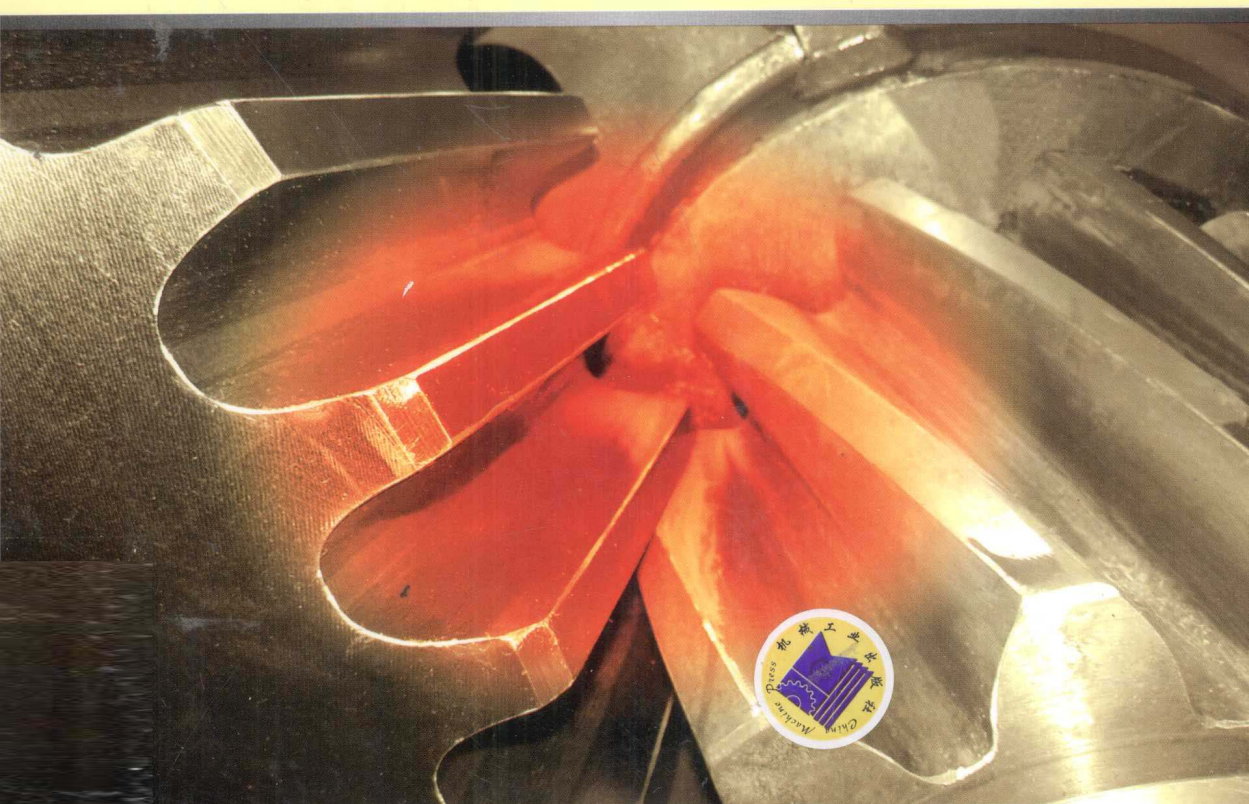


# 点线啮合齿轮传动

厉海祥 著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 点线啮合齿轮传动

厉海祥 著



机械工业出版社

点线啮合齿轮是用渐开线齿轮滚刀在滚齿机上加工而成的，也可以在磨齿机（展成磨、蜗杆砂轮磨、成型磨）上磨削。凡是能生产渐开线齿轮的工厂均能加工制造。

本书介绍点线啮合齿轮传动的特点、点线啮合齿轮传动的基本理论、尺寸计算、参数选择、加工制造、强度计算、齿轮精度与公差的选择、润滑油的选择，以及点线啮合齿轮的系列产品，在附录中有每对齿轮啮合的封闭图。根据书中的内容就可以进行设计计算和加工制造（公式的推导可以从略）。

本书可供工厂机械设计制造人员加工、制造作参考，也可作为机械设计院、高等学校的参考用书，还可作为相关专业研究生教材使用。

## 图书在版编目（CIP）数据

点线啮合齿轮传动/厉海祥著. —北京：机械工业出版社，2010.12  
ISBN 978-7-111-32019-7

I. ①点… II. ①厉… III. ①啮合传动：齿轮传动 IV. ①TH132.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 188582 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：曲彩云 责任编辑：高依楠

版式设计：霍永明 责任校对：张晓蓉

封面设计：姚毅 责任印制：乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·20.25 印张·449 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-32019-7

