

论砂岩型铀矿断隆成矿的观点

刘德长，崔焕敏，赵英俊

（核工业北京地质研究院，北京，100029）

摘要：本文专题论述了砂岩型铀矿断隆成矿的观点：包括断隆成矿的铀矿地质遥感证据，断隆有利成矿的原因，断隆成矿观点与传统观点的不同，断隆成矿受控于中国特殊的大地构造背景等。通过上述研究指出，断隆成矿是在中国这块大地上寻找砂岩型铀矿值得重视的区域模式。

关键词：后遥感应用技术；砂岩型铀矿；断隆成矿观点

中国分类号：

文献标志码：A

文章编号：

The Metallogenic Viewpoint of Fault-uplift about Sandstone-type Uranium

LIU Dechang, CUI Huanmin, ZHAO Yingjun

（Beijing research institute of uranium geology, Beijing 100029）

Abstract: In this paper, the metallogenic viewpoint of fault-uplift about sandstone-type uranium was special discussed, the contents contain: the uranium geology remote sensing evidence of fault-uplift mineralization; the favorable factors of fault-uplift mineralization; the difference to the traditional viewpoints; fault-uplift mineralization controlled by the special geotectonic background of China and so on. These research work showed that fault-uplift mineralization is a regional model worth of attention of China.

Key words: post-remote sensing application; sandstone-type uranium; metallogenic viewpoint of fault-uplift

1 引言

在应用遥感技术研究鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿过程中，开拓了“后遥感应用技术”^[1]。

后遥感应用技术是作者对遥感应用进行新思维基础上提出的新理念。其技术内涵是指将遥感技术与传统地学方法和现代信息技术相结合的遥感信息深化应用技术。它强调了遥感技术的应用不仅限于遥感技术本身的应用，还应该包括遥感技术

的延伸应用。

围绕新理念，探讨了后遥感应用技术提出的理论依据、基本内涵、技术构成、研究内容、应用思路和工作程序等，使理念不断完善与系统。同时，开发了 5 项具体技术：①铀资源数字勘查区构建技术；②遥感与其它地学信息集成技术；③地学信息三维可视化技术；④铀成矿过程的计算机模拟技术；⑤虚拟找矿与虚拟勘探技术等。这些技术前后衔接，构成一个整体。在后遥感应用技术的支持下，通过对鄂尔多斯盆地铀矿的研究，提出砂岩型铀矿断块成矿的新理论。该理论包括：①断隆成矿的观点；②构造—地球化学障的控矿模式；③与油气有关的成因类型；④双向思维的找矿判据。其中断隆成矿的观点是该理论的核心。

塔里木盆地与鄂尔多斯盆地相同，同属我国克拉通上的大型盆地，均集铀、煤、石油、天然气多种能源矿产共存成藏。近年来作者等又对塔里木盆地北缘铀成矿区域地质构造背景进行了研究，进一步发现断隆成矿的一些新证据。

在上述研究工作的基础上，本文将从铀矿地质遥感研究的新发现，断隆环境孕育着源—运—聚的成矿条件，断隆成矿强调砂岩铀矿的深部成矿作用，断隆成矿受控于中国特殊的大地构造背景等几个方面对断隆成矿观点进行专题论述。

2 铀矿地质遥感研究的新发现

这里所谓的铀矿地质遥感，即上述后遥感应用技术在铀矿地质领域的应用。换句话说，它不只是遥感技术本身在铀矿地质领域的应用，还包括了遥感技术与铀矿地质的其它方法（地质、物化探、水文等）和现代信息技术（GIS 技术、三维可视化技术、仿真—虚拟技术等）相结合的深化应用。

在应用铀矿地质遥感研究鄂尔多斯盆地和塔里木盆地砂岩型铀矿床和矿化集中区的区域地质构造背景过程中，发现几乎所有的铀矿床和矿化集中区均产于断隆构造及其边缘地带。

（1）东胜铀矿床

通过对鄂尔多斯盆地北部东胜—杭锦旗地区的 ETM 彩色合成图像（图 1）、MODIS 图像以及 MSR 集成图像等多种遥感信息的深入解译和分析发现，研究区较大的线性构造主要有 F1、F2、F3，它们大致均呈 NWW 向平行展布，贯穿整个研究区。

