

ICS 75.020

E 14

备案号: 14050—2004

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5904—2004

代替 SY/T 5904—93

潜油电泵选井原则及选泵设计方法

**Recommended practice for sizing and selection of
electric submersible pump installation**

2004—07—03 发布

2004—11—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 油井的选择	1
4 气体计算	2
5 油井供液能力的确定	3
6 潜油电泵及辅助设备的选择	4
7 在复杂条件下的选泵要求	7
附录 A (资料性附录)潜油电泵选井原则及选泵设计方法示例	10

前 言

本标准的修订是为了更好地规范我国石油行业潜水电泵的应用，提高我国潜水电泵的应用水平，以适应油田潜水电泵采油发展的需要。本次修订与 SY/T 5904—93《潜水电泵选井原则及选泵设计方法》相比，主要变化如下：

- a) 增加了“前言”；
- b) 在封面增加了英文名称；
- c) 在 6.2.1.2 中总动压头计算公式中，关于油管摩阻计算公式（17）中的油管效率和摩阻系数等参数得到比较困难，所以本次修订中增加了油管压头损失曲线（见图 6）。
- d) 在 6.4.2 中电缆压降损失计算公式（21）中，无功功率因数、有功功率因数、导体的有效阻抗、导体的电抗等，在实际计算中得到比较困难，所以在本次修订中增加了电缆压降损失曲线（见图 7）。
- e) 在 7.1.2 中，电缆绝缘材料的温度极限，原标准没有给出目前使用的相关材料，在实际使用中出现困难，所以在本次修订中增加了高温电缆材料温度极限。
- f) 在 7.4 的高粘油的要求中，原标准没有具体的计算方法，特别是目前部分油田三次采油、聚合物驱的井液浓度比较高，应该如何考虑，原标准没有包括，因此，在本次修订中，推荐了具体的计算方法，增加高粘度、高浓度的选泵计算。
- g) 在 7.5 变速潜水电泵的情况中，原标准没有具体的计算方法，目前国内各个油田的变频设备使用数量不断增加，本次修订增加了变速潜水电泵的变速控制的参数计算。

本标准自实施之日起，同时代替 SY/T 5904—93。

本标准的附录 A 是资料性附录。

本标准由采油采气专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：大庆油田有限责任公司开发部、大庆石油管理局潜水电泵技术服务公司。

本标准主要起草人：孟宪军、陈显进、王维。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——SY/T 5904—1993。

潜油电泵选井原则及选泵设计方法

1 范围

本标准规定了潜油电泵选井原则、选泵设计方法的资料准备、气体计算、油井产能预测、潜油电泵机组的选择，以及特殊条件下的选泵要求。

本标准适用于溶解气驱和水驱油藏油井设计选择潜油电泵的方法。

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。凡是注明日期的引用文件，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。

GB/T 16750.1 潜油电泵机组 型式、基本参数和连接尺寸

GB/T 16750.2 潜油电泵机组 技术条件

3 油井的选择

3.1 选井原则

- a) 符合地质要求；
- b) 油井供液能力与设备匹配；
- c) 井况符合条件，如套管无变形、无泄露等；
- d) 工艺措施无影响；
- e) 潜油电泵机组的最大投影尺寸与套管内径匹配。

3.2 资料准备

3.2.1 油井原始资料

- a) 油井套管规格及人工井底深度；
- b) 油井油管规格及其连接螺纹规格；
- c) 油层中部深度及射孔井段；
- d) 原油及天然气相对密度；
- e) 井底温度；
- f) 原油粘度；
- g) 饱和压力及原始气油比；
- h) 含砂量、结蜡及腐蚀情况。

3.2.2 油井目前生产数据

- a) 油压及套压；
- b) 油井产液量及含水率；
- c) 采液指数及采油指数；
- d) 地层压力及流压；
- e) 生产气油比及总产气量。

3.2.3 综合资料

- a) 套管损坏情况及部位；

- b) 井场网络电源电压;
- c) 设计泵挂深度;
- d) 注采系统完善程度。

4 气体计算

4.1 溶解气油比

4.1.1 饱和压力下溶解气油比按式 (1) 进行计算。

$$R_{ab} = 0.1342\gamma_g \left[10p_b \times \frac{10^{0.0125(141.5/\gamma_o - 131.5)}}{10^{0.0009(11.8t+32)}} \right]^{1.205} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_{ab} ——在饱和压力下的溶解气油比, m^3/m^3 ;

