

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2017.06.43

渠首水位实时调控模型

——以船行灌区一支渠为例

宋静茹^{1,2}, 王艳明³, 杨江³, 宋常吉^{1,2}

(1. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 黄河水利科学研究院引黄灌溉工程技术研究中心, 河南 新乡 453003; 3. 内蒙古河灌总局乌兰布和灌域管理局, 内蒙古 磴口 015200)

摘要: 很多大中型灌区在输配水过程中存在水位衔接不当的问题,加之田面高程存在起伏,使得灌溉时往往存在部分田面不能上水或受淹等问题。本文提出了空间灌溉率的概念,并利用GIS的三维分析功能研究了其与渠道渠首水位之间的关系。分析表明,空间灌溉率与渠首水位之间的关系符合Logistic曲线;针对船行灌区一支渠,得到该Logistic曲线的参数,并确定了一支渠渠首和干渠渠首不同空间灌溉率所需的水位,为灌区水位实时调控提供基础数据。

关键词: 渠首水位; 水位实时调控; 数字高程模型; 空间灌溉率; 灌区

中图分类号:S274

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)06-0244-04

Real-time controlling model of canal head level:

To Chuanhang irrigation district branch one as an example

SONG Jingru^{1,2}, WANG Yanming³, YANG Jiang³, SONG Changji^{1,2}

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China;

2. Yellow River Irrigation Drainage and Rural Water Supply Research Center, Xinxiang 453003, China;

3. Wuanbuhe Irrigating-area Administration of Hetao Irrigated District of Inner Mongolia, Dengkou 015200, China)

Abstract: During the process of water transmission and distribution, many medium and large irrigation districts have the problem of improper water level convergence, and field surface elevation exists ups and downs, so part of the field surface can't be moisturized or submerged during irrigation. So the concept of the space irrigation rate was put forward in this study, and the relation between space irrigation rates and channel canal water level was studied by using three-dimensional analysis capabilities of GIS. Analysis showed that the relationship between the space irrigation rates and canal water level was consistent with the Logistic curve. Logistic curve parameters of Chuanhang Irrigation District Branch One were obtained, and water level of Branch One headwork and water level of canal headwork, which was required for different space irrigation rates, were confirmed. So the underlying data of regulation of water level in irrigation district with were provided.

Key words: canal head level; real-time water level control; digital elevation model; space irrigation rate; irrigated district

1 研究背景

我国设计灌溉面积2000亩及以上的灌区共22689处,50万亩以上灌区177处,30万~50万亩大型灌区281处^[1]。很多灌区在配水过程中都存在水位衔接不当的问题,有的由于渠道水位过低导致

田间供水需要移动式抽水机组辅助才能完成,也有的由于渠道水位过高、灌水控制不当等原因使得田面受淹。因此,研究渠道水位对田面上水面积的影响是十分有必要的。随着信息化技术和自动化控制技术在灌区的应用,渠首水位实时调控技术作为一种新的渠系配水方法用于解决灌区水位衔接不当的

收稿日期:2017-03-10; 修回日期:2017-04-19

基金项目:黄河水利科学研究院基本科研业务费专项(HYK-JBYW-2016-19);国家自然科学基金项目(51379085);“十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD08B05-2);黄河水利科学研究院基本科研业务费专项(HYK-JBYW-2017-09)

作者简介:宋静茹(1989-),女,河南商丘人,工程师,主要从事水土资源规划与环境保护、水资源高效利用等方面研究。

问题是可行的。渠首水位实时调控是运用水位传感器和闸位传感器分别对渠首水位和闸门开度进行实时监测,并通过 RTU 将监测数据传输给中央控制系统进行调控分析,若水位值不满足调控标准则向泵站自动控制器和闸门驱动器下达指令进行水位调控的一种新技术^[2-4]。然而国内外针对渠首水位实时调控技术的研究尚不多见,实时调控的标准还有待研究。

在分析渠系配水问题时,地形作为一个重要的影响因素是不能被忽略的。数字高程模型(Digital Elevation Model),简称 DEM,是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的实体地面模型^[5-7],其主要用于描述地面高程信息,常用于与地形相关的分析应用^[8-9]。故本文将在数字高程模型的基础上对渠

首水位同田面上水灌溉的耕地面积与耕地总面积之比的关系展开研究,为进一步开展渠道水位实时调控提供支撑。

2 灌区概况

船行灌区位于江苏省西北部,地处淮河流域沂沭泗水系下游。境内地形总体上呈西高东低,地面起伏明显。灌区主要灌溉水源为大运河,由3条干渠、8条支渠和4条骨干排水河道组成了船行灌区的骨干渠系。西干渠通过船行电灌站引水至干渠,经8条支渠进行灌溉。其骨干渠系图如图1所示。一支渠控制耕地面积为21.4 km²,由船行灌区西干渠引水,共有斗渠11条,其控制范围和下级渠道如图2所示。

