



实用技术工人速算丛书

工件钻削与 镗削速算

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

7932001
272
1/

实用技术工人速算丛书

工件钻削与镗削速算

李秀智 编著



机械工业出版社

本书主要介绍工件的钻削与镗削计算。工件钻削计算部分主要介绍圆周等分钻孔、交叉孔、扩孔、铰孔及内螺纹等加工计算。工件镗削计算部分着重介绍圆柱孔、坐标系统、孔距坐标及平行孔系的加工计算；壳体、传动箱体平行孔及小型齿轮箱孔距的镗削计算；用坐标镗床镗孔及其孔的检测计算；在镗床上切螺纹，以及用镗刀头加工内球面等计算。

书中还介绍了孔加工的相关计算，钻削、镗削及铰削加工基本方法，镗削加工基本方法等内容。

本书内容丰富，图文并茂，由浅入深，简明实用，既可作为钻工、镗工及工程技术人员必备的工具书，也可供技工学校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工件钻削与镗削速算/李秀智编著. —北京:机械工业出版社, 2007. 5

(实用技术工人速算丛书)

ISBN 978-7-111-21261-4

I. 工… II. 李… III. ①钻削-速算②镗削-速算 IV. TG52 TG53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 046721 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: 赵晓峰 版式设计: 霍永明

责任校对: 李秋荣 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 8.875 印张 · 267 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-21261-4

定价: 20.00 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)88379732

封面防伪标均为盗版

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的需求越来越高。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”。

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《钎焊加工速算》。

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，本套丛书具有内容丰富、简明实用、图文并茂、便于查阅的特点。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，在此一并深表谢意。

因限于本人水平，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、工件的钻削计算	1
(一) 圆周等分钻孔的计算	2
(二) 交叉孔零件加工及测量计算	5
(三) 扩孔计算及加工特点	14
(四) 铰削规范及其有关计算	15
(五) 内螺纹的加工计算	17
二、工件的镗削计算	25
(一) 圆柱孔的镗削计算	25
(二) 镗削坐标系统的计算	28
(三) 孔距坐标的计算方法	30
(四) 平行孔系的镗削计算	33
(五) 壳体两平行孔的镗削计算	35
(六) 传动箱体三平行孔的镗削计算	37
(七) 镗削小型齿轮箱孔距的计算	41
(八) 用坐标镗床镗孔的计算	44
(九) 孔的检测计算	46
(十) 在镗床上切螺纹的计算	49
(十一) 用镗刀头加工内球面的计算	51
三、孔加工的相关计算	54
(一) 坐标换算和加工调整	54
(二) 坐标测量	58
(三) 平行孔系中心距的控制方法	61
(四) 箱体零件相互位置精度的检验	64
(五) 导向装置的布置形式与特点	66
(六) 影响镗削加工质量的因素与解决方法	68
四、钻削、镗削及铰削加工的基本方法	71

(一) 钻床的类别、加工特点和适用范围	71
(二) 钻削与钻头	71
(三) 铰削与铰钻	102
(四) 铰削与铰刀	125
(五) 钻削加工工艺守则	160
(六) 攻螺纹与套螺纹	160
五、镗削加工的基本方法	172
(一) 卧式镗床的加工范围	172
(二) 卧式镗床几何精度的检验	176
(三) 主轴轴线与所镗孔的中心线的重合方法	186
(四) 找正工具与找正方法	189
(五) 支承镗削基本方式及加工精度分析	192
(六) 工件定位基准及定位方法	195
(七) 钻(镗)床夹具典型结构技术要求	197
(八) 镗削工件的方法	203
(九) 卧式镗床常用测量方法及精度	212
(十) 镗床附件及辅具	214
(十一) 镗杆和镗套	223
(十二) 镗刀及常用孔加工工具	237
(十三) 镗孔与切削平面时的进给方式	255
(十四) 镗削用量与加工精度	258
(十五) 镗床加工质量分析	261
(十六) 确定孔的镗削方案	266
(十七) 镗削加工通用工艺守则	272

一、工件的钻削计算

任何一种机器，没有孔是不能装配成形的。要把两个以上的零件连接在一起，常常需要钻出各种不同的孔，然后用螺钉、铆钉、销和键等连接起来。因此，钻孔在生产中占有重要的地位。

