

“十一五”军队院校规划系列教材

现代 雷达机械 与 机电技术

XIANDAI LEIDAJIXIE YU
JIDIANJISHU

许平勇 郭开生 主 编
高 燕 戴水清 副主编

兵器工业出版社

“十一五”军队院校规划系列教材

现代雷达机械与机电技术

许平勇 郭开生 主 编
高 燕 戴水清 副主编

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书根据雷达机械与机电技术应用的特点编写。全书共9章,内容包括:绪论,机械传动,液压传动,可编程控制器,伺服电机,传感器,机电一体化技术,摩擦磨损、润滑和密封,雷达装备的应急维修。

本书可作为雷达电子类专业学员的素质教育教材和雷达机械与机电技术类学员的任职教育教材,也可供雷达专业相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代雷达机械与机电技术/许平勇,郭开生主编. —北京:兵器工业出版社,2009.1

(“十一五”军队院校规划系列教材)

ISBN 978-7-80248-304-0

I. 现… II. ①许…②郭… III. ①雷达—机械工程②雷达—机电设备 IV. TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 034192 号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟10号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京蓝海印刷有限公司

版 次:2009年1月第1版第1次印刷

印 数:1-1050

责任编辑:王 强

封面设计:李尘工作室

责任校对:郭 芳

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.25

字 数:388千字

定 价:25.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

本书根据现代雷达机械和机电技术的特点编写,力求反映现代雷达中机械与机电技术的高科技成果,为雷达应用人员提供较为全面的基础知识。

本书以机电一体化技术为主线,以应用为目的,理论阐述简洁,内容选择围绕地面雷达装备,注重使用与维护,突出实用性。

本书各章均附有思考题,便于巩固基础知识。

本书共9章。参加本书编写的有许平勇、郭开生(第1章、第3章、第8章部分),潘玉龙、李春仁(第2章),卫国爱、沈传平(第4章),秦丽(第5章),黄慧敏、戴水清(第6章),曹鹏举(第7章),段晓敏(第8章部分),高燕、项建涛(第9章)。全书由许平勇、郭开生任主编,高燕、戴水清任副主编。

本书由空军司令部技勤处许绍杰博士主审,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中错误和不当之处在所难免,恳请广大读者批评、指正。

编 者

2008年8月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 研究对象与内容	(1)
第2章 机械传动	(5)
2.1 螺旋传动	(5)
2.1.1 螺旋传动的特点与类型	(5)
2.1.2 螺纹的基本知识	(5)
2.1.3 螺旋传动的效率和自锁	(6)
2.1.4 滑动螺旋机构	(7)
2.1.5 滚动螺旋机构	(9)
2.1.6 螺旋传动的维护与保养	(10)
2.2 齿轮传动	(12)
2.2.1 齿轮传动的特点与类型	(12)
2.2.2 齿轮传动的工作原理	(13)
2.2.3 其他类型齿轮传动	(18)
2.2.4 轮系	(21)
2.2.5 齿轮传动的维护与保养	(29)
2.3 钢丝绳传动	(31)
2.3.1 钢丝绳的特点和类型	(31)
2.3.2 钢丝绳传动在雷达中的应用	(33)
2.3.3 钢丝绳损伤、破断机理与防治	(34)
2.4 带传动	(40)
2.4.1 带传动的特点与类型	(40)
2.4.2 带传动在雷达中的应用	(41)
2.4.3 带传动的使用和维护	(43)
2.5 链传动	(44)
2.5.1 链传动的特点与类型	(44)
2.5.2 链传动在雷达中的应用	(44)
2.5.3 链传动的使用和维护	(46)
思考题和习题	(48)
第3章 液压传动	(49)
3.1 液压传动工作介质及元件	(49)
3.1.1 液压油	(49)

