



团 体 标 准

T/ZZB 3986—2025

航空管路制造装备 数控弯管机

Aviation pipeline manufacturing equipment CNC pipe bending machine

2025 - 12 - 20 发布

2025 - 12 - 31 实施

浙江省质量协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 型式	1
5 基本参数	3
6 基本要求	3
7 技术要求	4
8 试验方法	10
9 检验规则	17
10 标志、包装、运输和贮存	18
11 质量承诺	19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由浙江省质量协会提出并归口。

本文件主要起草单位：浙江金马逊智能制造股份有限公司。

本文件参与起草单位：浙江大学、浙江工业大学之江学院、丽水学院、浙江农林大学暨阳学院。

本文件主要起草人：林姚辰、林伟明、张树有、蒋兰芳、林云峰、李毅、刘建胜、叶冬冬、王自立、丁银萍、林海松、赵洪森、杜佳富、陈宣辰、袁静燕、张立杰、陈芳吉、朱潇潇、杨朱萍。

本文件评审专家组长：周江。

航空管路制造装备 数控弯管机

1 范围

本文件规定了航空管路制造装备数控弯管机的型式、基本参数、基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、质量承诺。

本文件适用于航空管路在冷态或热态下弯曲的缠绕式数控弯管机（以下简称“弯管机”）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 4879 防锈包装

GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 6576—2002 机床润滑系统

GB/T 7932—2017 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 13306 标牌

GB/T 26220—2010 工业自动化系统与集成 机床数值控制 数控系统通用技术条件

GB 28760—2012 弯管机 安全技术要求

GB/T 28763—2012 数控弯管机

JB/T 8356 机床包装 技术条件

3 术语和定义

GB/T 28763—2012 界定的术语和定义适用于本文件。

4 型式

弯管机的型式主要有三种：机头固定型（见图1）、机头旋转型（见图2）和机头横移升降型（见图3）。

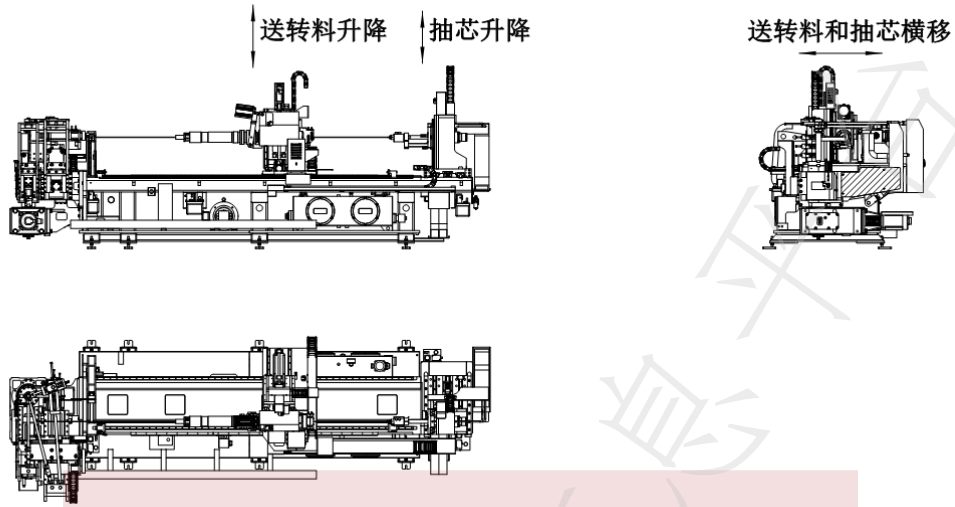


图1

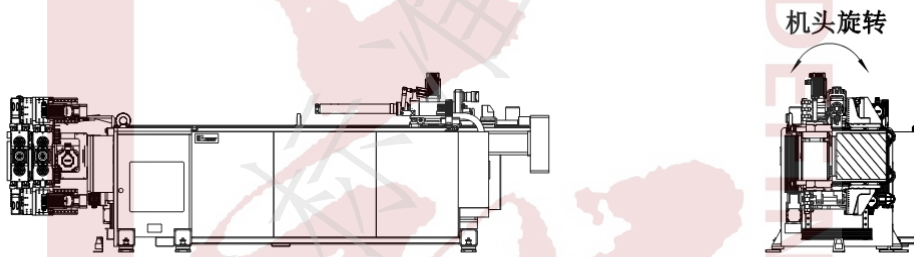


图2

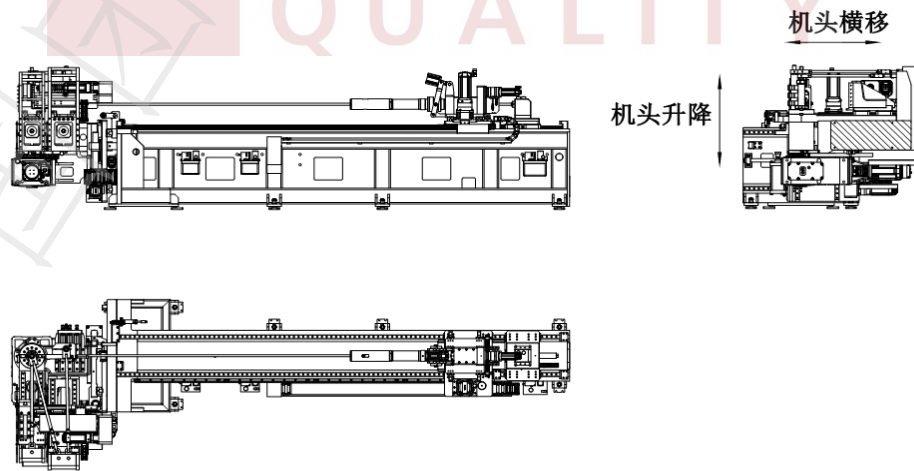


图3

5 基本参数

弯管机的基本参数见表1。

表1 基本参数

项目	参数						
最大弯管外径 (mm)	15	25	38	50	75	100	152
最大弯管外径时最大管壁厚 (mm)	1.2	1.5	2.0	2.5	3.5	5.0	6.0
最小弯管半径时最大管壁厚 (mm)	0.8	1.0	1.3	1.5	2.5	3.0	4.0
最大弯管外径时最小弯曲半径 (mm)	≤30	≤50	≤76	≤100	≤150	≤200	≤304
最大弯曲半径 (mm)	≥60	≥100	≥160	≥200	≥320	≥400	≥600
最小弯曲半径 (mm)	≤15	≤25	≤38	≤50	≤75	≤100	≤160
最大弯曲速度 (°/s)	≥40	≥40	≥40	≥40	≥35	≥30	≥15
最大送料速度 (mm/s)	≥1200	≥1200	≥1200	≥1100	≥800	≥700	≥450
最大转料速度 (°/s)	≥360	≥360	≥360	≥330	≥180	≥140	≥50
最大弯曲角度 (°)	≥195						
弯曲轴旋转重复定位精度 (°)	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.05	≤0.05	≤0.05
送料轴移动重复定位精度 (mm)	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.05	≤0.05	≤0.05
转料轴旋转重复定位精度 (°)	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.05	≤0.05	≤0.05
注：管壁厚以材料屈服强度为280MPa作为计算依据。							

6 基本要求

6.1 设计研发

- 6.1.1 应采用设计软件对主体机械结构和主要受力部件进行强度校核。
- 6.1.2 应采用金属管材弯曲回弹数据库数据对弯管模具开展三维设计。
- 6.1.3 应采用虚拟仿真软件对航空管路进行弯管运动仿真和干涉检查。

6.2 原材料和零部件

- 6.2.1 弯管机电气柜防护措施应达到 IP54 级别。
- 6.2.2 送料轴减速机的背隙应≤7arcmin，噪音值应≤70 dB (A)。
- 6.2.3 弯曲轴减速机的背隙应≤15arcmin，噪音值应≤75 dB (A)。
- 6.2.4 直线导轨行走平行度应不低于 0.024 mm/1000 mm，表面硬度应满足 58 HRC~62 HRC。
- 6.2.5 转料轴减速机的背隙≤5arcmin，噪音值≤70 dB (A)。
- 6.2.6 送料轴滚珠丝杠副的丝杠滚道表面硬度应≥58 HRC，运行精度满足任意 300 mm 行程内，累积导程误差应≤±0.05 mm。

6.3 工艺装备

应具备数控车床、加工中心、高精度外圆磨床等加工设备。

6.4 检验检测

应具备主轴及模具用钢成分、机械零件几何精度、机械零件表面硬度、弯曲轴旋转重复定位精度、送料轴移动重复定位精度、转料轴旋转重复定位精度、加工管件几何精度、加工管件壁厚减薄精度、设备噪声的检测能力。

7 技术要求

7.1 工作环境

弯管机应在温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间,无强磁场、电场干扰和交流电网电压波动在额定电压 $380\text{ V}\pm 10\%$ 及频率 $50\text{ Hz}\pm 0.5\text{ Hz}$ 的环境条件下正常工作。

7.2 外观

7.2.1 弯管机的外表面不应有图样未规定的凸起、凹陷或粗糙不平。盖板和罩壳等接缝处应平整外露管、线路应排列整齐、牢固。外露的结合表面不应有明显的错位。

7.2.2 主要的外露加工表面,不应有磕碰、划伤和锈蚀。

7.2.3 经常操作调整的零部件,如夹块座、导板座、调节螺栓、螺母、芯轴头调整机构等应发蓝,调节手柄、手轮应镀装饰铬。

7.3 结构性能

7.3.1 主轴回转装置、辅推装置和送转料装置应能联动控制。

7.3.2 辅推装置及送转料装置应具备位置和力矩等多种自动运动模式。

7.3.3 送转料装置应具备直线运动及旋转运动功能,速度应无级可调。

7.3.4 弯管机应具有管料中心线与弯管轮模中心自适应匹配功能。

7.3.5 弯管机应具有夹模力、压模力、弯管力的无级调整功能。

7.4 温热控制系统

7.4.1 应具有弯管模具加热装置,温度范围应满足 $300^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

7.4.2 应具备自动控温功能,温度控制精度应为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

7.4.3 应具有加热区域与非加热区域的隔热装置。

7.5 电气系统

7.5.1 弯管机的电气系统应符合 GB/T 5226.1—2019 的中 12.3、18.4 的要求。

7.5.2 弯管机强电柜应相对固定,且离主机距离尽量短,之间连线可用固定接线式或多芯插座,使用接浅方式时应采用标识清晰的接线盒,导线和电缆的敷设应使两端子之间无接头或拼接点。

