



1. 一种核电站汽轮机控制系统的调试方法,其特征在于,所述调试方法包括:

建立核电站汽轮机控制系统仿真模型,所述仿真模型至少包括仿真调试装置,所述仿真调试装置采用软件模拟汽轮机热工水力特性和汽轮机阀门的流量曲线特性,建立用于汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验不同的运行工况下仿真试验的数学模型;

将核电站汽轮机控制系统与所述仿真模型相连,所述核电站汽轮机控制系统至少包括汽轮机调节子系统(GRE)、汽轮机保护子系统(GSE)、汽轮机监视子系统(GME)、汽轮机轴封子系统(CET)、汽轮机调节油子系统(GFR)、汽轮机顶轴和盘车子系统(GGR)、发电机密封油子系统(GHE)、汽轮机蒸汽和疏水子系统(GPV)、发电机氢气冷却子系统(GRH)、发电机氢气供应子系统(GRV)、发电机定子冷却水子系统(GST)、汽轮机润滑油处理子系统(GTH)、以及汽水分离再热器子系统(GSS)中的一个;

通过所述仿真调试装置对各子系统进行仿真调试;

根据仿真调试的结果对所述各子系统的功能进行验证。

2. 根据权利要求1所述的调试方法,其特征在于,所述将核电站汽轮机控制系统与所述仿真模型相连,包括:

将核电站汽轮机控制系统通过“硬接线”方式与所述仿真模型相连。

3. 根据权利要求2所述的调试方法,其特征在于,所述通过所述仿真调试装置对各子系统进行仿真调试,包括:

通过所述仿真调试装置对各子系统运行的功能进行调试。

4. 根据权利要求3所述的调试方法,其特征在于,所述根据仿真调试的结果对所述各子系统的功能进行验证,包括:

根据调试的结果对所述各子系统的软件逻辑功能进行测试和/或代码纠错。

5. 根据权利要求4所述的调试方法,其特征在于,所述仿真调试装置总体I/O规模可以设置为500点。

6. 一种核电站汽轮机控制系统的调试装置,其特征在于,所述调试装置包括:

建立模块,用于根据软件模拟汽轮机热工水力特性和汽轮机阀门的流量曲线特性,建立用于汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验不同的运行工况下仿真试验的数学模型;

连接模块,用于与待调试设备进行连接;

调试模块,用于仿真调试待调试设备的控制功能;

验证模块,用于根据仿真调试的结果对所述待调试设备的功能进行验证。

7. 根据权利要求6所述的调试装置,其特征在于,所述调试装置还包括:

扩展模块,用于对所述数学模型进行扩展,所述扩展至少包括模型参数的修改、模型维护以及模型升级中的一种。

8. 根据权利要求6所述的调试装置,其特征在于,所述待调试设备至少包括汽轮机调节子系统(GRE)、汽轮机保护子系统(GSE)、汽轮机监视子系统(GME)、汽轮机轴封子系统(CET)、汽轮机调节油子系统(GFR)、汽轮机顶轴和盘车子系统(GGR)、发电机密封油子系统(GHE)、汽轮机蒸汽和疏水子系统(GPV)、发电机氢气冷却子系统(GRH)、发电机氢气供应子系统(GRV)、发电机定子冷却水子系统(GST)、汽轮机润滑油处理子系统(GTH)、以及汽水分离再热器子系统(GSS)中的一个。

9. 根据权利要求6或7所述的调试装置,其特征在于,所述调试装置还包括:

I/O模块,用于将核电站汽轮机控制系统与所述数学模型相连。

10. 根据权利要求9所述的调试装置,其特征在于,所述I/O模块规模可以设置为500点。

## 核电站汽轮机控制系统的调试方法、装置及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于核电设计领域,更具体地说,本发明涉及一种核电站汽轮机控制系统的调试方法、装置及系统。

### 背景技术

[0002] 核电半速汽轮机是核电厂机组运行控制的关键,核电站半速汽轮机在机组实际调试启动前,由于汽轮机控制系统尚未与实体设备相连而不能建立动态/瞬态工况,难以暴露和纠正与上游设计、人因错误相关的诸多问题,无法评估汽机控制系统的设计及动态特性。因此,汽轮机组的调试非常必要。

