

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

F01D 15/10

H02P 9/48



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96191314.2

[45] 授权公告日 2004 年 4 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1144936C

[22] 申请日 1996.9.20 [21] 申请号 96191314.2

[30] 优先权

[32] 1995.10.31 [33] US [31] 08/550,940

[86] 国际申请 PCT/US1996/015057 1996.9.20

[87] 国际公布 WO97/16627 英 1997.5.9

[85] 进入国家阶段日期 1997.6.28

[71] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 M·A·伦科尔 D·G·麦克拉伦

G·H·亚德利 E·V·拉森

K·维伯

审查员 杨克菲

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

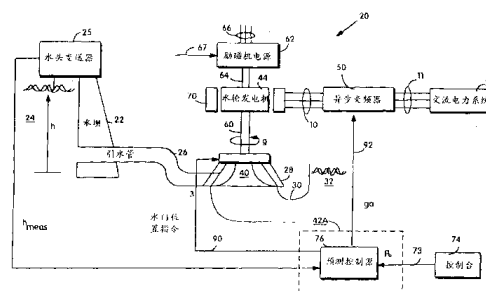
代理人 王 勇 傅 康

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 8 页

[54] 发明名称 用于变速水轮机水电站的异步变频方法和装置

[57] 摘要

水力发电系统(20)为电力公用系统(72)发电。控制器(42)通过用水头指示信号(h_{meas})控制连接至水轮机组的异步旋转变频器(50)的速度和控制水轮机组的水门位置,由水轮机组得到所需输出功率。所需输出功率从水轮机组经旋转变频器送至电力公用系统。在一个实施方案中,控制器(42B)存取存有水力 Hill 图的存储器。在另一实施方案中,控制器(42C)还包含一个实时自动调节器,该调节器利用至电力公用系统的交流输电频率指示信号来控制旋转变频器的输出电功率级。



1. 从水轮机组 (70) 至电力公用系统 (72) 的一种输电方法, 这种方法包括:

5 得到水头 (24) 的一个指示信号 (h_{meas});

 利用水头指示信号控制 (1) 变速水轮机组 (70) 的水门位置和 (2) 异步旋转变频器 (50) 的转子 (110) 转速, 该变频器连接在水轮机组和电力公用系统 (72) 之间, 从而该异步旋转变频器对电力公用系统 (72) 产生输出信号; 以及

10 利用输出信号控制包含在水轮机组内的水轮发电机 (44) 的旋转速度, 从而得出电力公用系统的所需电功率级 (P_0 , P_{00}).

 2. 权利要求 1 中的方法, 其中控制变速水轮机组 (70) 的转速包含根据水头 (24) 指示信号来存取存有水力 Hill 图信息的存储器。

15 3. 权利要求 2 中的方法, 进一步还包含更新存有水力 Hill 图信息的存储器。

 4. 权利要求 1 中的方法, 进一步还包含:

 得到至电力公用系统 (72) 的交流输电频率的一个指示信号 (f_{ac}); 并且

20 还利用至电力公用系统 (72) 的交流输电频率的指示信号来控制变速水轮机组 (70) 的输出功率级。

 5. 连接水轮机组 (70) 和电力公用系统 (72) 的一个接口 (50), 水轮机 (76) 具有用来产生水轮机输出电功率的水轮发电机 (44), 该电功率经接口传送到电力公用系统 (72), 该接口包含:

25 与水轮机组 (70) 相连以接收水轮机组 (70) 发出的水轮机输出电功率的旋转变频器 (102), 并且通过该变频器将水轮机输出电功率应用于电力公用系统 (72); 以及

 控制旋转变频器的一个控制器 (108, 80, 86), 在其控制下从水轮机组可得到电力公用系统的需求输出电功率级 (P_0 , P_{00}), 控制器 (108, 80, 86) 利用水头 (24) 指示信号 (h_{meas}) 控制水轮机组 (70) 的
30 转速和水门位置, 使之产生电力公用系统 (72) 的需求输出电功率级。

 6. 权利要求 5 中的接口, 其中旋转变频器 (102) 连接至水轮机以便旋转变频器 (102) 的交流频率和水轮机组 (70) 的旋转速度成比例。

7. 权利要求 5 或 6 中的接口, 其中控制器包含一个利用水头 (24) 指示信号 (h_{meas}) 存取存有水力 Hi11 图的存储器 (94, 95) 的处理器 (76)。

8. 权利要求 7 中的接口, 进一步还包含一个 Hi11 图更新器 (84), 以更新存有水力 Hi11 图信息的存储器 (94, 95) 中的存储值。

9. 权利要求 5 中的接口, 其中控制器还利用至电力公用系统 (72) 的交流输电频率指示信号 (f_{ac}) 来控制旋转变频器 (102) 的输出功率使之产生电力公用系统 (72) 的需求输出电功率级。

10. 权利要求 5 中的接口, 其中旋转变频器 (102) 包含:
转子 (110) 和定子 (112) 之一, 它连接水轮机接收其输出电功率;

转子 (110) 和定子 (112) 的另一个, 它连接引出变频器的输出电功率;

使转子 (110) 转动的致动器 (108);

15 其中控制器响应水头 (24) 指示信号 (h_{meas}) 来控制致动器 (106), 使得转子 (110) 能够在两个方向变速转动。

11. 连接水轮机组 (70) 至电力公用系统 (72) 的一个接口 (50), 水轮机组具有用来产生水轮机输出电功率的水轮发电机 (44), 该电功率经接口传送到电力公用系统 (72), 该接口包含:

20 一个旋转变频器 (102), 它连接水轮机组 (72) 并输电至电力公用系统 (70), 该旋转变频器 (102) 包含:

一个转子 (110) 和一个定子 (112), 转子 (110) 和定子 (112) 中的一个连接至水轮机组 (70) 并且转子 (110) 和定子 (112) 中的另一个连接至电力公用系统 (72);

25 一个控制器 (108, 80, 86), 它利用输出电功率的交流频率来产生一个信号用以控制转子 (110) 相对定子 (112) 的转速。

12. 权利要求 11 中的接口, 其中控制器包含:

一个频率变送器 (80), 它监测电力公用系统 (72) 的交流频率并由此产生指示信号 (f_{ac}); 并且

30 利用频率变送器产生的信号 (f_{ac}) 修正水轮机组 (70) 所需转速指示信号 (T_{go}) 的装置, 该信号修正装置输出一个修正的信号 (T_o) 用以控制转子 (110) 相对定子 (112) 的转速。

