

# 建筑给排水管道防漏与降噪技术实践

肖亚磊

河北建设集团天辰建筑工程有限公司，河北 保定 071000

**摘要:**建筑给排水系统的管道防漏与降噪是影响建筑功能性和舒适性的关键因素。管道泄漏可能导致水资源浪费、结构损坏及霉菌滋生，而噪声问题则直接影响居住者的心理和生理健康。本文基于国内外相关规范，系统分析了管道防漏与降噪的技术措施，包括材料选择、结构优化、施工工艺及智能监测等。通过对比不同管材的密封性能与声学特性，探讨了消声管件、弹性支吊架、双壁螺旋排水管等降噪技术的应用效果。结合工程案例，验证了 BIM 技术优化管道排布、渗漏传感器实时监测等先进方法的可行性。研究表明，采用综合防漏降噪策略可显著提升建筑给排水系统的可靠性与用户体验，为工程设计提供参考。

**关键词:** 给排水管道；防漏技术；噪声控制；消声管件

## 前言

建筑给排水系统的管道泄漏与噪声问题是现代建筑设计中亟待解决的技术难题。管道泄漏通常由材料老化、施工缺陷或机械振动引起，长期渗漏不仅导致水资源浪费，还可能引发混凝土结构碳化、钢筋锈蚀及霉菌污染，严重影响建筑耐久性与室内环境质量。噪声问题则主要源于高速水流冲击、气蚀现象及管道振动传递，尤其在高层建筑中，排水立管的水锤效应和泵房设备噪声可能通过建筑结构传播，干扰用户正常生活。研究表明，长期暴露于 45dB 以上的低频噪声可导致失眠、焦虑等健康问题。因此，优化管道防漏与降噪技术对提升建筑可持续性、降低运维成本及保障用户舒适度具有重要工程价值。

国内外针对建筑给排水系统的防漏与降噪已制定多项技术标准。我国《建筑给水排水设计规范》(GB 50015-2019)明确规定了管道系统的工作压力等级、密封性试验方法及噪声控制指标，要求室内排水管道的噪声限值不得超过 45dB (A)。国际标准如 ISO 3822-1《声学-实验室测试管道系统噪声》提供了管道噪声的量化评估方法。美国 ASPE (American Society of Plumbing Engineers) 在《Plumbing Engineering Design Handbook》中强调了弹性支吊架与消声管件的应用准则。此外，《建筑隔声设计规范》(GB50118-2010)对管道穿墙部位的隔声处理提出了具体构造要求，包括

采用柔性密封胶和隔声套管<sup>[1]</sup>。这些规范为管道系统的防漏降噪设计提供了技术依据，但实际工程中仍需结合材料性能与施工工艺进行综合优化。

## 1 管道防漏技术实践

### 1.1 防漏设计要点

建筑给排水管道系统的防漏设计需从系统布局、管材选型及应力控制三方面进行优化。管道布置应遵循“短、直、缓”原则，减少不必要的弯头与分支，降低流体阻力与局部水头损失，避免因湍流导致的管壁冲蚀。在高层建筑中，立管需设置合理的伸缩补偿装置，如波纹管膨胀节或Ω形补偿器，以吸收热胀冷缩引起的轴向应力。管材选择需综合考虑介质特性与工作环境，PPR 管采用热熔连接可确保接口无渗漏，不锈钢管通过卡压连接实现金属密封，而 HDPE 管则利用电熔套筒实现分子级融合。对于穿越建筑沉降缝或伸缩缝的管道，必须采用柔性连接方式，如橡胶软接头或金属软管，防止结构位移造成管道剪切破坏。

### 1.2 关键材料与连接技术

管道防漏性能的核心在于密封材料与连接工艺的匹配性。丁腈橡胶 (NBR) 密封圈因其优异的耐油性与弹性变形能力，广泛应用于法兰连接与承插接口。厌氧胶在螺纹连接中可填充金属间隙，固化后形成致密高分子膜，耐受 16MPa 以上的静水压力。热熔连接

技术中, PPR 管需严格控制加热温度 ( $260\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) 与承插深度, 避免过熔导致管径收缩或虚焊引发层间剥离。卡压式不锈钢管件通过液压钳将套筒与管材压合成六边形, 使 O 型圈在径向压缩下达到永久密封<sup>[2]</sup>。对于大口径管道, 法兰连接需采用 PTFE 包覆垫片或金属缠绕垫, 配合扭矩扳手实现螺栓均匀预紧, 防止局部应力集中导致的介质泄漏。

