

电力规划模型及水电补偿调节研究动态

黄涛珍 王宗源

(河海大学水利经济研究所 南京 210098)

TV 212

摘要 本文对国内外一些典型的电力规划模型及水电站群补偿调节进行了分析,认为研究适合我国国情的电力规划模型并在电力规划中合理地考虑水电站群补偿调节效益是十分必要和紧迫的。文末对电力规划模型及水电站群补偿调节中径流描述方式、水电站群规模、补偿调节模型的求解算法等进行了小结,指出研究超大规模水电站群系统的补偿调节优化计算是我国水电规划中补偿调节问题的难点所在。

关键词 电力规划 水电站 补偿调节 数学模型 计算方法

径流调节 数学模型

我国水电规划面临的形势是:①从单个或几个水电的规划转向整条河流、整个流域甚至跨流域水电的全面规划;②由传统方法转向用系统工程方法和最优化技术进行水电规划;③尽管水能资源丰富,但地域分布很广,径流特性相差很大;④水资源在年和年际的分布都很不均匀;⑤水电建设资金缺乏,大批量建设调节性能好的水电站水库是不可能的。所有这些对实行水电站水库群补偿调节优化调度提出了要求。因此,水电站群的规划设计必须以一定的补偿调节计算为基础,特别是跨流域水电规划,巨大的补偿效益对水电站群的参数选择具有重要的影响。

在电力规划中考虑水电站群的补偿调节效益,是水电建设发展到一定阶段的必然结果^[1-3]。各国在水电开发初期,总是优先选择那些经济指标好、开发条件优越的水电站进行开发,由于各个电站所处的地理位置不同,其开发的优劣性一目了然,无须进行过细的经济、技术指标的比较,因此,在水电建设初期,电力规划中很少研究水电站群的补偿调节。电力规划中水电站群的补偿调节研究,是在进行流域乃至跨流域水电站群开发规划的

形势下发展起来的^[2,3]。

1 国外研究动态

补偿调节问题是电力规划中不可缺少的一个子问题^[4]。联合国各种机构、各国电力公司都相继研究了各种能源规划和电力规划的数学模型。其中著名的有:国际能源机构(IEA)组织研究的能源规划 MARKAL 模型,国际原子能机构(IAEA)组织研究的电力规划 WASP 模型^[5],美国通用电气公司的 OGP 模型,美国电力研究院的 EGEAS 模型,法国的国家投资 MNI 模型,美国西屋电气公司交互作用电源模型 MIGPLAY,田纳西流域管理局的 SCOPE 模型,美国原子能协调委员会的 ICARUS 模型,考虑水电的加拿大 CAPRI 模型^[6],麻省理工学院用于阿根廷科罗拉多河综合利用兼考虑水电的 MIT-SOM 模型以及苏联电力设计院亚美尼亚分院的水电比重大的联合电力系统发展模型 MPO,等。其中,仅加拿大的 CAPRI 模型,麻省理工学院的 MITSOM 模型和苏联电力设计院的 MPO 模型考虑了水电规划,但也仅考虑一条河流上梯级的补偿,没有考虑跨流

域补偿调节。这是因为西方工业发达国家 60 年代以来水能资源已大部分开发,水电规划在电力规划中所占比重较小,因而对跨流域水电站群的补偿调节没有进行深入研究;另一方面,电力规划中水电站群的补偿调节研究还有许多技术问题需要解决,如电站群规模较大时求解算法的维数灾障碍、模型中补偿调节的描述方式与求解精度的矛盾以及由于研究范围大、计算期长、组合方案多等原因带来的计算时间过长等等。