7.5.3 弯管机可使用固定式操作柜或可移式操作柜。

7.5.4 弯管机的强弱电应分开布线,布线应整齐、美观,便于维修。

7.5.5 多种不同工作电压的导线在同一通道中(如导线管、走线槽或电缆管道装置)时,导线均应用最高电压导线的绝缘。

7.5.6 往复移动、拖链中使用的电缆应是专用拖链电缆,电缆回环应有足够的长度,其弯曲半径至少为电缆外径的 10 倍。

7.5.7 固定与移动部件的电线电缆应由管夹紧固两端固定点,外露电线,电缆应有保护套管,连接处应有接头固定。

7.6 数控系统

- 7.6.1 弯管机的数控系统应符合 GB/T 26220—2010 中 4.6 的要求。
- 7.6.2 弯管机的数控系统宜采用工业计算机为上位机和 PLC 为下位机架构。
- 7.6.3 数控系统上位机宜具有触摸显示功能的显示器和工业计算机。
- 7.6.4 数控系统及其各装置应具备抗常规制造现场电磁骚扰能力。
- 7.6.5 数控系统应具备与用户企业内部局域网连接的硬件和软件接口。
- 7.6.6 数控系统应具有自动操作、手动操作、程序输入、虚拟仿真等基本功能。
- 7.6.7 数控系统虚拟仿真功能应具有对导管弯曲过程是否产生干涉的判定功能。
- 7.6.8 数控系统应具备与主流测量机通信功能和弯曲数据自动补偿功能。
- 7.6.9 数控系统应具有断电记忆功能。
- 7.6.10 弯管机各坐标轴位移量的显示精度不应低于 0.01° 或 0.01 mm 。
- 7.6.11 数控系统应具有弯曲半径补偿功能 (CLR)，可对轮模半径误差进行补偿。
- 7.6.12 数控系统应具备压模软接触功能，压模夹紧到位前应具有自动减速功能。

7.7 润滑系统

弯管机润滑系统应符合 GB/T 6576—2002 中第 7 章、第 8 章的要求。

7.8 气动系统

- 7.8.1 弯管机气动系统应符合 GB/T 7932—2017 中 5.2.2、5.2.3 和 5.2.5 的要求。
- 7.8.2 气动系统各元器件应稳定可靠。
- 7.8.3 气动系统总进气端应配置带减压阀的气源处理三联件。

7.9 噪声

弯管机作业时噪声 $\leq 75\text{ dB (A)}$ 。

7.10 装配

- 7.10.1 弯管机应按装配工艺规程进行装配。不应装入图样上未规定的垫片、套等零件。
- 7.10.2 弯管机上重要固定结合面如弯管模与主轴或转臂端面、主轴与转臂孔、导轨架与床身固定面等应紧密贴合。紧固或装配后，用 0.04 mm 塞尺检验，允许塞尺塞入深度不应大于接触面宽的 $1/4$ ，接触面间可塞入塞尺部位累计长度不应大于周长的 $1/10$ 。
- 7.10.3 弯管机各啮合齿轮安装后的轴向错位不大于表 2 的规定。

表2 啮合齿轮安装后的轴向错位

小齿轮轮缘宽度 (mm)	中心错位量 (mm)
≤ 50	1
$> 50 \sim 150$	2
> 150	3

7.11 安全

- 7.11.1 弯管机安全防护应符合 GB 28760—2012 中 5.3、5.8 的规定。
- 7.11.2 转臂在返回到极限位置时应在内侧面设置安全挡板。
- 7.11.3 弯管机各机构动作应有可靠的联锁装置，在输入基本参数正确的条件下，操作或编程错误时不应产生动作干涉和机件损坏。

- 7.11.4 弯管机在运行时容易松动的零件，应有可靠的防松措施。
- 7.11.5 弯管机上所有夹紧管子装置的锁紧机构应可靠，在弯管过程中管子不应产生松动或脱出。
- 7.11.6 弯管机各运动轴应具有多种极限保护措施，除了和设备配置参数设定各轴运动极限位置外，应在各运动轴机械极限位置处应安装机械限位装置。
- 7.11.7 弯管机应具备缺相、过流、过载、短路等电气保护功能。
- 7.11.8 有安全隐患的运动部件应用警示标识。
- 7.11.9 转臂在弯管后返回时的扇形区范围是人员进入弯管机的主要危险区域，该区域应设置安全挡板对转臂返回运动进行安全保护，安全挡板应满足：
- 安全挡板应覆盖转臂的全部侧面；
 - 安全挡板结构上应采用全浮动式的，挡板的触发开关至少要设置三点；
 - 安全挡板触发后转臂应立即停止运动；
 - 安全挡板触发力：当最大弯管外径大于等于 114 mm 时触发力不大于 120 N；当最大弯管外径小于 114 mm 时触发力不大于 100 N；试验时将转臂开到 180° 或 0°，使用手提式推拉型指针测力计，站在转臂 90° 处，将转臂返回或弯管，用测力计的平头触头与安全挡板垂直方向位置触发至转臂停止，观察测力计上的锁定读数，在安全挡板的中间及四角位置测量；
 - 安全挡板触发后，应保证安全挡板的缓冲行程不小于 5 mm。

7.12 精度

7.12.1 几何精度

7.12.1.1 主轴旋转时的径向圆跳动

测量弯管设备主轴旋转时的径向圆跳动，其千分表的最大读数差不应超过表3的规定。

表3 主轴旋转时的径向圆跳动

最大弯管外径 (mm)	允差值 (mm)
≤50	0.04
>50~100	0.07
>100~152	0.10

7.12.1.2 转臂旋转时的端面圆跳动

测量转臂旋转时的端面圆跳动，其千分表的最大读数差不应超过表4的规定。

表4 转臂旋转时端面圆跳动

最大弯管外径 (mm)	允差值 (mm)
≤50	0.06
>50~100	0.10
>100~152	0.15

7.12.1.3 辅推装置和主轴的跟随精度

侧辅推装置和主轴的跟随精度，其允差值不应超过表5的规定。

表5 侧辅推装置和主轴的跟随精度

检验项目	允差值 (mm)
侧辅推装置和主轴的跟随精度	$\pi \times R_0^{+0.35}$
注1: R为弯曲半径。 注2: 在带有弯管角度值及侧辅推装置位移值数显的弯管机上, 允许在停止后直线观察屏幕显示值计算出其差值是否符合表中允差值规定。	

