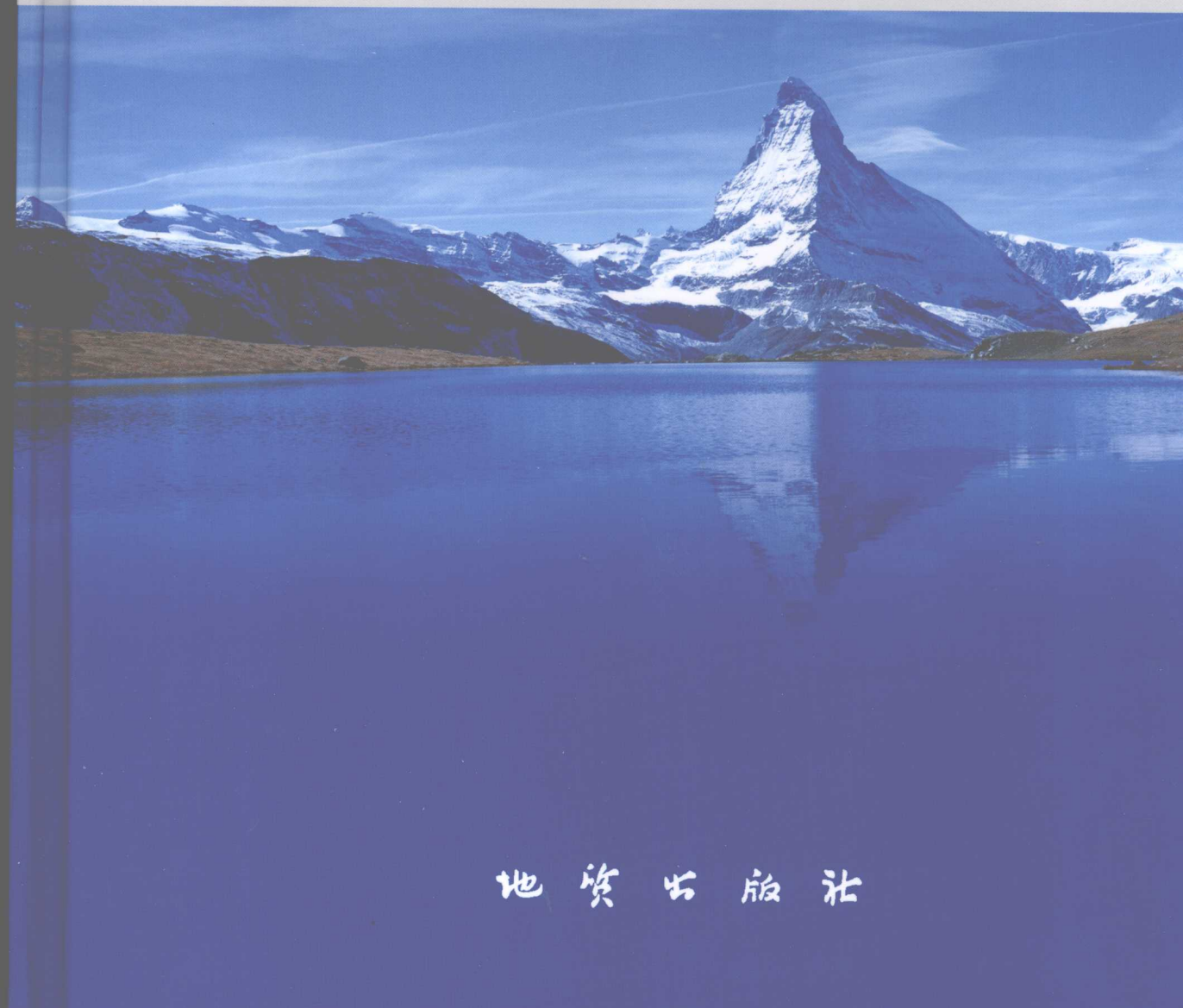


李 伟 赵克斌 刘崇禧 著

含油气盆地 水文地质研究

HANYOUQI PENDI SHUIWEN DIZHI YANJIU



地 质 出 版 社

含油气盆地水文地质研究

李 伟 赵克斌 刘崇禧 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统分析和研究了我国主要含油气盆地地下水的形成、分布、运动、性质及其与油气等方面的关系。重点阐述了含油气盆地水文地质研究方法,我国油田水化学成分的基本特征,油气田水文地球化学勘查,总结了含油气盆地水文地质规律,探讨了油气藏的形成、分布规律、油气勘查远景评价等。

本书可供从事油气田勘探、水文地质研究的科研人员及高等院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

含油气盆地水文地质研究/李伟,赵克斌,刘崇禧著.
北京:地质出版社,2008.3
ISBN 978-7-116-05545-2

I. 含… II. ①李…②赵…③刘… III. 含油气盆地-水文地质-研究 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 195766 号

责任编辑:祁向雷 周乐耘

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324519 (办公室);(010) 82324577 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787 mm×1092 mm¹/₁₆

