

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20242264

泵房吸水池内整流措施的优化分析

柴端伍

(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710100)

摘要: 泵房吸水池内水力性能的优劣直接影响循环水泵的安全、平稳运行。为此,结合某电厂泵房工程实际建立物理模型,通过物理模型试验研究了泵房前池、吸水池设置导流墩、导流墙高度、数量及挡水胸墙淹没深度等组合整流措施对泵房吸水池内水力性能的影响。研究结果表明,泵房前池、吸水池内未采取整流措施,吸水池内出现回流漩涡,循环水泵出现震动噪音。吸水池内布置双排导流墩,增加泵房吸水池内挡水胸墙的底部高程,同时降低第二排导流墩高程,吸水池内 G、H 断面流速分布不均匀度、流速加权平均角度增幅最大,泵房吸水池内整流效果最好。研究结果可为类似泵房吸水池内整流措施提供参考依据。

关键词: 泵房; 整流; 吸水池; 水力性能

中图分类号: TV675

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2026)01-0168-05

Optimization Analysis of Rectification Measures in Suction Pool of Pump House

CHAI Duan-wu

(PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710100, China)

Abstract: The hydraulic performance in the suction pool of the pump house directly affects the safe and stable operation of the circulating pump. A physical model was established based on the actual project of a pump house for power plant. The effects of combinations such as the height and quantity of the diversion piers and diversion walls in the forebay and suction pool of the pumping station, as well as the submerged depth of the water blocking breast wall, on the hydraulic performance of the suction pool in pumping station were studied through physical model experiments. The results show that no rectification measures are taken in the front pool and suction pool of the pump house, reflux vortex appears in the suction pool, and vibration noise occurs in the circulating pump. The double row diversion pier is arranged in the suction pool to increase the bottom elevation of the retaining wall in the suction pool of the pump house, while reducing the height of the second row diversion pier. The uneven distribution of flow velocity in the suction pool of sections G and H and the weighted average angle of flow velocity increase the most. The rectification effect in the suction pool of the pump house is the best. The research results can provide reference for the rectification measures in suction pool of similar pump house.

Key words: pump house; rectifier; suction pool; hydraulic performance

1 引言

循环水系统是电厂供水系统的重要组成部分^[1],通常由引水段、前池、吸水室构成^[2],流道流态特征对循环水泵的能量特性、经济性和运行稳定性均有显著影响^[3]。目前关于进水前池整流措施方面的研究已较多,如高志锴等^[4]研究了簸箕形进水流道进水收缩段底面倾角对流道水力性能

的影响;王为术等^[5]研究了不同类型导流设施对循环泵大扩散角进水流道水流流态、流速的影响;张雄伟等^[6]研究了 Y 形导流墩位置和几何参数对侧向进水泵站进水前池流态影响;郭楚等^[7]研究了导流锥对低扬程双向轴流泵装置水力性能的影响;付小莉等^[8]研究了消力墩+防涡梁组合式整流措施能对进水流道内的不良流态进行全面改善,有效防止漩涡和吸入空气等现象发生;施伟等^[9]研究了大型泵站前池扩散角对进水流态的影

收稿日期: 2024-12-02, **修回日期:** 2025-04-10, **接受日期:** 2025-04-17

作者简介: 柴端伍(1992-),男,硕士、工程师,研究方向为水工结构工程泵房进水流道流态优化, E-mail: 2269546109@qq.com

响;徐鹏飞等^[10]研究了进水池及其改造对肘形进水流道水力性能的影响;高传昌等^[11]研究了流道进口高度、流道长度、吸水室高度、喇叭管进口直径和流道底面倾角 5 种控制参数对进水流道水力性能的影响。目前尚未研究前池、吸水池内布置导流墩数量、高程及挡水胸墙淹没程度对吸水池内水力性能的影响。为此,本文以某电站循环泵房为例,通过物理模型试验研究了泵房前池、吸水池设置导流墩、导流墙高度、数量及挡水胸墙淹没深度等组合整流措施对泵房吸水池内水力性能的影响,获得了一些有益的结论,可供同类工程参考。

