

ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀流量与噪声研究

龙帅成¹, 康强²

(1. 云南华电金沙江中游水电开发有限公司梨园发电分公司, 云南 丽江 674100;
2. 湘潭中基电站辅机制造有限公司, 湖南 湘潭 441110)

摘要: ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀, 运行工况进口压力为 1.2 MPa, 出口压力为 0.4 MPa, 流量为 2 000~2 300 m³/h。通过 CFD 数值模拟仿真技术, 模拟主阀开度分别为 5 mm、10 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、40 mm、50 mm、55 mm、60 mm。固定压差, 求对应每个开度的流量、流速分布、压力分布、噪声分布。从而得出主阀开度与流量关系、主阀开度与最高噪声关系、主阀开度与最高流速关系; 为大口径小压差高流量减压阀降噪奠定基础。

关键词: CFD 数值模拟仿真; 减压阀流量特性曲线; 减压阀开度; 噪声曲线

中图分类号: TV734 文献标识码: B 文章编号: 1672-5387(2025)03-0128-07
DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2025.03.032

0 引言

梨园水电站属一等大(1)型工程, 以发电为主, 兼顾防洪、旅游等综合效益。电站装机容量 2 400 MW (4×600 MW)。枢纽主要由挡水、泄洪排沙、电站引水系统及坝后岸边厂房等组成。主要建筑物: 混凝土面板堆石坝、右岸溢洪道、左岸泄洪冲沙洞、左岸引水发电系统等。水电站 4 台机组均采用一用一备的单元式减压供水, 减压设备是湘潭中基电站辅机制造有限公司(以下简称“湘潭中基”)生产的 ZJY46H 型组合式减压阀等相关产品。

梨园水电站每台机组装置 ZJY46H-25P DN450 组合式减压阀 2 台, 已运行 8 年。多年来减压阀稳定运行、维护量少。

2022 年 3 月 16 日测得 4 台机组技术供水 ZJY46H-25P DN450 组合式减压阀, 进口压力 1.2 MPa, 出口压力 0.4 MPa, 流量为 2 000~2 300 m³/h, 运行噪声 97~99 dB。

随着精益化管理深化实施, 现阶段对于减压阀单一的安全稳定运行已不能满足精益化管理的要求, 对电站的环境噪声指标也需做出限制, 以满足工作环境安全健康的要求, 本文通过先进的 CFD 数值模拟仿真技术, 对减压阀进行数字仿真模拟; 研究减压阀开度与流量、噪声关系, 为降噪奠定基础。

1 ZJY46H 型组合式减压阀简介

ZJY46H 型组合式减压阀是专为复杂工况下运行的供水系统设计的减压设备。减压阀是通过改变节流锥开度调节压力和流量, 以减小过流面积达到减压目的。当进口压力或流量发生变化时, 减压阀靠介质本身的能量进行自动调节, 从而保持出口压力为原设定的低压值。主要功能有: 减压、稳压、调压, 锁定出口压力, 反馈系统反冲排污, 互为备用双反馈系统。

ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀由主阀与反馈系统组成, 主阀部分由阀体、阀盖、阀座、阀杆、节流锥、主阀调节系统、出口压力锁定系统组成。反馈系统部分主要由控制阀、射流泵、压力导管、中台锁定球阀等组成^[2], 如图 1 所示。

2 研究目的和重难点

2.1 研究目的

针对 ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀运行噪声过高产生的噪声污染问题, 梨园水电站与湘潭中基联合研究减压阀产生噪声的机理。通过固定变量法, 将

收稿日期: 2025-01-15

作者简介: 龙帅成(1992-), 男, 工程师, 从事机械技术管理、检修管理、项目管理工作。

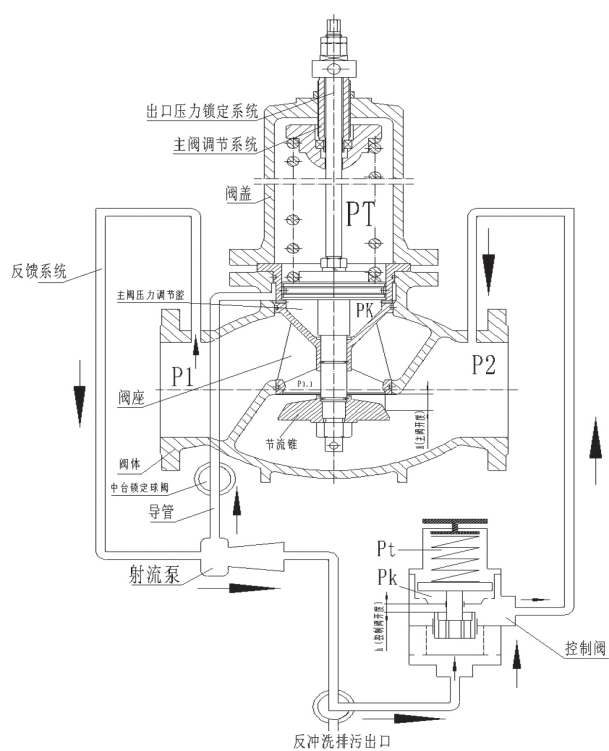


图 1 ZJY46H 型组合式减压阀工作原理图

减压阀进口压力与出口压力固定,通过三维软件改变主阀开度,在不同开度中得出减压阀流量、压力分布、流速分布和噪声分布,从而得出主阀开度与流量关系、主阀开度与噪声关系、主阀开度与流速关系。

