(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113339251 A
(43)申请公布日 2021.09.03

(21)申请号 202110783699.3

(22)申请日 2021.07.12

(71)申请人 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司
地址 610072 四川省成都市青羊区浣花北路1号
申请人 华能新疆托什干河亚曼苏水电分公司

(72)发明人 时天富 赵龙 孙文彬 李勇 龚军 辛景峰 陈向东 史新宇 崔莹莹 丁俊

(74)专利代理机构 成都虹桥专利事务所(普通合伙) 51124
代理人 吴中伟

(51)Int.Cl.
F04B 51/00(2006.01)
F04B 49/06(2006.01)
F04B 49/22(2006.01)
F04B 53/00(2006.01)
F04B 53/10(2006.01)
F03B 11/00(2006.01)
F03B 13/00(2006.01)

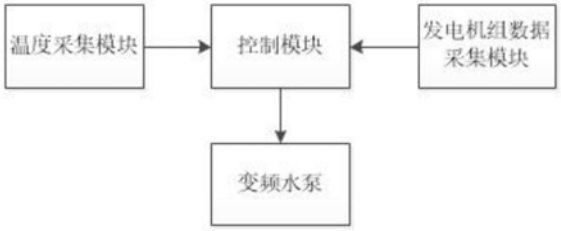
权利要求书1页 说明书11页 附图1页

(54)发明名称

变频节能供水自动控制系统及方法

(57)摘要

本发明涉及供水控制领域，具体涉及一种变频节能供水自动控制系统及方法，实现了根据进水温度和发电机组的负荷来自动调整变频水泵的频率，极大地提高了水资源的利用率，同时节约了电能。变频节能供水自动控制系统，变频节能供水自动控制系统，应用于对水电站发电机组的冷却降温，包括供水装置、变频水泵、温度采集模块、发电机组数据采集模块以及控制模块，所述供水装置包括进水管，所述控制模块分别与温度采集模块、发电机组数据采集模块以及变频水泵连接，所述温度采集模块设置在进水管上，所述控制模块用于根据进水温度以及发电机组的负荷数据来调整变频水泵的频率。本发明适用于变频节能供水。



CN 113339251 A

1.变频节能供水自动控制系统,应用于对水电站发电机组的冷却降温,包括供水装置,所述供水装置包括进水管,其特征在于,还包括变频水泵、温度采集模块、发电机组数据采集模块以及控制模块,控制模块分别与温度采集模块、发电机组数据采集模块以及变频水泵连接,所述温度采集模块设置在进水管上,所述控制模块用于根据进水温度以及发电机组的负荷数据来调整变频水泵的频率。

2.根据权利要求1所述的变频节能供水自动控制系统,其特征在于,所述温度采集模块为RTD。

3.根据权利要求2所述的变频节能供水自动控制系统,其特征在于,还包括电磁流量计以及电动流量调节阀,所述电磁流量计与控制模块连接,所述电动流量调节阀由控制模块控制,所述供水装置的进水管上均设置有电磁流量计与电动流量调节阀。

4.根据权利要求3任意一项所述的变频节能供水自动控制系统,其特征在于,所述进水管上的电动流量调节阀设置有带开度反馈的变送器。

5.根据权利要求1-4任意一项所述的变频节能供水自动控制系统,其特征在于,所述供水装置还包括排水管,所述排水管上均设置有温度采集模块、电磁流量计以及电动流量调节阀。

6.根据权利要求5所述的变频节能供水自动控制系统,其特征在于,所述排水管上的电动流量调节阀设置有带开度反馈的变送器。

7.变频节能供水自动控制方法,应用于权利要求1-6任意一项所述的变频节能供水自动控制系统,其特征在于,包括:

步骤1、将进水温度划分为多个温度区间,每个温度区间分别对应发电机组满负荷运行条件下供水装置中变频水泵的一个频率;

步骤2、将发电机组运行负荷划分为多个负荷区间,每个负荷区间对应多个变频水泵的频率,所述多个变频水泵频率分别与多个温度区间一一对应;

步骤3、根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率。

8.根据权利要求7所述的变频节能供水自动控制方法,其特征在于,所述根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率的具体方法包括:

将多个温度区间分别作为二维平面坐标系X轴的坐标值,将多个负荷区间分别作为二维平面坐标系Y轴的坐标值,则当前进水温度所在温度区间x以及发电机组负荷所在负荷区间y,即(x,y)对应的频率作为变频水泵的频率。

9.根据权利要求7所述的变频节能供水自动控制方法,其特征在于,所述根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率的具体方法还包括:

当进水温度在设置时间内在两个相邻温度区间内波动时,则变频水泵的频率取所述两个相邻温度区间对应的变频水泵频率的平均值。

变频节能供水自动控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及发电机组供水控制领域，具体涉及一种变频节能供水自动控制系统及方法。

