

# 天然气采运工程

下 册

孙 自 全編著

石油工业出版社

## 內 容 提 要

本書是天然氣采運工程下冊，共分六章，分別介紹采氣的理論與操作，包括氣井采氣量的確定、油管的選擇和氣井的管理；凝析氣田的開采、試井和天然汽油的檢驗；天然氣的除塵、脫水、脫硫和加臭工程；天然氣的壓縮和儲運；以及氣井增產措施和修井工藝。

本書內容具體，可供采氣工程技術人員和中等石油學校師生參考，也可供一般工作人員和工人閱讀。

統一書號：15037.814

## 天 然 氣 采 運 工 程

下 冊

孫 自 全 編 著

★

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業區內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第 083 號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

★

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>開本 \* 印張 9<sup>9</sup>/<sub>16</sub> \* 225千字 \* 印1—1,200冊

1960年4月北京第1版第1次印刷

定價(10) 1.50 元

# 目 录

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 第6章 采气的理论与操作.....                                                                                                               | 1   |
| 第1节 生产井的操作与维修.....                                                                                                              | 1   |
| 开井(1)油嘴的更换(3)井场设备的安全注意事项(4)交接班与记录制度(5)检修与维修(5)                                                                                  |     |
| 第2节 油管的选择与气升眼.....                                                                                                              | 6   |
| 选择油管的依据(6)油管直径的确定方法(7)气升与气升眼(9)                                                                                                 |     |
| 第3节 合理采气量与各个时期的采气.....                                                                                                          | 16  |
| 气井驱动与气体流动(16)气井性能与合理产量(18)各个时期的采气(21)各种采气指标(23)                                                                                 |     |
| 第4节 二次采气.....                                                                                                                   | 27  |
| 第5节 采气记录.....                                                                                                                   | 28  |
| 第7章 凝析气田与天然汽油.....                                                                                                              | 31  |
| 第1节 凝析气田、凝析油与天然汽油的理论基础.....                                                                                                     | 31  |
| 单一碳氢化合物及数种混合的碳氢化合物的压力、比容、温度与相态的关系(31)多种碳氢化合物的压力、比容、温度与相态的关系(35)多元混合物所发生的相态反转现象(38)凝析油、石油气与天然汽油的区别(40)凝析气田与各种天然汽油的成份(42)本节总结(49) |     |
| 第2节 凝析气田的试井与天然汽油的检验.....                                                                                                        | 50  |
| 试井目的(50)试井方法(51)试井资料的整理(76)                                                                                                     |     |
| 第3节 凝析气田的开采.....                                                                                                                | 77  |
| 凝析气田的主要开采方式(77)循环采气时凝析气田的开采(80)                                                                                                 |     |
| 第4节 凝析油、天然汽油的提取与储运.....                                                                                                         | 89  |
| 凝析气井的开采与高压脱油法(89)凝析气井的低压采气(91)天然汽油的储存(95)天然汽油的运输(97)                                                                            |     |
| 第8章 天然气的净化与加臭.....                                                                                                              | 100 |
| 第1节 天然气的除尘工程.....                                                                                                               | 100 |
| 气流中尘粒及其危害性(100)回旋除尘器(101)液体除尘器(101)                                                                                             |     |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 过滤器(102)                                                               |     |
| 第2节 天然气的脱水工程.....                                                      | 108 |
| 气流中水的形成与危害性(108)脱水方法(105)                                              |     |
| 第3节 天然气的脱硫工程.....                                                      | 123 |
| 硫的危害性与脱硫方法(122) 黄土脱硫(124) 碱液脱硫(139) 氨基乙醇(乙醇氨)溶液脱硫(151) 砷碱法脱硫(157)      |     |
| 第4节 天然气的加臭工作.....                                                      | 159 |
| 第9章 天然气的压缩和减压.....                                                     | 163 |
| 第1节 往复式压缩机.....                                                        | 164 |
| 压缩机基本工作原理(164) 往复式压缩机的类型(164) 计算(166) 往复式压缩机的种数与使用(171) 压缩站(184)       |     |
| 第2节 涡轮式压缩机.....                                                        | 186 |
| 第3节 减压器.....                                                           | 188 |
| 减压器的工作原理与用途(188) 减压器的种类与构造(190) 减压器流量的计算与选择(198)                       |     |
| 第10章 天然气的运输和储存.....                                                    | 201 |
| 第1节 输气管.....                                                           | 201 |
| 气管(201) 气管内气体流动的计算(206) 气管的敷设(222) 气管的操作(238)                          |     |
| 第2节 天然气的储存.....                                                        | 242 |
| 储气目的与方法(242) 气管内的储存(243) 低压储气罐(244) 中压与高压储气设备(246) 用已采枯的油、气层作地下储所(246) |     |
| 第11章 增产处理与修井.....                                                      | 247 |
| 第1节 增产处理与修井的主要机械设备.....                                                | 247 |
| 采气井架(247) 通井机(248) 洗井机(253) 联合作业机(256) 移动式空气压缩机(257) 水泥车(261)          |     |
| 第2节 增产处理.....                                                          | 263 |
| 增产的意义(263) 射孔与爆炸(264) 酸化(282) 压裂(290)                                  |     |
| 第3节 修井.....                                                            | 298 |
| 压井、注水泥塞(299) 清除砂堵(300) 清理井壁及井附近气层的堵塞(301)                              |     |

