

地下轨道交通围岩稳定 模拟方法与工程应用

张彬 耿招 葛克水 王汉勋 编著 ■



张彬



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

地下轨道交通围岩稳定 模拟方法与工程应用

张彬 耿招 葛克水 王汉勋 编著

北京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书主要介绍地下轨道交通（城市地铁）建设过程隧道及车站的相关稳定性模拟理论、方法及实际应用案例。全书共 8 章，详细介绍了应用 FLAC 软件开展隧道围岩稳定性模拟的基本方法、技巧及部分命令流，重点介绍了在隧道穿越各类既有工程及复杂地质环境时，地铁隧道自身稳定性以及对其他建筑及地质环境的影响分析。

本书可为高等院校师生学习岩土工程数值模拟方法及应用提供参考，也可为地铁隧道勘察、设计人员提供技术参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下轨道交通围岩稳定模拟方法与工程应用/张彬等
编著. —北京:冶金工业出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5024-7683-0

I. ①地… II. ①张… III. ①轨道交通—地下工程—
围岩稳定性—研究 IV. ①U293.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 298587 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7683-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京建宏印刷有限公司印刷

2017 年 11 月第 1 版, 2017 年 11 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 15.75 印张; 325 千字; 242 页

59.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

地下轨道交通是指在地下运行为主的城市轨道交通系统，也称为地铁，最早于1863年诞生于英国伦敦。截至2017年，我国已有33座城市建成地铁140余条，运营里程超过3000km。地下轨道交通为缓解大型城市人口出行压力起着重要作用。随着我国社会经济的持续发展，城市化进程的深入推进，各大城市建设轨道交通的需求也日益增长。大规模的地下轨道交通建设将不可避免地面临众多岩土工程问题，由于围岩自身的结构复杂性及地区差异性，科学地评价围岩稳定性对于确保地铁施工及运营安全尤为重要。

随着计算机的快速发展，数值模拟技术在岩土工程中的应用领域越来越广，并逐渐得到了国内外学者的广泛认可。本书以国内多条轨道交通建设为工程案例，从工程结构及岩土体的FLAC3D数值建模、围岩变形、支护结构受力、对既有构筑物影响等方面，详细介绍了地下轨道交通围岩稳定性评价的数值模拟方法。通过数值模拟分析，找出工程施工的难点与安全隐患点，并提出确保施工安全的有效措施，为实际设计与施工提供合理建议。影响数值模拟结果的因素众多，比如模型的简化、参数的选取、边界条件的设定以及本构模型的选择等，不同的人可能得出不同的计算结果，但这并不表明数值模拟不可靠，而其主要原因则是因使用者自身的理论基础或工程经验不足，导致数值模拟未能真实的反映实际施工情况，因此相关的工程应用案例为提高数值模拟的精度提供了参考。本书详细介绍了国内多个城市多条地铁线路围岩稳定性模拟的实际工程案例，可供岩土工程领域的相关技术人员学习参考。

全书共分8章，第1章由张彬、耿招编写，主要介绍地下轨道交通



工程的围岩稳定性问题及数值模拟方法的发展；第2章由张慧杰、张瑞军编写，主要介绍地下车站和区间隧道的工程结构设计与施工方法；第3~第7章由张彬、耿招和王汉勋编写，主要介绍有限差分法的基本理论，并结合国内多条轨道交通建设的工程案例，详细介绍了各种工况下围岩稳定性评价的数值模拟方法及应用；第8章由葛克水、耿招编写，主要介绍地下轨道交通建设的施工安全监控量测技术及应用。全书由张彬统稿。

感谢北京中安质环技术评价中心有限公司王红岩高级工程师、马培工程师、梅楠工程师及李庆利工程师等提供的相关工程资料。吴越、冯军伟、李伟瀚、白雪亮、蒋永亨、李玉涛、牛键、石磊等研究生参与了数值模拟及图件绘制工作，在此一并表示感谢。最后感谢中央高校基本科研业务经费项目（2-9-2015-071）对本书出版的资助。

