

JINSHU QIEXIAO DAOJU SHEJI SHOUCE

# 金属切削刀具设计手册

单行本

## 加工圆柱齿轮和 蜗杆副的刀具

袁哲俊 刘华明 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 金属切削刀具设计手册

单行本

## 加工圆柱齿轮和蜗杆副的刀具

袁哲俊 刘华明 主编

袁哲俊 张文生 莽纪成 张新国 刘华明  
黄劭楠 姚英学 谢大纲 董英武 王东鹏 编著



机械工业出版社

本手册系统全面地介绍了各种金属切削刀具的结构及其设计,包括普通刀具和复杂刀具的设计。手册共分 16 章,介绍了刀具的共同问题:刀具几何参数的定义和刀具材料;普通刀具部分介绍了车刀、孔加工刀具、铣刀和螺纹刀具;复杂刀具部分介绍了拉刀、数控刀具、齿轮刀具和加工非渐开线齿形工件的刀具。对常用的标准刀具,扼要地介绍了刀具的结构特点和设计方法。对非标准刀具和一些参考资料中叙述较少的先进高效刀具,则较详细地介绍了它们的设计方法。手册中除附有大量的图表、数据、标准资料、部分刀具合理正确使用经验资料和技术要求外,对不少刀具列有详细的设计计算步骤,并附有设计示例和工作图。手册末附有刀具夹持部分的结构和尺寸,作为设计时参考。

本手册可供刀具设计人员作为案头书,并可供刀具制造和使用的工程技术人员以及机械制造专业的师生参考。

本单行本包括成形齿轮刀具,齿轮滚刀,加工蜗轮、蜗杆的刀具,插齿刀和梳齿刀,剃齿刀和加工非渐开线齿形工件的刀具的结构、尺寸、设计步骤及计算示例等。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

加工圆柱齿轮和蜗杆副的刀具/袁哲俊,刘华明主编. —北京:机械工业出版社, 2009.6

(金属切削刀具设计手册: 单行本)

ISBN 978-7-111-27327-1

I. 加… II. ①袁…②刘… III. ①齿轮刀具-技术手册 ②蜗杆-刀具(金属切削)-技术手册 IV. TG71-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 089469 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周国萍 版式设计: 霍永明 责任校对: 李 婷

封面设计: 姚 毅 责任印制: 乔 宇

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

210mm × 285mm · 18 印张 · 748 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27327-1

定价: 38.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379733

封面防伪标均为盗版

## 金属切削刀具设计手册编委会

|     |     |                      |
|-----|-----|----------------------|
| 主 编 | 袁哲俊 | 哈尔滨工业大学教授            |
|     | 刘华明 | 哈尔滨工业大学教授            |
| 编 委 | 顾祖慰 | 哈尔滨汽轮机厂副总工艺师、高级工程师   |
|     | 赵 鸿 | 航天科工哈尔滨风华有限公司总经理、研究员 |
|     | 曹聚盛 | 哈尔滨量具刀具厂仪器分厂厂长、高级工程师 |
|     | 姚英学 | 哈尔滨工业大学教授            |
|     | 薄化川 | 哈尔滨工业大学教授            |
|     | 于继龙 | 哈尔滨第一工具厂总工程师、高级工程师   |
|     | 董英武 | 哈尔滨第一工具厂高级工程师        |
|     | 王 扬 | 哈尔滨工业大学教授            |
|     | 周 明 | 哈尔滨工业大学教授            |
|     | 刘献礼 | 哈尔滨理工大学教授            |
|     | 孙柏春 | 哈尔滨先锋机电技术开发有限公司高级工程师 |
|     |     |                      |

## 金属切削刀具设计手册编者

|      |               |             |
|------|---------------|-------------|
| 第1章  | 刀具几何参数的定义     | 刘华明         |
| 第2章  | 刀具材料          | 杨立军、王扬、王娜君  |
| 第3章  | 车刀和刨刀         | 赵鸿、周明、刘献礼   |
| 第4章  | 孔加工刀具         | 刘华明、曹聚盛     |
| 第5章  | 铣刀            | 顾祖慰、马彪、汪津泽  |
| 第6章  | 拉刀            | 薄化川         |
| 第7章  | 螺纹刀具          | 刘献礼         |
| 第8章  | 数控机床用工具系统     | 孙柏春         |
| 第9章  | 成形齿轮刀具        | 袁哲俊、张文生     |
| 第10章 | 齿轮滚刀          | 莽纪成、张新国     |
| 第11章 | 加工蜗轮、蜗杆的刀具    | 刘华明、黄劭楠     |
| 第12章 | 插齿刀和梳齿刀       | 袁哲俊、姚英学     |
| 第13章 | 剃齿刀           | 袁哲俊、谢大纲     |
| 第14章 | 直齿锥齿轮刀具       | 袁哲俊、赵航      |
| 第15章 | 曲线齿锥齿轮加工刀具    | 于继龙、王家喜     |
| 第16章 | 加工非渐开线齿形工件的刀具 | 董英武、刘华明、王东鹏 |
| 附录   | 刀具常用数表        | 袁哲俊         |

# 《金属切削刀具设计手册》 单行本 出版说明

《金属切削刀具设计手册》注重实用性、先进性、系统性，汇集了各种金属切削刀具的结构及其设计，包括普通刀具和复杂刀具的设计，具有“内容先进翔实、设计示例步骤详尽、作者学识丰富专深、标准符合国家最新”的突出特色，是从事刀具设计和使用的工程技术人员必备的案头工具书。

《金属切削刀具设计手册》自2008年出版以来，受到了包括企业、研究院所以及高校等的专业读者的广泛欢迎。从读者的反馈来看，手册能围绕金属切削刀具的结构及其设计，为读者提供可靠的数据，详细的设计计算步骤、设计示例和工作图，帮助读者解决工作中遇到的刀具设计和使用问题。

在手册的使用过程中，一些读者提出了手册较厚，使用不方便的问题。为此，我们针对手册的形式进行了调研，结果表明，单行本的模式得到了许多读者、作者的肯定和期待。为了满足设计和使用人员对某类刀具设计和使用的需要，更加方便设计和使用人员查用，我们决定编辑出版《金属切削刀具设计手册》有关章的单行本。

从刀具的种类出发，考虑到一些刀具设计和使用人员从事相对具体、独立的刀具设计和使用工作，《金属切削刀具设计手册》单行本包括《车刀和刨刀》（含刀具几何参数的定义）、《孔加工刀具、铣刀、数控机床用工具系统》（含刀具常用数表）、《拉刀》、《螺纹刀具》、《加工锥齿轮的刀具》、《加工圆柱齿轮和蜗杆副的刀具》，读者可根据需要灵活选购。

机械工业出版社

# 前 言

我国的刀具制造业已有较长的历史，改革开放以来，特别是近几年随着我国机械制造业的蓬勃发展，刀具工业已发展到相当大的规模，不仅有数量较多的专业工具厂，而且大量的机械制造厂都在使用和生产刀具。我国现在的生产总值和制造业规模，仅次于美国、日本，最近又超过了德国，已居世界第三位。我国已是世界制造大国，机床拥有量世界第一，年消耗刀具近 20 亿美元。提高切削技术、正确设计和选用先进高效精密刀具，能大大提高机械制造的生产率，提高产品质量，降低生产成本，对整个机械制造工业影响极大。先进高效刀具是提高机械制造业水平和提高加工效率的最积极因素之一。

但是国内专门的刀具设计书还比较少，系统全面地介绍各种刀具设计的书更缺。为解决刀具设计的急需，为从事刀具设计的工程技术人员提供一本实用的案头书，我们组织编写了本书。本书系统全面地介绍了各种金属切削刀具的结构及其设计，包括普通刀具和复杂刀具的设计。全书共分 16 章，介绍了刀具的共同问题：刀具几何参数的定义和刀具材料；普通刀具部分介绍了车刀、孔加工刀具、铣刀和螺纹刀具；复杂刀具部分介绍了拉刀、数控刀具、齿轮刀具和加工非渐开线齿形工件的刀具。对常用的标准刀具，扼要地介绍了刀具的结构特点和设计方法。对非标准刀具和一些参考资料中叙述较少的先进高效刀具，则较详细地介绍了它们的设计方法。本书编写取材，尽量采用经过生产实际检验过的资料，同时也适当注意国内外刀具技术的新发展。书中除附有大量的图表、数据、标准资料、部分刀具合理正确使用经验资料和技术要求外，对不少刀具列有详细的设计计算步骤，并附有设计示例和工作图。书末附有刀具夹持部分的结构和尺寸，作为设计时参考。

参加本手册编写的有哈尔滨工业大学、哈尔滨第一工具厂、哈尔滨量具刀具厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨风华有限公司、哈尔滨理工大学、哈尔滨先锋机电有限公司、黑龙江科技学院等单位的多名同志。本书由袁哲俊、刘华明担任主编。编写中得到很多工厂、学校和科研院所同志的帮助，并提供资料和意见，在此一并致谢。本次手册编写过程中，哈尔滨量具刀具厂曹聚盛高工不幸因病去世，对此我们深表哀悼。

