

# 中等城市公交发展水平评价

詹斌, 崔婉茹

(武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 中等城市居民生活水平随着经济发展不断提高, 出行方式正处于由非机动化向机动化转变的过程中, 城市交通问题日益严重。由于中等城市的规模、经济水平、交通特点等与大城市存在差异, 有必要结合中等城市的自身特点对其公交发展水平进行评价, 明确短板, 明晰公交优先发展方向。文中以浙江舟山市为例, 构建基于五元联系度的集对分析评价模型 FECN-SPA, 评价中等城市的公交发展水平, 并提出相关对策及建议, 辅助政府及公交企业决策。

**关键词:** 城市交通; 中等城市; 公共交通; 发展水平评价; FECN-SPA 模型

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)04-0019-04

优先发展城市公共交通是优化城市交通结构、提高资源利用率、缓解城市道路交通拥堵、实现交通可持续发展的重要手段。从 2004 年至今, 政府相继出台多项政策, 积极推动公共交通优先发展。中等城市是指城区常住人口为 50 万~100 万的城市, 作为中国新型城镇体系中重要一环, 中等城市一直是连接大城市和小城市及广大农村之间至关重要的纽带, 其公共交通优先发展尤为重要, 不仅可缓解机动车快速增长带来的城市交通问题, 而且能很好地带动小城市的公共交通发展。而现阶段交通评价研究多数面向大城市, 针对中等城市的研究少。该文构建基于五元联系度的集对分析评价模型 FECN-SPA, 对中等城市公交发展水平进行评价, 并提出相关对策建议。

## 1 中等城市交通体系特征

受限于城市规模、经济水平、城市结构, 中等城市具有以下交通特性:

(1) 未贯彻落实公交优先政策。中等城市公交规划数量不足, 并且部分已编制的公交规划存在实际建设跟不上规划的情况。

(2) 公交分担率较低, 私人小汽车增长过快。中等城市公交分担率普遍低于大城市, 如重庆 40.6%、运城 31.9%、舟山 35.2%、南川 35.2%、邵阳 25.8%, 并且公交分担率呈现逐年下降趋势。大部分原因在于中等城市私人小汽车数量急剧增长。

(3) 公交场站建设滞后, 严重影响运营效益。公交场站是公交线网的节点, 关系到公交线网的优化布局和乘客换乘体系。中等城市公共汽电车车均

场站面积低于大城市(重庆 180 标台/万人、运城 136.7 标台/万人、舟山 154 标台/万人、南川 142.2 标台/万人、邵阳 138.1 标台/万人), 场站不足将严重影响其公交效益: 一是停车场不足, 既影响线路正常班次发放, 又极易导致周边道路堵塞, 存在夜间停车、保养等问题; 二是车辆维修场地不足, 车辆维修时间周期延长, 影响车辆按计划运营; 三是线路首末场站容量不足, 被迫异地停放, 增加空驶里程。

(4) 公交专用道运行效果不佳。中等城市交通拥堵形势日趋严重, 产生了已有公交专用道运行效果不佳、新增公交专用道实施难度大等问题。交通管理部门对公交专用道缺乏有效监管, 导致公交专用道形同虚设, 社会车辆随意进入公交专用道的现象较普遍, 严重干扰公交专用道的正常运作; 中心城区拥堵形势日趋严重, 在城市主干道增设公交专用道的难度日益加大。

(5) 公交线网不完善。中等城市现有线网通常集中于主干道, 线路的非直线系数较高, 重复线路车辆多, 易造成道路拥堵; 线网覆盖率低, 部分地方存在公交服务盲区, 造成居民出行不便。

