



石油地质学

上册

地质出版社



200365602

064

石油地质学

上册

[美] A.I. 莱复生 著



00257350



地质出版社

Geology of Petroleum

A. I. Levorsen

(Second edition 1967)

Printed in the United States of America

石油地质学

上册

〔美〕A.I. 莱复生 著

•

地质局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•

1975年7月北京第一版·1975年7月北京第一次印刷

印数1—7,000册·定价1.65元

统一书号：15038·新98

5957/01

补译与修订译本说明

莱复生所著《石油地质学》一书，自1954年印出第一版之后，即成为国外在此方面比较新颖、完备的一本教材与参考书。

全书分五部份，共十五章，在一般地介绍之后，首先论述石油的产出情况，然后详细论述了油贮，对圈闭类型有独特的见解。由于作者在1936年曾主持美国石油地质学会，1940年主编《美国油田》时即编过《地层型油田》专著，所以特别注重地层圈闭。再后即分述油贮的物理条件与其中所含流体的特性，石油的成因和运移、聚集的规律，最后论述以上原理的应用，扼要介绍了地下地质学以及区域勘探的问题。由于书中涉及到地球物理和钻井、采油工程的一些问题，因而本书对于从事这方面的工作人员也有一定的参考价值。

在油田开发阶段，也还需要继续应用地质概念，特别是油贮流体力学极为重要，在勘探与开发中不断积累资料，进一步了解地下油气动态，从而为勘探工作提供线索，的确是值得注意的问题。因此本书在此方面作了相当详细地说明。

由于科学和实际勘探工作的进展很快，因而在1965年莱复生逝世之后，他的学生贝里（F. A. F. Berry，为加利福尼亚大学教授）对本书第一版作了增订，于1967年发行第二版。最主要的是改写了流体动力与毛细管压力的部分，对油气聚集、形成圈闭的作用，以及基于有机地球化学的进展，对石油成因、运移的新认识，作了补充。实际上几乎各章节都有程度不同的改动（增订部分约为第一版篇幅的六分之一）。从而使本书目前仍然是国外比较成熟的一册石油地质学专著。值得注意的是书中引用了许多油田的实际资料，并列有较详的参考文献，这对于进一步研究有关课题，也是很好的索引。

原书第一版过去曾有过周家珩的译本，现在的这一译本即基于该译本作了补译与修订。参加补译工作的有华东石油学院勘探系张更、黄醒汉、郝石生、张万选、李昭仁、李汉瑜等，并由李汉瑜对本书的全部译文进行了校订，更正了原译本中的错落之处。这样作，主要是为了使第二版译本能够更快地印出，以供有关同志的参考；另一方面，也为了避免一些重复的工作。至于对原书应该删节及必须补充说明之处，都注在各该页中；主要的删节是在第十五章，即勘探部分。

全书现分上、下两册出版，上册包括第一、第二两部分，共八章；下册包括第三至第五等三个部分，共七章。

限于补译者与校订者的能力与时间，此修订译本中容或仍有欠妥与推敲不够之处，尚望读者及有关同志给予指正。

79

第一部分 绪 论

目 录

第一部分 绪 论

- 第一章 绪论及综述1
第二章 石油的产出12

第二部分 油 贮

- 第三章 储集岩石52
第四章 油贮的孔隙空间103
第五章 油贮流体——水、油、气155
第六章 储油圈闭——概论及构造圈闭252
第七章 储油圈闭（续）——地层圈闭与流体圈闭315
第八章 储油圈闭（续）——复合圈闭及盐丘391

