

ICS 75. 020

E 12

备案号: 22022—2007

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5385—2007

代替 SY/T 5385—1991

岩石电阻率参数实验室测量及计算方法

Measurement and calculation methods of rock resistivity parameters in laboratory

2007—10—08 发布

2008—03—01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 岩样选取和制备	1
4 岩样孔隙度测量	2
5 盐水溶液的配制及电阻率测量	3
6 岩样抽空及加压饱和	4
7 岩样电阻率测量	5
8 模拟油的配制	6
9 降饱和度方法及电阻率测量	7
10 岩石电阻率参数计算	9
附录 A (资料性附录) 岩石电阻率参数测量报告格式	12

前 言

本标准代替 SY/T 5385—1991 《岩石电阻率参数实验室测量及计算方法》。

本标准与 SY/T 5385—1991 相比，主要变化如下：

- 增加了对岩样孔隙度的测量要求（见第 4 章）；
- 增加了模拟地层水溶液的配制方法（见 5.1.3.3）；
- 增加了模拟油的配制方法（见第 8 章）；
- 增加了半渗透隔板法（见 9.1）；
- 增加了资料性附录“岩石电阻率参数测量报告格式”（见附录 A）；
- 将 SY/T 5385—1991 的第 4 章“岩心样品的制备”、第 5 章“岩心样品的处理”的内容合并为本标准的第 3 章“岩样选取和制备”，改进了岩心的清洗与抽空饱和装置及方法；
- 删去了 SY/T 5385—1991 的第 2 章“测量装置”和第 3 章“试剂”。

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由石油测井专业标准化委员会提出并归口。

本标准负责起草单位：新疆石油管理局测井公司。

本标准参与起草单位：中国石油集团测井有限公司技术中心、中国石油大学（北京）。

本标准主要起草人：王存田、蔡敏龙、韩学辉、王雪亮。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY/T 5385—1991。

岩石电阻率参数实验室测量及计算方法

1 范围

本标准规定了岩石电阻率参数的实验室测量方法、技术要求及参数计算方法。

本标准适用于岩石电阻率参数实验室对地层岩石样品进行电阻率参数的测量及计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 5336 岩心分析方法

SY/T 5346 岩石毛管压力曲线的测定

SY/T 6365 油气藏原始地层压力及压力系统确定方法

3 岩样选取和制备

3.1 岩样选取

根据实验目的参考储层的测井响应特征确定需选取岩样的位置和数量。所选取的岩样要有代表性。

3.2 岩样钻取

3.2.1 根据岩样的岩矿特性，按 SY/T 5336 的要求选择工作液，使用岩样钻取机钻取岩样。

3.2.2 根据实验目的，确定岩样的钻取方向为平行或垂直于钻井岩心柱的轴向方向，钻取单个岩样或“平行”岩样（指在相近位置钻取多个岩样）。

3.2.3 根据实验目的及对应实验装置特点，确定岩样直径尺寸为 $25.4\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ， $38.1\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 或其他规格的岩样。

3.2.4 钻取岩样的长度宜大于 50mm。

3.2.5 钻取过程中，如发现机械加工导致的岩样破损，岩样应弃用并重新钻取。

3.2.6 实验测量人员应对岩样进行唯一性编号。

3.3 岩样切割

3.3.1 按选定的工作液，使用岩样切割机切掉岩样的两端，岩样长度宜为 25mm~50mm。

3.3.2 切割时，应尽量避免岩样柱面及两端面上存有不可修复的缺角。

3.3.3 切割过程中，如发现机械加工导致的岩样破损，岩样应弃用。

3.4 岩样端面磨平

3.4.1 按选定的工作液，使用端面磨床磨平岩样端面，确保两端面平整且与圆柱体轴线垂直。

3.4.2 磨平过程中，如发现机械加工导致的岩样破损，岩样应弃用。

3.5 岩样长度、直径的测量

使用游标卡尺（最小分辨率为 0.02mm）在岩样圆柱面均匀分布的不同位置测量岩样的长度和直径三次，取平均值，按岩样编号记录测量结果（参见表 A.1）。在不同位置测量的岩样长度和直径的差值应小于 0.1mm。

3.6 岩样洗油

3.6.1 洗油装置：高温高压洗油仪、脂肪抽提器或其他洗油装置。

3.6.2 洗油溶剂。

3.6.2.1 岩样内含有水时，不应选用四氯化碳洗油，避免酸性化合物的形成，可使用石油醚洗油。

3.6.2.2 对富含泥质的岩样，不应选用高沸点的甲苯（沸点为 108℃）或同类溶剂洗油，避免粘土矿物由于失去结晶水导致岩样孔隙结构的变化。

3.6.2.3 对亲油岩样，可选用溶剂汽油、四氯化碳（岩样中不含水时使用）或石油醚（岩样中含水时用），这些溶剂可以在一定程度减小对润湿性的改变。

3.6.2.4 对于中性或者亲水岩样，可选用 1 : 2 或 1 : 3 的酒精—苯混合溶剂。如果抽提含沥青基原油的样品，则选用甲苯清洗。

3.6.3 洗油效果检测

使用荧光照照射浸泡过岩样的溶剂来确定荧光的等级，如果荧光的等级不大于三级，则符合实验要求。

3.7 岩样洗盐

3.7.1 洗盐装置：高温高压洗盐仪、脂肪抽提器或其他洗盐装置。

3.7.2 洗盐溶剂：甲醇、无水乙醇。

3.7.3 洗盐效果检测：用滴管取浸泡过岩样的甲醇溶液少许，滴在滴定板上，再滴入硝酸银溶解，观察溶液，如产生乳白色沉淀物，应继续清洗。按上述方法检测直到无沉淀物生成。

3.8 岩样烘干及干岩样的质量测量

3.8.1 岩样烘干。

3.8.1.1 对泥质含量较少的岩样使用干燥箱（温度控制精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；最高温度不低于 150°C ）在 105°C 的条件下烘干 24h。

