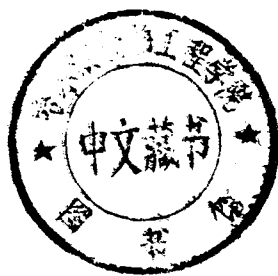


373474

钻尖的数学模型与钻削试验研究

国家自然科学基金资助项目

曹正铨 等著



北京理工大学出版社

前 言

本书是作者们在国家自然科学基金[(84)119号项目《群钻的切削机理及其磨削研究》和58975214号项目《常用金属材料群钻的切削机理及钻型优化》]资助下,多年研究的结晶。

钻削是生产过程中最常用的加工方法之一。但作为最常用的刀具——麻花钻的钻尖几何形状及其正确刃磨却一直未能解决。从数学角度来说,麻花钻的钻尖是最复杂、最难于求解的刀具,因此,现有的、包括最新生产的国内外出品的钻尖磨床均无法正确刃磨钻尖。为了解决群钻的正确刃磨问题,本书作者首先从锥面钻尖的数学模型及其求解入手,经过数年努力建立了锥面钻尖的数学模型,并解决了磨削参数的求解问题。在此之后,又建立并完善了螺旋面钻尖的数学模型,从而使钻尖刃磨所需的运动坐标数大为减少,而刃磨效率大大提高。在此基础上,开展了对群钻的数学模型及刃磨方法的研究。继后,在湖南省科委的进一步资助下,研制了七坐标数控群钻磨床,从而解决了正确刃磨各种形式群钻的难题。为了在切削机理方面进行更多的研究,不断改进群钻的切削性能,还进行了大量的工艺试验。本书就是这些研究的总结。

本书是一个集体的创作,各章的作者为:第一、二章,曹正铨;第三章,曹正铨、龙腾辉;第四章,廖钢、李朝晖;第五章,李朝晖;第六、七章,温松明;第八章,杨受章。在编写和出版过程中,余群明同志作了大量的工作,特此致谢。

由于水平有限,错误之处,敬请读者指正。

作 者

1992年9月于湖南大学

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 麻花钻的研究历史及现状	(1)
§ 1.2 麻花钻的基准坐标系及刀具角度	(4)
第二章 锥面钻尖的数学模型	(16)
§ 2.1 主刃为直线的锥面后刀面的数学模型	(16)
§ 2.2 补充几何参数的合理选择	(24)
§ 2.3 钻尖数学模型的求解	(29)
§ 2.4 麻花钻前刀面的数学模型	(31)
§ 2.5 在同种原始结构半顶角条件下刃磨不同半顶角钻尖	(37)
§ 2.6 横刃的数学模型	(47)
§ 2.7 锥面后刀面钻尖的刃磨	(52)
第三章 螺旋面钻尖的数学模型	(56)
§ 3.1 刃磨螺旋面钻尖的新方法	(56)
§ 3.2 等螺距螺旋面钻尖的数学模型	(65)
§ 3.3 等螺距螺旋面钻尖设计参数求解及其刃磨检验	(71)
§ 3.4 变螺距螺旋面钻尖的数学模型	(81)
§ 3.5 变螺距螺旋面钻尖刃磨参数的求解	(85)
§ 3.6 刃磨干涉	(87)

第四章 群钻的数学模型..... (90)

§ 4.1 群钻的结构参数..... (90)

§ 4.2 群钻的数学模型..... (94)

§ 4.3 群钻几何参数的数学方程..... (107)

§ 4.4 群钻设计参数与刃磨参数的关系..... (119)

第五章 群钻的刃磨和 MK-6340/3 数控群钻磨床..... (126)

§ 5.1 群钻的刃磨..... (126)

§ 5.2 MK-6340/3 数控群钻刃磨机床..... (128)

第六章 群钻几何参数优化试验研究..... (135)

§ 6.1 群钻钻削过程的特点..... (135)

§ 6.2 群钻的磨损特征..... (137)

§ 6.3 群钻与普通麻花钻寿命对比试验..... (140)

§ 6.4 群钻几何参数优化试验研究..... (143)

第七章 流屑角模型研究..... (152)

§ 7.1 概述..... (152)

§ 7.2 麻花钻主刃流屑角的数学模型..... (152)

§ 7.3 钢群钻切削刃流屑角模型初步研究..... (161)

