

机械设备维修丛书

《机械设备维修丛书》编辑委员会主编



高精度孔 修理新工艺

业祖琪编著

GAOJINGDUKONGXIULIXINGONGYI

天津科学技术出版社

937

责任编辑：苏飞

机械设备维修丛书
高精度孔修理新工艺
《机械设备维修丛书》主编
编辑委员会
业祖祺 著

天津科学技术出版社出版
天津市赤峰道130号
天津新华印刷二厂印刷
新华书店天津发行所发行

开本787×1092毫米 1/32 印张4.125 字数83 000

1988年4月第1版

1988年4月第1次印刷

印数：1—5 430

ISBN 7-5308-0192-9/TH·11 定价：2.50元

2.50

内 容 提 要

本书推荐一种组合式拉（推）刀，用于维修（或单件、小批量加工）各种高精度孔。其主要特点是效率高、精度好、经济效益显著、不受维修及加工批量的限制，可同时加工、修理各种变尺寸孔。

顾 问

聂春荣	雷天觉	史绍熙	王之玺
孙祖望	潘 琪	姚赛夫	徐碧宇
蒋才兴	杨红旗		

编 辑 委 员 会

马镜波	宋延兰	高 衡	徐滨士
刘世参	易新乾	李国枢	张庆荣
黄天桂	李志远	刘 忠	王立源

常 务 编 委

宋延兰 高 衡 黄天桂

前 言

机械维修是国民经济维持再生产的必要手段，是节约能源和资源的重要途径，是四化建设的重要保证。做好机械维修工作，能使机械设备在整个寿命期内维修的费用低，创造的价值高，从而获得最佳经济效益。

我们组织编写这套《机械设备维修丛书》，目的在于帮助机械设备维修行业的工程技术人员和工人通过自学了解基础知识和维修的新工艺、新技术，以提高维修机械的能力，促进我国机械维修事业的发展。

这套丛书系约请国内机械维修方面的专家和科技人员，选择自己有较深研究或有较丰富实践经验的专题分册编写。内容力求理论联系实际、层次分明、文字简练、通俗易懂，使具有初中以上文化程度的工人就能独立自学运用。

本丛书由工程机械维修研究会推选的《机械设备维修丛书》编辑委员会组织编写与审定。对本丛书的意见和建议请函告《工程机械》编辑部（地址：天津市丁字沽三号路）。

工 程 机 械 维 修 研 究 会
《机械设备维修丛书》编辑委员会

目 录

一、高精度孔及其使用要求.....	(1)
1. 轴承安装座孔和配合孔	(1)
2. 传动装置的配合孔	(2)
3. 维修用定位孔、定位锁紧孔和导向孔	(3)
二、传统的修理工艺	(4)
1. 孔的磨损规律	(4)
2. 毛坯尺寸的恢复	(4)
3. 机械加工件的尺寸恢复	(5)
4. 孔的两种典型修理方法	(5)
三、采用组合式拉（推）刀修理高精度孔.....	(10)
1. 新工艺的主要特点	(11)
2. 组合式拉（推）刀的设计与选用	(25)
3. 被修理孔的精度保证措施	(51)
4. 组合式拉刀的标准化的	(86)
四、应用实例	(89)
1. 大功率V型高速柴油机连杆大头IT7级轴承孔的修理	(89)
2. 直径40~50毫米孔的修复	(95)
3. 用组合式推刀修理2500、7500、3200、15000、17300、 40000和42500千瓦水轮发电机磁轭冲片叠码贯穿孔.....	(99)
4. 东方红-20拖拉机前轴 $\phi 30$ H7孔的修复.....	(109)
5. 解放牌CA-30越野汽车后桥传动叉 $\phi 39$ H7孔的修复.....	(111)
五、零件修理精度分析	(114)

1. 被修复表面的尺寸公差和表面质量(114)
 2. 被修复表面与其他表面间有尺寸联系的处理(119)
 3. 被修表面的形状位置公差(121)
-

一、高精度孔及其使用要求

机械零件上的所谓“高精度孔”，是指其尺寸和配合精度具有IT9~IT7级公差，表面粗糙度 $R_a \leq 0.4$ 微米的孔。这些孔磨损或磨伤后，通常都采用镗削或铰削工艺进行修复。