3.1.2 液压泵	(50)
3.1.3 液压缸	(52)
3.1.4 液压控制阀	(56)
3.2 液压传动基本回路	(64)
3.2.1 常见液压图形符号	(64)
3.2.2 基本液压回路	(65)
3.3 雷达典型液压系统分析	(68)
思考题和习题	(74)
第4章 可编程序控制器	(75)
4.1 概述	(75)
4.2 可编程序控制器的基本结构与工作原理	(77)
4.2.1 可编程序控制器的基本结构	(77)
4.2.2 可编程序控制器的工作原理	(78)
4.3 S7—300 可编程序控制器的基本指令	(79)
4.4 S7—300 可编程序控制器控制系统的设计与调试	(81)
4.5 S7—300 可编程序控制器在雷达上的应用	(82)
思考题和习题	(103)
第5章 伺服电机	(104)
5.1 概述	(104)
5.2 直流伺服电机	(106)
5.3 交流伺服电机	(107)
5.3.1 他励交流换向器式交流伺服电机	(107)
5.3.2 两相交流伺服电机	(108)
5.3.3 永磁交流伺服电机	(109)
5.4 伺服驱动器	(111)
5.5 雷达常用伺服电机	(114)
5.5.1 松下系列伺服电机	(115)
5.5.2 富士系列伺服电机	(118)
5.5.3 西门子系列伺服电机	(121)
5.5.4 伦茨系列伺服电机	(122)
5.6 伺服电机维护与保养	(124)
思考题和习题	(130)
第6章 传感器	(131)
6.1 传感器的组成与分类	(131)
6.2 机电一体化设备常用传感器	(132)
思考题和习题	(149)
第7章 机电一体化技术	(151)
7.1 概述	(151)
7.1.1 什么是机电一体化	(151)

7.1.2 机电一体化的特点	(152)
7.1.3 机电一体化系统的组成	(153)
7.2 执行装置	(154)
7.2.1 执行装置及其分类	(154)
7.2.2 各种执行装置的特点与性能	(154)
7.2.3 新型执行装置	(157)
7.3 传动机构	(157)
7.4 传感器	(158)
7.4.1 传感器的选用原则	(158)
7.4.2 机电一体化常用传感器测量电路	(159)
7.4.3 传感器的微机接口	(160)
7.5 控制理论与控制装置	(163)
7.5.1 自动控制理论与机电一体化系统	(163)
7.5.2 机电一体化系统的控制装置	(171)
7.6 雷达典型机电一体化系统分析	(174)
7.6.1 车载雷达机电式自动调平控制系统	(174)
7.6.2 天线自动架设/撤收系统机电一体化的控制装置	(177)
思考题和习题	(178)
第8章 摩擦磨损、润滑和密封	(180)
8.1 摩擦和磨损	(180)
8.1.1 摩擦	(180)
8.1.2 磨损	(180)
8.2 润滑	(182)
8.2.1 分类和作用	(182)
8.2.2 润滑剂的性能指标	(182)
8.2.3 雷达装备常用润滑剂	(184)
8.2.4 常用润滑方式及装置	(186)
8.2.5 润滑油性能质量的简易识别	(186)
8.2.6 雷达装备的润滑	(187)
8.3 密封	(189)
8.3.1 密封的作用和分类	(189)
8.3.2 静密封	(189)
8.3.3 动密封	(193)
思考题和习题	(194)
第9章 雷达装备的应急维修	(195)
9.1 概述	(195)
9.1.1 雷达装备应急维修的分类	(195)
9.1.2 雷达装备战场原位抢修技术	(195)
9.1.3 雷达装备定点应急维修技术	(197)

9.2 雷达典型损伤模式的应急维修方法	(198)
9.2.1 机械损伤的抢修方法	(198)
9.2.2 电气损伤的抢修方法	(206)
9.2.3 电缆损伤修复技术	(208)
9.2.4 其他损伤的抢修方法	(210)
9.3 雷达装备应急抢修工具	(211)
9.3.1 特种维修工具设备	(212)
9.3.2 化学维修器材	(222)
9.3.3 常用器材设备	(231)
思考题和习题	(234)
参考文献	(235)

第1章 绪 论

1.1 引言

雷达作为现代战争的主要信息源,面临着极其严峻、复杂的战场环境。一方面要面对各种有源无源干扰、低空和超低空突防以及隐身飞行器探测;另一方面需要提高自身战场生存能力,如抗反辐射导弹攻击,因此,迫切需要提高雷达的探测能力和自我保护能力以及战场条件下的应急维修能力。

追求现代雷达系统的高性能、高可靠和高机动是必然趋势。为实现“三高”,人们发展了许多先进的信号处理技术,采用许多高性能的电子元器件,以提高雷达捕捉目标信息和抗干扰的能力,同时也发展了先进的结构设计技术、控制技术等,以提高设备的使用可靠性和高机动能力。

