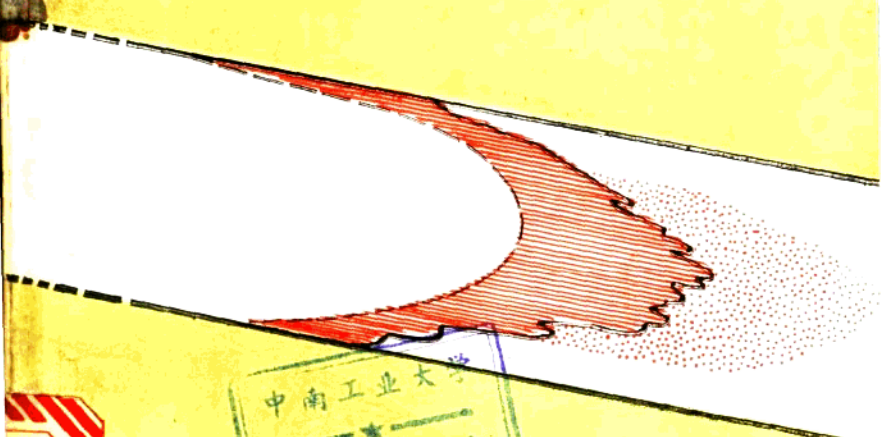


690930

# 陆相砂岩卷型铀矿床 地质学和识别判据

[美] E.N. 哈什曼 S.S. 亚当斯



● 原子能出版社

## 内 容 简 介

本书是美国《全国铀矿资源评价计划》的一项研究成果，由哈什曼和亚当斯等于1980年9月作为“最终报告”形式写成的。书中研究了卷型砂岩铀矿床的大地构造位置、沉积层序、有利主岩、矿床地质学及成因，并在此基础上提出了成矿模式和评价远景的识别判据。

本书对从事铀矿地质生产、科研和资源评价工作的人员有重要的参考价值，对从事其他矿产资源工作的人员和高等院（校）地质专业师生也有一定的参考价值。

本书译自美国能源部报告GJBX-1 (81)。

# 目 录

|                   |    |
|-------------------|----|
| 摘要.....           | 1  |
| 铀源.....           | 1  |
| 主岩.....           | 2  |
| 蚀变.....           | 4  |
| 矿石习性.....         | 6  |
| 识别判据.....         | 7  |
| 看法和今后研究意见.....    | 8  |
| 美国卷型铀矿床的潜力.....   | 8  |
| 序言.....           | 10 |
| 一般说明.....         | 13 |
| 大地构造和区域构造背景.....  | 14 |
| 沉积层序.....         | 16 |
| 怀俄明州—南达科他州黑山..... | 16 |
| 科罗拉多州韦尔德县.....    | 20 |
| 怀俄明盆地.....        | 22 |
| 小结.....           | 25 |
| 有利的主砂岩.....       | 26 |
| 矿床.....           | 37 |
| 概述.....           | 37 |
| 谢利盆地地区.....       | 40 |
| 气山地区.....         | 55 |
| 泡德河盆地地区.....      | 61 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 克鲁克斯峡谷-大迪维德盆地地区.....       | 67  |
| 黑山地区.....                  | 82  |
| 其他地区.....                  | 87  |
| 矿床成因.....                  | 97  |
| 铀和伴生元素的来源.....             | 97  |
| 矿化溶液的特征.....               | 104 |
| 卷锋地球化学.....                | 112 |
| 时代.....                    | 119 |
| 元素分布.....                  | 123 |
| 地质-地球化学模式.....             | 142 |
| 成矿后的改造.....                | 151 |
| 识别判据.....                  | 153 |
| 引言.....                    | 153 |
| 识别判据的评价.....               | 155 |
| 识别判据的描述.....               | 158 |
| 看法和今后研究意见.....             | 180 |
| 美国陆相沉积层中卷型铀矿床的潜力.....      | 182 |
| 附录: 对卷型铀矿床产出的地质有利性的评价..... | 183 |
| 引言.....                    | 183 |
| 有利性的计算.....                | 184 |
| 三个地区有利性估算的实例.....          | 189 |
| 参考文献.....                  | 199 |

