

关于应用同位素铀-铅法测定瀝青 铀矿地质年龄的问题讨论

陈毓蔚 许荣华

我們曾应用同位素铀-铅法测定了三个瀝青铀矿的地质年龄。普通铅的存在系采用同一地区的方铅矿同位素组成进行校正的,得到的結果列于表 1。

根据所得到的結果对如下两个問題进行了討論:

(1) 同一地区两个瀝青铀矿样品的鉛含量(指样品 N_1 和 N_2)、鉛同位素組成及普通鉛的量差异很大,年龄值也不相同,其原因何在?

(2) 同一样品按各种不同同位素比值所計算出的年龄值不很一致 [$t(207/206) > t(207/235) > t(206/238)$], 采取那一个比值作为該矿物的适用年龄值较为合适。

表 1 同位素铀-铅法测定瀝青铀矿地质年龄的結果

样品 编号	U, %	Pb, %	Pb ²⁰⁴ , %	Pb ²⁰⁶ , %	Pb ²⁰⁷ , %	Pb ²⁰⁸ , %	普通鉛*, %	K _{Rn} , %	年龄值, × 10 ⁶ 年		
									Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶
N_1	69.74	3.52	0.15	85.92	10.65	3.30	8.52	0.21	332	527	1470
N_2	70.08	2.78	0.95	43.28	16.32	39.44	68.71	未测	77	93	505
N_3	57.50	9.78	0.11	86.67	10.27	1.95	5.65	0.18	1230	1230	1494

* 扣除普通鉛时所采用的方鉛矿的同位素組成, 对于样品 N_1 和 N_2 是: Pb²⁰⁴ = 1; Pb²⁰⁶ = 18.15; Pb²⁰⁷ = 15.46; Pb²⁰⁸ = 38.54. 对于样品 N_3 是: Pb²⁰⁴ = 1; Pb²⁰⁶ = 17.41; Pb²⁰⁷ = 15.31; Pb²⁰⁸ = 38.21.

关于各种同位素比值不一致的原因及正确选用年龄值的问题, 在文献上有着各种不同的解释: (1) 由于氦射气的作用, 造成 Pb²⁰⁶ 易丢失, 致使 $Pb^{206}/U^{238} < Pb^{207}/U^{235} < Pb^{207}/Pb^{206}$, 此时以 Pb^{207}/U^{235} 比值最为可靠^[1-3]; (2) 在矿物存在的地质史中, 某一时间内曾发生过温度升高, 因而产生了瀝青铀矿中鉛的丢失, 此时应选用 Pb^{207}/Pb^{206} 比值^[4,5]; (3) 由于在瀝青铀矿沉淀时捕获了古老的放射成因鉛, 因而造成了各比值的不一致^[6]; (4) 由于普通鉛的存在, 与进行校正时所采用的方鉛矿的鉛同位素組成不定而引起的各比值的互不一致, 此时受到影响最大的是 Pb^{207}/Pb^{206} 比值^[7,8]。本文拟从研究瀝青铀矿中鉛的存在形式、普通鉛同位素組成与校正来討論上述問題。

根据显微镜鉴定, 在瀝青铀矿中皆有細脉状或浸染状的方鉛矿存在, 并且观察到样品 N_1 和 N_2 曾經遭受过热液作用, 带入方鉛矿, 并沿裂隙形成一些浅黄色含铀石英細脉。样品 N_3 也受过后期作用, 形成的方鉛矿呈浸染状分布。在双目鏡下挑选瀝青铀矿时都不能将这些方鉛矿分开, 因此必将影响到瀝青铀矿中鉛的含量与鉛同位素的比值。

我們利用化学相分析方法得出瀝青铀矿中存在着三种形式的鉛: Pb⁰, PbO, PbS (表 2)。Pb⁰ 是铀放射衰变的产物, PbO 是放射成因鉛受铀衰变时所释放出的氧的氧化作用形成的, 这两种形式的鉛都存在于矿物中。关于 PbS 的来源問題, 唯有通过鉛同位素的研究才能查明。假如 PbS 是混入的普通鉛, 那末 PbS 的含量与矿物的鉛同位素組成中普通鉛的成分是不相适应的。例如, 根据同位素組成, 样品 N_2 中普通鉛占 68.71%, 而 PbS 只有 28.63%。相反, 在样

表 2 沥青铀矿中铅化合物的相分析结果

样品编号	Pb ⁰ , %	PbO, %	PbS, %	S, %	按 S 量换算得 PbS, %
N ₁	未测	42.08	23.56	0.12	28.63
N ₂	5.29	14.14	80.57	1.19	78.32

品 N₃ 中普通铅为 5.65%，但是 PbS 却占 78.32%。因此可以认为，研究沥青铀矿中 PbS 的同位素组成及其来源问题具有重要的意义。

我们将一定量的结晶碘与沥青铀矿一起放在玛瑙乳钵中研磨 15 分钟，然后用热水浸取混合物，此时沥青铀矿中以硫化物形式存在的铅即呈碘化铅络合物被浸取出。得到的结果表明（见表 3），样品 N₁ 中铅不易被结晶碘研磨出（仅 4%），而样品 N₃ 则有 68% 的铅被磨出。按

表 3 沥青铀矿中铅和方铅矿中铅同位素组成的比较

样品编号	分析样	铅同位素组成, %				放射成因铅, %	普通铅, %	扣除普通铅成分后 Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶
		Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸			
N ₁	沥青铀矿	0.15	85.92	10.65	3.30	91.48	8.52	0.098
	结晶碘磨出的 PbS	1.10	35.25	18.75	44.91	18.85	81.15	0.103
N ₂	沥青铀矿	0.95	43.28	16.32	39.44	30	70	0.058
	结晶碘磨出的 PbS	0.74	37.19	14.06	48.00	45.39	54.61	0.1057
N ₃	沥青铀矿	0.11	87.61	10.27	1.95	94.34	5.66	0.100
	结晶碘磨出的 PbS	0.13	85.48	11.29	91.92	91.92	8.08	0.105