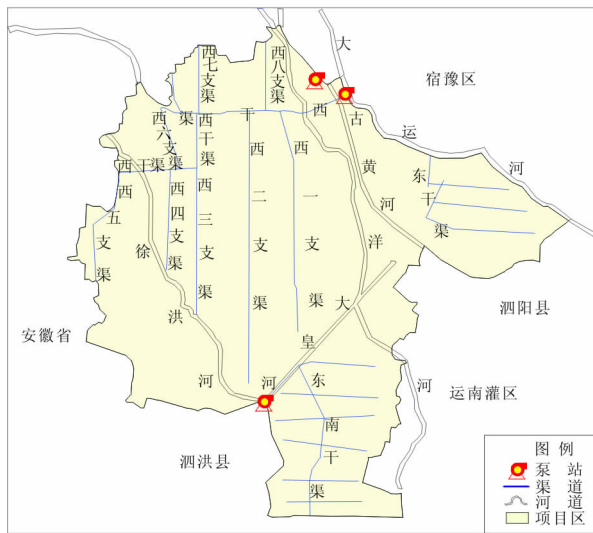


图1 船行灌区骨干渠系图

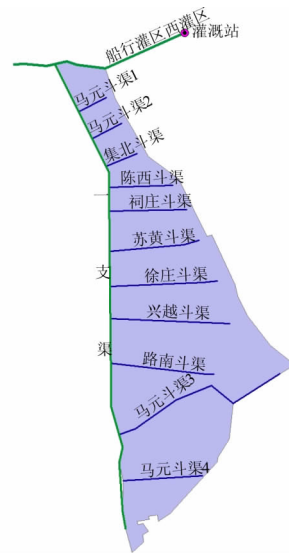


图2 一支渠渠道控制范围及下级渠道分布图

3 渠首水位实时调控模型

3.1 空间灌溉率

由于田面在空间上起伏不平,在渠道水位一定的情况下,可能只有部分田面上水而得到灌溉。空间灌溉率是指在一次灌水过程中,田面上水灌溉的耕地面积占区域控制耕地总面积的百分比,计算公式如下:

$$q_s = \frac{W}{S} \times 100\% \quad (1)$$

式中: q_s 为空间灌溉率,%; W 为田面上水的灌溉面积, hm²; S 为区域控制耕地总面积, hm²。

3.2 水位推求

3.2.1 渠首水位调控范围和步长 灌区内田面高程大多在一定高程范围内浮动,设定合理的分析范

围可以提高分析精度、简化分析过程。以船行灌区一支渠为研究单位,以该支渠中每一个斗渠控制的耕地面积为一个控制单元。应用 ArcGIS 中的 Inquiry 功能和 Reclassify 功能对船行灌区的数字高程模型进行空间分析,提取每一个控制单元田面最低参考点高程 A_{\min} 和田面最高参考点高程 A_{\max} ^[10-11]。

为保证渠道控制的耕地能够满足灌溉要求,渠首水位应根据田面高程、灌水深度、沿程水头损失、渠道水通过各级渠系建筑物的局部水头损失逐级推求^[12]。推求公式如下:

$$Z = A + \delta \quad (2)$$

其中: $\delta = \sum (L \cdot i) + \sum \varphi + h$ 。

式中: Z 为渠首水位,m; A 为控制单元的田面参考点高程,m; δ 为渠道水从渠首抵达控制单元的水头损失,m; h 为控制单元田面高程与末级渠道出水口处

水面的高差,一般为0.1~0.2 m; L 为从渠首到控制单元的渠道长度, m ; i 为渠道的相应比降; φ 为渠道水从渠首到控制单元的局部水头损失, m 。

按上述方法可得每个控制单元的田面参考点高程、输水水头损失和为满足灌溉要求所需的一支渠渠首水位见表1。

表1 一支渠水位推求数据表

斗渠名称	斗渠编号	δ	A_{max}	A_{min}	Z_{max}	Z_{min}
马元斗渠1	1	0.30	20.89	19.02	21.19	19.32
马元斗渠2	2	0.44	20.49	18.50	20.93	18.94
集北斗渠	3	0.55	20.58	18.55	21.13	19.1
陈西斗渠	4	0.63	19.73	18.81	20.36	19.44
祠庄斗渠	5	0.72	19.74	18.30	20.46	19.02
苏黄斗渠	6	0.81	19.88	18.33	20.69	19.14
徐庄斗渠	7	1.05	19.98	18.15	21.03	19.20
兴越斗渠	8	1.17	19.94	17.99	21.12	19.17
路南斗渠	9	1.39	20.03	17.71	21.42	19.10
马元斗渠3	10	1.64	19.14	17.30	20.78	18.94
马元斗渠4	11	1.93	19.88	17.41	21.8	19.33