背景技术

[0002] 截止至2020年底，我国水电总装机容量约3.5亿千瓦、年发电量约1.2万亿千瓦时，双双继续稳居世界第一。建成的水电站总数约为4.5万座，其中已建5万千瓦及以上大中型水电站约640座，总装机约2.7亿千瓦。

[0003] 所有水轮发电机组均需设置技术供水系统来解决发电机组(例如轴承和发电机定转子)的冷却问题。以往国内外水电站机组技术供水系统设计时，无论采用何种技术供水系统(主要包括自流、自流减压、一次冷却水泵供水以及二次冷却水泵供水系统)，由于人们习惯认为水电站不缺水，因此以往所有水电站的技术供水系统一般会按照机组最大负荷、最高的进水温度来确定机组技术供水系统的流量和压力，并以此选择对应的供水泵和流量扬程等参数。但是当机组带较小负荷时或技术供水系统的进水温度较低时，仍然按机组最大负荷以及最高的进水温度来选择技术供水系统的水量，会造成水泵的流量和扬程超过机组冷却时的实际需求，从而导致水资源的浪费和水泵用电量的浪费；因此有必要针对水轮发电机组的技术供水系统的节水节能技术进行专门研究。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种变频节能供水自动控制系统及方法，实现了根据进水温度和发电机组的负荷来自动调整变频水泵的频率，极大地提高了水资源的利用率，同时节约了电能。

[0005] 本发明采取如下技术方案实现上述目的，变频节能供水自动控制系统，变频节能供水自动控制系统，应用于对水电站发电机组的冷却降温，包括供水装置、变频水泵、温度采集模块、发电机组数据采集模块以及控制模块，所述供水装置包括进水管，所述控制模块分别与温度采集模块、发电机组数据采集模块以及变频水泵连接，所述温度采集模块设置在进水管上，所述控制模块用于根据进水温度以及发电机组的负荷数据来调整变频水泵的频率。

[0006] 进一步的是，为了提高安全性以及便于使用，所述温度采集模块为RTD(Resistance TemperatureDetector)。

[0007] 进一步的是，为了监控进水流量，变频节能供水自动控制系统还包括电磁流量计，电磁流量计与控制模块连接，所述供水装置的进水管上均设置有电磁流量计。

[0008] 进一步的是，为了调节进水流量，变频节能供水自动控制系统还包括电动流量调节阀，所述电动流量调节阀由控制模块控制，供水装置的进水管上均设置有电动流量调节阀。

[0009] 进一步的是，为了提高对电动流量调节阀的信号监测控制，所述电动流量调节阀

设置有带开度反馈的变送器。

[0010] 进一步的是，为了对排水管的温度进行采集，所述供水装置还包括排水管，所述排水管上均设置有温度采集模块。

[0011] 进一步的是，为了对排水管的流量进行监测，所述排水管上还设置有电磁流量计。

[0012] 进一步的是，为了调节排水流量，所述排水管上均设置有电动流量调节阀。

[0013] 进一步的是，所述排水管上的电动流量调节阀设置有带开度反馈的变送器。

[0014] 变频节能供水自动控制方法，应用于上述变频节能供水自动控制系统，包括：

[0015] 步骤1、将进水温度划分为多个温度区间，每个温度区间分别对应发电机组满负荷运行条件下供水装置中变频水泵的一个频率；

[0016] 步骤2、将发电机组运行负荷划分为多个负荷区间，每个负荷区间对应多个变频水泵的频率，所述多个变频水泵频率分别与多个温度区间一一对应；

[0017] 步骤3、根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率。

[0018] 进一步的是，所述根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率的具体方法包括：

[0019] 将多个温度区间分别作为二维平面坐标系X轴的坐标值，将多个负荷区间分别作为二维平面坐标系Y轴的坐标值，则当前进水温度所在温度区间x以及发电机组负荷所在负荷区间y，即(x,y)对应的频率作为变频水泵的频率。

[0020] 进一步的是，所述根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率的具体方法还包括：

[0021] 当进水温度在设置时间内在两个相邻温度区间内波动时，则变频水泵的频率取所述两个相邻温度区间对应的变频水泵频率的平均值。

[0022] 本发明使用变频水泵，在供水装置的进水管以及出水管上均设置有温度采集模块；并且将进水温度划分为多个温度区间，每个区间对应发电机组满负荷运行条件下供水装置中变频水泵的一个频率，然后控制模块根据进水温度所在温度区间的变化以及发电机组的负荷变化来调整变频水泵的频率，极大地提高了水资源的利用率，同时节约了电能；并且温度采集模块使用RTD，具有精度高，分辨率好，安全可靠，使用方便的有点；进一步通过在进水管以及出水管设置电磁流量计来监控水流量，通过设置电动流量调节阀还可以调节水量，十分的灵活。

