

基于电网安全稳定运行 前提下的梯级水电站优化调度新探讨

陈策,袁明友,黄强,唐维
(南充电业局,四川南充 637000)

摘要: 优先和大力发展水电是调整能源结构和可持续性发展的重要措施之一,梯级水电站由于其经济效益显著受到极大的关注。随着水力资源的不断开发,电网结构日益复杂,水电关系必将越来越密切,就梯级水电站的优化调度问题,立足于电网稳定安全,提出了先电网优化再水库调度优化的调度方式。基于四川南充电网梯级水电站,通过PSASP系统进行了不同电网运行方式下的潮流计算,较好地验证了这一方案的提出。

关键词: 电网安全稳定; 梯级水电站; 优化调度; 多 Agent 系统

Abstract: Giving priority to the development of hydropower is one of the important measures for adjusting the energy structure and the sustainable development. Cascade hydropower station has been under the great deal of concern because of its significant economic benefits. With the continuous development of water resources and the increasing complexity of the structure of power grid, the relationship between water and electricity will become closer and closer. Aiming at the optimal dispatching of cascade hydropower station, a new dispatching method is proposed which considers power grid firstly and hydropower secondly based on the safety and stability of power grid. Through PSASP system, the calculations of power flow in different operation modes are carried out based on cascade hydropower stations in Nanchong Power Grid of Sichuan, which has verified this proposal well.

Key words: safety and stability of power grid; cascade hydropower station; optimal dispatching; multi-agent system

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)01-0061-05

0 引言

中国江河流域的水力资源十分丰富,但由于其空间分布的不均,开发程度的不一,各地区间的利用情况存在明显差异,人均资源量仍不富裕。水力资源的合理优化利用不仅关系到水电企业自身的利益,更具有重要的社会意义。特别是在当前,在国家电力市场改革的进程中,水电作为清洁、可再生能源的开发利用已被提升到了国家能源战略的高度,具有更为重要的实际运用意义。

梯级水电站的形成就是充分利用水力资源的主要表现形式之一,它是分布在一条江河流域的上下游且有着水流联系的水电站群。如何提高水资源的利用率、协调各水电站之间的用水矛盾、最大化水电企业的经济效益等问题,已成为众多研究学者关注的重点和难点。

早在20世纪40年代国外就提出了水库优化调

度的一般方法,自此相关研究的理论、数学模型、计算算法都在不断的提出、发展和更新。到目前,学者们已将研究重点转移至水库群优化调度的模型和算法的改进上^[2]。国内对此方面的研究也有着较大进展,众多文献^[3-10]无论是从短期调度或中长期调度考虑,还是从水量可调式或径流式方面考虑,均通过经典算法或现代智能或混合算法进行了相关要点的研究和探讨,并在实际运用中起到了一定的指导作用。

然而,单从水力优化调度来看,上述文献大都从同一个角度思考问题——即是将河流的水力资源作为研究主体,考虑资源利用与机组发电的约束关系,通过不同计算方法来实现对水力资源的优化分配和利用。

水电站的优化调度实质就是水与电之间的相互协调,随着电网的不断发展升级,水电关系也会变得更加密切。因此,水电站机组发出的有功和无功多少直接影响当前上网电网的安全稳定运行。一般实际情况中,水电站会保证机组最大出力或是经济效益最

大化。然而,此时水电站机组发出的有功和无功也许对于当前当地电网安全稳定运行可能并不是最佳。因此,能够兼备电网安全稳定运行的水力优化调度,才能更好地满足社会和经济需求。这里在梯级电站优化调度的基础上,重新选择思考角度,提出全新的思考模型,引入“多 Agent 系统”概念,将各个水电站看作一个个独立且相关联的个体,在保证地区电网或更大电力系统安全稳定运行的前提下,探讨如何分配梯级电站的上网出力,合理优化利用水力资源。