(6) 道路结构不合理。目前中等城市道路供给水平不高, 中心城区道路网络结构不合理, 路网密度低, 宽度较窄, 等级不高, 道路功能划分不明确。

(7) 中等城市居民的出行呈现日出行次数多、必要出行较多、弹性出行较少、慢行交通为主、出行时耗较低、出行时间分布呈现四高峰状态的特点。

## 2 评价指标体系构建

从中等城市公交发展目标出发, 考虑指标构建

的科学性、系统性、代表性、独立性、实用可操作性原则,基于等级全息模型 HHM 思想及 Vague 理论,参考《公交都市考核评价指标体系》、《城市道路交通管理评价指标体系》、研究现状及各省公共交通优先发展考核表等标准规范,运用目标分析法、综合分析法、频度分析法等进行指标初选及筛选,从政策保障、基础设施设备、运营服务三方面构建评价指标体系。该指标体系包括公交优先政策、基础设施、交通设备、运营效果、服务质量、安全保障、绿色发展 7 个维度,基本涵盖了中等城市公交系统(见表 1)。根据《城市道路交通管理评价指标体系(2012 年版)》确定指标定义、计算方法和分级。

表 1 中等城市公交发展水平评价指标体系

目标层	准则层	指标层	权重 $Q^0$
中等城市 公交发展 水平 评价 M	政策保障 $Z_1$	公共交通运营补贴强度 $L_{11}$	0.184 9
		公共交通固定资产投资率 $L_{12}$	0.088 6
		道路交通规划体系 $L_{13}$	0.056 3
		交通综合协调机构 $L_{14}$	0.076 3
	基础设施设备 $Z_2$	公交车辆万人拥有量 $L_{21}$	0.046 5
		公交运营线路网密度 $L_{22}$	0.038 4
		公共汽电车站均场站面积 $L_{23}$	0.038 6
		公交站点 500 m 覆盖率 $L_{24}$	0.035 8
		公交专用道占比 $L_{25}$	0.034 8
		人均道路面积 $L_{26}$	0.044 5
		交通管理设施规范设置率 $L_{27}$	0.026 1
		IC 卡普及率 $L_{28}$	0.060 7
	运营服务 $Z_3$	公交出行分担率 $L_{31}$	0.049 9
		乘客满意度 $L_{32}$	0.035 2
		换乘率 $L_{33}$	0.049 7
		高峰小时平均运营车速 $L_{34}$	0.027 9
		准点率 $L_{35}$	0.028 4
		行车责任事故频率 $L_{36}$	0.033 2
	乘客投诉率 $L_{37}$	0.021 4	
	能耗强度 $L_{38}$	0.022 8	

### 3 FECN-SPA 评价模型

#### 3.1 层次分析法确定指标权重

(1) 建立指标层次结构,即确定目标层、准则层和指标层(见表 1)。

(2) 构造判断矩阵  $A$ ,  $a_{ij}$  表示相互比较的两元素影响大小之比。

(3) 确定判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  及特征向量  $Q^0 = (q_1^0, q_2^0, q_3^0, \dots, q_n^0)^T$ 。

(4) 一致性检验。当同层元素超过 3 个时,易出现判断矩阵结果不一致的现象,需按式(1)、式(2)进行一致性检验。

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

式中:  $CI$  为一致性指标值;  $n$  为判断矩阵的行数;  $CR$  为一致性比例,  $CR < 0.10$  时,认为判断矩阵通过一致性检验,否则需调整判断矩阵,直至通过一致性检验;  $RI$  为随机一致性指标。

(5) 计算总排序权向量,并进行一致性检验。

#### 3.2 FECN-SPA 模型构建

集对分析是一种处理系统确定性与不确定性相互作用的综合系统分析方法,它是在一定研究背景下,对集对中两个集合的确定性与不确定性及两者的相互作用进行的一种系统和数学分析,其主要数学工具是联系数。

为分析中等城市公交发展水平,构建基于五元联系度的集对分析评价模型 FECN-SPA。步骤如下:

(1) 构建集对  $H = (A_w, V_r)$ 。指标实测值  $a_w$  ( $w = 1, 2, \dots, n$ ) 记为集合  $A_w$ , 标准集记为集合  $V_r$  ( $r = 1, 2, \dots, m$ )。

