

基于 VB 的水田灌溉自动化管理系统

丁富平^{1,2}, 吴发启¹, 赵龙山¹, 孙存喜³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 广东省水利水电科学研究院, 广州 510610;
3. 连云港市水利规划设计院有限公司, 江苏 连云港 222000)

摘 要: 为了节约水资源和提高农田管理水平, 以 VB 为开发平台, 基于水田水量平衡原理和生物学理论, 建立了水田数据库管理系统、灌溉管理决策支持系统和水田水分动态显示系统等 3 个子系统; 具体介绍了各子系统的结构、功能、原理和实现方法。系统运行表明, 该系统能够实现对水田灌排水的时间和强度以及经济灌排水量等计算; 并且将计算结果输出到 Excel 表格中, 并以报表或图形格式显示, 因此该系统有利于实现水资源的高效利用, 更为水田灌溉自动化管理提供了技术支持和软件服务。

关键词: 灌溉; 自动化管理; 决策支持

中图分类号: S274.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0233-06

Paddy Field Irrigation Automation Management System Based on VB

DING Fu-ping^{1,2}, WU Fa-qi¹, ZHAO Long-shan¹, SUN Cun-xi³

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China;
2. Guangdong Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China; 3. Lianyungang Water Resources Planning and Designing Institute Co. Ltd., Lianyungang, Jiangsu 222000, China)

Abstract: In order to save water resources and improve the level of land management, paddy field irrigation automation management system is a breakthrough for advancing precise irrigation based on the principle of water balance and biological theory on farmland, including paddy field database management system, irrigation management decision support system and water variation display system. This paper introduced the structure, performance, principle and implement method of each system. It is available by running the paddy field irrigation automation management system based on the access database. So amount, thrifty amount and time of irrigation or drainage were calculated by the system. As well as this results were output to the Excel. This achievement can reduce the cost of irrigation management and raise automation management level, and which made more progress in the process of agriculture modernization in China.

Key words: irrigation; automation management; decision support system(DSS)

我国是水资源贫乏的国家, 人均水资源量只有世界人均占有量的 1/4, 是世界上 40 多个严重缺水的国家之一, 加上我国农业用水基数大, 不合理的农业灌溉方式、落后的农田管理水平, 浪费了大量水资源; 同时随着工业化和城市化进程的加快, 总用水量的需求在迅速增加, 供需矛盾十分突出, 为做到经济与资源、生态环境相互协调地可持续发展, 许多学者提出了大量节约农田用水的灌溉方法, 如: 渠道防渗、低压管道输水、节水型地面灌溉、喷灌、微灌、渗灌、脉冲灌、作物调亏灌溉、限水灌溉、非充分灌溉、作物控制

性生根交替灌溉和精确灌溉等农业高效灌溉方法^[1-5], 但是至 2002 年底, 我国农业节水灌溉面积仅为 1 866.67 万 hm^2 , 只占有效灌溉面积的 33.4%, 可见, 我国农田节水灌溉的潜力很大, 应全面推进节水灌溉的工程措施、农业技术措施、经济管理措施的有机结合与集成化实施^[6], 采用先进的监测、预报和自动化控制系统, 实现效益最佳的水分调控管理技术, 实现真正意义上的农业节水灌溉^[7]。不过, 目前我国在精准灌溉和节水灌溉系统的自动化控制方面, 与国际领先水平的以色列、美国、英国、澳大利亚等国家的

收稿日期: 2010-03-14

资助项目: 国家重点基础研究发展计划“973”研究项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407201)

作者简介: 丁富平(1982—), 男, 山东菏泽人, 硕士, 研究方向: 水土保持与荒漠化防治。E-mail: river01011532@163.com

通信作者: 吴发启(1957—), 男, 陕西黄陵人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理方面的研究。E-mail: wufali@263.net

