

柴达木盆地北缘团鱼山地区砂岩型铀矿成矿条件与找矿方向

刘文进¹, 党洪量², 黄广楠¹, 黄献好³, 刘炳强³, 张永安¹, 王伟超¹, 祁拉加¹

(1. 青海煤炭地质一〇五勘探队, 青海 西宁 810007; 2. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810000;

3. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院³, 北京 100083)

摘要:以柴达木盆地北缘团鱼山地区为研究对象,在对以往煤田钻孔资料二次开发和放射性异常查证后,对铀源基础、岩性-岩相、构造条件、地形地貌特征、水文条件及氧化还原环境等铀矿成矿背景及条件进行研究,得出团鱼山地区具备铀成矿有利条件,中侏罗统石门沟组下段砂岩层段为最有利的目的层,成矿类型为层间氧化带型,建议向南追索层间氧化带,寻找有利靶区。

关键词:团鱼山地区;砂岩型铀矿;成矿条件;有利靶区

中图分类号:P619.4

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2019)04-0232-09

Metallogenic Conditions and Prospecting Target of Sand Type Uranium Deposits in the Tuanyushan Area of Northern Qaidam Basin

LIU Wenjin¹, DANG Hongliang², HUANG Guangnan¹, HUANG Xianhao³,
LIU Binqiang³, ZHANG Yongan¹, WANG Weichao¹, QI Lajia¹

(1. Qinghai No. 105 Coal Geological Exploration Team, Xining 810007, Qinghai, China;

2. Qinghai Geological Survey², Xining 810000, Qinghai, China; 3. School of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The Tuanyushan area has been taken as the research subject in this paper, the previous coalfield drilling data has been systematically analyzed, and the radioactive anomalies have been verified in this paper. And then, the metallogenic conditions of sandstone-type uranium deposits have been discussed, such as uranium source condition, lithology and lithofacies, tectonic conditions, terrain and landform characteristic, hydrogeologic conditions and oxidation-reduction environment. The results show that the Tuanyushan area has favorable conditions for uranium mineralization. According to the metallogenic characteristics of this studying area, it is indicated that the sandstone in the lower member of Middle Jurassic Shimengou Formation is a favorable mineralization horizon, with metallogenic type of interlayer oxidation zone type. Therefore, it is suggested that the interlayer oxidation zone should be pursued southward as a favorable target area.

Keywords: Tuanyushan area, sandstone-type uranium deposit, metallogenic conditions, favorable target area

收稿日期:2019-01-04;修回日期:2019-05-12

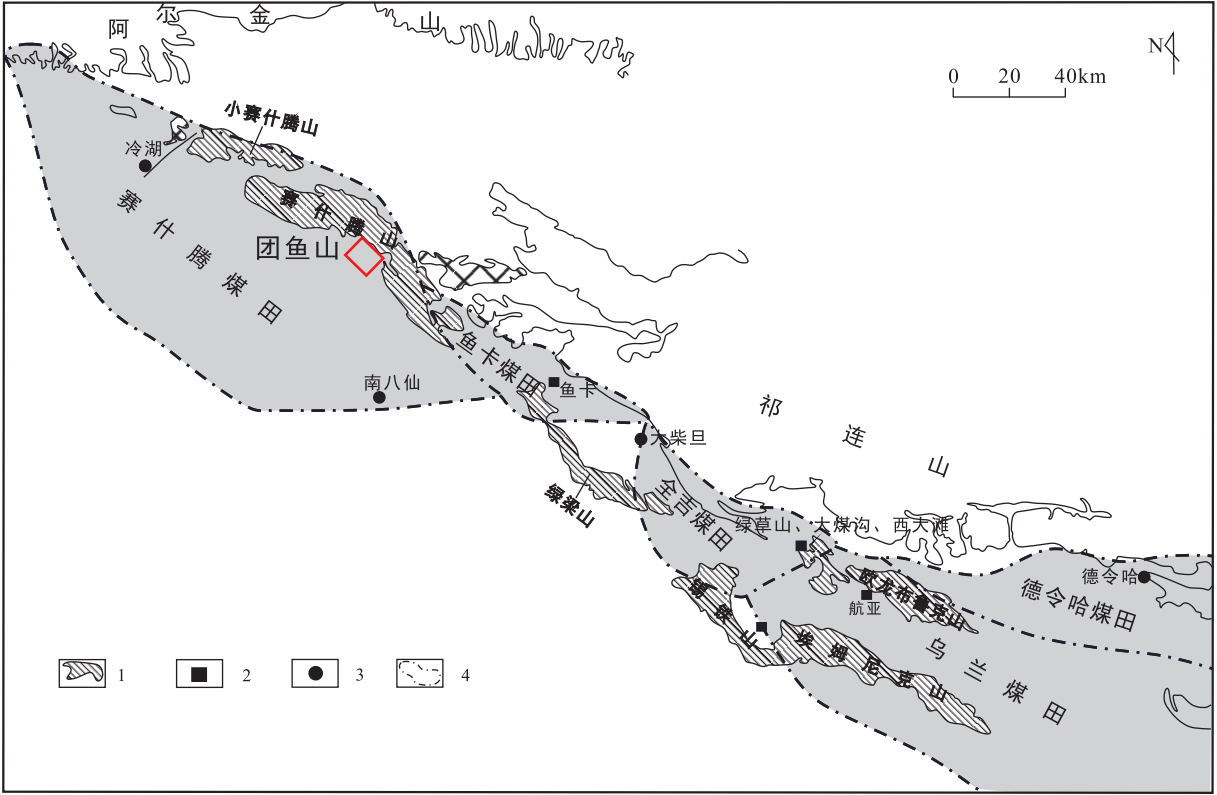
基金项目:中国地质调查局项目《鄂尔多斯周缘盆地群油气基础地质调查》专题《柴达木北缘氦气资源远景调查评价》(编号:121201011000150014-09);中国地质调查局项目《北方重要盆地砂岩型铀矿调查与勘查示范项目》子项目《青海德令哈-赛什腾地区铀矿地质调查》(编号:12120113075900)

