

交换齿轮 选配法与 应用

夏 和 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



交换齿轮选配法与应用

夏和 编著



机械工业出版社

本书共分四章,主要介绍了交换齿轮的应用范围、交换齿轮的选配方法、交换齿轮比误差的分析与计算,以及特殊交换齿轮法的应用等内容。为帮助读者快速掌握相关内容,书中还列举了大量实例。

本书可供从事现场工作的机械技术人员参考,也可供机械加工工人学习。

图书在版编目 (CIP) 数据

交换齿轮选配法与应用/夏和编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 10

ISBN 978-7-111-28390-4

I. 交… II. 夏… III. 齿轮—基本知识 IV. TH132.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 172778 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 曲彩云 责任编辑: 刘本明 版式设计: 霍永明

封面设计: 姚毅 责任校对: 李秋荣 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

130mm × 184mm · 7.625 印张 · 170 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-28390-4

定价: 17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

在机床传动系统中,广泛使用交换齿轮来实现主动轴与从动轴特定的速比关系,从而实现各种不同的切削速度、进给量以及各种螺距、导程等;在进给精度要求不高、范围不大而又不需要频繁变换速度的情况下,使用交换齿轮结构简单,经济性也较好;在齿轮加工的分齿、滚切、差动、展成运动中,交换齿轮的优势更无法取代。

近年来,随着计算机普及程度的日益提高,很多机械机构均被伺服机构取代。但在某些情况下,交换齿轮仍然有着其他方法无法取代的作用。

本书共分四章:第一章主要介绍了交换齿轮的应用范围,并给出了交换齿轮齿数表;第二章介绍了交换齿轮的选配方法,内容包括精确值计算交换齿轮和近似值计算交换齿轮,书中列出了大量计算实例,可帮助读者较快地掌握有关方法;第三章介绍了交换齿轮比误差分析与计算的有关内容;第四章介绍了特殊交换齿轮法的应用。附录中给出了在交换齿轮选取中常用的小数与分数对照表、因数表以及三角函数表。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正,并提宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第一章 交换齿轮概述	1
第一节 交换齿轮应用范围	1
第二节 交换齿轮齿数表	2
第二章 交换齿轮选配方法	4
第一节 精确值计算交换齿轮	4
一、分数值约分法	4
1. 分数值约分法的适用范围	4
2. 分数值约分法计算实例	5
二、因数分解法	6
1. 因数分解法的运算方法	6
2. 质因数组合原则	7
3. 交换齿轮啮合条件的验算	8
4. 因数分解法的适用范围	9
5. 因数分解法计算交换齿轮实例	9
第二节 近似值计算交换齿轮	10
1. 单一加减法	11
2. 小数近似分数法	13
3. 分离小数法	16
4. 分数值相加法	17
5. 辗转相除法	20
6. 质因数化一约分法	24
7. 质因数校正法	25
8. 质因数校正乘法	28

9. 分数差值相除法	30
10. 电子计算器法	32
11. 校正分数乘合法	40
12. 共轭分数比重加合法	43
13. 机床交换齿轮的微机选取法	49
14. 各种交换齿轮选取法汇总与比较	49
第三章 交换齿轮比误差的分析与计算	58
第一节 绝对误差与相对误差的分析与计算	58
第二节 交换齿轮比相对误差计算实例	59
1. 在车床上车制螺纹螺距误差的计算	59
2. 在车床上车制蜗杆齿距误差的计算	60
3. 在滚齿机床上加工斜齿轮齿向误差的计算	61
4. 在铲齿机床上加工螺旋槽滚刀导程误差的计算	62
第三节 采用修正交换齿轮比提高工件加工精度	63
1. 采用修正交换齿轮比校正机床丝杠误差	63
2. 采用修正交换齿轮比校正机床传动链误差	65
3. 采用修正交换齿轮比补偿热处理变形误差	67
第四章 特殊交换齿轮法的应用	69
第一节 普通车床采用特殊交换齿轮法	69
1. 采用直联丝杠通过变换交换齿轮方法	69
2. 使用机床进给变速箱及变换交换齿轮方法	69
第二节 特殊交换齿轮法扩大滚齿机应用范围	71
1. 差动交换齿轮的计算原理与方法	71
2. 使用差动交换齿轮法加工齿数为大于 100 质数的直齿轮	73
3. 使用差动交换齿轮法加工齿数为大于 100 质数的斜齿轮	79
4. 使用无差动法加工齿数为大于 100 质数的斜齿轮	84
5. 使用无差动法加工一般斜齿轮	88
第三节 特殊交换齿轮法在花键铣床上加工斜齿轮	95
1. YB6012A 半自动花键铣床的传动链计算	95
2. 无差动法加工斜齿轮的交换齿轮计算	97

