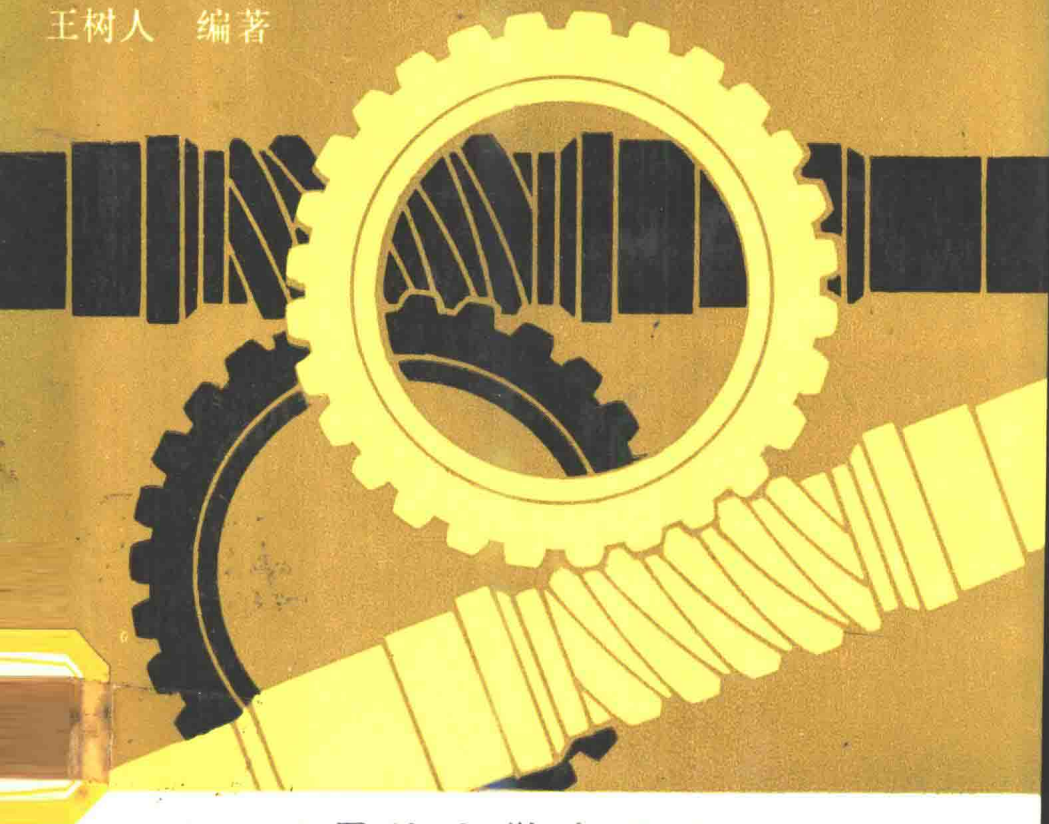


圆弧圆柱 蜗杆传动

王树人 编著



天津大学出版社

圆弧圆柱蜗杆传动

王树人 编著

天津大学出版社

内 容 简 介

本书系统而简捷地介绍了蜗杆传动的分类及其特点；结合实例论述了圆柱蜗杆螺旋面形成原理；全面而深入地阐述了圆弧圆柱蜗杆传动啮合原理及其设计计算方法。

本书体系独特，内容新颖。

本书可供从事蜗杆传动研究和设计的科技人员及大专院校师生参考。

圆弧圆柱蜗杆传动

王树人 编著

天津大学出版社出版

(天津大学内)

天津市宝坻县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本：850×1168毫米 1/32 印张：5 $\frac{1}{4}$ 字数：130千字

