



# 城市轨道交通工程 测量技术与应用

Surveying Technology and Application of  
Urban Rail Transit Engineering

王玉福 李鹏 梁爽 李波◎著

2



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

# 城市轨道交通测量 技术与应用

王玉福 李鹏 梁爽 李波 著

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

为使测量技术更好地为城市轨道交通工程建设服务,本书系统、理论地总结了轨道交通工程测量技术,以东莞轨道交通工程建设的实际测量作业为背景,通过分析、研究与总结,从轨道交通工程建设过程中测量工作的关键节点和重难点入手,归纳了现阶段各城市轨道交通工程建设中对于测量节点的要求,介绍了轨道交通工程建设过程中所涉及的各种测量方法及原理,并且对轨道交通工程中各种繁杂的数据处理进行了系统的介绍。这些测量技术及方法是经典轨道交通工程测量及理论知识的创新应用,对今后我国城市轨道交通工程建设的测量工作具有参考和指导作用。

本书可供轨道交通工程建设单位、施工单位、监理单位和勘测单位的广大测量管理及工作者,高校轨道交通及工程测量专业的广大师生及部分工程科研院所的科研人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通工程测量技术与应用/王玉福等著. —北京:电子工业出版社,2017.6

ISBN 978-7-121-31700-2

I. ①城… II. ①王… III. ①城市铁路—铁路工程—施工测量—研究 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第120561号

责任编辑:徐蔷薇 文字编辑:米俊萍

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:343千字

版 次:2017年6月第1版

印 次:2017年6月第1次印刷

定 价:59.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:xuqw@phei.com.cn。

# 前 言

近年来，我国城市轨道交通工程建设发展迅速。截至目前，中国已有 40 多座城市轨道交通规划获批，总规划里程约 8600 千米，如此大体量的建设规模，带来的就是专业技术和管理力量的不足。轨道交通工程测量涉及的作业形式多、地上地下环境复杂，对于技术人员要求高。为了提高轨道交通工程测量技术及管理水平，本书作者编写了适用于轨道交通工程测量专业技术和管理人员的基础性、普及性教材。

本书旨在满足轨道交通工程测量从业人员了解基础测量知识，掌握轨道交通工程测量技术的重点和难点，提高测量技术及管理水平的要求。一方面，有助于工程测量人员掌握必要的知识和方法，巩固专业知识；另一方面，有助于具有一定测量经验的人员进一步提高业务技能，综合提升测量管理能力。本书适用于初始介入轨道交通工程相关参建企业技术人员以及轨道交通工程建设单位测量管理人员学习培训。

本书参加编写的作者，既有长期在一线从事轨道交通工程测量的技术骨干，也有着力于轨道交通工程建设的业主管理人员，编者都具有丰富的实操经验和管理水平以及比较广泛的代表性。编写人员在确定本书框架、收集素材、章节编排、内容丰富以及书稿审定等方面做了大量工作，数易其稿，力求完善。本书既包含了所有编写人员的集体智慧，也代表着城市轨道交通工程测量行业的共同财富，希望本书可以为当前我国快速发展的轨道交通工程建设事业提供力所能及的技术支持。

本书既介绍了城市轨道交通工程测量的地面控制测量、地下控制测量以及施工测量等关键测量技术理论，又对目前全国轨道交通工程建设普遍存在的第三方测量、第三方监测的管理流程进行了阐述；既有专业知识的论述，又有典型案例的分析；既有对传统技术的叙述，又有对前沿科学的普及。本书注重理论与实践、经验与知识相结合，力求切实帮助从事轨道交通工程测量的技术及管理人员解决实际问题。

本书共三篇：第一篇，城市轨道交通控制测量；第二篇，轨道交通施工测量；第三篇，管理制度及技术文件。书中重点介绍了轨道交通工程测量常用的测量技术方法、关键节点的测量技术要求以及数据处理系统的功能开发；加以对大量工程测量实际案例的分析，并对目前普遍实施的第三方测量及监测管理程序进行了梳理介绍，内容贴近实际，容易上手。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在不完善、不准确的地方，真诚希望广大读者提出宝贵意见。

