

# 基于 $N-K$ 模型的城市轨道交通运营风险耦合研究<sup>\*</sup>

许 慧<sup>1</sup> 岳靖川<sup>1</sup> 杜茂康<sup>1</sup> 焦柳丹<sup>2</sup>

(1. 重庆邮电大学经济管理学院, 400065, 重庆; 2. 重庆交通大学经济与管理学院, 400074, 重庆//第一作者, 副教授)

**摘 要** 对国内外 114 起重大地铁运营事故案例进行详细研究, 总结出城市轨道交通运营的主要风险因素包括人为、设备、自然和管理 4 大类, 并基于  $N-K$  模型计算出单因素、双因素以及多因素耦合方式下风险发生的概率及耦合值, 以期得到各个风险因素及其耦合方式对城市轨道交通线路运营的影响程度。

**关键词** 城市轨道交通; 运营风险耦合;  $N-K$  模型

**中图分类号** F530.7

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.10.026

## Analysis of Urban Rail Transit Coupling Operation Risks Based on $N-K$ Model

XU Hui, YUE Jingchuan, DU Maokang, JIAO Liudan

**Abstract** Through detailed studies on 114 serious urban rail transit operation accidents both in China and abroad, 4 main risk factors in rail transit are summarized as human factors, equipment factors, nature factors, and management factors. Based on the  $N-K$  model, the risk probability and coupling value of one-factor coupling, two-factor coupling, and multi-factor coupling are calculated, aiming to obtain the influencing degrees of various risk factors and the coupling modes on the operation of urban rail transit system.

**Key words** urban rail transit; operation risk coupling;  $N-K$  model

**First-author's address** School of Economics and Management, Chongqing University of Posts and Telecommunications, 400065, Chongqing, China

城市轨道交通风险事件大多是由于单一风险因素导致事故的发生, 通过扩散, 引起系统内部其他隐藏风险的连锁反应。多个风险因素的共同耦合作用会更容易导致事故的发生。目前, 有关城市轨道交通运营安全的研究较多, 文献[1]对国内外城市轨道交通通车里程以及重大地铁事故进行统计, 提

出影响地铁安全运营的 4 因素, 分别为人、物、安全管理制度和社会环境; 文献[2]对北京和上海两地城市轨道交通运营安全评价体系的内容进行了比较, 提出一种基于信息分类的多层次闭环管理安全评价体系; 文献[3]基于轨道交通运营环境的可靠性和安全性因素, 提出符合轨道交通运营特征的安全保障体系; 文献[4]在复杂网络理论的基础上提出了一种能够描述安全要素耦合作用关系的城市轨道交通运营安全层次化网络模型; 文献[5]收集了自 1883 年以来在地铁中发生恐怖袭击的统计数据, 并提供了一种可能的方法来提高地铁的安全水平; 文献[6]从设备角度出发, 对地铁轨道易受电解腐蚀进行了研究, 并以此确定了电解腐蚀的致因因素。

以上研究大多都是讨论单一风险事件对整个城市轨道交通系统的影响。考虑到城市轨道交通内部风险事件是多因素共同作用的结果, 本文根据对相关风险事件案例的分析, 建立城市轨道交通风险因素耦合模型, 研究不同因素间的相互耦合对城市轨道交通运营风险的影响。

## 1 城市轨道交通运营风险机理分析

### 1.1 耦合

耦合在不同的学科中的定义也不同: 物理学中, 耦合被认为是体系或两个及以上运动形式间相互作用和现象<sup>[7]</sup>; 系统动力学中, 耦合被定义为所有事物都不是孤立存在的, 是以系统的部分形式存在的; 自组织理论中, 耦合被定义为一种范式, 即非线性是系统之间的一种相互作用形式<sup>[8]</sup>。从协同角度来看, 耦合起着决定系统内部由无序走向有序的作用, 关键在于系统内序参量之间的协同作用, 这种协同作用正是由耦合度来度量<sup>[9]</sup>。

### 1.2 风险耦合及耦合因素分析

结合耦合在各个领域的定义, 将风险耦合定义

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金青年科学基金项目(71801026); 重庆市教育委员会人文社会科学研究项目(17SKG053, 18SKJD020)

