

# 城市轨道交通工程控制测量建网策略

汪博<sup>1</sup>, 王建<sup>2</sup>

(1. 南京地下铁道有限责任公司, 南京 210008; 2. 中铁隧道勘测设计院有限公司, 天津 300133)

**摘要:** 为了解决城市轨道交通大规模、大范围建设过程中导致的测量控制网的整体性差、新旧坐标系统不匹配等问题, 分析了全国城市轨道交通工程建设的新趋势, 根据工作经验, 总结了目前城市轨道交通工程测量工作面临的新问题, 有针对性地提出了城市轨道交通工程地面控制测量建网策略。实践证明, 通过实施这些策略, 能够很好地解决目前城市轨道交通建设所面临的诸多测量问题。

**关键词:** 城市轨道交通工程; 框架网; 基本网; 建网策略; 地面控制测量

**DOI:** 10.3973/j.issn.1672-741X.2012.03.015

中图分类号: TU 452.13

文献标志码: A

文章编号: 1672-741X(2012)03-0346-04

## Strategies on Establishing of Control Survey Network of Urban Rail Transit Works

WANG Bo<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>2</sup>

(1. Nanjing Metro Co. Ltd., Nanjing 210008, China;

2. China Railway Tunnel Survey & Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300133, China)

**Abstract:** In the large-scale construction of urban rail transit works, the integrity of the control survey network is not so good and the new coordinate system can not match with the old one so well. The trend of the construction of urban rail transit works in China is analyzed, problems that may be encountered in the surveying of urban rail transit works are summarized, and strategies are recommended on the establishing of the ground surface control survey network of urban rail transit works. The practice shows that many problems encountered in the survey of urban rail transit works can be solved by adopting the strategies recommended.

**Key words:** urban rail transit works; frame control network; basic control network; strategy; ground surface control survey

### 0 引言

城市轨道交通工程本身所具备的良好因素被越来越多的城市管理者所接受, 一个城市为了满足近期和远期城市发展往往需要规划多条城市轨道交通线路, 建设周期长, 建设环境(包括地理、社会环境等)变化大是地铁建设必须面临的问题。

随着城市社会经济的发展, 城市轨道交通建设发展迅速。在我国, 广州、南京、北京、上海、成都、昆明、西安和沈阳等城市正在建设一条或多条轨道交通工程, 部分城市已建成通车运营一条或多条线路。城市轨道交通工程测量工作也与以前有所不同, 出现了一些新情况, 面临一些新问题。文献[1]结合西安地铁工程测量实际案例, 对在不均匀沉降环境条件下的城市轨道交通测量基准点布设、数据处理及平差方法以及复测成果的使用等方面提出了若干措施和建议。文

献[2]从城市轨道交通工程建设的实际测量作业出发, 对测量精度设计的主要原则和要求、地面控制测量技术方法、竖井联系测量技术方法、隧道施工控制测量及贯通测量技术方法进行介绍, 论述了轨道交通工程施工测量的精度要求及主要测量的手段和方法。文献[3]以广州市城市轨道交通建设中 GPS 基础控制网布设测量的工程为实例, 探讨了城市轨道交通基础控制网的施测技术。文献[4]主要对地铁施工中盾构控制测量的有效措施进行了探讨。文献[5]以苏州轨道交通 1 号线星港街站—会展中心站 2 352 m 盾构区间的测量控制为实例, 分析了区间长度大于 1 500 m 的盾构区间的测量控制重点和难点, 阐述了在实际作业中的测量控制方法及控制要点。文献[6]结合 GPS 控制测量的实测数据, 探讨了建立城市轨道交通平面测量控制网的可行性, 从分析地铁工程测量投影变形的影响入手,

收稿日期: 2011-12-10; 修回日期: 2012-05-25

作者简介: 汪博(1981—), 女, 江苏南京人, 2007年毕业于东南大学交通工程专业, 硕士, 工程师, 主要从事建设工程质量和安全管理工。

研究了几种补偿坐标系的特点。可以看出,文献[1-6]基本上都局限于某一条线路测量控制网研究,能够解决某一条线路在城市中心区控制测量需要,但是无法解决目前轨道交通大范围、长距离、多条线建设所面临的基准不统一、远离中心城区变形较大、新旧坐标系不匹配等新问题,本文针对这些测量新问题进行分析,提出了解决策略及要求。

