

水文地球化学找油理论与方法

刘崇禧 孙世雄 编著

地质出版社

37395

水文地球化学找油
理论与方法

59/17/03

刘崇禧 孙世雄 编著

地质出版社

内 容 提 要

本书是我国水文地球化学找油的专著。

水文地球化学找油是油气化探的重要方法之一。作者以长期实践所取得的大量实际资料为依据,对水文地球化学找油原理、油田水文地质特征进行了比较系统的论述,总结了水化学找油指标,比较详细地阐述了基本工作方法,对我国有代表性的典型实例进行了剖析。

本书资料丰富、图文并茂,可供石油地质、水文地质、地球化学工作者以及有关大专院校师生参考。

水文地球化学找油理论与方法

刘崇禧 孙世雄 编著

责任编辑:李云浮

地质出版社出版发行

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168¹/₃₂ 印张: 7.6875 字数: 202,000

1988年8月北京第一版·1988年8月北京第一次印刷

印数1—1210册

国内定价: 2.85元

ISBN 7-116-00331-2/P·289

前 言

水文地球化学找油法，是水文地球化学找矿方法之一，是寻找油气田的地球化学方法。

五十年代以来，我国广泛地开展了水文地球化学找油法的试验研究工作，在预测含油气远景、评价局部构造的含油气性、确定生油层和储油层等方面均发挥了重要的作用。近几年来，我国油气化探工作者结合我国陆相油田的特点，逐步完善了油田水文地球化学普查的基本理论、工作流程和分析方法。从而证实了该方法不仅是寻找油气藏的有效手段，而且也是石油地球化学领域中的重要研究内容。

建国以来，随着我国石油地质勘探事业的蓬勃发展，广大地质和水文地球化学工作者在生产实践中，积累了丰富的石油地质、油田水文地球化学资料，取得了宝贵的经验，发表了许多有价值的论文和研究成果，大大地促进了我国水文地球化学找油法的应用及研究工作的进展。

本书是作者在长期从事野外油田水文地球化学调查、室内模拟试验研究、以及搜集、整理和研究前人资料的基础上撰写而成的。书中详细地介绍了水文地球化学找油法的理论基础；总结了我国油田水文地球化学特征；运用现代水文地质基本理论和古水文地质分析的方法，总结归纳了我国陆相油田水化学成分的基本特征；讨论了油田水的成因与演变历史；研究了水文地球化学异常形成的地质背景与展布规律；筛选了水文地球化学找油指标；阐述了水文地球化学找油的基本方法；提出了油田水文地球化学异常模式；列举了我国油田水文地球化学找油实例等。

本书是二十多年来集体劳动的结晶，张金来、伍大俊、张学全、李贵友、吴学明、王福、牛冠群、涂修元、陈力、龚维琪、

陈炜、毛道善、陈传霖、吴德云、蔡映宝、敖巧庆、李鹤庆、彭智云等同志为水文地球化学找油法的发展付出了辛勤的劳动，作出一定的贡献。本书利用了多年来积累的大量资料和研究成果。在本书编写过程中，作者得到了中国科学院学部委员关士聪、刘光鼎教授，以及宋秀珍和程志纯高级工程师的指导和帮助。合肥工业大学地质系主任朱宛华副教授、成都地质学院周柔嘉副教授审阅了书稿，提出了许多宝贵意见。钟国荣和罗爱娣同志清绘了图件，在此一并致谢。