为:不同种类的风险因子在复杂系统中存在的相互作用及相互影响的关系。通过总结,将城市轨道交通运营风险主要耦合因素划分为人为、设备、自然和管理4类,即:①人为因素——由于非轨道交通工作人员的行为而引起事故的发生,是事故产生的直接因素,包括生理缺陷、安全知识匮乏、安全意识薄弱等。②设备因素——由于系统内部的设施设备自身存在的故障问题及缺陷问题而引起的设备老化、材料缺乏、质量不合格等。③自然因素——由于洪灾、台风、地震等因素对城市轨道交通运营稳定造成的风险。④管理因素——由于系统内部工作人员管理失误、安全检查不到位等引起的安全风险。

## 2 城市轨道交通运营风险耦合模型构建

20世纪末,Kanffman提出了 $N-K$ 模型,后被广泛应用于多个领域的风险耦合研究。如:文献[10]针对地铁施工中易产生安全风险隐患的问题,使用 $N-K$ 模型分析各种风险因子的耦合关系;文献[11]基于 $N-K$ 耦合模型对民航机务维修风险进行研究。本文运用 $N-K$ 模型,计算不同耦合方式下风险发生的概率和风险值,评估耦合因素对城市轨道交通运营风险的影响力大小。

$N-K$ 模型中的参数 $N$ 代表系统内的要素数量, $K$ 代表系统网络中要素相互依赖的个数,其取值区间为 $[0, N-1]$ 。 $n^K$ 表示当系统存在 $N$ 种元素且各元素拥有 $n$ 种形态时的组合方式。模型中用1和0来表示每种因素是否出现不安全状态,1表示出现,0表示未出现。使用耦合值对风险发生的概率进行量化,即某方式计算所得耦合值越大,该方式引起的风险事故越容易发生。公式如式(1)所示:

$$T(a, b, c, d) = \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \left[ P_{hijk} \times \log_2 \left( \frac{P_{hijk}}{P_{h...} \times P_{...i} \times P_{...j} \times P_{...k}} \right) \right] \quad (1)$$

式中: $a, b, c, d$ 分别代表4种耦合元素编号,其中 $a$ 代表人为因素, $b$ 代表设备因素, $c$ 代表自然因素, $d$ 代表管理因素; $h, i, j, k$ 分别代表4种因素所处的状态; $T$ 代表耦合值; $P_{hijk}$ 代表4种因素耦合发生的概率; $P_{h...}$ 代表人为因素处于 $h$ 状态时,单因素耦合的概率; $P_{...i}$ 代表设备因素处于 $i$ 状态时,单因素耦合的概率; $P_{...j}$ 代表自然因素处于 $j$ 状态时,单

因素耦合的概率; $P_{...k}$ 代表管理因素处于 $k$ 状态时,单因素耦合的概率。

### 2.1 单因素耦合

导致风险事故产生的可能性因素包括一定数量的单因素风险因子。单因素耦合是由于每一种风险因素内部各潜在风险因子间的相互作用引起的现象。人为、设备、自然以及管理4类因素的各自组合构成了单因素耦合的4种形式,分别使用 $T_{11}(a)$ 、 $T_{12}(b)$ 、 $T_{13}(c)$ 、 $T_{14}(d)$ 表示。

### 2.2 双因素耦合

双因素耦合是指耦合因素中两两耦合的一种形式,如人为-设备、人为-自然、人为-管理、设备-自然、设备-管理、自然-管理6类耦合,分别记为 $T_{21}(a, b)$ 、 $T_{22}(a, c)$ 、 $T_{23}(a, d)$ 、 $T_{24}(b, c)$ 、 $T_{25}(b, d)$ 、 $T_{26}(c, d)$ 。以 $T_{21}(a, b)$ 为例,其计算公式如下:

$$T_{21}(a, b) = \sum_{h=0}^H \sum_{i=0}^I \left[ P_{hi} \times \log_2 \left( \frac{P_{hi..}}{P_{h...} \times P_{...i}} \right) \right] \quad (2)$$

当双因素耦合情况下,4因素之中只有两种因素处于各自所属状态,如 $P_{hi..}$ 表示人为因素和设备因素分别处于 $h$ 和 $i$ 状态时,两因素发生耦合的概率。

