

1. 一种密封装置的密封性能控制系统, 所述密封装置是由双端面流体动压机械密封与迷宫式旋转密封形成的多级组合式密封结构; 所述密封装置具有密封性能控制系统, 所述密封性能控制系统为所述密封装置提供一定压力的密封保护气, 并对所述密封保护气和密封装置的工作状况进行实时监测和控制; 所述密封装置其具有旋转轴(1)、左端盖(3)和右端盖(13), 以及位于所述左端盖(3)、右端盖(13)之间的圆周壳体; 所述左端盖(3)和右端盖(13)的内圆周分别设置有第一迷宫密封装置(2)和第二迷宫装置(14), 所述左端盖(3)与迷宫密封块(21)形成径向的迷宫式密封, 所述迷宫密封块(21)的外圆周上的第三迷宫密封装置(10)与所述圆周壳体形成轴向迷宫式密封, 所述迷宫密封块(21)、左端盖(3)和所述圆周壳体形成第一密封腔(4);

所述密封装置还具有与所述迷宫密封块(21)固定连接的左密封动环(20), 左密封动环(20)与中间静环组件(24)形成端面密封, 中间静环组件(24)具有左密封静环(19)和左动压弹簧气动弹簧(18)、与圆周壳体一体形成的肋, 所述肋具有左弹簧腔, 迷宫密封块(21)、左密封动环(20)、中间静环组件(24)和所述圆周壳体形成第二密封腔(22);

所述密封装置还具有右密封动环(15), 右密封动环(15)与右端盖(13)形成径向迷宫式密封, 右密封动环(15)与中间静环组件(24)形成端面密封, 中间静环组件(24)还具有右密封静环(16)和右动压弹簧气动弹簧(17)和所述肋, 所述肋具有右弹簧腔, 中间静环组件(24)、右密封动环(15)、右端盖(13)和所述圆周壳体形成第三密封腔(23);

所述肋中设置有第一气体通道(11)和第二气体通道(12), 分别与左动压弹簧气动弹簧(18)、右动压弹簧气动弹簧(17)连通, 左动压弹簧气动弹簧(18)、右动压弹簧气动弹簧(17)分别连接左密封静环(19)和右密封静环(16);

其特征在于: 所述密封性能控制系统, 具有压力气源(8), 所述压力气源(8)与总截止阀连接(7); 第一截止阀(6-1)连接第一调压阀(5-1), 所述第一调压阀(5-1)通过第一通孔(a1)与第一密封腔(4)连通, 形成第一控制流路; 第二截止阀(6-2)连接第二调压阀(5-2), 所述第二调压阀(5-2)通过第二通孔(a2)与第二密封腔(22)连通, 形成第二控制流路; 第三截止阀(6-3)连接第三调压阀(5-3), 所述第三调压阀(5-3)与第一气体通道(11)连通, 形成第三控制流路; 第四截止阀(6-4)连接第四调压阀(5-4), 所述第四调压阀(5-4)与第二气体通道(12)连通, 形成第四控制流路; 第五截止阀(6-5)连接第五调压阀(5-5), 所述第五调压阀(5-5)通过第三通孔(a3)与第三密封腔(23)连通, 形成第五控制流路; 第一控制流路、第二控制流路、第三控制流路、第四控制流路、第五控制流路并联设置, 并与总截止阀(7)相连接; 第一调压阀(5-1)、第二调压阀(5-2)、第三调压阀(5-3)、第四调压阀(5-4)、第五调压阀(5-5)分别与控制器(9)连接, 并且上述五个调压阀都是电磁调压阀; 第一温度压力复合传感器、第二温度压力复合传感器、第五温度压力复合传感器分别

用于检测第一密封腔(4)、第二密封腔(22)、第三密封腔(23)中流体的温度和压力，第三压力传感器、第四压力传感器分别用于检测第一气体通道(11)、第二气体通道(12)中流体的压力；上述五个传感器分别与所述控制器(9)连接；

压力气源(8)内存储有一定粘度的可压缩性的高压密封保护气，总截止阀(7)是控制密封保护气流动的总开关，在执行密封控制时，打开总截止阀(7)和各个控制流路的截止阀(6)，使高压密封保护气进入到所述第一密封腔(4)、第二密封腔(22)、第三密封腔(23)以及左气动弹簧(18)、右气动弹簧(17)中；上述每一个密封腔和气动弹簧；

