



齿轮设计
丛书

CHILUN SHEJI
CONGSHU

蜗杆传动设计 (下册)

齐 麟 张亚雄 胡松春 编著
黎上威 董学朱

机械工业出版社

性良好的啮合制之外，还必须在制造上努力使这些优良品质得以变为现实。在这方面的工作包括：采用硬齿面蜗杆、提高蜗杆和蜗轮齿面光洁度、提高制造精度以及有意识地进行齿面曲率修形来加速跑合过程且使跑合后达到较理想的啮合状态。

本书在编写过程中由于作者分散各地，篇幅也有一定限制，所以各篇之间编写的风格和内容的重点不够协调一致，名词和符号还不能完全统一，其他方面也可能还存在一些缺点，有待今后改进。

本书分上、下两册出版。上册的第一篇（普通圆柱蜗杆传动设计）由吴鸿业同志编写，第二篇（圆弧圆柱蜗杆传动设计）主要由张亚雄同志编写，齐麟同志参加了部分编写工作；下册的第三篇（平面蜗轮及平面包络环面蜗杆传动设计）主要由齐麟同志编写，张亚雄同志参加了部分编写工作，第四篇（直廓环面蜗杆传动设计）由胡松春、黎上威同志编写，第五篇（锥蜗杆传动设计）由董学朱同志编写。

全书除第四篇由东北工学院的鄂中凯、施永乐同志进行审稿外，其余四篇均由南通机械研究所的张希康同志审稿。他们提出了许多宝贵的意见，特别是张希康同志还做了大量协调、组织工作，在此表示衷心感谢。

全书各篇在编写过程中还得到许多有关同志的大力帮助与支持，在此一并致谢。

《齿轮设计丛书》

出版说明

齿轮是应用非常广泛的重要传动元件。随着科学技术的飞跃发展，对齿轮传动提出了越来越高的要求。为适应形势的需要，总结、介绍国内外先进经验与技术，特决定组织出版这套《齿轮设计丛书》，以利提高我国齿轮设计、生产水平。

本丛书内容包括：齿轮啮合原理、齿轮传动的精度、各类齿轮传动（包括特种齿轮）和各类蜗杆传动的设计、齿轮的试验技术与设备等等。内容着重于介绍设计的理论基础、设计方法、设计参数以及数据的分析选择等，力图满足齿轮传动设计者的需要。因此，本丛书主要供从事齿轮设计、制造工作的工程技术人员参考。丛书将分若干分册陆续出版。

由于水平有限，书中难免有错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

出版者的话

蜗杆传动是在(夹角可为任意的,通常取成正交 90° 的)交错轴之间传递运动和动力的一种齿轮传动装置。它长期得到广泛应用主要是因为它具有传动平稳、减速比大、在一定条件下有良好的自锁性等优点。通常用于减速传动,也有个别产品用它作为增速机构。但是它存在着传动效率较低、需要耗用有色金属等不足之处。

随着机器功率的不断提高,国外产品中五十年代以来陆续推出了各种新型式的蜗杆传动,效率低的缺点正在逐步克服。结合对引进国外先进技术的消化,我国在蜗杆传动的研究和改进生产技术方面,目前已呈现百花齐放的蓬勃局面,达到了前所未有的新水平。

在我国所研制的口径为2.16米的天文望远镜上,精密分度蜗杆传动的精度已达到累积误差 $5.57''$,短周期误差小于 $1''$ 的高水平。在动力传动方面,蜗轮轴的输出扭矩也已高达数十吨米。

本书主要介绍了两类圆柱蜗杆传动、两类环面蜗杆传动和一种锥蜗杆传动,这些都是在国内生产实践中经受过考验的蜗杆传动。考虑到广大读者对它们还不够熟悉,单靠手册一类资料尚不足以掌握,所以约请在这方面有长期工作经验的同志编写了本书,以求讲清楚它们的特点、设计参数选择的依据以及制造和使用中应加以注意的问题,从而在这些新型蜗杆传动的推广应用中立读者一臂之力。