由表1可知为实现灌溉,船行灌区一支渠渠首的最高水位和最低水位分别为21.80 m、18.94 m,故船行灌区一支渠渠首水位的调控范围为21.80~18.94 m。

通过对船行灌区一支渠控制范围内的田块高程的查询可知,田块高程由西北到东南逐渐降低,变化平缓。考虑到方便管理的因素,本文选取0.1 m为水位调控的步长。

结合选取的步长可得一支渠渠首水位调控值为: $Z_0 = 18.9, Z_m = Z_{m-1} + 0.1 m, m = 1, 2, \dots, 29$ 。

3.2.2 渠首水位对应的田间水位 由一支渠渠首水位调控范围内的水位值按照下式推求渠道水到达每个控制单元的田间水位值。

$$z_{nm} = Z_m - \delta_n, m = 1, 2, \dots, 29 \quad (3)$$

式中: z_{nm} 为控制单元的田间水位值, m ; n 为斗渠编号。

3.3 空间灌溉率的计算

3.3.1 空间分析 利用Delaunay三角测量方法构建一支渠控制范围内的不规则三角网。应用ArcGIS三维分析模块中的Create TIN From Features命令创建TIN,选择一支渠控制的田面范围图层和高程点图层作为创建TIN所要使用的要素图层,采用软裁切对数据处理得出一支渠控制范围内的不规则三角网表面,如图3(a)所示把田面高程值作为要转到栅格数据中的TIN属性,使用Convert TIN to Ras-

ter命令创建栅格表面^[13-14],输出栅格单元的大小为25.68 m²,如图3(b)。

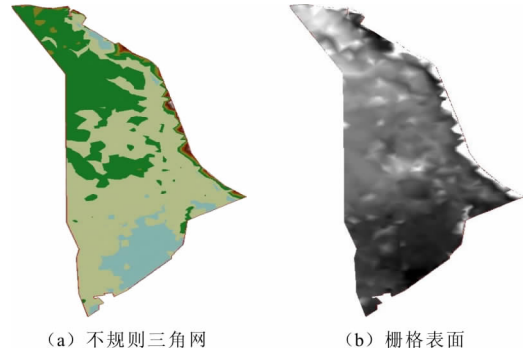


图3 一支渠控制范围内不规则三角网和DEM图

对栅格表面按照田间水位值进行重分类^[13],得出田面高程在相邻两个田间水位值之间的栅格数目。

3.3.2 不同渠首水位对应的空间灌溉率 将一支渠渠首水位为 Z_m 时可灌溉的各控制单元栅格数目相加并乘以栅格面积即为当一支渠渠首水位为 Z_m 时田面上水灌溉的耕地面积。按照空间灌溉率计算公式求出一支渠在各渠首水位可满足的空间灌溉率如图4。

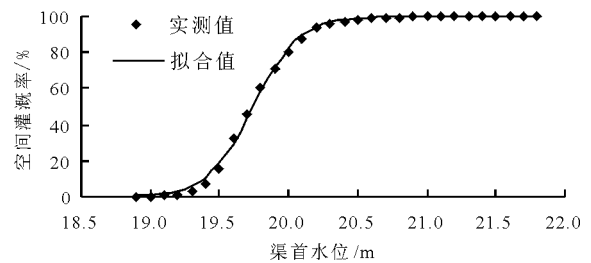


图4 空间灌溉率随一支渠渠首水位变化曲线

3.4 渠首水位实时调控模型

3.4.1 建模思想 由图4可以看出空间灌溉率随渠首水位的变化具有“平缓发展-快速发展-平缓发展”的成长型趋势变化特征,符合Logistic曲线分布。本文利用Logistic累计分布曲线方程由空间灌溉率来推求渠首水位的方法建立渠首水位实时调控模型。

