

基于Matlab仿真的公交系统运行时间可靠性评价方法

A Matlab Simulation Method for Evaluation of Travel Time Reliability of Public Transportation System

陆奇志 艾力·斯木吐拉

(新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052)

LU Qizhi, Eli Ismutulla

(Mechanical and Traffic Engineering College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

摘要: 从公交系统发车时间可靠性, 途中运行时间可靠性及出行者出行时刻、等待时间、途中乘运时间、到达终点的时间调查入手, 通过对出行过程的分析, 建立出行者在运行时间可靠性水平不同的3条公交线路之间的出行时间分布模型。利用此模型, 对出行者在3条公交线路之间的换乘过程中, 多种不同公共交通服务水平对出行者的影响进行仿真。对公交系统运行时间可靠性问题进行了分析探讨, 提出了一套基于Matlab仿真技术的公共交通系统运行时间可靠性分析和评价方法, 并应用所建模型进行公交系统运行时间的可靠性评价。

Abstract: Based on the investigation of departure time reliability of transport system and travel time reliability and passenger start time and waiting time and carried time and arrival final destination time, the analysis began with an assumed personal journey, this study has set up a mode which contains the interchange journeys via different distributing modes of public transport. Apply the mode to simulate the impacts of departure time reliability of public transport services on arrival lateness, which contains three sections public transports are carefully analysis and discussed. A simulation method for analysis and evaluation of operation time reliability of transport system on Matlab is introduced. Furthermore, according to the simulation method carries out evaluation operation time reliability of transport system.

关键词: 公交系统; 运行时间; 可靠性; 延误; Matlab仿真; 评价方法

Key words: public transportation system; running time; reliability; lateness; Matlab simulation; evaluation method

中图分类号: U491

文献标识码: A

收稿日期: 2005-09-15

基金项目: 国家留学基金委员会资助项目(编号: 教外司留[2004] 527号)。

作者简介: 陆奇志, 男, 新疆农业大学机械交通学院载运工具运用工程专业硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输系统。

E-mail: lqzqlqz@126.com

我国城市道路交通是包括行人、非机动车和机动车辆在内的混合交通, 交通流中存在很多随机因素。现有的公交系统服务水平评价指标多为常态性指标, 而公交系统的服务方和被服务方都是随机变动的, 并且是一个相互作用的动态随机系统。概率测度是合理反映公交系统随机性特征的一种有效办法。可靠性作为一种概率测度, 能够比较客观地反映城市公交客运系统运行时间的特征。公交系统运行时间的可靠性是指公共交通工具能够在规定时间内抵达目的地的概率。国内外目前在本领域所进行的一些研究, 大多是围绕交通网络系统的承载能力和路网连通性进行的, 对公交系统运行时间可靠性的研究较少, 而且现有的一些模型还缺乏在实际运用中进行验证。本文在对出行者公交换乘出行进行模拟的基础上, 试图利用适宜的仿真模型, 寻求一种有效的公共交通系统运行时间可靠性评价方法。

1 研究对象

实际生活中, 人们常常会在几种不同公交线路中换乘出行。公交线路(或交通方式)能够在多大程度上按照时刻表发车、运行并到达各个站点, 会直接影响到出行者到达目的地所耗费的时间。在不考虑城市居民出行需求以及公交系统承载能力的情况下, 如果所有的公交线路服务都非常可靠, 即都是严格按照各自所规定

的时间表运行,那么出行者就可以在预期的时间内到达目的地。相反,如果公交车辆的运行情况并不可靠,就不可避免地出现出行延误的问题。例如,假定中途需换乘2次,则此出行过程可描述为:出行者出发—到达线路1发车站—等车—线路1车内乘行—中转站1—等车—线路2车内乘行—中转站2—等车—线路3车内乘行—线路3终点—到达目的地^[1]。

2 分析及建模

2.1 出行过程分析

在出行者公交出行OD确定的情况下,出行效率的评价是以出行时长(Travel Time)作为衡量标准的。在给定的时段和正常的交通量波动范围内,出行者中途需要换乘时,就公交系统运行时间可靠性问题进行研究分析。公交系统发车时间是由调度时刻表来调配的,出行者出发时间确定,由于上下车和其他客观因素的影响使得公交车辆发车时刻存在提前或延迟的随机性,从而影响出行时长。这样,出行者即使是在确定的时间从出发点出发,但到达目的地的时间也会存在提前、准时和延误的情况。

