

应用定量颗粒荧光技术研究岩性油气藏的 隐蔽输导通道

陈冬霞¹⁾, 庞雄奇^{1,2)}, 张俊¹⁾, 李明刚¹⁾

1) 中国石油大学教育部石油与天然气成藏机理重点实验室, 北京, 102249

2) 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京, 102249

内容提要:应用定量颗粒荧光技术对东营凹陷牛庄洼陷5口井101块沙三段致密储层、薄层粉砂岩进行了定量荧光QGF-E和QGF分析。分析表明,牛24、牛83、牛876、王550、牛872等5口井致密薄储层颗粒具有相对较高的荧光,显示这些较致密的粉砂岩为过去或现在的油气运移路径/运载层,表明致密砂岩、粉砂岩、薄层砂岩可作为烃类运移的通道。这类薄层隐蔽输导通道为深凹带牛庄洼陷深部沙四段上亚段烃源岩生成的油气进入无断层切割的沙三段中、下亚段的砂岩透镜体而成藏提供了重要的依据。该研究结果对于东营凹陷正在进行的隐蔽油气藏成藏机理的研究可能具有重要意义。

关键词: QGF; QGF-E; 定量颗粒荧光; 隐蔽输导; 岩性油气藏; 东营凹陷

中国陆上油气勘探已进入岩性地层油气藏勘探的重要阶段,岩性地层油气藏占剩余资源的42%,且在大部分盆地中已成为近年储量增长的主体(Jia et al., 2004)。特别是东部中—高成熟的断陷盆地中,岩性油气藏在新发现的油气田数量和规模上逐渐增大,已成为增加油气储量的重要方向,如辽河西部凹陷岩性油气藏(单俊峰等, 2005)、松辽盆地南部岩性油气藏(关德师等, 2003)、松辽盆地北部岩性油气藏(蒙启安等, 2004; 冯志强等, 2006)、济阳拗陷岩性油气藏(赵乐强等, 2005)等。按照胡见义等(1986)的定义,岩性圈闭是指在沉积作用或成岩及其后生作用下,使储集岩体的岩性或物性发生突变,被不渗透层所包围或遮挡而形成的圈闭。目前发现的岩性油气藏主要有3种成藏模式:上生下储式,即上部生成的油气通过断裂和裂缝向下运移到岩性圈闭中成藏,如松辽盆地北部的扶杨油层(蒙启安等, 2004);自生自储式,源岩内生成的油气可直接通过孔隙或裂缝作为短距离的输导通道直接运移至砂岩透镜体圈闭中(张云峰等, 2000),在毛细管力、烃浓度引起的压力梯度作用下,引导油气聚集成藏(陈冬霞等, 2004, 2006),如济阳拗陷沙三中、下亚段的岩性油气藏、松辽盆地北部的葡萄花油层、松辽盆地南

部岩性油气藏、辽河西部岩性油气藏等;下生上储式,油藏与烃源岩之间通常由断层沟通,深部烃源岩在浮力和异常高压作用下,向浅部运聚成藏,如济阳拗陷沙三上亚段、沙二段岩性油气藏、松辽盆地北部的黑帝庙油层等。

长期以来,一直认为济阳拗陷牛庄洼陷沙三中亚段岩性油气藏为自生自储式(王捷等, 1999),油气主要来自沙三段(张春荣, 1989)。但根据最新研究,深洼区岩性油气藏的油气成因可能较复杂。分析原油的低Pr/Ph值(<1)、含丰度较高的甾类化合物及伽玛蜡烷、具低四环萜烷/三环萜值等特征与沙四上亚段烃源岩相似,反映沙四上亚段烃源岩的成烃贡献,原油中相对较高的4-甲基甾烷含量反映沙三下亚段烃源岩有所贡献^①。这一新发现表明,牛庄深洼带的沙三中亚段的岩性油气藏的油气部分来源于更深的层位(卓勤功, 2005),也同时具有下生上储的特征。但关于这种油气藏的油气运移路径和输导方式还不清楚。目前有两种假说,沙四段成因油气在浮力作用下通过深切断层向上运移,并在途中与沙三下亚段成因油气混合,可在沙三中亚段及其上部层系形成构造-岩性油气藏;或通过隐蔽输导体系进行运移成藏,隐蔽输导通道可为薄层砂体、大断裂