γ_g ——天然气的相对密度;

γ_o ——原油的相对密度;

p_b ——饱和压力, MPa;

t ——井底温度, $^{\circ}C$ 。

4.1.2 流压低于饱和压力, 溶解气油比需进行校正。校正溶解气油比按式 (2) 进行计算。

$$R_{op} = R_{ab} \cdot f_c \dots\dots\dots (2)$$

$$f_c = \begin{cases} 3.4p/p_b & (p/p_b < 0.1) \\ 1.1p/p_b + 0.23 & (0.1 \leq p/p_b < 0.3) \\ 0.629p/p_b + 0.37 & (p/p_b \geq 0.3) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R_{op} ——校正溶解气油比, 即泵吸入口压力下的溶解气油比, m^3/m^3 ;

f_c ——校正系数, 根据 p/p_b 计算值, 在图 1 上查得; 亦可由式 (3) 求得;

p ——泵吸入口压力, MPa。

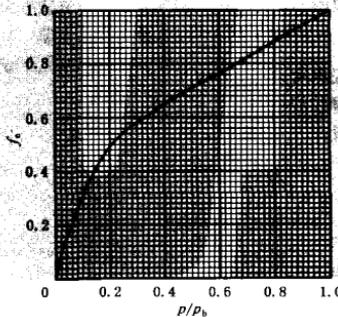


图 1 溶解气油比校正曲线

4.2 天然气体积系数

天然气体积系数可按式 (4) 计算。

$$B_g = 0.000378Z(t+273)/p \dots\dots\dots (4)$$

式中:

B_g ——天然气体积系数;

Z ——天然气压缩系数，一般取 0.81~0.91。

4.3 油层原油体积系数

油层原油体积系数按式 (5) 计算。

$$B_o = 0.972 + 0.000147[5.61R_{sp}(\gamma_g/\gamma_o)^{0.5} + 1.25(1.8t + 32)]^{1.175} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

B_o ——油层原油体积系数。

4.4 泵吸入口气液比

泵吸入口气液比为在泵入口处游离气体体积占油、气、水总体积的百分数，可用式 (6) 计算。

$$GLR = \frac{(1-f_w)(GOR-R_{sp})B_g}{(1-f_w)B_o + (1-f_w)(GOR-R_{sp})B_g} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

GLR ——泵吸入口气液比，%；

f_w ——含水率，%；

GOR ——生产气油比， m^3/m^3 。

根据式 (6) 可以计算出不同泵吸入口压力下的泵吸入口气液比值，作出泵吸入口压力与吸入口气液比关系曲线（见图 2）。

4.5 泵吸入口压力

根据油气分离器分离气体的能力，从图 2 上可查出在电泵抽油时的泵吸入口压力。

5 油井供液能力的确定

5.1 纯油渗流时的流压确定

纯油渗流时，可直接应用采油指数公式 [式 (7) 和式 (8)] 计算不同流压下的产量，即：

$$q_{max} = J_o \cdot p_R \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$p_{wf} = p_R - q_o/J_o \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

p_{wf} ——流压，MPa；

p_R ——地层压力，MPa；

q_o ——油井产油量， m^3/d ；

q_{max} ——纯油渗流时的最大产量， m^3/d ；

J_o ——采油指数， $m^3/(MPa \cdot d)$ 。

5.2 油、气渗流时的流压确定

5.2.1 对于直线渗流段（见图 3），可按 5.1 中的方法计算。

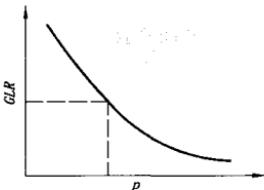


图 2 泵吸入口压力与泵吸入口气液比关系曲线

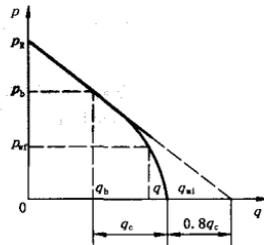


图 3 油、气两相渗流时流入特性曲线

5.2.2 对于曲线渗流段,由沃格尔公式可直接得到式(9)。

$$(q - q_o)/(q_{mi} - q_b) = 1 - 0.2(p_{wf}/p_R) - 0.8(p_{wf}/p_R)^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$q_{mi} = q_b + (J_o p_b)/1.8$$

$$q_b = J_o(p_R - p_b)$$

式中:

- q ——油井产量, m^3/d ;
- q_{mi} ——油气渗流时理论最大产量, m^3/d ;
- q_b ——饱和压力下的油井产量, m^3/d 。

5.2.3 油、气渗流时流压由式(10)和式(11)确定。

$$p_{wf} = 0.125 p_b \left\{ -1 + \left[81 - 80(q - q_o)/(q_{mi} - q_b) \right]^{0.5} \right\} \quad (q_b < q \leq q_{mi}) \quad \dots (10)$$

$$p_{wf} = p_R - q/J_o \quad (0 < q \leq q_b) \quad \dots\dots (11)$$

5.3 油、气、水渗流时流压确定

油、气、水渗流流压确定见图4。

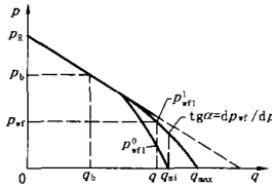


图4 油、气、水渗流时流入特性曲线

油、气、水渗流时流压由式(12)~式(15)确定。

$$q_{max} = q_{mi} + f_w(p_R - q_{mi}/J_o)J_o/(9 - 8f_w) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$p_{wf} = p_R - \frac{q}{J_o} \quad (0 < q \leq q_b) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$p_{wf} = f_w(p_R - q/J_o) + 0.125(1 - f_w)p_b \left[-1 + \left(81 - 80 \times \frac{q - q_b}{q_{mi} - q_b} \right) \right]^{0.5} \quad (q_b < q \leq q_{mi}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$p_{wf} = f_w(p_R - q_{mi}/J_o) - (q - q_{mi}) \frac{9 - 8f_w}{J_o} \quad (q_{mi} < q \leq q_{max}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

5.4 油井供液能力确定

- 5.4.1 当确定出油井渗流属于哪一种后,应用其相应的公式,进行油井产能的预测。
- 5.4.2 绘制相应的油井渗流特性曲线。
- 5.4.3 将确定的泵吸入口压力值折算到油层中部流压,据此流压值从渗流特性曲线上查出相应的产量值,即为油井预测产能。

6 潜水电泵及辅助设备的选择

6.1 选泵原则

- 6.1.1 按潜水电泵特性曲线合理选择潜水电泵,使离心泵在最高效率点或接近最高效率点工作,所选择潜水电泵的技术条件应符合 GB/T 16750.1 和 GB/T 16750.2 的要求。
- 6.1.2 潜水电泵的额定排量应和油井产能相匹配,额定扬程满足油井所需的总动压头。

6.1.3 潜油电机的输出功率应满足潜油电泵举升液体所需功率要求。

6.1.4 电缆的长度满足潜油电泵井的施工作业要求。

6.2 多级离心泵的选择

6.2.1 总动压头的计算。

6.2.1.1 影响总动压头的因素：

- 从动液面到地面举升高度；
- 油管的摩阻损失；
- 井口管线的剩余压头。

6.2.1.2 油井总动压头由式 (16) 进行计算 (见图 5)。

$$H = H_p + p_o + F_t - p_m \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$F_t = 0.111\eta_o \cdot \lambda \cdot Q^2 / D^5 \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