高精度孔可按用途和承载情况分为以下三类：

1. 轴承安装座孔和配合孔

承受载荷的滚动轴承安装座孔和滑动轴承配合孔，要求能在高转速、重负荷情况下保持较长的使用周期。对于这类孔的尺寸精度、表面粗糙度和几何精度都要求较高。一个 $\phi 80$ 毫米的轴承座孔，其尺寸精度要求不低于H7，而圆度和圆柱度一般都要求在0.008~0.013毫米范围内。采用过渡配合时

（滑动轴承外圈与座孔）为 $\frac{H7}{n6}$ ，间隙配合时（滑动轴承孔

与轴的配合）为 $\frac{H7}{h6}$ 。

135系列柴油机传动机构定时惰齿轮内孔与206型单列向心球轴承外圈的过渡配合就是 $\frac{H7}{h6}$ ；高速柴油机曲轴连杆轴

颈与连杆大头轴承孔的间隙配合是 $\frac{H7}{e8}$ ；汽油机活塞孔与活

塞销为过盈配合 $\frac{H7}{u6}$ 。为了保持工作平稳、摩擦阻力小，这

类孔的表面粗糙度均要求 $R_a \leq 0.4$ 微米。

2. 传动装置的配合孔

这类孔一般起传力、换向和导向作用。因此，必须具有一定的配合精度，才能准确地传力，引导其改变力的方向。这类孔的尺寸精度一般要求达到H9~H8的公差，圆度和圆柱度要达到0.011~0.016毫米，其配合精度一般为 $\frac{H9}{f9}$ 或

$\frac{H8}{f8}$ 的间隙配合。与之相配合的表面，表面粗糙度应达到 $R_a \leq 0.8$ 微米。如果这些孔位于机械设备的封闭体内（如拖拉机后桥壳内），工作条件较好，采用上述尺寸和几何精度定可满足要求；若暴露在机械设备外部，则需提高一级或半级。由于这类孔的精度往往直接影响机械设备的操纵灵敏性和准确性，要求在维修时必须保持和接近这一精度。汽车后桥传动叉是一个传力零件，其传力孔尺寸为 $\phi 39^{+0.027}$ 毫米，它与十字轴轴承套之间的过渡配合为 $\frac{H7}{js6}$ 。经长时间使用

后，将会使配合受到破坏，甚至间隙过大，传动效率显著下降，此时必须进行修复。东方红-20拖拉机前轴 $\phi 30H7$ 孔承受前轮通过前轴传来的力（行走条件多变，经常承受交变载荷，而且冲击载荷较多），使孔与轴本身的形状误差常常超过标准值，使其配合间隙也超差，必须进行修复。丰收-35拖拉机前轴 $\phi 35H8$ 孔，东风-50拖拉机前轴 $\phi 45H8$ 孔等，都具

有相同情况。丰收-35拖拉机转向器壳左右垂臂轴安装孔 $\phi 35H8$ 支承着左右转向垂臂，使拖拉机转向。由于暴露在机体外部，灰砂易进入孔内，造成磨损，工作条件恶劣。如不保证修理质量，必将直接影响拖拉机的转向灵活性和准确性。

3. 维修用定位孔、定位锁紧孔和导向孔

这类孔的尺寸精度、几何精度、位置精度和表面光洁度都要求很高，以便确保被修产品达到精度要求。这就是通常所指“二类工装”零件上的孔。如：模具、夹具的定位孔和既定位又锁紧的零件孔或导向孔。某些装配夹具上的个别重要孔，是保证夹具动作准确性的关键。为保证其使用要求，尺寸精度都要求在H8以上，几何与位置精度在 $0.008\sim 0.015$ 毫米以内，而粗糙度要求 $R_a\leq 0.4$ 微米。钻、镗、冲模板上的定位和导向孔则要求更高（尺寸精度要求在H8以上，几何精度和位置精度要达到 $0.005\sim 0.010$ 毫米）。