## 第6章 采气的理论与操作

### 第1节 生产井的操作与維修

生产井的井口与井坊布置一般如第三章所述(见图141),有的在井口装减压器以调节气量,同时装油嘴来控制流量。井坊上装备有分离器,长距离流量记录传送器,井口保温设备,单井脱水、脱硫等设备。这些设备的操作虽然各有不同,但只要明确设备的基本工作原理和流程,就能参照訂出适当的操作规程。现以图70所示为例将各基本操作方法分述如次。

#### 开 井

采气工根据車間对某口井全天的采气量和开井时间的要求,从最近一次試井繪出的套管压力与产量关系图上,查出同这一气量相对的套管压力并检查:

1. 井口设备是否完好,有没有漏气的地方;
2. 总閘門凡尔及套管閘門凡尔开启后,油、套管压力是否正常;
3. 检查油嘴尺寸;
4. 安全凡尔的灵敏性;
5. 分离器的各处开关;
6. 流量表的紅蓝針起点、上下流测压管的开关及孔板尺寸;
7. 井坊管綫各处凡尔的开关;
8. 井坊輸气管出口与集气管綫交接处的凡尔。

当发现上述各设备不合要求时,按規程予以修理或調整。由于井坊的各种凡尔很多,有的看不出是开或是关,容易混淆,因

此在四川各气矿上实行了凡尔挂牌制。挂牌就是用紅、白两种顏色的木块，上系以鋼絲掛鈎，紅牌代表关，白牌代表开。根据凡尔的开或关将紅牌或白牌掛在凡尔手輪上，必要时可将轉开度写在白牌下部。

一般集气管綫与井坊輸气管出口处有切断凡尔，在不輸气时此凡尔关闭。开井前井坊設備里可能有空气，应将滴水器处的排水凡尔打开，微开气井凡尔，使天然气将井坊設備里的空气經排水凡尔替出。然后关排水凡尔，开切断凡尔，待井坊設備内部压力升至与集气管同一压力时，再逐渐开大凡尔，进行正常生产。

开井时，应緩慢地打开閘門凡尔。因为在开井前井内充滿着高压气，如驟然把凡尔开至应有的开度，則流量因突然增大，会給井坊設備一股冲力，这样除設備发生震外，也易损坏仪表和连接部分。閘門凡尔是不能用来調节气量的，必須一次开完。油嘴一般用来控制气井最大产量。針形凡尔須輕而均匀地打开，开始每开 $\frac{1}{16}$ 轉停止数分鐘，使井内的气流达到稳定。針形凡尔打开的轉数愈多，停止的时间应愈长。套管压力接近預定压力后，用孔板常数乘以靜压差乘积的平方根，求出产气量，使最后达到要求为止。用油嘴来控制气流时，亦应逐渐开大針形凡尔。經常用手摸油嘴与針形凡尔的下流处，針形凡尔发生作用时油嘴下流是热的，針形凡尔下流是冷的；如油嘴发生作用，則油嘴下流变冷，而針形凡尔下流变热，这时可迅速开大針形凡尔，使油嘴充分发生作用。开大針形凡尔时特別注意不能开到头，至少要留7~8轉，否則凡尔手輪会猛然冲出，造成重大事故。

