

 工程建设机械系列丛书

工程建设机械 机电液一体化

张 铁 朱明才 编著

石油大学出版社

内 容 提 要

本书较全面地阐述了公路建设所使用的工程建设机械的结构、原理及液压操纵、电控系统方面的知识,并力求反映现代工程建设机械的特点和发展方向,理论与实际相结合,结构原理、使用融为一体。全书分为三篇:第一篇工程建设机械机电液一体化基础知识;第二篇土方工程施工机械;第三篇路面工程施工机械。

本书可供交通、城建、水利、国防等机械化施工单位的工程技术人员学习,也可供相关专业的教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程建设机械机电液一体化/张铁,朱明才编著.

—东营:石油大学出版社,2001.4

ISBN 7-5636-1434-6

I.工… II.①张… ②朱… III.工程机械-机电
一体化 IV.TU6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 14897 号

工程建设机械机电液一体化

张 铁 朱明才 编著

责任编辑:宋秀勇(电话 0546—8392139)

封面设计:孟卫东

出版者:石油大学出版社(山东 东营 邮编 257062)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpres>

电子信箱: upcpres@sunctr.hdpu.edu.cn

印刷者:石油大学印刷厂

发行者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本: 787×1092 1/16 印张:42.875 字数:109 千字 4 插页

版 次: 2001 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—3050 册

定 价: 76.00 元



张铁，山东蓬莱人，1962年1月5日生于内蒙包头市。1980年入长安大学（原西安公路学院）工程机械专业学习，获工学学士学位，1984年分配至济南交通高等专科学校任教，1988年在吉林大学（原吉林工业大学）工程机械专业读研究生，获工学硕士学位。现任济南交通专科学校副教授，济南运达工程机械公司法人代表，济南运达广告有限公司法人代表，《工程建设机械》杂志主编，中国公路学会筑机学会理事，中国工程机械学会铲运机械学会理事，中国工程机械工业协会市政养护工程机械处副秘书长，维修分会副理事长，施工机械用户协调委员会副理事长。公开发表论文40余篇，出版《张铁论文集（1986—1996）》，编著《工程建设机械管理》、《工程机械地面力学与行驶理论》，主编工程建设机械系列丛书，参编《公路工程机械构造》。



朱明才，汉族，1964 年出生。山东省莱芜人。毕业于上海海运学院起重运输与工程机械专业，工程师，现任泰安市公路局机务科科长。

多年来致力于工程建设机械的科学化管理，探索公路施工工艺及施工技术规范。主编了《路面施工机械》、《沥青路面机械管理技术规范》，参加了与西安公路交通大学联合开展的“沥青路面施工技术质量控制”、“沥青路面弯道摊铺技术研究”及“筑养路机械状态检测技术应用研究”等课题，撰写了《筑路机械的综合管理》、《高速公路的设备配置与施工管理》、《沥青路面压实质量控制》等十多篇论文。

工程建设机械系列丛书

编 委 会

主 编	张 铁		
编 委	张 铁	张存明	
	马先启	李海军	李广金
	庄解兴	王 青	付俊祥
	朱明才	李祥贵	刘 伟
	孙运军	刘 岑	

工程建设机械系列丛书

管理类

- 工程建设机械管理
- 工程建设机械营销管理
- 工程建设机械营销谈判
- 工程建设机械施工管理

结构使用维修类

- 工程建设机械机电液一体化
- 工程建设机械液压系统故障分析与排除
- 工程建设机械电器与自动控制
- 工程建设机械PT燃油系统
- 工程建设机械故障诊断与分析

施工类

- 工程建设机械土方施工
- 工程建设机械道路施工
- 工程建设机械砼施工

前 言

工程建设机械是指基础建设中土方工程、石方工程、水泥混凝土工程、路面工程及起重装卸工程等机械化作业所必需的各种机械设备。在我国又称为工程机械,美国、英国、德国称为建筑机械,日本称为建设机械,前苏联及东欧各国称为建筑与筑路机械。工程建设机械通常分为挖掘机械、铲土运输机械、起重机械、压实机械、路面机械、桩工机械、工业搬运车辆、混凝土机械、钢筋和预应力机械、装修机械、凿岩机械、气动工具、军用工程机械、线路机械、市政及环卫机械、其他工程机械等 16 门类。