雷达作为一种电子设备,电信号的处理能力无疑是主要的。但是结构和材料是其性能稳定可靠发挥的基本保证。先进的控制技术更是其高机动性能的重要保障。了解和掌握与雷达装备有关的机械和机电一体化技术,对于正常、高效地使用雷达装备,特别是进行战场抢修,最大限度地发挥其作战效能,都是十分重要的。

1.2 研究对象与内容

现代雷达机械与机电技术的研究对象为现代雷达机械系统、控制系统、战场应急抢修。主要包括传动、传感、控制、应急抢修方法和工具等。

本书从机械传动、液压传动、机电一体化技术、战场抢修等几个方面介绍了与雷达装备密切相关的机械和机电技术。全书分为9章。第1章绪论;第2章机械传动,包括螺旋传动、齿轮传动、钢丝绳传动、带传动和链传动;第3章液压传动,包括液压传动基础和雷达典型液压系统分析;第4章可编程控制器,包括可编程控制器的基本结构、工作原理、S7—300的基本指令、程序设计与调试及其在雷达系统中的应用;第5章伺服电机,包括直流与交流伺服电机、雷达常用伺服电机以及伺服电机的维护与保养;第6章传感器,包括传感器的组成与分类,机电一体化设备常用传感器等;第7章机电一体化技术,包括机电一体化系统的组成(执行装置、传动装置、传感器、控制装置)及雷达典型机电一体化系统分析;第8章摩擦磨损、润滑和密封,包括摩擦磨损机理、雷达装备常用润滑剂、雷达装备的润滑等;第9章雷达装备的应急维修,包括雷达装备应急维修的概念、原位抢修技术、定点应急抢修技术、新材料和新技术在雷达装备应急维修中的应用、典型损伤模式的应急维修方法以及应急抢修工具。

1. 机械传动

现代战争对雷达的机动作战能力要求越来越高，雷达的高机动离不开机械传动装置。雷达系统的机械传动主要用于传递扭矩和转速，完成雷达天线的展开和撤收、雷达车抗倾覆腿的展开和收拢，雷达车的调平以及天线的伺服。常用的传动形式有螺旋传动、齿轮传动、钢丝绳传动、带传动和链传动。传动类型、方式以及可靠性对雷达的工作精度、稳定性及其高机动特性均有重要的影响。因此雷达机械传动系统应尽可能满足传动间隙小、精度高、质量轻、运动平稳、传递扭矩大等特性要求。雷达系统中常用传动机构及其功能如表 1-1 所示。

表 1-1 雷达系统中常用传动机构及其功能

传动机构	运动变换				动力变换	
	形式	行程	方向	速度	大小	形式
螺旋传动	√				√	√
齿轮传动			√	√	√	
钢丝绳传动	√		√	√	√	√
带传动、链传动			√	√		

为适应高性能雷达的要求，如雷达天线的精确定位，机械传动系统的精密度必须满足一定的要求。

为满足快速机动的要求，如雷达天线车的快速调平，机械传动系统必须满足一定的时间要求。

为减轻对雷达载车的要求，机械传动系统应尽可能做到小型化和轻量化。

本书中，主要介绍上述常见机械传动的类型、特点、工作原理及维护保养知识。

2. 液压传动

目前高机动雷达的机械传动系统的动力源有液压和非液压两种方式。在雷达天线的举升中非液压升降装置对机械加工精度要求高，安装调试难度大。在完成同样任务的情况下，液压传动元件易于实现标准化，同样的功率，液压传动装置质量轻，体积紧凑，惯性小，结构也较简单，安装调试难度小，液压元器件的生产工艺逐步实现机械化和自动化，制造成本在不断下降，制造精度越来越高。液压传动还具有运动平稳、易于吸收冲击力和自动防止过载、能自行润滑、经久耐用且成本较低等特点，所以液压传动在现代雷达中的应用越来越广泛。

液压传动装置对环境、温度、液压油的质量要求较高，对液压系统和液压元器件的密封要求较高，对由此引起的低温、冷爆、泄漏等问题不容忽视，也使得液压系统的日常维护、保养要求较高，从而加大了液压系统的制造及维护成本。

为提高雷达的机动性，近年来研制的新型雷达普遍采用了液压技术，作为雷达天线架设、撤收、举升以及车体调平的动力系统。为充分发挥新装备的效能，正确地使用和高效地维护液压系统，应熟悉液压技术及液压传动的特点、原理和常见故障的排除方法。