注:本文为国家自然科学基金项目(编辑 No. 40172057)资助的成果。

收稿日期:2006-12-15;改回日期:2007-01-12;责任编辑:周健。

作者简介:陈冬霞,女,1974年生。博士,2003年毕业于石油大学(北京)。主要从事油气成藏机理方面的研究工作。通讯地址:102249,北京昌平,中国石油大学资源与信息学院;电话:010-89733423;Email: lindachen@cup.edu.cn。

附近的小断裂、裂缝、干酪根有机网络等。沙三中亚段沉积时期牛庄洼陷处于断陷湖盆强烈下陷期,除了在洼陷的边缘发育了两个断裂系统外,即中央隆起带与洼陷的分界断层及洼陷与南部缓坡带的分界断层,洼陷内部仅发育次级断层,其长度约1.5~6.0 km,断层落差仅30~50 m。对于深洼区的岩性油气藏来说,深部沙四段上亚段烃源岩生成的油气是如何穿过几十甚至几百米泥岩、油页岩等地层进入无断层切割的沙三段中、下亚段的砂岩透镜体而成藏的呢?笔者认为,隐蔽输导体系在这种情况下可能起着不可忽视的重要作用。但目前的难点是,如何检测这些隐蔽输导体系是否构成了油气输导的通道?本次研究选用胜利油田牛庄洼陷砂岩及其包裹体样品,应用定量颗粒荧光技术对致密储层、薄层粉砂岩进行QGF-E和QGF检测,用于储层含油气性、隐蔽油气藏输导通道的研究。

1 定量颗粒荧光技术简介

定量颗粒荧光技术(颗粒包裹烃定量荧光分析QGF—Quantitative Grain Fluorescence和储层颗粒吸附烃和非烃定量荧光分析QGF-E—Quantitative Grain Fluorescence on Extract)主要应用于储层油气运移通道与古油水界面的研究(Liu et al., 2003, 2005; 姜振学等, 2006)。定量颗粒荧光技术(QGF)使用短波长的紫外光对储层岩石颗粒进行照射激发,通过测量岩石颗粒表面及岩石内部包裹体中烃类流体发出的荧光强度来确定古油柱的位置或判断是否为油气运移通道。QGF测定使用的是经过粉碎和清洗过的干燥的储层岩石颗粒样品(Liu et al., 2003, 2005)。QGF-E分析主要有两个参数,即QGF-E强度(1.2 g样品在20 mL DCM中萃取物的最高荧光强度值)及与之相对应的发射光波长 $\lambda_{\max}$ 。储层岩层表面的有机吸附物主要是通过物理与化学作用吸附在矿物表面,主要为吸附能力较强的极性化合物、脂肪烃和芳烃。不同的芳烃与极性化合物具有不同的光谱特征,单环芳烃如苯主要发射光谱峰为287 nm,二环芳烃主发射峰波长为320~325 nm;三环有两个发射峰,波长分别为320 nm和365 nm;四环的双峰波长分别为320 nm、365 nm;极性化合物主发射峰波长为370 nm。稀释原油的主要发射峰分别位于320 nm和365 nm处,代表芳烃和极性馏分。样品QGF-E强度的高低是原油/有机化合物浓度的反映。对济阳拗陷地区13口井182个样品的分析结果统计表明,油层的QGF-E