第八章 钻削温度试验研究..... (168)

§ 8.1 概述..... (168)

§ 8.2 钻削温度试验研究..... (169)

第一章 绪 论

§ 1.1 麻花钻的研究历史及现状

麻花钻是一种形状复杂的孔加工刀具,自它诞生以来的百余年中,尽管结构形状变化不大,但由于制造麻花钻的材料不断改进,尤其是高速钢麻花钻的出现,使它成为实心工件孔加工应用最广的刀具。

麻花钻貌似简单,从数学意义上来说,却是一种极为复杂的刀具,以致难于为人们深入了解和掌握。长期以来,麻花钻的刃磨只能依靠经验来调整机床,因而根本无法达到预定的几何角度。由于缺少理论指导,刃磨机床的设计也只能根据经验进行,因此无法正确给出所需调整范围。

50年代以来,由于计算机应用日趋广泛,数学模型研究也日渐成熟。另一方面,钻头的结构参数不断获得改进,新的钻型不断出现,据不完全统计,到1982年止,全世界各种各样的钻型就不下100种。倪志福等同志发明的新钻型——群钻,就是众多新钻型中的佼佼者。

在钻头数学模型方面,1957年 Galloway D F 最早发表了有关普通麻花钻钻尖数学模型的研究论文^[1]。文中分析了主刃附近的几何形状,给出了后角的定义及测量方法,推导了直线刃钻尖钻沟螺旋角的方程及主刃前、后角公式,但所给出的横刃斜角表达式取决于其它钻尖几何参数,而不是独立变量,因此钻尖后刀面的形状不是唯一的。

1970年, Fujii S, Devries M F 和 Wu S M 在 Galloway 的研究基础上进一步作了研究, 连续发表了三篇文章^[2~4], 采用割平面法, 将钻尖三维空间曲面后刀面化为二维平面曲线进行研究, 并用计算机绘制一系列截面图形进行重迭比较, 重新给出了横刃斜角的定义。

1972年, Armarego E J A 在三篇文章^[5, 6, 7]中总结分析前人的研究结果, 指出锥面磨法的钻尖有四个独立的刃磨参数, 而给出的钻尖几何参数只有三个, 因此不仅钻尖后刀面形状不能唯一确定, 而且也不能根据钻尖几何参数获得唯一的刃磨参数。Armarego 指出了用钻尖后刀面尾隙角作为补充几何参数以便获得唯一的后刀面, 从而在理论上指出了磨削参数求解的唯一性是可能解决的。但由于磨削参数求解问题涉及一个非常复杂的四元超越函数方程组, 因此, 实际上求解问题仍然不能解决。

1978年, Tsai W D 和 Wu S M 将锥面、椭球面和双曲面三种钻尖后刀面统一成二次曲面的标准方程^[8], 给出了几何参数的计算公式, 其中锥面钻尖采用简化模型。

1980年, Armarego E J A 撰文提出圆锥面、平面和圆柱面三种钻尖后刀面刃磨方法中以锥面后刀面为最佳^[9]。

1983年, 南非 Kaldor S 等采用给定磨削参数的范围进行计算机扫描的方法——穷举法求解钻尖后刀面的方程^[10]。由于这种方法求解费工费时, 因此不可能用于实际刃磨过程中的计算。

1985年, 林丞、曹正铨发表文章^[11], 第一次在锥面后刀面的精确模型的基础上, 采用最优化方法在计算机上快速求解刃磨参数, 从而为实现用计算机控制的机床直接刃磨出任意指定的几何参数的优质钻尖创造了条件, 试验证明, 刃磨出来的钻尖几何角度误差不超过 1° 。

1986年, 林丞、曹正铨发表文章进一步指出锥面后刀面的最佳补充几何参数是后刀面上的尾隙角 α_h ^[12]。当选定点与 X 轴

的夹角为 60° 时,尾隙角在比外缘转点的结构圆周后角约大 2° 的条件下,锥面后刀面的展开线与螺旋线极为相近。因此,在满足上述条件下,采用尾隙角作指定的补充参数,只需给出钻尖的三个标准几何参数(即顶角、横刃斜角和外缘转点的结构圆周后角)尾隙角则可自动给出。

1990 年 9 月,林丞、曹正铨发表“群钻数学模型及其刃磨参数的计算”一文^[13]。该文所建立的模型与机床坐标系直接联系,计算结果直接上机刃磨,从而第一次在数控机床上刃磨出了高质量的群钻。

