

城市轨道交通与接运公交换乘优化模型

马天山¹, 曹 玮², 乔新宇²

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075)

摘 要:不同运输方式之间是否有效接驳对城市公共交通影响甚大。针对中国城市常规公交与轨道交通之间的换乘效率的现状,进行了城市常规公交的特例——接运公交与轨道交通在城市出行平峰时段内的换乘优化研究,首先通过对换乘乘客行走时间分布的研究,建立了换乘乘客行走时间模型,进而建立乘客换乘总时间模型,模型采用接运公交在研究时段内采用不等间隔发车的方式,以接驳轨道交通列车,从而达到乘客换乘总时间最短的目的,采用了遗传算法对模型进行优化计算。计算结果表明:平峰期间接运公交不等间隔发车可以减少人均换乘时间约 109.5 s,降幅为 19.8%,对于 2 种交通方式之间有效接驳的促进作用是明显的,具有一定的实用价值;发车间隔的优化,对于乘客换乘时间的降低作用非常明显,不仅在运力资源一定的情况下改善了公共交通的服务水平,更使得 2 种交通方式之间的接驳得到了进一步优化,该方法具有一定的理论指导意义和实用价值。

关键词:交通工程;接运公交;轨道交通;换乘时间;非等间隔发车;遗传算法

中图分类号:U491;U121 **文献标志码:**A

Optimization model of shuttle between urban-rail and feeder-bus

MA Tian-shan¹, CAO Wei², QIAO Xin-yu²

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. CCCC First Highway Consultants Co Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: The shuttle between different modes of transport affects a lot to the urban public transport. In view of the low level of shuttle between urban bus and urban-rail, the optimization of transfer between a special case of urban bus-feeder bus, and urban-rail transport in non-peak period was studied. Firstly, the distribution of passengers' walking time was analyzed, then transferring passengers' s travel time model was established, thereby the passengers' total transferring time model was established, which applied the unequal-interval departure of feeder-bus, in order to achieve the shortest total transferring time of passengers, and genetic algorithm was adopted to optimize. The calculation results show that during the nonpeak-time, unequal intervals departure of feeder-bus can reduce the transferring time by about 109.5 seconds per capita, a decline of 19.8%, indicating that this scheduling contributes a lot to the effective connection between the two modes of transport, which has a certain practical value. The optimization of departure interval contributes a lot to the decrease of transferring time. As a result, the service level of public transport is increased in limited vehicles, and the shuttle between the two modes is optimized a lot. This method has some theoretical significance and practical value. 3 tabs, 4 figs, 8 refs.

Key words: traffic engineering; feeder-bus; urban-rail; transfer time; unequal interval departure; genetic algorithm

0 引言

发展城市公共交通不仅可以缓解城市交通拥堵而且可以改善城市人居环境,但不同交通方式间的有效接驳成为当前制约公共交通发展的瓶颈。公交线路与城市轨道交通作为当前城市公共交通的两大主体运输方式,二者换乘水平的高低直接影响着城市综合交通体系的建设,接运公交作为常规公交的特例,专为轨道交通提供客流集疏运服务,因其交通功能较为单一且受中心城区的交通干扰较少,故在优化换乘上可建立较为严格的模型对其进行优化^[1]。Teodorovic建立了接运公交时刻表同步优化模型,通过基于模糊理论的蚁群算法优化接运公交发车调度,实现乘客换乘等待时间最小^[2];韩印在分析公共交通线网发车间隔优化理论的基础上,利用遗传算法优化接运公交发车间隔,提出社会总体效益最优的思想^[3];王秋平等通过优化轨道交通列车发车间隔,分析了城市其他交通方式换乘轨道交通的乘客平均换乘时间^[4];房霄虹等分析了城市轨道交通网络化,将网络化协调归纳为规划协调和运营协调,并提出相应的协调内容和方法^[5]。纵观国内外研究成果,可以发现国外在这2种交通方式的接驳研究方面以数理分析居多,而中国的研究则是停留在站点布局、线路敷设、换乘设施等方面,表现出“定性有余、定量不足;宏观有余、微观不足”的局限性^[6]。针对中国当前现状,只有对构成城市综合交通换乘系统的最小元素——2种交通方式之间单向、单线的换乘有了清楚的认识,才能进一步研究多种交通方式之间,呈网络形态的换乘。

