

引用本文:肖建庄,张文泽,刘堡嘉,等.城市中心区高层建筑绿色拆除方法[J].建筑科学与工程学报,2021,38(1):23-30.

XIAO Jian-zhuang, ZHANG Wen-ze, LIU Bao-jia, et al. Investigation on Green Demolition of High-rise Buildings in City Center Areas[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2021, 38(1): 23-30.

DOI:10.19815/j.jace.2020.05043

## 城市中心区高层建筑绿色拆除方法

肖建庄<sup>1</sup>, 张文泽<sup>2</sup>, 刘堡嘉<sup>1</sup>, 夏冰<sup>1</sup>, 曾亮<sup>1</sup>

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 成都兴城人居地产投资集团有限公司, 四川 成都 610095)

**摘要:**针对城市中心区高层建筑绿色拆除技术亟待发展的现状,为实现土木工程可持续性的进一步提升,提出了绿色拆除须以推动拆除后废弃物的资源化进程为发展方向,剖析了城市中心区高层建筑拆除工程特点与技术难点。从结构检测、策略制定、流程设计及施工技术4个方面,构建了场地条件限定下的绿色拆除方法,探讨了施工与管理新技术以及精细化力学分析的应用场景。结合某城市中心区高层建筑拆除工程进行案例分析,采用建立的绿色拆除方法,对建筑不同高度部位设定不同拆除策略,基于结构分析结果设计合理拆除流程,分别采用切割吊装与机械破碎施工技术,完成了6层以上建筑构件的完整拆解与6层以下建筑的整体倒塌拆除。结果表明:在保证施工安全的前提下,实现了分类拆除与运输,为后续建筑固废资源化的高效开展提供了前序保障。

**关键词:**高层建筑;城市中心区;绿色拆除;拆解;连续倒塌;资源化

**中图分类号:** TU746.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-2049(2021)01-0023-08

## Investigation on Green Demolition of High-rise Buildings in City Center Areas

XIAO Jian-zhuang<sup>1</sup>, ZHANG Wen-ze<sup>2</sup>, LIU Bao-jia<sup>1</sup>, XIA Bing<sup>1</sup>, ZENG Liang<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Chengdu Xingcheng Renju Investment Group Co., Ltd, Chengdu 610095, Sichuan, China)

**Abstract:** In view of the urgent need for the development of green demolition technologies for high-rise buildings in city center areas, in order to achieve further improvement of sustainability, authors proposed that green demolition must be developed to promote the reclamation of waste after demolition. The characteristics and main challenges of the high-rise building demolition projects in city center areas were analyzed. From four aspects including structure inspection, strategy formulation, process design and construction technology, the targeted green demolition method was established, and the applications of new construction and management technologies and the refined mechanical analysis were discussed. A case study was then conducted based on a specific high-rise building demolition project in a city center area. The green demolition method proposed in this study was adopted. Different demolition strategies were set for the building parts of different heights, and a reasonable demolition process was designed based on the results of

收稿日期:2020-05-27

基金项目:国家自然科学基金项目(52078358)

作者简介:肖建庄(1968-),男,山东沂南人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:jzx@tongji.edu.cn.

通信作者:张文泽(1990-),男,云南大理人,工学硕士,E-mail:96zhangwenze@tongji.edu.cn.

structural analysis. The cutting and hoisting technology and the mechanical crushing demolition technology were respectively adopted to achieve the deconstruction of the building parts above the 6th floor and the collapse of the parts below the 6th floor. The results show that under the premise of ensuring safety, the demolition and transportation by category are also implemented, which provides pre-order guarantee for the subsequent waste reclamation process.

**Key words:** high-rise building; city center area; green demolition; deconstruction; progressive collapse; reclamation

## 0 引言

随着城镇化进程推进,过去 10 年中国城镇化率由 48.32% 增长到 60.60%, 建筑产业增加值由 22 333 亿元增长为 70 904 亿元<sup>[1]</sup>。建筑业的飞速发展,导致建筑更新换代周期缩短,目前中国建筑平均寿命不足 30 年,远低于欧美发达国家<sup>[2]</sup>,这使得中国建筑拆除工作量巨大,产生大量建筑固废。资源化是消纳建筑固废的重要方法,可使建筑产品设计、生产、使用、拆除全过程形成的建筑物生命周期<sup>[3]</sup>从简单的单链过程发展为循环过程。建筑废弃物资源化课题中,以再生混凝土为代表的相关研究越发成熟<sup>[4]</sup>,再生混凝土逐步运用到实际工程中并发挥其可持续方面的优势<sup>[5]</sup>。

