



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107848628 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 201680043281.6

(22) 申请日 2016.07.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107848628 A

(43) 申请公布日 2018.03.27

(30) 优先权数据
62/195,611 2015.07.22 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.01.19

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2016/043535 2016.07.22

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/015551 EN 2017.01.26

(73) 专利权人 弗朗西斯·A·纳尔代拉
地址 美国亚利桑那州

(72) 发明人 弗朗西斯·A·纳尔代拉

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限
责任公司 11240

代理人 陈鹏 李静

(51) Int.Cl.
B64D 27/04 (2006.01)
F16F 15/20 (2006.01)
B64D 27/00 (2006.01)
B64D 27/02 (2006.01)
F16F 15/00 (2006.01)
F16F 15/10 (2006.01)

(56) 对比文件
US 5513601 A, 1996.05.07
US 3447515 A, 1969.06.03
US 3007350 A, 1961.11.07
CN 1094790 A, 1994.11.09
CN 203214106 U, 2013.09.25
US 6536382 B1, 2003.03.25
US 2012256046 A1, 2012.10.11

审查员 姚放

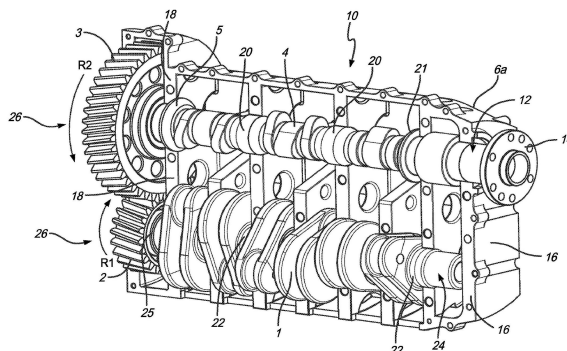
权利要求书2页 说明书12页 附图20页

(54) 发明名称

用于与螺旋桨驱动式飞行器一起使用的内
燃发动机

(57) 摘要

一种用于与螺旋桨驱动式飞行器一起使用的
内燃发动机,包括凸轮轴,适于用作使螺旋桨
旋转以提供推进推力的输出轴。齿轮组被配置成
将旋转动力从曲柄轴传递到凸轮轴并且使凸轮
轴以与曲柄轴的旋转速度成比例的速度旋转。齿
轮组被设置在发动机壳体的后壁的后方,并配置
成使凸轮轴在与曲柄轴旋转相反的方向上旋转。
凸轮轴的长度使发动机扭转振动减少。在一个实
施例中,发动机是具有对置式配置的六缸压缩点
火式发动机,并且可以产生在从约300马力到约
350马力范围内的峰值输出动力。



1. 一种用于与螺旋桨驱动式飞行器一起使用的内燃发动机,所述内燃发动机包括:
曲轴箱壳体,具有前壁和后壁;
曲柄轴,所述曲柄轴以轴颈式安装在所述曲轴箱壳体内并且能围绕曲柄轴轴线旋转,其中,所述曲柄轴被配置成由包括六个活塞的多个活塞能旋转地驱动,并且所述曲柄轴的后端部延伸穿过所述曲轴箱壳体的后壁;
凸轮轴,所述凸轮轴以轴颈式安装在所述曲轴箱壳体内,并且所述凸轮轴的前端部延伸穿过所述曲轴箱壳体的前壁,而所述凸轮轴的后端部延伸穿过所述曲轴箱壳体的后壁,其中,所述凸轮轴能围绕与所述曲柄轴轴线大致平行的凸轮轴轴线旋转;
齿轮组,所述齿轮组被配置成将旋转动力从所述曲柄轴传递到所述凸轮轴,并且所述齿轮组被配置成使所述凸轮轴以与所述曲柄轴的旋转速度成比例的速度旋转,其中,所述齿轮组设置在所述曲轴箱壳体的后壁的后方;并且
其中,所述凸轮轴还用作使螺旋桨旋转以提供推进推力的输出轴。
2. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述凸轮轴的前端部适于将所述螺旋桨安装到所述凸轮轴的前端部。
3. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述内燃发动机是压缩点火式发动机。
4. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述内燃发动机具有气缸对置式发动机配置。
5. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述内燃发动机具有在从300马力到350马力的范围内的峰值输出动力。
6. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述齿轮组被配置成提供转速减小和扭矩增加。
7. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述凸轮轴的长度使发动机扭转振动减小。
8. 根据权利要求1所述的内燃发动机,其中,所述齿轮组的齿轮适于使所述凸轮轴在与所述曲柄轴的旋转相对的方向上旋转。
9. 一种用于与螺旋桨驱动式飞行器一起使用的内燃发动机,所述内燃发动机包括:
曲轴箱壳体,具有前壁和后壁;以及
传动系,所述传动系包括:
曲柄轴,所述曲柄轴以轴颈式安装在所述曲轴箱壳体内并且能围绕曲柄轴轴线旋转,其中,所述曲柄轴被配置成由包括六个活塞的多个活塞能旋转地驱动,并且所述曲柄轴的后端部延伸穿过所述曲轴箱壳体的后壁;
动力输出轴,所述动力输出轴以轴颈式安装在所述曲轴箱壳体内,并且所述动力输出轴的前端部延伸穿过所述曲轴箱壳体的前壁,而所述动力输出轴的后端部延伸穿过所述曲轴箱壳体的后壁,其中,所述动力输出轴能围绕与所述曲柄轴轴线大致平行的输出轴线旋转;以及
齿轮组,所述齿轮组被配置成将旋转动力从所述曲柄轴传递到所述动力输出轴,并且所述齿轮组被配置成使所述动力输出轴以与所述曲柄轴的旋转速度成比例的速度旋转,其中,所述齿轮组设置在所述曲轴箱壳体的后壁的后方;
其中,所述传动系具有模式1固有频率并且所述内燃发动机具有高转速正常操作范围;

并且

其中,所述传动系的模式1固有频率与一个或多个发动机主导谐波激励频率中的每一个的会聚发生在发动机转速转移到发动机高转速正常操作范围之下时。

10. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述内燃发动机是压缩点火式发动机。

11. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述内燃发动机具有气缸对置式发动机配置。

12. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述内燃发动机具有在从300马力到350马力的范围内的峰值输出动力。

13. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述齿轮组被配置成提供转速减小和扭矩增加。

14. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述齿轮组的齿轮能适于使所述动力输出轴在与所述曲柄轴的旋转相同或相对的方向上旋转。

15. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述传动系的模式1固有频率在发动机转速小于所述发动机高转速正常操作范围的下端的大约60%时与所述一个或多个发动机主导谐波激励频率中的每一个会聚。

16. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述一个或多个发动机主导谐波激励频率包括第三次序谐波激励频率和第六次序谐波激励频率。

17. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述传动系的模式1固有频率在发动机转速小于所述发动机高转速正常操作范围的下端的至少1200rpm时与所述一个或多个发动机主导谐波激励频率中的每一个会聚。

18. 根据权利要求9所述的内燃发动机,其中,所述传动系的模式1固有频率为大约88Hz,所述传动系的模式1固有频率在大约1755rpm时与第三次序谐波激励频率会聚,并且所述传动系的模式1固有频率在大约878rpm时与第六次序谐波激励频率会聚。

用于与螺旋桨驱动式飞行器一起使用的内燃发动机

[0001] 相关申请和优先权

[0002] 本申请要求2015年7月22日提交的名称为“用于航空的内燃活塞式发动机 (Internal Combustion Piston Engine For Aviation)”的U.S.临时申请No.62195611,该申请的全部内容以参考方式并入本文。

技术领域

[0003] 本发明涉及用于航空的内燃活塞式发动机。更具体地,本发明涉及内燃活塞式发动机,其被配置成使得主导发动机谐波激发频率在发动机的高转速正常操作范围之外的较低转速处与传动系模式1固有频率会聚,从而减小了扭转力矩、减小了由于高幅度扭矩反转而导致的齿轮锤击以及扭转应力。在发动机的某些实施例中,凸轮轴除了其在控制提升阀的打开和关闭方面的标准作用之外还向螺旋桨提供齿轮减速、扭转振动减小和动力传输。

背景技术

[0004] 用于通用航空的活塞式发动机通常是大排量、直接驱动、空气冷却的火花点火式发动机,其燃烧含铅航空燃料并且通常在2300rpm至2700rpm之间运行。在更高的每分钟转数(“rpm”)下,螺旋桨转速接近声速并且相应地降低效率。

[0005] 航空燃料被认为是精品燃料;它是昂贵的,并且在世界上很多地方不可得。燃料的未来也是有问题的,因为它含铅。由于这些原因,已经花费了相当大的努力来开发用于通用航空的燃烧喷气燃料和柴油燃料的可行压缩点火式发动机。除燃烧喷气燃料(其广泛可用并且更便宜)之外,压缩点火式发动机效率更高,并且喷气燃料和柴油燃料具有比航空汽油更高的能量密度。与往复式发动机相比具有动力、重量和可靠性优势的燃烧喷气燃料的涡轮螺旋桨发动机和涡轮喷气发动机解决方案在目前对于许多通用航空来说经济上不可行,因为成本和燃料燃烧要高得多。

[0006] 发动机功率与活塞上的压力、发动机排量和rpm直接相关。为了产生使用直接螺旋桨驱动的螺旋桨在较低rpm下所需的必要的功率,标准的航空火花点火式发动机具有较大的排量。例如,大陆TSIO-550-K具有9.05升(550in³)的排量。它在2500rpm时产生315马力(235kW)的功率,并且具有578.4磅(262.4kg)的卸载重量,配有双涡轮增压器。它被用于目前可用的商业上最成功的单发动机通用航空飞行器,即西锐SR22T,它是总重量3600磅并且通常以接近200节(kts)(230mph)的巡航速度飞行的4/5位飞行器。TSIO-550及其TIO-540莱康明对置型火花点火式发动机系列代表目前通用航空领域的技术水平,并反映本发明优选实施例中待实现的功率和重量目标。

[0007] 开发用于通用航空的可行的压缩点火式发动机的努力已经遇到了困难。这些发动机通常比火花点火式发动机更重,以约束产生的压力的增加。目前的努力包括较大排量的空气冷却和油冷却直接驱动发动机,和以较高rpm运行并且并入螺旋桨转速减小齿轮箱的较小排量的液体冷却发动机二者。较大排量的直接驱动发动机可无法成功满足产生在300马力范围内的功率的重量要求。较小排量的发动机的齿轮箱容易受到压缩点火式发动机的

扭转振动特性的潜在破坏性影响。

[0008] 大陆发动机公司(隶属于中国航空工业集团公司(AVIC),继而隶属于中华人民共和国)的蒂勒特(Thielert)公司引进了第一台商业上成功应用的用于通用航空的压缩点火式发动机,百夫长(Centurion) 1.7。它是基于梅赛德斯直线型4缸、液体冷却、双顶置凸轮轴发动机的产生135马力(101kW)的1.689升(103in³)、134kg(295磅)涡轮增压发动机。铝合金块代替了梅赛德斯发动机所用的铁块。该发动机于2002年获得EASA(“欧洲航空安全局”)的认证并且于2003年获得FAA(“联邦航空管理局”)的认证。2006年,当百夫长2.0(现在是CD 135)的生产开始时,上述发动机的生产停止。2.0是1.991升(121.5in³)的变型,其具有与1.7相同的重量和功率,也使用梅赛德斯发动机组。之后是2.0S(现在是CD 155),功率为155马力(114kW)。这些发动机在最大功率下的rpm为3890,螺旋桨转速减小齿轮箱比为1:1.69。

[0009] 这些压缩点火式发动机的问题已经显著。与空气冷却火花点火航空活塞式发动机相比,它们的可靠性相对较差,空气冷却火花点火航空活塞式发动机预计的彻底检修前的时间(“TBO”)为2000小时。早期的百夫长1.7升变型在2006年停产。该发动机的更换前时间(“TBR”)为1000小时,离合器和齿轮箱每300小时强制拆卸和检查一次。百夫长2.0的TBR为1500小时,每600小时检查一次齿轮箱。百夫长2.0S的TBR为1200小时,每600小时检查一次齿轮箱。V8型百夫长4的开发尚未完成,其为3.996升(243.9in³)、350马力(246kW),具有齿轮箱并且卸载后重达600磅(272.2kg)。大陆发动机公司现在正在开发CD 300,其为在2300rpm时产生310马力(228kW)的V6,3升变型。它改造自具有齿轮减速,卸载后重达560磅的梅赛德斯发动机。这些发动机及其齿轮箱的可靠性相对较差可有多种原因,但主要因素可能是压缩点火式发动机本来的扭转振动。对于具有六缸四冲程主导第3次序谐波扭转激励的高功率CD 300,这些问题可甚至更大。

[0010] 由于对百夫长发动机的不满,作为百夫长发动机最初的主要用户的钻石飞行器工业公司(Diamond Aircraft Industries)于2007年与其合作伙伴成立了Austro发动机公司,并已经开发了AE 300。AE 300发动机是四缸直线型液体冷却涡轮增压,1.991升发动机,其在3880rpm时产生168马力(123.5kW)并且卸载后重达414磅(185kg)。它也是基于梅赛德斯发动机组,并且具有转速减小齿轮箱(1:1.69)。它保留原始梅塞德斯发动机的较重的铁块设计。它已经受到EASA的发动机和齿轮箱1800小时的TBO的认证。

[0011] 斯奈克玛公司(Safirán)的子公司SMA(Societe de MotorisationsAeronautiques)已经开发了SR305压缩点火式发动机,该发动机在设计上类似于现有的通用航空火花点火式发动机。SR305是具有5升(305in³)排量的对置式四缸空气冷却和油冷却直接驱动压缩点火式发动机,其在2200rpm时产生227马力(169.3kW),并且卸载后重达455磅(206.4kg)。其具有2400小时的TBO。其在2011年通过了EASA和FAA的认证。SMA正在研制260马力至280马力的变型,并且还正在开发6缸300马力范围型式的SR460,其卸载后重量可能会超过600磅,并且可不符合西锐SR22级飞行器的重量要求。大陆发动机公司已经购买了较小的SR305的版权。它持有的型式CD 230已经通过认证,他们正在研制CD 250变型。

[0012] 工程推进系统(“EPS”)正在开发航空柴油发动机。其方法是使用180度V8液体冷却涡轮增压发动机,其具有顶置凸轮轴和4.4升排量以在齿轮减速的情况下达到350马力。EPS提出通过使用蠕墨铸铁曲轴箱、一级平衡轴、内部扭转振动吸收器和调谐隔离装置,将气缸

布置成与成对抛掷曲轴销水平对置,从而减少发动机振动。该发动机是否将避免困扰以前具有齿轮箱的压缩点火式发动机的问题尚不得而知。卸载的重量为约600磅,并且在安装时可不符合西锐SR22级通用航空飞行器的重量要求。

[0013] 已经进行了以前的尝试以通过提出与凸轮轴一致地驱动螺旋桨的推杆发动机配置来避免单独的螺旋桨转速减小齿轮箱的需要。在四冲程内燃发动机中,凸轮轴用于在发动机循环期间机械地控制进气门和排气门的打开,以允许向气缸充入空气或空气燃料混合物并排出燃烧的气体。凸轮轴通过它们在四冲程内燃活塞式发动机中的功能的性质以曲柄轴速率的1/2旋转。在凸轮轴没有放置在曲柄轴上方的配置中,通过驱动作用在摇臂上的推杆来打开和关闭进气门和排气门。凸轮轴通常由与曲柄轴连接的齿轮或链条驱动。凸轮轴通常也可以或者单独或者成对地放置在阀的上方,在那里它们直接驱动进气门阀和排气门,并且在该情况下不适合作为动力输出轴。

