

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201812053

砌体结构房屋拆除技术进展与展望

郑文忠^{1,2}, 苏志明^{1,2}, 周 威^{1,2}

(1. 结构工程灾变与控制教育部重点实验室(哈尔滨工业大学), 哈尔滨 150090;
2. 土木工程智能防灾减灾工业和信息化部重点实验室(哈尔滨工业大学), 哈尔滨 150090)

摘 要: 中国城镇建筑密集区巨量的既有砌体结构因现代化建设而面临着严峻的拆除改造需求. 传统的拆除方法如人工和半人工、半机械的拆除等, 其拆除效率低、噪声大、粉尘多, 拆除材料难以回收利用; 典型的现代化技术如爆破拆除等, 其危险性大, 对周边环境极易产生巨大的噪声和粉尘污染的影响. 运用传统和现代单一拆除技术拆除后的建筑通常直接进行填埋, 拆除材料难以回收利用, 需研发可实现低噪声、少粉尘、高回收拆除废弃物的砌体结构绿色拆除方法与技术. 本文对比分析了国内外既有砌体结构常采用的人工法、破碎锤、破碎球、长臂液压剪以及爆破法 5 种拆除技术, 总结了其各自的工作原理、技术优势和应用范围, 提出了墙片裁分、吊装、运输、就位至重新拼装的新结构的砌体工业化拆除思路和方法, 可为具有较高价值的砌体结构拆除及再利用提供支持.

关键词: 拆除; 砌体结构; 现状; 工业化; 发展趋势

中图分类号: TU746.5

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2019)12-0013-07

Progress and prospect on demolition technology of masonry structures

ZHENG Wenzhong^{1,2}, SU Zhiming^{1,2}, ZHOU Wei^{1,2}

(1. Key Lab of Structures Dynamic Behavior and Control (Harbin Institute of Technology), Ministry of Education, Harbin 150090, China; 2. Key Lab of Smart Prevention and Mitigation of Civil Engineering Disasters (Harbin Institute of Technology), Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Large amounts of existing masonry structures in urban construction intensive areas of China are faced with severe demands for demolition and reconstruction. Traditional demolition methods such as manual demolition, semi-manual demolition, and semi-mechanical demolition have problems of low demolition efficiency, high noise, heavy dust, and difficult recycling of demolition materials. Typical modern technologies (e. g., blasting demolition) are very dangerous and can easily produce huge noise and dust pollution to the surrounding environment. Demolition materials produced solely by traditional and modern demolition technologies are usually directly buried and difficult to be recycled. Therefore, green demolition methods and technologies of masonry structures should be developed to achieve low noise, low dust, and high recycling rate of demolition waste. In this study, five types of demolition techniques domestic and abroad were compared and analyzed, including manual demolition, crushing hammer, crushing ball, hydraulic scissors, and blasting method. The working principles, technical advantages, and application range of the techniques were summarized. The idea and method of dismantling masonry structure of wall cutting, lifting, transportation, and reassembling were proposed, which could provide support for demolishing and reusing masonry structures with high value.

Keywords: demolition; masonry structure; current situation; industrialization; development trend

砌体是用砖、石块或其他砌块材料通过砂浆或其他胶结材料砌筑而成的实体. 由于取材方便, 成本低廉, 砌体结构建筑国内外均有广泛应用. 据不完全统计, 中国既有建筑面积 500 亿平方米中砌体结构建筑约占 30%. 现有砌体建筑主要分为一般性砌体建筑和遗产保护类砌体建筑, 其中大多数建造于 20 世纪 90 年代以前, 由于年代久远, 受到外部环境

和人为等因素的影响, 一些砌体结构建筑的外观和强度等方面存在老化、损伤等问题, 其中较大比例具有安全隐患. 而且, 随着社会发展和中国城市化的客观需求, 既有砌体建筑的设计标准和建筑舒适度已无法满足人们需要. 同时, 为满足城区规划和道路建设等需求, 许多砌体结构建筑虽还未达到设计使用年限, 但已需要更新、改造或拆除^[1-3].

当前, 中国每年约有 10 亿平方米的砌体结构建筑, 因棚户区改造和使用功能改造需要进行拆改, 这些砌体结构建筑大多处于建筑物集中、人口密集的城市繁华地段, 人们对拆除作业的安全水平和效率

收稿日期: 2018-12-12

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0806100)

作者简介: 郑文忠(1965—), 男, 博士生导师, 长江学者特聘教授

通信作者: 周 威, zhouwei-hit@163.com

要求越来越高,由此产生的矛盾越来越突出,既有砌体建筑拆除和重建的任务也变得越来越大^[4]. 因此,城镇密集区砌体结构建筑改造形势不容乐观,其主要体现在以下 3 个方面:第一,体现在巨大的拆除改造需求与落后、甚至原始的拆改技术相矛盾. 当前仍以人工和半人工、半机械的拆除技术为主,拆除效率低、噪声大、粉尘多,拆除材料难以回收利用;第二,体现在典型的现代化技术如爆破等虽然在高耸烟囱等建筑的拆除中发挥着巨大作用,但是其危险性大,且对周边环境极易产生巨大的噪声和粉尘污染的影响^[5-6],尤其对人的心理有着巨大的影响;第三,运用传统和现代单一拆除技术拆除后的墙片直接变成了破碎的砖块和废弃的砂浆块,常常直接进行填埋^[7],不存在重复利用的环节,与绿色建造、维护与拆除全过程、与资源再利用、能源节约和环境保护的理念不一致、不协调. 因此,急需发展城镇密集建筑安全绿色拆除关键技术.

