

地铁工程建设管理与安全管理人员培训教材

地铁工程建设 安全监督管理

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 组织审定
深圳市地铁集团有限公司 组织编写



NLIC2970926006

中国建筑工业出版社

深圳市地铁集团有限公司 组织

图书在版编目 (CIP) 数据

地铁工程建设安全监督管理/深圳市地铁集团有限公司组织
编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 7

地铁工程建设管理与安全管理人员培训教材
ISBN 978-7-112-15506-4

I. ①地… II. ①深… III. ①地下铁道-安全生产-监管制
度-技术培训-教材 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 121037 号

近年来,我国地铁工程建设发展迅速,专业技术和管理力量紧缺的问题日益突出,对专业人员质量安全培训工作提出了新的要求。为了规范培训基本内容,增强培训针对性和实效性,住房和城乡建设部工程质量安全监管司组织编写了一套适用于地铁工程专业技术和管理人员质量安全培训的基础性、普及性教材。

本册针对地铁工程建设管理人员的培训教材主要内容包括:法律法规关于各主体安全生产责任的规定,建设单位安全管理策略,建设单位安全管理体系要素及其建立,风险管理理论、方法和工程可行性、勘察、设计、施工等阶段的安全风险管理(侧重管理内容、流程和建设单位的风险管理内容),监控量测,应急救援和事故管理等。

本教材可供地铁建设、勘察、施工及监理单位相关技术和管理人员参考使用。

* * *

责任编辑:孙玉珍

责任设计:李志立

责任校对:张颖 赵颖

地铁工程建设管理与安全管理人员培训教材
地铁工程建设安全监督管理

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 组织审定
深圳市地铁集团有限公司 组织编写

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:12¼ 字数:300千字

2013年7月第一版 2013年7月第一次印刷

定价:32.00元

ISBN 978-7-112-15506-4

(24091)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言



近年来,我国地铁工程建设发展迅速,专业技术和管理力量紧缺的问题日益突出,对专业人员质量安全培训工作提出了新的要求。为了规范培训基本内容,增强培训针对性和实效性,住房城乡建设部工程质量安全监管司组织编写了一套适用于地铁工程专业技术和管理人员质量安全培训的基础性、普及性教材。

教材旨在满足地铁工程专业人员了解地铁工程特点,掌握地铁工程质量安全控制重点和难点,提高工程质量安全水平的需求。一方面,有助于新从事地铁工程的人员尽快掌握必要的专业知识和工作方法,提高质量安全意识,达到工作岗位要求;另一方面,有助于具备一定地铁工程经验的人员进一步学习和巩固专业知识,借鉴相关案例,综合提升工作能力。教材可适用于各级建设主管部门或有关企业组织开展的地铁工程专业人员质量安全培训。

按适用对象不同,教材分为建设管理、勘察设计、施工、监理、监测测量等专业分别出版。参加教材编审的既有长期从事工程建设的专业人员,又有相关高校的专家学者,具有扎实的专业知识和丰富的实践经验,以及比较广泛的代表性。编审人员在确定框架、收集资料、充实内容、审定书稿等方面下了很大工夫,数易其稿,力求完善。教材既包涵着编审人员的集体智慧,也代表着城市轨道交通工程行业的共同财富,希望教材能够为我国地铁工程专业人员培育以及地铁工程健康快速发展发挥应有作用。

教材既介绍了相关法律、法规和标准规范的规定,又着重指出了工程实践中的重点和难点;既有专业知识阐释,又有典型案例分析;既有对工程经验教训的总结,也有对工程技术发展的前瞻介绍。教材注重理论与实践、经验与知识相结合,力求学以致用、解决实际问题。

这本地铁工程建设与安全管理人员培训教材主要内容包括:法律法规关于各主体安全生产责任的规定,建设单位安全管理策略,建设单位安全管理体系要素及其建立,风险管理理论、方法和工程可行性、勘察、设计、施工等阶段的安全风险管理(侧重管理内容、流程和建设单位的风险管理内容),监控量测,应急救援和事故管理等。本教材根据建设单位安全管理的特点和要求,对建设单位安全管理要素和技术要素进行了提炼和整合,形成建设单位安全管理的知识体系,有利于建设单位专业人员在掌握基本要素基础上可以触类旁通。

本教材编写工作得到了港铁轨道交通(深圳)公司等单位以及许多专家学者的大力支持和热情帮助,在此表示衷心感谢。

由于时间仓促,教材中难免存在一些疏漏,真诚希望读者提出宝贵意见。同时,由于全国各地地铁工程建设规模不一,工程所处的工程水文地质、工程周边环境条件和经济、文化、工程管理水平各有差异,各地可在本教材基础上根据实际情况,对培训内容进行适当调整或增减。

