

某烂尾楼工程220KV高压线路旁悬挑外架拆除电气安全防护施工技术

刘海波

中国二冶集团有限公司 内蒙古 包头 014020

摘要：本文针对包头米兰春天一区1#-6#烂尾楼紧邻220kV高压线路的悬挑外架拆除工程，分析设备老化等电气风险，集成绝缘防护等技术形成方案，解决电气隔离等关键问题，为类似工程提供参考。工程为烂尾六年的1#-6#住宅楼，需拆锈蚀严重的悬挑脚手架重建。建筑高79.69m，2#、4#、6#楼东侧有220kV高压线路，对电气防护要求较高。

关键词：未完工建筑；悬空脚手架拆除；220千伏高压输电线路；电气安全措施；绝缘隔离；接地系统；实时监控。

1 工程概况

米兰春天1#-6#住宅楼因开发商原因烂尾六年，悬挑脚手架金属构件锈蚀严重、连接扣件松动，需拆除重建。建筑均为剪力墙结构，载体桩筏板基础，抗震等级二级，高度79.69m。

5号楼14层设20m悬挑架（覆盖14-20层），架体最高达61m，遗留大型钢模板，为拆除工程典型代表。现场2#、4#、6#楼东侧有220kV高压线路（高度14-16m），2号楼东侧与线路最近距离18m。5号楼悬挑架最高处与高压线路高度差46m，远超10m安全放电距离；高压电场易吸附杂物，增加高空坠落风险，对电气防护要求严苛。

2 电气环境分析

接地系统存在失效风险：脚手架金属构件已锈蚀六年，原接地系统或失效，接地电阻或超 4Ω ，增加外架带电风险。电磁感应隐患：2#、4#、6#楼距高压线路18m，拆除时金属构件切割、移动受强电磁场干扰，易产生感应电流，大型部件拆卸有触电隐患。静电与自然因素影响：模板吊运产生静电，干燥环境下易累积放电；风力可能使金属构件偏离路径，进入安全放电半径引发电弧。临时用电存在风险：老旧电缆易漏电，多工序交叉作业会扩大漏电影响范围，增加救援难度。

3 电气安全防护关键技术

3.1 绝缘防护技术

1号至6号住宅楼原悬挑脚手架拆除时，因2号、4号、6号住宅楼距220千伏高压输电线路较近，且架体高度超出线路放电安全距离，采取合理绝缘防护措施是保障施工安全的关键。现场通过设置绝缘隔离层及对金属结构件实施绝缘包裹，有效隔绝高压线路与脚手架的电性连接，减少感应电流及触电事故风险。

3.1.1 绝缘隔离层设计

沿2#、4#、6#楼外架高度方向连续铺设环氧树脂板（击穿电压 $\geq 35\text{kV/mm}$ ，体积电阻率 $\geq 1\times 10^{14}\Omega\cdot\text{m}$ ），板间搭接 $\geq 200\text{mm}$ ，并用绝缘胶水密封。绝缘层从地面覆盖至架体顶端，外部设 $\geq 1.2\text{m}$ 高绝缘防护栏杆，防止构件偏移。

在绝缘材料选型时，依据电场强度计算公式：

$$E = \frac{U}{d}$$

此处，E代表电场强度（单位为V/m），而U代表高压线路的电压（具体数值为220千伏），d则表示经过安全裕度考量后的绝缘距离，我们将其设定为1.5m。

$E = \frac{220\hat{\text{A}} - 100\hat{\text{A}}^3}{1.5} \approx 146.7\hat{\text{A}} - 10\hat{\text{A}}^3\text{V/m}$ 可见结果远低于环氧树脂板击穿阈值，符合安全标准。

3.1.2 金属构件绝缘处理

因项目停滞多年，外架金属构件长期缺乏维护，锈蚀磨损严重，在高压线路电磁环境中易感应带电。需对钢管、悬挑梁等关键金属部件做环氧粉末绝缘涂料防护处理。处理时，先对金属部件喷砂除锈，再静电喷涂0.3-0.5mm厚环氧粉末绝缘涂料，要求绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，按每100m²抽检3点的标准检测，不达标部分需重新喷涂。此外，金属工具表面应加装绝缘橡胶套，防范触电风险。

表1 绝缘涂层检测结果记录表

| 检测点编号 | 检测位置 | 绝缘电阻(M Ω) | 检测结果 |
|-------|-------------|-------------------|-------------|
| 1 | 2#楼22层钢管 | 12.5 | 合格 |
| 2 | 4#楼14层悬挑梁 | 11.8 | 合格 |
| 3 | 6#楼17层架体连接处 | 9.2 | 不合格，重新喷涂后合格 |

