



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107735565 A

(43)申请公布日 2018.02.23

(21)申请号 201680035638.6

(22)申请日 2016.05.23

(30)优先权数据

2015-123545 2015.06.19 JP

2016-100508 2016.05.19 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.12.18

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2016/002491 2016.05.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/203710 JA 2016.12.22

(71)申请人 THK株式会社

地址 日本国东京都

(72)发明人 浅生利之 会田智幸 咲山隆

林勇树 关和市

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 刘文海

(51)Int.Cl.

F03B 1/00(2006.01)

F03B 7/00(2006.01)

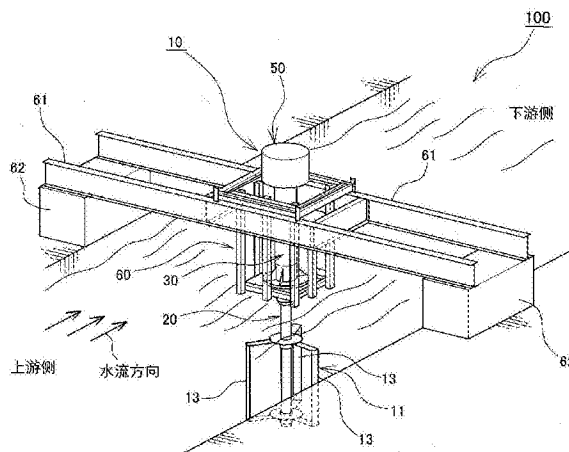
权利要求书1页 说明书10页 附图16页

(54)发明名称

垂直轴型水力发电装置、垂直轴型水力发电单元

(57)摘要

垂直轴型水力发电装置(100)具备:接受来自水流的旋转驱动力而产生电力的发电机(50);旋转自如地与发电机(50)连结且沿铅垂方向垂下设置的垂直旋转轴(20);以及在垂直旋转轴(20)的周围沿圆周方向以大致等角度间隔配设的多个叶片(13)。多个叶片(13)沿铅垂方向延伸形成且形成横截面形状由翼型形状构成的直线翼,且在从底面侧观察该多个叶片(13)时,由5张以下的叶片数构成。通过具备上述构成,能够提供既能确保充分的输出特性又能将因水流的影响而产生的激振力(疲劳载荷)抑制得较小、并且能够将结构体的质量与装置整体的设置成本抑制为最小限度的、以往所没有的垂直轴型水力发电装置。



1. 一种垂直轴型水力发电装置,其具备:  
接受来自水流的旋转驱动力而产生电力的发电机;  
旋转自如地与所述发电机连结且沿铅垂方向垂下设置的垂直旋转轴;以及  
在所述垂直旋转轴的周围沿圆周方向以大致等角度间隔配设的多个叶片,  
所述垂直轴型水力发电装置的特征在于,  
所述多个叶片沿铅垂方向延伸形成且形成为横截面形状由翼型形状构成的直线翼,并且在从底面侧观察该多个叶片时,由5片以下的叶片数构成。
2. 根据权利要求1所述的垂直轴型水力发电装置,其特征在于,  
在从底面侧观察所述多个叶片时,由3片~5片的叶片数构成。
3. 根据权利要求1或2所述的垂直轴型水力发电装置,其特征在于,  
所述多个叶片在沿铅垂方向延伸的任一方的端部具备由曲线形状构成的圆角部,  
在设所述圆角部的曲率半径为R、包含所述圆角部的所述叶片整体的长度为L时,构成  
为下述的不等式成立,  
 $0.01L \leq R \leq 0.20L$ 。
4. 根据权利要求3所述的垂直轴型水力发电装置,其特征在于,  
所述不等式构成为  
 $0.01L \leq R \leq 0.15L$ 。
5. 根据权利要求1~4中任一项所述的垂直轴型水力发电装置,其特征在于,  
所述叶片在沿铅垂方向延伸的上下两端部分别具备由曲线形状构成的两个圆角部,该  
两个圆角部由相同尺寸形成。
6. 根据权利要求1~5中任一项所述的垂直轴型水力发电装置,其特征在于,  
所述多个叶片的弦周比为0.1~0.29。
7. 一种垂直轴型水力发电单元,其特征在于,  
所述垂直轴型水力发电单元具备:  
权利要求1~6中任一项所述的垂直轴型水力发电装置;  
在进行所述垂直轴型水力发电装置的固定设置时进行支承的支承体;以及  
与所述支承体连接的桥部,  
所述桥部通过固定设置于在设置部位设置的根基部而进行安装。

## 垂直轴型水力发电装置、垂直轴型水力发电单元

### 技术领域

[0001] 本发明涉及垂直轴型水力发电装置以及垂直轴型水力发电单元。

### 背景技术

[0002] 以往,公知有利用水流使水车所具备的叶片进行旋转运动,并将该旋转运动传递给发电机而产生电力的水力发电装置。在以往的小型的水力发电装置中,多使用拦截水路而进行发电的“落差式”、利用水流的阻力进行发电的“桶形转子(Savonius)型”的水车(例如,参照下述专利文献1)。但是,在欲将这些水车设置于现有的水路的情况下,需要用于避免水从水路溢出的大规模的水路改造工程等,因此,对水力发电装置的设置场所存在较多的制约。另外,在水车的特性方面,由于在水路中流动的垃圾堆积于水车,因此,还需要除尘装置和巨额的维修费用。也就是说,在以往的水力发电装置中,从需要巨大的初期成本和维持成本等经济合理性的观点出发,存在阻碍其普及的要因。

[0003] 作为解决上述的以往的水力发电装置所存在的技术问题的方法,近年来,研究利用了升力特性的垂直轴型水力发电装置的实现。该垂直轴型水力发电装置具备:接受来自水流的旋转驱动力而产生电力的发电机;旋转自如地与发电机连结且沿铅垂方向垂下设置的垂直旋转轴;沿圆周方向以大致等角度间隔在该垂直旋转轴的周围配设的多个叶片,该装置具有多个叶片沿与水流垂直的方向配置的形式,因此具备不需要以往技术所需要的除尘装置、巨额的维修费用的优点。

[0004] 在先技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2003-106247号公报

### 发明内容

[0007] 发明要解决的课题

[0008] 但是,现状是垂直轴型水力发电装置所设想的沿垂直方向配置的叶片多用于风力发电,尚未向水力发电装置普及。这是由于,与风车所利用的风(空气)不同,水车所利用的水流(水)具有空气的约800倍的密度,因此,存在正常对叶片施加的来自水流的载荷变得非常大这样的课题。即,若欲为了提高发电效率而增大叶片的输出,则即使在从恒定流速的流水接受力的情况下,也对水车整体施加非常大的载荷,基于振动的疲劳载荷的影响也很大。特别是,在垂直轴型水力发电装置的情况下,配置于在水路中流动的流水中的叶片成为悬臂梁的结构,因此,为了能承受来自水流的大载荷和激振引起的疲劳载荷,需要牢固的结构体。也就是说,在现有的垂直轴型水力发电装置中,虽然具有以往的其他形式的水力发电装置所不存在的形式上的优点,但作为垂直轴型水力发电单元,根据规格可能使设置成本增大化。

[0009] 本发明是鉴于上述的以往技术所存在的课题而做成的,其目的在于提供既能确保充分的输出特性又能将因水流的影响而产生的激振力(疲劳载荷)抑制得较小、并且能将结

构体的质量与装置整体的设置成本抑制为最小限度的、以往所没有的垂直轴型水力发电装置。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 本发明涉及的垂直轴型水力发电装置具备:接受来自水流的旋转驱动力而产生电力的发电机;旋转自如地与所述发电机联结且沿铅垂方向垂下设置的垂直旋转轴;以及在所述垂直旋转轴的周围沿圆周方向以大致等角度间隔配设的多个叶片,所述垂直轴型水力发电装置的特征在于,所述多个叶片沿铅垂方向延伸形成且形成横截面形状由翼型形状构成的直线翼,并且在从底面侧观察该多个叶片时,由5片以下的叶片数构成。

[0012] 发明效果

[0013] 根据本发明,能够提供既能确保充分的输出特性又能将因水流的影响而产生的激振力(疲劳载荷)抑制得较小、且能将结构体的质量与装置整体的设置成本抑制为最小限度的、以往所没有的垂直轴型水力发电装置。

## 附图说明

[0014] 图1是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电单元的整体构成的外观立体图。

[0015] 图2是例示出能应用于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置的翼型形状的图。

[0016] 图3是表示相对于水车所具有的多个叶片的位置角(deg)的激振力(N)的情形的曲线图,图3中的分图(a)表示叶片片数为2片的情况下的结果,图3中的分图(b)表示叶片片数为5片的情况下的结果。

[0017] 图4是表示叶片片数在2片~9片之间每增加1片时作用于垂直旋转轴的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)的变化的曲线图。

[0018] 图5是表示关于叶片片数在2片~9片之间每增加1片时的设置成本的影响进行了验证的结果的曲线图。

[0019] 图6是表示在叶片片数为偶数的情况和奇数的情况下作用于垂直旋转轴的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)所显示的不同变化倾向的曲线图。

[0020] 图7是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置能采用的外观形状的具体的构成例的图。

[0021] 图8是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置能采用的外观形状的具体的构成例的图。

[0022] 图9是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置能采用的外观形状的具体的构成例的图。

[0023] 图10是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置能采用的外观形状的具体的构成例的图。

[0024] 图11是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置能采用的外观形状的具体的构成例的图。

[0025] 图12是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置能采用的外观形状的具体的构成例的图。

[0026] 图13是表示本实施方式涉及的叶片单体的详细的结构的图,图中的分图(a)表示1

片叶片的侧视图,分图(b)表示1片叶片的俯视图。

[0027] 图14是表示1片叶片旋转一圈时所作用的载荷的变动状况的图。

[0028] 图15是表示相对于在叶片的拐角部产生的应力的疲劳极限的安全率与输出利用率的曲线图,横轴表示圆角部相对于叶片全长的比例,左纵轴表示相对于疲劳极限的安全率,右纵轴表示输出利用率。

[0029] 图16是将图15中所示的曲线图放大的曲线图,表示图15中的左纵轴的相对于疲劳极限的安全率为0~4的范围的情况。

## 具体实施方式

[0030] 以下,使用附图关于用于实施本发明的优选的实施方式进行说明。需要说明的是,以下的实施方式并不是用于限定各技术方案的发明,而且在实施方式中说明的特征的组合均未是发明的解决手段所必须的。

[0031] 首先,关于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电单元100的整体构成例进行说明。在此,图1是表示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电单元的整体构成的外观立体图,图2是例示能应用于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置的翼型形状的图。

[0032] 本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10是利用水流使由叶片13构成的水车11进行旋转运动、并将该旋转运动传递给发电机50而产生电力的装置。作为具体的构成,如图1所示,本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10具备:在水流的作用下旋转的水车11;供水车11设置的垂直旋转轴20;具备将垂直旋转轴20支承为能够旋转的轴承的轴承支承部30;以及利用垂直旋转轴20的旋转驱动力产生电力的发电机50。并且,本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10设置于例如用水路。

[0033] 另外,作为垂直轴型水力发电单元100,以包围垂直旋转轴20、轴承支承部30的方式设置支承体60,该支承体60用于支承作为旋转构件的水车11、垂直旋转轴20,并进行垂直轴型水力发电装置10的固定设置,在该支承体60连接有架设于用水路等的桥部61。通过将支承体60和桥部61固定设置于在例如用水路的两岸设置的根基部62,从而进行本实施方式涉及的垂直轴型水力发电单元100的设置。

[0034] 图1中所例示的水车11是在垂直旋转轴20的周围沿圆周方向以大致等角度间隔配设构成该水车的多个叶片13而成的水车,在图1中,例示出设置有3片叶片13的情况。这3片叶片13分别具有由大致 $\cap$ 形构成的外观形状,且设置为大致 $\cap$ 形的开放部朝向垂直旋转轴20。另外,大致 $\cap$ 形的纵棒部形成为沿铅垂方向延伸,并且横截面形状形成为由翼型形状构成的直线翼。这样,形成为直线翼的沿铅垂方向延伸的大致 $\cap$ 形的纵棒部作为水车11的叶片部发挥功能。即,如图1所示,本实施方式涉及的水车11将3片叶片13配置于水中并接受来自水流的力(水的推力),从而作为由翼型形状构成的直线翼的叶片13受到水流而产生升力,将水车11的中心(垂直旋转轴20)作为中心轴进行旋转。