作者简介:刘文进(1987-),男,地质工程师,在青海煤炭地质一〇五勘探队从事煤及煤系伴生矿产勘查评价工作。邮箱 E-mail:703992913@qq.com

砂岩型铀矿是最早发现的铀矿类型之一。美国、前苏联开展的砂岩型铀矿调查工作较多,也陆续发现了一系列砂岩型铀矿床。中国的铀矿调查工作开始于 1955 年。从 20 世纪 80 年代开始,中国开始利用地浸砂岩型铀矿理论,在中国北方中新生代盆地开展铀矿调查工作(刘建军等,2006)。柴达木盆地北缘(以下简称柴北缘)能源矿产丰富,长期以来的勘探开发积累了大量的煤田和石油勘探资料。近年来,柴北缘铀矿地质工作不断深入,煤田和石油钻孔资料的二次开发成为铀矿勘探的必要手段。以往煤田工作程度高,通过区内煤田钻孔资料的二次开发,筛选放射性异常钻孔,以异常钻孔为依据,优选有利区进行钻探验

证,并且钻获铀矿化孔,说明区内具备砂岩型铀矿的地质背景及成矿有利条件。本次研究通过分析团鱼山地区砂岩型铀矿成矿条件,分析找矿方向,寻找有利靶区。

团鱼山地区位于柴北缘赛什腾煤田(图 1),从古元古代开始直至近代的新构造事件,经历了多次不同规模的构造演变,造就了区内以北西向为主体的推覆构造体系和山脉展布特征。赛什腾山总体走向北西—南东向,其断裂带及山前拗陷、山间盆地也多为北西—南东向展布。区内基底为上奥陶统浅变质岩系、泥盆系碎屑岩、石炭系灰岩,侵入岩以华力西期花岗岩闪长岩、加里东期闪长岩为主,中生代地层不整合沉积于基底之上。



1. 老山范围;2. 主要煤矿区;3. 主要城镇及居住区;4. 煤田边界

图 1 柴北缘主要煤田分布及研究区位置图

Fig. 1 Distribution of main coal fields in the northern margin of Qaidam and geographical location of the study area

1 成矿地质背景

通过团鱼山地区放射性异常钻孔筛选,结合钻探验证成果可知,含矿目的层为中侏罗统石门沟组,

普遍发育“砂-泥-砂”地层特征;区内北西向断裂发育,不仅控制了区内构造格局,而且提供了有利运移通道。

1.1 地层

据地表及钻孔成果可知,团鱼山地区基底主要

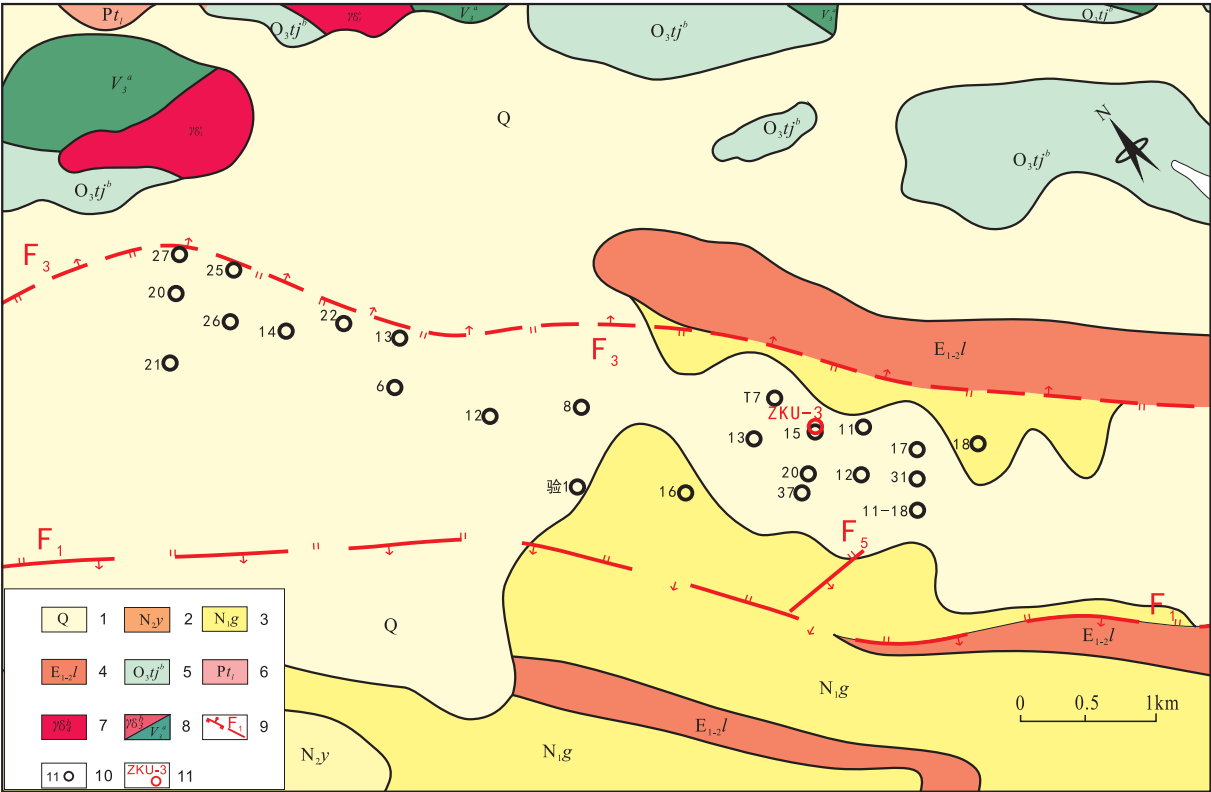
为华力西期花岗闪长岩及古生代浅变质岩系,中生代侏罗系—古近系不整合于基底之上。该区地层由老至新有上奥陶统滩间山群(O_3tj)、中侏罗统大煤沟组(J_2d)和石门沟组(J_2s)、古近系路乐河组($E_{1-2}l$)和下干柴沟组(E_3g)、新近系上干柴沟组(N_1g)、第四系(Q)。中侏罗统石门沟组(J_2s)为区内含矿目的层段,普遍发育河湖交互相“砂-泥-砂”地层和含煤碎屑岩建造。

