

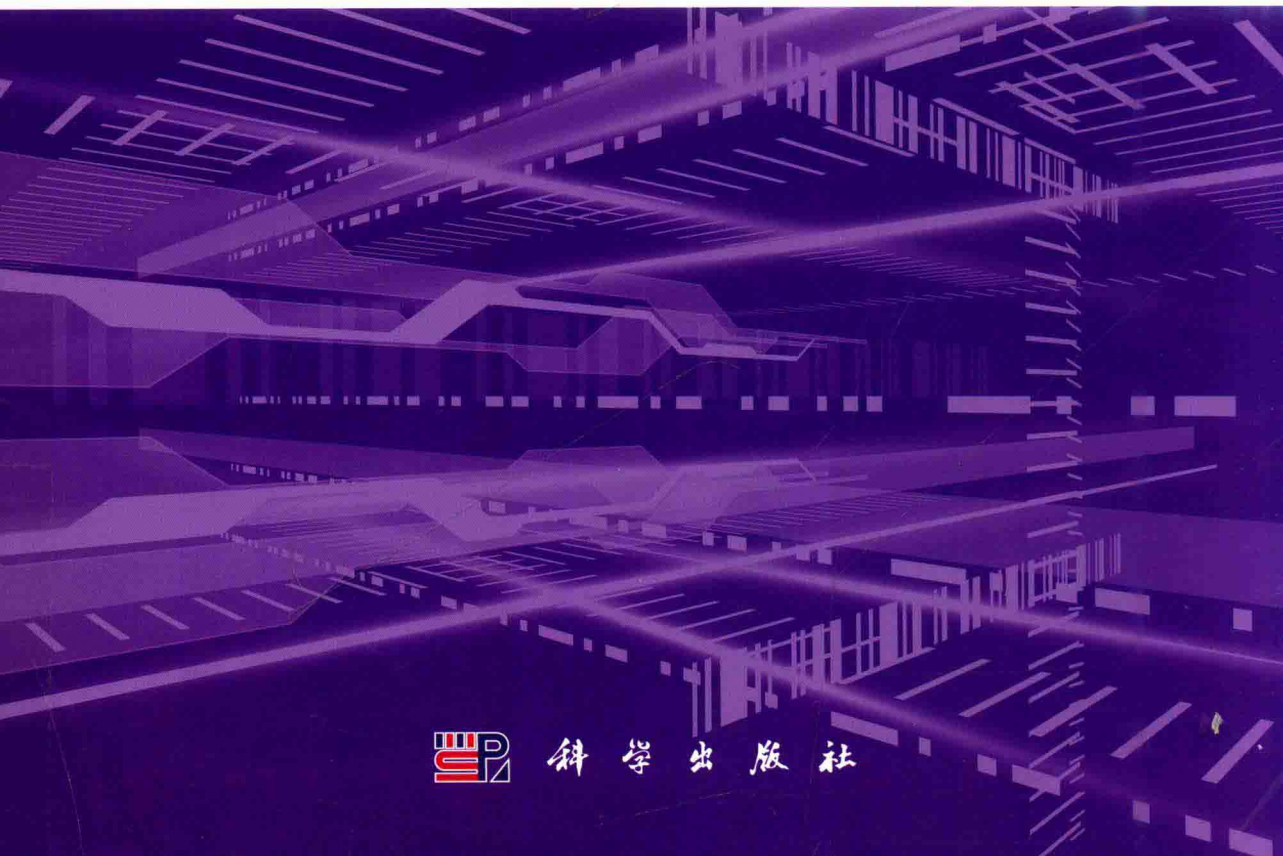
数字油田在中国丛书

Digital Oilfield in China
Oilfield Data Science

数字油田在中国

——油田数据学

高志亮 付国民 等 著



数字油田在中国丛书

数字油田在中国

——油田数据学

高志亮 付国民 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地论述了油田数据学的基本理论与方法,以油田企业科学研究中的油田数据作为研究对象;以油田企业主营业务和油田数字化建设中数据为主线,讨论了各项业务中的数据从哪来,到哪去的问题。目的是教会人们知道油田数据是怎样生产的,数据在各个阶段的状态,并学会用油田数据做事。