[0014] 授予Barbarou(巴尔巴鲁)的US 1,438,289、授予Ybarra(亚伯拉)的US 1,580,802、授予Morehouse(莫豪斯)的US 1,627,108、授予Wiseman(怀斯曼)的US 3,421,490以及授予Wiseman(怀斯曼)等人的US3,447,515中描述通过与凸轮轴共用的轴驱动螺旋桨的发动机配置。所有这些专利都公开与驱动螺旋桨的凸轮轴共用的轴,其中发动机前方的齿轮装置靠近螺旋桨。然而,如在本说明书中所解释的,利用凸轮轴将动力输出到具有前齿轮减速的螺旋桨的发动机(在本文中有时被称为CDSE-FG配置)将仍遭受类似于标准齿轮减速配置的显著的扭转振动,在标准齿轮减速配置中专用齿轮箱安装在发动机前方处,并用较短的螺旋桨驱动轴连接到螺旋桨,该配置具有对应的高维护和可靠性问题。

[0015] 授予Benson(本森)的US专利5,513,601公开具有专用螺旋桨轴和单独的凸轮轴的V-8火花点火式发动机。螺旋桨轴经由后齿轮装置耦接到曲柄轴,并且凸轮轴经由同步皮带耦接到传动轴。根据Benson所言,该布置的较长的螺旋桨轴允许更坚实的轴承支撑,以吸收源自螺旋桨的扭转负载和其他负载,Benson声称减小了这些力到齿轮、曲柄轴和它发动机零件的传递。Benson没有考虑使用具有后齿轮的凸轮轴来驱动螺旋桨。

[0016] 因此,需要用于适用于燃烧喷气燃料或柴油燃料的飞行器的内燃活塞式发动机,其满足西锐SR22级的通用航空飞行器的重量要求,并且比起先前的发动机更为可靠并且需要更少的维护。本发明的目的是提供此装置。此发动机也可用于其它应用,包括无人驾驶飞行器、船舶和某些陆地车辆。

[0017] 本发明的额外的目的和优点将在下面的描述中阐述,部分地将从描述中变得显而易见,或者可通过本发明的实践而了解。本发明的目的和优点可通过在所附权利要求中指出的手段和组合来实现和获得。

发明内容

[0018] 为了实现上述目的,并且根据如在该文献中所体现和广泛描述的本发明的目的,提供与螺旋桨驱动的飞行器一起使用的内燃发动机。发动机包括:曲轴箱壳体,该曲轴箱壳体具有前壁、后壁;和以轴颈式安装在发动机壳体内并且围绕曲柄轴轴线可旋转的曲柄轴。该曲柄轴被配置成由多个活塞可旋转地驱动,并且曲柄轴后端部延伸通过壳体后壁。凸轮轴以轴颈式安装在发动机壳体内并且具有延伸通过壳体前壁的前端部和延伸通过壳体后壁的后端部。凸轮轴可围绕平行于曲柄轴轴线的凸轮轴轴线旋转。齿轮组被配置成将旋转

动力从曲柄轴传递到凸轮轴,并且被配置成是凸轮轴以与曲柄轴的旋转速度成比例的速度旋转。齿轮组设置在发动机壳体的后壁的后方。凸轮轴适于用作旋转螺旋桨以提供推进推力的输出轴。

[0019] 在有利的实施例中,发动机是具有对置式(boxer,水平对置)配置的六缸压缩点火式发动机。发动机具有从约300马力到约350马力范围内的峰值输出动力。齿轮组的齿轮适于将动力传递到凸轮轴用于驱动螺旋桨并且使凸轮轴在与曲柄轴旋转相反的方向上旋转。

[0020] 根据本发明的另一个方面,用于与螺旋桨驱动飞行器一起使用的内燃发动机包括具有前壁和后壁的曲轴箱壳体以及传动系。传动系包括曲柄轴和动力输出轴。曲柄轴以轴颈式安装在发动机壳体内并且围绕曲柄轴轴线可旋转。曲柄轴被配置成由多个活塞可旋转地驱动,并且曲柄轴后端部延伸通过壳体后壁。动力输出轴以轴颈式安装在发动机壳体内并且具有延伸通过壳体前壁的前端部和延伸通过壳体后壁的后端部。动力输出轴可围绕大致平行于曲柄轴轴线的输出轴线旋转。齿轮组被配置成将旋转动力从曲柄轴传递到动力输出轴,并被配置成使动力输出轴以与曲柄轴的旋转速度成比例的速度旋转。齿轮组设置在发动机壳体的后壁的后方。发动机传动系具有模式1固有频率,该模式固有频率与主导发动机谐波激励频率以低于发动机高转速正常操作范围的转速会聚。

[0021] 与先前已知的配置相比,根据本发明的发动机配置提供源自发动机的扭转振动的明显减小。扭转振动减小的机制是由于动力传动系长度的增加降低其第一模式固有频率的结果。这是通过使用凸轮轴而不增加发动机的长度来实现的(在四冲程推杆发动机的情况下作为具有2:1齿轮减速的动力传动轴)。根据本发明的发动机配置的模拟研究(其在下面描述)示出较低的第一模式固有频率与主导发动机激励谐波的会聚发生在较低的rpm时。此外,这些研究示出在较低转速时的共振与扭转振动的明显减小相关联。

附图说明

[0022] 并入说明书中并且构成说明书的一部分的附图示出了本发明的目前优选的实施例和方法,并且与上面给出的一般描述以及下面给出的优选实施例和方法的详细描述一起用于解释本发明的原理。

[0023] 图1是根据本发明的用于内燃发动机的曲轴箱组件的一个实施例的立体图。

[0024] 图2是示出凸轮驱动轴、曲柄轴和驱动齿轮组暴露的图1的曲轴箱组件的一侧的立体图。

[0025] 图3是图1的曲轴箱组件的分解图。

[0026] 图4是根据本发明的曲轴箱组件的另一个实施例的一侧的立体图,其中凸轮驱动轴、曲柄轴和驱动齿轮组暴露。

[0027] 图5描绘用于模拟具有标准齿轮减速(SGRE)的水平对置的对置式六缸发动机的扭转振动的质量弹性模型。

[0028] 图6描绘用于模拟具有前齿轮减速(CDSE-FG)的水平对置的对置式六缸凸轮/专用驱动轴发动机的扭转振动的质量弹性模型。

[0029] 图7描绘用于模拟具有后齿轮减速(CDSE-RG)的水平对置的对置式六缸凸轮/专用驱动轴发动机的扭转振动的质量弹性模型。

[0030] 图8是图5的SGRE模型的坎贝尔(干扰)图,其示出作为发动机转速的函数的发动机

配置的强制激励频率。

[0031] 图9是图6的CDSE-FG模型的坎贝尔(干扰)图。

[0032] 图10是图7的CDSE-RG模型的坎贝尔(干扰)图。

[0033] 图11是示出作为rpm的函数的SGRE模型中的发动机部件的每个的动力传动系节点处的扭转最大角度偏转的曲线图。

[0034] 图12是示出作为rpm的函数的CDSE-RG模型中的发动机部件的每个的动力系节点处的扭转最大角度偏转曲线图。

[0035] 图13是示出SGRE模型的作为rpm和谐波次序的函数的螺旋桨轴扭转最大应力的曲线图。

[0036] 图14是示出CDSE-RG模型的作为rpm和谐波次序的函数的螺旋桨轴扭转最大应力的曲线图。

[0037] 图15是示出作为rpm的函数的SGRE模型的每个发动机轴节段的扭转最大应力的曲线图。

[0038] 图16是示出CDSE-RG模型的作为rpm的函数的每个发动机轴节段的扭转最大应力的曲线图。

[0039] 图17是示出SGRE模型中的齿轮耦接扭转力矩的曲线图。

[0040] 图18是示出CDSE-RG模型中的齿轮耦接扭转力矩的曲线图。

[0041] 图19是示出SGRE模型的齿轮锤击潜力的曲线图。

[0042] 图20是示出CDSE-RG模型的齿轮锤击潜力的曲线图。

具体实施方式

[0043] 在本申请中参考本发明目前优选的实施例。虽然参考这些示例更充分地描述了本发明,但是本发明的更广泛的方面不限于所示和所述的具体细节、代表性设备和说明性示例。而是,描述应被理解为是针对适当领域普通技术人员的宽泛的教导性公开内容,而不是限制本发明。

[0044] 应当理解诸如“向前”、“向后”、“上部”、“内”、“外”、“竖直”、“水平”、“底部”、“下方”、“顶部”、“侧”、“向内”、“向外”、“向下”和“下部”以及本说明书中使用的其它位置描述性术语仅用于便于描述,并且指的是如附图所示的参考部件的取向。应该理解的是,在此描述的部件的任何取向都在本发明的范围内。在本说明书中使用的术语“大致”被定义为“通常但不一定完全或全部如所指定的”。例如,本文中“大致平行”来表示通常但不一定完全或全部平行的组件。

[0045] 发动机配置

[0046] 参考图1至图3,示出根据本发明的用于通用航空的内燃发动机的曲轴箱组件10。曲轴箱组件10被配置用于与具有两排水平相对的活塞(未示出)的六缸“对置式(boxer)”发动机一起使用。曲轴箱组件10包括由壳体侧6a、6b形成的曲轴箱壳体6。曲柄轴1和凸轮轴4独立地以轴颈式安装在曲轴箱壳体6内。发动机相对于飞行器(未示出)定向,使得曲柄轴1和凸轮轴4分别被支撑用于围绕大致平行于飞行器主体的前后轴线的轴线旋转。

[0047] 凸轮轴4具有带螺旋桨凸缘14的前端部12,螺旋桨凸缘用于将螺旋桨(未示出)安装到凸轮轴4,以在旋转时为飞行器提供推进推力。在该配置中,凸轮轴4还用作用于旋转螺

旋桨的输出轴。如图2中可以看见,凸轮轴4在螺旋桨凸缘14的后方延伸,通过曲轴箱壳体6的前壁16和后壁18,并终止在后壁18的后方。凸轮轴4通过径向轴承20以轴颈式安装在曲轴箱壳体6内。前推力轴承21位于前壁16附近,并且后推力轴承5位于后壁18附近以可旋转地支撑和吸收施加到凸轮轴4的轴向推力。

[0048] 参考图2和图3,曲柄轴1位于下方并且位于与凸轮轴4相同的竖直平面中。多个径向轴承22将曲柄轴1可旋转地支撑在曲轴箱壳体6的内部。曲柄轴1包括位于曲轴箱壳体6内部的前端部24。曲柄轴1在其前端部24的后方延伸,穿过曲轴箱壳体的后壁18,并且具有在后壁18后方的后端部25。位于后壁18后方的曲柄轴1和凸轮轴4的部分可旋转地耦接到彼此,以将旋转运动从曲柄轴1传递到凸轮轴4。耦接器包括驱动齿轮组26,该驱动齿轮组包括固定地安装在曲柄轴1上的驱动齿轮2和固定地安装在凸轮轴4上的动力输出齿轮3。动力输出齿轮3具有驱动齿轮2的直径的两倍的直径。驱动齿轮组26的齿轮的大小适于容纳动力传输功能。虽然动力耦接器优选为齿轮传动系,但是也可以通过齿轮和链条或其它此布置来实现从曲柄轴1到凸轮轴4的旋转动力的传递。

[0049] 在上述配置中,凸轮轴4不仅用于控制气门的打开和关闭,而且还用于以曲柄轴转速的一半直接向螺旋桨传递动力。当活塞旋转曲柄轴1和驱动齿轮2时,动力输出齿轮3在与驱动齿轮2相反的方向上旋转。因此,当曲柄轴1在箭头R1的方向上顺时针(从前方看)旋转时,凸轮轴4在箭头R2的方向上逆时针转动(见图2)。因为动力输出齿轮3具有驱动齿轮2直径的两倍的直径,所以凸轮轴4以曲柄轴1的1/2的转速转动,从而提供齿轮减速和扭矩倍增。而且,相反旋转的曲柄轴1和凸轮轴4以及它们各自的齿轮2、3相互作用,并且减小飞行器中扭矩引起的左转弯和左转动倾向。

[0050] 参考图4,根据本发明的曲轴箱组件10的另一个实施例类似于图1至图3中所示的曲轴箱组件,除了其设置有附加推力轴承23。

[0051] 利用本发明的曲轴箱组件10的内燃发动机也将具有减小的扭转振动并将需要较少的频繁维护。因为驱动齿轮组26设置在曲轴箱壳体6的后部,动力输出轴(其在图1至图4的实施例中是凸轮轴4)可以比利用前齿轮减速的发动机配置的传动轴更长。如下所述,通过该较长的动力输出轴,发动机可以设计成在传动系上诱发较少的扭转振动。

[0052] 在很多人看来扭转振动是内燃发动机(特别是压缩点火式发动机)中传动系部件故障的主要原因。此振动主要是由作用在活塞上并且由连接杆传递到曲柄轴的气缸点火产生的压力脉冲引起的。在曲柄轴中诱发扭转,该扭转然后在压力脉冲结束时和排气冲程开始时松弛。压缩点火式发动机在比火花点火式发动机更高的压力下操作,并且可以比火花点火式发动机诱发更多的扭转,从而产生更大的振动幅度。虽然更少,扭转振动的其它来源可以来自螺旋桨和附件驱动轴和部件。

[0053] 动力系表现出与它们的硬度K的平方跟直接相关并且间接涉及它们的质量惯性矩J的平方根的固有振动频率 ω ($\omega = (K/J)^{0.5}$)。此外,硬度K与轴系的面积惯性矩 I_p 、刚度的模量G直接相关,并且与轴系(shafting)的长度L成反比($K = GI_p/L$)。发动机的主导谐波激发次序与气缸数量(二冲程发动机的n和四冲程发动机的1/2n)有关,并且随发动机rpm的增加而增加。当来自发动机扭矩脉冲的强制激励频率达到与动力传动系的固有频率相同的频率时,发生潜在的破坏性共振。人们可以通过增加轴系的长度来减小系统的基本模式1频率,使得该频率在低于发动机的较高功率操作范围的发动机转速下达到与主导发动机谐波

激发频率的会聚 (convergence, 收敛、集中), 从而减小在较高的功率操作范围内的扭转力矩和应力。以下描述的仿真研究已经示出该方法对于具有大于四个气缸甚至点火次序的发动机的益处。具有不均匀的点火次序和不同的旋转惯性和轴硬度的其它模型可表现不同。

[0054] 根据本发明的一个方面, 齿轮减速设置在发动机的后部, 允许动力输出轴的整个长度参与动力传递。这样做, 传动系的长度增加而不改变发动机的长度, 从而降低传动系的固有模式1主导频率。这可以允许在低于发动机的高转速正常操作范围的rpm下达到共振转速, 同时减少发动机扭转最大角位移、扭转力矩、扭矩反转以及齿轮锤击和扭转应力。

[0055] 模拟研究

[0056] 已经执行了具有齿轮减速的三个对置式水平对置六缸发动机配置的质量弹性模型上的扭转振动的对比模拟研究。这些配置包括:

[0057] SGRE: 利用标准齿轮减速的发动机配置

[0058] CDSE-FG: 利用具有前齿轮减速的凸轮轴的发动机配置

[0059] CDSE-RG: 利用具有后齿轮减速的凸轮传动轴的发动机配置。

[0060] 模拟研究将根据本发明的CDSE-RG配置的一个实施例的性能与SGRE和CDSE-FG配置进行比较。

[0061] 用于模拟研究的质量弹性模型是使用由国际海事技术公司 (International Maritime Technologies) 开发并通过Svenska Kullagerfabriken公司 (SKF) 销售的建模程序Shaft Designer (轴设计器) 中的扭转振动模块构建和建模的。这些模型所使用的发动机属性如下表1所示。凸轮轴也被认为代表2:1齿轮减速的专用内部驱动轴。模拟的发动机转速范围从200rpm到5000rpm。柴油发动机气体压力谐波系数从劳氏船级社激励组件表1

	属性	
	气缸布置	水平对置
	气缸数量	6
	缸径&冲程 (mm)	96 x 105
	排量 (l, in ³)	4.56, 278
	功率 (kW, 马力)	236, 316
	额定转速 (RPM)	3600
[0062]	连杆长度 (mm)	164
	每气缸往复质量 (kg)	2.72
	每气缸旋转质量 (kg)	5.07
	点火次序 (A1 在左边, 在非驱动端部处)	A1-B2-A3-B1-A2-B3
	点火角度 (deg)	A1 0、B1 360、A2 480、B2 120、A3 240、B3 600
	装置有效压力 (bar, psi)	17.35, 252
	气体压力谐波系数	劳氏船级社激励组件

[0063] (Lloyd's Register excitation pack) 获得并随软件提供。螺旋桨被建模为固定螺距, 直径2000mm, 带有4个叶片, 并且极性质量惯性矩为 3kgm^2 。螺旋桨激励未启用, 螺旋桨处也没有施加阻尼。使用由达索系统软件公司 (Dassault Systemes Solidworks Corp.)