2 物理模型

2.1 概况

某电厂循环泵房每条进水流道配备两台变频循环水泵,两条进水流道以一座循环水池为供水水源,通过 $3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ (长×宽) 自流引水沟给循环水泵进行供水,进水流道对称布置,故取单侧(左)吸水池为研究对象。进水流道沿水流方向依次布置前池、挡水横梁、拦污栅、导流锥、挡水胸墙、吸水池、循环水泵、电磁流量计、调流阀等。

2.2 模型建立

物理模型试验以某电厂循环泵吸水池为例,参考泵房模型及装置试验规程^[12-16],按重力相似准则选用 1:10 的正态比尺设计模型,泵房进水流道物理模型布置见图 1。由于泵房吸水池内漩涡模拟较复杂,参考美国水力学会试验研究结果^[16],计算水泵喇叭口处雷诺数与韦伯数并加大模型流量至 1.5 倍弗劳德数。

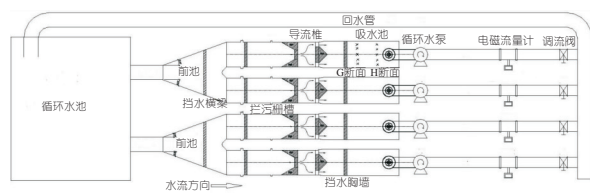


图 1 泵房进水流道模型布置

Fig. 1 Layout of pump house inlet channel model

模型喇叭口处的雷诺数 Re (表征水流黏滞力影响) 为:

$$Re = \frac{uD}{\nu} = \frac{(2.51/10^{0.5}) \times (2.3/10)}{1.01 \times 10^{-6}} = 1.808 \times 10^5 \quad (1)$$

韦伯数 (表征水流表面张力影响) 为:

$$We = \frac{u^2 D}{\sigma/\rho} = \frac{(2.51/10^{0.5})^2 \times (2.3/10)}{0.0728/1000} = 1991 \quad (2)$$

式中, u 为吸水喇叭口的平均轴向速度,对应吸水

喇叭口处平均轴向流速 $u = 2.51\text{ m/s}$; D 为吸水喇叭口直径,水泵吸水喇叭口直径 $D = 2.3\text{ m}$; ν 为水的运动黏性系数, m^2/s ; σ 为水/空气界面的表面张力系数, N/m ; ρ 为水的密度, kg/m^3 。

模型水温约 $20\text{ }^\circ\text{C}$, 式(1)、(2)计算结果远大于相关标准中提出的 $Re > 6.0 \times 10^4$ 、 $We > 240$ 的要求^[16], 这表明模型比尺选择较合理, 模型可准确地反映流道内部包括各种漩涡在内的复杂的水流特性。

2.3 测点布置

循环水泵通过电磁流量计、调流阀门控制流量。在吸水池内距离循环水泵吸水管中心线上游 $3D$ (循环水泵吸水管内径) 处设置测速断面 G, 沿吸水池水平方向均匀布置 5 个流速测点。循环水泵中心上游 $1.5D$, $h=c$ (c 为水泵吸水口的悬空高) 处设置测速断面 H, 沿吸水池水平方向均匀布置 5 个流速测点。利用三维超声多普勒流速仪测量流速, 测量精度为 $\pm 0.5\%$, 涡角通过旋度计测量。吸水池内流速测点布置见图 2。

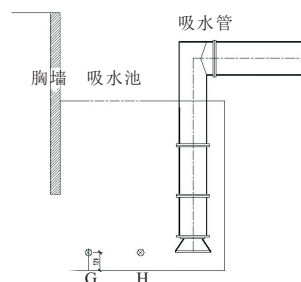


图 2 测点布置 (单位: mm)

Fig. 2 Arrangement of measuring points

3 试验结果及分析

当泵房吸水池处于最大取水流量且水位最低, 循环水泵最不利运行工况时, 泵房吸水池采取 7 种整流措施对泵房吸水池内流速分布的影响, 前池和吸水池内整流措施见表 1。

