

高压磨料水射流二次加工快速定位方法的研究

吴逾强, 张仕进, 王舒, 杨凤玲, 陶辉

(重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 随着误差补偿技术的发展, 磨料水射流当前已成为了一种精密加工技术。在其加工过程中, 通常遇到需要对已有精确外形特征的工作进行二次加工的情况。在此条件下, 精确地定位是十分重要的。但磨料水射流与传统加工方式不同, 不能通过刀具的接触来精确定位。本文提供了一种简单、易行的快速寻找基准方法, 这种方法经过简单操作便可获得精确定位基准, 具有较大实际意义。

关键词: 磨料水射流; 快速定位; 二次加工

中图分类号: TG664

Research on Quick Locating Method in Abrasive Waterjet machining process

Wu Yuqiang, Zhang Shijin, Wang Shu, Yang Fengling, Tao Hui

(State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: During abrasive waterjet machining process, a situation we often faced is that some features need to be machined according to some other features which have been finished in previous process. Therefore, to get accurate features, accurate locating is very important. Unlike some traditional machining methods, accurate locating can be realized by touching tool with exist features, in abrasive waterjet machining process, the above method can not be used since waterjet beam might change. This paper explored a quick locating method. With this method, get quick location becomes possible.

Key words: AWJ; quickly locate; second processing

0 引言

作为当前唯一一种冷态高能束切割技术, 高压磨料水射流已经发展了三十多年。其冷态加工的特性及其对材料无选择特性决定了其广大的适用范围, 尤其是很多传统方式难以加工或不能加工的材料, 如钛合金、陶瓷、复合材料以及各种热敏、压敏、多层材料等等^[1], 高压磨料水射流更成为其不可或缺的加工工具。

2005 年美国水射流会议上, Zeng 与 Olsen 提出用摆动头补偿切割锥度的设备与方法^[2]标志着磨料水射流已成为了一种精密加工手段。目前, 精密的五轴联动水射流机床结合独特、有效的控制方法, 加工出尺寸误差为 $\pm 0.025\text{mm}$ 的高精度零部件已不再是梦想。正是由于这个原因, 高压磨料水射流当前已经成为一种主流机加工技术。

基金项目: 教育部高等学校博士学科点科研基金 (20100191120002)

作者简介: 吴逾强 (1986—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 矿业工程, 高压水射流

通信联系人: 张仕进, 副教授, 主要研究方向: 机械工程、采矿工程与安全工程方面的教学与研究工作. E-mail: zhangshij@hotmail.com

对于大多数情况而言,水射流可直接加工出整个零部件尺寸,因此,不需要考虑定位基准。然而,对于一些已经经过初次加工的零部件,当用水射流进行后续加工时,为保证相对位置精度,前工序完成的尺寸便需要作为水射流加工的定位基准。这种定位基准一般以单面及相互垂直两面情况居多。采用传统方法加工时,可以采用刀具与定位基准接触的方式寻找定位基准,这种方法简单、易行,不需要另外的附件。然而,此种方法不适用于高压水射流。其主要原因是高压水射流刀具是一把“软刀子”,这把“软刀子”不但形状不规则,而且随着喷嘴的磨损形状也会变化。因此,采用与传统刀具同样的寻找基准方式无法保证定位基准的精确寻找。传感技术及计算机信息技术的发展为精确寻找定位基准提供了新思路,然而,这些新思路需要增加昂贵的附件及其数据处理系统,因此,在实际应用中难以普及。针对上述情况,本文提供了一种简单、易行的快速寻找基准方法,这种方法经过简单操作便可获得精确定位基准,具有较大实际意义。

1 五轴高压水射流机床技术

五轴高压水射流机床技术在传统水射流机床的基础上添加了切割头的摆动系统,并通过精密的误差补偿方法大大提高了机床的切割精度与切割效率。目前主流的五轴水射流机床一般由三个平动轴和两个旋转轴组成,即由 X、Y、Z 三个直线运动轴和 A、B 两个旋转运动轴共同组成一个五轴联动运动系统,其整体结构如图 1 所示。