编著者

1988年4月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 水文地球化学的基本概念.....	(1)
第二节 水文地球化学找油法发展简史.....	(3)
第三节 水文地球化学找油法的研究意义.....	(5)
第二章 水文地球化学找油法原理	(10)
第一节 元素的水文地球化学性质.....	(10)
第二节 水的结构与性质.....	(28)
第三节 地下水中元素的迁移类型与模式.....	(32)
第四节 含油气盆地古水文地质作用.....	(43)
第五节 水化学异常形成的地质构造背景.....	(57)
第三章 油田水文地质特征	(67)
第一节 油田水文地质条件.....	(67)
第二节 油田水化学成分的基本特征.....	(76)
第四章 水文地球化学找油气标志	(100)
第一节 直接指标.....	(101)
第二节 间接指标.....	(118)
第三节 环境指标.....	(123)
第四节 反映构造的指标.....	(127)
第五节 成因指标.....	(129)
第五章 水文地球化学找油的基本工作方法	(132)
第一节 水文地球化学找油阶段的划分.....	(132)
第二节 水文地球化学找油的准备工作.....	(135)
第三节 水文地球化学找油的野外调查.....	(138)
第四节 样品分析测试.....	(150)
第五节 资料整理研究.....	(165)

第六章 我国水文地球化学找油的典型实例	(203)
第一节 我国水文地球化学找油的基本特点.....	(203)
第二节 松辽盆地水文地球化学找油测量结果.....	(207)
第三节 某拗陷水文地球化学找油测量结果.....	(222)
第四节 河套盆地水文地球化学找油测量结果.....	(231)
第五节 泌阳拗陷水文地球化学找油测量结果.....	(234)
参考文献	(239)

第一章 绪 论

第一节 水文地球化学的基本概念

水文地球化学是研究水圈及其与自然环境（包括岩石圈、大气圈、生物圈等）之间地球化学作用的一门科学。具体地说，它研究水圈各部分的化学组成与化学演变的历史，以及化学元素（包括同位素）在自然界各种不同的物理化学条件下的性状和分布规律；研究各种地质环境及地质历史过程中天然水（主要是地下水）与其周围介质相互作用时，化学元素迁移、演变历史和再分配的规律。

油田水文地球化学是水文地球化学的重要组成部分，是水文地质学的一个分支。它是建立在水文地质学、石油地质学和地球化学之间的一门新的边缘学科，其主要研究任务和内容是：第一，研究含油气盆地内地下水中各种组分的含量和在各种不同热力条件下的均衡状况、各种元素及其同位素在地质、水文地质历史中集中、分散和再分配的规律；第二，研究含油气盆地内油田水化学成分纯化与演变规律，阐明不同类型油田水的成因及水分散晕的形成原理；第三，研究地下水的化学成分对油气生、运、集、散的作用，以及与油气藏的关系，阐明油气藏的形成、保存和破坏的水文地质条件和水文地球化学环境（包括现代的和古代的），充分运用地下水化学成分在含油气盆地中的变化规律，预测和寻找有利的含油气地区（段）。

在含油气盆地内所发生的一切地质、地球化学作用，无不是在水的积极参与下进行的。水在自然界占有极为重要的地位。地壳中（包括油气）的化学元素都不同程度地溶解于水，并与水一

起运动。在另一些条件下，元素又可从水中沉淀出来。所以说，地下水的循环或水与岩石相互作用时，既是水破坏岩石圈中元素的共生组合，使元素在天然水中分散和集中的过程，又是化学元素从水中析出，使元素重新组合，并且形成新的矿物或者矿体（包括油气藏）——水文地球化学形迹的过程。

