

油田注水生产系统节能技术

刘东升 主编

袁国英 韩志国 副主编

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

油田注水生产系统节能技术

刘东升 主编
袁国英 韩志国 副主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了油田注水生产工艺及能耗状况,对注水系统仿真技术、注水系统与注水泵的优化运行技术、运行控制技术、高压变频控制、注水管网系统改造等新技术进行了详细分析,同时介绍了其应用的效果,对使用注意事项及存在的问题提出了建议。本书对指导油田注水系统的优化设计和优化运行,以及老油田注水系统的优化调整改造和系统节能技术改造都具有较好的参考价值。可供油田工程技术人员及石油院校师生作为工作和校外参考书。

图书在版编目(CIP)数据

油田注水生产系统节能技术/刘东升主编.

北京:石油工业出版社,2003.8

ISBN 7-5021-4516-8

I. 油…

II. 刘…

III. 油田注水-节能-技术

IV. TE357.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 116996 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 5.75

字数: 105 千字 印数: 1500 册

书号: ISBN 7-5021-4516-8/TE·3163

定价: 20.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

在原油、天然气的开发生生产和加工过程中，自身也要消耗掉大量的能源。水驱油田中，油田注水是完成原油生产任务的重要保证措施。大庆油田地面注水系统均为各自独立的区域注水系统，老区注水工艺采用集中高压注水工艺，据 1999 年统计数据，注水系统耗电约占油田总耗电量的 40%，搞好油田注水系统节能降耗工作对于降低水驱油田生产运行成本具有重要的意义。

石油工业认真贯彻国家“资源节约与开发并举，把节约放在首位，提高资源利用效率”的方针，实施可持续发展战略，在发展油气生产的同时，重视搞好节能工作。不断加强节能科学管理，大力推进节能技术进步，研制、开发和推广了一批节能新技术。在大庆油田开展了注水系统节能技术研究，本书重点介绍注水系统仿真、优化、运行控制、变频调速及管网改造技术。本书在编写过程中，参考了许多文献资料，得到了各方面的大力支持，在此出版之际，向各位编写人员、各位文献作者和关心支持本书编写的领导、同志们一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有错误和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编著者
2003 年 7 月

目 录

第一章 油田注水生产工艺及能耗分析	(1)
第一节 油田注水概述	(1)
第二节 注水工艺流程	(4)
第三节 注水系统能耗分析	(5)
第四节 注水系统主要节能技术	(9)
第二章 注水系统的仿真技术	(17)
第一节 注水系统仿真提出	(17)
第二节 注水系统的基本水力元件及其数学模型	(17)
第三节 油田注水管网的系统总体方程	(24)
第四节 油田注水系统仿真算法	(28)
第五节 仿真算例及分析	(34)
第三章 注水系统与注水泵的优化运行技术	(41)
第一节 注水泵的优化模型	(41)
第二节 优化及求解方法	(43)
第三节 程序实现及运行方案分析	(46)
第四节 优化过程中的一些问题处理方法	(50)
第四章 注水系统运行控制技术	(52)
第一节 注水系统运行的特点	(52)
第二节 系统控制的关键技术问题	(52)
第三节 控制系统组成及分析	(57)
第四节 控制系统的实现及操作	(58)
第五章 注水系统高压变频控制技术	(61)
第一节 变频调速装置的作用	(61)
第二节 离心泵调速节能技术分析	(62)
第三节 变频调速的原理	(64)
第四节 高压变频调速在注水系统应用中应注意的问题	(66)
第六章 注水管网系统改造设计技术	(70)
第一节 注水管网改造技术综述	(70)
第二节 注水管网系统改造优化设计的数学模型与算法	(72)
第三节 注水管网系统布局改造的优化设计方法	(77)
第四节 注水管网系统改造优化设计的计算机实现	(80)
第五节 综合实施效果	(81)
参考文献	(83)