3. 机电一体化技术

雷达是典型的电子设备，电子装备中电气设计、结构设计及制造工艺已经密不可分，并趋向于融为一体。其电子性能与电子设备的结构与工艺有着十分密切的关系，同时，结构与工艺也是雷达装备可靠性的保障。如今电子装备结构设计与制造工艺已逐渐发展成为一门新

兴学科——电子机械工程,属于机电一体化的一个分支。与一般机械或专业机械相比,电子机械的研究目的在于提高电子装备系统的电气性能。从对系统的重要程度看,机电一体化对雷达装备而言不仅是提高性能的重要保证,也是提高战场生存能力的重要保证。

雷达设备的机电一体化技术包括:

(1) 雷达设备在恶劣环境的防护技术

雷达设备在战场环境下,遭受强烈的振动与冲击时,如何防止失效而可靠地工作;雷达设备如何在恶劣环境条件下控制温度,保证电子元器件在正常温度下工作,以提高可靠性和延长使用寿命;雷达设备抗电磁干扰和攻击的能力以及如何避免自身对环境造成的电磁污染。此外,还有防潮、防霉、防盐雾腐蚀以及防原子、防生物化学武器,等等,这些都是现代雷达必须要解决的问题。

(2) 机械结构参数对电子设备性能的影响

雷达天线伺服驱动系统的结构谐振频率限制了控制系统的带宽;机械结构的摩擦及磨损、间隙、弹性变形等因素影响控制系统的性能;天线结构变形和反射面误差会严重影响天线的工作效率;微波器件的加工精度与表面粗糙度对微波器件的精度产生影响。了解这些影响的机理与规律,有利于正确设计结构和正确地使用与维护雷达设备。

(3) 电子组装技术

雷达设备中存在成千上万个电子元器件,如何正确有效且高密度地连接组装与布局,使其组成一个有机高效的整机或系统是组装过程中必须要解决的问题,通常内部要考虑各电子元器件的互相影响,外部要考虑各种环境因素的影响,最终必须保证其高可靠性、易维修性与易操作性。

(4) 电子精密机械设计

雷达天线是一个典型的精密机械,其精度与精密机床相比毫不逊色;直径几十米、上百米的可动抛物面反射器结构高精度的要求,对结构设计人员提出了严峻挑战。

(5) 机电一体化控制

为提高雷达的生存能力,现代雷达要求具有高机动能力,这需要雷达能实现快速的架设和撤收,快速、准确地定位。例如,高机动的地面警戒雷达,要求其具有较高的天线车调平速度和精度,较高的天线的举升和展开速度与位置控制精度,以保证雷达的快速响应和必要的工作精度。

雷达机电一体化系统通常由机械传动、执行装置、传感器和控制器四个部分组成。

4. 雷达设备的摩擦磨损、润滑和密封

控制摩擦、减少磨损,改善润滑以及密封技术,已成为当前节约能源和原材料、缩短停机及维修时间的重要手段。同时,摩擦磨损与润滑又可在提高产品质量、延长设备寿命和增加可靠性等方面发挥重要作用。由于雷达装备的机械运动件之间的相对运动,必然存在摩擦,摩擦的长期作用会导致零件表面的磨损,严重的磨损可能产生零部件的失效。运动件之间的摩擦磨损是不可避免的,但是我们可以通过润滑来减轻磨损,使装备保持良好的工作状态,延长装备上的零部件的使用寿命。密封则一可用来保护运动件的接触表面,防止锈蚀和腐蚀,维持原始的配合精度;二可保护密闭箱体内的电子元气件,避免由于受潮引起的电路故障。

5. 雷达设备的应急维修

雷达装备的应急维修是雷达装备在战时或训练时遭受战伤或意外事故时,运用应急诊断与修复技术,迅速地对损伤装备进行评估,并根据损伤情况对损坏装备或零部件采取临时应急性的技术措施,以维持其一定的战术技术性能,使装备能够恢复部分或全部功能的活动。

