

高等学校教学用书

油田水文地质学

北京石油学院石油地质教研室编著



中国工业出版社

本书在前面讲述了一般水文地质学原理和水化学原理之后，接着着重地阐述了油田水的特征，地下水在油、气藏形成和破坏过程中的作用，根据水文地质标志进行区域含油远景的估价，以及在油、气藏调查、勘探、开发和开采过程中如何开展水文地质工作和进行水文地质问题的研究等。

本书是为“石油地质及勘探”专业编写的教学用书。可作为地球物理勘探、测井、采油等专业讲授“油矿地质及水文地质”一课时参考；也可供水文地质专业师生以及从事水文地质、石油地质工作的技术人员参考。

油田水文地质学

北京石油学院石油地质教研室 編著

石油工业部地质研究所編譯(北京石油六部石油工业部)

中国工业出版社出版(北京位罗路路丙10号)

*(北京市书刊出版业许可证出字第116号)

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本850×1168¹/₃₂·印张7·插页3·字数160,000
1961年6月北京第一版·1962年5月北京第二次印刷
印数684—1,453·定价(10-6)1.20元

统一书号: K15165·63(石油-21)

高等学校教学用书

油田水文地质学

北京石油学院石油地质教研室编著



中国工业出版社

目 录

前言 緒論

第一章	自然界水的循环及地下水起源	12
第1节	自然界水的循环过程	12
第2节	有关的气象因素	13
第3节	有关的水文因素	16
第4节	地下水起源	17
第二章	岩石的水理性質及地下水的形式	20
第1节	岩石的空隙性、裂隙性和孔隙性	20
第2节	松散岩石的顆粒成分	24
第3节	岩石的水理性質	28
第4节	地下水的形式	34
第三章	地下水分类	39
第1节	上層滯水	40
第2节	潛水	41
第3节	層間水	62
第4节	裂隙水和喀斯特水	68
第5节	泉	71
第四章	天然水的物理性質和化学成份	79
第1节	天然水的物理性質	79
第2节	天然水的化学成份	83
第3节	天然水化学成份的形成过程	86
第4节	天然水的主要离子成份及其来源	96
第5节	天然水的主要化学特性	99
第6节	水的化学分析	106
第7节	水分析結果的表示方法	110
第8节	水分析結果的审查	115
第9节	水的化学分类	117

第10节	飲用水的水質評價	126
第五章	油田水特征	128
第1节	油田水的一般概念	128
第2节	油田水的化学成份及其成因类型	129
第3节	油田水中的有机質	132
第4节	油田水中的微量組分	133
第5节	油田水的气体成份	136
第六章	油田垂直剖面上的水文地質帶	140
第1节	B. A. 苏林关于水文地質帶的划分方法	140
第2节	M. A. 格塔联斯基关于水文地質帶的划分方法	142
第3节	各帶水的成份及其形成条件	143
第4节	油田垂直剖面上水成份变化的一般規律	156
第5节	費拉托夫关于水化学垂直分帶的基本理論	157
第6节	根据油气藏所处的水文地質帶推测油气藏可能具有的驅动方式	160
第7节	划分水文地質帶在評价油气藏工業价值时的意义	161
第七章	根据水文地質標誌进行含油气远景的估价	164
第1节	水中的有机質	164
第2节	水化学標誌	166
第3节	溶解气体	170
第4节	溫度標誌	176
第八章	地下水在油气藏形成、保存和破坏过程中的作用	178
第1节	油气藏形成时的水文地質条件	178
第2节	引起油气藏破坏和保存的水文地質条件	182
第九章	油田水文地質調查与勘探	188
第1节	水文地質測繪	188
第2节	油井鑽探时的水文地質观测	201
第3节	試驗工作(試水井)	204
第4节	油矿上的水文地質長期观测	207
第十章	油田水化学成份圖的編制	213
第1节	水化学柱状剖面圖	213
第2节	水化学橫剖面圖	216
第3节	水化学平面圖	221
第4节	表示油田水化学成份变化的各种曲綫的編制	222

