

479556

变质作用 与 铀的成矿

〔苏〕Я. Н. 别列夫采夫 等著

7162

F



变质作用与铀的成矿

〔苏〕Я. Н. 别列夫采夫 等著

陈祖伊 译 李连杰 校

原子能出版社

内 容 提 要

此书原为《沉积和变质岩层中的铀矿床地质和成因》一书的第二部分。因系统介绍变质作用和变质铀矿床方面的文献很少，故此书先予译出。

书中讨论了低级和高级变质作用中铀的成矿过程，以某些类型矿床为例揭示了铀元素活化、迁移、富集成矿的可能性。作者认为，变质和超变质铀矿床是内生溶液将铀从围岩中活化，经过长距离迁移，并在有利的构造条件中富集而形成的，成岩作用和变质作用对于铀矿的形成有重要影响。书中列举了地质观察、同位素地球化学和实验研究等多方面实际资料。

本书可供从事铀矿地质的专业人员和地质院校有关专业的师生参考。

变质作用与铀的成矿

〔苏〕Я. Н. 别列夫采夫 等著

陈祖伊 译 李连杰 校

原子能出版社出版

（北京2108信箱）

北京印刷一厂印刷

（北京市西便门）

新华书店北京发行所发行·新华书店经售



开本787×1092 1/32 · 印张 3 $\frac{1}{2}$ · 字数 80 千字

1983年 8月 第一版 · 1983年 8月 第一次印刷

印数001—2100 · 统一书号：15175 · 494

定价：0.45元

出 版 说 明

此书原是《沉积和变质岩层中的铀矿地质和成因》一书的第二部分。原书第一部分是沉积成岩作用与铀的成矿（作者 丹契夫）。它的基本内容和丹契夫另一本《外生铀矿床》相同（不久也将翻译出版），故未予翻译出版。第二部分变质作用与铀的成矿的内容比较系统、广泛，在目前中外文献中亦不多见，故先予译出以满足我国广大铀矿地质工作者的需要。

目 录

第一章	关于变质作用、超变质作用和变质成矿作用的现代概念	1
	变质作用	1
	超变质作用	5
	变质成矿作用	6
第二章	变质作用和超变质作用中铀的活动性	9
	变质岩和超变质岩的含铀性	9
	进化变质作用和超变质作用中铀的活动性	13
	岩石中铀的存在形式	16
	变质作用中铀活动的原因	20
第三章	变质成因铀矿床的分类	22
	成因分类	22
	工业分类	26
第四章	各种成因类型和工业类型的变质成因铀矿床实例	29
	受变质铀矿床	29
	变质铀矿床	42
	超变质铀矿床	58
第五章	变质成因铀矿床形成时溶液和铀的来源	73
第六章	矿质沉淀	90
第七章	变质成因铀矿床的分布规律	102

第一章 关于变质作用、超变质作用和 变质成矿作用的现代概念

变 质 作 用

“变质作用是一种岩石没有明显的熔融,而由于物理化学条件的改变所发生的岩石改组过程”^[57]。

典型的变质岩是在300—400至1000—1200℃的温度下生成的,变质作用的温度上限是大多数岩石的熔点。

岩石中高温的产生可能有三种原因:(1)熔融的物质自下部上升;(2)岩石下沉到较深的部位;(3)热流体流传递给岩石高温。在第一种情况下产生接触变质,在第二、三种情况下发生区域变质。迄今为止所积累的大量地质和实验资料使人们认为,来自壳下深部的热对流是引起变质作用和超变质作用的主要原因,因为在正常的地温梯度下,即使岩石下沉至10—20公里深部,也不会引起变质作用,而侵入体本身就是超变质作用的产物。以索波列夫(В. С. Соболев)为首的西伯利亚学者们根据综合的地质特征,但首先是根据岩石分布于无岩浆侵入体的大面积地区这个特征,将岩石归入变质成因的。变质作用是在压力超过5千巴(至17—25千巴)的条件下发生的。