## 1 轨道交通工程建设趋势

1) 线路长度不断增加、延伸的范围向城市周边地域发展。原来一条规划线路往往分期建设,初期主要是为了缓解城市集中区客运交通压力。随着社会发展的加快,规划和建设也要超前规划和建设,一条线路的建设一方面要满足人口密集区交通运输的需要,另一方面轨道交通的建设要促进、带动城市周边地区的发展。线路覆盖的范围不断延伸,明显的特点就是远离市区向城市周边地域发展。

2) 跨区域建设。特别是城际轨道交通工程建设,例如:机场专线、广州的广佛线、南京的宁天城际线、沈阳黎明至望滨城际铁路工程等也采用地铁建设模式进行建设和运营,往往委托城市轨道交通建设单位代管或代建,与原规划的城市轨道交通工程存在多方联系。

3) 轨道交通工程线路之间的交叉换乘节点越来越多。这是城市轨道交通工程建设过程中越来越明显的一个特征。虽然目前一般都预留了远期建设接口,但是随着国家测绘与地理信息的更新,这些接口资料与将来的新线设计资料是否一致、匹配,也是一件棘手的事情。

4) 国家测绘与地理信息的更新。从2008年7月1日开始,国家启用我国的2000国家大地坐标系,要求用8~10a的时间,完成现行国家大地坐标系向2000国家大地坐标系的过渡和转换。相应地完成地方城市坐标系向国家2000坐标系的转换,从而产生新旧坐标系统的矛盾问题。

## 2 工程测量面临的新问题

针对轨道交通建设总体呈现的上述现象,在城市轨道交通建设期间,从工程测量专业角度来讲,可能存在以下问题。

1) 目前控制网覆盖范围较小,控制网的范围不能满足建设需要。特别是部分规划线路的端头远离市区,超出原有城区控制网范围。如果仅通过目前逐步扩充的方式也很难满足未来多条新线路的建设要求,且该方法整体性较差<sup>[2]</sup>,不利于地铁项目的实施。

2) 新线控制网和既有线控制网的衔接。如果新建线路的沿线控制网系统与已建线路控制网系统不一致或者存在差异,则需要对测量系统一致性处理,并消除差异,否则可能导致对工程结构测设质量的影响。

3) 不同城市控制网之间的转换和衔接。一个城市往往有这个城市独立的的城市坐标系统。城际线的建设要求2个城市之间的城际线测量系统必须一致,因此,要进行2个城市坐标系统的转换,求得转换参数。

4) 原城市二等三角点建设时间较长,部分三角点遭到破坏,变形较大,成果的现势性较差,较难满足目前地铁工程控制点的需要,与新布设城市B级网点之间坐标不匹配。更新的城市坐标系统与原来的城市坐标系统存在一定的差异,距主城区(控制点相对较多)越远,新旧系统差别越大。

5) 部分轨道交通工程范围距离城市坐标系统中央子午线较远,工程面距参考椭球面高度较大(超过规定范围),从而导致工程面每km的投影变形和高程归化改正值超限。

上述轨道交通工程建设趋势和工程测量面临的问题在城市轨道交通建设不同时期可能存在一个或多个,因此,需要有针对性地规划和解决城市轨道交通长期建设中可能出现的问题,避免因测量控制系统问题出现工程事故。

## 3 建立覆盖规划线路控制网策略

基于以上分析,需要建立覆盖全部规划线路范围的城市轨道交通测量控制网,使各条线路之间有一个统一的平面、高程测量基准,解决目前各条线路测量系统不一致的情况,保证不同时期建设地铁的准确衔接。为实现该目标,首先应建立覆盖全市规划线路范围的测量控制框架网,在此基础上建立测量基本网。框架控制网主要为线路基本网或专用高精度施工控制网提供坐标、高程基准。基本控制网则直接为线路勘测设计、施工和运营阶段测量工作提供平面、高程控制。

### 3.1 基本要求

1) 测量控制网建设必须符合现行法律、法规及技术规范的相关规定,充分借鉴国内成熟建网经验,充分考虑城市环境的复杂性和轨道交通工程施工高精度、长期性、控制点使用频繁等特点,建设一个高质量的测量控制网。

2) 平面和高程系统必须根据国家和省、市现行的有关法律、法规、部门规章和规范性文件等,选择合理、合法、合规的平面坐标系统和高程系统。

3) 为了使轨道交通工程建设与城市坐标系统下的测量资料能互相利用,不至于造成城市规划、城市工程建设及地下管道与轨道交通工程构筑物产生矛盾和破坏性的影响,控制网的平面和高程系统应与城市规划与国土部门采用的平面和高程系统一致。

