

辽河盆地陆相遗迹化石与 沉积环境研究

李应暹 卢宗盛 王 丹 等著

石 油 工 业 出 版 社

CONTINENTAL TRACE FOSSILS
AND SEDIMENTARY ENVIRON -
MENTS IN LIAOHE BASIN

Ly Yingxian Lu Zongsheng Wang Dan

*Faculty of Earth sciences, China University of Geosciences, Wuhan
430074*

Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Pangjin 124010

Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书以大量丰富的遗迹化石资料为基础，全面系统地阐述了中国陆相遗迹化石的种类及其分布特点；重点论述了遗迹化石与沉积作用的关系；建立了若干种陆相遗迹组合。在上述研究成果的基础上，建立了陆相盆地不同沉积体系的遗迹化石垂向序列；在遗迹化石组合的环境模式研究过程中，特别注重应用的可操作性。

本书可供从事古生物学、储层—沉积学、石油地质学研究的专业技术人员使用，也可供有关院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河盆地陆相遗迹化石与沉积环境研究/李应暹等著 .
北京：石油工业出版社，1997.6

ISBN 7 - 5021 - 1968 - X

. 辽...

. 李...

. 构造盆地 - 陆相 - 痕迹化石 - 研究 - 中国 - 辽宁
构造盆地 - 沉积环境 - 研究 - 中国 - 辽宁

. Q911.723.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 01438 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 16 插页 234 千字 印 1 - 1000

1997 年 6 月北京第 1 版 1997 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7 - 5021 - 1968 - X TE·1655

定价：35.00 元

序 言

在世界范围内，遗迹学的研究和发展以前以海相为主，非海相或陆相遗迹学研究资料稀少；近年来，遗迹组构（Ichnofabric）的发展与能源开发和遗迹化石在油田勘探中的应用也主要是在海相方面。然而我国大部分石油储量集中在陆相或非海相地层之中，因此在中国石油天然气总公司和石油勘探开发研究院及一些油田的领导与专家们的支持下，从1992年以来以“遗迹化石在陆相沉积环境及储层研究中的应用”为题开展了大量研究，“辽河盆地陆相遗迹化石与沉积环境研究”是这方面成果的典型代表，它标志着我国遗迹学方面的一大进展。

本书依据辽河油田早第三纪的基础资料，针对油田沉积环境和储层，将遗迹研究与沉积环境分析相结合。首次建立了辽河盆地早第三纪新的遗迹组合，系统研究了遗迹化石在该区的分布特征和地质上的演化，这些经验有助于今后邻区油田的遗迹化石研究。书中还对该区生物扰动组合类型和环境解释以及陆相地层特有的古根迹开展了研究。对于遗迹化石与事件沉积、遗迹化石与沉积学关系本书也有新的发现和新的见解。

书中详细研究了辽河盆地早第三纪（扇）三角洲沉积体系、湖泊沉积体系和河流沉积体系的遗迹化石组合分布特征，并与鄂尔多斯盆地周边露头资料的遗迹化石类比，增强了对比的可靠性，所提出的一些模式，对我国其它陆相油田的研究无疑会具有重要的参考价值。

该书对辽河油田早第三纪钻井取心发现的常见遗迹化石，首次进行了系统鉴定和描述，共计30多个遗迹属种和15种遗迹构造，在同一生态习性类别中采用对比表形式加以区分，许多地方采用照像图版与绘图对比，补充了钻井取心中遗迹的保存不足。

总之，该书的出版是我国遗迹学的一大进展，对油田开发与勘探具有实际应用的价值，对于我国陆相遗迹学的发展也具有重要意义。

杨式溥

1996年8月10日

前 言

自 70 年代后期以来,遗迹化石研究成果在油气田勘探开发中得到广泛应用,并取得了巨大经济效益,但这些成就和研究经验至今主要来自于国外海相含油气盆地。我国是世界上陆相盆地最为发育的地区之一,目前 90% 以上的探明石油储量集中在陆相地层,因此,较系统地进行陆相含油气盆地遗迹化石理论与应用研究是十分必要的工作。

本书是针对当前遗迹化石研究现状,以早第三纪辽河盆地为重点解剖对象,首次对陆相含油气盆地遗迹化石理论和应用进行较系统的探索和总结,在研究过程中,注重遗迹化石研究与沉积过程分析密切结合,遗迹化石理论研究与油田实际应用密切结合。如本书能超出传统的古生物学范畴,对陆相油田沉积学和储层研究有所帮助,那正是笔者的主要目的之一。

