



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17386—1998

---

## 潜油电泵装置的规格及选用

Recommended practice for sizing and selection of  
electric submersible pump installations

1998-05-18 发布

1999-02-01 实施

---

国家质量技术监督局 发布

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
潜油电泵装置的规格及选用  
GB/T 17386—1998

\*

中国标准出版社出版  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045  
电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 3¼ 字数 95 千字  
1999年1月第一版 1999年1月第一次印刷  
印数 1—1 000

\*

书号: 155066·1-15406 定价 23.00 元

\*

标 目 361—40

# 前言

本标准等效采用美国石油学会关于潜油电泵的推荐规范 API RP 11S4 标准,1993 年版。

本标准的制定是为了更好地规范我国潜油电泵采油的市场,使我国的潜油电泵油田用户尽快地与国际市场接轨,吸收先进技术,统一技术标准,以适应油田潜油电泵采油发展的需要。本标准介绍了有关潜油电泵装置的规格及选用,提出了为满足潜油电泵应用的建议等。

本标准在编写过程中,对 API RP 11S4 标准中的术语、单位等内容进行了修正,同时保持原图,增加了法定计量单位换算附录,适合我国情况又遵循国际通用的准则。本标准的格式、章节顺序与 API RP 11S4 标准基本保持一致。

本标准的附录 A 是提示的附录。

本标准由中国石油天然气总公司提出。

本标准由全国石油钻采设备和工具标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:全国石油天然气总公司大庆潜油电泵技术服务公司。

本标准主要起草人:杨元建、孟宪军、王维、潘滨、陈显进。

## API 前言

1. 权限:本推荐规范(RP)属于美国石油学会(API)采油设备标准化委员会的权限范围。

2. 目的:本文提出潜油电泵及其有关设备的尺寸确定与选择的推荐规范。

3. 政策:

(1) 美国石油学会推荐规范是为了广泛得到已经验证的良好的工程和操作上的做法而出版的。本推荐规范并不排除应在何时何地应用这些推荐做法的正确判断的必要性。

(2) API 推荐规范的制定与出版,不妨碍任何人使用别的规范。

(3) 在任何 API 推荐规范中,条文不存在以隐含或其他方式保证有什么权力去制造、销售或使用专利证书所包含的任何方法、器件或产品,也不保证对任何人侵犯专利证书负责。

(4) 本推荐规范可供任何同意本规范的人员使用,API 作了不懈的努力,以保证其中所含数据的准确性和可靠性。学会对任何推荐规范的出版不作代表、担保或保证,不承担由于使用它而造成的损坏或损失的责任;对任何违反联邦、州或市政的与 API 推荐做法有矛盾的规定,以及由于使用它而引起的专利权的侵犯,不承担任何责任。

## 目 次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 前言 .....                       | I  |
| API 前言 .....                   | I  |
| 1 总论 .....                     | 1  |
| 2 术语、数据和图表 .....               | 1  |
| 3 潜油电泵部件说明 .....               | 3  |
| 4 油井数据表 .....                  | 5  |
| 5 泵及系统的尺寸选择 .....              | 5  |
| 6 井的特殊问题 .....                 | 13 |
| 7 潜油电泵设备的其他问题 .....            | 13 |
| 附录 A(提示的附录) 曲线图使用计量单位换算表 ..... | 46 |

# 中华人民共和国国家标准

## 潜油电泵装置的规格及选用

GB/T 17386—1998

Recommended practice for sizing and selection of  
electric submersible pump installations

### 1 总论

#### 1.1 引言

本标准是考虑了潜油电泵及有关设备的准则、规则和建议的需要而提出的,主要包含了潜油电泵成功操作所必要的经验,至于安装问题请见 API RP 11R“潜油电泵装置推荐规范”。

#### 1.2 范围

1.2.1 本标准规定了在各种井况条件下选择潜油电泵装置的规格及选用的基本步骤。

1.2.2 本标准专门用于油和(或)水生产井中的装置,其设备是安装在油管底部。

### 2 术语、数据和图表

#### 2.1 术语的定义

2.1.1  $VD$ ——泵吸入口处的垂直泵挂深度, m

从地面量起泵的实际垂直安装深度。

2.1.2  $MD$ ——实测泵挂深度(实测泵吸入口处安装深度), m

沿井身测量泵的实际安装深度,理论上,在不偏斜的井中  $MD=VD$ 。

2.1.3  $FOP$ ——沉没度(泵上液柱), m

计算值:

$$FOP = 102 \times PIP / \gamma$$

式中:  $PIP$ ——泵吸入口压力, MPa;

102——换算常数, MPa/m;

$\gamma$ ——泵入口流体相对密度。

注意:  $FOP$  是从声波液面( $FL$ )计算的,式中  $FOP=VD-FL$ ,可能因为环形空间的实际流体梯度(MPa/m)而有误差。此液面( $FOP$ )可能给不出一个等量的泵入口压力。

2.1.4  $H_D$ ——垂直举升高度, m

垂向泵挂深度( $VD$ )减泵的沉没度( $FOP$ ),即:

$$H_D = VD - FOP$$

2.1.5  $H_F$ ——油管摩擦损失, m

压头损失用  $m$  表示,系因液流通过油管而产生,它是流体速度及粘度的函数。

2.1.6  $H_T$ ——油管压头, m

以井口的油管压力换算而成的压头,用  $m$  表示。

$$H_T = 102 \times H'_T / \gamma$$

式中:  $H'_T$ ——油管压力, MPa。

2.1.7  $TDH$ ——总动压头, m

国家质量技术监督局 1998-05-18 批准

1999-02-01 实施

泵排出时所对应的压头,用  $m$  表示。

$$TDH = H_D + H_F + H_T$$

式中:  $H_D$ ——垂直举升高度,  $m$ ;

