

Design and Construction of Metro Engineering

◎ 吕志涛

主审



China Communications Press

	里、望
	里、望
	里、望
	里、望
	里、望
	里、望
	地、望
	好、望
	市、望
	绕、望
	车、望
	地、望
	河、望

二〇〇四

地铁工程设计与施工

刘 钊 余才高 周振强 主编
吕志涛 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书全面介绍地铁工程的土建设计与施工问题,即:轨道交通线路、轨道结构、地铁车站与区间结构、地铁隧道的明(盖)挖法、浅埋矿山法、盾构法、沉管法以及高架轨道交通的结构设计与施工。同时,还用较大的篇幅介绍了南京、深圳、上海、北京、广州等地的地铁工程实例。在书末的附录中,还结合上海磁悬浮商业运营线,介绍了高速磁悬浮轨道交通发展现状。

本书可作为高校土木、交通、铁道、地下工程专业教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

地铁工程设计与施工/刘钊,余才高,周振强主编.
北京:人民交通出版社,2004.5
ISBN 7-114-05061-5

I.地... II.①刘...②余...③周... III.①地下
铁道—铁路工程—设计②地下铁道—铁路工程—工程施
工 IV.U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 041888 号

地铁工程设计与施工

刘 钊 余才高 周振强 主编

吕志涛 主审

责任校对:李 东 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)

各地新华书店经销

北京明十三陵印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:404千

2004年5月 第1版

2004年6月 第1版 第2次印刷

印数:3001—5000册 定价:28.00元

ISBN 7-114-05061-5

前

言

Q IANYAN

城市轨道交通以其安全、迅捷、容量大、能耗低、污染少等优点受到青睐,是现代化城市中的“绿色交通”。当前我国轨道交通的建设方兴未艾,随着经济的发展和城市化进程的进一步加快,社会亟需这方面的建设人才。

本书着力于全面介绍地铁工程中的土建设计与施工问题,即:轨道交通线路、轨道结构、地铁车站与区间结构、地铁隧道的明(盖)挖法、浅埋矿山法、盾构法、沉管法以及高架轨道交通的结构设计与施工;同时,还用较大的篇幅介绍了南京、深圳、上海、北京、广州等地的地铁工程实例。在书末的附录中,还结合上海磁悬浮商业运营线,介绍了高速磁悬浮轨道交通发展现状。

本书第1章到第9章及附录由东南大学刘钊编写,第10章到第12章分别由南京地下铁道总公司张静、张柏林、黎庆编写,第13章由中铁四局周振强编写。全书由刘钊、余才高、周振强统稿。本书承中国工程院院士、东南大学教授吕志涛先生主审。

在本书编写过程中,得到了东南大学蒋永生教授、孟少平教授、龚维明教授等人热情帮助;中铁四局集团有限公司总工程师袁广龙教授级高工以及施大震、聂宗泉、仝学让、高锦林、徐宏等曾给予指导并提供了相关资料;中铁西南科学研究院王建宇研究员、南京工业大学宰金珉教授都应邀提出了许多建设性的意见;人民交通出版社的吴有铭编辑及其同仁为本书的出版给予了真诚帮助;在最后成稿阶段,硕士生李丰群、李鹏、臧华协助完成了许多文字整理事务;本书在撰写过程中还学习和参考了不少著作和论文(详见书末的参考文献),在此一并表示衷心感谢!

本书旨在为我国地铁工程建设贡献绵薄之力,同时为高等院校相关专业提供备选教材。对于书中的不当和错误之处,衷心企盼得到专家、读者的批评指正。

作 者

2004年3月于南京

• 第一章 •

GAILUN

概 论

第一节 交通方式与城市发展

交通方式对城市的规模、结构、形态等有着至关重要的影响。西方国家城市交通方式的发展大致经历了步行和马车时代、有轨电车时代、汽车时代和综合交通时代。

步行和马车时代 这一时期人们的活动半径很小,城市一般都呈现以商业活动为中心的相对密集的同心圆形状,其半径一般不超过步行从居住地到工作场所、商店以及娱乐场所的距离,城市规模较小,人口居住密度较高。

有轨电车时代 有轨电车的出现极大地提高了城市居民的出行方便性。从 18 世纪末开始,欧洲资本主义大工业的诞生促进了人口向城市集中,有轨电车作为最早被大量利用的城市机动化交通工具,19 世纪末期在欧美等国家迅速得到普及,为早期城市的工业化和商业化发展立下了汗马功劳。从 1889~1892 年短短 3 年间,全美的城市基本都使用了有轨电车系统。到 20 世纪初,美国共有 32 180km 的电车线路,成为人们通行的主要交通工具。

汽车时代 20 世纪初期,美国率先开始进入私人小汽车时代,至 20~30 年代,美国已经拥有小汽车近 3 000 万辆。小汽车的出现,极大地提高了人们出行的灵活性、方便性,使有轨电车干线之间、郊区之间的交通手段得到加强,同时无轨公共汽车拓宽了原来有轨电车的轨道线路两侧狭长走廊型的交通通道,使城市居民出行的便捷性提高。随着城市快速干道与高速公路的修建以及小汽车的普及,有轨电车逐步萎缩,汽车交通在城区及城郊之间的运输逐渐占据了主导地位。