雷达装备战场抢修指在战场上或紧急情况下,当装备遭到损伤(包括战斗损伤和非战斗损伤)时,运用应急诊断技术,对装备的损伤程度及现场可修复性进行快速评估,为现场指挥员提供决策的依据。如果通过评估认为“现场可修”且时间很急,可根据指挥员的指示,利用现场可以得到的资源,运用应急修理技术或现场创造临时性的应急方法,快速修复损伤装备,使之及时投入战斗,以便完成当前的作战任务或能实施自救。战场抢修是一种应急修理,战场抢修的各项工作都具有应急的特性。

战场抢修以恢复战斗所需的基本功能为目的,它有以下几个特点:

- 1) 时间紧;
- 2) 环境恶劣;
- 3) 恢复状态多样;
- 4) 修理方法灵活。

战场抢修的核心内容是战场损伤评估和战场损伤修复。评估技术和修复技术必须适应战场抢修的特点。

装备应急抢修时,一般应遵守以下一般要求:

(1) 安全性要求

应遵守有关抢修手册的所有警告和注意事项,特别是要注意人员的安全。

(2) 技术性要求

对所有装备的操作人员、维修人员和装备管理人员都应进行战场抢修培训。装备管理人员至少应熟悉战场损伤评估与战场抢修技术的特点、一般程序及方法,操作人员和维修人员应熟悉相应装备的战场抢修手册中的所有内容。

(3) 可追踪性要求

1) 所有评估结果及措施,都应按照规定的要求记录。

2) 抢修任务结束后,应及时整理并上报修理记录。

应急修理不仅仅存在于战场环境,日常紧急情况下对装备的修理也需要采用应急修理措施。如雷达装备在外出执行任务中忽然发生了机电系统故障,且附近也无修理单位或修理工具,这时需要雷达技术人员利用所学的知识或利用就地可得的材料使装备能恢复行驶或至少能运行到有条件修理的地方,以实施标准修理。

民用的各种适用于应急修理的新材料、新技术,也可以用于装备的战场抢修。如有些厌氧胶、新型润滑剂系列等。

第2章 机械传动

2.1 螺旋传动

2.1.1 螺旋传动的特点与类型

螺旋传动是利用螺杆与螺母组成的螺旋副来传递运动和动力，或调整零件间的相对位置，它一般将回转运动变成直线运动，是雷达装备中广泛采用的一种传动机构。如雷达天线俯仰角调整机构常通过螺旋传动来调整天线俯仰角。

一般而言，螺旋传动是将螺杆1的回转运动转换为螺母2的轴向移动。如图2-1所示。其主要优点是能获得很大的减速比和力的增益，但其机械效率比较低。

通常按螺旋副的摩擦性质，将螺旋传动分为滑动螺旋和滚动螺旋两类。

(1) 滑动螺旋。滑动螺旋的螺旋副为滑动摩擦，其结构简单，制造方便，成本低；易实现自锁，因此应用较广泛。运转平稳，但当低速或作运动的微调时可能出现爬行；摩擦阻力大，传动效率低（一般为30%~60%）；螺纹间有侧向间隙，反向时有空行程传动精度低；磨损快。用于进给、分度、定位等机构。

(2) 滚动螺旋。滚动螺旋的螺旋副为滚动摩擦，摩擦阻力小，传动效率高（达90%以上），寿命长；运转平稳，低速时不爬行，启动时无抖动；经调整和预紧可实现高精度定位；传动具有可逆性，如禁止逆转，应设防逆转机构；但结构复杂，制造比较困难，抗冲击能力差。滚动螺旋多用于要求高精度、高效率的传动中，如数控机床、测量仪器和武器装备的螺旋传动中。

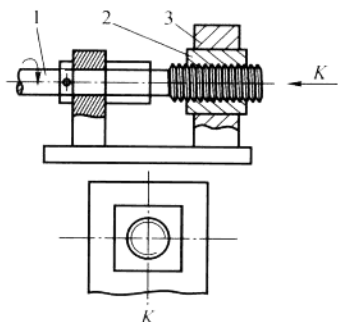


图 2-1 简单螺旋机构

1—螺杆；2—螺母；3—机架

2.1.2 螺纹的基本知识

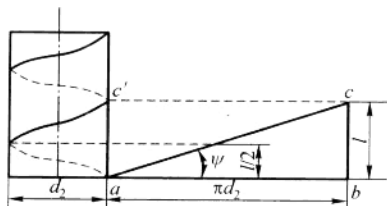


图 2-2 螺旋线及其展开图

螺纹的基本几何形状是螺旋线。如图2-2所示，将一底边长等于 πd_2 的直角三角形绕在直径为 d_2 的圆柱体上，三角形斜边在圆柱体表面形成的空间曲线称为螺旋线。在圆柱体表面上，用不同形状的刀具沿螺旋线切制出沟槽即形成螺纹。