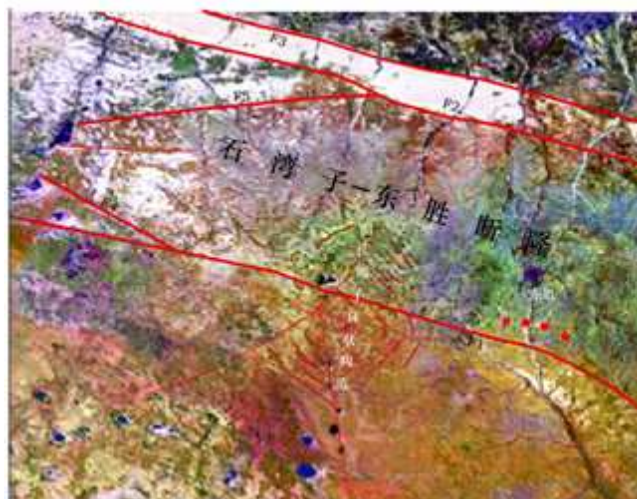


图 1 东胜-石湾子断隆构造遥感影像及解译图

Fig. 1 ETM image of fault-uplift framework in Dongsheng

- ① F1—本害敖包-准格尔召断裂； ② F2、F3—河套断陷南缘断裂；
③ F4—格尔盖-白音森布尔断裂； ④ F5—建设湾-榆树壕断裂。

其中 F3 线性构造为河套断陷南缘断裂，是一条至今仍有明显活动的断裂，影像上明显可见由南向北流入黄河的各大河流经此断裂处，受断裂活动的影响，都发生了弯曲。F2 为鄂尔多斯盆地北部乌兰格隆起北缘断裂，为一条被地震剖面和地表地层逆冲现象所证实的断裂，在 ETM753 影像上表现为南北两侧色调、纹理明显不同的分界。上述两条区域断裂，多见于该区前人研究的地质和地球物理场特征研究报告，是两条已知的区域性大断裂。ETM 遥感图像客观、形象地反映了这一地质上的认识成果。F1 线性构造展布呈 NWW 向，在泊江海子以西除表现为南北两侧色调、纹理的明显分界外，还表现为同方向的山体直线性长距离延伸等影像特征。该条断裂至今未见报导，是本文新发现的一条区域性断裂。野外地质检验表明，沿 F1 线性构造，在东胜南部的念经疙瘩处见有硅化，碳酸盐构造角砾岩；沙沙圪台南面见有第三系与白垩系呈断层接触，断面向南倾，倾角 40° - 50° ，呈正断层性质；在泊江海子西侧的格点尔盖一带地表发现明显的断裂带；在杭锦旗西北侧的阿拉善地区，线性构造表现为南北高差近 40-50 米，延伸 5-6 公里 NWW 向狭窄的地貌陡崖。在对 F1 断裂厘定的基础上，通过对 F1 与 F2、F3 限定地区的 ETM 图像的进一步分析，发现该区的西部发育有 NW 和 NE 向两组断裂（F4 和 F5）。这两组断裂的东侧和西侧在遥感影像上色调和纹理明显不同。这样，由 F1、F2（或 F3）、F4、F5 组成了一个东宽西窄的楔形体。该楔形体上的影像色调和与周围不同，纹理比周围明显发育，反映晚近地质时期，该楔形块体的抬升，并遭受剥蚀，形成独立的断块