研究流程主要为:现场调研→3D 建模→网格划分→CFD 数值模拟仿真各项参数选择→得出相关数据→数据汇总生成表格→数据汇总生成曲线→得出结论。

2.2 重难点

重难点为计算量大。ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀,采用 Proximity and Curvature (既可控制曲面网格的变化,也可以控制几何狭窄处的网格层数),最大网格为 30.0 mm,最小网格为 0.3 mm;总节点为 150~160 万个,总自由度为 450~480 万个,因为计算量大,对于一般配置电脑无法进行计算,所以对此次研究采用中大型工作站进行 CFD 数值模拟仿真。

专业用于流体分析的超大规模工作站,工作站可模拟 5 000 万~1 亿自由度,采用 Precision 7920 塔式机箱(1 400 W);CPU 为 6 142 型数量 2 个,14 μm 制作工艺,核心数量为 32 核心,线程数量为 32 线程,CPU 主频为 2.6 GHz,动态加速频率为 3.7 GHz, L3 缓存为 22 MB,支持最大内存容量为 768 GB,内存类型为 DDR4 2 666 MHz。显卡 NVIDIA P6000 采用帕斯卡新架构,浮点运算能力为 12 TFlops,拥有完

整的 3 840 个流处理器,搭配 24 GB GDDR5X 显存。提供 4 个 DisplayPort 1.4 和一个 DVI 输出接口,可以支持 60 Hz 刷新率的四屏 5 K 输出,TDP 为 250 W。总内存为 192 GB (12×16 GB),内存类型为 DDR4,内存主频为 DDR4 2666。

3 CFD 数值模拟仿真实理论与参数模拟选择

3.1 CFD 数值模拟仿真实理论

ZJY46H 型组合式减压阀内部的流动为高强度的湍流,湍流状态下流场中出现许多涡流,湍流场中的物理量出现随机的不规则脉动的特征。流动诱导噪声研究的前提需要对流场进行准确的数值计算,尽可能捕捉流场中存在的涡流及压力脉动,目前流场数值计算分为直接和间接数值模拟两种。其中直接数值模拟虽然对流场的模拟最精确,但是该方法计算量过大,耗时过长,较难用于工程问题,做理论研究也不方便。工程上主要利用间接方法,较为常用的有 Reynolds 平均法和大涡模拟。大涡模拟在进行湍流模拟时,将大于网格尺度湍流和小尺度涡分别采用不同的方法进行模拟。大涡模拟的本质是介于直接法和间接法之间的一种模拟方法。相对于直接数值模拟更节约计算资源,对于间接模拟弥补了 Reynolds 平均法所疏漏的非稳态。虽然大涡模拟能够捕捉流场的细节,但计算资源的消耗仍然非常高。工程上广泛采用计算资源相对较小且满足计算精度的 Reynolds 平均法。

3.2 参数模型选择

参数模型选择见表 1。

表 1 参数模型选择

名称	模型 / 条件
湍流模型	k-ω SST 模型
进口边界条件	压力边界条件
出口边界条件	压力边界条件
声场模型	Broadband Noise Sources (宽频噪声模块)
空化模型	Schnerr-Sauer 模型
壁面	No-slip(无滑移)、Smooth(光滑壁面)

4 CFD 数值模拟仿真工况

ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀结构为单阀一级减压消能。阀体总长为 1 100 mm,公称通径为 DN450 mm,阀座喉径为 400 mm,节流锥角度为 26°。进口压力设定为 1.2 MPa,通过节流锥一级减压到整定压力 0.4 MPa;主阀开度分别为 5 mm、10 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、40 mm、