用于变速水轮机水电站的 异步变频方法和装置

5

背景

本申请是 *Mark A. Runkle* 于 1995 年 4 月 21 日提出申请的、名为“具有不同电气特性的电力系统互联”的美国专利申请 *No.08/426.201* 的后续部分，它还和与其同时提出申请的、名为“电力系统间的输电互联”的美国专利申请 *No.08/___,___*（代理案号为 17 - GE - 5545）有关，上述两专利申请在此引入作为参考。

1.发明领域

本发明涉及水电站，特别地，涉及改进水电站系统性能的方法和装置。

2.相关领域和其他考虑

在用水轮机发电时，水轮机组装于水坝中，水（例如河或者湖）流经大坝以驱动（例如使之旋转）水轮机组。这样驱动的结果，水轮机组的轴速与水轮机组产生的电功率输出的频率成比例。典型情况下水轮机组是一台同步机，即水轮机组正常运行的平均转速和机组相连的电力公用系统的频率精确地成比例。

用水轮机发电提出了复杂的技术和环境问题。例如，如果水轮机组恒速运行，就会出现一些问题。比如，水轮机在高负载和低负载时会出现水流的涡凹现象（例如，高的和低的水流速度时）。另外，水轮机组的水轮叶片产生的压力变化还对穿过水轮鱼类有害。而且，恒速运行的水轮机组会受很多限制，包括有限的影响电力系统频率的能力、慢速的有功功率调整、低于最优水轮效率和受限制的有功功率运行范围（它相应地限制了电力系统、水头和水流的变化范围）。

因为水轮机组是一台同步机，降低水轮机的转速会降低输出的同步频率。当水轮机组直接与用户电网相连时，水轮机组输出的同步频率的降低是不允许的。

人们曾尝试了各种努力来实现变速水力涡轮。根据其中之一，在 1995 年国际大型电网会议（*CIGRE*）东京专题会议上由 *Goto* 等人提出的“基于采用稳定信号的变速抽水蓄能电站的电力系统稳定控制”一

文, 通过旋转型励磁系统, 在励磁绕组中采用变频电流可改进主水轮发电机。

Shiozaki 等人的美国专利第 4,743,827 号提出了一种变速水力涡轮, 其中的控制通过在闭环结构中引入主水轮发电机的功率和转速量测信号来实现。闭环运行引发了诸如动态稳定等问题(至少在要求功率变化后的小的时段内)。

因此, 所需要的是一个有效且稳定的变速水力涡轮系统。

发明简述

水力发电系统为电力公用系统发电。水力发电系统包括一台受驱动而发出电功率的水轮机组。一台异步旋转变频器与水轮机组相连并接收水轮机输出电功率, 在一个控制器作用下它向电力公用系统发出所需的变频器输出电功率。

在其中一个实施方案中, 控制器采用了一个水头的指示信号 (h_{meas}) 来控制旋转变频器(和水轮机组)的转速和水轮机组的水门位置, 以便向公用系统发出所需的变频器输出功率。

在另一个实施方案中, 控制器还包含一个采用了向电力公用系统输电的交流频率指示信号的实时自动调节器, 以控制旋转变频器的输出电功率。

控制变速水轮机组的转速包含根据水头的指示信号来存取一个可更新的存储区, 其中存有水力 Hill 图的信息。为达到这一目的, 其中的一个实施方案提供了一个 Hill 图更新器。

附图简述

附图中的参考标号在所有图中指示同一部分, 通过以下附图所示优选实施方案的更详细的描述, 本发明前述的及其它目标、特点和优点将更为明显。这些图不必按比例绘制, 而将其重点放于说明本发明的原理上。

图 1A 是按照本发明第一个实施方案的水轮机/发电机系统的图示。

图 1B 是按照本发明第二个实施方案的水轮机/发电机系统的图示。

图 1C 是按照本发明第三个实施方案的水轮机/发电机系统的图示。

图 2 是按照本发明实施方案的异步变频器的图示。

图 3 是图 2 中异步变频器的局部透视图。

图 4 是用来说明本发明中水轮机/发电机系统运行原理的 Hill 图。

图 5 是本发明中水轮机/发电机系统控制系统中的预测控制器的功能图示。

图 6A 和图 6B 是存储于预测控制器中的查询表的图示, 该表用来产生输出信号 ω_o 和水门位置指令, 后者也可称为水门命令指令。

5 附图详述

图 1A 按照本发明的第一个实施方案说明水轮机/发电机系统 20。系统 20 位于坝 22 处, 该坝拦起具有水头 24 的水体。水头传感器 25 装于坝 22 上或其附近, 以确定水头 24 的高度“h”。依照常规模式, 坝 22 中有一个引水管 26, 水(由具有水头 24 的水体流来)流经其中到达水轮机室 28。尾水管 30 由水轮机室 28 的出口连至尾水水体 32。

系统 20 包含水轮机 40、控制系统 42A、水力发电机 44 和异步变频器 50。按照常规模式, 水轮机 40 装于水轮机室 28 中, 它有一个为发电机 44 提供机械能流的输出轴 60。水轮机 40 有一个水门控制器 41, 用来控制水轮机 40 中包含、但未加以说明的水门机构的位置。

发电机电源 62 (也称为发电机励磁装置) 通过引线 64 为水力发电机 44 提供励磁电流。按照常规模式, 发电机电源 62 通过引线 66 接收其输入功率并通过引线 67 接收励磁输入信号。

按照此处的说法, 水轮机 40 和水力发电机 44 组成了水轮机组 70。并且, 由下面说明其运行的观点出点, 异步变频器 50 也可称为连接水轮机组 70 和诸如公用系统 72 的交流电力系统的接口。在公用系统 72 中, 其电功率可以变化并且在预先确定的公用电频率范围中。公用需求信号(由控制台 74 经由引线 73 传送)用来指示公用系统 72 的当前功率需求 P_o 。

如图 1A 所示, 控制系统 42A 包含预测控制器 76。由控制台 74 传来的功率需求或功率级信号 P_o 作为预测控制器 76 的第一个输入信号。由水头传感器 25 传来的信号 h_{meas} 是预测控制器 76 的第二个输入信号。预测控制器 76 的第一个输出是经引线 90 至水门控制器 41 的水门位置指令。预测控制器 76 的第二个输出信号 ω_{go} 是所希望的水轮机组 70 的旋转速度指示值(ω_o 是水轮机组 70 的实际旋转速度), 它按照后面更专门叙及的方式被引至异步变频器 50。

图 4 是一个现有技术中所熟知的常规的“Hill 图”, 它对于理解此处所示的预测控制器的功能很有用。Hill 图的自变(水平)轴正比于发

电机 44 的转速 ω_{gen} ，反比于水头“ h ”（由水头传感器 25 确定）的平方根；因变（垂直）轴是发电机的输出功率。图 4 的 *Hill* 图中的每根轨线表征水门控制器 41 调节下的水门的不同位置。对于每组水门位置和水头量测值，有一个使功率最大的最优转速值。

