

波音公司产品制造与装配手册

6M 58-950

弯管手册

国外航空编辑部

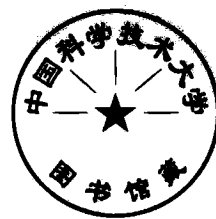
1976. 11



波音公司产品制造与装配手册

6M 58-950

弯管手册



目 录

I. 引言	1
II. 材料	1
III. 工具	3
IV. 设备	11
V. 弯管方法	23
VI. 工艺方法使用范围	32
VII. 材料准备	45
VIII. 工序说明	46
X. 参考资料	55

更改标号	更 改 内 容	日 期	审 批
A	第 i 页 目录表现作第ii页 i 插入更改单 I-4 D.2、D.3节已更改 IV-4 表IV-2中的说明已更改 IV-21 管子直径已更改 V-3 A.1.a、A.1.b节已更改 V-4 第二节已更改 VI-2 第四节已更改 VI-4 图表中两个黑色的区域以管子上的说明已更改 VII-3 最后一节已更改 VII-12 E节已更改	69.5.1	

I. 引 言

本手册的目的在于介绍民用飞机部常用的各种材料的管子弯曲工艺资料。

这里所叙述和列举的工艺方法、工艺装备和设备，都是用于圆形管子的，而正方形或矩形管子，只要采用适当的工艺装备，也可以用同样的方法弯曲。弯管工艺装备标准工装第8卷、第4册文件M35-03列出并说明特殊用途。

为适应飞机设计不断变更的要求，高度专门化的弯管技术有了发展，为了从各方面适当地探讨管子弯曲问题，而将其从其他成形工序中抽出来，单独成册。管子的其他成形与修切工序都编入6M58-951各种管子成形与修切手册中。本手册和6M58-951中的资料，以前都包括在58-909中，后者已经撤削。

管子直径，若无其他说明，即为其外径。

由于更多的严格的设计要求的提出，由于新材料、新设备的采用，本手册中所列的工艺方法随之不断改进。为使本手册中的数据更加切合实用，将定期地加以更新。

II. 材 料

现代和未来飞机在设计上多方面的要求必定导致所用的管材品种的增加。这些材料的成形性能有很大的差异，在使用上有广泛的尺寸范围。这一章列举了飞机上用的一些管材及其应用。

A. 常用材料

生产中常用的管材如下：

1. 工业纯钛 (C. P.);
2. 304 型不锈钢 (退火的和 1/8 硬的);
3. 321 型不锈钢 (退火的);
4. 347 型不锈钢 (退火的);
5. 21-6-9 不锈钢 (加工硬化的);
6. 哈斯特罗合金 X (Hastalloy X);
7. 2024-0 铝合金;
8. 2024-T3 铝合金;
9. 2219-0 铝合金;
10. 3003-H14 铝合金;
11. 5052-0 铝合金;
12. 6061-0 铝合金;
13. 6061-T4 铝合金;
14. 6061-T6 铝合金;

B. 未来产品用的材料

未来的飞机设计趋向于采用高强度的材料, 如 Ti-3Al-2.5V 和 Ti-6Al-4V 合金和 1/2 硬的 321 型不锈钢。在本手册中编入了所有这些材料的基本成形数据。

C. 材料选用

工业纯钛、321 型不锈钢 (退火的) 和哈斯特罗合金 X 都用于压气系统, 这类系统都要用直径较大的薄壁管。其他不锈钢和各种铝合金主要用于液压系统和燃料系统, 这类系统都要用直径较小的厚壁管。

D. 材料规范

波音飞机所用的一切管子都是按联邦政府、军方或波音规范购进的。为了统一材料的试验程序, 各种管子规范, 一般都采用联邦试验标准 151 号, 即“金属试验方法”。

1. 直径公差 设计上的进步对成形的要求日益严格。这一趋势和成形性能较差的材料 的广泛使用, 都需严格控制管子尺寸。对于气压系统的大直径薄壁管, 要更加严格地控制这些要求。

工业纯钛和不锈钢气压管保持下列直径公差:

直径小于 6 吋的管子 $\begin{matrix} +0.0025 \\ -0.007 \end{matrix}$ 吋

直径 6 吋及大于 6 吋的管子 ± 0.007 吋

由于哈斯特罗合金 X 的强度较高而延展性较差, 一般保持下列公差:

直径小于 6 吋的管子 $\begin{matrix} +0.000 \\ -0.007 \end{matrix}$ 吋

直径 6 吋及大于 6 吋的管子 $\begin{matrix} +0.003 \\ -0.010 \end{matrix}$ 吋

对于名义直径为 4-1/2 吋的哈斯特罗合金 X 管子, 不在上述公差规定之内。这种材料按下列尺寸订购,

外径 4.495 吋 $\begin{matrix} +0.007 \\ -0.000 \end{matrix}$ 吋

对于这种尺寸的管子, 成形的要求特别严格, 最好购置那些非常接近于名义尺寸的管子, 以保证弯管工具的充分使用。

在弯曲之前, 常常以圆周卷尺控制气压管子的直径, 以保证只有最适当的材料才用于成形。

2. 工业纯钛 这种材料按 BMS7-21 规定购进。这项规范以两个品级, 即 A-49 和 Ti-35A, 包括无缝管和有缝管。这些品级的抗拉强度和延伸率都不同, 如果强度不是主要要求, 应选用成形性能较好的一种材料。目前直径大于 1/2 吋的无缝钛管尚无供应。

纯钛管只能在退火状态下使用。

3. 钛合金 Ti-3Al-2.5V 和 Ti-6Al-4V 只是在退火状态下使用, 并且根据 BMS7-178 购置, 直径公差为 ± 0.005 吋。Ti-6Al-4V 结构管按 BMS7-202 购进。

4. 不锈钢 目前使用的各种不锈钢管都按表 I-1 所列规范购置。

5. 哈斯特罗合金 X 哈斯特罗合金 X 的管子只有在固溶热处理状态下焊接和拉拔的。这种合金按 BMS7-82 购置。

6. 铝合金 各种铝合金管子就按购进的状态弯曲成形。这类合金及其状态和购置这类合金所规定的技术规范如表 I-2 所示。

表 I-1

合 金	状 态	规 范
304	退火	MIL-T-8504
304	1/8硬	MIL-T-6845
321	退火	MIL-8808(直径在1吋以下)
321	退火	BMS7-41(直径在1吋以上)
347	退火	MIL-8808
*21-6-9	加工硬化	BMS7-185