本书立足石油类大专院校和具有地质石油类院系的学科教学,在撰写中力求简洁、通俗、易懂,便于教学。本书除作为石油类大专院校本科生、研究生教材外,也可以作为石油类科研院所培养数据人才的教科书,还可以作为油田企业培养油田数据人才和数据科学家的基础教材,是大数据时代油田企业工程技术人员重要的参考文献。

图书在版编目(CIP)数据

数字油田在中国:油田数据学/高志亮等著. —北京:科学出版社, 2017
(数字油田在中国丛书)

ISBN 978-7-03-053463-7

I. ①数… II. ①高… III. ①数字技术—应用—油田开发—研究—中国
IV. ①TE319

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 136646 号

责任编辑:韦 沁/责任校对:何艳萍

责任印制:张 伟/封面设计:北京东方人华科技有限公司

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年6月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:344 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



《数字油田在中国丛书》编委会

编 委 顾 问：汤中立 李佩成 康玉柱 李 阳 李根生

编 委 会 主 任：董宝青 刘建朝 李天太 宋考平 陈军斌

编 委 会 副 主 任：（按姓氏汉语拼音排序）

李剑峰 李文明 王同良 杨 悦

编委会执行主任，主编：高志亮 付国民

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

常象宇 陈军斌 陈争胜 程国建

崔维庚 段鸿杰 付国民 高 倩

高玉龙 高志亮 郝世彦 贺永红

蒋华义 雷俊杰 李 峰 李剑峰

李清辉 李荣西 李天太 李文明

梁宝娟 刘建朝 刘维武 刘 展

马 涛 石玉江 宋考平 孙少波

孙旭东 王 娟 王 权 魏登峰

杨 悦 袁 冲 袁广金 张 斌

作者名单

高志亮 付国民 高 倩 孙少波
雷俊杰 常象宇 李 辉 蔡 玥
惠 立 蒋华义

丛 书 序 一

该丛书主创高志亮研究员是我多年的同事与朋友，他青年时先是学习油气地球物理勘探，后又考入清华大学学习运筹学与控制论，获理学硕士学位。他有着深厚的数理功底与缜密的思维才能。最近 10 多年来，他和他的团队倾注全部身心研究数字油田，而且在十分困难的条件下，从无到有，建立起数字油田研究所，并组织召开过多次数字油田高端论坛和相关会议，我都有幸应邀参加。在论坛会上我发现与会同仁对高志亮研究员创新奋进精神的敬佩以及对其辉煌成就的赞赏之情溢于言表。抚今追昔，高志亮研究员在数字油田研究与应用方面的奉献是十分突出的，现在他又组织力量将其研究成果提炼升华成系列丛书出版问世，这无疑又是一件好事！

我对数字油田研究知之不深，但对他的作用与功能十分赞赏。

人类传递信息一般主要通过三个途径——语言、文字和图件，但都需要通过数字来支持，例如裁缝量制衣服，就是通过数字量体裁衣。数字表达最具概括性、细微性和普遍性，但因数字的取得量庞大，关系复杂，而长期停滞在比较简单的事物和形体之中。随着电子计算机和传感技术的出现与发展，用其感知获得信息便成为可能，数字油田正是将传感器技术和互联网、数字化平台等技术整合，实施对油田数字的采集，如对油井、水井、气井、计量间、站、库以及集输管网生产对象进行全面感知和科学管理等。可以认为，数字油田是 21 世纪油田事业最先进的理念与技术，也是油田发展最好的抓手和推手，是油田管理的一次革命！

