



实用技术工人速算丛书

工件铣削速算

李秀智 编著

数据翔实便查
实例讲解易懂
公式计算简捷
有效提高技能



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用技术工人速算丛书

工件铣削速算

李秀智 编著



机械工业出版社

全书较系统地介绍了分度头各种分度法的计算、铣削正多边形的计算、铣削斜面的计算、铣削键槽、花键槽、V形槽、燕尾槽及齿式离合器的计算、铣削各种齿面的计算、各种刀具的开齿计算以及特形工件的铣削计算等。书末还附有铣床、铣削加工范围及一般装夹形式、铣削形式与特点、铣刀及其夹持方法、铣削用量、铣床夹具、铣削加工基本方法、齿轮加工基本知识、铣削加工质量分析,以及铣削加工通用工艺守则等。本书是当前城乡广大铣工必备的一本实用工具书。

本书内容丰富,图文并茂,简明易懂,由浅入深。书中列举了大量的计算公式、实例及图表,对广大铣工、工程技术人员解决生产实际问题和提高计算能力,起着重要的作用;同时可供管理干部及有关专业师生阅读,也可用作铣工培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

工件铣削速算/李秀智编著. —北京:机械工业出版社, 2007. 7

(实用技术工人速算丛书)

ISBN 978-7-111-21329-1

I. 工… II. 李… III. 铣削—速算 IV. TG54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 056120 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:邝 鸥 责任编辑:李建秀 版式设计:张世琴

责任校对:王 欣 封面设计:鞠 杨 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷(北京双新装订有限公司装订)

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 15.5 印张 · 469 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21329-1

定价:32.00 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)68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着机械制造业的快速发展，与机械制造业相关的广大从业人员对速算技术需求越来越高。为适应这一形势，本人根据几十年在生产和教学实践中积累的计算技术、速算资料，特编写成“实用技术工人速算丛书”（以下简称丛书）。

本套丛书共有7个分册，包括《工件车削速算》、《工件铣削速算》、《工件钻削与镗削速算》、《工件刨削、插削及拉削速算》、《工件磨削速算》、《零件装配速算》和《铆焊加工速算》。

由于采用了最新的国家标准和法定计量单位，并附有参考数据、图表资料，因此，本套丛书内容丰富、简明实用、图文并茂、便于查阅。同时，为了方便读者理解书中的计算公式，还列举了一些速算实例。

本套丛书可供从事金属切削加工各工种的技工、工艺技术人员作为工具书使用，也可供城乡机械、修配行业的广大技工、技校师生、参加职业资格考试者阅读和参考，还可作为下岗人员、进城农民工及各种技工的培训教材。

有关专家和读者对本套丛书的出版提出了宝贵意见和建议，在此深表谢意。

因限于作者水平，难免有不妥之处，恳请广大读者予以指正。

李 秀 智

目 录

前言

一、概述	1
二、分度头各种分度法的计算	2
(一) 分度头的结构与计算原理	2
(二) 分度头各种分度法的计算公式	4
三、铣削正多边形的计算	35
四、铣削斜面的计算	40
(一) 斜角尺寸的计算	40
(二) 转动立铣头铣斜面的计算	41
五、铣削沟槽的计算	43
(一) 键槽的加工与计算	43
(二) 矩形花键轴的铣削计算	59
(三) V形槽加工及测量中的计算	70
(四) 燕尾槽和燕尾块的铣法与测量计算	76
(五) 齿式离合器的铣削计算公式	79
(六) 切断时的计算公式	103
六、铣削齿面的计算	107
(一) 铣直齿圆柱齿轮的计算	107
(二) 铣削齿条的计算	111
(三) 铣斜齿圆柱齿轮的计算	128
(四) 铣锥齿轮的计算	162
(五) 铣蜗轮和蜗杆的计算	174
(六) 铣链轮的计算	188
(七) 铣等边齿棘轮的计算	197
七、齿轮测量的计算	199
八、铣削凸轮的计算	244
九、刀具的开齿计算	255