含油气盆地内地下水的化学成分随着油气的形成、运移、聚集和散失，经历了复杂而漫长的水文地球化学过程，它“记录”了油气形成、保存、发展和消亡的演变史。

对于地下水化学成分在油气藏形成过程中的性状及演变规律，很难直接观察到，一般只能根据水文地球化学形迹，通过重建古水文地球化学场和古水动力场，来恢复原始水的成分和性状。古水文地球化学形迹是观察和研究古水文地质作用和环境的重要标志和依据，它是指与地下水活动有关的自然地质历史形成物。换言之，它是地下水化学成分在不同热力条件和物理化学条件下，元素向岩石圈中迁移过程中所遗留下来的蛛丝马迹，是地下水化学成分沉淀、析出的产物。详细研究各个含油气盆地内不同的水文地质期和遗留下来的各种水文地球化学形迹，就可以恢复沉积盆地从陆解（或海解）阶级至成岩过程的沉积水的原始成分和它的演变历史，以及它们在石油、天然气形成和运移过程中的作用。含油气盆地内沉积物堆积时，总是包含着相当数量的水（即软泥水），其含盐量和化学成分，与当时地表水体的化学成分相似。根据水文地球化学形迹，恢复原始水的成分、性质和特征，可以追索和查明油气形成和运移的途径、方向和规模，寻找油气富集的有利地段。

水文地球化学找油法，是油气田水文地球化学普查与勘探的简称，是应用水文地球化学的理论寻找油气藏的方法。用这种方法可研究地下水化学成分受油气藏影响或与油气相互作用时的规律性变化，查明在油气田上方形成的与油气组分有关的特殊水文地球化学场，根据地下水化学组分的分布规律，预测地下含油气远景，追索和寻找油气聚集的有利地区，进而确定油气藏的位

置。

第二节 水文地球化学找油法发展简史

我国是世界上最早发现、开采和利用石油及天然气的国家之一。利用天然水化学成分进行找矿的思想很早就产生了。公元前1122—前770年，就有了在水面上出露气苗的记录。常璩（晋）著《华阳国志》记载：“临邛县……有火井、夜时，光映上昭，民欲其火，先以家火投之，顷许，如雷声，火焰出，通耀数十里，以竹筒盛其光藏之，可拽行终日不灭也。井有咸水，取井火煮之，一斛水得五斗盐”。也就是说，二千二百年前，四川邛崃县西南劳动人民就已开始利用天然气进行照明和煮盐了。

从上述可以看出，我们中华民族的祖先，以勤劳、勇敢和智慧，在认识、利用天然水化学成分进行找矿以及在开采石油与天然气资源方面，积累了丰富的知识和宝贵的经验，曾为我国科技史写下了辉煌的篇章。

本世纪三十年代，A. M. 奥弗琴尼科夫等人，首先提出了水文地球化学作用的概念，并逐渐被人们所接受^[1]。

在十九世纪末和本世纪初期，人们就已经比较明确地认识到，某些水化学成分与油气藏有关^[2]。在以后的年代里，虽然也提出利用水化学成分预测地下含油气性的问题，但是，系统地提出和总结水文地球化学找油法是苏联的B. A. 苏林、A. A. 瓦洛夫和Л. A. 古良耶娃等人。四十年代水文地球化学找油法与其它地球化学方法一样，曾在苏联等国试验研究。但是，当时野外研究方法和技术不完善，测试、分析手段简单，石油化探工作者不重视基础理论和地质条件的研究，脱离石油地质普查与勘探工作，试图以纯化学观点单独解决找油问题。此外，当时也有人认为地球化学异常应当是油气藏的映像，如此对待化探成果，难免有些苛求。因而在五十年代后期，该方法受到冷遇，处于停滞状态。以后地质学家和地球化学家们致力于总结经验，发表了一些

研究成果,撰写了一些理论专著,如A. A. 卡尔茨夫等著《油气田地球化学普查与勘探法》,并继续研究水文地球化学找油的理论基础,综合运用物理化学和现代分析方法,研究水与周围介质之间的关系,建立了水文地球化学试验场,确定水文地球化学测量原则,使得人们对此法的兴趣又复苏了。苏联、美国以及西欧等国家,恢复了该方法的广泛运用,并经实践证明了此法是寻找油气藏的一种有效的方法^[29,30]。只是由于各国的经济基础、石油勘探历史背景等方面的差异,因而在运用该方法上有所区别。总的来看,苏联强调区域调查和找油指标的综合运用;美国等西方国家多采用单指标。近年来,水文地球化学找油工作,被视为石油地质领域中比较完善的常规找油方法之一。特别是海上石油地质事业的蓬勃兴起,促进了水文地球化学找油法的发展。