- 5 图 5 用来说明预测控制器 76 的功能。如前所述，预测控制器 76 接收来自水头传感器 25 的水头量测信号 h_{meas} 以及接收需求功率信号 P_o （例如，来自台 74）。根据这两个输入信号，预测控制器 76 查第一个查询表 94 得到“水门命令”值，该值经引线 90 送至水门控制器 41 用作水门位置指令，由查第二查询表 95 得到所希望的旋转速度信号 ω_{go} ，
10 该信号经引线 92 用来驱动异步变频器 50。

精通本领域的人将易于理解，在一个实施方案中，预测控制器 76 包含一个有查询表 94 和 95 的处理器，查询表存储于诸如一个或多个只读存储器（*ROM*）的存储区中。

- 15 水门位置指令经引线 90 送至水门控制器 41。精于本领域的人知道水门控制器 41 是怎样控制水轮机 40 中水门机构的位置的。

- 由预测控制器 76 经由引线 92 送至异步变频器 50 的输出信号 ω_{go} 是水力发电机 44 的期望转速。作为对输出信号 ω_{go} 的回应，异步变频器 50 发出相应频率的交流电压。因为水力发电机 44 是同步机，所以水力发电机 44 的转速将和三相导线 10 的交流频率严格成比例。因此，又因异步变频器 50 与三相导线 10 相连，设定异步变频器的频率足以实现控制
20 水力发电机 44 的转速调整（这就是说，在如图 1A 所示的实施方案中没有必要测量水力发电机 44 的轴转速）。

- 图 1B 所示的实施方案与图 1A 所示的实施方案的区别在于它采用的是控制系统 42B 而非控制系统 42A。特别地，控制系统 42B 除预测
25 控制器 76 外还包含功率传感器 78 和 *Hill* 图更新器 84。功率传感器 78 监测连结异步变频器 50 和交流电力（公用）系统的三相导线上的功率并输出一个信号 P_{meas} 给 *Hill* 图更新器 84。

- Hill* 图更新器 84 基于在线测量更新存储于查询表 94 和 95（见图 6A 和图 6B）中的值。基于此目的，*Hill* 图更新器 84 根据异步变频器
30 50 的量测输出功率（信号 P_{meas} ）、从预测控制器 76 的输出信号（经引线 90 和 92）以及从水头传感器 25 来的信号 h_{meas} ，基于水电设施的实际历史信息来修正存于表 94 和 95 的 *Hill* 图信息。

因此, 连接 *Hill* 图更新器 84 以从功率传感器 78 接收量测功率信号 P_{meas} , 并接收从预测控制器 76 经引线 90 输出的水门位置指令、从预测控制器 76 经引线 92 输出的信号以及由水头传感器 25 输出的信号 h_{meas} . *Hill* 图更新器 84 经一条标明“改进”的引线输出更新数据至预测控制器 76.

图 1C 所示实施方案与图 1A 所示实施方案的区别在于它采用的是控制系统 42c 而非控制系统 42A. 特别地, 控制系统 42C (除预测控制器 76 外) 包含一个包含交流频率控制器 82 和加法器 88 的调节器.

在图 1C 所示的实施方案中, 频率控制器 82 以下文叙及的方式从异步变频器 50 接收信号 f_{ac} , 该信号 f_{ac} 是连接异步变频器 50 和交流电力 (公用) 系统 72 的三相导线上交流传输频率指示值. 交流频率控制器 82 的输出信号 ΔP_o 引至加法器 88 的第一个 (相加) 输入端. 加法器 88 的第二个 (相加) 输入端从控制台 74 接收需求功率信号 (在图 1C 所示实施方案中称为 P_{oo}). 加法器 88 产生一个信号 P_o , 该信号是预测控制器 76 的第一个输入, 在图 1C 所示的实施方案中还可作为图 5、图 6A、图 6B 中的 P_o 值.

和前述的实施方案一样, 图 1C 中预测控制器 76 的第二个输入信号是从水头传感器 25 来的信号 h_{meas} . 预测控制器 76 的第一个输出是经引线 90 至水门控制器 41 的水门位置指令. 图 1C 中预测控制器 76 的第二个输出 (即信号 ω_{go}) 经引线 92 引至异步变频器 50.

应该理解, 图 1B 和图 1C 所示实施方案的特点在进一步的实施方案中是可以组合的, 从而在单一的实施方案中既包含 *Hill* 图更新又包含交流频率控制.

图 2 所示异步变频器包含一个变频变压器 102 和一个控制系统. 控制系统包含快速控制单元 108、频率变送器 (transducer) 80 和加法器 86. 以下将参照图 3 更详细地阐述, 变频变压器通过三相导线 RA、RB、RC 和水力发电机 44 相连, 又通过三相导线 SA、SB、SC 和公用系统 72 相连. 在图 1A、1B、1C 中, 这些三相导线相应地分别标注为 10 和 11.

如图 2 所示, 变频旋转变压器 102 既包含一个旋转变压器组件 105 又包含力矩控制单元 106 (也称作转子驱动环节). 旋转变压器组件 105 和力矩控制单元 106 的细节将在下面参照图 3 更详细地阐述.

频率变送器 80 监测连接异步变频器 50 和交流电力(公用)系统 72 的三相导线 11 上的交流频率, 并输出信号 f_{ac} 至加法器 86 (在图 1C 所示的实施方案中至交流频率控制器 82) 的反相输入端。加法器 86 接收水力发电机 44 的期望转速信号(经引线 92 的信号 ω_{go}) 并输出信号 ω_o 。至快速控制器 108。加法器 86 的输出信号 ω_o , 即 $\omega_o = \omega_{go} - f_{ac}$, 是异步变频器 50 的期望转速指示值, 并相应地引至异步变频器 50。

图 2 还表明, 快速控制单元 108 从速度传感器 111 接收信号 ω_r 。快速控制单元 108 (通过加法器 86 从预测控制器 76 处) 接收信号 ω_o 并输出一个驱动信号 T_o 至力矩控制单元 106。

如图 3 中更详细地所示, 旋转变压器组件 105 既包含转子子组件 110 又包含定子 112。转子子组件 110 包含集电环 114 (也称作滑环) 和转子笼罩 116。由水力发电机 44 引来的三相导线 RA、RB、RC 接至集电环 114; 引到公用系统 72 的三相导线 SA、SB、SC 接至定子 112。转子子组件 110 包含紧贴装于其上的速度变送器 111, 以产生角速度信号 ω_r 来指示转子角速度。

