

# 齿轮制造手册

《齿轮制造手册》编辑委员会

机械工业出版社

# 齿轮制造手册

《齿轮制造手册》编辑委员会



机械工业出版社

本手册是在总结国内外齿轮制造技术、实践经验和先进工艺的基础上编写的,吸收了大量引进技术的内容,涉及到齿轮行业的各个方面,具有很高的实用价值,对齿轮制造具有指导作用。

本手册分为5篇:第1篇总论,介绍了齿轮制造发展趋势、齿坯的铸锻焊工艺、齿轮制造用的设备和工刀量仪、齿轮材料与热处理、齿轮检测和制造误差分析,第2、3、4篇介绍了各种圆柱齿轮、锥齿轮和蜗杆副的制造工艺,第5篇介绍了其他各种齿轮(小模数齿轮、谐波齿轮、非圆齿轮和摆线针轮)的制造工艺。

本手册可供从事齿轮设计、制造、检验的工程技术人员及工科院校师生参考、使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

齿轮制造手册/《齿轮制造手册》编辑委员会. —北京:机械工业出版社, 1997.12

ISBN 7-111-05919-0

I. 齿… II. 齿… III. 齿轮-生产工艺-技术手册 N. TH132.41-62

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第17494号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:范兴国 王琳 冯宗青 周媚 版式设计:王颖

责任校对:肖新民 封面设计:郭景云 责任印制:路琳

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年3月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·66.25印张·2插页·2246千字

0 001—2500册

定价:115.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

## 《齿轮制造手册》编辑委员会

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 主 任 | 郁明山 | 卢贤缙 |     |     |     |
| 副主任 | 雷 光 | 吴关昌 | 韩翠蝉 | 何章银 | 梁文湧 |
|     | 王国光 | 欧阳葆 | 梅以道 | 刘筱安 | 黄致保 |
|     | 洪生业 | 刘应驹 | 杨仰震 | 周德才 | 赵贤哲 |
|     | 郑 立 | 姜凤鹤 | 刘冀虎 | 姚伟玉 | 譙俊华 |
|     | 方道曾 | 黄明瑞 | 周光裕 | 张亚雄 | 张元国 |
|     | 殷鑫芳 | 张伟光 | 魏志超 |     |     |
| 成 员 | 李 奇 | 范兴国 | 王 琳 | 冯宗青 | 韩天虹 |
|     | 阎德波 | 梁东泽 | 鲁宗余 | 林知华 | 孙和庆 |
|     | 张 尧 | 邵家辉 | 张人俊 | 韩克章 | 经挺度 |
|     | 王贵海 | 吕亚臣 | 孟宪诚 | 张德华 | 张国栋 |
|     | 朱启庄 | 李道同 | 贾德民 | 张邦栋 | 刘宗辅 |
|     | 董英武 | 于继龙 | 刘 涛 | 高炳章 | 党庆维 |
|     | 邢均田 | 唐时忠 | 尹志轩 | 姚永璞 | 江锡堂 |
|     | 朱梓斌 | 黄铁锋 | 厉始忠 | 李钊刚 | 张 平 |
|     | 张 展 | 彭教勇 | 齐 麟 | 王 刚 | 孔 益 |
|     | 王伟志 | 王宏建 | 邹 曦 | 何淑春 | 孙长法 |
|     | 曹云龙 | 陈顺爱 | 郭予康 | 巨宏正 | 张宁甲 |
|     | 柏永新 | 张希康 | 许锦茂 |     |     |
| 主 编 | 雷 光 | 许洪基 | 褚启权 | 林汉元 |     |
| 副主编 | 许元礼 | 刘允新 | 刘恩惠 | 董学朱 | 佟士懋 |
|     | 刘镇湖 |     |     |     |     |
| 主 审 | 陶燕光 | 张光辉 | 丁 淳 | 谢时骅 | 曾 韜 |
|     | 李华敏 | 丁敬华 | 李力行 | 吴序堂 | 谢佩娟 |
|     | 李钊刚 |     |     |     |     |

## 编审人员名单

### 第1篇

主 编 许元礼 北京谐波传动技术研究所  
主 审 雷 光 北京联合大学纺织工程学  
院  
何章银 太原重型机械集团公司  
林汉元 天津第一机床厂

### 第1章

编写人 邵家辉 太原理工大学  
阎德波 太原重型机械集团公司  
温淑花 太原重型机械集团公司  
张学良 太原重型机械学院  
审稿人 丁 淳 机械部机械科学研究院  
雷 光

### 第2章

编写人 文志齐 太原重型机械集团公司  
袁海伦 中信重型机械公司  
张学良  
许树森 中信重型机械公司  
宋 涛 中信重型机械公司  
高慧玲 太原重型机械集团公司  
王治庭 中信重型机械公司  
审稿人 雷 光  
韩翠蝉 中信重型机械公司  
高炳章 太原重型机械集团公司

### 第3章

编写人 韩克章 重庆机床厂  
张国栋 天津第一机床厂  
李海洲 天津第一机床厂  
张人俊 秦川机床厂  
王保强 天津第一机床厂  
张宁甲 宁江机床厂  
董英武 哈尔滨第一工具厂  
张邦栋 中信重型机械公司  
于继龙 哈尔滨第一工具厂  
张凤义 中信重型机械公司  
唐时忠 太原工具厂

邢岩峰 太原工具厂  
陈国存 中信重型机械公司  
张 展 上海水工机械厂  
许唯冲 中信重型机械公司  
经挺度 哈尔滨量具刃具量仪厂  
陈洪安 哈尔滨量具刃具量仪厂  
周广才 哈尔滨量具刃具量仪厂

审稿人 雷 光  
林汉元  
梅以道 重庆机床厂  
刘宗辅 重庆双碑齿轮厂  
丁 淳  
邵家辉

### 第4章

编写人 江锡堂 中信重型机械公司  
闫建安 太原重型机械集团公司  
顾 敏 机械工业部郑州机械研究  
所  
华之恺 中国第一拖拉机工程机械  
集团公司齿轮厂  
张 幸 中信重型机械公司  
岳海玲 中国第一拖拉机工程机械  
集团公司

审稿人 雷 光  
高炳章  
孙和庆 中信重型机械公司

### 第5章

编写人 厉始忠 机械部机械科学研究院  
贾德民 中信重型机械公司  
陈伏生 上海市机电产品质量监督  
总站齿轮站  
张 农 中信重型机械公司  
柏永新 西安理工大学  
柏又青 西安空军电讯工程学院  
审稿人 经挺度  
谢时骅 北京齿轮总厂

