

引用本文:叶建军,彭庆波,肖建庄,等.梁柱预埋孔机械切割异地爆破绿色拆除技术[J].建筑科学与工程学报,2023,40(6):111-117.

YE Jianjun, PENG Qingbo, XIAO Jianzhuang, et al. Green demolishing technology of beams or columns with embedded holes by mechanical cutting and off-site blasting[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2023, 40(6): 111-117.

DOI:10.19815/j.jace.2022.07066

梁柱预埋孔机械切割异地爆破绿色拆除技术

叶建军¹, 彭庆波¹, 肖建庄², 蓝戊己³, 王建永³

(1. 湖北工业大学 土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068; 2. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092;
3. 上海天演建筑物移位工程股份有限公司, 上海 200336)

摘要:为适应城市复杂环境下绿色拆除的需要,在结合机械切割和爆破破碎优点的基础上,提出了钢筋混凝土梁或柱预埋孔机械切割异地爆破绿色拆除技术。该技术的主要特征是将钢筋混凝土梁柱体系拆除全过程分解成现场拆解和异地破碎两个环节,在钢筋混凝土梁或柱浇筑时就预埋布置切割穿绳孔和爆破轴向孔,拆除时在现场利用穿绳孔对梁柱分段机械切割,然后吊装作业并运输至偏僻场所,利用梁柱段中预埋孔进行爆破破碎。为验证新技术的先进性,以某基坑支撑梁拆除工程为例,将采用新技术拆除方案与已有可行拆除方案进行了对比。结果表明:钢筋的回收价值已覆盖拆除成本,采用新技术的方案比最接近的可行方案(绳锯切割+异地破碎锤破碎)单位体积拆除成本降低了11.8%;该技术实现了钢筋混凝土梁柱的免钻孔、低成本、低环境影响的绿色拆除,让城市拆除钢筋混凝土爆破免除安全评估、安全监理和安全检测的作业模式成为可能,提供了在破碎场地同时开展建筑固体废物回收处理的新思路,具有极高的实际应用价值。

关键词:钢筋混凝土梁柱;预埋孔;机械切割;异地爆破;绿色拆除

中图分类号: TU751.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-2049(2023)06-0111-07

Green demolishing technology of beams or columns with embedded holes by mechanical cutting and off-site blasting

YE Jianjun¹, PENG Qingbo¹, XIAO Jianzhuang², LAN Wuji³, WANG Jianyong³

(1. School of Civil Engineering, Architecture and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, Hubei, China; 2. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
3. Shanghai Tianyan Building Shift Engineering Co., Ltd., Shanghai 200336, China)

Abstract: In order to meet the needs of green demolition in complex urban environment, based on the advantages of mechanical cutting and blasting, a green demolition technology of beams or columns with embedded holes by mechanical cutting and off-site blasting was proposed. The main features of the technology are that the whole process of the demolition of reinforced concrete beam or column system was divided into two steps: on-site disintegrating and off-site crushing. During the pouring of reinforced concrete beams or columns, the cutting rope holes and blasting axial holes would be embedded. When it came to the demolition step, the beam and column were mechanically cut in sections by using the rope holes on site, and then hoisted and transported to a

收稿日期: 2022-12-16

基金项目: 中韩国际合作项目(2022YFE0198300); 湖北省安全生产专项资金科技项目(2022YJZX01)

作者简介: 叶建军(1974-), 男, 理学博士, 教授, 硕士生导师, E-mail: 715470323@qq.com。

secluded crushing site, then the embedded holes in the beam or column sections were used for blasting and crushing. In order to highlight the advantages of the new technology, by taking a demolition project of a foundation pit support beam as an example, the new demolition technology was compared with the existing feasible demolition technologies. The results show that the recycled value of steel bars has covered the demolition cost, and the demolition cost of the new technology is 11.8% lower than that of the nearest feasible technology (rope saw cutting + remote crushing with hydraulic breaking hammer). This technology will enable realizing the green demolition of reinforced concrete beams and columns without drilling, lower cost and environmental impact, make it possible to avoid blasting safety assessment, safety supervision and safety inspection in the projects of blasting demolition of reinforced concrete beams or columns in urban environment, and provide a new idea to carry out the recycling and treatment of construction solid waste at the same time in the crushing site, which has high practical application value.