十、特形工件的铣削计算	287
附录	306
一、铣床	306
(一) 铣床的类别及其特征	306
(二) 铣床精度的检验	308
(三) 铣床的技术规格	311
二、铣削加工范围及一般装夹形式	315
(一) 铣削加工范围	315
(二) 用万能分度头及其附件装夹工件的一般形式	318
三、铣削形式与特点	320
(一) 圆柱铣刀的铣削方式	320
(二) 端铣刀的铣削方式	321
四、铣刀及其夹持方法	322
(一) 铣刀角度	322
(二) 常用铣刀类型、规格范围及标准代号	327
(三) 铣刀刀片的夹持	334
五、铣削用量	339
(一) 铣削用量诸要素的定义及计算公式	339
(二) 铣削用量的一般推荐值	339
六、铣床夹具	351
(一) 铣床夹具基本要求	351
(二) 铣床夹具典型结构的技术要求	351
(三) 定位件	356
(四) 夹紧机构与夹紧力	368
(五) 对刀装置形式	371
(六) 分度装置	372
(七) 靠模仿形装置的结构形式	375
(八) 气动和液压夹紧机构示例	376
七、铣削加工基本方法	379
(一) 平面的铣削	379
(二) 垂直面的铣削	382
(三) 平行面的铣削	384

(四) 斜面的铣削	385
(五) 直角沟槽和键槽的铣削	391
(六) 特形槽的铣削	397
(七) 圆弧槽的铣削	398
(八) 离合器的铣削	399
(九) 成形面的铣削	404
八、齿轮加工基本知识	410
(一) 齿轮加工常用方法	410
(二) 齿轮的分类	414
(三) 齿轮齿形主要名词解释	415
(四) 基本齿廓及其参数	417
(五) 齿轮模数系列表	418
(六) 齿距、模数、径节的计算和互换	418
(七) 径节、齿距和模数对照	419
(八) 各国齿轮标准制度的基本参数	420
(九) 齿轮传动	422
(十) 直齿圆柱齿轮各部尺寸的计算及其齿形的画法	424
(十一) 内齿轮各部尺寸的计算	427
(十二) 齿条各部尺寸的计算	428
(十三) 斜齿圆柱齿轮各部尺寸的计算	428
(十四) 直齿锥齿轮各部尺寸的计算	431
(十五) 蜗杆和蜗轮各部尺寸的计算	435
(十六) 链轮各部尺寸的计算	445
(十七) 棘轮各部尺寸的计算	457
(十八) 变位齿轮原理及分类特点	460
(十九) 高度变位直齿圆柱齿轮各部尺寸的计算	463
(二十) 角度变位直齿圆柱齿轮各部尺寸的计算	465
(二十一) 高度变位斜齿圆柱齿轮各部尺寸的计算	468
(二十二) 角度变位斜齿圆柱齿轮各部尺寸的计算	471
九、铣削加工质量分析	475
(一) 铣齿时产生废品的原因和注意事项	475
(二) 直齿锥齿轮铣削质量分析	476
(三) 蜗杆铣削的质量分析	477

(四) 连续分齿断续展成法铣削蜗轮质量分析	477
(五) 链轮铣削质量分析	478
(六) 刀具齿槽铣削的质量分析	479
(七) 球面的检测与质量分析	480
十、铣削加工通用工艺守则	481

一、概 述

铣削是指在铣床上以铣刀旋转作主运动，工件或铣刀作进给运动的切削加工方法。铣削用的铣刀是多刃刀具，故生产效率高；以铣刀旋转作主运动时，适宜于进行成形法加工；与分度头等附件配合时，则能获得直线运动、回转运动和回转与直线组合的进给运动，适宜于加工复杂的工件。因而铣削在机械加工中占有重要地位。

铣床加工主要是在铣床上利用铣刀进行铣削，也可利用镗刀进行镗削等切削加工。铣床加工的范围很广，如加工平面、各种沟槽、各种成形表面（包括齿轮等）、齿形离合器、螺旋槽和螺旋面、切断、镗孔和铣孔、以及其他各种多面体和形状复杂的表面。从精密仪表的制造，到重型机器零件的加工，都要用到铣削。