由于受到本书篇幅限制，还有不少刀具设计内容未能编入。由于我们水平有限，编写仓促，书中缺点错误在所难免，希望广大读者批评指正。

编 著



# 目 录

## 《金属切削刀具设计手册》单行本出版说明

### 前言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>第9章 成形齿轮刀具</b> .....          | 1  |
| 9.1 成形齿轮刀具的种类和应用 .....           | 1  |
| 9.1.1 基本工作原理 .....               | 1  |
| 9.1.2 成形齿轮刀具的主要种类 .....          | 1  |
| 9.2 盘形齿轮铣刀 .....                 | 2  |
| 9.2.1 盘形齿轮铣刀的主要类型 .....          | 2  |
| 9.2.2 标准齿轮铣刀的齿形确定和铣刀刀号 .....     | 3  |
| 9.2.3 加工斜齿轮时盘形铣刀(磨轮)齿形的确定 .....  | 8  |
| 9.2.4 标准盘形齿轮铣刀的结构尺寸和技术条件 .....   | 9  |
| 9.2.5 镶齿盘形齿轮铣刀 .....             | 12 |
| 9.3 指形齿轮铣刀 .....                 | 13 |
| 9.3.1 指形齿轮铣刀的主要类型 .....          | 13 |
| 9.3.2 指形齿轮铣刀齿形的确定 .....          | 13 |
| 9.3.3 指形齿轮铣刀刀齿结构 .....           | 15 |
| 9.3.4 指形齿轮铣刀的夹固部分和其他尺寸 .....     | 17 |
| 9.3.5 粗加工用指形齿轮铣刀 .....           | 19 |
| 9.3.6 精加工螺旋齿指形铣刀 .....           | 21 |
| 9.3.7 指形齿轮铣刀的技术要求 .....          | 22 |
| <b>第10章 齿轮滚刀</b> .....           | 23 |
| 10.1 整体齿轮滚刀 .....                | 23 |
| 10.1.1 齿形设计 .....                | 23 |
| 10.1.2 滚刀的结构参数 .....             | 25 |
| 10.1.3 标准齿轮滚刀的基本尺寸 .....         | 27 |
| 10.1.4 齿轮滚刀的技术要求 .....           | 27 |
| 10.1.5 齿轮滚刀的设计步骤及计算示例 .....      | 30 |
| 10.2 其他结构齿轮滚刀 .....              | 33 |
| 10.2.1 大模数镶齿齿轮滚刀 .....           | 33 |
| 10.2.2 圆磨法齿轮滚刀 .....             | 34 |
| 10.2.3 小模数齿轮滚刀 .....             | 34 |
| 10.2.4 渐开线花键滚刀 .....             | 36 |
| 10.3 剃前滚刀和磨前滚刀 .....             | 37 |
| 10.3.1 剃前齿轮滚刀 .....              | 37 |
| 10.3.2 磨前齿轮滚刀 .....              | 41 |
| 10.4 硬质合金滚刀 .....                | 44 |
| 10.4.1 硬质合金滚刀的结构 .....           | 44 |
| 10.4.2 硬质合金滚刀的齿形和切削角度 .....      | 45 |
| 10.4.3 硬质合金滚刀的基本尺寸和计算尺寸 .....    | 45 |
| 10.5 滚刀的重磨与检验 .....              | 46 |
| 10.5.1 滚刀重磨时的技术要求 .....          | 46 |
| 10.5.2 滚刀重磨后的检验 .....            | 46 |
| <b>第11章 加工蜗轮、蜗杆的刀具</b> .....     | 50 |
| 11.1 普通蜗轮滚刀 .....                | 50 |
| 11.1.1 ZA、ZN、ZI、ZK型蜗杆的几何特性 ..... | 50 |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 11.1.2 蜗轮滚刀的工作原理和加工方法 .....                 | 50  |
| 11.1.3 蜗轮滚刀的结构设计 .....                      | 51  |
| 11.1.4 蜗轮滚刀的齿形 .....                        | 55  |
| 11.1.5 蜗轮滚刀的技术条件 .....                      | 59  |
| 11.1.6 蜗轮滚刀的设计步骤及示例 .....                   | 63  |
| 11.1.7 点接触非对偶型蜗轮滚刀设计方法的发展 .....             | 64  |
| 11.2 蜗轮剃齿刀 .....                            | 66  |
| 11.3 蜗轮飞刀 .....                             | 66  |
| 11.3.1 飞刀的工作原理与应用范围 .....                   | 66  |
| 11.3.2 飞刀的齿形计算 .....                        | 67  |
| 11.3.3 飞刀及刀杆的结构 .....                       | 67  |
| 11.4 加工圆弧圆柱蜗杆副的刀具 .....                     | 68  |
| 11.4.1 ZC3型轴向圆弧圆柱蜗轮滚刀 .....                 | 69  |
| 11.4.2 ZC1型圆弧圆柱蜗轮滚刀与飞刀 .....                | 71  |
| 11.4.3 ZC2型圆弧圆柱蜗轮滚刀与飞刀 .....                | 74  |
| 11.5 加工环面蜗杆副的刀具 .....                       | 77  |
| 11.5.1 直廓环面蜗杆传动简介 .....                     | 77  |
| 11.5.2 加工直廓环面蜗杆的切刀盘与切刀 .....                | 79  |
| 11.5.3 加工直廓环面蜗轮的滚刀与飞刀 .....                 | 82  |
| <b>第12章 插齿刀和梳齿刀</b> .....                   | 86  |
| 12.1 插齿刀的工作原理和种类用途 .....                    | 86  |
| 12.1.1 插齿刀的工作原理 .....                       | 86  |
| 12.1.2 插齿刀的种类和应用 .....                      | 86  |
| 12.1.3 插齿刀的新结构 .....                        | 86  |
| 12.2 外啮合直齿插齿刀 .....                         | 88  |
| 12.2.1 插齿刀的后角、前角和齿形修正 .....                 | 88  |
| 12.2.2 插齿刀变位系数的确定 .....                     | 90  |
| 12.2.3 插齿刀齿顶圆角半径的确定 .....                   | 95  |
| 12.2.4 直齿外插齿刀结构和主要参数的确定 .....               | 96  |
| 12.2.5 标准直齿外插齿刀的精度等级、结构尺寸、齿形尺寸和通用技术条件 ..... | 103 |
| 12.3 内啮合直齿插齿刀 .....                         | 116 |
| 12.3.1 内啮合插齿刀的特点 .....                      | 116 |
| 12.3.2 内插齿刀最大变位系数 $(x_0)_{\max}$ 的确定 .....  | 116 |
| 12.3.3 内插齿刀最小变位系数 $(x_0)_{\min}$ 的确定 .....  | 118 |
| 12.3.4 少齿数插齿刀本身根切的避免 .....                  | 120 |
| 12.3.5 内啮合直齿插齿刀结构参数的确定和设计步骤 .....           | 121 |
| 12.4 几种专门用途的直齿插齿刀 .....                     | 129 |
| 12.4.1 渐开线花键孔插齿刀 .....                      | 129 |
| 12.4.2 谐波齿轮插齿刀 .....                        | 132 |
| 12.4.3 修缘插齿刀 .....                          | 134 |
| 12.4.4 剃前插齿刀 .....                          | 136 |
| 12.5 斜齿插齿刀 .....                            | 138 |