$H_F$ ——油管摩擦损失,  $m$ ;

$H_T$ ——油管压头,  $m$ 。

#### 2.1.8 $\gamma$ ——相对密度

指油、水及溶解气体或任何混合物在泵吸入口处的相对密度。

#### 2.1.9 $V_{isc}$ ——粘度, $mPa \cdot s$

#### 2.1.10 $BHT$ ——井底温度, $^{\circ}C$

#### 2.1.11 $GOR$ ——气油比, $m^3/m^3$

#### 2.1.12 $STBO$ ——储油罐体积, $m^3$

#### 2.1.13 $CUT$ ——含水率, $\%$

#### 2.1.14 $PVF$ ——泵容积系数

#### 2.1.15 $GLR$ ——气液比, $m^3/m^3$

#### 2.1.16 变压器额定容量

$$B = 1.732 \times (U + \Delta U) \times I / 1\,000$$

式中:  $B$ ——变压器额定容量,  $kVA$ ;

$U$ ——电机额定电压,  $V$ ;

$I$ ——电机额定电流,  $A$ ;

$\Delta U$ ——电缆压降损失,  $V$ 。

#### 2.1.17 $R_{sb}^{[1]}$ , $m^3/m^3$

在达到饱和压力下溶解气体的体积

$$R_{sb}^{[1]} = 0.134\,2 \times \gamma_g \times [10 \times P_b \times (10^{0.012\,5 \times (141.5/\gamma_0 - 131.5)} / 10^{0.000\,91 \times (1.8t + 32)})]^{1.204}$$

式中:  $\gamma_g$ ——气体相对密度;

$P_b$ ——饱和压力,  $MPa$ ;

$\gamma_0$ ——原油的相对密度;

$t$ ——流体温度,  $^{\circ}C$ 。

#### 2.1.18 $R_s$ ——校正溶解气油比, $m^3/m^3$

在泵入口压力( $PIP$ )下的溶解气油比。

#### 2.1.19 $B_0$ ——地层体积系数,以确定储油罐体积在地层中所占体积。可以计算:

$$B_0 = 0.972 + 0.000\,147 \times Q^{1.175}$$

式中:  $B_0$ ——地层体积系数,  $m^3/m^3$ ;

$$Q = 5.61 \times R_s \times (\gamma_g/\gamma_0)^{0.5} + 1.25 \times (1.8t + 32)$$

$\gamma_0$ ——原油相对密度。

#### 2.1.20 $B_g$ ——天然气体积系数,用来决定在地层中自由气体所占体积

$$B_g = 0.000\,378 \times Z \times (t + 273)/PIP$$

式中:  $B_g$ ——天然气体积系数,  $m^3/m^3$ ;

$Z$ ——气体压缩系数。

#### 2.1.21 $V_o$ ——在泵入口压力下油的体积, $m^3$

采用说明:

- 1) 原美国石油学会 API RP 11S4 推荐规范中 2.1.17 与 2.1.18 同时使用  $R_s$ , 根据术语定义将 2.1.17 的  $R_s$  改为  $R_{sb}$ 。

2.1.22  $V_g$ ——在泵入口压力下气的体积,  $m^3$

2.1.23  $V_w$ ——在泵入口压力下水的体积,  $m^3$

2.1.24  $V_t$ ——在泵入口压力下混合液总体积( $V_o + V_g + V_w$ ),  $m^3$

2.1.25  $V_g/V_t$ ——气体体积与总体积之比

## 2.2 数据与图表

### 2.2.1 泵特性曲线(图 1)

表示压头、制动功率及效率与排量的函数关系,通常均指单级各型泵。有些曲线可以是 100 级的。

a) 以淡水为介质(相对密度=1.0)。

b) 给出泵推荐排量范围。

c) 适用于 50 Hz 与 60 Hz 电机。

### 2.2.2 API 管中的液流摩擦损失(图 2)

a) 表示流体摩擦损失与油管尺寸及排量的函数关系。

b) 所示曲线用于水及管子粗糙度  $C=120$ 。如用粘性液体,则需做适当的校正(见 2.2.3)。

注:用  $C=120$  的管子是因为可得到其数据,它对非粘性流体具有通用性。

### 2.2.3 油管摩擦损失及粘度校正曲线图(图 3~图 10)

a) 如泵送液体粘度大于  $10 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,建议考虑粘度校正。

b) 图 3 为无气原油的原油重度和粘度的转换曲线。

c) 图 4 为在泵吸入压力下,由原油的重度确定气体溶解度的曲线。

d) 图 5 为利用溶液中的气体确定校正后的原油粘度的曲线。

e) 图 6 为粘度的换算曲线。

f) 图 7 为考虑到含水率及乳化类型,提供了粘度校正系数。在水为主要物相时,水使管壁湿润,而粘度将主要取决于水的性质。

g) 图 8、图 9 和图 10 给出了在各种尺寸油管中的流体摩擦、流体流速和流体粘度而产生的粘性流动压头损失(管子粗糙度  $C=130$ )。

注:用粗糙度  $C=130$  的管子是因为可得到其数据,与  $C=120$  的差别不大。

### 2.2.4 泵特性校正表(表 1)

a) 当泵送液体粘度大于  $10 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  时,应考虑粘度校正,以校正泵特性。

b) 表 1 所示数据仅作为一般指南,因为这些数据可能会因泵的不同设计和不同尺寸而变化。设备生产厂家应考虑合适的校正系数。

### 2.2.5 电缆电压损失曲线(图 11)

此曲线绘出各种规格的电缆在  $20^\circ\text{C}$  时,每 305 m 的电缆压降损失。对于在井的工作温度下的附加电缆压降损失必须用校正系数确定。