值一般为40~1000 pc,水层样品一般为4~21 pc,低一个数量级,而油层的QGF值一般 >4 pc,水层样品一般 <4 pc^①。

2 样品与实验

2.1 样品

东营凹陷沙三中、下亚段沉积时期沉积物源丰富,沉积时期湖平面频繁波动,湖岸线进退交替变化,导致纵向上砂泥交互沉积,形成了为数众多的砂层组,洼陷中发育了大量的滑塌成因的薄层浊积砂岩,由于砂体厚度太小,在砂泥岩界面处往往泥质含量和碳酸盐含量均比较高,因此物性条件较差,导致其基本是干层或水层。统计的东营凹陷岩性圈闭厚度、面积与充满度的关系来看,砂体厚度 <2 m、面积 <0.3 km²的砂体充满度 $<25\%$,并且大部分为落空砂体,可见薄层砂成藏的可能性较小。如从河122井—王65井东西向油藏剖面中可以看到(图1,剖面位置见图2),剖面经过的6口井发现了几十个有一定规模的砂层,如果加上目前地震技术无法识别的应当有上百个砂体。显然,剖面上厚度比较大、延伸面积比较远的砂体充满度高,如牛871井埋深最大的沙三中亚段6砂层、牛873井埋藏较浅的4砂层组砂体以及牛872井5砂层组中最大的砂体等;而厚度相对小一些的砂体充满度中等,如牛872井与牛873井之间的半充满的砂体等;而厚度较薄的砂层充满度低甚至为落空砂体,如牛872井4砂层组的砂体及牛873井5砂层组的砂体等。但是这些薄层砂是否可以成为油气运移的通道,或沟通小断层或沟通裂缝,成为其周围物性、保存条件较好的砂体的油气输导通道呢?

本次研究在东营凹陷牛庄洼陷5口井取101块样品进行分析,具体包括牛24井、牛83井、牛876井、牛110井和牛112井,样品分布的位置如图2所示。样品大部分来自深洼陷区的致密的砂岩和粉砂岩储层,层位为新近系沙河街组沙三中、下亚段。

2.2 实验方法

取少量碎屑岩储层样品(岩心或岩屑)研磨过筛,取近2 g的24~80目粒径的砂粒,用20 mL二氯甲烷(DCM)浸泡,用超声波振荡10 min,倒掉溶剂;待溶剂挥发干,加40 mL浓度为10%的双氧水(H₂O₂),超声波振荡10 min,静置40 min,再振荡10 min,用蒸馏水洗净;加入40 mL浓度为3.6%的盐酸,放置10 min,其间不时搅拌,然后用蒸馏水洗净;干燥器烘干($<60^{\circ}\text{C}$);显微镜下观察样品是否为