|                                  |     |                                     |     |
|----------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 12.5.1 斜齿插齿刀概述 .....             | 138 | 齿形求法 .....                          | 214 |
| 12.5.2 人字齿轮插齿刀 .....             | 142 | 16.2 矩形花键滚刀设计 .....                 | 216 |
| 12.5.3 斜齿轮插齿刀 .....              | 143 | 16.2.1 矩形花键轴齿形主要参数 .....            | 216 |
| 12.5.4 加工斜齿插齿刀的专用滚刀齿形计算 .....    | 147 | 16.2.2 矩形花键滚刀设计 .....               | 217 |
| 12.6 插齿刀制造和使用中的若干问题 .....        | 148 | 16.2.3 矩形花键滚刀的主要技术要求 .....          | 219 |
| 12.6.1 插齿刀侧刃齿形表面的磨制 .....        | 148 | 16.2.4 矩形花键滚刀的设计步骤及计算示例 .....       | 225 |
| 12.6.2 插齿切削用量的优选 .....           | 149 | 16.3 三角花键滚刀 .....                   | 229 |
| 12.6.3 插齿刀的刃磨 .....              | 150 | 16.4 滚子链和套筒滚子链链轮滚刀 .....            | 230 |
| 12.7 梳齿刀 .....                   | 150 | 16.4.1 链轮端面齿形 .....                 | 230 |
| 12.7.1 梳齿刀概述 .....               | 150 | 16.4.2 链轮滚刀设计 .....                 | 231 |
| 12.7.2 直齿梳齿刀 .....               | 150 | 16.4.3 链轮滚刀的技术要求 .....              | 232 |
| 12.7.3 斜齿梳齿刀 .....               | 151 | 16.4.4 链轮滚刀的设计步骤及计算示例 .....         | 233 |
| 12.7.4 梳齿刀的技术要求 .....            | 154 | 16.5 摆线针轮滚刀 .....                   | 236 |
| 12.7.5 加工非标准齿轮 .....             | 155 | 16.5.1 摆线针轮齿形的形成原理及方程 .....         | 236 |
| <b>第13章 剃齿刀</b> .....            | 158 | 16.5.2 摆线齿滚滚刀的法向齿形计算 .....          | 238 |
| 13.1 普通剃齿刀 .....                 | 158 | 16.5.3 摆线齿滚滚刀的基本尺寸及主要技术要求 .....     | 238 |
| 13.1.1 剃齿方法概述 .....              | 158 | 16.5.4 摆线齿滚滚刀的设计步骤及计算示例 .....       | 238 |
| 13.1.2 剃齿工作原理 .....              | 158 | 16.6 圆弧齿轮滚刀 .....                   | 241 |
| 13.1.3 剃齿时的进给方式和轴交角 .....        | 161 | 16.6.1 单圆弧齿轮滚刀 .....                | 241 |
| 13.1.4 剃齿刀重要结构参数的分析和确定 .....     | 164 | 16.6.2 双圆弧齿轮滚刀 .....                | 244 |
| 13.1.5 专用剃齿刀设计 .....             | 169 | 16.7 钟表齿轮滚刀 .....                   | 248 |
| 13.1.6 已有的通用剃齿刀的适用性检验 .....      | 170 | 16.7.1 钟表齿轮的齿形特点及计算 .....           | 248 |
| 13.1.7 盘形剃齿刀的结构尺寸、精度和技术要求 .....  | 186 | 16.7.2 钟表齿轮滚刀的齿形计算 .....            | 249 |
| 13.2 径向剃齿刀 .....                 | 194 | 16.7.3 钟表齿滚滚刀的结构尺寸和主要技术要求 .....     | 250 |
| 13.2.1 径向剃齿刀的特点 .....            | 194 | 16.7.4 钟表齿滚滚刀的设计步骤及计算示例 .....       | 250 |
| 13.2.2 径向剃齿刀齿面分析 .....           | 194 | 16.8 定装滚刀 .....                     | 253 |
| 13.2.3 径向剃齿刀齿面坐标求解的计算框图与程序 ..... | 196 | 16.8.1 按成形展成组合原理工作的滚刀(长齿花键滚刀) ..... | 253 |
| 13.2.4 径向剃齿刀齿面坐标计算示例 .....       | 197 | 16.8.2 按成形滚切法工作的成形滚刀 .....          | 255 |
| 13.2.5 径向剃齿刀齿面的修形量 .....         | 199 | 16.9 非渐开线插齿刀 .....                  | 261 |
| 13.2.6 径向剃齿刀容屑槽的排列及错距计算 .....    | 202 | 16.9.1 花键轴插齿刀 .....                 | 261 |
| 13.2.7 径向剃齿刀的齿面磨削 .....          | 203 | 16.9.2 花键孔插齿刀 .....                 | 263 |
| 13.3 内齿轮剃齿刀 .....                | 204 | 16.9.3 矩形花键插齿刀侧齿面逼近加工 .....         | 264 |
| 13.3.1 内齿轮剃齿的啮合特点 .....          | 204 | 16.9.4 矩形花键插齿刀设计示例 .....            | 265 |
| 13.3.2 内齿轮剃齿刀齿面的形成 .....         | 204 | 16.10 展成车刀 .....                    | 270 |
| 13.3.3 内齿轮剃齿刀齿形计算示例 .....        | 206 | 16.10.1 展成车刀齿形的求解 .....             | 270 |
| 13.4 其他剃齿法和所用剃齿刀 .....           | 208 | 16.10.2 工件节线位置的选择 .....             | 271 |
| 13.4.1 对角剃齿法——斜向进给 .....         | 208 | 16.10.3 展成车刀节圆半径的选取 .....           | 272 |
| 13.4.2 切向剃齿法——横向进给 .....         | 209 | 16.10.4 展成车刀的切削角度和结构形式 .....        | 272 |
| 13.4.3 鼓形齿剃齿法和所用剃齿刀 .....        | 209 | 16.10.5 展成车刀加工实例——齿条加工 .....        | 273 |
| 13.5 剃齿精度和剃齿刀齿形修正 .....          | 210 | 16.10.6 按空间啮合原理工作的展成车刀——车齿刀 .....   | 273 |
| 13.5.1 剃齿精度 .....                | 210 | <b>参考文献</b> .....                   | 275 |
| 13.5.2 剃齿刀齿形的修正 .....            | 212 |                                     |     |
| <b>第16章 加工非渐开线齿形工件的刀具</b> .....  | 214 |                                     |     |
| 16.1 用展成法加工非渐开线齿形的滚刀             |     |                                     |     |



## 第9章 成形齿轮刀具

### 9.1 成形齿轮刀具的种类和应用

#### 9.1.1 基本工作原理

成形齿轮刀具是用于加工直齿和斜齿圆柱齿轮的。齿轮齿形有渐开线和非渐开线（如摆线、圆弧齿形等），本章只讲加工渐开线齿形的成形刀具。

加工直齿圆柱齿轮时，刀具的截形（在无前角时）和齿轮齿槽的截形相同，这时刀具是用仿形法加工齿轮。在切齿过程中，刀具齿形与被切齿轮齿槽形状的各相应点完全重合，例如用盘形齿轮铣刀或指形齿轮铣刀加工直齿齿轮，就是用仿形原理。

加工斜齿齿轮或人字齿轮时，刀具的截形和齿轮齿槽的截形并不完全相同。齿轮齿槽的截形是由刀具齿形（切削刃）连续运动轨迹包络而成，刀具与被切齿轮在切齿过程中无瞬心，这时刀具是用无瞬心包络法加工齿轮的。用盘形和指形铣刀加工斜齿齿轮或人字齿轮，用的是无瞬心包络法。

在一般情况下，用无瞬心包络法加工斜齿齿轮，刀具齿形虽和齿轮齿槽的法截形不同，但差别并不很大。并且这类成形齿轮刀具生产中有时用于加工直齿齿轮，有时又用于加工斜齿齿轮，故习惯上常将用仿形法和用无瞬心包络法加工圆柱齿轮的刀具统称“成形齿轮刀具”，这名称虽不严格，但为尊重多数人的习惯，本手册亦采用了成形齿轮刀具这名称。

#### 9.1.2 成形齿轮刀具的主要种类

(1) 盘形齿轮铣刀 盘形齿轮铣刀可用于加工直齿、斜齿和带空刀槽的人字齿轮。

标准盘形齿轮铣刀（图9-1）一般是成套供应的。由于它加工效率、加工精度不高，且刀具寿命也不高（刀具热处理后不磨齿形，齿面有脱碳层），但是可用普通铣床加工齿轮，所以在修配和单件生产中有时还使用。

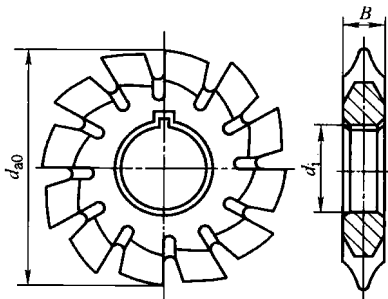


图 9-1 标准盘形齿轮铣刀

模数较大的齿轮（ $m = 20 \sim 40\text{mm}$ ）在没有滚刀时可以用盘形齿轮铣刀加工，这时盘形齿轮铣刀做成镶齿结构。

生产中为提高加工效率、加工精度和刀具寿命，常常

将齿轮粗切和精切分开进行。图9-2所示是一种粗加工用齿轮铣刀。该铣刀采用顶刃前角  $8^\circ \sim 10^\circ$ ，并采用错齿结构（刀具侧向倾斜  $10^\circ$ ，前后齿切削刃错开），侧切削刃开分屑槽以减小切削力，改善切削情况。粗加工盘形铣刀为便于制造可以制成梯形齿形（图9-3a）。在模数较大时，还可制成阶梯齿形（图9-3b）进行第一次粗切，再用梯形齿形进行第二次粗切，以提高加工效率。

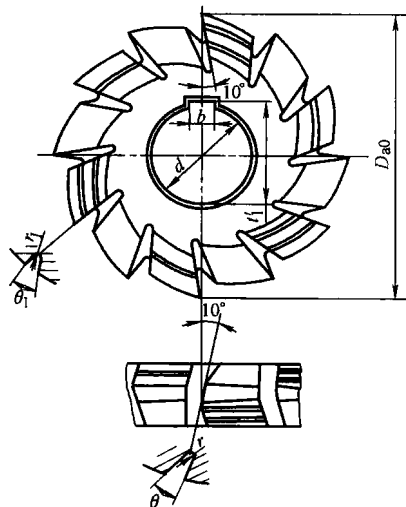


图 9-2 粗加工用错齿盘形铣刀

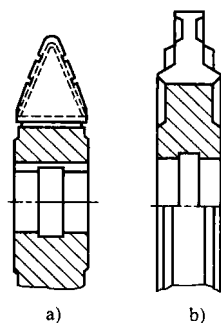


图 9-3 粗加工用梯形和阶梯齿形盘形铣刀

a) 梯形齿形 b) 阶梯齿形

(2) 指形齿轮铣刀 指形齿轮铣刀主要用于加工大模数（ $m = 10 \sim 100\text{mm}$ ）的直齿、斜齿齿轮和无空刀槽的人字齿轮、多曲人字齿轮。

过去指形齿轮铣刀都做成直齿，齿形经过铲齿制成，如图9-4a所示。这种指形铣刀切削时振动大，刀具寿命低，加工效率低。现在已有不少工厂改用螺旋齿结构的指形铣刀，如图9-4b所示，可明显提高加工精度和加工效率。但这种螺旋齿指形铣刀制造较复杂。

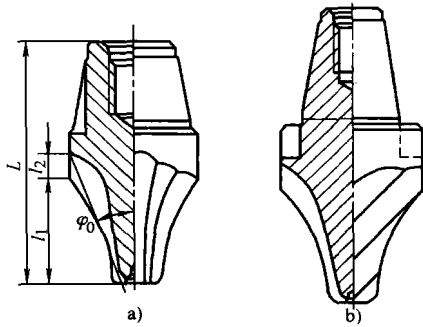


图 9-4 指形齿轮铣刀

a) 直齿铲齿结构 b) 螺旋齿尖齿结构

(3) 齿轮拉刀 齿轮拉刀刀具寿命长，加工齿轮效率高，加工的齿轮精度和齿面质量高。但齿轮拉刀制造复杂、成本高，故仅在大量生产中制造内齿轮和扇形齿轮时使用。

(4) 成形插齿刀盘 成形插齿刀盘（图 9-5）是在专用机床上用仿形原理加工直齿、斜齿圆柱齿轮，也可加工花键轴。它同时切削齿轮的全部牙齿，故生产率很高。但由于刀具结构复杂，要求精度高，成本高，且刀具专用，

