

关于毛细管压力回线测定与分析的几个问题

刘 玉 龙

(华北石油职工大学)

本文在理论分析和实验数据相结合的基础上,首先讨论了仪器的低压极限值对低排驱压力岩样的退汞效率的影响,然后指出了用退汞曲线确定喉道大小分布时存在的问题,并建议用再压汞曲线确定喉道大小分布。最后提出用“一次连续降压”退汞简化毛细管压力回线实验的方法。

在油、气勘探与开发中,储集层岩石的毛细管压力回线比传统的毛细管压力曲线有更加广泛的用途,因而正越来越多地被采用。但我们发现:由于所用仪器的低压极限值不同,其所测退汞效率值会有所变化;喉道大小柱状频率分布图的作法存在有明显的不当之处;有些单位由于实验任务重只测压汞-退汞曲线,这些问题是值得讨论和解决的。

一、低排驱压力样品的退汞效率

根据实测的130多块岩样的毛细管压力回线以及国内外发表的资料观察,发现排泄滞后对退汞效率有明显的影响。在一般情况下,退汞过程中压力降至排驱压力 P_d 的十分之一以下时,退汞效率才基本上不再变化,也即退汞曲线才能趋于垂直线。对于某些样品尤其是排驱压力较低者,往往在降压至0.1大气压以下时还会有部分水银排出。在所

表1 20块样品的 P_d 和 ΔW 值

序号	P_d (大气压)	ΔW (%)	序号	P_d (大气压)	ΔW (%)
1	0.3	13.28	11	3.0	7.74
2	0.075	14.89	12	1.4	0.0
3	2.8	15.89	13	0.66	11.93
4	2.7	15.23	14	0.11	6.35
5	0.5	3.92	15	0.65	15.4
6	1.7	0.72	16	1.04	0.0
7	1.0	10.43	17	2.6	6.2
8	0.6	3.16	18	0.92	4.3
9	0.9	0.27	19	1.3	2.24
10	1.4	2.25	20	1.3	7.73

测的32块孔隙度较大的碳酸盐岩样品中，排驱压力小于3个大气压者有20块，其在0.1到0.03大气压压力范围内的退汞效率增加值 Δw 如表1所示。

经计算可知，上述20块样品的 ΔW 平均值为7.11%。这说明如果用低压极限值为0.1大气压的压汞仪进行毛细管压力回线测定时，这20块样品的退汞效率要比用最低压力为0.03大气压的压汞仪测得值平均低7.11%。

二、喉道大小柱状频率分布图的正确作法

喉道大小柱状频率分布图是一种较新的资料处理方法，最早见于沃德洛和泰勒的文章，国内也曾见有这种图。但必须指出的是：他们是根据退汞曲线来确定喉道大小分布的。这样作图常会导致一个无法解释的情况，即在某些间隔内喉道的体积百分数比该间隔内孔隙和喉道的总体积百分数还要大（图1-D）。

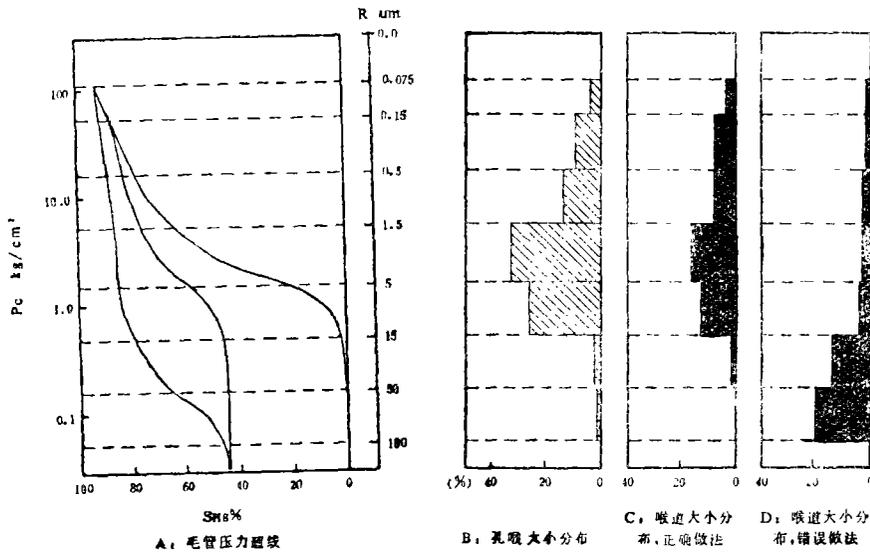


图1 孔喉大小分布和喉道大小分布柱状图的正确方法

上述状况的出现不是偶然的。这是因为在压汞过程和退汞过程中水银的流动方向正好相反，其对岩石的润湿接触角一为前进角，一为后退角，且一般前者比后者要大得多。另外，由于退汞过程中岩石中的某些杂质往往会污染水银并聚积在空气—水银界面，从而使水银的界面张力下降。显然，退汞曲线所代表的喉道尺寸和毛细管压力 P_c 的关系与压汞曲线和再压汞曲线所代表的关系是不同的。所以从理论分析也可推知：根据退汞曲线确定的喉道大小柱状频率分布图将会使实际半径较小的喉道移到较大的喉道半径间隔内。于是可以肯定，应用退汞曲线所确定的喉道大小柱状频率分布图不能代表岩石孔隙系统的真实情况。确定喉道大小分布的正确做法是根据再压汞曲线作图（图1-C）。