Key words: reinforced concrete beam or column; embedded hole; mechanical cutting; off-site blasting; green demolition

0 引言

随着城镇化的快速推进,大量的建筑物因规划改变、危建等原因需要拆除。传统拆除方法如现场爆破、现场机械破碎带来的安全问题和环境影响与城市日益严格的环境要求之间的矛盾逐年激化,迫使建筑物拆除朝着更加绿色化的方向发展,建筑物的绿色拆除^[1-3]已是大势所趋。绿色拆除除了强调拆除对环境的影响小和能耗低之外,也强调对拆除产生的垃圾的回收利用,实现建材的循环利用和建筑垃圾的减量化^[4-6]。

作为城市建筑物的骨架,钢筋混凝土梁或柱的拆除是建筑物拆除的关键和难点。由于钢筋混凝土中钢筋的回收价值较大(回收钢筋的价值通常能覆盖拆除成本),钢筋混凝土梁或柱一般需要破碎以回收钢筋。钢筋混凝土梁柱的拆除包括两个方面,即梁柱体系的拆解和钢筋混凝土材料的破碎。不管采用机械拆除^[7]还是爆破拆除^[8],限于日益严格的城市环境要求,目前多数钢筋混凝土梁柱拆除技术很难在现场同时完成结构拆解和材料破碎全部工作。部分机械拆除技术^[9]如液压破碎锤、液压钳和重力锤由于噪声污染严重已被很多城市限制使用;现场爆破拆除技术因为大量钻孔而产生严重的噪声和粉尘污染;爆破振动和飞石等有害效应构成严重安全威胁和生活生产干扰,加上倒塌梁柱的二次机械破碎产生噪声污染,已经在许多城市严控使用。为了满足城市环境要求,将钢筋混凝土梁柱拆除的两个方面分开,在现场只进行较绿色的作业模式(切割和

吊装)对梁柱体系拆解,将对环境影响较大的材料破碎环节移到环境不敏感的偏僻场地,是实现城市钢筋混凝土梁柱绿色拆除的最佳技术途径^[10-15]。

采用钢筋混凝土梁柱体系现场拆解和材料异地破碎,将拆除全过程分开进行的思路,结合现场机械切割环境影响小和异地爆破拆除效率高的优点,并吸收预埋孔爆破拆除的做法,开发了一种钢筋混凝土梁柱绿色拆除技术^[16]。通过对拆除案例设计方案的技术经济分析,验证该技术的先进性和对于资源回收利用的重大意义。

1 钢筋混凝土梁或柱预埋孔机械切割异地爆破绿色拆除技术

该技术基于拆除过程中的拆解和破碎分开实现的创新思路,结合现场机械切割低环境影响和偏僻场地爆破破碎高效率的优点,让钢筋混凝土梁柱爆破作业免除安全评估、安全监理和安全检测的作业模式成为可能,可有效降低钢筋混凝土结构拆除作业的环境影响,降低拆除成本。这也为在破碎场地同时布置建筑垃圾回收利用设施,实现建筑材料的循环利用提供了便利,从而提高建筑物全寿命效用。该技术的核心特征在于在钢筋混凝土梁或柱内布置两种预埋孔——穿绳孔和轴向孔,拆除时在施工现场利用穿绳孔对梁柱分段机械切割,然后吊装作业并运输至偏僻场所(如采石场、矿山、废弃山洞等),利用梁柱段中预埋孔装药爆破破碎。

1.1 预埋孔布置

有预埋管的钢筋混凝土梁或柱横截面如图1所

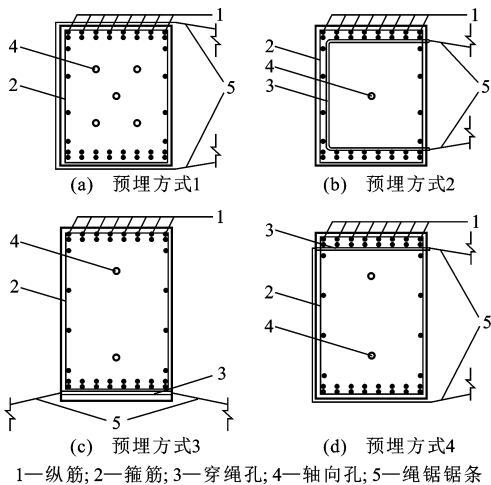


图 1 有预埋管的钢筋混凝土梁或柱横截面
Fig.1 Cross section of reinforced concrete beams or columns with embedded pipes