图 3 所示且精于本领域的人可理解的是, 在图示的实施方案中, 旋转变压器组件 105 由六十度相位宽度的双层绕组绕制而成, 其中转子绕组标号为 RA +、RC -、RB +、RA -、RC + 和 RB -, 定子绕组标号为 SA +、SC -、SB +、SA -、SC + 和 SB -。应该理解, 本发明不只限于六十度相位宽度绕组系统, 相反地, 本发明的原理适用于两相或更多相的旋转变压器组件。

转子组件 110 绕其轴 RX 既可沿顺时针方向 CW 又可沿逆时针方向 CCW 旋转。转子组件 110 的转动由转子驱动环节 106 来实现。

在图 2 中转子驱动环节 106 象征性地表示为装于转子组件 110 上的圆筒形部分。因此, 图 2 中转子驱动环节 106 可一般性地表述为各种可替代的、不同类型的可引起转子组件 110 转动的驱动机构。在一些实施方案中, 转子驱动环节 106 包含一个致动器和一些类型的联动装置(例如, 齿轮装置和/或连接器), 联动装置和转子组件 110 面接。例如, 在一种实施方案中转子驱动环节 106 包含一套涡轮驱动装置。在其它实施方案中, 转子驱动环节 106 包含一个通过辐射状齿轮(例如, 正齿轮)作用的致动器如步进马达, 一个直接驱动装置, 一个水力致动器, 转动转子组件 110 上的齿轮, 或一个气动致动器, 转动转子组件 110 上的齿

轮。在别的实施方案中，力矩控制单元的功能由在旋转变压器组件 105 转子和其定子上的两套绕组来实现，转子和定子上的第一套绕组的极数（例如，2 极）和其上第二套绕组的极数（例如，4 极或更多）不同。

5 在运行中，操作员根据公用系统 72 事先确定的功率需求设置功率需求输入信号（在图 1A 和图 1B 的实施方案中是 P_o ；在图 1C 的实施方案中是 P_{oo} ）。设置功率需求输入信号（ P_o 或 P_{oo} ，随情况不同而变）可通过在操作员控制台或操作员工作站 74 上调节旋钮或输入数据来产生需求功率的指示信号。

快速控制器 110 接收需要或期望角速度信号 ω_o 和测量角速度信号 ω_r 两个信号。需要的角速度信号 ω_o 由预测控制器 76 根据基于 Hill 图的信息来产生。测量角速度信号 ω_r 由速度传感器 111 得到。快速控制器 108 产生一个驱动信号（也称作力矩命令信号 T_o ）给引线 134，以便 ω_r 迅速跟踪 ω_o 。精通本领域的人知道怎样操纵常规马达驱动器作为快速控制器 108，根据信号 ω_r 和 ω_o 产生驱动信号 T_o 。

15 因此，快速控制器 108 运作以调整驱动信号 T_o ，该信号经引线 134 送至力矩控制单元 106，以使转子组件 110 的实际转速 ω_r 符合要求的速度 ω_o 。快速控制器 108 的闭环带宽应高于转子组件 110 的最高固有振荡频率，这一振荡频率包含它对相连的传输网络的作用，一般低于 100 弧度/秒。典型情况下，固有模式振荡的范围由大约 3 弧度/秒至 50 弧度/秒，一般低于 30 弧度/秒。在图示的实施方案中，与快速控制器 108 的带宽（响应速度）有关，在正弦扰动下转子组件 110 的要求转速 ω_o 对实际转速 ω_r 的变化的相位滞后小于 90 度，确保这一响应带宽继而又确保所有固有模式振荡将由控制系统得到有益的衰减。

25 转子驱动环节 106 根据引线 134 上的驱动信号 T_o 的量值来增加或降低转子组件 110 的转速，以实现水轮机 44 的期望转速。

如图 3 所示，经引线 134 的驱动信号 T_o 被引至力矩控制放大器 150。力矩控制放大器 150 的电源由力矩控制电源 152 提供，由此使用引线 134 上的驱动信号 T_o ，力矩控制放大器 150 输出三相信号 TA、TB 和 TC 至力矩控制单元 106。正如此处和这一技术领域所用，TA 合指 TA + 和 TA -，TB 合指 TB + 和 TB -，如此等等。

30 图 3 中还标示出了转子组件 110 相对于定子 112 的角位移 θ_r ，按照惯例来理解，当 RA + 恰与 SA + 对齐时 θ_r 为零。

通过异步变频器 50 的功率变换可参考同时提出申请的、名为“电力系统间的输电互联”的美国专利申请 No.08/____,____ (代理案号为 17 - GE - 5545) 来理解, 该申请在此引入作为参考以说明, 例如, 用作转子驱动环节 106 的各种类型的机构。

- 5 由交流频率控制器 82 和加法器 88 实现的异步变频器 50 的实时自动调节器, 根据交流电力系统 72 的实际实时需求, 为需求功率输入信号 Poo 提供自动调整。例如, 如果交流电力系统 72 在任一时刻不管需求功率信号 Poo 是多少没有接收到足够的功率, 导线 11 上的频率将下降, 这一下降将由频率变送器 80 检测到并由预测控制器 76 根据信号 Po
- 10 加以补偿, 这样就会得到比信号 Poo 所激发的更大的功率级。反过来, 如果太多的功率注入交流电力系统 72, 导线 11 上的频率将上升, 这一上升将由频率变送器 80 检测到并由预测控制器 76 加以补偿, 这样就会得到比信号 Poo 得到的更少的功率级。

- 在图 1C 所示的实施方案中, 送至预测控制器 76 的信号 Po 是需求
- 15 功率级, 而非需求功率信号 Poo 的指示值 (如上所述, Po 是 Poo 的一个修正)。

- 因此, 本发明用常规的直流励磁绕组在主发电机 44 上实现了变速, 依靠改变主发电机定子中流动的交流电流的频率, 使之与交流电力系统 72 的额定频率偏离一所需的量, 从而实现期望的转速变化 (例如, 55Hz
- 20 将会在一台额定运行于 50Hz 的发电机上达到 110 % 的速度)。并且, 本发明利用基于离线计算得到的“水力 Hill 图”的开环控制功能, 只用水头和交流输电系统的频率测量值, 实现了最优水力效率的目标。

- 本发明的另一优点是, 通过测量交流输电系统频率和调节主控制功能的功率需求而控制了电力系统的频率。通过快速控制器 108 还可衰减
- 25 电力系统振荡。

变频器 50 因此可以很容易地用来改进已有的水轮机设备。每个水轮机设备的速度调节能力限制取决于机械应力和完成相应功能的其它系统组件的能力。任一给定坝群中至少一台发电机可装备变频器 50, 或者只在沿一河流所选的需要特别的控制性能的大坝处。