定价：48.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

策划编辑：(010) 88379782

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 序

很早以前就知道厉海祥教授在研究点线啮合齿轮传动，但由于很少看到有公开的论文发表，因此对点线啮合齿轮知之甚少。直到 2000 年，我在南京高速齿轮厂主持点线啮合齿轮减速机系列设计鉴定会上看到了全套的设计、制造、承载能力试验等资料和不同规格点线啮合齿轮减速机在工业上实际成功应用的案例，才对这种新型的齿轮传动有了较全面的了解。在鉴定会上，点线啮合齿轮传动的研究和减速机的系列化设计和制造得到了与会专家的充分肯定。此后（2002 年后），在本人主编的中国机械设计大典第 4 卷《机械传动设计》和以后主编的几本手册中，都将点线啮合齿轮传动作为一种新的传动形式介绍给广大读者。

点线啮合齿轮传动从研究到开发减速机系列产品，再到工业上成功应用，只有 20 多年的时间；可贵的是在实际应用的 10 多年时间里，数千台点线啮合齿轮减速机从未发生过断齿现象。“实践是检验真理的标准”，点线啮合齿轮传动在较短的时间内取得的成功，表明这种新型齿轮传动具有很强的生命力。

点线啮合齿轮传动的研究和系列产品的开发取得的成功，给我们最大的启示就是要开拓创新和永不放弃。开拓创新是科学技术界永远的主题，然而近些年来却很少见到在传统的齿轮专业领域内具有创新的进展。点线啮合齿轮传动的研究者用逆向思维的方法，将齿轮啮合中要避免接触的过渡曲线作为齿廓，从而开拓了一个全新的研究领域——点线啮合齿轮传动。这一典型的事例完全可以收进创造学的教科书。

点线啮合齿轮传动 1999 年列入国家“九五”重点推广项目，2001 年获得国家发明专利，然而该项目的研究很少获得资助。点线啮合齿轮减速机的开发和应用，也是在制造单位和使用单位紧密合作下的成果，这种在困难面前永不放弃的精神，令人钦佩。

本书详细论述了点线啮合齿轮传动的啮合原理、设计计算、加工制

造工艺和减速机系列产品的开发，是一本既有深度又有广度的好书，也是厉海祥教授过去 20 多年研究成果的总结。

任何一本著作都不可能是十全十美的，这本专著在某些方面（如承载能力的研究和试验等）的论述，尚显得有些数据不足，不过这是正常的，因为齿轮承载能力的研究不是在短时间内以个人能力所能完成的。这方面也为有志于深入研究点线啮合齿轮传动的研究者提供了广阔的研究空间。

可以预期，本书的出版将加速我国点线啮合齿轮传动进一步的研究和推广。让点线啮合齿轮传动这朵奇葩，在机械工业的花园里盛开吧！

朱孝录

北京科技大学

## 作者的话

齿轮传动是现代各类机械中应用最广的一种传动方式。高速、重载、低噪声是齿轮传动的发展方向。在齿轮传动中，渐开线齿轮占了主导地位。但是渐开线齿轮主要是凸齿廓与凸齿廓的接触，因此接触强度低。解决的办法是采用硬齿面或者采用凹凸齿廓接触。圆弧齿轮、抛物线齿轮等传动是凹凸齿廓接触，提高了接触强度。但是圆弧齿轮刀具复杂，要有专用滚刀，抛物线齿轮必须用抛物线齿轮滚刀来加工，而且这两种齿轮采用硬齿面时，磨齿加工困难、噪声较大。在推广新型齿型齿轮的过程中最大的问题就是刀具，如能用渐开线齿轮滚刀加工就更便于大力推广使用。但是，渐开线齿轮滚刀能否滚出凹齿廓，实现凹凸齿廓啮合传动？在展成实验中，小齿轮滚切出根切的凹齿廓不能应用，那么大齿轮能否滚切出较大的凹齿廓呢？在工厂中发生过这样的情况，工厂技术人员误将大齿轮的分度圆当作齿顶圆来制造，结果在滚切过程中出现了较大的凹齿廓。作为渐开线齿轮它是废品，不过这说明了大齿轮是可以滚切出凹齿廓的，那么能不能将小齿轮放在大齿轮的凹齿廓中实现凹凸齿廓啮合传动？在啮合过程又会出现什么样的情况？它的承载能力，噪声又是如何？等等。这一系列的问题就是点线啮合齿轮要研究解决的问题。