3.4.2 数学模型 以空间灌溉率为变量,以渠首水位值为目标,建立目标函数如下:

$$f(x) = \frac{1}{r} [a - \ln(\frac{k}{x} - 1)] \quad (4)$$

式中: $f(x)$ 为渠首水位, m ; x 为空间灌溉率, %; k 称为饱和水平; r 为增长速度因子; a 为积分常数。

3.4.3 约束条件 空间灌溉率随渠首水位的变化具有从0逐渐趋近于1变化趋势;且当渠首水位小

于某一水位时空间灌溉率恒等于 0;当渠首水位大于某一水位值时空间灌溉率恒等于 1。根据空间灌溉率的特性引入变量约束条件:

$$0 \leq x \leq 1 \quad (5)$$

Logistic 累计分布曲线方程对参数有一定要求,因此模型还需加入参数约束条件^[15]:

$$\begin{cases} k > 0 \\ r > 0 \\ a \in R \end{cases} \quad (6)$$

3.4.4 求解方法 采用规划求解寻优的方法对残差平方和达到最小时的参数进行求解,此时的参数解即为模型参数的非线性最小二乘估计值^[16-17]。

求的一支渠渠首水位实时调控模型的参数见表 2。

表 2 一支渠渠首水位实时调控模型参数表

k	r	a	R^2	X^2	S_2
1.000	6.115	120.732	0.998	0.070	0.015

由相关指数、 X^2 和标准误差值可以看出模型拟合精度较高。

由模型可得出一支渠为满足不同空间灌溉率所需要的渠首水位,并通过水力学计算得出相应的干渠渠首水位见表 3。

表 3 满足不同空间灌溉率需要的渠首水位

空间灌溉率/%	一支渠渠首水位/m	干渠渠首水位/m
80	19.97	20.33
85	20.03	20.39
90	20.10	20.46
95	20.23	20.59
100	21.78	22.14

4 结 论

在数字高程模型的基础上,通过研究渠首水位与空间灌溉率的关系,得出了如下主要结论:

(1)空间灌溉率与渠首水位之间的关系符合 Logistic 曲线。提出了空间灌溉率的概念,并通过对研究区域的空间数据分析得出,空间灌溉率与渠首水位之间的关系符合 Logistic 曲线。

(2)通过规划求解寻优的方法对渠首水位实时调控模型求解,得出船行灌区一支渠的模型参数,研究区域空间灌溉率为 80%、85%、90%、95%、100% 时所需的一支渠渠首水位分别为 19.97、20.03、20.10、20.23、21.78 m,干渠渠首水位分别为 20.

33、20.39、20.46、20.59、22.14 m。

本研究可做为灌区渠系配水决策判定指标,由于研究初期资料的局限性,未考虑到水位调控空间上的时间延迟,有待进一步优化。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 2016 年全国水利发展统计公报 [R/OL]. (2017-10-16) [2017-11-26]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/slfztjgb/201710/t20171016_1002400.html.

[2] 曹玉升,畅建霞,黄强,等. 南水北调中线输水调度实时控制策略[J]. 水科学进展,2017,28(1):133-139.

[3] 陈进佳,何士华,刘月楼. 实时汛限水位动态控制研究[J]. 安徽农业科学,2017,45(7):179-183.

[4] 任明磊,何晓燕,黄金池,等. 基于短期降雨预报信息的水库汛限水位实时动态控制方法研究及风险分析[J]. 水利学报,2013,43(S1):66-72.

[5] 汤国安. 我国数字高程模型与数字地形分析研究进展[J]. 地理学报,2014,69(9):1305-1325.

[6] 胡玲玲. 基于 DEM 的地貌分析[J]. 华北国土资源,2017(3):90+93.

[7] 范军,郭正鑫. 土地整理中数字高程模型的应用[J]. 现代测绘,2017,40(3):42-44.

[8] 惠振阳,胡友健. 基于 LiDAR 数字高程模型构建的数学形态学滤波方法综述[J]. 激光与光电子学进展,2016,53(8):7-13.

[9] 蔡亮红,丁建丽,魏阳. 基于多源数据的土壤水分反演及空间分异格局研究[J]. 土壤学报,2017,54(5):1057-1067.

[10] 李洪涛. DEM 和 ARCGIS 在土地整理中的应用研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2009.

[11] 高蓓,高茂盛,董金芳. 基于最大熵模型和 ArcGIS 的陕西省单季稻种植分布预测及适宜性[J]. 中国农业大学学报,2016,21(3):8-15.

[12] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.

[13] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.

[14] Sundaramoorthy P, Florijn D, Gill E, et al. A spatial distribution measure and collision analysis technique for distributed space systems[J/OL]. Acta Astronautica,2016,5:1-8 [2017-03-03]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.04.031>.

[15] 赵红. Logistic 曲线参数估计方法及应用研究[D]. 长春:吉林农业大学,2015.

[16] 高雷阜,于冬梅,赵世杰,等. 一种求解二阶锥规划问题的新算法[J]. 系统工程理论与实践,2015,35(8):2120-2126.

[17] 董飞. 资源分配问题的动态规划求解方法[J]. 凯里学院学报,2015,33(3):19-21.