印 张:24.5

字 数:600 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2008 年 3 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:60.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05545-2

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前言

地下水是石油和天然气成藏的重要条件之一。我国油气水文地质条件的研究是新中国成立后随着油气地质事业的蓬勃发展，而逐步开展起来的。半个世纪以来，油气水文地质工作者的辛勤劳动，为沉积盆地早期含油气性预测、指出油气勘探的有利地区及更加合理地勘探开发油气藏提供了科学依据。

多年来，我国学者所发表的油田水论文，涵盖了我国主要含油气盆地，出版了一些高水平的专著和教科书，涌现了一批年轻的油气水文地质科学工作者和专家。当今，我国含油气盆地水文地质特征及其与油气关系的研究，进入了一个新的发展阶段，其成果与理论水平引起了国外学者和我国油气勘探家的关注。

作者长期从事油气水文地质的勘查和科学研究工作，通过对我国主要含油气盆地地下水的形成、分布、运动、性质及其与油气关系等方面的系统分析和研究，逐步形成了一些新的认识。

本书以这些研究成果为基础，参阅了有关油田水的专著和文献资料，编写而成。全书分为绪论和六章。绪论，概述了地下水研究在油气勘探开发中的作用与意义，以及与工农业、人民生活、环境保护、医疗保健等方面的关系。第一章，油气水文地质的基本概念，扼要介绍了油田水研究需要掌握的水文地质理论基础，包括自然界水的循环、地下水的起源、水在岩石中赋存状态、地下水分类、运动特征、油田水的含义与空间分布、含油气盆地与自流水盆地的关系；提出了油田水文地质勘查的三个阶段（区域调查、勘探、研究）；介绍了国内外油田水研究的现状及取得的主要成果。第二章，含油气盆地水文地质研究方法，按照水文地质研究程序，在石油地质理论指导下，建立水动力与水化学的统一场，多层次结合（油气地质与水文地质结合、区域与局部结合、深层与浅部结合），古代与现代水文地质条件全面研究的技术思路。第三章，我国油田水化学成分的基本特征，在讨论油田水分布特点、埋藏与径流条件、湖（海）盆水文地质结构、古水介质的演变阶段及水化学成分形成的地质背景等基础上，比较系统地总结了我国油田水（陆相与海相）化学成分的基本特征。对矿化度、离子分异、水型、常量组分、有机组分、微量元素、稳定同位素及无极络（配）合物等在我国主要含油气盆地的分布、变化规律及其与油气的关系进行了论述。第四章，油气田水文地球化学勘查，阐述了水化学找油的理论

基础,主要讨论了地下水中元素扩散和对流迁移两种类型、对流-扩散单式和复式迁移模式,归纳了流体垂向微运移的地球化学证据,建立了水化学找油的工作程序,按照先区域后局部、调查比例尺由小到大的原则,依次进行水化学概查、普查、详查、精查,提出不同勘查阶段异常的性质及其地质意义,完善了水化学找油的方法与流程。第五章,含油气盆地的水文地质规律,通过研究盆地地质条件、流体性质、地球化学作用等,从水文地质观点探讨油气藏的形成、分布规律、评价油气勘探远景,油气主要富集在阻滞—弱还原和停滞还原的水文地质区带内;凹陷是控制油气成藏、沉积成因水形成及油田水化学成分演变的基本单元;渗入成因水与沉积成因水交汇的峰面位置可作为预测油气产能潜力、确定不同性质原油分布的界线,是进行油气勘探决策的一方面依据;含油气盆地地下水动力条件,控制着油气田的形成与分布,水动力圈闭是当今勘探程度较低的一种油气藏类型,介绍了该类型油气藏的勘探技术与方法;水-岩反应是地壳内的一种普遍现象,导致水-岩(油)之间元素的正向与反向迁移,不仅改变了成油的地球化学环境和油田水化学成分组成,而且影响着储油层物性结构的发育程度;含油气盆地内的浅层水化学效应比较发育,已知油田上方的水化学晕均很清晰,水化学异常是油气勘探的有利靶区;含油气盆地内具有丰富的热水资源。第六章,盆地含油气远景评价的水文地质方法与程序,主要论述了油气水文地质评价的基本要点,包括古代与现代水文地质条件、区域与区带水文地质研究、水动力场与水化学场的统一性、有效评价参数的选择、充分应用数理统计方法、结合地质条件综合评价预测;指出水文地质评价中水样质量的重要性,区域水文地质研究的意义;油田水化学分类的新思路;最后提出在能源领域内要注意深层水溶气、天然气水合物及煤层气的研究。该专著注重系统性、逻辑性和科学性。重视水文地质理论的基础研究,建立适用的技术与方法,强调理论与实际相结合,适当增加了图、表的数量。写作中突出了含油气盆地水文地质规律的总结与研究,从自流水盆地整体和控制油气聚集的基本地质单元——凹陷入手,研究水与油气的关系,遵循着水文地质研究为油气勘探开发服务的原则而展开。

