(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110303694 B
(45)授权公告日 2021.04.13

(21)申请号 201910471333.5
(22)申请日 2019.05.31
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110303694 A
(43)申请公布日 2019.10.08
(73)专利权人 北京卫星制造厂有限公司
地址 100190 北京市海淀区知春路63号
(72)发明人 陈怡 祁俊峰 莫桂冬 李敬洋
邵珩 聂中原 左洋 巩维艳
(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心 11009
代理人 茹阿昌
(51)Int.Cl.
B29C 70/52(2006.01)
B29L 23/00(2006.01)

审查员 王燕翔

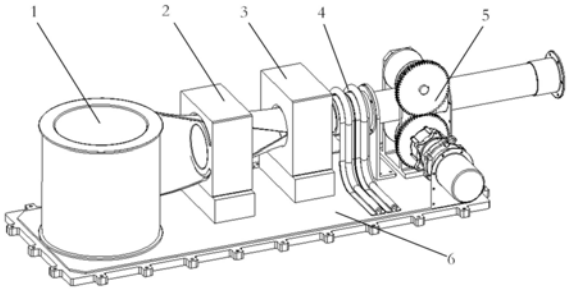
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54)发明名称

一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法

(57)摘要

一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法，包括：原材料丝盘，预热单元、成型单元、冷凝单元、拉挤单元，安装基板。原材料丝盘为用于缠绕待成型材料的滚轴结构；预热单元用于对待成型材料进行一次加热使待成型材料从条带结构弯折成弧面型材；成型单元用于对待成型材料进行二次加热使待成型材料进一步弯折封闭为管件；冷凝单元用于使管件冷却定型；拉挤单元用于使管件沿轴线方向运动。本发明装置适宜管件的空间在轨成型，采用本方法制备的连续纤维增强复合材料管件具有强度高、速度快、低功耗、设备体积小、成型尺寸大的特点。



CN 110303694 B

1.一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,包括:原材料丝盘(1),预热单元(2)、成型单元(3)、冷凝单元(4)、拉挤单元(5),安装基板(6);

所述原材料丝盘(1)为用于缠绕待成型材料的滚轴结构,所述待成型材料为预浸带或编织布;所述待成型材料中的纤维体积含量的取值范围为30%～70%,所述原材料丝盘上缠绕的待成型材料的缠绕长度大于成型管件的长度设计值;

所述预热单元(2)用于对待成型材料进行一次加热,将待成型材料加热到软化点以上,使待成型材料通过弧形通道从条带结构弯折成弧面型材;

所述成型单元(3)用于对待成型材料进行二次加热,将待成型材料加热到成型温度以上,使待成型材料通过阶梯通孔从弧面型材进一步弯折封闭为管件,所述阶梯通孔包括锥形孔和圆形通孔,所述锥形孔位于成型单元(3)靠近所述预热单元(2)一侧的端面上;

所述冷凝单元(4)用于对所述待成型材料形成的管件进行冷却定型,使所述管件冷却至环境温度;

所述拉挤单元(5)用于使所述管件沿轴线方向运动;

所述安装基板(6)用于固定原材料丝盘(1)、预热单元(2)、成型单元(3)、冷凝单元(4)、拉挤单元(5);所述待成型材料依次通过所述预热单元(2)、成型单元(3)、冷凝单元(4)、拉挤单元(5)加工成管件;

所述原材料丝盘(1)、预热单元(2)、成型单元(3)的位置结构满足下列等式:

$$\frac{B}{2}-L_1\tan\frac{\theta}{2}-\frac{d_1}{2}\sin\frac{B}{d_1}=0,$$

$$L=\frac{B}{2\tan\frac{\theta}{2}},$$

$$\frac{1}{2}L\le L_1\le\frac{2}{3}L,$$

$$d_2=\frac{B}{\pi},$$

其中,B为待成型材料的宽度,θ为成型单元(3)锥形孔的锥角,d1为所述预热单元(2)弧形通道的最大直径,d2为成型单元(3)圆形通孔的直径。

2.根据权利要求1所述的一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,

所述预浸带和编织布均为连续纤维增强热塑性复合材料;

所述复合材料中的增强体为碳纤维或芳纶纤维;

所述复合材料中的基体为聚醚醚酮或聚醚酮酮;

所述编织布的规格为平纹编织布,所述编织布的厚度取值范围为:0.2～3mm。

3.根据权利要求1所述的一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,所述待成型材料的宽度＝(1+a)*管件周长设计值,a为搭接余量,单位为mm,0＜a≤0.1。

4.根据权利要求1～3之一所述的一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,所述预热单元(2)沿轴线方向开有使所述待成型材料穿过的弧形通道,所述弧形通道的轴向截面为锥形,所述锥角的取值范围为3°～20°;所述弧形通道的径向截面为存在

断开缺口的圆环;所述预热单元(2)还包括:环向加热带(9),外加热块(10);所述环向加热带(9)和所述外加热块(10)用于加热所述待成型材料并使所述弧形通道内的待成型材料受热均匀。

5.根据权利要求4所述的一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,所述成型单元(3)锥形孔和所述成型单元(3)圆形通孔的轴线长度比例为1:0.63。

6.根据权利要求5所述的一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,所述冷凝单元(4)包括:内定径(14)、冷凝管(15)和冷凝支架(16);

所述内定径(14)为内壁涂有脱模剂的圆筒结构,所述内定径(14)通过冷凝支架(16)固定在安装基板(6)上,所述内定径(14)的外壁周向缠绕有多组并排排列的冷凝管(15),所述冷凝管(15)与所述安装基板(6)固定连接;所述冷凝管(15)内充有制冷工质。

7.根据权利要求6所述的一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置,其特征在于,所述多根冷凝管(15)的总散热功率P确定方法如下:

$P=C\times\rho\times B\times\delta\times\Delta T\times v$,

其中,C为待成型材料的比热,ρ为待成型材料的密度,δ为管件的壁厚,ΔT为成型温度和室温的温度差,v为管件沿轴向运动速度。

8.一种利用如权利要求5所述的快速成型装置进行管件快速成型的方法,其特征在于,包括步骤如下:

1)将原材料丝盘(1)上缠绕的待成型材料穿过预热单元(2)的弧形通道,利用预热单元(2)对待成型材料进行一次加热,使待成型材料通过弧形通道从条带结构弯折成弧面型材;