1 多 Agent 系统技术简介

Agent 作为解决复杂系统的一个有效方法,能够利用并行分布式处理技术和模块化设计思想,把复杂系统划分成相对独立的 Agent 子系统,通过 Agent 之间的竞争和磋商等手段解决之间的矛盾和冲突。它具有灵活、协作、自治和易扩展等优点,在交通控制、办公信息处理、分布式传感器、软件动态配置等各项领域应用中均取得了令人满意的成就。Agent 实际系统中的多 Agent 主要研究目的是通过由多个 Agent 所组成的交互式团体来求解超出 Agent 个体能力的大规模问题。它研究的是一组自治代理之间行为的协调,通过对它们的知识、目标、规则的协同和调整,使它们能够联合起来采取行动或求解问题。

将“多 Agent 系统”技术应用在水库优化协调调度上面,在确保电网安全稳定运行的前提下,更加合理的协调梯级水电站的出力,使得经济效益或其他关注目标最大或最优化。

2 数学模型

2.1 目标函数

通常梯级电站优化调度的数学模型依据不同指标建立不同函数,常用的有如下几个。

1) 以水库发电量最大化为目标。

$$\text{Max} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \Delta \sum_{ij} (V_{ij}, Q_{ij}) \quad (1)$$

其中, $\Delta \sum_{ij}$ 为 j 水库在 t 时段的发电量; (V_{ij}, Q_{ij}) 分别表示 t 时段 j 水库的蓄水状态及水库的入库流量。

2) 以水电站经济效益最大化为目标。

$$\text{Max} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m f_{ij} \quad (2)$$

其中 f_{ij} 为 j 水库在 t 时段的发电效益。

3) 其他目标,如某一时期以防洪泄洪为主要任务,或以蓄水为主要任务等。

这里引入“多 Agent 系统”概念,将每一个水电站作为一个独立体 Agent,根据电网安全稳定运行的要求,建立如下统一目标函数。

$$\text{opt.} f(X_i, Y_j) = (f_1, f_2, \dots, f_n) \quad (3)$$

其中 (X_i, Y_j) 表示所关心以及影响各个梯级水电站出力的信息元素反馈值; f_i 表示第 i 台机组优化后的出力大小。

2.2 约束条件

以电网稳定安全运行建立的目标函数,其基本约束条件与电网潮流优化计算时相同,如下。

$$\text{st.} \begin{cases} V_{i, \min} \leq V_i \leq V_{i, \max} \\ P_{i, \min} \leq P_i \leq P_{i, \max} \\ Q_{i, \min} \leq Q_i \leq Q_{i, \max} \end{cases} \quad (4)$$

其中 V_i 表示 i 节点的电压幅值; $V_{i, \min}$ 和 $V_{i, \max}$ 分别表示 i 节点的电压上下限值; P_i 表示 i 节点的有功; $P_{i, \min}$ 和 $P_{i, \max}$ 分别表示 i 节点的有功上下限值; Q_i 表示 i 节点的无功; $Q_{i, \min}$ 和 $Q_{i, \max}$ 分别表示 i 节点的无功上下限值。

在实际电网运行中,应根据具体情况的需求增加制定相应的其他约束条件,如各水电站的库容、水量平衡等约束。

2.3 实现方法

首先,在确定的电网结构基础上,找出所关心区域的电网枢纽点,通过优化计算得出不同时期(如丰水期、枯水期)电网安全稳定运行时各个枢纽节点的最优运行条件,即是得到一组式(3)中的 (X_i, Y_j) 。其中 (X_i, Y_j) 信息值可通过式(5)和式(6)的类似目标函数得到。例如式(5)即是将电网枢纽节点的电压幅值和无功数值作为反馈给梯级水电站多“Agent 系统”的信息元素。

