

# 后遥感应用技术研究及地质实践

## ——以东胜—神木地区铀资源勘查为例

刘德长<sup>1</sup>, 叶发旺<sup>1</sup>, 张杰林<sup>1</sup>, 赵英俊<sup>1</sup>  
黄贤芳<sup>1</sup>, 黄树桃<sup>1</sup>, 张静波<sup>1</sup>, 祝民强<sup>2</sup>①

(1. 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 2. 东华理工学院, 抚州 344000)

摘要: 介绍了后遥感应用技术提出的背景及技术构成, 阐述了该技术的研发内容及取得的地质成果。实践表明, 在地质勘查领域, 后遥感应用技术比单一遥感技术具有更大的实用价值和更好的应用效果。

关键词: 后遥感应用技术; 地质勘查; 方法技术开拓; 地质应用效果

中图分类号: TP 79; P 619. 14 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2004)01-0011-04

### 1 后遥感应用技术的提出及技术构成

#### 1.1 后遥感应用技术提出的背景及技术内涵

遥感技术在矿产资源勘查与评价中具有重要的应用<sup>[1~4]</sup>。但是, 随着地质勘查工作的不断深入, 勘查的目标已由地表或近地表矿床转向地下深处的隐伏矿床, 因此, 单靠遥感技术很难完全解决寻找深部隐伏矿问题, 需要将遥感技术与反映深部地质信息的传统地学方法结合起来。另外, 随着现代信息技术的迅速发展, 用传统的技术手段解决资源问题的模式正在改变, 进入了应用现代信息技术与传统地质勘查技术相整合的新时代。鉴于此, 提出了后遥感应用技术。

后遥感应用技术是指将遥感技术与各领域传统方法及现代信息技术相结合的一种信息深化应用技术。其内容涵盖信息处理、信息解译、信息分析、信息表述和信息应用等一整套方法技术系统, 它的目的是最大限度地利用信息资源, 加速遥感信息产业化的进程。

#### 1.2 地质勘查领域后遥感应用技术的构成

针对地质勘查领域, 后遥感应用技术是指: 在信息源上集遥感、地球物理(航放、重力、磁力、地震等)、地球化学及地质等多源地学信息, 在方法技术上集图像处理、GIS、GPS、数据库、三维可视化、虚拟—仿真技术以及传统地学研究方法为一体的信息综