1991年9月第一版 1991年9月第一次印刷

印数：1—3000

ISBN 7-5618-0261-7

TH·13

定价：8.45元

序

圆弧圆柱蜗杆传动具有承载能力大、传动效率高、使用寿命长及制造工艺简单等优点，它在近代工业中应用极为广泛，为此，我国制定了《圆弧圆柱蜗杆减速器》新国标。

王树人同志所著《圆弧圆柱蜗杆传动》一书是作者多年从事齿轮啮合原理及蜗杆传动科研部分成果的总结。

本书第一部分介绍蜗杆传动的分类及特点，结合实例论述圆柱蜗杆螺旋面形成原理，使读者既能了解蜗杆传动的全貌，又能深入获知蜗杆螺旋面的理论，叙述系统而简明。

第二部分重点阐述圆弧圆柱蜗杆传动啮合原理及设计计算方法，读者既可全面细致地掌握此种蜗杆传动的啮合原理又可学到设计方法。

本书以啮合原理为主线，体系独特，内容新颖，是机械工程及齿轮工作者阅读、参考的一本好书。

严志达 （南开大学南开数学所教授）

1990年12月4日

目 录

概论.....	(1)
§ 1 基本工作原理.....	(1)
§ 2 蜗杆传动的特点.....	(2)
§ 3 蜗杆传动的应用.....	(4)
第一章 蜗杆传动的分类.....	(6)
§ 1 圆柱蜗杆传动.....	(7)
§ 2 环面蜗杆传动.....	(23)
§ 3 锥蜗杆传动.....	(30)
第二章 圆柱蜗杆螺旋面.....	(31)
§ 1 回转面方程及其性质.....	(31)
§ 2 螺旋面方程及其性质.....	(33)
§ 3 啮合条件.....	(43)
§ 4 已知回转面求螺旋面.....	(46)
§ 5 已知螺旋面求回转面.....	(53)
第三章 几种蜗杆齿面的形成.....	(58)
§ 1 阿基米德圆柱蜗杆(ZA-蜗杆)齿面的形成.....	(58)
§ 2 轴向圆弧齿圆柱蜗杆(ZC ₃ -蜗杆)齿面的形成.....	(63)
§ 3 渐开线圆柱蜗杆(ZI-蜗杆)齿面的形成.....	(68)
§ 4 法向直廓圆柱蜗杆(ZN-蜗杆)齿面的形成.....	(73)
第四章 圆弧圆柱蜗杆传动的啮合原理.....	(81)
§ 1 概述.....	(81)

§ 2	蜗杆齿面的形成方法	(82)
§ 3	蜗杆齿面方程式	(87)
§ 4	砂轮表面与蜗杆齿面共轲时的两类界限 函数表达式	(94)
§ 5	蜗杆齿面的另一种表达式	(95)
§ 6	蜗杆与蜗轮啮合时的瞬时接触线	(99)
§ 7	蜗杆与蜗轮啮合时的两类界限函数表达式	(106)
§ 8	蜗杆与蜗轮啮合时的诱导法曲率	(109)
§ 9	蜗杆与蜗轮啮合时的两类界限曲线	(110)
§ 10	蜗杆与蜗轮啮合时的相对滑动系数	(116)
§ 11	蜗杆与蜗轮啮合时, 接触线方向与 $V^{(12)}$ 的夹角 θ^* 及与 $V_s^{(12)}$ 的夹角 θ^{**}	(116)
§ 12	蜗杆轴向齿廓方程式	(118)
§ 13	蜗杆与蜗轮啮合时的啮合区	(118)
§ 14	蜗杆样板轮廓的计算	(121)
§ 15	蜗轮齿厚的计算	(126)
第五章	圆弧圆柱蜗杆传动设计计算	(131)
§ 1	齿形计算	(131)
§ 2	几何参数和尺寸计算	(135)
§ 3	蜗杆与蜗轮的材料	(149)
§ 4	设计计算	(150)
参考文献		(161)