销售的 Solidworks® 计算机辅助设计程序对曲柄轴、凸轮轴、传动装置、活塞、活塞销和带螺栓的连杆进行建模。极性质量惯性矩和组件尺寸从 Solidworks® 程序中的建模组件获得。在可用的情况下,部件尺寸基于泰勒(Taylor,C.F.),1985年麻省理工学院出版社出版的《内燃发动机理论与实践》(The Internal Combustion Engine in Theory and Practice):卷2,第二版修订,第460页至469页中的柴油发动机部件尺寸表。凸轮轴截面硬度基于轴截面的内径和外径、长度和刚度模量,由面积惯性矩计算。基于根据肯威尔逊(Ker Wilson,W.),1956年威利出版社出版的《扭转振动问题的实用解决方案》(Practical Solution of Torsional Vibration Problems),卷1,第593页至613页计算的主轴颈直径的等效实心轴长度和刚性模量,由面积惯性矩计算曲柄轴截面刚度。在使用来自费茨(Feese,T.)和希尔(Hill,C),2009年的第二十八届涡轮机械研讨会论文集的“预防往复机械中的扭转振动问题”(Prevention of Torsional Vibration Problems in Reciprocating Machinery)第213页至238页的ANSYS和Ker Wilson公式进行有限元分析之间,已经发现了确定曲柄轴节段刚度的良好一致性,平均相对误差分析了两个不同的曲柄轴节段模型3.2%。使用来自奈斯陶德(Nestorides,E.J.),1958年剑桥大学出版社出版的《扭转振动手册》(A Handbook on Torsional Vibration),第81页至91页的公式计算齿轮刚度。所有的阻尼建模为频率相关的内部阻尼,并且基于科布(Corbo,M.)和马尔斯基(Malanoski,SB),1996年出版的第二十五届涡轮机械研讨会论文集的“扭转振动实用设计”(Practical Design Against Torsional Vibration),189页至222页,和万山(Wachel,JC)和斯通思(Szenasi,FR),1993年出版的第二十二届涡轮机械研讨会论文集的“旋转机械的扭转振动分析”(Analysis of Torsional Vibration in Rotating Machinery),127页至152页被指定为临界阻尼的1.59%。图5至图7分别示出用于SGRE、CDSE-FG和CDSE-RG配置的质量弹性模型。这些模型使用具有由无质量硬度元件连接的特定惯性的集总质量。轴元件上的水平数字是以kNm/rad为单位的硬度。竖直数字是曲柄轴(带有中间轴节段、曲轴销、连接杆和螺栓的大端部的曲柄颊板)、齿轮和螺旋桨的旋转质量的极性质量惯性矩,单位为 kgm^2 。CDSE-FG和CDSE-RG模型的凸轮轴由表示轴承位置的节点分成三个节段。下部轴在每种情况下都表示附接到小齿轮的曲柄轴。在SGRE模型中,小齿轮与连接到螺旋桨轴的从动齿轮啮合。在CDSE-FG模型中,从动齿轮连接到螺旋桨轴和凸轮轴二者。在CDSE-RG模型中,从动齿轮附接成使得整个凸轮轴参与动力传输,终止于最后节段与螺旋桨轴连接。在所有三种模型中,动力传输100%都被分配给螺旋桨。所有三种模型的齿轮减速比都是2:1。竖直箭头指示参与强制激励的部件。水平缓冲器指示内部阻尼。

[0064] 振动模式和固有频率

[0065] 下面的表2示出SGRE、CDSE-FG和CDSE-RG模型的不同振动模式的无阻尼固有频率的比较。SGRE和CDSE-FG的模式1至8固有频率是相同的。CDSE-RG模型的第一模式固有频率在88Hz时显著较低,而剩余模式频率的全部与CDSE-FG模型中的相同或几乎相同。CDSE-RG配置中固有频率的降低不是基于螺旋桨轴的较大的约束,而是基于系统的模式1固有频率随着动力传动系长度的增加而减小。模式1频率形状被描述为在表2

[0066]

模式	SGRE	CDSE-FG	CDSE-RG
1	150	150	88
2	501	501	474

3	945	945	938
4	1402	1402	1401
5	1823	1823	1823
6	2169	2169	2169
7	2400	2400	2400
8	4210	4210	4209
9		$2.32E^{27}$	$3.30E^{27}$
10		$6.34E^{27}$	$6.34E^{27}$
11		$8.65E^{27}$	$8.33E^{27}$

[0067] 一个连续模式下整个动力传动系长度的振动,并且是最低频率。剩余模式是振动,振动包括逐渐增多的发动机节点,其中随着更多的节点被包括在增加的模式中,振动以零振动通过并且随着频率的逐渐变化而变化。

[0068] 坎贝尔图 (Campbell Diagram)

[0069] 图8至图10分别是SGRE、CDSE-FG和CDSE-RG模型的坎贝尔(干扰)图,其示出作为每个发动机配置的发动机转速的函数的强制激励频率。加粗的水平线示出动力传动系统的固有频率。斜线是作为rpm的函数的强制发动机谐波激励频率,其各自的次序数(order number)出现在斜线上方。加粗的斜线示出与螺旋桨转速相关的次序,该螺旋桨转速是Z次序的发动机转速的一半。示出为光点的交点是显著的共振转速。阴影区域表示最大连续运转功率(MCR)的0.87倍和1.14倍的范围。竖直虚线指示最低模拟发动机转速(200rpm)。

[0070] 谐波强制激励频率与无阻尼固有频率的会聚

[0071] 参考图8至图10,斜线沿循作为rpm的函数的每个编号的发动机谐波的频率增加。表2列出SGRE模型中的8个固有频率和CDSE-FG和CDSE-RG模型中的11个固有频率。只有前三个固有频率出现,并且在所选择的转速范围上被绘制在坎贝尔图上,并且只有第一模式固有频率在直到MCR的发动机转速范围内被证明是显著的。倾斜发动机谐波激发频率与水平固有频率的会聚点表示为黑点和光点。模型中有24个发动机谐波激励频率,其中在SGRE和CDSE-FG模型中示出35个共振点(黑点和光点),在CDSE-RG模型中示出37个共振点。在涉及第3次序和第6次序发动机谐波与模式1固有频率的会聚的模型中考虑了两个显著的共振转速。它们是坎贝尔图中的光点。在六缸四冲程发动机中预期的主导激励频率是第3次序或每轴旋转三次,这在仿真研究中得到证实。在SGRE和CDSE-FG模型二者中,第3次序谐波频率在3002rpm时与第一模式固有频率(150Hz)会聚,并且在CDSE-RG模型中在1755rpm时与第一模式固有频率(88Hz)会聚。在SGRE和CDSE-FG模型中,第6次序谐波在发动机转速为1501rpm时与第一模式固有频率(150Hz)会聚,并且在CDSE-RG模型中在878rpm时与第一模式固有频率(88Hz)会聚。

[0072] 在CDSE-RG模型的情况下,主导发动机谐波激励频率和模式1固有频率的会聚转速低于SGRE和CDSE-FG配置,并且发生在发动机的高转速正常操作范围之外,导致较低的扭转最大角位移、扭转力矩、由于高幅度扭矩反转而减小的齿轮锤击以及正常操作范围内的扭转应力减小。在CDSE-RG配置的情况下,高转速正常操作范围(3000rpm至3600rpm)的扭转力矩非常低,甚至低于平均扭矩。螺旋桨轴处的峰值扭转应力比SGRE和CDSE-FG小约5-6倍(比4340钢的极限抗拉强度(“UTS”)小约23倍,并远离高转速正常发动机操作范围。高转速正常

操作范围中的应力比SGRE和CDSE-FG配置低约18倍,比4340钢的UTS低约70倍,并且在无限疲劳寿命期望的范围内。

[0073] 扭转最大角度偏转

[0074] 图11和图12分别示出SGRE和CDSE-RG模型中的发动机部件中的每个在动力系节点处作为rpm的函数的最大角度偏转。应当注意,模型中的每个的y轴刻度之间存在细微的差异。每个曲线图右边的图例参考了不同发动机部件的曲线。曲线图中的最低曲线是螺旋桨的曲线。SGRE模型(图11)中的偏转增加的叠加曲线是小齿轮与气缸6至1的从动齿轮和单独标识的曲线。在CDSE-RG模型(图12)中,叠加的曲线用于凸轮轴轴承3、2、1、从动齿轮和紧密分组的小齿轮与气缸6至1。在两个模型中的显著峰值在与第一模式固有频率相互作用的第三和第六发动机激励谐波处。CDSE-FG模型的行为与SGRE模型完全一样,其数据不在此处或在所呈现的模拟的剩余部分中示出。

[0075] 通过比较图11和图12可以看出,在CDSE-RG模型的情况下,第三和第六次序峰值的幅度降低并且这些峰值转换为较低的转速。在所有模型中发动机转速低于400rpm时发生大的偏转,几乎完全是由于第三次序发动机谐波。在SGRE模型(图11)中,在400rpm至3600rpm的发动机转速范围内,在涉及第三次序谐波的3012rpm的共振转速下发生最大的偏转。在螺旋桨上观察到指示在不同的发动机节点处的最低的偏转的最低曲线,随着偏转的增加,在4.8度的汽缸1处显示出具有最高偏转的传动系逆行。

[0076] 在CDSE-RG模型(图12)中,与第三次序谐波相关联的峰值被移位到1752rpm,并且气缸1处的最高偏转在1.8度。SGRE模型的与第六次序谐波相关联的共振的峰值扭转偏转为1502,气缸1处的最大偏转在1.0度。CDSE-RG模型的与第六次序谐波相关联的峰值扭转偏移被移位到878rpm,气缸1处的偏转增加到2.1度。在400rpm至3600rpm之间的CDSE-RG模型中的凸轮轴中的最大偏转在凸轮轴轴承1处,并且在878rpm时为0.6度。这主要是由于第六次序谐波诱发的共振。

[0077] 扭转应力

[0078] 图13和图14分别示出作为rpm和谐波次序的函数的SGRE和CDSE-RG模型的螺旋桨轴扭转应力。较低的rpm刻度是螺旋桨转速,较高的rpm刻度是发动机转速。在右侧的图例中参考谐波次序。扭转应力(psi)在y轴上。应当注意,CDSE-RG模型的y轴刻度远低于SGRE模型的刻度。顶部加粗实线是所有谐波的应力的合成。主要的应力峰值与两个模型中的第3次序和第6次序谐波相关联。在CDSE-RG模型中,与SGRE模型相比,第3次序和第6次序谐波应力峰值的幅度以及它们向较低转速的转化显著减小。

[0079] 在SGRE模型(图13)中,与主导第3次序谐波相关联的应力占优势,并且发生在3012rpm时。远远落在其后的是在1506rpm时与第6次序谐波相关联的应力。相比之下,在CDSE-RG模型(图14)中,这些激励谐波的峰值应力在每种情况下分别被置换为较低的转速,1758rpm和878rpm,并且与扭转应力的明显减小相关联。主导的第3次序谐波峰值从SGRE模型的螺旋桨轴中的41132psi下降到CDSE-RG模型中的6227psi时发生最大的减小。在SGRE模型中,与第6次序谐波相关联的峰值应力为8642psi,CDSE-RG模型稍微降至7625psi。

[0080] 图15和图16分别示出SGRE和CDSE-RG模型的作为rpm的函数的每个发动机轴节段的扭转应力。右边的图例参考不同轴节段的曲线。注意CDSE-RG模型的y轴刻度差异。直到MCR的主导应力峰值与第3次序和第6次序谐波相关联。在SGRE模型(图15)中,峰值应力在螺

旋桨轴处最多,随后是齿轮轴,曲柄轴元件中的应力依次更低,逆向于动力传动系。在CDSE-RG模型(图16)中,凸轮轴节段3、2和1的应力是相同的并且重叠,随后应力在螺旋桨轴、齿轮轴和曲柄轴元件中相继降低,逆向于动力传动系。

[0081] 在CDSE-RG模型(图16)中,与SGRE模型(图15)相比,最大应力明显减小并转化为较低rpm。然而,CDSE-RG模型中的最大轴节段应力现在在凸轮轴节段而不是在螺旋桨轴中。与第3次序谐波相关联的凸轮轴节段中的峰值应力为8647psi,与第6次序谐波相关联的凸轮轴节段中的峰值应力为10590psi。因此,与第6次序谐波相关联的应力在CDSE-RG模型中以直到MCR的转速成为主导应力。除了共振转速之外,值得注意的是,齿轮轴、凸轮轴和螺旋桨轴节段的应力保持相对稳定。然而,曲柄轴节段应力稳步增加到MCR及以上;尽管在MCR时它们仍然保持在峰值凸轮轴和螺旋桨轴应力之下。

[0082] 扭转力矩和潜在齿轮锤击

[0083] 图17和图18分别示出SGRE和CDSE-RG模型中的齿轮耦合器扭转力矩。齿轮力矩在y轴上。注意,CDSE-RG模型的y轴刻度有所不同。图中的每个都包括表示作为rpm的函数的所有发动机谐波激励的合成的曲线以及表示平均发动机扭矩的曲线。每个图中显示第3次序和第6次序谐波关联力矩峰值的位置。

[0084] 在SGRE模型(图17)中,直到MCR的显著扭转力矩与主导第3次序谐波峰值相关联,在3006rpm时为6278Nm,随后是与主导第6次序谐波峰值相关联的力矩,在1506rpm时为1317Nm。相比之下,在CDSE-RG模型(图18)中,峰值扭转力矩转换为较低的转速并减小幅度。主要的减小发生在第3次序谐波处,在1755rpm时减小到896Nm,较小的减小发生在第6次序谐波处,在878rpm时减小到1138Nm。

[0085] 图19和图20分别示出SGRE和CDSE-RG模型的齿轮锤击潜力。当振动力矩大于平均发动机扭矩时,产生与齿轮锤击潜力相关联的力矩。它们被计算为平均发动机扭矩和振动力矩之间的差值。注意SGRE模型(图19)和CDSE-RG模型(图20)之间的y轴刻度的差异。还应当注意,与SGRE模型相比,CDSE-RG模型中潜在的齿轮锤击的力矩减少并转化为较低的转速。