- 30 并且, 变频器 50 为管理水资源的电力当局提供了一个非常有用的工具。通过将流速 (流过水轮机的) 和功率需求解耦, 可精确地调节水位而不浪费能量。这种精确的调节包含在同一河流的不同地区调节洪水

和/或干旱条件的能力。

变频器 50 还和抽水蓄能控制相关。抽水蓄能水电站通常包含一个两水库系统，一个水库在较高的高度，另一个水库在较低的高度。水被抽至较高水库存储势能直至公用系统遇到特别的尖峰负荷条件。于是，
5 水放出后流过水轮机以满足尖峰负荷。尖峰负荷时较高水库的严重泄水需要（在非高峰负荷时）将水由较低水库抽回较高水库。在较低水库情况下，变频器 50 具有快速响应和可放慢运行速度的优点。通过稍慢的运行和采用较小的储存裕度，电力当局可在保持负荷响应速率等于放水速率的前提下优化水库容量。

10 本发明的优点包括较低的环境压力（挽救鱼类、使腐蚀最小，等等）和高级水位控制，尤其是对多库系统。无论从再生还是农业角度，例如灌溉，这一控制都改善了水资源的利用。

尽管本发明着重参照其优选实施方案进行了说明和描述，精通本领域的人能够理解，在不背离本发明的精神和范围的情况下，在形式和细
15 节上可以有各种的替代方案。例如，鉴于前边的描述，供电系统被说成接至集电环 114，受电系统被说成接至定子 112，应该能够理解这些所说的接法可以反过来。