[0003] 汽轮机组的调试与反应堆的运行工况息息相关,具有技术难、风险大、接口多的特点,其调试周期和调试质量将会直接影响整个机组的冲转、并网和商运的进度与安全。目前,国内许多在运、在建核电机组大多采用了阿尔斯通汽轮机组技术,阿尔斯通半速汽轮机仿真调试装置采用PC机和I/O数字化模型,将系统平台切换至仿真模式来进行仿真测试,阿尔斯通半速汽轮机仿真装置有以下特点:1)模型参数可修改、维护及升级,采用硬接线接入仿真系统,所有接线汇总到2-3根多芯多束屏蔽电缆,使用HARTING重载插座连接,整套仿真器置于小车上,可灵活运动;2)仿真装置内部PLC系统配置有HMI,通过网线连接,可对PLC组态,以及在线显示当前运行状态和设定各输出参数;3)各种汽机跳闸指令通过手操盘给定,带灯自锁按钮操作更加方便和直观。4)通过I/O数字化模件仿真各类模拟量、数字量信号,达到仿真测试目的。但是,阿尔斯通半速汽轮机的仿真调试装置并未建立汽轮机模型,不能进行机组冲转、升负荷、甩负荷、机组停运等动态功能的仿真测试;同时,由于阿尔斯通半速汽轮机的仿真调试装置采用系统平台切换至仿真模式来达到仿真模拟的功能要求,存在跟踪性差、部分仿真试验结果与设想偏差大、堆机不同步、无法整体验证等固有缺陷。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于:提供一种核电站汽轮机控制系统的调试方法、装置及系统,其在核电站汽轮机控制系统的调试过程中,在核电站半速汽轮机在机组实际调试启动前,使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验证,可实现对核电厂调试方案的优化,缩短调试工期、降低核电机组启动后汽轮机意外停机风险和反应堆意外跳堆的风险。

[0005] 为了实现上述发明目的,本发明提供了一种核电站汽轮机控制系统的调试方法,其包括:

[0006] 建立核电站汽轮机控制系统仿真模型,所述仿真模型至少包括仿真调试装置,所述仿真调试装置采用软件模拟汽轮机热工水力特性和汽轮机阀门的流量曲线特性,建立用于汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验不同的运行工况下仿真试验的数学模型;

[0007] 将核电站汽轮机控制系统与所述仿真模型相连,所述核电站汽轮机控制系统至少包括汽轮机调节子系统(GRE)、汽轮机保护子系统(GSE)、汽轮机监视子系统(GME)、汽轮机

轴封子系统 (CET)、汽轮机调节油子系统 (GFR)、汽轮机顶轴和盘车子系统 (GGR)、发电机密封油子系统 (GHE)、汽轮机蒸汽和疏水子系统 (GPV)、发电机氢气冷却子系统 (GRH)、发电机氢气供应子系统 (GRV)、发电机定子冷却水子系统 (GST)、汽轮机润滑油处理子系统 (GTH)、以及汽水分离再热器子系统 (GSS) 中的一个;

[0008] 通过所述仿真调试装置对各子系统进行仿真调试;

[0009] 根据仿真调试的结果对所述各子系统的功能进行验证。

[0010] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法的一种改进,所述建立核电站汽轮机控制系统仿真模型,包括:

[0011] 建立用于核电站汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验运行工况下仿真试验的数学模型。

[0012] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法的一种改进,所述将核电站汽轮机控制系统与所述仿真模型相连,包括:

[0013] 将核电站汽轮机控制系统通过“硬接线”方式与所述仿真模型相连。

[0014] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法的一种改进,所述通过所述仿真调试装置对各子系统进行仿真调试,包括:

[0015] 通过所述仿真调试装置对各子系统运行的功能进行调试。

[0016] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法的一种改进,所述根据仿真调试的结果对所述各子系统的功能进行验证,包括:

[0017] 根据调试的结果对所述各子系统的软件逻辑功能进行测试和/或代码纠错。

[0018] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法的一种改进,所述仿真调试装置总体I/O规模可以设置为500点。

[0019] 为了实现上述发明目的,本发明还提供了一种核电站汽轮机控制系统的调试装置,其包括:

[0020] 建立模块,用于根据软件模拟汽轮机热工水力特性和汽轮机阀门的流量曲线特性,建立用于汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验不同的运行工况下仿真试验的数学模型;

[0021] 连接模块,用于与待调试设备进行连接;

[0022] 调试模块,用于仿真调试待调试设备的控制功能;

[0023] 验证模块,用于根据仿真调试的结果对所述待调试设备的功能进行验证。

[0024] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试装置的一种改进,所述装置还包括:

[0025] 扩展模块,用于对所述数学模型进行扩展,所述扩展至少包括模型参数的修改、模型维护以及模型升级中的一种。

[0026] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试装置的一种改进,所述待调试设备至少包括汽轮机调节子系统 (GRE)、汽轮机保护子系统 (GSE)、汽轮机监视子系统 (GME)、汽轮机轴封子系统 (CET)、汽轮机调节油子系统 (GFR)、汽轮机顶轴和盘车子系统 (GGR)、发电机密封油子系统 (GHE)、汽轮机蒸汽和疏水子系统 (GPV)、发电机氢气冷却子系统 (GRH)、发电机氢气供应子系统 (GRV)、发电机定子冷却水子系统 (GST)、汽轮机润滑油处理子系统 (GTH)、以及汽水分离再热器子系统 (GSS) 中的一个。

[0027] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试装置的一种改进,所述装置还包括:

[0028] I/O模块,用于将核电站汽轮机控制系统与所述数学模型相连。

[0029] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试装置的一种改进,所述调整模块调整所述预先设置的仿真模型,包括:调整所述仿真模型的仿真参数。

[0030] 作为本发明核电站汽轮机控制系统的调试系统的一种改进,所述I/O模块规模可以设置为500点。

[0031] 与现有技术相比,本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法、装置及系统具有以下有益技术效果:在核电站半速汽轮机在机组实际调试启动前,使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验证,实现了对核电厂调试方案的优化,缩短了调试工期、降低了核电机组启动后汽轮机意外停机风险和反应堆意外跳堆的风险;此外,还实现了在调试阶段对汽轮机控制系统软、硬件的功能验证,有效检验汽轮机控制系统的设计功能,完成动态参数的调整和优化、降低机组风险、有效保障机组安全。

## 附图说明

[0032] 下面结合附图和具体实施方式,对本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法、装置及系统进行详细说明,其中:

[0033] 图1提供了本发明核电站汽轮机控制系统的调试方法一个实施例的流程图。

[0034] 图2提供了本发明核电站汽轮机控制系统的调试装置一个实施例的示意图。

[0035] 图3提供了本发明核电站汽轮机控制系统的调试系统一个实施例的示意图。

## 具体实施方式

[0036] 为了使本发明的发明目的、技术方案及其有益技术效果更加清晰,以下结合附图和具体实施方式,对本发明进行进一步详细说明。应当理解的是,本说明书中描述的具体实施方式仅仅是为了解释本发明,并非为了限定本发明。

[0037] 本发明研发的核电西门子半速汽轮机数字化仿真调试装置,基于XDC800系统平台,开发了一套可应用于核电西门子半速汽轮机仿真测试的数字化仿真系统。该仿真系统是开放性式的系统架构,总体结构体现分组、分层、分块的思想,将平台划分为构件化的技术平台和面向对象的应用平台。

[0038] 图1提供了一种核电站汽轮机控制系统的调试方法,具体包括:

[0039] 步骤101,建立核电站汽轮机控制系统仿真模型,所述仿真模型至少包括仿真调试装置。

[0040] 为了对核电站汽轮机控制系统进行和各个子系统功能验证,建立核电站汽轮机控制系统仿真模型仿真汽轮发电机组从启动、冲转、并网、升负荷、甩负荷至停运等不同运行工况(包括各种瞬态工况)下的控制功能,实现其逻辑功能的验证。核电站汽轮机控制系统仿真模型至少包括仿真调试装置,仿真调试装置具体可以如表1配置:

[0041] 表1仿真调试装置配置

[0042]

序号	名称	说明	数量	单位
一、操作测试终端/服务器				

[0043]

1	测试终端	分辨率大于 1280×1024 处理器 I7/大容量内存, 要求大于 2G/1G 显存/硬盘 500G/操作系统为 32 位操作系统(XP)	1	台
2	服务器	高性能微处理机	1	台
<b>二、#1 标准试验台</b>				
1	冗余 CPU	标准配置	2	块
2	其它接口卡	标准配置		块
3	AI 智能模件	8 点模拟量输入, 4~20mA	15	块
4	AO 智能模件	8 点模拟量输出	10	块
5	DI 智能模件	16 点开关量输入(干接点或 48VDC 有源)	13	块
6	DO 智能模件	16 点开关量输出	10	块
7	DO 端子板	16 路开关量输出端子板(220VAC 带隔离继电器)	10	块
8	模件底座		60	块
9	电源模块	24V 电源模件	10	只
<b>三、电缆及光缆</b>				
1	电缆	电源、接地、I/O 等电缆, 标准电缆接口	2	套
2	网线	通讯	2	套
<b>四、其它</b>				
1	可移动测试小车	800X400X1200	1	台
2	服务器		1	台
3	侧门板		4	块
4	电源模件	24V 电源模件	4	块
5	交换机	双五口	2	台

