动态规划在小型灌溉泵站群布局优化与调整中的应用

曾庆祝[1]，程吉林[2]，许夕保[1]
（1. 江苏省淮安市水利局，江苏 淮安 223001；2. 扬州大学 水利学院，江苏 扬州 225009）

摘要：机电泵站的改造与建设规划，必须随着灌区内用地布局的大面积调整而进行优化与调整. 采用动态规划法，以泵站为阶段变量，水量为决策变量，泵站群灌溉净效益最大为目标函数，对区域灌溉泵站群进行优化，并根据优化结果提出泵站建设和改造的调整方案，对当前提高农村水利建设资金使用率和水资源利用率具有很重要的意义. 通过对淮安市淮涟灌区的优化规划改造，提高了灌区工程的效益，保证了灌溉需求.

关键词：动态规划；灌区；泵站群；布局优化；灌溉效益
中图分类号：S277.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-6254(2006)04-0022-03

Application of dynamic programming in optimization and adjustment of small-scale irrigation pumping station groups

ZENG Qing-zhu[1], *CHENG Ji-lin*[2], *XU Xi-bao*[1]
(1. Water Conservancy Bureau of Huai'an City, Huai'an, Jiangsu 223001, China; 2. School of Hydraulic Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: The reform and construction planning of mechanical and electrical pumping station must be adjusted along with the adjustment of irrigation area. By using the dynamic planning, and taking the pumping station as the stage variable, the water volume as the decision variable, and the largest irrigation efficiency as objective function, the optimization to the regional irrigation pumping station group is conducted, and the adjustment schemes of the construction and rebuilding of the pumping station are proposed, which is important to the efficient use of water resources in rural area. By the optimization and rebuilding of Huai-Lian Irrigation District, the project efficiency in the irrigation area is improved and the demand of irrigation is ensured.

Key words: dynamic programming; irrigation district; pumping station group; layout optimization; irrigation benefits

1 问题的提出

经过几十年的建设，淮安市的农村机电泵站有了较大的规模，但是随着时间的推移，泵站逐渐显现出老化失修、效益衰减等问题，机电泵站运行体系面临严重危机[1]. 目前每年用于新建(改造)泵站的经费只有1 500万元左右，每年仅能改造5 000 kW. 也就是这一点资金，使用还很不规范，机电泵站建设在区域范围内不能按需求实施，具体表现在3个方面：

收稿日期：2006-04-22
基金项目：江苏省水利科技项目(2005016)
作者简介：曾庆祝(1971-)，男，江苏沭阳人，高级工程师.
程吉林(1973-)，男，教授.

万方数据

一是区域内泵站重复建设,提水能力超出水资源供水能力;二是泵站选型超标,泵站供水能力大于灌溉需求;三是部分乡村干部为解决供水矛盾,减少群众纠纷,往往是不顾原有灌区的规划,以村组为单位兴建了许多效率低、运行费用高的 12″以下小固定泵站. 这些问题的存在,影响了资金使用效率,造成了不必要的浪费,水资源分配也没有按照效益最大化进行. 为此,需要对区域泵站群的布局进行优化,以泵站发挥效益最高和运行费用最小为目标进行科学调整,降低单位灌溉面积平均成本,对原有小型机电灌区进行重新规划调整,适当合并一些功率较小的泵站[2].

2　模型的建立

2.1　优化目标

对于灌溉泵站而言,为了实现水资源的最优化使用和灌溉净效益最大化,可以对泵站群进行优化,分配其最合理的流量,使区域泵站群净效益最大[3].

2.2　引水提灌泵站群优化

2.2.1　目标函数

首先建立动态规划的序列系统,设泵站群中有 N 座泵站,把每个泵站进行编号,将泵站的编号作为决策阶段顺序. 每个阶段的提水量 Q 作为状态变量. 此时,以整个泵站群的效益最大为目标进行优化,可得目标函数为[4]

$$f_N(Q) = \max \sum_{i=1}^{N} g_i(x_i + h_i) \qquad (1)$$

式中 Q 为渠首引水总流量,可以为 N 个泵站提供提水水源;x_i 为分配给第 i 个泵站的流量,h_i 为分配给第 i 个泵站输水渠道损失的流量;$g_i(x)$ 为第 i 个泵站分配给 x_i 流量时产生灌溉净效益.

