

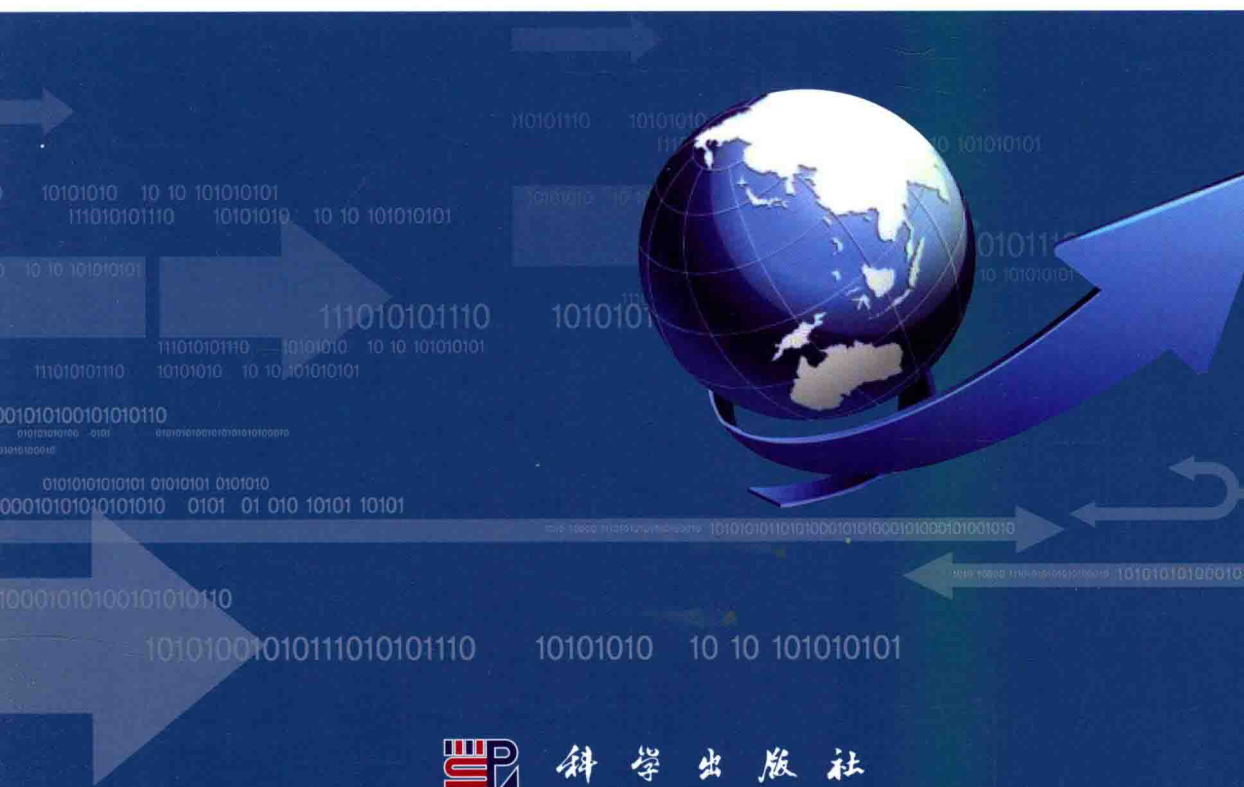
数字油田在中国丛书

Digital Oilfield in China
—Oilfield Data Engineering and Science

数字油田在中国

——油田数据工程与科学

高志亮 高倩 等 著



科学出版社

数字油田在中国丛书

数字油田在中国

——油田数据工程与科学

高志亮 高 倩 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

这是我国首部全面阐述油田数据工程与科学的专著。本书在全面梳理、总结中国数字油田数据建设方法与技术的基础上,深入研究了油田数据的基本概念、特征与应用;本书撰写力求通俗、易懂,既希望能让油田专业技术人员看懂数据是怎样建设的,又希望让 IT 人员看懂油田数据从哪来到哪去,具有可读性和实用性,是一部难得的油田数据建设技术专著和数据管理与运维的培训教材。

本书理论体系完整,系统性、针对性强,技术含量高,是油田企业领导者、决策者和科研人员重要的参考用书,也是石油院校、地质院校广大师生数据教学用书与重要的参考文献,更是石油科研院所和 IT 企业界从事油田数据建设及管理运维人员必备的技术手册。

图书在版编目(CIP)数据

数字油田在中国:油田数据工程与科学/高志亮等著. —北京:科学出版社, 2015. 10

(数字油田在中国丛书)

