

高等学校教材

施工机械与施工机械化

（水利水电工程施工专业用）

武汉水利电力学院 余恒睦 主编

水利电力出版社

高等学校教材

施工机械与施工机械化

(水利水电工程施工专业用)

武汉水利电力学院 余恒睦 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书从大型工程施工机械化角度出发,系统介绍常用施工机械设备的构造和性能,以及施工机械的选择、配套和需要量计算方法以及土石方机械、运输车辆和输送机、大型混凝土施工机械、大坝混凝土浇筑起重机,以及机械化施工规划和管理的一般知识。书中以近年生产的机型为主,广泛搜集了有关机械选型计算的图表、方法和实例。

本书是高等学校水利水电工程施工专业和同类相近专业的教材,也可作为工程规划、设计和施工技术人员参考书。

高等学校教材

施工机械与施工机械化

(水利水电工程施工专业用)

武汉水利电力学院 余恒睦 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 16.25印张 367千字

1987年11月第一版 1987年11月北京第一次印刷

印数 0001-5290 册

ISBN 7-120-00000-8/TV·3

15143·6476 定 价: 2.75元

前 言

本教材是按照1983年8月在西安举行的高等学校水利水电工程施工教材编审小组扩大会议审定的教材提纲编写的，主要供水利水电施工专业和同类相近专业学习《施工机械与施工机械化》课程使用。本教材内容分两部分，前面部分为施工机械，主要介绍大型工程用施工机械设备的类型、构造、工作原理、性能、适用条件和生产率计算；后面部分介绍施工机械化的一般内容，包括施工机械化程度的确定、施工机械的选择、配套和需要量计算，以及机械的费用计算和管理知识。

考虑到我国的大型工程，尤其是水利枢纽工程的施工机械化程度不断提高，采用大型的、先进的和进口的机械设备日益增多，因此在编写时广泛搜集了国内外近年生产的机型和改进的机型、有关机械选择、计算和使用的指导书和书刊，特别注意选用有关机械选型的计算图表、方法和实例，尽量做到使教材具有先进性、系统性和完整性。同时从认识规律出发，力求做到深入浅出，循序渐进。教材内容尽量精炼，全部内容的讲授时间为60学时。为了便于土建类专业学生学习机械知识，教材中还尽量采用机械简图说明机械的构造和工作原理，同时还介绍了各种施工机械的使用方法，供学习施工技术和施工组织两课程时参考。

本书第一和第二章由武汉水利电力学院吴庆鸣同志参加编写，其余各章均由余恒睦教授编写。葛洲坝水电工程学院盘石副教授和杨达夫等同志对全书进行了审阅。编写工作是在水电部高校教材施工编审小组的指导和支持下进行的，此外还有戴英本和巫世晶等同志帮助抄写和校对，在此一并表示感谢。

本书除作为高等学校水利水电工程施工专业和同类相近专业的教材外，尚可供工程规划、设计和施工技术人员参考。

对本书存在的不妥或错误之处，诚恳地希望读者们批评指正。

1986年3月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 施工机械基础知识	7
第一节 施工机械内燃机	7
第二节 液压与液力传动	16
第三节 车辆行驶原理	24
第四节 土壤的性质和体积变化	27
第二章 工业拖拉机	30
第一节 拖拉机的类型和组成	30
第二节 传动系	33
第三节 履带式拖拉机	39
第四节 轮式牵引车	41
第五节 拖拉机的工作特性	47
第三章 铲土运输机械	54
第一节 推土机	54
第二节 松土机	59
第三节 装载机	64
第四节 铲运机	71
第四章 挖掘机	81
第一节 单斗挖掘机概述	81
第二节 正铲挖掘机	84
第三节 拉铲挖掘机	91
第四节 抓铲挖掘机和起重装置	94
第五节 液压挖掘机	97
第六节 斗轮挖掘机	101
第七节 水下挖泥机械	104
第五章 工程运输车辆	106
第一节 工程运输车辆的类型和应用	106
第二节 自卸汽车	110
第三节 运输车辆的生产率计算	113
第四节 运输车辆需要量计算	115
第五节 用排队理论方法确定最经济的车辆数	117
第六节 运输车辆的使用	120
第六章 输送机械	123

第一节 带式输送机	123
第二节 斗式提升机	133
第三节 螺旋输送机	135
第七章 压实机械	137
第一节 压实机械的类型	137
第二节 羊脚碾、轮胎碾和振动碾	139
第三节 压实机械的选择和使用	142
第四节 碾压机械的生产率和牵引功率计算	144
第八章 凿岩钻孔机械	147
第一节 凿岩钻孔机械的分类和应用	147
第二节 风动凿岩机	148
第三节 钻孔机	151
第四节 凿岩钻车	155
第五节 岩石掘进机	157
第九章 混凝土机械	161
第一节 概述	161
第二节 混凝土制备装置	162
第三节 混凝土配料器	167
第四节 混凝土搅拌机	170
第五节 混凝土输送设备	177
第六节 混凝土振动器	187
第十章 工程起重机	193
第一节 概述	193
第二节 移动式起重机	198
第三节 轨道式起重机	204
第四节 缆式起重机	212
第十一章 施工机械化和施工机械的选择	219
第一节 施工机械化	219
第二节 施工机械的选择	222
第三节 施工机械需要量计算	231
第十二章 施工机械的费用与管理	236
第一节 施工机械设备的台班费用	236
第二节 施工机械设备的保养与维修	240
第三节 系统工程在施工机械管理中的应用	245
附录 复习思考题	249

