

# 一体化闸门技术在疏勒河灌区斗口计量的运用

袁建军, 许永祥, 王张磊, 张毅, 陈华栋, 刘磊

(南瑞集团有限公司/ (国网电力科学研究院) 江苏 南京 211100)

**摘要:** 在《国家中长期科学和技术发展纲要(2006-2020年)》中实施节水型的灌溉农业, 以提高灌区的水使用效率、改善灌区的生态环境、更好地为灌区用户服务。该一体化闸门在疏勒河灌区斗口计量运用将闸门门体、参数测量和控制及数据通讯集成于一体, 结构紧凑, 操作简单, 适合于国内灌区改造和水利自动化系统, 尤其适合于水闸或灌区偏僻地区的使用, 价格为国内其他产品的1/2, 有着十分广阔的前景。

**关键词:** 一体化闸门; 灌区; 斗口计量运用; 水利自动化系统

**中图分类号:** TV66 **文献标识码:** B

## 1 一体化闸门工作原理及系统组成

疏勒河灌区一体化闸门斗口计量智能控制系统由水位流量采集单元、机械和太阳能供电单元、智能闸门控制终端、通信单元和一体化闸门软件单元5个主要部分组成, 如图1所示。具体为如下几个内容:

(1) 水位流量采集单元通过采用磁致伸缩传感器测量巴歇尔槽槽内水流的液位, 再根据相应量水堰槽的水位—流量关系, 反求出渠道流量并上传给上位机。

(2) 机械和太阳能供电单元采用节能环保的太阳能供电和高性能聚合物储能电池, 为系统提供了稳定的电源。

(3) 智能控制终端单元主要负责闸门的核心控制其核心部件为PLC。

(4) 通信单元含现地通信和远程通信, 远程通信代替了原有的光纤通讯, 通过GPRS/4G通信方式及时可靠地对数据进行无线传输。

(5) 一体化闸门软件单元实时采集闸门数据和在远程监控中心站上进行显示, 进行数据计算和查询。

## 2 一体化闸门相关设计

疏勒河灌区一体化闸门是一种高质量、高精度产品, 具有设计先进、安装维护方便以及多功能等一系列优点。它不仅可以像传统闸门一样通过人工调节闸门开度来控制流量, 还能够根据量水堰槽的具体要求实现精准智能灌溉。



图1 一体化闸门样图

### 2.1 水位流量采集设计

对于一般渠道, 液位与流量没有确定的对应关系, 因为同样的水深, 流量的大小还与渠道的横截面积、坡度粗糙度有关。在这个项目中我们采用了巴歇尔槽, 巴歇尔槽又在一体化闸门下游渠道内安装, 由于堰的缺口或槽的缩口比渠道的横截面积小, 因此, 渠道上游水位与流量的对应关系主要取决于槽的几何尺寸, 明渠内的流量越大, 液位越高; 流量越小, 液位越低, 在同样的巴歇尔槽放在不同的渠道上, 相同的液位对应相同的流量。我们通过磁致伸缩水位计采集巴歇尔槽液位, 磁致伸缩水位计安装在巴歇尔槽的收缩段的1/3~1/2的位置, 这样可以保证进水无波动, 无阻碍, 通过测量巴歇尔量水堰槽内水流的液位, 再根据巴歇尔相应量堰槽的水位—流量关系, 巴歇尔槽流量公式:  $Q = CH^n$  ( $Q$ 为流量,  $C$ 为常数系数,  $H$ 为水位) 反求出流量。

### 2.2 闸门机械及驱动调节设计

闸门选用螺杆式启闭机, 用螺纹杆直接或通过连杆与闸门

收稿日期: 2017-09-11

作者简介: 袁建军(1983-), 男, 研究生, 主要从事水利自动化方面的工作。E-mail: 434692327@qq.com。

门叶相连接,通过马达旋转螺杆上下移动闸门以启闭闸门。采用一体化智能设计,防护等级能达到 IP65(防风防雨),不再需要建设闸房进行保护,投资成本低廉,安装拆卸方便,防盗防破坏性较好。

设备具体参数:最小测量精度:1 mm,启重额定重量:400 kg,提升平均速度:6 cm/min,丝杠行程:0~150 cm,待机电流:0.12 A,空载电流:1.2 A,工作环境温度-25~55℃,相对湿度≤95%(25℃时),平均无故障工作时间>10万 h。