## 摘 要

自美国首次报道卷型铀矿床以来已过去廿年，在这些期间对卷型矿床的研究已建立起一些为大家所普遍接受的成矿作用的一般概念。这些概念与现有的资料是相符合的。如果事实并非如此，则这些概念就不可能存在下去，也不可能成功地运用蚀变和未蚀变砂岩的关系进行勘探。但是过去采用的比较简单并易于勘探的模式可能阻碍了对矿区的详细研究。这些研究本应为勘探和资源评价计划提供必需的有关控矿因素的资料。研究最详尽的卷型矿床地区是本书重点探讨的谢利盆地 (Harshman, 1972)。

关于卷型建造的一般概念不仅为开展地质观测提供了强有力的基础，同时也为资源研究和勘探工作提供了指导或识别判据。事实上，廿年来，工业界在一直不断地发展和利用着卷型建造这一概念。鉴于这项研究的目的是为了确定最适用的识别判据，建立一种可系统用于资源研究和勘探的方法，因此最好依据卷型矿床的重要地质观测资料对研究工作进行概括。

### 铀 源

(1) 卷型矿床的铀源仍然没有确切为人们所知道。虽然我们可通过铀-铅法研究去识别淋滤的花岗岩，也知道与凝灰岩有关的铀是可以利用和可迁移的，但我们无法断定一些已知地区的铀是来自哪一个特定的源岩。

(2) 所有重要的卷型铀矿床都产于含有异常铀含量的岩

石附近，通常不是花岗岩就是凝灰岩。有时，如怀俄明盆地附近，含铀花岗岩和凝灰岩同时存在，从而增强了人们确认这些地区是含铀省或异常区的信心。含铀省是指存在有一种或几种铀含量偏高的重要岩石类型地区。含铀省对形成铀矿床的重要意义仍有争论。不论对铀矿床形成需要有异常铀含量岩石的说法，或是所谓从凝灰岩或花岗岩淋滤适量铀的说法，就连我们也是看法不一致的。

(3) 在美国的主要卷型矿床分布地区（怀俄明州和得克萨斯州），以及科罗拉多高原其它主要砂岩型矿床的产出区，凝灰岩或其蚀变产物斑脱岩粘土的产出提供了一个明显的环境论据，即这些火山碎屑和大气凝灰质沉降物对矿床形成具有非常重要的意义。这是我们的看法，但还缺乏充分的证据。这个问题的解决意义很大，因为这实质上关系到准确选择远景区的问题。

(4) 正如凝灰岩的情况一样，有些铀矿床在空间上似乎与含铀的花岗岩有联系。虽然从传统观念看，最好的实例并不是卷型矿床（如华盛顿州的谢伍德矿床和日本的“基底”矿床），但这些矿床直接靠近下伏异常侵入体的情况表明，这样的岩石是附近矿床中铀的实际来源。我们认为这类岩石同样可以为卷型矿床提供铀源。

## 主 岩

(1) 卷型铀矿床的有利主岩是长石砂岩和次长石砂岩。这些岩石的物理特性，如孔隙度、渗透率和物理适合性，都是有利于铀矿床形成的；更重要的是，这些沉积岩石反映了有利于卷型矿床形成的整个大地构造、侵蚀作用和水文动态。这在下面还要讨论。有些矿床则产在多阶段的富石英砂岩内。这种砂岩为河相至边缘海相沉积的组成部分，例如黑山、科

罗拉多州韦尔德县和得克萨斯州的海岸平原。这些岩石类型均是重要的勘探目标。

(2) 大多数卷型矿床都产在河相砂岩与富火山物质沉积物成互层的地层内，这种地层是在不存在重大的时间间隔或侵蚀间断情况下沉积的。怀俄明盆地具有这种典型的沉积层序特点。在其它一些矿床中，例如黑山和科罗拉多州韦尔德县，作为铀源岩的富火山物质的沉积源岩则位于还原含水层之上。就上述情况看，铀源岩属于第三纪，而主岩则为晚白垩纪，矿化差不多都是穿过不整合面的。与典型的怀俄明盆地情况相比，这样的地质背景比较难予解释。可是，这种环境却为未来的勘探提供了某种希望。再者，至今发现的这类矿床多为品位低、连续性差的矿床。作为找矿对象，这种矿床不具有很大的吸引力，但我们认为这是不会长久的。

