

高等学校試用教科書

鈾礦物鑑定手冊

万毅著

只限學校內部使用



中國工業出版社

鈾矿物鑑定手冊

万 毅著

中国科学院原子核科学委员会編委会編輯

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路兩分号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

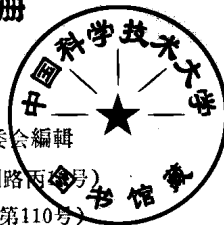
新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $10^{1/4}$ ·插頁6·字数246,000

1962年1月北京第一版·1962年1月北京第一次印刷

印数0001—2,150·定价（10—6）1.50元

統一书号：K15165·1267（核—29）



目 次

第一章 序言.....	1
第二章 放射性矿石类型.....	3
第一节 铀矿石的成因类型.....	3
第二节 铀矿石的工业类型.....	8
第三节 钍矿石类型.....	13
第三章 矿物鑑定程序.....	13
第一节 内生矿石鑑定程序.....	14
第二节 外生(沉积)矿石鑑定程序.....	15
第三节 次生铀矿物的鑑定程序.....	15
第四章 矿石矿物物理性质及结构、构造的观察.....	16
第一节 矿石的观察.....	16
第二节 矿物的观察.....	16
第三节 铀矿石结构、构造的研究.....	17
第五章 放射性照相法.....	19
第一节 宏观放射性照相.....	20
第二节 显微放射性照相.....	25
第六章 矿物分离方法.....	31
第一节 矿样的准备.....	32
第二节 粒度分离.....	33
第三节 磁选和电磁选.....	35
第四节 重液分离.....	36
第五节 离心分离.....	42
第六节 双筒放大镜下人工选矿.....	46
第七节 矿物分离结果的表示.....	45
第七章 光谱分析和化学分析在铀矿鑑定中的应用.....	47
第一节 光谱分析.....	47
第二节 矿石矿物的定量化学分析的应用.....	52
第八章 矿物的定性化学分析.....	56
第一节 矿物定性微化分析的步骤及常用的微化分析类型.....	56
第二节 钍、钍及一些共生、伴生元素的定性化学反应.....	57
第九章 铀矿物的荧光分析.....	64
第一节 铀矿物的荧光性质.....	64
第二节 铀矿物荧光性质的观察.....	67
第十章 矿物光性常数的测定.....	68

05761

第一节	油浸法.....	68
第二节	矿相法.....	71
第十一章	微量矿物比重测定法.....	71
第十二章	伦琴射线粉末法在鉴定铀矿物方面的应用.....	74
第一节	X光分析基本原理.....	74
第二节	X光粉末照相方法及应用它鉴定铀矿物时的特点.....	77
第三节	各类铀矿物及含铀矿物衍射数据的特点.....	80
第十三章	热分析在铀矿物及含铀矿物鉴定中的应用.....	82
第一节	应用热分析研究次生铀矿物及含铀矿物的原理.....	82
第二节	差热分析法.....	83
第三节	脱水分析法.....	86
第十四章	应用电渗析方法对细分散铀矿化的研究.....	86
第一节	电渗析原理.....	87
第二节	电渗析仪的装置及实验步骤.....	88
第三节	铀矿石的电渗析.....	90
第十五章	按悬浮液的pH值鉴定矿物法.....	91
第一节	方法原理.....	91
第二节	鉴定pH值的比色法.....	92
第三节	方法的应用.....	93
参考文献		160

第一章 序 言

矿石是在技术上可能，经济上能有利地被利用的矿物集合体。铀矿石是能被工业加工提炼出铀的矿物集合体（经济上合算地）。

矿石是工业利用的对象。同时在矿石的性质中也集中地表现了矿化的形成条件。矿石是由各种矿物构成的。只有鉴定出矿物成份，澄清了矿物之间的复杂的关系之后，才能解决上述的问题。

在大多数情况下，矿石不是单矿物成份，而是多矿物成份的，或者是为有用矿物所浸染的岩石。因此，矿石物质成份的概念里就包括了矿石的矿物成份（金属矿物和脉石矿物；原生矿物和次生矿物），岩石成份（当矿石和围岩混在一起时）和化学成份（有用元素，有害元素，混入物及其他元素的成份和含量）。有关矿石物质成份的完整的资料必须反应上述的三个内容。

正确地，及时地鉴定矿石物质成份有很大的实际意义和理论意义。这是指导找矿、勘探工作和矿石的工业评价，工业加工的基础。

根据矿物组分，矿物化学成份的特点，矿物的共生组合及共生成顺序，矿石与围岩的相互关系等我们能够取得确定矿化的规律，找矿方向，找矿标志的重要资料。这就有助于矿区内矿体的追索，盲矿体的找寻。这也有助于在其他的，有类似地质条件的区域内指导找矿勘探工作。不言而喻，只有对矿床全面的研究，即综合利用物质成份鉴定，构造填图和岩相古地理分析等多方面工作的结果，才能得到期望的效果。不能因为强调了一方面而忽视了其他方面。

物质成份鉴定与矿石的工业评价及矿石工艺流程的选定有直接的关系。决定矿石工业价值的地质因素首先就是矿石的品位，共生及伴生的有利和有害成份的含量。矿石的加工处理性能首先就取决于金属和脉石矿物的性质（易溶或难溶），矿物颗粒大小，矿物之间结合的关系等等。只有在上述的问题都搞清之后，才有条件去确定合理，有效的选矿方法和湿法冶金的工艺。