为了进一步改进钻尖刃磨方法,简化机床结构,曹正铨、龙腾辉于 1991 年 12 月发表“螺旋面钻尖的数学模型”一文^[14]。文中采用了新的螺旋面钻尖刃磨方法,建立了该方法下的钻尖数学模型,指出采用螺旋面磨法与锥面磨法的补充参数不同,前者采用横刃前角作为补充参数。

1992 年 11 月,曹正铨、陈花荣发表“变螺距螺旋面钻尖数学模型及其刃磨干涉”一文^[15],对等减速变螺距螺旋面钻尖数学模型及其干涉的修正进行了讨论,从而使群钻外刃的刃磨问题得到较好的解决。

至此,钻尖数学模型及其求解的研究,可以说已达到较为成熟的阶段。由于可以在机床上准确地刃磨各种几何参数,因此对今后进行钻削工艺试验、优化钻尖参数、设计新的钻型、进行钻削机理研究、为麻花钻的 CAD/CAM,以及高性能钻尖磨床设计等方面都提供了极为优越的条件。

麻花钻研究的第二个方面问题是关于麻花钻制造材料及钻头结构方面的改进。对此在文献[16]的第三章中有较详细的叙述。读者如有需要,可自行阅读该书。

麻花钻研究的第三个方面问题是关于钻削机理的研究,文献[16]的第二章对钻削机理有较详尽的述叙,本书也在相应章

节中叙述了作者们的研究结果。

§ 1.2 麻花钻的基准坐标系及刀具角度

在定义和规定刀具角度时需要用到平面基准坐标系。ISO3002/1—1982 规定了有关刀具的通用术语、基准坐标系、刀具角度及工作角度。

该标准规定的平面基准系有三种：一为定义和测量刀具几何参数时使用的平面坐标系，称为理论基准系或刀具在手坐标系；二为规定刀具在切削时的几何参数使用的平面坐标系，称为工作基准系或刀具在用坐标系；三为定义刀具相对于机床位置的平面坐标系，称为刀具在机坐标系。第三种基准坐标系在 ISO3002/2—1982 中规定。

1.2.1 麻花钻的理论基准系

麻花钻的理论基准系中的各平面如图 1-1 所示。

1. 基面 P_r

基面 P_r 是经过切削刃上选定点并与切削速度方向垂直且包含钻头轴心线的平面。由于麻花钻的主刃并不是一条通过钻心的直线，因此主刃上各点的切削速度方向是不同的，也就是说主刃上各点的基面是不相同的。