7.12.1.4 弯曲轴旋转定位精度

弯曲轴的旋转定位精度, 其允差值不应超过表6的规定。

表6 弯曲轴旋转定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差 (°)
≤50	±0.08
>50~100	±0.09
>100~152	±0.10

7.12.1.5 弯曲轴旋转重复定位精度

弯曲轴的旋转重复定位精度, 其允差值不应超过表7的规定。

表7 弯曲轴旋转重复定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差值 (°)
≤50	0.04
>50~152	0.05

7.12.1.6 转料轴旋转定位精度

转料轴的旋转定位精度, 其允差值不应超过表8的规定。

表8 转料轴旋转定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差 (°)
≤50	±0.08
>50~100	±0.09
>100~152	±0.10

7.12.1.7 转料轴旋转重复定位精度

转料轴的旋转重复定位精度, 其允差值不应超过表9的规定。

表9 转料轴旋转重复定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差值 (°)
≤50	0.04
>50~152	0.05

7.12.1.8 送料轴移动定位精度

送料轴的移动定位精度，其允差值不应超过表 10 的规定。

表10 送料轴移动定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差 (mm)
≤50	±0.08
>50~100	±0.09
>100~152	±0.10

7.12.1.9 送料轴移动重复定位精度

送料轴的移动重复定位精度，其允差值不应超过表 11 的规定。

表11 送料轴移动重复定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差值 (mm)
≤50	0.04
>50~152	0.05

7.12.1.10 转料轴（或机头升降轴）升降定位精度

转料轴（机头升降轴）的升降的位精度，其允差值不应超过表 12 的规定。

表12 转料轴（或机头升降轴）升降定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差 (mm)
≤50	±0.07
>50~100	±0.10
>100~152	±0.13

7.12.1.11 转料轴（或机头升降轴）升降重复定位精度

转料轴（机头升降轴）的升降的重复定位精度，其允差值不应超过表 13 的规定。

表13 转料轴（或机头升降轴）重复升降定位精度

最大弯管外径 (mm)	允差值 (mm)
≤ 50	0.06
$> 50 \sim 152$	0.08

7.12.2 工作精度

7.12.2.1 弯曲段椭圆度

弯曲段椭圆度允差应符合表 14 的规定。对加工导管无工作压力指标时, 应符合 GB/T 28763—2012 中 6.3.1 的要求。

表14 弯曲段椭圆度要求

导管工作压力 MPa	椭圆度 %	
	钛及钛合金	铜管、铝管、钢管
$0 < P < 7$	≤ 3	≤ 10
$7 \leq P \leq 21$	≤ 3	≤ 5
$21 < P \leq 28$	≤ 3	≤ 5

7.12.2.2 弯曲导管表面质量

铝、钢、铜合金导管弯曲段内侧的皱纹度要求, 弯曲后导管表面的划伤、压痕要求见表 15。对加工导管无工作压力指标时, 应符合 GB/T 28763—2012 中 6.3.2 的要求。

表15 弯曲导管表面质量弯曲导管表面质量

序号	导管工作压力 P MPa	皱纹度	划伤 mm	压痕 mm
1	$0 < P < 3.5$	2%	$10\% \delta_0$	$10\% \delta_0$
2	$3.5 \leq P \leq 28$	1%	$5\% \delta_0$	$5\% \delta_0$

注: δ_0 管材公称厚度。

弯曲后导管弯曲段外侧切点处鹅头凸出量不大于 0.2 mm, 见图 4 所示。

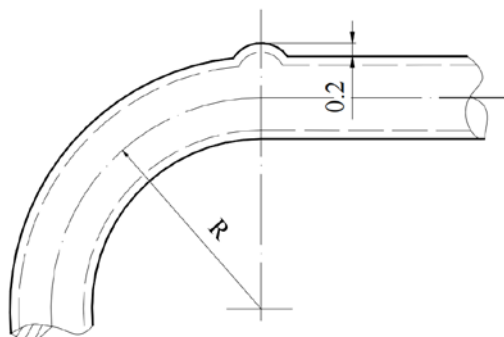


图4

7.12.2.3 弯曲导管的最小壁厚

导管弯曲段的最小壁厚不能超过表 16 要求。对加工导管无工作压力指标时，应符合 GB/T 28763—2012 中 6.3.3 的要求。

表16 弯曲导管最小壁厚

导管工作压力 MPa	最小壁厚 δ_{\min} mm
$0 < P < 7$	$\delta_{\min} = \delta_0 - \Delta - 0.25 \delta_0$
$7 \leq P \leq 21$	$\delta_{\min} = \delta_0 - 0.25 \delta_0$
$21 < P \leq 28$	$\delta_{\min} = \delta_0 - 0.2 \delta_0$