合应用技术。它的最终目标是构建一个虚拟的矿产资源勘查区<sup>[5]</sup>, 以实现矿产资源虚拟勘查。整个技术构成如图 1 所示。

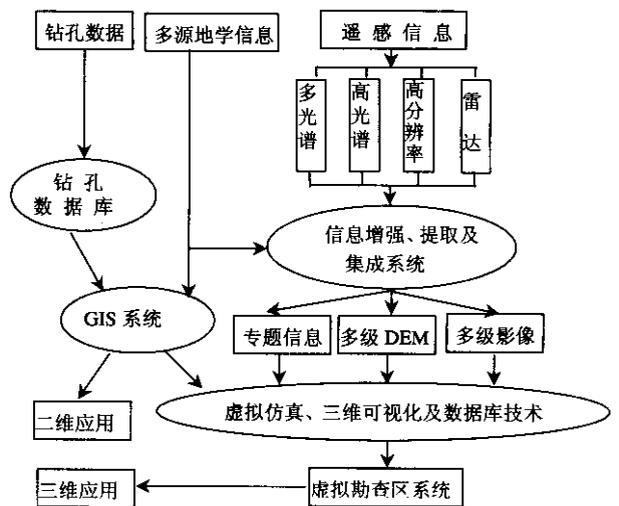


图 1 地质矿产勘查领域后遥感应用技术构成

### 2 方法技术研究

以东胜—神木铀资源勘查区为样区, 开展了方法技术的试验研究, 由于篇幅有限, 仅对目前已开拓的几种方法作一简要介绍。

#### 2.1 铀资源数字勘查区构建技术

构建铀资源数字勘查区的目标是建立一个铀资源勘查区的完整信息模型, 一个三维显示的虚拟铀资源勘查区。其本质就是实现对铀资源的虚拟勘

收稿日期: 2003-07-30; 修订日期: 2004-01-06

① 参加该项目研究工作的还有崔欣、宣艳秀、董秀珍等。

查。建立的数据库系统由 3 部分组成：主体部分为以 ArcInfo 地理信息系统为平台的综合信息库，其它两部分为钻孔数据库和地物波谱数据库，其中，地物波谱数据库为进行高光谱研究服务。该数据库与一般地学数据库相比具有如下特点：①主体部分的信息源主要是以遥感信息及其处理、解译的专题信息为主，其它多源地学信息为辅——体现遥感特色；②数据库内容主要以与铀成矿有关的信息为主，其它地质信息为辅——体现铀资源勘查特色；③更加注重数据库信息的挖掘与多维应用，一是为综合分析评价应用；二是为构建三维虚拟勘查区，探索铀资源的虚拟勘查服务。

### 2.2 遥感与传统地学信息的集成技术

首先是单信息的深化处理技术，以突出某些单信息；然后进行信息集成，以实现信息的优势互补，弥补单信息的不足。在铀资源勘查中，常用的集成技术有遥感与航放信息的集成和遥感与航磁、重力、地震、地化、地质、水文等多源地学信息的集成。

遥感与航放数据(SR)的集成，重点研究光—能谱(MR)集成技术；多光谱遥感、雷达和放射性伽玛能谱数据(MSR)集成技术；高光谱、雷达和放射性伽玛能谱(HSR)集成技术。

遥感信息与其它地学信息集成技术研究，是指对与铀矿勘查密切相关的各种信息的形成机理、与深部铀矿体的联系以及它们之间可能存在的某种关系进行研究。一方面可以为多源地学信息的集成技术提供理论依据，另一方面可以为三维条件下对多源地学信息的关系分析提供技术支持。

### 2.3 地物光谱数据处理技术

地物光谱数据处理技术主要包括数据预处理技术和植被红边参数模型反演技术，其中，后者具有较好的应用效果，其原理是：

“红边”反射光谱曲线(670~800 nm)可用一条半反高斯曲线来逼近，即

$$R(\lambda) = R_s - (R_s - R_0) \exp\{(-1)(\lambda_0 - \lambda)^2 / 2\sigma^2\} \quad (1)$$

式中， $R_s$  为近红外区间反射率(最大值)； $R_0$  为红光区叶绿素吸收率(最小值)； $\lambda_0$  为与  $R_0$  对应的波长； $\sigma$  为高斯模型标准差系数。

公式(1)可变换为

$$Y(\lambda) = a_0 + a_1 \lambda \quad (2)$$

式中， $a_0 = -\lambda_0 / \sigma \sqrt{2}$ ； $a_1 = 1 / \sigma \sqrt{2}$ ； $Y(\lambda) = \{ -\ln(R_s - R(\lambda)) / (R_s - R_0) \}^{1/2}$

由于(2)式为一直线方程，因此，可以采用线性拟合方法来求反高斯模型参数。

利用开发的植被红边参数模型，系统分析了铀

矿区与非铀矿区，不同铀矿区之间的植被红边变异特征，发现铀矿区的植被(沙蒿、小叶草、草苜蓿)在受胁迫作用下比非铀矿区的植被具有红边蓝移(4~5 nm)现象，而不同铀矿区之间的植被参数特征则没有这种变异现象。这一红边参数变化规律为铀资源的快速勘查与评价提供了一种新的技术手段。

### 2.4 钻孔数据自动成图与信息综合分析系统

钻孔数据是铀资源数字勘查区深部信息的主要来源。研究中开发的钻孔数据自动成图与信息综合分析系统具有钻孔信息多维自动成图、分析和三维可视化等功能，可与 GIS 系统进行无缝链接，其成图速度快，分析功能强。

在 300 多个钻孔数据的支持下，利用该系统对东胜—神木地区铀含矿层(直罗组下段)形成的古地貌环境、厚度、产状、含砂量及蚀变类型、铀含量的变化等地质特征进行了研究，为铀资源评价和预测提供了重要依据。

### 2.5 地学数据三维可视化技术

三维可视化技术主要研究了两种三维可视化方法：一是在 MGE 模块化地理信息系统 Terrain Model Analys 模块支持下的可视化技术；二是基于 METLAB 平台的三维可视化技术。采用这 2 种方法对东胜—神木地区的铀成矿深部地质环境和区域深部断块构造背景(主要应用重力延拓数据)进行了三维可视化分析，提高了对上述问题研究的深度和广度。