书稿撰写过程中,得到中国石油天然气股份有限公司和中国石油化工股份有限公司所属油田的帮助,搜集了大量的油气地质与水文地质资料;引用了王大纯、孙世雄、沈照理、刘方槐、邸世祥、汪蕴璞、孙杉、杨绪充、高锡兴、孙肇才以及黄第藩等人的研究成果,在此,一并致谢。

由于作者水平所限,书中不当和错误之处,希望读者批评指正。

编 者

2007 年于北京

目 次

前 言

绪 论	(1)
-----	-----

第一章 油气水文地质的基本概念	(4)
-----------------	-----

第一节 油气水文地质基础	(4)
--------------	-----

一、自然界水的循环	(4)
-----------	-----

二、地下水的形成与起源	(5)
-------------	-----

三、水在岩石中存在的状态	(9)
--------------	-----

四、地下水分类	(11)
---------	------

五、油田水的定义	(14)
----------	------

六、油田水的空间分布	(16)
------------	------

七、含油气盆地与自流水盆地的关系	(17)
------------------	------

第二节 油气水文地质勘查阶段的划分	(23)
-------------------	------

一、区域水文地质调查	(23)
------------	------

二、油气水文地质勘探	(29)
------------	------

三、油气开发阶段的水文地质研究	(35)
-----------------	------

第三节 国内外研究现状与发展	(40)
----------------	------

一、欧美国研究现状	(40)
-----------	------

二、原苏联研究现状	(43)
-----------	------

三、我国研究现状	(48)
----------	------

四、取得的主要成果	(54)
-----------	------

五、油田水化学成分分类现状	(55)
---------------	------

第二章 含油气盆地水文地质研究方法	(63)
-------------------	------

第一节 技术思路	(63)
----------	------

一、基本观点	(63)
--------	------

二、水动力场与水化学场的统一性	(63)
-----------------	------

三、多层次结合	(64)
---------	------

四、全面研究	(66)
--------	------

第二节 含水岩系的概念与划分	(66)
----------------	------

第三节 古水文地质条件	(67)
-------------	------

一、古水动力条件	(69)
----------	------

二、古水化学条件	(78)
----------	------

三、古地温条件	(86)
---------	------

第四节 现代水文地质条件	(86)
--------------	------

一、现代水动力条件	(87)
二、现代水化学条件	(95)
第三章 我国油田水化学成分的基本特征	(108)
第一节 油田水化学成分形成的地质背景	(108)
一、油田水的分布特点	(108)
二、油田水的埋藏与径流条件	(108)
三、湖(海)盆的水文地质结构	(111)
四、两套性质不同的油田水	(112)
五、古水介质的演变阶段	(114)
第二节 陆相油田水化学成分的基本特征	(117)
一、矿化度较高	(117)
二、离子分异现象明显	(121)
三、以 CaCl_2 型和 NaHCO_3 型为主	(126)
四、常量组分比值变化大	(127)
五、有机组分丰富	(130)
六、含有较多的微量元素	(179)
七、稳定同位素	(186)
八、无络(配)合物	(196)
九、其他	(197)
第三节 海相油田水化学成分的基本特征	(198)
一、常量组分特征	(198)
二、微量组分特征	(198)
三、有机组分特征	(201)
四、同位素组成特征	(201)
第四章 油(气)田水文地球化学勘查	(203)
第一节 水化学找油的理论基础	(203)
一、地下水中元素的迁移类型	(203)
二、地下水中元素的迁移模式	(207)
三、流体垂向微运移的地球化学证据	(208)
第二节 水化学找油的工作程序	(215)
一、建立级次程序的基本出发点	(215)
二、不同勘查阶段异常的性质及其地质意义	(216)
第三节 工作方法流程	(217)
一、准备阶段	(217)
二、野外调查与采样	(217)
三、室内分析与测试	(218)
四、资料整理研究	(221)
五、异常的含油气远景评价	(228)
第五章 含油气盆地的水文地质规律	(242)
第一节 水文地质区带与油气富集规律	(242)
一、地下水运动的基本特点	(242)
二、水文地质区带的含义与应用	(245)

