

实用齿轮几何学 理论与应用

洪芝云 著

上海科学技术出版社

实用齿轮几何学 理论与应用

洪芝云 著



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

实用齿轮几何学理论与应用 / 洪芝云著. —上海:
上海科学技术出版社, 2018.3

ISBN 978-7-5478-3770-2

I. ①实… II. ①洪… III. ①齿轮—几何学 IV.
①TH132.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 267331 号

实用齿轮几何学理论与应用

洪芝云 著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13.75 插页 4

字数 300 千字

2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3770-2/TG·98

定价: 80.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

《实用齿轮几何学理论与应用》是一本自成体系的齿轮几何理论专著,具有以下鲜明特点。

1. 书中再也找不到传统齿轮几何理论中令一线齿轮工作者头疼的微分几何。

2. 重点研究现代齿轮啮合理论中关键而薄弱的环节——空间啮合理论及应用。

3. 首次提出了涵盖 Willis 平面啮合定理的空间啮合基本定理——双节轴定理。

4. 在解决生产实践中各种问题时通常都远比传统齿轮理论简单。最典型的是直齿花键滚刀基本蜗杆计算问题,这是齿轮啮合理论著作中的经典问题,传统理论要跨过一道道微分几何的崇山峻岭,历经 20 多个步骤才能完成,而应用本书的空间啮合基本定理只需一步就可完成。

5. 本书还解决了传统理论中一直没有能够有效解决的空间啮合中蜗轮的根切问题。

6. 为照顾一线齿轮工作者中最广泛的群体需要,本书内容作如下统一与分离:

① 对于与齿轮密切相关的机械基础件——直纹圆柱螺旋面建立了统一的数学模型和计算公式,集齿轮、蜗杆、螺纹、花键于一体;规范了齿轮几何量计算;

② 将一般人一辈子也用不上的变速比传动(非圆齿轮)分离出去;

③ 将理论、生产、应用中相对独立、用途相对专一的螺旋伞齿轮分离出去。

7. 书中附录部分还对蜗轮钢球测量 M 值、圆弧齿轮公法线长度等计算比较困难的几何量提供了可直接查用的表格。

本书是作者从 20 世纪 60 年代身处生产一线,面对传统齿轮理论存在的问题,历经 50 余年完成的研究成果。因此,本书特别适用于广大一线齿轮工作者的需要。对于齿轮几何理论研究者和高等院校机械专业的师生也有重要参考价值。

前 言

齿轮是工业的象征,也是机械工业中最基础的传动零件。齿轮专业是一般机械设计人员很难掌握的专业中的专业。齿轮几何量计算也是令机械专业技术人员最头痛的事,人们学习齿轮常碰到的问题是:门难进(书本种类多,不知从哪一本入门)、路难行(微分几何拦路虎)、书本厚。于是只能人云亦云、照抄公式。甚至机械制造专业的高级工程技术人员面对齿轮,都会毫不掩饰地自认是齿轮的门外汉。这是极不正常的情况,却又是现实。

笔者从1963年开始接触齿轮。由于军品试制中奇数齿大螺旋角齿轮跨棒测量 M 值计算值与实际相差太远,不得不按国外样机齿轮实测 M 值来确定图纸中的测量尺寸 M 值。为了探索奇数齿螺旋齿轮测量及法向直廓齿轮滚刀相关理论,开始对螺旋面进行了15年研究,取得了一系列成果。

1978年,齿轮研究项目在中华人民共和国第六机械工业部立项。

1979年,《齿轮与蜗杆 M 值计算》由国防工业出版社出版。

1983年10月,中国船舶工业总公司(原六机部)邀请了浙江大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学、上海工业大学、合肥工业大学等名牌大学及郑州机械研究所等科研单位和专业工厂的30多位专家、教授进行了十分罕见为期一周的“齿轮几何量计算与测量技术”研究成果鉴定会。我的研究成果得到与会专家、教授的一致好评。鉴定结论重点摘要:①纠正法向直廓蜗杆齿形曲线一项“属于新的发现”;②奇数齿斜齿轮、蜗杆、螺纹双棒测量 M 值计算通用公式这项成果“具有国内先进水平”,可以推广应用;③蜗轮钢球测量 M 值计算具有实用价值。该项综合研究成果于1984年获中国船舶工业总公司(部级)重要科技成果二等奖。

