

# 井下作业设备 技术管理

主 编 刘金亭

副主编 刘荣志



中国石油大学出版社

# 井下作业设备技术管理

主编 刘金亭

副主编 刘荣志

| 检查项目   | 检查内容                                                               | 评分标准              | 检查方法 |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------|
| 一、运转保养 | 运转、保养记录填写齐全、准确、规范、整洁                                               | 一项不合格扣1分；总分300分   | 查阅记录 |
| 二、其他   | 检查人员确认本检查内容之外的项目                                                   | 发现一处不符合扣1分；总分300分 | 现场检查 |
| 三、说明   | 1. 扣分以本项扣完为止。<br>2. 检查得分，得分在95分以上为优秀，85-95分为良好，75-85分为合格，75分以下为不合格 |                   |      |

井下作业设备技术管理

作者：刘金亭 刘荣志

责任编辑：王德林 电话：0546-8393739 (7816011)

封面设计：吕新平 电话：0546-8032136

封面设计：王天舒 电话：0546-8733275

出版：中国石油大学出版社（山东东营 邮编：257061）

网址：http://www.upbook.com.cn

电子邮箱：h18879@126.com

排版：中国石油大学出版社排版中心

印刷：东营市新华印刷厂

发行：中国石油大学出版社 电话：0546-8393282 (8393280)

开本：180×235 印张：10.25 字数：218千字

版次：2007年10月第1版第1次印刷

定价：22.00元

中国石油大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

井下作业设备技术管理/刘金亭主编. —东营:中国石油大学出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-5636-2442-3

I. 井... II. 刘... III. 井下作业(油气田)—机械设备—管理—高等教育:远距离教育—教材 IV. TE931

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 134327 号

刘金亭 刘荣志 主编

书 名: 井下作业设备技术管理

作 者: 刘金亭 刘荣志

---

责任编辑: 王国栋 何 峰 (电话 0546—8395779, 7816911)

封面策划: 吕新平 (电话 0546—8632136)

封面设计: 九天设计 (电话 0546—8773275)

---

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: hf8879@126.com

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546—8392565, 8399580)

开 本: 180×235 印张: 10.25 字数: 218 千字

版 次: 2007 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

# 《井下作业设备技术管理》

## 编审委员会

主任：赵金洲

副主任：孙永壮 王政忠

成 员：何牛仔 马俊生 黄金柱 刘金亭  
詹景峰 徐广利 王吉坡 薛继奎  
崔德秀 张万泉 管丙金 张 卫  
杜丙国 纪建伟 王洪秋 赵新房

## 编审人员

主 编：刘金亭

副主编：刘荣志

成 员：(以姓氏笔画为序)

王丽莉 刘金亭 刘荣志 李 伟

李晚海 李德林 庞曰强 姜 松

审 核：张 军 李 伟 杨进斌 杨敦亭

顾永久

# 序

随着油田井下作业系统市场化经营步伐的加快和修井工艺技术的蓬勃发展,对施工队伍的综合素质提出了更新、更高的要求。但是长期以来,井下作业系统职工培训存在着内容单一、针对性不强等弊端,而且缺乏系统性、前瞻性和规范性的培训教材,严重制约着作业培训质量和职工综合素质的提高,成为影响井下作业系统核心市场竞争力提升的一个重要问题。

针对这一问题,胜利石油管理局井下作业二公司组织有关专家、学者和有丰富实践经验的技能人才及企业单位领导,共同编写了《井下作业设备技术管理》、《井下作业技术规范》、《井下作业井控与有毒有害气体防护技术》、《井下作业现场风险识别与防范》等四本系列培训教材。这套教材紧密结合工作实际,总结吸纳了近年来井下作业系统最新的管理技术和技能操作技术,能够促进广大职工熟练掌握先进的井下作业设备管理、技术标准规范、井控及有毒有害气体防护、施工现场风险识别等系统的知识和技能。