《数字油田在中国丛书》的出版发行，无疑对数字油田事业是一大贡献，不仅如此，数字油田的理论和实践成果也将有助于其他事业的吸纳与运用，互相促进，如将其作为运用于水资源开发利用、水事管理、交通运输事业等的借鉴。

在此，我祝这部丛书早日出版问世！祝编者们幸福快乐！

中国工程院院士 

2013 年 8 月 16 日于长安大学

丛书序二

在油气田，无论地上地下，一切客观现实都是通过数据来表达或表征的。如油气藏描述，如果没有很多相应的数据做支持，就无法知晓深埋地下数百米、数千米的地质构造、砂体形态、储层与裂缝是如何展布的，油气储量有多少等，这都需要依靠数据来完成。油田数据是客观存在的，是油气田最宝贵的财富与资源。但是，油气田数据的采、存、管、用过程是一个复杂的系统工程，其包含着非常复杂的专业技术、设备、方法和信息技术的业务过程。尤其在数据的应用过程中，需要很强的技术与能力进行关联和协调，只有这样才能保证数据发挥最好的作用。因此，需要很好地研究数据。

数字油田建设包括数据数字化处理、生产数字化管理与数字油气藏等内容，包含着油田数据的采、存、管、用的全过程。数字油田作为油田企业信息化的一个抓手，有力地促进了油田企业的信息化建设与发展，必将在油气田科技现代化建设中起到无法估量的作用。

高志亮研究员和他的团队近10年来，一直致力于数字油田、智能油田、智慧油田研究，取得了很好的成绩。目前形成的《数字油田在中国丛书》系列就是对其研究成果的总结与概括。《数字油田在中国丛书》系列包括对数字油田理论、原理、技术和油田数据以及智慧油田的探索与研究，将会形成数字油田理论、技术与方法的完整体系。我希望通过《数字油田在中国丛书》的研究与出版发行，进一步推动数字油田建设与发展，使数字油田更加成熟，不断走向未来。

我和《数字油田在中国丛书》系列主创高志亮研究员，于2012年共同参加863计划项目“数字油田关键技术研究”咨询而相识于北京，之后还在相关的数字油田会议上见过面，特别是在2014年第三届信息化创新国际学术会议上，他作为智能油田专题会议的主持人，我们又一次相见，并作交流。高志亮研究员将数字油田作为一种事业执着地追求和探索，对数字油田的研究很深入，有其独到的见解。我衷心祝愿《数字油田在中国丛书》系列早日全部出版发行。

中国工程院院士

2015年6月于北京

序

油田数据,非常重要,这在油田企业和所有从事油田研究的工程技术人员中都知道。但是,要将油田数据作为一门独立的学科建设,希望成为大专院校开设的一门独立的课程,这还是首次,也比较新颖。

油田数据,随着全球化、信息化的发展,尤其是数字油田建设以来,显得更加重要。油田数据不仅是油田企业的资产,还是油田企业的资源。因为,在油田全面被数字化后,油田数据由原来的纸质数据全部被数字化入库了。这样,对于油田企业来说,便可以利用数字化的数据创造更多的财富与价值。

与此同时,油田在数字化后,又形成了油田数字化的条件,这样的条件就相当于“互联网+”,人们得以广泛地、快速地利用油田数据,为油田各项问题的科学研究提供了便利。但是,目前我们还缺少一类人才,就是油田数据科学家。这就需要我们石油类的高等院校承担起教育和培养的责任,以培养更多能认识油田数据、理解油田数据、分析与研究油田数据的人才。所以,《数字油田在中国——油田数据学》给我们提供了条件。

据我所知,长安大学数字油田研究所十多年来,坚持对我国数字油田建设与发展进行研究,也取得了很好的成绩。其先后已完成《数字油田在中国》3部专著,现在又专门撰写了一部研究油田数据的专著,主张在高校和科研院所广泛地培养油田数据技术人才,这种思想与精神值得肯定。