中国于 2004 年颁布了《建筑拆除工程安全技术规范》^[8],规范中推荐的建(构)筑物拆除方法主要有手工拆除、机械拆除、爆破拆除和静力破碎法. 除静力破碎法外均适用于砌体结构拆除. 然而,这些技术总体较传统,其中,人工拆除适用于砖砌结构或者砖混结构的单、多层房屋的拆除,机械拆除可用于高度适中的建筑的拆除,爆破拆除适用于高耸建筑物或构筑物的拆除. 中国香港地区屋宇署于 2004 年颁布了《建筑物拆卸作业守则》,与《建筑拆除工程安全技术规范》相比,增加了破碎球拆除法,这种方法适用于破损严重建筑物、筒仓及其他工业设施等. 然而这种作业需要相当大的净距,也需要高水平的熟练操作人员和保养良好的设备,在建筑物密集和人口稠密地区已基本不再使用.

国际上,开发了较多既有结构拆除技术^[9-11]. 1970 年,日本建(构)筑物拆除技术委员会出版了它的第一本技术标准“混凝土结构拆除方法”;1971 年,日本建筑承包商协会(BCS)成立了积极从各大建筑公司和普通高校中吸收会员的钢筋混凝土建筑拆除委员会,委员会开发了多项建筑拆除技术,如结构支顶技术(jacking),控制爆破拆除技术(explosives),高压交、直流电加热钢筋拆除技术(rebar heating methods)等^[4,12]. 这些技术可用于砌体结构的混凝土楼盖屋盖等拆除作业. 相对而言,其拆除改造有较高的机械化程度,具有相对完善的拆除安全措施等,然而,也存在着拆除后的构件难以再利用,易于造成资源浪费与环境污染的问题.

为此,本文在总结国内外拆除技术基础上,首先对比分析了国内外既有砌体结构常采用的人工法、破碎锤、破碎球、长臂液压剪以及爆破法 5 种拆除技

术,总结了其各自的工作原理、技术优势和应用范围. 然后,提出了砌体结构墙片裁分、吊装、运输、就位至重新拼装的砌体结构工业化拆除与再利用思路和方法,着重说明其可结合可靠墙片水平连接和竖向连接,拼装形成新结构体系,可用于具有较高价值的砌体结构拆除改造等.

1 传统拆除方法

1.1 人工拆除及半人工和半机械拆除法

人工拆除及半人工和半机械拆除是依靠人工利用大锤、凿子、风镐、滑轮组等工具将建筑物解体的方法^[13]. 采用人工拆除法来拆除建筑物,对周围环境一般不会产生很大影响,并可回收砖和钢筋等结构材料. 但是,拆除工期长,若大型复杂的砌体结构建筑物,则耗时更长,且增大操作危险性. 人工拆除法适用范围是不大于 6 层或 18 m 高的砌体结构建筑物. 砖砌体结构的楼盖、屋盖等,常需使用风镐等机械破碎混凝土、结合氧气乙炔焊人工切割钢筋的半机械半人工方法,使结构构件逐步破碎并最终拆除. 需要注意的是,人工拆除作业时,应密切关注楼、屋盖及其支承砌体墙体的残存承载能力,禁止作业人员在某处集中堆放大量材料,且拆除应在安全稳定结构或脚手架上进行操作,被拆除的构件也应有专用的放置区域. 人工拆除法应由建筑物上部向下逐层分段进行拆除,各个作业区域不得发生交叉,拆除作业应在区域内的孔洞封闭后进行^[14-15].

栏杆、楼梯和楼板等建筑结构的各个附属构件的拆除工作应与整体拆除进度相协调,不得提前进行拆除^[16]. 砌体结构建筑应首先拆除楼板等横向构件,再拆除具有承载功能的构件像承重柱、梁等,人工拆除楼板见图 1.

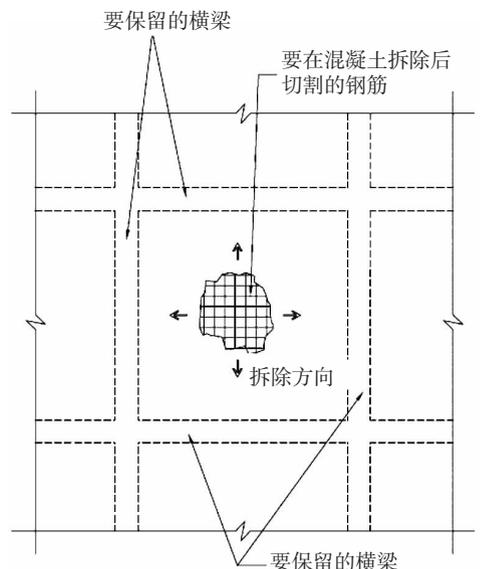


图 1 人工拆除楼板^[17]

Fig. 1 Demolition of floor (manual method)^[17]