本书的基础材料来自辽河石油勘探局、中国石油天然气总公司科技局“八五”期间有关研究课题。从 1992 年起,笔者主持承担了辽河石油勘探局重大基础项目“辽河盆地下第三系遗迹化石与储层沉积环境关系研究”,同时承担了中国石油天然气总公司“八五”重大攻关项目“中国区域储层”下属课题“遗迹化石在陆相沉积环境及储层研究中应用”的有关工作。先后参与这些课题研究的成员有:中国地质大学(武汉)卢宗盛、童林芬、陈斌、谢丛姣、黄其胜、解习农、焦养泉、张雄华、喻建新以及该校历届地层古生物专业毕业生谭秀成、刘美成、彭先焰、黄宝琦、丁全喜,辽河石油勘探局研究院李应暹、王丹、周桂华、顾国忠、苏晓捷、赵都菁,中国石油天然气总公司北京石油勘探开发研究院唐祥华。在近四年的艰苦工作过程中,课题组详细观察描述了辽河盆地不同沉积相带代表钻孔岩心 110 口井,遗迹化石工艺处理和物性测试样品 1000 个,鉴定遗迹样品 1500 块,野外露头遗迹化石细致研究剖面 5 条(计 38km),摄制照片 2000 张,编制沉积学和遗迹化石分布图件 200 幅,于 1994 年和 1995 年分别提交研究报告,并通过了中国石油天然气总公司科技局及专家组的验收。本专著是在研究报告基础上的概括和提高,并突出了陆相油田遗迹化石特点及在油田中应用方法的总结,较系统地提出了不同沉积环境的遗迹组合模式。全书文字主要由李应暹、卢宗盛主笔,此外,谢丛姣合作撰写了本书第八章,焦养泉合作撰写了本书第六章,英文翻译由卢宗盛完成。

课题的实施和专著的编写过程中,得到了北京石油勘探开发研究院地质所薛叔浩教授、中国地质大学李思田教授的悉心指导,辽河石油勘探局陈义贤总地质师、谭时勇总工程师、吴铁生总工程师、肖作君高级工程师、耿广成高级工程师、牛仲仁高级工程师、秦德荣高级工程师对研究工作进行了直接领导和帮助,中国石油天然气总公司科技局关德范副总地质师及北京石油勘探院地质所顾家裕教授对课题研究和专著出版给予了极大关怀,中国地质大学杨式溥教授在百忙中审阅了全文,并写了序言,吴贤涛教授、龚一鸣教授、张建平副教授在遗迹化石鉴定方面给予了指导和资料信息的提供,冯光华副教授对书中英文翻译进行了指导,在此一并致以衷心的感谢!

笔者还要感谢中国石油天然气总公司北京石油勘探开发研究院地质所、辽河石油勘探局科技处有关领导和专家的指导和关心;感谢中国地质大学(武汉)科研处、地球科学学院、沉积盆地与沉积矿产研究所给予的支持和帮助。

