(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113909904 A
(43)申请公布日 2022.01.11

(21)申请号 202111189213.X

(22)申请日 2021.10.12

(71)申请人 中桥科建(德州)路桥工程有限公司
地址 253100 山东省德州市平原县坊子乡105国道西侧
申请人 大匠智造丹阳有限公司

(72)发明人 任自放 裴忠才 任伟 徐成伟 唐志勇

(74)专利代理机构 北京维正专利代理有限公司 11508
代理人 张岭

(51)Int.Cl.
B23P 23/04(2006.01)
G01B 11/255(2006.01)

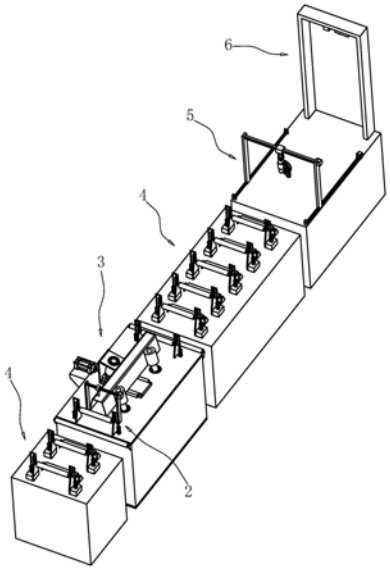
权利要求书2页 说明书10页 附图9页

(54)发明名称

具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备及其测量方法

(57)摘要

本申请涉及钢结构桥梁和船舶等的正交异性板的弧形加劲肋加工领域，尤其是涉及具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备及其测量方法，其技术方案要点是：包括计算机控制系统、弯弧机、调平机构、自动切割装置、自动划线装置、曲率半径及弧长自动测量装置；将需要弯成弧形的U肋经过弯弧机进行弯弧，并通过计算机控制系统、调平机构、曲率半径及弧长自动测量装置以及自动切割装置连续加工成满足图纸设计的曲率半径和长度，满足曲线钢桥所需的弧形U肋；达到了使弧形U肋的曲率半径、长度以及平整度的调整实现自动化，进而达到提高U肋的加工精度并降低工人的劳动强度的目的。



CN 113909904 A

1.具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,包括计算机控制系统、自动划线装置(2)、弯弧机(3)、调平机构(4)、自动切割装置(5)、曲率半径及弧长自动测量装置(6);其特征在于:自动划线装置(2)、弯弧机(3)、自动切割装置(5)以及曲率半径及弧长自动测量装置(6)沿水平方向依次设置;自动划线装置(2)设置在弯弧机(3)上并在U肋底板上划出供弧长自动测量装置和曲率半径及弧长自动测量装置(6)所需的中心基准线;计算机控制系统控制调平机构(4)自动增压以对U肋进行调平;曲率半径及弧长自动测量装置(6)包括设置在调平机构(4)上方的图像采集仪(61),图像采集仪(61)竖直向下并朝向弧形U肋,曲率半径及弧长自动测量装置(6)对中心基准线的实际曲率半径进行测量,计算机控制系统将实际曲率半径与设计曲率半径进行比较并控制弯弧机(3)对后续U肋的曲率半径进行调整;曲率半径及弧长自动测量装置(6)测量中心基准线的长度,当中心基准线的长度达到所需的U肋长度时,计算机控制系统控制自动切割装置(5)对U肋进行切割。

2.根据权利要求1所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:弯弧机(3)包括水平的工作平台(31),工作平台(31)的一侧设置有调节轧辊(32)、用于驱动调节轧辊(32)向工作平台(31)另一侧移动的调节机构(33)以及为调节机构(33)提供动力的第一动力源;工作平台(31)远离调节轧辊(32)的一侧设置有两个驱动轧辊(35)且工作平台(31)上设置有用于驱动驱动轧辊(35)围绕自身轴线转动的传动机构(36)以及为传动机构(36)提供动力的第二动力源;两个驱动轧辊(35)分别设置在调节轧辊(32)的两侧且驱动轧辊(35)与调节轧辊(32)之间存在供U肋通过的空隙;第一动力源以及第二动力源均与计算机控制系统耦接。

3.根据权利要求2所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:调平机构(4)设置有两个,其中一个调平机构(4)位于工作平台(31)背离自动切割装置(5)的一侧,另一调平机构(4)位于工作平台(31)与自动切割装置(5)之间。

4.根据权利要求3所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:调平机构(4)包括设置在弯弧机(3)一侧的多对用于挤压U肋的压平辊(41),每对中的两个压平辊(41)高低分布并沿工作平台(31)的延伸方向存在水平距离,调平机构(4)还包括用于驱动上方压平辊(41)上下移动的调平液压缸(42);调平液压缸(42)与计算机控制系统耦接。

5.根据权利要求2所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:自动划线装置(2)包括划线器(21)以及用于驱动划线器(21)沿垂直于工作平台(31)延伸方向水平移动的第三驱动组件(22),划线器(21)位于工作平台(31)上方并朝向工作平台(31)。

6.根据权利要求2所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:自动切割装置(5)包括设置在调平机构(4)远离弯弧机(3)的一侧用于切割U肋的数控切割机(51)、带动数控切割机(51)沿工作平台(31)延伸方向移动的第一驱动组件(52)、为第一驱动组件(52)提供动力的第三动力源以及带动数控切割机(51)沿垂直于工作平台(31)延伸方向移动的第二驱动组件(54);第二驱动组件(54)上设置有用于驱动数控切割机(51)上下移动的驱动件(55);第三动力源以及驱动件(55)均与计算机控制系统耦接;当曲率半径及弧长自动测量装置(6)测量的中心基准线长度达到设计长度时,计算机控制系统控制第三动力源以及驱动件(55)同时启动,数控切割机(51)对U肋进行自动切割。

7.根据权利要求2所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:驱

动轧辊(35)以及调节轧辊(32)沿着从靠近到远离工作平台(31)的方向逐渐靠近彼此,且驱动轧辊(35)与工作平台(31)之间的夹角以及调节轧辊(32) 与工作平台(31)之间的夹角相等,且该夹角等于U肋的侧板与底板之间的夹角。

8.根据权利要求2所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:调节机构(33)包括设置在工作平台(31)上的滑轨(331),滑轨(331)的延伸方向垂直于两个驱动轧辊(35)轴线所在的平面并位于两个驱动轧辊(35)之间,滑轨(331)上设置有能够在滑轨(331)上水平移动的滑块(332),调节轧辊(32)设置在滑块(332)的上表面并与滑块(332)转动连接;

滑块(332)上转动连接有两个限位辊(39),两个限位辊(39)的轴线共面且该面与工作平台(31)的延伸方向垂直;两个限位辊(39)分别靠近驱动轧辊(35)以及调节轧辊(32)设置,靠近驱动轧辊(35)的限位辊(39)的轴线与驱动轧辊(35)的轴线平行,靠近调节轧辊(32)的限位辊(39)的轴线与调节轧辊(32)的轴线平行。

9.根据权利要求2所述的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,其特征在于:工作平台(31)的上表面设置有多个轴线水平的辅助拖轮,工作平台(31)的上方设置有多个轴线水平的上压辊轮(382);上压辊轮(382)的轴线与辅助拖轮的轴线均与U肋的长度方向垂直且上压辊轮(382)与辅助拖轮之间存在与U肋高度相适配的间隙。

10.基于权利要求1-9所述弯弧设备的弧形U肋曲率半径测量方法,其特征在于,包括如下步骤,

S1、图像采集:图像采集仪(61)对划线器(21)所划中心基准线进行图像采集;

S2、图像预处理:对图像进行噪点消除和平滑边缘处理;

S3、圆弧检测:基于Hough软件对中心基准线图像进行检测;

S5、将通过Hough软件检测出的中心基准线图像从像素坐标系转换至图像坐标系;

S6、将中心基准线图像从图像坐标系转换至相机坐标系进而获取中心基准线图像所有的像素点在相机坐标系下的坐标;

S7、根据像极坐标系下的坐标求解实际弧形U肋的曲率半径。

具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备及其测量方法

技术领域

[0001] 本申请涉及钢结构桥梁或船舶等的正交异性板的弧形加劲肋加工领域，尤其是涉及具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备及其测量方法。

背景技术

[0002] 钢结构桥梁与其他结构形式相比优势明显：钢结构桥梁强度高，自重轻、钢材有良好的塑性和韧性，钢结构桥的抗震性能和抗风性能更好；钢结构桥梁加工简易而迅速、容易实现标准化生产、装配式施工，桥梁上部结构和下部结构可同时施工；钢结构桥梁便于运输和吊装、安装方便，施工周短；钢结构桥梁制造精度、安装方式更容易使钢桥质量稳定；钢结构桥梁在使用过程中易进行加固、接高、扩宽等改造工作；钢结构桥梁中有许多孔洞与空腔，方便管线布置桥梁匝道和曲线桥。

[0003] 在桥梁钢结构制造中，顶板和底板采取栓接的连接形式得到了广泛的应用，扁平型钢箱梁的正交异形板常采用U肋加劲；桥面板是直接承受车辆荷载的构件，设置U肋能够提高柔性桥面的耐久性；U肋包括底板和固定在底板两侧的侧板，两个侧板之间的距离沿着远离底板的方向逐渐变大，一种U类的型号为，侧板与底板之间的夹角为77°；世界范围内钢结构桥梁得到大量的应用和快速发展，因此钢结构曲线桥、匝道桥的弧形U肋加工难题引起钢结构桥梁制造行业的重视，对于桥梁弯曲处的U肋，需要对U肋进行相应弯曲角度的弯曲工艺处理。