### 2.2.6 井温与电流关系曲线图(图 12~图 15)

这些图用于根据井底温度及电缆电流来确定绝缘温度。

### 2.2.7 泵的容积系数(图 16~图 17)

a) 这些图可以计算在饱和压力下的泵的容积系数(PVF),已知在泵入口压力(PIP)下溶解气体量(图 4)、气体相对密度、原油相对密度及井底温度即可。

b) 这些图假设所有自由气体均通过套管环形空间。

### 2.2.8 电机环空流体速度(图 18)

此图可确定各种尺寸的套管内电机周围的流体速度。

## 3 潜油电泵部件说明

### 3.1 地下设备(图 19)

### 3.1.1 电机

a) 电机是泵转动的驱动力(原动机),电机为二极、三相、鼠笼感应式,在 60 Hz 频率时它有相对恒定的转速 3 500 r/min<sup>1)</sup>。

b) 电机中充填高级精制矿物油或合成油,这些油必须具有绝缘性、轴承润滑及良好的导热性能。电机壳体中的绝缘油使电机轴承润滑并把电机中产生的热传给电机壳体。

c) 流经电机外表面的液体把电机壳体的热散播出去,所以电机一定不要放在低于液流进入点,除非采用了某种使液体从电机旁边流过的措施。一般经验认为保持最低流速为 0.305 m/s 即可保证适当的电机冷却。

d) 串联电机是几个单个电机在电路上和机械上串接在一起,可提供较大动力。

e) 电机配有止推轴承,应适合制造厂设计的单向旋转。

### 3.1.2 保护器

保护器一般有下列五种功能:

a) 连接电机传动轴与泵轴,并连接泵壳体与电机壳体。

b) 装有止推轴承,承受泵的轴向推力。

c) 防止井液进入电机。

d) 平衡电机内部压力与井内压力,以消除轴密封两侧的压差。

e) 补偿由于运转或停机时电机发热或冷却所造成的油膨胀和收缩。

### 3.1.3 油气分离器或吸入口

吸入部分起着向泵供给井液的吸入管汇的作用。根据井的条件,它可以是一段简单的管节,有吸入口,或者是一个油气分离器。油气分离器有助于防止气塞,并可使气侵井提高产液量。

### 3.1.4 泵

a) 潜油电泵为多级离心泵,每一级包括一个导轮和一个叶轮。泵级的型式及尺寸决定了液体的流量。级数决定总压头,级数乘以每级功率和相对密度时,可以确定所需的电机功率。

b) 各泵均有较宽的排量范围。

c) 串联泵为二个或多个单级泵按机械和水利学原理串联在一起,以提供使用上所需的总排出压头。

### 3.1.5 电机头引接电缆

电机头引接电缆是一种特制的小扁电缆,从电机头部到泵上端与动力电缆相连。使用小扁电缆是因为在泵体与井中套管之间的间隙有限。

### 3.1.6 小扁电缆护罩

电缆护罩可给小扁电缆提供机械保护。

### 3.1.7 动力电缆

动力电缆是一种特制三芯电缆,它从泵顶部连接到井口,用电缆卡子系在油管上。电缆在导线尺寸、绝缘型式及结构方面均有一定的选择范围,以适应井下条件及温度要求。电力费用及电缆成本等主要经济问题必须予以估算。

### 3.1.8 单流阀及泄油阀

a) 如果安装一个单流阀,它至少应在泵上方 6 至 8 个接箍上,以允许起动时从泵中排出气体。

b) 如果安装一个单流阀,则必须安装泄油阀,它应在单流阀上方的接箍上。

c) 对于大功率的潜油电泵(186.5 kW 以上),不论其下泵深度以及对于低排量(小于 95.4 m<sup>3</sup>/d)而得深(静液面低于 2 135 m)的泵,均建议起动之前将油管充满液体。这意味着这些装置必须配备油管

采用说明:

1) 在 50 Hz 频率时它有相对恒定的转速 2 900 r/min。

单流阀及泄油阀。

### 3.1.9 电缆卡子

- a) 电缆卡子用来将小扁电缆及动力电缆分别固定在泵及油管上。
- b) 卡子材料可以是碳钢、不锈钢和镍铜合金。
- c) 卡子长度 0.56~1.07 m, 或者用连续的绑扎材料。

### 3.2 地面设备(图 20)

#### 3.2.1 井口装置

- a) 井口装置提供油管支座并允许动力电缆从地面进入井中。
- b) 必须提供井口密封馈电系统, 它通过专用结构实现密封并保证电缆周围可靠绝缘。
- c) 井口装置及电缆密封方法可以有各种额定压力和悬挂载荷, 在作选择时必须考虑这一点, 还要考虑地方安全法规或其他要求。
- d) 所有受到泵压的阀, 其额定压力必须等于或高于泵的排出口压力。

#### 3.2.2 接线盒

接线盒提供从控制柜来的地面电缆与从井中来的动力电缆的连接点, 使油井中随电缆而来的气体排入大气。

#### 3.2.3 地面电缆

连接接线盒与控制柜以及控制柜与变压器次级侧。

#### 3.2.4 控制柜

- a) 控制柜是电机启动器、过载和欠载保护器及记录仪表的组合物, 还应包括电涌保护器(避雷器)。
- b) 控制柜可有各种额定电压及电流值, 有附加的控制设备, 均依需要而定。