密封装置工作时上述每一个密封腔和气动弹簧分别具有一个期望的压力范围，对于每一个密封腔和气动弹簧内的期望的压力值，利用转速传感器(25)实时测得旋转轴的转速，轴向振动传感器实时测得转轴的轴向振动频率，并实时测得介质压力、实时测得介质的泄漏量；建立 BP 神经网络，将实时测得的介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量作为 BP 神经网络输入层的输入向量，各个密封腔和气动弹簧内密封保护气压力作为输出层，经过 BP 神经网络的训练学习，得到介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量，与各个密封腔和气动弹簧内气体压力之间的非线性影射关系，利用 BP 神经网络计算获得各个密封腔和气动弹簧实时所需要的期望的压力值，并作为目标向量输入到控制器(9)；

同时控制器(9)按照输入的目标控制向量，向各个控制流路的调压阀(5)发出控制信号，控制各个流路中流入到密封腔和气动弹簧内的压力，密封腔和气动弹簧的上述五个传感器实时检测各个密封腔内的压力、温度和气动弹簧内的压力，当测得某个密封腔或气动弹簧的压力值在期望的压力范围之外时，控制器会实时发出控制信号到调压阀(5)，实时控制该流路中密封保护气的压力，使各个密封腔和气动弹簧的压力保持在期望的压力范围之内，并根据实施监测的泄漏量与预期的泄漏量相比较，评估该密封装置的密封性能。

2. 如权利要求 1 所述的密封装置的密封性能控制系统，所述左端盖(3)与圆周壳体密封连接，所述右端盖(13)与圆周壳体密封连接。

3. 如权利要求 1 所述的密封装置的密封性能控制系统，所述肋的左端轴向部分和所述肋的右端轴向部分分别具有用于安装限位环的凹槽。

4. 如权利要求 1 所述的密封装置的密封性能控制系统，所述左端盖(3)的左侧为要密封的介质，所述右端盖(13)的右侧为外界空气。

5. 如权利要求 1 所述的密封装置的密封性能控制系统，所述左气动弹簧(18)随着充入所述左气动弹簧(18)内气体压力的变化而带动左密封静环(19)进行伸缩；所述右气动弹簧(17)随着充入所述右气动弹簧(17)内

气体压力的变化而带动右密封静环(16)进行伸缩。

6. 如权利要求 1 所述的密封装置的密封性能控制系统，第一控制流路、第二控制流路、第三控制流路、第四控制流路、第五控制流路的气体流通管分别与第三通孔(a1)、第二通孔(a2)、第一气体通道(11)、第二气体通道(12)、第三通孔(a3)的密封连接。

7. 如权利要求 1 所述的密封装置的密封性能控制系统，所述 BP 神经网络采用单隐含层拓扑结构，其中输入层、隐含层、输出层的结点数分别为 5、9、5。

一种密封装置的密封性能控制系统

技术领域

[0001] 本申请涉及用于密封装置控制领域，特别是涉及用于高速旋转的精密叶轮机械旋转轴密封装置的密封性能控制领域。

背景技术

[0002] 现有的叶轮机械的旋转轴的密封方式通常是采用非接触式的流体动压机械密封。非接触式的流体动压机械密封是在密封环端面上开设有不同型式的动压槽，当密封运行时产生的动压效应使密封端面打开产生密封气膜，利用密封气膜实现了密封环端面的非接触密封。减少了密封端面间的摩擦损耗，延长了密封的使用寿命，除此之外其泄漏量低且稳定性较高，所以非接触式机械密封在叶轮机械装置中有着广泛的应用。

[0003] 但随着工业的发展，非接触式的流体动压机械密封运行工况更多趋向于高转速、高温和高压。随着转速的提高，虽然端面动压槽产生的动压效应会增强，现有的高速旋转的叶轮机械旋转轴的非接触式的流体动压机械密封存在以下技术问题：

[0004] 1、适应性和通用性差，在叶轮机械处于不同的工况中，叶轮机械内的介质压力变化或者旋转轴处于不同的转速，而不能够实时对密封装置的密封效能进行控制调整，导致在叶轮机械处于不同的工况时，密封性能差异较大；动环和静环之间的密封动压气膜刚度不足，气膜刚度的稳定性差，迷宫密封通道的密封压力稳定性不够，影响的密封效果。