2 国内研究简况

我国幅员辽阔,水资源地区分布不均且年内年际变化较大,水能资源蕴藏量占世界第一位但尚待大力开发,因此在电力规划中考虑水电站群补偿调节具有十分重要的现实意义。自 1980 年以来,国内不少科研单位和高等院校开展了电力规划模型的研究,取得了一些研究成果^[4],主要有:

a. 中国科学院技术经济研究所的电源优化模型。该模型是由国际能源组织的 MARKAL 模型为基础再创造的,能对各类型电站进行分区优化分析,因而比 MARKAL 模型更前进了一步。

b. 西安交通大学的电源优化模型。该模型用启发式方法求解,可快速解析具有 1 000 个以上整数变量的数学规划问题,其计算结果可通过其他电源优化模型验证,可较好地解决各种水电站的技术经济论证。

c. 清华大学电机系数学模型。与西安交通大学模型特点相似,但增加了负荷预测与经济分析两个模块。

d. 能源部电气科学研究院的电源优化模型。该模型是混合整数规划模型,其特点是对水电站的运行特点刻画比较详细,超出了 WASP 等国际同类模型水平,对水、火电站的初期工程与扩建工程的投资差异进行了处理,使燃料消耗计算更为精确。

e. 多分区电力长期规划 (IRELP/ I) 模型。这是 1984 年以来由水电规划设计院、清华大学和有关设计院协作研究的适合我国国情的电力长期规划模型。1987 年后,在水规总院、清华大学、河海大学、北京水经所、电科院系统所、中南勘测设计院等单位的共同努力下,对 IRELP/ I 模型进行了扩展完善,现已初步形成了 IRELP/ II 模型及软件系统,能更有效地解决大范围多分区的水电优化问题,已成功地应用于海南电网电价研究的系统电源扩展优化规划,其成果得到世界银行专家的肯定。应用该模型软件系统进行中南地区水电发展战略规划的研究也取得了满意的成果。此模型考虑了在各种约束条件下,进行水电站群梯级和跨流域优化补偿调节。

综合分析上述模型,前四个模型基本上是在“引进”国外有关模型的基础上进行修改所得,还不能适应我国能源规划中水电比重相对较大这一特征的需要,只有第五个模型 (即 IRELP/ I 和 IRELP/ II) 是针对我国具体情况研制而成的电力长期规划模型。至于水电站群的补偿效益,前四个模型有的没有考虑,有的简略地予以考虑,不能满足水电规划的精度要求,第五个模型考虑了梯级和跨流域补偿,但采取将有关补偿调节的约束方程融入各层模型之中的方式,而没有将水电站群补偿调节作为一个单独的问题专门加以论证。将补偿调节问题化为约束方程来处理的方法,其优点是径流调节的能量指标可以在模型内自动生成,解决了目前国外模型应用于我国水能资源丰富地区的电力规划所存在的问题,缺点是对水电站群补偿效益的描述比较粗略,影响了对水电项目评估的准确程度,另外,必须根据径流资料选择系统的枯水年,这对跨流域水电站群系统而言是一个无法克服的困难。因此,在水电规划中加强对水电站群补偿调节,尤其是跨流域水电站群补偿调节的研究具有十分重要的意义。

3 电力规划模型目标函数及有关问题

电力系统规划包括电源规划和电网规划。电源规划的目的是根据某一时期的负荷需求预测,在满足一定可靠性水平的条件下寻求一个最经济的电源开发方案;而电网规划的任务是根据规划期间的负荷增长及电源规划方案确定相应的最佳电网结构,以满足经济可靠地输送电力的要求。就电力系统而言,电源规划与电网规划是一个不可分割的整体,但实际工作中统一解决这两个问题又非常困难,在前面提到的电力规划模型中,大都是采用分解-协调技术、对电源优化及电网优化进行迭代求解。

3.1 电力规划模型的目标函数^[5]

电力规划中考虑资金的时间价值是进行方案比较的基础。电力规划模型的目标函数是与项目的经济评价准则相联系的、可归纳为净现值最大、内部收益率大于基准收益率、总费用最小及年费用最小四种目标函数。

采用净现值最大作为目标函数时,不仅需要知道项目历年的投资和运行费,而且还必须预测项目逐年的收益。而对于电力规划而言,项目的未来收益往往较难预测,这是采用净现值最大作为目标函数的不足之处,当然,净现值最大能比较全面地反映项目的经济效果,实际工作中应有分析地加以应用。

内部收益率大于基准收益率作为目标函数对于独立方案来说,只需计算项目的内部收益率,如果项目具有多个互斥方案,则必须计算各个方案的增量内部收益率。此目标函数除具有净现值最大目标的优缺点外,还有计算量较大,一般需要采用逐步逼近的方法迭代求解的缺点。