[0004] 由于曲线桥、匝道桥的弧度千变万化、同一断面的每一根U肋长度和弧度都不相同，加工十分困难、常规的解决办法或者以直代曲、或者对U肋腹板和底板进行局部切割、焊接，甚至将U肋整体截面分块加工焊接成型、不仅效率低、质量差，严重影响桥梁的使用寿命；因此弧形U肋成为令钢结构曲线桥、匝道桥建造的世界难题。

[0005] 相关技术中记载的一种U肋弯弧机，虽然能够满足将整根U肋通过冷加工工艺弯曲成所需的具有弧度的U肋，但缺少智能化，即需要工人对加工完成的弧形U肋的曲率半径、长度以及平整度进行调整，一方面调整精度较差，另一方面增加了工人的劳动强度。

发明内容

[0006] 为了使弧形U肋的曲率半径、长度以及平整度的调整实现自动化，进而提高U肋的加工精度并降低工人的劳动强度，本申请提供具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备及其测量方法。

[0007] 本申请提供的具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备采用如下的技术方案：

一种具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备，包括计算机控制系统、自动划线装置、弯弧机、调平机构、自动切割装置、曲率半径及弧长自动测量装置；自动划线装置、弯弧机、自动切割装置以及曲率半径及弧长自动测量装置沿水平方向依次设置；自动划线装置设置在弯弧机上并在U肋底板上划出供弧长自动测量装置和曲率半径及弧长自动测量装置所需的中心基准线；计算机控制系统控制调平机构自动增压以对U肋进行调平；曲率半径

及弧长自动测量装置包括设置在调平机构上方的图像采集仪，图像采集仪竖直向下并朝向弧形U肋，曲率半径及弧长自动测量装置对中心基准线的实际曲率半径进行测量，计算机控制系统将实际曲率半径与设计曲率半径进行比较并控制弯弧机对后续U肋的曲率半径进行调整；曲率半径及弧长自动测量装置测量中心基准线的长度，当中心基准线的长度达到所需的U肋长度时，计算机控制系统控制自动切割装置对U肋进行切割。

[0008] 通过采用上述技术方案，当需要对U肋进行弯曲加工时，使U肋送入弯弧机，弯弧机对U肋进行自动弯曲以使U肋弯折成具有满足图纸设计的曲率半径的弧形U肋；U肋从弯弧机上输出的过程中，自动划线装置在U肋的底板中线位置处划线并形成供曲率半径及弧长自动测量装置所需的中心基准线；接着计算机控制系统控制调平机构对U肋加压以实现对U肋的调平；后续经过曲率半径及弧长自动测量装置对所划中心基准线的长度进行实时测量，当中心基准线的长度值达到U肋长度的设计值时，计算机控制系统控制自动切割装置对U肋进行切割；在上述过程中，曲率半径及弧长自动测量装置对中心基准线的实际曲率半径进行测量，计算机控制系统将实际曲率半径与设计曲率半径进行比较并控制弯弧机对后续U肋的曲率半径进行调整；综上使弧形U肋的曲率半径、长度以及平整度的调整实现自动化。

[0009] 优选的，弯弧机包括水平的工作平台，工作平台的一侧设置有调节轧辊、用于驱动调节轧辊向工作平台另一侧移动的调节机构以及为调节机构提供动力的第一动力源；工作平台远离调节轧辊的一侧设置有两个驱动轧辊且工作平台上设置有用于驱动驱动轧辊围绕自身轴线转动的传动机构以及为传动机构提供动力的第二动力源；两个驱动轧辊分别设置在调节轧辊的两侧且驱动轧辊与调节轧辊之间存在供U肋通过的空隙；第一动力源以及第二动力源均与计算机控制系统耦接。

[0010] 通过采用上述技术方案，位于驱动轧辊与调节轧辊之间的U肋在驱动轧辊的作用下向工作平台的一端移动，并受到驱动轧辊与调节轧辊之间的压力作用进而弯曲变形并成为弧形U肋；当需要调整弧形U肋的曲率半径时，计算机控制系统通过控制第一动力源开启以使调节轧辊向靠近或远离驱动轧辊的方向移动即可。

[0011] 优选的，调平机构设置有两个，其中一个调平机构位于工作平台背离自动切割装置的一侧，另一调平机构位于工作平台与自动切割装置之间。

[0012] 通过采用上述技术方案，位于工作平台背离自动切割装置的一侧的调平机构可以使得待折弯的U肋在进入到工作平台上方时处于更加水平的状态，进而提高U肋的弯折精度；另一调平机构一方面配合该调平机构共同提高U肋的水平度以及折弯精度，另一方面为U肋的切割起到支撑作用并提高U肋的切割精度。

[0013] 优选的，调平机构包括设置在弯弧机一侧的多对用于挤压U肋的压平辊，每对中的两个压平辊高低分布并沿工作平台的延伸方向存在水平距离，调平机构还包括用于驱动上方压平辊上下移动的调平液压缸；调平液压缸与计算机控制系统耦接。

[0014] 通过采用上述技术方案，当U肋的直线度或水平度较差时，计算机控制系统控制调平液压缸启动进而使得上方的压平辊向下移动，每对的两个压平辊之间的空隙变窄进而使得U肋受到的压力变大，提高了对U肋位置状态的限制效果，进而提高了U肋的直线度以及水平度。

[0015] 优选的，自动划线装置包括划线器以及用于驱动划线器沿垂直于工作平台延伸方向水平移动的第三驱动组件，划线器位于工作平台上方并朝向工作平台。

[0016] 通过采用上述技术方案，实现在U肋的底板上的自动划线。

[0017] 优选的，自动切割装置包括设置在调平机构远离弯弧机的一侧用于切割U肋的数控切割机、带动数控切割机沿工作平台延伸方向移动的第一驱动组件、为第一驱动组件提供动力的第三动力源以及带动数控切割机沿垂直于工作平台延伸方向移动的第二驱动组件；第二驱动组件上设置有用于驱动数控切割机上下移动的驱动件；第三动力源以及驱动件均与计算机控制系统耦接；当曲率半径及弧长自动测量装置测量的中心基准线长度达到设计长度时，计算机控制系统控制第三动力源以及驱动件同时启动，数控切割机对U肋进行自动切割。

[0018] 通过采用上述技术方案，当中心基准线的长度达到U肋的设计长度时，计算机控制系统控制第三动力源以及驱动件同时启动，第三动力源以及第二驱动组件进而带动数控切割机随着U肋的移动向背离工作平台的方向移动并实施跟踪U肋的待切割位置，与此同时驱动件带动数控切割机向下移动以实现对U肋的切割，当切割完成后，工作人员将切割下的U肋取下，此时曲率半径及弧长自动测量装置以U肋即中心基准线新产生的端点为起点对后续待切割的U肋长度即中心基准线的长度进行实时测量。

[0019] 优选的，驱动轧辊以及调节轧辊沿着从靠近到远离工作平台的方向逐渐靠近彼此，且驱动轧辊与工作平台之间的夹角以及调节轧辊与工作平台之间的夹角相等，且该夹角等于U肋的侧板与底板之间的夹角。

[0020] 通过采用上述技术方案，增大了调节辊与U肋侧板之间的接触面积，进而使得U肋在收到弯曲应力的过程中受力更加均匀，降低了U肋在折弯过程中发生侧板过度形变的可能性。

[0021] 优选的，调节机构包括设置在工作平台上的滑轨，滑轨的延伸方向垂直于两个驱动轧辊轴线所在的平面并位于两个驱动轧辊之间，滑轨上设置有能够在滑轨上水平移动的滑块，调节轧辊设置在滑块的上表面并与滑块转动连接；滑块上转动连接有两个限位辊，两个限位辊的轴线共面且该面与工作平台的延伸方向垂直；两个限位辊分别靠近驱动轧辊以及调节轧辊设置，靠近驱动轧辊的限位辊的轴线与驱动轧辊的轴线平行，靠近调节轧辊的限位辊的轴线与调节轧辊的轴线平行。

[0022] 通过采用上述技术方案，可根据U肋的型号以及设计曲率半径通过调节机构使得调节轧辊向靠近或远离驱动轧辊的方向移动，进而达到U肋型号适配以及实际曲率半径调整的目的；两个限位辊对U肋的移动起到进一步的限位导向作用，防止U肋在被折弯的过程中发生位置偏移等影响弯折质量的状况发生。

[0023] 优选的，工作平台的上表面设置有多个轴线水平的辅助拖轮，工作平台的上方设置有多个轴线水平的上压辊轮；上压辊轮的轴线与辅助拖轮的轴线均与U肋的长度方向垂直且上压辊轮与辅助拖轮之间存在与U肋高度相适配的间隙。

[0024] 通过采用上述技术方案，辅助托辊与上压托辊一方面起到对U肋水平度调整的作用；另一方面，驱动轧辊与调节轧辊转动的过程中，能够配合辅助托辊以及上压托辊共同使得U肋向靠近切割装置的方向移动，进而不需要专门的U肋递送装置，实现了U肋的自动输送。