由于上述三类孔直接承载，必须准确操纵和正常运转，因而必须设法延长其使用寿命，保证机器工作的可靠性。

二、传统的修理工艺

1. 孔的磨损规律

机械设备经过长期使用，零件、部件和整机的各种参数都会发生变化。这些变化和耗损主要有三个原因：

- ①周围介质和操作工人的作用；
- ②与机器运转及各机构工作有关的内部能源的作用；
- ③材料内部的潜在因素(铸件内应力和装配内应力等)。

这三方面因素突出反映在零件的孔及其附近区域。这些孔的加工越精密，其表面质量和周围过渡越平滑，孔的损坏就越少。孔的自然磨损也会使连接件表面形状发生畸变，从而使整个机械的主要性能参数和几何精度下降。当孔的误差达到一定程度时，机械就发生了故障。

所以，孔的损坏形式主要是事故性磨损和自然磨损两种。承受交变应力作用的零件还会因疲劳而产生裂纹。迅速修复这些零件，使能继续使用，其经济价值也是很高的。孔的传统修理工艺主要包括两个方面：一是毛坯恢复准备，二是机加工恢复尺寸。

2. 毛坯尺寸的恢复

孔的磨损规律是，磨损后，尺寸变大。恢复尺寸的方法一般有两种：一是采用堆焊、电镀、喷涂和刷镀的方法缩小孔的尺寸；二是采用镶套的方法，即把已磨损或变形孔的孔

径扩大 3 ~ 5 毫米, 另制一个材质与实体基本相同的衬套, 以过盈配合压入扩大的孔中。究竟选用哪一种方法, 要根据具体情况确定。

3. 机械加工件的尺寸恢复

孔的毛坯尺寸恢复后, 还要经过多道加工工艺, 使其恢复尺寸。高精度孔的修理工艺主要有以下几种:

(1) 将 $\phi 20$ 毫米的孔修复到 7 级精度(H 7), 传统的工艺是: 用车刀镗孔到 $\phi 19.80$ 毫米 $\rightarrow$ 用粗铰刀铰至 $\phi 19.94$ 毫米 $\rightarrow$ 再精铰至 $\phi 20$ H 7 毫米。许多修理工厂多采用多次铰孔来保证高精度孔的精度。譬如: 先用车刀镗孔到 $\phi 19.80$ 毫米 $\rightarrow$ 粗铰至 $\phi 19.90$ 毫米 $\rightarrow$ 首次精铰至 $\phi 19.95$ 毫米 $\rightarrow$ 再次精铰至 $\phi 20$ H 7 毫米。也有把粗铰分为两次的。在一些修理条件较差的小厂, 一般是用车刀镗到 $\phi 19.85$ 毫米后就直接铰至 $\phi 20$ H 7 毫米。

(2) 将 $\phi 50$ 毫米以上的孔要修复到 7 级精度 (H 7), 传统工艺通过粗镗 $\rightarrow$ 半精镗 $\rightarrow$ 精镗三个工步来实现。加工余量较大的孔, 有时还分为粗镗 1 $\rightarrow$ 粗镗 2 $\rightarrow$ 半精镗 $\rightarrow$ 精镗。例如, 镗 $\phi 80$ (H 7) 孔的各工步尺寸为: 原始孔 $\phi 78.50 \rightarrow$ 粗镗 1 达到 $\phi 79.20 \rightarrow$ 粗镗 2 至 $\phi 79.75 \rightarrow$ 半精镗至 $\phi 79.95 \rightarrow$ 精镗至 $\phi 80$ (H 7) $\rightarrow$ 再进行一次无进给镗削, 以消除弹性变形, 提高几何精度和表面光洁度, 达到 $R_a \leq 0.4$ 微米。

