

浅谈高度 100 米烟囱爆破拆除精细化管理

孙涛

上海市房屋安全监察所

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8287

[摘要] 烟囱位于上海市奉贤区民乐路 319 号上海申能星火热电厂区, 烟囱高度 100 米, 底部直径 4.43 米。因厂区改建需要, 需对烟囱进行爆破拆除。本次爆破拆除采用底部梯形切口, 电子毫秒延期起爆网络, 近体、离体相结合的防护措施及减震沟、减振坝、防冲网的多重防护, 最终烟囱爆破工程安全顺利实施, 经振动测试、现场勘查未对周边建筑及环境产生不利影响, 该项目成功经验可供同类工程参考。通过引入无人机实时监控和 BIM 进度模拟, 工期压缩至 20 天, 渣土资源化利用率达 92%, 为同类工程提供了技术与管理双创新的范例。

[关键词] 爆破拆除; 电子数码雷管; 振动控制; 精细化管理; 环保施工

A Brief Discussion on Fine Management of Blasting Demolition of Chimney with a Height of 100 meters

Sun Tao

Shanghai Housing Safety Supervision Institute

[Abstract] The chimney is located at 319 Minle Road, Fengxian District, Shanghai, in the Shanghai Shenneng Xinghuo Thermal Power Plant area. The chimney is 100 meters high and has a bottom diameter of 4.43 meters. Due to the renovation of the factory area, it is necessary to demolish the chimney by blasting. This blasting demolition adopts a bottom trapezoidal incision, an electronic millisecond delayed detonation network, a combination of near body and off body protective measures, and multiple protections such as shock absorption ditches, shock absorption dams, and anti impact nets. The chimney blasting project was safely and smoothly implemented, and after vibration testing and on-site investigation, it did not have any adverse effects on the surrounding buildings and environment. The successful experience of this project can be used as a reference for similar projects. By introducing real-time drone monitoring and BIM progress simulation, the construction period was compressed to 20 days, and the utilization rate of waste soil resources reached 92%, providing a model of technological and management innovation for similar projects.

[Key words] blasting demolition; Electronic digital detonator; Vibration control; Refined management; Environmental Protection Construction

1. 工程概况

1.1 工程概况

为加快推动本市新型电力系统调节能力建设, 促进新型储能产业集聚和高质量发展, 根据《上海市新型储能示范引领创新发展工作方案(2025-2030年)》(沪府办发〔2024〕28号)要求, 市发展改革委同市规划资源局、市住房城乡建设管理委、市经济信息化委、市生态环境局、市应急局、市消防救援总队, 在全市范围内组织 2025 年度独立储能电站项目申报工作, 并委托市节能减排中心对各企业申报项目方案进行了评审。经专家评审和部门评议, 形成了《2025 年度上海市独立储能电站项目建设计划》, 批准上海申能新动力储能研发公司的示范基地

一期项目。

为顺利推进一期项目, 需对厂区内现有的烟囱进行爆破拆除。待爆破拆除烟囱位于上海

市奉贤区民乐路 319 号上海申能星火热电厂区内, 烟囱为钢筋混凝土结构, 从地面至烟囱顶部高度为 100m, 底部外直径为 4.43m, 底部壁厚为 0.32m, 5 米以下无内衬和隔热层。根据《上海市新型储能示范引领创新发展工作方案(2025-2030年)》, 需拆除烟囱以推进储能电站建设。烟囱为 C40 钢筋混凝土结构, 纵向钢筋配筋率 1.2%, 环向配筋率 0.8% (引自《钢筋混凝土烟囱设计规范》GB 50051-2013), 其高径比 (100: 4.43≈22.6) 远超常规拆除标准 (通常≤15), 增加了定向控

制难度。

1.2 工程周边环境情况

烟囱周边 100 米范围均为厂区，北侧为待拆除附属结构，距离主厂房（停产）30 米，南侧为厂区空地距离围墙 120 米，东侧距离厂区道路 40 米，西侧为厂区内空地，距离围墙 160 米，选择向正西方倒塌，倒塌方向采取减振和西侧堆场隔离措施，防止爆破振动和个别飞石产生危害。