[0025] 本申请提供的基于弯弧设备的弧形U肋曲率半径测量方法采用如下的技术方案：

一种基于弯弧设备的弧形U肋曲率半径测量方法，包括如下步骤，S1、图像采集：图

像采集仪对划线器所划中心基准线进行图像采集;S2、图像预处理:对图像进行噪点消除和平滑边缘处理;S3、圆弧检测:基于Hough软件对中心基准线图像进行检测;S5、将通过Hough软件检测出的中心基准线图像从像素坐标系转换至图像坐标系;S6、将中心基准线图像从图像坐标系转换至相机坐标系进而获取中心基准线图像所有的像素点在相机坐标系下的坐标;S7、根据像极坐标系下的坐标求解实际弧形U肋的曲率半径。

[0026] 综上所述,本申请通过设置计算机控制系统、弯弧机、调平机构、自动切割装置、自动划线装置、曲率半径及弧长自动测量装置;将需要弯成弧形的U肋经过弯弧机进行弯弧,并通过计算机控制系统、调平机构、曲率半径及弧长自动测量装置以及自动切割装置连续加工成满足图纸设计的曲率半径和长度,满足曲线钢桥所需的弧形U肋;达到了使弧形U肋的曲率半径、长度以及平整度的调整实现自动化,进而达到提高U肋的加工精度并降低工人的劳动强度的目的。

附图说明

[0027] 图1是本申请实施例中的弯弧设备的整体结构示意图;

图2是本申请实施例中的弯弧机位置处的结构示意图;

图3是图3中A处的局部放大图;

图4是本申请实施例中的弯弧机位置处的侧视图,此图对应U肋装于调节轧辊与驱动轧辊之间的状态;

图5是本申请实施例中的调平机构的结构示意图;

图6是本申请实施例中的曲率半径及弧长自动测量装置的结构示意图;

图7是步骤S5中将中心基准线图像从像素坐标系u-v转换至图像坐标系x-y过程中的坐标示意图;

图8是步骤S6中将中心基准线图像从图像坐标系x-y转换至相机坐标系X_c-Y_c-Z_c过程中的坐标示意图;

图9是步骤S7中中心基准线所在完整圆的几何示意图。

[0028] 图中,2、自动划线装置;21、划线器;22、第三驱动组件;221、支撑架;222、第三电机;223、第三丝杆;224、第三螺母;225、第二光轴;3、弯弧机;31、工作平台;32、调节轧辊;321、调节传动轴;33、调节机构;331、滑轨;332、滑块;34、调节液压缸;35、驱动轧辊;351、驱动传动轴;36、传动机构;361、主动齿轮;362、从动齿轮;37、第四电机;381、辅助托辊;382、上压辊轮;383、压紧液压缸;384、支撑轴;385、支撑片;386、滑动孔;387、滑动销;39、限位辊;4、调平机构;41、压平辊;42、调平液压缸;43、调平台;44、支撑杆;45、支撑板;451、调节孔;46、支撑销;5、自动切割装置;51、数控切割机;52、第一驱动组件;521、第一丝杆;522、第一螺母;53、第一电机;54、第二驱动组件;541、承载架;542、第二丝杆;543、第二螺母;544、第二电机;545、第一光轴;55、驱动件;56、切割台;6、曲率半径及弧长自动测量装置;61、图像采集仪;62、龙门架;63、电子测距仪。

具体实施方式

[0029] 以下结合附图对本申请作进一步详细说明。

[0030] 参照图1,本申请提供了一种具有弧形U肋曲率半径测量功能的弯弧设备,包括计

算机控制系统、自动划线装置2、弯弧机3、自动切割装置5以及曲率半径及弧长自动测量装置6，自动划线装置2、弯弧机3、自动切割装置5以及曲率半径及弧长自动测量装置6沿水平方向依次设置；待折弯的U肋送至弯弧机3中，在此过程中经过自动划线装置2并在底板上划出一条中心基准线，该中心基准线供曲率半径及弧长自动测量装置6对弧形U肋的曲率半径以及长度进行测量使用；当U肋到达曲率半径及弧长自动测量装置6时，曲率半径及弧长自动测量装置6对中心基准线的曲率半径以及弧长进行测量以代替U肋的曲率半径以及长度，当测量到的中心基准线长度达到所需的U肋长度时，计算机控制系统控制自动切割装置5对U肋进行切割，并可根据测量到的中心基准线弧度对弯弧机3进行自动调节以实现对后续待折弯U肋的曲率半径进行调整；综上使得弧形U肋的曲率半径以及长度的调整实现了自动化。

[0031] 具体的，参照图2和图3，弯弧机3包括水平设置的工作平台31，工作平台31的延伸方向为从弯弧机3到自动切割装置5的布置方向；工作平台31上转动连接有两个驱动轧辊35，驱动轧辊35靠近工作平台31的一侧设置；驱动轧辊35为轴线相对于工作平台31表面倾斜设置的圆柱形结构，驱动轧辊35的轴线自下而上逐渐靠近工作平台31的另一侧，且驱动轧辊35的母线与工作平台31表面之间的夹角等于U肋侧板与底板之间的夹角，即U肋的侧板能够贴合在驱动轧辊35的周面上，再结合图4，在本实施例中该夹角为77°；两个驱动轧辊35的轴线共面且该面的延伸方向与工作平台31的延伸方向相同，工作平台31内部设置有用于驱动驱动轧辊35围绕自身轴线定轴转动的传动机构36以及用于为传动机构36提供动力的第二动力源。

[0032] 工作平台31上还设置有一个能够围绕自身竖直轴线定轴转动的调节轧辊32、用于驱动调节轧辊32向靠近或远离两个驱动轧辊35水平移动的调节机构33以及为调节机构33提供动力的第一动力源，调节轧辊32为轴线相对于工作平台31表面倾斜设置的圆柱形结构，调节轧辊32的轴线自下而上逐渐靠近驱动轧辊35，且调节轧辊32的母线与驱动轧辊35的母线相互平行，进而U肋的侧板能够贴合在驱动轧辊35的周面上，再结合图4，在本实施例中该夹角为77°；调节轧辊32位于两个驱动轧辊35之间且位于两个驱动轧辊35的同侧，调节轧辊32的周面与驱动轧辊35的周面之间存在供U肋通过的空隙；其中，第一动力源以及第二动力源均与计算机控制系统耦接。

[0033] 当需要对U肋进行弯折时，计算机控制系统控制第一动力源启动，第一动力源驱动调节机构33在工作平台31上移动以调整调节轧辊32与驱动轧辊35的位置关系；接着计算机控制系统控制第二动力源启动，第二动力源驱动传动机构36启动进而带动驱动轧辊35转动，位于驱动轧辊35与调节轧辊32之间的U肋在驱动轧辊35的作用下向工作平台31的一端移动，并受到驱动轧辊35与调节轧辊32之间的压力作用进而弯曲变形并成为弧形U肋；当需要调整弧形U肋的曲率半径时，计算机控制系统通过控制第一动力源开启以使调节轧辊32向靠近或远离驱动轧辊35的方向移动即可。

[0034] 其中，参照图2和图3，传动机构36设置有两个并分别与相应的驱动轧辊35对应；第二动力源选用电机或液压马达，以能够提供回转动力为准，在本实施例中，第二动力源选用固定在工作平台31内部并与计算机控制系统相耦接的第四电机37；传动机构36包括与第四电机37的输出轴同轴固连的主动齿轮361，主动齿轮361的一侧啮合有从动齿轮362，从动齿轮362与驱动轧辊35之间同轴固连有驱动传动轴351，以实现从动齿轮362与驱动轧辊35之

间的动力传输，相应地，驱动传动轴351、主动齿轮361以及主动齿轮361的轴线均与驱动轧辊35的轴线平行；第四电机37驱动主动齿轮361围绕自身轴线定轴转动，主动齿轮361带动与之啮合的从动齿轮362转动，从动齿轮362进而带动驱动轧辊35围绕自身轴线定轴转动。

[0035] 具体的，调节机构33包括固定在工作平台31上的滑轨331，滑轨331的延伸方向垂直于工作平台31的延伸方向且向两个驱动轧辊35之间延伸；滑轨331上互动连接有一个能够向靠近或远离驱动轧辊35方向移动的滑块332，调节轧辊32设置在滑块332上并与滑块332转动连接；进一步的，第一动力源选用直线电机或电控液压缸，以能够提供直线动力为准，在本实施例中，第一动力源为固定在滑块332一端并与计算机控制系统相耦接的调节液压缸34，调节液压缸34的活塞杆轴线与滑轨331延伸方向平行且调节液压缸34的活塞杆端部与滑块332固接；滑块332上转动连接有与调节轧辊32同轴固连的调节传动轴321。

[0036] 当需要增大弧形U肋的曲率半径时，计算机控制系统控制调节液压缸34启动进而使滑块332在滑轨331上向背离驱动轧辊35的方向移动，进而增大了驱动轧辊35与调节轧辊32之间的距离并增大了弧形U肋的曲率半径；当需要减小弧形U肋的曲率半径时，反向启动调节液压缸34即可。

