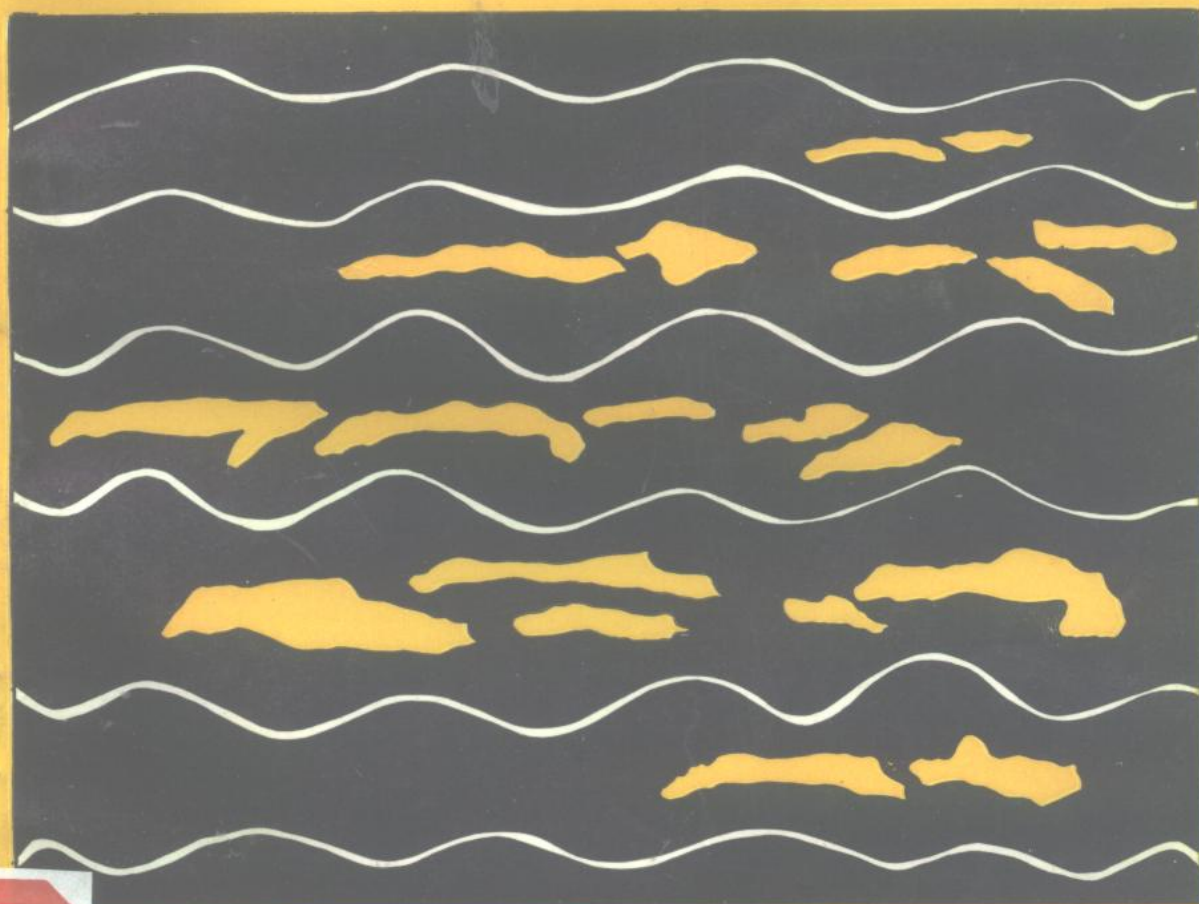


油气田水文地质学

杨绪充
编



石油大学出版社

(北京)

462

2

登录号	124007
分类号	P641.462
种次号	002

油气田水文地质学

杨绪充 编

5268/14



石油0117198



石油大学出版社

鲁新登字 10 号

内 容 提 要

本书首先概述了地下水的起源、赋存、补给、径流、排泄等水文地质学基本问题;然后重点阐述了地下水(及油田水)的化学组分及其形成、迁移和分类,引进了水文地球化学平衡和同位素水文地球化学等理论和方法;最后归结为油气田水文地球化学勘探(找油)问题。该书紧密联系我国油气田水文地质的实际,并充分反映了该学科在国内外近期研究成果。

本书可作为高等院校石油地质专业的教材,亦可供从事石油地质、油田开发、油藏工程及水文地质等项工作的生产、科技人员参考。

油气田水文地质学

杨绪充 编

*

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店发行

石油大学出版社微机室排版

石油大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 11.5 印张 294 千字

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 12 月第 2 次印刷

印数 1001—2000 册

ISBN 7-5636-0298-4/TE·64

定价: 13.80 元(压膜)

前 言

本书是为石油高等院校油气田水文地质学课程编写的教材。《油气田水文地质学》包含的内容比较广泛,就目前研究状况来看,其主要内容大致可概括为:①油气田水文地球化学(简称水化学);②地下水的运动规律(简称水动力);③地下水的温度及热力状况(简称水温度)。因此,本书的基本内容便可简化为水化学场、水动力场和水温度场这“三场”的研究。由于篇幅所限,本书不可能对上述各方面的内容进行全面阐述,而是将重点放在油气田水文地球化学方面。关于地下温度、压力及水动力环境方面的内容,编者已撰专著《含油气区地下温压环境》一书(石油大学出版社,1993)论述,可供参考。