许洪基 机械工业部郑州机械研究所

雷 光

## 第2篇

主 编 刘允新 北京联合大学纺织工程学院

主 审 褚启权 中信重型机械公司

韩翠蝉

欧阳葆 南京高速齿轮箱厂

## 第6章

编写人 刘丽英 天津第一机床厂

朱凤仙 天津第一机床厂

尹志轩 重庆机床厂

张 展

张人俊

审稿人 刘宗辅

林汉元

赵贤哲 秦川机床厂

殷鑫芳 上海机床齿轮厂

雷 光

## 第7章

编写人 郭予康 中信重型机械公司

郭千世 中信重型机械公司

张赛珍 中信重型机械公司

张凤义

孟宪诚 第一重型机械集团公司

余秀兰 中信重型机械公司

审稿人 褚启权

吕亚臣 第一重型机械集团公司

雷 光

## 第8章

编写人 张 平 南京高速齿轮箱厂

审稿人 陶燕光 机械工业部郑州机械研究所

雷 光

欧阳葆

## 第9章

编写人 王宏建 北京齿轮总厂

郭霓红 北京齿轮总厂

审稿人 雷 光

张德仁 北京齿轮总厂

## 第10章

编写人 闫德波

温淑花

审稿人 邵家辉

丁 淳

雷 光

## 第3篇

主 编 董学朱 中国农业大学机械工程学院

主 审 刘恩惠 北京齿轮总厂

曾 韬 长沙铁道学院

石凤山 北京齿轮总厂

## 第11章

编写人 张国栋

张永庆 天津第一机床厂

张 强 天津第一机床厂

蔡小惠 天津第一机床厂

彭敖勇 北京齿轮总厂

孟翀宇 北京齿轮总厂

李兴田 北京齿轮总厂精锻齿轮厂

闫德波

温淑花

审稿人 林汉元

雷 光

## 第12章

编写人 彭敖勇

孟翀宇

李兴田

张国栋

张永庆

张 强

审稿人 刘恩惠

雷 光

## 第13章

编写人 董学朱

韩天虹 上海汽车齿轮总厂

孔 益 沈阳矿山机器厂

王 刚 沈阳矿山机器厂

审稿人 梁文湧 上海汽车齿轮总厂

雷 光

## 第14章

编写人 董学朱

审稿人 雷 光

## 第 4 篇

主 编 佟士懋 北京联合大学机械工程学院

主 审 雷 光

张光辉 重庆大学

谢佩娟 太原工业大学

张亚雄 天津华盛昌齿轮有限公司

## 第 15 章

编写人 邹 曦 重庆机床厂

审稿人 谢佩娟

张希康 江苏南通机械研究所

## 第 16 章

编写人 何淑春 天津万新减速机厂

孙长法 江苏省减速机厂

审稿人 谢佩娟

## 第 17 章

编写人 孟宪诚

韩 柳 第一重型机械集团公司

王 萍 第一重型机械集团公司

审稿人 张光辉

雷 光

吕亚臣

黄致保 第一重型机械集团公司

## 第 18 章

编写人 朱启庄 北京首都钢铁公司机械厂

张建刚 北京首都钢铁公司机械厂

审稿人 张光辉

张亚雄

张德华 北京首都钢铁公司机械厂

## 第 5 篇

主 编 刘镇湖 北京手表厂

主 审 雷 光

## 第 19 章

编写人 刘镇湖

郝景源 天津银箭电子手表公司

魏志超 北京达松精密机械制配中心

审稿人 雷 光

王伟志 宁江机床厂

## 第 20 章

编写人 许元礼

审稿人 雷 光

## 第 21 章

编写人 尹种芳 天津第一机床厂

审稿人 吴序堂 西安交通大学

雷 光

## 第 22 章

编写人 曹云龙 扬州琼花传动机械总厂

何卫东 大连铁道学院

巨宏正 秦川机床厂

徐厚明 扬州琼花传动机械总厂

审稿人 李力行 大连铁道学院

雷 光

## 前 言

为适应齿轮制造技术发展的需要,提高我国齿轮加工、制造水平,促进齿轮质量的提高,以加强我国齿轮在国际市场上的竞争能力,我们在中国机械工程学会机械传动分会的组织领导下,组织了国内著名齿轮专家、教授和长期在生产第一线从事齿轮制造工艺和检验的工程技术人员100余人参与了本手册的编审。

本手册共分5篇:第1篇总论,介绍了国内外齿轮制造的发展趋势和水平,给出了编制齿轮工艺的综合信息资料;第2、3、4篇介绍了各种圆柱齿轮、锥齿轮和蜗杆副的制造工艺技术;第5篇介绍了其他齿轮的制造技术。内容广泛而丰富,涉及齿轮制造的各个方面和领域。

本手册的主要特点是先进和实用。所谓先进,主要是在本手册中大量编入了近10年来的引进技术和我国二次开发的成果,编写工艺的起点比较高,工艺水平与国际上较先进的生产厂家相接近。所谓实用,主要是由机械工业部各齿轮生产厂家的工艺人员参与编审,材料来自生产实践第一线。参与本手册编审的单位有:中信重型机械公司、太原重型机械集团公司、中国第一重型机械集团公司、北京齿轮总厂、南京高速齿轮箱厂、天津第一机床厂、重庆机床厂、秦川机床厂、宁江机床厂、上海机床齿轮厂、上海水工机械厂、上海汽车齿轮总厂、沈阳矿山机器厂、哈尔滨第一工具厂、哈尔滨量具刃具量仪厂、太原工具厂、桂林齿轮厂、重庆双碑齿轮厂、扬州琼花传动机械总厂、北京手表厂、天津华盛昌齿轮有限公司、天津万新减速机厂、北京首都钢铁公司机械厂、江苏省减速机厂、天津银箭电子表业公司、中国第一拖拉机工程机械集团公司等。为了保证本手册内容的科学性及先进性,我们组织了以下一些大专院校和科研单位的专家参与编审:机械工业部机械科学研究院、机械工业部郑州机械研究所、河南省轻工业设计研究院、西安重型机械研究所、西安交通大学、西安理工大学、西安二炮兵工程学院非圆齿轮研究所、中国农业大学机械工程学院、北京联合大学纺织工程学院、北京联合大学机械工程学院、北京谐波传动技术研究所、太原工业大学、重庆大学、哈尔滨工业大学、天津工程机械研究所、太原重型机械学院、上海市机电产品质量监督总站齿轮站、西安空军电讯工程学院、江苏南通机械研究所、大连铁道学院、长沙铁道学院等。