用总费用最小作为目标函数避开了预测项目未来收益的困难,但采用这个目标函数时隐含了一个假定:当方案满足相同的需要时,其收益相等。

用年费用最小作为目标函数是将项目分析期内的所有费用换算成等额的年费用,然后用年费用进行互斥方案的比较。年费用最小和总费用最小是等效的两个目标函数。

以上四种目标函数是目前电力规划模型中采用的基本目标函数,还有如发电量最大、保证出力最大或火电煤耗最小等等,则都是一些简化的目标函数,是在一定条件下由基本目标函数简化而来的。由于电力工业属于公用事业范畴,其效益计算一直是工程经济分析领域的一个难题,因此电力规划模型较常采用的目标函数是总费用最小或年费用最小,由于年费用最小可避免各方案使用寿命不同带来的麻烦,因而在电力规划模型中使用更为普遍。

3.2 电力规划模型的有关问题

前面已提到,电力规划包括电源规划和电网规划,它们是相互联系的一个整体,但由于两者侧重点不同,并且统一解决这两个问题又非常困难,所以目前的电力规划中都分开处理这两个问题,在必要时对它们进行迭代求解。就目前情况而言,电源规划无论模型和算法都相对成熟,电网规划技术则远不如电源规划成熟。

目前国内外电源规划模型不外乎按发电机组类型优化的电源规划(又称单节点电源规划)和按发电厂优化的电源规划(又称多节点电源规划)两种模型,国外电源规划优化模型大多数属于单节点电源规划模型,如WASP模型,它们适用于负荷及一次能源分布比较均匀、厂址条件大致相似及原有输电网络较强的电力系统,我国电源规划则必须研究多节点模型,如IRELP/I及IRELP/II模型,以适应我国水电比重相对较大、水电能源分布不均的特点。

另外,电源规划涉及的问题非常广泛,不仅受技术经济条件的影响,还受到社会条件、环境条件、能源政策等多方面因素的影响,目

前的电源规划模型基本上是以技术经济指标作为模型寻优的目标函数,对其它因素考虑较少。今后需要进一步完善。

电网规划一般分为方案形成和方案检验两个阶段。目前的电网规划研究尚处于发展阶段,现有的优化规划方法只能作为实际规划的辅助性工具。电网规划中方案的形成和校验中的各种方法并没有明确的界限,将有效模型和有效算法更好地结合在一起,将是改善电网规划模型的一个方向。

4 补偿调节模型及其算法

正如前面已经提到的,水电站群补偿调节是基于我国基本国情的电力规划中的一个重要问题,但至今没有很好地解决,80年代以来,许多有识之士对电力规划中水电站群补偿调节进行了专题研究,提出了一些有代表性的研究成果,如文献[7,8,9]以及河海大学“红水河水电最优开发数学模型研究论文集”(1988年)中关于优化调度的论文等。

纵观以上论文或研究成果,补偿调节优化调度可大致分为随机型和确定型两大类。模型中对系统保证率的处理,有的通过选择设计枯水年来反映,有的则是采用长系列操作,使出力破坏月数等于允许出力破坏月数以满足系统保证率的要求;对补偿调节目标函数的处理,有的选择系统年发电量最大为目标,大多采用系统总保证出力最大为目标。各种模型对约束条件的考虑大同小异,对模型的求解算法则各不相同。总之,水电站群的补偿调节至今尚无一个考虑问题全面、通用性好、适用于超大规模水电站群系统的模型和算法。

4.1 补偿调节模型目标函数的讨论

补偿调节模型的目标函数,通常以保证出力最大来表达,这是因为进行水电站群补偿调节是为了实现不同电站(特别是不同流域的电站)之间由于丰、枯水期不同形成的水

文补偿,以及同一电站由于径流在年内分配不均形成的径流补偿。水文补偿和径流补偿的直接效果是提高水电站群的保证出力,因此以保证出力最大作为目标函数能反映补偿调节的根本目的。当然补偿调节的结果不仅可以提高水电站群的保证出力,也能提高其多年平均发电量,因此,补偿调节模型的目标函数也可以用发电量最大来表达,以便突出其能量指标。