第一章 油田注水生产工艺及能耗分析

第一节 油田注水概述

一、油田注水的作用

油田可以只利用油层的天然能量进行开发，也可以采用保持压力的方法进行开发。深埋在地下的油层具有一定的天然能量和压力，当开发时，油层压力驱使原油流向井底，经井筒举升到地面，地下原油在流动和举升过程中，要受到油层的细小孔隙和井筒内液柱重量及井壁摩擦力等阻力。如果仅靠天然能量采油，采油过程就是油层压力和产量下降的过程。当油层压力大于这些阻力时，油井就可以实现自喷开采，当油层压力只能克服孔隙阻力而克服不了井筒液柱重量和井壁摩擦力时，就要靠抽油设备来开采。如果油层压力下降到不能克服油层孔隙摩擦力时，油井就没有产出物了。

一个油田在进行开发时，为了保持油田较长开发周期和原油产量的稳定，基本上都要采用保持地层压力开采的方法。为了提高油田采收率，世界上很多国家都在研究如何用人工的办法保持地层压力，向油层补充能量，使之达到多出油、出好油的目的。目前比较成熟的措施有：注水、注气、注蒸汽及火烧油层等。

与其他物质相比，注入水具有无可质疑的优点，一方面水的来源比较易于解决，同时把水注入油层是比较便宜的；另一方面，从一个油层中用水来排油，水作为介质十分理想。当然，还应看到注水井中的水柱本身具有一定的压力。水在油层中具有的扩散能力，使油层保持较高的压力水平，由于保持油层压力始终处于饱和压力以上，就会使地下原油中溶解的天然气不会大量脱出而使原油性质稳定，保持良好的流动条件。这样，就可以使油井的生产能力保持旺盛，能够以较高的采油速度采出较多的地下储量，即有利于提高油田原油采收率。从 1954 年开始在玉门油田首先采用注水以来，国内的各大主要油田先后都进行了油田的注水开发，以使油田长期稳定高产。在世界范围内，注水保持压力开采方法已得到大面积使用。

油田注水是采油生产中最重要的工作之一。油田的注水开发在油田的开发中具有极其重要的意义。如何通过控制注水和控制产出水量的使油田保持长期高产、稳产，即用“控水”来达到“稳油”的目标，是中高含水期油田保持高产、稳产的重要技术内容。这就要求控制油井高含水层的产水量，并且通过注水井

调整不同油层的注水量，有效地控制注、采水量的增长幅度。要达到上述目的，就必须正确运行整个注水系统，保证系统内的流量和压力具有最适当的分布。随着油田的不断开发，油田的注水系统在增产、稳产中的作用也越来越突出。

随着油田的开发，油田含水不断增加，产液量也迅速上升。为了继续实现油田稳产，油田能耗将急剧升高。因此，充分发挥已建和在建生产能力，进一步控制并降低注水损耗，减少生产能耗，已成为今后油田生产建设中的重要任务。