(3) 卷型矿床的主沉积物或潜在主沉积物的沉积环境，对任何卷型矿床的形成均有很大影响。沉积环境的许多特征，如沉积物的渗透性、厚度、面积大小、氧化状态以及砂岩体形状和砂岩与泥岩之间互层关系，都是铀矿勘探时的重要观测对象。但是由于通常是以分开的方式对这些特征进行研究，因而这就有可能影响了解它们单个和总体的重要性，以及它们之间的成因联系。一旦对这些特点进行了详细的观测，则重要的是要进一步解释沉积环境。我们看到，在资源研究和勘探计划中，由于尽可能早地鉴别了沉积物沉积环境，并将其作为评价地区远景的一个重要指南，因而取得了重大的效果。正如本书主要依据Galloway和其同事的重要著作所作的相当详细讨论那样，末端冲积扇或以悬移质方式沉积的沉积物是不利于大型铀矿化的形成的，但识别它们可以指导在中间或末端冲积扇及混合质沉积环境内寻找网状河道的粗碎屑沉积

物。这种识别方法需要对常规岩性和沉积学进行一些额外测量和解释，但得出的这种对初勘行之有效的手段只有在进行大面积野外调查时才能应用。

(4) 在比例尺较大的图上，沉积物的一些特性对蚀变岩舌位置、形状及与其有联系的卷型矿床有着明显的控制作用。有些沉积控制因素是可预测的，如在两个主要网状河流汇合处或粗粒长石砂岩的末端冲积扇与细砂岩湖泊相环境之间的相过渡处。识别这种沉积特性可在很大程度上改进资源研究和勘探工作。许多对卷型矿床的细节有重大影响的沉积地质特性具有局部的性质，因而在踏勘时是不能预测的。巨大的有机碎屑囊体的发育或基底高地附近主要河道的改向，经常使蚀变岩舌边缘产生旋卷，并总是伴随有利于矿床厚度和品位的变化。这些特性可以成为某些地区的特征，而且依据经验有可能预测或甚至确定它们。不过，从踏勘阶段来说，这些特点就显得过分细小。例如克鲁克斯峡谷地区的许多矿床产出在主岩渗透性发生变化的地方；但在科罗拉多州韦尔德县兰斯-拉腊米的薄层折曲砂岩内，矿体则缺乏一定的连续性。

### 蚀 变

与卷型矿床有关的蚀变，其特性变化比推测的简单成矿机制更大。不同地区之间，蚀变类型的颜色、矿物学、宽度和层序都有相当大的变化，甚至在地区内也有一定程度的变化。尽管有些变化是由于后期氧化事件在早期的、与卷型矿床形成有关的蚀变类型上迭加而引起的，但在与矿石形成有关的蚀变中似乎存在特有的差异。所有的蚀变类型均可根据某些经验识别，但蚀变的变化意味着现在我们还不能认识所有的类型。这意味我们必须去发展识别蚀变的技术，尤其是

基础研究而不仅是颜色的观察。这样，我们在资源研究和勘探中才不会受尚未确定的因素所影响。近年来我们未能发现新的卷型矿床地区，部分原因也许是由于我们只掌握已知地区易于识别的蚀变类型知识，而这些蚀变类型对于迄今尚未发现矿床的地区来说则可能完全不典型。一些现已观察到的蚀变类型简述如下：