建筑拆除是固废资源化的前序过程,拆除环节的有序、绿色可为建筑固废资源化高效进行提供先行保障,将成为土木工程可持续发展研究的重点方向。传统的建筑拆除工程多关注拆除过程中倒塌预判,通过对建筑构件或整体结构评估,在保证施工安全的同时确保结构倒塌的顺利实现<sup>[6]</sup>。工程全寿命周期的绿色管理研究中较早地关注了绿色拆除<sup>[7]</sup>,提出需采用绿色拆除技术和施工保障措施实现建筑绿色拆除,而且其相关的理论研究工作<sup>[8-10]</sup>、施工设备与施工技术<sup>[11]</sup>也在不断发展。新阶段绿色拆除理念以考虑建筑固废资源化为导向,通过损伤可控的有序拆解和对旧材料、旧构件的分类分级处理,促进构件再利用和材料再循环<sup>[12]</sup>,提高建筑资源的再利用效率,推动建筑材料再利用市场的发展<sup>[13]</sup>。

然而目前绿色拆除相关研究大多停留在试验与理论分析层面,多聚焦假想特定情况下的拆除问题,缺乏对实际工程场景多样性的关注。在大型城市建筑更新需求日益迫切的背景下,城市中心区建筑的拆除工程受场地条件制约严重,亟待开展有针对性的绿色拆除方法研究。

本文通过探究城市中心区高层建筑的绿色拆除方法,结合案例佐证,阐明高层建筑拆除工作需因地

制宜地融合拆解与绿色拆除方法,采用多样化施工策略与流程设计,实现多技术的联合应用,在保证工程安全的基础上降低环境影响,并推动后续资源化过程的高效进行。

## 1 城市中心区高层建筑绿色拆除方法

### 1.1 拆除方法研究背景

随着城镇化的演进,工程建设的重点将从新建逐步转变为建筑更新,其中城市中心区高层建筑更新需求多,施工难度大,将成为土木工程领域的一大挑战。城市中心区高层建筑拆除工程具备以下共性特点:地处繁华闹市区,城市居民对噪声、扬尘、垃圾污染敏感;施工场地狭小,场地设备的引入与架设较为困难;拆除区域地下管网及井盖、电缆等市政设施需要保护;建筑可能临近市政主干道,材料运输和渣土清运难度较高。

传统的高层建筑拆除大多采用爆破拆除,因其利用整体倒塌模式且爆炸工作时间较短,可结合多种绿色爆破方法,被认为是高层建筑最高效的拆除方法之一,但该方法将产生较大的噪声、振动与扬尘,且对场地施工条件要求较高,在城市中心区高层建筑的拆除中适用性较差。

另一方面,考虑到城市生态文明建设的需求,除了施工方法绿色环保外,高层建筑的巨大体量对建筑拆除后的固废资源化处理提出了更高要求。结构生命周期评价结果表明,建筑固废循环利用可有效节约资源,减少排放<sup>[14]</sup>,而构件再利用相较于材料再循环具有更显著的环境效益<sup>[15]</sup>。因此,在保障安全、控制损伤的条件下,将原有结构构件分对象拆卸,使获取的旧构件可整体再利用的结构拆解<sup>[12]</sup>成为绿色拆除的重点研究方向。对于节点连接便于拆装的构件,如可拆装木结构<sup>[16]</sup>、全螺栓连接钢结构<sup>[17]</sup>、可拆装混凝土框架结构<sup>[18]</sup>、可拆装剪力墙<sup>[19]</sup>等,需采用构件整体拆解与再利用策略,以提升建筑废弃物的再利用层级,通过绿色理念促进固废资源化的高效进行。

### 1.2 拆除前结构检测

待拆建筑一般为已服役时间较长、建筑剩余功能不符合当前使用需求的既有建筑,因此对待拆建筑要进行大量前期检测工作以保证拆除过程的安全,同时对建筑材料和构件信息的把握可为后续材料分类整理与资源化处理方案设计提供可靠的前期依据。

拆除前的检测需反映结构整体变形情况与力学性能退化状况,主要检测内容包括但不限于建筑倾斜、地面变形、构件实际尺寸、挠度及裂缝、节点形式与连接状况、材料强度、耐久性侵蚀状况等。借助检测结果,判断结构各部分的资源化利用潜能,对各构件进行分类分级,分别规划子结构、构件、材料层面的再利用策略;同时,可由此建立反映结构当前状况的力学模型,为后续的拆除全流程力学分析提供参数依据。