2. 刀具切削平面 P_s

切削平面 P_s 是与切削刃上选定点相切并垂直于基面 P_r 的平面。由于各点的基面是变化的，因此，麻花钻主刃上各点的切削平面也是变化的。

3. 主剖面或刀具正交平面 P_o

通过主切削刃上选定点并同时垂直于基面 P_r 和切削平面

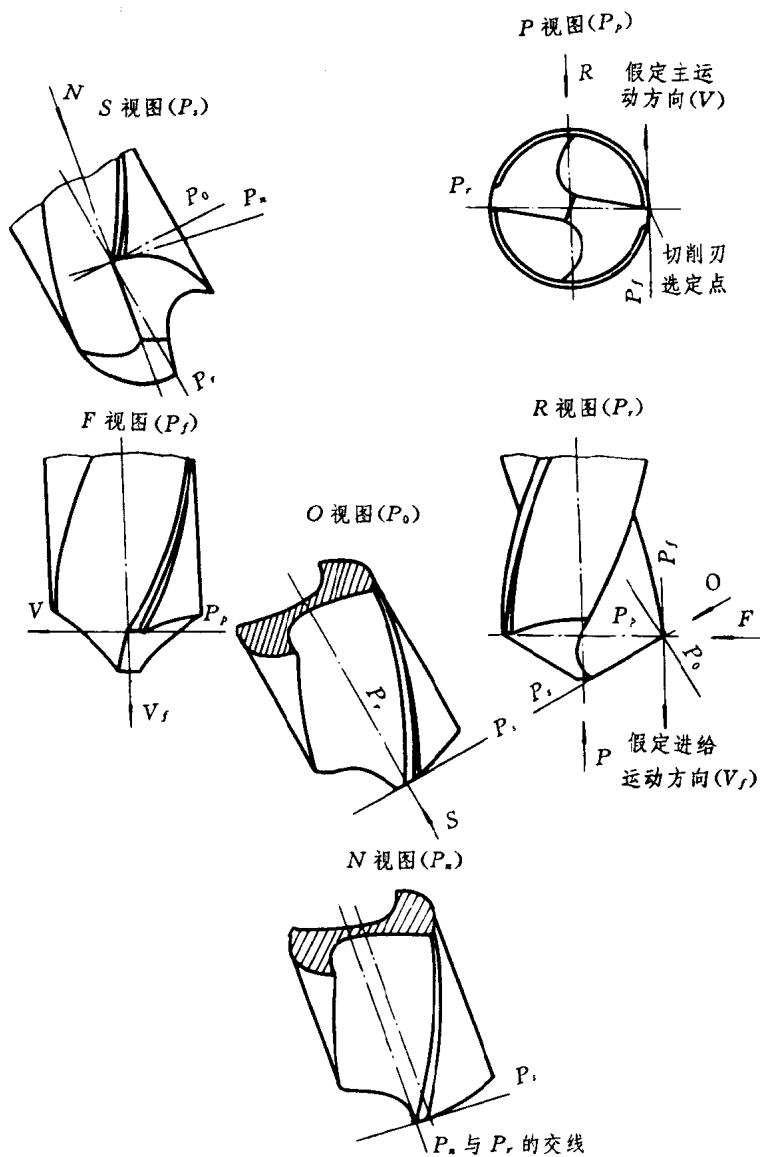


图 1-1 麻花钻的刀具在手坐标系各平面

P_r 的平面称为主剖面 P_0 。由于 P_r 及 P_s 是变化的, 因此, 主刃上各点的主剖面同样也是变化的。

4. 刀具切削刃法平面 P_n

通过主切削刃上选定点并与主刃垂直的平面称为切削刃法平面 P_n 。

图 1-2 所示为麻花钻基准系中 P_0 和 P_n 的区别。

5. 假定进给平面或假定工作平面 P_f

通过主切削刃上选定点并垂直于该点基面 P_r , 且与钻头轴心线平行的平面称为假定进给平

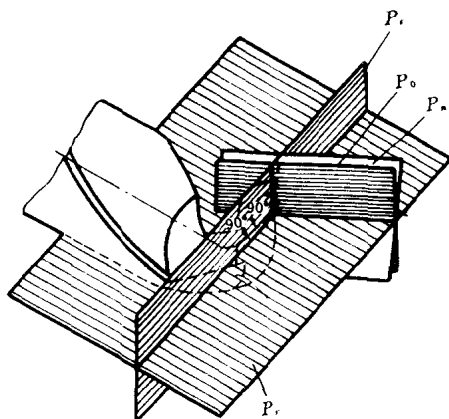


图 1-2 麻花钻基准坐标系中 P_0 和 P_n 的区别

面 P_f 。根据钻头的特点, 假定进给方向与钻头轴心线方向一致。

6. 假定切深平面或刀具背平面 P_p

通过刀具主刃上选定点并且同时垂直于刀具基面 P_r 和假定进给平面 P_f 的平面称为假定切深平面 P_p 。

1.2.2 麻花钻的刀具角度

麻花钻的刀具角度如图 1-3 所示。各个刀具角度均是在理论基准系中定义的。

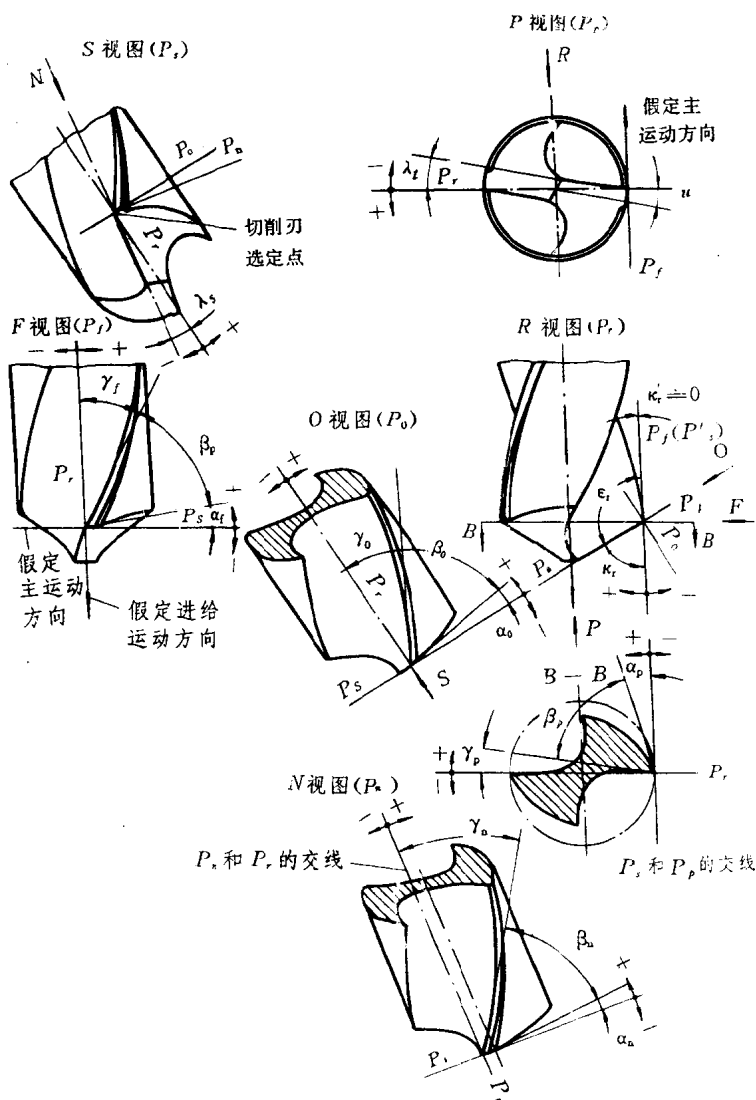


图 1-3 麻花钻外缘转点处的刀具角度

1. 主前角或刀具正交前角 γ 。

