

冶金行业阀门噪声产生机理与控制

陈新超¹, 毛伟¹, 林相力¹, 李涵宇¹, 李辉文¹, 王旭², 陈亚非^{2*}

¹博雷(中国)控制系统有限公司, 浙江 杭州

²浙江农林大学环境与资源学院(碳中和学院), 浙江 杭州

收稿日期: 2026年5月18日; 录用日期: 2026年8月24日; 发布日期: 2026年9月4日

摘要

阀门噪声不仅恶化冶金厂区作业环境, 危害操作人员职业健康, 还会引发管道振动、仪表失灵、设备疲劳损伤。为了控制冶金阀门噪声, 本文系统梳理了其产生机理, 包括机械噪声、液体动力性噪声及气体动力性噪声, 并从结构优化、声学处理等角度, 综述了被动降噪与主动降噪技术的国内外研究现状。研究指出, 多级节流、共振吸声及低噪声阀体设计等被动降噪技术部分已实现工程化应用, 而基于声波干涉相消、压电陶瓷等的主动降噪技术以及基于多物理场仿真的数值模拟技术与“主被动一体化”混合降噪策略也正成为前沿研究方向。

关键词

阀门, 噪声机理, 被动降噪, 主动降噪

Generation Mechanism and Control of Valve Noise in Metallurgical Industry

Xinchao Chen¹, Wei Mao¹, Xiangli Lin¹, Hanyu Li¹, Huiwen Li¹, Xu Wang², Yafei Chen^{2*}

¹Bray (China) Controls Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

²College of Environment and Resources, Zhejiang A&F University, Hangzhou Zhejiang

Received: May 18, 2026; accepted: August 24, 2026; published: September 4, 2026

Abstract

Valve noise not only deteriorates the working environment of metallurgical plants and endangers the occupational health of operators, but also causes pipeline vibration, instrument malfunction and equipment fatigue damage. To control the noise of metallurgical valves, this paper systematically sorts out its generation mechanisms, including mechanical noise, hydrodynamic noise and aerodynamic

*通讯作者。

文章引用: 陈新超, 毛伟, 林相力, 李涵宇, 李辉文, 王旭, 陈亚非. 冶金行业阀门噪声产生机理与控制[J]. 冶金工程, 2026, 13(3): 97-103. DOI: 10.12677/meng.2026.133012

noise. From the perspectives of structural optimization and acoustic treatment, it reviews the domestic and international research status of passive and active noise reduction technologies. Studies indicate that some passive noise reduction technologies, including multi-stage throttling, resonant sound absorption and low-noise valve body design, have been put into engineering application. Meanwhile, active noise reduction technologies based on acoustic wave destructive interference and piezoelectric ceramics, as well as numerical simulation technologies relying on multi-physics field simulation and the hybrid noise reduction strategy integrating active and passive methods, are emerging as cutting-edge research focuses.

Keywords

Valve, Noise Mechanism, Passive Noise Reduction, Active Noise Reduction

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冶金行业(钢铁、焦化、有色)是工业阀门应用最苛刻的场景之一,生产流程涵盖烧结、高炉、转炉、焦炉等环节,烟道与管道常年处于高温、高粉尘、强腐蚀等极端工况,阀门需承受高温冲击、粉尘磨损与介质腐蚀,同时需保障连续生产不中断。

长期以来,冶金行业噪声治理多聚焦于风机、空压机等大型设备,针对阀门噪声的重视度不足。随着绿色冶金、智能制造及职业健康安全管理要求不断提高,阀门噪声控制已成为冶金管路系统优化的重要方向,因此有必要借鉴其他行业的噪声治理经验,并结合冶金行业的生产特点开展相关的噪声治理工作。冶金行业涵盖烧结、炼铁、炼钢、轧钢、余热利用、煤气输送等多个环节,介质多为高温高压蒸汽、高炉煤气、冷却水以及冶金废液等,具有压力波动大、流速快、介质含颗粒杂质、腐蚀性强等特点。阀门作为管路系统的核心控制元件,承担着介质通断、压力调节、流量控制等关键功能。在节流、调压、启闭过程中,流体扰动、阀体振动会产生高强度噪声,相关测试表明其噪声级可达 100 dB 以上。医学研究发现:长期在强噪声环境中暴露会影响人的听觉系统、降低人体的免疫能力并容易诱发各种生理疾病[1]-[4];同时,噪声使人情绪不安,分散设备操作人员精力,长期在强噪声环境中工作会产生不同程度的心理疾病[5][6]。噪声不仅影响操作人员的健康和工作效率,污染工作环境,还会造成阀门本身、连接管路及相关设备的疲劳,可能引发阀门及其连接管路与设备的结构疲劳损伤,从而影响其使用寿命,甚至导致安全事故[7]。随着工业 4.0 与绿色制造理念的推进,阀门噪声控制已成为工程领域的研究热点。本文从噪声产生机理出发,系统评述阀门降噪技术的国内外研究现状,以期冶金行业低噪声阀门开发与噪声治理提供参考。