[0037] 进一步的，滑块332上转动连接有两个限位辊39，两个限位辊39分别靠近调节轧辊32以及驱动轧辊35设置，两个限位辊39的轴线共面且该面与工作平台31的延伸方向垂直；靠近调节轧辊32的限位辊39的轴线与调节轧辊32的轴线平行且调节轧辊32的周面与限位辊39的周面之间的距离等于U肋的厚度；靠近驱动轧辊35的限位辊39的轴线与驱动轧辊35的轴线平行且驱动轧辊35的周面与限位辊39的周面之间的距离等于U肋的厚度；这样，当U肋在工作平台31上移动输送的过程中，两个限位辊39对U肋的移动起到进一步的限位导向作用，防止U肋在被折弯的过程中发生位置偏移等影响弯折质量的状况发生。

[0038] 参照图2和图3，为了保证到达工作平台31上的U肋的直线度或平面度，在工作平台31的两端分别转动连接有一个辅助托辊381，辅助托辊381的轴线与工作平台31的延伸方向垂直；工作平台31上设置有位于辅助托辊381靠近驱动轧辊35一侧的上压辊轮382，上压辊轮382的轴线与辅助托辊381的轴线平行且上压辊轮382的高度高于辅助轧辊的高度，上压辊轮382的周面与辅助轧辊的周面之间存在供U肋水平通过的空隙，进而能够有效防止U肋在折弯过程中产生竖直方向的翘曲。

[0039] 为了适应不同型号U肋的折弯或为了调节对U肋的压紧力，上压辊轮382的两端设置有竖直固定在工作平台31上的支撑片385，支撑片385上开设有沿竖直方向延伸的腰型的滑动孔386，上压辊轮382的两端同轴加工成型有插入滑动孔386并与滑动孔386的孔壁滑动连接的滑动销387，滑动销387同时能够在滑动孔386内部围绕自身轴线转动；支撑片385背离上压辊轮382的一侧设置有固定在工作平台31上的压紧液压缸383，压紧液压缸383的活塞杆固接有支撑轴384，支撑轴384向支撑片385靠近上压辊轮382的一侧延伸并与滑动销387之间转动连接；当需要对高度较高的U肋进行折弯或需要增大对U肋的压紧力时，启动压紧液压缸383以使上压辊轮382向靠近工作平台31的方向移动以减小上压辊轮382与辅助托辊381之间的竖直间距。

[0040] 参照图1和图5，为了提高U肋在向弯弧机3输入或从弯弧机3上向切割装置输出过程中的平面度，以提高U肋的折弯精度以及切割精度，在工作平台31背离自动切割装置5的一侧以及工作平台31与自动切割装置5之间均设置有调平机构4；进一步的，调平机构4包括

与工作平台31等高的调平台43，调平台43上设置有多对压平辊41，具体的，位于工作平台31背离自动切割装置5一侧的压平辊41设置有两对，且位于工作平台31与自动切割装置5之间的压平辊41设置有五对；压平辊41的轴线相互平行且与工作平台31的延伸方向垂直，位于下方的压平辊41高度等于辅助托辊381的高度，位于上方的压平辊41高度等于上压辊轮382的高度；每对中的两个压平辊41沿工作平台31的延伸方向分布且二者之间存在高度上的可供U肋通过的空隙，位于下方的压平辊41与调平台43转动连接并能够围绕自身轴线定轴转动，位于上方的压平辊41同样能够围绕自身轴线定轴转动；位于工作平台31背离自动切割装置5的一侧的调平机构4可以使得待折弯的U肋在进入到工作平台31上方时处于更加水平的状态，进而提高U肋的弯折精度；另一调平机构4一方面配合该调平机构4共同提高U肋的水平度以及折弯精度，另一方面为U肋的切割起到支撑作用并提高U肋的切割精度。

[0041] 参照图2和图3，为了适应不同型号U肋的折弯或为了调节对U肋的压紧力，位于上方的压平辊41的两端设置有竖直固定在工作平台31上的支撑板45，支撑板45上开设有沿竖直方向延伸的腰型的调节孔451，位于上方的压平辊41两端同轴加工成型有插入调节孔451并与调节孔451的孔壁滑动连接的支撑销46，支撑销46同时能够在调节孔451内部围绕自身轴线转动；支撑板45背离压平辊41的一侧设置有固定在工作平台31上的调平液压缸42，调平液压缸42与计算机控制系统耦接；调平液压缸42的活塞杆固接有支撑杆44，支撑杆44向支撑板45靠近压平辊41的一侧延伸并与支撑销46之间转动连接；当需要对高度较高的U肋进行折弯或需要增大对U肋的压紧力时，通过计算机控制系统启动调平液压缸42以使位于上方的压平辊41向靠近工作平台31的方向移动以减小每对中的两个压平辊41之间的竖直间距。

[0042] 参照图2和图3，自动划线装置2设置在工作平台31背离自动切割装置5的一端，且包括竖直朝下地设置在工作平台31上方的划线器21以及用于驱动划线器21沿垂直于工作平台31延伸方向水平移动的第三驱动组件22；U肋到达工作平台31上方之前必经划线器21，在此过程中划线器21在U肋的底板上完成自动划线；通过设置第三驱动组件22，可以满足针对不同型号的U肋或U肋在工作平台31上沿垂直于工作平台31延伸方向的偏移状况进行划线；在本实施例中，划线器21可采用激光式的划线器21。

[0043] 具体的，第三驱动件55包括靠近工作平台31两侧设置的竖直的支撑架221，两个支撑架221之间设置有第三丝杆223以及第二光轴225；其中，第三丝杆223与支撑架221转动连接并能够围绕自身轴线定轴转动，第二光轴225的两端分别固定在相应的支撑架221上；第三丝杆223上螺接有被第二光轴225贯穿并与第二光轴225滑动连接的第三螺母224，划线器21固接在第三螺母224上；其中一个支撑架221背离另一支撑架221的一侧固定有用于驱动第三丝杆223转动的第三电机222，第三电机222的输出轴与第三丝杆223同轴固连且第三电机222与计算机控制系统耦接；当需要调整划线器21的位置时，通过计算机控制系统控第三电机222启动，第三电机222驱动第三丝杆223围绕自身轴线定轴转动，第三螺母224进而带动划线器21沿垂直于工作平台31延伸方向水平移动以调整划线器21与U肋之间的位置关系。

[0044] 曲率半径及弧长自动测量装置6包括横架于自动切割装置5背离弯弧机3一侧的龙门架62以及固定在龙门架62上的图像采集仪61和电子测距仪63，图像采集仪61以及电子测距仪63均朝向下设置；图像采集仪61对中心基准线电子测距仪63实时测量中心基准线的长

度，当测量得到的中心基准线长度值等于所欲弧形U肋的长度时，计算机控制系统控制自动切割装置5对U肋进行跟踪切割；此外，依据图像采集仪61采集到的中心基准线图像计算得出实际的中心基准线曲率半径，计算机控制系统将实际曲率半径与设计曲率半径进行比较并控制调节液压缸34的正反向启动以对后续U肋的曲率半径进行调整。

[0045] 具体的，参照图6，自动切割装置5包括设置在位于自动切割装置5与弯弧机3之间的调平台43背离工作平台31的一侧的切割台56以及设置在切割台56上方的数控切割机51；此外，自动切割装置5还包括带动数控切割机51沿切割台56延伸方向移动的第一驱动组件52、为第一驱动组件52驱动组件提供动力的第三动力源以及带动数控切割机51沿垂直于切割台56延伸方向移动的第二驱动组件54；第二驱动组件54上设置有用于驱动数控切割机51上下移动的驱动件55；第三动力源、驱动件55以及数控切割机51均与计算机控制系统耦接；当图像采集仪61测量的中心基准线长度达到设计长度时，计算机控制系统控制第三动力源、驱动件55以及数控切割机51同时启动，数控切割机51对U肋进行自动切割。

[0046] 进一步的，第一驱动组件52包括两个分别设置在切割台56两侧并沿切割台56延伸方向延伸的第一丝杆521，第一丝杆521上螺接有与切割台56接触并滑动连接的第一螺母522，第三动力源采用固定在切割台56上且输出轴与第一丝杆521同轴固接的第一电机53；第二驱动组件54包括竖直固定在第一螺母522上的承载架541，两个承载架541之间设置有第二丝杆542以及第一光轴545，其中，第二丝杆542与承载架541转动连接，第一光轴545则固接在两个承载架541之间；其中一个承载架541背离另一承载架541的一侧固定有输出轴与第二丝杆542同轴固连的第二电机544；第二丝杆542上螺接有被第一光轴545贯穿并与第一光轴545滑动连接的第二螺母543；驱动件55可采用固定在第二螺母543上并与计算机控制系统耦接的液压缸或直线电机，数控切割机51固定在液压缸或直线电机的输出轴上。

[0047] 当中心基准线的长度达到U肋的设计长度时，计算机控制系统控制第一电机53、驱动件55、第二电机544以及数控切割机51同时启动，第一电机53以及第二电机544的启动使得数控切割机51随着U肋的移动向背离工作平台31的方向移动并实施跟踪U肋的待切割位置，与此同时驱动件55带动数控切割机51向下移动以实现对U肋的切割，当切割完成后，工作人员将切割下的U肋取下，此时电子测距仪63以U肋即中心基准线新产生的端点为起点对后续中心基准线的长度即待切割的U肋长度进行实时测量。

[0048] 对于上文中提及的，依据图像采集仪61采集到的中心基准线图像计算得出实际的中心基准线曲率半径，进一步解释为：本申请还提供了一种基于本申请的弯弧设备的弧形U肋曲率半径测量方法，包括以下步骤：