编审委员会

2013年5月

目 录

第一章 概论	1
第一节 地铁工程的特点及常用施工方法	1
(一) 地铁系统的组成	1
(二) 地铁工程的特点	3
(三) 地铁工程常用施工方法	4
(四) 地铁工程建设管理模式	8
(五) 地铁工程建设阶段划分	9
第二节 国内地铁工程安全生产管理现状与发展趋势	10
(一) 地铁工程安全生产管理工作成效明显	11
(二) 地铁工程安全生产管理工作主要问题	13
(三) 地铁工程安全生产管理工作发展趋势	15
第三节 地铁工程安全事故致因原理	16
(一) 事故致因综合模型	16
(二) 地铁工程安全风险机理	17
第二章 地铁工程安全生产相关法规与政策	19
第一节 地铁工程安全生产相关法规标准体系	19
第二节 地铁工程安全生产监督管理格局	20
(一) 政府统一领导	20
(二) 部门依法监管	21
(三) 参建单位全面负责	21
(四) 社会广泛支持	22
(五) 群众参与监督	22
第三节 法律法规关于各主体安全生产责任的规定	22
(一) 建设单位安全生产责任	22
(二) 勘察、设计、监理及其他单位安全生产责任	26
(三) 施工单位安全生产责任	28
第三章 建设单位安全管理策略	31
第一节 建设单位安全管理策略	31
(一) 建设单位安全管理的指导思想	31
(二) 建设单位安全管理的基本策略	32

目 录

(三) 建设单位安全管理的集成化	32
第二节 地铁工程安全管理基本要素与运行模式	35
(一) 职业健康安全管理体系的基本要素与运行模式	35
(二) 地铁工程安全技术风险管理	36
第四章 建设单位安全管理体系要素建立	46
第一节 地铁工程安全生产方针	46
第二节 地铁工程安全生产管理组织	47
(一) 机构与职责	47
(二) 安全教育与培训	49
(三) 安全管理协商与交流	49
(四) 安全信息管理	50
第三节 安全管理计划与实施	51
(一) 初始评审	51
(二) 安全生产目标	52
(三) 管理方案(计划)	53
(四) 运行控制	56
(五) 应急预案与响应	60
第四节 检查评价和改进措施	65
(一) 绩效测量与监测	65
(二) 事故(险情、事件)的调查分析	65
(三) 审核与管理评审	65
(四) 改进措施	66
第五章 岩土工程勘察安全风险管 理	67
第一节 勘察阶段与主要工序	67
(一) 勘察阶段划分	67
(二) 勘察工序与管理流程	68
第二节 岩土工程勘察安全风险及其控制	68
(一) 勘察作业风险控制	68
(二) 勘察质量风险控制	69
(三) 勘察与设计施工的相互配合	69
第三节 建设单位在岩土工程勘察阶段的风险管理内容	70
第四节 工程管理人员应重点关注的工程地质条件	70
(一) 不良地质作用、特殊岩土与地下水	70
(二) 地层结构及其工程特点	72
(三) 围岩分级	73
第六章 工程周边环境调查风险管理	75
第一节 工程周边环境 保护原则与保护措施	75

(一) 工程周边环境保护原则	75
(二) 工程周边环境保护措施	75
第二节 工程周边环境调查与风险评估	76
(一) 工程周边环境调查	76
(二) 工程周边环境风险评估	79
第七章 工程可行性研究与设计安全风险管理	80
第一节 工程可行性研究的风险管理	80
(一) 可行性研究风险管理主要工作	80
(二) 可行性研究阶段主要程序	80
(三) 可行性研究阶段主要安全风险因素	81
(四) 建设单位在可行性研究阶段风险管理职责	81
第二节 工程设计安全风险管理	81
(一) 设计阶段划分	81
(二) 设计阶段主要工作流程	82
(三) 设计主要风险及其控制对策	83
(四) 设计单位的安全风险管理职责	83
(五) 建设单位在设计阶段的风险管理职责	84
(六) 工程设计阶段的安全风险管理内容	85
第三节 地铁主要风险工程的设计技术	86
(一) 工程风险分级	86
(二) 地铁主要风险工程的设计技术	91
第八章 招投标的安全风险管理	96
第一节 合适承包商的识别方法	96
第二节 招投标文件的编制	96
(一) 招标文件的编制	96
(二) 投标文件的编制	97
第三节 标准合同的安全规则	97
(一) 同时涉及安全和质量的条款	97
(二) 仅涉及安全方面的条款	100
(三) 地铁工程合同的业主要求	101
第九章 施工阶段的安全风险管理	102
第一节 施工阶段风险管理概述	102
(一) 施工阶段风险管理流程	102
(二) 施工阶段风险管理主要内容	102
(三) 施工阶段风险管理的主要工作	103
(四) 建设单位在施工阶段的风险管理职责	104
(五) 工程监理单位在施工阶段的风险管理职责	104

