

编者按：地铁线网规划是一个比较复杂的问题，决不是仅以覆盖范围、线网密度指标以及客流预测等作为规划主要依据的。交通先行，带动发展是一个新思路，此文意在抛砖引玉，可能有不同观点和看法可以进行讨论，将更有助于我国城市地铁建设的进步与发展。

## 地铁线网规划中几个值得商榷的问题

全永荣

(北京市城市规划设计研究院, 北京 100045)

**[摘要]** 我国城市正在经历地铁建设大发展的时期，一个十分紧迫且十分重要的问题是在进行线路建设前如何做好地铁线网布局规划。文章结合近年来国内开展地铁线网规划的实践，探讨了地铁线网规划中的几个关键问题，包括线网合理规模的论证、线网空间形态与构架以及地铁线网与城市其它交通方式的衔接等问题。

**[关键词]** 地铁；线网规划

近年来，我国城市地铁建设又出现了一个新的勃发之机，不仅北京、上海、广州等特大城市加速地铁建设，一些百万以上人口规模的大城市也在积极筹划兴建地铁，无疑，这是我国城市交通加速现代化进程的一个好兆头。

然而，一个不容忽视的问题是多数城市在线网总体布局规划尚未充分论证，甚至还没有编制线网布局规划的情况下，匆匆着手新线建设。这样做，很有可能给今后的地铁建设与运营带来难以估计的麻烦。地铁是城市综合交通体系中的一个子系统，其内在组成结构及外部运行环境都是决定系统整体效能的关键因素。地铁网络总体布局规划的任务一方面是要研究其内在结构，另一方面是要研究它与城市综合交通体系中其它子系统（如道路及地面常规公共客运等）的协调关系，乃至与城市形态和土地使用布局的协调关系。不言而喻，如果没有地铁线网的总体布局规划作为线路建设的依据，将来形成的地铁系统很难保证有较理想的运行效能。在地铁线网规划中如何确定线网合理规模、线网空间构架形态以及与其它交通方式的衔接关系是线网规划理论中尚待探讨的问题，同时也涉及规划方法的问

题。笔者结合近年来国内开展地铁线网规划的实践，拟就其中几个有待商榷的问题略作粗浅议论。

### 1 关于线网合理规模的论证

线网规模（线网营运总里程）取决于城市规模、城市形态以及社会经济发展水平等诸多因素，换言之，一个城市地铁线网的总体规模无疑应当与上述客观条件相匹配，否则无法保证线网运营的整体社会效益。编制线网总体布局规划时，往往只注意线网覆盖面及线网的具体构架，而不作合理规模的论证，这是当前我国城市地铁网规划中普遍存在的一个问题。从国外的情况看，伦敦、巴黎、东京以及莫斯科等城市，由于修建地铁的年代十分久远，限于当时的认识水平和技术水平，没有条件进行合理规模的论证，这是可以理解的。然而也正是这些先行者的历史经验告诉我们，线网规模和布局论证是十分必要的。伦敦和巴黎最初的地铁网覆盖范围较小，线网密度偏大，站间距过密，运行效益低下。尽管随着城市的发展，都采取了一些补救措施（巴黎和伦敦后期扩展的线路既照顾了必要的覆盖面，又适当调整了线网密度，使线网总体规模

