

ICS 75.060  
E 13  
备案号：64660—2018

**NB**

# 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 10044—2018

---

## 煤层气井举升工艺设计规范

Designing specification of lift technology for coalbed methane well

2018—06—06 发布

2018—10—01 实施

---

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

引言..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 举升方式选择 ..... 1

5 有杆泵举升工艺设计 ..... 3

6 螺杆泵举升工艺设计 ..... 6

7 设计格式 ..... 7

8 安全环保 ..... 7

附录 A（资料性附录） 煤层气井举升工艺设计所需数据 ..... 8

附录 B（资料性附录） 不同粒径煤粉沉降速度及临界携煤粉日产水量表 ..... 9

附录 C（规范性附录） 螺杆泵抽油杆受力计算与强度校核 ..... 10

附录 D（资料性附录） 煤层气举升工艺设计格式 ..... 14

参考文献..... 18

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由能源行业煤层气标准化技术委员会（NEA/TC 13）提出并归口。

本标准起草单位：中石油煤层气有限责任公司、中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司。

本标准起草人：王凤清、韩军、刘国强、张康、覃蒙扶、汪涛、张全江、张胜林、马召、张盖霞、郝立、崔金榜。

## 引 言

与常规油气井有较大不同，煤层气井水、固、气三相流井下工况较为复杂，主要表现在：

- 产液变化范围大，要求举升工艺尽可能适应产水量和载荷的变化，且满足调参能力强、节能、综合成本低等要求。
- 水介质环境，使得井下泵、抽油杆、油管及配套工具机械磨损（特别对于定向井）、腐蚀、结垢严重。
- 普遍出煤粉、砂等颗粒物，易于卡、堵泵及油管，并加重井下工具的磨损。
- 油管排水、套管采气的煤层气排采工艺，使得气体易于进泵，降低泵效。

为了提高煤层气井举升工艺设计的科学性和实用性，同时降低成本，编制了煤层气井举升工艺设计规范，以实现高效、经济的排水采气。

# 煤层气井举升工艺设计规范

## 1 范围

本标准规定了煤层气井举升方式选择、抽油机有杆泵和地面驱动螺杆泵举升工艺设计、安全环保等要求。本标准适用于煤层气井直井、井斜不大于 30° 的定向井。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17745—2011 石油天然气工业 套管和油管的维护与使用 (ISO 10405 : 2000, IDT)

GB/T 20657—2011 石油天然气工业 套管、油管、钻杆和用作套管或油管的管线管性能公式及计算 (ISO/TR 10400 : 2007, IDT)

GB/T 21411.1—2014 石油天然气工业 人工举升用螺杆泵系统 第1部分:泵 (ISO 15136-1 : 2009, MOD)

GB/T 33000 企业安全生产标准化基本规范

SY/T 5727—2014 井下作业安全规程

SY/T 5873—2017 有杆泵抽油系统设计、施工作法

SY/T 6922 煤层气井下作业安全技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**煤层气井举升工艺** **lifting technology of coalbed methane well**

利用举升设备排出煤层流体及悬浮于其中的煤粉、砂粒等的工艺过程。

### 3.2

**进液口** **inlet of downhole tubing string**

地层流体最先进入油管柱的位置。

### 3.3

**补水洗井** **water replenishing clean-out service**

通过油套环空向井底补水，利用举升设备提高排量，以增大油管内液体流速，将煤粉等颗粒物携带出井筒的工艺。

## 4 举升方式选择

### 4.1 依据

满足地质设计要求。



4.2 优选原则

举升方式优选原则如下：

- a) 适应产液量和载荷变化范围大，防煤粉等颗粒物沉淀卡堵泵及油管、管杆泵磨损、气体影响泵效等能力强。
- b) 同一区宜采用一种举升设备。
- c) 举升设备选型应进行区域统筹，根据预测的产液量变化、载荷要求和区块开发计划，合理选择不同型号的举升设备。
- d) 便于操作管理。
- e) 安全性强。
- f) 综合费用低，经济性好。

4.3 所需数据

包含基础数据（井别、井型、井深、井斜、套管尺寸、固井质量、完井方式、层位和层段等）、生产数据（抽汲参数、日产液、动液面、煤粉和砂面等）和历次作业情况，参见附录 A。