铅同位素组成，可以将这三个样品分成三种不同类型：样品 N₁ 的研磨出液中普通铅的成分约占 82%；样品 N₂ 中放射成因的铅约 45%，普通铅约占 55%；样品 N₃ 中放射成因的铅约占 92%。现分别讨论如下：

样品 N₃ 中存在的浸染状方铅矿主要由放射成因的铅所组成，且极易被碘所磨出，因此可以设想该方铅矿是由于古老的沥青铀矿受到热液作用而形成的。根据碘磨出液中铅同位素的组成，再扣除普通铅的成分，然后按 Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶ 比值计算，可知方铅矿在 120 百万年以前就形成了，因此该沥青铀矿的真正年龄以 Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶ 比值计算为 1500 百万年。此值与用 K-Ar 法测定的同一地区含矿围岩中云母矿的年龄值是相符合的（1592—1773 百万年）。沥青铀矿、方铅矿的年龄值表明它们是属于两个不同时期的产物。

样品 N₁ 和 N₂ 是属于同一地区的样品，但是情况完全不同。在 N₁ 标本的不同部位上，铅的含量由中心向边缘增高，同时 PbS 量也随着增多，并且在矿样的个别部位发现有亮白色的矿物，其中 Pb 和 PbS 量较沥青铀矿为高（表 4）。浅棕黄色的含铀石英细脉布满了整个矿样。PbS 中 Pb 主要是普通铅。从比较三个样品中的 Pb²⁰⁸/Pb²⁰⁴ 比值看出，样品 N₁ 和 N₃ 较接近（表 5）。由此可设想在样品 N₁ 中可能存在过剩的放射成因铅 Pb²⁰⁶, Pb²⁰⁷，从而使年龄值偏高。

表 4 标本 N₁ 的不同部位上铅及 PbS 含量

样品的部位	ΣPb, %	PbS, %
中央部分	3.52	0.15
边缘部分	5.26	0.44
亮白部分	5.75	1.25

表 5 沥青铀矿和方铅矿中 Pb²⁰⁸/Pb²⁰⁴ 的比较

样品编号	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴	
	沥青铀矿	方铅矿
N ₁	22	38.54
N ₂	41.6	38.54
N ₃	17.7	38.21

样品 N_2 中普通铅占 70%，相分析的结果表明，PbS 形式的 Pb 量占总含 Pb 量的 28%，且不易被结晶碘所研磨出，同时 PbS 的铅同位素组成中普通铅只占 50%，于是可以认为在这个瀝青铀矿中普通铅不是以 PbS 的形式存在，而是存在于结晶格架内，这可能是由于后期作用时，发生过普通铅与放射成因铅同位素的交换作用所致。

在选用这个样品的年龄值时必须考虑大量普通铅存在的因素。例如被用来扣除普通铅的铅同位素组成不定时，将会引起各比值发生变化(表 6)；而且以 Pb^{207}/Pb^{206} 比值的影响最大。因此，在这种情况下只能选用 Pb^{206}/U^{238} 比值，即样品 N_2 的年龄值近于 77×10^6 年。

表 6 应用不同铅同位素组成扣除瀝青铀矿中普通铅对年龄值的影响

所采用的铅同位素组成	年龄值, $\times 10^6$ 年		
	Pb^{206}/U^{238}	Pb^{207}/U^{238}	Pb^{207}/Pb^{206}
未进行扣除	127	1600	3832
按同产地方铅矿的铅	77	93	505
按同时代方铅矿的铅*	77	105	604
按 N_2 产地方铅矿的铅	79	112	865
按白云方铅矿的铅	84	115	850

* 按 A. П. 维诺格拉多夫资料。

综上所述，该地区的地质情况甚复杂，铅同位素的混杂作用尤为显著，因而必须综合地质、矿物、铅同位素地球化学的研究资料，才能正确地讨论该地区瀝青铀矿的年龄值以及它的成因条件。

* * *

本文承蒙李璞教授审阅，所用的铅同位素组成是由张翼翼、洪阿实、霍卫国等同志分析的，特此表示深切感谢。

参 考 文 献

- [1] A. Holmes, *Geol. Mag.*, **86**, 288—302 (1949).
- [2] G. R. Tilton, The Interpretation of Lead Age Discrepancies by Acid Washing Experiments, *Amer. Geophys. Union Trans.*, **37**, 244—230 (1956).
- [3] D. S. Miller, J. L. Kulp, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **74**, 609—630 (1963).
- [4] W. R. Eckelmann, J. L. Kulp, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **67**, 35—54 (1956).
- [5] J. L. Kulp, W. R. Eckelmann, *The Amer. Min.*, **42**, 154 (1957).
- [6] L. R. Stieff, T. W. Stern, *Science*, **115**, 708—709 (1953).
- [7] J. C. Cobb, J. L. Kulp, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **24**, 226 (1961).
- [8] А. И. Тугаринов, О формах нахождения свинца в урановом смолке в связи с определением абсолютного возраста минералов, Труды IV сессии комиссии по определению абс. возр. геол. формац, Изд. АН СССР, Москва, стр. 204, 1957.
- [9] А. И. Бродский и И. В. Гольденфельд, Об оценке достоверности определения геологического возраста свинцовыми изотопными методами, Булл. комис. по определению абс. возр. геол. формац, вып. 4, стр. 98.