3. 计算实例	97
第四节 特殊交换齿轮法在铲齿车床上的应用	99
1. 铲磨概述	99
2. 采用差动机构铲磨滚刀的计算实例	102
3. 使用无差动机构铲磨螺旋滚刀	103
附录	106
附录 A 小数与分数对照表	106
附录 B 因数表(1 ~ 10000)	119
附录 C 三角函数表	149

第一章 交换齿轮概述

第一节 交换齿轮应用范围

在机床进行加工和调整的过程中，通过交换齿轮的组合和变换，可以使主动轴与从动轴实现不同的传动比，构成一定的速比关系，从而完成各种不同的切削速度、机床进给量、各种螺纹的螺距及导程，以及齿轮机床中的分齿、差动、滚切、展成等运动。交换齿轮主要应用于下列机床中：

1) 在普通车床中，通过变换交换齿轮，可以实现各种螺纹的螺距和导程，以及各种蜗杆的齿距及导程。

2) 在铲齿机床中，通过变换交换齿轮，可以完成丝杠螺距的加工，各种滚刀齿距的加工，以及刀具齿槽的分齿运动、刀具螺旋齿铲齿加工中所需的差动补偿运动。

3) 在万能铣床上，通过变换交换齿轮，进行各种螺旋曲面、螺旋齿、槽及阿基米德螺旋面的加工。

4) 在齿轮加工机床中，传动比的改变和调整绝大部分都是采用变换交换齿轮的方法，以实现各种运动动作的要求和精度。如在滚齿机床中：①确定滚刀所需的转速；②选取工件每转的垂直进给量和径向进给量；③确定滚刀线数与工件齿数相互吻合的分齿运动；④选取滚削斜齿轮时应附加的旋转运动（即差动交换齿轮）。

5) 在插齿机床中，刀具的每分钟冲程次数、圆周进给量和径向进给量的变换、插齿刀与工件的分齿运动，也都较多采用变换交换齿轮的方法。

6) 在锥齿轮加工机床中, 刀具的切削速度、工件的进给量、工件的分齿运动、刀具与工件的相互滚切运动、摇台的摆角运动等, 亦都通过变换交换齿轮, 取得所需比值关系和数值。

7) 在齿轮磨床中, 工件的分齿运动, 工件渐开线齿形的展成运动、工作台的进给速度, 也都较多采用变换交换齿轮的方法, 以获得所需比值关系和数值。

总之, 凡是在齿轮、螺纹、花键、蜗杆、滚刀等各类加工机床中, 要求速比范围大、传动比值精度高的情况下, 采用交换齿轮是最好、最简单可行的方法。

第二节 交换齿轮齿数表

选择交换齿轮时, 首先应知道该机床备有的交换齿轮的齿数, 以便在分解和组合因数中, 选取现有的交换齿轮。

各种机床配备的交换齿轮各不相同, 一般可根据机床性质, 分为如下三种情况:

1) 交换齿轮的齿数为 5 的倍数, 如 20、25、30、35、…、100。这是各类机床最常用的交换齿轮组, 如铣床分度头所用交换齿轮组就属于此类。

2) 交换齿轮的齿数为 4 的倍数, 如 20、24、28、32、36、40、…、100。进给丝杠为英制尺寸的一些铣床, 其分度头一般采用此类交换齿轮组。

3) 交换齿轮的齿数多选用质数。这类交换齿轮组广泛应用于齿轮加工机床及铲齿车床上。

现将常见的几种机床采用的交换齿轮组列于表 1。

表 1 常见机床交换齿轮

米制 铣床	英制 铣床	C8955 铲齿车床	Y3150E 滚齿机床	米制 铣床	英制 铣床	C8955 铲齿车床	Y3150E 滚齿机床
20		20	20				73
		21				74	
		22				75	75
		23	23			76	
	24	24	24				
25		25	25			78	
			26				
	28	28		80		80	79
		30	30				80
30						84	83
	32	32	32	85		85	85
			33		86		
			34				
35		35	35				
		36					89
			37	90		90	90
		38					92
40	40	40	40				
			41			95	95
	44		43			96	
							97
45		45	45			98	98
		46	46			99	
		47	47	100	100	100	100
	48	48	48			105	
50		50	50			112	
						114	
			52			116	
			53			120	
						123	
55		55	55			125	
	56					127	
		57	57			128	
		58	58				
			59			132	
						135	
60		60	60			144	
			61				
		63	62				
	64	64					
65		65	65				
		66	67				
70		70	70				
	72	72	71				

第二章 交换齿轮选配方法

第一节 精确值计算交换齿轮

在各种切齿机床的分齿运动中，要有精确的分齿传动比，因此，分齿交换齿轮的计算必须满足计算误差等于零。

在其他各类机床精密传动交换齿轮的计算中，如加工精密丝杠的螺距、磨削滚丝轮精密多线螺纹导程等，也需要使计算出的交换齿轮比误差趋于零。

交换齿轮比误差等于零的计算方法一般有两种，即分数值约分法和因数分解法。

一、分数值约分法

如交换齿轮比计算式可化简为一个整分式则可采用分数值约分法进行交换齿轮的选择。使用分数值约分法不会产生计算误差。用这种方法选择交换齿轮，既精确又简便。

1. 分数值约分法的适用范围

分数值约分法广泛应用在各种机床的分齿交换齿轮选取计算中。如滚齿机、插齿机、磨齿机、锥齿轮刨齿机、锥齿轮铣齿机、花键铣床、铲齿车床、花键磨床、滚刀磨床等分齿交换齿轮的选取计算，都采用分数值约分法。

在机床上加工有螺纹的工件时，也要进行交换齿轮的选取计算，这时也可采用分数值约分法，如普通车床采用直联丝杠加工螺纹、丝杠车床加工精密丝杠、螺纹磨床磨削丝锥等。

另外，在各类机床的进给交换齿轮和速度交换齿轮计算

中，也普遍采用分数值约分法。

2. 分数值约分法计算实例

【例1】 在 Y54A 插齿机床上插削齿数 $z = 56$ 、模数 $m = 2\text{mm}$ 的齿轮，齿轮插齿刀选用 $D_{\text{分}} = 100\text{mm}$ ， $z_{\text{刀}} = 50$ ，试求取交换齿轮组。

解：分齿交换齿轮比

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{2.4z_{\text{刀}}}{z}$$

式中， $\frac{a}{b}$ 、 $\frac{c}{d}$ 分别为两组齿轮的齿数比；2.4 为机床的分齿定数。

代入已知数值，得

$$i = \frac{2.4 \times 50}{56} = \frac{50}{56} \times \frac{24}{10}$$

因为在机床所配备的交换齿轮中没有齿数为 56 的齿轮，重新计算得

$$\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{50}{56} \times \frac{48}{20} = \frac{50}{20} \times \frac{6}{7} = \frac{50}{20} \times \frac{30}{35}$$

即选出的两组交换齿轮为 $\frac{50}{20}$ 和 $\frac{30}{35}$ 。

【例2】 在 YB6012A 花键铣床上铣削花键齿数 $z = 10$ 的花键轴，试求取分齿交换齿轮。

解：

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{6}{z} = \frac{6}{10} = \frac{3}{5}$$