用钻头在工件上加工孔的方法叫钻削。钻削加工的精度低，表面粗糙度值较大。能够进行钻削的机床种类很多，除钻床外，还有车床、镗床等，也可用电钻或手摇钻进行。在钻床上还可进行铰削、铰削加工及攻螺纹等作业，如图 1-1 所示。铰削是用铰钻或铰刀加工位于孔口的端面或切出沉孔的方法。铰削是用铰刀从工件孔壁上切除微量金属层，以提高其尺寸精度和减小表面粗糙度值的方法。

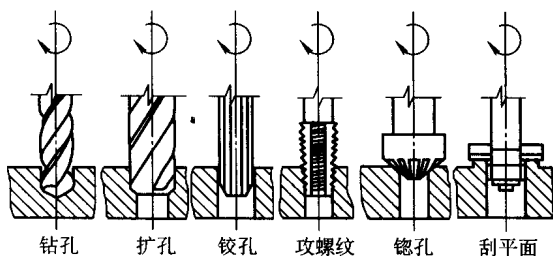


图 1-1 钻床加工的基本内容

在钻床上钻孔时，是工件固定不动，钻头进行两种协同运动，如图 1-2 所示。一种是主运动（切削运动），钻头绕轴心旋转，另一种是辅助运动（进给运动），钻头对工件作直线运动。在车床上钻孔时，一般都是工件绕钻头轴心旋转，钻头对工件作直线进给运动。在镗床上钻孔时，是钻头绕轴心旋转，工件对钻头作直线进给运动。钻床主要是用于钻削加工的机床，因

而应用最普遍。

钻削时, 钻头在半封闭的状态下进行切削, 转速高, 切削量大, 排屑很困难。钻削加工有如下几个特点:

1) 摩擦严重, 需要较大的钻削力。

2) 产生的热量多, 而且传热、散热困难, 切削温度较高。

3) 钻头的高速旋转和较高的切削温度, 造成钻头磨损严重。

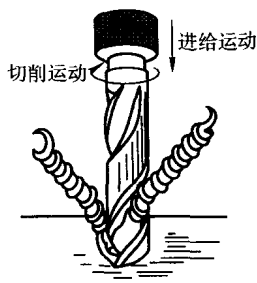


图 1-2 钻孔时钻头的运动

表 1-1 列出了工件的钻削计算公式。

表 1-1 工件的钻削计算公式

名称	解释与公式
(一) 圆周等分 钻孔的 计算 用 公式 计算 法	要在右图所示的直径 D 的圆周上钻出 n 个等距离的孔时, 怎样计算孔距呢? 因为 S 应该是直线距离, 是圆周上的弦长, 不是弧长, 因此不能用等分圆周长度的办法来计算。也就是说, 计算 $S = \pi D/n$ 是不对的。弦长应采用如下公式计算: $S = D \sin \frac{180^\circ}{n}$ 例 1: 在直径 D 为 80mm 的圆周上钻出 31 个等距离的孔, 试问孔中心的直线距离 S 是多少? 解: $180^\circ/n = 180^\circ/31 \approx 5.806^\circ$ $= 5^\circ + 60' \times 0.806 = 5^\circ 48'$ 孔距 $S = D \sin \frac{180^\circ}{n} = 80\text{mm} \times \sin 5^\circ 48' = 80\text{mm} \times 0.10106 \approx 8.085\text{mm}$

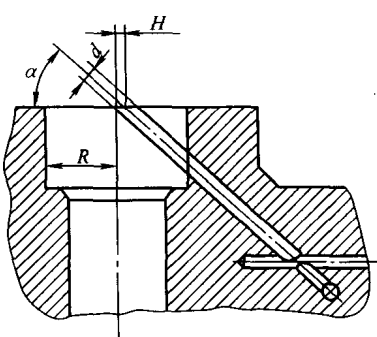
(续)