为此,本文考察了轨道交通线路换乘接运公交线路的乘客,通过对其换乘走行时间的研究,建立了换乘走行时间分布模型和乘客总换乘时间模型,并采用接运公交车辆非等间隔发车,以接驳轨道交通车辆的方式。通过利用GA算法,优化接运公交发车间隔,达到轨道交通线路换乘接运公交线路的乘客总换乘时间最小的目的。一般而言,城市出行高峰期间,因公交车辆发车密度较大,能基本满足客流需求,故对高峰期间的公交发车间隔不做研究,本文研究的是平峰期间的公交资源优化配置。最后,通过对西安市出行平峰时段某一换乘站换乘客流进行仿真,验证了该方法的有效性。

1 换乘时间定义

1.1 条件假设

根据接运公交的内涵,一条轨道交通线路一条接运公交线路在换乘站接驳,此换乘站应为轨道交通的站点,同时也是接运公交线路的首末站。考察轨道交通某单一发车方向车辆与接运公交线路单一发车方向车辆之间的乘客换乘情况,在研究时段内,由于断面客流一定,因此换乘客流量假设已知,并规定轨道交通和接运公交线路在该时段内发车数(到站数)一定,分别表示为 P 、 Q 趟,轨道交通线路发车时刻表已知,等间隔到站,此外,假设轨道交通换乘接运公交线路的乘客的换乘走行时间服从某一特定的分布 $f(t)$,乘客到达换乘站后立即就近搭乘接运公交车辆,无等待延误。

1.2 换乘时间定义

在时间序列上,每一趟轨道交通车辆到站前后都有若干辆接运公交车到达并离开换乘站。由于换乘乘客步速不同,到达换乘站的时间也不同,不同乘客所能选择搭乘的接运公交车辆也不尽相同。

假设 $R^{(i)}$ 、 $B^{(j)}$ 分别为研究时段内轨道交通车辆和接运公交车辆; t_{RB} 为乘客换乘走行时间; t_w 为换乘乘客走行至换乘站之后等待接运公交的时间。

如图1所示,轨道交通列车 $R^{(i)}$ 的乘客无法换乘接运公交车 $B^{(i-1)}$ 之前的车辆,换乘时间均为0。本文定义,乘客经时长 t_{RB} 行走到达换乘站,能赶上的最近1辆接运公交车所需要的等待时间为 t_w ,二者之和即为该乘客换乘时间 t ,即 $t=t_{RB}+t_w$ 。

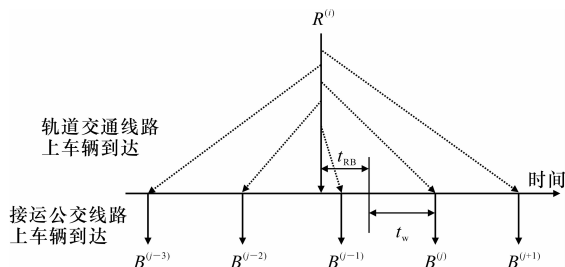


图1 换乘时间定义

Fig. 1 Definition of transferring time

2 模型建立

2.1 乘客总换乘时间模型

优化模型的优化变量为研究时段 $[0, H]$, Q 趟

公交车到达换乘站的时间(实质是发车时间) $t_B^{(1)}$, $t_B^{(2)}, \dots, t_B^{(j)}, \dots, t_B^{(Q)}$, 以研究时段起点为 0, 以 s 计时, 第 j 趟公交车 $B^{(j)}$ 在 $t_B^{(j)}$ 时刻到达。对于每一趟到站的轨道交通列车 $R^{(i)}$, 其换乘公交的乘客 $M^{(i)}$ 步行时间服从分布 $f(x)$ 。从轨道交通车辆 $R^{(i)}$ 上下车, 需要进行换乘的乘客 $M^{(i)}$, 其换乘时间的计算可以分为以下 2 类:

首先是能赶上就近一辆接运公交车辆 $B^{(j)}$ 的乘客, 根据上文对换乘时间的定义, 这种情况下可供乘客步行到站的最长时间为 $t_B^{(j)} - t_R^{(i)}$, 则换乘乘客的换乘时间即为轨道交通列车 $R^{(i)}$ 到站的时间 $t_R^{(i)}$ 与接运公交车辆 $B^{(j)}$ 的到站时间 $t_B^{(j)}$ 之间的差值。

这一部分乘客出现的概率 $\alpha_1^{(i)}$ 为

$$\alpha_1^{(i)} = \int_{t_B^{(j)}}^{t_R^{(i)}} f(t) dt \quad (1)$$

则对于这种情况下的换乘乘客, 其换乘时间 $T_1^{(i)}$ 为

$$T_1^{(i)} = (t_B^{(j)} - t_R^{(i)}) M^{(i)} \int_{t_B^{(j)}}^{t_R^{(i)}} f(t) dt \quad (2)$$

其次是没能赶上最近一趟接运公交车辆 $B^{(j)}$, 不得不等待其后的若干辆所能就近搭乘的接运公交车辆 $B^{(k)}$ ($k = j+1, j+2, \dots, Q$) 的乘客, 对于这些乘客而言, 其换乘时间为轨道交通列车到站的时间与接运公交车辆的到站时间之间的差值。

这一部分乘客出现的概率 $\alpha_2^{(i)}$ 为

$$\alpha_2^{(i)} = \sum_{k=j+1}^Q \int_{t_B^{(k-1)}}^{t_B^{(k)} - t_R^{(i)}} f(t) dt \quad (3)$$

则对于这种情况下的换乘乘客, 其换乘时间 $T_2^{(i)}$ 为

$$T_2^{(i)} = (t_B^{(j)} - t_R^{(i)}) M^{(i)} \sum_{k=j+1}^Q \int_{t_B^{(k-1)}}^{t_B^{(k)} - t_R^{(i)}} f(t) dt \quad (4)$$

将上述 2 种换乘中的乘客的换乘时间求和, 可以得到轨道交通车辆上换乘乘客的换乘时间 $T^{(i)}$ 为

$$T^{(i)} = T_1^{(i)} + T_2^{(i)} \quad (5)$$

$$t_R^{(i)} = (i-1)e, 1 \leq i \leq P \quad (6)$$

则该研究时段上, 对于 P 辆轨道交通列车, 其换乘接运公交的所有乘客的总换乘时间 T 为

$$T = \min(\sum_{i=1}^P T^{(i)}) \quad (7)$$

式中: H 为研究时段; $t_R^{(i)}$ 为第 i 辆轨道交通列车到站时间; $t_B^{(j)}$ 为第 j 辆接运公交到站时间; $M^{(i)}$ 为第 i 辆轨道交通列车换乘接运公交车的乘客人数; $T^{(i)}$ 为第 i 辆轨道交通列车换乘乘客的总换乘时间; e 为轨道交通列车的发车间隔; T 为整个研究时段内所有

换乘乘客的总换乘时间。

2.2 换乘走行时间分布模型

本文采用 Weibull 分布考察换乘乘客从轨道交通车站行走至接运公交车站的走行时间分布模型。此分布最早由瑞典物理学家 Weibull 提出, 当前在很多领域已经被作为研究变量分布的有力工具, 在拟合随机数据时, 灵活性强, 适应于不同形式的概率分布, 常见的指数分布、正态分布等都可以看作是 Weibull 分布的特例^[7]。