由于笔者水平有限,书中缺点错误难免,恳请读者给以批评、指正。

目 录

第一章	陆相含油气盆地遗迹化石特点及研究思路和方法.....	(1)
一、	遗迹化石在油田地质研究中的作用.....	(1)
二、	陆相含油气盆地遗迹化石特点.....	(2)
三、	陆相含油气盆地遗迹化石研究思路和方法.....	(4)
第二章	辽河盆地地质背景及遗迹化石组成特征.....	(8)
一、	地质背景.....	(8)
二、	辽河盆地遗迹化石类型及属种组成.....	(10)
三、	辽河盆地遗迹化石组成特征.....	(15)
第三章	辽河盆地遗迹化石与沉积作用及古环境背景关系.....	(16)
一、	水流能量与遗迹化石特征.....	(16)
二、	水流方向与遗迹化石特征.....	(18)
三、	沉积速率与遗迹化石特征.....	(18)
四、	事件沉积与遗迹化石特征.....	(21)
五、	生物扰动分布特征与沉积作用关系.....	(25)
六、	遗迹个体大小与沉积作用及古环境背景的关系.....	(30)
七、	古根迹的意义.....	(33)
第四章	辽河盆地岩心遗迹组合及生态分析.....	(35)
一、	<i>Scoyenia</i> 遗迹组合.....	(35)
二、	<i>Skolithos</i> 遗迹组合.....	(37)
三、	<i>Arenicolites</i> 遗迹组合.....	(39)
四、	<i>Palaeophycus</i> 遗迹组合.....	(39)
五、	<i>Planolites - Teichichnus</i> 遗迹组合.....	(39)
六、	<i>Protopaleodictyon - Gordia</i> 遗迹组合.....	(42)
七、	Rhizoliths (根迹) 组合.....	(44)
第五章	辽河盆地常见沉积体系的遗迹组合构成特点.....	(46)
一、	河流—三角洲沉积体系遗迹组合特征.....	(46)
二、	扇三角洲沉积体系遗迹组合特征.....	(48)
三、	河流沉积体系遗迹组合特征.....	(54)
四、	冲积扇体系遗迹组合特征.....	(55)
五、	湖泊沉积体系不同水深带遗迹组合特征.....	(56)
第六章	露头遗迹化石类比研究.....	(59)
一、	河流—三角沉积体系遗迹化石分布类比研究.....	(59)
二、	曲流河沉积体系遗迹化石分布类比研究.....	(63)
第七章	辽河盆地早第三纪遗迹组合分布模式.....	(64)
一、	辽河盆地遗迹化石分布特征.....	(64)

二、早第三纪辽河盆地不同演化阶段遗迹组合构成模式	(66)
第八章 遗迹化石在陆相油田地质研究中的应用	(71)
一、遗迹化石在储层沉积环境分析方面的应用	(71)
二、遗迹化石在储层物性研究方面的可能应用	(74)
三、遗迹化石在油田高精度地层对比中的应用	(76)
四、遗迹化石应用实例——东部凹陷董家岗及桃园地区沙河街组三段上部 精细沉积相研究	(77)
第九章 岩心遗迹化石系统描述及比较研究	(85)
一、居住迹类化石描述	(85)
二、觅食迹类化石描述	(90)
三、爬行迹类化石描述	(94)
四、停息迹类化石描述	(96)
五、牧食迹类（包括耕作迹类）化石描述	(96)
六、粪化石描述	(98)
七、逃逸迹类化石描述	(98)
八、生物扰动构造描述	(100)
九、古植物根迹描述	(101)
结论	(102)
参考文献	(104)
英文摘要	(109)
图版及图版说明	(146)

Contents

Introduction

Chapter I . The Features of and Research Methods for Trace Fossils in Continental oil - bearing basin (1)

- 1 . Role of trace fossil in the research into oil - field geology (1)
- 2 . Features of trace fossils in oil - bearing continental basin (2)
- 3 . Research methods for trace fossils in oil - bearing continental basin (4)

Chapter II . The Geological Setting and Component Features of Traces Fossils in Liaohe Basin (8)

- 1 . Geological setting (8)
- 2 . Trace fossil types and component ichnospecies in Liaohe Basin (10)
- 3 . Component features of trace fossils in Liaohe Basin (15)

Chapter III . The Research into Relationship Between Trace Fossils and Sedimentation, Paleoenvironmental Setting in Liaohe Basin (16)

- 1 . Water - current energy and trace fossils features (16)
- 2 . Current water - current direction and trace fossil features (18)
- 3 . Sedimentary rate and trace fossil features (18)
- 4 . Event sedimentation and trace fossil features (21)
- 5 . Relationship between bioturbation distribution and sedimentation (25)
- 6 . Relationship between individual sizes of traces and paleoenvironmental setting (30)
- 7 . Rhizoliths significance (33)

Chapter IV . The Rock Core Ichnoassemblage and Ecological Analysis in Liaohe Basin (35)

- 1 . *Scoyenia* ichnoassemblage (35)
- 2 . *Skolithos* ichnoassemblage (37)
- 3 . *Arenicolites* ichnoassemblage (39)
- 4 . *Palaeophycus* ichnoassemblage (39)
- 5 . *Palanolites* - *Teichichnus* ichnoassemblage (39)
- 6 . *Protopaleodictyon* - *Gordia* ichnoassemblage (42)
- 7 . Rhizoliths assemblage (44)