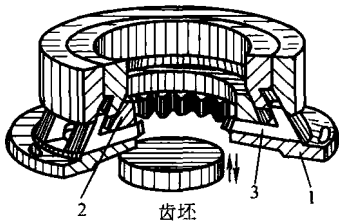


图 9-5 成形插齿刀盘

1—刀体 2—压板 3—切刀齿

故只能用于大量生产。

成形插齿刀盘由三部分组成：

1) 刀体。在刀体 1 内开有半径方向的槽，以容纳切刀齿 3。

2) 压板。用一圈螺钉将压板 2 固定在刀体上，其下平面就是切刀齿的支承基面。

3) 切刀齿。刀体每个径向槽中都有一把切刀齿 3，切刀齿有前角以利于切削。

加工时刀盘固定在机床上不动，齿轮毛坯件做上下往复运动，在返回空行程时，切刀齿有后退让刀运动。第二次切削行程时，切刀齿有径向进给，直到切出齿槽全深。

(5) 成形磨轮 用成形磨轮加工精密齿轮时，加工效率高于展成法磨削，但由于成形磨削要求精确修整磨轮齿形，修整困难，限制了这种方法的应用。

用成形磨轮磨削有一突出优点，就是齿轮槽的齿形部分和齿底部分可以一次磨出，这两部分圆滑过渡无应力集中现象。用展成法磨削齿轮，齿形部分和齿根部分不连续，有应力集中，影响轮齿强度。

成形磨轮齿形的计算方法和盘形齿轮铣刀相同，可加工直齿和斜齿圆柱齿轮。近年来已出现一些新的齿形修正方法，如精密数控修正、修正笔运动不和砂轮齿形母线重合的齿形逼近法等。新修整方法的应用使成形齿轮磨削有了新的生机。

9.2 盘形齿轮铣刀

9.2.1 盘形齿轮铣刀的主要类型

盘形齿轮铣刀的主要类型见表 9-1。

表 9-1 盘形齿轮铣刀的主要类型

| 序号 | 名称      | 简 图 | 特 点 和 用 途                                                                  |
|----|---------|-----|----------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 小模数齿轮铣刀 |     | 1) 适用于模数 $m = 0.3 \sim 0.8\text{mm}$<br>2) 前角 $\gamma = 0^\circ$           |
| 2  | I 型齿轮铣刀 |     | 1) 适用于模数 $m = 1 \sim 6.5\text{mm}$<br>2) 槽底为直线<br>3) 前角 $\gamma = 0^\circ$ |



铣刀要根据样板来制造和检验齿形,故应画出样板齿形。画样板的齿形时,应将坐标原点移到  $O_1$  点,如图 9-7 所示。这时样板的坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_M \\ y_1 &= y_M - r_f \end{aligned} \right\} \quad (9-6)$$

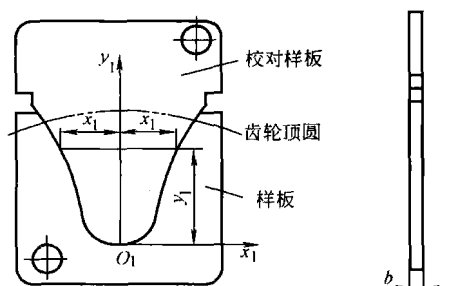


图 9-7 齿轮铣刀的齿形样板

综上所述,齿轮铣刀计算齿形步骤见表 9-2。

表 9-2 齿轮铣刀齿形计算步骤

| 序号 | 计算项目       | 符号         | 计算公式及图表                                                                                                                      |
|----|------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 基圆半径       | $r_b$      | $r_b = \frac{mz}{2} \cos \alpha_0$                                                                                           |
| 2  | 根圆半径       | $r_f$      | $r_f = \left( \frac{z}{2} - 1.25 \right) m$                                                                                  |
| 3  | 分度圆半径      | $r$        | $r = \frac{1}{2} mz$                                                                                                         |
| 4  | 顶圆半径       | $r_a$      | $r_a = \left( \frac{z}{2} + 1 \right) m$                                                                                     |
| 5  | 分度圆齿槽中心半角  | $\eta$     | $\eta = \frac{\pi - 4x \tan \alpha_0}{2z} + \frac{\Delta s}{mz}$                                                             |
| 6  | 渐开角        | $\theta$   | $\theta = \text{inv} \alpha_0$ , 查渐开线函数表                                                                                     |
| 7  | 基圆齿槽中心半角   | $\eta_b$   | $\eta_b = \eta - \text{inv} \alpha_0$                                                                                        |
| 8  | 任意圆半径      | $r_M$      | 最小值取 $r_b$ ( $r_b > r_f$ ) 或 $r_f$ ( $r_b < r_f$ ); 最大值取 $r_a + (2 \sim 10) \text{mm}$ ; 为计算齿顶宽度, 必须在 $r_a$ 处取一点, 共取 6~20 个点 |
| 9  | 任意点压力角     | $\alpha_M$ | $\alpha_M = \arccos \frac{r_b}{r_M}$                                                                                         |
| 10 | 任意点处渐开角    | $\theta_M$ | $\theta_M = \text{inv} \alpha_M$ 查渐开线函数表                                                                                     |
| 11 | 任意半径齿槽中心半角 | $\eta_M$   | $\eta_M = \eta_b + \text{inv} \alpha_M$                                                                                      |
| 12 | M 点横坐标     | $x_M$      | $x_M = r_M \sin \eta_M$                                                                                                      |
| 13 | M 点纵坐标     | $y_M$      | $y_M = r_M \cos \eta_M$                                                                                                      |
| 14 | 样板横坐标      | $x_1$      | $x_1 = x_M$                                                                                                                  |
| 15 | 样板纵坐标      | $y_1$      | $y_1 = y_M - r_f$                                                                                                            |

## 2. 标准齿轮铣刀的刀号

模数相同而齿数不同的齿轮,其齿形虽都是渐开线,但是形状是不同的。齿数越少,基圆半径越小,渐开线齿形的曲率半径也越小;当齿数较多时,渐开线齿形的曲率

半径就较大。因此,同模数而齿数不同的齿轮,要求用不同的齿轮铣刀来加工,这就要求齿轮铣刀的规格繁多,增加刀具费用。由于齿轮铣刀加工的齿轮精度一般不高,故生产中把齿数相近的齿轮用同一把齿轮铣刀加工,使刀具规格大大减少。

标准齿轮铣刀都成套供应。当模数  $m \leq 8 \text{mm}$  时,由 8 把铣刀组成一套;当模数  $m \geq 9 \text{mm}$  时,由 15 把铣刀组成一套。每套铣刀可加工模数相同、齿数  $z = 12 \sim \infty$  的齿轮。每套铣刀中各刀号所能加工的齿数范围,按 JB/T 7970.1—1999 的规定,见表 9-3。

表 9-3 标准齿轮铣刀的刀号和各刀号加工的齿数范围

| 铣刀号      |            | 1          | $1\frac{1}{2}$ | 2          | $2\frac{1}{2}$ | 3           | $3\frac{1}{2}$ | 4          | $4\frac{1}{2}$ |
|----------|------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------|----------------|------------|----------------|
| 齿轮<br>齿数 | 8 把<br>一套  | 12 ~<br>13 |                | 14 ~<br>16 |                | 17 ~<br>20  |                | 21 ~<br>25 |                |
|          | 15 把<br>一套 | 12         | 13             | 14         | 15 ~<br>16     | 17 ~<br>18  | 19 ~<br>20     | 21 ~<br>22 | 23 ~<br>25     |
| 铣刀号      |            | 5          | $5\frac{1}{2}$ | 6          | $6\frac{1}{2}$ | 7           | $7\frac{1}{2}$ | 8          |                |
| 齿轮<br>齿数 | 8 把<br>一套  | 26 ~<br>34 |                | 35 ~<br>54 |                | 55 ~<br>134 |                | ≥ 135      |                |
|          | 15 把<br>一套 | 26 ~<br>29 | 30 ~<br>34     | 35 ~<br>41 | 42 ~<br>54     | 55 ~<br>79  | 80 ~<br>134    |            |                |

每号齿轮铣刀加工的齿轮齿数范围划分,是照齿形误差超过一定数值的原则决定的。如图 9-8 所示,将齿数  $z = 12$  和  $z = \infty$  (齿条) 的齿形画出,将其间等分成 8 (或 15) 段,即是各刀号的加工齿数范围。每号铣刀的齿形,是按该铣刀可加工的最小齿数的齿槽设计的。这样加工其他齿数时,齿顶和齿根略有过切,齿轮啮合时不会卡住。

