

井泵理论与技术

栾鸿儒编

机井节能节水测试技术改造培训教材



水利电力出版社

机井节能节水测试改造技术培训教材

井泵理论与技术

栾鸿儒 编

水利电力出版社

序 言

我国北方地区机井建设自1973年纳入国家计划以来，有很大发展，已成为这一地区水利建设的重要组成部分。在北方17个省、自治区、直辖市的1200多个县、旗中，有900多个县、旗打了井，共建成配套机井220多万眼，配用动力2000多万千瓦，井灌面积达1.67亿亩，约占这一地区总灌溉面积的三分之一，并改善了供水不足草原和开辟无水草原11万平方公里。由于过去大发展时期建设的机井多数没有经过严格的配套设计和选型，加上设备质量不高，供应品种不全和管理不善等原因，造成不少井、机、泵配套不合理，致使装置效率低、耗能多、运行成本高、经济效益低。

我国能源不足，尤其是电力和燃油供应紧张，这是我国国民经济发展中的一个突出的薄弱环节；我国人均水资源每年为2600立方米，仅相当世界人均水量的四分之一，尤其是北方地区，有的地方人均水资源每年只有三、四百立方米，已成为经济发展的严重制约因素。北方17省、市、自治区自发展井灌以来，由于长期开采大于补给等原因，不少地方区域地下水位逐年大幅度下降，迫切需要采取措施解决。

当前北方地区机井工作正开展以节能节水为中心的技术改造，提高机井装置效率和水的有效利用率，达到降低灌溉成本，提高经济效益的目的，这是井灌区加强科学管理做到合理开发利用地下水的首要任务。自1983年我司召开“机井节能节水技术改造经验交流会议”以来，到1985年底，北方

井灌区已改造机井27万眼。经过技术改造的机井，装置效率平均提高10%左右。据河南省浅井地区框算，技术改造后比改造前，平均一眼机井一年可节电近700千瓦小时（度）；河北省深井地区框算，平均一眼机井一年可节电约5000千瓦小时（度），效果十分显著。

经过两年多的技术改造实践，说明机井的科学管理必须把节能节水技术改造作为主要内容和经常工作。机井的技术状态及地下水位均在运用过程中不断地变化着，要保持较高的机井装置效率，就必须经常对井、机、泵、管、传进行检修和调整，因此，基层机井管理人员的技术素质是搞好机井技术管理、提高机井装置效率的关键；同时，机井管理工作要逐步贯彻、执行水利电力部颁发的《农用机井技术规范》，使机井管理工作科学化、正规化、这也要求机井管理人员具有一定的技术水平。

为了提高机井管理人员的技术素质，加强机井管理工作，我司在“1984年机井节能节水技术改造师资培训班”教材的基础上，会同水利电力出版社，组织编写了“机井节能节水测试改造技术培训教材”，这套教材共6册，约110万字，包括《井灌水力学基础》、《农用机井设计与管理》、《井泵理论与技术》、《机井动力设备（一）柴油机》、《机井动力设备（二）电力设备及线路》、《机井装置效率的量测与节能节水技术改造》，授课时数约200学时。编写、审定这套教材的同志，付出了辛勤的劳动，在这里，向他们表示衷心的感谢。

党的十一届三中全会以来，中央多次提出要加强职工队伍的培训，提高整个职工队伍的政治素质和业务、技术、文化水平，以适应四个现代化建设的需要。水利电力部职工教育工作要求，要建立健全职务和岗位技术培训制度，要逐

步做到未经培训合格,不能上岗和提升。机井管理也应如此,因此,凡具有中学文化程度、从事机井管理工作的同志,应逐步通过以本教材为基本内容的技术培训,可以单科或多科进行,由上级水利部门组织,由大、中专业学校老师或从事机井管理工作的工程师,按学时教授课,结业时进行单科考试,全部考试及格的,发给“结业合格证书”。