(2) 构造五元联系数表达式。效益型指标的联系度表达式见式(3),成本型指标的联系度表达式见式(4)。

$$\delta_{A_w - V_r} = \begin{cases} 1 + 0i + 0j + 0k + 0l, a_w \geq k_1 \\ \frac{2a_w - k_1 - k_2}{k_1 - k_2} + \frac{2k_1 - 2a_w}{k_1 - k_2}i + 0j + 0k + 0l, \frac{k_1 + k_2}{2} \leq a_w < k_1 \\ 0 + \frac{2a_w - k_2 - k_3}{k_1 - k_3}i + \frac{k_1 + k_2 - 2a_w}{k_1 - k_3}j + 0k + 0l, \frac{k_2 + k_3}{2} \leq a_w < \frac{k_1 + k_2}{2} \\ 0 + 0i + \frac{2a_w - k_3 - k_4}{k_2 - k_4}j + \frac{k_2 + k_3 - 2a_w}{k_2 - k_4}k + 0l, \frac{k_3 + k_4}{2} \leq a_w < \frac{k_2 + k_3}{2} \\ 0 + 0i + 0j + \frac{2a_w - 2k_4}{k_3 - k_4}k + \frac{k_3 + k_4 - 2a_w}{k_3 - k_4}l, k_4 \leq a_w < \frac{k_3 + k_4}{2} \\ 0 + 0i + 0j + 0k + 0l, a_w < k_4 \end{cases} \quad (3)$$

$$\delta_{A_w-V_r} = \begin{cases} 1+0i+0j+0k+0l, a_w \leq k_1 \\ \frac{k_1+k_2-2a_w}{k_2-k_1} + \frac{2a_w-2k_1}{k_2-k_1}i+0j+0k+0l, k_1 < a_w \leq \frac{k_1+k_2}{2} \\ 0 + \frac{k_2+k_3-2a_w}{k_3-k_1}i + \frac{2a_w-k_1-k_2}{k_3-k_1}j+0k+0l, \frac{k_1+k_2}{2} < a_w \leq \frac{k_2+k_3}{2} \\ 0+0i + \frac{k_3+k_4-2a_w}{k_4-k_2}j + \frac{2a_w-k_2-k_3}{k_4-k_2}k+0l, \frac{k_2+k_3}{2} < a_w \leq \frac{k_3+k_4}{2} \\ 0+0i+0j + \frac{2k_4-2a_w}{k_4-k_3}k + \frac{2a_w-k_3-k_4}{k_4-k_3}l, \frac{k_3+k_4}{2} < a_w \leq k_4 \\ 0+0i+0j+0k+l, a_w > k_4 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $k_1, k_2, k_3, k_4$  为等级  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$  间的临界值。

(3) 联系度矩阵优化。根据指标权重、联系度矩阵及联系度系数构建 FECN-SPA 评价模型。

$$\delta_{A-V} = Q^0 \delta_{A_w-V_r} E^T = (q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{15} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{n5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ j \\ k \\ l \end{bmatrix} = \sum_{p=1}^n q_p^0 \delta_{V_1} +$$

$$\sum_{p=1}^n q_p^0 \delta_{V_2} i + \sum_{p=1}^n q_p^0 \delta_{V_3} j + \sum_{p=1}^n q_p^0 \delta_{V_4} k + \sum_{p=1}^n q_p^0 \delta_{V_5} l = a + bi + cj + dk + el \quad (5)$$

式中: $\delta_{A-V}$ 为综合联系度; $E = (1, i, j, k, l)$ 为同异反系数矩阵; $a$ 为同一测度正分量,反映高水平; $b$ 为差异测度偏正分量,反映较高水平; $c$ 为差异测度居中分量,反映中等水平; $d$ 为差异测度偏负分量,反映较低水平; $e$ 为对立测度负分量,反映低水平。

### 3.3 FECN-SPA 模型输出分析

#### 3.3.1 态势分析

集对势用来比较两个系统相同、相异、相反的程度,体现系统的发展态势。集对势记为:

$$shi(H) = a/e \quad (6)$$

当  $a/e > 1$  时,评价系统与高水平具有同一趋势,系统态势表现为同势; $a/e = 1$  时,评价系统与中等水平具有同一趋势,系统态势表现为均势; $a/e < 1$  时,评价系统与低水平具有同一趋势,系统态势表现为反势。