[0035] 需要说明的是,关于叶片13所具有的横截面形状的翼型形状,如图2中所例示的那样,能够采用所有形式的翼型形状。例如,可以采用图2中的分图(a)所示那样的、NASA(美国航空宇宙局:National Aeronautics and Space Administration)的前身即NACA(美国航空咨询委员会:National Advisory Committee for Aeronautics)定义的“NACA0018”这样的翼型,也可以采用图2中的分图(b)所示那样的、由东海大学开发的“TWT12013-05-BA642”

这样的翼型。

[0036] 如上所述,垂直旋转轴20是在其下端侧设置3片叶片13、并接受在叶片13的作用下产生的旋转力而进行旋转运动的构件。垂直旋转轴20与3片叶片13通过例如螺栓及螺母等那样的公知的连结机构可靠地连结固定。并且,垂直旋转轴20由轴承支承部30所具备的轴承支承为能够旋转。

[0037] 垂直旋转轴20的旋转由轴承支承部30支承并传递给发电机50,从而发电机50产生电力。需要说明的是,本实施方式涉及的发电机50设置为发电机50所具备的未图示的输入轴与垂直旋转轴20同轴。但是,在发电机50与垂直旋转轴20使用行星齿轮、减速器进行连接的方式的情况下,发电机50所具备的未图示的输入轴也可以不与垂直旋转轴20同轴地配置。并且,发电而产生的电力由未图示的送电机构向电力消耗地、蓄电机构等输送。

[0038] 以上,说明了本实施方式涉及的垂直轴型水力发电单元100的整体构成例。接下来,说明发明人基于上述的垂直轴型水力发电单元100进行实验的实验结果。以下所说明的实验结果是发明人为了获得既能确保充分的输出特性又能将因水流的影响而产生的激振力(疲劳载荷)抑制得较小、且能够将结构体的质量与装置整体的设置成本抑制为最小限度的、以往所没有的垂直轴型水力发电装置10及垂直轴型水力发电单元100而最初构思并研究所得到的成果。

[0039] 首先,发明人着眼于在垂直轴型水力发电装置10及垂直轴型水力发电单元100中成为课题的影响中的、由于水流的推力而在水车11的叶片13产生的激振力(疲劳载荷)的影响。然后,发明人通过单一流管理论对具有由直线翼构成的叶片13的水车11的转子特性(疲劳载荷特性)进行解析而获得图3所示的结果。在此,图3是表示相对于水车11所具有的多个叶片13的位置角(deg)的激振力(N)的情形的曲线图,图3中的分图(a)表示叶片片数为2片的情况下的结果,图3中的分图(b)表示叶片片数为5片的情况下的结果。

[0040] 如图3中的分图(a)所示那样,在叶片片数为2片的情况下,对各叶片13施加的激振力(N)的变动非常大,且关于对这2片叶片13施加的激振力(N)的合计值,也如符号 $\alpha$ 所示的箭头宽度所示那样,具有非常大的振幅变动。

[0041] 另一方面,在叶片片数为5片的情况下,可以确认:如图3中的分图(b)所示那样,对各叶片13施加的激振力(N)的变动比较下,且关于对这5片叶片13施加的激振力(N)的合计值,也通过使激振力(N)彼此抵消而如符号 $\beta$ 所示的箭头宽度所示那样,具有非常小的振幅变动。

[0042] 根据以上的结果可知,在叶片片数为2片的水车11的情况下,水车旋转一圈时的载荷振幅为略大于350N,与此相对,在叶片片数为5片的水车11的情况下,水车旋转一圈时的载荷振幅为略小于50N,两者的载荷振幅存在约7倍的差距。因此,能够得到如下的假设,在垂直轴型水力发电装置10中,叶片13的片数越多,在水车11的叶片13所产生的激振力(疲劳载荷)越变小。

[0043] 因此,接下来,发明人关于叶片片数的不同给作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩( $N \cdot m$ )带来什么差异进行了验证。将其结果示于图4中。在此,图4是表示叶片片数在2片~9片之间每增加1片时作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩( $N \cdot m$ )的变化的曲线图。

[0044] 如图4所示,能够确认,随着叶片片数从2片增加至3片、4片、5片,作用于垂直旋转

轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)暂时减少。但是,能够确认,在叶片片数为6片时,与5片的情况相比,弯曲力矩(N·m)稍稍增加。而且,能够确认,当叶片片数为6片以上时,作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)不太变化,叶片片数的增加给弯曲力矩(N·m)带来的影响减少。但是,能够确认,关于叶片片数为6片以上的情况下的弯曲力矩(N·m),与叶片片数为2片时相比,弯曲力矩(N·m)也得到较大抑制,通过使叶片片数为至少3片以上,能够大幅减少作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)。

[0045] 接着,发明人关于阻碍垂直轴型水力发电装置10及垂直轴型水力发电单元100的普及的另一个要因即设置成本的影响进行了验证。将其结果示于图5中。在此,图5是表示关于叶片片数在2片~9片之间每增加1片时的设置成本的影响进行了验证的结果的曲线图。需要说明的是,在图5所示的曲线图中,为了便于说明,也一并记载了图4所示的表示作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)的变化的曲线。

[0046] 首先,发明人根据通过使叶片片数为至少3片以上能够减少作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)这样的见解,想到了通过弯曲力矩(N·m)的减少能够减少垂直轴型水力发电装置10整体的水车机械质量这样的构思。在此,“水车机械质量”表示图1所示的构件中的、除了叶片部分(11、13)和桥部分(60、61)之外的垂直轴型水力发电装置单体的质量。这是由于,随着叶片片数的增加,能够减小作为垂直旋转轴20的轴的直径,因此,能够用单体的质量表示。并且,在考虑了作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)的基础上,对垂直轴型水力发电装置单体的质量进行了设计研究,结果如图5中的分图(a)所示,得到了各个叶片片数的水车机械质量的值。在此,在图5中的分图(a)中,用作为绝对值的质量比表示水车机械质量,但根据该图明显可知,在叶片片数为3片以上的情况下,与叶片片数为2片时相比,显然能够大幅减少水车机械质量。该水车机械质量的质量比倾向与作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)的数值倾向非常吻合,结果与发明人预想的一样。

[0047] 得到上述结果之后,发明人关于由桥部分(60、61)定义的“桥质量”也进行了研究。并且,在考虑了作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)的基础上,对由桥部分(60、61)定义的“桥质量”进行了设计研究,结果如图5中的分图(b)所示,得到了各个叶片片数的桥质量的值。在此,在图5中的分图(b)中,用作为绝对值的质量比表示桥质量,但根据该图明显可知,关于“桥质量”,也与“水车机械质量”的情况同样,在叶片片数为3片以上的情况下,与叶片片数为2片时相比,显然能够大幅减少桥质量。关于该桥质量的质量比倾向,也与作为疲劳特性的弯曲力矩(N·m)的数值倾向非常吻合,结果与发明人预想的一样。

[0048] 如以上说明的那样,在叶片片数为3片以上的情况下,与叶片片数为2片时相比,显然能够大幅减少“水车机械质量”和“桥质量”。通过大幅减少这些“水车机械质量”和“桥质量”,当然能获得设置成本的削减效果。但是,使叶片片数增加也会导致使叶片制作费用增加。因此,发明人关于叶片片数在2片~9片之间每增加1片时的叶片制造成本的增加影响进行了验证。表示其结果的曲线图为图5中的分图(c)。

[0049] 在此,关于构成水车11的叶片13,使用CFRP(碳纤维强化塑料:carbon-fiber-reinforced plastic)等非常昂贵的原料制造,因此,叶片片数的增加会直接成比例地反应在制造成本的增加。其结果如图5中的分图(c)所示,叶片片数的增加显然使包括叶片在内的水车整体的成本成比例地增加。

[0050] 并且,将包括基于上述的“水车机械质量”和“桥质量”的成本影响以及基于叶片片

数的增加的成本影响在内的装置整体的成本影响示于图5中的分图(d)。根据图5中的分图(d)也明显可知,确认了叶片部分(11、13)与水车机械部分(20、30、50)以及桥部分(60、61)的合计成本的结果为,显然,在叶片片数为3片、4片、5片的情况下成本得到抑制,若能以该设置成本引进垂直轴型水力发电单元100,则从经济合理性的观点出发也能符合效益,能够相对于至今不能引进的身边的水路引进本实施方式涉及的垂直轴型水力发电单元100。另一方面,显然,在叶片片数为2片、6片~9片的情况下,成本大幅上升,从设置成本方面考虑,与经济合理性不相符。需要说明的是,在叶片片数为10片以上的情况下,与6片~9片的情况相同,叶片制造成本增加明显,因此,在10片以上的情况下,从设置成本方面考虑,也与经济合理性不相符。

[0051] 根据以上说明的发明人的验证,显然,关于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10,通过使构成水车11的叶片13的片数由3片~5片的叶片数构成,能够得到最佳的垂直轴型水力发电单元100。即,通过引进构成水车11的叶片13的片数为3片~5片的垂直轴型水力发电装置10,能够提供既能确保充分的输出特性又能将因水流的影响而产生的激振力(疲劳载荷)抑制得较小、且能将结构体的质量与装置整体的设置成本抑制为最小限度的、以往所没有的垂直轴型水力发电单元100。需要说明的是,关于使用图3~图5说明的、使用基于发明人的单一流管理论的验证内容,是基于至少在垂直轴型水力发电装置的领域至今为止完全没有的新的构思的内容,是发明人新进行而获得的研究成果。

[0052] 另外,得到了上述的新的研究成果的发明人,关于构成水车11的叶片13的片数为3片~5片这样的条件是否能进一步最佳化进行了验证、研究。此时,对图4所示的表示各个叶片片数的作用于垂直旋转轴20的作为疲劳特性的弯曲力矩( $N \cdot m$ )的变化的曲线图再次进行了验证。其结果为,如图6所示,能够确认,关于该各个叶片片数的弯曲力矩( $N \cdot m$ )的变化点,在叶片片数为偶数的情况下和奇数的情况下显示不同的倾向。在此,图6是表示在叶片片数为偶数的情况下和奇数的情况下作用于垂直旋转轴的作为疲劳特性的弯曲力矩( $N \cdot m$ )显示出的不同的变化倾向的曲线图。

[0053] 即,如图6中的符号x所示,若将叶片片数为偶数的情况下的弯曲力矩( $N \cdot m$ )值用假想线x连结,则如图6中的符号y所示,将叶片片数为奇数的情况下的弯曲力矩( $N \cdot m$ )值用假想线y连结,可知,与偶数的假想线x的情况相比,奇数的假想线y的情况下存在弯曲力矩( $N \cdot m$ )的值变小的倾向。关于该事实的明确的理论说明尚不充分,但发明人认为,在叶片片数为偶数的情况下,在垂直旋转轴20的周围对置地配置各叶片13,因此,产生叶片与水流重叠的部位。其结果为,使叶片的功能减少而将叶片片数的增加效果抵消的作用起作用,从而与叶片片数为奇数的情况相比,在叶片片数为偶数的情况下,具有弯曲力矩( $N \cdot m$ )增加的倾向。

[0054] 需要说明的是,图6中的符号x及y所示的假想线能够使用例如作为计算点列的近似曲线的手段的最小平方方法等周知的方法来画出。

[0055] 若基于以上说明的使用图6的假设,关于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10,通过使构成水车11的叶片13的片数由奇数片、即3片或5片的叶片数构成,能够得到最佳的垂直轴型水力发电单元100。

[0056] 以上,说明了本发明的优选的实施方式。需要说明的是,作为具体地例示上述的本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10的构成例,示出图7~图12。在此,图7~图12是表

示本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10能采用的外观形状的具体的构成例的图。需要说明的是,图7及图10表示构成水车11的叶片13的片数为3片的情况下的垂直轴型水力发电装置10,图8及图11表示构成水车11的叶片13的片数为4片的情况下的垂直轴型水力发电装置10,图9及图12表示构成水车11的叶片13的片数为5片的情况下的垂直轴型水力发电装置10。

[0057] 并且,在图7~图12所示的垂直轴型水力发电装置10中,由多个叶片13构成的水车11的弦周比构成为0.1~0.29。在此,弦周比是作为全翼面积与翼的旋转面积之比而示出的指标,由以下的数式(1)表示。

