



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106230218 B

(45)授权公告日 2019.04.19

(21)申请号 201610881159.8

B60K 7/00(2006.01)

(22)申请日 2016.10.09

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106230218 A

US 2005/0176542 A1,2005.08.11,说明书第[0012]-[0018]段及附图1-5.

(43)申请公布日 2016.12.14

CN 1160943 A,1997.10.01,说明书第7-21页及附图1-19.

(73)专利权人 常州工学院  
地址 213032 江苏省常州市新北区辽河路666号

CN 102594019 A,2012.07.18,全文.

CN 2486362 Y,2002.04.17,全文.

CN 1343386 A,2002.04.03,全文.

(72)发明人 高波 查志琴 睦华兴

US 2010/0071972 A1,2010.03.25,全文.

(74)专利代理机构 南京先科专利代理事务所  
(普通合伙) 32285

夏冰.小型垂直轴风力发电盘式永磁电机的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2011,(第7期),

代理人 宋方园

审查员 黄倩

(51)Int.Cl.

H02K 21/24(2006.01)

H02K 7/116(2006.01)

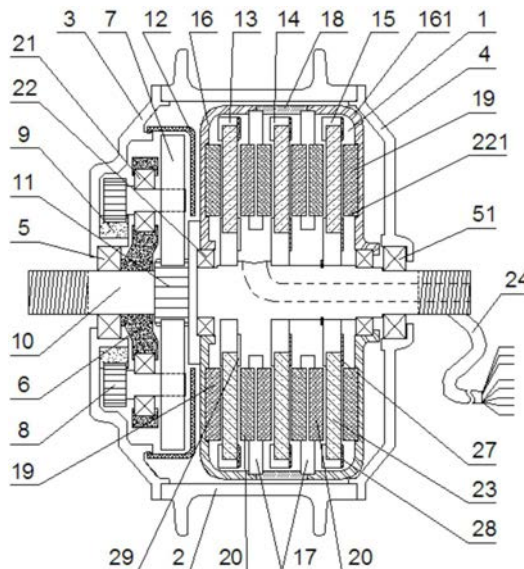
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机

(57)摘要

本发明公开了一种盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,包括左端盖、右端盖、主轴和轮毂,所述左端盖通过第一轴承套在主轴上,右端盖通过第二轴承套在主轴上,左端盖和右端盖与轮毂连接,所述左端盖通过减速机构与太阳轮齿圈连接,太阳轮齿圈固定在电机上,通过电机带动太阳轮齿圈转动,从而通过减速机构带动左端盖转动,从而带动轮毂转动。本发明盘式单元层叠无铁芯直流驱动电机,额定功率大,高效率区间宽泛,在保持通轴结构前提下,采用行星齿轮机构两级减速,既保证了轮毂电机结构的可靠性,又能使盘式单元层叠无铁芯直流电机的高速性能得到充分发挥。



1. 盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征在于:所述盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机为电动自行车轮毂电机,包括左端盖、右端盖、主轴和轮毂,所述左端盖通过第一轴承套在主轴上,右端盖通过第二轴承套在主轴上,左端盖和右端盖与轮毂连接,所述左端盖通过减速机构与太阳轮齿圈连接,太阳轮齿圈固定在直流电机上,通过直流电机带动太阳轮齿圈转动,从而通过减速机构带动左端盖转动,从而带动轮毂转动;所述减速机构包含行星架、若干个第一行星轮、若干个第二行星轮和中心轮,所述第一行星轮与太阳轮齿圈啮合,第一行星轮与第二行星轮通过转动轴同轴连接,转动轴通过第三轴承安装在行星架上,行星架套在主轴上,第二行星轮与固定在左端盖上的中心轮啮合;所述直流电机包含第一定子盘、第二定子盘和第三定子盘,主轴上依次套有第四轴承、第一定子盘、至少一个第三定子盘、第二定子盘和第五轴承,第四轴承和第五轴承上分别套有铁质材料制成的第一转子盘和第二转子盘,第一转子盘和第二转子盘中间夹装有至少两个第三转子盘,每一个第三转子盘并定位于两个相邻的定子盘中间,相邻第三转子盘之间有套圈相连接,第一转子盘和第二转子盘的内侧分别设有第一凹槽,第一凹槽内安装有第一永磁体,在第三转子盘的两面均设有第二凹槽,第二凹槽内均安装有第二永磁体,第一转子盘外侧与太阳轮齿圈固定连接,通过太阳轮齿圈输出扭矩,所述第一定子盘、第二定子盘、第三定子盘上均设有若干个环形分布的用于安装线圈的梨形孔,线圈通过限位装置固定在梨形孔内,所述第一定子盘或第二定子盘或任意一个第三定子盘在安装环形电路板的一面顺序设有三个第三凹槽,第三凹槽内安装有霍尔传感器,霍尔传感器与环形电路板连接,环形电路板与电缆线束连接,由第一定子盘、第一定子盘的线圈、第一转子盘、与第一定子盘相邻的第三转子盘、第一转子盘上的第一永磁体和与第一定子盘相邻的第三转子盘上的第二永磁体组成直流电机的第一动力单元,由第二定子盘、第二定子盘上的线圈、第二转子盘、与第二定子盘相邻的第三转子盘、第二转子盘上的第一永磁体和与第二定子盘相邻的第三转子盘上的第二永磁体组成直流电机的第二动力单元,由第三定子盘、第三定子盘上的线圈、两个第三转子盘、第二永磁体组成直流电机的至少一个第三动力单元,第一动力单元、第二动力单元、第三动力单元的线圈与电缆线束连接;所述限位装置包含内圈挡边、外圈挡边、内压圈、外压圈和环形电路板,所述第一定子盘、第二定子盘和第三定子盘的一面延伸有内圈挡边、外圈挡边,在第一定子盘、第二定子盘和第三定子盘的另一面安装有外压圈与内压圈,或外压圈与环形电路板,通过内圈挡边、外圈挡边、内压圈、外压圈和环形电路板限制线圈的轴向位移。

2. 根据权利要求1所述的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征在于:所述太阳轮齿圈包含轮齿和与轮齿同轴的安装圈,安装圈固定在直流电机上,安装圈外套有防油罩,防油罩与左端盖密封连接,将减速机构包裹在左端盖和防油罩形成的空间内。

3. 根据权利要求1所述的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征在于:所述行星架套装在主轴上,在其中心孔开有键槽,由主轴上的凸档作靠山定位,通过卡簧、轴销与主轴锁定。

4. 根据权利要求1所述的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征在于:所述线圈为圆铜漆包线绕制的空心线圈,其内孔形状为三角形,绕制后的外圈形状为梨形并与梨形孔相匹配;所述线圈的三角形内孔位于定子盘内侧的内角小于 $60^{\circ}$ ,三角形内

