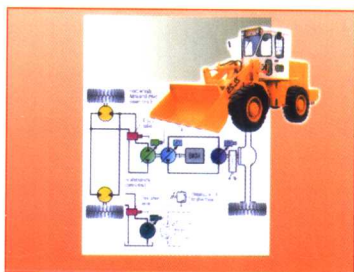




高等学校试用教材

工程机械 底盘设计

郁录平 主编
赵丁选 主审



人民交通出版社

China Communications Press

Gongcheng Jixie Dipan Sheji

工程机械底盘设计

郁景平 主编
赵丁选 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材为面向 21 世纪交通版高等学校教材,全书系统介绍了工程机械底盘设计理论及主要零件的设计要点。

全书共十三章,主要内容为:工程机械的行驶理论基础、传动系统设计概述、主离合器、人力换挡变速器、液力传动、动力换挡变速器、万向节与传动轴、轮式驱动桥、履带驱动桥、轮胎式工程机械转向系、轮式工程机械行驶系、履带式机械行驶系及制动系。

本教材适合高等院校相关专业广大师生,适用于工程机械行业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械底盘设计 / 郁录平主编. —北京:人民交通出版社, 2004.10
ISBN 7-114-05314-2

I.工... II.郁... III.工程机械-底盘-设计
IV.TU603

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 108356 号

书 名: 工程机械底盘设计

著 者: 郁录平

责任编辑: 赵 蓬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市海波印务有限公司 — 宝日文龙印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.5

字 数: 450 千

版 次: 2004 年 10 月 第 1 版

印 次: 2004 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05314-2

印 数: 0001—3500 册

定 价: 36.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

面向 21 世纪交通版

高等学校教材编写委员会

机械设计及其自动化专业(工程机械方向)

主任委员:冯忠绪(长安大学)

委 员 (以姓氏笔划为序):

马桂秋(辽宁省交通高等专科学校)

卢和铭(长沙交通学院)

刘晓婷(长安大学)

朱茂桃(江苏大学)

闫佐廷(辽宁省交通高等专科学校)

李自光(长沙交通学院)

张春阳(南京交通职业技术学校)

张小龙(西安建筑科技大学)

张海英(内蒙大学职业技术学院)

张福生(太原重型机械学院)

谷立臣(西安建筑科技大学)

单绍福(山东交通学院)

陈 勇(山东交通学院)

杨晓卫(江苏大学)

杨 平(福建省交通职业技术学院)

郭小宏(重庆交通学院)

徐格宁(太原重型机械学院)

曹源文(重庆交通学院)

崔崇学(内蒙大学职业技术学院)

焦生杰(长安大学)

秘 书:焦生杰(长安大学)

赵 蓬(人民交通出版社)

前 言

工程机械设计课程是机械工程类的专业课程,现有的相关教材多数是在 20 世纪 80 年代出版的,这与当今飞速发展的现代技术明显地不相适应。为了解决这个问题,长安大学教务处组织编写了本套教材。并列入了面向 21 世纪交通版高等学校教材系列。

本书为底盘设计部分,主要按以下几条原则编写:

1. 系统地介绍工程机械设计理论

在理论方面,重点介绍与实际结合比较紧密,有利于学生举一反三的内容。对于推导过程比较复杂,或者利用计算机能求解的问题,简要介绍这类问题的解决方法或思路,有确定结论者给出结论。对于需要试验才能解决的问题,简要介绍其试验方法,并尽量给出前人的一些试验结果。

对于其他书籍有详细介绍的机械原理、液压系统和控制电路的设计等知识,只简要介绍在工程机械设计方面的应用特点。

2. 重点介绍富有工程机械特色的构造

产品设计离不开原理和构造,工程机械种类繁多,其底盘构造也是各式各样的,实际上不可能全面介绍。为了使读者对工程机械底盘的设计要点有个较好的理解,本书重点介绍与工程机械底盘的工作原理密切相关,或者在工程机械中使用较多,富有工程机械特色的构造,并且介绍了一些近年来工程机械上出现的先进的、有代表性的结构。

对于已经系列化,一般作为配套件选用的部件,主要介绍其基本原理和选用原则。对于个别原理比较复杂的配套件,只介绍其功能和选用原则。

3. 介绍主要零件的设计要点

产品都是由零件组装而成的,所以零件设计是非常重要的。由于大多数零件的设计知识已有专门书籍详细讲解,本书只对工程机械中的关键零件的设计要点作介绍。

鉴于零件的材料和技术条件对于设计工作至关重要,而且其中经验的成分很多,本书尽可能多地介绍了这几年来资料。

本书可以作为高等院校工程机械专业教材,也可以供从事工程机械设计、使用和维修的技术人员参考。

在本书的编写过程中,长安大学教务处提供了经费资助,并且得到了工程机械学院吴永平教授的大力支持,全书由吉林大学赵丁选教授审定。在此表示衷心的感谢!