1985年,在邯郸市举办了为期三周面向全国的“齿轮几何量计算与测量技术”学习班。

以上研究重点是齿轮生产中的齿厚测量,不涉及齿轮啮合理论的研究,属齿轮几何学研究的初级阶段。

1993年,终身享受国务院特殊津贴。

2005年开始,作者进入古稀之年,为实现早年定下的为国增光的齿轮梦想,自我加压,启动了齿轮研究的“古稀工程”。经过10年潜心研究,形成了一套新的齿轮几何理论独立体系,重点解决生产中迫切需要的各类齿轮的齿厚测量几何量计算问题及传统齿轮

几何理论很难解决或无法解决的一些疑难问题。由于不涉及微分几何等高等数学工具,本书为最需要而又很难掌握传统齿轮几何理论知识的一线齿轮工作者提供了解决实际问题的有力工具,是他们学习齿轮知识的首选读物。

本书不仅提供了各种齿厚测量几何量计算的精确公式,附录中还对诸如圆弧齿轮公法线长度计算、弦齿厚计算、蜗轮钢球测量 M 值计算这类计算很困难的几何量提供了 13 种直接可查的数值表格。这都是在传统齿轮啮合理论著作中无法找到的直接可用的数据。这也是本书书名冠以“实用”二字的理由之一。

本书的理论体系是独立的新体系,有一系列新观念。为了让读者更快了解这一体系,书中列举了大量计算例题,并与现有文献进行对比。本书与传统齿轮几何理论相比有以下特点:

- ① 思路独立;
- ② 数据接轨;
- ③ 解题方便;
- ④ 难题破解。

书中也涉及现有文献中的一些问题,其中包括齿轮大师李特文教授的早年著作。这并不是对他们不尊重,而是说明齿轮几何量计算的复杂性,请有关的作者们谅解。相反,没有这些问题的存在,也就没有作者花了整整 50 年才完成的本书,书后参考文献的作者们都是我的老师!

中国应该有自己的齿轮几何理论是作者长期以来的梦想。在作者 80 岁的今天,本书能与读者见面使我感到无限欣慰。

丁淳先生是我 20 世纪 70 年代认识的启蒙老师,对作者专业上的成长有很大帮助。作者在前六机部工作期间的齿轮研究、技术交流、鉴定工作中还得到了王学忠、史建华、梁贯民、陶文梅、刘贵良等同志的许多帮助。在古稀工程的 10 年中及本书的完稿过程中老伴、女婿、女儿们更是鼎力相助,使我在艰难困苦的研究工作中充满信心。还特别值得一提的是作者在寻求研究成果推广应用中四处碰壁的绝望时得到了上海科学技术出版社热情而有力的支持,这在当今的中国难能可贵,不可多得。在此一并致谢。

推动齿轮技术进步是齿轮工作者的使命,任何一门科学技术都是在前人没有很好解决的问题中得到发展。由于作者水平有限,《实用齿轮几何学理论与应用》一书错误难免,欢迎读者批评指正。

洪芝云

于浙江天台

齿轮是工业的象征,是机械制造业的基础,齿轮传动的应用在我国已有 2 000 多年的悠久历史,笔者曾亲眼看到过陕西出土的一对直径 2 cm 左右金属齿轮,竟然就是人字齿轮!古代的能工巧匠从不断实践中懂得了一对齿轮传动其齿距必须相等。齿距相等与现代齿轮模数相等是同一概念。因此,模数相等应是齿轮啮合的基础。