目 录

第二节 施工安全风险要素	106
(一) 人员管理	106
(二) 环境管理	106
(三) 机电管理	110
(四) 物料管理	113
(五) 制度管理	114
(六) 过程管理	115
(七) 应急管理	115
(八) 事后管理	115
(九) 隐患管理	116
(十) 信息管理	116
第三节 前期工程的安全风险管理	116
(一) 临建设施风险管理	116
(二) 地质补勘风险管理	117
(三) 交通疏解风险管理	117
(四) 管线改迁风险管理	117
(五) 房屋拆除风险管理	118
第四节 土建工程施工安全风险	118
(一) 明(盖)挖施工风险	118
(二) 暗挖施工风险	124
(三) 盾构法施工风险	127
(四) 高架桥梁施工风险	131
第五节 安装装修工程风险管理	133
(一) 安装装修施工安全管理特点	133
(二) 安装装修施工安全风险控制措施	134
第十章 监控量测管理	140
第一节 监控量测概述	140
(一) 监控量测的定义	140
(二) 监测的目的	140
(三) 监测工作主要内容和流程	141
第二节 地铁工程监控量测的管理要求	141
(一) 监测单位的选择	142
(二) 监测管理单位的选择	142
(三) 监测设计的管理	142
(四) 监测方案的管理	142
(五) 监测人员设备的管理	143
(六) 监测起止时间的确定	143
(七) 监测工作的实施	143
第三节 地铁工程监测的技术要求	148

(一) 明(盖)挖法施工监测技术要求	148
(二) 暗挖法施工监测技术要求	149
(三) 盾构法施工监测技术要求	151
(四) 高架桥梁施工监测技术要求	152
第十一章 应急救援与事故处理	154
第一节 事故应急预案	154
(一) 应急预案分类与基本内容	154
(二) 应急预案的编制程序	157
(三) 应急预案的培训与演练	158
第二节 事故应急处置	158
(一) 应急救援活动的运作机制	158
(二) 应急管理的基本功能要素	159
第三节 事故应急组织	165
(一) 应急组织体系	165
(二) 应急组织机构及其职责	166
第四节 事故报告与调查处理	167
(一) 事故定义与分级	167
(二) 事故的报告	168
(三) 事故调查的组织	168
(四) 事故调查与分析	169
(五) 事故的人员处理	169
(六) 关于建设单位组织的事故调查	172
第五节 典型事故应急技术要点	173
(一) 塌方事故应急技术要点	173
(二) 涌水涌砂应急技术要点	174
(三) 燃气管道泄漏应急技术要点	175
(四) 高坠及物体打击事故应急要点	176
(五) 触电事故应急要点	176
(六) 中毒或窒息事故应急救援要点	177
附录 城市轨道交通工程建设单位质量安全检查评分表	178
参考文献	183

第一章 概 论

第一节 地铁工程的特点及常用施工方法

(一) 地铁系统的组成

地铁是在城市中修建的快速、大运量、电力牵引的轨道交通基础设施，线路通常设在地下隧道内，也可能局部从地下转到地面或高架桥上。

地铁工程主要由土建和设备两大部分组成。土建部分包括车站、区间隧道、路基、轨道及车辆段和综合基地等；设备部分包括建筑设备（又称常规设备）和轨道交通系统设备。建筑设备是指建筑电气、给排水系统、环控系统、电梯与自动扶梯、防灾报警系统（FAS）、消防系统、人防系统、环境与设备监控（BAS）系统等。轨道交通系统设备是指通信系统、信号系统、供电系统、电力监控系统（SCADA）、屏蔽门/安全门系统、自动售检票系统（AFC）、旅客信息系统（PIS），以及车辆系统和控制中心（OCC）与地铁网络指挥协调中心（TCC）。新建地铁一般将智能设备监控系统、智能防灾报警系统、智能电力自动监控系统深度集成为一体的综合智能监控系统。

1. 土建部分

(1) 地铁车站与区间

车站由主体（站台、站厅、生产与生活用房）、出入口与通道（乘客进行地面和地下换乘的必经之路）、通风道和地面风亭（一般布置在车站的两头端部）等三大部分组成。

区间隧道（高架桥梁）是连接两个车站之间的行车通道，包括行车隧道（高架桥梁）、渡线、折返线、（地下、地上）停车线、地下联络通道、集水泵房以及其他附属建筑物。对于超长区间隧道，需要每隔一定长度建造通风井。

(2) 路基与轨道

轨道是指路基或结构面以上的线路部分，是由钢轨、轨枕、连接零件、道床、道岔和其他附属设备等组成的构筑物。根据环境保护对地铁沿线不同地段的减震、降噪要求，轨道可采用相应的减震轨道结构，并具有良好的绝缘性。