概 论

蜗杆传动的历史很悠久，可以追溯到两千年以前。在公元前200年左右，希腊的著名学者阿基米德(Archimedes，公元前287—212年)在蜗杆传动方面就给人类创立了光辉的业绩。图0-1是阿基米德发明的蜗杆传动卷扬机。随着工业发展的需要，很多人特别是欧洲人又研究并广泛使用了各种形式的蜗杆传动。例如英国在蜗杆传动标准中列有汽车用蜗杆传动的项目，但在其它各国的汽车中使用蜗杆传动的较少。

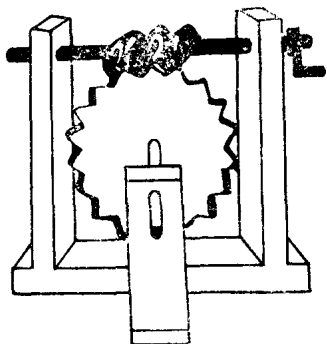


图0-1 蜗杆传动卷扬机

以前，我国在工业生产中多数采用阿基米德圆柱蜗杆传动，由于该传动具有效率低和不易磨削等缺点，因此应用也并不广泛。近年来随着科学技术的发展，特别是计算机技术在工业生产中的广泛应用，国内外学者们研制出很多种新型蜗杆传动，从而改善了蜗杆传动的不足，使其应用范围不断扩大。

§ 1 基本工作原理

蜗杆好似一个螺栓，旋转时它推动着蜗轮运动，蜗杆与蜗轮的啮合大致符合半开螺母的运动，如图0-2所示。蜗杆传动的啮合特征既有别于圆柱螺旋齿轮传动，又有别于直齿圆柱齿轮传

动。圆柱螺旋齿轮传动是点接触，而蜗杆传动为线接触。蜗杆传动与直齿圆柱齿轮传动相比，前者有较大的滑动部分。

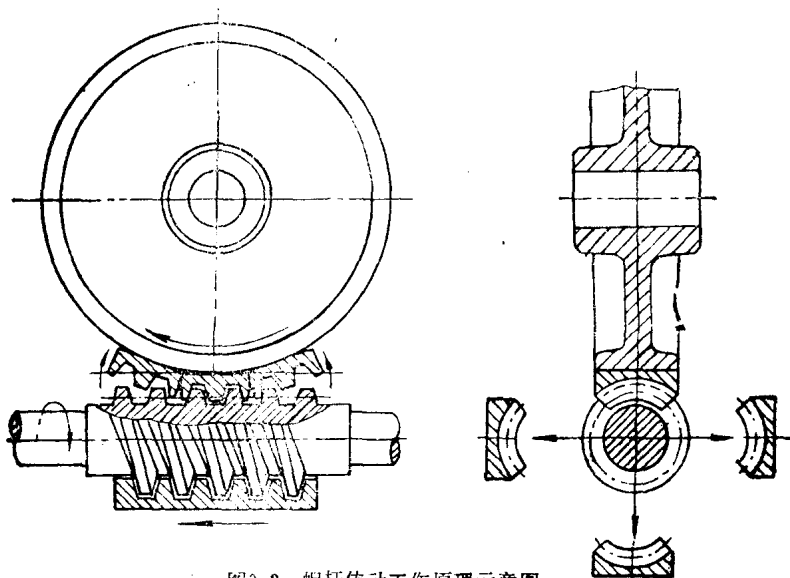


图0-2 蜗杆传动工作原理示意图

§ 2 蜗杆传动的特点

蜗杆传动用以传递空间交错轴间的转矩和运动，两轴可以交错成任意角度，但最常用的为轴交角等于 90° 。

蜗杆传动具有下列特点：

1) 运转时噪音低，振动小。

圆柱齿轮和圆锥齿轮啮合时主要是滚动接触，而蜗杆与蜗轮啮合时主要是滑动接触，且冲击速度很小。因此，产生噪音和振动的因素很少。为此，驱动电动扶梯、电梯、移动人行道，以及近年来为防止公害使用的机器都广泛使用蜗杆减速器。

