

# 中国城市油气 三维地震勘探技术

中國城市地震勘探

张以明 邓志文 等著



科学出版社

# 中国城市油气三维地震勘探技术

张以明 邓志文 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

城市油气三维地震是对城市区域潜在的有利油气勘探目标进一步落实的需求。但是由于勘探技术、装备及城市地震地质条件的限制,城市三维地震勘探面临诸多难题。本书从中国城市三维地震勘探的特点入手,介绍了城市三维地震勘探技术设计,论述了城市三维地震勘探的难点、激发、接收及观测系统参数设计方法,详细阐述了城市三维地震勘探实施配套技术;分析了城市三维地震原始资料的特点,实施了相关处理技术思路,重点对城区三维地震资料去噪技术、数据一致性处理技术、城市及周边三维资料的连片处理技术等进行了分析论述。针对城市三维地震成果资料能否满足地质目标研究的需求,提出了城区三维地震资料评价要素,对城市地震资料的构造解释、孔隙型储层地震预测、裂缝型储层地震预测等技术进行了详细分析研究,并介绍了华北油田城市三维地震勘探典型的实例。

本书旨在对近几年中国城市油气三维地震勘探技术进行概括和总结,希望能为其他类似地区的油气藏勘探提供可借鉴的理论和技术支持。本书可为石油勘探、石油地质专业技术人员和高等院校相关专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国城市油气三维地震勘探技术 / 张以明等著. —北京: 科学出版社, 2019. 3

ISBN 978-7-03-060861-1

I. ①中… II. ①张… III. ①油气勘探-三维地震法-研究-中国 IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第049064号

责任编辑: 刘浩旻 陈姣姣 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年3月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019年3月第一次印刷 印张: 13 3/4

字数: 308 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 《中国城市油气三维地震勘探技术》 编写组

主 编：张以明 邓志文

成 员：白旭明 唐传章 张万福 晏 丰 张宏伟  
王瑞贞 袁胜辉 陈院生 李海东 周 赏  
康南昌 张锐锋 史原鹏 刘 旺 降栓奇  
赵伟森 常建华 史英龙 王少春 王金宽  
张学银 崔宏良 纪晓亮 王 伟 汪关妹  
王子英 张敬东 叶 玮 李小冬 方海飞  
王永君 王 帅 付国强 王冬雯 李景叶  
宋 炜 葛黛薇 孙 毅 王晓东 陈敬国  
王泽丹 黄新亚 熊 峰 刘祎沛 张 品  
万学娟 钟小军 杨建涛 李小艳 程展展  
韩 力 蒲可瑜 魏胜强 刘占军 郭 睿

# 序

中国含油气盆地内城市分布密集，如渤海湾盆地的京津冀地区，这些城市地区蕴藏着丰富的石油和天然气资源。随着油气勘探开发的深入，填补城市区三维地震资料空白成了石油地质综合研究的迫切需要。然而，城市油气三维地震勘探面临诸多技术与生产挑战：一是城市地表障碍物、地下设施繁多，地震资料采集设计与施工难度大；二是城市三维地震勘探需要的地震勘探仪器装备数量大，安全环保、生产组织难度大；三是城市交通、工业生产、人员活动等产生大量干扰，严重影响了地震资料信噪比。因此，城市三维地震勘探难以实施，影响了区域地质构造的整体认识。

《中国城市油气三维地震勘探技术》一书系统总结了城市油气三维地震勘探资料采集、处理和解释配套技术系列。这些配套关键技术包括观测系统设计与实施技术、城市建筑物安全距离测试技术和地震资料采集质量监控等技术、炸药震源和可控震源混合激发、有线仪器和节点仪器混合接收等采集技术系列；地震资料去噪声处理技术、混源激子波一致性处理技术、数据一致性处理技术、一体化速度建模及连片三维资料偏移成像等地震资料处理技术；城市三维地震资料品质评价技术、复杂断裂带断层识别技术、深度域地震资料解释技术及地震资料储层预测及油气检测技术等综合解释分析技术。这一系列新技术不仅技术水平国际领先，而且应用完成了 13 个城市三维地震勘探项目，在油田增储上产中取得了显著的应用效果。

本书编写人员经过十多年城市三维地震勘探技术的探索与攻关，集成创新形成了中国城市油气三维地震勘探配套技术，凝结了多位具有较高学术造诣和丰富经验的地球物理工作者的心血。书中所形成的系列配套技术不仅对国内外城市油气三维地震勘探具有重要的指导意义，同时对复杂地表障碍区矿产地震勘探和城市工程地震勘探也具有重要的借鉴和指导意义，可为石油物探、石油地质及工程地震勘探专业技术人员和高等院校相关专业师生参考。

The logo of the publisher, consisting of the Chinese characters '石油' (Petroleum) and '工业出版社' (Industry Press) in a stylized, calligraphic font.