由于笔者水平有限,书中错误之处,恳请读者批评指正。

作者

2004 年 1 月于长安大学

目 录

绪论	1
第一章 工程机械的行驶理论基础	5
第一节 工程机械的行驶原理	5
第二节 行驶阻力	12
第三节 附着性能	15
第四节 工程机械的整机性能	17
第二章 传动系统设计概述	24
第一节 传动系的类型与组成	24
第二节 传动系的传动比确定	27
第三节 传动系的计算载荷	30
第三章 主离合器	31
第一节 离合器的类型及选用	31
第二节 主要参数确定	34
第三节 离合器的发热量校核	37
第四节 结构设计	40
第五节 压紧机构设计	42
第六节 操纵与控制	47
第四章 人力换档变速箱	52
第一节 变速箱的基本原理	52
第二节 结构设计要点	58
第三节 换档操纵机构设计	63
第五章 液力传动	67
第一节 液力偶合器	67
第二节 液力变矩器的基本原理	69
第三节 液力变矩器的性能	74
第四节 液力变矩器的类型	76
第五节 液力变矩器与柴油机共同工作特性	79
第六节 液力机械变矩器	84
第七节 液力变矩器的压力补偿与散热系统	86
第六章 动力换档变速箱	87
第一节 定轴式动力换档变速箱	87
第二节 行星式动力换档变速箱原理	91
第三节 行星式动力换档变速箱结构设计	99
第四节 换档离合器、制动器设计	107
第五节 动力换档变速箱典型结构介绍	113
第六节 动力换档变速箱的液压控制系统	117

第七章 万向节与传动轴	126
第一节 十字轴万向节.....	126
第二节 等角速万向节.....	130
第三节 传动轴.....	134
第八章 轮式驱动桥	137
第一节 概述.....	137
第二节 主传动器设计.....	137
第三节 差速器设计.....	144
第四节 多桥驱动功率循环.....	151
第五节 半轴与桥壳.....	153
第六节 最终传动.....	156
第九章 履带驱动桥	159
第一节 概述.....	159
第二节 履带式工程机械转向原理.....	161
第三节 履带式驱动桥结构设计要点.....	166
第四节 高驱动推土机驱动桥结构简介.....	174
第十章 轮胎式工程机械转向系	178
第一节 转向方式的选择.....	178
第二节 车轮转向时的受力分析.....	180
第三节 偏转车轮转向系设计.....	182
第四节 铰接式车架转向系设计.....	189
第五节 滑移转向系统的设计计算.....	190
第六节 转向操纵系统.....	193
第十一章 轮式工程机械行驶系	205
第一节 通过性的主要几何参数.....	205
第二节 机架.....	206
第三节 轮胎式工程机械的悬架.....	211
第四节 转向桥的车轮定位.....	216
第五节 车轮和轮胎.....	218
第十二章 履带式机械行驶系	225
第一节 概述.....	225
第二节 履带式机械的悬架.....	226
第三节 履带行走系统结构布置.....	230
第四节 履带行走装置主要构件设计.....	232
第五节 行走装置的液压驱动方式.....	246
第十三章 制动系	248
第一节 制动性能及制动过程分析.....	248
第二节 制动器的设计.....	255
第三节 制动驱动机构.....	272
参考文献	280

绪 论

工程机械是土木工程所用各种机械和设备的总称。在土木工程中为了提高生产率,工程机械主要用于完成物料起重、运输、装卸作业,土石方的采集、破碎作业,混凝土搅拌、成型作业等其他土木工程中可用机械化施工作业。

一、工程机械的主要类型

1. 铲土运输机械 用来铲装、运输、平整和堆挖土方、石方及其各种散装物料的机械,包括推土机、装载机、平地机、铲运机等。
2. 挖掘机械 用斗状工作装置挖取土壤或其他材料,或用于剥离土层的机械,包括单斗挖掘机、多斗挖掘机、隧道掘进机等。
3. 压实机械 利用机械力对土壤、碎石等铺层进行密实作业的机械,包括光轮压路机、轮胎压路机、凸块压路机、打夯机等。
4. 起重机械 在一定空间范围内提升和搬用物料的机械,包括汽车起重机、塔式起重机、龙门式起重机等。
5. 桩工机械 用于预制桩的打入、沉入、压入、拔出,或灌注桩的成孔等作业的机械,包括柴油打桩机、振动打桩机、压桩机、灌注桩钻孔机等。
6. 钢筋混凝土机械 用于混凝土配料、搅拌、运输、浇注与密实作业和钢筋切断、成型、拉张、强化作业的机械,包括混凝土搅拌设备、混凝土输送设备、混凝土振动器、钢筋加工机械等。
7. 路面机械 用于处理和铺筑各种路面、机场跑道和广场平面的机械,包括沥青混凝土路面摊铺机、水泥混凝土路面摊铺机、沥青洒布机、路面铣刨机、稀浆封层机等。
8. 石料开采加工机械 开采和加工石料的机械设备的统称。建筑中采用的石料有粒状石料和块状石料两类。粒状石料开采有凿岩机、风镐等;粒状石料的加工机械有石料破碎机、筛分机等;块状石料的加工机械有劈石机、锯石机、石料磨光机等。
9. 桥梁机械 桥梁施工中所用的机械。如架桥机等。
10. 隧道机械 修建隧道所用的机械,如隧道掘进机、凿岩台车、盾构设备等。
11. 装修机械 对建筑物表面进行修饰和加工处理的机械,如抹灰机、涂料喷涂机、地面修正机、灰浆输送泵等。
12. 铁道机械 用于铁路道渣、钢轨铺设和线路维护的机械,包括铺换钢轨机、道渣捣固机、焊轨机、线路检查车等。

