

电力现货市场条件下水库多目标协同调度方法研究

肖卫国

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，甘肃 陇南 746412

[摘要]随着我国电力体制改革不断向前推进，电力现货市场也在逐步发展起来，水电资源调度所处的环境变得更为复杂且充满动态变化，在这样的大背景之下，水库调度既要考虑到发电方面的需求，又要兼顾防洪的要求，同时还要关注生态保护的相关事宜，并且要在市场价格出现波动的情况下达成经济效益的最大化，这就形成了一个多目标协同方面的问题。本论文深入分析了水库调度当中存在的关键难点，像目标之间存在冲突、市场存在着不确定性以及水文情况和设备运行状况较为复杂等情况，依据这些情况构建了一个能够兼顾发电、防洪以及生态保护需求的多目标优化模型，提出了多目标协同调度的方法以及相应的决策支持体系。相关研究说明，该方法在确保防洪以及生态不受影响的前提下，可以让发电收益得以提升，进而实现水库调度综合效益的优化，能为电力现货市场环境下水库调度工作提供科学方面的参考以及技术层面的有力支撑。

[关键词]水库调度；多目标协同；电力现货市场

DOI: 10.33142/aem.v7i10.18224

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Research on Multi-objective Collaborative Scheduling Method for Reservoirs under the Conditions of Electricity Spot Market

XIAO Weiguo

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: With the continuous advancement of Chinese power system reform, the spot market for electricity is also gradually developing. The environment in which hydropower resources are dispatched has become more complex and dynamic. Against this backdrop, reservoir dispatch needs to consider both the demand for power generation and flood control, as well as related issues of ecological protection. It is also necessary to maximize economic benefits in the face of market price fluctuations, which has formed a multi-objective coordination problem. This paper deeply analyzes the key difficulties in reservoir scheduling, such as conflicts between objectives, market uncertainties, and complex hydrological and equipment operation conditions. Based on these situations, a multi-objective optimization model that can balance power generation, flood control, and ecological protection needs is constructed, and a multi-objective collaborative scheduling method and corresponding decision support system are proposed. Related studies have shown that this method can increase power generation revenue while ensuring flood control and ecological integrity, thereby optimizing the comprehensive benefits of reservoir scheduling, which can provide scientific references and strong technical support for reservoir scheduling work in the electricity spot market environment.

Keywords: reservoir operation; multi-objective collaboration; electricity spot market

引言

水电在我国能源结构里占据着重要位置，它一方面肩负着清洁能源供给的重任，另一方面在防洪以及生态保护方面也起到极为关键的作用。伴随电力现货市场不断发展起来，水库调度碰到了环境较为复杂、约束呈现多元化的诸多挑战，以往那种以发电当作核心的调度模式，已然很难去满足多目标方面的各种需求了。在实际开展调度工作的时候，得把发电、防洪还有生态保护等方面都兼顾到，

然而这些不同的目标之间，在时空尺度、优先级以及约束条件等众多方面均存在着一定的差异，这无疑使得决策的复杂性进一步增加了。与此电力市场价格不停地出现波动，这就给水电的经济性提出了全新的要求，得依据市场的变化情况来对发电策略做出相应的调整，从而达成收益最大化的目标。所以说，针对电力现货市场条件之下的水库多目标协同调度展开相关研究，这对于提高水电的综合利用效率、保障防洪安全以及维持生态平衡而言，都有着十分

重要的意义，还能够推动整个行业的可持续发展。本文紧扣调度所存在的难点，深入剖析目标之间的冲突情况、市场所具有的不确定性以及水文与设备运行方面的复杂性等问题，并且还给出了多目标优化模型、智能算法以及决策支持体系等相关内容，以此为水库调度给予科学的方法以及技术方面的有力支撑。

1 水库多目标协同调度难点分析

1.1 多目标冲突

发电目标需维持高水位，防洪目标则要预降水位，二者在水位控制上相互矛盾。生态保护目标对水位变化、下泄流量有特定要求，与发电、防洪目标的协调难度大。例如，在枯水期为保障发电，水库水位较高，可能影响下游河道生态需水；而在汛期为防洪提前泄洪，又可能打破生态系统的水位平衡。这种目标间的冲突，给水库调度带来极大挑战。伴随电力现货市场的引入，水库调度得同时考虑电价波动所引发的发电收益最大化这一需求，如此一来，原本就颇为复杂的那些目标协调方面的问题便显得更为突出了。不同的目标其对应的时间尺度以及空间要求是不一样的，就好比防洪方面的要求是在汛期之内要短时间内大幅度地去调节水位，然而生态保护以及发电这两个目标则更着重于长期的稳定性和连续性，这无疑又给调度方案的制定增加了不少的难度。多目标冲突的情况存在，这就逼迫着调度管理者在实际的操作过程当中必须要在发电效益、防洪安全还有生态保护这几个方面不断地去做动态的权衡，从而保证水库能够实现综合效益的最大化。