拆除梁或悬挑构件时,在切断两端的支撑前,被拆除的部分应采取有效的下落控制措施,人工拆除边梁见图 2。

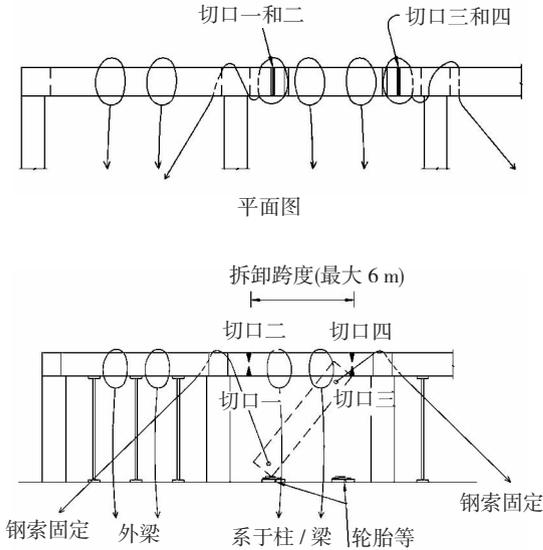


图 2 人工拆除边梁^[17]

Fig. 2 Demolition of external beam (manual method)^[17]

砌体结构建筑中通常布置少量混凝土结构柱,拆除混凝土柱可首先剔凿柱底部的混凝土使其露出钢筋,后将钢索缚于轿车或挖掘机臂上定向牵引,保留处于牵引方向一面的钢筋,其他三面钢筋采用气焊等进行切割,示意图见图 3。

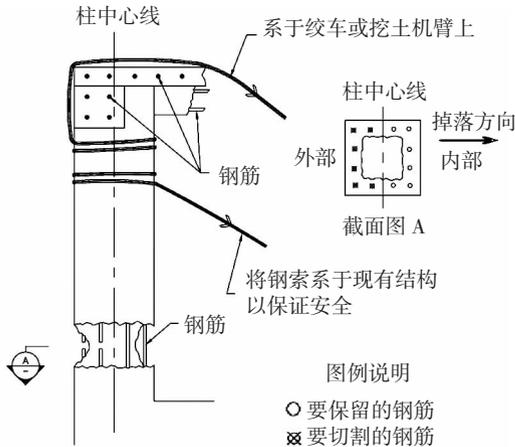


图 3 预削弱和拆卸支柱^[17]

Fig. 3 Pre-weakening and dismantling of column^[17]

1.2 破碎锤拆除法

液压破碎锤又被称为破碎锤或破碎器,是在风动锤的基础上发展起来的.它是由液压能转化为机械冲击能为工作原理的破碎工具,即液压油泵通过液压油驱动活塞高速往复运动,带动破碎锤头对外输出能量来进行作业^[18-19].液压破碎锤较多安装在行走式工程机械上,例如液压挖掘机等,它可以在施工期间更有效地破碎石块和岩石,已经成为液压挖掘机不可或缺的附属机具^[20]。

液压破碎锤的型号种类齐全,小到人力手持式

破碎机,大到自身重量达到 6 t,需要高吨位液压挖掘机与其配合使用.应根据挖掘机型号和作业环境来选择最适合的液压破碎锤.随着液压技术和电子控制技术的不断发展,出现了具有自动调频调能的智能型破碎锤^[21],它可以监测作业对象的情况自动调节冲击能和冲击频率.对于坚固的作业对象,破碎锤会增加单次冲击能,降低冲击频率;对于非坚固的作业对象,破碎锤会减少单次冲击能但会提高冲击频率,使其具有更高的工作效率;当监测到作业对象被断裂后,破碎锤又会自动降低冲击能和冲击频率,可节约能源和延长其使用寿命。

破碎锤拆除法具有生产效率高、冲击能量大、载体设备多样、适应性强、工作具有灵活性等优点.广泛应用于岩石破碎和拆除各种结构形式的房屋,具有良好的经济效益。

一般情况下,使用破碎锤拆除法的拆除次序与人工由上至下的拆除方法相同,与之不同的是,拆除工程的绝大部分都是由破碎锤直接进行^[22].开始拆卸时,先把机械设备吊到建筑物的顶层上,然后由上至下逐步进行拆除,拆除作业程序见图 4。

2 新型拆除方法

2.1 破碎球拆除法

破碎球拆除法由一个装有一个大钢球的起重机组成.利用吊在履带式起重机上的钢球发生来回摆动,撞击建筑物使其摧毁完成拆除作业^[23]。

钢球运动有两种方式^[24]:一种是垂直落下式,适合于拆除楼板、横梁和倒塌的建筑物;另一种是内拉索式,通过吊车对钢球的拉动,使钢球发生摆动,以摆动的力量把建筑物撞碎,适合于拆除较高的砌体结构及粮仓、烟囱等建(构)筑物,其拆除示意图 5。

从传统上说,破碎球拆除法适用于较高建筑物如塔等的拆除.操作人员通过前后摆动悬挂在起重机上的大钢球撞击待拆除结构,它可以撞毁近 5 t 重的建筑物,这是 20 世纪 50 年代水平拆除混凝土建筑物的最有效方法.但是该拆除方法在建筑物外进行,需要相当大的活动空间,且破碎球拆除噪声很大,不易操作,对操作人员的技术水平和设备的性能要求很高,也不适用于欲保留废旧建筑材料的拆除作业.与较新的机械拆除方法相比,破碎球的应用范围逐渐缩小。

2.2 长臂液压剪拆除法

液压剪又称为破碎剪、压碎机、粉碎器等.长臂液压剪是由装有破碎剪的液压挖掘机组成,破碎剪由液压缸和颞板组成,其工作原理类似于颞式破碎机,由液压挖掘机提供液压力源,通过液压缸带动剪切臂对外做功,使其具有混凝土等破碎的能力。