绪 论

一、机械化施工的意义

建筑施工机械化是指在施工过程中,采用施工机械设备代替手工劳动,以完成工程任务。随着科学技术的进步和生产的不断发展,施工机械设备在工程施工中的地位 and 作用日益重要,尤其是现代大型水利水电建设施工机械化程度愈来愈高,主要工序已完全由工人操作机械进行施工生产。有些机械设备的自动化程度很高,原来操作机械的工人,变为监督、控制和维修机械者,而机械则在自动控制系统的操纵下按既定的生产程序自动运转,因而可以大大提高生产率。由此可见,采用现代施工机械施工,对完成基建任务、缩短工期和降低生产成本都起着决定性的作用。

建筑工程,特别是大型水利水电工程采用机械化施工的优点是:

(1) 现代的大型施工机械具有很大的生产能力,一台机械可代替成百上千个劳动力,从而能大量节省人力,免除或减轻繁重的体力劳动。

(2) 由于机械的生产率高,操作管理人员少,因而提高了生产人员的劳动生产率。

(3) 机械化施工最大的优点是能达到很高的施工强度,施工速度快,能保证按期完成任务。与人力施工相比,能缩短工期,早日完工投产。

(4) 与人力施工相比,机械化施工能提高工程质量、降低材料消耗量和节省工程费用。

(5) 对一些人力难以完成的工程,如采用大容量巨型施工机械施工,往往能使工程顺利进行,从而扩大了施工的可能性。例如在大流量的河道上截流施工,如采用大载重量的工程车辆来提高抛投量才有成功的可能。另一方面,由于大型施工机械的问世,兴建的工程规模也能相应扩大。例如现在设计的混凝土水利枢纽的工程量已达到 10^7m^3 ;大型的土石坝已达到数千万乃至一亿数千万立方米,由于采用大型施工机械施工,均能在合理的工期内完成。

(6) 此外,采用机械化施工还有利于克服公害。

由此可见,对于大、中型工程采用机械化施工的确具有很大的优越性,也是我国发展水利水电事业的一项重要方针。

二、水利水电工程施工机械化概况

水利水电工程是一项改造大自然,造福于人民的伟大实践。其特点是:工程规模宏大,技术复杂,施工季节性强,工期短和要求的施工强度高。因此,对于这种大型工程,无论国内国外均考虑采用机械化施工方法,以提高施工效率。

表0-1和表0-2分别列出了国内外少数几座混凝土坝和土石坝的机械化施工概况,说明这些大、中型水利枢纽工程的规模、所用主要施工机械设备的种类和容量、施工强度和施工人数等,

表 0-1

国内外混凝土工程采用的主要施工机械设备

坝 名 (坝 型)	坝 高 (m)	混凝土工程量 (10^4m^3)	主 要 施 工 机 械 设 备		附 注
			搅拌装置 ($\text{m}^3 \times \text{台} \times \text{座}$)	起重浇筑设备 ($\text{t} \times \text{台}$)	
新 安 江 (宽缝重力坝)	105	133	$1.6 \times 3 \times 2$ $5 \times 4 \times 1$	门机 10×9 缆机 20×2	工期3a, 日最高浇筑量 7900m^3
丹 江 口 (宽缝重力坝)	97	292	$2.4 \times 2 \times 2$ $1.6 \times 3 \times 1$	门机 10×10 塔机 10×4	工期10a(中途停工), 日最高浇筑量 4200m^3
刘 家 峡 (重 力 坝)	146.6	76	$2.4 \times 4 \times 2$ $5 \times 4 \times 1$	缆机 20×4	工期3a, 日最高浇筑量 6200m^3
乌 江 渡 (重力拱坝)	165	193	$1.6 \times 3 \times 3$	门机 10×3 塔机 10×1 缆机 20×3	月最高浇筑量 70000m^3
德沃歇克(美) (重 力 坝)	219	513	3×6 3×4	缆机 23×3 缆机 23×1 吊罐 6m^3	工期56个月, 日最高浇 筑量 10800m^3
贝 利(美) (重 力 坝)	136	323	3×6	门机 10×6 吊罐 3m^3	工期56个月, 日最高浇 筑量 6400m^3
佐 久 间(日) (重 力 坝)	156	112	3×4	缆机 23×2 吊罐 6m^3	工期36个月, 日最高浇 筑量 5160m^3
布拉茨克(苏) (重 力 坝)	125	487	$1.6 \times 4 \times 4$	双悬臂机 22×6 门机 10×6 吊 罐 $3.2, 6.4$ m^3	工期82个月, 月最高浇 筑量 135000m^3

在国外工业发达国家修建水电站工程的施工机械化程度和施工机械化水平都是比较高的, 具体反映在施工强度、工期和施工人数几方面。例如修建百米以上的高混凝土坝的施工期限, 比较快的约5~7年。混凝土的日最大浇筑强度为 $7000 \sim 19050\text{m}^3$, 月最大浇筑强度为 $15 \sim 40\text{万m}^3$ 。高峰期的施工人数较少, 一般为数千人, 最少的不到一千人。工程量为 $4000 \sim 5000\text{万m}^3$ 的高土石坝, 施工较快的仅3~5年, 日最大填筑强度为 $9.4 \sim 12.7\text{万m}^3$, 月最大填筑强度为 $200 \sim 290\text{万m}^3$ 。地下建筑物施工中, 用掘进机开挖隧洞, 日最高为 $25 \sim 30\text{m}$, 用钻爆法开挖日最高为 $15 \sim 20\text{m}$ 。