前 言

本書主要根据在北京石油学院多次开设“水文地質及油田水”一課的教学大綱，并参考了苏联最近出版的有关油田水文地質方面的書籍和苏联石油高等院校采用的“水文地質及油田水”教学大綱編写而成。

为了使苏联的先进理論能更好的結合我国实际情况，在編写过程中尽量收集了一些中国实例。对了解我国的油田水文地質特征是有很大帮助的。詳細叙述我国各含油气区的油田水特征，則有待專門的書籍中介绍。本書未將这部分内容列入。

本書編写完畢后，經本書的評审小組張更、于志鈞、陈树林等同志們仔細看过，提出意見并进行了討論。編者等在此基础上重新作了修改。在編写本書的过程中，叶詠芳同志帮助繪圖表，物59，物56，地57班的部分同学也帮助进行抄写和繪圖。本書能够順利完成，跟以上同志們的辛勤劳动分不开，編者等特此致以謝意。

本書除第一章、第二章、第三章由李慈君同志編写外，其余均为刘方槐同志編写。

本書在編写过程中，限于編者水平，其中一定存在不少問題，希望讀者指正。意見請寄北京石油学院石油地質教研室。

緒 論

一、油田水文地質学的定义、内容、和其它科学的关系

油田水文地質学是研究油田区地下水的科学。研究油田区地下水的形成条件，运动規律，分布及埋藏条件，动态变化規律，以及在油、气藏形成、破坏、勘探和开采过程中的作用。

由此觀之，油田水文地質学研究的范围極其广泛，因而它与其它科学的关系也是非常密切的。

油田水文地質学是地質学的一部分，与地質学的发展有密切的联系；尤其是与地貌学、第四紀地質学、地質構造学、矿物岩石学及矿床学等学科的发展有着密切联系。因为地下水是埋藏在地壳中的水，即埋藏在地下岩石的空隙之中，显然岩石孔隙的多少、大小、矿物成分、形成年代以及所經歷的構造变动等等，都对水质水量有着巨大影响。尤其是水的化学成分更和岩石的成分有关。經常循环在岩石孔隙和裂隙中的地下水，由于長期与岩石相互作用，不仅改变了岩石的性质，同时也改变了地下水本身的物理性质和化学成分。因此，解决有关油田水文地質问题时，必須很好应用上述科学知識。应该随时考虑到地下水所处的周圍环境，即構造、岩性和地貌条件。决不能脱离周圍环境而孤立地去解决水文地質問題。

由于地下水也属于整个天然水系中的一部分，因而它与地表水、大气水有着密切的联系，彼此相互循环着。所以油田水文地質学与研究地表水的水文学及研究大气水的气象学有关。故在本書的前面介紹了一些有关气象学和水文学的基本概念，目的也就在于給后面講解油田水文地質学原理打下基础。

要研究地下水在油、气藏形成和破坏过程中的作用，和在勘探、开采油、气藏时合理地应用地下水，以及消除地下水給石油勘探和开采工作带来的障碍，就必须很好的应用石油地質学、油、

气藏調查勘探和油矿地質学的原理和方法，因此，油田水文地質学和这些專業課的关系是極其密切的。

另外，油田水文地質学与水力学、地下水力学、鑽井工程和采油工程等課程也有一定联系。

二、油田水文地質学的發展簡史

油田水文地質学是水文地質学的一个分枝科学，是在水文地質学發展的基础上發展并独立而成的，因此，在研究油田水文地質学的發展历史时，必須从研究水文地質学的發展历史开始。

我們知道水文地質学是研究地下水的科学；是劳动人民与地下水进行斗争（包括利用地下水和排除其危害性）的經驗总结。

水文地質学形成一門独立的科学是比较晚的。但关于地下水方面的知識，在外国和我国很早以前就有了。約在公元前5—4世紀期間成書的、我国也是世界上最古老、内容相当丰富的矿产地质文献——《山海經》中，就有了关于地下水的記載。例如經中写道“又东五百八十里曰南禺之山。其上多金玉，其下多水。有穴焉，水出。輒又夏乃出，冬則閉”（《南山經》）；“积石之山，其下有石門，河水冒以西流”（《西山經》）。經中还記載了“水出于其上，潛于其下”，“水流注于沙”等現象。應該說这也是世界上最早关于地下水起源于滲入水的学說了。經中还記載了其它許多丰富的科学材料。所有这些关于利用自然的思想，都超出了同时期其他国家的水平。这些思想在欧洲几乎在文艺复兴时期，才陸續出現。

