

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.014

复杂环境下楼房纵向逐跨坍塌爆破技术应用*

王洪刚^{1,2,3}, 姚颖康^{1,2,3}, 王威^{1,2,3}, 刘昌邦^{1,2,3}, 钱坤^{1,2,3}

(1. 江汉大学 湖北(武汉)爆炸与爆破技术研究院, 武汉 430056; 2. 爆破工程湖北省重点实验室, 武汉 430056;
3. 武汉爆破有限公司, 武汉 430056)

摘要: 介绍了复杂环境下框剪结构楼房的纵向逐跨坍塌爆破工程实践, 设计在楼房1~4层、6层和8~9层布设切口, 电梯井及楼梯间的剪力墙采取“化墙为柱”的方式进行处理, 通过在楼体各区间设置合理的爆破延期时间来使楼体框架各节点处产生弯矩, 充分利用楼体结构间剪切、拉伸来改善楼体的解体效果, 爆破后楼房按照要求倒塌, 运用三维重建技术分析爆堆形态, 发现爆堆占地面积为1632 m², 与定向倾倒相比爆堆堆积的范围较小。解体效果较好的爆堆高度约8.5 m左右, 与原地倒塌相比较, 爆堆堆积范围相似, 但破碎效果要更好。

关键词: 爆破拆除; 纵向逐跨; 爆破效果; 三维重建

中图分类号: TU746.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2020)02-0080-05

Application of Vertical Span by Span Collapse Explosive Demolition Technique in Complex Environment

WANG Hong-gang^{1,2,3}, YAO Ying-kang^{1,2,3}, WANG Wei^{1,2,3}, LIU Chang-bang^{1,2,3}, QIAN Kun^{1,2,3}

(1. Hubei (Wuhan) Explosions and Blasting Technology Institute of Jiangnan University, Wuhan 430056, China; 2. Hubei Key Laboratory of Blasting Engineering, Wuhan 430056, China;
3. Wuhan Explosions and Blasting Corporation Limited, Wuhan 430056, China)

Abstract: The paper introduces the technique of vertical span by span collapse explosive demolition of frame-shear structure building in complex environment. Blasting cuts were arranged in layers 1~4, 6 and 8~9. Shear walls in elevator shafts and stairwells were treated to columns. Selecting the reasonable blasting parameters between the spans, shear failure, tensile failure and breaking bending moment has important inducing effects on the overall instability and collapse of the whole structure. After blasting the building collapsed according to the requirements, the blasting achieved the expected effect. Three-dimensional reconstruction technology was used to analyze the shape of explosive pile, it was found that the explosion pile covered an area of 1632 m², which was smaller than that of directional collapse. The height of explosive pile with good disintegration effect was about 8.5 m, compared with vertical collapsing, the blasting heap stacking range was smaller, which was similar to the in-situ collapse effect.

Key words: explosive demolition; vertical span by span; blasting effect; three-dimensional reconstruction

近年来,逐跨坍塌爆破方案已经广泛的应用于

各类高宽比不大的建筑物拆除中,相对于传统的定向倾倒和原地坍塌,逐跨坍塌可有效地减小爆破时最大单响药量、爆破振动和塌落振动的峰值,并且能促进建筑物的结构破坏,改善爆破效果^[1-3]。但是对于复杂环境下高宽比大的高楼,国内外学者还是更倾向于采用传统的定向爆破手段来实施拆除爆破施

收稿日期:2020-01-05

作者简介:王洪刚(1980-),男,高级工程师、硕士研究生,主要从事工程爆破的生产与科研工作,(E-mail) 36750384@qq.com。

基金项目:住房和城乡建设部科学技术计划项目(2017-k5-005);武汉市创新人才开发资金资助项目

工,而较少的采用逐跨坍塌爆破技术。

查阅逐跨坍塌技术相关的研究动态,李勇,汪浩结合一主体高 33 m,长轴方向 30 跨,短轴方向 3 跨的框架结构大楼的爆破拆除实践,阐明了如何在复杂环境下对多跨框架不规则高楼进行逐跨坍塌^[4];刘昌帮,贾永胜,黄小武等人通过“凸”字形结构楼房爆破拆除实践,结合高速摄影观测、三维模型重建分析了异形建筑物爆破拆除失稳垮塌的运动过程,对比了楼体爆破前后的形态,验证了纵向逐跨爆破拆除技术的科学性^[5]。为了进一步验证纵向逐跨坍塌技术的实用性,以武汉市江汉四桥拓宽项目虹锦公寓房屋爆破工程为例,介绍了纵向逐跨爆破拆除技术的使用情况,为城市复杂环境下建(构)筑物