2019 年 1 月 26 日

# 前 言

20 世纪 80 年代，中国开始探索三维地震勘探工作。90 年代初，中国东部油田开始规模实施三维地震勘探工作；21 世纪初，早期发现的油田区基本上为三维地震勘探所覆盖。利用三维地震在中国松辽盆地、渤海湾盆地等含油盆地相继发现一大批油气田，推动了中国石油工业的长足发展。中国东部油田多数位于经济发达地区，地面城镇较多，由于受到当时采集装备和技术水平的制约，绝大多数城市区基本上都没有实施三维地震勘探，个别城市虽然实施了三维地震勘探工作，但是地震资料品质无法满足油气勘探需求，影响到含油盆地或富油凹陷的整体研究、整体认识、整体评价，甚至影响到有利目标的精细落实，直接制约了油田的整体勘探开发效果。

20 世纪末，随着“满洼含油”的陆相富集区沉积理论的提出，油气勘探由早期针对有利构造带，延伸到全盆地立体勘探阶段；勘探对象涉及含油盆地内的油田开发区、城镇等复杂地面条件区。改革开放以来，中国城镇化进程明显加快，特别是华北探区所处的京津冀城市群发展尤为迅速，城市范围迅速扩大、城市人口和车辆成倍增加、企业工厂数量剧增，致使城区内地面建筑物密集、地下管网纵横交错、各种干扰源众多，导致常规三维地震勘探技术难以实施。

本书紧密结合十余年来的城市三维地震勘探技术发展和勘探实践，分析了城市三维地震勘探面临的主要技术问题和实施难点，系统梳理城市三维地震勘探技术历程；详细论述了城市三维地震勘探观测系统设计技术和城市三维地震采集实施技术，使得城市三维地震勘探实施成为可能；提出了基于人工智能和压缩感知的城市三维观测系统设计新技术，指明了城市三维技术发展方向；全面梳理城市三维地震资料处理技术思路 and 关键技术，有效改善城市三维地震资料品质，通过三维连片处理，搭建全盆地高品质地震数据平台。利用高品质的连片三维地震数据平台，开展精细解释和综合研究，实现了对全盆地或凹陷的整体认识、整体勘探，推动新一轮老油田的勘探开发高潮。

本书是集体智慧的结晶，全书共分为六章：第 1 章介绍了城市三维地震勘探重要意义、面临的问题与挑战和城市三维地震勘探技术发展历程；第 2 章论述了城市三维地震采集工程设计难点，详细阐述了观测系统参数、激发参数和接收参数的设计技术；第 3 章针对城市三维地震现场实施的问题，重点论述了不同地面建筑物安全施工距离测试、城市区的近地表障碍物和表层结构精细调查技术、城市三维观测系统科学实施与高效采集技术，以及城市三维野外采集质控技术等；第 4 章分析了城市三维地震资料特点和处理难点，提出城市三维地震资料处理技术思路，重点论述了城市三维地震资料处理的噪声压制、混源激发子波一致性处理和五维规则化处理等关键技术。同时论述了三维资料连片的子波一致性处理、一体化速度建模和深度偏移成像技术；第 5 章针对城市三维地震成果资料能否满足地质目标研究的需求，提出了城区三维地震资料评价要素，对城市地震资料的构造解释、孔隙型储层地震预测、裂缝型储层地震预测等技术进行了详细分析研究；第 6 章以河

北省辛集市、廊坊市和饶阳凹陷多城市为例，介绍了华北油田城市三维地震勘探典型的实例。

苟量先生对城市三维地震勘探工作非常关注和重视，并且积极推动城市三维地震勘探装备的研发，促进中国城市三维地震技术发展。衷心感谢苟量总经理在百忙之中抽出时间为本书的编写给以指导并为本书作序。