2. 阀门噪声产生机理

结合冶金高温高压、含尘、高压差的特点,阀门噪声主要由机械噪声、液体动力学噪声及气体动力学噪声三类构成[8][9],其频谱特性与能量分布差异显著。

2.1. 机械噪声

阀门零件的机械振动是由流体介质在阀体内产生的压力波和流体运动及部分零件间的冲击引起的。它与阀的内部形状、调节阀阀芯与导向套之间的间隙、闸阀等阀瓣与阀座密封面之间的间隙、零件加工

精度及传动装置的刚度等有关，其中最常见的是阀芯对导向套或阀瓣对阀座之间的碰撞，表现为“卡嗒卡嗒”的金属响声；冶金行业流体输送介质中常含有氧化铁皮、粉尘、矿渣颗粒等杂质，长期冲刷阀瓣、阀座、阀杆等部件，造成磨损、松动、卡涩；阀门启闭冲击、压力脉动还会引发阀体、阀芯及连接管路的结构振动，进而辐射机械噪声。此类噪声多为低频振动噪声，易与管道共振耦合，加剧整体噪声水平，同时加速阀门疲劳损坏，缩短使用寿命。机械振动的另一个来源是阀门零件的共振，这时频率在 3000~7000 Hz 之间，也容易导致阀门和管件的破坏。

2.2. 液体动力性噪声

在余热蒸汽、冷却水、冶金废液管路中，高压差节流会使流体流速急剧增大，产生涡流、湍流，从而引起阀门的噪声。主要包括湍流噪声和汽蚀噪声。

- 1) 湍流噪声：由于液体湍流与阀门及管道内表面相互作用产生的噪声，其声级较低，一般较少考虑。
- 2) 汽蚀噪声：液体通过节流元件、多孔节流孔板及阀门节流区时，压力急剧下降，当压力低于液体的饱和蒸汽压时，部分液体开始汽化，形成气液共存状态，其中的气泡在节流孔出口处发生受压破裂而产生汽蚀噪声。局部地方汽蚀开始时噪声就急剧增大，随着气泡的增加，噪声进一步变大，其噪声频率一般在 1500~6300 Hz 之间。与此同时，节流元件面积的急剧变化会使流体在节流孔后产生高速湍流喷注，导致液体流速极不均匀，进而产生旋涡脱落噪声。

加热炉余热蒸汽管网的蒸汽减压阀噪声属于典型的汽蚀噪声。进口压力 1.6 MPa、出口压力 0.3 MPa 的余热蒸汽，由于压力急剧下降，经过减压阀后会持续出现“噼啪”爆破异响，噪声达 108 dB，阀芯、阀座受气蚀冲刷，短时间即告密封失效泄漏。

2.3. 气体动力性噪声

压缩气体或蒸汽在阀门中高速流动造成的湍流和冲击波使部分机械能转变为声能所发出的噪声称为气体动力性噪声。高炉煤气、转炉煤气、蒸汽等气体管路阀门，在调压、节流时气体流速急剧升高，产生湍流噪声、喷射噪声；高压气体节流后形成的激波会引发宽频高强度噪声，具有传播距离远、衰减慢的特点，是冶金厂区主要噪声源之一。气体动力性噪声根据声源特性可以分为三种，如表 1 所示[10]。

Table 1. Aerodynamic noise
表 1. 气体动力性噪声

气动噪声类型	产生机理	声源特性
周期性排气噪声	气体流动周期性膨胀和收缩	单极子声源
涡旋噪声	旋转叶片打击质点引起空气脉动	偶极子声源
喷注噪声	高速与低速气体粒子湍流混合	四极子声源