差距较大,还处于启蒙阶段,又由于灌溉决策支持系统是精确灌溉和节水灌溉自动化的核心,是提高农田用水管理水平的重要方面,因此加强灌溉决策支持系统软件的开发,将有助于为我国精确灌溉系统的建立做好技术储备,有利于优化配置农业用水和解决农业供水危机^[5,8]。

鉴于此,本文基于 VB 友好的工作界面、强大的数据库功能和 OLE(对象链接和嵌入)技术,结合水田灌溉管理中的实际需要,开发了水田灌溉自动化管理系统,其中包括水田数据库管理系统、灌溉管理决策支持系统和农田水分动态显示系统 3 个子系统,从各个子系统分别研究了水田的数据管理,水田水分预测,灌排水措施的抉择和水田水分数据的动态显示等功能,为精确灌溉决策支持系统的建立和推进提供了技术支持。

1 系统的基本功能

水田灌溉自动化管理系统主要为决策者提供简便、快捷的判断和抉择信息,主要包括:①提供对农田信息的数据库管理功能:通过对农田气象、水文和墒情等资料的数据库操作,不仅可以了解水田水分的历史资料,灌排水方案实施后的动态变化,而且能够准确地把握农田水分的现状;②提供灌溉决策支持功能:根据天气预报和农田水分资料,为用户提供灌溉决策的实时信息,如预测农田需要灌溉的时间及其强度,选择经济灌溉量或排水量。③提供水田水分动态变化的报表和图形功能:依据对水田水量的计算,预测农田水分的动态变化过程,以 Excel 表格格式或图形格式显示。

2 系统的基本结构

水田灌溉自动化管理系统包括水田数据库管理系统、灌溉管理决策支持系统和农田水分动态显示系统。该系统在 Visual Basic 环境下,直接建立 Access 数据库,根据农田水文、气象和墒情等资料建立合理的数据结构,如:合理地设置蒸发量、降雨量、灌溉量等数据的类型、长度或宽度等。利用“data”控件建立与 Access 数据库的连接,实现对数据库记录的显示、修改、增加、删除和查询等操作,利用“Microsoft FlexGrid Control 6.0”部件对 Access 数据库全部信息进行显示,从而达到对数据进行简单快捷管理的目标;根据建立的 Access 数据库中的表结构,将每个记录的数据赋予一个数组元素,根据农田水量平衡原理和设计的灌溉制度对数组进行运算,判断农田是否需要灌排水、灌排水的时间以及其强度;最后将原始数

据和运算结果输出到 Excel 表格中,然后利用“OLE”控件显示 Excel 表格或图形,而且可以通过双击“OLE”控件直接运行“Microsoft Office Excel 2003”程序,从而可以根据需要实时、方便地对表格中的数据做进一步的分析和处理。

2.1 水田数据库管理系统

2.1.1 水田数据库的建立^[9] Visual Basic 语言本身使用的是 Access 数据库,能够在 VB 中直接创建,可以用来作为存储农田相关数据和模型计算结果的储存空间,如数据发生的日期,每日降雨量、每日蒸发量、每日耗水量、灌溉量和排水量等,其中,每日蒸发量、每日耗水量和排水量以负数的形式存放在数据库中,见图 1。

2.1.2 对数据库操作的实现 对 Access 数据库的操作主要有:添加数据、删除数据、数据查询、逐个数据查看和对 Access 数据库的显示。

具体方法如下:首先在窗体上建立“Data1”数据控件,设置其“Database Name”属性为“水文数据.mdb”,设置“Record Source”属性为“水文数据”,在运行时,可以实现逐个数据以及对第一个和最后一个数据的查看;然后单击标签“时间”对应文本框的“Data Source”属性栏,在下拉按钮中选择“Data1”,在“Data Field”属性栏下拉按钮中选择“日期”,按上述方法依次设置其它文本框的相应属性。



日期	每日降雨量	每日蒸发量	每日耗水量	灌溉量	排水量
2010-1-1	5	-1	-1	10	0
2010-1-2	2	-2	-2	0	0
2010-1-3	3	-1	0	0	0
2010-1-4	0	-2	-2	0	0
2010-1-5	0	-5	-5	0	0
2010-1-6	0	-5	-3	0	0
2010-1-7	0	-1	-1	0	0