本手册采用了法定计量单位和1988年以后新制订的国家标准及专业标准,提供了较完整的数据、图、表,力求做到准确无误,便于查阅。

由于参与编写的单位、人员很多,难免有不妥之处,我们热忱地期望读者提出批评和建议。

在编写过程中,中信重型机械公司、太原重型机械集团公司、北京齿轮总厂、上海汽车齿轮总厂和南京高速齿轮箱厂给予了很大的支持和帮助,在此一并致谢。

《齿轮制造手册》编辑委员会

# 常用代号

## 一、齿轮几何计算常用代号

|           |                |    |                    |                    |       |
|-----------|----------------|----|--------------------|--------------------|-------|
| $a$       | 中心距, 标准中心距     | mm | $h_a^*$            | 齿顶高系数              |       |
| $a_0$     | 切齿中心距          | mm | $\bar{h}_a$        | 弦齿高                | mm    |
| $b$       | 齿宽             | mm | $h_{a0}$           | 刀具齿顶高              | mm    |
| $b_1$     | 小轮齿宽           | mm | $h_{a0}^*$         | 刀具齿顶高系数            |       |
| $b_2$     | 大轮齿宽           | mm | $\bar{h}_c$        | 固定弦齿高              | mm    |
| $c$       | 顶隙             | mm | $h_f$              | 齿根高                | mm    |
| $c^*$     | 顶隙系数           |    | $h_{f0}$           | 刀具齿根高              | mm    |
| $d$       | 直径, 分度圆直径      | mm | $i$                | 传动比                |       |
| $d_1$     | 小轮分度圆直径        | mm | $\text{inv}\alpha$ | $\alpha$ 角的渐开线函数   |       |
| $d_2$     | 大轮分度圆直径        | mm | $j$                | 侧隙                 | mm    |
| $d'$      | 节圆直径           | mm | $k$                | 跨越齿数, 跨越槽数 (用于内齿轮) |       |
| $d'_1$    | 小轮节圆直径         | mm | $m$                | 模数                 | mm    |
| $d'_2$    | 大轮节圆直径         | mm | $m_i$              | 锥齿轮的小端模数           | mm    |
| $d_a$     | 齿顶圆直径          | mm | $m_m$              | 锥齿轮的中点模数           | mm    |
| $d_{a1}$  | 小轮齿顶圆直径        | mm | $m_n$              | 法向模数               | mm    |
| $d_{a2}$  | 大轮齿顶圆直径        | mm | $m_t$              | 端面模数               | mm    |
| $d_b$     | 基圆直径           | mm | $m_x$              | 轴向模数               | mm    |
| $d_{b1}$  | 小轮基圆直径         | mm | $n$                | 转速                 | r/min |
| $d_{b2}$  | 大轮基圆直径         | mm | $p$                | 齿距, 分度圆齿距          | mm    |
| $d_f$     | 齿根圆直径          | mm | $p_b$              | 基圆齿距               | mm    |
| $d_{f1}$  | 小轮齿根圆直径        | mm | $p_{bn}$           | 法向基圆齿距 [法向基节]      | mm    |
| $d_{f2}$  | 大轮齿根圆直径        | mm | $p_{bt}$           | 端面基圆齿距 [端面基节, 基节]  | mm    |
| $e$       | 槽宽, 分度圆槽宽, 偏心距 | mm | $p_n$              | 法向齿距               | mm    |
| $e_n$     | 分度圆法向槽宽        | mm | $p_t$              | 端面齿距               | mm    |
| $e_t$     | 分度圆端面槽宽        | mm | $p_x$              | 轴向齿距               | mm    |
| $e_x$     | 分度圆轴向槽宽        | mm | $p_z$              | 导程                 | mm    |
| $g_a$     | 端面啮出线长度        | mm | $q$                | 蜗杆的直径系数            |       |
| $g_f$     | 端面啮入线长度        | mm | $r$                | 半径, 分度圆半径          | mm    |
| $g_a$     | 端面啮合线长度        | mm | $r_a$              | 齿顶圆半径              | mm    |
| $g_\beta$ | 纵向作用线长度        | mm | $r_b$              | 基圆半径               | mm    |
| $h$       | 齿高             | mm | $r_f$              | 齿根圆半径              | mm    |
| $h'$      | 工作齿高           | mm | $s$                | 齿厚, 分度圆齿厚          | mm    |
| $h_a$     | 齿顶高            | mm | $\bar{s}$          | 弦齿厚, 分度圆弦齿厚        | mm    |
|           |                |    | $s_a$              | 齿顶厚                | mm    |

|             |                       |                   |                   |
|-------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| $s_b$       | 基圆齿厚 mm               | $\alpha_0$        | 刀具齿形角 (°)         |
| $\bar{s}_c$ | 固定弦齿厚 mm              | $\alpha''$        | 和基准齿轮双面啮合的压力角 (°) |
| $s_n$       | 法向齿厚, 蜗杆分度圆柱的法向齿厚 mm  | $\beta$           | 螺旋角, 分度圆螺旋角 (°)   |
| $s_{ni1}$   | 曲线锥齿轮的小轮小端法向齿厚 mm     | $\beta'$          | 节圆螺旋角 (°)         |
| $s_0$       | 刀具齿厚 mm               | $\beta_b$         | 基圆螺旋角 (°)         |
| $s_t$       | 端面齿厚 mm               | $\gamma$          | 导程角 (°)           |
| $s_r$       | 蜗杆分度圆柱的轴向齿厚 mm        | $\gamma_b$        | 基圆导程角 (°)         |
| $u$         | 齿数比                   | $\delta$          | 锥角, 分锥角 (°)       |
| $v$         | 线速度, 分度圆上的线速度 m/s     | $\delta_1$        | 小轮分锥角 (°)         |
| $x$         | 径向变位系数                | $\delta_2$        | 大轮分锥角 (°)         |
| $x_1$       | 小轮的径向变位系数             | $\delta'$         | 节锥角 (°)           |
| $x_2$       | 大轮的径向变位系数             | $\delta'_1$       | 小轮节锥角 (°)         |
| $x_t$       | 齿厚变动系数                | $\delta'_2$       | 大轮节锥角 (°)         |
| $y$         | 中心距变动系数               | $\delta_a$        | 顶锥角 (°)           |
| $z$         | 齿数                    | $\delta_f$        | 根锥角 (°)           |
| $z_1$       | 小轮齿数, 蜗杆齿数            | $\delta_v$        | 背锥角 (°)           |
| $z_2$       | 大轮齿数, 蜗轮齿数            | $\epsilon_a$      | 端面重合度             |
| $z_0$       | 刀具齿数                  | $\epsilon_\beta$  | 纵向重合度             |
| $z_v$       | 当量齿数                  | $\epsilon_\gamma$ | 总重合度              |
| $z_{v1}$    | 小轮当量齿数                | $\eta$            | 槽宽半角 (°)          |
| $z_{v2}$    | 大轮当量齿数                | $\theta_a$        | 齿顶角 (°)           |
| $P$         | 径节                    | $\theta_f$        | 齿根角 (°)           |
| $R$         | 锥距, 外锥距 mm            | $\rho$            | 曲率半径 mm           |
| $R_i$       | 内锥距 mm                | $\rho_{a0}$       | 基本齿条的齿顶圆角半径 mm    |
| $R_m$       | 中点锥距 mm               | $\rho_f$          | 齿根过渡曲线半径 mm       |
| $R_v$       | 背锥距 mm                | $\rho_{red}$      | 当量半径 mm           |
| $W$         | 公法线长度 mm              | $\tau$            | 齿距角, 冠轮上的齿距角 (°)  |
| $\alpha$    | 压力角, 齿形角, 分度圆压力角 (°)  | $\varphi_a$       | 端面作用角 (°)         |
| $\alpha'$   | 啮合角, 工作压力角 (°)        | $\varphi_\beta$   | 纵向作用角 (°)         |
| $\alpha_a$  | 顶圆压力角 (°)             | $\varphi_\gamma$  | 总作用角 (°)          |
| $\alpha_n$  | 法向压力角, 分度圆上的法向压力角 (°) | $\psi$            | 齿厚半角 (°)          |
| $\alpha_t$  | 端面压力角, 分度圆上的端面压力角 (°) | $\psi_0$          | 基圆齿厚半角 (°)        |
| $\alpha'_t$ | 端面啮合角, 节圆上的端面压力角 (°)  | $\omega$          | 角速度 rad/s         |
| $\alpha_y$  | 任意点 $y$ 的压力角 (°)      | $\omega_1$        | 小轮角速度 rad/s       |
|             |                       | $\omega_2$        | 大轮角速度 rad/s       |