在四川裂綫气田中，气、水同层或气层附近有夹层水而不易封堵时，气、水可一并采出。但在开井时須特別注意，在針形凡尔开一定程度（一般約 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 轉）后即停止，此时井中气流由大而小，以至有暂时停止出气的現象。此时采气工要耐心等待，根据井下具体情况隔一定时间后气、水即同时噴出。

由于开井前井口压力极高，虽然均匀缓慢地开针形凡尔，气流仍有猛喷现象；如井下有液体，当开始出气时，经分离器后的天然气亦有猛流现象。这都会使流量计受到冲击损伤。所以采气工可以先把流量计与气管连接的测压管凡尔关闭，俟气流稳定后再开凡尔测流量。

装有减压器设备时，开井前先调节减压器，使它只具微小开度，开井后因其下流压力极低，只有很少的气量通过。然后逐渐调节减压器达到要求气量，这样气流的冲击力量就直接由减压器承受了。

### 油嘴的更换

天然气中常含有硫化氢等杂质，在流动时，对于所流过的管子有腐蚀作用，所以一般用油管采气。只有在不得已时（如井里有水存在，为了少产或不产水）才使用套管采气，因为套管坏了不能更换。如欲改成套管采气，可同时逐渐关小油管闸门而开大套管闸门，最后关闭油管闸门，全由套管生产。

通常采气都是用针形凡尔控制流量的。如改用油嘴控制或在生产中间更换油嘴时，为了不停止生产，可临时由套管出气，俟油嘴换妥后再转用油管生产。有时如图 283 所示，安装二个油嘴，平常开闸门凡尔 1, 2, 关凡尔 3, 4, 使用油嘴 1 生产。需要

1, 2, 3, 4, …… 闸门凡尔

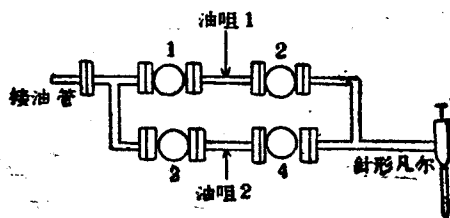


图 283

更換油嘴時，先關小針形凡爾，開凡爾 3, 4，再關凡爾 1, 2，最後調節針形凡爾，使油嘴 2 發生作用。

### 井場設備的安全注意事項

采氣時，須定期或每班活動一次安全凡爾，檢查它是否靈活。安全凡爾是井場設備中極重要的安全設備，假如失靈可能引起重大事故。氣井井口壓力一般都很高，井口壓力表極易失靈或損壞，所以必須經常與流量表記錄的壓力數據和套管壓力對比，以判斷壓力表是否完好，同時壓力表要定期校驗。

分離器上的水面指示玻璃管，常因污物堵塞不能代表真液面；自動保持液面的浮子，有時被損壞不起作用。所以必須定期或每班人為地排液一次，觀察液面變化，以檢查指示器的可靠性。流量表亦要定期檢查，看紅針是否回到零，藍針是否回到大氣壓力；否則必須及時校正指針。另外要隨時注意紅、藍針的墨水是否够用。安裝流量卡片時一定要上緊鐘表彈簧（電動者不必考慮此點），卡片中心要正確地壓在表盤上。更換孔板時用支氣管輸氣，換好後，必須把支氣管關緊；否則所測氣量小於實際流量。集氣管前的滴水器要定時放水，勿使水隨氣流出。

更換壓力表或卸下和尙頭時，首先關好它前面的閘門凡爾。如壓力表或和尙頭處無放氣口，壓力表鬆開數轉後要極慢地轉動，使余氣由絲扣處漏出，在內部成為大氣壓後再完全卸下。卸和尙頭時先把法蘭盤的一或兩顆螺絲完全鬆開，使氣漏出後再全部卸掉螺絲，取下法蘭盤及和尙頭。

因采油樹較高，為了采氣工能安全的操作，一般在井口安置一個高的木架，木架上有扶梯和平台。操作者不要腳蹬凡爾爬上采油樹。圓井須用土或水泥填實，至少要用木板蓋上，以防止操作者因疏忽大意跌下。如用木板蓋要經常排除圓井內的積水，以防腐蝕設備。凡使采油樹搖擺的一切動作，都要禁止。

