

Optimization and Application Research of AGC Technology in Lubuge Hydroelectric Power Plant

Lunsen Zou

Lubuge Hydroelectric Power Plant, China Southern Power Grid Power Generating Company, Qujing

Email: zounengsen1@yahoo.com.cn

Received: Feb. 2nd, 2013; revised: Feb. 24th, 2013; accepted: Mar. 6th, 2013

Abstract: Automatic Generation Control (AGC) is an important technical means, which guarantees the balance of power and load, maintaining the quality of electrical power system. After power grid function AGC, in order to meet the provisions on the administration of two rules, AGC's specification and AGC's requirements, the power plant made some appropriate adjustments to optimize the parameters. It is also the purpose to minimize the appraisal by scheduling of power plant on AGC. This is a way which greatly reduced the assessments by the scheduling system on power plant.

Keywords: AGC; Power Plant; Lubuge; Monitor

AGC 技术在鲁布革水电厂的应用及优化研究

邹伦森

中国南方电网调峰调频发电公司鲁布革水力发电厂, 曲靖

Email: zounengsen1@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013 年 2 月 2 日; 修回日期: 2013 年 2 月 24 日; 录用日期: 2013 年 3 月 6 日

摘要: 自动发电控制(AGC)是保证发电与负荷平衡、维持电力系统电能质量的重要手段。机组并网投入 AGC 后, 电厂为满足两个细则、AGC 技术规范、AGC 管理规定的要求同时为了尽量减少调度对电厂在 AGC 这一方面的考核, 该厂对 AGC 参数做了适当调整优化, 大大减少了调度系统对电厂的考核。

关键词: AGC; 电厂; 鲁布革; 监控

1. 引言

现代电网运行的主要目标, 就是以优质、可靠的电力满足广大电力用户的需要。电能质量的指标就是频率和电压。要保持其在正常的范围以内, 对于频率控制, 则主要依靠有功功率的实时平衡调节; 对于电压要求, 应从电力系统的无功功率控制考虑。但实际运行中, 负荷无时无刻不在变化, 如不及时调整有功, 控制频率, 将会带来很多负面影响甚至引起事故。水电厂易于改变有功功率的输出值, 是电力系统自动发电控制的主要角色, 因此水电厂能否实现自动发电控

制, 关系着整个电力系统自动发电控制的成败。

2. 水电厂自动发电控制概述^[1]

美国电气和电子工程师协会(IEES)对自动发电控制(AGC)的定义是^[2]: “自动发电控制, 即根据系统频率输电线负荷或它们之间负荷的变化, 对某一规定地区内发电机有功出力进行调节, 以维持计划预定的系统频率和与其他地区商定的交换功率在一定的限值之内。”随着计算机技术、通信技术和控制理论的发展, 自动发电控制在电力系统中得到了广泛的应用研

究。一个完整的自动发电控制系统,一般由电网 AGC, 电站 AGC 以及机组调速系统等环节组成。

2.1. 水电厂自动发电控制的目标

在电力系统中,水电机组由于其启动迅速的优势,同时负荷调节灵活,适合承担调峰、调频任务,更适宜并且也更多的在电力系统中参加 AGC 运行。因此,水电厂 AGC 的目标是:按预定条件和要求,以安全、迅速、经济的方式自动控制水电厂有功功率。以满足系统需要。这是在水电机组自动控制的基础上实现全厂自动化的一种方式。

2.2. 水力发电厂 AGC 主要内容介绍

水力发电厂 AGC 的内容主要包括:根据系统运行情况及机组运行工况等实际需求,以安全经济运行原则,确定全厂机组开停机台数,机组组合、以及负荷分配等。目前,AGC 作为水电厂计算机监控系统的一种必备的高级技术,已广泛应用于国内许多水电厂监控系统当中,取得了很好的效果。

2.2.1. 系统需求

系统需求即电力系统要求本水电厂发出的功率值。这一功率包括基本负荷,也包括系统调频所需的功率。此外,某些水力发电厂通常还安排配置一定的旋转备用容量。

2.2.2. 控制整个电厂的有功

不仅要已运行机组的有功功率进行调整,而且要控制电厂机组的合理起停,即确定开停机顺序。

2.2.3. 迅速性

水电厂自动发电控制一方面不应干扰调速器的一次性调节,另一方面又不能太慢,以致影响系统频率的质量。一般可分为两个阶段进行。第一阶段先不改变已运行机组数和组合,在已运行机组间进行负荷调整,这种调整的周期较小,一般取 10 秒左右,第二阶段是根据后面将提到的经济运行原则改变已运行机组数和组合,以满足最优工况的要求,这种调整的周期相对大些,一般取 1~2 分钟。

