

放射性水文地質異常解釋 与檢查方法指南

A. A. 斯米尔諾夫 著
A. B. 謝尔巴科夫

地 質 出 版 社

放射性水文地质异常解释 与调查方法指南

（日）小田部 正雄 著

（日）小田部 正雄 著

1

地质出版社

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР СССР
А. А. СМЕРНОВ и А. В. ЩЕРБАКОВ
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ И ПРОВЕРКЕ
РАДИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ
С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ

Москва 1957

本書篇幅虽少但却系統而全面地叙述了放射性水文地质异常的概念、基本特征，以及如何解释和检查这些异常，对于我国探采放射性矿床和放射性水的工作者来说是非常好的实用指南。

放射性水文地质异常解释与检查方法指南

著者 А.А.斯米尔诺夫、А.В.谢尔巴科夫
譯者 李 家 骐
校者 閔 立 本
出版者 地质出版社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可證出字第050号

发行者 新华书店

印刷者 地质出版社印刷厂

北京安定門外六鋪炕40号

印数(京) 1—5000册

开本 31"×43 "1/32

字数29000

定价(10)0.19元

1959年4月北京第1版

1959年4月第1次印刷

印张1 1/4

統一書号: 15038.682

目 录

序 言

第一章 放射性水文地質異常的基本概念及其解釋的必要資料.....	3
第二章 与在各种不同地球化学环境中的鈾矿体有关的放射性水文地質異常的基本特征	6
第一节 放射性水文地質異常在氧化环境中的特征	7
第二节 放射性水文地質異常在氧化-还原环境中的特征	13
第三节 放射性水文地質異常在还原环境中的特征	14
第三章 放射性水文地質異常的解釋	21
第一节 地球化学环境的意义	22
第二节 地質構造的意义	24
第三节 地質、水文地質和地球化学条件发育过程的意义	27
第四节 間接标志的意义	29
第四章 放射性水文地質異常的檢查	35
譯后語	40

本書于1957年7月29日

經苏联地質保矿部副部長索罗波夫批准

序 言

普查鈾矿床与具有矿泉医疗和工业意义的放射性水的放射性水文地質方法已为地質界所公認，在普查-勘探工作中应配合地質方法和地球物理方法廣泛地运用这一方法。測定泉水、井水、鑽孔和小溪水中的鈾、鐳和氡的富集度可查明鈾矿床，其中包括“盲”矿体在內，即在地表沒有露头的矿体。

但是，要想用放射性水文地質方法有效地查明潛藏的鈾矿体，只有在有了已拟定好的找矿标誌与放射性水文地質異常的解釋和檢查方法时才有可能。

放射性水文地質的找矿标誌——这是資料（水的放射性及其地質情况、形成过程、性質和动态等）的綜合。根据这些資料，便可确定放射性水与岩石中鈾富集的成因关系。

放射性水文地質标誌共分为两种。一种是能够表明水与鈾矿化可能联系的地方性（局部的）标誌；另一种是以廣泛的地質、水文地質和地球化学做基础的，能够在含鈾性方面研究和比較个别地区、地質構造及其要素的一般性（区域性）标誌。区域性的放射性水文地質标誌与有关古水文地質条件的資料相結合，不仅可以有成效地用来查明鈾矿床，而且还可以用来解决鈾矿床的成因和破坏程度的問題。

調查証明，在很多情况下，放射性水文地質異常与鈾矿床沒有什么关系。在个别情况下，就是直接在鈾矿床內，地下水也并不富含这种或那种放射性元素。

因此，旨在确定放射性水文地質異常性質（它們是否与鈾矿床有关或是由其他某些原因所引起的）的放射性水文地質異常的解釋問題，在目前具有重大的意义。

用放射性水文地質方法普查鈾矿床的初期，實質上是在探討这一方法的基础，但对放射性水文地質異常的有效解釋因在这方面缺乏經驗也曾感到困难。此外，对已查明的放射性水文地質異常的檢查也沒能給予足够的重視，因而也就影响了必要的实际資料的积累。正因为如此，直到如今还没有制定出解釋和檢查放射性水文地質異常的專門方法指南。

近几年来，調查者們（特别是作者）对查明下列問題給予了很大的注意：（1）放射性水文地質異常在各种不同地球化学环境中特征和性質；（2）鈾在向化学成分和气体成分与地下水相近似的人造溶液的轉移条件及該元素在其中的沉淀条件；（3）地下水在鈾矿床形成和破坏过程中的作用。