设换乘行走时间服从三参数 Weibull 分布, 记为 $t \sim W(a, b, c)$, 则 t 的累积分布函数 $F(t; a, b, c)$ 为

$$F(t; a, b, c) = \begin{cases} 1 - e^{-(\frac{t-a}{b})^c}, & t \geq a, b > 0, c > 0 \\ 0, & t < a \end{cases} \quad (8)$$

t 的概率密度函数 $f(t; a, b, c)$ 为

$$f(t; a, b, c) = \begin{cases} \frac{c}{b} (\frac{t-a}{b})^{c-1} e^{-(\frac{t-a}{b})^c}, & t \geq a, b > 0, c > 0 \\ 0, & t < a \end{cases} \quad (9)$$

式中: t 为行走时间; a, b, c 均为参数。

3 遗传算法设计

3.1 遗传算法概述

遗传算法 (Genetic Algorithm) 是一类借鉴生物界的进化规律 (适者生存, 优胜劣汰遗传机制) 演化而来的随机化搜索方法, 是一种求解优化问题的计算方法。其基本思想是从一组随机产生的种群开始搜索, 通过交叉和变异形成后代, 根据函数的大小选择后代, 经过若干代后, 逐渐逼近问题的最优解或准最优解^[8]。

3.2 优化模型算法设计

3.2.1 编码

由于优化模型要有相当的精度, 并且在一个相当大的空间内进行搜索, 本文采用实数对问题的模型进行编码。

优化模型的变量是接运公交线路上的车辆到达换乘站的时间, 假设在研究时段 $[0, H]$ 有 Q 趟公交车到达, 到达时间分别为 $t_B^{(1)}, t_B^{(2)}, t_B^{(3)}, \dots, t_B^{(Q)}$ (即以 0 为起点, 以 s 为单位, 第 Q 列车在 $t_B^{(j)}, j=1, 2, \dots, Q$ s 到达), 则优化模型的变量有 n 个, 种群中任意一个个体都采用 $T = [t_B^{(1)}, t_B^{(2)}, t_B^{(3)}, \dots, t_B^{(Q)}]$ 的编码形式。

3.2.2 初始种群的生成

在 Matlab—R2010(b)中,采用产生随机数的方法来生成初始种群。在研究时段 $[0,H]$ 中随机产生 Q 个个体: $t_B^{(1)}, t_B^{(2)}, t_B^{(3)}, \dots, t_B^{(Q)}$ 。

接运公交线路上的车辆在研究时段内依次到达,则在 $[0,H]$ 内产生一个随机数 $H_B^{(1)}$,即 $t_B^{(1)}$,在 $[H_B^{(Q-1)}, H]$ 内产生一个随机数,即 $H_B^{(2)}$,以此类推, $t_B^{(Q)}$ 在 $[H_B^{(Q-1)}, H]$ 中随机产生,假设是 $H_B^{(Q)}$ 。如此就不用对初始种群进行升序排列,以提高程序运行的效率。

3.2.3 fitness 函数的含义

一般而言,fitness 函数设计的是否合适,将对收敛速度以及最优解的找寻产生直接的影响。遗传算法在求解最大值的问题时,直接采用目标函数作为 fitness 函数,然而本文中研究的模型是求解最小值,那么,采用目标函数的倒数作为 fitness 函数的表达式。

3.2.4 选择

选择操作采用轮盘赌选择的算法。首先随机生成一个均匀分布的随机数 $r \in [0,1]$,并计算个体相应的 fitness 值。

$$p_i = f_i / \sum f_i (\sum p_i = 1)$$
 (10)

式中: p_i 为个体的适应度值 f_i 与种群适应度之和的比值。

如果 $p_0 + p_1 + \dots + p_{i-1} < r < p_0 + p_1 + \dots + p_{i-1} + p_i$,则第 i 个个体被选择到下一代。

3.2.5 交叉

交叉操作采用部分离散交叉,也就是在个体变量内部随机找到一定变量,交换这些变量,从而形成新的子代。

3.2.6 变异

在以实数编码的遗传算法计算中,通常使用均匀变异,即生成服从均匀分布的某一特定定义域的随机数,以一个小概率来代替原有变量的值。

在系统下,使用编写遗传算法的程序代码,并对程序进行了调试,输入相关试验数据,程序可以成功运行。

4 算例分析

4.1 换乘走行时间分布模型拟合

本文考察西安市 2012 年 12 月 20 日中午11:00~13:00 平峰时段地铁 2 号线(由北至南)在会展中心换乘接运公交 162 路(由东向西)的乘客换乘情况。随机抽取 300 个走行时间样本,将数据在统计软件