电子技术、传感技术、液压技术与机械相结合,实现机械的自动监测、自动控制,即为机电液一体化。随着现代社会的发展,人类对工程建设机械提出愈来愈高的要求,如高效、低耗、环保、安全、舒适、可靠等,希望工程建设机械实现自动化、智能化,而这一切都离不开机电液一体化。机电液一体化水平的高低,是目前衡量工程建设机械技术性能的重要指标之一。

机电液一体化在工程建设机械上的应用,主要有如下几个方面:

- (1) 整机一体化控制:仿形控制、有线控制、无线控制等;
- (2) 柴油机一体化控制:功率控制、燃油喷射控制等;
- (3) 传动系统一体化控制:变速、制动、转向、悬挂、行走等控制;
- (4) 工作装置一体化控制:力、力矩、平整度、速度、计量、工作方式等控制;
- (5) 故障自诊断系统一体化控制:故障报警、故障点显示、自动停机等;
- (6) 空调、电器、通讯、照明等辅助装置的一体化控制。

作者根据多年的教学、科研和生产实践的经验,在收集大量资料的基础上,侧重于公路建设所使用的工程建设机械,就其机械结构、液压传动、电控系统,从结构原理、工作性能、实际运用等各个方面予以详细的介绍。

撰写本书时作者着力注意以下几点:为方便读者,并使知识、内容具有连贯性,在第一篇中简要介绍了机械传动、液压传动、自动控制及工程建设机械用柴油机等基础知识;在第二篇(土方工程施工机械)、第三篇(路面工程施工机械)中,理论与实际相结合,即将工程建设机械的结构、原理、使用融为一体;让读者详细了解各种工程建设机械的目前国内外水平和发展动向;文字书写上力求深入浅出、通俗易懂,内容上贴近生产实际,使具有实践经验的读者容易从理论上得以提高,使具有一定文化基础的读者迅速领会工程建设机械的实际运用。

全书分为三篇十五章,其中第一、二篇由济南交通高等专科学校张铁副教授执笔,第三篇由泰安市公路局工程师朱明才执笔。全书由郑训教授审阅,并作了精心的修订。

由于作者水平及时间所限,书中定有疏漏、不足之处,恳请读者批评指正。

编著者

2001 年 1 月

目 录

第一篇 工程建设机械机电液一体化基础知识

第 1 章 机械传动基础知识	(3)
1 概述	(3)
2 齿轮传动	(6)
3 链传动	(12)
4 带传动	(21)
5 斗式提升机	(26)
6 刮板输送机	(29)
7 螺旋输送机	(35)
8 轴承	(39)
第 2 章 液压传动基础知识	(50)
1 概述	(50)
2 液压泵和液压马达	(53)
3 液压缸	(77)
4 液压控制阀	(81)
5 液压系统的基本回路	(104)
第 3 章 自动控制基础知识	(117)
1 概述	(117)
2 传感器	(121)
3 控制单元	(129)
4 执行机构	(130)
5 常用自动控制系统的基本类型	(138)
第 4 章 柴油机	(141)
1 概述	(141)
2 性能指标及特性	(150)
3 供给系主要装置	(160)
4 自动控制系统	(186)

第二篇 土方工程施工机械

第 5 章 推土机	(199)
1 概述	(199)
2 工作装置	(208)

3 液压系统	(212)
4 操纵系统	(229)
5 电控系统	(231)
6 技术使用	(235)
第6章 平地机	(247)
1 概述	(247)
2 工作装置	(256)
3 液压系统	(263)
4 操纵系统	(272)
5 电控系统	(277)
6 技术使用	(280)
第7章 铲动机	(292)
1 概述	(292)
2 工作装置	(304)
3 液压系统	(304)
4 操纵系统	(315)
5 电控系统	(317)
6 技术使用	(318)
第8章 装载机	(328)
1 概述	(328)
2 工作系统	(336)
3 液压系统	(340)
4 电控系统	(346)
5 技术使用	(355)
第9章 液压挖掘机	(362)
1 概述	(362)
2 工作装置	(371)
3 液压系统	(374)
4 操纵系统	(386)
5 电控系统	(388)
6 技术使用	(395)

