

采油工程师 实用简明手册

沈秀通
罗英俊 编



石油工业出版社

前 言

《采油工程师实用简明手册》收集了采油工程技术中的常用数据、计算公式和常用设备、仪器仪表的主要技术参数，以及现场应用中的经验数据和经验计算公式。重点为采油、注水、修井、增产措施、测试与计量、集输以及开发地质中的常用数据。内容较全面，包括了近年来推广应用的新工艺、新技术以及从国外引进的部分工艺技术和设备仪表。条目力求突出重点，有一定深度和广度，内容注重实用。但由于编者水平有限，难免有错误或不妥之处，一些应收入的内容可能会有遗漏，敬请批评指正，以便在再版时加以删改和修正。本书是从事石油开采工作的现场技术人员和科技人员必备的工具书，也可作为石油院校的教学参考书。

本手册在收集资料、编写修改和校审过程中，得到了大庆石油管理局、胜利石油管理局和一些石油机械制造厂、仪表厂许多同志的支持和帮助。在此，特向宋万超、庄屹、周克强、王志刚、李志民、刘泽凯、张云章、刘维震、冯永泉、朱逢春、刘沪雄、徐洪发、陈三培、朱宝洪等同志致谢！

编者

1991年1月

目 录

一、开发地质.....	(1)
(一)有关计算公式.....	(1)
1. 孔隙度公式.....	(1)
2. 有效孔隙度公式.....	(1)
3. 渗透率公式.....	(1)
4. 气体渗透率公式.....	(1)
5. 石油储量容积计算法.....	(2)
6. 天然气储量压降计算法.....	(2)
7. 天然气储量容积计算法.....	(3)
(二)岩石参数.....	(4)
(三)油藏类型分类.....	(6)
(四)稠油分类和工业油气流标准.....	(7)
二、采油.....	(9)
(一)自喷采油.....	(9)
1. 采油树技术规范.....	(9)
2. 清蜡设备.....	(10)
3. 量油测气.....	(11)
1)常用计算公式.....	(11)
2)各参数间的关系.....	(15)
(二)机械采油.....	(19)
1. 人工举升采油方式的比较.....	(19)
2. 有杆泵采油.....	(21)
1)常用计算公式.....	(21)
2)抽油机.....	(27)

3) 深井泵	(45)
3. 水力活塞泵采油	(49)
1) 常用计算公式	(49)
2) 水力活塞泵施工作业及试验要求	(50)
3) 水力活塞泵技术参数	(51)
4) 附属专用设备	(58)
5) 动力液性能	(62)
4. 潜油电泵采油	(62)
1) 潜油电泵技术规范	(62)
2) 附属专用设备	(75)
5. 气举采油	(89)
1) 气举井注射气体压力随深度变化的计算公式	(89)
2) 气举阀下入深度的计算公式	(89)
3) 气举井注入气量计算公式	(90)
(三) 热力采油	(91)
1. 注汽工艺程序	(91)
2. 热采锅炉技术参数	(92)
3. 附属专用设备	(94)
1) 隔热管	(94)
2) 热采井口装置	(105)
3) 封隔器	(106)
4) 热补偿器	(107)
三、注水	(108)
(一) 常用计算公式	(108)
(二) 注水水质控制	(112)
(三) 注水设备	(117)
1. 注水泵	(117)
2. 注水泵用电动机	(122)
3. 配水器	(124)

4. 注水管.....	(126)
(四) 计量仪表.....	(129)
1. 水表.....	(129)
2. 流量计.....	(132)
3. 挡板参数.....	(134)
四、压裂	(136)
(一) 常用计算公式.....	(136)
(二) 压裂液.....	(136)
1. 配方及性能.....	(136)
2. 各参数间关系.....	(140)
(三) 支撑剂.....	(142)
五、酸化	(144)
(一) 酸液.....	(144)
1. 酸液性能.....	(144)
2. 酸液配方.....	(146)
3. 各参数间关系.....	(148)
4. 酸液用量.....	(151)
1) 用工业盐酸配制酸液的计算公式.....	(151)
2) 单位厚度油层用酸量.....	(152)
(二) 缓蚀剂.....	(154)
1. 评定指标.....	(154)
2. 缓蚀剂性质.....	(154)
(三) 酸化用表面活性剂的化学成分.....	(156)
(四) HCl-NH ₄ F深部酸化工艺.....	(157)
六、砾石充填	(158)
(一) 常用计算公式.....	(158)
(二) 砾石参数.....	(158)
(三) 携砂液和扩孔液.....	(160)
1. 携砂液配方.....	(160)