的爆破拆除提供了新的设计施工思路。

1 工程概况

拟拆除楼房位于武汉市中山大道与沿河大道之间的硃口路东侧,为 11 层框架结构楼房,长 42.0 m,宽 16.5 m,高 51.0 m,总建筑面积为 6950 m²。楼房横向 4 排立柱,纵向 8 排立柱,设有 2 个电梯井,2 个楼梯间。主要立柱截面尺寸为 400 mm×400 mm、600 mm×600 mm、600 mm×1000 mm、700 mm×800 mm、800 mm×800 mm,主梁尺寸为 500 mm×250 mm,电梯及楼梯部分设有剪力墙,剪力墙厚度 250 mm,楼板为现浇板,板厚 120 mm。具体结构如图 1 所示。

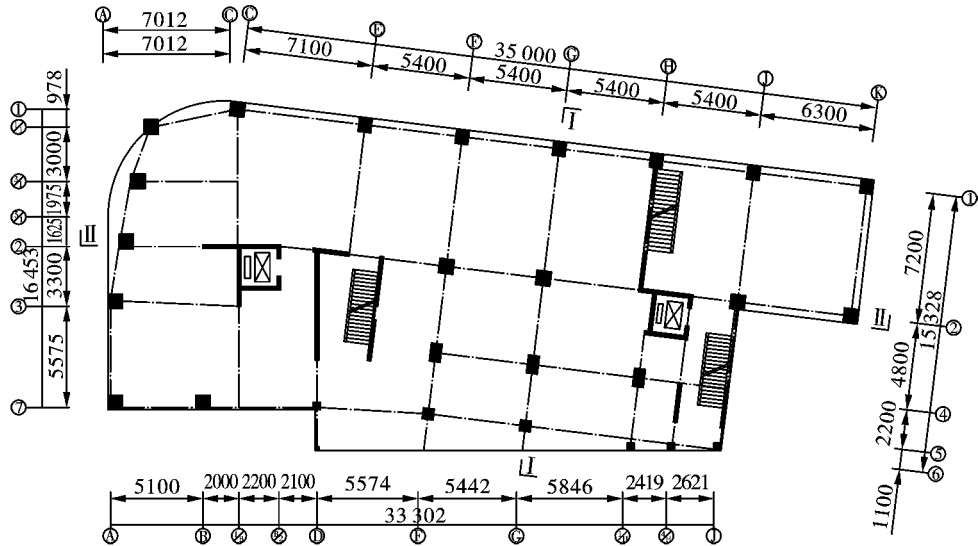


图 1 结构平面示意图(单位:mm)
Fig. 1 Structural Plane Indication(unit:mm)

大楼东侧有大量砖混结构民房,经过迁改后待拆楼房距民房最近 23.8 m,距 7 层居民楼 12.0 m;南侧为长堤路,距民房最近 25.0 m,距新建月湖桥引桥桩基 22.0 m;西侧紧邻硃口路,距新建月湖桥引桥工地 13.0 m,距引桥桩基础 16.5 m,距新建桥墩 34 m,距保留的月湖桥引桥 44.8 m,距越秀星汇云锦大楼 92.4 m;北侧为拆迁后的空地。具体环境图见图 2 所示。

2 爆破方案

2.1 总体方案选择

待拆楼房东侧、北侧多为砖混结构民房,抗震性能差,西侧有需保护的月湖桥新建桥墩和桩基础,只有南侧可为楼房倒塌提供场地,但是南侧 22 m 处有新建月湖桥引桥桩基础,25 m 处有需要保护的砖混结构民房,因此楼房倒塌堆积范围需严格控制。综

合楼房结构特征和周边环境条件,拟采用“向南纵向逐段倒塌”的总体方案^[5,6]。

2.2 爆破切口

结合待爆楼房的结构特征,本次爆破切口设置在 1~4 层、6 层和 8~9 层。为了改善爆破效果,降低楼房爆破后的堆积高度,电梯井爆破区域设置在 1 层~8 层;①~⑧轴作为支撑区,仅对 1 层进行松动爆破^[7,8]。爆破切口示意图如图 3 所示。切口高度见表 1。