图 1 Access 数据库中的水文数据表

添加数据的代码如下:

```
Private Sub Command1_Click()  
If Data1.Recordset.RecordCount > 0 Then  
    Data1.Recordset.MoveLast  
    Data1.Recordset.AddNew  
End If  
End Sub
```

删除数据的代码如下:

```
Private Sub Command2_Click()
```

```

Dim msg As Integer
msg = MsgBox("您真的要删除此项数据吗?", 32 + vbOKCancel, "提示信息")
If msg = vbOK Then
    If Data1.Recordset.RecordCount = 0 Then
        msg = MsgBox("请保留最后一个数据,数据库不能为空", 32 + vbOKCancel, "提示信息")
    Exit Sub
    End If
    Data1.Recordset.Delete
    Data1.Recordset.MoveLast

```

```
End If
```

```
End Sub
```

数据查询的代码如下:

```

Private Sub Command4_Click()
Dim db As Database
Dim rsl As Recordset
Dim temp1 As Integer
Dim temp2 As Integer
Dim rqi As String
Dim r As String
Set db = OpenDatabase(App.Path + "\水文数据.mdb")
Set rsl = db.OpenRecordset("水文数据")
    rqi = InputBox("请输入查询的数据日期,例如:2010-1-1", "提示信息!")
    rsl.Index = "r" 'r 为数据表主索引的名称
    rsl.Seek "=", rqi
    If Not rsl.NoMatch Then
        temp2 = MsgBox("数据已存在", 48 + vbOKOnly, "提示信息")
    Else
        temp1 = MsgBox("数据未录入,请添加数据", 32 + vbOKOnly, "提示信息")
    End If
End Sub

```

上述数据查询代码以日期为主索引,通过输入需查询数据的日期,判断该日数据在 Access 数据库中是否存在,如果该日数据不存在,提示“数据未录入,请添加数据”,如果该数据存在,则可以通过“Data”控件逐个查询,也可以用“FSFlexGrid”控件将 Access 数据库全部显示进行查看,具体方法如下:

由于 FSGlobal 控件不是 VB 工具箱中的控件,需要在使用时添加^[10],即:在“工程”菜单项中选择“部件”,然后选定“Microsoft FSGlobal Control

6.0”便添加成功,在新建的窗体上创建“FSFlexGrid”控件和“Data”控件,设置“FSFlexGrid”控件的“DataSource”属性值为 Data1,设置“AllowUserResizing”属性值为“3-flexresizeBoth”可以对数据库行、列宽大小进行改变,实现数据的完全显示。“Data”控件的属性设置同上。

2.2 灌溉管理决策支持系统

灌溉管理决策支持系统是水田灌溉自动化管理系统的核心,该子系统主要以水田数据库为基础,根据天气预报、作物生理生长特性和水田下渗量等资料,进行水田水分预报,灌排水措施的选择以及实施的时间和强度。

2.2.1 灌溉管理决策支持系统建立的依据 (1)生物学依据^[11-13]。以水稻田为例,水量是水稻生长的重要环境胁迫因子,许多专家研究表明:不同灌溉水量(方式)对稻田渗漏量、株间蒸发、水稻叶面积、产量以及米质有明显影响,株高随田间水深的增加而增高,抗倒和抗病能力随之减弱;同时,水量对不同生育期水稻的生长发育也有重要影响,如:返青期缺水影响秧苗成活,孕穗及抽穗开花期缺水造成严重减产等。因此,将水稻不同生育阶段的田间水量维持在一个合理的需水临界区间内,不仅能够达到水稻稳产、增产和提高品质的效果,而且能够减少对水资源的浪费。