4) 控制网实施应遵循技术先进、经济合理、质量可靠和安全适用的原则<sup>[7]</sup>,应充分利用城市已有的城市高等级平面、高程控制点以及各线路已建控制网点,

以达到避免重复建设,促进测绘成果共享,也可以更好地与城市坐标和高程系统进行衔接。

5)应在城市一、二等平面和高程控制网的基础上,建立专用平面、高程施工控制网,其与城市控制网重合点的坐标及高程互差,应分别不大于 50 mm 和 20 mm,且应采用统一的坐标、高程系统。

6)相应于城市轨道交通线路的分期建设,覆盖全部线路的轨道交通控制网也相应地分级、分期布设。所建立的控制网精度应以保证轨道交通工程建设中暗、明挖隧道和高架结构施工横向贯通测量中误差 $\leq \pm 50$  mm、高程贯通测量中误差 $\leq \pm 25$  mm<sup>[8]</sup>为目的。

7)认真做好控制网的布设、控制点的选埋、控制网的优化设计、外业观测和数据处理等各环节工作,确

保控制网的质量。

### 3.2 框架网

#### 3.2.1 平面框架网策略

1)轨道交通框架网必须建立在新的国家(城市)基础坐标框架基础上,具有高精度、高兼容性,覆盖全部远景规划线路范围。所有线路的建设及测绘将在 GPS 框架网建成后统一在 GPS 框架网坐标系统下进行。

2)框架网的精度及技术指标应达到住房和城乡建设部颁发的 CJJ/T 73—2010《卫星定位城市测量技术规范》规定的城市 GNSS 控制网二等网技术要求(见表 1)。GPS 框架网的技术指标、技术要求、野外观测及数据处理等应参照规范中的相关规定执行。

表 1 卫星定位测量控制网技术要求

Table 1 Technical requirements for satellite positioning control network

等级	平均距离/km	固定误差 A/mm	比例误差系数 B/(mm/km)	约束点间的边长相对中误差	约束平差后最弱边相对中误差
二等	9	$\leq 10$	$\leq 2$	$\leq 1/250\,000$	$\leq 1/120\,000$

3)凡符合框架网要求的现有城市控制点和已有线路控制网点的标石应充分利用。每条线路应至少布设 3 个以上框架网点(不同线路可以共用框架网点),以满足线路设计图纸坐标转换需要。

4)框架网测量单位必须做好建网方案设计,并组织专家论证评审通过后,报省、市测绘行政主管部门批准后实施。

#### 3.2.2 高程框架网策略

1)高程系统采用与城市一致的高程系统,应充分利用已有的城市一、二等高程控制网点及高程数据,必要时联测城市高程原点。

2)新建的框架网点必须选在利于点位长期保存,稳定的位置。必要时埋设一定数量的深桩或基岩点,满足轨道交通长期建设需要。

3)高程框架网的布设、观测、精度要求与城市二等水准测量要求相同。

#### 3.2.3 框架网的功能

1)覆盖整个城市轨道交通规划范围,对轨道交通工程建设网络进行整体控制,利于建设管理并顾及轨道交通建设工程远景发展。

2)保证规划线网测区范围内平面坐标系统和高程系统的连续性、统一性,以保证各条线路的衔接和平顺。

3)为地铁基本网提供高精度的控制点起算成果,并为后期新、老坐标系提供统一的转换参数。

### 3.3 基本网

#### 3.3.1 平面基本网策略

1)按照工程建设规划网中各条线路建设的先后

次序,分阶段沿线路独立布设各条线路的地面平面基本控制网。基本网的起算基准(已知点)为框架网或更高等级控制网数据。

2)平面控制网的大小、形状、点位分布应分别满足各线路设计阶段、施工阶段和运营阶段的测量和变形监测工作需要。

3)布网时应结合线路延伸和与其他线路交叉状况。在线路延伸和交叉地段,必须有 2 个以上稳定的控制点重合,应对重合点进行兼容性分析,如果兼容,数据处理时采用强制约束平差的方法<sup>[9]</sup>。

4)GPS 框架网建成后,充分利用已建成的线路基本网控制点<sup>[10]</sup>,通过 GPS 联测,建立 GPS 框架网与各线路已有坐标系统的坐标转换关系,以满足不同时期设计资料坐标转换及规划征地的要求。

5)利用在建线路基本网定期复测的机会,联测新坐标系下的框架网,计算在建线路控制点新坐标系成果,在施工期间积累在建工程在新坐标系下的竣工资料(测量结构在新坐标下的成果),竣工时提供新旧 2 套坐标系下的竣工资料,满足过渡时期资料使用需要和资料更新需要。