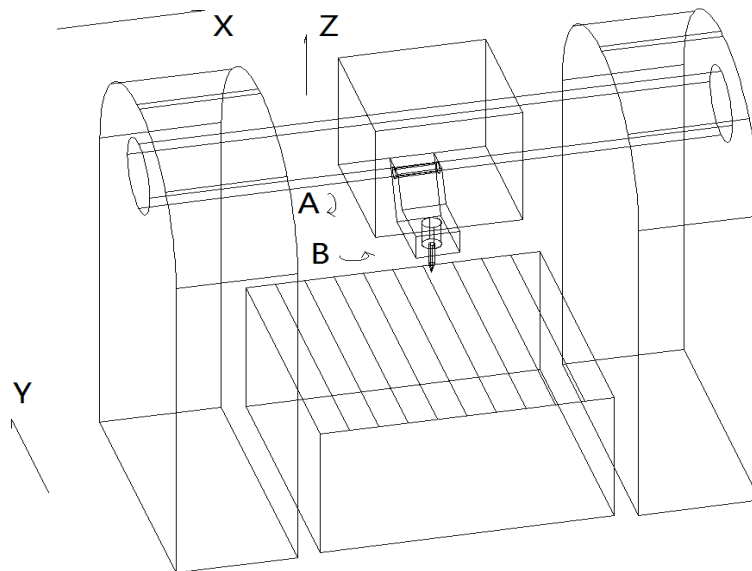


图 1 五轴高压水射流机床结构示意图

Fig. 1 5-Axis AWJ structure diagram

1.1 摆动头与误差补偿技术

众所周知,磨料水射流切割质量受众多因素的影响,通常存在切割轮廓的精度低和切割断面粗糙以及有锥度的情况。传统的水射流控制系统不能很好的匹配其加工特点,工艺参数选择主要依赖于操作者的经验^[3]。尤其是数控机床 G 代码编程的控制方式对于水射流过于复杂,并且很难针对水射流切割的特点进行相应的补偿。但随着计算机辅助制造技术的成熟、水射流误差补偿技术的完善以及精密五轴水射流设备的出现,新一代的水射流加工技术可通过 CAD/CAM 系统快速绘图,并根据所选材料的种类、厚度、加工质量等参数自动设定喷嘴偏转角度以补偿切缝锥度,配合 CNC 系统即可进行精密加工^{[2][4]}。为了实现水射流切缝锥度的补偿和三维加工,五轴高压水射流设备的喷嘴通常会被设计成在一锥形空间中实现任意角度的偏转,如图 2 所示,这样的结构外加精密的控制技术,水射流便能实现规则的三维零部件精密切割及二维精密切割^{[2][5]}。

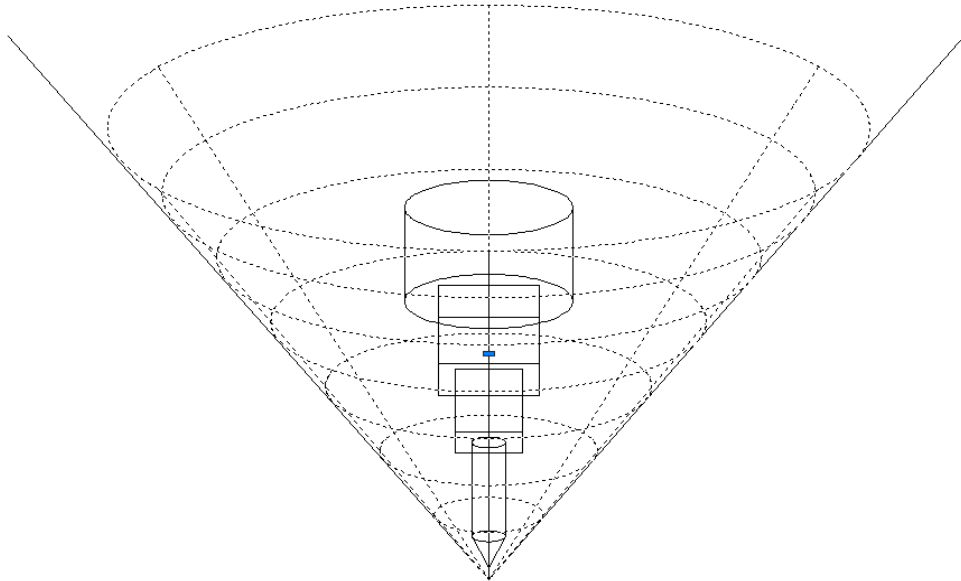


图 2 喷嘴摆动机构的运动范围
Fig. 2 Motion domains of tilting head

1.2 加工定位方式

五轴磨料水射流加工一大的特点就是一次成型, 无需二次加工, 因此对待加工材料的装夹并没有太多的定位要求, 通常只要能保证材料的各方向余量足够, 就能加工出理想精度的工件, 这种方式的优点在于材料装夹方便, 无需复杂定位, 并可以最大限度地提高材料的利用率, 缺点则在于对已加工出外形的工件很难精确寻找到定位基准, 这一缺点在一定程度上阻碍了水射流的进一步应用。

