

机械传动设计手册

机械传动设计手册

上册

主 编 江耕华 胡来瑢 陈启松
编写人 江耕华 胡来瑢 陈启松
顾本午 蒋福章

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本《手册》分上、下册出版，上册内容包括：第一篇机械传动总论；第二篇齿轮与齿轮传动；第三篇蜗杆与蜗轮传动及有关附录。下册内容包括：第四篇轴系零件；第五篇减速器；第六篇行星齿轮传动；第七篇挠性体传动；第八篇弹簧等及有关附录。

本《手册》推荐了较适用于重型、矿山机械的渐开线齿轮强度计算方法。对行星齿轮传动着重介绍了2K-H、3K型以及摆线针轮、谐波齿轮、少齿差行星减速器的设计；为了正确、有效地设计渐开线变位齿轮传动，书中列有大量的变位系数“封闭图”以及各类传动的设计与校核计算的实例。

本《手册》可供机械专业的工程技术人员查阅使用，也可供有关大专院校师生参考。

责任编辑：殷永龄

封面设计：郑玉水

机 械 传 动 设 计 手 册

上 册

主 编 江耕华 胡来瑒 陈启松

编写人 江耕华 胡来瑒 陈启松

顾本午 蒋福章

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168¹/₃₂ 印张35⁰/₁₆ 插页1

字数1017千字 印数1—42,120

1982年12月第1版 1982年12月第1次印刷

书号15035·2440 定价6.25元

前 言

正确、合理地设计机器的传动部分，是提高机器产品性能、效率、寿命和可靠性以及降低成本的重要一环。长期以来，从事重型、矿山机械传动设计和研究的科技人员，深感缺乏一本较系统、完整的机械传动设计的工具书。为此，我们对原上海煤矿机械研究所于1972年内部发行的《煤矿机械设计手册》（下册）进行了彻底的修改、充实，增编成为《机械传动设计手册》分上、下两册出版。

这次增编的主要内容有：机械传动总论；渐开线内、外啮合齿轮变位系数“封闭图”；轴系零件；渐开线行星（包括少齿差）齿轮传动以及圆环链传动等。改写的主要内容有：渐开线齿轮传动的强度和几何计算；滚动轴承的额定动负荷计算；滑动轴承的设计计算；摆线针轮行星传动及谐波齿轮传动的设计计算。此外，还介绍了渐开线圆柱齿轮传动应用电子计算机的几何计算方法等。对齿轮的基准齿形、模数系列及减速器系列等标准，均改用了新的国标和部标。

本《手册》编写的内容力求准确、系统、详细，选用的数据、资料尽量取自经国内验证过的材料。推荐的国外资料要求确切、实用和便于读者掌握。鉴于国际单位制的推广使用，尚处在过渡阶段，考虑到当前工程技术人员及现场工作同志的实际情况，暂仍采用工程单位制。关于圆柱体公差配合新标准的贯彻，目前存在着与之相应的标准体系不够完整等问题，为了避免不必要的混乱，本书暂不作变动。

本书的编写工作，是由煤炭工业部科技局、机械制造局、煤炭工业出版社组织的，并得到煤炭科学研究院上海研究所、焦作矿业学院等部门的大力支持和中国矿业学院、东北工学院、郑州机械研究所、太原工学院、上海机电设计院、淮南煤矿机械厂、鸡西煤矿机械厂等单位的具体帮助。煤炭科学研究院上海研究所陈庆臻高级工程师曾给予指导；朱士陶工程师提供了电子计算机程序资料，在此一并表示感谢。

编写专业性的传动手册，这还是一次尝试，缺点、错误在所难免，望广大读者批评、指正。

编者 1981年2月于北京

目 录

第一篇 机械传动总论

第一章 机械传动类型及选择	2
第一节 现代机器的结构组成	2
第二节 机械传动的特性和参数	6
第三节 机械传动的基本类型	11
第四节 机械传动类型的选择	27
第二章 机械传动系统方案设计	35
第一节 机械传动系统设计的基本问题	35
第二节 机械传动系统的传动比分配	37
第三节 机械传动系统的性能计算	45
第四节 机械传动系统方案设计实例	48