[0086] 如图19所示,在SGRE模型中看到齿轮锤击的显著潜力,并且其与第3次序谐波峰值相关联,在3006rpm时为-5842Nm,随后是与第6次序谐波峰值相关联的力矩,在1506rpm时为-1277Nm。相比之下,在CDSE-RG模型(图20)中,峰值力矩被转化成较低的rpm并且幅度减小。振幅的主要减小发生在第3次序谐波峰值处,在1754rpm时减小到-747Nm,较小的减小发生在第6次序谐波处,在878rpm时减小到-1101Nm。

[0087] 结论

[0088] 之前的模拟研究展示根据本发明的发动机中扭转振动的明显减小,其具有增加的动力传动系的长度,动力传输通过凸轮轴或专用的内部驱动轴,诸如图1至图3所示的CDSE-RG配置。

[0089] 关于使用凸轮轴用于动力传递的关注点之一是凸轮轴中的扭转位移将会干扰提升阀打开和关闭的正时。然而,值得注意的是,CDSE-RG模型1中的凸轮轴中的最大扭转偏转发生在凸轮轴轴承处,并且由于与第6次序谐波相关联的共振,在878rpm时为0.6度。这表明,对于CDSE-RG设计的发动机,凸轮轴的扭转偏转不太可能是严重的问题。

[0090] SGRE和CDSE-FG模型中的扭转应力相当高,并且期望发生在通用航空中使用的发

动机的正常巡航操作范围内。相比之下,在CDSE-RG模型中,主导第3次序相关联的应力不仅减少了六倍以上,而且它们将被转移到正常巡航操作范围之外的较低的rpm,在该范围内期望操作将是短暂的或暂时的。

[0091] 齿轮锤击可能是造成航空柴油发动机中的齿轮箱和附件驱动问题的严重问题。由于第3次序发动机激励谐波与3006rpm时的第一模式固有频率(其为-5842Nm)的相互作用,在SGRE和CDSE-FG模型中可见齿轮锤击的显著潜力。该幅值的绝对值大于MCR处平均最大发动机扭矩的9倍。在CDSE-RG模型中,该共振转速被转化为1754rpm,潜在在齿轮锤击力矩的幅度大幅减少到-747Nm,绝对值幅度略高于MCR处发动机的平均扭矩。

[0092] 通过使用用于动力传输的凸轮轴来提供主导模式1动力传动系固有频率的减小以及由此导致的扭转振动的减小的本发明的特征也可应用于利用齿轮式专用轴来提供减速和到螺旋桨的动力传输的发动机配置。在采用顶置凸轮轴的发动机中以及由于可不希望使用凸轮轴作为驱动轴的任何其它原因,此类发动机配置在不应被2/1发动机约束至凸轮轴转速的应用中是有用的。

[0093] 模拟研究示出,通过凸轮轴或通过根据本发明的专用内部驱动轴的动力传递可以增加传动系的长度以减小硬度并降低动力系的第一模式固有频率,同时实现齿轮减速。这导致由第一模式固有频率与激发性发动机谐波的会聚引起的共振频率向较低的rpm的转化,扭转偏移、扭转应力、扭转力矩和潜在的齿轮锤击明显减少。这种方法在克服目前在通用航空较高功率的可靠航空柴油发动机开发方面的障碍方面可为有用的。该方法也可以应用于二冲程和火花点火式发动机以及应用于具有气缸的不同数量和布置的发动机。

[0094] 从上文将会理解,本发明的方法和实施例将提供许多优点。例如,根据本发明的内燃发动机避免对单独的减速齿轮箱的需求。同时,其提供减少振动的方法,允许开发在300马力至350马力的范围内的压缩点火式发动机,以满足西锐SR22T级通用航空飞行器的重量和功率要求。该发动机还可以满足包括无人驾驶飞行器、船舶和某些陆地车辆的其它应用的需求。

[0095] 在阅读本公开之后,本领域技术人员将认识到,可对本发明的实施例和方法进行各种改变和修改,并且可在不脱离本发明的精神的情况下进行此类改变和修改。例如,虽然所呈现的建模是使用四冲程六缸压缩点火式发动机来执行的,但是相同的原理可以应用于二冲程使用火花点火并且具有不同数量和布置的气缸的发动机。因此,本发明的更广泛的方面不限于所示出和描述的具体细节、代表性设备和说明性示例。因此,在不脱离总体发明构思的精神或范围的情况下,可以从这些细节偏离。

