

# 内嵌式粘滞阻尼墙后主体结构施工技术

文 / 胡轶昊 中国水利水电第八工程局有限公司

李 忠 中国水利水电第八工程局有限公司

黄 龙 中国水利水电第八工程局有限公司

张泽远 中国水利水电第八工程局有限公司

**摘要:** 针对内嵌式粘滞阻尼墙后主体结构施工中界面衔接不稳、安装精度难控及防护效果不佳等技术挑战, 本文围绕施工全流程展开研究, 涵盖主体结构界面处理、粘滞阻尼器及配套构件检验、钢框架制作与安装、阻尼器核心安装、填充防护施工、过程动态监测与调整及最终验收等关键环节, 提出各环节针对性技术方案。结果表明, 所提方案可有效解决施工中界面适配、构件安装偏差及防护失效等问题, 保障阻尼墙与主体结构衔接质量, 确保阻尼器减震效能正常发挥, 满足结构抗震抗风设计要求, 以期为高层及超高层建筑内嵌式粘滞阻尼墙后主体结构施工提供技术参考。

**关键词:** 内嵌式; 粘滞阻尼墙; 后主体结构; 施工技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.029

## 引言

内嵌式粘滞阻尼墙借粘滞介质耗能特性削弱振动响应, 近年在高层及超高层建筑中应用渐多。然而, 该阻尼墙后主体结构施工模式, 面临独特技术挑战。主体结构与阻尼墙的界面衔接易受混凝土表面平整度、洁净度制约, 阻尼器安装精度偏差会削弱减震效能, 施工中结构微小变形还可能导致构件适配偏差。这些问题若未妥善处理, 不仅使阻尼墙设计效能难充分发挥, 还可能给整体结构安全留隐患<sup>[1]</sup>。故此, 剖析该施工技术核心矛盾、探索可行解决方案, 对保障工程质量、增强结构减震可靠性具重要现实价值。

## 一、工程概况

某工程为装配式高层写字楼, 地上 28 层 (首层层高 5.4m, 标准层层高 3.6m), 地下 3 层, 结构形式为钢-混凝土混合框架结构。为提升结构抗震及抗风性能, 在 8、15、22 层楼板与梁体之间设置内嵌式粘滞阻尼墙共 24 道, 每道阻尼墙配套 1 台粘滞阻尼器 (设计阻尼系数  $60\text{kN}\cdot\text{s}/\text{m}$ , 最大阻尼力  $900\text{kN}$ ), 钢框架采用 Q355B 钢材 (截面尺寸  $\text{H}350\times 250\times 10\times 14$ ), 预埋件为 M24 化学锚栓 (锚固深度  $\geq 150\text{mm}$ )。

## 二、主体结构安装界面处理

### (一) 混凝土界面处理

针对 C40 框架梁、柱与阻尼墙衔接的界面, 采用手持式凿毛机实施凿毛作业。凿毛过程中需将深度严格控制在 5-8mm 区间, 作业重点聚焦梁端与柱侧部位, 彻底清除这些区域残留的浮浆以及强度不足的疏松骨料, 为后续衔接创造粗糙且坚实的基面条件。凿毛作业完成后, 使用压力达 1.0MPa 的高压水枪对界面进行冲洗, 借助高压水流带走凿毛产生的粉尘与碎屑, 避免杂质留存影响衔接效果。待界面自然晾干后, 采用含水率检测仪对界面湿度状态进行检测, 每道阻尼墙对应的衔接界面需选取 3 个检测点, 确保界面含水率稳定在 8% 及以下, 为后续构件安装提供符合要求的基面环境<sup>[2]</sup>。

### (二) 预埋件复核与调整

此次施工所用预埋件为 M24 化学锚栓, 复核作业选用 LeicaTS60 全站仪, 该设备平面测量精度可达  $\pm 1\text{mm}$ , 复核过程中需确保锚栓平面位置偏差不超过 3mm。标高复核则采用 DSZ2 水准仪, 通过多次测量校准, 将锚栓标高偏差控制在 2mm 以内。若复核发现锚栓平面偏差超过 3mm, 可采用角磨机对锚栓周围混凝土进行打磨处理, 打磨深度控制在 5mm 以下, 避免过度打磨损伤主体结构。若打磨无法满足精度要求, 可选择补植化学锚栓的方式调整, 补植时保证锚栓间距不小于 100mm, 防止间距过近影响锚固强度。补植作业完成后, 对新植锚栓开展拉拔试验, 验证其抗拉承载力是否达到 120kN 及以上, 确保预埋件锚固性能满足设计需求。