第二篇 齿轮与齿轮传动

第一章 齿轮与蜗轮传动综述	62
第一节 齿轮、蜗轮传动的符号与分类	62
第二节 渐开线圆柱齿轮的基准齿形 (GB1356-78) 和模数系列	70
第三节 渐开线圆柱齿轮的齿形修缘	72
第四节 齿轮与蜗轮传动啮合作用的计算	74
第二章 渐开线圆柱齿轮传动的几何计算	80
第一节 外啮合标准齿轮传动的几何计算	80
第二节 渐开线圆柱齿轮的变位原理	87
第三节 变位齿轮传动的类型及应用	89
第四节 选择变位系数的准则和限制条件	94
第五节 变位系数的选择和分配	98
第六节 变位齿轮传动的几何参数	119
第七节 外啮合高度变位齿轮传动的几何计算	125
第八节 外啮合角度变位齿轮传动的几何计算	131
第九节 内啮合标准齿轮传动的几何计算	150
第十节 内啮合高度变位齿轮传动的几何计算	157
第十一节 内啮合角度变位内齿轮传动的几何计算	164

第十二节	螺旋齿轮传动	173
第十三节	圆柱齿轮传动质量指标的验算	184
第十四节	齿轮与齿条传动	199
第十五节	圆柱齿轮的齿厚测量计算	203
第十六节	直齿圆柱齿轮的测绘	230
第十七节	斜齿圆柱齿轮的测绘	242
第三章	渐开线圆锥齿轮传动的几何计算	253
第一节	渐开线圆锥齿轮传动的各部名称	253
第二节	圆锥齿轮的分类	254
第三节	直齿锥齿轮传动的几何参数	256
第四节	直齿锥齿轮传动的几何计算	259
第五节	直齿锥齿轮用成对刨刀切制时的刨刀安装角 δ' 计算	269
第六节	直齿锥齿轮传动的计算实例	269
第七节	标准直齿锥齿轮传动的简化计算	272
第八节	弧齿锥齿轮传动的几何参数	273
第九节	弧齿锥齿轮传动的几何计算	294
第十节	弧齿锥齿轮传动的计算实例	310
第十一节	锥齿轮的测绘	315
第四章	渐开线齿轮传动的强度计算	327
第一节	齿轮传动的主要失效形式	327
第二节	齿轮传动的接触强度计算	336
第三节	齿轮传动的弯曲强度计算	354
第四节	齿轮传动的静强度计算	366
第五节	齿轮传动的过渡层接触强度和弯曲少循环 疲劳强度的计算	368
第六节	齿轮传动强度的设计计算程序	374
第七节	齿轮传动强度计算实例	380
第八节	齿轮传动强度的概略线图计算	403
第五章	渐开线齿轮传动的精度和公差	407
第一节	圆柱齿轮传动公差	407
第二节	圆锥齿轮传动公差	440
第三节	齿条传动公差	456

第六章 圆弧点啮合齿轮传动	463
第一节 圆弧点啮合齿轮传动的特点	463
第二节 圆弧齿轮的基准齿形与模数系列	465
第三节 圆弧齿轮传动的基本参数选择	468
第四节 圆弧齿轮传动的强度计算	473
第五节 圆弧齿轮传动的设计计算要点	478
第六节 圆弧齿轮传动的强度计算实例	481
第七节 圆弧齿轮传动公差	491

第七章 渐开线圆柱齿轮传动应用电子计算机的几何

计算方法	515
第一节 计算方法的功能	515
第二节 计算程序总框	515
第三节 原始数据和计算参数	515
第四节 原始数据的准备	519
第五节 计算思想及计算方法 (子框图)	523
第六节 计算结果的阅读方法	535
第七节 源程序	536

第三篇 蜗杆与蜗轮传动

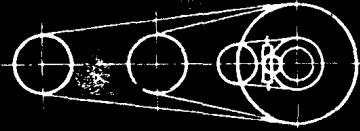
第一章 圆柱蜗杆传动的几何计算	552
第一节 圆柱蜗杆传动的各部名称和符号	552
第二节 圆柱蜗杆传动的类型和特性	553
第三节 圆柱蜗杆传动的参数选择	558
第四节 圆柱蜗杆传动的变位计算	567
第五节 圆柱蜗杆传动的几何计算实例	571
第六节 普通圆柱蜗杆传动的测绘	580
第二章 环面蜗杆传动的几何计算	589
第一节 环面蜗杆传动的各部名称和符号	589
第二节 普通环面蜗杆传动的类型和特性	591
第三节 可展环面蜗杆传动的类型和特点	598
第四节 普通环面蜗杆传动的参数选择	602
第五节 普通环面蜗杆“变参数修形”计算	610
第六节 普通环面蜗杆传动的几何计算实例	615