隆起。该断隆呈 NWW 向，最宽处约 60 公里，长约 150 公里，在三维可视化图上（图 2）其断隆形态显得更为形象和真切。

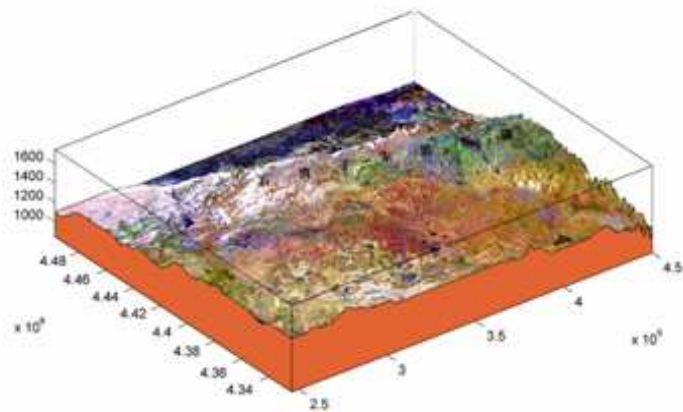


图 2 东胜-石湾子断隆构造遥感三维数据图像

Fig. 2 3D image of fault-uplif framework in Dongsheng

经综合地质、物化探资料分析，该断隆构造是在乌兰格尔隆起背景上发育起来的（图 3）；其上发育三叠—侏罗系的富铀层，是一富铀断块，为该区后期的叠加成矿提供了铀源。

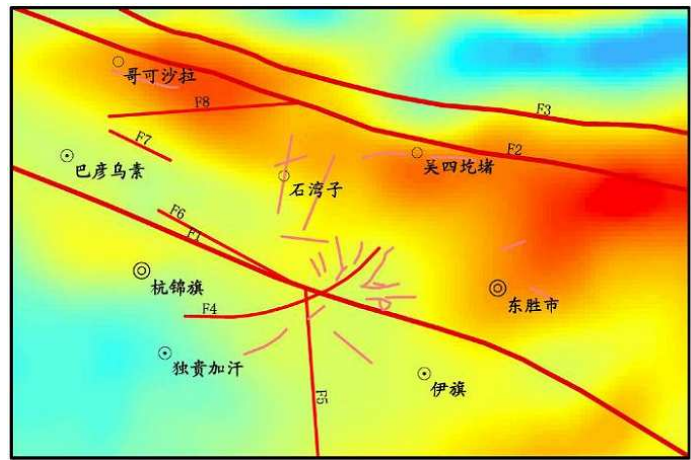


图 3 断隆构造遥感解译与重力信息叠合图

Fig. 3 Remote sensing and gravitational fusion image of fault-uplif framework

（红色代表重力高值，为乌兰格尔隆起；蓝色代表重力低值）

（2）巴什布拉克铀矿床

巴什布拉克铀矿床位于前人所谓的苏鲁切列克地块的南缘，与哈什坳陷北掾相邻的地带。苏鲁切列克地块经 ETM 遥感图像解译，实际上是南天山褶被带中一个被 3 条大断裂切割而成的隆起断块，即三角形的断隆构造（图 4）。断隆的东侧是 NNW 向的查尔干纳右行走滑大断裂；南侧是近 EW 向的天山南缘区域大断裂；西侧是 NE 向的阔普坎塔什断裂。在遥感图像上这 3 条断裂围限范围内的影像色调与

周围明显不同，且地层纹理发育，反映其为一隆升的块体。断隆上分布的地层主要是元古界结晶片岩系，其次是下古生界碳酸盐系和中上石炭统碎屑岩系，局部发育白垩纪地层。从隆起拗陷的相符相成作用和断隆东侧侏罗系断陷盆地的存在可大致判断该断隆构造是从早侏罗纪开始逐渐隆升的。白垩纪沉积时元古界结晶片岩系已大面积剥露出地表，这从侏罗系底部砾岩砾石中结晶片岩砾石少，而白垩系底部砾岩中结晶片岩砾石的大量出现得以佐证。元古界结晶片岩系放射性底数高，一般为13—24 γ ，平均为20 γ ，说明该断块为一富铀断块，为巴什布拉克地区的铀矿形成提供铀源或主要铀源。