[0058] 弦周比( $\rho$ )= $n \times C / (2\pi r) \cdots (1)$

[0059] 其中, $n$ =翼片数、 $C$ =翼弦长(m)、 $r$ =水车半径。

[0060] 上述的事实也表示通过使弦周比构成为0.1~0.2能够得到本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10及垂直轴型水力发电单元100。即,通过使弦周比为0.1~0.29、且使叶片13的片数为3片~5片,能够提供既能确保充分的输出特性又能将因水流的影响而产生的激振力(疲劳载荷)抑制得较小、且能将结构体的质量与装置整体的设置成本抑制为最小限度的、以往所没有的垂直轴型水力发电装置10及垂直轴型水力发电单元100。

[0061] 以上,使用图3~图6说明的发明事项是通过着眼于在水流的推力作用下在水车11的叶片13产生的激振力(疲劳载荷)的影响、且考虑了包括基于“水车机械质量”和“桥质量”的成本影响以及基于叶片片数的增加的成本影响在内的装置整体的成本影响而导出的。根据该发明事项,发明人得到了关于垂直轴型水力发电装置10的优选的构成条件的新的见解。鉴于该见解,发明人进行了基于新的观点的研究,从而成功发现进一步最佳化的垂直轴型水力发电装置的构成条件。因此,接下来,通过使用图13~图16,说明本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10的另外的新的构成条件。

[0062] 在此,图13是表示本实施方式涉及的叶片单体的详细的结构的图,图中的分图(a)表示1片叶片的侧视图,分图(b)表示1片叶片的俯视图。另外,图14是表示1片叶片旋转一圈时起作用的载荷的变动状况的图。而且,图15是表示相对于在叶片的拐角部(圆角部)产生的应力的疲劳极限的安全率与输出利用率的曲线图,横轴表示圆角部相对于叶片全长的比例,左纵轴表示相对于疲劳极限的安全率,右纵轴表示输出利用率。而且,图16是将图15所示的曲线图放大得到的曲线图,示出图15中的左纵轴的相对于疲劳极限的安全率为0~4的范围的情况。需要说明的是,在图15及图16中,关于横轴所示的圆角部13b相对于叶片全长L的比例,是基于1片叶片所具有的上下一对圆角部13b中的、任一方的圆角部13b的曲率半径的尺寸R算出的比例。

[0063] 另外,发明人重新认识到,在将构成为满足使用图3~图6说明的发明事项且如图7~图12所示水车11的弦周比为0.1~0.29的垂直轴型水力发电装置10实际在水流中运用时,相对于叶片13的来自水流的力非常大,需要考虑叶片强度地进行叶片设计。特别是,关于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10,如图13所示,1片叶片13由沿铅垂方向延伸而形成的叶片直线部13a、从垂直旋转轴20沿水平方向延伸而形成的上下一对叶片臂部13c、以及在一个叶片直线部13a与两个叶片臂部13c的连接部形成的上下一对圆角部13b构成。也就是说,来自水流的力作用于叶片直线部13a与上下一对圆角部13b,从而水车11进行旋转运动。并且,此时,公知1片叶片13中的应力最大的部位为圆角部13b。即,当圆角部13b

较小或没有圆角部时,叶片13的强度降低,在最坏的情况下,水车11会被破坏,另一方面,当圆角部13b较大时,产生升力的叶片直线部13a的长度变小而导致发电效率降低。因此,若能从叶片13的强度的观点和发电效率的观点出发提案最佳化的叶片形状,则能获得进一步优选的垂直轴型水力发电装置10。

[0064] 基于以上的构思,发明人进行了用于获得最佳的叶片形状的研究。首先,当在水车11的弦周比为0.1~0.29的范围内使构成水车11的叶片13的片数增加时,每一片叶片的翼弦长、翼厚变小,因此叶片13的强度降低。在此,可知,如图14所示,水车11旋转时,对构成水车11的1片叶片13作用有在旋转一圈过程中复杂地变动的载荷。特别是,与切线方向载荷 $F_t$ 相比,半径方向载荷 $F_n$ 在叶片13的旋转一圈中发生较大变动。另外,应力集中系数根据圆角部13b的曲率半径 $R$ 的尺寸而发生变化。因此,发明人仔细研究的结果为,通过数值解析计算出在针对各翼片数(2片~10片)改变圆角部13b的大下的情况下在叶片13产生的应力振幅,并计算出相对于疲劳强度的安全率。需要说明的是,在该数值解析中,作为构成叶片13的材料,假定强度、制造性优异的球墨铸铁、合金、复合树脂等,计算出反复次数为 $10^9$ 次的疲劳强度为75~180MPa。另外,如上所述,当增大圆角部13b时,叶片13的有效的直线部分即叶片直线部13a减少,作为叶片的性能降低,发电效率降低。因此,发明人计算出根据针对各翼片数(2片~10片)的圆角部13b的曲率半径 $R$ 的尺寸而发生变化的叶片13的输出利用率。在图15及图16中汇总了上述的计算结果。需要说明的是,在本实施方式中,假定在叶片13形成的上下一对圆角部13b各自的曲率半径 $R$ 的尺寸为相同的值的情况。因此,在叶片13形成的上下一对圆角部13b各自的曲率半径为“ $R$ ”,在图15及图16中,关于横轴所示的圆角部13b相对于叶片全长 $L$ 的比例,示出基于1片叶片所具有的上下一对圆角部13b中的、任一方的一个圆角部13b的曲率半径的尺寸 $R$ 计算出的比例。

[0065] 根据图15及图16,首先,验证圆角部13b的曲率半径 $R$ 的下限值。如图16所示,可知,在2片~10片中的任一翼片数中,当一个圆角部13b相对于叶片全长所占的比例接近0%附近时,都由于应力集中而安全率极端降低。因此,能够判断为,一个圆角部13b相对于叶片全长所占的比例需要为1%以上。因此,可以说,在设一个圆角部13b的曲率半径为 $R$ 、包含上下一对圆角部13b的叶片13整体的长度为 $L$ 时,从确保最低限度所需要的安全率的观点出发,需要满足以下的不等式(2)。

$$[0066] \quad 0.01L \leq R \quad \dots (2)$$

[0067] 接下来,验证圆角部13b的曲率半径 $R$ 的上限值。当着眼于图15及图16的右纵轴所示的输出利用率时,本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10是升力式的水车11,与以往用于小型的水力发电装置的“桶形转子型”等的利用水流的阻力进行发电的形式的水车相比,能寻求更高的发电效率。因此,关于本实施方式涉及的垂直轴型水力发电装置10的输出利用率,考虑水车11应确保一定的设备能力,需要确保输出利用率最低也为60%以上的性能。并且,当从图16的曲线图读取输出利用率60%的情况下一个圆角部13b相对于叶片全长所占的比例时,能够判断为是20%。因此,可以说,在设一个圆角部13b的曲率半径为 $R$ 、包含上下一对圆角部13b的叶片13整体的长度为 $L$ 时,从最低限度应确保的输出利用率的观点出发的情况下的一个圆角部13b的曲率半径 $R$ 的上限值需要满足以下的不等式(3)。

$$[0068] \quad R \leq 0.20L \quad \dots (3)$$

[0069] 因此,满足上述两个不等式(2)及(3)的一个圆角部13b的曲率半径 $R$ 的条件能够表

示为以下的不等式(4)。

$$[0070] \quad 0.01L \leq R \leq 0.20L \cdots (4)$$

[0071] 需要说明的是,在上述的验证中,将作为最低限度应确保的垂直轴型水力发电装置10的输出利用率,确保60%以上的性能作为条件,但在现实中需要考虑寻求更高的输出利用率。因此,发明人也考虑经济效率性、顾客的要求规格等而将输出利用率70%作为性能确保的目标值。并且,当从图16的曲线图读取输出利用率70%的情况下的一个圆角部13b相对于叶片全长所占的比例时,能够判定为是15%。因此,可以说,在设一个圆角部13b的曲率半径为R、包含上下一对圆角部13b的叶片13整体的长度为L时,从最低限度应确保的输出利用率的观点出发的情况下的一个圆角部13b的曲率半径R的上限值需要满足以下的不等式(5)。

$$[0072] \quad R \leq 0.15L \cdots (5)$$

[0073] 因此,满足不等式(2)及(5)的一个圆角部13b的曲率半径R的条件能够表示为以下的不等式(6)。

$$[0074] \quad 0.01L \leq R \leq 0.15L \cdots (6)$$

[0075] 也就是说,作为本发明的能够采取的条件范围,能够采用上述不等式(4),但当考虑寻求更高的输出利用率时,构成采用了上述不等式(6)的条件的垂直轴型水力发电装置10可以说更优选。

[0076] 以上,关于圆角部13b的曲率半径R的上下限值进行了研究。其次,发明人通过进一步引进其他的观点而关于叶片的片数进行了研究。即,就相对于材料的疲劳极限的安全率而言,根据作为具有与水车同等的设计要件的风力发电的安全规格的IEC61400-2的规定,需要最低也要确保安全率1.25以上。表示该安全率1.25的线在图15及图16中示出。并且,满足安全率1.25以上且满足上述不等式(4)及(6)的叶片的片数能够判断为是6片以下。但是,在叶片片数为6片的情况下,根据图16也明显可知,从一个圆角部13b相对于叶片全长所占的比例低于10%附近开始,显示安全率极端的降低。因此,关于叶片片数,能够得到优选为5片以下这样的结论。需要说明的是,该结论也与着眼于使用图3~图6说明的发明事项、即因水流的推力而在水车11的叶片13产生的激振力(疲劳载荷)的影响、且考虑包括基于“水车机械质量”和“桥质量”的成本影响以及基于叶片片数的增加的成本影响在内的装置整体的成本影响而导出的叶片片数(3片~5片)重合,再次确认了该验证实验的准确性。

[0077] 汇总以上使用图3~图16说明的通过发明人的研究得到的见解如以下所示。

[0078] 即,本发明涉及的垂直轴型水力发电装置具备:接受来自水流的旋转驱动力而产生电力的发电机;旋转自如地与发电机连结且沿铅垂方向垂下设置的垂直旋转轴;以及在垂直旋转轴的周围沿圆周方向以大致等角度间隔配设的多个叶片,所述垂直轴型水力发电装置的特征在于,多个叶片沿铅垂方向延伸形成且形成为横截面形状由翼型形状构成的直线翼,且从底面侧观察该多个叶片时,由5片以下的叶片数构成。

[0079] 另外,在本发明涉及的垂直轴型水力发电装置中,在从底面侧观察多个叶片时,优选由3片~5片的叶片数构成。

[0080] 另外,在本发明涉及的垂直轴型水力发电装置中,能够设为,多个叶片在沿铅垂方向延伸的任一方的端部具备由曲线形状构成的圆角部,在圆角部的曲率半径为R、包含圆角部的叶片整体的长度为L时,构成为下述的不等式成立。

[0081]  $0.01L \leq R \leq 0.20L$

[0082] 而且,在本发明涉及的垂直轴型水力发电装置中,能够设为,所述不等式构成为

[0083]  $0.01L \leq R \leq 0.15L$ 。

[0084] 而且,在本发明涉及的垂直轴型水力发电装置中,能够设为,叶片在沿铅垂方向延伸的上下两端部分别具备由曲线形状构成的两个圆角部,该两个圆角部由相同尺寸形成。

[0085] 而且,在本发明涉及的垂直轴型水力发电装置中,能够设为,多个叶片的弦周比构成为0.1~0.29。

[0086] 以上,说明了本发明的优选的实施方式,但本发明的技术范围不限于上述实施方式记载的范围。能够对上述实施方式施加各种变更或改良。

[0087] 例如,在上述的实施方式中,设置于垂直旋转轴20的周围的多个叶片13分别构成为在水车11的铅垂方向的全长上延伸而形成的直线翼。但是,本发明涉及的多个叶片只要沿铅垂方向延伸形成且形成为横截面形状由翼型形状构成的直线翼、并且从底面侧观察该多个叶片时由5片以下的叶片数构成即可。也就是说,电可以为例如叶片的长度为水车11的铅垂方向的全长的约一半的长度、设置上下二级的叶片的形式的水车。但是,当然,在从底面侧观察多个叶片时,需要构成为由5片以下的叶片数构成。