随着对传动的平稳性、低噪声、使用寿命等各方面要求的提高,人们开始研究齿形,各种齿轮啮合理论相继出现。

中华人民共和国成立后,我国的齿轮啮合理论研究在传统理论框架下如雨后春笋般蓬勃发展,取得了举世瞩目的成就,并且在国际上产生了深远影响。

1. 空间啮合理论的产生和发展

齿轮啮合理论在经历了平面啮合的直齿轮发展阶段后,为了使传动更加平稳而发展出了“斜齿轮”,从齿面性质讲,斜齿轮就是一个具有螺旋齿面的圆柱齿轮,只不过是斜齿轮的螺旋升角很大罢了。尽管在啮合性质上人们把一对斜齿轮列为空间啮合,但是,平面啮合的 Willis 定理依然有效。

只有当两齿轮的轴线相错安装时,才是真正的空间啮合,并形成了点接触形式的螺旋齿轮传动和各类线接触形式的蜗轮蜗杆传动、锥齿轮传动。

点接触的螺旋齿轮传动不仅可以传递运动,在刀具设计中也极为有用。滚齿是齿轮加工中主要且重要的方法,生产效率高,带齿零件的加工都可以适用。

空间传动的啮合性质与平面传动相比虽然发生了变化,但是平面啮合基本定理仍然是其重要组成部分,这一点常常被人们忽略,认为在空间啮合中不再有纯滚动。事实上,不能将两者割裂开来。当然,空间啮合比平面啮合要复杂得多。

法国杰出几何学家奥利弗(T.Olivier)的包络曲面法为空间传动的啮合理论揭开了新的一页。由于奥利弗的包络法以两曲面相切接触为前提,比较抽象,于是俄国学者哥赫曼(Х.И.Гохман)认为奥利弗的方法“没有形成让人们可以立足并解决问题和继续前进所可以遵循的一般公式”^①。哥赫曼提出了 $n \cdot s = 0$ 的求解共轭曲面方法。其实,切面与法线是同时存在的一对几何量。应该说,哥赫曼的方法并没有离开微分几何中的曲面包络

^① 李特文著. 齿轮啮合原理[M]. 卢贤占, 高业田, 王树人, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1984.

原理。

奥利弗的包络法、哥赫曼的 $n \cdot s = 0$ 及后来运动学法中的 $n \cdot v = 0$ ，是利用包络曲面原理求解共轭曲面的三种不同方法。后两种方法虽然比奥利弗的包络法前进了一步，但是接触点法线 n 没有具体落脚点，这是传统啮合理论的致命弱点，使求解共轭曲面问题十分艰难。

2. 齿轮啮合理论发展的走向

传统齿轮啮合理论经历了三个阶段的发展，形成了比较完整的理论体系。但是这一理论体系的基础是包络曲面原理，离不开微分几何等高深数学工具。李特文的《齿轮啮合原理》是影响我国几代齿轮工作者的齿轮啮合理论专著；然而，一线齿轮工作者凭大学工科专业的数学知识很少有人能读懂它，并用于解决工作中的实际问题。因此，传统齿轮啮合理论与一线齿轮工作者之间有一段很长的距离。

传统齿轮啮合理论的上述三种计算方法与各种具体传动形式的齿轮传动几何量计算之间也有很难跨越的鸿沟，以至于出现各种形式的齿轮传动似乎都有自己的啮合原理的局面。比如：渐开线齿轮啮合原理、圆弧齿轮啮合原理、圆柱蜗杆啮合原理、凹型蜗杆啮合原理……举不胜举；这令一线齿轮工作者感到学习齿轮啮合原理不知从何处入手。

长期以来，国内外不少齿轮研究工作者并没有从理论联系实际更好地解决生产中的实际问题着手，与一线齿轮工作者拉近距离。相反，他们迁就了“数学水平越高论文水平越高”的社会偏见，用极大的时间和精力去研究齿面的微分结构，这些问题主要涉及齿轮接触强度中的一部分，是可以研究的，但是强度是以实验为基础的，所以，齿面的微分结构并不是研究齿轮啮合理论的首要任务，不应喧宾夺主。