Spss 上进行非直线回归拟合,得到累计分布函数各参数的估计值和有效性验证见表 1,换乘乘客走行时间概率累积分布图如图 2 所示。

表 1 分布参数估计与有效性验证
Tab. 1 Estimation and validation of distribution parameters

分布形式	参数估计			有效性检验	
	a	b	c	R_{ss} (残差平方和)	判定系数 R^2
Weibull 分布	104.40	94.55	2.34	0.008	0.997

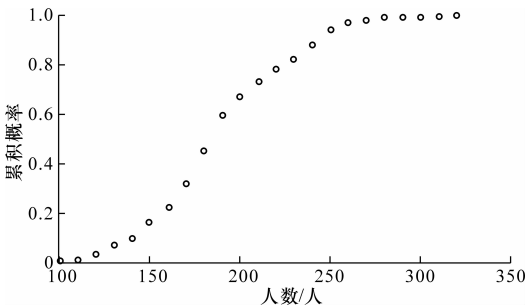


图 2 换乘乘客走行时间概率累积分布
Fig. 2 Cumulative probability distribution of transferring passengers' walking time

则累计分布函数的表达式为

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{t-104.4}{94.55}\right)^{2.34}}, & t \geq 104.4 \\ 0, & t < 104.4 \end{cases}$$
 (11)

概率密度函数的表达式为

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1.34}{94.55} \left(\frac{t-104.4}{94.55}\right)^{1.34} e^{-\left(\frac{t-104.4}{94.55}\right)^{2.34}}, & t \geq 104.4 \\ 0, & t < 104.4 \end{cases}$$
 (12)

4.2 模型参数标定

由上述走行时间分布模型,结合换乘乘客生理特性,对分布模型进行截尾处理,即假定换乘乘客走行时间最小值为 150 s,在 360 s 之内所有换乘乘客都能走行至换乘站。

西安市地铁 2 号线发车间隔 e 为 6 min40 s,即 $e=400$ s;则可确定出行平峰起点为早 11:00:00 (0 s, $i=1$)第 1 辆地铁到站,讫点为 12:59:20,即第 18 辆地铁到站后所有换乘乘客搭乘上接运公交, $H=(18-1) \times 400 + 360 = 7\,160$ s;公交 162 路在研究时段内发车间隔为 10 min,即该时段内可调配车次为 12 辆;针对地铁 i ,其换乘接运公交的乘客数 M_i 见下页表 2。

4.3 仿真结果评价

该算例中,遗传算法种群数为 30,交叉概率取 0.7,变异概率取 0.2,遗传代数取 800,在 Windows 7 系统下,在 Matlab—R2010(b)软件中编写遗传算法

表 2 西安市会展中心站换乘旅客人数表

Tab. 2 Number of transferring passengers in Huizhanzhongxin station in Xi'an

列车 序号	列车到达 时间/s	换乘人 数/人	列车 序号	列车到达 时间/s	换乘人 数/人
1	0	6	10	3 600	18
2	400	9	11	4 000	21
3	800	10	12	4 400	22
4	1 200	11	13	4 800	15
5	1 600	12	14	5 200	12
6	2 000	14	15	5 600	12
7	2 400	21	16	6 000	8
8	2 800	24	17	6 400	9
9	3 200	19	18	6 800	7

程序,并经软件运行遗传算法的程序代码。计算得到的各代种群中最优的总换乘时间如图 3 所示。从图中可以看出,在算法初始,总换乘时间得到了急剧缩减,并随着算法进行,150 代以后总换乘时间在小范围内得到优化,在 370 代之后持续在一个平稳的水平,720 代以后又得到了较大的改善。总体来说,800 代的运算已经能够满足优化的要求。优化计算之后,乘客总换乘时间为 $11.082\ 4\times 10^4\text{ s}$ 。