Chapter V . The Component Features of Commonly - seen Ichnoassemblage of Sedimentary Systems in Liaohe Basin (46)

- 1 . Ichnoassemblage features in lacustrine - deltaic sedimentary system (46)
- 2 . Ichnoassemblage features in fan - deltaic sedimentary system (48)
- 3 . Ichnoassemblage features in fluvial sedimentary system (54)
- 4 . Ichnoassemblage features in alluvial fan sedimentary system (55)

5 . Ichnoassemblage features in different levels of deep water in the lacustrine sedimentary system (56)

Chapter VI . The Analogy Between outcrop Trace Fossils and Core Trace Fossils (59)

1 . Analogy between outcrop trace fossils and core trace fossils in lacustrine - deltaic sedimentary system (59)

2 . Analogy between outcrop trace fossils and core trace fossils in meandering river (63)

Chapter VII . The Distribution Pattern of Early Tertiary Ichnoassemblage in Liaohe Basin (64)

1 . The distribution features of trace fossils in Liaohe Basin (64)

2 . The ichnoassemblage constituent models for different evolutionary stages in early Tertiary Liaohe Basin (66)

Chapter VIII . The Application of Trace Fossils to Geological Researches in Continental Oil Fields (71)

1 . Application of trace fossils to analysis of sedimentary environment for reservoir (71)

2 . Possible application of trace fossils to research into physical property of reservoir (74)

3 . Application of trace fossils to correlation between high - precision strata in Oil Field (76)

4 . Case analysis of trace fossils - - research into fine sedimentary facies in upper part of Member 3, Shahejie Formation, eastern depression of Liaohe basin (77)

Chapter IX . The Description of Core Trace Fossils and Their Comparative Investigation (85)

1 . Domichnia (85)

2 . Fodinichnia (90)

3 . Repichnia (94)

4 . Cubichnia (96)

5 . Pascichnia (96)

6 . Feces fossil (98)

7 . Fugichnia (98)

8 . Bioturbation structure (100)

9 . Rhizoliths (101)

Conclusions (102)

References (104)

English summary (109)

Plates (146)

第一章 陆相含油气盆地遗迹化石特点及研究思路和方法

一、遗迹化石在油田地质研究中的作用

在我国陆相含油气盆地钻孔沉积岩研究过程中，以往主要注意沉积物的物理结构、构造，而对沉积岩中较普遍发育的生物活动的结构、构造及排泄物——遗迹化石 (trace fossil) 重视不够。但遗迹化石对油气地质研究具有重要意义，表现在：遗迹化石与沉积作用密切相关，在判别含油气盆地沉积相方面具有简便、实用和准确的特点，它不同于其它物理的沉积结构、构造 (如层理、粒度等) 具有多解性，而遗迹化石分布相带窄，一般可直接指示特定的环境或微相类型；遗迹生物作用一方面可改善油气储层的孔渗性并影响成岩作用，另一方面又破坏原生沉积层理，改造层内非均质性，在一定程度上沟通孔道，使其在油气储层物性研究方面也具独到作用；遗迹化石特征可提供各种区域环境变化的界面标志，从而为油田高精度地层划分对比提供依据。鉴于遗迹化石在油田地质研究中的上述作用，北美、英国、挪威等国石油公司，已将遗迹化石与沉积构造、岩性特征同列为石油钻孔录井岩心描述的三项最基本内容。

遗迹化石作为解释沉积环境的重要工具，自从德国 Seilacher (1967) 依据不同水深建立 6 种遗迹相以来，广受人们重视，并随着研究的深入不断得到深化和提高，目前公认的遗迹相已从最初的 6 种发展为 9 种 (Fery 等, 1990; 胡斌等, 1992; 周志澄等, 1995) (图 1—1)。以 Ekdale 等人 (1984) 提出，近些年得到迅速发展的遗迹组构 (ichnofabric) 研究方法，由于强调了遗迹生物活动与沉积物之间的相互关系，使得遗迹化石的环境信息得到更加细致、充分地揭示。国外海相油气田应用遗迹化石成果进行沉积相解释取得了巨大经济效益，又为油田遗迹化石研究注入了勃勃生机。如美国 Powder River 盆地的 Hartzog Draw 油田，最初认为上白垩统主要储层 Shannon 砂岩属于分流河道及河口坝砂体，油田远景有限；经 Tillman (1976) 重新研究 Shannon 砂岩，根据所产遗迹化石并与沉积特征相结合将此地层细分为 9 个相，同时得出结论认为主要储层砂体并非早期认识的分流河道砂和河口坝砂，而是含有浅海遗迹相的陆棚沙脊砂，并预测此陆棚沙脊砂应向东南方向延伸。1977 年初根据这一预测在盆地东南布置钻孔得到证实，从而使得该油田的产量、储量数十倍增长。此外，近些年来在加拿大的阿尔伯达油区，英国、挪威所属的北海油田，也有许多应用遗迹化石研究成果使油田取得明显经济效益的实例。