* 21Cr-6Ni-9Mn

表 I-2

合 金	热 处 理 状 态	旧 规 范	新 规 范*
2024	0	WW-T-785	WW-T-700/3C
2024	T3	WW-T-785	WW-T-700/3B
2019	0		BMS7-121
3003	H/4	WW-T-788	WW-T-700/2C
5052	0	WW-T-787	WW-T-700/4B
6061	0	WW-T-789	WW-T-700/6C
6061	T4	WW-T-789	WW-T-700/6B
6061	T6	WW-T-789	WW-T-700/6B
6061	T6		**MIL-T-7081

* 代替以前广为使用的规范。

** 飞机液压特性。

表 I-2 中的技术规范允许管子直径和椭圆度的公差较大, 对于大直径薄壁管尤其如此。上述合金的延展性允许在弯曲过程中用心棒校正管子尺寸。尺寸超差的管子, 在合理的数值范围内, 也可以顺利地弯曲。

E. 特种控制

数控弯管机(见图 IV-4)只能根据被弯曲材料的一般成形特性的数值自动地补偿回弹量, 但预先给出不同出厂批次和不同热处理条件下材料成形性能的变化是不可能的。因此, 对于回弹量较大的各种材料的管子, 一定要用特种控制。

试验表明, 这类管子包括 6061-T6 铝合金、321 型不锈钢和 304 型 1/8 硬不锈钢, 如果采用数控弯管机, 这类材料一定要在整个储存和加工过程中按加热次数和供应厂商分开。

在数控弯管机上弯曲的管子, 都同样要填写弯曲卡片或“下料卡片”(图 VII-11)。如所用材料为上列材料之一, 储存库和发料间都要注明一次加热加工管子的全部要求。

III. 工 具

制造各种尺寸和材料管子弯曲件所需要的工具是高度专用的。这一章简要地探讨了弯曲过程所用的各种 ST850 型工具的设计与功用。

A. 弯曲模

弯管工装中的基本工具是弯曲模(见图 III-1), 管子绕着它弯曲得出弯曲半径。

弯曲模要切削加工成使从切点向前伸出的直线夹紧段的长度为管子外径两倍。需要增加夹紧面时，在夹紧段上加上一块长度等于或大于管子直径的延长块。

派英斯 (Pines) 弯管机上的大多数弯曲模现在都设计成带可卸式夹紧段。这样就可以用多次弯曲用的大摩擦力的夹紧段或复合弯曲用的复合夹紧段来代替标准夹紧段。单块弯曲模用于派英斯数控弯管机、帕克 (Parker) 设备、伦纳德 (Leonard) 手动弯管机和伦纳德制管器 (尺寸 1/2 吋以下)。少数旧式的用于派英斯弯管机的单块弯曲模目前还在使用。

铝管和不锈钢管所用的弯曲模在结构上是一样的。

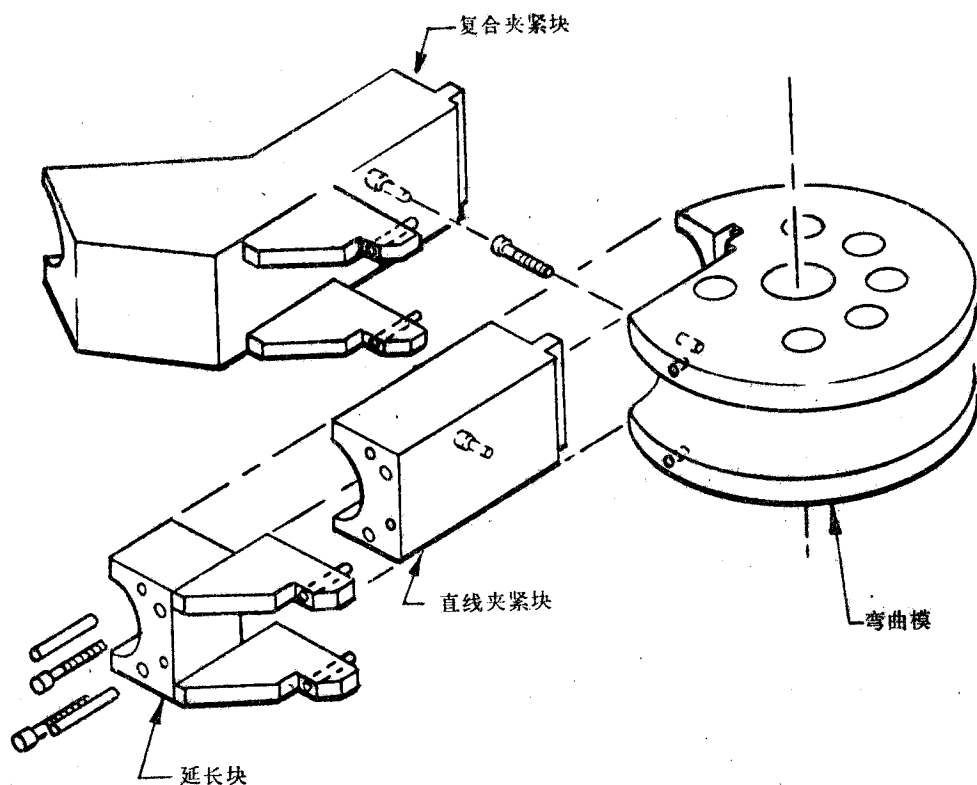


图 III-1 派英斯弯管机用的弯曲模

B. 标准夹块

标准夹块 (见图 III-2) 用于产生必要的夹紧力，以防止管子在弯曲过程中滑动。在大多数情况下，靠摩擦力就可以使它夹紧。在弯曲薄壁气压管子时，为减少所需夹紧面的长度，在夹块中插入可卸的夹紧埂。这种夹紧埂的应用仅限于：(1) 管壁较薄的管子；(2) 只有一次弯曲的管子，因为这种管子的一端被夹紧埂压伤而必须切除。如管子的尺寸和形状不允许采用带夹紧埂的夹块时，即采用表面摩擦力很大的夹块。常用的表面摩擦力大的有两种型式：在夹块表面贴上防滑片 (在塑料上嵌镶磨料)，或对夹块表面作吹砂处理，使其粗糙。

