

8 37-41

输电费用法用于安全经济 扩展网络规划优化的改进

Improvement on the Usage of the Transportation Model

王主丁
Wang Zhuding

杨秀苔
Yang Xiutai

(重庆大学工商管理学院)

TM 7.15

摘要 基于实际输电网运行方式的多样性,提出了输电费用法潮流在安全经济扩展网络规划优化中具有较直流潮流更优的分布方案——这与人们长期以来的观点是相悖的,从而经其使用方法的改进为得到技术上可行、经济上更优的规划方案提供了可能。以此为基础,整个规划过程可分为初选网络、扩展网络和安全扩展网络三步相连的协调计算过程。该方法已在某省电网规划中应用,并经 IEEE6 节点实验系统的计算分析,表明了方法的优势和实用性。

关键词 电力系统计算; 输电网规划; 最优化技术
中国图书资料分类法分类号 TM715

输电费用法, 最优化

ABSTRACT Based on the diverse operating modes of practical transmission networks, the dc power flow transmission model, which obeys both of kirohhoff's laws (i. e., flow conservation at each bus and voltage conservation around each loop) and has been universally acknowledged for a long time, is negatived in the field of transmission network planning, and the transportation model (also known as the trans-shipment model), which obeys only the bus flow conservation law while minimizing a cost objective function and has been regarded as inadequate all the time, is confirmed in this paper. In addition, a three-step computation procedure of "N-1" security networks are presented. This paper has the advantages of characteristic ideas, simple models, practical algorithms and fast solution, and concludes with the results of the numerical studies performed on the IEEE 6-bus sample system. The results show the significance and practicability of the investigation.

KEYWORDS power system theory; transmission network planning; optimization methods

0 引 言

输电网规划通常是在给定未来某一时期系统的电源出力和负荷分布后,确定最优的架线方案,以保证电力系统安全、可靠运行,同时使所需投资和运行费用最小。目前,广泛用于

* 收文日期 1993-01-05

输电规划的交流潮流、动稳定等常规方法只能从技术和经济上评价规划人员提出的方案,而不具备自动形成和优选方案的功能,不能很好地满足从复杂电网发展的大量可能方案中迅速优选的要求。探讨输电规划的理论并使其在实际中得到应用这一课题变得越来越迫切。

输电规划从数学上来说是一个离散、非线性、组合优化问题。一般来说,解决的方法有两类,即启发式技术和数学优化技术。

启发式方法就是构造出某些性能指标来反映系统的架线过程,它们虽然具有简单、迅速的优点,但最优排序并不能保证就是最优组合解。况且目前对各种启发式信息还没有一个比较全面的评价。

与启发式方法不同,数学优化方法是对网络规划问题进行数学模拟,并可分为连续变量方法和离散变量方法。前者忽略了架线问题的离散性,如文献[3]中的输电费用法和文献[2]提出的非线性规划模型。由于它们无法真实反映架线的离散过程,故最后只能用循环的办法求解,因而容易偏移最优解。后者则顾及到了问题的离散性,如整数规划模型和混合整数规划方法。但它们或是不能准确反映实际架线过程或是约束维数太大,从而在实际规划部门中难以应用。文献[1]提出的功率费用法和“0-1”选线法则先用连续变量方法再用离散变量模型求解,较好地克服了两种方法各自缺点。然而,由于人们长期以来均以直流潮流作为约束并检验规划网络的安全可靠性,从而可能使优化方案趋于保守。因为以分布方案唯一的直流潮流作为约束,没有并且难以考虑电网运行方式从而潮流方案的灵活性、可调节性,也就限制了架线方案的最优性。

众所周知,直流潮流分布为与各节点功率和各输电线路电抗有关的自然功率分布,它隐含了节点功率平衡方程和回路电压方程。输电费用法以表示为线路功率线性函数的投资和运行费用最小为目标,以节点功率平衡和原有线路功率不越限为约束,用线性规划法可求解出相应的潮流分布,即输电费用法潮流。该模型由于省略了回路电压方程变得简单、计算速度快,但其潮流分布可能与通常认为应满足的直流潮流出入较大。对此,输电费用法一直没有辩证对待并提出相应对策,限制了该方法的使用。