第三篇 路面工程施工机械

第10章 压实机械	(409)
1 概述	(409)
2 静力式光轮压路机	(413)
3 振动压路机	(423)
4 轮胎压路机	(436)
5 夯实机械	(443)

6 振荡压路机简介	(446)
7 液压系统	(451)
8 技术使用	(459)
第 11 章 沥青混合料拌和设备	(474)
1 概述	(474)
2 工作装置	(478)
3 电控系统	(503)
4 技术使用	(510)
第 12 章 沥青混合料摊铺机	(521)
1 概述	(521)
2 工作装置	(529)
3 液压系统	(539)
4 电控系统	(546)
5 技术使用	(557)
第 13 章 水泥混凝土摊铺机	(572)
1 概述	(572)
2 整体结构	(575)
3 主要装置的结构及工作原理	(578)
4 控制电路及液压油路	(590)
5 技术使用	(609)
第 14 章 稳定土厂拌设备	(617)
1 概述	(617)
2 工作装置	(625)
3 典型稳定土厂拌设备	(629)
4 电控系统	(637)
5 技术使用	(639)
第 15 章 稳定土拌和机	(643)
1 概述	(643)
2 工作装置	(649)
3 液压系统	(654)
4 操纵系统	(666)
5 技术使用	(669)
附录 I 柴油机操作规程	(673)
附录 II 电动机操作规程	(674)
主要参考文献	(675)

第一篇

工程建设机械 机电液一体化 基本知识

第1章 机械传动基础知识

1 概 述

1.1 功用

传动(传动系统或传动装置)是指把动力装置产生的机械能传送到执行机构(行走机构、工作机构等)上去的中间装置。以传递动力为主的传动又称为动力传动;以传递运动为主的传动(例如控制传动)又称为运动传动。传动的功用是:

- (1) 降低或提高动力装置的输出速度,以满足执行机构的需要。
- (2) 用动力装置进行调速不方便、不经济或不可能时,采用变速传动来满足执行机构经常变速的要求。
- (3) 把动力装置输出的转矩,变换为执行机构所需要的转矩和力。
- (4) 把动力装置输出的等速旋转运动,转变为执行机构所要求的,其速度按某种规律变化的旋转或非旋转运动。
- (5) 实现一个或多个动力装置驱动若干个相同或不相同速度的执行机构。
- (6) 受机体外形、尺寸的限制,或为了安全和操作方便,执行机构不宜与动力装置直接连接时,也常需用传动装置连接。

1.2 组成

传动通常由下列三部分组成:

- (1) 传动系统。把动力装置的动力和运动传递给执行机构,使之实现预定动作(包括运动和力)的装置。它由各种传动零部件或装置(总成)、轴及轴系部件、离合、制动、换向和蓄能(如飞轮)等组成。
- (2) 操纵和控制系统。是指通过人工操作或自动控制改变动力装置或传动系统的工作状态和参数,协调执行机构的动作,使其完成所要求的运动和传递力的装置。它由进行启动、离合、制动、调速、换向的操纵装置,以及按预定顺序工作和自动控制所需的部件及装置所组成。
- (3) 辅助系统。它是为保证传动正常工作、改善操作条件和延长使用寿命而设的装置,如冷却、润滑、计数、消声、减振、除尘和安全防护等装置。

以上传动的三部分组成的繁简程度,视各种机械的具体要求而异。

1.3 分类

传动的类型可按其工作原理、传动比或输出速度变化情况、能量传输路线等进行分类,见表1-1、表1-2、表1-3及表1-4。此外,还可根据速度的高低、功率的大小、自由度的多少、轴线的相对位置以及传动的用途等进行分类。

