(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 5 月 4 日 (04.05.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/071809 A1

(51) 国际专利分类号:
H02N 2/18 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/124986

(22) 国际申请日: 2022 年 10 月 13 日 (13.10.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111266519.0 2021年10月28日 (28.10.2021) CN

(71) 申请人: 国网湖南省电力有限公司(STATE GRID HUNAN ELECTRIC POWER COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国湖南省长沙市新韶东路398号, Hunan 410004 (CN)。 国网湖南省电力有限公司电力科学研究院(STATE GRID HUNAN ELECTRIC POWER COMPANY RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国湖南省长沙市东塘水电街79号, Hunan 410007 (CN)。 国家电网有限公司(STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号, Beijing 100031 (CN)。

(72) 发明人: 寇攀高(KOU, Pangao); 中国湖南省长沙市东塘水电街79号, Hunan 410007 (CN)。

(74) 代理人: 湖南兆弘专利事务所（普通合伙）(HUNAN ZHAOHONG PATENT LAW OFFICE (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国湖南省长沙市芙蓉区芙蓉中路185号顺天城2701室 张丽娟, Hunan 410011 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

(54) **Title:** FLUCTUATION PRESSURE POWER GENERATION CONTROL METHOD AND DEVICE FOR POWER GENERATION-ENERGY STORAGE SYSTEM

(54) 发明名称: 一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法及装置

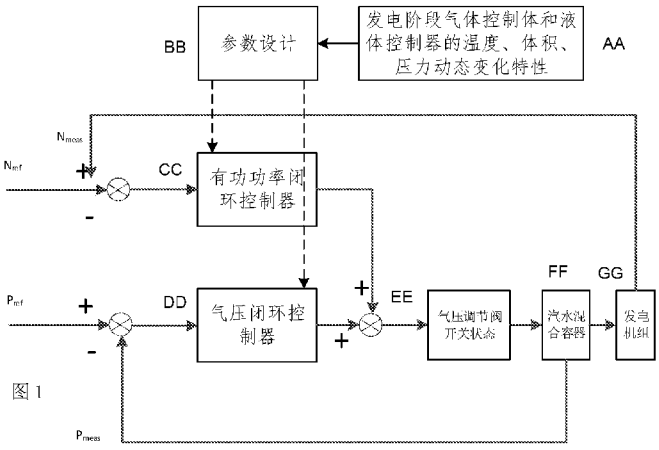

图 1

AA Dynamic change characteristics of the temperature, volume, and pressure of gas control bodies and a liquid controller in a power generation stage
BB Parameter design
CC Active power closed-loop controller
DD Air pressure closed-loop controller
EE Open-closed state of an air pressure regulating valve
FF Gas-liquid mixing container
GG Generator set

(57) **Abstract:** Disclosed is a fluctuation pressure power generation control method and device for a power generation-energy storage system. The fluctuation pressure power generation control method for a power generation-energy storage system of the present invention comprises: calculating a difference between an actually measured power value N_{meas} and a target power value N_{ref}, and obtaining an active power error signal; calculating a difference between an actual air pressure P_{mea} and a set air pressure value P_{ref}, and obtaining an air pressure error signal,

WO 2023/071809 A1

[见续页]

GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

and summing the active power error signal and the air pressure error signal to obtain a multivariable control signal; and controlling, according to the multivariable control signal, the working state of an air pressure regulating valve between a high-pressure gas system and a gas-liquid mixing system of the power generation-energy storage system in a power generation stage. According to the present invention, stable control of power in a power generation process can be achieved, a control method is provided for the power generation-energy storage system to achieve constant output of power of a generator set under pressure fluctuation, and an important theoretical support and practical basis are provided for improving the flexibility of a power system.

(57) 摘要：本发明公开了一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法及装置，本发明发电-储能系统的波动压力发电控制方法包括计算实测功率值N_{meas}、目标功率值N_{ref}之差并获取有功功率误差信号；计算实际气压P_{mea}、设定气压值P_{ref}之差并获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态。本发明可实现发电过程功率的稳定控制，为发电-储能系统实现压力波动下发电机组功率恒定输出提供了一种控制方法，为提升电力系统灵活性提供了重要的理论支撑与实践依据。

一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法及装置

相关申请的交叉引用

本申请以申请日为“2021.10.28”、申请号为“202111266519.0”、发明创造名称为“一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法及装置”的中国专利申请为基础，并主张其优先权，该中国专利申请的全文在此引用至本申请中，以作为本申请的一部分。

【技术领域】

本发明涉及发电-储能系统的发电控制技术，具体涉及一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法及装置。

【背景技术】

随着新能源发电的超常规发展与电网建设相对滞后的矛盾日益明显，大规模具有随机性、间歇性、反调节性及出力波动大等特点的风电/光伏能源接入电网对系统的电压稳定、暂态稳定和频率稳定都有较大的影响，风电/光伏能源并网难、并网后消纳难等问题严重制约着能源结构的变革。常规水电厂、抽液蓄能电厂在大规模新能源存储、能量转化方面作用有限，不能吸收丰沛的风电、太阳能等大规模可再生新能源电力，且对地势、地质有一定的要求。

