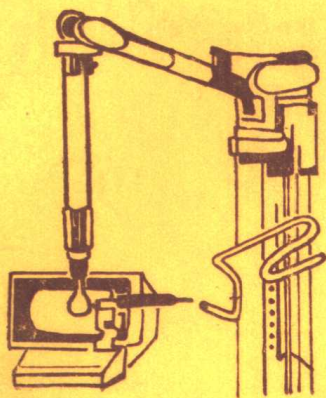
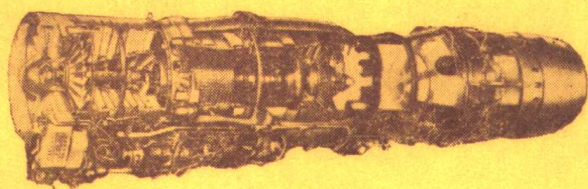




栗 枯 主编

矢量弯管

王立新 编著



国防工业出版社

机械制造实用新技术丛书之六

矢量弯管

栗 枯 主编

王立新 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍矢量弯管技术的原理和工艺。着重介绍矢量弯管技术的基本概念,数控弯管机和管形测量机,增量管形数据和回弹数据的测取以及数控弯管工艺等。

本书可供机械制造专业工程技术人员在生产实践中参考。也可供高等院校、中等专业学校机械制造专业的师生阅读。

矢 量 弯 管

机械制造实用新技术丛书之六

栗 枯 主 编

王立新 编 著

责任编辑 宋桂珍

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张2³/₄ 71千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数: 0,001—7,500册

统一书号: 15034·2798 定价: 0.57元

科技新书目: 84—126

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；

2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；

3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将对对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由栗祐同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等同志提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、张汉生等

同志。

矢量弯管技术是七十年代弯管技术的一个突破，从根本上改变了手工弯管的落后面貌，实现了弯管生产自动化。质量好，效率高。《矢量弯管》着重介绍了这一技术，并针对测取管形数据，回弹数据和编制弯管程序的有关数学运算过程作了阐述。

本书由王立新编写，彭炎午审校，栗祜终审定稿。

在本书的编写过程中，得到彭炎午同志的大力支持和帮助，并参阅了他撰写的一些有关资料。最后对给予本书编写出版工作支持和帮助的同志表示衷心的感谢。

作者于西安国营红旗机械厂

目 录

一、概述	1
二、矢量弯管技术	11
(一) 矢量的基本概念	11
(二) 矢量在弯管技术上的应用	12
(三) 矢量弯管技术	15
三、矢量弯管技术是弯管工艺的一个突破	16
四、矢量弯管——CNC 数控弯管设备介绍	18
(一) VECTOR1 管形测量机	19
(二) VECTORBEND150 矢量数控弯管机	26
五、增量管形数据的测取和计算	36
(一) 管形数据的测取	36
(二) 管子直线段中心线交点坐标的计算	37
(三) 变点的坐标为增量管形数据	49
六、回弹数据的测取与计算	54
七、增量弯管程序的编制	60
(一) 弯曲角度 DOB 的修正	60
(二) 直线送进距离 DBB 的修正	61
(三) 毛料长度的计算	62
(四) 首段程序 DBB 的计算	63
(五) 空间转角 POB	64
八、数控弯管的工艺过程	66
(一) 使用 VECTOR1 测量机编程	66
(二) 使用 VB-150 数控弯管机弯管	69
九、采用数控弯管技术急待解决的问题	79
(一) 管形规整化	79
(二) 弯曲半径的标准化	79
后 记	82

一、概 述

无论是哪一种机器设备，几乎都有导管，用以输油、输气、输液等，而在飞机及其发动机上更占有相当重要的地位。各种导管品种之多、数量之大、形状之复杂，给导管的加工带来了不少的困难。