H ——油井总动压头，m；

η_o ——油管效率，%；

H_p ——泵挂深度，m；

λ ——摩阻系数；

p_o ——油压折算压头，m；

Q ——液体流量，m³/d；

p_m ——泵吸入口压头，m；

D ——油管直径，m；

F_t ——油管摩阻损失压头 (可从图 6 上查得)，m。

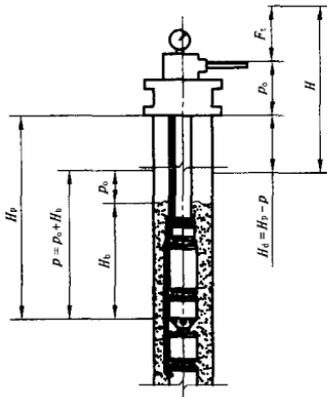


图 5 潜油电泵总动压头计算示意图

6.2.2 选择泵型。

6.2.2.1 根据计算出的油井总动压头，确定扬程。

6.2.2.2 所需泵叶轮级数按式 (18) 计算。

$$n = H / H_1 \quad \dots\dots\dots (18)$$

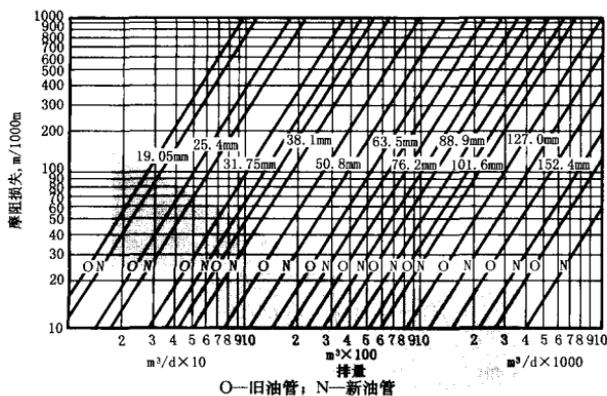


图6 油管压力损失曲线

式中：

n ——泵的总级数；

H_1 ——泵的单机扬程（可以从泵特性曲线上查得），m/级。

6.2.2.3 根据确定的产能和所需扬程、级数，从泵的特性曲线上选择泵型规格。

6.2.2.4 分离器的选择根据泵型以及泵吸入口气液比的值确定。

6.3 潜油电机的选择

6.3.1 潜油电机的功率应按式(19)或式(20)计算。

$$N = QH_m \gamma_L / 8800 \eta \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$N = N_1 \cdot n \cdot \gamma_L \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

N ——潜油电机的功率，kW；

Q ——泵的额定排量， m^3/d ；

H_m ——泵的额定扬程，m；

η ——泵的效率，%；

γ_L ——井液相对密度；

N_1 ——单机功率（从泵的特性曲线上查得），kW/级。

6.3.2 按需要的功率和套管尺寸选择出电机的型号。

6.3.3 保护器的选择根据电机确定。

6.4 潜油电缆的选择

6.4.1 电缆型号可以根据井底温度、电机功率、电压和电流进行选择。

6.4.2 电缆的压降损失和功率损失计算见式(21)、式(22)。

$$\Delta U = \sqrt{3} I L (\gamma \cos \phi + X \sin \phi) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\Delta P = 3 I^2 R \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

ΔU ——电缆压降损失（也可从图7上查得），V；

$\sin \phi$ ——无功功率因数；

I ——电机额定电流，A；

- $\cos\phi$ ——功率因数；
 L ——电缆长度，m；
 R ——电缆的内阻， Ω ；
 γ ——导体有效阻抗， Ω/km 。
 X ——导体电抗， Ω/km 。
 ΔP ——功率损失；kW。

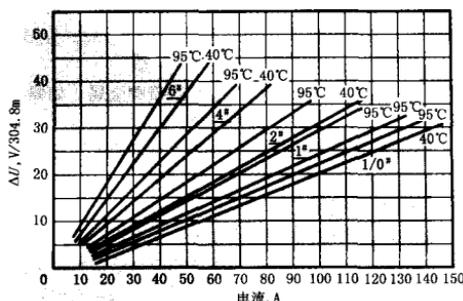


图7 电缆压降损失曲线

6.4.3 电缆长度根据泵挂深度确定（包括连接部分）。

6.5 变压器的选择

6.5.1 变压器的容量按式(23)计算。

$$BYQ = \sqrt{3}I(U + \Delta U) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：