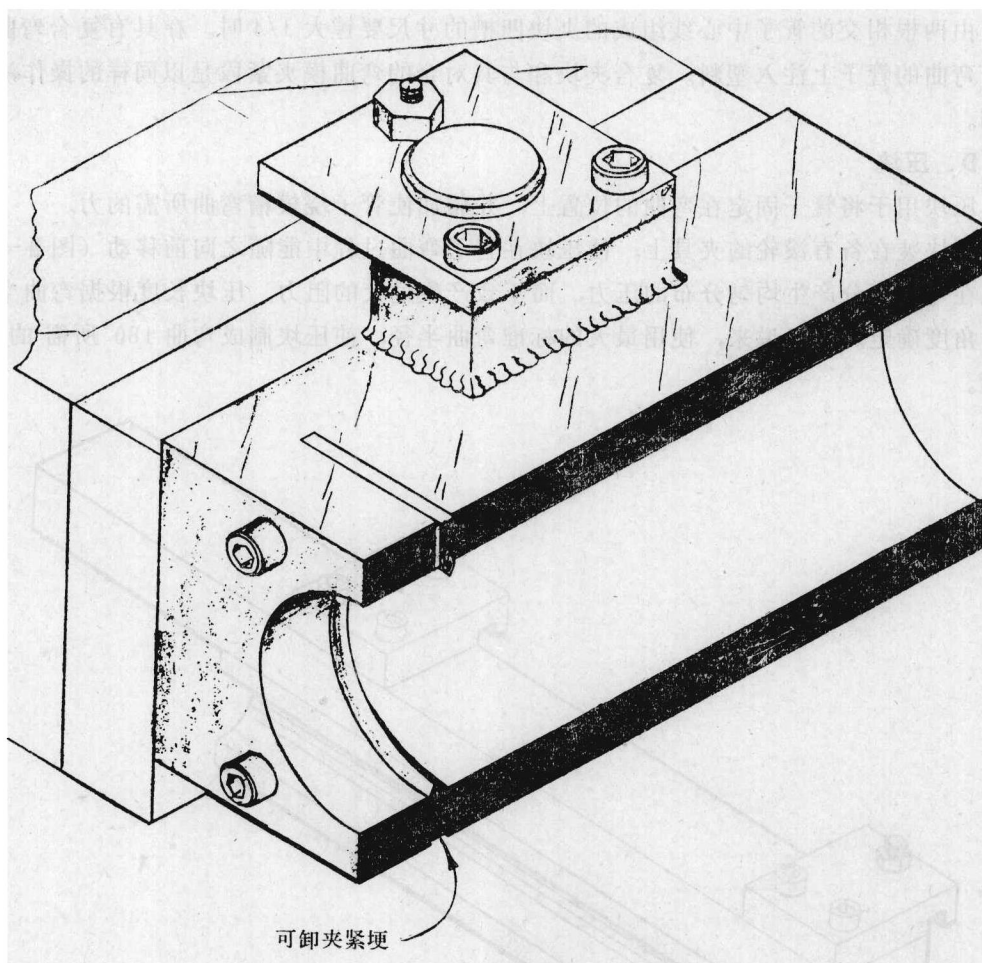


图 II-2 标准夹块

夹块长度与弯曲模夹紧段长度相配合

C. 复合夹块

复合夹块用于安放并夹紧复合弯曲件的第一个弯曲部分上。对于每一段复合弯曲的型面都需要一只各自的夹块（见图 II-3）。

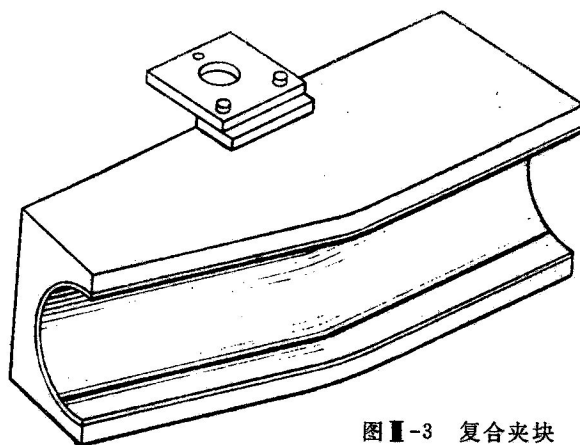


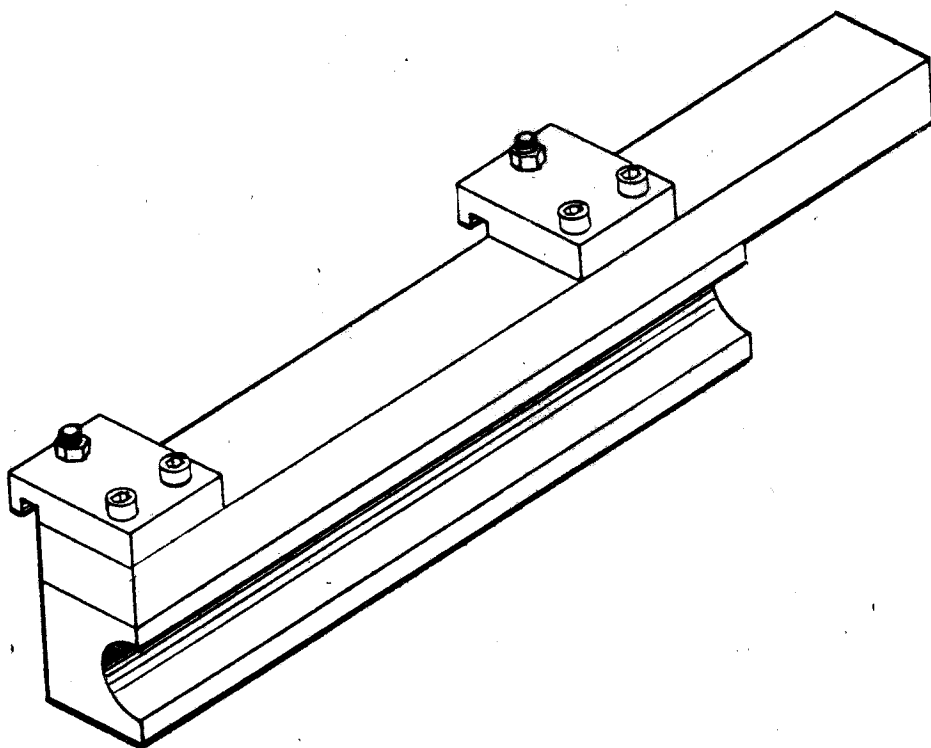
图 II-3 复合夹块

由两根相交的管子中心线组成的夹块凹槽的寸尺要镗大 $1/4$ 吋。在具有复合弯曲件等一个弯曲的管子上注入塑料。复合夹块和与其对合的弯曲模夹紧段是以同样的操作浇注而成的。