4.4 方式优选

4.4.1 满足产水量要求且产出液含煤粉等颗粒物较低时，优先选择抽油机有杆泵（以下简称有杆泵），有杆泵排量范围参见表 1。

4.4.2 产出液含煤粉等颗粒物较高时，优先选用地面驱动螺杆泵（以下简称螺杆泵）。煤粉质量含量不大于 7% 时，宜选用高转速螺杆泵；大于 7% 时，宜选用中、低转速螺杆泵。

4.4.3 煤层埋深小于 1200m 或产液量大于 0.5m³/d 的直井，可选择螺杆泵。

表 1 排量及泵径选择推荐表

抽油泵		日产水量，m³/d							
		抽油机冲程，m							
泵径，mm	上下限	0.9	1.2	1.8	2.1	2.5	3	4.2	5
28	下限	0.8	1	1	1	2	3	—	—
	上限	3	5	7	8	9	10	—	—
32	下限	1	2	2	3	3	4	—	—
	上限	4	5	8	10	12	14	—	—
38	下限	2	2	3	4	5	5	—	—
	上限	5	6	9	11	15	19	—	—
44	下限	3	4	4	5	6	7	—	—
	上限	7	10	15	17	21	26	—	—
56	下限	5	6	9	11	13	16	20	26
	上限	12	17	24	28	34	41	58	70
70	下限	—	11	15	20	24	28	35	40
	上限	—	30	44	52	65	78	100	120

## 5 有杆泵举升工艺设计

### 5.1 泵的选择

5.1.1 泵效的选取，一般推荐 60% ~ 80%。

5.1.2 泵径计算符合 SY/T 5873—2017 中 6.3 的规定，见表 1。

5.1.3 泵排量应满足补水洗井时携带煤粉的临界流量，不同粒径煤粉的沉降速度及  $\phi 73\text{mm}$  油管临界携煤粉速度参见附录 B。

5.1.4 优先选用 II 级间隙的泵。

5.1.5 其余做法符合 SY/T 5873—2017 中 6.1 和 6.4 的规定。

### 5.2 抽油杆的选择

抽油杆的选择原则应符合 SY/T 5873—2017 中 7.1 的规定。

### 5.3 油管的选择

应根据地层流体介质性质、油管下入深度、油管柱受力计算，确定油管的材质和规格。油管最大允许下深  $L_y$  计算见公式 (1)，油管管体和接头轴向拉伸使用性能参见 GB/T 20657—2011 的附录 K.5。

$$L_y = \frac{P_t - (mP'_g - P_L)}{maKq_t g} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$K = 1 - d_{it}$$

式中：

$L_y$ ——油管的允许下入深（长）度，单位为米（m）；

$P_t$ ——管柱螺纹的抗拉极限负荷，单位为千牛（kN）；

$m$ ——管柱螺纹的抗拉安全系数，一般取 1.3（API 油管取 1.015）；

$P'_g$ ——锚定或解封拉力，单位为千牛（kN）；

$P_L$ ——作用在固定阀上的静液柱载荷，单位为千牛（kN）；

$a$ ——考虑摩擦阻力、动载荷时的系数，一般取 1.2 ~ 1.6；

$K$ ——浮力系数；

$d_{it}$ ——井内液体相对于管柱钢材的相对密度；

$q_t$ ——油管在空气中每米质量，单位为千克每米（kg/m）；

$g$ ——重力加速度，单位为米每二次方秒（m/s<sup>2</sup>）。

### 5.4 抽油机选型

#### 5.4.1 选型原则

5.4.1.1 悬点最大载荷和曲柄轴最大扭矩应执行 SY/T 5873—2017 中 5.1.1 的规定。

5.4.1.2 应满足排采举升井的正常举升和补水洗井要求。

5.4.1.3 在光杆下冲程载荷  $P_{\min}$ 、上冲程载荷  $P_1 \sim P_{\max}$  之间，应能任意调节平衡，使抽油机平衡率达到 80% ~ 120%。