2) 单级传动比大。

圆柱齿轮传动和圆锥齿轮传动的单级传动比最大一般为10，

而传动比为70—100的蜗杆传动是容易制造的。图0-3是传动比为5, 70, 150的蜗杆减速器和斜齿轮减速器的重量比较, 它们的传动功率为22kW, 输入转速为1200r/min。

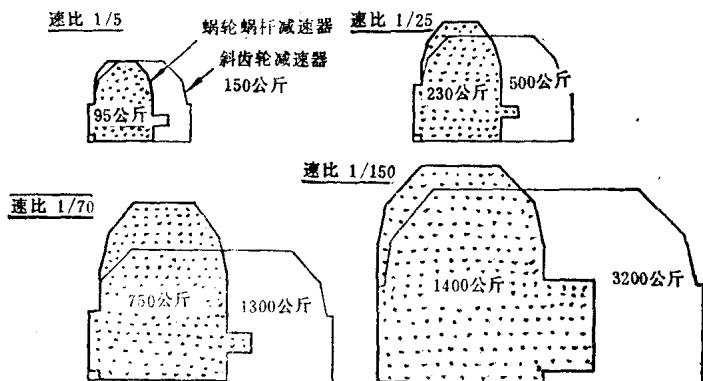


图0-3 蜗杆减速器与斜齿轮减速器重量对比

3) 轴可以垂直布置而互不相交。

蜗杆轴和蜗轮轴的布置, 有时可以做到既能节约原动机和从动机的安装面积又能方便合理。

4) 可以防止逆转, 实现自锁。

蜗杆导程角小于摩擦角时, 理论上不能由蜗轮驱动蜗杆, 即: 可以设计自锁的蜗杆传动装置。但是, 实际上齿面摩擦系数因振动等原因, 由静摩擦系数变成动摩擦系数, 因此, 有时会缓慢地转动, 要达到完全自锁是困难的。

5) 抗弯曲强度高。

蜗杆齿呈螺旋状, 蜗轮齿为弧形曲梁, 它们的抗弯曲强度较高, 轮齿极少出现弯曲折断现象。因此, 蜗杆传动可以承受较大的瞬时冲击载荷。

6) 效率低。

蜗杆传动与其它形式的齿轮传动 (圆柱齿轮传动和锥齿轮传

动) 相比较, 在传递动力时, 齿面摩擦损失较大, 传动效率较低, 且随着传动比增大和滑动速度减小而降低。在小的传动比时, 其啮合效率可达98%。例如, 当 $i=5$, $n_1=1800\text{r/min}$ 时, $\eta=98\%$; 若中心距相同, 当 $i=70$, $n_1=200\text{r/min}$ 时, $\eta=60\%$ 。

7) 容易产生齿面粘附(胶合)。

渐开线齿形圆柱齿轮, 若齿面承受载荷, 由于各部分的变形, 轮齿接触状态向好的方面变化, 而蜗杆传动的轮齿接触状态向坏的方面变化, 也即向齿面油膜破裂方向变化, 容易产生齿面粘附(胶合)。因此, 应该估计到变形量以调整组装时的轮齿接触状态和轴承间隙, 此外还必须尽量小心谨慎地进行跑合运转。

8) 成本高。

因蜗轮采用铜合金材料, 加工蜗杆和蜗轮均需要专用刀具和设备, 齿面修整时间长。若改动蜗杆, 则加工蜗轮的滚刀也必须相应改变, 所以蜗杆传动被认为是成本高的传动装置。

§ 3 蜗杆传动的应用

蜗杆传动的主要应用范围是: 蜗杆转速 n_1 达到 3000r/min , 中心距 $a \leq 160\text{mm}$, 蜗轮扭矩达到 $2 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m}$, 蜗轮圆周力达 800000N , 蜗轮直径约达 2m 。

蜗杆传动的具体应用如下:

1) 动力传动 搅拌机、回转装置、移动装置、提升装置、压力机、离心机、输送机、剪床、印刷机、转筒、移动式炉篦等。

2) 低噪声和低振动装置 电梯、扶梯、船用螺旋桨驱动装置, 出炉回转器, 龙门刨床。

3) 精密传动 齿轮机床和铣床工作台传动装置, 各种精密分度机构。

4) 控制和调节传动 镗床、汽车操纵转向装置、大型天文

望远镜、雷达等。

据有关资料介绍，蜗杆传动的生产指标已经达到如下水平。

蜗轮轴上输出的扭矩 $T_2 = 700000 \text{ N} \cdot \text{m}$

蜗轮轴上的圆周力 $F_2 = 800000 \text{ N}$

蜗杆传递的功率 $P = 10290 \text{ kW}$

蜗杆传动的中心距 $a = 2000 \text{ mm}$

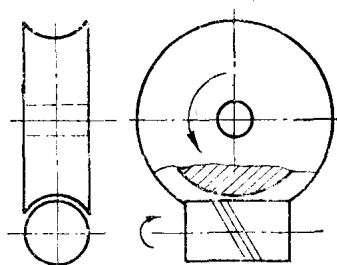
蜗杆转速 $n_1 = 40000 \text{ r/min}$

蜗杆圆周速度 $v_1 = 69 \text{ m/s}$

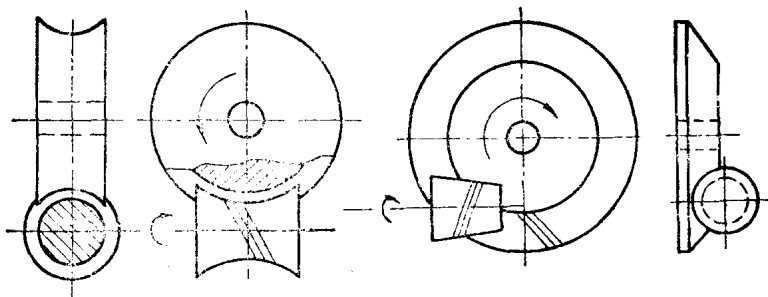
蜗杆传动的啮合效率 $\eta = 93\%$

第一章 蜗杆传动的分类

蜗杆传动的啮合特性、几何关系、承载能力和加工等大多以蜗杆齿形的不同而异。在大部分蜗杆传动中，蜗杆一般是基本件，蜗轮齿的形状是用与基本蜗杆相同的滚刀展成的；因此，蜗轮从属于蜗杆。根据蜗杆基体（分度曲面）的形状，将蜗杆传动分为圆柱蜗杆传动、环面蜗杆传动和锥蜗杆传动。如图1-1所示，它们均是线接触，其中应用最广泛的是圆柱蜗杆传动。



a) 圆柱蜗杆传动



b) 环面蜗杆传动

c) 锥蜗杆传动

图1-1 蜗杆传动的类型

§ 1 圆柱蜗杆传动

圆柱蜗杆齿形按齿廓线形状或所用刀具面形状来分类。按蜗杆齿廓线形状分为ZA, ZN和ZI三类;按刀具面形状分为ZK和ZC两类,共计五类11种,详见表1-1。

1. ZA-蜗杆

蜗杆螺旋面的轴向截面齿形为梯形。齿形的成形线为直线,齿形角为 α_a ,它们均位于轴向截面内,如图1-2所示。蜗杆螺旋面的垂直于轴线的端截面齿廓为阿基米德螺旋线的一部分,故称为阿基米德圆柱蜗杆。又因蜗杆轴向齿廓为直线,所以也称为轴向直廓圆柱蜗杆。