出行者在通过公交线路换乘到达目的地的出行过程中,影响出行过程的时间变量有:从出发点出发的时刻 D_{PI} ;到达线路1、2、3发车站及目的地的时刻 A_{PI1} 、

A_{PI2} 、 A_{PI3} 和 A_{PID} ;从出发点到线路1发车站的步行时间 T_{PA1} ;从线路1、2终点到中转站1、2的步行时间 δ_1 、 δ_2 ;线路3终点到目的地的步行时间 T_{PAD} ;在线路1发车站和中转站1、2上的等待时间 W_1 、 W_2 、 W_3 ;车辆在路线1、2、3发车站上的发车时刻 D_{i1} 、 D_{i2} 、 D_{i3} ;车辆在路线1、2、3上的途中运行时间 T_1 、 T_2 、 T_3 ;车辆到达线路1、2、3终点的时刻 A_{i1} 、 A_{i2} 、 A_{i3} 。其中 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 为各出行段距离,在此不做分析。出行者利用公交系统出行的整个过程可用图1描述。

2.2 目标函数

出行者从出发点到目的地出行总时间 T_p 可以用公式(1)来描述:

$$T_p = T_{PA1} + W_1 + T_1 + \delta_1 + W_2 + T_2 + \delta_2 + W_3 + T_3 + T_{PAD} \quad (1)$$

整个出行过程是以出行者准时到达为目标函数,目标函数值越小,出行所用时间越少,公交系统运行可靠性越高,服务水平越好。反之,公交系统运行可靠性越低,服务水平越差。

2.3 主要指标的确定

可靠性指标给管理者和出行者都带来了方便,通过这些指标,管理者能有效管理和控制路网的运行状态,并可以借此对出行路线进行诱导。把可靠性指标引入公交系统评价体系可以最大程度利用现有资源,

通过确定主要指标,找出公交系统中直接影响出行延误的参数。这些参数对 T_p 起着重要的作用,这些参数的变化将影响 T_p 的变化。出行者在出行过程中自己所能控制的时间为 D_{PI} 、 T_{PA1} 、 δ_1 、 δ_2 和 T_{PAD} ,其他时间变量是出行者所不能控制的,例如,在车站等候时车辆的发车时间 D_{i1} 、 D_{i2} 、 D_{i3} 及车辆运行时间 T_1 、 T_2 ,

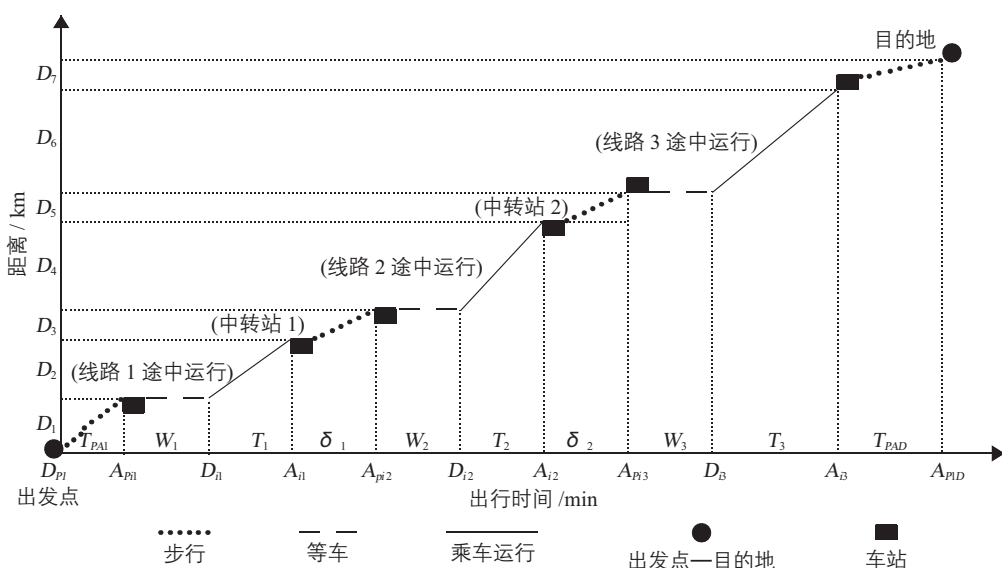


图1 公交出行过程中的主要时间变量

Fig.1 Primary time parameter of travel in public transportation

T_{30} 。公交系统发车时间稳定性(发车准点率)一般比较高,如果发车时间不是严格按照调度表,而是提前或推迟,可能会导致出行延误,因此,应把发车时间稳定性作为主要评价指标。在公交系统中,有车辆故障率、运行速度、交通拥挤干扰、遇红绿灯停车、道路设施情况、气候等多种因素,这些因素也可以通过车辆运行时间可靠性这个主要决定性评价指标来体现。同时,为方便计算,将车辆到达站点可靠性也纳入到车辆运行时间的可靠性来考虑。