应该认识到,获得优质蜗杆传动产品,除了选用啮合特

目 录

第三篇 平面蜗轮及平面包络环 面蜗杆传动设计

第一章 总论	3
一、发展概况	3
二、啮合特点	7
第二章 成形原理	13
一、平面蜗轮传动	13
二、平面包络环面蜗杆传动	20
第三章 啮合原理	33
一、第一次包络	33
二、标准传动与变位传动	43
三、第二次包络	46
第四章 平面蜗轮传动的几何设计与参数选择	65
一、几何参数设计说明	65
二、几何设计	80
三、啮合性能指标	81
四、蜗杆齿面截形分析	89
五、蜗杆的根切	106
六、啮合性能分析	113
七、参数选择	118
第五章 平面包络环面蜗杆传动的几何设计与 参数选择	121
一、几何设计	121
二、啮合性能指标	122

三、滚刀齿顶变尖问题	128
四、标准传动的啮合干涉	129
五、标准传动的啮合性能	134
六、标准传动的参数选择	148
七、小传动比参数选择	150
八、变位传动啮合分析与参数选择	155
第六章 强度计算	202
一、蜗杆的强度计算	202
二、蜗轮齿的强度计算	209
三、蜗杆副的强度计算	211
四、强度计算程序与例题	228
五、轮体结构和典型工作图	234
六、蜗杆蜗轮的材料和热处理	237
七、蜗杆蜗轮的失效分析	241
八、润滑状态及润滑方式	249
第七章 制造精度要求	252
一、制造精度要求的编制说明	252
二、传动公差	253
参考文献	267

第四篇 直廓环面蜗杆传动设计

第一章 概述	271
一、啮合特性	272
二、分类	274
三、应用范围	275
四、技术发展	275
第二章 直廓环面蜗杆传动的啮合分析	279
一、采用的坐标系	279
二、矢量的座标转换	281

五、啮合方程式	284
四、共轭齿面的诱导法曲率	291
五、齿面上的界线	294
第三章 直廓环面蜗杆传动几何参数计算	297
一、参数选取的原则	297
二、蜗杆副的设计方法与步骤	300
三、几何参数及尺寸计算	303
四、计算举例	306
第四章 直廓环面蜗杆的修形	308
一、倒坡修形	308
二、抛物线修形	311
三、变参数修形 (俗称对称修形)	312
四、修形曲线的探讨	319
五、几种修形曲线的啮合分析举例	323
第五章 环面蜗杆传动的承载能力	332
一、环面蜗杆传动的破坏形式	332
二、环面蜗杆传动受力分析	339
三、环面蜗杆传动的效率	344
四、影响环面蜗杆承载能力的基本要素	350
五、按齿面耐用度确定已知环面蜗杆减速器许用功率的 计算方法	353
六、环面蜗杆减速器热功率的确定	357
七、蜗杆中间平面安全系数的确定	358
八、环面蜗杆减速器许用功率的验算和中心距的选 择方法	362
第六章 结构设计和润滑	366
一、蜗轮结构形式和尺寸	366
二、轴承选择	371
三、环面蜗杆减速器的润滑和冷却	375

四、环面蜗杆减速器的典型结构	378
第七章 试验	381
一、试验台	381
二、试验内容和方法	387
第八章 制造精度和检验方法	389
一、误差分析	389
二、精度检验	393
三、环面蜗杆传动公差	398
第九章 其他类型环面蜗杆传动	408
一、渐开面包络环面蜗杆传动	408
二、锥面包络环面蜗杆传动	411
三、平面单包络精密分度环面蜗杆传动	412
四、环面蜗杆传动的失配啮合制	413
参考文献	417

第五篇 锥蜗杆传动设计

第一章 绪论	421
第二章 锥蜗杆传动的啮合分析	426
一、圆向量函数和球向量函数及其运算	426
二、瞬轴面、分度锥面和参考锥面	429
三、锥蜗杆与锥蜗轮的相对位置和旋转方向	431
四、锥蜗杆的齿面和几何参数	433
五、当量圆柱蜗杆传动	436
六、坐标选择和坐标转换	438
七、锥蜗杆齿面方程及齿面上任一点处的主方向和 主曲率	441
八、锥蜗杆传动的啮合面和锥蜗轮齿面	443
九、汇交点、啮合面上的枢纽线	447
十、齿面上的界线和界点	448