岩石的变质过程总是在含有CO₂和某些其它组分(Cl、F、SO₄、S)的水溶液存在的条件下进行的。溶液可能来

自外部,其中包括从地幔区上升的,或者是由原始含水矿物形成新矿物的反应中直接析离出来的。实验证实,在低于1000℃的干态下,大部分典型的变质反应并不发生。

已知有两类变质蚀变:岩石成分没有实质性变化的等化学蚀变和有组分带入与带出及岩石原始成分变化的差化学蚀变(аллохимические изменения)或交代蚀变。

关于变质相的学说的概念,经历了从爱司科拉到索波列夫等人的漫长演化。目前,对变质相都理解为一定的、受某些最重要的反应线限制的温压条件区,虽然这些反应与变质岩自然组合形成的温压条件界线大致相应^[57],在最广泛分布岩石的天然成分中,还能追索到这些反应。在这样的温压区范围内形成的岩石,就称为此变质相的岩石。在西伯利亚地质学家提出的变质相方案中,根据压力高低划分了相组: A——低压相,大致相当于接触变质; B——中压相,相当于区域变质; C——高压相,相当于由构造超负引起的高压带变质; D——超高压相(在地幔内)。

在地球史上变质作用是以下列方式出现的: a、早太古代岩石遭受高温区域变质,一般见不到超过上覆岩层静压的高压迹象; б、晚太古代-元古代的沉积是在超高压条件下变质的,其中可见到不同变质相的岩石,直至几乎未变质的岩石; в、前寒武系上和古生代岩石仅在个别与褶皱作用和深断裂有关的带上发生区域变质^[57]。

对于理解变质成矿作用来说,中压相(B)具有最重要的意义,而分布最广的地盾和古老地台的区域变质岩石即相当于此相(表1)。高压相(C)和超高压相(D)研究尚少,它们在成矿中的作用还不清楚。

地壳中区域变质作用是与地槽带中原始褶皱构造的形成

表 1 中压相形成的温压条件

相	变质温度, °C	压力, 千巴
B ₁ ——双辉石片麻岩(麻粒岩相)	从750—800至900—1000	从1—5至12—13
B ₂ ——透闪石-黑云母片麻岩(角闪岩相)	650—800	从3—4至8—10
B ₃ ——红柱石(透闪石)-白云母片岩 (绿帘石-角闪岩相)	从550至600—650	从2—3至7—8
B ₄ ——绿片岩	从350—400至500—550	从2至7—10
B ₅ ——“沸石相”与区域后生成岩作用	从100至200—350	一般不大于3—5

同时进行的, 在空间和成因上与区域造山作用有关。区域变质作用往往地域很大, 于此范围内在恒定的热力条件下均衡地进行。变质作用的进程主要受温度控制, 因为温度能提高孔隙溶液的化学活性。压力变化的影响较小, 它决定岩石的变形并为促使产生结晶中心的变质溶液的渗透和扩散创造条件。区域变质作用仅仅发生在那些形成深度很大的褶皱区和热流值较高的地区。不过, 仅有岩石的深埋或强烈褶皱, 不会引起沉积物多大的强烈变质。

区域变质作用发育区有以下典型特征: (1) 在一个相的范围内——绿片岩相、角闪岩相或麻粒岩相, 岩石均匀地重结晶; (2) 变质作用多为等化学性, 即没有物质的带入、带出, 因此, 并无交代岩的大量发育; (3) 从较浅变质相转入较深变质相, 脱水和去硅作用加强; 从绿片岩相转入角闪岩相和麻粒岩相, 水和二氧化硅含量降低。

变质作用中释放出来的水形成了变质溶液。这些溶液不仅使岩石重结晶, 并且促进了活性成矿组分的运移。在与区域变质作用同时的塑性变形期中, 岩石产生了褶皱-裂隙带, 而压力下降就使变质溶液通过这些裂隙带。

有必要就沉积岩和火山岩的低温前绿片岩变质和交代蚀变作些说明。这些蚀变是在化学性质活泼的溶液的影响下,

在温度为100至300—350℃和压力不高于3—5千巴的条件下发生的。这些蚀变是大量的，而且从矿产形成的角度来看也是很重要的。属于这类蚀变的有：

(1) 在富含火山玻璃碎片的火山碎屑岩中形成沸石，和沸石共生的有蒙脱石、石英、绿泥石、楣石等新生矿物，并见到斜长石大范围钠长石化。这些蚀变发生在7—10公里的深度，压力为2—3千巴，温度可能达200—300℃^[57]。