附图说明

[0023] 图1是本发明变频节能供水自动控制系统结构框图。

具体实施方式

[0024] 本发明变频节能供水自动控制系统，变频节能供水自动控制系统，应用于对水电站发电机组的冷却降温，如图1，包括供水装置、变频水泵、温度采集模块、发电机组数据采集模块以及控制模块，所述供水装置包括进水管，所述控制模块分别与温度采集模块、发电机组数据采集模块以及变频水泵连接，所述温度采集模块设置在进水管上，所述控制模块用于根据进水温度以及发电机组的负荷数据来调整变频水泵的频率。

[0025] 供水装置的工作原理为,由各进水管将水送入发电机组各轴承部的冷却器和发电机的空冷器进行热交换后,再由排水管排出;其主要用于冷却机组导轴承和推力轴承油槽中透平油,保证轴承油槽透平油的温升不至于过高,保证轴承润滑系统的正常运行;为水轮机主轴工作密封提供冷却润滑水;给个别类型的水轮机水导轴承提供冷却润滑水;为发电机空冷器提供冷却水;为水冷式发电机定子线棒提供冷却水;保证以上水轮发电机组各设备及零部件的正常运行。

[0026] 为了提高安全性以及便于使用,所述温度采集模块为RTD(ResistanceTemperature Detector)。

[0027] 为了监控进水流量,变频节能供水自动控制系统还包括电磁流量计,电磁流量计与控制模块连接,所述供水装置的进水管上均设置有电磁流量计。

[0028] 为了调节进水流量,变频节能供水自动控制系统还包括电动流量调节阀,所述电动流量调节阀由控制模块控制,供水装置的进水管上均设置有电动流量调节阀。

[0029] 为了提高对电动流量调节阀的信号监测控制,所述电动流量调节阀设置有带开度反馈的变送器。

[0030] 为了对排水管的温度进行采集,所述供水装置还包括排水管,所述排水管上均设置有温度采集模块。

[0031] 为了对排水管的流量进行监测,所述排水管上还设置有电磁流量计。

[0032] 为了调节排水流量,所述排水管上均设置有电动流量调节阀。

[0033] 所述排水管上的电动流量调节阀设置有带开度反馈的变送器。

[0034] 变频节能供水自动控制方法,应用于上述变频节能供水自动控制系统,包括:

[0035] 步骤1、将进水温度划分为多个温度区间,每个温度区间分别对应发电机组满负荷运行条件下供水装置中变频水泵的一个频率;

[0036] 步骤2、将发电机组运行负荷划分为多个负荷区间,每个负荷区间对应多个变频水泵的频率,所述多个变频水泵频率分别与多个温度区间一一对应;

[0037] 步骤3、根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率。

[0038] 所述根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率的具体方法包括:

[0039] 将多个温度区间分别作为二维平面坐标系X轴的坐标值,将多个负荷区间分别作为二维平面坐标系Y轴的坐标值,则当前进水温度所在温度区间x以及发电机组负荷所在负荷区间y,即(x,y)对应的频率作为变频水泵的频率。

[0040] 所述根据进水温度在温度区间的变化以及发电机组负荷的变化自动调整变频水泵的频率的具体方法还包括:

[0041] 当进水温度在设置时间内在两个相邻温度区间内波动时,则变频水泵的频率取所述两个相邻温度区间对应的变频水泵频率的平均值。

[0042] 当机组技术供水系统采用水泵供水方式,且采用变频节能供水自动控制系统时,该系统由前端信号采集的诸多自动化元件(如进水总管温度RTD、总管及支管电磁流量计、瓦温、油温、发电机定子出风温度及机组运行负荷功率变送器等)、滤水器、管路、电动阀门、变频水泵、变频器、I/O模块、电源模块、继电器、分时多功能高端PLC等控制模块组成;机组

技术供水系统无论采用一次冷却方式还是采用二次冷却;温度采集模块(即I/O模块)首先采集进入机组各部轴承冷却器或空冷器前的技术供水进水总管上的进水温度和机组运行负荷等参数,并以此确定变频水泵的工作频率,并根据技术供水总管和支管上的采集流量和发电机出风温度等反馈信号对变频水泵的频率做进一步的调整和自动控制。

[0043] 控制方法概括如下:

[0044] 1)将技术供水进水总管的进水温度作为控制变量的X坐标,并由高至低划分为5～6个温度区间,每个进水温度区间在水轮发电机组满负荷运行条件下对应变频水泵的一个频率;

[0045] 2)在每个划分的进水温度区间内将水轮发电机组的实际运行负荷作为控制变量的Y坐标,并由高至低划分为6～7个机组运行负荷区间,每个机组运行负荷区间对应变频水泵的一个频率;

[0046] 3)每一个不同的进水温度区间X值和每一个不同的机组运行负荷区间Y值对应唯一的一个变频泵频率;当技术供水系统水泵供水装置及管路阻力特性调试合格后,每一个变频泵频率对应一个基本稳定的流量,且变频泵流量与设定的频率成正比关系;同时在某一进水温度区间和某一机组运行负荷区间下选择的变频泵频率和对应流量必须满足该运行条件下机组技术供水系统的换热冷却要求,且留有足够的安全余量。

