

关于油气运移聚集的流体动力学 机理若干问题的讨论

——兼与陶一川同志商榷

张厚福

(华东石油学院北京研究生部)

陶一川同志在《油气运移聚集的流体动力学机理问题》一文中主张从“势”与“力场”的角度来分析地下油气的运移聚集问题,这有助于深入讨论其流体动力学机理。陶文对马斯凯特(M. Musket)、马加拉(K. Magara)、尼格里亚(S. Neglia)等学者的论著和国内两本石油地质学教材都提出了批评。我们作为批评者之一,首先表示欢迎。指出我们在某些段落用词欠确切,这有助于我们修改和补充教材。同时,我也想就若干有关问题,谈谈粗浅认识,与大家共同讨论提高。

一、关于达西定律

鉴于达西定律是渗流理论的基本定律之一,讨论地下油气的运移聚集都离不开它,我想从达西定律谈起。它表示当液体(现已扩展用于气体)在横截面积为 F 的充满了多孔介质的管道中流动时,流过距离为 L 的水头耗损 H_1-H_2 与体积流量 Q 之间的关系。

达西定律用于单相液体(例如水)的流动过程时,可表述如下:

$$Q = C \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot F.$$

式中 C 为渗透系数,它综合表示多孔介质和液体的性质。对不可压缩液体,水头可表示为:

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}.$$

式中: Z ——测压点位置距基准面的高度; P/γ ——测压管内水柱的高度; γ ——重率; u ——液体运动的速度。由于在渗流时速度 u 通常很小,可以略去不计,所以可将水头理解为:

$$H = Z + \frac{P}{\gamma}.$$

而势(Φ)的定义是:

$$\Phi = gH = gZ + \frac{P}{\rho}.$$

式中 ρ 为液体的密度。

在有关石油和天然气的渗流理论中,达西公式经常可写为下式:

$$\omega = \frac{Q}{F} = -\frac{k\gamma}{\mu} \cdot \frac{\partial H}{\partial L},$$

$$\omega = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial L},$$

式中： μ ——液体的绝对粘度； γ ——液体的比重； k ——表征多孔介质特性的渗透率； $P=\gamma H$ ——折算压力。当 $Z=0$ 时，折算压力等同于绝对地层压力。

另外，我们都知道：“势”是表示一个物理量，这个量的梯度形成一个力场。势的概念常常是和拉普拉斯方程联系在一起，通常把拉普拉斯方程的解称为势函数，因而在渗流力学中常用势的理论来求解均质单相不可压缩液体稳定流的有关问题（即满足拉普拉斯方程的求解问题）。在多孔介质中的渗流，可用下式来表示势：

$$\Phi = -\frac{k}{\mu} (P \pm \gamma Z).$$

式中+、-号视 Z 轴方向而定， Z 轴方向向下时取“-”号；反之取“+”号。这时达西公式可表示为：

$$\omega = -\frac{k}{\mu} \nabla \Phi.$$

然而，如果研究的是均质可压缩液体弹性不稳定渗流问题（满足热传导型方程）时，由于相对于面积力，质量力可以忽略不计，这时不再引入“势”的概念，而直接用压力来表示达西定律。

如果研究的是考虑重力影响的多相流体的渗流问题，若各相分别服从达西定律，即可表示为：

$$\omega_o = -\frac{k_o}{\mu_o} \nabla (P_o \pm \gamma_o Z)$$

$$\omega_w = -\frac{k_w}{\mu_w} \nabla (P_w \pm \gamma_w Z)$$

$$\omega_g = -\frac{k_g}{\mu_g} \nabla (P_g \pm \gamma_g Z)$$

式中脚标 o 、 w 、 g 分别表示油、水、气； k_o 、 k_w 、 k_g 分别为油、水、气的相渗透率。由于各相之间存在压力的差异，这时通常也不引入“势”的概念，而直接用各相压力与相应的液柱来表示。在油田开发过程中，井下实测的压力都需要换算为折算压力；于是，在油田地质和开发工作中，平常所说的高压区和低压区都不过是折算压力大区和折算压力小区的简称而已。

