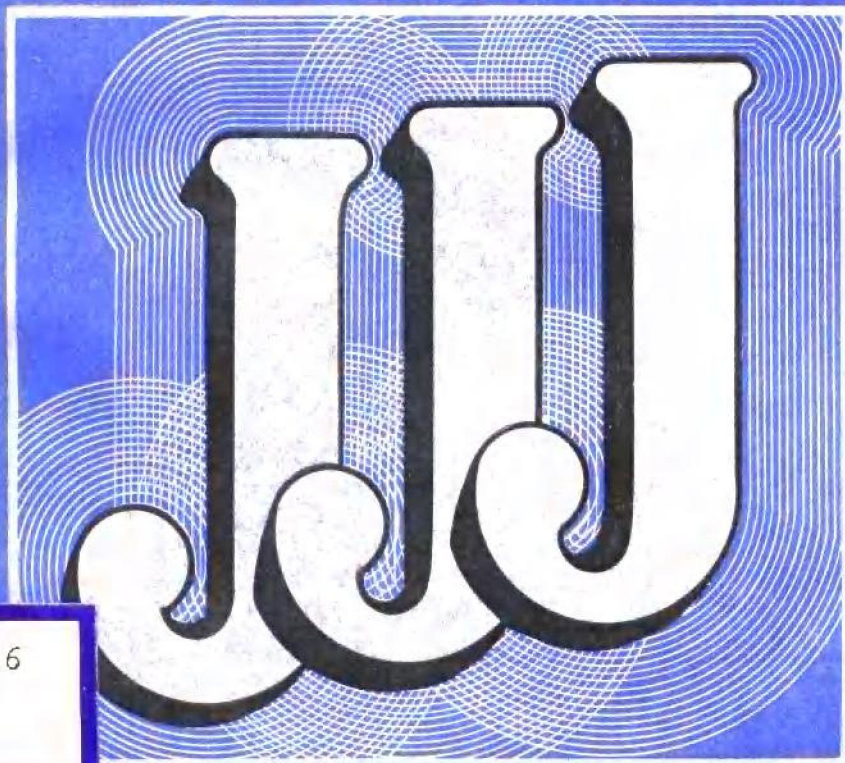


国家机械工业委员会统编

高级磨工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



30.6

机械工业出版社

本书内容包括：高精度高难度零件的磨削、典型零件磨削工艺分析、磨床精度检验、磨床的新型结构和精密量仪、提高劳动生产率的途径等。

本书由上海市机电工业学校薛源顺、上海市汽拖公司职大徐圣群、上海机床厂王开元编写。上海机床厂王开元、陆早发审稿。

高级磨工工艺学

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：杨溥泉 版式设计：霍永明
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：陈 松

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 5 · 字数 107 千字

1988 年 10 月北京第一版·1988 年 10 月北京第一次印刷

印数 00,001—22,000 · 定价：1.95 元

*

ISBN 7-111-01125-2/TG · 276

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求

以基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组
1987年11月

目 录

前言

第一章 高精度、高难度零件的磨削	1
第一节 高精度、高难度零件的磨削	1
第二节 磨削工艺方案分析	49
复习题	54
第二章 典型零件磨削工艺分析	56
第一节 基准	56
第二节 制订磨削工艺的方法	65
第三节 典型零件的工艺分析	70
复习题	74
第三章 磨床精度	75
第一节 磨床精度对加工的影响	75
第二节 磨床精度检验	81
复习题	88
第四章 磨床的新型结构和精密量仪	89
第一节 进给传动系统中的新结构	89
第二节 砂轮主轴轴承	97
第三节 砂轮自动平衡仪	105
第四节 自动测量装置	109
第五节 精密量仪	118
复习题	132
第五章 提高劳动生产率的途径	133
第一节 提高劳动生产率的基本方法	133
第二节 先进的磨削加工工艺方法	141
复习题	152

第一章 高精度、高 难度零件的磨削

第一节 高精度、高难度零件的磨削

一、概述

近200年来,机械制造精度随着产品性能的不断 提高而发展。1770年,制造第一台蒸汽机汽缸用的镗床,所能达到的制造精度仅为1 mm。以后陆续出现了汽油发动机、柴油发动机、高速斜齿轮、滚动轴承等。在第二次大战以后,喷气发动机、导弹、人造卫星相继发展,零件制造精度迅速提高。例如圆度仪上的标准球,其加工精度为 $0.01\mu\text{m}$ 。机床的精度也不断提高,例如生产型的高精度外圆磨床相继出现,其加工的工件的圆度可达到 $0.1\mu\text{m}$,工件表面粗糙度达 $R_a 0.012\mu\text{m}$ 。零件材料的发展与产品的发展也密切相关,最初使用的材料主要是低碳钢和铸铁。然而近代制造的燃气轮机等机械,就必须有耐热、耐磨的新材料,于是出现了耐热、耐磨的合金钢。在发展飞机和人造卫星时,又出现了钛和钛合金材料以及其它高强度钢,材料的极限抗拉强度几乎提高了10倍。