[0005] 2、现有的多级非接触式的流体动压机械密封，各个密封腔的密封保护气的期望压力和动环静环之间的密封预紧力的期望值，是根据密封机构在运行实践过程中的经验，所获得的一定的压力范围，其不能够根据具体工况进行动态调整，不能够适应实际工况中密封设备运行参数的实时变化。

[0006] 为解决上述技术问题，本发明提供了一种用于高速旋转叶轮机械的密封装置的密封性能控制系统，其能够实时对密封装置的密封效能进行控制调整，使其在叶轮机械处于不同的工况运行时动压密封气膜刚度强、稳定性高，迷宫密封通道的压力稳定强，密封效果的稳定性高。

[0007] 对于该密封性能控制系统，其密封装置是由双端面流体动压机械密封与迷宫式旋转密封形成的多级组合式密封结构；所述密封装置具有密封性能控制系统，所述密封性能控制系统为所述密封装置提供一定压力的密封保护气，并对所述密封保护气和密封装置的工作状况进行实时监测和控制。

[0008] 所述密封装置其具有旋转轴 1、左端盖 3 和右端盖 13，以及位于所述左端盖 3、右端盖 13 之间的圆周壳体；所述左端盖 3 和右端盖 13 的内圆周分别设置有第一迷宫密封装置 2 和第二迷宫装置 14，

所述左端盖 3 与迷宫密封块 21 形成径向的迷宫式密封,所述迷宫密封块 21 的外圆周上的第三迷宫密封装置 10 与所述圆周壳体形成轴向迷宫式密封,所述迷宫密封块 21、左端盖 3 和所述圆周壳体形成第一密封腔 4。

[0009] 所述密封装置还具有与所述迷宫密封块 21 固定连接的左密封动环 20,左密封动环 20 与中间静环组件 24 形成端面密封,中间静环组件 24 具有左密封静环 19 和左动压弹簧气动弹簧 18、与圆周壳体一体形成的肋,所述肋具有左弹簧腔,迷宫密封块 21、左密封动环 20、中间静环组件 24 和所述圆周壳体形成第二密封腔 22。

[0010] 所述密封装置还具有右密封动环 15,右密封动环 15 与右端盖 13 形成径向迷宫式密封,右密封动环 15 与中间静环组件 24 形成端面密封,中间静环组件 24 还具有右密封静环 16 和右动压弹簧气动弹簧 17、所述肋,所述肋具有右弹簧腔,中间静环组件 24、右密封动环 15、右端盖 13 和所述圆周壳体形成第三密封腔 23。

[0011] 所述肋中设置有第一气体通道 11 和第二气体通道 12,分别与左动压弹簧气动弹簧 18、右动压弹簧 17 连通,左动压弹簧气动弹簧 18、右动压弹簧气动弹簧 17 分别连接左密封静环 19 和右密封静环 16。

[0012] 所述密封性能控制系统,具有压力气源 8,所述压力气源 8 与总截止阀连接 7;第一截止阀 6-1 连接第一调压阀 5-1,所述第一调压阀 5-1 通过第一通孔 a1 与第一密封腔 4 连通,形成第一控制流路;第二截止阀 6-2 连接第一调压阀 5-2,所述第二调压阀 5-2 通过第二通孔 a2 与第二密封腔 22 连通,形成第二控制流路;第三截止阀 6-3 连接第三调压阀 5-3,所述第三调压阀 5-3 与第一气体通道 11 连通,形成第三控制流路;第四截止阀 6-4 连接第四调压阀 5-4,所述第四调压阀 5-4 与第二气体通道 12 连通,形成第四控制流路;第五截止阀 6-5 连接第五调压阀 5-5,所述第五调压阀 5-5 通过第三通孔 a3 与第三密封腔 23 连通,形成第五控制流路;第一控制流路、第二控制流路、第三控制流路、第四控制流路、第五控制流路并联设置,并与总截止阀 7 相连接;第一调压阀 5-1、第二调压阀 5-2、第三调压阀 5-3、第四调压阀 5-4、第五调压阀 5-5 分别与控制器 9 连接,并且上述五个调压阀都是电磁调压阀;第一温度压力复合传感器、第二温度压力复合传感器、第五温度压力复合传感器分别用于检测第一密封腔 4、第二密封腔 22、第三密封腔 23 中流体的温度和压力,第三压力传感器、第四压力传感器分别用于检测第一气体通道 11、第二气体通道 12 中流体的压力;上述五个传感器分别与所述控制器 9 连接。