2)将弯折成弧面型材的待成型材料依次穿过成型单元(3)内的锥形孔和圆形通孔,利用成型单元(3)对待成型材料进行二次加热,使待成型材料通过阶梯通孔从弧面型材进一步弯折封闭为管件;

3)将所述待成型材料形成的管件穿过冷凝单元(4),使所述管件冷却至环境温度;

4)使用拉挤单元(5)沿管件轴向方向拉动所述管件,直至所述管件长度满足要求。

一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法，属于空间增材制造技术领域。

背景技术

[0002] 复合材料管件是航天器结构的重要组成部分，也是大型天线、太阳翼等结构的重要支撑载体。传统制造方式主要采用热固性复合材料缠绕成型，将连续纤维经浸渍热固性树脂胶液后，在一定张力作用下，按照一定角度缠绕到芯模上，然后通过加热固化成型，通过脱模和修整形成具有不同直径的管件制品。缠绕成型工艺通常包括配胶、缠绕铺层、固化、脱模修整等几个步骤。工序相对较长，且管件的长度受到缠绕机、张力器、模具等条件制约，难以实现超长管件的连续成型。工业上虽有热塑性材料的连续挤出成型设备，但是多为通用塑料和普通工程塑料，不能满足太空-150℃～+150℃的高低温环境需求，且缺乏碳纤维等增强材料，刚度不足。连续挤出成型设备通常体积庞大，占地面积大，所需功耗高，设备组成复杂，不适用于空间制造使用。此外空间增材制造设备通常需要以载荷的形式安装在航天器内部，搭载火箭升空。航天器内部空间有限，要求设备集成度高、自动化程度高，且设备具有连续工作能力，可以制造出远大于设备本身的产品。

发明内容

[0003] 本发明的技术解决问题是：克服现有技术的不足，提出了一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法，解决了小尺寸设备难以成型大长径比管件结构的问题，在有限空间和体积内，可以实现长径比大于1000的纤维增强复合材料管件。满足空间环境快速构建、成型质量高的要求。

[0004] 本发明的技术方案是：

[0005] 一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置，包括：原材料丝盘，预热单元、成型单元、冷凝单元、拉挤单元，安装基板；

[0006] 所述原材料丝盘为用于缠绕待成型材料的滚轴结构，所述待成型材料为预浸带或编织布；所述待成型材料中的纤维体积含量的取值范围为30％～70％，所述原材料丝盘上缠绕的待成型材料的缠绕长度大于成型管件的长度设计值；

[0007] 所述预热单元用于对待成型材料进行一次加热，将待成型材料加热到软化点以上，使待成型材料通过弧形通道从条带结构弯折成弧面型材；

[0008] 所述成型单元用于对待成型材料进行二次加热，将待成型材料加热到成型温度以上，使待成型材料通过阶梯通孔从弧面型材进一步弯折封闭为管件，所述阶梯通孔包括锥形孔和圆形通孔，所述锥形孔位于成型单元靠近所述预热单元一侧的端面上；

[0009] 所述冷凝单元用于对所述待成型材料形成的管件进行冷却定型，使所述管件冷却至环境温度；

[0010] 所述拉挤单元用于使所述管件沿轴线方向运动；

[0011] 所述安装基板用于固定原材料丝盘、预热单元、成型单元、冷凝单元、拉挤单元；所述待成型材料依次通过所述预热单元、成型单元、冷凝单元、拉挤单元加工成管件；

[0012] 所述原材料丝盘、预热单元、成型单元的位置结构满足下列等式：

[0013] $$\frac{B}{2}-L_1\tan\frac{\theta}{2}-\frac{d_1}{2}\sin\frac{B}{d_1}=0,$$

[0014] $$L=\frac{B}{2\tan\frac{\theta}{2}},$$

[0015] $$\frac{1}{2}L\le L_1\le\frac{2}{3}L,$$

[0016] $$d_2=\frac{B}{\pi},$$

[0017] 其中，B为待成型材料的宽度，θ为成型单元锥形孔的锥角，d1为所述预热单元弧形通道的最大直径，d2为成型单元圆柱形通孔的直径。

[0018] 一种利用上述快速成型装置进行管件快速成型的方法，包括步骤如下：

[0019] 1)将原材料丝盘上缠绕的待成型材料穿过预热单元的弧形通道，利用预热单元对待成型材料进行一次加热，使待成型材料通过弧形通道从条带结构弯折成弧面型材；

[0020] 2)将弯折成弧面型材的待成型材料依次穿过成型单元内的锥形孔和圆形通孔，利用成型单元对待成型材料进行二次加热，使待成型材料通过阶梯通孔从弧面型材进一步弯折封闭为管件；

[0021] 3)将所述待成型材料形成的管件穿过冷凝单元，使所述管件冷却至环境温度；

[0022] 4)使用拉挤单元沿管件轴向方向拉动所述管件，直至所述管件长度满足要求。

[0023] 本发明与现有技术相比的有益效果是：

[0024] 1)本发明通过两个主动加热段实现纤维增强热塑性复合材料的成型温度控制，利用预热单元实现快速加热到材料的软化点以上，通过成型单元实现高温加热的主动控制；避免了一次加热造成的局部温差过大、应力集中、造成管件成型质量不高的问题；

[0025] 2)本发明在冷却环节没有采用地面设备常见的风冷或水冷设施，而是采用空间冷凝管将热量导出，符合航天器热控管理的导热需求；

[0026] 3)本发明没有采用地面设备常见的前端螺杆挤出形式，而是采用在成型后端设立连续拉挤单元，通过电机带动旋转轮微调节管件的直径，利用主动力矩调节拉挤速度，可以有效兼顾成型效率、冷凝时间和成型质量，可以在较长时间内持续运行。