为适应各类零件的磨削,磨床和砂轮的品种、性能也有了进一步发展。以外圆磨床为例,在基本型谱的基础上,产生出10个系列:精密型、高精度型、半自动型、斜砂轮架型、数控型、宽砂轮型、多片砂轮型、高速磨削型、多砂轮架型、强力磨削型等。其它各类磨床的精度、适应性和专门

化程度均有很大提高。如适于模具制造的坐标磨床具有加工精度高、使用寿命长等特点。适于高效磨削的砂带磨床,其机床功率的利用率高达96%,比一般磨削效率高5~20倍。近20年来,在我国超硬类磨料,如人造金刚石,立方氮化硼等,已广泛地应用于各种高硬度材料的磨削。

二、高精度、高难度零件的磨削

1. 精密主轴的磨削 磨削时应分析主轴的精度要求,选择好定位基准和磨床、砂轮的特性。

(1) 精密主轴技术条件分析。精密主轴的支承轴颈有较高的尺寸精度、圆度、圆柱度和径向圆跳动等技术要求。精密主轴的圆度一般在 $3\sim0.3\mu\text{m}$ 之间,因为工件的圆度会直接影响滑动轴颈的回转精度,因此对油膜轴承的主轴颈的圆度取较小的数值;主轴颈的圆柱度一般在 $3\sim1\mu\text{m}$ 之间;支承轴颈的同轴度控制在 $3\sim5\mu\text{m}$ 之间。主轴的锥孔用来安装顶尖或工具锥柄,锥面接触面应 $\geq 80\%$ 以上,表面粗糙度在 $R.0.4\mu\text{m}$ 以下,锥孔对支承轴颈的径向圆跳动为 $1\sim3\mu\text{m}$ 。主轴轴向支承面对支承轴颈的端面圆跳动一般取 $2\sim3\mu\text{m}$ 。各主要表面的表面粗糙度为 $R.0.8\sim0.05\mu\text{m}$ 。精密主轴的材料及其硬度可见表1-1。这些材料有较高的机械强度、耐磨性和热处理性能。

表1-1 精密主轴材料及其特征

材料牌号	硬 度	特 征
20Cr	渗碳淬硬, HRC56~62	低碳合金钢,有较好机械强度和耐磨性
40Cr	高频淬硬, HRC50~58	中碳合金钢,有较好的机械强度

(续)

材料牌号	硬 度	特 征
9 mn2V	790~810℃油淬， HRC56~62	含碳 0.9% 左右的锰钒合金工 具钢淬透性好，机械强度和硬度 均较高，淬火变形较小
38CrMoAlA	氮化≥HRC65	中碳合金氮化钢氮化变形小， 尺寸稳定性好，硬度高，耐疲劳 性好
18CrMnTi	渗碳淬硬， ≥HRC56	具有较高的表面硬度，冲击韧 性和心部强度，但热处理变形较 大。用于高速重载的主轴类零件
20Mn2B	渗碳淬硬， HRC56~62	

(2) 精密主轴定位基准的精度分析。中心孔作为定位基准对主轴支承轴颈的圆度等技术要求影响极大。用中心钻修研的中心孔，产生五棱多角形的机会最多，其次中心孔的误差是双棱形和三棱形。中心孔的圆度误差约以1:20的比例传递给工件外圆。图1-1 a 所示为三棱形中心孔所产生的误差，传递至外圆时有一相位角 φ 。经热处理的主轴在精磨前需磨削或研磨中心孔，其加工方法列于表1-2。由表可见序号3、4、5三项的加工精度较高。

单头行星磨削加工中心孔时，砂轮行星机构的误差，在工件旋转时多次相互抵消，从而可达到极高的加工精度，若对中心孔采用粗、精两次磨削，可进一步提高其几何精度。一般也可用扩大导孔或加深保护锥的方法来缩短锥面长度，以减小中心孔同轴度误差的影响。研磨的中心孔，其误差较磨削大，特别是当中心孔原始误差较大和热处理硬度不均匀时，都会明显影响研磨精度，同时研磨的主要弱点是不能修正中

