潮汐电站发电运行调度影响因素研究分析

吕朝阳，王东辉，谭红燕，何 钢
（中南勘测设计研究院 长沙 410014）

摘 要：潮汐能是一种洁净无污染、蕴藏量丰富的可再生新能源。我国海岸线漫长曲折，蕴藏着丰富的潮汐能资源。开发和利用潮汐能，对于缓解我国能源危机具有重大意义。文章通过对已建或拟建潮汐电站发电运行相关因素的分析研究，分析各影响因素之间的相互关系，衡量各因素的权重比例，可为潮汐电站发电运行调度方式选择提供参考依据，对提高潮汐电站的综合效益有重大帮助。

关 键 词：潮汐电站；运行调度；影响因素

1 概述

国外潮汐电站的开发是从19世纪开始的。1912年德国在胡苏兴姆建成了世界第一座潮汐电站，从此开始了将潮汐能转化为电能的历史[1]。1967年世界上第一座大型潮汐电站——朗斯潮汐电站在法国投入商业运行，该电站装机24万kW。1968年前苏联建成基斯洛湾潮汐电站，装机400 kW。我国自1958年开始研究开发利用潮汐能，于20世纪60年代开始建设潮汐电站，1980年中国江夏潮汐试验电站第一台机组建成发电，电站总装机3 200 kW，其装机规模目前排名世界第三。至1985年我国先后建成沙山、岳浦和江夏等约40座潮汐电站，均属小型潮汐电站。自1985年江夏潮汐试验电站全部建成发电至今20年，我国潮汐能的开发利用处于停滞状态，不仅没有兴建新的潮汐电站，已建的潮汐电站，有的因机组失修而报废停运，有的因大电网延伸到沿海边远地区，与大电网相比电价过高而退出竞争市场，有的因经营困难而关闭[2]。目前，我国正常运行或具备恢复运行条件的潮汐电站有江夏、幸福洋、白洋口、岳浦、浏河、海山、沙山和果子山等8座，另有甘竹滩洪潮电站1座。

随着我国经济的不断发展，电力不足的问题已越来越严重。尤其是东部沿海地区为我国的电力负荷中心所在，每年的电力消费约占全国的40%。而这些地区煤、石油等常规能源比较贫乏，可再生能源蕴藏量大。因此，立足于本地区的可再生清洁能源的开发利用成为解决电力供应不足的重要途径。我国大陆海岸线长，据全国沿海普查资料统计，全国有近200个海湾、河口可开发潮汐能。东南沿海有很多能量密度较高，平均潮差4～5 m，最大潮差7～8 m，自然环境条件优越的坝址，如钱塘江口，最大潮差7.5 m[3]。据估计，上海的长江口北支，最大潮差6 m，具有建造700 MW级潮汐电站的潜力。我国适合潮汐发电的港湾面积占大陆沿海港湾面积的65%以上，这种分布趋势正与我国沿海能源供需形势相吻合。其中浙江省可开发潮汐能资源的装机容量为879.8万kW，占全国总量的40.8%；可提供年发电量达264亿kW·h，占全国总量的42.7%[4]。

但是，潮汐发电在我国发展建设中尚存在一些问题，开发利用潮汐能在我国任重而道远。笔者主要从潮汐电站运行调度影响因素分析、影响因素之间关系分析及运行调度方式探讨分析3个方面展开论述，这可为潮汐电站发电运行调度方式选择提供参考依据，对提高潮汐电站的综合效益有重大帮助。

2 影响潮汐电站发电运行因素分析

2.1 潮汐电站水文资料分析

潮汐电站水文资料主要包括潮位、潮差、潮汐类型及库区入库河流等内容。潮位分析主

要是对潮汐涨潮及落潮的分析，即对潮汐涨潮过程的分析，包括对潮汐涨潮时间分析，潮汐涨潮时间的不同对电站的调度运行有直接的关系，影响潮汐电站库区蓄水过程，从而影响电站反向发电，进一步影响其他因素（如影响潮汐电站在该过程中的发电量、影响该时段内库区水位变化，从而影响库区的水产养殖等）；对潮汐涨潮过程中的高潮及高高潮的分析也十分重要，其关系到库区蓄水调度方式，也影响库区其他产业的发展。潮差分析主要针对潮差的大小，其关系到潮汐电站的发电水头，直接影响潮汐电站的能量指标，是潮汐电站调度运行的关键影响因素；潮差的大小对潮汐电站运行调度有特别重要的意义，潮汐电站的年发电量与年平均潮差的平方成正比，另外，潮差大小对电站发电量的影响含有双重作用：一体现在发电水头上，因一般情况下潮汐电站所利用的水头是取潮差部分值；二是体现在发电流量。潮汐类型主要包括正规半日潮、不正规半日潮混合潮、不正规日潮混合潮、正规日潮等 4 种类型[5]。正规半日潮在一个太阴日内有 2 次高潮和 2 次低潮，潮汐日不等现象不明显；不正规半日潮混合潮在一个太阴日内有 2 次高潮和 2 次低潮，但相邻的 2 次高潮或低潮高度不相等，而且涨潮时间和落潮时间不相等；不正规日潮混合潮在一月之中的部分日子里，每天出现 1 次高潮、1 次低潮的现象；正规日潮在一月之中，多数日子内只有 1 次高潮和 1 次低潮，少数日子里有 2 次高潮和 2 次低潮，潮汐类型的不同及其变化情况对潮汐电站运行调度影响很大。库区入库河流水文特性分析，库区入库河流分析非常重要，根据入库河流来流情况，可以选择潮汐电站运行调度方式，如入库流量较为稳定，则潮汐电站可考虑周调节（或月调节）运行调度方式发电，可在地方电网中承担调峰运行任务。