三、毛细管压力回线实验的简化

我们知道，毛细管压力回线中的压汞曲线是表征岩石孔隙结构的重要资料，而由再压汞曲线和压汞曲线配合又可得到具有重要用途的累积残余饱和度曲线。那么，退汞曲线有什么用途呢？下面根据毛细管压力回线法的基本原理对其进行分析。

退汞曲线与压汞曲线的差别是由毛细管压力滞后引起的，毛细管压力滞后包括排泄滞后和捕集滞后。捕集滞后是由岩石的孔隙结构决定的，不同孔隙结构的岩石具有不同的捕集滞后现象，这可由压汞曲线和再压汞曲线的差别具体表现出来。排泄滞后是由于在退汞过程中水银对岩石的润湿接触角的变化和水银在岩样中受到不同程度的污染而使其表面张力下降造成的，其滞后状况可由退汞曲线和再压汞曲线的差别表现出来。我们的目的是研究岩石的孔隙结构及其对岩石内流体分布、流动机理和非润湿相毛细管效应采收率的影响，压汞曲线和再压汞曲线已满足了这种研究的需要。当然，我们希望通过退汞曲线、再压汞曲线所表现出来的排泄滞后来研究水银在具有不同孔隙结构的岩石中的润湿接触角的变化情况，但由于水银在不同岩石中受污染的程度会有所不同，又无法测定或估算，所以这种希望至少在目前来看是不现实的。总的来看，退汞曲线的用途仅是其低压端端点可指示出残余汞饱和度值，其它无甚用处。

为探讨简化毛细管压力回线实验的可能性，我们对6块样品进行了“一次连续降压”退汞对比实验，即在正常毛细管压力回线实验结束时，将压力从最高实验压力连续降至仪器所能达到的最低压力，测出残余汞饱和度并计算出退汞效率。

表2 正常实验与一次降压实测数据比较表

样品号	最大水银 饱和度 (%)	正常降压		一次降压		退汞效率偏差值 (%)
		Sr (%)	WE (%)	Sr (%)	WE (%)	
S-5	38.02	11.02	71.02	11.02	71.02	0.0
寺11-2-28	97.62	63.12	35.34	65.90	32.94	-2.86
Y-17	77.49	51.05	34.73	47.23	39.05	4.32
Y-18	88.80	77.02	13.27	73.82	16.87	3.60
古40	69.25	43.42	32.97	45.09	34.89	1.92
古43-0	67.37	16.10	76.10	15.25	77.36	1.26

表中：Sr——残余汞饱和度

WE——退汞效率

表2所示为正常实验与“一次连续降压”实验结果比较，可以看出：退汞效率偏差值最大的为4.32%，最小者为零，平均1.37%。这说明“一次连续降压”退汞倾向于使退汞效率增加，但其数值很小，在一般情况下可以忽略不计。

根据上述分析和实验对比结果，我们认为毛细管压力回线测定可以简化，即在压至最高实验压力时，可一次连续降压退汞至仪器最低压力，测得残余汞饱和度值，接着

进行再压汞过程。这样做可缩短测定时间和简化资料处理手续，同时能满足研究的需要。

在实验和本文编写过程中，曾得到华东石油学院洪世铎、孙士孝两老师指导和帮助，特致谢。

(收稿日期：1986年8月20日)

参 考 文 献

- [1] 刘玉龙、张朝琛, 1986, 毛细管压力回线的测定与分析, 油气田开发工程译丛, 6期。
[2] Wardlaw, N.C. and Taylor, R.P., Mercuric Capillary Pressure Curves and the Interpretation of pore Structure and Capillary Behaviour in Reservoir Rocks, Bull. Can. Petroleum Geology, 1976, Vol. 24, pp. 225—262.

DISCUSSION ON THE PROBLEMS OF THE MEASUREMENTS AND INTERPRETATION OF MERCURY WITHDRAWN CAPILLARY PRESSURE CURVES

Liu Yulong

(North China Petroleum Workers-Staff College)

Abstract

In this paper, the influence of the lower pressure limit of the instrument on the efficiency of the mercury withdrawn under low expulsion pressure is discussed, based on the experimental data combined with theoretical analysis. Thereafter, the author points out the problems in the measurement of size distribution of pore throats using mercury withdrawn curves and proposes a new method of mercury re-pressure curves to determine the size distribution of pore throats. Finally, a simplified method of "sequentially reducing pressure mercury withdrawn curves" is presented.