这套培训教材,内容上力求理论与生产实践相结合,着重于应用,文字上深入浅出,通俗易懂。我们希望各地在实际工作中,对这套教材多提补充、修改意见,使其内容不断完善。

水利电力部农田水利司

1986年7月

前 言

本书是在水利电力部农田水利司1984年举办的“机井节能节水技术改造师资培训班”所编《井用水泵》讲义的基础上整编而成。为了进一步提高广大机井技术人员、职工的理论和技术水平，书中适当加强了理论方面的内容；在编写上也力图做到理论联系实际，深入浅出，便于学习。书中第三章某些部分和第四、五、六章大部分内容是作者针对当前井泵选型配套、挖潜和技术改造中存在的问题，以及如何提高机井经济效益等而提出的一些论点和解决措施，可供有关方面参考采用。

本书承蒙水利水电科学研究院朱岩高级工程师做了全面而细致地审阅，并提出很多宝贵意见，在此表示感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬希读者批评指正。

编 者

1986年7月

目 录

序 言 前 言

第一章	概述	1
第一节	井泵发展概况	1
第二节	井泵的类型	2
第二章	井用离心泵	7
第一节	离心泵工作原理	7
第二节	井用离心泵的构造	11
第三节	井用离心泵工作参数	33
第四节	水泵特性	59
第五节	井用离心泵的选型和配套	111
第六节	井泵的安装	133
第七节	长轴井泵运行及故障处理	152
第三章	潜水电泵	174
第一节	潜水电泵的分类和构造	174
第二节	潜水电泵的安装	195
第三节	潜水电泵的使用和维修	202
第四章	机井装置运行的技术经济指标	216
第一节	抽水的能源单耗	216
第二节	机井装置效率和总效率	218
第三节	井泵的运行效率	232
第四节	机井装置的经济效益指标	235
第五节	机井提水成本计算方法	241
第五章	井泵的经济运行	247

第一节	井泵运行效率的提高	247
第二节	井泵调节经济分析	251
第三节	水泵出水管口自由出流能量损耗	266
第四节	井水位降落运行工况分析	268
第五节	井泵的落井安装运行	271
第六节	长轴井泵轴向间隙的经济调节	275
第六章	井泵技术改造和更新	278
第一节	井泵的技术改造	278
第二节	井泵改造和更新的经济分析	280
第三节	机井设备更新的原则和要求	285
第四节	机井设备更新期的确定	286
第七章	井用活塞泵	298
第一节	拉杆活塞泵的工作原理和构造	298
第二节	拉杆活塞泵的工作参数	304
第三节	柔性拉杆和手动拉杆活塞泵	309
第四节	三联柱塞泵	315
第五节	活塞泵的空气室	322

第一章 概 述

第一节 井 泵 发 展 概 况

井泵是指适用于提取井水的泵，而农用井泵主要用以解决农田灌溉和部分地区的人畜供水问题。

建国以来，我国的井用提水机具是随着工农业生产的不间断发展而发展的，从建国初期广泛使用的人、畜力水车发展为动力水车，到六十年代又逐步采用流量大、扬程高的各型水泵，进入七十年代以后，随着钻井技术的提高，深井泵、潜水电泵的使用日趋增多，有力地促进了机井事业的发展。目前，全国有机井二百多万眼，安装各式井泵二百多万台，总装机容量二千多万千瓦，灌溉面积达1.7亿亩，约占全国总灌溉面积的四分之一。我国有近百家工厂在生产各型井泵。近年来适用于开采深层地下水的长轴深井泵发展较快，规格较齐全，且效率较高，工作也较可靠。潜水电泵从1958年开始研制以来，目前已能生产高扬程、大流量的新型湿式潜水电泵和高压潜水电泵。我国还制定了长轴井泵和潜水电泵的新型谱，使产品逐步达到通用化、标准化和系列化。但是，从生产上看，我国井泵的品种规格尚不齐全，还不能满足使用者的要求，如在降深大、降速慢的管井上，还没有效率较高的井泵可用；尚缺少扬程高、流量小的井用泵；潜水电泵普遍存在使用寿命短、返修率高等问题。在井泵使用方面，主要问题是，管理、维修不善，导致装置效率低，经济

效益不高；有些井泵机型陈旧，设备老化，急待更新换代；有的选型配套不够合理，设备效益得不到充分发挥，需要调整或更换等。

近些年来，我国已全面开展了以节能、节水为中心的机井挖潜和技术改造工作，改革机井经营管理体制，建立健全各项规章制度，努力提高机井经济效益。这必将进一步推动我国井灌事业的发展，为农业增产和农业现代化做出重要贡献。