BYQ——变压器的容量，kV·A；

U——电机额定电压，V。

6.5.2 变压器的容量应考虑经济性，选择1.2倍的容量较好。

6.6 控制柜的选择

控制柜应根据现场使用条件、机组性能要求进行选择，主要根据额定电流和地面所需要的电压选择控制柜的容量。

7 在复杂条件下的选泵要求

7.1 高温条件

7.1.1 通常把井底温度在90℃以下的井中的潜油电泵装置看作标准装置。

7.1.2 井底温度在90℃~120℃，则需特殊考虑。

a) 电缆绝缘材料的温度极限一般分类见表1。

b) 潜油电泵各个部件应进行相关考虑。

表1 电缆绝缘材料的温度极限（推荐值）

序号	绝缘材料	井底温度 ℃	导线温度 ℃
1	聚乙烯（PE）无铠装	60	75
2	聚苯基醚（PPE）腈皮	76.7	93.3
3	乙丙橡胶（EPR）腈皮	125	148.9

7.1.3 井底温度大于 120℃, 对电缆和潜油电泵机组需重新选择。

- 电缆应采用铅皮扁平潜油电缆或其他高温电缆;
- 潜油电泵机组各部件(如密封材料、绝缘材料及电机油等)重新进行选择。

7.2 腐蚀条件

7.2.1 大、小扁电缆及电缆卡子材料选择:

- 大多数腐蚀环境可采用镀锌或镍铜合金铠装电缆;
- 高硫化氢腐蚀环境, 可采用铅皮电缆;
- 腐蚀环境可使用不锈钢或镍铜合金卡子。

7.2.2 潜油电泵机组防腐选择:

- 采用涂镀抗腐蚀材料(如油漆、特殊塑料涂层)或喷镀金属[如镍合金(蒙乃尔)]。如确定用某种涂镀方法后, 涂镀层厚度需计入间隙之中。
- 在腐蚀条件下, 对壳体或其他部件可能有特殊要求时, 应由用户与生产厂家协商确定。

7.3 含砂、蜡、垢井

7.3.1 出砂严重的油井, 应冲砂洗井作业后, 再安装设备。

7.3.2 含砂量不应超过 500g/m³; 否则应在设计中提出, 由用户和生产厂家协商解决。

7.3.3 对于结蜡油井, 在安装设备前应进行刮蜡, 采取相应防蜡措施, 保证设备的使用。

7.3.4 对结垢的油井, 建议采用防垢潜油电泵机组, 同时也可采用其他防垢设备或防垢措施。

7.4 高粘油的要求

7.4.1 潜油电泵的设计都是假定井液的粘度和水的粘度相同, 用标准的水所作的特性曲线来进行选择。所以, 井液粘度大时, 必须对选泵结果进行校正。

7.4.2 排量、扬程和效率校正的方法如下:

$$Q_{vis} = C_Q \cdot Q \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$H_{vis} = C_H \cdot H \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$E_{vis} = C_E \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

Q_{vis} ——泵举升粘度液体时的排量, m³/d;

Q ——所计算出的排量, m³/d;

H_{vis} ——泵举升粘度液体时的扬程, m;

E_{vis} ——泵举升粘度液体时的效率, %;

η ——泵的效率, %;

C_Q ——排量校正系数;

C_H ——扬程校正系数;

C_E ——效率校正系数。

7.4.3 计算雷诺数, 将流体的雷诺数设定为:

$$Re = g^{0.25} \cdot Q^{0.25} \cdot h^{0.25} / \nu \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

Re ——流体雷诺数;

g ——重力加速度, 9.8m/s²;

Q ——泵额定排量, m³/d;

h ——泵单级扬程; m;

ν ——流体的运动粘度; m²/s。

7.4.4 校正系数与雷诺数的关系式如下:

$$K_p(Re) = 290.97986 - 252.52172Re + 86.52286Re^2 - 14.64792Re^3 + 1.22837Re^4 - 0.040878Re^5 \quad \dots\dots (28)$$

$$K_Q(Re) = -29.50127 + 18.94784Re - 4.64569Re^2 + 0.56215Re^3 - 0.033634Re^4 + 0.00008Re^5 \quad \dots\dots (29)$$

$$K_{H_{1.0Q}}(Re) = 46.37389 - 45.94036Re + 17.58429Re^2 - 3.3314Re^3 + 0.30586Re^4 - 0.011046Re^5 \quad \dots\dots (30)$$