#### 3.2.5 变压器

- a) 变压器的目的是提供正确的地面电压以保证电机正常的运转。可以从高压降到低压(降压变压器)或从低压升到高压(升压变压器)。
- b) 变压器的选择以额定容量、初级电压和抽头安排为依据。

## 4 油井数据表

4.1 对于给定的应用条件, 合理选择一特定泵型及尺寸大小是很重要的, 需要详细的完井资料、油层数据及生产数据和井史。

### 4.1.1 所需数据

- a) 油井数据表(表 2)提供了一个收集必要数据的格式。
- b) 此格式必须尽可能填好, 保证所提供的全部数据是准确的, 因为这些数据将用于决定泵选择与尺寸大小。
- c) 数据行中有“\*”号者表示该数据必须提供, 以便选泵及确定尺寸。

## 5 泵及系统的尺寸选择

### 5.1 例题 1——水和油的生产, 无气

例题说明: (定义项)实际值/(参考号数)

5.1.1 下列所示数据表提供了例题 1 所需的数据资料:

- a) 表 3——潜油电泵油井数据表;
- b) 图 21——泵特性曲线;
- c) 表 4——泵技术规格;
- d) 表 5——电机技术规格;
- e) 表 6——保护器技术规格;

- f) 表 7——控制柜及附件技术规格;
- g) 表 8——变压器技术规格;
- h) 表 9——油管头技术规格;
- i) 表 10——电缆技术规格;
- j) 表 11——设备及电缆尺寸规格;
- k) 表 12——小扁电缆及地面电缆技术规格;
- l) 图 22——井下设备及偏心油管头结构图。

### 5.1.2 除非专门指定,用于计算尺寸大小的数据均来自油井数据表(表 3)。

#### a) 井液相对密度

$$1) \text{〔含水量〕} 0.8 \times \text{〔水相对密度〕} 1.060 = \frac{0.848}{(1)} \text{〔水相相对密度〕}。$$

$$2) \text{〔含油量〕} 0.20 \times \text{〔油相对密度〕} 0.840 = \frac{0.168}{(2)} \text{〔油相相对密度〕}。$$

$$3) \text{〔水相〕} \frac{0.848}{(1)} + \text{〔油相〕} \frac{0.168}{(2)} = \frac{1.016}{(3)} \text{〔井液相对密度〕}。$$

#### b) 井液合成梯度

$$\text{〔井液相对密度〕} \frac{1.016}{(3)} \times \text{〔淡水压力梯度〕} 0.009\ 8 \text{ MPa/m} = \frac{0.009\ 96}{(4)} \text{ MPa/m}。$$

#### c) 沉没度 FOP

$$\text{〔泵吸入口压力〕} 3.45 \text{ MPa} \div \text{〔井液合成梯度〕} \frac{0.009\ 96}{(4)} \text{ MPa/m} = \frac{346.4 \text{ m}}{(5)}。$$

#### d) 垂直举升高度 $H_D$

$$\text{〔垂直泵挂深度 VD〕} 2\ 745 \text{ m} - \text{〔沉没度 FOP〕} \frac{346.4 \text{ m}}{(5)} = \frac{2\ 398.6 \text{ m}}{(6)} \text{〔垂直举升高度〕}。$$

#### e) 油管摩擦损失 $H_F$ (图 2)

$$1) \text{〔总产量〕} 175 \text{ m}^3/\text{d} \text{ 在〔油管公称规格〕} 60.3 \text{ mm} = \frac{10 \text{ m}/305 \text{ m}}{(7)} \text{〔每 305 m 摩擦损失〕}。$$

$$2) \text{〔每 305 m 摩擦损失〕} \frac{10 \text{ m}/305 \text{ m}}{(7)} \times \text{〔油管长度〕} 2\ 745 \text{ m} = \frac{90.6 \text{ m}}{(8)} \text{〔油管摩擦损失〕}。$$

#### f) 油管压头 $H_T$

$$\text{〔油管压力〕} 0.69 \text{ MPa} \div \text{〔井液合成梯度〕} \frac{0.009\ 96}{(4)} = \frac{69.2 \text{ m}}{(9)} \text{〔油管压头 } H_T \text{〕}。$$

#### g) 泵总动压头 TDH

$$\begin{aligned} & \text{〔垂直举升高度 } H_D \text{〕} \frac{2\ 398.6 \text{ m}}{(6)} + \text{〔油管摩擦损失 } H_F \text{〕} \frac{90.6 \text{ m}}{(8)} + \text{〔油管压头 } H_T \text{〕} \frac{69.2 \text{ m}}{(9)} = \\ & \frac{2\ 558.4 \text{ m}}{(10)} \text{〔总动压头 TDH〕}。 \end{aligned}$$

#### h) 现针对 139.7 mm 套管 175 m<sup>3</sup>/d 产量选泵:

查扬程—排量特性曲线,选 A 型泵(图 21),它表示出在所需排量(175 m<sup>3</sup>/d)时,有最高效率(66%)。

#### i) 确定每级扬程(压头)

1) 参阅图 21,从排量读数 175 m<sup>3</sup>/d 垂直线向上到扬程—排量曲线交点。

2) 从交点水平向左得压头(每级 m) =  $\frac{8.85 \text{ m}}{(11)}$ 。

#### j) 确定每级所需功率

1) 参阅图 21,从排量读数 175 m<sup>3</sup>/d 垂直线向上到制动功率曲线交点。

2) 从交点水平向右读每级制动功率为 0.26 kW。虽然在 175 m<sup>3</sup>/d 可以用这个需要的每级功

率(0.26 kW/级),但更常用的是每级最大功率系数。对 A 型泵而言  $= \frac{0.28 \text{ kW/级}}{(12)}$ 。

注意:有些特性曲线是单级的,有些则是 100 级的。有油气分离器则多耗功率,在选择电机时应予以考虑。

#### k) 所需泵级数

$$1) \text{〔总动压头(TDH)〕} \frac{2\,558.4 \text{ m}}{(10)} \div \text{〔每级压头〕} \frac{8.85 \text{ m/级}}{(11)} = \frac{289 \text{ 级}}{(13)}。$$