3.2 接地与等电位技术

2号、4号、6号住宅楼紧邻220千伏高压输电线路，原有悬挑脚手架高度超出安全距离限制，拆除作业时极易出现感应电流和静电积聚。

为此，采用接地与等电位连接技术，通过建立稳固的接地系统及等电位联结网络，有效导出金属构件表面累积的感应电荷，消除电位差异，大幅降低触电风险，是保障施工安全的核心技术手段之一。

3.2.1 临时接地系统搭建

为确保外架金属构件上的感应电荷和静电能够及时

消散，我们设计了一套临时接地系统，该系统需遵循相关规范，确保接地电阻值不超过4欧姆。系统由垂直接地极（Φ50mm热镀锌钢管，长2.5m，间距 ≥ 5m）、水平接地极（40 × 4mm热镀锌扁钢）及接地引下线（同水平极规格）组成。

接地电阻计算公式如下：
$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{l^2}{2hd} + 0.366 \ln \frac{4t}{d} \right)$$

经计算结果约3.2Ω（≤ 4Ω），符合规范。每组接地极安装后用测试仪检测，不达标则增加数量调整。



图2 临时接地系统布置示意图

3.2.2 等电位联结

为解决外架金属构件电位不均，用等电位联结技术将其与主体钢筋网、临时接地系统连为等电位体。材料选 Φ16mm 热镀锌圆钢或 25mm² 电缆，钢管每三层设联结线并与结构柱主筋双面焊（≥ 6 倍圆钢直径），螺栓处除锈加垫片^[1]。检测任意两点电阻 ≤ 0.03Ω（每 10 组抽检 3 点），结果见表 3。

表3 等电位联结检测结果记录表

| 检测点 编号 | 检测位置 | 连接电阻 (Ω) | 检测结果 |
|-----------|------------------|-------------|-------------|
| 1 | 5#楼15层钢管与主体结构联结处 | 0.015 | 合格 |
| 2 | 5#楼悬挑梁与外架联结处 | 0.022 | 合格 |
| 3 | 5#楼18层架体连墙件联结处 | 0.035 | 不合格，重新焊接后合格 |

塔式起重机、施工升降机等大型施工机械，也需与临时接地系统做等电位联结，保障施工安全。

3.3 安全距离控制技术

2号、4号、6号住宅楼东侧紧邻14米高的220千伏高压输电线路，而脚手架最大悬挑高度达61米，两者形成46米空间高度差，远超安全标准范畴。为此，需采用安全距离控制技术保障施工安全。

3.3.1 动态安全距离计算

依据《电力安全工作规程》（GB26859-2011），220千伏电压等级下，人员、设备与带电体的最小静态安全距离（Smin）为3米。由于烂尾楼外架拆除涉及构件吊装运输及设备动态操作，存在一定风险，需对安全距离进

行动态校验^[2]。

动态安全距离按公式S = Smin+ Δ Swind+ Δ Smove计算。其中，Δ Swind为风力修正距离，按Δ Swind = 0.05v²计算（v为风速，当v = 12m/s时，Δ Swind = 7.2m）；Δ Smove为构件吊装及设备安装时的最大活动范围，取5米。由此可得动态安全距离S = 3+7.2+5 = 15.2米。

5号楼外架边缘与线路水平间距为18米，符合标准，但需严格控制构件摆动幅度。

3.3.2 限位警示装置

为确保外架拆除与高压线路的安全距离，在2#、4#、6#楼外架近线路侧，每10米装激光测距仪，与声光报警系统联动。当距离小于15.2米动态安全距离时，系统立即报警。现场电子屏实时显示数据，且支持远程监控，方便及时掌握距离情况^[3]。

3.3.3 坠落物防控措施

为降低杂物被高压线路吸附的风险，悬挑架下方设木质防护结构，由100×100mm木方支撑，铺60mm厚木脚手板，下方加密目防坠网。5号楼防护结构悬挑3米，按M = FL（F = 100kg，L = 3m）算得M = 300kg · m，所选木方抗弯强度（13N/mm²）达标，安排专人现场监护，保障安全。

4 电气安全防护施工工艺流程

4.1 施工前准备

电磁环境检测：以5号楼为样本，用三维电磁感应测试仪复测，结合有限元软件建模绘强干扰区域分布云图，定“绝缘隔离+动态监测”方案，与电力部门建实时通讯机制。

人员与设备准备：培训施工人员（含BIM模拟拆除流程），考核合格签安全承诺书；委托第三方校准激光测距仪等设备，抽检绝缘材料电气性能；在5号楼周边设临时接地极，确保接地电阻稳定 3.2Ω 。