路基是指按照线路位置和一定技术要求修筑的带状构筑物，一般位于通往路面车辆段或停车场的线路上，包括路堤、路堑和附属结构。

(3) 车辆段与综合基地

车辆段是指具有配属车辆以及承担车辆的运用管理、整备保养、检查工作和承担较高级别的车辆检修任务的生产设施。

综合基地是为了保证地铁正常运营而设立的综合维修中心、物资总库、培训中心和必

要的生活设施场所。车辆段及综合基地的土建工程包括路基工程、道路及广场工程、房屋工程等。

2. 设备部分

(1) 建筑设备

1) 环控系统(空调通风系统):环控系统是指对车站站厅、站台、设备及管理用房和隧道等处所的环境进行空气处理(即调节区域内的空气温度、湿度,并控制二氧化碳、粉尘等有害物质的浓度)的系统,包括风系统(隧道通风系统、车站公共区的制冷空调及通风排烟系统、车站管理及设备用房空调排烟系统)、车站空调系统和集中供冷系统,涉及大量的风机、空调机、冷水机、水泵、冷却塔、水(风)阀和水(风)管路的安装,其中不乏大型设备的吊装、就位等作业。

2) 给排水系统:车站或车辆段的给水排水系统分别由给水系统和排水系统两部分组成。生活、生产给水系统由水源(城市自来水)、水池、水泵、水塔(水箱)、气压罐、管道、阀门、水龙头等组成;消防给水系统由水源(城市自来水)、消防地栓、水泵结合器、消防水泵、管道、阀门、消火栓(喷头)、水流指示器等组成。排水系统包括车站排水系统和区间排水系统,用于排除车站、区间的冲洗废水、结构渗漏水、事故消防水等废水和工作人员、乘客的生活污水。废水系统和污水系统独立设置,分别与地面的市政废水管网、污水管网相连,但都由汇集管道、泵房、排出管道、地面压力窖井等构成。区间排水泵房一般设于区间最低点处,且常与联络通道合建,施工安全风险大。此外,车站与区间排水系统与地面排水管网相连,倒灌风险也应注意防范。

3) 自动扶梯与电梯:自动扶梯与电梯是乘客进出地铁车站的重要工具。超过一定提升高度的车站出入口设置自动扶梯,站厅层与站台层之间根据各站客流不同分设上、下行自动扶梯;为方便残疾人乘坐地铁,在车站站厅与地面之间、站厅层与站台层之间,设置垂直电梯。地铁自动扶梯采用重载荷公共交通型,主要由桁架、梯路系统、扶手带、主机及驱动系统、电气控制及安全装置组成。自动扶梯与电梯属于安装装修工程中的重型设备之一,其运输与到位的吊装是安装装修工程安全重点之一。自动扶梯顶部吊钩或吊装孔是设备就位的必要条件,且受力载荷较大,需在土建施工时预埋且确保质量。

4) 地铁防灾报警系统:地铁防灾报警系统实现水灾、火灾、地震、雷击、行车事故及人为事故等灾害的提前、可靠报警。防灾自动报警系统由防灾报警主机(设在行车调度指挥中心)、防灾报警分机(设在各车站综合控制室、控制中心大楼、主变电所、车辆段检修停车库、混合变电所、材料总库)、车站现场设备及将所有设备联系在一起的通信网络等四部分组成。所有区域内设置消防设施的联动控制设备,包括气体灭火控制设备、水消防设备、防排烟设备、防火卷帘门、风阀、电梯、非消防电源的断电控制、疏散标志灯等,防灾报警系统直接或间接管控这些设备。

5) 地铁消防系统:地铁消防系统包括火灾报警系统、气体灭火系统、水消防系统、防排烟系统和疏散系统(疏散标志和事故照明),其中,气体灭火系统的管网系统中气体钢瓶、阀、管等应承受高压气体。

(2) 轨道交通系统设备

1) 通信系统:主要分为专用通信和公务通信两大类。为满足地铁安全、高效运营的

需要,地铁建立有安全可靠的、独立的能传送语言、文字、数据、图像等信息的综合业务数字网,其中包括:传输交换、专业电话、无线通信、电视监视、遥控遥测、有线广播、列车广播、时钟、自动电话、电话会议、办公管理自动化和集中监测等子系统。

2) 信号系统:地铁正线信号系统一般采用列车自动控制系统(ATC),主要由列车自动监控子系统(ATS)、列车自动防护子系统(ATP)和列车自动运行子系统(ATO)组成,具有故障导向安全功能。车辆段基地一般采用计算机联锁。