1) 以电网电压质量、无功就地平衡为目标。

$$\text{opt.} f(V_i, Q_i) \rightarrow (V_i, Q_i) \quad (5)$$

2) 以电网有功功率损耗最小为目标。

$$\text{Min.} \sum_{i=1}^l (\Delta p_i) \rightarrow (X_i, Y_j) \quad (6)$$

3) 其他目标,以无功功率损耗最小,或以电网传输功率最大等。

接着,梯级水电站的“多 Agent 系统”管理决策层收集 (X_i, Y_j) 信息,并通过相应的内部规则及约束条

件对各独立 Agent 进行二次统一协调、分析。

最后 梯级水电站优化调度“多 Agent 系统”管理决策层得出最终各个水电站乃至各台机组的出力方案 f_1, f_2, \dots, f_n 。

实现主要步骤如图 1 所示。

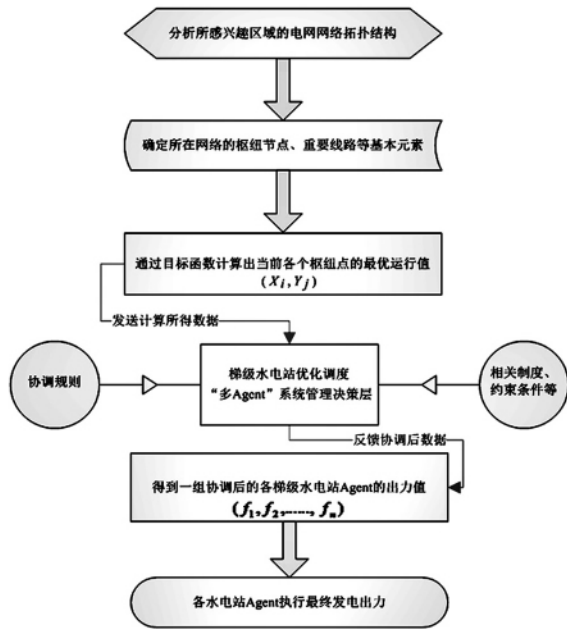


图 1 基于电网安全稳定运行前提下的水力优化调度流程图

3 实例

3.1 南充电网的运行特点^[12, 13]

南充电网位于四川电网的东北部。截至 2010 年

年底,主网共有变电站共 25 座,其中 220 kV 5 座,110 kV 16 座,35 kV 4 座,嘉陵江流域现有 8 级水电站在南充电网上网发电。随着电网的不断发展和水力的不断开发,预计 2011 年年底嘉陵江流域的梯级水电站将增至 10 级以上。

由于南充市是一个典型的农业大市,工业相对其他城市欠发达,用电负荷相对稳定的工业用电负荷在全网负荷中所占比例偏低,是一个以民用负荷为主的电网,因此受季节、温度变化及嘉陵江来水大小的影响较大。电网的负荷特性表现显著,用电负荷预测困难且不易控制,特别是在枯水期时天气气温较低——此时发电出力较少,负荷需求增大以及在丰水期时气温适宜——发电出力较多,负荷需求一般或偏少这两种情况下表现尤为明显。

南充电网作为一个有源网络,各个水电站的出力情况直接关系到电网运行的稳定和安全。因此,研究如何协调好各级水电站的发电出力,满足用电负荷需求,对保证南充电网运行的安全稳定运行,有着重要的实际意义。