### 1.3 拆除策略制定

城市中心区建筑周边环境制约了场地空间,传统的单一拆除模式很难保证其适用性。可通过拆除策略组合的方式,将高层建筑根据不同高度的特点分层次拆除,采用切割吊装方式对高层部分实施拆解,再使剩余低层结构整体倒塌,从而控制结构倒塌范围,减小影响区域、振动与扬尘。

结构抗连续倒塌理论为不同拆除策略的分析提供了重要理论基础。在拆解作业中需验算结构鲁棒性,防止结构出现连续倒塌,保障施工安全性;在剩余结构整体拆除中,需根据构件的移除次序,预测建筑结构倒塌过程中构件的破坏情况,控制结构倒塌方向和范围,实现精准高效拆除。

### 1.4 拆除流程设计

拆除流程的总体原则是,先拆除附属结构和非承重构件,依据结构构件的传力机制及其与临时支撑的协同受力机理,合理设计拆除流程。先拆除楼板,再依次拆除次梁、主梁、外墙、立柱、剪力墙、楼梯等构件。为进一步促进建筑拆除固废资源化,提高拆除物的再利用率,将建筑拆除与可拆装、减损研究进行结合,使得待拆结构能够在低损伤状况下得到安全解体。采用基于材料性能退化与构件损伤的力学分析模型,预先开展拆除全流程受力分析,研究结构响应与损伤演化状况。结合概念分析、解析分析与数值模拟等多种方法,评估结构失效风险,并指导拆除方案优化。在满足安全性的前提下,优化思路如式(1)所示

$$\left. \begin{aligned} &Q=[q_1 \quad q_2 \quad \cdots \quad q_n] \\ &K(Q)u=F(Q) \\ &\text{s. t.} \\ &P[R\geq S(u)]\geq \Phi(\beta_T) \\ &\text{minimize } G(u) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $Q$ 为构件拆除顺序; $K(Q)$ 为当前设计拆除顺序下典型危险状态时结构的刚度矩阵; $u$ 为所分析结构状态下的节点位移响应; $F(Q)$ 为设计拆除顺序下的节点荷载; $S$ 为控制性荷载效应; $R$ 为对应抗力; $G(u)$ 为结构损伤计算函数; $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数; $\beta_T$ 为目标可靠指标; $P[\cdot]$ 为括号内事件的概率。

此外,为提升绿色拆除工效,常对建筑平面分区,根据不同区域拆除过程对周边影响的特点,规划作业优先级和施工方法。合理的拆除工艺流程可以提高场地利用率,有利于实现标准化拆除施工,对构件进行有序、分类拆除,从而为再生资源的标准化利用做铺垫,建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)技术的数字化信息模型为构件移除顺序与施工流程的优化提供了支撑<sup>[20]</sup>。

### 1.5 拆除施工技术

城市中心区高层建筑的绿色拆除还依托机械装备的优化,在施工过程中应用智能化设备,从准备、安装、作业、拆卸到运输,各阶段实施全流程的噪声控制、扬尘控制以及能量消耗控制,最终实现绿色化管控。

通过更好的信息化检测与控制技术,对数据进行自动采集、分析和预警,以结构安全、环境安全、设备安全、人员安全和绿色施工为主要控制要素,对拆除过程进行智能化监控,提升拆除工程的安全性;同时,充分发挥不同设备与拆除方法的组合优势,提高拆除效率。

## 2 城市中心区高层结构绿色拆除案例

### 2.1 工程案例背景

图 1 为某城市中心区待拆高层建筑,长 66.18 m,宽 13.8 m,高 45 m;主楼 12 层,局部 13 层,标准层高为 3.3 m;裙楼长 22 m,宽 13 m,高 33 m;建筑标高从-4.500 m 到 48.410 m,典型框架柱距为 5.4/6.6 m×7.2 m,现浇剪力墙电梯井 2 部(标准层见图 2),总建筑面积达 11 244 m<sup>2</sup>。该建筑为框架剪力墙结构,楼层以预制楼板为主、现浇楼板为辅,主筋为热轧Ⅰ级钢,楼面为 C18 的细石混凝土内配 4@200 钢筋网。主梁最大截面高度为 700



图 1 拟拆除建筑平面图

Fig. 1 Plan of Building to Be Demolished

mm, 框架柱的最大截面宽度为 600 mm, 10 mm 厚 1 : 2 水泥砂浆作为框架节点的堵头。

2.2 拆除策略与拆除流程

受限于环境条件及施工范围, 排除爆破拆除方案, 组合利用机械切割吊装拆解方法和机械破碎连续倒塌方法进行拆除。为控制建筑高层施工对周围环境的影响, 对吊车等机械进行合理布置(图 2), 对 6 层以上的结构采用机械切割进行拆解, 最大化实