### 2.3 多因素耦合

多因素耦合指影响城市轨道交通的耦合因素中含有两种以上因素相互作用的形式,包括人为-设备-自然、人为-设备-管理、人为-自然-管理、设备-自然-管理、人为-设备-自然-管理5类,分别用 $T_{31}(a, b, c)$ 、 $T_{32}(a, b, d)$ 、 $T_{33}(a, c, d)$ 、 $T_{34}(b, c, d)$ 、 $T_4(a, b, c, d)$ 表示。以 $T_{31}(a, b, c)$ 为例,其计算公式如下:

$$T_{31}(a, b, c) = \sum_{h=0}^H \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \left[ P_{hij.} \times \log_2 \left( \frac{P_{hij.}}{P_{h...} \times P_{...i} \times P_{...j}} \right) \right] \quad (3)$$

当3因素耦合情况下,4因素中只有3因素处于各自所处状态,如 $P_{hij.}$ 表示人为因素、设备因素以及自然因素分别处于 $h, i, j$ 状态时3因素耦合发生的概率。

## 3 案例分析

### 3.1 城市轨道交通风险事件案例统计

收集国内外城市轨道交通运营风险事件的案例,所选取的风险事件案例满足以下3个条件:①风险事件发生在城市轨道交通系统内;②城市轨道交通车站具有 $\geq 2$ 层的结构;③风险事件造成人员伤

亡或设施设备损坏。案例收集来源包括国内外网站的新闻报道、论文、纸质新闻刊物等,统计了 1903 年到 2018 年间国内外发生的 114 起风险事件,其中国内风险事件 42 起,国外风险事件 72 起。将收集到的案例按照地点、时间、原因、事故详情、事故类型等信息进行统计(见表 1),使用 0 或 1 分别对引起系统内部事故的 4 大类因素(人为、设备、自然、管理)的耦合情况进行表示,0 表示未发生耦合,1 表示发生耦合。

表 1 不同耦合方式下城市轨道交通风险事故频率统计表

单因素耦合			双因素耦合			多因素耦合		
耦合因素	频次/次	频率	耦合因素	频次/次	频率	耦合因素	频次/次	频率
0000	0	0	1100	8	0.070 2	1110	0	0
1000	20	0.175 4	1010	0	0	1101	4	0.035 1
0100	24	0.210 5	1001	11	0.096 5	1011	0	0
0010	3	0.026 3	0110	2	0.017 5	0111	1	0.008 8
0001	7	0.061 4	0101	34	0.298 2	1111	0	0
			0011	0	0			

表 1 中,单因素耦合中 0000 表示 4 个耦合因素均没有对城市轨道交通运营风险产生影响,1000 表示只有人为因素对城市轨道交通运营风险产生影响,共有 20 起此类事故,频率为 0.175 4;双因素耦合中 1100 表示事故是人为因素和设备因素共同耦合的结果,共有 8 起此类事故,频率为 0.070 2;多因素耦合中 1101 表示事故是人为因素、设备因素和管理因素共同耦合的结果,共有 4 起此类事故,频率为 0.035 1。

3.2 风险耦合值的计算

3.2.1 单因素耦合概率

单因素耦合发生的概率  $P_{0...} = P_{0000} + P_{0100} + P_{0010} + P_{0001} + P_{0110} + P_{0101} + P_{0011} + P_{0111} = 0.622\ 7$ 。同理可计算其他单因素耦合下风险发生的概率值,如表 2 所示。

3.2.2 双因素耦合概率

双因素耦合概率  $P_{00..} = P_{0000} + P_{0010} + P_{0001} + P_{0011} = 0.087\ 7$ ,同理可得其他情况下风险发生的概率值,如表 3 所示。

3.2.3 多因素耦合概率

3 因素耦合发生的概率  $P_{000.} = P_{0000} + P_{0001} = 0.061\ 4$ ,同理可得其他情况下风险发生的概率值,如表 4 所示。

表 2 不同形式单因素耦合下风险发生的概率

耦合方式	概率
$P_{0...}$	0.622 7
$P_{1...}$	0.377 2
$P_{0..}$	0.359 6
$P_{.1.}$	0.631 5
$P_{..0.}$	0.947 3
$P_{.1.}$	0.052 6
$P_{...0}$	0.499 9
$P_{...1}$	0.500 0