三、水文地质区带研究的基础	(247)
四、水文地质区带的划分及其与油气的关系	(267)
第二节 凹陷是控制水文地质条件变化的基本单元	(275)
一、凹陷是油气成藏的主要场所	(275)
二、沉积成因水起源于沉积凹陷	(276)
三、凹陷内的水文地球化学特征	(279)
第三节 地下水峰面的油气勘探意义	(284)
一、地下水峰面的含义与形成	(284)
二、峰面在油气勘探中的意义	(287)
三、地下水峰面与油气藏的关系	(291)
第四节 含油气盆地的水动力场特征	(299)
一、油气运聚的水动力理论	(300)
二、油气运移的水动力场特征	(304)
三、水动力圈闭油气藏	(308)
四、水动力圈闭油气藏的勘探技术与方法	(312)
五、地下水运动与油气水性质的关系	(317)
第五节 水-岩反应的基本特征	(320)
一、水-岩反应的基本概念	(320)
二、水-岩反应的石油地质意义	(326)
第六节 含油气盆地的浅层水文地球化学效应	(336)
一、已知油气田上的水化学异常	(336)
二、盆地内水化学异常的分布规律	(350)
第七节 含油气盆地内具有丰富的热水资源	(364)
第六章 盆地含油气远景评价的水文地质方法与程序	(366)
第一节 油气水文地质评价的基本要点	(366)
第二节 水文地质评价中的有关问题	(369)
一、样品代表性与质量问题	(369)
二、油气区域水文地质研究问题	(371)
第三节 油田水化学成分分类讨论	(372)
第四节 值得重视的研究领域	(373)
一、深层水溶气	(373)
二、天然气水合物	(374)
三、煤层气	(374)
参考文献	(375)

Contents

Foreword

Introduction (1)

Chapter 1 Basic Concept of Oil and Gas Hydrogeology (4)

Section 1 Base of oil and gas hydrogeology (4)

- 1 Water cycle of nature (4)
- 2 Form and origin of groundwater (5)
- 3 Estate of exist water in rocks (9)
- 4 Classification of groundwater (11)
- 5 Definition of oil field water (14)
- 6 Spatial distribution of oil field water (16)
- 7 Relation of petroliferous basin and artesian water basin (17)

Section 2 Division of period of oil and gas hydrogeologic exploration (23)

- 1 Regional hydrogeologic survey (23)
- 2 Hydrogeology exploration of oil and gas (29)
- 3 Hydrogeology study of oil and gas development period (35)

Section 3 Study actuality and development of home and abroad (40)

- 1 Research actuality of Europe and America (40)
- 2 Research actuality of Former USSR (43)
- 3 Research actuality of China (48)
- 4 Acquired primary outgrowth (54)
- 5 Actuality of classification of chemical component of oil field water (55)

Chapter 2 Hydrogeology Study Method of Petroliferous Basin (63)

Section 1 Technical clue (63)

- 1 Basic viewpoint (63)
- 2 Unity of hydrodynamic force field and hydrochemistry field (63)
- 3 Combination of multilayer (64)
- 4 General research (66)

Section 2 Concept and division of aquosity rock system (66)

Section 3 Palaeohydrogeologic condition (67)

- 1 Palaeohydrodynamic condition (69)
- 2 Palaeohydrochemistry condition (78)
- 3 Palaeogeothermal condition (86)

Section 4 Present hydrogeologic condition (86)

- 1 Present hydrodynamic condition (87)
- 2 Present hydro-chemistry condition (95)

Chapter 3 Essential Characteristic of Oil Field Water Chemical Composition	
in China	(108)
Section 1 Geologic background of oil field water chemical composition formative	(108)
1 Distribution characteristic of oil field water	(108)
2 Burying and flowing of oil field water condition	(108)
3 Hydrogeologic structure of lake (sea) basin	(111)
4 Distinct two suites oil field water	(112)
5 Evolvement phase of palaeo-aqueous medium	(114)
Section 2 Essential characteristic of oil field water chemical composition of	
continent facie	(117)
1 Higher salinity	(117)
2 Obvious ion differentiation phenomenon	(121)
3 Give priority of the type of CaCl_2 and NaHCO_3	(126)
4 Great change of ratio of constant component	(127)
5 Abundant organic component	(130)
6 Contained many microelement	(179)
7 Stable isotope	(186)
8 Inorganic complex compound	(196)
9 Other	(197)
Section 3 Essential characteristic of oil field water chemical composition of	
marine facie	(198)
1 Characteristic of constant component	(198)
2 Characteristic of micro-component	(198)
3 Characteristic of organic constituent	(201)
4 Component characteristic of isotope	(201)
Chapter 4 Oil (Gas) Field Hydrological Geochemical Exploration	(203)
Section 1 Theoretical base of hydrochemistry prospecting for oil	(203)
1 Element migratory type in groundwater	(203)
2 Element migratory mode in groundwater	(207)
3 Geochemical evidence of fluid vertical micro-migration	(208)
Section 2 Working procedure of hydro-chemical exploration for oil	(215)
1 Primary principle of building hierarchic procedure	(215)
2 Property and geologic significance of geologic anomaly of different exploration phase	(216)
Section 3 Working method and flow	(217)
1 Prepared period	(217)
2 Field survey and sampling	(217)
3 Analysis and testing of interior	(218)
4 Data compilation and research	(221)
5 Hydrocarbon potential study of anomaly	(228)
Chapter 5 Hydrogeologic Rule of Petroliferous Basin	(242)
Section 1 Geohydrologic zone and oil and gas accumulation rule	(242)