本书内容共分10章。首先用两章篇幅(第一、二章)概述了地下水在天然水中的地位以及地下水的起源、赋存、补给、径流、排泄等水文地质学基本问题;然后用7章篇幅(第三至九章)全面系统地阐述了地下水(及油田水)的化学组分及其形成、迁移和分类,引进了水文地球化学平衡和同位素水文地球化学等理论和方法;最后(第十章)归结为油气田水文地球化学勘探(找油)问题。

本书中的计量单位均采用法定计量单位。对于目前许多文献中仍然大量沿用的一个非法定计量单位——meq(当量),本书也决心改用法定计量单位——mol(摩尔)。两者的换算关系是 $\text{meq} = \text{mol}/z$,式中 z 为离子电荷数(价数)。这样做有利于学术交流,也符合国家计量标准化委员会的规定和要求。

作为教材,应适当照顾本门学科的系统性,注意基本概念的交待,同时亦应反映该领域的国内外近期研究成果和某些新观点、新方法,并紧密联系中国实际。本书已按上述要求尽力去做。但限于编者水平,恐怕会有一定差距。书中也可能存在某些疏漏和谬误之处。凡此种种,尚希广大读者不吝赐教。

石玉章副教授在本书的出版工作中给予了编者很大帮助,特向他致以深切的感谢。

编 者

杨 绪 充

1992年元月于东营

目 录

绪论	(1)
一、油气田水文地质学的性质、内容和任务	(1)
二、油气田水文地质学发展简史	(3)
第一章 天然水与地下水	(7)
第一节 天然水循环	(7)
第二节 蒸发、降水及径流	(8)
一、蒸发	(8)
二、降水	(9)
三、径流	(9)
第三节 地下水起源	(9)
一、渗入水	(9)
二、沉积水	(10)
三、再生水	(10)
四、内生水	(10)
五、有机成因水	(10)
第二章 地下水赋存	(12)
第一节 地下水的存在形式	(12)
第二节 包气带和饱水带、含水层和隔水层	(13)
第三节 上层滞水和潜水	(15)
第四节 层间水	(16)
第五节 地下自由水的补给、排泄与径流	(19)
一、地下水的补给	(19)
二、地下水的排泄	(21)
三、地下水的径流	(22)
第三章 地下水中的化学组分	(26)
第一节 水的结构与性质	(26)
一、水分子的内部结构	(26)
二、水分子间的联接与排布	(27)
三、水的特异性质	(27)
第二节 地下水中的宏量组分	(28)
第三节 地下水中的其它组分	(30)
一、气体组分	(30)
二、微量组分	(31)
第四章 水文地球化学平衡	(33)

第一节 地下水中化学反应方向和程度的判断	(33)
一、判断反应方向和程度的依据	(33)
二、活度和逸度	(37)
第二节 地下水中的酸碱反应及平衡	(39)
一、水的平衡常数及酸碱反应	(40)
二、酸碱的强度及平衡	(41)
第三节 地下水中的碳酸平衡	(43)
一、 $\text{CO}_2\text{—H}_2\text{O}$ 体系的化学反应及平衡	(43)
二、方解石在地下水中的化学反应及平衡	(46)
第四节 地下水中的氧化还原反应及平衡	(49)
一、氧化还原电位与电子活度	(49)
二、地下水的稳定场	(51)
三、氧化还原强度	(52)
四、水溶液中化学组分的相图	(54)
第五节 地下水中各种化学组分的存在形式及其平衡	(56)
一、地下水中化学组分的存在形式	(56)
二、地下水化学平衡体系中配合物稳定性的计算	(57)
三、地下水化学平衡体系中组分存在形式的确定	(59)
第六节 地下水环境中的介面化学平衡	(60)
一、介面吸附作用	(61)
二、离子交替作用	(62)
第五章 地下水导致的化学组分迁移	(65)
第一节 化学组分迁移的方式	(65)
一、不同相间化学组分的迁移	(65)
二、组分在地下水中的迁移	(66)
第二节 影响组分迁移的因素	(69)
一、化学键的性质	(69)
二、影响组分迁移的外部条件	(71)
第三节 元素的移动性	(76)
一、水迁移系数	(76)
二、沉淀强度系数	(78)
三、地球化学移动性系数	(78)
第六章 地下水中化学组分的形成与特征	(79)
第一节 地下水化学组分形成中的几个主要作用	(79)
一、溶解作用	(79)
二、溶滤作用	(81)
三、阳离子交替吸附作用	(82)
四、扩散和浓缩作用	(83)
五、混合作用	(84)
第二节 渗入水化学组分的形成与特征	(85)

