

机井动力设备

(一) 柴油机

罗远荣 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 动 力 设 备

(一) 柴油机

罗远荣 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为配合机井改机节能，以介绍完善柴油机工作过程，提高柴油机有效效率为主体，在讲清柴油机工作原理的基础上，介绍了柴油机的使用特性和调整特性，对柴油机的节油途径及现行节油措施进行了专门分析。

本书作为机井节能节水测试改造技术培训教材，也可供农用小功率柴油机使用管理人员参考。

机井节能节水测试改造技术培训教材

机井动力设备

(一) 柴油机

罗远荣 编

★

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

水利电力印刷厂印刷

★

787×1092 毫米 32开本 6.5印张 143千字

1987年2月第一版 1987年2月北京第一次印刷

印数0001—6,300册 定价：1.35元

书号：15143·6332

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。据河南省浅井地区推算，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）；河北省深井地区推算，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、电进行检修和调整，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，要通

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，按学时数授课，结业时进行单科考试，全部考试合格的，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

1988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”讲义的基础上修改编写而成。在讲述机井所用柴油机构成和工作原理之后，重点分析柴油机的工质、性能参数及技术指标，以及柴油机的运转特性与调整特性，并对柴油机的经济运行及节油措施作了较详细的分析。

学习本书时，应结合机井柴油机，详细讲解柴油机的结构。只有在熟悉柴油机构造的前提下，才便于理解和掌握本书所讲述的内容。

本书承蒙北京农业机械化学院高阜副教授做了全面地审阅，提出了宝贵的修改意见，在此表示感谢！

由于作者水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正

编 者

1986年5月

目 录

序 言

前 言

概 述

第一章 柴油机的构成与工作原理3

第一节 组成柴油机的诸系统及其功能3

第二节 柴油机的主体结构及能量转换系统13

第三节 柴油机的配气机构及气体更换29

第四节 柴油机的供油系统与油量调节39

第五节 柴油机的冷却、润滑与起动58

复习思考题68

第二章 柴油机的工质、性能参数及技术指标69

第一节 燃料及空燃比69

第二节 混合气的形成及燃烧80

第三节 指示及有效指标94

第四节 柴油机的热平衡110

复习思考题114

第三章 运转特性与调整特性115

第一节 工况与工作指标115

第二节 负荷特性118

第三节 速度特性122

第四节 螺旋桨特性132

第五节 万有(综合)特性135

第六节 调速特性	137
第七节 调整特性	139
复习思考题	142
第四章 经济运行及节油措施分析	143
第一节 机泵配套的传动装置及传动效率	143
第二节 从改善指示过程中分析节油的可能性	159
第三节 从改善供油质量中分析节油的可能性	161
第四节 从降低机械损失中分析节油的可能性	163
第五节 柴油机的热状态、磨损、机油稀释和积炭	167
第六节 各种节油措施的评介	170
复习思考题	197
参考文献	198

概 述

我国是一个农业大国，长期以农业作为经济建设的基础，而水利又是农业的命脉，因此，我国的农田水利建设事业发展很快。截至1983年底，排灌动力机械的保有量，已达57715000 kW，特别在井灌区，对抗旱保收发挥了重大效益。据估计，在旱年，约有30%~40%的粮食产量是靠灌溉得来的。

1983年我国商品内燃机产量为21316000 kW，年增长率为23%，而1984年的年增长率则高达31%，其中大约有一三分之一用作排灌动力。尤其是195型柴油机应用最广，年产量最多，现已有四、五个省区年产量已超过10万台，成为缺电地区机井配套的主要动力。1985年山东省年产195柴油机215000台，而常州柴油机厂一个厂就年产S195柴油机10万台。全国66个厂年产195柴油机已超过100万台。

我国能源生产的增长速度，远远赶不上动力机械的增长速度。1978年每kW农用柴油机供应柴油70 kg，1983年供应30 kg。农业用柴油消耗量约占柴油总消耗量的50%，而排灌机械用油又约占农用柴油的一半。机增油少，供应日趋紧张。