2. 扩孔液配方.....	(161)
3. 携砂液性能.....	(161)
(四) 砾石充填工具.....	(161)
1. 筛管.....	(161)
2. 桥封工具.....	(164)
3. 炮眼冲洗工具.....	(165)
(五) 砾石充填工艺.....	(166)
七、堵水	(168)
(一) 常用计算公式.....	(168)
(二) 堵剂性能.....	(168)
(三) 堵剂配方.....	(169)
(四) 各参数间关系.....	(172)
八、修井	(174)
(一) 常用计算公式.....	(174)
1. 洗井液上返速度计算.....	(174)
2. 压井液密度计算.....	(174)
3. 注水泥塞的水泥浆用量计算.....	(175)
4. 泥浆循环一周所需时间计算.....	(175)
(二) 修井设备技术规范.....	(175)
1. 修井机.....	(175)
2. 通井机.....	(178)
(三) 修井工具.....	(179)
1. 封隔器.....	(179)
2. 配产器.....	(184)
3. 其它.....	(185)
(四) 油管 and 套管参数及其环形空间.....	(197)
(五) 水泥标准和用量.....	(200)
九、试井	(206)
(一) 自喷井试井.....	(206)

1. 常用计算公式	(206)
2. 试井工具技术规范	(211)
(二) 机械采油井试井	(216)
1. 常用计算公式	(216)
2. 试井工具技术规范	(217)
十、输油	(221)
(一) 常用计算公式	(221)
(二) 原油及污水处理指标	(224)
(三) 原油输送特性	(224)
(四) 部分输送设备的特性	(228)
附录A 地质时代表	(232)
附录B 常用物理常数	(235)
表B1 常用材料的相对密度表	(235)
表B2 常用材料弹性模数、剪切模数及泊松比表	(236)
表B3 金属材料熔点、导热系数及比热表	(237)
表B4 金属材料线膨胀系数表	(238)
表B5 钢管内壁绝对平均粗糙度(K值)表	(239)
表B6 各种盐类在不同温度下的溶解度表	(240)
表B7 酸、碱溶液不同百分浓度下的相对密度表	(241)
表B8 几种气体在水中的溶解度	(242)
表B9 在不同温度下水的粘度表	(243)
表B10 在不同温度下水的相对密度	(244)
表B11 表压力与水的沸腾温度的关系	(244)
表B12 饱和水蒸汽的物理参数	(245)
表B13 天然气中各种气体的相对密度	(247)
表B14 可燃性气体和蒸气的引爆含量范围表	(248)
附录C 常用单位及其换算	(249)
表C1 常用计量单位及换算关系表	(249)
表C2 长度单位换算表	(254)

表C3	面积单位换算表	(255)
表C4	容积单位换算表	(256)
表C5	质量单位换算表	(257)
表C6	流量单位换算表	(258)
表C7	压力单位换算表	(259)
表C8	力单位换算表	(260)
表C9	功、能及热量单位换算表	(260)
表C10	功率单位换算表	(261)
表C11	温度单位换算表	(261)
表C12	API度数与相对密度表	(262)
附录D	油气藏工程常用参数符号及计量单位(SY 5155-87)	(264)

一、开发地质

(一) 有关计算公式

1. 孔隙度公式

$$\text{孔隙度} = \frac{\text{岩石中所有孔隙总体积}}{\text{岩石总体积}} \times 100\%$$

2. 有效孔隙度公式

$$\text{有效孔隙度} = \frac{\text{岩石中有效孔隙总体积}}{\text{岩石总体积}} \times 100\%$$

3. 渗透率公式

$$k = \frac{Q\mu L}{F\Delta p}$$

式中 k ——渗透率, cm^2 ;

Q ——单位时间内通过岩样的液体流量, cm^3/s ;

μ ——液体的粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

L ——岩样的长度, cm ;

F ——岩样的横截面积, cm^2 ;

Δp ——岩样的前后压差, Pa 。

4. 气体渗透率公式

$$k = \frac{2Q_2 p_2 \mu_g L}{F (p_1^2 - p_2^2)}$$

式中 Q_2 ——岩样出口处流量, cm^3/s ;