二、工程机械的基本组成

1. 动力装置 工程机械的动力源。目前自行式工程机械(如铲土运输机械、挖掘机械等)多以柴油机为动力;固定式工程机械(如大型搅拌机、塔式起重机等)多以电动机为动力。

2.底盘 机架和行驶传动系、行走系、转向系、行驶制动系的总称,是整机的支承,并能使整机以所需的速度和牵引力沿规定方向行驶。

3.工作装置 机械上直接去完成预期工作的部件,不同的工程机械,由于其工作对象、工作目的、工作原理的不同而不同。

三、工程机械的发展趋势

1.向大型化、小型化和高精度发展

为了满足大型工程的的需要,工程机械正在向大型化发展,其功率越来越大,生产率越来越高,作业速度越来越快;为了满足市政工程、农田建设等狭窄场地的作业需要,小巧、灵活、机动的小型机也越来越多;由于作业质量要求的提高,高精度的工程机械也在快速发展。

2.标准化、模块化

标准是政府主管部门对科学技术和经济领域中某些多次重复的事物给予公认的统一规定。标准化就是制定、贯彻、推广应用标准的活动。模块化是以功能分析为基础,把产品的各个部分制成可以互换的通用模块,用来组成基型产品和多变型产品。采用模块化技术设计的产品,许多部件都有数个功能有所差别的模块,这些模块相互组合,可以形成成百上千个品种。用户可以在这些品种中随意挑选自己满意的产品。每个模块的拆装十分方便,当某个模块发生故障时,用户可以容易地更换该模块。损坏的模块则可以交给专业人员修理。目前,在液压元件、发动机、驱动桥、搅拌设备等方面,模块化技术已有较大的发展,在推土机等行走式机械上也有采用。

3.应用新技术实现自动化、智能化

将遥控技术、计算机控制技术、电子监控技术,与液压气动技术相结合,提高机器的工作效能和生产率,开发高度自动化的机械,如实现装载机工作状态的自动监测和控制、实现平地机的激光找平自动控制;大型固定机械采用中央控制室,在室内控制机械作业;对在有毒、有危险环境下工程机械作业的进行无人驾驶作业。

4.可靠、耐用,能在恶劣环境下工作

由于工程机械绝大多数情况下在野外作业,工作环境恶劣,其作业场地维修条件较差,因此大力提高产品的可靠性非常重要。目前,我国已经新开发出能在海拔4000m以上作业的高原特种工程机械。

5.舒适、安全

改善操作人员的工作条件,提高驾驶机械安全性和舒适性,不仅关系到工作人员的健康、生命安全,而且也是提高生产率的重要手段。采用各种安全保护装置确保安全,采用各种助力装置减少操纵力,对驾驶室进行隔振、安装空调等也是至关重要的。

6.节能、环保

重视环境保护,使机械的振动、噪声、废气、粉尘减至最低限度。保护环境目前已是人类的共识,工程机械也不例外。

四、产品设计的一般步骤

1.制订设计任务书

设计任务书是决策机构根据社会需要、发展趋势、本单位的条件等制定出来的。这是产品

研制的第一步,也可以说是最重要的一步。因为这一决策是否正确,往往直接关系到企业未来的效益,甚至会影响该企业的命运。

制订设计任务书时应该重点考虑以下几点:

- ①该产品是否是社会需要的,有市场前景的;
- ②开发该产品的资金是否足够;
- ③产品开发中的技术问题是否能够解决;
- ④本单位是否能够承担相应风险。

2. 确定工作原理

完成一件工作,经常有许多方法。例如:要提高地基的密实度,可以用轮子滚压,也可以重物冲击(夯实)。维修沥青路面时,旧路面可以在常温下直接铣刨,也可以先加热使其软化,然后铣刨。工作原理不同,设计出的产品当然不同。正式设计之前,要对几种可能原理认真分析比较,确定一个最适合于自己开发的工作原理。