由于人們生活和生产的迫切需要，促使人們在探寻地下水方面的技能有了很大發展。特別在缺少地表水的干旱地区，取水技能的發展就更快。例如在我国西北新疆地区，据記載至少在紀元前300年到200年間就开鑿了一个长达数十公里的坎兒井，將地下水引向用水地点和耕作区。随着人們生活对食鹽的需要，我国的劳动人民在很久以前就能鑽深达数百公尺的鹽井，从其中汲出鹽水来熬鹽。比如四川自贡鹽場早在秦朝（紀元 221—207 年）就开始采鹽了，人們能用竹筒將汲出的鹽水輸送到数十公里远的地方。

所有这些都說明了我們的祖先在很久以前就已經积累了有关地下水的丰富知識。可惜这些知識未能在以后繼續提高和發展。其原因是由于我国科学和技术的發展，其中包括地下水科学的發展，長期在封建主义的統治下，再加上近百年帝国主义的侵略和压迫，因而大大地落后了。也只有在我国摆脱了封建主义和帝国主义压迫之后，才給水文地質学的發展創造了良好的条件。在全国解放后随着国民經济的恢复，以及第一个、第二个五年計劃执行的結果，水文地質科学在我国已經开始發展了。不管在矿产资源的勘探方面，巨大水利工程的建設方面，农田灌溉以及許多大城市和厂矿的供水方面，都进行了大規模的水文地質調查工作。所有这些都促使了我国水文地質科学大大地向前發展。

解放十年（1949—1959）来，我国已在一百多万平方公里的面积上进行了水文地質的普查，初步掌握了这些地区地下水的分布、埋藏条件，以及水量、水質和运动变化規律等。为了將已有的資料进行整理，我国已在1957年完成了1:300万的“中国区域水文地質分区圖”，并写出了“中国区域水文地質概論”一書，1958年又編制了1:400万的“中国潛水区划圖”和1:800万的“中国自流水分区圖”。这些圖件的完成对于科学研究和国民經济的规划都具有極其重大的意义；对促使我国水文地質科学的發展也起了很大的作用。

苏联在十月革命之后，由于社会主义建設的需要，水文地質工作有了飞躍的發展。从革命前單純叙述性的水文地質学成長为一門独立的实用科学。

对油田区地下水进行系統的研究，在苏联开始較早。随着石油工业的發展，研究油田区地下水的科学——油田水文地質学才开始發展而独立成为一門学科。在發展油田水文地質学方面，B. A. 苏林的貢獻很大。他在1935年著了“苏联油田水”一書。他在書中將苏联大批油田地下水資料进行了第一次系統地整理，对以后繼續研究苏联油田水，打下了良好的基础。在他后来的著作，如“天然水系中的油田水”、“油田水文地質学”中也闡述了很

多关于油田水的重要理論。这些理論在研究油田地下水方面具有很大意义。

我国对油田区地下水的研究工作是在解放以后才开始的。大家都知道解放前的旧中国，在石油工業方面是極端落后的，根本談不上对油田水的研究。解放后，在党中央和毛主席的正确领导下，在苏联和各兄弟国家的热忱帮助下，再加上广大职工的努力，我国石油工業有了飞速的發展。除石油工業部、地質部石油局外，全国各省、市、自治区都相应地設立了有关的机构来管理石油和天然气的勘探、开采和煉制。形成了全面开花，全党全民办石油的大好局面。十年来在全国广大領土上进行了油、气藏的調查勘探，發現了很多蘊藏量極其丰富的油、气田。与此同时，石油工業部也在酒泉盆地、柴达木盆地、四川盆地等处組織进行了地質——水文地質的調查，对这些地区的地表水和地下水进行了系統的研究，对評价区域含油远景，更加合理地組織开发油、气藏，起了很大作用。但是也必须指出，我国在油田水的研究方面只是才开始，研究方法尚不够完善，应用得也不广泛，今后必須进一步加强。