综合交通时代 随着城市现代化进程的加快,解决现代大城市交通问题的根本出路在于建立一个以轨道交通系统为骨干,以道路交通为主体,多种交通方式相结合的综合交通系统。与汽车交通相比,轨道交通在土地利用、维持城市持续发展等方面较为有利;同时还能减缓由汽车交通带来的环境污染、消耗能源、交通事故频发等一系列社会问题。

广大发展中国家,由于受到西方工业革命的冲击,其城市交通的发展阶段区分则没有那么泾渭分明,出现了多种形式的个体交通(步行、自行车、摩托车、小汽车)与多种形式的公共交通(公共汽车、轻轨、地铁、市郊铁路)混合并存的局面。

现代城市轨道交通不再是 100 多年前的有轨电车,而是速度更快、运力更强的地铁和轻

轨。轨道交通具有运载量大、速度快、污染少、安全准时等优点,在美国、欧洲、日本等发达国家的大城市地区,已成为通行及市区出行的主要交通手段。例如在日本的东京圈,3 000 万人口、60km 的居住圈,每天通行交通量的 90% 以上是依赖 12 条地铁线路、20 余条地面轨道来承担的。进入 21 世纪,发展中国家随着经济水平的提高和城市规模的扩大,发展轨道交通是解决城市交通的强有力手段。

城市居民出行交通方式的比较见表 1-1。

城市居民出行交通方式的比较 表 1-1

交通方式	优 点	缺 点	最佳适用范围
自行车	出行方便、安全、无污染、噪声低、节能低成本	速度慢、占地多、舒适性差、受天气影响大	适合短距离出行
私人汽车	出行方便、舒适、速度较快	污染大、运量少、成本高、受道路状况影响大、停车难、占地多	适合中长距离出行
公共汽车	密度大、线路多、安全、乘车方便、价格低、载客较多	速度慢、污染大、噪声大、能耗高、受道路状况影响大、拥挤、舒适性差、占地多、工作人员多	适合中距离及客流集中地方出行
轨道交通	运量大、低污染、低噪声、高密度、占地少、舒适、全天候、低价格	高投入、高维护成本、建设周期长、线路密度低	适合各种距离出行

第二节 城市轨道交通发展现状

1. 轨道交通发展的几个阶段

回顾历史,城市轨道交通的发展大致经历了以下几个阶段:

(1) 初步发展阶段(1863 年 ~ 1924 年)

1863 年世界上第一条地铁在伦敦建成通车,列车用蒸汽机车牵引,线路全长约 6.4km。在这一阶段,欧美的城市轨道交通发展较快,除有轨电车外,还有 13 个城市建成了地铁。

(2) 停滞萎缩阶段(1924 年 ~ 1949 年)

欧美汽车工业的发展和普及,致使城市轨道交通停滞不前。由于私人汽车的灵活性和便捷性,私人汽车成为主流交通工具。而轨道交通因投资大,建设周期长,发展缓慢,这一阶段只有五个城市发展了城市地铁。

(3) 再发展阶段(1949 年 ~ 1969 年)

随着汽车数量激增,城市道路开始堵塞,行车速度下降,同时汽车交通带来的空气污染、噪声、能耗、停车位等问题日益严重,轨道交通因此得到了重视和再发展,而且从欧美扩展到日本、中国、韩国、巴西、伊朗、埃及等欧美以外的国家。这期间有 17 个城市新建了地铁。

(4) 高速发展阶段(1970 年至今)

这一时期,世界范围内城市化进程加快,人口向城市集聚,世界上很多国家都确立了优先发展轨道交通的方针,各大城市均将轨道交通纳入城市长远发展规划,发展中国家也不例外,

地铁、轻轨和其他轨道交通成了城区出行的主流交通工具。

据统计,到 1990 年世界上有 98 个城市约 5 300km 轨道交通投入运营,另有 29 个城市、94 条线路约 1 000km 在建。近 20 年来增加的线路是 1863 年到 1963 年一百年建成地铁总长度的 3 倍。运营线路长度排名前十位的城市依次为:纽约、伦敦、巴黎、莫斯科、东京、芝加哥、墨西哥城、柏林、波士顿、圣彼德堡,线路总长 2 300km,占世界轨道交通的 43%。

2. 我国城市轨道交通的发展

1908 年上海第一条有轨电车线路建成,由静安寺行驶至外滩,全长 6.04km,这是中国最早的城市公共交通。

1969 年 10 月我国第一条地铁在北京建成通车(1971 年投入运营)。天津地铁建设始于 1970 年,后因故停工,1983 年复工续建,84 年 12 月第一条线开通运营。我国部分大城市的第一条地铁建设情况见表 1-2。

我国部分城市的第一条地铁建设时间及里程

表 1-2

	北 京	天 津	上 海	广 州	南 京
建设时间	1965 ~ 1971 年	1970 年,后停,1983 ~ 1984 年	1990 ~ 1995 年	1993 ~ 1999 年	2000 ~ 2005 年
里程(km)	22.17	7.4	21	18.47	21.7

香港于 1975 年 11 月开始修建地铁,至 1989 年 8 月,历经 14 年建成了香港地铁线网全长 43.2km,其中地下 34.4km,高架 7.6km,地面 1.2km。沿线共设车站 38 座,其中地下 28 座,高架 9 座,地面 1 座。1994 年香港地铁公司动工修建香港岛至新机场的地铁新线,使香港地铁线网增加至 4 条线路,即观塘线、荃湾线、港岛线和新机场线。

