

# 泵站自动化系统设备检测 评价方法及平台开发

樊庆斌, 杜法雷, 张 苗, 谢海洋, 施 伟

(南水北调东线江苏水源有限责任公司徐州分公司, 江苏 徐州 221200)

**摘要:**通过应用模糊综合评价法研究泵站自动化系统设备综合评价指标体系。同时,分别开发了泵站自动化系统设备检测平台的软件、硬件,有效推进了泵站自动化设备检测标准的建立、提高自动化系统的维护效率以及建立自动化设备基础数据集,为设计和建设泵站自动化系统工作提供借鉴依据。

**关键词:**泵站; 自动化系统; 模糊综合评价法; 设备检测平台

中图分类号:TV6 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2021)12-0050-04

## Pumping station automation system equipment detection and evaluation method and platform development

FAN Qingbin, DU Falei, ZHANG Miao, XIE Haiyang, SHI Wei

(The Eastern Route of South-to-North Water Diversion, Xuzhou Branch of Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,  
Xuzhou 221200, China)

**Abstract:**The comprehensive evaluation index system of pumping station automation system equipment was studied by fuzzy comprehensive evaluation method. At the same time, the software and hardware of the equipment detection platform of the pumping station automation system were developed respectively, which effectively promoted the establishment of the detection standard of the pumping station automation equipment, improved the maintenance efficiency of the automation system, and established the basic data set of the automation equipment, providing reference for the design and construction of the pumping station automation system.

**Key words:**pumping station; automation system; fuzzy comprehensive evaluation method; equipment inspection platform

近年来,水利工程的快速发展加快了水利信息化自动化建设步伐,新建或改造泵站大多以“无人值班,少人值守”<sup>[1-3]</sup>为目标配套建设了自动化信息化系统。但从实施效果上来看,泵站的运行管理智能化程度还未达到目标要求,大部分泵站目前还无法完全地实现“无人值班,少人值守”的设计目标。

为推进“大型泵站智慧化数字化、工程调度管理智能化”建设<sup>[4-5]</sup>,促使泵站生产、运行和维护更

加安全可靠,经营管理更加经济高效以及实现大型泵站的“风险识别自动化、管理决策智慧化”目标。针对泵站现有调度、运行、维护管理的需要,有必要进行泵站自动化系统性能检测平台的研究。

因此,本文根据“强监管、补短板”的任务思路,对泵站自动化检测系统的可靠性进行分析以及深入研究,最终选择采用模糊综合评价法的数学方法来建立泵站自动化系统检测评价基础模型<sup>[6]</sup>。并

收稿日期:2021-08-18

作者简介:樊庆斌(1978—),男,工程师,本科,主要从事自动化、信息化系统项目管理工。E-mail:13952016676@139.com

借助“智能检测”技术,采用“预测性维护”的管理手段,实现泵站的智能化运维管理,逐步提高可靠性、平均利用率、平均故障间隔时间 MTBF。经过对多个泵站的运行管理进行横向比照,不断完善现代化科学管理。研制高精度的信号发生装置及相关配套软硬件平台,模拟现场运行环境信号,完成自动化系统的性能测试,同时定制研发测试平台软件分析自动化系统的潜在设备风险,提高各个泵站的自动化运维检修水平,发现潜在的性能缺陷,促进技术管理的现代化。

近年来国内学者对自动化的评价以及自动化系统设备检测平台开发有一定研究。董云逸等<sup>[7]</sup>选取人员因素、设备要素、车站环境水平、车站组织管理地这 4 个方面作为模糊评价的主要因素,提出了多层次模糊综合评价法层面上的 SAM 系统联调行车安全评价数学模型,成功得到该自动化系统的风险评价方案。范颖<sup>[8]</sup>利用层析分析法的数学方法,对整个指标体系进行剖析求解,得出指标体系的权重。同时通过运用模糊评价法建立了电网地区调度自动化系统的综合评价数学模型,并从定性指标和定量指标两个指标进行了评价。何鹏辉<sup>[9]</sup>设计完成了水电站群的数据采集系统。其中,系统硬件与软件架构的设计以及历史数据库设计,通过借鉴面向服务架构的思想(SOA)成功地将系统进行解耦合,使得原本集中式结构的系统变为松耦合的分布式系统。与此同时,何鹏辉还提出了异步事件驱动机制的 IEC60870-5-104 规约处理措施,成功地提高系统数据采集的稳定性。李坤阳<sup>[10]</sup>将 PLC 控制器与配套监控硬件设备紧密结合,以船舶电站处和远程监控站点处收集、整合、处理各项数据为基础,最终实现船船、船岸间的共通协作运行的要求。并通过采用模块化的设计思想,将系统分成两大部分进行设计。为全船提高质量、经济、可靠的电力。