[0047] 4)在机组技术供水系统供水装置和设备选型按规范要求完成设计并安装后,在机组空载或停机状态下现场调试技术供水系统的总管及支管的管路流量、压力和阻力特性(调整总管和支管的阀门开度),并记录技术供水系统的变频泵在不同频率下(一般只设定50HZ、45HZ、40HZ、35HZ和30HZ)时的总流量和各支管流量值;同时将以上调试试验时不同频率下的变频泵总流量和各个支管流量与设定温度下、设定机组运行负荷下机组技术供水系统总管理论计算流量值和支管理论计算流量值作对比,而且该系统的管路阀门调整时的总流量、各支管流量必须满足系统理论换热冷却流量计算值。

[0048] 5)当进水温度和机组运行负荷在划分区间的分界点处左右摇摆时,则频率可上调一档或取相邻区间对应两个频率的平均值。

[0049] 本发明变频节能供水自动控制系统的应用由如下实施例进行详细说明。

[0050] 以新疆YMS电站机组技术供水系统为例,其二次冷却(变频)水泵供水技术供水系统,每台机组设置了两台变频泵,当机组及其二次冷却(变频)水泵供水技术供水系统投入运行时,系统启动两台变频泵中的一台,从循环水池取水经吸水管、吸水管检修阀门、吸水管压力表、变频泵、水泵出水管、出水管静音止回阀、压力表、示流信号器、分两路至尾水冷却器,循环水池中的水经尾水冷却器的换热水温降低后,回流至技术供水系统进水联络总管,经技术供水系统进水联络总管电磁流量计至机墩技术供水进水半环管,然后分几路分别向上导、下导、推力、空冷、水导等处的冷却器供水,每支供水支管上设有检修球阀、支管电磁流量计、压力表,经上导、下导、推力、空冷、水导等处的冷却器第二次换热后,分别流入上导、下导、推力、空冷、水导等处的排水支管,这些排水支管上设置有流量调节阀、排水支管RTD、压力表等,这些排水支管汇总流至机墩技术供水系统排水半环管后,再经水轮机层下游墙附近的二次冷却水泵供水技术供水系统排水总管及电动球阀流回循环水池。当电站汛期过机泥沙含量较大时该技术供水系统投入运行。

[0051] 同时为了实现二次冷却水变频泵技术供水系统的节能自动控制技术,监控机组技

术供水系统进水联络总管的进水温度以及各部轴承、空冷器的排水管排水及空冷器的出风温度，在以上相应部位的技术供水管路上均设置了温度监控RTD；另外，为了监控机组技术供水系统进水联络总管的进水流量以及各部轴承、空冷器的排水管排水及空冷器的流量，在以上相应部位的管路上均设置了电磁流量计；为了调整各部轴承和空冷器的各排水支管的流量，以上各支管的排水管上均设置了流量调节阀，其中空冷器的排水管上的电动流量调节阀带有开度反馈变送器。另外，本电站技术供水系统的控制柜和动力柜中设计有进线电源模块、直流电源模块、变频器和PLC可编程继电器等电气设备。

[0052] 其中二次冷却技术供水系统为：一般当水电站水轮机的运行水头过高(大于等于120m水柱)或过低(小于等于20m水柱)时，机组技术供水系统一般会采用水泵供水方式；若机组技术供水系统采用水泵供水方式，且水轮机的过机泥沙含量较高或水质无法满足机组技术供水系统的水质要求时，这时机组的技术供水系统会采用二次冷却水泵供水方式。二次冷却水泵供水系统分为两种，第一种为：循环水池+水泵+尾水冷却器(一次侧也称冷侧)及机组各部常规冷却器(二次侧也称热侧)等；第二种：二次冷却水泵技术供水系统(如埃塞吉布Ⅲ)，其二次闭式循环供水一侧(二次侧也称热侧)从板式热交换器(水-水冷却器)、离心泵、阀门及总管路送至轴承各部冷却器(油-水冷却器)和发电机空冷器(水-空气冷却器，二次侧也称热侧)后再回到板式热交换器。开式供水一侧(一次侧也称冷侧)从尾水取水经离心泵加压，并通过管路送至板式热交换器(水-水冷却器)换热后又经管路阀门排回尾水(其中主轴密封的供水也由开式供水一侧的水泵提供)。