二、注水方式

选用注水开发的油田有两类注水方式，即边外注水和边内注水。边外注水适应于油田面积小，地层倾角大，油层连通性好，油层均匀及边水活跃的油田。

边内注水形式较多，分为以下几种形式：

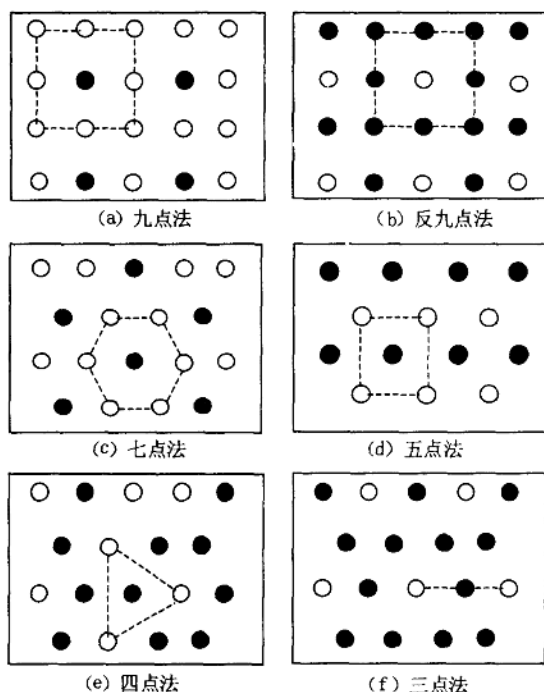


图 1-1 布井形式图

(1) 内部横切割注水（或行列注水）。一般用于油层渗透率较均匀，油层分布面积大，断层少的长形油田。它的特点是：按注水井排分块进行开发，两注水井排间为一独立的开发单元，注入的水从注水井排向两侧生产井排推进，水淹区比较集中，生产井排单方向受到注水影响。切割区内注水和生产井分期分批转注和投产，因而注水井排两侧的生产井采油速度较高。在开发过程中可根据油田开发动态变化，调整注水系统，改变注水方式。

(2) 腰部注水。用于开发油层边部渗透性变差，含油面积较大的窟窿背斜油田。

(3) 顶部注水。适合油层面积大，油层边缘渗透率低或有气顶的油田。

(4) 面积注水。适应性较广，目前世界各国普遍采用，特别适用于油层形状不规则且零星分布，渗透性差及断层不规则的油田。

布井形式有九点法、反九点法、七点法、五点法、四点法及三点法等，见图（1-1）。

三、注水压力

注水压力（指注水井口压力）的高低，是决定油田合理开发和地面管线及设备的重要参数。注水压力低，注水量满足不了油田发展的需要，必然造成油层压力下降，并造成地面系统扩建、改建等不合理现象；注水压力过高，浪费动力及钢材。因此，确定合理的注水压力，是注水工程地面建设的中心环节。

注水压力必须来源于可靠的资料，一般根据以下几点考虑：

(1) 新开发油田缺少地质资料时，应开辟注水试验区，选取不同油层、不同区域，特别是在渗透率及原油粘度变化大的区块，应分层试注，分别取每一层段的注水压力、注水量等原始资料。试注时间长短，应以达到上述参数的稳定为准。

(2) 参考新开发区（或新油田）的试采资料，如酸化、压裂等，或者参考附近油田已注水区域的实际注水压力。

(3) 上述资料缺乏时，一般可粗略计算，即注水压力（井口压力）等于 1.0~1.3 倍油层压力。

目前世界上推广高压注水，注水压力一般按原始油层压力的 0.8~1.3 倍计，但实际注水压力为原始油层压力的 0.8~0.9 倍。

(4) 注水压力应以开发层系中的中低渗透率层段能完成配注量为基础，并考虑到强化注水和注入其他介质，如增粘剂等。

四、注水量计算

一个油田或一个区域的注水量按式 (1-1) 计算：

$$V = A(Q \frac{R}{r} + Q_1) + V_1 + V_2 \quad (1-1)$$

式中 V ——注水量， m^3/d ；

A ——注采比；

Q ——产油量， t/d ；

R ——原油体积系数；

r ——地面原油相对密度；

Q_1 ——油井产水量， m^3/d ；

V_2 ——注水井溢水量， m^3/d ；

V_1 ——洗井水量及修井作业用水量， m^3/d 。

洗井及井下作业用水量一般按注水井总数的 1%~2% 的井在洗井时计算，如一个区域或一个注水站不足 50 口注水井时，则按一口注水井计算，洗井强度 25~30 m^3/h 。

一个油田的注水量，开发初期油井的产水量按 40% 计，开发中期的产水量按 60% 计。在确定注水规模时，以含水率 40% 的注水量为施工图设计基础，以油井含水率 60% 的注水量为设计规模。

第二节 注水工艺流程

向地层内注入的水是从水源来，经过水处理、注水泵、管网、配水间分配到各注水井去，目前国内注水工艺流程主要有以下几种。

一、单管多井配水流程

如图 1-2 所示。注水站将水经单管配水干线送到多井配水间，分配计量后进注水井。这种流程的特点是配水间可与计量间合建，便于管理，也容易调整管网。适用于油田面积大，注水井多，注水量大的注水开发区块。