2.2.4. 经济性^[3]

经济性是指在满足各项限制要求的条件下,以最小的水流量发出所需要的电厂功率,经济性可以用目

标函数(1)来表示:

$$Q_{st} = \sum_{i=1}^n Q_i(P_i, H) \rightarrow \min \quad (1)$$

式中: Q_{st} 为电厂流量, Q_i 为第 i 台机组流量, P_i 为第 i 台机组功率; H 为水头; n 为运行机组数。

2.2.5. 各项限制条件

电厂功率平衡:

$$P_{st} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

式中: P_{st} 为电厂需发功率。

机组功率限制:

$$P_{i*min} < P_j < P_{j*max} \quad (3)$$

电厂备用容量限制:

$$\sum_{i=1}^n P_{av.i} - P_{st} \geq P_{res} \quad (4)$$

式中 $P_{av.i}$ 为第 i 台机组的可利用功率,一般等于机组最大处理; P_{res} 为需要的电厂备用容量。

下游流量限制:

$$Q_{st} \geq Q_{min} \quad (5)$$

由于水电机组可以迅速地改变出力和起停,因此在实施水电厂自动发电控制时,可以与经济分配负荷(EDC)结合在一起进行,甚至还可将机组合理的起停排序都包括在内。

3. 自动发电控制系统结构^[3]

对于整个现代电力系统而言,自动发电控制系统的总体结构主要有计划跟踪、区域调节和机组控制三个环节构成。

3.1. 计划跟踪控制

计划跟踪控制的目的是按照计划提供发电的基点功率。它与负荷预测、机组经济组合、发电计划和交换功率计划有关,主要担负调峰任务。若没有相应计划软件,则需要全部由人工填写。

3.2. 区域调节控制

区域调节控制的目的是使区域控制偏差(ACE)调节到零,这是AGC系统的核心功能。AGC系统计算出

各发电机组为消除ACE偏差所需增、减的调节功率，将这一调节分量加到机组计划跟踪的基点功率之上，得到的控制目标值送到电厂控制器，再由电厂控制器调节机组的发出有功功率。

3.3. 机组控制

机组控制用基本控制回路调节机组，使频率偏差为零。在许多情况下，一台电厂控制器能控制多台机组，AGC的信号送到电厂控制器后，再分到各台机组。此外，整个AGC系统也可以简单地分为两大层，即电网的AGC(决策控制层)和发电机组的AGC(指令执行层)。

4. 水电厂常用控制方式(以鲁布革水力发电厂为例)

4.1. 现地控制^[4]

- 1) 现地自动控制;
- 2) 现地手动控制。

4.2. 远方控制

- 1) CMB盘控制;

2) 计算机手动控制、计算机成组控制[电厂AGC(AVC)、总调AGC(AVC)];其中成组控制分:a) 负荷曲线控制;b) 定电厂功率。正常控制方式为总调AGC控制,若通道故障或总调总设定值不更新,或未收到总调有功设定值,则汇报总调值班员切为我厂计算机控制;若计算机主机停运或控制失灵,则切为中控室CMB盘控制,并通知计算机班处理。电厂AGC功能正常情况下投入。AGC功能投入和退出应按调度指令执行,紧急情况下,可先将AGC功能自行退出,并立即报告值班调度员。AGC机组调节容量、调节死区、调整速率等参数根据调度下达参数设定,不得擅自更改。

每台机有一套PLC与计算机主机相连,可进行计算机开、停机组;加、减负荷;采集电气、机械数据。当计算机PLC故障以及机组试运行、故障处理时应采用现地控制方式。现地控制可进行自动开、停机,手动开、停机,自动、手动同期操作,手动加、减负荷及机组运行监视。每台机有一套可编程控制器,用于机组开/停,各监视点的状态监视。可反映备用机组是

否具备开机条件,并执行现地、远方自动开、停机程序。

5. 水电站计算机监控系统结构介绍

5.1. 电站实例介绍

鲁布革电站位于云南省罗平县与贵州省兴义市交界的黄泥河上,是珠江上游南盘江左岸支流黄泥河上的最后一个梯级电站,总装机容量600 MW(4×150 MW),具有高堆石坝、高水头、长引水隧道和全地下厂房等特点,是我国第一座使用世界银行贷款,主要机电设备从国外引进,部分工程采用国际招投标建设的电站。电站主要由首部枢纽、引水系统及地下厂房枢纽3部分组成。