(2)农田灌排水数学模型。水田灌溉管理主要以农田尺度下的水量平衡原理为基础,水田水量平衡方程为:

$$W = W_{i-1} + P_i - E_i - G_i + Q_{灌i} - Q_{排i} \quad (1)$$

式中: W ——当日水田水量; W_{i-1} ——为前一日水田剩余水量; P_i ——当日降水量; E_i ——当日蒸发量; G_i ——当日耗水量,包括当天下渗量和当日作物需水量; $Q_{灌i}$ ——当日水田灌溉量; $Q_{排i}$ ——当日水田排水量;因此,上式既可以计算当日水田水量的大小,又可以计算水田水量的历史过程。

根据上述的生物学依据,确定适宜其生理生长的最大设计水量 W_{max} 和最小设计水量 W_{min} ,即确定合理的作物需水临界区间 $[W_{min}, W_{max}]$,使 $W \in [W_{min}, W_{max}]$,即:

$$W_{min} \leq W \leq W_{max} \quad (2)$$

根据天气预报,预测水田未来的日降水量 P_{i+1} 、日蒸发量 E_{i+1} 、日耗水量 G_{i+1} 。预测水田水量为:

$$W_{i+1} = W_i + P_{i+1} - E_{i+1} - G_{i+1} \quad (3)$$

初始条件为:

$$W_i = W \quad i = 0 \quad (4)$$

式中: W_{i+1} ——第 $i+1$ 天水田水量; W_i ——第 i 天水田水量; P_{i+1} ——第 $i+1$ 天预测降水量; E_{i+1} ——第

$i+1$ 天预测蒸发量; G_{i+1} ——第 $i+1$ 天预测耗水量。

当 $W_{i+1} < W_{\min}$ 时, 水田需要灌溉, 最小灌溉量为 $Q_{\text{灌小}} = W_{\min} - W_{i+1}$, 最大灌溉量为 $Q_{\text{灌大}} = W_{\max} - W_{i+1}$, 考虑到较长预测期内的降雨量难以准确估计, 以及灌溉设备每次运行的费用等实际问题, 所以仅判断第 $i+2$ 天有无降雨, 如果有降雨, 则以最小灌溉量实施灌溉, 此灌溉量即为经济灌溉量; 如果无降雨, 则以最大灌溉量实施灌溉, 此灌溉量亦为经济灌溉量。

当 $W_{i+1} > W_{\max}$ 时, 水田需要排水, 最小排水量为 $Q_{\text{排小}} = W_{i+1} - W_{\max}$; 最大排水量为 $Q_{\text{排大}} = W_{i+1} - W_{\min}$, 同上, 如果有降雨, 则以最大排水量实施排水, 此排水量即为经济排水量; 如果无降雨, 则以最小排水量实施排水, 此排水量即为经济排水量。

当 $W_{\min} \leq W_{i+1} \leq W_{\max}$ 时, 水田水量丰沛, 适宜作物生长, 灌排水设备无需运行。

(3) 灌排水实施时间的确定依据。首先用式(3)计算水田第 $i+1$ 天水量, 如果 W_{i+1} 在作物需水临界区间 $[W_{\min}, W_{\max}]$, 则水田水量能维持 i 天无需灌排水; 反之, W_{i+1} 不在作物需水临界区间 $[W_{\min}, W_{\max}]$ 内, 则水田 i 天后需要灌排水, 是灌溉还是排水以及其强度, 还有经济灌排水量的确定, 将按照上节的灌排水数学模型计算。