示。不同环境、不同截面尺寸、不同配筋率的钢筋混凝土梁或柱,穿绳孔和轴向孔的布置方式不同,二者的组合往往有多种。

穿绳孔布置取决于钢筋混凝土梁或柱内部的配筋率及工程周边环境对噪声的敏感程度。例如,工程周边环境对噪声敏感,且钢筋混凝土梁或柱中无穿绳孔时,采用图 1(a)所示的预埋方式并使用绳锯切割;钢筋混凝土梁或柱的截面尺寸较大,且周边环境对噪声不敏感时,在梁或柱浇筑前预埋图 1(b)所示的穿绳孔可将切割分成两部分:穿绳孔外的纵筋和混凝土保护层使用碟锯切割,其余部分使用绳锯切割,可大幅提高切割效率。对于基坑支撑梁中冠梁的切割,在工程周边环境对噪声敏感和不敏感两种情况下,在梁内分别采用图 1(c)、(d)的穿绳孔预埋方式可避免钻孔作业,能降低切割成本,减少施工噪声。图 1 中仅列举了 4 种组合方式,可根据实际工程需求来合理布置,预埋孔参数为:

(1)轴向孔。轴向孔在钢筋混凝土梁或柱内布置且与纵轴平行,通常采用塑料管(如 PVC 管),孔径 40~100 mm。文献[17]明确指出,需根据截面面积、配筋率确定钢筋混凝土梁柱爆破单位炸药消耗量 q ,最后根据炸药消耗量 q 确定轴向孔的孔径、数量、布孔位置即装药结构。为避免钢筋混凝土梁或柱在浇筑过程中发生轴向预埋管偏移,轴向管道每隔 1~2 m 用 4 个方向的 4 根铁丝拉紧后分别系在梁或柱的纵筋上。

(2)穿绳孔。穿绳孔通常布置在钢筋混凝土梁或柱的横截面上;为降低成本,穿绳孔采用 PVC 管,

内径 15~25 mm。

(3)切割长度。在切割过程中,选择合适的切割段长度,即相邻穿绳管间距至关重要。确定合理切割段长度需考虑施工和运输安全,以及道路转弯半径对运输物件长度的限制。切割施工中常常使用承载力较小的叉车往往成为确定切割段长度的控制性因素。在已知叉车承载力的前提下,通过公式(1)计算得到叉车所能承载的钢筋混凝土梁或柱的最大长度,从而确定相邻穿绳管道的预埋间隔。

$$l_{\max} \leq W_{\max} / (\rho_c S_{\max}) \quad (1)$$

式中: l_{\max} 为单根钢筋混凝土梁或柱最大允许切割长度; W_{\max} 为所用叉车的最大承载质量; ρ_c 为单位体积的钢筋混凝土梁或柱的质量; S_{\max} 为钢筋混凝土梁或柱的最大截面面积。

1.2 现场机械切割

不同环境下不同预埋孔布置方式的钢筋混凝土梁或柱,其现场切割操作不同,需根据周边环境对噪声的敏感程度和预埋孔的布置方式,合理选择切割机械(图 2),以实现钢筋混凝土梁或柱的高效拆除。

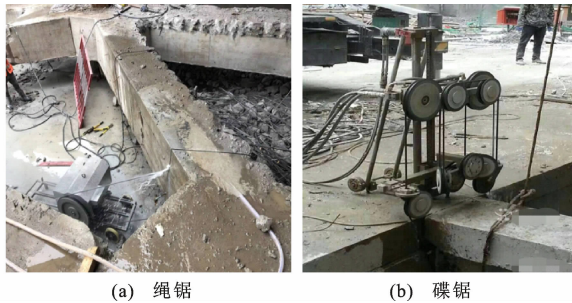


图 2 机械切割
Fig.2 Mechanical cutting

1.3 异地爆破破碎

切割后的梁柱段需运输至偏僻场地集中爆破处理。在每个梁柱段的轴向孔(即炮孔)内装药,装药结构见图 3。在炸药中插入雷管并将脚线引到轴向孔外,炮孔两端用炮泥堵塞后起爆破碎。竖放时还可采用装药长袋^[18]实现水耦合装药结构,降低混凝土大块率及粉尘污染对环境的影响,改善爆破效果。