点线啮合齿轮经过 20 多年的理论—实践—再理论—再实践的研究过程。研究工作发现，这种齿轮凹凸齿廓接触得很好，实现了点线啮合，试验证明可以提高接触强度。这种齿轮的全齿高只有  $1.6m_n \sim 1.8m_n$  左右，因而弯曲强度也有提高。由于大齿轮是一个大负变位齿轮，它的单对齿刚度与啮合刚度比渐开线齿轮小很多，像一个柔性齿轮，它的噪声比渐开线齿轮低，是一个低噪声的齿轮传动，而且随着载荷的增加，噪声反而下降。点线啮合齿轮不但可以采用软齿面和中硬齿面进行滚齿加工，还可以做成硬齿面进行磨齿加工。如采用展成磨，蜗杆砂轮磨，成型磨等方法。渐开线齿轮所采用的加工方法在点线啮合齿轮加工时可应用。

目前，点线啮合齿轮传动在设计计算、加工制造等方面已趋于完善，是一个非常具有发展前途的齿轮传动，具有我国自主知识产权，已获国家专利。当然，与成熟的渐开线齿轮和圆弧齿轮相比，点线啮合齿轮传动应用中必然会出现一些问题，但是，目前存在的问题已逐步得到解决。作者只是为点线啮合齿轮搭建一个框架，还有许多问题可以去进一步深入研究，进一步完善这种齿轮传动。在书中，作者所经历的问题都已写出，以免大家再去做不必要的重复劳动。大多数问题在书中已经提出了解决办法。希望我国的齿轮工作者，在作者研究的基础上，能进行更深入一步的研究，为我们国家的齿轮事业做出更大的贡献。

点线啮合齿轮的成功离不开大家的支持和幫助，因此，首要感谢我们课题组的

王秀芝、王均荣、张予川、罗齐汉、黄海等同志，特别是罗齐汉同志在计算机方面给予了很多帮助；也特别感谢北京科技大学朱孝禄教授，在百忙中对全书进行了仔细的审查，并提出了许多宝贵的意见；感谢苏州冶金机械厂教授级高级工程师李钊刚同志、江阴齿轮厂孙均立厂长给予很大的帮助和支援；感谢泰隆减速器厂鲁国学厂长和孔霞、周正祥高工；感谢泰兴减速器厂李成宝高工，感谢他们对点线啮合齿轮在工业上推广应用作出的努力。

本书牵涉的面较广，而且作者水平有限，书中不免有错误疏漏之处，希望广大读者积极批评指正。

厉海祥  
武汉理工大学

## 符号说明

符号	名称	单位	符号	名称	单位
$a'$	理论中心距	mm	$F_w$	公法线长度变动公差	$\mu\text{m}$
$a$	实际中心距、已知中心距	mm	$f_a$	中心距极限偏差	$\mu\text{m}$
$b$	齿宽	mm	$f_f$	齿形公差	$\mu\text{m}$
$C$	系数；单对齿啮合点	—	$f_{pb}$	基节极限偏差	$\mu\text{m}$
$C_B$	基本齿廓系数	—	$f_{pt}$	齿距极限偏差	$\mu\text{m}$
$C_a$	齿顶修缘量	$\mu\text{m}$	HBW	布氏硬度	—
$C_{eff}$	有效齿顶缘量	$\mu\text{m}$	HRC	洛氏硬度	—
$c$	顶隙	mm	HV1	$F=9.8\text{N}$ 时的维氏硬度	—
$c'$	单对齿刚度	$\text{N}/(\text{mm}\cdot\mu\text{m})$	HV10	$F=98.1\text{N}$ 时的维氏硬度	—
$c_r$	综合刚度	$\text{N}/(\text{mm}\cdot\mu\text{m})$	$h$	齿高，全齿高	mm
$c^*$	顶隙系数	—	$h_a$	齿顶高	mm
$c_n^*$	法向顶隙系数	—	$h_a^*$	齿顶高系数	—
$c_i^*$	端面顶隙系数	—	$h_{an}^*$	法面齿顶高系数	—
$d$	分度圆直径	mm	$h_{at}^*$	端面齿顶高系数	—
$d_1, d_2$	小轮、大轮的分度圆直径	mm	$\bar{h}_c$	固定弦齿高	mm
$d_{a1}, d_{a2}$	小轮、大轮的顶圆直径	mm	$\bar{h}_n$	分度弦齿高	mm
$d_{b1}, d_{b2}$	小轮、大轮的基圆直径	mm	$h_f$	齿根高	mm
$d_n, d_{n2}$	小轮、大轮的齿根圆直径	mm	$h_{Fa}$	载荷作用于齿顶时的弯曲力臂	mm
$d_w$	节圆直径	mm	$i$	传动比	—
$D_n$	旋动曲线干涉量	$\mu\text{m}$	$\text{inv}\alpha$	$\alpha$ 角的渐开线函数	—
$E$	弹性模量	$\text{N}/\text{mm}^2$	$j$	侧隙	mm
$E_{wms}$	齿厚上偏差	$\mu\text{m}$	$j_{\text{min}}$	最小侧隙	mm
$E_{wmi}$	齿厚下偏差	$\mu\text{m}$	$K$	载荷综合系数	—
$e$	偏心距	—	$K_A$	使用系数	—
$F_t$	切向力	N	$K_\alpha$	齿间载荷分配系数	—
$F_n$	法向力	N	$K_\beta$	齿向载荷分配系数	—
$F_r$	径向力，齿圈径向圆跳动公差	N	$K_V$	动载系数	—
$F_a$	轴向力	N	$K_L$	凹凸齿廓接触线度变化系数	—
$F_\beta$	齿向公差	$\mu\text{m}$	$K_C$	单对齿 C 点载荷系数	—
$F_p$	齿距累积公差	$\mu\text{m}$			