第三节 沉积水化学组分的形成与特征	(86)
第四节 内生水的形成与特征	(88)
第七章 同位素水文地球化学	(90)
第一节 概述	(90)
一、同位素基本概念	(90)
二、同位素组成及其表示方法	(91)
第二节 同位素分馏	(92)
一、同位素效应和同位素分馏的概念	(92)
二、同位素交换反应	(93)
三、同位素动力分馏	(94)
四、蒸发凝结过程中的同位素分馏	(95)
第三节 氢氧稳定同位素	(96)
一、氢氧同位素组成的表示方法与标准	(96)
二、天然水的氢氧同位素组成及分布特征	(97)
第四节 碳硫稳定同位素	(103)
一、碳硫稳定同位素的丰度、组成、表示方法和标准	(103)
二、天然水中碳硫同位素的组成及分布特征	(104)
第五节 放射性同位素及地下水测龄	(106)
一、放射性衰变	(106)
二、地下水氚(T)法测龄	(107)
三、地下水碳-14(^{14}C)法测龄	(108)
第六节 同位素方法在水文地质学中的应用	(109)
一、探索和判定地下水的起源与成因	(109)
二、判定地下水与地表水流及水体间的联系	(110)
三、确定含水层补给区的高程	(110)
四、确定各种来源水的混合比例	(110)
五、其它应用	(112)
第八章 油田水地球化学分类	(113)
第一节 Palmer 分类	(113)
第二节 Сулин 分类	(115)
第三节 Schoeller 分类	(118)
第四节 刘氏分类	(121)
第五节 各种分类方法的应用情况	(122)
第九章 油田水地球化学特征	(125)
第一节 油田水中的无机组分	(125)
一、矿化度及水型	(125)
二、离子分异现象及硫酸根离子	(126)
三、D 函数	(126)
第二节 油田水中的有机组分	(128)
一、苯、酚及其同系物	(128)

二、二环及稠环芳烃	(130)
三、氮	(131)
四、环烷酸及其盐类	(131)
第三节 油田水中的微量组分	(133)
第四节 油田水中的气体组分	(134)
一、可溶气态烃	(134)
二、有机氮	(136)
三、氮和氨	(137)
四、硫化氢和二氧化碳	(137)
第五节 油田水中的同位素组分	(137)
一、氢氧稳定同位素	(137)
二、碳同位素	(139)
第十章 油气田水文地球化学勘探	(140)
第一节 油气田上方的水文地球化学异常	(141)
一、异常形成的地质条件	(141)
二、油气田水文地球化学勘探的标志	(141)
第二节 油气田水文地球化学勘探的野外工作和样品分析	(143)
一、地下水露头的研究	(144)
二、取样方法	(144)
三、样品分析方法	(144)
第三节 油气田水文地球化学勘探的资料整理与研究	(145)
一、数据处理的优化系统	(145)
二、水文地球化学异常图的编制	(147)
三、水文地球化学异常的模式	(148)
四、综合异常的含油气远景评价	(149)
附录 I 某些物质的热力学函数值	(152)
附录 I 国际原子量表(1975)	(169)
附录 III 某些难溶物质的溶度积和溶解度	(170)
参考文献	(172)

绪 论

油气田水文地质学是水文地质学的一门分支学科,也是介于水文地质学与石油地质学之间的边缘学科。油气田水文地质学研究含油气区地下水(或油田水)的形成过程、赋存条件、化学特征、运动规律、温度状况以及它们与油气的关系等,为油气资源的勘探开发和油田水的综合利用提供水文地质依据。

一、油气田水文地质学的性质、内容和任务

地下水与油气就象一对孪生姐妹一样形影相随。油气的生成、运移、聚集以及油气藏的形成乃至破坏等各个环节,无一不与地下水的作用息息相关。实际上,从有机质开始富集到演化成烃以及油气运移、聚集的整个过程,始终都是在水的环境里和水的参与下进行的。在地下岩石中,水是与油气接触最为密切的介质。在长期密切的接触过程中,其间必然会产生元素的迁移和交换作用。这便导致了油田水与油气在水文地球化学(即水化学)方面的某种亲缘关系。同时,地下水也是油气运移和聚集的载体,地下水的浮力和渗流还为油气的运移提供了必要的动力。总之,如果没有地下水的存在和积极参与作用,油气藏的形成过程是不可想象的。有鉴于此,在阐明区域性油气分布规律,进行含油气远景评价和油气预测时,深入研究盆地的水文地质条件是至关重要的。因此,应用水文地质学的基本理论和方法研究解决石油地质学中的有关问题,为油气资源的评价、预测和寻找油气田服务便成为一种迫切的需要。实际上,油气田水文地质学正是为了适应油气资源勘探工作的需要才在水文地质学的基础上逐步发展而独立出来的。因此,就学科性质而言,应该说油气田水文地质学是水文地质学的一门分支学科,也可以说油气田水文地质学是介于水文地质学与石油地质学之间的一门边缘学科。水文地质学与石油地质学都具有流体地质学的特征,它们的基本理论和原则是可以沟通的,油气田水文地质学在它们之间架起了一座桥梁。

油气田水文地质学研究的范围十分广泛,就目前情况来看,除油田水的形成过程和赋存条件等基本内容外,其主要内容归纳起来有以下几个方面:

1. 水化学特征 着重研究地下水的化学组成及其形成条件和分布变化规律。前已述及,油田水的水文地球化学特征与油气具有非常密切的关系。油田水与油气在地层中长期共存,密切接触,油气中的某些组分必然会以各种方式或多或少地转入油田水中;浅层地下水也会因元素迁移作用而获得深部油气藏中的某些组分。因此,研究地下水的水文地球化学特征将有助于追索油气在地下的行踪,这对于预测和寻找油气藏具有重要意义。例如浅层水中可溶性甲烷-重烃系列化合物的存在往往与深部的油气聚集有关,是预测油气藏的可靠标志。实际上,根据地下水的各项水文地球化学标志预测潜在的含油气面积并进而寻找和发现油气藏,乃是水化学找油的基本内容。水化学找油是一种既经济、简便、快速,又直接可靠的找油方法。实践证明,这种方法具有强大的生命力和广泛的应用前景。