井口設備的些微漏氣，都要給予充分重視，小的漏氣縫隙往往很快就被沖成大的漏氣孔道，以致井口崩毀，造成嚴重事故，

井坊照明及通訊設備要隨時檢查，不可使任何電綫掛在井坊設備上。如果井坊在曠野且采氣工又不是經常在井旁時，應用鉄絲網將井坊圍起來，以防野獸進入破損設備。

### 交接班與記錄制度

依氣井具體情況，有時專門有一至二人在井坊值班；亦有時一個人同時照顧幾口井。但氣井井位不象油井那樣密，一般井距有1公里左右，所以除了有便利的交通工具外，一個人不能管理過多的氣井。每班交接的時候，依交接班制度，前班人將原始班報填好，介紹情況及清点工具，由接班人在班報上簽字。

井口壓力、流量、溫度、水量、油量等除了有自動記錄的原始卡片外，都要詳細記錄。這種原始記錄是很寶貴的，對此井的開采和氣田的開發都有極重要的作用。

### 檢修與維修

除了采氣工平時在工作中對井坊小的物件加以修理外，當氣井試氣或關井時，事先要作好計劃，由車間的檢修班對井坊設備進行檢修。檢修工作包括：更換已不能用的墊圈或盤根，清理分離器內部污物，向安全凡爾，閘門凡爾，針形凡爾等必要加油處注油，更換關閉不緊的凡爾，上緊已松的螺絲等等，甚至必要時更換管綫及某些設備。檢修完畢後應由采氣工段派技術員與采氣工會同驗收，並在檢修單上簽字。

井坊設備上常塗以灰色或銀色油漆，加以保護，同時要定期刮去半脫落的保護漆，塗以新漆。井坊要經常保持整潔、干淨，這不但便于安全生產，亦是保護設備的重要條件。

## 第2节 油管的选择与气升眼

### 选择油管的依据

从第二章所述知道，气田主要分为三种驱动类型，即气驱、水驱、溶解弹性驱动，但最后一种在形成气顶后主要为气驱作用。虽然气层在各个时期有不同的主要驱动形式，但研究气田开采时可以气驱或水驱两类为主。

从保护驱动力观点看，气田与油田有着截然不同的开采方式：油田必须减小油气比，以保护驱动能力；气田除了极少情况下采地下水外，尽量不采地下液体，以保持气层压力。油田开采中要特别注意使各井压力降均匀，不发生局部低饱和现象；而气田在这方面没有很严格的要求，因为气井关井后气层的漏斗状压力降恢复得比较快。但是，对于有边水的气层（如本章第4节所述），应注意不要使边水舌进。因此，气田具有较独特的开采方式。无论是那一种驱动，必须在气层性质不发生恶化并能充分地达到高采收率的条件下，使井口保持高的压力。这样产出的高压气可以减少气体处理、集气以及输气的成本，使气田更经济地发挥能力。如果天然气中不含腐蚀性物质而又不需采出地下液体时，为了使气层处的回压力与井口压力间的压力降小，可用较大直径的油管或直接以套管生产。

气井井底常有夹层水及砂泥等固体颗粒，尤其是裸眼完成的井中，井底更是不够清洁的。为了使气层处清洁，以利气流通过，就需要用直径较小的油管生产，并尽可能将油管下到气层的中部（或底部）。因为直径小的油管，其里面天然气的流动速度快，能将污物带出地面。

显然，油管尺寸应根据气田的具体情况，开发方案、需要气量等等条件来选择。这对于气井是很重要的。例如，某气井的可

采量每日为 100 余万立方公尺，但由于所下油管直径太小，故只能发挥一半能力；又如某口井下了较大的油管，虽然达到充分的采气量，但管内气流速度慢，不能把井中的积水、积砂带出，致影响正常生产。所以说，油管选择和使用如不正确对采气工作影响极大。

## 油管直径的确定方法

### 1. 油管直径与携带杂质出井的气流速度。

开采初期油管内气流能把杂质携带出井的流速  $v_c$ ，称为临界速度。 $v_c$  要依井下情况、杂质颗粒的大小等来确定。可使用如第三章计算分离器一样的方法计算。根据各气田的实际资料，通常  $v_c$  约为每秒 5 公尺。