## 3 地质应用效果

### 3.1 在铀成矿特征分析上有 3 点新发现

(1)发现控制该区含矿层的古河道不是北西—南东向，而是北东—南西向。前人根据含矿层砂体厚度大小圈定了古河道，认为东胜地区的直罗组含矿层的古河道方向为北西—南东向。本研究在分析了该区中—新生代地壳活动以振荡运动为主，未发生褶皱构造变形的前提下，根据钻孔数据库中直罗组下段含矿层下伏延安组顶板高程的属性值，获取了延安组顶部古侵蚀面的高程模型和河流分布图，发现该区控制含矿层的古河道方向不是北西—南东向，而是北东—南西向(插页彩片 4)。

将含矿层等厚度图与古地形图进行叠加，可以看出，含矿层砂体厚度大的地段，处于古地形由陡变缓的地段，该地段的延伸方向为北西—南东向，因此，控制含矿层砂体厚度大的地段总体呈北西—南东向展布。如果按含矿层砂体厚度大的地段圈定古河道，则会认为直罗组下段辫状河沉积的古河道是

北西—南东向。通过上述研究,不仅发现了该区控制含矿层的古河道的方向为北东—南西向,而且对按砂体厚度圈定古河道的传统方法提出了质疑。

(2)发现该区蓝色蚀变带具有更大的找矿价值。经对钻孔资料中岩石蚀变信息的仔细分析和成图,认为该区的气还原色可分为绿色和蓝色两种,绿色呈面状分布,分布范围广,具区域性分布的特点;蓝色呈带状分布,分布范围小,主要分布于东胜矿区近东西向一线,受断裂控制明显。因此,提出绿色与蓝色蚀变可能是两种不同的蚀变,后者迭加在前者之上,比前者具有更大的找矿价值。

(3)发现该区可能存在 2 种不同成因类型的铀矿化:一种是氧化带前锋—地球化学障类型的铀矿化,矿化带呈北西—南东方向展布,受北东高南西低的古地形影响明显,铀矿化分布在黄色(氧化)与灰色(还原)带之间;另一种是构造—地球化学障类型的铀矿化,矿带呈近东西向展布,受近东西向基底断裂控制明显。铀矿体分布在灰色带与蓝(绿)色蚀变带之间。2 种可能成因类型的提出,反映了该区成矿的多样性,也提出了该区的多途径找矿方向。根据目前勘探的结果,构造—地球化学障类型的铀矿化具有工业价值,而氧化带前锋—地球化学障类型铀矿化的工业价值尚待进一步研究。

### 3.2 在砂岩型铀矿找矿思路,提出了构造—地球化学障控矿的新模式

通过遥感、重力、磁力及地震等多源地学信息的综合分析和野外验证,认为东胜地区的工业铀矿化受近东西向基底断裂带控制。该控矿断裂具有如下特点:①处于隆起与下降断块的分界线上;②在深部呈略向东南方向突出的弧形,而在浅部呈略向东北方向突出的弧形;③断面呈波状,总体具有压性(或压扭性)转张性(或张扭性)的力学性质;④具长期活动的特点。

油气微渗漏遥感影像反映出沿断裂有油气渗漏现象<sup>[6]</sup>。矿化地段砂岩中的气液包体、酸解烃等地球化学研究表明,砂岩中存在大量的油珠及一系列还原气体<sup>●</sup>,且富矿岩层烃类含量比其它岩层高。这些均表明沿该基底断裂有油气运移的迹象。油气在断裂附近形成了强还原环境,导出了铀的沉淀富集。由于断裂活动导致油气上升,在断裂附近形成了有利于铀沉淀富集的地球化学障,我们将其命名为构造—地球化学障,它不同于氧化带前锋形成的地球化学障,二者有着不同的控矿模式(图 2),构造—地球化学障控矿模式强调了在区域找矿时,不仅要重视含矿层,而且要重视控矿构造,特别是二者的复合地段。