3.8.1.2 对富含蒙脱石、伊利石、绿泥石等水敏性粘土含量高的岩样，在温度为 $62^\circ\text{C} \sim 93^\circ\text{C}$ 、湿度为 40%~60% 的条件下在恒温恒湿箱（温度范围为 $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ，湿度范围为 30%~98%）中烘干 24h。

3.8.2 干岩样的质量测量：使用电子天平（最小分度值为 0.01g）测量干岩样的质量并记录测量结果（参见表 A 1）。

3.9 岩样的保存

烘干后的岩样应放入装有干燥剂的干燥器皿中密封保存。

4 岩样孔隙度测量

4.1 常温常压孔隙度测量

根据实验要求及岩样情况按 SY/T 5336 的要求测量岩样的常温常压孔隙度，记录测量结果（参见表 A 1）。

4.2 高温高压气体孔隙度测量

4.2.1 测量装置

高温高压气体孔隙度测量仪（最高温度不低于 120°C ，最高压力不低于 50MPa）。

4.2.2 温度和压力的设定

根据岩心所在层位的温度压力环境设定实验温度和压力。温度参数可按目标区块的地温梯度公式计算或参考温度测井值，压力参数按 SY/T 6365 的要求计算。

4.2.3 测量流程

4.2.3.1 气体孔隙度测量仪检漏。

4.2.3.2 使用孔隙度标准样进行仪器刻度，刻度结果应符合仪器标称的刻度精度。

4.2.3.3 使用孔隙度标准样检验气体孔隙度仪，如测量值与标称值的差值在 $\pm 0.5 \text{ pu}$ 之内，表明仪器状态正常。

4.2.3.4 使用气体孔隙度仪测定岩样的孔隙体积 V_p 。

4.2.3.5 重新使用标准样检验气体孔隙度仪测量结果，如测量值与标称值的差值在 $\pm 0.5 \text{ pu}$ 之内，表明仪器状态正常，并且一个测量周期中的孔隙度测量结果可靠。

4.2.3.6 由岩样的直径 D 、长度 l 、轴向形变量 Δl 、径向形变量 ΔD 计算岩样的总体积 V_T ，见式 (1) 和式 (2)。

$$\Delta D = \frac{D \cdot \Delta l}{l} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_T = 1/4\pi (D - \Delta D)^2 \cdot (l + \Delta l) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Δl ——岩样的轴向形变量，单位为厘米 (cm)；

ΔD ——岩样的径向形变量，单位为厘米 (cm)；

V_T ——岩样的总体积，单位为立方厘米 (cm^3)；

π ——圆周率；

D ——岩样的直径，单位为厘米 (cm)；

l ——岩样的长度，单位为厘米 (cm)。

4.2.3.7 计算岩样的孔隙度 ϕ ，见式 (3)：

$$\phi = \frac{V_p}{V_T} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ϕ ——岩样的孔隙度，单位为孔隙度单位 (pu)；

V_p ——岩样的孔隙体积，单位为立方厘米 (cm^3)；

V_T ——岩样的总体积，单位为立方厘米 (cm^3)。

4.2.3.8 记录测量结果 (参见表 A 1)。

5 盐水溶液的配制及电阻率测量

5.1 盐水溶液的配制

5.1.1 测量装置

电子天平 (最小分度值为 0.001g)、容量瓶 (10000mL) 和容量瓶 (10mL)。

5.1.2 化学试剂

根据水分析资料确定。

5.1.3 配制

5.1.3.1 根据饱和装置的岩心室的容积和岩心的数量，确定所需盐水溶液的容积 V 。

5.1.3.2 如需配制等效 NaCl 溶液，则用溶液的矿化度 C 及容积 V 计算所需 NaCl 的质量 m ，见式 (4)：

$$m_{\text{NaCl}} = 0.001C \cdot V \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

m_{NaCl} ——所需 NaCl 的质量，单位为克 (g)；

C ——矿化度，单位为毫克每升 (mg/L)；

V ——盐水溶液的容积，单位为升 (L)。

5.1.3.3 如需按离子成分配制模拟地层水溶液，则应根据水分析资料选择化学试剂。由离子 i 的相对分子质量 M_{i1} 、电价 n 及其矿化度 C_i ，依次确定选用盐（相对分子质量为 M_i ）的质量 m_i ，见式（5）：

$$m_i = 0.001 \times \frac{C_i \cdot M_i \cdot V}{M_{i1} \cdot |n|} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

m_i ——选用盐（相对分子质量为 M_i ）的质量，单位为克（g）；

V ——盐水溶液的容积，单位为升（L）；

i ——代表某离子；

n ——某离子电价；

C_i ——某离子的矿化度，单位为毫克每升（mg/L）；

M_{i1} ——某离子相对分子质量；

M_i ——包含某离子 i 的盐的相对分子质量。

5.1.3.4 用电子天平依次称量选取的试剂。

5.1.3.5 使用蒸馏水溶解各种化学试剂，加入容量瓶。定容至所需容量。如果化学试剂中含有可发生化学反应生成沉淀的试剂，如 NaHCO_3 和 Na_2SO_4 ，应分别溶解成溶液后加入容量瓶。