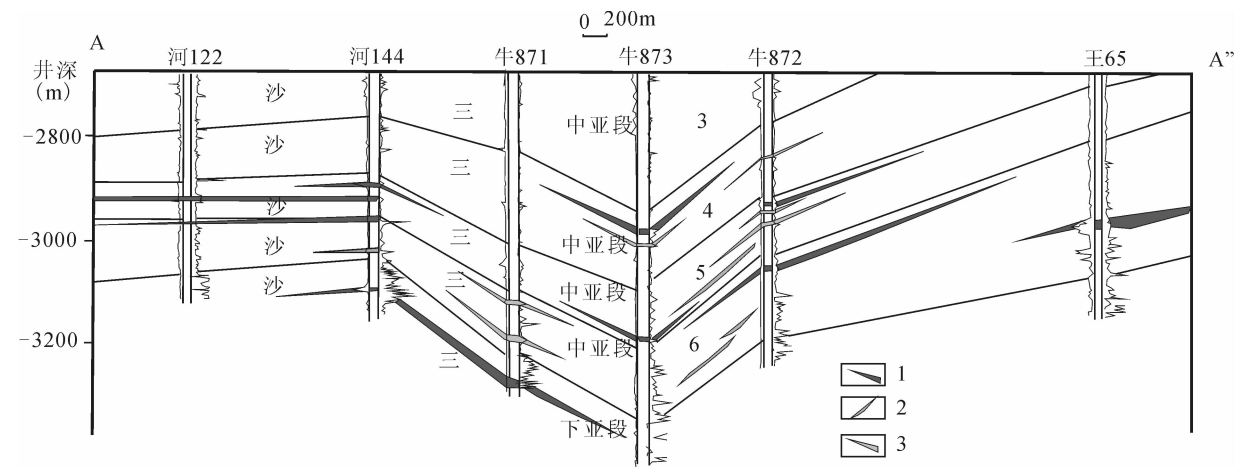


图 1 河 122—王 65 近东西向油藏剖面图

Fig.1 Reservoir section of Well He122 —Well Wang65

1—饱含油砂体；2—半充满砂体；3—落空砂体

1—Oil full-filled sand；2—oil half-filled sand；3—water filed sand

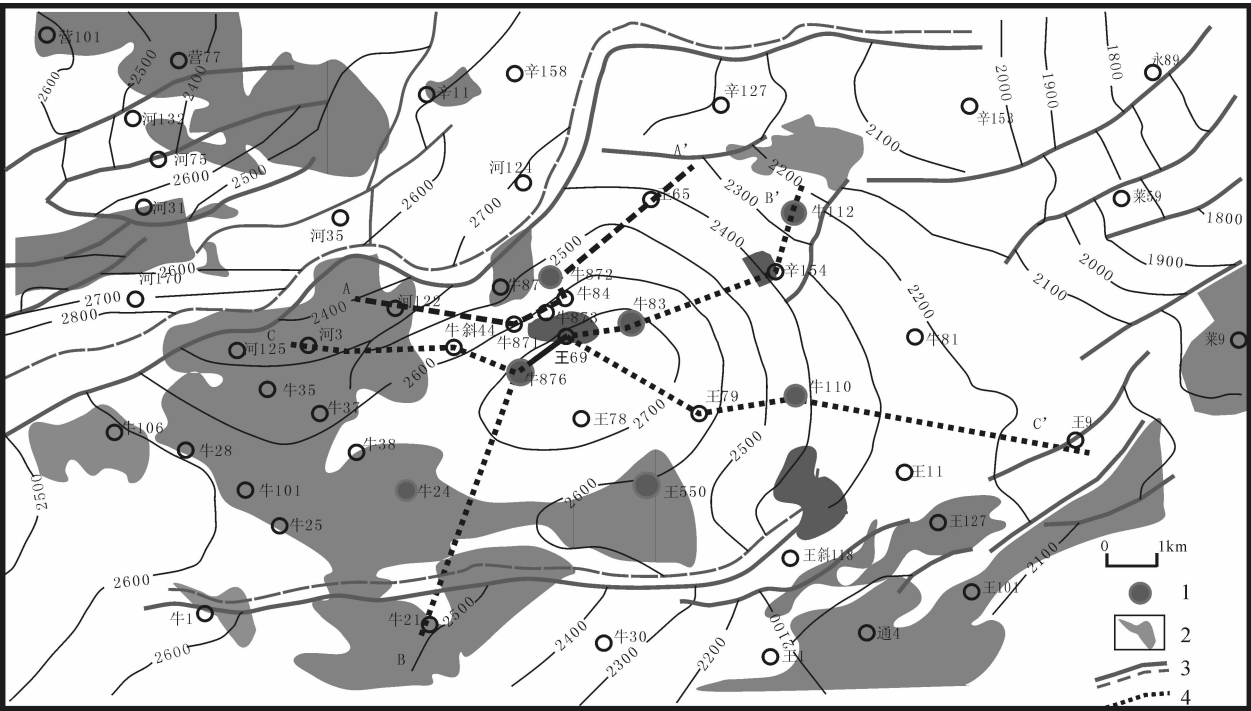


图 2 东营凹陷牛庄洼陷勘探形势图及样品点分布位置图

Fig.2 Petroleum exploration Sketch of Niuzhuang sag and samples location

1—取样井点；2—油藏；3 断层；4—剖面位置

1—Sample well；2—Reservoir；3—fault；4—location of cross section

单个粒径适中的颗粒,并进行选样;加入 20 mL 二氯甲烷,超声波振荡 10 min,将溶液部分进行荧光扫描(QGF-E 分析)。而固体颗粒的全扫描荧光定量分析也可称为 QGF 分析。

2.3 实验结果

2.3.1 储层吸附烃 QGF-E 指纹特征

东营凹陷牛庄洼陷牛 24 井、牛 83 井、牛 110 井和牛 112 井的储层砂吸附烃荧光指纹特征如图 3 所示。牛 24 井所有井点的粉砂岩样品的 QGF-E 值均

较高,均大于40~100 pc,个别样品的荧光强度值达到909.6 pc,峰值出现在350~450 nm波长范围内。牛83井除了3个井点因为岩性致密,为粉砂质泥岩段检测到的荧光值较低,其他大部分层段粉砂岩样品中也检测到了较高的荧光强度值;牛876井3373.69 m的荧光强度为178.7 pc;这几口井的荧光强度较高,说明其含油级别高。但牛110井和牛112井点的粉砂岩样品中检测到的荧光强度相对较低,虽然个别井点也超过了900 pc,几个井点的荧光强度值甚至小于40 pc,说明这两口井的含油级别较低。