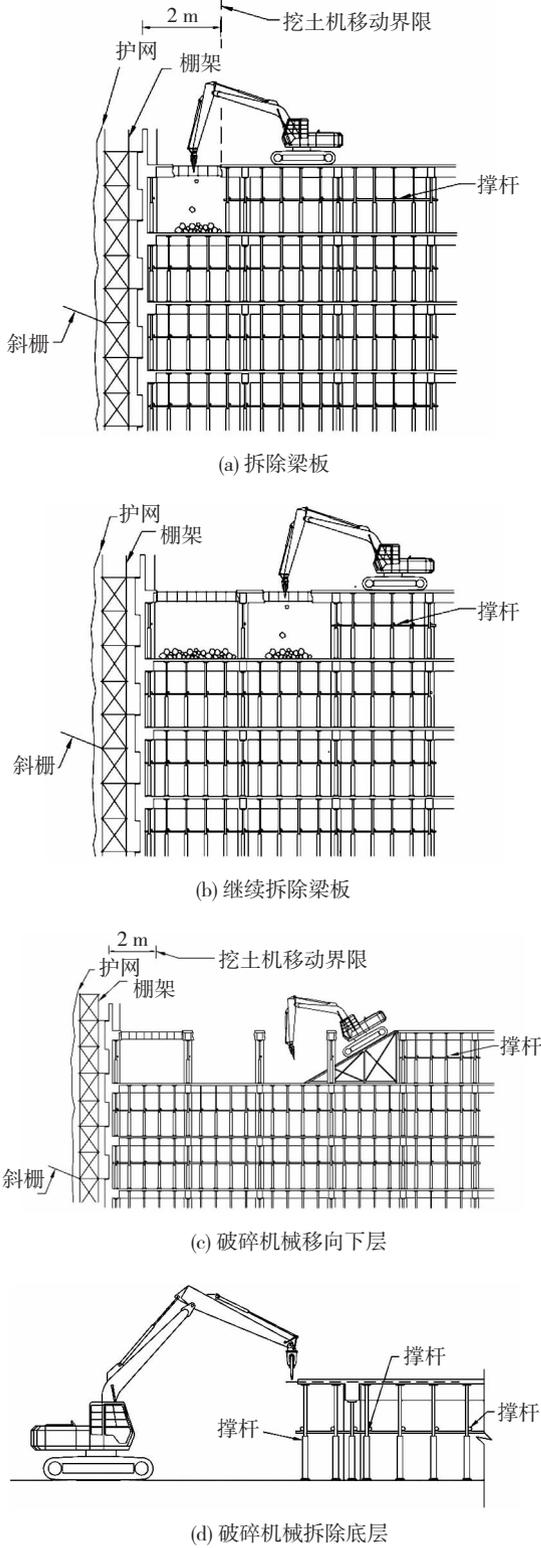


图 4 破碎锤拆除作业示意^[17]

Fig. 4 Demolition method of crushing hammer^[17]

破碎剪的种类主要有 3 种^[25]: 拆除剪、粉碎剪和金属剪, 可根据待破碎建筑物的需要进行选择. 拆除剪的颞板前部带有可用于破碎混凝土的钢齿, 颞板端部装有可用于剪断钢筋等金属材料的刀片, 并且颞板可以自由旋转, 以便于拆除各种形式的建筑物. 粉碎剪具有较宽的颞板, 适用于拆除楼板等构件, 并可保留废旧建筑材料. 金属剪的结构形式类似

于剪刀, 适用于拆除钢结构形式的建(构)筑物, 其拆除示意图 6.

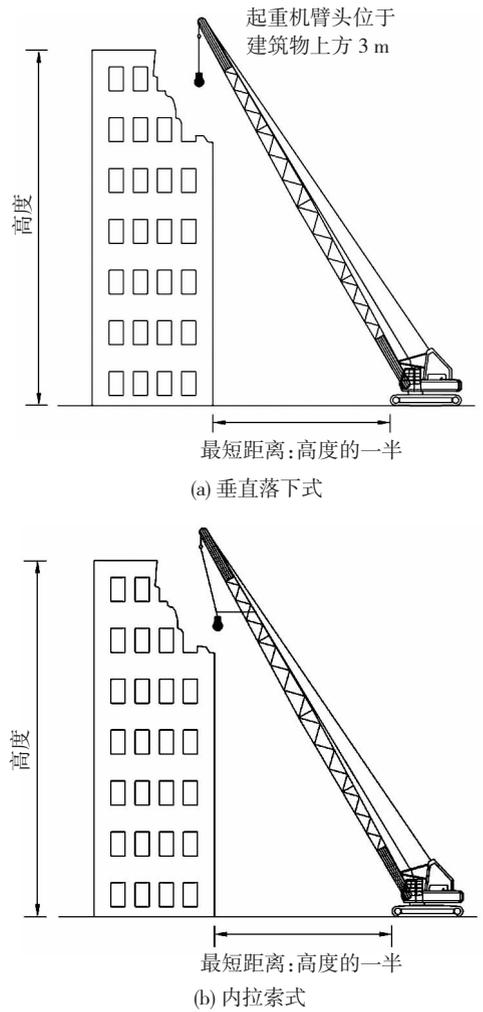


图 5 破碎球拆除作业示意^[17]

Fig. 5 Demolition method of crushing ball^[17]