2.2 水库消落深度、库容等特征参数分析

潮汐电站水库消落深度是直接反映电站调节性能的参数之一，消落深度大，则表明电站的调节性能相对较好，在电网系统中可承担峰荷运行，电站在实际运行调度中可有多种方式选择；消落深度小，情况则相反。

潮汐电站库容分析，水库库容大小与电站的调节性能密切相关，库容大，一般情况下，电站调节性能相对较好，可供选择的运行调度方式则相对较多；库容小，情况则相反。另外，水库库容随水位变化趋势也影响潮汐电站的运行调度方式。

2.3 电网系统、社会效益等因素分析

电网系统分析主要包括供电区负荷特性、地区产业结构及负荷输送距离等因素。负荷特性分析主要包括对电站供电区域负荷变化规律（系统最大负荷及最小负荷等变化）、系统负荷峰谷差、系统负荷调峰要求及系统运行安全稳定性等因素分析。系统最大负荷和系统负荷调峰要求是分析电站送电可行和工作位置安排的重要制约因素，根据供电区负荷特性进行电力电量平衡计算分析，分析确定电站在供电区的工作位置，结合其他因素最终确定电站的运行调度方式，如电站库容较大，具备一定的调节能力，则可根据平衡结果，将电站工作位置安排在峰荷运行（一般是日调峰运行），如果电站库容较小，调节能力小，则将电站安排在腰荷或基荷运行，结合电站其他综合利用要求，可初步分析拟定电站日运行调度方式。系统安全稳定运行分析主要是根据电站调节性能，体现在电站根据自身条件，拟定合适的运行调度方式，尽可能保持电站稳定发电，促进电站安全稳定上网送电。

社会效益对潮汐电站发电运行方式也存在潜在影响，潮汐电站不仅为单一的水工建筑物，电站运行调度关系到区域景观发展，影响地区旅游形象，如在区域旅游高峰季节，电站将顾及地方旅游发展要求，协调迎合地区旅游景观状况，适当调整电站调度方式，为维护地方旅游形象作出贡献。社会效益还体现在电站促进地方财政发展，推动地方公共事业建设等方面。

2.4 综合利用开发及电站经济性分析

潮汐电站建设需充分利用电站辖区水、土资源和设备优势、自身技术，因地制宜开展多种经营，综合利用项目主要有水产养殖、围涂造田、改善交通及发展旅游业等。潮汐电站发

电运行方式与综合利用紧密相关，如水产养殖，电站水库库内水位需满足水产生物生长要求，库区水位不宜太低，导致水产养殖出现临时水量不够现象，不利于水产养殖；围涂造田，在潮汐电站规划设计阶段，可根据海湾地形、滩涂标高和综合利用要求等，适当缩小库区或降低发电水位，将库内近岸滩涂进行圈地，潮汐电站建成后，则在实际运行调度过程中，需考虑库区水位不宜过高；其他方面，潮汐电站运行方式对海港建设的影响，潮汐电站满足海港电力需求，海港海工建筑物为潮汐电站利用，最终实现纳潮发电、冲淤建港和提高综合效益的目标。

潮汐电站经济性分析，主要包括潮汐电站发电供电可靠性经济评价和潮汐发电结合综合利用经济评价。潮汐电站运行方式不同直接影响电站供电的可靠性，电站供电可靠性对电力系统用户的经济影响是巨大的，电站可靠性是评价电站经济优越性的条件之一。对潮汐电站可靠性的经济分析与评价，包括两个方面：电站水能可靠性和电站本身设备可靠性。潮汐电站水能可靠性与常规水电站一样，取决于来水的连续可靠性及水库的调节性能。电站内部设施大致可分为水工建筑物和机械电气设备两大类。潮汐电站运行调度方式对综合利用经济性存在间接性的影响，潮汐电站运行方式的不同影响电站综合利用项目，包括对库区水产养殖和旅游等方面的影响，进而对潮汐电站综合利用经济性造成影响，潮汐发电结合综合利用经济评价需考虑以下内容：结合相关技术提炼潮汐发电用海水中铀、铜等贵重金属；库区水产养殖和经济作物种植；发展旅游业；围涂造田；发展交通；发展附属产业，如制砖厂等。

3　各影响因素之间的关系分析

通过对潮汐电站运行方式影响因素分析研究，可确定影响潮汐电站运行调度方式选择的因素主要为：潮汐电站水文资料、电站本身特征参数、电站供电电网系统及潮汐电站综合利用等。以下就各影响因素之间关系进行分析探讨。