我国水文地球化学找油工作是解放后从苏联引进的。五十年代在关士聪教授的主持下,西北地质局633地质队首先成立了以找油气为主要目标的水文地质队。1964年地质部石油普查勘探局将分散在各石油普查勘探大队的地球化学工作者集中起来,成立了石油化探队(即地质部石油普查勘探局101队),用传统的化探方法(包括水文地球化学法)在已知油田及其外围进行找油气试验研究。二十多年来,运用水文地球化学找油法,在全国主要含油气盆地和海域开展了大面积的试验研究工作,评价了众多盆地的含油气远景,圈定出一批有远景的地区,为石油地质普查勘探提供了可靠的水文地球化学基础资料。

1976年全国第一届石油化探会议,水文地球化学找油方法受到了生产、科研和教学部门的重视,进入试生产阶段。石油化探工作者先后在鄂尔多斯盆地、二连盆地、松辽盆地、渤海湾盆地、江汉盆地、南襄盆地、周口盆地等地开展了水文地球化学找油工作,获得了良好的效果,在圈定的水文地球化学异常范围内,发现了油气田。1981年在全国油田水文地球化学会议上,该方法进一步得到与会者的肯定。

近几年来,随着石油地质勘探事业的发展和科学技术的进

步，水文地球化学找油法，得到了长足的发展。

第三节 水文地球化学找油法的研究意义

水文地球化学找油法的研究在理论和实践上都具有重要意义。

一、水文地球化学找油法是油气理论研究的重要组成部分

石油和天然气的成因学说，分为有机和无机两大学派，目前，在我国以有机成因学说占优势。有机成因学说理论认为，油气是在地壳的负向单元内，由沉积岩中分散存在的有机质生成的，地下水携带着分散点滴石油从拗陷中心的高压区，向拗陷边缘的低压区运移，使临近生油拗陷的构造，优先富集油气，所以油气田多围绕着生油凹陷呈环状分布（图1-1）。

无机成因学说认为，石油的主要原始物质是金属碳化物，它与地壳深处炽热的水相遇，形成碳氢化合物。或由地壳深处的岩浆侵入上覆沉积物，在喷出地表的过程中发生化学反应，在温度和压力适宜的地带生成石油和天然气，而后析出，进入邻近的孔隙岩层中，故油气田主要沿着深大断裂分布。我国东部主要油气田，如下辽河、大港、胜利、苏北等油田，基本上沿着郯庐大断裂分布，是我国学者持无机成因学说的证据之一。

各派观点不同，但值得注意的是，无论哪派都承认，水是油气运移载体的重要组成部分，油气在水溶液中呈溶液状态和胶束溶液状态，被运移至储集层中。油气的形成与水化学成分有关，地下水化学成分（特别是古水化学成分）的演变，反映了含油气盆地的地质发展历史以及油气形成、演化的总过程。

油气在生油层中生成时，是呈分散状态存在的，它之所以能在储集层中聚集起来形成油气藏，是由于油气运移的结果。近年来，研究油气藏形成、保存和破坏以及运移的水文地质规律，日