二、分度头各种分度法的计算

万能分度头是铣床的主要附件。它的作用是把工件分成所需要的若干等分，协助铣床利用各种不同形状的铣刀进行沟槽、齿轮、离合器、螺旋线、凸轮和切削刀具（如铣刀、铰刀、丝锥和钻头等）的铣削工作，为此都离不开计算。

（一）分度头的结构与计算原理

1. 分度头的外形结构

图 2-1 中，主轴 3 是空心的，两端均为锥孔，前锥孔可装入顶尖，后锥孔可装入心轴，以便在差动分度时挂轮，把主轴的运动传给挂轮轴 5，带动分度盘 6 旋转。

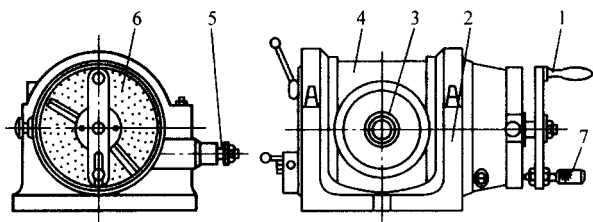


图 2-1 FW250 型万能分度头外形

主轴可随回转体 4 在分度头机座 2 的环形导轨内转动，因此，主轴除安装成水平外，还能扳成倾斜（向上倾斜最大至 90° ，向下倾斜最大至 6° ）位置。

分度时可摇动手柄 1，通过内部的传动使主轴带动工件分度。工件转过的多少决定于手柄转过的转数或角度，为此分度头上有分度盘 6，上面开有很多圆孔圈，各孔圈上的孔按等分排列。摇动手柄分度前，应拔出定位销 7，分度后再插入所需要的孔内，这样可精确地控制手柄的转数和转角。

2. 分度头的计算原理

为弄清手柄和主轴间的传动关系，可参见图 2-2 所示的分度头的传动系统。

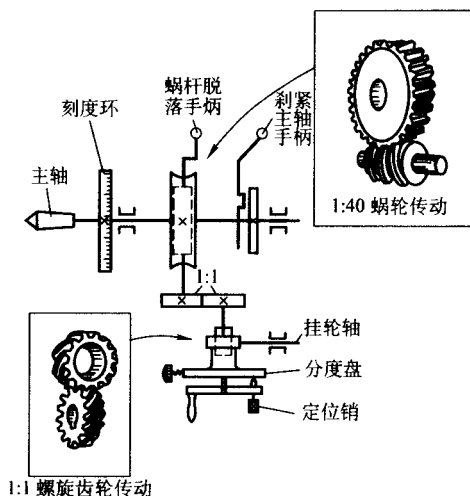


图 2-2 FW250 万能分度头的传动系统

从图中可以看出，手柄转 1 转，蜗杆也转 1 转，因蜗轮的齿数为 40，所以当蜗杆转过 1 转时，蜗轮带动主轴只转过 $1/40$ 转。当工件的分度数目知道以后，则在每次分度时手柄应转过的转数可由下式算出：

$$n = 40/Z$$

式中 n ——手柄应转的转数；

Z ——工件的等分数目；

40——分度头中的传动定数，目前我国所产的分度头均为此值。

3. 分度盘孔数及挂轮齿数

分度时，用分度盘上的孔数控制手柄的转数。由于分度头的形式不同，分度盘和盘面上的孔数及挂轮齿数也不一样，见表 2-1。

表 2-1 分度头定数、分度盘孔数及挂轮齿数表

分度头形式	定数	分度盘孔数			挂轮齿数
带一块分度盘	40	正面: 24、25、28、30、34、37、38、39、41、42、43 反面: 46、47、49、51、53、54、57、58、59、62、66			25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100
带二块分度盘	40	第一块	正面	24、25、28、30、34、	25、25、30、
			反面	37、38、39、41、42、43	35、40、50、
		第二块	正面	46、47、49、51、53、	55、60、70、
			反面	54、57、58、59、62、66	80、90、100
带三块分度盘	40	第一块: 15、16、17、18、19、20 第二块: 21、23、27、29、31、33 第三块: 37、39、41、43、47、49			24、24、28、32、40、44、48、56、64、72、86、100

(二) 分度头各种分度法的计算公式 (表 2-2)