(续)

符号	名称	单位	符号	名称	单位
$k$	跨齿数	—	$S_H$	接触强度的计算安全系数	—
$L$	长度	mm	$S_{Hmin}$	接触强度的最小安全系数	—
$M$	弯矩	N·m	$s$	齿厚	mm
$m$	模数	mm	$s_a$	齿顶厚	mm
$m_n$	法向模数	mm	$s_f$	齿根厚	mm
$m_t$	端面模数	mm	$s_n$	法向齿厚	mm
$N$	指数; 循环次数	—	$s_t$	端面齿厚	mm
$N_c$	当量循环次数	—	$\bar{s}_n$	分度圆齿厚	mm
$N_L$	应力循环次数	—	$S_{Jn}$	J点的法向齿厚	mm
$N_0$	静强度最大循环次数	—	$S_{Jt}$	J点的端面齿厚	mm
$n$	转速	r/min	$\bar{s}_c$	固定弦齿厚	mm
$n_1, n_2$	小轮、大轮的转速	r/min	$s_{Fn}$	危险截面上的齿厚	mm
$P$	功率	kW	$S_{inta}$	胶合计算安全系数	—
$p$	齿距、分度圆齿距	mm	$S_{smin}$	胶合计算最小安全系数	—
$p_b$	基圆齿距	mm	$T_1, T_2$	小轮、大轮的名义转矩	N·m
$p_{bn}$	法向基圆齿距 (法向基节)	mm	$v$	线速度, 节圆圆周速度	m/s
$p_{bt}$	端面基圆齿距 (端面法向基节)	mm	$w_{pt}$	单位齿宽载荷	N/mm
$P_n$	法向齿距	mm	$w_t$	单位齿宽法向载荷	N/mm
$p_t$	端面齿距	mm	$W_n$	公法线长度 (跨距)	mm
$p_w$	节圆齿距	mm	$x_1, x_2$	小轮、大轮变位系数	—
$R_a$	轮廓齿面算术平均偏差	$\mu\text{m}$	$x_{nc}$	总变位系数	—
$R_z$	表面微观不平度 10 点高度	$\mu\text{m}$	$x_t$	端面变位系数	—
$r$	半径, 分度圆半径	mm	$x_n$	法面变位系数, 变位系数	—
$r_w$	节圆半径	mm	$Y_{Fa}$	载荷作用齿顶时的齿形系数	—
$r_a$	顶圆半径	mm	$Y_{NT}$	抗弯强度计算的寿命系数	—
$r_b$	基圆半径	mm	$Y_{sa}$	载荷作用齿顶时的应力修正系数	—
$r_f$	根圆半径	mm	$Y_{eT}$	试验齿轮的应力修正系数	—
$r_J$	J点半径	mm	$Y_x$	抗弯强度计算的尺寸系数	—
$S_F$	抗弯强度的计算安全系数	—	$Y_\beta$	抗弯强度计算的螺旋角系数	—
$S_{Fmin}$	抗弯强度的最小安全系数	—	$Y_e$	抗弯强度计算的重合度系数	—

(续)