在我国大陆,城市轨道交通真正受到重视和快速发展则始于 20 世纪 90 年代以后。在此期间,我国在城市轨道交通建设的指导思想上,经历了以战备为主、兼顾交通的第一阶段,到以交通为主、兼顾人防的第二阶段,直至现在的纳入国家宏观战略、城市长远规划及考虑可持续发展的第三阶段。

截止到 2003 年,我国轨道交通开通运营的城市有北京、香港、台北、天津、上海和广州;正在建设中的城市有深圳、南京、重庆、沈阳、青岛、武汉等;列入规划或正在筹建的城市有大连、成都、长春、哈尔滨、鞍山、杭州、宁波、乌鲁木齐、西安、合肥、兰州、佛山、桂林、昆明、济南、福州等,部分城市有望近年开工。

部分城市轨道交通线路图或规划图见图 1-1 ~ 1-4。

目前,我国人口为 50 万 ~ 100 万的大中城市 44 座,100 万以上的大城市 35 座。根据发达国家经验,要使快速轨道交通承担客运交通的 50% ~ 80%,100 万人口以上城市居民出行时间控制在 40min 以内,中等城市为 30min 以内。中等城市要修建轨道交通 1 ~ 3 条,100 万人口以上的大城市则要修建 4 ~ 8 条。

随着我国综合国力的不断增强,地铁和轻轨交通工程建设已呈现出快速发展的势头,各大城市均提出把轨道交通作为城市交通的骨干,反复修订城市轨道交通线网规划。如北京线网规划了 13 条线路,总长 408km;上海线网规划了 21 条线路,总长 560km,上海新一轮轨道交通线网规划总里程还要大幅度增加。已获得国家批准建设的城市线网规划都有一定的规模,少

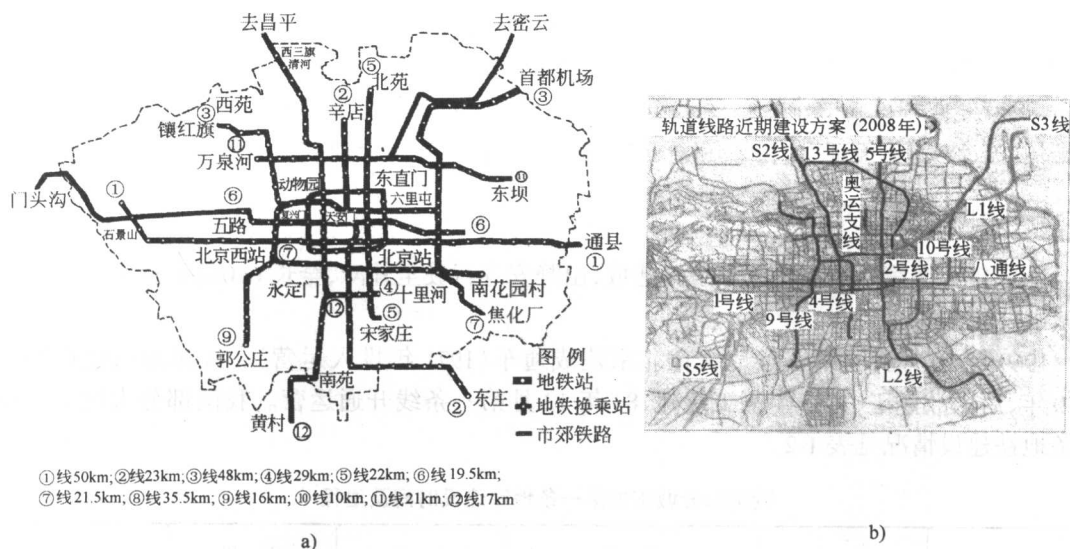


图 1-1 北京市轨道交通线网规划图
 a)1995 年规划;b)规划至 2008 年(2004 年)



图 1-2 上海市地铁 1 号、2 号线及轨道明珠线

则百余公里,多则几百公里。特别是北京申奥成功,北京市的城市轨道交通的建设速度更要加快,到 2008 年北京要形成 340km 运营路网,提前“超额”完成原有规划。