3.2 南充电网的网络拓扑结构

南充电网的 110 kV 主要网络结构如图 2 所示,其中各个变电站之间的主要联络线以单线方式表示,各个水电站在对应变电站的上网情况均以实际状况标明。

3.3 示例

这里采用 PSASP(power system analysis software

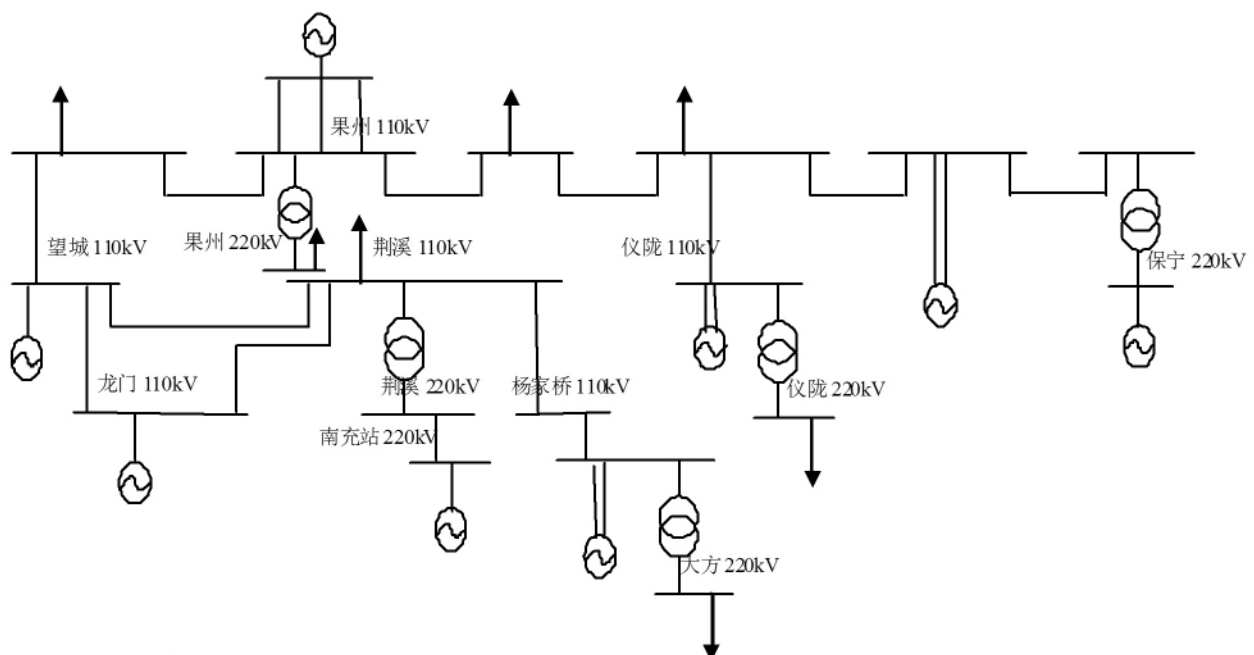


图 2 南充电网一次接线拓扑图

package) 仿真软件进行系统潮流计算,各水电站优化协调出力原则是在南充电网 2011 年最新潮流计算数据的基础上局部选择性调整。

选取了具有代表性的 5 个节点作为电压枢纽节点以及 4 条线路的潮流作为分析对象。分别为 220 kV 果州站母线节点、220 kV 荆溪站母线节点、220 kV 大方站母线节点、220 kV 保宁站母线节点、220 kV 仪陇站母线节点以及 220 kV 保荆线、110 kV 关州一线、110 kV 关州二线和 110 kV 关州三线。所选节点及输电线路在南充电网的实际地位十分关键,分别代表了南充电网各个片区的电压质量和潮流分布情况,因此上述对象的变化情况具有一定的研究价值。

3.3.1 基本潮流

2011 年南充电网基本潮流如图 3 所示,通过 PSASP 仿真系统,就丰小和枯大两种典型运行方式下的水力优化协调前后情况进行如下计算和比较分析。

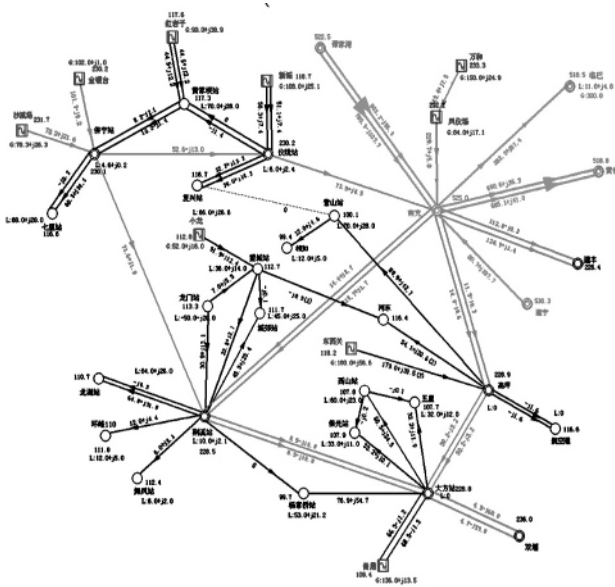


图 3 南充电网基本潮流示意图

3.3.2 运行方式 1: 丰水期且气温适宜时

该方式属于丰小运行方式,一般出现在一年中的春末夏初,气温回暖,江河水流量增大,梯级水电站通常会保持最大出力来获得客观的经济效益。但由于此时气温适宜,南充电网的负荷特性决定了用电需求不大,容易出现上网电力充足,系统电压偏上限运行,电网的主线路也容易过负荷运行。