齿轮啮合理论的首要任务应该是研究一对齿轮按给定运动规律平稳有序工作所必须遵守的几何关系，要求准确、完整地求得一个与已知齿轮相啮合齿轮的共轭曲面及生产中所必需的几何量计算。这里强调了准确和完整的两个方面，根切就破坏了齿面的完整性，必须得到有效控制。除此之外，还必须强调，为了更有效地研究共轭曲面，“应该研究一对齿轮而不仅仅是研究一对齿面”。显然，要研究一对齿轮，模数就必须引入齿轮啮合理论，特别是法向模数相等更是求解共轭齿面的必要条件。有了模数才能求得节轴，有了节轴才可以应用空间啮合双节轴定理求共轭齿面。这一切都是本书理论体系的核心问题，也是本书与传统啮合理论区别的根本所在。

本书认为相错轴空间传动的啮合是齿轮啮合的一般形式，在此基础上本书首次提出了空间啮合基本定理——双节轴定理。当两齿轮轴线平行时，两节轴重合，也就形成了平面啮合。因此，空间啮合双节轴定理也是涵盖 Willis 平面啮合基本定理的齿轮啮合基本定理。各种形式的齿轮传动都应遵守齿轮啮合基本定理。

有不少人认为齿轮理论已没有什么好研究了，其实完全不是这样。生产实践中有许多实际问题亟需我们解决，如直齿矩形花键、矩形螺旋花键，都是最简单的“齿轮”，是最常

用的机械基础零件,与它共轭的滚刀基本蜗杆的求解,也是齿轮理论中的经典问题,长期以来许多工具厂是靠不断试切来解决这个问题的。蜗轮的根切,不仅破坏了共轭齿面的完整性,而且损害了轮齿的强度,根切问题一直没有得到有效解决,根切的蜗轮在不断被当合格品使用,使蜗轮由耐用件变成易损件,浪费了大量昂贵的有色金属材料。圆弧齿轮问世半个多世纪了,圆弧齿轮的公法线长度的计算公式却五花八门,且都被称为是精确的公式。直到 20 世纪 90 年代还有论文称自己的公式是首创的精确公式并刊登出来。蜗轮能否类似于齿轮用测量公法线长度来控制齿厚?蜗轮根切能否得到准确的计算?这都是一线齿轮工作者最需要的东西,可是他们无法在传统的啮合理论中找到满意的答案,所以他们对学习齿轮理论缺乏兴趣。

综上所述,从某种意义上讲,半个多世纪以来现代齿轮啮合理论正朝着一条与一线齿轮工作者要求有很大差距的好高骛远的方向前进。因此,这样的理论无法从实践中吸取更多的营养。

本书作者从 20 世纪 60 年代起就在工厂工作,对一线齿轮工作者在工作中遇到的困难了解最深,从那时起就着重研究齿轮生产中一系列实际问题,经历了 50 余年,总结出了一整套独立的齿轮啮合理论体系,希望为一线齿轮工作者在工作中多提供一条解决问题的路子。本书作者在 2011 年全国小模数齿轮技术研讨会上首次发表空间啮合双节轴定理时,得到了与会代表的热情支持。

本书列举了一系列与传统理论对比的例子,用事实打破了有些资深学者所认为的“齿轮几何学理论已达到了登峰造极的地步”这一不合哲理的断言。

在论证和介绍齿轮啮合理论新体系的同时,本书重点介绍了理论在解决生产实际问题和疑难问题中的应用。为了让读者更好地掌握理论应用,本书所举的例子都很具体,有计算过程也有计算结果。附录中还对 13 种计算比较复杂的齿厚测量尺寸提供了直接可查的数据。这也是《实用齿轮几何学理论与应用》一书与众不同的一个重要特色。

作 者

第 1 篇 实用齿轮几何学理论基础

第 1 章	基础知识	3
1.1	纯滚动与摩擦传动	3
1.2	齿轮传动	4
1.3	Willis 定理	5
1.4	平面啮合中公共齿条与重叠齿条	6
1.5	齿轮几何要素	7
1.6	曲面替换原理	7
第 2 章	直纹圆柱螺旋面	8
2.1	统一直纹螺旋面	8
2.2	直纹圆柱螺旋面几何量计算综合数学模型	10
2.3	直纹螺旋面几何量计算举例	15
2.4	各种直纹螺旋面蜗杆剖析	16
第 3 章	圆柱螺旋面	21
3.1	圆柱螺旋面的运动特性	21
3.2	圆柱螺旋面的母线齿条	21
3.3	渐开螺旋面	25
3.4	圆柱螺旋面综合参数图	27
第 4 章	齿条的共轭圆柱螺旋面	29
4.1	经典的方法	29
4.2	曲面替换法求齿条的共轭圆柱螺旋面	29
第 5 章	空间啮合基本定理	31
5.1	空间啮合传动中的模数三角形法则	31