注： δ_0 管材公称厚度； Δ 管材壁厚的负偏差。

7.12.2.4 弯曲角度和立体转角

应符合GB/T 28763—2012中6.3.4的要求。

8 试验方法

8.1 试验条件

试验应在符合本文件第 7.1 条款规定的环境条件下进行。

8.2 外观检验

弯管机采用目视方式检查设备外观，局部区域可使用5倍放大镜进行检查。设备的外观应符合本文件第7.2条款的规定。

8.3 结构性能检验

8.3.1 检验各种限位、联锁、超载保护装置、转臂、安全挡板和急停按钮等安全装置的可靠性。

8.3.2 检查主轴旋转动作、夹模动作、压模动作、侧辅推动作、送料动作、转料动作、转臂回转动作等各种动作的灵活性、一致性、可靠性。

8.3.3 检查各种可进行调整或调节装置的可靠性（包括触摸屏各种参数设置）。

8.3.4 检查所有指示器、计数器及各种显示装置的可靠性。

8.3.5 检查润滑装置的可靠性。

8.3.6 检查气动装置的可靠性。

8.3.7 检查电气及数控系统的可靠性。

8.4 温热控制系统检验

8.4.1 采用温度测量仪对跟模具与管料接触的 3 个关键区域：弯曲起点、弯曲中点、弯曲终点，每个区域选取 2 个对称测量点进行测量。

8.4.2 每个独立的模具上测三个点的温度，取其平均值为该区域的温度。

8.5 电气系统检验

按GB/T 28763—2012中7.12的规定进行。

8.6 数控系统检验

按GB/T 26220—2010中5.6、GB/T 28763—2012中7.13的规定进行。

8.7 润滑系统检验

按GB/T 6576—2002中第7章、第8章的规定进行。

8.8 气动系统检验

按GB/T 28763—2012中7.15，GB/T 7932—2017中5.2.2、5.2.3和5.2.5的规定进行。

8.9 噪声检验

按GB/T 28763—2012中7.17的规定进行。

8.10 装配检验

按GB/T 28763—2012中7.16的规定进行。

8.11 空运转及负载试验

8.11.1 空运转时间不应少于8小时，其中在最高速度运转时间不少于1小时。对能进行自动或半自动工作的机构及调整状态的单动动作，应同时运转。

8.11.2 空运转试验时，在每一循环过程中各执行机构的最大动作规范分5次完成。

8.11.3 各循环间停歇时间一般为一个工作循环的1/2，最长不应超过1分钟。

8.11.4 空运转试验应在多级速度下进行全行程试验和点动试验，试验次数不应少于7次。

8.11.5 弯管机应做满负荷试验，按其最大弯管力矩弯制导管三次（弯曲角度180°）。

8.11.6 允许按小弯管规格并同时减小弯曲半径的等效方法进行满负荷试验。

8.11.7 在满负荷试验过程中，弯管机的工作应正常、平稳、可靠。

8.11.8 在弯管机的空运转时间内，用点温计在零件发热最高的可测部位进行测量。其温升与最高温度不应超过下列规定：

a) 滑动轴承的温升不应大于35℃，最高温度不应高于70℃；

b) 滚动轴承的温升不应大于40℃，最高温度不应高于70℃；

c) 滑动导轨的温升不应大于15℃，最高温度不应高于50℃。

8.12 安全检验

按本文件第7.11条款的规定进行。

8.13 精度检验

8.13.1 几何精度检验

8.13.1.1 主轴旋转时的径向圆跳动

按GB/T 28763—2012中6.2.1的规定进行。

8.13.1.2 转臂旋转时的端面圆跳动

按GB/T 28763—2012中6.2.2的规定进行。

8.13.1.3 辅推装置和主轴的跟随精度

设定主轴旋转 180° ，侧辅推装置同步直线跟随移动。停止后，侧辅推装置移动距离为 $L = \pi \times R$ ，按图 5 所示，测量侧辅推装置端面移动的距离 L ，在同一角度下重复进行五次，计算出实际值与 $\pi \times R$ 的最大差值。

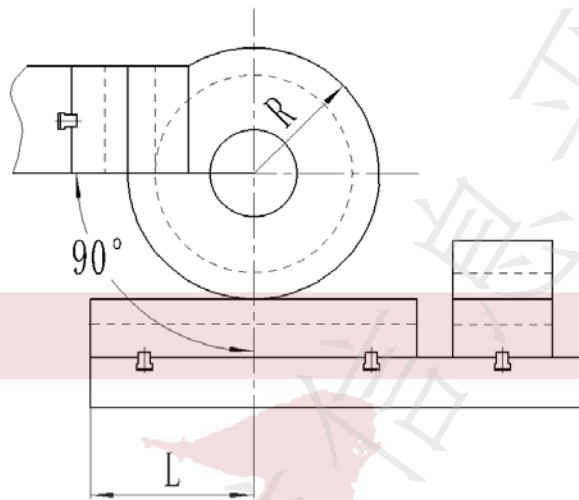


图5

8.13.1.4 弯曲轴旋转定位精度

弯曲轴 定位精度应使用激光干涉仪或等效测量仪器检验。如图 6 所示，将激光干涉仪的高精密转台镜组（含反射镜与转接工装）固定在弯曲主轴端面上，保证镜组中心与弯曲轴旋转中心同轴（同轴度误差 $\leq 0.02 \text{ mm}$ ）。控制弯管机弯曲轴旋转角度 A （弯管机理论旋转角度），此时转台内置的反射镜会反向旋转角度 A_x 回到反射镜初始位置，结合激光干涉仪和转台的读数，记录弯曲轴在角度 A 这个位置的误差值为即弯曲轴旋转定位精度。