《井下作业设备技术管理》等系列教材是第一套贴近油田石油工程技术服务板块实际的职工培训教材,具有十分重要的现实意义:一是为油田石油工程技术服务工作提供了一套理论与实践相结合,又侧重于现场操作的实用教材。二是为中国石油大学网络教育石油工程专业提供了一套系统的“专业教科书”。三是为作业系统广大职工提供了一套内容全面、技术先进、标准规范的实用“工具书”。我相信该系列教材必将在实现井下作业系统的长远发展中发挥积极的作用。

总之,《井下作业设备技术管理》等系列培训教材的出版,对推动油田井下作业管理、技术工作,特别是油田职工培训的教学与实践工作将起到十分重要

的促进作用。我很高兴为其作序,也希望本套教材能在油田得到广泛的推广和使用,切实强化职业技能培训工作,促进石油工程技术服务水平的提高,为油田的发展充分发挥积极的支持保障作用。

赵金洲

2007年6月25日

赵金洲同志长期从事石油工程技术服务工作,在油田工程技术服务领域有着丰富的实践经验和深厚的理论基础。他主持编写了《石油工程技术服务》一书,该书系统总结了石油工程技术服务工作的经验和做法,是石油工程技术服务领域的一部重要著作。本书共分十章,第一章为总论,第二章至第十章分别为石油工程技术服务工作的各个方面。本书内容全面,重点突出,具有很强的实用性和指导性。本书可作为石油工程技术服务领域从事技术工作的工程技术人员、管理人员的培训教材,也可供从事石油工程技术服务工作的工程技术人员、管理人员参考。

# 前言

## PREFACE

石油企业是我国重要的能源工业,在油田的勘探开发与生产过程中,需要对油水井进行井下检修、维护等作业施工,以保证和恢复油水井正常生产,作业设备是搞好油田油水井增产增注措施的必要装备之一。如何管理好、使用好这些设备,使其发挥最大效力,是提升企业设备管理现代化水平和经济效益的重要途径。

目前,国内各大油田修井作业设备中占主导地位的是履带式通井机和车载式修井机。其中履带式通井机约占作业设备总量的80%左右,该机型最早是在建国初期从前苏联引进的,是在履带式拖拉机底盘基础上改装而成的一种作业设备。随着油田作业施工范围的不断扩大,为了更好地适应各种地理环境和地质条件要求,在广泛吸取国外先进技术装备的基础上,我国又开发研制出了车载式修井机,该机型是采用汽车底盘,自携作业井架,其最大优点是整机运移性好、作业范围广和施工效率高等,是未来作业设备发展的主要方向。

本书系统分析与阐述了这两种设备的性能、结构、工作原理和使用操作维护等。全书共分为三章,其中第一章第一节介绍油田作业设备的分类及其发展趋势,第二节主要对柴油内燃机的结构、原理等进行了介绍;第二章共分五节,主要介绍履带式通井机的结构原理与维护使用等;第三章共分十节,围绕修井机传动系统、绞车系统、底盘及电气系统、井架系统等,主要介绍车载式修井机的结构原理与使用维护等。本书可供现场管理人员、维修人员和操作人员使用,也可供从事该方面技术培训和专业教学人员参考。

本书由刘金亭主编,其中第一章由刘荣志编写;第二章通井机部分由李德

林编写;第三章修井机部分由刘荣志编写。全书由刘金亭进行了统稿审核。

本书在编写过程中得到了南阳二机石油装备(集团)有限公司、第四石油机械厂等生产制造厂家的大力支持和帮助,特别是王丽莉为本书的排版做了大量工作,在此一并表示感谢!