(1) 典型的赤铁矿化或粉红色的蚀变通常被看作是卷型矿床有关的蚀变。这在泡德河盆地和黑山矿床、怀俄明州凯西地区和科罗拉多州韦尔德县的矿床最有代表性。

(2) 描述为“褪色”的蚀变是气山和克鲁克斯峡谷地区大多数蚀变砂岩的特征（这两个地区特别靠近格拉尼特山）。据报道，大迪维德盆地的一些迄今只进行了地下勘探的矿床具有米黄色或浅灰色的蚀变带。这样的蚀变带位于卷锋和蚀变砂岩内沿倾斜向上发育的红色、棕黄色及浅黄色铁氧化物的尾部带(trailing)之间，其宽度变化相当大。在谢利盆地，由于存在含铁的粘土或缺少铁的氧化物，故蚀变砂岩为黄绿色至浅黄色。大迪维德盆地和谢利盆地处于格拉尼特山边缘，但与气山和克鲁克斯峡谷地区相比还是比较远的，这一特点或许具有重要意义。

(3) 大迪维德盆地的矿床不仅其褪色带不平常，而且蚀变岩舌内蚀变带的层序也很特殊。一般说来，这种蚀变类型（经钻探资料解释并获得地下证据的）表明，桔红色长石和铁氧化物污染碎屑的聚集，使卷锋矿石与蚀变砂岩的灰色或米黄色褪色带分开。这种蚀变砂岩的灰色或米黄色褪色带沿倾斜向上又转变为红色、棕黄色和浅黄色砂层。这些蚀变带有数百英尺宽，而且据认为，其宽度与矿床规模和品位的变化有着和谐一致的联系。

(4) 最后，在几个地区的矿床紧靠卷锋的部位都发现有较窄的、由褐铁矿或针铁矿着染的砂岩条带分布。这些条带的宽度一般为数英寸至数十英尺，是近代矿床氧化地下水运动的产物。这种看法是根据矿石的特别不平衡，尤其是“无计数(伽玛)矿石”得出的。具有这类特性的地区有泡德河盆地、气山、黑山及科罗拉多州韦尔德县的一些地区。

### 矿石习性

(1) 卷型矿床的形态主要受主岩的水文条件控制，而主岩则受其沉积环境控制，在比较简单的情况下，矿床形态与单个沉积单元的水文条件有关；而在另外的情况下，角度不整合的存在、一河道进入另一河道的冲刷作用以及有关的沉积学特性则使矿床复杂化且通常变富。这些特性可以区域性或局部性的规模发生，因此可在普查阶段时探测或在较密钻探时确定它们。

(2) 还原剂的分布对卷型矿床的形成和性质有重要的影响。大迪维德盆地和南澳大利亚贝弗利的矿床，似乎主要是靠近下伏富含碳质的页岩形成板状矿化。在大迪维德盆地，新月形卷锋也是很重要的，但在贝弗利矿未能看到。还有迹象表明，气山地区矿床中靠近富含磷质页岩发育有大量的分支矿化；南澳大利亚亚拉姆巴矿床的卷锋发育在紧靠切割封闭碳质页岩的氧化河道边缘。这些观测表明，不存在非常富碳的页岩，至少是产生的卷锋的性质不同，或卷锋也许完全遭到了破坏。最大的注意力应集中在主沉积岩内碳质分布的特点上。

(3) 主砂岩内还原剂的数量和分布对矿石的性质有很大影响。例如，在大迪维德盆地，蚀变岩舌各蚀变带宽度好象与卷锋宽度和品位有关。据报道，在泡德河盆地如卷锋变宽

则品位降低，反之则增高。虽然资料尚不够充分，但似乎有如下的可能情况，即卷锋内宽度-品位关系受未蚀变砂岩的还原性质、地下水的流速和进入的地下水氧化能力所控制。丰富的有机物和/或黄铁矿，以及缓慢流动的地下水(受缓倾斜和渗透力限制的影响)可形成边界明显而狭窄的高品位矿床。相比之下，低含量的还原剂、强的渗透力和较陡的倾斜则会造成很宽的弥散卷锋。既然这些因素是由沉积主岩的可测定的特征所控制，那么改进成矿预测是完全可能的，但目前尚缺乏足以证实这些假设或提出更好假设的资料。