2 定位误差及其产生原因

定位误差是指由于工件定位不准确而造成的某一工序在工序尺寸或位置要求方面的加工误差。对于任意定位方案, 只要其可能产生的定位误差小于工件有关尺寸或位置公差的三分之一到五分之一, 一般就认为该定位方案可行。

当工件外形经过加工后, 用水射流再次加工的话, 就容易出现定位误差。这是由于水射流加工特性所造成的, 水射流的射流是柱状的, 柱状射流实际上确定了两个平行的坐标系, 但由于水射流的射流直径是随着其喷嘴的损耗逐渐变化的, 这两个坐标系之间的间距并非是一个定值, 而是不断变化的。这个变化的值也使得水射流机床无法确定一个固定的装夹位置来保证定位精度。当然, 这个值的变化速度并不是很快, 但在长期的使用过程中是无法忽略的。

3 快速定位方法

五轴超高压磨料水射流设备主体结构如图 1 所示, 根据此结构, 建立如下坐标系: 机床坐标系 $O_L X_L Y_L Z_L$, 射流右侧坐标系 $O_R X_R Y_R Z_R$, 工件坐标系 $O_O X_O Y_O Z_O$, 如图 3 所示, 其中 R 是射流的直径。

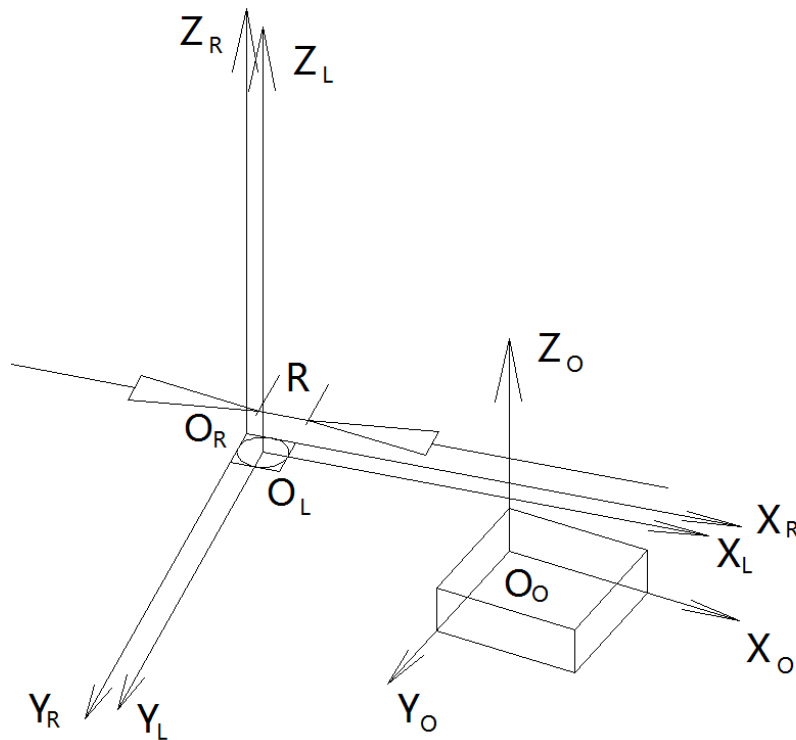


图 3 坐标系设置

Fig. 3 Relative coordinates

对于已进行过外形加工的工件，其工件坐标系就已经实际确定，介于本文讨论的是其定位方式，为简化讨论模型和不引入外来误差，做出以下假设：工件外形是规则的，其尺寸已知并且是理想的。

要使工件正确定位，必须确定夹紧后的工件坐标系与机床坐标系之间的相对关系。一般来说，2 个坐标系间存在 6 个相对自由度，想要完全测得工件坐标系与机床坐标系之间的关系过于困难。并且对于水射流加工设备，其机床坐标系亦即射流中心的坐标系通常是不可确定的，这是由于不可能通过射流的运动轨迹获得一条实际的射流中心的轨迹。实际中能获取到的只能是射流的边缘的轨迹，即图 4 中的射流右侧坐标系 $O_R X_R Y_R Z_R$ 。如果已知射流右侧坐标系中的一点 X 、 Y 、 Z 则该点在机床坐标系中的坐标 X' 、 Y' 、 Z' 可通过如下转换获得：

