

考虑多因素的夜间交通噪声影响量化方法

魏姗姗, 梁璟, 王琳

山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102

摘要:针对夜间交通噪声影响居民生活的问题,采用问卷形式调查居民对夜间交通噪声的主观感受,调查显示居民的主观感受与噪声强度、居民年龄、身体健康状况、房屋是否临街、房龄等因素有关。综合考虑临街区域的夜间声环境功能区类型、夜间交通噪声强度、暴露人口数量及房龄系数等多个因素建立夜间交通噪声影响量化模型。以北京市海淀区某渣土车夜间配送场景为例,分析分别以燃油消耗成本最小、时间成本最小、噪声影响最小为目标的最佳配送路线。结果表明:不同目标下渣土车的最佳配送路线不同,以燃油消耗和时间成本最小为目标时,最佳配送路线的交通噪声影响量均较大;以噪声影响最小为目标时,渣土车配送路线需避开人口密集区域与医疗区域,此时的时间成本和燃油消耗成本相对较高。

关键词:夜间交通噪声;声环境功能区;量化模型;配送路线

中图分类号:U491.9⁺1

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2023)01-0007-06

引用格式:魏姗姗,梁璟,王琳.考虑多因素的夜间交通噪声影响量化方法[J].山东交通学院学报,2023,31(1):7-12.

WEI Shanshan, LIANG Jing, WANG Lin. A quantitative method of night traffic noise impact considering multiple factors[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2023, 31(1): 7-12.

0 引言

交通运输业的快速发展给居民生活带来便捷的同时,带来交通噪声污染、空气污染、石油过度开采等环境问题^[1]。Seidler等^[2]研究发现人们长期暴露在交通噪声中患中风疾病的风险更高,Roswall等^[3]、Lim等^[4]研究了交通噪声与糖尿病及心肌梗塞发病率间的关系;世界卫生组织研究报告显示心脏病、高血压、抑郁症等疾病也与交通噪声有关。交通噪声已严重影响人们的身心健康和生活质量,夜间交通噪声的危害更加明显^[5-6]。

国内外学者对交通噪声的影响进行了大量研究,Majid等^[7]基于层次分析法提出1种间接估算城市交通噪声敏感区域的方法;Bravo-Moncayo等^[8]研究了城市交通噪声暴露成本效益评估方法;Hamad等^[9]采用人工神经网络对炎热气候下的道路交通噪声进行建模分析;张林^[10]、任文党^[11]研究了交通噪声及其控制方法;李本纲等^[12]通过分析道路交通噪声的影响因素,根据实测数据建立了适合中国城市交通、路况和环境标准的城市道路交通噪声预测理论-统计模型;刘涛^[13]从车速、车流量、路面宽度3方面分析了交通噪声的影响因素和传播规律,有针对性地提出了交通噪声的控制方法;温晓英等^[14]采用现场测试和问卷调查的方法研究了不同等级道路附近学校的噪声环境及师生的主观感受情况,发现噪声水平随道路等级的提高而增大;邱恒等^[15]研究了交通量昼夜比、车型比等参数对交通噪声预测结果的影响。

交通噪声对居民的危害程度与噪声强度、居民特性、暴露人口数量、声环境功能区类型等有关,但综合考虑以上因素的研究较少,对夜间交通噪声影响的研究也较少。为科学量化夜间交通噪声对居民的影响,本文以问卷形式调查居民对夜间交通噪声的主观感受,建立综合考虑夜间交通噪声强度、声环境功能

收稿日期:2022-01-06

第一作者简介:魏姗姗(1994—),女,济南人,工程师,工学硕士,主要研究方向为交通规划、绿色交通,E-mail:1830025681@qq.com。

区类型、暴露人口数量、房龄等多因素的夜间交通噪声影响量化模型,并以某渣土车夜间配送场景为例分析分别以燃油消耗成本最小、时间成本最小、噪声影响最小为目标的最佳配送路线。

1 夜间交通噪声影响因素

1.1 居民对夜间交通噪声的主观感受

采用调查问卷的方式研究居民对夜间交通噪声的主观感受,实地调查 10 个不同建成时间的建筑地点,包括 6 个居民小区、1 个学生公寓、1 个老年公寓及 2 个有住院部的医院,共完成调查问卷 402 份,其中有效问卷 383 份,样本整体较均衡。考虑到婴幼儿对噪声的主观感受表达较困难,暂不考虑婴幼儿人群。