由于生物活动对沉积颗粒结构和成岩作用也可产生重要影响，因而遗迹化石对油气储层物性的作用也是人们关注的课题。早在 70 年代，丹逊 (Dawson, 1978) 依据海相二叶石 (*Cruziana*) 遗迹相中潜穴充填物和基质孔隙度变化，证实生物扰动可改善油气储层物性。我国陆相油田部分地区 (或层位) 遗迹化石对储层物性的影响也有许多实例，如广西百色盆地下第三系储层中生物扰动强度和含油级别成正比 (方少仙、侯方浩等, 1993); 辽东湾东营组中生物扰动改善了粉细砂岩储层的储集性能及含油性 (纪友亮、赵徵林, 1990)，辽河盆地的遗迹化石研究成果也表明一些层位遗迹化石对储层孔隙度提高有所贡献。

图 1—1 常见遗迹相分布示意图

(据 Frey 等, 1990 修改)

遗迹化石在地层学方面的应用主要体现在利用遗迹化石对环境变化的敏感响应, 识别一些具有地层划分对比意义的环境变化标志(如海水或湖水的突然加深, 古气候的突然变化等), 应用这些环境变化标志界面, 使井下地层划分对比精度得到大大提高, 特别是近些年来在国外海相油田层序地层学研究中, 应用受沉积底质控制的遗迹相、沉积地层单元遗迹组进行层序地层单元界面的识别(如海泛面、无沉积间断面、浓缩段等)获得了良好效果(如 Taylor and Gawthorpe, 1992; Pemberton, 1992; Savrda, 1991)。此外, 应用遗迹化石特征也可帮助油田进行小层对比, 如挪威布克莱(Bockelie J. F.)运用生物扰动级别对曲鲁尔(Troll)油田储层砂体小层对比成果, 在第十三届国际沉积学大会上受到各国学者的高度重视。

尽管遗迹化石研究在油气田勘探开发中取得了许多成就, 但这些成就目前主要局限于国外海相含油气盆地。中国是世界上陆相盆地最为发育的地区之一, 目前探明的 90% 以上的石油储量在陆相地层(吴崇筠等, 1992), 因而进行陆相盆地遗迹化石理论与应用研究是十分必要的工作。

二、陆相含油气盆地遗迹化石特点

长期以来, 陆相盆地遗迹化石研究远不及海相盆地深入、系统。在当今国际上流行的 9 种遗迹相中, 仅对陆相盆地建立了 *Scoyenia* 遗迹相(图 1—1), 其它 8 种均为海相或海陆交互产物。早期文献常把所有陆相遗迹化石内容都笼统归入 *Scoyenia* 遗迹相, 从而导致了人们误认为陆相遗迹化石简单、少见, 但越来越多资料显示(如 Bromley 等, 1979、1991; Bown, 1982; 吴贤涛, 1986; Hasiotis 等, 1992)陆相盆地不同相带遗迹组合类型复杂多样, *Scoyenia* 遗迹相仅是一种以节肢动物潜穴为主, 代表低能浅水或潮湿底质的遗迹组合类型(Frey and Pemberton, 1984, 1987), 从而很有必要如同海相盆地一样, 建立陆相盆地不同环境的遗迹相模式, 如 Smith 等(1993)根据对纳米比亚更新世河流沉积的研究, 提出了代表

陆上环境的 *Termitichnus* 遗迹相, Buatois 和 Mangao (1993, 1995) 以阿根廷西北部石炭纪湖泊浊积岩中遗迹化石组合为代表, 提出了代表湖泊完全水下特征的 *Mermia* 遗迹相。但陆相盆地遗迹化石与海相盆地相比, 又有如下自身特点。