另一方面，由于使用管理不当，配套不合理，能源浪费严重，目前机井装置效率多在35%左右，距离水利电力部规定的装置效率应达54%的要求相差甚远，节能的潜力还很大。

目前全国有机井200多万眼，从事排灌工作的人员有200多万人，基本上达到了井、泵、机配套。但现在的问题是，从事排灌工作的人员文化水平偏低，技术素质较差，其中大中专毕业生不足一万人，多数只有中小学程度。要提高他们的科学技术水平，就必须搞好培训工作。正是基于这个目的，并根据水电部农水司的要求，编写了这本培训教材。限于篇幅，本书只讲述机井常用的单缸四冲程水冷柴油机，对结构问题，仅以195柴油机为例，作了简要的介绍；对有关使用维修知识，考虑到初级培训教材中已有详尽介绍，本书不再涉及。

鉴于机井管理人员对柴油机工作过程的原理较为生疏，对各种改机节油措施的理论依据理解不透，因而形成对节油措施的推广不利。同时，由于对柴油机经济运行的影响因素缺乏了解，致使机泵配套不当的现象时有发生。不能根据使用条件的变化，对柴油机工况作相应的调整，以发挥其节油潜力。针对这种现状，为配合机井改机节能这一中心任务，本书以完善柴油机工作过程，提高柴油机有效效率为主体加以论述。另外，考虑到机井水位和出水量的变化，正确选择柴油机的运行工况点是一个重要的问题，书中对柴油机的使用特性和调整特性亦作了较为详尽的介绍。并在此基础上，对柴油机可能的节油途径及现行节油措施进行了专门的分析，以便于今后推广应用。

第一章 柴油机的构成与工作原理

第一节 组成柴油机的诸系统及其功能

在现代社会中，热机是最主要的原动机。常见的热机有汽油机和柴油机两大类，它们都属于活塞式内燃机。它们的基本工作原理是利用燃料在气缸内部燃烧，产生高温高压，使燃气膨胀推动活塞作功。它是一种将化学能转变为热能，又将热能转变为机械能的动力机械。

柴油机与汽油机的主要差别在于，柴油机在燃烧之前要对纯空气进行高度的预压缩，利用空气受压缩时产生的高温，使压缩末期喷进气缸的柴油自行着火燃烧。所以柴油机又叫压燃式发动机。而汽油机压缩的是由汽油和空气组成的可燃混合气。这种混合气经适度压缩后由火花塞点燃，所以汽油机是一种强制点火的发动机。

为了维持柴油机的连续工作，必须将已经燃烧并作过功的废气排出气缸，然后引进新气，再经压缩，在提高新气的压力和温度后，重新喷进柴油，再次膨胀作功。即完成第二次的燃烧和作功过程。只要周而复始连续不断地重复下列过程：进气—压缩—燃烧—膨胀—排气，就能维持柴油机持续地工作。

为了实现上述工作循环，柴油机必须具备下列机构和系统。

一、曲柄连杆机构

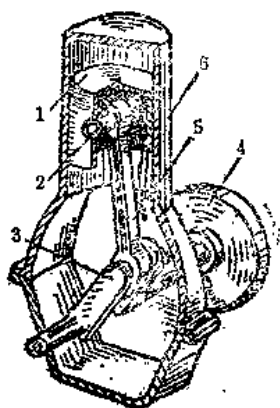


图 1-1 曲柄连杆机构

1—活塞；2—活塞销；3—曲轴；
4—飞轮；5—连杆；6—气缸体

曲柄连杆机构属于柴油机的主体机构。它由活塞、连杆、曲轴、飞轮等零部件所组成，全部装在气缸体上，如图 1-1 所示。它的功能是将活塞的往复运动，变成曲轴的旋转运动，并从一个方向密封气缸，承受工作气体（以下简称工质）的膨胀并对工质进行压缩，以完成热能和机械能的相互转变。

根据气缸及活塞中心线所处的位置，柴油机分为立式和卧式两种结构形式。图 1-1 所示为立式。

下面分析曲柄连杆机构的运动关系。曲轴转动必定带动活塞上下移动。曲轴每转一转，活塞就一上一下完成一个来回。当曲轴以等角速度均匀转动时，活塞在气缸内的移动速度则是不均匀的。中间快，两端慢，在两端改变运动方向的时候，活塞速度等于零。这种速度变化，说明活塞移动具有加速度，而与活塞一起运动的质量就会产生往复运动惯性力。此惯性力会引起柴油机振动，对柴油机的工作会产生不利