(2) 在石英-高岭石质岩石、粘土岩、石英-长石砂岩和其他沉积岩层中形成迪开石、石英、钠长石、水云母、绿泥石和绿帘石以及在褐铁矿、绿纤石、葡萄石、斜黝帘石和其他矿物中广泛发育镶嵌-交代结构。

(3) 煤田中煤由褐煤变为无烟煤，石英-粘土质岩石和碳酸盐岩围岩也相应地蚀变为片岩、石英岩-砂岩和结晶灰岩。根据煤矿地质工作者的现代概念，无烟煤是在温度为180—250℃时形成的^[56, 57]。

鉴于：在这些蚀变物中缺失与其在物理化学上平衡的矿物共生组合；蚀变的最终产物在很大程度上不仅取决于原岩的成分，而且也取决于原岩的状态；蚀变物形成时交代过程起着主导作用等，不可能将蚀变产物纳入爱司科拉概念中的区域变质作用低温相。为此，把沸石相列为区域变质相已为许多研究者所屏弃。

目前，从沉积物成岩阶段到变质作用之间的上述次生蚀变统称为后生成岩作用。其中，深部成岩作用被理解为由于深部因素而引起的次生蚀变及岩石与矿物的新生。通常划分出区域后生成岩作用“相”^[30]，并规定它是相近的化学成分和矿物成分的岩石组合。这种组合具有在岩石后生成岩发育的一定阶段产生的、并稳定存在的新生结构-矿物特征的总和。

这些“相”与爱司科拉概念中的变质相不相应，而是相当于某些岩类的区域后生成岩期。

形成后生成岩作用不同相的因素是：a、埋藏深度或温压条件；b、岩石的原始矿物成分；c、决定交代蚀变发育的溶液化学活泼性。据此划分出初始后生成岩作用和深部后生成岩作用以及变生成岩作用。根据一些资料的解释，变生成岩作用与低温绿片岩变质作用相当，而据另外的资料，它是后生成岩至变质作用之间的过渡过程。

乌克兰加盟共和国科学院金属成矿分部完成的实验工作^[39]证实，顿巴斯地区遭受区域后生成岩作用的砂岩、粉砂岩和泥岩中，有金属和非金属元素的大量带出。这些岩石在温度为300℃的溶液作用下（压力为300公斤/厘米²），在酸性、中性和碱性介质中受到了相当于长焰煤、气煤、半无烟煤和无烟煤期的区域后生成岩变化。在酸性介质中带出了铁（17—70%）、锰（77—84%）、钛（7—28%）、镍（22—33%）、钴（22—50%）、铬（11—28%）、钙（84—85%）、镁（42—71%）、钠（33—62%）、钾（11—38%）和铀（达50—75%）。这些数据清楚地证实，热水溶液使许多金属从遭受前绿片岩变质作用的岩石中活化出来。

超变质作用

超变质作用发育在地槽区褶皱构造形成的结束阶段，它在地壳中分布的面积要小得多，表现也不均一（呈带状）。超变质作用发生在区域变质作用角闪岩相和麻粒岩相的岩石中，和由过量的热和流体的参与而引起的高地温异常区内，并且是在封闭体系或开放体系（当发生变质流体将物质带入和带出的情况时）条件下进行的。

在前寒武纪沉积物中经常见到变质岩与花岗岩类岩石密切共生，两者互层形成混合岩，变质岩沿走向和倾向逐渐为花岗岩类岩石所替代。前寒武系中广泛发育的片麻岩-混合岩系可看作是变质岩中形成酸性岩浆的实例。此外，目前的实验和地质资料都证明，在许多情况下花岗片麻杂岩的形成，有时并未经历熔融阶段。在这些情况下，由于原始物质的重结晶和高温钾-钠交代，发生了超变质作用改造，使变质岩变为花岗岩类岩石。在变质岩中出现花岗岩的组分，在任何情况下都是超变质作用发育的证据。