5.4.1.4 优先选用可调速电机。



5.4.1.5 其余符合 SY/T 5873—2017 中第 5 章的规定。

## 5.4.2 悬点载荷和减速箱扭矩计算

5.4.2.1 最大悬点载荷计算，直井见公式 (2)，定向井见公式 (3)：

$$P_{\max}^z = (W_r + W_l) \left( 1 + \frac{S}{2g} \left( \frac{2\pi N_{\max}}{60} \right)^2 \right) = (W_r + W_l) \left( 1 + \frac{SN_{\max}^2}{1790} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{\max}^x = (W_r + W_l) \left[ 1 + \frac{S}{2g} \left( \frac{2\pi N_{\max}}{60} \right)^2 \right] \times 1.06 = (W_r + W_l) \left( 1 + \frac{SN_{\max}^2}{1790} \right) \times 1.06 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$W_r = q_r L \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$W_l = (A_p - A_{rl}) \rho_{wl} g L \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$P_{\max}^z$ ——直井最大悬点载荷，单位为千牛 (kN)；

$W_r$ ——抽油杆柱在空气中的重力，单位为牛 (N)；

$W_l$ ——作用在柱塞上的液柱载荷，单位为牛 (N)；

$S$ ——冲程，单位为米 (m)；

$\pi$ ——圆角变化率，取 3.14；

$N_{\max}$ ——抽油机最高冲次，单位为次每分钟 ( $\text{min}^{-1}$ )；

1.06——定向井载荷附加经验系数；

$P_{\max}^x$ ——定向井最大悬点载荷，单位为千牛 (kN)；

$A_p$ ——抽油泵柱塞横截面面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )；

$A_{rl}$ ——最下一级抽油杆横截面面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )；

$q_r$ ——平均每米抽油杆杆柱在空气中的重力，单位为牛每米 (N/m)；

$\rho_{wl}$ ——产出液的密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg/m}^3$ )；

$L$ ——抽油泵泵挂深度，单位为米 (m)。

5.4.2.2 最大泵沉没度下最大悬点载荷计算，直井见公式 (6)，定向井见公式 (7)：

$$P_l^z = (W_r + W_l - A_p L_f \rho_{wl}) \left( 1 + \frac{SN_{\max}^2}{1790} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$P_l^x = (W_r + W_l - A_p L_f \rho_{wl}) \left( 1 + \frac{SN_{\max}^2}{1790} \right) \times 1.06 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$P_l^z$ ——直井最大泵沉没度下上冲程悬点载荷，单位为牛 (N)；

$P_l^x$ ——定向井最大泵沉没度下上冲程悬点载荷，单位为牛 (N)；

$L_f$ ——动液面，单位为米 (m)。

5.4.2.3 游梁式抽油机下冲程载荷，见公式 (8)：

$$P_{\min} = q_r' g L \quad \dots\dots\dots (8)$$



式中：

$P_{\min}$ ——抽油杆下冲程载荷，单位为牛（N）；

$q_r'$ ——平均每米抽油杆杆柱在液体中的重力，单位为牛每米（N/m）。

**5.4.2.4** 减速箱最大扭矩计算，见公式（9）：

$$M_{\max} = 0.236 L_{\max} S_{\max} \left[ \rho_{\text{wL}} g (A_p - A_{rl}) + 2q_r' \frac{S_{\max} N_{\max}^2}{1790} \right] + 300 S_{\max} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$M_{\max}$ ——游梁式抽油机减速箱曲柄最大扭矩，单位为牛米（N·m）；

$L_{\max}$ ——抽油杆极限下入深度，单位为米（m）；

$S_{\max}$ ——柱塞最大有效冲程，单位为米（m）；

## 5.5 配套工艺设计

### 5.5.1 泵

**5.5.1.1** 抽油泵下泵深度（以下简称泵挂）要求如下：

- a) 宜介于生产煤层顶界至底界以下 40m 之间。
- b) 间抽井，泵挂宜在生产煤层底界 10m 以下。
- c) 泵挂处全角变化率小于  $1^\circ/25\text{m}$ ，且不应处于拐点位置。
- d) 产出液煤粉质量含量大于 7% 的井，泵挂宜在煤层顶界以上。
- e) 套损、落鱼、砂面无法清理等的井，可根据实际情况上调泵挂。
- f) 有油管锚定装置，可根据实际情况上调泵挂。

**5.5.1.2** 出煤粉或砂严重井，宜选用防煤粉（砂）泵。

### 5.5.2 抽油杆

**5.5.2.1** 全角变化率大于  $1^\circ/25\text{m}$  井段，单根抽油杆上加装扶正器不少于 1 个；大于  $3^\circ/25\text{m}$  井段，单根抽油杆上加装不少于 2 个扶正器或直接使用注塑杆，扶正器应固定在抽油杆本体上。