3. 总体布置

机器的总体设计,就是根据工作原理的要求,本着简单、实用、可靠、经济、美观的原则,设计出一套能实现预期职能的装置。通常,首先把机器的几种可能方案按大体位置用简单符号画成机构运动简图;在这些机构运动简图中选出一个最为合理的方案作为进一步布置草图的依据。在布置草图时,要尽可能准确地估计各部件的大体尺寸,基本确定各主要部件的连接关系,同时还要考虑大型构件的工艺性。在确定方案的全过程中,时时要考虑符合国家的有关法令、政策、标准。

4. 部件方案设计

根据总体方案要求的各项性能指标进行部件方案设计。部件方案设计时,也要多方案比较,也要考虑简单、实用、经济、美观。与总体布置不同的是,部件方案设计要考虑所有的零件的主要尺寸、连接方式、工艺性,就是一个螺钉垫片也不能放过。如果做到这些确有困难,可以再设下一级部件。

5. 零件图设计

机器的制造是按零件图进行的,部件图上并未反映零件的倒角、圆角、退刀槽等细部结构,也没有零件的表面粗糙度、尺寸公差等加工要求,更谈不上热处理等其他技术要求。这些均要在零件图上表达清楚。零件图上的任何错误,都可能影响整个机器的性能,因此,要一丝不苟。

6. 图纸审核

图纸审核要求对所有的图纸(包括总装图、部件图、零件图)进行严格、仔细地审查,一个符号、一根线条也不能放过。特别要注意工艺难度大的零部件和所有构件之间的装配关系。图纸审核工作一般由参加设计的最有经验的工作人员担任。为了保证装配、调试工作顺利,对较复杂的机器最好重画总装配图。

7. 样机试制

机械产品由于结构复杂,运动件很多,设计中往往难以将所有问题考虑清楚。样机试制是在制造中检验图纸的正确性。其主要包括:划分自制件、外协件和外购件;编排制造工艺,设计夹具、模具,安排制造等。

8. 试验鉴定

样机试制出来后,要经过技术检验,全面检验所有零部件是否达到了设计要求;然后按照国家有关规定,进行长时间工业性试验;经过有关部门检测合格后才能交付使用。

以上只是大体描述了产品的研制过程。产品研制过程的各阶段是相互联系的,不能截然分开。实际的研制过程是各步骤相互联系、相互影响、相互交叉、反复进行的。研制早期的反复核对往往对设计十分有利。对设计过程中所有分析、计算都要随时整理、保存,为以后编制有关技术文件、处理问题、进一步改进提供依据。

不难看出,工程机械种类繁多,发展迅速,其底盘部分的新结构、新技术也在不断涌现,而且产品设计本来就是一个复杂细致的工作,仅此一本书要作全面地介绍是不现实的。本书的宗旨是尽可能全面地介绍目前广泛使用的基本设计原理、设计方法和常用结构,同时展示近年来出现的新技术。

第一章 工程机械的行驶理论基础

第一节 工程机械的行驶原理

无论是轮胎式还是履带式的自行式工程机械,都是将发动机的动力经过传动系传到轮胎或履带上以后,借助于它们与地面的相互作用产生驱动力 P_K 克服各种行驶阻力 P_f 而行走的(图 1-1)。通常,将产生驱动力的车轮或链轮称为驱动轮,将不产生驱动力的车轮称为从动轮。从发动机传到驱动轮的力矩为驱动力矩 M_K 。

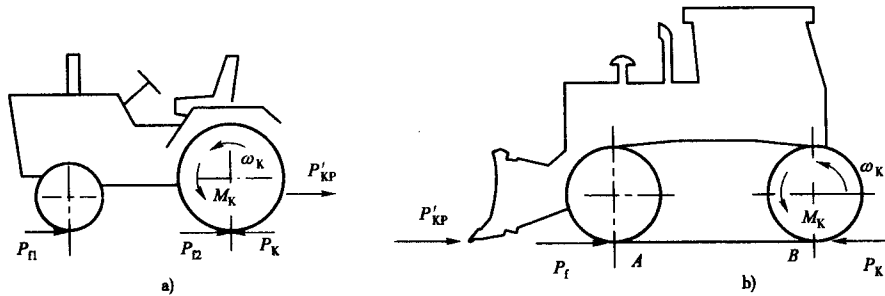


图 1-1 机械行走原理图
a) 轮式拖拉机; b) 履带式推土机

一、机械的行驶原理

1. 驱动力 P_K 、行驶阻力 P_f

在图 1-1a)所示的轮式拖拉机在水平地面上等速行驶时的原理简图中,其后轮为驱动轮,前轮为从动轮。图中未画拖拉机在垂直方向的受力(包括机器重量和地面对轮胎在垂直方向的反力)。发动机输出的力矩 M_e ,经过传动系传到驱动轮上,成为作用于驱动轮的力矩为 M_K ,它产生一个对地面的圆周力 P'_K 。地面也同时产生一个作用于驱动轮上的反作用力 P_K ,这个反作用力 P_K 就是推动机械前进的驱动力。驱动力 P_K 也可称为切线牵引力。图 1-1b)为履带式推土机的受力情况。