表 1-1 按工作原理分类

传动类型		说 明
机 械 传 动	摩擦传动	摩擦轮传动 圆柱形,槽形,圆锥形,圆柱圆盘式
		挠性摩擦传动 ^① 带传动;V带(普通带、窄形带、大楔角带、特殊用途带等),平带,多楔带,圆带 绳传动
		摩擦式无级变速传动 (包括牵引传动) 靠传动元件间的摩擦力或油膜的切应力传动。定轴的(无中间体的、有中间体的),动轴的(行星式),有挠性元件(带、链)的传动
	齿轮传动	圆柱齿轮传动 啮合形式:内、外啮合,齿条 ^① 齿形曲线:渐开线,单、双圆弧,摆线,圆柱针轮 齿向曲线:直齿,斜齿,曲线齿
		圆锥齿轮传动 啮合形式:外、内啮合,平顶及平面齿轮 齿形曲线:渐开线,单、双圆弧 齿向曲线:直齿,斜齿,弧齿
		动轴轮系 渐开线齿轮行星传动(单自由度、多自由度) 摆线针轮行星传动 活齿减速传动 谐波传动
		非圆齿轮传动 可实现连续的单向循环变速运动或要求的函数关系
	啮合传动和推动	章动传动 一种大传动比、高效率、低噪声的互包络线机构
		圆柱蜗杆传动 普通圆柱蜗杆传动(阿基米德、渐开线、延长渐开线、曲线面) 圆弧圆柱蜗杆传动(轴向、法向圆弧齿)
		环面蜗杆传动 直廓环面蜗杆传动 平面包络环面蜗杆传动 锥面蜗杆传动
		挠性啮合传动 ^① 链传动;套筒滚子链,套筒链,簧板链,齿形链 带传动;同步带(梯形齿、圆弧齿)
		螺旋传动 ^① 滑动螺旋传动 滚动螺旋传动 静压螺旋传动
		连杆机构 ^① 曲柄摇杆机构(包括脉动无级变速传动),双曲柄机构,曲柄滑块机构,曲柄导杆机构,液压缸驱动的连杆机构
		凸轮机构 ^① 直动、摆动从动件 反凸轮机构 凸轮式无级变速机构
		组合机构 ^① 齿轮-连杆,齿轮-凸轮,凸轮-连杆,液压连杆机构
流 体 传 动	气压传动 ^①	运动形式:往复移动,往复摆动,旋转
	液压传动 ^①	速度变化:恒速,有级变速,无级变速,按一定规律变速 控制方式:人工,机构,液压,电磁,伺服,复合,载荷传感液压
	静液压调速驱动	用于行走机构传输能量(旋转运动),并可逆传动和制动
	液力传动	液力变矩器 液力耦合器 液力机械变矩器
	液体粘性传动	与多片摩擦离合器相似,借改变摩擦片间的油膜厚度与压力,以改变油膜的剪切力进行无级变速传动
电 气 传 动	交流电气传动 ^①	恒速,可调速(电磁滑差离合器、调压、串级、变频、可换向电动机等)
	直流电气传动 ^①	恒速,可调速(调磁通、调压、复合调速)
	磁力传动 ^①	可透过隔离物传动:磁吸引式,涡流式 不可透过隔离物传动:磁滞式,磁粉离合器

注:① 可实现直线运动。

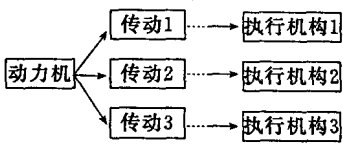
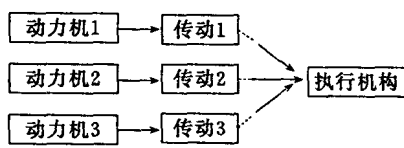
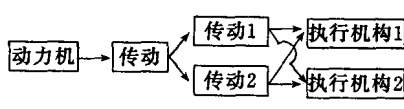
表 1-2 按传动比变化情况分类

传动分类	说明	传动举例
定传动比传动	输入与输出转速对应,适用于工作机工况固定,或其工况与动力机工况对应变化的传动	带、链、摩擦轮传动,齿轮、蜗杆、章动传动
变传动比传动	有级变速 一个输入转速对应于若干个输出转速,且按某种数列排列,适用于动力机工况固定而工作机有若干种工况的传动,或用来扩大动力机的调速范围	齿轮变速箱、塔轮传动 流体传动、电气传动(采用多速电机)
	无级变速 一个输入转速对应于某一范围内无限多个输出转速,适用于工作机工况极多或最佳工况不明的传动	各种机械无级变速器、液力耦合器与变矩器、流体粘性传动、液压传动、电磁滑差离合器、电气无级变速
	按周期性规律变化 输出角速度是输入角速度的周期性函数,用来实现函数传动及改善某些机构的动力特性	非圆齿轮、凸轮、连杆机构、组合机构 数控型电气传动、液压比例和伺服控制的传动