已积累的資料，为着手編写这本方法指南提供了可能性^①。

① 第一、二章由 A. B. 謝尔巴科夫編写，
第三、四章由 A. A. 斯米尔諾夫編写。

第一章 放射性水文地質異常的基

本概念及其解釋的必要資料

在放射性水文地質調查中存在有兩個基本問題：

(1) 水中放射性元素（鈾、鐳、氡）的含量究竟多大才表明有鈾的礦化存在；

(2) 礦體距取样水点的距离究竟有多远。

为了正确地解决这些問題，必須索取有关調查地区水中放射性元素平均含量的資料以及这些元素迁移的資料。放射性元素的平均含量（指分佈最廣的，而異常富集度除外）叫做“自然底数”。如果水中放射性元素的含量高于自然底数，則說明有“放射性水文地質異常”存在。

这样一来，凡是在这个或那个地段所觀察到的地下水中放射性元素（鈾、鐳、氡——共生或單獨存在）的增高含量（与底数含量相比）通常都叫做放射性水文地質異常。

放射性水文地質異常可在一个或一組水点中发现。在后者的情况下，放射性水文地質異常表現为一种独特的水分散量，其特点是溶解在水中的鈾、鐳和氡的含量从鈾矿床或呈矿現象开始向外逐漸降低。分散量順地下逕流的运动方向表現得最为清楚。

为了查明被調查地区的放射性水文地質異常的可比率（степень контрастности），可計算異常系数，并把它看作是輔助性指数，尤其是在綜合整理整个地区大量的放射性水文地質实际資料时。

所謂異常系数是指異常範圍內水点中鈾、鐳和氡的平均

富集度 (A) 与这些元素在異常以外的水点中的平均富集度, 即与自然底数 (N) 之比。在計算时, 应考虑到異常范圍內所有放射性元素富集度高于自然底数含量的水点。

按下一公式計算異常系数:

$$K_{\text{異常}} = \frac{A}{N}.$$

在解釋放射性水文地質異常之前, 应进行足够的野外工作 (普查-測量或普查-勘探工作) 并仔細整理放射性水文地質取样資料。

同时, 必須遵守下列原則:

(1) 在研究地下水的放射性时, 应确定出有关含水层的自然地球化学环境。缺乏对后者的估計就不能充分地解釋水中溶解鈾的含量資料, 也不能做出異常地段可能存在有鈾矿化的远景結論;

(2) 在任何情況下, 在对水点作評價时, 不仅要考虑到放射性元素的絕對含量, 而且也要考虑到高于放射性水文地質自然底数的相对高差, 即放射性水文地質異常系数;

(3) 除注意水中溶解的鈾、鐳和氡的異常值和底数值而外, 还应当考虑到異常地段的形狀;

(4) 異常地段的形狀取决于一系列的因素。例如: 構造断裂的存在可使水中放射性元素的最高含量分佈在伸長到断层的帶內。两种不同的地球化学环境相互穿插的这种情况也是常有的。这种現象在構造断裂或靠近接触帶的弱化帶內最为常見。在这些帶里富集有氧和放射性元素的水会滲入到很深的地下 (可达300—500公尺), 主要是滲入到与断裂或帶在相鄰的地段上的明显的还原地球化学环境中去。在还原环境中存在承压地下水分佈时, 深层层位的帶有还原动态的承

压水（主要是鐳水）可以順着構造断裂和靠近接触帶上升到地层剖面上部的氧化环境中去。在后一种情况下，鐳的放射性水文地質異常，由于承压水直接洩水地区的地形特点的关系而可能具有各种不同的形狀（环形、橢圓形、壓縮形（пережатые）等）。

含鈾矿体的外形，同样也可决定放射性水文地質異常的形狀。一般說来，含鈾矿体的外形也是多种多样，变化无常的。这样的例子可做为还原环境的特征：在这一环境中地下水运动緩慢，在地下逕流的方向內沒有明显表現出来鈾的分散量。在这种情况下，假若矿体是含水的，那么鈾的放射性水文地質異常仅在其矿体本身时，其特点是異常系数不大。

放射性水文地質異常可有各种不同的成因。在很多的情况下，它們是因鈾矿体的存在而引起的。这些異常叫做“真異常”。其他成因的異常通常都叫做“假異常”。假異常可在下列情况下形成：