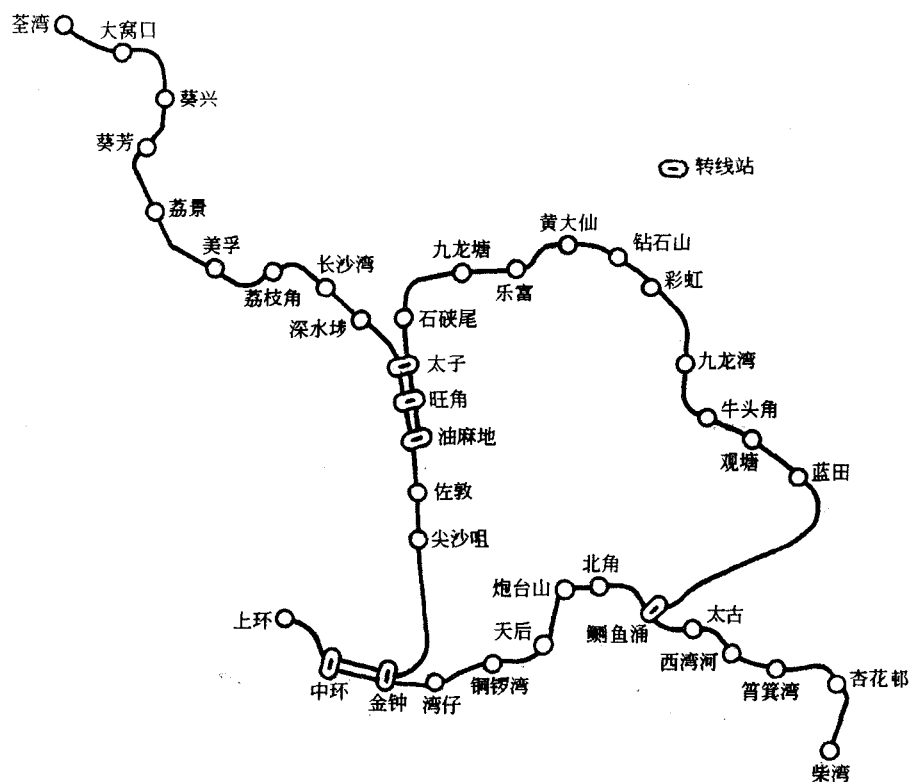


图 1-3 香港地铁线路图

第三节 城市轨道交通的分类

城市轨道交通有很多种类型,依据不同的指标有不同的分类。

1. 按交通容量分类

交通容量即运送能力,指单方向每小时的断面乘客通过量。按照不同的交通容量范围,轨道交通可分为特大、大、中、小容量四种系统,如表 1-3 所示。

按照交通容量划分的轨道交通类型

表 1-3

分 类	特 大	大	中	小
交通容量(万人/h)	>5	3~6	1~4	<0.5
交通形式	市郊铁路	地铁	轻轨、单轨小型地铁、新交通系统	有轨电车

其中,特大容量系统一般指市郊铁路,其单向小时断面客流量可达到 5~8 万人,大容量轨道交通通常指常规地铁;中容量轨道交通包括轻轨、单轨、小型地铁和新交通系统;小容量轨道交通系统则多指有轨电车。