1.2 构造

断裂分布:团鱼山地区位于柴北缘西北部赛什腾山南麓,属于柴达木准地台的一部分,柴北缘与周

围的构造单元均以大型断裂相隔(刘天绩等,2013;艾桂根,2000)。区内主要发育有北东(F_5 逆断层)和北西(F_1 、 F_3 逆断层)2组断裂(图2),形成了区内“南北分带,南深北浅”的构造格局,同时断裂沟通了不同岩性的地层,为富铀地下水及还原性气体的运移提供了有利通道。

褶皱特征:借鉴前人的研究成果,结合团鱼山地区以往钻探及地震勘探成果,研究区为向南西倾斜的单斜构造,研究区南部受断层影响局部发育小型褶皱,地层走向 $104^{\circ}\sim 156^{\circ}$,走向上倾角由东向西逐渐变缓,倾向上倾角由浅部到深部逐渐变缓。



1. 第四系;2. 新近系油砂山组;3. 新近系上干柴沟组;4. 古近系路乐河组;5. 上奥陶统滩间山群;6. 元古界;7. 华力西期侵入岩;8. 加里东期侵入岩;9. 断层位置及编号;10. 异常钻孔及编号;11. 验证钻孔及编号

图2 研究区断裂发育及异常钻孔分布图

Fig. 2 Fracture development and abnormal borehole distribution in the study area

2 铀矿化特征

通过筛选团鱼山地区放射性异常钻孔,了解区内含矿目的层段,同时能够优选有利靶区进行钻探验证,确定含矿砂体岩性及铀矿化特征,为分析区内砂

岩型铀矿的地质背景及成矿有利条件提供依据。

2.1 放射性异常钻孔

通过对团鱼山地区以往煤田钻孔资料的二次开发,发现赋存放射性异常的钻孔24个,其中潜在工业孔10个,潜在矿化孔14个(图2)。异常钻孔主要集中在 F_3 逆断层以南、 F_1 逆断层以北地区,所对

应的层位全部为中侏罗统,对应岩性主要为粉砂岩、煤层、细粒砂岩及粗粒砂岩等。

横向上选取团鱼山放射性异常钻孔 21、14 和 11-18 共 3 个,并附加了自然伽玛曲线(图 3),对比

分析异常层位及岩性特征。放射性异常层段主要位于中侏罗统石门沟组,稳定发育有 2 层,分别位于 M2~M4 和 M4 底部的砂岩中,该段地层发育稳定,但厚度相对较薄。