传统的弯管是采用如图 6-1 所示的成套弯曲模具进行弯曲的。

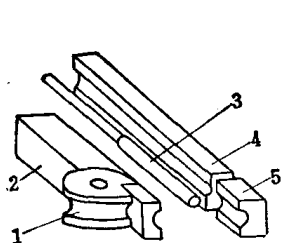


图6-1 弯曲模具示意图

1—弯块，2—防皱块，3—心棒，4—压力块，5—夹紧块。

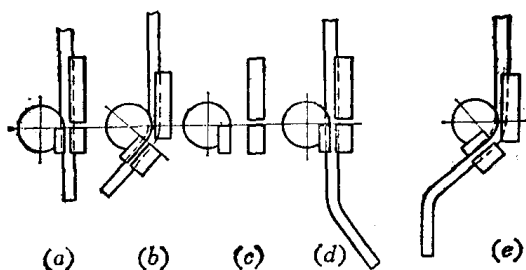


图6-2 弯管示意图

弯管的步骤大致是：

1. 留出第 1 段直线段长度，并夹紧管子（见图 6-2 a）。
2. 弯曲（见图 6-2 b）。
3. 松开模具、取出管子，使模具复位（见图 6-2 c）。按管形标准样件在检验夹具上检查管形，并校正。
4. 按需要的形状，把管子放在模具内，并夹紧（见图 6-2 d）。
5. 弯曲（见图 6-2 e）。
6. 重复第 3 步，直至弯完管子为止。

用框图可以表示为图 6-2'。

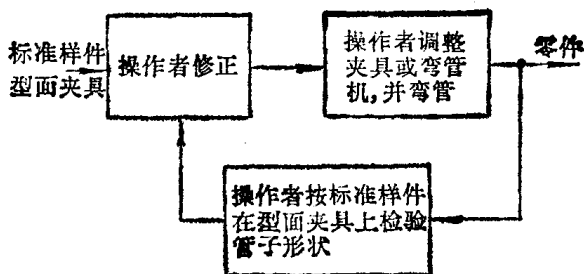


图6-2' 弯管步骤的方框示意图

由于飞机及其发动机上的导管很多, 又要求尽可能节省导管所占空间, 因此必须将导管弯曲成各种形状, 以避免在有限的空间互相干涉。导管的几何形状是非常复杂的, 很难用图形把它描绘出来。尤其是航空发动机上所用的管子, 制造公差要求很严格, 弯管形状公差通常为 ± 0.64 毫米, 管端接口位置公差必须保持在 ± 0.127 毫米以内, 制造是很困难的。图 6-3 为斯贝发动机上的管子安装情况。

传统的弯管工艺都是按飞机或发动机定型投产后的导管(或管形)标准样件在弯曲夹具或弯管机上弯曲, 在型面检验夹具上进行验收的。由于管子的弯曲角度、两相邻弯平面间的空间夹角以及两个弯之间的直线距离都不能进行直接测量或很难测量准确, 再加上弯管过程中的“回弹”等一系列工艺和操作问题, 在弯制管子时完全凭借操作者的经验和技術熟练程度, 因此, 每根管子在验收之前, 大都要进行手工校正, 而且难免会出现“反复”弯曲、“串弯”等现象。这样, 不但弯管质量不易控制, 生产效率很低, 劳动强度很大, 而且需要相当数量的导管标准样件、弯曲夹具和型面检验夹具。此外, 为了使同一型号的发动机上的管子能够互换, 标准样件必须妥善保管, 以作为每批生产时的依据和验收标准。不仅正在生产的发动机的标准样件, 而且包括过去所有生产过的不同型号的发动机的标准样件, 由于要提供备件, 都

必须储存起来,以保证用户的需要。每生产一种新型号的发动机,都要制造和储存这些标准样件,甚至还要储存弯管的夹具和检验夹具。这样,就需要庞大的仓库或车间。因此,解决弯管设备和工艺,成为长期以来世界各国航空工业所研究的一个课题。