[0044] 步骤103,将核电站汽轮机控制系统与所述仿真模型相连,所述核电站汽轮机控制系统至少包括汽轮机调节子系统(GRE)、汽轮机保护子系统(GSE)、汽轮机监视子系统(GME)、汽轮机轴封子系统(CET)、汽轮机调节油子系统(GFR)、汽轮机顶轴和盘车子系统(GGR)、发电机密封油子系统(GHE)、汽轮机蒸汽和疏水子系统(GPV)、发电机氢气冷却子系统(GRH)、发电机氢气供应子系统(GRV)、发电机定子冷却水子系统(GST)、汽轮机润滑油处理子系统(GTH)、以及汽水分离再热器子系统(GSS)中的一个;将核电站汽轮机控制系统通过“硬接线”方式与所述仿真模型相连。

[0045] 步骤105,通过所述仿真调试装置对各子系统进行仿真调试。

[0046] 仿真调试装置采用软件模拟汽轮机热工水力特性和汽轮机阀门的流量曲线特性,建立用于汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验等不同的运行工况下仿真试验的数学模型。它应能产生汽轮机控制所需的过程变量,如温度、压力等,应包括汽轮机、发电机、凝汽器、汽水分离再热汽、电网、汽轮机阀门等系统和主要设备的动态特性。仿真调试装置的模型参数具有扩展性,即可修改、维护和升级。所述通过所述仿真调试装置对各子系统运行的功能进行调试。

[0047] 步骤107,根据仿真调试的结果对所述各子系统的功能进行验证。

[0048] 根据调试的结果对所述各子系统的软件逻辑功能进行测试和/或代码纠错。

[0049] 仿真调试装置总体I/O规模可以设置为500点,各类型I/O统计表如表2所示。

[0050] 表2各类型I/O统计表

[0051]

测点类型	要求点数	卡件数	余量(%)
AI (4-20mA)	120	15	10%
DI (24VDC查询电压)	150	10	10%
AO (4-20mA)	80	10	10%
DO (干接点)	120	10	10%
PI (脉冲输入)	30	3	10%
合计	500	48	10%

[0052] 本发明实施例通过使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验证,在核电站半速汽轮机在机组实际调试启动前,使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验证,实现了对核电厂调试方案的优化,缩短了调试工期、降低了核电机组启动后汽轮机意外停机风险和反应堆意外跳堆的风险;同时,实现在调试阶段对汽轮机控制系统软、硬件的功能验证,有效检验汽轮机控制系统的设计功能,完成动态参数的调整和优化、降低机组风险、有效保障机组安全。

[0053] 请结合参看图2,图2提供了一种核电站汽轮机控制系统的调试装置的一个实施例,其包括建立模块201、连接模块203、调试模块205、验证模块207。具体的:

[0054] 建立模块201,用于建立核电站汽轮机控制系统数学模型;

[0055] 连接模块203,用于与待调试设备进行连接;

[0056] 调试模块205,用于仿真调试待调试设备的控制功能;

[0057] 该仿真调试装置能仿真汽轮发电机组从启动、冲转、并网、升负荷、甩负荷至停运等不同运行工况(包括各种瞬态工况)下的控制功能,实现其逻辑功能的验证。此装置不仅能单独完成TCS的基本开/闭环功能测试,也可完成“堆跟机”模式下TCS与RGL/RPR等系统的联合运行测试。仿真调试装置实现了下列动态功能的控制和逻辑功能验证:汽轮机发电机组挂闸/复位、汽轮机发电机组盘车、汽轮发电机组从冷态启动至满负荷、汽轮发电机组从热态启动至满负荷、冲转、同期/并网、超速试验、汽轮发电机组停机功能(从运行工况至冷备用或热备用)、汽轮发电机组快速甩负荷/厂用电试验、汽轮发电AGC功能、阀门定期试验和严密性试验、Runback试验、负荷限制功能试验、ATT功能、TAB功能、GSS控制功能以及GGR控制功能等。