## 1 泵站自动化系统设备检测评价体系

本文构建了泵站自动化系统设备综合评价指标体系,并介绍了评价指标体系的构建原则。从现地级、站控级、管理级这 3 个方面进行了指标的选取与体系的建立。同时,介绍该评价体系中如何确定权重,如何利用模糊综合评价法进行评价。并阐述了该模型的内涵。最终建立了泵站自动化系统设备综合评价模型。

### 1.1 指标体系构建的原则

评价指标体系的构建影响着自动化系统设备检测评价的合理性,选取的是否权当对结果的影响很大。因此,选取得指标应当考虑全面,不仅要从泵站自动化情况考虑,还要考虑指标得获取、易量化得程度等科学的原则。

一般情况下,指标选取应当遵从目的性原则,在进行泵站自动化系统设备综合评价时选取可以满足综合评价目的指标;系统性原则,指标体系是一个有机的整体,各指标之间在某个方面存在一定的联系,并且能做到自上而下、层层递进。全面性指标不宜过多,这样会导致指标重复和繁琐,同时也不可过少会造成重要信息的遗漏。

### 1.2 影响指标的选取

泵站自动化系统一般采用开放式,建立在网络安全分区原则上进行了系统结构,使得各子系统之间相对独立,同时又可通过一定的方式互连<sup>[11]</sup>。系统自下而上分成现地级、站控级、管理级。在泵站自动化系统设备综合评价指标体系的选取中,本文依照上述原则,从现地级、站控级、管理级 3 个方面进行选取。

泵站自动化系统典型网络结构如图 1 所示,本文在选取指标<sup>[12]</sup>时,现地级的指标主要选取监控系统 LCU 状态指标、传感器状态指标;站控级选取监控主机状态指标、MCU 状态指标、显示终端状态指标;管理级选取数据库指标、服务器指标、管理终端指标。最终选取结果,如表 1 所示。

表 1 泵站自动化系统设备综合评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标
泵站自动化系统 设备综合评价 指标体系	现地级指标	控系统 LCU 状态指标
		传感器状态指标
	管理级指标	监控主机状态指标
		MCU 状态指标
		显示终端状态指标
		数据库指标
	服务器指标	
	管理终端指标	