孔的径向长度小于线圈的径向直径即长直径的三分之一。

5. 根据权利要求1所述的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征  
在于:所述第一转子盘和第二转子盘上均设有散热孔。

6. 根据权利要求1所述的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征  
在于:所述永磁体为扇形钕铁硼永磁材料,其径向长度即扇形永磁体的内外半径差是线圈  
的径向直径即长直径的0.5-0.8倍。

7. 根据权利要求1所述的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其特征  
在于:所述永磁体包含若干个永磁体单元,相邻两个永磁体单元之间留有间隙,间隙的大小  
与电气性能参数适配。

## 一种盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及盘式无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,属于电动机领域。

### 背景技术

[0002] 现有电动自行车,多采用低速轮毂电机,其优点在于:电机功率大,电机一般无需维护,传动效率高,但由于这种电机存在磁滞阻力,弱化了甚至失去了电动自行车的骑行功能,电动助力型自行车逐渐走上了摩托化舒式化的发展路线,其驱动电机功率及行驶速度远超现有国家标准。摩托化了的电动自行车,交通事故频发,已成为一种亟须解决的社会问题。

[0003] 为克服驱动电机存在磁滞阻力,以八方电机为代表的电机厂商,推出了通轴式的高速有齿轮毂电机。这种电机的额定功率符合现行国家标准,且在其行星齿轮架上组合了单向超越离合器,有效地解决了电机的磁滞阻力对骑行的影响。这种有齿轮毂电机的驱动电机实质上就是直径减小了的低速轮毂电机,其转速一般不超过1500转/分钟,严格意义上讲还算不上是高速电机,所以采用了一级减速的定轴行星齿轮减速机构,减速比通常为1:4.3,轮毂电机对轮径的适应性较差。

[0004] 以上两种主流电机,均为钕铁硼永磁直流电机,具有结构简单、运行可靠、体积小、重量轻、额定效率高、调速性能好等优点,但由于电动自行车的低转速特性,在实际骑行过程中电机往往运行在低效率区间,电动自行车的续行里程不高,难以满足大众对提高续行里程的消费需求。

[0005] 中国专利号201010247971.8公开了一种超薄大功率直流永磁电机,提出了一种优选使用扁平漆包线绕制的外圈形状为扇形的线圈,加以叠加组合成线圈绕组,单层绕组绕制好后,在其表面涂上固定的胶水进行固定,绕组安装在定子架的槽内并由内压圈和外压圈固定。实际的状况是,要保证线圈的外圈形状为扇形,线圈的三角形内孔的面积需足够大,减少绕组的匝数,而如此绕制的线圈,定子盘空间利用率低,磁场集聚性差,为减少磁通损失,永磁体必须有足够的径向长度,因此内压圈、外压圈与扇形绕组的重叠区域很小,仅在表面涂上固定胶水的线圈绕组在振动、发热等状况下很容易像钟表发条一样散架损坏。而采用圆形导线绕制的线圈,则需选择线径较小的屈服强度低的圆导线才能保持外圈形状为扇形,也不可能生产出大功率的直流永磁电机。大电流的大功率电机必然会产生更多的热量,需要有可靠的散热方案,该发明采用了高强度、高硬度、耐热、耐冲抗击、抗老化的工程塑料精密注塑成型的定子架,其热导系数一般只有0.04W/mK,而且扁平线绕制的线圈绕组要求定子盘两侧的气隙磁密严格相等,靠扁薄定子架中心的两个轴承固定的转子盘是很难满足如此高的要求的,转子盘稍有偏置扁平漆包线线圈就会发热,而且转速越高产热越多,大量的热量被封闭在转子盘内,也无法通过工程塑料制成的定子架消散,其技术方案本身就具有重大缺陷。

[0006] 中国专利号201010289645.3公开了一种节能轮毂电机,同样采用了盘式无铁芯直流电机,并以电动车轮毂作为转子盘,直接由轮毂电机驱动电动车,该发明还在轮毂内组合

了结构形式相同的盘式无铁芯发电机,用于收集车辆制动所产生的电能回充给蓄电池,从而起到节能的效果。实质上,盘式无铁芯直流电机的电感量较小,属小功率电机的范畴,其最突出的优点是高转速低扭矩且无磁滞阻力,低转速时的效率非常低,而市场上对电机功率要求较小的72V电压的低速观光电动车,其电机额定功率也要求有5000W,电动车轮毂上轮毂螺栓孔的节圆到轮辋螺栓孔的节圆间的空间是有限的,在这有限的空间内设置大功率的盘式无铁芯直流电机及盘式无铁芯发电机是无法做到的,况且按该发明的描述,该节能轮毂电机的电动车只能安装无需充气的实心轮胎。

[0007] 申请号201310033295.8公开了一种盘式无铁芯永磁直流电机,是一个轴转动的电机,其采用的技术方案是:线圈绕组是由多段圆弧组成的轴对称锥形环环形绕组,锥形环的尖端靠近定子轴心,轴对称锥形环的中心轴线三等分后形成两个不同的内径尺寸,其中锥形环尖端的内径是另一内径的三分之二,这种环形绕组,定子盘的空间利用率很低,磁场集聚性更差,方案中提及的“定子电枢绕组采用无铁心结构,直接有绕组注塑而成”,也无实现的可能,注塑过程中是无法理清无序的绕组出线的,产品合格率会非常低。该发明“环形绕组中间隔设置霍尔磁敏传感器”,更是有违常识的方案,三个霍尔传感器的九只管脚,需要在很小的气隙空间内通过导线串接,其工艺难度非常大,而且设置在环形绕组中间的霍尔传感器,其金属管脚在交变磁场作用下会迅速发热,烧毁霍尔传感器。

[0008] 专利号201310310431.3公开了一种盘式无铁芯永磁无刷直流电机,采用了与申请号201310033295.8公开的一种盘式无铁芯永磁直流电机相似的环状线圈绕组,其远离轴端的圆弧半径是靠近轴端的圆弧半径的1.5—2倍,两腰线部分的圆弧半径是远离轴端的圆弧半径的3—5倍,定子盘的空间利用率很低,磁场集聚性更差,而且线圈绕组缺少限位装置,难以限制线圈在轴向的位移;该发明电机采用了一种外转子壳体转动的盘式无铁芯直流电机,发明目的不明确,设置四个O形密封圈的针对性不强,电机缺少动力输出装置和固定装置,电机轴上采用两种规格迥异的轴承也似有不妥,电机采用无位置hall位置传感器,启动时电机会出现抖动迟滞现象。