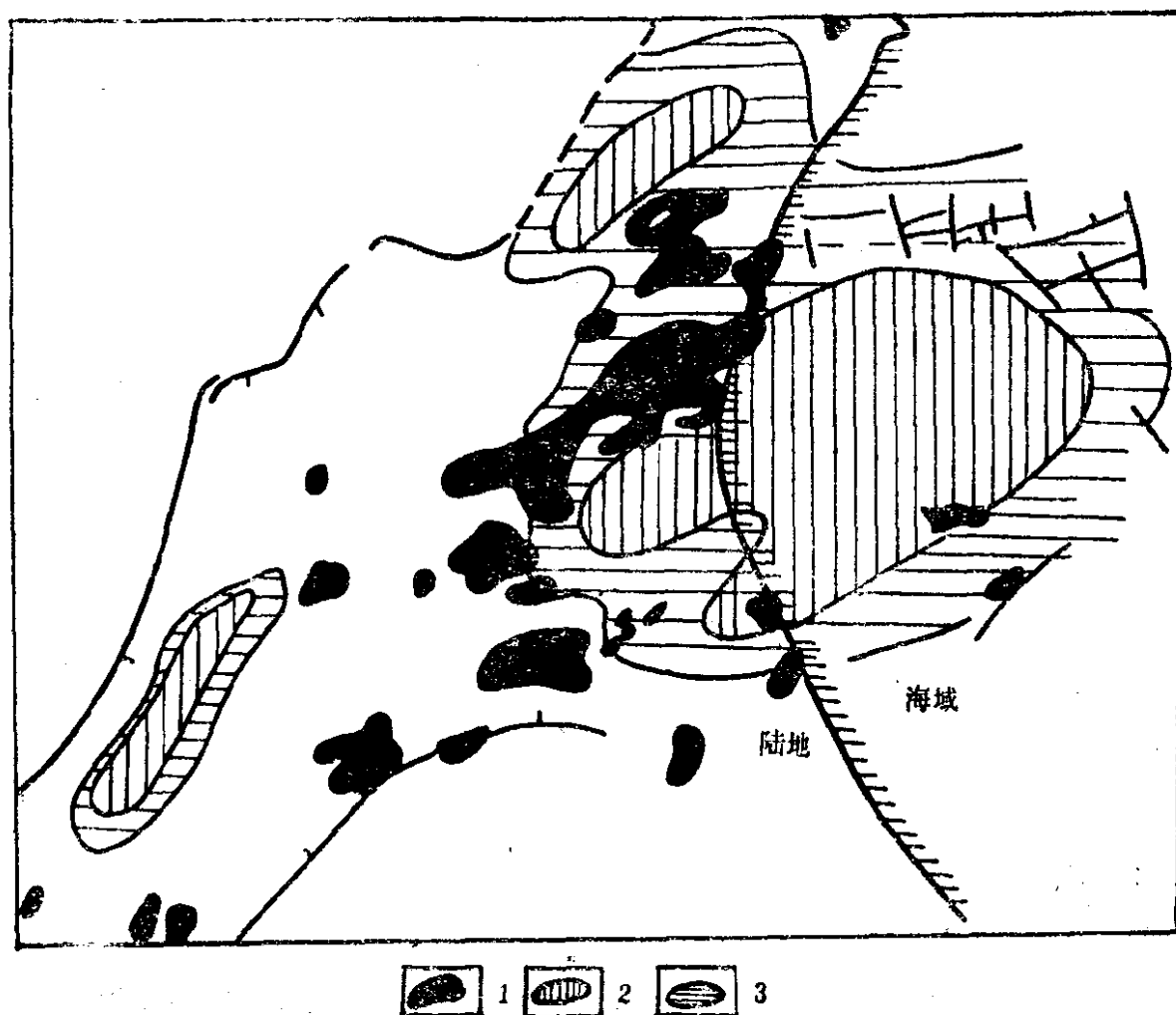


图 1-1 黄骅拗陷油气田分布与生油拗陷关系图
(据大港油田, 1977)

1—油田; 2—最有利的生油区; 3—有利的生油区

益被人们所重视。油气的生、运、集、散规律, 在很大程度上取决于沉积水的作用, 特别是沉积作用水 (即软泥水) 及软泥本身, 是石油成生的重要物理化学和生物地球化学演变的场所。而沉积成因水则是石油运移的动力和载体。