5.1.3.6 使用电子天平和容量瓶测定模拟地层水的密度。

5.1.4 盐水溶液配制效果检验

5.1.4.1 用电阻率测量仪测量溶液电阻率。

5.1.4.2 测量溶液温度。

5.1.4.3 用 NaCl 溶液电阻率与温度关系图版检查溶液电阻率，如测量结果与图版对应值的相对误差小于 5%，则配制的溶液符合要求。

5.2 盐水电阻率测量方法

5.2.1 测量装置

电解质溶液电阻率测定仪（测量误差为 $\pm 1\%$ ）及温度计。

5.2.2 测量流程

5.2.2.1 使用标定好的电解质溶液电阻率测定仪重复测量待测盐水溶液的电阻 r 三次，求平均值，电阻率 R_w 的计算见式（6）：

$$R_w = k \cdot r \dots\dots\dots (6)$$

式中：

R_w ——盐水的电阻率，单位为欧 [姆] 米（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）；

r ——电阻，单位为欧 [姆]（ Ω ）；

k ——电极常数，单位为米（m）。

5.2.2.2 记录测量结果（参见表 A.1）。

6 岩样抽空及加压饱和

6.1 测量装置

测量装置包括：真空泵（极限压力为 0.06Pa）、真空表（量程为 0MPa~ -0.1MPa，精度为 2.5 级）、压力表（量程为 0MPa~60MPa，精度为 2.5 级）、加压装置（最大压力为 20MPa）。

6.2 化学试剂

化学试剂为盐水溶液，根据实验目的选择 NaCl 溶液或者模拟地层水溶液。

6.3 操作流程

6.3.1 将饱和用盐水连续抽真空 2h 以上，直至装有盐水的容器内的压力降至约 -0.1MPa，继续抽真空 1h 后停止。

6.3.2 将装有岩样的岩样室连续抽真空 3h~4h，岩样室内压力降至约 -0.1MPa，继续抽真空 2h~4h。

6.3.3 打开溶液室与岩样室之间的阀门，使地层水溶液进入岩样室中，同时继续抽真空，直到盐水没过样品，继续抽真空 1h 后停止。

6.3.4 视岩样的物性和机械强度的情况，在不损坏岩样的前提下施加 5MPa~20MPa 的饱和压力。通常，饱和过程持续 1d~2d 为宜。饱和完成后，取出样品，在配制的溶液中浸泡 ($\phi > 20\text{p.u.}$ ，5d 以上； $10\text{p.u.} < \phi \leq 20\text{p.u.}$ ，7d 以上； $5\text{p.u.} < \phi \leq 10\text{p.u.}$ ，10d 以上； $\phi \leq 5\text{p.u.}$ ，15d 以上) 待用。

6.4 岩样饱和程度的检查

由于盐水和氮气在物理性质上存在差异，其气体孔隙度与饱和水法孔隙度会有一定的差异，若两者相差在 1.5p.u. 之内可认为近于完全饱和。

7 岩样电阻率测量

7.1 测量装置

测量装置包括数字电桥 (精度为 0.1%，频率为 1kHz)、常温常压岩样夹持器、高温高压岩样夹持器。

7.2 测量方法

若降饱和度过程 (见第 9 章) 能够保证毛管压力平衡，使用四极法，否则使用二极法。

7.3 测量流程

7.3.1 用标准电阻检验数字电桥，若测量偏差小于 0.1%，表明数字电桥正常。

7.3.2 确保各测量电极与岩样接触良好，若岩样表面有浮水，应将岩样在滤纸上轻轻滚动一周后除去浮水。

7.3.3 记录岩样号、电阻 r (二极法或四极法)、测量时的实验室温度 T 和含水饱和度 S_w (见表 A.1)。

7.3.4 计算岩样的电阻率 R ，见式 (7) 和式 (8)：

$$k = \frac{S}{L} = 0.01 \times \frac{\pi \cdot D^2}{4L} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$R = k \cdot r \quad \dots \dots \dots (8)$$

式中：

k ——电极系数，单位为米 (m)；

S ——岩样的端面面积，单位为平方厘米 (cm^2)；

D ——岩样的直径，单位为厘米 (cm)；

L ——电极距 (采用二极法测量时等于岩样长度)，单位为厘米 (cm)；

R ——岩样的电阻率，单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot \text{m}$)；

r ——电阻，单位为欧 [姆] (Ω)。

7.3.5 将岩样的电阻率 R_{tT} 和盐水的电阻率 R_{wT} 校至标准温度 T ，见式 (9) 和式 (10)：

$$R_{tT} = R_{t1} \times \frac{t_1 + 21.5}{T + 21.5} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$R_{wT} = R_{w1} \times \frac{t_1 + 21.5}{T + 21.5} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

R_{iT} ——室温为 T (°C) 时的岩样电阻率，单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$)；

R_{wT} ——室温为 T (°C) 时的盐水电阻率，单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$)；

t_1 ——测量岩样电阻率时的室温，单位为摄氏度 (°C)；

T ——标准温度，单位为摄氏度 (°C)；

R_{i1} ——室温为 t_1 (°C) 时的岩样电阻率，单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$)；

R_{w1} ——室温为 t_1 (°C) 时的盐水电阻率，单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$)。

8 模拟油的配制

8.1 适用条件

适用于常温常压条件下的油驱水降饱和度实验。

8.2 测量装置及油料

测量装置及油料包括电子天平（最小分度值为 0.001g）、量筒（1000mL）、动力粘度仪（测量范围为 0.2mPa·s~20000mPa·s）、白油及煤油。

8.3 配制流程

8.3.1 根据原油高压物性分析资料确定原油在油藏温度压力条件下的动力粘度 μ_{soil} ，按实验要求确定需配制模拟油的体积 V_{soil} 。

8.3.2 由白油的动力粘度 μ_{woil} 及密度 ρ_{woil} 和煤油的动力粘度 μ_{coil} 及密度 ρ_{coil} ，计算所需的白油的质量 m_{woil} 及体积 V_{woil} 和煤油的质量 m_{coil} 及体积 V_{coil} ，见式 (11)、式 (12) 和式 (13)：

$$V_{soil} = V_{woil} + V_{coil} = \frac{m_{woil}}{\rho_{woil}} + \frac{m_{coil}}{\rho_{coil}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\lg(\lg\mu_{soil}) = \frac{m_{woil}}{V_{soil}} \lg(\lg\mu_{woil}) + \frac{m_{coil}}{V_{soil}} \lg(\lg\mu_{coil}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{1}{\mu_{soil}} = \frac{m_{woil}}{(V_{soil} \cdot \mu_{woil})} + \frac{m_{coil}}{(V_{soil} \cdot \mu_{coil})} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