可以肯定，随着我国石油工業的大發展，研究在油、气藏調查、勘探、开发和开采过程中具有很大意义的油田水文地質学，必然会迅速的向前發展。

三、研究油田水文地質学在油、气藏調查、勘探、开采过程中的意义。

1. 在油、气藏調查工作中，苏联已經广泛地采用了許多水文地質标志(其中特别是水化学标志)来进行区域含油远景的評价。我国目前也正在开展这方面的工作，并取得了一定成就。

2. 油井鑽探过程中也会經常碰到含水層，因此要求我們必須事先查清楚含水層埋藏的深度、水头大小、水的物理性質和化学成分。这样才能保証油井正常鑽进。我們知道高压水層对油井鑽进影响很大，往往会引起井噴，影响进尺，严重时还会引起整个井报废。这种情况必須事先查清楚含水層的水头大小，水的物

理性質和化学成份，即可預先告訴我們採取相应措施以防止事故的發生。

3. 在油藏开采过程中，必須确定油藏的驅动类型。在驅动类型中，水压驅动佔絕大多数。很多油井中的石油在靜水压力的作用下即可自噴，这对采油來說当然是非常有利的。但只有查明了石油和水之間的水力联系，即对該区水文地質情况了解以后，才能更加合理地利用和維護这种天然的能源。

目前常采用注水以保持地層压力，从而提高油層采收率。注水时，采油地質工作者就必須考虑很多产油層的水文地質条件。比如水質，就要求在注水前搞清楚产油層中地下水的化学成分，使注入的水与之相混合后不起化学反应产生沉淀，否則該沉淀就会將油層孔隙堵塞收不到預期的效果。

其次注水时須要大量的用水。水从哪里来？也必須查清楚当地的水文地質条件以后才能解决。生产实践告訴我們在很多情况下都是采用地下水作注水用的。

苏联最近采用了用鑽头直接打穿另一含水層，將該層水引入产油層，达到自动注水的目的（圖1）。

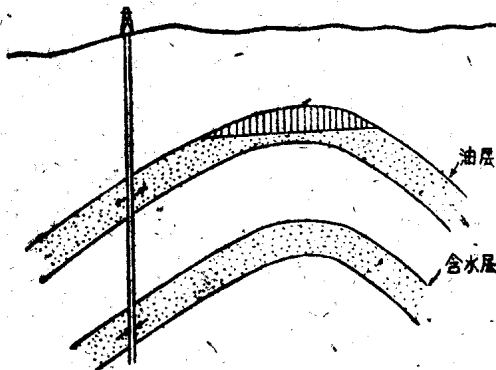


圖1

很明显这种情况也只有对該区水文地質条件了解以后，才能正确的選擇用来注水的含水層。

四、油田地下水的利用

高矿化的油田水乃是提取有用矿物的工业原料。其中各种盐类的含量是极其丰富的。

根据 B. T. 馬联謝克对苏联塔干斯坦油田上一口油井进行实际计算的结果得知，如果一口井的湧水量达到 70000M^3 /晝夜，那末在一年中从地下帶到地面的矿物原料数量如下：

NaCl	1,470,000 吨
KCl	30,000 吨
CaCl ₂	30,000 吨
BaCl ₂	14,300 吨
MgCl ₂	24,300 吨
SrCl ₂	277 吨
I	324 吨
Br	5,200 吨
Ba	1,180 吨

共計 1,575,581 吨

由此可見，在油田水中蘊藏的財富是極其可觀的。因此，在很多油区附近都建立了相应的化工厂，从油田水中提取矿物原料。如苏联的阿塞尔拜疆和吐尔克明尼亞等地，都建立了一些化工厂，从油田水中提取 I、Br、硼酸、Ba、Sr、鉀鹽和鈉鹽等。

另外油田水一般来自很深的地層，溫度較高，常可达 $80\sim 90^\circ\text{C}$ ，可作为医疗用水和油矿上的厂房取暖之用。也可以用来調配泥漿和注水之用。