限于作者水平，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

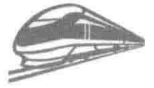
2017年10月

目 录

1 绪论	1
1.1 地下轨道交通简介	1
1.2 地下轨道交通工程的围岩稳定性问题	1
1.3 常用的围岩稳定模拟方法	3
1.4 模拟方法的工程应用	4
2 地下轨道交通工程结构设计与施工方法	6
2.1 地下车站工程	6
2.1.1 地下车站的结构类型	6
2.1.2 地下车站的结构设计	18
2.1.3 基坑的围护结构类型	22
2.1.4 基坑的施工方法	25
2.2 区间隧道工程	28
2.2.1 区间隧道的结构类型	28
2.2.2 区间隧道的结构设计	34
2.2.3 区间隧道的施工方法	36
3 有限差分数值计算方法	42
3.1 有限差分法基本原理	42
3.1.1 基本概念	42
3.1.2 差分近似	42
3.1.3 其他近似方法	45
3.1.4 边界条件	46
3.2 有限差分法与其他数值方法比较	47
3.3 FLAC3D 软件简介	48
3.3.1 基本原理	48
3.3.2 功能简介	49



4 工程结构的 FLAC3D 建模方法	51
4.1 结构单元	51
4.1.1 梁单元	51
4.1.2 桩单元	53
4.1.3 锚索单元	56
4.1.4 衬砌单元	60
4.2 GTS NX 网格模型的导入	61
4.2.1 GTS NX 软件建模	61
4.2.2 FISH 语言程序	65
5 区间隧道的围岩稳定性分析	71
5.1 概述	71
5.2 隧道下穿建筑物	71
5.2.1 洛阳市城市地铁 (M) 1 号线某区间隧道	71
5.2.2 模型建立及参数选取	72
5.2.3 计算命令	75
5.2.4 计算结果及分析	77
5.3 隧道侧穿桥梁基础	82
5.3.1 大连 M7 号线某区间隧道	82
5.3.2 模型建立及参数选取	84
5.3.3 计算命令	87
5.3.4 计算结果及分析	89
5.4 隧道下穿既有隧道	100
5.4.1 大连地铁 5 号线某区间隧道	100
5.4.2 模型建立及参数选取	100
5.4.3 计算命令	105
5.4.4 计算结果及分析	106
6 地下车站的围岩稳定性分析	114
6.1 概述	114
6.2 桩和锚索支护基坑	114
6.2.1 重庆 M9 号线二期工程某基坑	114
6.2.2 模型建立及参数选取	116



6.2.3	计算命令	119
6.2.4	计算结果及分析	121
6.3	桩和内支撑支护基坑	128
6.3.1	大连 M7 号线某基坑	128
6.3.2	模型建立及参数选取	130
6.3.3	计算命令	133
6.3.4	计算结果及分析	138
6.4	地下连续墙支护基坑	148
6.4.1	深圳市岗厦北城市综合交通枢纽工程	148
6.4.2	模型建立及参数选取	150
6.4.3	计算命令	152
6.4.4	计算结果及分析	173
6.5	暗挖基坑	182
6.5.1	重庆市 M9 号线工程某基坑	182
6.5.2	计算模型及参数	183
6.5.3	计算命令	188
6.5.4	数值计算结果分析	190
7	特殊问题的围岩稳定性分析	199
7.1	动力问题	199
7.1.1	北京 M17 号线某区间隧道	199
7.1.2	模型建立及参数选取	200
7.1.3	计算命令	204
7.1.4	计算结果及分析	205
7.2	渗流问题	211
7.2.1	郑州 M1 号线某区间隧道	211
7.2.2	模型建立及参数选取	212
7.2.3	计算命令	215
7.2.4	计算结果及分析	218
8	施工监测技术	220
8.1	地下车站施工监测	220
8.1.1	监测点布置	221
8.1.2	支撑轴力监测	224