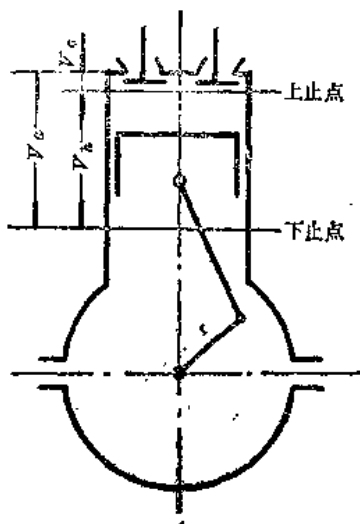


图 1-2 曲柄连杆机构示意图

的影响，有时需要用专门机构来平衡。

可把曲柄连杆机构简化成示意图 1-2，现结合该图介绍有关的几个名词术语。

(1) 上止点：活塞在气缸内能达到的最高位置，即离曲轴中心最远的位置，称为上止点，或叫外止点。

(2) 下止点：活塞在气缸内能达到的最低位置，即离曲轴中心最近的位置，称为下止点，或叫内止点。

(3) 活塞冲程：上止点到下止点之间的距离叫活塞冲程。活塞冲程 S 等于曲柄半径 r 的二倍，即 $S = 2r$ 。活塞往返四个冲程完成一个循环的柴油机就称为四冲程柴油机。

(4) 燃烧室：当活塞处于上止点位置时，气缸内活塞顶与气缸盖之间的空间称为燃烧室，其容积代号为 V_c 。

(5) 气缸工作容积：活塞从上止点到下止点，或从下止点到上止点，所扫过的容积称为气缸工作容积，又叫活塞排量。若气缸直径为 D ，活塞冲程为 S ，则气缸工作容积为

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S \quad (1-1)$$

例如，195柴油机 $D = 95\text{mm}$ ， $S = 115\text{mm}$ ，故

$$V_h = \frac{\pi}{4} \times 0.095^2 \times 1.15 = 0.815 (\text{L})$$

(6) 气缸总容积：气缸工作容积与燃烧室容积之和称为气缸总容积，代号为 V_a ，

$$V_a = V_h + V_c$$

(7) 压缩比：气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比，代号为 e 。它表示工质在气缸中被压缩的程度，即

$$e = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \frac{V_h}{V_c} + 1 \quad (1-2)$$

小型单缸四冲程柴油机的压缩比处于16~22的范围内，

例如195柴油机的压缩比 $\varepsilon = 19 \sim 20$ 。

(8) 活塞平均速度：指每秒钟活塞平均移动的距离，代号为 C_m ，若曲轴转速为 n (r/min)，则活塞每秒钟移过的冲程数为 $2n/60$ ，故

$$C_m = \frac{2n}{60} S = \frac{nS}{30} \quad (\text{m/s}) \quad (1-3)$$

例如，195柴油机标定转速 $n = 2000 \text{ r/min}$ ，

故
$$C_m = \frac{2000 \times 0.115}{30} = 7.67 \text{ (m/s)}$$

活塞平均速度是柴油机的高速性的重要指标，现代农用高速柴油机的活塞平均速度一般不超过 10 (m/s) 。

二、供给系统

供给系统的作用就是根据工作循环的要求，适时地给气缸更换新鲜气体，并定时定量地向气缸提供雾化柴油。由于柴油机所需的空气和柴油是分别进入气缸的，所以供给系统可分为进排气系统及供油系统两部分。如图1-3所示。而进排气系统要受到配气机构的控制。

1. 供油系统 柴油机的供油系统，包括图1-3中的柴油箱1、带滤网的加油管2、位于柴油箱内部的柴油粗滤器3、油箱开关4、输油管5、柴油精滤器6、喷油泵7、高压油管8、喷油器9等零部件。喷油泵由与曲轴同步运转的凸轮驱动，以保证定时定量地向燃烧室供应柴油，从而满足燃烧过程的需要。

2. 进排气系统 柴油机的进排气系统，包括图1-3中的空气滤清器10、排气消音器11及图中未示出的进气管和排气管等零部件。它们是新气进入气缸和废气排出气缸的通道。设置空气滤清器的目的是保证进气的清洁，以防止柴油机不