申请号为202020451871.6的中国专利文献公开了一种发电-储能系统包括高压气系统和气液混合系统，高压气系统包括储气容器和用于给储气容器供气的气体压缩装置，气液混合系统包括分别连接有补液循环系统和液力发电机组的气液混合容器，储气容器、气液混合容器之间通过调节阀相连，该发电-储能系统可通过储气容器、气液混合容器来实现储能、发电，也可以选择多种运行模式。该发电-储能系统作为一种新型发电系统，具有清洁无污染、布置灵活、运行寿命长等优点，对于大规模新能源消纳及提升电力系统的灵活性具有重要价值。然而，发电过程中气液混合系统内液体体积减小、压力趋向于下降，高压气系统通过压力调节阀对气液混合系统内补气，试图维持气压稳定，然而气压调节阀输出端气压难以维持恒定值，实践表明，气压调节阀输出气压波动幅度与输出气压平均值相比不小于5%。气液混合系统内气压的波动不仅严重影响了发电机组功率的稳定、机组的安全稳定运行，严重情况下会导致电力系统的低频振荡，因此，提出维持气液混合系统气压稳定的控制方法对理论研究及工程实践具有重要的科学意义及实践价值。

【发明内容】

本发明要解决的技术问题：针对现有技术的上述问题，提供一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法及装置，本发明通过闭环控制和控制策略实现了发电过程功率的稳定

控制，可实现发电过程功率的稳定控制，为发电-储能系统实现压力波动下发电机组功率恒定输出提供了一种控制方法，为提升电力系统灵活性提供了重要的理论支撑与实践依据。

为了解决上述技术问题，本发明采用的技术方案为：

一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法，包括：

1）计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差，并根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差，并根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；

2）根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态。

可选地，所述根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号是指通过将实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差输入有功功率闭环控制器以获取有功功率误差信号。

可选地，所述根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号是指通过将实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差输入气压闭环控制器以获取有功功率误差信号。

可选地，所述有功功率闭环控制器为 PID 控制器。

可选地，所述气压闭环控制器为 PID 控制器。

可选地，步骤 1）之前还包括对有功功率闭环控制器和气压闭环控制器进行参数设计的步骤：

S1）建立发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程：

S2）将发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程转化为传递函数，依据传递函数和 PID 参数的关系求解有功功率闭环控制器和气压闭环控制器的 PID 控制参数。

可选地，步骤 S1）中建立的发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程为：

$$\dot{X} = f\left(X, U_u\right),\ y = g\left(X\right)$$

其中，$\dot{X}$ 为状态变量的微分，X 为状态变量，U_u 为控制向量，$f\left(X, U_u\right)$ 为状态变量的微分 $\dot{X}$ 与状态变量 X 以及控制向量 U_u 两者的函数关系，y 为输出，$g\left(X\right)$ 为输出 y 与状

态变量 X 之间的函数关系，且有：

$$X=\left[T_{B,gas},T_{A,gas},V_{B,gas},m_{A,gas},m_{B,gas},T_l,Z_l,T_{gas,T},T_{l,T}\right]^T,\ U_u=\left[u_1,u_2\right]^T$$

其中，$T_{B,gas},T_{A,gas}$ 分别为气液混合系统内气体控制体 B、气液混合系统内气体控制体 A 的温度，$V_{B,gas}$ 为气液混合系统内气体控制体 B 的体积，$m_{A,gas},m_{B,gas}$ 分别为气液混合系统内气体控制体 A、气液混合系统内气体控制体 B 的质量，T_l 为气液混合容器的液体温度，Z_l 为液体控制体的液位，$T_{gas,T}$ 为汽液混合容器器壁的温度，$T_{l,T}$ 为与液体控制体接触的容器器壁温度，u_1,u_2 为控制变量，且有：

$$\begin{cases}\dot{x}_1=\left(k\dfrac{x_2}{x_5}-\dfrac{x_1}{x_5}\right)u_1-\gamma_1\dfrac{\left(x_1-x_6\right)}{x_5}-\gamma_2\dfrac{\left(x_1-x_8\right)}{x_5}-\gamma_4\dfrac{x_1}{x_3}u_2\\ \dot{x}_2=\left(-k\dfrac{x_2}{x_4}+\dfrac{x_2}{x_4}\right)u_1-\gamma_3\dfrac{\left(x_2-x_8\right)}{x_4}\\ \dot{x}_3=\dfrac{u_2}{\rho_w}\\ \dot{x}_4=-u_1\\ \dot{x}_5=u_1\\ \rho_l A_l c_l x_7\dot{x}_6=\left(\dfrac{y_1}{\rho_w}+c_l x_6-c_l T_{out}^l\right)u_2+\gamma_{12}\left(x_1-x_6\right)-\gamma_{11}\left(x_6-x_9\right)\\ \rho_l A_l\dot{x}_7=-u_2\\ \gamma_8\dot{x}_8=\gamma_9\left(x_1-x_8\right)-\gamma_{10}\left(x_8-T_{amb}\right)\end{cases}$$

上式中，$\dot{x}_1\sim\dot{x}_8$ 分别为状态变量 $x_1\sim x_8$ 的微分，$x_1\sim x_9$ 分别为状态变量，k 为空气比热容的比值，ρ_w 为液体控制器的密度，ρ_l 为液体控制体的密度 $\rho_l=\rho_w$，A_l 为液体控制体水平面的面积，c_l 为液体控制体的比热容，T_{out}^l 为液体控制体出口液体温度，y_1、$\gamma_1\sim\gamma_4$ 以及 $\gamma_8\sim\gamma_{12}$ 均为中间变量，T_{amb} 为环境温度；且有：

$$u_1=\dot{m}_{AB,gas}^{in,out},\ u_2=\dot{m}_{w,out},\ m_{gas,T}c_T=\gamma_8,\ \frac{h_l A_l}{c_v^{B,gas}}=\gamma_1,\ \frac{UA_G}{c_v^{B,gas}}=\gamma_2,\ \frac{UA_G}{c_v^{A,gas}}=\gamma_3,\ \frac{R_g}{\rho_w c_v^{B,gas}}=\gamma_4,$$

$$\rho_l A_l=\gamma_5,\ h_{gas,T}A_{gas,T}=\gamma_9,\ h_o A_{o,gas}=\gamma_{10},\ h_{l,T}A_{l,T}=\gamma_{11},\ h_{gas,l}A_l=\gamma_{12},\ y_1=p_{B,gas}=\frac{x_1x_5}{x_3}R_g$$