全书由张以明、邓志文提出编写思路并组织编写。具体分工为：绪论由张以明、唐传章编写；第1章由邓志文、白旭明、李海东和孙毅等编写；第2章由白旭明、袁胜辉、王瑞贞和崔宏良等编写；第3章由唐传章、袁胜辉、王金宽和张学银等编写；第4章由邓志文、陈院生、晏丰、纪晓亮和史英龙等编写；第5章由张以明、周赏、张万福、汪关妹和王子英等编写；第6章由张锐锋、张宏伟、周赏、李小冬和张敬东等编写。文章审稿由张以明、邓志文、白旭明、唐传章、晏丰、张万福等完成；文章定稿由张以明、邓志文完成。李景叶、宋炜和翟同立对本书的编写内容提出了有益的建议并提供了材料。本书的编写得到了黄登贵、刘占族、范国增、葛向阳等领导和专家的大力支持及帮助。笔者对上述领导和专家的指导与帮助表示衷心的感谢！

# 目 录

序

前言

第1章 城市油气三维地震勘探概况 .....	1
1.1 城市油气三维地震勘探意义 .....	1
1.2 城市油气勘探面临的挑战 .....	6
1.2.1 城市快速规模化发展带来的挑战 .....	7
1.2.2 城市建设现代化带来的挑战 .....	12
1.2.3 城市地震条件复杂化带来的挑战 .....	13
1.3 城市油气三维地震勘探历程 .....	19
1.3.1 早期窄方位三维地震勘探阶段 .....	20
1.3.2 中期2.5T三维地震勘探阶段 .....	21
1.3.3 近期“两宽一高”三维地震勘探阶段 .....	26
1.4 城市油气三维地震勘探与城市工程地质勘探的差异 .....	27
参考文献 .....	28
第2章 城市三维地震采集设计技术 .....	29
2.1 城市三维地震采集设计难点分析 .....	29
2.1.1 观测系统衔接难度大 .....	29
2.1.2 浅层资料采集难度大 .....	30
2.1.3 环境噪声发育强度大 .....	30
2.1.4 采集装备类型多样 .....	31
2.1.5 采集参数多变 .....	32
2.1.6 地震采集参数设计思路 .....	32
2.2 城市三维观测系统参数设计 .....	32
2.2.1 基于地质目标的观测系统参数论证 .....	33
2.2.2 基于卫星遥感数据的观测系统设计 .....	36
2.2.3 数据驱动的观测系统优化 .....	40
2.2.4 基于压缩感知的观测系统设计 .....	45
2.2.5 基于人工智能的观测系统设计 .....	46
2.3 城市地震采集激发参数设计 .....	49
2.3.1 激发方式选取基本原则 .....	49
2.3.2 炸药震源激发参数设计 .....	50
2.3.3 可控震源激发参数设计 .....	53
2.4 城市地震采集接收参数设计 .....	59

2.4.1	检波器类型选择 .....	60
2.4.2	组合参数设计 .....	62
	参考文献 .....	65
<b>第3章</b>	<b>城市三维地震采集实施技术 .....</b>	<b>67</b>
3.1	地表障碍物安全距离测试技术 .....	67
3.1.1	PPV 测试的目的 .....	67
3.1.2	PPV 测试与数据分析 .....	68
3.2	城市近地表调查技术 .....	71
3.2.1	近地表隐性障碍物调查 .....	71
3.2.2	近地表结构调查 .....	72
3.3	城市三维地震物理点布设技术 .....	75
3.3.1	接收点预布设 .....	75
3.3.2	激发点及其参数优化设计 .....	76
3.3.3	观测系统属性分析 .....	79
3.4	城市高效地震采集技术 .....	79
3.4.1	有线与节点仪器混合接收技术 .....	79
3.4.2	源驱动技术 .....	82
3.4.3	可控震源轨迹设计技术 .....	84
3.4.4	可控震源无桩施工技术 .....	86
3.4.5	被动连续采集技术 .....	88
3.5	城市地震采集质量控制技术 .....	90
3.5.1	检波器耦合技术 .....	90
3.5.2	分时段施工技术 .....	92
3.5.3	节点仪器质量监控技术 .....	93
3.5.4	软件实时监控技术 .....	96
	参考文献 .....	97
<b>第4章</b>	<b>城市三维地震资料处理技术 .....</b>	<b>99</b>
4.1	城市三维地震原始资料分析及面临的主要问题 .....	99
4.1.1	采集参数分析 .....	99
4.1.2	干扰波特征分析 .....	101
4.1.3	资料能量分析 .....	101
4.1.4	子波一致性分析 .....	104
4.2	城市三维资料处理思路及关键技术 .....	107
4.2.1	城市三维地震资料处理思路 .....	107
4.2.2	城市三维地震资料处理关键技术 .....	107
4.3	城市及周边三维地震资料连片处理技术 .....	120
4.3.1	数据一致性处理技术 .....	120
4.3.2	一体化速度建模技术 .....	123