[0013] 压力气源 8 内存储有一定粘度的可压缩性的高压密封保护气,总截止阀 7 是控制密封保护气流动的总开关,在执行密封控制时,打开总截止阀 7 和各个控制流路的截止阀 6,使高压密封保护气进入到上述每一个密封腔和气动弹簧。

[0014] 密封装置工作时上述每一个密封腔和气动弹簧分别具有一个期望的压力范围,对于每一个密封腔和气动弹簧内的期望的压力值,利用转速传感器 25 实时测得旋转轴的转速,利用轴向振动传感器(轴

向振动传感器在说明书附图中未示出)实时测得转轴的轴向振动频率; 利用介质压力测试装置和介质泄漏量测试装置实时测得介质压力、实时测得介质的泄漏量 (介质压力测试装置和介质泄漏量测试装置在说明书附图中未示出), 并将实时测得的介质 压力、实时测得介质的泄漏量信息传送给控制器 9。

[0015] 控制器中建立 BP 神经网络, 将实时测得的介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、 旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量作为 BP 神经网络输入层的输入向量, 各个密封腔和 气动弹簧内密封保护气压力作为输出层, 经过 BP 神经网络的训练学习, 得到介质压力、旋 转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量, 与各个密封腔和气 动弹簧内气体压力之间的非线性影射关系, 利用 BP 神经网络计算获得各个密封腔和气动弹 簧实时所需要的期望的压力值, 并作为目标向量输入到控制器 9。

[0016] 同时控制器 9 按照输入的目标控制向量, 向各个控制流路的调压阀 5 发出控制信号, 控 制各个流路中流入到密封腔和气动弹簧内的压力, 密封腔和气动弹簧的上述五个传感器实时 检测各个密封腔内的压力、温度和气动弹簧内的压力, 当测得某个密封腔或气动弹簧的压力 值在期望的压力范围之外时, 控制器会实时发出控制信号到调压阀 5, 实时控制该流路中密 封保护气的压力, 使各个密封腔和气动弹簧的压力保持在期望的压力范围之内, 并根据实施 监测的泄漏量与预期的泄漏量相比较, 评估该密封装置的密封性能。

[0017] 所述左端盖 3 与圆周壳体密封连接, 所述右端盖 13 与圆周壳体密封连接。

[0018] 所述肋的左端轴向部分和所述肋的右端轴向部分分别具有用于安装限位环的凹槽。

[0019] 所述左端盖 3 的左侧为要密封的介质, 所述右端盖 13 的右侧为外界空气。

[0020] 气动弹簧为密封静环和密封动环的端面提供预紧力。所述左气动弹簧 18 随着充入所述 左气动弹簧 18 内气体压力的变化而带动左密封静环 19 进行伸缩; 所述右气动弹簧 17 随着 充入所述右气动弹簧 17 内气体压力的变化而带动右密封静环 16 进行伸缩。

[0021] 第一控制流路、第二控制流路、第三控制流路、第四控制流路、第五控制流路的气体流 通管分别与第三通孔 a1、第二通孔 a2、第一气体通道 11、第二气体通道 12、第三通孔 a3 的 密封连接。

[0022] 其中, BP 神经网络(Back Propagation Neural Network)是一种前馈型有误差反向传播的网 络, 其拓扑结构通常是由一个输入层、一个或多个隐含层和一个输出层组成, 前后层的神经 元节点由权值连接, 层与层之间的连接权值不相同, 每层的结点数也不一定相同, 各层的每 一个神经元都与下一层所有的神经元连接, 同一层神经元相互之间没有连接, 激活信号只能 不断从上一层的神经元向下一层神经元传递, 并且修正误差不断地反向传递, 直到训练停止 即网络收敛到均方误差最小值。神经元是以生物研究及大脑的响应机制而建立的拓扑结构网 络, 模拟神经冲突的过程, 多个树突的末端接收外部信号, 并传输给神经元处理融合, 左后 通过轴突将信息传递给其它神经元或者效应器。