### 识别判据

(1) 所提出的方法是将地质观测资料归纳成所谓识别判据。应用这种观测结果推断有利性的方法已采用了几十年，但这种方法是非正规的。这种非正规的方法将依旧是任何解释步骤中的一个组成部分，而且我们认为这是合乎实际的。不过，我们在努力鉴别那些对卷型矿床来说是最重要指南的地质判据和至少是确定它们的相对重要性方面看出了这种方法的长处。

(2) 识别判据是为评价有利于卷型矿床产出的有利地区而提出的。每种判据都具有相对有利或不利的条件或状态，而且应与几种地质观测紧密结合。所有的判据都不是新的；事实上，可能是古板和陈旧的。但是，在编写本书的过程中，尤其是在努力确定各种判据的相对意义时，我们产生了许多不同于过去的想法。我们觉得，一些读者可能也有类似的经验。识别判据并不是为卷型矿床方面的地质专家而制定的，而是引导那些缺乏经验的研究者在进行研究时能取得某些一致性。

(3) 各种识别判据的相对重要性是人们主观给定的，对

那些相近而不同的分值我们没有多少论证。另一方面，我们接受本质上不同的值时必须有所不同于我们所用的资料的证据。

(4) 为了能够估计卷型矿床的相对有利性，还提出了一种以简单而系统方式累计识别判据有利性的方法。

(5) 使用识别判据的一些方法常常具有某些不足之处，其中包括识别判据本身的非独立性。尽管这些问题降低了方法在数学上和逻辑上的精确性，但我们认为产生的这些误差并没有超出与资料本身的收集和解释有关的误差范围。我们的努力是为了提出一个与现有资料质量相一致的体系，与此同时该体系又能对大量复杂数据的运算和解释提供一种有用的机理。

(6) 应尽可能使识别判据紧密地与提供的地质观测资料相结合。作为资源研究和勘探的参考，以及作为改进现代概念和方法的基础，这种结合的成果应该是有用的。这一初次尝试无疑有许多缺点，希望通过其它方法予以改进。

### 看法和今后研究意见

通过对卷型矿床文献资料的编纂和解释，我们对资料的不完整性有了深刻的印象。因此，我们认为今后应在改进潜在资源和主岩的评价方面继续进行研究。

### 美国卷型铀矿床的潜力

卷型铀矿床形成机制的多样化，使我们对发现新的矿床和新的地区抱有更大的信心。专注于怀俄明第三纪盆地型（铀矿床）地质背景的偏向，妨碍了在地质远景不太明显地区的找矿工作。虽然这些地区存在有本书所探讨的识别判据，但不会存在非常浅的、象怀俄明盆地那样典型的暴露型矿床。新环境中或许赋存一些较小的矿床，但不能说它们一定是低品位的。事实上，有些矿床可能要比通常的卷型矿床好得多。

例如，里斯本谷地区矿床的品位和规模使格兰茨矿带典型的卷型矿床和深部矿床都大为失色。卷型矿床的形成受若干独立的和一些相互关联的变化因素控制，因而在成矿方式方面应当存在许多至今尚未知晓的模式。

我们的愿望是，这项工作能重新引起人们对一些地区进行重新评价的兴趣。这些地区既指一些已知的卷锋地区，同时也包括根据判据分析推测有可能成为铀产地的地区。

## 序 言

地质识别判据对评价具有新矿远景的地区似乎是非常有用的。为了描述这些地质识别判据，本书着重讨论了卷型铀矿床的地质、成因和控矿因素。这是美国能源部全国铀资源评价计划的一部分。

卷型铀矿床可能是建立美国铀工业的重要要素。它们的储量为美国总铀储量的40%至50%，占近来估计的铀资源（每磅 $U_3O_8$ 回收成本低于50美元）的25—35%（DOE,1979）。这类矿床的重要意义已导致过去15年的广泛勘探活动，从而发现了大量矿床并熟悉了这些矿床的分布和特性。

有关卷型矿床的一些文献多是单个矿床情况的描述和其成因与控矿因素的解释。只有少数文献涉及单个矿床的全面系统研究和不同矿床之间的比较。有关主岩以及可能源岩的成分、矿物学等许多必要的资料比较欠缺，这些资料只能通过详细的长期地质研究才能积累。本书对描述较详尽地区的现有资料进行评述和综合（着重于各个矿床和地区的类似点和不同点），目的在于确定一组先进的地质识别判据，以便进行资源评价和勘探，并通过对未发表的原始资料的分析来提高某些地区找矿的可能性。