我对高志亮研究员的认识,还是从翻阅他主持完成的几部专著认识的,后来我于2013年曾写信索取数字油田的相关资料,很快得到他寄来的书与有关文章。他是一个对事业有追求的人,多年来执着地研究我国数字油田建设,并将其作为一种事业在不断进取。《数字油田在中国——油田数据学》是他和他的团队共同努力的结果,也非常适应大数据时代的需要,作为大专院校师生学习的教科书,这个想法很好。

我衷心祝愿《数字油田在中国——油田数据学》早日出版发行,也希望《数字油田在中国——油田数据学》能够得到我国石油类大专院校与油田企业科研院所的支持,确实开设这样一门课程,从大学生、研究生做起,以培养更多的油田数据人才与油田数据科学家。

中国工程院院士



2017年3月3日

前 言

我们曾在《数字油田在中国——油田数据工程与科学》一书中，研究了数字油田建设以来的数据建设问题。今天，我们再以《数字油田在中国——油田数据学》为题，来研究油田数据与油田数据科学家培养问题。

油田数据学是一门新兴的关于油田数据的科学，也是研究数据科学与大数据技术的一门学问。“油田数据”本来是指用以地质研究通过测试获得的科学数据，而随着数字油田的建设，IT技术中广义的数据使得油田数据的概念出现了混淆。为此，我们有责任予以澄清。在研究数据的过程中，我们发现油田数据具有三大规律，即数据“从哪来，到哪去”规律；数据“采、存、管、用”规律和数据“转化”规律。

数据从哪来，到哪去，是研究油田数据的产生与终极，即油田数据全生命周期的问题；数据的采、存、管、用，是研究数据链路上的四种状态，即油田数据状态与链路过程问题；数据“转化”，是研究数据的演化规律，即数字转化为数据，数据转化为信息，信息转化为知识，知识转化为智慧，最终形成“让数据工作”模式的问题。

数据除了具有三大规律外，我们还发现了其具有“三本”特征，即本源、本真与本质。本源，是油田数据所反映的油田物质之本，事物之源；本真，是油田数据反应的数据质量之本，过程之真；本质，是油田数据反映的数据核心之本，价值之质。所以，油田数据的内核就是对深埋地下油气藏的真实反映，对油田一切事物的完美表征与呈现。

为此，我们创立了《数字油田在中国——油田数据学》。一方面对油田数据进行深入的研究；另一方面希望数据科学教育要从在校大学生、研究生抓起，以培养更多的油田数据人才与数据科学家。同时，还希望能对所有的油田企业从业人员，尤其是年轻的工程技术人员进行教育，以培养出更多的油田数据领袖与数据科学大师。

我们预测：未来油田将会慢慢地模糊勘探、开发的概念，取而代之的是勘探开发一体化与开发生产一体化，数据大师与数据科学家成为主力。特别随着长期的油价低位运行，油田已开启“勘探-效益”向“开发-效益”转型发展，从而油田更需要油田数据大师和油田数据科学家主导油田业务。所以，《数字油田在中国——油田数据学》必将担当重任。

《数字油田在中国——油田数据学》，全书共计约30余万字。主要由高志亮研究员主创，由付国民教授、雷俊杰高工设计主持完成。其中第1章绪论由高志亮撰写；第2章油田与油田数据由付国民完成；第3章油气勘探与数据由雷俊杰完成；第4章油气地质研究与数据由蔡玥博士完成；第5章油气开发与数据由李辉博士完成；第6章油气生产与数据由孙少波博士完成；第7章油气储运与数据由惠立、蒋华义教授完成；第8章油田数据现在与未来由高倩博士、常象宇博士完成。孙阳对全书进行了图件清绘和文字校对，高阳博士、徐星博士、澳大利亚David Cavanagh博士、研究生李媛、张文博、刘