附图说明

[0027] 图1为本发明装置示意图；

[0028] 图2为本发明装配位置示意图；

[0029] 图3为本发明预热单元示意图；

[0030] 图4为本发明成型单元剖面图；

[0031] 图5为本发明成型单元示意图；

[0032] 图6为本发明冷凝单元示意图；

[0033] 图7为本发明拉挤单元示意图；

[0034] 图8为本发明成型装置外观示意图；

[0035] 图9为本发明成型装置轴侧图；

[0036] 图10为本发明管件成型过程示意图。

具体实施方式

[0037] 复合材料管件是立方星、大型天线、太阳翼等结构的重要组成部分，采用连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法，可以便捷的实现大长径比管件结构，可以以较小的设备空间，较低的能耗获得超长管件产品，可为空间大型结构在轨构建提供方法和思路，可以满足桁架单元碳纤维增强复合材料管件的连续成型需求。

[0038] 与短纤维增强热塑性复合材料不同，长纤维在制造过程中不能切断，本发明装置在成型过程中始终保留了长纤维的连续取向，在管件整体成型的加热段、成形段、直径控制等方面与现有技术明显不同，是一种全新的设计。同时，本发明充分考虑了太空环境资源有限的特点，设备集成度高，采用空间载荷设计方法，可以在小尺寸空间成型大长径比的杆状结构，在成型质量、成型速度方面均超过空间复合材料单丝熔融沉积成型方法，是一种快速构建复合材料管件的空间可用成型方法。本发明中耐空间环境性能的热塑性复合材料需要较高的温度成型，通过两段主动加热段实现控制，利用预热单元实现快速加热到材料的软化点以上，通过成型单元实现高温加热的主动控制；在冷却环节没有采用地面设备常见的风冷或水冷，而是采用冷凝管将热量导出，符合航天器热控环境需求。在连续拉挤部分，综合考虑的成型效率和管件直径，利用主动力矩，保证长时间有效运行。

[0039] 本发明一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置及方法，以连续纤维增强热塑性复合材料单向带或编织布为原材料，按照长径比的要求缠绕在原材料丝盘上1，通过预热单元2使纤维复合材料软化卷曲，通过成型单元3实现纤维复合材料的高温成型，通过周向温度控制实现温度均匀，通过冷凝单元4降温定型成为满足需求直径的管件，通过拉挤单元5实现连续拉挤出设备。

[0040] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步详细的描述。

[0041] 如图1所示，本发明一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型装置，原材料丝盘1为用于缠绕待成型材料的滚轴结构，所述待成型材料为预浸带或编织布；所述待成型材料中的纤维体积含量的取值范围为30％～70％。所述预浸带和编制布均为连续纤维增强热塑性复合材料；所述复合材料中的增强体为碳纤维或芳纶纤维；所述复合材料中的基体为聚醚醚酮或聚醚酮酮。实施例预浸带选用的规格为CF/PEEK UDTP，编织布规格为PEEP粉末吸附的T700平纹编织布，编制布的厚度取值范围为：0.2～3mm；实施例选用厚度为0.8mm的热塑性复合材料编织布预制体。原材料丝盘上缠绕的待成型材料的缠绕长度大于成型管件的长度设计值。所述待成型材料的宽度＝(1+a)*成型管件周长设计值，a为搭接余量，0＜a≤0.1，实施例选取a＝0.03，所述待成型材料的宽度方向与所述滚轴结构的轴线方向一致。

[0042] 所述预热单元2用于对待成型材料进行一次加热，将待成型材料加热到软化点以上，使待成型材料通过弧形通道，从条带结构弯折成弧面型材。如图3所示，预热单元2沿轴线方向开有使所述待成型材料穿过的弧形通道，所述弧形通道的轴向截面为锥形，所述锥角的取值范围为3°～20°；所述弧形通道的径向截面为存在断开缺口的圆环。预热单元2包

括:梯度软化模具8,环向加热带9,外加热块10。外加热块10通过外接加热电路实现模具的主动加热和温度测量的闭环控制,通过环向加热带进一步缩减模具周边的温度梯度,使梯度软化模具各方向温度均匀平衡。梯度软化模具8位于预热单元2的轴线方向,并开有锥形渐缩式弧形通道,弧形通道的入口方向与原材料丝盘1滚轴的切线方向在同一平面上。所述环向加热带9和所述外加热块10用于加热所述待成型材料并使所述弧形通道内的待成型材料受热均匀。

[0043] 所述成型单元3用于对待成型材料进行二次加热,将待成型材料加热到成型温度以上,使待成型材料通过阶梯通孔从弧面型材进一步弯折封闭为管件,所述阶梯通孔包括锥形孔和圆形通孔,所述锥形孔位于成型单元3靠近所述预热单元2一侧的端面上。成型单元3锥形孔和所述成型单元3圆形通孔的轴线长度比例为1:0.63。如图4和图5所示,成型单元3包括:梯度转直段成型模具11,环向高功率加热带12,外保温组件13;环向高功率加热带12提供持续加热至待成型材料的成型温度,并保证周向温度均匀;外保温组件13通过外接加热电路和内部的热敏电阻实现恒定温度的闭环控制;梯度转直段成型模具11位于成型单元3的轴线方向,并开有锥形转圆柱形通道槽,表面涂有耐高温脱模剂,锥段转圆柱端处倒角,使待成型材料成型管件表面光滑,避免表面出现台阶纹;圆柱段比锥形段长。本发明实施例的梯度转直段成型模具11内表面镀铬,涂有高温脱模剂。

[0044] 冷凝单元4用于对所述待成型材料形成的管件进行冷却定型,使所述管件冷却至环境温度,即待成型材料从具有一定温度的封闭管状结构冷却至环境温度,并最终确定管件直径。如图6所示,冷凝单元4包括:内定径14、冷凝管15和冷凝支架16。内定径14为内壁涂有脱模剂的圆筒结构,所述内定径14通过冷凝支架16固定在安装基板6上,所述内定径14的外壁周向缠绕有多组并排排列的冷凝管15,所述冷凝管15与所述安装基板6固定连接,实施例为两组冷凝管15;所述冷凝管15的一端完全包覆内定径14一周,另一端与安装基板6接触固定,所述冷凝管15内充有制冷工质,实施例具体采用高纯液氨,实现温度从内定径14传向安装基板6,并最终通过安装基板背面的辐射通道散出。

[0045] 所述多根冷凝管15的总散热功率P确定方法如下:

[0046] $P=C\times\rho\times B\times\delta\times\Delta T\times v$,

[0047] 其中,C为待成型材料的比热,ρ为待成型材料的密度,δ为管件的壁厚,ΔT为成型温度和室温的温度差,v为管件沿轴向运动速度。

[0048] 单根冷凝管15的功率为p,冷凝管15的数量N,确定方法如下:$N=[P/p]$。

[0049] 实施例中,总散热功率为98W,单个热管功率为50W,所以选用两个冷凝管15并联。

[0050] 拉挤单元5用于使所述管件沿轴线方向运动,将已经冷却至一定直径的管件连续拉挤出设备。如图7所示,拉挤单元5包括:伺服电机、传动轴、齿轮、导向轮和拉挤支架。伺服电机提供动力,其转速可以根据成型速度调整;传动轴将伺服电机力矩转变为转动力矩,通过主动齿轮和被动齿轮带动导向轮转动;通过成型单元3后具有一定直径的管件在两个导向轮之间,并通过导向轮的转动实现连续。实施例为一对齿轮带两个导向轮,本发明技术同样适用于多个齿轮带多组导向轮的情况。

[0051] 如图1所示,安装基板6用于固定原材料丝盘1、预热单元2、成型单元3、冷凝单元4、拉挤单元5;所述待成型材料依次通过所述预热单元2、成型单元3、冷凝单元4、拉挤单元5加工成管件;

[0052] 如图2所示，原材料丝盘1、预热单元2、成型单元3的位置结构满足下列等式：

[0053] $$\frac{B}{2}-L_1\tan\frac{\theta}{2}-\frac{d_1}{2}\sin\frac{B}{d_1}=0,$$

[0054] $$L=\frac{B}{2\tan\frac{\theta}{2}},$$

[0055] $$\frac{1}{2}L\le L_1\le\frac{2}{3}L,$$

[0056] $$d_2=\frac{B}{\pi},$$

[0057] 其中，B为待成型材料的宽度，θ为成型单元3锥形孔的锥角，即预浸带入成型单元3锥形孔的锥角，d1为所述预热单元2弧形通道的最大直径，即预热单元2梯度软化模具8内径，d2为成型单元3圆柱形通孔的直径。

[0058] 一种利用上述的快速成型装置进行管件快速成型的方法，包括步骤如下：

[0059] 1)将原材料丝盘1上缠绕的待成型材料穿过预热单元2的弧形通道，利用预热单元2对待成型材料进行一次加热，使待成型材料通过弧形通道从条带结构弯折成弧面型材，实现软化卷曲；

[0060] 2)将弯折成弧面型材的待成型材料依次穿过成型单元3内的锥形孔和圆形通孔，利用成型单元3对待成型材料进行二次加热，使待成型材料通过阶梯通孔从弧面型材进一步弯折封闭为管件；

[0061] 3)将所述待成型材料形成的管件穿过冷凝单元4，使所述管件冷却至环境温度；

[0062] 4)使用拉挤单元5沿管件轴向方向拉动所述管件，直至所述管件长度满足要求。

[0063] 实施例

[0064] 待成形材料的宽度B为79mm，成形单元3锥形孔的锥角θ为6°，原材料丝盘1中心和成型单元3中心的垂直距离L为380mm，原材料丝盘1中心和预热单元2中心的垂直距离L1为230mm，预热单元2弧形通道的最大直径d1为36.5mm，成形单元3圆柱形通孔直径d2为24.5mm。

[0065] 利用本发明装置实施连续纤维增强复合材料管件快速成型的方法，如图10所示，包括步骤如下：

[0066] 步骤1：确定安装基板6，标定各组件位置，按照顺序安装各部件。

[0067] 连续纤维增强复合材料预浸带或编织布的宽度与目标管件的直径满足搭接宽度的要求、原材料丝盘1、预热单元2和成型单元3的距离存在位置关系，满足合材料预浸带或编织布顺滑通过预热单元2无明显褶皱和应力集中区域。冷凝单元4与成型单元3、拉挤单元5存在位置关系。根据设定值，在安装基板6上标定各组件位置，按照顺序安装各部件如图1所示。

[0068] 步骤2：启动装置开始预加热，导引复合材料单向带或编织布穿过预热单元2，进入成型单元3。

[0069] 预热单元2通过环向加热实现模具的快速升温，达到材料的软化点以上。预热单元2采用主动加热和温度测量的闭环控制策略，可以实现温度的自校核功能。如图2所示，达到

预热温度后，导引复合材料单向带/编织布进入成型单元3。连续纤维增强热塑性复合材料单向带或编织布初始缠绕在原材料丝盘1上，通过预热单元2实现软化卷曲，输送到成型单元3。

[0070] 步骤3：继续加热到成型温度，启动冷凝单元4和拉挤单元5。

[0071] 成型单元通过梯度转直段成型模具11、外保温组件13和环向高功率加热带12组合的闭合温度控制，达到待成型材料的成型温度。开启冷凝单元4和拉挤单元5，同步调整冷凝单元温度，逐渐提升拉挤速度，调节成型速度、冷却速度和拉挤速度，逐步达到与三者速度匹配，使待成型材料沿着成型模具11的外缘前进。成型过程中预热单元2、成型单元3始终保持闭环控温状态；拉挤单元的电机按预设工艺参数控制，通过机构驱动管件沿轴向向外伸展。已通过预热单元2实现软化卷曲的连续纤维增强热塑性复合材料单向带或编织布，通过成型单元3，实现温度和压力的二次提升，使得复合材料沿着成型模具的外壁逐步成型为预定直径的管件。

[0072] 步骤4：调节各单元温度和压力，控制拉挤单元运动速度达到稳定

[0073] 拉挤单元5在成型的后端提供牵引力，使得单项预浸带或编织布依次通过预热单元2、成型单元3、冷凝单元4，实现原材料从带材，加热卷曲拉挤成型为圆形截面的管件，最终固化成为满足直径要求的一维细长管件结构。通过主动轮和从动轮利用圆周夹持管件外形的方式，在电机驱动下牵引管件沿轴向向外运动。到达设定成型长度后，预热单元2、成型单元3停止加热，拉挤单元5的电机停止，未成型的预浸带逐步冷却。

[0074] 如图8所示，本发明装置产品的空间尺寸为，770×344×232mm。空间包络尺寸不超过1m^3，提供一种连续纤维增强复合材料管件的快速成型方法，可以实现长径比大于1000的管件，如图9所示。