如设  $d$  —— 油管直径，公分； $P_f$  —— 气层压力，公斤/公分<sup>2</sup>，绝对； $P_r$  —— 气层处回压力，公斤/公分<sup>2</sup>，绝对； $Q$  —— 每日采气量，公尺<sup>3</sup>（正常情况下）；在温度设为不变值时，则

$$v_c = \frac{Q}{24 \times 60 \times 60 \times \frac{\pi}{4} \left( \frac{d}{100} \right)^2 \times P_f},$$

$$5 = \frac{4 \times 10000 \times Q}{86400 \times \pi d^2 P_f},$$

$$d^2 = 0.0294 \frac{Q}{P_f},$$

$$d = 0.171 \sqrt{\frac{Q}{P_f}}. \quad (6-2-1)$$

亦即油管直径在开采初期应小于或等于  $0.171 \sqrt{\frac{Q}{P_f}}$ 。

### 2. 油管直径与各种开采方式。

对于气驱气藏的气井有四种不同主要开采方法。

设  $q$  —— 井的流量， $P_f$  —— 气层压力， $P_r$  —— 气层处回压力，

則

$\frac{q}{P_i} \leq \text{常数}$ , 即井底流速为不变的情况;

$P_i$  — 常数, 即井底有一定回压力;

$P_f - P_s = \text{常数}$ , 即井中压力降不变;

$\frac{q^2}{P_i} \leq \text{常数}$ , 即二項式的阻力平方部分不变。

要由这四种情况考虑气井随着开采时间的延长, 油管处流速是增加或减少, 如系增加則此油管能长时间使用而携出水、砂; 如系减少, 則要更换油管。根据一般采气情况, 以  $\frac{q}{P_i} \leq \text{常数}$  和  $P_f - P_s = \text{常数}$  为常采用的方式。前者井下气体流速是不变的, 所以油管可不需更换; 后者因为:

$$P_f - P_s = \text{常数} = c,$$

由二項式:

$$\begin{aligned} P_f^2 - P_s^2 &= aq + bq^2, \\ (P_f - P_s)(P_f + P_s) &= aq + bq^2, \\ c(P_f + P_s) &= c(2P_s + c) = aq + bq^2, \\ P_s &= \frac{aq + bq^2}{2c} - \frac{c}{2}, \\ \frac{P_s}{q} &= \frac{a + bq}{2c} - \frac{c}{2q}. \end{aligned} \quad (6-2-2)$$

由公式(6-2-2)可知, 随着开采时间的延长,  $q$  减少,  $\frac{P_s}{q}$  亦减小。因  $v = \frac{1}{\frac{\pi d^2}{4}} \left( \frac{q}{P_i} \right)$ , 故  $\frac{P_s}{q}$  减小,  $\frac{q}{P_i}$  則增大, 而  $v$  亦增大。所

以根据开采初期計算下入的油管可不必要更換。

对于水驅气藏, 从理論上看無論采取  $\frac{q}{P_i} \leq \text{常数}$ , 或  $P_f - P_s = \text{常数}$  的开采方式, 井底气流速度为常数, 故可不考虑更換油管。因此, 可以根据开采初期气流速度計算油管的  $d$  值, 再代入第 5

由井底回压力  $P_r$  计算井口压力  $P_w$  的公式求出  $P_w$ :

$$P_w = \sqrt{\left( P_r^2 e^{2.3} + \frac{0.00411 Q^2 T Z G L}{d^{5.315}} \right) \left( \frac{e^{2.3} - 1}{e^{2.3}} \right)}.$$

因为目前一般使用的油管只有两种，即  $2\frac{1}{2}$ " 与 4" 者，将来我们亦要使用各种尺寸的插入油管里的泵管。按上述方法求出的  $P_w$  与开采一定时间后的  $P_w$  均合于输气条件时，则计算出的  $d$  值可采用接近于此值而较大尺寸的油管或泵管；如  $P_w$  不但满足要求而有多余时，可考虑用较小油管或泵管；如  $P_w$  不能满足要求，则另行考虑临界速度再行计算，以达到合乎要求的  $P_w$  且又能携带出井下污物的目的。