D. 压块

压块用于将管子固定在弯曲的位置上，并施加使管子绕模槽弯曲所需的力。

压块装在备有滚轮的夹具上，使压块在管子弯曲过程中能随之向前移动（图Ⅱ-4）。这样就在弯曲部分产生均匀分布的压力，而不致产生过大的阻力。压块长度根据弯曲半径和弯曲角度确定。一般说来，使用最大的标准弯曲半径，使压块制成弯曲 180° 所需的最大长度。



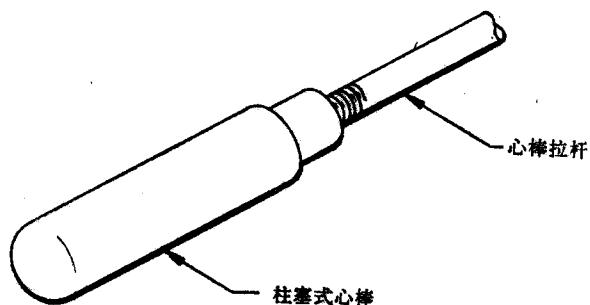
图Ⅱ-4 压块

E. 心棒

心棒用于在弯曲过程中从内壁支撑着管子，目前已经出现适用于各种弯管要求的多种类型的心棒。这些心棒的类型及其应用如下：

铝合金管子所用的心棒一般用钢制，而其他材料的管子都用阿 姆 柯（Ampoe）21 级铝青铜制造。

1. 柱塞式心棒 柱塞式心棒是各种类型中最基本的一种，用于支撑要求不高的弯曲，见图Ⅱ-5。



图Ⅱ-5 柱塞式心棒

柱塞式心棒设计成比管子名义内径小 0.005 吋左右，以适应由于公差积累所引起的管子内径的变化，柱塞前端要加工得很圆滑，以免擦内壁表面。

弯曲氧气系统管子零件所用的柱塞式心棒，都用尼拉德龙 (Nylatron) (掺有干润滑剂的尼龙) 制造。

2. 弧式心棒 弧式心棒是柱塞式心棒的变种，见图 Ⅲ-6，它用于比柱塞式心棒能产生的稍大一些的支撑力，但又不要多球式心棒所产生的那么大的支撑力的小直径管子。

弧式心棒的前端加工出所需要的半径。弧式心棒主要用于在试验基础上成形 $3\sim 5D$ (直径) 的弯曲。

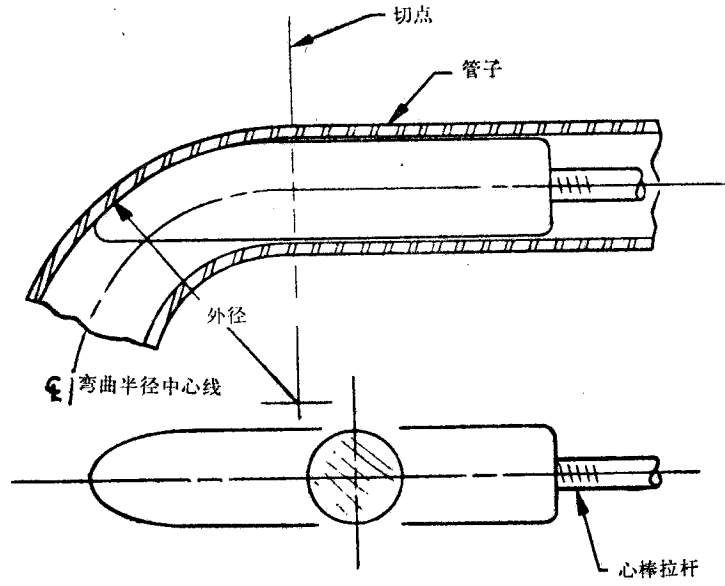


图 Ⅲ-6 弧式心棒

3. 单球式心棒 在管子弯曲切点前部，需要比弧式心棒所能产生的更大的支撑力时，就要用单球式心棒。目前所用的单球式心棒有两种。第一种是用一端有球窝接头的短杆将球连接在心棒躯体上的，它可以在任意方向摆动 (图 Ⅲ-7)。第二种是用联杆-轴销组件将球连接在心棒躯体上的，这种形式的球形心棒，只能在一个平面内摆动，而不能用于复合弯曲。这种心棒的优点是，若有需要，还可以加上另外的球。



图 Ⅲ-7 单球式心棒 (球-接头式)

4. 多球式心棒 (联杆-轴销型) (图 Ⅲ-8) 联杆轴销型多球式心棒由以铰接的方式将两个或更多的球连接在心棒躯体上构成的。这种心棒，由于球形件的摆动只限于在一个平面内，所以只适用于一次或多次平面弯曲。这是一种老式的心棒。它的内部支撑没有 H-H 型心棒那样多，正被 H-H 型心棒 (图 Ⅲ-9) 所代替。