与城市规模的匹配合宜程度有了改善。巴黎为了适应城市规模扩展，在不过分扩大线网规模的前提下，选当增开地区快轨交通线，即 RER)。

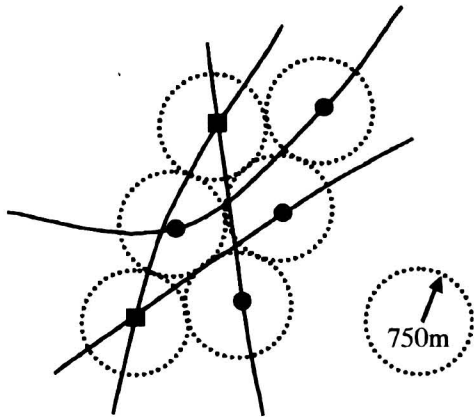


图 1 加大站距的布置形式

Fig.1 Layout for increasing station spacing

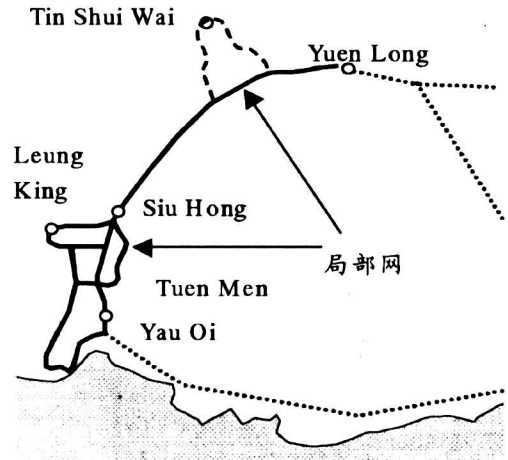


图 2 香港轻轨线上加设的局部通行网

Fig.2 Local branches of the LRT (HK)

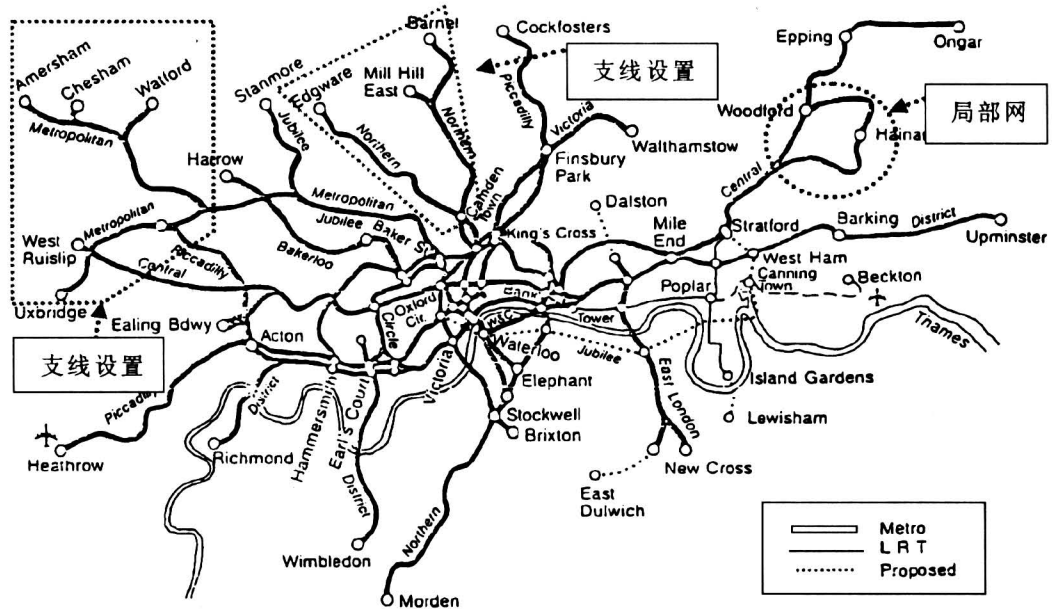


图 3 伦敦地铁线网示意图

Fig.3 Sketch map of London metro network

诚然，线网规模大小与城市空间形态及与此相关的地铁覆盖范围和线网密度要求不无关系，但笔者认为，线网合理规模在很大程度上取决于由城市土地使用所决定的出行总量、出行距离分布以及出行方式结构。与前者相比，后者对线网规模的确定更为关键。

“线网密度”和“吸引（服务）半径”不应该

成为决定线网规模的主要指标。在按上述研究路线确定了线网合理规模取值范围之后，“线网密度”和“吸引（服务）半径”是可以在布置线网构架时，因地制宜地予以解决的。实际上，线网密度和服务半径主要体现在车站的密度上。为了保证有较高的运营速度，同时又不过分增加线网总里程，可以采取图 1 的布置方式。此外，许多城市为了争取

更大的线网覆盖范围，而又不过多地增大线网规模，采取了开辟支线和敷设局部小网络的方法（如图2、图3所示）。这种布置方式加上合理的立交设计，还可以使线路负荷均衡性得到改善。

