

论电站水消防减压阀智能控制系统研究与应用

廖敏舟¹, 周小燕¹, 康强², 彭星¹, 凌德贵¹, 李成恩¹

(1. 中国长江电力股份有限公司, 四川 宜宾 644612; 2. 湘潭中基电站辅机制造有限公司, 湖南 湘潭 441110)

摘要: ZJY46H 型组合式减压阀原设计为计时器定时反冲洗排污, 主要存在排污中出口压力波动和堵塞后不能即时排污的问题。通过优化反馈系统结构, 新增 PLC 控制系统和相关阀门, 实现反冲洗排污过程中主阀压力调节腔压力恒定, 主阀开度固定不变, 实现阀后出口压力稳定。通过中期 1:1 试验和某水电站调试与试运行, 结果表明, 优化后的 ZJY46H 型组合式减压阀智能控制系统智能反冲洗排污功能, 出口压力偏差从 33% 提高到小于 5%, 极大地提高了水电站技术供水系统运行的安全性和可靠性。

关键词: 减压阀; 智能控制系统; 智能反冲洗排污; 主阀渗漏检测

中图分类号: TV734.4

文献标识码: B

文章编号: 1672-5387(2025)01-0093-05

DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2025.01.026

0 引言

水电站技术供水又称生产供水, 与水消防供水、生活供水共同组成水电站的供水系统, 主要作用是对设备进行冷却, 有时也用于润滑及水压损操作^[1]。某电厂左右岸电站水消防系统各设置 2 台互为备用的高比例减压阀进行减压供水。减压阀选用国内某公司生产的 ZJY46H 组合式减压阀, 系统除接入水消防设备设施用水外, 还接入了部分生产及生活用水, 作为常开用户保证水消防减压阀的正常工作。ZJY46H 组合式减压阀结构为先导活塞式^[2], 口径为 DN300, 公称压力为 PN2.5 MPa; 减压阀进口压力为 1.57 MPa, 出口压力为 0.6 MPa; 流量范围为 11~783 m³/h。

1 ZJY46H 组合式减压阀结构与工作原理

某水电站所选用 ZJY46H 组合式减压阀由主阀与反馈系统组成, 主阀部分包括阀体、阀盖、主阀调节系统、出口压力锁定等部件。反馈系统部分主要由控制阀、定时排污电磁阀、射流泵、压力导管、中台锁定球阀等组成^[3]。减压阀结构如图 1 所示。

ZJY46H 组合式减压阀自动稳压工作原理: 反馈系统控制阀、射流泵控制主阀调压腔压力, 保证调压腔压力与主弹簧力平衡。即当 P_1 是个定值、 P_2 整定完毕时主阀 $P_1=P_k$, 控制阀 $P_1=P_k$, 主阀 H 开度

的流量是个定值。当 P_1 上升为 $P_1+\Delta P_1$, P_2 值升高。由于 P_2 直接联通控制阀 P_k , 所以 P_k 也升高。自动调节原理: $P_k+\Delta P_k=P_1 \rightarrow h-\Delta h \rightarrow P_k+\Delta P_k=P_T \rightarrow H-\Delta H$ 。主阀的 H 减小, $P_1+\Delta P_1$ 导致通过 H 的流速加快, 所以流量不变, P_2 恢复为原整定值^[4], 见图 2。

举例说明: 减压阀进口压力 1.5 MPa, 出口压力为 0.6 MPa, 流量为 400 m³/h, 主阀开度为 5.0 mm, 控制阀开度为 1.0 mm, 正常工作中。当进口压力从 1.5 MPa 上升到 1.7 MPa, 出口压力也上升, 且大于 0.6 MPa; 此时减压阀自动稳压启动, 控制阀检测出口压力上升, 所以开度从 1.0 mm 下降到 0.8 mm, 控制阀开度下降, 主阀压力调节腔压力上升, 主阀活塞与阀杆和节流锥向上运动, 主阀开度从 5.0 mm 下降到 4.5 mm, 出口压力回到 0.6 MPa, 形成新的平衡, 即减压阀进口压力 1.2 MPa, 出口压力 0.6 MPa, 流量为 400 m³/h, 主阀开度为 4.5 mm, 控制阀开度为 0.8 mm。