与一般闸门供电方式不同,一体化闸门马达系统选用36 V直流电机,依靠太阳能和蓄电池驱动,这样不需要远距离拉线供应永久电源,白天用太阳能供电,夜间通过蓄电池供电,高性能聚合物电池80AH(当电池充满可进行循环3次150 cm行程开关门),为闸门提供了可靠电源,系统可24 h处于待机状态,由微处理器控制的电源管理硬件,提供全方位的闸门管理和错误检测系统。

系统调节包括固态马达开关,动态电源管理来降低系统功率,优化的太阳能充电系统,同时还包括蓄电池及太阳能电源监测系统,电路保护系统,综合系统故障诊断及自行测试功能;测流闸电子元件也具有自行监视特点,任何电子方面错误都会通过GPRS/4G网络实时向中心站汇报。

### 2.3 通信功能设计

现场采集磁致伸缩水位计水位和闸位计采用MODBUS RTU通讯协议,物理层采用RS485串口通信的方法采集水位。采用MODBUS RTU通讯协议的磁致伸缩水位计和闸位计是对PLC发来的报文作出回应并发送报文。MODBUS协议通信数据报文格式如表1所示。

表1 MODBUS通信数据报文格式

MODBUS地址	功能码	字节数 N	内容 字节1	...	内容 字节N	CRC 高字节	CRC 低字节
----------	-----	----------	-----------	-----	-----------	------------	------------

地址码:地址码为通讯传送的第一个字节。这个字节表明由用户设定地址码的水位计和闸位计将接收由PLC发送来的信息,并且每个水位计或闸位计都有具有唯一的地址码可以选1到256号。

功能码:通讯传送的第二个字节。MODBUS通讯规约定义功能号为1到127。水位计或闸位计只利用其中的读取水位和闸位功能码3。作为PLC请求发送,通过功能码3读取水位计水位和闸位计闸位。

数据区:数据区是实际水位计水位和闸位数值。

一体化闸门与中心站通信通过GPRS/4G通信系统监测监控所有闸门相关信息,并通过互联网远程监控实时和历史数据。它具有建设投资省、周期短、维护简单、通讯距离不受地理条件限制等特点,是一种有效的组网方式。

由于分布在各支渠一体化闸门要向监控中心站上报各自的工况信息及监测的多种参数,同时还要接收监控中心站的远程控制指令,因此本系统采用混合式(自报/应答式)工作体制。

### 2.4 一体化闸门控制功能设计

其核心部件为PLC,该闸门流量控制精确度(可以达到±5%)。作为流量控制设备,一体化闸门的功能包括:闭环控制和总量控制。

总量控制主要是工作人员预设一个放水的总量,放水后,当放水总量到达预设总量时,闸门自动关闭,结束放水。

闭环控制功能主要是在闸前水位高于所需水位的前提下,通过逐次开启一体化闸门,使闸后巴歇尔槽水位变化,通过再根据相应量水堰槽的水位—流量关系,达到所需要的流量,如果超过了预设水位,闸门可以自动循环反复,最终达到所需要的水位。但此处难点是没有闸前水位,无法通过闸位和闸前闸后水位流量关系达到所需的闸门开高,同时闸前水位变化较大,无法统计所有闸位和闸前,闸后水位流量关系,同时巴歇尔槽跟闸门有一定距离,且每个闸门离巴歇尔槽距离不同,在闸门运行中时常出现闸门开到上限,巴歇尔槽水位还未达到所期望值,闸门动作和巴歇尔槽水位关系有一定滞后性,所以传统的控制方法通过建立精确的数学模型或预先人为地设定多种方案,但控制效果都难以达到要求,该一体化闸门通过模糊控制方法来实现闸门的闭环控制。模糊算法是基于规则和经验的,不需要建立精确数学模型,比较适合于闭环控制应用,所以本项目在模糊算法的基础上做进一步的设计。

#### 2.4.1 参数模糊化

(1) 确定输入、输出变量的论域。输入:巴歇尔槽水位一般在0~80 cm之间变化,所以巴歇尔槽水位的论域为[0,80];巴歇尔槽水位变化值一般在-20~20 cm之间变化,所以巴歇尔槽水位变化值的论域为[-20,20]。

输出:闸门开度一般在0~100 cm之间变化,所以闸门开度的论域为[0,100]。

(2) 确定输入、输出变量的论域基本元素。选用的水位的 $H$ 论域为:{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10};

选用水位变化 $\Delta H$ 的论域为:{-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5};