[0075] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域专业技术人员的公知技术。

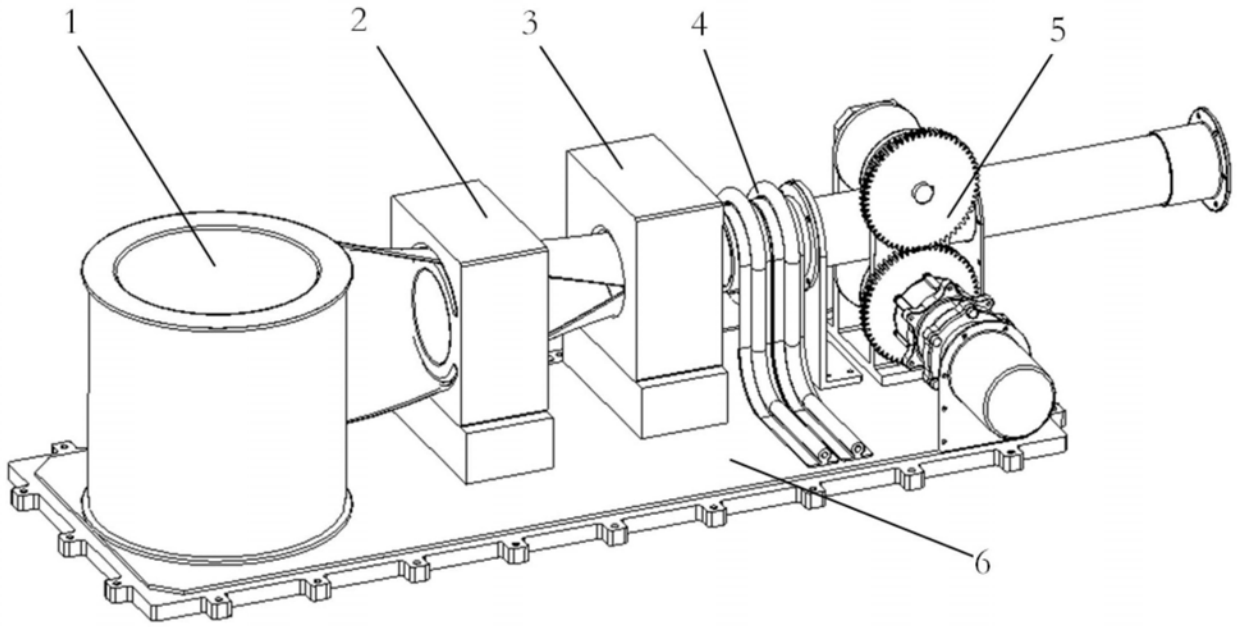


图1