切削刃上选定点的主前角是在主剖面内测量的该点基面 P_r 与前刀面 A_r 之间的夹角。由于钻头前刀面不是一个平面,因此是 P_r 与 A_r 的切平面之间的夹角。

一般情况下,刃磨钻尖时并不修磨前刀面,但所刃磨的钻尖参数发生变化时,由于基准坐标系发生变化,因此,主刃上各点的前角亦会发生变化。

2. 法前角 γ_n 。

切削刃上选定点的法前角是在法剖面内测量的该点基面 P_r 和前刀面 A_r 之间的夹角。

3. 法向后角 α_n 。

切削刃上选定点的法向后角是在通过该点的切削刃法平面内测量的后刀面 A_n 和切削平面 P_n 之间的夹角。

4. 进给方向后角 α_f 。

进给方向后角是在假定工作平面 P_f 内测量的切削平面与后刀面之间的夹角。

根据麻花钻的结构特点,还有另一种后角的定义,即结构圆角后角 α_{fc} 。该角度是指通过切削刃上选定点的圆柱面内测量的钻头端面与后刀面之间的夹角。

由上述定义可以看出 α_f 和 α_{fc} 的基面是不一样的(图 1—

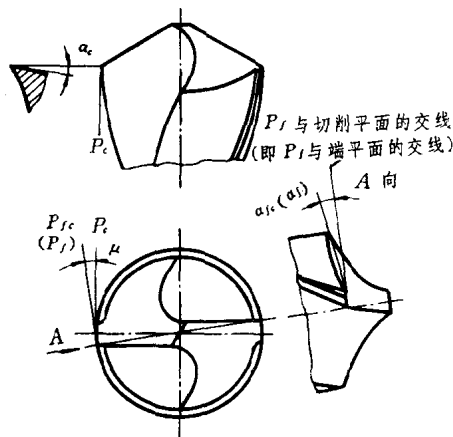


图 1—4 钻头的进给方向后角和结构圆角后角

4), 因此从概念上说这是两个不同的角度, 但是从数值上看, 由于 α_t 的定义中的 P_n 和 P_f 的交线就是通过切削刃上选定点的切削速度方向线, 该交线正好位于钻头的端平面内, 因此, 从数值上说, 有:

$$\alpha_f = \alpha_{fc} \quad (1-1)$$

正是由于这个原因, 一般标注刀具的后角 α_f 时多半写作 α_{fc} 。

5. 主偏角 κ_r

主偏角是在钻头主刃上选定点的基面 P_r 内测量的刀具切削平面 P_t 和假定工作平面 P_f 之间的夹角, 即主刃在基面 P_r 上的投影与进给方向之间的夹角, 如图 1-5 所示。