#### 3.3.2 基于偏联系数的趋势分析

偏联系数是系统发展趋势的伴随函数,用来反映系统下一步可能出现的趋势,是评价系统不确定

动态变化的关键参数。公交发展水平评价系统中各阶偏联系数的计算:对五元联系数求 1 次偏联,得到式(7)所示一阶偏联系数(四元趋势联系数)。依此求偏联,可得到三元、二元、一元趋势联系数。偏联系数的集对势定义依旧是同一度与对立度的比值,一元趋势联系数只有正项,其值  $> 0.5$  为集对同势,其值  $= 0.5$  为集对均势,其值  $< 0.5$  为集对反势。

$$\partial \delta = \partial a + \partial bi + \partial cj + \partial dk \quad (7)$$

式中: $\partial a = a/(a+b)$ ;  $\partial b = b/(b+c)$ ;  $\partial c = c/(c+d)$ ;  $\partial d = d/(d+e)$ 。

#### 3.3.3 基于置信度的等级确定

$$\delta_{A-V} = a + bi + cj + dk + el = f_1 + f_2 i + f_3 j + f_4 k + f_5 l \quad (8)$$

$$h_k = f_1 + f_2 + \dots + f_{k-1} + f_k > \lambda \quad (9)$$

式中: $f_1, f_2, f_{k-1}, f_k$  为联系度分量; $f_i$  为隶属于  $V_i$  级标准的可能程度; $\lambda$  为置信度,其值为  $[0.5, 0.7]$ 。

当  $h_{k-1} < \lambda$  且  $h_k > \lambda$  时,评价结果属于  $k$  级。

## 4 实例分析

以浙江舟山市为例,搜集整理《中国统计年鉴》、《浙江统计年鉴》、各类行业规范标准、政府工作报告、2019 年国民经济和社会发展统计公报、交通行业发展报告、公交公司官方网站数据及高德地图交通大数据,得到舟山市实际指标数据  $= (2.56, 26.1, \text{满足四项,满足六项}, 9.5, 3.6, 154, 96, 2.6, 11.1, \text{满足三项}, 78.4, 35.2, 88, 1.6, 17.2, 92.1, 1.3, 2.4, 222)$ 。

### 4.1 计算权重

结合《城市道路交通管理评价指标体系说明(2012 年版)》中的参考权重,咨询相关公共交通方面的专家,构造判断矩阵并进行一致性检验,采用层次分析法计算得到权重向量  $Q^0 = (q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0)$

(见表1)。

## 4.2 FECN-SPA 模型输出分析

### 4.2.1 态势分析

换乘率、公交行车责任事故频率、乘客投诉率和能耗强度为成本型指标,其余为效益型指标。根据

式(3)和式(4)计算得到舟山市指标数据的联系度矩阵,根据式(5)和式(7)计算得到舟山市的五元、四元、三元、二元、一元趋势联系系数,并列出的态势(见表2),利用四元、三元、二元、一元态势分析发展趋势。

表2 舟山市五元至一元态势分析

准则层	五元趋势联系系数	五元态势	四元趋势联系系数	四元态势
$Z_1$	$0.165+0i+0.392-0.162k+0.011l$	同势	$1.000+0i+1.705j+1.075k$	反势
$Z_2$	$0.108+0.138i+0.018j+0k+0.061l$	同势	$0.438+0.882i+1j+0k$	同势
$Z_3$	$0.021+0.078i+0.096j+0.025k+0.063l$	反势	$0.213+0.448i+0.797j+0.282k$	反势
合计	$0.294+0.216i+0.507j-0.138k+0.135l$	同势	$0.576+0.299i+1.372j+49.396k$	反势