# 目 录

## 第一篇 城市轨道交通控制测量

第 1 章 绪论	3
1.1 城市轨道交通工程测量的内容及任务	3
1.2 城市轨道交通工程测量特点	4
1.3 国内现状及展望	5
第 2 章 地面平面控制测量	7
2.1 概述	7
2.2 GNSS 控制测量	8
2.3 精密导线	25
第 3 章 地面高程控制测量	38
3.1 概述	38
3.2 地面高程控制测量技术	38
3.3 跨河水准测量	61
第 4 章 井下控制测量	73
4.1 概述	73
4.2 井下平面控制测量	74
4.3 井下水准测量	77

## 第二篇 轨道交通施工测量

第 5 章 轨道交通施工测量基础	81
5.1 概述	81
5.2 放样的基本方法	82



5.3	点位放样	87
5.4	归化法放样	95
5.5	线路计算	105
<b>第 6 章</b>	<b>平面联系测量</b>	<b>112</b>
6.1	概述	112
6.2	一井定向	112
6.3	两井定向	118
6.4	投点法	125
6.5	多点后方交会法	126
6.6	小结	129
<b>第 7 章</b>	<b>高程联系测量</b>	<b>131</b>
7.1	悬吊钢尺法	131
7.2	光电测距法	133
<b>第 8 章</b>	<b>洞门环板测量</b>	<b>134</b>
8.1	安装测量	134
8.2	验收测量	136
8.3	数据处理方法	136
<b>第 9 章</b>	<b>盾构始发测量</b>	<b>145</b>
9.1	始发托架安装定位测量	145
9.2	始发姿态测量	150
<b>第 10 章</b>	<b>盾构机姿态测量</b>	<b>152</b>
10.1	概况	152
10.2	水平标尺法	156
10.3	拟合圆心法	158
10.4	三点法	158
10.5	参考点法	162
10.6	小结	168

第 11 章 管片姿态测量	169
11.1 现场测量方法	169
11.2 数据处理方法	170
第 12 章 导向系统的使用及维护	174
12.1 导向系统原理	174
12.2 VMT 导向系统简介	176
12.3 VMT 导向系统调试与使用	179
12.4 导向系统维护	182
第 13 章 接收测量	186
13.1 刀盘中心坐标测量	186
13.2 接收架定位	187
第 14 章 轨道安装测量	188
14.1 铺轨基标测量	188
14.2 任意设站的精密导线网	193
14.3 轨道铺设施工测量	204
第 15 章 贯通测量	207
15.1 概述	207
15.2 贯通误差预计	208
15.3 贯通测量介绍	214
第 16 章 竣工测量	218
16.1 概述	218
16.2 车站竣工测量	218
16.3 桥梁竣工测量	219
16.4 隧道竣工测量	221
16.5 轨道竣工测量	221



第 17 章 城市轨道交通工程测量数据处理系统简介	224
17.1 发展与现状	224
17.2 系统关键技术	225
17.3 系统功能	227

### 第三篇 管理制度及技术文件

第 18 章 轨道交通工程测量管理细则	231
18.1 施工测量质量管理目标和质量指标	231
18.2 主要使用的测量规范	231
18.3 轨道交通施工测量的主要内容	232
18.4 测量复核制	232
18.5 测量分工负责制	241

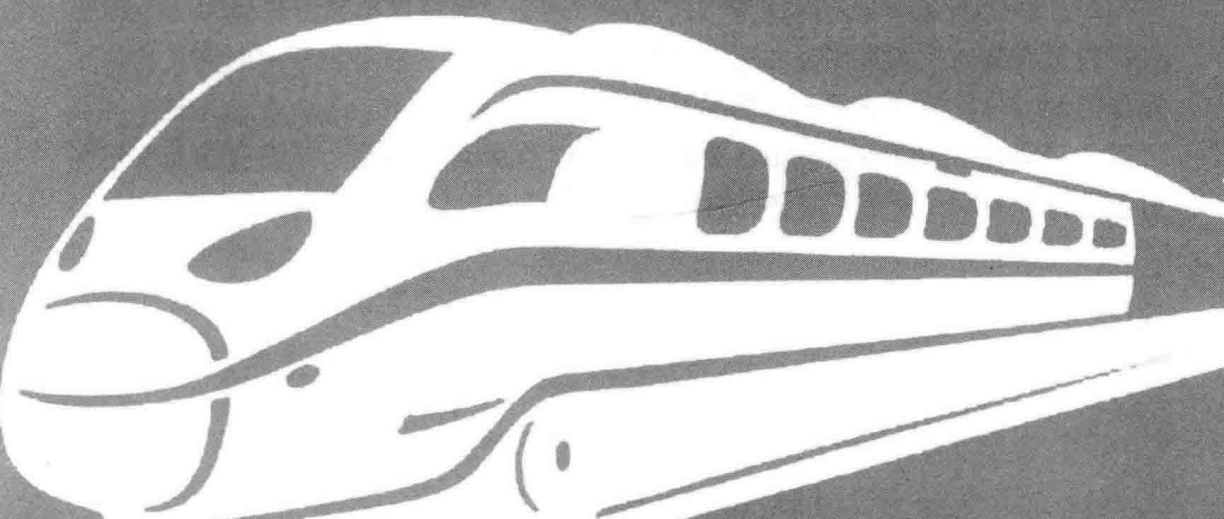
第 19 章 轨道交通测量及监测管理办法	246
19.1 总则	246
19.2 测量及监测各方关系	246
19.3 承包商施工测量及监测考核管理办法	247
19.4 监理的测量考核管理办法	249
19.5 测量监理的考核管理办法	251
19.6 第三方监测单位的考核管理办法	251
19.7 考核结果处理	252
19.8 检查记录表	253