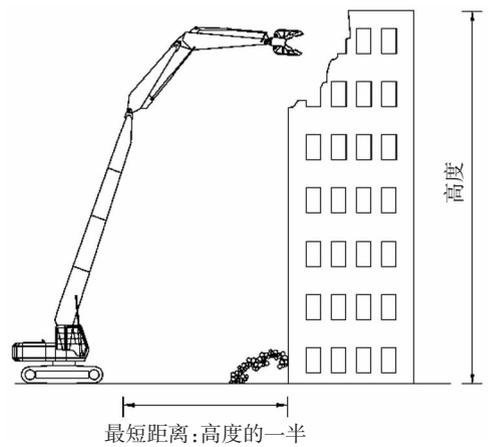


图 6 长臂液压剪拆除作业示意^[17]

Fig. 6 Demolition method of hydraulic shear^[17]

液压剪在拆除过程中无振动, 可实现无公害拆除, 是一种低噪音、高效率、几乎无粉尘、安全且有效的拆除设备^[26]. 液压剪可适宜多种破碎和拆除环境, 广泛应用于拆除梁、柱、壳体等结构物和金属品的剪切、拆船、拆车以及环境保护等方面. 液压剪也

适用于局部拆除工程,为满足相关结构设计要求,拆除时可保留结构构件内的部分钢筋,但拆除高度具有一定的限制^[27-28]。

2.3 爆破拆除法

爆破拆除法是根据建筑物的结构情况和其所处的环境条件,在其主要承重部位布置爆破孔^[29],利用爆破释放的能量破坏建筑物的主要承重部位,使其失去承载能力而失稳,在自重作用下触地解体。爆破拆除的基本思路为:如果移除建筑物某一点的支撑结构,那么该建筑物上方的建筑物将落在该点下方的建筑物上面。如果上部足够重,它将以足够的力与下部碰撞,从而造成严重损坏。爆炸物只是爆破拆除的触发器,自身的重力会使建筑物自行倒塌。爆破法拆除实心砖砌体时常采用内部装药浅孔爆破法,拆除效率高,是一种经济有效的拆除方法。

爆破拆除过程容易产生安全问题或事故,主要有建筑物触地时产生的爆破振动和触地振动、爆破飞石和灰尘与毒气等影响因素^[30-32]。人们已经针对这些因素开发了毫秒微差技术来降低爆破振动,在爆破周围重点保护目标搭设防护墙来防止爆破飞石的危害,设置高压水管喷水等来减少灰尘和研发新型炸药来减少毒气等^[33]。然而,其技术效果不明显,如爆破粉尘、噪音等并未明显减少,爆破振动(包括触地振动)、爆破对城市交通的影响等在特定条件下尚不能克服^[34-38]。爆破拆除在人口稠密和建筑物密集的城市中进行应有更高更严格的要求,必须将爆破拆除对周围环境的负面影响降到最低,否则其将严重制约着爆破拆除法的推广应用。

以上介绍的几种拆除方法各有其特点。选用合适的拆除装置与设备应依据建筑物类型、规模等,综合考虑安全性、经济性后确定,尤其是应着重考虑相关设备拆除能力。

这里需要指出,每种拆除机具都需选用相应型号的载具与之匹配。一般地,拆除设备有相应的能力和功率限值,液压破碎锤的冲击功通常为 300 ~ 10 000 J,液压破碎剪最大破碎力约为 40 ~ 115 t,破碎球重量一般为 0.5 ~ 3 t。人工拆除或半人工半机械拆除,以及爆破拆除所需炮孔布设所需的人工机具多为自重不大的电锤、电镐或风镐等。

3 砌体结构工业化拆除

砌体结构的改、扩建工程的任务日趋繁重,而且待拆除建筑大多处于人口密集、建筑物相对集中的闹市地段,建筑物拆除作业过程中对临近建筑物和周边居民正常生活产生的负面影响问题已经引起了人们的广泛关注。

砌体结构的拆除可分为整体拆除和部分拆除两

种类型。整体拆除是自上而下的使建筑解体,其会对可回收的材料造成进一步的破坏,并且很难将可利用材料从产生的废弃材料混合物中分离出来;部分拆除是拆除部分砖石建筑并翻新其剩余部分,“立面保留”就是一种常见的部分拆除方法,通过保持原建筑完整的外立面来保存一个地区的历史特色。

但无论采用哪种拆除方法,拆除改造都会产生大量的建筑垃圾,并且待拆除的建筑物并不完全因为结构损坏等安全问题需要进行拆除改造,部分或者完全拆除后的砌体墙片状况可能仍然是良好的。如果可以实现拆除砌体墙片的再利用,这将从源头上减少资源浪费与环境污染,实现废物利用,实现砌体工业化拆除,具有良好的经济效益和社会效益。

以往国内外针对具有历史价值和文物价值的砌体结构的迁移、改造和加固过程中,涉及了较多的砌体墙片的整体拆除后再拼装利用的工程应用。例如,哈尔滨市中央大街西九道街有一面“百年老墙”,墙高 15.4 m,厚 0.75 m,长 22 m,总重量有 600 t,其主体建筑为欧式住宅,建于 20 世纪 30 年代,砖木结构,采用的是以古典主义为主的折衷主义建筑风格。旧城改造过程中,须延续百年老街历史文脉,为建造金安广场,斥资 300 万元先将此墙进行平移,后于次年平移回原位,经加固、装饰后作为建筑外墙再利用。