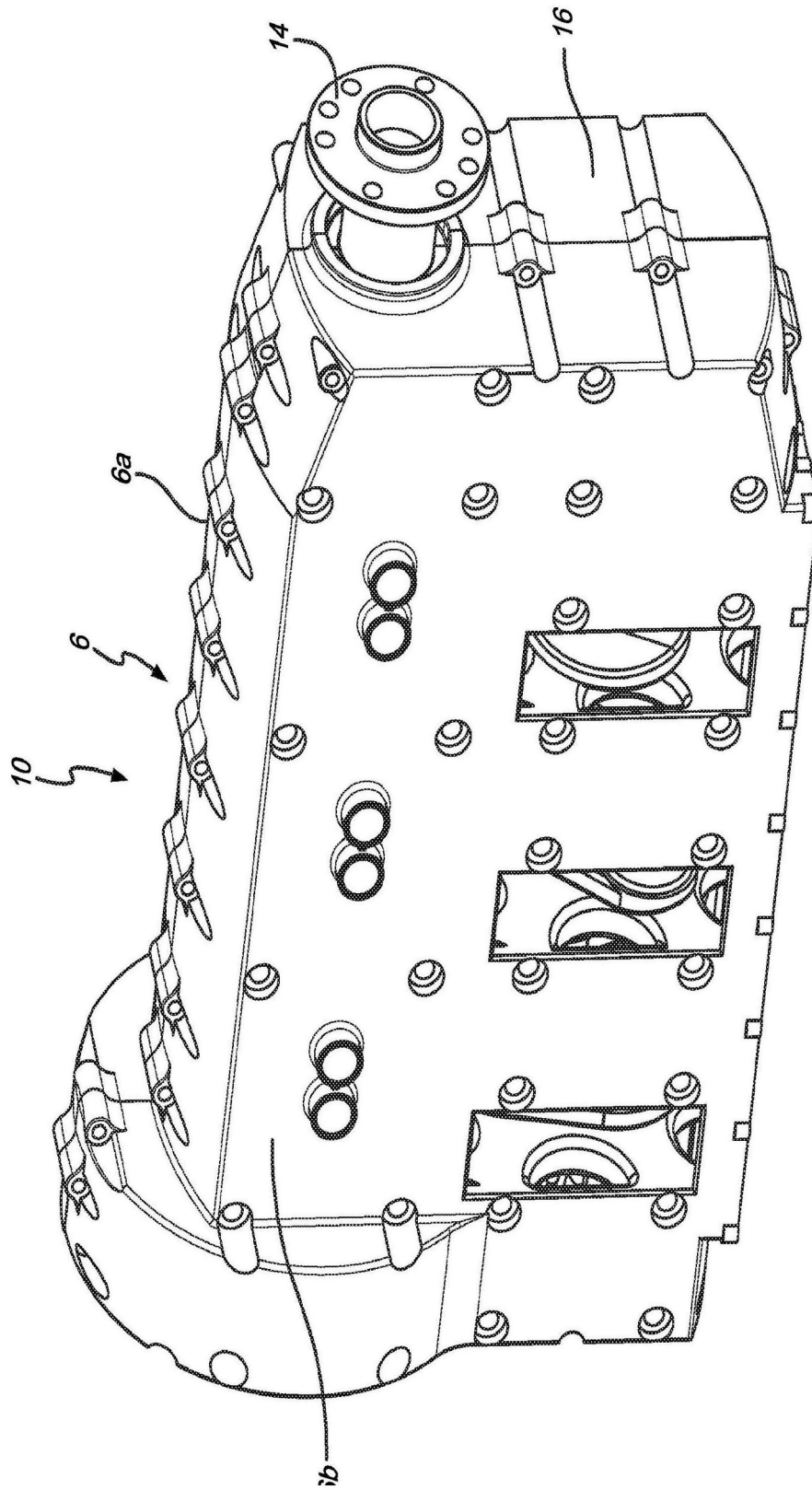


图1

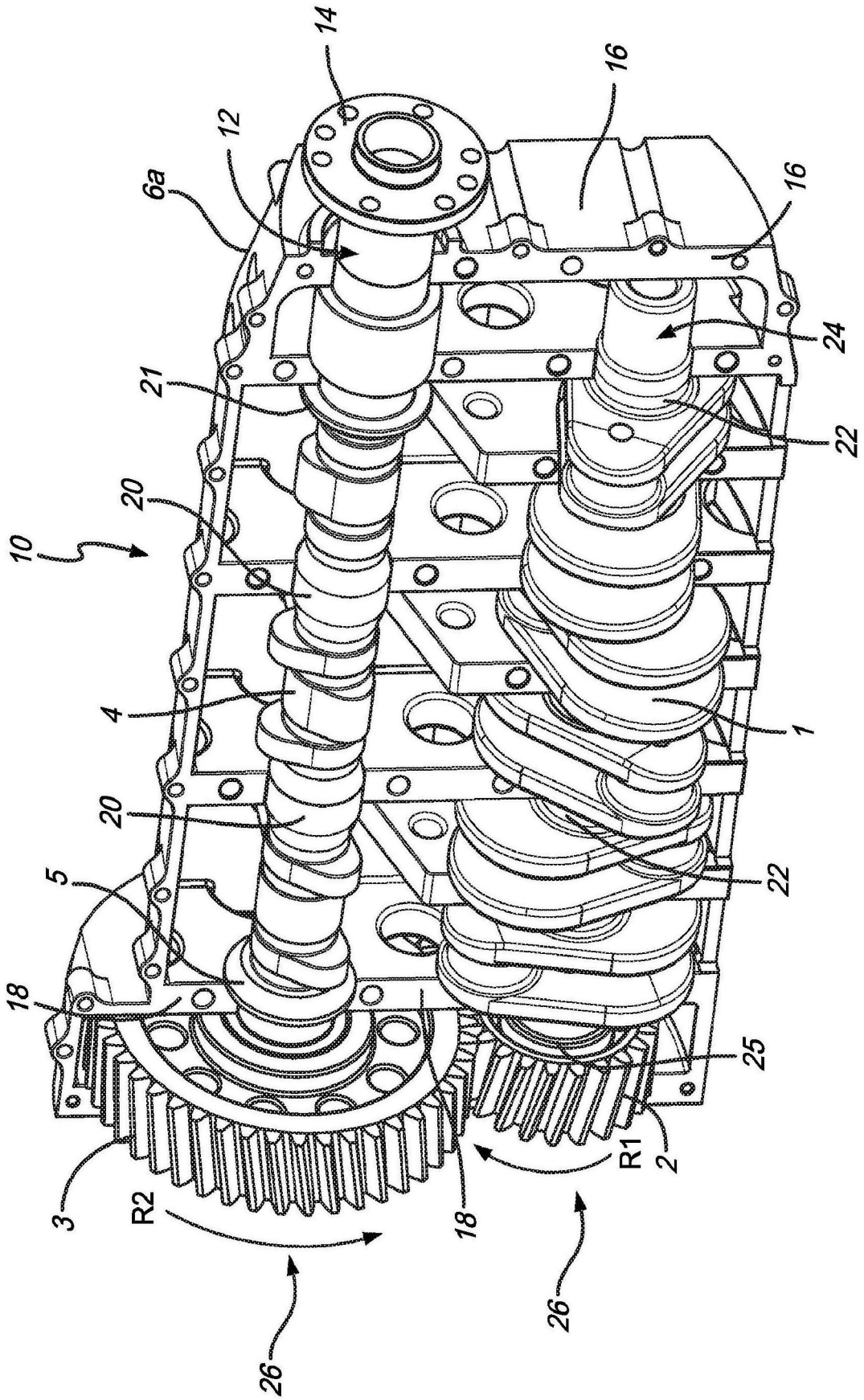


图2

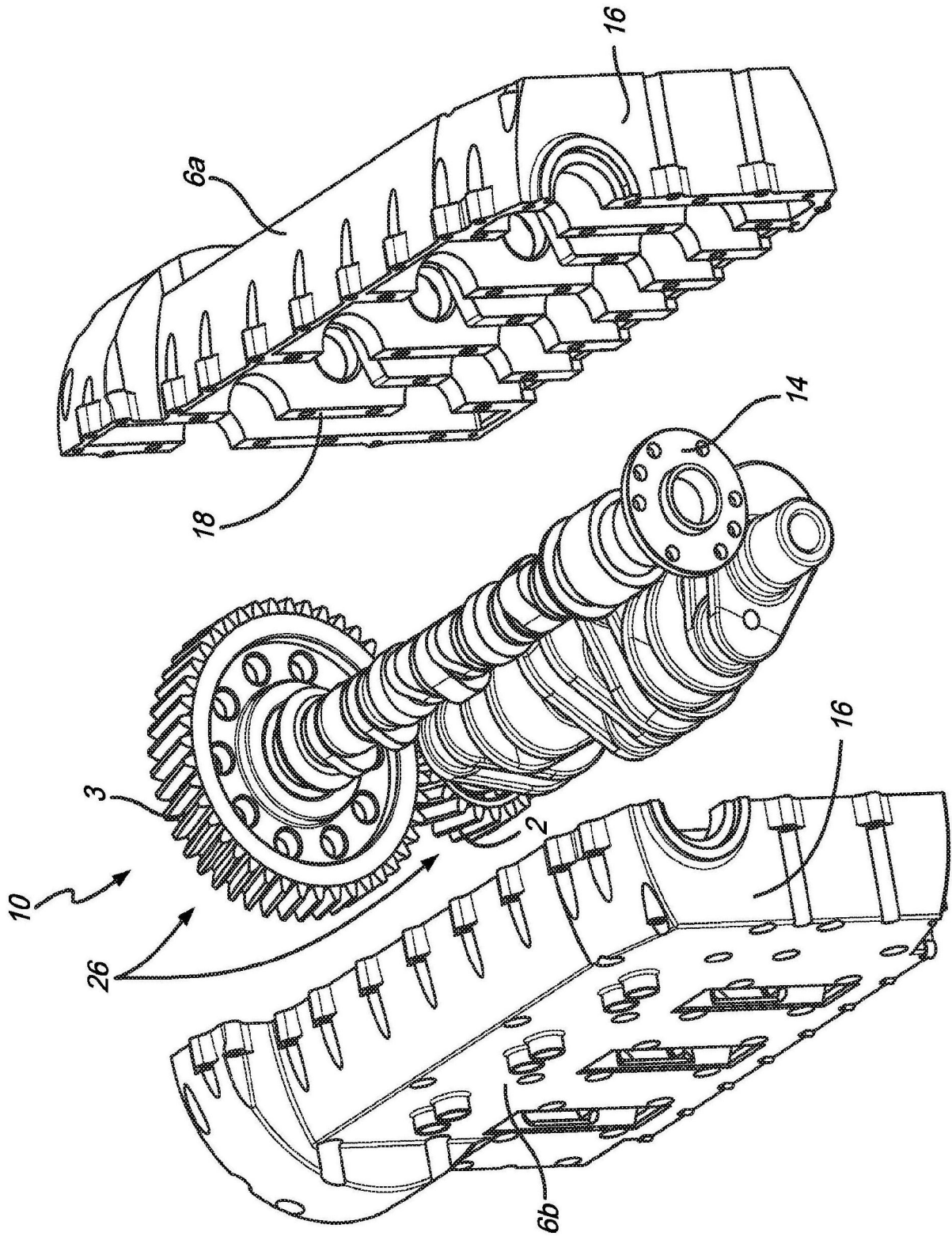


图3

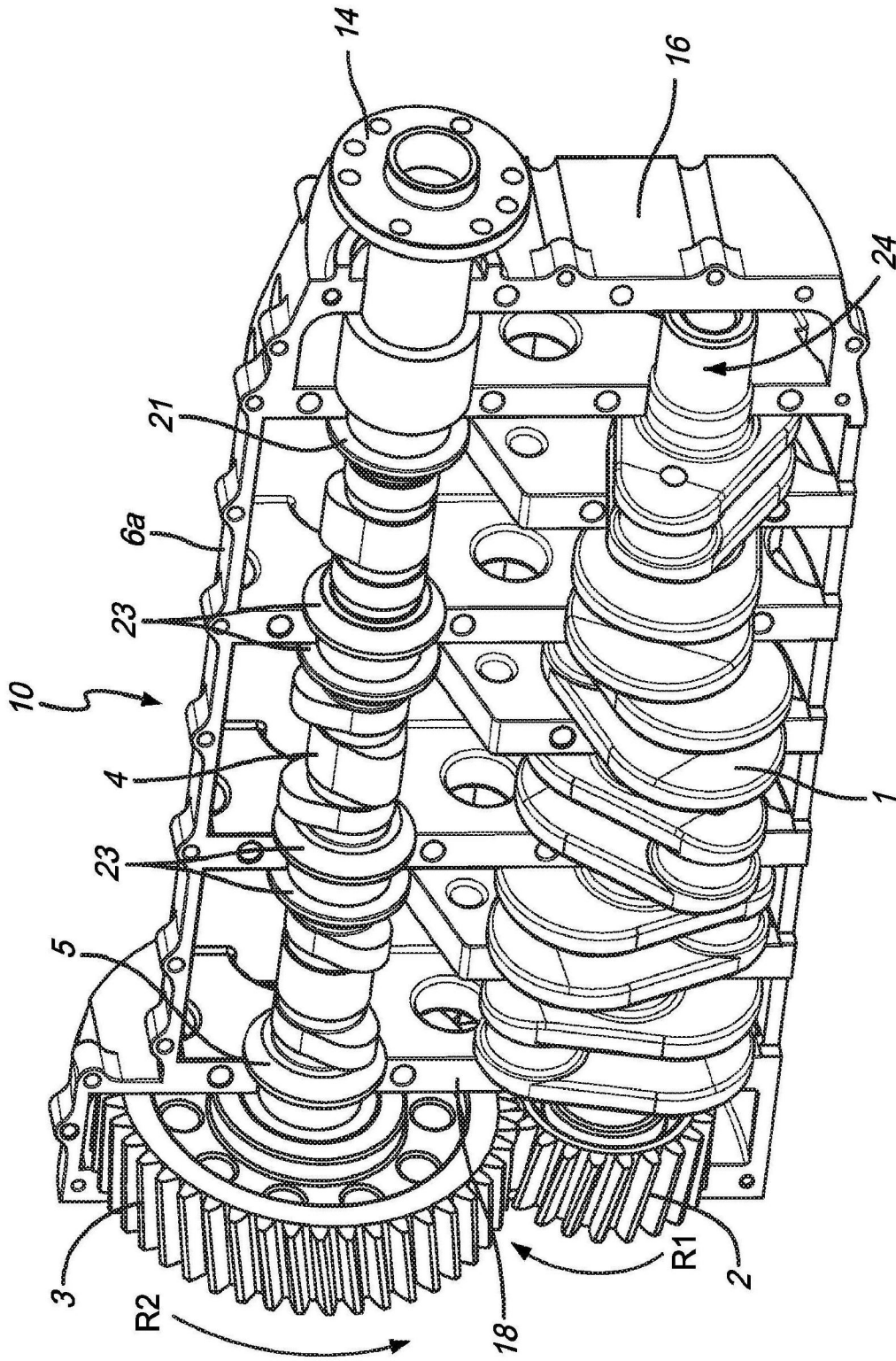


图4

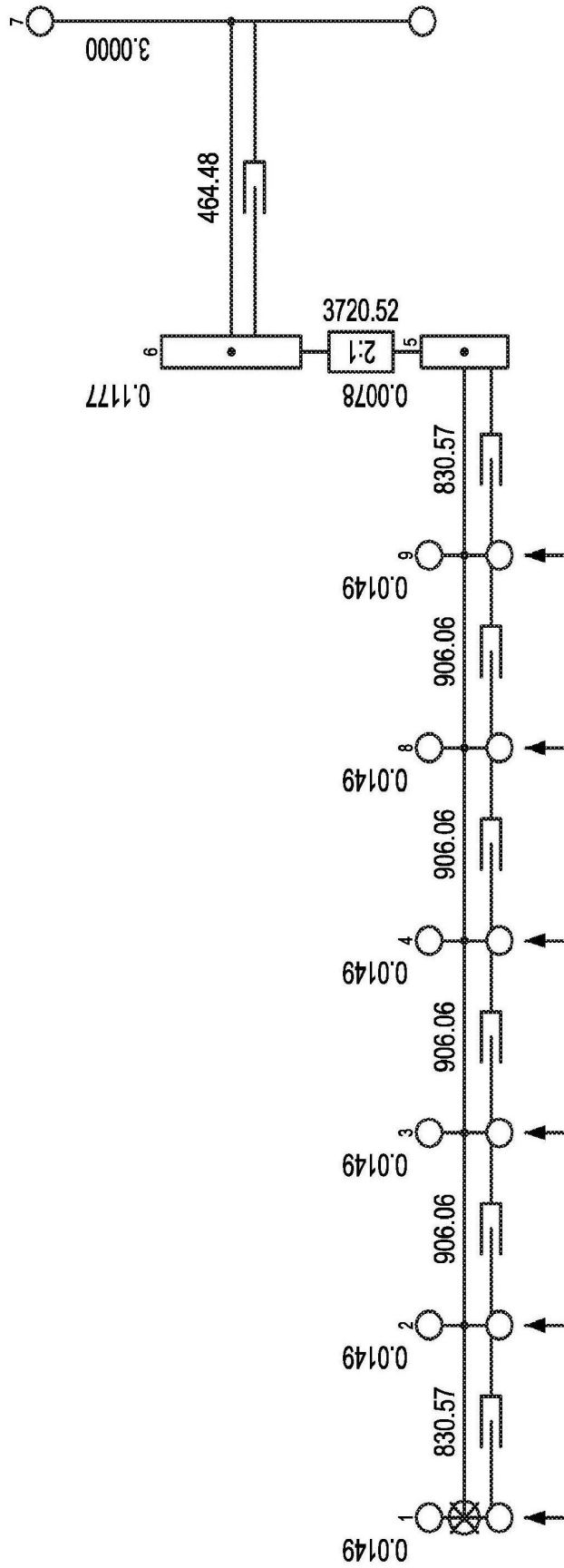


图5

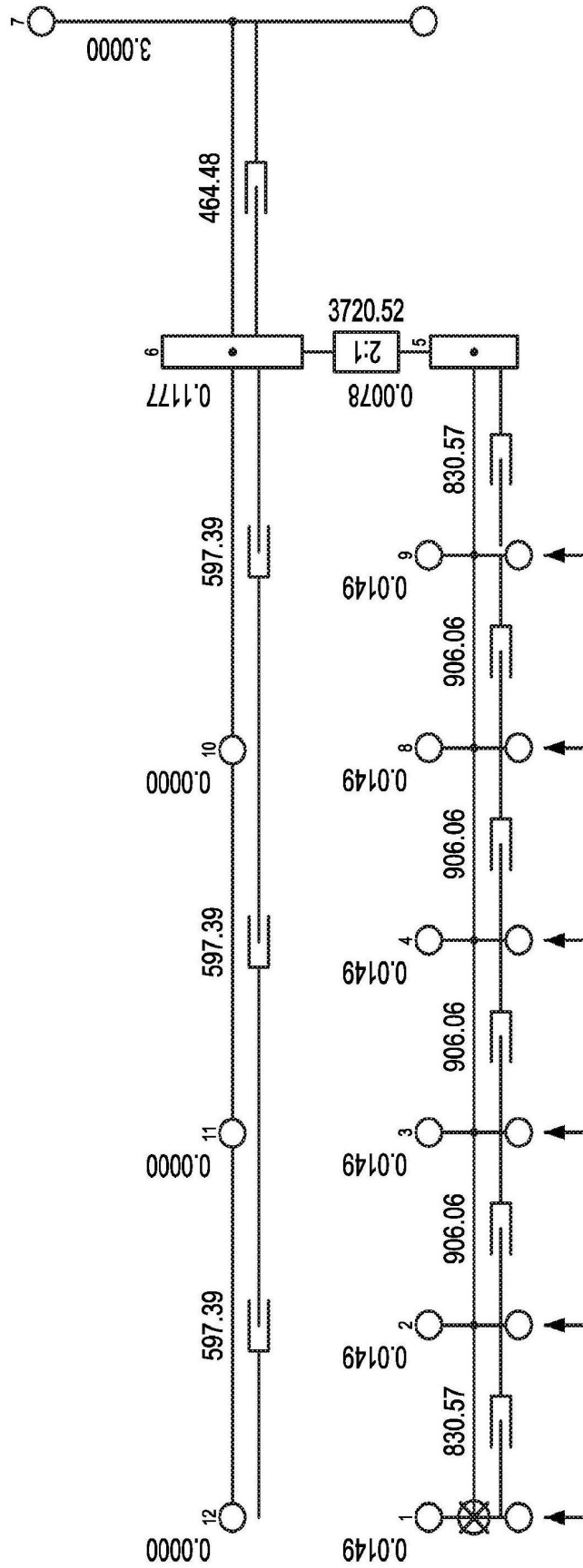