铀的化学性质及地球化学性质决定了铀矿物及矿石的一系列特性：

（1）放射性 这是放射性元素的原子核不断地放出 α 、 β 、 γ 射线而变为其他元素的现象。这类射线能引起一些物质的电离，可以用仪器测定；同时能使另一些物质（照相乳胶）变化。

铀、钍都具有放射性，我们常常先知道矿石的放射性，然后才是放射性元素的类别。有三个放射性元素系列，每一系列都有十几个成员。其中主要的，有较长的半衰周期的是如下的几个系列：

铀族系列： $U^{238}(\alpha, \gamma, \beta) \rightarrow \dots \rightarrow U^{234}(\alpha) \rightarrow Th^{230}(\alpha, \gamma, \beta) \rightarrow Ra^{226} \rightarrow Rn^{222}(\alpha) \rightarrow \dots \rightarrow Pb^{206}$ 。

钍族系列： $U^{235}(Acu) (\alpha, \gamma) \rightarrow \dots \rightarrow Pa^{231}(\alpha, \gamma, \beta) \rightarrow Ac^{227}(\alpha, \beta, \gamma) \rightarrow \dots \rightarrow An^{219}(\alpha) \rightarrow \dots \rightarrow Pb^{207}$ 。

釷族系列: $\text{Th}^{232}(\alpha, \gamma, \beta) \rightarrow \text{Ra}^{228}(\beta, \gamma) \rightarrow \dots \rightarrow \text{Th}^{228}(\alpha, \gamma, \beta) \rightarrow \dots \rightarrow \text{Tn}^{220}(\alpha) \rightarrow \dots \rightarrow \text{Pb}^{208}$ 。

这对放射性矿物的性质给予很大影响。鈾、釷矿物的化学成份是不稳定的, 随着其形成时间的长短, 矿物中鈾或釷不断地减少, 而铅的含量相应地增加着。由于放射性影响能使矿物的晶体结构遭到破坏。鈾和釷之間也常有放射性不平衡现象。除了使矿物成份复杂化以外, 放射性也便于我们发现鈾、釷矿化。但这时必须正确地鉴别, 是鈾还是鈾引起的, 衰变系列的放射性平衡状态如何。

(2) 鈾矿物, 特别是次生矿物种类颇为多。

鈾极易由四价氧化为六价。六价鈾以鈾酰状态存在, 化学性质极为活泼, 能形成许多天然化合物。同时许多次生鈾矿物的晶体结构, 化学成份及性质有许多共同之点, 因此类质同像和同质多像在鈾矿物中是相当广泛的存在着。

原生鈾矿物和釷矿物常形成类质同像系列。

(3) 鈾只能形成氧化物, 含氧盐类, 而不形成自然元素、硫化物、砷化物、卤化物等。

(4) 一些鈾矿石常常是极细分散的矿化 例如含鈾磷块岩, 含鈾有机质, 含鈾泥质页岩等。这些矿化中含鈾量低, 但分布广。这就给矿石物质成份鉴定工作提出了特别迫切的和艰巨的任务。

(5) 一些含鈾酰的次生鈾矿物能放出荧光。

釷不形成大量的矿物种, 也不像鈾那么分散。

鈾矿鉴定方法建立在研究鈾矿石及矿物性质的基础上, 由于这些性质就形成了其鉴定方法的一系列特点。首先我们将重点放在矿物分选方法上。因为鈾矿物常常成细小的析出物, 和其他矿物形成紧密的连生体, 要对矿物性质作出可靠的鉴定, 必须首先选出纯净的单矿物。因而, 在本书中讲述了重液选矿、离心分离、磁力分选、粒度分选、双目镜下人工选矿等常用的方法。

鈾矿石鉴定方法的另一个特点是对各种各样鉴定方法的有效配合。因为我们通常选出纯矿物的数量很少(因为挑选纯矿物要消耗很多时间), 所以要挑选最有效的鉴定方法, 使耗费的纯矿物尽量少, 而得到尽量多的可靠的结果。同时我们应当把普通的, 较简单的方法和精密鉴定方法结合起来使用。在本书中讲述了放射性照相, 微化分析, 荧光分析, 矿物光性测定, 矿物悬浮液pH值测定等在野外及一般实验室中可行的鉴定方法。同时这里也讲述了矿物伦琴射线粉末照相法, 热分析, 光谱分析, 定量化学分析及电渗析等复杂的室内研究方法的应用。

在开始鉴定时必须对矿物的外表特征, 物理性质作尽量全面的观察。同时对各种类型的矿石应当有一般的概念。

放射性矿石鉴定手册是本专业学生的教学参考书。各种鉴定方法都尽量结合放射性矿石的性质。为了工作时便于参考起见, 在书后附了已发现鈾、釷矿物主要性质以及矿物X光分析数据。

本书中着重讲述的是鈾矿物的鉴定方法。

每种鉴定方法的重点放在要我们亲手操作的部分。对精密鉴定方法, 如X光分析等我们仅讲述了基本原理, 没有牵涉到专门性质的技术操作(我们做这种工作的机会很

少)，而将重点放在对結果的解释上。

特別指出，我們工作开展得不久，应用各种鑑定方法的經驗很少。同时我們对各种鈾、釷矿物研究得也不够，自己的数据还很少，矿物的数据絕大部分来自国外文献。因此，本書和实际工作的要求之間还有相当的距离。我們欢迎来自各方面的，尤其是实际工作者的批評，建議和指正。