第二节 井泵的类型

我国地域辽阔，水文地质情况复杂，水井深浅相差悬殊，涌水量大小不同，因此，使用的井泵规格型号很多，但用于井灌的泵，就其结构特点来看，主要有以下三种类型：

(1) 卧式单级单吸离心泵：适用于地下水动、静水位变幅6~8m，且地下水埋深在15m以内的地区。

(2) 立式多级深井泵（简称长轴井泵或深井泵）：适用于地下水位变幅大，扬程在300m以内的深井地区。个别长轴井泵的扬程可达450m。

(3) 潜水电泵：是把电动机和水泵联为一体并潜入水中运行的一种立式离心泵。与长轴井泵相比，由于它没有长的传动轴，所以结构紧凑，安装方便；但潜入井水中的电动机要求严格的密封。适用于地下水位变幅大，扬程在10~500m的地区。目前这种泵的最高扬程可达3600m，叶轮级数超过300。

以上三种泵，就其工作原理来说多属于离心泵范畴（少数潜水电泵、长轴井泵属混流泵和轴流泵范畴），即主要靠

高速旋转的叶轮带动水体，使其产生的惯性离心力而将水扬至高处。

另外，在某些特殊情况下还可采用其它结构型式的井泵，计有：

(1) 拉杆柱塞(或活塞)泵：简称拉杆泵，靠伸至井水面以下的拉杆端部柱塞(活塞)的往复运动把井水提上来。适用于高原、山区从深井中提取小流量的生活用水。有些村镇，从浅井提水，用以解决生活供水的立式手压活塞泵也属于此种类型，但很少用于井灌中。

(2) 井用射流泵：是靠向井水中通入高速水流将井水“挟带”上来的一种提水装置。虽然其效率偏低(一般为25%~35%)，但由于在井下无运动部件，结构简单，工作可靠，所以在小流量、高扬程的井灌和解决生活用水的地区仍有使用。

(3) 空气扬水机：亦称气举，是把压缩空气通入井水中，和井水相混合，使井水重度减轻而上升的一种扬水装置。由于效率低，井灌中多不采用。但因结构简单，使用方便，并可提取带泥沙的水，所以多用于洗井中。

(4) 井用单螺杆泵：是靠螺杆在泵体内高速旋转所产生的挤压力扬水的容积式泵，它由三部分组成，如图1-1所示，即泵体部分Ⅰ，输水管和传动轴部分Ⅱ，以及动力传动部分Ⅲ。一般后一部分布置在井口地面上，而前两部分安装在井下。泵体部分由泵壳、定子橡胶衬套7和单螺杆转子8、活动联轴节和中间传动轴所组成。其中定子衬套和单螺杆转子是主要工作部件。螺杆在衬套中转动，将旋转的机械能转换为水的压能和动能。单螺杆泵已应用于国民经济的各个领域，并可作为输送各种粘稠性液体、带颗粒液体和浆汁

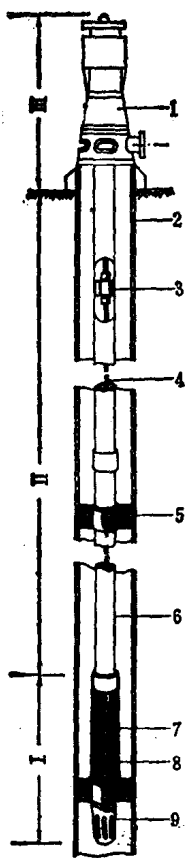


图 1-1 井用单螺杆泵

I—泵体部分；II—输水管及传动轴部分；III—动力传动部分；1—电动机；2—井壁管；3—导轴承；4—传动轴；5—输水管支架；6—输水管；7—泵体定子衬套；8—单螺杆转子；9—滤水网