图9

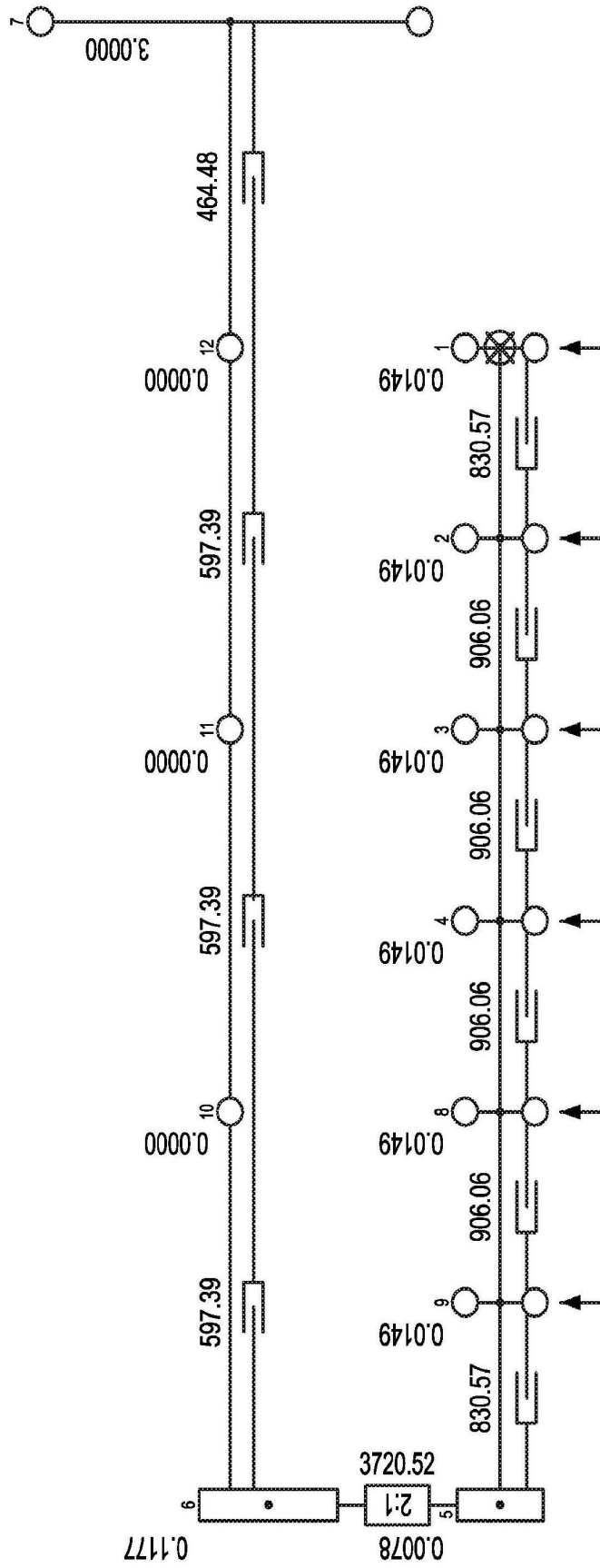


图7

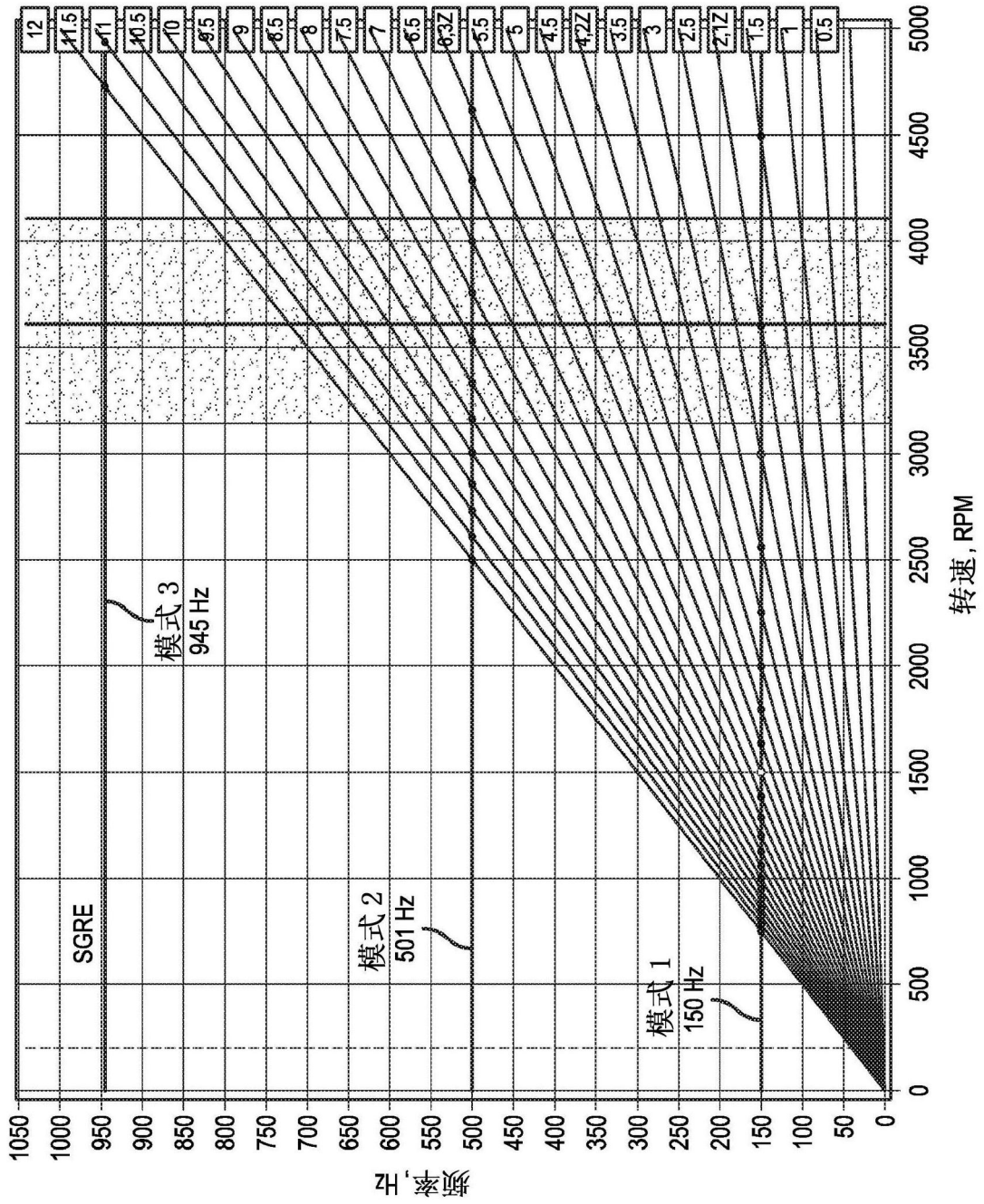


图8

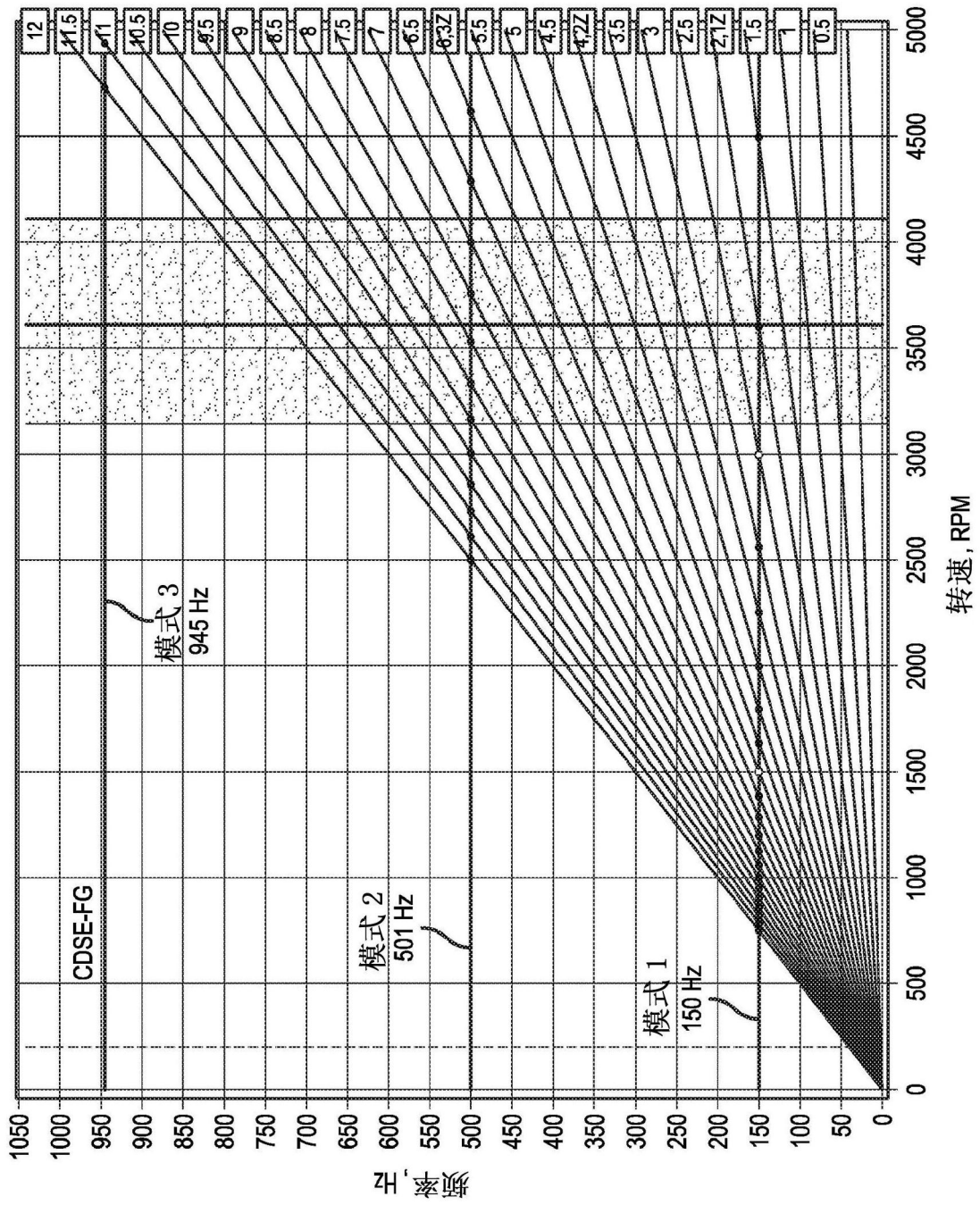


图9

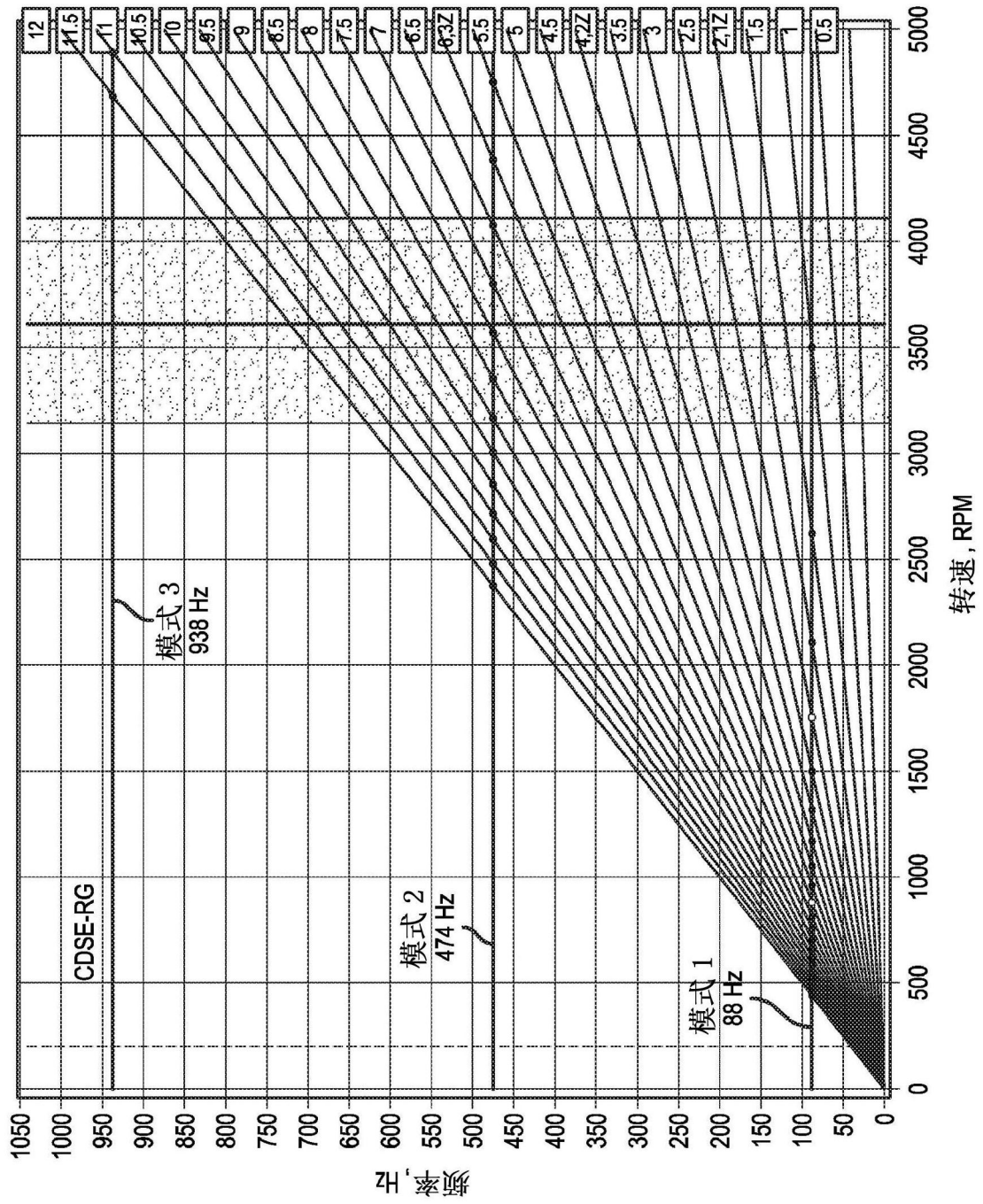
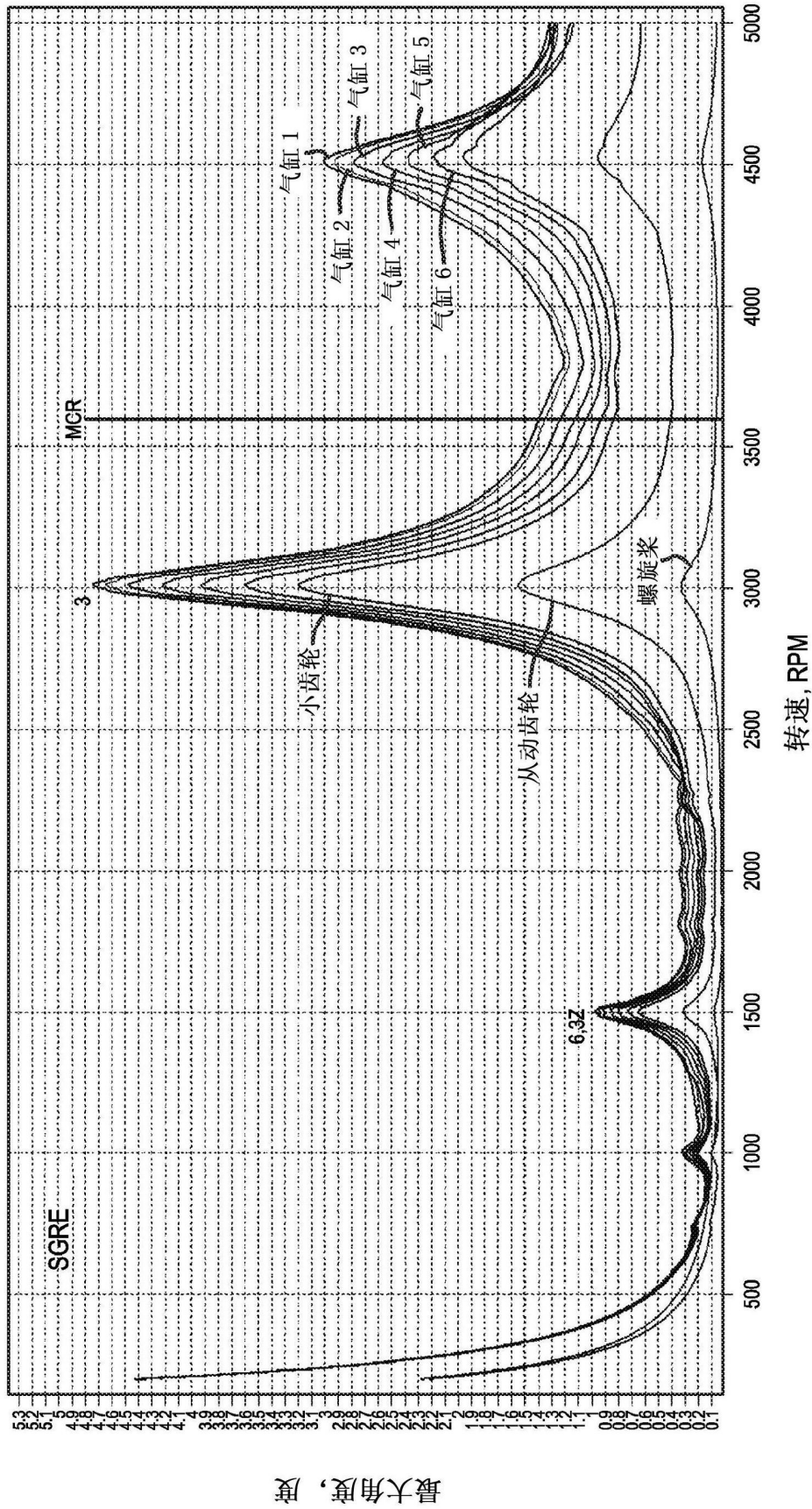
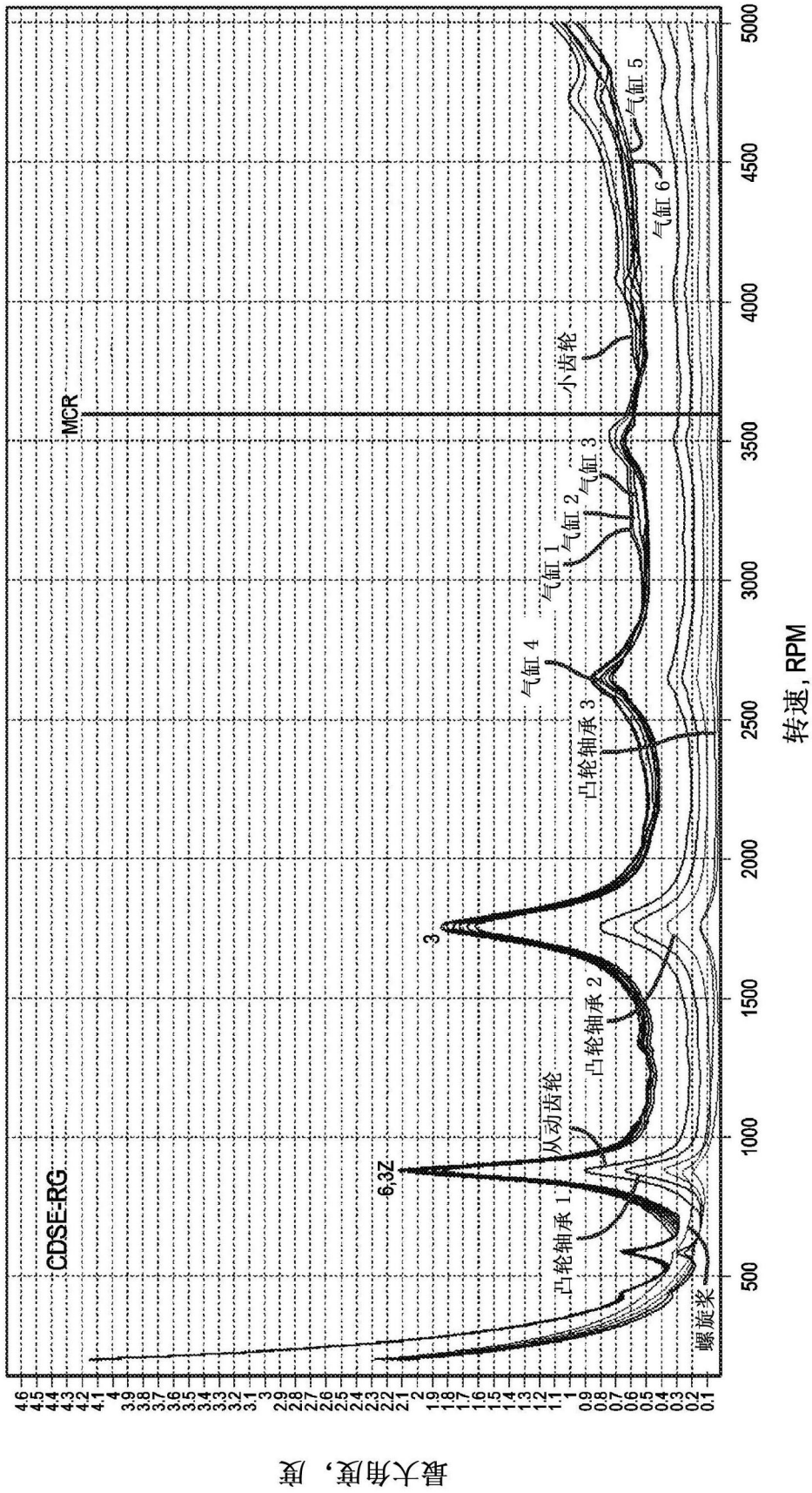