**5.5.2.2** 扶正器加入位置优先选择距接箍 0.4m 处，使用内衬油管的井不宜安装抽油杆扶正器。

**5.5.2.3** 可通过加入加重杆调整抽油杆柱中和点位置，具体加入方法应符合 SY/T 5873—2017 中 7.2 的规定。

**5.5.2.4** 中和点以下安装抽油杆扶正器密度宜多于中和点以上，且加装密度自上而下增加。

**5.5.2.5** 柱塞以上第一根抽油杆本体应加装抽油杆扶正器，加装位置不应影响柱塞行程。

### 5.5.3 油管

**5.5.3.1** 进液口及油管柱底端位置要求如下：

- a) 进液口宜下至煤层底界以下。
- b) 油管柱底端距人工井底宜大于 20m，间抽井宜大于 10m。

**5.5.3.2** 下入  $\phi 70\text{mm}$  泵及以上的井，应使用  $\phi 89\text{mm}$  油管或脱接器。

**5.5.3.3** 全角变化率大于  $3^\circ/25\text{m}$  的井段超过全井的 30%，或腐蚀严重井，宜选内衬油管。

**5.5.3.4** 油管柱进液口在煤层以上，应下防气装置/工具。

**5.5.3.5** 下入压力计电缆的井，在井斜角不大于  $20^\circ$  的井段，每根油管宜安装 1 个油管电缆扶正器；井斜角  $20^\circ \sim 30^\circ$  的井段，每根油管宜安装 2 个油管电缆扶正器。

6 螺杆泵举升工艺设计

6.1 泵的选择

- 6.1.1 单转排量不小于 200mL/r，泵容积效率大于 50%；大于 200mL/r，泵容积效率大于 70%。
- 6.1.2 排量选择应符合 GB/T 21411.1—2014 中 6.5 的规定，见表 2。

表 2 泵排量选择推荐表

日产液 m <sup>3</sup>	≤ 5	5 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 80	80 ~ 200
单转排量 mL/r	40, 60	75, 120	180, 200, 250	300, 500, 600	800, 1200

- 6.1.3 扬程应达到泵挂垂深的 1.2 倍。
- 6.1.4 在相同排量下，优先采用单头螺杆泵。
- 6.1.5 定子橡胶能长期在水介质下稳定运行，不发生反应、变形。

6.2 抽油杆的选择

抽油杆选择和强度的校核计算方法见附录 C。

6.3 油管的选择

油管材质和规格的选择应执行 5.3。

6.4 地面驱动设备选择

- 6.4.1 电机选型执行 C.4。
- 6.4.2 优先选用可调速电机。
- 6.4.3 额定扭矩应不低于抽油杆柱运行总扭矩的 1.5 倍。
- 6.4.4 应具备高扭矩自动停机功能，该扭矩应低于抽油杆上扣扭矩和抽油杆许用应力下最大扭矩（抽油杆许用应力与扭矩的计算方法见 C.1 和 C.3）。

6.5 配套工艺设计

6.5.1 泵

泵配套工艺设计执行 5.5.1.1。

6.5.2 抽油杆

- 6.5.2.1 全角变化率不大于 2°/25m 的井段，每根抽油杆安装不少于 1 个扶正器；全角变化率大于 2°/25m 的井段，每根抽油杆安装不少于 2 个扶正器；全角变化率大于 4°/25m 的井段，每根抽油杆安装不少于 3 个扶正器。
- 6.5.2.2 扶正器加入位置优先选择距接箍 0.4m 处，使用内衬油管的井不宜安装抽油杆扶正器。
- 6.5.2.3 优先使用螺旋式结构扶正器。

6.5.3 油管

- 6.5.3.1 进液口及油管柱底端位置要求应执行 5.5.3.1。



**6.5.3.2** 泵排量大于 300mL/r，泵上宜连接  $\phi 89\text{mm}$  油管，且长度大于转子长度；泵排量大于 800mL/r 应全井配  $\phi 89\text{mm}$  油管。

**6.5.3.3** 全角变化率大于  $3^\circ/25\text{m}$  的井段超过全井的 30%，或腐蚀严重井，宜选内衬油管。

**6.5.3.4** 抽油杆柱总扭矩不大于  $735\text{N}\cdot\text{m}$  的井，井下油管柱可不使用油管锚定装置；排量不小于 800mL/r 或抽油杆柱总扭矩大于  $735\text{N}\cdot\text{m}$  的井，宜采用锚定装置，位置在排采目标层射孔段以上，且距螺杆泵定子以下 10m 以内。