符号	名称	单位	符号	名称	单位
$\gamma_n$	中心距变动系数	—	$\varepsilon_\beta$	纵向重合度, 轴向重合度	—
$\Delta y$	齿顶高变动系数	—	$\varepsilon_r$	总重合度	—
$Z_C$	单对齿 C 点系数	—	$\eta$	滑动率, 效率	—
$Z_E$	弹性系数	$(\text{N}/\text{mm}^2)^{\frac{1}{2}}$	$\eta$	润滑油动力粘度	$\text{mPa} \cdot \text{s}$
$Z_{NT}$	接触强度计算的寿命系数	—	$\nu$	润滑油运动粘度, 泊松比	$\text{mm}^2/\text{s}(\text{cst})$
$Z_V$	速度系数	—	$\eta_{1B2}$	小齿轮齿根滑动率	—
$Z_X$	接触强度计算的尺寸系数	—	$\eta_{1B1}$	小齿轮齿顶滑动率	—
$Z_\beta$	接触强度计算的螺旋角系数	—	$\eta_{2B2}$	大齿轮齿根滑动率	—
$Z_r$	接触强度计算的重合度系数	—	$\eta_{2B1}$	大齿轮齿顶滑动率	—
$Z_j$	间断工作增强系数	—	$\rho$	曲率半径, 密度	$\text{mm}, \text{g}/\text{mm}^3$
$z$	齿数	—	$\rho_r$	圆角半径	$\text{mm}$
$z_1, z_2$	小轮、大轮齿数	—	$\rho_r^*$	圆角半径系数	—
$z_v$	当量齿数	—	$\rho_{rn}^*$	法面圆角半径系数	—
$\alpha$	压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\theta_{int}$	积分温度	$^\circ\text{C}$
$\alpha_{Fan}$	齿顶法向载荷作用角	$(^\circ), \text{rad}$	$\theta_{ints}$	胶合积分温度 (容许积分温度)	$^\circ\text{C}$
$\alpha_a$	齿顶压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\theta_{\text{aint}}$	平均闪温	
$\alpha_{an}$	齿顶法向压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\theta_{\text{aintT}}$	试验平均闪温	
$\alpha_{at}$	齿顶端面压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\theta_M$	本体温度	$^\circ\text{C}$
$\alpha_n$	法面分度圆压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\theta_{MT}$	试验齿轮本体温度	$^\circ\text{C}$
$\alpha_t$	端面分度圆压力角, 端面啮合角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_F$	计算弯曲应力	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\alpha_{wt}$	端面节圆啮合角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_{Fp}$	许用弯曲应力	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\alpha_{wn}$	法面节圆啮合角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_{Flim}$	试验齿轮的弯曲疲劳极限	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\alpha_K$	任意点 K 的压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_H$	计算接触应力	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\alpha_J$	J 点压力角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_{Hc}$	单点 C 计算接触应力	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\beta$	分度圆螺旋角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_{Hp}$	许用接触应力	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\beta_b$	基圆螺旋角	$(^\circ), \text{rad}$	$\sigma_{Hlim}$	试验齿轮的接触疲劳极限	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\beta_w$	节圆螺旋角	$(^\circ), \text{rad}$	$\phi_a$	对中心距的齿宽系数	—
$\varepsilon_\alpha$	端面重合度	—	$\phi_d$	对分度圆直径的齿宽系数	—
			$\omega$	角速度	$\text{rad}/\text{s}$

# 目 录

序	
作者的话	
符号说明	
<b>第一章 总论</b> .....	1
第一节 齿轮的发展史 .....	1
一、拔挂齿轮阶段 .....	1
二、等齿距齿轮阶段 .....	1
三、摆线齿轮阶段 .....	1
四、渐开线齿轮阶段 .....	2
五、多种齿轮并存阶段 .....	3
第二节 各种齿轮的特点 .....	4
一、各种齿轮的优缺点分析 .....	4
二、新齿形应该具备的条件 .....	5
第三节 点线啮合齿轮传动 .....	5
一、点线啮合齿轮传动的类型 .....	5
二、点线啮合齿轮传动的特点 .....	6
三、点线啮合齿轮传动的应用及发展 .....	9
<b>第二章 点线啮合齿轮齿廓曲线方程及曲率半径</b> .....	12
第一节 点线啮合齿轮滚刀各参数的确定 .....	12
一、滚切直齿轮时滚刀端面各参数 .....	12
二、滚切斜齿轮时滚刀端面各参数 .....	14
第二节 点线啮合齿轮上各段齿廓曲线方程式 .....	17
一、齿条型刀具加工时,被切齿轮的普遍方程式 .....	17
二、点线啮合齿轮上的渐开线方程式 .....	18
三、点线啮合齿轮上的过渡曲线方程式 .....	20
第三节 点线啮合齿轮上 $J$ 点的方程 .....	22
一、齿轮不发生根切时最小变位系数 .....	22
二、 $J$ 点的几何计算 .....	23
第四节 点线啮合齿轮上齿廓各点的曲率半径 .....	24
一、欧拉-萨瓦里方程 .....	24
二、点线啮合齿轮上渐开线齿廓的曲率半径 .....	26
三、点线啮合齿轮上过渡曲线齿廓的曲率半径 .....	27
<b>第三章 点线啮合齿轮传动的基本理论</b> .....	34