2.4 基本假设

由于影响出行延误的因素较多,为了简化模型,在此过程中把排队上车的时间归在等候时间内,把车辆在运行途中遇站点停车和遇红绿灯及交通拥挤时的暂停时间为在车辆途中运行时间。由于每个人生活行为习惯的不同,根据公交车站服务半径不同,可将步行时间视为一个离散值,即根据从出发点线路1发车站的距离不同,可把 T_{PA1} 的值视为离散型随机数,此随机数根据车站服务半径的不同而有所限制,即此随机数有一定的取值范围。而在路程一定的情况下,将每个出行者步行时间 δ_1 、 δ_2 和 T_{PAD} 视为定值以简化模型。

车辆满载率是公交公司追求的利益,通常情况不超过120%,出于出行时间的考虑,出行者的舒适度会趋于次要位置。在站等候的出行者全部上车,对于车辆满载后而导致出行者不能上车的情况,会由于公交公司追求的利益而缩短发车时间间隔,即在上下班及客流高峰时段公交车辆发车时间间隔会缩短。因此,假定出行者等到车后全部上车。

2.5 可靠性分析

从出行起点至终点所用的时间来分析出行过程,是一个串联系统^[2]。用模型框图表示,见图2。

若把整个系统可靠度定义为 R_S , 出行过程的各时



图2 出行过程时间框图

Fig.2 Sketch of course for travel time

间变量 T_{PA1} , W_1 , T_1 , δ_1 , W_2 , T_2 , δ_2 , W_3 , T_3 , T_{PAD} 所对应的各单元可靠性定义为 r_1 , r_2 , $\dots$, r_{10} ^[3]。整个出行过程的可靠度模型为:

$$R_S = r_1 r_2 \cdots r_i = \prod_{i=1}^j r_i (i=1,2,\dots,j; j=1,2,\dots,10) \quad (2)$$

每条线路上车辆运行时间包括3个可靠性指标,即发车时间稳定性、车辆在途运行可靠性和车辆到达站点可靠性,其中车辆在途运行时间为决定性环节。这3个可靠性指标在不同时段、不同区域分别服从不同的分布规律,且有较大差异。3条公交线路在出行者出行过程中为串联关系,但所包含的9个可靠性指标相互交织形成公交系统27种不同的服务水平。为方便,将车辆到达站点可靠性纳入到车辆运行时间可靠性来分析。而公交系统服务水平划分到时间参数的具体指标为 D_{11} , D_{12} , D_{13} 和 T_1 , T_2 , T_3 , 这些时间参数对应的可靠性指标分别为 r_{1j} , r_{jk} , r_{ik} , r_3 , r_6 , r_{90} 。在式(1)、式(2)中并未反映出可靠性指标 r_{1j} , r_{jk} 和 r_{ik} , 而实际在上述分析中已经把这3个指标归在等待时间 W_1 , W_2 和 W_3 中了,即 r_2 包含了 r_{1j} , r_5 包含了 r_{jk} , r_8 包含了 r_{ik} 。可靠性指标 r_{1j} , r_{jk} 和 r_{ik} 的随机特性为均匀分布,可靠性指标 r_3 , r_6 和 r_9 则为不同时段不同的泊松分布。

由于 T_p 中存在随机变量,从而导致 T_p 具有随机性,系统可靠性也具有一定的随机特性。通过式(1)便可以找出到达目的地的时间分布规律,从而考查公交系统运行的可靠性对出行者的影响。在正常情况下,即出行者以正常步行时间到达站点,且车辆发车和途中运行时间及到达站点的时间均可靠,那么,出行过程在确定的OD段所用时间是可靠的。在此系统中各时间变量虽然在形式上是独立的,但它们之间的衔接实际是串联的关系。

在公交系统27种(或更多种)服务水平的可靠性指标 r_2 , r_5 , r_8 和 r_3 , r_6 , r_9 中,这6个可靠性指标可分为两类——发车时间可靠性和在途运行时间可靠性来分析。可靠性指标变化的综合作用都可以通过 T_p 的变化来反映。