这种在保护建筑、历史建筑或文物建筑的加固改造中对墙体整体拆除或移动的技术,为我们提出常规砌体结构墙片工业化拆除再利用提供了启示,对已评定砌体结构墙片按工业化拆除后再拼装,可实现拆除墙片的再利用,有利于节约资源、能源,达到“四节一环保”。同时,采用工业化拆除砌体墙片并对其再拼装利用,符合中国当今工业化建筑进程不断加快的发展趋势。若从拆除后再利用的角度综合考虑,这种可充分利用机械方式拆、运、装的工业化建造的思路,可极大地节约人力成本,并有效避免粉尘、噪声污染环境,特别地,实现了对资源的循环再利用,具有巨大的经济效益和社会效益。

当前实现拆除砌体墙片的工业化再利用存在的主要问题可归纳为几个方面:

1) 提出砌体结构建筑墙片单元的裁分原则和方法。需要按照工业化建造的逆程序和循环利用的需求,结合砌体结构房屋的具体特点,提出合理的裁分原则和方法。首先,需要根据墙片的建筑年代和工作环境等技术指标对墙片损伤程度进行分级,预估墙片的剩余强度,判定该墙片是否有必要进行工业化拆除,并对墙片进行拆除行为的损伤分析^[39]。其次,进行墙片的裁分尺寸要保证自身在吊装和运输中不会发生破坏,而且墙片的裁分尺寸也应该有固定的模数,以便于拆除墙片的工业化再利用。

2) 提出优选裁分机具的原则和方法. 根据结构类型、体量规模和建筑高度等技术指标, 按照低噪声、少污染、降成本、耗时短的原则来优选裁分机具. 初步选用取芯机和切墙锯作为墙片拆除的裁分机具, 取芯机的直径选择首先需要保证在拆除墙片时不会对墙体产生大面积破坏, 尽量减小对其重复利用的影响; 其次需要考虑取芯机的施工效率, 如果选用直径很小的取芯机, 与直径很大的取芯机相比, 在拆除同样长度的墙体时将会极大增加其工作量, 大大降低其拆除的施工效率, 延长了施工工期, 增大了成本.

3) 形成以拆除效果为目标函数, 以各关键参数为自变量的砌体结构建筑拆除决策系统. 初步设想根据建造年代、结构类型、体量规模和使用环境等技术指标, 分析墙体的损伤等级, 直接估算待拆除墙片的剩余强度, 为拆除墙片的工作提供理论支撑.

4) 提出对裁分后墙体单元有效施加预应力和侧向支撑的吊离和运输方法. 砌体墙片是由块材和砂浆砌筑而成的, 块材与块材之间是通过砂浆黏结而连接的, 墙体的抗拉及抗剪强度则因砂浆较低的黏结能力而较低, 其整体性能与钢筋混凝土构件相比要低得多, 不能像钢筋混凝土构件那样简单的利用预埋件进行运输和吊装, 因此在运输和吊装过程中墙片容易发生倾斜, 受到损坏, 无法安全稳定的运输和吊装到施工部位^[40], 可对裁分后墙体单元两面各加设一个装有丝杠来提供预应力的夹持边框, 边框通过螺栓与墙体相连接, 提供预应力的丝杠与竖向边框相当于墙体的体外钢筋, 在墙体在运输和吊装时, 体外钢筋会与墙体受到的外力相互抵消或剩余极小部分由墙片承担, 以此来达到防止墙体破坏的目的.

5) 提出对裁分后墙体单元工业化再利用的连接方法. 基于拆除墙片的承重体系的水平连接分平面内连接和交叉连接两种情况, 基于拆除墙片的承重体系的竖向连接分楼面处连接和非楼面处连接两种情况, 将提出“端面植筋 + 现浇构造柱”相邻拆除墙片间的水平连接方法, 提出用胶凝材料黏接连接的拆除墙片竖向连接方法, 通过在相邻墙片间的合适位置设置构造柱为竖向交通提供支撑或着力点, 建立基于拆除墙片的新建筑砌体结构抗震性能与各关键参数间的量化表达, 实现基于拆除墙片的新建筑砌体结构抗震性态设计.

值得注意的是, 工业化的拆除过程采用了静力拆除的方式, 即采用取芯机、墙锯实现墙体的分块拆下, 吊装前对拆下墙片的临时加固措施, 可保证墙片的整体性, 不扰动块材间的砌筑砂浆层, 采用有效处理措施后的砌体墙片, 不存在由于拆、吊、运、装的施工过程对墙体承载力的扰动. 当然, 拆除行为可能会

导致墙片边缘砌块的松动或脱落, 可采用砂浆封闭等措施, 而拆除墙片的再利用过程, 将对墙片边进行马牙槎化处理措施, 可保证拆除墙片再拼装后整体工作性能, 尤其是保证再利用墙片的承载能力. 因此, 结合了临时加固措施的工业化拆除墙片, 拆除行为对墙片承载力影响可以忽略, 又结合我们提出的拆除墙片水平与竖向的合理连接构造, 可实现工业化拆除后的墙片再拼装利用.

4 结 论

1) 对比分析了国内外既有砌体结构常采用的人工法、破碎锤、破碎球、长臂液压剪以及爆破法 5 种拆除技术, 总结了其各自的工作原理、技术优势和应用范围.