沉积作用水从陆解 (或海解) 阶段一开始就含有一些有机物质 (数 mg/l), 从软泥水中继承下来, 进行着十分复杂的物理化学和生物化学作用, 并积极地参与了烃的形成过程 (水此时起媒介作用)。在沉积水形成阶段, 由于盆地的不均匀下沉作用, 使水发生运动, 但运动速度很小 (每年数厘米), 介质的还原性强, 氧化能力极低, 这种环境有利于石油的形成和保存。此时, 水一

方面参加了石油的组成，另一方面还聚集泥岩中分散状的油滴（据韦尔特估计，在生油岩中油珠的直径为 $1000-100000 \text{ \AA}^*$ ）。随着上覆沉积物的加厚，地静压力逐渐加大，进入成岩阶段，使沉积作用水逐渐被挤出。由于沉积物孔隙性的差异，形成的水头压力差，促使沉积作用水同石油一起向储集层运移。冀中拗陷任丘油田下第三系沙河街组第三段泥岩在 3000m 左右的压实深度上，不仅有大量沉积水同石油一起压出，而且，蒙脱石转变为伊利石，并脱出大量结晶水（达粘土沉积物含水量的 25% ）^[7]。这些水大大提提了烃类的溶解度，成为石油离开生油岩的载体。

在含油气盆地内，由于拗陷作用和沉积过程不均匀地进行，某些相对隆起的地段成为水的潜伏排泄区，是油气聚集的有利地带。

当油气进入构造圈闭后，油、气、水三者发生重力分异作用，形成气在上、油居中、水位于最低层的空间分布规律。水文地球化学找油的任务之一，就是研究油气藏的形成、保存和破坏的规律，查明油气藏的分布特征及其油（气）、水界面高度和位置，为油气藏普查勘探和开发提供依据。

随着石油地质勘探事业的不断深入发展，目前在时代较新的地层中发现的油气藏越来越多，进一步要求地下水化学成分的研究在探讨油气藏的形成和分布规律等方面，发挥更大的作用。运用水文地球化学的现代理论和先进技术，无疑，将有助于石油和天然气形成、演化等基本理论问题的研究与解决。

综上所述，油气生、运、聚、散同地下水的密切关系，为水文地球化学找油提供了依据和可能性，并成为油气地质普查与勘探的一种有效的手段。

二，水文地球化学找油法是寻找 油气藏的现代方法

用地质构造分析和地球物理方法所圈定地下潜伏构造，并不

* $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ 。

能直接回答构造中是否含有油气的问题。如果把这些方法与地球化学方法结合起来，建立地质—地球物理—化探（包括水文地球化学法）三位一体的油气田勘探程序，并且水文地球化学普查先行一步，就会更确切地评价地下构造的含油气远景、圈定储油气构造的位置、以及回答构造内是否含有油气的问题。从而可提高油气探井的成功率及经济效益，使油气地质普查与勘探工作，建立在更科学的基础上。

在油气普查与勘探中，充分发挥水文地球化学找油法的优点，不仅能直接发现油气藏，而且还能为地球物理勘探工作指出有利的测量范围，达到优选靶区、缩小有利勘探面积和节省勘探资金的目的。

目前，我国已经有了一支技术力量雄厚的油气地球化学勘探队伍，创建地质—物探—化探三位一体的油气普查勘探程序业已成熟，并且已经在寻找和开发我国丰富的油气资源中显示了强大的生命力。

回顾油气勘探历史，在多数国家，最早的油气田都是在地面油苗、沥青沉积附近用钻探方法或根据肉眼可见的油气渗逸证据发现的。我们的祖先对四川天然气、玉门和延长等油田的发现，也是从地面油气苗开始的。美国最早也是在地表观察到的碳氢化合物渗出的地方，经钻探发现油气田的。自那以后在较长的一段时间里，几乎完全靠地球化学技术来找油气，如斯平德列托普油田和皮尔斯杰克逊油田就是根据石蜡垢发现的，是美国用化探方法找油的典型例子。只是由于这些根据渗出物发现的浅层油气田被采竭，油气勘探者才依赖于地质学方法在断层、褶皱以及其它构造圈闭里寻找石油。半个世纪以来地球物理找油方法获得了重大发展。在用来查明区域构造和圈闭的地震、重力、磁力和电法等地球物理手段中，折射或反射地震法一直居于重要地位，由于它能提供岩石圈结构的确切资料、查明地层分界面、断裂面和有关油气构造等，所以，这种方法是油气勘探的重要方法。当前，地球物理勘探正在探索利用油气聚集及其上方晕的各种物理效应