表 3 不同形式双因素耦合下风险发生的概率

耦合方式	概率	耦合方式	概率
$P_{00..}$	0.087 7	$P_{.00.}$	0.333 3
$P_{01..}$	0.535 0	$P_{.10.}$	0.614 0
$P_{10..}$	0.271 9	$P_{.01.}$	0.026 3
$P_{11..}$	0.105 3	$P_{.11.}$	0.026 3
$P_{0-0.}$	0.570 1	$P_{-0-0}$	0.201 7
$P_{1-0.}$	0.377 2	$P_{-1-0}$	0.298 2
$P_{0-1.}$	0.052 6	$P_{-0-1}$	0.157 9
$P_{1-1.}$	0	$P_{-1-1}$	0.342 1
$P_{0--0}$	0.254 3	$P_{--00}$	0.456 1
$P_{1--0}$	0.245 6	$P_{--10}$	0.043 8
$P_{0--1}$	0.315 8	$P_{--01}$	0.491 2
$P_{1--1}$	0.131 6	$P_{--11}$	0.008 8

表 4 不同形式多因素耦合下风险发生的概率

耦合方式	概率	耦合方式	概率
$P_{000.}$	0.061 4	$P_{0-00}$	0.210 5
$P_{100.}$	0.271 9	$P_{1-00}$	0.245 6
$P_{010.}$	0.508 7	$P_{0-10}$	0.043 8
$P_{001.}$	0.026 3	$P_{0-01}$	0.359 6
$P_{110.}$	0.105 3	$P_{1-10}$	0
$P_{101.}$	0	$P_{1-01}$	0.131 6
$P_{011.}$	0.026 3	$P_{0-11}$	0.008 8
$P_{111.}$	0	$P_{1-11}$	0
$P_{00-0}$	0.026 3	$P_{-000}$	0.175 4
$P_{10-0}$	0.175 4	$P_{-100}$	0.280 7
$P_{01-0}$	0.228 0	$P_{-010}$	0.026 3
$P_{00-1}$	0.061 4	$P_{-001}$	0.157 9
$P_{11-0}$	0.070 2	$P_{-110}$	0.017 5
$P_{10-1}$	0.096 5	$P_{-101}$	0.333 3
$P_{01-1}$	0.307 0	$P_{-011}$	0
$P_{11-1}$	0.035 1	$P_{-111}$	0.008 8

根据式(1),可以计算出各个耦合方式下的  $T$

值,如表 5 所示。

表 5 不同耦合方式下的  $T$  值

耦合方式	$T$ 值	耦合方式	$T$ 值
$T_4$	0.463 1	$T_{26}$	0.019 4
$T_{21}$	0.267 8	$T_{31}$	0.336 6
$T_{22}$	0.037 3	$T_{32}$	0.312 0
$T_{23}$	-0.042 4	$T_{33}$	0.109 5
$T_{24}$	0.016 2	$T_{34}$	0.048 6
$T_{25}$	0.019 0		

表 5 中,  $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$ 、 $T_{24}$ 、 $T_{25}$ 、 $T_{26}$  分别代表人为-设备、人为-自然、人为-管理、设备-自然、设备-管理和自然-管理 6 种耦合方式的耦合值;  $T_{31}$ 、 $T_{32}$ 、 $T_{33}$ 、 $T_{34}$  分别代表人为-设备-自然耦合、人为-设备-管理耦合、人为-自然-管理耦合、设备-自然-管理耦合的耦合值;  $T_4$  表示人为-设备-自然-管理共同耦合情况下的耦合值。

计算出的各个耦合值按照大小顺序进行排列:  
 $T_{23}<T_{24}<T_{25}<T_{26}<T_{22}<T_{34}<T_{33}<T_{21}<T_{32}<T_{31}<T_4$ 。

3.3 结果分析

1) 城市轨道交通运营风险会随着不同因素耦合程度的增加而增加。双因素耦合值普遍比 3 因素耦合值小, 3 因素耦合值比 4 因素耦合值小。由此可知, 耦合的因素种类越多, 对城市轨道交通运营风险的影响就越大, 这与城市轨道交通风险的实际情况相符。