轮式机械驱动力可按下式计算:

$$P_K = \frac{M_K}{r_d} = \eta_{\Sigma} \frac{M_e i_{\Sigma}}{r_d} \quad (1-1a)$$

式中: r_d ——轮式机器驱动轮的动力半径,为车轮中心到驱动力 P_K 之间的距离;

η_{Σ} ——传动系统的效率,对机械传动即机械效率 η_m ;对液力机械传动,应记入液力变矩

器(或液力偶和器)的效率;对液压传动,还应考虑液压系统的效率;

i_{Σ} ——传动系(从发动机到驱动轮)的总传动比。

履带式机械由于要考虑行走装置的效率,通常将驱动力公式写成:

$$P_K = \eta_q \frac{M_K}{r_K} = \eta_q \eta_{\Sigma} \frac{M_e i_{\Sigma}}{r_K} \quad (1-1b)$$

式中: η_q ——履带驱动段的效率,通常取 0.95 ~ 0.96;

r_K ——履带式机器驱动轮的动力半径,可按式(1-10)计算。

机械向前行驶时,还要克服车轮(或履带)所承受的行驶阻力 P_f , 机器所驱动的作业机械(如:挂车、推土铲等)所产生的牵引阻力 P_{KP}' 。对于有几个车轮(或履带)的机械,行驶阻力 P_f 应该为所有车轮(或履带)所承受阻力的总和。例如对于图 1-1a)的拖拉机,其总行驶阻力 P_f 应该为前轮阻力 P_{f1} 与后轮阻力 P_{f2} 的合力。即

$$P_f = P_{f1} + P_{f2} \quad (1-2)$$

从机械的所有驱动装置(驱动轮或履带)所产生的总驱动力 P_K 中,减去该机械所有行走装置所承受的总行驶阻力 P_f , 就是整台机器可以对外输出的牵引力,通常称为有效牵引力 P_{KP} 。由于有效牵引力通常是从机器后面的牵引钩(挂钩)上测得的,有时也将有效牵引力称为挂钩牵引力。

图 1-1a)拖拉机的有效牵引力 P_{KP} 按下式计算:

$$P_{KP} = P_K - P_{f1} - P_{f2}$$

图 1-1b)推土机的有效牵引力 P_{KP} 按下式计算:

$$P_{KP} = P_K - P_f$$

2. 附着力 P_{ϕ}

机器的驱动力 P_K 不能用改变式(1-1)中参数的办法无限制增加,它要受轮胎(履带)与地面之间的相互作用特性(即附着特性)的限制。在车轮(履带)条件与地面条件给定时,存在一个机器所能产生的最大驱动力(即附着力) P_{ϕ} , 不管发动机传动系的参数怎样变化, P_K 是不能大于 P_{ϕ} 的。于是,车辆在水平地面上行驶的充分必要条件可表示为

$$P_{\phi} \geq P_K \geq P_{KP} + P_f \quad (1-3)$$

由此可见,要使用行走式机器有较强的牵引能力,除了要按(1-1)式的要求设计机器的内部参数外,还应该设法增加机器的附着力 P_{ϕ} , 减小机器的行驶阻力 P_f 。

二、行走机构的运动学

1. 轮式行走机构运动学

驱动轮、从动轮产生运动的力学原因是不相同的,驱动轮是在驱动转矩 M_K 的作用下运动的,从动轮是靠作用于轮轴中心的水平推力运动的。

1) 车轮滚动的三种情况

车轮工作时,在负载的作用下会产生变形。为了便于讨论,下面我们忽略其变形,将车轮看作刚性轮研究。如图 1-2 所示,车轮有以下三种可能的运动情况。

(1) 纯滚动 如图 1-2b)所示,车轮相对地面没有滑动,这时接地点 O_1 的速度为零,车轮中心的速度 $v_1 = \overline{OO_1}\omega$ 。 O_1 为车轮的瞬时转动中心。

(2) 滚动时有滑移 图 1-2c)为车轮在地面上作滑移时运动的情况,接地点 O_1 的速度不为零,而是有一个相对向前滑动速度 v_{δ} 。这样车轮中心的运动速度 $v = v_1 + v_{\delta} = \overline{OO_1}\omega + v_{\delta}$, 车轮的瞬时中心在 O_1 点的下方 O'_1 点。

(3) 滚动时有滑转 在图 1-2a)中,车轮接地点 O_1 的速度也不为零,与前面不同的是,这时

O_1 有一个相对向后滑动速度 v_δ 。这样车轮中心的运动速度 $v' = v_1 - v_\delta = \overline{OO_1}\omega - v_\delta$, 车轮的瞬时中心在 O_1 点的上方 O_1'' 点。