## 发明内容

[0009] 发明目的:为了克服现有技术中存在的不足,本发明提供一种盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,采用本发明的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机后,自行车仍具有良好的蹬踏骑行功能,额定功率及扭矩大,更适合在山区及丘陵区的路况要求,在纯电力驱动状况下的续行里程,比目前市售的电动自行车有了大幅度的提高。

[0010] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明的一种盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,包括左端盖、右端盖、主轴和轮毂,所述左端盖通过第一轴承套在主轴上,右端盖通过第二轴承套在主轴上,左端盖和右端盖与轮毂连接,所述左端盖通过减速机构与太阳轮齿圈连接,太阳轮齿圈固定在电机上,通过电机带动太阳轮齿圈转动,从而通过减速机构带动左端盖转动,从而带动轮毂转动;所述减速机构包含行星架、若干个第一行星轮、若干个第二行星轮和中心轮,所述第一行星轮与太阳轮齿圈啮合,第一行星轮与第二行星轮通过转动轴同轴连接,转动轴通过第三轴承安装在行星架上,行星架套在主轴上,第二行星轮与固定在左端盖上的中心轮啮合;电机包含第一定子盘、第二定子盘和第三定子盘,

所述主轴上依次套有第四轴承、第一定子盘、至少一个第三定子盘、第二定子盘和第五轴承,第四轴承和第五轴承上分别套有第一转子盘和第二转子盘,第一转子盘和第二转子盘中间夹装有至少两个第三转子盘,并定位于相邻两个定子盘的中间,相邻第三转子盘之间有套圈相连接,套圈还与第一转子盘和第二转子盘连接,第一转子盘和第二转子盘的内侧分别设有第一凹槽,第一凹槽内安装有第一永磁体,在第三转子盘的两面均设有第二凹槽,第二凹槽内均安装有第二永磁体,第一转子盘外侧与太阳轮齿圈固定连接,通过太阳轮齿圈输出扭矩,所述第一定子盘、第二定子盘、第三定子盘上均设有若干个环形分布的用于安装线圈的梨形孔,线圈通过限位装置固定在梨形孔内,由第一定子盘、线圈、第一转子盘、第三转子盘、第一永磁体和第二永磁体组成电机的第一动力单元,由第二定子盘、线圈、第二转子盘、第三转子盘、第一永磁体和第二永磁体组成电机的第二动力单元,由第三定子盘、线圈、两个第三转子盘、第二永磁体组成电机的至少一个第三动力单元,第一动力单元、第二动力单元、第三动力单元的线圈与电缆线束连接。

[0011] 作为优选,所述太阳轮齿圈包含轮齿和与轮齿同轴的安装圈,安装圈固定在电机上,安装圈外套有防油罩,防油罩与左端盖密封连接,将减速机构包裹在左端盖和防油罩形成的空间内。

[0012] 作为优选,所述行星架套装在主轴上,在其中心孔开有键槽,由主轴上的凸档作靠山定位,通过卡簧、轴销与主轴锁定。

[0013] 作为优选,所述限位装置包含内圈挡边、外圈挡边、内压圈、外压圈和环形电路板,所述第一定子盘、第二定子盘和第三定子盘的一面延伸有内圈挡边、外圈挡边,在定子盘的另一面安装有外压圈、内压圈或环形电路板,通过内圈挡边、外圈挡边、内压圈、外压圈和环形电路板限制线圈的轴向位移。

[0014] 作为优选,所述第一定子盘或第二定子盘或任意一个第三定子盘在安装环形电路板的一面顺序设有三个第三凹槽,第三凹槽排列在相邻两梨形孔之间位于定子盘的圆心一侧,第三凹槽内安装霍尔传感器,霍尔传感器的管脚与固定在定子盘上的环形电路板焊接,环形电路板与电缆线束连接。

[0015] 作为优选,所述线圈为圆铜漆包线绕制的空心线圈,其内孔形状为三角形,绕制后的外圈形状为梨形并与梨形孔相匹配;所述线圈的三角形内孔位于定子盘内侧的内角小于 $60^{\circ}$ ,三角形内孔的径向长度小于线圈的径向直径即长直径的三分之一。梨形的线圈为左右对称结构,每个线圈的对称轴指向永磁体的圆心,线圈对称轴的长度即为长直径,三角形的内孔为等腰三角形,内孔底边的高即为三角形的径向长度,即三角形内孔沿永磁体直径方向上的长度。

[0016] 作为优选,所述第一转子盘和第二转子盘上均设有散热孔。

[0017] 作为优选,所述永磁体为扇形钕铁硼永磁材料,其径向长度即扇形永磁体的内外半径差是线圈的径向直径即长直径的0.5-0.8倍。

[0018] 作为优选,所述永磁体包含若干个永磁体单元,相邻两个永磁体单元之间留有间隙,间隙的大小与电气性能参数适配。

[0019] 有益效果:本发明的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,由于采用多单元动力结构的层叠组合,额定功率及扭矩相较单动力结构电机有了很大的提高,电动自行车更适合山区及丘陵区骑行;在保持通轴结构前提下,采用行星齿轮机构两级减速,

保证了轮毂电机结构的可靠性；并且由于减速机构减速比的可选择性较强，提高了本发明的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机对电动自行车轮圈规格的适应性；其两级减速的行星齿轮减速机构中，由于一级减速齿轮所承受的扭矩较小，因而采用了钢齿轮与工程塑料齿轮相啮合的形式，既保证了减速机构的可靠性，又能有效地降低传动噪声。

### 附图说明

[0020] 图1是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机结构示意图。

[0021] 图2是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机行星减速机构安装示意图。

[0022] 图3是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的定子盘示意图。

[0023] 图4是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的线圈、霍尔传感器及环形电路板安装示意图。

[0024] 图5是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的第一定子盘图。

[0025] 图6是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的第二定子盘图。

[0026] 图7是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的第三定子盘图。

[0027] 图8是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的线圈通电后的外部磁场分析图。

[0028] 图9是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机的相邻永磁体间隙调整测试的扭矩效率图。

[0029] 图10是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机与市售有铁芯有齿轮毂电机的扭矩—功率—效率—转速对比图。

[0030] 图11是本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机在两个动力单元层叠状态下的扭矩效率曲线图。