因此，目前把超变质作用看作是变质（原始沉积的和火山成因的）岩石的重熔、重结晶、岩浆作用和交代作用改组的复杂过程。

超变质作用在世界上所有地盾区的表现程度是不同的。它最发育于太古代和早元古代岩石中，而在中、晚元古代岩石中则差得多。

在遭受超变质作用的地区里，会形成残余溶液，其主要成分是岩石重结晶和重熔时派生的变质流体。这些溶液富集了未能进入超变质作用时形成的岩石的矿物晶格中的金属和非金属元素。在条件有利时，特别是当遭受超变质作用的岩石富含成矿组分时，残余溶液能起到矿液的作用。

变质成矿作用

变质作用和超变质作用引起造岩和造矿元素的广泛迁移，在很多情况下导致矿质堆积，达到工业矿床规模。我们称这些矿床为变质成因矿床。

我们把受变质作用（重结晶）强烈改造的沉积岩和火山岩中金属的聚集，或者在动力热变质和超变质条件下由于遭

受变质岩石的成矿元素在它们溶解、重结晶或重熔过程中的运移和富集所产生的金属聚集，都称为变质成因矿床。

变质成因矿床以一系列特征与岩浆矿床和外生矿床相区别，其中最主要的特征如下：

(1) 受变质和原地变质矿床的矿体产在地盾和地台区中大面积分布的、同一或相近变质相的变质岩内。

(2) 对于这些矿床来说，矿体的矿物成分和围岩相似，但近矿蚀变不发育。例如，在炭质-硅质片岩中产出的铀矿石，其成分与围岩相同，只是矿石中铀含量较高；在磁铁矿-碳酸盐矿石的含铀层中也产有相似成分的铀矿石。这些矿石与围岩的区别只是前者含有较多的矿石矿物。岩石和矿石中的主要矿物组合是同时代的，并属于同一矿物相。

(3) 这些矿床的矿石含有与围岩相同的一套化学元素。因此，可以认为在形成受变质矿床和原地变质矿床时，没有新元素（与围岩相比）带入矿体，仅仅发生了原有元素的再分配。

(4) 矿体产出范围不超越与其成分相近的围岩岩层，层状矿体居多。

(5) 矿体和矿床的位置是由层状褶皱-裂隙构造决定的，而巨大的断裂构造，甚至节理裂隙，一般都是矿后的。成矿过程与褶皱作用在时间、空间上都严格配合。

超变质和异地变质矿床在绝大多数情况下，在一系列特点上也与岩浆期后（深成热液）矿床不同：

(1) 矿体的位置一般受延展的褶皱-裂隙构造控制，这些构造常常沿狭窄的揉皱带发育，如糜棱岩带、碎裂岩带或变余糜棱岩带。这些含矿带延伸几十至几百公里，有时达几千公里，发育于变质岩、超变质岩中，并以交代体的形式迭加

在这些变质岩上。

(2) 交代锋面一般相当宽，并导致围岩的强烈蚀变，可是矿体在其中只占较小的位置。

(3) 此类矿床主要分布于花岗岩化发育区附近的变质岩中，并且区内见到的侵入体通常是晚于变质作用和成矿作用的。

上述区别异地变质矿床、超变质矿床和岩浆期后热液（深成热液）矿床的准则是不够明确的。并不是任何时候都能确定矿床的成因类型，特别是当矿床产于变质岩中，且又是由热液形成时，更是如此。倘若一些矿床据其形成条件或多或少地属于热液矿床，然而其分布规律又与热液矿床显著不同，那么它们可能是成因上与超变质作用或岩浆期后作用有关的。

变质成因矿床也以上述许多特征与接触变质矿床相区别。此外，接触变质矿床仅发育在侵入体的外接触带范围内，在含碳酸盐的岩石和沉积喷出岩中经常伴有矽卡岩，而变质成因矿床广泛分布于变质岩发育区，并不取决于侵入体的存在与否。

看来，在金属的活化和矿床的形成中，区域后生成岩作用具有重要意义，因为100至300℃的温度（后生成岩作用条件）适合于产于浅变质岩中的许多金属矿床矿质的沉淀。

近几年所进行的实验工作和对大量铀矿床进行的地质研究，使我们有根据把区域变质作用看成是成矿过程中的有力因素。区域变质作用能在有利条件下，由于变质溶液将遭受变质的岩石中的矿质活化，导致工业铀矿化的形成。原始岩石中分散的铀，在区域变质作用和超变质作用的所有相中，都能活化。铀作为一个亲石元素，从岩石后生成岩变化的最低阶段（100—300℃）起，就非常活泼。出现较深的变质相（角

