

建筑隔震柔性管道安装的质量控制

李 宁

新疆疆北建设工程有限公司 新疆维吾尔自治区 石河子 832099

摘要：建筑隔震柔性管道安装质量控制需覆盖材料、施工、验收全流程，是保障建筑抗震性能与使用安全的核心环节。本文聚焦实操性控制要点，明确柔性管道及配件的质量检验标准，规范施工过程中的定位、连接、支撑等操作要求，制定科学的验收检测方法，结合量化公式与实用表格，细化各环节控制措施，为工程实践提供可落地的质量管控方案，确保管道系统在地震作用下有效吸收震动能量，避免断裂损坏引发次生灾害。

关键词：建筑隔震；柔性管道安装；质量控制

引言：我国抗震设防烈度7度以上区域的学校、幼儿园等建筑已强制采用隔震减震技术，隔震柔性管道作为穿越隔震层的关键构件，其安装质量直接影响建筑整体抗震效果。当前工程中存在材料性能不达标、施工工艺不规范、验收检测不严格等问题，易导致地震时管道失效。本文从材料质量、施工过程、验收检测三个核心环节展开，通过具体参数要求、量化公式与实操标准，构建全流程质量控制体系，为隔震柔性管道安装提供实操指导。

1 材料质量控制

1.1 柔性管道材料检验

柔性管道进场需开展外观、尺寸与性能三重检验，外观需确认管体无裂纹、气孔、夹渣等缺陷，金属波纹管表面成型均匀，橡胶软管内外胶层无破损、老化或鼓包现象。尺寸检验需实测管径、壁厚、长度等关键参数，偏差需符合JG/T541-2017标准，金属波纹管壁厚允许偏差 $\pm 0.1\text{mm}$ ，管径允许偏差 $\pm 5\text{mm}$ ，PVC伸缩管长度允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ 。性能测试需依据设计文件，金属波纹管耐压 $\geq 1.0\text{MPa}$ 、耐高温 $\leq 200^\circ\text{C}$ ，橡胶软管需通过酸碱介质浸泡试验验证耐腐蚀性，压缩回弹率 $\geq 70\%$ 。同时核查产品合格证、型式检验报告，确保金属类管道设计工作年限不低于50年，橡胶类不低于15年。

1.2 连接件及配件质量检查

连接件及配件质量直接影响管道连接强度与密封性能，需开展全面细致检查。法兰材质需与管道主体匹配，不锈钢法兰符合GB/T9119标准，碳钢法兰符合GB/T12459标准，无锈蚀、夹杂缺陷；密封面垂直度偏差 $\leq 0.2\text{mm/m}$ ，平整度偏差 $\leq 0.1\text{mm}$ ，无划痕、凹坑，螺栓孔位置精准，孔径与螺栓直径偏差 $\leq 0.5\text{mm}$ ，孔距偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ 。螺栓选用符合设计要求的材质，不锈钢螺栓执行GB/T3098.6标准，碳钢镀锌螺栓执行GB/T3098.1

标准，抗拉强度 $\geq 400\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 240\text{MPa}$ ，螺纹完整无损伤，螺母配合顺畅，长度满足连接要求，拧紧后外露丝扣2-3扣^[1]。密封垫需核查材质证明，耐温范围覆盖管道介质最高温度 5°C 以上，无气泡、裂纹、缺角，压缩量控制在20%-30%，压缩后无永久损坏，回弹性能良好。所有连接件及配件按批次抽样检验，抽样比例不低于每批次总量的5%且不少于3件，涵盖不同生产批次与规格，检验项目包括尺寸偏差、材质成分、力学性能、密封性能，检验合格后方可投入使用。