二、单管单井配水流程

如图 1-3 所示。配水间在井场，每条干线辖几十口井，分层测试方便。适用于油田面积大，注水井多，注水量较大的行列注水开发区块。

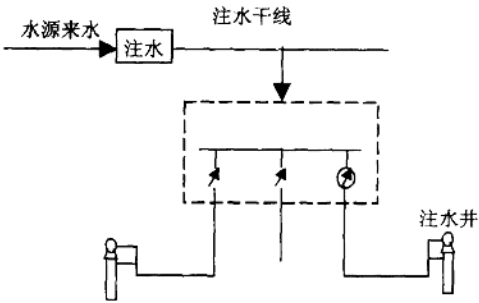


图 1-2 单管多井配水流程图

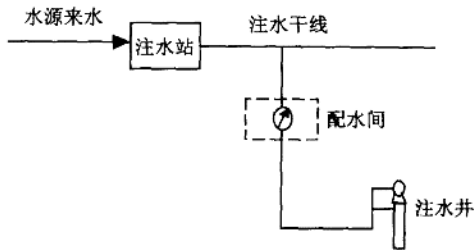


图 1-3 单管单井配水流程图

三、双管多井配水流程

如图 1-4 所示。该流程从注水站到配水间有两条干线，一条注水，另一条洗井。适用于单井注水量较小的地区，有利于保持水质，一般用于洗井次数多和酸化压裂较多区块。

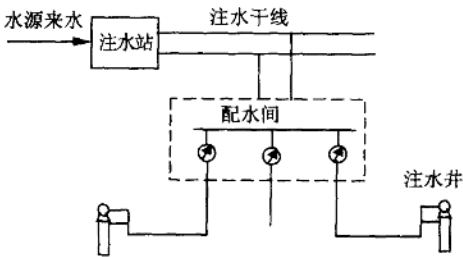


图 1-4 双管多井配水流程图

四、分压注水流程

如图 1-5 所示。当多油层油田的油层渗透率差别很大时，需采用压力不同的两套管网，对高、中渗透层和低渗透层实

行分压注水。

五、增压注水流程

如图 1-6 所示，对于同一区块内少部分低渗透层的注水井，可采取阶梯式增压注水工艺，根据井网半径大小，可使几口井集中增压或单井增压。

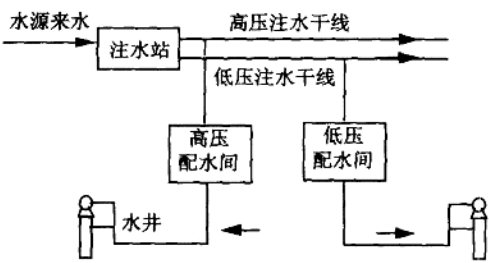


图 1-5 分质分压注水流程图

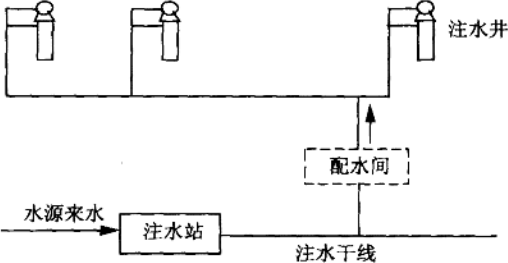


图 1-6 增压注水流程图

第三节 注水系统能耗分析

一、注水系统的能耗

注水系统消耗的能量粗略地说可以分为四大部分。第一部分是驱动注水泵电机损耗的能量，这部分能量可以用电机的效率曲线来描述。油田使用电机的效率随轴功率而变化，效率约为 96%，也就是说每注 1m³ 的水大约有 4% 的能量由电机本身损耗了。第二部分是注水泵消耗的能量，这部分能量可用水泵效率曲线来描述。它随水泵输出流量而变化，目前油田用注水泵平均运行效率约为 77%，即每注 1m³ 水大约有 20% 的能量被注水泵损耗了。第三部分能量为管网摩擦损失，可以用管网效率来描述。第四部分能量是将水注入油层所需的能量。这部分能量决定于油层所要保持的压力、储油层的性质和油层的动态等因素。因此油田注水系统耗电量很大，平均占油田生产用电量的 40% 以上。因此开发油田注水系统节能技术和装备一直是油田节能工作的重点之一。

