

输水渠道线路优化与漫游数学家模型

程吉林, 陈 平, 朱春龙, 蒋晓红, 仇锦先

(扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 在传统漫游数学家模型的基础上, 以线路定性方案、渠段纵坡为决策变量, 工程总投资为目标函数, 考虑渠段线路状态转移和渠道首末水位约束, 提出了阶段函数已知情况下的长距离输水渠道线路优化二维动态规划模型。实例证明该法对长距离输水渠道线路系统的优化比传统线路方法更优越。

关 键 词: 渠道; 线路优化; 数学家模型

中图分类号: TV672; O221.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-6791(2004)03-0397-03

我国水资源十分紧缺, 在今后相当长的一段时间内要兴建众多长距离输水工程, 近年来虽有不少学者对长距离输水工程(如南水北调工程)开展了研究,但主要集中在线路、泵站位置已定情况下的沿线水量分配、优化调度^[1~3]和生态环境影响等^[4,5]方面。本文在各渠段断面和配套建筑物优化的基础上^[6,7], 开展输水渠道线路优化研究。

传统的漫游数学家模型可以解决某些线路优化问题, 但由于输水渠道工程首末允许水头损失对渠道的工程量、自流灌溉面积等影响很大, 因此, 本文针对输水渠道系统的特点对传统漫游数学家模型进行了修正, 从而可以较好地解决某些长距离输水渠道工程的线路优化问题。这对长距离管道输气、输油管道工程的优化, 同样具有一定的参考价值。

1 传统漫游数学家模型线路优化

用漫游数学家模型^[8]解决线路优化问题, 可理解为: 某一长距离输水渠道, 由取水口位置将整条线路分 KE 段, 各段由于不同的工程拆迁、占挖和地形、地质等情况可选择不同的线路。设: 第 $k-1$ 阶段、 $S_{1,k-1}$ 状态, 对下一阶段的状态 S_{1k} 选择, 以决策 d_{1k} 表示; 决策变量的可行域 DK_{1k} , $k=1, 2, \dots, KE$; 见图 1, 求最小工程费用的线路。这里已知每段线路、每种决策情况下的阶段费用 $L(S_{1k}, d_{1k})$ 。

$$\text{目标函数: } z = \min \left\{ \sum_{k=1}^{KE} L_k(S_{1k}, d_{1k}) \right\} \quad (1)$$

递推方程:

$$k = 1: f_1^*(S_{11}) = \min_{\substack{S_{11} \subseteq SK_{11} \\ d_{11} \subseteq DK_{11}}} \{ L_1(S_{11}, d_{11}) \} \quad (2)$$

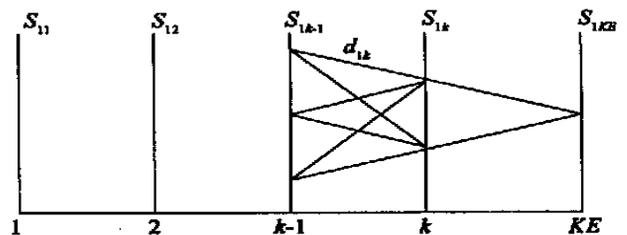


图 1 输水渠道线路方案图

Fig. 1 A plan figure of a conveyance channel

收稿日期: 2002-12-30; 修订日期: 2003-04-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69974033; 59979024); 江苏省青年基金资助项目 (QB98042); 教育部骨干教师基金资助项目

作者简介: 程吉林(1963-), 男, 江苏常熟人, 扬州大学教授, 博士生导师, 博士, 主要从事灌排最优化理论与应用研究。

E-mail: jlcheng@yzu.edu.cn

$$k \text{ 阶段: } f_k^*(S_{1k}) = \min_{\substack{S_{11} \in SK_{11} \\ d_{1k} \in DK_{1k}}} \{L_k(S_{1k}, d_{1k}) + f_{k-1}^*(S_{1k-1})\} \quad k = 2, 3, \dots, KE \quad (3)$$

$$\text{状态转移方程: } S_{1k-1} = d_{1k} \quad (4)$$

以上为传统漫游数学家问题的递推方法, 由此递推, 可解决每段线路、每种决策的阶段费用 $L_k(S_{1k}, d_{1k})$ 已知情况下的线路优化问题。

2 漫游数学家渠道线路优化二维动态规划模型

式(1)~式(4)没有考虑输水渠道的首末水头约束:

$$\sum_{k=1}^{KE} d_{2k} \quad W_t \quad (5)$$

式中 d_{2k} 为第 k 段线路的允许水头损失; W_t 为整条渠道首末允许的水头损失。若考虑渠道首末允许水头损失约束后的阶段费用记为 $L(S_{1k}, d_{1k}; S_{2k}, d_{2k})$, 这里 S_{2k} 为对应约束式(5)的状态变量。则对应的递推关系为

$$k = 1: \quad f_1^*(S_{11}, S_{21}) = \min_{\substack{S_{11} \in SK_{11}; d_{11} \in DK_{11} \\ 0 \leq S_{21} \leq W_t; 0 \leq d_{21} \leq W_t}} \{L_1(S_{11}, d_{11}; S_{21}, d_{21})\} \quad (6)$$

$$k \text{ 阶段: } f_k^*(S_{1k}, S_{2k}) = \min_{\substack{S_{1k} \in SK_{1k}; d_{1k} \in DK_{1k} \\ 0 \leq S_{2k} \leq W_t; 0 \leq d_{2k} \leq W_t}} \{L_k(S_{1k}, d_{1k}; S_{2k}, d_{2k}) + f_{k-1}^*(S_{1k-1}, S_{2k-1})\} \quad (7)$$

$$k = 2, 3, \dots, KE$$

状态转移方程:

$$\begin{cases} S_{1k-1} = d_{1k} \\ S_{2k-1} = S_{2k} - d_{2k} \end{cases} \quad k = 2, 3, \dots, KE \quad (8)$$