2. 水动力环境 着重研究地下水的压力分布状况和区域性运动规律。作为油气载体的地下水,其运动状况必然会影响到盆地中油气的运移、聚集和分布。因此,在阐明油气运移、聚集

和分布的规律时,研究盆地的地下水动力环境是十分必要的。勘探实践表明,压实流盆地中油气具有明显的围绕生油凹陷中心呈环状聚集分布的规律;而重力流盆地则油气多聚集分布于盆地的泄水部位一侧。这种油气聚集分布规律与盆地的地下水动力环境密切相关,实际上是受盆地的地下水动力环境控制的。研究盆地的地下水动力环境不仅有助于阐明盆地中油气的区域性运聚分布的总体规律,而且还可以进一步预测有利于油气聚集的具体地段,为寻找油气藏提供水力依据。例如,将地层压力换算为地下流体势,并分析地下油、气、水的势分布状况,判断油、气低势区,从而便可确定油、气运移的具体方向和有利的聚集空间,因为油、气总是聚集在自己的低势闭合空间内。

3. 水温度状况 着重研究地下水的温度和热力状况。由于地下水温与地温是一致的,因此地温研究工作与油田水文地质学的关系非常密切。众所周知,地温是控制有机质演化过程的主要因素,地温也在很大程度上影响到油气的运移、聚集和分布状况,因此在进行油气资源评价和预测时绝不能忽视地温(包括今地温和古地温)的研究工作。由于地下热力状况与油气资源之间的极其密切的关系,有关油区地温学方面的研究成果和文献与日俱增,正在形成一个新的研究领域。

综上所述,油气田水文地质学的主要任务是研究含油气区地下水的化学场、压力场(水力场)和温度场及其与油气的关系等,为油气资源勘探决策提供水文地质依据。当然,就广义而言,这些研究工作同样也可应用于油气田开发。因此,为合理开发油气田提供水文地质依据也是油田水文地质学的一项重要任务。

地下水和油田水提供的各种信息不仅有助于指导油气田的勘探和开发,而且地下水和油田水本身往往也可能构成某种重要的资源。

1. 地球是一个庞大的热库,蕴藏着极其丰富的地下热能资源。地热能既经济又无污染,已作为一种新的能源而受到国内外的普遍重视。目前开发地热能的方法主要是地下水作为载热介质,将热能输送到地表以资利用。油田水一般多来自较深的地层,温度较高,常可达 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 甚至更高,可用于温室栽培和各种供暖甚至热水发电,是一笔可贵的财富。例如华北和大港油田利用古潜山热水,除满足矿区之需外已开始向北京和天津供暖。

2. 高矿化地下水和油田水是提取某些有用物质的重要化工原料。地下水和油田水中最常富集的有用元素有碘、溴、硼、钡、锶、钾、钠等,它们有时可能构成具有工业价值的矿床。例如我国四川省的自贡市,除开采天然气外,还建有从油田水中提取各种有用物质的化工设施,使自贡变成了一座著名的盐都和化工城。

3. 含有某些特殊组分,具有某种特殊性质和适当温度,因而能产生医疗作用的地下水或油田水称为矿水,矿水可作为一种增进人民健康的医疗保健物质。由于对矿水的广泛开发利用而诞生了许多矿泉疗养地,并吸引着越来越多的游客。矿水是一种医疗保健物质,也是一种重要的旅游资源。例如济阳凹陷的孤岛油田,已首先利用古潜山热水在我国建立了第一座矿区疗养院。

4. 在油田开发过程中常采用注水法以保持地层压力,从而提高油气水的最终采收率。注入水从哪里来?在采油的同时采出的油田地下水便是既经济又理想的水源。随着油田开发工作的进行,采出的油气越来越多,同时采出的水也相应增多,这时为了保持地层压力和填补地下亏空,亦需要注入更多的水。将采出的水对油层进行回注既解决了注入水水源问题,又可避免油田水对地面的污染,而且还可以防止因长期大量采出油气水而可能导致的地面下陷。

实践证明,地下资源往往不是单一的,而是多种资源共存。在含油气区,如能充分利用地下

水资源,走综合发展的道路,则可形成油气水的接替产业,使油田和矿区长盛不衰。

既然油田水本身往往也可能构成某种重要的资源,就必须对它们加以综合利用。因此,为油田水的综合利用提供水文地质依据也是油田水文地质学的一项任务。

总之,油田水文地质学是研究含油气区地下水的学科。它主要研究地下水的各种物理场、化学场及其与油气生成、运移、聚集和散失的关系,即研究油气藏形成和破坏过程中地下水的作用,为油气资源勘探决策提供水文地质依据。同时,它也研究地下水与油气田开发的关系以及油田水的综合利用问题,为油气田的合理开发和油田水的综合利用提供水文地质依据。