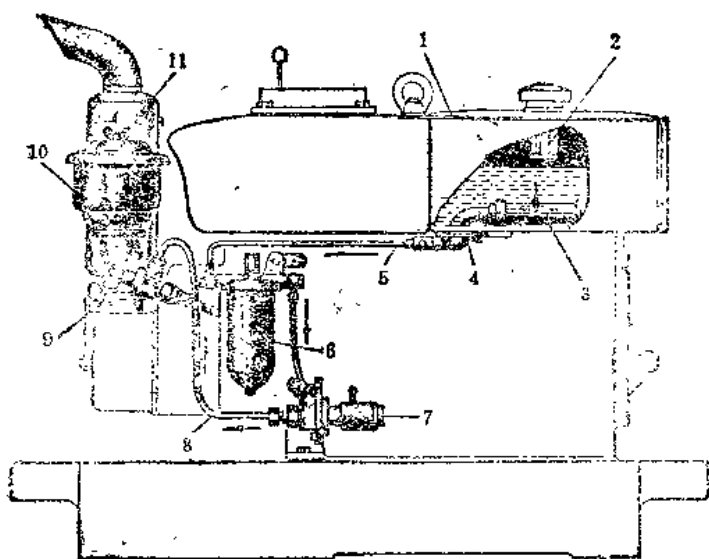


图 1-3 S195型柴油机的供给系统

- 1—柴油箱；2—加油管；3—柴油粗滤器；4—油箱开关；
5—输油管；6—柴油精滤器；7—喷油泵；8—高压油管；
9—喷油器；10—空气滤清器；11—排气消音器

正常的磨损。排气消音器用来降低排气噪音，以保持安静的环境，并能消除排气中的火星，有利于防止发生火灾。

3. 配气机构 配气机构由进排气门及其控制机构组成，如图 1-4 所示。它的功用是根据工作循环的顺序，在排、进气过程中按时打开排气门和进气门，以便排出废气和引进新气，而在其它时刻保持气门关闭，密封气缸，以便完成压缩、燃烧和膨胀过程。

气门的开闭时间，受配气凸轮的控制，而凸轮轴通过正时齿轮取得与曲轴的同步。

三、辅助系统

辅助系统包括冷却系统、润滑系统、起动装置等，是保

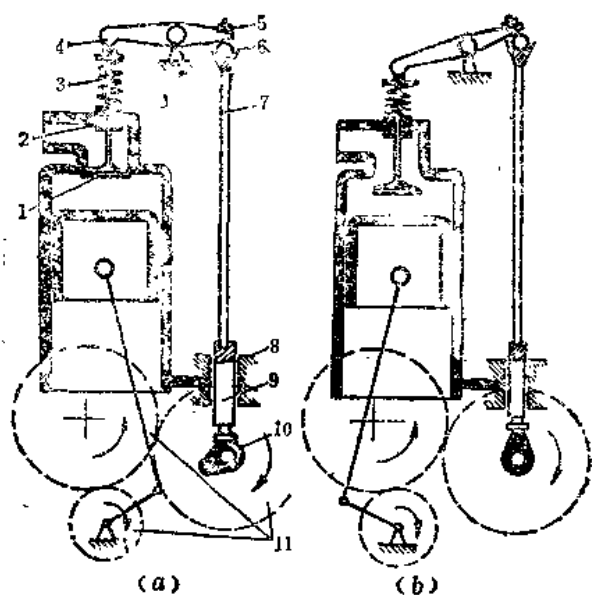


图 1-4 配气机构及其工作状态

(a) 气门处于关闭状态; (b) 气门处于开启状态

1—气门; 2—导管; 3—弹簧; 4—摇臂; 5—锁紧螺母; 6—调整螺钉; 7—推杆; 8—挺柱导管; 9—挺柱; 10—凸轮轴; 11—传动齿轮

持柴油机正常运转不可缺少的部分。

1. 润滑系统 向运动零件的配合表面间隙中供给机油, 使配合表面变得滑溜, 减小摩擦阻力, 防止零件过快磨损, 并起一定的冷却和密封作用。

2. 冷却系统 保证向气缸和气缸盖周围的水套中供水, 以降低同高温燃烧气体接触零件的温度, 避免烧坏。

3. 起动装置 用来使柴油机由停机状态进入工作状态, 凭借外力驱动柴油机, 为建立工作循环创造条件。小型单缸柴油机一般采用人力手摇起动。

如图 1-5 所示, 为整台 S195 卧式柴油机的剖视图。图中