表 2-2 分度头各种分度法的计算公式表

分度法	解释与公式	计算实例
直接分度法	第一种方法: 凡分度数为 24 的因数 (即分度数为 2、3、4、8、12) 时, 不必转动手柄, 而直接用手转动分度头的主轴。为此, 在分度前, 必须先扳动手柄 6 (见图 2-1) 使分度头内的蜗杆与蜗轮脱开, 否则是转不动的。分度完毕后, 应扳动手柄 5 将主轴锁紧, 以防止在铣削时主轴产生松动, 分度时所转过的角度, 可以固紧	例 1: 已知分度盘上有 24 个等分孔, 需要铣成八边形工件, 问铣完一边再铣第二边时, 每次转动的孔数是多少? 解: 代入公式: $\text{每次分度转动的孔数 } n_{\text{孔}} = \frac{\text{分度盘上的孔数 } N}{\text{工件的等分数 } Z}$ $= (24/8) \text{ 个}$ $= 3 \text{ 个}$ 即铣完一边再铣第二边时, 每次转动的孔数是 3 个

(续)

分度法	解释与公式	计算实例
直接分度法	在主轴上的刻度盘上读出。例如铣六等分槽时，第一次刻度对0°第二次可转到60°，第三次转到120°……到第六次转到300°即可 每次分度转动的孔数可按下式计算： 每次分度转动的孔数 $n_{\text{孔}} = \frac{\text{分度盘上的孔数 } N}{\text{工件的等分数 } Z}$	例2：有一圆柱体需铣10个等分的槽，每铣一槽后，手柄应摇几转？ 解：$n = 40/Z = 40/10 \text{ 转} = 4 \text{ 转}$ 即铣完一槽后，手柄应转过4转 例3：有一正齿轮的齿数为24，问铣完一齿再铣第二齿时，手柄应转过多少转？ 解：$n = \frac{40}{Z} = \frac{40}{24} \text{ 转}$
	第二种方法：凡分度数为40的因数（即分度数为2、4、5、8、10）时，将分度盘固定，摇动分度头心轴手柄，经过蜗轮、蜗杆进行分度，这种分度法也叫单式分度法。其手柄摇动的圈数按如下公式计算： $n = 40/Z$	$= 1 \frac{2}{3} \text{ 转}$ 即铣完第一齿再铣第二齿时，手柄应转过$1 \frac{2}{3} \text{ 转}$。但是，转过一转后再转$2/3 \text{ 转}$时就困难了。因$2/3 \text{ 转}$究竟应在哪一个孔眼呢？为解决这个问题，所以在分度头上装有分度盘。国产分度头多数附带两块分度盘，但也有带一块或三块的。其各种分度盘每孔圈的孔数及挂轮齿数详见表2-1中所列
复式分度法	利用两次单式分度法来完成分度的方法，叫做复式分度法，也就是手柄按需要转数回转一次后，再把分度盘连同手柄一同按另一个需要转数回转一次 由于受到分度盘孔数的限制，用单式分度法不能分度的工件（如87、93、123等），可采用复式分度法来分度，但这些工件的等分数必须能分解因子。复式分度法可用如下公式计算：	有了分度盘上的各种孔眼后，我们就可把上面的$2/3 \text{ 转}$扩大倍数，使它的分母能在分度盘上找到，然后在这一圈上按分子数摇过需要孔数即可，例如上例子中： $1 \frac{2}{3} = 1 \frac{10}{15}$ 即手柄在15孔一圈上转过一转零10孔。或：

