

文得根水电站孤网运行的探索研究

张 晓¹ 蔚艳芬²

1. 内蒙古引绰济辽供水有限责任公司 内蒙古 兴安盟乌兰浩特 137400
2. 内蒙古乌兰察布市丰镇市水利局 内蒙古 乌兰察布 012199

摘 要：结合文得根水电站孤网运行时的实际情况，对孤网运行时影响频率的调速器和励磁装置进行了分析。为保证文得根水电站孤网运行的安全，从实际出发，除了文得根水电站机组和引水系统各项参数，考虑到对频率产生影响的调速及励磁，同时不能忽视运行过程中振摆监测、计算机监控和继电保护等系统的作用。

关键词：孤网运行；调速器；励磁装置；频率；电压；振摆

1 引言

水电站作为重要的清洁能源设施，对于碳排放减少、能源结构优化和环境保护具有重要意义^[1-2]。然而，在水电站运行过程中，一些水电站由于地理位置、接入电网等因素，存在孤网运行的情况，即电站脱离大电网，独立负责周边负荷的供电方式。在水电站孤网运行模式下，调速器和励磁系统对电站运行的安全、稳定及高效具有重要意义。本文以文得根水电站为例，分析水电站孤网运行的特点和问题，从水电站调速、励磁及其他辅助系统在孤网运行中发挥的作用进行探索研究，为其他类似水电站孤网运行提供借鉴和参考，也为文得根电站以后运行积累经验数据。

2 孤网运行风险分析及应对措施

在孤网运行状态下，水电站需要独立调节发电量、电压、频率等参数以满足用户需求^[3]，不同于统一大网调度，有一定的独立性和自主性，电站可以根据水文、气象等条件调整发电计划，但同时存在一定的风险：

供电可靠性降低：孤网运行时，水电站需独立供电，若电站容量不足或供电线路故障，可能导致电压、频率波动较大，影响用户用电。

系统稳定性降低：水电站失去大电网的支持，系统稳定性降低，应对突发事件的能力减弱；

设备运行安全：电站继电保护系统可能无法正常工作，一旦发生故障，可能导致设备损坏或人身安全事故；

影响设备寿命：当水电站发电机组负荷波动，造成负荷频繁调整而影响运行工况，可能会导致设备过载运行，加速设备磨损，从而缩短发电机寿命以及调速器事故停机运行管理困难：孤网运行时，电网运行状况无法实时掌握，加大故障的处理和运行管理难度。

为避免全网设备因系统过电压受到伤害，需要提前进行合理调度，确保水电站孤网运行时，电力系统频

率、电压等参数在允许范围内波动；同时制定应急预案，确定启动条件、采取相应的应急措施和启动处理流程，确保在水电站孤网运行时，能够快速、有效地应对各种突发事件；另外针对孤网运行的特点，调整继电保护定值及各设备保护值，降低过压定值及时限，确保过压情况下灵敏动作，有效进行保护和隔离。最后加强运行培训，提高管理水平，确保水电站孤网运行时的安全管理和故障处理。

3 水电站孤网运行特性

文得根水电站总装机容量为36MW，安装3台单机容量为11.4MW及1台单机容量为1.8MW的混流式发电机组，机组额定水头34m。以下结合文得根水电站1.8MW机组孤网运行的实践经验对调速、励磁进行分析。

3.1 水电站孤网运行时的调速分析

孤网与常规运行的不同是由通常的控制负荷变为控制频率，这是因为孤岛运行时，负荷变化会直接影响到频率、电压的稳定，为了电力系统的稳定运行，需要相应调整发电机的输出功率。

发电机的功率输出在控制负荷时是根据负荷变化来调整的，当负荷增大时，发电机功率输出随着增加，反之减少。而在控制频率模式下，发电机功率输出是为了维持电网的频率，频率控制是通过开度的调整来实现功率的增减，这要求调速器随着负荷变化保持电网频率稳定。调速器用于频率和有功功率调节，文得根水电站影响频率的有以下两种情况；

负荷突然增大或减少引起频率波动。文得根水电站1#机组单机容量1.8MW，容量比较小，孤网运行时负荷变化量相对值较大，随着负荷不断变化，会产生较大频率波动峰值。

负荷变化不大时，其频率也会因孤网自身的一些因素导致在一定范围内波动。

在实践中无法完全避免频率的波动,但必须控制在一定的范围之内,否则将会使机组大幅、频繁调节,从而影响到设备寿命和电能质量。1#机组事故低油压整定值为12.2MPa、机组一级过速为115%额定转速、低频为48Hz,在波动时可能因过速等原因引起停机,影响到机组正常运行。所以,为减小突然变化负荷引起的频率波动^[7],应认真复核水流加速和机组惯性常数;同时应采用有孤网运行模式的调速系统并正确设置参数。