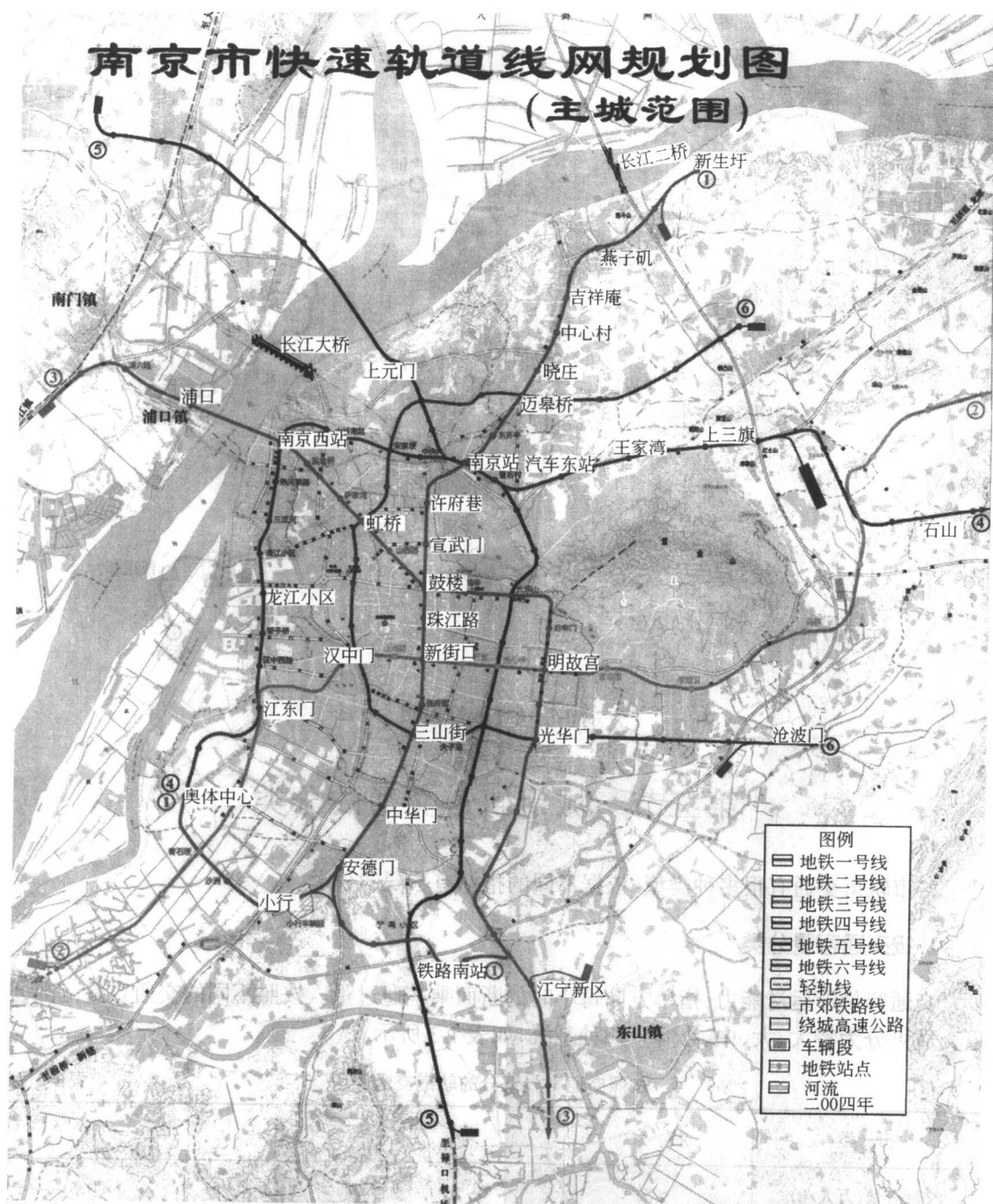


图 14 南京市轨道交通线网规划图

地下铁道在英语中有不同的称谓,如 Metro, the Underground, Subway, MTS (Mass Transit System) 等;1978 年 3 月,在布鲁塞尔召开的第一次国际公共交通联合会(UITP)上确立轻轨交通的名称为 Light Rail Transit,简称 LRT。

2. 按敷设方式分类

按敷设方式可分为隧道(包括地下、山岭、水下)、高架和地面三种形式。特大、大容量轨道交通在交通较为繁忙的地区多采用隧道和高架形式,在市郊则可采用全封闭的地面形式;中容量也可兼有三种敷设形式,且通常不与机动车混行;小容量轨道交通系统一般采用地面形式,可与机动车混行,运输效率较低,相对于普通公交优势并不明显。

3. 按导向方式分类

按导向方式可分为轮轨导向及导向轮导向,一般钢轨钢轮系统(地铁、轻轨、有轨电车)属前一类型,启动较快;单轨及新交通系统等胶轮车辆属后一类型。

单轨交通系统(Monorail System)是一种跨越或悬挂在高架上的钢或混凝土轨道上行驶的交通系统,最早的运营线产生于 1888 年。由于车辆摇晃、轮轨磨损大、舒适性差等不足,一直未得到发展,直到 20 世纪 50 年代,从技术上解决了行驶稳定问题后才得以发展。单轨交通是一种小容量的系统,适用于每小时单向截面客流量 0.5~2.0 万人次的地方。它具有占地少、爬坡能力大(可达 10%)、噪声小(用橡胶轮胎)等优点,所以在机场、博览会、游乐场、旅游线等中小客流量的线路上常被采用。重庆轻轨较新线一期工程为国内首次采用的跨座式胶轮单轨系统,全长 14.25km,大部分为高架线路。

目前,新交通系统还没有统一的概念,较公认的新交通系统取自于日本的分类标准,特指全自动控制的中等运量的轨道快速客运系统,包括导轨交通、自导向交通、磁悬浮交通等,以导轨交通为主要特征。

城市轨道交通系统的主要技术参数参见表 1-4。

城市轨道交通系统的主要技术参数

表 1-4

类型	平均运行速度(km/h)	最小行车间隔(min)	编组数(辆)	线路形式	平均站距(m)	运输能力(万人/h)
市郊铁路	35~40	2	4~10	全封闭	1 000~3 000	5~8
地铁	25~40	1.5	4~10	全封闭	500~1 500	4~6
轻轨	25~35	2	2~4	专用线	500~1 200	1~4
单轨	25~30	1	4~6	高架	500~1 000	1~2
新交通	20~30	2	4~6	高架	500~1 000	0.8~1.5

4. 按轮轨支撑形式分类

轮轨支撑形式,可分为钢轮钢轨系统、胶轮混凝土轨系统以及特殊系统。钢轮钢轨系统是目下地铁与轻轨的主流形式,胶轮混凝土轨系统主要指单轨及新交通系统,而特殊系统则包括支撑面置于车辆之上的悬挂式单轨系统、磁悬浮式轨道系统等。

第四节 地铁与轻轨交通的特点

1. 轨道交通特点

如前所述,地铁和轻轨同属于城市快速轨道交通的一部分,是一种具有快速、安全、能耗

低、污染少等优点的绿色交通方式。

我国自 20 世纪 80 年代以来,随着国民经济的高速发展,城市交通堵塞、事故频繁、污染严重等问题日益严重。近年来,尤其是百万人以上的大城市,道路每年以 3%~4% 的速度增加,但机动车每年以 15%~20% 的更高速度增长,因此交通拥挤现象十分普遍。轨道交通在 20 世纪之所以备受青睐,是因为与道路交通相比,轨道交通具有运量大、速度快、时间准、污染少、安全舒适,且与城市道路无平面交叉等无可比拟的优势。

运量大 一辆公共汽车的载客量只有 40~80 人,轻轨一节车厢载客量为 60~150 人,地铁一节车厢载客量为 150~200 人;轻轨一般 2~6 辆编为一组,地铁为 4~10 辆一组;每小时单向输送能力公共汽车为 2 000~5 000 人,轻轨为 5 000~40 000 人,地铁达 30 000~70 000 人,轨道交通输送能力是公共汽车的 2.5~14 倍。

速度快 一般情况下,公共汽车时速为 10~20km,轻轨时速为 20~40km,地铁时速为 40~50km,最高达 70~80km,轻轨和地铁的速度是公共汽车速度的 2~4 倍。