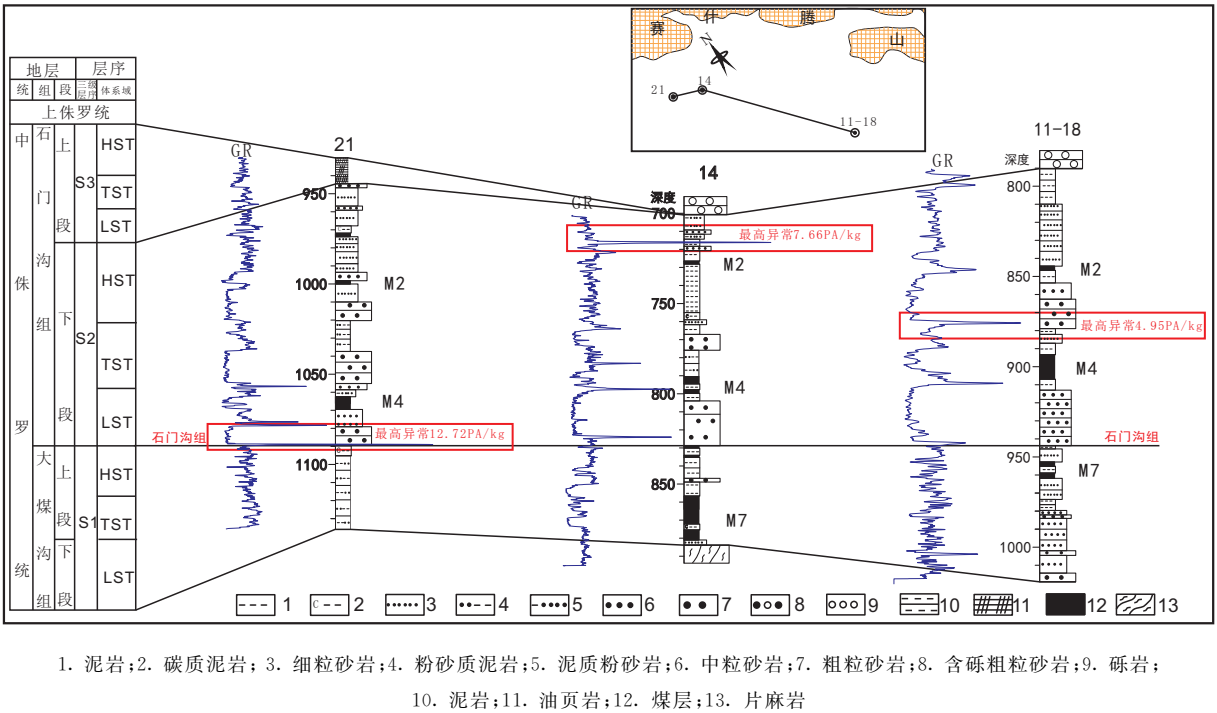


图 3 团鱼山地区横向连井剖面对比图

Fig. 3 Comparison of horizontal well profile in Tuanyushan area

2.2 异常查证情况

2013 年在团鱼山地区完成的 ZKU-3 号孔(图 2)为铀矿化孔,共揭露五段铀矿化层,但揭露的铀矿化层厚度偏薄,单层最厚为 0.3 m,最高品位为 0.023 4%(黄广楠等,2015)(图 4)。所揭露的铀矿化层位于中侏罗统石门沟组中,M2~M4 和 M4 底部共揭露 2 套砂体,砂体厚度分别为 35 m 和 22 m,属较稳定砂体,具有很好的连通性。砂体岩性以含砾中、粗砂岩为主,砂体极其松散、易碎,属强透水。岩色呈黄色、黄绿色、浅灰白色且不含有机质,为典型的氧化砂体特征,显示了非常有利的铀矿化后生改造条件。

3 铀源条件

团鱼山地区施工的 ZKU-3 号钻孔揭露的铀矿化层位于中侏罗统石门沟组中,显示了非常有利的铀矿化后生改造条件;同时通过基岩样品分析和电

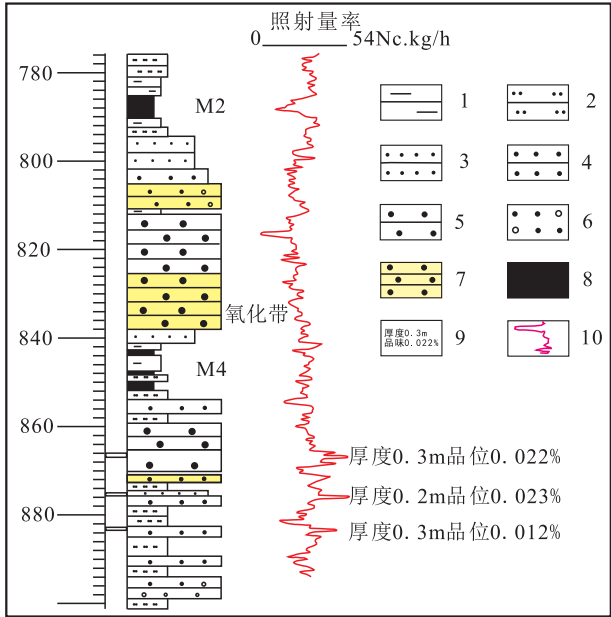
子探针测试可知,团鱼山地区基底及蚀源区具有较好的铀源条件,能够为砂岩型铀矿的形成源源不断地提供铀源。

3.1 基底岩性及测试结果

柴北缘基底岩性具有明显的分区性(刘天绩等,2000),通过出露基岩采样测试,结合以往地质资料分析,团鱼山地区直接基底为上奥陶统滩间山群浅变质岩系,主要以黑云母石英片岩、长石石英片岩、绿泥石片岩、变质火山岩、变质粉砂岩为主;侵入岩主要以加里东—华力西期黑云花岗闪长岩、正长花岗岩、二长花岗岩、闪长岩为主。

通过 67 件基底样品分析测试可知,上奥陶统滩间山群(O_3tj)中 U 含量平均值为 3.06×10^{-6} ,Th 含量为 13.5×10^{-6} ;华力西晚期花岗闪长岩类($\gamma\delta_4$)平均 U 含量为 1.63×10^{-6} ,Th 含量平均值为 6.79×10^{-6} ;加里东期闪长岩类(δ_3)平均 U 含量为 5.83×10^{-6} ,平均 Th 含量为 27.6×10^{-6} ,加里东期

闪长岩类 U 含量较高(刘文进等,2018)。



1. 泥岩;2. 粉砂岩;3. 细粒砂岩;4. 中粒砂岩;5. 粗粒砂岩;
6. 含砾中粗粒砂岩;7. 层间氧化带;8. 煤层;9. 放射性层位厚
度及品位;10. γ 测井曲线

图 4 ZKU-3 号孔柱状与 γ 测井曲线
Fig. 4 ZKU-3 borehole column and γ log curve

3.2 电子探针成果

通过团鱼山地区基岩典型电子探针照片,可以看出含 Th-U 矿物主要以独居石、方钍石、钍石为主,局部见稀土氧化物,多以颗粒状或碎屑状产于石英、长石、绿泥石、磷灰石、云母等矿物边缘的相互接触带附近,表面凹凸不平(图 5、图 6)。不同矿物成分、不同产状样品的放射性元素含量也不同,需要说明的是这些样品的 U 元素含量普遍较高(刘文进等,2018)。

4 成矿条件分析

团鱼山地区岩相-岩性条件为含矿建造形成后层间氧化带发育及铀成矿提供了有利的古气候条件;构造条件提供了有效运移通道;气候与地貌条件为富铀、富氧地表水的渗流提供了有利条件;完善的“补-径-排”系统和有利的氧化还原条件为砂岩型铀矿的形成提供了有利条件(金若时等,2014;张金带等,2005)。以上因素共同影响区内砂岩型铀矿的形成与富集成矿,是确定找矿方向、优选有利靶区的主

