

精密齿轮
传动装置
——理论与实践

国防工业出版社



精密齿轮传动装置 —理论与实践

楠波、成电 合译

成电校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分八章。分别介绍了齿轮的术语、代号；美国的齿轮标准制度；齿轮尺寸、公差和设计准则；齿轮的固有误差；齿轮传动链的性能和误差分析；回差和传动误差的控制；齿轮传动链的设计和综合；齿轮的强度、耐久性与可靠性等。

本书可供从事伺服机构、解算装置、精密机械与仪表等小模数齿轮和齿轮传动装置的研究、设计及生产工人、技术人员参考。

Precision Gearing: Theory and Practice

George W. Michalec

1966

*

精 密 齿 轮 传 动 装 置

——理论与实践

楠波、成电 合译

成 电 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $12\frac{1}{2}$ 315千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷 印数：00,001—27,000册

统一书号：15034·1602 定价：1.20元

目 录

第一章 引言、术语和符号	9
1-1 齿轮技术	9
1-2 精密齿轮传动	10
1-3 技术现状	10
1-4 齿轮传动的划分	11
1-5 齿轮的基本几何尺寸	16
1-6 名词术语和符号	17
第二章 齿轮标准	20
2-1 标准化的目的	20
2-2 美国的基本标准制度	20
2-3 标准径节	25
2-4 AGMA 设计标准	26
第三章 齿轮尺寸、公差和设计准则	37
3-1 齿轮尺寸及控制准则	37
3-2 公差的定义和说明	39
3-3 容差及其与公差的关系	40
3-4 公差与误差的关系	40
3-5 公差与加工费用	41
3-6 影响选择公差的因素	42
3-7 精度等级和公差	43
3-8 齿轮尺寸	44
3-9 尺寸容差	49
3-10 齿廓控制	49
3-11 跳动量	52
3-12 总综合误差 (TCE)	53
3-13 位置误差及其控制	54
3-14 尺寸和总综合误差规范的独立性	56

3-15	关键基面	57
3-16	齿轮毛坯的设计	59
3-17	表面光洁度的标准与公差	61
3-18	图样格式与技术要求	63
第四章 齿轮的固有误差		66
4-1	引言	66
4-2	侧隙的定义	66
4-3	侧隙的计算	67
4-4	固有侧隙	70
4-5	固有的位置误差	72
4-6	位置误差的总综合误差部分	74
4-7	位置误差中的轮齿误差部分	75
4-8	位置误差中的偏心跳动部分	75
4-9	总综合误差和位置误差的等效值	79
4-10	总综合误差对位置误差的控制的局限性	82
4-11	附加的位置误差	88
4-12	高精密齿轮的位置误差规范	89
4-13	位置误差的来源和原因	91
第五章 齿轮传动链的性能和误差分析		92
5-1	总的目的	92
5-2	术语、符号和定义	93
5-3	回差的定义	93
5-4	回差的来源	94
5-5	对回差来源的评定	116
5-6	齿轮传动链的回差综合	117
5-7	回差计算实例	119
5-8	传动误差的定义	125
5-9	传动误差的来源	126
5-10	对传动误差来源的评定	129
5-11	传动误差的综合	130
5-12	传动误差计算实例	135
5-13	回差和传动误差的独立性	137
5-14	齿轮传动链的综合位置误差 (IPE)	139

5-15	回差和传动误差的相互关系	140
5-16	齿轮传动链综合位置误差 (IPE) 的具体情况	147
5-17	多级齿轮传动链的综合位置误差	150
5-18	统计分析引言	152
5-19	频率分布的图形表示	154
5-20	正态分布的特征	160
5-21	其它分布类型	164
5-22	独立变量的平均值和标准偏差的组合	165
5-23	相位独立的变量的组合	169
5-24	中心极限定理	176
5-25	概率与置信度	177
5-26	齿轮传动链参数的典型分布	178
5-27	齿轮直方图数据的分析	191
5-28	中心极限定理的应用	195
5-29	传动误差的统计综合	198
5-30	回差的统计综合	214
5-31	齿轮传动链综合位置误差 (IPE) 的统计	220
5-32	各种误差来源的 μ 和 σ 的典型数值	221
5-33	统计概率计算的示例	232
5-34	其他评注	256
第六章	回差和传动误差的控制	260
6-1	控制和消除回差的方法	260
6-2	回差的控制方法的评价	287
6-3	回差控制的概括说明	287
6-4	传动误差的控制方法	288
6-5	对传动误差控制的评价	291
6-6	误差的控制和统计预测	291
第七章	齿轮传动链的设计与综合	292
7-1	齿轮类型	292
7-2	齿轮类型的最佳安排	297
7-3	压力角	298
7-4	径节	300
7-5	节径	302