国外施工机械化水平较高的原因, 主要是采用高效率的施工机械设备和科学的管理方法。采用现代的设计方法和制造工艺, 可使施工机械设备具有完整的产品系列、较高的使用可靠性和良好的修理性, 技术保养时间少, 操作轻便舒适, 从而提高了机械的效率和生产率。施工机械设备的管理包括机械化施工规划、机械的选择和配套、机械的使用和维修保养等内容。整理完善的机械化施工经验总结和应用系统工程方法, 能优选出机械化施工方案和最适宜的机械配套, 使每条机械化施工生产线上的机群都能获得最大的生产率和最低的施工费用, 也就是可取得最大的经济效益。

我国在水利水电建设中采用机械化施工是从五十年代后期开始的。由于水利水电事业

表 0-2

国内外土石坝工程采用的主要施工机械设备

坝 名 (国 别)	坝 高 (m)	土石方 工程量 (万m ³)	主 要 施 工 机 械 设 备	达到的最高填筑强度
甘肃碧口水电站 (1971~1976, 1962人)	101	397.8	挖掘机 1~4 m ³ , 19台; 自卸汽车 12~20 t, 198辆; 推土机 35台, 碾压机械 6 台	166.6万m ³ /a, 27.7万m ³ /月, 1.53万m ³ /d
陕西石头河水库 (1976~1982, 2000人)	114	835	挖掘机 4m ³ , 7 台; 自卸汽车, 12~18 t, 93辆; 斗轮挖掘机, 400~700m ³ /h, 2 台; 推土机 33台; 铲运机 2.5~6m ³ , 44台; 皮带 机, 800~1200mm, 50台; 碾压机械, 11台	215.6万m ³ /a, 26.4万m ³ /月, 1.73万m ³ /d
四川升钟水库 (1977~1982)	79	359	挖掘机, 0.7~1.4m ³ , 13台; 自卸汽车, 8~ 10 t, 140辆; 推土机 33台; 碾压机械, 12台	143万m ³ /a, 17.1万m ³ /月, 0.824万m ³ /d
渥洛维尔(美) (4 年完成, 500人)	236	5964	斗轮挖掘机, 2300m ³ /h; 皮带机 1370mm, 长 19.7km, 5700m ³ /h; 100 t 自卸汽车	9.4万m ³ /d
贝尔特(加拿大) (4 年完成)	183	4373	推土机 (283kW即385马力) 23台; 皮带机, 1860mm, 长 16.4km; 100 t 自卸汽车	12.7万m ³ /d
努列克(苏) (22000人)	317	5800	挖掘机 4.3~5.6m ³ , 13台; 27 t 自 卸 汽车 100辆	50万m ³ /月

的不断发展, 国内施工机械制造行业供应能力的提高, 以及重视引进国外先进的施工机械设备, 使水电施工机械化程度得到较大的提高。目前, 我国大、中型水电站工程的混凝土坝、水工建筑物和地下建筑物的施工, 以及少数几座土石坝的施工, 施工机械化程度都比较高, 与国外先进的工程施工相比差别不大。但在中、小型土石坝和混凝土坝工程的非主要工序上, 仍以半机械化施工和人力施工为主。建国以来, 我国已建成的和正在施工的混凝土坝有许多座, 其中混凝土量最多的达1000万m³ (葛洲坝水电站)。这些混凝土坝的施工机械化程度都比较高, 因而能在不长的时间内建成。如新安江、柘溪、枫树坝和石泉等工程, 工期仅3~3.5年。混凝土浇筑强度也较高, 如新安江的月浇筑量最高达到14.2万m³, 日浇筑量最高达0.79万m³。葛洲坝工程配备的大型浇筑起重机械和混凝土搅拌设备的数量较多, 混凝土月浇筑量达到25万m³, 日浇筑量1.87万m³, 这样大的数量在国内外均不多见。

我国的土石坝采用综合机械化施工的尚不普遍, 仍多靠人力或半机械化施工。个别工程如碧口水电站和石头河水库的土石坝施工, 由于采用机械的数量比较多, 因而施工占用的劳动力较少, 同时也提高了填筑强度 (参见表 0-2)。

在地下工程施工中, 已开始试用以多臂钻车为主的机械化开挖技术, 在鲁布革水电站隧洞施工中, 曾达到月进尺107米。全断面隧洞掘进机经过多年反复试验改进后已取得新的进展, 重新修改的直径5.8m的掘进机, 经试验已达到月掘进120m的新水平。这就大大减轻了工人的劳动强度, 改善了劳动条件, 加快了施工进度。

据1980年统计, 我国主要水电工程平均施工机械化程度已达到: 土方工程为80%; 石

方工程为96%；混凝土工程为95%以上；垂直运输接近100%。由此可见，机械化施工在水电建设中的作用越来越大。

三、我国水电施工的技术装备能力

随着水利水电事业的发展，我国现在已有一支规模较大、拥有现代技术装备的机械化施工队伍。各施工企业配备的机械数量逐年增多，其中除国产施工机械外，还有相当数量的进口设备。