地铁线网合理规模的确定应当满足以下几条要求：

- 1) 线网要有与城市土地使用布局相适配的覆盖面；
- 2) 线网客流负荷有较好的均衡性。各线的单向最大断面负荷水平差异不宜超过一倍，且最低不少于3万人次/小时；对每条线路来说，末端最小负荷断面与最大负荷断面的负荷差异不宜超过70%；
- 3) 每公里线路负荷强度不宜小于3万人次/日。

上述条件是基于线网运营经济合理性要求提出来的，可视作线网规模研究的基本制约条件。

在满足上述条件下，依据城市出行总量的预测值及城市客运系统结构（出行方式分担比例）的要求，计算出地铁（轨道）交通系统的总体负荷量，尔后便可确定线网运营总里程（即线网规模）的合理取值范围。

在确定地铁线网合理规模时，城市客运方式结构的预测是个关键因素<sup>[1]</sup>。目前我国许多大城市在做城市客运系统规划时，几乎毫无例外地以欧美发达国家的大城市现在的客运方式构成作为远景“合理目标”，其实这也是认识上的一个误区。伦敦、巴黎及纽约等大城市公共交通系统承担的出行量份额均在70%以上，而且轨道交通（主要是地铁）所承担的客运量占公交客运总量的份额高达45~60%。我国的大城市未来的客运结构是否也应以此为目标呢？这当中有两点是不能忽视的：一是城市建设与发展的年代不同，二是城市布局形态的差异。伦敦、巴黎及纽约等城市无论就社会经济发展进程而言，还是郊区城市化发展进程都比我们的大城市早了几十年，甚至更长时间（伦敦修建第一条地铁距今已经126年，巴黎的第一条地铁距今也将近100年了）。那个时代，城市规划与城市交通的观念与技术和现在以及难以预料的未来相比，差别甚大。早期轨道交通（地铁）的运能水平及运营方式与地面常规公交相比，差别并没有象今天这样大，而且在二者之间没有可供选择的其它方式。伦敦及巴黎最初的轨道交通线网覆盖范围很小，而且采用传统公交运营方式，线路密度大，站间距小。从20世纪60年代以来，各国城市公共交通技术的发展已经趋向于多样化及个性化（见图4）。地铁作为一种大容量快速轨道交通方式更多地只是被用于高强度客运走廊上，而地面常规公共客运（公共汽车、无轨电车、有轨电车等）系统由于车辆及运营服务系统的改善（包括公交专用道及地面快速公交网的出现），其运能水平和服务效率成倍提高，平均运距也大幅度地增加，加上建设成本及运营成本均大大低于地铁，因而在整个城市公共客运系统中与地铁的份额之比，已经不是过去那样的“平分秋色”了。巴西的库里蒂巴可算作一个最为典型的实例（见图5）<sup>[2]</sup>。此外，随着轻轨（Light Rail）客运方式的出现，使得中低运量的公共客运系统更为充实，也更具吸引力。就建设成本而言，地面快速公交系统更具优越性，同等运量的快速公交走廊（公交专用道系统）建设费用只相当于轨道交通线的10~20%左右。

此外，就城市交通方式与城市布局形态之间的互动作用关系而言，无疑地面常规公交方式会更有利于城市紧凑发展。追求良好可达性目标的“紧凑城市”（Compact City）布局观念已经成为现代发