闪岩相) 时是形成铀矿富集的最有利条件。

一般说来, 在变质过程中可以分出三个成矿作用阶段。第一阶段相当于初始前绿片岩变质或后生成岩作用。由于铀呈非矿物形式(分子分散)迁移, 主要形成顺层的贫矿体。第二阶段相当于变质作用的中级和高级相, 铀以矿物形式参与了迁移, 形成中等和高铀含量的层状和复杂形态的矿体。第三阶段是在超变质作用结束时, 沿渗透带铀被残余溶液以各种形式活化和搬运。此阶段形成巨大的交代脉型和细脉型铀矿体。

第二章 变质作用和超变质作用中 铀的活动性

近年来的工作证实, 沉积岩和火山岩的变质过程中发生铀的广泛迁移。因此, 查明成矿元素在区域动力热变质和超变质过程中的迁移条件以及成矿元素在各种岩石中富集的地化条件, 是揭示变质成因矿床形成和分布规律的途径。

变质岩和超变质岩的含铀性

迄今为止, 已发表了有关下列地区前寒武纪和显生宙变质岩和超变质岩含铀性的大量资料, 如: 波罗的地盾^[13]、阿尔丹地盾^[22, 49, 50]、乌克兰地盾^[10, 11, 20, 25, 26, 48]、阿尔泰山区(捷列克琴地垒^[31]和南楚伊山^[37])、西伯利亚南部(西部图瓦、西萨彦^[55]和维季莫-帕托姆高原^[44])、哈萨克斯坦

和中亚(科克契塔夫地块^[45])、俄罗斯地台的东部等地区。至于世界上其它地盾,我们掌握的资料很少,仅有关于加拿大地盾^[50]、澳大利亚地盾^[9]和波罗的地盾(挪威)的资料^[65]。有关乌克兰地盾、波罗的地盾和阿尔丹地盾的资料最多。至于其余地区,要么只有个别构造相带的铀含量,或者只有个别地层,甚至只有个别岩类的铀含量数据。经常发现,不同作者关于铀含量的数据是互相矛盾的。所有这些,自然会使得已有资料的对比发生困难。然而,分析这些资料便可能对前寒武纪地盾变质岩和超变质岩的含铀性作出结论。

不同类型变质岩中铀的分布,明显地表现了原岩的地质特征。火山岩层的变质产物含铀量最低(乌克兰地盾辉绿-细碧建造和蛇绿岩套岩石—— $(0.5-0.9) \times 10^{-4}\%$, 阿尔丹地盾的苏达姆组、库德克利坎组和奥尔顿格辛组—— $(0.8-1.0) \times 10^{-4}\%$, 波罗的地盾的索尔托瓦利系—— $(0.6-0.9) \times 10^{-4}\%$)。化学沉积岩变质产物中的铀含量也是同一数量级的(乌克兰地盾克里沃罗格系的铁质石英岩—— $0.8 \times 10^{-4}\%$, 阿尔丹地盾费多罗夫组和秋里曼组的碳酸盐岩和含磁铁矿岩石—— $(1.0-1.1) \times 10^{-4}\%$, 加拿大地盾的大理岩和斑花大理岩—— $(0.7-0.9) \times 10^{-4}\%$), 但波罗的地盾雅图里系的碳酸盐岩中稍高—— $1.5 \times 10^{-4}\%$ 。

通常,元古代碎屑岩变质产物的铀含量较高且变化较大,(乌克兰地盾的陆源碎屑沉积—— $(2.1-4.4) \times 10^{-4}\%$, 阿尔丹地盾斯坦诺夫和秋里曼杂岩—— $(1.3-1.8) \times 10^{-4}\%$, 波罗的地盾的拉多日系—— $3.2 \times 10^{-4}\%$, 帕托姆高原的变质泥岩—— $(1.0-2.5) \times 10^{-4}\%$ 以及加拿大地盾的铝硅酸盐类和石英长石质岩石—— $(1.5-4.3) \times 10^{-4}\%$)。