[0053] 在进行变频节能控制时，需要计算出机组满负荷时技术供水系统不同进水温度下所需最小水量。

[0054] 例如以新疆YMS电站为例，首先根据新疆YMS电站大、小机组不同的进水温度计算出机组满负荷下转换为热量的机组损耗，其中大、小机组单机额定功率分别为7万kW和3.4万kW，对应发电机的总损耗分别为996kW和648kW，水轮机导轴承的机械损耗及主轴密封润滑水的损耗产生的热量占比很小，以上各部轴承冷却器及空冷器的换热公式同下面的公式一，从公式一可知：当机组满负荷运行时其总损耗产生的总热量基本是不变的，以新疆YMS电站为例，大、小机组满负荷时所发出的总热量分别约为996kW和648kW，在保证发电机出风温度不超过40℃以及机组各部轴承的瓦温不超过规范规定的前提下，随着机组技术供水系统进水联络总管中的进水温度不断下降和技术供水的水量(指流量)的下降，各冷却器中换热水体的滞留换热时间T变得越来越长，水体换热后的温度变化差Δt也越大，带走同样的热量损耗所需要的最小水量(冷却水量)q也越小，具体计算成果如下，详见表1。

[0055] 表1机组满负荷时技术供水系统不同进水温度下所需最小水量表

[0056]

进水温度范围℃	25℃	24℃	23℃	22℃	21.2℃	20℃	19℃	18℃	17℃	16℃	15℃	14℃	13℃	12℃	11℃	8℃
满负荷时最小流量(m^3/h)	Q	Q	Q	Q	Q	Q	90%Q	80%Q	70%Q	60%Q	50%Q	45%Q	40%Q	35%Q	35%Q	35%Q

[0057] 注：1)新疆YMS电站大、小机组二次冷却(变频)水泵供水技术供水系统二次供水侧在25℃时需要的技术供水总量Q分别为342m3/h和222m3/h；

[0058] 2)本电站技术供水系统较为复杂，当汛期水轮机过机泥沙含量较高时，机组技术供水采用二次冷却(变频)水泵供水技术供水系统；当冬季或水轮机过机泥沙含量较少或水

质较清时，本电站采用机组技术供水采用自流减压技术供水系统；

[0059] 3)无论采用何种技术供水系统或方式，进水温度是指机组技术供水系统进水联络总管中水的温度，该温度的水经此处后直接进入机墩供水半环管，并马上进入各部轴承冷却器和空冷器。

[0060] 4)为了简化计算，表中进水温度在25℃～20℃范围内的机组满负荷时技术供水系统所需的最小水量留有较大余度，均为进水温度在25℃时的技术供水系统所需的最小水量。

[0061] 5)表3中在不同进水温度范围内机组满负荷下技术供水系统计算需要最小流量可按表1的对应温度下需要满负荷时最小流量的相应比例进行折算(m3/h)。

[0062] 随着机组运行负荷的不断下降，发电机定子损耗、磁极线圈的铜损以及发电机的总损耗也在不断下降；而随着发电机的总损耗不断下降，发电机散发的总热量也随之下降，由此计算得到的机组技术供水系统需要的冷却水量也随之下降。根据主机厂家必须提供的不同发电机运行负荷下的发电机效率，计算出不同发电机负荷下的发电机总损耗，而总损耗值则表示发电机散发出的总热量，这些热量需要用冷却器通过换热形式带走。

[0063] 所有冷却器的换热量公式可表达为：Q热＝C×Δt×m＝C·Δt·q·ρ·T(公式一)。

[0064] 其中：C—水的比热容，取4.175KJ/kg.K；

[0065] Δt—冷却器中二次侧或一次侧的水体换热后的温度变化差，单位为K或℃；

[0066] q—在某温度及某运行负荷下技术供水系统二次侧技术供水总量，该参数为变量，具体计算方法见表3，单位m3/h；

[0067] ρ—技术供水系统二次侧在冷却器的平均水温下水的密度，基本是一个常数，取994.8～995.5kg/m3；

[0068] T—技术供水系统的水体在冷却器一次侧或二次侧换热过程中滞留换热时间，一般流量q越小，各冷却器中换热水体的滞留换热时间T越长。

[0069] 从下表2中可知：当机组或者发电机运行负荷下降时，其发电机总损耗P损耗也随之下降，这时机组各部轴承的冷却器及空冷器需要带走的总热量也随之下降，这时需要的技术供水总水量(指流量)q也会随之下降，随着q变小，各冷却器中换热水体的滞留换热时间T越长，水体换热后的温度变化差Δt也越大，因此机组各部轴承的冷却器及空冷器能够带走的总热量Q热不是随着技术供水总水量(指流量)q的减小而呈线性下降趋势，而是比线性下降趋势缓慢的一种下降趋势。表2中某温度下理论上需要的技术供水总流量q在不同运行负荷下的计算值是按Q热与q呈线性关系计算得到的，因此表2中某温度下理论上需要的技术供水总流量q是留有余量的，按此运行的技术供水系统是偏安全的。