第二章 放射性矿石类型

为了能正确地选择鑑定方法，确定鑑定程序，应该对已知的矿石类型有个一般的概念。所以在工作过程中要首先根据矿石产出的地质条件和初步观察到的矿石的物质成份和結構构造的特征来鑑別，这是那一种类型的矿石。然后可以推断，矿石可能有什么成份，矿石結構构造可能是怎样的。我們的鑑定方法只能根据这两方面的資料来确定，这就是初步观察到的現象和鈾矿研究工作中已經积累了的資料。当然，应当在鑑定过程中繼續改进工作方法和程序。

第一节 鈾矿石的成因类型

鈾矿化的类型是非常丰富的，它几乎包括了所有的成因类型。下面仅列举常見的几种类型的矿石。这里的矿物成分中有常見的矿物，也有可有可无的矿物。因此这对矿石的鑑定仅有参考价值。

§1 岩浆矿床鈾矿石类型

岩浆鈾矿床到現在只发现了两种，即含鈾硷性花崗类型和含鈾碱性正长岩类型。

(1) 含鈾硷性花崗岩

围岩 鈉长石——鈉閃石花崗岩。

造岩矿物 鈉长石，鉀长石，石英，鈉閃石等。

含鈾矿物 黄綠石。

(2) 含鈾硷性正长岩

围岩 異性霞石正长岩

造岩矿物 霞石，微斜长石，鈉长石，鈉鉄閃石，紫苏輝石，異性石。

付矿物 黑云母，独居石，鈾磷灰石，星叶石，柱星叶石，璵云母，鈾鈦矿，斜錳針鈉鈣石，閃鋅矿等。

蝕变矿物 沸石，方沸石，Ussingite，方鈉石，錐輝石。

含鈾矿物 菱形綠柱石Steenstrupine（含鈾、釷及稀土元素的硅酸盐），方鈦石。

§2 偉晶岩矿床鈾矿石类型

意义較大的有下列的五种：

表1

成因类型	矿石类型	铀矿物及含铀矿物	共生伴生矿物	围岩	脉石矿物
純綫式花崗伟晶岩	单铀型	晶质铀矿；鈦鈾碳酸氢矿有时含鈦铀矿	独居石，褐帘石，鋯英石，磁铁矿，金紅石，銳鈦矿	花崗伟晶岩	鈉长石，石英，微斜长石，鉀长石，微斜长石-紋长石，奥长石，黑云母，白云母，磷灰石
	含鈾鈾鉍碳酸盐型	褐鈾鈾矿，鈾矿，鈾鈦鉄鈾矿，鈦鈾鈾矿，鈦鈾鈾鉛矿，鈾鉍鈾矿，鈦鈾鈾矿，黑稀金矿，鈾易解石，复稀金矿，易解石等鈾鈾鉍酸盐。有时含晶质鈾矿，鈾鈾矿，鈾鈾矿，鈾鈾石，鈾石，鈦鈾碳酸氢石	磷鈾矿，独居石，鋯英石，褐帘石，黄綠石，細晶石，曲晶石，硅鈾鈾矿，榍石，綠柱石，鈾鉄矿，鉍鉄矿，鈦鉄矿，金紅石，硫化物，自然鉍		微斜长石-紋长石，石英，黑云母，斜长石，白云母，电气石，石榴子石，有时含鉍輝石，鉍云母，螢石
交綫式伟晶岩	含鈾混合岩型	晶质鈾矿	鋯英石，輝鉍矿，黄鉄矿，磁黄鉄矿	花崗质貫入片麻岩式似伟晶岩	石英，奥长石，微斜长石，鉀长石，黑云母，白云母，磷灰石，榍石，电气石
	含鈾螢石方解石脉型	晶质鈾矿，鈾鈾石，方鈾石，黑稀金矿，复稀金矿	黄綠石，褐帘石，榍石，鋯英石，少量輝鉍矿，黄銅矿，黄鉄矿，磁黄鉄矿，磁鉄矿，赤鉄矿	螢石方解石伟晶岩（产于片麻岩中）	长石，石英，輝石，角閃石，綠泥石，螢石，方解石，黑云母，磷灰石
純綫式硷性伟晶岩	黄綠石伟晶岩型	黄綠石，水鋯石，易解石，鈾鈾矿	曲晶石，鋯英石，鈦鉄矿，金紅石	霞石正长岩伟晶岩	霞石，鉀长石，硷性輝石，角閃石，黑云母，磷灰石

在含鈾伟晶岩氧化带能形成鈾的氢氧化物，硅酸盐，磷酸盐，碳酸盐。氧化带不十分发育。

§3 硅卡岩型鈾矿石

真正属于硅卡岩型的鈾矿床极为稀少，如澳洲的瑪丽凱斯伦矿床。围岩为鈣鉄石榴子石硅卡岩，其矿物成份为：鈣鉄石榴子石，鈣鋁石榴子石，透輝石，方柱石，微斜长石，鈉长石，磷灰石，石英，方解石，螢石。

鈾矿物为細浸染状的晶质鈾矿，鈦鈾鉄矿。共生矿物为含稀土的褐帘石，榛褐稀金矿，层硅鈦鉄矿，Стиллевеллит 及硫化物：黄鉄矿，磁黄鉄矿，黄銅矿，輝鉍矿，方鉛矿等。