7.5 变速潜油电泵

变速控制的参数计算按式 (31)、式 (32) 和式 (33) 计算。

$$Q_2 = Q_1(N_2/N_1) \quad \dots\dots (31)$$

$$H_2 = H_1(N_2/N_1)^2 \quad \dots\dots (32)$$

$$BHP_2 = BHP_1(N_2/N_1)^3 \quad \dots\dots (33)$$

式中：

Q_1, Q_2 ——变速前、后的排量， m^3/d ；

H_1, H_2 ——变速前、后的扬程， m ；

BHP_1, BHP_2 ——变速前、后的功率， kW ；

N_1, N_2 ——变速前、后的转速， r/min 。

附录 A
(资料性附录)

潜油泵选井原则及选泵设计方法示例

A.1 已知条件

$\gamma_g = 0.6;$	$\gamma_o = 0.86;$
$p_b = 8.0 \text{ MPa};$	$p = 4.0 \text{ MPa};$
$p_R = 11.0 \text{ MPa};$	$p_o = 1.2 \text{ MPa};$
$H_i = 1120 \text{ m};$	$H_p = 950 \text{ m};$
$U = 6000 \text{ V};$	$J_o = 52 \text{ m}^3 / (\text{MPa} \cdot \text{d});$
$f_w = 80\%$	$t = 50^\circ \text{C};$
$Z = 0.86;$	$\text{GOR} = 65 \text{ m}^3 / \text{m}^3;$

A.2 设计步骤

A.2.1 根据式 (1) 计算泵吸入口压力下的溶解气油比:

$$R_{ab} = 0.1342\gamma_g \left[10p_b \times \frac{10^{0.0125(141.5/\gamma_o - 131.5)}}{10^{0.0009(1.8t - 32)}} \right] = 36.6 (\text{m}^3 / \text{m}^3)$$

由于泵吸入口压力远远低于饱和压力, 所以计算出的溶解气油比应进行校正。计算出泵吸入口压力与饱和压力的比值为:

$$p/p_b = 4.0/8.0 = 0.5 \geq 0.3$$

根据式 (3) 计算出校正系数:

$$f_c = 0.629p/p_b + 0.37 = 0.6845$$

所以:

$$R_{ap} = R_{ab}f_c = 25.1 (\text{m}^3 / \text{m}^3)$$

A.2.2 根据式 (4) 计算天然气体积系数:

$$B_g = 0.000378 \times \frac{Z(t+273)}{p} = 0.026$$

A.2.3 根据式 (5) 计算油层原油体积系数:

$$B_o = 0.972 + 0.000147[5.61R_{ap}(\gamma_g/\gamma_o)^{0.5} + 1.25(1.8t + 32)]^{1.175} = 1.078$$

A.2.4 根据式 (6) 计算泵吸入口气液比:

$$GLR = \frac{(1-f_w)(\text{GOR}-R_{ap})B_g}{(1-f_w)B_o + (1-f_w)(\text{GOR}-R_{ap})B_g} \times 100\% = 17.0\%$$

根据以上计算步骤, 分别取不同泵吸入口压力, 计算泵吸入口气液比 (见表 A.1)。

表 A.1 不同泵吸入口压力条件下的气液比

泵吸入口压力 p MPa	2.0	4.0	6.0	8.0
气液比 GLR %	32.5	17.0	10.5	6.0

画出泵吸入口气液比与泵吸入口压力的关系曲线 (见图 2)。

如果潜油电泵机组使用旋转式分离器，应取泵吸入口气液比 25%，从图 2 中可查出相对应的泵吸入口压力，该压力为潜油电泵抽油时的泵吸入口压力，即 $p = 2.65 \text{ MPa}$ 。

A. 2.5 计算油层中部流压：

$$p_{wf} = p + (H_z - H_p)\gamma_l/100 = 4.3(\text{MPa})$$

$$\gamma_l = f_w + (1 - f_w)\gamma_o = 0.972$$

式中：

γ_l ——井液平均密度， kg/m^3 ；

H_z ——油层中部深度， m 。

由于流压远远低于饱和压力，根据该井基本资料数据可知，该井在井底附近为油、气、水渗流，所以进行同井产能预测要应用油、气、水渗流时产能预测的有关公式。

A. 2.6 确定油井产能：

$$q_b = J_o(p_R - p_b) = 156(\text{m}^3/\text{d})$$

$$q_{mi} = q_b + J_o p_b / 1.8 = 387(\text{m}^3/\text{d})$$

$$q_{max} = q_{mi} + \frac{f_w(p_R - \frac{q_{mi}}{J_o})J_o}{9 - 8f_w} = 444(\text{m}^3/\text{d})$$