由于各种原因,书中难免有不当之处,恳请专家和读者批评指正。

编者

2007年6月26日

# 目 录

## Contents

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 第一章 概述               | (1)   |
| 第一节 作业设备概述           | (1)   |
| 第二节 动力系统基础知识         | (3)   |
| 第二章 通井机              | (8)   |
| 第一节 履带式通井机主要技术性能     | (8)   |
| 第二节 底盘的结构与调整         | (11)  |
| 第三节 通井装置的结构与调整       | (43)  |
| 第四节 通井机的使用           | (68)  |
| 第五节 技术保养及润滑          | (74)  |
| 第三章 修井机              | (84)  |
| 第一节 传动系统             | (84)  |
| 第二节 传动箱体             | (89)  |
| 第三节 绞车系统             | (95)  |
| 第四节 底盘及其电气系统         | (105) |
| 第五节 液压系统             | (107) |
| 第六节 气控系统             | (109) |
| 第七节 井架系统             | (114) |
| 第八节 钻台与底座            | (119) |
| 第九节 游车大钩             | (124) |
| 第十节 水龙头              | (129) |
| 附录                   | (133) |
| 作业设备操作规程——履带式通井机操作规程 | (133) |
| 作业设备操作规程——轮式通井机操作规程  | (137) |
| 作业设备操作规程——修井机操作规程    | (140) |

作业设备操作规程——SG5300TXJ300 型液压蓄能修井机操作规程…………… (145)

油田设备检查细则(作业设备——修井机管理)…………… (148)

参考文献…………… (154)



|      |       |          |
|------|-------|----------|
| (1)  | …………… | 封套 第一章   |
| (1)  | …………… | 封套 第一章   |
| (2)  | …………… | 封套 第二章   |
| (3)  | …………… | 封套 第二章   |
| (4)  | …………… | 封套 第三章   |
| (5)  | …………… | 封套 第三章   |
| (6)  | …………… | 封套 第四章   |
| (7)  | …………… | 封套 第四章   |
| (8)  | …………… | 封套 第五章   |
| (9)  | …………… | 封套 第五章   |
| (10) | …………… | 封套 第六章   |
| (11) | …………… | 封套 第六章   |
| (12) | …………… | 封套 第七章   |
| (13) | …………… | 封套 第七章   |
| (14) | …………… | 封套 第八章   |
| (15) | …………… | 封套 第八章   |
| (16) | …………… | 封套 第九章   |
| (17) | …………… | 封套 第九章   |
| (18) | …………… | 封套 第十章   |
| (19) | …………… | 封套 第十章   |
| (20) | …………… | 封套 第十一章  |
| (21) | …………… | 封套 第十一章  |
| (22) | …………… | 封套 第十二章  |
| (23) | …………… | 封套 第十二章  |
| (24) | …………… | 封套 第十三章  |
| (25) | …………… | 封套 第十三章  |
| (26) | …………… | 封套 第十四章  |
| (27) | …………… | 封套 第十四章  |
| (28) | …………… | 封套 第十五章  |
| (29) | …………… | 封套 第十五章  |
| (30) | …………… | 封套 第十六章  |
| (31) | …………… | 封套 第十六章  |
| (32) | …………… | 封套 第十七章  |
| (33) | …………… | 封套 第十七章  |
| (34) | …………… | 封套 第十八章  |
| (35) | …………… | 封套 第十八章  |
| (36) | …………… | 封套 第十九章  |
| (37) | …………… | 封套 第十九章  |
| (38) | …………… | 封套 第二十章  |
| (39) | …………… | 封套 第二十章  |
| (40) | …………… | 封套 第二十一章 |
| (41) | …………… | 封套 第二十一章 |



# 第一章 概述



## 第一节 作业设备概述

在石油与天然气勘探开发过程中,井下修井作业是一个重要环节,作业设备是搞好油田油水井增产增注措施的必要装备之一,其中履带式通井机的数量占有主导地位。近几年来,随着科学技术进步,为满足油田生产需求,适应各种地理环境和地质条件,在广泛吸取国外先进技术的基础上,陆续研制了适应各类作业施工需求的修井机,如轮式通井机、车载式修井机以及沙漠修井机、海洋修井机和液压蓄能修井机等特殊修井机。