2) 参阅表 4 泵的技术规格,找到标准泵体内最接近的级数。A 型泵为  $\frac{288}{(14)}$  级可选中。其泵体号为 17 T,长 8.9 m,重 388 kg。

#### l) 所需电机功率

$$1) \text{〔泵级数〕} \frac{288}{(14)} \times \text{〔每级功率〕} \frac{0.28 \text{ kW/级}}{(12)} \times \text{〔水相对密度〕} 1.06 = \frac{86.5 \text{ kW}}{(15)}。$$

2) 查保护器的技术规格(表 6),确定保护器所需功率 1.86 kW。

3) 将制动功率、保护器功率和油气分离器功率(如果有的话)加起来,以确定所需功率:

$$86.5 + 1.86 + 0 = \frac{88.4 \text{ kW}}{(15)}。$$

4) 参阅电机额定技术规格(表 5),最接近的电机规格是  $\frac{89.5 \text{ kW}}{(16)}$ ,它有 9.00 m 长,重 643.5 kg。

5) 检查液流速度是否足以冷却电机(图 18)。本例是一个 114.3 mm 外径的电机,在 139.7 mm 套管中,流量在 175 m<sup>3</sup>/d 时,流速高于最低推荐流速 0.305 m/s。

6) 有两种电机可供选择:

——1 150 V, 67 A;

—— $\frac{2\,280 \text{ V}}{(17)}, \frac{34 \text{ A}}{(18)}。$

一般来讲,电压高电流低的电机,在大多数装置中是较好的选择,因为它降低动力电缆损耗。电机电压的选择受许多因素的影响,包括井深、套管尺寸、功率大小、所需电缆大小、设备开始投资及操作费用。还有,动力分配电压也是一个因素。

#### m) 保护器

参阅表 6,1 型保护器用于 139.7 mm 套管用单电机配用,它有 114.3 mm 长,重 49.9 kg。

#### n) 大扁电缆长度

1) 大扁电缆长度是实测泵挂深度(MD)加 30.5 m。

2) 对于本例

〔实测深度 MD〕2 745 m + 30.5 m = 2 775.5 m〔大扁电缆长度〕。

#### o) 大扁电缆尺寸规格选择

1) 利用电机铭牌电压(2 280 V),计算推荐的电缆电压降:

$$\frac{2\,280 \text{ V}}{(17)} \times \text{〔降压系数〕} 0.05 = \frac{114 \text{ V}}{(19)} \text{〔电缆电压降〕}。$$

2) 现决定每 305 m 电压降

$$\text{〔电缆电压降〕} \frac{114 \text{ V}}{(19)} \div \text{〔电缆长度〕} 2\,775.5 \text{ m} / 305 \text{ m} = \frac{12.5 \text{ V}/305 \text{ m}}{(20)} \text{〔推荐电缆电压降}/305 \text{ m〕}。$$

3) 参阅图 11(压降曲线图),按工作时的井底温度(87.8℃),找出导线电压降校正系数 =

$$\frac{1.267}{(12)}。$$

4) 现在相除

$$[\text{推荐电缆电压降}/305\text{ m}]\frac{12.5\text{ V}}{(20)}\div[\text{电压降校正系数}]\frac{1.267}{(21)}=\frac{9.9\text{ V}/305\text{ m}}{(22)}。$$

现在从图 11 中左手读数 9.9 V/305 m, 水平向右读电机电流值 (34 A), 在此点或低于此点选电缆尺寸规格。对于 9.9 V/305 m 和 34 A 可选  $\frac{2^{\#}\text{铜电缆}}{(23)}$ , 它的实际电压降为 9 V/305 m。

#### 5) 校核电机能否起动

——确定工作时实际的电机电压降

$$9.0\text{ V}/305\text{ m}\times 2\,775.5\text{ m}\times 1.267[\text{电缆温度因数}]=104\text{ V}[\text{操作时电压降}]。$$

——确定起动电压降(系数 4.0 考虑了主要系统电压降及其他系统损失)

$$104\text{ V}\times 4.0[\text{起动电压降系数}]=416\text{ V}[\text{起动电压降}]。$$

——确定电机终端起动电压

$$2\,280\text{ V}-416\text{ V}=1\,864\text{ V}[\text{电机终端起动电压}]。$$

——计算电机起动电压占电机铭牌电压的百分数

$$(1\,864\text{ V}/2\,280\text{ V})\times 100=81.8\%。$$

因为此数大于电机铭牌电压的 50%, 电机起动应无问题。这最小 50% 的要求和 4.0 这个起动电压降系数是由工作经验确定的。有些试验指出起动电流高于 4.0, 应与制造厂联系寻求解决方法。

其他限制方法如 30 V/305 m 可用于确定动力电缆中的电压损失。允许的电压降值必须考虑电机的起动能力。

#### p) 动力电缆间隙

1) 动力电缆尺寸规格选定后  $\frac{(2^{\#}\text{铜电缆})}{(23)}$ , 必须保证在井中的动力电缆及设备有足够的间隙。

2) 下列动力电缆间隙计算是假设泵上用了偏心排出油管头。所以井的直径(套管内径)必须大于下列各值中的最大者:

$$\begin{aligned} & A+B \\ & (E/2-D)+A/2+B \\ & (C/2-D)+A/2+B \\ & C/2+E/2+F+G \\ & H/2+E/2+F+G \end{aligned}$$