表 1 切口高度(单位:m)
Table 1 Incision hight(unit:m)

轴号	A	C	E~J	K
第六~九层	0.90	0.90	0.90	0.90
第四~五层	0.90+0.90	0.90+0.90	0.90+0.90	0.90+0.90
第三层	1.20+1.20	1.20+1.20	1.20+1.20	1.20+1.20
第二层	1.20+1.20	1.20+1.20	1.20+1.20	1.20+1.20
第一层	2.10+1.20	2.10+1.20	2.10+1.20	2.10+1.20

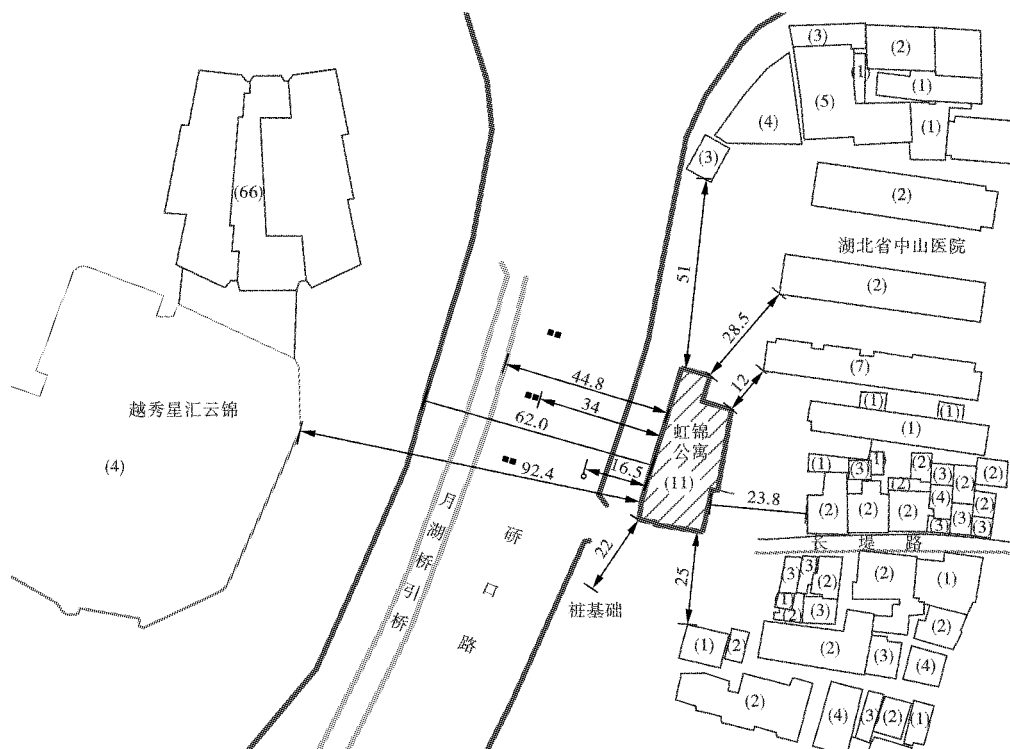


图2 周边环境示意图(单位:m)

Fig. 2 Scheme of blasting surroundings (unit: m)

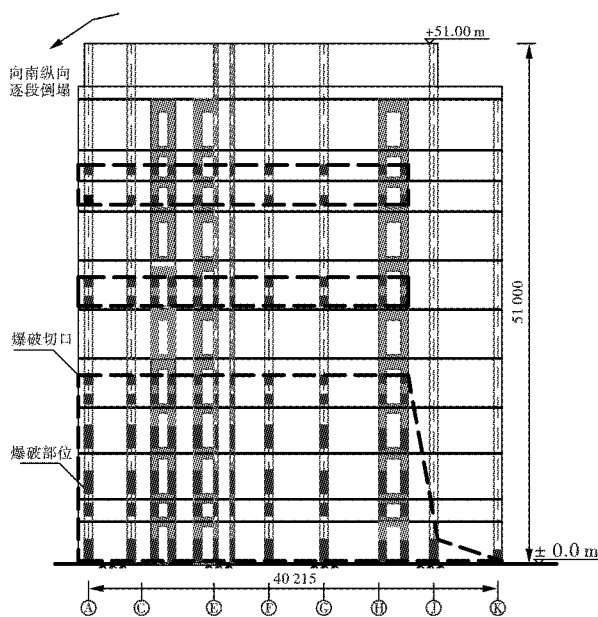


图3 爆破切口示意图(单位:mm)