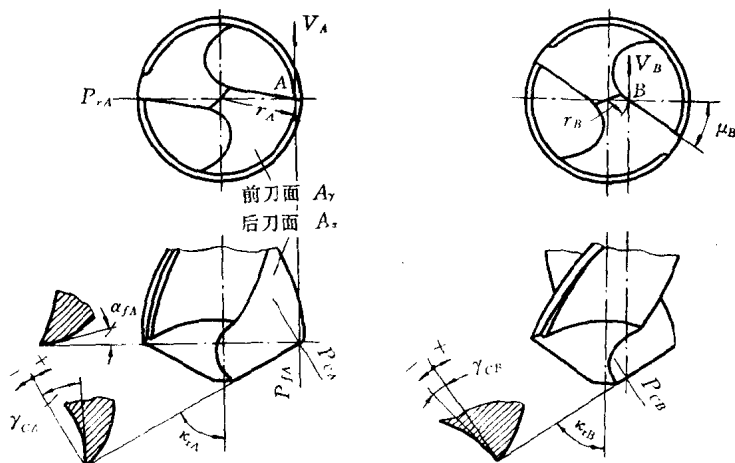


图 1-5 钻头的主偏角

由于主刃上各点的基面是变化的, 因此各点的主偏角不相等, 即使主刃是直线, 也就是说即使刃磨的钻头半顶角 ρ 等于原

始结构半顶角 ρ , 由于主刃上不同位置的点与基面的夹角 r 的不同, 因此, 各点的主偏角仍然是变化的。在这种情况下, 如图 1-5 所示, 主刃在基面上的投影与假定进给方向之间的夹角将会满足:

$$\operatorname{tg} \kappa_r = \cos \mu \operatorname{tg} \rho_0 \quad (1-2)$$

$$\mu = \sin^{-1} \left(\frac{r_0}{r} \right) \quad (1-3)$$

式中 r 为主刃上选定点的半径;

r_0 为钻心半径。

根据式 (1-2), 当 $\rho_0 = 59^\circ$ 时, 可绘出主偏角的分布如图 1-6 所示。

6. 刃倾角 λ

主刃上选定点的刃倾角是在切削平面 P_r 内测量的主刃与基面 P_r 之间的夹角。因此, 即使在主刃是一条直线的情况下, 刃倾角也是变化的, 在这种情况下刃

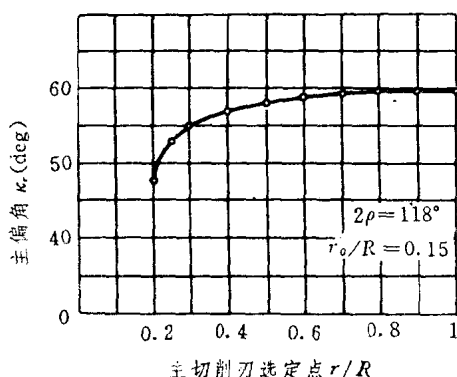


图 1-6 麻花钻主偏角的分布

倾角满足下述关系:

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \mu \sin \kappa_r \quad (1-4)$$

根据 (1-4) 式同样可以作出麻花钻刃倾角的分布曲线如图 1-7 所示。

上述六种角度, 仅是麻花钻前后刀面上的各种角度的一部份, 是经常要用到的一些主要角度, 其它还有数量较多的一些角度, 在 ISO 标准中均有明确的定义, 本书不再赘述。

另一点值得注意的是各几何角度的数值符号,ISO 标准均有明确规定,如图 1-3 所示。

7. 刀具副切削刃上的几何角度

①副刃主前角 γ'