5.2	螺旋齿轮传动及其替换机构	32
5.3	空间啮合基本定理	32
5.4	按啮合模数和接触特性分类的齿轮传动	35

第 2 篇 实用齿轮几何学计算应用

第 6 章	渐开线齿轮传动	39
6.1	渐开线齿轮传动的优点	39
6.2	渐开线齿轮传动的形式	40
6.3	渐开线螺旋齿轮的公法线长度计算	40
第 7 章	矩形花键滚刀基本蜗杆螺旋面	46
7.1	直齿矩形花键滚刀基本蜗杆螺旋面计算	46
7.2	矩形螺旋花键滚刀基本蜗杆螺旋面计算	48
7.3	传统矩形螺旋花键滚刀基本蜗杆设计问题剖析	53
第 8 章	圆柱螺旋面零件的几何量测量与计算	56
8.1	圆柱螺旋面零件齿厚测量与计算	56
8.2	圆柱螺旋面零件弦齿厚计算方法	56
8.3	圆柱螺旋面零件的跨棒测量 M 值计算	61
8.4	锯齿形螺纹 M 值计算	67
8.5	跨棒测量 M 值计算的齿面法线逼近法	71
第 9 章	圆弧齿轮传动	73
9.1	圆弧齿轮传动及几何量计算概况	73
9.2	圆弧齿轮基本齿廓	74
9.3	圆弧齿轮公法线长度计算	77
9.4	圆弧齿轮弦齿厚测量尺寸计算	84
第 10 章	圆柱蜗杆传动	87
10.1	圆柱蜗杆传动中的节轴	87
10.2	圆柱蜗杆传动的几何量计算原理	87
10.3	圆柱蜗杆传动的啮合特性(多母线齿条啮合)	88
10.4	蜗轮齿厚跨球测量 M 值计算	89
10.5	蜗轮齿厚测量的公法线长及其计算公式	97

第 11 章	平面蜗轮副啮合分析	104
11.1	直齿平面蜗轮副的几何原理	104
11.2	斜齿平面一次包络蜗轮传动几何原理	107
11.3	平面二次包络环面蜗杆传动几何原理	111
11.4	斜齿平面蜗轮副蜗杆几何量计算	116
第 12 章	直廓环面蜗杆传动	124
12.1	直廓环面蜗杆的历史	124
12.2	传统齿轮啮合理论中直廓环面蜗杆传动接触线	125
12.3	直廓环面蜗杆传动的实际接触线计算	126
12.4	免跑合原始型直廓环面蜗杆传动	134
第 13 章	齿轮啮合理论中若干典型问题及计算方法对比	138
13.1	空间啮合的接触特性与二次作用	138
13.2	特征线方向之间的夹角 ϵ	141
13.3	滚刀滚切直齿渐开线齿轮时不产生根切的最少齿数	141
13.4	II 型圆弧蜗杆传动几何量计算	143
第 14 章	齿轮几何量计算中若干疑难问题	151
14.1	齿轮啮合理论中的根切问题	151
14.2	齿轮几何量理论中若干疑难问题	155