1.3 隔震装置材料验收

隔震装置验收需委托具备相应资质的检测机构进行见证检验，检测范围覆盖位移补偿能力、刚度参数、密封性能、耐久性。检测时重点核查水平与垂直方向位移补偿量不低于设计要求，额定位移范围内刚度稳定，弹性模量偏差 $\leq 10\%$ ；密封性能通过压力试验验证，设计压力1.5倍下保压30分钟无泄漏，压力降 $\leq 0.05\text{MPa}$ 。提供完整的型式检验报告、出厂合格证与检测报告，明确产品型号、规格、检测数据等关键信息，严禁使用无合格报告、未经见证检验或伪造报告的产品。建立材料可追溯系统，为每一批次隔震装置建立专属档案，记录生产厂家、生产日期、检验报告编号、进场日期、使用部位等信息。进场后外观检查无变形、锈蚀、划痕，连接接口完好，标识清晰，与设计文件标注的型号、规格一致，部件组装牢固无松动。

2 施工过程质量控制

2.1 管道定位与放线精度控制

管道定位前依据建筑结构图纸、隔震层布置图、管道系统图构建BIM三维模型，模拟管道走向与排布，优化避让隔震支座位移范围、结构梁柱、预留孔洞等关键构件，减少与其他专业管线的交叉冲突。放线使用经校核合格的激光测距仪、水准仪、经纬仪，水平方向定位

偏差 $\leq 3\text{mm/m}$ ，垂直方向偏差 $\leq 2\text{mm/m}$ ，放线时设置间距不超过5m的临时控制点与基准线，确保测量数据准确^[2]。预留孔洞直径比管道外径大50~100mm，位置偏差 $\leq 10\text{mm}$ ，内壁平整无毛刺，垂直度偏差 $\leq 5\text{mm/m}$ ，孔洞周边进行加固处理。定位与放线完成后进行双重复核，施工班组自检合格后填写记录，再由监理单位联合施工单位技术人员、质量检查员共同复核，复核合格后用红漆标注管道中心线、支架位置、隔震装置安装范围等关键信息，明确各部位尺寸参数。

2.2 管道连接施工质量控制

管道连接前彻底清理接口表面油污、铁锈、氧化皮，金属管道接口用角磨机打磨光滑露出金属光泽，打磨范围不小于接口周长的1.5倍；橡胶软管与PVC伸缩管接口用清洁剂擦拭干净，晾干后再进行连接。金属管道焊接前加工坡口，角度 $30^\circ \sim 35^\circ$ ，钝边厚度1~2mm，采用角磨机或坡口机加工，不得气割。对口时用对口器辅助调整，确保管道顺直，对口间隙2~4mm，错口偏差 ≤ 0.2 倍管道壁厚且不超过2mm，点焊固定间距100~150mm，长度10~15mm，点焊电流比正式焊接小10%~15%，发现偏差立即整改。焊接采用氩弧焊或电弧焊，壁厚 $\leq 5\text{mm}$ 时电流80~120A，壁厚 $> 5\text{mm}$ 时电流120~180A，焊接速度匀速，焊缝高度不低于管道壁厚，成型均匀，无气孔、夹渣等缺陷，重要管道焊缝无损检测比例不低于30%。柔性管道连接需控制弯曲半径，按公式(1)计算：

$$R \geq kD \quad (1)$$

式中：R为管道最小弯曲半径(mm)；k为材质系数，金属波纹管 $k=2.5$ ，橡胶软管 $k=3.0$ ，PVC伸缩管 $k=3.5$ ；D为管道公称直径(mm)。该公式根据不同管材柔性特性与抗震要求确定系数，明确最小弯曲半径量化标准，避免弯曲部位应力集中，防止地震时因应力超标断裂，保障连接部位结构完整性。连接完成后检查焊缝尺寸、柔性管道连接无扭曲拉伸过度、接口无松动。

2.3 隔震支座安装质量控制

隔震支座安装前清理基面灰尘、杂物、油污，确保基面平整清洁，平整度偏差 $\leq 0.1\text{mm/m}$ ，不平整处用聚合物水泥砂浆找平，找平层厚度5~20mm，养护时间 ≥ 7 天，基面强度达到C30以上。支座按设计位置精准安装，核对型号、规格与设计文件一致，中心线偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，标高偏差 $\pm 2\text{mm}$ ，同一组支座标高偏差 $\leq 1\text{mm}$ 。