本节简要介绍目前油田常用作业设备的组成、分类及发展趋势。



### 一、作业设备的组成及分类

#### 1. 作业设备的组成

井下作业设备是用来对井下管柱或井身进行维修施工而提供动力的一套综合机组。它包括底盘、动力系统、传动系统、绞车、井架、天车、游车大钩、水龙头、转盘以及其他辅助设备。

井下作业施工工艺对作业设备的基本要求是:

第一,起下作业能力。为了起下各类管杆、抽油泵以及其他井下工具和设备,作业设备应具备一定的起重能力和起升速度。

第二,旋转作业。为带动钻具、钻头旋转钻进,作业设备要提供一定的转矩和转速。

因此,为满足作业工艺要求,一套完善的作业设备应具备以下各系统和设备。

#### 1) 起升系统

起升系统在作业施工中的主要作用是起下管杆、工具和钻杆、钻头送进等。这套设备由绞车、游动系统(钢丝绳、天车、游车大钩)和井架组成。另外,还应具有完成起下操作的井口工具和设备,如吊环、吊卡、液压钳等。

井架是支撑吊升系统的构件,常用的井架可分为固定式井架和车载式井架两种。井架的作用是安放天车、悬挂游车大钩等,实现在作业过程中的起下作业操作。另外,对于设有二层工作台的作业设备,还可用以存放钻杆、油管等立柱。

游动系统(钢丝绳、天车、游车大钩)可以大大降低快绳拉力,减轻绞车系统工作负荷。

绞车系统是作业设备的主要部件,同井架系统一起,完成各类起升作业。

## 2) 旋转系统

旋转系统在作业过程中主要是带动井内钻杆、钻具的旋转,并带动钻头破碎井内鱼顶、水泥塞和岩石等,其主要部件是转盘和水龙头。

转盘是修井施工中驱动钻具旋转的重要装置。修井时以作业设备发动机作为主动动力,带动转盘转动,转盘则驱动钻具旋转,用来进行钻、磨、铣、套等作业,完成钻水泥塞、侧钻、磨铣鱼顶及倒扣、套铣、切割管柱等施工。

## 3) 循环系统

循环系统在作业施工中主要用来循环水、泥浆等井液,以携带被钻头破碎的碎屑,保护井壁和冷却钻头,主要包括钻井泵、地面高压管汇以及循环罐等。

## 4) 动力系统

动力系统是作业设备用于驱动绞车、转盘等工作机组的动力设备,可以是柴油机、交流电动机或直流电动机。目前作业设备中的动力源以柴油机为主。

## 5) 传动系统

传动系统的作用是连接动力源和作业机组,实现能量的传递、分配及运动方式的转换,实现修井作业。

## 6) 钻台及底座

游车大钩负荷在 60 t 以上的车载式修井机,还配备了钻台和底座。钻台和底座是修井作业时用来安装转盘,摆放油管、钻杆和井下工具的平台,也是修井作业的操作平台。

## 7) 辅助设备

为保证大修作业施工的进行,作业施工能力较高的设备还配有供气设备(空气压缩机)、发电机组、井控设备等。

## 8) 电力、气控、液压系统

电力系统主要为运载车及作业部分提供电力;气控系统用来控制运载车的行驶与车上部分的修井作业;液压系统主要是为作业井架立放提供可靠动力。

## 2. 作业设备的分类

作业设备按其运移形式主要分为通井机和车载式修井机两种。通井机有履带式通井机和轮式通井机两种,一般不配带井架,其越野性好,适用于低洼泥泞地带施工。目前常用的型号有 XT-12、AT-10、TJ10A-2、TJL-15 以及轮式通井机等型号;车载式修井机一般配带自背式井架,行走速度快,施工效率高,适合快速搬迁的需要,但受低洼泥泞地带和狭小井场的限制。目前所使用的车载式修井机型号较多,主要有 XJ20、XJ30、XJ40、XJ60、XJ80、XJ100、XJ120、XJ150 等型号。