陶文认为目前流行的表述达西定律的一种错误形式〔陶文（1）式〕，“可能起源于马斯凯特早年提出的一个有错误的达西定律一般表达式：

$$q = -\frac{k}{\mu} \nabla P.$$

实际上，马斯凯特提出的上式是针对油层处于水平状态而言的。他在陶文所引的著作（1937）中曾明确指出，如考虑液体密度的影响，应该用折算压力表示，即

$$\nabla P = \nabla (\gamma H).$$

因此，在地下水力学文献中通常把达西定律写为：

$$Q = k \frac{(P_1^* - P_2^*) F}{\mu L}.$$

式中 P_1^* 与 P_2^* 均代表折算压力。显然，马斯凯特表述的公式并没有错。他的早年著作（1937）至今仍然是中、美、苏等国家油田开发工作者经常引用的重要参考读物。

由上文可知：对不可压缩液体， $P=\gamma H$ ， H 是水头；但是，对可压缩液体， P 就是压力，因为对可压缩液体而言，与面积力相比，质量力可以略去不计。

二、关于折算压力

由于构造形变或地形起伏，单纯根据地层的绝对压力值往往不能表明何处是高压区或低压区；于

是,提出了折算压力的概念。折算平面是可以任意选择的,油田地质和开发工作者常选油-水界面或海平面作为折算平面。他们常说石油从高压区流向低压区,都是指从折算压力大区流向折算压力小区(也就是从高压测压头流向低压测压头)。为口述简便起见,大家习惯说从高压区流向低压区。

陶文第一段引了我们教材中的一段话:“各种天然动力的存在和发展,使沉积盆地内出现高压区和低压区,促使油气从高压区流向低压区(原书第100页)。”原书在这段话之前尚有“正是由于地壳运动的存在和发展,决定或影响着地静压力、构造运动力、水压力、浮力等各种天然动力的存在和发展……”。这是从地质发展的角度分析盆地内形成高压区和低压区的天然动力来源。

在我们的教材中,讨论静水压力和动水压力(原书第102—105页)、背斜油气藏的形成过程(原书第169—172页),以及地层压力的来源(原书第210—212页)时,在编者的头脑里都装着“折算压力”的概念。但是,由于“折算压力”概念比较抽象,为了循序渐进,在前两部分的文、图中明眼人都可看出有折算压力的影子,图中都画有“测压面”,使学生逐渐对折算压力先有感性认识,而未明确使用该术语,直到第三部分才系统论述了“折算压力”这个概念。根据我们对两届学生教学实践的结果,感到这样安排有助于学生正确理解这个概念。

陶文引用了教材中的两段话:“在沉积盆地内,由静水压力和岩石压力组成的上覆地层的地静压力,能够促使流体从高压区流向低压区(原书第220页)。”“在AB段内,水力损失小,水动力居主导地位,合力 F 偏向 F_w ,油气随水顺层运移。在进入背斜范围后,水流上升,需要克服水柱本身重量所造成的阻力,水的流速渐慢;向背斜圈闭顶部水流逐渐近于相对停滞,水动力作用愈渐微弱,而浮力沿储集层上倾方向的分力则增大,浮力居主导地位,合力 F 偏向 F_g ;油气向上分异聚集,形成背斜油气藏(原书第171—172页)。”只要读者仔细分析原书上下文和插图(原书第101页图4-3和第171页图6-5,即陶文图4),不难看出都画有测压面,表明都是用折算压力概念来阐述的,只不过在未讲折算压力概念之前,我们忌讳采用它,以免学生难于理解。作为教师来讲,都能够理解教材中这种循序渐进的安排。

陶文第一段批评我们“虽然指出要用折算地层压力来区分高、低压区才能消除构造起伏的影响,但在谈到背斜油藏的形成时,又把背斜圈闭的最高部位说成是‘压力最低的地方’(原书第171页)。”我们教材的原文是:“在水压面近于水平的渗透性良好的储集层中,自由水基本上处于停滞状态,呈分散状态的油气进入储集层后,在浮力作用下,油气就会沿上倾方向浮起,逐渐向背斜圈闭的最高部位(即压力最低的地方)移聚;形成背斜油气藏。如图6-14所示。其油水界面大致是水平的”(原书第171页)。这是针对静水压力条件而言,教材所附插图6-14说明当测压面水平时,背斜圈闭最高部位确实是地层折算压力最低的地方,所以油气在浮力作用下向脊部聚集。陶文在此没有引全原文,并将静水压力条件误解为动水压力条件来加以批判:“显然这里又是指非折算的普通地层压力,因为背斜脊部的折算地层压力总要高于运移下游翼的折算压力。”由此可见,陶一川同志误解了教材上段课文的原意,错将静水压力条件理解为动水压力条件了。