秉晞、贺志亮、张春燕、朱荣彬、邢芬、许贤丰等，参与了部分章节的写作与文字校对及翻译等工作。

全书由高志亮、付国民、雷俊杰、蒋华义教授统稿并主审。由于油田数据学初步建立，还有很多问题需要研究与创建，在撰写中不妥之处，希望读者指正。特别在撰写过程中，我们参考了大量前人的文献以及网络资料，借助了很多油田企业的研究成果，只要我们能够找到出处的全部作为参考文献附在书后或书中标注，在此表示衷心的感谢。如有遗漏或因疏忽没有在列，敬请指正，我们一定在第一时间补录致谢。

高志亮 付国民 等

2017年5月

Preface

We had researched on the issue of data construction in the monograph series- “Oilfield Data Science and Engineering of Digital Oilfield in China”, since the digital oil field was established. Today, this book has been intitled as “Oilfield Data Science” with the purpose of oilfield data itself, and lifting the capabilities of an oilfield data scientist.

Oilfield data science is a new emerging discipline relevant to oilfield data, as well as knowledge for learning in data science and big data technology. The original meaning of oilfield data is acquisition of scientific data from test for geological research, while the broad sense of Data in IT industry can confuse the issue with oilfield data, so here our team have provided clarification. During the studying of data, we find three major rules in oilfield science: the first one is “where the data originally comes and where the data the goes”; the second one is one “acquisition, storage, management and application”; and the third is “conversion”.

The first rule is applied for exploring data generation and destination, which is a problem for full life cycle of oilfield data. The second rule is applied for exploring the four stages on the way of data chaining, which addresses the problem of oilfield data condition and chaining process. The third rule is for researching the evolution of data, which is the conversion problem from digital to data, from data to information, from the information to knowledge, and from the knowledge to wisdom. All these factors can be formed into one model of working with data.

In addition, our team have found three data natures which consist of origin, reality and nature. Origin is the root of oilfield physical property which is represented by oilfield data, the source of things. The reality is the critical aspect of data quality represented from oilfield data, brought to life with the reality of processing. Nature is the foundation of core represented from data science, unlocking the quality of value. So the data inner core is the real reflection of oil and gas reservoir buried underground deeply, which is where we strive to find perfect characterization for all things in the oilfield.

The reason why our team has composed this Monograph on Oilfield Data Science is, on the one hand, in order to investigate oilfield data deeply, on the other hand, looking forward to focus on the data science education, for college students and postgraduate students, in order to cultivate their talent in oilfield data science and as data scientists. Meanwhile, throughout the world, we expect more oilfield data leaders and data experts to emerge from the staff of oilfield companies, especially younger engineers and technicians .

The future of the oilfield we predicted is the integration of exploration, development and production, which will replace the independence of exploration or development. The driving forces are data experts and data scientists who meet the requirements of the oilfield, and lead the oilfield business after transformation from exploration efficiency to development efficiency, to adapt to the new normal of lower oil price. So this book entitled “Oilfield Data Science” will be a tool for this task.

“Oilfield Data Science”, totaling over 300, 000 words in Chinese, was prepared with Prof. ZhiliangGao as initiator, Prof. Guomin Fu and Senior engineer Junjie Lei wear several hats such as designer, program director and executor. The authors for each chapter, as follows:

Chapter 1. Preface.....	Prof. ZhiliangGao
Chapter 2. Oilfield and its data.....	Prof. Guomin Fu
Chapter 3. Oil and Gas Exploration and its Data.....	Sr. Engineer Junjie Lei
Chapter 4. Oil and Gas Geology and its Data.....	Dr. YueCai
Chapter 5. Oil and Gas Development and its Data.....	Dr. Hui Li
Chapter 6. Oil and Gas Production and its Data.....	Prof. Shaobo (Max) Sun
Chapter 7. Oil and Gas Storage, Transportation and its Data.....	Engineer.