等。但由于这种井泵制造工艺要求较高，安装维修较难，所以在我国井灌中应用不多，在国外，由潜水电动机带动的井用单螺杆泵，扬程可达1000m以上。

图 1-2 为各种井泵的大致适用范围，可供初选井泵类型之用。

另外，根据井泵所用能源及动力的不同，又可分为：电动井泵，柴油机井泵，气动（压缩空气）井泵，风力井泵，太阳能井泵和电脉冲井泵等。

利用太阳能的井泵有两种型式：一种是将太阳能通过太阳能电池组直接变为电能，驱动电动机组抽水；另一种是利用太阳能将水加热，水再将热能传给低沸点液体并使之气化；或由太阳能直接加热汽缸中的气体使之受热膨胀推动汽轮机或活塞带动井泵。后一种由于不需要转换成电能再变为机械能抽水，所以能量转换效率较高。目前利用太阳能抽水进行井灌已由研试阶段向实用阶段发展，是一种较有发展前途的井

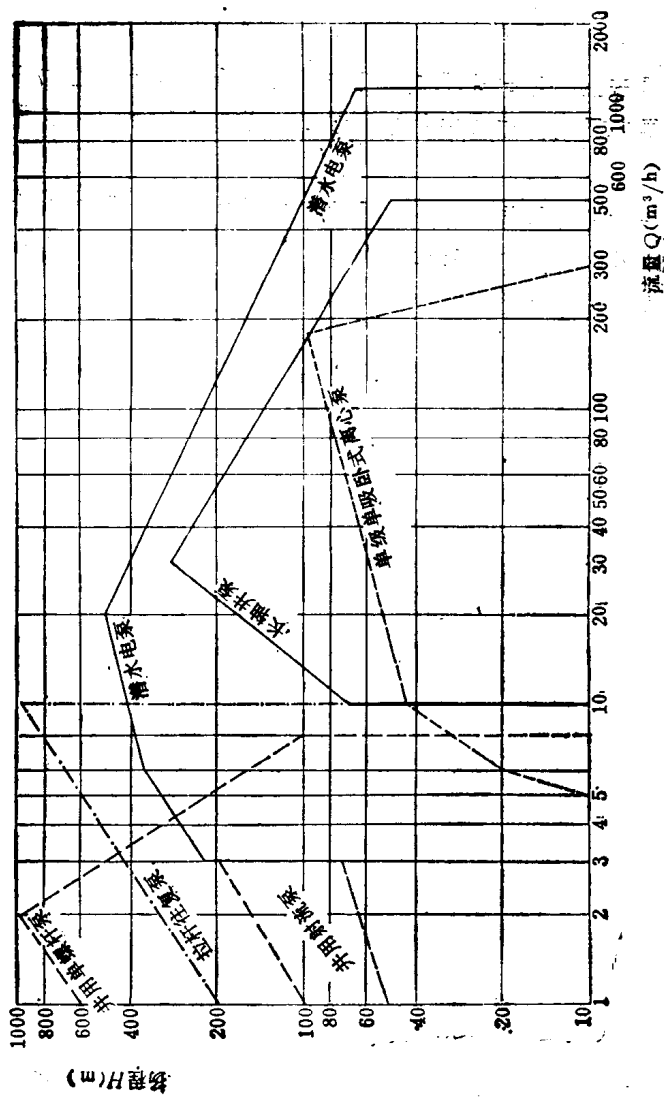


图 1-2 各种井泵大致的适用范围

灌抽水装置。

电脉冲井泵是利用通入井水中的正负电极在高电压下击穿水，高速将水汽化膨胀产生的巨大压力将进入泵体的井水冲压至井上，它设备简单，工作可靠，扬程较高；但对井壁强度要求严格。这种井用抽水装置，目前已开始进入实用阶段。

由于篇幅所限，本书主要介绍井灌中常用的卧式单级单吸离心泵、长轴井泵和潜水电泵；对井用活塞泵仅做简要介绍。其它井用水泵从略。

第二章 井用离心泵

第一节 离心泵工作原理

由物理学知，要使物体作圆周运动，就必须使它受到一定的向心力的作用。如果向心力不够大或者失去向心力，则物体在惯性力作用下就会脱离圆形轨道向外或沿切线方向运动，离圆心越来越远。这种惯性力我们称之为惯性离心力，而这种远离旋转中心的现象，叫做离心运动，离心泵就是利用这种惯性离心力而产生的离心运动进行扬水的。