图10



最大角度, 度

图11



最大角度, 度

图12

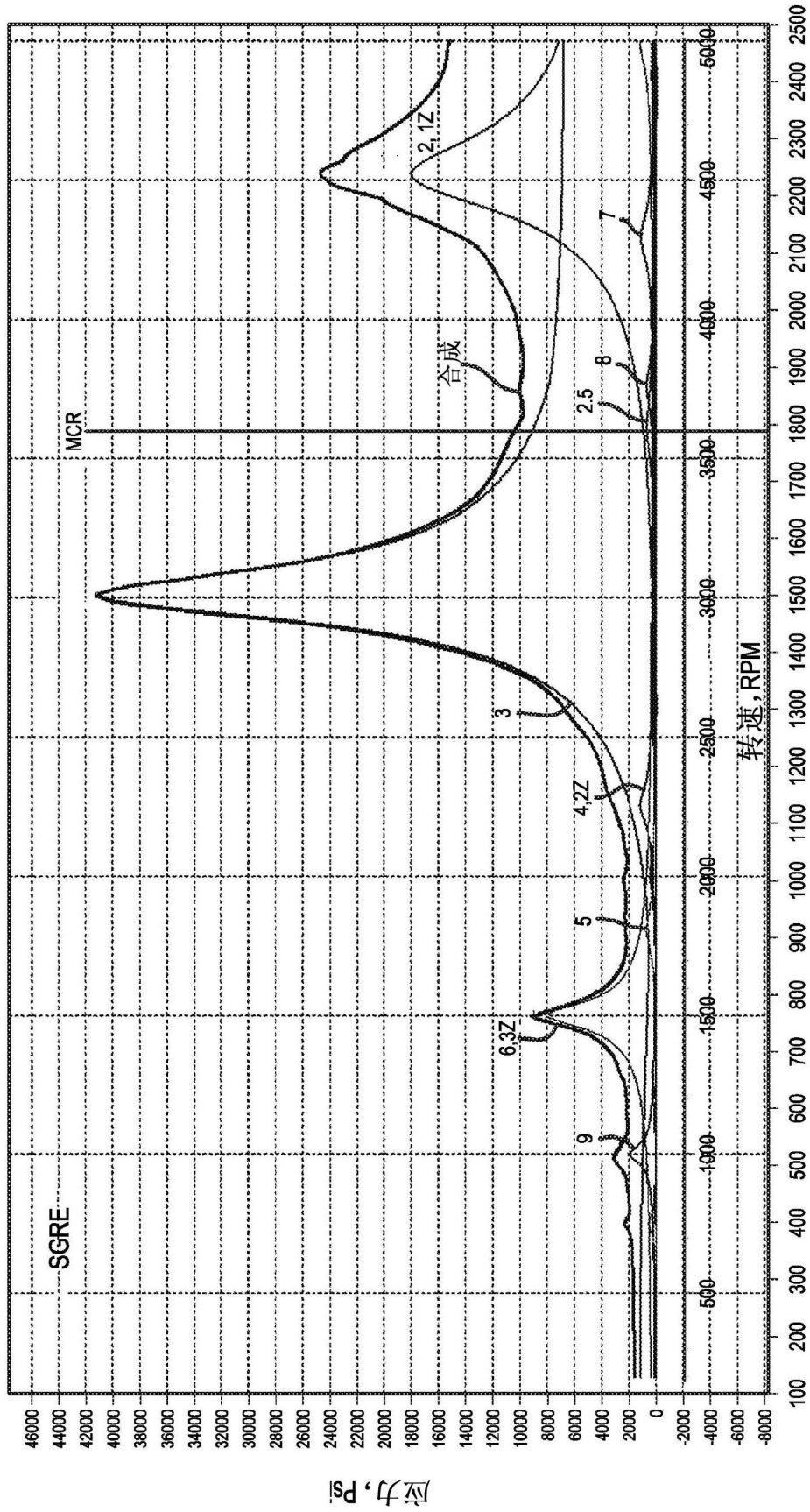


图13

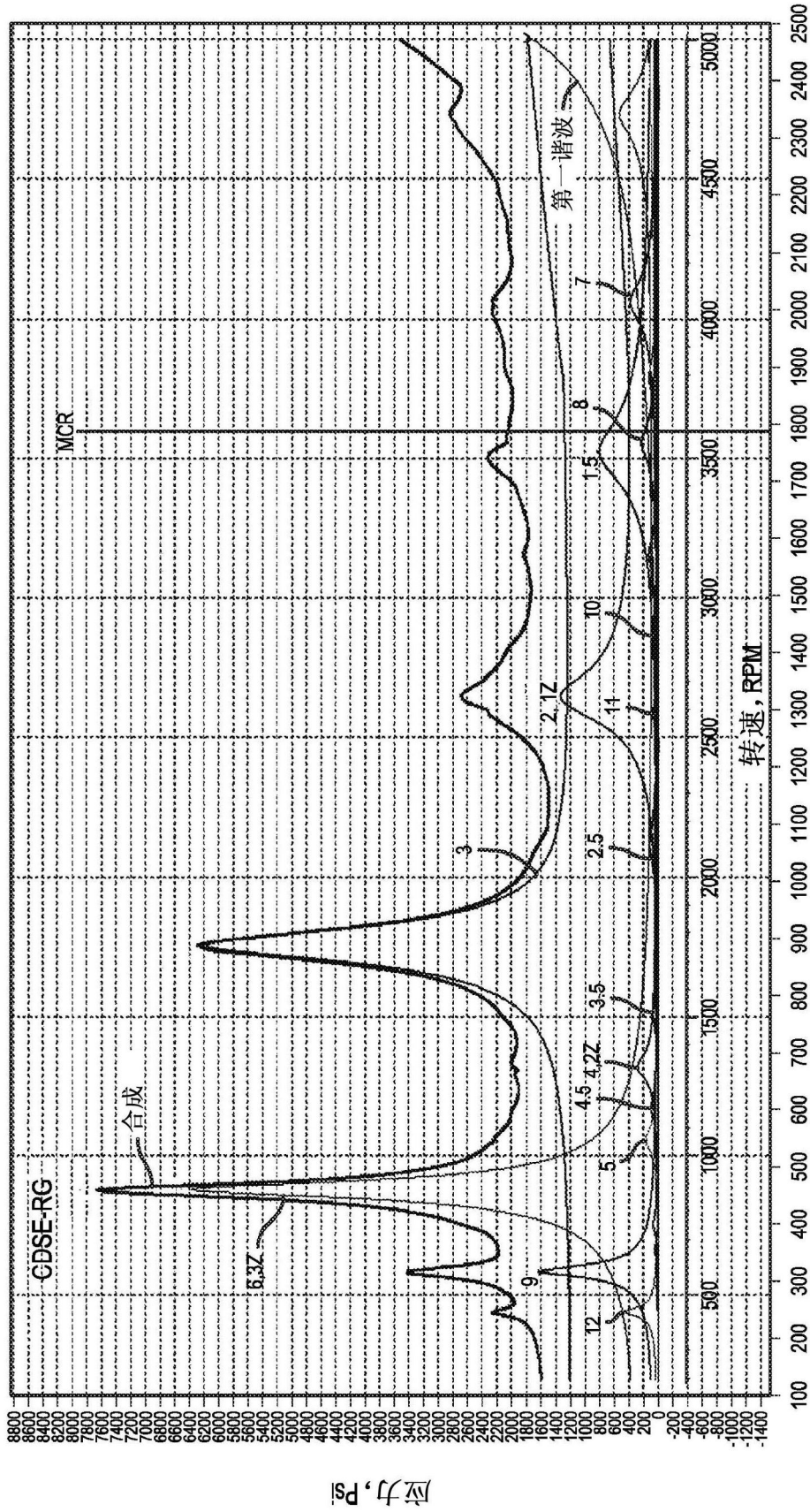


图14

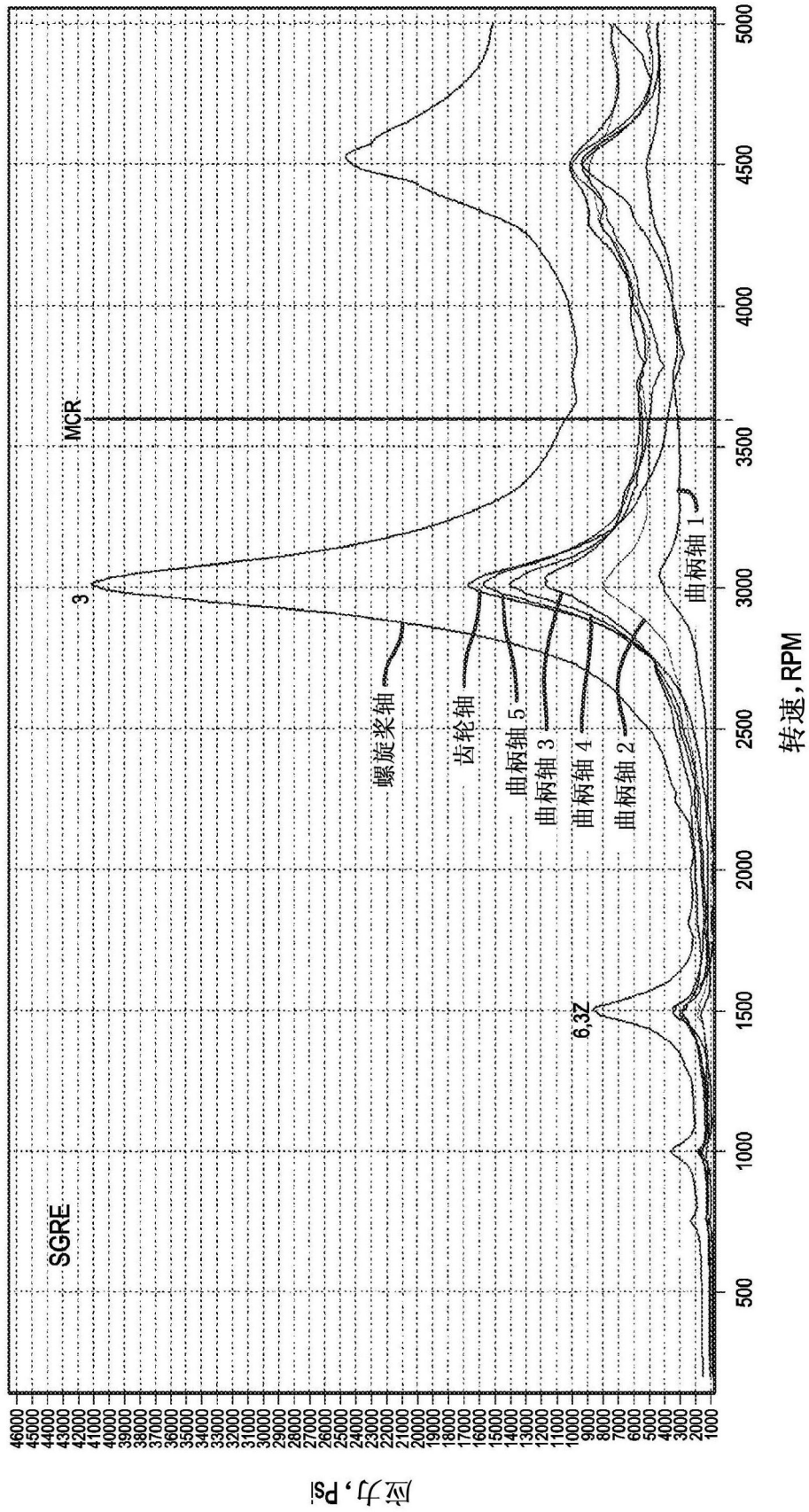


图15

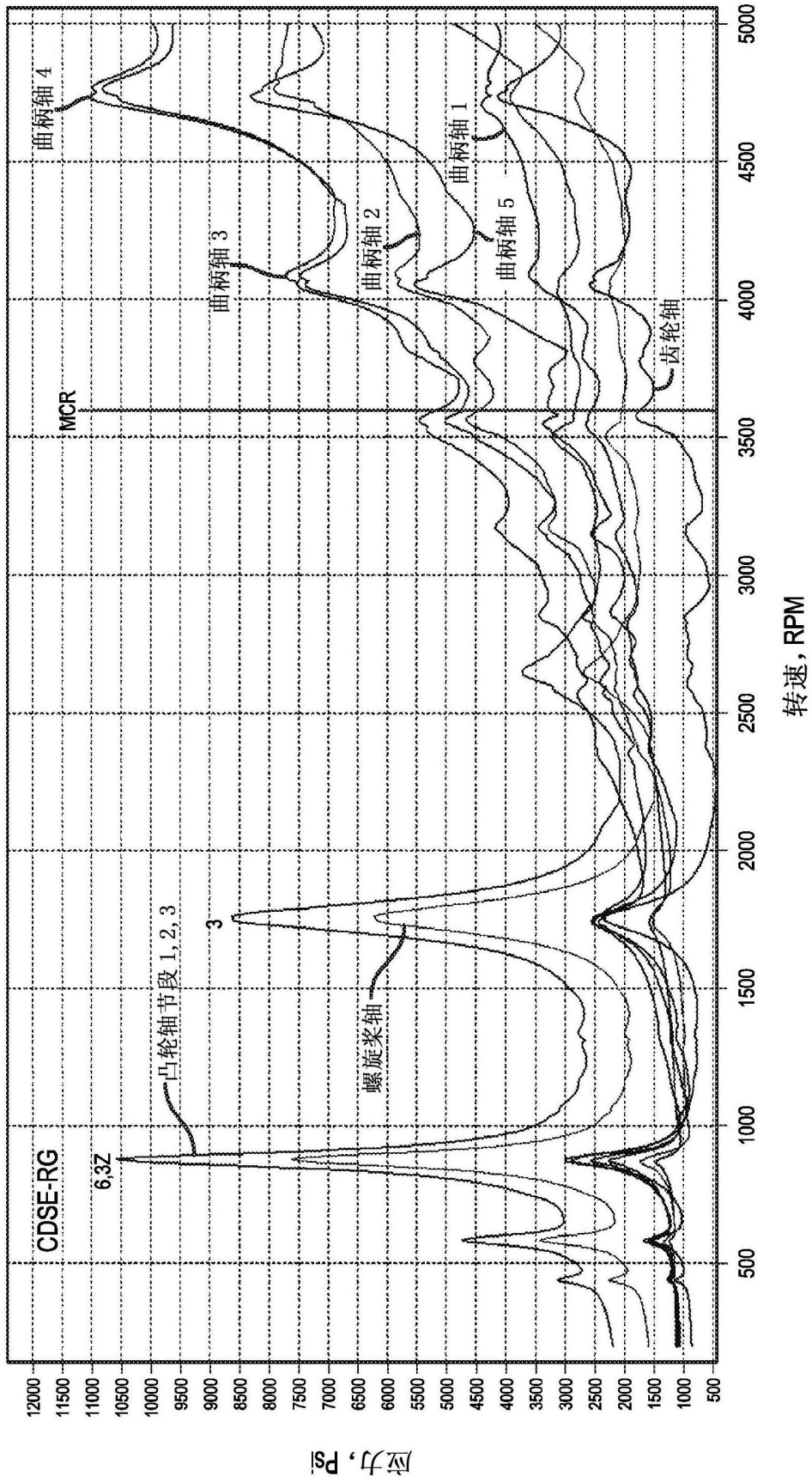