目 录

8.1.3	土压力监测	225
8.1.4	位移监测	226
8.1.5	孔隙水压力监测	227
8.1.6	监测数据处理与数值模拟应用	228
8.2	区间隧道施工监测	232
8.2.1	监测点布置	232
8.2.2	围岩与衬砌间应力监测	235
8.2.3	监测数据处理与数值模拟应用	235
参考文献		242

1 绪 论

1.1 地下轨道交通简介

地下轨道交通是指在地下运行为主的城市轨道交通系统，也称为地铁，1863年，世界上第一条地铁在英国伦敦用明挖法施工并建成通车，列车由蒸汽机车牵引，区间隧道断面为矩形双线断面。1890年，在英国伦敦首次采用盾构法施工，建成了另一条地铁，由电力车牵引，区间隧道断面为圆形断面。世界上第一条地下轨道交通的诞生，为人口密集的大都市如何发展公共交通提供了宝贵的经验，从此以后，世界上一些著名的大都市也都相继建造了地下轨道交通。

我国于1965年7月1日在北京开始修建第一条地铁，并于1969年1月投入运营，从而开创了我国地铁建设的先河。改革开放以后，20世纪80年代末至90年代初，随着我国国民经济持续快速增长，城市化进程明显加快，对城市运输的需求也日益剧增。上海、广州地铁相继开工，全国十多座城市计划修建地铁或轻轨，掀起了轨道交通建设的小高潮。但资金不足、建设标准混乱，造成地铁造价急剧上涨，被国家暂停了地铁项目的审批。到21世纪初，内地仅有北京、天津、上海和广州4座城市共7条地铁线路，总里程146km。1999年以后，国家的政策逐步鼓励大中城市发展轨道交通，该阶段地铁建设速度大大超过之前的30年。截至2017年9月，全国已有33个城市建成地铁140余条，地铁运营里程超过3000km。目前，我国修建地铁无论是城市数量，还是规划的地铁总里程，已经跃居到了世界前列。其中，地铁线路最多的是北京，有19条；地铁里程最长的是上海，达到617km，已居世界第一。

我国城市人口不断增加、机动车和非机动车数量迅速增长，很多大城市交通紧张的状况日益突出，道路拥挤、交通堵塞的大城市病日益彰显。根据国内外实践经验，建设大容量地下轨道交通是缓解大城市公共交通紧张状况的有效途径，我国地下轨道交通必须而且也必然会获得巨大发展。

1.2 地下轨道交通工程的围岩稳定性问题

岩土体是在地壳外力长期作用下形成的一种复杂的地质体。它在其赋存环境的影响下，是一种具有十分复杂力学性质的介质。由于地质体中展布着不同产状、不同力学性质的各种节理、断层、软弱夹层等结构面，在多次构造运动作用



下,地质体内存在着初始应力场,从而表现在力学性质上具有弹性、非线性、弹塑性、黏性、流变性等。岩土体的结构复杂性与力学特性给地下工程施工带来许多的不确定性,在地下工程建设中,经常遇到的围岩稳定性问题主要有以下几个方面:

(1) 基坑围护结构变形。在地铁建设过程中涉及基坑开挖,由于岩土体的侧向卸荷作用,基坑侧壁土体会产生不同程度的水平变形,且变形程度随开挖深度增加而增加。若基坑周边存在不均匀超载作用,也会使土体出现一定程度的侧向位移,且随着超载作用的增加,其位移增幅也随之增加。因此,围护结构承受的土压力主要来自于水平方向,在水平压力作用下,围护结构产生侧向位移,若不加控制将可能导致基坑整体失稳。