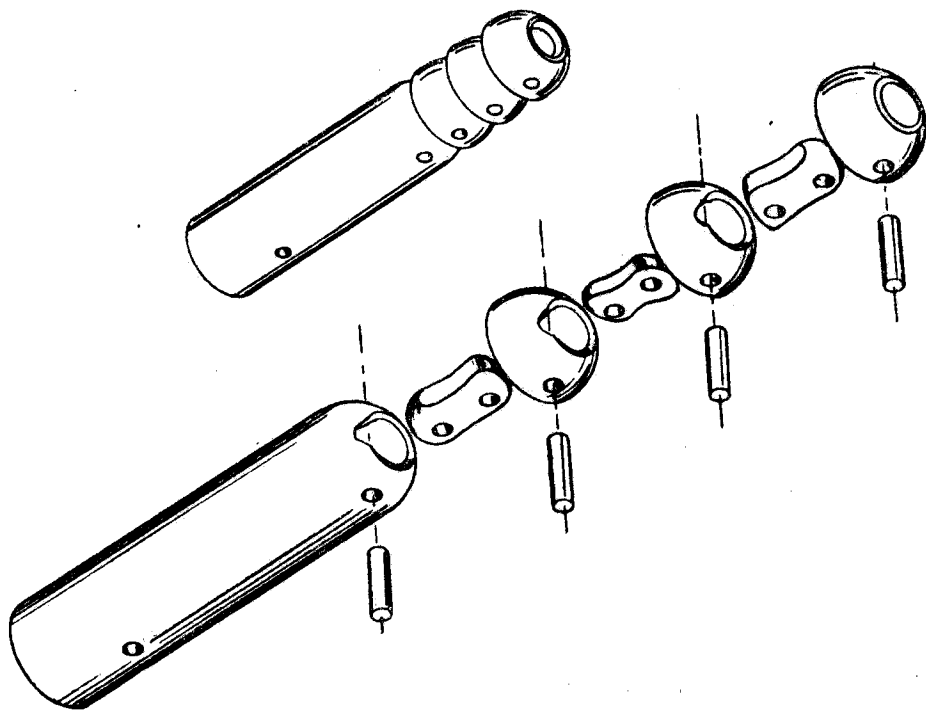


图 1-8 多球式心棒 (联杆-轴销型)

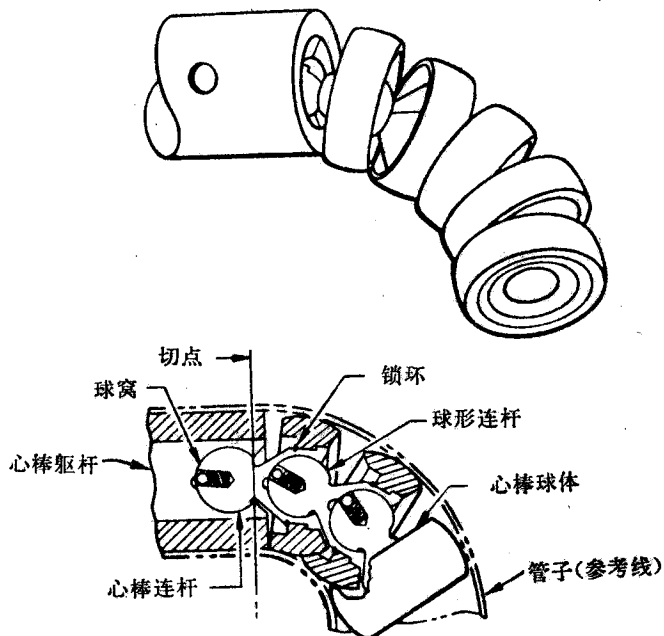


图 1-9 多球式心棒 (H-H型)

5. 多球式心棒 (H-H型) H-H型多球式心棒 (见图 1-9) 是所用心棒中摆动性最好的一种, 它能成形弯曲半径等于 $1D$ 的薄壁管。这种心棒能够在任意方向摆动。可以成形单一或多次弯曲和复合弯曲。由于H-H型心棒的结构特点, 几乎能连续地支撑着管壁, 而特别适用于特殊弯曲件, 心棒的球体可以随意增减。

6. 多球式心棒（球-窝型） 球-窝型多球式心棒（见图Ⅲ-10）也可以在任意方向摆动，但只限于比H-H型心棒要大的弯曲半径上。球-窝型心棒的支撑程度不如H-H型心棒，而其用途相似。这种心棒也正被H-H心棒所代替。

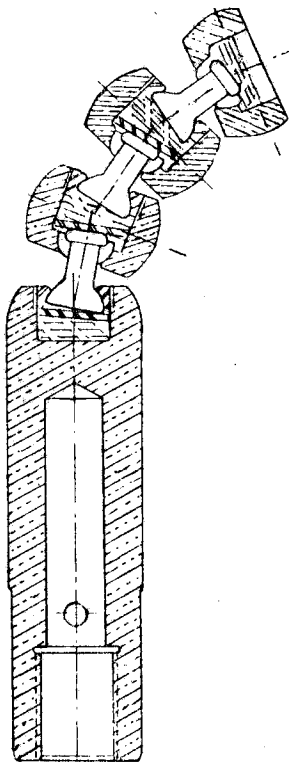
F. 夹紧塞

夹紧塞用于在夹紧部分支撑着薄壁管。这样它既可以防止管子瘪塌，又可以增强夹紧效应。以下详述了夹紧塞的两种基本型式及其应用。

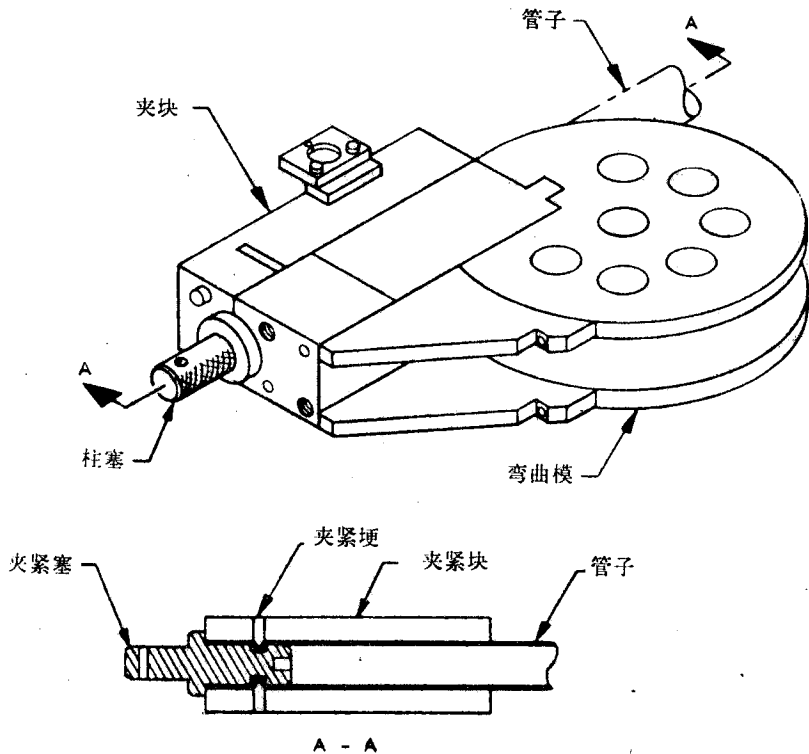
1. 带沟槽的夹紧塞 这种夹紧塞（见图Ⅲ-11）与带夹紧埂的夹块配套用于制造单一弯曲的气压管子。夹紧塞上的沟槽与夹块上的夹紧埂配合，在管子上压出凹槽，并将其紧紧地卡住。