1. 发育某些仅分布于陆相沉积环境中的特有属种

据 Chamberlain (1975) 统计, 现代非海相水生遗迹生物大致有 30 多个门类, 分别属于蠕虫动物、甲壳动物、昆虫动物、软体动物, 其中有相当一部分仅生活于淡水水体中, 如蠕虫动物的寡毛纲主要分布于淡水环境。尽管有一些陆相生物在行为习性上与海相生物相似, 留下的遗迹形态与海相有一定的趋同性 (Hasiotis et al., 1992), 但它们之间的结构构造仍有所差异, 并存在一些陆相盆地中特有的遗迹属种, 如在辽河盆地中较发育的纤细斯柯菌迹 (*Scoyenia gracilis*)、弯曲锚形迹 (*Ancorichnus coronus*)、福尔斯迹 (*Fuersichnus*) 目前仅见于国内外陆相沉积环境中。

2. 植物根迹十分发育、类型多样

植物根迹的广泛分布是陆相盆地遗迹的一大特色, 在辽河盆地岩心中常见古植物根迹切穿早期的动物遗迹, 虽然滨海沉积也有植物根迹存在, 但往往根系较弱, 不及陆相沉积中根系复杂和分布的底层深。

3. 同一层位遗迹属种较为单调

遗迹化石种群如同实体化石一样, 也可分为两种类型, 即机会主义种 (Opportunistic species) 和均衡种 (equilibrium species)。机会主义种繁殖和生长速率高, 具有高丰度、低分异度的特点, 主要发育于突发性的快速沉积中; 而均衡种生长速度低, 种群丰度较低且分异度高, 主要发育于环境稳定的慢速沉积中。陆相沉积与海相沉积相比, 具有物源近, 沉积速率高, 突发性事件 (如洪水事件) 频繁的特点, 因而有利于机会主义遗迹种群发育, 从而常表现出一定层位遗迹个体丰度高、属种单调、分异度低的特点。从遗迹组构研究角度看, 在陆相沉积中, 遗迹组构类型主要为单一型, 而复合型遗迹组构发育较差。

4. 陆相盆地生物扰动构造分布岩性广

在海相沉积中, 生物扰动构造 (bioturbate texture) 集中分布于钙质泥岩、粉砂岩等细粒沉积物中; 而在辽河陆相盆地岩心中生物扰动既可分布于细粒沉积物 (泥岩、粉砂岩), 也可在较粗颗粒沉积物中 (如细粒砂岩、中粒砂岩) 广泛发育, 这可能主要是陆相盆地物源较近所致。

此外, 含油气盆地遗迹化石研究的材料主要来自于钻孔岩心, 岩心具有垂向连续 (在一定深度区间内)、表面新鲜的优点, 便于研究遗迹化石的垂向变化过程和一些松软沉积物中遗迹化石特征, 例如在野外露头中难于研究的松软粉砂岩、泥岩、页岩中遗迹, 在岩心中较易研究。但是, 岩心横断面小, 不利于研究遗迹化石横向变化及层面遗迹类型 (Chamberlain, 1979), 因而, 岩心遗迹化石的研究对象以保存于岩层内部全浮痕 (Fullrelief) 遗迹类型为主 (图 1—2), 而对呈上浮痕 (Epirelief) 和下

图 1—2 岩心遗迹化石的保存特点

浮痕 (Hyporelief) 保存的遗迹类型研究机率相对较小。

三、陆相含油气盆地遗迹化石研究思路和方法

通过辽河盆地的解剖来揭示陆相盆地遗迹化石与沉积环境及储层物性之间的关系，服务于油气探勘、开发的需要，是本书追求的目标。依据上述陆相含油气盆地遗迹化石特点，在研究过程中，笔者注重将遗迹化石研究与沉积过程分析密切结合，将形态完整、能鉴定具体属种的遗迹化石与生物扰动构造、古植物根迹研究密切结合，同时注重理论研究的实际应用，具体研究内容和方法可概括如下。

1. 遗迹化石分布与沉积过程分析

遗迹化石分布变化与沉积过程密切相关，现场进行岩心遗迹化石垂向变化特征与沉积过程关系的描述、分析，是客观、真实地获取遗迹化石与环境关系信息的重要手段。在本书的编写过程中，笔者现场描述、分析岩心 10000 余米，内容包括遗迹的准确鉴定、分类，遗迹化石分异度、丰度、个体大小变化及遗迹组构特征，沉积物粒度、沉积构造、层序厚度变化等 (图 1—3)。