(2) 基坑坑底隆起变形。基坑坑底出现隆起变形的原因:1) 挖除坑内土体释放了土的自重应力,使坑底土向上回弹,进而导致土体蠕变和松弛,产生了基底隆起现象。2) 坑外卸载,在多种因素影响下围护结构出现侧向位移,坑底土体受到向上的挤压,进而产生坑底隆起问题。3) 施工管理不充分,在开挖好基坑之后未及时施工,在降雨等因素影响下导致作业面出现大面积积水问题,土体在吸收水分之后发生膨胀,进而产生坑底隆起问题。

(3) 坑外土体固结沉降。在基坑围护结构外侧普遍存在不均匀超载问题,因此可导致土体竖向固结,进而出现地表下沉现象,且其沉降量随着超载量增加而增加。相比于坑内降水,坑外降水的影响范围更广、沉降量更大,因此在允许的条件下,应优先选择坑内降水,使其坑周的固结沉降量得以有效控制。

(4) 管涌与流沙。在基坑施工中,管涌与流沙问题的产生主要是由于降水引起坑内与坑外水头差,在动水压力影响下出现渗流破坏。此类问题通常在砂性地层中多见,如果基坑之下属于疏松砂土土层,且在渗流作用下动水坡度超出砂土动水坡度极限时,则会降低土体稳定性,使土层悬浮。另外在渗流水压力的影响下,土体失去平衡,并从基底逐渐流出。如果施工中有严重的流沙问题则会引起地面下沉和基坑塌陷。管涌问题则是在渗透水流将土层中小颗粒土带走之后,渗流口处出现空洞,并逐渐发展成为水流管道,在已经形成的管道中,泥沙和水流涌出。严重的管涌现象会松动施工土层,增大土体空隙,使土体强度降低,坑壁失去稳定性。

(5) 隧道围岩变形。隧道的开挖施工,无论其埋深大小,均将扰动地下岩土体,使岩土体失去原有的平衡状态,然后向新的平衡状态转化。隧道在开挖过程中洞室周边一定范围内地层应力将发生调整,宏观表现为地层的变形,对于浅埋隧道,这一范围波及地表,形成施工沉降槽,可能导致地面沉降与塌陷,从而导致道路路面破损、地下已有管道破坏以及建筑物沉降过大、建筑物倾斜、建筑物开裂等。



(6) 软土变形、不均匀沉降。软土具有高含水量、高孔隙比、高压缩性、低强度和低渗透性等特点，因此在软土地区进行地下工程建设往往会触发一系列的工程性地质灾害，例如地面塌陷、隧道突水涌水、土体变形过大等。

1.3 常用的围岩稳定模拟方法

随着电子计算机的广泛使用，解决地下工程围岩稳定性问题的数值模拟理论和方法发展迅速，数值模拟方法的不断成熟和完善，使得解决的岩土工程问题更为广泛，研究的课题更加深入，深化了人们对许多岩土工程问题的理解。在围岩稳定性分析中，最常用的数值方法包括有限差分法、有限单元法、离散单元法、边界单元法、无单元法和流形元法等。

有限差分法是最早出现的数值方法，在计算机出现以前就有了，它的基本思想就是把要求解问题的微分方程及其边界条件用离散的、只含有限个未知数的差分方程（代数方程组）来表示，把求解微分方程的问题转化为求解代数方程的问题，并用代数方程的解作为微分方程的近似解。具体的做法是用差分网格离散求解域，用差商近似代替导数，或用适当的近似式代替含有导数的表达式，得到差分方程组并求解得到差分解，原微分方程的解可用此差分解来近似代替。随着网格划分的细化，差分解就逐渐向精确解逼近。这种方法直观，易编制程序，从20世纪40年代以来，至今仍被广泛应用。本书将主要介绍有限差分法在地下轨道交通围岩稳定模拟中的应用。