现拆除后材料的标准化控制和分类处理, 提高建筑旧构件的完整度, 利于材料甚至构件的回收利用。对 6 层以下的结构利用连续倒塌机理, 对部分结构构件进行局部破坏, 使其失去原有承载功能, 剩余的关联结构无法通过其他替代传力路径建立新的平衡状态, 最终实现结构整体性 or 大范围的倒塌<sup>[21]</sup>。

为实现建筑固废分类处理与再利用, 对非承重构件按照装饰部分、吊顶、消防管网、可回收钢制材料以及砖砌上墙进行分类拆除, 在自西向东第 3 跨、第 6 跨楼板中部以及电梯井道分别专设“可回收利用金属”、“二次结构”、“钢管架”专用运输通道, 实现建筑固废分类处置及再利用。

因建筑固废的堆放和运输较为困难, 且为了与东侧拆除项目共同施工, 对 6 层以上标准层以优先拆除一侧的原则进行拆除顺序调整, 采用图 3“台阶式”切割吊装拆除方法按照 1'~9' 的顺序分段切割, 使得拟拆除建筑在拆除过程中呈“台阶式”形状。构件按主梁与楼板、次梁与楼板、主梁与框架柱、主梁与构造柱等组合进行切割与吊运, 提高整体工程效率。构件切割按照先板后梁柱进行设计, 吊车吊点布置于主楼南侧中心位置, 并根据履带式吊车起

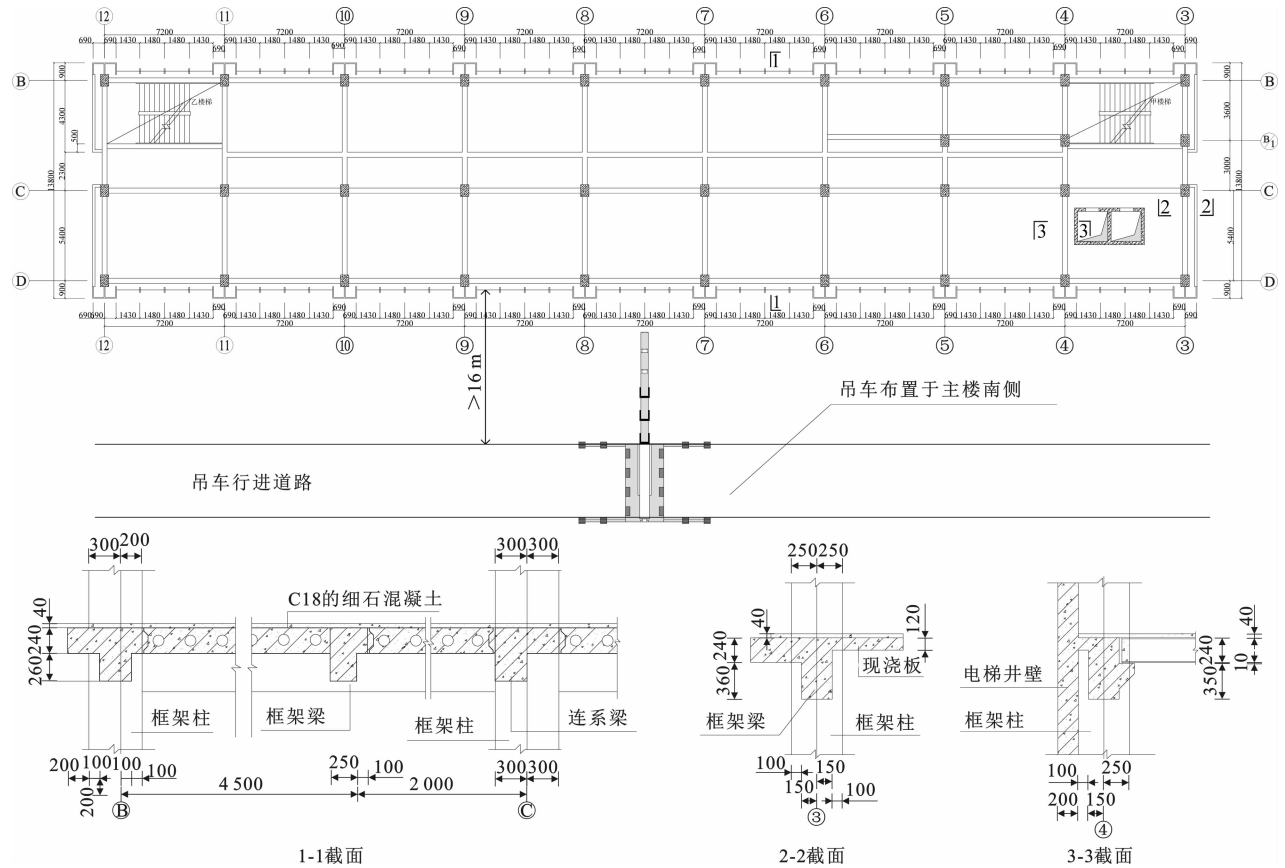


图 2 结构标准层与机械布置(单位:mm)