2. 扩张式夹紧塞 这种夹紧塞（图Ⅲ-12）是为制造多次弯曲复合弯曲件而发展起来的。在这类弯曲件上，用整块式夹紧塞无法接近的部分也一定要夹紧。

由液压操纵的扩张式金属塞，设计成能在收缩状态下顺着管子弯曲部分送入，然后停放在两个弯曲圆

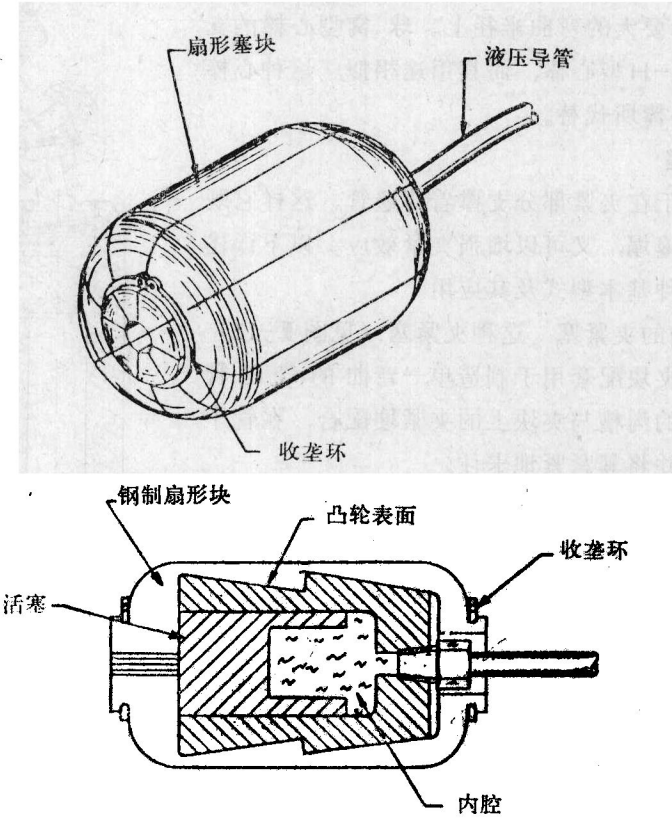


图Ⅲ-10 多球式心棒（球-窝型）



图Ⅲ-11 带沟槽的夹紧塞

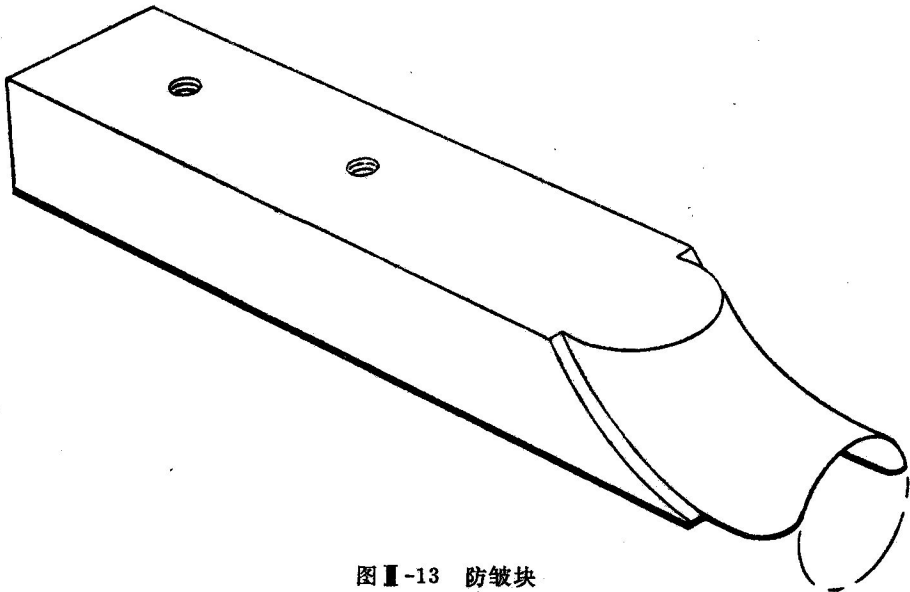
弧之间，并扩张到管子的内径，扩张过程由液压推动内部活塞来完成。在活塞的作用下，使塞子上的扇形块在楔力作用下张开，使塞子直径增大。



图Ⅱ-12 扩张式夹紧塞

G. 防翘块

在弯曲工序中所施加的压应力，能使紧挨切点后边的管子内侧的半径上形成皱纹。当



图Ⅱ-13 防皱块

皱纹严重时（如薄壁管以小半径弯曲的那样）用防皱块控制。防皱块插在弯曲模管槽的圆弧中，其羽形的端头伸入到接近弯曲切点（见图Ⅲ-13）。

在刚开始弯曲时，管壁的流动由内部的心棒和外部的防皱块所限制，这种封闭状态使管子上的皱纹减少到最小程度。制造防皱块的材料有两种，铝管用钢，其他各种材料用阿姆柯 21 级铝青铜。

Ⅳ．设 备

这一章介绍有关波音公司现用弯管机类型的资料。这些弯管机基本上为两类，即手工操作的和动力操纵的。

A．手工操作的弯管机

手工操作弯管机有用简单手柄的，也有手柄和棘轮装置对主轴加力的。这种设备主要用于弯曲直径比较小的管子，见表Ⅳ-1。

表 Ⅳ-1

手 工 操 作 弯 管 机		
型	号	工 作 能 力
波音轻便型		外径0.3125吋
波音台式		外径0.250到0.375吋
伦纳德 10号		外径0.250到1.000吋
伦纳德 B		外径0.1875到1.250吋
伦纳德道格拉斯MB		外径最大1.25吋
派克 G 824		外径0.375到1.500吋

图Ⅳ-1 所示为一种典型的手工操作的弯管机，即派克 G 824。伦 纳 德 10 号 是种小型、生产率高的、手工操作的新型弯管机如图Ⅳ-2所示。波音公司所用的手工操作弯管机及尺寸范围列于表Ⅳ-1。