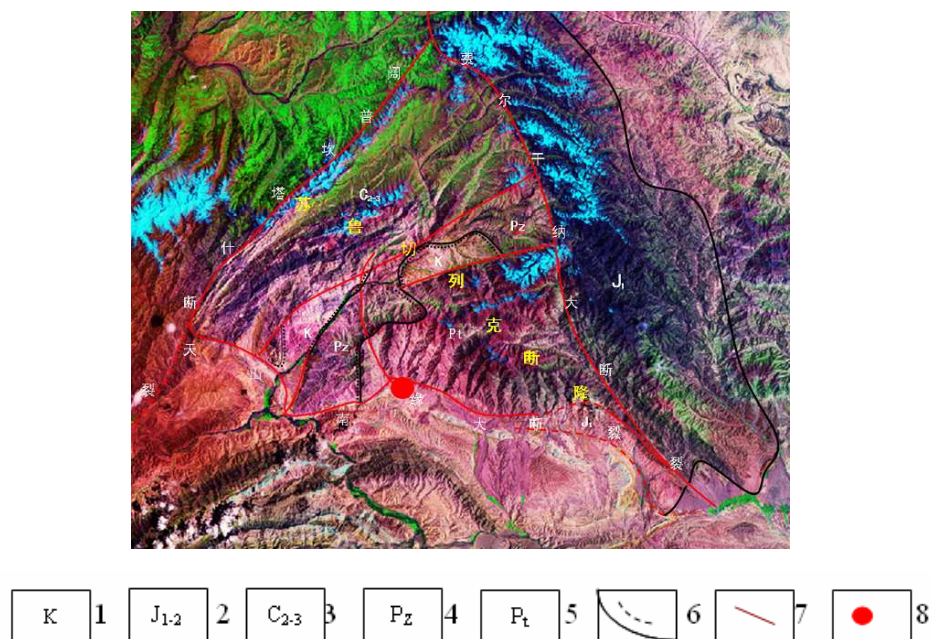


图 4 苏鲁切列克断隆构造遥感及解译图

Fig. 4 ETM image of fault-uplift framework in Suluqielieke

1—白垩系；2—下中侏罗统；3—中上石炭统；4—下古生界；
5—元古宇；6—不整合面；7—断裂；8—矿床

(3) 日达里克铀矿床

日达里克铀矿床位于康村断隆构造的南缘。康村断隆是由 EW 向的塔里木盆地北侧的盆缘断裂和 NEE 向的亚南断裂（二者向东相交）与 NNW 向的阿克苏河断裂围限形成的隆起断块—长三角的断隆构造（图 5）。该断隆构造是在库拜拗陷发生褶皱变形背景上形成的。上新世末的喜山运动使该断块与其南邻的沙雅断块发生了构造反转。构造反转的结果，使上新世以前的塔北隆起下降，其上沉淀了厚约 30—100m 的第四系沉淀物，而库拜拗陷，除拜城向斜继续下降外，整体在隆起。由于隆起，中—新生代的地层被剥露出来，遭受风化剥蚀。所以，以往所指的库拜拗

通过上述铀矿床和矿化集中区的区域构造背景与断隆构造关系的研究,取得如下几点主要认识:(1)中国克拉通盆地或构造活化(大型)盆地的铀矿床和矿化集中区大多分布在断隆构造及其边缘,主要是边缘地带。因此,围绕断隆构造及其边缘是这类盆地区域找矿的主要方向。(2)不同断隆构造的形成背景、演化历史、成矿潜力和成矿前景均不尽相同。当然,断隆有利于成矿,并不是说所有的断隆构造都能形成铀矿。另外,同一成矿断隆构造的不同部位(如内部和边部)成矿环境和成矿条件也会不同。因此,找矿时要对不同的断隆构造和断隆构造的不同部位铀成矿条件进行具体地分析。(3)断隆构造上的铀矿化,既可以是砂岩型的,也可以是碳硅泥岩型的和热流体型的;既可以是新矿化,也可以是老的矿化。即使砂岩型铀矿化,可以是氧化带前锋—地球化学障类型的,也可以是构造—地球化学障类型的,或者是二者叠加复合型的。因此,围绕断隆构造及其边缘找矿,应拓宽找矿的目标类型,开展多目标找矿。(4)根据断隆成矿观点,找矿既要重视盆地边缘,但也不要拘泥于盆地边缘,盆地内部的断隆区也是区域找矿的方向。

3 断隆环境孕育着源—运—聚的成矿条件

断隆构造之所以有利于铀成矿,主要在于断隆的隆升作用,断隆边部有利的沉积环境和断隆边缘贯穿性断裂的构造—地球化学障作用。这些成矿要素在断隆构造及其边缘的有机结合,构成了砂岩型铀矿成矿过程中源—运—聚条件的统一,从而形成有利铀成矿的区域地质构造背景。

(1) 断隆的隆升作用

①断隆的隆升作用,会使深部铀矿床和富铀层被抬升到地表,或者使深部铀矿床得以暴露,易于发现;或者遭受风化剥蚀,为新的成矿过程提供铀源;

②隆升会造成高的地势环境,有利于形成地下水的补给区;

③隆升引起的高位,还会导致油气向断隆方向的运移。

(2) 断隆边缘的沉积环境

断隆边缘是最易形成粗碎屑堆积的沉积环境,粗碎屑的堆积有利于地下水渗透和深部油气等还原性物质的蚀变改造,是有利的赋矿空间,其地层是有利的含矿层。此外,断隆边缘既可能是发育不整合面的环境,又是使不整合面易剥露出地表的地段。不整合面也是有利于深部还原性物质横向迁移,并控矿的一种构造面;由于断隆的隆起和相邻盆地的下陷,在断隆边缘还易形成斜坡带,构成隆起—斜坡带的成