4.3.3 连片偏移成像技术 .....	132
参考文献 .....	139
<b>第5章 城区三维地震资料解释技术 .....</b>	<b>140</b>
5.1 城区三维地震资料评价要素 .....	140
5.1.1 波组特征 .....	140
5.1.2 断层可识别程度 .....	142
5.1.3 信噪比 .....	142
5.1.4 分辨能力 .....	145
5.1.5 保幅性 .....	146
5.1.6 横向一致性 .....	148
5.2 城区地震资料复杂断裂带解释技术 .....	148
5.2.1 地震资料解释性处理 .....	149
5.2.2 复杂断裂带断层识别技术 .....	149
5.2.3 深度域地震资料复杂断裂带解释 .....	153
5.2.4 基于“两宽一高”地震资料的复杂断裂带解释 .....	156
5.3 城区地震资料储层预测及油气检测技术 .....	161
5.3.1 孔隙型储层预测 .....	161
5.3.2 裂缝型储层预测 .....	163
5.3.3 含油气性预测 .....	170
参考文献 .....	176
<b>第6章 城市油气三维地震勘探实践 .....</b>	<b>177</b>
6.1 辛集城市三维地震勘探 .....	179
6.1.1 工区概况 .....	179
6.1.2 地震资料改善情况 .....	179
6.1.3 精细解释成果及勘探成效 .....	185
6.2 廊坊城市三维地震勘探 .....	192
6.2.1 工区概况 .....	192
6.2.2 地震资料改善情况 .....	193
6.2.3 精细解释成果 .....	195
6.2.4 勘探成效 .....	197
6.3 饶阳凹陷多城市三维连片地震勘探 .....	198
6.3.1 工区概况 .....	198
6.3.2 地震资料改善情况 .....	199
6.3.3 精细解释成果 .....	202
6.3.4 勘探成效 .....	204
参考文献 .....	207

# 第 1 章 城市油气三维地震勘探概况

## 1.1 城市油气三维地震勘探意义

城市的产生和发展是一个历史的过程，就城市的形成和发展而言，主要受自然因素和社会经济因素的影响，自然因素主要包括气候、地形、水源等，社会经济因素主要包括自然资源、交通、政治、军事、宗教、科技和旅游等。

自然因素是城市形成、发展的基础和背景，我国为中纬度国家，城市大多分布在降水较为丰富、河流分布多的湿润半湿润地区；从地形上看城市集中分布在平原、丘陵地区，高原山区分布较少；从水源角度看，平原城市一般濒临江河湖海，丘陵山地城市大多趋于河谷，普遍临水，水源丰富，水路交通便利。分布在平原的大多数城市既临近水源，又处于相对较高的地区，不易受洪水侵害。而这些较高地区的形成受到构造活动、河流的侵蚀和堆积作用等方面的影响，虽然平原地区构造差异活动较弱，但仍然影响着现今的地形地貌。

平原区第四纪以来的构造活动往往与古构造活动有一定的相关性，受第四纪以来构造活动影响而形成的现今局部地貌高与古构造中的正向构造也有一定的相关性，这就使得建设在含油气盆地之上的大多数城市本身处于有利勘探部位，亟待实施地震勘探。以冀中地区为例，该区处于华北平原西侧，构造位置上属于渤海湾盆地冀中拗陷。冀中拗陷在古近纪处于伸展断陷期，发育 12 个沉积凹陷，形成隆凹相间的构造格局。冀中拗陷可以划分为东、西两个凹陷带，西部凹陷带包括北京凹陷、徐水凹陷、保定凹陷和石家庄凹陷，东部凹陷带包括大厂凹陷、廊固凹陷、武清凹陷、霸县（今霸州市）凹陷、饶阳凹陷、深泽凹陷、束鹿凹陷和晋县凹陷。新近纪以来，冀中拗陷进入拗陷期，太行山前的古近系西部凹陷带隆升，拗陷期沉积中心与古近系东部凹陷带沉降中心趋于吻合。华北平原第四纪稳定地继承着古近纪和新近纪以来的构造特点，因此，现今的构造较高部位与古近纪或新近纪发育的古构造有关，一般处于古近纪的凸起或低凸起区、构造斜坡区、洼中潜山或正向构造带，以及新近系太行山前隆升带。分布于冀中拗陷之上的城市较多，包括首都北京、直辖市天津、河北省省会石家庄及河北省市、县两级城市共 56 个，从统计数字来看，位于古近系凸起区或低凸起区的城市有 26 个，占本区城市总数量的 46.4%；位于古近系斜坡区的城市有 13 个，占本区城市总数量的 23.2%；位于古近系洼中潜山或正向构造带的城市有 6 个，占本区城市总数量的 10.7%；位于新近系太行山前冲积扇发育带上的城市有 9 个，占本区城市总数量的 16%（表 1.1、图 1.1）。处于古近系西部凹陷带富油凹陷斜坡区、凹陷内潜山或正向构造带及周边凸起或低凸起区的城市均处于有利勘探区，需要开展大规模的城市三维地震勘探，为富油凹陷的整体认识、整体评价、立体勘探奠定基础，助力深化城市所在有利区的综合评价，推动油气勘探的整体进程。