1 Basic character of groundwater movement	(242)
2 Meaning and application of geohydrologic zone	(245)
3 Base of the study of geohydrologic zone	(247)
4 Partition of geohydrologic zone and its relation with oil and gas	(267)
Section 2 Sag is the base unit of controlling the change of the hydrology condition	(275)
1 Sag is the primary location of oil and gas accumulation	(275)
2 Sedimentorigin water stem from sedimentary sag	(276)
3 Hydrological geochemical character of sag interior	(279)
Section 3 Oil and gas exploration significance of groundwater peak level	(284)
1 Implication and formation of groundwater peak level	(284)
2 Oil and gas exploration significance of groundwater peak level	(287)
3 Relation of groundwater peak level with oil and gas store	(291)
Section 4 Hydrodynamic field character of petroliferous basin	(299)
1 Hydrodynamic theory of oil and gas migration and accumulation	(300)
2 Hydrodynamic field character of oil and gas migration	(304)
3 Reservoir of hydrodynamic trap	(308)
4 Exploration technique and method of reservoir of hydrodynamic trap	(312)
5 Groundwater movement and relation with the property of oil gas and water	(317)
Section 5 Essential characteristic of water-rock reaction	(320)
1 Basic concept of water-rock reaction	(320)
2 Petroleum geologic meaning of water-rock reaction	(326)
Section 6 Hydrogeochemical affection of near surface of petroliferous basin	(336)
1 Hydrochemical anomaly above known oil (gas) field	(336)
2 Distribution rule of Hydrochemical anomaly inside of basin	(350)
Section 7 Abundant thermal water resource of interior of petroliferous basin	(364)
Chapter 6 Method and Procedure of Hydrogeology Estimate Perspective of Petroliferous Basin	(366)
Section 1 Essential outline of assessment of hydrogeology of oil and gas	(366)
Section 2 Relevant problem in hydro geology assessment	(369)
1 Representative of sample and problem of quality	(369)
2 Study problem of regional hydrogeology of oil and gas	(371)
Section 3 Discussion of classification of chemical composition of oil (gas) field water	(372)
Section 4 Researching domain of deserving being attached importance	(373)
1 Water soluble gas of deep zone	(373)
2 Natural gas hydrate	(374)
3 Coal seam gas	(374)
Reference	(375)

绪 论

含油气盆地内贮存着丰富的地下水，它是石油与天然气矿床形成不可缺少的流体，同时也与国民经济发展及人民生活有一定的关系。油气田地下水的用途十分广泛，需要研究的内容也比较多。

我国丰富多样的油气资源，广布在极其复杂的地质与不同的自然地理环境中，成藏条件差异极大，从水文地质观点探讨石油、天然气的生、运、聚、散规律，大大加快了油气勘探的步伐。众所周知，沉积盆地或含油气盆地内所发生的一切地质-地球化学作用，无不是在水的参与下进行的。石油有机成因论者认为，石油、天然气产生于古海洋或古湖泊的沉积物中，形成油气的有机质主要来源于水域中的生物体。古湖（海）盆从富集容纳有机物质开始，到有机质演化成油气过程中，始终都是在水的环境里进行的。沉积作用从一开始就含有有机质，并在软泥中被保存和继承下来，进行着十分复杂的物理化学和生物化学作用。油田水就是随着沉积盆地（含油气盆地）的成生、发展和消亡，并在古湖（海）盆水体经历了由地表水转变为地下水（即沉积作用水形成的过程）后，伴随着油气的生成而形成的。另一方面，水携带泥岩中分散状的油滴，随着上覆堆积物的加厚，地层压力逐渐加大，在成岩过程中被挤出，形成新的流体——携带油气的沉积成因水。由此可见，沉积作用水（软泥水）本身是烃类生成的物理化学演变的重要场所，其所转化形成的沉积成因水是油气运移、富集的主要动力与载体。油气无机成因学说认为：油气形成的主要原始物质是金属碳化物，它与地壳深处炽热的水（或者由气体转化而成的水）相遇，形成碳氢化合物。虽然各派观点截然不同，但是他们都承认，水是油气形成的重要因素。沉积盆地内水的演变及油田水的形成，反映了盆地的地质发展过程以及油气形成、演化的总过程。油、气、水的成因联系和形影不离的密切关系，从一个方面说明，水文地质是油气资源勘查必须研究的课题。

我国是一个油气生产超过亿吨的大国，但又是一个能源消耗大国，所生产的石油与天然气已不能满足国民经济飞跃发展的需要，从 20 世纪末开始进口石油，而且进口石油的数量逐年增加。油气资源短缺，将制约我国经济的持续增长。在这样一个形势下，迫切需要石油工作者应用新观点，新理论，多学科结合，形成新技术，寻找更多的油气储量。查明水文地质规律，是从盆地整体出发，认识油气富集特征的重要组成部分，是提高我国油气生产能力，带有方向性的研究领域。