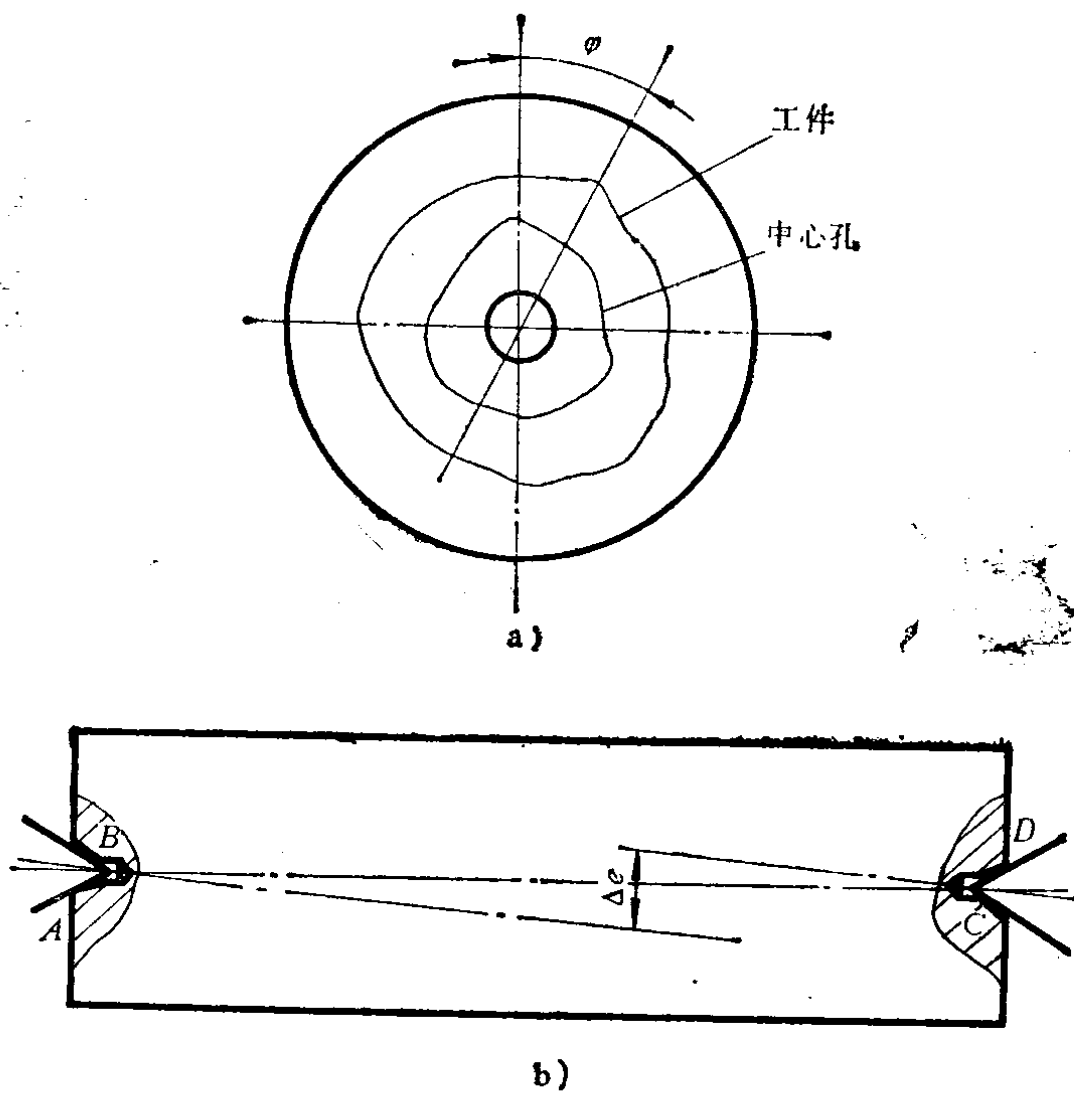


图1-1 中心孔的多角形误差与同轴度误差
a) 中心孔的多角形误差 b) 中心孔的同轴度误差

表1-2 中心孔加工方法

序号	加工方法	特 点
1	单头研磨中心孔	60°锥形研具全面接触，工件不旋转。中心孔的同轴度无法修正 $v_{研} = 3 \sim 6 \text{ m/s}$
2	双头研磨中心孔	工件在三棱顶尖和研具上旋转。用后顶尖顶紧。中心孔经 2 ~ 3 s，发生热型变形成 60°锥面

(续)

序号	加工方法	特 点
3	磨 削	砂轮与中心孔成线接触。工件在卡盘或中心架上旋转。可修正中心孔同轴度误差。 $v_{\text{磨}} = 25 \text{ m/s}$
4	振动磨削	同磨削法。砂轮沿中心孔母线方向有振动
5	行星式磨削	工件固定或旋转。砂轮绕自身轴线旋转,并作行星运动和振动。可修正中心孔同轴度误差。中心孔圆度取决于设备的轴颈圆度。工件旋转磨削,加工精度可提高10倍左右
6	母线呈弧形中心孔的滚动研磨	工件不旋转。生铁研具回转且作行星运动

心孔的同轴度误差。中心孔的同轴度误差对磨削精度影响很大。如图1-1 b所示,当主轴两端中心孔不同轴,偏移 Δe ,则使 A 、 D 两点产生接触应力,而 B 、 C 两点产生间隙,工件轴线将漂移。通常精密主轴中心孔同轴度应在 0.05 mm 以内。除上述方法外,采用单叶双曲形中心孔(图1-2 a)也能提高主轴的加工精度。中心孔锥角为 $60^{\circ} 4'$,以确保较好的接触刚度。特殊情况下可采用中心孔闷头,图1-2 b所示为一种形式,用于大型转子外圆的磨削。

中心孔的圆度可用专用仪器测量,图1-2 c所示为一种圆度仪的工作原理图。

固定的顶尖1有三条棱带互成 120° ,可移动爪2将中心孔误差值传给指示器或记录装置。下顶尖3有弹簧4支承,能保证被测量零件与测量顶尖母线的接触压力。精密主轴中心孔圆度误差应在 $2 \mu\text{m}$ 以内。