第一章 绪论及综述

石油—史话—石油的成因、运移、集

储—油藏—储集层—石油资源及储

量—石油的发现—勘探

[Epi'trouljam] with the industry

在地球上，石油的分布极广，常以气态、液态、半固态或固态出现，或者在同一地方以不止一种形态出现——英文的 Petroleum，是由拉丁文 Petra（岩石或石头）和 Oleum（油）两词合成的。从化学成分看，任何一种石油都是非常复杂的烃类（氢和碳的化合物）的混合物，里面含有少量氮、氧及硫等杂质。液态石油，亦称原油，以区别于精炼油，在经济上最为重要。它主要是由各种液态烃类组成，并含有不等量的可溶性气体、沥青及杂质等。它是一种外观油腻而又滑润的物质，很像汽油加油站上出售的普通润滑油，不能同水混合而只能浮于水面，但能溶于石脑油、二硫化碳、醚及苯。石油气，亦称天然气，以区别于人造煤气，它是由比较轻的石蜡烃组成，其中以甲烷气（ CH_4 ）最多。半固态及固态石油，包括各种重烃和矿沥青类，如地沥青、焦油、沥青、黑沥青（albertite，脉状焦性沥青的一种）、硬沥青（Gilsonite，固体焦性沥青的一种）或脆沥青（Grahamite，地沥青的一种），以及其他随各地习惯与各种沥青特点而取的名称、“Bitumen”（矿沥青）是个统称，久已和液态石油及固态石油这两个名词通用。“烃类”也是个统称，常用以指任何一种形态的石油。严格地讲，这是不正确的，因为烃类仅仅是由氢和碳组成，而石油则含有许多杂质。在附录中，有几种常见的石油的定义提出来以供参考。

目前，关于石油的命名和科学分类，正处于不肯定和混乱的状态。地质人员、化学人员、炼油人员以及公路建筑人员，都曾给自然界产生的各种石油下过定义，但是由于各种原因，这些定义，几乎均未被广泛采用。契斯特在所编的矿物字典中⁽¹⁾，确定石油同各种液态及固态石油为“烃类矿物”。从道理上讲，石油一向被称为矿物⁽²⁾。但是，根据一般地质学上的定义，矿物应该是一种无机物，具有相同的或变化范围很小的化学及物理性质，如把石油称之为矿物，似乎与此定义不符。也有人把石油叫做一种“似矿物”⁽³⁾——这个名词也常被用来指玉髓及琥珀，因为他们认为石油的化学成分不够明确，所以还不能把它叫做矿物。也许，用“含矿物质”或“有机矿物”这类名词最为恰当，即使在矿物学上这样做法是不允许的。由于石油与岩石有关，所以又把它列入“矿物资源”中，并象泥炭和煤一样，常把它叫做“矿物燃料”；对于这个名称，并没有引起定义上的争论^①。

由于产生石油的地区很广，而且它的外观和性质又很突出，所以人们总是很容易能观察到它的，差不多在世界各个地区的古代记载中都屡次提到过石油⁽⁴⁾。一些油、气苗和油、气泉，以及焦油、地沥青或各种沥青矿藏的地面露头，还曾被许多地方视为奇迹而吸引了不少远方的人。从人类有史以来，石油经常在宗教、医药甚至很多地区的经济生活中占有重要地位。但是，直到十九世纪中叶，当地下石油资源第一次被大量发现以后，它在经济上的潜在的重要性才逐渐显明。

在所谓的“煤油的时代”(1859—1900)，石油的用途推广得很慢，但是，接近廿世纪初期，内燃机使用的发展促进了石油工业的蓬勃增长，直到今天，此种增长的趋势仍未见稍衰。现在可以说是处在“汽油的时代”，因为汽油是石油中提炼出的主要产品。现今美国全国的动力，有一半以上是由石油，天然气及其他

① 1924年以前，美国地质调查所以及以后美国矿业局，都曾把石油列入《美国矿物资源》年报中，而在该调查所的许多公报中（如第786及796号），则将石油的报告列在《矿物燃料》标题之下。

石油产品供应的，在世界其他各处，石油作为一种能量来源方面的用途，也在日益增加。此外，人们还用石油制成了几千种名为“石油化学产品”的化合物。简言之，石油已成为现代文明的一种最重要的天然资源了。

自从1859年 E. L. 狄拉克在宾夕法尼亚州钻了第一口油井以后，特别是从1900年起，石油地质学便日益重要而成为一门专门的、把地质学应用于经济方面的科学。起初，地质人员企图用地质现象来解释石油和天然气的产生。以后，随着石油工业的成长和发展，愈来愈多的要求指导该工业所需的各项原料的勘探计划。这时，一些有关石油的新的地质概念就得到发展，同时还获得了大量新的资料以检验并证明当时已被确定了的那些地质原理是否正确。结果，不仅是石油工业人员，就连整个地质学也都得到了很多益处。