### 气升与气升眼

#### 1. 气升。

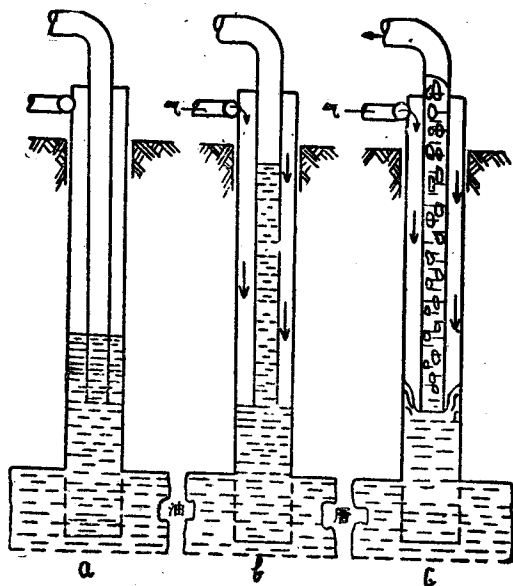


图 284

关于气升的原理，我们以产油井或产水井为例来说明。油、套管口敞开时，水层压力只能使井内水面达到一定高度（图 284,a）；这时如由套管注入气体（如图 284,b），则随着注入气体的推进，环形空间里的水面最后降至油管底；如继续注入气体，则气从油管底端进入油管而上升，使油管内形成气水混合物而自油管口溢出，这时油管底部的液面情况如图 284,c 所示。这种方法称为气升。但采气中并不另注入气而利用井下气层本身的气，以气升水。

## 2. 气井中的产水层。

气井中产水层的层位有三种情况，即水层在气层下部，水、气同层，水层在气层上部。原则上要把气井中的水层堵塞后方可采气，但事实上水层除用套管封堵外很难堵塞住，尤其是盐水层更是难堵。因此，有时须采用气水同采的开采方式，但必须防止水破坏气层。

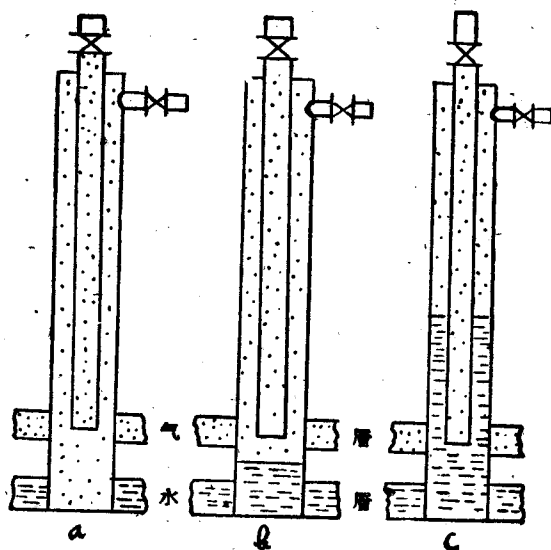


图 285

(1) 例如某气井(如图 285)在气层下部有水层, 同时采盐水与气。如气层压力  $P_{fg}$  比水层压力  $P_{fw}$  大得比较多, 则关井时井内无水面, 气向水层流入(图 285,a)。这种情况显然是不好的。

如  $P_{fg} > P_{fw}$ , 但关井后水面静止在气层与水层中间(图 285,b), 那么在这种情况下, 如由套管环形空间采气, 当水面漫过气层(图 285,c)时, 继续降低井口压力, 不能使气层处的回压力降低, 换句话说, 因为井口压力降低, 水面也随之上涨, 所以气流量将不变。如用油管采气, 则当液面达到油管底部后, 开始产生气升作用使气水混合物自油管喷出。

如  $P_{fg} < P_{fw}$ , 并且关井后水面静止在气层以上, 则水将灌入气层。此时若用套管采气, 则按理论看环间压力降低, 水面成比例地升高, 最后静止在一定高度处, 犹如压井, 一般不能产气。因此, 这种气井如不封堵下部水层, 则应采用气、水同采的方式开采。

(2) 如果在气层上部有薄水层(如图 286), 则只有当气层压

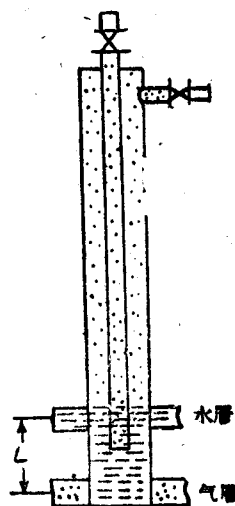


图 286

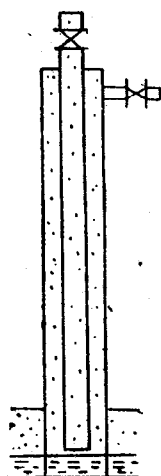


图 287

力  $P_{f0}$  大于水层压力  $P_{fw}$ , 加气、水层间的水柱压力  $P_L$ , 亦即  $P_{f0} > (P_{fw} + P_L)$  时方能采气; 如  $P_{f0} < (P_{fw} + P_L)$  则不但采不出气来并且水经常向气层灌入。