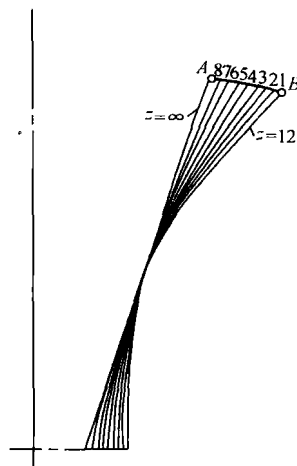


图 9-8 不同刀号齿轮铣刀的齿形

## 3. 铣刀齿形的代替圆弧

当齿轮精度要求不高时,可用圆弧近似地代替渐开线齿形。在齿轮铣刀需要铲磨时,用代用圆弧修整砂轮比较方便。

当齿轮齿数  $z = 12 \sim 54$  时, 需用两段圆弧代替渐开线齿形; 在  $z \geq 55$  时, 只需用一段圆弧即可。代用圆弧的圆心是在基圆上, 根据齿轮的参数可作出齿轮的基圆、分度圆和分度圆与齿廓的交点  $A$ , 如图 9-9 所示。在用两段代用圆弧时,  $A$  点为两圆弧的连接点。对分度圆压力角  $\alpha_0 = 20^\circ$  的齿轮, 代用圆弧半径  $R_1$  和  $R_2$  可用下式计算

$$\begin{cases} R_1 = \rho' m \\ R_2 = \rho'' m \end{cases} \quad (9-7)$$

式中

$$\rho' = \frac{z}{2} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_0 \frac{z-1}{z+1}} \quad (9-8)$$

$$\rho'' = \frac{z^2 \sin^2 \alpha_0}{4\rho'} \quad (9-9)$$

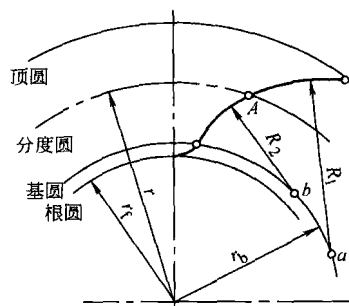


图 9-9 渐开线齿形的代用圆弧

为便于使用, 按上式计算出不同刀号 (齿数) 时的代用圆弧  $\rho'$ 、 $\rho''$  值, 见表 9-4。

表 9-4  $\alpha_0 = 20^\circ$  齿轮时的代用圆弧  $\rho'$ 、 $\rho''$  值

| 铣刀号数          | 1     | $1\frac{1}{2}$ | 2     | $2\frac{1}{2}$ | 3     | $3\frac{1}{2}$ | 4     | $4\frac{1}{2}$ |
|---------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|
| 被加工齿轮最小齿数 $z$ | 12    | 13             | 14    | 15             | 17    | 19             | 21    | 23             |
| $\rho'$       | 3.017 | 3.205          | 3.391 | 3.545          | 3.942 | 4.303          | 4.662 | 5.020          |
| $\rho''$      | 1.396 | 1.542          | 1.690 | 1.856          | 2.144 | 2.454          | 2.767 | 3.082          |

| 铣刀号数          | 5     | $5\frac{1}{2}$ | 6     | $6\frac{1}{2}$ | 7      | $7\frac{1}{2}$ | 8      |
|---------------|-------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|--------|
| 被加工齿轮最小齿数 $z$ | 26    | 30             | 35    | 42             | 55     | 80             | 135    |
| $\rho'$       | 5.552 | 6.255          | 7.131 | 8.350          | 10.598 | 14.904         | 24.334 |
| $\rho''$      | 3.561 | 4.208          | 5.025 | 6.179          | —      | —              | —      |

#### 4. 铣刀齿形的过渡曲线部分

这是指加工齿轮齿根处过渡曲线部分的铣刀齿顶角处齿形。齿轮齿根处虽不参与啮合, 但它要求:

- 1) 不影响齿轮啮合。
- 2) 过渡曲线部分和有效齿形应圆滑过渡。
- 3) 有适当圆角以避免应力集中。过渡曲线的确定是一个比较复杂的问题, 有下面几种不同的情况。

(1) 被加工齿轮齿数  $z \geq 35$  时 (相当于 6~8 号铣刀) 这是属于齿轮不发生根切时的情况, 这时铣刀齿形由三部分组成: 渐开线  $EF$ 、圆弧  $\widehat{FA}$ 、直线  $\overline{O_1A}$ , 如图 9-10 所示。决定圆弧半径  $r_c$  及圆心位置步骤如下:

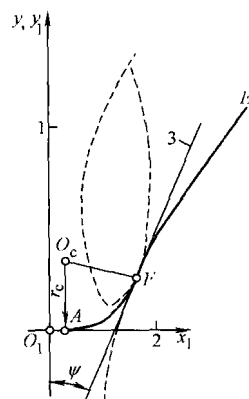


图 9-10 6~8 号齿轮铣刀的齿形

- 1) 求出延伸渐开线和渐开线切点  $F$  的向径  $r_F$

$$r_F = m \sqrt{\frac{z^2}{4} - h'_a z + \frac{h'^2_a}{\sin^2 \alpha_0}} \quad (9-10)$$

- 2) 用下式求出公切点  $F$  的坐标

$$\begin{cases} x_F = r_F \sin \eta_F \\ y_F = r_F \cos \eta_F \end{cases} \quad (9-11)$$

其中

$$\eta_F = \eta - \text{inv} \alpha_0 + \text{inv} \alpha_F$$

$$\alpha_F = \arccos \frac{r_b}{r_F}$$

- 3) 将  $F$  点坐标换算到  $O_1 x_1 y_1$  坐标系中

$$\begin{cases} x_{1F} = x_F \\ y_{1F} = y_F - r_f \end{cases} \quad (9-12)$$

- 4) 用下式求出过  $F$  点切线与  $y_1$  轴间夹角  $\psi$

$$\psi = \eta_F + \alpha_F \quad (9-13)$$

- 5) 圆弧半径  $r_c$  用下式计算

$$r_c = \frac{y_{1F}}{1 - \sin \psi} \quad (9-14)$$

- 6) 圆弧中心  $O_c$  坐标用下式计算

$$\begin{cases} y_c = r_c \\ x_c = x_{1F} - r_c \cos \psi \end{cases} \quad (9-15)$$

(2) 被加工齿轮齿数  $z = 19 \sim 34$  时 (相当于  $3\frac{1}{2} \sim 5\frac{1}{2}$  号铣刀) 这也是属于齿轮不发生根切时的情况, 这时铣刀齿形由三部分组成: 渐开线  $EF$ 、直线  $\overline{FC}$  和圆弧  $\widehat{CA}$ , 如图 9-11 所示。圆弧中心在  $y_1$  轴上, 这时决定圆弧半径  $r_c$  和圆心位置的步骤如下:

- 1)~4) 与 (1) 中的 1)~4) 完全相同。

- 5) 圆弧中心在  $y_1$  轴上, 圆弧半径  $r_c$  为

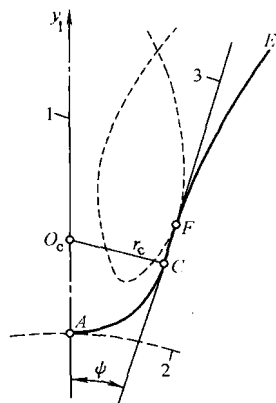
$$r_c = \frac{x_{1F} - y_{1F} \tan \psi}{\tan \left( \frac{90^\circ - \psi}{2} \right)} \quad (9-16)$$

- 6) 圆弧和直线  $\overline{FC}$  的切点  $C$  的坐标为

$$x_{1c} = x_{1F} - y_{1F} \tan \psi + r_c \tan \left( \frac{90^\circ - \psi}{2} \right) \sin \psi$$

$$y_{1c} = r_c \tan \left( \frac{90^\circ - \psi}{2} \right) \cos \psi \quad (9-17)$$

- (3) 被加工齿轮齿数  $z \leq 17$  时 (相当于 1~3 号铣

图 9-11  $3\frac{1}{2} \sim 5\frac{1}{2}$  号齿轮铣刀的齿形

刀) 当被加工齿轮齿数  $z \leq 17$  时, 齿轮齿根可能产生根切 (当  $\alpha_0 = 20^\circ$  时), 即渐开线齿形将和延伸渐开线 (共轭齿条齿角的展成运动轨迹) 相割, 这时铣刀齿形的过渡曲线如图 9-12 所示。

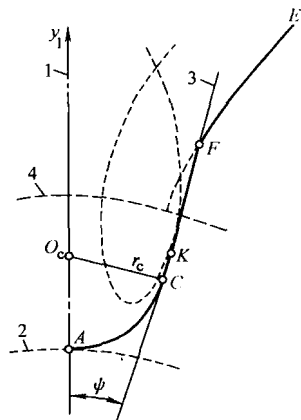


图 9-12 1~3 号齿轮铣刀的齿形

铣刀齿形过渡曲线的作法如下: 先将齿轮齿槽的渐开线和啮合时的延伸渐开线 (图 9-12 中的虚线曲线) 画出, 作延伸渐开线的切线  $KF$ 。  $KF$  和  $y_1$  轴倾斜成  $\psi$  角 (一般取  $\psi = 5^\circ$ ), 使铣刀刃有必要的后角。过渡曲线的圆弧部分的圆心在  $y_1$  轴上, 圆弧和  $KF$  直线在  $C$  点相切。故过渡曲线是由圆弧  $\widehat{AC}$  和直线  $\widehat{CF}$  所组成。圆弧半径  $r_c$  和  $K$  点坐标的计算可参考有关资料, 限于篇幅此处不予详述。

从图 9-12 中可看到, 过渡曲线是将部分有效渐开线工作齿形多切去了, 使齿轮啮合情况变坏。在齿轮加工要求高时 (例如成形齿轮磨削), 应按实际啮合齿轮参数计算出延伸外摆线来代替延伸渐开线, 按实际情况尽量少切去有效渐开线齿形, 以提高切出齿轮的啮合质量。

(4) 标准齿轮铣刀齿形过渡曲线部分的坐标 JB/T 7970.2—1999 (附录 A) 中给出了标准齿轮铣刀过渡曲线的齿形坐标, 如图 9-13 和表 9-5 所示。