Fig. 2 Layout of Structural Standard Layer and Cranes (Unit:mm)

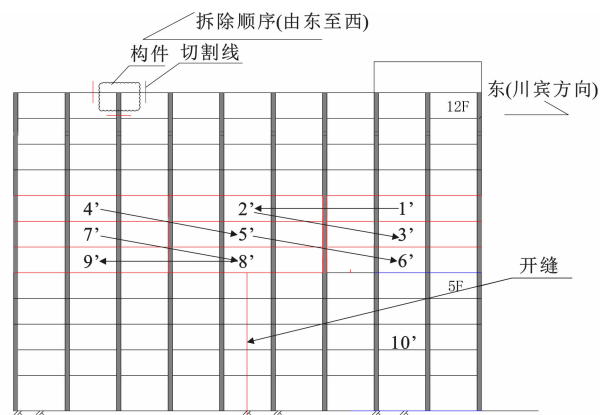


图 3 台阶式切割吊装拆除工艺流程

**Fig. 3 Removal Sequence of Stepped Cutting and Hoisting**  
重半径和起吊质量设计标准层的起吊构件。选用 SCC1800 型固定式履带吊车,最大额定起重量为 180 t,吊车大臂长度为 46 m,作业半径为 9~40 m,吊车工况完全满足拟切割构件的吊运。

图 4 中 6 层以下部分同样事先分类拆除非承重构件,通过对承重构件的有序削弱,控制结构倒塌方向和倒塌模式。考虑到该待拆建筑是较为规则的混凝土框架结构,结合柱反弯点的特性,底层结构柱在距柱底 2/3 高位置的设计纵筋量较小,同时该位置避开了上方梁柱节点处的钢筋加密区,因而在该处实施作业进行削弱所需工作量较小。此外,在距柱底 2/3 高度处实施削弱,还可使结构在向一侧整体倾覆时的转动点较高,从而将整体结构倒塌的水平影响控制在相对较小范围。

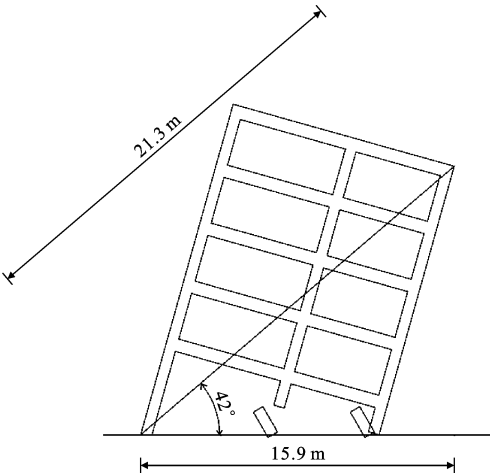


图 4 倾覆预期范围

Fig. 4 Expected Range of Collapse

根据现场实测,东半跨结构任意向的倒塌影响范围内有需保护建(构)筑物,不具备任意向单向倒塌条件。结合待拆建筑东西向对称结构特征,将剩余 6 层以下结构分解为东侧结构和西侧结构,设计

东侧结构为原位下坠倒塌,西侧为向南连续倒塌。为确保倒塌安全,在施工前对设计方案进行细化和模拟分析,图 5 给出了受力构件的拆除顺序。

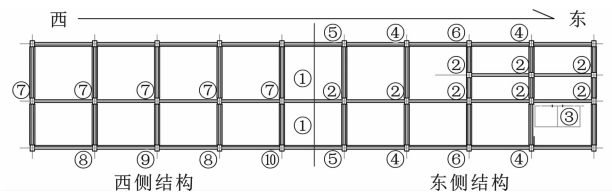


图 5 分段连续倒塌拆除方法

Fig. 5 Demolition Method of Continuous

Collapse in Sections

首先,长臂液压钻机(带液压剪)位于待拆房屋一侧,将临近设备一侧的外墙从上至下逐步破碎拆除,逐层暴露出楼板与承重墙体,然后从下至上将中心跨①第 2~6 层楼板、主次梁完全肢解,形成独立的东侧结构体系和西侧结构体系 2 个拆除作业面。