钻头外径的倒锥约为 $0.03 \sim 0.12/100$,因此,可近似地认为副切削刃与钻轴平行,故 γ' 与主刃上的切深方向前角 γ_p 的定义是一致的。

②由于钻头的棱带是圆柱面的一部分,因此,副刃主后角 $\alpha'_s = 0$ 。

③副刃刃偏角 κ'_r

由于副刃与钻轴可认为是平行的,因此,可近似地认为 $\kappa'_r = 0$ 。

④副刃刃倾角 λ'_s

由于 $\kappa'_r = 0$,故刃倾角 λ'_s 可近似地认为它与钻沟螺旋角 β_0 相等。

8. 横刃的理论角度

麻花钻的横刃是由两个与钻轴对称的后刀面相交而成的一条空间曲线,其数学方程取决于后刀面的类型。不同后刀面的横刃数学模型将在本书相应各章中予以讨论。

1.2.3 麻花钻的刀具工作基准系和刀具工作角度

刀具的工作基准系和工作角度均在相应的理论基准系和理

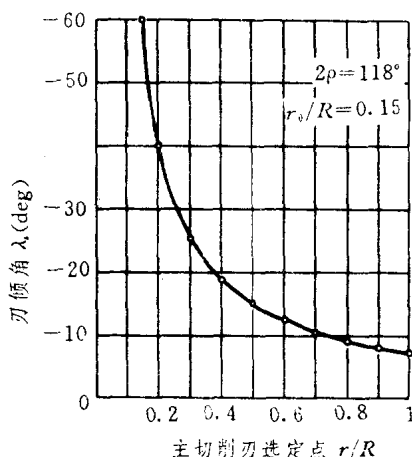


图 1-7 麻花钻刃倾角的分布

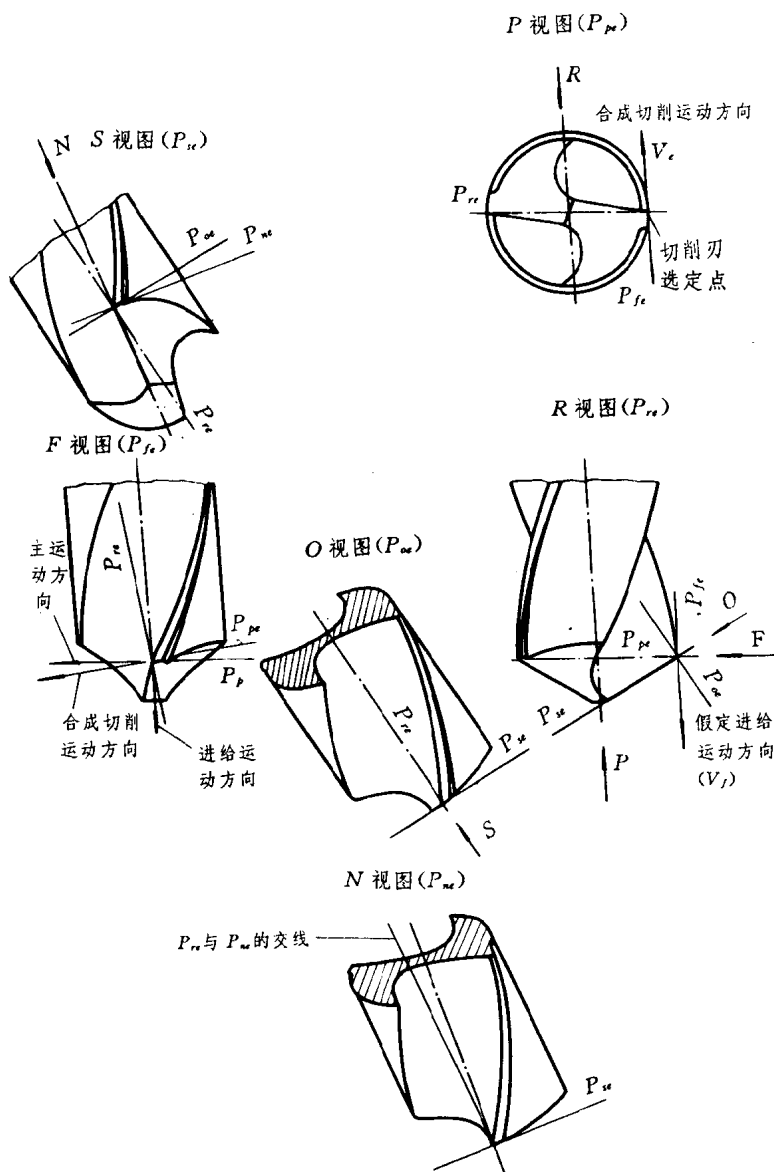


图 1-8 麻花钻的刀具在用坐标系各平面