2.3.2 储层颗粒包裹烃 QGF 指纹特征

牛庄洼陷几口井的储层包裹烃的QGF光谱指纹图如图4所示。姜振学等(2006)研究表明古油层具有较特征的QGF光谱范围,在375~475 nm间出现谱峰,而大多数水层荧光光谱在该范围内比较平缓,且油层的荧光强度较水层明显增强。本次检测的牛24井几乎所有井点的QGF指数均大于4 pc,牛83井部分样品的QGF指数也较高,牛876井的QGF指数超过14 pc,几口井显示出了较高的含油级别;但牛110井和牛112井部分样品的QGF指数虽然超过了4 pc,但曲线平缓,表明其含油级别较低。

3 讨论

牛24、牛83、牛876、王550、牛872等5口井(后两口井荧光光谱特征见李素梅等,2006)致密储层(含薄层粉砂岩)颗粒的QGF-E分析和QGF分析,只有少数样品点QGF-E分析显示为水层,发现除个别层段外,绝大多数层段采集的样品都可检测到相对较高的荧光,其含油级别某种程度上已达到油层级别,绝大多数样品点均有油气通过,显示这些较致密的粉砂岩为过去或现在的油气运移路径/运载体,它表明致密砂岩、粉砂岩、薄层砂岩可作为烃类运移的通道。

从过牛庄洼陷深凹带的北东—南西向的牛27井—牛876井—王69井—牛83井—辛154井—牛112井的油藏剖面图(图5,位置见图2 B-B')和北东—南西向的牛斜44井—牛876井—王69井—王79井—牛110井油藏剖面来看(图6,位置见图2 C-C'),牛庄洼陷深凹带的牛876井、王69井、牛83井区发现有沙三中、下亚段的岩性油气藏的分布,其中沙三中亚段的砂体的规模较沙三下亚段大,在纵向上和横向上连续性均较沙三下亚段好,主要为三角

洲前缘滑塌形成的浊积砂体,仔细分析图5和图6的反演剖面,这些砂体在沙三中亚段较为连续,他们在剖面上局部地区形成了一套连续的沉积,不同时期的砂体的展布范围有所差异,多期的滑塌沉积在剖面上形成了多个砂体,如牛876井沙三中亚段上部砂体和王69井区沙三中亚段上部砂体,反演剖面显示有多个薄层的砂体的分布。这些分布在深凹陷部位的砂体,砂体周围断层不发育。这类油气藏如果其储层中原油有下部沙三下亚段和沙四上亚段的油气特征的话,油气的运移路径可能为:下部沙三下亚段、沙四上亚段生成的油气沿有机网络向上运移,在向上运移的过程中,浮力为油气运移的主要动力之一,当运移至沙三中段时,在沙三中亚段较为发育的砂体内,部分聚集成藏,并在这些薄层砂体内运移,适当的圈闭中聚集成藏。在剖面上的牛876井、王69井和王68井(王79井附近)、牛83井区发育有沙三中亚段的岩性油气藏。而在牛110井和牛112井沙三中段却没有岩性油气藏的发现。虽然牛110井岩石扫描电镜分析结果表明,岩石中多见填隙物,粒间孔隙不发育,孔隙半径20~50 μm ,喉道半径1~4 μm ,孔隙连通性较好;牛110井3000.5~3022.4 m层段孔隙度一般为16%~22%,平均19.6%,渗透率变化较大,平均 $96 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,显示为较好的储层。分析其主要原因是牛110井区既不位于沙三中亚段有效排烃范围内,又没有在侧向上和纵向上与洼陷内的砂体进行沟通,因此,没有油气的聚集。

4 结论

(1)QGF和QGF-E定量颗粒荧光分析技术是检测储层含油气性、识别油气运移通道与油层的有效手段。

(2)通过对东营凹陷牛庄洼陷应用QGF和QGF-E定量颗粒荧光分析技术,证实薄层致密砂岩储层可以作为较好的岩性油气藏的隐蔽输导通道,该研究结果对于东营凹陷正在进行的隐蔽油气藏成藏机理的研究可能具有重要意义。

注 释

- ① 姜振学,李素梅,等.2005.东营凹陷沙三段源岩排烃特征数值模拟与评价.内部报告.
- ② Liu Keyu. 2002. Quantitative grain fluorescence on extract (QGF-E), a technique to detect current and residual oil zones, principles and applications. CSIRO Confidential report.