高炉煤气减压阀组所产生的噪声属于典型的气体动力性噪声。经过净化的高炉煤气通常要经过高炉煤气减压阀组，压力由 0.13 至 0.25 Mpa 降至 10 至 13 Kpa 后送入煤气罐中储存备用。在降压过程中，高炉煤气减压阀组会产生强烈的噪声和振动，其 1 m 外噪声通常可以达到 120~130 dB，严重污染厂区环境，还常常导致厂界噪声超标，影响百姓生活。

3. 阀门降噪技术研究进展

3.1. 被动降噪技术

被动降噪依靠阀门结构优化、声学处理实现噪声抑制，技术成熟、可靠性高，用于适配冶金恶劣工

况比较合适。

3.1.1. 结构优化降噪

阀门结构改进设计是降低噪声最为普遍的方法，一般通过改善阀门内部结构的流畅度和稳定性，如优化阀芯、阀座形状，采用流线型流道，避免流体突变；选用抗冲刷、抗振动材质，强化阀体刚度，抑制结构振动噪声。针对输送介质中的颗粒冲刷问题，在降噪结构基础上强化耐磨设计，提升阀门使用寿命。除此之外，还可以采用多级降压、多孔节流、迷宫式流道结构(图 1 为迷宫式调节阀结构图，图 2 为迷宫套筒叠片)，将高压差逐级分散，降低单级流速，削弱涡流、空化与激波强度，从源头减少流体噪声，此类方法在高炉煤气调压阀、蒸汽减压阀中应用效果显著。MAKARYANTS 等人[11]提出一种适用于气动减压阀的装置，并通过试验研究了此装置的降噪特性。刘利杰的研究发现[12]：调节阀的高噪声与阀内工作介质流动形态有关，而阀内工作介质的流动形态又受到调节阀流道结构的影响，而阀座喉部处型线的曲率是影响阀内流场形态的重要参数，通过对喉部曲率的修改使低频噪声降低了 20 分贝以上，中高频噪声也均有不同程度降低。针对汽轮机低工况运行时调节阀振动噪声大的问题，通过将总压降分散至多个节流元件，避免单级节流导致的超音速流动，李海龙等人[13]设计的多级节流调节阀实现了 11 分贝以上的降噪效果。陈珉芮[14]则在多孔板的基础上，提出了一种螺旋降噪元件，该元件主要利用小孔扩散原理，实现对压力调节部件的低中频噪声具有较好的减弱作用，设置该元件后远场噪声监测点上气动噪声总声压级平均减小 8.26 dB。何涛等人[15]基于分流、多级、迷宫流道等低噪声设计原理，设计了包含上层穿孔、中层多迷宫流道和下层少迷宫流道三部分重叠形成的阀套流通结构的分层迷宫式控制阀。此外还可以通过设计阻尼减震结构，在阀体表面设置阻尼层或约束层，通过能量耗散机制抑制振动和噪声的传播。

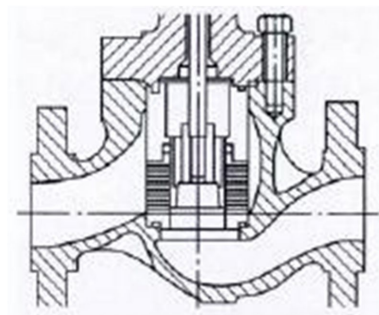


Figure 1. Structure diagram of the maze-type control valve
图 1. 迷宫式调节阀结构图



Figure 2. Labyrinth sleeve lamination
图 2. 迷宫套筒叠片

3.1.2. 声学处理降噪

可通过在阀门进出口管路加装消声器、共振吸声结构或者隔声包覆等降低噪声；或者设置微穿孔板、扩张室等多种类型的消声器；也可以通过管道减振、柔性连接等减少振动传递；或者设置整流板、孔板或多孔网罩等节流装置，均是有效的声学处理降噪方法。针对某输气场站阀门产生的气动噪声，张玲设计并优化了多层复合降噪结构，确定穿孔率 28%、孔径 1.6 mm、厚度 50 mm、孔隙率 95% 时吸声系数最大达 0.996，平均吸声系数 0.667，有效带宽可达 400~8000 Hz [16]。WEI 等人的研究表明：相较于无孔板减压阀，含多孔板减压阀噪声级显著降低[17]。JIA 等人研究表明孔板参数和安装位置对往复式压缩机管道系统中气体脉动衰减有显著影响[18]。针对某天然气场站调压支路的噪声问题，赵博阳通过在出流管路中加设导流部件和减小孔径实现气动噪声抑制，实现远场噪声监测点处总声压级降低达 12 dB 以上[19]。