据1981年统计，水电总局系统共有职工21.68万人，拥有各种主要施工机械设备65628台(套)，总功率为167万kW(227万余马力)，原值20.1亿元，净值16.1亿元，全员技术装备率7426元/人，动力装备率7.7kW/职工(10.5马力/职工)。利用这些技术装备每年可完成土石方约4000万m³，浇筑混凝土500万m³，可完成年投资约20亿元。这是水电建设的一支基本力量，无论是技术装备总值，还是单机容量或能力，都比过去有很大的增长。例如上述装备总值比1953年增长了19倍，比1963年增长了3倍，而近几年的增长尚不包括在内。单机容量和能力的提高尤为明显，例如履带式推土机已由50年代盛行的40kW(54马力)，发展为八十年代300kW(408马力)以上。目前使用斗容为4m³的国产挖掘机已很普遍，与之配套的自卸汽车容量，已由过去常用的4t车发展为20~45t车。所有这些机械设备大多为国内制造，包括工程机械、矿山机械、起重运输机械和重型自卸汽车等。甚至更重型的施工机械，如斗容16m³的挖掘机和起重量为200t的履带式起重机均已研制成功。由此可见，我国比较雄厚的机械制造能力已为今后水电建设施工机械化创造了良好的条件。此外，我国还先后从国外进口较多的施工机械，包括土方机械和自卸汽车等，其中有一部分拨给水电部门使用，充实了技术装备能力，已发挥了，而且还将继续发挥重要作用。

在水电建设战线上已建立起一支机械化施工队伍并积累了不少机械化施工经验。但总的来说，还存在不少问题，如施工机械化程度，尤其是综合机械化水平还不算高，机械装备率偏低，机械的管理水平较差，设备的完好率和利用率均有待提高，经济核算制尚不健全，施工机械的研制力量比较薄弱，产品的性能和质量不够稳定。为了适应今后的需要，必须迅速提高施工队伍的技术水平和管理水平，提高机械行业的研制能力，努力实现水利水电工程的施工现代化。

四、我国施工机械的发展概况

我国的工程矿山机械制造行业是解放后从无到有逐步发展起来的，经历了从测绘仿制进口机械走向引进技术和自行设计，从修配机械走向制造机械的发展过程，技术水平提高很快，而且为水利水电建设提供了一定数量的技术装备，作出了贡献。近年来在采用新技术和产品系列方面更有新的发展，对国民经济建设将发挥更大的作用。

施工机械的种类繁多，结合水利水电工程施工特点，施工机械可分以下五大类：

1. 土方机械 包括铲土运输机械(如推土机、装载机、铲运机等)、挖掘机械(如单斗挖掘机、斗轮挖掘机等)和压实机械(如羊脚碾、振动碾和轮胎碾等)。
2. 工程运输机械 包括各种工程运输车辆和带式输送机等。
3. 石方机械和隧洞施工机械 包括凿岩机、锚孔机械和隧洞挖进机等。

4. 混凝土机械 包括混凝土制备机械、混凝土运输和振捣机械等。

5. 起重机械 包括工程起重机和大坝混凝土浇筑起重机等。

由于水利水电工程往往是一种典型的大型工程, 所用施工机械设备也是轻、重型兼备。除一般的工程机械外, 还包括一部分矿山机械和专用于大中型工程的施工机械, 如采矿型挖掘机和装载机、矿用重型自卸汽车和工程运输车、大型混凝土搅拌楼、大坝混凝土浇筑起重机和隧洞掘进机等。

目前, 国内工程矿山机械行业和水工机械行业的产品研制情况大致如下。

在铲土运输机械方面主要是发展履带式推土机和轮式装载机。除批量生产74~162kW(100到220马力)履带式推土机外, 已研制成236kW(320马力)液力机械传动的推土机, 并向更大的发展。轮式装载机的发展很快, 从七十年代初开始, 品种和性能均有很大的增长和提高。较大型的有铲斗容量为1.5、2.0、3.0、4.0和5.0m³系列产品, 并采用铰接转向、液压操纵、动力换挡和四轮驱动等新结构。

在挖掘机方面, 除建筑型机械传动的单斗挖掘机外, 大力发展了液压挖掘机, 其斗容量由0.4到2.0m³。目前在各大中型水电站工地上普遍采用4m³的采矿型挖掘机开挖基坑和采集砂砾料, 代替了1~2m³的挖掘机, 效果很好。矿山机械行业还研制成斗容为8~23m³的正铲挖掘机, 作为采矿成套设备的一个组成部分, 亦可用于水电站工地上。

在运输车辆方面, 各水电站工地普遍使用国产20t和32t自卸汽车。现能生产100t的,

近年来矿山机械成套设备的研制取得了较大的成绩, 它包括钻孔、开挖、装载和运输等配套机械, 如钻孔直径为250~310mm的潜孔钻机和牙轮钻机、斗轮挖掘机、带式运土机等。这些机械设备也适用于土石坝和大型土方工程施工。

适用于大、中型混凝土闸坝施工用的大型自动化混凝土搅拌楼, 国产的已有三种, 3×1600L, 3×2400L和4×5000L, 均采用了电子秤等新技术。

用于建筑安装的汽车式起重机, 目前的系列产品有起重量为5t、8t、16t、25t、40t、65t和100t等型号。除100t型外, 均采用液压传动和多节伸缩起重臂, 提高了使用性能。用于混凝土坝施工的浇筑起重机, 大都是门式、塔式起重机和缆式起重机。七十年代以前, 门式和塔式起重机是以10t为主, 如丰满10/30t门机, 还有25t塔机和20t四连杆门式起重机。七十年代以后, 研制成了起重量为60t的SDTQ1800/60型单臂塔架起重机。此外还有起重能力为10t和20t的缆式起重机(分平移式和辐射式两种)。近年又为龙羊峡、安康等工程制造了6台平移式缆机。采用这些新型起重机可实现低栈桥或无栈桥施工, 对混凝土坝快速施工将发挥重大的作用。