2. 岩心遗迹组合分析

在岩心遗迹化石分布与沉积过程分析基础上，结合沉积背景资料，通过综合对比和数理统计分析，提炼出特征明显，实用性强，时、空上重现率高的遗迹组合模式 (Ichno assemblages model)，由于目前对遗迹组合的使用范围有所差别，本书将岩心遗迹组合理解为相同或相似沉积条件下形成的一段岩心中遗迹化石的总和，它实际可以作为陆相盆地遗迹相 (Ichnofacies) 使用。由于陆相盆地遗迹化石与海相盆地有较大差异，因而遗迹组合 (或遗迹相) 的命名不必笼统套用海相遗迹相的名称。本书在辽河盆地所建立的 7 种遗迹组合，对于其它陆相盆地也具有一定的适用性。

3. 常见沉积体系的遗迹组合序列分析

同一沉积体系的不同单元发育有不同的遗迹组合，如三角洲前缘与三角洲间湾沉积中遗迹组合明显不同，从而不同的沉积体系有不同的遗迹组合空间分布和排列方式。油田岩心中直接观察的主要是沉积体系遗迹组合垂向分布和演化，如同建立沉积相分析垂向模式一样，建立不同沉积体系遗迹组合垂向序列可为油田沉积相遗迹化石分析提供类比依据。根据我国东部油田储层沉积相发育特点，本书重点总结扇三角洲沉积特征体系、河流三角洲沉积体系、河流沉积体系的遗迹组合垂向序列特征。

4. 以盆地为主体的遗迹化石分布研究

以往对陆相盆地遗迹化石的研究材料主要来自对某一剖面或某一局部地区的工作，要较全面地揭示陆相盆地不同沉积相带遗迹化石特征，必须以盆地为整体，系统地在垂向上、横向上取得盆地不同地区、不同层位各种相带遗迹化石资料。辽河盆地目前取心井达 2000 多口，在充分阅读前人资料的基础上，本次选取盆地内不同相区具代表性的 110 口取心井 (图 1—4) 进行细致的重点解剖研究。

5. 岩心遗迹化石与露头遗迹化石比较分析

尽管岩心新鲜、有利于细致地研究遗迹化石垂向演化过程，但由于钻孔取心体积有限，无法直观地了解遗迹化石在某一沉积体系中的横向特征，从而进行沉积条件与岩心类似、出露完好的大削壁露头断面遗迹化石研究，可为岩心遗迹组合与环境关系模式的建立提供直

图 1—3 岩心沉积学特征与遗迹化石分布特征相互关系描述实例 (野外原始工作图件摘录)

a—黄 80 井, 第 6~11 次取心 (下第三系沙河街组三段);

b—开 5 井, 第 4~7 次取心 (下第三系沙河街组三段上部)

图 1—4 辽河盆地古地理概貌及研究钻孔分布位置

观、可靠的类比依据。

6. 遗迹化石与油气储层物性关系分析

生物活动遗迹常改造沉积物的结构、构造，对某些储层的物性也产生一定影响，在辽河盆地一些层位这种影响的条件、规律与遗迹组合类型有一定联系。

7. 岩心遗迹化石鉴定方法研究

岩心资料珍贵，体积有限，在其表面常只能观察到遗迹的部分形态（图 1—5），这样对

图 1—5 *Arenicolites* 在岩心中出露的特点

a—为完整的立体形态；b、c、d—为在岩心中可能出露的几种形态

遗迹化石的正确鉴定需要具备丰富的经验和对岩心合适的处理手段。Chamberlain (1984) 曾建议采用岩心系统切片和 X 射线照像等方法来研究鉴定遗迹，但这不适宜于在野外现场对岩心遗迹的鉴定、描述。对于生产第一线的现场研究人员来说，急需一套系统的岩心遗迹化石图片和文字描述进行参考。为此，本项研究十分注意岩心遗迹化石保存特点的描述、比较，在对 1500 多块样品的仔细研究基础之上，较系统地编制了陆相岩心遗迹化石形态结构特征和各种保存状态的图版。需要提及的是，由于岩心表面粗糙，许多貌视无任何生物结构的岩心，在现场经过简便的实验处理后，可显露出十分丰富的遗迹内容。因此，现场对岩心遗迹化石的观察与描述，进行简便的不损坏岩心的工艺处理也是十分必要的。