表 1.1 冀中地区城市所处古构造类型统计表

构造类型	现有城市
凸起及低凸起	通州、大兴、香河、宝坻、静海、天津、容城、雄县 <sup>①</sup> 、大城、青县、沧州、安国、深泽、河间、献县、武强、武邑、阜城、藁城、无极、衡水、宁晋、新河、冀州、枣强、高邑
斜坡区	大厂、武清、永清、文安、高阳、蠡县、博野、安平、饶阳、深州、辛集、晋州、赵县
洼中潜山或正向构造带	廊坊、固安、任丘、保定、清苑、肃宁
太行山前冲积扇发育带	北京、涿州、定兴、徐水、望都、定州、正定、石家庄

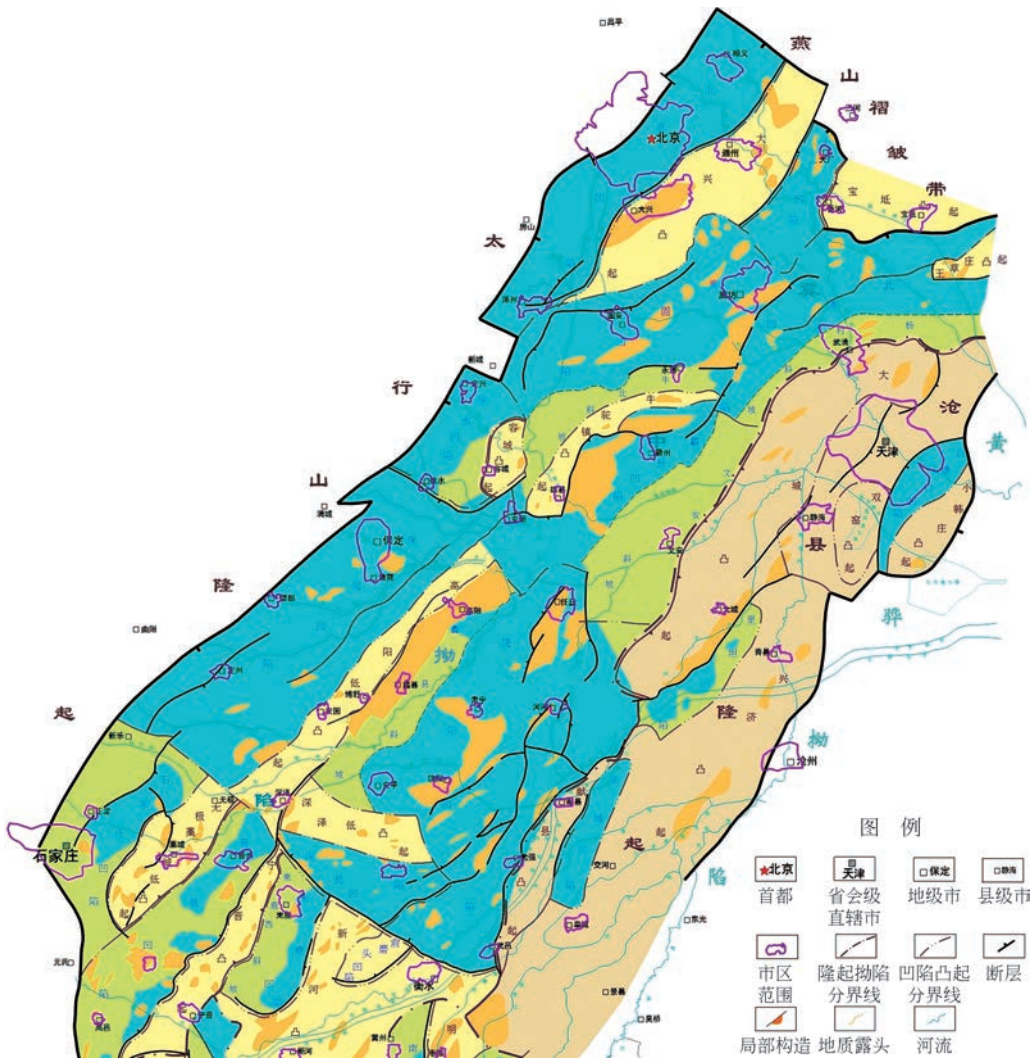


图 1.1 冀中拗陷县级以上城市范围与古近系古构造叠合图

① 雄县现归属于雄安新区。

基于以上观点,开展城市油气三维地震最重要的意义就是进一步落实城市区域潜在的有利油气勘探目标。具体如华北探区的廊坊市地表高程相对较高,构造上处于廊固凹陷的构造高点。廊固凹陷是冀中拗陷剩余石油资源最丰富的区带之一,具有较大的勘探潜力,已发现采育、旧州、廊东等油田,三次资评结果证实韩村、桐南注槽剩余资源量 $1.45\times 10^8$ t。