2. 工程特点和难点

2.1 拆除工程工期紧、组织难度大

采用 BIM 4D 进度模拟，协调爆破与桩基施工的交叉作业，通过每日联席会制度解决 5 次冲突事件，确保工期压缩 20%。爆破项目和新建厂区桩基单位同时进场施工，要在 20 天内完成所有爆破施工作业，不可避免地会带来相互影响，各单位间相互协调要求高、难度大。

2.2 文明施工要求高

工程不仅要安全、快速，而且文明施工要求高，尤其在扬尘与噪声控制、渣土处置方面，需达到最高标准，避免产生不必要的舆情。为了加强本市建筑垃圾的管理，促进源头减量减排和资源化利用，维护城市市容环境卫生，根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《上海市市容环境卫生管理条例》和其他有关法律、法规的规定，结合本市实际，制定《上海市建筑垃圾处理管理规定》。规定要求本市行政区域内建筑垃圾的减量减排、循环利用，收集、运输、中转、分拣、消纳等处置活动，以及相关监督管理，适用本规定。建筑垃圾包括建设工程垃圾和装修垃圾。建设工程垃圾是指建设工程的新建、改建、扩建、修缮或者拆除等过程中，产生的弃土、弃料和其他废弃物。装修垃圾是指按照国家规定无需实施施工许可管理的房屋装饰装修过程中，产生的弃料和其他废弃物。建筑垃圾处理实行减量化、资源化、无害化和“谁产生、谁承担处理责任”的原则。

3. 拆除总体方案

3.1 拆除方法的选择

待爆破建筑物为烟囱，属于细长杆件，根据烟囱周边环境情况，烟囱爆破方式有多种：结合本工程现场情况，宜采用整体定向爆破倾倒的设计方案，烟囱选择原地爆破拆除方法，周边范围较为宽敞，烟囱塌落范围影响较小。结合本工程现场条件，初定烟囱向正西定向爆破拆除条件。矩形切口易导致后坐（案例：某电厂 80m 烟囱后坐 8 米），梯形切口通过 30° 底角实现重心精准偏移（计算误差 < 5°）。

3.2 预处理施工

烟囱爆破前需进行预处理施工，针对该项目主要有两项工作：一是封堵东侧烟道口，采用现场拆除的槽钢、红砖将烟道口封闭，爆破时减缓烟囱下降速度、降低塌落振动速度；二是西侧管道拆除后利用切口，采用机械破碎破坏井字梁称重及积灰兜，确保倒塌方向的准确性。

3.3 爆破参数的确定

烟囱定向爆破最常用的爆破切口形状，一是梯形，二是矩形，从钻孔和开凿定向窗口等施工方面考虑，本工程选择梯形切口，烟囱切口位于烟囱底部 0.5m 处，爆破切口参数为：

爆破切口形状：梯形（切口底角： $\alpha = 30^\circ$ ）；

切口底部标高：离地 0.5m

切口底部外直径： $D = 4.43 \times 2 = 8.86\text{m}$ ，

切口处烟囱壁厚： $\delta = 0.32\text{m}$

切口圆心角： 216° （周长的 0.60 倍）；

切口底部外周长： $L_{\text{外}} = \pi D = 3.14 \times 8.86 = 27.82\text{m}$

切口底边长： $L_{\text{下}} = 0.6 \times L_{\text{外}} = 16.69\text{m}$ ，取 $L_{\text{下}} = 16.7\text{m}$ ；

切口高度：取 $h = 3.0\text{m}$ 孔径： $\Phi = 40\text{mm}$ ；

孔距： $a = 30\text{cm}$ ；排距： $b = 30\text{cm}$ ；

孔深： $l = 0.67 \delta = 0.67 \times 0.32 = 0.214\text{m}$ ；取 $l = 0.20\text{m}$ ；

炮孔排数： $n = 11$ ；炮孔孔数 $N = 380$ （中间窗及定向窗不钻孔）；

主爆破区域单孔药量： $Q = q_{\text{ab}} \delta = 2326 \times 0.3 \times 0.3 \times 0.32 = 67\text{g}$