第 20 章 轨道交通工程断面测量技术要求	261
20.1 断面布置密度	261
20.2 纵断面布置要求	262
20.3 断面测量精度及方法	267
20.4 断面成果资料	268

参考文献	269
------	-----



# 第一篇 城市轨道交通控制测量





# 第1章 绪论

## 1.1 城市轨道交通工程测量的内容及任务

城市轨道交通 (urban rail transit) 工程测量贯穿整个轨道交通工程的全过程, 在线网规划阶段需要前期控制测量, 以提供线型带状图, 便于对轨道交通工程线网的规划和选线; 勘察和设计阶段需要对所选勘察孔位定位测量及对轨道交通工程线型周边的建(构)筑物及地下管线进行定位测量, 并绘制相关平面图形; 施工阶段主要把相关设计图纸上的相关建(构)筑物在实地进行标定, 根据标定的相关标识进行施工; 轨道交通工程完成后, 需要进行竣工测量及对运营后的轨道交通工程进行变形监测 (deformation monitoring), 以保证运营安全。

本书对轨道交通前期、土建施工阶段及轨道铺设阶段所需要的测量工作和内容进行着重介绍, 包含了以下几个方面 (本书未包含轨道交通工程监测工作, 将在以后的书籍中予以介绍):

(1) 平面和高程控制测量, 即土建工程施工前需要对全线甚至整个轨道交通工程线网控制区域进行整体控制测量工作, 以保证整个轨道交通线网或单个线路之间的各施工区间、车站在平面和高程方面平顺对接。

(2) 轨道交通工程土建施工阶段主要包含了施工阶段的放样测量、预埋构件的安装定位、盾构始发测量、洞门环安装测量、联系测量、盾构机姿态测量、管片姿态测量等工作。

(3) 轨道交通土建工程完工后、竣工验收前需要完成贯通测量 (holing through survey)、车站及区间限界测量 (gauge survey)、断面测量及中线测量等工作。

(4) 交通轨道铺设前, 应在各区间联测后的控制点的基础上埋设轨道铺设的控制基标 (track laying benchmark), 在控制基标基础上进行加密基标, 或在轨道铺设之前测设任意设站精密导线网 (precise track control network), 利用铺轨基标 (含控制基标及加密基标) 或任意设站精密导线网进行轨道安装、精调等轨道铺设的测量工作。

(5) 轨道铺设完成后, 利用铺轨基标或任意设站精密导线网对铺设成型的轨

道及安装后的设备进行竣工验收测量工作。

(6) 轨道交通试运营阶段是在充分利用铺轨控制基标或任意设站精密导线网的基础上适当增加一些监测点,对试运营期间的线路进行监测。

轨道交通施工测量的每个阶段均需要采用不同方法、不同人员、不同仪器和不同时段进行全方位、多方面的检核工作(包含内业数据的对算等),以确保每个阶段的施工测量准确无误。这里的测量工作不同于轨道交通的监测工作,监测工作需要五同测量,即同仪器、同人员、同方法、同线路和每次监测同时间段来进行监测,而施工测量需要五不同,即不同人员、不同仪器、不同测量方法、不同线路和每次测量的不同时间段进行校核测量,这样可以有效地避免人为因素、环境因素、仪器因素和技术方法造成的各种粗差。因此,要求轨道交通工程测量人员不仅要具有丰富的测量理论知识,同时需要根据不同的施工作业环境、不同的精度要求等采取有效、可靠的测量技术手段,保证轨道交通工程施工精度满足规范及技术文件要求。