上式中，$\dot{m}_{AB,gas}^{in,out}$ 为高压气系统内空气控制体 A、气液混合系统内空气控制体 B 之间的交换速率，$\dot{m}_{w,out}$ 为汽液混合容器内液体控制器的质量流出流率，$m_{gas,T}$ 为与空气接触的容器器壁控制体质量，c_T 为气液混合容器器壁的比热容，$c_v^{B,gas}$ 表示气液混合系统内空气控制体 B 的空气定容比热容，U 为与环境接触器壁的换热系数，A_G 为气液混合系统内空气控制体

B与气体接触的器壁面积，$c_v^{A,gas}$表示气液混合系统内空气控制体A的空气定容比热容，R_g为空气气体常数，ρ_w为汽液混合容器内液体控制体的密度，$h_{gas,T}$为气体控制体与容壁之间的换热系数，$A_{gas,T}$为气体控制体与汽液混合容器器壁接触的面积，h_o为气液混合容器器壁与外部环境之间换热系数，$A_{o,\mathrm{gas}}$为与气液混合容器内部空气接触的器壁暴露在外部环境的面积，$h_{l,T}$为液体与汽液混合容器器壁之间的换热系数，$A_{l,T}$为液体控制体与汽液混合容器器壁接触的面积，$p_{B,gas}$为气液混合系统内空气控制体B的压力。

可选地，步骤S2）包括：

S2.1）根据当前状态变量值，发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程线性化，得到线性化方程：

$$\dot{X}=A(X_e)X+B(X_e)U，\ y=C(X_e)X_e$$

上式中，A为系统矩阵，B为输入矩阵，C为输出矩阵，且有：

$$A(X_e)=\left.\frac{\partial f}{\partial X}\right|_{X=X_e},B(X_e)=\left.\frac{\partial f}{\partial U}\right|_{X=X_e},C(X_e)=\left.\frac{\partial y}{\partial u_1}\right|_{X=X_e}$$

其中，f为微分方程与状态变量X以及控制向量U之间的函数关系；

S2.2)将线性化方程转化为下式所示的当前时刻t的状态变量点X_e的传递函数$G(s)$的状态空间方程：

$$G(s)=C(X_e)(sI-A)^{-1}B(X_e)$$

上式中，I为单位矩阵，A为系统矩阵；

S2.3）根据下式所示的PID控制规律传递函数$G_c(s)$和当前时刻t的状态变量点X_e的传递函数$G(s)$获得当前时刻t的控制系统$\frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)}$的闭环特征方程根；

$$G_c(s)=K_p+\frac{K_i}{s}+\frac{K_d s}{T_{1v}s+1}$$

上式中，K_p, K_i, K_d为PID控制参数，T_{1v}为实际微分环节时间常数；

S2.4）以能确保控制系统$\frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)}$稳定的闭环特征方程根进行极点配置，建立闭环系统极点与PID参数的关系，从而求得PID控制参数K_p, K_i, K_d。

此外，本发明还提供一种用于所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法的波动压力发电控制装置，包括：

控制单元，用于计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差，并根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差，并根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；

阀门控制模块，用于根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态；

所述控制单元的输出端与阀门控制模块相连，所述阀门控制模块用于与发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀的控制端相连。

可选地，所述控制单元包括：有功功率误差计算单元，用于计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差；有功功率闭环控制器，用于根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；气压误差计算单元，用于计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差；气压闭环控制器，用于根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号；求和模块，用于将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；所述有功功率误差计算单元的输出端与有功功率闭环控制器的输入端相连，所述气压闭环控制器的输出端与气压闭环控制器的输入端相连，所述有功功率闭环控制器、气压闭环控制器两者的输出端与求和模块的输入端相连，所述求和模块的输出端与阀门控制模块相连；所述有功功率闭环控制器、气压闭环控制器为 PID 控制器。

和现有技术相比，本发明具有下述优点：本发明包括计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差并获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差并获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态，本发明针对高压气系统和气液混合系统共同发电阶段气液混合系统内气压波动导致发电机组功率难以稳定的问题，考虑了气体、液体、容器器壁温度的动态变化特性，将气液混合系统内气压信号、有功功率信号、开度信号引入到控制器中，通过闭环控制和控制策略实现了发电过程功率的稳定控制，实现无功率扰动下发电系统发电功率稳定，本发明为该发电-储能系统实现压力波动下发电机组功率恒定输出提供了一种控制方法，为提升电力系统灵活性提供了重要的理论支撑与实践依据。

【附图说明】

图 1 为本发明实施例方法的基本原理示意图。

【具体实施方式】

如图 1 所示，本实施例发电-储能系统的波动压力发电控制方法包括：

1）计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差，并根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差，并根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；

2）根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态。

参见图 1，本实施例中根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号是指通过将实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差输入有功功率闭环控制器以获取有功功率误差信号。