作业设备按驱动设备类型可分为:内燃机驱动和电驱动作业设备。

作业设备按施工地区和用途分为:陆上修井机、沙漠修井机和海洋修井机等。



## 二、作业设备的发展

目前占主导地位的履带通井机是 40 多年前从前苏联引进,在履带拖拉机、推土机底盘上改装的作业设备。近年来,履带通井机的结构也在不断改进和完善。

随着油田勘探开发的进一步深入,车载式修井机的研发将是今后作业设备的发展方向。为满足油田生产需求,在设计技术和制造能力不断提高和完善的基础上,修井机将在性能、适用性、可靠性和经济性等方面取得新的进展。

作业设备的发展趋势有:

(1) 盘式刹车取代带式刹车作为绞车主刹,采用电磁刹车和水刹车作为辅助刹车,以解决刹车块频繁更换和机械式刹车连杆机构过长的问题。

(2) 交流变频电驱动修井机可充分利用油田电网资源,用交流变频电驱动代替柴油机和液力机械传动箱,不仅可实现绞车、转盘无级调速,增强处理事故的能力,还可简化机械结构,实现自动控制,降低噪音,减少环境污染。

(3) 集中控制采用可靠的传感器、微处理器、控制软件,实现对修井机各系统数据的采集和显示,实现操作提示、安全报警等自动化控制。

(4) 随着 QHSE(质量、健康、安全 and 环境)体系的进一步推广,具有节能、环保等技术优势的液压蓄能修井机将有广阔的市场应用前景。

## 第二节 动力系统基础知识



### 一、柴油机的结构

柴油机是实现热能转变为机械能的动力设备,它由以下基本部分组成:首先,欲得到热能,就要提供一定数量的燃料,并将其送进燃烧室与空气充分混合燃烧产生热量,因此,柴油机必须有燃料系统,它包括柴油箱、输油泵、滤油器、喷油泵和喷油嘴等零部件。其次,为了将得到的热能转变为机械能,就需要通过曲轴连杆机构来完成,此机构主要由汽缸体、曲轴箱、汽缸盖、活塞、活塞销、连杆、曲轴和飞轮等零件构成。当燃料在燃烧室内着火燃烧时,由于燃气的膨胀,在活塞顶部产生压力,推动活塞作直线往复运动,借助连杆改变曲轴旋转力矩,使曲轴带动工作机构(负荷)做功。对于一台设备要连续实现热能转变为机械能,还必须配备一套配气机构来保证定期吸入新鲜空气,排出燃烧后的废气,此机构由进气门、排气门、凸轮轴及驱动零件等组成。为了减少柴油机的摩擦损失,保证各零部件的正常工作温度,柴油机必须有润滑系统和冷却系统。润滑系统应由机油泵、机油滤清器和润滑油道组成,冷却系统应由水泵、散热器、节温器、风扇和水套等部件组成。为了使柴油机能迅速启动,还需配置启动装置,对柴油机启动进行控制。根据不同的启动方