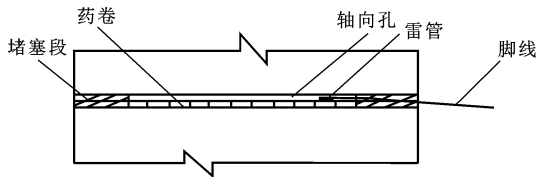


图 3 装药结构
Fig.3 Charge structure

2 案例分析

2.1 工程概况

根据文献[19]提供的工程案例,项目支撑结构平面如图 4 所示。该基坑位于某市东西湖区金山大厦对面,基坑东西两侧分别距三秀路和四明路约 100 m,基坑北侧距东西湖大道非机动车道边缘 30 m,基坑周边 20 m 内无市政管线及电缆,距最近在建住宅 20 m,周边环境较为复杂。

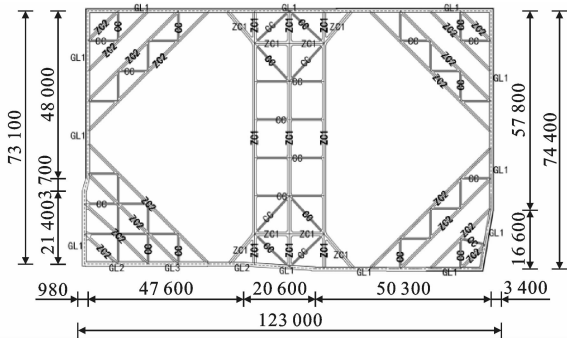


图 4 支撑结构平面(单位:mm)

Fig. 4 Plane of support structure (unit:mm)

该项目仅有 1 层支撑梁,除立柱为桩基型钢柱结构之外,冠梁、主撑、次撑和连杆均为钢筋混凝土结构。支撑结构横截面如图 5 所示。混凝土强度为 C30,保护层厚 30 mm,配筋率 1.2%~2.6%,整个基坑需要进行拆除的结构具体信息如表 1 所示。

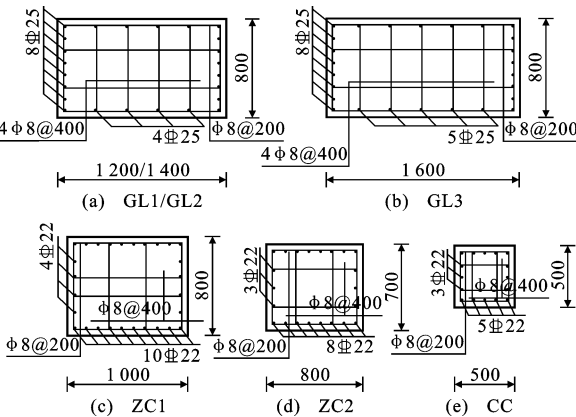


图 5 支撑结构横截面(单位:mm)

Fig. 5 Cross section of support structure (unit:mm)

2.2 拆除方案选择

鉴于基坑所在位置周边环境复杂,对噪声敏感,基坑支撑梁的拆解只能采用绳锯切割。拆解后的支撑梁段采用载重为 20 t 的货车运输至距离基坑 25 km 的采石场(周围 2 km 无居民点)后破碎,破碎方式除了使用履带式液压破碎机(含破碎锤)破碎之

表 1 支撑结构信息

Table 1 Support structure information

结构名称	梁柱编号	截面尺寸	总长度/m	方量/m ³
冠梁 1	GL1	1 200 mm×800 mm	332	318.7
冠梁 2	GL2	1 400 mm×800 mm	29	32.5
冠梁 3	GL3	1 600 mm×800 mm	18	23.0
主撑 1	ZC1	1 000 mm×800 mm	311	264.8
主撑 2	ZC2	800 mm×700 mm	490	274.4
次撑	CC	500 mm×500 mm	509	127.3