油气藏的发现是高新技术综合勘探的结果，多学科结合是油气勘探技术发展的生长点。油气水文地质勘查是一门新兴的找矿技术，它是根据水文地质理论与方法，通过调查研究盆地内不同含水岩系的水动力场与水化学场特征，应用与油气有成因联系的物理-化学参数，结合地质-地球物理成果，预测盆地的含油气远景，指出油气富集的有利区带，区分油气藏和非油气藏。在盆地早期含油气性评价中可起到先导作用。目前我国尚有为数众多的沉积盆地，油气勘探程度很低，属于油气勘探的新区，在这些盆地中采用水文地质

勘查方法,尤其是近地表水文地球化学调查,能起到缩短勘探周期、降低勘探成本的作用,具有良好的应用前景。

油气藏开发过程中,必须掌握地下水的水头压力、地下水流动速度、水量大小及水温变化等,因为它们是确保驱动油气动力源的重要参数。注水是保持地层(水)压力、提高原油采收率的措施之一,除要有足够的水源外,还必须查明地下水的化学成分与物理性质,为防止水敏损害、沉淀和结垢等因素伤害油气储层提供科学依据。

油田水含有浓度极高的溶解气,在压力释放时,能溢出有工业价值的溶解气体,如甲烷溶解气、天然水合物、二氧化碳气等。这些未来的新能源,可能成为石油、天然气的重要接替能源或补充能源,其潜在价值已引起工业发达国家科学工作者的极大兴趣。近年来,我国也加大了资金投入,对该领域进行研究。进一步拓宽了油田水的研究内容,扩大了油田水或含气水的内涵。气体新能源是水文地质工作者义不容辞的攻关难题。

油田水是天然水系的一部分,油气水文地质特征是当今研究深层地下水活动唯一的手段和方法,是扩大对地下水圈认识的重要途径,对于研究成矿机理(包括深层烃类与非烃类),寻找深部盲矿床具有特殊意义。同时,也是开发、利用深部水资源的重要组成部分。

油田水形成于特殊的古地理环境与古气候条件,由于埋藏深,处于高温、高压的封闭环境中,长期与油气共生,溶解了大量的有机组分和微量元素(包括固体和液体的),矿化度一般很高,是提取有用元素和矿物最理想的原料,尤其是农业、轻工、化工、冶金、建材、电子、医药、纺织及国防急需的稀有元素和盐类,如:钾、硼、锂、铷、铯、锶、溴、碘、金及石盐、芒硝、天然碱等,具有很大的经济价值。如四川盆地油(气)田水中多种盐类的含量极其丰富,可以分离出氯化钠、氯化钾、三氧化二硼、碘、溴、锂等,可以满足国内医药工业、国防工业及材料工业的需要。获得很大的社会效益和经济效益。20世纪80年代以来,江汉油田利用其矿化度高达200~300 g/L的油田水作原料,发展盐化工业,制成食盐、钾盐、金属微量元素、碱、盐酸、聚氯乙烯、有机玻璃和氟利昂等多种化工产品。塔里木盆地是开发和提炼微量元素(包括贵重的稀有元素及放射性元素)富有宽阔前景的新区域。地热资源(主要是热水、热蒸汽)是一种宝贵的天然资源,具有多方面的日益广泛的用途——发电、工业、农业、医疗及民用等。查明油田水的储量和有开采价值元素的含量及热水资源是油气水文地质研究的一方面内容。

当今社会的发展与进步,为人类科学、文明的高质量生活奠定了基础,要提高健康水平,延长寿命,离不开洁净和富有营养价值的饮用水。沉积盆地内赋存于特定地球化学环境和地层构造条件下的深层地下水,不仅避免了污染,而且往往具有特殊的分子结构及有利于人身的微量元素(如锶、锌、硒等)和化学成分(偏硅酸、CO₂等)。长其饮用具有保健功能的深层地下水,可望实现颐养天年,延年益寿的愿望。古人说的好:“民以食为天,食以饮为先”,饮水的重要性,现在已普遍为人们所认识。由于具有这些特性,上述水的需求量越来越大,孕育着良好的应用与开发前景,将促使油气水文地质工作者重视和加强该领域的研究与开拓。

钻井试油、油田采油及原油冶炼与加工过程中的污水释放等,都对周边环境与大气造成影响、污染。防止污染,将污染控制在最低限度,并加以综合利用,有效地保护水资源,保护环境,以求达到碧水蓝天的目标是油气水文地质工作者不可推卸的责任。