由此递推, 可解决考虑输水渠道首末水头约束的输水渠道线路优化问题, 当然这里每段线路、每种决策的阶段费用 $L_k(S_{1k}, d_{1k}; S_{2k}, d_{2k})$ 必须已知。

3 实例分析

江苏省洪金灌区南干渠改造, 南干渠长 36.4 km, 共有 17 个支渠, 分 18 段, 支渠灌溉面积 1.52 万 hm^2 , 渠首设计流量为 22.26 m^3/s , 允许渠道首末水头为 3.8 m。由于灌区原来设计问题和运行 28 年来的渠道冲刷, 目前整条干渠断面大大于设计流量要求的断面, 渠首 0+00 至 9+800 渠段上的渠道横断面积均大于设计要求的 10 倍以上, 为此决定对该渠道进行改造, 确定南干渠投资最省的渠道线路。

3.1 渠段线路定性方案

整条渠道共分 18 段, 每段渠道的线路可以考虑 3 个方案, 可行方案集为 3^{18} 个。

(1) 将原渠道中心线作为改造渠道的中心线, 先将原渠道分层压实后, 再开挖新渠道;

(2) 在原干渠的左堤岸开挖新干渠, 但要在 18 个渠段上重建 13 座干渠的交错建筑物、3 处房屋拆除和由于地形限制要修建 6 座渡槽、倒虹吸;

(3) 在原干渠的右堤岸开挖新干渠, 但要在 18 个渠段上重建 6 座干渠的交错建筑物、11 处房屋拆除和由于地形限制要修建 2 座渡槽、倒虹吸。

3.2 渠道优化

采用式(6)~式(8)二维动态规划模型进行求解, 这里各阶段费用——渠道总投资 $L_k(S_{1k}, d_{1k}; S_{2k}, d_{2k})$, 对应 S_{1k}, d_{1k} ($k = 1, 2, \dots, 18$) 已知时, 渠道主要水力要素之间的关系可参见文献[2, 3], 同时在各阶段 $L_k(S_{1k}, d_{1k}; S_{2k}, d_{2k})$ 计算时, 应考虑渠段的拆迁工程量和渠段与渠段之间的连接工程投资, 不同方案渠段与渠

段连接工程设计满足有关工程规范的要求。由此求得的优化结果比原设计方案节省投资 11.2%。

4 结 论

本文在传统的漫游数学家模型的基础上,考虑输水渠道工程首末允许水头损失约束,提出了漫游数学家二维动态规划模型,从而可以较好地解决某些长距离输水渠道工程的线路优化问题。这对长距离管道输气、输油管道工程的优化,同样具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 黄伟雄. 跨流域调水与华北水资源的合理配置——我国南水北调新路径的探讨[J]. 资源科学, 2002, 24(5): 8 - 13.
- [2] 吴险峰, 刘昌明, 杨志峰, 等. 黄河上游南水北调西线工程可调水量及风险分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 9 - 15.
- [3] 卢华友, 沈佩君, 邵东国, 等. 跨流域调水工程实时优化调度模型研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1997(5): 11 - 15.
- [4] 杨胜天, 刘昌明, 杨志峰, 等. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 11 - 18.
- [5] 贲克平. 国外大规模跨流域调水的经验教训与展望[J]. 湖南水利水电, 2001(6): 26 - 30.
- [6] 程吉林, 等. 高维动态规划试验选优方法及其在渠道工程中的应用[J]. 水利学报, 1998(1): 39 - 44.
- [7] 程吉林, 金兆森, 孙学华, 等. 渠道纵横断面优化的动态规划法研究[J]. 水科学进展, 1997, 8(1): 83 - 89.
- [8] Cooper L, Cooper M. Introduction to Dynamic Programming. 动态规划导论[M]. 张有为译. 北京: 国防工业出版社, 1985. 172 - 185.

Optimal alignment of channel and wanderings mathematician model^{*}

CHENG Ji-lin, CHEN Pin, ZHU Chun-long, JIANG Xiao-hong, QIU Jin-xian

(College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: On the basis of a revised model of wanderings mathematician, this paper presents a 2-D dynamic programming model for the optimal alignment of channel with known segment function. The model takes the longitudinal slope of the channel and qualitative alignment scheme of each segment as system variables. The minimum works investment is taken as objective function, and the following factors such as the water levels at the head and end of channel, segment transfer of each alignment are regarded as constrains. There are a better results in the optimal alignment with this method than with the traditional one in the application cases.

Key words: channel; optimal alignment; mathematician model

* The project is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 69974033; No. 59979024).