μ_1 ——气体粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

p_1 ——岩样进口处压力, Pa ;

p_2 ——岩样出口处压力, Pa 。

其余符号单位同上。

5. 石油储量容积计算法

$$N = 100 A \cdot h \cdot \phi (1 - S_{w1}) \rho_o / B_{o1}$$

式中 N ——石油地质储量, 10^8t ;

A ——含油面积, km^2 ;

h ——平均有效厚度, m ;

ϕ ——平均有效孔隙度, 以小数表示;

S_{w1} ——平均油层原始含水饱和度, 以小数表示;

ρ_o ——平均地面原油密度, t/m^3 ;

B_{o1} ——平均原始原油体积系数。

地层原油中的原始溶解气地质储量按下式计算:

$$G_s = 10^{-4} N \cdot R_{s1}$$

式中 G_s ——溶解气的地质储量, 10^8m^3 ;

R_{s1} ——原始溶解气油比, m^3/t 。

当油田具有气顶时, 气顶气的地质储量按天然气储量规范计算。

6. 天然气储量压降计算法

$$R = \frac{p_0}{Z_0} \cdot \frac{\sum Q_i}{\frac{p_0}{Z_0} - \frac{p_i}{Z_i}}$$

$$R = p_0 \cdot V_0$$

式中 R ——气藏的原始储量, m^3 ;

- p_0 ——气藏的原始地层压力（绝对压力），Pa；
 V_0 ——气藏的储气体积；
 ΣQ_t ——在时间 t 的累计采气量， m^3 ；
 p_t ——在时间 t 时的气藏平衡压力（绝对压力），Pa；
 Z_0 ——在 p_0 时的天然气压缩系数；
 Z_t ——在 p_t 时的天然气压缩系数。

7. 天然气储量容积计算法

容积法是计算天然气储量的基本方法。它对各种圈闭、储集类型和驱动类型的气田，在勘探开发不同阶段均可应用，但对裂缝性气藏适应性较差。容积法计算结果的精度随勘探程度加深和资料增加而提高。利用容积法计算的储量，在气田投入开发后需用动态计算方法进行储量核实与验证。

容积法计算气田原始地质储量的公式为：

$$G = 0.01 A \cdot h \cdot \phi (1 - S_{w1}) \frac{T_{sc} \cdot p_1}{p_{sc} \cdot T \cdot Z_1}$$

式中 G ——气田的原始地质储量， $10^8 m^3$ ；

A ——含气面积， km^2 ；

h ——平均有效厚度， m ；

ϕ ——平均有效孔隙度， $\%$ ；

S_{w1} ——平均原始含水饱和度， $\%$ ；

T ——气层温度， K ；

T_{sc} ——地面标准温度， K ；

p_{sc} ——地面标准压力， MPa ；

p_1 ——气田的原始地层压力， MPa ；

Z_1 ——原始气体偏差系数，无因次量。

凝析气田的原始地质储量仍由上式计算。所不同的是原始气体偏差系数 Z_1 的确定，应当考虑天然气和凝析油两者的摩尔组分。

(二) 岩石参数

表1 主要造岩矿物的相对密度

名称	化学成分	相对密度
石英	SiO_2	2.65
蛋白石	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2.1~2.3
正长石	$\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$	2.58
斜长石	$(\text{Ca}, \text{Na})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$	2.6~2.7
黑云母	$(\text{H}, \text{K})(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	2.7~3.1
白云母	$\text{HKAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	2.76~3.0
角闪石	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{OAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	2.9~3.4
橄榄石	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{OSiO}_2$	3.2~3.6
蛇纹石	$\text{H}_4(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{S}_2\text{O}_9$	2.5~2.65
绿泥石	铝硅酸化物	2.7~2.9
石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.2~2.4
方解石	CaCO_3	2.6~2.8
白云石	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	2.85~2.95
高岭土	$\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.6~2.63
褐铁矿	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.4~4.0
黄铁矿	FeS_2	4.9~5.2

表2 岩石的破裂强度 (MPa)

岩 石	压 缩 强 度		抗张强度	抗剪切强度
	平 均	范 围		
花岗岩	145	56.3~371	2.9~4.9	14.7~29.4
正长岩	192	98~337	—	—
阳长岩	192	91~255	—	—
辉长岩	176.5	45~461	—	—
辉绿岩	240	196~284	—	—
玄武岩	270	196~343	—	—
砂 岩	72.6	10.8~247	1~2.9	4.9~14.7
石灰岩	94	5.9~353	2.9~5.9	9.8~19.6
板 岩	145	58.8~307	24.5	14.7~24.5
石英岩	198	25.5~314	—	—
大理岩	100	30.4~257	2.9~8.8	9.8~29.4
片麻岩	153	79.4~320	—	—
玢状岩	121	61.7~121	5.9~10.8	17.6~33.3