法,启动装置通常采用电动启动机或气动启动机;对于大功率的机组,则采用压缩空气启动。

柴油机总体结构一般包括上述系统,但由于汽缸数、汽缸排列方式和冷却方式等不同,各种机型在结构上略有差异。柴油机的基本结构如图 1-1 所示。

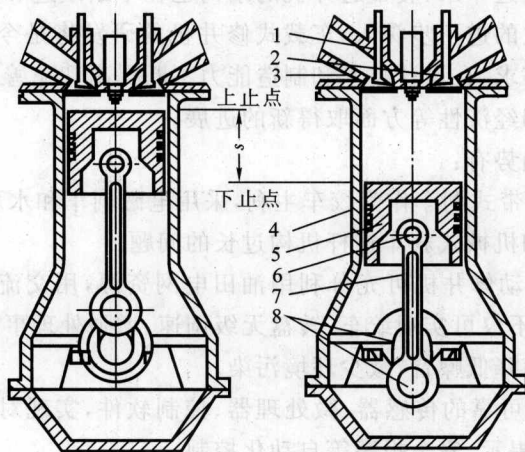


图 1-1 四冲程柴油机的基本结构

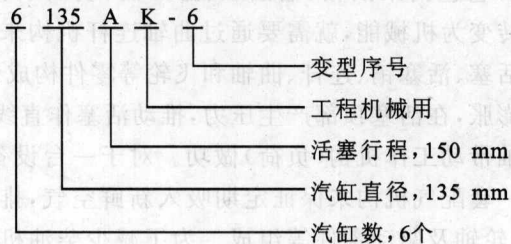
1—排气门；2—进气门；3—汽缸盖；4—汽缸体；

5—活塞；6—活塞销；7—连杆；8—曲轴

根据 GB 725—1991 的规定,内燃机型号由 4 项内容组成,即产品特征代号,包括系列代号、换代符号和地方或企业代号、产品系列代号;汽缸数目、冲程形式、汽缸排列、缸径符号;结构特征和用途特征符号;改型后在结构与性能上变化的区分符号。

国产内燃机汽缸编号根据 GB 726—1994 编制:内燃机的汽缸编号,采用连续顺序号表示;直列式内燃机汽缸编号是从曲轴自由端开始为第一缸,向功率输出端依次编号;V 形内燃机分左右两列,左右列是由功率输出端位置来区分的,汽缸编号是从右列自由端处为第一缸,依次向功率输出端编号,右列排完后,再从左列自由端连续向左排汽缸编号。

下面以 6135AK-6 为例说明国产柴油机型号的含义:



## 二、柴油机的工作原理

把燃料燃烧时所放出的热能转化为机械能的机器称为热力发动机(简称热机)。内燃

机是热机的一种,它是将燃料直接喷射到汽缸内燃烧,依靠燃料燃烧时燃气的膨胀来推动活塞对外做功。

### 1. 柴油机的常用名词

#### 1) 工作循环

柴油机中热能与机械能的转化,是通过活塞在汽缸内工作,连续进行进气、压缩、膨胀、排气 4 个过程来完成的。机器每进行这样一个过程称为一个工作循环。

#### 2) 上止点和下止点

图 1-2 是单缸四冲程柴油机的位置图,当活塞在汽缸中移动时,活塞顶在汽缸中的最高位置称为上止点(或称上死点);活塞顶在汽缸中的最低位置,称为下止点(或称下死点)。

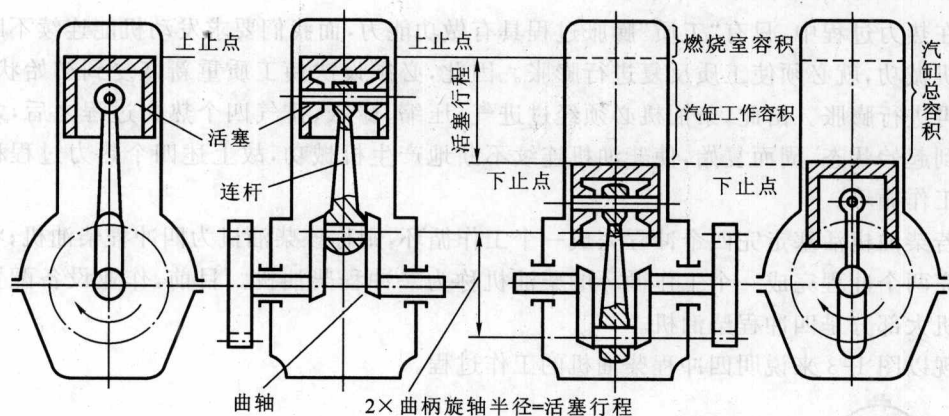


图 1-2 单缸四冲程柴油机的位置图

#### 3) 活塞冲程

上、下止点之间的最小直线距离称为活塞冲程(或称行程),通常用  $s$  表示。曲轴与连杆大端的连接中心到曲轴旋转中心之间的最小直线距离称为曲柄的旋转半径,通常用  $R$  表示。对于汽缸中心线通过曲轴旋转轴心的柴油机,活塞冲程  $s=2R$ 。