式中: A——油管接箍直径;

B——动力电缆直径;

C——泵直径\*;

D——泵的中心线/排出油管头的中心偏移尺寸;

E——电机直径\*;

F——电机头引接电缆厚度;

G——卡子厚度;

H——保护器外径。

注: \* 必须包括特殊外皮厚度, 如果有的话。

因此, 对于本题:

$$A=77.8\text{ mm}(60.3\text{ mm 外加厚接箍外径});$$

$$B=33.528\text{ mm}(\text{表 } 11);$$

$$C=101.600\text{ mm}(\text{表 } 11);$$

$$D=5.588\text{ mm}(\text{图 } 22);$$

$$E=114.300\text{ mm}(\text{表 } 11);$$

$$F=11.430\text{ mm}(\text{表 } 12);$$

$G=0.762\text{ mm}$ ;

$H=101.600\text{ mm}$ (表 11)。

然后作计算:

$$A+B=77.8+33.528=\frac{111.328\text{ mm}}{(24)};$$

$$(E/2-D)+A/2+B=114.3/2-5.588+77.8/2+33.528=\frac{124.003\text{ mm}}{(25)};$$

$$(C/2-D)+A/2+B=101.6/2-5.588+77.8/2+33.528=\frac{117.653\text{ mm}}{(26)};$$

$$C/2+E/2+F+G=101.6/2+114.3/2+11.43+0.762=120.142\text{ mm};$$

$$H/2+E/2+F+G=101.6/2+114.3/2+11.43+0.762=120.142\text{ mm}.$$

所以,最大为 124.003 mm。

然后与套管内径比较得间隙:

套管内径 124.257 mm;

$$\text{设备“直径”}=\frac{-124.003/0.254}{(27)}.$$

所以此设备及动力电缆可以通过套管,但是必须特别小心,因为间隙太小。

注:表 11 有最大电缆及设备尺寸配合表。

#### q) 动力电缆绝缘

1) 动力电缆的绝缘是按泵安装位置的井眼温度、电机电流及井眼环境来选择的。利用图 13 (No. 2 动力电缆),从左侧读数井眼温度(87.8℃)、水平线与电机电流(34 A)交点。此点给出导线温度为 93.3℃。

2) 因导线温度为 93.3℃,可从电缆供应资料中选择合适的电缆。

#### r) 小扁电缆

1) 小扁电缆尺寸及电机终端套管尺寸是由可能的环形空间尺寸决定的。可选择井眼间隙允许的最大尺寸。

2) 其次,选用适合于井眼条件的铠装型式。可用的材料包括镀锌钢带、磷青铜及镍铜合金(蒙乃尔合金)。因为此井无腐蚀问题,将选用磷青铜铠装。

3) 小扁电缆长度需要超过泵排出头至少 1.525 m。计算如下:

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| ——泵长度 .....    | 8.906 m         |
| ——保护器 .....    | 1.373 m         |
| ——泵以上长度 .....  | 1.525 m         |
| ——附加设备 .....   | 1.525 m         |
| ——小扁电缆长度 ..... | <u>13.328 m</u> |
|                | (29)            |

参阅表 12,一个 18.30 m 长的小扁电缆可供采用,选中用于此装置。

4) 同时应选择一小扁电缆护罩。

#### s) 电缆卡子

1) 用户要求不锈钢卡子,故予以提供。

2) 需要 25 个 0.762 m 卡子供电机头引接电缆固定用。

3) 每个油管接箍需要两个 0.559 m 电缆卡子,或:

$$2\,745\text{ m}/9.15\text{ m}/\text{接箍}\times 2\text{ 个卡子}/\text{接箍}=\frac{600}{(30)}\text{ 个卡子}.$$

#### t) 井口装置

1) 选择一个足以能承担油管、设备及液体质量的井口装置。

|                     |                                                                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ——电机 .....          | = 648.65 kg                                                                                                          |
| ——保护器 .....         | = 49.90 kg                                                                                                           |
| ——泵 .....           | = 391.46 kg                                                                                                          |
| ——油管 .....          | $6.99 \text{ kg/m} \times 2\,745 \text{ m} = 19\,187.6 \text{ kg}$                                                   |
| ——大扁电缆 .....        | $2.41 \text{ kg/m} \times 2\,745 \text{ m} = 6\,613.5 \text{ kg}$                                                    |
| ——小扁电缆 .....        | $2.53 \text{ kg/m} \times 12.20 \text{ m} = 31.75 \text{ kg}$                                                        |
| ——电缆卡子 .....        | $6.8 \text{ kg}/100 \times 600 = 40.82 \text{ kg}$                                                                   |
| ——液体 ...            | $1.060 \times 999.5 \text{ kg/m}^3 \times 0.002 \text{ m}^3/\text{m} \times 2\,745 \text{ m} = 5\,869.58 \text{ kg}$ |
| ——作用于油管头上的总质量 ..... | $= \frac{32\,832.93 \text{ kg}}{(31)}$                                                                               |

2) 以此总质量为基础并参阅表 9, 可选 B 型油管头, 供外径为 139.7 mm 的套管及 60.3 mm 油管用, 并配有 No. 2 圆电缆密封隔离装置。

3)  $288 \text{ 级} \times 8.845 \text{ m/级} \times 0.009\,96 = 25.46 \text{ MPa}$ , 所以油管上的全部阀及管件的额定压力必须高于 25.46 MPa。