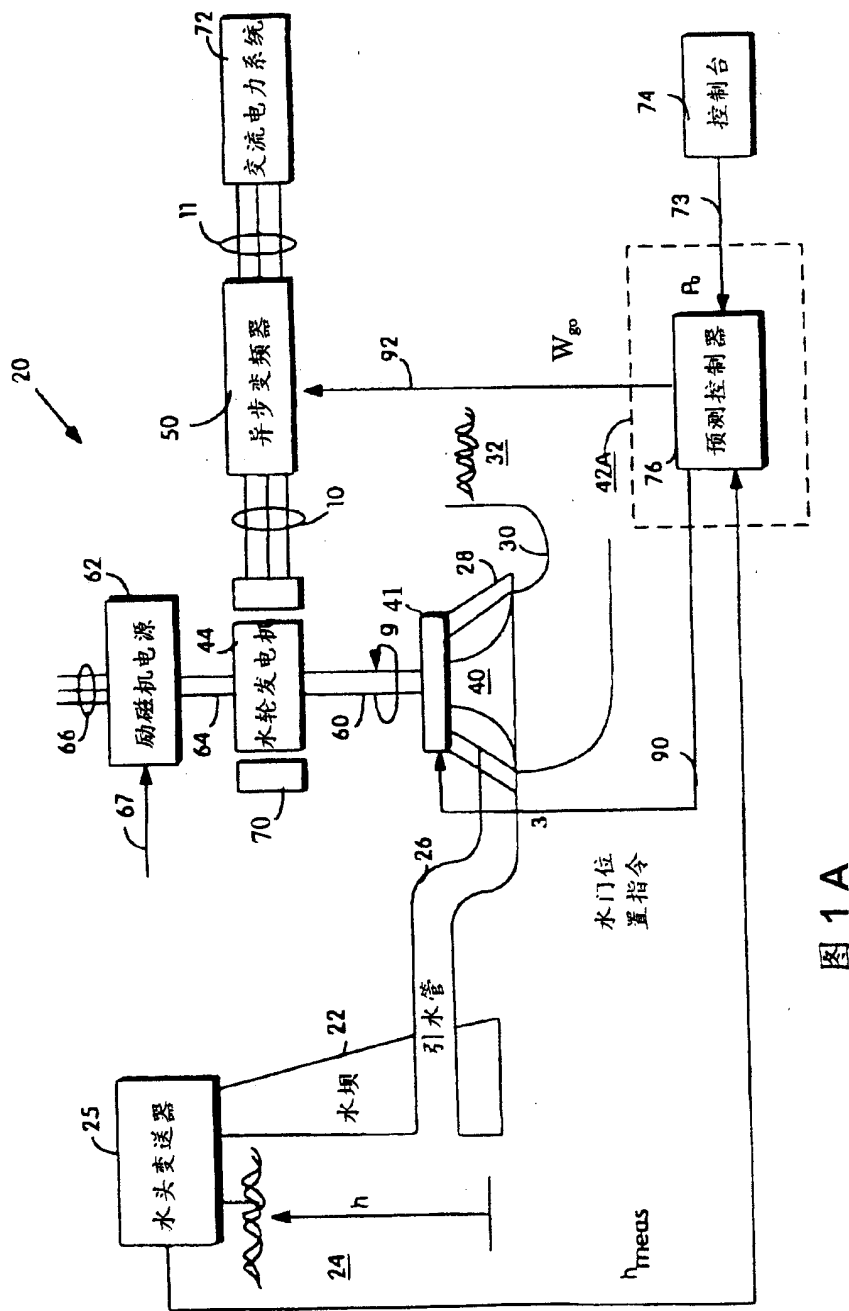


图 1 A

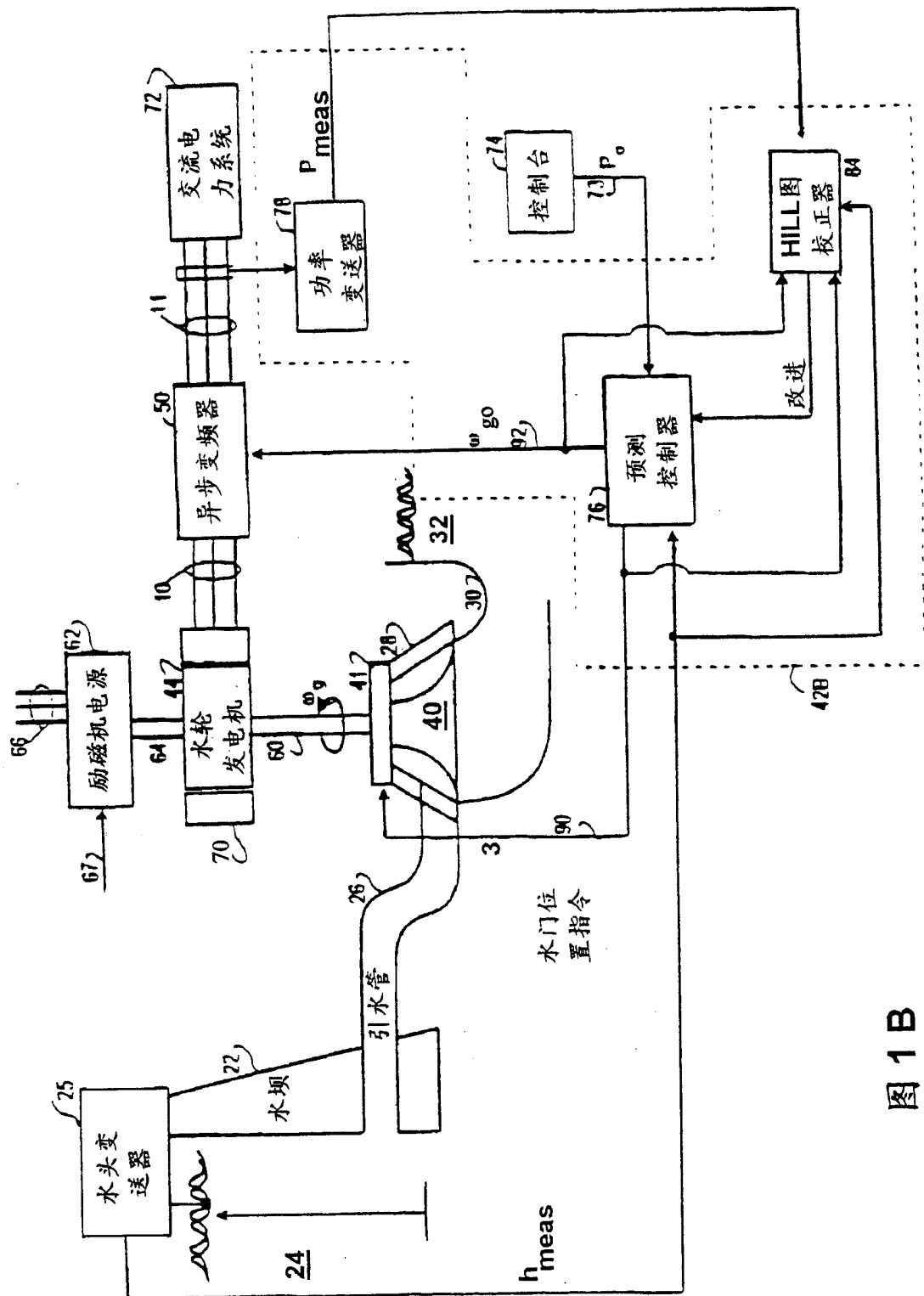