二、油气田水文地质学发展简史

前已述及,油气田水文地质学是由水文地质学独立出来的一门分支学科或边缘学科。因此,在论述油气田水文地质学的发展简史之前,首先回顾一下水文地质学的发展简史是必要的。

打井取水是人类认识和利用地下水的重要手段。我国发现的最古老的水井是浙江余姚的河姆渡井,据 ^{14}C 年代测定结果,该井约凿于公元前 3710 ± 125 年,即距今约5700年。河姆渡井是一口用圆木衬护的结构精巧的水井,可知较原始形态的水井出现得还要更早些。四千多年前,我国凿井取水已很普遍,而且史料记载甚多,如《周书》载“黄帝穿井”,《世本》载“伯益作井”,《史记》载“舜穿井”等。我国新疆地区至少在公元前300~200年间已开凿了长达数十公里的坎儿井,将地下水引向耕作区。从秦朝(公元前221~207年)开始,我们的祖先就在四川为采卤水熬盐而开凿了深达百米以上的“自流井”,比12世纪法国和意大利出现“自流井”的时间要早近1000年。这说明当时我国的打井技术和对地下水的认识均已达到了相当高的水平。

世界上出现最早的涉及到地下水的文献当推我国的《山海经》。《山海经》问世于公元前5~4世纪,是一部内容相当丰富的矿产地质文献。经中包含多处关于地下水的记载。例如经中写道:“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。辄又夏乃出,冬则闭”(《南山经》)。“积石之山,其下有石门,河水冒以西流”(《西山经》)。经中还记载了“水出于其上,潜于其下”,“水流注于沙”等现象。应该说这已具有地下水起源于渗入水的萌芽思想了。经中还记载了其它许多丰富的科学材料。所有这些认识和利用自然的思想,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(公元14~17世纪)才陆续出现。

沈括(1031~1095)在其所著《梦溪笔谈》一书中记载:“信州铅山县(今江西上饶西南)有苦泉,流以为涧。挹其水熬之,则成胆矾,烹胆矾则成铜,物之变化固不可测”。

在我国明代初期(公元14世纪)的《农政全书》中,徐光启写道:“井与江河地脉贯通,其水浅深,尺度必等。今问凿井应深几何?宜度天时旱潦,河水所关,酌量加深几何,而为之度。”明确指出了地下水与河水的相互补给关系,实际上这已是地下水渗入起源说的雏形。

明朝著名医家李时珍(1519~1593)在《本草纲目》中提出将泉水按成分分为5类,即①硫磺泉;②朱砂泉;③矾石泉;④雄黄泉;⑤砒石泉。这是最早见诸文献的泉水化学成分分类方案。

在长期利用井、泉作为水源的过程中,人们提出了有关地下水起源的看法。B. Pulissy(普莱西,1509~1589)解释了井泉与河水的关系,并指出井泉的水起源于降水。P. Perrault(珀劳尔特,1608~1680)和 Mariotte(马里奥特,1602~1684)证明,泉的流量随降水而变化,因此泉和井水均来自大气降水。20世纪初,对地下水的起源又提出了一些新的学说。例如 E. Suess(休斯)于1902年提出了初生说,认为地下水来源于岩浆的冷凝。A. C. Lane(莱恩)和 W. C. Gordon(戈登)于1908年指出了埋藏水(封存水)的存在,认为“水成岩”在沉积时颗粒间便充

满了水,在岩层固结时水被挤入含水层中。其后,于1907~1910年间,А. Ф. Лебедев(列别捷夫)提出了凝结说,认为水气冷凝可形成液态地下水。

在水动力方面,1856年,法国水力学者Darcy(达西)进行了水通过砂的渗透试验,得出水在砂中的渗流速度与砂的渗透率及压力梯度成正比的结论,这就是著名的达西定律。达西定律奠定了地下水定量计算的基础。随后,J. Dupuit(裘布依,1863)等结合取用与排除地下水的实际问题,发展与完善了地下水稳定流动的理论。

关于地下水化学组成的研究,早在公元前1世纪,随着利用矿水医疗治病,就已提出了矿水的简易化学分类的问题。19世纪以来对油田水的研究积累了更多的地下水化学成分的资料。В. С. Пльин(伊林)于1930年发现了前苏联潜水化学成分分布的规律性。随后,Н. К. Пичагович(伊格纳托维奇)提出了自流盆地的水化学分带方法。

K. Keilhack(凯尔哈克)在1912年进行了地下水和泉的分类,O. E. Meinzer(迈因策尔)于1923年对美国地下水做了总结性描述。

至此,关于地下水的起源、运动、水质及地下水分类等都有了较为系统的理论和研究方法。

自本世纪30~40年代起,水文地质学进入了新的发展时期。C. V. Theis(泰斯)于1935年根据热传导理论提出了地下水流向井的非稳定流公式,把地下水的定量计算大大向前推进了一步。本世纪40至60年代,C. E. Jacob(雅可布)及M. S. Hantush(汉图什)等对层间含水层的越流现象进行了研究。本世纪60年代,W. C. Walton(华尔顿)等首次应用电子计算机进行水文地质计算。数值法随之被引入水文地质学领域。

前已述及,我们的祖先很早就已经积累了有关地下水的丰富知识和技术,可惜这些知识和技术未能在以后继续提高和发展。其原因这是由于我国封建主义的长期统治,再加上近百年来帝国主义的侵略和压迫。