泵房未采取整流措施 (方案 1), 泵房左侧吸水池内 G、H 断面处的流速分布见图 3。由图 3 可知, 泵房未采取整流措施时, 吸水池内 G 断面流速呈现两侧流速大中间流速小, 基本呈对称分布, 在导流锥出口处两侧脱流, 形成两个旋转方向相反的回流漩涡见图 4。H 断面流速呈现左侧至右侧流速减小的趋势。受吸水池来流不均匀影响, 循环水泵吸水管内形成间歇挟带气泡进入吸水管的 5 级表面漩涡见图 4, 循环水泵出现振动噪音。吸水池内旋度计旋转 108° 转涡角 $8.25^\circ > 5^\circ$, 已经不能满足水泵安全运行的要求^[16]。

表 1 前池和吸水池内整流措施

Tab. 1 Rectification measures in front tank and suction tank

m

方案	前池导流墩					吸水池									
						导流墩					导流墙			挡水胸墙	
	长	宽	高程	间距	排距	长	宽	高程	间距	排距	长	宽	间距	底高程	
								第一排	第二排						
1(未采取整流措施)															
2	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0	0.6	0.6	-6.0		0.6					
3	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0						3.0	0.5	1.5	-6.5	
4	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0									-7.0	
5	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0									-6.5	
6	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0	0.6	0.6	-2.5	-2.5	0.6	1.1				
7	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0	0.6	0.6	-2.5	-6.0	0.6	1.1			-6.5	
8	1.0	1.0	-6.5	0.9	2.0	0.6	0.6	-2.5	-2.5	0.6	1.1			-6.5	

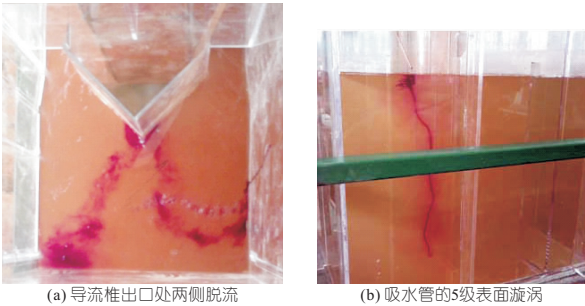
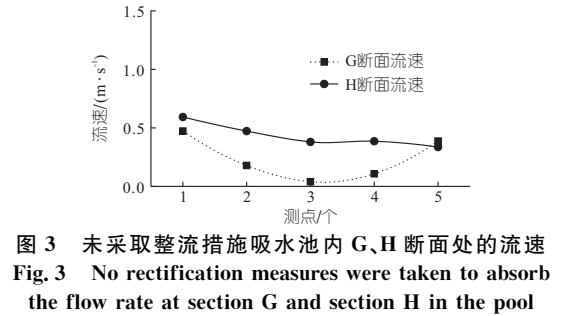


图 4 吸水池内漩涡
Fig. 4 Vortex in the suction pool

泵房采取方案 2~8 整流措施,泵房左侧吸水池内 G、H 断面处的流速分布见图 5。由图 5(a)~(d)可知,吸水池内 G、H 断面流速分布大致对称,呈现两侧大中间小。由图 5(e)可知,吸水池内 G、H 断面流速分布大致对称,呈现两侧小中间大。由图 5(f)可知,吸水池内 G、H 断面流速分布呈波浪起伏状态。由图 5(g)可知,吸水池内 G、H 断面流速分布较均匀,各测点流速基本一致。由于吸水池内布置双排导流墩使其水流扩散均匀,提高了挡水胸墙的底部高程,改善了吸水室内垂向水流分布,同时降低了第二排导流墩高程对吸水池内中下层水流均流效果明显,G、H 断面流速均匀平稳。

以流速分布不均匀度 V 、流速加权平均角度指标 $\bar{\theta}^{[17]}$,来评判泵房吸水池内水力性能。其中流速不均匀度 V 计算公式为:

$$V = \max \left[1 - \frac{1}{u_a} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (u_{ai} - \bar{u}_a)^2} \right] \quad (3)$$