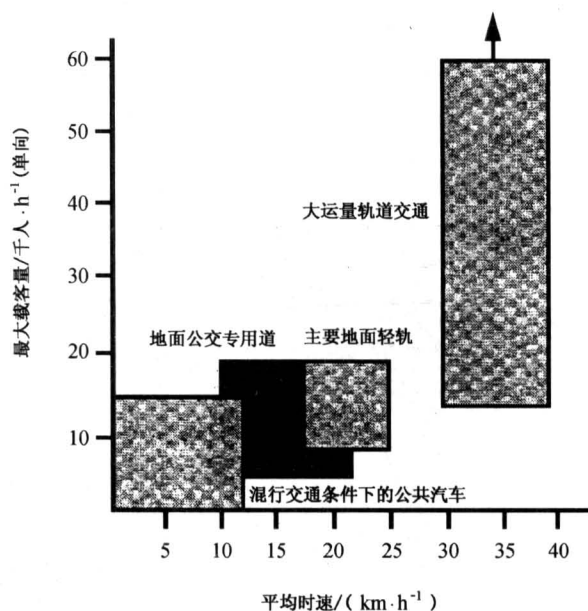


图4 发展中国家大、中运量公共客运方式的运行特征<sup>[2]</sup>

Fig.4 Operating characteristics of mass or medium public transport in some developing countries

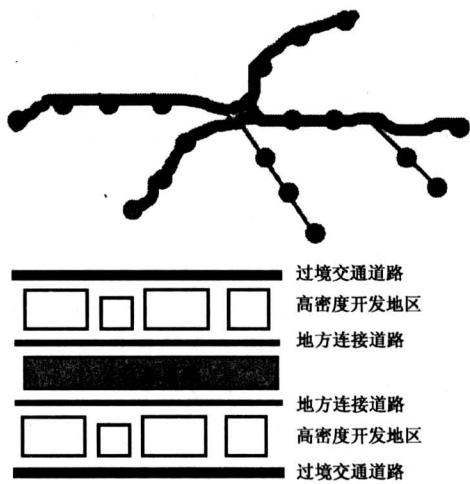


图 5 库里蒂巴公交系统

Fig.5 Public transport system of Curitiba

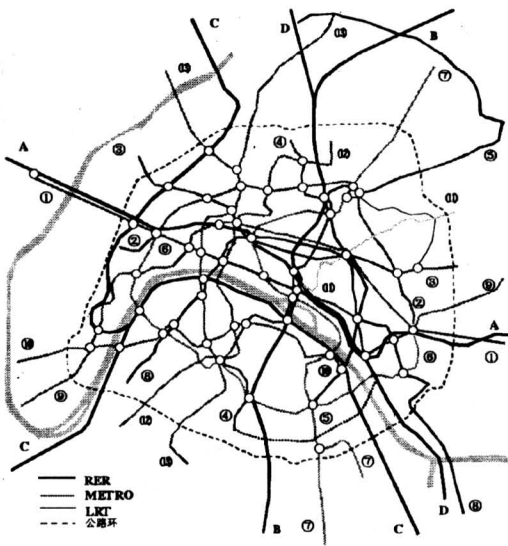


图 6 巴黎地铁线网示意图

Fig.6 Sketch map of Paris metro network

展中国家愈来愈普遍接受的新观念,也非常符合我国的国情。

综上所述,笔者认为,我国大城市大容量快速轨道交通(地铁)在城市公共客运系统所占份额不宜超过40%的水平。

## 2 关于线网空间形态与构架

在研究制订地铁线网规划时,我们总是首先试图寻求一种通用的“合理”的线网形态模式(例如:方格网、环线加放射线……),而且往往以目前已经形成一定规模的伦敦、巴黎、莫斯科及东京

等发达国家的大城市地铁线网为样板。不可否认,这些城市经过几十年,甚至百年以上的地铁建设与运营,有十分宝贵的经验可资借鉴。问题在于学习和借鉴不是简单地照搬,而是要从这些城市的规模、布局形态、社会经济特征以及发展地铁的历史背景去研究其线网形成的过程,对照分析其实际运营状况以及对城市土地利用的影响,从中找出规律性的东西。