中华人民共和国成立以来,随着国民经济的恢复和发展,水文地质学也得到了应有的重视。在矿产资源的勘探方面,巨大水利工程的建设方面,农田灌溉以及许多大中城市和厂矿的供水方面,都进行了大规模的水文地质调查工作。所有这些都促进了我国水文地质科学的飞速发展。

最近十余年来,由于改革开放政策的实施,闭关自守的状态开始打破。我国水文地质学界,注意引进和吸收国外特别是欧美各国的水文地质学理论与方法,在非稳定流、非饱和流、越流、弥散、环境水文地质等方面相继开展了研究工作,并将同位素、遥感、计算机和数学地质等方法及技术应用于解决水文地质学问题。我国水文地质科学与国际水平的差距大为缩小,学术思想空前活跃,并开始出现向水文地质学某些前沿领域冲击的可喜趋向。

油气田水文地质学是在水文地质学发展的基础上,于本世纪30年代逐渐形成独立的分支学科。同时,油气田水文地质学的发展一刻也离不开石油工业的发展,可以说它们基本上是同步前进的。

随着石油工业的发展,在采油的同时也采出了大量的油田水。由于油田水与油气的关系极为密切,迫使人们在找油和采油时必须重视和研究油田水。18世纪,特别是19世纪以来,油田水化学分析资料大量出现,为研究油田水提供了方便。

1935年,В. А. Сулин(苏林)出版了《苏联油田水》一书,他在书中将前苏联大批的油田地下水资料进行了第一次系统的整理,为认识油田水的特征和继续研究油田水打下了良好的基础。1946年Сулин出版了《天然水系中的油田水》一书,书中提出了天然水(包括油田水)的化学分类方法。由于这一分类方法反映了水的形成环境,因此Сулин将其称为成因分类。虽然

Сулин 提出的分类方案尚不够完善,但目前还没有更好的油田水化学分类方案可以取代它,所以 Сулин 分类法仍然被世界各国(包括我国)广泛采用着。Сулин 还在《油田水文地质学》等其它一些著作中阐述了许多关于油田水的重要理论,这些理论对于油气田水文地质学这门学科的形成和发展具有重要意义。

Г. М. Сухарев(苏哈列夫)对前苏联含油气区的地下水进行了大量的研究。自本世纪 50 年代以来,他先后出版了《油矿水文地质学》(1955)、《水文地质学与油气田水》(1959)、《油气田水文地质学》(1979)等著作,为本门学科的系统化做出了贡献。

A. G. Collins(柯林斯)于 1975 年在《油田水地球化学》一书中,对油田水的地球化学问题进行了全面深入地分析,并在 1980 年出版的《石油地质学进展(二)》中发表了《油田卤水》一文,文中结合美国实例对古水化学分析方法进行了探讨。

在水动力方面,1940 年 M. K. Hubbert(哈伯特)提出了地下流体势的概念,并根据流体势分布判断地下油气水的运动方向,解释油气运移聚集的问题,从而把地下流体运移的研究建立在科学的基础之上。真柄钦次(K. Magara)等研究了地下流体的高异常压力(即超压)的问题。J. To'th(托斯)等研究了地下水重力流的问题,并特别强调水的穿层运移(即越流)现象。H. Coustau(柯斯托)等于 1975 年提出将盆地划分为幼年期、中年期和老年期。我国研究者在此基础上将盆地按地下水动力环境划分为压实流、重力流和滞流三种基本类型以及两种过渡类型,并分析了它们之间的演化关系。

本世纪 40 年代,在苏联某些含油气区开始了古水文地质方面的研究工作,1969 年 А. А. Карпен(卡尔采夫)等出版了专著——《古水文地质学》,提出了水文地质旋回及水交替次数的概念,试图将地下水交替作用定量或半定量化。我国研究者在此基础上进一步提出了水文地质期的概念,并将其划分为四种型式,这对于分析研究含油气盆地的水文地质发育史具有重要意义。

解放以前,我国的石油工业及极端落后,因此根本谈不上研究油田水的问题。新中国诞生后,随着石油工业的迅速发展,才开始了对含油气区地下水的研究,并从前苏联引进了油气田水文地质学。在解放初期的 50 年代,我国某些高等院校的石油地质专业开始设立《油田水文地质学》必修课程,各油田矿区也相继建立油田水化学分析实验室及各种油田水文地质研究机构。1961 年,中国工业出版社出版了原北京石油学院石油地质教研室刘方槐、李慈君编著的《油田水文地质学》教材,该书是我国出版的第一部专门论述油气田水文地质学理论和方法的科学文献,它在推动我国油气田水文地质学的教学、科研和生产实践方面具有重要意义。

文化大革命使我国的油气田水文地质事业这株幼苗遭到了严重的摧残,近年来,我国的油气田水文地质工作者急起直追,在水化学找油、地下水动力环境、古水文地质研究等方面都取得了明显的进展。

尽管如此,目前我国油气田水文地质事业的发展水平仍然较低,在教学、科研和生产实践等各个领域,机构还不够健全,队伍也很薄弱,“重油轻气不管水”的传统观念尚未完全扭转,这与我国石油工业蒸蒸日上、蓬勃发展的现状是很不协调的。