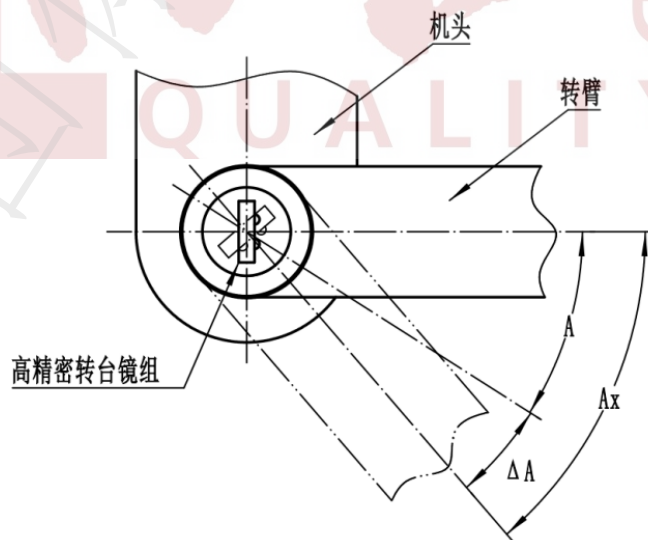


图6

8.13.1.5 弯曲轴旋转重复定位精度

弯曲轴重复定位精度应使用激光干涉仪或等效测量仪器检验。如图 7 所示，将激光干涉仪的高精密转台镜组（含反射镜与转接工装）固定在弯曲主轴端面上，保证镜组中心与弯曲轴旋转中心同轴（同轴度误差 ≤ 0.02 mm）。控制弯管机弯曲轴旋转角度 A （弯管机理论旋转角度），此时转台内置的反射镜会反向旋转角度 A_x 回到反射镜初始位置，重复测量 5 次，最大 A_x 值与最小 A_x 值的差值 ΔA 即为弯曲轴旋转重复定位精度。

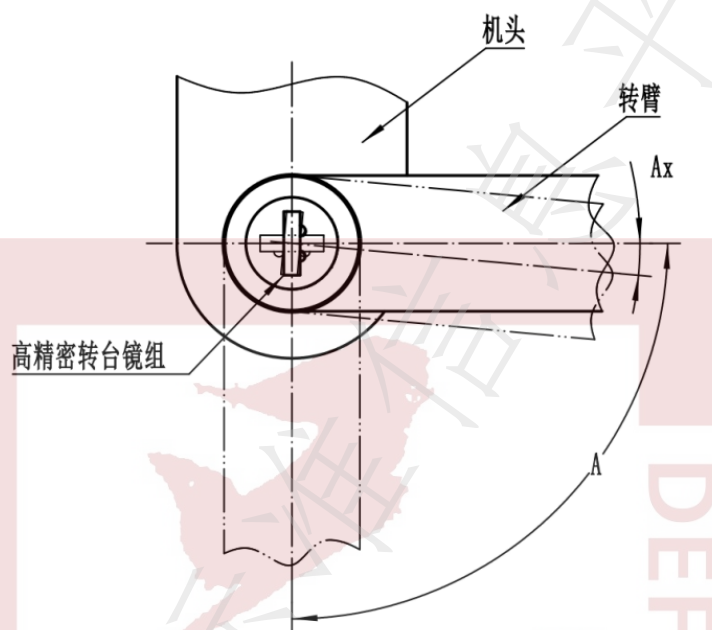


图7

8.13.1.6 转料轴旋转定位精度

弯曲轴定位精度应使用激光干涉仪或等效测量仪器检验。如图 8 所示，将激光干涉仪的高精密转台镜组（含反射镜与转接工装）固定在小车主轴端面上，保证镜组中心与转料轴旋转中心同轴（同轴度误差 ≤ 0.02 mm）。控制弯管机转料轴旋转角度 A （弯管机理论旋转角度），此时转台内置的反射镜会反向旋转角度 A_x 回到反射镜初始位置，结合激光干涉仪和转台的读数，记录转料轴在角度 A 这个位置的误差值 ΔA 即转料轴旋转定位精度。

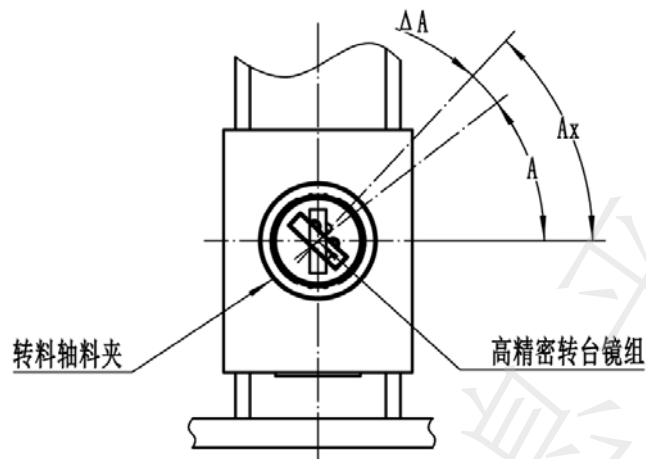


图8

8.13.1.7 转料轴旋转重复定位精度

转料轴重复定位精度应使用激光干涉仪或等效测量仪器检验。如图9所示，将激光干涉仪的高精密转台镜组（含反射镜与转接工装）固定在小车主轴端面上，保证镜组中心与转料轴旋转中心同轴（同轴度误差 ≤ 0.02 mm）。控制弯管机转料轴旋转角度 A （弯管机理论旋转角度），此时转台内置的反射镜会反向旋转角度 A_x 回到反射镜初始位置，重复测量 5 次，最大 A_x 值与最小 A_x 值的差值即为转料轴重复定位精度。