当然水电站群补偿调节目标函数也可以用前面电力规划模型中提到的四种目标函数表达形式来表达,但由于水电站群补偿调节是在水电站群投产顺序和装机规模一定的情况下进行计算的,因而可以认为投资和运行费一定,则效益最大即为补偿调节追求的目标,而保证出力最大或发电量最大即为效益最大的简化形式。就笔者的体会,推荐以保证出力最大作为补偿调节目标函数较为恰当。

4.2 水电站群补偿调节模型径流描述方式

补偿调节的径流描述方式有随机型和确定型两种,其对应的补偿调节模型称为随机型和确定型模型。由于径流本身具有随机特性,水电站群补偿调节采用随机型模型更为合理。对于复杂的水电站群系统,特别是水文特性差异很大的跨流域水电站群系统,其径流相关性较差,频率组合相当复杂,如何求解各种状态下的条件概率本身就很困难,这样就限制了随机型补偿调节的推广应用。特别是对电力规划阶段的水电站群补偿调节优化调度,其计算时段长,水电站组合复杂,采用随机型补偿调节增加了算法研究的难度,而采用确定型补偿调节,只要所选径流资料足够长,且代表性较好,是能够满足规划阶段所要求的精度的。

4.3 水电站群补偿调节算法

由于水电站群补偿调节模型有随机型和确定型之分,其求解算法也有差别。

在确定型模型的优化算法中,动态规划

是单一水电站优化调度中最为常用的方法。在简单的水电站群(如梯级两个电站)系统的优化调度中也有成功的应用实例,但由于多维 DP 的“维数灾”障碍,使常规动态规划不能很好地适用于复杂水电站群系统的优化调度,因而不少学者致力于研究改进动态规划,使之能适用于多个水电站组成的复杂系统。在这方面有不少有益的探索,如增量动态规划、离散微分动态规划、多级逼近方法等,但这些改进的动态规划,由于没有完全克服“维数灾”障碍,在实际应用中仍不是十分有效。逐次优化算法(即 POA 算法),将原本多阶段决策的水电站群补偿调节问题,转化为两阶段寻优问题,从而大大减少了对计算机内存空间的需求和计算时间,有九库联调的动态规划模型和十五库联调的变维线性规划模型的成功实例,因而此算法在解决确定型水电站水库群优化调度领域很值得进一步探索和研究。

在随机型优化调度中,聚合法和聚合分解法是应用较多的方法,但由于等效水库的应用,无法考虑各水电站本身的约束,降低了它们的实用价值,必须和其它方法联合使用。对于跨流域的水电站群系统,构造等效水库比较困难,聚合法和聚合分解法的应用受到限制。近年来也有不少学者致力研究水电站群随机优化调度的参数迭代法,此法要解决两个问题,一是对余留期效益函数的逼近方法,一是迭代过程的求解方式,如能解决好这两个问题,参数迭代法是随机型优化调度的有效算法。

水电站群补偿调节从算法本身并无确定型和随机型之分,以上讨论只是目前各种模型所采用算法的归纳。优化方法中网络分析法、分解算法以及各种混合算法,都是解决大型水电站群补偿调节模型值得尝试的算法,其中网络分析法和分解算法用于运行阶段水电站群补偿调节已有一些有益的尝试,但用

于电力规划中水电站群补偿调节仍属起步阶段。混合算法是将某些有效算法组合起来,实现对高维问题的求解,例如笔者曾尝试过的多级逼近—降维交错使用算法^[4,9],在求解较大型的水电站群补偿调节优化计算中获得成功。多级逼近—降维交错使用算法的原理,是将高维问题划分为几个级别,每一级所要求的收敛精度不同,下一级在上一级的收敛范围内进一步寻优,逐步达到计算所要求的精度,而在每一级的寻优中,采用降维法,既先固定一个或若干个水电站的优化状态,对余下的水电站决策进行寻优,然后再固定寻优后的水电站状态,对原固定水电站进行寻优,直至所有水电站都优化过一次以后,再进行收敛判断,直至迭代收敛为止。