二、注水系统效率的计算方法

油田注水系统效率由电动机效率、注水泵效率和注水管网效率组成。

1. 电动机效率的计算

(1) 电动机效率计算，按 GB 12497—90 和 GB 8916—88 计算。当采用测量法计算电动机效率时，按式 (1-2) 计算：

$$\eta_e = \frac{P_e - P_0 - 3I^2R - KP_e}{P_e} \times 100\% \tag{1-2}$$

$$P_e = \sqrt{3}IU\cos\phi \quad (1-3)$$

式中 η_e ——电动机效率；
 P_e ——电动机输入功率，kW；
 I ——电动机线电流，A；
 U ——电动机线电压，kV；
 $\cos\phi$ ——电动机线功率因数；
 P_0 ——电动机空载功率，kW；
 R ——电动机定子直流电阻，k Ω ；
 K ——损耗系数，随电动机杂损耗、转子铜耗功率的增大而增加。常用的2级1000~2250kW电动机的 K 值为0.009~0.011，一般可取0.01。

(2) 电动机平均运行效率用式(1-4)计算：

$$\bar{\eta}_e = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ei}\eta_{ei}}{\sum_{i=1}^n P_{ei}} \quad (1-4)$$

式中 η_e ——电动机平均效率，%；
 P_{ei} ——第 i 台电动机输入功率，kW；
 η_{ei} ——第 i 台电动机效率，%。

2. 注水泵效率计算

(1) 当采用流量法时，注水泵效率按式(1-5)计算：

$$\eta_p = \frac{\Delta P \cdot q_{vp}}{3.6P_p} \times 100\% \quad (1-5)$$

$$P_p = P_e \cdot \eta_e \quad (1-6)$$

$$\Delta p = p_2 - p_1$$

式中 η_p ——注水泵效率，%；
 q_{vp} ——注水泵的流量，m³/h；
 P_p ——注水泵轴功率，kW；
 p_1 ——注水泵进口压力，MPa；
 p_2 ——注水泵出口压力，MPa。

(2) 当采用热力学法时，注水泵效率按式(1-7)计算：

$$\eta_p = \frac{\Delta p}{\Delta p + 4.1868(\Delta t - \Delta t_s)} \times 100\% \quad (1-7)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

式中 t_1 ——注水泵进口水温, °C;

t_2 ——注水泵出口水温, °C;

Δt_s ——等熵温升值, 见表 1-1, °C。

(3) 注水泵平均运行效率按式 (1-8) 计算:

$$\bar{\eta}_p = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \eta_{pi}}{\sum_{i=1}^n P_{pi}} \quad (1-8)$$

式中 η_p ——注水泵平均效率, %。

3. 注水站效率计算

(1) 注水站效率按式 (1-9) 计算:

$$\eta_s = \frac{(p_3 - p_1) \cdot q_{vp}}{3.6 \sum P_e} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 η_s ——注水站效率, %;

p_3 ——注水站外输水出站压力, MPa;

q_{vp} ——注水站外输水流量, m³/h;

$\sum P_e$ ——注水站拖动注水泵电动机输入功率之和, kW。

(2) 注水站平均运行效率按式 (1-10) 计算:

$$\bar{\eta}_s = \frac{\sum_{i=1}^n \sum P_{ei} \eta_{si}}{\sum_{i=1}^n \sum P_{ei}} \quad (1-10)$$

式中 $\bar{\eta}_s$ ——注水站平均运行效率, %;

η_{si} ——第 i 个注水站运行效率, %;