参见图 1，本实施例中根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号是指通过将实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差输入气压闭环控制器以获取有功功率误差信号。

本实施例中，有功功率闭环控制器为 PID 控制器。此外，有功功率闭环控制器也可以根据需要采用包括模糊控制器在内的其他各类控制器。

本实施例中，气压闭环控制器为 PID 控制器。此外，气压闭环控制器也可以根据需要采用包括模糊控制器在内的其他各类控制器。

本实施例控制方法控制器参数整定考虑了发电过程中高压气系统、气液混合系统中气体、液体、容器器壁温度的动态变化特性；本实施例控制方法为多变量控制，将气液混合系统内气压信号、发电机组有功功率信号引入到控制器中形成了气压闭环控制器、有功功率闭环控制器。本实施例控制方法将液体质量流量、气体质量流量作为控制输入信号输入，汽水混合容器内气压信号为输出变量。

进一步地，为了更好地实现对有功功率闭环控制器和气压闭环控制器进行参数设计，以提升发电-储能系统的波动压力发电控制效果，本实施例中，步骤 1）之前还包括对有功功率闭环控制器和气压闭环控制器进行参数设计的步骤：

S1）建立发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程：

S2）将发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程转化为传递函数，依据传递函数和 PID 参数的关系求解有功功率闭环控制器和气压闭环控制器的 PID 控制参数。

发电阶段中通过气液混合容器连通驱动液力发电机组发电，气液混合容器的压力从压力 ps3 下降到指定的压力 ps1、液位逐步下降到初始液位；同时储气容器和气液混合容器部分连通，控制往储气容器通入高压气体的质量流量，使储气容器的压力逐步下降且在气

液混合容器的液位下降到初始液位时同步下降到指定的初始压力 ps2，初始压力 ps2 比压力 ps1 小，其具体为储能阶段结束时的压力。发电阶段内，气液混合系统、高压气系统间阀门系统为间断性开关，其开关控制规律最终是维持气液混合系统在设定的压力范围稳定，液力发电装置的流量满足$Q=Q_{11}D_1^2\sqrt{H}, Q_{11}=f\left(n_{11},\ a\right)$，其中 Q 为体积流量、Q_{11} 为单位流量、D_1 为直径、H 为扬程、a 为开度、n_{11} 为单位转速。

发电-储能系统的高压气系统通过储气容器储存气体建压以实现储能，气液混合系统通过气液混合容器储存气体和液体建压，液体同时通过液位提升以实现储能。因此，高压气系统、气液混合系统中的气体、气液混合系统中的液体是实现本实施例发电-储能系统的波动压力发电控制的控制对象，因此记为气体控制体和液体控制器。

本实施例中，步骤 S1）中建立的发电阶段气体控制体（高压气系统、气液混合系统中的气体）和液体控制器（气液混合系统中的液体）的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程为：

$$\dot{X}=f\left(X,U_u\right),\ y=g\left(X\right)$$

其中，$\dot{X}$ 为状态变量的微分，X 为状态变量，U_u 为控制向量，$f\left(X,U_u\right)$ 为状态变量的微分 $\dot{X}$ 与状态变量 X 以及控制向量 U_u 两者的函数关系，y 为输出，$g\left(X\right)$ 为输出 y 与状态变量 X 之间的函数关系，且有：

$$X=\left[T_{B,gas},T_{A,gas},V_{B,gas},m_{A,gas},m_{B,gas},T_l,Z_l,T_{gas,T},T_{l,T}\right]^T,\ U_u=\left[u_1,u_2\right]^T$$

其中，$T_{B,gas},T_{A,gas}$ 分别为气液混合系统内气体控制体 B、气液混合系统内气体控制体 A 的温度，$V_{B,gas}$ 为气液混合系统内气体控制体 B 的体积，$m_{A,gas},m_{B,gas}$ 分别为气液混合系统内气体控制体 A、气液混合系统内气体控制体 B 的质量，T_l 为气液混合容器的液体温度，Z_l 为液体控制体的液位，$T_{gas,T}$ 为汽液混合容器器壁的温度，$T_{l,T}$ 为与液体控制体接触的容器器壁温度，u_1,u_2 为控制变量，且有：

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \left(k\dfrac{x_2}{x_5} - \dfrac{x_1}{x_5} \right) u_1 - \gamma_1 \dfrac{(x_1 - x_6)}{x_5} - \gamma_2 \dfrac{(x_1 - x_8)}{x_5} - \gamma_4 \dfrac{x_1}{x_3} u_2 \\ \dot{x}_2 = \left(-k\dfrac{x_2}{x_4} + \dfrac{x_2}{x_4} \right) u_1 - \gamma_3 \dfrac{(x_2 - x_8)}{x_4} \\ \dot{x}_3 = \dfrac{u_2}{\rho_w} \\ \dot{x}_4 = -u_1 \\ \dot{x}_5 = u_1 \\ \rho_l A_l c_l x_7 \dot{x}_6 = \left(\dfrac{y_1}{\rho_w} + c_l x_6 - c_l T_{out}^l \right) u_2 + \gamma_{12}(x_1 - x_6) - \gamma_{11}(x_6 - x_9) \\ \rho_l A_l \dot{x}_7 = -u_2 \\ \gamma_8 \dot{x}_8 = \gamma_9 (x_1 - x_8) - \gamma_{10}(x_8 - T_{amb}) \end{cases}$$