[0070] 在以新疆YMS电站大、小技术供水系统为例；其中Q为大、小机组单台机组在最高进水温度25℃时需要的最小流量，分别为q＝342m3/h和q＝222m3/h；当进水温度下降时，根据表1在进水温度为19℃时，大、小机组满负荷下理论上需要的技术供水总流量q分别为308m3/h和200m3/h(大机：342m3/h×90％≈308m3/h；小机：222m3/h×90％≈200m3/h)；而在进水温度某一值时，大、小机组在不同运行负荷时，机组技术供水系统的需要最小流量q可在刚才计算成果的基础，再根据表2进行进一步计算。例如在在进水温度为19℃时，小机组在90％额定负荷下的技术供水总量为184m3/h(小机：222m3/h×90％×596/648≈184m3/

h)；在在进水温度为19℃时，小机组在80％额定负荷下的技术供水总量为184m3/h(小机：222m3/h×90％×549.4/648≈170m3/h)。

[0071] 表2机组不同运行负荷时技术供水系统不同进水温度下所需最小水量表

[0072]

发电机运行负荷/额定功率(P/P_r)	100%Pr	90%Pr	80%Pr	70%Pr	60%Pr	50%Pr	40%Pr
发电机总损耗$P_{损耗}$(kW)	648	596	549.4	508	473.8	443	416.3
水轮机输出功率(kW)	34648	31196	27749.4	24308	20873.8	17443	14016.3
发电机输出功率（kW）	34000	30600	27200	23800	20400	17000	13600
η(%)	98.13	98.09	98.02	97.91	97.73	97.46	97.03
某温度下理论总流量q(m^3/h)	q	q×596/648	q×549.4/648	q×508/648	q×473.8/648	q×443/648	q×416.3/648

[0073] 注：(1)、其他类似空冷密闭自循环立式机组(如混流式机组和轴流机组)均具有以上规律；

[0074] (2)、水轮机输出功率也等于发电机的输入功率；

[0075] (3)、表3中每一不同的温度范围内的不同机组运行负荷下的机组技术供水系统需要的最小理论流量按表2对应的运行负荷下某温度下理论总流量q的计算式中比例进行折算，其中q等于表3中机组满负荷时不同温度范围内需要最小理论流量。

[0076] 在进行变频控制时，由于单台机组的供水总量随着进水温度和机组运行负荷同时在变化，即单台机组的供水总量q随着进水温度t下降而下降；而且各部导轴承、推力轴承和空冷器等各分支用户的供水水量也随进水温度t下降而下降；因此发电机组在某一运行负荷下，当进水温度t下降且供水总流量也需要随之下降时，只需调整技术供水系统变频泵的频率，工作变频泵向系统提供的技术供水总流量Q就会频率下降而呈线性下降，各部导轴承、推力轴承和空冷器等各分支用户的冷却水量会自动下降而无需调整各分支用户供排水支管上阀门开度；另外，进水温度稳定在某一温度或进水温度在某小范围内变化时，当机组运行负荷发生变化，这时发电机的空冷器的分支供水管需要的冷却水量往往发生显著变化，而导轴承(包括水导)和推力轴承的分支供水管需要的冷却水量并没有随负荷的变化而显著变化，因此进水温度稳定在某一温度或进水温度在某小范围内变化，当机组运行负荷下降且供水总流量也需要随之下降时，这时不但需要调整供水系统变频水泵的频率，工作变频水泵向系统提供的供水总流量Q就会随着频率下降而呈线性下降，同时需要调整发电机空冷器的供水分支流量，而其他导轴承和推力轴承的冷却水量基本保持不变。若按以上规律进行机组二次冷却变频泵供水系统的节能自动控制，会使控制流程及程序十分复杂，为了简化以上控制流程和程序，可以充分利用变频泵实际额定流量Q′存在的余度；因为规范规定：变频泵最终选取的额定流量Q′必须大于等于主机厂家提供机组满负荷、最大进水温度下理论需要的最小供水流量Q的1.1倍，而且每个电站给出的供水最高进水温度均为电

站极端气象条件下的温度,电站机组实际运行时很少会出现;同时,按此进水温度下计算出机组技术供水系统总流量和分支用户的冷却水量都留有一定余度,例如空冷器的计算流量含有15%的空冷器(一般为1台机组所有空冷器中1只或2只退出)因事故退出时空冷器依然能保证机组正常运行设计的,因此厂家经计算提供的机组满负荷、最大进水温度下理论需要的最小技术供水流量Q依然存在一定余度。以新疆YMS电站小机组为例,在每台机组没有运行时,进行技术供水系统的调试工作。先将机组技术供水装置的进水温度分为5个温度范围段,从高至低分别为20℃＜t1≤23℃、17℃＜t2≤20℃、14℃＜t3≤17℃、11℃＜t4≤14℃和t5≤11℃,进水温度范围从高到低分别对应机组满负荷下供水装置中变频水泵的一个频率,分别为50HZ、45HZ、40HZ、35HZ、30HZ,每个频率对应的供水装置在该温度范围内机组满负荷运行时供水装置变频泵实际总流量Q分别为(310.3～311.4)m3/h、(278.4～279.5)m3/h、(247.3～247.8)m3/h、(216.0～216.2)m3/h和(183.6～184.1)m3/h(见表3数据),而这些实际总流量Q均大于该温度范围内机组满负荷下技术供水装置需要的最小理论冷却水量,即(310.3～311.4)m3/h＞(244.2～222)m3/h、(278.4～279.5)m3/h＞(222～155)m3/h、(247.3～247.8)m3/h＞(155～100)m3/h、(216.0～216.2)m3/h＞(100～78)m3/h和(183.6～184.1)m3/h＞78m3/h(见表3数据);当机组运行负荷处于110%Pr～90%Pr范围内,可按照相关数据(表3)根据不同的进水温度范围内选择不同变频泵频率。