按照所提的思考模式,先得出电网运行方式 1 下的运行最优值,再将这些最优值反馈给梯级水电站的“多 Agent 系统”管理决策层,通过内部协调规则得到新的出力方案。

图 4 及表 1、表 2 分别将该运行方式下协调前后的电压幅值及主线路潮流表示出来。

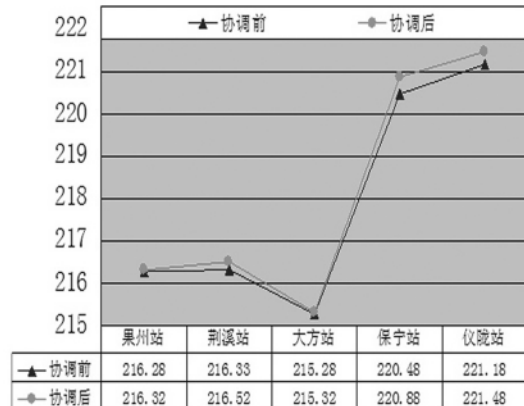


图 4 协调前后的枢纽节点电压幅值

在该运行方式下,南充电网一方面可以适当减少水电出力,另一方面也可通过将水电过剩出力通过主线路传送到相邻电网。协调后的南充电网电压质量比协调前的更加符合系统运行要求,主线路潮流过负荷的可能性也被大大地降低。

由此可见梯级水电站出力多少对整个电网的安全稳定运行有着不可忽视的影响。

表 1 运行方式 1 下的南充电网水力优化协调前后的各水电站出力情况

	协调前/MW, Mvar	协调后/MW, Mvar
金台银电厂	78.0 + j15.0	60.0 + j30.0
万和电厂	75.0 + j20	112.5 + j30.0
红岩子电厂	60.0 + j6.5	70.0 + j30.9
新城电厂	72.0 + j29.9	72.0 + j25.1
马回电厂	30.0 + j20.0	50.0 + j20.0
小龙电厂	26.0 + j10.0	40.0 + j20.0
青居电厂	68.0 + j4.0	60.0 + j12.0
东西关电厂	90.0 + j14.3	100.0 + j36.6

表 2 运行方式 1 下的南充电网水力优化协调前后的主要线路潮流负荷情况

	协调前/MW, Mvar	协调后/MW, Mvar
保荆线	32.68 - j2.10	19.80 - j2.16
关州一线		
关州二线	89.46 + j6.41	99.23 + j31.20
关州三线		

3.3.3 运行方式 2: 枯水期且气温较低时

该方式属于枯大运行方式,一般出现在一年中的冬季,河流水流量极少,梯级水电站通常停机蓄水或是少量上网发电。而此时由于气温较低,居民用电需求剧增,容易出现上网电力不足,系统电压接近下限运行,如图 5 “▲”所示。同时,主要线路为能满足负荷增长需求,潮流相对流动性较大,从主网下载负荷

的可能性比较大。未协调前的机组出力及主线路潮流分布情况分别见表3和表4。此时的南充电网运行方式极有可能影响相邻地区电网(如遂宁、达州)乃至主网(四川电网)的电压质量及安全稳定性。

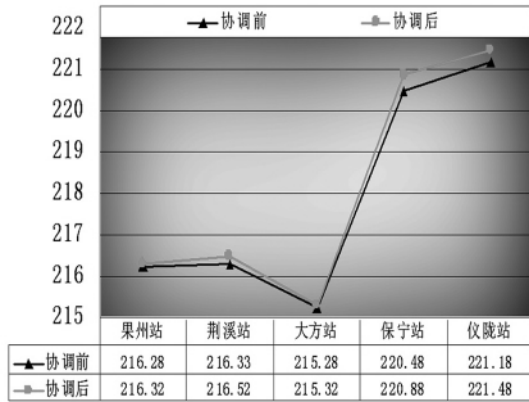


图5 协调前后的枢纽节点电压幅值

就所提方式,通过水电站“Agent 管理系统”的统一协调,得出新的出力方案,见表3协调后数据,此时南充电网的枢纽节点电压及主线路潮流分别如图5“●”及表4协调后所示。