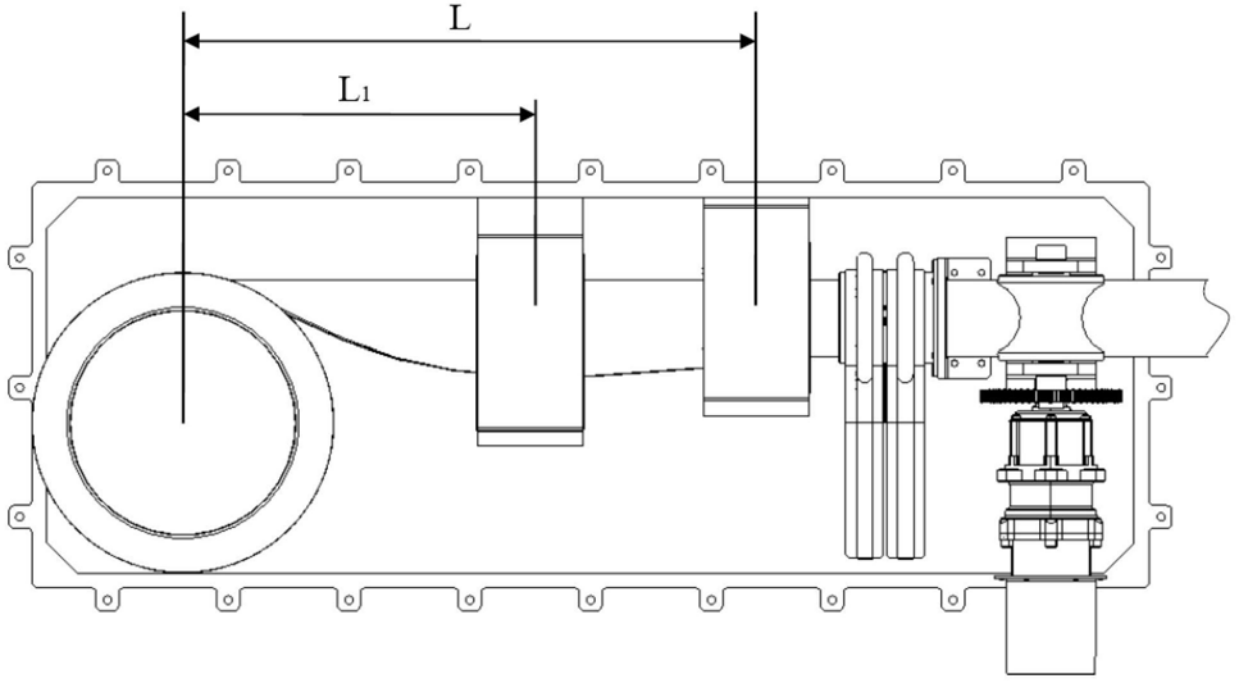


图2

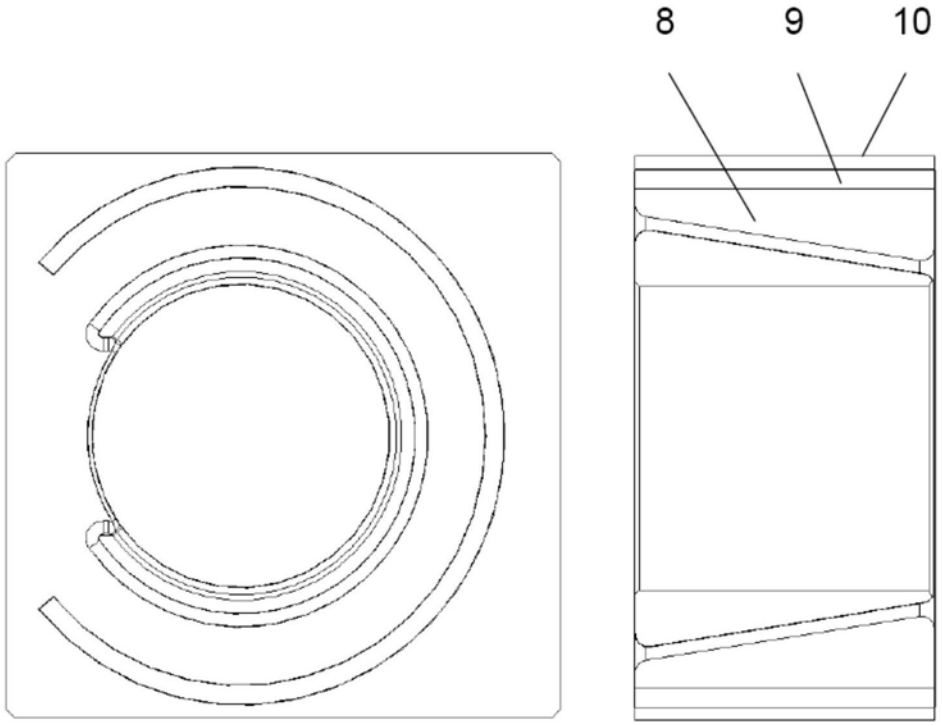


图3

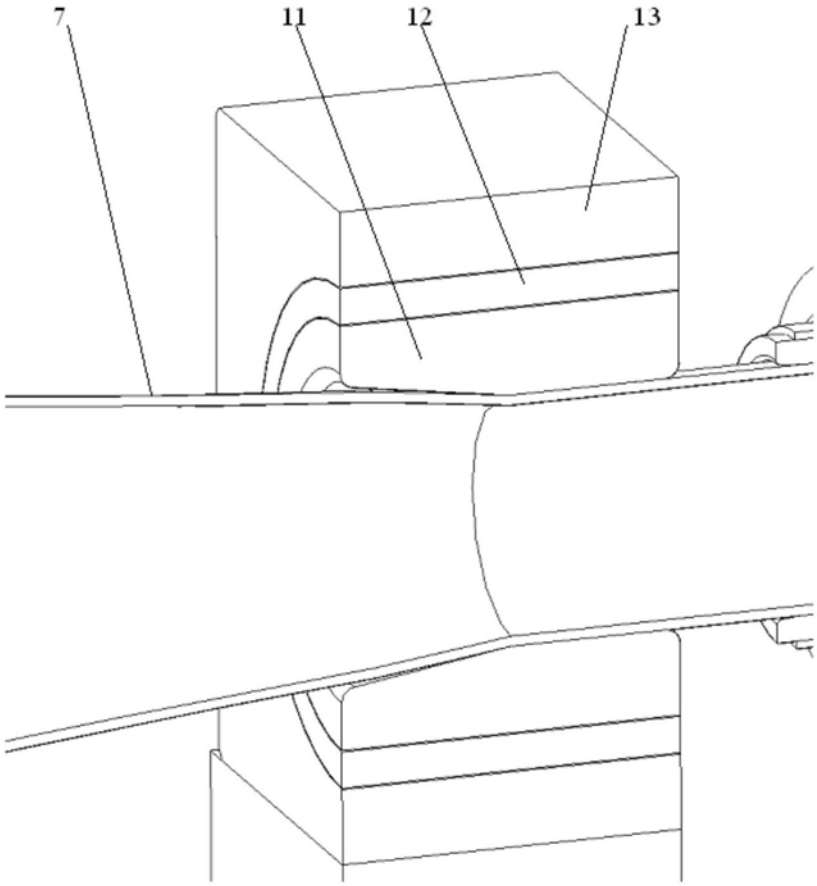


图4