石油地质学一词，原本是用来描述采油和地质人员所共同关心的方面的。但是，这样叫法是否恰当，颇有疑问。更确切些，似乎可以用“关于石油的地质学”，就象用“关于铁矿的地质学”或“关于粘土的地质学”一样，虽然在日常写作和谈话中，一般都还简称为石油地质学。所有应用于石油方面的一些地质学概念，都是地质学上确定公认的原理，在实际勘探和开发油藏中的应用。凡应用这些原理去勘探石油的人，可以称为石油地质人员。

当一个油藏被发现后，可以联想到：(1) 那里曾有一个由某种起因形成的油源，(2) 这种石油以后就集储成了一个油藏^①，

(3) 它一直能保存着免于失散和破坏。要证明关于石油在被发现以前的地质史的各种假说，例如关于石油的成因、运移、集储以及保存，只有从研究油藏入手。因此，研究时应依下列顺序：

(1) 分析研究所找到的迹象，即石油在地面及地下的产状、油

① 油或气存在于一个单一沉积中时称为一个油藏或气藏，如果有几个油、气藏位于同一地质单位之内，或者彼此有密切的联系，这群油、气藏就叫做一个油田。

层的地质、物理及化学环境和油层内所含的流体，以及观察到的现象和产油时所涉及的原理；(2) 用上面所得的知识作为推测油层被发现以前的历史的理论根据。在此必须说明的是，人们并不知道石油和天然气到底是怎样来的，也不知道是怎样流动而集储到油藏里去的。假定这些问题获得解决，那就大大有助于石油地质人员完成他的主要任务——寻找新油藏。这个问题的可能解决方法，以后再谈。等研究了有关油层、油层所含流体以及油层的流体力学之后，再来详细讨论石油的成因、运移以及储集等问题中的各个要素。

世界各地形成油、气藏的基本地质条件，当然是是一样的。不管是在美洲、在中东、或是在远东勘探石油，各地构成油藏的基本要素都是很简单的。油藏是一个具有孔隙和渗透性的岩体（称为储油层），其上被非渗透性的盖层所覆盖，由于岩体产生了变形或遮挡条件而使油或气（或油气皆有）被圈闭于其中。

有开采价值的油藏和天然气藏，都是在地下沉积岩中四面被水包围的孔隙空间里。因为油和气比水轻，所以上升而集中在储藏的最高部分；要防止它们失散，在孔隙岩层与上覆非渗透性岩层相接触的面，必须是呈穹形。这样的容纳油气条件叫做圈闭，圈闭中包含油气藏的部分叫做油气贮。重要的是，各油气贮有各种各样的形状、大小、成因及岩石组成。

任何一种具有孔隙和渗透性的岩层，都能成为储集层，但这种性质常见于沉积岩，特别是砂岩及碳酸盐岩。一个圈闭（整体或局部），一般都是在储油层受外力发生形变以后形成的，造成形变的原因有断层作用、褶皱作用，或二者同时存在，这些作用可以在一个构造幕中完成，也可以经过几个构造幕才完成。但是，圈闭不一定是由形变造成的，储集层中的地层变化也能造成圈闭。地层变化可分为原生的与次生的两种。原生变化包括原始的岩相变化、矿物颗粒的不规则地分布，或成岩作用中的溶解及胶结作用等。次生变化包括断裂、与侵蚀面有关的溶解及胶结作用、或沿不整合的削蚀及超覆。同样地，流体在储集岩石内的流动方向和

流动速度也可以有所影响，或者甚至在构造或地层圈闭的油气藏的位置上是主要的。有许多圈闭是由于各种构造变化地层变化及流体变化复杂的综合结果，而这些复杂的情况在油藏生产以前是很难于获得可靠的记录从事解决和估计的。形成圈闭的地质原理是相当简单的，但是，这些原理的具体应用却是千变万化非常复杂的。