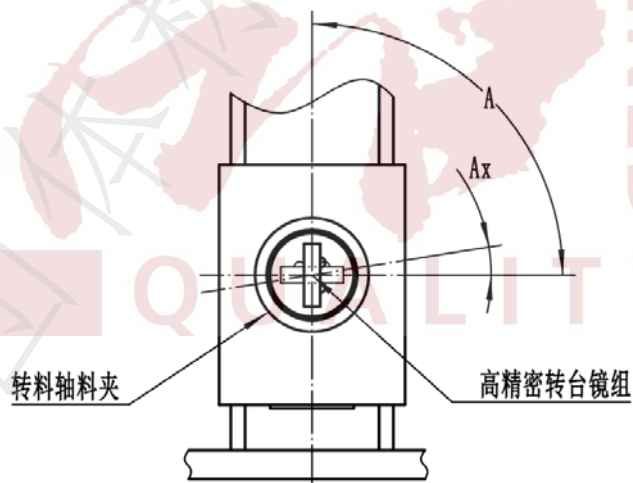


图9

8.13.1.8 送料轴移动定位精度

送料轴定位精度应使用激光干涉仪或等效测量仪器。如图10所示，将激光干涉仪的移动反射镜固定在送料轴机构上，编程控制送料轴水平移动距离 L （理论移动距离），激光干涉仪通过接收反射镜反射光束测量送料轴机构的实际移动距离 L_x 。 L_x 与 L 差值 ΔL 即为送料轴移动定位精度。

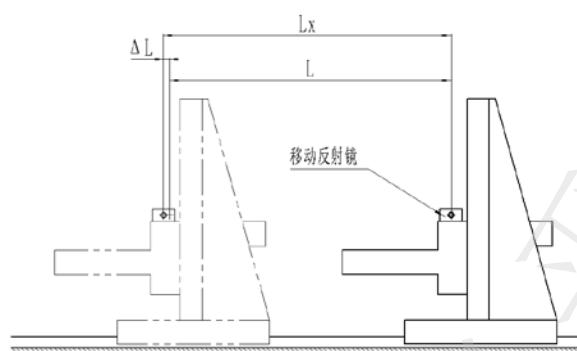


图10

8.13.1.9 送料轴移动重复定位精度

送料轴重复定位精度应使用千分表或等效测量仪器。如图 11 所示，将千分表座固定在机器上，使千分表顶在送转料机构上。编程控制送料轴水平移动距离 L ，然后再回到初始位置，读取千分表的最大读数和最小读数。最大读数和最小读数差值即为送料轴移动重复定位精度。

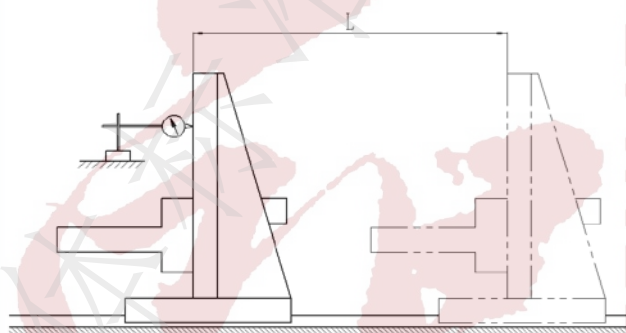


图11

8.13.1.10 转料轴（或机头升降轴）升降定位精度

送料轴升降（或机头升降轴）定位精度应使用激光干涉仪或等效测量仪器。如图 12 所示，将激光干涉仪的移动反射镜固定在转料轴（或机头升降轴）上，编程控制转料轴（或机头升降轴）垂直移动距离 L （理论移动距离），激光干涉仪通过接收反射镜反射光束测量转料轴的实际移动距离 L_x 。 L_x 与 L 差值 ΔL 即为转料轴（机头升降轴）升降定位精度。

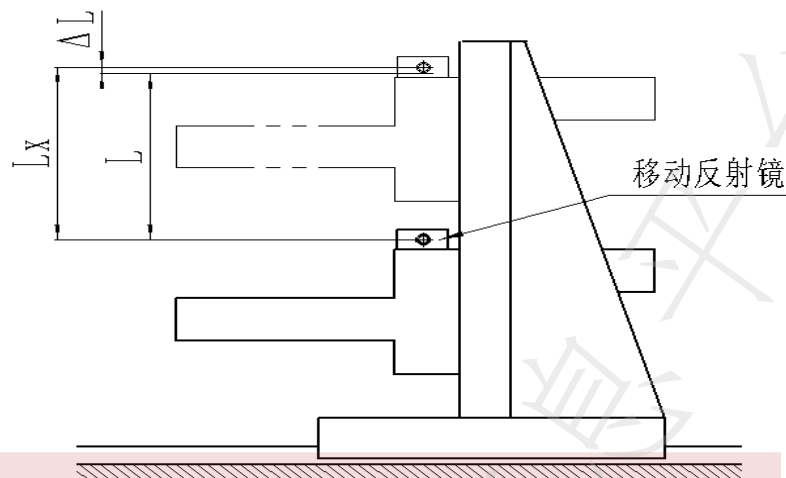


图12

8.13.1.11 转料轴（或机头升降轴）升降重复定位精度

转料轴(或机头升降轴)升降重复定位精度应使用千分表或等效测量仪器。如图 13 所示,将千分表座固定在机器上,使千分表顶在转料轴(或机头升降轴)上。编程控制转料轴(或机头升降轴)垂直移动距离 L ,然后再回到初始位置,读取千分表的最大读数和最小读数。最大读数和最小读数差值即为送料轴(或机头升降轴)重复定位精度。