（1）由于堰塞窪地中的潛水和地表水池中的水强烈蒸发的結果；

（2）由于采矿和加工企业，特別是选矿厂和鈾矿石加工厂的污水滲入地下水中的結果；

（3）在岩石中存在有移动鈾的分散增高含量，特别是当有硷水（苏打水）作用时；

（4）由于吸附作用的結果，即在有“射气聚集体”存在时，使岩石再次为鐳所富化。

所有的放射性水文地質異常（真異常和假異常）都必須填到放射性水文地質測量的实际資料图上，并尽可能标出它們的界綫。

图应附有：異常清單及其簡單說明（異常範圍內放射性

元素的富集度、自然底数、異常系数等)。

第二章 与在各种不同地球化学环境中的鈾矿体有关的放射性水文地質異常的基本特征

已积累的大量实际資料表明，在解釋放射性水文地質異常时，应考虑到所研究地区或地段的地下水圈中的自然地球化学环境。这是因为，地下水圈中的地球化学环境基本上决定了鈾矿床的生成条件和破坏条件。

因此，地球化学标志与其他方法(地質、水文地質、地球物理方法)相配合着，就将大大提高普查鈾矿床的效率。

应当指出，直到目前为止，野外队的工作人员在解釋被深孔或矿山坑道所揭露的地下水的鈾含量的資料时，还未能随时考虑到自然地球化学环境，即便是考虑到了，那也只是根据肉眼判断而已。而用肉眼判断，往往会使已收集的有关水分散量的資料不能充分地联系起来，尤其是在垂直剖面上，当氧化环境向还原环境过渡的时候更是如此。常有这种情况：由于不了解地球化学特征，而不能正确地預測或有时甚至漏掉具有工业意义的矿床。

在普查-勘探工作中之所以对地球化学环境估計不足，是由于在文献中缺少个别地球化学标志的数字指数，还没有拟定出旨在測定这些指数的野外用的簡便方法的緣故。

我們对地下水圈中地球化学环境的各种标志及其說明放射性元素性狀的数字指数的測定，做了首次嘗試。应把这些

標誌看作是大概數值，隨着新資料的積累，將有所修正。

在研究地下水圈中的地球化學環境時。通常沒有考慮到由氧化到還原的過渡環境。其實，它在自然條件中是存在的，並適合於化學平衡尚不穩定的介質。因此，在解釋放射性水文地質異常時，以分成三個自然地球化學環境為宜：

- (1) 氧化環境；
- (2) 氧化-還原環境（過渡環境）；
- (3) 正常-還原環境和劇烈-還原環境（表1）。

第一节 放射性水文地質異常在

氧化環境中的特征

氧化環境的地球化學標誌。氧化環境的特點是，在自然水中有氧和金屬氧化物存在。根據我們的資料，氧化帶的下部界綫具有下列指數：（1）當pH值為6.5—8.5時，水介質的氧化-還原位差值 $Eh \cong +250$ 毫伏特；（2）水中游離氧的平均含量為3.5毫克/升。

在氧化介質條件下，一系列的元素，如鈾、鉻、鈾在高氧化程度中都易於溶解。與此相反，鐵（ Fe^{++} ）和錳（ Mn^{++} ）在這一介質中則難以溶解。

在氧化環境中，儘保存有氫氧化鐵和鈾的矽酸鹽。晶質瀝青鈾礦和非晶質瀝青鈾礦，在絕大多數的情況下是不存在的。

氧化環境中的含水圍岩常常極其缺乏有機物質。有機物可氧化成 CO_2 ，這主要還是依靠溶解於水中的氧。

氧化環境中水分散量的基本指數。現有的實際資料表明，在氧化環境中，出露的地質構造內所見到的水中放射性元素的含量大部分相近，異常不大，似乎已消失了。在這種

自然地球化学环境的地球化学标志和矿物标志

表 1

自然环境	地下水圈中的地球化学标志 (pH值=6.5-8.5)									
	主要标志					辅助标志				
	Eh (毫伏特)	气 体			阳 离 子	阳 离 子		Fe ^{...} (毫克/升)	系 数 Fe ^{...} / Fe ^{...}	
		O ₂ (毫克/升)	H ₂ S (毫克/升)	Rn① (爱曼)		U (克/升)	Ra (克/升)			
氧化环境 高于+250 和多—些	3.5-13.0	无	100.0— 40000.0 有时还高	n × 10 ⁻⁵ n × 10 ⁻³ 有时为 n × 10 ⁻²	n × 10 ⁻¹² n × 10 ⁻¹¹ 有时为 n × 10 ⁻¹⁰	少或无	无	0.1—30.0	<0.1	
氧化—还原 环境 (过渡环境)	由+250 到0	<3.5	7.0	50.0— 3700.0 有时还高	n × 10 ⁻⁵ n × 10 ⁻⁴ 有时高 n × 10 ⁻³	0.5	<25.0	<25.0	0.1—10.0	
还原环境: (1) 正常— 还原环境 (2) 副列— 还原环境	由0到— 250 由—250 到—550 和低—些	无	7.0— 100.0 30.0— 350.0 有时还高 100.0— 2000.0 和多—些	n × 10 ⁻⁶ n × 10 ⁻⁵ < n × 10 ⁻⁶	n × 10 ⁻¹¹ n × 10 ⁻⁹ n × 10 ⁻¹⁰ n × 10 ⁻⁸	0.5—75.0 少	0.1— 2000.0 和多—些 少	少 无	>10	