若发车时间间隔较长,则发车时间可靠性对出行者出行延误影响较大,即发车时间间隔较长且发车时间不可靠,那么出行者就不能搭乘预定时间的车辆出行,

而只得搭乘下一辆车, T_p 值会比预定的出行时间长, 出行者到达目的地就会延误。若车辆在途运行时间较长, 则车辆在途运行时间可靠性对出行者出行影响较大, 即车辆在途运行时间不可靠会使出行者出行时间 T_p 值比预定的出行时间长, 导致出行者出行延误。这里仅寻求可靠性分析的方法, 详细分析情况可通过仿真软件编程得到。

3 出行过程相关时间参数仿真

根据对公交系统运行的观测和交通流理论, 在不同的时间段, 出行者到达车站的时间服从不同的随机分布规律。发车则一般是按照时刻表安排的, 具有很强的规律性。在此, 发车稳定性仅是一个研究性指标, 而车辆在途运行时间和车辆到达时间则是主要的决定性指标。通过对出行者到达目的地延误时间的不同分布来评价公交系统运行时间可靠性, 也是评价的主要目的^[4]。

3.1 出行者及车辆的相关时间参数分布

3.1.1 出行者出行参数分布

通常情况下出行者到达站点服从离散型均匀分布:

$$P_i = \begin{cases} 1/(t_2 - t_1), & t_1 < t < t_2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

P_i 为计数时间 $t_1 \sim t_2$ 内出行者到达站点的概率。均值为 $(t_2 - t_1)/2$, 方差为 $(t_1 - t_2)^2/12$ 。

在上下班高峰时段出行者到达站点服从泊松分布:

$$P_i = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda},$$

P_i 为在上下班高峰时段出行者到达站点的概率, $k = 0, 1, 2, \dots$; 均值为 λ , 方差为 λ 。

3.1.2 车辆运行参数

从研究的角度来分析, 车辆实际发车并非完全严格地按照调度规定的时间, 可以把发车时间视为在准点时间前后一定时间段内服从离散型均匀分布:

$$P_D = \begin{cases} 1/(t_2 - t_1), & t_1 < t < t_2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

P_D 为计数时间 $t_1 \sim t_2$ 内车辆到达的概率, 均值为 $(t_2 - t_1)/2$,

方差为 $(t_1 - t_2)^2/12$ 。

在路段一定的情况下, 车辆到达服从的分布情况主要有以下几种情况:

① 车流密度不大, 车辆间相互影响小, 其他外界干扰基本不存在, 车辆随机到达, 服从离散型泊松分布:

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda},$$

P_k 为车辆随机到达站点的概率, $k = 0, 1, 2, \dots$; 均值为 λ , 方差为 λ 。

② 车辆比较拥挤, 自由行驶机会不多, 车辆到达服从离散型二项分布:

$$P_m = C_n^k \left(\frac{\lambda t}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)^{n-k}, \quad (k=0, 1, 2, \dots, n)$$

式中, P_m 为计数时间 t 内到达 k 辆车的概率; λ 为平均到车率(辆/s); t 为每次计数持续的时间(s)。

③ 在有充分超车机会的单列车流和密度不大的多列车流时, 车辆到达服从连续型负指数分布:

$$P_n = e^{-\lambda},$$

式中, P_n 为计数时间 t 内到达 k 辆车的概率; λ 为平均到车率(辆/s); t 为每次计数持续的时间(s)。

④ 在不能超车的单列车流和车流量较低的情况下, 车辆到达服从连续型位移负指数分布:

$$P_r = e^{-\lambda(t-\tau) \cdot t},$$

式中, P_r 为计数时间 t 内到达 k 辆车的概率; λ 为平均到车率(辆/s); t 为每次计数持续的时间(s); τ 为相邻两车到站的时间间隔(s)。其中, 分布均值 $M = \frac{1}{\lambda} + \tau$, 方差 $D = (1/\lambda)^2$ 。用样本均值代替 M , 样本方差代替 D , 则可算出位移负指数分布的两个参数 λ 和 t 。

另外, 根据实际车流量还可以应用爱尔朗分布、皮尔逊 III 分布、对数正态分布、复合指数分布、韦布尔分布等来考查车辆到达的概率分布情况^[9]。

3.2 利用 Matlab-Simulink 仿真

首先任取 $t \in [t_1, t_2]$, 在 t_1 到 t_2 时间段内确定出行者到达车站服从的概率分布情况。利用 Matlab 中 GUI 对话框功能, 在图 2 T_{PA1} 对话框中产生 N 个随机数。然后用同样方式产生车辆发车和在途运行相应分布的随机数, 后续相关时间参数按同样方式处理。