水电机组的运动方程如下:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_z$$

从上式中可以看出, J (机组的惯性力矩) 为常数, 当 M_d (调速器动力矩) 与 M_z (发电机电阻力矩) 差值较小时, 为常数 $\frac{d\omega}{dt}$ (机组加速度) 就较小, 则频率变化就较小。

在正常运行中, 最短机组关闭时间越小, 那么调速器在发电机电阻力矩改变, 能较快调节水轮机的动力矩至阻力矩, 能减少各个调节时段两个力矩之差, 故减小了频率变化。

引绰济辽调速器选用的是中国水科院生产的高油压型微机调速器, 此调速器可以自动或手动选择孤网运行状态。

表1 调速器孤网模式下的控制参数

参数	K_p	K_i	K_D	b_p	E_{F+}	E_{F-}
设置值	1.3	0.15	0.8	2	0.3	0.2

其中 K_p 、 K_i 、 K_D 为PID调节参数, b_p 为永态转差系数, E_{F-} 、 E_{F+} 为频率死区;

根据现场调试结果, 该组参数对于文得根电站小负荷运行效果良好, 带320kW负荷运行时, 试验结果如下:

3.2 水电站孤网运行时的励磁分析

孤网运行中, 一旦出现频率不稳或者频率波动值过大, 大家容易注意集中在调速器上, 而忽略励磁装置也可能影响到频率, 其实事实上, 在调试调速器过程中更要注重励磁装置对频率的影响。

水轮发电机组的控制系统由调速器、励磁装置等组成, 属多控制参数、多变量的控制系统, 目标变量为电压和频率。在整个系统中, 系统控制性能往往会受到调速、励磁的输入输出之间的耦合作用影响。为实现励磁与调速器的协调控制, 减少频率、功率变化, 可采用不同的的调节规律。

恒电压调节下, 空载运行时, 励磁输入电压与转速成正比关系; 励磁电流又会影响到转速。整个调节过程:

转速降低导致电压变小, 电压变小又导致励磁电流增大, 结果转速进一步减小; 转速升高导致电压增大, 电压增大导致励磁电流减小, 结果转速进一步增加; 在快速调节过程中, 励磁装置虽然能在一定程度上保证调

节的精度, 但另一方面对转速形成了正反馈影响, 一定程度降低了空载稳定性。

恒励磁电流调节下, 机组频率与机电电压成正比, 机电电压与负载成正比。整个调节过程:

负载的减少引起转速升高, 而升高的转速导致电压的升高, 从而增大机组负载, 结果限制了转速的升高。机组外部负载的增加引起转速的下降, 而降低的转速导致电压的降低, 从而减少机组负载, 负载的减少又限制了转速的降低。因此, 励磁调节工程中电压的调节与转速形成负反馈的影响, 增加了运行的稳定性^[4]

孤网状态下, 将频率微分信号加至励磁输入电压上, 当频率升高时, 正微分信号引起机端电压和励磁电流增大, 限制频率升高; 当频率减小时, 负微分信号使机端电压和励磁电流减小, 限制频率减少; 频率不变化时, 所加的微分信号则为零。

频率变化在一定的整定范围时 (根据实际情况而定) 时, 选用恒励磁电流调节, 在此模式下, 系统机电电压、励磁电流与频率呈正比关系, 有助于抑制频率及功率周期性的波动; 在频率变化超出该整定范围, 切换至电压调节模式, 以确保电压变化不会过大。然而, 需要注意的是励磁、调速输入输出之间存在一定的耦合效应, 可能对系统控制性能产生影响, 机电电压和励磁电流对转速有影响, 同时转速也会对机电电压和励磁电流产生影响。

频率变化时, 可控硅励磁能对电压进行快速调节, 引起发电机外部负载快速变化。通过巧妙设计励磁调节的规律, 可以在调节过程适当时段使用励磁装置起到快速削减或抵消部分负荷的变化。这种设计有助于在励磁与调速器协同工作时迅速减少 M_d 与 M_z 之差, 有效地抑制孤网运行中的频率波动, 确保孤网的稳定运行。