[0023] 如图 2 所示, 本申请的 BP 神经网络常用的单隐含层拓扑结构, 其输入层、隐含层、输出层的神经元结点数 n 、 s 、 m 分别为 5、9 和 5, 输入层和输出层神经元结点数是由输入、输出变量矩阵的维数决定的。 $x_i(p)(i=1, 2\cdots 5)$ 和 $y_i(p)(i=1, 2\cdots 5)$ 分别为该 BP 网络的输入层各神经元节点的输入变量和输出层各神经元各节点的输出结果。 $w_{ij}(i=1, 2, \cdots 5; j=1, 2, \cdots 9)$ 、 $v_{jt}(j=1, 2, \cdots 9; t=1, 2, \cdots 5)$ 分别是该神经网络的输入层与隐含层、隐含层与输出层的神经元结点之间的连接权值。输入层与隐含层、隐含层与与输出层的单个神经元节点的传递误差的阈值分别为 $e_t(t=1, 2\cdots 9)$ 和 $e_c(c=1, 2\cdots 5)$ 。

[0024] 其中输入层为: 实时测得的介质压力 $x_1(p)$ 、旋转轴转速 $x_2(p)$ 、密封保护气的温度 $x_3(p)$ 、旋转轴的轴向振动频率 $x_4(p)$ 、介质的泄漏量 $x_5(p)$ 。输出层为: 第一密封腔压力 $y_1(p)$ 、第二密封腔压力 $y_2(p)$ 、第一气体通道压力 $y_3(p)$ 、第二气体通道压力 $y_4(p)$ 和第三密封腔压力 $y_5(p)$ 。根据输出层的参数的控制密封设备, 并实时测得经输出层的参数的控制执行后密封装置的泄漏量 $\hat{x}_5(p)$, $\hat{x}_5(p)$ 如果高于预期值, 则机械将该泄漏量作为新的 $x_5(p)$ 反馈到输入层。

[0025] 如图 3 所示, 本申请的 BP 神经网络的隐含层采用 Sigmoid 型正切函数 tansig 作为激活函数, 输出层采用线性函数 purelin 作为激活函数, 训练函数采用带动量的批处理梯度下降 BP 算法的 traingdm 函数。

[0026] 如图 4 所述的本申请 BP 神经网络的训练过程, 本申请循环的自适应训练学习, 各神经元的连接权值的初始值为在 -1 到 1 之间的随机数 W_0, V_0 ; 预定学习次数为 5000 次, 误差收敛值为 0.001。经过训练得到, 输入层实时测得的介质压力 $x_1(p)$ 、旋转轴转速 $x_2(p)$ 、密封保护气的温度 $x_3(p)$ 、旋转轴的轴向振动频率 $x_4(p)$ 、介质的泄漏量 $x_5(p)$; 与输出层第一密封腔压力 $y_1(p)$ 、第二密封腔压力 $y_2(p)$ 、第一气体通道压力 $y_3(p)$ 、第二气体通道压力 $y_4(p)$ 和第三密封腔压力 $y_5(p)$, 各参数之间的非线性的映射关系参数。

[0027] 直到计算得到的密封装置的泄漏量低于预期值时, 将此时计算获得的第一密封腔压力、第二密封腔压力、第一气体通道压力、第二气体通道压力和第三密封腔压力作为压力期望值, 并作为控制器的目标输入控制向量。

[0028] 本发明基于上述密封装置的密封性控制系统获得了以下技术效果:

[0029] 1、传统的多级非接触式的流体动压机械密封, 各个密封腔的密封保护气的期望压力动环静环之间的密封预紧力是根据密封机构在运行实践过程中的经验, 所获得的一定的压力范围; 而本发明充分考虑了影响各个密封腔的密封保护气压力的因素: 实时测得的介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量。设计了 BP 神经网络的拓扑结构, 以上述影响因素作为 BP 神经网络输入层的输入向量, 经过 BP 神经网络的训练学习, 得到上述影响因素与各个密封腔内密封保护气压力之间的非线性映射关系, 并且将各个密封腔内密封保护气压力作为神经网络的输出层。

这样就可以根据密封装置的实时的 实时测得的介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄 漏量，经过计算获得各个密封腔和动压弹簧气动弹簧实时所需要的期望的压力值；这样相比于传统的 通过经验获得的各个密封腔期望的压力值，更具有可信度。并且易于实时自动控制调整，即 可以根据密封工况实时变化，将实时测得的介质压力、转轴转速、密封保护气的温度、转轴的轴向振动频率、检测的实际泄漏量，动态调整输入层的数值，获得相应的输出层的各个密封腔的压力值，其控制的时效性更好，密封装置的适应性更好，并根据可以实施监测的泄漏 量与预期的泄漏量相比较，评估该密封装置的密封性能。