第一节 齿廓啮合理论 .....	34
一、齿廓啮合基本定律 .....	34
二、弹性共轭问题 .....	35
第二节 点线啮合齿轮传动的的基本理论 .....	36
一、点线啮合齿轮符合齿廓啮合基本定律 .....	36
二、点线啮合齿轮的正确啮合条件 .....	37
三、点线啮合齿轮连续传动条件 .....	39
<b>第四章 点线啮合齿轮的尺寸计算</b> .....	<b>40</b>
第一节 几何尺寸计算 .....	40
一、主要尺寸计算 .....	40
二、大齿轮顶圆直径 $d_{a2}$ 的确定 .....	42
三、小齿轮顶圆直径 $d_{a1}$ 的确定 .....	42
四、重合度 .....	42
五、变位系数 .....	44
第二节 点线啮合齿轮啮合过程中的干涉 .....	45
一、过渡曲线干涉 .....	45
二、旋动曲线干涉 .....	46
三、有齿厚减薄量时, 干涉量的计算 .....	48
第三节 点线啮合齿轮的滑动 .....	50
一、滑动率 .....	50
二、在极限状态时的滑动率 .....	52
三、实际啮合情况的滑动率 .....	52
第四节 点线啮合齿轮测量尺寸计算 .....	54
一、小齿轮测量尺寸 .....	54
二、大齿轮测量尺寸 .....	55
第五节 点线啮合齿轮传动尺寸计算实例与步骤 .....	57
一、点线啮合齿轮传动尺寸计算实例 .....	57
二、点线啮合齿轮尺寸计算步骤 .....	60
<b>第五章 点线啮合齿轮传动的参数选择及封闭图</b> .....	<b>61</b>
第一节 参数选择 .....	61
一、刀具参数 (法面分度圆压力角 $\alpha_n$ , 法面齿顶高系数 $h_{an}^*$ , 法面圆角半径系数 $\rho_{fn}^*$ ) 的选择 .....	61
二、法向模数 $m_n$ 的选择 .....	61
三、齿数的选择 .....	62
四、重合度 .....	62
五、齿宽系数 .....	62
六、螺旋角 $\beta$ 的选择 .....	63
第二节 封闭图的设计 .....	65
一、封闭图中各曲线的意义 .....	66

二、封闭图中参数的选择 .....	68
三、封闭图中参数对性能的影响 .....	70
第三节 封闭图的变态 .....	80
一、法面圆角半径系数 $\rho_n^*$ 的改变 .....	80
二、法向顶隙系数 $c_n^*$ 的改变 .....	81
三、刀具法面齿顶高系数 $h_{an}^*$ 的改变 .....	82
四、刀具法面分度圆压力角 $\alpha_n$ 的改变 .....	83
第六章 点线啮合齿轮的加工制造 .....	89
第一节 滚齿加工 .....	89
一、齿轮滚刀的选择与要求 .....	89
二、机床的选择与调整 .....	91
三、小齿轮加工 .....	93
第二节 大齿轮的滚齿加工 .....	95
一、滚齿机上胎模的校正 .....	95
二、齿轮毛坯的校正 .....	96
三、大齿轮粗加工或粗精加工一次完成 .....	96
四、齿轮开槽（粗加工后）精加工 .....	100
五、大齿轮安装在齿轮轴上，开槽后精加工 .....	102
六、模数较大时，如果按四刀法切削加工 4 个串刀垫，滚刀架长度不够怎么办 .....	102
七、加工时的注意事项 .....	104
第三节 滚齿加工后齿轮在安装时出现的问题及解决办法 .....	104
一、大齿轮加工后凹齿廓部分有较大的沟痕，表面粗糙度值较高 .....	104
二、一对齿轮安装后，初步磨合，则在齿端有明显的光亮带 .....	106
三、齿轮运转后噪声高，小齿轮齿顶有光亮带 .....	107
四、齿轮运转后在大齿轮凹齿廓有一条光亮带 .....	107
五、齿轮箱运转时有周期性的咯咯声 .....	108
第四节 点线啮合齿轮的磨齿加工 .....	108
一、展成法磨齿 .....	108
二、成形法磨齿 .....	111
第七章 点线啮合齿轮的试验 .....	112
第一节 点线啮合软齿面齿轮减速器的试验 .....	112
一、性能试验 .....	112
二、承载能力试验 .....	116
三、试验结论 .....	123
第二节 点线啮合中硬齿面齿轮减速器的试验 .....	125
一、DZLZ——单点线啮合齿轮对比试验 .....	125
二、DZLZ——双点线啮合齿轮对比试验 .....	127
三、DZLZ——单点线啮合齿轮耐久试验 .....	128
四、DNS440 型单点线啮合齿轮减速器耐久试验 .....	131