## 1.2 城市轨道交通工程测量特点

轨道交通工程一般位于大中城市的繁华地区,地面建(构)筑物众多、地下管网烦琐多样,且大部分线路位于地面以下,因而具有以下特点:

(1) 环境复杂多变、施测条件差:轨道交通工程一般在人口众多、建筑物密集的大中城市中建设,且大多数线路位于地下十多米的地方。因此地面选点困难,难以满足通视条件;地下空间狭长,潮湿阴暗无自然光,洞内、洞外湿度、光照、温度等条件差异巨大,空气密度不均,大气折光、旁折光等外界环境对测量工作影响较大。

(2) 贯通误差要求严格:根据《城市轨道交通工程测量规范(GB 50308—2008)》的要求,横向贯通中误差为 $\pm 50\text{mm}$ ,竖向贯通中误差为 $\pm 25\text{mm}$ 。轨道交通工程测量误差环节多,主要包括了地面控制测量误差、地下导线测量误差、联系测量误差、盾构机定位误差,加之环境条件的影响,隧道按要求贯通难度极大。

(3) 网形难以保证:城市建设多样,发展速度较快,控制网形因外界条件的变化而变化;地下环境条件差,受人员和施工机械等影响,很难布设较为合理的控制测量网形。

(4) 线路长度不一、线形变化多样:城市扩大和城际线的发展造成轨道交通

线路变化多样、区间长度不一、断面形式多样等,应根据具体的外界环境和现有测量仪器精度制定可靠的施测方案。

(5) 测量检核工作量大,重复测量工作多:在轨道交通施工阶段,因地质条件、地下水位情况及周边环境条件的变化,造成点位稳定性较差,需要定期检核和根据外界环境的变化进行加密设置。

(6) 测量仅为轨道交通工程的辅助行业,因工程进度压力,或为节省投资,或节省施工成本,工程施工不能重点、全面地提供优质的测量作业环境。

(7) 测量人员整体素质不高:目前全国四十多个城市在进行轨道交通工程的建设,轨道交通工程项目众多,加之目前工程测量人员工资待遇普遍较低,造成相当一部分工程测量人员转行或改行,以至于从事工程测量人员的数量和质量都有大幅度下降。

目前,全国出现了多起严重的不同类型的轨道交通工程测量事故:有的将预设线路中心线(或隧道中心线)计算错误导致开挖隧道产生严重偏差;有的过于依赖盾构导向系统,在导向系统因硬件或软件发生故障时不能及时发现,亦没有有效的针对导向系统的检核手段,导致开挖隧道产生竖直或水平方向上的严重偏差;有的施工放样错误,导致已施工连续墙严重侵入结构限界,而不得不将原错误连续墙废除,重新施作新的连续墙;有的在两个坐标系转换时,采用了不合适的坐标转换模型,产生了较大的转换误差,导致换乘车站间不能正常衔接等问题,不一而足。

综上所述,轨道交通工程测量技术复杂、涉及范围广、受施工环境和外界环境影响巨大,因此需要轨道交通工程测量人员不仅仅掌握大量的轨道交通工程测量知识及具备丰富的轨道交通工程测量经验,同时还需要对轨道交通工程的各种施工工法和施工环境有一定的了解,根据现场施工条件调整测量方案,采取合适的测量技术方案来保证轨道交通工程满足规范和设计的要求,高质量地完成轨道交通工程测量任务。

### 1.3 国内现状及展望

随着我国城镇化进程的提速,城市聚集效应明显,越来越多的城市加入到拥有城市轨道交通城市的行列,徐州、南通、芜湖、绍兴、洛阳等这些传统意义上的三线城市也已经入列。截至目前,国家发改委已经批复44个城市的轨道交通建设规划(不含有轨电车),随着城市经济的发展、城市中心极化效应的进一步发挥,

人口要素向城市流动，同时城区由于人口、经济要素聚集，进一步膨胀向外围拓展，据不完全统计，截至 2020 年，中国超过 100 万人口的城市将达到 200 个。在经济水平已经不是制约城市发展轨道交通的条件下，大量城市将进行轨道交通规划及建设。另外，随着中央十八届六中全会的召开，国家大力发展绿色产业，减少尾气排放，净化环境，保护环境。绿色出行是保护环境、净化环境的一部分，大力发展公共交通，有利于环境保护和环境改善，因此以后一段时间内，国内轨道交通将进入又一新的建设高潮阶段。目前，全国四十多个城市正在进行城市轨道交通建设，作为轨道交通工程的辅助行业，轨道交通工程测量亦不可或缺，轨道交通工程测量的专业化，数据处理的数字化、智能化已提上日程，如何大力推进轨道交通工程测量工作，对其效率、准确度和精确度有了新的要求。