综上所述, ZJY46H 组合式减压阀通过控制阀和出口压力作为控制信号, 调节主阀调节腔的压力, 改变主阀开度, 实现自动稳压。

收稿日期: 2024-09-30

基金项目: 中国长江电力股份有限公司技术开发(Z422302023)。

作者简介: 廖敏舟(1988-), 男, 工程师, 从事水电站机械水工设备设施维护管理工作。

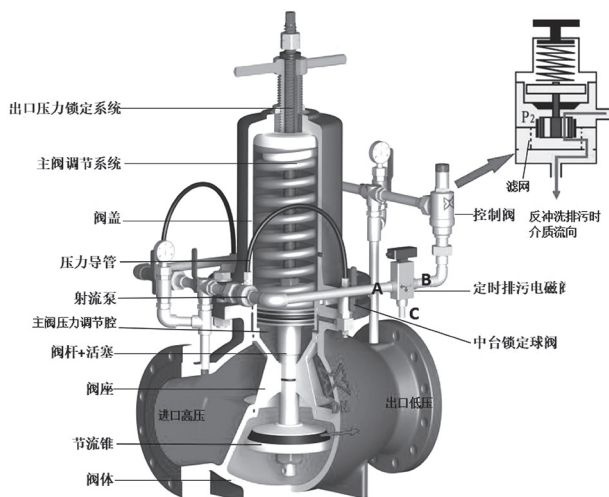


图 1 原结构定时反冲洗排污结构图

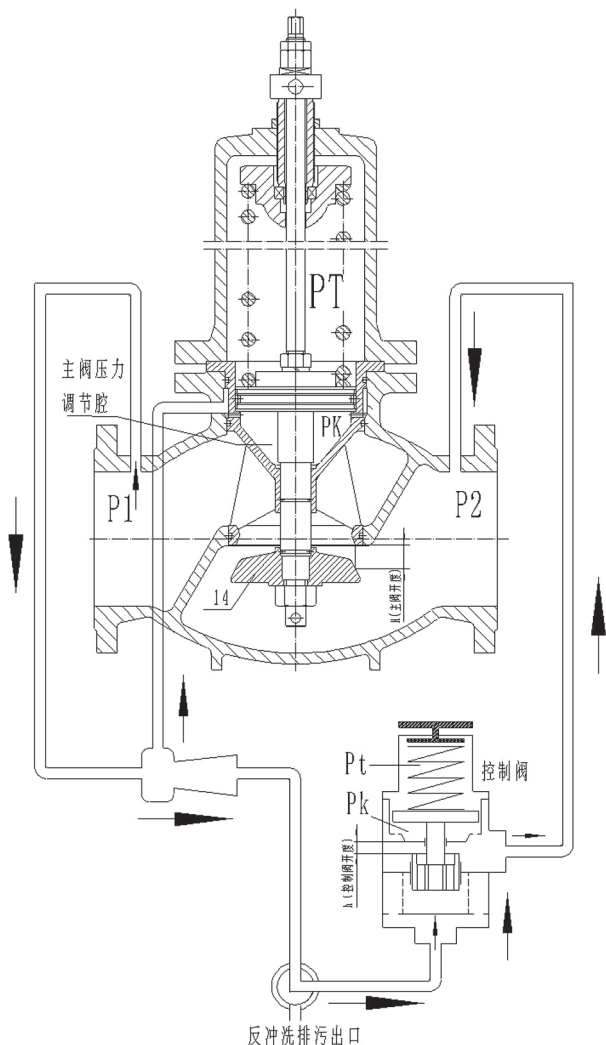


图 2 ZJY46H 组合式减压阀工作原理图

2 ZJY46H 组合式减压阀目前存在问题

根据长期对 ZJY46H 组合式减压阀定时反冲洗排污功能应用总结,减压阀目前存在主要问题为反冲

排污时出口压力波动及堵塞后不能即时排污问题。

2.1 排污压力波动

反冲洗排污压力波动问题表现为减压阀进口压力为 1.57 MPa, 出口压力为 0.6 MPa, 流量为 $11 \text{ m}^3/\text{h}$ 。当进行定时反冲洗排污时, 排污时间为 2 s, 出口压力从 0.6 MPa 降到 0.4 MPa, 压力下降 33%; 出口压力的快速变化严重时, 容易激发水消防供水系统的波动和喘振, 损坏系统设备。

ZJY46H 组合式减压阀工作原理决定当减压阀进口压力和系统流量变化时, 能迅速调节主阀调压腔压力使之形成新的平衡, 保持减压阀出口压力稳定。主阀压力调节腔的压力影响主阀开度变化。