μ_{woil} ——白油的动力粘度，单位为毫帕秒 (mPa·s)；

μ_{coil} ——煤油的动力粘度，单位为毫帕秒 (mPa·s)；

μ_{soil} ——模拟油的动力粘度，单位为毫帕秒 (mPa·s)；

ρ_{woil} ——白油的密度，单位为克每立方厘米 (g/cm³)；

ρ_{coil} ——煤油的密度，单位为克每立方厘米 (g/cm³)；

m_{woil} ——白油的质量，单位为克 (g)；

m_{coil} ——煤油的质量，单位为克 (g)；

V_{soil} ——模拟油的体积，单位为毫升 (mL)；

V_{woil} ——白油的体积，单位为毫升 (mL)；

V_{coil} ——煤油的体积，单位为毫升 (mL)。

8.3.3 用电子天平和量筒依次称量白油和煤油并倒入容器中，使之混合均匀。

8.3.4 计算模拟油的密度 ρ_{soil} 。

8.4 配制效果检查

使用动力粘度仪测量模拟油的动力粘度 μ_{soil} ，若其动力粘度值与油藏温度压力条件下的动力粘度

相对误差小于 5%，则配制的模拟油符合要求。

9 降饱和度方法及电阻率测量

9.1 半渗透隔板法

9.1.1 测量装置

毛管压力控制单元、温度压力控制系统、亲水半渗透隔板、氮气、夹持器系统及数字电桥。

9.1.2 驱替介质

氮气、原油或模拟油。

9.1.3 操作流程

9.1.3.1 按 SY/T 5346 的要求处理半渗透隔板并做气/油驱水前准备和测试工作。

9.1.3.2 如图 1 所示，在盐水流出端放置饱和盐水的亲水半渗透隔板，将岩样放入夹持器，在盐水流出端注入盐水，使盐水充满出口端管汇空间，记录计量管中盐水的体积。

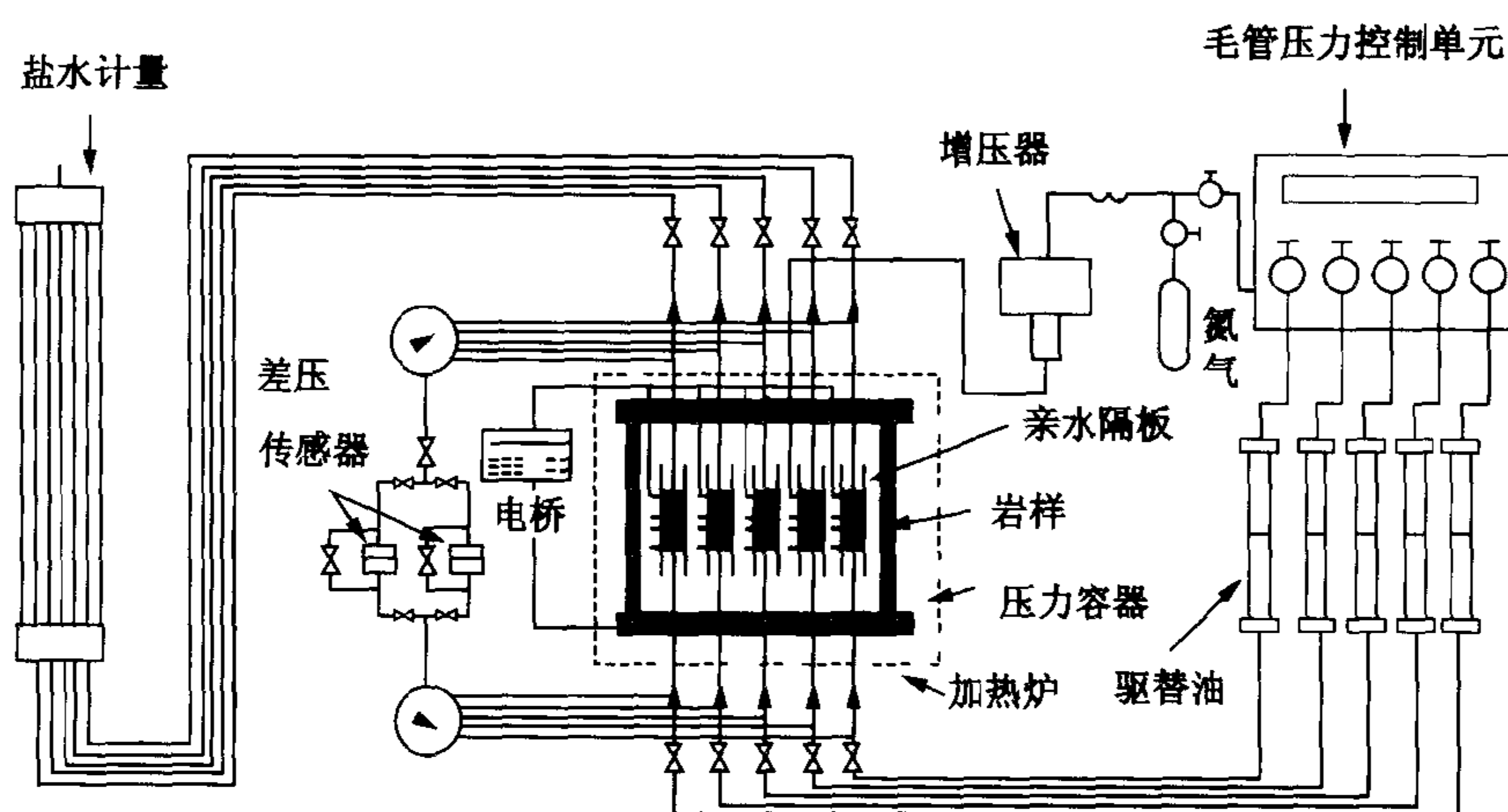


图 1 半渗透隔板驱替装置示意图

9.1.3.3 按照实验要求，选择驱替介质。待驱替介质充满入口端管汇空间后，关闭入口端阀门。

9.1.3.4 施加实验温度和压力，待温度和压力稳定后，记录计量管中盐水的体积 V_0 ，测量其电阻 r_{or} ，岩样中盐水的初始饱和度 S_{wo} 计算见式 (14)：

$$S_{wo} = \frac{(m_1 - m_0) / \rho_w - (V_0 - V_a)}{V_p} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