要依据。

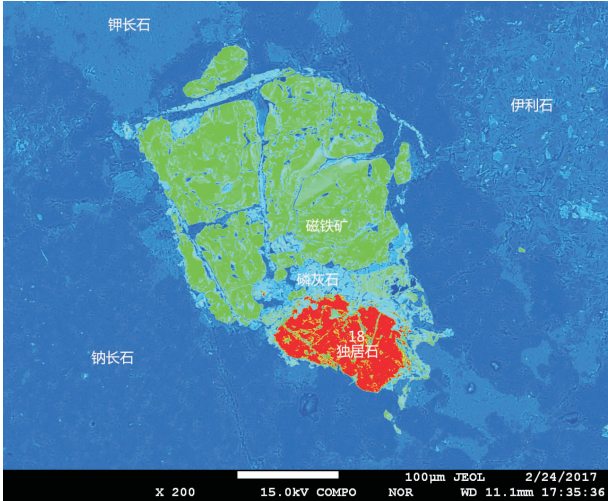


图 5 二长岩 7 号点彩色色相图
Fig. 5 Color phase diagram of No. 7 point of Monzonite

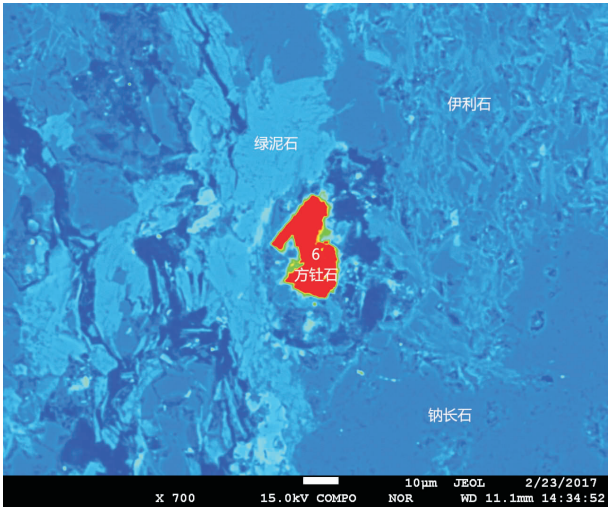
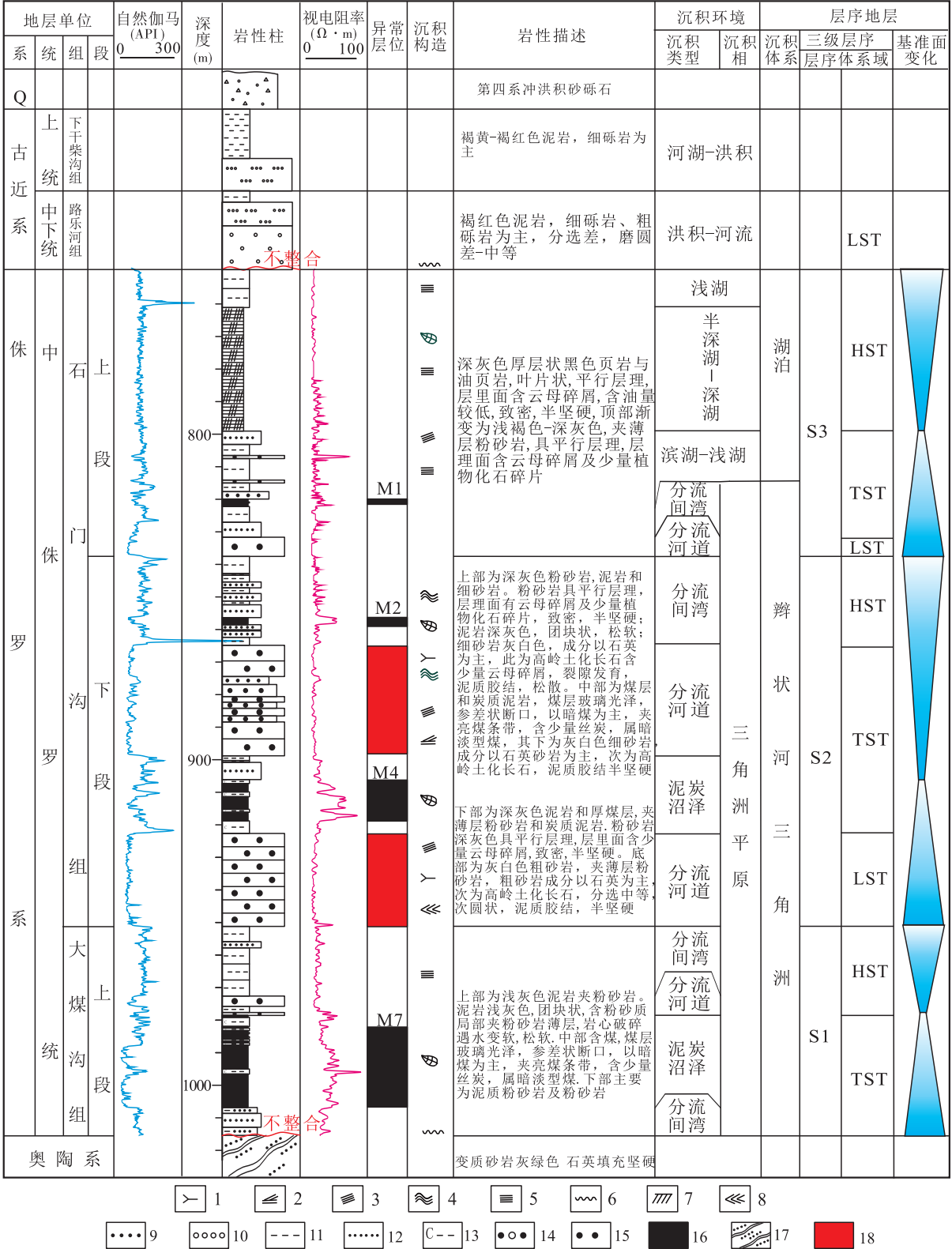