ZJY46H 组合式减压阀的定时反冲洗排污装置配置 1 台 0340 型两位三通定时排污电磁阀, 通过开启与关闭实现排污。定时排污电磁阀有 3 个接口, 分别为 A、B、C, A 为进口, B 为出口, C 为排污口。非反冲洗排污运行时 A 接口与 B 接口相通, 当反冲洗排污时 B 接口与 C 接口相通, 实现减压阀出口的低压力水反冲洗控制阀进行排污; 因此启动反冲洗排污主要有 2 个过程, 分别为 A 接口与 B 接口切断和 B 接口与 C 接口接通。

当定时排污电磁阀 A 接口与 B 接口切断, B 与 C 接口接通时, 减压阀进口高压水通过射流泵压力导管进入主阀压力调节腔, 主阀调压腔压力升高, 克服弹簧力, 主阀活塞与阀杆和节流锥向上运动, 主阀开度减小; 主阀开度减小从而出口压力也随之下降。排污过程为 2 s, 出口压力不会一直下降, 当反冲洗排污完成后, 出口压力回归原设定值。因此反冲洗排污时由于主阀开度变化导致出口压力下降, 如图 1 的反冲洗排污时介质流向所示。

2.2 排污不即时

ZJY46H 组合式减压阀堵塞不能即时排污问题, 主要原因为目前 ZJY46H 组合式减压阀定时反冲洗装置只能设定固定的反冲洗排污时间 1~30 h; 而减压阀的水源为江水, 在汛期时江水泥沙含量高, 反冲洗排污周期缩短; 在非汛期时江水泥沙含量少, 反冲洗排污周期要增加; 因此反冲洗排污周期与江水水质情况有关, 固定的反冲洗排污周期无法适用水电站技术供水要求。

3 优化研究思路与预期目标

3.1 优化研究思路

ZJY46H 组合式减压阀定时反冲洗排污功能的

反冲洗排污压力波动问题,主要原因:主阀调节腔的压力在排污过程产生变化,从而改变主阀开度,最终影响出口压力稳定性。因此可以通过增加机构,提高排污过程主阀压力调节腔压力调节性,保证出口压力稳定。

ZJY46H 组合式减压阀定时反冲排污功能的堵塞不能即时反冲问题,主要原因:固定时间的反冲洗排污无法适用江水季节性的泥沙含量。根据 ZJY46H 组合式减压阀工作原理,当控制阀堵塞时,主阀调节腔压力上升,主阀开度下降,从而出口压力下降;因此将反冲洗排污的固定时间的触发信号变更为出口压力偏低信号,即可解决此问题。

3.2 预期目标

根据问题分析,保证 ZJY46H 组合式减压阀压力特性与流量特性前提下,技术要求:①减压阀在自动控制侧反馈系统运行,进口压力稳定,阀后出口压力整定为 0.6 MPa, PLC 控制箱发令,反冲洗排污,阀后出口压力波动范围不超过 5% (± 0.03 MPa); ②新增加智能反冲功能,当控制阀堵塞后减压阀出口压力下降到一定值,自动启动反冲洗排污功能; ③新增加主阀渗漏检测功能,当主阀活塞产生渗漏时,可识别和自动处理。

4 优化设计方案

4.1 结构设计

针对反冲排污压力波动和堵塞不能即时排污问题, ZJY46H 组合式减压阀的解决方案为将反馈系统定时反冲洗排污优化成智能反冲洗排污功能^[5]。将原结构定时排污电磁阀取消,智能反冲排污新增 PLC 控制系统、出口压力变送器、电动控制腔进口球阀、电动排污阀和主阀位移传感器。如图 3 所示。