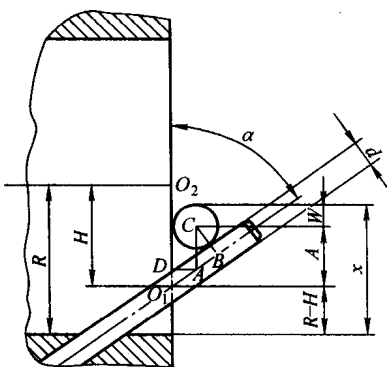
名称	解释与公式
(一) 圆 周 等 分 钻 孔 的 计 算	两孔中心距 S (即弦长) 还可采用下列简便公式, 结合查表法计算, 表中的系数 K 是用上式推算得来的。已知直径 D 时, 可由下式算出: $S = DK$ 式中 K 代表圆周等分系数, 可从下面给出的圆周等分系数表中查得 例 2: 已知等分数 $n = 30$, 直径 $D = 500\text{mm}$, 求两孔中心距 S 是多少? 解: 从圆周等分系数表中查知: 当 $n = 30$ 时, $K = 0.104\ 53$ 所以, $S = DK = 500\text{mm} \times 0.104\ 53 = 52.265\text{mm}$
	如果已知圆周等分孔数 n 和两孔中心距 S, 也可用圆周等分系数表, 由下式求出直径 D: $D = S/K$ 例 3: 已知 30 孔的法兰盘, 其相邻两孔中心距为 52.265mm, 试求该法兰盘的直径为多少? 解: $D = \frac{S}{K} = \frac{52.265\text{mm}}{0.104\ 53} = 500\text{mm}$ 即该法兰盘的直径为 500mm
	右图所示为在钻床上钻出孔距有精度要求的平行孔的方法。 例如钻 d_1 和 d_2 两孔, 其中心距为 L。这时, 可按划线先钻出一孔 (可先钻 d_1 孔), 若孔精度要求较高, 还可用铰刀铰一下, 然后找一销子与孔紧配 (也可车一销子与孔紧配), 另外任意找一只销子 (直径为 d_3) 夹在钻夹头中, 用百分尺 (分厘卡) 控制距离 L_1。其计算公式如下: 钻孔距有精度要求的平行孔的方法

(续)

名称		解释与公式				
有精度要求的平行孔距加工计算方法	$L_1 = L + \frac{1}{2}d_1 + \frac{1}{2}d_3$					
	式中 L_1 ——百分尺控制距离(mm);					
	L ——中心距(mm);					
	d_1 ——第一孔的直径(mm);					
	d_3 ——销子直径(mm)					
	按上式计算,就能保证 L 尺寸,孔距校正好后把工件压紧,钻夹头中装上直径 d_2 的钻头就可钻第二孔。其他孔也可用同样的方法钻出。用这种方法钻出的孔中心距精度能在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内					
(一)	圆周等分系数表					
圆周等分钻孔的计算	等分数	系数	等分数	系数	等分数	系数
	n	K	n	K	n	K
	3	0.866 03	23	0.136 17	43	0.072 995
	4	0.707 11	24	0.139 53	44	0.071 339
	5	0.587 79	25	0.125 33	45	0.069 756
	6	0.500 00	26	0.120 54	46	0.068 243
	7	0.433 88	27	0.116 09	47	0.066 792
	8	0.382 68	28	0.111 97	48	0.065 493
	9	0.342 02	29	0.108 12	49	0.064 073
	10	0.309 02	30	0.104 53	50	0.062 791
	11	0.281 73	31	0.101 17	51	0.061 560
	12	0.258 82	32	0.098 015	52	0.060 379
	13	0.239 32	33	0.095 056	53	0.059 240
	14	0.222 52	34	0.092 269	54	0.058 145
	15	0.207 91	35	0.089 640	55	0.057 090
	16	0.195 09	36	0.087 156	56	0.056 071
	17	0.183 75	37	0.084 805	57	0.055 087
	18	0.173 65	38	0.082 580	58	0.054 138
	19	0.164 59	39	0.080 466	59	0.053 222
	20	0.156 43	40	0.078 460	60	0.052 336
	21	0.149 04	41	0.076 549	61	0.051 478
	22	0.142 32	42	0.074 731	62	0.050 649

(续)