在廊坊市城区范围内的杨税务潜山带就是廊固凹陷的一个构造高点,利用现有二维地震资料已经初步落实了安探1背斜、京24北断块、安探3断鼻等多个有利勘探目标,为了进一步落实杨税务潜山带及提出的有利目标,迫切需要开展针对廊坊市城区的三维地震采集工作(图1.2)。

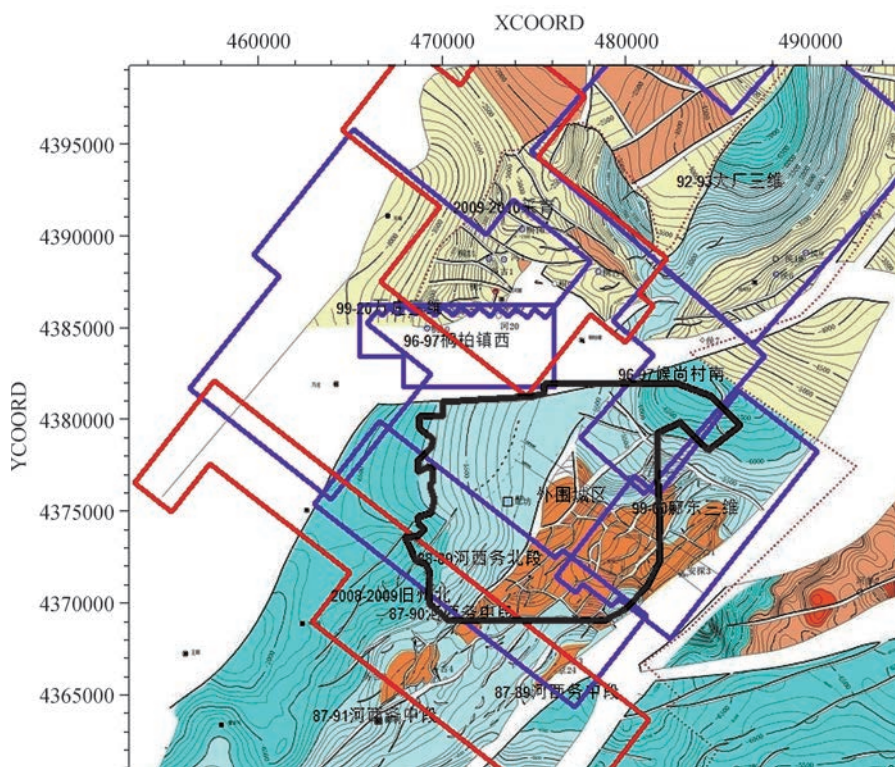


图 1.2 廊固凹陷廊坊市周边勘探程度图

国内较早发现的油田其地理位置大部分与现在的城市范围相重合,如任丘潜山油田处在任丘市区范围内,潜山突破最早的任4井就在城区内(图1.3),克拉玛依油田一号井在克拉玛依市区范围内(图1.4),对这些老油区进行地震勘探必然涉及城市三维地震勘探。

城市油气三维地震是填补城市区域三维地震资料空白的需求。中国东部油田的勘探程度相对较高,大部分地区已被三维地震覆盖,但是受早期地震勘探装备和技术条件的限制,大型城市由于地表条件复杂,一般二维地震勘探都难以实施,三维地震勘探更是望而却步,所以这类地区基本属于三维甚至二维地震资料空白区,影响了一些有利构造区带的整体认识和富油凹陷的资源评价<sup>[1]</sup>。如华北油田矿区和任丘市区在2005年以前仅有少数部