选用闸门开度 $v$ 的论域为:{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10}。

(3) 确定量化因子和比例因子输入 $H$ 的量化因子:

$$K_1 = (10 - 0) / (80 - 0) = 1/8$$

$\Delta H$ 的量化因子为:

$$K_2 = (5 - (-5)) / (20 - (-20)) = 1/4$$

输出 $V$ 的比例因子:

$$K_3 = (100 - 0) / (10 - 0) = 10$$

选取输入、输出变量的模糊语言值,选用输入 $H$ 和 $\Delta H$ 的模糊语言值为{负大,负中,负小,零,正小,正中,正大},就是{NB,NM,NS,Z,PS,PM,PB};选用输出 $V$ 模糊语言值为{负大,负中,负小,零,正小,正中,正大},就是{NB,NM,NS,Z,PS,PM,PB}如图2所示。

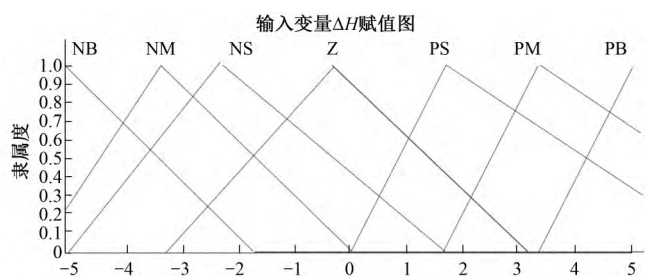


图2 输入量模糊隶属度函数图

2.4.2 模糊控制规则

经过反复试验,在一定闸前水位和闸门开度情况下,巴歇尔槽水位最终会达到稳定值,传统的人工方式是管理人员通过经验,先盲调,在根据巴歇尔槽水位开大开小闸门,费时费力,精确度低;而传统的自控方法是通过闸前和闸门开度,记录巴歇尔槽水位一个历史值,在通过巴歇尔槽水位历史值和闸前水位值控制闸门到对应开度,该方法的问题是需采集在不同情况下闸前、闸后水位和闸门开度,数据采集量大,难以穷究所有情况值,同时一旦渠道有淤积等变化,又需要重新率定,不能满足实际控制需要。

模糊控制是基于这样的规则的:不需要统计闸前、闸后水位和闸门开度,而是根据一定闸前水位和闸门开度情况下,巴歇尔槽水位最终会达到稳定值这个经验。根据预设巴歇尔槽水位和实际巴歇尔槽水位差值,如果水位变化值较少,离预设值较大,则应在增加闸门开高的幅度;反之如果水位变化值较大,离预设值较小,则应减小闸门开高的幅度,最终达到水位稳定,精度达到预设值的±5%。根据现场人员调节闸门的经验,以及输入和输出的函数得出控制规则表,具体的模糊控制规则如表2所示。

表2 模糊控制规则表

水位H的模糊量	水位ΔH的模糊量						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PM	PS
NM	PB	PB	PB	PM	PS	PS	Z
NS	PB	PM	PM	PS	Z	Z	NS
PS	PS	PS	Z	Z	NM	NM	NB
PM	PM	Z	NS	NS	NM	NB	NB
PB	NS	NM	NM	NB	NB	NB	NB

需要注意的有两点:①操作人员在操作时需确认闸前必须有水,同时水位需比闸后预设水位高,这样不会闸门提到最高也达不到预设值。②巴歇尔槽安装位置离闸门距离各不相同,所以闸门打开后巴歇尔槽水位稳定时间会有不同,有些需要稳定时间较长,在模糊控制时每段控制时间可根据实际情况调整。

2.4.3 模糊控制流程实现

在实时斗口计量过程中,先将预设水位值置入PLC的预设寄存器中,再将采集到的水位与设定值进行比较,得到偏差。把水位偏差变化率置入PLC的数据寄存器中,经过量化处理后,根据它们所对应的输入模糊论域中的元素,利用编制好的查询模糊控制规则表的程序查询该表,求得模糊输出量,再乘以输出量化因子即可得实际闸位开度输出量,用来调节一体化闸门的开度,以达到控制水位流量的目的,如图3所示。

2.4.4 模糊控制效果

通过在疏勒河灌区双塔总干所实验,选取了北干一支,三支渠首,五支渠首3个闸前水位相同且处于正常灌溉水位的地点,本项目闸门和量水槽距离最远为三支渠首,北干一支为槽闸距离最近点,所谓水位为灌溉常规预设水位,一般将3cm以下水位作为死水位,不做计量。巴歇尔槽水位和预设水位变化趋势如图4所示。