现在还没有直接测定油藏的方法。到现在为止，地下石油的物理性质还没有一种是可以在地面上测定的。因此，石油地质人员只能用间接方法去找石油。每个油气藏都有它的特点，可以设想一个油藏是20个或25个变数的最后结果，而这些变数之中只有几个是可以预先确定的。一般，探井应该布置在这样的地方，即根据所掌握的地质资料推断，那里有可以储集油、气的地下圈闭，并且相信那里如果有这样的油气藏，它是具有开采价值的。在钻探井过程中，由于新的地质情况会陆续被发现，因此，石油地质人员应始终坚持注意着这里的情况，一直到发现并开始生产石油或天然气，或同时生产石油及天然气时为止。所以，在钻探井过程中，地质人员所关心的和采油工程人员所关心的是一致的。

尚未发现的石油产区和油量当然是不知道的。要使石油能够利用，必须先找到油。根据地质上的原因，完全可以认为在某些现在还不知含油气的地区，迟早也会发现油气藏的。但是，无法预告一定在什么地方或在什么深度能找到这种油气藏。只有在油气藏中钻过探井和油气藏生产以后，才能确定油气藏的位置和它的大小。以寻找新油气藏为目的而钻的探井，叫做“野猫井”^①。第一口发现油气藏的井，叫做发现油井或发现气井，具体视其所发现的究竟是油或气而定。如该井既不产油亦不产气而只有水，那就叫做干井或湿井。钻入已发现油气藏范围内的井，叫做开发井（即生产井）。在确定发现之后的下一口钻井被称为确定井（Confirmation well）。

① 因为在石油工业发展的初期，钻井人员都在深山中工作，自以为是在“野猫群中”出人，所以有此名称。

石油工业的基本需要就是要有足够的原料供应——原油及天然气。每年所“收获”的油和气都完全被燃烧而消耗掉了，而又没有留下一粒“种子”可以再生长出新的油和气。各国几乎全都靠继续发现新油气藏来补给供应。在任何时期，人们已知的可采石油，亦称可采储量或探明储量，只是已经发现和开发而未被消耗掉的部分。多年来，美国的已知石油储量，约为其年消耗量的11到15倍。除美国以外的其他各国的总储量，约为其消耗量的35—40倍。美国的天然气储量为其年消耗量的18倍，但因天然气用途的急剧增长，今后这个比例可能还要减小。如无新的能量来源代替石油，则象过去这样对石油产品消耗量的不断增长，当然就要增加对新油气藏的需要，这意味着必须继续增加石油的新发现。

一个地区的石油储量，和它的石油资源不同。所谓储量，是指现在可以利用的石油和天然气。而资源，一般总是远超过储量，包括储量、预期而尚未发现的储量，以及根据下列一种或两种因素能找到的可以取得石油的物质：(1) 现有的或改进的技术，(2) 现在的或更有利的经济条件。技术包含：意念、“知道怎样做”、概念、机器、方法及原理等。任一地区的石油资源和它们与石油储量的关系比较如下：本书将探讨上述资源中的前三项，而且将主要谈第三项，即未发现的油藏。这就是说过去石油

资 源	怎 样 变 成 储 量
1. 已知的和可采的油藏及气藏	现在就可利用
2. 已知留在油气藏内而目前不能采出的油和气	部分用二次采油法，但主要靠新技术及更有利的经济条件
3. 未发现及未开发的油藏	利用目前的和改进的技术与经济条件，进行勘探及开发工作
4. 焦油及地沥青矿藏、稠油藏、露出的油藏	利用目前的和改进的技术，以及更有利的经济条件
5. “油”、或油母质页岩、干泥炭及煤	利用目前的和改进的技术，以及比较有利的经济条件

储量提供了资源，在今后很长的时间内，它还可以供给很大的储量。

当地质学应用于石油工业时，在一些方面必然会加入经济的因素。石油地质人员应将他的估计用石油及天然气采到地面后的桶数及立方呎数表示出来。而且，这些产品的价值，必须超过生产的成本。有些地质人员也许只是在远离油田的实验室中工作，而且他们的工作似乎纯粹属于学术性的，但是，在参加发现石油的人中，有些人迟早会把他们的劳动成果以生产面积等项目列入资源中。所以，石油地质人员必须记住，他的最终目的是要找到有价值的石油和天然气。这样的油气可以通过新油气藏的发现，也可以从改进现有油气藏的开采方法，即扩大油气藏或增加产量来达到这个目的。