准则层	三元趋势联系系数	三元态势	二元趋势联系系数	二元态势	一元趋势联系系数	一元态势
$Z_1$	$1.000+0i+0.613j$	同势	$1.000+0i$	同势	2.176	同势
$Z_2$	$0.332+0.469i+1j$	反势	$0.414+0.319i$	同势	0.565	同势
$Z_3$	$0.322+0.360i+0.739j$	反势	$0.472+0.328i$	同势	0.591	同势
合计	$0.658+0.179i+0.027j$	同势	$0.786+0.869i$	反势	0.475	反势

由表2可知:舟山公交发展水平的五元联系系数为 $0.294+0.216i+0.507j-0.138k+0.135l$ ,其联系态势为同势19级,即舟山市公交发展水平的发展态势与高水平具有同一趋势。

### 4.2.2 趋势分析

为直观观察总体态势及准则层 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 的各元态势,将其数值化:同势视为数字1;均势视为数字0;反势视为数字-1。舟山市公交发展水平的态势分析见图1、图2。

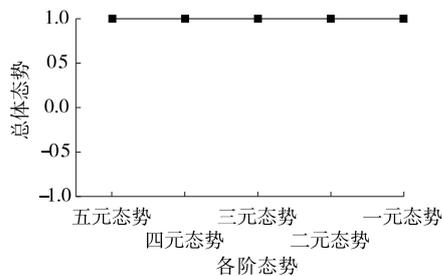


图1 舟山市公交发展水平总体态势分析

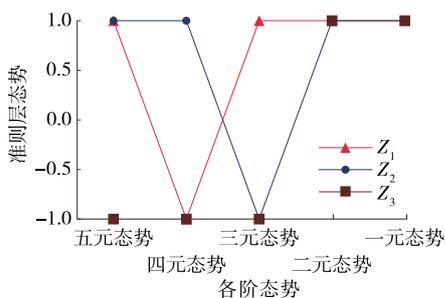


图2 舟山市公交发展水平评价体系准则层态势分析

由图1、图2可知:舟山市的公交发展水平处于

平稳的高水平状态,总体态势中各元态势均处于同势状态;准则层态势中,政策保障水平 $Z_1$ 的各元态势除四元态势外均处于同势,基础设施设备水平 $Z_2$ 的各元态势除三元态势外均处于同势,运营服务水平 $Z_3$ 的现状五元态势、四元态势、三元态势为同势,二元态势、一元态势处于反势。 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 的发展均不稳定,尤其是 $Z_3$ ,运营者需对以上3项采取相应改善措施。

### 4.2.3 置信度等级评价

由表2中五元联系系数及式(8)、式(9)对评价结果进行等级判定,取置信度 $\lambda=0.6$ , $h_1=f_1+f_2+f_3=1.017>0.6$ ,舟山市公交发展水平处于 $V_3$ 级,为中等水平。

运用基于三角形隶属函数的模糊综合评价模型进行综合评价,评分为96.71,评价等级为 $V_3$ ,与FECN-SPA模型评价结果一致。

## 5 中等城市公交发展优化措施及改进方向

(1)坚持规划优先,构建适应中等城市发展的公交体系。政府部门结合中等城市的经济、财政能力和慢节奏生活特性,适当引导公交跨越式发展,建设快速公交系统;创造优质的慢行交通环境,有效接驳公共交通站点,切实提高公共交通吸引力;尝试推进TOD(以公共交通为导向的开发)发展模式,依托公共交通改变土地利用形态和居民的生活方式,促进城市交通与土地利用协调发展。

(2)加大政策扶持,强化科学管理。在政府主

(下转第42页)