[0030] 2、建立密封性能控制系统，在叶轮机械处于不同的工况中，利用并联分支的气动控制 流路实时控制密封装置的各个密封腔的密封保护气的压力以及气动弹簧的压力，进而控制密封气膜的刚度和稳定性以及迷宫密封的密封通道的压力稳定性，控制气动弹簧的预紧力调整 密封效能，提高了密封装置的适应性；并且密封保护气具有一定的粘性和可压缩性有利于动 环和静环之间端面密封气膜的快速形成，也有利于迷宫密封的密封通道的压力。

[0031] 3、本发明设计的密封性能控制系统根据实时工况，利用多个分支控制流路独立地控制 各个密封腔的压力，并联分支的气动控制流路可以相互独立工作，互不干扰；根据具体密封 装置的具体工况，使各个密封腔压力之间可以互不相同。并且各个密封腔的期望压力值由密封设置运行的整体的工况参数：介质压力、转轴转速、密封保护气的温度、转轴的轴向振动 频率、检测的实际泄漏量等因素进行计算获得，这样充分考虑了双端面流体动压机械密封与 迷宫式旋转密封形成的多级组合式密封结构中，两种密封方式之间相互协调作用，使密封设 备的密封动压气膜刚度更好，提高气膜密封的稳定性和迷宫密封的密封通道的压力的稳定性。

附图说明

[0032] 图 1 为密封装置的结构图及其密封性能控制系统的结构图。

[0033] 图 2 为本申请 BP 神经网络的拓扑结构图。

[0034] 图 3 为本申请 BP 神经网络的计算模型图。

[0035] 图 4 为本申请 BP 神经网络的训练流程图。

具体实施方式

[0036] 本发明提供了一种用于高速旋转叶轮机械的密封装置的密封性能控制系统，其能够实时 对密封装置的密封效能进行控制调整，使其在叶轮机械处于不同的工况运行时动压密封气膜 刚度强、稳定性高，迷宫密封通道的压力稳定强，密封效果的稳定性高。

[0037] 如图 1 所示对于该密封性能控制系统，其密封装置是由双端面流体动压机械密封与迷宫 式旋转密封形成的多级组合式密封结构；所述密封装置具有密封性能控制系统，所述密封性能控制系统为所

述密封装置提供一定压力的密封保护气，并对所述密封保护气和密封装置的工作状况进行实时监测和控制。

[0038] 所述密封装置其具有旋转轴 1、左端盖 3 和右端盖 13，以及位于所述左端盖 3、右端盖 13 之间的圆周壳体；所述左端盖 3 和右端盖 13 的内圆周分别设置有第一迷宫密封装置 2 和 第二迷宫装置 14，所述左端盖 3 与迷宫密封块 21 形成径向的迷宫式密封，所述迷宫密封块 21 的外圆周上的第三迷宫密封装置 10 与所述圆周壳体形成轴向迷宫式密封，所述迷宫密封块 21、左端盖 3 和所述圆周壳体形成第一密封腔 4。

[0039] 所述密封装置具有还具有与所述迷宫密封块 21 固定连接的左密封动环 20，左密封动环 20 与中间静环组件 24 形成端面密封，中间静环组件 24 具有左密封静环 19 和左动压弹簧气动弹簧 18、与圆周壳体一体形成的肋，所述肋具有左弹簧腔，迷宫密封块 21、左密封动环 20、中间静环组件 24 和所述圆周壳体形成第二密封腔 22。

[0040] 所述密封装置具有还具有右密封动环 15，右密封动环 15 与右端盖 13 形成径向迷宫式密封，右密封动环 15 与中间静环组件 24 形成端面密封，中间静环组件 24 还具有右密封静环 16 和右动压弹簧气动弹簧 17、所述肋，所述肋具有右弹簧腔，中间静环组件 24、右密封动环 15、右端盖 13 和所述圆周壳体形成第三密封腔 23。

[0041] 所述肋中设置有第一气体通道 11 和第二气体通道 12，分别与左动压弹簧气动弹簧 18、右动压弹簧 17 连通，左动压弹簧气动弹簧 18、右动压弹簧气动弹簧 17 分别连接左密封静环 19 和右密封静环 16。