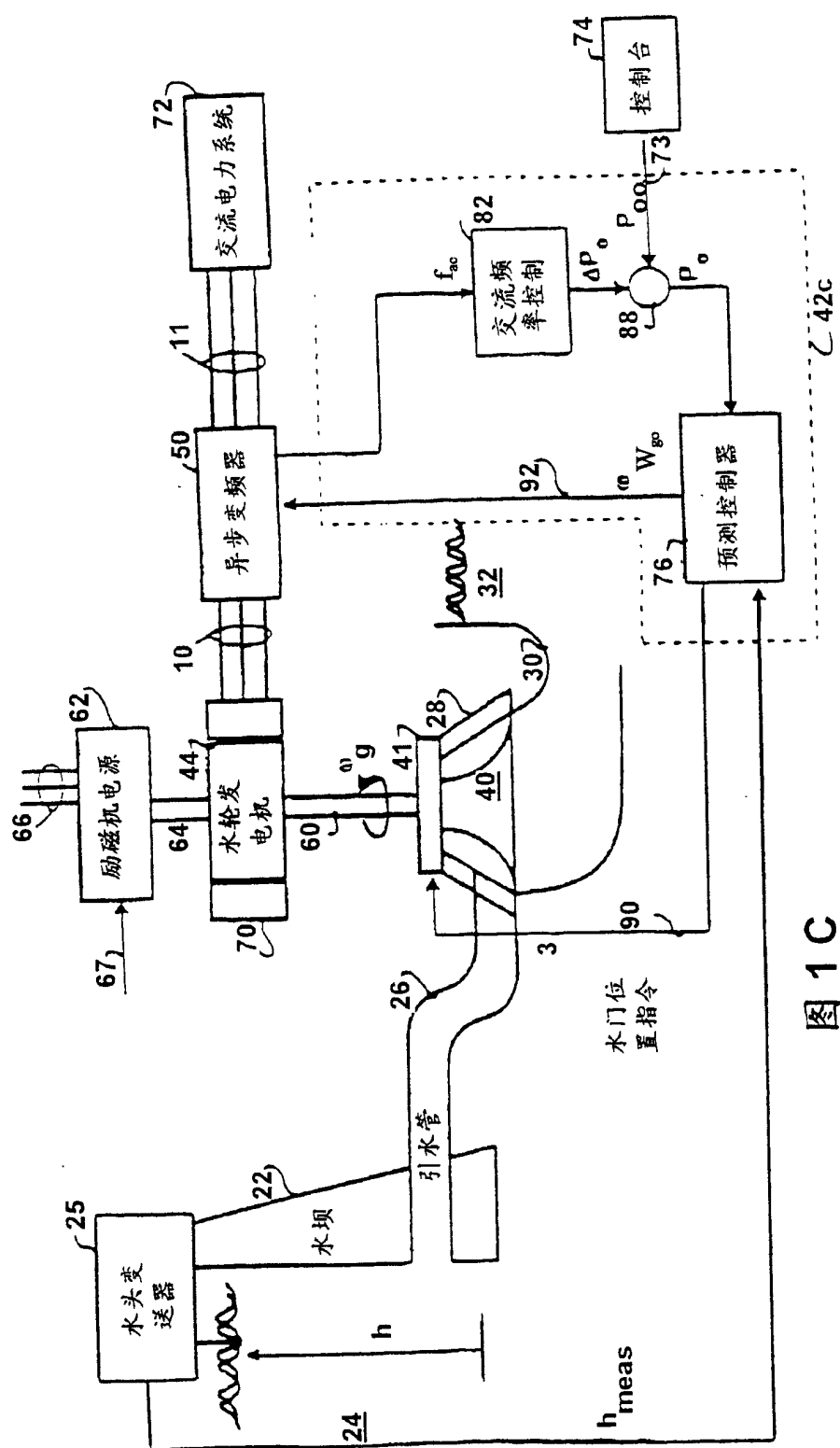
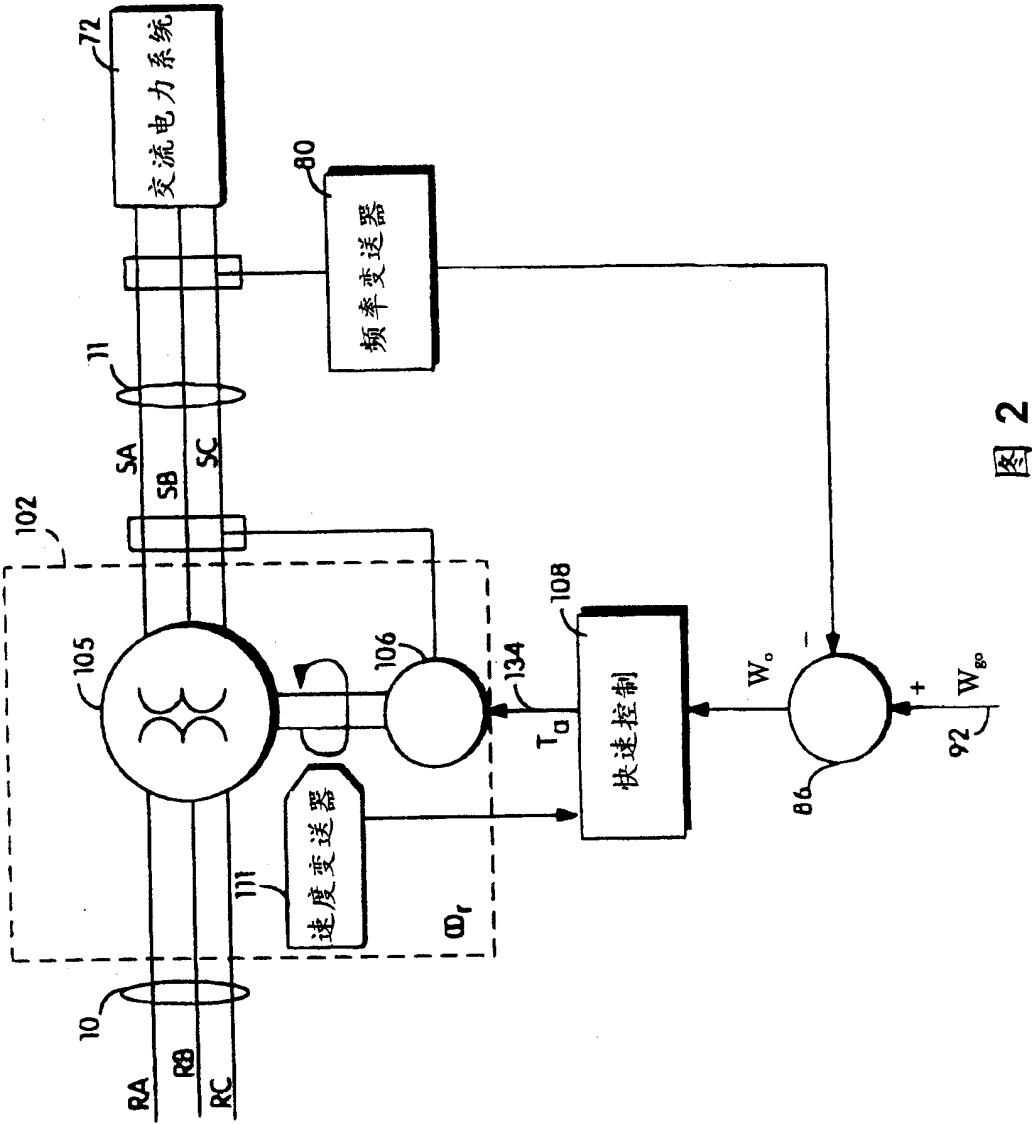