3) 供电系统:由两大部分组成,一部分为牵引供电系统;一部分为低压配电及照明系统。

牵引供电系统包括牵引变电所与牵引网。一般由35kV供电线路组成独立供电网络,该供电网络以双回路馈电电缆向所有混合变电所及降压变电所供电。牵引网络系统由接触网(或三轨)和回流网组成。接触网通常采用直流1500V架空(柔性或刚性)接触网,三轨又称接触轨,分上接触式、下接触式和侧接触式。国际《地铁直流牵引供电系统》规定,电压在直流1500V及以上的接触网宜采用架空接触网型式。

低压配电及照明系统(地铁建筑电气)可分为照明和低压配电两个子系统,均采用380V三相五线制、220V单相三线制方式供电。照明系统范围为车站降压所变压器后的照明设备、设施及线路。低压配电系统为站台、站厅、区间和车站设备及管理用房的环控、排水、消防、安全门、电(扶)梯、自动售检票及通信、信号系统、站控室等的设备供配电,其中应急照明、火灾报警、消防、电梯为一级负荷。

4) 电力监控(SCADA)系统:采用微机远动装置,主机对主变电所、牵引降压混合变电所、车站降压变电所等实行集中监视、控制和测量,其具备遥控功能、遥信功能、遥测功能、遥调功能,包括主站(电力监控中心)及传输通道。主站应设在控制中心大楼内。子站(执行端)设在各变电所,通道与通信合用光缆传输。

5) 屏蔽门/安全门系统:安装于地铁沿线车站站台边缘,用以提高运营安全、改善乘客候车环境、节约运营成本的一套机电一体化的机电设备系统。屏蔽门/安全门系统作为站台公共区与轨道列车之间的可控屏障,列车停站时配合列车车门打开或关闭滑动门,使乘客进出车厢;无列车停站上下客时关闭,使站台乘客和轨行区分隔。

(二) 地铁工程的特点

1. 工程环境复杂

(1) 工程地质环境复杂。例如,上海、广州、深圳等沿海城市或南方城市的工程地质水文地质条件复杂多变,地铁线路经过海积、海冲积、冲积平原和台地等多种地貌单元,常位于“软硬交错”地层(上部为人工填土、黏性土、淤泥质土、砂类土及残积土,下部为花岗岩、微风化岩等坚硬岩石层,或者孤石),还常遇到各种不同和不良地质条件(断裂破碎带、溶洞、地下溶洞、承压水等),穿越或邻近江河湖海,地下水丰富、水位高。

(2) 工程周边环境复杂。由于地铁长距离穿行于城市交通要道和人口密集区域,建筑物、构筑物、轨道交通设施、桥梁、隧道、道路、管线、地表水体等工程周边环境的类型多、结构复杂、敏感性强、资料不易掌握,不可预见因素较多,同时在建设过程中,工程受周边环境制约大,对周边环境影响也大。

(3) 工程自然环境复杂。地铁工程施工多为露天和地下,常受到台风、冰雪、暴雨、洪水、雷电等自然因素影响,也可能受到泥石流、滑坡等地质灾害的影响。

(4) 工程社会环境复杂。地铁穿越城市商业、文化、娱乐、金融、工业、居民区,工程施工对社会生活影响大。征地拆迁、商铺经营受损、房屋开裂和施工扰民(包括振动、噪声、扬尘等)容易引发社会矛盾,存在很大社会风险,因此,社会各方对地铁工程高度关注。

2. 工程建设规模大。一条地铁线路里程一般在 20 公里以上,20 多个车站、区间和百余个附属工程,有大量的前期工程(征地拆迁、绿化迁移、管线迁改、交通疏解等)和主体土建工程、安装装修工程,有众多的系统设备采购、安装、测试调试等工作。地铁工程的每公里造价一般在 5~7 亿元左右,有的高达 8~9 亿元,一条线路投资动辄都在 100 亿元以上;合同工期一般在 5 年左右。

3. 工程系统性强。地铁工程是土建及机电设备复杂系统,是技术、物质、组织、行为、信息系统的综合体,涉及约 20 多个专业,例如,工程系统包括车站、隧道、高架、轨道、装修、车辆、常规设备和系统设备等子系统,系统复杂和高度集成。因此,地铁工程更需要集成化管理,加强工程设计统筹管理,强化工程统筹管理,合理筹划有序推进工程建设。

4. 工程技术复杂。地铁工程本身不断向“深、大、险”发展。例如,车站基坑深度一般在 20m 甚至 30m 以上,长度在 200m 甚至 600m 以上。施工工法多样,有明挖法、盖挖法、矿山法和盾构法等主要施工工法和地下水控制、注浆加固等多种辅助工法。各种工法如何与工程特殊地质条件、工程周边环境保护相适应是一个重大技术难题,也是工程风险所在。