最后,应该指出,限于我们的科学水平及教学水平,在所编的教材中难免会存在缺点甚至错误,欢迎读者批评指正。

(收稿日期 1983年12月20日)

参 考 文 献

- [1] H. A. 恰尔内, 1963, 地下水-气动力学, 陈钟祥、郎兆新译, 1982, 石油工业出版社。
- [2] A. I. 莱复生, 1967, 石油地质学, 华东石油学院勘探系译, 1975, 地质出版社。
- [3] 张万选、张厚福主编, 1981, 石油地质学, 石油工业出版社。

- [4] Hubbert, M. K., 1953, Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions. AAPG Bull., Vol. 37, No. 8.
- [5] Маскет, М., 1949, Движение однородной жидкости в однородной пористой среде. Пер. с англ. Гостехиздат.

北京国际石油地质会议简讯

由中国油气勘探开发公司及环太平洋能源与矿产资源理事会联合召开的国际石油地质学术会议，于1984年9月20—24日在北京科学会堂隆重举行。出席会议的有正式代表156人，列席代表108人。国外代表79人，分别来自美、日、英、意、加、澳、荷、法、西德、马来西亚等10个国家；中国代表主要来自石油工业部、地质矿产部、中国科学院及有关高等院校。会议由翟光明及R. J. Foster主持，国务委员康世恩、石油部副部长李天扬莅会指导，名誉主席M. T. Halbouty也会并发表了讲话。

提交会议的论文共63篇，其中中方36篇。其内容丰富多采，文图并茂，普遍受到好评。大会宣读论文8篇后，会议按新领域、新理论、新方法三个学术交流组分别宣读论文。其中，阎敦实等关于构造及油气区的划分及油气聚集带类型的研究，刘光鼎、张文佑、谯汉生等对中国海域的构造格局及含油性的研究，翟光明等对中国沉积盆地及油气分布的探讨，A. E. Owen关于在发展中国家改善经营管理、鼓励和提高勘探成效的阐述，秋良松泽、D. G. Roberts等关于渤海、南中国海油气勘探新成果的讨论，胡见义、郑长明等对地层岩性古潜山油气藏的研究，C. M. Isaacs对加州中新世硅藻的研究，谢展、傅家谟、李学惠等对南海相沉积的岩相、地化特征及含油性的研究，H. Cousteau等关于重油的地质-地化特征及其对采油之影响的研究，黄第藩、梁狄刚、T. G. Powell等关于陆相有机质分类、成烃机理及应用于找油的分析，谢宏、P. Verrall等对冲断带的讨论，R. J. Murris关于用标准地质模型进行远景评价的研究报告等，均有较高的学术水平和指导价值。我国很多学者对塔里木盆地以外的所有含油气区均在深入总结与概括的基础上提交了论文，哥伦比亚、澳大利亚、美国加利福尼亚、西南太平洋岛弧区、印-缅褶皺带的一些勘探成果及经验也作了介绍。还有以计算机为基础的资料系统、同位素地质、油气初次运移、储层物性、测井、地震地层、遥感技术、生物礁、成岩序列、海底测绘、煤成气、三维地震技术、航磁探测等方面论文在会上也作了交流。

会议后期，仍分三组对中国沿海大陆架油气远景评价，煤系地层天然气生成、聚集的条件及潜力如何，遥感地质在石油地质方面应用的范围和前景等问题进行了热烈讨论。

中方论文资料充实，立论充分，几乎都有英文全译本或英文摘要，大多用英语宣读，辅以较多彩色幻灯片及投影图表，显著增进了国外学者的了解；也反映出我国的石油地质研究水平自1980年北京石油地质国际学术会议以来有了迅猛的进步，外方论文多属新颖的经济-技术方法，对我也有重大参考价值。

主持会议的两位主席、名誉主席哈尔布特、阎敦实总地质师，以及翁文波等专家、教授对这次会议均作了高度评价。为了进一步贯彻开放政策，增进中外学术交流，为我国四化服务，阎总在闭幕式上宣布，将积极准备、在适当时候召开三个类似的国际会议，以深入探讨裂谷型盆地的构造机制及油气潜力、天然气的勘探开发及塔里木盆地的勘探开发等问题。

哈尔布特博士指出，中国的含油远景极大，海域及西北诸盆都很有潜力。他预测在不久的将来，中国将成为世界第5大产油国。

会议期间得知海拉尔盆地获工业油流，特别是塔里木沙参2井喷油的消息，给代表们以极大鼓舞。

(龙祥符)