## 二、齿轮精度检测常用代号

|              |                     |                 |                          |
|--------------|---------------------|-----------------|--------------------------|
| $\Delta E_s$ | 齿厚偏差 $\mu\text{m}$  | $\Delta E_{Wn}$ | 公法线平均长度偏差 $\mu\text{m}$  |
| $E_{si}$     | 齿厚下偏差 $\mu\text{m}$ | $E_{Wmi}$       | 公法线平均长度下偏差 $\mu\text{m}$ |
| $E_{ss}$     | 齿厚上偏差 $\mu\text{m}$ | $E_{Wms}$       | 公法线平均长度上偏差 $\mu\text{m}$ |

## VIII 常用代号

|                  |                           |                     |                              |
|------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------|
| $F_b$            | 接触线公差 $\mu\text{m}$       | $\Delta f_{f\beta}$ | 螺旋线波度误差 $\mu\text{m}$        |
| $\Delta F_b$     | 接触线误差 $\mu\text{m}$       | $f'_i$              | 一齿切向综合公差 $\mu\text{m}$       |
| $F'_i$           | 切向综合公差 $\mu\text{m}$      | $\Delta f'_i$       | 一齿切向综合误差 $\mu\text{m}$       |
| $\Delta F'_i$    | 切向综合误差 $\mu\text{m}$      | $f'_{ic}$           | 齿轮副的一齿切向综合公差 $\mu\text{m}$   |
| $F'_{ic}$        | 齿轮副的切向综合公差 $\mu\text{m}$  | $\Delta f'_{ic}$    | 齿轮副的一齿切向综合误差 $\mu\text{m}$   |
| $\Delta F'_{ic}$ | 齿轮副的切向综合误差 $\mu\text{m}$  | $f''_i$             | 一齿径向综合公差 $\mu\text{m}$       |
| $F''_i$          | 径向综合公差 $\mu\text{m}$      | $\Delta f''_i$      | 一齿径向综合误差 $\mu\text{m}$       |
| $\Delta F''_i$   | 径向综合误差 $\mu\text{m}$      | $f_{pb}$            | 基节极限偏差 $\mu\text{m}$         |
| $F_p$            | 齿距累积公差 $\mu\text{m}$      | $\Delta f_{pb}$     | 基节偏差 $\mu\text{m}$           |
| $\Delta F_p$     | 齿距累积误差 $\mu\text{m}$      | $f_{pt}$            | 齿距极限偏差 $\mu\text{m}$         |
| $F_{pk}$         | $k$ 个齿距累积公差 $\mu\text{m}$ | $\Delta f_{pt}$     | 齿距偏差 $\mu\text{m}$           |
| $\Delta F_{pk}$  | $k$ 个齿距累积误差 $\mu\text{m}$ | $f_x$               | $x$ 方向轴线的平行度公差 $\mu\text{m}$ |
| $F_{px}$         | 轴向齿距极限偏差 $\mu\text{m}$    | $\Delta f_x$        | $x$ 方向轴线的平行度误差 $\mu\text{m}$ |
| $\Delta F_{px}$  | 轴向齿距偏差 $\mu\text{m}$      | $f_y$               | $y$ 方向轴线的平行度公差 $\mu\text{m}$ |
| $F_r$            | 齿圈径向圆跳动公差 $\mu\text{m}$   | $\Delta f_y$        | $y$ 方向轴线的平行度误差 $\mu\text{m}$ |
| $\Delta F_r$     | 齿圈径向圆跳动 $\mu\text{m}$     | $j_n$               | 齿轮副法向侧隙 $\mu\text{m}$        |
| $F_w$            | 公法线长度变动公差 $\mu\text{m}$   | $j_{n\max}$         | 齿轮副法向最大极限侧隙 $\mu\text{m}$    |
| $\Delta F_w$     | 公法线长度变动 $\mu\text{m}$     | $j_{n\min}$         | 齿轮副法向最小极限侧隙 $\mu\text{m}$    |
| $F_\beta$        | 齿向公差 $\mu\text{m}$        | $j_r$               | 齿轮副径向侧隙 $\mu\text{m}$        |
| $\Delta F_\beta$ | 齿向误差 $\mu\text{m}$        | $j_t$               | 齿轮副圆周侧隙 $\mu\text{m}$        |
| $f_a$            | 齿轮副的中心距极限偏差 $\mu\text{m}$ | $j_{t\max}$         | 齿轮副径向最大极限侧隙 $\mu\text{m}$    |
| $\Delta f_a$     | 齿轮副的中心距偏差 $\mu\text{m}$   | $j_{t\min}$         | 齿轮副径向最小极限侧隙 $\mu\text{m}$    |
| $f_f$            | 齿形公差 $\mu\text{m}$        | $T_s$               | 齿厚公差 $\mu\text{m}$           |
| $\Delta f_f$     | 齿形误差 $\mu\text{m}$        | $T_{wm}$            | 公法线平均长度公差 $\mu\text{m}$      |
| $f_{f\beta}$     | 螺旋线波度公差 $\mu\text{m}$     |                     |                              |

## 三、齿轮承载能力计算常用代号

|                  |                                                     |                |                                 |
|------------------|-----------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| $b_{a1}$         | 计算齿宽 $\text{mm}$                                    | $s_{Fn}$       | 危险截面上的齿厚 $\text{mm}$            |
| $h_F$            | 齿根应力的弯曲力臂 $\text{mm}$                               | $W_m$          | 单位齿宽上的平均载荷 $\text{N/mm}$        |
| $h_{Fa}$         | 载荷作用于齿顶时的齿根应力弯曲力臂 $\text{mm}$                       | $W_{\max}$     | 单位齿宽上的最大载荷 $\text{N/mm}$        |
| $h_{Fe}$         | 载荷作用于单对齿啮合区上界点(简称上界点)时的齿根应力弯曲力臂 $\text{mm}$         | $y_a$          | 齿廓跑合量 $\mu\text{m}$             |
| $m$              | 当量质量 $\text{kg/mm}$                                 | $y_\beta$      | 齿向跑合量 $\mu\text{m}$             |
| $m_{\text{red}}$ | 诱导质量 $\text{kg/mm}$                                 | $\alpha_{en}$  | 单对齿啮合区上界点的法向压力角 ( $^\circ$ )    |
| $n_E$            | 临界转速 $\text{r/min}$                                 | $\alpha_{et}$  | 单对齿啮合区上界点的端面压力角 ( $^\circ$ )    |
| $n_{E1}$         | 小轮的临界转速 $\text{r/min}$                              | $\alpha_{Fan}$ | 齿顶的法向载荷作用角 ( $^\circ$ )         |
| $q$              | 辅助系数, 单位齿宽柔度 $\mu\text{m} \cdot \text{mm}/\text{N}$ | $\alpha_{Fat}$ | 齿顶的端面载荷作用角 ( $^\circ$ )         |
| $q_s$            | 齿根圆角参数 $\mu\text{m} \cdot \text{mm}/\text{N}$       | $\alpha_{Fen}$ | 单对齿啮合区上界点处的法向载荷作用角 ( $^\circ$ ) |
|                  |                                                     | $\alpha_{Fet}$ | 单对齿啮合区上界点处的端面载荷作用角 ( $^\circ$ ) |