(3) 精密主轴超精密磨削的方法。磨削时需要采用高

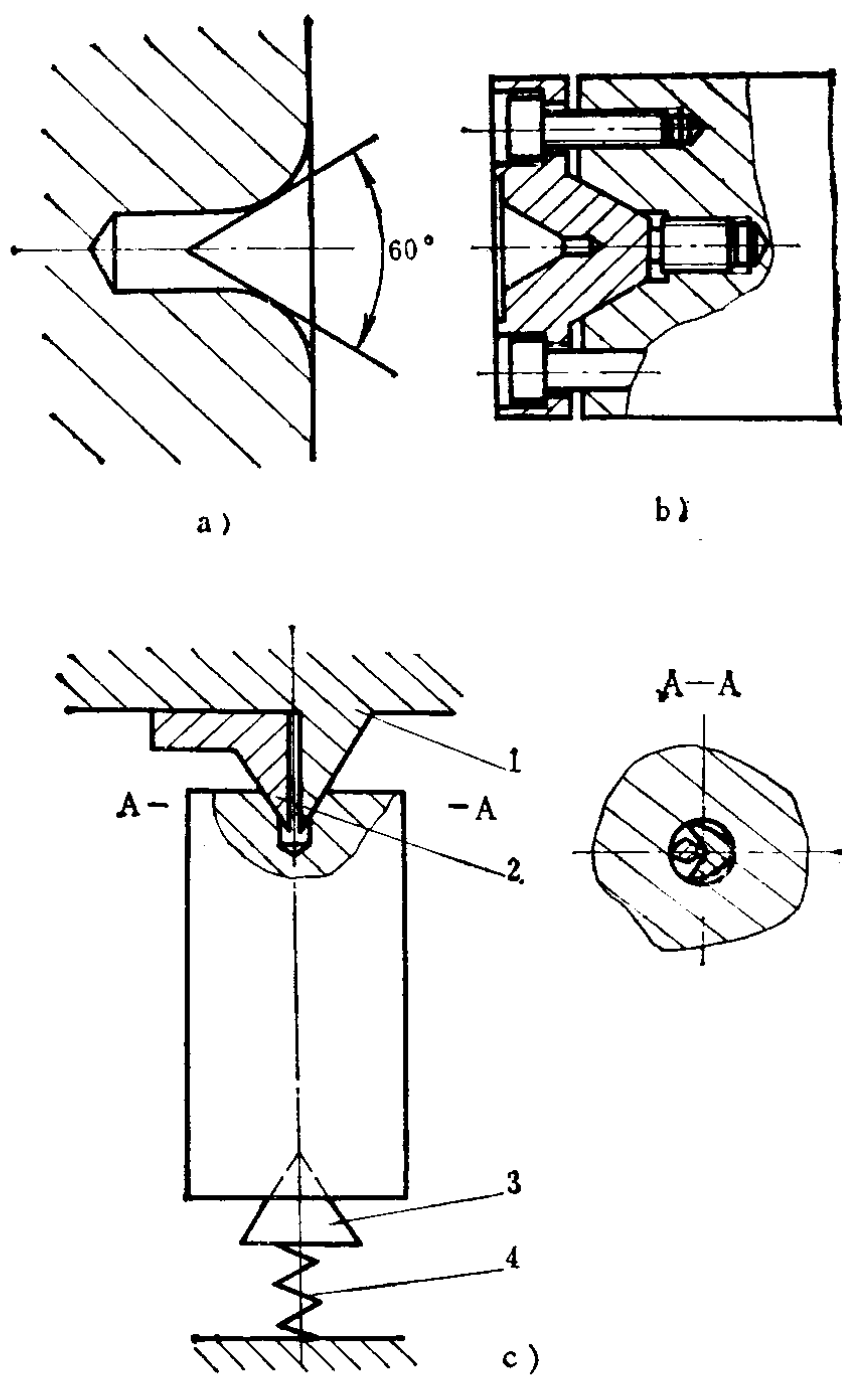


图1-2 单叶双曲形中心孔、中心孔
阀头、中心孔圆度仪

a) 单叶双曲形中心孔 b) 中心孔阀头 c) 中心孔圆度仪

1—顶尖 2—移动爪 3—下顶尖 4—弹簧

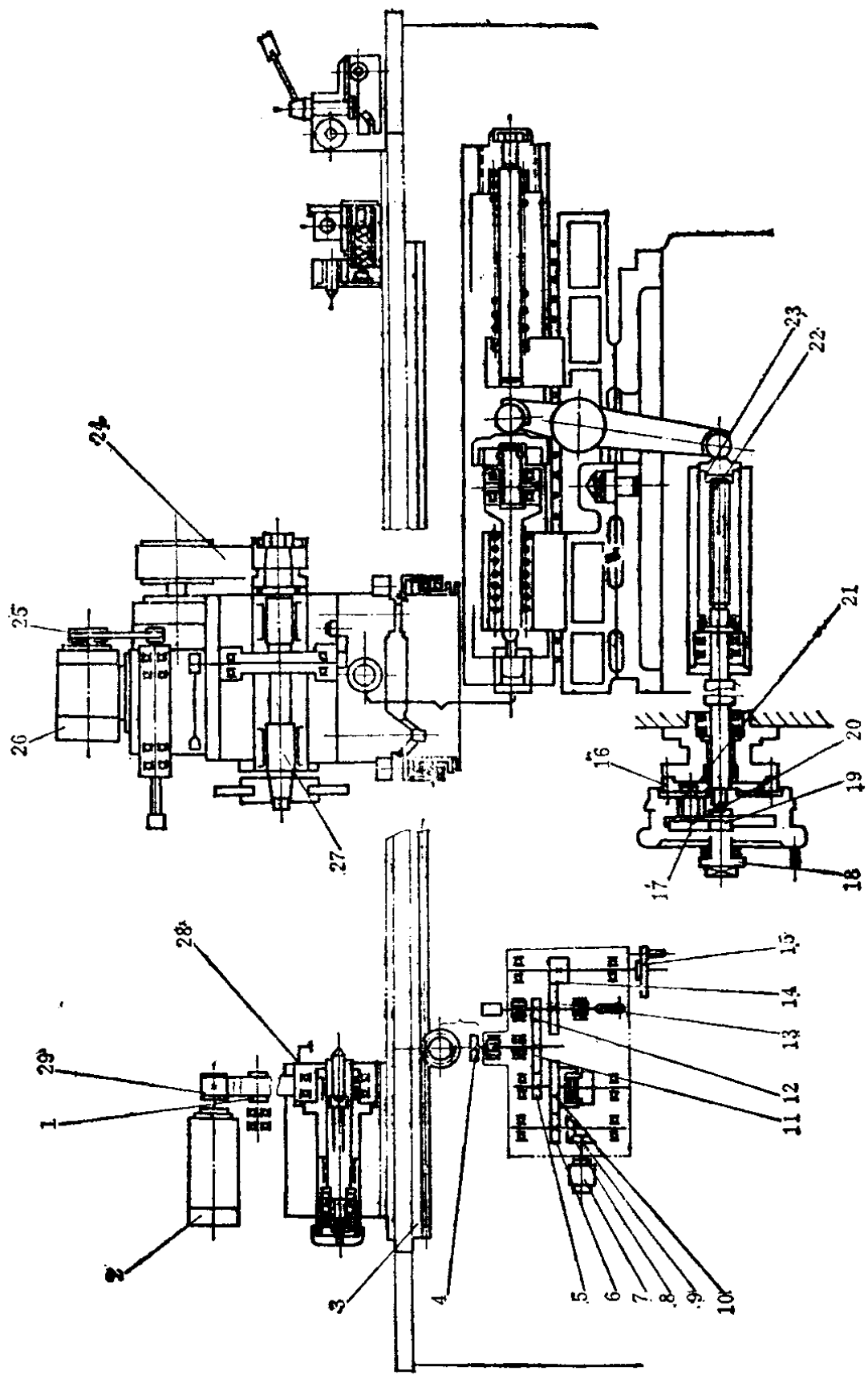


图1-3 MG1432B型磨床机械传动系统图

- 1、24、25、29—传动带 2—宽调速直流伺服电机 3—齿条 4、5、6、8、9、10、11、12、13、14、19、20、21、16—齿轮 7—光电脉冲发生器 15、17—手轮 18—捏手 22—丝杆 23—螺母 26—交流单速电机 27—砂轮主轴 28—拨盘

精度外圆磨床。砂轮的磨削线速度较普通磨削低，为 $15 \sim 20 \text{ m/s}$ 。

如图1-3所示为MG1342 B型高精度万能外圆磨床的机械传动系统图。工作台手动进给借助手轮15经齿轮14、13、12、11，最后由齿轮4带动齿条往复移动。工作台速度由数字显示，借助齿条3经齿轮4、11、5、10、6、8、9带动光电脉冲发生器7转动。头架由宽调速直流伺服电机2经传动带29、1带动拨盘28旋转可在 $20 \sim 200 \text{ r/min}$ 范围内调速。砂轮主轴27由双速电机YuDj-132M经传动带24驱动。砂轮线速度为 35 m/s 、 17.5 m/s 两级。内圆磨具主轴由交流单速电机26(YuJ-80)经传动带25驱动，主轴转速为 10000 r/min 、 15000 r/min 两级。横向进给机构可实现粗、细进给。粗进给时，由手轮17经丝杆22、螺母23，带动砂轮架移动，进给量 $f_m = \left(1 \times 2 \times \frac{1}{2} \right) = 1 \text{ mm}$ 。细进给采用双联行星齿轮机构。传动