Fig. 3 Demonstration of blasting incision (unit: mm)

2.3 预处理

待爆楼房按照如下步骤进行预处理:拆除1~2层全部外墙与内墙以及3层以上的切口范围内的内墙;拆除1~3层全部楼梯,3层以上楼梯弱化处理;1~11层电梯井及楼梯间的剪力墙采取“化墙为柱”的方式进行处理,5~7、10~11层立柱倒塌方向反方向及两侧的钢筋剥出并用氧割切断。

2.4 爆破孔网参数

针对不同尺寸的立柱与剪力墙,按照1500~2000 kg/m³单耗设计单孔装药量,并根据现场试爆效果,调整主要构件的装药量,于5楼及以上楼层,仅实施松动爆破,炸药单耗1200 g/m³左右。具体装药量与装药结构见表2。

2.5 爆破延期时间设计

起爆网路采用孔内装高段位非电导爆管雷管、孔外低段位非电导爆管雷管接力延时起爆网路。待爆楼房所有立柱和剪力墙均装非电导爆管雷管MS19(1700 ms),同排立柱同时起爆,A轴首先起爆,B、C(C1、C2)轴延迟A轴310 ms起爆,D、E轴延迟B、C(C1、C2)轴310 ms起爆,F轴延迟D、E轴310 ms起爆,G轴延迟F轴310 ms起爆,H(H1、H2)轴延迟G轴310 ms起爆,J、K轴延迟H(H1、H2)轴310 ms起爆。如表3所示。

3 爆破效果及体会

3.1 爆破效果

起爆后,楼房按照预定方向逐跨倒塌,从孔内雷管开始起爆到楼房完全被爆破粉尘淹没,整个过程历时约5.0 s。起爆后约0.8 s,楼体A轴至B轴区间开始出现垂直向下运动,B和C轴间首先出现了明显的剪切效果,由于H轴处存在电梯井,结构坚

固, G 轴处剪切效果最为明显, 电梯井后部楼体立柱在前部梁柱的扯动下向南倾覆倒塌, 后侧主体未产生后座, 未对侧后方的 7 层楼房造成影响, 爆破完全达到了预想效果。如图 4 所示。

表 2 爆破参数表
Table 2 Blasting parameter

立柱尺寸/ mm	最小抵抗线 w/cm	孔径/ mm	孔距 a/cm	排距 b/cm	孔深 l/cm	单耗/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	单孔药量 q/g	布孔方式	装药结构
400 × 400	20.0	40	30	—	24	1500	72	单排布孔	连续装药
600 × 600	30.0	40	30	—	39	1500	162	单排布孔	连续装药
600 × 1000	30.0	40	30	—	75	1800	160 + 160	单排布孔	间隔装药
700 × 800	35.0	40	30	—	53	2000	336	单排布孔	连续装药
800 × 800	20.0	40	30	—	60	2000	400/90 + 90	梅花布孔	连续/间隔装药
250 mm 剪力墙	12.5	40	30	30	15	1800	40	梅花形布孔	连续装药

表 3 爆破延期时间表 (单位: ms)
Table 3 Blasting delay-time (unit: ms)

楼层		轴 号							
		$A、B、C$	$C_1、C_2、D、E$	F	G	$H、H_1、H_2$	J	K	
1 层	孔外	0	310	620	930	1240	1550	1860	
	孔内	1700	2010	2320	2630	2940	3250	3560	
2 层	孔外	0	310	620	930	1240	1550	—	
	孔内	1700	2010	2320	2630	2940	—	—	
3、4 层	孔外	310	620	930	1240	1550	—	—	
	孔内	2010	2320	2630	2940	3250	—	—	
6 层	孔外	620	930	1240	1550	1860	—	—	
	孔内	2320	2630	2940	3250	3560	—	—	
8 层	孔外	620	930	1240	1550	1860	2170	—	
	孔内	2320	2630	2940	3250	3560	3870	—	
9 层	孔外	620	930	1240	1550	1860	—	—	
	孔内	2320	2630	2940	3250	3560	—	—	