附 录

附录 1	67 型单圆弧凸齿圆弧齿轮等高(弦齿高 $\bar{h} = 0.45m_n$) 法向弦齿厚 \bar{s} (模数 2~6)	163
附录 2	67 型凹齿单圆弧齿轮等高(弦齿高 $\bar{h} = 0.75m_n$) 法向弦齿厚 \bar{s} (模数 2~6)	165
附录 3	67 型凹齿单圆弧齿轮等高(弦齿高 $\bar{h} = 0.75m_n$) 法向弦齿厚 \bar{s} (模数 7~30)(按 $m_n = 20$ 计算)	168
附录 4	GB 12759—1991 双圆弧齿轮凸齿等高(弦齿高 $\bar{h} = 0.355m_n$) 法向弦 齿厚 \bar{s} (模数 1.5~50)	171
附录 5	GB 12759—1991 双圆弧齿轮凹齿等高(弦齿高 $\bar{h} = 1.445m_n$) 法向弦 齿厚 \bar{s} (模数 1.5~6)	174
附录 6	GB 12759—1991 双圆弧齿轮凹齿等高(弦齿高 $\bar{h} = 1.445m_n$) 法向弦 齿厚 \bar{s} (模数 7~50)(按 $m_n = 10\sim 16$ 计算)	177

附录 7	蜗轮钢球测量 M 值计算变量 (ΔR_{M2}) 阿基米德蜗杆 $\alpha_x = 20^\circ$	180
附录 8	蜗轮钢球测量 M 值计算变量 (ΔR_{M2}) 表 (齿槽法向直廓蜗杆 $\alpha_{npc} = 20^\circ$)	183
附录 9	蜗轮钢球测量 M 值计算变量 (ΔR_{M2}) 表 (轮齿法向直廓蜗杆 $\alpha_{npl} = 20^\circ$)	186
附录 10	蜗轮钢球测量 M 值计算变量 (ΔR_{M2}) 表 (渐开线蜗杆 $\alpha_n = 20^\circ$)	189
附录 11	凸齿单圆弧齿轮公法线长度	192
附录 12	凹齿单圆弧齿轮公法线长度 ($m_n = 2 \sim 6$)	194
附录 13	GB 12759—1991 双圆弧齿轮凸齿公法线长度 ($m_n = 1.5 \sim 50$)	199

第 1 篇

实用齿轮几何学理论基础

实用齿轮几何学主要考虑生产一线齿轮工作者的需求,不包罗万象地研究齿轮方方面面的几何理论。在齿轮啮合理论中,平面啮合理论中的 Willis 定理是成熟的,几近完美;因此,实用齿轮几何学着重研究空间啮合理论问题。各种各样的蜗轮蜗杆传动最为复杂,问题也最多,是重点研究对象。螺旋齿轮是滚刀的理论基础,而滚刀又是齿轮的主要高生产率刀具,所以也是重点研究对象。至于双曲面齿轮,由于它在理论上、加工设备上的独立性,本书不进行讨论。另外,在传统的齿轮理论经常讨论的接触强度,是建立在试验的基础之上,也不在本书讨论范围之内。

实用齿轮几何学的理论体系主要由下面 5 个部分组成:

1. 空间啮合基本定理——双节轴定理;
2. 圆柱螺旋面的母线齿条;
3. 齿条的共轭圆柱螺旋面;
4. 共轭曲面的模数三角形法则;
5. 曲面替换原理。

第 1 章 基础知识

1.1 纯滚动与摩擦传动

1.1.1 纯滚动

利用摩擦传递运动是一种常见的传递运动的形式,图 1-1 为两圆柱做纯滚动,图 1-2 为圆柱与平面做纯滚动。带传动仍然被广泛应用,火车在轨道上行驶也是利用了摩擦力原理;但是这种传动无法保证没有一点滑动,也就是说无法保证速比的恒定。

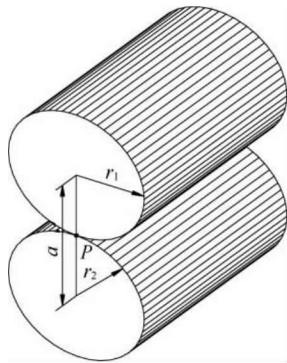


图 1-1 两圆柱做纯滚动

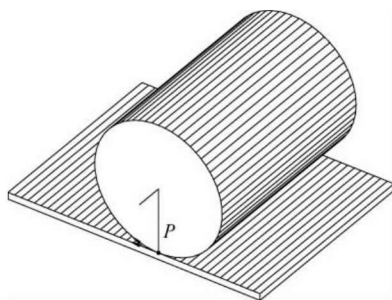


图 1-2 圆柱在平面上做纯滚动

纯滚动是一种理想的概念,就是两轮子滚动产生的弧长相等,转速比不变,它是齿轮啮合理论中一个极其重要的概念。如图 1-1 所示,速比 $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$, 要保证速比不变, P 点在连心线上的位置应当不变,因为该点是两节圆的瞬时回转中心。在该点,两齿轮的线速度大小相等,方向一致,相对运动速度为零。