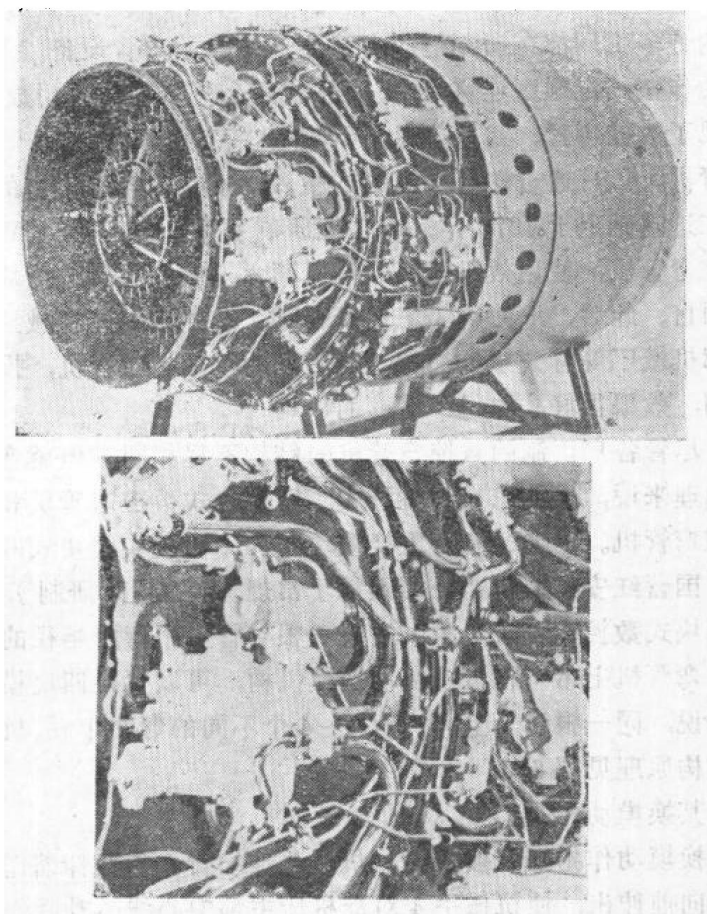


图6-3 斯贝发动机管子安置图

从常规弯管工艺稍加分析,就不难看出,管子的弯制主要可以归结成三个基本动作,即直线送进、空间转角、弯曲。当然,欲弯制一根管子,还需要一些弯管辅助动作,如夹紧块或压力块的夹紧、松开,弯块的复位等。全部弯管动作就是这些简单机械

动作的一定顺序的组合。

通过大量的实践活动，人们已经掌握了弯管的动作规律，从而就有可能把这些简单的动作按一定顺序连贯起来，并加以控制，实现弯管机械化、自动化。

为了保证产品质量，提高弯管生产效率，减轻弯管劳动强度，国内许多工厂都在研制适应自己生产特点的弯管设备。不但把弯管动作按一定顺序连贯起来，而且将三个基本动作采用数值控制，实现了数控弯管。武昌造船厂于 1970 年首先研制成功一台数控弯管机。该厂通过这台样机的试验和摸索，取得了丰富的经验，并在这基础上于 1973 年又成功地研制了第二台，即 SKWG-2 型数控弯管机，使用效果很好，被原第六机械工业部列为新工艺推广项目。此后，上海造船工艺研究所、泰州市海光机械厂、国营新都机械厂等有关单位都相继研制成功了数控弯管机，投入生产使用，效果很好，取得了可喜的成绩。

尽管各厂研制的数控弯管机的结构不尽相同，但就弯管机弯管原理来说，目前只有两种形式，即模块式数控弯管机和滚轮式数控弯管机。前者又有可更换模块式和不可更换模块式两种。

国营红安机械制造有限公司继承了常规弯管工艺，研制了 326-I 型模块式数控弯管机。为了适应一根导管多个弯曲半径的生产现状，弯管机上带有机手自动换模机构，可以更换四块模块。也就是说，同一根管子上允许有 1~4 个不同的弯曲半径。机械手换模机构原理见图 6-4。

其换模动作是：

换模动作指令被接收后，机械手伸缩臂 2 由臂伸缩作动筒 1 作用向前伸出，使机械手 4 对准机床主轴中心线，升降作动筒 7 接通，使机械手组件 11 下降，机械手（弹簧卡头）4 套在模具柄上，抓拿作动筒 3 接通，机械手 4 握紧模具 5，升降作动筒 7 反向接通，机械手组件 11 抬起，模具从机床主轴中取出；臂伸缩作动筒 1 反向接通，机械手伸缩臂 2 缩回，使模具对准模具库 10 放置模具的凸台中心线位置，升降作动筒 7 接通，机械手组件 11

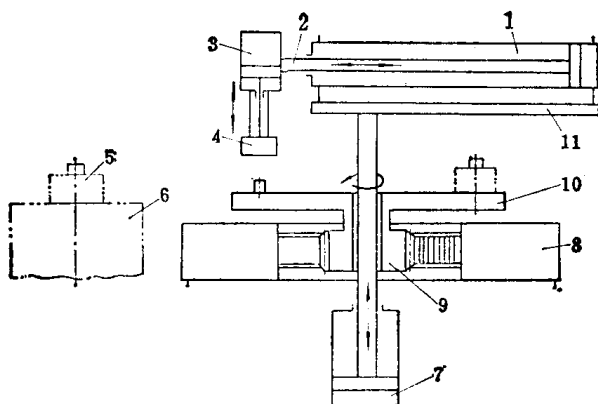


图6-4 机械手换模机构原理图

1—臂伸缩作动筒；2—机械手伸缩臂；3—抓拿作动筒；
4—机械手；5—模具；6—床头；7—升降作动筒；8—模
具库转位作动筒；9—齿轮；10—模具库转盘；11—机械
手组件。