由上可见,协调后的电网电压质量较协调前的优质,主线路的潮流负荷分配更加合理,减少了对主网系统的不利影响。

表3 运行方式2下的南充电网

水力优化协调前后的各水电站出力情况

	协调前/MW, Mvar	协调后 MW, Mvar
金银台电厂	80.0 +j3.0	90.0 +j10.0
万和电厂	75.0 +j20.0	75.0 +j16.7
红岩子电厂	60.0 +j10.0	70.0 +j20.0
新城电厂	72.0 +j21.1	72.0 +j20.0
马回电厂	30.0 +j12.0	30.0 +j12.0
小龙电厂	26.0 +j6.0	42.0 +j16.8
青居电厂	68.0 +j7.6	68.0 +j4.0
东西关电厂	90.0 +j2.3	100 +j10.0

表4 运行方式2下的南充电网

水力优化协调前后的主要线路潮流负荷情况

	协调前/MW, Mvar	协调后/MW, Mvar
保荆线	18.15 +j28.56	40.6 +j18.83
关州一线		
关州二线	89.14 +j29.66	98.99 +j27.40
关州三线		

综上所述,统一协调优化后的梯级水电站出力比没有加入电网运行条件考虑因素的水电站出力更加合理实用,对于电网的安全稳定运行具有重要的影响作用。

4 结论与展望

就梯级水电站的优化调度问题,立足于电网安全稳定,提出了先电网优化再水库调度优化的调度方式,对于实际电网的运行调度有着重要的意义。随着江河流域水能源的不断开发,电网结构变得更加复杂紧密,水电站上网发电对电网的安全影响也会越来越大,所提出的考虑方式值得借鉴和研讨。但就梯级水电站之间的协调调度规则尚不成熟,需要结合梯级水电站本身调度进一步完善和探讨才能更好的运用于实际。

参考文献

- [1] 韩冰,张粒子.梯级水电站优化调度方法综述[J].现代电力,2007,24(1):78-82.
- [2] 胡国强.梯级水电站优化调度模型与算法研究[D].华北电力大学博士学位论文,2007.
- [3] 陈毕胜.梯级水电站长期优化调度的研究与应用[D].武汉:华中科技大学硕士学位论文,2004.
- [4] 李义.梯级水电站短期优化调度的研究与应用[D].武汉:华中科技大学硕士学位论文,2004.
- [5] 张铭,丁毅,袁晓辉,等.梯级水电站水库群联合发电优化调度[J].华中科技大学学报:自然科学版,2006,34(6):90-92.
- [6] 施展武,罗云霞,邱家驹.基于Matlab遗传算法工具箱的梯级水电站优化调度[J].电力自动化设备,2005,25(11):30-33.
- [7] 赵国杰,杨敏.基于动态固化的梯级水电站长期优化调度研究[J].水力水电工程设计,2006,25(4):44-46.
- [8] 王金文,石琦,伍永刚,等.水电系统长期发电优化调度模型及其求解[J].电力系统自自动化,2002,26(24):22-25.
- [9] 邹建国,芮钧,吴正义.梯级水电站群优化调度控制研究及解决方案[J].电力自动化设备,2007,27(10):107-110.
- [10] 吴杰康,李赢.梯级水电站联合优化发电调度[J].电力系统及其自动化学报,2010,22(4):11-18.
- [11] 刘伟达,孟建良,庞春江,等.多Agent在电力系统中的应用[J].电气时代,2004(8):72-74.
- [12] 南充电业局.四川南充电网2010年运行方式[R].2010.
- [13] 南充电业局.四川南充电网2011年运行方式[R].2011.

(收稿日期:2011-08-11)