支座与基面采用膨胀螺栓或化学锚栓固定，锚栓深度不低于10倍螺栓直径且 $\geq 100\text{mm}$ ，拧紧力矩 $\geq 40\text{N} \cdot \text{m}$ ，拧紧后用扭矩扳手复核，螺栓外露丝扣做防腐处理^[3]。根据管道用途预留水平变形量，按公式(2)计算：

$$\Delta \geq nW \quad (2)$$

式中： Δ 为预留水平变形量(mm)；n为安全系数，一般管道 $n=1.0$ ，输送有害、可燃、高压介质的重要管道 $n=1.4$ ；W为隔震层隔离缝宽度(mm)。该公式通过安全系数区分管道变形量预留标准，确保地震时隔震层最大位移下管道不被拉脱或挤压破裂，安装后复核支座水平度偏差 $\leq 0.1\text{mm/m}$ ，手动推动沿水平各方向位移顺畅无卡滞，弹性元件无异常声响。

2.4 管道固定与支撑质量控制

支架安装在土建结构完成且具备工作面后开展，按设计图纸用角钢、槽钢或工字钢预制，横担距地面100~150mm，两侧设支腿，底部焊接8mm厚、100mm \times 100mm钢板，钢板四角预留12mm螺栓孔，焊接焊缝高度 $\geq 6\text{mm}$ ，无气孔、夹渣。支架位置根据管道综合布图确定，避开隔震支座位移范围与结构薄弱部位，间距按公式(3)计算：

$$L \leq \lambda D \quad (3)$$

式中：L为支架最大间距(m)； λ 为管材系数，钢管 $\lambda=60$ ，PVC伸缩管 $\lambda=40$ ，橡胶软管 $\lambda=30$ ；D为管道公称直径(mm)。该公式依据管材刚度与承重能力确定间距，避免管道挠度变形过大，管道转弯处、三通、阀门等受力集中部位增设支架，与主支架间距 $\leq 1.5\text{m}$ 。水平悬吊吊杆采用可变形设计，支架与管道接触处加装 $\geq 5\text{mm}$ 厚橡胶垫，固定螺栓选用Q235或不锈钢材质，拧紧力矩 $\geq 30\text{N} \cdot \text{m}$ ，做好防松与防腐处理，支架表面清理后涂刷防锈漆与面漆。

3 验收与检测质量控制

3.1 安装尺寸偏差检测

检测使用经法定计量机构校验合格的激光测距仪、经纬仪、水准仪等仪器，检测前校准并记录数据，激光测距仪精度 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，经纬仪测角精度 $\leq \pm 2''$ ，水准仪精度 $\leq \pm 0.5\text{mm/m}$ 。管道水平安装偏差沿全长每3m设检测点，偏差 $\leq 5\text{mm/m}$ ，全长累计偏差 $\leq 20\text{mm}$ ；垂直安装偏差同间距设点，偏差 $\leq 3\text{mm/m}$ ，全长累计偏差 $\leq 15\text{mm}$ 。柔性连接预留变形量实测值与公式(2)计算结果偏差 $\leq \pm 5\%$ ；隔震支座水平度偏差 $\leq 0.2\text{mm/m}$ ，标高偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ，中心线偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，同一轴线支座中心线偏差 $\leq 3\text{mm}$ 。管道与墙柱净距 $\geq 100\text{mm}$ ，与其他管线平行净距 $\geq 50\text{mm}$ ，交叉净距 $\geq 20\text{mm}$ ，与电气设备净距 $\geq 300\text{mm}$ 。检测详细记录每个点的位置、实测数据、偏差值，不合格部位标记并分析原因，制定整改方案，整改后复检合格方可验收。