下降，使模具放在模具库 10 转盘上；抓拿作动筒 3 反向接通，机械手 4 松开模具；升降作动筒 7 反向接通，机械手组件 11 抬起；模具库转动作动筒 8 接通，活塞杆上的齿条拨转齿轮 9，使模具库 10 转盘转动 90° ，将所需要模具转过来；作动筒 8 反向接通，齿轮 9 通过离合器打滑，准备下一次分度，这时完成了全部取模动作。随后，升降作动筒 7 接通，机械手组件 11 下降，机械手抓取模具；等等，直至把模具安装在机床主轴上。整个换模过程包括 18 个动作，由四个作动筒分别完成。

326-Ⅱ型数控弯管机的主要技术数据：

弯管最大直径	32毫米
最大毛料长度	3200毫米
最大弯曲半径	150毫米
弯臂最大转角	185°
最大送进速度	2800毫米/分
最大转角速度	4转/分

最大弯曲速度	2转/分
精度: 送进(每米)	± 0.3 毫米
转角(每 90°)	$\pm 0.3^\circ$
弯曲(每 90°)	$\pm 0.3^\circ$
主轴最大输出力矩	51公斤·米
转角最大输出力矩	25公斤·米
管子夹头最大夹紧力	100公斤
直流电机最大正推力	120公斤

顺便指出, 由于更换了模块, 弯曲半径发生了变化, 致使更换上的模块槽与机床中心线不在一条直线上, 需要重新进行调整。这是通过横向移动床头或横向移动送进机构上的管子夹头和心棒机构来完成的。

由于增加了换模机构, 不但使弯管机结构复杂了, 逻辑控制电路也复杂了, 而且因换模动作太多, 降低了弯管生产效率。

另外, 还有一种比较简单的换模方式, 即采用塔轮式换模机构。塔轮式弯块固定在水轴上, 用分级油缸活塞等带动水轴(或床头)上下串动, 完成换模动作; 床头的横向移动调整机床中心线。由于塔轮式弯块上有三个弯曲半径, 因而同一根管子上允许有 1~3 个不同的弯曲半径。

泰州市海光机械厂研制了 SW-114 大型数控弯管机。它属于不可更换模块式数控弯管机, 其弯管的显著特点是要求同一根管子上只允许有一个弯曲半径。

金属管子在弯曲时产生弹性变形。如果管子弯曲到预定的角度后, 松开夹紧块, 管子即回弹一个角度, 这就是回弹角。由于回弹角的存在, 会使管子达不到所要弯曲的角度。为了消除这个误差, 该机装有自动测量和补偿回弹角的装置。

如果按要求弯曲 α 角, 穿孔纸带输入的数据也是 α 角。当机床工作时, 弯管盘转动 α 角即停止。然后松开夹紧块, 此时模轮仍夹紧, 这样管子就回弹 θ 角。在回弹的同时, 计数器进行加法计数, 把回弹角 θ 测量并记录下来。然后夹紧块继续夹紧, 使管

子变形, θ 角消除。这时, 弯管盘继续转动, 对管子进行再弯曲, 计数器进行减法运算, 直至把记录下的回弹角 θ 的数字减到零, 弯管盘停止动作。经过一次补偿后, 仍存在着一个很小的回弹角 θ_1 。 θ_1 一般小于 0.5° , 因此可以认为管子的实际弯曲角度近似为 α , 即 $\alpha + \theta - \theta_1 \approx \alpha$ 。

SW-114 型数控弯管机的主要技术数据:

弯管直径范围	48~114毫米
弯管壁厚: 钢管 ≤ 6 毫米 ($\sigma_s \leq 32$ 公斤/毫米 ²)	
铜管 ≤ 8 毫米	
最大毛料长度	5400毫米
最大弯曲角度	180°
弯曲半径范围	130~320毫米
速度: 送进	快速2800毫米/分 慢速可调
转角	快速 5.7° /分 慢速可调
弯曲	快速 6° /分 慢速可调
精度: 送进	± 1 毫米
转角	$\pm 0.1^\circ$
弯曲	$\pm 0.1^\circ$
机床主轴中心 至 地面距离	1245毫米
外廓尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)	7670 $\times$ 1670 $\times$ 1735毫米
机床总重量	约15吨