表 1-3 按输出速度变化情况分类

动力机输出速度	传动输出速度	传动举例
恒定	恒定	齿轮、蜗杆、带、链、摩擦轮、螺旋、章动传动,不调速的电气、液压和气压传动
恒定	有级调速	轮传动,齿轮变速箱、三轴滑移公用齿轮变速箱
可调		电气、液压传动中的有级调速传动
恒定	无级调速	机械无级变速器、液力耦合器及变矩器,电磁滑差离合器、磁粉离合器,流体粘性传动
可调		内燃机调速,电气、液压和气压无级调速传动,可调式液力耦合器及变矩器
恒定	按某种规律可调	非圆齿轮,凸轮、连杆机构,组合机构
可调		数控型电气传动,液压比例和伺服控制的传动

表 1-4 按能量的传输路线分类

传动类型	简图	说明	传动举例
单流传动	动力机 → 传动1 → 传动2 → 执行机构	有单级、多级之分;全部能量均流过每一个传动元件,一般为单自由度传动	侧轴式减速器、边缘单流传动的水泥磨机传动
多流传动	分流 	用于多执行机构的机器,传动效率与能量分配有关	汽车起重机起重作业部分的传动、农业机械作业部分的传动、多轴钻
	汇流 	用于低速、重载、大功率、执行机构少而执行构件惯性大的机器;传动效率与能量分配有关	多电机多流中心或边缘传动的水泥磨机传动,提升机、转炉倾动机构
	混流 	是分流与汇流的复合传动	同轴式减速器、齿轮加工机床工件与刀具的传动系统、车辆的行走与转向部分的传动

1.4 传动类型选择的基本原则

机械装置的工作性能、可靠性、质量(重量)、制造成本和使用经济性,很大程度上取决于传动装置的结构合理与先进性、性能的好坏,因此在选择其传动装置的类型、总成以至零部件时应遵循以下基本原则:

(1) 小功率机械应在满足其工作性能的需要下,选用结构简单的传动装置,尽可能地降低初始费用。

(2) 大功率机械应优先考虑传动效率,节约能源,降低运转和维修费用。

(3) 工作机构要求变速时,若能与动力装置调速比相适应,可直接连接或采用定传动比的传动装置;工作机构要求变速范围大,用动力装置调速不能满足机械特性和经济性要求时,则应采用变传动比传动;除工作机构需要连续平滑变速者外,尽量采用有级变速传动。

(4) 当载荷变化频繁,且可能出现过载时,应考虑设置过载保护装置。

(5) 工作机构要求与动力装置同步时,应采用无滑动的传动装置。

(6) 传动装置的选用必须与生产制造、使用维护的技术水平相适应,应尽可能选用专业厂生产的标准传动零部件及总成。

本章除离合器、变速器、万向传动外,主要介绍工程建设机械上常用的传动装置,如齿轮传动、带传动、链传动、斗式提升机、刮板输送机、螺旋输送机及轴承等。

2 齿轮传动

2.1 工作原理

齿轮传动是一种啮合传动。如图 1-1 所示,当一对齿轮相互啮合而工作时,主动齿轮 1 的轮齿(1, 2, 3, ...)通过力 F 的作用逐个地推动从动齿轮 2 的轮齿(1', 2', 3', ...),使从动齿轮转动,因而将主动轴的动力和运动传递给从动轴。

设主动齿轮的转速为 n_1 、齿数为 z_1 ,从动齿轮的转速为 n_2 、齿数为 z_2 。主动齿轮每分钟转过的齿数为 $z_1 n_1$,从动齿轮每分钟转过的齿数为 $z_2 n_2$ 。因为在两个齿轮啮合传动过程中,主动齿轮转过一个齿,从动齿轮相应地也转过一个齿,所以在每分钟内两个齿轮转过的齿数相等,即 $z_1 n_1 = z_2 n_2$ 。由此可得一对齿轮传动的速比为

