

大庆油田北部可地浸砂岩型铀矿化 分布特征及成因^①

罗 梅

赵 杰

(成都理工大学 四川成都 610059)

(大庆石油管理局 黑龙江大庆 163453)

[摘要] 本文在阐述了松辽盆地的区域地质构造特征、盆地北部区域铀源条件及含铀层位的基础上,论述了大庆油田北部铀矿化分布特点及铀矿化特征,并从沉积成岩作用、古水文地质、氧化-还原地球化学分带控矿的角度对该区铀矿化的成因进行了探讨。

[关键词] 松辽盆地;大庆油田北部;可地浸砂岩型铀矿;铀矿化成因

[文章编号] 1000-0658(2002)06-0328-07 [中图分类号] P598 [文献标识码] A

大庆油田北部,即松辽盆地北部地区,面积约60000 km²。本区有早期石油普查与勘探钻井近2000口,钻井深度由数百米至3000 m不等。虽然钻井在平面上分布不均衡,且有1/3以上钻孔浅部缺乏自然伽玛强度或伽玛能谱等放射性测井资料,但对该区铀矿资源产出的层位、赋矿岩性及受控因素等的研究提供了良好的条件。根据西辽河开鲁盆地用石油钻井寻找与评价铀矿的经验,按可地浸砂岩型铀矿开采的基本要求(铀矿层厚度>0.8 m,含矿含水层厚>4 m,泥质含量<20%,孔隙度>10%,埋藏深度<500 m,砂岩自然伽玛强度与邻近大段泥岩自然伽玛强度比值>2.5的异常层)对本区所有钻井资料进行了复查,现已查出有铀矿化(异常)的钻井50余口,含矿层位主要为白垩系青山口组、姚家组、四方台组和明水组。从平面的分布来看,松辽盆

地北部的铀矿化(异常)主要集中分布于西部斜坡区的齐齐哈尔市以西,以及齐齐哈尔至让湖路的滨洲铁路以南地区,其他地区只见有少量零星的铀矿化异常。

1 区域地质构造特征

松辽盆地是在天山-内蒙-兴安古生代地槽褶皱系基础上发育起来的一个中生代内陆断、拗陷盆地。松辽盆地基底主要由加里东、海西期褶皱变质岩系及同期岩浆岩组成,属内蒙-兴安华力西地槽褶皱系的一部分,局部地区出现前震旦纪古老地块。盆地周边蚀源区地层与基底地层基本相似,盆地盖层主要为中生界的中上侏罗统和白垩系及新生界的第三系和第四系。

据石油勘探和重磁场推断,松辽盆地北部基底发育有北东向、近南北向、近东西向及北北

① 本文为大庆油田专项科技项目“松辽盆地北部可地浸砂岩型铀矿形成条件与远景评价研究”(项目编号:99-33)中的部分成果。

[收稿日期] 2002-02-10 [改回日期] 2002-04-24

[作者简介] 罗梅(1948-),男,副教授,1975年毕业于成都地质学院,一直从事铀矿地质教学与科研工作。

东向 4 组大断裂, 大小共计 65 条。该区中浅层构造单元, 依据区域地层分布、层序、厚度变化及区域地质发展史, 盖层构造形态、发育特点、分布规律及构造变动的成因类型等划分为 5 个一级构造单元^[1]: 西部斜坡区(Ⅰ)、北部倾没区(Ⅱ)、中央坳陷区(Ⅲ)、东北隆起区(Ⅳ)与东南隆起区(Ⅴ)。

2 松辽盆地北部含铀层位及分布特点

松辽盆地北部主要含铀层位有上白垩统的明水组、四方台组和下白垩统的姚家组、青山口组, 其次有下白垩统的泉头组, 只有个别钻井遇铀矿化(异常)分布于第三系大安组及下白垩统的嫩江组(图 1)。