6)为了提高已建线路控制网与框架网的转换精度,尽可能多地将基本网控制点与框架网联测。必要时,可将所有基本网控制点与框架网联测。

7)平面控制网的投影面高程的选择应满足轨道交通工程线路轨道的平均高程与城市投影面高程的高差影响每 km 不大于 5 mm。

#### 3.3.2 高程基本网策略

1)根据线路建设的次序,在平面框架网的基础上

分期独立建立每条线路的高程基本控制网。

2) 高程基本网的起算数据为高程框架控制网点或更高等级高程点。基本网的起算数据原则上不应少于3个。

3) 有换乘或接口工程的新建线路高程基本网必须联测已建线路稳定高程控制点。数据处理时,首先进行稳定性判断,如果点位兼容则采取强制约束平差的方法,确保高程衔接。

4) 有联系的2条线路的高程基本网至少有1个相同起算点。

5) 各条线路高程基本网点位分布应满足各线路设计阶段、施工阶段和运营阶段的测量和变形监测工作的需要。

6) 高程基本网测量应满足现行标准 GB 50308—2008《城市轨道交通工程测量规范》中有关地面高程控制测量的要求。

### 3.3.3 基本网的功能

直接服务于各条线路建设,作为施工测量加密、测设的依据,指导施工。

## 4 控制网维护及更新策略

1) GPS 框架网、基本网在地铁工程建设期间的维护和更新工作由建网单位负责进行。

2) 在城市轨道交通工程建设期间,对建成的 GPS 框架网、GPS 基本网应定期进行复测维护。第1次复测应在开工之前进行,之后应每年复测1次,且应根据控制点的稳定情况适当调整复测频次。复测精度不应低于首次测量精度,当控制点标石被破坏时,应重新埋设,复测时统一观测,以确保控制网的稳定、连续和可靠。

3) 复测后,应评价原网稳定状况和可靠程度,确保平面和高程控制网满足地铁建设需要,并将最新可使用成果上报业主,由业主组织进行发布,各成果使用单位按照新成果进行后续测量工作。

## 5 结论与建议

目前控制测量建网策略能较好地解决轨道交通工程近远期建设的测量问题,但在建立城市轨道交通地面控制网时还要注意以下几点。

1) 精度控制。由于城市轨道交通工程所处的空间位置、建设方法、精度要求、工艺要求与一般的市政工程有所区别,因此,控制网建设要有针对性地考虑以满足轨道交通工程建设的需要。必要时应建立针对城市轨道交通工程建设的高精度专用控制网。

2) 控制点密度。框架网密度一般以5~10 km为宜,布设点位密度要均匀;基本网的密度一般以500~2 000 m为宜,可分区区别对待。

3) 框架网要一次性布网,整体测量,保证框架网的整体性。

4) 成本控制。根据国家要求和城市建设需要,一个城市本身要建立城市基础控制网,由政府出资或其他相关部门出资建设,由政府出资或其他相关部门负责实施。因此,城市轨道交通框架网建设可以考虑委托城市基础测绘部门建立,城市基础测绘部门在进行城市基础测绘时,同时考虑轨道交通建设的特殊要求,统一规划实施,达到市政基础测绘与轨道交通建设的共用或部分共用,避免重复建设,达到资源共享,节约投资成本。

### 参考文献(References):

- [1] 姜雁飞,马全明,唐红军,等.地裂缝和地面沉降条件下的城市轨道交通工程高程控制测量探讨[J].测绘通报,2011(3):48-51. (JIANG Yanfei, MA Quanming, TANG Hongjun, et al. On vertical control surveying for urban rail transit project under the condition of ground cracks and land subsidence [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2011 (3): 48-51. (in Chinese))
- [2] 马全明.城市轨道交通工程精密施工测量技术的应用与研究[J].测绘通报,2010(11):41-45. (MA Quanming. Precise construction survey technique for urban rail communication project: Application and development [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010(11): 41-45. (in Chinese))
- [3] 孙青平.城市轨道交通GPS控制网布设应用研究[D].广州:华南理工大学交通运输工程专业,2009. (SUN Qingping. The research on application of GPS control network layout in urban rail transit [D]. GuangZhou: Traffic and Transportation Engineering, South China University of Technology, 2009. (in Chinese))
- [4] 陈嘉强.试论地铁施工中盾构控制测量的有效措施[J].科技与企业,2012(6):60-63.
- [5] 张亚勇.城市轨道交通穿越湖底盾构区间测量控制技术[J].铁道建筑技术,2010(10):53-55,61. (ZHANG Yayong. Survey control technique of shield sections across lake bottom in urban rail transit [J]. Railway Construction Technology, 2010(10): 53-55, 61. (in Chinese))
- [6] 姜雁飞,唐红军.利用GPS建立城市轨道交通专用坐标系和平面控制网的探讨[J].测绘通报,2010(9):19-22. (JIANG Yanfei, TANG Hongjun. Using GPS to establish special coordinate system and horizontal control network for urban rail transit [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010(9): 19-22. (in Chinese))
- [7] 中国有色金属工业协会. GB 50026—2007 工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [8] 北京城建勘测设计研究院有限责任公司. GB 50308—2008 城市轨道交通工程测量规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008. (下转第365页)