7-6	最少齿数	303
7-7	小齿轮的加大	307
7-8	接触比及影响因素	314
7-9	齿轮传动链的惯量	318
7-10	齿轮体的危险形状	320
7-11	齿轮的安装和固定	323
7-12	轴的设计	337
7-13	轴承的排列	338
7-14	轴承	342
7-15	箱体的设计	349
7-16	啮合的对准	354
7-17	清洁、维护及可靠性	357
7-18	设计的微妙问题	357
第八章 齿轮的强度、耐久性与可靠性		361
8-1	引言	361
8-2	强度与耐久性	362
8-3	强度和耐久性的统计计算	363
8-4	工作应力与强度的统计比值	366
8-5	安全系数	368
8-6	材料性能	369
8-7	齿轮的试验	370
8-8	精密齿轮的强度、持久性与可靠性	372
8-9	可靠性的提出及定义	374
8-10	失效的性质	375
8-11	可靠性的推导	376
8-12	失效率曲线的特征	378
8-13	可靠性的量度	380
8-14	其它类型的可靠性函数	383
8-15	可靠性方法在齿轮传动装置中的应用	386
8-16	齿轮装置的可靠性	388
8-17	齿轮传动装置可靠性预测的实例	390
8-18	可靠性的总结与前景	392

精密齿轮传动装置

—理论与实践

楠波、成电 合译

成电校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分八章。分别介绍了齿轮的术语、代号；美国的齿轮标准制度；齿轮尺寸、公差和设计准则；齿轮的固有误差；齿轮传动链的性能和误差分析；回差和传动误差的控制；齿轮传动链的设计和综合；齿轮的强度、耐久性与可靠性等。

本书可供从事伺服机构、解算装置、精密机械与仪表等小模数齿轮和齿轮传动装置的研究、设计及生产工人、技术人员参考。

Precision Gearing: Theory and Practice

George W. Michalec

1966

*

精 密 齿 轮 传 动 装 置

——理论与实践

楠波、成电 合译

成 电 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850 × 1168 $1/32$ 印张 $12\frac{1}{2}$ 315千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷 印数：00,001—27,000册

统一书号：15034·1602 定价：1.20元

出版说明

根据从事精密齿轮传动装置研究、生产人员的推荐，我们组织翻译出版了《精密齿轮传动装置——理论与实践》这本书。

以往在精密齿轮传动方面的文献与资料比较分散和缺乏系统性，而本书较系统地介绍了精密齿轮传动装置（主要是小模数齿轮装置）的分析、设计以及传动误差的控制等方面的问题。书中以很大篇幅着重论述了齿轮传动链的误差分析与综合问题。作者用比较严格的方法分析了齿轮传动链的齿隙和传动误差的来源，讨论了齿隙和传动误差的综合方法，并提出了把齿隙和传动误差合成为传动链总的位置误差的概念。在误差的综合方面作者采用了数理统计的处理方法，这就使误差的计算结果比较适合生产中的实际情况。而且在误差的综合中采用了齿轮传动链误差因素的综合指标，从而简化了误差的计算程序，并与生产实践中误差的综合测量相适应。由于采用的是误差因素的综合指标，因而对误差的描述就是动态的。我们认为在误差的综合方面采用数理统计的处理方法以及对误差因素采用动态的综合指标的处理方法是本书的特点。

应当指出的是在使用数理统计方法来进行齿轮传动装置的误差分析与综合时，需要有大量的统计数据，书中所引用的数据与资料是原作者在实践中积累的结果，我们在应用这一方法时，需根据我国的具体情况总结出我们自己积累的各误差因素的统计数据，而不能盲目地袭用书中的统计数据与曲线。

此外，本书还介绍了小模数精密齿轮传动装置的齿隙（回差）的控制措施，齿轮传动链的设计，齿轮的强度、寿命与可靠性等方面的内容，而且试图以数理统计的方法来预测齿轮的强度、

寿命及可靠性。

遵照毛主席“洋为中用”和“排泄其糟粕，吸收其精华”的教导，我们删去了原文中的第九章——齿轮材料、光饰镀涂和润滑；第十章——齿轮制造；第十一章——齿轮测量与检验等三章，并对原文中的一些其它问题也作了适当的处理。