#### 5. 标准齿轮铣刀的齿形坐标

JB/T 7970.2—1999 (附录 A) 中给出了标准齿轮铣刀渐开线齿形部分的坐标, 如图 9-13 和表 9-6 所示。

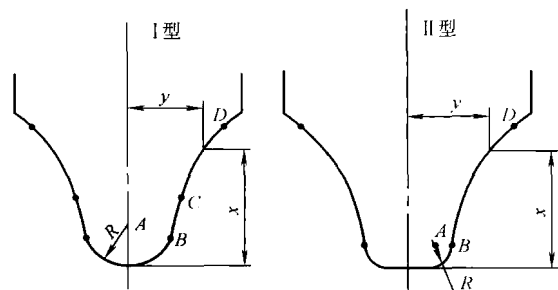


图 9-13 标准齿轮铣刀过渡曲线及渐开线各点的坐标

B—齿根圆弧起点  $\widehat{BC}$ —直线部分 C—I 型渐开线起点

D—顶圆与渐开线交点 A—齿根圆弧中心坐标

R—圆弧半径  $x$ 、 $y$ —渐开线各点的坐标

表 9-5 标准齿轮铣刀过渡曲线的齿形坐标 ( $m = 100\text{mm}$ ,  $\alpha = 20^\circ$ , 齿顶高系数  $h_a^* = 1$ , 间隙系数  $c^* = 0.2$ )

| 铣刀号            | 计算齿形时所依据齿数 | 分组后每一铣刀所适用的齿数 |         | 齿形上过渡曲线部分的各点坐标 |        |        |        |           |       |         |         |
|----------------|------------|---------------|---------|----------------|--------|--------|--------|-----------|-------|---------|---------|
|                |            |               |         | B 点            |        | C 点    |        | 圆弧中心      |       | D 点     |         |
|                |            | 8 个的一组        | 15 个的一组 | $y_B$          | $x_B$  | $y_C$  | $x_C$  | $y_r = R$ | $x_r$ | $y_D$   | $x_D$   |
| 1              | 12         | 12~13         | 12      | 58.777         | 64.144 | 85.848 | 66.512 | 64.388    | 0     | 203.516 | 151.018 |
| $1\frac{1}{2}$ | 13         |               | 13      | 58.071         | 63.373 | 82.032 | 65.469 | 61.615    | 0     | 205.142 | 148.545 |
| 2              | 14         | 14~16         | 14      | 57.423         | 62.676 | 78.205 | 64.493 | 62.915    | 0     | 206.492 | 146.391 |
| $2\frac{1}{2}$ | 15         |               | 15~16   | 56.851         | 62.042 | 74.397 | 63.577 | 62.279    | 0     | 207.628 | 144.499 |
| 3              | 17         | 17~20         | 17~18   | 55.829         | 60.927 | 66.956 | 61.900 | 61.160    | 0     | 209.429 | 141.329 |
| $3\frac{1}{2}$ | 19         |               | 19~20   | 53.806         | 59.728 | 61.249 | 60.506 | 60.045    | 0     | 210.877 | 138.779 |
| 4              | 21         | 21~25         | 21~22   | 51.548         | 58.760 | 57.152 | 59.299 | 59.060    | 0     | 211.849 | 136.682 |
| $4\frac{1}{2}$ | 23         |               | 23~25   | 49.719         | 57.612 | 53.789 | 58.213 | 58.238    | 0     | 212.697 | 134.927 |



(续)

| 铣刀号            | 计算齿形时所依据齿数 | 分组后每一铣刀<br>所适用的齿数 |             | 齿形上过渡曲线部分的各点坐标 |        |        |        |           |        |         |         |
|----------------|------------|-------------------|-------------|----------------|--------|--------|--------|-----------|--------|---------|---------|
|                |            |                   |             | B 点            |        | C 点    |        | 圆弧中心      |        | D 点     |         |
|                |            | 8 个的<br>一组        | 15 个的<br>一组 | $y_B$          | $x_B$  | $y_C$  | $x_C$  | $y_r = R$ | $x_r$  | $y_D$   | $x_D$   |
| 5              | 26         | 26 ~ 34           | 26 ~ 29     | 47.551         | 56.417 | 49.740 | 56.793 | 57.243    | 0      | 213.700 | 132.773 |
| $5\frac{1}{2}$ | 30         |                   | 30 ~ 34     | 45.388         | 55.174 | 45.635 | 55.222 | 56.228    | 0      | 214.666 | 130.536 |
| 6              | 35         | 35 ~ 54           | 35 ~ 41     | 41.857         | 53.656 | —      | —      | 53.286    | 1.600  | 215.537 | 128.427 |
| $6\frac{1}{2}$ | 42         |                   | 42 ~ 54     | 38.114         | 51.988 | —      | —      | 49.890    | 5.307  | 216.373 | 126.284 |
| 7              | 55         | 55 ~ 134          | 55 ~ 79     | 33.736         | 49.886 | —      | —      | 45.768    | 5.796  | 217.314 | 123.704 |
| $7\frac{1}{2}$ | 80         |                   | 80 ~ 134    | 29.376         | 47.621 | —      | —      | 41.190    | 8.162  | 218.213 | 121.042 |
| 8              | 135        | $\geq 135$        | $\geq 135$  | 25.518         | 45.471 | —      | —      | 36.953    | 10.332 | 218.973 | 118.600 |

表 9-6 标准齿轮铣刀渐开线各点的坐标 ( $m=100\text{mm}$ ,  $\alpha=20^\circ$ ,  $h_a^*=1$ ,  $c^*=0.2$ )

| 铣刀号      | 1       |         | $1\frac{1}{2}$ |         | 2       |         | $2\frac{1}{2}$ |         | 3       |         | $3\frac{1}{2}$ |         | 4       |         | $4\frac{1}{2}$ |         |
|----------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|---------|
|          | y       | x       | y              | x       | y       | x       | y              | x       | y       | x       | y              | x       | y       | x       | y              | x       |
| 渐开线各点的坐标 | 85.848  | 66.512  | 82.032         | 65.467  | 78.205  | 64.493  | 74.397         | 63.577  | 66.956  | 61.900  | 61.249         | 60.506  | 57.152  | 59.299  | 53.789         | 58.213  |
|          | 90.000  | 67.729  | 90.000         | 67.716  | 80.000  | 64.883  | 80.000         | 64.780  | 70.000  | 62.358  | 70.000         | 62.006  | 60.000  | 59.717  | 60.000         | 59.300  |
|          | 100.000 | 71.381  | 100.000        | 71.368  | 90.000  | 67.705  | 90.000         | 67.697  | 80.000  | 64.635  | 80.000         | 64.537  | 70.000  | 61.769  | 70.000         | 61.594  |
|          | 110.000 | 75.865  | 110.000        | 75.766  | 100.000 | 71.357  | 100.000        | 71.348  | 90.000  | 67.684  | 90.000         | 67.675  | 80.000  | 64.465  | 80.000         | 64.409  |
|          | 120.000 | 81.078  | 120.000        | 80.826  | 110.000 | 75.684  | 110.000        | 75.617  | 100.000 | 71.335  | 100.000        | 71.325  | 90.000  | 67.669  | 90.000         | 67.663  |
|          | 130.000 | 86.972  | 130.000        | 86.506  | 120.000 | 80.618  | 120.000        | 80.445  | 110.000 | 75.511  | 110.000        | 75.432  | 100.000 | 71.317  | 100.000        | 71.311  |
|          | 140.000 | 93.525  | 140.000        | 92.785  | 130.000 | 86.122  | 130.000        | 85.800  | 120.000 | 80.172  | 120.000        | 79.966  | 110.000 | 75.371  | 110.000        | 75.323  |
|          | 150.000 | 100.730 | 150.000        | 99.656  | 140.000 | 92.175  | 140.000        | 91.663  | 130.000 | 85.290  | 130.000        | 84.906  | 120.000 | 79.807  | 120.000        | 79.679  |
|          | 160.000 | 108.594 | 160.000        | 107.117 | 150.000 | 98.769  | 150.000        | 98.025  | 140.000 | 90.851  | 140.000        | 90.237  | 130.000 | 84.606  | 130.000        | 84.365  |
|          | 170.000 | 117.130 | 170.000        | 115.179 | 160.000 | 105.901 | 160.000        | 104.881 | 150.000 | 96.845  | 150.000        | 95.951  | 140.000 | 89.756  | 140.000        | 89.370  |
|          | 180.000 | 126.362 | 180.000        | 123.855 | 170.000 | 113.576 | 170.000        | 112.234 | 160.000 | 103.265 | 160.000        | 102.042 | 150.000 | 95.251  | 150.000        | 94.687  |
|          | 190.000 | 136.322 | 190.000        | 133.167 | 180.000 | 121.803 | 180.000        | 120.089 | 170.000 | 110.112 | 170.000        | 108.507 | 160.000 | 101.083 | 160.000        | 100.310 |
|          | 200.000 | 147.053 | 200.000        | 143.144 | 190.000 | 130.596 | 190.000        | 128.457 | 180.000 | 117.386 | 180.000        | 115.346 | 170.000 | 107.250 | 170.000        | 106.237 |
|          | 210.000 | 158.606 | 210.000        | 153.820 | 200.000 | 139.976 | 200.000        | 137.350 | 190.000 | 125.093 | 190.000        | 122.561 | 180.000 | 113.750 | 180.000        | 112.465 |
|          | 220.000 | 171.050 | 220.000        | 165.239 | 210.000 | 149.966 | 210.000        | 146.787 | 200.000 | 133.238 | 200.000        | 130.155 | 190.000 | 120.582 | 190.000        | 118.993 |
|          | 230.000 | 184.466 | 230.000        | 177.455 | 220.000 | 160.597 | 220.000        | 156.789 | 210.000 | 141.832 | 210.000        | 138.133 | 200.000 | 127.751 | 200.000        | 125.821 |
|          | 240.000 | 198.959 | 240.000        | 190.534 | 230.000 | 171.905 | 230.000        | 167.382 | 220.000 | 150.886 | 220.000        | 146.502 | 210.000 | 135.257 | 210.000        | 132.952 |
|          | 250.000 | 214.664 | 250.000        | 204.556 | 240.000 | 183.935 | 240.000        | 178.597 | 230.000 | 160.415 | 230.000        | 155.270 | 220.000 | 143.104 | 220.000        | 140.387 |
|          | 260.000 | 231.754 | 260.000        | 219.621 | 250.000 | 196.739 | 250.000        | 190.471 | 240.000 | 170.435 | 240.000        | 164.448 | 230.000 | 151.297 | 230.000        | 148.129 |
|          | 270.000 | 250.461 | 270.000        | 235.857 | 260.000 | 210.383 | 260.000        | 203.048 | 250.000 | 180.967 | 250.000        | 174.047 | 240.000 | 159.844 | 240.000        | 156.182 |
|          |         |         |                |         | 270.000 | 224.943 | 270.000        | 216.380 | 260.000 | 192.034 | 260.000        | 184.081 | 250.000 | 168.751 | 250.000        | 164.552 |
|          |         |         |                |         |         |         |                |         | 270.000 | 203.662 | 270.000        | 194.567 | 260.000 | 178.027 | 260.000        | 173.243 |
|          |         |         |                |         |         |         |                |         |         |         |                |         | 270.000 | 187.682 | 270.000        | 182.263 |