S_{wo} ——岩样的初始含水饱和度，用百分数表示；

m_1 ——饱和盐水岩样的质量，单位为克 (g)；

m_0 ——干岩样的质量，单位为克 (g)；

ρ_w ——盐水的密度，单位为克每立方厘米 (g/cm^3)；

V_a ——加压前量筒的初始刻度，单位为毫升 (mL)；

V_0 ——加压后量筒的初始刻度，单位为毫升 (mL)；

V_p ——岩样的孔隙体积，单位为立方厘米 (cm^3)。

9.1.3.5 打开入口端阀门，视被测岩样的孔隙度、渗透率大小由低向高逐级增大驱替压力 p_i 。每个压力点达到平衡状态（平衡状态的确定：每 10h 记录一次出水体积增量，当连续两次记录的差值小于孔隙体积 V_p 的 5% 时，认为该点达到了平衡状态）后，记录计量管中盐水体积 V_{pi} ，测量岩样电阻 r_{pi} 。最大驱替压力不得超过隔板的突破压力，压力点的变化应不少于 7 个。不同驱替压力

p_i 下的含水饱和度 S_{wpi} 可用式 (15) 计算:

$$S_{wpi} = S_{wo} - \frac{(V_{pi} - V_0)}{V_p} \dots \dots \dots (15)$$

式中:

- S_{wpi} ——岩样的含水饱和度, 用百分数表示;
- S_{wo} ——岩样的初始含水饱和度, 用百分数表示;
- V_{pi} ——排出盐水的体积, 单位为毫升 (mL);
- V_0 ——加压后量筒的初始刻度, 单位为毫升 (mL);
- V_p ——岩样的孔隙体积, 单位为立方厘米 (cm³)。

9.1.3.6 记录饱和度数据和电阻数据 (参见表 A 1)。

9.2 离心法

9.2.1 测量装置

离心机 (最高转速为 5000rpm)、电子天平 (最小分度值为 0.01g)、常温常压夹持器及数字电桥。

9.2.2 驱替介质

空气、原油或模拟油。

9.2.3 操作流程

9.2.3.1 将饱和盐水岩样放入常温常压夹持器中, 测量其电阻 r_{or} 。

9.2.3.2 取出岩样, 用电子天平称重 m_1 , 岩样中盐水初始饱和度 S_{wo} 的计算见式 (16):

$$S_{wo} = \frac{(m_1 - m) / \rho_w}{V_p} \dots \dots \dots (16)$$

式中:

- S_{wo} ——岩样的初始含水饱和度, 用百分数表示;
- m_1 ——饱和盐水岩样的质量, 单位为克 (g);
- m ——干岩样的质量, 单位为克 (g);
- ρ_w ——盐水的密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);
- V_p ——岩样的孔隙体积, 单位为立方厘米 (cm³)。

9.2.3.3 将岩样放入离心机, 选用空气 (原油或模拟油) 作为驱替介质, 按 SY/T 5346 的要求, 逐渐增加离心机转速并测量各转速点的电阻 r_{pi} , 直至岩样达到束缚水状态。依次记录气体 (原油或模拟油) 排出盐水的体积 V_{pi} 和电阻 r_{pi} , 含水饱和度 S_{wpi} 用式 (17) 计算:

$$S_{wpi} = S_{wo} - \frac{V_{pi}}{V_p} \dots \dots \dots (17)$$

式中:

- S_{wpi} ——岩样的含水饱和度, 用百分数表示;
- S_{wo} ——岩样的初始含水饱和度, 用百分数表示;
- V_p ——岩样的孔隙体积, 单位为立方厘米 (cm³)。
- V_{pi} ——排出盐水的体积, 单位为毫升 (mL);