[0088] 另外,例如在说明了本实施方式的图14~图16中,说明了在叶片13形成的上下一对圆角部13b各自的曲率半径R的尺寸在上下为相同值。但是,本发明的范围并不限于上述的本实施方式的范围。即,在本发明的叶片中,也能够构成为圆角部各自的曲率半径R的尺寸根据垂直轴型水力发电装置的设置环境而在叶片的上下不同。例如,在水路的水面侧的流速较快、水路的底面侧由于与水路底面的阻力而流速较慢的情况下,能够采用为了提高叶片的上方侧的强度而增大上侧的圆角部的曲率半径R的尺寸、使叶片的下侧的圆角部的曲率半径R的尺寸比上侧小的构成。需要说明的是,这样的垂直轴型水力发电装置的设置环境依赖于水路的材质(例如混凝土或土等)、水路内的表面状态等设置环境而发生变化,根据设置环境来决定圆角部的尺寸条件即可。

[0089] 根据请求保护的的范围明显可知,施加了上述各种变更或改良的方式也包含于本发明的技术范围内。

[0090] 符号说明

[0091] 10垂直轴型水力发电装置、11水车、13叶片、13a叶片直线部、13b圆角部、13c叶片臂部、20垂直旋转轴、30轴承支承部、50发电机、60支承体、61桥部、62根基部、100垂直轴型水力发电单元。

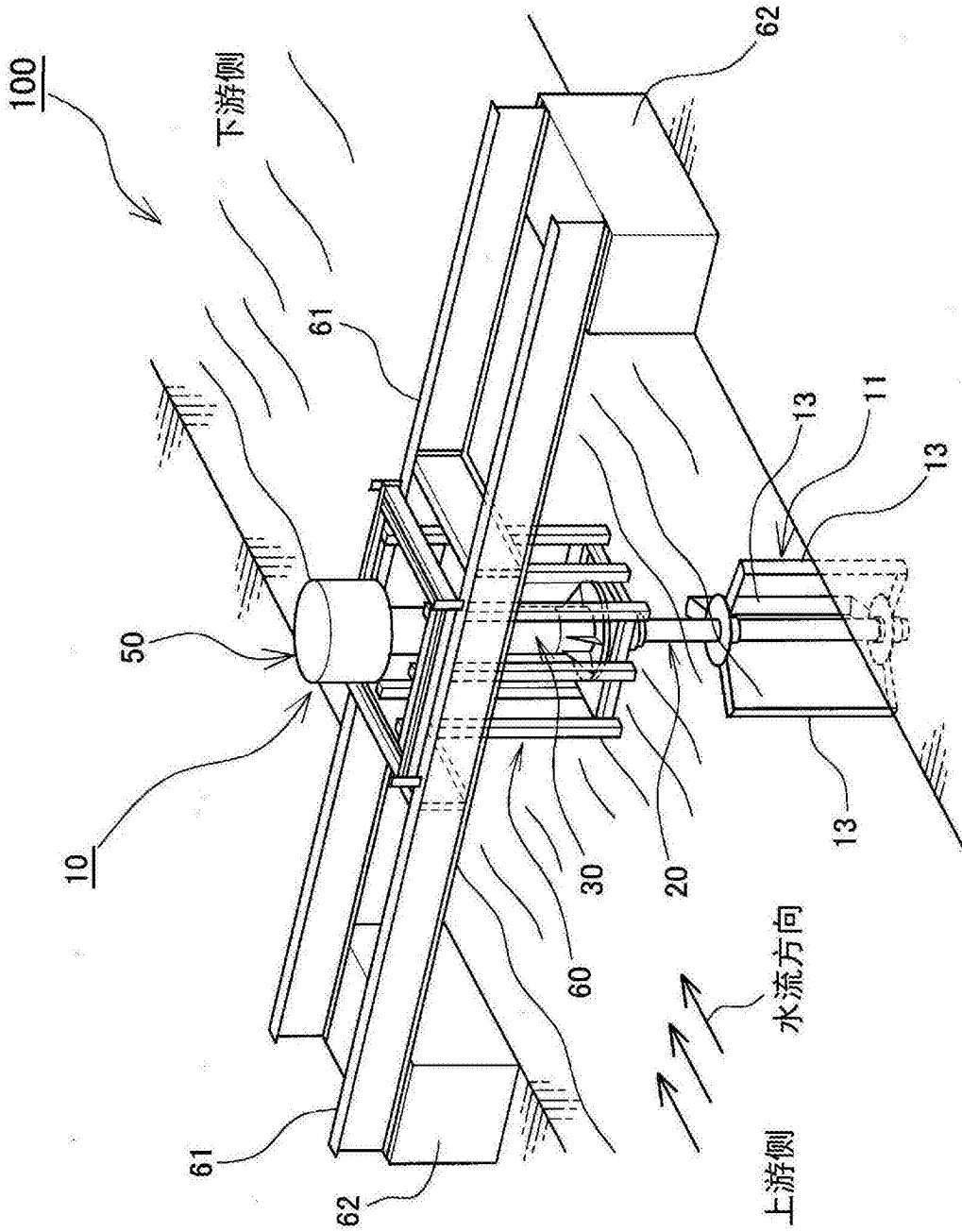


图1

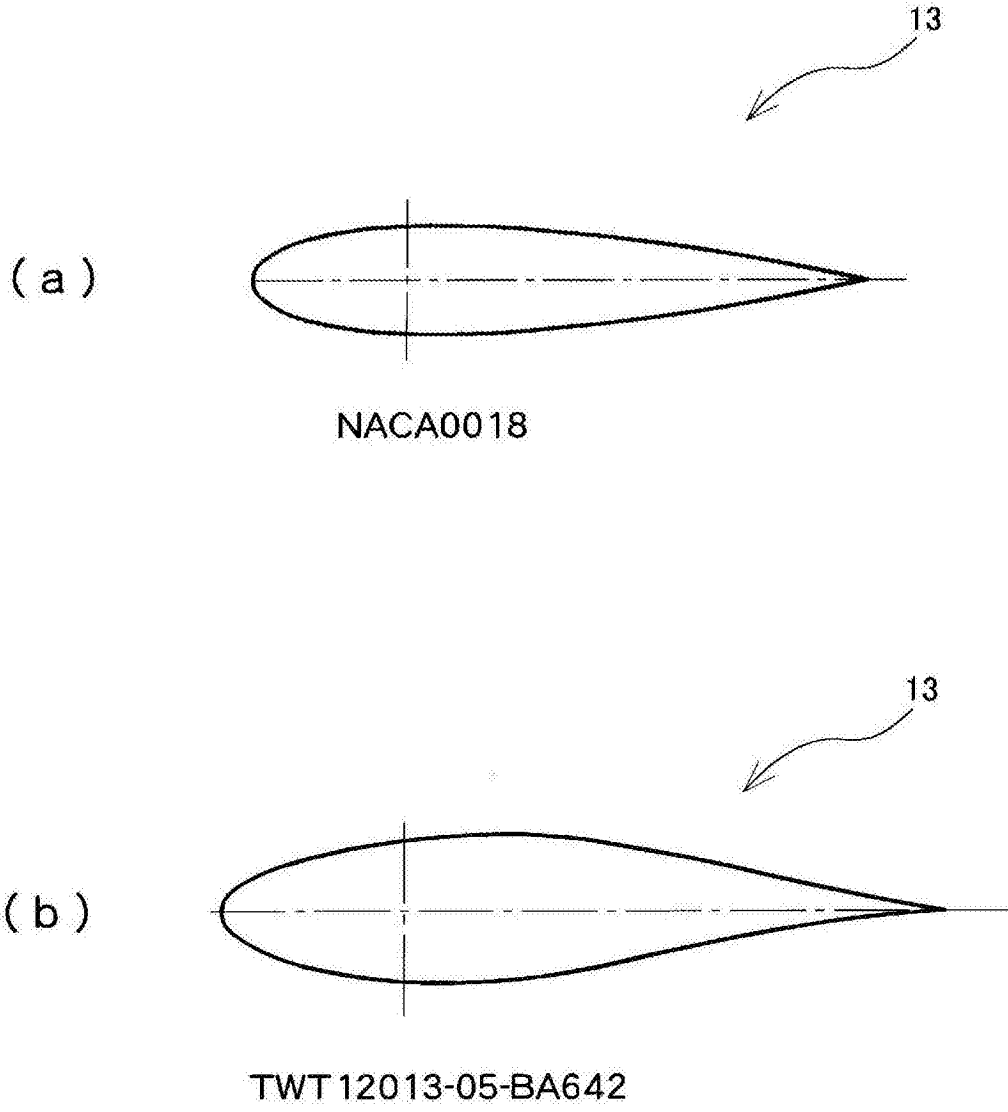


图2

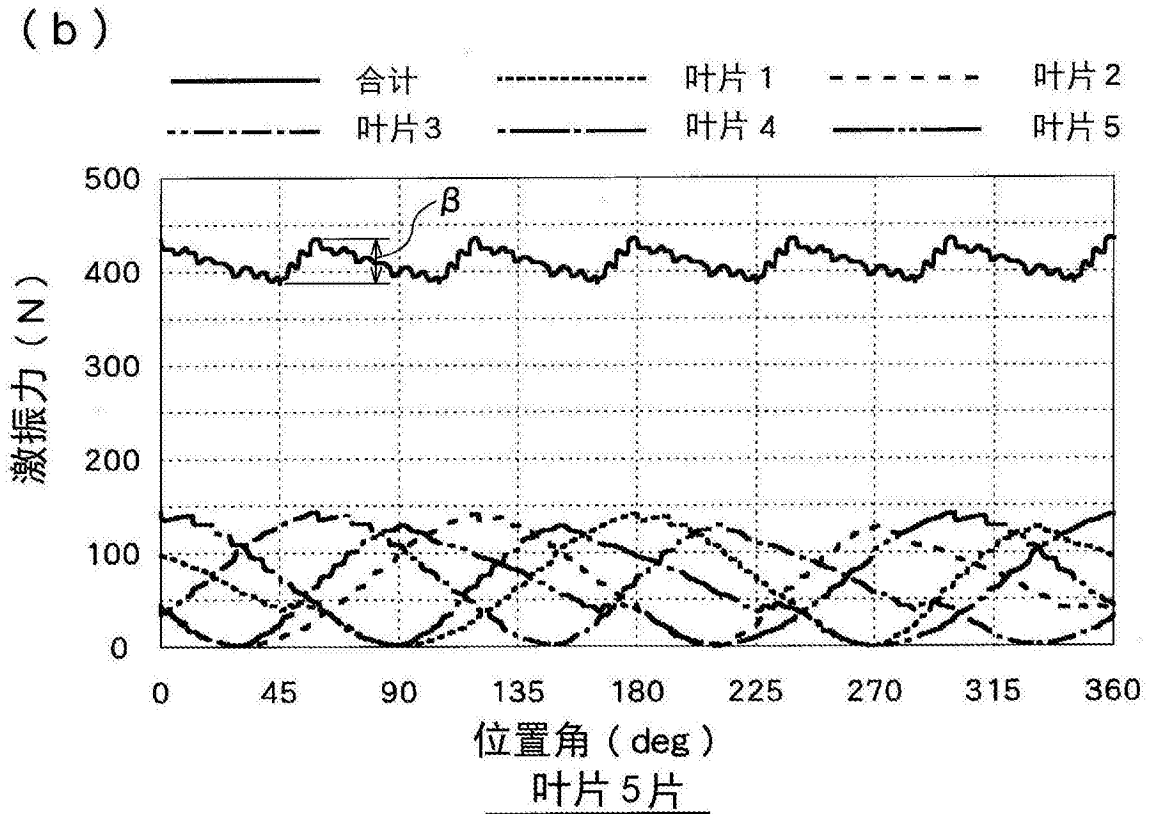
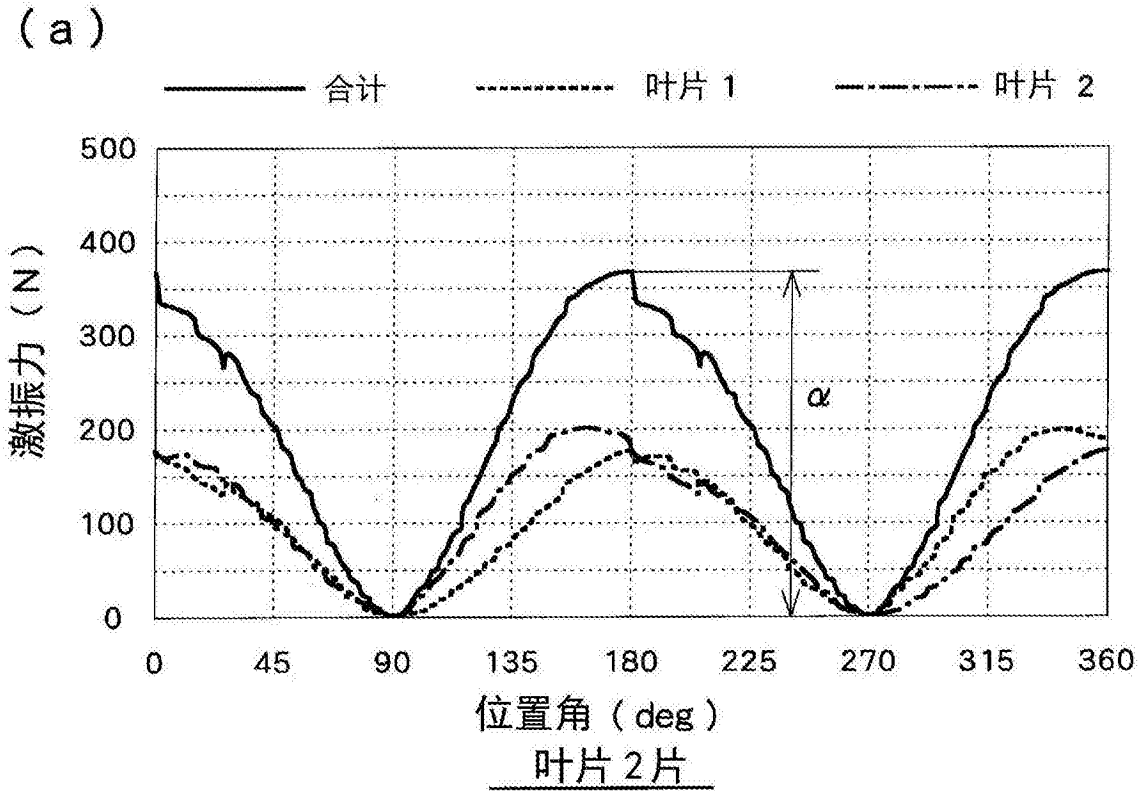