50 mm、55 mm、60 mm。固定压差,求对应每个开度的流量、流速分布、压力分布、噪声分布。

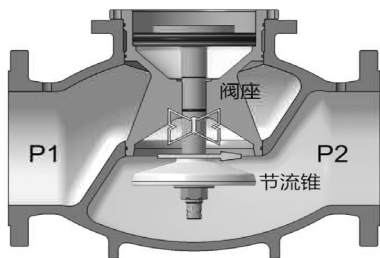


图 2 ZJY46H 型组合式减压阀结构示意图

5 CFD 数值模拟仿真结果

5.1 流量数据

ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀当固定进口压力与出口压力时,主阀开度从 5 mm 增加到 60 mm;流量从 508.8 m³/h 增加到 5 247.3 m³/h。主阀开度递增量为 5 mm,流量增量最大的为 45 mm~50 mm 开度,增加量为 519.3 m³/h,流量增量最小为 15 mm~20 mm 开度,增量为 298.2 m³/h;不计最大与最小值整体平均流量增量为 392.1 m³/h。相邻流量百分比,50 mm~55 mm 开度最大百分比为 92.1%,5 mm~10 mm 开度最小百分比为 53.0%;15 mm 到 35 mm 开度相邻流量百分比为 81.3%~87.1%,相对稳定,如表 2 所示。

5.2 压力分布

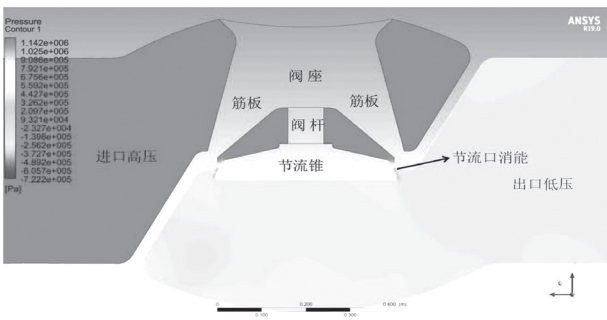
ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀当固定进口压力与出口压力时,主阀开度从 5 mm 增加到 60 mm;流量从 508.8 m³/h 增加到 5 247.3 m³/h。减压阀左边为进口高压,右边为出口低压,通过节流口消能减压作用将高压转化成安全可靠的低压水。整体压力分布均匀,开度增加时节流口上方产生相应的压降,不同开度产生的压降如表 3 所示。详细压力分布如图 3 所示。

表 2 开度与流量表

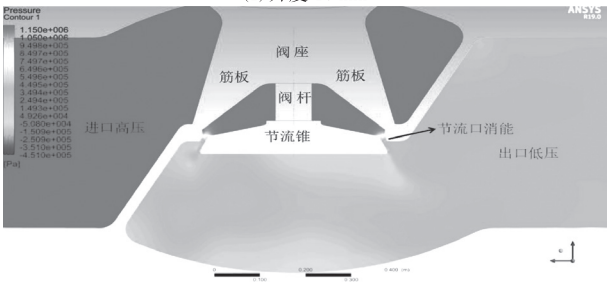
进口压力 /MPa	出口压力 /MPa	主阀开度 /mm	流量 /m ³ /h	流量差值 /m ³ /h	流量比 /%
1.2	0.4	5	508.8	449.4	53.0
1.2	0.4	10	958.2	464.4	67.3
1.2	0.4	15	1 422.6	298.2	82.6
1.2	0.4	20	1 720.8	394.2	81.3
1.2	0.4	25	2 115.0	400.6	84.0
1.2	0.4	30	2 515.6	447.2	84.9
1.2	0.4	35	2 962.8	438.1	87.1
1.2	0.4	40	3 400.9	461.9	88.0
1.2	0.4	45	3 862.8	519.3	88.1
1.2	0.4	50	4 382.1	374.9	92.1
1.2	0.4	55	4 757.0	490.3	90.6
1.2	0.4	60	5 247.3		

表 3 开度与压力表

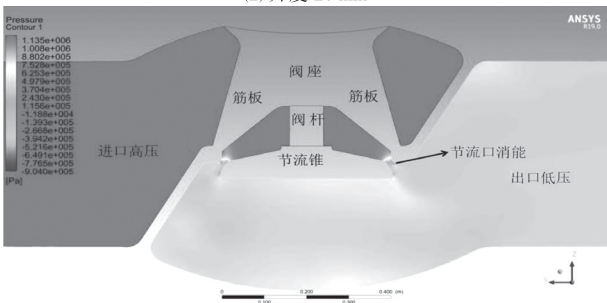
进口压力 /MPa	出口压力 /MPa	主阀开度 /mm	流量 /m ³ /h	节流口上方压力 /m ³ /h
1.2	0.4	5	508.8	1.16
1.2	0.4	10	958.2	1.14
1.2	0.4	15	1 422.6	1.04
1.2	0.4	20	1 720.8	0.95
1.2	0.4	25	2 115.0	0.93
1.2	0.4	30	2 515.6	0.88
1.2	0.4	35	2 962.8	0.82
1.2	0.4	40	3 400.9	0.73
1.2	0.4	45	3 862.8	0.71
1.2	0.4	50	4 382.1	0.72
1.2	0.4	55	4 757.0	0.68
1.2	0.4	60	5 247.3	0.61