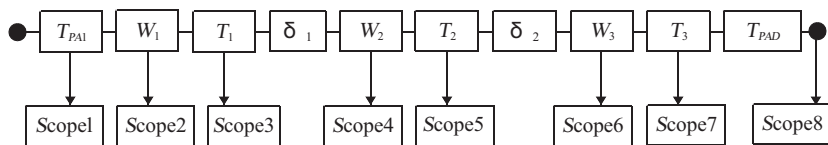


图3 公交出行的Simulink仿真模型

Fig.3 Simulation model for Simulink of travel in public transportation

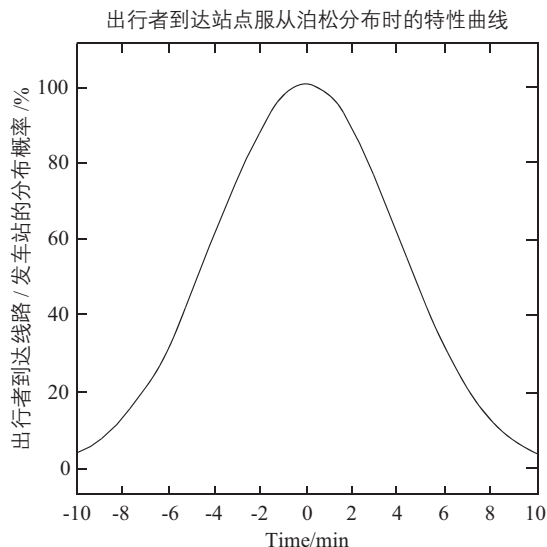


图4 高峰时段出行者到达公交站的泊松分布特性曲线

Fig.4 Poisson distributing curve of peak period for passenger arrival at the station

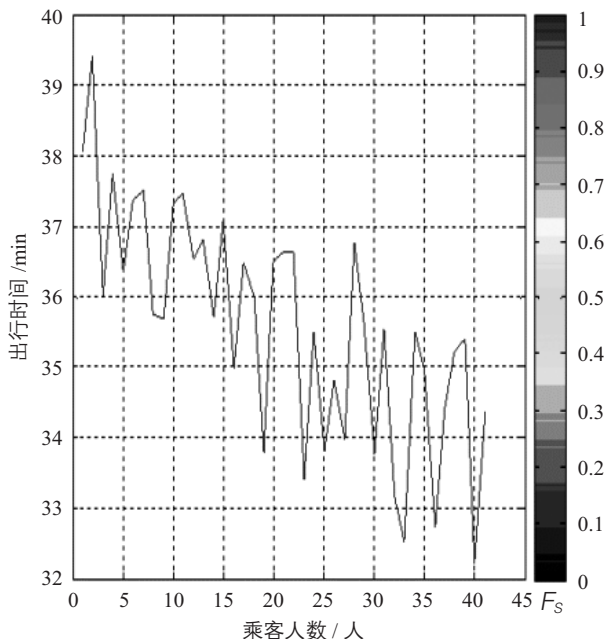


图5 出行者达到目的地的时间分布曲线

Fig.5 Distributing curve of passenger arrival at destination

利用Matlab中Simulink仿真功能将图2中各对话框中数值按照公式(1)连接起来,一个随机数产生一个 T_p 数值,从第一个对话框开始到最后一个对话框,每个对话框都建立一个Scope(示波器)。在这几个Scope中,后一个Scope所显示的是前面几个时间参数值的综合特性曲线,最后一个对话框的Scope显示的是每个时间参数综合作用的数值,即可得到出行延误的分布规律^[6],如图3所示。

通过Scope反映各时间参数和综合作用的结果。图3中Scope1显示出行者在上下班高峰时段到达线路1站点服从泊松分布的特性曲线,可由图4直观地反映出来。图5为Scope8反映的出行者到达目的地的时间分布曲线,此曲线为出行者经过两次换乘公交车到达目的地的实际出行情况(在乌鲁木齐市九家湾乘29路车—新农大乘17路车—西虹路乘2路车—火车站)。

系统可靠度 R_s 可通过乘客出行准点到达站点的次数与乘客出行总次数的比值来计算,或通过求不可靠度 F_s 来计算。而 F_s 是通过乘客出行延误到达站点的次数与乘客出行总次数的比值来计算的。系统可靠度与不可靠度之和为1,即 $R_s + F_s = 1$ 。图5右侧的概率条是系统失效率(不可靠度) F_s ,若出行者预定的 T_p 值为37 min,则可靠度 $R_s = 1 - F_s = 1 - 0.64 = 0.36$ 。