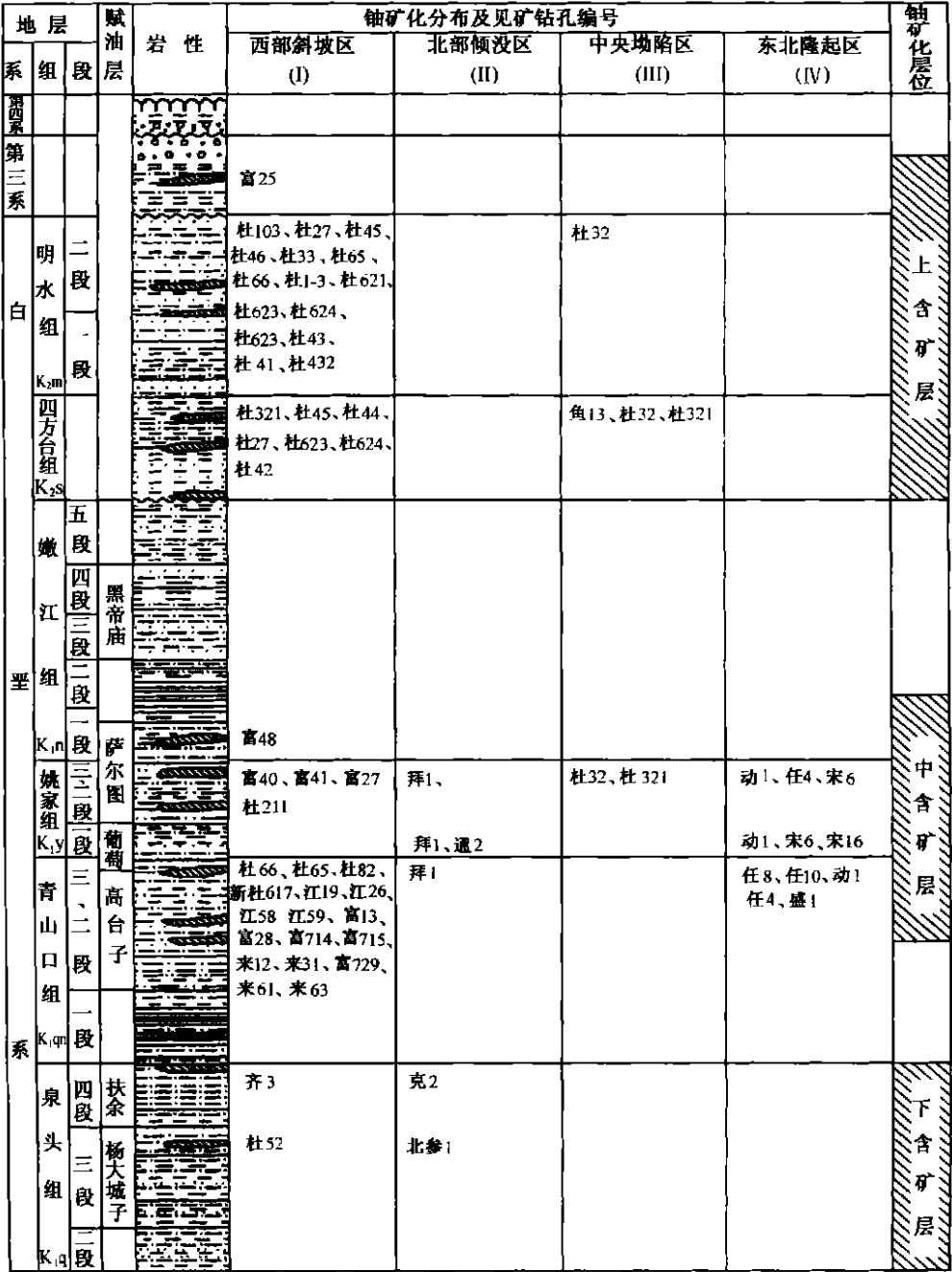


图 1 松辽盆地北部铀矿化层位柱状图

Fig. 1 Column of the uraniumr hosting strata in northern Songliao basin

从垂向分布来看,依据松辽盆地沉积层发育、演化特点,以青山口组第一段和嫩江组第二段两套区域性稳定的厚层深湖相泥岩层为分界(相当两个区域性隔水层)。本区铀矿化(异常)层分为下含矿层(主要包括下白垩统泉头组)、中含矿层(包括下白垩统姚家组和青山口组)、上含矿层(包括上白垩统明水组、四方台组及少量第三系大安组)3个含铀岩系。由于下含矿层铀矿化(异常)很少,同时产出太深(多数深达500—1000 m),因此暂不予考虑。

从平面分布看,松辽盆地北部的铀矿化(异常)主要集中分布于西部斜坡区的齐齐哈尔市以西,以及齐齐哈尔至让湖路的滨洲铁路以南

地区。其他地区,如中央拗陷区与东北隆起区的过渡地带、北部倾没区等有极少量零星的铀矿化(异常)井,且这些井中的铀矿化(异常)深度大(一般500 m以下)、异常层薄、伽玛强度低,因而无意义。