§4 热液鈾矿石类型

各种矿石类型之間区别較大，共可分为十一种（表2）。其中尤以鈾-硫化物及鈾砷化物类型的矿物成份最为复杂，硫化物，砷化物，硫盐等矿物种类繁多。

表 2

矿石类型	铀矿物	共生及伴生金属矿物	脉石矿物	围岩	围岩蚀变	次生矿物
单铀型 (纯铀型)		黄铁矿, 白铁矿, 黄铜矿, 斑铜矿, 铜蓝, 闪锌矿, 纯闪锌矿, 辉钼矿, 辉铋矿, 辉砷钴矿, 斜方砷钴矿, 毒砂 赤铁矿, 水赤铁矿, 针铁矿	石英 方解石, 白云石, 铁白云石 重晶石 萤石	花岗岩 砂页岩 石英玢岩, 花 岗玢岩, 石英正长玢岩 变质岩	赤铁矿化, 矽化	铀的 各种氢氧化 物, 矽酸盐 磷酸盐 砷酸盐 硫酸盐 硫酸碳 酸盐 碳酸盐 钼酸盐 铀黑, 以及其 他元素的 次生矿物
铀-萤石 型	非晶铀矿 呈细脉状, 对称条带 状, 皮壳状, 透镜状, 团 块状, 浸染 状	黄铁矿, 白铁矿, 黄铜矿, 方铅矿, 闪锌矿, 辉钼矿 斜方砷钴矿, 斜方砷镍矿	萤石 石英 重晶石 方解石	同 上	同 上	
铀-硫化 物型		黄铁矿, 白铁矿, 黄铜矿, 斑铜矿, 铜蓝, 方铅矿, 闪锌矿, 辉钼矿, 辉铋矿, 辉银矿, 黝铜矿, 砷黝铜矿, 辉砷银矿, 硫砷银矿, 硫砷镍矿, 硫砷钴矿, 辉砷镍矿, 毒砂 硒铅矿 自然银, 自然铋, 自然铜 赤铁矿, 针铁矿	方解石, 白云石, 菱铁矿, 菱锰矿 石英 重晶石 萤石 绿泥石, 絹云母 铜长石	花岗岩, 正长 岩, 片麻岩, 结晶 片岩, 石英玢岩, 细晶岩, 凝灰岩, 各种火山沉积岩	赤铁矿化 硅化 絹云母化 高岭石化 钠长石化	
铀-钼型		辉钼矿, 黄铁矿, 白铁矿, 黄铜矿, 方铅矿, 闪锌矿, 纯闪锌矿, 黝铜矿, 毒砂 赤铁矿, 针铁矿, 钛铁矿	铁白云石, 方解 石, 锰铁白云石 石英, 绿泥石, 絹云母, 水云母, 重晶石, 萤石	火山沉积岩, 凝灰岩 花岗岩, 花岗 闪长岩	碳酸盐化, 钠长石化, 硅化, 赤铁矿化	
铀-钴镍 硫化物型 (铀铜型)	晶质铀矿 浸染状	黄铜矿, 斑铜矿, 辉铜矿, 铜蓝, 方铅矿, 黄铁矿, 辉钼矿, 红碲铜矿 卡硫钴矿, 镍卡硫钴矿, 方辉镍矿, 钴方辉镍矿, 硒方辉镍矿, 方硫镍钴矿, 硒方硫镍钴矿, 针硫镍矿, 碲镍矿 自然金, 自然铜, 钼	菱铁矿, 白云石, 含钴白云石, 方解 石, 霞石, 独居石 绿泥石, 石英	白云质片岩, 菱铁矿化 硅化白云岩, 矽绿泥石化 质片岩		
铀-砷化 物 (五元素 型)	非晶铀矿	黄铜矿, 方黄铜矿, 斑铜矿, 辉铜矿, 铜蓝, 白铁矿, 黄铁矿, 辉钼矿, 辉银矿, 辉铋矿, 辉钴矿, 闪锌矿, 黝铜矿, 银黝铜矿, 硫铜银矿, 辉铜银矿, 砷钴矿, 砷镍矿, 斜方砷钴矿, 斜方砷镍矿, 斜方砷铁矿, 红镍矿, 镍方钴矿, 粒辉镍矿, 辉砷镍矿, 方钴矿, 铁砷砷钴矿, 硫砷银矿, 毒重石, 毒砂 自然银, 铋砷, 铋 赤铁矿, 磁铁矿, 硬锰矿, 软锰矿, 菱铁矿 银矿	方解石, 白云石, 铁白云石, 菱铁矿, 菱锰矿 石英, 絹云母, 葡萄石, 沸石, 重 晶石, 萤石 绿泥石	火山凝灰岩, 含铁石英岩, 角闪岩, 含黄铁 矿云母片岩, 炭 质页岩, 硅卡岩, 花岗岩闪长岩	赤铁矿化 绿泥石化 碳酸盐化	

續表 3

矿石类型	围岩成份		有用矿物成份及 共生矿物(原生的)	氧化矿石成份
	碎屑矿物及岩屑	胶结物		
含铀-有机 质砂岩	同上	同上	非晶铀矿, 少量铀石与 有机质共生 黄铁矿, 黄铜矿, 斑铜 矿, 铜蓝, 方铅矿, 閃鋅矿 矿石构造: 条带状, 层 状, 結核状, 胶結状, 浸 染状, 环状, 結状, 細脉 状	铀的氢氧化物, 矽酸盐, 碳酸盐, 硫酸盐, 磷酸盐, 钼酸盐, 砷酸盐。 孔雀石, 藍銅矿, 块銅矿, 銅明 矾, 水銀鈣銅矿, 鈷华, 鈷錳明矾, 藍銅矿, 鉄鉛华, 矽孔雀石, 胆矾, 水胆矾, 明矾石, 黄鉀鉄矾, 石膏, 水鋁矿, 砷鈣銅矿, 赤矾, 錳土
含铀湖相石 灰岩	石灰岩: 方解 石, 少量泥质和 有机质(約10%)		非晶铀矿 黄铁矿, 其他硫化物, 螢 石, 方解石, 重晶石 矿石构造: 条带状, 細 脉状	