1.2 市场环境与不确定性

在电力现货市场这样的大背景之下，水库调度所面临的市场环境呈现出极为显著的不确定性特点，这种不确定性主要聚焦在电价方面会有所波动，同时市场交易机制也存在着不稳定的状况。电力现货市场的价格是依据供需关系的变化而不断波动的，而且价格的高峰与低谷常常会在较短的时间内出现较为剧烈的变动情况，这就要求水库在开展调度工作的过程当中，必须要将实时经济效益最大化这一方面和传统的水文目标这两者之间的平衡给妥善兼顾到。从另一个角度来看，市场交易周期跟水文过程所对应的时间尺度是不相匹配的，发电调度决策往往需要在很短的时间里面就要完成，然而水库水位的调整涉及到诸如入库流量、水库容量以及下泄流量等诸多物理方面的约束条件，这使得调度方案很难能够快速地去适应市场的变化情况。除此之外，市场参与者的行为、需求侧的响应情况以及政策调控等方面也都存在着不确定性，这些因素都进一步增加了水库调度工作的复杂程度。在这样的一种背景

情况之下，传统的那种基于静态计划或者依靠经验来开展调度的方法是没办法有效地去应对价格波动所带来的经济性方面的约束要求的，所以必须要引入预测以及智能优化的相关手段，通过构建市场价格预测的模型并且制定滚动调度的策略，从而促使水库调度能够在动态的电力市场条件之下达成多目标的协同效果并实现效益的最大化。

1.3 水文与运行条件复杂性

水库调度一方面会受到市场环境方面的影响，另一方面还受限于水文条件以及水电设备运行所呈现出的复杂状况。水文条件存在诸多不确定性，其主要表现在降水量在时间与空间分布上存在差异，还有流域径流响应情况不够均匀等方面，这些因素会对入库流量预测的精确度以及水位调控方案是否可行产生直接影响。枯水期和汛期在水文方面存在明显差异，这就要求调度方案具备一定的灵活性与适应性，与此水库设备的运行状态、机组的调节能力以及水力方面的约束情况也会对调度方案的可行性形成限制。尤其是在开展多水库联合调度或者系统联动运行工作的时候，水库之间水量的传递情况、上下游水位的控制状况以及发电机组启动与停机的相关条件都会使得调度决策变得更加复杂。除此之外，水库调度还需要充分考虑长期运行的安全性以及设备的经济寿命情况，要是单纯依据短期经济效益来制定调度方案，那么就有可能导致设备出现过载现象或者过度调节的情况，进而对系统的整体稳定性造成不利影响。所以，水库调度务必要在复杂的水文条件以及设备运行约束条件之下，全面兼顾发电、防洪以及生态等多重目标，以此来达成科学、稳定且高效的运行方案。

2 水库调度目标与指标体系

2.1 发电目标

水库调度有着诸多目标，其中发电效益最大化当属其重要目标之一。这一目标所呈现出来的意义并不仅仅在于发电量能够有所提升，而且还涉及到要和电力现货市场的价格达成有效的契合，进而促使经济收益得以最大程度地优化。在开展调度工作的过程当中，务必要全面且细致地考量水库自身的蓄水能力、机组的运行效率以及历史流量所呈现出的规律等方面的情况，并且依据这些情况来合理地安排机组的启停事宜以及水位调节的具体策略，以此确保水库可以在不同的时间段里都能够较好地去适应市场价格出现的波动状况，从而让发电收益得以提高。除此之外，发电这一目标在设定的时候还需要同时兼顾到长期运行时所应有的稳定性，不能因为短期高峰期的调度操作而致使机组频繁地进行启停动作或者出现设备过载的状

况,不然的话就会影响到设备的使用寿命以及整个系统的安全性。在实际的调度工作当中,发电目标往往会和防洪目标以及生态保护目标之间产生一定的冲突,所以必须要在相关的模型当中借助权重分配的方式或者是多目标优化的方法来达成一种综合性的平衡状态,从而使得水库调度既能够保障发电方面具备良好的经济性,又不会违背其他的各项约束条件,最终实现可持续的运行状态。

2.2 防洪目标

防洪安全作为水库调度所遵循的关键约束条件之一,其主要目的在于全力保障下游地区以及水库自身的安全,有效防止洪水给相关区域带来损失。在开展调度工作的整个过程当中,得依据汛期预报情况以及降雨预测状况,去合理把控水库水位以及下泄流量,还要留出足够的防洪库容,从而保证在出现极端降雨事件的时候,能够做到快速做出反应并且对水量加以调节。与此防洪目标还规定调度方案要具备动态调整的能力,能够妥善应对突发洪水以及入库流量方面的变化,尽力降低洪水给下游生态环境以及社会活动所带来的影响。防洪目标的达成往往涉及到时间的敏感性以及水位方面的约束,所以需要在不一样的水文条件下制定出具有差异化特点的调度策略,以此来确保在洪水期间水库能够保持安全状态,并且满足下游防洪的需求。鉴于防洪目标和发电目标在水位控制方面存在着矛盾,所以调度方案必须要在安全性以及经济效益这两个方面去做相应的权衡,让水库可以兼顾防洪安全以及其他运行目标,最终实现综合效益的优化。