4 存在问题与研究方向

1) 在建模时对于基本假设中的出行者排队上车问题,可以引入排队论将问题细化。实际生活中,即便是同一出行者在路程一定时, δ_1 、 δ_2 和 T_{PAD} 也不是定值,这里只是为考查公交系统运行时间可靠性而将问题简化的一种假设。

2) 实际生活中公交线路是串联、并联和混联的系统,而本文通过整个出行过程来研究公交系统的运行情况,不论如何选择出行路径,整个出行过程都是一个串联系统。因此,选择不同的公交线路出行,由于各条公交线路运行时间可靠性的不同也会影响出行者的出行。

3) 由于公交网络的多重性,单一公交线路可靠性

的丧失往往不会对出行者的出行产生大的影响,因为交通网络中存在并联线路可替代性的选择。因此,对公交系统运行时间的可靠性进行评价,基于路网的评价具有更大的价值。本文是将3条线路上公交车辆运行时间可靠性权重对等来分析问题的,在实际生活中,出行过程中三者的权重分配会有所不同,这也是今后要研究的一个方向。

4) 本文是将出行过程放在公交线路的车辆运行衔接上来分析公交车辆运行的时间可靠性。也可将其扩展到公交车辆—地铁,地铁—地铁,公交车辆—飞机,地铁—飞机,车辆—轮船,轮船—飞机等情况去分析出行延误问题,还可将出行扩展到物流系统的货物转运上去分析延误问题。

参考文献

- 1 Eli Ismutulla, Upali Vandebona. The Impact of Departure Time Variability on Two-Link Personal Travel [J]. Traffic and Transportation Studies—Proceedings of ICTTS, 2004, 8: 442~450
- 2 盐见 弘.可靠性工程基础 [M]. 彭乃学, 等译.北京: 科学出版社,1983
- 3 Kececioglu,D. Reliability Engineering [M]. Arizona: University of Arizona, 1982
- 4 戴树森. 可靠性试验及其统计分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1983
- 5 郭永基. 可靠性工程原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002
- 6 P.J.Brockwell. 时间序列的理论与方法 [M]. 田铮译. 北京: 高等教育出版社, 2003

《城市交通》投稿须知

《城市交通》杂志诚挚地欢迎从事城市交通研究的专家、学者以及关心城市交通发展的各界人士不吝赐稿。投稿要求:

- 1 主题明确、结构严谨、数据可靠、文字简炼,具有科学性、首创性和逻辑性。
 - ①文稿包括图、表在内,一般在5 000~7 000字,并标注图、表名称(中、英文);
 - ②正文前应列有摘要(中、英文),中文摘要约300字,英文摘要为中文摘要的转译,以150~180个词为宜。其后列有3~8个关键词(中、英文)以及作者单位名称(中、英文);
 - ③如论文属于基金项目,需注明基金项目类别以及项目编号;
 - ④提供以DWG、PSD、JPG等格式保存图片原件。
- 2 计量单位一律采用中国国家法定计量单位,文、图、表中有国际符号的计量单位均用符号表示。
- 3 参考文献在文后按顺序编码制列出,并在文内引文处用方括号予以标明。参考文献的书写格式为:

期刊	作者. 题名[J]. 刊名, 年, 卷(期): 页码
专著(或译著)	著者. 书名[M]. 译者. 出版地: 出版者, 出版年. 页码
论文集	作者. 题名[A]. 编者. 文集名[C]. 出版地: 出版者, 出版年. 页码
学位论文	作者. 题名[D]. 所在城市: 保存单位, 年份
技术标准	标准代号 标准顺序号—发布年 标准名称[S]
技术报告	作者. 题名[R]. 报告代码及编号, 地名: 责任单位, 年份
报纸文章	作者. 题名[N]. 报纸名, 年-月-日(版次)
在线文献(电子公告)	作者. 题名[EB/OL]. [引用日期]. http://...
光盘文献(数据库)	作者. 题名[DB/CD]. 出版地: 出版者, 出版日期
其他文献	作者. 题名[Z]. 出版地: 出版者, 出版日期
- 4 稿件请注明所有作者的姓名、工作单位名称(中、英文)和邮政编码,并注明第一作者的性别、最高学历、职务、职称、详细通讯地址、联系电话、传真和电子信箱。
- 5 投稿电子信箱: editor@chinautrc.com; zyutrc@263.net