图 6 闪长岩 3 号点彩色色相图
Fig. 6 Color phase diagram of No. 3 point of Diorite

4.1 岩性-岩相条件

盆地结构直观地反映为 3 个结构层和 2 个不整合面(图 7),即基底构造上不整合有主含矿岩系,上覆不整合有陆相红层(艾桂根,2000;黄世杰,1994;党玉琪等,2003)。团鱼山地区中新世地层直接沉积在基底之上,与基底呈不整合接触。后期地下水活动可以将蚀源区、基底及地层中的 U 元素通过不整合面进入目标层段;同时富铀、富氧地表水可以通过地表渗流,借助不整合面运移,在目的层段形成富铀矿床。



1. 植物化石; 2. 斜层理; 3. 平行层理; 4. 波状层理; 5. 水平层理; 6. 不整合面; 7. 板状交错层理; 8. 交错层理; 9. 细粒砂岩; 10. 细砾岩; 11. 泥岩; 12. 粉砂岩; 13. 碳质泥岩; 14. 含砾粗粒砂岩; 15. 粗粒砂岩; 16. 煤层; 17. 变质砂岩; 18. 放射性异常层位

图 7 研究区岩相、沉积相-层序地层综合柱状图

Fig. 7 Composite columnar section of lithofacies, sedimentary facies and sequence stratigraphy in the study area

团鱼山地区主要含矿层段为中侏罗统石门沟组下段,普遍发育“砂—泥—砂”岩性结构,为富铀矿床的形成提供了有利条件。综合区内资料恢复了石门沟组下段岩相古地理(图 8),以辫状河冲积平原、三

角洲平原为主,南部发育三角洲前缘及滨浅湖相,经统计砂泥比平均为 1 : 1,其物源主要来自东北和西北 2 个方向,物源区发育中酸性花岗岩及闪长岩类,具有较高铀丰度值。

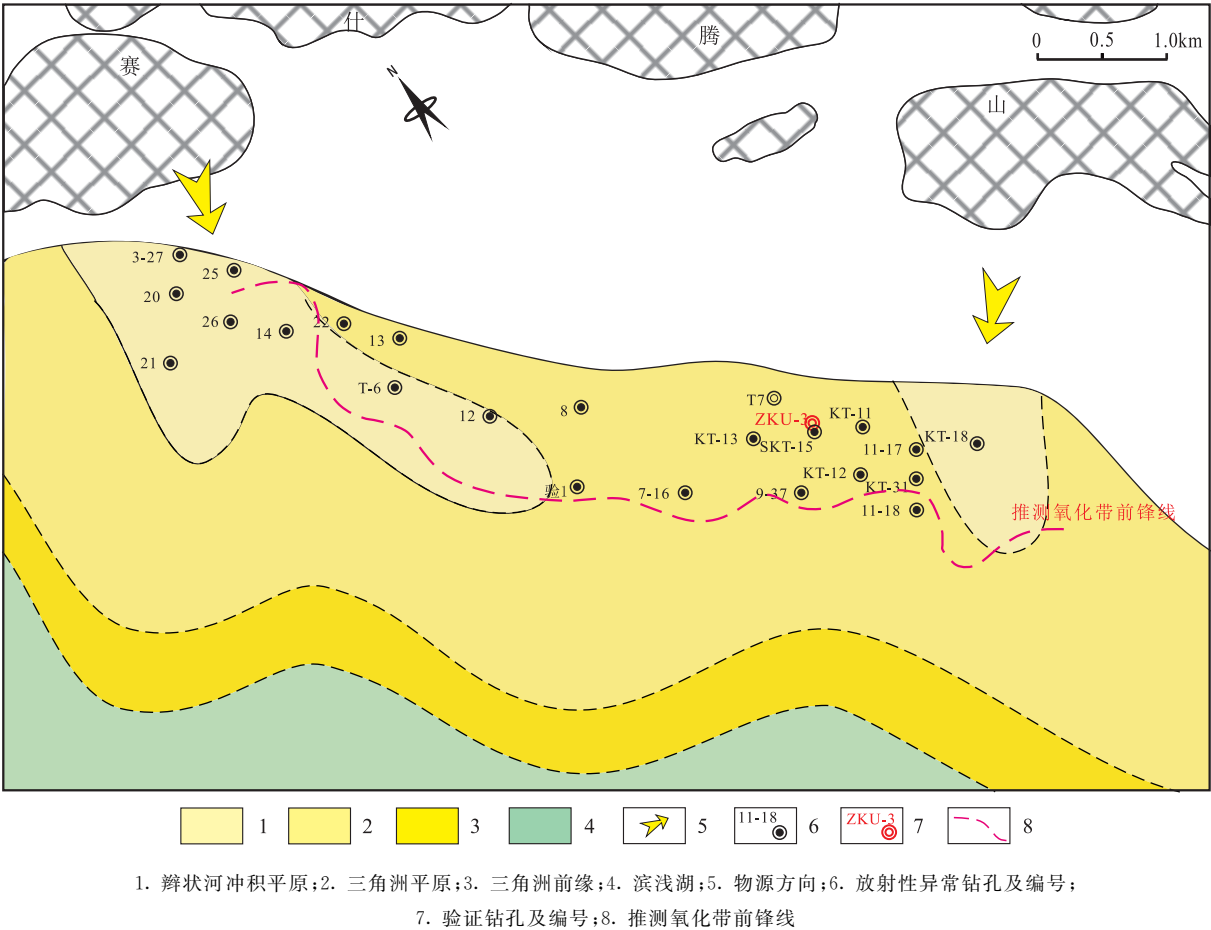


图 8 中侏罗统石门沟组下段岩相古地理图

Fig. 8 Lithofacies paleogeography of the Lower section of Shimengou Formation in the Middle Jurassic