2.3 生态保护目标

生态保护已然成为现代水库调度所着重关注的一个重要目标,其主要表现在如下方面:要切实保障下游河道有着生态方面的需水要求得以满足,要着力维持水位以及流量呈现出一定的稳定性状态,还要努力去改善水生生物所处的栖息环境状况。在制定调度方案的时候,务必要依据河道生态的实际需求情况,对水库下泄的流量加以合理安排,同时也要对水位变化的幅度予以妥善安排,从而确保生态系统不管是在枯水期还是在汛期,都能够获取到必要的水资源方面的有力支持。生态保护这一目标和发电以及防洪这两个目标在水位控制这件事情上常常会存在着一定的冲突情况^[1]。比如说,在枯水期的时候,较高的水位对于发电而言是较为有利的,然而这却有可能会对生态需水产生不利的影响;而在汛期的时候,若提前进行泄洪操作,虽说可以在一定程度上起到防洪的作用,可是却可能对河道生态平衡造成破坏。所以在开展调度工作的整个过程当中,必须要将生态指标予以量化处理,并且将其

纳入到优化模型当中,借助多目标优化算法来达成生态保护和其他各个目标之间的相互协调。在实际的操作环节当中,生态保护这个目标还需要综合参考长期生态监测所获取的数据信息以及环境变化所呈现出的趋势走向,动态地去对下泄策略做出相应的调整,进而实现水库调度和生态系统健康之间能够达成可持续性的平衡状态。

3 多目标调度模型与优化方法

3.1 多目标优化模型构建

多目标优化模型乃是达成水库调度协同的关键工具,在构建该模型之时,务必要兼顾发电、防洪以及生态保护等诸多目标。得要清晰明确各个目标的数学表达形态,像发电量或者收益函数、防洪风险的量化指标还有生态需水或者是生态流量方面的约束等^[2]。接着,要把各个目标借助权重系数或者 Pareto 最优的方法予以综合,进而形成能够供优化算法去求解的多目标函数体系。与此模型还应当考虑到水库运行的各种约束情况,比如水位的上下限限制、机组流量所处的范围、上下游水量传递的约束以及水库联合调度的约束等等,以此来保障求解方案具备可行性。在应对不确定性这模型需要与流量预测、气象预报以及市场价格的波动相结合起来,通过开展情景分析、运用随机优化或者鲁棒优化的方法,提升模型自身的适应性以及鲁棒性,从而让调度方案在遭遇复杂的水文以及市场环境状况下,仍然可以达成目标协同并且实现综合效益的最优化状态。

3.2 多目标优化方法

水库调度存在多目标优化问题,可结合智能优化算法、权重法以及滚动优化策略来解决。智能优化算法像遗传算法、粒子群优化算法还有多目标蚁群算法,可在复杂约束和非线性情况下去找 Pareto 最优解,给出多种调度决策方案。权重法和层次分析法能对不同目标的重要程度加以量化,让调度方案依据季节、市场价格以及水文条件去调整优先级^[3]。滚动优化和动态调度策略通过预测未来若干时间步并实时做出调整,达成短期快速响应和长期综合优化的平衡。实际运用时,这些方法相互配合,能充分运用历史数据和实时信息,迅速生成符合多目标约束的调度方案,依据市场变化和水文条件进行动态优化,提升水库调度的科学性与经济性。

4 结语

在电力现货市场的环境之下,水库调度面临着多目标协同方面颇为复杂的挑战,其中涉及到诸如发电、防洪以及生态保护等一系列相互之间存在制约关系的目标。本文对调度所存在的难点展开了分析,像目标出现冲突的情况、

市场呈现出的不确定性还有水文以及设备运行方面的复杂状况等都包含在内，并且还明确指出了水库调度在现代能源市场以及生态环境这种大背景之下的核心关键问题。在此基础之上，搭建起了多目标优化的模型，通过智能优化算法实现发电收益、防洪安全以及生态保护之间的动态平衡与综合优化。研究得出的成果显示，在确保安全以及生态能够得到保障的前提条件之下，这种方法是能够切实有效地提升经济效益的，同时也给水库调度朝着科学化方向发展以及实现可持续发展给出了行得通的路径。未来的相关研究可以进一步去拓展到多水库联合调度、跨流域优化以及和智能电网以及能源互联网相融合的调度策略等方面，进而为我国水电行业实现高质量的发展给予相应的

技术方面的有力支撑。

[参考文献]

- [1]周曼,仇红亚.以三峡为核心的水库群多目标联合调度[J].水利水电快报,2025,46(10):96-100.
- [2]王彪.水库防洪调度多目标之间运行方式研究——以小中甸水库为例[J].小水电,2025(3):9-10.
- [3]彭冲.基于人工智能的水库调度与水力发电优化调控[J].智慧中国,2025(5):110-111.

作者简介：肖卫国（1982.1—），性别：男，毕业院校：河海大学，所学专业：水文与水资源工程专业，当前就职单位：大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，职务：集控中心主任助理，职称级别：工程师。