2.2.2　系统方程

对于引水小型机电灌区,其系统方程有

$$Q_{n+1} = Q_n - x_n - h_n \qquad (2)$$

式中 Q_{n+1},Q_n 分别为第 $n+1$ 和 n 个泵站提供水量时的流量;x_n 为分配给 n 泵站的流量;h_n 为分配给 n 泵站流量时损失的流量.

2.2.3　约束条件

该目标函数的约束条件为分配流量与损失流量之和不大于渠首的引水流量,且每个泵站的引水流量大于等于 0 且小于等于引水流量. 其数学表达式为

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N} (x_i + h_i) \leqslant Q \\ &0 \leqslant x_i \leqslant Q, i = 1,2,\cdots,N \\ &0 \leqslant h_i \leqslant Q, i = 1,2,\cdots,N \end{aligned} \qquad (3)$$

2.2.4　递推方程

按泵站 1 → 泵站 N 的顺序,用 N 阶段分配流量 Q,并把每阶段分配和损失所剩余的流量 q 作为状态变量,因此显然有 $0 \leqslant q \leqslant Q$,在最初的第一阶段,只有一个泵站时,有

$$\begin{aligned} &f_1^*(q) = \max\{g_1(x_1)\} \\ &0 \leqslant q \leqslant Q \\ &0 \leqslant x_1 + h_1 \leqslant q \end{aligned} \qquad (4)$$

然后递推到第 2 个泵站,即有两个泵站 1 和 2 时,若分配给这个新泵站的流量为 x_2,损失的流量为 h_2,$0 \leqslant x_2 + h_2 \leqslant q$,净效益为 $g_2(x_2)$,其留下的水量 $(q - x_2 - h_1 - h_2)$ 分配给泵站 1,应用动态最优化原理,求得两个泵站时的最大净效益,可由下列递推公式表达

$$\begin{aligned} &f_2^*(q) = \max\{g_2(x_2) + f_1^*(q - x_2)\} \\ &0 \leqslant q \leqslant Q \\ &0 \leqslant x_2 + h_2 \leqslant q \end{aligned} \qquad (5)$$

依次类推,可写出 $f_3, f_4, \cdots, f_N$,即

$$\begin{aligned} &f_N^*(q) = \max\{g_N(x_N) + f_{N-1}^*(q - x_N)\} \\ &0 \leqslant q \leqslant Q \\ &0 \leqslant x_N + h_N \leqslant q \end{aligned} \qquad (6)$$

最后可求得:$x_1, x_2, \cdots, x_N$ 和 $f_N(Q)$.

3　模型的求解

3.1　变量的离散化

由于分配不同的水量可以有不同的效益,因此在计算时需将水量和效益进行离散化处理,并形成泵站流量 ~ 净效益的对应关系,使离散出的泵站流量与形成的效益一一对应[5].

3.2　模型的求解

根据递推方程式(6),按逆序逐阶段递推. 在分配给第 i 个泵站流量 Q_i 时,使整个区域泵站群灌溉效益最大,由此确定该泵站的分配流量. 到达最初阶段后,即可得到整个泵站群的水量分配方案.

3.3　计算机程序

动态规划模型一般必须配以计算机程序才能应用于工程实际. 可以用一些计算机语言编制程序,使用时只需结合实际问题改动数据文件,并根据泵站

万方数据

的座数和流量组合对应的各阶段总流量适当改变 N 的大小,这样计算起来非常方便[6].

4 泵站的布局调整

在对泵站群进行优化后,可以得到泵站群在一定流量情况下的各个泵站分配的流量,分配流量为0的泵站,需要对该站进行撤消,在规划建设时考虑将其拆除;分配流量比较小的泵站,需要与其他泵站进行合并.另外还要将其分配的流量与泵站实际能够打水流量进行比较,若分配流量大于实际打水流量,在规划建设时需考虑扩大泵站的规模,以便发挥更大的效益;若分配流量小于实际打水流量,则在规划建设时考虑将其减少规模.