有限单元法从20世纪50年代开始盛行，是建立在固体变分原理基础之上的数值方法。用有限元进行分析时，首先将被分析物体离散成为许多小单元，其次给定边界条件、荷载和材料特性，再求解线性或非线性方程组，得到位移、应力、应变和内力等结果。所得到的结果不是准确解，而是近似解，但足以满足大多数实际工程的需要，因而成为行之有效的工程分析手段。有限元方法可以分析形状十分复杂、非均质的各种实际的工程结构，可以在计算中模拟各种复杂的材料本构关系、荷载和边界条件；可以进行结构的应力和动力分析，结合前后处理技术可以进行方案的优化和选择，并且可以迅速用图形直观地表现出来。

离散单元法最早是Cundall在1971年提出来的，是专门用来解决不连续介质问题的数值模拟方法。该方法把节理岩体视为由离散的岩体和岩块间的节理面组成，允许块体平移、转动和变形，而节理面可被压缩、分离或滑动。因此，岩体被看成一种不连续的离散介质。其内部可存在大位移、旋转和滑动乃至块体的分离，从而可以较真实地模拟节理岩体中的非线性大变形特征。离散元法的一般求解过程为：将求解空间离散为离散元阵，并根据实际问题用合理的连接元件将相邻两单元连接起来；单元间相对位移是基本变量，由力与相对位移的关系可得到两单元间法向和切向的作用力；对单元在各个方向上与其他单元间的作用力以及



其他物理场对单元作用所引起的外力求合力和合力矩,根据牛顿运动第二定律可以求解单元的加速度;对其进行时间积分,进而得到单元的速度和位移,从而得到所有单元在任意时刻的速度、加速度、角速度、线位移和转角等物理量。它具有更真实地表达节理岩体几何特点的能力,便于处理以所有非线性变形和破坏都集中在节理面上为特征的岩体破坏问题,因而被广泛应用于模拟节理岩体稳定性分析中。

边界单元法亦称积分方程法,是20世纪70年代兴起的一种数值方法。边界单元法的思路是把所要求解的微分方程转化成相应的边界积分方程,然后采用边界积分方程的数值解法求得原问题的数值解。边界单元法的最大特点是降低了求解问题的维数。由于采用边界变量表达物体内部变量,一般情况下只需在物体的外表边界上进行离散即可,这样原有问题用边界元法求解降低了一维。另外,这种方法具有较高的精度。由于采用的基本解是无限域(或半无限域)内的满足微分方程和无限域(或半无限域)边界条件的解析解,因而在用边界量求解内部物理量的过程中引入的误差较小,适用于岩土体工程地质问题分析。

近些年来许多学者又提出了一些新的数值计算方法,例如无单元法、流形元法等。无单元法特点是采用滑动最小二乘法所产生的光滑函数来近似逼近场函数、计算形函数,从而只需计算域的几何边界及计算点,摆脱了单元限制,大大简化了前处理工作。由于提供了场函数的连续可导近似解,在材料分析中,使得位移、应力、应变计算结果表现连续性,不需进行后处理修匀。无单元法的节点生成非常容易,比较容易处理计算的网格重构问题,因此在开裂计算中有很好的应用前景,提供了岩土工程数值模拟的新途径。

流形元法以拓扑流形和微分流形为基础,它有分开的且独立的两套网格:数学覆盖和物理网格。数学覆盖定义近似解的精度,由用户选择且独立于物理网格划分,可以是任何规则或不规则的格子,物理网格则包括材料的边界、裂缝、块体和不同材料区域的交界面,它不能人为选择。物理网格对数学覆盖再剖分就形成了覆盖材料全域的流形方法求解的物理覆盖系统。对物理覆盖系统上的每一个物理覆盖可以定义各自独立的覆盖位移函数,然后在几个覆盖的公共区域(即流形元)内将其所有覆盖上的独立覆盖位移函数加权求和就能形成适用于该域的总位移函数。

1.4 模拟方法的工程应用

在进行岩土工程问题分析时,首先要详细掌握工程概况、结构形式、场地工程地质条件、岩土体的相关工程特性,并充分收集既有的工程资料、监测数据,充分吸收相关工程经验,在此基础上采用经验公式法、数值分析法和解析分析法等综合手段进行科学研判。在计算分析中要因地制宜,抓主要矛盾,具体问题具