續表 1

岩石圈中的矿物标志				
在氧化-还原环境中矿物的沉积和蚀变的典型形状				
自然环境	氧化铁和氧化铜的化合物	铁和铜的硫化物和二硫化物	铀	矿物
氧化环境	搬运的(一般褐色)和残余的褐铁矿(一般红色); 硫化物矿石的褐铁矿-石英骨架, 黄铜铁矾, 具磁石, 石膏, 赤铜矿等	无		铀的硫酸盐类, 含铀的玻璃蛋白石, 粉末状的钙铀云母、铜铀云母, 钒钙铀矿等。
氧化-还原环境(过渡环境)	沿小裂隙为置换硫化物所交替的褐铁矿(不多), 针铁矿, 含水针铁矿, 黄铁矿(一般是浸染)。硫化物矿床的细胞状结构等	斑铜矿、铜蓝(薄膜), 辉铜矿(壳和薄膜)黄铜矿(一般是浸染或不大的富集), 斑铜矿等 ^②		残余铀黑和再生铀黑、晶质沥青铀矿的残余物
还原环境: (1)正常-还原环境 (2)剧烈-还原环境		黄铜矿, 黄铁矿, 毒砂等。 同上		铀黑、晶质沥青铀矿, 非晶质沥青铀矿等。 同上

① 铀矿床和呈矿现象水中放射性元素含量。

② 經 A. M. 維里欽柯专家鑑定, 認為此處之斑銅矿 (Borнит) 为重晶石 (Барит) 之誤——譯者。

与铀矿床和呈矿现象有关的放射水文地质异常的特征 (氧化环境)

地球化学环境			异常水中放射性元素的富集度											
钼呈矿现象	钼矿类型	复盖层取样的厚度深度(公尺)	地球化学标志			U (克/升)		Ra (克/升)		Rn (爱曼)				
			pH	Eh (毫伏/特)	O ₂ (毫克/升)	Fe ⁺⁺ /Fe ⁺⁺⁺	由	到	平均	由	到	平均		
1号呈矿现象														
(1)中心地段	铁-钼矿	0.0—70.0	6.5—8.0	高于+310	4.0	0.1	2×10 ⁻⁴	8.5×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻⁴	2×10 ⁻¹¹	1×10 ⁻⁹	100	900	520
		70.0—80.0	8.0								1×10 ⁻¹⁰			
(2)西南地段	铁-钼矿	0.0—70.0	6.5—8.0	高于+310	4.0	0.1	3×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻³	4.8×10 ⁻⁴	—	—	—	—	—
		70.0—80.0	8.0											
(3)西部地段														
I号异常	铁-钼矿	0.0—70.0	6.8—8.2	高于+310	4.0	0.1	1×10 ⁻⁴	7×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻⁴	—	—	—	—	—
		70.0—80.0	8.2											
II号异常	铁-钼矿	0.0—70.0	6.8—8.2	高于+310	4.0	0.1	1×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	6.9×10 ⁻⁴	—	—	—	—	—
		70.0—80.0	8.2											
5号呈矿现象	纯钼矿	5.0—100.0	6.5—8.4	—	3.5	—	6×10 ⁻⁵	5.2×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹¹	6.4×10 ⁻⁴	300	10500	5170
		100.0—110.0	8.4									3.3×10 ⁻¹⁰	300	10500