油田区淡的地下水，往往也是油区居民生活用水和灌溉用水的主要来源。

以上談的这些，充分說明油田水文地質学在我国石油工业發展中的重要性，因此，仔細研究油田区的地下水，对我们來說意义是非常重大的。

第一章 自然界水的循环及地下水起源

第1节 自然界水的循环过程

由于地下水与地表水，大气水之间有着密切的联系，因此在研究地下水之前必须事先弄清这种联系，以及有关的气象水文因素。

太阳辐射出的热能，使自然界中三种类型的水（大气水、地表水与地下水）处于动的平衡中，它们不断的从这一部份转化为另一部份，即在各种自然界的因素影响下不断的进行循环。

海洋、湖泊、河流及植物复盖层表面，在太阳辐射热能的作用下开始蒸发，以水蒸汽的状态进入空中，在一定条件下凝结成滴液状态或固态降落至地表。一部分降到海洋、湖泊及河流里；一

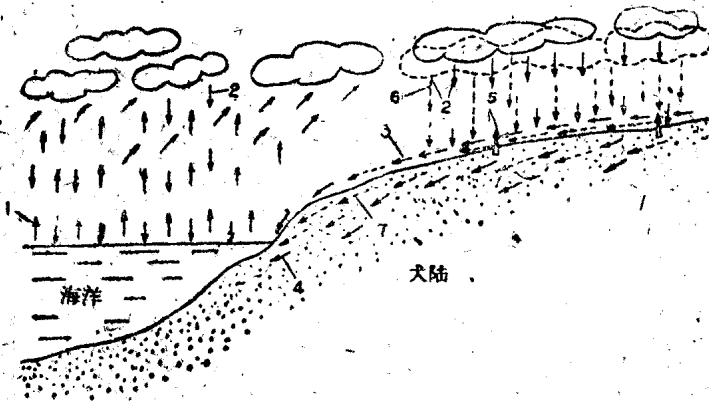


图 1-1 自然界中水循环图

- 1—海洋面上的蒸发；2—部分降到海洋，部分降到陆地上的大气降水；
- 3—来自大洋的大气降水沿着地表流回海洋；
- 4—来自大洋的大气降水以地下逕流方式流回海洋；
- 5—陆地上蒸发的大气降水；
- 6—由于陆地上蒸发所形成的的大气降水降落在陆地上；
- 7—渗入地下的大气降水以地下逕流方式流入海洋。

部分降到地面，降到地面的那部分，有的在原地蒸發；有的沿地面流入海洋、湖泊及河流里；其余部分則滲入地下補給地下水。

同样地表水流也可滲入地下補給地下水；而地下水亦可在太陽輻射热作用下直接蒸發，或以泉水形式湧出地表補給地表水；或者直接流入海洋。它們彼此之間就这样不断循环着（見圖1-1）。要了解引起这种循环的實質，我們要进一步研究与之有关的气象和水文因素。

第2节 有关的气象因素

一、气温

空气温度的增加，主要是由于地面（包括陆地、水、冰、植物等）把它吸收的太陽輻射热的一部分傳遞給空气，而空气对流又是把热傳給高气層的重要因素。下部空气增热后，密度减小，上部密度較大的空气下降把热空气挤向上方，因此就产生了上升气流与下降气流，这种作用使得垂直方向上的空气發生混合和热的交流。

气温的变化可分为随時間和随空間的两种变化。

气温随空間的变化又有两种情况；第一是水平方向的变化，即同一时期，不同地点的气温不同——主要受緯度的控制。（見表1-1）。第二是同一地区不同高度的变化；气温随高度的增加而减小。高度每增加100米，約下降 1°C ，如果空气已为水蒸汽所饱和，則約下降 0.6°C 左右。在山区，气候的垂直变化甚于受緯

表 1-1 緯度与气温的关系

地 名	緯 度	年 温 ($^{\circ}\text{C}$)	1 月平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	7 月平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	年度化幅度 ($^{\circ}\text{C}$)
安 东	40°	8.7	-9.3	24.0	34.1
青 島	36°	12.0	-1.4	23.6	26.5
杭 州	30°	16.4	4.0	28.3	24.3
基 隆	25°	21.6	15.8	27.8	12.7