上式中，$\dot{x}_1 \sim \dot{x}_8$ 分别为状态变量 $x_1 \sim x_8$ 的微分，$x_1 \sim x_9$ 分别为状态变量，k 为空气比热容的比值，ρ_w 为液体控制器的密度，ρ_l 为液体控制体的密度 $\rho_l = \rho_w$，A_l 为液体控制体水平面的面积，c_l 为液体控制体的比热容，T_{out}^l 为液体控制体出口液体温度，y_1、$\gamma_1 \sim \gamma_4$ 以及 $\gamma_8 \sim \gamma_{12}$ 均为中间变量，T_{amb} 为环境温度；且有：

$u_1 = \dot{m}_{AB,gas}^{in,out}$，$u_2 = \dot{m}_{w,out}$，$m_{gas,T} c_T = \gamma_8$，$\dfrac{h_l A_l}{c_v^{B,gas}} = \gamma_1$，$\dfrac{UA_G}{c_v^{B,gas}} = \gamma_2$，$\dfrac{UA_G}{c_v^{A,gas}} = \gamma_3$，$\dfrac{R_g}{\rho_w c_v^{B,gas}} = \gamma_4$，

$\rho_l A_l = \gamma_5$，$h_{gas,T} A_{gas,T} = \gamma_9$，$h_o A_{o,gas} = \gamma_{10}$，$h_{l,T} A_{l,T} = \gamma_{11}$，$h_{gas,l} A_l = \gamma_{12}$，$y_1 = p_{B,gas} = \dfrac{x_1 x_5}{x_3} R_g$

上式中，$\dot{m}_{AB,gas}^{in,out}$ 为高压气系统内空气控制体 A、气液混合系统内空气控制体 B 之间的交换速率，$\dot{m}_{w,out}$ 为汽液混合容器内液体控制器的质量流出流率，$m_{gas,T}$ 为与空气接触的容器器壁控制体质量，c_T 为气液混合容器器壁的比热容，$c_v^{B,gas}$ 表示气液混合系统内空气控制体 B 的空气定容比热容，U 为与环境接触器壁的换热系数，A_G 为气液混合系统内空气控制体 B 与气体接触的器壁面积，$c_v^{A,gas}$ 表示气液混合系统内空气控制体 A 的空气定容比热容，R_g 为空气气体常数，ρ_w 为汽液混合容器内液体控制体的密度，$h_{gas,T}$ 为气体控制体与容壁之间的换热系数，$A_{gas,T}$ 为气体控制体与汽液混合容器器壁接触的面积，h_o 为气液混合容器器壁与外部环境之间换热系数，$A_{o,\mathrm{gas}}$ 为与气液混合容器内部空气接触的器壁暴露在外部环境的面积，$h_{l,T}$ 为液体与汽液混合容器器壁之间的换热系数，$A_{l,T}$ 为液体控制体与汽液混合容器器壁接触的面积，$p_{B,gas}$ 为气液混合系统内空气控制体 B 的压力。

本实施例中，步骤 S2）包括：

S2.1）根据当前状态变量值，发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程线性化，得到线性化方程：

$$\dot{X}=A(X_e)X+B(X_e)U，\ y=C(X_e)X_e$$

上式中，A 为系统矩阵，B为输入矩阵，C为输出矩阵，且有：

$$A(X_e)=\left.\frac{\partial f}{\partial X}\right|_{X=X_e},B(X_e)=\left.\frac{\partial f}{\partial U}\right|_{X=X_e},C(X_e)=\left.\frac{\partial y}{\partial u_1}\right|_{X=X_e}$$

其中，f为微分方程与状态变量X以及控制向量U之间的函数关系；

S2.2)将线性化方程转化为下式所示的当前时刻 t 的状态变量点 X_e的传递函数$G(s)$的状态空间方程：

$$G(s)=C(X_e)(sI-A)^{-1}B(X_e)$$

上式中，I为单位矩阵，A为系统矩阵；

S2.3）根据下式所示的 PID 控制规律传递函数$G_c(s)$和当前时刻 t 的状态变量点 X_e的传递函数$G(s)$获得当前时刻 t 的控制系统$\frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)}$的闭环特征方程根；

$$G_c(s)=K_p+\frac{K_i}{s}+\frac{K_d s}{T_{1v}s+1}$$

上式中，K_p, K_i, K_d为 PID 控制参数，T_{1v}为实际微分环节时间常数；

S2.4）以能确保控制系统$\frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)}$稳定的闭环特征方程根进行极点配置，建立闭环系统极点与 PID 参数的关系，从而求得 PID 控制参数 K_p, K_i, K_d。

此外，本实施例还提供一种用于应用前述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法的波动压力发电控制装置，包括：

控制单元，用于计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref}之差，并根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref}之差获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref}之差，并根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref}之差获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；

阀门控制模块，用于根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态；

所述控制单元的输出端与阀门控制模块相连，所述阀门控制模块用于与发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀的控制端相连。

本实施例中，所述控制单元包括：有功功率误差计算单元，用于计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差；有功功率闭环控制器，用于根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；气压误差计算单元，用于计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差；气压闭环控制器，用于根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号；求和模块，用于将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；所述有功功率误差计算单元的输出端与有功功率闭环控制器的输入端相连，所述气压闭环控制器的输出端与气压闭环控制器的输入端相连，所述有功功率闭环控制器、气压闭环控制器两者的输出端与求和模块的输入端相连，所述求和模块的输出端与阀门控制模块相连；所述有功功率闭环控制器、气压闭环控制器为 PID 控制器。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可读存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和／或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和／或方框图中的每一流程和／或方框、以及流程图和／或方框图中的流程和／或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和／或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