由捏手18，经齿轮19、20、21，至齿轮16，传动比为 $1 + \frac{108 \times 56}{24 \times 28} = 10$ 。细进给量 $f_m = \left(1 \times \frac{1}{10} \times 2 \times \frac{1}{2} \right) = 0.1$

mm。砂轮与工件的接触压力可由磨削指示仪控制。

头架主轴轴承16采用可自调间隙的整体式四油楔动静压轴承(图1-4 a)，油泵输入压力为 1 MPa 。在锥面产生轴向分力与后端弹簧1的弹力平衡。端面止推轴承4、3、2、8产生静压力使主轴有良好动态精度。

调整主轴间隙可转动刻度盘6带动调整螺套5转动，再通过隔圈7，推动端面止推轴承4、3、2和8达到调整目的。拨杆9由电机经传动带13、12和拨盘10传动。

尾架(图1-4 b)分上体顶尖部分和下体部分，底座17

用螺钉19、杠杆18紧固在工作台上。上体可在具有预加负荷的滚动导轨20上移动。顶尖手动时由手柄23，经齿轮轴21上的齿轮、齿条16，压缩弹簧14使顶尖座右移。液动时通过脚踏液压调压力、油进入活塞15右端，推动活塞移动。顶尖可用夹紧块22借助齿轮轴21锁紧。

机床液压系统见图1-5。它主要包括工作纵向运动、砂轮架快速进退和润滑系统等三部分。

系统压力为 $1\sim 1.2\text{MPa}$ ，启动开停阀 c 由油泵 B_1 经换向阀 b 至油压筒 G_1 的右腔，工作台右移。左腔回油经换向阀 b 、先导阀 a 、阀 c 、节流阀 L_1 回油箱。先导阀 a 换向时，先导阀的制动锥将 G_1 的回油关小，使工作台开始制动，同时压力油经先导阀 a 、单向阀 I_2 ，推动换向阀 b 右移至中间位置，阀 b 右端直接回油，工作油缸左右互通，工作台瞬时停留，停留时间由阀 L_3 调整。此时阀 b 右端的回油经停留阀 L_3 ，先导阀 a 回油箱，最后阀口右端的回油经阀 a ， c ， L_1 回油箱。