分子、分母同乘以 15，得

$$\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{45}{75}$$

即分齿交换齿轮主动轮齿数为 45，从动轮齿数为 75，

可加一个齿数为 50 的中间轮。

【例 3】在 CM6140 普通车床上车削 7 级精度丝杠，螺距 $S_{\text{工}} = 10\text{mm}$ ，采用直联丝杠加工，车床丝杠螺距 $S = 12\text{mm}$ ，试求取交换齿轮齿数。

解：

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{S_{\text{工}}}{S} = \frac{10}{12} = \frac{60}{72}$$

所以，机床交换齿轮主动轮齿数是 60，从动轮齿数是 72。

二、因数分解法

当交换齿轮比计算式表现为如下形式之一时，即可采用因数分解法。

1) 计算式化为整分数形式时，其分子或分母由三位数或四位数组成。

2) 计算式化为小数形式时，是由小于四位数值的小数值组成。

因数分解法就是把一个整数分解成两个以上质数相乘的方法。

1. 因数分解法的运算方法

(1) 查表法 附录 B 是因数表，范围是 1 ~ 10000。

在所有机床所带的交换齿轮中，一般最大齿数到 127，大于 127 的齿数均没有常备的交换齿轮，所以 127 以上的质数未列入表中。

(2) 判别法 当一个整数可化成几个不能再分解的数的乘积的形式时，则这几个数就称为质因数。

在选择交换齿轮的齿数时，经常使用的质数有 32 个，即 1、2、3、5、7、11、13、17、19、23、29、31、37、41、43、47、53、59、61、67、71、73、79、83、89、97、101、

103、107、109、113、127。

上述整数已经不能再分解了，我们所要选取的交换齿轮齿数，就是这些质数或它们的倍数。

判断一个整数是哪几个质数的乘积，一般是从最小质因数入手。现把方法介绍如下：

1) 质因数“2”的判别方法：凡在末位上的数字是0或偶数时，则该整数必含有质因数2，如4、32、242、5340等。

2) 质因数“3”的判别方法：各位数上的数字相加后，能被3整除的整数，必含有质因数3。例如：123各位数上的数字相加后，其和为6，而6能被3整除，故有质因数3。

3) 质因数“5”的判别方法：凡末位数数字是5或0的整数，则该整数必含有质因数5，如55、200等。

4) 质因数“11”的判别方法：当各奇位数数字之和与各偶位数数字之和的差是0或11的倍数时，则该整数必有质因数11。例如：1617奇位数之和为2，偶位数之和为13，它们的差为11，故1617含有质因数11。

一般整数通过运用上述小质因数判别法分解，即可解决。当一个整数含有两个不易判别的质因数时，就只能用试算法了。

(3) 试算法 对于2、3、5、11以外的质因数，且该数含有两个以上的质因数时，采用试算法比较合适。例如：247没有2、3、5、11这些质因数，用13试除得19，所以247含有13和19两个质因数。

2. 质因数组合原则

一个整数可由两个、三个，甚至多个质因数之积组合而成，而一般机床的交换齿轮组经常是由一组或两组交换齿轮组合而成。因此，应对多个质数组成的数进行适当的组

合，使之成为两个数值的乘积形式。组合时应从下列原则考虑：

1) 应是机床所备有的交换齿轮齿数的公因数，即应为组合数值或组合数值的倍数。

2) 当传动比很大或很小时，在选择两个组合因数时，应使两个因数接近为好，因为这样因数扩大倍数较多。例如： $154 = 14 \times 11 = 22 \times 7 = 2 \times 77$ ，有三种两因数组合情况，不难看出 14 和 11 组合是比较合适的。

3) 中等比值的传动比，因数组合要灵活得多。当分子上的整数选为一大一小两因数时，分母上的整数也应组合为一大一小两因数。这样就能使两个较小的因数增加扩大倍数的机会。