以上所述仅是本发明的优选实施方式，本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例，凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。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前提下的若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

权 利 要 求

1. 一种发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，包括：

1）计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差，并根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差，并根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；

2）根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态。

2. 根据权利要求 1 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，所述根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号是指通过将实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差输入有功功率闭环控制器以获取有功功率误差信号。

3. 根据权利要求 2 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，所述根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号是指通过将实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差输入气压闭环控制器以获取有功功率误差信号。

4. 根据权利要求 3 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，所述有功功率闭环控制器为 PID 控制器。

5. 根据权利要求 4 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，所述气压闭环控制器为 PID 控制器。

6. 根据权利要求 4 或 5 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，步骤 1）之前还包括对有功功率闭环控制器和气压闭环控制器进行参数设计的步骤：

S1）建立发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程：

S2）将发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程转化为传递函数，依据传递函数和 PID 参数的关系求解有功功率闭环控制器和气压闭环控制器的 PID 控制参数。

7. 根据权利要求 6 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，步骤 S1）中建立的发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程为：

$$\dot{X} = f\left(X, U_u\right),\ y = g\left(X\right)$$

其中，$\dot{X}$ 为状态变量的微分，X 为状态变量，U_u 为控制向量，$f\left(X, U_u\right)$ 为状态变量

的微分 $\dot{X}$ 与状态变量 X 以及控制向量 U_u 两者的函数关系，y 为输出，$g(X)$ 为输出 y 与状态变量 X 之间的函数关系，且有：

$$X=\left[T_{B,gas},T_{A,gas},V_{B,gas},m_{A,gas},m_{B,gas},T_l,Z_l,T_{gas,T},T_{l,T}\right]^T,\ U_u=\left[u_1,u_2\right]^T$$

其中，$T_{B,gas},T_{A,gas}$ 分别为气液混合系统内气体控制体 B、气液混合系统内气体控制体 A 的温度，$V_{B,gas}$ 为气液混合系统内气体控制体 B 的体积，$m_{A,gas},m_{B,gas}$ 分别为气液混合系统内气体控制体 A、气液混合系统内气体控制体 B 的质量，T_l 为气液混合容器的液体温度，Z_l 为液体控制体的液位，$T_{gas,T}$ 为汽液混合容器器壁的温度，$T_{l,T}$ 为与液体控制体接触的容器器壁温度，u_1,u_2 为控制变量，且有：

$$\begin{cases}\dot{x}_1=\left(k\dfrac{x_2}{x_5}-\dfrac{x_1}{x_5}\right)u_1-\gamma_1\dfrac{(x_1-x_6)}{x_5}-\gamma_2\dfrac{(x_1-x_8)}{x_5}-\gamma_4\dfrac{x_1}{x_3}u_2\\ \dot{x}_2=\left(-k\dfrac{x_2}{x_4}+\dfrac{x_2}{x_4}\right)u_1-\gamma_3\dfrac{(x_2-x_8)}{x_4}\\ \dot{x}_3=\dfrac{u_2}{\rho_w}\\ \dot{x}_4=-u_1\\ \dot{x}_5=u_1\\ \rho_l A_l c_l x_7\dot{x}_6=\left(\dfrac{y_1}{\rho_w}+c_l x_6-c_l T_{out}^l\right)u_2+\gamma_{12}(x_1-x_6)-\gamma_{11}(x_6-x_9)\\ \rho_l A_l\dot{x}_7=-u_2\\ \gamma_8\dot{x}_8=\gamma_9(x_1-x_8)-\gamma_{10}(x_8-T_{amb})\end{cases}$$

上式中，$\dot{x}_1\sim\dot{x}_8$ 分别为状态变量 $x_1\sim x_8$ 的微分，$x_1\sim x_9$ 分别为状态变量，k 为空气比热容的比值，ρ_w 为液体控制器的密度，ρ_l 为液体控制体的密度 $\rho_l=\rho_w$，A_l 为液体控制体水平面的面积，c_l 为液体控制体的比热容，T_{out}^l 为液体控制体出口液体温度，y_1、$\gamma_1\sim\gamma_4$ 以及 $\gamma_8\sim\gamma_{12}$ 均为中间变量，T_{amb} 为环境温度；且有：

$$u_1=\dot{m}_{AB,gas}^{in,out},\ u_2=\dot{m}_{w,out},\ m_{gas,T}c_T=\gamma_8,\ \frac{h_l A_l}{c_v^{B,gas}}=\gamma_1,\ \frac{UA_G}{c_v^{B,gas}}=\gamma_2,\ \frac{UA_G}{c_v^{A,gas}}=\gamma_3,\ \frac{R_g}{\rho_w c_v^{B,gas}}=\gamma_4,$$

$$\rho_l A_l=\gamma_5,\ h_{gas,T}A_{gas,T}=\gamma_9,\ h_o A_{o,gas}=\gamma_{10},\ h_{l,T}A_{l,T}=\gamma_{11},\ h_{gas,l}A_l=\gamma_{12},\ y_1=p_{B,gas}=\frac{x_1x_5}{x_3}R_g$$

上式中，$\dot{m}_{AB,gas}^{in,out}$ 为高压气系统内空气控制体 A、气液混合系统内空气控制体 B 之间的交换速率，$\dot{m}_{w,out}$ 为汽液混合容器内液体控制器的质量流出流率，$m_{gas,T}$ 为与空气接触的容器器壁控制体质量，c_T 为气液混合容器器壁的比热容，$c_v^{B,gas}$ 表示气液混合系统内空气控制体