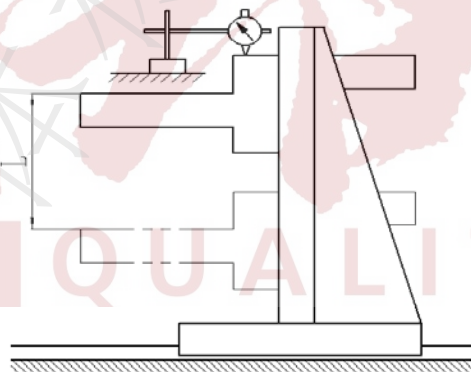


图13

8.13.2 工作精度检验

8.13.2.1 弯曲段椭圆度

按GB/T 28763—2012中6.3.1的规定进行。

8.13.2.2 弯曲导管表面质量

皱纹度按图 14 所示,用游标卡尺和专用样板(或金属直尺)测量导管的起皱节距 t 和波峰到波谷高度 δ 。专用样板测量部位半径 r 为弯曲半径 R 减去管子的实际外径 D 的一半 ($D/2$)。按式 (1) 计算

得出皱纹度 Σ 。

$$\Sigma = \frac{\delta}{D} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

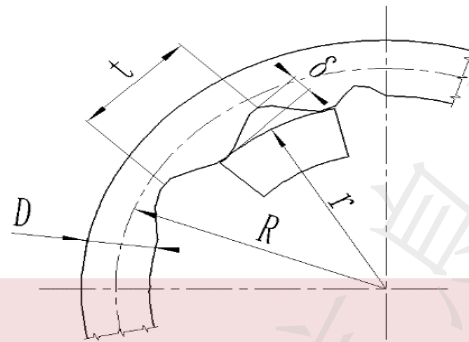


图14

说明：

- Σ ——皱纹度；
- D ——管子的实际外径；
- r ——专用样板测量部位半径；
- R ——弯曲半径；
- T ——起皱节距；
- δ ——波峰到波谷的高度。

划伤、压痕通过目视直接观察压痕位置、大小及周围是否有裂纹或变形判定缺陷。

8.13.2.3 弯曲导管的最小壁厚

按图 15 所示，采用超声测厚仪对导管弯曲段中间厚度进行测量或将弯曲的导管从弯曲段中间的横截面处切开，用尖头千分尺或游标卡尺测量导管最薄处壁厚，无论弯曲磨损、弯曲变薄、打磨等因素，最终导管弯曲段的最小壁厚不能超过表 16 要求。

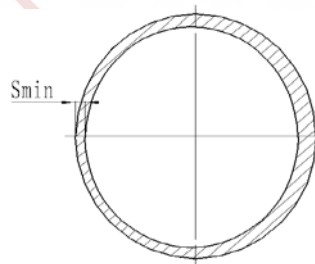


图15

8.13.2.4 弯曲角度和立体转角

按GB/T 28763—2012中6.3.4的规定进行。

9 检验规则

9.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式试验。

表17 检验项目

序号	项目	技术要求	试验方法	检验	
				出厂检验	型式检验
1	外观	7.2	8.2	√	√
2	结构性能	7.3	8.3	—	√
3	温热控制系统	7.4	8.4	—	√
4	电气系统	7.5	8.5	—	√
5	数控系统	7.6	8.6	—	√
6	润滑系统	7.7	8.7	—	√
7	气动系统	7.8	8.8	—	√
8	噪声	7.9	8.9	√	√
9	结构件	7.10	8.10	—	√
10	装配	7.11	8.11	—	√
11	安全	7.12	8.12	√	√
12	精度	7.13	8.13	√	√

注：“√”为检测项目，“—”为非检测项目。

9.2 出厂检验

9.2.1 每台弯管机均应进行出厂检验，检验合格后方可出厂。若因特殊原因不能在制造厂进行检验时，可在用户处检验，检验合格后方可交付使用。

9.2.2 出厂检验项目应符合表 17 的规定。

9.2.3 出厂检验所检项目全部合格，则判定该产品出厂检验合格，否则判定为不合格。

9.3 型式检验

9.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 设计、工艺、材料有较大改变后可能影响产品性能时；
- c) 除非另有规定，非标定制型弯管机不做型式试验。

9.3.2 型式检验项目应符合表 17 的规定。

9.3.3 型式检验产品应从出厂检验合格的产品中随机抽取一台。

9.3.4 型式检验所检项目全部合格，则判定产品型式检验合格，否则判定产品型式检验不合格。

10 标志、包装、运输和贮存

10.1 标志

弯管机上的各类标牌应符合GB/T 13306的规定，在检验合格的设备上应至少有如下标志：

- a) 设备铭牌：包括设备名称、设备型号、设备编号、设备出厂日期、设备功率（kW）、设备电压（V）、设备重量；
- b) 安全警示标志；
- c) 设备润滑铭牌；

- d) 操作标识;
- e) 坐标轴运动指示标识;
- f) 仪表标识。

10.2 包装

- 10.2.1 包装应符合 JB/T 8356、GB/T 4879 的规定。
- 10.2.2 设备、随机附件及备件的外露加工面的防锈应符合 GB/T 4879 的规定。
- 10.2.3 包装中应包含使用说明书, 使用说明书应符合 GB/T 9969 的规定。
- 10.2.4 电气系统、数控系统应有防锈、防潮措施。
- 10.2.5 随机技术文件应采用防水包装。
- 10.2.6 包装箱标志应符合 GB/T 191 的规定。

10.3 运输

在运输中应避免振动、冲击, 防止日晒、雨淋, 电器部分防止受潮。

10.4 贮存

交付前应贮存在无腐蚀性介质、防水、防潮的室内, 室内温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不超过 85%。贮存期超过 1 年的设备, 应对数控系统、电气系统进行重新检验。

11 质量承诺

- 11.1 用户有诉求时, 制造商应在 24 小时内做出响应, 并及时提供解决处理方案。
- 11.2 数控弯管机自交付之日起 2 年内, 用户按照使用说明书安装、使用和维护数控弯管机, 因数控弯管机制造质量问题而不能正常使用时(易损件除外), 应负责免费更换或修理。