#### 4) 工作容积

活塞从上止点到下止点所扫过的汽缸容积,称为汽缸工作容积(或称活塞排量),用  $V_h$  表示;多缸内燃机各汽缸工作容积的总和称为内燃机工作容积(或称内燃机排量),用  $V_L$  表示。 $V_L$  的计算公式为:

$$V_L = (\pi D^2 / 4 \times 10^{-3}) s i = V_h i$$

式中  $D$ ——汽缸直径,cm;

$s$ ——活塞冲程,cm;

$i$ ——汽缸数;

$V_h$ ——一个汽缸的工作容积,L。

## 5) 压缩比

新鲜气体吸入汽缸后充满了整个汽缸,即占有汽缸总容积 $V_a$ ,而汽缸总容积包括燃烧室容积 $V_c$ 和汽缸的工作容积 $V_h$ ,即汽缸总容积 $V_a=V_h+V_c$ 。汽缸总容积与燃烧室容积的比值称为压缩比,用 $\epsilon$ 表示,即

$$\epsilon = V_a/V_c = (V_h + V_c)/V_c$$

压缩比的大小,表明汽缸内的空气(或混合气)经压缩后体积缩小的倍数,也表明气体被压缩的程度。通常柴油机压缩比 $\epsilon=16\sim22$ ,汽油机压缩比 $\epsilon=5\sim9$ 。

压缩比越大,表明活塞运动时,气体被压缩得越厉害,其温度和压力就越高,内燃机的效率也越高。

## 2. 四冲程柴油机的工作原理

在热力过程中,只有“工质”膨胀过程具有做功能力,而我们要求发动机能连续不断地产生机械功,就必须使工质反复进行膨胀。因此,必须设法使工质重新恢复到初始状态,然后再进行膨胀。由此,柴油机必须经过进气、压缩、膨胀、排气四个热力过程之后,才能恢复到起始状态,周而复始,使柴油机连续不断地产生机械功,故上述四个热力过程称为一个工作循环。

若柴油机活塞走完四个冲程完成一个工作循环,则称该柴油机为四冲程柴油机;将活塞走完两个冲程完成一个工作循环的柴油机称为二冲程柴油机。目前,作业设备配置的柴油机大部分是四冲程柴油机。

现以图 1-3 来说明四冲程柴油机的工作过程。

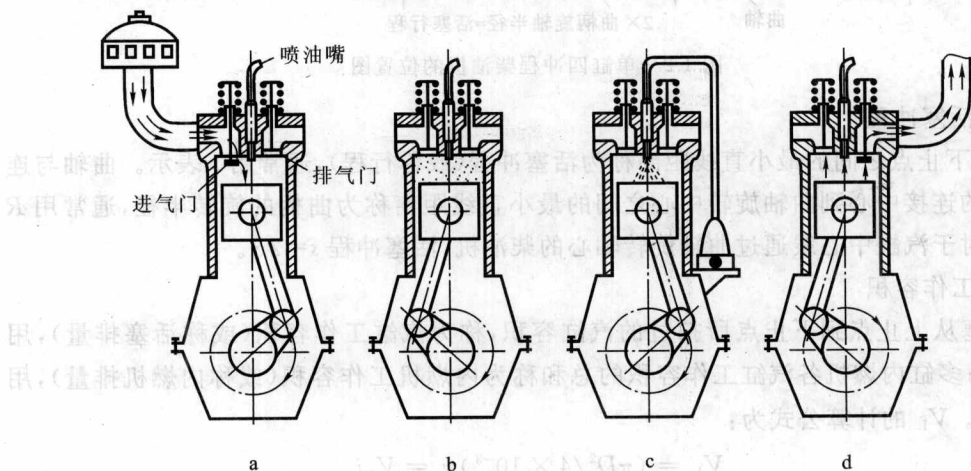


图 1-3 四冲程柴油机的工作过程

a—进气; b—压缩; c—膨胀; d—排气

## 1) 进气冲程

进气冲程的目的是吸入新鲜空气,为燃料燃烧做好准备。要实现进气,缸内与缸外须

形成压差。因此,此冲程排气门关闭,进气门打开,活塞由上止点向下止点移动,活塞上方汽缸内的容积逐渐扩大,压力降低,缸内气体压力低于大气压力约 68~93 kPa。在大气压力的作用下,新鲜空气经进气门被吸入汽缸,活塞到达下止点时,进气门关闭,进气冲程结束。