### 具体实施方式

[0031] 如图1至图7所示，本发明的一种盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机，包括左端盖3、右端盖4、主轴10和轮毂2，所述左端盖3通过第一轴承5套在主轴10上，右端盖4通过第二轴承51套在主轴10上，左端盖3和右端盖4通过螺丝与轮毂2连接，在铸造工艺中，可将所述轮毂2与左端盖3或右端盖4合并铸造为组合体形式，所述左端盖3通过减速机构与太阳轮齿圈11连接，太阳轮齿圈11固定在电机1上，通过电机1带动太阳轮齿圈11转动，从而通过减速机构带动左端盖3转动，从而带动轮毂2转动；所述减速机构包含行星架6、若干个第一行星轮7、若干个第二行星轮8和中心轮9，所述第一行星轮7与太阳轮齿圈11啮合，第一行星轮7与第二行星轮8通过转动轴同轴连接，转动轴通过第三轴承21安装在行星架6上，行星架6套在主轴10上，第二行星轮8与固定在左端盖3上的中心轮9啮合，构成了两级减速的定轴行星齿轮减速机构，其减速机构使用固体润滑油进行润滑。

[0032] 在本发明中,所述太阳轮齿圈11包含轮齿和与轮齿同轴的安装圈,安装圈固定在电机1上,安装圈外套有防油罩12,防油罩12与左端盖3密封连接,将减速机构包裹在左端盖3和防油罩12形成的空间内。防油罩12为底部有圆孔的平底碗状结构,由工程塑料模压制成,安装在左端盖3上,限制了润滑油在轮毂2内的扩散。

[0033] 在本发明中,第一行星轮7的材质为强度高耐磨性好的尼龙或聚甲醛等工程塑料制成,第二行星轮8、中心轮9的材质为钢质,所述行星架6套装在中轴上,在其中心孔开有键槽,由中轴上的凸档作靠山定位,通过卡簧35、轴销36与主轴10锁定,其中第二行星轮8为联轴式齿轮。

[0034] 在本发明中,所述电机1包含第一定子盘13、第三定子盘14、第二定子盘15,所述主轴10上依次套有第四轴承22、第一定子盘13、至少一个第三定子盘14、第二定子盘15和第五轴承221,第四轴承22和第五轴承221上分别套有第一转子盘16和第二转子盘161,第一转子盘16和第二转子盘161中间夹装有至少两个第三转子盘17,并定位于相邻两个定子盘的中间,相邻第三转子盘17之间有套圈18相连接,套圈还与第一转子盘16和第二转子盘161连接,所述第一转子盘16和第二转子盘161上均设有散热孔33,有利于消散电机1工作时所产生的热量,第一转子盘16和第二转子盘161的内侧分别设有第一凹槽,第一凹槽内安装有第一永磁体19,在第三转子盘17的两面均设有第二凹槽34,第二凹槽34内均安装有第二永磁体20,第一转子盘16外侧与太阳轮齿圈11固定连接,通过太阳轮齿圈11输出扭矩,所述第一定子盘13、第二定子盘15、第三定子盘14上均设有若干个环形分布的用于安装线圈23的梨形孔31,线圈23通过限位装置固定在梨形孔31内,所述线圈23为圆铜漆包线绕制的空心线圈,其内孔形状为三角形,其外圈形状为与梨形孔21匹配的形状,由第一定子盘13、线圈23、第一转子盘16、第三转子盘17、第一永磁体19和第二永磁体20组成电机1的第一动力单元,由第二定子盘15、线圈23、第二转子盘161、第三转子盘17、第一永磁体19和第二永磁体20组成电机1的第二动力单元,由第三定子盘14、线圈23、两个第三转子盘17、第二永磁体20组成电机1的至少一个第三动力单元,第一动力单元、第二动力单元、第三动力单元的线圈23与电缆线束24连接。

[0035] 在本发明中,所述限位装置包含内圈挡边25、外圈挡边26、内压圈27、外压圈28和环形电路板29,所述第一定子盘13、第二定子盘15和第三定子盘14的一面延伸有内圈挡边25、外圈挡边26,在定子盘的另一面安装有外压圈28、内压圈27或环形电路板29,通过内圈挡边25、外圈挡边26、内压圈27、外压圈28和环形电路板29限制线圈23的轴向位移。

[0036] 在本发明中,所述第一定子盘13或第二定子盘15或任意一个第三定子盘14在安装环形电路板29的一面顺序设有三个第三凹槽30,第三凹槽排列在相邻两梨形孔31之间位于定子盘的圆心一侧,第三凹槽30内安装霍尔传感器32,霍尔传感器32的管脚与固定在定子盘上的环形电路板29焊接,环形电路板29与电缆线束24连接。

[0037] 在本发明中,第一永磁体19和第二永磁体20为扇形钕铁硼永磁材料,其径向长度即扇形永磁体的内外半径差是线圈23的径向直径即长直径的0.5-0.8倍。所述永磁体包含若干个永磁体单元,相邻两个永磁体单元之间留有间隙,间隙的大小与电气性能参数适配。

[0038] 在本发明中,所述第一转子盘16和第二转子盘161由铁质材料制成,其外形为平底碗状,第一转子盘16的轴承室37在其内侧,由固定在其外侧的太阳轮齿圈11作为轴承挡;第二转子盘161的轴承室371位置偏向其外侧并设有轴承挡38。



[0039] 在本发明中,第三转子盘17为铁质环形盘,两圆环面均设有第二凹槽34,第二凹槽34为环形槽,第二永磁体20相互吸合安装在第三转子盘17的两圆环面的环形槽内。

[0040] 基于通电空心线圈外部磁场分析及实验,本发明提出了盘式单元层叠无铁芯直流电机的线圈23与永磁体的最经济有效的组合。如图8,通过对单个通电空心线圈外部磁场的有限元分析和实验验证,通电空心线圈中心位置,磁感应强度随着线圈半径的增加先增大然后再逐渐减小,在空心的边缘附近出现一个峰值,空心面积越小,磁场集聚越明显;通电空心线圈表面的磁感应强度出现在线圈的轴线附近,距离线圈中心越远,特别是在线圈的外边缘,衰减很快;气隙部分线圈表面磁场强度最大,随着离线圈表面距离的增加,磁场强度迅速衰减,数值很小;通过对通电空心线圈磁感应强度规律的分析验证,得出了盘式无铁芯直流电机的技术路径是:适当减小扇形永磁体的径向长度(扇形磁铁的内外半径差)、尽可能减小线圈23空心部分的面积。

[0041] 减小扇形永磁体的径向长度,会产生部分磁通损失,下表为永磁体的径向长度变化对盘式无铁芯直流电机成本、效率影响的实验对比数据(空心线圈径向直径为 $D=32\text{mm}$ ,线圈高 $10.0\text{mm}$ ,铜漆包线线径 $0.6\text{mm}$ ,通电电流 $3.5\text{A}$ ,三角形空心的径向长度 $9.6\text{mm}$ ,扇形永磁体内、外直径平均值 $68\text{mm}$ )。从表1的对比数据可以看出,随着永磁体的径向长度的减小,线圈23磁通损失随之增大并呈加速增大的趋势,电机最大效率也相应降低,效率降低的程度小于磁通损失程度,永磁体材料成本的降幅更为明显。按价值工程理论,适度减小扇形永磁体的径向长度,电机的效率和扭矩会有所降低,但能更多的降低稀土永磁的消耗,电机的经济性更好,竞争力更强。