分度法	解释与公式	计算实例
复式分度法	$n = \frac{40}{Z} = \frac{H_1}{n_1} + \frac{H_2}{n_2}$ 或 $n = \frac{40}{Z} = \frac{H_1}{n_1} - \frac{H_2}{n_2}$ 式中 Z——工件等分数 n_1——手柄第一次转动时所选孔数 n_2——手柄第二次转动时所选孔数 H_1——手柄第一次转动时转过的孔距数 H_2——手柄第二次转动时转过的孔距数 用“+”号公式时, 手柄两次转动方向相同 用“-”号公式时, 手柄两次转动方向相反	$1 \frac{2}{3} = 1 \frac{22}{33}$ 即手柄在 33 孔一圈上转过一转零 22 孔。或: $1 \frac{2}{3} = 1 \frac{44}{66}$ 即手柄在 66 孔一圈上转过一转零 44 孔 例 4: 要在一圆柱体外表面上刻 100 等分的线条, 所采用的分度头是带三块分度盘的, 问铣完一条再铣第二条时, 手柄应转过几转? 解: $n = (40/100)$ 转 $= (2/5)$ 转 $= 8/20$ 转 即铣好一条再铣第二条时, 手柄在 20 孔一圈上转过 8 孔 单式分度时, 为省略计算, 也可直接查表 2-3
复孔单动间隔分度法	复孔单动间隔分度法是对复式分度法的改进, 每次分度摇手柄不转分度盘, 转动分度盘就不必摇动手柄 分度时, 先按算出来的手柄转数分度铣完一圈, 但并不铣完所有的齿数。铣第二圈时, 拔出定位销将分度盘连同手柄转过应有转数, 再按第一次分度法铣一圈, 直到铣完为止	例 5: 有一齿轮的齿数为 77, 铣削时怎样进行分度? 解: 用加号公式: $n = \frac{40}{77} = \frac{40}{7 \times 11}$ $= \frac{33}{7 \times 11} + \frac{7}{7 \times 11}$ $= \frac{3}{7} + \frac{1}{11}$ $= \frac{12}{28} + \frac{6}{66}$

(续)

分度法	解释与公式	计算实例
复孔单动间隔分度法	手柄和分度盘的转数可按下列公式计算： $Z = Z_1 Z_2$ $n_1 = 40/Z_1$ $n_2 = 40/Z_2$ 式中 Z——工件等分数 Z_1——摇手柄时的工件等分数 Z_2——手柄连同分度盘转动时的工件等分数 n_1——手柄转数 n_2——手柄连同分度盘的转数 应用复孔单动间隔分度法时，应注意以下两点： 1. 把 Z 分成 Z_1 和 Z_2 时，Z_1 和 Z_2 不能相约 2. 不能分解因数的工件不宜用此法	即把分度头手柄在 28 孔一圈上转过 12 个孔后，将手柄定位销插入分度盘孔眼中，同时拔出分度盘定位销，使手柄和分度盘一起在 66 孔一圈上再按原方向继续转 6 个孔 例 6：有一工件要分成 93 等分，求怎样分度？ 解：用减号公式： $n = \frac{40}{93} = \frac{H_1}{n_1} - \frac{H_2}{n_2}$ $= \frac{102 - 62}{31 \times 3}$ $= \frac{102}{31 \times 3} - \frac{62}{31 \times 3}$ $= 1 \frac{9}{93} - \frac{62}{93}$ $= 1 \frac{6}{62} - \frac{20}{30}$ 即第一次手柄转一整圈后，再在 62 孔的圆周上转过 6 个孔距，然后以相反的方向再在 30 孔的圆周上转过 20 个孔距就可以了
差动分度法	在分度头主轴和分度盘之间用挂轮连接的方法来分度叫做差动分度法（见图 2-2）。有些工件的等分数（如 61、79、83、93、107、111、127 等）不能用单式分度或复式分度来分度时，就可采用差动分度法来解决	复式分度也可用查表方法来解决。只要按工件等分数在表 2-4 中找出这个数字，右面就是两次分度的转数 例 7：有一齿数为 87 的齿轮，采用复孔单动间隔分度法，求手柄和分度盘的转数？

(续)