S1、图像采集：图像采集仪61对划线器21所划中心基准线进行图像采集。

[0049] S2、图像预处理：对图像进行噪点消除和平滑边缘处理。

[0050] S3、圆弧检测：基于Hough软件对中心基准线图像进行检测。

[0051] 在进行后续步骤之前，设点P为中心基准线在世界坐标系中的一点，也即中心基准线在现实世界中的一点，点p是点P在图像中的成像点且该点在图像坐标系x-y中的坐标设为(x,y)，在像素坐标系u-v中的坐标设为(u,v)，已知图像采集仪61的焦距为f。

[0052] S5、参照图7，将通过Hough软件检测出的中心基准线图像从像素坐标系u-v转换至图像坐标系x-y。

[0053] 在购入图像采集仪61时可得知图像采集仪61像素参数，根据已知的图像采集仪61

像素参数可得图像采集仪61采集到的照片中心o的坐标即点o在像素坐标系u-v中的坐标为(u_0,v_0),例如像素为1200万的照片分辨率为4000*3000,则中心o的图像坐标为(2000,1500),令dx表示每一列像素的宽度,dy表示每一行像素的宽度。

[0054] 则u与x之间有如下关系:

$$u = \frac{x}{dx} + u_0$$

v与y之间有如下关系:

$$v = \frac{y}{dy} + v_0$$

进而得到了点p在图像坐标系x-y中的坐标(x,y),其中

$$x = dx(u - u_0),\ y = dy(v - v_0)。$$

[0055] S6、参照图8,将中心基准线图像从图像坐标系x-y转换至相机坐标系X_c-Y_c-Z_c进而获取中心基准线图像所有的像素点在相机坐标系X_c-Y_c-Z_c下的坐标。

[0056] 点P在相机坐标系X_c-Y_c-Z_c中的坐标为(X_c,Y_c,Z_c),照片中心o距离相机坐标系X_c-Y_c-Z_c的原点O_c的距离即为图像采集仪61的焦距f。

[0057] 设,点P在面Z_c-O_c-X_c上的投影为点B,点B在坐标轴O_c-Z_c上的投影为点A,点p在面Z_c-O_c-X_c上的投影为点C,则根据几何关系易得出:

$$\Delta AB O_c \sim \Delta oC O_c$$

$$\Delta PB O_c \sim \Delta pC O_c$$

进而有如下边长关系:

$$\frac{AB}{oC} = \frac{AO_c}{oO_c} = \frac{PB}{pC}$$

有由于,$AB = X_c$,$AO_c = Z_c$,$PB = Y_c$,$Oc = x$,$oO_c = f$,$pC = y$。

[0058] 进而,$\frac{X_c}{x} = \frac{Z_c}{f} = \frac{Y_c}{y}$

在上式中,由于图像采集仪61以及电子测距仪63均朝向下设置,因此图像采集仪61的高度固定,Z_c即为U肋底板上的一点与相机坐标系X_c-Y_c-Z_c中心在O_c-Z_c坐标轴上的投影长度,该长度在进行U肋折弯加工之前通过测量获取。

[0059] 进而可得到中心基准线在世界坐标系中的任意一点P的坐标为(X_c,Y_c,Z_c),式中:

$$X_c = \frac{xZ_c}{f} = \frac{Z_c dx(u - u_0)}{f}$$

$$Y_c = \frac{yZ_c}{f} = \frac{Z_c dy(v - v_0)}{f}$$

S7、参照图9，根据相机坐标系下的坐标求解实际弧形U肋的曲率半径：

经过步骤S6后，可以得出中心基准线上任意一点在相机坐标系X_c-Y_c-Z_c中的坐标，在相机坐标系X_c-Y_c-Z_c中计算得出的中心基准线长度即为世界坐标系中中心基准线的长度亦即为弧形U肋的实际长度。

[0060] 在中心基准线上于相机坐标系X_c-Y_c-Z_c中取三个关键点M、N、L对中心基准线的实际长度进行计算，其中M为中心基准线的其中一个端点，N为中心基准线的中点，点M和点N的坐标均在步骤S6中求出，L为中心基准线的两端点所连成直线的中点，该点坐标易通过中心基准线的两端点坐标值求出，设中心基准线的实际曲率半径为R，则根据勾股定理有如下几何关系：

$$R^2 = ML^2 + (\mathrm{R} - \mathrm{NL})^2$$

在已知点M、点N以及点L坐标的前提下，ML以及NL的长度均易求出，解上述方程即可得到R即中心基准线的实际曲率半径以及弧形U肋的实际曲率半径。

[0061] 综上所述，本申请的使用过程为：将需要弯成弧形的U肋经过弯弧机进行弯弧，在此过程中自动划线装置对U肋的底板进行自动划线，接着通过计算机控制系统、曲率半径及弧长自动测量装置以及自动切割装置将U肋连续加工成满足图纸设计的曲率半径和长度，以满足曲线钢桥所需的弧形U肋；达到了使弧形U肋的曲率半径以及长度的调整实现自动化，进而达到提高U肋的加工精度并降低工人的劳动强度的目的。

[0062] 本具体实施例仅仅是对本申请的解释，其并不是对本申请的限制，本领域技术人员在阅读完本说明书后可以根据需要对本实施例做出没有创造性贡献的修改，但只要在本申请的权利要求范围内都受到专利法的保护。