综上所述，油气勘探开发中水文地质的研究内容比较多，涉及的领域比较宽，在以往工作的基础上，加强含油气盆地水文地质的综合研究、开发应用是十分必要的。

我国富有成效的油气普查勘探工作，都是以盆地为基本单元来安排部署的，石油地质工作者认识到盆地是控制区域含油气性的基本单元，油气的生、运、聚、散都是在盆地范围内进行的。石油、天然气与地下水是沉积盆地内地质流体的重要组成部分，它们之间存在着密切的成因关系。与油气有关的地下水属于油气水文地质学的研究范畴。应用水文地质学的基本理论研究盆地内油气的分布规律、解决油气地质问题，认识盆地内油田水文地质规律时，必须掌握与遵循水文地质学的基本概念、原理与方法。

第一章 油气水文地质的基本概念

第一节 油气水文地质基础

一、自然界水的循环

自然界中的水按其存在的空间分为三部分：大气圈中的水主要存在于对流层中，并呈气态，液态和固态三种不同的状态；地表水主要呈液体状态，存在于海洋、河流、湖泊中，部分为固态状态的水和雪；地壳中的水，也就是地下水，以气态、液态和固态形式存在于岩石和未固结土中的空隙中。

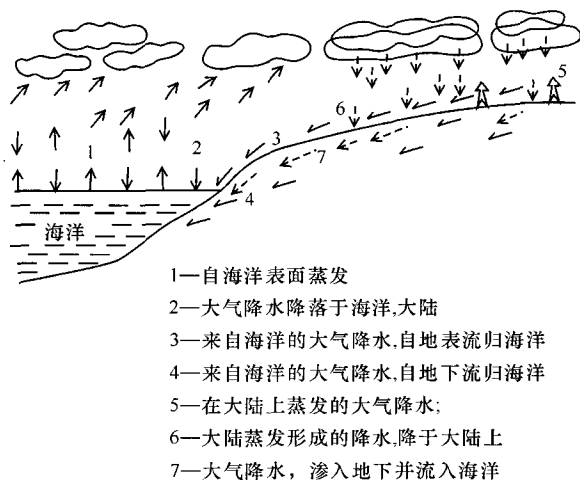


图 1-1 自然界水循环示意图

概略计算，上述三部水的比例为：
大气圈水：地壳水：地表水 = 1:10:100000。

自然界中的水处于动平衡状态，经常的从这一部分转化为另一部分，即在各种因素影响下，在不断地进行着循环（图 1-1）。海洋及大陆上的水被蒸发为水蒸气，上升到大气圈中，在一定条件下凝结成液态或固态的水降落至地表，这些水有三部分去向，一部分汇入河流，湖泊及海洋；另一部分渗入地下，成为地下水；再一部分是重新蒸发到大气圈中。渗入到地下的水，在一定条件下，也会直接流入海洋，或者以泉水形式涌出地表后，再以地表水的形式入海；也可以在地下受到蒸发作用影响，成为水汽进入大气圈中。当然，自海洋表面蒸发的水汽，有的在海洋上空凝结，以降水的形式注入海洋中。地壳深处的地下水，有时也可以通过断裂和裂隙上升到地表。由此可见，大气水、地表水和地下水均参与水循环作用。

通常将水自海洋进入空中，且降落地表，最后又进入海洋，即完成了一次循环，称为自然界水的大循环。而小循环是指海洋面上的水，经过蒸发后以降水的形式再回入海洋；或者在大陆范围内，从湖泊、河流、地面岩土及植物蒸发的水分仍然降回大陆。

根据自然界水循环可以列出水均衡方程式，以计算地球表面的降水，蒸发或径流量。

假设： Z_o 为海洋表面的年蒸发量； X_o 为海洋表面的年降水量； Z_l 为陆地的年蒸发量； X_l 为陆地的年降水量； Q 为河流的年径流量。

则

$$Z_o = X_o + Y$$

$$Z_c = X_c - Y$$

$$Z_o + Z_c = X_o + X_c$$

对于一个具体流域或盆地来说,也可以根据上述原理进行水均衡计算。假如以一年为均衡计算期,设: A 为流域的总收入水量; X 为年大气降水量; K 为年水汽凝结量; W_1 为年地下径流的流入量。则

$$A = X + K + W_1$$

设: B 为流域的总支出水量; Y 为年地表径流流出水量; Z 为年蒸发量; W_2 为年地下径流流出水量。则

$$B = Y + Z + W_2$$

上述各项均以水层的厚度(mm)表示。由于自然条件随时间的变化,每年水的总收入量 A 与总支出量 B 均不相同,若 $A > B$,则为湿润年份,反之则为干旱年份。以方程式表示,即

$$A - B = \pm \Delta\omega$$

或

$$(X + K + W_1) - (Y + Z + W_2) = \pm \Delta\omega$$

但是气象要素的变化是周期性的,即干旱与湿润年份相互轮转,故 $\Delta\omega$ 之值有正有负,若以多年平均计算,则

$$\sum \frac{i\Delta\omega}{n} \rightarrow 0$$

式中, n 为计算的年数。

$$\text{所以, } (X + K + W_1) - (Y + Z + W_2) \rightarrow 0$$

$$\text{即 } X + K + W_1 = Y + Z + W_2$$

上述是流域水均衡的一般方程式。可以利用观测资料的多年平均值进行计算,以求方程式中的某些未知数。

在具体运用此方程式时,可以根据地区的具体条件来考虑项目的增减,如在降水量较大的地区,漏水区面积很小漏水量不大,凝结量 K 、地下流入量 W_1 及地下水流出量 W_2 ,同降水量 X 相比,数值相差很大时,可忽略不计,上述方程简化为