5.2. 电站监控系统结构及配置^[5]

(如图1)监控系统中主机、操作员站、通信机、四台机组、开关站及公用工控机采用双网配置,断开任何一条网线,不影响计算机监控系统实时数据的采集、控制及传输。更换原多模光纤通道,改用单模光纤,光纤模块直接接入交换机。当任何一个交换机出现故障后,系统自动快速切换到另一路网络工作,即实现网络冗余功能。修改软件配置,达到双网冗余配置功能。

5.3. 上图监控系统实现的主要功能

二台主机、操作员站双网口,分别接入二个网段。主网络网线断开不影响数据采集及控制。总调、中调通信机、公用系统、其它通信机分别接入二个网段,断开其中一条网络线不影响数据的采集及与调度的通信。

四台机组、开关站,总调二台通信机、云南中调二台通信机均采用西门子高性能工控机。采用双网络接口,断开一条,不影响数据采集及控制。集控通信机、集控路由器分别接入二个网段。其中通道断开一条通道,不影响集控的操作。

6. 鲁布革电厂 AGC 策略优化及参数调整

6.1. 电厂在调整优化前并网运行 AGC 考核情况^[6]

正常情况下,机组并网投入AGC后,鲁布革电厂(以下简称电厂)调节范围满足两个细则、AGC技术

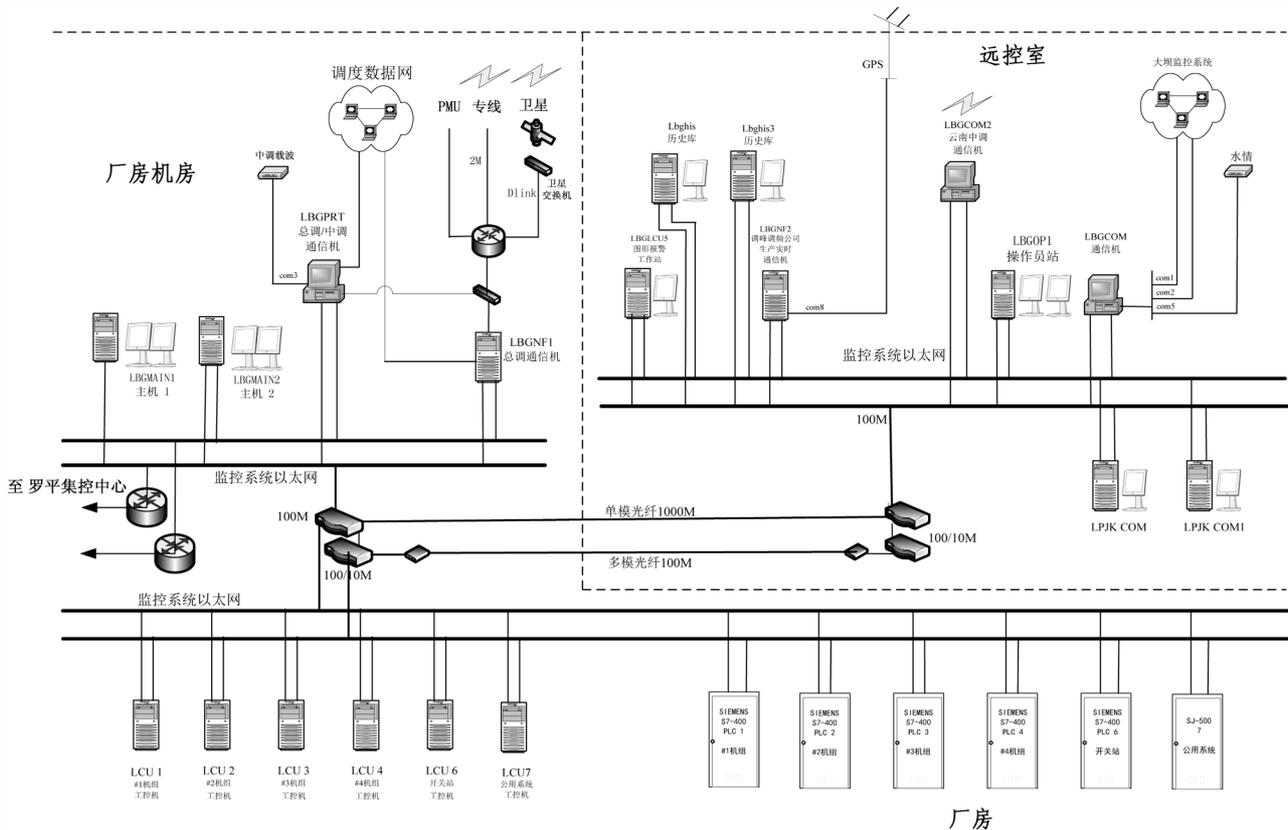


Figure 1. Power plant computer monitoring system of legend
图 1. 发电厂计算机监控系统图例

规范、AGC 管理规定的要求，调节精度(也称调节量误差)基本满足要求(标准：调节量误差 $\leq 3\%$)，调节速率不能够满足要求。2010 年电厂 AGC 被考核电量共计 773.21 MWh，主要是电厂 AGC 调节速率达不到 90MW/min 的指标，降低了电厂的 AGC 合格率，通常只有 67%。

受水头变化(上下游水位变化)、机组启停影响 AGC 时，调节容量不合格率的，通过填报免考申请可免于考核，但调节速率、调节精度并不免考核。

6.2. 存在问题及原因

1) AGC调节速率达不到单90 MW/min，降低了AGC合格率。

AGC 考核指标为调节范围、调节速率和调节精度三部分，每项所占合格率比率为 33%，一项不合格则减 33%。电厂 AGC 存在的主要问题是 AGC 调节速率受到增减负荷的梯度限制，只能达到 20 MW/min 左右的速率，降低了 AGC 合格率，通常只有 67%。在新的 AGC 的测速程序动作之前，调节范围、调节速率

和调节精度三项合格率指标延用上一时段的合格率进行评价和考核，所以造成 AGC 的每一个时段都有考核。例如下表 1 中是该厂 2011 年 11 月 31 日 00:00~08:30 AGC 的合格率及考核情况：

2) 机组并网在线后，单机 AGC 的初始给定值不合理，影响母线电压合格率。