计算不同产量 ($0 \text{ m}^3/\text{d}$, $156 \text{ m}^3/\text{d}$, $210 \text{ m}^3/\text{d}$, $270 \text{ m}^3/\text{d}$, $330 \text{ m}^3/\text{d}$, $390 \text{ m}^3/\text{d}$, $444 \text{ m}^3/\text{d}$) 下的流压值 (见表 A. 2)。以产量 $390 \text{ m}^3/\text{d}$ 为例，已知产量为 $390 \text{ m}^3/\text{d}$ ，在 $q_{mi} < q < q_{max}$ 渗流段，

$$p_{wf} = f_w(p_R - q_{mi}/J_o) - (q - q_{mi}) \times (9 - 8f_w)/J_o = 2.7(\text{MPa})$$

表 A. 2 不同产量下的流压

产量 q , m^3/d	0	156	210	270	330	390	444
流动压力 p , MPa	11.0	8.0	6.95	5.73	4.43	2.7	0

根据计算结果，画出该井油、气、水渗流时的渗流特性曲线，并用计算的流压值从曲线上查出相应的产量值，该产量为新条件下的产量值，即 $q_1 = 335 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

A. 2.7 多级离心泵的选择。

油井总动压头 H 的计算：

$$H = H_p + p_o + F_i - p_m$$

$$= 950 + 1.2 \times 100/0.972 + 33/1000 \times 950 - 2.65 \times 100/0.972$$

$$= 823.3(\text{m})$$

根据计算结果和离心泵特性曲线，选用排量为 $320 \text{ m}^3/\text{d}$ 的泵比较合适，其单级扬程为 $4.1 \text{ m}/\text{级}$ ，泵效为 64%。

泵总级数 = $823.3/4.1 = 200.8$ 级 ≈ 201 级

选用 400 系列 N80 型泵，排量为 $320 \text{ m}^3/\text{d}$ ，需组装 201 级，扬程 823.3 m 。分离器选择旋转式分离器。

A. 2.8 潜油电机的选择：

$$N = QH_m \gamma_l / 8800 \eta = 46.8(\text{kW})$$

从潜油电泵使用说明书中提供的电机性能参数得知，选用 450 系列 52.2 kW 电机比较合适，其电压 1290 V ，电流为 43 A 。保护器选择胶囊式保护器。

A. 2.9 潜油电缆的选择：根据电机功率及电压和电流，耐压为 3000 V 的 4 号扁电缆为宜，其电缆压降损失为 $21 \text{ V}/304.8 \text{ m}$ ，总长度为 1000 m 。

所以：

$$\Delta U = 21\text{V}/304.8\text{m} \times 1000\text{m} = 70\text{V}$$

A. 2. 10 变压器的选择：

$$BYQ = \sqrt{3}I(U + \Delta U) \times 10^{-3} = 101.3(\text{kV} \cdot \text{A})$$

根据计算结果选用 SSQY 125 - 6/1.36 型变压器，变压器的容量为 $125\text{kV} \cdot \text{A}$ ，一次电压为 6000V，二次电压为 1360V/380V。

A. 2. 11 控制柜的选择：根据电机的额定电流及电压，选用电压为 1500V、电流为 90A 的控制柜。

由于此井已进入高含水开采期，其粘度对泵工作特性的影响很小，所以在本例中不进行粘度校正。

A. 2. 12 选泵结论：

- a) 泵：400 系列 N80 型泵，排量： $320\text{m}^3/\text{d}$ ；扬程：850m；级数：201 级；
 - b) 电机：450 系列电机，功率：52kW；电压：1290V；电流：43A；
 - c) 电缆：4 号扁电缆，耐压 3000V；长度：1000m；
 - d) 变压器：SSQY 125 - 6/1.36 型变压器，一次电压：6000V；二次电压：1360V/380V；容量： $125\text{kV} \cdot \text{A}$ ；
 - e) 控制柜：电压：1500V；电流 90A；
 - f) 分离器：旋转式分离器；
 - g) 保护器：胶囊式保护器。
-