对东侧结构(图 6)的拆除:采用长臂液压钻机自西向东对东侧结构底层②号柱 2/3 柱高截面混凝土进行削弱,柱最大截面为 700 mm×500 mm;然后削弱③号电梯井底层核心筒,使其完成失去承载力,东侧结构转变为单跨结构。接着对结构柱进行“对称削弱”,依次削弱底层④号柱、⑤号柱、⑥号柱,在⑥号柱尚未完全失去承载力时,东侧结构实现原位下坠倒塌。为确保安全,将拆除机械作业点位置设置于建筑倒塌范围外,其中,④号柱、⑤号柱、⑥号柱拆除机械分别位于建筑物两侧,通过长臂液压机伸长进行破碎,建筑物中间柱子先失效,南北两侧柱子按序逐一对称失效,剩余结构受自重作用发生原位倒塌。

对西侧结构(图 7)的拆除:采用长臂液压钻机同向对西侧结构底层⑦号中柱 2/3 柱高截面混凝土进行削弱,直至中柱完全失去承载力;在“隔一打一”原则下,使底层⑧号柱失去承载力;然后依次破拆底层⑨号柱、⑩号柱,在⑩号柱承载力尚未完全丧失时,西侧结构向东南倾倒连续失稳倒塌。⑩号柱破碎时,机械作业位置为东侧结构外侧,距离建筑物超过 16 m,远离建筑物倒塌范围。通过长臂液压机伸长进行破碎,在发生倒塌前,建筑物表现出明显连续失稳的特征,间隔时间长于长臂液压剪收臂时间,可确保机械和人员安全。

结构拆除过程伴随着构件承载机制的变化,框架梁在小变形范围内可通过梁机制受弯承载力提供抗力,随着被拆除柱的增加,大变形范围内梁的荷载传递可能转变为悬链线机制。以西侧结构为例,当



(a) 照片

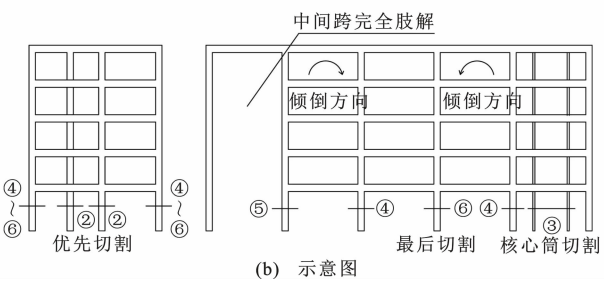


图 6 东侧结构原位倒塌拆除

Fig. 6 In-situ Collapse and Demolition of Eastern Part of Structure

进入强化,受压钢筋转为受拉,表现为悬链线机制承载。最后随着⑩号角柱失效,西侧结构整体可按照预定方向倒塌。

2.3 绿色施工方法

合理的施工组织设计和应急预案可保障施工安全进行,6 层以上结构部分的切割吊装施工前期准备包括施工设备进场、现场清理、脚手架搭设、切割线测放等一系列标准措施。采用绳锯切割工艺对梁、柱、墙体、楼梯进行切割,采用碟式切割工艺对楼板进行切割。切割环节利用吊车吊绳辅助牵引构件(图 8),从而减少支撑搭设工序及安全风险。



图 8 切割吊装施工

Fig. 8 Cutting and Hoisting Construction

结构体系的倾倒设计与对构件关键部位的削弱处理相关,在确定倾倒方向后,通常在切割点高度范围 200 mm 内裸露出结构钢筋后,暂时保留远离倒塌侧的主筋,切断箍筋与其余主筋,使构件失去承载能力。作为垂直通道的电梯井剪力墙的拆除,原则上将该墙体以每 3.0 m×3.0 m 作为一个单元拆除。

根据 6~12 层为标准层的定义,在拆除方案中事先明确构件切割线位置,拆除过程中对结构变形进行频率 1 次·d<sup>-1</sup> 的监测,如有环境条件异常,或出现结构梁的应变和位移超过控制值等情况,应对结构临时加固,可在框架柱与框架柱或剪力墙之间增加 1 道钢梁临时固定,必要时先在框架柱或剪力墙上预埋螺栓。

通过在待拆建筑周围搭设雾化喷淋装置、设立进出车辆冲洗区、高压水枪等措施进行粉尘控制;通过减少清凿工作量,减少空压机噪声,对运输车辆、液压钻机安装消声器,采用液压静力设备,提高场地利用率以减少运输车辆的使用频率等措施实现噪声控制;通过合理的施工现场文明建设及高效的污水处理方法保持现场周边环境的良好。由于振动和噪声具有瞬时性,在倒塌前对临近道路进行临时交通疏散,临街商铺临时协调关闭,倒塌后采用消防高压水枪进行洒水消尘。采用水锯切割与机械破碎相结