名称		解释与公式					
(一)	圆周等分系数表	(续)					
		等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
		63	0.049 345	76	0.041 325	89	0.035 291
		64	0.049 067	77	0.040 788	90	0.034 890
		65	0.018 313	78	0.040 265	91	0.034 516
		66	0.047 581	79	0.039 757	92	0.034 141
		67	0.046 872	80	0.039 260	93	0.033 774
		68	0.046 183	81	0.038 775	94	0.033 415
		69	0.045 514	82	0.038 302	95	0.033 064
		70	0.044 864	83	0.037 841	96	0.032 719
		71	0.041 233	84	0.037 391	97	0.032 381
		72	0.043 619	85	0.036 951	98	0.032 051
		73	0.043 022	86	0.036 522	99	0.031 728
		74	0.042 441	87	0.036 102	100	0.031 410
		75	0.041 875	88	0.035 692		
(二)	交叉孔零件加工及测量计算	在机械零件中,常常会出现这样一种情况:图样上所标注的一些尺寸没法进行加工或直接测量。下图所示的具有交叉孔的零件的偏心距 H ,就属于这种情况。这种问题,可以应用直角三角形边角关系的计算方法得到解决					
		 具有偏心交叉孔的零件					

名称	解释与公式
(二) 交叉孔零件加工及测量计算 偏心交叉孔中心距测量算法	如下图所示,在斜孔中插入一根直径合适的心轴或钻头(尽量使间隙小些),然后在心轴与零件端面放一滚棒即可进行测量  偏心交叉孔的测量算法 图中 R——大孔半径; d——大孔内所钻斜孔直径; α——斜孔倾角; H——大孔与斜孔中心线(轴线)在端面交点的偏心距; W——滚棒半径 测量偏心距 H 是否符合要求;需要计算出 x 值,若与实例相符则零件合格。从上图中可知 $x = W + A + (R - H)$ 式中, W、R、H 皆为已知数,因此尺寸 A 即为问题所在 作两个直角三角形 ABC 和 ADO_1, 可知 $A = AC + DO_1$ 在直角三角形 ABC 中: $AC = \frac{BC}{\sin\alpha}$, $BC = W + \frac{d}{2}$

(续)

名称	解释与公式
(二) 交叉孔零件加工及测量计算 偏心交叉孔中心距测量计算法	知 $AC = \frac{W + \frac{d}{2}}{\sin\alpha}$ 而在直角三角形 ADO_1 中: $DO_1 = \frac{AD}{\tan\alpha}$, $AD = W$ 知 $DO_1 = \frac{W}{\tan\alpha}$ 将 AC, DO_1 代入 x 式, 得 $x = W + A + (R - H) = W + (AC + DO_1) + (R - H)$ $= W + \left(\frac{W + \frac{d}{2}}{\sin\alpha} + \frac{W}{\tan\alpha} \right) + (R - H)$ 即 $x = W \left(1 + \frac{1}{\tan\alpha} \right) + \frac{2W + d}{2\sin\alpha} + R - H$ 例 4: 在大孔内要钻一斜孔, 如“具有偏心交叉孔的零件”图所示。图样给定尺寸如下: 大孔半径 $R = 27.5\text{mm}$, 斜孔直径 $d = 4\text{mm}$, 斜孔倾角 $\alpha = 30^\circ 15'$, 偏心距 $H = 2\text{mm}$, 试计算尺寸 x? 解: 其计算图同“偏心交叉孔的测量计算法”图所示。现选定滚棒半径 $W = 4\text{mm}$ 进行间接测量 按公式得 $x = W \left(1 + \frac{1}{\tan\alpha} \right) + \frac{2W + d}{2\sin\alpha} + R - H$ $= 4\text{mm} \times \left(1 + \frac{1}{\tan 30^\circ 15'} \right) + \frac{8\text{mm} + 4\text{mm}}{2\sin 30^\circ 15'} + 27.5\text{mm} - 2\text{mm}$ $= 4\text{mm} \times \left(1 + \frac{1}{0.58318} \right) + \frac{12\text{mm}}{2 \times 0.50377} + 25.5\text{mm}$ $= 48.27\text{mm}$