**6.5.3.5** 油管上扣扭矩应符合 GB/T 17745—2011 中 5.3 的规定，且应大于抽油杆承受最大扭矩的 2 倍。

**6.5.3.6** 油管柱进液口在煤层以上，应下防气装置 / 工具。

**6.5.3.7** 泵挂位于造斜点以下，应使用油管扶正装置。

**6.5.3.8** 有井下压力计电缆的井，油管电缆扶正器的加装方式执行 5.5.3.5。

## 7 设计格式

煤层气举升工艺设计格式参见附录 D。

## 8 安全环保

一般要求按 GB/T 33000 的规定执行，煤层气特有要求按 SY/T 6922 的规定执行；环境含有毒有害气体时，应执行 SY/T 5727—2014 中 4.6 的规定。



附 录 A  
(资料性附录)  
煤层气井举升工艺设计所需数据

A.1 基础数据

基础数据见表 A.1。

表 A.1 基本数据表

井别		完钻井深, m		完井方式	
井型		人工井底, m		油补距, m	
生产套管	外径 mm×壁厚 mm×深度 m			短套位置, m	
表层套管	外径 mm×壁厚 mm×深度 m			固井质量	
生产套管钢级		风险级别		水泥返深, m	
煤层	射孔井段, m				厚度, m
最大井斜 (°) / 深度 (m)			最大全角变化率 [(°) /25m] / 深度 (m)		

A.2 生产数据

生产数据见表 A.2。

表 A.2 生产数据表

冲程, m		冲次, min <sup>-1</sup>		动液面, m	
产水量, m <sup>3</sup>		产气量, m <sup>3</sup>		套压, MPa	
砂面, m		煤粉情况			

A.3 历次检泵情况

历次检泵情况见表 A.3。

表 A.3 历次检泵简况表

日期	作业类型	施工参数、简况

**附 录 B**  
(资料性附录)

**不同粒径煤粉沉降速度及临界携煤粉日产水量表**

不同粒径煤粉沉降速度及临界携煤粉日产水量参见表 B.1。

**表 B.1 不同粒径煤粉沉降速度及临界携煤粉日产水量表**

煤粒直径 mm	煤粒沉降速度 m/s	临界携煤粉日产水量 <sup>a</sup> m <sup>3</sup> /d
0.05	$6.84 \times 10^{-4}$	0.16
0.07	$1.34 \times 10^{-3}$	0.32
0.1	$2.74 \times 10^{-3}$	0.65
0.12	$3.94 \times 10^{-3}$	0.93
0.15	$6.16 \times 10^{-3}$	1.46
0.2	$1.09 \times 10^{-2}$	2.57
<sup>a</sup> 上述临界携煤粉日产水量在 $\phi 19\text{mm}$ 抽油杆配合 $\phi 73\text{mm}$ 油管的前提下计算得出。		