2) 机械拆除装置与设备应依据建筑物类型、规模等, 综合考虑安全性、经济性后确定, 尤其是应着重考虑相关设备的拆除能力.

3) 提出了城镇建筑密集区砌体结构建筑墙片裁分、吊装、运输、就位至重新拼装的砌体结构工业化拆除与再利用的思路和方法.

参 考 文 献

- [1] ELIAS-OZKAN S T. Recycling rubble into aggregates: A model for local governments[J]. *Habitat International*, 2001, 25(4): 493
- [2] ZHONG X, CHEN X. Demolition, rehabilitation, and conservation: Heritage in Shanghai's urban regeneration, 1990 - 2015[J]. *Journal of Architecture and Urbanism*, 2017, 41(2): 84
- [3] LAURITZEN E K. Third international RILEM symposium on demolition and reuse of concrete and masonry Odense, Denmark, 24 - 27 October 1993 [J]. *Materials and Structures*, 1994, 27(5): 307
- [4] 何军, 于亚伦, 李彤华. 城市建(构)筑物控制拆除的国内外现状[J]. *工程爆破*, 1999, 5(3): 76
HE Jun, YU Yalun, LI Tonghua. Current situation of demolishing urban structures with controlled blasting at home and abroad[J]. *Engineering Blasting*, 1999, 5(3): 76
- [5] 黄旭雷, 高林炎, 余琳. 建筑工程拆除发展简述[J]. *居舍*, 2018(5): 6
HUANG Xulei, GAO Linyan, YU Lin. Brief introduction of demolition and development of construction project [J]. *Jushe*, 2018(5): 6
- [6] 周洲. 建筑机械拆除施工方法研究[J]. *山西建筑*, 2016, 42(20): 83
ZHOU Zhou. Research on architectural mechanical demolition construction methods[J]. *Shanxi Architecture*, 2016, 42(20): 83
- [7] GHISELLINI P, JI X, LIU G, et al. Evaluating the transition towards cleaner production in the construction and demolition sector of China: A review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 195: 419
- [8] 建筑拆除工程安全技术规范: JGJ 160—2016 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016
Technical code for safety of building demolition engineering: JGJ 160—2016 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2016
- [9] KASAI Y. The second international RILEM symposium on demolition and reuse of concrete and masonry [J]. *Materials and Structures*, 1989, 22(4): 312
- [10] Code of practice for demolition; BS 6187—2000 [S]. London: British Standards Institution, 2000