| 铣刀号      | 5       |        | $5\frac{1}{2}$ |        | 6       |        | $6\frac{1}{2}$ |        | 7       |        | $7\frac{1}{2}$ |        | 8       |        |
|----------|---------|--------|----------------|--------|---------|--------|----------------|--------|---------|--------|----------------|--------|---------|--------|
|          | y       | x      | y              | x      | y       | x      | y              | x      | y       | x      | y              | x      | y       | x      |
| 渐开线各点的坐标 | 49.740  | 56.793 | 45.635         | 55.222 | 41.857  | 53.656 | 33.114         | 51.988 | 33.736  | 49.886 | 29.376         | 47.621 | 25.518  | 45.471 |
|          | 50.000  | 56.837 | 50.000         | 56.123 | 50.000  | 55.555 | 40.000         | 52.450 | 40.000  | 51.615 | 30.000         | 47.808 | 30.000  | 46.935 |
|          | 60.000  | 58.871 | 60.000         | 58.490 | 60.000  | 58.172 | 50.000         | 55.050 | 50.000  | 54.511 | 40.000         | 50.861 | 40.000  | 50.243 |
|          | 70.000  | 61.403 | 70.000         | 61.225 | 70.000  | 61.073 | 60.000         | 57.882 | 60.000  | 57.567 | 50.000         | 54.017 | 50.000  | 53.609 |
|          | 80.000  | 64.347 | 80.000         | 64.288 | 80.000  | 64.236 | 70.000         | 60.931 | 70.000  | 60.776 | 60.000         | 57.274 | 60.000  | 57.030 |
|          | 90.000  | 67.657 | 90.000         | 67.652 | 90.000  | 67.646 | 80.000         | 64.188 | 80.000  | 64.134 | 70.000         | 60.630 | 70.000  | 60.507 |
|          | 100.000 | 71.304 | 100.000        | 71.297 | 100.000 | 71.291 | 90.000         | 67.641 | 90.000  | 67.636 | 80.000         | 64.083 | 80.000  | 64.039 |
|          | 110.000 | 75.266 | 110.000        | 75.211 | 110.000 | 75.161 | 100.000        | 71.285 | 100.000 | 71.279 | 90.000         | 67.631 | 90.000  | 67.626 |
|          | 120.000 | 79.529 | 120.000        | 79.381 | 120.000 | 79.249 | 110.000        | 75.113 | 110.000 | 75.059 | 100.000        | 71.273 | 100.000 | 71.267 |
|          | 130.000 | 84.081 | 130.000        | 83.800 | 130.000 | 83.547 | 120.000        | 79.120 | 120.000 | 78.974 | 110.000        | 75.007 | 110.000 | 74.962 |
|          | 140.000 | 88.914 | 140.000        | 88.461 | 140.000 | 88.052 | 130.000        | 83.302 | 130.000 | 83.021 | 120.000        | 78.832 | 120.000 | 78.710 |
|          | 150.000 | 94.021 | 150.000        | 93.358 | 150.000 | 92.760 | 140.000        | 87.655 | 140.000 | 87.199 | 130.000        | 82.748 | 130.000 | 82.511 |

(续)

| 铣刀号      | 5       |         | $5\frac{1}{2}$ |         | 6       |         | $6\frac{1}{2}$ |         | 7       |         | $7\frac{1}{2}$ |         | 8       |         |
|----------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|
|          | y       | x       | y              | x       | y       | x       | y              | x       | y       | x       | y              | x       | y       | x       |
| 渐开线各点的坐标 | 160.000 | 99.397  | 160.000        | 98.488  | 160.000 | 97.665  | 150.000        | 92.176  | 150.000 | 91.504  | 140.000        | 86.752  | 140.000 | 86.364  |
|          | 170.000 | 105.040 | 170.000        | 103.848 | 170.000 | 102.767 | 160.000        | 96.862  | 160.000 | 95.935  | 150.000        | 90.845  | 150.000 | 90.269  |
|          | 180.000 | 110.946 | 180.000        | 109.434 | 180.000 | 108.063 | 170.000        | 101.711 | 170.000 | 100.491 | 160.000        | 95.024  | 160.000 | 94.227  |
|          | 190.000 | 117.115 | 190.000        | 115.245 | 190.000 | 113.550 | 180.000        | 106.721 | 180.000 | 105.171 | 170.000        | 99.289  | 170.000 | 98.235  |
|          | 200.000 | 123.545 | 200.000        | 121.280 | 200.000 | 119.228 | 190.000        | 111.891 | 190.000 | 109.973 | 180.000        | 103.640 | 180.000 | 102.295 |
|          | 210.000 | 130.237 | 210.000        | 127.539 | 210.000 | 125.096 | 200.000        | 117.220 | 200.000 | 114.896 | 190.000        | 108.076 | 190.000 | 106.406 |
|          | 220.000 | 137.191 | 220.000        | 134.021 | 220.000 | 131.153 | 210.000        | 122.706 | 210.000 | 119.939 | 200.000        | 112.596 | 200.000 | 110.567 |
|          | 230.000 | 144.410 | 230.000        | 140.727 | 230.000 | 137.399 | 220.000        | 128.438 | 220.000 | 125.102 | 210.000        | 117.199 | 210.000 | 114.778 |
|          | 240.000 | 151.894 | 240.000        | 147.656 | 240.000 | 143.833 | 230.000        | 134.174 | 230.000 | 130.384 | 220.000        | 121.885 | 220.000 | 119.039 |
|          | 250.000 | 159.647 | 250.000        | 154.811 | 250.000 | 150.456 | 240.000        | 140.101 | 240.000 | 135.784 | 230.000        | 126.653 | 230.000 | 123.350 |
|          | 260.000 | 167.672 | 260.000        | 162.193 | 260.000 | 157.269 | 250.000        | 146.210 | 250.000 | 141.302 | 240.000        | 131.504 | 240.000 | 127.711 |
|          | 270.000 | 175.973 | 270.000        | 169.804 | 270.000 | 164.272 | 260.000        | 152.473 | 260.000 | 146.937 | 250.000        | 136.436 | 250.000 | 132.121 |
|          |         |         |                |         |         |         | 270.000        | 158.893 | 270.000 | 152.689 | 260.000        | 141.449 | 260.000 | 136.580 |
|          |         |         |                |         |         |         |                |         |         |         | 270.000        | 146.543 | 270.000 | 141.087 |

### 9.2.3 加工斜齿轮时盘形铣刀(磨轮)齿形的确定

#### 1. 当量齿数法

用盘形铣刀加工斜齿圆柱齿轮时, 齿轮的齿面是铣刀回转面相对于工件做螺旋运动时所形成的包络面。铣刀齿形的精确计算比较复杂, 在齿轮加工精度要求不高时, 在单件和修配工作中, 常使用标准盘形齿轮铣刀来进行加工斜齿轮。用这种方法加工的斜齿轮齿形有一定误差, 在齿轮模数和螺旋角加大时, 齿形误差也增大。

在用标准盘形齿轮铣刀加工斜齿轮时, 铣刀模数按齿轮的法向模数, 铣刀的刀号应按斜齿轮的法向当量齿数选取。当量齿数  $z_v$  可根据齿轮齿数  $z$  和螺旋角  $\beta$  用下式计算。

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta} \quad (9-18)$$

#### 2. 计算法

在用盘形刀具加工精密斜齿轮时, 例如用成形磨轮加工精密斜齿轮, 刀具的齿形需要精确计算。

加工斜齿轮时, 盘形刀具齿形可用多种不同方法计算。这里介绍的是一种比较简单的、通过初等几何投影关系推导得到的法线投影算法。这方法的基本原理是齿轮螺旋齿面和刀具运动的接触点的法线, 必然通过刀具的轴线。

通常, 盘形铣刀轴线和被加工齿轮轴线安装成  $90^\circ - \beta$  角, 并与齿轮轴的轴线距离为  $a$  ( $a = r_f + r_{a0}$ )。计算时只需求出铣刀任一端截面的圆半径  $r_{y0}$ , 和相应的此截面与铣刀对称轴的距离  $H_{y0}$  (图 9-14), 用同样方法即可求出铣刀的全部齿形。