工作台手摇机构，由于压力油经阀 c ，使 G_1 脱开而实现互锁。

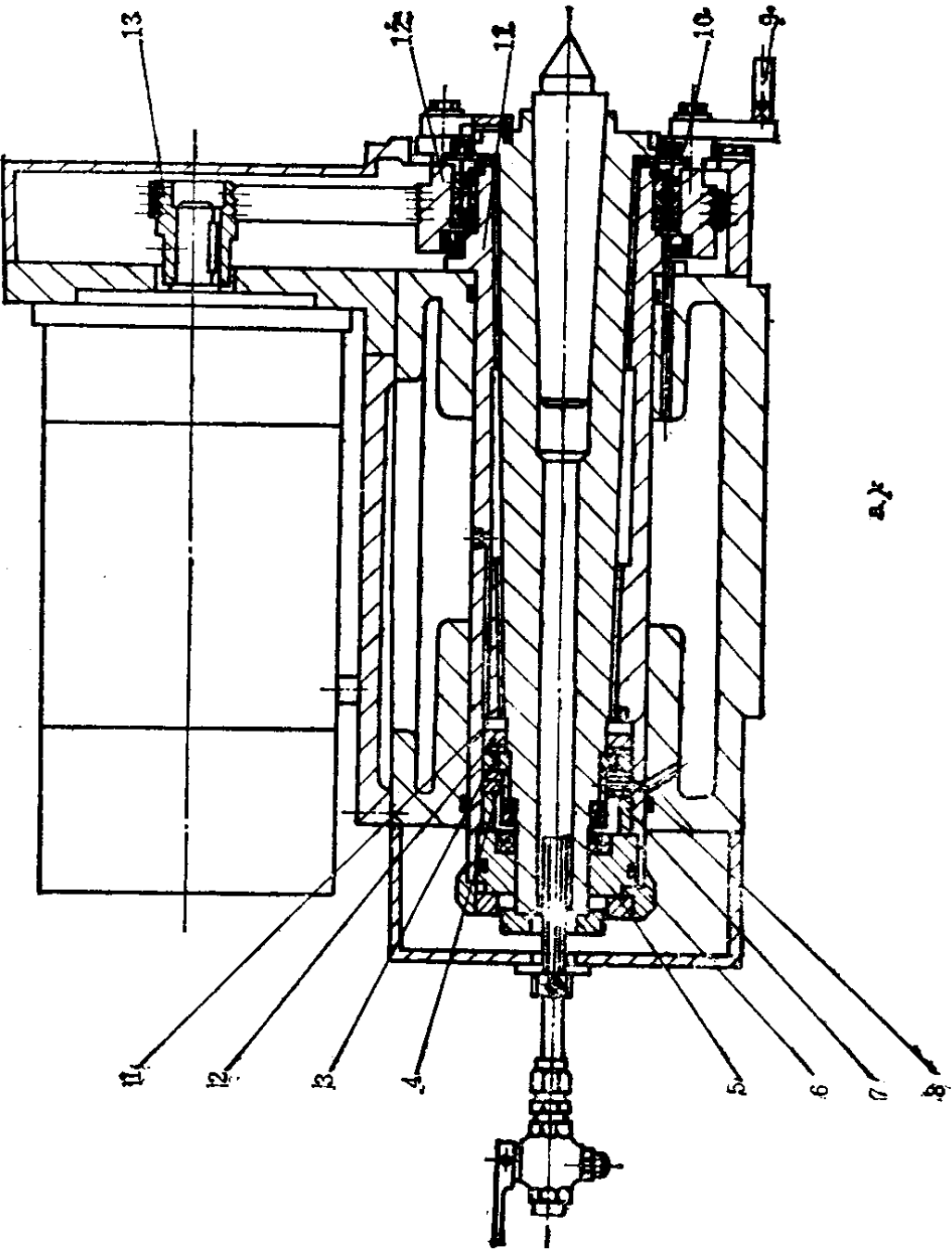
砂轮架快进油路为：压力油经二位三通转阀 c_1 至油缸 G_2 实现。

工作台导轨的润滑由机床左后面的手掀泵提供。

砂轮架主轴润滑由专门油箱提供主轴油。油泵输出压力为 $0.6\sim 0.9\text{MPa}$ 。

头架主轴由头架附设的系统提供主轴油，压力为 $0.5\sim 1\text{MPa}$ 。

(4) 精密主轴的磨削实例。图1-6所示为精密磨床主轴。材料为38CrMoAlA，其主要技术要求为：



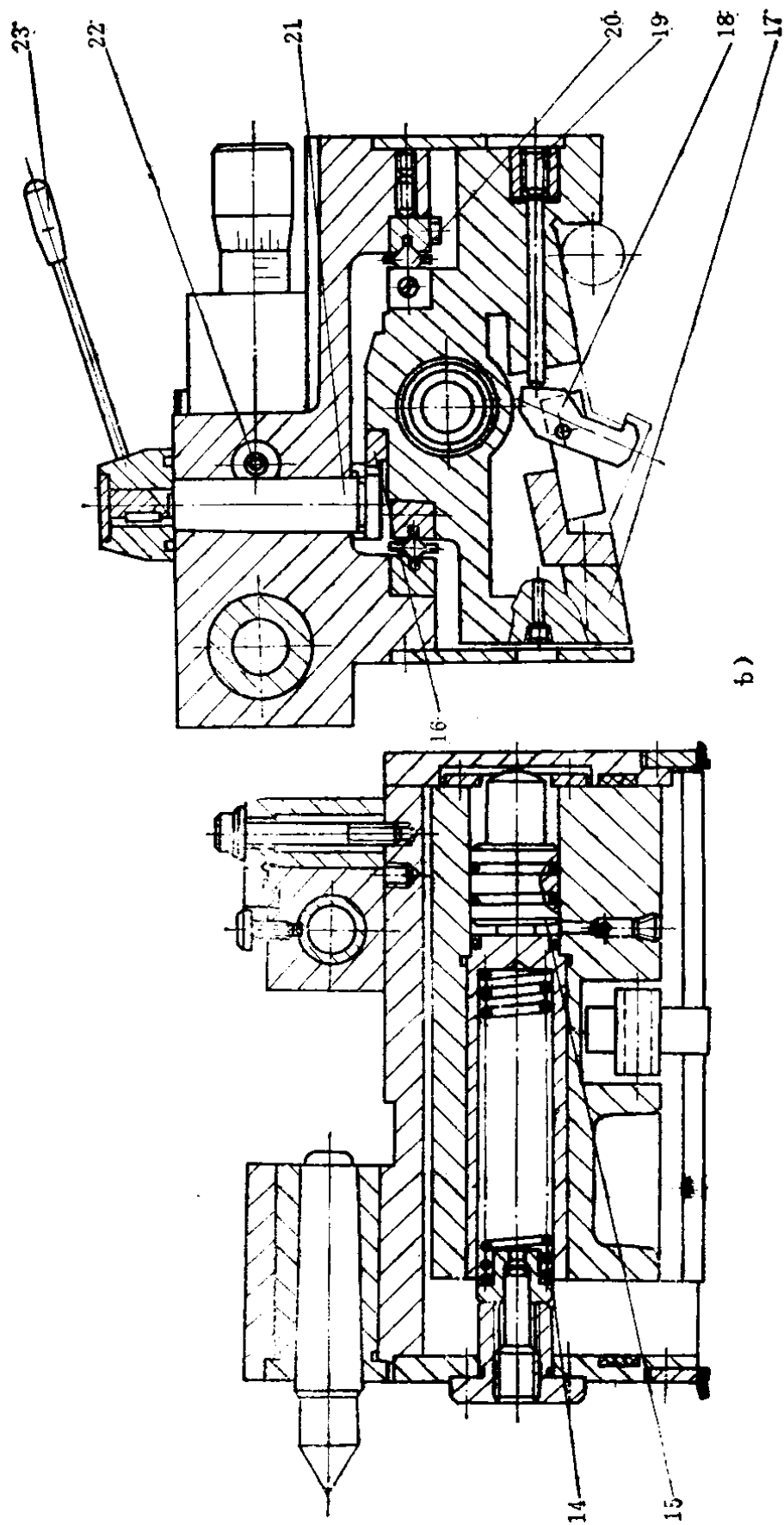


图1-4 头架和尾架结构

a) 头架 b) 尾架

- 1—弹簧 2、3、4、8—止推轴承 5—调整螺套 6—刻度盘 7—隔圈 9—拨杆 10—拨盘 11—主轴轴
承 12、13—传动带 14—压紧块 15—活塞 16—齿条 17—底座 18—手柄 19—螺钉 20—滚动导
轨 21—齿轮轴 22—夹紧块 23—手柄