图3

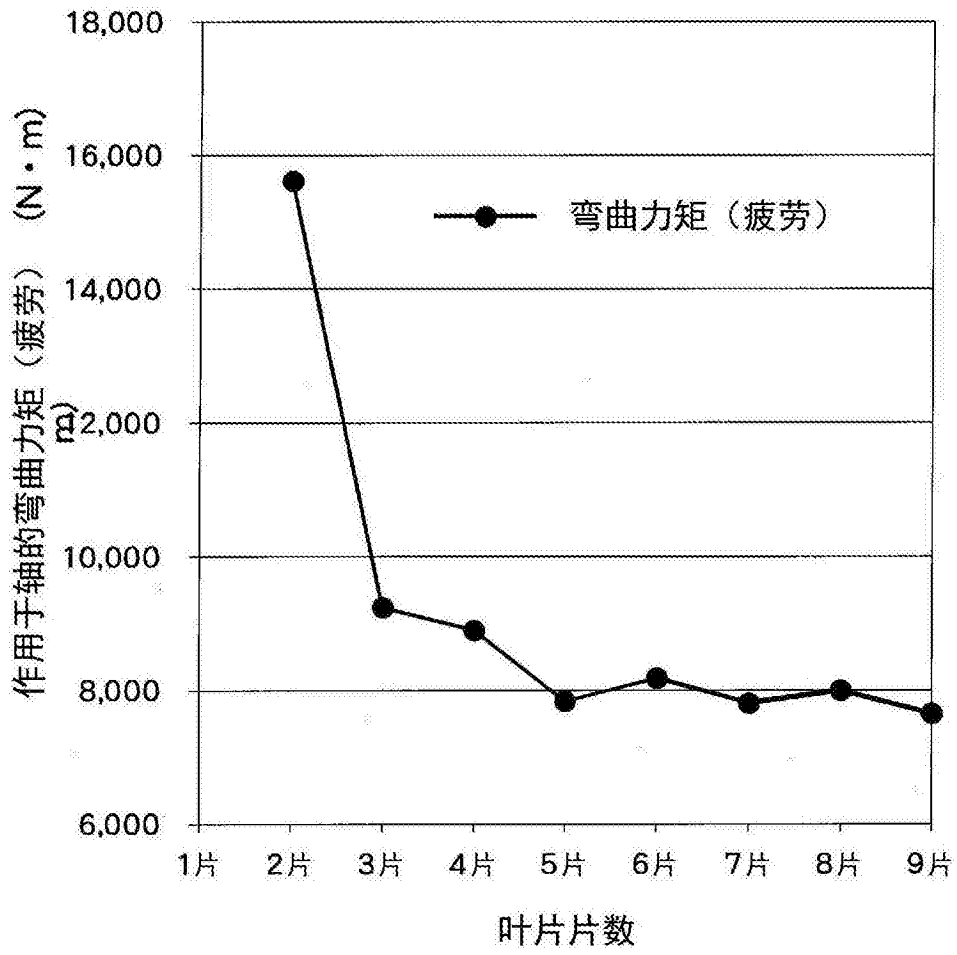


图4

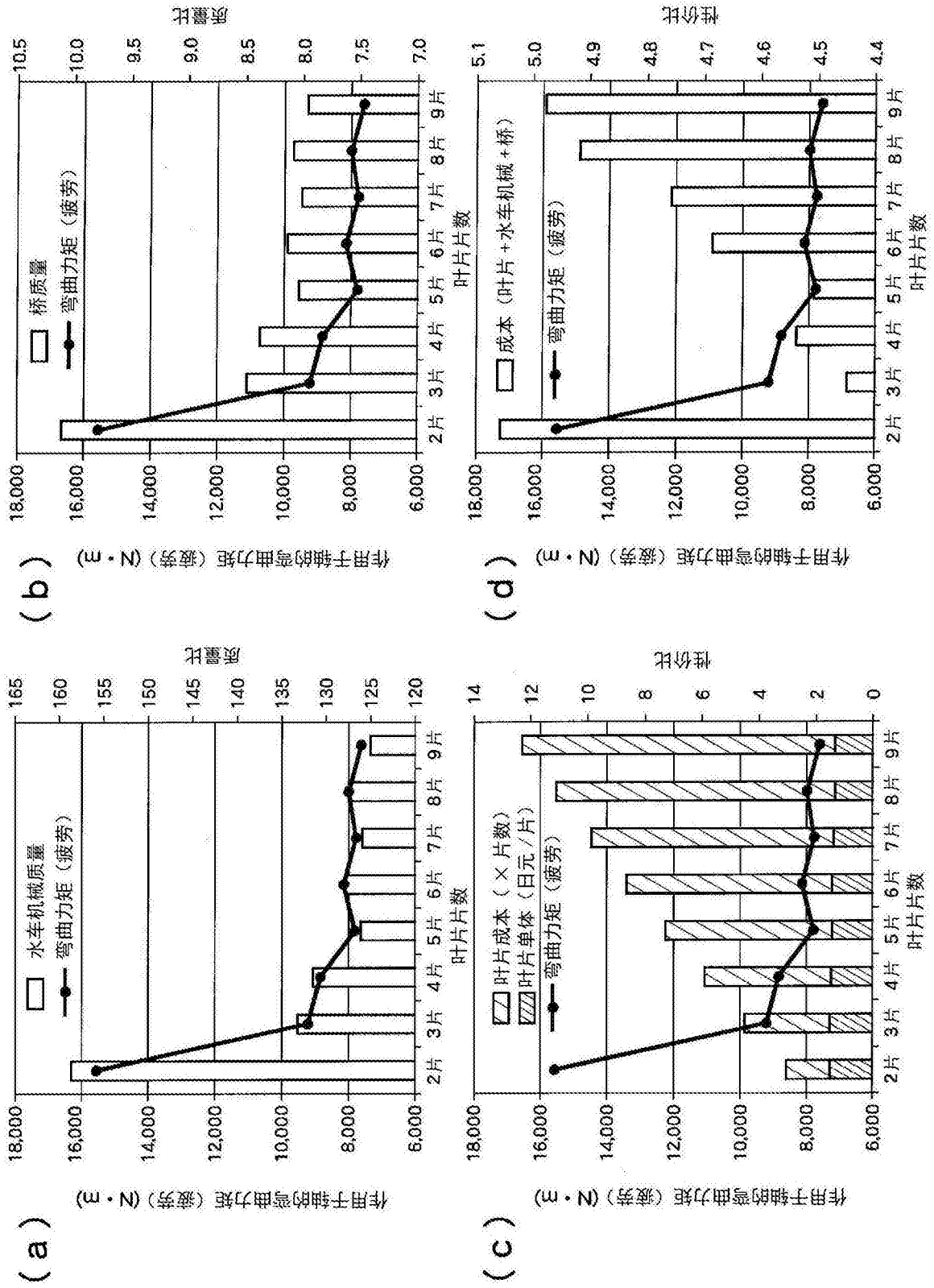


图5

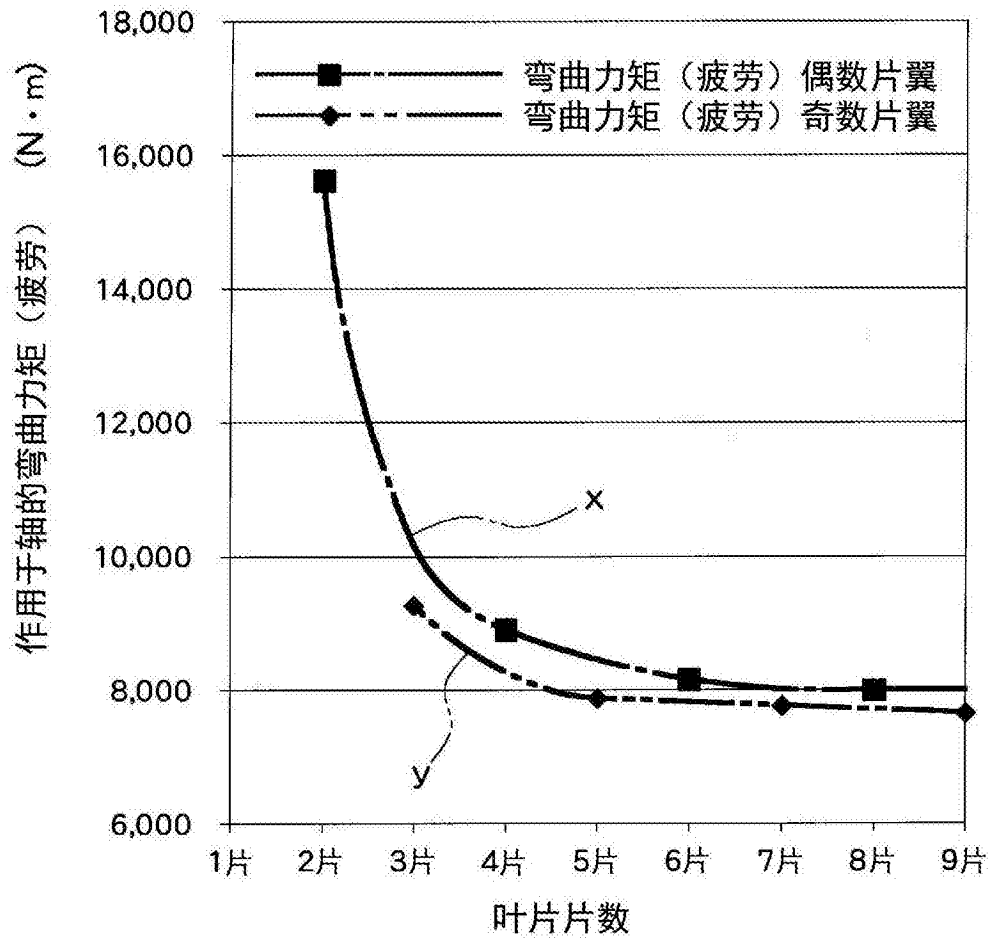


图6

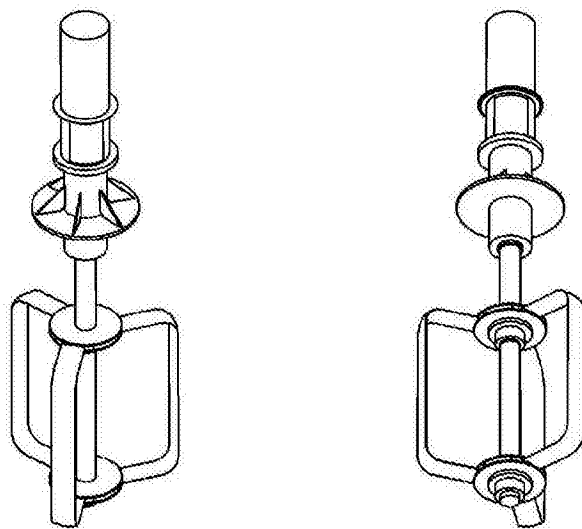
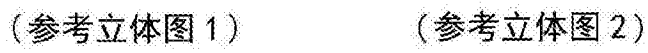
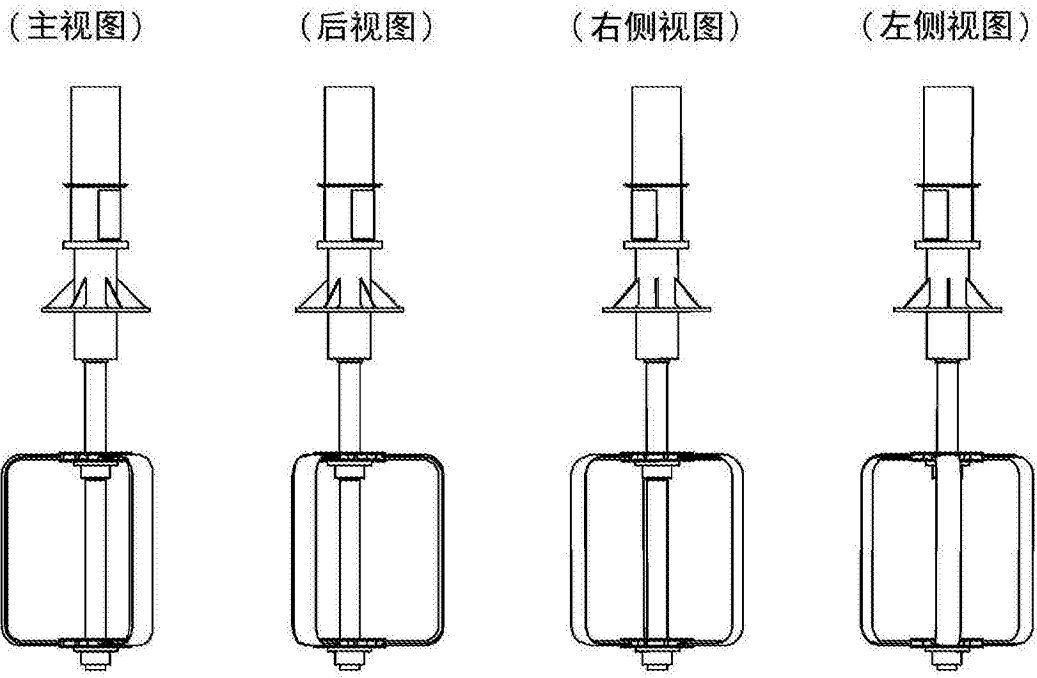