如图 9-15 所示, 过工件齿面上  $M$  点的铣刀位置是由参数  $b$  和  $\theta$  来确定的。当已知  $\overline{MC}$  和  $\overline{BC}$  时, 铣刀中间点  $B$  的轴向移动距离  $l$  应为

$$l = \frac{\overline{MC}}{\tan \gamma_b} - \overline{BC} \tan \beta$$

它的相应转角  $\theta$  为

$$\theta = \frac{l}{p^*} = \frac{\overline{MC}}{r_b \tan^2 \gamma_b} - \frac{\overline{BC} \tan \beta}{r_b \tan \gamma_b}$$

式中  $p^*$  ——螺旋参数。

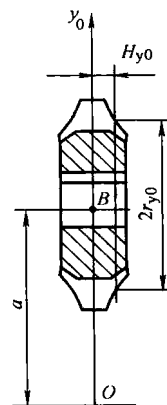


图 9-14 盘形铣刀的齿形坐标

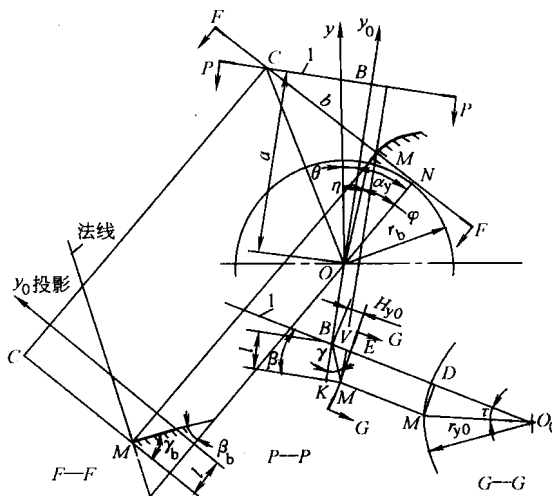


图 9-15 加工斜齿轮时盘形铣刀齿形计算

取参数  $\alpha_y$ , 则

$$\tan \alpha_y = \frac{\overline{NE}}{r_b} = \frac{\overline{ME}}{r_b} + \frac{\overline{MN}}{r_b} = \frac{\overline{MC}}{r_b} - \frac{\overline{BC}}{r_b \cos \alpha_y} + \varphi$$

取  $\overline{MC} = b$ ,  $\overline{BC} = c$ , 则

$$\operatorname{inv} \alpha_y = \tan \alpha_y - \alpha_y = \frac{b}{\gamma_b \sin^2 \gamma_b} - c \left( \frac{\tan \gamma_b + \tan \beta \cos \alpha_y}{p^* \cos \alpha_y} \right) - \eta$$

$$\text{所以 } b = r_b \sin^2 \gamma_b \left[ \operatorname{inv} \alpha_y + c \left( \frac{\tan \gamma_b + \tan \beta \cos \alpha_y}{p^* \cos \alpha_y} \right) + \frac{W}{2r} - \operatorname{inv} \alpha_t \right] \quad (9-19)$$

式中  $c$  值可用下式计算

$$c = \frac{a \cos \alpha_y - r_b}{\sin \alpha_y} \quad (9-20)$$

由图 9-15 的  $P-P$  截面, 可得

$$\tan \nu = \frac{KM}{BK} = \frac{(b \cos \alpha_y - c) \tan \gamma_b \cos \alpha_t}{b \cos \alpha_t - c} \quad (9-21)$$

$$\cos \alpha_t = \frac{1}{\tan \gamma_b \tan \beta} \quad (9-21a)$$

铣刀该端截面与铣刀对称轴之间的距离  $H_{y0}$  为

$$\begin{aligned} H_{y0} &= \frac{KM}{\sin \nu} \sin(\nu + \beta) \\ &= \frac{(b \cos \alpha_y - c) \sin(\nu + \beta)}{\sin \nu} \end{aligned} \quad (9-22)$$

在  $G-G$  截面中, 可看到铣刀圆半径  $r_{y0}$  与直线  $O_0D$  间的夹角  $\tau$  可用下式计算

$$\tan \tau = \frac{\overline{MD}}{O_0D} = \frac{(b \cos \alpha_y - c) \cos(\nu + \beta)}{b \sin \nu \sin \alpha_y} \quad (9-23)$$

铣刀圆半径  $r_{y0}$  可用下式计算

$$r_{y0} = \frac{\overline{O_0D}}{\cos \tau} = \frac{b \sin \alpha_y}{\cos \tau} \quad (9-24)$$

取一系列的  $\alpha_y$  值代入上面的这些公式, 即可求出铣刀的齿形。计算时极限值  $2H_{y0\max} = W_{na} + (3 \sim 5) \text{ mm}$  ( $W_{na}$  为齿轮顶圆处的法向槽宽)。

表 9-7 中为铣刀 (磨轮) 加工斜齿轮时, 刀具齿形的计算步骤和计算实例。此实例为加工渐开线蜗杆, 其原始参数为 (均取端面参数): 端面模数  $m_t = 8 \text{ mm}$ ,  $z = 5$ ,  $r = 50 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\alpha_t = 42^\circ 18'$ ,  $p^* = 20 \text{ mm}$ ,  $\beta = 68^\circ 12'$ ,  $\gamma_b = 28^\circ 25'$ ,  $r_b = 36.9815 \text{ mm}$ ,  $W = 10 \pi$ 。计算时取刀具和工件轴间距  $a = 100 \text{ mm}$ 。例中只计算刀具齿形的一点, 齿形其他点可用同法计算。

表 9-7 加工斜齿轮时, 盘形铣刀 (磨轮) 齿形计算步骤和计算实例

| 序号 | 计算项目            | 序号         | 计算公式                                                                                                                                                                                                    | 计算精度          | 例 题                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|-----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  |                 | $\alpha_y$ | 取一系列 $\alpha_y$ 值                                                                                                                                                                                       | $1^\circ$     | $\alpha_y = 46^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2  | 计算参数            | $c$        | $c = \frac{a \cos \alpha_y - r_b}{\sin \alpha_y}$                                                                                                                                                       | 0.0001        | $c = \frac{100 \cos 46^\circ - 36.9815}{\sin 46^\circ} \text{ mm} = 45.1585 \text{ mm}$                                                                                                                                                                                                 |
| 3  | 计算参数            | $b$        | $b = r_b \sin^2 \gamma_b \left[ \operatorname{inv} \alpha_y + c \left( \frac{\tan \gamma_b + \tan \beta \cos \alpha_y}{p^* \cos \alpha_y} \right) + \frac{W}{2r} - \operatorname{inv} \alpha_t \right]$ | 0.0001        | $b = 36.9815 \sin^2 28^\circ 25' \left[ \operatorname{inv} 46^\circ + 45.1585 \times \left( \frac{\tan 28^\circ 25' + \tan 68^\circ 12' \cos 46^\circ}{20 \cos 46^\circ} \right) + \frac{10\pi}{2 \times 50} - \operatorname{inv} 42^\circ 18' \right] \text{ mm} = 65.1496 \text{ mm}$ |
| 4  | 计算角参数           | $\nu$      | $\tan \nu = \frac{(b \cos \alpha_y - c) \tan \gamma_b \cos \alpha_t}{b \cos \alpha_t - c} \times \frac{\cos \alpha_t}{1}$                                                                               | $0.001^\circ$ | $\tan \nu = \frac{65.1496 \cos 46^\circ - 45.1585}{65.1496 \cos 42^\circ 18' - 45.1585} \times \frac{\cos 42^\circ 18'}{1} = 0.012978$<br>$\nu = 0.75^\circ$                                                                                                                            |
| 5  | 铣刀端截面<br>至对称轴距离 | $H_{y0}$   | $H_{y0} = \frac{(b \cos \alpha_y - c) \sin(\nu + \beta)}{\sin \nu}$                                                                                                                                     | 0.001         | $H_{y0} = \frac{65.1496 \cos 46^\circ - 45.1585}{\sin 0.75^\circ} \times \frac{\sin(0.75^\circ + 68^\circ 12')}{1} \text{ mm} = 7.0013 \text{ mm}$                                                                                                                                      |
| 6  | 计算角参数           | $\tau$     | $\tan \tau = \frac{b \cos \alpha_y - c}{b \sin \nu} \cdot \frac{\cos(\nu + \beta)}{\sin \alpha_y}$                                                                                                      | $0.001^\circ$ | $\tan \tau = \frac{65.1496 \cos 46^\circ - 45.1585}{65.1496 \sin 0.75^\circ} \times \frac{\cos(0.75^\circ + 68^\circ 12')}{\sin 46^\circ} = 0.0574965$<br>$\tau = 3.2907^\circ$                                                                                                         |
| 7  | 铣刀圆半径           | $r_{y0}$   | $r_{y0} = \frac{b \sin \alpha_y}{\cos \tau}$                                                                                                                                                            | 0.001         | $r_{y0} = \frac{65.1496 \sin 46^\circ}{\cos 3.2907^\circ} \text{ mm} = 46.9422 \text{ mm}$                                                                                                                                                                                              |

### 9.2.4 标准盘形齿轮铣刀的结构尺寸和技术条件

#### 1. 标准盘形齿轮铣刀结构尺寸的确定

1) 标准盘形齿轮铣刀都采用铲齿结构, 取前角  $\gamma = 0^\circ$ 。主要结构尺寸已在标准中规定, 例如铣刀外径、孔径、齿数、形式等, 可按表 9-8 中的数值选取。

2) 铣刀宽度  $B$  应较齿槽宽增加  $1 \sim 2.5 \text{ mm}$ , 也可按

表 9-8 中推荐的数值选用。

3) 刀齿铲齿量  $K$  按下式计算 (图 9-16)

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \tan \alpha_s \quad (9-25)$$

式中  $d_{a0}$ ——铣刀外径;

$z_0$ ——铣刀齿数。