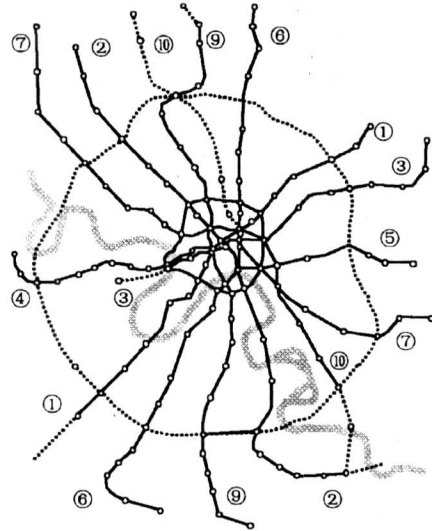


图 7 莫斯科地铁线网示意图

Fig.7 Sketch map of Moscow metro network

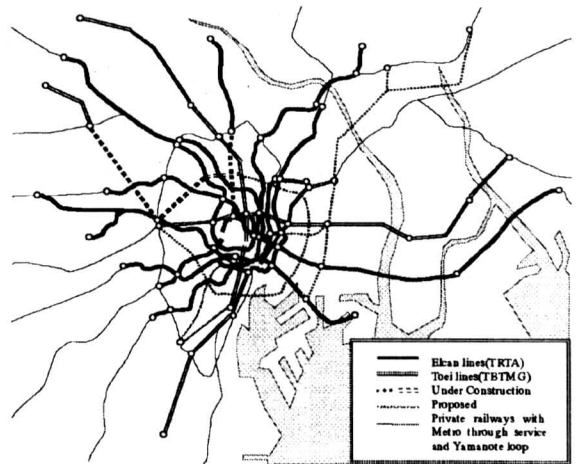


图 8 东京地铁线网示意图

Fig.8 Sketch map of Tokyo metro network

从上述几个城市的情况来看,最初建造地铁时,并没有一个完整的总体布局构想,现在形成的线网格局是在地铁发展与城市土地使用布局演变的

互动过程中逐步形成的，是共生共存的。最初的网络都是为满足中心区的公共客运需求而修建的，尔后，随着城市的扩展，逐渐向外延展，形成放射状格局。为了解决各放射线之间的联系（换乘），多采用修建环线的办法。伦敦、巴黎和莫斯科是这种发展格局的典型代表（见图 3、6、7）。东京由于市区东南部临海，因此地铁线网向西部和北部放

射，除借助于市郊铁路沟通各条放射线之外，也加了一条 U 字型半环线（见图 8）。北京的地铁是采用浅埋形式，敷设于城市道路下方，因此其线网格局与地面道路网毫无二致，均为标准的方格网。即便如此，也在中心部位设置了一条 23 公里的矩形环线如图 9（北京市城市规划设计研究院，北京城市总体规划，1992）。

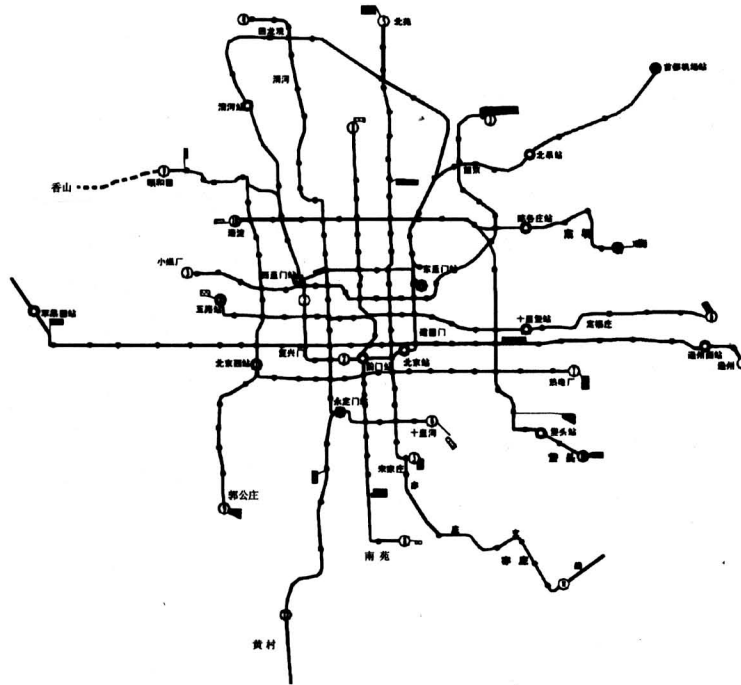


图 9 北京地铁线网示意图

Fig.9 Sketch map of Beijing metro network

表 1 世界部分城市地铁线网负荷强度与线网密度对比

Table 1 Comparison of the metro network density and passenger loading in some cities of the world