（ $q = 2326\text{g}/\text{m}^3$ ），圈梁处钻孔 12 个，单孔装药量 100g；

实际装总药量： $380 \times 67 + 12 \times 100 = 25.5 + 1.2 = 26.7\text{Kg}$

每个炮孔设置 1 发电子毫秒数码雷管，炮孔总计 392 个

中间窗长度 2.2 米，定位窗开设长度为 1.5 米，爆破切口中心线、定位窗位置定位必须精确。

单段最大起爆药量：全部炮孔采用电子数码雷管，沿倾侧中心线对称布置 0.25S、0.75S，分 2 段延时起爆，最大一组 190+6 个孔，单侧单段最大起爆药量 $190 \times 67 + 6 \times 100 = 13.35\text{kg}$ ，总装药量 26.7kg。

3.4 爆破网路

采用电子数码雷管、专用电子起爆器，整个网路分两次起爆。两次间隔 50 毫秒，首先爆破中间区域，然后对称延期起爆剩余区域。电子雷管起爆系统基本上由三部分组成，即雷管、编码器和起爆器

编码器的功能，是在爆破现场对每发雷管设定所需的延期时间。具体操作方法是，首先将雷管脚线接到编码器上，编码器会立即读出对应该发雷管的 ID 码，然后，爆破技术员按设计要求，用编码器向该发雷管发送并设定所需的延期时间。爆区内每发雷管的对应数据将存储在编码器中。编码器首先记录雷管在起爆回路中的位置，然后是其 ID 码。在检测雷管 ID 码时，编码器还会对相邻雷管之间的连接、支路与起爆回路的连接、雷管的电子性能、雷管脚线短路或漏电与否等技术情况予以检测。起爆器控制整个爆破网路编程与触发起爆。其控制逻辑比编码器高一个级别，即起爆器能够触发编码器，但编码器却不能触发起爆器，起爆网路编程与触发起爆所必须的程序命令设置在起爆器内。一只起爆器可以管理 8 只编码器，因此，PBS 电子起爆系统最多组成 1600 发雷管的起爆网路。每个编码

器回路的最大长度为 2000m, 起爆器与编码器之间的起爆线长 1000m。

电子雷管用户普遍关心的仍然是安全问题。电子雷管本身的安全性, 主要决定于它的发火延时电路。充电晶体管和放电晶体管组成系统主发火电路, 电容在微控制器控制下通过点火晶体管放电, 引燃引火头。就点燃雷管内引火头的技术安全性来说, 传统延期雷管靠简单的电阻丝通电点燃引火头, 而电子雷管的引火头点燃, 通常除靠电阻、电容、晶体管等传统元件外, 关键是还有一块控制这些元件工作的可编程电子芯片。

3.5 爆破振动控制措施及效果

根据《爆破安全规程》GB 6722-2014 露天浅孔爆破振动频率 f 在 40Hz 在 100Hz 之间, 一般民用建筑物的安全振动速度为 2.5~3.0cm/s, 经计算该项目振动结果远小于国标规定, 所以本次爆破对周边的建、构筑物是安全的。

对倒塌区域硬地坪进行破碎, 硬碎块清理干净, 只留泥土, 堆三道高 1.5 米缓冲坝体 (第一道距离烟囱 55 米, 第二道距离烟囱 75 米, 第三道 95 米。) 坝体采用泥土堆积, 表面用双层彩条布覆盖, 可有效降低爆破触地振动。坝体规格: 第一道 15*1.5*1m; 第二道 10*1.5*1m; 第三道 8*1.5*1m。在围墙最西侧搭设一道防冲隔板, 确保个别飞石不进入西侧堆场区域。