图16

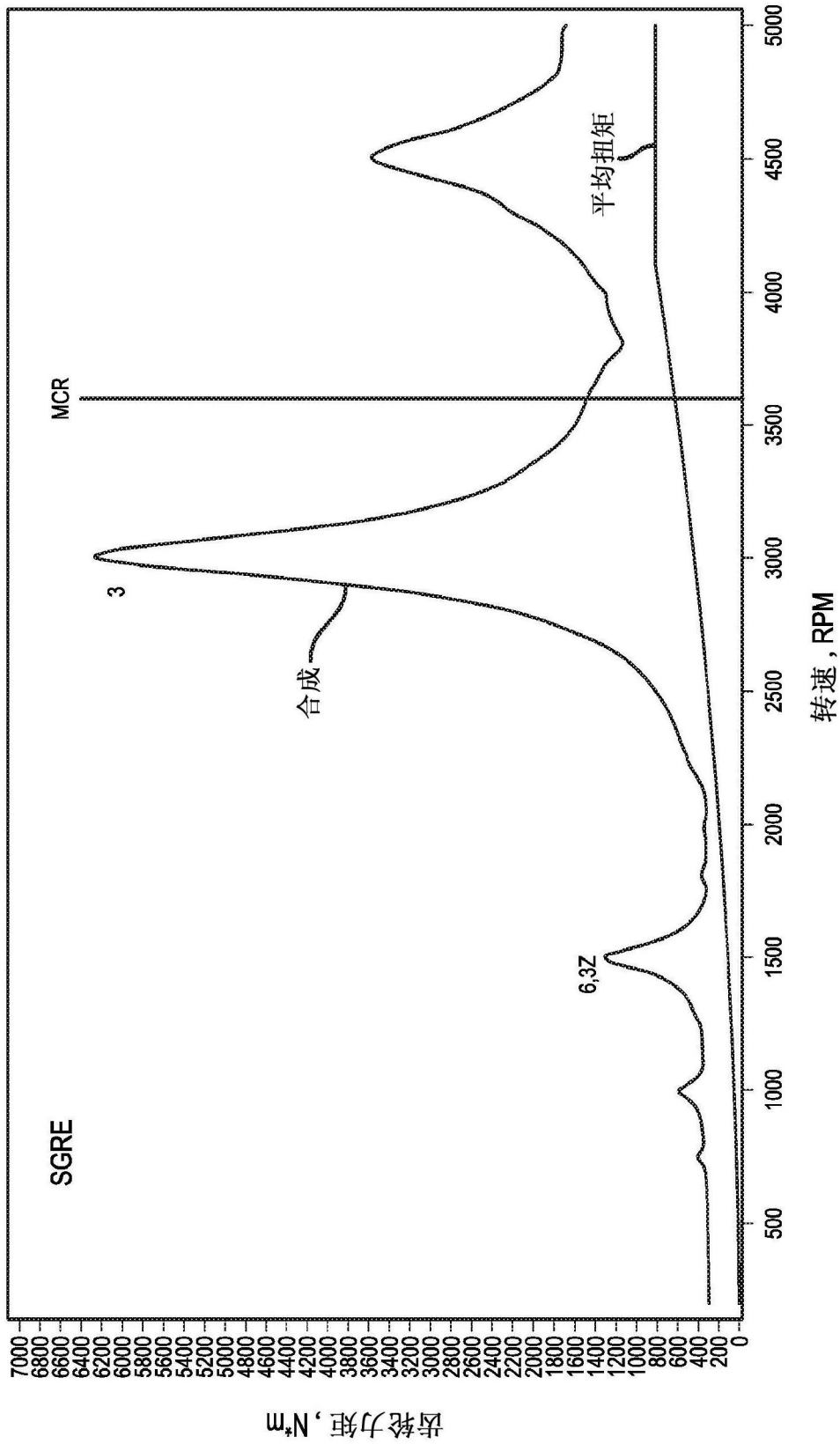


图17

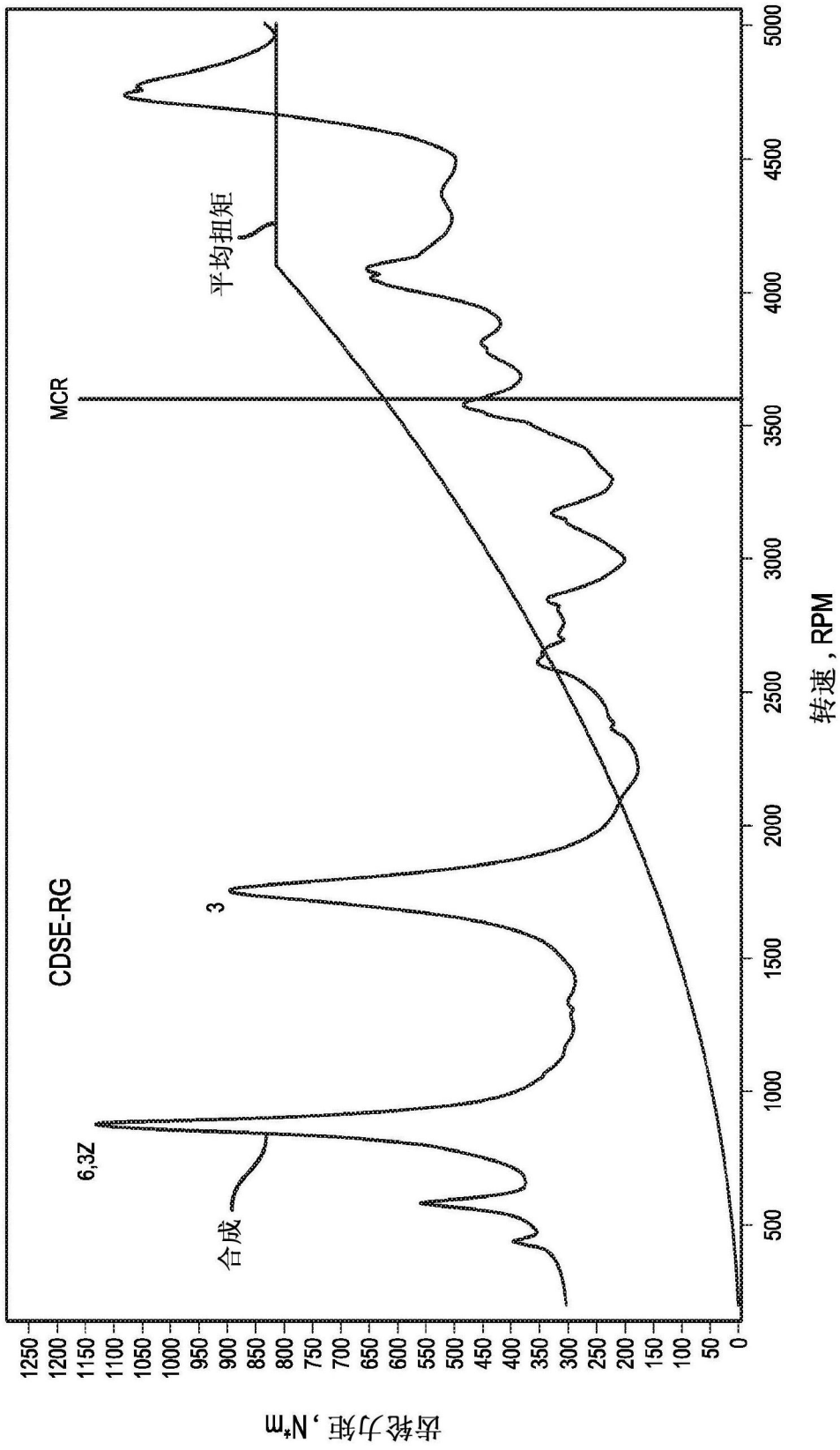


图18

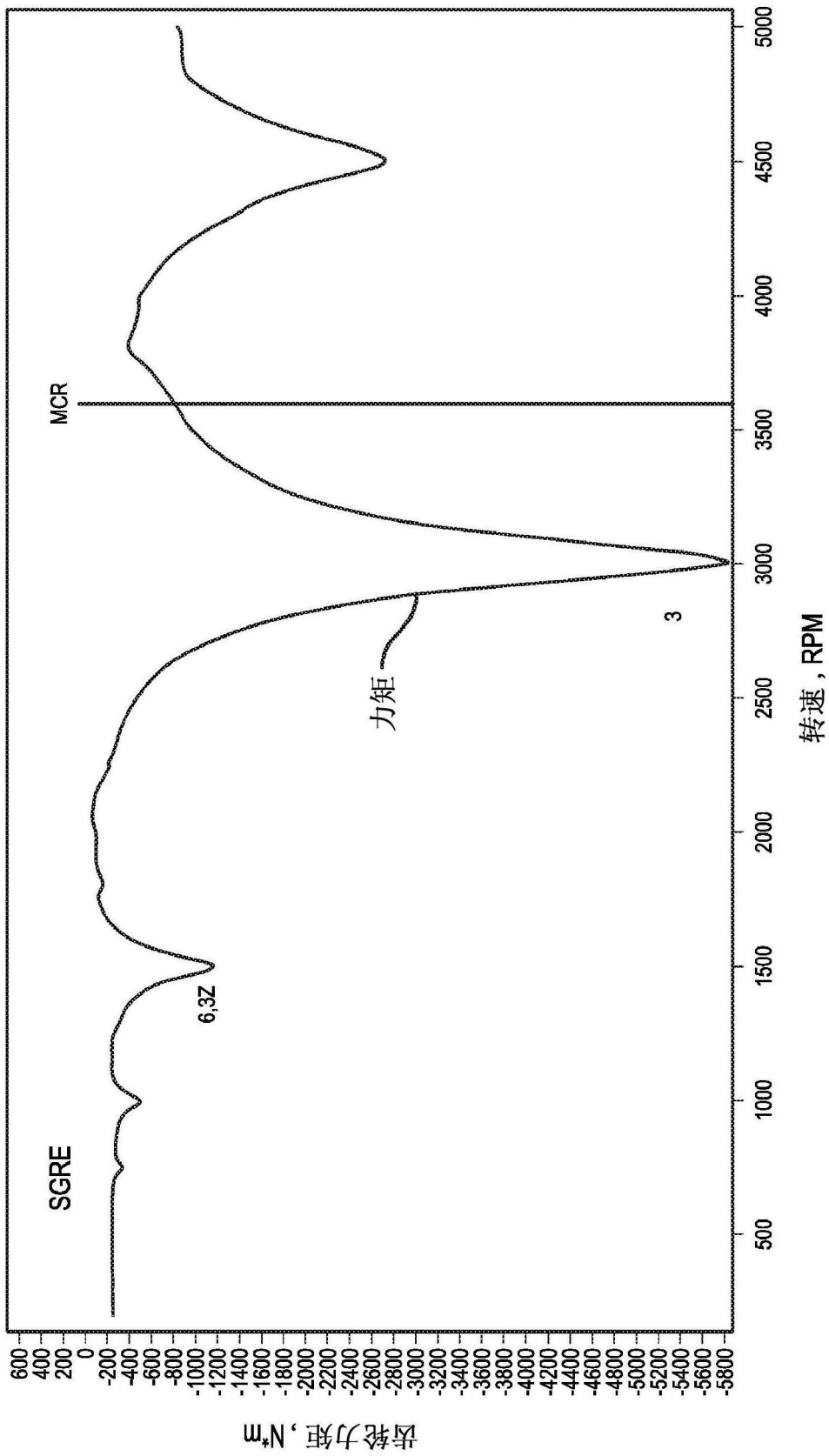


图19

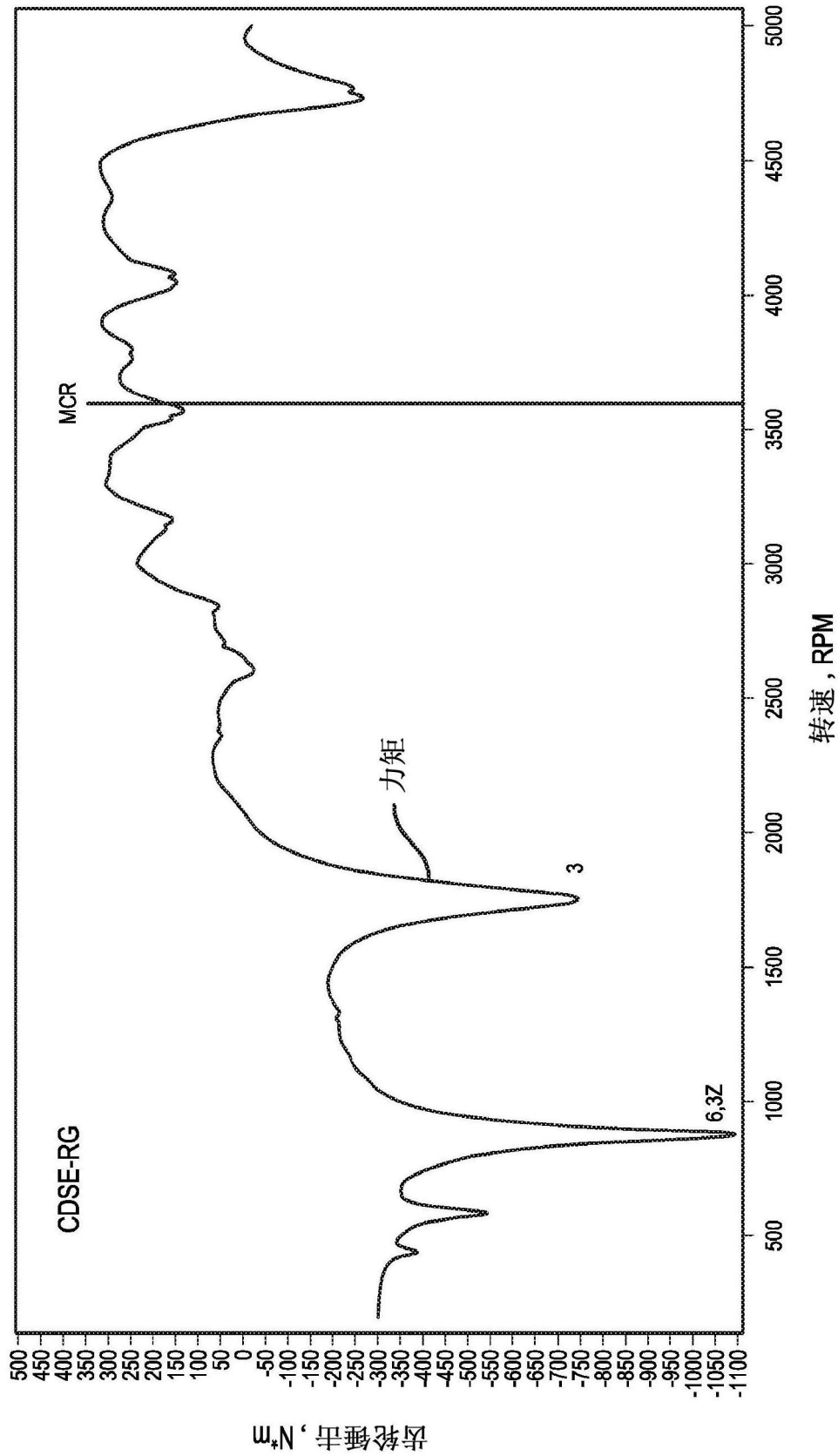


图20