



郭尚平,四川隆昌县人。中国石油勘探开发研究院、中国科学院渗流流体力学研究所教授级高工,中国科学院院士。我国最早按正规设计开发的大油田——克拉玛依油田开发设计的主要设计人,石油工业部大庆油田开发工作组渗流研究计算组长。提出“微观渗流”思想、理论和模拟技术,使渗流力学、多孔介质物理和油藏工程等研究深入到多孔介质的孔隙裂隙层次。提出“生物渗流”思想和理论,使渗流力学与生命科学交叉渗透。

卷首语

Foreword

科技导报 2012,30 (35)

渗流力学发展值得重视的几个方面

渗流是多孔介质内的流体运动。渗流力学研究多孔介质内流体运动的规律及其应用。渗流力学分为理论渗流力学、计算渗流力学(数值模拟)和实验渗流力学。

渗流力学理论和应用涉及多种工程技术和多个产业。诸如石油、天然气、煤层气、页岩油气、天然气水合物、地下水、地下卤水、地热、煤和铀等地下资源能源的成藏和开采,大坝、土坝、水堤、边坡和水渠等水工工程,土壤改良和盐碱化防治等农田水利工程,地震、地面沉降、海水和咸水入侵等灾害的防治,重金属、农药和病菌病毒等对地下水和土壤的生物和化学污染的防治,电厂粉煤灰场、排土场浸堆、尾矿堆、垃圾填埋场工程,核废料、CO₂及各种废弃物的地下埋藏,地下储气库和隧道建设等地下工程,染料颜料、粉末冶金、燃料电池和超滤膜等工业,甚至生物医学、古文物保护等,都需要渗流理论、渗流计算和渗流动态预测预报等作为其工程技术的基础和方法。

渗流力学的应用领域日益广阔,发展速度亦逐步加快。由于生产实践中渗流问题的复杂程度、计算分析所需的高精确度以及科学研究和技术开发课题的难度都不断增加,因此现代渗流力学的理论深度和应用方法也较快提高。下面主要以油气渗流为例,简述当前渗流力学发展值得重视的几个方面。

1) 纳米多孔介质渗流。长期以来,渗流研究计算涉及的多孔介质的孔隙尺寸一般是微米级,其渗透率一般是毫达西级。如今,生产实际中的储层多孔介质越来越多的属纳米级多孔介质。其孔隙尺寸小至数十至数百纳米甚至只有几个纳米,渗透率小至数十至数百微达西,甚至仅数个微达西(例如页岩油气、致密灰岩油、致密砂岩油气的储层及煤层气储层等)。纳米级多孔介质内的渗流规律(包括物理学、化学、物理化学、生物和力学等过程)及相应的计算分析方法等与微米级多孔介质渗流相比,很可能有较大差异,需要认真研究。其中有些基础问题值得重视,例如,在微细至数个、数十纳米的孔隙内,各类油、气、水等物质的运动属什么性质和规律。

2) 微观宏观结合的渗流研究。近年来,微观渗流的物理模拟方法和数值模拟计算都发展较快。通过微观渗流研究能知道孔隙裂隙内的物理、化学、生物学和力学等细节,认识微观渗流机制和规律,但是不能提供宏观综合数据,而后者为生产实际应用所必需;凭借宏观渗流研究能提供宏观综合数据,但不知道或不确切知道孔隙裂隙内的微观机制和规律。微观宏观结合可使渗流理论深化,使渗流分析计算更接近生产实际。更重要的是,微宏结合的渗流研究计算(简称“微宏渗流”)能够为每一瞬间同时提供宏观综合数据及多孔介质内任何空间点的微观细节,这将大大促进渗流理论和计算方法的发展并提高生产应用效果。近年来,主要由于微观渗流数值模拟计算方法的进展,微宏渗流研究已经能够模拟计算诸如小岩心规模的油水两相渗流及启动压力梯度与孔隙内壁边界层关系等各类问题。

3) 渗流的精细研究。以石油开采为例,先是基于自然能量的一次采油,再是人工补充能量的二次采油,三是各种物理的、化学的、生物的人工方法的三次采油,然后又进行三次采油后的四次采油。二次采油后油层内的剩余油饱和度分布非常分散;从宏观角度看,许多剩余油小块在储层各处不规则地随机分布;从微观角度看,无数极小的油膜油滴等在孔隙裂隙内随机分布。必须尽力精细地用渗流力学方法分析计算出这些剩余油饱和度分布,才能在三次采油中经济有效地采出剩余油。三次采油后,剩余油饱和度分布更为分散零乱,要求渗流力学提供更精细的方法计算分析剩余油饱和度分布,以便在四次采油时经济有效地进一步采出剩余油。可见,生产发展要求我们建立非常细致、精细的剩余油饱和度分布的渗流力学理论和方法。

4) 复杂多重介质渗流。现今发现的油气储层多重介质比以往所知的多重介质复杂很多。以碳酸盐岩储层为例,同一储层中,存在微细的孔隙裂隙多孔介质,也存在其尺寸达数个、数十个和数百个毫米的大缝和大洞,还存在长宽高各为数十米、甚至长达百米米的厅堂型的巨型洞穴。洞穴和裂缝内某处可能基本无充填,某处可能充填各种尺寸、粗细不等的颗粒物。显然,这里的流动既有渗流,还有缝流和洞穴流,而且各类介质和各种流动交相穿插、杂乱衔接。再以生物医学领域的生物渗流为例,其多重介质比储层多重介质复杂很多:肝脏多孔介质由四重介质构成,即肝血窦网、窦周间隙网、肝细胞网和胆小管网;组织间隙渗流涉及三重介质,即毛细血管网、组织间隙网和毛细淋巴管网;而肺脏渗流是十分复杂的双重介质渗流,涉及肺泡网和毛细血管网。必须研究揭示诸如此类复杂多重介质的储层内和生物体内的复杂流动机制和规律,建立有效的计算方法。这将促进能源资源开发工业和卫生保健事业的发展。

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)