表 4

矿石类型	造岩矿物	铀原生矿化成份 共生矿物	氧化矿石成份
含铀磷块岩	碳氟磷灰石(包括磷质生 物化石), 碳酸盐, 有机质 海綠石, 石英, 絹云母	含铀磷灰石 (铀置换 Ca 或处于吸附状态) 矿石结构-細分散状 矿石构造-层状	鈳鈣铀矿 磷灰石, 矽磷鈣鉛石, 銀 星石, 磷鋁鈣鈉石
含铀黑色頁岩	泥质岩, 泥质碳质頁岩, 砂质炭质頁岩 碎屑矿物: 石英, 长石(約占1/4), 云母, 电气石, 鉍英石, 磷灰石 基质: 黄鉄矿(达1/4), 碳 酸盐, 泥质矿物(約占1/4), 高岭石, 伊利水云母, 綠泥 石, 褐鉄矿, 磷酸鈣, 有机 质(碳质及瀝青质) 碳酸盐中多为方解石, 有 少量菱鉄矿	含铀有机质(含U, Mo, V) (铀有机化合物或铀处于吸 附状态), 铀含量与有机质 及黄鉄矿含量成正比 矿石结构-細分散状 矿石构造-层状, 条带状	鈣铀云母 石膏
含铀石灰岩	方解石, 白云石, 鉄白云 石, 菱鉄矿, 霞石(包括生 物化石) 石英, 蛋白石, 玉髓, 磷 灰石 高岭石, 蒙脱石, 水云母, 山軟木	非晶铀矿, 铀石, 铀黑, 含铀有机质 黄铁矿, 白鉄矿, 輝鉍矿, 綠硫鉍矿, 磁黄鉄矿, 黄銅 矿, 方鉛矿, 閃鋅矿, 磁鉄矿, 赤鉄矿, 針鉄矿, 方鉄矿, 黑 針鉍矿, 斜水鉍矿, 矿石结构: 隱晶状 矿石构造: 层状, 条带状, 細脉状, 縫合状, 凝块状, 斑点状, 髓状和生物状	铀的氢氧化物, 矽酸盐, 钼酸盐, 碳酸盐, 磷酸盐 纖維鈳鈣石, 四水鈳鈣矿, 橙鈳鈣石, 水鈳鈣石, 藻晶 鈳鈣石, 黑鈳鈣矿, 水鈳鉄 矿, Ферроселит 石膏, 透石膏, 重晶石, 菱 鉍矿, 水鉍鉍矿, 異极矿, 藍 銅矾矿, 晒鈳矿, 黄晒鉛矿 鉄鉍矿, 鉍鈣矿

§5 产在陆相沉积中的铀矿石类型

主要是含铀钍及含铀-有机质陆相砂岩型矿石，以美国科罗拉多高原矿石为代表。它的氧化带在沉积铀矿石中是成份最复杂的。其成份见表3。

§6 产在海成沉积中的铀矿石类型

常见的是含铀磷块岩，黑色頁岩及石灰岩。在前二种矿石中关于铀的存在状态还没有得出确实的结论。矿石成份见表4。

§7 淋滤铀矿石类型

表5

矿石类型	围岩及其矿物成份	“原生”铀矿物及共生伴生矿物	次 生 矿 物
含铀砂岩类型	灰色砂岩	非晶铀矿，铀黑黄铁矿 矿石构造：条带状，结核状，胶结状	钾铀铈矿，钒钙铀矿
含铀煤，木煤和碳质頁岩类型	木煤，褐煤，石煤，炭质頁岩，砂頁岩 包裹物：石英，方解石，菱铁矿，黄铁矿，閃鋅矿，高岭石，褐铁矿，方沸石	含铀有机质(含U, Se, Ge, Ga, Tr, Mo, V等) 非晶铀矿，晶质铀矿，铀石，铀黑，黄铁矿 矿石构造：浸染状，少細脉状	铀的硫酸盐，碳酸盐，板菱铀矿，磷酸盐，砷酸盐，多酸盐 石膏，黄钾铁矾，褐铁矿
花崗岩中破碎带类型	花崗岩，强烈高岭石化	再生铀黑 铀云母（鈾云母或其他云母为主）	

注：此处所指“原生”矿物是在成矿作用中首先形成的铀矿物，不是一般的內生矿物。

§8 变质铀矿石类型

现已知两类，一是受变质矿床，即含铀、金古砾岩类型，一是变成矿床，即产在硅化砂岩、白云岩化灰岩及片岩中的变质铀矿石。矿石成份见表6。

第二节 铀矿石的工业类型

鑑定矿石物质成份的目的不仅在于找到矿化规律，而更重要的是指导找矿、勘探工作。确定矿石工业类型对矿床的评价有极其重要的意义。在深入的矿物研究工作中，完成该项評定矿石质量的任务是不困难的。

铀矿石按工业类型分类是为选矿工艺服务的。决定选矿方法，冶炼方法的基本因素是矿石的矿物成份（包括共生，伴生矿物，脉石矿物的成份），矿物顆粒大小，矿石的构造。而决定矿石取舍的重要标志又是铀在矿石中的含量。所有这些因素都要综合考