5. 工程协调量大。地铁工程参建单位包括建设、勘察、设计、施工、监理、监测、检测和材料设备制造、供应等单位,数量多、专业多、项目多、环节多、接口多,作业时交叉,组织协调量大。同时,工程与周边社区居民、与工程周边环境的产权或管理单位的利益攸关、关系密切,沟通协调难度大。

6. 控制标准严格。为确保隧道、深基坑施工(含降水)过程中,建筑物、构筑物、轨道交通设施、桥梁、隧道、道路、管线、地表水体等工程周边环境不发生过量沉降和坍塌,确保其安全,要求严格控制沉降(包括绝对值和速率等),例如,浅埋暗挖法施工的标准断面隧道地面累计沉降量一般要求控制在 30mm 以内。

7. 安全风险大。前面的工程特点决定了地铁工程安全风险(包括工程本身风险和对工程周边环境的风险)很大,风险关联性强,例如,如果工程地质水文地质条件不明,工程周边环境不清,措施准备不充分,很容易出现安全质量事故和险情,造成人员伤亡和经济损失,影响正常的社会生活。如果有效工期不足,安全风险将加大,将给安全管理造成更大的压力,更容易引发事故。

(三) 地铁工程常用施工方法

根据开挖方式的不同,地下工程有不同的施工方法。施工方法主要根据施工范围内的工程地质和水文地质勘探资料、工程埋置深度、结构形状和规模、使用功能、工程要求、周边环境及交通等情况进行技术、经济综合比较后确定。目前,我国地铁工程采用的施工方法主要包括:

1. 明（盖）挖法

明（盖）挖法是指在地面开挖的基坑中修筑车站或隧道的方法。主要施工工序为征地拆迁和道路疏解、围护结构施作、降水、土石方开挖和运输、地基加固与检测、结构防水、钢筋混凝土结构制作等。

（1）明（盖）挖法的种类

明（盖）挖法包括敞口开挖法、盖挖法（盖挖顺作法、盖挖逆作法、盖挖半逆作法）。围护结构采用的手段包括地下连续墙、人工挖孔桩、钻（冲）孔灌注桩、SMW 工法桩、工字钢桩等。SMW 工法亦称劲性水泥土搅拌桩法，即在水泥搅拌桩内插入 H 型钢等，将 H 型钢承受土体侧压力与水泥土防渗挡水结合起来，使之成为同时具有受力与抗渗两种功能的支护结构的围护墙。

由于敞口开挖法存在占用场地大、隔断地面交通时间较长，以及挖填土石方量大等不利因素，在受到条件限制的情况下可采用半明挖方式，即盖挖法，包括盖挖顺作法、盖挖逆作法和盖挖半逆作法。

盖挖顺作法是在地表作业完成挡土结构后，以定型的预制标准覆盖结构（包括纵、横梁和路面板）置于挡土结构上维持交通，往下进行开挖和加设横撑，直至设计标高。依序由下而上施工主体结构 and 防水，回填土并恢复管线或埋设新的管线。最后，视需要拆除挡土结构外露部分并恢复道路。

盖挖逆作法是先在地表面向下做基坑的围护结构和中间桩柱（和盖挖顺作法一样，基坑围护结构多采用地下连续墙或帷幕桩，中间支撑多利用主体结构本身的中间立柱以降低工程造价），随后开挖表层土体至主体结构顶板底面标高，利用未开挖的土体作为土模浇筑顶板（顶板可以作为一道强有力的横撑，以防止围护结构向基坑内变形），待回填土后将道路复原，恢复交通。以后的工作都是在顶板覆盖下进行，即自上而下逐层开挖并建造主体结构直至底板。

盖挖半逆作法与逆作法的区别仅在于顶板完成及恢复路面后，向下挖土至设计标高后先浇筑底板，再依次向上逐层浇筑侧墙、楼板。在半逆作法施工中，一般都必须设置横撑并施加预应力。

（2）明（盖）挖法的特点

明（盖）挖法具有施工作业面多、速度快、工期短、易于保证工程质量和工程造价低等优点。具备明（盖）挖施工场地条件的车站，宜采用明挖顺作法施工。处于地下水位线以下的结构采用盖挖法时，需附加施工降水措施。地面交通需要尽快恢复时，宜采用盖挖逆作法、盖挖顺作法或盖挖半逆作法施工。盖挖法的缺点是盖板上不允许留过多的竖井，故后继开挖的土方需要采取水平运输，工期较长，作业空间小，与基坑开挖、支挡开挖相比，费用较高。

2. 暗挖法

暗挖法是指在地下先开挖出相应的空间，然后在其中修筑衬砌，从而形成隧道或车站的工法。暗挖法施工主要工序包括挖土（钻眼、爆破、通风）、挖土装土（岩）、运输（含提升）、初支与二衬。