3 松辽盆地北部铀矿化(异常)的放射性地球物理特征

在松辽盆地北部6个铀矿化(异常)钻井中取铀矿化层岩石进行了放射性平衡的研究工作,各井取样的铀镭分析品位与平衡系数计算结果列表如下(表1)。

表 1 铀矿化层岩石放射性平衡系数
Table 1 Radio equilibrium coefficient of uranium mineralized rocks

序号	井号	主要岩性	Ra($\times 10^{-12}$)	U($\times 10^{-6}$)	平衡系数 C	C 平均值
1	动 1 井	灰色粉砂岩、泥质粉砂岩	1. 93— 11. 08	2. 60— 17. 3	0. 98— 2. 28	1. 64
2	动 2 井	黄灰色细砂岩、灰色鲕粒灰岩	9. 17— 10. 20	14. 4— 16. 20	1. 66— 2. 04	1. 85
3	来 61 井	灰色细砂岩、粉砂岩(含介形虫)	2. 86— 9. 76	2. 50— 26. 90	0. 94— 3. 18	2. 35
4	来 63 井	灰色泥质粉砂岩、细砂岩	2. 87— 9. 50	2. 70— 18. 40	0. 99— 3. 13	2. 09
5	来 14 井	灰色钙泥质粉砂岩	3. 96	5. 0	2. 33	2. 33
6	杜 90 井	灰色粉砂岩、亮晶粒屑灰岩	5. 43— 9. 71	4. 1— 19. 5	1. 31— 3. 87	2. 25
平 均 值			6. 01	10. 3	2. 08	2. 09

注:表中 U、Ra 数据由成都理工大学核工院测定。

从表1可看出,松辽盆地北部铀矿化层岩石的放射性平衡系数总体是偏镭的。西部斜坡区矿化层岩石铀镭平衡系数变化范围为2.09—2.35,平均2.26。东北隆起区矿化层岩石铀镭平衡系数为1.64—1.85,平均1.75。整个松辽盆地北部各钻井铀矿化层岩石铀镭平衡系数平均为2.08。

从表1还可看出,本区各种岩石的铀镭平衡系数变化范围为0.94—3.87,总体有铀含量高的岩石平衡系数偏低,铀含量低的岩石则平衡系数相对较高的趋势。例如来61井3号样,U含量 26.9×10^{-6} ,U-Ra平衡系数为0.94。铀镭平衡系数偏镭,通常表明该区铀矿化层岩石中的铀被淋出,但平衡系数的变化范围不算太大,总体偏镭不太严重,说明该区铀矿化形成

以后(估计是成岩期成矿作用为主),铀没有大量迁移,即铀矿没有强烈的后生改造作用。

4 松辽盆地北部铀矿化岩石物质组成、结构构造及化学成分特征

4.1 松辽盆地北部铀矿化岩石类型

松辽盆地北部铀矿化岩石主要为粉砂岩、泥质粉砂岩,其次为细砂岩、含砾中细砂岩,此外还有少量砂质粒屑灰岩、鲕粒灰岩等。粉砂质泥岩和泥岩有不少样品的铀含量达 $(20-40) \times 10^{-6}$ 以上,但它们的孔隙度很小(一般 $< 10\%$)、渗透率很低(一般 $< 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)^[2],因此不作为铀矿化岩石。

4.2 铀矿化岩石结构构造与物质组成特征

在松辽盆地北部新施工的动2井和杜90

并取了铀矿化(异常)岩石进行室内分析测试及列表描述如下(表 2)。
岩石结构、构造与某些物性参数研究, 结果综合

表 2 松辽盆地北部铀矿化(异常)岩石特征综合表

Table 2 Characteristics of uranium mineralized(anomalous) rocks in northern Songliao basin