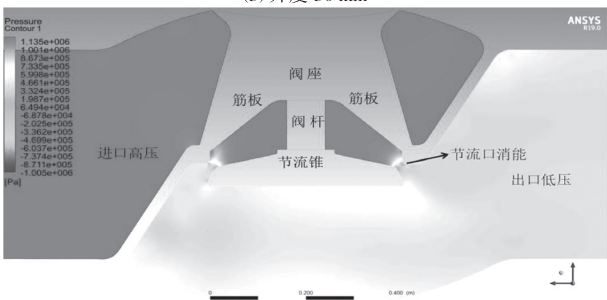
(1)开度 10 mm



(2)开度 20 mm



(3)开度 30 mm



(4)开度 40 mm

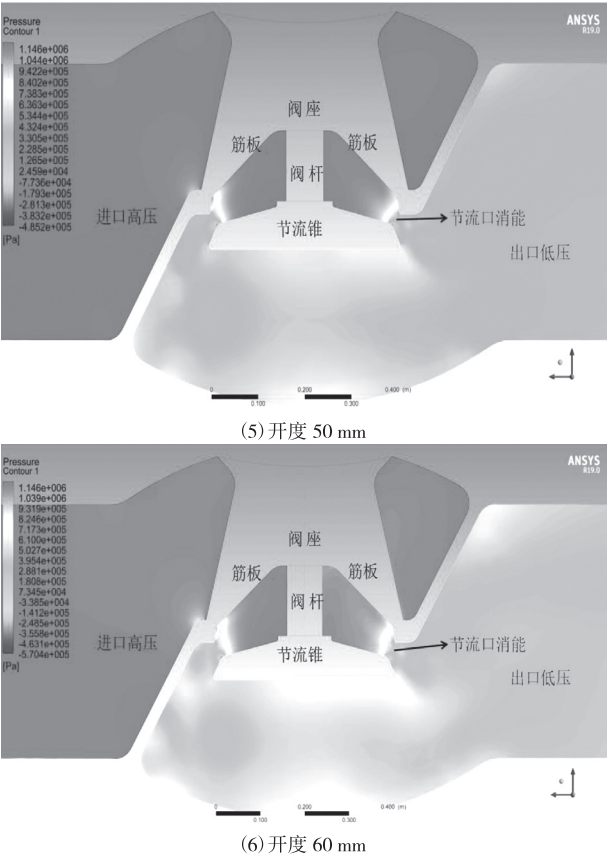


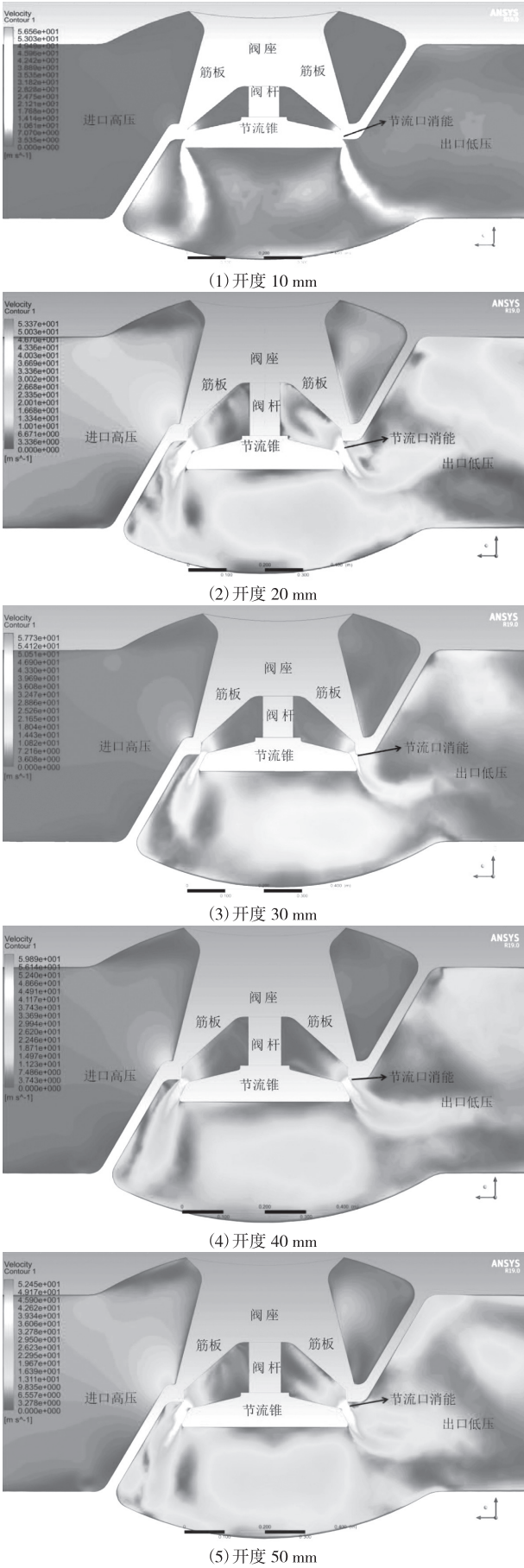
图 3 详细压力分布计算结果

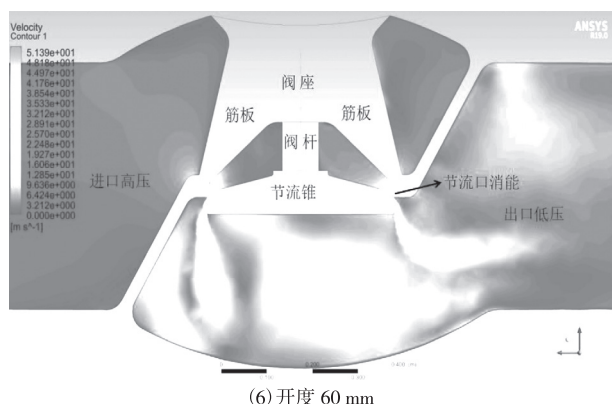
5.3 流速分布

ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀当固定进口压力与出口压力时,主阀开度从 5 mm 增加到 60 mm;流量从 508.8 m³/h 增加到 5 247.3 m³/h。主阀开度为 40 mm 对应流量为 3 400.9 m³/h,最高的流速为 59.8 m/s;主阀开度为 35 mm 对应流量为 2 962.8 m³/h,最低的流速为 50.7 m/s;整体最高平均流速为 54.45 m/s。详细数据如表 4 和图 4 所示。

表 4 开度与最高流速表

进口压力 /MPa	出口压力 /MPa	主阀开度 /mm	流量 /m ³ /h	最高流速 /m/s
1.2	0.4	5	508.8	56.5
1.2	0.4	10	958.2	56.5