图7

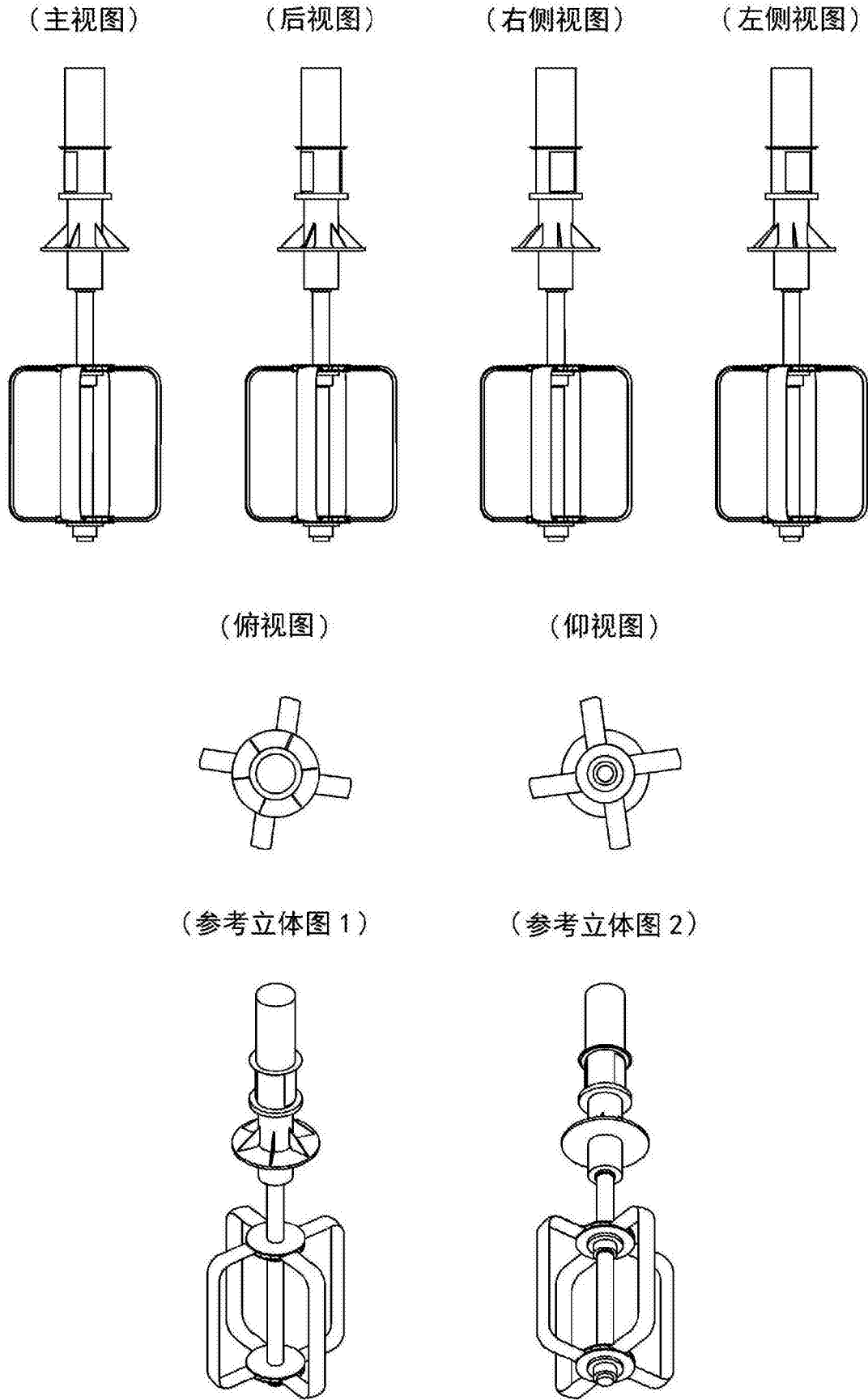


图8

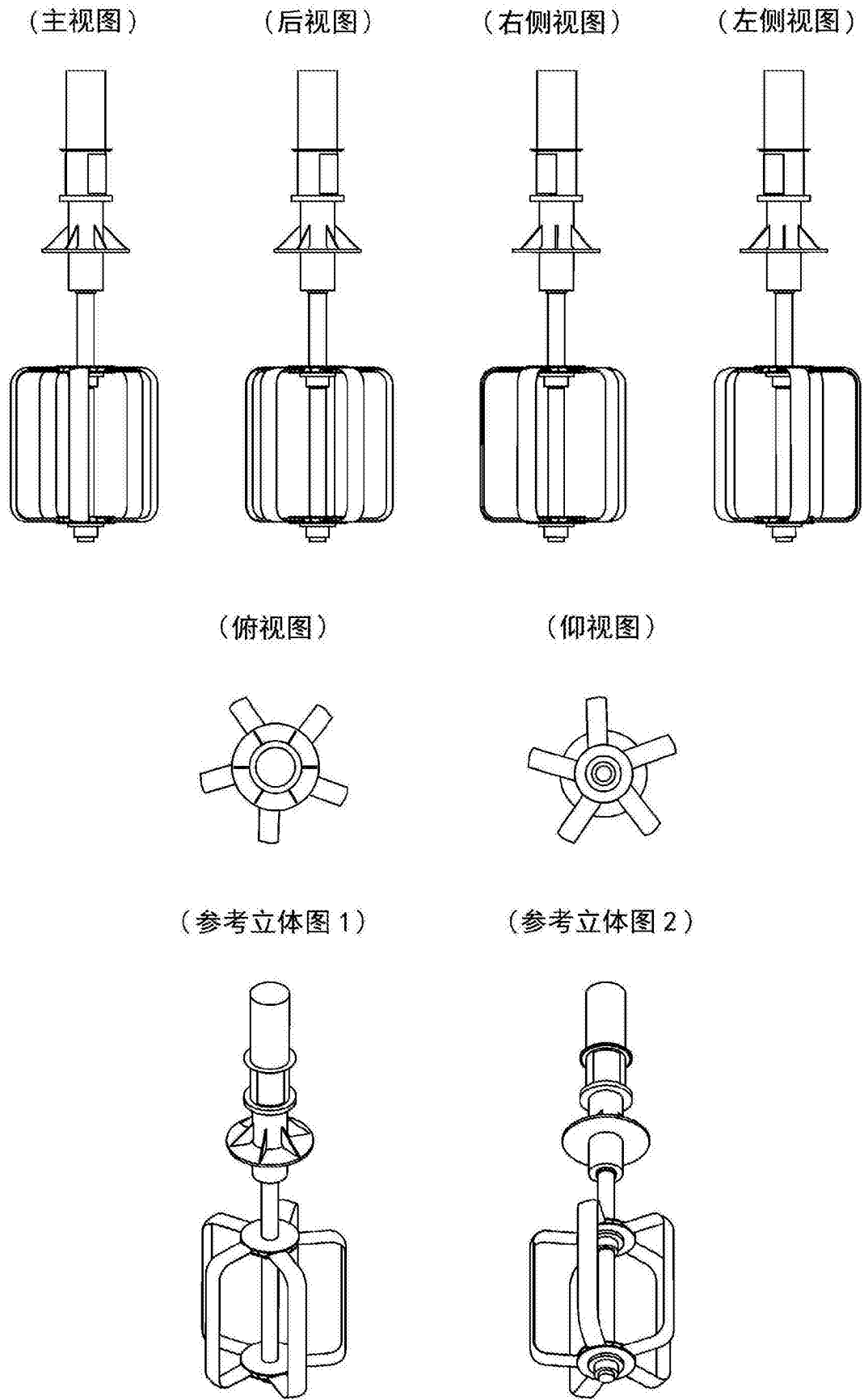


图9

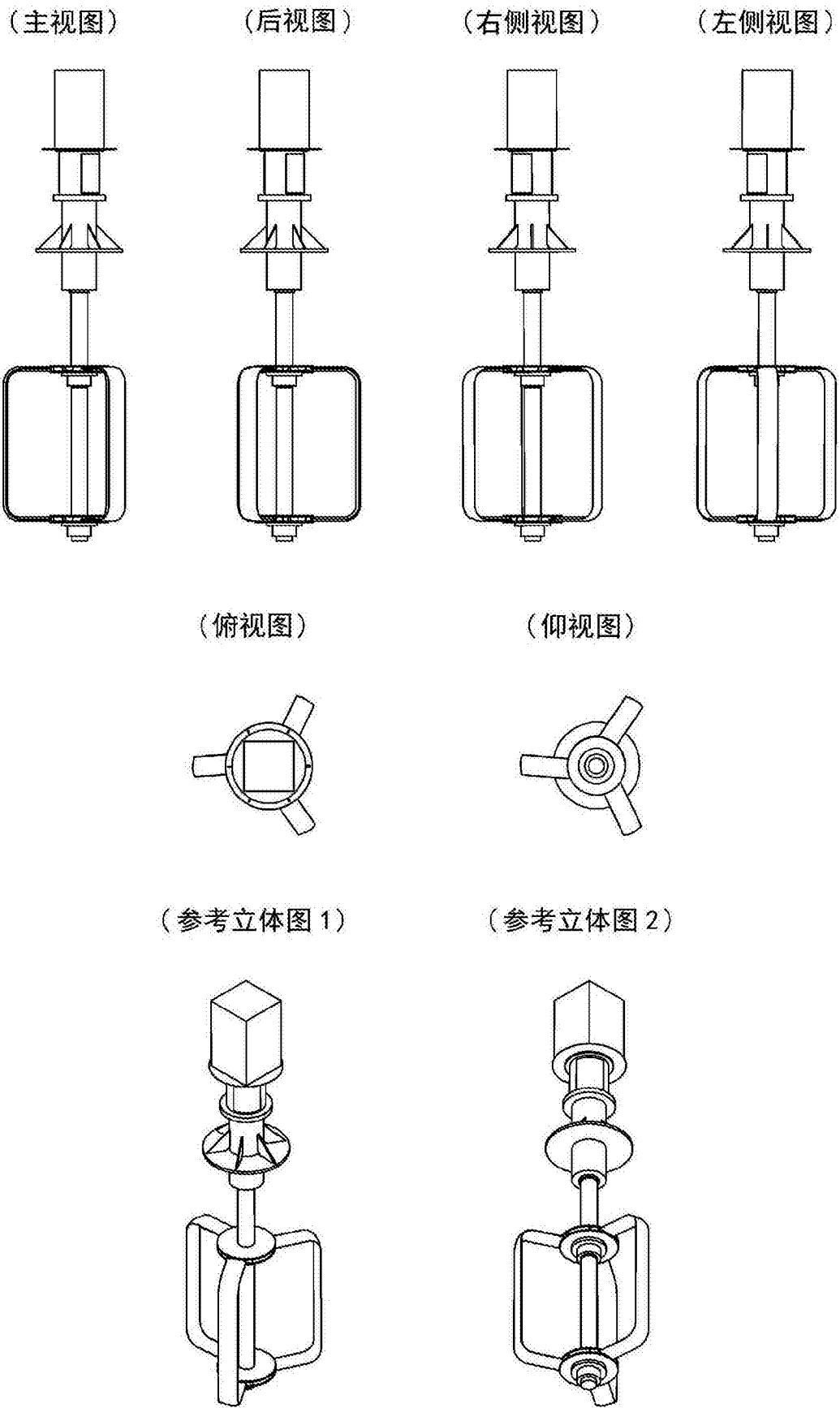


图10