图 1-3 是两个锥齿轮的节锥滚动关系;图 1-4 是节锥与平顶齿轮的滚动关系,用于研究刨齿原理。

1.1.2 节点 P

如图 1-1 所示,当两个圆相切接触的圆柱作摩擦纯滚动时,整个滚动过程中接触点 P 在两圆心连线上是一个固定不变的点, P 称为节点。对于变速比的非圆齿轮,节点位置

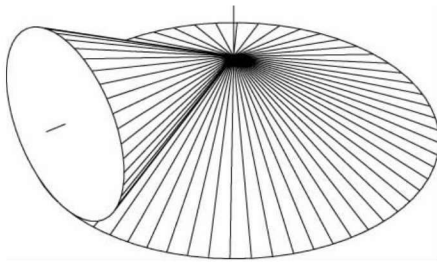


图 1-3 两锥面做纯滚动

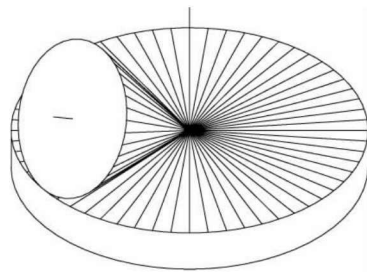


图 1-4 锥面在平面上做纯滚动

是按给定规律变化的。就物理意义而言,接触点是分属于两个圆柱并重合在一起的两个点,这对以后研究空间啮合理论时有重要意义。此外,作为实体的齿轮,实际上节点是一根节轴,且分属于两个圆柱的两条重合的直线。没有两根节轴,哪来两个节圆柱,这在以后讨论空间啮合相错轴传动时这两条直线自然就会分开了。

如图 1-2 所示,当一个圆柱与一个平面相切接触,圆柱作定轴转动,平面作直线移动时,接触点 P 也是一个固定不变的点。

节点在端面上形成两个圆,称为节圆;在移动的坐标内形成直线;纯滚动时节轴形成节圆柱,在移动时形成节平面。

1.2 齿轮传动

由于摩擦传动传递的力矩是有限的,而且保证不了速比的稳定。如果以这两个滚动圆为基础,配上齿距相等的轮齿,就成为齿轮传动,基本速比就能得到保证;瞬时速比稳定则要靠啮合理论来解决。

1.2.1 两齿廓在接触点处法线交于节点,且相切接触

从滚动摩擦接触中,要保证转速比不变,节圆应是一个规范的圆。滚动接触点落在两圆心连线上是一个固定点 P ,为了保证在齿轮啮合过程中速比不变,应将 P 点作为回转中心(啮合轴)。因此,两齿廓相对于 P 点都应作圆周运动,所以在接触点处,两齿廓的法线交于节点 P ,且相切接触。

1.2.2 两齿廓只能给定一个

要保持定速比传动,两齿廓只能给定一个,不能同时给定两个齿廓。

如图 1-5a 所示,如给定 $R_1 = 25$, $R_2 = 35$ 的两个圆弧作为两齿轮的齿廓,选一个法线通过 P 点的接触点作初始点。

当齿轮 1 逆时针转过一个角度后(图 1-5c),如果齿轮 2 的齿廓仍然是 $R = 35$ 的圆弧,这时就有一个新的接触点 K_1 (该点是根据两齿廓圆弧中线连线得到),接触点 K_1 的法线将交于齿轮连心线上 P_1 点(位于 P 点下方)。显然,由于节点变化,速比也已发生变化。若要保持速比不变,齿轮 2 上的接触点只能是从齿轮 1 的齿廓圆弧中心与节点 P 相