本文充分意识到输电费用法潮流的优势,即它能容纳包括直流潮流在内的众多潮流方案供选择,从而有利于解的最优性。至于因潮流分布不同可能出现的优选网络某些线路直流潮流的过载现象,由于输电费用法送出功率的保证,以及实际电网运行方式的多样性(如循环功率的引入,从闭环到开环运行),是可以具体情况由输电费用法潮流指出的方向调节解决的。正是出自这一思想,本文以输电费用法为基础,采用均可利用其优点的两种模型分三步求解安全经济扩展网络。第一步即用输电费用法求解电网的功率流向及容量值,指导初选线路,形成初选网络。第二、三步根据输电费用法求得的过载线路用过多负荷区域法形成相应的整数规划模型,在缩小的候选线路范围内求解扩展网络和安全扩展网络。并可进而制定电网必要的优化运行方式。整个规划过程如图1所示。

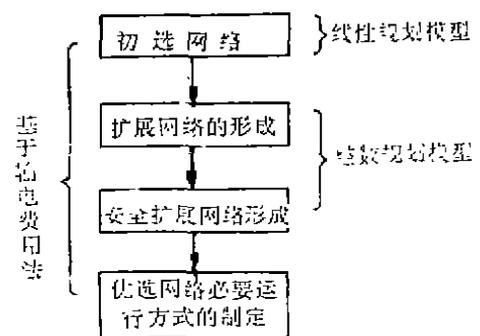


图 1 基于输电费用法的
输电网规划三步算法示意图

本文对 IEEE6节点实验系统进行了计算分析,表明了方法的算题过程和功能。

1 第一步规划模型—输电费用法

输电费用法认为投资和运行费用可表示为线路功率的线性函数,假定电网潮流只受节点功率平衡方程的约束,忽略线路参数和回路电压方程的影响,在满足现有线路不过负荷的条件下,求得投资和运行费用最节省的规划方向。其数学模型为:

$$\text{Min } F_1 = C_e(P_e + P'_e) + C'_n(P_n + P'_n) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} A_e(P_e - P'_e) + A_n(P_n - P'_n) = G - D \\ 0 \leq P_e + P'_e \leq P_{el} \end{cases} \quad (2)$$

$$0 \leq P_e + P'_e \leq P_{el} \quad (3)$$

其中 C_e, C_n 分别为原有线路年运行损耗费用系数列相量和候选线路的投资乘投资效益系数加年运行损耗费用系数的列相量。

P_e, P'_e 分别为电网原有线路方向相反的两个功率列相量。

P_n, P'_n 分别为候选线路方向相反的两个功率列相量。

A_e, A_n 分别为电网原有线路和候选线路形成的节点支路关联矩阵。

G, D 分别为节点发电功率列相量和负荷功率列相量。

P_{el} 为电网原有线路传输的功率极限。

(2) 式为节点功率平衡方程, (3) 式为原有线路不过载的约束。

用线性规划法求出的最佳候选线路功率相量 $(P_n + P'_n)$ 一般不为实际线路最大容量的整数倍,不能给出电网准确的发展方案。但根据这些功率相量值,可应用一些简单的条件约束,首先排除那些肯定不会入选的线路,选定那些明显需要建设的线路形成初选网络。这样,第二,三步规划就可在较小范围内寻找优化方案。

2 第二、三步规划模型—基于过负荷区域法的整数规划模型

2.1 扩展网络的形成

为进一步减少整数规划模型的变量数目,可将其分为第二,第三两步接力计算过程。

以候选线路投资和运行费用为目标函数,根据输电费用法确定的初选网络过载线路流过非零功率的候选线路及其容量,由过负荷区域法形成的若干安全技术条件为约束,建立形成扩展网络的整数规划模型:

$$\text{Min } F_2 = C'_n Z_n \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i \in O_L(\cdot)} P_{el} + \sum_{n \in O_L(\cdot)} P'_n Z_n \leq \sum_{i \in S(\cdot)} (P_i - G_i) \quad (5)$$