|                   |                                                               |              |                                   |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| $\beta_e$         | 单对齿啮合区上界点处的螺旋角 (°)                                            | HBS          | 布氏硬度 ( $\leq 450$ 压头为钢球)          |
| $\gamma$          | 辅助角 (°)                                                       | HRC          | 洛氏硬度                              |
| $\eta$            | 润滑油动力粘度 $\text{mPa} \cdot \text{s}$                           | HV1          | $F=9.8\text{N}$ 时的维氏硬度            |
| $\theta_B$        | 瞬时接触温度 (°)                                                    | HV10         | $F=98.1\text{N}$ 时的维氏硬度           |
| $\theta_{fla}$    | 闪点温度 (°)                                                      | $K_A$        | 使用场合系数                            |
| $\theta_{int}$    | 积分温度 (°)                                                      | $K_{Ba}$     | 胶合强度计算的齿间载荷分配系数                   |
| $\theta_M$        | 本体温度 (°)                                                      | $K_{B\beta}$ | 胶合强度计算的齿向载荷分布系数                   |
| $\theta_{oil}$    | 油温 (°)                                                        | $K_{Fa}$     | 弯曲强度计算的齿间载荷分配系数                   |
| $\theta_s$        | 按闪点温度准则考虑的胶合温度 (°)                                            | $K_{F\beta}$ | 弯曲强度计算的齿向载荷分布系数                   |
| $\theta_{int}$    | 按积分温度准则考虑的胶合温度 (°)                                            | $K_{Ha}$     | 接触强度计算的齿间载荷分配系数                   |
| $\nu$             | 润滑油运动粘度 $\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt)                          | $K_{H\beta}$ | 接触强度计算的齿向载荷分布系数                   |
| $\rho$            | 密度 $\text{g}/\text{cm}^3$                                     | $K_V$        | 动载系数                              |
| $\rho_{a0}$       | 基本齿条的齿顶圆角半径 $\text{mm}$                                       | $L$          | 长度 $\text{mm}$                    |
| $\rho_f$          | 危险截面上的齿根曲率半径 $\text{mm}$                                      | $M$          | 弯矩 $\text{N} \cdot \text{m}$      |
| $\rho_{red}$      | 诱导曲率半径 $\text{mm}$                                            | $N$          | 临界转速比, 指数                         |
| $\rho_c$          | 节点上的曲率半径 $\text{mm}$                                          | $N_c$        | 应力循环次数                            |
| $\sigma_B$        | 抗拉强度 $\text{N}/\text{mm}^2$                                   | $P$          | 功率 $\text{kW}$                    |
| $\sigma_F$        | 计算的齿根应力 $\text{N}/\text{mm}^2$                                | $R_a$        | 轮廓算术平均值 $\mu\text{m}$             |
| $\sigma_{Flim}$   | 试验齿轮的弯曲疲劳极限 $\text{N}/\text{mm}^2$                            | $R_i$        | 微观不平度十点高度 $\mu\text{m}$           |
| $\sigma_{FP}$     | 许用的齿根应力 $\text{N}/\text{mm}^2$                                | $S_B$        | 按闪点温度准则计算的安全系数                    |
| $\sigma_{F0}$     | 计算的齿根应力基本值 $\text{N}/\text{mm}^2$                             | $S_F$        | 抗弯强度计算的安全系数                       |
| $\sigma_H$        | 计算的接触应力 $\text{N}/\text{mm}^2$                                | $S_{Fmin}$   | 抗弯强度计算的最小安全系数                     |
| $\sigma_{Hlim}$   | 试验齿轮的接触疲劳极限 $\text{N}/\text{mm}^2$                            | $S_H$        | 接触强度计算的安全系数                       |
| $\sigma_{H\beta}$ | 许用的接触应力 $\text{N}/\text{mm}^2$                                | $S_{Hmin}$   | 接触强度计算的最小安全系数                     |
| $\sigma_{H0}$     | 计算的接触应力基本值 $\text{N}/\text{mm}^2$                             | $S_s$        | 按积分温度准则计算的安全系数                    |
| $C_a$             | 齿顶修缘量 $\mu\text{m}$                                           | $T_\beta$    | 螺旋线误差的公差                          |
| $C_{a\gamma}$     | 由跑合产生的齿顶修缘量 $\mu\text{m}$                                     | $T_1$        | 小轮的名义转矩 $\text{N} \cdot \text{m}$ |
| $C_b$             | 齿端修薄量 $\mu\text{m}$                                           | $T_2$        | 大轮的名义转矩 $\text{N} \cdot \text{m}$ |
| $C_c$             | 鼓形量 $\mu\text{m}$                                             | $X_B$        | 几何系数                              |
| $c_r$             | 轮齿单位齿宽上的总刚度平均值 (啮合刚度) $\text{N}/\text{mm} \cdot \mu\text{m}$  | $X_D$        | 齿轮转速变化对于抗胶合的影响系数                  |
| $c'$              | 一对轮齿单位齿宽上的最大刚度 (单对齿刚度) $\text{N}/\text{mm} \cdot \mu\text{m}$ | $X_M$        | 热闪点系数                             |
| $E$               | 弹性模量, 杨氏模量 $\text{N}/\text{mm}^2$                             | $X_R$        | 粗糙度系数                             |
| $F_{bn}$          | 法面内基圆周上的名义切向力 $\text{N}$                                      | $X_w$        | 熔合系数                              |
| $F_{bt}$          | 端面内基圆周上的名义切向力 $\text{N}$                                      | $X_\alpha$   | 压力角系数                             |
| $F_t$             | 端面内分度圆周上的名义切向力 $\text{N}$                                     | $X_\beta$    | 抗胶合的螺旋角系数                         |
| $F_{\beta x}$     | 初始等效齿向贴合度误差 $\mu\text{m}$                                     | $Y_F$        | 齿形系数                              |
| $F_{\beta y}$     | 跑合后的等效齿向贴合度误差 $\mu\text{m}$                                   | $Y_{Fa}$     | 载荷作用于齿顶时的齿形系数                     |
| $G$               | 剪切模量 $\text{N}/\text{mm}^2$                                   | $Y_N$        | 寿命系数                              |
|                   |                                                               | $Y_{NT}$     | 抗弯强度计算的寿命系数                       |

## XX 常用代号

|              |                 |              |              |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| $Y_R$        | 表面状况系数          | $Z_N$        | 接触强度计算的寿命系数  |
| $Y_{Rrelt}$  | 相对齿根表面状况系数      | $Z_R$        | 粗糙度系数        |
| $Y_s$        | 应力修正系数          | $Z_v$        | 速度系数         |
| $Y_{sa}$     | 载荷作用于齿顶时的应力修正系数 | $Z_W$        | 齿面工作硬化系数     |
| $Y_X$        | 抗弯强度计算的尺寸系数     | $Z_X$        | 接触强度计算的尺寸系数  |
| $Y_\beta$    | 抗弯强度计算的螺旋角系数    | $Z_\beta$    | 接触强度计算的螺旋角系数 |
| $Y_\epsilon$ | 抗弯强度计算的重合度系数    | $Z_\epsilon$ | 接触强度计算的重合度系数 |
| $Z_E$        | 弹性系数            | $J_1$        | 小轮的转动惯量      |
| $Z_H$        | 节点区域系数          | $J_2$        | 大轮的转动惯量      |
| $Z_L$        | 润滑剂系数           |              |              |