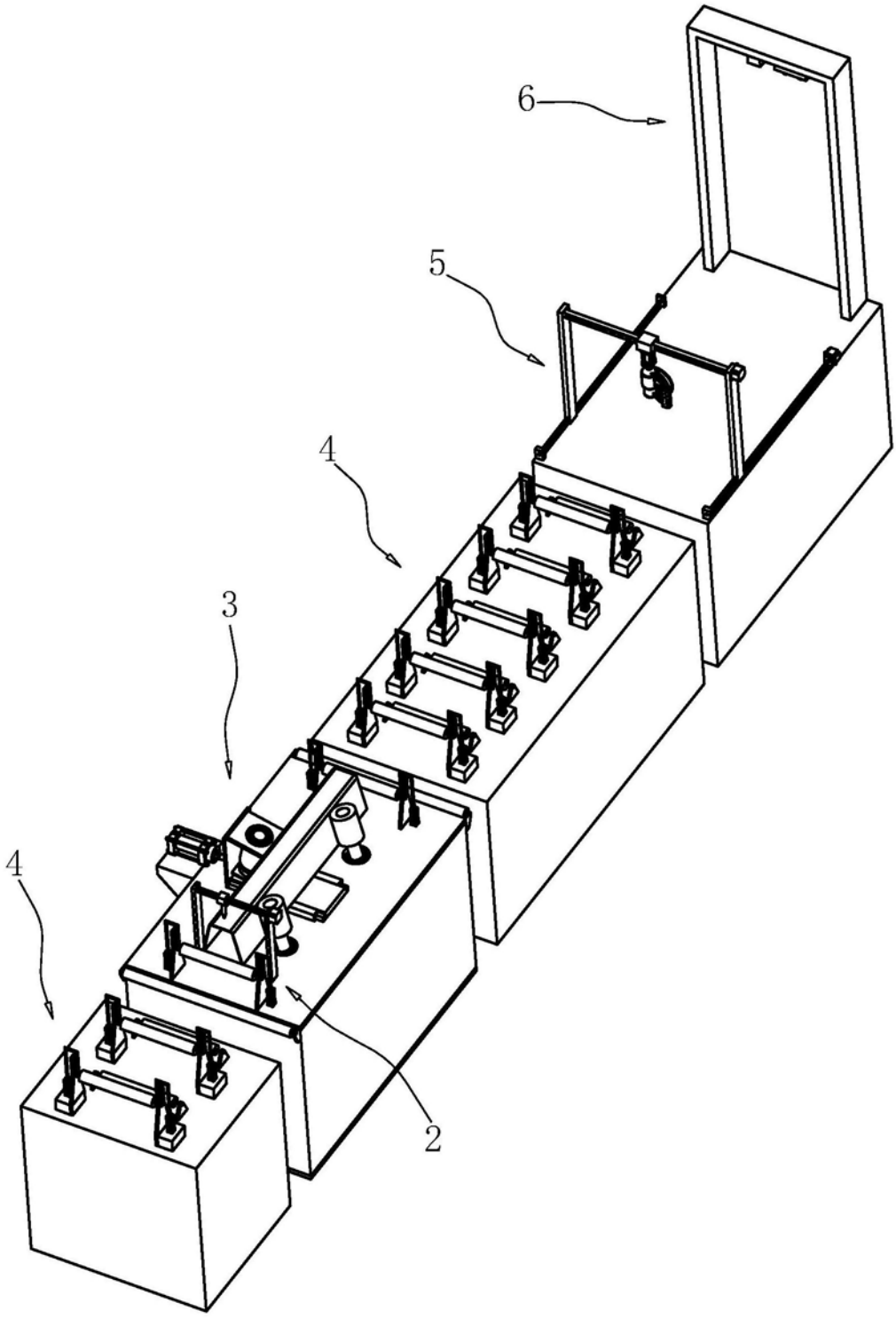


图1

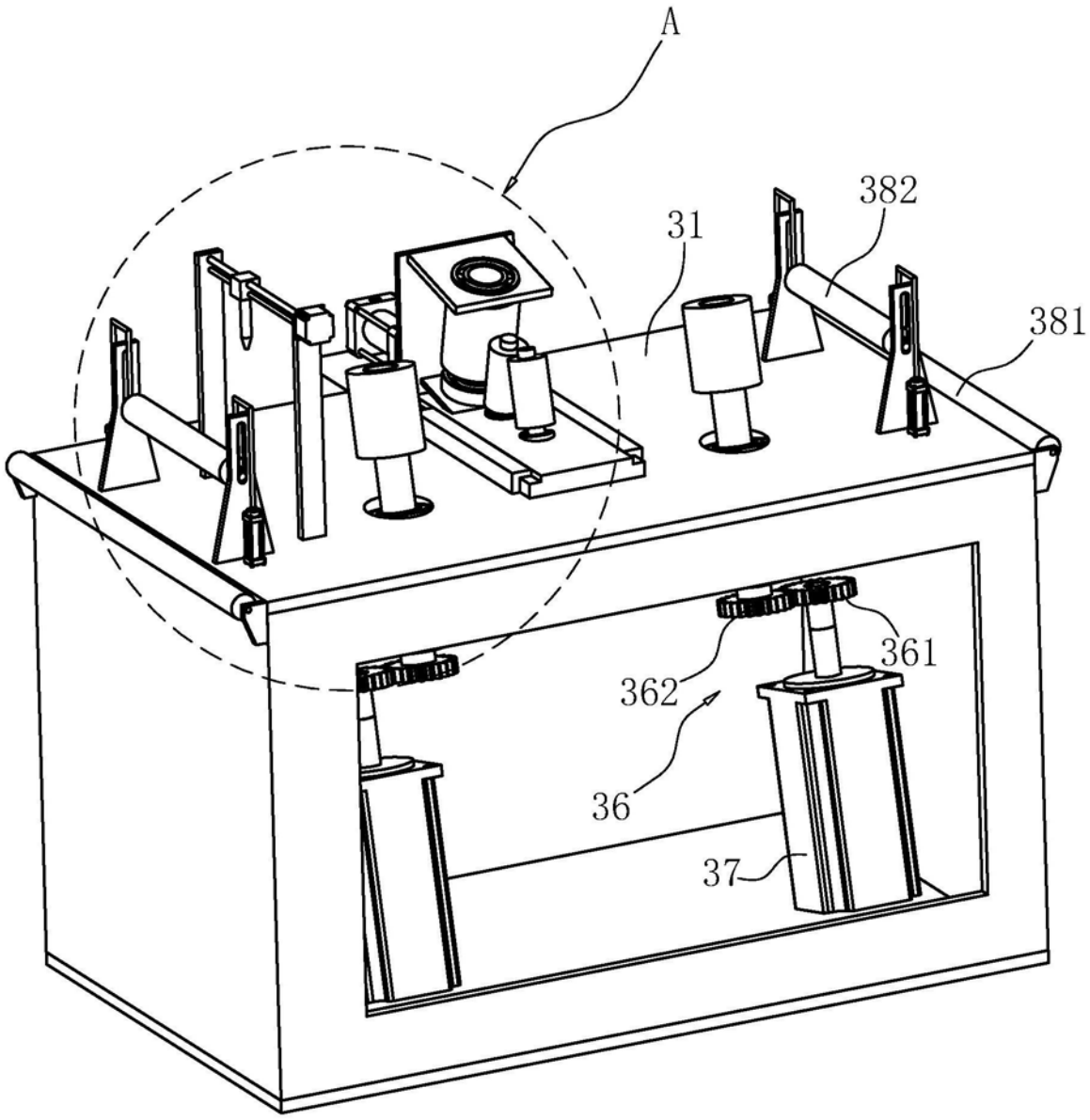


图2

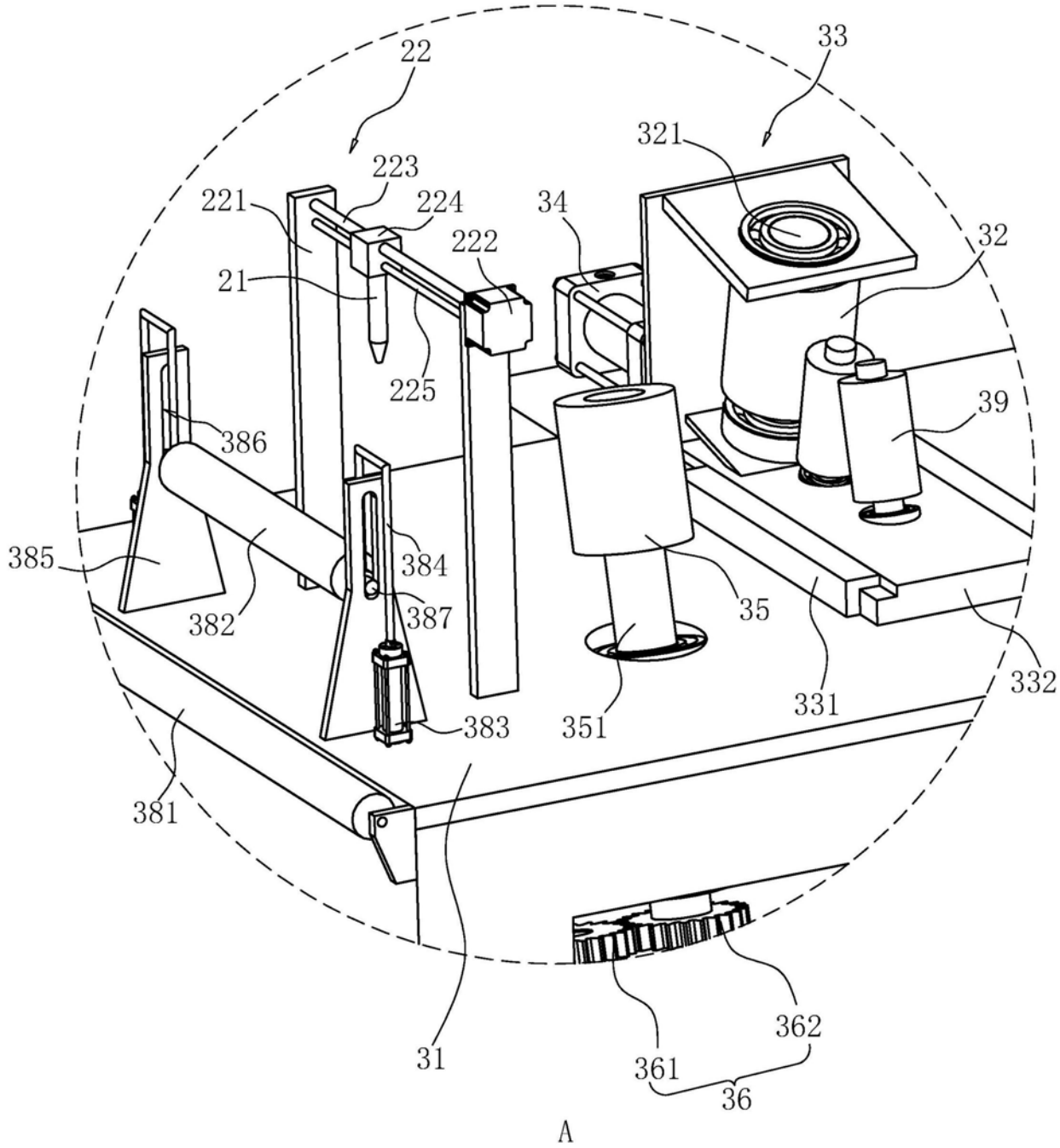

22
33
321
223
221
224
34
222
32
21
225