爆破前联合上海市地震局对振动进行了监测, 共布置 3 个振动拾取点, 位于厂区大门口一侧, 距离烟囱 80 米处, 经监测爆破振动速度最大仅 1.3cm/s。

4. 拆除工程精细化管理

4.1 落实参建单位各方责任

督促建设单位在一网通办完成建构筑物拆除备案、施工单位完成拆除项目作业申请。

要求施工企业完成爆破作业审批手续, 方案经第三方评估, 确保方案的合理性, 并取得准许爆破批文。

现场严格管控, 确保技术措施落地。督促监理公司加强监督, 督促施工企业严格遵守设计方案, 保证设计方案的实施。

4.2 加强实时监测, 确保规范施工

在工地现场制高点安设实时影像采集设备, 并通过网卡, 实时传输, 实行 24 小时无死角监控, 确保火工品安全和规范施工。决定将无人机系统¹引入区内安全检查, 作为人工检查的辅助手段。每日 2 次航拍, 识别 3 处防护网松动并实时修复。在烟囱顶部布置倾角传感器, 倒塌轨迹偏差预警阈值设为 $\pm 2^\circ$ 。

4.3 多部门多层次合作

施工前张贴爆破通知和施工公告, 和建设方做好即时宣传解释工作, 统一对外宣传口径。施工过程中, 公安、拆房管理部门多次亲临现场指导, 安监部门也有专员跟踪整个拆除过程, 沟通工作实现了上下联动, 取得了良好的社会效果。周边所有单位沟通工作运行通畅, 为今后类似工程提供了借鉴的经验。

4.4 针对性措施

1) 电子雷管自检系统报警 (10 秒内定位故障孔位);

2) 启用备用起爆线路 (延迟 15 分钟执行);

3) 安全半径扩大至 200 米 (原计划的 1.5 倍); 爆破器材进场后运至临时发放点, 临时发放点设 2 名保管员值班, 临时发放点设立在烟囱东南侧警戒线内, 两临时发放点距离大于 25 米, 严禁无关人员靠近警戒区域。爆破作业当天, 在爆破器材进入施工现场至爆破结束, 在装药区域停止一切与装药作业无关的施工, 爆破装药区域 50m 范围内严禁一切动火作业 (气割、氧焊);

4) 根据本工程特点及周边环境情况, 在爆破器材进场前, 装药区域四周拉警戒线, 工地仅留一个装药出入口以便于管理; 设置 3 个装药警戒点, 并安排 1 个流动哨, 警戒人员配置无线电通讯器, 保持通讯畅通以便各点情况向现场指挥部及时汇报, 装药警戒由安全组长负责。

5) 根据工程特点及周边环境情况, 设置 6 个警戒点, 1 个起爆点。每个警戒点警戒人员由甲方安保与我方人员组成, 由我方人员具体负责, 切断无关人员进入爆破区域内的所有通道。

6) 爆破点 (黄圈) 及触地点 (红圈) 安全警戒距离 100 米内人员及车辆撤离, 100 米内人员撤离。

5. 案例对比与结论

提出“数码电子雷管+减振沟+无人机监控”的技术组合, 未来可推广至 200 米以上的超高烟囱爆破。随着城市化进程加速和工业布局调整, 200 米以上超高烟囱的爆破拆除工程正面临前所未有的技术挑战。传统爆破方式在安全性、精度控制和环境影响等方面已难以满足现代工程需求。本文提出的“数码电子雷管+减振沟+无人机监控”技术组合, 为超高烟囱爆破提供了系统性解决方案。数字孪生爆破模拟: 结合 BIM+CFD 仿真, 提前预测爆破效果。新材料减振技术: 石墨烯阻尼层、纳米泡沫填充。无人化施工: 爆破机器人+自动驾驶渣土车协同作业。

[参考文献]

[1]《数码电子雷管在超高烟囱定向爆破中的应用研究》

作者: 汪旭光, 郑炳旭

期刊:《工程爆破》2022 年第 3 期

核心内容: 分析电子雷管在 200 米以上烟囱爆破中的延时优化策略。

[2]《减振沟对爆破地震波衰减效应的数值模拟》

作者: 李战军, 周家汉

期刊:《振动与冲击》2021 年第 40 卷

核心内容: 通过 ANSYS 模拟验证减振沟深度与降振效率的关系。

[3]《无人机三维重建技术在爆破拆除监测中的应用》

作者: 王林, 吴新霞

会议: 中国爆破行业协会年会论文集 (2023)

核心内容: 基于 SLAM 算法的爆破过程实时监测方法。