4. 孔的两种典型修理方法

(1) 镗孔 镗孔是机械维修中常用的加工方法之一 (特

别是大直径孔)。可以作为粗加工,也可以作为精加工,加工范围很广。在车床、转塔车床、立式车床、卧式镗床、立式镗床、金刚石镗床,甚至各种动力头组成的简易镗床上都可以进行不同尺寸孔的加工。它不仅适合大批量生产,也适合小批和单件的维修性加工。直径大于100毫米的孔几乎全部采用镗孔的方法加工。镗孔的主要弊病是加工质量和生产效率都比较差,原因是:

①镗孔时刀具尺寸受到被加工孔径的限制(包括在车床上镗孔)。孔越小,刀杆尺寸越小(一般刀杆直径等于被镗孔直径的 $1/3$),因而影响了镗刀的刚度及夹紧状况(在镗床上镗孔时,镗刀截面尺寸往往很小,不易在镗杆中牢固地夹紧)。因此,镗孔的切削用量比较小,要达到同车外圆接近的加工质量,往往需要较多的工步。要想提高加工质量,镗刀一般采用较大的主偏角,以减少镗孔时的径向切削力。镗刀安装时,刀尖应略高于回转中心,这和切削外圆时把刀尖装得低于中心线一样,可以减少切削时的振动。镗刀的后角一般要大,避免镗刀后面与工件表面相碰(特别是孔径很小时)。由于刀具后角较大,刀具能承受的切削力就比较小,刀具的耐用度也较低。在镗一些较深的孔时,往往要刃磨若干次,这对于镗孔质量必然有影响。

②镗孔的生产率比较低。

③镗孔的操作技术要求较高。常用的镗刀是单刃刀具。镗孔尺寸要依靠调整刀具,采用试切法加工来保证。调整刀具要有一定的经验(特别是对于H7级以上精度的孔)。调整时,要靠原有孔进行“找正”。“找正”误差又直接影响加工精度。此外,材料的弹性变形、刀具耐用度、刀尖圆角

半径等对表面粗糙度有很大影响。给不同材质的工件镗孔时，刀具角度和切削参数都有不同要求，操作者必须具有一定的切削原理知识和灵活的切削参数匹配经验。镗孔系时，要求工件定位非常准确。否则，孔的位置精度会影响到整台机器的性能要求。

(2) 铰孔

①铰孔的工艺特征 铰孔是机械维修行业广泛应用的一种修理方法。铰刀分为固定尺寸式和可调尺寸式两种。固定尺寸式铰刀与钻头、扩孔钻一样，都是定尺寸刀具。它是以刀具本身的尺寸精度来保证被维修孔的尺寸精度。可调尺寸式铰刀，则是根据刀具尺寸调整精度，以控制被维修孔的尺寸精度。

用固定尺寸式铰刀铰孔的加工质量比较高，一般能达到IT 9 ~ IT 7 级精度公差，其表面粗糙度一般均能达到 $3.2 \mu\text{m} \geq R_a \geq 0.8 \mu\text{m}$ 范围。

铰孔时用可调尺寸式铰刀，多为手工操作，即手动铰刀。这种铰刀的精度主要决定于尺寸调整精度，而且可以边铰削边进刀，从而切去余量达到尺寸要求。采用可调尺寸式铰刀进行铰削，重要的是可调铰刀片的直径和每个刀片离圆心的高度要调整得相同，否则孔的尺寸精度和粗糙度会因单刃切削而扩大或缩小尺寸，还会因单刃切削发生振动而表面产生波纹，提高表面粗糙度。

铰刀的切削余量很小。一般在 $\phi 5 \sim \phi 80$ 毫米范围内，粗铰余量为 $0.15 \sim 0.35$ 毫米；精铰仅为 $0.04 \sim 0.10$ 毫米。精度要求越高的孔，铰削次数越多，但每次进给量很小，生产率很低。太小或太大的加工余量都会影响铰孔质量。余量太

小，不能把上一工序的加工痕迹除掉；余量太大，会因发热多而使铰刀在铰削时膨胀，使铰刀直径增大，被铰孔径扩大，铰刀也会因负荷过大而迅速钝化。

铰孔的切削速度是较低的，特别是手铰，因为切削速度太高不但会因发热变形增加而影响铰孔质量，同时会使铰刀耐用度大大降低，因而铰削钢材时速度特别低（粗铰4~10米/分，精铰1.5~5米/分）。铰削铸铁时可以稍高一些，一般为8~10米/分。