(3) 如气、水(底水)同层(如图 287), 则在采气过程中虽然不会发生气、水层互注现象, 但由于底水在井里升高, 会妨碍生产。

### 3. 油管与气升眼。

如上所述, 气井中的水层应尽可能地封堵住。如不能封堵, 为了同时开采气、水要下入油管。另外, 即或封堵了水层, 在高回压力情况下采气时, 井里往往仍有积液(天然气携带入井的天然汽油或水)或固体砂粒, 也必须下油管把它们喷出。无论井下

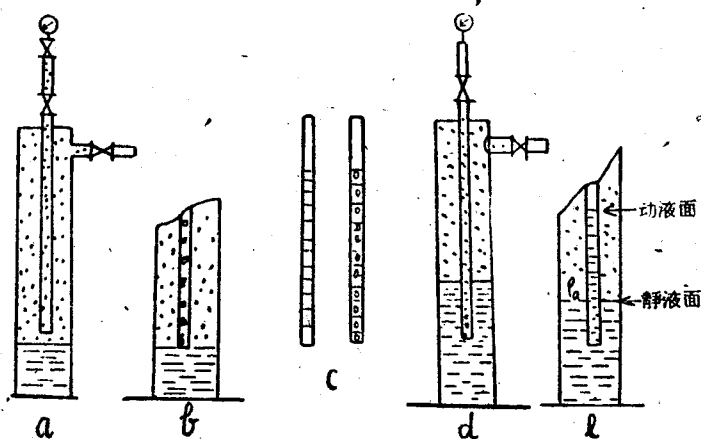


图 288

气水的来源如何, 当关井时水面在油管下部(图 288,a)。开井时若从油管采气, 则随着井口压力下降, 水面上升, 一直达到油管底部(如图 288,b), 然后进入油管形成气水混合液喷出地面。

现在研究一下气升的条件。如图 288,c, 左边是一端敞开的油管, 其中水面只能升达一定高度。当天然气由油管底部进入时, 如果它能够把管里的液柱冲出, 则它必须具有压头  $h_1$ , 这个

压头等于管内液柱的重量(如果不考虑气体本身重量的話)。如气体很少, 则气在液柱中呈个别气泡存在; 当气体量增大到一定程度时, 则呈气液混合物存在; 气体更多时, 则液体沿管壁上升。此时气体在液体中间上升, 并且气体里有許多液滴。这样, 油管里将充满气液混合液, 而克服混合液柱的重量, 所需的压头, 要比  $h_1$  小, 因此气升开始时克服液柱的力是最大的。混合物自油管流出, 则油管口与底有一个压力差  $h$ , 它包括: 压头  $h_1$ , 更正确些說是管内气液混合物重量造成的压头; 气液在管内与管壁的摩擦損失  $h_2$ ; 由于气比液体流动的快而造成的滑动損失  $h_3$ ; 气体愈接近油管上部受压愈小而造成的加速流动損失  $h_4$  ( $h_4$  比較小, 可以不計); 等等, 所以:

$$h = h_1 + h_2 + h_3.$$

根据苏联国立石油研究所 A. П. 克磊洛夫研究的結果, 如携出液量与油管直径一定, 则气量  $Q$  与  $h$  有如图 289 所示的关系。可見气升开始时,  $h = h_1 + h_2$ , 而  $h_3 = 0$ , 此时的  $h$  为最大。随着  $Q$  增加,  $h_3$  亦增加, 但在某一点 ( $h_1 + h_2 + h_3$ ) 的值是最小的。

这样, 如用套管采气(图 288,a), 则由于套管(或环間)面积过大, 气体都自液体滑出而不能将水携出。

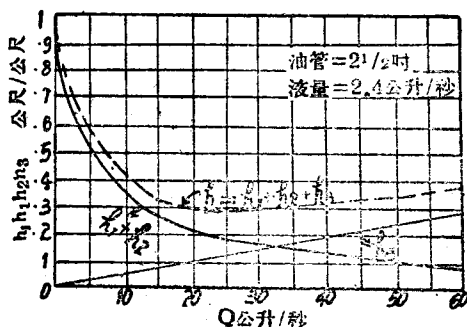


图 289

为了能充分携出井底污物, 通常尽可能把油管下到井底附