9.2.3.4 记录测量结果 (参见表 A 1)。

9.3 油驱水法

9.3.1 测量装置

微量泵 (驱替压力为 0.1MPa~10MPa, 最小分辨率为 0.1mL/h)、刻度计量管 (测量范围为

0mL~10mL, 最小分度值为 0.02mL)、高温高压夹持器及数字电桥。

9.3.2 驱替介质

驱替介质为原油或模拟油。

9.3.3 操作流程

9.3.3.1 如图 2 所示, 将饱和盐水岩样放入高温高压夹持器, 施加实验压力, 测量其电阻 r_{or} 。

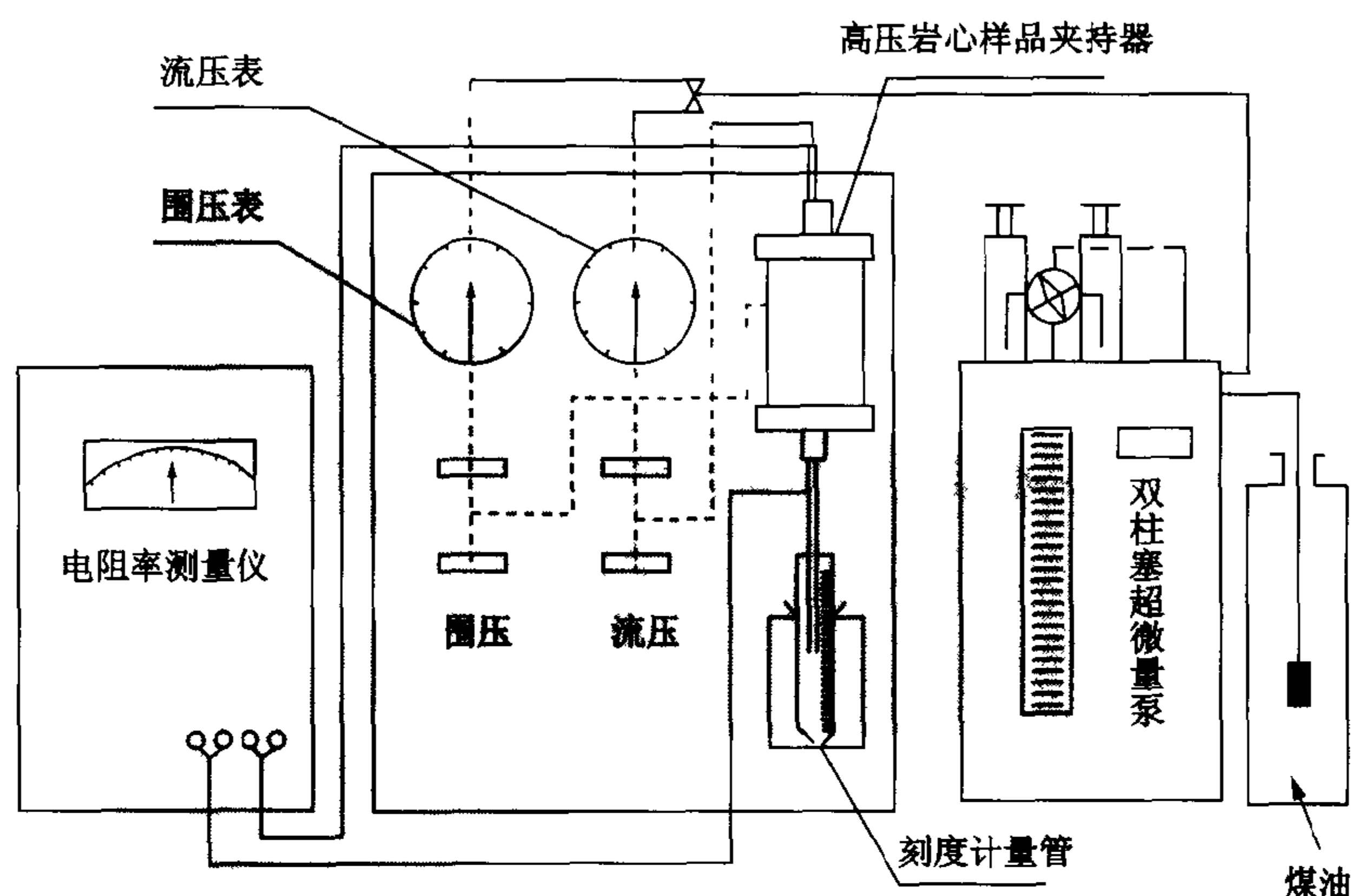


图 2 油驱水测量装置示意图

9.3.3.2 取出岩样, 用电子天平称量岩样质量 m_1 , 盐水初始含水饱和度 S_{w0} 按式 (16) 计算。

9.3.3.3 用气源排出管汇中的残留盐水后, 将岩样放入夹持器, 施加实验围压 p 和温度 T 。

9.3.3.4 按照实验要求, 选用驱替介质, 将驱替介质充满入口端管汇空间, 关闭入口端阀门。

9.3.3.5 打开入口端阀门, 视被测岩样的孔、渗大小由低向高逐级增大驱替压力 p_i , 每个压力点的流压稳定后, 关流压开关, 待岩样电阻稳定后记录电阻 r_{pi} 并刻度计量管中的盐水体积 V_{pi} 。驱替压力变化应不少于 7 个压力点, 不同驱替压力 p_i 下的含水饱和度 S_{wpi} 可用式 (17) 计算。

9.3.3.6 记录饱和度数据和电阻数据 (参见表 A. 1)。

9.4 气吹法

9.4.1 测量装置

常温常压夹持器、高温高压夹持器、氮气、数字电桥、电子天平 (最小分度值为 0.01g)、量筒 (10mL)。

9.4.2 操作流程

9.4.2.1 将岩样放入常温常压或高温高压夹持器, 施加实验压力, 测量其电阻 r_{or} 。

9.4.2.2 将岩样取出, 用电子天平称量岩样质量 m_1 , 盐水初始含水饱和度 S_{w0} 按式 (16) 计算。

9.4.2.3 用气源排出管汇中的残留盐水后, 将岩样放入夹持器, 施加实验围压 p 和温度 T , 视被测岩样的孔、渗大小由低向高逐级增大流压。在每个压力点, 当岩样不再出水后, 关闭流压, 待岩样电阻稳定后记录电阻 r_{pi} 及计量管中的盐水体积 V_{pi} , 按式 (17) 计算岩样含水饱和度。

9.4.2.4 记录饱和度数据和电阻数据 (参见表 A. 1)。

10 岩石电阻率参数计算

由不同方法获得的表 A. 1 中的数据, 按式 (8) 计算并记录不同饱和状态下的岩样电阻率 (参见表 A. 2), 用以下方法计算岩石电阻率参数。

10.1 地层因素 F 和电阻增大率 I 计算

10.1.1 依照 Archie 公式, 计算地层因素 F , 见式 (18):

$$F = \frac{R_0}{R_w} = \frac{a}{\phi^m} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- F ——地层因素;
- R_0 ——岩样完全为盐水饱和时的电阻率, 单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$);
- R_w ——Archie 公式中盐水的电阻率, 单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$);
- ϕ ——岩样的孔隙度, 单位为孔隙度单位 (p u);
- a ——岩性系数;
- m ——胶结指数。

10.1.2 依照 Archie 公式, 计算电阻增大率 I , 见式 (19):

$$I = \frac{R}{R_0} = \frac{b}{S_w^n} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