城市名称	线网密度 / (km·km <sup>-2</sup> )		线网负荷 / (万人次·km <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )
	中心区	全市	
伦敦	2.00	0.24	0.52
莫斯科	1.98	0.21 (2010 年规划调整为 0.39)	3.32
巴黎	2.48	0.73	1.64
纽约		0.44	0.71
东京		0.39	3.26
汉城		0.19	2.88
北京	1.14	0.34	3.67
香港		0.36	4.56
广州	1.06	0.37	3.82 (预测)

如上所述，这些城市的地铁线网不论是方格网形式，还是环线加放射线形式，都未必是可以普遍推广的最佳形式。实际上这些城市当初没有条件以城市出行的源流强度定量分析为依据，事先对地铁线网整个布局与运营状况作出全面评价分析，尔后一次完成最终布局的。实践证明（北京市城市建筑设计研究院，广州市快速轨道交通线网规划，1997）在线网格局相似，密度相近的情况下，它们的实际运行效果却有很大的差异（见表1）。

香港和广州的地铁（含轻轨线）线网整体格局明显有别于前面提到的几个大城市，其主要特征在于线网构架与城市主要交通走廊的高度吻合，不拘泥于空间形态的模式（图10、11）。但就其线网实际（或预期）的运行效率来看，却是最高的（见表1）。