在圆柱体外表面上加工出的螺纹称为外螺纹（如螺杆）；在圆柱体内表面加工出的螺纹称为内螺纹

(如螺母)。由内外螺纹旋合而成的运动副即为螺旋副。

根据螺旋线的旋向, 螺纹有左旋和右旋之分, 一般常用右旋螺纹。其旋向判别方法为: 将圆柱体直竖, 螺旋线左低右高 (向右上升) 为右旋, 如图 2-3a 所示; 反之为左旋, 如图 2-3b 所示。

螺纹的主要参数如图 2-4 所示。

(1) 大径 (d 、 D) 螺纹的最大直径, 标准中规定为螺纹的公称直径。外螺纹记为 d , 内螺纹记为 D 。

(2) 小径 (d_1 、 D_1) 螺纹的最小直径, 螺杆强度计算时的危险截面直径。外螺纹记为 d_1 , 内螺纹记为 D_1 。

(3) 中径 (d_2 、 D_2) 介于大小径圆柱体之间、螺纹的牙厚等于牙间宽的假想圆柱体直径, 是确定螺纹几何参数和配合性质的直径。外螺纹记为 d_2 , 内螺纹记为 D_2 。

(4) 线数 n 螺纹的螺旋线数目, 分为单线、双线、三线……图 2-3a 为单线螺纹, 图 2-3b 为双线螺纹。

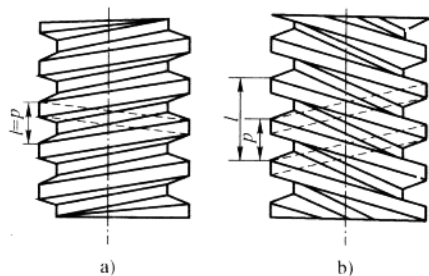


图 2-3 螺纹的旋向和线数

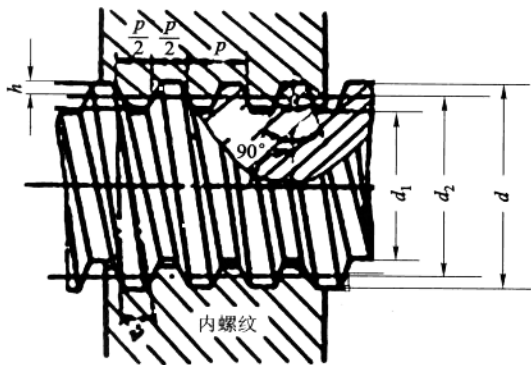


图 2-4 螺纹的主要参数

(5) 螺距 p 相邻两牙在中径线上对应点之间的轴向距离。

(6) 导程 l 同一条螺旋线上相邻两牙在中径线上对应点之间的轴向距离。对于单线螺纹, $l=p$; 对于多线螺纹, $l=np$ 。

(7) 螺旋升角 ψ 中径圆柱上, 螺旋线的切线与垂直于螺纹轴线的平面的夹角, 用来表示螺旋线倾斜的程度。

$$\psi = \arctan(l/\pi d_2) = \arctan(np/\pi d_2) \quad (2-1)$$

2.1.3 螺旋传动的效率和自锁

1. 传动效率

滑动螺旋机构的传动效率 η 为螺母转动一周时, 有效功率与输入功率之比, 可表示为:

$$\eta = \tan\psi / \tan(\psi + \rho_v) \quad (2-2)$$

式中, ψ 是螺旋升角, ρ_v 是当量摩擦角, 且 $\rho_v = \arctan f_v$, $f_v = f / \cos\beta$ 为当量摩擦因数, β 为牙侧角。

各种螺纹的 f_v 为:

矩形螺纹	$\alpha = 0^\circ$	$f_v = f$
锯齿形螺纹	$\alpha = 33^\circ$	$f_v = 1.001f$
梯形螺纹	$\alpha = 30^\circ$	$f_v = 1.035f$
三角形螺纹	$\alpha = 60^\circ$	$f_v = 1.155f$

α 为齿形角, f 为螺旋副材料的摩擦因数, 如:

钢对钢	$f = 0.11 \sim 0.17$
钢对铜	$f = 0.08 \sim 0.1$
钢对铸铁	$f = 0.12 \sim 0.15$

由传动效率计算公式可知, ψ 越大, η 越高; ρ_v 越大 (即 f_v 大), η 越低。因此, 螺旋机构中, 螺纹牙形角的选择直接影响其传动效率, 一般常用矩形、梯形螺纹。由于滑动螺旋机构传动效率较低, 故通常运动件的轴向移动速度较小。

2. 自锁条件

螺旋副被拧紧后, 如不加反向外力矩, 则不论轴向载荷多大, 也不会自动松开, 此现象称为螺旋副的自锁性能, 其自锁条件为:

$$\psi \leq \rho_v \quad (2-3)$$

对于传力螺旋机构, 要求螺纹具有自锁性, 如螺旋千斤顶、螺旋式压力机等。

不难证明, 当 $\psi \leq \rho_v$ 时, $\eta < 50\%$ 。滑动螺旋机构用于雷达天线的俯仰机构时, 可利用丝杆和螺母之间的自锁, 将天线定位在任意位置, 但由于效率较低, 故通常展开速度较慢。

2.1.4 滑动螺旋机构

按螺杆上螺旋副的数目, 滑动螺旋机构可分为单螺旋机构和双螺旋机构两种。

1. 单螺旋机构

由一个螺杆和螺母组成, 图 2-1 所示的简单螺旋机构即为单螺旋机构。当螺杆 1 转过角 φ 时, 螺母 2 将沿螺杆的轴向移动一距离 $s(\text{mm})$ 其值为

$$s = \frac{l\varphi}{2\pi} \quad (2-4)$$

式中, l 为螺旋的导程 (mm)。

根据螺母和螺杆的相对运动组合, 单螺旋机构有四种基本传动形式。

(1) 螺母固定、螺杆转动并作轴向移动。该方式可获得较高的传动精度, 适合于行程较小的场合, 如雷达载车支撑腿。

(2) 螺杆固定、螺母转动并作轴向移动。该方式结构简单、紧凑, 如某型雷达天线俯仰角度调整机构。

此外, 还有螺母转动、螺杆轴向移动及螺杆转动、螺母轴向移动两种传动形式。

不论是哪一种传动形式的单螺旋机构, 其螺母或螺杆的移动方向均可由左(右)手定则判定。移动方向判定: 拇指和其余四指垂直, 四指握向代表转动方向, 拇指指向则代表移动方向, 右旋螺纹用右手定则, 左旋螺纹用左手定则。移动速度 $v(\text{mm/s})$ 的大小可由下式计算。

$$v = nl/60 \quad (2-5)$$

式中, n 为主动件转速 (r/min); l 为导程 (mm)。

2. 双螺旋机构

在双螺旋机构中, 一个具有两段不同螺纹的螺杆与两个螺母组成两个螺旋副。通常将两个螺母中的一个固定, 另一个只能移动而不能转动, 并以螺杆为主动件。如图 2-5 所示。

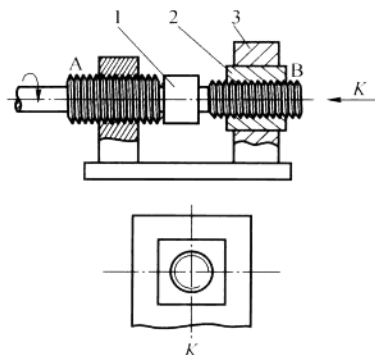


图 2-5 双螺旋机构

1—螺杆; 2—螺母; 3—机架

图 2-5 中, 螺杆 1 的 A 段螺旋在固定的螺母中转动, 而 B 段螺旋在不能转动但能移动的螺母 2 中转动。设 A、B 段螺旋导程分别为 l_A 、 l_B 。

由两螺旋副的旋向, 双螺旋机构可形成以下两种传动形式:

(1) 差动螺旋机构。当两段螺旋的旋向相同(同为左旋或同为右旋), 则形成差动螺旋机构。以右旋螺旋为例, 且 $l_A > l_B$, 当螺杆转动一周时, 螺杆将右移 l_A , 同时带动螺母 2 右移 l_A ; 但对移动螺母 2, 螺杆的转动将使其相对于螺杆左移 l_B , 则螺母 2 的绝对位移为右移 $l_A - l_B$ 。因此, 当螺杆转过 φ 角时, 移动螺母相对机架的位移 s 为

$$s = (l_A - l_B) \frac{\varphi}{2\pi} \quad (2-6)$$

由式 (2-6) 可知, 当 l_A 与 l_B 相差很小时, 位移 s 可以很小, 这种螺旋机构又称为微动螺旋机构。利用这一特性, 可将差动螺旋机构应用于各种微动装置中。如测微器、分度机构、精密机械进给机构及精密加工刀具等。图 2-6 所示为应用差动螺旋机构的千分尺。

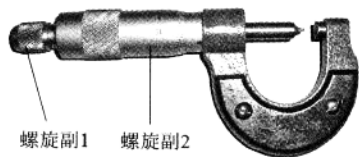


图 2-6 千分尺

(2) 复式螺旋机构。当两螺旋副中的螺纹旋向相反时, 则形成复式螺旋机构。移动螺母相对机架的位移 s 为

$$s = (l_A + l_B) \frac{\varphi}{2\pi} \quad (2-7)$$

复式螺旋机构中的螺母能产生很大的位移, 可应用于需快速移动或调整的装置中, 故也

称为倍速机构。实际应用中，如要求两构件同步移动，只需使 $l_A = l_B$ 即可。如雷达天线车与阵地固定的拉杆张紧器，就是一倍速机构。张紧器与拉杆上、下段由两旋向相反螺母联接，当螺杆转动时，可使拉杆上下两段（两螺母）快速靠近或分离，从而使天线车与阵地快速固定或分开。

在雷达和电子对抗等领域，还存在一种双丝杠驱动机构。它常用于大型天线阵的架设与撤收，可有效减小天线阵面集中受力以及方便结构布局，因此在实际使用中单丝杠是无法替代的。

双丝杠驱动机构工作原理如下：由电机驱动，通过减速器减速，再通过分动机构将动力分送到左右两根丝杠螺母，螺母同步转动，带动两根丝杠同步运动，从而带动天线阵翻转至工作位置。

但在实际使用中，由于受加工精度与装配误差的影响，在相同时间内，两根丝杠行程不一定相同。因此，双丝杠驱动机构在设计时主要难点是双丝杠的运动同步问题，当双丝杠由于加工误差及安装误差而出现运动不同步时，将会使天线阵扭摆或出现丝杠卡死现象。

由于安装误差的绝对存在，双丝杠无法绝对同步运动；但是误差越小，引起系统变形产生的附加力越小，丝杠运动同步性能就越好。因此在实际设计中我们应根据丝杠驱动力及系统刚性条件合理选择丝杠装配公差，避免不必要的成本浪费。

2.1.5 滚动螺旋机构

在滑动螺旋机构中，螺杆与螺母螺旋面间的摩擦为滑动摩擦，故摩擦损耗大、磨损严重、效率低。为提高传动效率和传动精度，可在螺杆和螺母的螺旋面上制出弧形螺旋槽，在螺旋副间形成滚道，并放入钢球（或称滚珠）、圆柱滚子、圆锥滚子或圆片滚子等滚动体，成为滚动摩擦式的螺旋机构，称为滚动螺旋机构（又称滚珠丝杠）。图 2-7 所示为钢球内循环式滚道螺旋机构，由内外螺旋滚道 1、3 和钢球 2 组成。

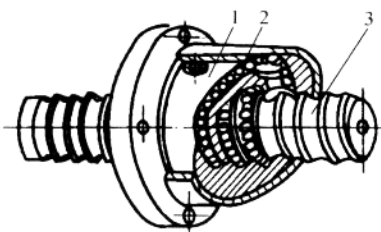


图 2-7 滚动螺旋机构

1. 滚动螺旋机构的结构形式

通常按滚珠的循环方式的不同，滚动螺旋有多种结构形式，见表 2-1。

表 2-1 滚动螺旋结构

类别	形式	简 图	结 构	特 点
外循环	螺旋槽式		在螺母外圆柱面上有螺旋形回球槽，槽的两端有通孔与螺母的螺纹滚道相切，形成钢球循环通道 为引导钢球在通孔内侧顺利出入，在孔口位置有挡球器	结构简单。回球槽与通孔联接处曲率半径小，钢球的流畅性较差；挡球器端部易磨损