[0058] 验证模块207,用于根据仿真调试的结果对所述各子系统的功能进行验证。

[0059] 可选的,该装置可以包括扩展模块,用于对所述数学模型进行扩展,所述扩展至少包括模型参数的修改、模型维护以及模型升级中的一种。

[0060] 前述待调试设备至少包括汽轮机调节子系统(GRE)、汽轮机保护子系统(GSE)、汽轮机监视子系统(GME)、汽轮机轴封子系统(CET)、汽轮机调节油子系统(GFR)、汽轮机顶轴和盘车子系统(GGR)、发电机密封油子系统(GHE)、汽轮机蒸汽和疏水子系统(GPV)、发电机氢气冷却子系统(GRH)、发电机氢气供应子系统(GRV)、发电机定子冷却水子系统(GST)、汽轮机润滑油处理子系统(GTH)、以及汽水分离再热器子系统(GSS)中的一个。

[0061] 进一步的,该装置还可以包括:I/O模块,I/O模块用于将核电站汽轮机控制系统与所述数学模型相连。I/O模块规模可以设置为500点。

[0062] 本发明实施例通过使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验



证,在核电站半速汽轮机在机组实际调试启动前,使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验证,实现了对核电厂调试方案的优化,缩短了调试工期、降低了核电机组启动后汽轮机意外停机风险和反应堆意外跳堆的风险;同时,实现在调试阶段对汽轮机控制系统软、硬件的功能验证,有效检验汽轮机控制系统的设计功能,完成动态参数的调整和优化、降低机组风险、有效保障机组安全。

[0063] 请结合参看图3,图3提供了一种核电站汽轮机控制系统的调试系统一个实施例的示意图,其包括核电站汽轮机控制系统仿真模型301和核电站汽轮机控制系统303。

[0064] 核电站汽轮机控制系统仿真模型301,用于对核电站汽轮机控制系统303进行仿真调试,根据仿真调试的结果对所述核电站汽轮机控制系统303的功能进行验证。

[0065] 该仿真模型能仿真汽轮发电机组从启动、冲转、并网、升负荷、甩负荷至停运等不同运行工况(包括各种瞬态工况)下的控制功能,实现其逻辑功能的验证。此装置不仅能单独完成TCS的基本开/闭环功能测试,也可完成“堆跟机”模式下TCS与RGL/RPR等系统的联合运行测试。仿真调试装置实现了下列动态功能的控制和逻辑功能验证:汽轮机发电机组挂闸/复位、汽轮机发电机组盘车、汽轮发电机组从冷态启动至满负荷、汽轮发电机组从热态启动至满负荷、冲转、同期/并网、超速试验、汽轮发电机组停机功能(从运行工况至冷备用或热备用)、汽轮发电机组快速甩负荷/厂用电试验、汽轮发电机AGC功能、阀门定期试验和严密性试验、Runback试验、负荷限制功能试验、ATT功能、TAB功能、GSS控制功能以及GGR控制功能等等。

[0066] 核电站汽轮机控制系统303,与核电站汽轮机控制系统仿真模型301相连,用于接受所述核电站汽轮机控制系统仿真模型的仿真调试。

[0067] 核电站汽轮机控制系统仿真模型301具体用于核电站汽轮机冲转、并网、带负荷和瞬态试验运行工况下仿真试验的数学模型。

[0068] 核电站汽轮机控制系统303通过“硬接线”方式与核电站汽轮机控制系统仿真模型301相连。

[0069] 根据调试的结果对核电站汽轮机控制系统301的软件逻辑功能进行测试和/或代码纠错。

[0070] 本发明实施例核电站汽轮机控制系统的调试系统能仿真汽轮发电机组从启动、冲转、并网、升负荷、甩负荷至停运等不同运行工况(包括各种瞬态工况)下的控制功能,实现其逻辑功能的验证。此装置不仅能单独完成TCS的基本开/闭环功能测试,也可完成“堆跟机”模式下TCS与RGL/RPR等系统的联合运行测试。

[0071] 系统的实施方法和流程可以参见前述实施例中介绍的方法实施例,此处不再赘述。

[0072] 结合以上对本发明的详细描述可以看出,相对于现有技术,本发明至少具有以下有益技术效果:在核电站半速汽轮机在机组实际调试启动前,使用仿真模型与汽机控制系统实现连接,提前进行系统功能验证,实现了对核电厂调试方案的优化,缩短了调试工期、降低了核电机组启动后汽轮机意外停机风险和反应堆意外跳堆风险;同时,实现在调试阶段对汽轮机控制系统软、硬件的功能验证,有效检验汽轮机控制系统的设计功能,完成动态参数的调整和优化、达到大大降低机组风险、有效保障机组安全。