## 三、粘滞阻尼器及配套构件进场检验

### (一) 粘滞阻尼器检验

施工采用的粘滞阻尼器型号为 ZN-800, 构件到场后首先开展外观检查, 重点查看阻尼器表面是否存在划痕, 密封件是否有渗漏痕迹, 确保外部结构无损伤、密封性能完好。外观检查通过后, 还需委托第三方检测机构开展核心性能测试。检测需依据设计设定的阻尼系数  $60\text{kN}\cdot\text{s}/\text{m}$  进行, 将偏差范围控制在  $\pm 5\%$  以内, 即实际阻尼系数应处于 57-63 $\text{kN}\cdot\text{s}/\text{m}$  区间。同时进行 1/3 额定荷载的往复测试, 额定荷载为 297kN, 测试荷载对应 267kN, 过程中记录阻尼力-位移曲线, 观察曲线形态是否平滑, 确保无明显拐点, 以此验证阻尼器耗能稳定性<sup>[3]</sup>。

### (二) 钢框架及配件检验

钢框架焊缝为 II 级, 采用 UT 超声波探伤, 每 10m 焊缝检 1 点, 每点长度  $\geq 200\text{mm}$ , 合格率 100%, 避免受力不均。高强螺栓 10.9 级 M24, 核查材质证明, 抗拉强度  $\geq 1040\text{MPa}$ , 扭矩扳手抽检预紧力 225kN, 偏差  $\pm 10\%$ 。密封胶条为耐候丁基橡胶, 检测邵氏硬度  $50\pm 5\text{HA}$ , 拉伸强度  $\geq 1.5\text{MPa}$ 。

#### 四、内嵌式阻尼墙钢框架制作与安装

##### (一) 钢框架工厂制作

钢框架下料环节选用数控等离子切割机，该设备可实现高精度切割。H型钢翼缘与腹板焊接作业使用门式埋弧焊机，此设备能保证焊缝成型均匀，确保焊缝承载能力匹配结构受力需求。焊接完成后，钢框架应进入抛

丸除锈工序，通过抛丸机高速喷射磨料去除表面氧化皮与锈蚀，除锈等级需达到 Sa2.5 级，即表面无可见氧化皮、铁锈及污物，仅允许轻微痕迹留存。除锈作业结束后 24h 内，应对钢框架涂刷环氧底漆，形成初始防护层以防止运输与存储过程中再次锈蚀。各工序关键控制指标与对应检测方式可参考下表 1：

表 1 钢框架工厂制作关键工序控制指标

工序阶段	关键控制指标	检测方法
工厂下料	长度偏差 $\leq \pm 1\text{mm/m}$	钢卷尺（精度 0.5mm）
焊接作业	焊脚高度 $\geq 10\text{mm}$	焊缝量规
除锈处理	除锈等级达到 Sa2.5 级	目视对照 Sa2.5 级标准样板
底漆涂刷	环氧底漆厚度 $\geq 60\mu\text{m}$	涂层测厚仪（精度 $1\mu\text{m}$ ）

##### (二) 钢框架现场安装

钢框架吊装选用 25t 汽车吊，吊点设置在 H 型钢翼缘加强处，该位置可分散吊装应力以避免框架变形。绑扎环节采用尼龙吊带，其承载力需  $\geq 5\text{t}$ ，防止吊装过程中吊带断裂引发安全风险。定位环节借助全站仪，通过多次测量校准使钢框架轴线与主体结构轴线偏差稳定在  $\leq 2\text{mm}$ ，垂直度偏差按高度控制为  $\leq 1\text{mm/m}$ ，以 3m 高

框架为例，垂直度实际偏差需  $\leq 3\text{mm}$ ，保证框架安装规整。钢框架与预埋件连接采用 M24 高强螺栓，安装时先施加初拧扭矩，数值设定为  $110\text{N}\cdot\text{m}$ （对应终拧扭矩的 50%），初拧完成后进行终拧操作，终拧结束后用扭矩扳手开展复检工作，确保扭矩偏差  $\leq \pm 5\%$ ，避免螺栓紧固力不足导致框架松动。安装完成示意图（见图 1）：