十一、齿面沿瞬时接触线法向的诱导法曲率、合速度与瞬时接触线法线之间的夹角	453
十二、瞬时接触线分布规律	457
十三、锥蜗杆传动啮合界线分布规律	471
十四、锥蜗杆传动曲率干涉界线分布情况	476
十五、齿面啮合质量的评定	479
十六、锥蜗杆传动啮合分析的结论	484
第三章 锥蜗杆传动几何参数计算的理论基础	486
一、分度锥面几何参数的计算公式	486
二、锥蜗杆的导程	494
三、分度锥面几何参数之间的关系	499
四、分度锥面几何参数计算方法	504
五、齿面中点参考锥面几何参数计算	507
六、极限压力角	511
七、临界法曲率和极限法曲率	514
八、诱导法曲率和 τ 角	516
九、啮合面上的工作区和重合度	521
十、锥蜗杆传动的轮坯尺寸和齿高测量部位尺寸	524
十一、根切校核和 ρ 、 K_{EH} 值计算举例	529
十二、锥蜗轮齿面根切和许用最大中心距系数 $a^*_{\max}$	530
十三、人机交互计算锥蜗杆传动的几何参数	544
十四、锥蜗杆传动原始参数对根切、啮合质量和结构尺寸的影响	549
十五、锥蜗杆传动原始参数的选择	555
第四章 锥蜗杆传动的设计计算	560
一、概述	560
二、锥蜗杆传动的中心距估算	561
三、锥蜗杆传动几何参数计算	563
四、锥蜗杆传动齿面中点参考锥面几何参数计算	572

五、锥蜗杆传动的啮合效率	572
六、锥蜗杆传动受力分析	577
七、锥蜗杆传动许用输出功率校核	583
八、锥蜗杆刚度校核	588
九、锥蜗杆和锥蜗轮的工作图	589
参考文献	593

第 三 篇

平面蜗轮及平面包络 环面蜗杆传动设计

第一章 总 论

一、发展概况

人们所熟知的直廓环面蜗杆传动（俗称球面蜗杆或弧面蜗杆传动）是承载能力最强的蜗杆传动之一。其代表产品是美国Ex-Cell-O公司的CONE DRIVE。直廓环面蜗杆齿面用直刃刀具车削成形。若用一个平行于刀盘主轴的平面砂轮代替直刃刀具。则可磨削成形平面包络环面蜗杆（图3.1-1a及图3.2-3）。显然，若一个齿轮的齿面与砂轮平面位置重合，则该齿轮定能与上述平面包络环面蜗杆啮合。构成传动副。这种传动以平面蜗轮为母面，称为平面蜗轮传动。

如果以平面包络环面蜗杆螺旋面为母面，再来滚切蜗轮。则这一对蜗杆、蜗轮可构成新的传动副——平面包络环面蜗杆传动副。

平面蜗轮传动产生于1922年，是由美国格里森公司总工程师E. Wildhaber发明的。主要用于精密分度，如天文望远镜、齿轮测量仪、圆刻线机等。由于制造工艺简单，容易获得高精度，其齿距误差可达到0.25"以内。这种蜗轮的齿面与蜗轮轴线平行，只适用于大传动比的场合^[10]。

1951年日本佐藤发明了斜齿平面蜗轮传动，蜗轮齿面相对其轴线倾斜 β 角（图3.1-1b）。使这种传动装置由大传动比扩展到中、小传动比。并由RIKEI公司成功地用于减速器生产。产品商标为PLANAWORM。最小传动比 $i=10$ 。