外,还可采用爆破破碎。绳锯锯条穿绳孔和爆破炮孔成孔方式有预埋管成孔和钻孔成孔两种,因此,基坑支撑梁的拆解及破碎可以组合出 6 种方案:方案 1,预埋穿绳孔绳锯切割及预埋轴向孔异地爆破;方案 2,预埋穿绳孔绳锯切割及机械破碎;方案 3,预埋穿绳孔绳锯切割及异地钻孔爆破;方案 4,钻孔绳锯切割及机械破碎;方案 5,钻孔绳锯切割及预埋轴向孔异地爆破;方案 6,钻孔绳锯切割及异地钻孔爆破。

已有学者对预埋孔和钻孔两种成孔方式展开了对比分析^[20],结果表明,根据市场价格,直径为 25~40 mm 的钻孔单价为 10~30 元·m⁻¹,内径 25~40 mm 的 PVC 管钻孔单价为 1.5~5 元·m⁻¹,相比之下预埋孔方式具有更高的经济效益。因此本文不考虑钻孔方式,只选择方案 1 和方案 2 展开技术经济对比。

2.2.1 方案 1:预埋穿绳孔绳锯切割及预埋轴向孔异地爆破

基坑支撑结构设计切割平面如图 6 所示。经计算,切割面总数量为 971 个,切割平面总面积约为 780 m²,切割后的梁段总数量为 690 块。

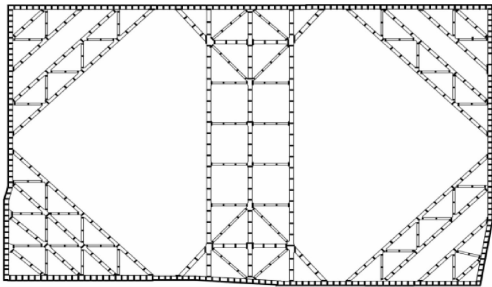


图 6 支撑结构切割平面

Fig. 6 Cutting plane of support structure

本方案需在支撑梁浇筑施工之前预埋轴向管道及穿绳管道,管道两端均用石膏封堵,待日后拆除时只需破坏端部的石膏层即可发挥轴向孔及穿绳孔的作用,预埋孔参数为:

(1)轴向孔。文献[19]中,针对所有截面尺寸的

支撑梁,均在其轴向预埋 $\phi 50$ 的 PVC 管作为炮孔,采用 $\phi 32$ 炸药药卷,取得良好的爆破效果。为便于经济对比,假定本方案的轴向孔同样采用轴向预埋 $\phi 50$ 的 PVC 管,不同的是文献[19]中所用的预埋管端部弯曲,本方案中预埋的轴向管为直管且端部延伸至保护层,预埋操作更为简便,有预埋管的支撑结构横截面如图 7 所示,其中 a 、 b 分别为横截面宽度和高度。

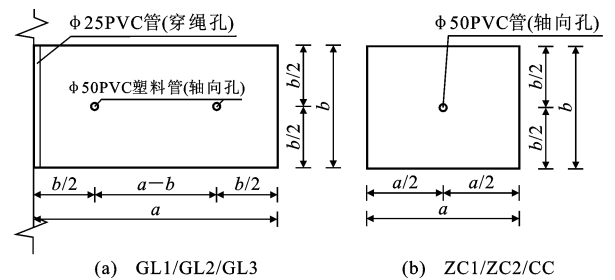


图 7 有预埋管的支撑结构横截面
Fig. 7 Cross section of supporting structure with embedded pipes

(2)穿绳孔。冠梁与主撑和次撑不同,除了需用绳锯沿纵轴方向分段垂直切割外,还需切断冠梁与基坑相连的界面,使得冠梁与基坑分离。因此穿绳孔采用 $\phi 25$ 的 PVC 管预埋于与基坑相连的冠梁保护层处。考虑到绳锯锯条长度的限制,为便于绳锯切割施工,穿绳孔沿纵轴间隔 1.5 m 等距布置,有预埋管的冠梁平面如图 8 所示。穿绳孔两端伸至冠梁的侧表面并用石膏堵塞端口,横截面见图 7 中 GL1/GL2/GL3 布置。鉴于主撑和次撑的 4 个侧面临空,无需预埋穿绳孔。