B．动力操纵的弯管机

动力操纵的弯管机有用液压、气压或电力驱动的。将大直径管子弯成最小弯曲半径的大型机床是液压驱动的。

波音公司目前所用的动力操纵的弯管机列于表Ⅳ-2。图Ⅳ-3 到Ⅳ-10 为各种机床的插图，它们的基本操纵特性都列于图后的一页上。

C．多次弯曲定位夹具

目前已为派英斯 2 号和派英斯 4 号弯管机设计了一种多次弯曲划线用定位夹具。一只旋转式角度指示器装在一只可动的支架上，并与装在夹具底面上的刻度尺的位置相配合。可调限位器装在刻度尺上，使支架定位于离刻度尺端点所需的距离上。有一只固定式的划线头，用于刻划管子沿刻度尺的纵向移动所决定的弯曲切点之间的距离。这个划线头也用于划出弯曲平面之间的转动量。转动量由装在管子端头的角度指示器反映出来，见图Ⅳ-11

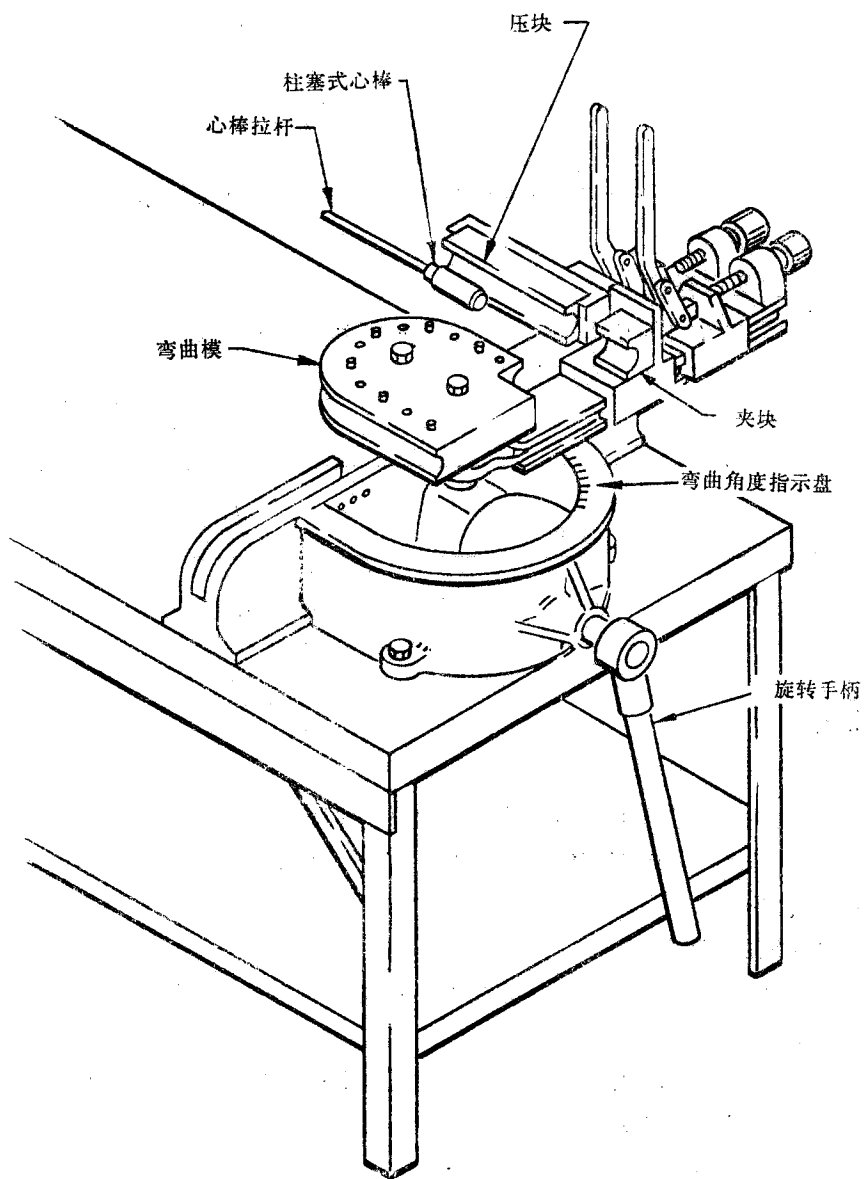


图 IV-1 派克 G 824 型手动弯管机

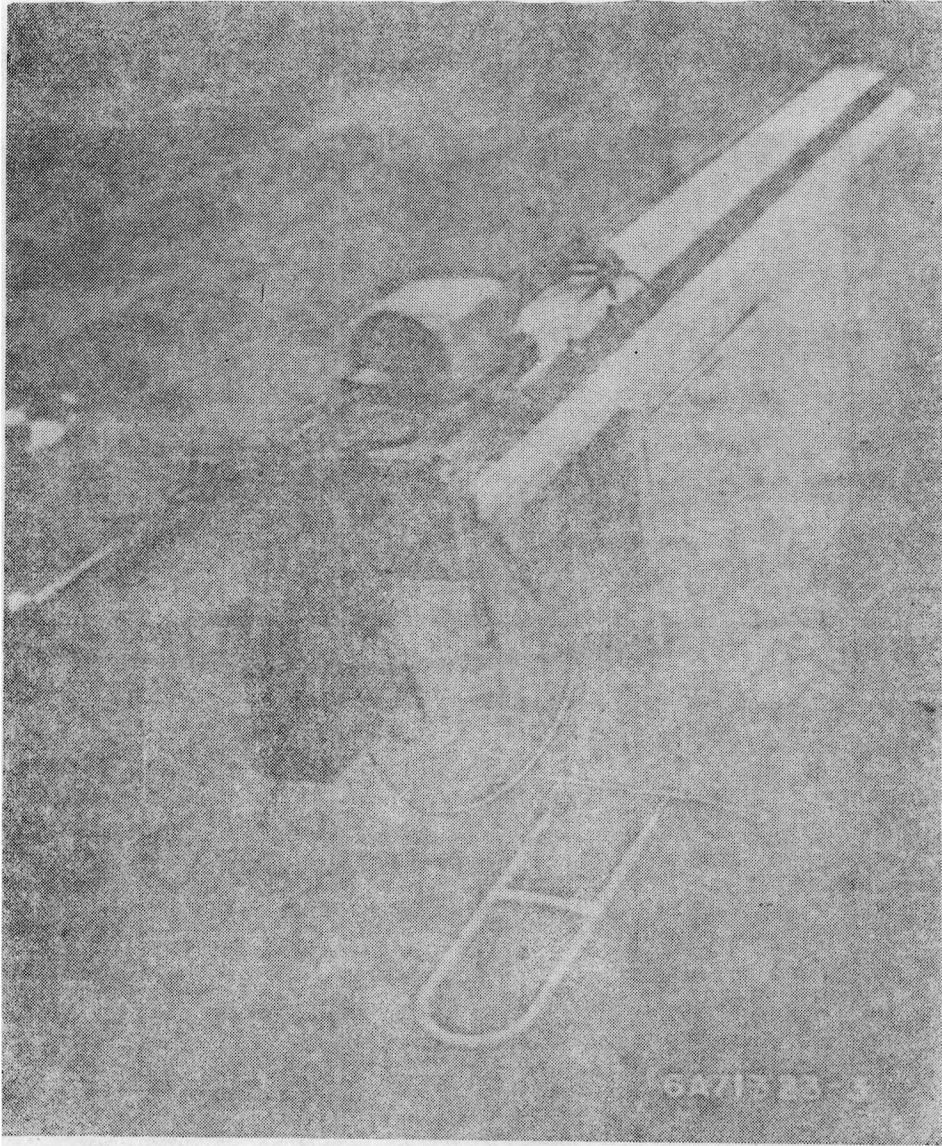


图 IV-2 伦纳德10号手动弯管机

表 IV-2

波音公司所用的动力弯管机		