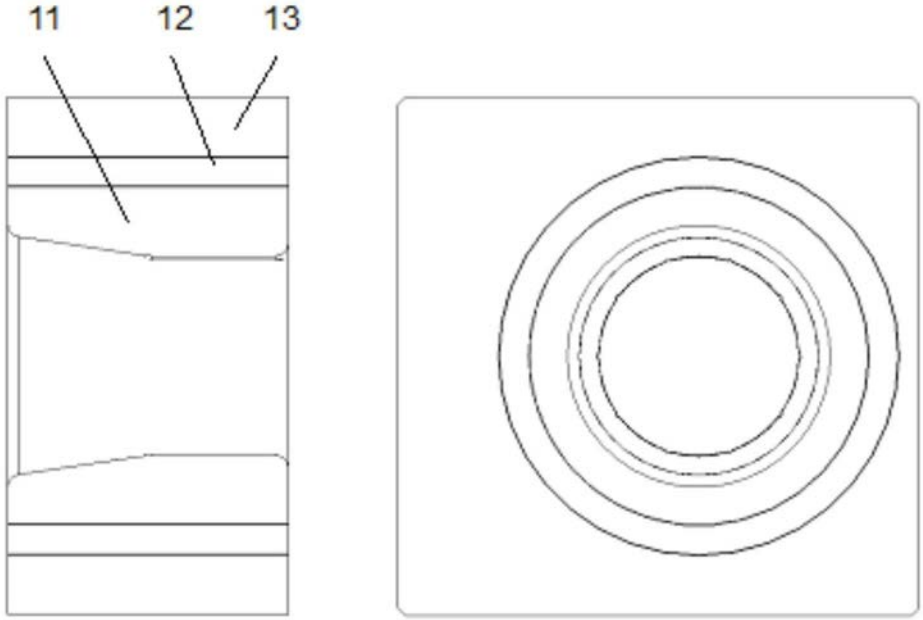


图5

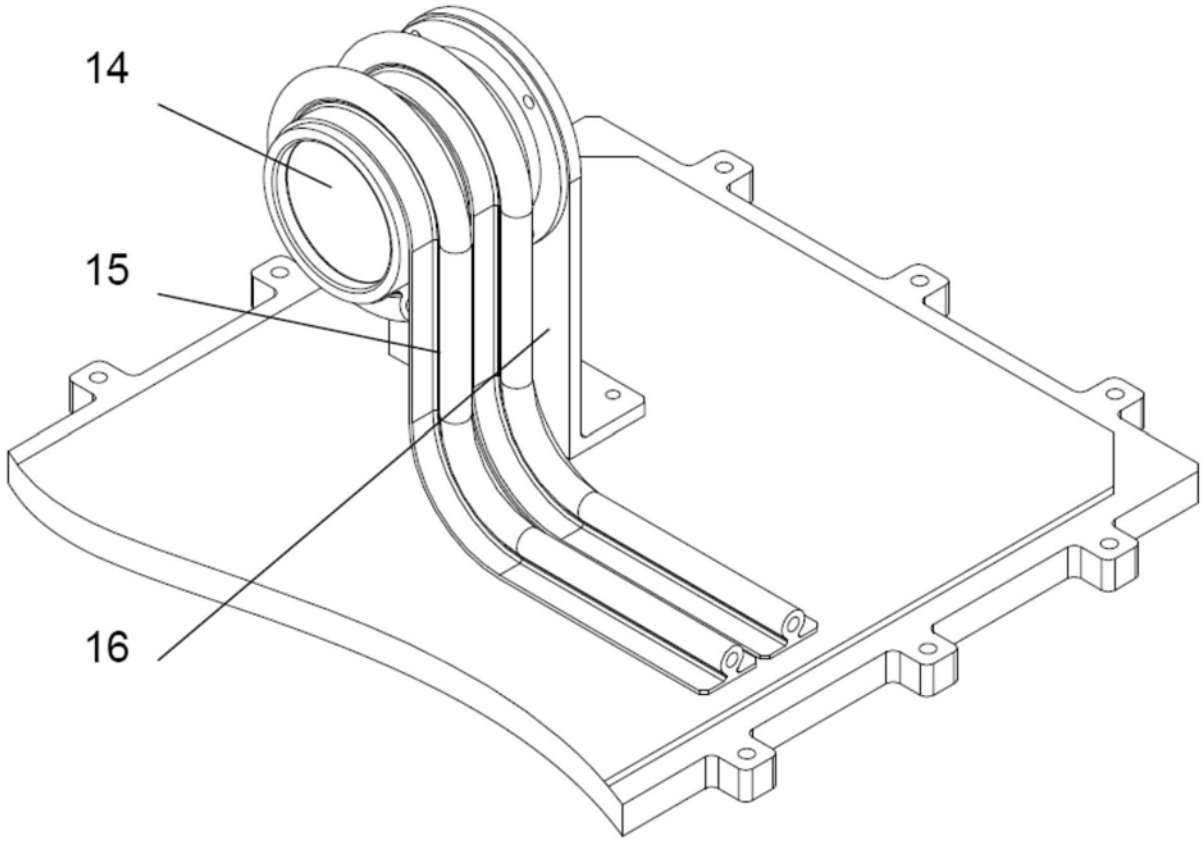


图6

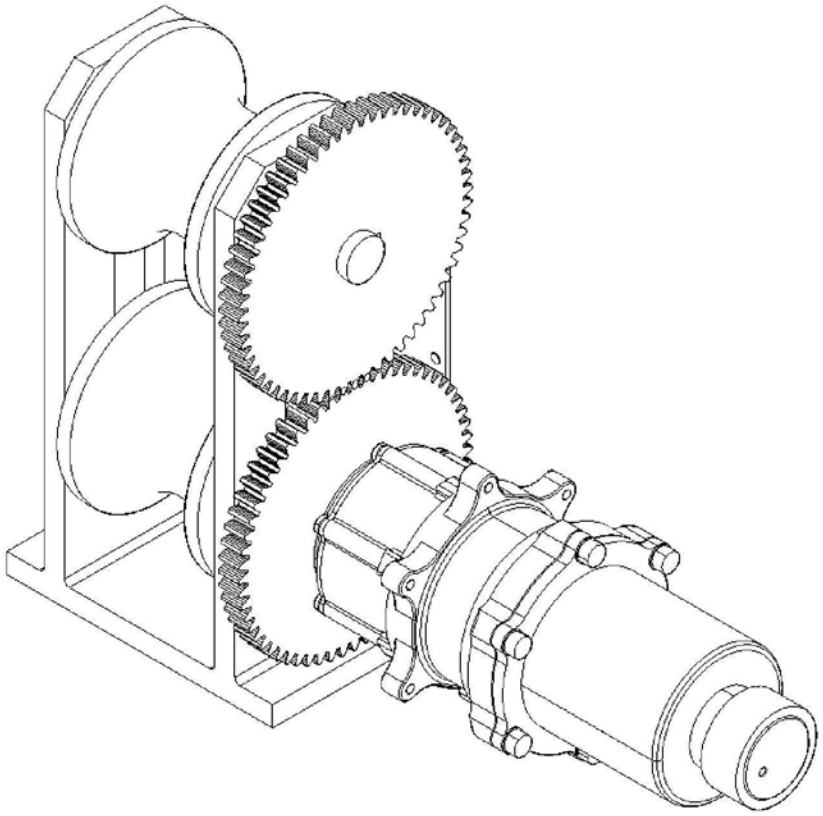


图7