39
386
385
384
382
387
35
383
351
331
332
381
31
362
361
36
A

图3

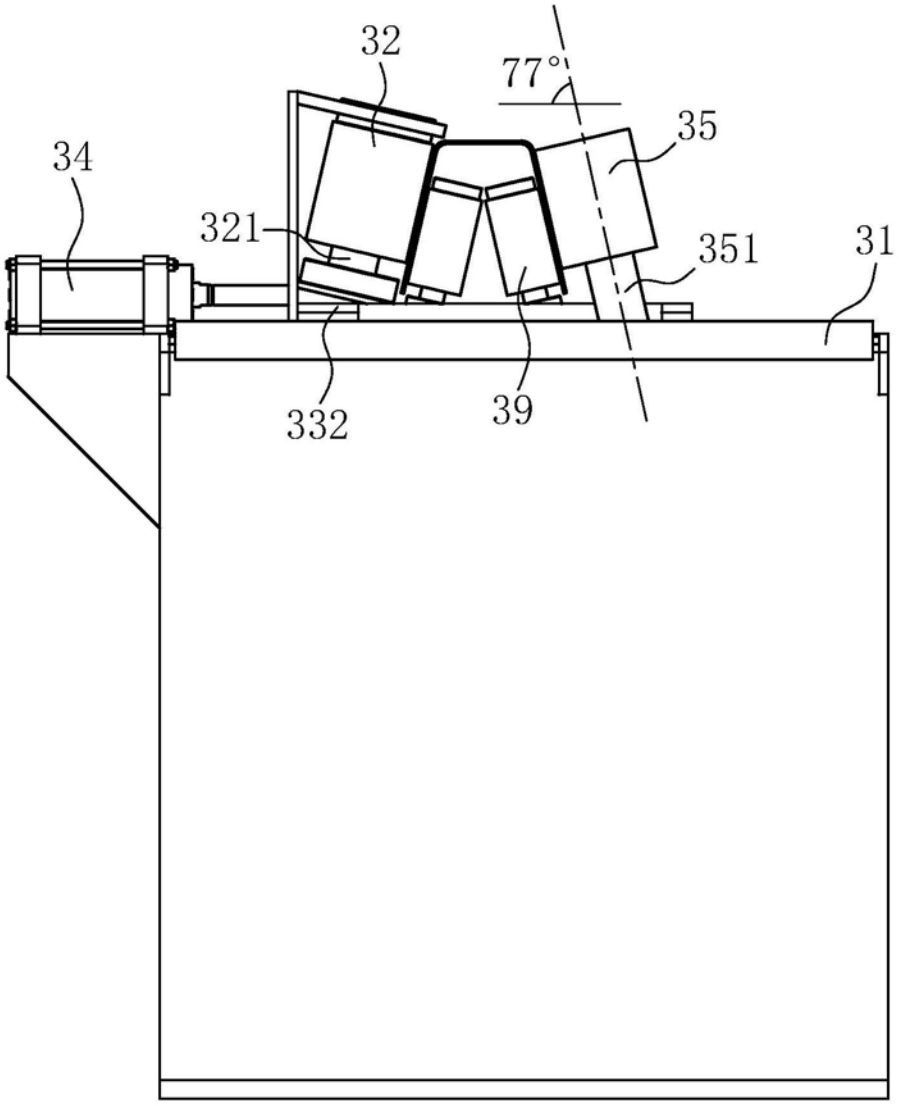


图4

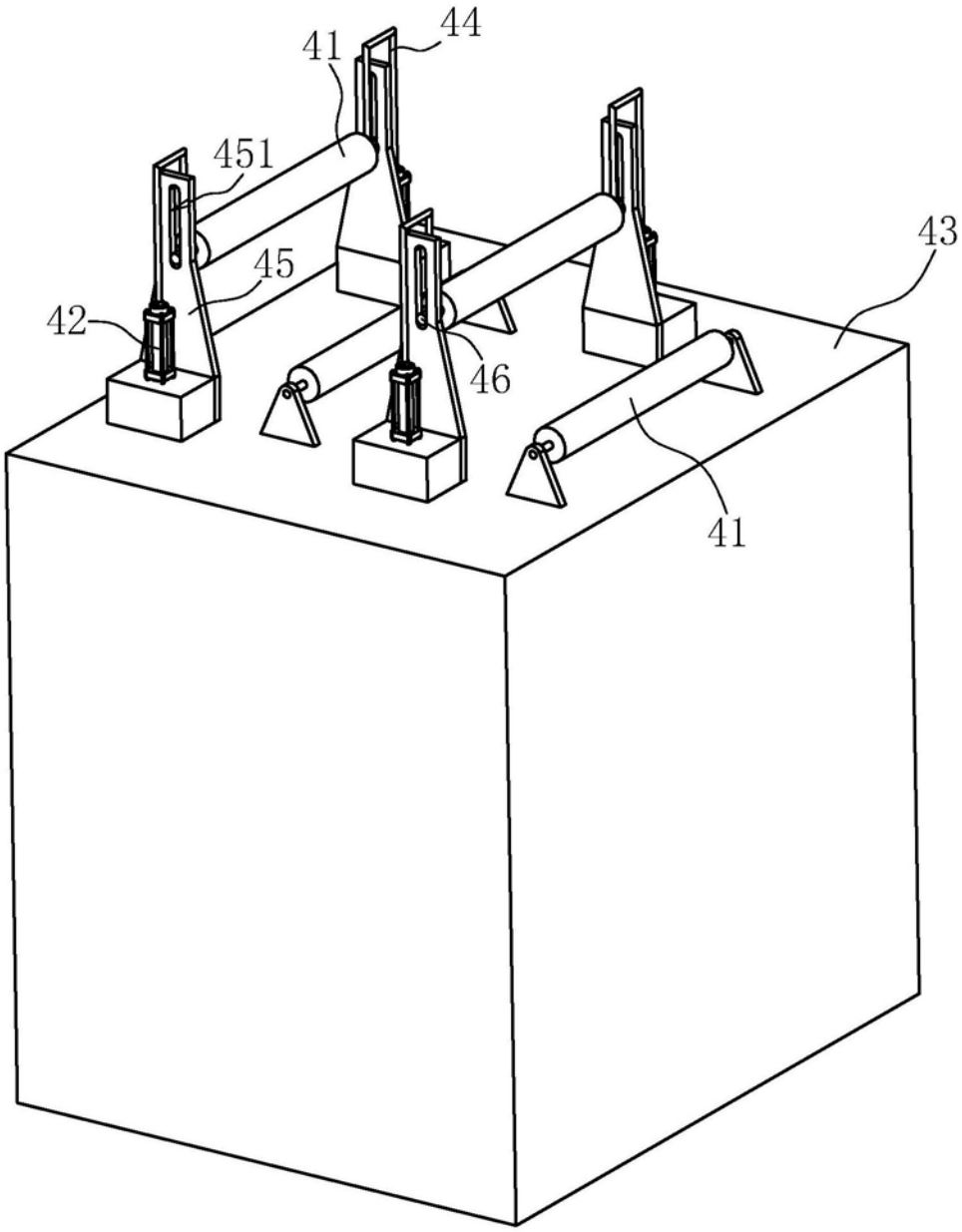


图5