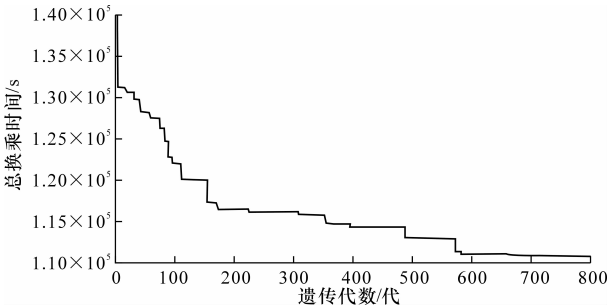


图 3 乘客总换乘时间进化趋势

Fig. 3 Evolutionary trend of passengers' total transferring time

经过 800 代计算之后,得到公交到站时间见表 3。

表 3 接运公交发车间隔优化结果

Tab. 3 Departure intervals optimization of feeder-bus

趟次	到站时间/s	趟次	到站时间/s
1	714	7	4 300
2	1 494	8	4 730
3	2 305	9	5 107
4	2 722	10	5 925
5	3 128	11	6 678
6	3 879	12	7 160

在乘客到站分布图中标出优化后公交到站(发车)时间,如图 4 所示。

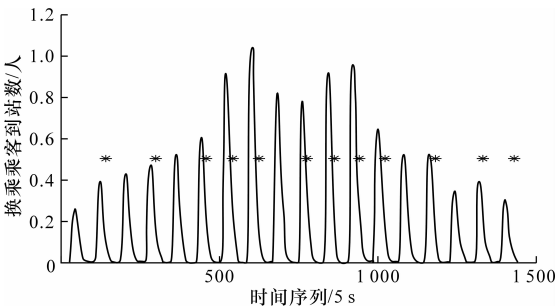


图 4 公交到站时间与换乘乘客到达分布

Fig. 4 Bus arriving time and distribution of transferring passengers' arriving

同时,考虑接运公交等间距发车的情形,即每 600 s 发车一趟,平峰时段内在会展中心站乘客总换乘时间为 $13.818\ 9\times 10^4\text{ s}$ 。

根据计算可知,西安市地铁 2 号线至接运公交 162 路平峰时段在会展中心站的单向换乘中,接运公交等间隔发车时乘客换乘总时间为 $13.818\ 9\times 10^4\text{ s}$,经过优化,非等间隔发车情况下总换乘时间为 $11.818\ 9\times 10^4\text{ s}$,公交车辆的非等间隔发车使研究时段内总换乘等待时间减少了 $2.736\ 5\times 10^4\text{ s}$,约折 7 h 36 min,人均换乘时间减少 109.5 s,改善幅度约为 19.8%,效果较为明显。

5 结 语

(1)本文以城市轨道交通与城市接运公交之间的换乘为主要研究内容,提出了不同交通方式之间换乘优化的方法。论文设计的公交非等间隔发车下的换乘时间模型和遗传算法的优化作用较为显著,表明城市交通基础设施建设完毕之后,在资源配置一定的情况下,通过使用先进的调度管理手段,仍然可以较大幅度地提高车辆运营效率,在当前中国城市公共交通换乘水平较低的现状之下,具有一定的理论价值和实用价值。

(2)本文只讨论了地铁线路与一条接运公交线路之间的单向换乘,城市公共交通是一个系统,由多条接运公交线路和轨道交通线路组成,网络形态下的换乘优化是未来进一步研究的方向。

(3)接运公交非等间隔发车对于公交车辆的调度机制要求较为严格,城市公交运营主体应该进一步加强自身运营管理,进一步推广使用同步信息共享、在途车辆实时监控等一系列先进的 ITS 技术。

参考文献:

References:

[1] 唐 奇. 基于轨道交通的接运公交站点选取及接运线

网优化研究 [D]. 成都:西南交通大学,2012.

TANG Qi. Research on the feeder bus station selection and routes optimization for urban railway transit [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012. (in Chinese)

[2] Teodorovic L. Schedule synchronization in public transit using the fuzzy ant system [J]. Transportation Planning and Technology, 2005, 28(1): 46-77.