模块式数控弯管机属于矢量弯管机。它是三坐标(直线送进、空间转角、弯曲)点位系统。

国营新都机械厂研制的 SKWG-77761 型滚轮式数控弯管机(见图 6-5), 不用模块, 而改用滚轮, 即采用卷弯成型的原理,

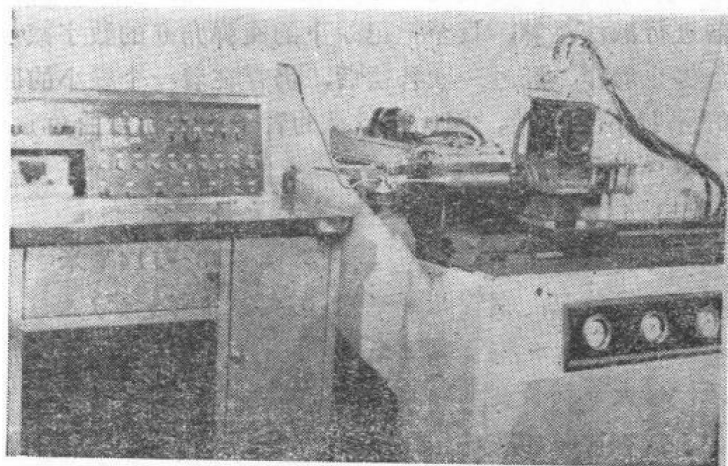


图6-5 SKWG-77761型滚轮式数控弯管机外形图

使管子弯曲成所需要的形状。它适合加工长度不超过 1.5 米、直径在 6~16 毫米范围内, 和在同一根管子上有一个或多个弯曲半径的钢管。它可以弯曲模块式弯管机所不能加工的“复合弯”、大于 180° 的弯、螺旋形以及锥形螺旋形的管形。为弯曲半径在一定范围内无级变化和弯制更加复杂形状的管形开创了一条新路。

SKWG-77761 型滚轮式数控弯管机机械传动原理见图 6-6。

管子的弯曲半径取决于弯轮的运动轨迹。要使弯曲半径是任意的, 则弯轮的运动轨迹也必须是任意的。

放大机构 F 是按放大尺的原理设计的。7 点为固定支点, 当推力缸 6 推动 8 点时, 弯轮 1 和活动接头 9 便作相似的圆弧运动。弯轮 1 的运动轨迹半径是活动接头 9 的两倍。当推力缸 6 推动 8 点运动时, 9 点便以活动接头 11 的中心点为圆心作圆弧运动, 其半径等于 9 点和 11 点的中心距。相应的弯轮 1 也作圆弧运动, 圆心点在夹头中心线的垂线上, 并通过主轮 2 的中心, 其运动轨迹半径等于 9 点和 11 点中心距的两倍。因此, 改变 9 点和 11 点的中心距, 就可改变了弯轮 1 运动轨迹半径, 便可弯制出不同的半径。

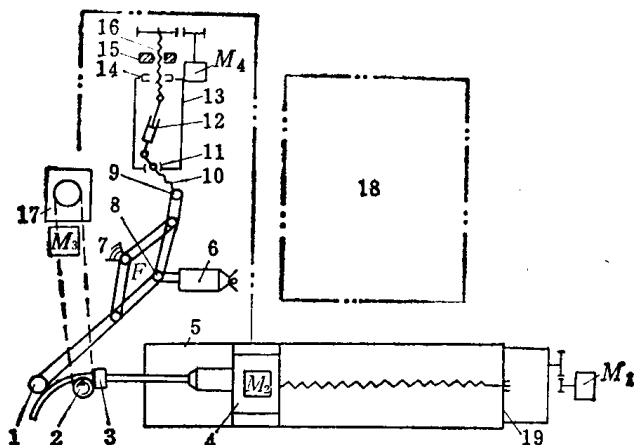


图6-6 SKWG-77761型滚轮式数控弯管机机械传动原理图

- 1—弯轮；2—主轮；3—导向定位块；4—夹紧转角装置；5—床身导轨；6—推力缸；7—固定支点；8—弯轮缸推力支点；9—活动接头；10—丝杠；11—活动接头；12—可伸缩万向接头；13—滑动组件；14—支撑座；15—丝母；16—丝杠；17—主轮减速器；18—液压系统；19—送料装置； $M_1 \sim M_4$ 油马达。