# 目 录

前言  
常用代号

## 第 1 篇 总 论

### 第 1 章 概 述

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1 齿轮制造现状及发展趋势 .....  | 3  |
| 1.1 滚齿 .....         | 4  |
| 1.2 插齿和梳齿 .....      | 4  |
| 1.3 剃齿 .....         | 5  |
| 1.4 珩齿 .....         | 5  |
| 1.5 磨齿 .....         | 6  |
| 1.6 螺旋锥齿轮加工 .....    | 7  |
| 1.7 研齿 .....         | 7  |
| 1.8 齿轮检测 .....       | 7  |
| 2 齿轮工艺分类及其选择原则 ..... | 8  |
| 2.1 圆柱齿轮加工方法 .....   | 8  |
| 2.2 蜗杆副加工方法 .....    | 9  |
| 2.3 锥齿轮加工方法 .....    | 10 |
| 2.4 特种齿轮加工方法 .....   | 11 |
| 2.5 齿轮加工方法选择 .....   | 11 |

### 第 2 章 齿 坯

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1 概述 .....                 | 17 |
| 1.1 铸坯 .....               | 17 |
| 1.2 锻坯 .....               | 18 |
| 1.3 焊接齿坯 .....             | 18 |
| 2 铸造齿坯 .....               | 18 |
| 2.1 铸造齿坯特点 .....           | 18 |
| 2.2 铸造齿坯常用材料 .....         | 18 |
| 2.3 铸造齿坯结构类型、尺寸及应用范围 ..... | 19 |
| 2.4 铸造齿坯的铸造工艺 .....        | 20 |
| 2.5 铸造齿坯的质量控制 .....        | 23 |
| 2.6 典型工艺 .....             | 23 |
| 3 锻造齿轮 .....               | 24 |
| 3.1 自由锻制坯与轧制制坯的特点 .....    | 24 |
| 3.2 下料方式 .....             | 24 |
| 3.3 加热 .....               | 25 |
| 3.4 金属锻造温度范围的确定 .....      | 25 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 3.5 工艺编制 .....                   | 26 |
| 3.6 锻件的锻后冷却及热处理 .....            | 49 |
| 3.7 齿坯锻件的质量检验 .....              | 51 |
| 4 焊接齿坯 .....                     | 52 |
| 4.1 焊接齿坯的特点及应用 .....             | 52 |
| 4.2 焊接齿坯的主要结构型式及坡口尺寸 .....       | 53 |
| 4.3 焊接齿坯常用材料及其性能 .....           | 54 |
| 4.4 焊接齿坯制造工艺流程及主要技术要求 .....      | 55 |
| 4.5 焊接齿坯生产中的主要技术关键及采取的工艺措施 ..... | 56 |
| 4.6 焊接齿坯的装焊工艺实例 .....            | 58 |
| 4.7 焊接齿轮的质量分析 .....              | 60 |

### 第 3 章 齿轮加工机床、刀具和检测设备

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 1 机床 .....                   | 61  |
| 1.1 滚齿机 .....                | 61  |
| 1.2 插齿机 .....                | 75  |
| 1.3 剃齿机 .....                | 85  |
| 1.4 珩齿机 .....                | 92  |
| 1.5 磨齿机 .....                | 97  |
| 1.6 锥齿轮加工机床 .....            | 111 |
| 1.7 小模数齿轮加工机床 .....          | 130 |
| 2 刀具 .....                   | 138 |
| 2.1 渐开线圆柱齿轮刀具 .....          | 138 |
| 2.2 圆弧齿轮滚刀 .....             | 184 |
| 2.3 蜗轮刀具 .....               | 194 |
| 2.4 锥齿轮刀具 .....              | 213 |
| 2.5 齿轮刀具计算机辅助设计 CAD 系统 ..... | 231 |
| 3 齿轮检测设备 .....               | 231 |
| 3.1 渐开线圆柱齿轮测量仪器 .....        | 231 |
| 3.2 锥齿轮测量仪器 .....            | 237 |
| 3.3 蜗杆、蜗轮测量仪器 .....          | 237 |
| 3.4 齿轮刀具测量仪器 .....           | 240 |
| 3.5 齿轮机床传动链测量仪 .....         | 241 |

## 第4章 齿轮材料及热处理

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 1 齿轮材料 .....             | 242 |
| 1.1 齿轮失效与齿轮材料及工艺选择 ..... | 242 |
| 1.2 齿轮钢的淬透性选材 .....      | 245 |
| 2 齿轮热处理 .....            | 250 |
| 2.1 概述 .....             | 250 |
| 2.2 为改善切削加工的预先热处理 .....  | 250 |
| 2.3 齿轮的最终热处理 .....       | 251 |