六
一
五

第七节	可展环面蜗杆传动的参数选择和几何计算实例	624
第三章	蜗杆传动的强度计算	629
第一节	蜗杆传动的失效形式和材料选择	629
第二节	圆柱蜗杆传动的强度计算	631
第三节	环面蜗杆传动的强度计算	639
第四节	蜗杆体的强度和刚度校核计算	643
第五节	蜗杆传动的效率和热平衡计算	646
第六节	蜗杆传动设计计算实例	650
第四章	蜗杆传动的精度和公差	659
第一节	普通圆柱蜗杆传动的精度等级和选择	659
第二节	普通圆柱蜗杆传动公差的基本定义和符号	660
第三节	普通圆柱蜗杆传动的检验项目和公差	665
第四节	普通环面蜗杆传动的精度等级和公差	678
第五节	普通环面蜗杆传动的检验项目和公差	686
第六节	蜗杆传动公差选用实例	691
附录 1	变位齿轮传动 $a_w - x_z - y_z - \Delta y_z$ 数表	705
附录 2	渐开线函数表 $\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$	774
附录 3	外啮合齿轮变位系数的“封闭图”	790
附录 4	内啮合齿轮变位系数的“封闭图”	889
附录 5	直齿锥齿轮传动的计算表	923
附录 6	弧齿锥齿轮传动的计算表	1063
附录 7	(模数 1~12mm) 直齿插齿刀标准 (JB2496-78)	1105
附录 8	渐开线圆柱齿轮精度制 (1980年国标报批稿)	1108

第 一 篇

机械传动总论



第一章

机械传动类型及选择

第一节 现代机器的结构组成

所有现代的机器，尽管构造和用途多种多样，它们的结构组成均包括动力机、传动系统和工作机构三大部分。此外，为保证机器的正常工作，还需要一些操纵装置或控制系统。如矿井提升机是由电动机（动力机）、齿轮减速器（传动系统）、卷筒和钢丝绳（工作机构）、制动装置、控制系统及操纵装置所组成。一般地说，现代机器的结构组成如图1-1-1所示，各组成部分的作用主要是：

动力机——是机器完成工作任务的动力源。按能量转换性质的不同分一次动力机和二次动力机。前者又称发动机或原动机，它可将自然界的能源直接转换为机械能，如蒸汽机、柴油机、燃气轮机和水轮机等。用一次动力机驱动发电机、液压泵或空压机将自然界的能源转换成电能、液体或气体的压力能，再将这种形式的能量转换为机械能的机器称为二次动力机，如电动机、液动机和气动机等。大多数机器都采用二次动力机。如金属切削机床采用电动机驱动，风动装岩机用气动机驱动；又如采煤机的截割部用电动机驱动，而牵引部用电动机经液动机驱动。

传动系统——是将动力机的运动和动力传给工作机构的中间传动装置，主要有机械传动、流体动力传动、电力和磁力传动等。机械传动分摩擦传动、啮合传动和推压传动。前者有摩擦轮传动及皮带传动等；后者有连杆传动机构和凸轮传动机构等；啮合传动有齿轮传动、蜗杆传动及链传动等。如轧钢机、水利闸门启闭机、颚式破碎机以及煤矿井下刮板输送机的齿轮减速器及采煤机的齿轮传动箱等都是由许多齿轮机构组成的机械传动装置。流体动力传动包括：利用具有压力能的液体或气体传递动力的一般液压传动或气压传动；利用带叶片的泵轮和涡轮产生液体涡流传递动力的液力偶合器和液力变矩器。电力传动大多由直流电源和直流电动机组成，磁力传动分磁吸引式、