### 1.3 模糊综合评价建立

模糊综合评价<sup>[13]</sup>的步骤由下文所提的 5 个步

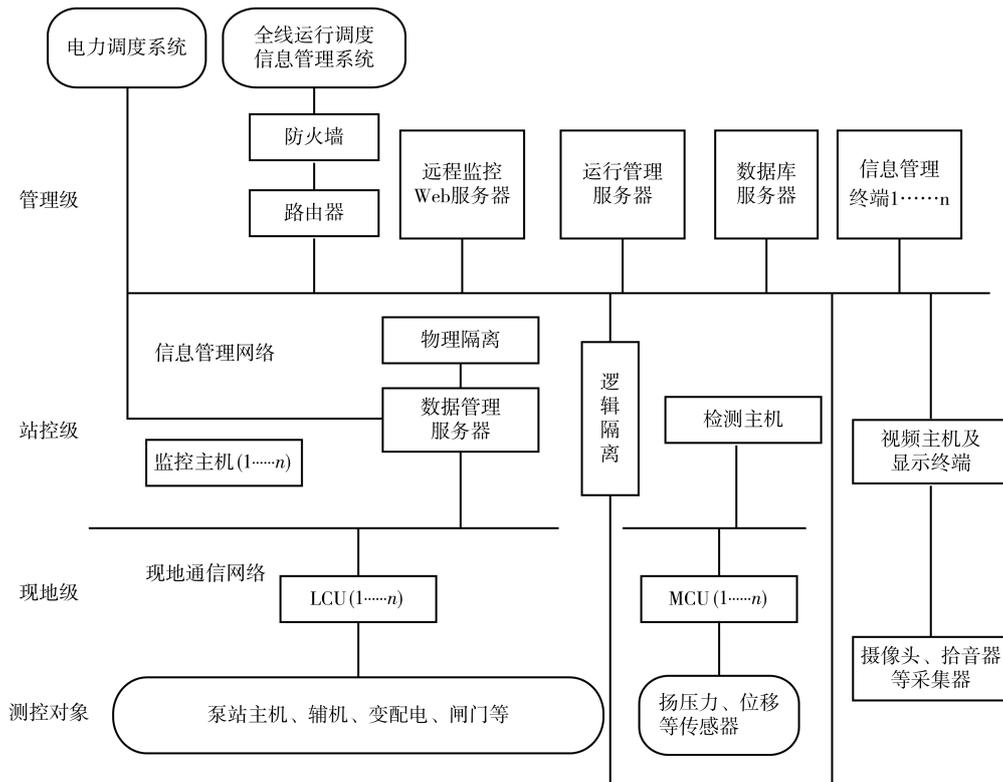


图1 泵站自动化系统典型结构

骤组成：一是确定因素集；二是确定评语集统计；三是确定单因素隶属度向量、形成隶属度矩阵；四是确定权重集；五是计算综合评定值、得出结果。

#### (1) 确定因素集

因素集是指多个指标的集合包括一级、二级指标。要对某一具体对象进行综合评价，就需要分析影响评价结果的因素以及如何表达评价结果。通常的因素集用  $F$  表示，指标用  $f_i$  表示，表示为式(1)。

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \quad (1)$$

#### (2) 确定评语集

评语集指的是被评价项目的程度，通常用  $E$  表示。评语集一般依据优劣的程度划分为多个等级，通常用  $e_j$  表示，表示为式(2)。

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \quad (2)$$

#### (3) 确定单因素隶属度向量、形成隶属度矩阵

隶属度向量指的是评价主体对评价目标在  $f_i$  方面上做出  $e_j$  评定的可能性大小。隶属度矩阵通常用  $R$  表示，隶属度用  $r_{ij}$  表示。即隶属度向量为  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ ，其中  $\sum_{j=1}^m r_{ij} = 1$ ，隶属度矩阵的计算公式为式(3)。

$$R = (r_{ij}) = (R_1, R_2, \dots, R_n)^T \quad (3)$$

#### (4) 确定权重集

权重集表示各指标在所在层次的重要性，通常用  $W$  表示，权重集表示为式(4)。

$$W_F = \{W_{f1}, W_{f2}, \dots, W_{fn}\} \quad (4)$$

其中，权重集中各权重的值，采用层次分析法确定，本文不再赘述。

#### (5) 计算评价价值

最终模糊综合评价的方法通过将影响因素之间的模糊关系反应为评语集之间的模糊关系，评价价值通常用  $S$  表示，最终计算结果按照式(5)计算。

$$S = W^T R \quad (5)$$

## 2 泵站自动化系统设备检测平台研发

现阶段市场自动化系统设备种类繁多、集成方式多样，系统的可靠性主要依赖于系统集成商的能力和责任心。系统投运后管理单位和维护单位仅可完成出现故障后的处理工作，对于系统设备的定期检测力不从心。自动化系统设备检测平台作为自动化设备的标准检测装置，对设备性能进行全面检测。PLC等控制装置进行CPU运行性能、IO逐通道多点检测、内部电源供电状况检测；通讯网络进行包括响应时间、准确率等检测；传感器进行数据准确性及电磁干扰波动性检测<sup>[14]</sup>。本文通过将上述方法集成的所研发平台中，补充自动化系统设

备缺乏有效监测的短板,可实现科学运维、数据运维、提升平均故障间隔时间 MTBF,从而提高可靠性。

## 2.1 平台研发内容

泵站自动化系统设备检测平台研发包括高精度信号采集发生器研发、分析检测平台软件开发以及便携式外观设计。

### (1) 高精度信号采集发生器研发

功能主要包括:16 路精度为 16 位的模拟量输出、16 路精度为 16 位的模拟量输入、32 路 SOE 开关量检测输入、32 路 SOE 开关量信号输出、8 路温度量输出。