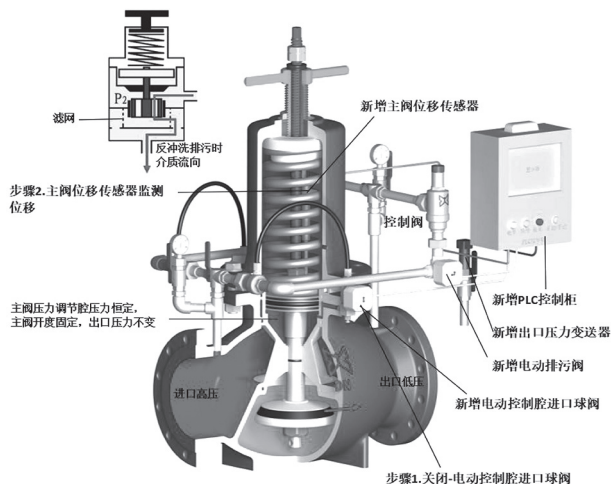


图 3 优化后智能反冲洗排污结构图

ZJY46H 组合式减压阀通过升级反馈系统结构的智能反冲洗排污功能,电动控制腔进口球阀和电动排污阀采用球体浮动结构,在介质压力作用下,球体产生一定的位移并压紧在出口端的密封面上,保证出口端密封。执行器扭矩 10 N·m,最大工作压力 3 MPa,额定电压 AC220 V,静态电流 ≤ 500 mA,线路控制方式: CR5-01,开关的时间 ≤ 10 s,配置手动操作,配置开关指示。主阀位移传感器为差动变压器,型号为 G250,采用单电源 24 V DC 供电,行程为 50 mm,输出信号: 4~20 mA,线性误差 $\leq 0.25\%$ FS,分辨率 ≤ 0.1 μ m,动态特性 3 Hz,工作温度 -25 $^{\circ}$ C~ $+85$ $^{\circ}$ C,耐受冲击 250g/11 ms,振动允限 10 g/2 kHz,温度系数零点 $\leq 0.01\%$ / $^{\circ}$ C。出口压力变送器为惠斯通电桥原理,由于压阻效应,4 个桥臂电阻的阻值发生变化,电桥失衡,敏感元件输出一个对应压力变化的电信号。输出的电信号通过放大和非线性矫正电路的补偿,产生与输入压力成线性对应关系的电压、电流信号。输出信号: 4~20 mA,响应时间 ≤ 10 ms,精度等级 $\leq 0.5\%$,工作温度 -25 $^{\circ}$ C~ $+85$ $^{\circ}$ C,防护等级 IP65 灌胶密封。PLC 控制系统主要由断路器、信捷 PLC、昆仑技创触摸屏、开关电源、继电器、滤波器等组成,如图 4 所示。



图 4 PLC 系统平面图

4.2 反冲洗排污压力自动控制

ZJY46H 组合式减压阀智能反冲洗排污功能,针对反冲洗排污压力波动问题解决方法:排污过程先关闭电动控制腔进口球阀,保持主阀压力调节腔压力恒定,锁定主阀开度,最终实现出口压力稳定。智能反冲洗排污流程主要有关闭控制腔进口球阀、开启主阀渗漏检测、开启电动排污阀进行反冲洗排污、关闭电动排污阀、开启控制腔进口球阀、检测出

口压力和恢复自动控制。

满足反冲洗排污条件后, PLC 控制系统关闭控制腔进口球阀, 延时 3 s 开始进行主阀渗漏检测, 8 s 后检测主阀位移(主阀位移小于等于 ± 1.0 mm 为正常, 主阀位移大于 ± 1.0 mm 为异常)。开启电动排污阀进行反冲洗排污, 排污时间 5 s, 关闭排污阀后打开控制腔进口球阀, 反冲洗排污完成。检测出口压力变送器测量值, 正常时 PLC 控制系统记录操作, 恢复自动控制, 反冲洗排污完成; 出口压力变送器测量值异常时, 弹窗报警, 如图 4 所示。

4.3 防堵即时排污

ZJY46H 组合式减压阀智能反冲洗排污功能, 针对堵塞不能即时排污问题解决方法: 变更触发信号, 将固定时间的触发信号变更为出口压力偏低时触发信号。通过出口压力变送器监测出口压力变化, 当出口压力下降到一定值时, 减压阀智能反冲排污功能启动, 对反馈系统控制阀进行反冲洗排污。

4.4 主阀渗漏检测

ZJY46H 组合式减压阀对于提高智能反冲洗排污功能可靠性, 新增主阀渗漏检测功能。主阀渗漏检测原理: 通过关闭控制腔进口球阀, 主阀压力调节腔压力恒定, 主阀开度恒定, 一定时间后主阀开度发生变化说明主阀密封出现问题, 停止进行操作同时发出报警。PLC 控制系统关闭控制腔进口球阀, 延时 3 s 进行主阀渗漏检测, 8 s 后检测主阀位移; 主阀位移小于等于 ± 1.0 mm 为正常; 主阀位移大于 ± 1.0 mm 为异常, 弹窗和闪灯报警。如图 4 所示。