灌溉管理决策支持系统的工作原理见图 2。

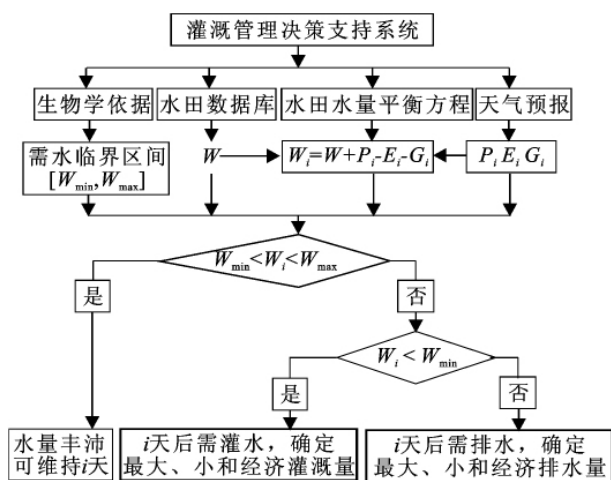


图 2 灌溉管理决策支持系统的工作原理

2.2.2 灌溉管理决策支持系统程序

Option Explicit

Dim ChuZhi As Single'水田初始水量

Dim Maxwater As Single'最大设计水量

Dim Minwater As Single'最小设计水量

Dim ZongWater() As Single'每日水田水量

Dim XuGuanGaiLiang() As Single'水田灌溉量

Dim XuPaiShuiLiang() As Single'水田排水量

Dim ChiXuTianShu As Integer

'用于记录水田水量维持在需水临界区间的天数。

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Private Sub Command1_Click()

Dim dbname As Database

Dim m_res As Recordset

Dim M As Integer

Dim N As Integer

Dim Jiang_y() As Single

Set dbname = OpenDatabase(App.Path + "\水文数据.mdb")

Set m_res = dbname.OpenRecordset("水文数据")
m_res.Fields.Refresh

M = m_res.RecordCount

N = m_res.Fields.Count - 2

ReDim Jiang_y(1 To M, 1 To N) As Single

'将数据库中的数据赋予数组元素

m_res.MoveFirst

For i = 1 To M

For j = 1 To N

Jiang_y(i, j) = m_res.Fields.Item(j).Value

Next j

m_res.MoveNext

Next i

m_res.Close

Set m_res = Nothing'读取数据结束

ReDim ZongWater(M) As Single

ReDim XuGuanGaiLiang(M) As Single'需要灌溉量

ReDim XuPaiShuiLiang(M) As Single'需要排水量

Maxwater = Val(Form4.Text1.Text)

Minwater = Val(Form4.Text2.Text)

ChuZhi = Val(Form4.Text3.Text)

If Maxwater < Minwater Then

MsgBox "输入数据错误, 最大值不能小于最小值!"

Exit Sub

ElseIf Form4.Text1.Text = "" Or Form4.

Text2.Text = "" Then

MsgBox "请在文本框中输入数据!"

Exit Sub

End If

ChiXuTianShu = 0

'用于判断灌、排水的日期, 初值设置为零

For i = 1 To M

For j = 1 To 5 '水文数据表中的字段数为 5

```

ChuZhi = ChuZhi + Jiang_y(i, j)
ZongWater(i) = ChuZhi
Next j
If ZongWater(i) < Minwater Then
    XuGuanGaiLiang(i) = Maxwater - ZongWater
(i) '最多灌溉水量
    form5.Show
    form5.Text1.Text = Str(XuGuanGaiLiang(i))
    form5.Text2.Text = Str(XuGuanGaiLiang(i))
- (Maxwater - Minwater)
    form5.Text3.Text = ChiXuTianShu
    form5.Label1.Caption = "最大灌溉量:"
    form5.Label2.Caption = "最小灌溉量:"
    form5.Label3.Caption = "天后水田水量 * 不足
*, 急需灌溉!
    Exit Sub
ElseIf ZongWater(i) < Maxwater Then
    MsgBox "水田水量充沛"
    ChiXuTianShu = ChiXuTianShu + 1 '用于确定
水田水量维持在需水临界区间的天数,即此代码每执
行一次,水量维持在需水临界区间内的天数就增加一
次,说明水田水量充沛,无需灌排水,这是该子系统的
核心代码之一。
Else
    XuPaiShuiLiang(i) = ZongWater(i) - Max-
water
    form5.Show
    form5.Label1.Caption = "最大排水量:"
    form5.Label2.Caption = "最小排水量:"
    form5.Label3.Caption = "天后水田水量 * 过
多 *, 急需排水!
    form5.Text1.Text = Str(XuGuanGaiLiang
(i)) + (Maxwater - Minwater) '为最大排出水量
    form5.Text2.Text = Str(XuPaiShuiLiang(i))
'为最少排出水量
    form5.Text3.Text = ChiXuTianShu
    Exit Sub
End If
Next i
    form5.Show
    form5.Label3.Caption = "水田水量 * 充沛
*!
    form5.Label1.Caption = "此水量可维持的天
数:"
    form5.Text1.Text = Str(ChiXuTianShu)