以上列举的机械产品仅属一批大型的机械设备, 它反映了我国在研制施工机械方面已有一定的基础。近年来为了提高施工机械的设计和制造水平, 国内一些具有一定技术水平的制造厂家与国外厂商合作, 引进技术和设备, 生产适合我国情况的各类施工机械。可以预料我国施工机械产品的类型必定会大大丰富起来, 产品质量亦将得到提高。

五、本课程的主要内容和任务

本课程与施工技术和施工组织同是水利水电工程施工专业的主要专业课程。施工机械化是一门综合性施工科学, 是介于施工机械与施工技术和施工组织之间的一门边缘学科。

讨论施工机械化问题时，必须具备施工机械的基本知识。因此，本课程内容上分成两个主要部分：施工机械与施工机械化，二者关系十分密切。

课程的前面部分主要阐述大、中型水利水电工程用施工机械的基础知识，如动力装置、液压和液力传动、行走装置和行驶阻力以及传动系的组成及其工作原理。对各种土方机械、压实机械、工程运输车辆及输送机械、凿岩穿孔机械、混凝土机械和工程起重机的分类方法、一般构造、工作原理、性能规格、适用条件、生产能力计算以及使用方法等，进行了系统的介绍。

课程的后面部分主要叙述机械化施工的组织管理问题，亦即施工机械化问题。其主要内容包括施工机械化程度的确定，施工机械的选择配套和需要量计算，施工机械台班费用的计算和机械保养维修制度。此外还简要介绍了系统工程在施工机械管理中的应用。

本课程从应用角度介绍施工机械设备的分类和构造。了解机械的类型和系列产品，有利于根据施工条件和要求选择适宜的机械；了解机械的构造和零部件的作用，其目的在于深入理解机械的性能和使用条件，充分发挥机械的效率，从而获得最大的生产率。施工机械化的主要内容包括根据具体施工条件选择施工方法和机械化施工方案，确定机械的规格和与之配套的组合机械的规格，计算机械需要数量，并从技术与经济的观点优选机械化施工方案。

通过本课程的学习和参观机械化施工现场，使学生比较熟悉大型工程施工用机械设备，能合理选择和使用机械，能从事机械化施工的计划和组织工作，以及施工机械的技术管理工作。

第一章 施工机械基础知识

第一节 施工机械内燃机

一、施工机械的动力装置

在现代施工机械上采用的动力装置主要是电动机和内燃机两大类。电动机是将电能转换成机械能的电力发动机。在电力充裕的工地上,对固定式设备和移动范围小的施工机械,可考虑采用电力拖动的机械。这类机械的优点是传动系布置简单,操作和控制方便,效率高和比较经济。最常见的电力拖动的施工机械有:混凝土搅拌楼、轨道式起重机、挖掘机、空气压缩机和电动工具等。

内燃机是将热能转换为机械能的热力发动机。在工地上各式各样的移动式机械几乎都是以内燃机作为发动机。这类机械由于不依靠外接能源,随时随地均可启动工作,故特别适用于开拓作业的施工机械,如拖拉机、铲土运输机械、中小型挖掘机和各种运输车辆等。

用于施工机械上的内燃机,在结构和工作原理上可区分为往复活塞式内燃机和燃气涡轮机两类。前者是通过活塞在气缸内往复运动而实现能量转换的,它的应用最为普遍。后者是由高速高温的燃气推动涡轮旋转运动来实现能量转换的,它是一种新型内燃机,功率达到736kW(1000马力)以上,并在重型运输车辆上已开始采用。本节主要介绍往复活塞式内燃机,并且着重讨论其中的柴油机。

二、内燃机的类型

往复活塞式内燃机可分类如下:

- (1) 按所用燃料,可分为汽油机和柴油机。
- (2) 按点燃混合气的方式,可分为点燃式和压燃式。
- (3) 按完成一个工作循环的冲(行)程数,可分为四冲程和二冲程。
- (4) 按进气方式,可分为自然吸气式和增压式。
- (5) 按冷却方式,可分为风冷式和水冷式。

此外,尚可按气缸数目、气缸排列方式和内燃机的用途等分类。

在施工机械上主要采用汽油机和柴油机。汽油机的可燃混合气是在气缸外由汽化器混合好,然后吸入气缸内,通过电火花点燃混合气。所以它又称为点燃式内燃机。柴油机所用可燃混合气是在气缸内混合的。将空气吸入气缸后,被活塞压缩使其增温增压,然后喷入雾状柴油与其混合。柴油是在高温下自行着火燃烧,所以它又称为压燃式内燃机。这是汽油机和柴油机在工作原理上的区别。