本书是评述在美国有可能发现并具有巨大潜力的六种主要铀矿床类型的一个组成部分，最初是由初级人员于1978年提出的。为此，决定聘请最熟悉每一矿床类型的六名专家从事这项工作。合同于1979年11月签定，受聘高级人员开始准

备大量的描述和说明材料,初级人员则着手编辑并写出初稿。之后,我们一起研究写出卷型铀矿床的识别判据。

本书的目的在于通过对卷型矿床地质资料进行比较完整的综合和对地质信息的系统处理,对全国铀资源评价计划做一定的贡献。全国铀资源评价计划的任务是对美国铀储量和资源作出比较可靠和比较全面的估计。该计划的初步报告已分别提出了按不同成本类别做的储量估算和按各种可信度(很可能的、可能的和推测的)的资源估算。储量的估计数字几乎都是根据私人公司供给能源部的数据。相比之下,尚未发现铀资源的估算根据如下:(1)地质判断,将已知铀矿地区的地质特点与看来有潜力的地区进行对比;(2)根据比较地区和已知铀矿区的一般地质类似性及已知铀矿区的品位和吨位,对未发现地区的铀资源做出潜在估算。

资源估算的误差是相当大的,而且为作出这种估计所采用的方法也不是太有效的。首要的和基本的误差主要在于地质资料的选择、收集和解释方面。当然,已知矿床和地区与未测试地区进行比较时的主观因素也是不能全部排除的。看来,可通过努力鉴别最关键的地质特点(在此称识别判据),然后对这些特点的地质相似程度进行估计来改进这一方法。这种可能性正是本研究目的的重要方面,具体内容可归纳如下:

(1)通过对各个矿床地质特征的描述,并鉴别其主要共同点和不同点,来评述主要卷型矿床地区的地质。

(2)评述成因概念和控矿因素,根据各个地区之间的类似性和与典型矿床无关的地区或地区方面的不同点提出一般性原则。

(3)确定是否存在重大不同类型的卷型矿床及新的类型

是否同已发现的矿床相类似。

(4) 鉴别可作为识别判据的地质特征，其存在与缺失最能反映一个地区卷型矿床产出的有利性或潜力。

(5) 研究一种可分辨识别判据相对重要性的简单方法。

(6) 研究一种累积单个识别判据有利性的方法，以使用一种非常系统而又实用的方式来估计卷型矿床存在的有利性。

## 一 般 说 明

“卷型”矿床术语表示沿砂岩主岩蚀变和未蚀变界面后生成因的还原铀矿和其它各种矿物聚集体。矿体一般横切主岩，也有部分与主岩沉积呈准整合关系。矿体横断面为新月形，也有许多呈不规则状。有些地质人员把美国西部所有砂岩中的铀矿床都看成具有类似的成因，指出了早期描述的各种类型之间的许多相似点。我们觉得，这些已知的“卷型”矿床具有一定的特有成因特征，它们在任何根据成因和/或物理特性的分类中都应占有一个独立的位置。得克萨斯海岸平原的矿床都是卷型矿床，将在另一文献《南得克萨斯河相-浅海混合沉积相型砂岩铀矿床地质和识别判据》中予以讨论。

本书中描述和说明的材料(包括识别判据)，主要依据图1中所示的如下矿区：

- (1) 怀俄明州谢利盆地地区
- (2) 怀俄明州泡德河盆地地区
- (3) 怀俄明州气山地区
- (4) 怀俄明州克鲁克斯峡谷-大迪维德盆地地区
- (5) 怀俄明州和南达科他州的黑山地区

本书还评述了其它几个地区的地质资料，讨论了其中一些卷型矿床的特征。主要矿体不位于蚀变与未蚀变砂岩主岩的界面上，从而缺乏这种特征的矿床则不属本书讨论范围。