污染少 轨道交通以电力作为动力,是一种清洁、绿色的运输方式。

能耗少 轨道交通每公里能耗为道路交通的 15%~40%。

占地省 按每小时输送 5 万人计算所需道路宽度是:小汽车 180m,公共汽车 9m,轨道交通综合占地仅为道路交通方式的 1/3 左右,而地铁和高架式轻轨几乎不占土地。

安全与环保 轨道交通工具的事故率大大低于道路交通工具,噪声和空气污染等环境保护方面也优于道路交通。所以,城市轨道交通是在满足城市居民交通需求的条件下全社会总付出最少的方式,也是满足人文和城市可持续发展要求的最佳方式。

2. 地铁与轻轨的比较

“地铁”与“轻轨”的称谓主要来自于其交通容量的划分。一般认为,地铁为大容量交通体系(3~6 万人/h),轻轨为中容量交通体系(1~4 万人/h)。由此会对地铁与轻轨的工程设计标准如钢轨类型、线路坡度、曲线半径、车辆编组、牵引动力等带来差异。

轻轨线以高架线和地面线路为主,结合地形不得已时也可采用地下线,以浅埋区间段为宜,一般不设地下车站。轻轨线主要沿街道布线,时而转弯,时而高架或入地,线路的曲率半径小,坡度大。根据我国城市的特点和车辆的技术条件,建议正线运行速度不大于 35km/h,平曲线最小曲率半径为 100m,特殊地段可以采用半径 50m,最大坡度值为 60‰。

早期的地铁线路大部分都设在地下,自 20 世纪 70 年代以来,地铁吸收了轻轨的一些技术优点,并且为了减少造价,只是在市区建筑物密集的地段设在地下,在城乡结合部和郊区等建筑场地和环境允许的情况下,线路和车站均建在地面和高架上。地铁线路沿主要交通干道布线,在商业、文化、政治中心和交通枢纽附近布置地下车站。由于地铁速度快、运量大,为了减少轮轨的磨损,一般情况下地下铁道正线最小曲率半径为 300~600m,特殊地段为 250~300m。我国地铁设计规范规定,正线最大坡度采用 30‰,困难地段为 35‰,一般重车的最大坡度值为 40‰~45‰,隧道线路要满足纵向排水要求,最小坡度一般不宜小于 3‰。

线路设置方式对直接投资影响很大。同样规模的线路,地面、高架、地下 3 种不同的线路设置方式其直接投资比例一般为 1:3:9。但若考虑对城市交通、环境、景观等的综合影响,则地铁不一定全部在地下,轻轨不一定全部在地上。地铁和轻轨互相渗透发展,其差别越来越小,有些系统也很难说它是地铁还是轻轨。例如,上海市轨道明珠线是高架、大容量系统,既不能完全称为地铁,也不能确切地叫它轻轨。又如,南京地铁 1 号线,南京站至三山街站之间区

段经过城市中心地带,必须采用地下铁道的形式,而南京站以北和三山街站以南则采用高架线路的形式。

第五节 轨道交通工程的研究范畴及本书主要内容

城市轨道交通工程是一项庞大的系统工程,它涉及到交通工程学、城市交通规划、建筑设计、工程结构设计与施工、车辆与动力、通风空调与采暖、给水和排水、牵引供电、电梯、通信与信号、防噪、防灾、投资、运营管理等多方面内容。更宏观地说,它也与区域经济、可持续发展和国防等问题密切相关。因此,关于轨道交通方面的著述一般都不可能面面俱到,而是各有侧重。

本书重点阐述城市地铁与轻轨建设中的土木工程问题,包括:轨道交通线路设计、轨道结构工程、地铁车站与区间的结构形式、明(盖)挖法修建地铁隧道、浅埋矿山法修建地铁隧道、盾构法修建地铁隧道、沉管法修建地铁隧道、高架轨道交通的结构设计与施工,最后介绍了南京、深圳等地铁中的若干工程实例。

• 第二章 •

GUIDAOJIAOTONGXIANLUSHEJI

轨道交通线路设计

第一节 选线及车站分布

1. 一般规定

城市轨道交通线网布局的合理性,对城市轨道交通的效率、建设费用,对沿线建筑文物的保护、噪声防治及城市景观等都会产生巨大影响,对城市发展起着重要的推动作用。符合城市总体规划的轨道交通线网规划,会促使城市良性运转。城市轨道交通线网的布局,除考虑地区的繁华程度、人口稠密程度外,还须考虑到轨道交通线网具有调整优化城市布局和用地功能的潜在优势,即所谓“廊道效应”。做好轨道交通线网规划,可减少拆迁和避免发生错误的布局。

城市轨道交通线网实施规划对线路敷设方式(地下、高架、地面)、换乘节点、修建顺序、运行规划、联络线分布以及与地面交通的衔接等提出规划要求,并适应城市经济发展与城市主客流方向、客流量密切配合的需要,不允许施工后产生方案性的变更。

城市轨道线网规划是创造优良的城市轨道交通环境和最大限度地吸引客流的关键性工作。现在城市轨道交通线网规划已作为国家审批城市轨道交通工程项目的主要依据之一,并受到各城市建设部门的高度重视。

《地下铁道设计规范》(GB 50157—92)对选线和轨道设计有六点基本规定:

(1)地下铁道线路按其在运营中的作用,应分为正线、辅助线和车场线。

(2)地下铁道的线路在城市中心地区宜设在地下,在其他条件许可的地区可设在高架桥或地面上。

(3)地下铁道地下线路的平面位置和埋设深度,应根据地面建筑物、地下管线和其他地下构筑物的现状与规划,工程地质与水文地质条件,采用的结构类型与施工方法以及运营要求等因素,经技术经济综合比较确定。

(4)地下铁道的每条线路应按独立运行进行设计。线路之间以及与其他交通线路之间的相交处,应为立体交叉。地下铁道线路之间应根据需要设置联络线。联络线宜采用单线。

(5)地下铁道车站应设置在客流量大的集散点和地下铁道线路交会的地方。车站间的距离应根据实际需要确定,在市区宜为 1km 左右,在郊区不宜大于 2km。

(6)轨道设计应保证列车安全、平稳、快速运行,其构造应具有足够的强度、稳定性、弹性和

耐久性,并应满足绝缘、减振和防锈等要求。

2. 路网规划与线路走向

纵观世界各大城市的轨道交通系统,虽然路网规划有多种形态,但都与各自城市结构相互适应、相互影响。

选线包括线路走向设计、线路路由、车站分布、轨道敷设方式等内容。一般从经济和技术两个角度加以考虑,遵从以下原则:

(1)按照路网规划和城市发展总体规划的要求,线路基本走向应选择沿主要客流方向,并且要通过大型客流集散点(如工业区、大型住宅区、商业文化中心、公交枢纽、火车站、码头、长途汽车站等),以便于乘客直达目的地,减少换乘。如上海地铁1号线一期工程将漕河泾(上海第二客站)、徐家汇、人民广场、上海火车站等大型客流集散点作为其必经的控制点,为解决上海市漕河泾、徐家汇、人民广场及上海火车站地区之间的南北客流量大的问题发挥了重要的作用。

(2)选择线路走向要考虑地质条件、历史文物的保护、地面建筑和地下建筑物等情况,在老城区线路宜选择地下线路。

(3)地下线路基本走向应结合地形、地质及道路宽窄等条件,尽量选择在施工条件好的城市主干道上。同时进行施工方法的比选,合理选择线路基本位置、埋置方式及深度,减少施工过程中对现有房屋等建筑物进行的拆迁,以及对城市交通的干扰。在郊区及次中心区有条件地段,可以选择地面线路或高架线路,以节省建设投资,降低运营费用。

(4)地下线路通过建筑群区域的范围应限制在最低限度。线路在道路的十字路口拐弯时,通过十字路口拐角处往往会侵入现存的建筑用地。此时若以大半径曲线通过,虽然对运行速度、电能消耗、轨道养护、乘客舒适性等方面都有利,但会造成通过建筑群地带占用地面以下的区间增大、用地费用增加,同时因隧道的设置,地面建筑物重量将受限制,往往还会使基础托底加固等困难工程同时出现。

(5)对于浅埋隧道线路、地面线路或高架线路,其布设位置通常是沿着较宽的城市干道,或是通过建筑物稀少的地区。这样可以减少线路穿越建筑群区域时因避让桩基或拆迁房屋而增加的困难及费用,也为线路施工创造了良好的明挖条件,还为车站位置的选择增加了自由度。对于深埋隧道,其线路位置由车站位置决定,一般在两车站之间取短直方向。

(6)当线路预定与远期规划线联络时,先期建设的线路应考虑与远期规划线路交叉点处的衔接,虽然暂时费用支出有所增加,但为未来路网中乘客的换乘方便创造了条件。这要比未来改建线路增设换乘设施节省投资。

(7)选择线路走向时还要考虑车辆段、停车场的位置以及连接两相邻地铁线路间的联络线。

3. 车站分布

(1)影响车站分布的因素

城市轨道交通的车站分布应考虑以下影响因素:

①大型客流集散点

大型客流集散点往往是城市的政治、经济活动中心,是城市的窗口地段。该地段不但客流量大,而且集中,对地面交通压力很大。城市轨道交通应在大型客流集散点设立车站,吸引这

些客流,充分发挥自身的效能,对解决城市交通起到积极作用。如北京地铁公司客流调查资料表明,1983年北京地铁1号线苹果园、古城路、前门、北京站等4个车站上下车人数占总上下车人数的55.6%,4个车站平均上下车人数为其他车站的4.1倍;1991年上述4个车站加环线西直门站的进站人数占总进站人数的40.4%,每站平均进站人数为其他各站人数的4.7倍,复兴门换乘站的上下车人数为其他各站平均上车人数的5.4倍。以上各站的位置都是处于北京市石景山工业区、前门商业区、北京火车站、天安门广场、西直门公共交通总站、地铁1号线与环线的换乘站等特大型及大型客流集散点。

②城市规模大小

城市规模大小由城市建设区域和规划区域的面积及人口所决定。一般来说,城市区域面积越大,城市居民出行的乘距就越长。例如,莫斯科与圣彼得堡市中心区地铁乘客的平均出行距离分别为10.0km与6.1km;而同一城市在市区与郊区的乘客的平均出行距离也有差别,莫斯科与圣彼得堡郊区的平均出行距离分别为14.0km与9.5km。乘距长时,轨道交通应以长距离乘客为主要服务对象,车站分布宜稀一些,以提高轨道交通乘客的交通速度;反之,车站分布宜密一些。另一方面,城市人口越多,交通线路上客流量也就越大,旅客上下车人数也较多,所以在人口多的城市车站分布宜密一些;反之,车站分布宜稀一些。