Li Hui and Prof. Huayi Jiang

Chapter 8. The Current and Future of Oilfield Data.....	Dr. Qian (Kino) Gao and Dr. Xiangyu Chang
---	---

Yang Sun carried out proofreading and also drawing of graphs, images, diagrams, and figures in the whole book. This preface is translated by David Cavanagh and Yuan (Tracy) Lee. Writing partial chapters, collating and translating was provided by Dr. Yang Gao, Dr. Xing Xu, fresh graduate Wenbo Zhang, Bingxi Liu, Zhiliang He, Chongyan Zhang, Rongbin Zhu, Fen Xing and Xianfeng Xu.

The main reviewers group is made up of Prof. ZhiliangGao, Prof. Guomin Fu, Senior engineer Junjie Lei, and Prof. Huayi Jiang. There are many opportunities to pursue and create further ideas, the authors invite the reader to point out the faults and defects in this book, to advance the evolution of oilfield data science. We sincerely express our acknowledgement for the references, where we found the source is listed at the end of the book or as a footnote in the text, with an index of research achievements from oilfield companies. All of us humbly invite you to reach out and share your feedback, so we can make further additions to this body of work, recognizing there is always room for improvement.

Zhiliang Gao, Guomin Fu, and ect.

May, 2017

目 录

丛书序一

丛书序二

序

前言

Preface

第 1 章 绪论	1
1.1 油田数据学的意义和作用	1
1.1.1 为什么要创立油田数据学	1
1.1.2 学习油田数据学的意义	2
1.1.3 油田数据学的作用	5
1.2 油田数据学研究的主要内容与任务	7
1.2.1 油田数据研究的几个问题	7
1.2.2 油田数据研究的任务	12
1.2.3 油田数据的理论与原理研究	15
1.3 油田数据研究方向与方法	19
1.3.1 油田数据的演进	19
1.3.2 油田技术进步与数据	21
1.3.3 油田数据研究方法	24
1.4 本章小结	26
思考题	27
第 2 章 油田与油田数据	28
2.1 油田与油田企业	28
2.1.1 关于油田	28
2.1.2 油田企业	29
2.1.3 油田与油田企业及数据	31
2.2 数据与油田数据	33
2.2.1 关于数据	33
2.2.2 关于油田数据	36
2.2.3 油田数据质量	41
2.3 数据改变油田	43
2.3.1 数据的起源与崛起	43
2.3.2 应用数据研究	45

2.3.3 油田数据应用研究	49
2.4 本章小结	53
思考题	53
第3章 油气勘探与数据	54
3.1 油气勘探技术	54
3.1.1 油气勘探概念	54
3.1.2 油气勘探技术简介	54
3.2 油气勘探数据	57
3.2.1 油气勘探数据的生产	57
3.2.2 勘探数据特点	64
3.2.3 油气勘探数据处理	65
3.3 油气勘探数据的应用	67
3.3.1 勘探数据应用	68
3.3.2 大数据精准勘探	73
3.4 本章小结	76
思考题	76
第4章 油气地质研究与数据	77
4.1 油气地质研究	77
4.1.1 油气地质研究概念	77
4.1.2 油气地质研究内容	77
4.1.3 油气地质数据研究方法	78
4.2 油气地质研究数据	80
4.2.1 油气地质研究数据需求	80
4.2.2 油气地质研究数据格式	82
4.2.3 油气地质研究数据特点	83
4.3 油气地质研究数据应用	87
4.3.1 油气地质研究数据过程	87
4.3.2 油气地质研究数据应用	88
4.3.3 大数据与智慧油田	92
4.4 本章小结	96
思考题	97
第5章 油气开发与数据	98
5.1 油气开发	98
5.1.1 油气开发概念	98
5.1.2 油气开发地位	100
5.2 油气开发与油藏工程数据	101
5.2.1 油气开发数据的生产	102
5.2.2 油藏工程数据特征	103