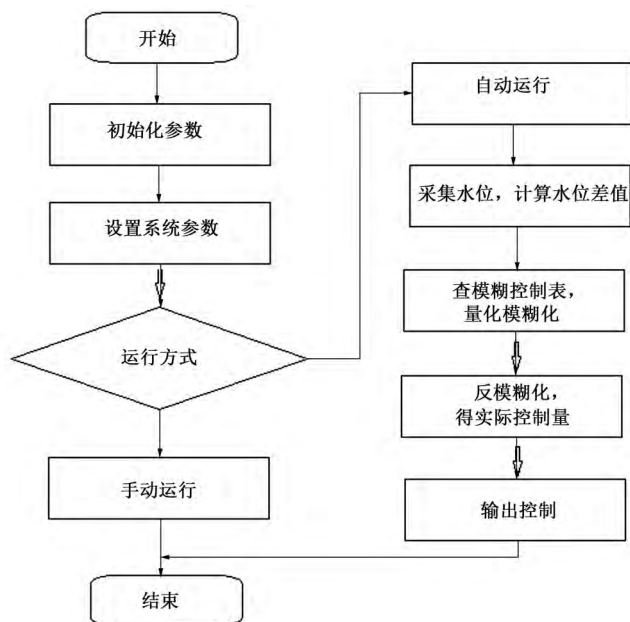


图3 模糊控制流程

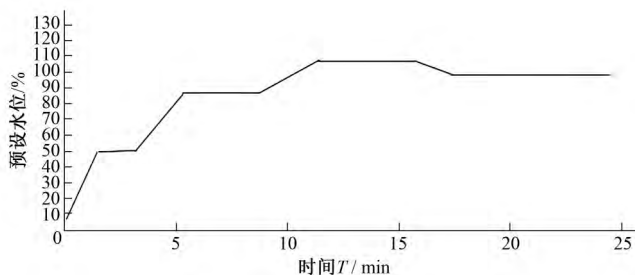


图4 水位变化趋势图

经过数据统计,在相同预设值的情况下,闸门和量水槽距离越远调节时间越长,这是因为距离越长水流需要到达量水槽时间越长,需要稳定时间也越长,调节时间也越长,同时因为稳定时间越长,闸门会产生超调现象调节次数也会相应增多;频次不超过5次,调节时间大约在15min以内,相对误差在5%以内,精度和调节时间优于人工手动调节,极大的节约人力物力,如表3所示。

表3 起始水位为3cm一体化闸门实际值与预设值对比情况表

渠道	实际水位/cm	预设水位/cm	调节时间	调节频次/次	相对误差/%	槽闸距离/cm
北干一支	28.7	30	5:34	2	4.33	4 000
	44.1	45	7:07	3	2.00	4 000
	58.9	60	9:13	3	1.83	4 000
三支渠首	31.5	30	9:55	3	5.00	18 000
	46.3	45	12:26	4	2.90	18 000
	60.8	60	14:11	5	1.30	18 000
五支渠首	28.8	30	6:18	2	4.00	7 000
	44.2	45	7:31	3	1.80	7 000
	59.1	60	9:46	3	1.50	7 000

3 结 语

一体化闸门控制系统采用新型测控结构 (下转第28页)

比(TN : TP)。

本文中叶绿素 a 浓度为决策属性,根据国际上和国家文献定义 Chl-a 浓度的阈值为 0.003 mg/L,当 Chl-a 浓度超过 0.003 mg/L 时,就表示可能爆发水华,需要做出预防工作,小于 0.003 mg/L 时水环境状况良好,水华爆发的可能性不大。利用改进的 CART 算法计算各个属性的分割点的最小 GINI 指数,这些最小 GINI 指数点就是属性最优阈值,得到属性的最优阈值见表 2。

表 2 属性最优阈值表

Tab.2 The optimal threshold for the attribute

属性	TP/(mg ·L <sup>-1</sup> )	T/ ℃	TN : TP	COD/(mg ·L <sup>-1</sup> )	pH
最优阈值点	0.032	18.1	24.3	5.5	7.7

### 3.2 建立 CART 决策树模型

根据表 1 的属性相关系数和表 2 的属性最优阈值建立 CART 决策树模型,以总磷(TP)、温度(T)、氮磷比(TN : TP)、化学需氧量(COD)、pH 为条件属性,Chl-a 浓度为决策属性,建立决策树模型;同时根据代价复杂度剪枝算法对生成的 CART 算法进行剪枝,减去一些子树,简化决策树,防止过度拟合。根据得到的决策树可以提取部分有效规则,利用“If A Then B”来表示这些规则,结果如表 3。