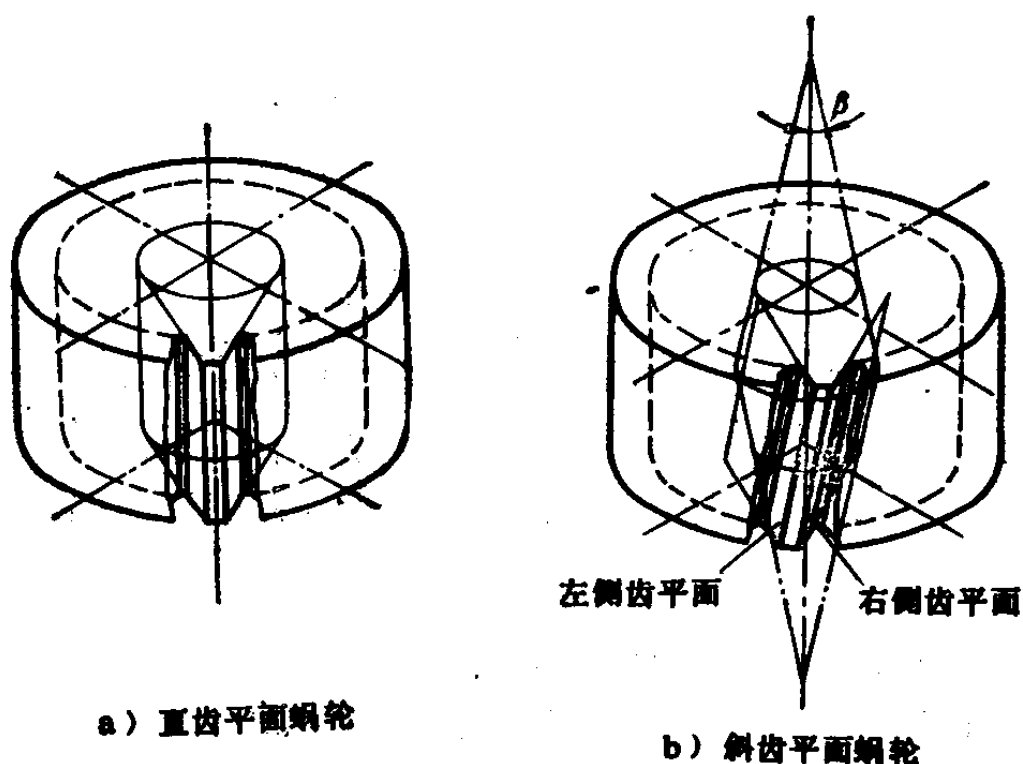


图 3.1-1 直齿与斜齿平面蜗轮

这种传动虽然制造简便，蜗杆蜗轮都可进行磨削，但其接触线与相对速度夹角及诱导法曲率等润滑、强度指标不如 CONE DRIVE。承载能力也稍差。

1969年日本石川昌一获得了平面包络环面蜗杆传动的专利^[22]。专利介绍的内容是指这种蜗杆的标准传动。与平面蜗轮传动相比，平面包络环面蜗杆传动的蜗轮可以用展成法加工，生产效率提高了，承载能力，传动效率也有了明显的增长。

1972年日本酒井高男和牧充对交错轴齿轮传动中第二次作用进行了研究。并且在此基础上提出了可展齿面环面蜗杆传动。使其啮合性能在平面包络环面蜗杆传动基础上又有了

提高^[5]。1976年完成了切齿及强度实验，日本住友重机械工业株式会社以HEDCON为商标进行了成批生产^[24]。

我国从六十年代初开始，由第一机械工业部机械科学研究所(现郑州机械研究所)开展了平面蜗轮的研究工作。1964年与石景山钢铁公司机械厂(即首钢机械厂)合作研制成中心距为540mm的平面蜗轮副。用于30吨转炉的倾转机构中。然后又与有关工厂合作研制成功精密分度用平面蜗轮副。到目前为止我国已能制造蜗轮直径2160mm精密分度蜗轮副，用在天文望远镜上。其一齿运动误差小于1"。

1971年首都钢铁公司机械厂在制造斜齿平面蜗轮副的基础上，创造了我国第一套平面包络环面蜗杆副，并用于生产。北京市和冶金工业部于1977年命名这种蜗杆副为“首钢(SG)—71型蜗杆副”。