$X' = X - R/2$, $Y' = Y - R/2$, $Z' = Z$ 。

因此，只要工件坐标系 $O_O X_O Y_O Z_O$ 与射流右侧坐标系 $O_R X_R Y_R Z_R$ 重合，定位问题就可以转化为对射流切缝直径的测量问题。而通过水射流设备在固定于工作台上的材料上切出分别平行于 X 、 Y 轴的切缝，即可获得用于快速定位的射流右侧坐标系，如图 4 所示。

图中 a 为待加工的工件，b、c 为固定好的用于确定射流右侧坐标系 $O_R X_R Y_R Z_R$ 的材料，理想条件下其用于定位的内侧 L 形边缘必须是没有锥度的，而五轴高压水射流设备的锥度补偿可以近乎理想地达到要求。而对于切缝宽度的测量，只需在与 b、c 相同的材料上用切相同参数切割几条直线段，多次测量求均值即可。从误差来源分析，此种定位方法能够将原本的定位误差转换为测量误差，并可通过多次测量求均值减少误差的大小，简单可行，并能满足定位要求。

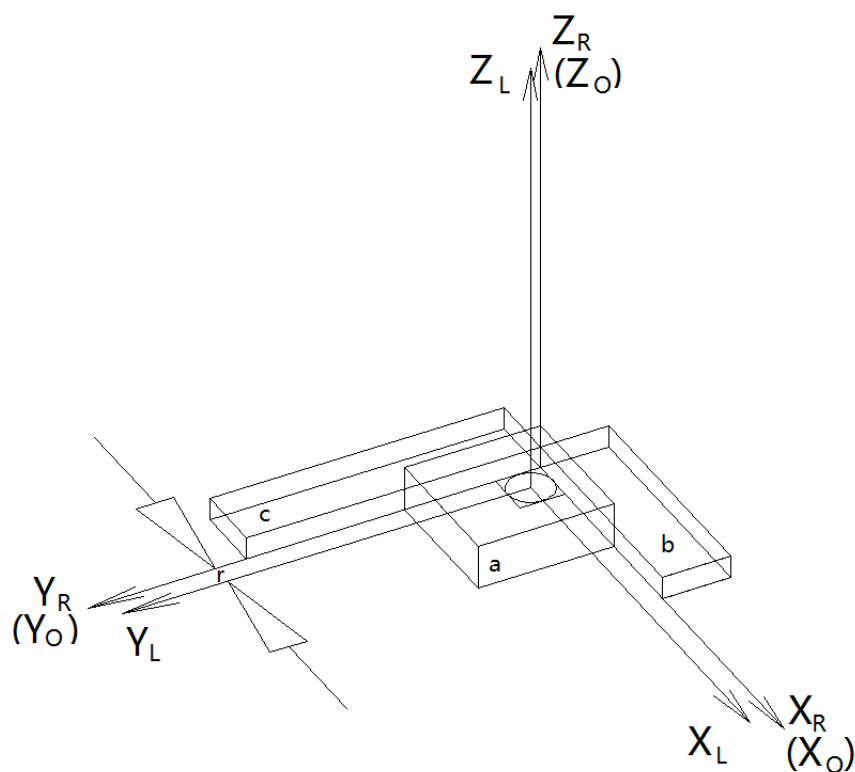


图 4 定位的坐标系

Fig. 4 Localized coordinates

4 结论

本文针对水射流设备二次加工中的定位问题提出了一种快速定位的方法,该方法依据水射流加工的特性进行坐标变换,可快速地确定射流与待加工材料的空间关系,将这一定位误差限制在满足加工要求的范围内。该方法虽然简单,但切实有效,具有一定可行性。

[参考文献] (References)

- [1] 杨林, 杜子学, 宋军, 磨料水射流的技术特征和工艺特征[J], 航空精密制造技术, 2005, 41(1):35-38.
- [2] J. Zeng, J. Olsen, C. Olsen and Guglielmetti. Taper-free abrasive waterjet cutting with a tilting head[A], 2005 WJTA American Waterjet Conference[C], August 21-23, 2005, Paper 7A-2.
- [3] 杨林, 杜子学, 宋军, 磨料水射流切割工艺参数的确定[J], 机械加工工艺与装备, 2005, 1:27-29.
- [4] 雷玉勇, 万霞, 高速水射流特种精密加工技术[J], 精密制造与自动化, 2003, S1: 138-142.
- [5] M. Hashish, Benefits of dynamic waterjet angle compensation[A], 2007 American WJTA Conference and Expo[C], August 19-21, 2007, Paper 1-H.