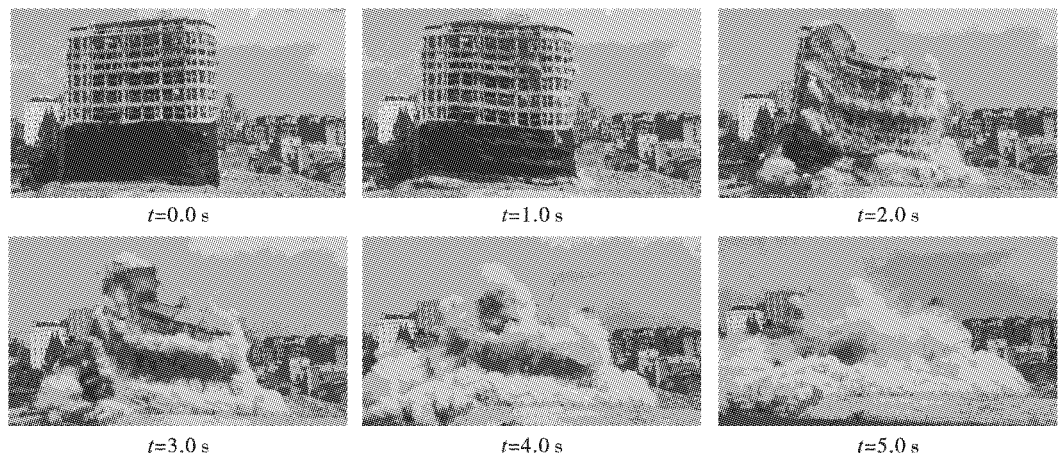


图 4 爆破过程示意图

Fig. 4 Schematic diagram of blasting process

通过无人机对楼房爆破后的姿态进行扫描, 并运用 Altizure 三维重建技术建立楼房爆堆的三维模型^[9,10], 如图 5。从模型中可以看到, 楼体前半部分倒塌后解体效果非常好, 电梯井后侧楼体由于未装

药爆破, 在前部梁柱的扯动下向南倾覆倒塌后仍旧保持了较完整的结构。经过测量, 楼房爆堆长 63.2 m, 宽 31.8 m, 最大高度 13.4 m, 其中解体效果较好的爆堆高度约 8.5 m 左右, 上部未解体框架结

构高度约5.0 m左右。爆堆占地面积为1632 m²,约是楼房占地面积的2.3倍。爆堆前冲17.2 m,东侧外移9.7 m,西侧外移5.6 m。爆堆长度是楼房高度的1.24倍,是楼房长度的1.50倍;爆堆宽度是楼房宽度的1.92倍。楼房倒塌后未对周边建(构)筑物造成危害。

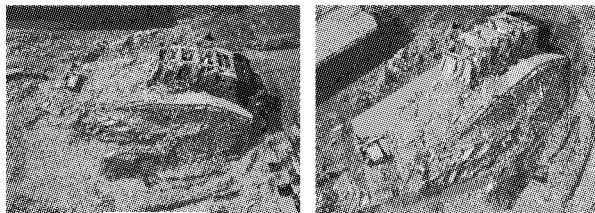


图5 三维重建模型

Fig. 5 Three Dimensional Reconstruction model

3.2 几点体会

(1)采用纵向逐跨倒塌爆破技术,可使建筑物产生两次比较充分的解体:第一次势能以突加载荷形式转化成弯曲破坏能,使建筑物框架各节点处产生弯矩而解体破坏;第二次为建筑物构件坍塌触地冲击而解体,使框架整体得到理想的破坏效果。在实际施工中,可以通过在各区间设置合理的爆破延期时间来使建筑物框架各节点处产生弯矩,充分利用楼体结构间剪切、拉伸来改善楼体的解体效果。

(2)采用纵向逐跨倒塌爆破技术和定向倒塌相比较,楼房破碎效果较好,爆堆堆积的范围较小;和原地倒塌相比较,爆堆堆积范围相似,但楼体的破碎效果要更好,爆堆的高度更低。