五、中硬齿面点线啮合齿轮减速器试验结论 .....	133
第三节 点线啮合硬齿面齿轮减速器的试验 .....	133
一、单点线啮合硬齿面齿轮的试验 .....	133
二、某 4110 柴油机正时齿轮噪声测定 .....	136
三、硬齿面点线啮合齿轮减速器试验结论 .....	137
<b>第八章 点线啮合齿轮的强度计算 .....</b>	<b>138</b>
第一节 点线啮合齿轮传动的损伤形式 .....	138
一、轮齿折断 .....	138
二、齿面点蚀 .....	140
三、齿面胶合 .....	140
四、塑性变形 .....	143
五、齿面磨损 .....	143
第二节 齿轮材料 .....	144
一、齿轮用钢 .....	144
二、常用材料的力学性能 .....	144
第三节 点线啮合齿轮的受力分析和设计准则 .....	147
一、点线啮合齿轮的受力分析 .....	147
二、点线啮合齿轮的设计准则 .....	148
第四节 点线啮合齿轮的接触疲劳强度计算 .....	148
一、圆柱齿轮齿面接触应力 .....	148
二、点线啮合齿轮接触应力的计算 .....	149
三、载荷综合系数 $K$ .....	152
四、许用接触疲劳应力 .....	155
第五节 点线啮合齿轮的弯曲疲劳强度计算 .....	160
一、齿根弯曲应力计算 .....	160
二、许用弯曲疲劳应力 .....	163
第六节 点线啮合齿轮短期过载的强度计算 .....	165
一、塑性变形计算 .....	165
二、脆性折断计算 .....	166
第七节 点线啮合齿轮的胶合计算 .....	167
一、胶合计算方法概述 .....	167
二、积分温度法 .....	168
三、油膜厚度法 .....	176
第八节 点线啮合齿轮强度计算举例 .....	188
一、齿轮减速器计算实例 .....	188
二、点线啮合齿轮减速器与渐开线齿轮减速器情况的比较 .....	194
三、点线啮合齿轮强度计算框图 .....	195
第九节 点线啮合齿轮抗弯强度有限元计算 .....	195
一、渐开线与点线啮合齿轮有限元计算 .....	195

二、渐开线与点线啮合齿轮抗弯强度分析 .....	197
<b>第九章 点线啮合齿轮减速箱的噪声</b> .....	199
<b>第一节 齿轮噪声的产生</b> .....	199
一、啮合噪声 .....	199
二、冲击噪声 .....	201
<b>第二节 影响噪声的其他因素及其措施</b> .....	202
一、齿轮参数的选择 .....	202
二、加工制造 .....	203
三、安装 .....	203
四、材料、润滑油、结构等 .....	204
五、箱体 .....	205
<b>第十章 点线啮合齿轮精度及公差</b> .....	206
<b>第一节 概述</b> .....	206
一、点线啮合齿轮传动的使用要求 .....	206
二、点线啮合齿轮加工误差产生的原因 .....	207
<b>第二节 齿轮及齿轮副的误差及侧隙定义、代号与公差</b> .....	208
一、齿轮及齿轮副的误差及侧隙定义、代号 .....	208
二、不同精度下的公差值 .....	208
<b>第三节 点线啮合齿轮精度等级及其选择</b> .....	212
一、精度等级的选择 .....	213
二、推荐的齿轮和齿轮副检验项目 .....	213
三、齿轮精度等级的图样标注 .....	214
四、齿轮坯的精度和轮齿表面粗糙度 .....	219
五、零件工作图 .....	222
<b>第十一章 点线啮合齿轮减速器的润滑</b> .....	225
<b>第一节 齿轮润滑原理</b> .....	225
一、边界润滑 .....	225
二、流体动压润滑 .....	226
三、混合润滑 .....	227
<b>第二节 润滑油及添加剂</b> .....	227
一、润滑油的主要性能指标 .....	227
二、润滑油的类型 .....	230
三、润滑油的添加剂 .....	232
<b>第三节 润滑油的选择</b> .....	238
一、润滑油类型的选择 .....	238
二、润滑油粘度的选择 .....	239
三、润滑方式的选择 .....	239
四、润滑油的换油 .....	239
五、国内外部分齿轮油的对照 .....	240