目前整个轨道交通工程测量行业从业人员少、技术力量薄弱已成为工程测量发展的瓶颈。多数工程测量人员未完全掌握轨道交通工程测量的关键节点，未能有效地对现场动态问题进行及时解决，不能采用多种有效的方法进行复核，也没有配备足够的人员对一些重要数据进行对算，这些为以后轨道交通工程测量埋下重大隐患。原来的管理办法、管理思路及一成不变的测量技术势必会造成重大测量事故的发生，造成不可估量的时间和经济损失。

总之，轨道交通工程测量在整个轨道交通工程建设中发挥越来越重要的作用。摆在轨道交通工程测量技术人员面前的是如何有效、快捷、准确地计算数据，如何合理安排时间为轨道交通工程建设节省时间，如何掌握关键节点，如何对关键节点进行多层次、多方法的复核，如何规范化轨道交通工程测量管理等问题。

## 第2章 地面平面控制测量

### 2.1 概述

轨道交通平面控制测量一般分为三级：首级平面控制网一般是指针对整个轨道交通线网布设的平面控制网，是整个城市轨道交通线网平面控制骨架，同时也是后续测量工作的基础，为后续测量加密提供了起算依据，一般采用 GNSS 网；次级平面控制网是在整个平面控制网的基础上，针对某条轨道交通线路布设的线状平面控制网，是整条轨道交通线路平面控制测量骨架，同时也是整条轨道交通线路后续测量工作的基础，为后续测量工作提供了测量依据及起算依据，一般也采用 GNSS 网；三级平面控制网又称为精密导线网，是在首级或次级平面控制网的基础上进行的加密控制网，主要采用附和导线、闭合导线或节点网的形式，附和点、闭合点及起算依据均为首级或次级控制网点，点位设置主要根据轨道交通工程的主体结构位置及既有或待建线路换乘位置等原因进行布设，是为土建施工方便同时考虑各线路换乘情况而布设的，同时又是地下施工导线的起算依据。

刚开始建设轨道交通工程的城市很多采用两级控制，即次级平面控制网和精密导线网，主要因为刚开始建设城市轨道交通工程的城市一般首先建设一条线路，招标的过程只针对要建设的轨道交通线路，因此首先布设针对某一条线路的轨道交通平面控制网，然后在此基础上进行加密布设，形成精密导线网供设计、施工使用。一般根据整个城市轨道交通线网的基本情况，建议采用三级平面控制网，即先布设整个轨道交通线网的控制骨架网，再在骨架网的基础上布设针对某条线路的次级控制网，在次级网的基础上进行加密形成三级的精密导线网。这样更有利于整个轨道交通线网间各线路的衔接，更能有效地保证各换乘站和交叉线路的平顺对接，避免因出现较大的系统误差和转换误差而造成线路间出现竖向或水平方向上的对接错台，导致不必要的建设浪费，同时又能保证某一条轨道交通线路的相对精度满足要求，为隧道的贯通打下了良好的控制测量基础。

整个轨道交通平面控制网应基于城市平面控制网进行布设，如若采用独立坐标系，还应和国家（或城市）坐标系进行联系，并取得两坐标系相应的转换参数，



利用这些转换参数可以任意地在两坐标系下进行坐标转换。

轨道交通工程平面控制测量和普通的工程测量设置基本一致，首先是收集资料、根据当地的测量条件和环境条件对控制网型进行设计，在充分考虑轨道交通工程所在区域的地形、水源、居民地、道路、周边建筑的分布情况等条件下进行设计。控制网设计应充分考虑目前城市的线网规划等实际情况。

综上所述，平面控制测量的基本任务就是根据轨道交通工程的特点和需要，在地面布设一定形状的控制网，并精密测定其地面位置。其目的是为地面的大比例尺寸图、施工放样、变形监测和地下控制测量传递地面坐标，建立整体的控制基础。控制网的作用在于控制全局，限制测量误差的传递和积累，保障测量工作的相对精度。地面控制测量，首先应针对不同的轨道交通工程研究控制网的布设形式、图形与观测方案的优化设计以及实施过程中的有关问题，这样才能建立一个坚强可靠的控制网。