针对前文提到的高炉煤气减压阀组噪声，在其周围加装隔声罩是传统的降噪措施，能满足一定的降噪效果，但也会带来减压阀组维修更换不便的缺点，而且一旦减压阀组发生煤气泄漏，隔声罩会影响煤气扩散，存在安全隐患。

3.2. 主动降噪技术

主动降噪技术是近年来受到广泛关注的降噪技术，是基于声波干涉相消原理，通过麦克风采集噪声信号，经数字信号处理器(DSP)生成反相声波，并利用扬声器辐射至声场，通过这样人工产生与噪声源幅值相等、相位相反的声波实现噪声抵消[20] [21]。与被动技术相比，主动降噪在低频段具有较明显优势，且不受阀门结构空间限制。

余建平等人针对被动降噪法难以有效消除调节阀节流过程中产生的低频噪声的问题，根据阀门噪声的特点，提出了一种将压缩因子粒子群算法和带修正因子的反正切函数变步长法相结合的滤波新算法 (AFXLMS-CFPSO 算法)，可实现收敛速度更快，稳态误差更小、稳定性和抗噪性更好，实验验证结果表明增设主动降噪设备后调节阀噪声的加权 A 声压级普遍降低了 15~20 dB [22] [23]。张晓宇等人也利用主动降噪技术与被动降噪技术相结合，改善了低频噪声控制效果[24]。

目前，虽然国内外的学者和专家对于主动噪声控制的理论和实验都有相当多的研究，但由于实际环境中声学通道的复杂性、实际噪声特性的多变性、实际的成本投入以及实际的降噪效果达不到预期目标等问题，使得很多关于主动噪声控制的理论和实践仍然处于实验室阶段，距离主动噪声控制技术在现实生活中的大规模商业应用还有一定的距离。

另一种主动降噪技术是利用压电陶瓷等智能材料实现振动与噪声控制。用压电元件进行结构振动与噪声控制的基本原理是电致阻尼，其方法是把压电陶瓷粘贴在结构材料中，由于压电元件具有压电效应，它感受来自结构的应变，经电荷放大器转换成电压信号，由控制系统处理后，把相应的控制信号经功率放大器放大，驱动压电作动器，使结构产生一定的应变，以改变结构的动态阻尼，实现对结构振动的主动控制，并抑制结构振动对环境的噪声辐射[25]。张庆庭通过利用压电传感器、压电作动器和车身结构构成的压电智能结构，利用自适应控制算法对板件振动进行主动控制，从而达到降低噪声的目的，试验结果表明：板件的振动幅值减小了 31.4%，腔内噪声降低了 5.2 dB (A) [26]。

4. 结论与展望

本文介绍了阀门噪声的产生机理，并从结构优化、声学处理等角度，综述了被动降噪与主动降噪技术的国内外研究现状，得出如下结论及展望：

- 1) 阀门噪声的产生机理主要有机械噪声、液体动力性噪声及气体动力性噪声；

- 2) 降噪技术总体可分为被动降噪技术与主动降噪技术;
- 3) 多级节流、共振吸声及低噪声阀体设计等被动降噪技术部分已实现工程化应用, 而基于声波干涉相消、压电陶瓷的主动降噪技术正成为前沿研究方向;
- 4) 进一步开发耐高温(>500℃)、抗粉尘污染的压电作动器与声学传感器;
- 5) 研究基于流固耦合与声学边界元以及多物理场仿真的数值模拟方法, 实现对含颗粒流体阀门等多种阀门噪声的精确预测;
- 6) 探索被动结构优化(如仿生流道)与主动控制相结合的“主被动一体化”混合降噪策略。