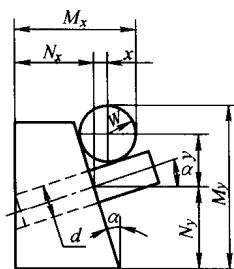
名称

解释与公式

位于斜面上的直孔和斜孔,要确定其轴线交点至直角平面的位置尺寸,可以在孔中插一心棒,再在心棒和斜面上放一滚棒进行测量。然后通过计算,即可求出此孔的位置尺寸

1. 斜面上的直孔对直角平面位置尺寸的测量计算

图 a 所示为斜面上的直孔与直角平面之间位置尺寸的测量计算图。已知孔径 d , 滚棒半径 W , 斜角 α , 测量所得的尺寸为 M_x 、 M_y , 需求的直孔交点位置尺寸为 N_x 、 N_y ,



a) 斜面上直孔位置尺寸的测量计算

先求出此孔交点至滚棒中心的位置尺寸 x 、 y , 由图可知

$$x = W \cos \alpha - \left(W + \frac{d}{2} \right) \sin \alpha$$

$$y = W \sin \alpha + \left(W + \frac{d}{2} \right) \cos \alpha$$

由此可得 $N_x = M_x - W - x$ $N_y = M_y - W - y$

即 $N_x = M_x - W(1 + \cos \alpha - \sin \alpha) + \frac{d}{2} \sin \alpha$

$$N_y = M_y - W(1 + \sin \alpha + \cos \alpha) - \frac{d}{2} \cos \alpha$$

例 5: 图 a 所示斜面上有直孔的零件, 在 15° 斜面上有一直径为 8mm 的垂直孔。为了测量此孔的位置尺寸, 在孔中插一心棒并放在上面放一直径为 14mm 的滚棒, 测得尺寸 $M_x = 32.8\text{mm}$, $M_y = 44.1\text{mm}$, 试计算此孔的交点位置尺寸 N_x 、 N_y ?

解: 已知 $\alpha = 15^\circ$, $d = 8\text{mm}$, $W = 7\text{mm}$, $M_x = 32.8\text{mm}$, $M_y = 44.1\text{mm}$

(二)
交叉孔零件加工及测量计算

斜面上直孔的测量法

(续)

名称	解释与公式
(二) 交叉孔零件加工及测量计算 斜面上直孔的测量法	将上面数据代入公式,分别求出此孔的交点位置尺寸:
	$N_x = M_x - W(1 + \cos\alpha - \sin\alpha) + \frac{d}{2}\sin\alpha$ $= 32.8\text{mm} - 7\text{mm} \times (1 + \cos 15^\circ - \sin 15^\circ) + \frac{8\text{mm}}{2} \times \sin 15^\circ$ $= 32.8\text{mm} - 7\text{mm} \times (1 + 0.9659 - 0.2588) + 4\text{mm} \times 0.2588$ $= 21.89\text{mm}$
	$N_y = M_y - W(1 + \sin\alpha + \cos\alpha) - \frac{d}{2}\cos\alpha$ $= 44.1\text{mm} - 7\text{mm} \times (1 + \sin 15^\circ + \cos 15^\circ) - \frac{8\text{mm}}{2} \times \cos 15^\circ$ $= 44.1\text{mm} - 7\text{mm} \times (1 + 0.2588 + 0.9659) - 4\text{mm} \times 0.9659$ $= 24.66\text{mm}$
	2. 斜面上的斜孔对直角平面位置尺寸的测量计算
	图 b 所示为斜面上的斜孔与直角平面之间位置尺寸的测量计算图。已知孔径 d, 滚棒半径 W, 斜孔对斜面的角度为 α_1, 斜面对底平面的角度为 α_2, 测量所得的尺寸为 M_x, M_y, 需求的斜孔交点尺寸为 N_x, N_y,
先求出此孔交点至滚棒中心的位置尺寸 y_1 及 x, y $y_1 = \left(W + \frac{d}{2}\right)\sec\alpha_1 + W\tan\alpha_1$ $x = W\cos\alpha_2 - y_1\sin\alpha_2$ $y = W\sin\alpha_2 + y_1\cos\alpha_2$ 由此可得 $N_x = M_x - W - x \quad N_y = M_y - W - y$	
	b) 斜面上斜孔位置尺寸的测量计算