铰孔时的走刀量可以大一些，因为铰刀具有很小的顶角 φ ，切屑厚度 $a = S \cdot \sin \varphi$ ；一般 $S = 0.5 \sim 3.5$ 毫米/转。当然走刀量过大会因切削力和切削热增加而影响质量。但是走刀量过小则会因切削厚度太薄，以致切削锥的刃口不能连续切削而发生滑行和啃刮现象。这样，不但影响加工表面的粗糙度，还会引起刀具的振动和振摆，使孔径扩大，铰刀也将迅速地磨钝。

②铰孔的质量 孔径的扩大 经铰削后的平均孔径总要比铰刀直径大一些。正常情况下，扩大值是一定的，这在铰刀的制造过程中已考虑到，预先把铰刀直径的上限做得比孔径上限小。此值即为铰刀的颤动量 P ，在孔径 $\phi 5 \sim \phi 85$ 毫米范围内， P 值为0.007~0.018毫米。但是，在工作情况不正常时，孔的扩大现象很严重，往往大大地超出了一般数值，致使工件因孔径过大而报废。产生这种现象的原因常常是铰刀中心线与铰刀回转中心不重合和偏斜、刀刃上的积屑瘤、铰刀刃磨不良及刀刃磨损不均匀等因素所造成。最常见的是铰刀中心线与铰刀回转中心不重合和偏斜。

加工表面不光洁 影响表面粗糙度的主要因素有：余量

过大或过小、切削速度与走刀量的参数不匹配、积屑瘤的产生、铰刀的刃磨质量不高、工件材料不均匀、冷却润滑液使用不当、铰刀磨钝等等，无一不直接影响到加工表面粗糙度。

过去认为铰刀做成不等分齿可以避免因工件材料不均匀或个别硬点而使被加工孔形成棱面，影响粗糙度。现在证明，等分与不等分齿的效果是一样的。产生棱面的原因是铰孔过程中有振动，而采用不等分齿并不能防止振动。铰孔过程中，还必须保证被铰削孔与其他表面间相互位置的准确。回转体零件常常要求孔与外圆表面同轴、孔和端面垂直等。因此，铰孔的位置精度有时需要有夹具的导向元件来保证。

综上所述，用镗孔和铰孔来维修加工高精度孔既不能保证质量，又不能提高效率。必须寻求更为经济实用的维修加工方法。

三、采用组合式拉(推)刀 修理高精度孔

用拉削修理高精度孔是机械维修行业的一项重要工艺改革。这项工艺的关键是拉刀的设计、制造、修磨等工序。本书介绍的这种组合式拉(推)刀,经多年使用证明,是一种省时、省钱、质量能得到可靠保证的工艺方法。

拉削工艺发展至今已有90余年的历史,但拉刀一直是一种定尺寸刀具,即一把圆孔拉刀只能拉制一个尺寸的孔。同时,拉力制造工艺复杂、成本很高、拉床设备费用昂贵且用途单一。所以,几十年来,这种高精度、高效率工艺只能用于大批量生产中,单件小批生产中几乎无人使用,更谈不上用于机械维修了。这实质上限制了拉削工艺的发展。

如果能够设计一种加工尺寸可在较大范围变化的特殊拉刀,则拉削工艺就完全可以用于修理高精度孔,并作为粗精加工合一的工序。笔者经过反复研究,于1973年设计了第一把“组合式拉(推)刀”,首先用来维修高速柴油机IT7级连杆轴瓦孔。修复后的连杆经装机运行证明,达到了技术要求,柴油机运转性能良好。继后又发展到修理汽车、拖拉机零件孔和25000千瓦大型水力发电机磁轭孔等。实现了省时、省钱、操作简便、加工精度高的高指标,具有初中以上文化水平的工人均能操作使用。在机械设备维修中应用“组合式拉(推)刀”来维修高精度孔可以获得高精度、高效率、高