ISBN 978-7-03-045951-0

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(2015)第 235060 号

责任编辑:韦 沁/责任校对:赵桂芬

责任印制:徐晓晨/封面设计:东方人华设计工作室

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

*

2015 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 10 月第一次印刷 印张:21

字数:457 000

定价:89.00 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	李佩成	李 阳			
编 委 会 主 任	董宝青	刘建朝	赵祥模	李天太	宋考平
编 委 会 副 主 任	(按姓氏拼音排序)				
	侯晓峰	李剑峰	李文明	王根平	王同良
	王香增	杨 悦			
编委会执行主任, 主编	高志亮	高 倩			
编 委	(按姓氏拼音排序)				
	常象宇	晁会霞	程国建	程军斌	崔维庚
	段鸿杰	付国民	高 倩	高玉龙	高志亮
	郭广文	郝世彦	金德明	雷俊杰	雷鸣章
	李剑峰	李荣西	李文明	刘 展	石玉江
	孙少波	孙旭东	王 娟	王 权	王书宝
	王同良	王香增	仵金仓	杨 悦	袁广金
	张 斌	张 琦			

作者名单

高志亮	高倩	孙少波	段鸿杰
张守昌	孙旭东	高玉龙	金德明
张皓力	崔维庚	常象宇	孙阳

丛 书 序

本丛书主编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

序

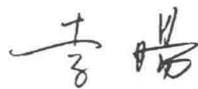
在油气田，无论地上地下，一切客观现实都是通过数据来表达或表征的。如油气藏描述，如果没有很多相应的数据做支撑，就无法知晓深埋地下数百米、数千米的地质构造、砂体形态、储层与裂缝是如何展布的，油气储量有多少等，这都需要依靠数据来完成。油田数据是客观存在的，是油气田最宝贵的财富与资源。但是，油气田数据的采、存、管、用过程是一个复杂的系统工程，其包含着非常复杂的专业技术、设备、方法和信息技术的业务过程。尤其在数据的应用过程中，需要很强的技术与能力进行关联和协调，只有这样才能保证数据发挥最好的作用。因此，需要很好地研究数据。

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的建设与发展，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》系列主编高志亮研究员，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

前 言

数据,是一个简单而复杂的事物。简单,是因为其1、2、3、4、5,这就是一个个数字。复杂,是因为数据存在着采、存、管、用,复杂的过程与数据背后隐藏着难以发现的信息。说它是一个事物,是因为由数据构成了数据物质的世界,如同宇宙、地球和人类社会一样,并不仅仅是1、2、3、4、5这样的数字,从而形成了一个大千的世界。所以,数据是物质的,如水、电和空气。

本书是《数字油田在中国丛书》系列的第三部,是继第一部研究数字油田的理论、原理和实践,第二部研究油田物联网技术之后,专项研究数字油田数据问题的专著,以解决油田数据转化为油气资源信息的大课题。

在我国,自1999年数字油田提出以来,数字油田主要围绕油田数据数字化、油田数字化管理和数字油藏进行建设,目前又在开展智能油田建设,这些建设看起来是不同的领域、不同的层次,其实有一个共同的事,就是数据建设与研究。

数据问题,一般是四个方面的问题,它包括数据技术、数据工程、数据科学与数据应用。在数字油田建设中人们做了大量的数据技术与数据应用工作。但是,忽视了数据工程与数据科学问题。所以,笔者在本专著中重点就数据工程和数据科学,做了研究与探索。

本书最重要的成果是定义多源数字油田数据,界定数据工程与数据科学,研究油田数据和油田数据的特征及油田数据转化为信息的过程,建立相应的模型与模式。

本书是在数字油田理论指导下完成的研究成果。全书分12章,大体上分为三个部分,第1、2章,主要研究数据、油田数据和数字油田数据工程和油田数据科学及其理论、原理与方法论。第3~9章,主要研究油田数据的“采、存、管、用”理论、原理、技术及其数据应用中的系统开发、集成与标准问题等。第10~12章,主要研究油田数据科学问题,包括大数据与油田场景时代等数据科学创新发展问题等。