图 1B





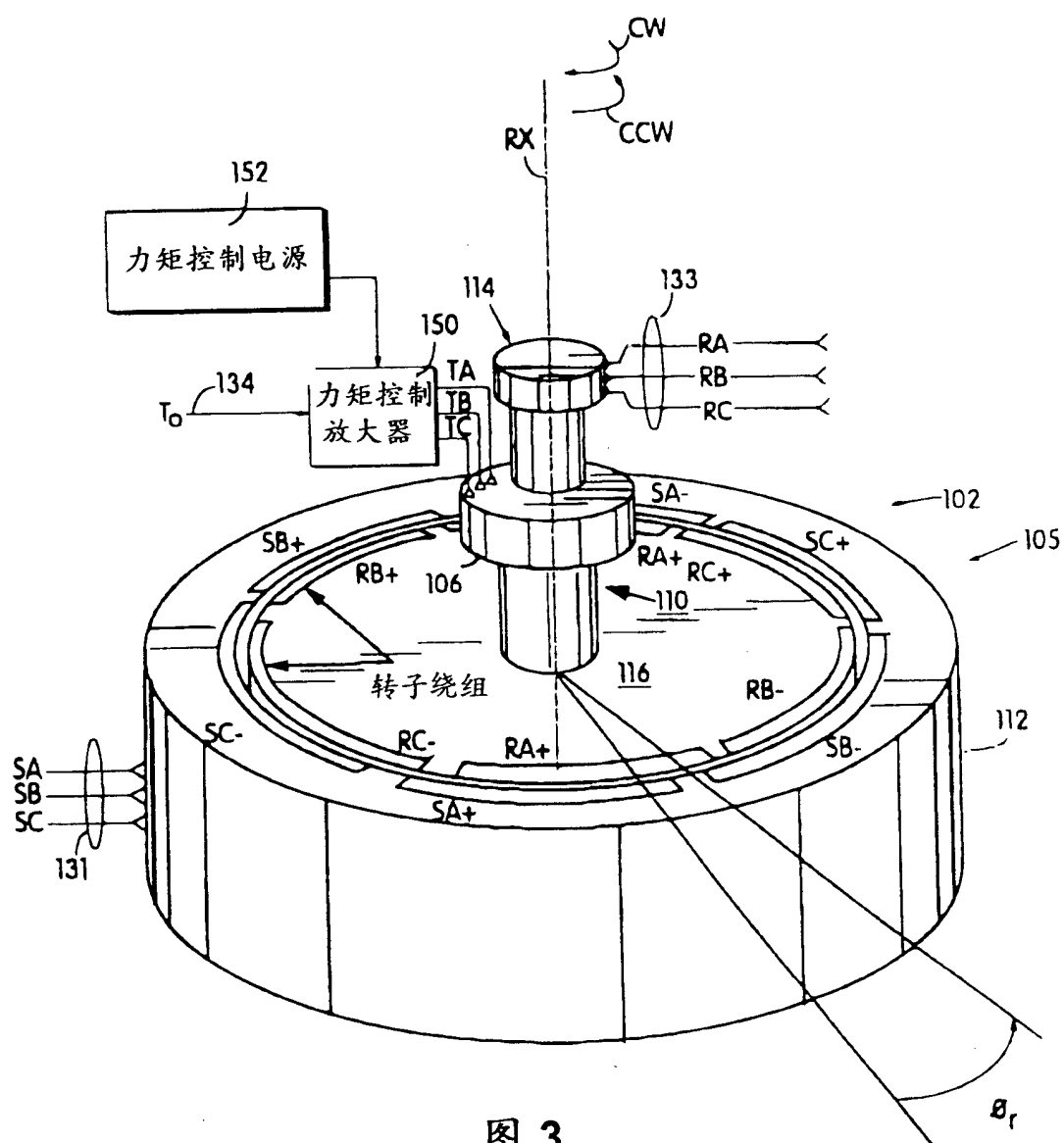


图 3

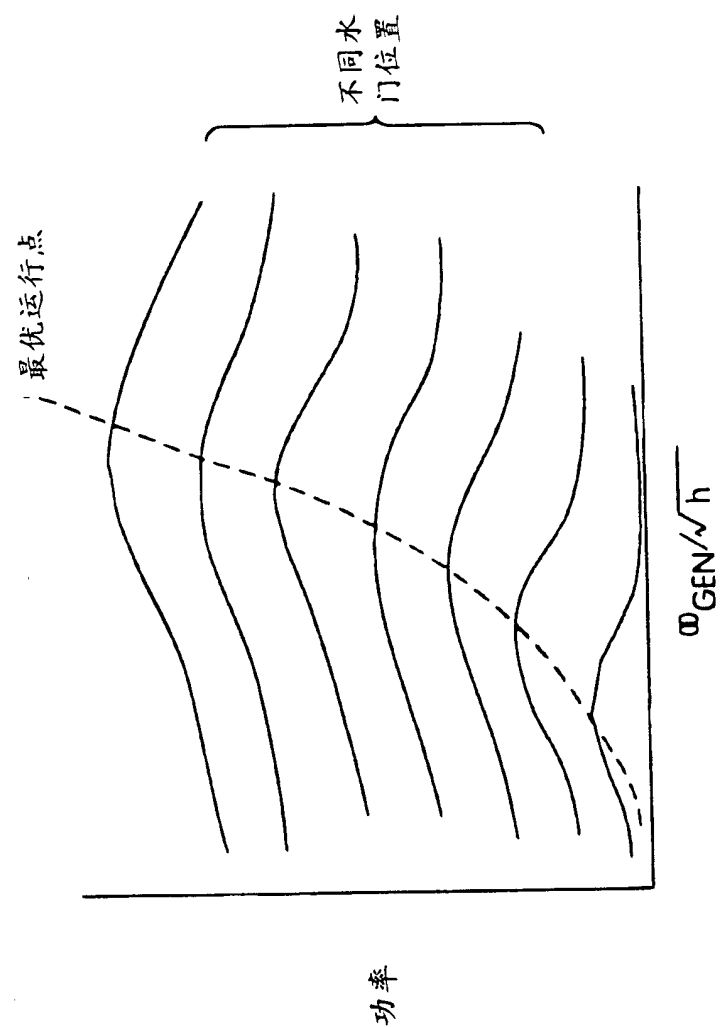


图 4

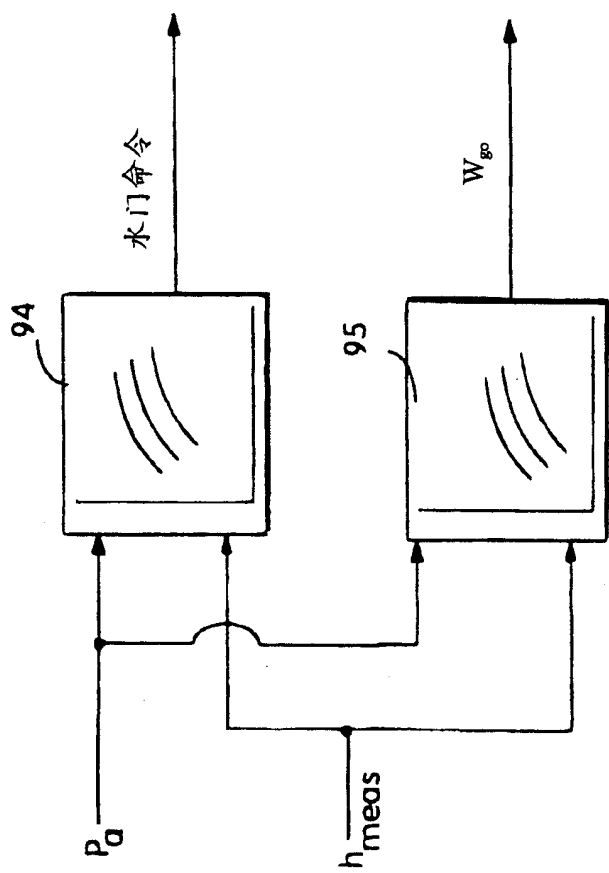


图 5

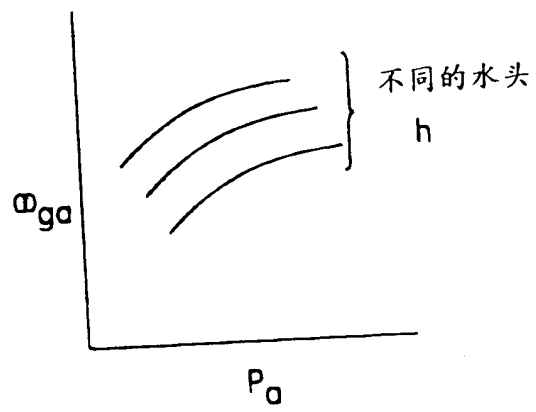


图 6 A

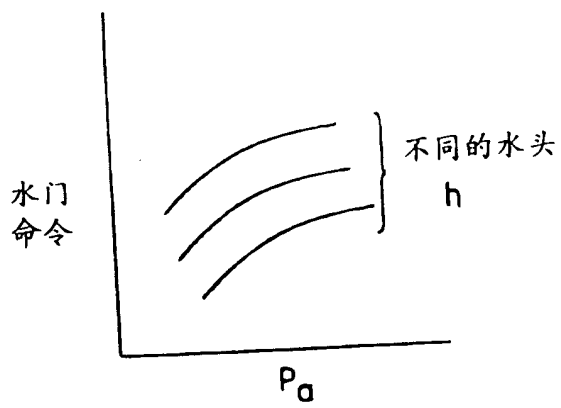


图 6 B