#### u) 控制柜与接线盒

##### 1) 计算地面“无负荷”电压

|                     |                                   |
|---------------------|-----------------------------------|
| ——电机铭牌电压 .....      | $= \frac{2\,280 \text{ V}}{(17)}$ |
| ——电缆电压降 .....       | $= \frac{+104 \text{ V}}{(19)}$   |
| ——地面满负荷电压 .....     | $= \frac{2\,384 \text{ V}}{(32)}$ |
| ——变压器降压因数(3%) ..... | = 1.03                            |
| ——地面“无负荷”电压 .....   | $= \frac{2\,456 \text{ V}}{(33)}$ |

2) 参阅表 7, 控制柜应选择合适的电压及电流额定值, 与系统的电压及电流相适应(2 456 V, 34 A)。所以, 选用了型号为 D3 的控制柜(MCP)。各种控制方案均可实现。如能用避雷器应予以说明。

3) 应为本装置确定接线盒。

#### v) 变压器

##### 1) 变压器的容量额定值为:

$$[\text{地面满负荷电压}] \frac{2\,384 \text{ V}}{(32)} \times [\text{电机电流值}] \frac{34 \text{ A}}{(18)} \times 1.732/1\,000 = \frac{140 \text{ kVA}}{(34)}。$$

##### 2) 对于 3 个单相变压器:

$$\frac{140 \text{ kVA}}{(34)} \div [\text{变压器数}] 3 = \frac{47 \text{ kVA}}{(35)}。$$

所以, 使用三个 50 kVA 变压器, 参阅表 8, 对于单相变压器应选初级电压 14 400/24 940 的 50 kVA。如注解所述, 附加的次级电压可由次级用 Y 形连接获得。系统电压 2 400 V, 就是这样得到的。

## 5.2 例题——水和油的生产, 有气

### 5.2.1 下列示例表格提供了例题 2 所需的数据资料:

表 13——潜油电泵油井数据表。

### 5.2.2 除非另有规定, 在尺寸规格计算中的数据均来自油井数据表(表 13)。

a) 从图 16 确定气体溶解度( $R_s$ ): 在泵入口压力( $PIP$ )为 3.45 MPa 时  $R_s = 14.77 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

b) 查图 17, 从  $14.77 \text{ m}^3/\text{m}^3$  开始( $R_s$  在  $PIP$  为 3.45 MPa), 确定地层容积系数( $B_0$ ) =  $1.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

c) 确定地层气体容积系数  $B_g$ , 在 3.45 MPa 时, 如下:

$$\begin{aligned} B_g &= 0.000\,378 \times Z \times (t + 273)/P \\ &= 0.000\,378 \times 0.85 \times (87.8 + 273)/3.45 \end{aligned}$$

$$= 0.0336 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

此处用气体压缩因数( $Z$ )=0.85(注意:随气体相对密度、压力及温度之不同, $Z$ 不同, $Z=0.85$ 为平均值)。

d) 确定是否需要油气分离器,即如在泵入口压力( $PIP$ )下自由气体的体积超过10%时,则用:

1) 在泡点( $BP$ )压力下溶解气体总量=油量( $\text{m}^3/\text{d}$ ) $\times R_s(BP)=35 \times 70.9=2481.5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2) 在泵入口压力( $PIP$ )下仍然溶解的气体总量= $R_s(PIP) \times$ 油量( $\text{m}^3/\text{d}$ ) $=35 \times 14.8=518 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

3) 释放气体或自由气体 $=2481.5-518=1963.5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4) 油体积 $V_o$ 在 $PIP$ (泵入口压力)下每天油体积 $V_o \times B_o=35 \times 1.1=38.5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

气体体积=自由气体 $\times B_g=1963.5 \times 0.0336=65.97 \text{ m}^3/\text{d}$ ;

水的体积= $V_w$ =给定 $=140 \text{ m}^3/\text{d}$ ;

总体积 $V_t=244.47 \text{ m}^3/\text{d}$ ;

$V_g/V_t=65.97 \times 100/244.47=26.98\%$  ( $26.98\% > 10\%$ );

(所以需要需要一个合适的油气分离器)。

e) 假定油气分离器为90%有效,而10%的气体未被分离,或 $V_g=10\%$ ,所以有 $0.1 \times 65.97=6.597 \text{ m}^3/\text{d}$ 进入泵中。

f) 所以总的混合液量( $\text{m}^3/\text{d}$ )进入泵中为:

$$V_o=38.500 \text{ m}^3/\text{d};$$

$$V_g=6.597 \text{ m}^3/\text{d};$$

$$V_w=140.000 \text{ m}^3/\text{d};$$

$$V_t=185.097 \text{ m}^3/\text{d}。$$

g) 进入泵的自由气体量占总液量的百分数为:

$$V_g/V_t=6.597 \times 100/185.097=3.56\%。$$

当体积占液体体积3.56%的气体被泵吸入后,它对于井液合成相对密度没有显著的影响。

h) 既然通过泵生产的混合物的总体积已经知道,则设备选择方法同5.1.2节中的例题1相同。

### 5.3 例题3——水和粘油生产

#### 5.3.1 下列表提供了例题3所需的数据资料:

表14——潜油电泵油井数据表。

#### 5.3.2 除非另行规定,在尺寸规格计算中所用的数据均来自油井数据表(表14)。

a) 用图3,找出相对密度0.966的原油在60℃时的无气原油粘度为150  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

b) 用图4,找出在2.07 MPa( $PIP$ )时溶解气体为8.9  $\text{m}^3/\text{m}^3$ 。

c) 用图5,找出当气体在150  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 溶解为8.9  $\text{m}^3/\text{m}^3$ 时,含饱和气体的原油粘度为70  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

d) 井液合成相对密度

$$1) [\text{含水}]0.20 \times [\text{水相对密度}]1.060 = \frac{0.212}{(1)} [\text{水相相对密度}];$$

$$2) [\text{含油}]0.80 \times [\text{油相对密度}]0.966 = \frac{0.773}{(2)} [\text{油相相对密度}];$$

$$3) [\text{水相相对密度}] \frac{0.212}{(1)} + [\text{油相相对密度}] \frac{0.773}{(2)} = 0.985 [\text{井液合成相对密度}]。$$