为了适应我国石油工业的现状,加速发展我国的油气田水文地质事业,应在理论研究、实验研究和技术方法的应用三个重要方面狠下功夫。实践证明,除原有的常规研究方法外,广泛应用遥感、同位素、计算机及数学地质等新的技术方法对我国油气田水文地质事业的发展是十分重要的。例如应用同位素方法测定油田水的年龄,以及示踪水文地质过程的研究和测定水文地质参数等方法都是很有前途的。同时,不仅要重视宏观现象的研究,更要认真地研究油

气田水文地质过程的微观机制,以免机理尚未弄清,还未得出正确的概念模型,便超前地建立了数学模型。

为了尽快赶超世界先进水平,摆在中国油气田水文地质工作者面前的任务是光荣而艰巨的。“海阔凭鱼跃,天高任鸟飞”。面对祖国辽阔的疆域和众多的盆地,中国的油气田水文地质工作者是可以大有作为的。

第一章 天然水与地下水

存在于地球上的各种水统称天然水。天然水主要存在于地球的大气圈、水圈、生物圈和岩中圈中。天然水的绝大部分为海水(约占总量的 97.2%)。存在于地面以下地壳中的天然水称为地下水,地下水的总量为 840.7 万 km^3 左右,大约一半分布于地下 1000m 范围内的岩石及土壤空隙中,另一半分布于更深的部位。

第一节 天然水循环

分布于地球不同圈层中的水分,彼此密切相关并经常不断地相互转化,这种彼此转化的过程称为自然界中的水循环。

自然界中的水循环包括水文循环和地质循环两个范畴。在地质循环中,水参与沉积、变质与岩浆作用过程,地壳浅表的水与地壳深部乃至地幔的水发生交换,循环途径长,循环速度缓慢,此类水循环是在地质历史进程中进行的。水文循环发生于大气水、地表水与地壳浅部地下水之间,循环速度相对迅速。下面我们只讨论水文循环。

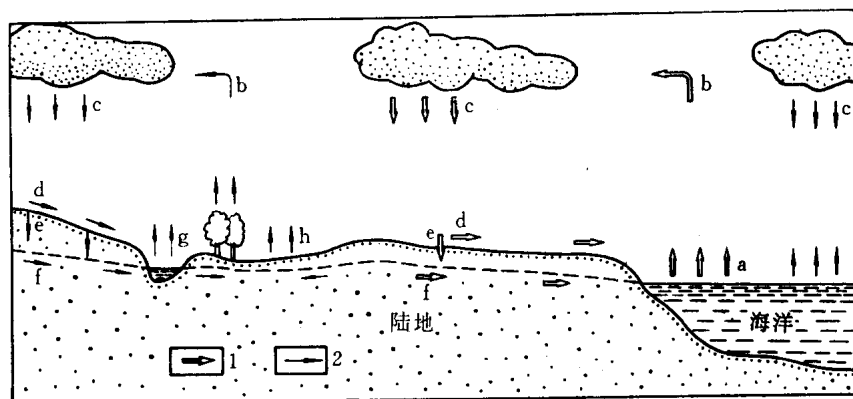


图 1-1 天然水循环示意图

(据王大纯等,1986)

1. 大循环各环节; 2. 小循环各环节

a. 海洋蒸发; b. 大气中水气转移; c. 降水; d. 地表径流;

e. 入渗; f. 地下径流; g. 水面蒸发; h. 地面蒸发; i. 叶面蒸发(蒸腾)

在太阳热力和地球重力的作用下,地壳浅表的水不断地循环着(图 1-1)。海洋陆地表面的水蒸发成为水气进入大气圈;水气随气流飘移,在适宜的条件下,重新凝结成液态或固态降落(即雨雪等不同类型的降水);降落在陆地的水分,一部分汇集于江河湖泊形成地表水,另一部分渗入土壤岩石中,成为地下水。地表水有的重新蒸发成为水气,返回大气圈;有的渗入地下,成为地下水;还有一部分流入海洋。地下水有的通过地面蒸发直接返回大气圈;有的被植物吸收,通过植物叶面蒸发而返回大气圈;其余部分则形成地下径流。地下径流或者直接流入海洋,

或在径流过程中泄露地表转化为地表水,然后再返回海洋。地壳浅表的水分就是这样长期地往复不已地互相转化着,从而为地球上生命的繁衍提供了必要条件。上述天然水循环状况可概括为框图形式,如图 1-2 所示。

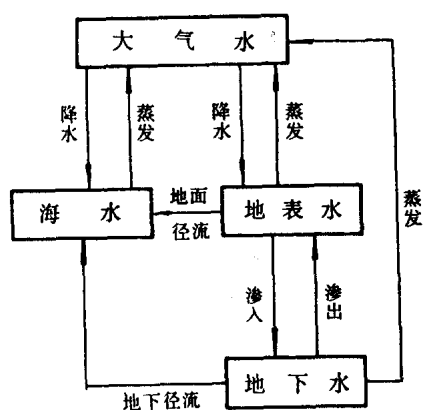


图 1-2 天然水循环框图

根据水循环途径的不同,可分为小循环和大循环。小循环是指由海洋表面蒸发的水气,又以降水形式落入海洋;或由大陆表面(包括陆地水体表面、地面及植物叶面等)蒸发的水气,仍以降水形式落回陆地表面。这种发生在局部范围内的水循环过程称为小循环。而大循环则是由海洋表面蒸发的水气,随气流带到大陆上空,形成降水落回地面,再通过径流(地表的及地下的)返回海洋的过程。或者相反,由大陆表面蒸发的水气飘移到海洋上空降落的过程。这种发生在海陆之间的循环过程称为大循环。小循环受局部气象因素控制,大循环受全球性气候控制。