序号	铀矿化 (异常) 岩性	井号 样号	地层 时代	岩石组成特征	胶结特征	结构、构造	成岩变化	U 含量 ($\times 10^{-6}$)
1	浅黄灰色 泥质粉砂 岩	杜 90 井 杜 90- 1	K_2m	碎屑占总成分的 83%, 碎屑物以石英、长石为 主(含量占碎屑总量的 90% 以上), 偶见云母等 碎屑	孔隙基底式胶 结, 填隙物成分 主要为水云母粘土	泥质、微砂质粉 砂结构, 生物搅 动构造	压实方式成岩, 但成岩作用弱, 有生物扰动遗 迹, 虫孔内有粘 土富集	29. 5
2	绿灰色纹 层状泥质 粉砂岩	杜 90 井 杜 90- 2	K_2m	碎屑占总成分的 86%, 泥质占 20%, 碎屑物(粉 砂) 中长石和石英含量 大于 95%, 偶见云母碎 片	孔隙基底式胶 结, 填隙物为水 云母粘土, 孔隙 度 13. 5%	泥质粉砂结构, 纹层构造(由水 云母粘土富集成 断续条纹), 渗透 率 $0. 4 \times 10^{-3} \mu m^2$	压实方式成岩, 但压实作用弱, 偶见钙屑溶蚀长 条形孔隙	24. 1
3	浅黄灰色 钙质细粒 砂岩	杜 90 井 杜 90- 3A	K_2s	陆源碎屑占 83%, 成分 以单晶石英、硅质岩屑、 钾长石为主, 次为斜长 石及变石英岩和千枚岩 岩屑, 偶见黑云母及绿 帘石, 此外见微晶灰岩 内碎屑	颗粒支撑, 溶蚀 交代成因接触孔 隙式胶结, 胶结 物呈连生方解 石, 孔隙度 14. 2%	微粒砂状结构, 条带状构造, 渗 透率 $0. 46 \times 10^{-3}$ μm^2	胶结方式成岩, 方解石胶结物对 陆源碎屑岩有较 强的溶蚀交代作 用	23. 4
4	灰色亮晶 微砂质粒 屑灰岩	杜 90 井 杜 90- 3B	K_2s	骨架颗粒占 82%, 其中 内碎屑(鲕粒、介形类骨 屑、微晶灰岩屑) 占 55%, 陆源碎屑(长石、 石英等) 占 45%, 分选 好, 圆度中	颗粒支撑, 溶蚀 交代成因, 接触 孔隙式胶结, 连 生方解石胶结, 孔隙度 9. 2%	亮晶微砂质粒屑 结构, 条带状构 造, 渗透率 $0. 13$ $\times 10^{-3} \mu m^2$	胶结方式成岩, 方解石胶结物多 已重结晶成连生 晶	20. 5
5	浅黄灰色 细砂岩	动 2 井 动 2- 1	K_1y	陆源碎屑占 86%, 成分 以石英、钾长石为主, 偶 见流纹岩、石英岩、千枚 岩等火山岩与变质岩碎 屑, 含少量黑、白云母等	颗粒支撑, 孔隙 式胶结为主, 填 隙物主要为水云 母泥基, 孔隙度 32. 0%	细微粒砂状结 构, 块状结构, 渗 透率 $45. 90 \times$ $10^{-3} \mu m^2$	压实方式成岩, 成岩变化弱	24. 4
6	黑灰色亮 晶鲕粒灰 岩	动 2 井 动 2- 2	K_1qn	骨架颗(鲕)粒占 87%, 填隙物 13%, 骨架颗粒 中鲕粒占 98%, 石英、介 形类等碎屑占 2%, 鲕粒 大小以 0. 5- 1 mm 为 主, 类型有球形真鲕、薄 皮鲕等	颗粒支撑, 孔隙 式胶结, 填隙物 为连生方解石及 薄膜栉壳状方解 石, 孔隙度 9. 9%	亮晶鲕粒结构, 块状构造, 渗透 率 $0. 20 \times 10^{-3}$ μm^2	胶结方式成岩, 胶结前压实作用 强(鲕粒压裂), 重结晶中胶结物 对鲕粒有较强破 坏	36. 2

注: 孔隙度、渗透率由中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院开发实验室测定。

从表 2 可看出, 松辽盆地北部铀矿化(异常)岩石有两类, 一类为陆源碎屑细砂岩、粉砂岩, 另一类为内碎屑鲕粒灰岩、粒屑灰岩。粉砂岩、泥质粉砂岩、细砂岩和微粒砂岩的陆源碎屑

成分主要为长石、石英,此外有少量火山岩(流纹岩)、变质岩(石英岩、千枚岩等)及云母、绿帘石等。胶结方式以孔隙式胶结为主,填隙物主要为水云母类粘土岩,或为连生方解石胶结。成岩方式有压实方式成岩和胶结方式成岩两种。鲕粒、粒屑灰岩型铀矿化(异常)岩石也是以孔隙式胶结为主,另有溶蚀交代成因接触孔隙式胶结,但成岩方式主要为胶结方式,填隙物主要为连生方解石。