矿格局，有利于层间氧化带类型铀矿的形成。

(3) 断隆边缘断裂的构造—地球化学障作用

断隆构造的边缘 被断裂带控制。当边缘断裂为从地表深切盆基底的贯穿性断裂时，在铀成矿过程中会起到构造—地球化学障的作用。 一是，这类断裂切断地表产生的减压作用，可导致断隆上补给区的含铀、含氧地下水向断裂带定向驱动。二是，它沟通了深部，可以引导地下水、油、气，甚至热流体等还原性物质沿断裂向上运移，在断裂与有隔档层的粗碎屑岩复合地段，与顺该含矿层向断裂定向流动的含铀、含氧水发生还原和酸化作用，导致铀的沉淀富集。三是，切穿地表的断裂还是地下水的排泄带，使“卸货”（铀沉淀）之后的地下水沿断裂不断地被排泄掉，从而保证了含铀、含氧地下水能够源源不断地向断裂与含矿层复合的地段迁移富集。这样便在断隆边缘形成有利成矿的地下水循环系统，控制了铀矿床的形成。鉴于这种地球化学障的形成是由于断裂及其活动引起的，不同于从氧化带进入还原带形成的地球化学障，故命名为构造—地球化学障，其成矿作用成为构造—地球化学障作用。

4 断隆成矿强调构造和深部物质在铀成矿中的重要作用

断隆成矿观点的核心是强调构造（断块构造、断裂构造、环状构造、褶曲构造、层间构造等），特别是深位贯穿性断裂构造和石油、天然气，甚至热流体等深部还原性物质在砂岩型铀矿成矿中的重要作用。因此，该类型铀矿的形成不只是个浅部地质作用成矿过程，而是深部与浅部成矿地质作用整合。从铀源来看，各种途径铀源中的铀均是分散的，只有把各种途径来源的铀聚集起来才能成矿，这就需要地下水的作用。显然，地下水是分散铀迁移富集的载体。但是，只靠地下水的作用，并不能使分散在各种环境下的铀更多的富集在一起，形成大矿。这是因为，地下水无法穿透隔水层，也就无法跨越隔水层，将分散在不同层位的铀富集到一起。但是贯穿性断裂的存在，沟通了深部与浅部各种地层，不仅使石油、天然气等深部物质对地层铀的预富集作用更加有可能，而且使含矿层上下层位中的铀可能进入含矿层。从铀的迁移来看，断裂构造是石油、天然气等深部还原性物质上升的通道，为碱性地下水的产生创造了条件，从而为铀的更易迁移提供了载体；如前所述，断裂构造还是减压带（也是排泄带），促进了含铀地下水向断裂带的定向流动。从铀的沉淀富集机制来看，断裂构造及其上下盘附近，特别是断裂与成矿有利砂体相切地段，

是深部还原性气体相对丰富的地段，从而成为铀成矿富集的地球化学变异地带（还原、酸化），造成向断裂带定向驱动来的含铀、含氧地下水中铀的沉淀富集。

传统找矿理论重视沉积体系和铀矿化特征的研究，但对构造和深部物质运移迹象的研究重视不够。这是因为在国外大地构造背景上总结出的成矿模式（如传统的层间氧化带模式）不涉及断裂和深部物质。实际上，在中国大地构造背景上寻找砂岩铀矿床，要重视这两方面条件的有利配合。所以，该类型砂岩铀矿的找矿，不仅要重视沉积体系和铀矿化特征的研究，而且要重视石油、天然气，甚至热流体等深部物质的找矿信息研究，寻找有利砂体与贯穿性断裂复合，并有油气等还原物质运移迹象（主要是蚀变）和有铀矿化显示的地段。

5 断隆成矿受控于中国特殊的大地构造背景

鄂尔多斯盆地和塔里木盆地的铀矿是产于克拉通（地台）背景上的铀矿。它与伊犁、吐哈等产生于造山带山间盆地的铀矿所处的大地构造背景不同。另外，中国克拉通不同于国外克拉通是破碎、活化的地台。