对居民性别、年龄、身体健康状况、房屋是否临街、房龄等自变量进行共线性分析,判断各自变量间是否存在一定的相关性。采用 SPSS 软件分析问卷数据,结果表明各自变量的方差膨胀系数 (variance inflation factor, VIF) 均小于 10,且接近 1,认为各自变量间没有明显的共线性问题。

根据问卷调查数据,分析居民性别、年龄、身体健康状况、房屋是否临街、房龄等自变量对居民夜间交通噪声的主观感受是否有显著影响,及各自变量的影响程度。因变量为二分类变量,即受到影响和未受到影响。采用二元 Logistic 回归分析方法,得到显著性大于 0.05,观测值接近期望值,差异较小,样本整体的预测精度为 86.4%,可认为模型拟合效果较理想。显著性检验结果表明影响居民主观感受的因素为居民年龄、身体健康状况、房屋是否临街、房龄,而居民性别对交通噪声主观感受的影响并不显著。量化夜间交通噪声对居民的影响程度时,应考虑影响居民主观感受的因素。

1.2 夜间声环境功能区类型

不同用地类型对夜间交通噪声的敏感程度不同,量化夜间交通噪声的影响程度时需考虑不同用地的声环境功能区类型,声环境功能区划分标准及噪声限值如表 1 所示^[16]。

表 1 声环境功能区及噪声限值

功能区类别	等级	区域	噪声限值/dB	
			6:00—23:00	23:00—06:00
0类		康复疗养区等特别需要安静的区域	50	40
1类		以居住住宅、医疗卫生、文化教育、科研设计、行政办公为主要功能,需要保持安静的区域	55	45
2类		以商业金融、集市贸易为主要功能,或者居住、商业、工业混杂,需要维护住宅安静的区域	60	50
3类		以工业生产、仓储物流为主要功能,需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响的区域	65	55
4类	a	高速公路、一级公路、二级公路、城市快速路、城市主干路、城市次干路、城市轨道交通(地面段)、内河航道两侧区域	70	55
	b	铁路干线两侧区域	70	60

表 1 中的噪声不止交通噪声,针对的环境也不仅是夜间环境,考虑夜间不同时间各类型功能区对交通噪声的敏感程度,将临街区域夜间声环境功能区划分为 4 类区域,即:1 类医疗区域(有住院部),2 类住宅区域,3 类文教、行政办公区域,4 类商业、工业及公园绿地等区域。

居民入睡后更易受到交通噪声的影响,因此确定夜间声环境功能区对夜间交通噪声的敏感程度需考虑居民的作息时间。将夜间划分为 23:00—01:00、01:00—05:00、05:00—06:00 3 个时间段。23:00—01:00 时 3 类声环境功能区仍可能有部分学习或办公人群,需考虑交通噪声对 3 类声环境功能区的影响;

05:00—06:00 时部分老年人已睡醒并外出锻炼^[17],此时需考虑交通噪声对外出活动老年人的影响。

为量化各声环境功能区对夜间交通噪声的敏感程度,采用重要性打分法计算夜间不同时间段各声环境功能区的权重

$$\omega_{te} = (\bar{R}_{te} + \bar{E}_{te}) / \sum_{e=1}^4 (\bar{R}_{te} + \bar{E}_{te}), \quad (1)$$

式中: t 为 1、2、3 时,分别对应时间段 23:00—01:00、01:00—05:00、05:00—06:00; e 为临街区域夜间声环境功能区类型, e 为 1、2、3、4 时,分别对应 1~4 类声环境功能区; \bar{R}_{te} 为时间段 t 未入睡的居民对 e 类功能区的打分(居民入睡前); \bar{E}_{te} 为在时间段 t 已入睡的居民对 e 类功能区的打分(居民入睡后)。

根据式(1)计算得到夜间不同时间段 1~4 类声环境功能区的 ω_{te} ,如表 2 所示。 ω_{te} 越大,表示该类声环境功能区受到交通噪声的影响越大。

表 2 夜间不同时间段 1~4 类声环境功能区的 ω_{te}

时段	23:00—01:00				01:00—05:00				05:00—06:00			
功能区	1类	2类	3类	4类	1类	2类	3类	4类	1类	2类	3类	4类
ω_{te}	0.38	0.33	0.19	0.10	0.42	0.37	0.11	0.10	0.39	0.35	0.11	0.15