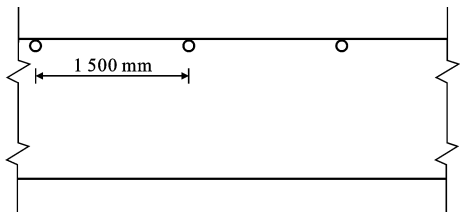


图 8 有预埋管的冠梁平面
Fig. 8 Plane of crown beams with embedded pipe

(3)切割长度。支撑梁中以冠梁 3 的截面面积最大,根据公式(1)计算,取 $S_{\max}=1.6\text{ m}\times 0.8\text{ m}=1.28\text{ m}^2$;单位体积的钢筋混凝土质量约为 2.4 t,取 $\rho_c=2.4\text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$;假定工程中所用叉车的载重为 10 t,取 $W_{\max}=10\text{ t}$ 。经计算得 $l_{\max}\leqslant 3.26\text{ m}$,结合考虑施工现场的安全系数,取 $l_{\max}=3\text{ m}$,即主撑和次撑的最大切割长度为 3 m。

梁柱段运输至城市周边偏僻场地后,在轴向孔

内装填直径 32 mm 炸药药卷,在炸药中插入一发雷管并将脚线引到孔外,炮孔两端用炮泥堵塞后起爆破碎,参照文献[19]提供的参数,本方案爆破设计参数见表 2。

表 2 爆破设计参数
Table 2 Design parameters of blasting

梁柱编号	孔深/m	单孔药量/g	装药间隔/cm	每米装药长度/cm	炸药单耗/($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
GL1	$\leqslant 1.5$	100	30	30.0	625
GL2	$\leqslant 1.5$	117	30	35.0	625
GL3	$\leqslant 1.5$	133	30	40.0	625
ZC1	$\leqslant 3$	133	30	40.0	500
ZC2	$\leqslant 3$	93	30	28.0	500
CC	$\leqslant 3$	42	30	12.5	500

2.2.2 方案 2:预埋穿绳孔绳锯切割及机械破碎
本方案预埋管参数与方案 1 相同,将支撑梁用绳锯切割成梁段后,装车并运输至石材加工厂采用液压破碎锤二次破碎。

3 技术经济对比

3.1 技术对比

此基坑支撑梁拆除工程中所采用的两种方案的技术特点见表 3,其中运用钢筋混凝土梁或柱预埋孔机械切割异地爆破绿色拆除技术(以下简称新技术)所提出的方案 1 与方案 2 的区别在于:方案 1 破碎支撑梁时采用对钢筋损伤小的爆破方式,爆破时无需钻孔,爆破后的钢筋及碎混凝土骨料更易于分类回收利用。

表 3 两种方案技术特点对比

Table 3 Technical features comparison of two schemes					
方案	操作难度	劳动强度	安全性	环保性	工期
1	简单	小	高	较差	短
2	简单	大	高	较高	长

3.2 经济对比

两种方案均为预埋穿绳孔切割后异地破碎,切割及运输费用相同。鉴于破碎作业地点偏僻,爆破不考虑安全评估、安全监理、安全监测等间接成本,仅计算直接成本。经计算,需拆除支撑梁总体积为 1 039.2 m^3 。

3.2.1 材料对比

方案 1 预埋 $\phi 25$ PVC 管(穿绳孔)长度为 100.8 m,预埋 $\phi 50$ PVC 管(轴向孔)长度为 2 065.4 m;爆破器材消耗雷管 692 枚, $\phi 32$ 乳化炸药 559.1 kg。

方案 2 预埋 $\phi 25$ PVC 管长度为 100.8 m。

3.2.2 拆除成本对比

(1)切割。根据市场价格,绳锯切割单价为 270 元·m⁻²。

(2)运输及破碎。清运全部支撑梁需使用 20 t 载重汽车运输 135 车,运输单价为每车 182 元;钢筋混凝土机械破碎单价为 72.3 元·m⁻³。

两种方案拆除总成本对比见表 4。可以看出,方案 1 比方案 2 单位体积拆除成本降低了 11.8%,

具有明显的经济优势。

3.2.3 钢筋回收价值与拆除成本对比

经计算,钢筋总质量为 143.1 t,2022 年 7 月钢材市场回收价格为 2 770 元·t⁻¹,钢筋回收总价值为 396 387 元,已超过两种方案的拆除成本。即便拆除采用成本最高的钻孔绳锯切割及异地钻孔爆破方案,拆除成本为 311 592 元,钢筋的回收价值亦可覆盖拆除成本。