[0042] 表1

[0043]

永磁体 径向长度	磁通损失	永磁体 材料减少	电机的 最大效率	效率降低	预计电机 成本降低
D(32mm)	0	0	86.7%	0	0
0.94D(29mm)	1.0%	10%	86.4%	0.4%	5%
0.81D(26mm)	2.8%	20%	85.2%	1.7%	10%
0.69D(22mm)	5.4%	30%	82.3%	5.1%	15%
0.59D(19mm)	10.4%	40%	77.8%	10.3%	20%
0.5D(16mm)	20.1%	50%	72.3%	16.6%	25%
0.41D(13mm)	35.5%	60%	61.5%	29.1%	30%

[0044] 永磁体径向长度(扇形永磁体的内外半径差)小于线圈23的径向直径的技术方案,为固定线圈23而设置限位装置提供了必要的空间,两者的比例关系,如取永磁体径向长度为 $0.9D$ ,限位装置与线圈23的叠压宽度小于 $0.05D$ ,固定效果较差;而取永磁体径向长度小于 $0.5D$ ,则磁通损失较大,电机扭矩和效率也会相应地降低;实验表明,正确处理好永磁体19、20径向长度与线圈23的径向直径的比例关系,能使电机的先进性、可靠性、经济性得到较佳的平衡。

[0045] 实施例一

[0046] 盘式无铁芯直流电机,绕组由6个线圈23组成,线圈23的径向直径为 $D=32\text{mm}$ ,高 $10.0\text{mm}$ ,铜漆包线线径 $0.67\text{mm}$ ,三角形空心径向长度 $9.6\text{mm}$ ,8个永磁体19、20单元的内、外直径平均值 $68\text{mm}$ ,轴向高度 $6\text{mm}$ ,径向长度 $20\text{mm}$ ,轮毂采用减速比为 $1:8.74$ 的行星减速机构两级减速,扇形永磁体的圆心角分别取 $45^\circ$ 、 $41^\circ$ 、 $38^\circ$ 进行对比测试;图9中a为永磁体圆心角为 $45^\circ$ 时扭矩与效率的曲线图,b为永磁体圆心角为 $41^\circ$ 时扭矩与效率的曲线图,c为永磁体圆心角为 $38^\circ$ 时扭矩与效率的曲线图,从图9所示的扭矩效率曲线图上看,三种电机的最高效率分别为 $83.8\%$ 、 $83.1\%$ 、 $80.6\%$ ,相邻两个永磁体单元之间留出间隙后,对电机效率影响不明显,在高扭矩段的影响更小,这种结果也与通电空心线圈外部磁场分析及实验结果相吻合;永磁体之间的间隙变化对电机的速度影响较大,三种电机的空载转速分别为 $281\text{转/分钟}$ 、 $330\text{转/分钟}$ 、 $361\text{转/分钟}$ ,由此可以有针对性地调整相邻永磁体之间的间隙,改善电机的电气性能以适应轮毂电机减速机构减速比以及电动自行车轮圈尺寸的变化。

[0047] 实施例二

[0048] 盘式单元层叠无铁芯直流电机,每个定子盘上的绕组由6个线圈8组成,线圈8的径向直径为 $D=32\text{mm}$ ,高 $10.0\text{mm}$ ,铜漆包线线径 $0.60\text{mm}$ ,三角形空心径向长度 $9.6\text{mm}$ ,每个转子盘上的8个永磁体单元的内、外直径平均值 $68\text{mm}$ ,轴向高度 $6\text{mm}$ ,径向长度 $20\text{mm}$ ,扇形永磁体的圆心角为 $41^\circ$ ,轮毂采用减速比为 $1:8.74$ 的行星减速机构两级减速,进行对比测试;图11中d为第一动力单元单独工作时扭矩与效率的曲线图,e为第一动力单元和第二动力单元同时工作时扭矩与效率的曲线图,图11示出了本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机在本实施例中第一动力单元工作和第一第二单元同时工作时的扭矩效率曲线图,从扭矩效率曲线图上看,一个动力单元驱动轮毂时,在扭矩较小时就能达到高效率,第一、第二动力单元同时工作驱动轮毂时,在很宽泛的扭矩区间里效率保持在 $80\%$ 以上。另外从图11中还可以发现,两个动力单元同时工作,即使在低扭矩阶段,电机也能保持高效率,因此采用多单元层叠的盘式层叠无铁芯直流电机,具有更高的额定功率、更大的扭矩输出和更宽泛的高效区间。

[0049] 相对于有铁芯电机,盘式无铁芯电机的线圈绕组的电感量较小,较小的电感量使电机的电气性能表现为高转速低扭矩,增加线圈绕组的匝数和导线的长度可以提高其电感量,可采取加大线圈的直径或减小导线的线径两种技术路径;减小导线的线径会使绕组电阻上升并降低电机功率,而增加线圈绕组的匝数和导线的长度又会增加电机的成本和体积,因此要求在定子盘有限的空间里尽可能地增加设定线径的导线的匝数和长度,优选的绕线方法是:绕线夹具以经倒角处理后的三角形棒为芯棒,层叠绕制导线,由此绕制的线圈,其内孔形状为三角形,外圈形状受三角形芯棒的形状大小、导线的线径、导线屈服强度以及绕线张力等综合影响呈梨形。

[0050] 基于空心线圈外部磁场分析及实验结果,应尽可能减小线圈空心部分的面积,而空心面积越小,线圈外圈形状越接近于圆形,并不能充分利用定子盘的空间。线圈的内孔和外圈形状应根据导线的线径、导线的屈服强度、定子盘直径的大小、绕组的线圈数量决定,经反复绕制和测试,线圈23的三角形内孔位于定子盘内侧的内角小于 $60^\circ$ ,三角形内孔的径向长度小于线圈的径向直径即长直径的三分之一的设计方案,能较好地满足定子盘的空间利用及磁场向线圈23中心集聚的要求。

[0051] 本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,电气性能优越,除了传统电机结构简单、运行可靠、体积小、效率高、调速性能好等优点外,由于驱动电机采用了