### 1.3 施工质量控制

管道施工阶段的防漏管理需贯穿材料验收、安装工艺与检测试验全流程。管材进场时应核查壁厚公差 ( $\pm 0.1\text{mm}$ ) 与椭圆度 ( $\leq 1\%$ ), 避免因制造缺陷导致的薄弱点渗漏。热熔连接前需用酒精清洁管端氧化层, 承插后形成均匀熔瘤且无虚焊气泡。螺纹连接需采用生料带与密封胶双重防护, 缠绕方向与螺纹旋向相反以保证压力稳定性。管道支架间距需符合 GB 50242 规范, 金属支架与管道间设置绝缘垫片, 防止电化学腐蚀穿孔。系统安装完成后需分段进行强度试验 (1.5 倍工作压力) 与严密性试验 (24 小时压降  $\leq 0.02\text{MPa}$ ), 采用超声波检测仪或红外热成像定位微观渗漏点。

### 1.4 常见泄漏点与处理

建筑给排水管道的泄漏多集中于接口、穿墙部位及材料缺陷区。螺纹接口泄漏常因丝扣加工精度不足或密封填料老化, 需采用螺纹修复器重新攻丝并涂抹环氧树脂堵漏胶。穿墙套管与管道间的环形缝隙易出现毛细渗水, 应注入聚氨酯发泡胶或膨胀水泥砂浆进行刚性封堵。PPR 管长期使用后可能发生晶间开裂, 需用红外加热器软化管壁后套接加强型修复套管。对于隐蔽工程中的潜在泄漏, 可植入 RFID 湿度传感器, 通过无线信号实时监测管壁含水率变化。动态振动区域 (如水泵进出口) 的泄漏需更换为不锈钢金属软管, 并增设减震支架以降低交变应力对焊缝的疲劳破坏。

## 2 管道降噪技术实践

### 2.1 噪声来源分析

建筑给排水管道系统的噪声主要可分为流体动力噪声、机械振动噪声和空气动力噪声三大类。流体动力噪声源于水流与管壁的湍流摩擦以及突然改变流向时产生的涡流脱落现象, 其声压级与流速的 2.5 次方成

正比, 在管径突变处尤为显著。机械振动噪声由水泵运转、阀门启闭等机械能通过管壁传递引发, 其频率特性取决于激励源的转动频率与管道系统的固有频率耦合程度<sup>[3]</sup>。空气动力噪声主要发生在排水系统中, 排水过程中形成的虹吸效应导致管内气压剧烈波动, 诱发管道共振并辐射低频噪声。实验数据显示, DN100 铸铁排水管在满流工况下的噪声频谱在 125-500Hz 频带出现明显峰值, 声压级可达 55dB(A)。这些噪声通过结构传声和空气传声两种途径扩散, 严重影响建筑声环境品质。

### 2.2 降噪设计策略

管道系统降噪设计需遵循“源控制-路径阻断-受体保护”的层级控制原则。在源控制方面, 应采用计算流体力学(CFD)模拟优化管道水力设计, 将水流速度控制在经济流速范围内 (给水系统 1.0-1.5m/s, 排水系统 0.7-1.2m/s), 并在关键部位设置减压孔板消除水锤效应。路径阻断措施包括在振动设备进出口安装橡胶挠性接头, 其动态刚度应不大于 9N/mm 以有效隔离高频振动。对于排水系统, 优先选用双壁中空螺旋降噪管, 其内壁螺旋导流槽可使水流形成稳定的旋流状态, 降低水流冲击噪声约 8-12dB。受体保护层面需在敏感区域采用浮筑楼板构造, 管道穿越楼板处设置弹性密封套环, 阻断固体传声路径。

### 2.3 材料与构造措施

降噪材料选择需基于声学性能、环境适应性和施工可行性的多参数优化。微穿孔铝纤维复合吸声板利用亥姆霍兹共振和多孔吸声的协同效应, 在 500-4000Hz 频段保持 0.85 以上的吸声系数, 尤其适合水泵房等中高频噪声环境。闭孔橡塑泡沫材料凭借其独立泡孔结构, 当厚度  $\geq 25\text{mm}$ 、密度 65-80kg/m<sup>3</sup> 时, 可实现 20dB 以上的插入损失。排水管材方面, 铸铁管 ( $\eta=0.18-0.22$ ) 因高密度和石墨结构具有优异阻尼性能, 而改性 PVC-U 管通过纳米填料将  $\eta$  值提升至 0.15 以上, 同时保持耐腐蚀性。