1.2	0.4	15	1 422.6	53.7
1.2	0.4	20	1 720.8	51.3
1.2	0.4	25	2 115.0	52.8
1.2	0.4	30	2 515.6	57.7
1.2	0.4	35	2 962.8	50.7
1.2	0.4	40	3 400.9	59.8
1.2	0.4	45	3 862.8	53.7
1.2	0.4	50	4 382.1	52.4
1.2	0.4	55	4 757.0	55.0
1.2	0.4	60	5 247.3	53.3





(6) 开度 60 mm

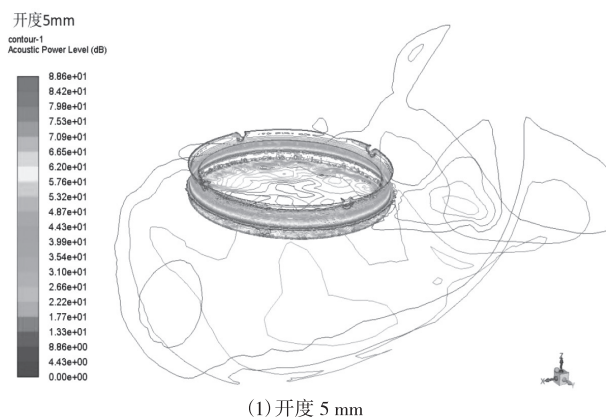
图4 详细流速分布计算结果

5.4 噪声分布

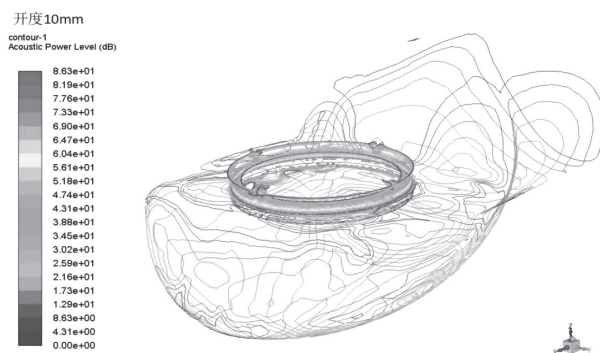
ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀当固定进口压力与出口压力时,主阀开度从 5 mm 增加到 60 mm;流量从 508.8 m³/h 增加到 5 247.3 m³/h。主阀开度为 60 mm 对应流量为 5 247.3 m³/h,噪声最高为 93.9 dB;主阀开度为 20 mm 对应流量为 1 720.8 m³/h,噪声最低为 85.6 dB;整体平均噪声为 88.5 dB。详细数据如表 5 和图 5 所示。