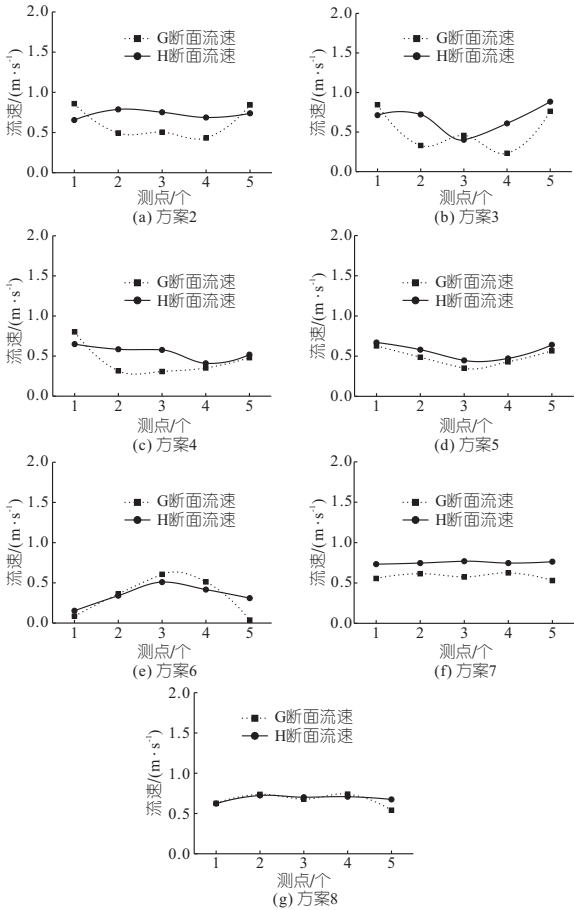


图 5 方案 2~8 吸水池内 G、H 断面处的流速
Fig. 5 The flow velocity of G and H sections in the suction pool in scheme 2-8

式中, u_{ai} 为进水流道断面各点的轴向流速; $\bar{u}_a$ 为平均轴向流速; m 为流道断面的单元数。

流速加权平均角度 $\bar{\theta}$ 计算公式为:

$$\bar{\theta} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(90^\circ - \arctg \frac{u_{ti}}{u_{ai}} \right) \quad (4)$$

式中, u_{ti} 为流道断面各单元的横向速度。

流速不均匀度系数越接近 1,流速加权平均角度越接近 90° ,则说明泵房吸水池流速分布状态越好,其水力性能越优。

泵房未采取整流措施(方案 1)及采取方案 2~

8 整流措施, 泵房左侧吸水池内 G、H 断面处流速分布不均匀度、流速加权平均角度见图 6。

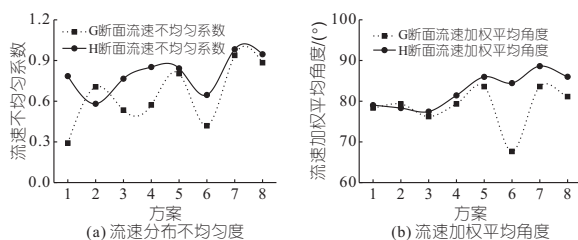


图 6 吸水池内 G、H 断面处的流速分布不均匀度及流速加权平均角度

Fig. 6 Uneven distribution of flow velocity and weighted average angle of flow velocity at sections G and H in the suction tank

由图 6 可知, 方案 7 吸水池整流效果最好, 其吸水池内 G、H 断面处的流速分布不均匀度、流速加权平均角度最大, 水力性能最优。方案 4、5 泵房前池设置两排导流墩, 吸水池内挡水胸墙底高程由 -7.0 m 提升到 -6.5 m, 吸水池内 G 断面处的流速分布不均匀度提高了 40.5%, H 断面处的流速分布不均匀度基本保持不变, 吸水池内 G、H 断面处的流速加权平均角度分别提高了 5.4%、5.6%, 可通过提高吸水池内挡水胸墙的淹没深度, 改善吸水池内水力性能。方案 7、8 吸水池内设置两排等间距第一排墩顶高程 -2.5 m、第二排墩顶高程 -6.0 m 的导流墩, 相对于双排等高程导流墩, 其 G、H 断面处的流速分布不均匀度分别提高了 6.1%、3.9%, 吸水池内 G、H 断面处的流速加权平均角度分别提高了 3.0%、3.1%。

综上物理模型试验可知, 提高吸水池内挡水胸墙底部高程, 有利于吸水池内流速分布更均匀, 流速分布不均匀度、流速加权平均角度均增加。吸水池内导流墩由单排布置增加为双排布置, 并提高双排导流墩高程对吸水池内水流均流效果明显。吸水池内布置双排导流墩, 并降低第二排导流墩高程, 同时提高挡水胸墙底部高程至 -6.5 m, 此时整流效果最佳, 流速分布不均匀度、流速加权平均角度最大, 吸水池内水力性能最优, 有助于提高循环水泵运行效率, 延长设备使用寿命, 此项工程措施可为同类型泵房吸水池整流提供参考依据。