实际车轮很少有作纯滚动的情况, 车辆良好的水平地面上正常行驶时, 其从动轮可以认为作纯滚动, 驱动轮作滑转运动; 处于制动状态的车轮一般作滑移运动。

2) 行驶速度

(1) 理论行驶速度

车轮在地面上作无滑动的滚动时, 其中心的平移速度为理论行驶速度。理论行驶速度 v_T 可按式计算:

$$v_T = r_d \omega_K \quad (1-4)$$

(2) 实际行驶速度

当车轮在地面上作有滑动的滚动时, 其中心的平移速度为实际行驶速度。实际行驶速度 v 可按式计算:

$$v = r \omega_K \quad (1-5)$$

式中: r ——车轮的滚动半径。

由图 1-2 可以看出, 车轮的滚动半径与车轮运行时的情况有关, 也就是与机器的工作状况有关。实际中它是一个变量, 通常用试验的方法测定。

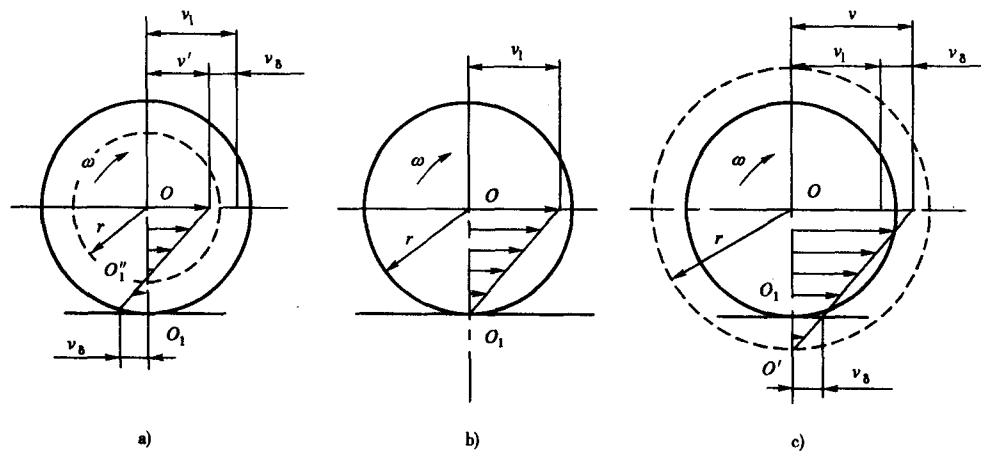


图 1-2 车轮运动的三种方式

设机械走过的路程为 S , 这时驱动轮转过的圈数为 n_K , 则其滚动半径可以按下式求得

$$r = \frac{S}{2\pi n_K} \quad (1-6)$$

3) 机器滑动特性的评价

(1) 滑转率 δ

滑转率 δ 的定义为机器理论速度与实际速度之差对理论速度的比值。即

$$\delta = \frac{v_T - v}{v_T} = \frac{r_d \omega_K - r \omega_K}{r_d \omega_K} = 1 - \frac{r}{r_d} \quad (1-7)$$

滑转率表示因滑转而损失的行驶速度的百分率。它的大小与路面状态、轮胎状态、车轮上的垂直负荷及轮胎所提供的驱动力大小有关。在地面条件和机器状态确定后, 机器的滑转率可以通过试验测定, 并绘制成随牵引力 P_{KP} 变化的曲线(图 1-3)。

(2) 滑移率 S

利用滑转率衡量处于滑转状态的车轮(如驱动轮)的滑动情况比较方便。对于工作于滑

移状态的车轮（如从动轮），如果其滑移不太严重，也可以利用式（1-7）计算滑转率，这时的结果为一个负值。但对于严重滑移的车轮，如车轮抱死制动时，因其理论速度为零，滑转率 δ 将不存在。为此，我们定义滑移率 S ：

$$S = \frac{v - v_T}{v} = \frac{\pi\omega_K - r_d\omega_K}{\pi\omega_K} = 1 - \frac{r_d}{r} \quad (1-8)$$