5.2.3 油气开发数据处理	106
5.3 油气开发数据应用	108
5.3.1 油气开发方案编制	108
5.3.2 油气开发动态分析应用	111
5.3.3 开发数据在井组二维三维建模中的应用实例	117
5.3.4 大数据油气开发生产一体化	121
5.4 本章小结	123
思考题	124
第6章 油气生产与数据	125
6.1 油气生产	125
6.1.1 油气生产的概念	125
6.1.2 油气生产过程	127
6.1.3 油气生产与其他业务关系	130
6.2 油田数字化与油气生产数据	134
6.2.1 油田数字化	134
6.2.2 油气生产数据	137
6.3 油气生产数据应用	140
6.3.1 油气生产数据形态与特征	140
6.3.2 油气生产与智能化	148
6.3.3 油气生产大数据精准控制	149
6.4 本章小结	151
思考题	151
第7章 油气储运与数据	152
7.1 油气储运	152
7.1.1 油气储运概念与技术	152
7.1.2 油气储运专业概念	155
7.1.3 油气储运技术发展与未来	155
7.2 储运数据生产与构成	156
7.2.1 储运数字化与数据	156
7.2.2 储运数据的构成	158
7.2.3 油气储运数据作用	161
7.3 油气储运数据的应用	163
7.3.1 储运数据的运行过程	163
7.3.2 管道建设的数据应用	167
7.3.3 储运人工智能决策	174
7.4 本章小结	175
思考题	175
第8章 油田数据现在与未来	176

8.1 数据治理	176
8.1.1 数据治理概念	176
8.1.2 数据治理方法	180
8.1.3 数据专家数据治理方法	183
8.2 数据工作与决策	186
8.2.1 数据工作的概念与原理	186
8.2.2 数据决策	189
8.2.3 油田数据决定油田未来	190
8.3 智慧计算	193
8.3.1 智慧计算的提出	193
8.3.2 智慧计算的方法	198
8.3.3 智慧计算结果分析	201
8.3.4 数据发展	207
8.4 本章小结	207
思考题	208
参考文献	209
后记	211

第1章 绪 论

油田企业，其实就是一个数据的企业。

因为，油气勘探是利用勘探技术采集数据，发现油气在哪里；油气开发是利用数据研究和编制开发方案，提高采收率；油气生产是利用油气井产量数据和其他数据，提高单井产量和降本增效，获得利润；油气集输是利用压力、温度等数据，保证集输过程中的安全与环保，等等。

所以，没有数据，就没有油田。没有油田数据，就没有油田企业的财富。

1.1 油田数据学的意义和作用

油田数据学，是刚刚创立的一个新学科，是在数据科学与大数据技术时代呼之欲出的科学。

1.1.1 为什么要创立油田数据学

为什么要创立油田数据学？主要基于这样三点。

1) 时代发展的需要

社会发展到大数据时代，但截至目前，还没有一门关于油田数据的学科，所以，我们一定要创新建立。

在油田，长期以来人们都十分重视各项专业技术，认为专业技术的建立与创新才是油田的生命。而对于数据，从来都很重视，但却从来都没有给予应有的地位，只是作为“资料”来对待，因此，人们不认为数据是门学问。

在社会进步与科学发展的今天，时代演进到了大数据的时代，人们不得不停下来反思我们的过去。长期以来，“资料”是数据的代名词，就是把“资料”混同于数据。现在需要为油田数据“正名”：数据就是数据，油田数据不等于资料。所以，我们要用《数字油田在中国——油田数据学》，以下简称《油田数据学》，来“证明”油田数据的存在与价值。并呼吁人们要高度地重视数据、认识数据、理解数据；高度地重视油田数据、认识油田数据、理解油田数据；更重要的是学习、研究与推广油田数据，并赋予油田数据对油田的责任与使命。

需要说明的是，我们也见过关于研究数据的《数据学》专著，但其主要是研究计算机方面的数据问题，而对于油田企业来说，油田数据就是发现油和气的前提，数据在油田企业中被赋予更加重要的、特殊的意义。因此，时代不同了，为适应时代的需要，我