- I ——电阻增大率;
- R_t ——岩样部分为盐水饱和时的电阻率, 单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$);
- R_0 ——岩样完全为盐水饱和时的电阻率, 单位为欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot m$);
- S_w ——岩石的含水饱和度, 用百分数表示;
- b ——岩性系数;
- n ——饱和度指数。

10.1.3 记录计算结果 (参见表 A 2)。

10.2 胶结指数 m 和饱和度指数 n 的计算

10.2.1 对单块岩样, 如需计算胶结指数 m , 可令 $a = 1$, 对式 (18) 两边取对数, 计算 m 值见式 (20):

$$m = -\lg F / \lg \phi \dots\dots\dots (20)$$

式中:

- m ——胶结指数;
- F ——地层因素;
- ϕ ——岩样的孔隙度, 单位为孔隙度单位 (p u)。

10.2.2 对来自于同一层组的多块岩样, 在双对数坐标下, 绘制地层因素 F 与孔隙度 ϕ 的交汇图 (参见图 A 3)、电阻增大率 I 与含水饱和度 S_w 的交汇图 (参见图 A 4)。用幂函数拟合地层因素 F 与孔隙度 ϕ 曲线、电阻增大率 I 与含水饱和度 S_w 曲线, 得到岩性系数 a 和 b 及胶结指数 m 、饱和度指数 n 。

10.2.3 记录计算结果 (参见表 A 2) 并填写岩石电阻率参数测量报告 (参见图 A 1 和图 A 2)。

10.3 影响测量结果的主要因素分析与校正

10.3.1 润湿性的影响: 岩样的润湿性对电性测量的结果有较大影响, 如岩样为强油湿, 应对岩样做润湿性恢复 (老化) 后再进行岩石电阻率参数的测量。

10.3.2 孔隙度测量方法的影响: 如气体孔隙度与饱和水法孔隙度测量结果的差值 $> 1.5 p u$, 应重新测量, 确认测量操作无误后, 应分析产生的偏差原因 (如微孔隙或泥质的影响), 选择适用的孔隙度参数。

10.3.3 盐水溶液的影响：如配制的盐水溶液电阻率与给定矿化度所对应电阻率差异较大，应重新配制溶液后重新测量。

10.3.4 初始饱和度的影响：进行高温高压实验时，应考虑加压时岩样产生的体积变化及其对饱和度评价的影响，准确估算岩样的初始饱和度。

10.3.5 电阻测量的影响：岩心端面不平整，表面干燥或有浮水都会对测量结果产生影响，应确保岩样端面平整湿润且与测量电极接触良好。

附录 A
(资料性附录)

岩石电阻率参数测量报告格式

岩石电阻率参数测量报告的封面及首页格式见图 A 1 和图 A 2。测量结果的交汇图格式见图 A 3 和图 A 4。测量数据记录表的格式见表 A 1 和表 A 2。

<h2>岩石电阻率参数测量报告</h2>	
地 区:	_____
油 田:	_____
井 段:	_____
岩样块数:	_____
送样单位:	_____
检测依据:	_____
技术负责:	_____
报告日期:	_____
× × × × × × × × × × × × × × × ×	
(测定单位)	