4.5 水垢控制

ZJY46H 组合式减压阀智能反冲洗排污, 保留定时反冲洗排污功能, 主要为解决控制阀水垢生成而设计。当减压阀控制阀长期固定开度时, 控制阀内部阀座、活塞、阀杆和节流锥容易生成水垢, 通过定时反冲洗排污功能, 使控制阀运动, 防止水垢卡死。

5 模拟试验

2023 年 11 月 27 日~28 日, 在某公司所在地召开了科技项目“某水电站水消防系统减压阀智能系统研发与应用示范”中期检查会议。

科技项目中期 1:1 模拟试验, 试验测试平台^[5]配置 800 kW 电机, 水泵扬程为 160 m; 主管道为 DN300; 主管道装有 ZJY46H 组合式减压阀、节流阀、电磁流量计、压力变送器(减压阀进出口管路)。电

磁流量计安装在离减压阀 3 m 处, 减压阀稳流段长度为 3 m。通过对节流阀、旁通管道、电机变频调节, 满足减压阀进口压力 1.2~1.6 MPa, 流量 0~800 m³/h, 出口压力 0.2~0.7 MPa 的运行工况, 如图 5 所示。

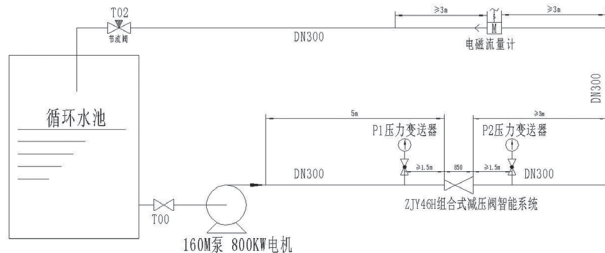


图5 试验测试平台平面图

智能反冲洗排污试验, 减压阀进口压力 1.6 MPa, 流量 90 m³/h, 出口整定压力从 0.6 MPa 下降到 0.57 MPa, 反冲排污过程主阀位置变化为 0 mm。试验结果: 达到条件后反冲洗排污功能自动启动反冲洗排污; 符合反冲洗排污过程出口压力波动不超过合同要求的 5%。

6 应用案例

6.1 某水电站调试

2024 年 07 月 25 日, 该公司进行科研项目“某水电站水消防系统减压阀智能系统研发与应用示范”现场调试。

智能反冲洗排污自动处理试验: 减压阀进口压力 1.57 MPa, 流量 13.7 m³/h, 反冲洗排污过程出口整定压力稳定在 0.6 MPa, 偏差值为 0 MPa, 反冲洗排污过程主阀位置变化为 0 mm。试验结果为自动启动反冲洗排污, 反冲洗排污过程出口压力波动不超过合同要求的 5%。

定时反冲洗排污试验: 减压阀进口压力 1.58 MPa, 流量 13.5 m³/h, 反冲洗排污过程出口整定压力从 0.6 MPa 下降到 0.59 MPa, 偏差值为 0.01 MPa, 试验结果为反冲洗排污过程出口压力波动不超过合同要求的 5%。

6.2 某水电站试运行

2024 年 7 月 25 日~2024 年 8 月 31 日, 该公司进行科研项目“某水电站水消防系统减压阀智能系统研发与应用示范”现场试运行。共计 38 d/912 h, 减压阀运行工况为进口压力 1.57 MPa, 出口整定压力 0.6 MPa, 流量 15 m³/h。试验结果: 通过人员不定期开启减压阀智能反冲排污功能, 减压阀出口压力稳定在 0.59 MPa~0.61 MPa。

7 结语

ZJY46H 组合式减压阀反馈系统从定时反冲洗排污功能优化成智能反冲洗排污功能,新增 PLC 控制系统、出口压力变送器、电动控制腔进口球阀、电动排污阀和主阀位移传感器。

ZJY46H 组合式减压阀通过排污过程先关闭电动控制腔进口球阀,保持主阀压力调节腔压力恒定,锁定主阀开度,最终实现出口压力稳定,可以高效的解决反冲洗排污压力波动问题。