（即最大限度地降低换乘率）及与其它交通方式的合理衔接关系。

广州市和香港的快速轨道交通线网形态与构架格局对上述三点是满足得较好的实例（图12、13）。

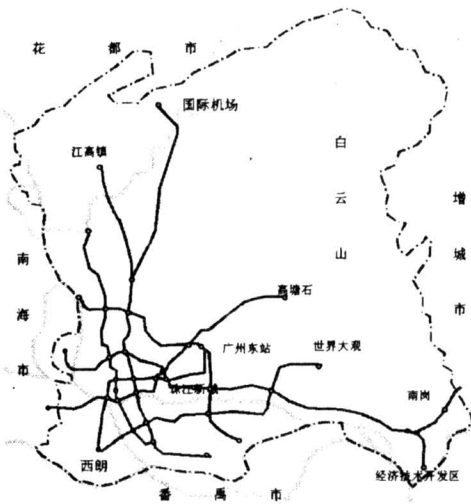


图10 广州地铁线网示意图

Fig.10 Sketch map of Guangzhou metro network

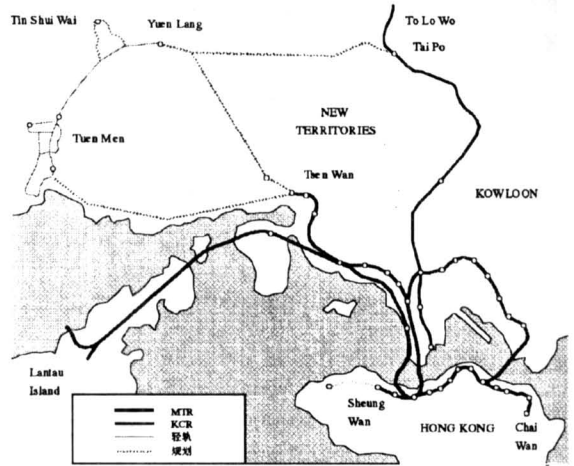


图11 香港地铁线网示意图

Fig.11 Sketch map of Hong Kong rail transit network

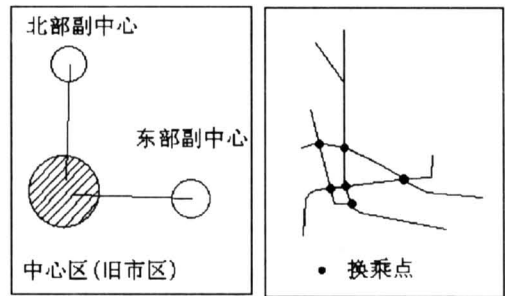


图12 广州市区布局与轨道交通线网骨架

Fig.12 City layout and rail transit frame of Guangzhou

由现有的各种线网布局实例对比分析，应该对线网形态及构架格局有如下的认识：

1) 地铁或其它形式的快速轨道交通线网空间形态与城市形态有密切相关性，二者之间相互制约，相互依存，最终形成吻合。

2) 线网的构架要与城市高强度客运走廊的空间分布形成良好的吻合关系。

3) 线网构架形式的差异一定会造成线网运行质量（效率与服务水平）的差异。线网的布置方案要充分考虑各线路自身以及整个线网负荷的均衡性以及换乘的方便性，还要考虑乘客的一次直达率

就网络系统上的换乘点布置方式（见图14）而言，方格网或者三角形网络布局的方式可能要比环线加放射线方式更好些。东京和莫斯科同样都意识到环线位置与放射扩展扇区的大小不成比例，原有的环线已经无法满足换乘需要。这一点，莫斯科的线网表现得尤为突出，除了既有环线以内的30余km<sup>2</sup>范围换乘还算方便，其余近800km<sup>2</sup>的范围内线路之间换乘十分不便。因此，后来又规划了一条约65km的外环线（图7中的虚线）。即便如



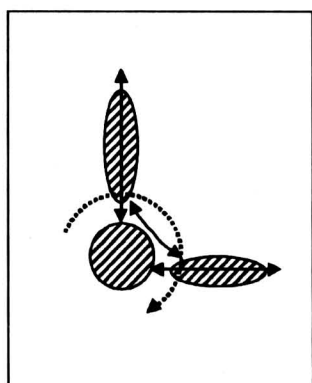


图 13 广州市区客流走廊形态  
Fig.13 Urban passenger flow corridor in Guangzhou

此，也难以彻底改善线网的整体服务水平。此外，这种线网布置方式还导致向心负荷的增强。莫斯科为了满足市区外围边缘集团的建设需要，重新布置了避开中心区的井字形弦线（图 15）。无论如何，单纯依靠环线布置换乘点的方式（如图 14<1>），会使环线与其它放射线的负荷强度相差悬殊（伦敦的环线大约承担线网负荷总量的 40%），从而造成线网运行效率随放射线数目增加而逐步下降。图 14 中第<4>种形式，往往为带状组团式布局的城市所采用，其实也是图中<1>的一种变形，同样存在上述问题。

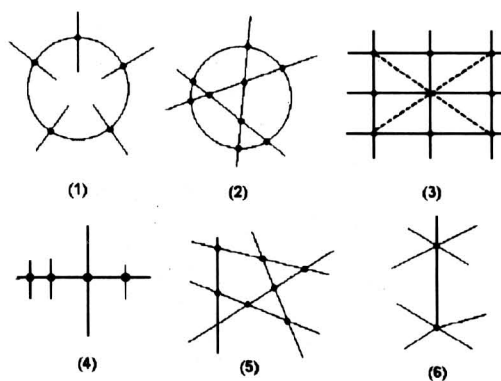


图 14 换乘点布置方式  
Fig.14 Interchange forms of metro

如果采用图 14 中<2>的布置方式，就有可能使上述弊端得到一些改善。莫斯科中心区的线网就采用了这种贯通直径线构成三角交叉的方式，改善线网运行条件，效果很好。广州及香港的布置方式

类似于图 14 中的<5>，这种使换乘点分散在各条线路，而不是集中于一条环线上的布置方式，就大大提高了运行效率和换乘的方便性。巴黎采取集中换乘枢纽点的布置方式（其概念类似于图 14 之<6>），实践证明不是一种好的方式。多条线路交汇于一处，不仅增加了线网运营组织的难度，也并不利于提高换乘的方便性。这也可能是巴黎地铁网尽管密度很高，而实际承担运量不高的原因（见表 1）。