图 A.1 报告封面格式

本报告共 页，共测定岩样 块

检测主要设备及编号：

其他说明：

测定人：

校核人：

图 A.2 报告首页格式

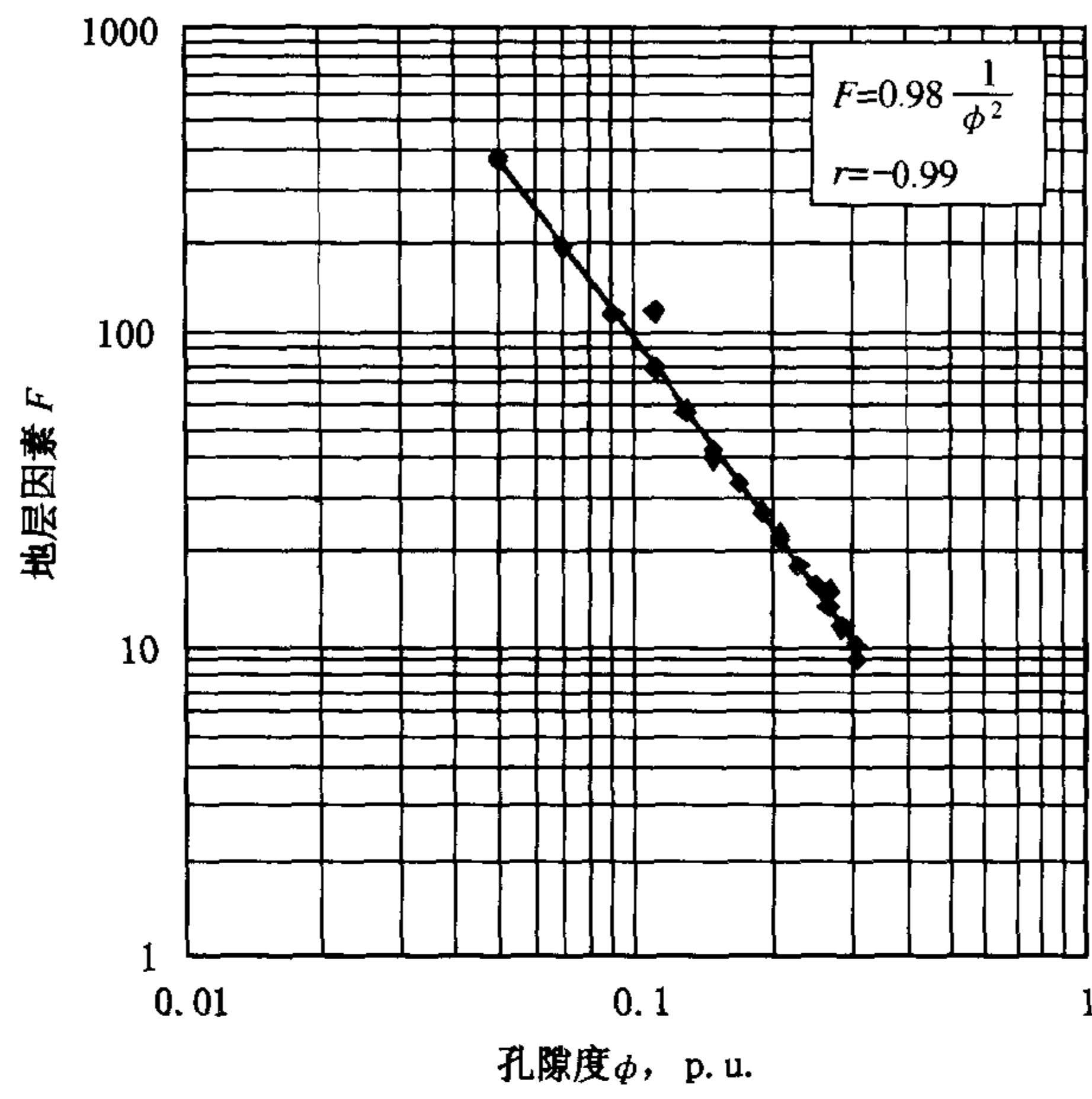


图 A.3 地层因素 F 与孔隙度 ϕ 交汇图格式

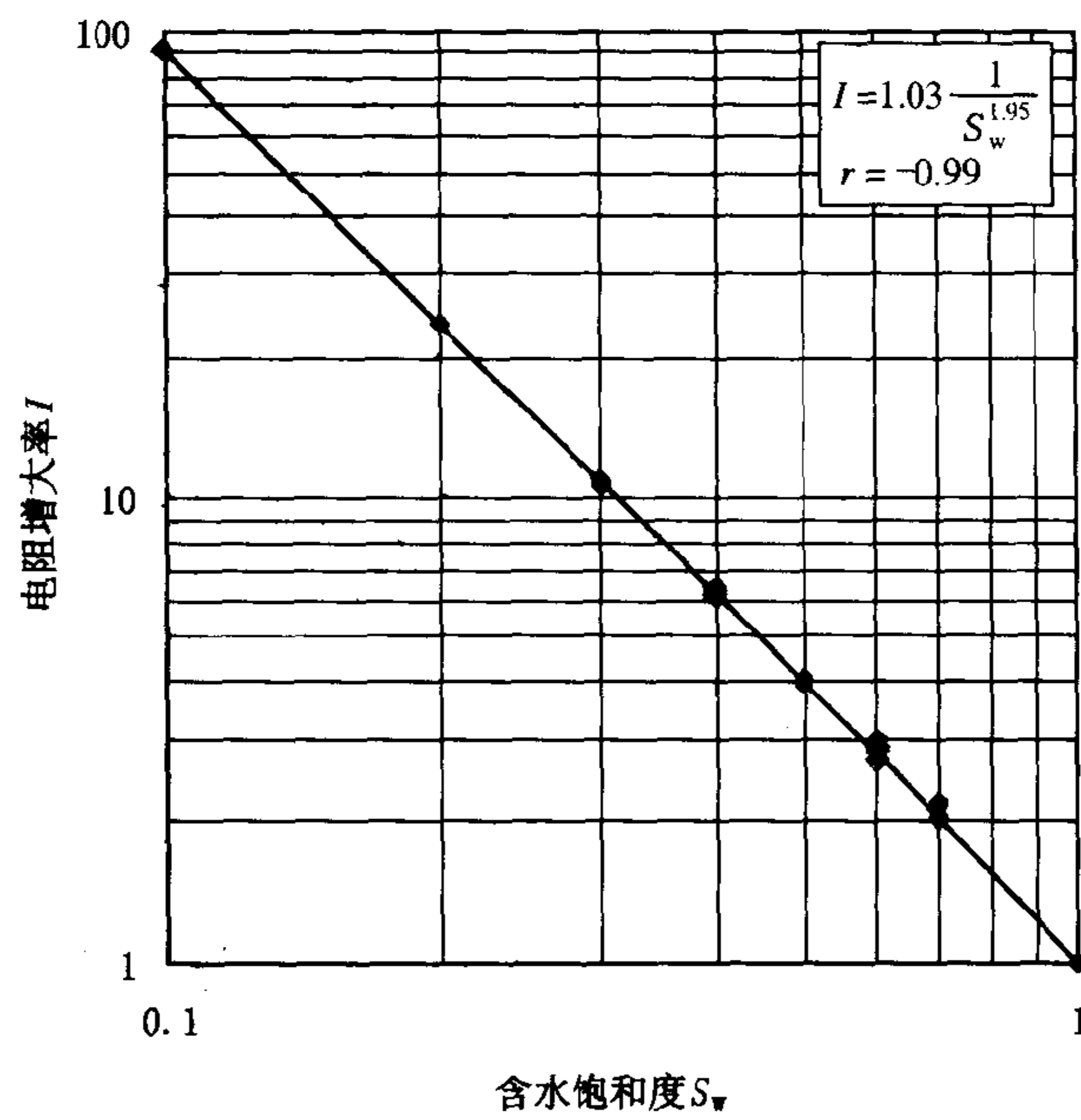


图 A.4 电阻增大率 I 与含水饱和度 S_w 交汇图格式

中华人民共和国
石油天然气行业标准
岩石电阻率参数实验室测量及计算方法
SY/T 5385—2007

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

880×1230 毫米 16 开本 1.25 印张 36 千字 印 1—800
2008 年 3 月北京第 1 版 2008 年 3 月北京第 1 次印刷
书号：155021·6103 定价：12.00 元

版权专有 不得翻印