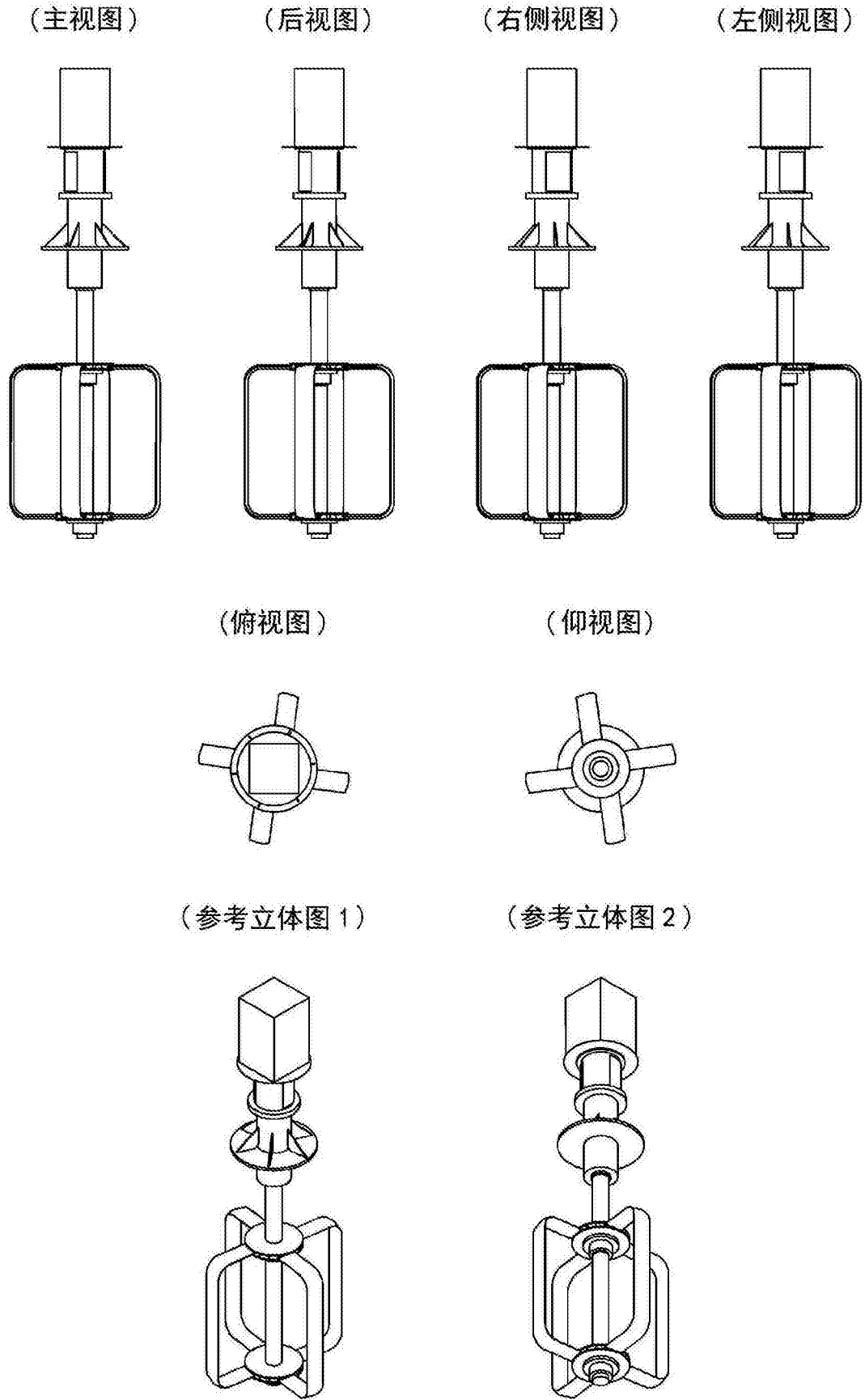


图11

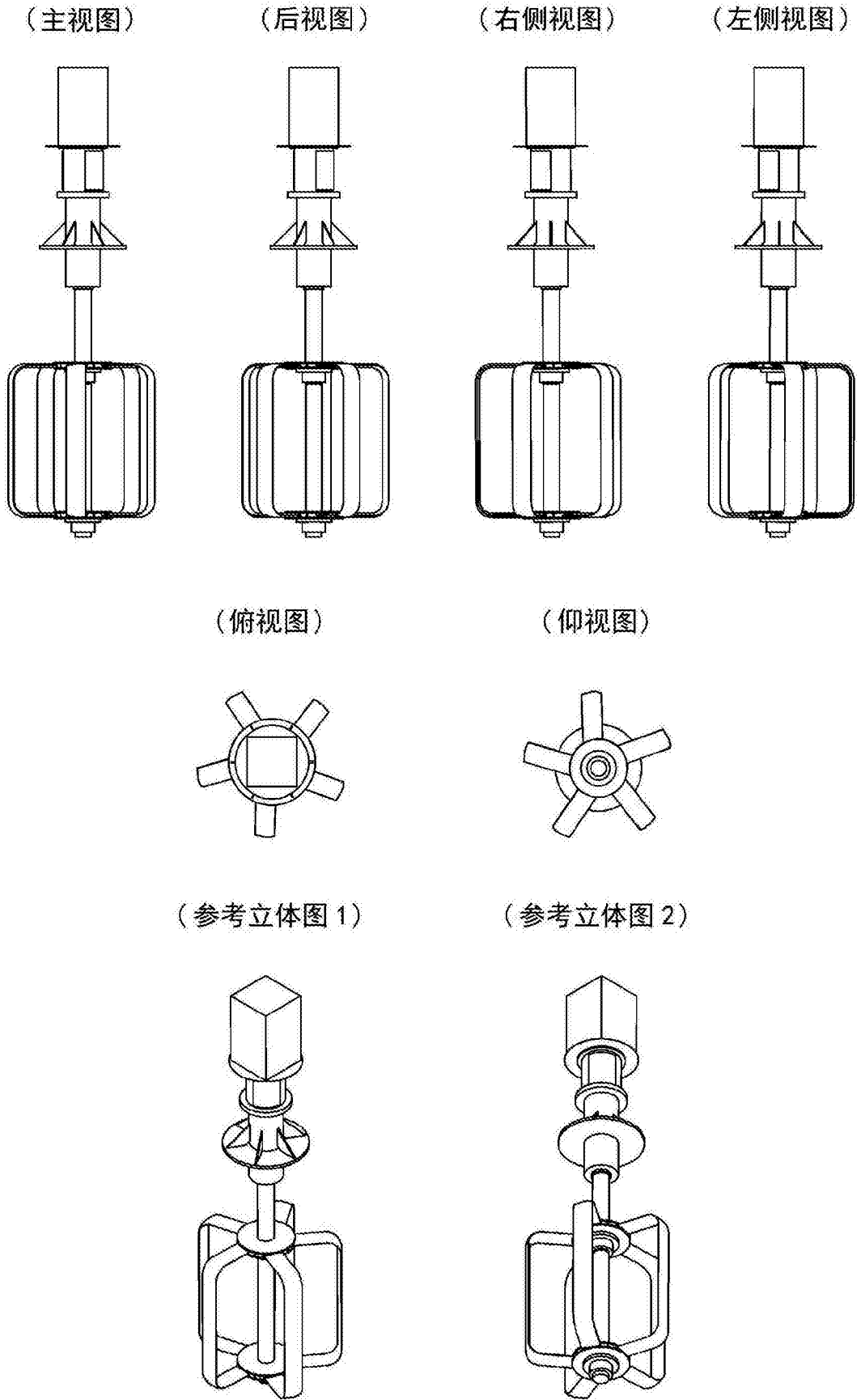


图12

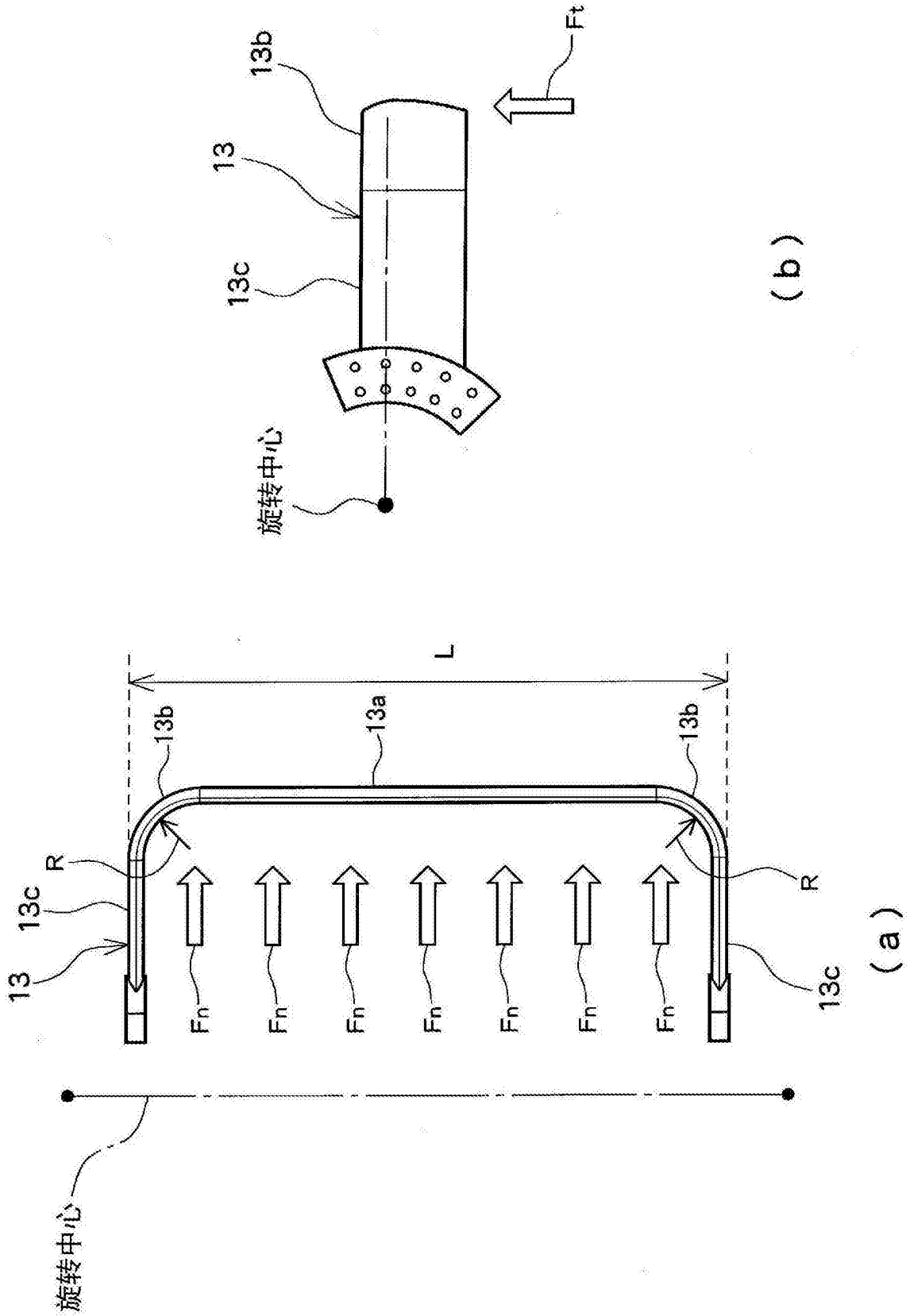


图13