5 优化实例

淮安市淮涟灌区二干渠沿线有灌溉面积1 907 hm^2(2.86万亩),渠首设计引水流量仅9 m^3/s.目前二干渠沿线有提水泵站32座计869 kW,提水流量13.8 m^3/s,灌溉面积2 867 hm^2(4.3万亩),整个区域泵站群规划很不科学.为了更好地对该区域泵站进行规划,建立了动态规划求解模型,并运用以上的求解方法进行了优化.优化结果见表1.

表1 淮涟二干渠沿线泵站优化结果表

泵站名称	台数	装机容量/kW	设计流量/(m^3/s)	受益面积/hm^2	优化结果/(m^3/s)	调整建议
丁圩南站	1	22	0.40	53.33	0.27	
丁圩中站	1	30	0.45	60.00	0.29	
纪吴南站	1	22	0.40	66.67	0.32	
纪吴北站	1	22	0.40	73.33	0.35	
农科南站	1	22	0.40	80.00	0.38	
丁圩北站	1	22	0.40	66.67	0.33	
农科北站	1	22	0.40	66.67	0.31	
农庄南站	1	22	0.40	60.00	0.30	
农庄北站	1	22	0.40	53.33	0.30	
干庄北站	1	22	0.45	46.66	0.25	
辣树电站	1	22	0.45	86.67	0.35	
袁南南站	1	22	0.30	26.67	0	拆除
光明电站	1	30	0.40	66.67	0.31	
路西电站	1	55	0.55	80.00	0.35	
袁南中站	1	22	0.45	33.33	0.05	拆除
袁南北站	1	30	0.50	73.33	0.63	扩大
袁集南站	1	22	0.25	20.00	0	拆除
农科电站	1	37	0.50	86.67	0.38	
草庙电站	1	30	0.50	93.33	0.40	
袁集北站	1	30	0.45	66.67	0.30	
袁北南站	1	30	0.30	60.00	0.28	
双庄南站	1	30	0.50	73.33	0.35	
双庄北站	1	55	1.00	133.3	0.75	扩大
袁北中站	1	30	0.30	20.00	0	拆除
袁北北站	1	10	0.20	20.00	0.10	拆除
浪石南站	1	30	0.40	20.00	0	拆除
浪石东站	1	30	0.45	60.00	0.48	扩大
浪石中站	1	22	0.45	26.67	0	拆除
先锋电站	1	30	0.45	66.67	0.32	
浪石北站	1	22	0.45	53.33	0.28	
先锋北站	1	30	0.45	60.00	0.30	
潘谈电站	1	22	0.40	53.33	0.27	

根据优化情况,对该区域的32座泵站中分配流量小于0.1 m^3/s的泵站进行拆除,这样的泵站共有7座;对其中分配流量比原有流量有较大提高的泵站进行改造,扩大规模,这样的泵站的3座,并对田间工程进行调整,让扩大规模的泵站对拆除的泵站灌溉区域进行供水,保证灌溉.对于其他泵站,根据泵站的老化情况,按原有规模进行改造.

6 结 语

随着国家对农村水利投入力度的加大,机电泵站建设改造已提上议事日程,在建设过程中一定要加强规划,对区域泵站的布局进行优化校核,既要保证灌溉的需要,又要提高资金利用率,提高工程的效益.

参考文献(References)

[1] 曾庆祝.农村机电泵站存在问题及其对策[J].排灌机械,2006,24(1):46-49.

[2] 朱华明,李德兴.沿江圩区排涝泵站建设中的几个问题[J].排灌机械,2003,21(1):18-20.

[3] 赵洪波,范今朝,杨艳红.动态规划在水量分配上的应用[J].黑龙江水专学报,1998(1):65-67.

[4] 伦·库柏玛丽,W·库柏.动态规划导论[M].北京:国防工业出版社,1985.

[5] 刘肇祎.灌排工程系统分析[M].北京:中国水利水电出版社,1988.

[6] 李 彬,曾庆祝.灌区计算机监控系统与灌溉优化调度模型集成应用研究[J].排灌机械,2005,23(4):25-28.

(责任编辑 张文涛)

万方数据