当母线电压偏高时，机组并网在线后，自动投入计算机控制，单机 AGC 的初始给定值不合理，影响母线电压合格率(分配到机组为考核对象)。原因是当母线电压偏高时开机，由于机组并网在线后，自动投入计算机控制，并赋初始给定值有功负荷 20 MW，无功 15 MVar，母线电压抬得更高，值班员先减无功为零，再申请进相运行有一个过程，在这个过程中电压一般就短时越限，已被考核了。

6.3. 改进方法和措施

1) 修改 AGC 控制策略中“增减负荷的梯度限制 [7]”策略，使单机调节速率达到 90 MW/min 的技术要求。

Table 1. The passing rate of AGC and the situation of evaluation, in 31 November 2011 00:00-08:30
表 1. 2011 年 11 月 31 日 00:00~08:30 AGC 的合格率及考核情况

时段	是否免考	PLC 容量 MW	调节范围 MW	调节速率 MW/Min	调节量 误差(%)	合格率%	考核电量 MWh	免考 原因
00:00	否	300	63.33	18.86	1.53	34	0.0247	
00:15	否	150	60	18.86	1.53	67	0.0124	
00:30	否	150	60	18.86	1.53	67	0.0124	
							
07:00	否	150	60	18.86	1.53	67	0.0124	
07:15	否	150	60	23.67	2.73	67	0.0124	
07:30	否	300	100	23.67	2.73	34	0.036	
07:45	否	300	120	23.67	2.73	67	0.0245	
08:00	否	300	120	23.67	2.73	67	0.0244	
08:15	否	300	120	23.67	2.73	67	0.0245	
08:30	否	450	180	23.67	2.73	67	0.0303	

根据“南方区域发电厂并网运行管理实施细则”(南方电监市场(2009)5号)第二十七条中的“水电单机 AGC 调节速率要求达到 60%额定容量/分钟”、“中国南方电网自动发电控制(AGC)技术规范(试行)”(调自(2009)11号)6.5 电厂控制性能标准中要求“水电机组每分钟增减负荷的响应速率宜为额定容量的 50%以上”,因此鲁布革电厂的单机 AGC 调节速率应达到 90 MW/min。

修改 AGC 控制策略中“增减负荷的梯度限制”策略,使调节速率达到单机 90 MW/min 技术要求。具体如表 2 及表 3。

2) 修改机组并网在线后,单机AGC的初始给定值,使母线电压合格率不受影响。

针对我厂机组并网在线后,自动投入计算机控制,并赋初始给定值有功负荷 20 MW,无功 15 MVar,母线电压抬得过高,值班员先减无功为零,再申请进相运行有一个过程,在这个过程中电压一般就已短时越限,已被考核了的问题。采取修改“单机 AGC 的初始给定值”的法和措施,具体如下:

修改前单机 AGC 的初始给定值:机组并网后,自动投入计算机控制,并带基本负荷 20 MW,无功 15 MVar。

修改后单机 AGC 的初始给定值:机组并网后,自动投入计算机控制,并带基本负荷 4 MW,无功 2 MVar。

Table 2. Strategy table of “The gradient restriction or load” before the revision of AGC
表2. 修改前AGC “增减负荷的梯度限制”策略表

机组 AGC 台数	增减负荷的 梯度限制	说明
1 台机	40 MW	单机梯度超 40 MW, 单机设定值跟踪实发值;
2 台机	60 MW	2 台机梯度超 60 MW, 全厂设定值跟踪实发值;
3 台机	80 MW	3 台机梯度超 80 MW, 全厂设定值跟踪实发值;
4 台机	100 MW	4 台机梯度超 100 MW, 全厂设定值跟踪实发值。

Table 3. Strategy table of “The gradient restriction or load” after the revision of AGC
表3. 修改后AGC “增减负荷的梯度限制”策略表

机组 AGC 台数	增减负荷的 梯度限制	说明
1 台机	90 MW	单机梯度超 90 MW, 单机设定值跟踪实发值;
2 台机	180 MW	2 台机梯度超 180 MW, 全厂设定值跟踪实发值;
3 台机	270 MW	3 台机梯度超 270 MW, 全厂设定值跟踪实发值;
4 台机	360 MW	4 台机梯度超 360 MW, 全厂设定值跟踪实发值。

已考虑到 AGC 的有无功调节的死区,详见“鲁布革电厂机组 PLC 的 PID 参数设置表”,具体如表 4。

3) 经过调整优化后测试,投入总调AGC控制后基本不再受考核,AGC达标率几乎为100%,现在电厂运行人员只要掌握好开停机时机,在加减负荷时控

Table 4. Table setting PID parameters Lubuge power plant PLC
表4. 鲁布革电厂机组PLC的PID参数设置表

		1号机组	2号机组	3号机组	4号机组
有功调节	Pkp	10	10	10	10
	Pkd	40	40	40	40
	最大脉宽	1500 ms	2000 ms	2000 ms	2000 ms
	最小脉宽	50 ms	100 ms	100 ms	100 ms
	调节死区	2MW	2 MW	2 MW	2 MW
	调节时间	5分钟	5分钟	5分钟	5分钟
无功调节	Qkp	15	15	15	15
	Qkd	30	30	30	30
	最大脉宽	250ms	600ms	600 ms	600 ms
	最小脉宽	40ms	80ms	60 ms	80 ms
	调节死区	0.8 MW	0.8 MW	0.8 MW	0.8 MW
	调节时间	5分钟	5分钟	5分钟	5分钟

制好节奏, AGC这块基本不再受考核, 减少了电厂不必要经济损失, 为电厂提高了经营业绩, 为大电网的安全增加了砝码。

7. 结束语

自动发电控制(AGC)是现代水力发电自动控制中的一项重要功能, 在目前电力市场环境下, 大多数水电厂需要通过竞价确定 AGC 服务容量。由于承诺的 AGC 服务容量是一个有限值, 因此, 电厂有可能主要基于安全性和经济性两方面的考虑, 协调厂内机组完成 AGC 服务, 因此水电厂的 AGC 调节策略及相关参数也需要重新考虑设置, 才能在便于控制发电安全运行的同时提高经济效益。

参考文献 (References)

- [1] 王定一. 水电厂计算机监视与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001
- [2] 邓晓娟等. 三峡梯级水电站自动发电控制 AGC 研究[J]. 湖北电力, 2003, 15(1): 4-6.
- [3] 蒋伟. 自动发电控制技术在水电厂中的应用[J]. 科技资讯, 2008, 21.
- [4] 沈树林, 方南云, 杨红伟等. 鲁布革电厂运行技术标准[S]. 曲靖: 鲁布革电厂, 2011.
- [5] 杨宗强, 焦一等. 鲁布革电厂计算机监控系统技术标准[S]. 曲靖: 鲁布革电厂, 2011.
- [6] 沈树林等. 鲁布革水力发电厂运行分析[M]. 曲靖: 鲁布革电厂, 2011.
- [7] 赵旋宇, 汪浩等. 中国南方电网自动发电控制(AGC)技术规范(试行)[S]. 广州: 中国南方电网公司, 2010.