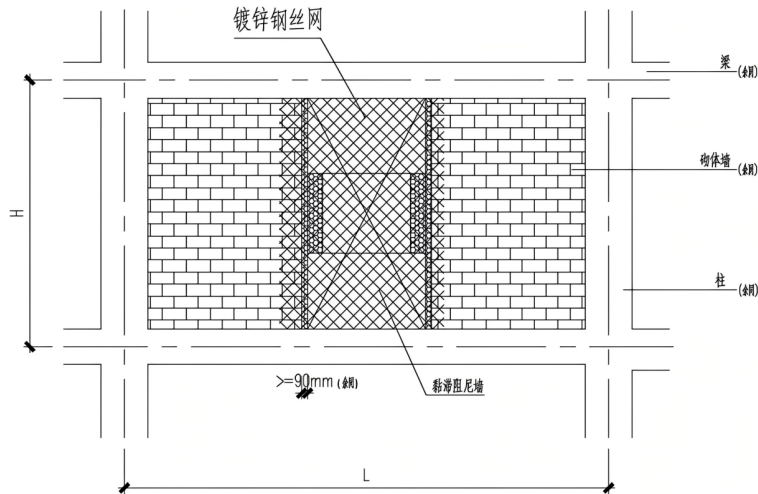


图 1 阻尼墙安装完成示意图

#### 五、粘滞阻尼器核心安装工序

##### (一) 阻尼器吊装定位

吊装作业选用 2t 手动葫芦，该设备起重量与阻尼器自重匹配，避免吊装过程中因荷载不匹配导致构件损坏。吊点设置在阻尼器两端耳板孔，耳板孔径为 30mm，吊点位置与构件受力重心对齐，确保吊装时构件受力均衡。吊装过程中需用水平仪实时监测阻尼器姿态，将倾斜角控制在  $1^\circ$  以内，防止倾斜导致后续安装对接困难。钢框架连接板表面预先设置百分表，该仪器精度为 0.01mm，精准捕捉阻尼器轴线与钢框架安装轴线的偏差情况<sup>[4]</sup>。

##### (二) 阻尼器与钢框架连接

连接采用 10.9 级 M24 高强螺栓，该型号螺栓抗拉强度与抗剪性能符合结构受力要求。螺栓穿入方向保持一致，从阻尼器耳板一侧向钢框架连接板一侧穿入，穿入

过程中禁止强行敲入，防止螺栓丝扣损坏或耳板变形。紧固作业分三次进行，首次施加  $80\text{N}\cdot\text{m}$  初拧扭矩，使螺栓初步贴合连接面；第二次施加  $150\text{N}\cdot\text{m}$  中拧扭矩，进一步缩小连接间隙；第三次施加  $220\text{N}\cdot\text{m}$  终拧扭矩，确保螺栓达到设计紧固力。终拧完成后逐颗检查螺栓外露丝扣，要求丝扣数量保持在 2-3 扣。

##### (三) 安装偏差校正

若轴线偏差超过 1mm，采用 1-2mm 厚 Q355B 薄钢板垫入耳板与连接板之间，垫板仅设置单块，避免多块垫板叠加影响受力传递。垫板与连接板之间采用点焊固定，焊点长度为 25mm，焊点间距控制在 50mm，确保垫板与连接板紧密贴合且不产生额外应力。若平面位置偏差超过 3mm，先松开钢框架底部支撑螺栓，释放构件约束。选用 5t 千斤顶顶推钢框架对应部位，千斤顶顶推力需缓慢施加，避免瞬间受力导致构件变形。微调至平面位置符合

要求后,重新紧固支撑螺栓,紧固过程中同步监测平面位置,防止调整后再次出现偏差。

## 六、阻尼墙内部填充与防护施工

### (一) 防火填充施工

防火填充选用耐火极限 $\geq 2.5\text{h}$ 的膨胀型防火涂料,涂刷前用丙酮擦拭钢框架及阻尼器表面,彻底清除残留油污,防止油污影响涂料附着效果。涂料涂刷分4遍进行,首遍涂刷厚度控制在 $2\sim 3\text{mm}$ ,涂刷后静置 $\geq 6\text{h}$ 确保干燥,避免后续涂刷导致涂层起皱或脱落。4遍涂刷完成后,总厚度达到 $\geq 30\text{mm}$ ,每道阻尼墙选取5个检测点测量厚度,确保整体涂层厚度均匀达标。除涂料涂刷外,阻尼墙与主体结构间宽度 $8\sim 12\text{mm}$ 的缝隙需用密度 $\geq 90\text{kg}/\text{m}^3$ 的防火棉填充,填充后采用探针插入检测密实度,杜绝因缝隙填充不密实留下防火隐患。

### (二) 防腐防护施工

钢框架上未涂刷防火涂料的部位开展专项防腐处理,先涂刷环氧底漆,底漆厚度需达到 $\geq 60\mu\text{m}$ ,待底漆完全干燥后再涂刷氟碳面漆,面漆厚度控制在 $\geq 45\mu\text{m}$ ,两层涂层形成复合防腐体系,抵御外界湿气与污染物侵蚀。阻尼器密封件采用丁腈橡胶材质,需用耐温范围为 $-40^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$ 的硅酮密封胶包覆,密封胶涂刷宽度需 $\geq 12\text{mm}$ ,每道密封胶施工后逐段检查,避免阻尼器内部介质因密封失效泄漏。

### (三) 缝隙密封处理

阻尼墙与C40混凝土间 $5\sim 15\text{mm}$ 的间隙采用聚氨酯密封胶填充,填充前用压力 $0.6\text{MPa}$ 的压缩空气吹扫缝隙内部,将灰尘、碎屑彻底吹出,防止杂质影响密封胶粘结力。吹扫完成后,需在缝隙内放置直径比缝隙大 $3\text{mm}$ 的泡沫条打底,泡沫条可支撑密封胶形态,避免密封胶过度下沉。随后注入聚氨酯密封胶,胶层嵌入深度需 $\geq 12\text{mm}$ ,注入后用刮板沿缝隙表面刮平,刮平后检查平整度。