表5 开度与最高噪声表

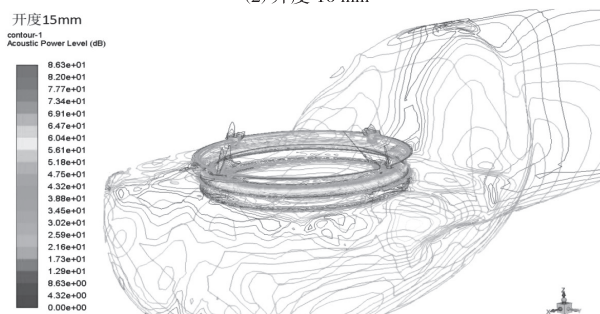
进口压力 /MPa	出口压力 /MPa	主阀开 /mm	流量 /m ³ /h	最高噪声 /dB
1.2	0.4	5	508.8	88.6
1.2	0.4	10	958.2	86.3
1.2	0.4	15	1 422.6	86.3
1.2	0.4	20	1 720.8	85.6
1.2	0.4	25	2 115.0	85.7
1.2	0.4	30	2 515.6	88.1
1.2	0.4	35	2 962.8	87.7
1.2	0.4	40	3 400.9	87.8
1.2	0.4	45	3 862.8	90.8
1.2	0.4	50	4 382.1	91.8
1.2	0.4	55	4 757.0	89.9
1.2	0.4	60	5 247.3	93.9