3. 交换齿轮啮合条件的验算

按传动比组合好的交换齿轮，能否在机床的交换齿轮架上顺利啮合，还需进行验算。交换齿轮齿数 a 、 b 、 c 、 d ，与 a 、 d 轮上的轴径之间必须满足如下关系式，才能啮合：

$$a + b - c > \frac{D_1}{2} \quad (D_1 \text{ 为齿轮 } a \text{ 的轴径})$$

$$c + d - b > \frac{D_2}{2} \quad (D_2 \text{ 为齿轮 } d \text{ 的轴径})$$

下面举一个例子：

【例】 在 Y54 插齿机床上，插削 $z = 56$ 的齿轮，其分齿交换齿轮计算得： $\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{60}{20} \times \frac{50}{70}$ ，按要求进行啮合条件验算。

已知交换齿轮 a 的轴径 $D_1 = 30\text{mm}$ ，交换齿轮 d 的轴径 $D_2 = 30\text{mm}$ 。

则

$$a + b - c = 60 + 20 - 50 = 30$$

$$\frac{D_1}{2} = \frac{30}{2} = 15$$

因 $30 > 15$ ，满足啮合条件。

又

$$c + d - b = 50 + 70 - 20 = 100$$

$$\frac{D_2}{2} = \frac{30}{2} = 15$$

因 $100 > 15$ ，满足啮合条件。

4. 因数分解法的适用范围

前面我们已经谈到，当交换齿轮比是由一个四位数以下的分数值或者一个小于四位数的小数值组成，最适宜采用因数分解法选择交换齿轮。

1) 在滚齿机床上加工齿数为大于 100 的质数的直齿或斜齿齿轮时，其分齿交换齿轮比将会是一个大于三位数的分数值。这时要保证分齿交换齿轮计算误差为零，必须使分式的分子和分母都是能分解的整数。

2) 在各种机床上的差动交换齿轮、滚切交换齿轮、展成交换齿轮、螺旋导程交换齿轮、阿基米德螺线交换齿轮等，都必须通过因数分解法而获得近似的交换齿轮。其具体应用将在后面交换齿轮近似值算法的各有关章节中加以介绍。

5. 因数分解法计算交换齿轮实例

【例 1】在 Y38 滚齿机床上，加工 $z = 107$ 的齿轮，试求取分齿交换齿轮。

解：

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{24K}{z \pm E}$$

式中， K 为滚刀头数； E 为选定的小于 1 的分数。

选取 $E = \frac{1}{37}$ 、 $K = 1$ ，得

$$\begin{aligned} i &= \frac{24 \times 1}{107 + \frac{1}{37}} = \frac{24}{\frac{107 \times 37 + 1}{37}} = \frac{24 \times 37}{3960} \\ &= \frac{24 \times 37}{72 \times 55} = \frac{3 \times 37}{9 \times 55} = \frac{30 \times 37}{90 \times 55} \\ &= \frac{30}{55} \times \frac{37}{90} \end{aligned}$$

通过以上计算得出两组交换齿轮，其主动轮齿数为 30 和 37，从动轮齿数为 55 和 90。

【例 2】在 Y225 锥齿轮铣齿机床上，铣削 $m = 7.24\text{mm}$ 、 $z = 39$ 、 $\beta = 35^\circ$ 的齿轮，每齿加工时间 $t = 12.5\text{s}$ 。试求取进给交换齿轮。

解：进给交换齿轮比

$$\begin{aligned} i &= \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{4.8}{t} \\ i &= \frac{4.8}{12.5} = \frac{48}{125} = \frac{48}{25 \times 5} = \frac{48 \times 3}{25 \times 3 \times 5} \\ &= \frac{30}{50} \times \frac{48}{75} \end{aligned}$$

所以，进给交换齿轮主动轮齿数为 30 和 48，从动轮齿数为 50 和 75。

第二节 近似值计算交换齿轮

使用精确值计算法计算交换齿轮时，首先要求将所求得交换齿轮比化为一个能分解的、简单的整分数，然后利用因数分解法对分子、分母进行分解，并组合出交换齿轮组。

当交换齿轮比是如下几种情况时，就要采用近似值计算交