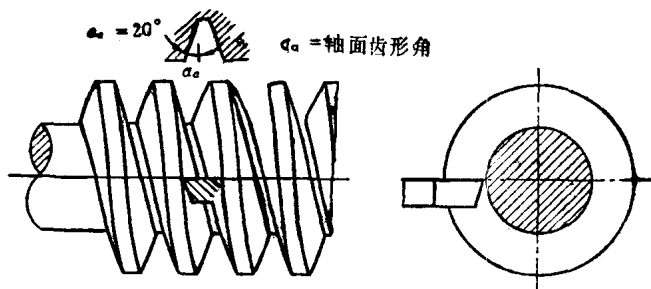


图1-2 阿基米德圆柱蜗杆

这种蜗杆齿面的加工与在车床上加工螺纹相同,车刀的直线切削刃(刀具的产形线)安装在轴向平面上并且与齿面的成形线重合,切削刃与蜗杆轴线的夹角等于轴向齿形角 α_a 的余角,即刀具的产形角 α_e 等于 α_a ,车刀中心线与蜗杆轴线相交,如图1-3所示。当蜗杆齿面的导程角小时可以进行加工,若导程角太大,切削条件不好,加工很不方便。

应该指出,ZA-蜗杆螺旋面也可以通过铣削或磨削完成,但是铣刀切削刃或砂轮轴截面廓线必须采用理论上求出的特定曲

表1-1 圆柱蜗杆齿形分类

GB	ISO/R1122	DIN	ГОСТ	CTCЭВ	JGMA	BS	AGMA
ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	1 型		未作规定
ZN	ZN	ZN	ZN	ZN	2 型		
ZN ₁			ZN ₁	ZN ₁			
ZN ₂			ZN ₂	ZN ₂			
ZN ₃			ZN ₃				
ZK	ZK	ZK	ZK	ZK	3 型		
ZK ₁			ZK ₁	ZK ₁			
ZK ₂			ZK ₂	ZK ₂			
ZK ₃			ZK ₃				
ZI	ZI	ZI	ZI	ZI	4 型	渐开线蜗杆	
ZC		ZH	ZT				
ZC ₁			ZT ₁				
ZC ₂			ZT ₂				
ZC ₃							

注 GB, 中国标准; ISO/R1122, 国际标准; DIN, 西德标准; ГОСТ, 苏联标准; CTCЭВ, 经互会标准; BS, 英国标准; JGMA, 日本齿轮工业会; AGMA, 美国齿轮制造者协会。

线。

2. ZN-蜗杆

该蜗杆螺旋面的法向截面齿形为梯形, 如图1-4所示。齿形的成形线为直线。加工这种蜗杆齿面时, 车刀切削刃应在相对蜗杆轴线倾斜一个分度圆柱导程角的法截面内安装, 如图1-5所示。根据车刀切削刃安装位置的不同, 又分为ZN₁、ZN₂和ZN₃三种蜗杆。