$\sum P_{ei}$ ——第 i 个注水站拖动注水泵电动机输入功率之和, kW。

4. 注水管网运行效率计算

注水管网运行效率按 (1-11) 式计算:

$$\eta_n = \frac{\sum_{i=1}^n p_{4i} \cdot q_{vi}}{\sum_{i=1}^n p_{2i} \cdot q_{vpi}} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 η_n ——注水管网效率, %;
 p_{4i} ——第 i 口注水井井口压力, MPa;
 q_{vi} ——第 i 口注水井注水量, m^3/h ;
 p_{2i} ——第 i 台注水泵出口压力, MPa;
 q_{vpi} ——第 i 台注水泵流量, m^3/h 。

5. 注水系统效率

注水站系统效率按式 (1-12) 计算:

$$\eta = \overline{\eta_e} \overline{\eta_p} \cdots \eta_n \quad (1-12)$$

式中 η ——注水系统效率, %。

6. 注水单耗的计算

(1) 注水系统单耗。

用统计方法或测量方法求得注水系统的总耗电量及总注水量, 按 (1-13) 计算:

$$DH_1 = \frac{W_1}{V_1} \quad (1-13)$$

式中 DH_1 ——注水系统单耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;

W_1 ——注水系统耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

V_1 ——注水系统注水量, m^3 。

(2) 注水站单耗。

用统计方法或测量方法求得注水站的总耗电量及总输出量, 按 (1-14) 计算:

$$DH_2 = \frac{W_2}{V_2} \quad (1-14)$$

式中 DH_2 ——注水站单耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;

W_2 ——注水站耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

V_2 ——注水站外输水量, m^3 。

(3) 注水机组单耗。

用统计方法或测量方法求得注水机组的总耗电量及总输出量, 按 (1-15) 计算:

$$DH_3 = \frac{W_3}{V_3} \quad (1-15)$$

式中 DH_3 ——注水泵机组单耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;

W_3 ——注水泵机组耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

V_3 ——注水泵机组注水量, m^3 。

表 1-1 等熵温升值 Δt_s ($^{\circ}\text{C}$) 表

$t_1, ^{\circ}\text{C}$	p_2, MPa							
	11	12	13	14	15	16	17	18
2	-0.022	-0.023	-0.023	-0.024	-0.024	-0.024	-0.025	-0.025
4	0.003	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014	0.017
6	0.026	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.050	0.054
8	0.048	0.054	0.059	0.065	0.071	0.077	0.083	0.090
10	0.069	0.077	0.084	0.092	0.099	0.107	0.116	0.124
12	0.089	0.099	0.108	0.117	0.127	0.136	0.146	0.156
14	0.109	0.120	0.130	0.141	0.153	0.164	0.175	0.187
16	0.127	0.140	0.152	0.165	0.178	0.191	0.204	0.217
18	0.145	0.159	0.173	0.188	0.202	0.216	0.231	0.245
20	0.163	0.178	0.194	0.209	0.225	0.241	0.257	0.273
22	0.179	0.196	0.213	0.231	0.248	0.265	0.283	0.300
24	0.196	0.214	0.232	0.251	0.270	0.288	0.307	0.326
26	0.212	0.231	0.251	0.271	0.291	0.311	0.331	0.351
28	0.227	0.248	0.269	0.290	0.311	0.333	0.354	0.376
30	0.242	0.264	0.287	0.309	0.332	0.354	0.377	0.400
32	0.256	0.280	0.304	0.328	0.351	0.376	0.399	0.423
34	0.271	0.296	0.321	0.346	0.371	0.396	0.421	0.446
36	0.285	0.311	0.337	0.363	0.389	0.416	0.442	0.468
38	0.298	0.326	0.353	0.380	0.408	0.435	0.463	0.490
40	0.312	0.340	0.369	0.397	0.426	0.454	0.483	0.512
42	0.325	0.354	0.384	0.414	0.443	0.473	0.503	0.532
44	0.337	0.368	0.399	0.430	0.460	0.491	0.522	0.553
46	0.350	0.382	0.413	0.445	0.477	0.509	0.541	0.573
48	0.362	0.395	0.427	0.460	0.493	0.526	0.559	0.592