效的对接目标。盾构对接与拆机后的效果图如图 11 所示。



图 11 盾构对接与拆机后的效果图

Fig. 11 Completed tunnel

#### 4 结论

1) 目前,盾构广泛地应用于各领域的地下工程中,但从安全风险、工期和经济性考虑,对高强度软硬不均地层、孤石地层及大直径卵砾石地层,采用适当的辅助方法是必要的。

2) 在水下复合地层隧道中,盾构法施工遇到长距离的软硬不均地段,采用预处理爆破碎裂技术是可行的,且具有显著的安全、效率与经济优势。

3) 特长水下隧道应用盾构法施工,采用“相向掘进、地中对接、洞内解体”的方法,能够很好地解决盾构使用寿命带来的技术问题,这对我国将来的跨海工程有非常重要的借鉴意义。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王梦恕. 水下交通隧道发展现状与技术难题——兼论“台湾海峡海底铁路隧道建设方案”[J]. 岩石力学与工程学报, 2008(11): 6-17. (WANG Mengshu. Current developments and technical issues of underwater traffic tunnel-discussion on construction scheme of Taiwan strait undersea railway tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008(11): 6-17. (in Chinese))
- [2] 孙钧. 海底隧道工程设计施工若干关键技术的高榷[J]. 岩石力学与工程学报, 2006(8): 5-13. (SUN Jun. Discussion on some key technical issues for design and construction of undersea tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006(8): 5-13. (in Chinese))
- [3] 王锦洋, 陈建荣, 陈昕途. 潜盾工法于卵砾石层开挖特性及对应[J]. 隧道建设, 2010, 30(S1): 272-283. (WANG Jinyang, CHEN Jianrong, CHEN Xinquan. Excavation characteristics and countermeasures for shield tunnelling in gravel layer[J]. Tunnel Construction, 2010, 30(S1): 272-283. (in Chinese))
- [4] 李茂文, 刘建国, 韩雪峰, 等. 长距离硬岩地层盾构施工关键技术研究[J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 100-104. (LI Maowen, LIU Jianguo, HAN Xuefeng, et al. Key technologies of long-distance shield boring in hard rock[J]. Tunnel Construction, 2009, 29(4): 100-104. (in Chinese))
- [5] 杨书江. 盾构在硬岩及软硬不均地层施工技术研究[D]. 上海交通大学建筑与土木工程专业, 2007. (YANG Shujiang. Research on tunneling technology in hard and mix ground by shield machine[D]. Architecture and Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese))
- [6] 张恒, 陈寿根, 谭信荣, 等. 盾构掘进孤石处理技术研究[J]. 施工技术, 2011(19): 85-88. (ZHANG Heng, CHEN Shougen, TAN Xinrong, et al. Study on boulder treatment in shield tunneling[J]. Construction Technology, 2011(19): 85-88. (in Chinese))
- [7] 孙谋, 谭忠盛. 盾构法修建水下隧道的关键技术问题[J]. 中国工程科学, 2009(7): 20-25. (SUN Mou, TAN Zhongsheng. Key technologic problems on underwater shield tunnel[J]. Engineering Sciences, 2009(7): 20-25. (in Chinese))
- [9] 秦飞翔, 陈功亮. 城市轨道交通建设项目中控制网布设常见问题探讨[J]. 城市勘测, 2010(1): 101-103. (QIN Feixiang, CHEN Gongliang. Mass transit control network laid discussion frequently asked questions[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2010(1): 101-103. (in Chinese))
- [10] 国家测绘局标准化研究所. GB/T 18314—2009 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

(上接第 349 页)