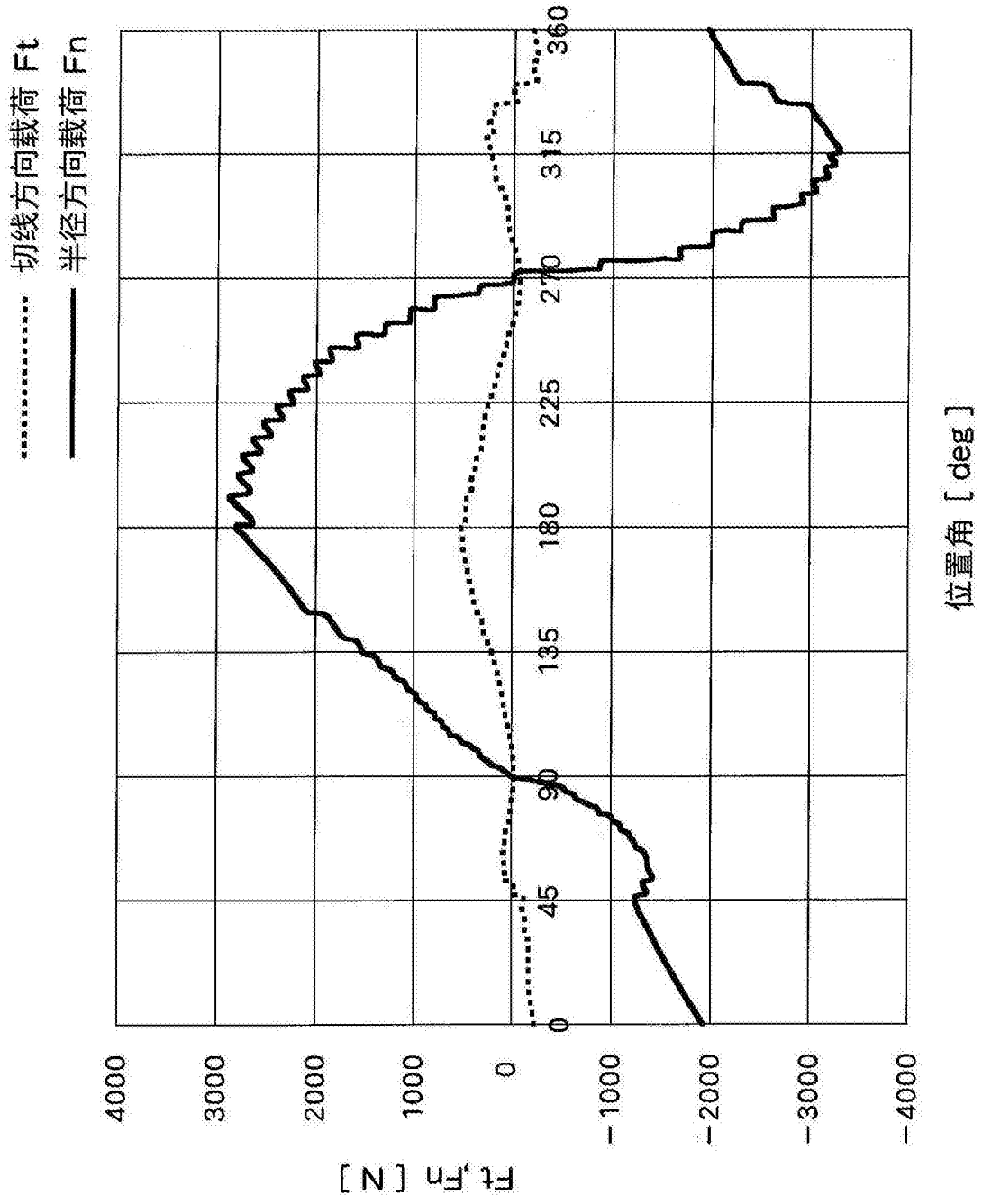


图14

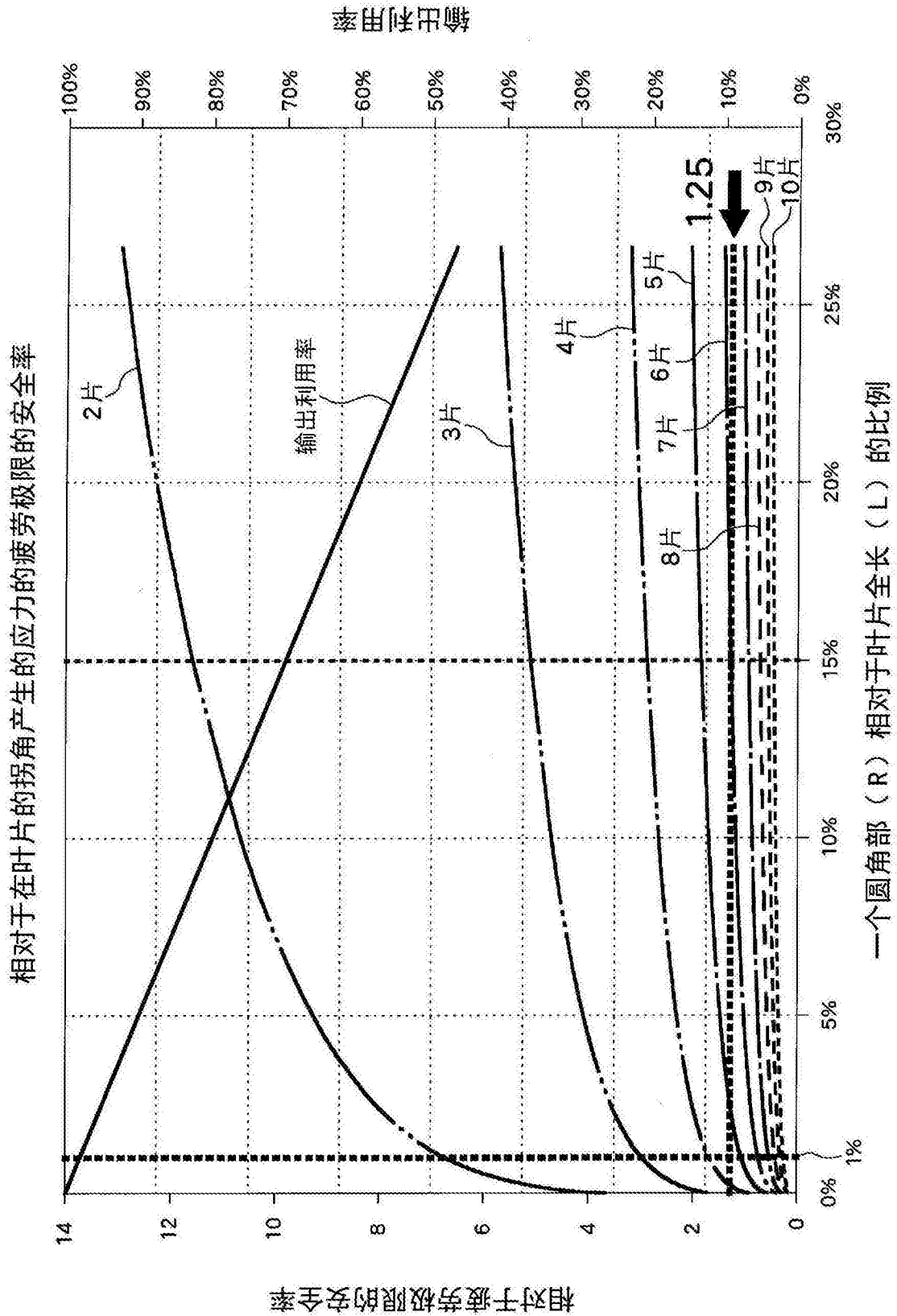


图15

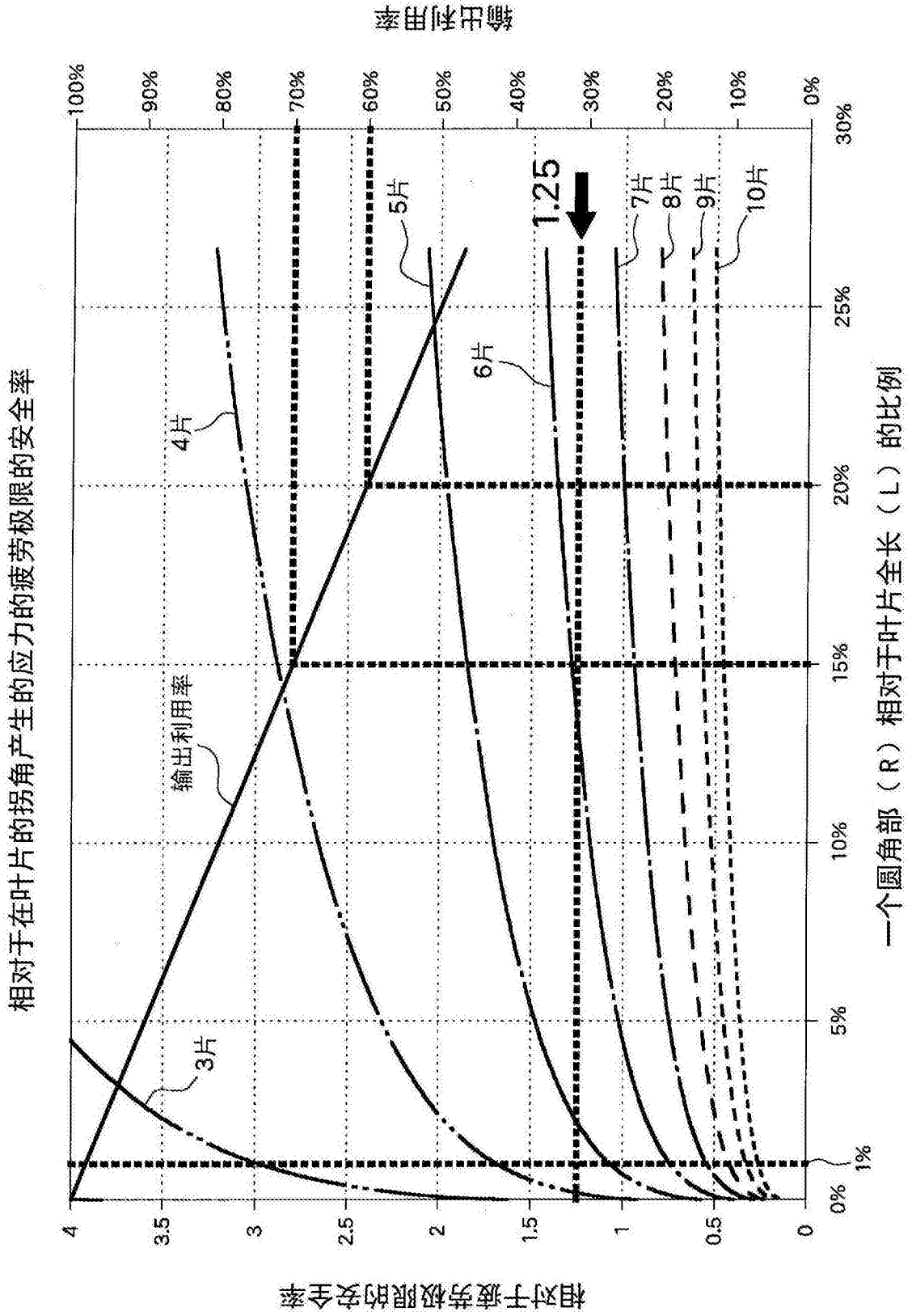


图16