表6

矿石类型	围 岩		铀 矿 物	共 生 伴 生 矿 物	氧化带矿物
	碎 屑 成 份	胶 结 物			
含铀、金古 老砾岩类型 (或含铀砾岩 类型)	砾岩 砾石:石英(为 主), 角岩, 含铁石英岩, 花岗岩, 长石 砂岩, 硅化灰岩 石英砂岩 碎屑: 石英, 少量长石	石英, 絹云母 少量綠泥石, 白云母, 微斜 长石, 黝帘石, 叶腊石, 重晶 石, 螢石	晶质铀矿, 非 晶铀矿, 鈦铀矿, 鈦鈦石, 鈦石, 鈦鈦碳氢石, 或以鈦铀矿为 主 矿石结构: 細 粒状, 少隐晶状 矿石构造: 浸 染状, 条带状, 层状	黄铁矿, 自然金 独居石, 鈾英石, 榍石, 鈦铀矿, 銳鈦矿, 板鈦矿, 白鈦矿, 金紅 石, 磷鈦矿, 金稀金矿 磁铁矿, 赤铁矿, 針 铁矿, 銘铁矿, 錫石 自然鉑, 銀鈦矿 黄銅矿, 磁黄铁矿, 鍍黄铁矿, 方鉛矿, 閃鋅 矿, 輝鈦矿, 輝鉍鐳矿, 硫鈦矿, 針硫鐳矿, 白鈦 矿, 毒砂, 微晶鉍銅 矿, 方鈦矿	柱鈦矿, 脂 鉛鈦矿 水鈦矾 板菱鈦矿 硅鈦鈦矿
含铀硅化 砂岩类型	硅化砂岩 含石英, 鈉长石, 透輝石, 阳 起石, 少量綠帘石, 付矿物中以榍石为主, 較少磷 灰石, 电气石, 鈾英石 粉砂岩砂岩中除上述矿物外, 含較多的絹云母和黑云母		非晶铀矿 矿石构造: 致 密状, 条带状, 較 少为斑状, 結核 状, 細脉状及破 裂结构	黄銅矿, 石墨, 少量黄铁矿	硅鈦鈦矿, β 斜矽鈦鈦矿, 黄鈦矿, 变銅 鈦云母, 硅銅 鈦矿, 七水碳 鈦矿
含鈦頁岩和 白云岩化灰岩	围岩有四种 (1) 絹云母泥质頁岩 含大量 細粒石英碎屑及絹云母, 粘土矿物 变质細脉含石英及硫化物 (2) (3) 炭质硅质頁岩和 炭质泥质頁岩 含石英, 絹云母, 粘土矿物, 富含黄铁矿和有机质 (10—15%) 变质細脉含石英, 硫化物或石 墨, 碳瀝青 (4) 白云岩化灰岩 含白云石 及少量方解石, 黄铁矿, 有机质 (1—2%) 变质細脉含方解石, 白云石和 硫化物		非晶铀矿 残余鈦黑 細分散的鈦氧化 物, 含鈦有机质 矿石结构: 細 分散状和隐晶质 矿石构造: 环 状 (包围黄铁 矿), 細脉状, 条带状, 角砾胶 結状, 浸染状	黄铁矿, 少量白铁矿, 閃鋅矿, 方鉛矿, 黄銅 矿, 輝鉄鐳矿, 鉍鐳矿, 紅鐳矿, 有机质, 碳瀝青, 石 墨, 綠泥石, 叶腊石	残余鈦黑, 再生鈦黑, 鈦 鈦云母, 变銅 鈦云母, 混合 鈦云母, 水鈦 矾石膏, 泻利 盐, 鈦氢氧化物, 水鋁英石

虑, 才能对矿石质量作出合理的評價。

§1 矿石按鈦含量分类

按鈦含量矿石一般分为5类(見表7)。除此以外, 还有其他的含量品級。有分成三級的, 有分成四級的。

金属在矿石中分布的均匀程度对选矿是很重要的。按矿石“对比性”, 即富矿块中鈦含量与矿石中平均含量的比值的分类見表8。

表7 矿石按铈含量分类表

矿 石 品 级	铈 含 量 (%)	可能的机械选矿方法	可能的湿法冶金处理方法
一等 (极富的)	> 1	A, B	E, Ж
二等 (富 的)	1—0.5	A, B	E, Ж*
三等 (中富的)	0.5—0.25	A, B	E
四等 (一般的)	0.25—0.09	A, B	Д*, E
五等 (贫 的)	从0.09到最低工业极限	A, B	Д, E