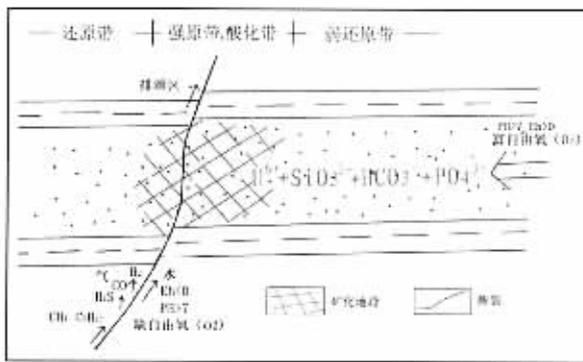
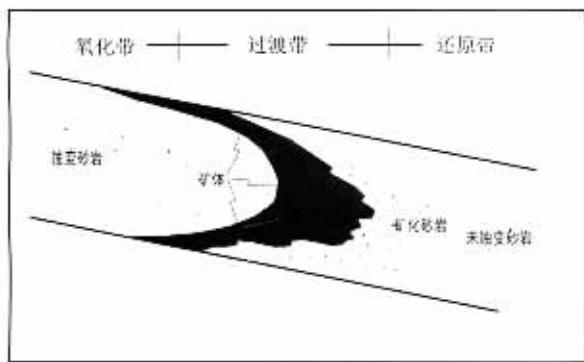


图 2 两种不同成矿模式示意图

左图:氧化带前锋—地球化学障控矿模式;右图:构造—地球化学障控矿模式

### 3.3 在砂岩型铀成矿理论上,提出了断块成矿的新观点

通过对东胜—神木地区铀成矿综合研究认为,传统的层间氧化带型成矿理论难以解释东胜—神木地区的铀成矿问题。这是因为,按传统理论:①铀源主要来自蚀源区;②铀成矿过程是从盆边小幅度抬升和地层的掀斜,自流水机制形成开始的,地层的掀斜最理想的角度是 5°~10°,以利于含铀、含氧地

下水的缓慢流动;③氧化—还原过渡带是铀沉淀的有利场所,矿体位于黄色或红色(氧化)与灰色(还原)带之间,铀矿物主要是 6 价与 4 价铀混合的沥青铀矿。但是,东胜—神木地区的情况是:①自始新世

● 杜乐天,欧光习. 油气在北方砂岩型铀矿形成和找矿中的作用. 核工业地质局生产科研究报告(内部),2003.

开始,河套断陷使蚀源区与成矿区隔离,这些铀源不可能再由蚀源区提供;②地层倾角平均只有 1.7°,显然,这样的角度不利于自流水机制的形成;③铀矿体产于蓝绿色(气还原)与灰色(原生)带之间,铀矿物主要是 4 价铀的铀石,与铀石共生的有硒铅矿(PbSe),这表明,铀矿化不是形成于氧化—还原过渡带,而是形成于强还原环境。

为此,对东胜—神木地区区域构造环境进行了研究,提出了该区地质构造环境为振荡运动背景上的断块构造格局的新看法。从断块成矿观点看,由于断块的差异运动和断裂的活动,铀源可以来自蚀源区,而来自含矿层本身或含矿层之下的含铀地层,或兼而有之;成矿过程中自流水机制的形成主要不是靠地层掀斜和重力作用,而是靠断裂的减压作用,使压力高处的含铀、含氧地下水向压力低的方向流动。因此,地层掀斜角度不一定要 5°~10°,可以近于水平;铀的沉淀富集不是形成于氧化—还原过渡带,而是形成于强还原环境,这是由于断裂活动沟通了地下深部的还原性气体形成的。

东胜—神木地区的铀矿产于断块构造地质环境中,反映了地台区断块构造环境是一种铀成矿的重要构造环境。它不同于产于造山带或次造山带(如伊犁盆地、吐哈盆地)的铀矿床,具有自己的特色。这些特色在某些方面冲击了砂岩型铀矿成矿的传统理论和模式。断块成矿观点的提出和研究表明,在

不同大地构造背景下,铀的成矿模式可能不同,断块成矿是值得重视的一种铀的成矿模式。

在上述研究基础上,建立了该区的找矿判据,强调了在铀资源勘查中,要加强断裂构造的研究,提出了含矿层、构造—地球化学障、蚀变及铀矿化特征为该区,甚至是鄂尔多斯盆地铀成矿预测的 4 大主要判据。据此,预测了 3 片成矿远景区,并对各预测区的成矿有利条件和不利因素进行了具体评估。

致谢:杜乐天研究员、崔焕敏研究员、陈代生研究员和余达淦教授以他们的智慧和实际工作为该项研究做出了贡献,在此深表感谢!