ZJY46H 组合式减压阀将固定时间的触发信号变更为出口压力偏低触发信号,可以完全解决定时反冲洗排污的堵塞不能即时排污问题。

ZJY46H 组合式减压阀新增加主阀渗漏检测功能,进一步提高智能反冲洗排污功能稳定性。

综上所述,ZJY46H 组合式减压阀智能控制系

统的智能反冲洗排污功能,通过采用简单的水不可压缩原理,解决复杂系统压力波动问题,提高系统的运行安全。智能控制系统从设计、1:1 模拟试验、电站调试与试运行,充分说明系统具有稳定性,而且还可应用于水电站机组技术供水、水厂供水和泥沙含量高的自流式减压供水系统。

参考文献:

- [1] 赵业文,孙亚涛,马玉涛.某水电站蜗壳取水口防堵塞研究[J].水电与新能源,2021,35(4):43-46.
- [2] 陆培文.实用阀门设计手册[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 周刚,张殿祥.ZJY46H 型减压阀在高水头电站技术供水应用的经验[J].水电站机电技术,2010,33(2):68-71.
- [4] 唐永钢,罗代强,王攀登,等.浅议紫坪铺电厂技术供水系统减压阀的改造[J].四川水力发电,2009,28(3):28-31,160.
- [5] 李祥波.高压减压阀在水电站技术供水系统中的性能改造及 CFD 分析[J].水电站机电技术,2015,38(3):56-61,71.
- [6] 张奇.600 MW 大型水轮发电机组推力轴承瓦温和油温高原因分析及处理[J].华电技术,2015,37(10):54-57,78-79.
- [7] 唐勇,常黎,周建中.基于改进 BP 算法的水电机组轴瓦温度预测[J].华中科技大学学报(自然科学版),2002(4):78-80.
- [8] 唐诗,李天智,袁永生,等.基于支持向量机的水电站机组轴瓦温度预测[J].人民长江,2021,52(S2):232-236.
- [9] 魏棕凯,王晓兰,刘洋成,等.基于支撑向量机的水电站机组轴瓦温度预测[J].水电与新能源,2024,38(1):71-74.
- [10] 林烨敏,王宁,邱荣杰,等.Transformer 在水电机组异常指标预测的应用[J].浙江电力,2023,42(1):110-116.
- [11] 张雁鹏,左兴.基于赋权 Apriori 算法的新型列车运行控制系统故障定位方法[J].铁道科学与工程学报,2024,11(10):4226-4239.
- [12] 赵赶超,雷晶晶,刘志强,等.基于 Apriori 算法的飞机冲偏出跑道诱因挖掘[J].计算机仿真,2024,41(2):44-50.
- [13] 温博.基于 Apriori 算法的高压电气试验设备故障诊断研究[J].中国新技术新产品,2024(10):33-35.
- [14] 翟建平,谭大钧.某水电机组导轴承瓦温及间隙异常原因分析[J].润滑与密封,2015,40(9):151-156.
- [15] 周叶,潘罗平,唐澍,等.对水电机组状态检修技术推行困境的思考[J].水电站机电技术,2014,37(3):81-85.
- [16] 李文清,周丰兴.水电机组故障诊断分析系统[J].浙江电力,2002(5):46-48.

(上接第 39 页)

68-71.

(上接第 42 页)

归距离值可对下一次动作进行较为全面的预测。同时,在设备下次动作后,可以根据实测回归距离值判定设备健康度。

参考文献:

- [1] 盛健.基于相空间重构技术的断路器振动信号边缘特征提取[J].高压电器,2022,58(9):27-36.
- [2] 周成燕.基于暂态分析的无线通信设备信号指纹辨识[D].绵阳:西南科技大学,2018.
- [3] 罗建,石家炜.基于希尔伯特变换的暂态信号正弦表示分析方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(1):1-7.
- [4] 于之虹,郭志忠.改进主成分分析法用于暂态稳定评估的

输入特征选择[J].电力自动化设备,2003(8):17-21.

- [5] 郑祥豪,张宇宁,张梁,等.基于变分模态分解的水泵水轮机暂态过程流激振动信号分析[J].力学与实践,2022,44(2):258-265.
- [6] 余浩,庄池杰,曾嵘,等.提高暂态电压测量精度的自适应小波去噪方法[J].高电压技术,2020,46(6):2139-2147.
- [7] 罗雪莲,刘桂英,刘香银.基于小波变换与希尔伯特-黄变换的微电网暂态电能质量扰动检测及辨识研究[J].电力电容器与无功补偿,2020,41(3):182-188.
- [8] 张海宾,肖涵,易灿灿,等.基于 KNN 和深度高斯混合模型的边界过采样方法[J].数据分析与知识发现,2023,7(5):116-122.