## 七、施工过程动态监测与调整

### (一) 钢框架变形监测

在阻尼墙钢框架四角及中点设置5个监测点,覆盖框架受力关键部位以反映整体变形趋势。平面位移监测采用全站仪,每3小时监测1次,数据需控制在允许位移 $1.5\text{mm}$ 以内,超范围则提示框架可能受力失衡。标高变化监测用水准仪,多次读数校准确保准确,允许变化值为 $1\text{mm}$ ,避免偏差累积影响后续阻尼器安装。若平面位移超 $1.5\text{mm}$ ,立即停止施工,检查高强螺栓紧固状态,对螺栓重新复拧恢复框架稳定,复拧时同步记录扭矩数据以符合设计标准。

### (二) 阻尼器安装状态监测

在阻尼器两端耳板处安装百分表,实时读取耳板相对位移数据,该数据需稳定在 $0.5\text{mm}$ 以内,超范围说明阻尼器可能安装倾斜或受力不均。钢框架连接螺栓表面粘贴应变片,应变片与应变仪连接形成监测回路,实时采集螺栓应变数据。设计允许应变值 $1200\mu\epsilon$ ,监测值需控制在 $960\mu\epsilon$ 内,防止螺栓塑性变形。

监测数据超差时,先卸载阻尼器,拆除临时支撑释放荷载后重新调整安装位置,调整后再次监测直至数据达标<sup>[5]</sup>。

### (三) 偏差调整措施

平面位移超差时,先松开钢框架与预埋件连接螺栓,松开程度以不影响框架整体稳定性为准。选用2台5t千斤顶,按对称方式布置在钢框架两侧,同步施加顶力微调,单次调整量控制在 $5\text{mm}$ 内,避免调整幅度过大引发新偏差。标高超差则更换预埋件垫板,垫板厚度选 $5\sim 10\text{mm}$ ,单块垫板厚度偏差控制在 $0.2\text{mm}$ 内,确保垫板与预埋件、钢框架紧密贴合,更换后重新复核标高数据,直至符合允许范围。

## 八、内嵌式粘滞阻尼墙施工验收

### (一) 分项工程验收

分项工程验收覆盖阻尼墙施工关键环节,按构件类型明确验收标准与检测范围。钢框架验收核心为轴线偏差 $\leq 2\text{mm}$ 与垂直度 $1\text{mm}/\text{m}$ ,24道阻尼墙全数检查无遗漏;阻尼器重点验轴线偏差与螺栓终拧扭矩,每道随机抽检3颗螺栓;填充防护测防火涂料厚度 $\geq 30\text{mm}$ 与密封胶状态,每道设4个检测点,确保验收结果具代表性。

### (二) 性能检测验收

性能检测验收先开展动态加载测试,从24道阻尼墙随机抽3道为样本,用动态加载系统按设计位移 $50\%$ 加载,实时记录阻尼力-位移曲线算阻尼系数,偏差 $\leq \pm 5\%$ 验证耗能性能。再做现场振动测试,对结构施激励荷载,用传感器采振动衰减数据,算得振动衰减率需 $\geq 35\%$ ,证明振动削弱效果达标。

### 结语

本文围绕内嵌式粘滞阻尼墙后主体结构施工构建完整技术体系。从主体结构界面处理的混凝土凿毛与预埋件校准,到阻尼器、钢框架的进场检验与精准安装,再到施工过程动态监测与分阶段验收,均明确关键参数控制标准与实操流程,有效保障阻尼墙耗能效能发挥,为钢-混凝土混合框架结构减震提供可靠施工方案。后续可进一步探索不同气候环境下阻尼墙长期性能维护技术,为同类工程应用提供更全面的技术支撑。

### 参考文献

- [1] 曾德民,刘欢,高杰,等.黏滞阻尼墙框架结构同榀内布置对附加阻尼比的影响研究[J].建筑科学,2025,(07):77-84.
- [2] 戴宇杰.黏滞阻尼墙的计算模型研究[D].昆明理工大学,2024.
- [3] 林华钦.不同主体结构设计抗震性能及造价分析[J].江西建材,2024,(09):420-422.
- [4] 蔡新宇,李莉斯,孙威宇,等.对西藏某建筑进行粘滞阻尼墙减震的分析研究[J].砖瓦,2022,(02):59-61.
- [5] 秦宏勋,何鹏,郭雄伟,等.粘滞阻尼墙抗震技术在工程中的应用[J].建筑技术开发,2023,50(01):102-104.