注:井液合成不包括自由气的体积。

e) 从图6可以看出,当平均相对密度0.985时,粘度为70  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ (350 SSU)。

f) 从图7中,对于含水20%时,校正系数读数为2.0。

g) 20%的含水率增加实际粘度,乘系数2.0,校正粘度为140  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ (700 SSU)。

h) 参阅表1各校正系数。因该装置在外径139.7 mm的套管中,对所需体积假定泵效率为60%。

1) 排量系数( $Q_{vis}$ )=0.805;

2) 压头系数( $H_{vis}$ )=0.825;

3) 功率系数( $bhp_{vis}$ )=1.30。

粘度对泵的影响现已确定,现在可以开始泵尺寸的确定,在需要的场合使用校正系数。

i) 井液合成梯度

$$[\text{井液相对密度}] \frac{0.985}{(3)} \times [\text{淡水压力梯度}] 0.009\,99 = \frac{0.009\,84\text{ MPa/m}}{(4)} [\text{井液合成梯度}].$$

j) 沉没度(FOP)

$$[\text{泵入口压力}] 2.1\text{ MPa} \div [\text{校正的井液合成梯度}] \frac{0.009\,84\text{ MPa/m}}{(4)} = \frac{214.4\text{ m}}{(5)} [\text{FOP}].$$

k) 垂向举升  $H_D$

$$[\text{垂直泵挂深度 VD}] 1\,586\text{ m} - [\text{泵沉没度}] \frac{214.4\text{ m}}{(5)} = \frac{1\,371.6\text{ m}}{(6)} [\text{垂直举升 } H_D].$$

l) 垂直举升的粘度校正  $H_{D_{vis}}$

$$[\text{净举升}] \frac{1\,371.6}{(6)} \div [\text{粘度}] 0.825 = \frac{1\,662.5\text{ m}}{(7)} [\text{校正的垂直举升}].$$

m) 油管摩擦损失  $H_F$  (参照图 8), 根据所抽汲流体的粘度正确选择。

1)  $[\text{总产量}] 127.2\text{ m}^3/\text{d}$  在  $[\text{名义油管尺寸}] 60.3\text{ mm} = \frac{44.2\text{ m}/305\text{ m}}{(8)} [\text{在 } 140\text{ mPa} \cdot \text{s} (700\text{ SSU}) \text{ 下每 } 305\text{ m 摩擦损失}].$

$$2) [\text{每 } 305\text{ m 摩擦损失}] \frac{44.2\text{ m}/305\text{ m}}{(8)} \times [\text{油管长度}] 1\,586\text{ m} = \frac{230\text{ m}}{(9)} [\text{油管摩擦损失 } H_F].$$

n) 油管压头  $H_T$

$$1) [\text{油管压力}] 0.345\text{ MPa} \div [\text{合成梯度}] \frac{0.009\,84\text{ MPa/m}}{(4)} = \frac{35\text{ m}}{(10)} [\text{油管压头 } H_T].$$

$$2) [\text{油管压头 } H_T] \frac{35\text{ m}}{(10)} \div [\text{粘度校正系数}] 0.825 = \frac{42.5\text{ m}}{(11)} [\text{校正的油管压头 } H_T].$$

o) 泵总的动压头

$$[\text{校正的垂直举升 } H_D] \frac{1\,674\text{ m}}{(7)} + [\text{在 } 140\text{ mPa} \cdot \text{s} (700\text{ SSU}) \text{ 下每 } 305\text{ m 摩擦损失}] 230\text{ m} + [\text{校正的油管压头}] 42.5\text{ m} = 1\,935\text{ m} [\text{总的动压头 } TDH].$$

p) 所需产量为  $127.2\text{ m}^3/\text{d}$ , 按粘度为  $140\text{ mPa} \cdot \text{s} (700\text{ SSU})$  校正

$$[\text{产量}] 127.2\text{ m}^3/\text{d} \div [\text{排量校正系数}] 0.805 = \frac{158\text{ m}^3/\text{d}}{(13)} [\text{校正的排量}].$$

q) 针对  $139.7\text{ mm}$  套管  $158\text{ m}^3/\text{d}$  选泵:

查泵特性曲线(压头—排量), 结果选用 A 型泵(图 24)(在原标准 API RP 11S4 中没有图 23 和图 24, 但在标准内容中出现图 23 和图 24, 故本标准缺少), 它表示出在所需排量  $158\text{ m}^3/\text{d}$  时的效率为 65%。

r) 确定每级压头(压头)

1) 参阅图 21, 从排量读数  $158\text{ m}^3/\text{d}$  垂直向上与压头—排量曲线相交。

$$2) \text{从交点水平向左读每级压头} = \frac{7.17\text{ m}}{(14)}.$$

s) 确定每级所需功率

1) 参阅图 21, 从排量读数  $158\text{ m}^3/\text{d}$  垂直向上与制动功率曲线相交。

2) 从交点水平向右得每级制动功率  $0.21\text{ kW}$ 。

t) 所需泵级数

$$[\text{总的动压头 } TDH] \frac{1\,935\text{ m}}{(12)} \div [\text{每级压头}] \frac{7.17\text{ m/级}}{(14)} = \frac{270\text{ 级}}{(15)}.$$