第四节 注水系统主要节能技术

一、降低电机损失

(1) 选择节能型高效电机。国家有关部门不定期公布能耗大的淘汰产品, 设计时应注意选择新型高效产品。

(2) 结合油田实际, 合理选型, 减少无功损失。

(3) 注水泵合理匹配, 避免“大马拉小车”。

选用功率为 1000kW 及以上的注水泵电机时,其效率应大于 95%,功率因数应不小于 0.85,可参照表 1-2 进行选择。

表 1-2 注水用电机性能表

电机型号	功率 kW	同步转数 r/min	效率 %	功率因数
JK ₂ -800	800	3000	95	0.85
YK-1000-2	1000	3000	95	0.86
YK-1250-2	1250	3000	95	0.86
YK-1600-2	1600	3000	96	0.87
YK-1800-2	1800	3000	96	0.87
YK-2000-2	2000	3000	96	0.88
YK-2200-2	2200	3000	96	0.88

二、降低注水泵损失

在油田注水系统中,因泵效低而损失的能量最多,因此,注水泵节能是降低注水系统能耗的关键。

(1) 合理选择高效大排量离心注水泵。由于大排量离心注水泵过流面积大、阻力小,使之容积损失和水力损失小,泵效比小排量泵高。对于注水量较大、注水压力要求不高的油田,应推广应用 D300-150、D250-150、D280-160 型系列离心式注水泵。该类泵采用三元流叶轮改进流道和密封结构,提高了结构性能,泵效达 75%~80%。另外,该系列泵还分别带有两种不同直径的叶轮,用户可根据排量、扬程的要求随时更换叶轮,能较好地适应生产参数的变化。油田注水系统常用的高效离心泵性能见表 1-3。

表 1-3 离心式注水泵性能

流量 m ³ /h	扬程 m	转速 r/min	必须气蚀余量 m	效率 %
80	720~1440	2985	5	65
	1500~1800	2985	5	63
100	720~1440	2985	5.5	68
	1500~1800	2985	5.5	66
120	720~1440	2985	6	71
	1500~1800	2985	6	68
160	720~1480.5	2985	6.5	74
	1500~1760	2985	6.5	71
200	810~1485	2985	7	75
	1600~1760	2985	7	73

续表

流量 m^3/h	扬程 m	转速 r/min	必须气蚀余量 m	效率 $\%$
250	810~1485	2985	8	77
	1600~1760	2985	8	75
320	810~1485	2985	8.7	79
	1575~1925	2985	8.7	77
450	780~1760	2985	10.4	81
630	1050~1925	2985	11.6	82

采用离心泵的注水站, 装机台数不应过多, 一般情况下, 离心泵的流量越大, 效率越高, 因此, 开两小泵, 不如开一台大泵效率高, 而且也节约基建费用, 所以其运行台数以 1~2 台为宜。

应用大排量离心泵可收到明显的节能效果, 以江汉油田王—注水站为例, 该站原设计有 6D100-150 泵两台, 随注水量的增大, 已增至 5 台才能满足注水量的要求, 后改造选用两台高效大排量注水泵 DF300-150A $\times$ 9 作为主力注水泵, 改造后使注水耗电由 $7.2\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 降为 $6.2\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, 平均年节电 $419\times 10^4\text{kW}\cdot\text{h}$, 仅节电费及维修费 3 年可收回全部投资。

所选离心泵为多级时, 其压力应与注水干线压力相匹配, 泵出口阀前后压差过大时, 可采用减泵级数, 车削泵叶轮外径等措施来降低压差。减级时应注意除拆去叶轮外, 还应拆去导翼, 并在转子及中段上各加相应的隔套及导流套, 这样泵减级后效率下降很少, 一般在 1% 以内。如果需提高注水压力, 可再将减下的叶轮装上, 可很快恢复到原来状态, 该方法灵活, 拆装方便, 不但节电, 而且可使泵始终在高效区工作。