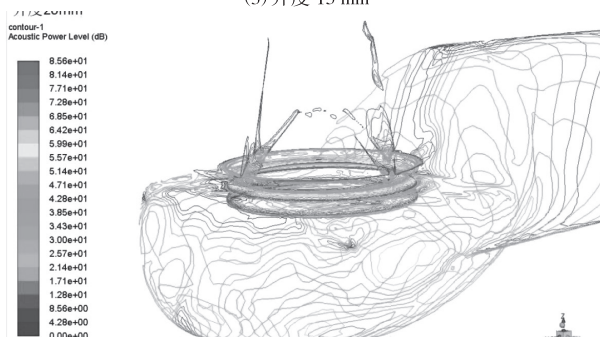
(1) 开度 5 mm



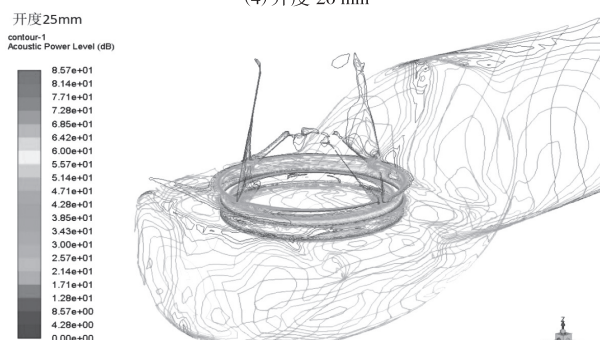
(2) 开度 10 mm



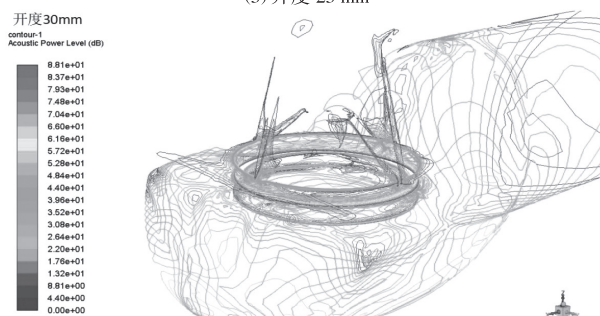
(3) 开度 15 mm



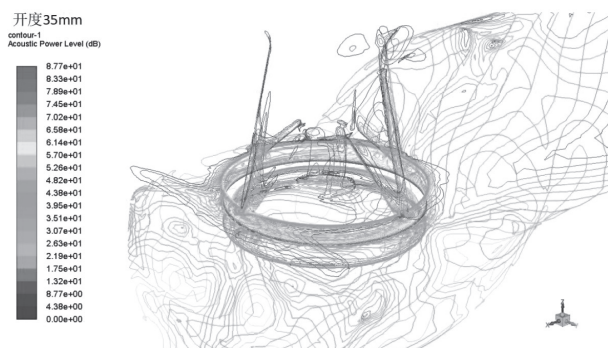
(4) 开度 20 mm



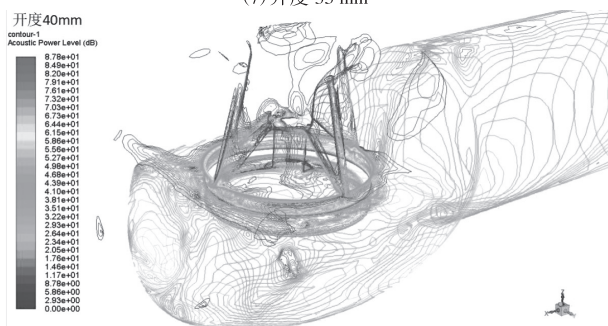
(5) 开度 25 mm



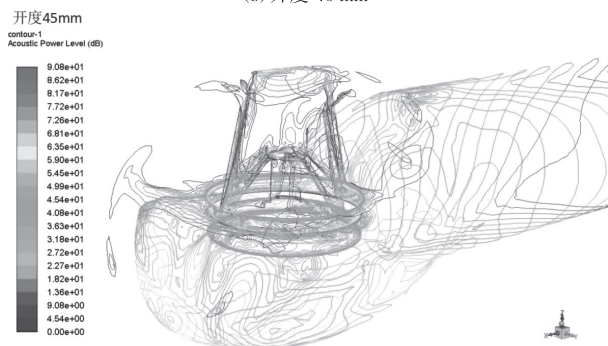
(6) 开度 30 mm



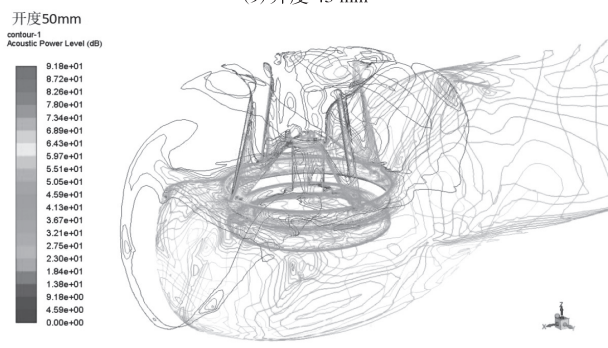
(7) 开度 35 mm



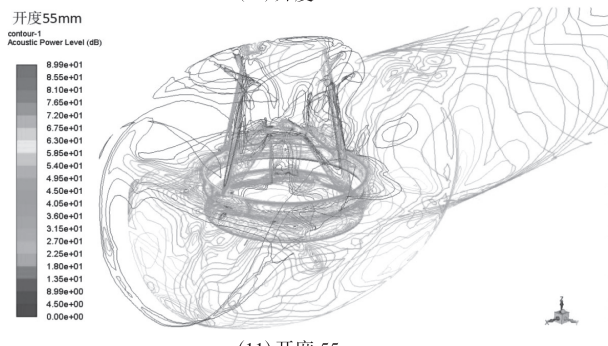
(8) 开度 40 mm



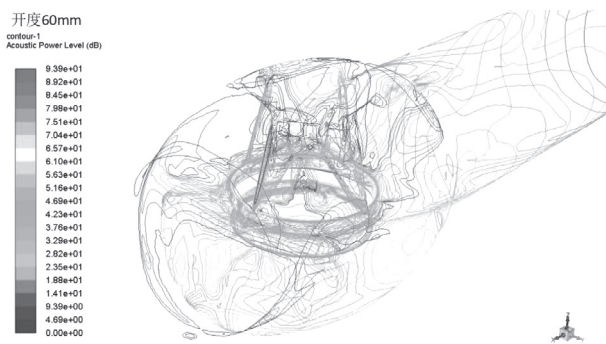
(9) 开度 45 mm



(10) 开度 50 mm



(11) 开度 55 mm



(12) 开度 60 mm

图 5 详细噪声分布计算结果

6 研究结果

6.1 数据汇总

根据 CFD 数值模拟仿真计算结果,将 ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀的主阀开度、流量、最高流速和最高噪声数据汇总。减压阀进口压力 1.2 MPa,出口压力 0.4 MPa,最小开度为 5 mm 对应 508.8 m³/h,最大开度 60 mm 对应 5 247.3 m³/h,流量变量为 10.31 倍;但主阀节流口最高流速变化小,最高噪声基本平稳,如表 6 所示。

6.2 数据曲线汇总

通过 CFD 数值模拟仿真数据汇总成曲线。曲线主要有开度与流量曲线、开度与最高噪声曲线和开度与最高流速曲线。

开度与流量曲线主要说明 ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀,当进口压力与出口压力相同,开度与流量关系近似直线特性。单位行程的变化所引起的流量变化是不变的。流量大时,流量相对值变化小,流量小时,流量相对值变化大。近似直线特性夹角为 59.87°。

开度与最高流速曲线主要说明 ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀,当进口压力与出口压力相同,开度和流量大幅变化时,最高流速变化不明显;当进口压力与出口压力固定时,节流口最高流速也基本固定。因此最高流速与开度和流量关系不明显。

开度与最高噪声曲线主要说明 ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀,当进口压力与出口压力相同,开度和流量大幅变化时,最高噪声整体有上升变化;减压阀噪声平稳阶段为主阀开度 10~25 mm,流量为 958.2~2 115.0 m³/h 运行工况时,减压阀噪声为 85.6~86.3 之间。