滑移率 S 主要用于衡量车轮在制动时的滑动情况。例如：装有制动防抱死系统（ABS）的汽车，通常将车轮的滑移率设计在 20% 左右，因为这时的制动效能最好。

2. 履带式行走机构运动学

履带式行走机构（见图 1-4）通常由驱动轮 5、张紧轮 1、支重轮 4、托链轮 2 以及台车架（图中未画出）组成。

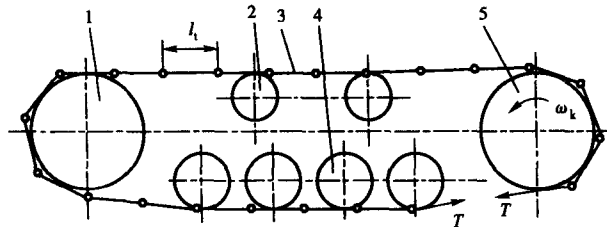


图 1-4 履带行驶机构原理
1-张紧轮；2-托链轮；3-履带；4-支重轮；5-驱动桥

由于履带是由许多履带板铰接而成，履带与链轮的相互运动关系实际上就是链条与链轮的运动关系。由链传动的原理可知，在链轮角速度 ω_K 一定的条件下，链条的线速度是不均匀的，即机器的行驶速度是不均匀的。为了方便实际计算常作以下两点假设：①认为履带是一条挠性带，且工作时其长度不变；②运动中履带相对于驱动轮、张紧轮、支重轮、托链轮都没有滑动。这样，履带行走机构就可以简化为图 1-1b) 的形式。履带式机器的行驶速度 v_T 可以按下式计算。

$$v_T = r_K \omega_K \quad (1-9)$$

实际履带在驱动轮上是一条折线。确定驱动轮动力半径时，通常假想履带式机械在地面上匀速地作无滑动滚动。这样，驱动轮的动力半径 r_K 按下式计算：

$$r_K = \frac{Z_K l_t}{2\pi} \quad (1-10)$$

式中： Z_K ——驱动链轮的名义齿数，为围绕驱动链轮一周的履带板的数目，对于非间齿啮合，即为驱动链轮的齿数，对于间齿啮合，则为驱动链轮齿数的一半；

l_t ——履带的节距，为每块履带板两端销孔之间的距离（图 1-4）。

实际上履带式工程机械运动时，常伴有履带支承段相对于地面的滑动。此时，机械的运动速度称为实际行驶速度 v 。

履带式工程机械的实际速度 v 可用下式表示：

$$v = \pi r \omega_K \quad (1-11)$$

式中： r ——驱动链轮的滚动半径；与轮式机械一样， r 的值也是用试验的方法得到。

履带式行走装置的滑转程度也可以用滑转率 δ 来表示：

$$\delta = \frac{v_T - v}{v_T} = \frac{r_K \omega_K - \pi r \omega_K}{r_K \omega_K} = 1 - \frac{r}{r_K} \quad (1-12)$$

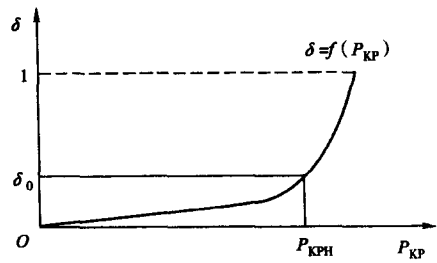


图 1-3 滑转率与牵引力的关系曲线

三、行走机构的动力学

1. 车轮动力学

(1) 从动轮动力学

当从动轮胎在土壤上滚动时,在垂直载荷 Q 的作用下,轮胎和土壤都有变形,因此轮胎与土壤的接触部分是一个面,该接触面称为轮胎的支承面(图 1-5)。当从动轮在水平推力 P 的作用下作等速直线运动时,在从动轮胎上作用有以下一些力:

Q ——机体通过从动轮轴作用在从动轮上的垂直载荷与从动轮自重之和;

P ——机体通过从动轮轴作用给从动轮的水平推力;

R ——作用在轮胎支承面上的土壤全部反作用力的合力,其作用线通过从动轮的中心,在水平推力 P 的作用下,轮胎接地面的前面对地面的压力分布大一些,所以, R 力的作用点在车轮中心的前面。

为了分析方便,将上述 R 力分解为水平分力 P_f 和垂直分力 R_Y 。若车轮在图 1-5 所示的状态平衡,则

$$\begin{aligned}\sum F_X &= 0, & P - P_f &= 0 \\ \sum F_Y &= 0, & Q - R_Y &= 0 \\ \sum M_o &= 0, & P_f r_d - R_Y a &= 0\end{aligned}$$

由此可得

$$P = P_f = \frac{a}{r_d} Q \quad (1-13)$$

我们称 P_f 为滚动阻力,令滚动阻力系数 f 为

$$f = \frac{a}{r_d} \quad (1-14)$$

从以上讨论可知,要使从动轮滚动,作用于其上的驱动力 P 必须大于或等于滚动阻力 P_f 。当轮胎与地面的刚度较大时, a 值较小,滚动阻力系数会减小,所以车辆在良好路面上行驶时的滚动阻力小于在松软地面上行驶时的滚动阻力。适当的加大车轮的刚度也会减小滚动阻力,所以,设计低速机械时,可以考虑采用刚度较大的高压轮胎,这样可以减小行驶阻力;至于高速车辆,提高轮胎刚度通常会降低机器的平顺性。尽管加大轮胎直径也可以减小滚动阻力,但是,小型机械采用大轮胎会使机器笨重,还可能导致传动系复杂。设计时轮胎的直径应该首先考虑与整机谐调。