③城区人口密度

我国地域辽阔,分布在南北东西各地的城市人口密度差异很大,如北京市四个中心城区(东城、西城、崇文、宣武)人口密度为每平方公里2.8万人(1991年),上海市中心五个区(静安、卢湾、黄浦、虹口、南市)人口密度超过每平方公里5万人(1988年)。人口密度大,则同样的吸引范围内,发生的交通客流量大,因此车站分布宜密一些。

④线路长度

一条线路的长度,短则几千米,长则几十千米。不同的线路长度,车站的疏密宜有所不同,短线路宜多设站,长线路宜少设站。

⑤城市地貌及建筑物布局

城市中的江、河、湖、山和铁路站场、仓库区等,人口密度低,甚至无人,轨道交通在穿越这些地区时可以不设站。但若有条件开发公园,则应考虑在其主出入口处设站。

⑥轨道交通路网及城市道路网状况

两条地铁线路交叉时,在其交叉点应设乘客换乘站。在与城市主干道交叉时,为了让乘坐城市其他交通工具的乘客方便乘轨道交通,也宜设车站。

⑦乘客对站间距离的要求

在车站分布数量上,除大型客流集散点及火车站外,其他车站的设置,主要受乘客对站间距离的要求所支配。对于平均站间距离,世界上有两种趋向:一种是小站间距,平均为1km左右;一种是大站间距,平均为1.6km左右。香港地铁平均站间距为1050m,其中港岛线仅947m;莫斯科地铁平均站间距为1.7km左右。香港、莫斯科都是以公共交通为主要运输工具,地铁都有很好的运营业绩。

我国轨道交通在吸收世界轨道交通建设经验的基础上,在《城市快速轨道交通工程项目建设标准》(试行本)中提出“车站间距应参照城市道路布局和客流吸引范围而定。在市中心区宜为1km左右,在市区外围宜为2km左右”。而在《地下铁道设计规范》中又规定“车站间的距离应根据实际需要确定,在市区宜为1km左右,在郊区不宜大于2km”。我国部分地铁平均站间距离如表2-1所示。

我国部分地铁平均站间距离

表 2-1

城 市 名	线 别	线路运营长度(km)	车 站 数	平均站间距(m)
北京市	1 号线西段	16.87	12	1 534
北京市	环线	23.01	18	1 354
天津市	一期工程	7.4	8	1 057
上海市	1 号线中段	21.61	16	1 441
上海市	2 号线中段	19.15	13	1 596
广州市	1 号线	18.48	16	1 232
南京市	1 号线一期工程	21.7	16	1 447

另外,如利用停车—换乘(Park & Ride)来替换城市轨道交通两端的步行或公交集散方式,实际上可以提高到、离站速度,因此也可以增大站间距。例如,美国 20 世纪 70 年代制定的城市快速轨道交通系统(如费城的 Lindenwold 线及加州的 BART 线),已经说明了这一趋势。

除上述各因素外,线路平面、纵断面、车站站位的地形条件、城市公交车线路网及车站位置,也会对轨道交通车站数目和分布造成一定的影响。

(2) 车站分布对居民出行时间的影响

车站数目的多少,直接影响居民乘轨道交通的出行时间:车站多,居民步行到车站距离短,节省步行时间,可以增加短程乘客的吸引力;车站少,则提高了交通速度,减少乘客在车内的时间,可以增加线路两端乘客的吸引力。

(3) 站间距对工程、运营及城市发展的影响

车站分布应根据上述内容经科学地综合分析,进行详细的方案比选后确定。这里需要强调一点,轨道交通车站分布对建设费用、运营成本、施工等都有很大影响,必须充分对客流吸引力、乘客出行时间等进行具体分析计算,进行经济效益的比较。

车站是一种昂贵的建筑物,其建筑费及设备费在初始投资中占很大比重。根据上海地铁 2 号线的概算资料,一般车站长度为 284m,其土建工程造价约为 6 000 ~ 7 000 万元,拆迁工程和车站设备是车站土建造价的 2.1 ~ 2.2 倍;而区间每公里土建工程造价 9 000 ~ 10 000 万元。单从土建工程造价比较,车站每延米的造价约是区间每延米造价的 2.4 倍。

站间距越小,车站数量越多,轨道交通的造价就越高。

站间距增大,车站数量可以减少,车站造价可以节省,但是乘客步行距离及时间加长,轨道交通在综合交通中的客流吸引能力会降低,同时单个车站的负荷有所增加,车站设计长度相应加长。

在站距缩短、车站数量增加的同时,列车运营费用也会上升。根据苏联地铁运营统计资料,地铁运营速度约与站间距离的平方根成正比。站间距离缩短会降低运营速度,进而增加线路上运营的列车对数,还会因频繁地起、停车而增加电能消耗、轮轨磨耗等,从而增加运营费用。

从车站城市中的作用看,如果车站之间的间距足够大,则各车站会发展成为综合性的公共活动中心及交通枢纽,并逐渐集社会、生产、行政、商业及文化生活职能于一体,发展成为吸引居民居住和工作的核心。