附 录 C  
(规范性附录)  
螺杆泵抽油杆受力计算与强度校核

### C.1 螺杆泵抽油杆扭矩计算

C.1.1 进出口压差引起的阻扭矩计算方法如下：

$$M_1 = \frac{(L/100 - P_{wf})q}{2\pi}$$

式中：

$M_1$ ——进出口压差引起的阻扭矩，单位为牛米（N·m）；

$L$ ——泵挂深度，单位为米（m）；

$P_{wf}$ ——井底流压，单位为兆帕（MPa）；

$q$ ——转子转一周的理论排量，单位为立方米每转（m<sup>3</sup>/r）。

C.1.2 克服泵内摩擦所需的阻扭矩（初始扭矩）计算方法如下：

$$M_2 = 91.3 \delta_0 n^{0.45} + 47$$

式中：

$M_2$ ——定子与转子初始过盈所产生的阻扭矩，单位为牛米（N·m）；

$\delta_0$ ——定子与转子间的初始过盈值，单位为毫米（mm）；

$n$ ——抽油杆柱的转速，单位为转每分（r/min）；

47——衬套、螺杆间由于溶胀产生的摩擦扭矩经验值。

C.1.3 抽油杆柱与井液的摩擦扭矩计算方法如下：

$$M_3 = \frac{\pi^2 \mu L n D_{yn}^2 d_{gw}^2}{30(D_{yn}^2 - d_{gw}^2)}$$

式中：

$M_3$ ——抽油杆柱与井液的摩擦扭矩，单位为牛米（N·m）；

$\mu$ ——井液的黏度，单位为毫帕斯卡秒（mPa·s）；

$D_{yn}$ ——油管内径，单位为米（m）；

$d_{gw}$ ——抽油杆外径，单位为米（m）；

$L$ ——泵挂深度，单位为米（m）。

C.1.4 抽油杆柱与扶正器间的摩擦扭矩计算方法如下：

$$M_4 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^k \pi d_{gw}^3 f(\rho_g - \rho_{wL}) g l_i \sin \sigma_i$$

式中：

$M_4$ ——抽油杆与扶正器的摩擦扭矩，单位为牛米（N·m）；

$\rho_g$ ——抽油杆材料密度，单位为千克每立方米（kg/m<sup>3</sup>）；



$l_i$ ——第  $i$  个扶正器实际作用抽油杆长度，单位为米 (m)；

$f$ ——摩擦系数，一般取 0.1 ~ 0.2；

$\sigma_i$ ——第  $i$  个扶正器所在位置的井斜角，单位为度 (°)。

**C.1.5** 抽油杆柱光杆所受总扭矩计算方法如下：

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

式中：

$M$ ——抽油杆柱光杆总扭矩，单位为牛米 (N·m)。

当实际计算时，出于简化计算考虑，泵型较大、泵较深时， $M_3$  和  $M_4$  较小，可忽略。

## C.2 抽油杆柱轴向力

**C.2.1** 液体压力作用在转子上的轴向力计算方法如下：

$$F_1 = (\pi R^2 + 16eR)(L/100 - P_{wf}) \times 10^6$$

式中：

$F_1$ ——液体压力作用在转子上的轴向力，单位为牛 (N)；

$R$ ——泵转子截面圆半径，单位为米 (m)；

$e$ ——泵转子偏心距，单位为米 (m)。

**C.2.2** 抽油杆柱自重的轴向分力计算方法如下：

$$F_2 = \sum_i^n m_{ti} g l_{ci}$$

式中：

$F_2$ ——抽油杆柱自重的轴向分力，单位为牛 (N)；

$m_{ti}$ ——第  $i$  段每米抽油杆在空气中质量，单位为千克 (kg)；

$l_{ci}$ ——第  $i$  段抽油杆长度，单位为米 (m)。

**C.2.3** 抽油杆柱在水中浮力的轴向分力计算方法如下：

$$F_3 = \sum_i^n m_{wi} g l_{ci}$$

式中：

$F_3$ ——抽油杆所受的浮力的轴向分力，单位为牛 (N)；

$m_{wi}$ ——第  $i$  段每米抽油杆同体积的井液的质量，单位为千克 (kg)。

**C.2.4** 抽油杆整体轴向力计算方法如下：

$$F = F_1 + F_2 - F_3$$

式中：

$F$ ——抽油杆整体轴向力，单位为牛 (N)。

## C.3 抽油杆柱强度校核计算方法

**C.3.1** 抽油杆柱横截面正应力按以下公式计算：

$$\sigma = \frac{4F}{\pi(d_{gw} - d_{gn})}$$

式中：

$\sigma$ ——抽油杆柱横截面正应力，单位为兆帕（MPa）；

$d_{\text{gw}}, d_{\text{gn}}$ ——抽油杆的外径和内径，单位为毫米（mm），当抽油杆为实心杆时， $d_{\text{gw}}=0\text{mm}$ 。

**C.3.2** 抽油杆柱横截面剪应力按以下公式计算：

$$\tau = \frac{16M}{\pi d_{\text{gw}}^3 \left[ 1 - \left( d_{\text{gn}} / d_{\text{gw}} \right)^4 \right]}$$

式中：

$\tau$ ——杆柱横截面剪应力，单位为兆帕（MPa）。

**C.3.3** 抽油杆柱安全系数按以下公式计算：

$$\gamma = \sigma_c / \sigma_d = \frac{\sigma_c}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}$$