平面包络环面蜗杆传动在我国问世以后。受到了各方面的重视。许多高等院校，科研单位，工矿企业相继开展了对这种传动的研究、实验和试制工作，取得了很大成果。特别是我国著名数学家南开大学吴大任教授领导的齿轮啮合理论研究组的一系列论文，在国内产生了巨大的影响。

我国关于平面包络环面蜗杆传动的理论研究是很深入，很丰富的。除了进行常规的接触线及根切分析以外，还完成了以下工作：

(1) 推导并计算了诱导法曲率，接触线与相对速度的夹角。

(2) 对二次接触原理进行了严格的数学论证，证明了第二次接触面产生的必然性。

(3) 分析论证了二类界点邻域内的啮合状态。阐明在二类界点处蜗杆齿面与蜗轮二次接触面密切，蜗轮二次接触

面与一次接触面相切；二类界点是接触线的奇点，但不是蜗轮齿面的奇点；以及在该点诱导法曲率不连续等论点。澄清了二类界点处不会产生啮合干涉。提出了二类界点存在的简化条件。

(4) 分析论证了第二次包络一类界点的啮合特性。阐明沿一类界限曲线将产生蜗轮齿面啮合干涉，齿面间断等现象。进而提出了避免啮合干涉的设计方法和工艺措施。

(5) 研究了蜗杆（滚刀）齿顶变尖及根切规律。在全面考核啮合性能的基础上，提出了以蜗杆齿顶变尖和根切做为齿面参数选择的界限条件。

(6) 进行了广泛的变位传动研究。变位因素包括中心距、传动比、蜗杆轴向位移、平面倾角变化等。计算分析了这些因素对啮合性能的影响。提出了以二类界限曲线存在条件做为选择变位参数的界限，可避免发生啮合干涉。

(7) 分析了平面包络环面蜗杆传动用于小传动比场合存在的问题，提出了解决方法。

(8) 以弹性动压润滑理论为基础，提出了齿面综合参数 V_R ，做为全面衡量齿面啮合性能的判据。 V_R 综合考虑了接触线分布状况及诱导法曲率对齿面润滑状态的影响。

(9) 完成了上述研究成果的实验验证。

我国已成功地制造了中心距1200mm和760mm的平面包络环面蜗杆传动压下装置。平面包络环面蜗杆减速器的承载能力和传动效率达到了较高水平，得到了广泛应用。

这种传动的研究，尤其是研究内容的扩展在国内产生了深远影响。推动了蜗杆传动研究蓬勃发展。

二、啮合特点

本节将介绍以下两种传动的几何特征，优缺点及主要用途。

1. 平面蜗轮传动

平面蜗轮传动与一般环面蜗杆传动相同，啮合齿数多，承载能力大。此外还具有如下特点：

(1) 平面蜗轮齿面为平面，齿形简单，易于精确制造。因为可以不用展成法加工，不需要高精度的设备和复杂刀具就能制造出很高精度的蜗轮副。在一定的测量手段帮助下，根据实际误差对逐个齿进行修磨，可以一次达到高精度，避免了圆柱蜗杆副需要一步一步地提高机床精度的烦琐过程。平面蜗轮可用测量齿距线值误差来控制加工精度。于是同样的测量精度水平，工件愈大，获得的角值误差就愈小。

(2) 平面蜗轮副同时啮合齿数多，对邻近各个齿的误差有良好的平均效果，使实际传动精度有所提高。甚至个别齿的过量加工也不损坏整体的工作精度。

(3) 由于是平面齿，对蜗轮轴向安装位置不敏感。

(4) 直齿平面蜗轮接触线分布如图3.1-2所示。图中a为右旋蜗杆逆时针旋转（面向图示位置观察）的接触线；图中b为顺时针旋转的接触线（齿的背面接触）。

如果将蜗轮沿中心平面剖分，并使两部分相对转动错位，则能调整齿侧间隙。

同一个直齿平面蜗轮既可以与右旋蜗杆啮合，又可以与左旋蜗杆啮合。前者的接触区在中心平面c-c的左侧（图3.1-3），后者的接触区在右侧。因此当平面蜗轮磨损至精度丧失后，还可以改变螺旋方向另配作一个蜗杆，利用另一半蜗轮