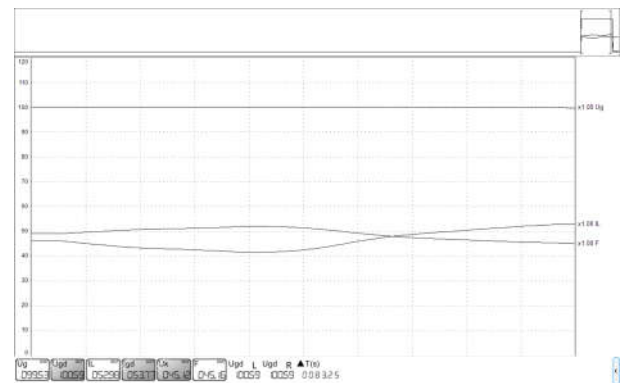


图1 机端电压、频率、励磁电流曲线

3.3 水电站孤网运行时的其他系统的作用

在孤网运行过程中, 为确保电站安全稳定运行, 需要对机组运行各项参数进行实时监测, 以便及时应对可

能出现的突发事件,

3.3.1 振摆监测系统

振摆监测系统对水轮发电机的振动摆度进行了实施的监测与诊断,文得根水电站孤网运行中实现了准确、快速、直观地反应机组的状态信息,并作为文得根水电站孤网运行一种有效的监测手段。孤网运行频率波动频繁,振动摆度监测系统在导轴承、上机架、定子、下机架、顶盖等关键部位安装传感器实时监测,对孤网运行过程中可预判和发现潜在故障,提高了孤网运行的稳定性。

3.3.2 计算机监控及继电保护系统

在水电站孤网运行时,继电保护和计算机监控同时也非常重要,它们共同保障了系统的稳定安全,确保设备安全可靠;在故障发生时能够快速响应,电力系统的运行效率得到了提高,减少故障对电力系统的影响

计算机监控系统(SCADA系统)实时监测水电站内各主要设备的运行状态,及时获得电站运行情况。孤网运行时,计算机监控系统实时采集站内设备运行数据,并进行处理和显示,以便于运行人员及时发现异常情况;当监测到设备运行参数异常时,及时提醒,以便运行人员及时采取措施;通过对数据的分析,为运行人员提供产生的故障原因和处理方案;在必要时,还可以对设备实现远程控制,确保电站运行安全。另外系统还可以积累运行数据,为设备运行状态评估、故障分析提供依据。

继电保护系统能实时对电力系统中的电压等参数进行监测,判断是否存在故障;当检测到故障时,能根据故障类型和程度,迅速进行切断或隔离,对水电站设备进行保护,防止过载、短路等造成设备损坏,从而保证电力系统正常部分继续运行。

4 结论与建议

孤网运行的关键是维持网频稳定,同时励磁的影响也不可忽视,需要进行互相配合,通过文得根水电站孤网运行的成功,总结出以下结论:

为确保文得根水电站孤网运行时的稳定安全,应在设计阶段按照有关技术标准及设计导则,选择合适的机组惯性等时间常数;并对主机和自动化设备进行合理选择。

在孤网运行下,通过调速器的建模试验进行孤网运行参数的整定,以保证在电网解列时自动转换成孤网模式,提高整个系统稳定性。

要充分考虑到励磁装置在运行调节中对频率的影响。励磁装置和调速器输入输出之间的耦合效应会对系统控制性能产生影响。机电电压和励磁电流受转速影响,而转速同时受励磁电流和机电电压的影响。

由于机电电压的调整速度明显快于机组转速的变化速度,因此实际上调速器对电压波动的影响相对较小,当然孤网运行时不能忽视励磁对频率变化的影响。

调节参数根据现场实际情况整定。

在孤网运行下,通过励磁和调速器的相互协调控制,能够有效抑制在没有负载变化时引起的功率及频率的周期性波动,同时减小因负载突然变化时频率和电压的波动幅值。

参考文献

- [1]《孤网运行的小水电机组设计导则》NB/T42034-2014 中国电力出版社
- [2]《基于孤岛运行电站的调速器控制策略研究》中国水力发电工程学会,2013
- [3]甄文喜等《陇南地区孤网运行条件下电源点调速器参数设置与优化》大电机技术;2015
- [4]张诚《葛洲坝电站水轮发电机组改造增容技术》