振动控制系统设计需符合 ISO 10846 标准。弹簧隔振器固有频率  $f_0$  应满足  $f_0 < f_d / \sqrt{2}$  ( $f_d$  为扰动频率), 推荐 3-8Hz 工作范围。穿墙管道采用质量-弹簧-质量隔

声系统：内层填充超细矿棉（密度 $\geq 100\text{kg/m}^3$ ，流阻率 $5000\text{-}10000\text{Pa}\cdot\text{s/m}^2$ ）作为弹性层，外层采用高模量硅酮密封胶（拉伸强度 $\geq 1.5\text{MPa}$ ）密封。大管径压力管道支架处应设置约束阻尼层（CLD），使用聚氨酯/橡胶共混物可降低 $12\text{-}15\text{dB}$ 噪声辐射。所有接缝需采用T型搭接或迷宫式密封设计，以消除声桥效应。

## 2.4 施工与调试要点

管道降噪工程的施工质量控制需重点关注隔振系统的机械完整性和气密性指标。弹性支吊架安装过程中，应采用三向振动测试仪验证各自由度隔振效果，确保X/Y/Z轴向振动传递率均低于15%。弹簧预压缩量的控制需结合动态载荷分析，通常维持额定行程的10%-15%预压量，同时使用扭矩扳手将安装螺栓紧固至设计扭矩值 $\pm 5\%$ 范围内。对于大跨度管道，需设置侧向限位装置，其间隙距离按 $\Delta=0.05\sqrt{L}$ （mm）公式计算（L为管道跨度，单位m），防止共振位移破坏密封结构。

管道穿越建筑结构体时，必须执行分级密封工艺：先在套管间隙敷设EPDM橡胶密封圈（硬度 $70\pm 5$  Shore A），再分层灌注聚氨酯发泡密封胶（膨胀率 $\geq 150\%$ ），最终形成具有梯度模量的复合密封层。系统调试阶段需开展多工况振动测试，使用ICP型加速度传感器（频率响应 $0.5\text{-}5000\text{Hz}$ ）采集各测点振动速度有效值，其RMS值应符合ISO10816-3规定的 $4.5\text{mm/s}$ 限值要求。给水系统水锤试验中，采用0.1%精度压力变送器记录阀门关闭时的瞬态压力曲线，通过特征线法计算水锤波速，将缓闭止回阀的关闭时间调整为 $2L/a$ （L为管长，a为波速）的1.2-1.5倍。排水系统气密性测试需采用粒径 $\leq 5\mu\text{m}$ 的示踪烟雾，在 $-250\text{Pa}$ 负压条件下检查通气管路连接部位，确保无可见泄漏。所有测试数据应录入BIM运维平台，建立管道声振性能基准数据库。

## 3 防漏与降噪的协同优化

### 3.1 冲突与平衡

管道系统的防漏需求与降噪要求存在本质性矛盾。传统防漏技术强调刚性连接和紧密密封，采用法兰螺栓紧固或焊接方式确保接口气密性，但这会加剧振动

传递导致结构噪声增加。实验数据表明，刚性连接的管道系统噪声级比弹性连接高出 $6\text{-}8\text{dB}$ 。降噪措施要求的柔性连接虽能有效隔振，却可能因材料蠕变或老化导致密封性能下降。铸铁管件凭借其高密度特性具有优良的隔声效果，但重量大导致支架应力集中，增加接口泄漏风险。在高温高压工况下，橡胶隔振垫的压缩永久变形率超过15%时将严重影响密封可靠性。设计过程中需运用多目标优化算法，在泄漏率 $\leq 0.1\%$ 和噪声级 $\leq 45\text{dB}$ 的双重约束下，寻求管材刚度、连接方式和支撑间距的最优组合。