- manual 2010[S]. Washington D C: National Academy of Sciences, 2010.
- [18] 许英姿, 卢玉南, 范广, 等. 降雨对广西碎屑岩地区地质灾害的影响研究[J]. 工程地质学报, 2016, 24(2): 181-186.
- [19] 董晓芳, 张良勇, 王志军. 基于非均等排序集抽样的 Wilcoxon 符号秩检验[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2020, 40(3): 225-231.
- [20] 胡成雨, 张焕明, 朱家明. Cox-Stuart 及 Wilcoxon 符号秩检验在产品质检中的应用[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2020, 36(2): 80-85.
- [21] 胡文伟, 李湛. 不同融资方式下的科技企业并购绩效比较研究: 基于因子分析与 Wilcoxon 符号秩检验的实证分析[J]. 上海经济研究, 2019(11): 94-107.
- [22] BRIDGE P. Non-invasive road weather sensors[C]// The 4th Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology. Indianapolis, Indiana, Transportation Research Board, 2008: 1-9.
- [23] LI Y, GUO X, YANG J, et al. Mechanism analysis and implementation framework for traffic signal control of over-saturated intersection group[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(4): 28-34.
- [24] ZHONG R X, CAI H X, XU D B, et al. Dynamic feedback control of day-to-day traffic disequilibrium process[J]. Transportation Research Part C (Emerging Technologies), 2020, 114: 297-321.
- [25] KARIMI M, RONCOLI C, ALECSANDRU C, et al. Cooperative merging control via trajectory optimization in mixed vehicular traffic[J]. Transportation Research Part C (Emerging Technologies), 2020, 116: 102663.
- [26] 卢凯明, 郭斌, 蔡晓禹, 等. 基于多源轨迹数据的信号交叉口运行评价研究[J]. 公路与汽运, 2019(3): 24-32.
- [27] 朱海峰, 刘畅, 刘彦斌, 等. 基于通行能力系数优化的道路交叉口单点动态控制研究[J]. 公路与汽运, 2019(5): 29-34.
- [28] 林高平. 考虑不同降雨量影响下信号交叉口的通行能力分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [29] 许程. 基于短时交通流预测的城市干线交通信号控制研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2019.

收稿日期: 2020-11-18

\*\*\*\*\*

(上接第 22 页)

导的前提下, 采取有效措施, 充分挖掘现有设施潜力, 加大财政投入力度。同时建立明确的政策性补贴考核指标和测算方式, 严格划分政策性亏损和经营性亏损范围。

(3) 加快补齐基础设施设备短板。基础设施是推动公共交通优先发展的基石。根据中等城市交通现状, 合理增设公交场站及公交专用道、调整公交线网、加快路网提档升级, 全面提升公共交通吸引力。

(4) 以运营服务为中心, 提高城市公交服务质量。一是合理使用政府资金, 加快基础设施建设, 尤其是提高公交信息化水平, 建立公共交通智慧管理平台; 二是定期分析平台数据, 有效运营管理; 三是提高工作人员的服务质量。

#### 参考文献:

- [1] 姜毅, 王路, 尹锦明. 中等城市公共交通优先发展的策略研究: 以泰州市为例[J]. 交通运输工程与信息学报, 2019, 17(1): 117-121+146.
- [2] 孙静雯. 哈尔滨市主城区公交线网布局优化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [3] 姚璇宇. 城市公共交通发展水平综合评价研究[D]. 无

锡: 江南大学, 2015.

- [4] 刘丽娇. 基于五元联系数法的公交运营服务水平评价方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [5] 胡庆国, 刘丹. 基于五元联系数方法的代建制项目成本风险评价[J]. 公路与汽运, 2017(2): 175-179+181.
- [6] 厉健. 基于 AHP 的城市公共交通发展水平考核评价研究[J]. 公路与汽运, 2020(3): 32-36.
- [7] 安晶, 李香静, 刘好德, 等. 面向公交优先绩效考核的城市公交发展水平评价指标体系研究[J]. 公路与汽运, 2015(1): 57-62+63.
- [8] 杜林, 肖成吉, 杨力. 中等城市公共交通可持续发展的关键点探讨[J]. 城市公共交通, 2008(11): 32-34.
- [9] 王燕. 城市客运交通系统分析与评价[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [10] 谢静. 中型城市公共交通发展现状与对策研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.
- [11] 李俊. 昆明城市公共交通发展模式研究[D]. 昆明: 云南大学, 2010.
- [12] 何建军, 洪锋, 钟章建. 新型城镇化背景下的中等城市综合交通发展探讨: 以新疆昌吉市为例[J]. 交通与运输, 2013(增刊 2): 5-7.

收稿日期: 2021-02-11