表 4 两种方案总拆除成本对比

Table 4 Comparison of total demolition cost of two schemes

方案	切割费用/元	管道费用/元	炸药费用/元	雷管费用/元	运输及破碎机械费用/元	总费用/元	单位体积拆除单价/元
1	210 600	16 826	6 374	6 574	24 570	264 944	255
2	210 600	302	0	0	99 704	310 606	289

注:各项费用根据 2022 年 7 月湖北省市场价格计算。

4 结 语

(1)钢筋混凝土梁或柱预埋孔机械切割异地爆破绿色拆除技术充分结合机械切割和爆破破碎的优势,极大减轻了钢筋混凝土梁柱拆除作业对城市环境的影响,具备显著的优势。显然它让城市钢筋混凝土爆破破碎作业免除安全评估、安全监理和安全检测的作业模式成为可能(类似于矿山采矿爆破作业管理模式)。该技术有较高效率,能显著降低拆除成本。同时,这种拆除作业模式也为在钢筋混凝土破碎现场附近设立建筑固废(如碎混凝土)回收利用工厂提供了便利,有力推动了固废减量化和资源化。

(2)目前,该技术应用于临时钢筋混凝土梁或柱(如基坑支撑梁)的拆除工程已无任何技术和制度障碍,相信随着工程应用的开展会很快出台相应技术标准。将来在永久建筑梁柱中也可考虑使用该技术。显然,在永久建筑的梁柱中使用时,绝大多数场合只需预埋轴向孔。鉴于轴向预埋孔直径在 50~100 mm,其截面面积只占梁柱横截面面积的 1.5%以下(本文应用案例中,预埋管截面面积只占支撑梁截面面积的 0.2%~0.8%),其存在对钢筋混凝土建筑结构影响可控^[21]。限于篇幅,本文对于钢筋混凝土结构内预埋孔的力学影响不做深入分析(另有专门研究深入考虑这个问题)。伴随着钢筋混凝土结构预埋孔爆破拆除有关理论的深入研究和新技术的不断完善,本技术在永久建筑中推广应用指日可待。

参考文献:
References:

[1] 胡 俊. 构建现代绿色建筑体系的探索研究与实践

[D]. 重庆:重庆大学,2006.
HU Jun. The study and practice on constructing the modern green building system[D]. Chongqing:Chongqing University,2006.
[2] 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 Chengshu. Research on life-cycle green management of construction project[D]. Chongqing:Chongqing University,2007.
[3] 梁潘好. 房地产项目绿色管理模式的应用分析[D]. 广州:华南理工大学,2009.
LIANG Panhao. Application analysis on the green management model of real estate project[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2009.
[4] 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 Jianzhuang, CHEN Lihao, YE Jianjun, et al. Technology and green development of demolition for concrete structures[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2019,36(5):1-10.
[5] 肖建庄,张青天,段珍华,等. 建筑废物堆山造景工程探索[J]. 结构工程师,2019,35(4):60-69.
XIAO Jianzhuang, ZHANG Qingtian, DUAN Zhenhua, et al. The exploration of using construction waste in piling up hill for making scenery[J]. Structural Engineers,2019,35(4):60-69.
[6] 肖建庄,沈剑羽,高 琦,等. 工程弃土现状与资源化创新技术[J]. 建筑科学与工程学报,2020,37(4):1-13.
XIAO Jianzhuang, SHEN Jianyu, GAO Qi, et al. Current situation and innovative technology for recycling of engineering waste soil[J]. Journal of Architecture