## 2.2 GNSS 控制测量

一般城市轨道交通平面控制的首级及次级平面控制网采用 GNSS 测量的方式进行。GNSS 测量主要运用的是现有的导航系统，主要包括美国的 GPS 导航系统、俄罗斯的格洛纳斯导航系统及中国的北斗导航系统，利用这些导航系统进行平面精密定位。目前，最为广泛的是采用美国的 GPS 导航系统进行定位。本节主要针对美国的 GPS 导航系统及《城市轨道交通工程测量规范（GB 50308—2008）》中的相关要求进行了叙述。

### 2.2.1 GNSS 网布设的基本原则

轨道交通网一般在大中城市中成网状布设，每条轨道交通线路呈线形布设，同时，轨道交通工程建设时间长、投资大、规模广、技术要求复杂、贯通精度高等特点，导致轨道交通网和轨道交通线路的控制网具有以下原则。

(1) 控制网的大小、形状、控制点位置分布及精度要求与城市轨道交通网的形状、分布、车站位置、风井位置、隧道走向、地面建（构）筑物分布及原有城市控制点等密不可分。一般应满足车站、风井及其他大型建（构）筑物（含车辆段等）附近及隧道两端附近均有控制点分布的要求，控制网精度应满足建（构）筑物建设精度及隧道贯通精度等要求，因而要对网形进行详细分析后布设。

(2) 整个轨道交通网的控制网精度与一般工程控制网精度基本一致，即保证



点位精度（面状精度）一致，而针对某条轨道交通线路的精度应特别考虑横向精度，也就是说对于某条轨道交通线路的控制网，为保证隧道的正确贯通，要求控制网精度具有方向性和精度相对性。为保证隧道横向贯通精度，控制网的横向精度可设置较高，纵向精度可以适当放宽。

(3) 针对于轨道交通网的 GNSS 网应满足《城市轨道交通工程测量规范 (GB 50308—2008)》中“高程投影面应与城市平面直角坐标系统的高程投影面一致”的相关要求。但针对于城市中某条轨道交通线路的 GNSS 控制网应满足“当线路轨道面平均高程的边长高程投影和高斯投影变形的综合变形值大于 20mm/km 时，应采用抵偿高程面作为投影面的城市平面直角坐标系统，或高程投影面不变，采用高斯-克吕格任意带平面直角坐标系统”的相关要求。

(4) GNSS 坐标系的选择应与城市坐标系一致，不宜重新设置针对于轨道交通控制网的独立坐标系，一个城市的每条轨道交通控制网也不应采用不同的坐标系而导致坐标系混乱。但为了保证城市轨道交通工程控制网的相对精度，可以针对整个轨道交通控制网或某条轨道交通控制网进行内部的相对精度加强，但必须在城市平面直角坐标系或整个轨道交通控制网的基础上进行内部加强。

因此，轨道交通控制网的点位密度必须满足工程建设需要，应根据轨道交通工程的大小、形状、范围、精度进行网形设计和点位密度分布，点位间不需要均匀，边长不必绝对相等；控制网的点密度和网形必须满足工程精度要求，且需充分考虑后续工程的需要；控制网的精度指标必须满足《城市轨道交通工程测量规范 (GB 50308—2008)》及相关国家规范中等级标准的精度要求。

城市轨道交通控制网主要为城市轨道交通勘测设计阶段、工程建设阶段及运营阶段服务，但每个阶段控制网精度要求不一样，如果在三个阶段分别布设不同精度的控制网，就会造成不必要的浪费和重复工作，因此，建议在有条件的基础上只需布设一种能满足三个阶段控制测量工作的控制网（三网合一）。勘测阶段主要包括带状地形图，勘察孔位放样，线路初测、定测、补定测等相关内容；施工阶段主要包括施工放样、施工监测、竣工测量等相关内容；运营阶段主要进行运营监测等相关内容，因此，需要对三个阶段进行认真、细致分析后建立符合实际的轨道交通控制网，避免出现重复建设的不必要浪费。

## 2.2.2 网形设计

城市轨道交通 GNSS 控制网一般分为两种，一种是针对某个城市整个轨道交通网而布设的整体 GNSS 控制网，此级网的网形一般为面状形式，点位密度、精度在各个方向上基本均匀，控制点之间可以不必通视；另一种是针对某条轨道交