5 结 语

5.1 电力规划模型包括电源规划和电网规划,它们是不可分割的整体,目前采用分开处理,必要时进行迭代求解的办法,但电力规划模型的研究方向应是电源规划与电网规划的统一模型。

5.2 电源规划模型有两类,即按发电机组类型优化和按发电厂优化的电源规划模型,前者又称为单节点电源规划,后者又称为多节点电源规划,根据我国水能资源的分布情况和特点,采用多节点电源规划模型比较符合我国的实际。

5.3 水电站群补偿调节模型按其径流描述方式可分为确定型和随机型两大类。随机型补偿调节模型是水电站群补偿调节的发展方向,但在目前随机模型不能适用于超大型跨流域水电站群补偿调节计算的情况下,研究确定型模型对电力规划阶段的水电站群补偿调节优化调度仍具有重要的意义。

5.4 水电站群补偿调节模型目前尚无成熟的通用算法,特别是超大规模水电站群补偿调节数学模型的求解算法仍是科研中的一大

难题。超大规模水电站群补偿调节的求解算法今后的研究方向应该是网络分析法和分解算法等能彻底克服高维“维数灾”障碍的一些优化方法,另外将多种优化方法组合起来的混合算法也不失为一种有探索价值的算法。

5.5 相对于运行阶段水电站群补偿调节而言,电力规划中水电站群补偿调节的研究显得薄弱得多,因此必须大力加强这方面的研究,以加快我国水电建设乃至能源建设步伐。

参考文献

- 1 陈洋波,陈惠源.国内外水库群优化调度方法的评述与展望.葛州坝水电工程学院学报,1988(4):15~21
- 2 伍宏中.大力开展水电长期发展规划工作,认真

做好水电宏观决策.水力发电,1990(8):4~6

- 3 吴成玉.优化开发水电是我国建设的需要.水电能源科学,1987(3):3~6
- 4 黄涛珍.跨流域水电站群长期补偿调节优化数学模型研究,[学位论文].南京:河海大学,1993
- 5 王锡凡.电力系统优化规划,北京:水利电力出版社,1990
- 6 刘晨晖.电力系统负荷预报理论与方法,哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1987
- 7 董子敖,李英.大规模水电站群随机优化补偿调节调度模型.水力发电学报,1991(4):7~14
- 8 管家宝,梁年生.梯级水电站群优化补偿调节模型及计算方法.水电能源科学,1989(3):20~26
- 9 邱锡成,黄涛珍.跨流域补偿调节优化数学模型研究.河海大学学报,1992,20(3):38~45

(收稿日期:1994-05-05)

(上接第7页)

容,有步骤地进行河流开发建设。在水能资源丰富的河流上,应结合水电梯级开发,同时渠化航道,并通过水电开发,积累资金,用于渠化工程建设,实现以电养航。

c. 河流渠化应贯彻近期与远景相结合的原则。近期根据我国国力选择几条运输要求迫切、建设快、效益明显的河流进行渠化,做到开发一条,建成一条,收益一条。如果限于当前运输发展水平和财力,一时不能实现全线渠化时,应在全线规划指导下,先建通关键河段的骨干梯级工程,逐步形成具有统一标准的全河流的渠化。

d. 渠化工程应采用先进的技术,科学的管理。机电设备要实现标准化、系列化、通用化。控制系统应实现计算机程序控制。为适应经济改革的需要,应建立新型的现代化管理体制,成立大江、大河开发建设公司,负责

统一建设、统一管理。

参考文献

- 1 周嘉永.加快西江干线航运开发建设.珠江水运,1994(4):25~28
- 2 文滨珊.信江航运建设可行性研究中航道工程的坝线选择与枢纽布置(上).水运工程,1987(10):14~17
- 3 文滨珊.信江航运建设可行性研究中航道工程的坝线选择与枢纽布置(下).水运工程,1987(11):17~21
- 4 何思友.浅谈嘉陵江干流开发.中国河运,1993(12):27~29
- 5 肖先琼.十年来我国主要内河航运建设工程概况和对其发展的建议.水运工程,1989(10):24~28
- 6 蔡志长.渠化工程学.第二版.北京:人民交通出版社,1990

(收稿日期:1994-11-14)