表3 储层类型与孔隙度的关系

储层类型	孔隙度, %
粗 砂	39~41
中 砂	41~48
细 砂	44~49
细砂质粘土	50~54

表4 砂岩颗粒大小与渗透率的关系

颗粒直径, mm	孔隙度, %	渗透率, 10^{-9}cm^2
0.503~0.381	40.0	334.81
0.381~0.280	40.0	65.84
0.280~0.221	40.0	43.46
0.221~0.191	40.0	30.96
0.191~0.175	40.0	26.36
0.175~0.134	40.0	10.49
0.134~0.114	40.0	9.93
0.114~0.105	40.0	9.26

(三) 油藏类型分类

表5 我国油藏类型分类及代表油藏

序号	油藏名称	代表油藏
1	多层砂岩油藏	大庆油田萨葡层, 玉门老君庙L层, 胜利胜坨沙二段, 江汉王场油田潜三段油藏
2	气顶砂岩油藏	大庆喇嘛甸油田, 辽河双台子油田, 胜利永安油田永12块, 濮城西区
3	层状低渗透砂岩油藏	长庆马岭油田, 大港马西油田, 吉林红岗油巴, 胜利渤南油田
4	裂缝型低渗透砂岩油藏	吉林扶余油田, 玉门老君庙M层
5	断块油藏	胜利东辛油田, 江汉钟市油田, 中原文明寨油田, 大港港中开发区
6	砾岩油藏	新疆克拉玛依油田, 河南双河油田

续表

序号	油 藏 名 称	代 表 油 藏
7	碳酸盐岩油藏	华北任邱油田迷雾油藏, 雁翎油田
8	变质岩油藏	胜利王庄油田, 辽河东胜堡油藏, 玉门鸭儿峡古生代油藏
9	热采型稠油油藏	辽河欢喜岭油田锦45块, 辽河曙光油田曙一区, 胜利单家寺油田, 克拉玛依九区
10	常规稠油油藏	胜利孤岛油田, 大港羊三木油田
11	高凝油油藏	辽河大民屯油田, 大港小集油田, 河南魏岗油田, 胜利五号桩沙三下油藏
12	凝析油气藏	大港板桥油田, 华北苏桥油田, 新疆柯克亚油田

(四) 稠油分类和工业油气流标准

表6 稠油分类的推荐标准

名 称	推 荐 分 类 标 准		在油层中的流态
	相对密度	粘度, Pa·s	
稠油	>0.934	>0.05	流体、半流体
特稠油	>1	1~10	半流体、半固体
天然沥青	>1	>10	固体

表7 工业油、气流标准

井深, m	工业油流下限, t/d	工业气流下限, $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$
< 500	0.3	0.05
500~1000	0.5	0.1
1000~2000	1.0	0.3
2000~3000	3.0	0.5
3000~4000	5.0	1.0
> 4000	10.0	2.0

二、采 油

(一) 自 喷 采 油

1. 采油树技术规范

表8 常用采油树主要技术规范

型 号	工作压力 MPa	连接 形式	通径 mm	外形尺寸, mm		重 量 kg	试验压力, Mpa		
				高	宽		强度	气密	
CY _b - 250	S692	24.5	卡箍	65	1750	1460	729	49	24.5
	S723	24.5	卡箍	65	1397	1340	440	49	24.5
胜254	24.5	卡箍	65	750	1290	380	49	14.7	
庆150	14.7	卡箍	62	990	800	152	29.5	14.7	
CY _b -80	7.85	卡箍	65	1400	1140	305	15.7	7.85	
荣丰-210	20.5	法兰	65	2540	1750	1037	41.2	32	
KY250/65	24.5	卡箍	65	1440	1385	552	49	24.5	
KQ350/65	34.5	法兰	65	3200	2210	2386	69.5	34.5	
KQ600/65	60	法兰	55	3200	2210	2743	90	60	
KQ69.5/65	69.5	法兰	65	3772	3048	3967	103	69.5	
KQ103/65	103	法兰	65	3594	3317	4707	135.1	103	
KY210/65	20.5	卡箍	65	1580	1577	1037	41	32	
RC210/380-B	20.5	法兰 卡箍	65	1577	1580	1037	41	工作温度 380°C	