参考文献

[1] 刘德长,孙茂荣,等.以航空放射性测量为主的多源信息综合技术及应用[J].中国科学辑,1993,23(6):659-664.  
 [2] 刘德长,何建国,等.航天遥感图像应用途径的新扩展——光—能谱集成图像在铀资源勘查中的应用[J].北京地质,1997,9(3):11-15.  
 [3] 黄贤芳,等.覆盖区与铀矿化有关的遥感信息解译[J].国土资源遥感,1993,(3):41-45.  
 [4] 祝民强,余达淦,等.内蒙古巴彦塔拉盆地构造与铀矿化的遥感地质研究[J].国土资源遥感,2002,51(1):9-14.  
 [5] 刘德长,赵英俊,等.核工业铀资源勘查遥感应用的创新与数字勘查技术系统.国外铀矿地质[J].2002,19(3):152-156.  
 [6] 祝民强.基于 GIS 的砂岩型盆地铀矿多源信息集成评价技术研究[D].核工业北京地质研究院博士学位论文,2002.

RESEARCH ON THE POST—REMOTE SENSING APPLICATION TECHNOLOGY AND ITS GEOLOGICAL PRACTICE: A CASE STUDY OF URANIUM RESOURCE EXPLORATION IN DONGSHENG—SHENMU AREA

LIU De—chang<sup>1</sup>, YE Fa—wang<sup>1</sup>, Zhang Jie—lin<sup>1</sup>, ZHAO Ying—jun<sup>1</sup>, HUANG Xian—fang<sup>1</sup>, HUANG Shu—tao<sup>1</sup>, ZHANG Jing—bo<sup>1</sup>, ZHU Min—qiang<sup>2</sup>  
 (1, Beijing Geological Institute of Uranium, Beijing 100029, China; 2. East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

**Abstract**: In this paper, the authors deal with the aim and significance of the post—remote sensing application technology (PRSAT) and describe its content as well as the achievements it has made. Practice shows that the post—remote sensing application technology has greater utilization value and application effect than the single remote sensing technology. The idea of the extension of remote sensing application derived from PRSAT is also worth consideration in other research domains of earth science.

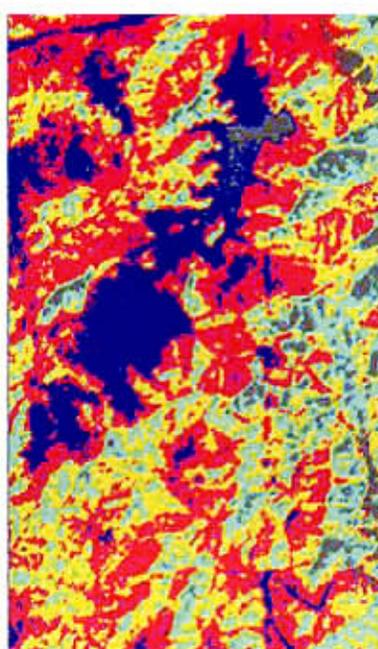
**Key words**: Post—remote sensing application technology; Geology exploration; Development of method and technology; Effect of geological application

第一作者简介:刘德长(1938—),研究员,博士生导师,主要研究方向是遥感技术在铀矿地质和军事领域中的应用。

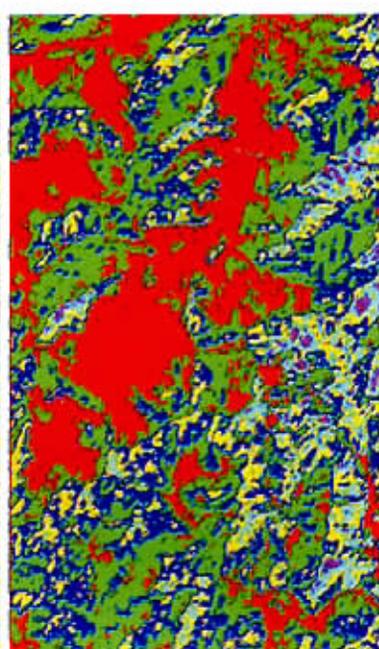
(责任编辑:刁淑娟)