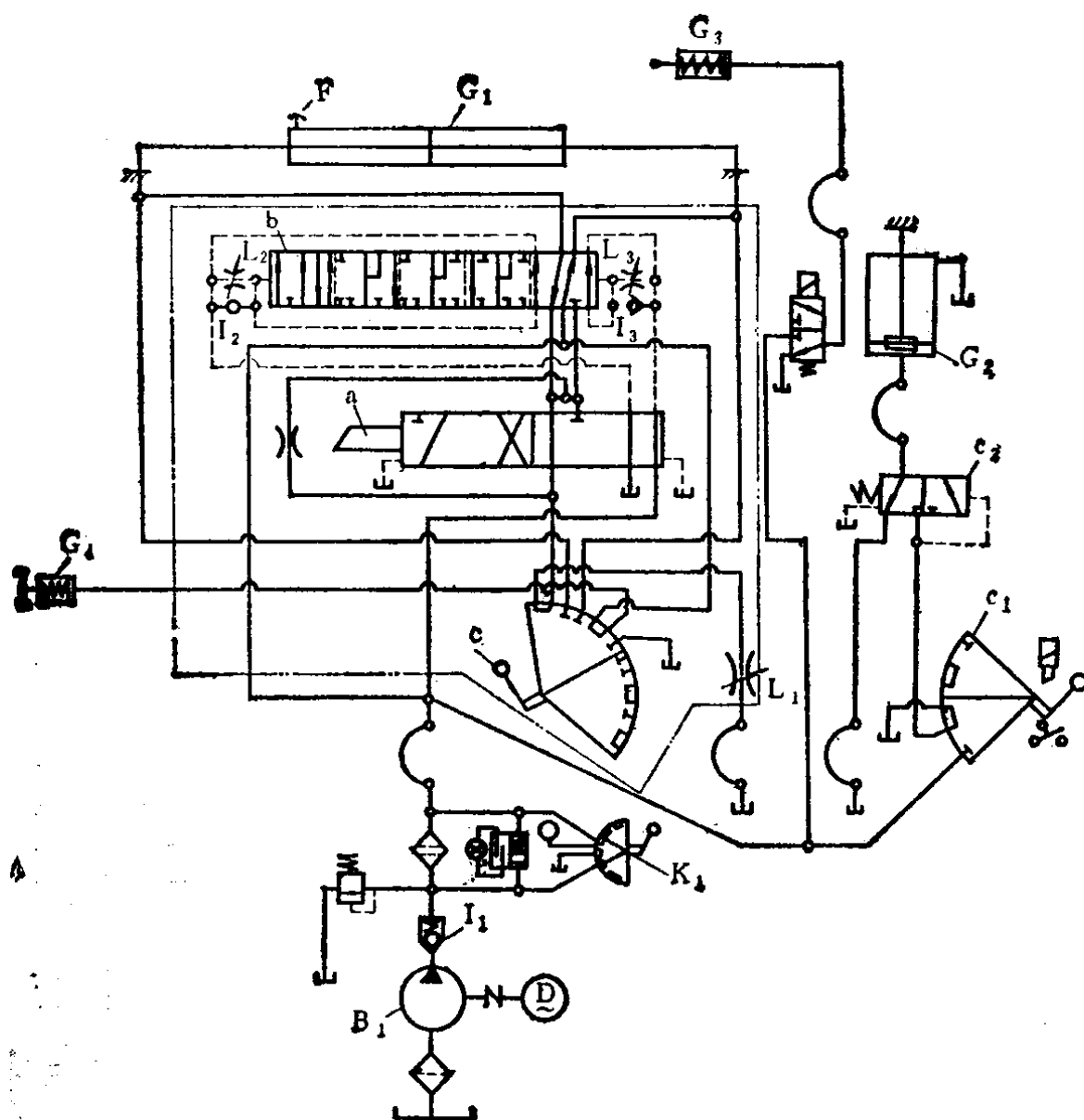


图5-5 MG1432B型磨床液压系统

- 1) 1:20锥度的表面粗糙度为 $R_{a0.05}$, 圆度公差为 $0.3\mu\text{m}$;
- 2) 1:20锥度对4*莫氏锥孔的径向圆跳动近主轴端为 0.002mm , 离主轴150mm处为 0.004mm ;
- 3) 1:20锥度和莫氏4*锥孔用着色法检查接触面大于85%;