由上述胶结成岩变化特点可知,尽管铀矿化岩石为粉砂岩或鲕粒、粒屑灰岩,由于压实、重结晶、溶蚀交代等成岩变化,岩石的孔隙度变小,渗透率降低。例如杜 90-3B、动 2-2 两样品的孔隙度分别只有 9.2%和 9.9%,渗透率只有 $0.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $0.20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。所有样品中只有动 2-1 样的孔隙度(32%)和渗透率($45.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)较高,杜 90-2、杜 90-3A 两样品的孔隙度和渗透率也不高,这对可地浸砂岩型铀矿来讲是不利的。

4.3 铀矿化岩石的化学成分特征

4.3.1 铀矿化岩石主要化学成分特征

在松辽盆地北部西部斜坡区的杜 90 井、来 12、来 61 和来 63 井,东北隆起区的动 1 井和动 2 井的铀矿化(异常)地段进行了较系统地取样,室内对这些样品进行了分析测试,由常量元素化学成分分析结果可看出,杜 90 井上含矿层(明水组与四方台组)铀矿化岩石泥质粉砂岩和微(细)粒砂岩主要为陆源碎屑岩,矿物成分以长石、石英为主,因此 SiO_2 含量平均 68.07%, Al_2O_3 为 11.48%, CaO 和 MgO 含量较低,烧失量不太高(8.69%)。由于杜 90-3 为钙质微(细)砂岩,因此 CaO 含量达 19.8%。杜 90 井岩石 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 为 0.36, $\text{FeO}/\sum\text{Fe}$ 百分比为 26.71%,说明为弱还原型岩石。

从来 14、来 61 和来 63 井铀矿化岩石化学成分分析结果来看,该地段中含矿层铀矿化岩石普遍 SiO_2 含量较低,平均 SiO_2 含量为 38.33%,含 CaO 和 MgO 较高,分别为 20.71%和 4.52%,表明该地区铀矿化岩石为富含钙质的砂岩,有的甚至为灰岩。如来 63-10 样为亮晶粒屑灰岩,含 SiO_2 为 5.78%, CaO 含量为 37.14%, MgO 为 9.82%,岩石的烧失量亦较高,为 40.65%。

从动 1 井和动 2 井铀矿化岩石化学成分分析结果看,该地段中含矿层铀矿化岩石主要为陆源碎屑岩(除动 2-2 样品), SiO_2 含量一般都在 70%以上, Al_2O_3 含量 11.41%, CaO 和 MgO 含量都很低(一般都小于 1%),烧失量亦很低(一般小于 3%)。但该区亦有富含 CaO 的岩石,如动 2-2 亮晶鲕粒灰岩。

从以上分析可看出,松辽盆地北部铀矿化岩石有贫钙陆源碎屑岩和富钙的内碎屑灰岩(或钙质胶结岩)两类,若地浸采矿,它们在浸出过程中使用的化学试剂是不一样的。

4.3.2 铀矿化岩石的微量元素成分特征

松辽盆地北部铀矿化岩石的微量元素(20 种),含量高于克拉克值的有 Cr、Zn、Rb、Sr、Ba、Zr、Hf、Mo、W、As、Sb、Au 和 Ag 共 13 种。其中特别高出的元素有 Sr、Sb、As、Rb、Ba、Zr、Au 和 U,平均高出这些元素克拉克值 10 倍至数十倍以上(表 3)。有的样品特别富 Sr,如杜 90-3、来 61-1、来 61-4、来 61-7、来 63-6、来 63-9、来 63-10、杜 2-2 等样。这些样品含 Sr 达 $(1000 - 2200) \times 10^{-6}$,高于 Sr 的克拉克值 25-56 倍。个别样品远高于克拉克值,如杜 90-2 样品中的 Ba 和动 2-2 样品中的 As,分别高于其克拉克值的 25 倍和 194 倍。但从表 3 看,这些元素都没达到最低工业品位的要求^[3],不能成为矿产资源。

表 3 铀矿化(异常)岩石部分元素含量特征 ($\times 10^{-6}$)

Table 3 Content of some etements in uranium mineralized(anomalous)rocks ($\times 10^{-6}$)