防护设施搭建：在2#、4#、6#楼西侧架25m高绝缘帆布防护屏；检修临时配电箱，更换老化电缆；配绝缘救援工具及急救物资，组织应急预案演练，确保应急响应顺畅。

4.2 拆除作业关键工序

首层外架拆除：优先拆与高压线路平行区域，用环氧树脂锯片切割；作业前测构件电位，异常即经临时接地放电；激光测距仪实时监测距离，构件吊装用导电纤维绳绑扎并跨接接地。

悬挑梁拆除：连接点涂绝缘密封胶加垫片，塔吊四点吊装（钢丝绳包绝缘橡胶垫），同步装电场感应监测仪；构件运至地面后二次测电气性能，达标后方堆放。

大型钢模板拆除：预先喷导电涂料并接地释静电，底部装激光测距传感器；塔吊操作室设远程监控终端，地面加绝缘防护屏，形成双重安全屏障。

坠落物防控：5号楼拆除区设双层防护（首层固定木脚手板，二层张密目防坠网），装电场感应监测装置，电位超标立即放电，设警戒线禁人员靠近。

4.3 施工监测与应急处置

实时监测：在外架布电场感应监测仪、霍尔电流传感器，数据实时传至中控室及智慧平台，联动高压线路参数与气象分析，超阈值时自动发送风险报告；现场屏幕更新数据，报表存云端。

应急处置：配置绝缘升降平台，设应急小组。如发生感应触电立即隔离伤者、启应急接地并急救；发生电气火灾时先断电，用干粉灭火扑救，与电力部门保持畅通，保证施工安全。

5 施工难点与创新技术应用

5.1 复杂电磁环境下的精准防护

随着工程项目对电磁环境的要求日益严苛，面对临近220kV高压线路的挑战，我们采用了ANSYS Maxwell有限元仿真软件构建了三维电磁场计算模型。分析发现架体顶部及悬挑梁为感应电场高值区（ 8.2kV/m ），采用镀锌铜编织网+绝缘PVC板复合屏蔽网，将感应电场强度降至 1.5kV/m ；引入激光测距传感器、可升降绝缘防护屏实现动态距离调控，移动式感应电消除装置2秒内将感应电压降至安全范围。

5.2 老旧建筑接地系统改造

烂尾楼原有的接地系统存在电阻普遍超标的问题，原接地系统电阻最高达 12Ω ，采用“既有结构利用+人工

接地体增补”方案：清理并焊接主体结构内部钢筋，外部环形布置人工接地体，填充膨润土降阻剂，最终电阻降至 3.2Ω ；安装智能接地监测装置实时报警，每日人工巡检保障可靠性。

6 质量与安全技术保障措施

6.1 电气施工质量控制：严格把控材料质量，环氧树脂绝缘板需符合GB/T1408.1-2016标准，外架钢管绝缘涂料干膜厚度 $\geq 0.3\text{mm}$ 等；隐蔽工程验收关注绝缘隔离层、接地系统等关键节点；金属构件绝缘按标准抽检，系统校准后确保误差在规定范围内并试运行稳定。

6.2 特种作业人员资质管理：特种作业人员需具备双重资质，经专项培训考核合格后方可上岗，建立技术档案，实行持证带班制度，每日班前交底明确风险防控要点。

7 结论与展望

7.1 研究结论

本文针对米兰春天1#-6#烂尾楼220kV高压线路旁悬挑外架拆除，构建的电气安全防护技术体系成效显著。采用耐压50kV的环氧树脂绝缘板及表面电阻率 $1\times 10^{12}\Omega\cdot\text{m}$ 的钢管绝缘处理技术，有效隔离感应电，拆除中构件感应电压始终 $\leq 36\text{V}$ ，未发生触电或电气火灾事故，为类似工程提供借鉴。

接地与等电位技术方面，以热镀锌钢材搭建临时接地网络并结合电缆跨接，整体接地电阻控制在 3.2Ω ，实现电位差动态平衡。创新应用绝缘涂料分层涂刷和导电纤维绳接地吊装技术，金属构件绝缘达标率98.7%，吊装静电泄漏效率提升40%。电场-电流双参数实时监测系统误差控制在 $\pm 3\%$ 和 $\pm 0.2\%$ 以内，有效预警隐患，印证智能化监测的重要性，保障施工安全与工程推进。

7.2 技术展望

未来可从多维度深化技术：智能监测结合物联网与人工智能，部署分布式传感器网络和云端分析，建立电磁环境预测模型；研发石墨烯改性绝缘涂料等新材料，增强耐候性与稳定性；集成BIM和GIS技术构建数字化平台，优化拆除流程。同时开发高压环境自动化拆除装备，减少人工风险，提升作业安全性与效率，支撑电力行业可持续发展。

参考文献

- [1]王海涛，李刚，张艳。临近220kV高压线路的脚手架拆除电气安全防护技术[J]. 建筑安全，2022, 37 (8):45-49.
- [2]刘建国，陈晓燕，赵伟。烂尾楼悬空脚手架锈蚀构件拆除的电磁感应防控技术[J]. 施工技术，2021, 50 (15):123-126.
- [3]陈亮，赵红梅，孙伟。老旧建筑外架拆除的临时接地系统优化与智能监测[J]. 建筑电气，2023, 42 (5):32-36.