- [11] American national standard for construction and demolition operations: Safety and health program requirements for demolition operations: ANSL/ASSE A10. 6—2006 [S]. Illinois: American Society of Safety Engineers, 2006
- [12] 杨婷婷. 城市建筑绿色拆除管理与研究[J]. 山西建筑, 2012, 38(25): 237
YANG Tingting. City building green demolition management and research[J]. Shanxi Architecture, 2012, 38(25): 237
- [13] 叶洲元, 周志华. 建筑物拆除方案选择与实例分析[J]. 山西建筑, 2010, 36(16): 129
YE Zhouyuan, ZHOU Zhihua. Building demolition scheme choice and example analysis[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(16): 129
- [14] 龙思丰. 旧建筑保护性拆除的安全施工技术[J]. 广东土木与建筑, 2011, 18(4): 14
LONG Sifeng. Removal of the old building to protect the safety of construction technology [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2011, 18(4): 14
- [15] 王小蕊. 浅析城市房屋建筑的拆除改造施工方法[J]. 江西建材, 2014(24): 106
WANG Xiaorui. A brief analysis of the methods of demolition and reconstruction of urban housing construction [J]. Jiangxi Building Materials, 2014(24): 106
- [16] 王瑞刚. 建筑物拆除施工技术[J]. 黑龙江科技信息, 2003(3): 110
WANG Ruigang. Construction techniques for demolition of buildings [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2003(3): 110
- [17] 何志信. 建筑物拆卸作业守则[M]. 第2版. 香港: 屋宇署, 2004: 44
HE Zhixin. Code of practice for demolition of buildings[M]. 2th ed. Hong Kong: The Buildings Department, 2004: 44
- [18] 张定军. 国内液压破碎锤的现状与分类[J]. 江苏冶金, 2008, 36(3): 4
ZHANG Dingjun. Status and classification of hydraulic crushing hammer in China[J]. Jiangsu Metallurgy, 2008, 36(3): 4
- [19] 周志鸿, 许同乐, 高丽稳, 等. 液压破碎锤工作原理与结构类型分析[J]. 矿山机械, 2005(10): 39
ZHOU Zhihong, XU Tongle, GAO Liwen, et al. Analysis of working principle and structure type of hydraulic crushing hammer [J]. Mining Machinery, 2005(10): 39
- [20] 司癸卯, 李晓宁. 液压破碎锤的发展现状及研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2009, 26(7): 76
SI Guimao, LI Xiaoning. Development situation and research of hydraulic breaking hammer[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2009, 26(7): 76
- [21] 朱建新, 邹湘伏, 陈欠根, 等. 国内外液压破碎锤研究开发现状及其发展趋势[J]. 凿岩机械气动工具, 2001(4): 38
ZHU Jianxin, ZOU Xiangfu, CHEN Qiangen, et al. Research and development status and development trend of hydraulic crushing hammer at home and abroad [J]. Rock Drilling Machine & Pneumatic Tools, 2001(4): 38
- [22] 李大力. 建筑机械拆除施工方法探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2017(12): 191
LI Dali. Discussion on construction methods of demolition of construction machinery [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2017(12): 191
- [23] 孔亚腾, 冷洪君. 各种拆除技术之间的分析与比较[J]. 居舍, 2018(17): 33
KONG Yatang, LENG Hongjun. Analysis and comparison of various demolition techniques[J]. Jushe, 2018(17): 33
- [24] 蒋之峰. 国内外建筑物拆除方法综述[J]. 建筑技术, 1987(7): 27
JIANG Zhifeng. Review of demolition methods of buildings at home and abroad[J]. Architecture Technology, 1987(7): 27
- [25] 陈宝心, 邓敦. 建(构)筑物机械拆除方法综述[J]. 施工技术, 2004, 33(6): 50
CHEN Baoxin, DENG Mi. Introduction of mechanical removing-building methods[J]. Construction Technology, 2004, 33(6): 50
- [26] 邱艺武. 大型挖掘机配加长臂拆除双曲拱桥施工技术研究[J]. 重庆建筑, 2018, 17(7): 49
QIU Yiwu. Research on construction technology of double-curved arch bridge demolition with large excavator with long arms [J]. Chongqing Architecture, 2018, 17(7): 49
- [27] 汪旭光, 于亚伦. 21世纪的拆除爆破技术[J]. 工程爆破, 2000, 6(1): 33
WANG Xuguang, YU Yalun. Demolition blasting technology faced with the 21 century[J]. Engineering Blasting, 2000, 6(1): 33
- [28] 刘宝, 李兴龙. 长臂液压剪与鳄鱼钳在高炉拆除中的应用[J]. 中国科技博览, 2014(32): 289
LIU Bao, LI Xinglong. Application of long arm hydraulic shears and alligator nose pliers in demolition of blast furnace [J]. China Science and Technology Review, 2014(32): 289
- [29] 贾金河, 于亚伦. 国外拆除爆破的现状[J]. 爆破, 1998(2): 37
JIA Jinhe, YU Yalun. Recent development of explosive demolition abroad[J]. Blasting, 1998(2): 37
- [30] 王小林, 徐书雷, 吴枫. 国内外拆除爆破技术发展现状[J]. 西安科技大学学报, 2003, 23(3): 272
WANG Xiaolin, XU Shulei, WU Feng. Development status of demolition and blasting technology at home and abroad[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2003, 23(3): 272
- [31] 叶洲元, 马建军. 爆破拆除高耸建筑物触地危害分析与控制[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(2): 151
YE Zhouyuan, MA Jianjun. Harm analysis of collapse and touchdown of tower buildings in demolition blasting and its control measures[J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(2): 151
- [32] 陈新民, 姜松忠. 70m高冷却塔机械拆除方法研究与实践[J]. 山东工业技术, 2017(13): 8
CHEN Xinmin, JIANG Songzhong. Research and practice on mechanical removal method of 70m high cooling tower [J]. Shandong Industrial Technology, 2017(13): 8
- [33] 郑炳旭, 魏晓林. 城市爆破拆除的粉尘预测和降尘措施[J]. 中国工程科学, 2002, 4(8): 70
ZHENG Bingxu, WEI Xiaolin. Forecast and measurements for reduction of dust in demolition blasting[J]. Engineering Sciences, 2002, 4(8): 70
- [34] 马建军, 熊祖钊, 黄风雷, 等. 机械与爆破相结合的大型楼群保护性部分拆除[J]. 工业建筑, 2002, 32(1): 70
MA Jianjun, XIONG Zuzhao, HUANG Fenglei, et al. Combining mechanical and blasting demolition techniques for the removal of the administration building[J]. Industrial Construction, 2002, 32(1): 70
- [35] 叶洲元, 李锋, 王斌, 等. 小型建筑群的机械与爆破联合控制拆除技术[J]. 煤炭科学技术, 2004, 33(7): 20
YE Zhouyuan, LI Feng, WANG Bin, et al. Combined mechanized and blasting dismantling technology for small building group [J]. Coal Science and Technology, 2004, 33(7): 20
- [36] 黄士辉. 国内城市高层建筑爆破拆除方式的探讨[J]. 工程爆破, 2006, 12(4): 22
HUANG Shihui. Investigation on methods of blasting demolition of urban highrise in China[J]. Engineering Blasting, 2006, 12(4): 22
- [37] 徐书雷, 郑学召, 王小林, 等. 浅述国内外拆除爆破现状[J]. 爆破, 2003, 20(2): 20
XU Shulei, ZHENG Xuezhao, WANG Xiaolin, et al. Brief description about current situation of demolition blasting at home and abroad[J]. Blasting, 2003, 20(2): 20
- [38] 王家维. 非爆破手段在未来建筑物拆除中的发展趋势[J]. 铁道勘测与设计, 2002(5): 70
WANG Jiawei. The development trend of non-explosive means in the demolition of buildings in the future [J]. Railway Survey and Design, 2002(5): 70
- [39] UCER D, ULYBIN A, ZUBKOV S, et al. Analysis on the mechanical properties of historical brick masonry after machinery demolition [J]. Construction and Building Materials, 2018, 161: 187
- [40] 严冬. 拆除承重墙体技术在砌体结构住宅改造中的应用[J]. 中小企业管理与科技, 2016(12): 174
YAN Dong. Application of load-bearing wall technology in the renovation of masonry buildings [J]. Management and Technology of SME, 2016(12): 174