体分析。此外，在计算分析基础上，结合工程经验类比，进行综合判断，最后进行岩土工程设计。在岩土工程分析过程中，数值分析结果是提供工程师进行综合判断的主要依据之一。模拟方法在工程中的应用主要有以下几个方面：

(1) 岩体参数反分析。反分析技术是近年来岩土力学和工程地质领域中最重要进展之一，可分为应力反分析和位移反分析两类。位移反分析是通过岩土体边界条件的确定和岩土体位移的实测，建立合适的计算模型，求解岩土力学参数。通过实测获得某些点的应力值资料，推测一定范围内应力场的状况是工程地质研究中的一个很重要的内容，是工程岩体稳定性分析必不可少的资料。通过应力反分析，不仅可以得到工程区地应力的总体认识，而且可以获得工程岩体应力边界条件。

(2) 工程岩土体位移场和应力场的模拟。在已知工程区岩土体边界条件和外荷载的情况下，通过数值分析方法可以得到位移场和应力场分布的细节及其与外界条件的关系，这是数值方法的基本功能。此外，还可以计算应力场间接参数（如应力强度因子、断裂扩展力等）的空间分布特征。

(3) 岩土体稳定性模拟。通过对岩土体变形破坏规律的模拟，可以分析其变形破坏过程，评价其稳定性现状，并预测其未来变化。具体而言，可以解决两类问题：1) 在已知边界条件和地质模型条件下的模拟再现，即通过模拟再现过去的发展历史，从而评价工程岩土体的稳定性现状，并在此基础上，通过对模型的时间延拓，预测其稳定性未来发展变化的趋势或失稳破坏方式。2) 在边界条件及主导因素尚不甚清楚的条件下的模拟验证，即以不同的边界条件和主导因素建立力学模型，进行数值模拟，确定出对地质体变形破坏现状特征或演化阶段拟合得最好的模型，从而确定岩土体变形破坏的边界条件和主导因素，进而评价其稳定性。

(4) 信息化设计与施工。通过施工过程中新揭示的岩土体地质特征和变形破坏规律，随时修正设计和施工方案是岩土工程的发展趋势，岩体结构数值模拟是实现这一目标的重要手段。数值模拟不是一个简单的计算过程，而是包含着从野外工程地质调查到室内试验研究、地质力学模型抽取、计算模拟和野外验证的全过程，它的可靠性和准确性在很大程度上取决于对地质原型认识的正确性。

2

地下轨道交通工程结构 设计与施工方法

城市轨道交通线路可能位于地面、地上和地下。当线路位于地面时，轨道结构铺设于路基之上，与传统的铁路基本相同；当线路位于地上时，线路采用高架结构；当线路位于地下时，线路采用地下结构。本章节着重讨论城市轨道交通线路的地下结构。城市轨道交通线路因存在区间和车站的施工方法不同而采取不同的结构形式，因此，以下对地下车站结构和地下区间结构（区间隧道结构）分别进行叙述。

2.1 地下车站工程

2.1.1 地下车站的结构类型

车站是旅客上、下车的集散地点，车站设计时，应首先确定车站在现有城市路网中的具体位置。在地下车站结构设计时，必须同时考虑施工方法，最好的设计应当是把使用功能、结构与施工方法有机地结合起来。土建设计和施工人员通常按施工方法对地下车站结构进行分类。

地下车站结构的施工方法有明挖法、暗挖法、盾构法。地下车站的结构形式基本上分为矩形框架结构（或称箱形框架结构）、拱形结构和圆形结构三种。在这三种结构中，我国使用最多的是箱形框架结构，其次是拱形结构，圆形结构主要见于国外地铁，我国几乎很少采用。