4.2 构造

团鱼山地区为古生代结晶基底之上的中生代盆地,岩层倾角相对平缓,未发生大范围的强烈褶皱作用。研究区是在基岩古隆起背景上发育起来的,主要经历了 2 次拉张—挤压构造旋回阶段。①燕山期断拗—挤压隆升阶段(J_1-K)。②喜山早期断拗、中晚期挤压反转阶段($E-N_2^2-Q$),其中晚喜山运动对本区影响最为强烈。

断裂不仅能控制有利沉积岩相,也能影响后生层间氧化带的展布。团鱼山地区放射性异常钻孔主要分布在 F_1 断层以北, F_3 逆断层以南区域。盆地围岩及基底发育大量富铀的中酸性火山岩及花岗岩

类,基底断裂及区域断裂能够为富铀地下水的运移提供有效通道;同时断裂能够沟通不同地层,为强还原性气体的运移提供条件,形成地球化学障,促使铀还原富集(黄世杰,1994;金若时等,2014),是控制区内放射性异常钻孔分布的主要因素。

4.3 气候及地貌条件

团鱼山地区气候及地貌条件有利于地表含氧、含铀地表水渗流。区内地形北高南低,西高东低,为山前倾斜平原,区内大部为平坦戈壁,植被稀少,有利于大气中氧的渗入,促使层间氧化带的发育(陈戴生等,1997)。无地表长年水流,仅在季节性冲沟内形成暂时性流水,强降雨时易形成山洪,由北向南经

过短暂的径流,渗透补给松散岩类孔隙水。区内存在数个沉积间断,发育多个区域性不整合面,第四系为松散的冲洪积砂砾石层,为地表水渗流提供了条件。

4.4 水文地质条件

完善的“补-径-排”系统,为砂岩型铀矿的形成提供了有利条件。通过区内抽水试验成果可知,北部山区基岩裂隙水是区内地下水的主要补给源,由大气降水和冰雪融水补给,在研究区西南部以上升泉的形式出露。

(1)区内抽水试验结果。根据区内地质资料,结合抽水试验成果可知,团鱼山地区存在5个水文地质构造层。①古生代变质岩类基岩裂隙含水岩组。②中生代中侏罗统岩屑类裂隙水含水岩组,流量0.10 L/s,单位涌水量 q 为0.0029 L/s·m,水质类型为Cl—Na+Ca型,PH值6.60,矿化度8.48 g/L。③新生代古近系路乐河组碎屑岩类裂隙水含水岩组,顶部发育厚层泥岩隔水层。④新生代古近系下干柴沟组为碎屑岩类孔隙水含水岩组。⑤新生代第四系松散岩类孔隙水含水岩组(费得亮等,2015)。其中①古生代基岩裂隙水是研究区主要含水层组,有利于基岩U元素进入含矿目的层段。

(2)具备有利成矿条件的含水层顶底板特征。通过对团鱼山地区资料的综合分析研究认为:中侏罗统石门沟组发育的 $M_2 \sim M_4$ 和 M_4 底部的氧化砂体具备有利的铀成矿条件,为主要的目的层段。该氧化砂体的顶底板均为煤层及泥岩,岩性细腻富含炭屑及有机质,厚度稳定且易对比,隔水性良好。

4.5 氧化—还原条件

有利的氧化还原条件,为砂岩型铀矿的形成提供了有利条件。晚侏罗世开始,团鱼山地区多在干旱的氧化环境下接受沉积,形成广阔的氧化沉积盖层,对研究区岩石 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 的分析表明,大部分层位的 Fe^{3+} 含量高于 Fe^{2+} 含量,具有充分的氧化条件,保证了大量铀离子以铀酰络合物的形式随含氧流体搬运。还原剂是砂岩型铀矿床形成的关键因素,物理吸附是还原反应的先导(闵茂中等,1992;郭庆银等,2005;邢秀娟等,2006)。中侏罗统暗色泥页岩是柴北缘主要烃源岩之一(党玉琪等,2003;李宏义等,2006),团鱼山地区中侏罗统发育厚层的煤层

及暗色泥页岩,同时具备油气异常显示及油砂层段,能够形成有效的地球化学障,为铀的还原成矿提供有利条件。

5 找矿方向

分析认为团鱼山地区放射性异常层段形成的原因有2个。①放射性异常对应的岩性为煤层及泥岩,由于煤层及泥岩本身富含的碳屑及粘土矿物对铀有吸附作用,加之侏罗系本身铀含量偏高,因此造成该异常发育。②侏罗系石门沟组为一套含煤、铀矿碎屑岩系,砂岩、泥岩互层产出,具备典型“砂-泥-砂”成矿有利地层结构,目的层富含有机质,对铀有较强的后生还原能力,同时目的层中普遍发育黄色氧化带,钻孔赋存的异常受氧化带控制。