式中：

$\gamma$ ——抽油杆柱安全系数；

$\sigma_c$ ——材料许用应力，单位为兆帕（MPa）；

$\sigma_d$ ——杆柱所受复合应力，单位为兆帕（MPa）。

**C.3.4** 抽油杆柱强度校核：抽油杆柱安全系数应大于 1.3。

**C.3.5** 根据静力强度设计原则，抽油杆的工作应力应控制在材料许用应力（即屈服极限应力除以安全系数）以下，抽油杆、光杆和屈服极限应力（屈服点）见表 C.1。

表 C.1 抽油杆、光杆机械性能

名称	等级	材料	抗拉强度 MPa	屈服点 MPa	伸长率 $\delta$ %	收缩率 $\phi$ %
抽油杆	K	镍钼合金钢	588 ~ 794	$\geq 372$	$\geq 13$	$\geq 60$
	C	碳钢或锰钢	620 ~ 794	$\geq 412$	$\geq 13$	$\geq 50$
	D	碳钢或合金钢	794 ~ 965	$\geq 620$	$\geq 10$	$\geq 50$
	H	合金钢	$>965$	$\geq 750$	$\geq 10$	$\geq 45$

## C.4 螺杆泵地面驱动电机功率计算与选择

### C.4.1 驱动功率计算

驱动功率计算方法如下：

$$P = k\eta_d P_0 = \frac{k\eta'_d nM}{9550}$$

式中：

$P$ ——电机功率，单位为千瓦（kW）；

$P_0$ ——驱动光杆功率，单位为千瓦（kW）；

$\eta'_d$ ——螺杆泵地面驱动装置传动效率，单位为转每分（r/min），一般 80% ~ 92%，直驱电机 100%；

$k$ ——电机安全系数，取值范围 1.5 ~ 2。

电机安全系数取值跟驱动杆柱所需功率大小成反比，一般驱动光杆功率  $P$  小于 5kW，则电机安全系数  $k$  宜取值 2；驱动光杆功率  $P$  大于 20kW，则电机安全系数  $k$  宜取值 1.5。

#### C.4.2 驱动扭矩

驱动扭矩计算方法如下：

$$M_d = k_n \eta_d \lambda M = k_n \eta_d M (n_d / n)$$

$$\lambda = n_d / n$$

式中：

$M_d$ ——电机额定转矩，单位为牛米（N·m）；

$\lambda$ ——螺杆泵地面驱动装置减速比；

$\eta_d$ ——电机额定转速，单位为转每分（r/min）；

$k_n$ ——电机扭矩比例系数，一般取 1.3 ~ 2。

电机安全系数取值跟驱动杆柱所需功率大小成反比，一般抽油杆柱光杆所受总扭矩  $M$  小于 400N·m，则  $k$  宜取值 2； $M$  大于 1200N·m，则  $k$  宜取值 1.3。

#### C.4.3 螺杆泵驱动电机选择

螺杆泵驱动电机选择功率应执行 C.4.1 中电机功率  $P$  的计算要求，同时驱动电机转矩也执行 C.4.2 中电机额定转矩  $M_d$  的计算要求。



附 录 D  
(资料性附录)  
煤层气举升工艺设计格式

D.1 封面

D.1.1 幅面尺寸：选用 A4 开本，210mm×297mm。

D.1.2 封面格式，如图 D.1 所示。

编号：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_区块 \_\_\_\_\_井

×××× 举升工艺设计

设计单位：\_\_\_\_\_

设 计 人：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

图 D.1 封面格式

D.2 扉页

设计单位审核意见：

---

---

---

签字\_\_\_\_\_ 年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

设计单位审批意见：

---

---

---

签字\_\_\_\_\_ 年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

D.3 抽油机有杆泵井举升工艺

D.3.1 煤层气井数据参见附录 A。

D.3.2 施工目的及要求见表 D.1。

表 D.1 施工目的及要求

施工目的：
施工要求：

D.3.3 举升工艺参数设计见表 D.2。

表 D.2 举升设备选型

举升设备类型		举升设备型号	
选配电机类型		选配电机功率，kW	
泵型		泵径，mm 或排量，mL/r	
油管柱及配套工具			
抽油杆柱及配套工具			
施工工序、施工要求 及注意事项			
健康、安全与环保要求			
其他要求及提示			