[0077] 当进水温度在10分钟内在两个相邻温度区间波动时,则变频泵频率取两个相邻温度范围对应的两个频率值的平均值;当进水温度稳定维持在某一温度区间内,而机组的单机运行负荷下调至某一范围,则在表3中先找到进水温度所处的温度范围(表3的第2行)作为二维平面坐标系X轴的坐标值,然后再找到发电机组运行负荷所处范围内作为二维平面坐标系Y轴的坐标值,这样的二维平面坐标系的X轴和Y轴的坐标(x,y)对应的变频泵频率作为最终控制运行频率。当进水温度和机组运行负荷均处于分界面上,例如进水温度在14℃附近波动,而机组运行负荷在70%Pr附近波动,则变频泵的频率为30HZ和25HZ的平均值27.5HZ,变频泵的流量处于(153～153.4)m3/h＜q＜(183.6～184.1)m3/h,约为168.3m3/h～168.8m3/h。

[0078] 表3

[0079]

参数 部位		流量/设定频率（m^3/h）/HZ	流量/设定频率（m^3/h）/HZ	流量/设定频率（m^3/h）/HZ	流量/设定频率（m^3/h）/HZ	流量/设定频率（m^3/h）/HZ	满载理论流量
进水温度范围℃		20 ℃ < t1≤23℃	17 ℃ < t2≤20℃	14 ℃ < t3≤17℃	11 ℃ < t4≤14℃	t5≤11℃	t=25℃
满载上导和推力实际流量（m^3/h）		（86.94 ～87.25）/50	（77.7 ～77.91）/45	(68.6 ～68.73)/40	(59.20 ～59.27)/35	(50.02 ～50.22)/30	43 m^3/h
满载空冷实际流量（m^3/h）		（181.4 ～182.2）/50	(163.6 ～164.0)/45	(145.3 ～145.8)/40	(127.5 ～127.9)/35	(109.5 ～109.8)/30	160 m^3/h
满载下导实际流量（m^3/h）		（27.92 ～28.0 ）/50	（25.0 ～25.07）/45	(22.17 ～22.23)/40	(17.23 ～19.28)/35	(16.39 ～16.42)/30	13 m^3/h
满载水导实际流量（m^3/h）		（11.34 ～11.4）/50	(10.1 ～10.19)/45	(9.01 ～9.05)/40	(7.83 ～7.87)/35	(6.66 ～6.68)/30	6 m^3/h
调试时 2#泵出口压力 MPa/频率		0.43MPa/50HZ	0.35MPa/45HZ	0.28MPa/40HZ	0.213MPa/35HZ	0.16MPa/30HZ	Hr=0.43
调试时 2#泵电机电流 A/频率		90A/50HZ	71.6A/45HZ	60A/40HZ	50A/35HZ	43A/30HZ	
调试时 2#泵电机功率/频率		53kW/50HZ	42.2 kW/45HZ	35.3 kW/40HZ	29.4kW/35HZ	25.3kW/30HZ	
调试时 2#泵出口流量/频率		(310.3～311.4)/50	(278.4～279.5)/45	(247.3～247.8)/40	(216.0～216.2)/35	(183.6～184.1)/30	Q=222
调试时进水总管压力 MPa		0.297～0.30	0.236～0.238	0.18～0.181	0.11	0.088	
小机负荷[110%～90%）	实际总流量/设定频率	(310.3～311.4)/50	(278.4～279.5)/45	(247.3～247.8)/40	(216.0～216.2)/35	(183.6～184.1)/30	
	实测功率(kW)	53.0	42.2	35.3	29.4	25.3	Pr=55kW
	计算需要最小流量	244.2～222	222～155	155～100	100～78	78～78	
小机负荷[90%～80%）	实际总流量/设定频率	(278.4～279.5)/45	(247.3～247.8)/40	(216.0～216.2)/35	(183.6～184.1)/30	(153～153.4)/25	
	实测功率(kW)	42.2	35.3	29.4	25.3	15	
	计算需要最小流量	204～188	155～143	100～85	78～66	78～66	
小机负荷[80%～	实际总流量/设定频	(247.3～247.8)/40	(216.0～216.2)/35	(183.6～184.1)/30	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	