(a) 照片

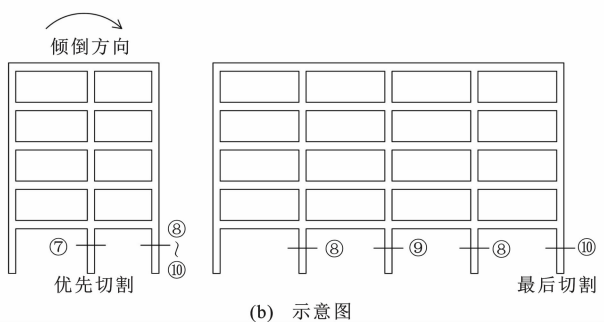


图 7 西侧结构连续倒塌拆除

Fig. 7 Progressive Collapse and Demolition of Western Part of Structure

底层⑦号中柱被削弱时,部分横向框架梁端出现塑性铰,随着⑧号和⑨号边柱失去承载力,纵向框架梁受压区边缘混凝土达到极限压应变,受拉屈服钢筋



合,较大限度地降低了振动、噪声和扬尘对环境的影响。

## 2.4 拆除案例局限性

本工程案例采用绿色拆除技术,高效利用有限的场地条件,完成了高层结构的拆解与底层结构的倒塌拆除,缓解了城市中心区高层建筑拆除的环境影响问题。分析拆除过程可以发现,施工顺序复杂化使不同机具产生相互干扰,增加大量的组织协调工作。此外,拆除过程对人工作业的依赖程度较大,监测系统对环境与工程细节监控不足,对待拆建筑相关参数的获取有限,智能化设备及 BIM 管理技术的应用仍存在困难。此外,本工程案例多依赖安全文明施工措施控制其对周边区域的环境影响,未实现拆除技术的绿色化,环境影响控制能力有限。上述难点均对绿色拆除技术与设备的进一步发展提出要求。

本工程案例作为典型框剪结构,建筑构件的拆除切割可按照先楼板后梁柱的工艺流程实施绿色化拆除,但对于其他非典型结构类型,还需针对结构体系变化、竖向荷载传递不连续、跨度变化差异大、平面不规则等可能的情况,研判更科学的绿色拆除策略。

## 3 结 语

(1)建筑拆除在以工程安全性和可行性为核心的传统理念基础上,逐步向以清洁化施工为主的绿色拆除发展,进一步还将与资源化进程结合,融合结构拆解与建筑固废再生技术,形成建筑闭环生命周期。

(2)城市中心区高层建筑拆除工程场地条件局限性大,对绿色施工及固废资源化要求高,传统高层建筑拆除方案难适用,需重视和开展绿色拆除设计。

(3)城市中心区高层建筑绿色拆除需要进行结构检测,保证施工的安全性与人工作业的可行性,采用组合拆除策略,依据具体场地条件合理制定拆除流程,施工过程中引入 BIM 技术与智能化技术,开展拆除全过程模拟与结构分析,完善风险控制体系。

(4)作为典型案例,完成了高度 48.4 m、建筑面积 11 244 m<sup>2</sup> 的高层建筑拆除施工,结合结构拆解与控制倒塌 2 种策略,分别采用切割吊装与机械破碎施工技术,实现拆除安全、工程效率提升以及分类拆除与运输,保护城市环境,提高后续固废资源化利用率。

## 参考文献:

## References:

- [1] 国家统计局. 年度统计公报[EB/OL]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/ndtjgb>.  
National Bureau of Statistics. Annual Statistical Bulletin[EB/OL]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/ndtjgb>.
- [2] 肖建庄. 可持续混凝土结构导论[M]. 北京:科学出版社,2017.  
XIAO Jian-zhuang. An Introduction to Sustainable Concrete Structures[M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [3] TSAI W H, YANG C H, CHANG J C, et al. An Activity-based Costing Decision Model for Life Cycle Assessment in Green Building Projects[J]. European Journal of Operational Research, 2014, 238(2): 607-619.
- [4] 肖建庄,夏冰,肖绪文. 工程结构可持续性设计理论架构[J]. 土木工程学报, 2020, 53(6): 1-12.  
XIAO Jian-zhuang, XIA Bing, XIAO Xu-wen. Theoretical Framework for Sustainability Design of Engineering Structures[J]. China Civil Engineering Journal, 2020, 53(6): 1-12.
- [5] XIAO J Z, WANG C H, DING T, et al. A Recycled Aggregate Concrete High-rise Building: Structural Performance and Embodied Carbon Footprint[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 199: 868-881.
- [6] 周同龄,翁家杰,杨秀甫. 爆破拆除楼房建筑的力学分析[J]. 爆破器材, 1999, 28(1): 19-23.  
ZHOU Tong-ling, WENG Jia-jie, YANG Xiu-pu. Mechanic Analysis on the Demolition Blasting in of Building[J]. Explosive Materials, 1999, 28(1): 19-23.
- [7] 颜成书. 工程项目全寿命周期绿色管理研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.  
YAN Cheng-shu. Research on Life-cycle Green Management of Construction Project[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [8] 肖建庄,陈立浩,叶建军,等. 混凝土结构拆除技术与绿色化发展[J]. 建筑科学与工程学报, 2019, 36(5): 1-10.  
XIAO Jian-zhuang, CHEN Li-hao, YE Jian-jun, et al. Technology and Green Development of Demolition for Concrete Structures[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2019, 36(5): 1-10.
- [9] 贡小雷. 建筑拆解及材料再利用技术研究[D]. 天津:天津大学,2010.  
GONG Xiao-lei. The Technology Research of Building Deconstruction and Building Materials Reuse[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.