## 第5章 渐开线圆柱齿轮精度检验和加工误差分析

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 概述 .....                                                                                       | 263 |
| 2 齿轮精度检验应注意的事项 .....                                                                             | 265 |
| 3 齿距偏差 ( $\Delta f_{pt}$ )、齿距累积误差 ( $\Delta F_p$ )、<br>$k$ 个齿距累积误差 ( $\Delta F_{pk}$ ) 的检验 ..... | 266 |
| 3.1 齿距测量原理 .....                                                                                 | 266 |
| 3.2 齿距相对测量法和数据处理 .....                                                                           | 266 |
| 3.3 绝对测量法和数据处理 .....                                                                             | 269 |
| 3.4 齿距检测条件 .....                                                                                 | 270 |
| 4 基节偏差 ( $\Delta f_{pb}$ ) 的检验 .....                                                             | 271 |
| 4.1 基节偏差的测量区 .....                                                                               | 271 |
| 4.2 基节偏差的测量和仪器 .....                                                                             | 271 |
| 4.3 基节偏差的选择 .....                                                                                | 272 |
| 5 齿形误差 ( $\Delta f_f$ ) 的检验 .....                                                                | 272 |
| 5.1 齿形误差的定义和齿形图 .....                                                                            | 272 |
| 5.2 齿形图的评定 .....                                                                                 | 274 |
| 5.3 齿形斜率偏差 $f_{Ha}$ 和压力角偏差 $f_a$ .....                                                           | 274 |
| 5.4 基圆直径差 $f_{db}$ 、平均基圆直径差 $f_{dbm}$<br>和有效基圆直径 $d_{beff}$ .....                                | 275 |
| 5.5 齿形公差带 .....                                                                                  | 275 |
| 5.6 齿形凸形量 $C_a$ .....                                                                            | 275 |
| 5.7 齿形误差测量方法和测量仪器 .....                                                                          | 275 |
| 5.8 齿形误差检测条件 .....                                                                               | 276 |
| 6 齿向误差 ( $\Delta F_\beta$ ) 的检验 .....                                                            | 277 |
| 6.1 齿向误差的定义和齿向图 .....                                                                            | 277 |
| 6.2 齿向误差的评定 .....                                                                                | 277 |
| 6.3 齿向斜率偏差 $f_{H\beta}$ 和螺旋角偏差 $f_\beta$ .....                                                   | 278 |
| 6.4 平均齿向斜率偏差 $f_{H\beta m}$ 和平均螺旋角<br>偏差 $f_{\beta m}$ .....                                     | 278 |
| 6.5 齿向公差带 .....                                                                                  | 278 |
| 6.6 齿向鼓形量 $C_\beta$ .....                                                                        | 278 |
| 6.7 齿向误差测量方法和测量仪器 .....                                                                          | 279 |
| 6.8 齿向误差检测条件 .....                                                                               | 279 |
| 7 螺旋线波度误差 ( $\Delta f_{f\beta}$ ) 的检验 .....                                                      | 279 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1 螺旋线波度误差的定义 .....                                                                  | 279 |
| 7.2 螺旋线波度误差的测量原理 .....                                                                | 279 |
| 7.3 测量位置的确定 .....                                                                     | 280 |
| 8 轴向齿距偏差 ( $\Delta F_{px}$ ) 的检验 .....                                                | 280 |
| 8.1 轴向齿距偏差的定义 .....                                                                   | 280 |
| 8.2 轴向齿距测量方法 .....                                                                    | 281 |
| 8.3 用轴向齿距校验来确定齿向斜率偏差 .....                                                            | 281 |
| 9 齿轮副的接触斑点检验 .....                                                                    | 281 |
| 9.1 齿轮副的接触斑点的定义 .....                                                                 | 281 |
| 9.2 检验注意事项 .....                                                                      | 281 |
| 9.3 介绍配对装置 .....                                                                      | 282 |
| 10 切向综合误差 ( $\Delta F'_t$ )、一齿切向综合误差<br>( $\Delta f'_t$ ) 的检验 .....                   | 282 |
| 10.1 误差的定义 .....                                                                      | 282 |
| 10.2 $\Delta F'_t$ 和 $\Delta f'_t$ 的测量方法和测量仪器 .....                                   | 282 |
| 10.3 测量温度 .....                                                                       | 283 |
| 10.4 测量元件的选择 .....                                                                    | 283 |
| 10.5 测量仪器的校准 .....                                                                    | 283 |
| 10.6 测量位置的确定 .....                                                                    | 283 |
| 10.7 $F'_t$ 和 $f'_t$ 的公差公式 .....                                                      | 283 |
| 11 齿圈径向圆跳动 ( $\Delta F_r$ ) 的检验 .....                                                 | 283 |
| 11.1 齿圈径向圆跳动的定义 .....                                                                 | 283 |
| 11.2 测量方法和测量仪器 .....                                                                  | 284 |
| 11.3 注意事项 .....                                                                       | 284 |
| 12 径向综合误差 ( $\Delta F'_r$ )、一齿径向综合误差<br>( $\Delta f'_r$ ) 的检验 .....                   | 284 |
| 12.1 径向综合误差的定义 .....                                                                  | 284 |
| 12.2 测量方法和测量仪器 .....                                                                  | 284 |
| 12.3 误差记录曲线及评定 .....                                                                  | 285 |
| 13 齿厚偏差 ( $\Delta E_s$ )、公法线平均长度偏差<br>( $\Delta E_{wm}$ )、量柱(球)偏差 ( $E_M$ ) 的检验 ..... | 285 |
| 13.1 齿厚偏差测量基础 .....                                                                   | 285 |
| 13.2 齿厚计算和测量 .....                                                                    | 286 |
| 13.3 公法线平均长度偏差的测量 .....                                                               | 288 |
| 13.4 量柱(球)距测量和计算 .....                                                                | 291 |
| 13.5 $W_K$ 与 $k$ 、 $M_K$ 与 $d_M$ 、 $\bar{s}_{nm}$ 与 $\bar{h}_{am}$ 计算实<br>例 .....     | 292 |
| 13.6 齿厚与公法线平均长度、公法线平均<br>长度与量柱(球)距的关系 .....                                           | 293 |
| 14 齿轮副的侧隙检验 .....                                                                     | 297 |
| 15 齿坯要求 .....                                                                         | 298 |
| 16 公法线长度变动 ( $\Delta F_w$ ) 检验 .....                                                  | 299 |
| 17 接触线误差 ( $\Delta F_b$ ) 的检验 .....                                                   | 300 |
| 18 齿轮加工误差 .....                                                                       | 302 |
| 18.1 齿轮加工误差的周期性 .....                                                                 | 302 |

## · X 目 录

|                     |     |                    |     |
|---------------------|-----|--------------------|-----|
| 18.2 齿轮加工误差的计算系统    | 304 | 22.1 机床刀架导轨的误差     | 322 |
| 19 齿轮整体误差测量技术       | 304 | 22.2 工件的端面圆跳动      | 323 |
| 19.1 整体误差的坐标系统      | 304 | 22.3 机床差动链的调整误差    | 323 |
| 19.2 整体误差的测量        | 305 | 22.4 齿向误差的分离       | 323 |
| 19.3 整体误差曲线上各项误差的取值 | 306 | 23 刀具产形面误差         | 325 |
| 20 径向加工误差           | 309 | 23.1 滚刀的产形面误差      | 325 |
| 20.1 齿坯定位误差所产生的几何偏心 | 309 | 23.2 插齿刀和剃齿刀的产形面误差 | 328 |
| 20.2 刀具的安装误差        | 311 | 23.3 磨齿砂轮的修形角误差    | 328 |
| 21 切向加工误差           | 314 | 23.4 齿形误差的分离及分析    | 328 |
| 21.1 连续展成法加工的切向误差   | 314 | 24 斜齿圆柱齿轮齿侧面的形位误差  | 330 |
| 21.2 断续分度展成法加工的切向误差 | 320 | 24.1 齿侧面的形状误差      | 330 |
| 21.3 自由啮合展成法加工的切向误差 | 321 | 24.2 齿侧面的位置误差      | 331 |
| 22 轴向加工误差           | 322 | 25 圆柱齿轮加工误差计算公式    | 333 |

## 第 2 篇 圆柱齿轮制造工艺

### 第 6 章 机床圆柱齿轮制造工艺

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 1 概述                  | 337 |
| 1.1 齿坯的加工             | 337 |
| 1.2 齿形的加工             | 338 |
| 1.3 热后精加工             | 340 |
| 1.4 机床圆柱齿轮加工工艺路线及加工精度 | 340 |
| 2 滚齿                  | 340 |
| 2.1 概述                | 340 |
| 2.2 滚齿机调整计算           | 342 |
| 2.3 滚齿工艺              | 355 |
| 2.4 滚齿夹具              | 359 |
| 2.5 滚齿误差              | 360 |
| 3 插齿                  | 364 |
| 3.1 概述                | 364 |
| 3.2 插齿夹具              | 366 |
| 3.3 工艺参数的选择和计算        | 366 |
| 3.4 插齿加工              | 369 |
| 3.5 插齿误差产生的原因与消除方法    | 373 |
| 4 剃齿                  | 374 |
| 4.1 剃齿的原理和方法          | 374 |
| 4.2 剃齿机与工具            | 377 |
| 4.3 剃齿切削用量            | 380 |
| 4.4 剃齿操作调整            | 382 |
| 4.5 剃齿加工              | 383 |
| 4.6 剃齿误差分析            | 385 |
| 5 珩齿                  | 386 |
| 5.1 珩齿的原理与加工方法        | 386 |
| 5.2 珩齿机与工具            | 388 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 5.3 珩齿切削用量          | 390 |
| 5.4 珩齿操作调整          | 390 |
| 5.5 珩齿误差分析          | 392 |
| 6 磨齿                | 394 |
| 6.1 概述              | 394 |
| 6.2 齿坯和热处理          | 394 |
| 6.3 磨齿夹具和工件装夹       | 395 |
| 6.4 砂轮              | 395 |
| 6.5 冷却和吸雾           | 397 |
| 6.6 磨齿工艺参数的选用       | 398 |
| 6.7 修形齿的磨削          | 400 |
| 6.8 磨齿生产率的估算        | 407 |
| 6.9 典型磨齿机的磨齿误差和纠正方法 | 408 |
| 6.10 磨齿工艺分析         | 412 |