暗挖法施工占用地面较少。当受地面交通、地下管线等条件限制不允许使用明挖法施工,或线路埋深较大采用明挖法施工工程费用较高时,可采用暗挖法施工。但暗挖法施工有下列缺点:①施工风险较高,开挖截面大小易受到稳定性限制;②工作面少且狭窄,工作条件差;③线路埋置较浅时可能导致地面沉陷;④一般工期较长、造价较高。

3. 盾构法

盾构法是一种全机械化施工方法,主要用于区间隧道的开挖。它是将盾构机械在地层中推进,通过盾构外壳和管片支承围岩防止发生隧道内坍塌,同时在开挖面前方用切削装置进行土体开挖,通过出土机械将土运出洞外,靠千斤顶在后部加压顶进,并拼装预制混凝土管片,从而形成隧道结构的一种机械化施工方法。盾构法施工的内容包括盾构的始发和到达、盾构的掘进、衬砌、压浆和防水等。

盾构法的优点有:①开挖和衬砌安全度较高,掘进速度快;②盾构的推进、出土、拼装衬砌等全过程可实现自动化作业,施工劳动强度低;③对地面交通、河道航运与设施,以及地下管线、建(构)筑物、既有地铁线路等工程周边环境的影响较小且影响较易控制;④在松软含水地层中修建埋深较大的长隧道往往具有技术和经济方面的优越性;⑤洞体质量比较稳定、防水效果好。

盾构工法的缺点有:①对断面尺寸多变的区段适应能力差;②新型盾构购置费昂贵;③转运和始发、到达端头井施工费用较高,对区段短施工不太经济;④对盾构机始发和接收的条件较高;⑤当岩石强度在 130MPa 以上或推进中遇到不明的较大孤石时处理难度大。

4. 常用辅助工法

(1) 降水(和回灌)

降水技术是确保地下工程在无水或少水情况下施工作业所采取的技术措施。实施降水施工,可能对工程周边环境造成影响,需要根据有关技术规程要求严格控制实施。降水方法有管井降水、真空降水、电渗降水等。北京及北方地区多采用基坑外地面深井降水和回灌,也有采用洞内轻型井点降水;上海及南方地区则多采用基坑内管井降水,也有采用真空降水和电渗降水的。

(2) 注浆

注浆加固是避免地铁工程塌方,避免周边建(构)筑物过量的沉降、倾斜等现象发生所采取的有效技术措施,一可止水,二可加固地层。在暗挖隧道施工中,土体超前注浆预加固在隧道拱部形成一道连续的拱墙,达到加固围岩、截断渗水、减小作业面坍塌的效果,为施工创造良好的作业环境。较常用的超前注浆预加固措施主要有锚杆、超前小导管、大管棚等。在基坑开挖中,采用注浆加固是提高支护结构安全度、减小基坑开挖对工程周边环境的影响的一项重要措施。

在暗挖法施工中,当围岩的自稳能力在 12h 以内,甚至没有自稳能力时,为了稳定工作面,确保安全施工,需要进行注浆加固地层,以防止沉降塌陷,或进行结构止水。注浆方式主要有软土分层注浆、小导管注浆、TSS 管注浆等;注浆材料分为普通水泥、超细

水泥、水泥水玻璃、改性水玻璃、化学浆液等。

(3) 高压旋喷或搅拌桩加固

高压旋喷注浆法将带有特殊喷嘴的注浆管插入到土层的预定深度后,以 20MPa 左右的高压喷射流强力冲击,破坏土体,使浆液与土搅拌混合,经过凝结固化后,使土中形成固结体。水泥搅拌桩是利用搅拌桩机将水泥喷入土体并充分搅拌,使水泥与土发生一系列物理化学反应,使软土硬结而提高基础强度。软土基础经处理后,加固效果显著,可很快投入使用。

高压旋喷主要用于地层加固,适用于有水软弱地层,以及砂类土、流塑黏性土、黄土和淤泥等常规注浆难以堵水加固的地层等。如对浅埋暗挖法或矿山法施工的隧道局部特别软弱的地层,或需要对重要建(构)筑物进行特殊保护时,采用高压旋喷加固;盾构法隧道的始发和到达端头常用高压旋喷或搅拌加固,联络通道也常用此法加固地层。近年来也开发了隧道内施作的水平旋喷或搅拌加固技术。水泥搅拌桩适用于处理淤泥、淤泥质土、泥炭土和粉土土质。

(4) 大管棚加固

用于暗挖隧道的超前加固,布置于隧道的拱部周边,常用的规格主要有:42mm 直径、4~6m 长和 108/159mm 直径、20~40m 长,前者采用风镐顶进,后者则用钻机施作。近几年来,也有采用 300~600mm 直径的钢管棚,采用定向钻或夯锤施作。管棚一般都要进行注浆,以获得更好的地层加固效果。