盘式无铁芯结构,电机重量轻,高速性能好,空载电流小且无磁滞阻力,从而使电动自行车具有良好的蹬踏骑行功能;由于采用多单元动力结构的层叠组合,额定功率及扭矩相较单动力结构电机有了很大的提高,电动自行车更适合山区及丘陵区骑行;在保持通轴结构前提下,采用行星齿轮机构两级减速,既保证了轮毂电机结构的可靠性,又能使盘式无铁芯直流电机的高速性能得到充分发挥;并且由于减速机构减速比的可选择性较强,提高了本发明的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机对电动自行车轮圈规格的适应性;本发明盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,其两级减速的行星齿轮减速机构中,由于一级减速齿轮所承受的扭矩较小,因而采用了钢齿轮与工程塑料齿轮相啮合的形式,既保证了减速结构的可靠性,又能有效地降低传动噪声。

[0052] 本发明的盘式单元层叠无铁芯直流电机驱动的有齿轮毂电机,空载电流仅有0.4A,低扭矩状况下就能达到高效率,图10中 $P_1$ 、 $N_1$ 、 $\eta_1$ 分别为本发明电机的扭矩与功率、扭矩与转速和扭矩与效率的曲线图, $P_2$ 、 $N_2$ 、 $\eta_2$ 分别为市面上采购的电机的扭矩与功率、扭矩与转速和扭矩与效率的曲线图,如图10、11,功率在75W时效率就能达到75%,在电动自行车正常骑行所需的80—150W的功率区间,本发明的有齿轮毂电机均能以80%左右的高效率运行,与市售的有齿轮毂电机相比,优势非常明显,在相同的骑行条件、相同的电能消耗、纯电力行驶的状况下,其续行里程比目前市场上普遍采用的有齿轮毂电机的电动车的续行里程提高了35%以上,比采用低速轮毂电机的电动车的续行里程提高了45%以上。