度的影响。

气温随时间的变化，即指日变化、年变化。气温一昼夜中最高值与最低值之差称“气温的昼夜变化幅度”或“日温差”。一年中最热月份（一般是七、八月）和最冷月份（一月）平均气温之差叫“年温差”或“气温的年变化幅度”。从表 1—1 所列可见我国东北与南方年温差亦相差甚殊。

气温的测量，通常在气象站用水银和酒精温度计来测定，后者能测定较低的温度，因水银达到 -38.5°C 时会冻结。

二、湿度

湿度即空气的干湿程度，亦即表示空气中水蒸汽的含量多少。又分绝对湿度与相对湿度。绝对湿度为某一时刻，空气中水蒸汽的含量。以每立方米空气中所含水蒸汽的克数表示，或以空气中水蒸汽张力（水银柱压力的毫米数）来测定。空气的相对湿度为一定体积空气中，水蒸汽的含量 q 与在同温度同体积条件下，空气的饱和水蒸汽含量 q_1 之比。饱和水蒸汽含量是在某一温度下，空气中可能容纳水蒸汽的数量，它与温度有关，随温度的升高而增加。见表 1—2。

表 1-2 饱和水蒸汽含量与温度的关系

空气温度 $^{\circ}\text{C}$	-30	-20	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
饱和水蒸汽含量 (克)	0.5	1.1	2.4	3.4	4.8	6.8	8.4	12.7	17.3	22.8	30.4	40.3
饱和水蒸汽张力 (毫米)	0.4	1.0	2.2	3.1	4.6	6.6	9.2	12.7	17.5	23.0	31.9	42.2

空气的相对湿度 (E) 以百分数表之，即：
$$E = \frac{q}{q_1} \times 100\%$$
亦可以空气中水蒸汽张力 (p) 与同温同体积下最大可能的张力 (p_1) 之比来表示，即：
$$E = \frac{p}{p_1} \times 100\%$$

相对湿度表示了空气离饱和状态相差多远。如果绝对湿度不变，那么相对湿度则随着温度的升降而发生变化。例如，当温度

升高时，那么高温时的饱和水蒸汽含量较大，因此空气离饱和状态更远，空气显得较为干燥，反之，亦然。

根据降水量和温度动态，可以确定空气相对湿度的变化，这种变化有二个最大极限：在冬季最冷的时候（即12月—1月），相对湿度达65—80%；夏季（7—8月）由于降水量集中，因此在内蒙古相对湿度达60%，而在广东沿海几乎达90%。

空气的最大可能湿度与现有的空气湿度之差叫湿度差，或饱和差，即湿度差(d)= $q_1 - q$ 或 $d = p_1 - p$ 。其单位常以克或水银柱压力（毫米）表示之。

三、蒸發

地球表面在太阳热能的影响下，使得陆地表面、水面、植物复盖层表面以及雪和冰的表面上的水份，以水蒸汽状态进入大气中，这现象叫做蒸發。蒸發的水份构成大气的湿度。应该把蒸發和蒸發量分开，在一定时期内，地表上蒸發的实际数值叫蒸發。而蒸發量是单纯指水表面在一定时期内蒸發出一定水量的能力。当其单位以毫米表示时蒸發量的数值大于蒸發的数值。蒸發量的测定在气象站中进行。

蒸發也有日变和年变。日变在温暖季节表现得最为明显，在冬季表现得十分微弱。正午时由于温度、湿度差和风速均达到最大值，因此蒸發亦达最大值。黄昏和夜间蒸發减少，并在日出前后降至最小值。蒸發年变的最大值是在夏季，最小值在冬季。

蒸發的速度与数量取决于很多因素，主要的是温度和绝对湿度及两者间的关系：蒸發的速度或强度和饱和差成正比。其次如气压、风速、岩石的物理性质、地形及植物复盖层等均对蒸發有影响。

因此在气候炎热、干燥的我国西北地区，蒸發量相当大，而在潮湿的南方却较小。

四、降水

当空气的相对湿度为100%时，即达到饱和状态，该瞬时的温度称为露点。超过此限度水汽即进行凝結，以液态或固态形式