在撰写过程中,高倩博士、孙少波博士对全书做了整体的设计,并分别完成了第11章和第2章的撰写。高倩博士、高志夫完成了第3章的写作。段鸿杰博士、韩明、牟菁主要完成了第4章油田数据存储与建设的研究。张守昌高工主要完成了第5章油田数据管理的研究。孙旭东博士主要完成了第6章油田数据的应用研究。金德明高工主要完成了第7章油田应用系统与开发的研究。高玉龙高工主要完成了第8章油田数据集成与平台的研究。张琦教授、张皓力主要完成了第9章油田数据标准与建设的研究。常象宇博士、晁会霞博士、孙阳完成了第10章油田数据研究。其余都由高志亮研究员、崔维庚研究员等完成,高志亮主审了全部书稿。在全书统稿中高倩博士、张琦教授、段鸿杰教授、袁耀岚高工做了大量的审稿工作。研究生孙阳、张馨、朱洁、贾冰、刘秉晞、丁迎超、徐文杰等分别参与了部分章节的撰写、图件清绘、文字校正和全部的外文翻译等工作。

由于笔者水平有限，专著撰写过程中可能存在欠缺与问题。因此，敬请读者多包涵与指正。特别是在撰写过程中参考了大量的前人研究成果，其中大部分我们都以参考文献的方式表示感谢，如有疏漏，敬请指正与谅解。

高志亮 高 倩

2015年6月

Preface

Data, is a simple and complex matter. Simple, for its expression is just numbers 1, 2, 3, 4, 5. Complex, since managing data and detecting the background information of data are so difficult. Data constructs a digital world, e. g. digitalizing universe, earth and stoical society. It is not just numbers 1, 2, 3, 4, 5. As long as all the words, tables are identified by calculation, they are called data, thus forming the world. Therefore, data is a substance.

Digital Oilfield in China-Oilfield Data Engineering and Science is the third one of the series of books of *Digital Oilfield in China*. It professionally researches data problems of digital oilfield to further deal with the problem of transforming oilfield data to oil and gas resource information after the first and second book which focused on studying the theory, practicing and digital oilfield network.

The general concept of digital oilfield was proposed in 1999 (Daqing, China). Digital oilfield mainly constructed around digital oilfield and its management and digital reservoir, and intelligent oilfield construction at present. It seems like these are different aspects from different areas with different levels, in fact, they are doing one thing together, which is data construction and research.

Data problem usually includes four aspects, that is data technology, data engineering; data science and data application. In the proceeding of digital oilfield construction people have already done a lot of work about data technology and application, a engineering and scientific problem have been ignored. Therefore, In this monograph, we focus on the data construction and data science to do some research and exploration.

The most important achievement of this monograph is that it defined the multi-source digital oilfield data, distinguished the oilfield data engineering and data science and studied the oilfield data characteristics and the process of transforming data to information and formed corresponding models and modes.

Digital Oilfield in China-Oilfield Data Engineering and Science runs through the fundamental idea and philosophy of digital oilfield. It is a comprehensive research result which is completed under the guidance of digital oilfield theory. The book is totally 12 chapters, over 200 thousand words and generally divided into three parts. Chapter 1 to chapter 2, mainly discusses scientific theory, principle and methodology of data, oilfield data and digital oilfield construction; chapter 3 to chapter 9, argues the theory, principle and technology of data acquisition, data storage, data management, and data employment. The problems of system development, integration and standardization in

oilfield data applications are also considered; Chapter 10 to chapter12, mainly talks about the data science problems, includes some innovative development issues such as big data with oilfield context age, ect.

Dr. Sun Shaobo and Dr. Gao Qian did the whole design and organization and respectively finished the Chapter 11 and Chapter 2. Dr. Gao Qian and Gao Zhifu cooperatively finished Chapter 3. Researcher Gao Zhiliang systematically audited and revised the draft. Main chapters were written by chief editors and deputy editors Dr. GAO Qian, Prof. Zhang Qi and Prof. Duan Hongjie. Besides, some sections were performed by other authors, it follows:

Chapter of Data Storage Research—Prof. Duan Hongjie, Han Ming, Mou Qing;

Chapter of Data Management Research—Senior Engineer Zhang Shouchang;

Chapter of Data Application Research—Senior Engineer Sun Xudong;

Chapter of System Development and Application Research—Senior Engineer Jin Deming;

Chapter of System Integration and Platform Research—Specialist Gao Yulong;

Chapter of Data Standards —Prof. Zhang Qi and Zhang Haoli;

The rest Chapters—Researcher Gao Zhiliang, Master Cui Weigeng, Master Sun Yang;

Draft reviser—Researcher Gao Zhiliang, Dr. Gao Qian, Prof. Zhang Qi, Prof. Duan Hongjie, Senior Engineer Yuan Yaolan;

English translation, edit and the correction of characters —master Sun Yang, master Zhang Xin, master Zhu Jie, master Jia Bing, master Liu Bingxi, master Ding Yingchao and master Xu Wenjie.