有关小模数齿轮的加工与测量方面可参考我社出版的《小模数齿轮加工》、《小模数齿轮测量手册》等书。

由于我们的政治思想水平和业务水平所限，译文中错误与欠妥之处在所难免，恳切希望广大读者在阅读中提出宝贵的意见。

目 录

第一章 引言、术语和符号	9
1-1 齿轮技术	9
1-2 精密齿轮传动	10
1-3 技术现状	10
1-4 齿轮传动的划分	11
1-5 齿轮的基本几何尺寸	16
1-6 名词术语和符号	17
第二章 齿轮标准	20
2-1 标准化的目的	20
2-2 美国的基本标准制度	20
2-3 标准径节	25
2-4 AGMA 设计标准	26
第三章 齿轮尺寸、公差和设计准则	37
3-1 齿轮尺寸及控制准则	37
3-2 公差的定义和说明	39
3-3 容差及其与公差的关系	40
3-4 公差与误差的关系	40
3-5 公差与加工费用	41
3-6 影响选择公差的因素	42
3-7 精度等级和公差	43
3-8 齿轮尺寸	44
3-9 尺寸容差	49
3-10 齿廓控制	49
3-11 跳动量	52
3-12 总综合误差 (TCE)	53
3-13 位置误差及其控制	54
3-14 尺寸和总综合误差规范的独立性	56

3-15	关键基面	57
3-16	齿轮毛坯的设计	59
3-17	表面光洁度的标准与公差	61
3-18	图样格式与技术要求	63
第四章 齿轮的固有误差		66
4-1	引言	66
4-2	侧隙的定义	66
4-3	侧隙的计算	67
4-4	固有侧隙	70
4-5	固有的位置误差	72
4-6	位置误差的总综合误差部分	74
4-7	位置误差中的轮齿误差部分	75
4-8	位置误差中的偏心跳动部分	75
4-9	总综合误差和位置误差的等效值	79
4-10	总综合误差对位置误差的控制的局限性	82
4-11	附加的位置误差	88
4-12	高精密齿轮的位置误差规范	89
4-13	位置误差的来源和原因	91
第五章 齿轮传动链的性能和误差分析		92
5-1	总的目的	92
5-2	术语、符号和定义	93
5-3	回差的定义	93
5-4	回差的来源	94
5-5	对回差来源的评定	116
5-6	齿轮传动链的回差综合	117
5-7	回差计算实例	119
5-8	传动误差的定义	125
5-9	传动误差的来源	126
5-10	对传动误差来源的评定	129
5-11	传动误差的综合	130
5-12	传动误差计算实例	135
5-13	回差和传动误差的独立性	137
5-14	齿轮传动链的综合位置误差 (IPE)	139

5-15	回差和传动误差的相互关系	140
5-16	齿轮传动链综合位置误差 (IPE) 的具体情况	147
5-17	多级齿轮传动链的综合位置误差	150
5-18	统计分析引言	152
5-19	频率分布的图形表示	154
5-20	正态分布的特征	160
5-21	其它分布类型	164
5-22	独立变量的平均值和标准偏差的组合	165
5-23	相位独立的变量的组合	169
5-24	中心极限定理	176
5-25	概率与置信度	177
5-26	齿轮传动链参数的典型分布	178
5-27	齿轮直方图数据的分析	191
5-28	中心极限定理的应用	195
5-29	传动误差的统计综合	198
5-30	回差的统计综合	214
5-31	齿轮传动链综合位置误差 (IPE) 的统计	220
5-32	各种误差来源的 μ 和 σ 的典型数值	221
5-33	统计概率计算的示例	232
5-34	其他评注	256
第六章	回差和传动误差的控制	260
6-1	控制和消除回差的方法	260
6-2	回差的控制方法的评价	287
6-3	回差控制的概括说明	287
6-4	传动误差的控制方法	288
6-5	对传动误差控制的评价	291
6-6	误差的控制和统计预测	291
第七章	齿轮传动链的设计与综合	292
7-1	齿轮类型	292
7-2	齿轮类型的最佳安排	297
7-3	压力角	298
7-4	径节	300
7-5	节径	302