磁涡流式及磁滞式三种，多用作轻型离合器和无摩擦磨损的制动或阻尼装置。

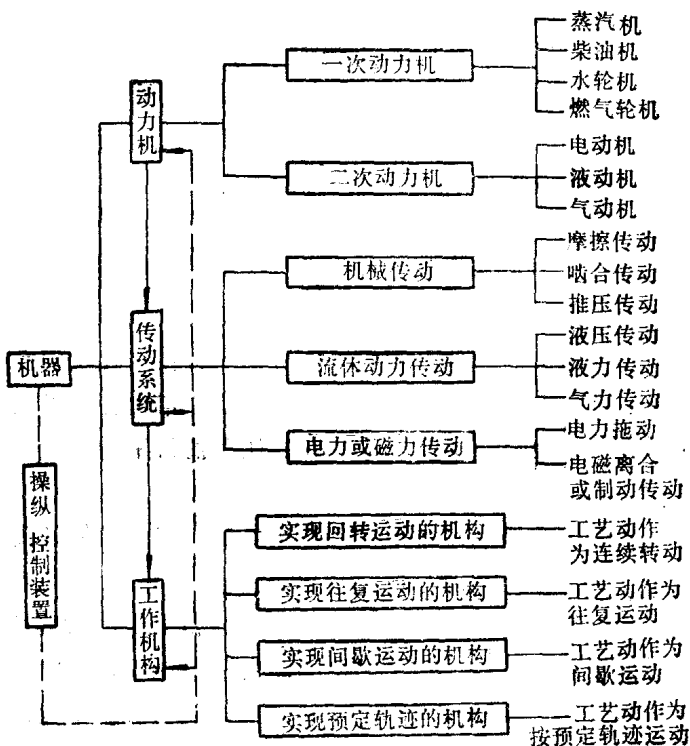


图 1-1-1 机器结构组成

机械传动系统用于平行轴、相交轴或交错轴间传递回转运动和动力，有时也用来将某种运动形式变换为另一种运动形式，如将回转运动或摆动变换为某种形式的往复运动或间歇运动等。机械传动系统的作用是通过减速（或增速）、变速、换向或变换运动形式，将动力机的运动和动力传递并分配给工作机构，使工作机构获得所需要的运动形式和生产能力。根据具体的工作要求，机械传动系统可采用一级、两级或多级传动，也可采用多种形式的组合传动。

如果动力机的工作性能完全符合工作机构完成工艺动作的需要，传动系统可省略，可将动力机与工作机构直接联接。

工作机构——是机器直接完成工作任务的执行装置，又称执行机构。要求工艺动作为回转运动的，如提升机的卷筒、采煤机的截割滚筒和各种车床的主轴等；要求工艺动作为往复运动的，如牛头刨床的刨头和龙门刨床的工作台等；要求工艺动作为间歇运动的，如多工位组合机床的槽轮机构和冷挤压机的转位机构等；要求工艺动作为按给定轨迹运动的，如耙爪装煤机的耙爪机构和港口起重机的搬运机构等。各种机器采用不同的工作机构，反映机器工艺要求和生产过程的特殊性。

操纵及控制装置——是操纵及控制机器各组成部分协调动作并准确可靠地完成工作任务的装置。如操纵机器的起动或停车，改变传动系统的运动状态和工作参数、调节工作机构的行程或速度以及控制各工作机构之间的协调动作等。操纵及控制装置通常由各种形式的连杆机构、凸轮机构或组合机构所组成，有的还包括常用的齿轮机构、蜗轮机构等。

此外，为保证机器的正常工作和使用寿命，现代机器还需装设一些辅助装置，如冷却、润滑、计数及照明装置等。

一般地说，现代机器各动力机、传动系统和工作机构都是由一个或一个以上的机构所组成。如采煤机的动力机有电动机和液动机，传动系统有齿轮传动系统和液压传动系统，工作机构有截割滚筒和牵引链轮，此外还有滚筒调高机构、紧链机构和操纵及控制系统等。尽管各种机器的构造和用途不同，但根据需要可采用同类型的机构。

当机器用单机驱动几组工作机构共同工作，并对其中某些工作机构协调动作有严格要求时，这些工作机构可用分配轴集中驱动和控制。如B-665型牛头刨床的刨刀切削运动机构（导杆机构）和工作台横向进给机构（螺旋机构）有严格的协调动作要求：即刨刀每刨削一次，工作作一次横向进给。所以，这两个机构需用分配轴（主导轴）集中驱动。前者由主导轴直接驱动导杆机构；后者由主导轴经齿轮机构、曲柄摇杆机构、棘轮机构带动螺旋机构作间歇横向送给。图1-1-2所示为单机驱动的机器的机构组成方框图。B-665型牛头刨床的机构组成方框图如图1-1-3所示。