图 1.3 华北古潜山油田任四井



图 1.4 克拉玛依一号井

分三维地震资料，并且资料信噪比较低（图 1.5），任丘潜山界面反射和构造形态都不清楚，在一定程度上影响了任丘潜山带进一步勘探开发的进程。

城市油气三维地震是对城市区域所在凹陷整体认识评价的需求。霸县凹陷是冀中三大富油凹陷之一，面积达  $2500\text{km}^2$ ，2006 ~ 2011 年钻井揭示霸县凹陷深层沙四段烃源岩发育，扩大了资源规模，证实了霸县凹陷资源潜力巨大，石油聚集成藏量为  $5.24 \times 10^8\text{t}$ ，较三次资源评价的  $2.64 \times 10^8\text{t}$  增加了近一倍，天然气成藏量为  $927.11 \times 10^8\text{m}^3$ ，较三次资源评价的  $537 \times 10^8\text{m}^3$  增加了 73%，霸县凹陷剩余油资源量为  $3.69 \times 10^8\text{t}$ ，剩余气资源量为  $786 \times 10^8\text{m}^3$ ，因此资源潜力巨大。霸县凹陷完成 15 块三维地震采集，但是霸州市城区面积为  $40\text{km}^2$ ，在 2012 年实施城区勘探以前没有三维地震资料，导致霸县凹陷北部，特别是霸县洼槽最深部位构造不落实，从等时切片上看洼槽部位构造不完整（图 1.6），在一定程度上影响了霸县凹陷的整体认识。