进行直接找油气的试验研究。随着现代科学技术的发展，出现了高灵敏度、高分辨率的测试仪器和电子计算机，使水文地球化学找油法进入了一个新的发展阶段，人们重视了化探成果的综合运用。美国南梅索迪斯特大学地球与人类研究所在得克萨斯州达拉斯市已召开了三届（1963、1979、1984）关于石油与天然气非常规勘探方法专题讨论会，讨论了石油勘探中地球化学技术。在苏联的油气勘探中，更重视应用地球化学勘探成果，建立了全国性和地方性的油气化探研究机构，大多数含油气省设有专业队伍，并将油气化探列入油气普查勘探序列。进入80年代，苏联每隔两年召开一次地球化学勘探会议，平均每年有100篇油气化探文献。

近十几年来，国外对水文地球化学勘探之所以表现出极大的兴趣，其中一个重要原因在于构造油气藏的发现机率大幅度下降，普查与勘探工作的难度和深度不断增加，易于发现的大型油气田已基本查明。石油地质工作者，开始把注意力集中到非构造油气藏（岩性、地层、水动力、构造屏障、混合等）的勘探和开发上。而这些油气藏，无论在新的油区，还是老的油区，都有可能被发现。在我国，隐蔽油藏的勘探与开发刚刚开始，有着不可估量的发展前景。利用地球物理方法对隐蔽油气藏进行勘查，目前还有一系列技术问题需要解决。而利用水文地球化学找油法寻找这类油气藏，有它的独道之处。

水文地球化学找油法之所以有生命力，还在于它能迅速、准确地取得反映深部的大批而有用的油气信息。工作效率高，勘探周期短，费用低廉，这是其它方法所无法比拟的。在我国同一测量面积的综合油气化探投资仅为地震勘探的十分之一。水文地球化学测量（1:10万比例尺精度）的投资，每平方公里只有50—60元，可见费用是很低的。

第二章 水文地球化学找油法原理

油田水对其上部地下水化学成分影响和改造的程度，取决于诸多方面因素，其中元素的水文地球化学性质、水的结构与性质、地下水中元素迁移与富集规律、含油气盆地的古水文地质条件与作用，以及地质构造背景等起着主导作用。

第一节 元素的水文地球化学性质

元素的化学性质和水文地球化学特征，决定了它们在自然界（包括天然水系）中的分布、存在形式及其活动性。要研究水文地球化学找油法原理，合理地选择水文地球化学找油气指标，首先必须了解元素的基本性状和水的结构特点。

一、原子的电子构型及水文地球化学意义

不同原子有不同的结构，因而元素的水文地球化学性质亦各异。为了研究元素之间相互作用（制约、共生、迁移等）的性状，必须研究原子核与电子之间的关系，特别是最外层易活动的电子的状态，也就是研究原子的电子构型与元素水文地球化学性质的关系。

水圈中的原子，在一定的地质环境中均能与其它原子发生作用，因此，在研究原子结构（包括排列方式）时必须统一考虑与其发生作用的原子。原子核外的电子，一方面绕核旋转，角动量各异，另一方面电子绕核自旋，顺逆不一。就每个电子来讲，并不与核保持不变距离，也不严格遵循一定的轨道，而在瞬间可以位于原子核附近空间的任一点，但就电子云分布整体来看，离核一定距离和位向上，电子都呈一定的概率分布，即电子云密度在