施工机械中的拖拉机、铲土运输机械和中、重型载重汽车大多数是采用柴油机的。这些机械的车速不是很高,但要求有更大的牵引力,这正符合柴油机的转速较慢和扭矩大的

特点，而且在相当大的转速范围内，其扭矩值相差不多。柴油机另外一些优点是耗油率平均比汽油机低30%左右，柴油价格一般比汽油便宜，燃料经济性较好，使用费用低，维修工作量少，机械使用寿命较长，废气中一氧化碳含量较少，减少了对空气的污染。柴油机的缺点是其重量比汽油机大，对供油系统的制造精度要求高，价格也比汽油机贵。此外在使用上，冷天启动困难，而且机器的噪音大。

三、内燃机的工作原理

1. 四冲程柴油机 单缸四冲程柴油机的工作循环如图1-1(a)所示。第一为进气冲程，活塞从上止点向下止点移动，这时进气门打开，排气门关闭。由于活塞下移气缸容积增大，缸内形成真空，将新鲜空气吸入气缸内。第二为压缩冲程，活塞由下止点向上止点移动，这时进、排气门均关闭，气缸容积不断减小，空气受压缩，其温度和压力升高，为柴油喷入、点火及燃烧创造条件。第三为作功冲程，压缩接近终了时，喷油嘴将柴油喷入气缸，细小的油雾与空气混合成可燃混合气，并在高温下自行燃烧，使温度和压力急剧上升，从而推动活塞从上向下移动，并推动曲轴旋转。第四为排气冲程，活塞由下向上移动，此时进气门关闭，排气门打开，将废气排出。经过上述四个连续过程，柴油机完成了一个工作循环，曲轴旋转了两圈。

2. 二冲程柴油机 它的工作循环是在两个活塞冲程内完成的，如图1-1(b)所示。在构造上它没有进气门，只在气缸中部开有进气孔，利用活塞在气缸内往复移动时打开或关闭

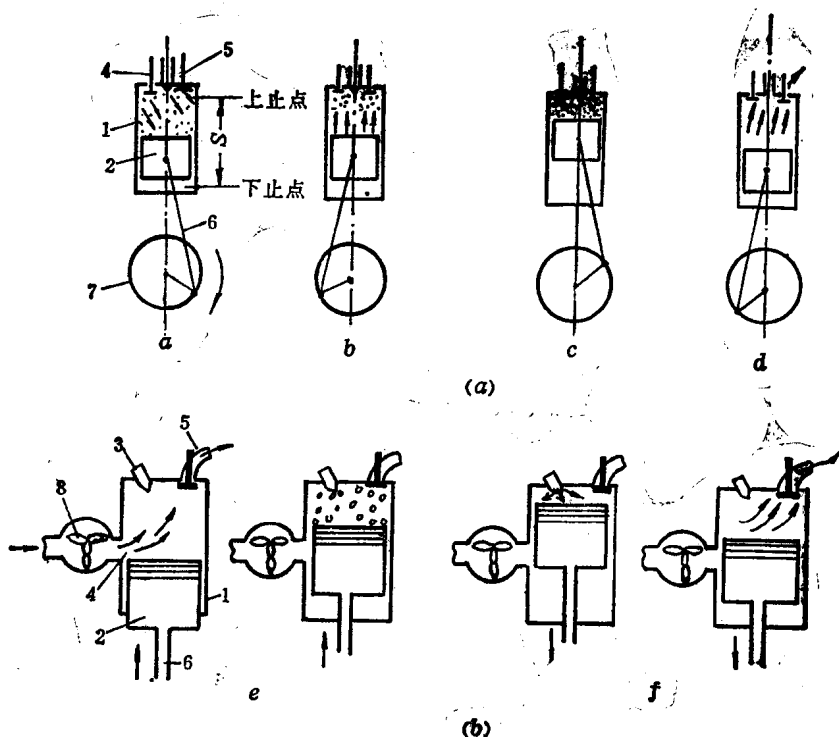


图 1-1 单缸柴油机的工作原理

(a) 单缸四冲程柴油机: a—进气; b—压缩; c—作功; d—排气

(b) 单缸二冲程柴油机: e—进气和压缩; f—作功和排气

1—气缸; 2—活塞; 3—喷油器; 4—进气门; 5—排气门; 6—连杆; 7—曲轴; 8—扫气泵

进气孔,而且还设有扫气泵提供高压新鲜空气。第一冲程开始时,活塞由下止点向上移动,这时进气孔和排气门均打开,新鲜空气由扫气泵送入气缸,并将缸中残余废气从排气门扫出,这种进气和排气同时进行的过称为“换气过程”。活塞继续上移,进气孔被关闭,接着排气门也被关闭,缸内新鲜空气被压缩,压力和温度随之升高。第二冲程是当活塞接近上止点时,喷油嘴开始喷油,油雾与空气形成可燃混合气迅速燃烧,使气缸中气体的温度和压力急剧上升,推动活塞下移作功。接着排气门打开,作功后的废气通过排气门排出。活塞继续下移,打开进气孔,缸外新鲜空气再次被扫气泵压入缸内,开始了“换气过程”,活塞一直移动到下止点,完成了第二冲程。经过这两个冲程,便完成了进气、压缩、作功和排气四个过程。也就是说,曲轴每转 360° 就可作一次功。

与四冲程柴油机比较,二冲程柴油机的特点是:首先,曲轴每转一圈就有一个作功冲程,而四冲程柴油机曲轴每转两圈才有一个作功冲程,因此当气缸的工作容积和转速相同时,在理论上它的功率应等于四冲程柴油机的两倍。但由于换气过程影响了作功冲程,使它的功率有所下降,实际上为四冲程柴油机的1.6~1.9倍。其次,由于作功频率高,故运转比较平稳。第三,它的尺寸和重量比四冲程柴油机要小而轻些。但其缺点是噪音大,燃料消耗量高;而且转速限制在2000r/min以内。四冲程柴油机的特点是:一般而言,不易出毛病,维修也较简单;燃料消耗低,噪音较小;但价格较贵。