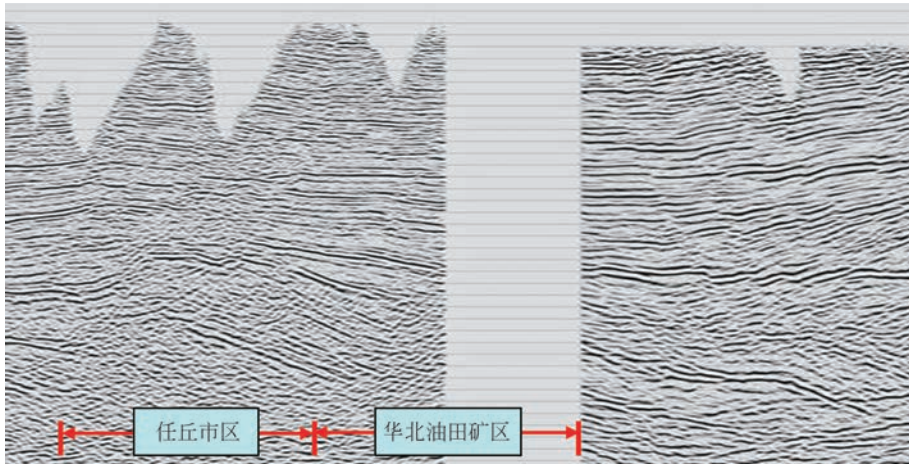


图 1.5 2005 年以前穿越任丘市区典型三维拼接地震剖面

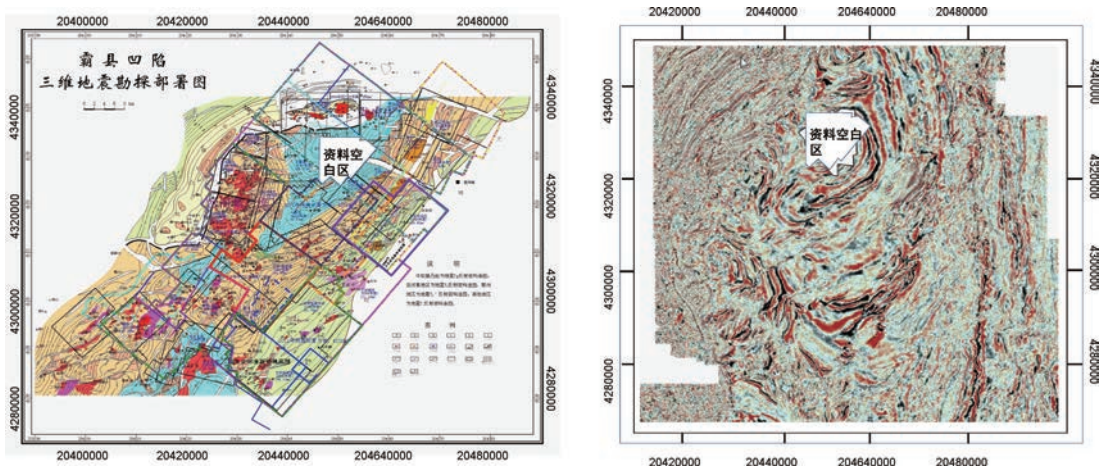


图 1.6 霸县凹陷霸州市区周边勘探程度图及 2500ms 等时切片图

城市油气三维地震是油田扩展勘探区域寻求勘探突破的需求。东部油田为了增产、稳产，确保可持续性发展，迫切需要新的储量发现，寻找新的有利构造带，城市、矿区这些复杂地面地震勘探条件区域已成为油田下一步勘探发现油气的重点目标。以华北油田冀中探区为例，大面积分布的城市资料空白区影响区域整体认识，导致勘探难度越来越大，勘探效益逐步下滑，影响了油田进一步“扩边挖潜”和对富油凹陷的整体评价，进而影响到油田持续、健康、稳定的发展。针对这种严峻的勘探形势，华北油田公司积极转变勘探思路，按照“满洼含油”的陆相富集区沉积理论，加大油田富集区的勘探力度，把勘探区域逐步转向复杂油田矿区、大型城市等复杂地震地质条件区，力争通过“油田周边找油田、油田深层找油田”实现勘探的重大突破。

城市油气三维地震是油田把握机遇战略布局的需求。中国的城市建设已经取得了让世界瞩目的巨大成就，同时正面临着更快更大规模的发展，具体表现为城市规模越来越大，

城市发展越来越快，地表建筑物和地下设施越来越多，人文活动日益频繁、多样，安全环保要求与日俱增，大部分城市周边设立开发区，工程建设和经济发展日新月异，现在进行城市勘探已经面临一定困难，但是相比将来城市的进一步发展，目前还是相对容易实施，如城区的面积变化（表 1.2），固安城区在 2004 年三维采集时面积为 22.0km<sup>2</sup>，到 2018 年面积已经达到 66.2km<sup>2</sup>，扩大到原来的三倍左右，所以重点目标区的城市油气三维地震勘探具有前瞻性、紧迫性。

表 1.2 华北探区部分城区面积变化情况表

序号	城区	不同年度城区面积		增加面积/km <sup>2</sup>
		年度	城区面积/km <sup>2</sup>	
1	固安城区	2004 年	22.0	44.2
		2018 年	66.2	
2	任丘北城区	2004 年	34.0	5.2
		2018 年	39.2	
3	华北油田矿区	2005 年	35.0	3.6
		2018 年	38.6	
4	文安城区	2005 年	18.0	7.8
		2018 年	25.8	
5	深州城区	2006 年	18.0	12.2
		2018 年	30.2	
6	肃宁城区	2006 年	16.0	7.5
		2018 年	23.5	
7	永清城区	2007 年	16.0	13.8
		2018 年	29.8	
8	河间城区	2007 年	23.0	9.3
		2018 年	32.3	
9	高阳城区	2008 年	20.0	6.3
		2018 年	26.3	
10	霸州城区	2012 年	37.0	11.8
		2018 年	48.8	
11	辛集城区	2014 年	45.0	11.6
		2018 年	56.6	
12	博野城区	2015 年	12.0	6.3
		2018 年	18.3	
13	蠡县城区	2015 年	21.0	7.8
		2018 年	28.8	

## 1.2 城市油气勘探面临的挑战

改革开放以来，中国城镇化进程明显加快并取得显著进展，特别是中国东部地区，华北探区所处的京津冀城市群发展尤为迅速，城市的面积、人口、厂矿、交通设施得到飞速

发展，在这类地区进行三维地震勘探的影响因素越来越多，施工所面临的困难越来越大。

### 1.2.1 城市快速规模化发展带来的挑战

城市的面积：中国东部地区经济发达，城市密度大，各县市之间直线距离为17~30km，平均城市密度为4~6个/ $10^3\text{km}^2$ ，随着经济发展，城镇规模也逐年增大，一般达到20~100 $\text{km}^2$ （图1.7）。城镇规模增大对地震勘探资料品质的稳定、观测系统的均匀布设、激发点参数的正常设计、设备保护和安全生产及环境保护都带了较大影响。



图 1.7 华北探区完成三维地震采集城区的分布及面积示意图