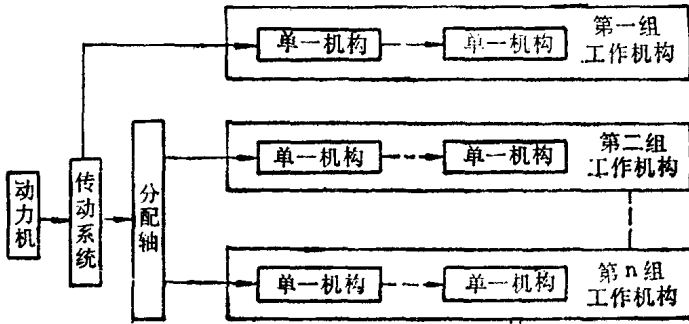


图 1-1-2 机器作单机驱动的结构组成方框图

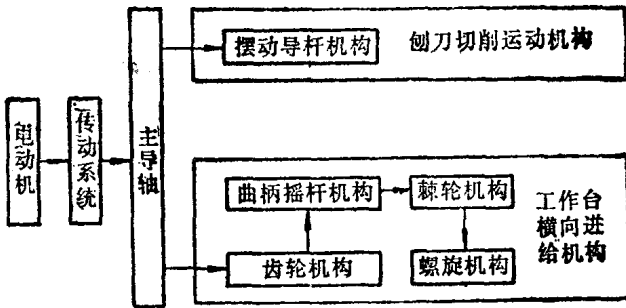


图 1-1-3 B-665型牛头刨床机构组成方框图

把单机驱动改为多机分散驱动，可简化机器的传动系统，提高传动精度、缩小体积，便于实现部件标准化，有利于机器的设计、制造、维修和使用。目前，许多新型的装载机、掘进机、刮板输送机、自动机床以及各种组合机床和重型机械等，采用多机驱动的日益增多。多机驱动的机器通常用几台动力机经各自传动系统分别驱动若干组工作机构，有时也可用两台（或多台）动力机经各自传动系统联合驱动一组工作机构。但是，为协调各组工作机构的动作，中间需装设动作协调装置。图1-1-4所示为多机驱动的机器的机构组成方框图。

随着机器的类型、性能和使用要求的不同，多机驱动的协调装置有机械、电气、气动、液动等多种形式，如差速装置、行程开关、液力联轴器、液力变矩器、同步器及各种电磁液压阀等。根据工作要

求, 这些协调装置可设计成联动或互锁的形式。

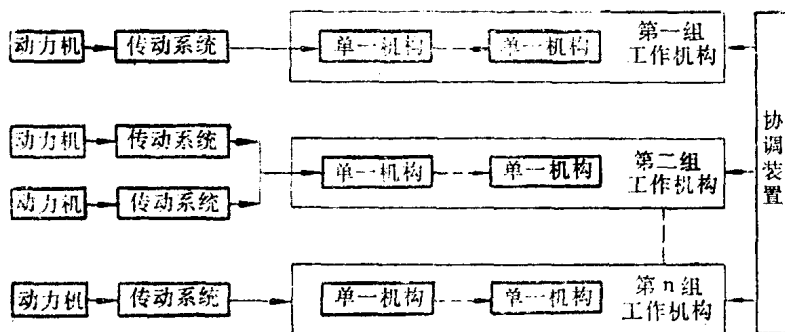


图 1-1-4 机器为多机驱动的结构组成方框图

此外, 为适应制造、装配和维修的需要, 现代机器的各组成部分又分为若干部件或组件, 每一部件或组件都是由许多零件装配成。

第二节 机械传动的特性和参数

机械传动是用各种型式的机构来传递运动和动力的。机械传动的运动特性通常用转速、传动比、变速范围和转差率等参数表示。机械传动的动力特性用功率、扭矩、效率及变矩系数等参数表示。

一、转速和传动比

当机械传动传递回转运动时, 主动件的转速 n_1 或角速度 ω_1 与从动件的转速 n_2 或角速度 ω_2 之比称为传动比, 用 i 或 i_{12} 表示。

在一对齿轮传动中, 当主动轮转过一个齿时, 从动轮也应转过一齿。设两轮齿数为 Z_1 、 Z_2 , 每分钟转数相应为 n_1 、 n_2 , 两轮每分钟转过的总齿数 Z_1n_1 和 Z_2n_2 应相等, 即

$$Z_1n_1 = Z_2n_2$$

得

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = u \quad (1-1-1)$$

可见, 一对齿轮的传动比与两轮齿数成反比, 它们的传动比 i 可用

齿数比 u 表示。

根据传动比的变化特性，机械传动可分为三类：当传动比 i 为常数时称为固定传动比传动；当传动比 i 可调时称为可调传动比传动；当传动比 i 为变数时称为变传动比传动。