3.2 密封性能试验

密封性能试验按介质类型选择水压或气压试验，方

案经监理单位审批。水压试验适用于液体介质管道，试验前关闭终端阀门，安装临时压力表与排气阀，缓慢充水排净空气，静置30分钟后升压，试验压力为设计压力1.5倍且 $\geq 0.6\text{MPa}$ ，分阶段升压至50%保压10分钟，再逐步升压至试验压力，升压速度 $\leq 0.05\text{MPa}/\text{min}$ ，保压30分钟，压力降 $\leq 0.05\text{MPa}$ 且无渗漏为合格^[4]。气压试验适用于气体介质管道，试验前检查气密性，试验压力为设计压力1.15倍且 $\geq 0.2\text{MPa}$ ，分阶段升压至50%初检，再逐步升压至试验压力，升压速度 $\leq 0.02\text{MPa}/\text{min}$ ，保压20分钟，用肥皂水涂抹所有连接部位，无气泡且压力降 $\leq 0.03\text{MPa}$ 为合格。试验记录包括日期、温度、管道规格、试验压力、保压时间、压力降等，渗漏部位整改后重新试验，记录归档留存。

3.3 隔震效果验证测试

隔震效果由第三方检测机构采用模拟地震振动台试

验验证，振动台具备多方向振动输出能力，模拟水平X向、Y向、垂直Z向及扭转方向地震作用，振动波形为正弦波或地震波拟合波形，加速度 $\geq 0.3g$ ，频率覆盖0.1~10Hz。管道关键部位安装位移、应变、压力传感器，传感器精度满足测试要求，位移传感器测量范围 \geq 隔震层最大位移1.5倍，应变传感器精度 $\leq \pm 5\mu\epsilon$ ^[5]。测试实时监测管道位移量、应变值、压力变化，重点关注柔性连接、隔震支座等关键节点，记录不同地震加速度等级下的数据，绘制相关曲线。隔震效果以位移传递率为核心指标，该比值 ≤ 0.3 为合格，测试过程中管道无断裂、渗漏等损坏，金属管道应变值 $\leq 1500\mu\epsilon$ ，橡胶软管 $\leq 3000\mu\epsilon$ ，PVC伸缩管 $\leq 1000\mu\epsilon$ 。重要建筑管道安装长期监测系统，数据实时上传监控平台，设定预警值，检测机构出具加盖公章与CMA印章的报告，归档留存。如下表1为不同类型隔震柔性管道维护周期及检查项目表。

表1 不同类型隔震柔性管道维护周期及检查项目

道类型	维护周期	主要检查项目
金属波纹管	5年	法兰平行度偏差检测、焊缝腐蚀检查、波纹管变形量测量、密封性能压力试验、螺栓紧固力矩复核
橡胶软管	3年	内外胶层老化开裂检查、接头密封渗漏检测、位移补偿能力测试、表面磨损评估、金属结构件锈蚀检查
PVC伸缩管	4年	伸缩性能测试、接口密封效果检查、管体裂纹与老化检测、支架固定状态复核、壁厚磨损测量

结语

建筑隔震柔性管道安装质量控制是系统性工程，需通过材料检验筑牢质量基础，施工规范保障安装精度，验收检测验证使用安全。文中三个量化公式为关键参数提供科学依据，维护表格明确长效管理要求，各环节控制要点紧密衔接。实践中需严格执行相关规范与设计标准，强化各参与方责任落实，确保管道在地震中有效发挥隔震作用，切实保障建筑抗震安全性与使用功能，推动隔震技术在工程领域的高质量应用。

参考文献

[1]解琳琳,闫海洋,曾德民,等.隔震建筑橡胶柔性管道

易损性模型研发及应用[J].工程力学,2021,38(5):182-190.

[2]卢嘉茗,解琳琳,李爱群,等.建筑隔震金属柔性管道抗震性能试验研究[J].工程力学,2020,37(5):208-216.

[3]张文博,贺隆,张樱香,等.建筑隔震层管道泄漏监测系统安装技术[J].安装,2025(4):89-92.

[4]曾德民,刘文科,解琳琳,等.建筑隔震橡胶柔性管道抗震性能试验研究[J].工程力学,2020,37(6):92-99.

[5]李安达,孙颖慧,叶烈伟,等.建筑给排水隔震柔性管道设计方法[J].中国给水排水,2021,37(8):59-64.