玉的礦體長度由15—20至60—90公尺，厚度為0.1—0.5公尺，偶而達1—3公尺或更多些。只有個別礦脈可延續至距地表25—30公尺的深處。通常它們在不太深的地方尖滅掉或被純斜長石岩代替。

剛玉斜長石岩是由剛玉、斜長石組成的岩石，有時還有尖晶石。根據斜長石的成分不同，分成所謂的剛玉基性斜長岩（кыштымит）（剛玉及拉長石和鈣長石間的基性斜長石）和剛玉酸性斜長岩（плуазит）（剛玉及酸性較強的斜長石——奧長石和中長石）。黑雲母（偶而是角閃石等）作為剛玉斜長石岩中的次要雜質而出現。

在博爾佐夫礦床的各次開採中得知，剛玉含量的變化範圍由7%至60—70%，有時甚至達到90%。剛玉基性斜長岩中所含的剛玉較多（一般是40—50%，有時達60—90%），而剛玉酸性斜長岩中含的就較少（一般不多於25—30%）。博爾佐夫斜長石岩中剛玉的平均含量約為40—50%。氧化鋁的含量由40%到60—70%不等，而鐵的氧化物的含量則為1—2.2%。

剛玉基性斜長岩和剛玉酸性斜長岩在外形上彼此相似。兩種岩石中的剛玉晶體的大小變化很大——其長度由不足1

公厘至幾公厘，有時達 5 公分。

在某些礦脈中，斜長石和部分的剛玉為珍珠雲母代替。由珍珠雲母、剛玉和少量長石所組成的岩石稱為剛玉珠雲岩。剛玉珠雲岩中剛玉的含量比剛玉斜長石岩中剛玉的含量略低。

蘇聯最大的博爾佐夫剛玉斜長石岩礦床位於契利亞賓斯克省克什堤姆區；目前其最易開採的部分已幾乎採空。

由於坑道中湧水量大，給烏拉爾剛玉斜長石岩礦床的勘探和開採造成了困難。

德蘭士瓦的剛玉斜長石岩礦床也同樣是和古老的基性岩共生的。原生礦床產在蛇紋岩、輝岩、橄欖岩和角閃岩中，呈脈狀，其厚度由幾公分至 2—2.5 公尺。

在北德蘭士瓦礦床中佔主要地位的剛玉斜長石岩（剛玉酸性斜長岩）中都含有剛玉（由百分之幾至 80%）、斜長石（更長石到中長石）和黑雲母。南非典型的剛玉珠雲岩（其礦床主要是在東德蘭士瓦）是由剛玉和珍珠雲母的集合體組成的粗粒岩石。

剛玉晶體的大小變化很大——由極微小的至長達 25 公分，寬達 14 公分。晶體的一般長度是由 1——10 公分。有時能找到重達 300 磅的極大晶體。

南非的許多礦床中，只開採殘積砂層中的剛玉。大多數殘積礦床中剛玉的含量為 10—20%（以體積計）。凡含剛玉少於 5% 的砂礦是無利可圖的。

在德蘭士瓦所開採的主要的剛玉礦石是晶體剛玉（crystal corundum）和塊狀剛玉礦石（boulder corundum）。屬第一種的多是從破壞了的長石岩上敲下來和沒有雜質及結