一个石油地质人员并不能亲眼看到地下的油、气藏，正如同一个气象人员不能亲眼看到低压区或高压区一样，虽然他们平常都是用等高线和地图来说明有关的问题的。他们都是在表达一些想像中确实存在的那些情况的概念。任何一个没有被发现的油、气田，在石油地质人员的心目中，只能作为一种臆像或概念去测绘它。根据谨慎小心地测绘，可以推断某些岩层及某个构造在某个地区有利于石油的圈闭，但是在发现并未钻成以前，不会知道这个地区是一个油气藏。因此，石油地质人员必须具有一种想像力。世界未来的石油供应，要靠石油地质人员的想像力，就好象石油的供应必须依靠良好的含有大量石油的储油层一样。

油藏的发现要靠钻井，但是试探圈闭的探井的正确位置、钻入岩层的深度，以及根据钻井与其他方法发现并圈定油、气藏，那完全是地质上的问题，而且都是石油地质上的基本问题，同时也是石油地质人员的主要工作。他可能只需要简单地综合一下地层及地质构造，但也可能需要做很复杂的资料综合工作，涉及到地层学、沉积学、古生物学、地史学、地下流体力学、构造地质学、岩相学、地球物理学、地球化学及变质作用等各个方面。此外，还必须利用他自己的和别人的有关物理、化学、生物学及

工程学方面的知识。他不但应当根据能看到的、或能从地面测得的现象，而且还要根据地面以下3哩或超过3哩深度内的钻井及地球物理资料，彻底查明某一地区的地质情况。他的预测经常是根据零星片断的资料，其中有些是由可能有或可能没有实际地质知识的专门人员获得的，有些是从对该地区含油情况一无所知的地质人员获得的。石油地质人员先把所有的资料汇集在图上和剖面图上，然后在他的思维中把这些资料联系起来，确定一个最理想的能钻入地下圈闭并探测其蕴藏的油气的探井井位。

因为寻找石油的工作越来越深入地下，所以地质情况也就越来越复杂而不能肯定，而地质人员作结论时所需的资料，也就越来越少。由于钻井费用大，探井的数目绝不能象地质人员所希望的那样多。所以，一定要从各种记录中搜索出一点一滴的资料并加以利用，同时还要把从每种记录中所得的资料向各方面推测和联系。所有有关地质、地球物理及采油工程方面的资料，都应该分别汇集在构造图、地层图、岩相图、等厚图、古地质图、水压图、产量图、等产能图及地温图上。理论地质学的目的，可以说是正确的地层对比、地质历史的重塑、精确的构造等高线图的绘制。至于地球物理勘探工作的目的是对地下各岩层物理性质的测定，包括岩层的反射性质、磁性、电性及相对密度等。采油工程人员的任务是确定油贮的资料，如压力及压力变化、流体力学等，另外就是高效的生产油气。不过，所有这些图和数据本身并不能说明整个问题。要想充分利用这些资料于石油勘探方面，必须把它们加以解释、对比并综合起来。这种旨在寻找新油、气藏的地质、地球物理及采油资料的解释工作，是属于石油地质人员的专门工作范围。解释的结果，首先就是确定含油、气的远景，即能论证钻一口探井的那些地质及经济条件。但是，石油地质人员的工作，在找到了含油远景以后还不算完结，在钻探井过程中，他还需要继续工作。他必须将钻井过程中所遇到的新事物和以下两个问题联系起来：（1）确定和测试可能的生产层；（2）若探井成为发现井时应如何完井。因此，石油地质人员是一方面为地质