参 考 文 献

陈冬霞, 庞雄奇, 邱楠生, 等. 2004. 砂岩透镜体成藏机理. 地球科学, 29(4):483~488.

陈冬霞, 庞雄奇, 姜振学, 等. 2006. 等利用核磁共振物理模拟实验研究岩性油气藏成藏机理. 地质学报, 80(3):432~438.

单俊峰, 陈振岩, 回雪峰. 2005. 辽河西部凹陷岩性油气藏展布特征及有利勘探区带选择. 中国石油勘探, 4:29~33.

冯志强, 张顺, 解习农, 等. 2006. 松辽盆地嫩江组大型坳陷湖盆湖底水道的发现及其石油地质意义. 地质学报, 80(8):1226~1232.

关德师, 李建忠. 2003. 松辽盆地南部岩性油藏成藏要素及勘探方向. 石油学报, 24(3):24~27.

胡见义, 徐树宝. 1986. 非构造油气藏. 北京: 石油工业出版社, 69~70.

姜振学, 王显东, 庞雄奇, 等. 2006. 塔北地区志留系典型油气藏古油水界面恢复. 地球科学, 31(2):201~208.

李素梅, 庞雄奇, 刘可禹, 等. 2006. 东营凹陷原油、储层吸附烃全扫描荧光特征与应用. 地质学报, 80(3):439~445.

蒙启安, 黄薇, 林铁峰, 等. 2004. 松辽盆地北部岩性油藏形成条件与分布规律. 中国石油勘探, 4:6~11.

王捷, 关德范. 1999. 油气生成运移聚集模型研究. 北京: 石油工业出

版社, 194~197.

张春荣. 1989. 东营凹陷南部斜坡油气的生成及运移. 石油技术, 1(4):27~34.

张云峰, 付广, 于建成, 等. 2000. 砂岩透镜体油藏聚油机理及成藏模式. 断块油气田, 7(2):12~14.

赵乐强, 宋国奇, 高磊, 等. 2005. 济阳坳陷未来 10 年石油探明储量增长趋势分析. 中国石油勘探, 3:30~34.

卓勤功. 2005. 关于深洼区岩性油气藏成藏机理的研究与思考. 油气地球物理, 3(4):49~53.

Jia Chengzao, Chi Yingliu. 2004. Resource potential and exploration techniques of stratigraphic and subtle reservoirs in China. Petroleum Science, 1(2):1~12.

Liu K, Eadington P, Coghlan D. 2003. Fluorescence evidence of polar hydrocarbon interaction on mineral surfaces and implications to alteration of reservoir wettability. Journal of Petroleum Engineering, 39:275~285.

Liu K, Fenton S, Bastow T, Van Aarssen Eadington P. 2005. Geochemical evidence of multiple hydrocarbon charges and long distance oil migration in the Vulcan Sub-basin, Timor Sea. APPEA Journal, 1~17.

Application of Quantitative Grain Fluorescence Techniques to Study of Subtle Oil Migration Pathway of Lithological Pool

CHEN Dongxia¹⁾, PANG Xiongqi^{1,2)}, ZHANG Jun¹⁾, LI Minggang¹⁾

1) Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing, 102249

2) Basin and Reservoir Center, Chinese Petroleum University, Beijing, 102249

Abstract

This paper applied quantitative grain fluorescence techniques to analyzing the QGF-E and QGF property of 101 rock samples from 5 wells in tight sandstone and thin siltstone in the third section of the Shahejie Formation in the Niuzhuang sag of the Dongying depression. It was observed that both the tight sandstone and thin siltstone show generally high fluorescence abundance of hydrocarbon and therefore suggests that they are possible subtle oil-migration pathways in the present or geological time. These thin subtle oil-migration pathways afforded important clues for the research of hydrocarbon accumulation in lithological pools in the middle and lower of Es₃ in deep sag zones which has the hydrocarbon source from the upper of Es₄ when there is no apparent fault playing oil migration conduits to connect lithologic traps and deep source rocks. This study shows good prospect of QGF techniques in discriminating of oil migration pathways and paleo-oil layer. This study results may have important significance in researching of hydrocarbon accumulation mechanism of subtle reservoirs in the Dongying depression and other areas.

Key words: Quantitative Grain Fluorescence; QGF-E; subtle conduit; lithological pool; Dongying depression