为了说明离心泵的工作原理，我们先举雨伞甩水滴的例子，如图2-1所示，落在伞上的雨滴在吸附力和摩擦力的作用下，当伞旋转时就会随伞一起转动，如果水滴和伞之间的吸附力和摩擦所形成的向心力不足，水滴由于惯性将沿着切线方向运动，这样水滴就会离旋转中心越来越远，逐渐向伞的外缘运动，当达伞外缘后，水滴即沿伞缘的切线方向甩出伞外，从地面上看，水滴运动轨迹如图2-1中的 AB 线所示。离心泵扬水原理和雨伞甩水相似。

图2-2是离心泵扬水工作原理示意图。具有弯曲状叶片的叶轮1安装在固定不动的蜗壳形泵壳2内，泵壳分别与出水管5和吸水管4相连，在开始抽水前，泵内和吸水管中先灌满水（在吸水管底部装一底阀6防止灌水时水泄入吸水池中）。当动力机通过水泵轴3带动叶轮高速旋转时，叶轮中水也随着一起高速旋转，水在自身惯性离心力作用下，逐

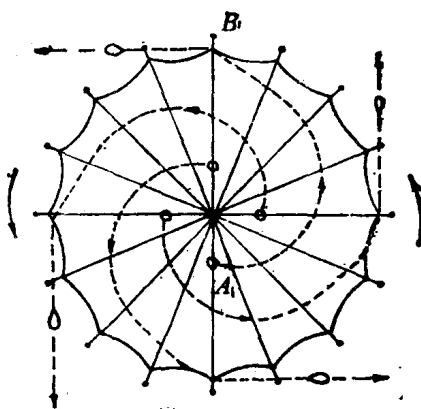


图 2-1 伞上水滴的离心运动示意图

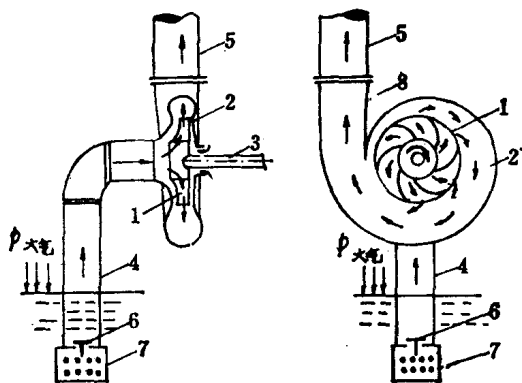


图 2-2 离心泵工作原理示意图

1—叶轮；2—泵壳；3—泵轴；4—吸水管；5—出水管；6—底阀；
7—滤水网；8—扩散锥管

渐向叶轮外缘流去，由于叶轮圆周速度随着半径增大而增大，所以沿叶片流动的水的速度也越来越大，最后，高速甩

出进入泵壳中，再经扩散锥管8减速，将大部分动能转换为压能，经出水管5扬至高处。处在叶轮中心附近的水被甩出而产生真空，即该处压力小于大气压力，但作用在吸水池水面的压力等于一个大气压力，吸水管中的水在此压差作用下，立即填补所空出的空间而进入叶轮。由于叶轮的不断旋转，水就源源不断地甩出和吸入，形成连续的扬水作用。

由物理学知，在叶轮进口和出口之间的、质量为 m 的液体所受的惯性离心力为（参见图2-3）：

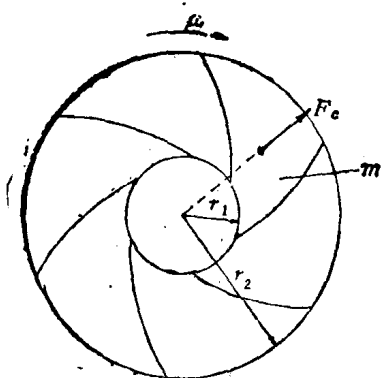


图 2-3 叶轮中水体所受惯性离心力示意图

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{r_1 + r_2}{2} \right) \quad (2-1)$$

式中 ω ——旋转角速度；

r_1 、 r_2 ——分别为叶轮入口和出口半径。

所以，液体从 r_1 流至 r_2 由于惯性离心力所作的功为：

$$\begin{aligned} L &= F_c \cdot (r_2 - r_1) \\ &= m\omega^2 \left(\frac{r_1 + r_2}{2} \right) \cdot (r_2 - r_1) \end{aligned}$$