### 2) 压缩冲程

压缩冲程的目的是提高汽缸内空气的压力和温度,为燃料燃烧创造条件。由于进、排气门都已关闭,汽缸内的空气被压缩,压力和温度亦随之升高,其升高的程度,取决于被压缩的程度,不同的柴油机其程度略有不同。当活塞接近上止点时,缸内空气压力达 3 000~5 000 kPa,温度达 500~700 °C,远超过柴油的自燃温度。

### 3) 膨胀(做功)冲程

当活塞上行将终了时,喷油器开始将柴油喷入汽缸,与空气混合成可燃混合气,并立即自燃。此时,汽缸内的压力迅速上升到约 6 000~9 000 kPa,温度高达 1 800~2 200 °C。在高温、高压气体产生的推力作用下,活塞向下止点运动并带动曲轴旋转而做功。随着气体膨胀,活塞下行,其压力逐渐降低,直到排气门被打开为止。

### 4) 排气冲程

排气冲程的目的是清除缸内的废气。做功冲程结束后,缸内的燃气已成为废气,其温度下降到 800~900 °C,压力下降到 294~392 kPa。此时,排气门打开,进气门仍关闭,活塞从下止点向上止点移动,在缸内残存压力和活塞推力的作用下,废气被排出缸外。当活塞又到上止点时,排气过程结束。排气过程结束后,排气门关闭,进气门又打开,进行下一个循环,周而复始,不断对外做功。

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1.1.1 | 1.1.2 | 1.1.3 | 1.1.4 | 1.1.5 | 1.1.6 | 1.1.7 | 1.1.8 | 1.1.9 | 1.1.10 | 1.1.11 | 1.1.12 | 1.1.13 | 1.1.14 | 1.1.15 | 1.1.16 | 1.1.17 | 1.1.18 | 1.1.19 | 1.1.20 | 1.1.21 | 1.1.22 | 1.1.23 | 1.1.24 | 1.1.25 | 1.1.26 | 1.1.27 | 1.1.28 | 1.1.29 | 1.1.30 | 1.1.31 | 1.1.32 | 1.1.33 | 1.1.34 | 1.1.35 | 1.1.36 | 1.1.37 | 1.1.38 | 1.1.39 | 1.1.40 | 1.1.41 | 1.1.42 | 1.1.43 | 1.1.44 | 1.1.45 | 1.1.46 | 1.1.47 | 1.1.48 | 1.1.49 | 1.1.50 | 1.1.51 | 1.1.52 | 1.1.53 | 1.1.54 | 1.1.55 | 1.1.56 | 1.1.57 | 1.1.58 | 1.1.59 | 1.1.60 | 1.1.61 | 1.1.62 | 1.1.63 | 1.1.64 | 1.1.65 | 1.1.66 | 1.1.67 | 1.1.68 | 1.1.69 | 1.1.70 | 1.1.71 | 1.1.72 | 1.1.73 | 1.1.74 | 1.1.75 | 1.1.76 | 1.1.77 | 1.1.78 | 1.1.79 | 1.1.80 | 1.1.81 | 1.1.82 | 1.1.83 | 1.1.84 | 1.1.85 | 1.1.86 | 1.1.87 | 1.1.88 | 1.1.89 | 1.1.90 | 1.1.91 | 1.1.92 | 1.1.93 | 1.1.94 | 1.1.95 | 1.1.96 | 1.1.97 | 1.1.98 | 1.1.99 | 1.1.100 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|

关 闭 排 气 门 的 时 刻