- and Civil Engineering, 2020, 37(4): 1-13.
- [7] 宁传红,于海申,王岩峰,等. 深基坑混凝土内支撑拆除关键技术[J]. 建筑施工, 2016, 38(4): 409-411.
NING Chuanhong, YU Haishen, WANG Yanfeng, et al. Key technology for demolition of inner concrete support in deep foundation pit[J]. Building Construction, 2016, 38(4): 409-411.
- [8] 刘国军,梁锐,杨元兵,等. 复杂环境下钢筋混凝土连续梁桥爆破拆除[J]. 爆破, 2020, 37(3): 99-102, 140.
LIU Guojun, LIANG Rui, YANG Yuanbing, et al. Blasting demolition of reinforced concrete continuous beam bridge in complex environment[J]. Blasting, 2020, 37(3): 99-102, 140.
- [9] 高广君. 建筑机械拆除施工现状及改进[J]. 中国新技术新产品, 2019(7): 114-115.
GAO Guangjun. Present situation and improvement of demolition construction of construction machinery[J]. New Technology & New Products of China, 2019(7): 114-115.
- [10] 陈保平,范海飞. 深基坑钢筋混凝土内支撑切割拆除施工技术[J]. 建筑施工, 2015, 37(12): 1396-1397.
CHEN Baoping, FAN Haifei. Construction technology for cutting demolition of reinforced concrete inner support in deep foundation pit[J]. Building Construction, 2015, 37(12): 1396-1397.
- [11] 郭伟. 毗邻地铁深大基坑内支撑拆除施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2021(7): 168-172.
GUO Wei. Construction technology for demolition of supports in deep and large foundation pit adjacent to the subway[J]. Railway Construction Technology, 2021(7): 168-172.
- [12] 叶建军,程大春,彭辉,等. 冷却水管兼作炮孔的大体积混凝土拆除爆破技术[J]. 水力发电, 2017, 43(7): 71-75, 88.
YE Jianjun, CHENG Dachun, PENG Hui, et al. Blasting technology for large volume concrete demolition by using cooling water pipes as blasting holes[J]. Water Power, 2017, 43(7): 71-75, 88.
- [13] 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 Jianjun, CHEN Fei, XIAO Jianzhuang, et al. Green blasting demolition technology of reinforced concrete structures[J]. Blasting, 2019, 36(3): 90-97.
- [14] 叶建军,程大春,明军. 基坑钢筋混凝土临时支撑梁绿色拆除爆破技术[J]. 爆破, 2017, 34(1): 101-107.
YE Jianjun, CHENG Dachun, MING Jun. Green explosive demolition of temporary reinforced concrete pit-supporting beams[J]. Blasting, 2017, 34(1): 101-107.
- [15] 程大春,叶建军,汪腊香,等. 钢筋混凝土梁柱轴向预埋孔长袋水耦合精确装药爆破拆除技术[J]. 爆破, 2018, 35(2): 107-113.
CHENG Dachun, YE Jianjun, WANG Laxiang, et al. Explosive demolition of reinforced concrete beam and column by water coupling accurate charging with pre-buried axial holes and long bag[J]. Blasting, 2018, 35(2): 107-113.
- [16] 叶建军,蓝戊己,王建永,等. 钢筋混凝土梁柱预埋孔机械切割与异地爆破绿色拆除方法: CN113654423A[P]. 2021-11-16.
YE Jianjun, LAN Wuji, WANG Jianyong, et al. Green dismantling method for embedded hole mechanical cutting and remote blasting of reinforced concrete beam or column: CN113654423A[P]. 2021-11-16.
- [17] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.
WANG Xuguang. Blasting Design and Construction[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013.
- [18] 叶建军,吴巍,程大春,等. 装药长袋及利用装药长袋对炮孔装药的方法与流程: CN105627845B[P]. 2018-08-24.
YE Jianjun, WU Wei, CHENG Dachun, et al. Long charging bag and method for charging blast holes through long charging bag: CN105627845B[P]. 2018-08-24.
- [19] 叶建军,程大春,詹小杰,等. 基坑支撑梁轴向预埋孔爆破拆除技术[J]. 爆破, 2017, 34(2): 74-79.
YE Jianjun, CHENG Dachun, ZHAN Xiaojie, et al. Blasting technology of demolition of pit-support beams by pre-buried axial pipes blast holes[J]. Blasting, 2017, 34(2): 74-79.
- [20] 叶建军,彭庆波,李虎,等. 制梁台座预埋管爆破拆除技术[J]. 煤矿爆破, 2022, 40(1): 9-14.
YE Jianjun, PENG Qingbo, LI Hu, et al. Blasting demolition technology of embedded pipe in beam-making pedestal[J]. Coal Mine Blasting, 2022, 40(1): 9-14.
- [21] 叶建军,程大春,舒大强,等. 钢筋混凝土杆件轴向预埋孔绿色拆除爆破技术[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(10): 151-157.
YE Jianjun, CHENG Dachun, SHU Daqiang, et al. Green blasting technology for demolition of reinforced concrete bars by using pre-buried axial pipes as blast holes[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(10): 151-157.