[3] 韩 印. 基于遗传算法的智能接运公交发车频率研究 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(33): 243-244.

HAN Yin. Study on intelligent feeder bus departure frequency based on genetic algorithm [J]. Computer Engineering and Application, 2008, 44(33): 243-244. (in Chinese)

[4] 王秋平, 李 峰. 城市其他客运交通换乘轨道交通协调探讨 [J]. 西安建筑科技大学学报, 2003, 35(2): 137-138.

WANG Qiu-ping, LI Feng. On the coordination of switching non-rail transport modes to rail transport modes in urban passenger traffic system [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2003, 35(2): 137-138. (in Chinese)

[5] 房霄虹, 周磊山, 王永明. 城市轨道交通的网络化协调问题研究 [J]. 综合运输, 2008(6): 63-67.

.....

(上接第 79 页)

[7] 门玉明, 石玉玲. 西安地裂缝研究中的若干重要科学问题 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(2): 172-176.

MEN Yu-ming, SHI Yu-ling. Some important scientific questions in the research on Xi'an ground fissures [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(2): 172-176. (in Chinese)

[8] 王景明. 地裂缝及其灾害的理论与应用 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 2000.

WANG Jing-ming. Theory of ground fissures hazards and its application [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2000. (in Chinese)

[9] Geng D Y, Li Z S. Ground fissure hazards in USA and China [J]. Acta Seismologica Sinica, 2000, 13(4): 466-476.

[10] 李忠生. 论西安次级地裂缝 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 119-123.

LI Zhong-sheng. On secondary ground fissures in Xi'an City [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 119-123. (in Chinese)

[11] 长安大学工程设计研究院. 西安市地铁一号线工可阶段 f₆ 地裂缝勘察报告 [R]. 西安: 长安大学工程设计研究院, 2008.

FANG Xiao-hong, ZHOU Lei-shan, WANG Yong-ming. Study on urban rail transit network coordination [J]. Integrated Transportation, 2008(6): 63-67. (in Chinese)

[6] 林国鑫, 陈旭梅. 城市轨道交通与常规公交系统协调评价探讨 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, 6(3): 89-92.

LIN Guo-xin, CHEN Xu-mei. Study on the evaluation of coordination between urban rail system and bus system [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2006, 6(3): 89-92. (in Chinese)

[7] 马超云. 城市轨道交通换乘站列车时刻表的协调和优化 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.

MA Chao-yun. Timetable coordination and optimization for transfer stations in urban rail transit [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)

[8] 王 宁, 宫生文. 基于遗传算法的接运公交智能排班系统的设计与实现 [J]. 计算机时代, 2008(9): 38-39.

WANG Ning, GONG Sheng-Wen. Design and implementation of feeder bus intelligent scheduling system based on genetic algorithm [J]. Computer Era, 2008(9): 38-39. (in Chinese)

.....

Engineering Design and Research Institute of Chang'an University. Investigation report on f₆ ground fissures along Xi'an metro No. 1 at the feasibility study stage [R]. Xi'an: Engineering Design and Research Institute of Chang'an University, 2008. (in Chinese)

[12] 长安大学工程设计研究院. 西安市地铁一号线初步勘察阶段沿线地裂缝勘察报告 [R]. 西安: 长安大学工程设计研究院, 2008.

Engineering Design and Research Institute of Chang'an University. Investigation report on ground fissures along Xi'an metro No. 1 at the preliminary investigation stage [R]. Xi'an: Engineering Design and Research Institute of Chang'an University, 2008. (in Chinese)

[13] 长安大学工程设计研究院. 西安市地铁一号线详细勘察阶段沿线地裂缝勘察报告 [R]. 西安: 长安大学工程设计研究院, 2009.

Engineering Design and Research Institute of Chang'an University. Investigation report on ground fissures along Xi'an metro No. 1 at the detailed investigation stage [R]. Xi'an: Engineering Design and Research Institute of Chang'an University, 2009. (in Chinese)