注: 字母含义见表9末。

表8 矿石按“对比性”分类

矿 石 类 型	对比率 (富矿块中铈含量与矿石平均品位之比)
对比性矿石	数十倍
弱对比性矿石	3—5倍
无对比性矿石	1

表9 矿石按铈矿化性质分类表

矿石类别	按铈矿化划分的矿石类型	主 要 矿 物	可能的机械 选矿方法	可能的湿法 冶金处理方法	附 注
内生类	非晶铈矿型	非晶铈矿	A, B	Д*, E	—
	晶质铈矿型	晶质铈矿	A, B	E, Ж*	—
	钍铈矿型	钍铈矿	A, B	Ж	—
	含铈的钍, 铀, 钍, 钍, 钍, 钍和稀土矿物组成的矿石	独居石, 钍铈铀矿, 曲晶石, 钍铈铀矿, 黑稀金矿, 褐钍铀矿	E, B	Ж	湿法冶金处理 前需焙烧, 熔合
外生类	非晶铈矿型	非晶铈矿	A	Д*, E	—
	铈石型	铈石	—	E	—
	铈黑型	铈黑	A	Д, E	—
	氢氧化物型	铈的简单和复杂氢氧化物	A, B	Д*, E	—
	硅铈矿-硅钍铈矿型	硅铈矿, β -斜硅铈矿, 硅钍铈矿, 硅铈矿等	A	Д, E	—
	钙铈云母-铜铈云母型	钙铈云母, 铜铈云母, 钼铈云母, 正铜铈云母	A, B	Д, E	—
	砷钙铈矿-翠砷铜铈矿型	砷钙铈矿, 翠砷铜铈矿, 变翠砷铜铈矿	A, B	Д, E	—
	铈钒铈矿-钒钙铈矿型	铈钒铈矿, 钒钙铈矿	A	Д, E	湿法冶金处理 前需焙烧, 熔合
	未确定铈存在形式的矿石型	磷酸铈, 有机化合物, 泥质矿物, 铁和锰的氢氧化物	A, B, * B, Г	E, Ж	—
混合矿石	非晶铈矿-铈黑型	内生和外生铈矿物	A, B	E	—
	非晶铈矿-氢氧化物型		A, B	E	—
	非晶铈矿-硅铈矿型		A	Д*, E	—
	非晶铈矿-铈钒铈矿-钒钙铈矿型		A	Д*, E	湿法冶金处理 前需焙烧, 熔合

附注: 表中采用下式诸符号: A—放射性选矿; B—重力选矿; B—浮选; Г—水力旋流器上多阶段分选;
Д—碳酸盐浸滤; E—用稀酸浸滤; E, Ж—酸浸滤, 并用氧化剂; *—很少应用。

§2 矿石按铀矿化性质分类

按矿物成份有人将铀矿石分为17种(表9)各种矿物有不同的物理性质, 和溶剂作用也不同。铀矿物成份是决定选矿和冶炼方法的一个重要因素。

§3 矿石按矿砂物质成份分类

非金属矿物以及其他与铀共生, 伴生的矿物按相对含量常是矿石中居多数的成份。相当大量的试剂即耗費在它們的处理上。因此考虑这些矿物的成份和含量是很重要的。

表10 铀矿石按矿砂的矿物成份和化学成份的分类表

矿石类型	矿石变种	决定矿石类型之 組分的含量	可能的机械 选矿方法	可能的湿法 冶金处理方法	附 注
硅酸盐型和 铝硅酸盐型	—	硅酸盐和铝硅酸盐矿物 >95%	Г*	Д*, Е	—
碳酸盐型	含少量碳酸盐	6—12%碳酸盐	—	Д, Е	—
	含中量碳酸盐	12—25%碳酸盐	В	Д, Е*	—
	含大量碳酸盐	>25%碳酸盐	В	Д	—
硫化物型	含少量硫化物	3—10%硫化物	В, В	(В)Д*, Е	—
	含中量硫化物	10—25%硫化物	В, В	Е	—
	含大量硫化物	>25%硫化物	В, В	Е	—
铁氧化物型	—	工业铁矿石		Е	湿法冶金处理 前需焙烧, 熔合, 熔化
磷酸盐型	含少量磷酸盐	3—10%P ₂ O ₅	В, В	Е	—
	含中量磷酸盐	10—20%P ₂ O ₅	В, В	Ж	—
	含大量磷酸盐	>20%P ₂ O ₅	В, В	Ж	—
可燃有机岩型	含铀煤和固体瀝青 碳质和瀝青质頁 岩, 砂岩及其他岩石	—	В	Д, Е	湿法冶金处理 前需焙烧熔合
	—	—	В, Г	Д, Е	同上

§4 矿石按矿物顆粒大小分类

矿物的顆粒度决定应用各种机械选矿方法的可能性, 同时也規定水冶金时矿石需要粉碎的程度。

表11 铀矿石按铀矿物和含铀矿物集合体和顆粒大小分类表

矿石分类	絕大多数直径mm	平均直径mm	处 理 方 法
粗粒矿石	25—300	162	放射分选
中粒矿石	3—25	14	放射分选和跳汰选
細粒矿石	0.1—3	1.5	跳汰选, 重悬浊液中分离, 搖床选, 放射分选
微粒矿石	0.015—0.1	0.057	浮选(很少用), 放射分选, 湿法冶金处理。
乳胶矿石, 半显微矿石	0.001—0.015	0.008	用水力旋流器分段分选, 区分出含铀和不含 铀的产物或直接用湿法冶金处理
分散胶体状矿石	<0.001	—	同 上

§5 矿石按有用组分分类

按矿石中有用组分钍矿石分为两大类：单钍矿石和综合矿石。综合矿石又分为如下的亚类：金-钍，钍-钼，钍-多金属，铜-钍，钍-镍-钴-铋，铁-钍，钍-钒，钍-磷酸盐，钍-煤等。

其他的有用组分提高了钍矿石的经济价值，同时使矿石工艺复杂化。

§6 钍矿石按钍和其他有用组分矿石中的共生情况分类

1. 钍和其他组分都含于钍矿物内（铀钍矿-钍，钍）；
2. 钍参加含钍矿物的成份，由于其他组分的存在，矿石才具有工业意义（独居石-稀土，钍，钍；褐钨铀矿-钨，铀，稀土，钍等）；
3. 钍参加造岩矿物成份，造岩矿物的主要组分有工业意义（磷酸钙-磷，钍-含钍煤）；
4. 钍和其他组分在各种矿物中有不同的分布。