Because the oilfield data is still in the phase of research and exploration, a lot of problems still exist in the process of construction and the technology needs to be improved, this monograph also has many defects. Sincerely hope you will give understanding and correction.

In the process of edition, we also referred a large number of previons research results, and we express our appreciation in the form of references. Here we give our heartfelt appreciation to you again. If there are any omission, we express our sincerely appreciation and apologize here and if you notice us, we must renew in aproper way.

Chief Editor: Gao Zhiliang, Gao Qian

June, 2015

目 录

丛书序

序

前言

Preface

第 1 章 绪论	1
1.1 数字油田数据建设	1
1.1.1 数字油田建设的基本估计	1
1.1.2 数字油田建设的基本评价	2
1.1.3 数字油田建设面临的问题	4
1.2 数字油田数据问题与研究内容	7
1.2.1 数据概念与特征	7
1.2.2 数字油田数据概念与特征	10
1.2.3 数字油田数据研究内容	13
1.3 油田数据建设与研究方法论	15
1.3.1 石油科学方法论	15
1.3.2 系统工程方法论	17
1.3.3 油田数据学	19
1.4 小结	22
第 2 章 数据工程与数据科学	23
2.1 数据工程概念与研究	23
2.1.1 数据工程概念	23
2.1.2 数据工程研究	26
2.1.3 数据工程方法	28
2.2 数据科学概念与研究	33
2.2.1 数据科学背景与概念	33
2.2.2 数据科学特征与问题	36
2.2.3 数据科学研究范式	39
2.3 数字油田数据工程与科学问题	40
2.3.1 数字油田数据工程问题	40
2.3.2 数字油田数据科学研究思想与问题	43
2.3.3 数字油田数据工程与科学发展趋势	46
2.4 小结	47
第 3 章 油田数据采集	48

3.1 油田数据采集.....	48
3.1.1 数据采集的背景.....	48
3.1.2 数据采集.....	53
3.2 油田数据源.....	60
3.2.1 数据源的概念.....	60
3.2.2 油田数据源.....	62
3.2.3 数字油田数据源.....	63
3.3 油田数据资源.....	66
3.3.1 数据资源的概念.....	66
3.3.2 数据资源的价值.....	67
3.3.3 油田数据经济评价.....	77
3.4 小结.....	80
第4章 油田数据存储与建设	81
4.1 数据存储.....	81
4.1.1 数据存储的概念与作用.....	81
4.1.2 数据存储模式.....	83
4.1.3 油田数据存储建设.....	83
4.2 数据中心研究.....	86
4.2.1 数据中心概念.....	86
4.2.2 国内油田企业数据中心建设.....	88
4.2.3 数据中心问题讨论.....	94
4.3 油田数据存储未来.....	95
4.3.1 云计算与云存储.....	95
4.3.2 油田数据存储发展与趋势.....	97
4.3.3 数据存储创新发展的讨论.....	99
4.4 小结	102
第5章 油田数据管理	103
5.1 油田数据管理的概念与作用	103
5.1.1 油田数据管理的概念	103
5.1.2 数据管理科学化	106
5.1.3 数据管理方法	108
5.2 油田数据管理体系	109
5.2.1 油田数据管理的目标与研究	109
5.2.2 油田数据管理体系建设	110
5.2.3 油田数据资源质量控制体系建设	115
5.2.4 油田数据安全自主可控体系	119
5.3 油田数据管理未来	123
5.3.1 数字油田建设未来技术	123

5.3.2 云平台源头数据资源管理创新	124
5.3.3 油田数据资源管理的未来	125
5.4 小结	126
第6章 油田数据的应用	127
6.1 油田数据应用	127
6.1.1 数据应用的业务背景	127
6.1.2 油田数据应用的特点	129
6.1.3 数据应用模式	130
6.1.4 数据应用的方法与技术	132
6.2 油田数据的领域应用	139
6.2.1 油田生产动态管理数据应用	139
6.2.2 油田专业研究的数据应用	144
6.2.3 油田管理与决策的数据应用	150
6.2.4 油田经营管理数据应用	153
6.3 数字油田数据的应用观	155
6.3.1 数字油田数据的应用现状	155
6.3.2 数字油田的数据应用策略	156
6.3.3 数据应用的未来展望	157
6.4 小结	158
第7章 油田应用系统与开发	160
7.1 油田应用系统的概念与建设	160
7.1.1 油田应用系统的概念与分类	160
7.1.2 数据与油田应用系统	164
7.1.3 典型油田应用管理系统	166
7.2 油田应用系统开发	175
7.2.1 油田应用系统开发	176
7.2.2 油田应用系统开发技术	180
7.2.3 油田应用系统开发方法论	181
7.3 油田应用系统未来趋势	183
7.3.1 油田应用系统的困境	183
7.3.2 油田应用系统创新	185
7.3.3 油田应用系统趋势	187
7.4 小结	188
第8章 油田数据集成与平台	189
8.1 数据集成与油田数据集成	189
8.1.1 数据集成的概念	189
8.1.2 数据集成原理与关键技术	190
8.1.3 数据集成问题与解决办法	193