四、内燃机的组成构造

柴油机除了机体和曲柄连杆机构主要部件外,还有配合部分如配气机构、供给系、润滑系和冷却系等。

1. 机体 它包括气缸盖、气缸体和曲轴箱。机体是柴油机各机构、各系统的装配基体,而且其本身的许多部分又分别是其他各机构的组成部分。气缸盖和气缸体的内壁共同组成燃烧室的一部分,并承受燃烧气体产生的高温、高压。

2. 曲柄连杆机构 它包括活塞、连杆、飞轮和曲轴等,通过它把活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动。

曲柄连杆机构在运动过程中受力情况较复杂。其中活塞顶部的气体压力和机件运动产生的惯性力,对柴油机的运转平稳性影响较大,加剧了柴油机的振动。为了提高曲轴运转平稳性,采用了两种方法。一是在曲轴端部装一个飞轮,它具有储存和调节能力的作用。当曲轴旋转阻力增大时,飞轮可帮助曲轴克服阻力,使曲轴转速不致降低过多;当推动曲轴旋转的力矩增大时,又使飞轮能量增加。由于飞轮惯性大,故转速不会突然增高。二是采用多缸柴油机。各气缸的作功冲程应以相同的时间间隔交替进行。如四缸四冲程柴油机(图1-2),曲轴转两圈,四个缸各作功一次,则平均每半圈就有一缸作功,使曲轴运转平稳性得到改善。同时适当安排各缸的作功次序,还可

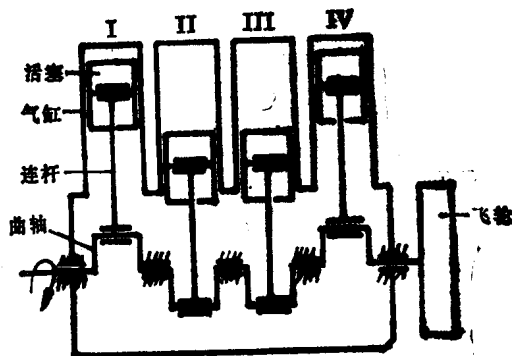


图 1-2 四缸四冲程柴油机曲轴简图

使整机的惯性力和惯性力矩基本平衡。所以六缸、四缸柴油机振动较小，而单缸柴油机的振动最大。

3. 配气机构 配气机构包括进气门、排气门、气门挺杆、凸轮轴及凸轮轴上的正时齿轮等。它的功用是按照每一气缸的工作过程和各个气缸的着火次序，定时开启和关闭各气缸的进、排气门，使得空气及时进入气缸，废气及时排出气缸。设计配气机构的型式和构造的主要着眼点是如何减小进、排气阻力，充分利用有限的燃烧室空间增加空气量，改善混合气形成过程和使废气排除干净，从而提高发动机的动力性能。

4. 供给系 柴油供给系由两大部分组成。一是柴油供给系统，它的任务是根据柴油机负荷，将一定量的柴油，在一定的压力下，按规定的时间喷入各气缸内进行燃烧；二是由进气管、排气管、空气滤清器等组成的供气和排气系统。

柴油供给系统如图1-3所示。它由柴油箱1，柴油滤清器3，输油泵5，喷油泵6，喷油器（嘴）23，调速器及一些高、低压油管路所组成。对于柱塞式供油系统，其工作过程如下：柴油由油箱出来，经过粗滤器到达输油泵，经低压油管送到喷油泵。喷油泵是高