分度法	解释与公式	计算实例
差 动 分 度 法	用差动分度法分度时, 它的挂轮公式和分度公式的计算方法如下: $i = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4} = \frac{40(Z' - Z)}{Z'}$ $n = 40/Z'$ 式中 i——传动比(挂轮比) Z_1、Z_2、——挂轮; 其中 Z_1、Z_3 是主动轮; Z_2、Z_4 是被动轮 Z——工件等分数 Z'——工件假设等分数 n——手柄应转过的转数 用差动分度时, 应注意下列几点: 1. 所选的工件假设等分数 Z' 必须能进行单式分度 2. 工件假设等分数 Z' 大于工件等分数 Z 时, 则手柄与分度盘方向相同 3. 工件假设等分数 Z' 小于工件等分数 Z 时, 则手柄与分度盘转动方向相反 4. 挂轮传动比应在 $1/6 \sim 6$ 之间为宜 5. 差动分度不能用来铣螺旋齿轮或主轴倾斜(如锥齿轮)的工件	解: $87 = 29 \times 3$ $n_1 = \frac{40}{29} = 1 \frac{22}{58}$ $n_2 = \frac{40}{3} = 13 \frac{1}{3} = 13 \frac{22}{66}$ 即把 87 齿看作 3 个 29 齿。先按 29 齿分度, 手柄每次在 58 孔一圈上转 1 转零 22 孔, 至铣完第一个 29 齿为止。然后拔出分度盘定位销把分度盘和手柄一起在 66 孔一圈上转过 13 转零 22 孔, 分度盘定位后, 再铣削第二个 29 齿, 分度时仍按 $n_1 = 1 \frac{22}{58}$ 摇动手柄, 直至工件转过一周铣完第二个 29 齿。第三个 29 齿继续按前法分度 例 8: 69 齿的直齿轮, 在带一块分度盘的分度头上铣削, 问怎样分度? 解: $69 = 23 \times 3$ $n_1 = \frac{40}{23} = 1 \frac{17}{23} = 1 \frac{34}{46}$ $n_2 = \frac{40}{3} = 13 \frac{1}{3} = 13 \frac{22}{66}$ 第一次: 铣好第一齿后, 手柄应在 46 孔圈上转 1 转零 34 孔, 再铣第二齿。这时第二齿不在第一齿旁边, 而是相隔三个齿为止(共 23 齿) 第二次: 拔出定位销, 把分度盘连同手柄在 66 孔圈中转过 13 转零 22 孔, 然后按照第一次方法进行铣削,

(续)

分度法	解释与公式	计算实例
近似分度法	当工件的分度用单式分度法或差动分度法都不能解决时,可采用近似分度法。用此法分度会产生一定的误差,只要在计算中适当选择有关参数,减小分度误差,仍可满足加工需要。近似分度法用于加工质数齿斜齿圆柱齿轮或直齿圆锥齿轮时的分度工作。 用近似分度法的计算公式如下: $n = \frac{40}{Z}$ $X = K/m$ 式中 n——分度头手柄转数 Z——工件等分数 X——手柄转数中的小数 K/m——近似于小数值的分数式 (其中 K 为分子, m 为分母) 需要注意的是:为避免手柄摇的转数太多,选择分数式的分母最好在 10 以内	直到铣完一圈为止 (这时共铣好 46 齿) 第三次:铣削方法同第二次,即拔出定位销,将分度盘连同手柄在 66 孔圈中转过 13 转零 22 孔,然后仍按第一次方法进行铣削,直到铣完为止 (这时共铣好 69 齿) 例 9:被加工齿轮的齿数为 111,怎样计算挂轮和进行分度? 解:选工件假设等分数 $Z' = 120$,则: $i = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4} = \frac{40(Z' - Z)}{Z'}$ $= \frac{40(120 - 111)}{120} = \frac{40 \times 9}{120}$ $= \frac{9}{3} = \frac{40 \times 90}{30 \times 40} = \frac{80 \times 90}{60 \times 40}$ $n = \frac{40}{Z'} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} = \frac{22}{66}$
角度分度法	角度分度法原理与差动分度方法基本相同,但是它的单位不同,是依据工件应转过的角度而不是根据工件的等分数来分度,因此计算公式略有不同。其工件的分度公式可按下列公式计算: 以“度(°)”为单位 $n = \theta^\circ/9$ 以“分(')"为单位 $n = \theta'/540$ 以“秒(')"为单位 $n = \theta''/32400$	即采用两对挂轮,其中主动轮为 40、90,被动轮为 30、40 (或主动轮为 80、90、被动轮为 60、40)。因工件假设等分数大于工件等分数,所以手柄与分度盘的转动方向应相同,根据表 2-5 查出,在中心高 100mm 分度头上加工时加一个中间介