明挖法施工工艺一般是通过设置围护结构，开挖基坑，在围护结构的保护下建设地铁车站，然后再覆土恢复路面。由于这种施工方法成本低、风险小，所以在我国得到广泛应用。目前我国大多数浅埋地下车站都是采用这种方法施工。

明挖法施工会对施工工点周围的交通环境产生一定的影响，在工点附近没有平行道路的情况下会产生严重的交通堵塞。因此，有些车站需要采用对交通影响较小的施工方法，暗挖法就是其中之一。

暗挖法是在矿山法及新奥法的基础上发展起来的。传统的矿山法施工，为地铁暗挖施工技术奠定了基础，到 20 世纪 60 年代，由于喷射混凝土和锚杆技术的出现，创造了新奥地利施工法，简称新奥法（NATM, New Austrian Tunnelling Method）。新奥法的基本思想是充分利用围岩的自承能力和开挖面的空间约束作用，采用锚杆和喷射混凝土为主要支护手段，约束围岩的松弛和变形，并通过对围岩和



支护的测量、监控来指导地下工程的设计施工。在北京地铁1号线中，西单车站、天安门车站、王府井车站等的修建都是采用浅埋暗挖法。该方法的优点是：对地面交通无干扰，地面拆迁量少，也无需进行地下管线的改迁，尤其是在工程地质条件较好、地下水位较低的情况下，采用该施工方法具有良好的社会效益。

采用明挖法和暗挖法修建的地下车站横断面多为矩形结构，而采用盾构法修建的地下车站横断面多为圆形。通常，采用盾构法修建的车站一般都是与暗挖法相结合，比如可以在两个并列的圆形盾构隧道内修建两条线路的站台，然后在两条隧道之间采用矿山法修建联络通道。但是，传统的盾构法修建的车站在利用暗挖法修建联络通道时，受到地质条件特别是地下水的影响较大，为了满足施工的安全要求，需要加固地层。日本的京叶线第一次采用多圆盾构修建地铁车站。采用多圆盾构修建地铁车站的优点在于可以不分阶段，直接建成地铁车站结构，提高了盾构法修建地铁车站的安全性。

2.1.1.1 矩形框架结构

浅埋地铁车站采用框架结构便于施工，而且净空断面能充分利用，杆件刚性结合，断面最经济。采用明挖法施工的车站主体结构一般为长条形多层、多跨框架结构，框架结构可有单跨、双跨、三跨、四跨几种类型，在我国地铁车站结构中，双跨、三跨、四跨较多，单跨采用较少，经常采用的结构形式为地下二层/三层单柱或者双柱的框架结构形式。根据建筑使用功能的要求，车站有时候需要局部加宽。如上海轨道交通13号线世博园车站，车站内设置停车检修线，局部净宽度达到28.9m，采用了三柱四跨的结构形式；天津地铁3号线昆明路车站，车站最大净宽达到30.3m，也是采用的四柱五跨的结构形式。

A 单跨框架结构

早期地铁多采用单跨框架结构车站，边墙及底板用整体灌注混凝土，或用块石砌成，顶板可用铆接工字钢钢梁，在其上以单拱纵向跨越梁间。近代技术的发展，可采用预应力混凝土构件，因而出现了大跨度单跨顶板。图2-1所示的单跨车站，顶板为肋形盖板，板宽0.75m、1.0m、1.5m或更宽，边墙可为整体混凝土，并与底板刚接或采用预制构件支在底板上。

单跨车站构造形成根据底板受力条件不同而不同，当地基比较松软，地下水压很大时，必须修仰拱，但由于大跨度仰拱增加开挖工作量，且施工复杂，因而这种单跨车站仅适用于底板为平板时。

B 多跨框架结构

在侧式站台，广泛采用双跨或者四跨的箱形框架整体结构形式，图2-2和图2-3即属此类型，此种结构整体性好。岛式站台车站较广泛采用三跨箱形框架结构形式。