参考文献

- [1] Shi, Y.B. and Martin, W.H. (2013) Noise Induced Hearing Loss in China: A Potentially Costly Public Health Issue. *Journal of Otology*, **8**, 51-56. [https://doi.org/10.1016/s1672-2930\(13\)50007-9](https://doi.org/10.1016/s1672-2930(13)50007-9)
- [2] 姜凌霄, 林莹. 噪声暴露对听觉系统的影响研究进展[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2023, 21(4): 399-402.
- [3] Shukla, M., Mani, K.V., Deepshikha, Shukla, S. and Kapoor, N. (2020) Moderate Noise Associated Oxidative Stress with Concomitant Memory Impairment, Neuro-Inflammation and Neurodegeneration. *Brain, Behavior, & Immunity—Health*, **5**, Article ID: 100089. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2020.100089>
- [4] Clark, C., Martin, R., van Kempen, E., Haines, M., Barrio, I., Hygge, S., *et al.* (2010) The Effects of Road Traffic and Aircraft Noise Exposure on Children's Episodic Memory: The RANCH Project. *Noise and Health*, **12**, 244-254. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.70503>
- [5] Beutel, M.E., Jünger, C., Klein, E.M., Wild, P., Lackner, K., Blettner, M., *et al.* (2016) Noise Annoyance Is Associated with Depression and Anxiety in the General Population—The Contribution of Aircraft Noise. *PLOS ONE*, **11**, e0155357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155357>
- [6] 陈涌泉. 厦门市湖里区某电子企业接触噪声人员职业紧张情况调查[J]. 海峡预防医学杂志, 2025, 31(1): 79-81.
- [7] 倪波, 刘金中, 魏文曦, 等. 可控震源液压系统噪声产生原因的分析和降噪研究[J]. 物探装备, 2025, 35(1): 9-12.
- [8] 马大猷. 现代声学理论基础[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 孙晓峰, 周盛. 气动声学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
- [10] 刘军, 苏醒, 马家义, 等. 发动机进气噪声气动声源特性分析[J]. 噪声与振动控制, 2023, 43(1): 221-226.
- [11] Makaryants, G.M., Sverbilov, V.Y., Prokofiev, A.B., *et al.* (2012) The Tonal Noise Reduction of the Proportional Pilot-Operated Pneumatic Valve. *Proceedings of the 19th International Congress on Sound and Vibration*, Vilnius, 8-12 July 2012.
- [12] 刘利杰. 某调节阀的气动噪声研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [13] 李海龙, 李国镜, 余道刚, 等. 某调节阀气动及振动噪声性能研究[J]. 热能动力工程, 2023, 38(10): 51-55.
- [14] 陈珉茵. 蒸汽温度压力调节阀气动噪声特性与降噪技术研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [15] 何涛, 王秋波, 王锁泉, 等. 低噪声迷宫式控制阀设计原理及数值分析[J]. 船舶力学, 2017, 21(2): 127-137.
- [16] 张玲. 天然气输气场站噪声特性及降噪方法研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2024.
- [17] Wei, L., Zhu, G., Qian, J., Fei, Y. and Jin, Z. (2015) Numerical Simulation of Flow-Induced Noise in High Pressure Reducing Valve. *PLOS ONE*, **10**, e0129050. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129050>
- [18] Jia, X., Liu, B., Feng, J. and Peng, X. (2013) Influence of an Orifice Plate on Gas Pulsation in a Reciprocating Compressor Piping System. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, **229**, 64-77. <https://doi.org/10.1177/0954408913511803>
- [19] 赵博阳. 调压支路流量控制阀多孔喷注流动及气动噪声数值研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2022.
- [20] Hansen, C.H. and Snyder, S.D. (2007) Active Control of Noise and Vibration. Academic Press.
- [21] 陈克安. 有源噪声控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [22] 余建平, 刘武杰, 李栋. AFXLMS-CFPSO 算法在阀门降噪中的仿真和应用[J]. 化工机械, 2023, 50(6): 882-890, 919.
- [23] 刘武杰. 基于 AFXLMS-CFPSO 算法的阀门有源噪声控制研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2023.

-
- [24] 张晓宇, 仪垂杰. 主、被动噪声控制的实验研究[J]. 噪声与振动控制, 2011, 31(3): 145-148.
- [25] 陈勇, 刘果, 陶宝祺. 基于压电元件的悬臂梁振动与噪声主动控制试验研究[J]. 噪声与振动控制, 1997(2): 21-23, 31.
- [26] 张庆庭. 采用压电智能结构的车内低频噪声主动控制研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆理工大学, 2023.