[0080]

70%)	率						
	实测功率(kW)	35.3	29.4	25.3	15	15	
	计算需要最小流量	188～174	143～122	85～78	66～61	66～61	
小机负荷[70%～60%)	实际总流量/设定频率	(216.0～216.2)/35	(183.6～184.1)/30	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	
	实测功率(kW)	29.4	25.3	15	15	15	
	计算需要最小流量	174～162	122～113	78～73	61～57	61～57	
小机负荷[60%～50%)	实际总流量/设定频率	(183.6～184.1)/30	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	
	实测功率(kW)	25.3	15	15	15	15	
	计算需要最小流量	162～152	113～106	73～68	57～53	57～53	
小机负荷[50%～40%)	实际总流量/设定频率	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	
	实测功率(kW)	15	15	15	15	15	
	计算需要最小流量	152～143	106～100	68～64	53～50	53～50	
小机负荷P≤40%)	实际总流量/设定频率	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	(153～153.4)/25	
	实测功率(kW)	15	15	15	15	15	
	计算需要最小流量	≤143	≤100	≤64	≤50	≤50	

[0081] 表3为4#机组技术供水系统变频泵不同进水温度范围和不同运行负荷范围下系统需要的理论流量及变频泵运行控制参数表。

[0082] 由上表可知,当进水温度处在20℃＜t1≤23℃,若小机负荷处在[110%～90%),则变频水泵频率选择50HZ;若小机负荷处在P≤40%,则变频水泵频率选择25HZ。

[0083] 在实际控制调整时,还可以根据空冷器出风温度或者瓦温来对变频水泵的频率进行调节。

[0084] 例如对新疆YMS水电站的二次冷却水泵供水方式下机组技术供水系统的变频泵节能自动控制技术编程时,将二次供水侧的进水温度从高到低划分成5个区域(见表3温度划分)。该系统运行控制时,二次冷却技术供水系统的变频泵的频率先按温度区间范围(即X轴坐标)找到该温度范围下的机组满负荷时二次供水侧变频泵的运行频率(由高至低分别给定为50HZ、45HZ、40HZ、35HZ、30HZ),然后判断技术供水联络进水总管上的电磁流量计的显示值是否在调试试验的流量范围以内(该值波动允许范围应是表3每个流量范围的最大值

和最小值分别波动+10％和-10％)；然后根据该温度范围下不同机组运行负荷范围(即Y轴坐标)找到运行负荷范围下的二次供水侧变频泵的运行控制频率，若此时发电机的空冷器的出风温度没有超过40℃或瓦温超过自动化元件的整定值时就采用表3该温度范围及该运行负荷下的控制频率；若发电机的空冷器的出风温度超过40℃或瓦温超过自动化元件的整定值时，变频水泵的频率和温度区间上调一档(此时应先调整表3的Y轴坐标对应的频率值，后调整表3的X轴坐标对应的频率值)；通过以上自动控制程序编写，实现了二次冷却水泵供水方式下机组技术供水系统的变频泵节能自动控制。

[0085] 本发明变频泵频率、转速、流量和扬程会随着进水温度和机组运行负荷的任何一个因子的下降而下降，从而达到节约厂用电电量的节能目的；

[0086] 水泵空化、噪音等性能指标得到大幅改善，延长了水泵及电机的使用寿命；

[0087] 技术供水系统的各个阀门的开度不必调整到极限值，改善了阀门的流场，延长了阀门等管路元件的寿命；

[0088] 本发明将进水温度范围和机组运行负荷范围被合理的分成了几个区间，在某些气象条件和机组负荷氛围内水泵的频率及阀门的开度变化较小，甚至很少变化，减少了不间断地对系统进行控制调整，使水泵及阀门的工作状态基本稳定，减小了操作控制次数，提高了系统运行控制的可靠性，同时简化了运行控制流程。

[0089] 综上所述，本发明实现了根据进水温度和发电机组的负荷来自动调整变频水泵的频率，极大地提高了水资源的利用率，同时节约了电能。

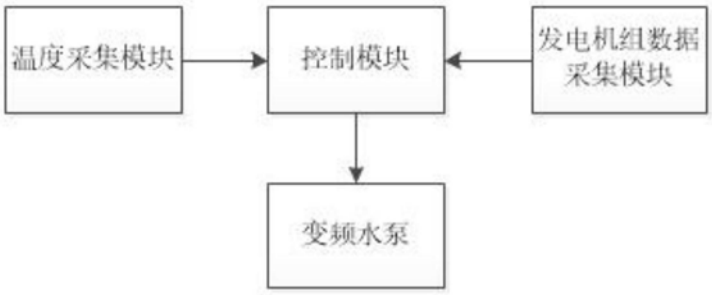


图1