2 夜间交通噪声影响量化模型

2.1 量化影响因素

为分析夜间交通噪声对某一临街区域的影响程度,建立考虑交通噪声强度、暴露人口数量、夜间声环境功能区类型、房龄等因素的夜间交通噪声影响量化模型。

采用文献[18]中的交通噪声预测模型预测夜间交通噪声强度 L_{eq} 。采用表 2 中的 ω_{te} 量化不同声环境功能区对交通噪声的敏感程度。根据问卷调查结果发现,随房龄增加,受夜间交通噪声影响的人数呈线性增长,采用房龄系数量化房龄因素对夜间交通噪声的敏感程度,房龄系数越大表示越容易受到夜间交通噪声的影响,房龄为 k 时的房龄系数

$$\varphi_k = p_k / \sum_{k=1}^5 p_k, \quad (2)$$

式中: p_k 为房龄为 k 的建筑区域内受夜间交通噪声影响人数的比例, k 为 1、2、3、4、5 分别表示房龄 ≤ 10 a、 $>10 \sim 20$ a、 $>20 \sim 30$ a、 $>30 \sim 40$ a、 >40 a。

通过式(2)计算得到 $k=1 \sim 5$ 时的 φ_k 分别为 0.10、0.19、0.22、0.23、0.26。

暴露人口数量是指暴露在夜间交通噪声影响范围内的人群,临街建筑比非临街建筑靠近声源,临街建筑内的人群更易受到交通噪声影响。为简化研究,分析暴露人口数量时仅考虑临街建筑内的人群。根据手机信令数据,以交通小区为划分单位估算人口数量的方法已较成熟^[19-21]。本文在统计人口数量时也以交通小区为单位,通过手机信令数据获取交通小区的夜间人口数量 P ,则暴露人口数量

$$p_a = P s_1 / s_2,$$

式中: s_1 、 s_2 分别为临街建筑的面积和交通小区的面积,可通过地图测得。

老年人群更易受到夜间交通噪声的影响,在建立夜间交通噪声影响量化模型时,把受到影响的老年人群考虑在内。暴露老年人口数量

$$p_o = P_o s_1 / s_2,$$

式中 P_o 为交通小区内的老年人口数量。

2.2 构建量化模型

采用交通噪声影响量 C_n 量化夜间交通噪声的影响程度, C_n 越大表示交通噪声的影响越大。由于 1

个交通小区中可能包含多个声环境功能区类型,临街建筑的房龄也不同,所以 C_n 的计算公式为:

$$C_n = N \sum_{j=1}^m w_j \varphi_j p_{ij}$$

式中: N 为沿线道路的预测交通噪声, dB; m 为交通小区中临街建筑的个数; w_j 为第 j 个临街建筑的声环境功能区权重; φ_j 为第 j 个临街建筑的房龄系数; p_{ij} 为第 j 个临街建筑的当量暴露人口总数, $p_{ij} = U_1(p_a - p_o) + U_2 p_o$, 其中 U_1 为非老年人群当量暴露人口数量换算系数, U_2 为老年人群当量暴露人口数量换算系数, U_1 、 U_2 由问卷调查数据分析得到,老年人群中受噪声影响的比例为 47%,非老年人群为 28%, $U_1 = 1$ 时, $U_2 = 1.8$ 。

车辆通过某路段的噪声影响示意图如图 1 所示。由图 1 可知:某路段两侧有 x 个交通小区,属于不同类型的夜间声环境功能区,且不同声环境功能区的面积不同,则车辆通过该路段时的交通噪声影响量