名称	解释与公式
(二) 交叉孔零件加工及测量计算	即 $N_x = M_x - W(1 + \cos\alpha_2) + y_1 \sin\alpha_2$ $N_y = M_y - W(1 + \sin\alpha_2) - y_1 \cos\alpha_2$
	式中, y_1 可按公式 $y_1 = \left(W + \frac{d}{2}\right) \sec\alpha_1 + W \tan\alpha_1$ 算得
	例 6: 图 b 所示为斜面上有斜孔的零件, 在 20° 斜面上有一直径为 8mm 的斜孔, 其斜角 $\alpha_2 = 15^\circ$。为了测量此孔的位置尺寸, 在孔中插一心棒, 并在上面放一直径为 $\phi 20\text{mm}$ 的滚棒, 测得尺寸 $M_x = 28.4\text{mm}$, $M_y = 50.2\text{mm}$, 试计算此孔的交点位置尺寸 N_x, N_y?
	解: 已知 $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 15^\circ$, $W = 10\text{mm}$, $M_x = 28.4\text{mm}$, $M_y = 50.2\text{mm}$
	将这些数据代入公式, 先求出尺寸 y_1:
	$y_1 = \left(W + \frac{d}{2}\right) \sec\alpha_1 + W \tan\alpha_1$ $= \left(10\text{mm} + \frac{8\text{mm}}{2}\right) \sec 20^\circ + 10\text{mm} \times \tan 20^\circ$ $= 14\text{mm} \times 1.0641 + 10\text{mm} \times 0.364$ $= 14.8974\text{mm} + 3.64\text{mm}$ $= 18.5374\text{mm}$
	再分别求得此孔的交点位置尺寸 N_x 和 N_y
	$N_x = M_x - W(1 + \cos\alpha_2) + y_1 \sin\alpha_2$ $= 28.4\text{mm} - 10\text{mm} \times (1 + \cos 15^\circ) + 18.5374\text{mm} \times \sin 15^\circ$ $= 28.4\text{mm} - 10\text{mm} \times (1 + 0.9659) + 18.5374\text{mm} \times 0.2588$ $= 13.538\text{mm}$
	$N_y = M_y - W(1 + \sin\alpha_2) - y_1 \cos\alpha_2$ $= 50.2\text{mm} - 10\text{mm} \times (1 + \sin 15^\circ) - 18.5374\text{mm} \times \cos 15^\circ$ $= 50.2\text{mm} - 10\text{mm} \times (1 + 0.2588) - 18.5374\text{mm} \times 0.9659$ $= 21.036\text{mm}$

(续)

名称	解释与公式
(二) 交叉孔零件加工及测量计算	圆柱体径向孔夹角测量计算法 如下图所示,圆柱体上两径向孔夹角为 α,两孔直径的实际尺寸是 d_1 和 d_2,圆柱体直径的实际尺寸是 D,用两根直径和孔径相等的滚棒紧插在孔中,再用两个半径为 W 的滚棒采用如图所示方法测得外侧尺寸 M。求两孔轴线夹角 α 可用如下公式: 径向孔夹角滚棒测量法 $\alpha = 2\beta - \theta_1 - \theta_2$ 式中 $\sin\beta = \frac{M - 2W}{D + 2W}$ $\sin\theta_1 = \frac{2W + d_1}{D + 2W}$ $\sin\theta_2 = \frac{2W + d_2}{D + 2W}$ 若 $d_1 = d_2$, 则 $\alpha = 2\beta - 2\theta_1 = 2(\beta - \theta_1)$ 例 7: 有一圆柱体, 外圆直径实际尺寸 $D = 79.95\text{mm}$, 钻有两径向孔, 实际孔径 $d_1 = d_2 = 10.02\text{mm}$, 用 $2W = 8\text{mm}$ 的两滚棒按斜面上直孔位置尺寸的测量计算图所示方法, 测得滚棒外侧尺寸 $M = 66.63\text{mm}$, 求两孔夹角 α? 解: $\sin\beta = \frac{M - 2W}{D + 2W} = \frac{66.63\text{mm} - 8\text{mm}}{79.95\text{mm} + 8\text{mm}} = \frac{58.63\text{mm}}{87.95\text{mm}} = 0.66663$ 查三角函数表得, $\beta = 41^\circ 48'$ $\sin\theta_1 = \frac{2W + d_1}{D + 2W} = \frac{8\text{mm} + 10.02\text{mm}}{79.95\text{mm} + 8\text{mm}} = \frac{18.02}{87.95} = 0.20489$ 查三角函数表得, $\theta_1 = 11^\circ 49'$ $\alpha = 2\beta - 2\theta_1 = 2 \times 41^\circ 48' - 2 \times 11^\circ 49' = 59^\circ 58'$ 故得两孔轴线夹角 $\alpha = 59^\circ 58'$