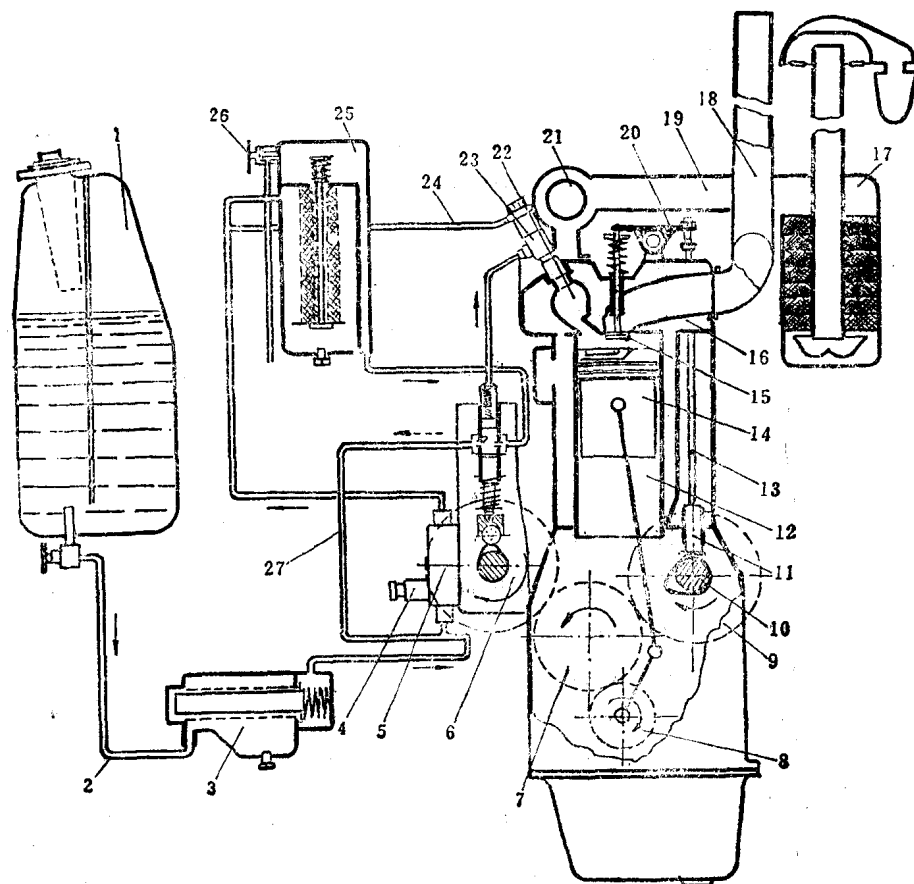


图 1-3 柴油机供给系简图

- 1—油箱；2—油管；3—粗滤器；4—手油泵；5—输油泵；6—喷油泵；7—中间惰轮；8—曲轴正时齿轮；9—凸轮轴正时齿轮；10—配气凸轮；11—挺柱；12—气缸套；13—推杆；14—活塞；15—排气门；16—气缸盖；17—空气滤清器；18—排气管；19—进气管；20—摇臂；21—起动排气管；22—涡流室；23—喷油嘴；24—排油管；25—细滤器；26—放气阀；27—回油管

压泵，它有与气缸相同数目的高压分泵，将低压油加压为高压油，并按规定的时间通过高压油管送到相应的喷油器，然后以雾状喷入燃烧室着火燃烧。喷油泵是供给系中最主要的部件之一，它的任务是：提高燃油压力；根据发动机工况随时改变喷油量，以调节柴油机的输出功率；根据燃烧过程的要求，在规定时刻开始供油。

目前国内使用装有PT系列燃油供给系发动机的车辆和施工机械较多。其燃油供给系的结构和工作原理如图1-4所示。

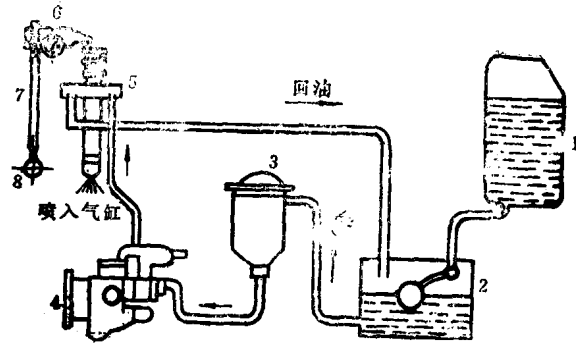


图 1-4 寇明斯PT系列燃油供给系示意图

1—主油箱；2—浮子油箱；3—滤清器；4—PT泵；
5—PT喷油器；6—摇臂；7—摇杆；8—凸轮轴

PT供给系的循环供油量，取决于PT泵向PT喷油器输送柴油压力（Pressure）的大小，及PT喷油器中计量孔开启时间（Time）的长短，因此称为PT供给系。其优点是PT泵在低压条件下工作，PT泵与PT喷油器之间用低压油管相连，基本上避免了压力波动和漏油现象。这样易于实现高压喷油，使喷雾质量及高速性得以改善。其次是结构简单紧凑，零件数较柱塞系统大为减少。而且维修容易，PT泵不需经常调整，喷油器可单独更换，更换后不像柱塞式系统需在试验台上调整和进行供油的均匀性试验。

5. 润滑系 它包括机油泵、限压阀、滤清器和冷却器等。它的基本作用是将机油不断地供给各零件的摩擦表面，减少零件的摩擦和磨损，用流动的机油清除摩擦表面上的磨屑等杂质，并冷却摩擦表面。柴油机上采用的润滑方式有以下几种：

（1）压力润滑。用于负荷大、运转速度高的摩擦副，如经过曲轴中心油道送到各连杆曲颈等处的润滑。

（2）飞溅润滑。利用柴油机工作时，运动零件激起的油滴或油雾进行润滑。如活塞与缸壁之间、连杆与活塞销之间等处的润滑。

（3）综合润滑。是一种以压力润滑为主，飞溅润滑为辅的润滑方式。

柴油机所用的润滑剂主要是机油和润滑脂两种。采用机油润滑时需根据不同的地区和季节正确选用其粘度，以保证润滑效果。

6. 冷却系 柴油机工作时，燃气温度可高达2000℃左右。内燃机零件吸收了柴油燃烧时所放出的一部分热能而强烈受热，必须进行冷却散热。但冷却强度必须适度，使柴油机能在最适宜的温度范围内工作。如果冷却不足，气缸内温度过高，进来的新鲜空气受热膨胀，使进气量减少，引起柴油机功率不足。但冷却过强，冷却系带走的热量过多，转变为有用功的热量减少，散热损失和冷却系消耗的功率都增加。过冷还会使柴油雾化差，燃烧不好，效率降低。

冷却系分风冷和水冷两种。风冷是使热量直接散发到大气中，水冷则是用水吸收热量再转散到大气中。下面分别介绍两种冷却系。

（1）风冷系。它由风扇和直接铸在缸体和缸盖上的散热片等组成。它的特点是结构