[0042] 所述密封性能控制系统，具有压力气源 8，所述压力气源 8 与总截止阀连接 7；第一截止阀 6-1 连接第一调压阀 5-1，所述第一调压阀 5-1 通过第一通孔 a1 与第一密封腔 4 连通，形成第一控制流路；第二截止阀 6-2 连接第一调压阀 5-2，所述第二调压阀 5-2 通过第二通孔 a2 与第二密封腔 22 连通，形成第二控制流路；第三截止阀 6-3 连接第三调压阀 5-3，所述第三调压阀 5-3 与第一气体通道 11 连通，形成第三控制流路；第四截止阀 6-4 连接第四调压阀 5-4，所述第四调压阀 5-4 与第二气体通道 12 连通，形成第四控制流路；第五截止阀 6-5 连接第五调压阀 5-5，所述第五调压阀 5-5 通过第三通孔 a3 与第三密封腔 23 连通，形成第五控制流路；第一控制流路、第二控制流路、第三控制流路、第四控制流路、第五控制流路并联设置，并与总截止阀 7 相连接；第一调压阀 5-1、第二调压阀 5-2、第三调压阀 5-3、第四调压阀 5-4、第五调压阀 5-5 分别与控制器 9 连接，并且上述五个调压阀都是电磁调压阀；第一温度压力复合传感器、第二温度压力复合传感器、第五温度压力复合传感器分别用于检测第一密封腔 4、第二密封腔 22、第三密封腔 23 中流体的温度和压力，第三压力传感器、第四压力传感器分别用于检测第一气体通道 11、第二气体通道 12 中流体的压力；上述五个传感器分别与所述控制器 9 连接。

[0043] 压力气源 8 内存储有一定粘度的可压缩性的高压密封保护气，总截止阀 7 是控制密封保护气流

动的总开关，在执行密封控制时，打开总截止阀 7 和各个控制流路的截止阀 6，使高压密封保护气进入到上述每一个密封腔和气动弹簧。

[0044] 密封装置工作时上述每一个密封腔和气动弹簧分别具有一个期望的压力范围，对于每一个密封腔和气动弹簧内的期望的压力值，利用转速传感器 25 实时测得旋转轴的转速，利用轴向振动传感器(轴向振动传感器在说明书附图中未示出)实时测得转轴的轴向振动频率；利用介质压力测试装置和介质泄漏量测试装置实时测得介质压力、实时测得介质的泄漏量(介质压力测试装置和介质泄漏量测试装置在说明书附图中未示出)，并将实时测得的介质压力、实时测得介质的泄漏量信息传送给控制器 9。

[0045] 控制器中建立 BP 神经网络，将实时测得的介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量作为 BP 神经网络输入层的输入向量，各个密封腔和气动弹簧内密封保护气压力作为输出层，经过 BP 神经网络的训练学习，得到介质压力、旋转轴转速、密封保护气的温度、旋转轴的轴向振动频率、介质的泄漏量，与各个密封腔和气动弹簧内气体压力之间的非线性映射关系，利用 BP 神经网络计算获得各个密封腔和气动弹簧实时所需要的期望的压力值，并作为目标向量输入到控制器 9。

[0046] 同时控制器 9 按照输入的目标控制向量，向各个控制流路的调压阀 5 发出控制信号，控制各个流路中流入到密封腔和气动弹簧内的压力，密封腔和气动弹簧的上述五个传感器实时检测各个密封腔内的压力、温度和气动弹簧内的压力，当测得某个密封腔或气动弹簧的压力值在期望的压力范围之外时，控制器会实时发出控制信号到调压阀 5，实时控制该流路中密封保护气的压力，使各个密封腔和气动弹簧的压力保持在期望的压力范围之内，并根据实施监测的泄漏量与预期的泄漏量相比较，评估该密封装置的密封性能。

[0047] 所述左端盖 3 与圆周壳体密封连接，所述右端盖 13 与圆周壳体密封连接。

[0048] 所述肋的左端轴向部分和所述肋的右端轴向部分分别具有用于安装限位环的凹槽。

[0049] 所述左端盖 3 的左侧为要密封的介质，所述右端盖 13 的右侧为外界空气。

[0050] 气动弹簧为密封静环和密封动环的端面提供预紧力。所述左气动弹簧 18 随着充入所述左气动弹簧 18 内气体压力的变化而带动左密封静环 19 进行伸缩；所述右气动弹簧 17 随着充入所述右气动弹簧 17 内气体压力的变化而带动右密封静环 16 进行伸缩。

[0051] 第一控制流路、第二控制流路、第三控制流路、第四控制流路、第五控制流路的气体流通管分别与第三通孔 a1、第二通孔 a2、第一气体通道 11、第二气体通道 12、第三通孔 a3 的密封连接。