主要目标层段为中侏罗统石门沟组下段,最主要的找矿标志有2个。①区内煤田钻孔测井所反映的自然伽玛高异常,该异常直接指明了发育的铀矿化层的埋深、厚度、幅值及岩性情况。②目的层中侏罗统石门沟组稳定发育了2套黄色层间氧化带,该氧化带的发育规模东西长近10 km,南北宽近2 km,指示区内具备有利的后生改造成矿地质条件,向ZKU-3号孔以南进行追索应该会揭露更好的工业铀矿化,寻找到有利靶区。

6 结论

(1)通过团鱼山地区煤田钻孔的二次开发,以及铀矿地质调查成果,认为团鱼山地区具备砂岩型铀矿成矿的地质背景,具有良好的找矿前景。

(2)本次对团鱼山地区铀源基础、岩性-岩相、构造条件、气候及地貌特征、水文地质条件以及氧化还原环境进行了系统研究,并对放射性异常钻孔加以验证,认为团鱼山地区具备良好的铀成矿条件。

(3)研究区施工的ZKU-3号孔已经揭露了工业铀矿化层,通过分析,认为该地区具备砂岩型铀矿找矿前景,含矿目的层为中侏罗统石门沟组,成矿类型为层间氧化带型。根据其铀成矿特点,建议向ZKU-3以南追索层间氧化带,寻找有利靶区。

参考文献(References):

- 刘建军,李怀渊,陈国胜. 利用铀油关系寻找可地浸砂岩型铀矿[J]. 铀矿地质, 2006, 22(1): 29-36.
- LIU Jianjun, LI Huaiyuan, CHEN Guosheng. To prospect for ISL-amenable sandstone-type uranium deposit by using the association of uranium with oil[J]. Uranium Geology, 2006, 22(1): 29-36.
- 刘天绩,邵龙义,曹代勇,等. 柴达木盆地北缘侏罗系煤炭资源形成条件及资源评价[M]. 北京:地质出版社, 2013.
- 艾桂根. 柴达木盆地西北部第三系层序地层特征及可地浸砂岩型铀矿找矿方向[J]. 华东地质学院学报, 2000, 23(1): 19-23.
- AI Guigen. Sequence Features Of The Tertiary And Its Prospecting Direction For In-Situleachable Sandstone-Type Uranium Deposit At The Northwe-Or Cai Damu Basin[J]. Journal of East China Geological Institute, 2000, 23(1): 19-23.
- 邢秀娟,柳益群,樊爱萍. 鄂尔多斯盆地店头地区砂岩型铀矿成因初步探讨[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 591-597.
- XING Xiujian, LIU Yiqun, FAN Aiping. Genesis of sandstone-type uranium deposits: A case study in the Dian-tou area of the Ordos basin[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 591-597.
- 黄世杰. 层间氧化带砂岩型铀矿的形成条件及找矿判据[J]. 铀矿地质, 1994, 10(1): 6-13.
- HUANG Shijie. Formation conditions and prospecting criteria for sandstone uranium deposit of interlayered oxidation type[J]. Uranium Geology, 1994, 10(1): 6-13.
- 陈戴生,王瑞英,李胜祥. 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式[J]. 铀矿地质 1997, 13(6): 327-335.
- CHEN Daisheng; WANG Ruiying; LI Shengxiang. Metallogenic medel of the sandstone-type uranium deposits in interlayer oxidation zone of yili basin[J]. Uranium Geology, 1997, 13(6): 327-335.
- 金若时,黄澎涛,苗培森,等. 准噶尔盆地东缘侏罗系砂岩型铀矿成矿条件与找矿方向[J]. 地质通报, 2014, 33(3): 359-369.
- JIN Ruoshi; HUANG Pengtao; MIAO Peisen, et al. Metallogenic conditions and prospecting targeting of the Jurassic sand type uranium deposits on the eastern margin of Junggar Basin[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(3): 359-369.
- 张金带,徐高中,陈安平,等. 我国可地浸砂岩型铀矿成矿模式初步探讨[J]. 铀矿地质, 2005, 21(3): 139-145.
- ZHANG Jindai, XU Gaozhong. CHEN Anping, et al. Preliminary discussion on uranium metallogenic models of China's in-situ leachable sandstone-type uranium deposits[J]. Uranium Geology, 2005, 21(3): 139-145.
- 费得亮. 青海省大柴旦行委团鱼山勘探报告[R]. 西宁. 青海煤炭地质—〇五勘探队. 2015.
- 郭庆银,李子颖,王文广. 内蒙古西胡里吐盆地有机质特征及其与铀矿化的关系[J]. 铀矿地质, 2005, 21(1): 16-22.
- GUO Qingyin, LI Ziyang, WANG Wenguang. Features of organic substances and their relationship to uranium mineralization in Xihulitu basin, Inner Mongolia[J]. Uranium Geology, 2005, 21(1): 16-22.
- 闵茂中,张富生. 成因铀矿物学概论[M]. 北京:原子能出版社, 1992.
- 黄广楠. 青青海德令哈—赛什腾地区铀矿地质调查成果报告[R]. 西宁. 青海煤炭地质—〇五勘探队. 2015.
- 刘文进. 柴达木北缘氦气资源远景调查评价报告[R]. 西宁. 青海煤炭地质—〇五勘探队. 2018.
- 党玉琪,胡勇,余辉龙,等. 柴达木盆地北缘石油地质[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- 李宏义,姜振学,庞雄奇,等. 柴北缘油气运移优势通道特征及其控油气作用[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2006, 31(2): 214-220.
- LI Hongyi, JIANG Zhenxue, PANG Xiongqi, et al. Dominant Migration Pathway and Its Control on Oil-Gas Migration in the Northern Edge of Qaidam Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(2): 214-220.