```

```

form5.Label2.Visible = False
form5.Text2.Visible = False
End Sub

```

利用 Access 数据库内的“水文数据”表中的数
据,假设 2010 年 1 月 1 日的水田初始水量为 10 cm,
当日灌溉量为 10 cm(见图 1),最大、最小设计水量分
别为 40 cm 和 20 cm,运行上述代码后得到的结果见
图 3。

图 3 中显示了“三天后水田水量不足”,“需要的
最大灌溉量”和“最小灌溉量”。如果能够预测更长
时间的天气状况,即可以选择经济灌溉量,例如,如果
未来无降雨,则以最大灌溉量 21 cm 进行灌溉,如果
未来有降雨,则以最小灌溉量 1 cm 进行灌溉,由图 1
可知,3 d 后即为“2010-01-04”,该日无降雨,因此应
以 21 cm 水量实施灌溉。由此可见,此系统大大提高
了农田管理水平和灌溉水的利用率。

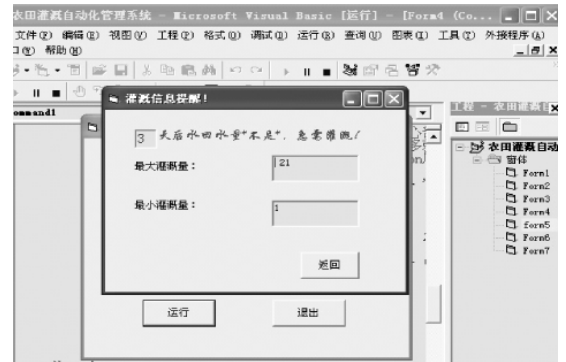


图 3 水分管理决策支持系统程序运行结果

2.3 水田水分动态显示系统

灌溉管理决策支持系统虽然能够预测水田需要
灌排水的时间,最大、最小以及经济灌排水量,但是有
时我们还需要知道水田水量动态变化的过程。所以
需要将上述程序运算过程中的数据进行输出和显示,
因此农田水分动态显示系统将完成此项任务;由于
Access 数据库对数据的处理能力远没有 Excel 软件
的优势,因此本文将计算程序运行原始数据和部分计
算结果输出到 Excel 表格中,从而满足用户对于农田
管理的更高要求。具体方法如下:首先,新建一个窗
体 form7,在窗体上创建“OLE”控件;其次,建立一个
名为“水 1 量.xls”的 Excel 表格,将 sheet1 重命名为
“计算结果”;然后编写程序代码。例如:将 Access 数
据库中的原始数据和计算的水田每日剩余水量输出
到 Excel 表格的主要代码为:

```

Dim xlapp As Excel.Application
Dim xlbook As Excel.Workbook
Dim xlsheet As Excel.Worksheet
Set xlbook = GetObject(App.Path & "\水 1 量.xls")

```

```
Set xlsheet = xlbook.Worksheets(" 计算结果" )
For i = 1 To M
    For j = 1 To N
        xlsheet.Cells(i, j).Value = Jiang_y(i, j)
    Next j
    xlsheet.Cells(I, j).Value = ZongWater(i)
Next i
xlbook.Windows(" 水 1 量. xls").Visible = True
xlbook.Save
Unload Me
Form7.Show '在 form7 中显示 Excel 表格
Set xlsheet = Nothing
Set xlbook = Nothing 释放数据
在“OLE”控件中显示 Excel 表格的代码如下：
Private Sub Form_Load()
    OLE1.CreateLink App.Path & " \ 水 1 量.
xls", " 计算结果"
    OLE1.Update
End Sub
```