$$R(\cdot) \in EA(\cdot)$$

其中 Z_n 为整数变量。

$R(\cdot)$ 为某过载线路功率流过的节点集合。

$EA(\cdot)$ 为各过载线路功率流过的节点集合的集合。

$O_L(\cdot)$ 为与相应 $E(\cdot)$ 中各节点形成的广义节点相连接的线路集合。

P_{nl} 为候选线路传输功率极限。

P_i, Q_i 分别为 P, G 中对应于节点 i 的元素。

2.2 安全扩展网络的形成

数学模型同(4)(5)式。只是,约束(5)的形成是基于对扩展网络进行“ $N-1$ ”安全校验时由输电费用法求得的过载线路及其功率。由此,可形成安全扩展网络。

3 算 例

用本文方法对 IEEE6节点,8条线路的系统进行了验算。该系统原始网络如图2,与其网络规划有关的数据可参阅文献[1]。

第一步从15条候选线路中选出2-6、3-5、4-6,其功率分别为2.55,0.40,0.90,据此,可人为选定一些应架设的线路,即2-6路径上先增架两回,并排除一些不必要考虑的线路,得初选网络,如图3。

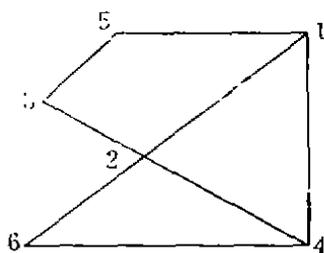


图2 原始网络

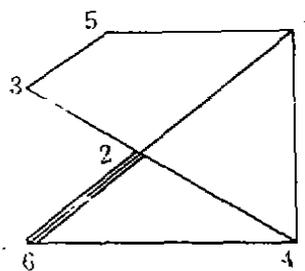


图3 初选网络

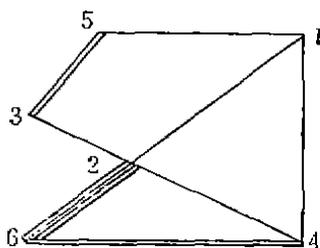


图4 扩展网络

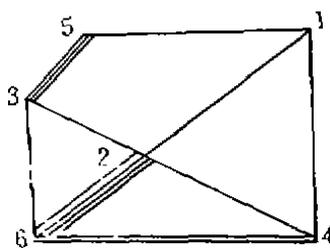


图5 安全扩展网络

第二步从少量线路2-5、3-5、2-6、4-6、3-6、4-6中选出投资费用最少的一组线路,结果是增架2-6、3-5、4-6各一回,形成扩展网络,如图4。第三步从线路2-5、2-6、3-5、4-6中选出3-5、3-6各一回,形成安全扩展网络,如图5。

对本例,所形成的安全扩展网络较文献[1]的少增架一回4-6线路。用直流潮流对图5的网络进行“ $N-1$ ”断线分析,当两回4-6线路开断一回

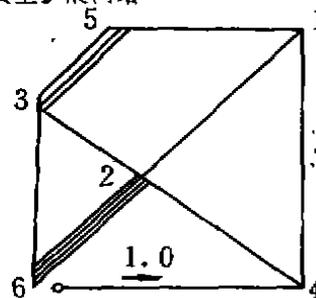


图6 一回4-6线路开断时的开环运行方式

时,剩下的一回潮流过载,功率为1.3。为此,若将由节点2、4、6形成的环网由节点6解开后开环运行并限制4-6线路潮流为其最大容量值1,图6的网络不再有线路过载。在此,引入直流潮流作断线分析仅是为尽量减少对自然功率分布潮流的人工调节。

4 结 论

4.1 本文方法考虑了电网潮流灵活性的一面,不仅使模型简化,而且可能获得更优的输电规划方案。

4.2 将线性规划法与整数规划法结合起来能够有效求解输电规划这样一个复杂的非线性整数规划问题。

本文的工作是初步的,需做更深入的研究。

参 考 文 献

- 1 周贵安. 用于输电网优化规划的功率费用法和“0-1”选线法[学位论文]. 北京:清华大学,1985
- 2 Puntel W. R. PICA Conf Proc. 1973, 38~46
- 3 王伸鸿,韩英铎,董陆园. 输电网的优化规划讲义(下). 北京:清华大学电机工程系,1985
- 4 瞿考宁. 输电规划方法研究——一种启发式混合整数线性规划算法的探讨[学位论文]. 重庆:重庆大学,1989