嵌入式系统的架构<sup>[15]</sup>被划分为 4 层结构,自下而上分别是:硬件层、驱动层、操作系统层和应用层。硬件层面开发 5 信号 IO 基板,产生或接收基本信号;主控板进行数据采集、处理、分析,精确时间至 ms;通讯基板构建两个以太网接口与平台软件进行通讯。软件内核采用 Linux 内核作为操作系统,并布置通用协议支持软件。软件架构分成 5 层,每层包含很多模块,每层都有自己的一些特点。当新的需求提出或系统需求发生变化,只需要对发生改变的模块进行改写。模块与模块之间选择不设置全局变量,仅允许通过函数接口进行内部的通信。从而有效保障了软件系统的可靠性。

### (2) 分析检测平台软件

本文应用上文所提到的模糊综合评价法进行软件开发,定制开发一体化自动化系统设备检测平台软件<sup>[16]</sup>,通过分析数据,出具检测报告。对数据采集设备、终端、传感器等进行信息化管理,实现设备运行状态信息收集功能。通过图形化展示方式实时显示采集终端及各项参数分布状态,为自动化系统设备的高效维护和可靠性运行提供保障。通过设定的阈值条件,利用数据分析技术,生成预警警告,并在检测报告中重点标出。利用数据分析技术,根据自动化系统实际情况,对采集及作业数据进行分析,整理至单站的检测报告中,指导站所自动化系统高效维护和系统使用的可持续性。

### (3) 便携式外观设计

为方便泵站的现场使用,在电路设计、外包装方面尽可能地减小设备体积。并设计便携式拉杆箱设计,以便在多个不同现场进行检测操作。

## 2.2 检测平台优势、目标

### 2.2.1 检测平台的优势

在自动化检测的实际操作中,发现要去实现泵站自动化检测,并非掌握某个自动化测试工具或掌

握脚本编写的技术语言即可实现。面对一系列的复杂系统,能够实现自动化就能够提升自动化运行维护的效率。不具备可维护性、复用性差等隐藏问题都将是导致自动化检测平台开发失败的最致命因素,尽管开发者很努力,但开发成果并不能取得良好效果。

开发分析检测的平台优势在于能够提高测试效率和降低泵站自动化维护成本,实现快速且多次的回归测试,可提高测试覆盖率,在提高了测试的可行性同时,避免了人为因素干扰。

### 2.2.2 检测平台的目标

在搭建符合要求的泵站自动化检测框架时,为了能让未来泵站自动化检测正式实施时能够有序且高效开展,应当使其达成高复用性、高可维护性、稳定性、能够不断提升自动化测试比例的目标。

## 3 结 语

在当前泵站智能化信息化高速发展的背景下,为了顺利实现水利工程由“信息化”向“智慧化”和“智能化”转型,对自动化系统的开发和研制提出了进一步要求,因此亟需开展自动化设备检测评价方法和平台研制的深入研究。

本文基于模糊综合评价的数学方法,提出了泵站自动化系统设备综合评价方法,确定了评价指标,建立了模糊综合评价体系。并在此基础上,提出了更可靠、功能更完善的泵站自动化系统设备检测平台及其配套软、硬件的设计构想,主要包括高精度的信号发生装置研发和分析检测平台软件开发 2 个部分,该平台可实现对现场运行环境信号的模拟,完成自动化系统的性能测试,能够有效分析自动化系统的潜在设备风险,提高各个泵站的自动化运维水平,发现潜在的性能缺陷,以促进管理向现代化发展。

## 参考文献:

- [1] 李博. “无人值班、少人值守”运行模式的探索与实践[J]. 山东工业技术, 2013(11):139, 138.
- [2] 宋雄飞, 杨柔, 刘吉来. 中小型泵站智能化技术改造探讨[J]. 价值工程, 2010, 29(6):67.
- [3] 杨唯伟. 景电管理局开启甘肃泵站“无人值班”智能管理新模式[J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57(1): 2.
- [4] 田英, 袁勇, 张越, 等. 水利工程智慧化运行管理探析[J]. 人民长江, 2021, 52(3):214-218.