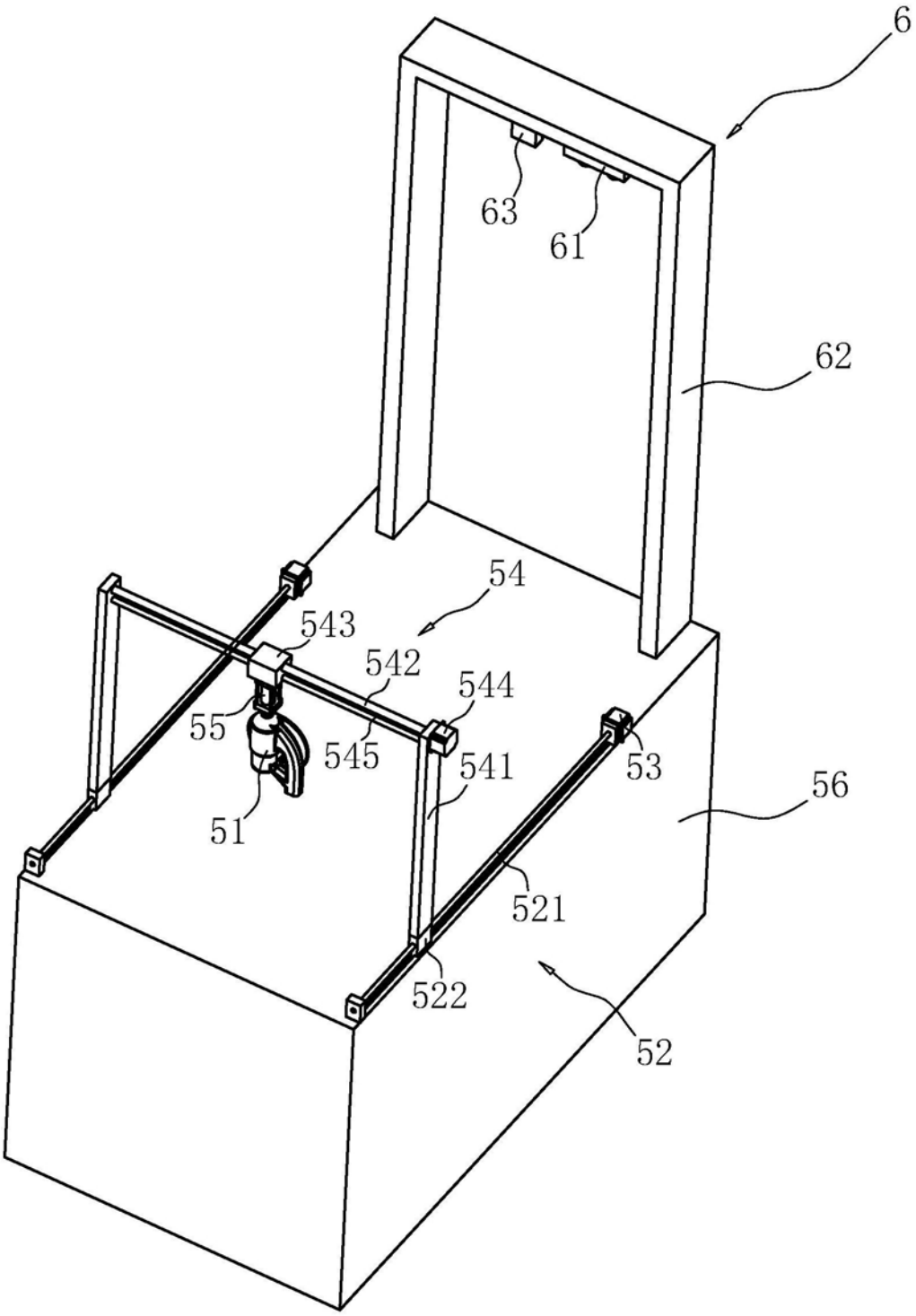


图6

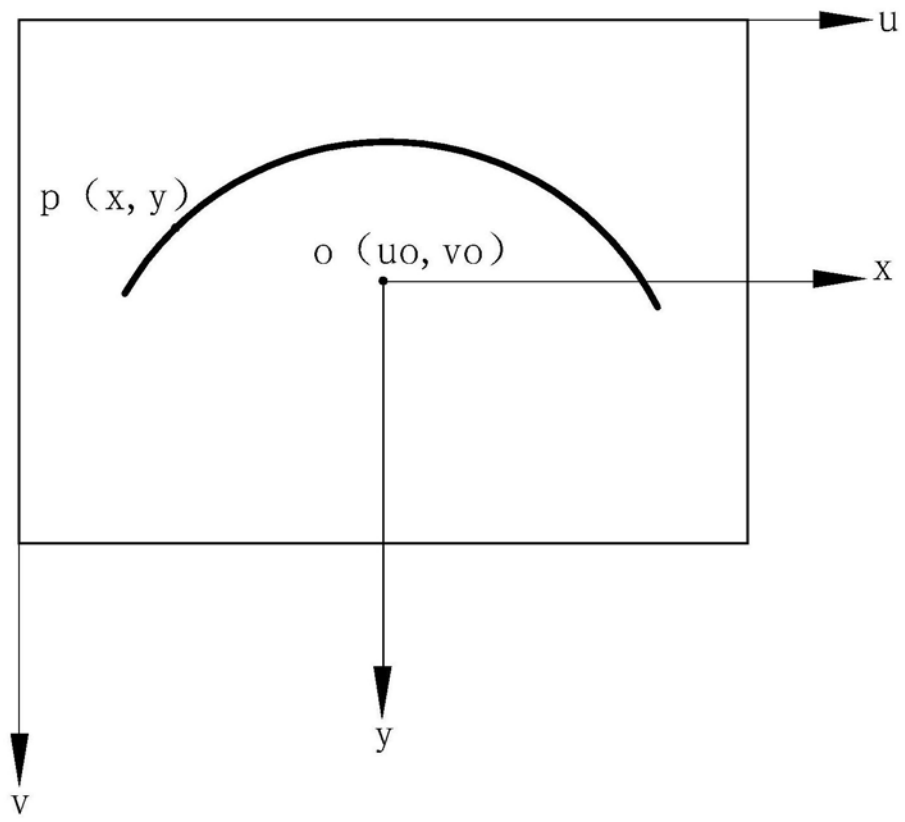


图7

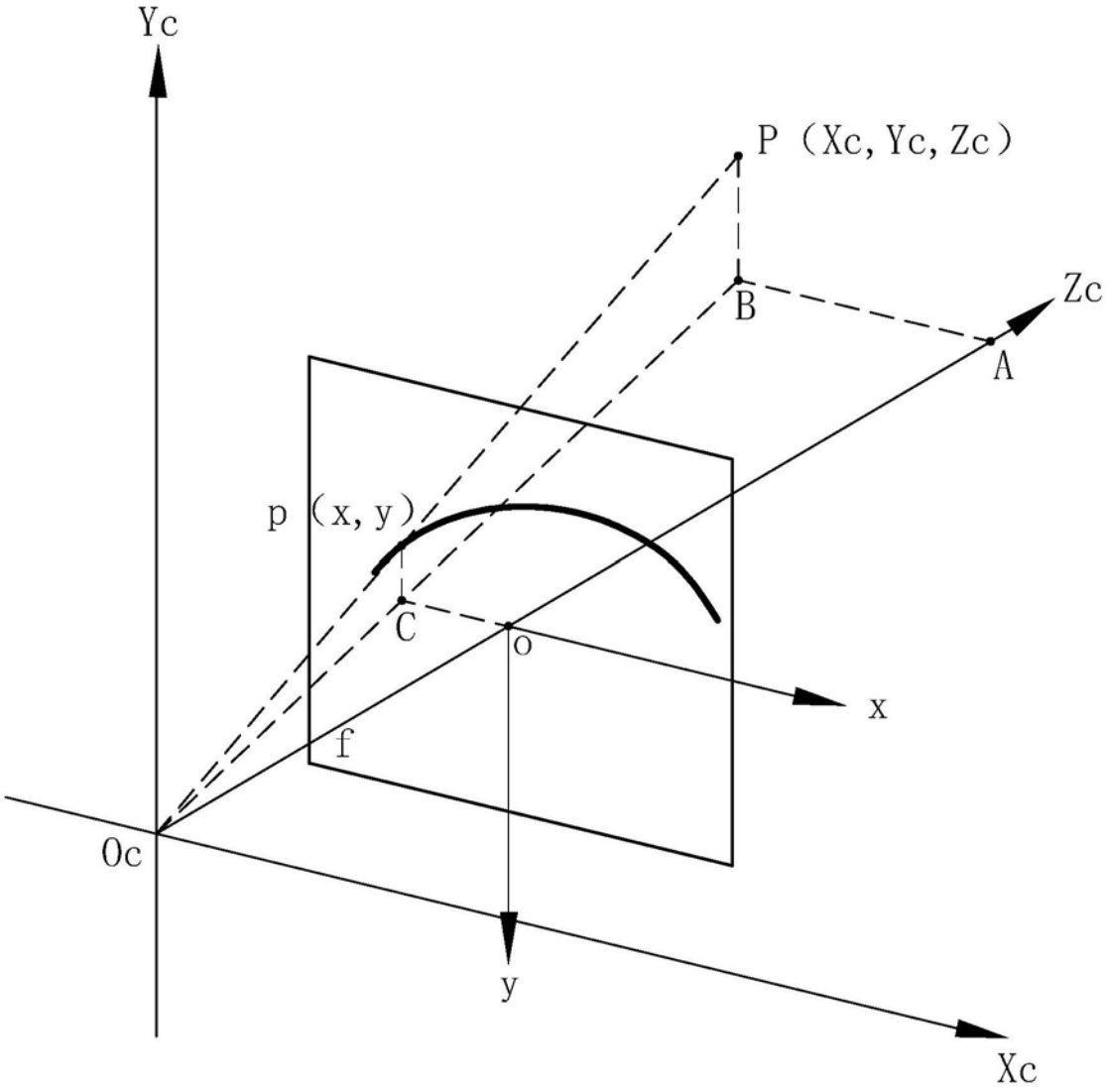


图8

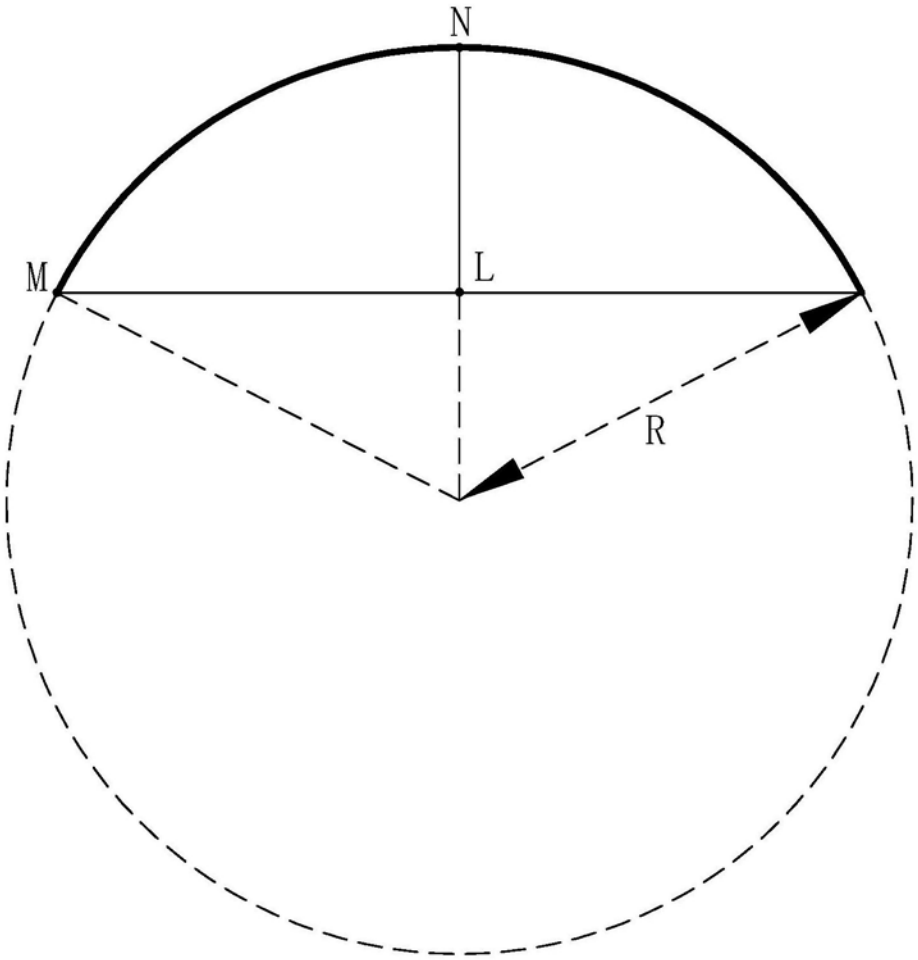


图9