4 结论

a. 泵房前池、吸水池未采用整流措施, 吸水池内出现回流漩涡, 水泵吸水管内出现 5 级漩涡, 循环水泵涡角超标, 出现振动噪音, 不能满足安全稳定运行的要求。

b. 提高泵房吸水池内挡水胸墙的底部高程, 吸水池内 G、H 断面流速分布不均匀度、流速加权平均角度均增加, 吸水池内 G 断面处的流速分布不均匀度提高了 40.5%, H 断面处的流速分布不均匀度基本保持不变, 吸水池内 G、H 断面处的流速加权平均角度分别提高了 5.4%、5.6%。

c. 泵房吸水池内设置双排导流墩, 第一排导流墩高程 -2.5 m, 第二排导流墩高程 -6.0 m, 同时提高挡水胸墙底部高程至 -6.5 m, 吸水池内 G、H 断面流速分布不均匀度、流速加权平均角度均最大, 吸水池内整流效果最佳。

参考文献:

- [1] 刘佳佳, 屈波, 章志平, 等. 集中式循环冷却水系统能量分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(9): 161-164. (LIU J J, QU B, ZHANG Z P, et al. Energy analysis of centralized circulating cooling water system [J]. Water resources and power, 2017, 35(9): 161-164. (in Chinese))
- [2] 张德胜, 沈熙, 董亚光, 等. 不同叶顶间隙下斜流泵内部流动特性的数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2020(8): 757-763. (ZHANG D S, SHEN X, DONG Y G, et al. Numerical simulation of different blade tip clearances on internal flow characteristics in mixed-flow pump[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2020(8): 757-763. (in Chinese))
- [3] 王为术, 甄娟, 郭嘉伟, 等. 并联循环泵站前池及吸水室整流优化[J]. 排灌机械工程学报, 2023, 41(11): 1119-1126. (WANG W S, ZHEN J, GUO J W, et al. Optimization of rectification for forebay and suction chamber of parallel circulation pump station[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2023, 41(11): 1119-1126. (in Chinese))
- [4] 高志锴, 汪顺生, 刘新阳, 等. 簸箕形进水流道进水收缩段底面倾角对进道水力性能的影响[J]. 水电能源科学, 2023, 41(2): 117-120. (GAO Z K, WANG S S, LIU X Y, et al. Influence of bottom dip angle of inlet contraction section on hydraulic performance of dustpan-shaped inlet passage[J]. Water resources and power, 2023, 41(2): 117-120. (in Chinese))
- [5] 王为术, 郭嘉伟, 徐维晖, 等. 大扩散角并联循环泵进水流道流态优化研究[J]. 水电能源科学, 2022, 40(7): 202-205. (WANG W S, GUO J W, XU W H, et al. Study on flow pattern optimization of inlet channel with large diffusion angle[J]. Water resources and power, 2022, 40(7): 202-205. (in Chinese))
- [6] 张雄伟, 奚斌, 奚望, 等. Y 形导流墩对侧向进水泵站进水流道流态影响[J]. 水电能源科学, 2024, 42(10): 144-148. (ZHANG X W, XI B, XI W, et al.