8.1.4 数字油田数据集成方法	196
8.2 油田数据平台	199
8.2.1 平台的概念	200
8.2.2 油田数据平台技术与应用	201
8.2.3 油田平台建设方法	206
8.3 油田数据集成与平台未来	209
8.3.1 油田数据集成走向	209
8.3.2 油田数据平台建设与发展	210
8.4 小结	211
第9章 油田数据标准与建设	213
9.1 数字油田的数据标准	213
9.1.1 数据标准的概念	213
9.1.2 数据建设与标准先行	218
9.2 油田数据标准的建设	219
9.2.1 数据元与元数据	219
9.2.2 数据标准建设	224
9.2.3 数据标准建设方法论	229
9.3 油田数据标准建设创新与未来	231
9.4 小结	232
第10章 油田数据研究	234
10.1 油田数据研究问题	234
10.1.1 数据研究	234
10.1.2 数字油田数据研究	236
10.2 油田多源数据融合研究	240
10.2.1 油田多源数据融合的概念	240
10.2.2 数据融合技术与方法	241
10.2.3 油田数据融合技术与方法	244
10.3 油田数据转化信息	248
10.3.1 油田数据转化为信息技术	248
10.3.2 油田数据融合创新方法	255
10.3.3 油田数据研究的未来	260
10.4 小结	261
第11章 油田大数据与分析	262
11.1 大数据概念与特征	262
11.1.1 大数据的概念	262
11.1.2 大数据时代与特征	263
11.1.3 大数据的作用与意义	265
11.2 油田大数据	266

11.2.1 油田大数据的概念	267
11.2.2 油田大数据特征	270
11.2.3 油田大数据应用研究	273
11.3 油田大数据分析技术与创新	279
11.3.1 大数据与智能运行	280
11.3.2 油田大数据与科学研究	282
11.3.3 油田大数据与未来	285
11.4 小结	287
第 12 章 油田场景时代与数据	288
12.1 场景时代	288
12.1.1 场景时代的背景与概念	288
12.1.2 场景时代技术	289
12.1.3 场景时代的特征	291
12.2 场景时代数据	292
12.2.1 场景时代数据	292
12.2.2 场景时代数据特征	294
12.2.3 场景时代数据研究	294
12.3 油田场景时代	297
12.3.1 油田场景时代与特征	297
12.3.2 油田场景时代数据应用	299
12.3.3 油田场景数据应用与未来	301
12.4 小结	304
参考文献	306
后记	308

Contents

General Foreword

Foreword

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Digital Oilfield Data Construction	1
1.1.1 Basic Estimation of Digital Oilfield Construction	1
1.1.2 Basic Evaluation of Digital Oilfield Construction	2
1.1.3 Challenge of Digital Oilfield Construction	4
1.2 Digital Oilfield Data Problem and Research Content	7
1.2.1 Data Concept and Characteristic	7
1.2.2 Data Concept and Characteristic of Digital Oilfield	10
1.2.3 Data Research Content of Digital Oilfield	13
1.3 Oilfield Data Construction and Research Methodology	15
1.3.1 Petroleum Science Methodology	15
1.3.2 Systematic Engineering Methodology	17
1.3.3 Oilfield Data Science	19
1.4 Summary	22
Chapter 2 Data Engineering and Data Science	23
2.1 Concept and Research of Data Engineering	23
2.1.1 Concept of Data Engineering	23
2.1.2 Research of Data Engineering	26
2.1.3 Method of Data Engineering	28
2.2 Concept and Research of Data Science	33
2.2.1 Background and Concept of Data Science	33
2.2.2 Characteristic and Problem of Data Science	36
2.2.3 Research Paradigm of Data Science	39
2.3 Digital Oilfield Data Engineering and Data Science Problem	40
2.3.1 Data Engineering Problem of Digital Oilfield	40
2.3.2 Data Scientific Research Method and Problem of Digital Oilfield	43
2.3.3 Data Engineering and Scientific Development Tendency of Digital Oilfield	46
2.4 Summary	47
Chapter 3 Oilfield Data Collection	48
3.1 Oilfield Data Collection	48