$$C = \sum_{i=1}^x C_{ni}$$

式中 C_{ni} 为某路段两侧第 i 个交通小区的交通噪声影响量。

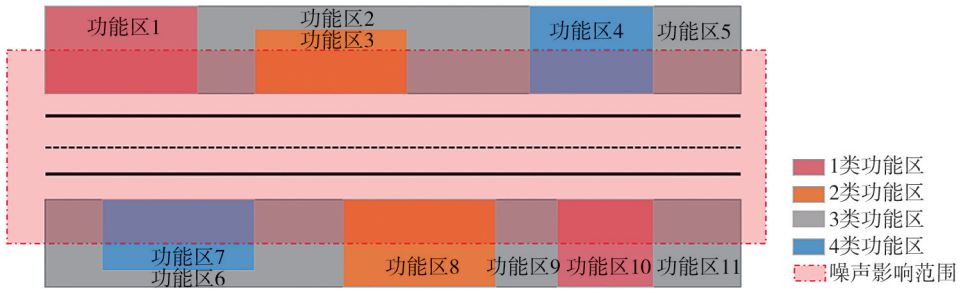


图 1 车辆通过路段的交通噪声影响示意图

2.3 案例分析

2.3.1 案例场景

为验证夜间交通噪声影响量化模型的可行性,选取 1 个典型的渣土车配送场景为案例进行分析:渣土车运输起点为北京市海淀区紫竹桥,配送需求点为北京市海淀区渣土存放处。渣土车运输道路网简化示意图如图 2 所示。由图 2 可知:排除可能导致重大绕行的路线,道路网包括 27 个节点,43 条道路,包括快速路、主干路、次干路等多种类型的道路,道路沿线分布有 4 类声环境功能区,渣土车需要在 23:00—06:00 从配送点“1”向需求点“26”运输渣土。

2.3.2 目标设置

分别以燃油消耗成本最小、时间成本最小、噪声影响最小为目标分析渣土车的最佳配送路线。

车辆燃油消耗是物流配送成本的重要组成部分之一。影响车辆燃油消耗的因素包括车辆性能、车辆质量及载质量、道路条件、交通条件、驾驶行为、周围环境等^[22]。为简化计算,估算燃油消耗成本时仅考虑运输距离、车辆百公里燃油消耗量及燃油价格,车辆通过某路段的燃油消耗成本

$$C_\tau = lbq_\tau / 100,$$

式中: l 为路段长度, km; b 为燃油价格, 元/L; q_τ 为车辆百公里燃油消耗量, L/(100 km)。当车速分别为 40、50、60、70、80 km/h 时, q_τ 分别为 11.6、13.1、14.9、16.9、19.5 L/(100 km)^[23-24]。

计算时间成本时不考虑车辆等待、装卸货物或其他服务时间,仅考虑驾驶员的驾驶时间。由驾驶员

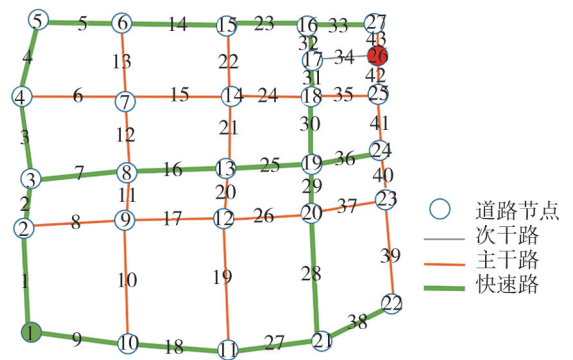


图 2 渣土车运输道路网简化示意图

工作时间与驾驶员每小时薪资计算得到时间成本,由运输距离与行驶速度计算得到驾驶时间。车辆通过某路段的时间成本

$$C_t = ql/v ,$$

式中: q 为驾驶员薪资,元/h; v 为车辆通过某路段的平均速度,km/h。

交通噪声影响以通过交通噪声影响量化模型计算得到的 C 为指标。

2.3.3 配送路线

通过 Dijkstra 算法求解不同目标下渣土车的最佳配送路线。以交通噪声影响最小为目标时分别求解夜间 3 个时段(23:00—01:00、01:00—05:00、05:00—06:00)的最佳配送路线,对比 3 个时段的噪声影响成本得到夜间最佳配送时间为 23:00—01:00。分别以燃油消耗成本最小、时间成本最小、交通噪声影响最小(23:00—01:00)为目标时的最佳配送路线如图 3 所示。