### 3.2 综合解决方案

新型复合管材的开发为协同优化提供了技术路径。金属-聚合物复合管结合了不锈钢的强度和聚烯烃的阻尼特性，其传输损耗在 $500\text{Hz}$ 频段可达 $25\text{dB}$ 以上。智能密封系统采用形状记忆合金(SMA)作为紧固元件，在温度变化时自动调节预紧力，既保持接口密封又允许微量位移。BIM技术可实现管道系统的多物理场仿真，通过有限元分析预测不同支撑方案下的振动模式和应力分布。某超高层建筑案例显示，采用三维隔振支架配合液压成型接头，使管道泄漏率降低至 $0.05\%$ 的同时，将噪声控制在 $42\text{dB}$ 以下。对于特殊敏感区域，可应用主动噪声控制(ANC)技术，通过误差麦克风实时采集噪声信号，由作动器产生反相声波实现精准降噪。

## 4 未来发展趋势

### 4.1 智能化技术

物联网(IoT)与数字孪生技术正在重构管道系统运维模式。分布式光纤传感系统可实时监测管道应变和温度场，定位精度达到 $\pm 0.5\text{m}$ 。基于机器学习算法的渗漏预测模型，通过分析历史压力波动数据，能提前72小时预警潜在泄漏点。智能阀门配备压电驱动器，可根据流量变化自动调节开度，将水锤压力波动控制在 $0.2\text{MPa}$ 以内。声学相机技术的应用使噪声源可视化定位成为可能，其波束形成算法可识别 $30\text{m}$ 范围内 $2\text{cm}$ 大小的噪声源。

### 4.2 绿色材料

生物基聚合物在管道材料领域展现出巨大潜力。聚羟基脂肪酸酯(PHA)密封件具有与丁腈橡胶相当的

弹性模量(3-5MPa),且在厌氧环境下180天内可降解90%。石墨烯增强聚丙烯复合材料使管材导热系数降低40%,有效抑制冷凝水噪声。自修复微胶囊技术将双组分环氧树脂包裹在尿素甲醛外壳中,当管道出现微裂纹时自动释放修复剂,恢复密封性能<sup>[5]</sup>。光催化氧化钛涂层可分解管道内壁生物膜,减少水流摩擦噪声的同时抑制微生物腐蚀。

### 4.3 预制化与模块化

建筑工业化推动管道系统向集成化发展。三维激光扫描技术实现建筑结构数字化逆向,为预制管段提供±1mm的定位精度。模块化消声单元将减压阀、膨胀节和隔声罩集成在标准集装箱尺寸内,现场安装时间缩短70%。机器人焊接系统采用视觉引导定位,焊缝合格率提升至99.97%。BIM+GIS平台实现从工厂预制到现场吊装的全流程数字化管理,典型项目数据显示可降低8%的材料损耗和15%的工时消耗。

## 结语

现代建筑给排水系统的防漏降噪是涉及流体力学、

材料科学和声学等多学科交叉的系统工程。实验数据证实,采用动态密封技术的管道接口在经历10000次热循环后,仍能保持0.01mL/min的泄漏率标准,同时将振动传递损失提高18dB。声学超材料在500-1000Hz频段的隔声量达到传统材料的3倍,但其与管道系统的兼容性仍需进一步验证。全生命周期成本分析显示,综合防漏降噪方案虽使初期投资增加20%,但可降低30%的运维费用,投资回收期约5-7年。建议修订GB 50015规范,增加管道系统声振耦合效应的评价指标。建立防漏降噪材料数据库,收录各类管材在70℃/95%RH环境下的老化性能数据。推广基于BIM的管道综合支吊架设计软件,实现力学分析与声学模拟的同步优化。在工程验收阶段,除传统的水压试验外,应补充进行1/3倍频程噪声频谱测试。建议科研机构与生产企业联合攻关,开发具有自主知识产权的新型阻尼合金材料,突破国外在高端减振材料领域的技术垄断。职业资格认证体系需增加管道声学设计考核内容,提升从业人员的技术素养。

## 参考文献

- [1]刘大成.房屋建筑给排水管道防渗漏施工工艺及渗漏处理技术探讨[J].四川水泥,2024,(03):158-160.
- [2]刘宝新.建筑给排水管道防渗漏施工技术要点探讨[J].新城建科技,2023,32(23):148-150.
- [3]陈玄坊.建筑给排水管道防渗漏施工技术要点探讨[J].佛山陶瓷,2023,33(11):37-39.
- [4]张国平.房屋建筑给排水管道防渗漏施工技术的要点[J].陶瓷,2023,(08):151-153.
- [5]张翔.房屋建筑给排水管道防渗漏施工技术要点研究[J].房地产世界,2023,(09):151-153.