型	号	工 作 能 力 (吋)
伦纳德道格拉斯PB		外径0.375到1.50
伦纳德PB(气动)		外径0.375到1.50
派英斯 NC-121		外径0.188到2.00
派克 848		外径0.500到3.00
派克 DS848		外径0.500到3.00
派英斯 2 号(飞机类)		最大外径3.00
派英斯 4 号(飞机类)		最大外径6.00
派英斯 6 号(飞机类)		最大外径6.00
派英斯 8 号(飞机类)		最大外径8.00

D. 标准定位杆

标准定位杆的用途是，协助在弯管机上对准各种弯曲工具的位置。这类标准 850 型定位杆的直径在 1 吋到 6 吋之间，见图 IV-12。

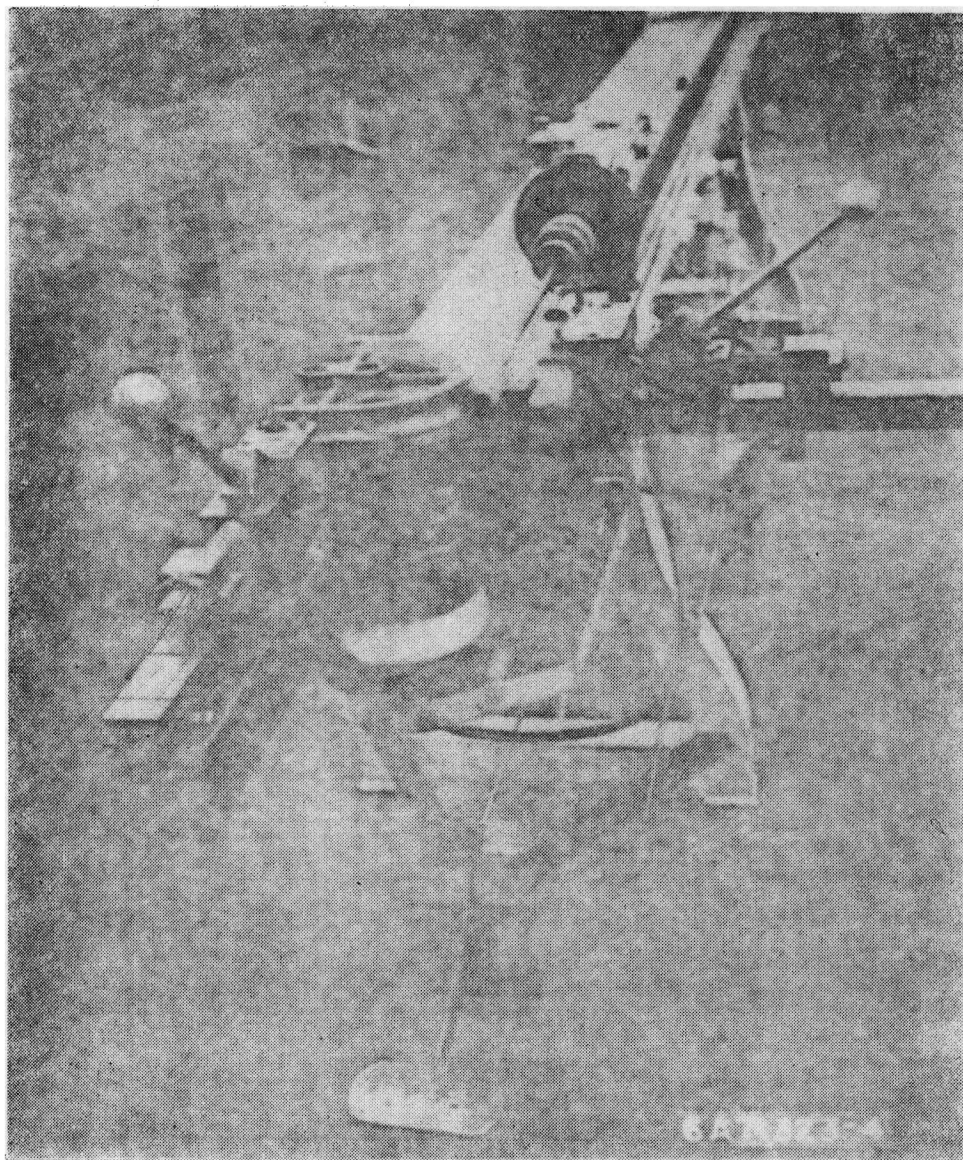


图 IV-3 伦纳德PB（气动）弯管机

操纵特性

伦纳德PB气动弯管机（图 IV-3）

管子直径 0.375 到 1.50 吋

管子长度 90 得 132 吋；台面长度不同（套在心棒上的最大长度）

注意：有一台机床改型后约适用于 300 吋（套在心棒上的最大长度）。

压块压力 手动的肘杆机构