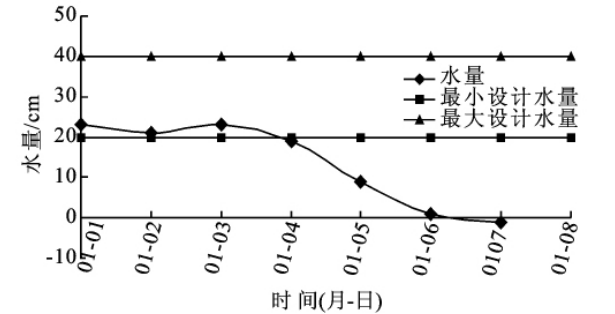


图 4 2010 年水田水量变化过程线

由图 4 可以清楚方便地把握水田水量的动态变化过程,并且能够容易地判断水田需灌排水的时间。例如,从 2010 年 1 月 1 日开始计算,3 天后即为 2010 年 1 月 4 日,该日的水田水量低于最小设计水量 20 cm,超出了需水临界区间[20,40],因此 2010 年 1 月 4 日水田需要灌溉。

3 结 论

以 VB 为开发平台,建立了水田灌溉自动化管理

系统,该系统实现了对水田水文、气象和墒情等数据的添加、删除、查询和显示功能;能够预测水田灌排水的时间和强度,以及确定经济灌排水量;并且将计算结果输出到 Excel 表格中,并以报表或图形格式显示,最后可以根据用户需要对原始数据和计算结果做进一步的分析和处理;系统运行后表明,此系统程序简洁,结构合理,界面友好,操作简单,因此,该系统有利于提高农田管理水平和水资源的高效利用,能够水田灌溉自动化管理提供技术支持和软件服务,在农业现代化进程中具有广阔的发展前景。

参考文献:

[1] 彭世彰,徐俊增,丁加丽,等. 节水灌溉与控制排水理论及其农田生态效应研究[J]. 水利学报,2007(增刊):504-510.

[2] 韩立岩,那婉姣,王亮. 节水灌溉技术研究[J]. 现代农业科技,2009(4):141-142,145.

[3] 许迪,程先军,谢崇宝,等. 农田间节水灌溉新技术应用研究[J]. 节水灌溉,2001(4):7-11.

[4] 李英能. 我国节水灌溉的现状与发展[J]. 水利水电科技进展,1998,18(1):2-7.

[5] 康绍忠,胡涛涛,蔡焕杰,等. 现代农业与生态节水的理论创新及研究重点[J]. 水利学报,2004(12):1-7.

[6] 裴源生,于福亮,罗琳. 21 世纪初期中国灌溉发展战略[J]. 水利水电科技进展,2003,23(3):1-5.

[7] 刘大江,封金祥. 精准灌溉及其前景分析[J]. 节水灌溉,2006(1):43-44.

[8] 康绍忠,蔡焕杰,冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报,2004,20(1):1-6.

[9] 陈华生,牛又奇,孙建国. Visual Basic 程序设计教程[M]. 江苏 苏州:苏州大学出版社,1999.

[10] 李书琴,陈勇,孙健敏,等. Visual Basic6.0 程序设计教程[M]. 西安:西北大学出版社,2002.

[11] 金学泳,商文楠,曹海峰,等. 不同灌溉方式对水稻生育及产量的影响[J]. 中国农学通报,21(8):328-332.

[12] 赵燕东,章军富,尹伟伦,等. 按植物需求精准节水灌溉自动调控系统的研究[J]. 节水灌溉,2009(1):11-14.

[13] 迟道才,王王宣,张玉龙,等. 水稻节水高产灌溉模式及土壤水分能量调控标准研究[J]. 灌溉排水学报,2003,22(4):39-42.