通过对比最高流速曲线与最高噪声曲线,

表 6 数据汇总

进口压力 /MPa	出口压力 /MPa	主阀开度 /mm	流量 /m ³ /h	最高流速 /m/s	最高噪声 /dB
1.2	0.4	5	508.8	56.5	88.6
1.2	0.4	10	958.2	56.5	86.3
1.2	0.4	15	1 422.6	53.7	86.3
1.2	0.4	20	1 720.8	51.3	85.6
1.2	0.4	25	2 115.0	52.8	85.7
1.2	0.4	30	2 515.6	57.7	88.1
1.2	0.4	35	2 962.8	50.7	87.7
1.2	0.4	40	3 400.9	59.8	87.8
1.2	0.4	45	3 862.8	53.7	90.8
1.2	0.4	50	4 382.1	52.4	91.8
1.2	0.4	55	4 757.0	55.0	89.9
1.2	0.4	60	5 247.3	53.3	93.9

ZJY46H 型 DN450 组合式减压阀运行工况为进口压力 1.2 MPa, 出口压力 0.4 MPa, 进口与出口压差为 0.8 MPa; 减压阀噪声稳定阶段为主阀开度 10~25 mm, 流量为 958.2~2 115.0 m³/h, 如图 6 所示。

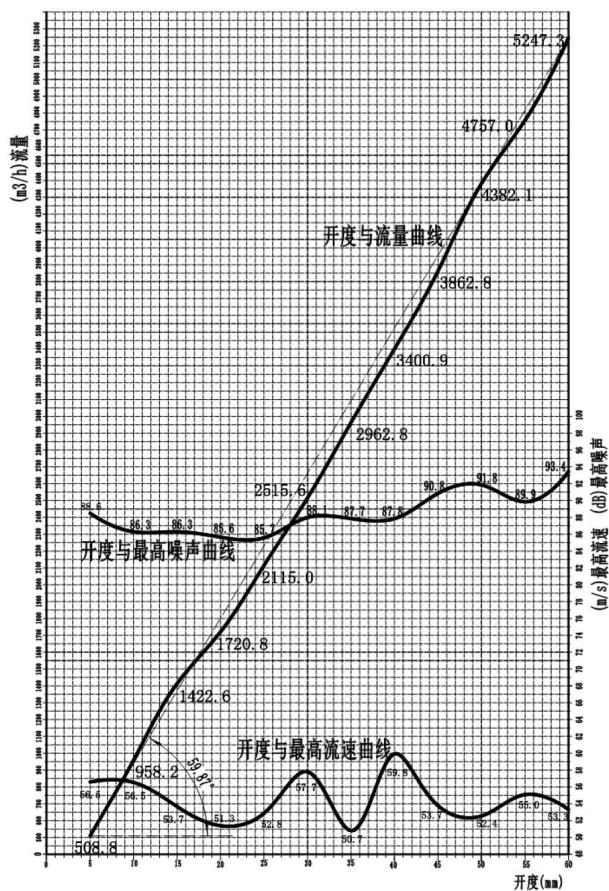


图 6 数据曲线汇总

7 结语

针对 4 台机组技术供水 ZJY46H-25P DN450 组合式减压阀, 进口压力为 1.2 MPa, 出口压力为 0.4 MPa, 流量为 2 000~2 300 m³/h, 运行噪声为 97~99 dB 的噪声污染问题, 梨园水电站与湘潭中基公司共同合作研究减压阀主阀开度、流量、最高流速与最高噪声关系, 从而为降噪奠定基础。

通过 CFD 数值模拟仿真对 ZJY46H-25P DN450 组合式减压阀主阀固定压差, 求主阀开度从 5~60 mm 对应每个开度的流量、流速分布、压力分布、噪声分布。从而找到相应关系。

根据 CFD 数值模拟仿真结果和数据分析, 机组技术供水 ZJY46H-25P DN450 组合式减压阀进口压力为 1.2 MPa, 出口压力为 0.4 MPa, 流量为 2 000~2 300 m³/h, 减压阀主阀开度为 25 mm, 模拟噪声为 85.7 dB; 然而实际运行噪声 97~99 dB。模拟噪声与实际噪声相差 13.3 dB。通过拆阀检修后得出, 两者噪声相差大主要原因为, 节流锥长年使用产生冲蚀现象, 冲蚀产生的不规则几何形状从而产生汽蚀现象, 汽蚀现象产生汽蚀噪声。

机组技术供水 ZJY46H-25P DN450 组合式减压阀进口压力为 1.2 MPa, 出口压力为 0.4 MPa, 流量为 2 000~2 300 m³/h, 减压阀高噪声问题, 主要原因为高流速产生的冲蚀和冲蚀后产生的汽蚀噪声所致。因此要解决减压阀高噪声问题, 可以在阀座位置增加消能装置, 降低减压阀节流口高流速介质, 提高节流锥使用寿命, 减小冲蚀与汽蚀现象产生。

参考文献:

- [1] 陆培文. 实用阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 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.
- [3] 唐永钢, 罗代强, 王攀登, 等. 在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.
- [4] 万双民, 周刚, 王天文, 等. 论高水头水电站低噪声减压技术的研究与应用 [J]. 水电站机电技术, 2021, 44(1): 5-9.
- [5] 万双民, 周刚. 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(3): 56-61.