<b>第十二章 点线啮合齿轮减速器系列产品的研制</b> .....	241
<b>第一节 DJZQ 系列点线啮合软齿面齿轮减速器</b> .....	241
一、一些参数 .....	241
二、型号表示方法 .....	241
三、公称传动比与实际传动比 .....	241
四、齿轮减速器的承载能力 .....	241
五、齿轮减速器输出轴端允许的最大径向载荷 .....	245
六、齿轮减速器的润滑油 .....	245
<b>第二节 DZQ 系列中硬齿面点线啮合齿轮减速器</b> .....	245
一、一些参数 .....	245
二、型号表示方法 .....	245
三、公称传动比与实际传动比 .....	245
四、齿轮减速器的承载能力 .....	245
五、齿轮减速器输出轴端允许的最大径向载荷 .....	248
六、齿轮减速器的润滑油 .....	248
<b>第三节 QDX 系列中硬齿面点线啮合齿轮减速器</b> .....	250
一、一些参数 .....	250
二、型号表示方法 .....	250
三、公称传动比与实际传动比 .....	250
四、齿轮减速器的承载能力 .....	250
五、齿轮减速器输出轴允许的最大径向载荷 .....	257
六、齿轮减速器的润滑油 .....	257
<b>第四节 齿轮减速器的选用</b> .....	262
一、连续工作时齿轮减速器的选用 .....	262
二、间断工作时齿轮减速器的选用 .....	266
<b>第五节 DZY 系列硬齿面点线啮合齿轮减速器</b> .....	271
<b>附录</b> .....	272
一、齿数和 $z_c = 100, 101$ 封闭图 .....	272
二、齿数和 $z_c = 81$ 封闭图 .....	289
三、齿数和 $z_c = 67$ 封闭图 .....	297
<b>参考文献</b> .....	304



# 第一章 总 论

## 第一节 齿轮的发展史

齿轮是应用最广泛的传动构件之一，几乎所有的近代机械中都或多或少地采用了齿轮传动，从计时的钟表到大型的起重机、火车、汽车、飞机、轮船、拖拉机、工厂中的机床等，到处都有齿轮在发挥作用，齿轮的发展大致经历了五个主要阶段。

### 一、拔挂齿轮<sup>⊙</sup>阶段

人类使用齿轮的年代可以追溯到公元前四百年。我国汉朝已有金属铸造的齿轮，如西汉初年的齿轮和东汉初年的人字齿轮。三国时，魏人马钧创造出“指南车”，其中采用了比较复杂的齿轮系统，大小齿轮有9个之多。所谓“指南车”，车上立一木人，始终手指南方，不管车身如何改变方向，车上的木人始终手指南方，这样“指南车”就能起到指示方向的作用。

到晋朝，我国又发明了“记里鼓车”，车上有两个木人，车每行一里，其中一个木人击鼓一次，车每行十里，另一木人击钶一次，因其击鼓，击钶报告车行的里数，故而得名“记里鼓车”。其中大小齿轮8个，正是巧妙地应用了齿轮系统，记里鼓车才具有自动击鼓报告行程的功能。

在国外，古希腊哲学家亚里士多德在其著作中曾提到用青铜或铸铁造的齿轮，古希腊著名学者阿基米德还专门记载了蜗杆传动的卷扬机，古代埃及曾制作了打水的齿轮装置。

不论是中国的“指南车”、“记里鼓车”，还是其他国家早期应用的齿轮装置，从齿轮的齿形来看，它们都是十分原始的，这些齿形没有什么科学上的讲究，甚至齿与齿之间的间隔都不一样，这是齿轮发展的第一阶段，即拔挂齿轮阶段。

### 二、等齿距齿轮阶段

这一阶段的齿轮已经考虑齿距问题，齿与齿之间的距离，凭经验可以做得彼此相等，这样就避免了第一阶段齿轮由于齿距不等而引起的空转，它可以正确地传递旋转运动，但仍不是等速回转。这种齿形，如月桂树叶式近似圆弧齿形等，仍然没有任何理论上的指导，而是凭经验制作的。

### 三、摆线齿轮阶段

摆线齿轮的齿形是由摆线组成，所谓摆线即一个滚圆在母圆上沿着母圆外侧进行滚动，其滚圆上的一点K的运动轨迹就叫外摆线，而滚圆沿母圆内侧进行滚动，其上K点

<sup>⊙</sup> 原始的齿轮没有考虑齿形和齿距，甚至齿与齿之间的间隔都不一样，这种齿轮称之为“拔挂齿轮”。