B 的空气定容比热容，U 为与环境接触器壁的换热系数，A_G 为气液混合系统内空气控制体 B 与气体接触的器壁面积，$c_v^{A,gas}$ 表示气液混合系统内空气控制体 A 的空气定容比热容，R_g 为空气气体常数，ρ_w 为汽液混合容器内液体控制体的密度，$h_{gas,T}$ 为气体控制体与容壁之间的换热系数，$A_{gas,T}$ 为气体控制体与汽液混合容器器壁接触的面积，h_o 为气液混合容器器壁与外部环境之间换热系数，$A_{o,\mathrm{gas}}$ 为与气液混合容器内部空气接触的器壁暴露在外部环境的面积，$h_{l,T}$ 为液体与汽液混合容器器壁之间的换热系数，$A_{l,T}$ 为液体控制体与汽液混合容器器壁接触的面积，$p_{B,gas}$ 为气液混合系统内空气控制体 B 的压力。

8. 根据权利要求 7 所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法，其特征在于，步骤 S2）包括：

S2.1）根据当前状态变量值，发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性的非线性微分方程线性化，得到线性化方程：

$$\dot{X}=A(X_e)X+B(X_e)U，\ y=C(X_e)X_e$$

上式中，A 为系统矩阵，B 为输入矩阵，C 为输出矩阵，且有：

$$A(X_e)=\left.\frac{\partial f}{\partial X}\right|_{X=X_e},B(X_e)=\left.\frac{\partial f}{\partial U}\right|_{X=X_e},C(X_e)=\left.\frac{\partial y}{\partial u_1}\right|_{X=X_e}$$

其中，f 为微分方程与状态变量 X 以及控制向量 U 之间的函数关系；

S2.2)将线性化方程转化为下式所示的当前时刻 t 的状态变量点 X_e 的传递函数 $G(s)$ 的状态空间方程：

$$G(s)=C(X_e)(sI-A)^{-1}B(X_e)$$

上式中，I 为单位矩阵，A 为系统矩阵；

S2.3）根据下式所示的 PID 控制规律传递函数 $G_c(s)$ 和当前时刻 t 的状态变量点 X_e 的传递函数 $G(s)$ 获得当前时刻 t 的控制系统 $\frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)}$ 的闭环特征方程根；

$$G_c(s)=K_p+\frac{K_i}{s}+\frac{K_d s}{T_{1v}s+1}$$

上式中，K_p, K_i, K_d 为 PID 控制参数，T_{1v} 为实际微分环节时间常数；

S2.4）以能确保控制系统 $\frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)}$ 稳定的闭环特征方程根进行极点配置，建立闭环系统极点与 PID 参数的关系，从而求得 PID 控制参数 K_p, K_i, K_d。

9. 一种用于应用权利要求 1～8 中任意一项所述的发电-储能系统的波动压力发电控制方法的波动压力发电控制装置，其特征在于，包括：

控制单元，用于计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差，并根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差，并根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号，将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；

阀门控制模块，用于根据多变量控制控制信号控制发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀在发电阶段的工作状态；

所述控制单元的输出端与阀门控制模块相连，所述阀门控制模块用于与发电-储能系统的高压气系统、气液混合系统两者之间的气压调节阀的控制端相连。

10. 根据权利要求 9 所述的波动压力发电控制装置，其特征在于，所述控制单元包括：有功功率误差计算单元，用于计算实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差；有功功率闭环控制器，用于根据实测功率值 N_{meas}、目标功率值 N_{ref} 之差获取有功功率误差信号；气压误差计算单元，用于计算实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差；气压闭环控制器，用于根据实际气压 P_{mea}、设定气压值 P_{ref} 之差获取气压误差信号；求和模块，用于将有功功率误差信号、气压误差信号求和得到多变量控制控制信号；所述有功功率误差计算单元的输出端与有功功率闭环控制器的输入端相连，所述气压闭环控制器的输出端与气压闭环控制器的输入端相连，所述有功功率闭环控制器、气压闭环控制器两者的输出端与求和模块的输入端相连，所述求和模块的输出端与阀门控制模块相连；所述有功功率闭环控制器、气压闭环控制器为 PID 控制器。