2) 从 3 因素耦合风险中可看出, 设备-自然-管理 3 因素耦合值 0.048 6, 为最小; 人为-设备-自然 3 因素耦合值 0.336 6, 为最大; 同时人为-自然-管理的耦合值小于人为-设备-管理的耦合值, 且两者介于设备-自然-管理和人为-设备-自然两类耦合值之间。这说明人为因素和设备因素对城市轨道交通运营起着较大的影响, 人为因素是主要影响因素, 可在一定程度上影响其他因素。城市轨道交通运营通常伴随密集人流, 一旦发生风险事故, 容易导致踩踏等风险事故, 造成人员伤亡和经济损失。设备因素是导致城市轨道交通风险的客观因素, 设备老化、不完善、故障等因素会引起城市轨道交通线路停运、中断等后果。

3) 在双因素耦合风险中, 人为-管理<设备-自然<设备-管理<自然-管理<人为-自然<人为-设备, 因此, 人为-设备的耦合值在双因素耦合风险中最大, 人为因素和设备因素之间存在着较大的耦合

性。人为因素易引起系统内部人员恐慌, 出现踩踏、拥挤、堵塞等现象, 加大了城市轨道交通的运营风险。设备因素包括机器老化、轨道损坏、设施故障等, 此类因素是产生风险的最直接因素。由于城市轨道交通设施大多处于一个封闭的系统之中, 外部自然因素对其影响稍显薄弱, 与设备因素比较, 自然因素的影响略低, 人为-自然风险耦合仅次于人为-设备。管理因素方面, 由于职业培训和技能拓展, 使得自然-管理风险的耦合值比人为-自然风险的耦合值低。设备因素不论是和管理因素还是和自然因素相比, 其影响程度均次于自然-管理耦合。但设备因素由于处在系统内部, 与管理因素密不可分, 设备质量与系统内部管理人员的定期检查和维修直接相关, 所以设备-管理耦合风险高于设备-自然耦合风险。人为-管理耦合风险包含的人为因素和管理因素均是以人为主体引起的风险因素, 可通过加强职业培训和安全知识宣传降低人为-管理耦合风险, 提高人的安全意识, 人为因素具有设备和自然两因素所没有的主观能动性, 因此人为-管理耦合风险在双因素风险中最低。

4) 多因素耦合风险是指耦合因素数量  $\geq 3$  的耦合方式。自然因素会引起城市轨道交通内部乘客或其他非工作人员的恐慌, 从而引起拥堵、踩踏等一系列安全隐患, 甚至会造成系统内部设备的故障, 进而如果系统内部非工作人员没有及时疏通和处理, 便会使得安全风险提高。4 因素耦合方式发生的频率低于其他耦合方式, 但一旦形成, 其引起的安全风险最大。城市轨道交通运营的风险因素越多, 风险的显性程度就越大, 越容易导致风险事件的发生。

4 结语

城市轨道交通运营风险是其影响因素在突破自身风险阈值后发生交叉耦合的结果。本文利用  $N-K$  模型对 1903 年至 2018 年间发生的 114 起地铁运营风险事件进行分析, 结果显示: 人为、设备、自然和管理 4 种因素是造成地铁运营风险事件的主要因素; 4 因素之间存在着多种方式的耦合, 不同耦合方式所引起的运营风险大小不同, 其中人为-设备-自然-管理 4 因素共同耦合引起的风险最大, 另外, 3 因素耦合中人为-设备-自然耦合方式、双因素中人为-设备耦合方式产生的风险最大。整体而言, 耦合

(下转第 114 页)

1) 厦门轨道交通盾构隧道单线施工引起的地表沉降变形基本符合 Peck 经验预测公式;双线隧道先后开挖,两轴线间的地层存在明显的叠加效应。

2) 数值模拟所得沉降曲线的特征及规律基本符合工程现场的实际监测情况,表明数值分析能较好地模拟隧道施工引起的地层位移场和应力场的变化,因此运用 FLAC 3D 来预测城市轨道交通盾构隧道施工引起的地表沉降具有较高的可信度。