地区	样品品位	Sr	Sb	Au*	As	Rb	Ba	Zr	U
西部斜坡区	平均品位	767	3.5	21.2	81.9	70	662	189	10.7
	最高品位	2224	8.0	93.8	357.9	135	1259	433	63.0

续表 3

地区	样品品位	Sr	Sb	Au [*]	As	Rb	Ba	Zr	U
东北隆起区	平均品位	388	4. 9	31. 7	148. 0	91	632	168	11. 5
	最高品位	1862	24. 4	89. 3	968. 9	121	920	310	17. 3
克拉克值 ^①		40	0. 4	0. 007	5	31	50	20	3
最低工业品位 ^②		40000	7000	1000	3000	(Rb ₂ O) 300	(BaCO ₃) 30000	(ZrO ₂) 5000	100

注: ① 据 A. П. 维诺格拉多夫; ② 据《矿产工业要求参考手册》, 地质出版社 (1987); * Au 品位为 $n \times 10^{-9}$;

5 氧化-还原分带对铀成矿的控制及铀矿化成因探讨

按照现代铀成矿理论,可地浸砂岩型铀矿床都是在后生地下水作用下形成的,要达到一定的富集规模和工业品位要求,必须是含氧含铀地下水在长时期的淋积作用下富集成矿,且这种成矿作用是在一定的氧化-还原过渡带中进行的^[4]。如果仅仅是经历沉积-成岩作用,只可能形成贫的铀矿化(由于铀的初始交替而形成),即形成一定面积的低异常铀矿化层,含铀 $(10-20) \times 10^{-6}$ 。后期含氧含铀地下水的淋积作用,可形成含铀 60×10^{-6} 至 0.01% 的铀矿

化体,甚至在这些异常矿化体中形成含铀 > 0.01% 的工业铀矿体。本区矿化的形成即具有这种特点。

由区域地壳演化可知,本区在中含矿地层形成之后有地壳抬升(姚家组晚期),使青山口组地层和姚家组地层隆起。在成岩过程中铀初步交替呈弱矿化富集的基础上,由于当时含氧古地下水的不断渗入与淋滤-淋积作用,形成了当时条件下的古氧化-还原地球化学分带,并由它控制了铀矿化的分布(图 2)。随后地壳下降,形成了较厚的嫩江组沉积地层,其中嫩二段为区域稳定的厚层深湖相泥岩层。在上含矿层地层形成以后,随着地壳的再次抬升,使明水组和四方台组隆起,在成岩作用中铀初步交替呈