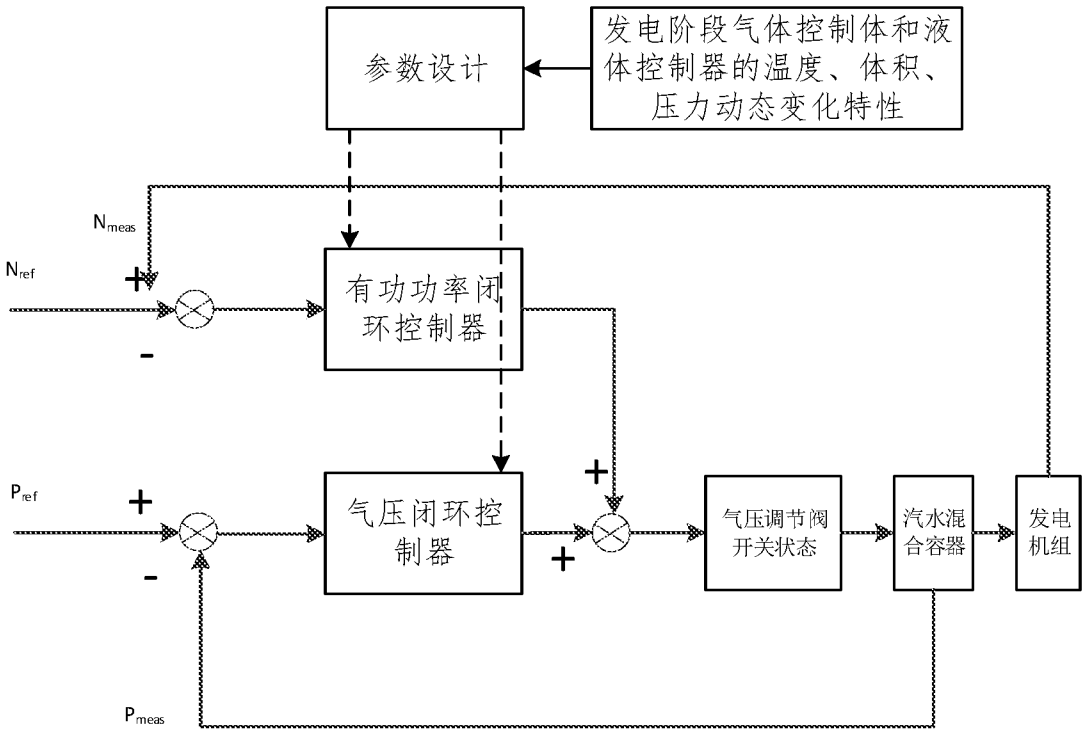
参数设计
发电阶段气体控制体和液体控制器的温度、体积、压力动态变化特性
N_{meas}
N_{ref}
有功功率闭环控制器
P_{ref}
气压闭环控制器
气压调节阀开关状态
汽水混合容器
发电机组
P_{meas}

图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/124986

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N 2/18(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02N H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 发电, 储能, 蓄能, 气压, 压力, 气压, 功率, 气, 液, 水, 设定, 给定, 预定, 参考, 预设, 阈值, 标准, 期望, 压缩, 高压, CAES, pressure, power, generat+, energy, storage, air, press+, preset, reference, predetermined, threshold

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113904588 A (STATE GRID HUNAN ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 07 January 2022 (2022-01-07) claims 1-10	1-10
PX	CN 114094568 A (STATE GRID HUNAN ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 25 February 2022 (2022-02-25) description, paragraphs [0042]-[0072], and figure 1	1-5, 9-10
X	CN 112596394 A (HUADIAN ZHENGZHOU MECHANICAL DESIGN INSTITUTE CO., LTD. et al.) 02 April 2021 (2021-04-02) description, paragraphs [0030]-[0050], and figures 1-2	1-5, 9-10
A	CN 107923258 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 17 April 2018 (2018-04-17) entire document	1-10
A	CN 211975319 U (STATE GRID HUNAN ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 20 November 2020 (2020-11-20) entire document	1-10
A	US 2016069599 A1 (DANFOSS A/S) 10 March 2016 (2016-03-10) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
05 December 2022	**15 December 2022**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/124986

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 113904588 A	07 January 2022	None	
CN 114094568 A	25 February 2022	None	
CN 112596394 A	02 April 2021	CN 214704337 U	12 November 2021
CN 107923258 A	17 April 2018	WO 2017030027 A1	23 February 2017
		JP 2017036721 A	16 February 2017
		KR 20170139653 A	19 December 2017
		EP 3293364 A1	14 March 2018
CN 211975319 U	20 November 2020	CN 111396288 A	10 July 2020
US 2016069599 A1	10 March 2016	WO 2014177957 A1	06 November 2014
		CN 105190198 A	23 December 2015
		EP 2992276 A1	09 March 2016

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/124986

A. 主题的分类

H02N 2/18(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02N H02J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

WPI，EPODOC，CNPAT，CNKI：发电，储能，蓄能，气压，压力，气压，功率，气，液，水，设定，给定，预定，参考，预设，阈值，标准，期望，压缩，高压，CAES，pressure，power，generat+，energy，storage，air，press+，preset，reference，predetermined，threshold

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 113904588 A (国网湖南省电力有限公司 等) 2022年1月7日 (2022-01-07) 权利要求1-10	1-10
PX	CN 114094568 A (国网湖南省电力有限公司 等) 2022年2月25日 (2022-02-25) 说明书第[0042]-[0072]段、附图1	1-5，9-10
X	CN 112596394 A (华电郑州机械设计研究院有限公司 等) 2021年4月2日 (2021-04-02) 说明书第[0030]-[0050]段、附图1-2	1-5，9-10
A	CN 107923258 A (三菱重工业株式会社) 2018年4月17日 (2018-04-17) 全文	1-10
A	CN 211975319 U (国网湖南省电力有限公司 等) 2020年11月20日 (2020-11-20) 全文	1-10
A	US 2016069599 A1 (DANFOSS A/S) 2016年3月10日 (2016-03-10) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2022年12月5日	2022年12月15日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 方蕾 电话号码 86-(10)-53961493

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/124986

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	113904588	A	2022年1月7日	无			
CN	114094568	A	2022年2月25日	无			
CN	112596394	A	2021年4月2日	CN	214704337	U	2021年11月12日
CN	107923258	A	2018年4月17日	WO	2017030027	A1	2017年2月23日
				JP	2017036721	A	2017年2月16日
				KR	20170139653	A	2017年12月19日
				EP	3293364	A1	2018年3月14日
CN	211975319	U	2020年11月20日	CN	111396288	A	2020年7月10日
US	2016069599	A1	2016年3月10日	WO	2014177957	A1	2014年11月6日
				CN	105190198	A	2015年12月23日
				EP	2992276	A1	2016年3月9日