二、功率和扭矩

图 1-1-5 所示为矿井提升机的机械传动简图，提升载荷 P 等于钢丝绳施加在重物上的牵引力。设卷筒直径为 D (mm)，加在卷筒轴上的驱动扭矩 T 为

$$T = P \cdot \frac{D}{2} \quad \text{kgf} \cdot \text{mm}$$

当钢丝绳为多层缠绕时，随着卷筒上钢丝绳缠绕层数的增加，卷筒实际工作直径不断增大，因而加在卷筒轴上的驱动扭矩也不断增加。

设卷筒的工作转速为 n (rpm)，以速度 V (m/s) 提升重物上升，如略去因摩擦阻力等而引起的功率损失不计，则用于提升重物的功率为

$$N = PV \quad \text{kgf} \cdot \text{m/s}$$

或表示为

$$\begin{aligned} N &= \frac{PV}{102} \quad \text{kW} \\ &= \frac{PV}{75} \quad \text{PS (1-1-2)} \end{aligned}$$

式中 $P = \frac{2T}{D} \quad \text{kgf};$

$$V = \frac{\pi D n}{60 \times 1000} \quad \text{m/s.}$$

代入上式，得

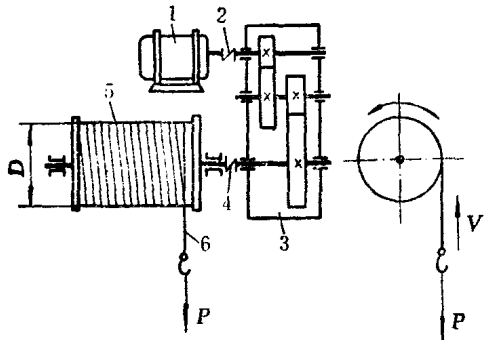


图 1-1-5 矿井提升机机械传动系统简图

- 1—电动机； 2—弹性联轴器；
- 3—减速器； 4—齿轮联轴器；
- 5—卷筒； 6—钢丝绳

$$N = \frac{T \times 2\pi n}{60 \times 1000} \quad \text{kgf} \cdot \text{m/s}$$

或表示为

$$\left. \begin{aligned} T &= 975000 \frac{N(\text{kW})}{n(\text{rpm})} \quad \text{kgf} \cdot \text{mm} \\ T &= 716000 \frac{N(\text{PS})}{n(\text{rpm})} \quad \text{kgf} \cdot \text{mm} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-3)$$

三、机械效率和变矩系数

当机器工作时，从动力机经传动系统到工作机构，各传动零件之间，如齿轮与齿轮、蜗杆与蜗轮、皮带与带轮、螺杆与螺母、轴与轴承之间，因存在摩擦阻力等原因要消耗一部分功率。这部分功率将转变为热散失掉，称为无效功率。因而，由动力机经传动系统提供给工作机构的驱动功率应大于工作机构上由工作要求所决定的有效功率。

设机械传动系统的输入功率为 N_r ，输出功率为 N_c ，而无效功率用 N_T 表示，有

$$N_r = N_c + N_T$$

在机械传动装置中，有效功率或输出功率 N_c 与驱动功率或输入功率 N_r 之比称为机械效率，用 η 表示，有

$$\eta = \frac{N_c}{N_r} = \frac{N_r - N_T}{N_r} = 1 - \frac{N_T}{N_r} \quad (1-1-4)$$

因而，该机械传动装置的输出功率 N_c 可表示为

$$N_c = N_r \cdot \eta \quad (1-1-5)$$

机械传动效率的高低表明动力机驱动功率的有效利用程度，是反映机械传动装置性能指标的重要参数之一。

当机械传动系统的各级传动机构为串接时，该传动系统的总效率等于各级传动机构效率的连乘积，即

$$\eta = \eta_1^a \cdot \eta_2^b \cdot \eta_{12} \cdot \eta_{34} \cdots \cdots \quad (1-1-6)$$

式中 η_{12} ——第一级传动的机械效率；

η_{34} ——第二级传动的机械效率；