彩片1 大气校正后的 Hyperion 影像



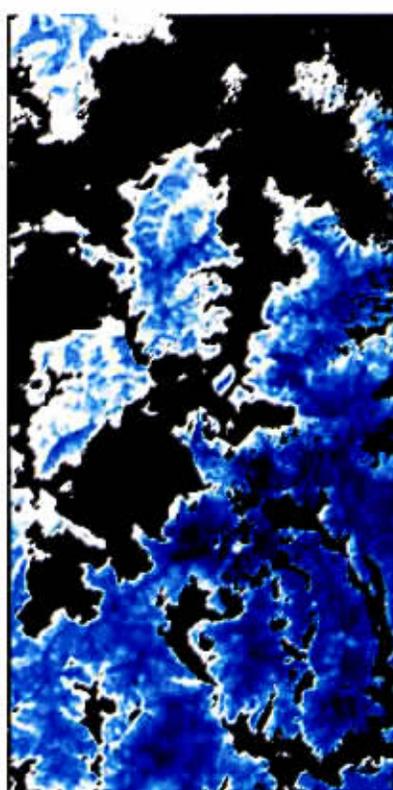
无植被区 701-705nm  
706-710nm 710-725nm



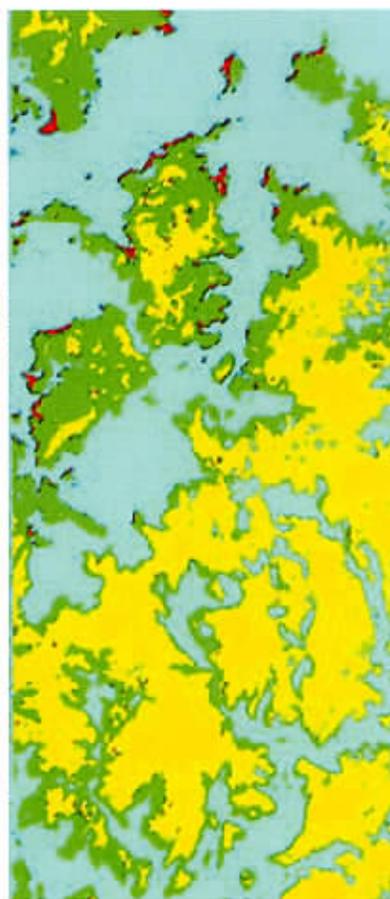
无植被区  
705-707nm  
708-709nm  
710-711nm  
712-713nm  
715-716nm  
其它 >717nm

彩片2 矿区植被红边位置信息图

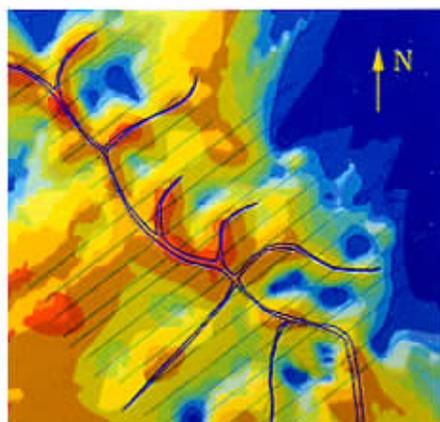
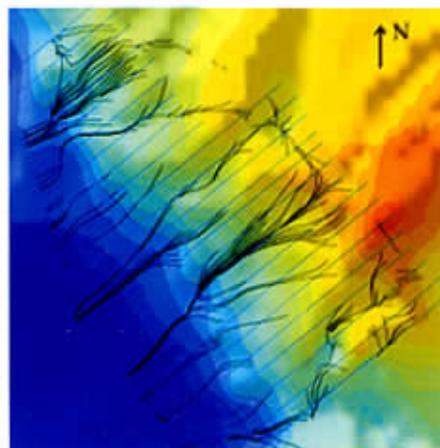
(左: 植被一阶微分红边位置; 右: 植被 Lagrangian 插值红边位置)



长势差 好



彩片3 植被最大吸收深度信息图 (左: 吸收深度; 右: 密度分割)



彩片4 不同方法圈定的古河道

(上: 根据砂体厚度大的地段圈出的古河道及流向;  
(彩片4 见刘德长,等一文) 下: 基于延安组顶面古地貌的古河流流向)