第三节 钍矿石类型

以矿石成因为分类基础，可将钍矿石分为如下13类（表12）：

表 12 钍矿石类型

成因	矿石类型	钍矿物及含钍矿物	其他矿石矿物	共生，伴生矿物及造岩矿物	围岩
岩浆矿床	含黄绿石花岗岩型	黄绿石			钠长石-铁闪石花岗岩
	含菱形绿柱石霞石正长岩	菱形绿柱石，方钍石，独居石，异性石，铈磷灰石	钙钍矿，閃鋅矿，星叶石，柱星叶石	霞石，微斜长石，钠长石，钠铁闪石，紫苏辉石，黑云母，瑞云母，斜锰针钠钙石	异性霞石正长岩
伟晶岩矿床	方钍石型	方钍石，铀方钍石，钍石，钍钍石，晶质钍矿，锆英石	绿柱石	黑云母，輝石，石英，长石，金云母	花岗岩伟晶岩，有时为正长岩伟晶岩
	钍钽铌酸盐型	褐钨铀矿，黄钨铀矿，易解石，钽易解石，黑稀金矿，复稀金矿，钽钨矿，钽钨矿，矽钽矿，褐帘石，独居石，锆英石，晶质钍矿等	绿柱石	黑云母，白云母，电气石，石榴子石，磷灰石，石英，长石，锂云母	花岗岩伟晶岩
	黄绿石伟晶岩型	黄绿石及其他钍钽铌酸盐，水锆石，曲晶石		霞石，长石，黑云母，榍石，磷灰石	正长岩及霞石正长岩伟晶岩
	锆石伟晶岩型	水锆石，曲晶石，少量钽钽酸盐		黑云母，磷灰石，榍石，霞石，异性輝石和角闪石，长石	霞石正长岩伟晶岩

續表12

成因	矿石类型	鈦矿物及含鈦矿物	其他矿石矿物	共生、伴生矿物及 造岩矿物	围岩
气成热液矿床	含独居石 碳酸岩型	独居石, 氟碳鈾矿, 氟 碳鈾鈾矿, 褐帘石, 硅鈾 矿, 鈾石	赤鉄矿, 方鉛 矿, 鉍鉛矿	方解石, 白云石, 鉄白云石, 菱鉄矿, 重晶石, 石英, 青 石棉, 黑云母, 金 云母, 白云母, 綠 泥石, 磷灰石, 螢石, 菱錒矿, 文石	碳酸岩, 正长 岩, 鈾花崗岩, 片麻岩
	含黃綠石 碳酸岩型	黃綠石, 鈾鉍錒矿, 鈾 鈾矿	鈾鉄矿, 錫石 磁鉄矿, 假象赤 鉄矿, 鈾鉄矿	方解石, 白云石, 菱鉄矿, 鉄白云石, 重晶石, 螢石, 磷 灰石, 榍石, 輝石, 角閃石, 金云母, 綠 泥石	碳酸岩, 正长 岩, 霞石正长 岩, 片麻岩
热液矿床	石英-独 居石型	独居石	赤鉄矿	石英, 磷灰石	花崗岩, 花崗 片麻岩
	石英-碳 酸盐-鈾石 型	鈾石, 鈾鈾石, 鉄鈾石, 鈾脂鉛鈾矿, 鈾方鈾石, 鈾石	赤鉄矿, 黃鉄 矿, 方鉛矿, 黃 銅矿, 閃鋅矿	石英, 方解石, 螢石, 白云石, 鉄 白云母, 磷灰石, 綠泥石	硷性岩漿岩, 片麻岩
沉积矿床	滨海砂矿 型	独居石, 鈾英石	鈾鉄矿, 金紅 石, 磁鉄矿	石榴子石, 石英, 片麻岩, 碎屑, 硅 綫石	砂层
	冲积砂矿 型	独居石, 黑稀金矿, 鈾 鈾石, 鈾英石, 褐帘石, 鈾矿, 鈾石	鈾鉄矿, 磁鉄矿, 鈾鉄矿, 金紅石, 鈾磁鉄矿, 錫石	榍石, 石榴子石, 硅綫石, 十字石, 螢石, 綠帘石, 角閃石, 石英, 长石, 电气石, 尖晶石	砂层
受变质矿床	受变质砂 矿型	鈾鈾矿, 鈾鈾石, 鈾鈾 磁鉄矿, 鈾石, 晶质鈾矿, 独居石, 鈾英石, 磷鈾矿	黃鉄矿, 磁鉄 矿, 赤鉄矿, 銘鉄 矿, 榍石, 金紅石, 鈾鉄矿, 針鉄矿, 各种硫化物, 自 然金, 鉍	石英, 磷灰石, 电气石, 角閃石, 长石, 絹云母, 白 云母, 硬綠泥石, 螢石, 重晶石	砾岩, 砂岩

第三章 矿物鑑定程序

对詳細的室内鑑定工作, 采取合理的鑑定程序(和工业中工艺流程一样)是非常重要的, 因为这样可以在很短時間內得到精确, 可靠的結果, 以便节省很多時間。

合理的鑑定程序的选定取决于矿物工作者对各种鑑定方法掌握的程度以及他关于各种类型鈾矿化的知識。只有掌握了各种方法以后才能熟练地利用它們, 将各种方法的优缺点配合起来, 得到可靠的結果。各种类型矿化都有自己的特点, 关于它們的物质成份在世界各国已經积累了相当多的实际資料。这些矿化类型的特点是不难掌握的, 根据野外观察及室内的初步工作是可以識別的。这对选用各种鑑定方法有很大的意义。