(2) 驱动轮动力学

图 1-6 为驱动轮受力状态简图,与从动轮相比,驱动轮与地面之间的作用力增加了驱动力 P_k ,机架作用在驱动轮上的水平推力 P 是阻止车轮前进的,而机架作用于从动轮上的水平推力是推动车轮前进的。此外,还有来自传动系的驱动转矩 M_k 。

滚动阻力 P_f 、滚动阻力系数 f 的计算方法与从动轮相同,也用式(1-13)、式(1-14)计算。

水平方向取力平衡:

$$\sum F_x = 0 \quad P_k = P + P_f$$

由此可以得出,驱动轮前进的条件为

$$P_k \geq P + P_f$$

2. 履带式行走机构动力学

履带式工程机械为了工作可靠、行走平稳、减少工作时履带的振动,通常设计时通过张紧轮给履带施加了预张紧力 T_0 。履带式工程机械是靠履带卷绕时,地面对履带接地段 AB 产生

的反作用力 P_k 推动机械向前行驶的(图 1-1b)。行驶时,在驱动转矩 M_k 作用下,履带的驱动段 BC 内(图 1-7)再产生驱动拉力 T , T 的大小等于驱动转矩与驱动链轮节圆半径 r_k 之比,即

$$T = \frac{M_k}{r_k} \quad (1-15)$$

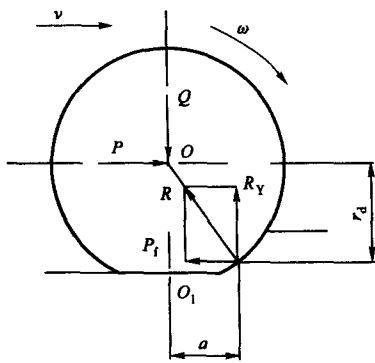


图 1-5 从动轮受力分析

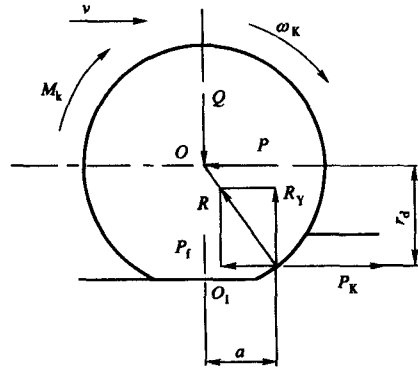


图 1-6 驱动轮受力分析

对于整机来说,拉力 T 是内力,它力图把接地段 AB 履带从支重轮下拉出,致使土壤在接地段的履带板上产生水平反作用力。这些反作用力的合力即为履带式工程机械的驱动力 P_k , 其方向与机械的行驶方向相同。

履带式工程机械行驶时,履带行走机构中要损耗一部分功率,功率损耗的原因主要是:

①履带板相对转动时,履带销与销孔间产生摩擦,另外支重轮沿履带支承段滚动时产生滚动阻力,这些都会造成功率损失;

②履带板与驱动链轮啮合时的啮合损失;

③履带板因冲击、振动等原因所造成的功率损失。

以上三条中,第②、③条的影响很难计算,下面仅讨论由于力 T 、 T_0 在履带中造成的摩擦损失。

由图 1-7 可看出,当履带式工程机械在水平地段上作等速直线运动时,在履带行走机构中,每当铰链通过 A、B、C、...F 各位置时,铰链上两块履带板由于相对转动而产生摩擦。为了便于分析,可将此摩擦力矩分为两组:

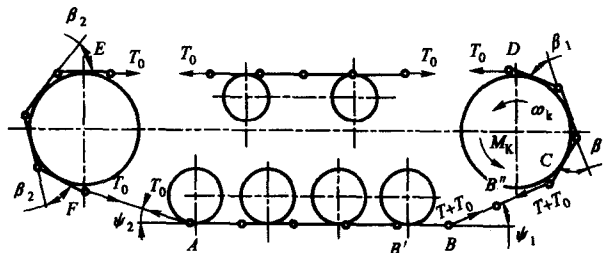


图 1-7 履带各段的拉力

(1)由于驱动拉力 T 在履带中产生的摩擦损失

驱动拉力 T 仅在履带驱动段 BC 内存在。当机器前进一个履带节距时,铰点 B' 到达 B 点转动角度 ψ_1 ,成为折弯状态;铰点 B 到达 B' 点转动角度 ψ_1 ,成为直线状态。与此同时,铰点 B' 进入驱动轮,转动 β_1 角成为折弯状态。所以,这时履带驱动段的总转角为 $2\psi_1 + \beta_1$ 。当机器前进一块履带板的距离时,由于 T 力所损失的摩擦功 W_T 为