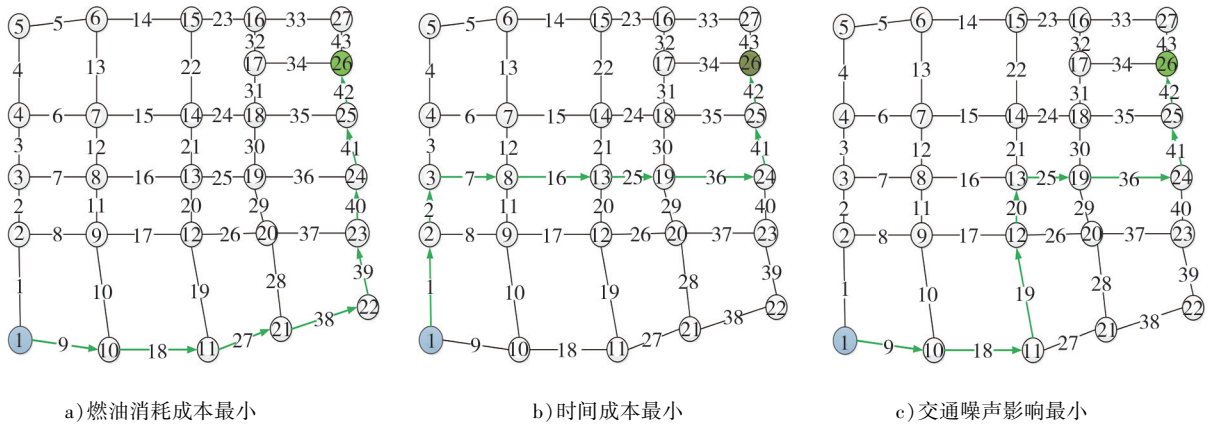


图 3 不同目标下渣土车的最佳配送路线

由图 3 可知不同目标下渣土车的最佳配送路线不同。不同配送路线的 C 、 C_t 及 C_f 对比如表 3 所示。由表 3 可知:以交通噪声影响最小为目标时,渣土车夜间配送路线需避开人口密集区域和医疗区域,选择噪声敏感性相对较低区域的道路,此时的 C_t 及 C_f 较大;以燃油消耗成本最小或时间成本最小为目标时,渣土车夜间配送路线的 C 较大。

表 3 不同配送路线的 C 、 C_f 及 C_t 对比

目标	$C/(人 \cdot dB)$	$C_f/元$	$C_t/元$
交通噪声影响最小	25 934	12.30	3.42
燃油消耗成本最小	29 107	11.08	2.91
时间成本最小	29 309	11.87	2.59

3 结语

本文针对夜间交通噪声影响居民生活问题,通过调查问卷方法得到居民对夜间交通噪声主观感受的主要影响因素为居民年龄、身体健康状况、房屋是否临街、房龄等,提出了一种综合考虑夜间交通噪声强度、声环境功能区类型、暴露人口数量、房龄系数等因素的夜间交通噪声影响量化模型,并以渣土车夜间配送场景为例选择最佳配送路线。研究结果可为治理城市交通噪声污染、改善居民声环境质量提供参考。

参考文献:

[1] 罗萍. 城市道路交通噪声污染特征分析与管理对策[J]. 环境与发展, 2017, 29(6): 61.
 LUO Ping. Characteristics analysis and management countermeasures of traffic noise pollution in urban road[J]. Environment and Development, 2017, 29(6): 61.

[2] SEIDLER A L, HEGEWALD J, SCHUBERT M, et al. The effect of aircraft, road, and railway traffic noise on stroke-results