(5) 冷冻法

冷冻法是利用人工制冷技术,在地下开挖体周围需加固的含水软弱地层中钻孔铺管,安装冻结器,然后利用压缩机提供冷气,通过低温盐水在冻结器中循环,带走地层热量,使地层中的水冻结,将天然岩土变为冻土,形成完整性好、强度高、不透水的临时加固体,从而达到加固地层、隔绝地下水与地下工程联系的目的。冷冻法主要用于止水和加固地层,多用在盾构隧道出发端头与到达端头、联络通道和区间隧道局部具流塑或流沙地层的止水与加固,既可用于各类不稳定土层,又可用于含水丰富的裂隙岩层。在涌水量较大的流沙层中,更能显示出冻结法的优越性。

冻结法可采用的类型有三种,即水平、垂直和倾斜。浅埋隧道多采用水平冻结,工作竖井或盾构出入井的施工,可采用垂直或倾斜冻结。

不同的施工方法具有不同的适用条件,应综合分析各种施工方法对地质条件的适应性、对周边环境的影响,以及综合分析其安全性、经济性和工期要求等。

不同施工方法的工程风险是不同的。一般来说,对于明(盖)挖法施工,主要有基坑支撑失稳、断桩、管涌、坍塌等工程风险;对于暗挖法施工,主要有洞内塌方、地面沉降、涌水等工程风险;对于盾构法施工,主要有盾构机故障停机、换刀、俯仰、蛇形、泥水压力过大导致地面隆起等工程风险。几种主要施工方法各有优缺点,见表 1.1。

地铁主要施工方法的特点比较

表 1.1

对比指标	明(盖)挖法	盾构法	暗挖法
地质	各种地层均可	各种地层均可	有水地层需做特殊处理
场所	占用道路面积较多	占用道路面积较少	不占用地面道路

续表

对比指标	明（盖）挖法	盾构法	暗挖法
断面变化	适应不同断面	断面变化适应性差	适应不同断面
线路埋深	浅	需要一定深度	浅埋
防水施工	较容易	容易	较难
地表下沉	小	较小	较大
施工噪声	大	小	小
交通影响	很大	除竖井外，不影响	不影响
地面拆迁	大	小	小
水处理	降水、疏干	不需要	堵、降或堵、排结合
施工进度	受拆迁干扰大，总工期较短	前期工程准备时间较长	开工快，总工期偏长

(四) 地铁工程建设管理模式

地铁工程属于特大型工程项目，是一项十分复杂的综合性系统工程。一条线路的多个标段（项目）构成一个项目群，多条线路构成多个项目群。它需要多工种、多专业、多单位、多部门的密切合作，协同作战，需要建设单位组织实施科学、高效、及时的项目群管理。

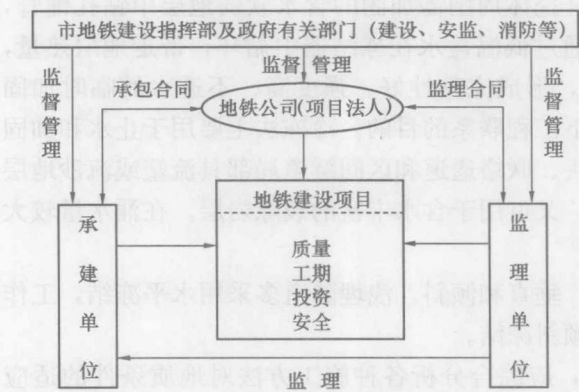


图 1.1 地铁工程建设管理模式

地铁工程建设管理一般以施工现场为中心，建设单位为主体，咨询、监理单位为中介，建设单位向工程所在城市政府负责，勘察、设计、施工、监测、检测、材料物资供应等承建单位通过投标方式承担工程建设任务。建设单位与咨询、监理、勘察、设计、施工、供应商之间的关系都是合同关系。一般的地铁工程建设管理模式如图 1.1 所示。

在工程设计上，一般采用设计单位总体总包勘察设计模式，建立设计监理制；工程监理上，一般将土建工程监理

和车辆及机电设备系统监理分开，可采用总分包模式或平行承包模式；施工、设备材料采购方面，较多的地铁工程采取平行承包合同模式。平行承包合同模式就是建设单位将项目施工或设备材料采购任务分别发包给多个施工单位或设备材料供应厂商，并分别与各承包商或供应商签订合同。因此，平行承包合同模式有利于业主优选承包商、控制工程质量，但组织管理和协调工作量大、工程造价控制难度大。设计施工总承包、BT、BOT 等模式由同一承包商负责施工图设计和施工，避免设计与施工环节的脱节和扯皮，有利于缩短建设工期、优化设计，从而提高工程建设和管理效率。近年来，地铁工程采用设计施工总承包模式已形成一种趋势，标段规模由以前普遍采用的“一站一区间”扩大为“多站多区