D.3.4 管柱结构图如图 D.2 所示。

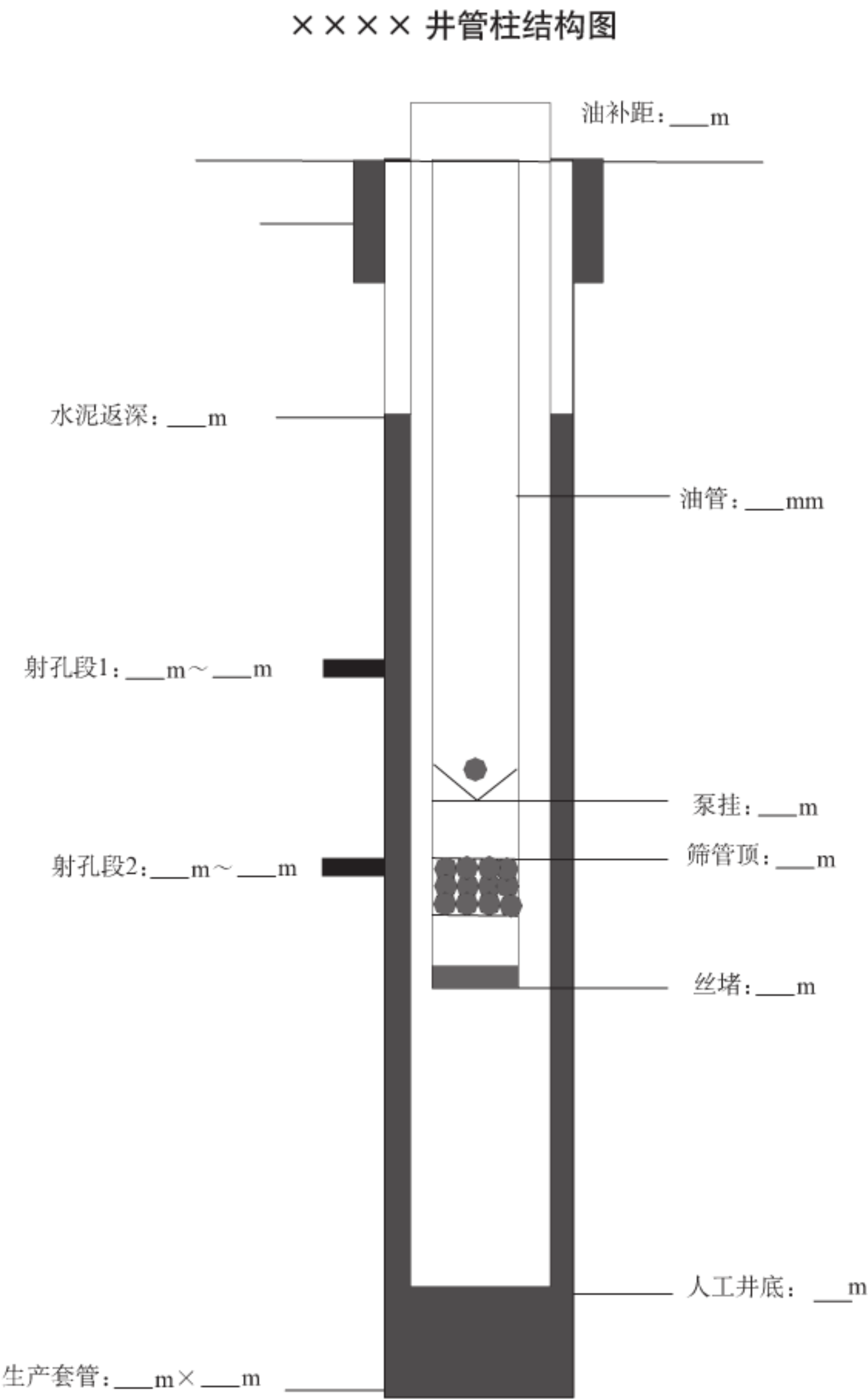


图 D.2 管柱结构图

## 参 考 文 献

- [1] SY/T 5587.5—2004 常规修井作业规程 第5部分：井下作业井筒准备
  - [2] SY/T 5587.9—2007 常规修井作业规程 第9部分：换井口装置
  - [3] SY/T 6084—2014 地面驱动螺杆泵使用与维护
  - [4] SY/T 6570—2017 油井举升工艺设计编写规范
  - [5] Q/SY 1142—2008 井下作业设计规范
  - [6] Q/SY CBM0014—2015 煤层气井补水洗井技术规范
  - [7] Q/SY HB 0037—2001 有杆泵抽油井管柱设计及施工方法
-