3) 厦门市风化花岗岩地层盾构隧道施工引起的地表变形规律主要表现为以下特征:①横向地表沉降的主要分布范围  $x = -20 \sim 20$  m,最大沉降发生位置并不在隧道轴线正上方而是位于两隧道之间;②纵向地表变形呈隆起-沉降-稳定的规律,影响范围大致分布在刀盘前方 5~10 m 至盾尾后方 20~30 m 的范围内。

4) 厦门轨道交通典型风化花岗岩地层盾构隧道施工引起的地表沉降均值约为 15.0 mm,沉降槽宽度约 5.5~6.5 m,沉降槽宽度参数基本保持在 0.55 左右,地层损失率约为 1.0%。

## 参考文献

- [1] PECK R B. Deep excavations and tunnelling in soft ground [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City: Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, A. C., 1969: 225-290.
- [2] 刘建航,侯学渊. 盾构法隧道 [M]. 北京:中国铁道出版社,1991.
- [3] ATTEWELL P B. Predicting the dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunnelling in soil [J]. Ground Engineering, 1982, 15(8): 13.
- [4] 韩焯,李宁. Peck 公式在我国隧道施工地面变形预测中的适用性分析 [J]. 岩土力学, 2007(1): 23.
- [5] 阳军生,刘宝琛. 挤压式盾构隧道施工引起的地表移动及变形 [J]. 岩土力学, 1998(3): 10.
- [6] LEE K M, ROWE R K. Finite element modelling of the three-dimensional ground deformations due to tunnelling in soft cohesive soils: Part I—Method of analysis [J]. Computers & Geotechnics, 1990, 10(2): 87.
- [7] 刘招伟,王梦恕,董新平. 地铁隧道盾构法施工引起的地表沉降分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003(8): 1297.

(收稿日期:2018-12-18)

(上接第 108 页)

因素与风险概率呈正相关关系,即 4 因素耦合风险>3 因素耦合风险>双因素耦合风险;从局部上看,部分双因素耦合风险高于 3 因素耦合风险,如人为-设备耦合风险>设备-自然-管理耦合风险,可以看出人为因素是影响地铁运营安全的重要因素。通过研究,得到影响城市轨道交通运营安全风险的 4 种因素及其不同耦合方式,为决策者提供了一种评估城市轨道交通运营风险的方法,并为管理决策的制定提供依据。

## 参考文献

- [1] 黄宏伟,叶永峰,胡群芳. 地铁运营安全风险现状分析 [J]. 中国安全科学学报, 2008(7): 55.
- [2] 张明锐,于猛,蒲琪. 城市轨道交通运营安全评价体系研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2018(11): 1.
- [3] 曾笑雨,刘苏,张奇. 基于事故统计分析的城市轨道交通运营安全和可靠性研究 [J]. 安全与环境工程, 2012(1): 90.
- [4] 肖雪梅,王艳辉,贾利民. 基于复杂网络和熵的城轨路网运营

安全评价模型 [J]. 中国安全科学学报, 2011(11): 41.

- [5] SHVETSOV A V, SHVETSOVA S V. Research of a problem of terrorist attacks in the metro ( Subway, U-Bahn, Underground, MRT, Rapid Transit, Metrorail) [J]. European Journal for Security Research, 2017, 2(2): 131.
- [6] ISOZAKI H, OOSAWA J, KAWANO Y, et al. Measures against electrolytic rail corrosion in Tokyo metro subway tunnels [J]. Procedia Engineering, 2016, 165: 583.
- [7] 黄金川,方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析 [J]. 地理研究, 2003(2): 211.
- [8] 薛晔,刘耀龙,张涛涛. 耦合灾害风险的形成机理研究 [J]. 自然灾害学报, 2013(2): 44.
- [9] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析 [J]. 自然资源学报, 2005(1): 105.
- [10] 吴贤国,吴克宝,沈梅芳,等. 基于 N-K 模型的地铁施工安全风险耦合研究 [J]. 中国安全科学学报, 2016(4): 96.
- [11] 李敬强,李康,王蓓,等. 基于 N-K 模型的机务维修安全风险耦合分析 [J]. 数学的实践与认识, 2018(14): 178.

(收稿日期:2018-12-24)

《城市轨道交通研究》欢迎投稿

投稿网址: [tougao.umat1998.com](http://tougao.umat1998.com)