变质的沉积-火山岩石经超变质作用后形成的产物,其铀

含量总体上要比原岩高。其中，基性和超基性岩建造中的铀含量都低。阿尔丹地盾阿尔丹杂岩和斯坦诺夫杂岩花岗岩化的产物，乌克兰地盾蛇绿岩套和辉绿-细碧建造的花岗岩化产物，都以铀含量不高为特征，与它们原岩的含铀性相差不大。

在花岗岩类中由老到新，从斜长花岗岩到主要为微斜长石成分的花岗岩，铀含量是增长的。在微斜长石花岗岩中铀含量竟增加1—2倍以上。

除了上述岩石中铀的平均含量外，还需要探讨能反映其中铀分散程度的一些参数(如变化系数)。变质的沉积-火山岩与超变质岩不同，它的变化曲线较平稳，这是由于铀在这些岩石中分布的均一性较好所决定的。这种格局在超变质作用时被破坏。混合岩和原地花岗岩类的特点是其中铀的分布极不均一。图1(关于乌克兰地盾的数据)所示变化系数的峰值分别属于含铀最低的建造(太古代的斜长花岗岩和深熔花岗岩及不同时代的超基性岩)和含铀高的建造(主要为微斜长石质的和碱性的花岗岩类)。

下面根据乌克兰地盾的材料来讨论一下变质岩和超变质岩的含铀性。地盾中约80%的地区由超变质岩(花岗岩类岩石)所构成，其中主要发育地槽旋回建造(占65.7%)，地台沉积占13.9%。变质的沉积岩和火山岩仅占20%多一点，其中地槽阶段的岩石占19.6%，地台阶段的岩石占0.8%。地槽阶段的超变质建造集中了乌克兰地盾全部克拉克铀的2/3，这是该建造的广泛分布所造成的。地台旋回的类似沉积占的面积较小(14%)，却仍然聚集了20%以上的铀，总体上还是超过了地盾沉积-火山建造的总铀量。

地盾岩石中的平均含铀量为 $2.2 \times 10^{-4}\%$ 左右，超变质建造中为 $2.9 \times 10^{-4}\%$ ，而变质的沉积-火山建造为 $2.4 \times$

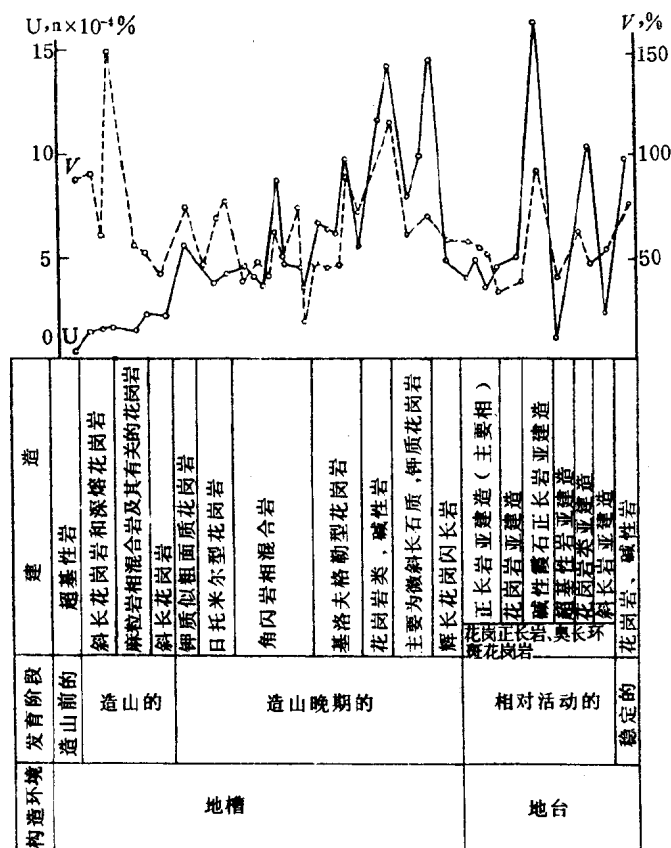


图 1 乌克兰地盾超变质岩中轴分布参数对比图

U—平均铀含量; V—变化系数