續表 2

鈾呈矿現象	鈾矿物类型	复盖层的厚度 (公尺)	取樣深度 (公尺)	非常水中放射性元素的富集度 (自然底数)				异常系数(Kan)			水分散量距矿体的距离 (分子)		
				U (克/升)	Ra (克/升)	Rn (克/升)	Rn (克/升)	U	Ra	Rn	U (克/升)	Ra (克/升)	Rn (克/升)
1号呈鈾矿現象													
(1)中心地段	鉄 - 鈾矿	0.0—70.0	60.0—80.0	4×10^{-6}	4×10^{-42}	16	20	100	—	20	$\frac{1900}{1 \times 10^{-4}}$	—	—
(2)西南地段	鉄 - 鈾矿	0.0—70.0	60.0—80.0	4×10^{-6}	—	—	—	120	—	—	$\frac{500}{1 \times 10^{-6}}$	—	—
(3)西部地段													
I号异常	鉄 - 鈾矿	0.0—70.0	80.0—40.0	2×10^{-6}	—	—	—	75	—	—	$\frac{350}{1 \times 10^{-5}}$	—	—
II号异常	鉄 - 鈾矿	0.0—70.0	80.0—40.0	4×10^{-6}	—	—	—	900	—	—	$\frac{600}{1 \times 10^{-5}}$	—	—
5号呈矿現象	純鈾矿	5.0—100.0	40.0—110.0	2×10^{-6}	5×10^{-12}	50	1100	15	—	—	$\frac{1200}{5 \times 10^{-3}}$	$\frac{200}{5 \times 10^{-11}}$	$\frac{75}{500}$

条件下要查明和圈定放射性水文地质异常是有困难的。

在开放式地质构造中（特别是在干旱或沙漠气候地区），假若原生铀矿石出露于地表或产于不大的深部（30—100公尺），那么放射性水文地质异常的表现形式则另有所不同。

在这种条件下，可观察到氧化环境楔入原生铀矿化带的情况。在这里，可遇到异常系数很高的清晰的水分散量。

在产于氧化环境下的开放式地质构造中，在流经铀矿体的地下水中，可发现放射性元素的下列富集度：当自然底数达 2×10^{-5} 克/升时，铀为 5×10^{-5} — 5×10^{-3} 克/升；当自然底数大约为 5×10^{-12} 克/升时，镭为 5×10^{-12} — 5×10^{-10} 克/升（有时高些）；当自然底数为100爱曼时，氢为100—40,000爱曼和高些。

在铀矿体范围内，放射性水文地质异常系数以数字表示：铀为15—200；镭为25—100；氢为20—100，很少有高的。

放射性元素的异常富集度，在其分布上距矿体的距离为：当铀的富集度为 1×10^{-5} — 1×10^{-4} 克/升^①时，为350—1200公尺；当镭—— 1×10^{-11} 克/升，则为200公尺；当氢——500爱曼时，则为75公尺。

在表2中列举了在研究1号和5号呈矿现象时所取得的部分资料。

这样，在氧化环境的条件下，当具有开放式的含矿构造时，则可观察到放射水文地质异常的对比率很高（对水中放射性元素的底数含量而言），以及镭、氢，特别是铀的水分散量延续相当广（距矿体）。

①原文中漏掉了单位——译者。

第二节 放射性水文地质异常

在氧化-还原环境中的特征

氧化-还原环境中的地球化学标志。在氧化-还原介质中，还原条件置换氧化条件或相反。这一地球化学环境所控制的是pH值为6.5—8.5，Eh值 $\pm 250-0$ 毫伏特的水（参照表1）。同时，水中游离氧的平均含量总是小于3.5毫克/升。

有很多导致铀矿床和硫化物矿床破坏和形成的地球化学现象都是与氧化-还原介质有关的。例如，在氧化-还原环境的条件下，进行着铀矿石和硫化物矿石的氧化和淋滤过程，同时，伴随有它们物质成分的分解和金属氧化物的形成（残余铀黑、针铁矿、含水针铁矿、孔雀石、三水铀钼矿等）。就在这同一介质中又可发生铀、氧化铁、铜、镍以及其他矿石的还原过程，形成再生的，实际上不溶解的铀黑和硫化物的矿物（黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、铜蓝、辉铜矿等），但一般是浸染矿或不大的富集。

氧化-还原环境中水分散量的基本指数。氧化-还原环境，在水文地质方面的特点首先是水的循环比较缓慢。

氧化情况仅只能在某些岩层或裂隙带观察到，而且是在个别透水性最强的地段。在这里，可遇到化学成分极为不同的水^①（由重碳酸盐水和硫酸-氯化物水）。对这一环境中的水来说，其最典型的特点是它们分布在铀矿体范围内，当其化学成分各异时，放射性元素的含量极高。在这里，水的放射性及其与矿体的关系显得特别清楚，放射性元素的异常含量也格外清晰。

①这里所列举的水的名称顺序按照水中阴、阳离子的减少顺序。