对于地面道路为方格网状的城市来说，地铁线如果采用深埋方式，应当考虑设置对角线方向的线路，恰好可以弥补地面交通网络的布局缺陷（如图 14 之<3>）。

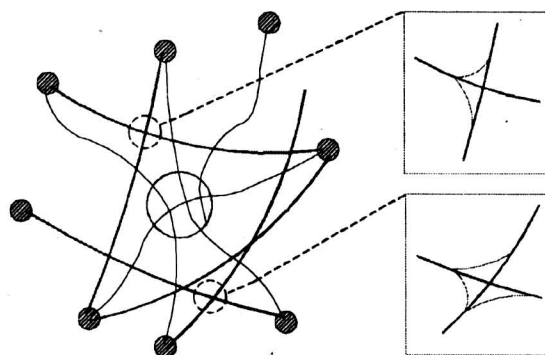


图 15 莫斯科地铁线网中的“井”字型弦线  
Fig.15 Chord lines in Moscow metro network

### 3 关于地铁线网与城市其它交通方式的衔接

在编制地铁线网规划时，应当充分考虑与地面其它客运交通方式的衔接关系，尤其是主要的人流集散点。这就要求根据城市土地使用布局及出行源流分布规律，制订出城市客运枢纽系统布局规划。地铁线网规划中，不仅线路布置要与地面其它交通网络协调配合，而且主要换乘站的安排也要与城市客运枢纽的布局相吻合。这当中要特别注意的几个衔接因素：

1) 地铁线路及车站的布置要满足城市综合交通枢纽的功能性质要求。对于城市对外交通的出入口枢纽（火车站、航空港、水运港、公路客运主枢纽等），其主要功能是对外交通与市内交通的接驳，因此，要根据接驳量及可能安排的接驳方式来确定是否需要地铁站，地铁站可承担的接驳换乘量，

以及接驳通道的布置等。对于市区公交换乘枢纽则要视区位条件及集散量确定是否要由地铁线路（一条或数条）接入。

2) 客流换乘条件及集散方式。地铁与其它地面交通方式在客运枢纽的衔接仅仅是一种方式，并非所有的换乘衔接点都要集中在几个点上。根据客流及其它公交客运方式运营状况的调查，可以掌握市区内不同地区的客流集散状况，在此基础上运用网络运行模拟手段（例如 TRIPS 模型）可以作出不同的地铁线网布置方案与地面交通衔接的效果分析，以全方式总体出行时间最短为优化目标，寻求最佳配置方案，同时获得每条线路沿途换乘量，作为日后地铁站或地面换乘设施（如公交站、社会停车场等）的设计依据。不仅如此，这些数据也将成

为地铁线网布局优化的依据（地面换乘条件及集散方式往往受土地使用等客观因素制约）。

#### 参考文献

- [1] 周干峙. 发展我国大城市交通研究 [M]. 中国建筑工业出版社, 1997. 1~6
- [2] 奥尔波特 R. 大运量快速交通的投资 [A]. 中国城市交通发展战略 [M]. 中国建筑工业出版社, 1997. 220~231
- [3] 弗洛拉·J. 公共交通运输的选择: 国外的经验 [A], 中国城市交通发展战略 [M]. 中国建筑工业出版社, 1997. 254~258

(后记: 此文曾在 1999 年 11 月由中国工程院主办的中-俄-芬地铁建设及地下空间开发利用国际研讨会上宣读, 而后略做修改。)

## A Discussion on Some Critical Issues of Metro Network Planning

Quan Yongshen

(Beijing Municipal Institute of City Planning & Design, Beijing 100045, China)

[Abstract] Many cities in China are now experiencing the booming period of metro construction. A critical and urgent problem is how to work out a sound network planning for the metro system before the concrete line implementation. Based on the experiences of metro network planning in China these years, the paper intends to explore some critical issues in this field. That includes the reasoning of the rational scale of the metro system, the spacial form and framework planning and the integration of the metro system with other public transport systems in the city.

[Key words] metro; network planning

\* \* \* \* \*

作者·编者

### 敬告作者

为适应我国信息化建设需要，扩大作者的学术交流渠道，本刊已加入《中国学术期刊（光盘版）》和中国期刊网，其相应的作者文章著作权使用费交中国版权保护中心统一处理。如作者不同意将文章编入上述数据库，请在来稿时声明，本刊将作适当处理。

《中国工程科学》  
编辑部