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (1-1)$$

上式表明,在一对齿轮传动中,两个齿轮的转速与它们的齿数(直径)成反比。

一对齿轮传动的速比不宜过大,否则会使结构过

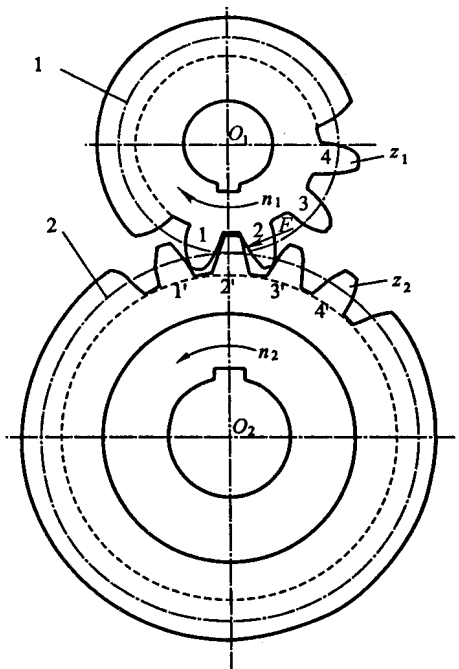


图 1-1 齿轮传动基本原理

1—主动齿轮;2—从动齿轮

于庞大,不利于制造和安装。通常,一对圆柱齿轮传动的速比 $i \leq 5 \sim 8$, 一对圆锥齿轮传动的速比 $i \leq 3 \sim 5$ 。

2.2 特点

齿轮是机械设备的重要基础件,它与带、链、摩擦、液压等型式的传动相比,具有功率范围大、传动效率高、传动比准确、使用寿命长、安全可靠等特点,因此它是许多机械设备普遍采用的传动件。齿轮传动有以下主要优点:

(1) 瞬时传动比恒定,工作平稳性较高。

(2) 传动比变化范围大,特别是采用行星齿轮传动时,传动比可达 $100 \sim 200$ (单级),且速度范围大,齿轮的圆周速度为 $0.1 \sim 200 \text{ m/s}$,转速为 $1 \sim 2\,000 \text{ r/min}$ 。

(3) 传递功率范围大,承载能力大,高速齿轮的传动功率可达 $50\,000 \text{ kW}$ 或更大,低速重载齿轮的输出转矩可达 $1\,400\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$ 以上。

(4) 传动效率高,特别是精度比较高的圆柱齿轮副,其传动效率可达 0.99 以上。

(5) 结构紧凑,若使用行星齿轮传动、少齿差齿轮传动或谐波齿轮传动时,可使其体积更为缩小。

(6) 维护简便。

但齿轮传动也存在以下缺点:

(1) 运转中有振动、冲击和噪声,并产生动载荷。

(2) 无过载保护作用。

(3) 要求齿轮的切齿精度较高或特殊齿形时,需要高精度机床、特殊刀具和测量仪器来保证,制造工艺复杂,成本较高。

2.3 类型

齿轮产品按大类划分,主要有圆柱齿轮、锥齿轮、蜗轮蜗杆与行星传动齿轮等四类,如图 1-2 所示。

2.4 齿轮传动类型选择的基本原则

选择齿轮传动类型时应遵循以下基本原则:

(1) 根据机械设备对传动装置的结构和动力参数的要求,如传动结构尺寸、质量、功率、转速、效率、传动比等。

(2) 根据机械设备对传动装置提出的性能要求,如工作可靠性、使用寿命、振动、噪声、传动精度等。

(3) 传动技术的先进性、合理性、经济性和通用性。

(4) 齿轮制造条件和工艺水平,以及生产批量。

(5) 利用类比法,即参考已有或类似机械的使用情况和经验选型。

一般情况下,对于平行轴传动,多采用圆柱直齿或斜齿齿轮传动;对于相交轴传动,多采用直齿、斜齿或曲线齿的锥齿轮传动;对于交错轴(两轴既不平行又不相交)传动,可采用准双曲面齿轮传动蜗杆传动以及交错轴斜齿圆柱齿轮传动。