(3)采用纵向逐跨倒塌爆破技术,能使建筑物结构在塌落过程中逐步触地,减小塌落震动对周边环境的影响。爆破中对起爆顺序、单响药量以及倾倒时间的合理控制,可以避免了对楼房倾倒触地引起的振动叠加效应。

参考文献 (References)

- [1] 陈宝心,邓 救,钱 虎. ANSYS 模拟框架结构楼房逐段解体爆破拆除[J]. 爆破,2004,21(3):5-7.
- [1] CHEN Bao-xin, DENG Mi, QIAN Hu. ANSYS simulation of the blasting process by gradual disintegration[J]. Blasting,2004,21(3):5-7. (in Chinese)
- [2] 谢先启,王洪刚,刘昌邦,等. 2 栋混合结构楼房纵向延时定向倾倒爆破拆除[J]. 爆破,2011,28(2):87-89.
- [2] XIE Xian-qi, WANG Hong-gang, LIU Chang-bang, et al. Demolition of two brick-concrete buildings by longitudinal delay and directional blasting[J]. Blasting,2011,28(2):87-89. (in Chinese)
- [3] 谢先启,贾永胜,韩传伟,等. 异性结构楼房纵向延时定向倾倒爆破技术[J]. 工程爆破,2010,16(4):58-60.
- [3] XIE Xian-qi, JIA Yong-sheng, HAN Chuan-wei, et al. Longitudinal delay and directional collapse blasting technique for special-shaped building[J]. Engineering Blasting,2010,16(4):58-60. (in Chinese)
- [4] 李 勇,汪浩. 复杂环境下多跨框架不规则高楼的逐跨坍塌爆破[J]. 爆破,2005,22(1):59-61.
- [4] LI Yong, WANG Hao. Span-by-span blasting demolition of an irregular building under complex environment[J]. Blasting,2005,22(1):59-61. (in Chinese)
- [5] 刘昌邦,贾永胜,黄小武,等. 异形结构楼房纵向逐跨空中解体爆破拆除[J]. 爆破,2019,36(3):84-89.
- [5] LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, et al. Blasting demolition technology of longitudinal collapse and aerial disintegration for special-shaped building[J]. Blasting,2019,36(3):84-89. (in Chinese)
- [6] 刘昌邦,王洪刚,贾永胜,等. 8 层砖混结构楼房的逐段坍塌爆破拆除[J]. 爆破,2011,28(4):66-68.
- [6] LIU Chang-bang, WANG Hong-gang, JIA Yong-sheng, et al. Explosive demolition of 8 floor brick-concrete building by span-by-span collapse[J]. Blasting,2011,28(4):66-68. (in Chinese)
- [7] 张建平,费鸿禄,曲广建,等. 异型截面楼房定向爆破的关键技术和应用[J]. 爆破,2017,34(1):117-123.
- [7] ZHANG Jian-ping, FEI Hong-lu, QU Guang-jian, et al. Key technique and application of directional blasting of special-shaped building[J]. Blasting,2017,34(1):117-123. (in Chinese)
- [8] 马建军,田水龙,钟冬望,等. 爆破切口高度对框架结构后坐影响的数值分析[J]. 爆破,2018,35(3):116-122.
- [8] MA Jian-jun, TIAN Shui-long, ZHONG Dong-wang, et al. Numerical simulation of blast cut height effect on backlash of frame buildings[J]. Blasting,2018,35(3):116-122. (in Chinese)
- [9] 欧阳天云,马建军,池恩安,等. 剪力墙结构高层住宅楼爆破拆除数值模拟研究[J]. 爆破,2018,35(1):104-108.
- [9] OUYANG Tian-yun, MA Jian-jun, CHI En-an, et al. Numerical simulation research of explosive demolition of high-rise apartment building with shear wall structure[J]. Blasting,2018,35(1):104-108. (in Chinese)
- [10] 谢先启,刘昌邦,贾永胜,等. 三维重建技术在拆除爆破中的应用[J]. 爆破,2017,34(4):96-99,119.
- [10] XIE Xian-qi, LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, et al. Application of three dimensional reconstruction in blasting engineering[J]. Blasting,2017,34(4):96-99,119. (in Chinese)

英文编辑:黄 刚