- The influence of Y-shaped diversion pier on inflow pattern in side-intake pumping station[J]. *Water resources and power*, 2024, 42(10): 144-148. (in Chinese))
- [7] 郭楚, 郑源, 陈会向. 导流锥对低扬程双向轴流泵装置水力性能的影响[J]. *水电能源科学*, 2017, 35(7): 168-171. (GUO C, ZHENG Y, CHEN H X. Influence of guide cone on hydraulic performance of low-head two-way axial pumping system[J]. *Water resources and power*, 2017, 35(7): 168-171. (in Chinese))
- [8] 付小莉, 郁片红, 李君茜. 城镇排水泵站进水流道水力优化设计试验研究[J]. *中国给水排水*, 2023, 39(1): 99-104. (FU X L, YU P H, LI J H. Hydraulic optimization design of inlet channel of urban drainage pumping station[J]. *China water & wastewater*, 2023, 39(1): 99-104. (in Chinese))
- [9] 施伟, 吕复生, 于贤磊, 等. 大型泵站前池扩散角对进水流态的影响[J]. *扬州大学学报(自然科学版)*, 2024(4): 37-46. (SHI W, LYU F S, YU X L, et al. The influence of forebay diffusion angle on inflow pattern in large pumping station[J]. *Journal of Yangzhou university (natural science edition)*, 2024(4): 37-46. (in Chinese))
- [10] 徐鹏飞, 朱波, 郭瑞, 等. 小型泵站进水池改造为肘形进水流道水力性能研究[J]. *中国农村水利水电*, 2024(9): 130-136. (XU P F, ZHU B, GUO R, et al. Study on hydraulic characteristics of elbow inlet conduit reconstructed from intake tank in small scale pumping station[J]. *China rural water and hydro-power*, 2024(9): 130-136. (in Chinese))
- [11] 高传昌, 高余鑫, 董旭敏, 等. 簸箕形进水流道主要控制参数对水力性能的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2023, 41(11): 1111-1118. (GAO C C, GAO Y X, DONG X M, et al. Influence of main control parameters of skip-shaped water inlet channel on hydraulic performance[J]. *Journal of drainage and irrigation machinery engineering*, 2023, 41(11): 1111-1118. (in Chinese))
- [12] 国家能源局. 发电厂循环水系统进水流道水力模型试验规程: DL/T 286-2012[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012. (National Energy Bureau of the People's Republic of China. Specification for hydraulic model test of pump intake structures of nuclear or fossil fuel power plants: DL/T 286-2012[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2012. (in Chinese))
- [13] 国家能源局. 火力发电厂循环水泵房进水流道设计规范: DL/T 5489-2014[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014. (National Energy Bureau of the People's Republic of China. Technical code for design of inlet flow passage of circulating water pump house of fossil-fired power plant: DL/T 5489-2014[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2014. (in Chinese))
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 泵站设计规范: GB 50265-2010[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011. (Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Design code for pumping station: GB/T 50265-2010 [S]. Beijing: China Planning Press, 2011. (in Chinese))
- [15] 国家能源局. 核电厂水工设计规范: NB/T 25046-2015[S]. 北京: 新华出版社, 2015. (National Energy Bureau of the People's Republic of China. Code for hydraulic design of nuclear power plants: NB/T 25046-2015[S]. Beijing: Xinhua Publishing House, 2015. (in Chinese))
- [16] American National Standard. ANSI/HI 9.8-1998, Pump Intake Design[S]. American National Standard Institute, Inc., 1998.
- [17] 陆林广. 高性能大型低扬程泵装置优化水力设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013. (LU L G. Optimal hydraulic design of high-performance large-scale low-lift pump device[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2013. (in Chinese))
- *****
- (上接第 176 页)
- [2] 李毅, 胡志浪, 沈浩, 等. 低扬程轴流泵反向发电技术研究与应用[J]. *水电能源科学*, 2023, 41(12): 200-202. (LI Y, HU Z L, SHEN H, et al. Research and application of low-head axial-flow pump reverse power generation technology[J]. *Water resources and power*, 2023, 41(12): 200-202. (in Chinese))
- [3] 王鹏, 刘文胜, 袁澜, 等. 移相变压器应用于高压变频器的研究与设计[J]. *变压器*, 2009, 46(3): 9-12. (WANG P, LIU W S, YUAN L, et al. Research and design of phase-shifting transformer applied to high-voltage frequency converter[J]. *Transformer*, 2009, 46(03): 9-12. (in Chinese))
- [4] 吴玮烨. P243 保护继电器在电动机保护中的应用[J]. *电工技术*, 2025(9): 180-182. (WU W Y. Application of P243 protection relay in motor protection[J]. *Electric engineering*, 2025, (9): 180-182. (in Chinese))
- [5] ZHU Z H, GU Q, CHEN H X, et al. Investigation and optimization into flow dynamics for an axial flow pump as turbine (PAT) with ultra-low water head[J]. *Energy conversion and management*, 2024, 314: 118684.