潮汐电站水文资料是潮汐电站规划建设的基本依据，也是潮汐电站系列特征参数选取的依据，在潮汐电站各特征参数已定的情况下，潮汐电站在实际运行方式选择时，需结合水文资料特点与潮汐特征参数进行调度运行，即考虑水文资料情况下，依据电站本身技术参数进行相关调度运行。潮汐电站特征参数是电站运行方式选择的重要参考依据，也是影响电站在电网系统中运行位置的直接因素。电站水文资料间接影响电网系统，水文资料通过影响电站出力来影响电网系统的运行。潮汐电站水文资料与潮汐电站综合利用密切相关，水文资料是影响库区水位变化的直接因素，也是影响库区环境的因素之一，通过影响库区水位及库区环境，可进一步影响水产养殖以及旅游等产业发展，综合利用情况反映潮汐变化情况。电站综合利用与电网系统、电站特征参数等因素亦有潜在相互影响关系。

根据以上论述，影响潮汐电站发电运行调度方式因素之间的关系如图 1 所示。

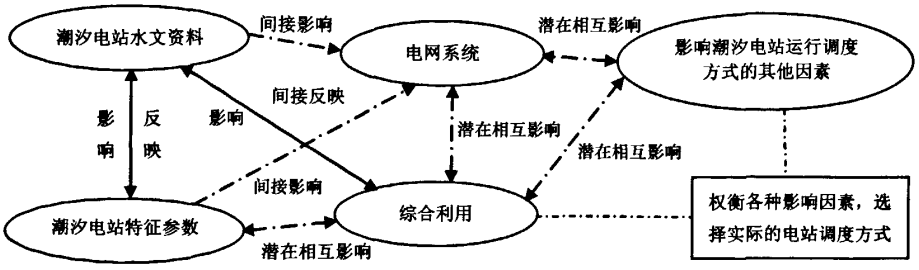

图 1　影响潮汐电站运行调度方式各因素之间关系

4 权衡各影响因素潮汐电站运行调度方式探讨

潮汐电站运行调度方式存在多种选择，根据对各影响因素及其之间关系分析结果，可按各影响因素权重比例选择电站调度运行方式。

潮汐电站水文资料是影响电站运行调度的直接影响因素，如其在潮汐电站运行调度中所占权重比例大，则优先考虑以潮汐电站水文资料为依据，围绕水文资料选定潮汐电站运行调度方式，同时结合其他因素，对运行调度方式进行适当修正。

潮汐电站水文特性、电网系统以及综合利用等因素较为稳定时，则按电站特征参数来确定运行调度方式（如根据水库消落深度来确定电站运行调度方式，同时，结合其他影响因素对运行方式进行适当调整），确定电站的出力过程，为供电区提供相对稳定的电量。

电网系统一定条件下是电站运行调度运行方式选择的决定条件，如电站供电范围为当地电网，则结合电站调节性能，随时满足电网需求（主要满足调峰要求），在实际运行当中，在满足电网系统负荷要求的前提下，结合综合利用等因素进行运行方式的调整。

目前，综合利用是电站运行调度的决定性因素，我国大多数潮汐电站处于停运行状态，少数电站维持正常运行，且维持正常运行的潮汐电站基本都依靠电站综合利用开发，电站发电量带来的效益远远不够电站正常运行所需费用。故可得出，综合利用在潮汐电站运行调度中的作用是至关重要的，一般潮汐电站均需以综合利用为依据来选择电站具体运行方式，如在某一时段 t 内，库区综合利用需库水位维持在某一水位 a 附近，在其他影响因素要求不高的前提下，潮汐电站库区必须严格维持水位 a 附近的运行调度，保证综合利用开发工作正常进行。

当各影响因素权重基本一致的情况下，则需据实际情况，按照先急后缓、顾大局等要求进行运行。

5 总结分析

通过对潮汐电站运行调度影响因素、各影响因素之间关系及调度方式选择三者的分析研究，可初步得到，综合利用是潮汐电站运行调度方式选择的基石，电网系统负荷特性是潮汐电站运行调度方式选择的向导，水文资料及电站特征参数是其选择的依据。总言之，通过对潮汐电站运行调度影响因素、各影响因素之间关系及调度方式选择的分析研究，可为潮汐电站运行调度方式的制订提供基础，为潮汐电站运行调度方式选择提供了一定的参考依据。另外，对潮汐电站运行调度影响因素的研究分析，也可为规划拟建的潮汐电站提供一定依据。

参考文献

[1] 李书恒，朱大奎．潮汐发电技术研究现状与应用前景[C]//第十二届中国海岸工程学术讨论会论文集．北京：海洋出版社，2005：642－646.

[2] 沈祖诒．潮汐电站[M]．北京：中国电力出版社，1998：337－340.

[3] 李允武．海洋能源开发[M]．北京：海洋出版社，2008：5－7.

[4] 褚同金．海洋能资源开发利用[M]．北京：化学工业出版社，2005：10－12.

[5] 黄祖珂，黄磊．潮汐原理与计算[M]．青岛：中国海洋大学出版社，2005.