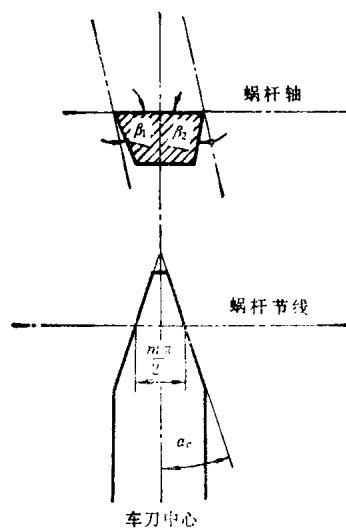


图1-3 车刀安装示意图

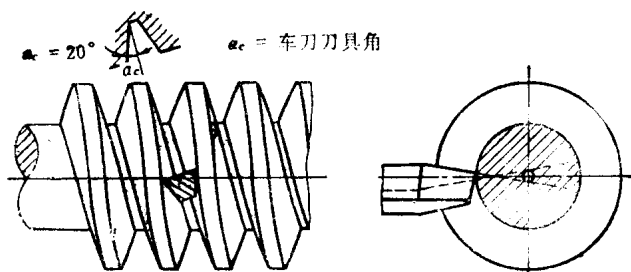


图1-4 法向直廓圆柱蜗杆

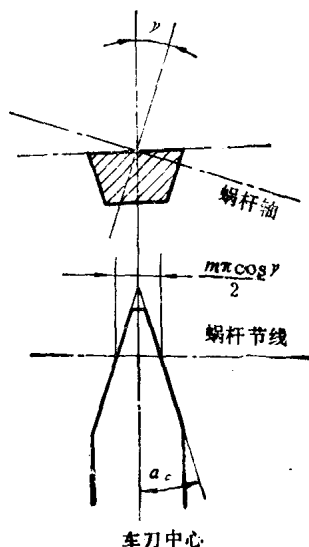


图1-5 车刀安装示意图

1) ZN_1 -蜗杆

车刀切削刃的安装如图1-6之3所示，车刀前倾面（切削刃）位于齿槽法截面Ⅲ-Ⅲ上，所车出的螺旋面在垂直于齿槽的截面上具有直线齿廓，如图1-7所示，因此该齿面称为齿槽法向直廓螺旋面，其蜗杆就称为齿槽法向直廓圆柱蜗杆。

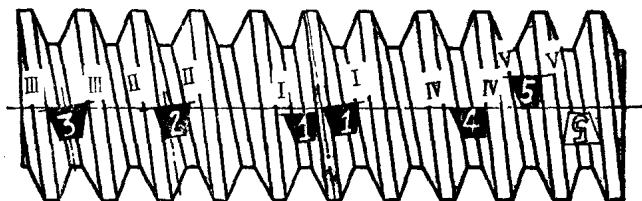


图1-6 车刀前倾面安装图

车刀切削刃的直线继续延长，则不与蜗杆轴线相交，而是与以蜗杆轴线为中心线的小圆柱即导圆柱相切。

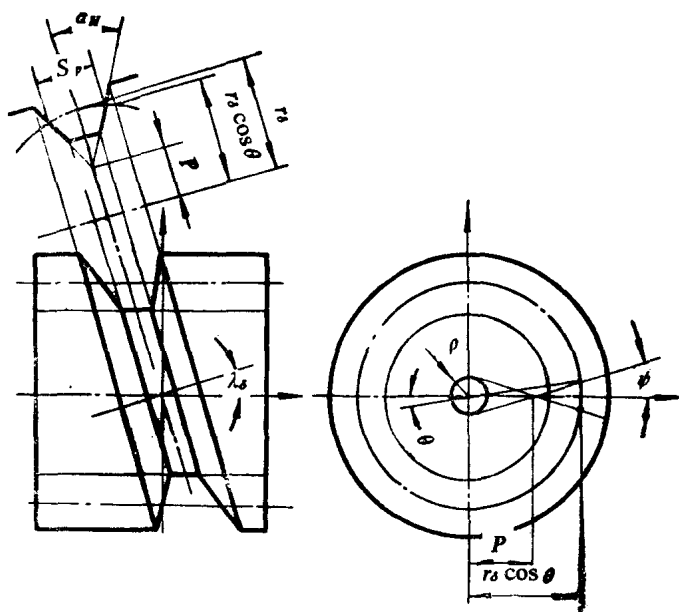


图1-7 齿槽法向直廓圆柱蜗杆

2) ZN_2 -蜗杆

车刀切削刃的安装如图1-6之1所示，车刀前倾面位于齿体（轮齿）法向截面I-I上，所车出的螺旋面在垂直于齿体（轮齿、齿纹）的截面上具有直线齿廓，如图1-8所示，因此该齿面称为齿体法向直廓螺旋面。

3) ZN_3 -蜗杆

车刀切削刃的安装如图1-6之2所示，车刀前倾面位于齿面法向截面II-II上，所车出的螺旋面在垂直于齿面的截面上具有直线齿廓，因此称该齿面为齿面法向直廓螺旋面。

应该指出， ZN -蜗杆螺旋面也可以近似地用锥形的指状铣刀或小的梯形圆盘铣刀进行加工，如图1-9b)所示，但要求出刀具的理论齿廓曲线。