8. 岩心遗迹化石应用图件的编制

遗迹化石的应用，需要通过必要的应用图件来体现。对于系统取心或取心较多的钻孔，进行单井遗迹化石分布图的编制，可简便、快速地揭示该单井的沉积环境垂向演化特征，识别重要的环境变化界面。在沉积断面编图中，虽然穿过断面的钻井常只有非常少量零星的岩心，但岩心中所含的遗迹组合不同于其它沉积构造及测井特征具有多解性，它可指示具体的环境类型，因而它在断面沉积相的空间配置研究中常起到关键性的作用。近年来，欧美的一些地质学家（如 Bockelie, 1991）利用遗迹化石特征进行平面编图，具有比常规沉积学编图更为省时、省力的特点。

第二章 辽河盆地地质背景及遗迹化石组成特征

一、地质背景

辽河盆地位于中国东部渤海湾含油气区的东北隅，为早第三纪砂、泥碎屑充填为主的裂谷盆地（陈义贤等，1981），其基底大地构造属于华北地台，中国东部规模宏大的走向滑移断裂系——郯庐断裂由此穿过。辽河盆地具有狭长的盆地形态、垒与堑相间的地质结构、张性断裂发育、盆地基底下沉快、拉张幅度大、沉积速率高、火山活动频繁等特点。早第三纪盆地内部又可进一步分为三个凹陷，西南部为西部凹陷，东部为东部凹陷，东北部为大民屯凹陷，中间为大型的中央凸起，其边界均为张性断层所控制（图 1—4）。

根据断裂活动的阶段性和盆地性质的演变，辽河盆地演化可分为三个阶段，即晚中生代地壳拱升张裂期、早第三纪盆地大规模拉伸裂陷期及晚第三纪拗陷期（李应暹等，1991）。其中早第三纪是盆地的重要生油期，也是本书遗迹化石研究选定的目标层位，该时期沉积地层最大厚度可达 8000m，由下至上划分为房身泡组、沙河街组及东营组（图 2—1）。

1. 房身泡组

是近些年辽河石油勘探局新命名的地层单位（梁鸿德等，1992），为基性火山岩夹少量砂、泥岩沉积，最大厚度大于 1500m，由于钻孔揭露的碎屑岩岩心有限，发现的遗迹化石不多。

2. 沙河街组

为灰色及褐灰色砾岩、砂岩、泥岩及油页岩，是辽河盆地最重要的含油岩系，依据岩性特征及含油性划分为四段，由上至下简称为沙一段、沙二段、沙三段、沙四段（代号依次为 Es₁、Es₂、Es₃、Es₄）。

沙河街组四段在大民屯凹陷分布最广，钻孔揭示最大厚度为 646 m，属灰色、褐灰色砂砾岩、暗色泥岩及油页岩等，并夹有黑色玄武岩和钙质页岩，遗迹化石以住居迹和觅食迹类最为发育，特别是斯柯菌迹（*Scoyenia*）在本段最为丰富。

沙河街组三段形成于盆地沉降速率最大的时期，分布范围广、沉积厚度大，钻孔揭示最大厚度为 2089.6m，地震解释厚度大于 2500m，生油岩、储层发育，岩性主要为灰色、灰白色砂砾岩及灰黑色粉砂岩、泥岩、油页岩等，遗迹化石种类齐全，特别是在西部凹陷该段发育有较多深水类型的牧食迹类、爬行迹类，如古网迹（*Paleodictyon*）、始网迹（*Protopaleodictyon*）等。

沙河街组二段主要分布在西部凹陷，而东部凹陷和大民屯凹陷大部分地区缺失，仅小面积零星分布，地层厚度一般为 200~300m，岩性以砾岩为主，夹有泥岩和粉砂岩，遗迹化石相对较少。

沙河街组一段在全盆地各凹陷广泛分布，最大厚度约 800m，岩性为砾岩、砂岩、泥岩，夹有较稳定的油页岩层，局部地区含有薄层玄武岩层，遗迹化石类型丰富。

3. 东营组

以岩性总体较粗、颜色灰绿色为特征，在盆地内广泛分布，由于盆地沉降中心逐渐南