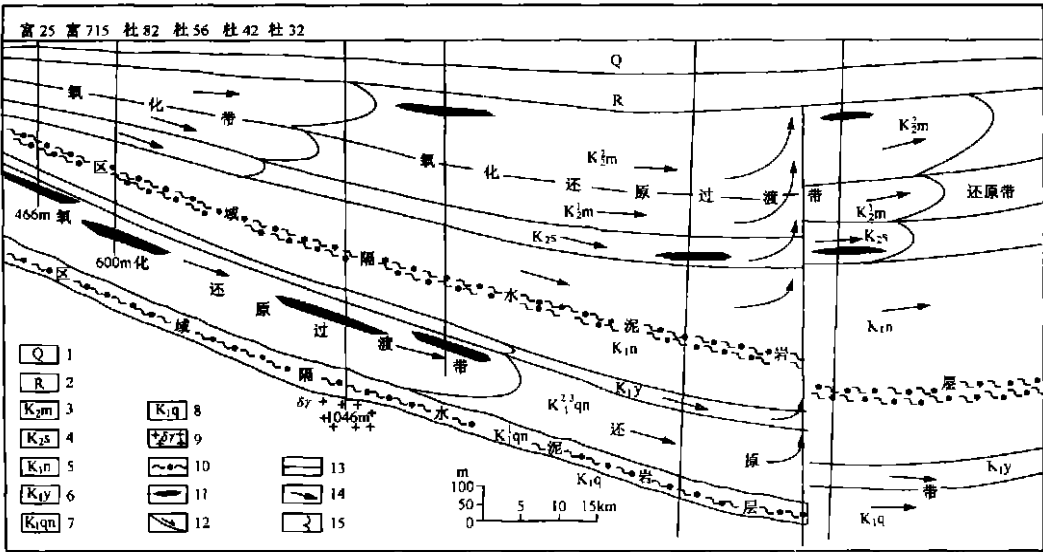


图 2 大庆油田北部氧化-还原地球化学分带剖面图

Fig. 2 Section of redox geochemical zoning in northern Daqing oil field

1——第四系; 2——第三系; 3——上白垩统明水组; 4——上白垩统四方台组; 5——下白垩统嫩江组; 6——下白垩统姚家组; 7——下白垩统青山口组; 8——下白垩统泉字组; 9——闪长花岗岩; 10——区域隔水泥岩; 11——铀矿化(异常)体; 12——断层; 13——实测与推测地层界线; 14——地下水流动方向; 15——氧化-还原分带界线。

现弱矿化富集的基础上, 由于当时含氧含铀地下水的不断渗入与淋滤-淋积作用, 形成了上含矿层的古氧化-还原地球化学分带, 并由它控制了当时铀矿化的分布(图 2)。从图 2 可看出, 杜 42 井与杜 32 井之间发育有一条同生正断层, 在晚近的地下水不断向盆地渗入的氧化与淋积成矿作用过程中, 地下水有可能从断层处向上运移排泄, 在断层两旁有利部位形成铀矿化(如杜 42、杜 32 井中的铀矿化)。

6 结论

松辽盆地的周边及基底主要由加里东、海西期褶皱变质岩系及同期岩浆岩组成, 岩性以中、新生代碎屑岩、火山岩及海西期、燕山期花岗岩为主, 尤以海西期及燕山早期花岗岩的含铀丰度相对较高。松辽盆地北部含铀层位为上白垩统明水组、四方台组和下白垩统姚家组、青山口组, 铀矿化主要集中分布于西部斜坡区。本区铀矿化岩石的放射性平衡系数总体是偏镭的, 铀镭平衡系数平均为 2.08。本区铀矿化岩石主要为粉砂岩、泥质粉砂岩, 其次为细砂岩、含砾中细砂岩, 此外有少量砂质粒屑灰岩、鲕粒灰岩, 即本区铀矿化岩石有贫钙陆源碎屑岩和富钙的内碎屑灰岩(或钙质胶结岩)两类。本区

铀矿化是在沉积-成岩作用形成的贫铀矿化基础上, 经后期的含氧古地下水的不断渗入与淋滤-淋积作用形成的, 即早期形成含铀 $< 60 \times 10^{-6}$ 的铀矿化(异常)层, 后局部形成铀 $> 60 \times 10^{-6}$ 的铀异常及矿化富集体, 且铀矿化受当时条件下的古氧化-还原地球化学分带控制。

参加本项研究工作的还有成都理工大学的刘峰、大庆石油管理局测井公司的董丽华、杨雪冰同志。本项目得到了大庆油田有限责任公司勘探分公司、大庆石油管理局测井公司、成都理工大学领导及相关同事们的支持与帮助, 大庆石油管理局测井分公司研究所陈国华、马庆诚、林学山等同志参加了本项研究工作的研讨并提出宝贵意见, 在此表示感谢。

[参考文献]

- [1] 大庆油田石油地质志编写组编. 大庆油田. 中国石油地质志卷二. 北京: 石油工业出版社, 1993. 5. 155-160.
- [2] 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术. 北京: 石油工业出版社, 1991. 302-303.
- [3] 全国矿产储量委员会办公室. 矿产工业要求参考手册(修订本). 北京: 地质出版社, 1987.
- [4] 罗梅. 中国北西部地区地浸砂岩型铀矿床成矿条件、分布规律及找矿方向. 铀矿地质, 1996. 12(4): 197-203.

Distribution features and genesis for in situ leachable sandstone-type uranium mineralization in northern Daqing oil field

LUO Mei

(Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan province, 610059)

ZHAO Jie

(Daqing Petroleum Administrative Bureau, Daqing, Heilongjiang province, 163453)

Abstract: On the basis of regional geologic-tectonic features of the Songliao basin, and the regional uranium source and uranium hosting horizons, distribution features and characteristics of uranium mineralizations in northern Daqing oil field are introduced in this paper, and the genesis of uranium mineralization in the region is discussed from aspects of ore-controlling factors, such as sedimentary diagenesis, paleohydrogeology, geochemical redox zoning etc.

Key words: Songliao basin; northern Daqing oil field; in situ leachable sandstone-type uranium mineralization; genesis of uranium mineralization