[0053] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

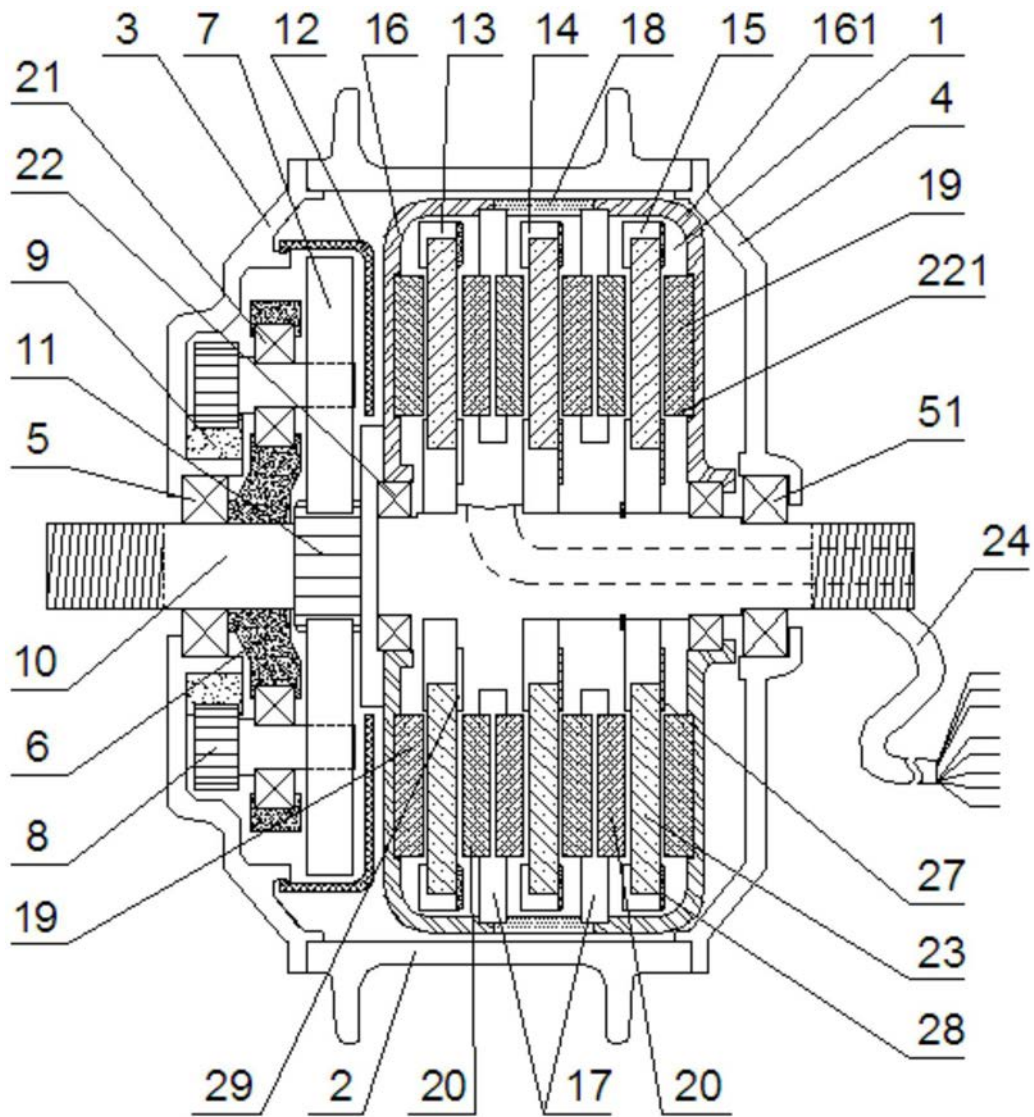


图1

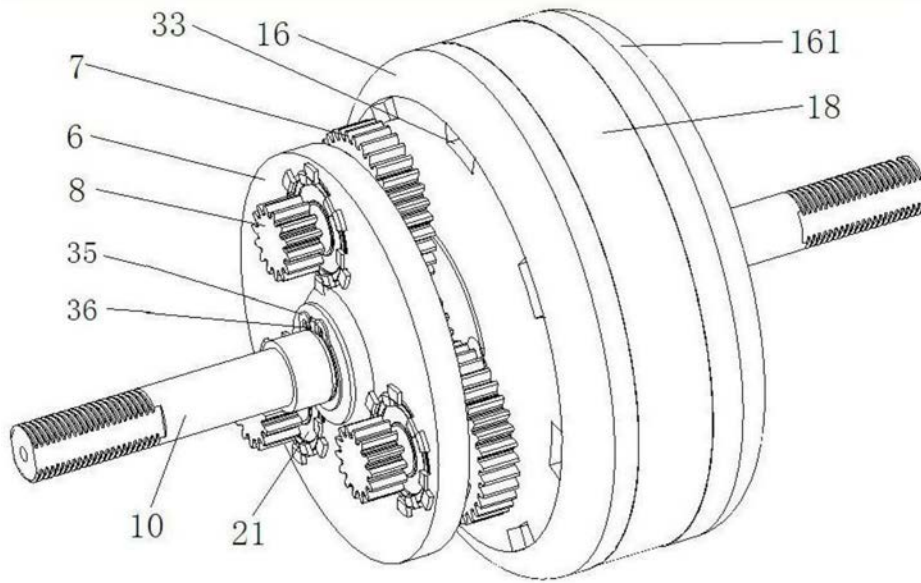


图2

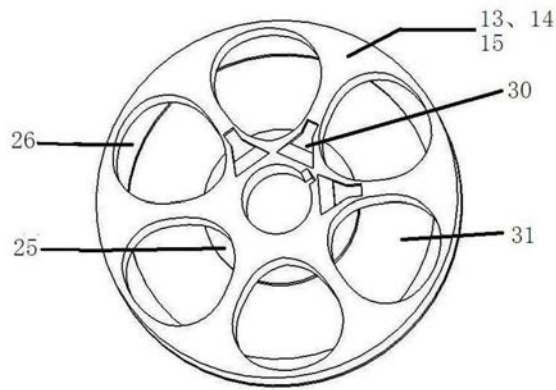


图3

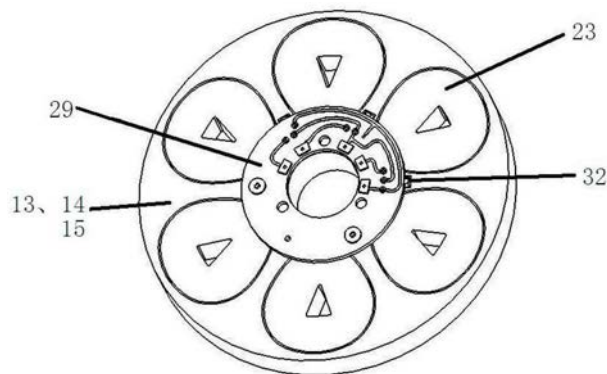


图4

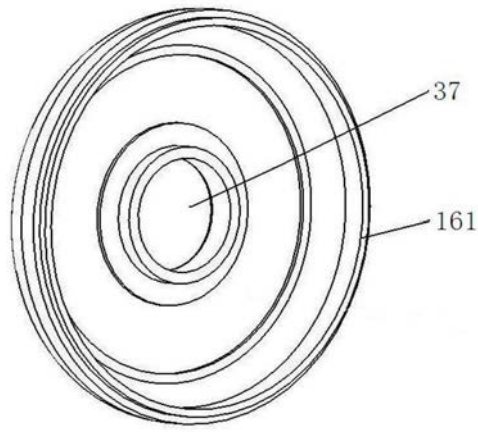