（1）中国的克拉通远比国外的克拉通（如北美地台、俄罗斯地台、西北利亚地台等）规模小得多（图 7），实际上是一些小块克拉通（准地台）^[2]。

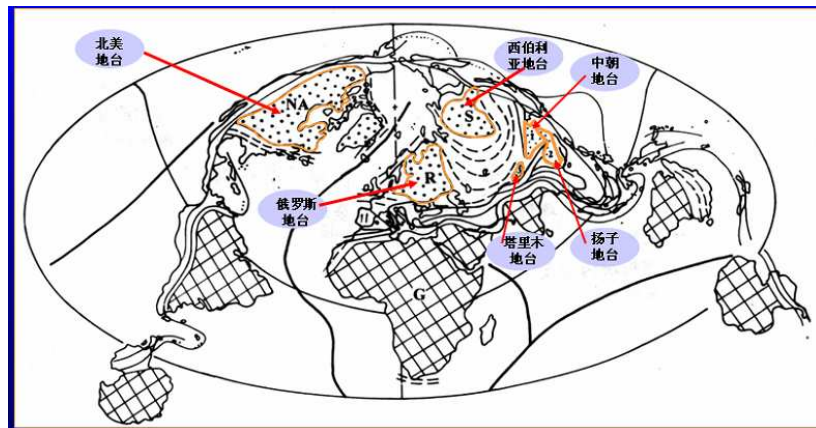


图 7 大西洋（陆）半球构造简图（据任纪舜等）

Fig. 7 Sketch map of fault-uplift framework in Atlantic

（2）中国的地台基底固结时间晚，活动性强。世界大型地台地壳最早固结时间均在含氧大气圈形成之前，构造活动弱，如南非和澳大利亚地台，那里的地壳分别在 3000Ma 或 2500Ma 固结以后即很稳定。南非地台甚至在 3000Ma 前的地层中的细菌、有机质，以及波痕、干裂等保存完好，几乎没有褶皱、断裂，更不要说岩浆活动。中国克拉通最早固结时间是在含氧大气圈形成之后（含氧大气圈的时限以

距今 22 亿年计), 经历了多旋回发展, 活动性大得多, 交替褶皱、断裂和局部岩浆活动^[3]。

(3) 中国的克拉通晚期又经历了构造活化。自晚三叠世时期具有划时代意义的印支运动以来, 先后东面受到太平洋板块, 西南面受到特提斯洋板块和印度洋板块的推挤, 发生了构造化。构造活化的主要标志是断块活动和深部物的上涌。有人形象的比喻“中国地台是个破碎的盘子, 又被踩了一脚(活化)”。在这种大地构造背景上形成的砂岩型铀矿不是受断块构造控制, 就是被断块构造改造(如东胜铀矿床), 很难是国外的那种与断裂和深部物质无关的浅部成矿模式。因此, 断隆成矿是中国破碎、活化克拉通上合乎逻辑的必然产物, 是值得重视的区域找矿模式。

6 结语

1.在砂岩型铀矿找矿中要引进国外的成矿理论和模式, 更要从中国砂岩铀矿的实际出发, 建立我们自己的成矿理论和模式。

2.遥感技术往往能够发现常规地质方法不易发现的地质体和地质现象, 从而有利于地质人员进行创新思维。如果能够将这种思维与铀矿地质的其他信息, 如地质、物化探、水文等信息集成, 将会把遥感的应用“从技术层面提升到科学层面”^[4]。

在成文过程中得到崔欣和张宏光的帮助, 在此深表感谢!

参 考 文 献

- [1] 刘德长, 等。后遥感应用技术研究[M]。北京: 宇航出版社, 2007。
- [2] 任纪舜, 王作勋, 等。从全球看中国大地构造[M]。北京: 地质出版社, 2001。
- [3] 刘德长, 孙文鹏, 等。中国铀矿构造与成矿演化[M]。北京: 原子能出版社, 1991。
- [4] 陈述彭。矿产资源与遥感信息深度开发应用[A], 2007 遥感科技论坛文集[C]。北京: 地震出版社, 2007, 373~375。

作者简介: 刘德长, (1938 年—), 男, 汉族, 陕西三原人, 研究员, 博士生导师, 长期从事遥感技术在铀资源、核军事等领域的应用研究。目前正在从事后遥感应用技术的开拓研究。

E-Mail: liudc@yeah.net