因此调节小循环条件,加强小循环的频率和强度,可改善局部干旱地区的气候;而对大循环条件的改变,目前仍为人力所不及。

总之,水分的转化是通过循环实现的。蒸发、降水和径流是水循环过程中的主要环节。

第二节 蒸发、降水及径流

蒸发、降水及径流是天然水循环的三个重要环节,本节对它们分别作简要介绍。

一、蒸发

在常温下水由液态转为气态进入大气的过程称为蒸发。空气中的水气主要来自地表水、地下水、土壤和植物的蒸发。有了蒸发作用,水循环才得以不断进行。

水面蒸发的速度和数量取决于许多因素(如气温、气压、水温、风速等),其中主要决定于气温和绝对湿度的对比关系。气温决定了空气的饱和水气含量,而绝对湿度则是该温度下空气中实有的水气含量,该两水气含量之差称为饱和差。蒸发速度或强度与饱和差成正比,即饱和差愈大,蒸发速度也愈大。

风速是影响水面蒸发的另一重要因素。蒸发的水气容易积聚在水面上而妨碍进一步蒸发,风将水面蒸发出来的水气不断吹走,蒸发加快,因此,风速愈大,蒸发就愈强烈。

蒸发包括水面蒸发、地面蒸发、叶面蒸发等。通常用水面蒸发量的大小表征一个地区蒸发的强度。气象部门常用蒸发皿(直径数米的圆皿)测定某一时期内的蒸发水量,以蒸发的水柱高度 mm 数表示蒸发量,如北京的多年平均年蒸发量为 1102mm。

必须注意,气象部门提供的蒸发量,只能说明蒸发的相对强度,而不代表实际的蒸发水量。因为通常一个地区不全是水面,并且,用小直径的蒸发皿测得的蒸发量比实际的水面蒸发量偏大许多。

二、降水

当空气中水气含量达饱和状态时,超过饱和限度的水气便会凝结,以液态或固态形式降落到地面,这就是降水。空气冷却是导致水气凝结的主要条件。暖湿气团由于各种原因变冷就可以产生降水。其中最常见的是锋面降水。当暖湿气团与冷气团相遇时,在两者接触的锋面上,水气大量凝结形成降水。气象部门用雨量计测定降水量。降水量以某一地区某一时期的降水总量平铺于地面得到的水层高度 mm 数表示。

降水是水循环的主要环节,一个地区降水量的大小,决定了该地区地面水资源的丰富程度,同时也对地下水资源的形成具有重要影响。

三、径流

径流是水循环的重要环节之一,系指降落到地表的降水在重力作用下沿地表或地下流动的水流。因此,径流可分为地表径流和地下径流两部分,两者具有密切联系,并经常相互转化。据统计,全球大陆地区年平均有 47000km^3 的水量通过径流返回海洋,约占陆地降水量的 40%,这部分水量大体上是可供人类利用的淡水资源。

地表径流和地下径流均有按系统分布的特点。汇注于某一干流的全部河流的总体构成一个地表径流系统,称为水系。一个水系的全部汇水区域,称为该水系的流域。流域范围内的降水均通过各级支流汇注于干流。相邻两个流域之间地形最高点的连线即为分水线,又称分水岭。这些概念同样可用于地下水,但地下水的系统不像地表水系那样明显,易于识别,而是具有自己的一些特点。

第三节 地下水起源

前已述及,在太阳热力和地球重力的作用下,大气水、地表水、海水和地下水开始了巨大的循环,并导致了水的运动和相互转化。了解了自然界中水的循环后,就不难理解大气水和地表水在地下水起源方面占有何等重要的地位。实际上,大多数地下水的起源都与大气水的凝结降落和地表水的渗入补给以及地表水、海水随沉积物的埋藏等有关。当然,也不能排除一部分再生水和初生水正在不断地加入到地下水之中。

早在古代,就已经有了关于地下水起源的各种论述,随着生产实践的不断发展,对于这个问题的认识也在不断发展。目前,一般认为地下水主要来源于以下几种水:渗入水、沉积水、再生水、初生水和有机成因水等。

一、渗入水

由凝结水、大气降水和地表水向下渗入而形成的地下水称为渗入水。水蒸气的浓度不同时,水蒸气就由浓度大的地方向浓度小的地方运动。在岩石和土壤中的水蒸气浓度比大气圈中的小时,水蒸气就由大气中进入地下,随着温度的降低,便发生水蒸气的凝结。凝结而成的水份在重力作用下向下渗入,直至遇到相对的不透水层而停滞在那里,这就形成了地下水。

在炎热的沙漠中,由于水蒸气凝结渗入而形成地下水的作用进行得比较明显。在这里气温的日变化幅度很大,达 $30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 或更大。白昼高温,夜里土壤或大气很快地剧烈冷却,土壤里的水气凝结后浓度降低,大气中的水气便流向土壤,因此,这就加剧了凝结作用的进行。此