9点和11点中心距的调整是靠改变滑动组件13的位置来实现的。丝母15固定在床身上。当油马达 M_4 通过齿轮带动丝杠16转动时，就改变了支撑座14与螺母15的相对于床身的位移。又由于支撑座14和活动接头11都装在滑动组件13上，故支撑座14移动时，活动接头11也移动；另一方面，丝杠16通过可伸缩万向接头12连接，与丝杠10同轴，且丝杠16和10是同向等螺距，故丝杠16带动丝杠10转动时，活动接头9相对于丝母15没有位移，相反，滑动组件13却相对于活动接头9及丝母15作位移。所以，油马达 M_4 带动丝杠16转动，就可改变9点和11点的中心距。

每弯一个弯时，滑动组件13都要复“零”位置。理论上9点和11点相重合，但实际上，9点和11点的中心距为6毫米。

每弯一个弯之前，油马达 M_4 接通，调整所需要的弯曲半径（即调整9点和11点的中心距），而后接通推力缸6和油马达 M_1 。

推力缸 6 的作用是使弯轮 1 运动, 其轨迹保证了所需要的弯曲半径; 油马达 M_1 输出扭矩, 带动齿轮、丝杠, 推动管子向前, 使管子成形, 并靠送进量来保证所需要的弯曲角度。在弯曲过程中, 主轮 2 逆时针转动, 其轮缘的线速度略大于或等于送进速度, 以起向前拉管子的作用。

SKWG-77761 型滚轮式数控弯管机的主要技术数据:

弯管的直径范围	6~22毫米
最大毛料长度	≤ 1400 毫米
弯曲半径范围	20~270毫米(无级)
弯曲最大角度	约 340°
精度: 送进	± 0.1 毫米
转角	$\pm 0.1^\circ$
弯曲半径	± 0.2 毫米
液压油泵电机功率	7.5千瓦
送进推力	> 2500 公斤
弯轮推力油缸行程	100毫米
推力	1100公斤
(油压为40公斤/厘米 ²)	

外廓尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)

2750 $\times$ 1550 $\times$ 1600毫米

机床重量

约2吨

采用数控技术, 不但可使导管的弯曲质量有了可靠的保证, 而且生产效率也大大提高, 从而改变了手工弯管的落后面貌。但是, 由于导管的几何形状很复杂, 很难用设计图纸把它准确的表达出来; 而且对管形标准样件进行测量也相当困难、于是编排“弯管程序”已成为当前采用数控弯管要解决的新问题。目前, 只能通过逐个弯试弯——初记数据——试弯整个管形——修正数据——最后确定数据的办法来记录弯管程序。这样, 不仅报废一定数量的管子, 而且效率也很低。

为了寻求新的方法, 加速编程, 乃至采用计算机自动编程,

提高目前的数控弯管水平, 美国伊顿-列昂纳德 (EATON-LEONARD) 公司于七十年代研制生产了一种计算机控制数控 (CNC) 矢量弯管设备, 近年来普遍为西方各航空发动机公司所采用。为了进一步推动国内自动弯管技术的研究, 将对此做些介绍。

二、矢量弯管技术

以矢量理论为基础, 把管形上的每个直线段的中心线看成一系列的空间矢量, 利用矢量的基本概念和运算, 精确地计算出“增量管形数据”, 并经“回弹”修正后, 编制出“增量弯管程序”, 以控制矢量弯管机。弯制出的管子还可进行自动检验, 与标准管形数据相比较, 算出“差值”, 并用“差值”修正弯管程序, 得出新的弯管程序, 再去弯制下一根管子, 这就是矢量弯管技术的基本特点。

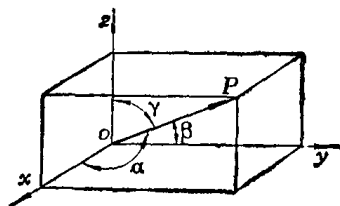


图6-7 矢量 OP 在空间的位置

(一) 矢量的基本概念

所谓矢量, 就是具有大小和方向的量。在几何中的有向线段就是一个直观的矢量。从两矢量相等的定义出发就可以知道, 将一矢量平行移动后, 仍为与原来矢量相等的矢量。所以矢量的起点可以放在空间任何一点。

如图 6-7 所示, 矢量 OP 在空间的位置可以用它和三条互相垂直的坐标轴的正向间的夹角 α 、 β 、 γ 来确定。这些角的余弦, 即 $\cos \alpha$ 、 $\cos \beta$ 、 $\cos \gamma$ 被称为矢量 OP 的方向余弦。