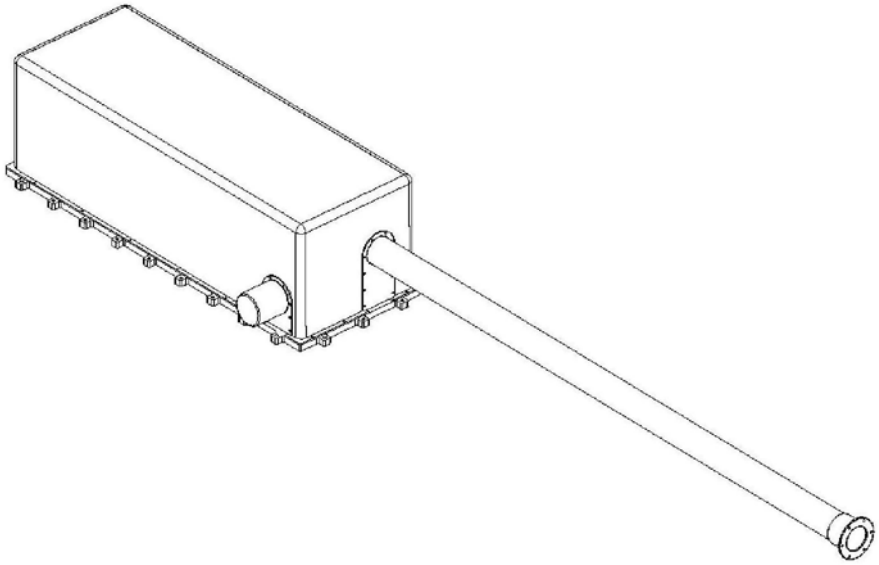


图8

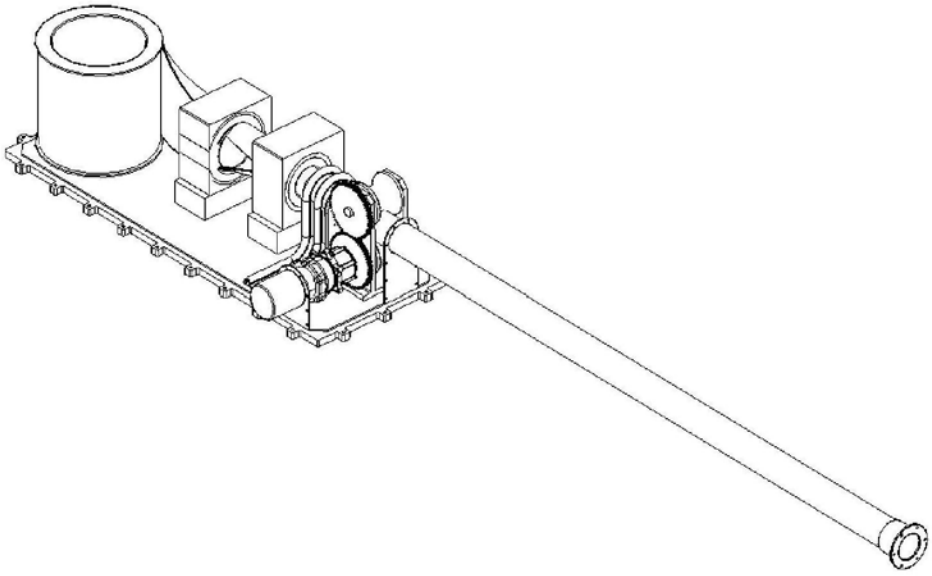


图9

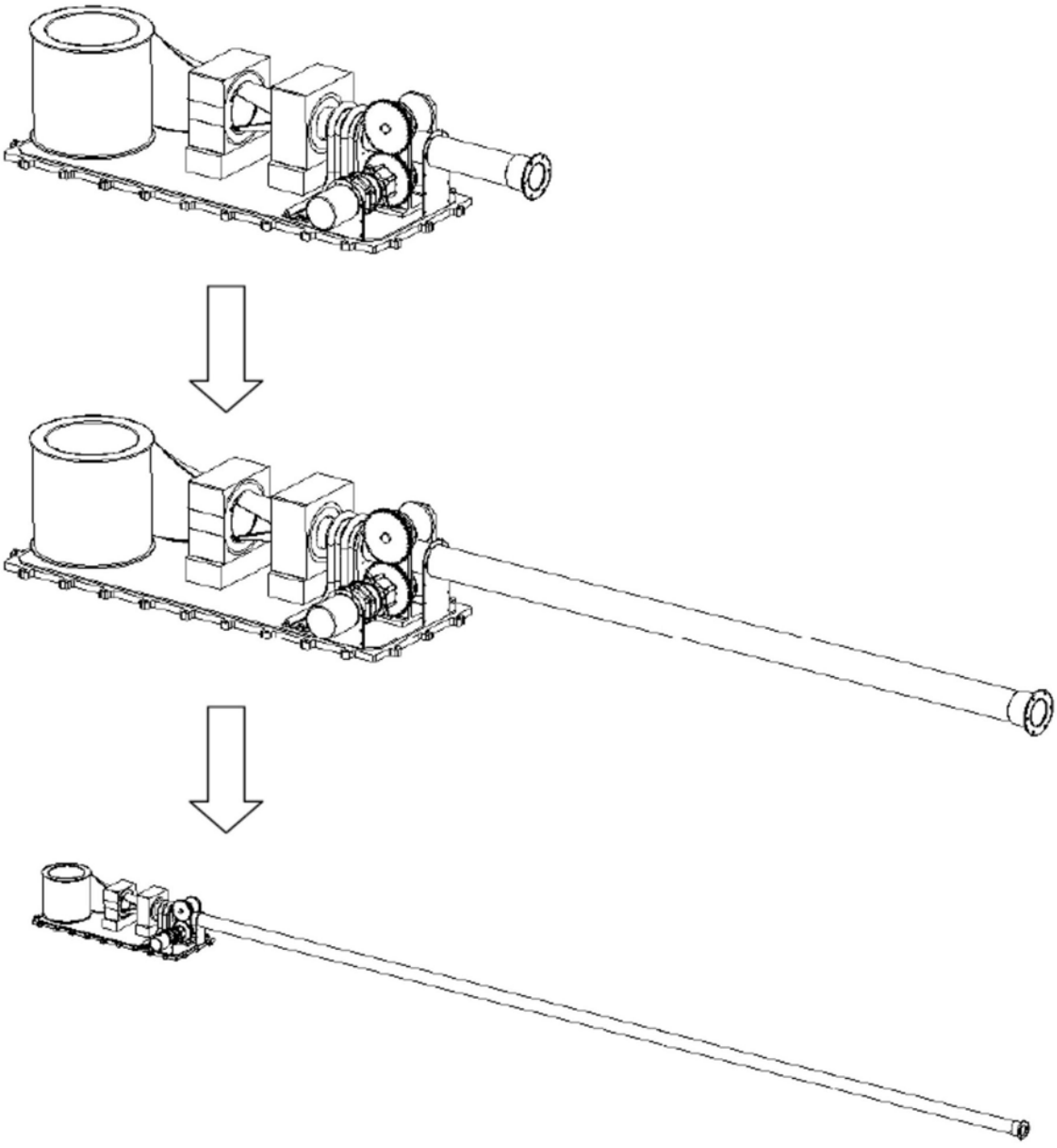


图10