(2) 合理利用注水泵的高效区。为适应用水量和水压的变化, 常采用多台注水泵并联运行和单独运行相结合的方式。为使注水泵的工况尽可能处在高效区内, 应注意使它在并联时每台水泵的工况点接近高效区的左面边界。这样, 当单泵运行时, 工况点右移, 仍可能处在高效区内, 在整个工况变化范围内效率较高。

当注水泵并联工作时, 每台注水泵的工况点随着并联台数的增多, 而向扬程高的一侧移动, 台数过多, 就可能使工况点移出高效区的范围, 测试资料表明, 当两台或三台注水泵并联运行的实际出水量为注水泵叠加水量的 73%~82% 时, 用电单耗较单台运行高 4%~15%。

(3) 小油田选用柱塞泵。柱塞泵水力性能较离心泵好, 漏水量比离心泵小, 其泵效比离心泵高得多, 实际运行效率达到 85% 以上。因此对于注水量小、注水压力高的小油田或低渗透油田, 应选择高效柱塞泵。江汉油田广华注水站设

计规模 $4000\text{m}^3/\text{d}$ ，在作该站设计时进行了两种泵的方案对比，采用离心泵时需两台 6D100-150 泵，注水单耗 $7.4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ；采用柱塞泵时需 4 台 3S 泵，注水单耗 $4.8\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最后确定采用柱塞泵。投产后，节电效果明显，仅节约电费 10 个月即可收回投资。

(4) 加强维修，减少腐蚀，以保持泵效。由于注水水质具有腐蚀性，使注水泵容积漏损加大。因此，应做好日常维护工作，确保注水泵在使用期内泵效保持不变。

(5) 打光泵流道。提高加工精度。目前油田仍使用一定数量的低效老式离心泵，老式离心泵制造较粗糙，在大修时，应采用砂轮打光、水力抛光等办法，以提高泵效。江汉油田钟市注水站对 1 台 6D100-150 泵大修时，使泵效提高了 3.5%，仅此一项年节电达 $48.0\times 10^4\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

(6) 考虑泵站的发展，实行近、远期相结合。在初期供水量较小时，可以安装小泵来满足用水要求。后期用水量增大时，再逐步换成大泵。在设计泵站时，应考虑到将来扩建的可能，以达到提高经济效益的目的。

三、泵站管路节能设计

(1) 吸水管路直径小于 250mm 时，其流速为 $1.0\sim 1.2\text{m}/\text{s}$ ；直径不小于 250mm 时，流速宜为 $1.2\sim 1.6\text{m}/\text{s}$ 。

(2) 吸水管路不允许漏气。当空气进入时，水泵的吸水量将减少，甚至吸不上水，影响水泵的工作效率，严重时注水泵会发生故障。所以，吸水管路应采用钢管焊接连接。

(3) 为充分利用水泵的允许吸入高度，吸水管路应尽量少用管件，并减少管路长度。当多台泵并联工作时，每台注水泵都应有独立的吸水管。

(4) 为避免吸水管路形成气囊。而减小过水断面，吸水管路应有沿水流方向上升的坡度，一般大于 0.005，吸水管路上的变径应采用偏心渐缩管。

(5) 排水管路管径小于 250mm 时，设计流速宜为 $1.5\sim 2.0\text{m}/\text{s}$ ；管径不小于 250mm 时，为 $2.0\sim 2.5\text{m}/\text{s}$ 。

(6) 在来水管路上一般不设止回阀，必须设置止回阀时应采用微阻缓闭止回阀。它不但具有单向功能，而且对防止水击和节约电能具有明显的效果。

四、注水泵排量调节

在油田注水系统中，由于地质情况的变化，开关井数的增减，洗井及供水不足的影响，经常引起注水量的波动。就大庆杏南油田而言，其中测试、洗井等作业造成的流量变化一般为 $600\sim 1500\text{m}^3/\text{d}$ ，因此水泵不能总保持一个固定的工况点，为了保证配注要求需要根据实际情况进行控制。控制方式一般有 3 种：

(1) 开泵台数控制。根据用水量的变化，注水泵或并联运行或单独运行。