$$X \approx Y + Z$$

如果地下径流量在流域中占有一定的数量时,则 W_1 与 W_2 必须列入方程式,此时可利用降水、地表径流和蒸发量的资料来计算某一时期流域地下径流量的增减,即

$$X - Y - Z = W_2 - W_1$$

当然也可以根据需要进行以及资料的情况来计算方程式中的某一项目。

从上述可知,地球上的大气水、地表水和地下水是相互转换和依存的。在一个流域(盆地)内,不同状态水之间的关联程度随当地的气象因素(气温、气压、湿度、降水、蒸发等)、地形地貌及地层构造条件等诸多因素而变化,只是强度有所不同而已。

二、地下水的形成与起源

地下水的形成与起源既是理论问题,也是一个重要的实际问题,长期以来世界上诸多不同学科(包括哲学家、建筑学家、物理学家、水文学家、地质学家、气象学家、农学

家等)的学者做了卓有成效的专门性试验研究,提出诸多的地下水起源学说,主要有:

海水脱盐学说:地下水来源于海水,海水渗入到地壳内后,在地球化学作用下脱去盐分而形成的。

凝结学说:以德国水文学家福利盖尔为代表,他认为水汽经空气的流动进入地下后,与较冷的岩石颗粒接触,即凝结于其表面,凝结水聚集后即形成地下水。

渗入学说:罗马的建筑学家鲍利提出降雨和融雪渗入地下后形成地下水。这是以后进一步发展为渗透成因水的开始。

初生水学说:20世纪初,奥地利地质学家鸠斯认为岩浆中的氢和氧化合成为水蒸气,水蒸气在岩浆冷却时即凝结为深成地下水。

同生水学说:1908年俄国的安德鲁索夫提出该学说(也称埋藏水、封存水、残余水、化石水等),他认为有些地下水是以前地质时代沉积过程中残留于岩层中的,这种水常和石油密切相关。这是沉积成因水的萌芽。

脱出水学说:很多水化矿物和含有结晶水的矿物,如芒硝($\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、褐铁矿($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)等,当其存在的环境条件发生变化时,例如构造活动形成的沉降带、深埋地下或物理化学的平衡条件被破坏时,就会放出或排出水分,参入地下水的组成。

此外,还有一些地下水起源的假说(包括:再生说、深成说、薄膜说等)就不再一一介绍了。

在上述地下水起源学说中,凝结学说与渗入学说针锋相对地争论了几个世纪,相互促进了这两个学说的发展。支持凝结学说的俄国农学家列别捷夫通过许多观测和实验,提出了水汽运动的压力观点,进一步发展了该学说。支持渗入学说的有17世纪法国物理学家马列奥特、气象学家加恩及俄国学者罗蒙诺索夫等。

随着科学实验资料的不断积累和生产实践的持续发展,地下水起源的学说由众说纷纭的初始创建阶段,逐步走向科学证据与认识相对统一的阶段。有些学说日趋成熟,尤其是近代石油、天然气勘探事业飞跃发展,对含油气盆地内地下水的形成与起源,水文地质工作者的认识基本趋向一致,形成共识,主要集中在以下几个学说上。

1. 沉积成因水

含油气盆地内不论海相沉积还是陆相沉积都是在有水的环境下发生的,沉积物与水伴生,组成沉积作用水(软泥水)和沉积成因水,统称为沉积水。沉积作用水是在海底或湖底沉积物堆积时同软泥一起沉积下来的水,而沉积成因水的主要来源是湖底软泥水演化。我们都知道,沉积物从松散的软泥到成为岩石,一般都经历了压实、脱水和固结三个阶段。在地质历史发展过程中,随着时间的推移,沉积物逐渐加厚,上覆地层负荷的增加,在岩体重力作用下,使颗粒间体积减小,同时沉积物中一部分水被挤压排出进入孔隙相对较大的岩石中(如砂岩),经历了深埋、变质等作用,形成了埋藏的层状水;还有一部分没排除的水仍保留在沉积物中一起被埋藏起来,通常称为古沉积水或封存水,它与前述压实脱出的水,共同组成了沉积成因水。海相沉积物中形成的水称海相沉积成因水,而陆相沉积物中形成的水为陆相沉积成因水,它们常埋藏在较深的封闭较好的含油气盆地中。

沉积成因水的存在,被实验及实际资料所证实。根据 J. F. Burst 等研究表明:压实的