学及有关学科、另一方面为油气勘探及油气藏之间的联系。这种关系可用图表说明于图 1—1 中。

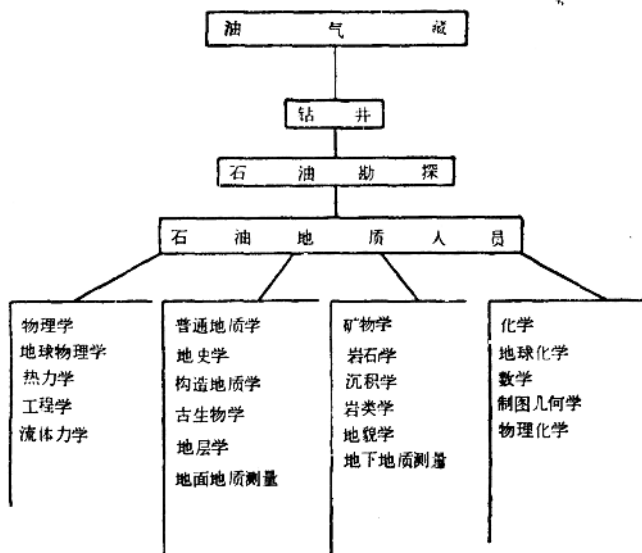


图 1—1 表示各门学科和石油地质专业之间的关系表

石油地质人员位于各门学科与油、气藏之间；主要工作就是要解释这些以便确定一个在钻探以后能发现有经济价值的石油和天然气的地区

下面各章将说明石油地质人员如何利用有关岩石方面的资料以寻找石油。这些资料，一部分是直接 from 观察露头、岩屑及岩心得来的，一部分是间接从地球物理测量、测井记录及岩心分析及油气水的显示资料中获得的。另外，还从过去所发现的油藏的生产史中收集一些资料。取得这些资料的技术及方法是多种多样的，现在还在继续加以改进使其更为正确。关于这些技术及方法，已经有不少书刊论述过⁽⁶⁾所以本书里将只简单地提一下。本书的目的，主要是讨论在获得了这些资料以后怎样去解释它们，

从而可以预测新油气藏的所在或确定老油气藏如何扩展。哪些资料是重要的？怎样利用这些资料去发现石油？

石油勘探工作是一种艺术⁽⁶⁾。它需要用不同比例把许多地质上的变数结合起来，因为每一个油藏、油田或油区，都有它独特的许多不同地质因素的配合。这些因素之中，有些是可以事先知道的，但多数是不能的，而一个成功的地质人员，就是在于他能用这些极少的资料来推断或确定油藏的所在。好比美术人员，只须画几笔就能构成一幅画，或者好比古生物人员，只须根据几根骨骼化石就能辨识出一种古脊椎动物。本书的主要目的，就是要指出那些对发现石油最有帮助的各种资料、原理及学说。

参 考 文 献

- E. H. Cunningham-Craig. *Oil Finding*. Arnold, London, and Longmans, Green & Co., New York (1920), 324 pages. Chiefly of historical interest.
- A. Beeby Thompson, *Oil-Field Exploration and Development*. 2nd ed., 2 vols.: Vol. 1, *Oil-Field Principles*; Vol. 2, *Oil-Field Practice*; Technical Press, London (1950). Chiefly of historical interest.
- David White, "Outstanding Features of Petroleum Development in America," *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, Vol. 19 (April 1935), pp. 469-502. Also printed as Sections 1-6 of Part II of the hearings in pursuance of House Resolution 441, 73rd Congress. Chiefly of historical interest.
- E. DeGolyer, "Future Position of Petroleum Geology in the Oil Industry," *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, Vol. 24 (August 1940), pp. 1389-1399. An informal discussion of exploration philosophy.
- Max W. Ball, *This Fascinating Oil Business*. Bobbs-Merrill Co., Indianapolis (1940). A popular discussion of the oil business and its many ramifications and facets by an authority of long experience. 445 pages.
- William B. Heroy, "Petroleum Geology," in *Geology 1888-1938, Fiftieth Anniversary Volume*. Geol. Soc. Amer., New York (June 1941), pp. 511-548. 101 references cited. Also published in the Report for 1943 of the Smithsonian Institution, Washington, D.C., pp. 161-198. A review of the development of the geology of petroleum, the changing concepts and applications.
- Samuel W. Tait, Jr., *The Wildcatters: An Informal History of Oil-Hunting in America*. Princeton University Press, Princeton, N.J. (1946), 218 pages. A popular account of petroleum prospecting.
- Wallace E. Pratt, *Oil in the Earth*. Univ. of Kansas Press (1942, 1944), 110 pages. Four lectures covering an elementary discussion of oil, where it is found, who finds it and how. Should be required reading for every petroleum geologist.