[0073] 根据上述原理,本发明还可以对上述实施方式进行适当的变更和修改。因此,本发

明并不局限于上面揭示和描述的具体实施方式,对本发明的一些修改和变更也应当落入本发明的权利要求的保护范围内。此外,尽管本说明书中使用了一些特定的术语,但这些术语只是为了方便说明,并不对本发明构成任何限制。

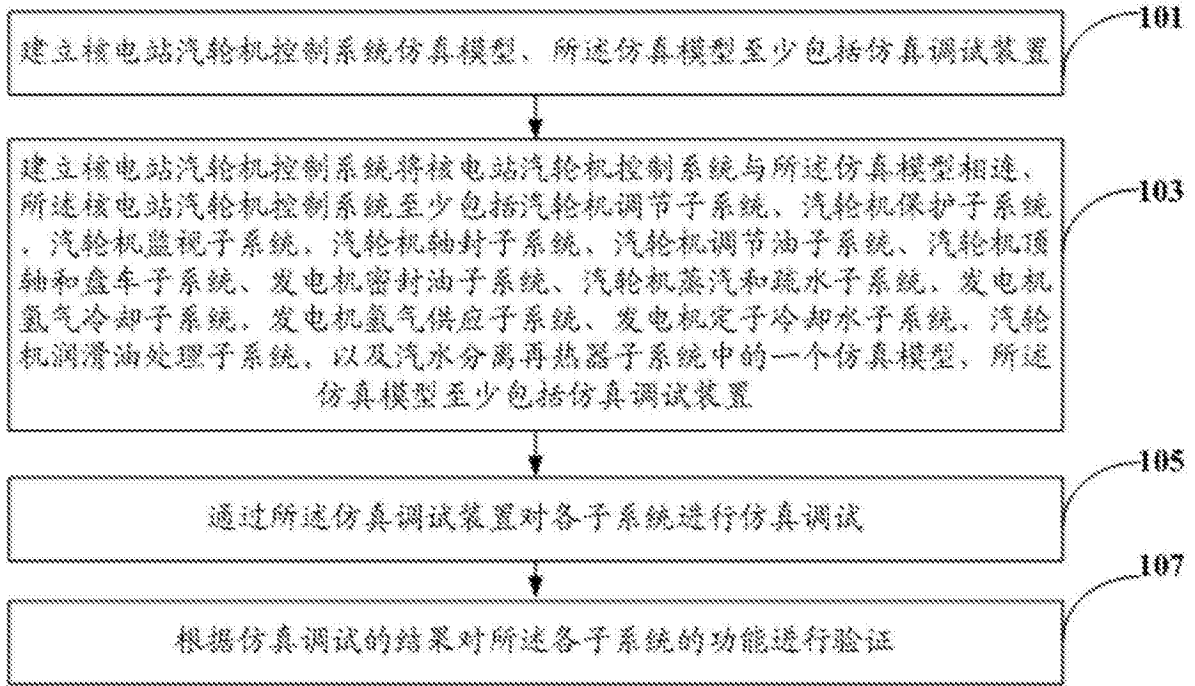


图1

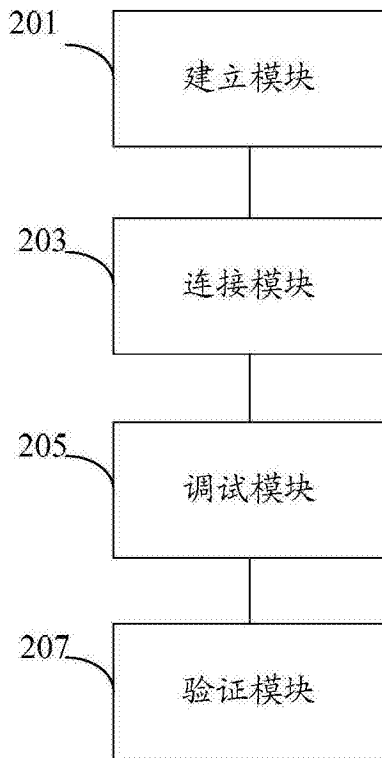


图2

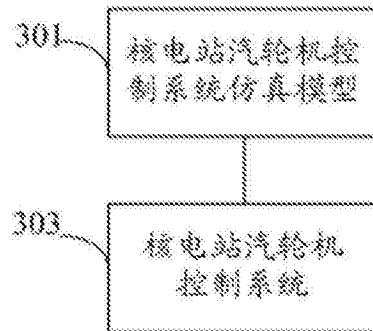


图3