### 第 7 章 重载齿轮制造工艺

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 1 概述                | 413 |
| 2 重载齿轮典型工艺          | 413 |
| 2.1 调质焊接齿轮典型工艺      | 413 |
| 2.2 硬齿面齿轮典型工艺       | 415 |
| 2.3 剖分齿轮典型工艺        | 420 |
| 3 齿坯加工              | 423 |
| 3.1 齿坯加工要求          | 423 |
| 3.2 齿坯加工            | 425 |
| 4 工序间余量             | 426 |
| 4.1 调质余量            | 426 |
| 4.2 切除渗碳层的加工余量      | 428 |
| 4.3 渗碳轴齿轮淬火前余量      | 428 |
| 4.4 渗碳齿轮淬火前余量       | 428 |
| 4.5 软齿面及中硬齿面齿轮粗滚齿余量 | 428 |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 4.6 渗碳齿轮粗滚齿余量 .....                      | 429 |
| 4.7 剃齿余量 .....                           | 430 |
| 4.8 珩齿余量 .....                           | 430 |
| 5 齿形加工 .....                             | 430 |
| 5.1 各种齿形加工方法的精度范围 .....                  | 430 |
| 5.2 各种不同齿厚测量方法的切深计算 .....                | 430 |
| 5.3 渗碳齿轮齿形预加工 .....                      | 431 |
| 5.4 滚齿 .....                             | 432 |
| 5.5 插齿 .....                             | 443 |
| 5.6 磨齿 .....                             | 449 |
| 5.7 人字齿轮加工 .....                         | 477 |
| 5.8 鼓形齿加工 .....                          | 484 |
| 6 计算机辅助工艺设计 .....                        | 487 |
| 6.1 CAPP 的意义、现状及发展趋势 .....               | 487 |
| 6.2 CAPP 的类型 .....                       | 487 |
| 6.3 派生式 CAPP 系统程序实例(LKJCAPP<br>系统) ..... | 489 |
| 7 减速器装配试验 .....                          | 503 |
| 7.1 概述 .....                             | 503 |
| 7.2 一般技术规定 .....                         | 503 |
| 7.3 键装配 .....                            | 504 |
| 7.4 过盈配合件的装配 .....                       | 504 |
| 7.5 旋转零件的平衡 .....                        | 507 |
| 7.6 滚动轴承的装配 .....                        | 508 |
| 7.7 滑动轴承的装配 .....                        | 511 |
| 7.8 螺纹联接的装配 .....                        | 513 |
| 7.9 减速器的装配与调整 .....                      | 513 |
| 7.10 减速器的试验 .....                        | 525 |

## 第 8 章 高速齿轮制造工艺

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 1 概述 .....                          | 528 |
| 2 高速齿轮加工规程 .....                    | 528 |
| 2.1 加工方案的选择 .....                   | 528 |
| 2.2 软齿面(<300HBS)齿轮的加工 .....         | 528 |
| 2.3 中硬齿面(300~350HBS)齿轮的加<br>工 ..... | 531 |
| 2.4 硬齿面齿轮的加工 .....                  | 531 |
| 3 超硬滚工艺 .....                       | 533 |
| 3.1 超硬滚对滚齿机的要求 .....                | 533 |
| 3.2 硬齿面刮削滚刀 .....                   | 533 |
| 3.3 硬齿面刮削工艺 .....                   | 535 |
| 3.4 EC-2 硬齿面切削油的应用 .....            | 536 |
| 4 磨齿工艺 .....                        | 536 |
| 4.1 MAAG 磨齿机床调整及滚圆盘的选<br>用 .....    | 537 |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 4.2 高精度高效率 HOFLE 磨齿机的磨<br>削原理和加工方法 ..... | 549 |
| 5 齿轮修形技术 .....                           | 549 |
| 5.1 概述 .....                             | 549 |
| 5.2 MAAG 磨齿机床上修形 .....                   | 550 |
| 5.3 在 Höfler 磨齿机床上修形 .....               | 550 |
| 5.4 在莱斯豪尔 CNC 齿轮磨床上修形 .....              | 550 |
| 6 提高齿根抗弯强度的齿根圆滑过渡技术 .....                | 551 |
| 6.1 圆头留磨滚刀的选用 .....                      | 551 |
| 6.2 SN 弹性尼龙砂轮齿根圆角的修磨 .....               | 555 |
| 6.3 喷丸强化工艺 .....                         | 556 |
| 7 提高齿面抗胶合能力技术 .....                      | 557 |
| 7.1 齿面涂镀工艺 .....                         | 557 |
| 7.2 低温渗硫工艺 .....                         | 557 |
| 8 提高齿面的接触精度技术 .....                      | 557 |
| 8.1 概述 .....                             | 557 |
| 8.2 小齿轮配磨量的选取 .....                      | 558 |
| 8.3 配接触方法 .....                          | 558 |
| 8.4 根据计量仪上测量值进行配磨 .....                  | 559 |

## 第 9 章 汽车齿轮制造工艺

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1 概述 .....              | 560 |
| 1.1 汽车齿轮的技术要求 .....     | 560 |
| 1.2 汽车齿轮的毛坯制造方式 .....   | 561 |
| 2 汽车齿坯加工工艺 .....        | 561 |
| 2.1 齿坯加工精度 .....        | 561 |
| 2.2 采用数控机床加工齿坯 .....    | 561 |
| 2.3 各类齿轮的齿坯加工工艺 .....   | 567 |
| 3 汽车齿轮加工工艺 .....        | 569 |
| 3.1 机械加工工艺规程 .....      | 569 |
| 3.2 工艺过程分析 .....        | 573 |
| 3.3 齿形加工及误差分析 .....     | 573 |
| 3.4 齿轮加工新工艺方法 .....     | 581 |
| 4 热处理变形对齿轮质量的影响 .....   | 592 |
| 4.1 热处理变形对齿轮质量的影响 ..... | 592 |
| 4.2 剃齿修形 .....          | 593 |

## 第 10 章 圆弧齿轮制造工艺

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1 概述 .....              | 601 |
| 2 圆弧齿轮滚齿工艺 .....        | 602 |
| 2.1 机床挂轮调整 .....        | 602 |
| 2.2 滚刀精度等级选用和安装找正 ..... | 602 |
| 2.3 齿坯的基面、安装和找正原则 ..... | 602 |
| 2.4 滚齿操作及齿形加工误差 .....   | 603 |
| 3 圆弧齿轮尺寸测量 .....        | 608 |