- of a case-control study based on secondary data[J]. *Noise & Health*, 2018,20(95):152-161.
- [3] ROSWALL N, RAASCHOU-NIELSEN O, JENSEN S S, et al. Long-term exposure to residential railway and road traffic noise and risk for diabetes in a Danish cohort[J]. *Environmental Research*, 2018,160:292-297.
- [4] LIM Y H, JØRGENSEN J T, SO R, et al. Long-term exposure to road traffic noise and incident myocardial infarction: a Danish nurse cohort study[J]. *Environmental Epidemiology*, 2021,5(3):148.
- [5] World Health Organization. Burden of disease from environmental noise[R]. Germany, Bonn:WHO and JRC, 2011.
- [6] World Health Organization. Environmental noise guidelines for the European Region[R]. Denmark,Copenhagen: WHO, 2018.
- [7] MAJID A, ELHAM K, PARVIN N, et al. Hierarchical assessment of noise pollution in urban areas: a case study[J]. *Transportation Research Part D:Transport and Environment*, 2015,34:95-103.
- [8] BRAVO-MONCAYO L, CHÁVEZ M, PUYANA V, et al. A cost-effective approach to the evaluation of traffic noise exposure in the city of Quito, Ecuador[J]. *Case Studies on Transport Policy*, 2019,7(1):128-137.
- [9] HAMAD K, KHALIL M A, SHANABLEH A. Modeling roadway traffic noise in a hot climate using artificial neural networks [J]. *Transportation Research Part D:Transport and Environment*,2017,53:161-177.
- [10] 张林. 噪声及其控制[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
- [11] 任文堂. 交通噪声及其控制[M]. 北京:人民交通出版社, 1984.
- [12] 李本纲,陶澍,曹军,等. 城市道路交通噪声预测理论-统计模型[J]. *环境科学*, 2000,21(6):1-5.
LI Bengang, TAO Shu, CAO Jun, et al. A theoretical-statistical model for urban road traffic noise prediction [J]. *Environmental Science*, 2000,21(6):1-5.
- [13] 刘涛. 城市道路交通噪声影响因素与传播规律分析[D]. 西安:长安大学,2009.
- [14] 温晓英,陆凤华. 交通噪声对临街中学的影响调查与评价[J]. *建筑科学*,2018,34(2):42-48.
WEN Xiaoying, LU Fenghua. The effect of traffic noise on roadside secondary schools: a survey and evaluation[J]. *Building Science*,2018,34(2):42-48.
- [15] 邱恒,熊华. 交通量昼夜比,车型比对道路交通噪声影响研究[J]. *环境科学与管理*,2019,44(4):181-185.
QIU Heng, XIONG Hua. Study of influence of day-night traffic ratio and vehicle ratio on road traffic noise[J]. *Environmental Science and Management*,2019,44(4):181-185.
- [16] 环境保护部科技标准司. 声环境质量标准:GB 3096—2008[S]. 北京:中国环境科学出版社,2008.
- [17] 张政,毛保华,刘明君,等. 北京老年人出行行为特征分析[J]. *交通运输系统工程与信息*,2007,7(6):11-20.
ZHANG Zheng, MAO Baohua, LIU Mingjun, et al. An analysis of travel patterns of the elders in Beijing[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*,2007,7(6):11-20.
- [18] 环境保护部科技标准司. 环境影响评价技术导则 声环境:HJ 2.4—2009[S]. 北京:中国环境科学出版社,2009.
- [19] 汤长猛,廖海明,吴乃星,等. 基于手机数据的城市功能区识别算法[J]. *电脑知识与技术*,2018,14(25):285-289.
TANG Changmeng, LIAO Haiming, WU Naixing, et al. Mobile phone data based urban functional area classification algorithm[J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2018,14(25):285-289.
- [20] 丁达,毛悍琪,陆振波. 基于手机信令数据的人群类型识别研究[C]//第十四届中国智能交通年会论文集. 青岛:第十四届中国智能交通年会,2019.
DING Da, MAO Hanqi, LU Zhenbo. Research on population type recognition based on mobile signaling data[C]//Papers Collection of the 14th Annual Conference on Intelligent Transportation. Qingdao:14th Annual Conference on Intelligent Transportation, 2019.
- [21] 李喆,孙健,倪训友. 基于智能手机大数据的交通出行方式识别研究[J]. *计算机应用研究*,2016,33(12):3527-3529.
LI Zhe, SUN Jian, NI Xunyou. Travel mode recognition based on smart phone big data [J]. *Application Research of Computers*, 2016,33(12):3527-3529.
- [22] 杨龙. 考虑燃油消耗的时间依赖车辆路径问题研究[D]. 北京:清华大学,2016.
YANG Long. Research on the fuel consumption of time dependent vehicle routing problem [D]. Beijing: Tsinghua University, 2016.
- [23] 兰楠,龙军,邓高攀,等. 载货汽车等速行驶油耗特性研究[J]. *公路与汽运*,2018(1):9-12.
- [24] 余志生. 汽车理论[M]. 5版. 北京:机械工业出版社,2018.