7-6	最少齿数	303
7-7	小齿轮的加大	307
7-8	接触比及影响因素	314
7-9	齿轮传动链的惯量	318
7-10	齿轮体的危险形状	320
7-11	齿轮的安装和固定	323
7-12	轴的设计	337
7-13	轴承的排列	338
7-14	轴承	342
7-15	箱体的设计	349
7-16	啮合的对准	354
7-17	清洁、维护及可靠性	357
7-18	设计的微妙问题	357
第八章 齿轮的强度、耐久性与可靠性		361
8-1	引言	361
8-2	强度与耐久性	362
8-3	强度和耐久性的统计计算	363
8-4	工作应力与强度的统计比值	366
8-5	安全系数	368
8-6	材料性能	369
8-7	齿轮的试验	370
8-8	精密齿轮的强度、持久性与可靠性	372
8-9	可靠性的提出及定义	374
8-10	失效的性质	375
8-11	可靠性的推导	376
8-12	失效率曲线的特征	378
8-13	可靠性的量度	380
8-14	其它类型的可靠性函数	383
8-15	可靠性方法在齿轮传动装置中的应用	386
8-16	齿轮装置的可靠性	388
8-17	齿轮传动装置可靠性预测的实例	390
8-18	可靠性的总结与前景	392

第一章 引言、术语和符号

1-1 齿 轮 技 术

齿轮传动是机械工程的一个特殊分支，它研究旋转轴之间的动力和运动的传递。绝大多数的机械装置都需作这种传递，而齿轮传动通常则是完成这种传递的最好和最经济的方法。因为它不仅能满意地传递运动和巨大的动力，而且能够以很均匀地运动进行传递，这在许多应用中是一个重要的考虑因素。由于要求是多方面的且又具有不同的困难之点，所以齿轮传动是一个复杂的，变化多端的机械工程领域。它包括与齿轮有关的数学、几何外形设计、强度和磨损、材料和冶金学、制造工艺和检验等内容。

齿轮作为必需的和理想的机械零件，终于导致建立了庞大的齿轮制造业，这一行业不同程度地为其它工业服务。齿轮是充满我们周围大量工业产品的不可缺少的组成部分。它有着悠久的历史，是我们今天不可缺少的一种工业品，并将继续保持它的重要地位。不能想像齿轮装置会成为无用之物，只要还存在力和质量运动的物质世界，就需要齿轮来完成任务。新的技术发展，例如，电子设备偶尔可以代替某些特殊的齿轮应用；但正如产品制造统计学所表明的那样，归根到底，齿轮的应用将继续增加。

因为齿轮传动的重要性，多年来已经出版了许多有关的技术文献。然而，由于这门科学涉及面很广以及应用范围的多样性，还出版了涉及设计和制造问题的一些专门的著作。精密齿轮传动在现代的应用中就更为重要，而且包括了所有齿轮部门的特别处理方法。

1-2[●] 精密齿轮传动

齿轮应用上的变化是如此之大，以致其设计要求的指标是从几乎不加控制和最不严的公差起，一直到要加以完全的控制和万分之一(0.0001)英寸的最小公差。高质量的齿轮，具有0.001英寸到0.0001英寸的公差，这种齿轮被定名为“精密齿轮”。它们以所有类型、径节、尺寸和材料出现。精密齿轮传动在分析、设计和制造准则方面都有足够的专门性，以致有理由用一个专题来阐明其特性。本书的目的就是讨论各有关方面的问题，包括精密度的许多细微区别的问题，这些细微的问题只有另外通过艰辛的体验才能获得理解。

精密齿轮传动在应用中大多局限在仪器、自动控制装置（包括伺服机构）、计算机、机床等以及高速与高能装置或高能装置。大部分精密齿轮是属于比较精的径节和较小的尺寸。大型的和粗径节的齿轮品种则用得较少，因为它们只能用在少量建造的大型装置中。电子工业是精密齿轮的主要“用户”，因为在电子仪器、控制机构和计算机中，都需要与电子操作相联系的许多机械操作。

1-3 技术现状

虽然齿轮制造的基本原理并没有改变，但近年来，设计、材料、制造工艺与检验技术却经历了巨大的变化与改进。今天，较精的、径节为64~120的齿轮已经作为普通规格的产品来生产。甚至更精的、径节达200的齿轮也列入了工厂的生产项目。具有特殊意义的是齿轮精度获得了巨大的提高。节线跳动量、齿廓精度、表面光洁度的等级已达到了新的极限。大量生产的齿轮，其尺寸大小能保持在0.0001英寸的精确度。

此外，在齿轮材料方面也有了革新。精密的仪表齿轮制造采

● 原书1-2节齿轮传动发展史一节未译。——译校注