图5

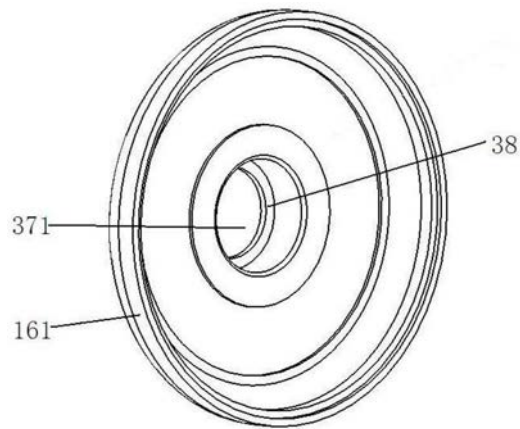


图6

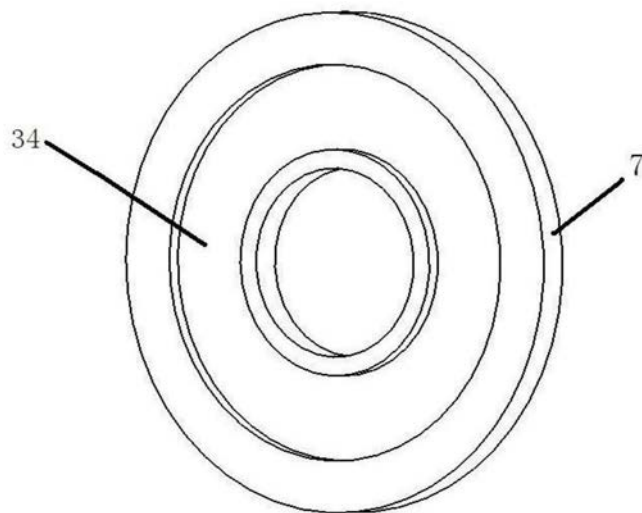


图7

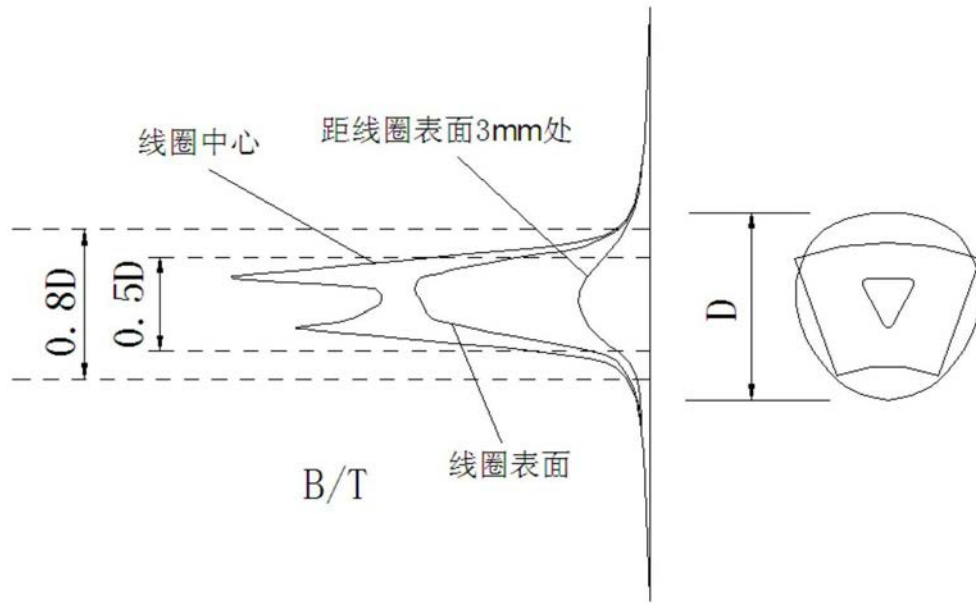


图8

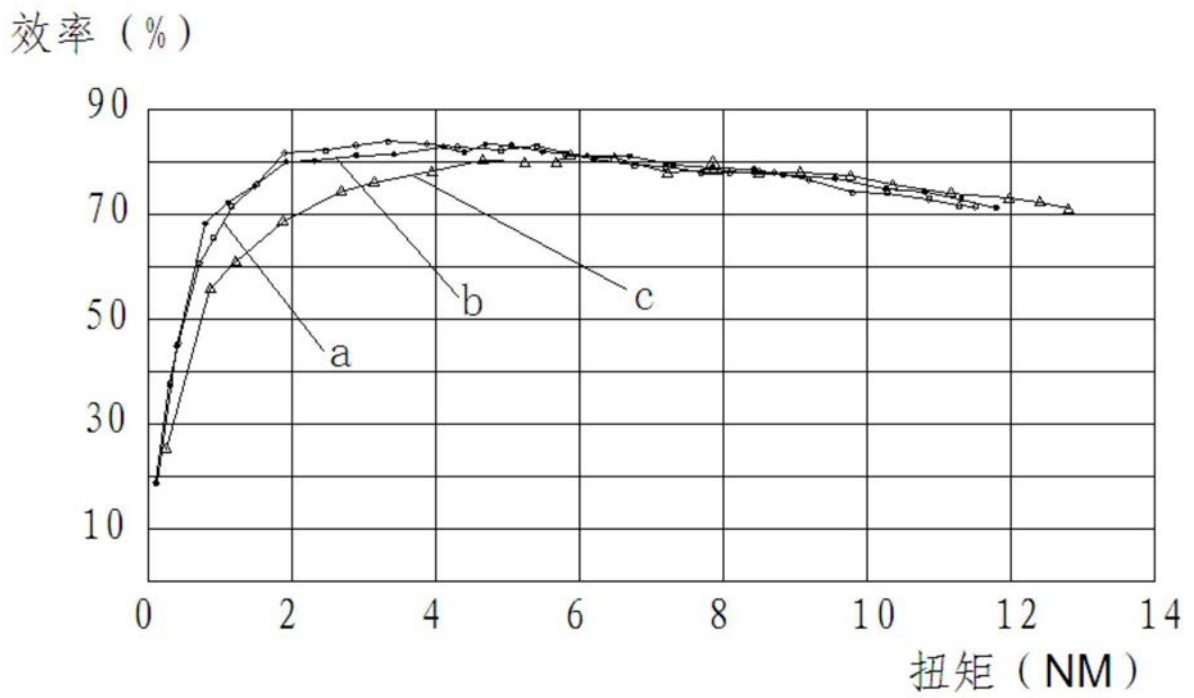


图9

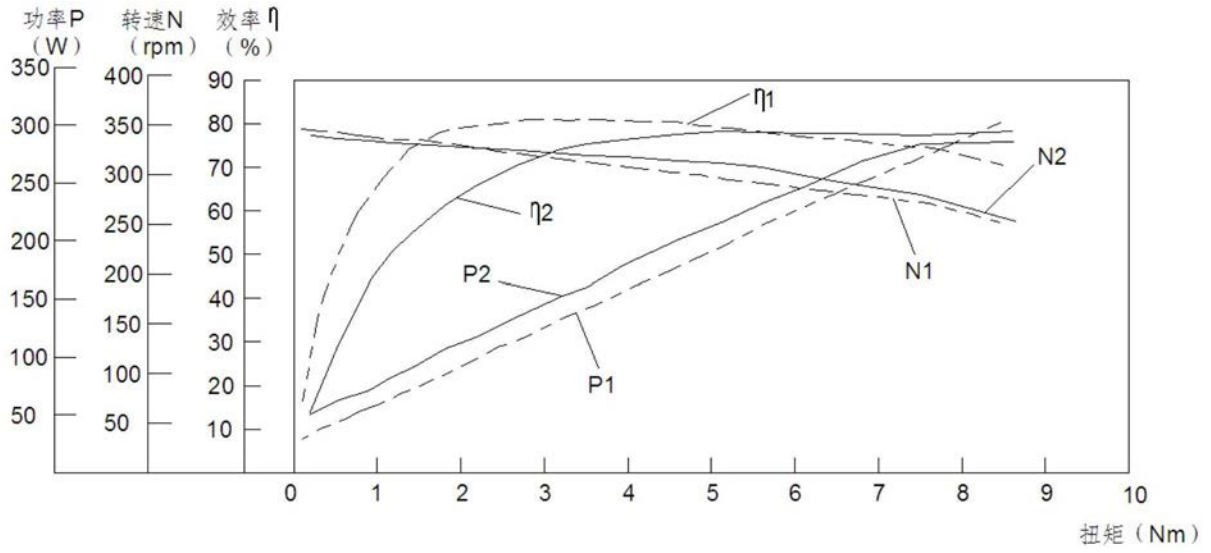


图10

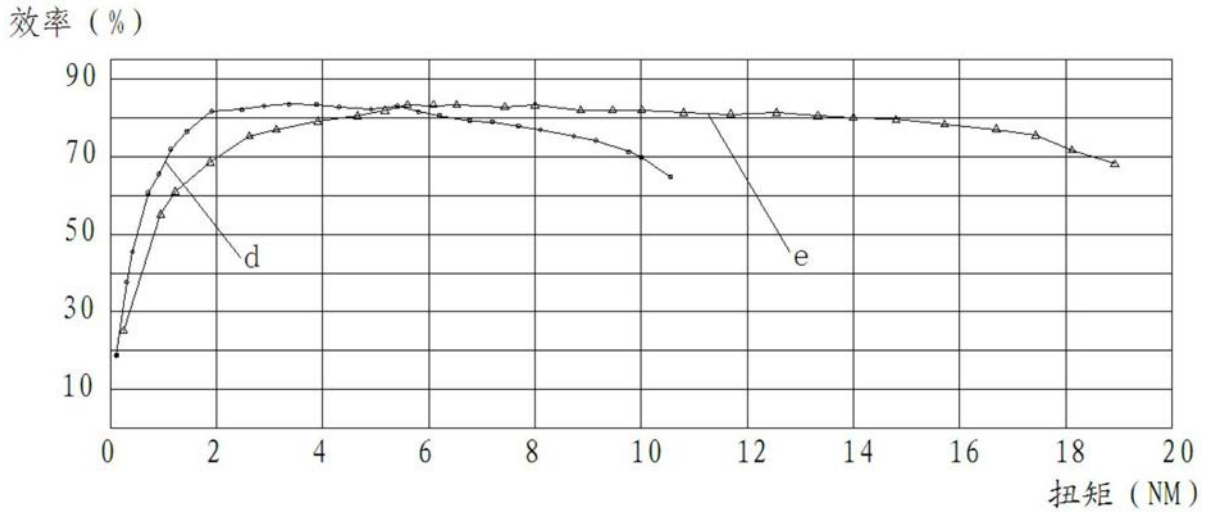


图11