- [10] 叶建军,陈 飞,肖建庄,等. 钢筋混凝土结构绿色爆破拆除技术[J]. 爆破,2019,36(3):90-97.  
YE Jian-jun, CHEN Fei, XIAO Jian-zhuang, et al. Green Blasting Demolition Technology of Reinforced Concrete Structures[J]. Blasting, 2019, 36(3): 90-97.
- [11] 李 航,唐碧波,凌兴文. 武汉绿地中心工程临时支撑爆破拆除绿色施工技术[J]. 施工技术,2015,44(4):18-20.  
LI Hang, TANG Bi-bo, LING Xing-wen. Green Construction of Temporary Support Blasting Demolition in Wuhan Greenland Center[J]. Construction Technology, 2015, 44(4): 18-20.
- [12] 夏 冰,肖建庄,吕凤梧,等. 结构拆解力学分析基础与基本方法[J]. 同济大学学报:自然科学版,2020,48(8):1083-1092,1198.  
XIA Bing, XIAO Jian-zhuang, LÜ Feng-wu, et al. Mechanical Analysis and Fundamental Philosophy for Deconstruction of Structures [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2020, 48(8): 1083-1092, 1198.
- [13] 郝赤彪,铁 瑛. 建筑拆解与建筑资源再利用[J]. 工业建筑,2012,42(12):13-16,52.  
HAO Chi-biao, TIE Ying. The Building Dismantling and the Reuse of the Old Building Materials[J]. Industrial Construction, 2012, 42(12): 13-16, 52.
- [14] XIAO J. Recycled Aggregate Concrete Structures [M]. Berlin: Springer-verlag, 2018
- [15] XIA B, DING T, XIAO J. Life Cycle Assessment of Concrete Structures with Reuse and Recycling Strategies; A Novel Framework and Case Study[J]. Waste Management, 2020, 105: 268-278.
- [16] 徐洪澎,康 健,吴健梅. “3R”原则下现代木建筑创作的实证方案分析[J]. 建筑学报,2015(12):82-88.  
XU Hong-peng, KANG Jian, WU Jian-mei. An Empirical Analysis on the Schemes of Modern Timber Architecture Based on the 3R Principle of Material Efficiency[J]. Architectural Journal, 2015 (12): 82-88.
- [17] DING T, XIAO J, ZHANG Q, et al. Experimental and Numerical Studies on Design for Deconstruction Concrete Connections: An Overview [J]. Advances in Structural Engineering, 2018, 21(14): 2198-2214.
- [18] DING T, XIAO J, CHEN E, et al. Experimental Study of the Seismic Performance of Concrete Beam-column Frame Joints with DfD Connections [J]. Journal of Structural Engineering, 2020, 146(4): 04020036.
- [19] DING T, XIAO J, WEI K, et al. Seismic Behavior of Concrete Shear Walls with Bolted End-plate DfD Connections [J]. Engineering Structures, 2020, 214: 110610.
- [20] 肖建庄,胡茂昂,王 婉. 基于 BIM 的混凝土结构构件再利用构架[J]. 结构工程师,2017,33(3):8-15.  
XIAO Jian-zhuang, HU Mao-ang, WANG Wan. Basic Frame on Reuse of Concrete Structural Component Based on BIM[J]. Structural Engineers, 2017, 33(3): 8-15.
- [21] KUNNATH S K, BAO Y, EL-TAWIL S. Advances in Computational Simulation of Gravity-induced Disproportionate Collapse of RC Frame Buildings[J]. Journal of Structural Engineering, 2018, 144(2): 03117003.