表 3 巢湖西半湖水华预警部分规则

Tab.3 Chaohu West half of the lake water blooms part of the rules

规则	If()	Then()
1	TP>0.032 mg/L	发生
2	TP<0.032 mg/L; COD≤5.5 mg/L	发生
3	TP<0.032 mg/L; COD>5.5 mg/L	不发生
4	TP<0.032 mg/L; COD>5.5 mg/L; TN : TP≤24.3	不发生
5	TP<0.032 mg/L; COD>5.5 mg/L; TN : TP>24.3; pH>7.7	发生
6	TP<0.032 mg/L; COD>5.5 mg/L; TN : TP≤24.3; pH<7.7	不发生

结合表 3 的分类规则,建立巢湖西半湖水华发生预警决策模型。根据得出的决策树模型表明该湖泊区域水华爆发的重要因素是总磷(TP)浓度,化学需氧量(COD)和氮磷比(TN : TP),而水温(T)和 pH 也是它的影响因素但不是最重要。研究表明当 TP<0.032 mg/L; COD<5.5 mg/L 和 TP>0.032 mg/L 这两种情况时该湖泊区域水华爆发的可能性比较大,这个模型的建立对于水华爆发的短期预测能提供帮助,这对水环境防护和治理起到非常重要的作用。

利用实验得出模型运行时长和预测正确率,将最后的结果

(上接第 25 页) 和测控体系,完成水量的测控和调度,提高水量的测控效率和提供安全、公平、可靠、灵活灌溉供水。一体化闸门实现了对疏勒河灌区示范支渠的全自动化控制和渠系水量的优化配置,提高了用水效率,增加了配水的均匀性和及时性,实现了按需供水的目标,取得了良好的经济、社会和环境效益。

参考文献:

[1] 于庆广. 可编程控制器原理及系统设计[M]. 北京: 清华大学出

与传统的 CART 决策树算法对比,结果见表 4。

表 4 预测结果对比

Tab.4 Comparison of forecast results

算法	水华预测正确率/%	运行时长/s
传统 CART 算法	83.54	1.018
改进的 CART 算法	82.99	0.795

由表 4 可知,采用结合相关系数和 Fayyad 边界点判定定理的改进 CART 算法进行水华发生预测时,模型的预测正确率由 83.54% 变为到 82.99%,预测模型的运行时长由 1.018 s 减少到 0.795 s。运行时长减少,但准确度变化不大。由此可得到基于这种改进的 CART 决策树模型对水华发生预警有非常良好的适用性。

## 4 结 语

科学正确的预测水华发生情况可以保证水环境安全,对于水环境治理起到重要的预防作用。最终的测试结果表明,改进的 CART 算法建立的预测模型能降低运行时长,还能保证预测正确率并且还可以发现影响水华爆发的重要因素,为水华爆发预测问题提出一种行之有效的方法,为水文监测部门预防水华爆发提供了有效的科学依据。

参考文献:

- [1] 王立,高崇,王小艺等. 蓝藻生长时变系统非线性动力学分析及水华预测方法[J]. 化工学报, 2017, 68(3): 1065-1072.
- [2] QIN B. The changing environment of Lake Taihu and its ecosystem responses[J]. Journal of Freshwater Ecology, 2015, 30(1): 1-3.
- [3] 焦李成,杨淑媛,刘芳等. 神经网络七十年: 回顾与展望[J]. 计算机学报, 2016, 39(8): 1697-1716.
- [4] 潘大胜,屈迟文. 一种改进 ID3 型决策树挖掘算法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2016, 37(1): 71-73.
- [5] 谢妞妞. 决策树算法综述[J]. 软件导刊, 2015, 14(11): 63-65.
- [6] 张亮,宁芊. CART 决策树的两种改进及应用[J]. 计算机工程与应用, 2015, 36(5): 1209-1213.
- [7] 苗煜飞,张霄宏. 决策树 C4.5 算法的优化与应用[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(13): 255-258.
- [8] 胡美春,田大钢. 一种改进的 C4.5 决策树算法[J]. 软件导刊, 2015, 14(7): 54-56.
- [9] 董跃华,刘力. 基于相关系数的决策树优化算法[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(9): 1783-1792.
- [10] 齐凌艳,黄佳聪. 洪泽湖叶绿素 a 浓度的时空变化特征[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3): 583-591.

出版社, 2009.

- [2] 肖志怀. 中小型水电站辅助设备及其自动化[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [3] 刘柏青. 水利工程管理自动化[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [4] 王振刚. 智能阀监控系统设计[J]. 自动化仪表, 2014, (2): 27-30.
- [5] 李海波. 智能灌溉用电动蝶阀的多模式监控系统设计[J]. 自动化仪表, 2015, (12): 36-39.
- [6] 一体化闸门控制优化技术[Z]. 南京南瑞集团公司, 2016.