(下转第 58 页)

指挥。

#### 4.2 演练任务增强实战性及应急处置能力

水文预报是防洪调度演练的前置环节,要突出演练的实战性,重点将情景构建情况和实战演练融合起来。建议演练前保密设计一系列科学合理的雨情、水情、灾情数据,即从历史典型年库中随机选取,在演练前期发放水文部门,限时进行预报。把水文预报实战演习作为防洪调度演练的基础,在演练评估阶段对预报成果与典型年情况进行比对。

#### 4.3 演练过程加强宣传传播和方式创新

提升防洪调度演练的影响力,必须加强传播手段的多样化。在宣传内容方面,要追求实时性和创新性,可以利用视频实时转播,在政府网站上列专题报道。在宣传渠道方面,学习消防演练、抢险演练等应急演练推出短视频产品,运用网络直播的方式,以全网协作分发催生裂变传播。在演练总结方面,要尽快树立水利行业品牌,及时形成专题报告,将演练情况形成简报上报,在全系统推广。

## 5 结 论

本次研究提出了一种以水工程调度为中心科目的新型实战型演练模式,用于各级水行政主管部门检验完善调度方案和应急预案,提升水工程调度水平。

(1)水工程防洪调度演练能够充分锻炼水旱灾害防御过程中水利、气象、水文等部门的协调能力

和应急反应能力,确保各部门形成合力,进一步提高水旱灾害防御水平。

(2)确定了行之有效的水工程防洪调度演练流程,对准备、实施、总结阶段的各个环节进行了细化和规范化。

(3)江苏省的水工程调度演练实践充分展现了其有效性和可操作性,为今后常态化演练提供了示范,可在水利系统中全面推广。

(4)水工程防洪调度演练十分接近实战,演练可以暴露防洪工作过程中存在的问题,帮助有关部门客观地评估考核对象<sup>[3]</sup>,研究应对措施,提升实战能力。

#### 参考文献:

- [1] 邹积亮. 我国应急演练的创新性实践[J]. 中国减灾, 2019(23):22-25.
- [2] 水利部组织七大流域机构开展防洪调度演练[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(6):5-6.
- [3] 陈国华, 邹梦婷. 突查式应急演练规范化模式研究与实践探索[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(9):157-162.
- [4] 李群, 代德军. 突发事件应急演练评估方法、技术及系统研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(7):49-54.
- [5] 王永明. 重大突发事件情景构建理论框架与技术路线[J]. 中国应急管理, 2015(8):53-57.

(上接第 53 页)

- [5] 周媛, 张振宇, 刘志宏. 农村供水安全保障及智慧化建设思路[J]. 城镇供水, 2021(3):20-24.
- [6] 韩学森, 刘博文, 李永杰, 等. 基于模糊和灰色关联的配电自动化开关柜故障诊断方法[J]. 电力科学与技术学报, 2021, 36(2):107-115.
- [7] 董云逸, 邢科家, 姚宇峰. 编组站综合自动化系统联调联试行车安全风险评价[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(12):82-89, 96.
- [8] 范颖. 广东电网地区调度自动化系统的综合评价[D]. 广州:华南理工大学, 2009.
- [9] 何鹏辉. 水电站群数据采集系统研究开发[D]. 南宁:广西大学, 2020.
- [10] 李坤阳. 船舶电站自动化及远程监控系统的设计与实现[D]. 大连:大连海事大学, 2020.
- [11] 冯海军. 水利泵站计算机自动化及远程监控系统的应用[J]. 农业科技与信息, 2021(13):121-122.
- [12] 陆明. 自动化控制系统在泵站中的设计与应用[J]. 设备管理与维修, 2021(10):59-60.
- [13] 刘阳. 锦州配电自动化终端项目综合评价研究[D]. 北京:华北电力大学, 2017.
- [14] 王忠儒. 自动化的系统网络安全脆弱性主动检测技术研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2020.
- [15] 周骅. 嵌入式系统可信计算的硬件安全机制研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2015.
- [16] 李婧娇. 电力信息—物理融合系统网络安全分析方法研究[D]. 武汉:武汉大学, 2019.