[0052] 其中，BP 神经网络(Back Propagation Neural Network)是一种前馈型有误差反向传播的网络，其拓扑结构通常是由一个输入层、一个或多个隐含层和一个输出层组成，前后层的神经元节点由权值连接，层与层之间的连接权值不相同，每层的结点数也不一定相同，各层的每一个神经元都与下一层所

有的神经元连接，同一层神经元相互之间没有连接，激活信号只能不断从上一层的神经元向下一层神经元传递，并且修正误差不断地反向传递，直到训练停止即网络收敛到均方误差最小值。神经元是以生物研究及大脑的响应机制而建立的拓扑结构网络，模拟神经冲突的过程，多个树突的末端接收外部信号，并传输给神经元处理融合，最后通过轴突将信息传递给其它神经元或者效应器。

[0053] 如图 2 所示，本申请的 BP 神经网络常用的单隐含层拓扑结构，其输入层、隐含层、输出层的神经元结点数 n 、 s 、 m 分别为 5、9 和 5，输入层和输出层神经元结点数是由输入、输出变量矩阵的维数决定的。 $x_i(p)(i=1, 2\cdots 5)$ 和 $y_i(p)(i=1, 2\cdots 5)$ 分别为该 BP 网络的输入层各神经元节点的输入变量和输出层各神经元各节点的输出结果。 $w_{ij}(i=1,2, \cdots 5; j=1,2, \cdots 9)$ 、 $v_{jt}(j=1, 2, \cdots 9; t=1, 2, \cdots 5)$ 分别是该神经网络的输入层与隐含层、隐含层与输出层的神经元结点之间的连接权值。输入层与隐含层、隐含层与输出层的单个神经元节点的传递误差的阈值分别为 $e_t(t=1, 2\cdots 9)$ 和 $e_c(c=1, 2\cdots 5)$ 。

[0054] 其中输入层为：实时测得的介质压力 $x_1(p)$ 、旋转轴转速 $x_2(p)$ 、密封保护气的温度 $x_3(p)$ 、旋转轴的轴向振动频率 $x_4(p)$ 、介质的泄漏量 $x_5(p)$ 。输出层为：第一密封腔压力 $y_1(p)$ 、第二密封腔压力 $y_2(p)$ 、第一气体通道压力 $y_3(p)$ 、第二气体通道压力 $y_4(p)$ 和第三密封腔压力 $y_5(p)$ 。根据输出层的参数的控制密封设备，并实时测得经输出层的参数的控制执行后密封装置的泄漏量 $\hat{x}_5(p)$ ， $\hat{x}_5(p)$ 如果高于预期值，则机械将该泄漏量作为新的 $x_5(p)$ 反馈到输入层。

[0055] 如图 3 所示，本申请的 BP 神经网络的隐含层采用 Sigmoid 型正切函数 tansig 作为激活函数，输出层采用线性函数 purelin 作为激活函数，训练函数采用带动量的批处理梯度下降 BP 算法的 traingdm 函数。

[0056] 如图 4 所述的本申请 BP 神经网络的训练过程，本申请循环的自适应训练学习，各神经元的连接权值的初始值为在 -1 到 1 之间的随机数 W_0, V_0 ；预定学习次数为 5000 次，误差收敛值为 0.001。经过训练得到，输入层实时测得的介质压力 $x_1(p)$ 、旋转轴转速 $x_2(p)$ 、密封保护气的温度 $x_3(p)$ 、旋转轴的轴向振动频率 $x_4(p)$ 、介质的泄漏量 $x_5(p)$ ；与输出层第一密封腔压力 $y_1(p)$ 、第二密封腔压力 $y_2(p)$ 、第一气体通道压力 $y_3(p)$ 、第二气体通道压力 $y_4(p)$ 和第三密封腔压力 $y_5(p)$ ，各参数之间的非线性的映射关系参数。

[0057] 直到计算得到的密封装置的泄漏量低于预期值时，将此时计算获得的第一密封腔压力、第二密封腔压力、第一气体通道压力、第二气体通道压力和第三密封腔压力作为压力期望值，并作为控制器的目标输入控制向量。

[0058] 本说明书实施例所述的内容仅仅是对技术方案的实现形式的列举，本专利的保护范围不应当被视为仅限于上述所陈述的具体实例，在不脱离本发明上述技术思想的情况下，根据本领域普通技术知识和惯用手段做出的各种替换或变更，均应包括在本专利的范围内。

