

城市地下空间开发利用 地质条件分类评价理论方法与实践

CHENGSHI DIXIA KONGJIAN KAIFA LIYONG
DIZHI TIAOJIAN FENLEI PINGJIA LILUN FANGFA YU SHIJIAN

张明 等著



张明 著

城市地下空间开发利用地质条件 分类评价理论方法与实践

Chengshi Dixia Kongjian Kaifa Liyong Dizhi Tiaojian
Fenlei Pingjia Lilun Fangfa yu Shijian

张 明 刘长礼 吴瑞安 张俊才 著
侯宏冰 王正波 陈建军 张晨阳

图书在版编目(CIP)数据

城市地下空间开发利用地质条件分类评价理论方法与实践. 张明等著. —武汉:中国地质大学出版社,2017.12

ISBN 978-7-5625-4160-8

- I. ①城…
II. ①张…②刘…③吴…④张…⑤侯…⑦王…⑧陈…⑨张…
III. ①城市空间-地下工程-工程地质条件-评价
IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 276891 号

城市地下空间开发利用地质条件
分类评价理论方法与实践

张明 刘长礼 吴瑞安 张俊才 著
侯宏冰 王正波 陈建军 张晨阳

责任编辑:徐润英

责任校对:周旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电话:(027)67883511 传真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:330 千字 印张:11 插页:7

版次:2017 年 12 月第 1 版

印次:2017 年 12 月第 1 次印刷

印刷:武汉市籍缘印刷厂

印数:1—500 册

ISBN 978-7-5625-4160-8

定价:58.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

近年来，随着经济的发展和城镇化进程的推进，我国城市数量快速增加，城市规模迅速膨胀。目前我国有 654 个城市，其中百万人口以上的城市有 160 个，城市人口高达 7.7 亿。调查显示，我国城市发展与土地资源短缺的矛盾越来越突出，大多数大中型城市均存在交通拥堵和环境恶化等一系列“城市病”。

地下空间开发利用是城市可持续发展的重要手段之一。但是地下工程导致的地质环境效应风险高，恢复难度大，因此，地质条件评价是城市地下空间开发利用的重要前提。我国一向重视城市地下空间的地质条件评价工作，特别是近年来，国土资源部要求在进行城市地质调查时，必须开展地下空间资源调查及其开发利用的地质条件评价。但是，从目前的成果来看，这些工作绝大多数是采用数学层次分析法和模糊评判法对评价区进行分区评价，所得结果的可靠性较低，实用性不强。总体来说，我国的城市地下空间地质条件评价理论与方法远落后于实际生产的需求。

笔者在中国地质调查局项目“全国主要城市环境地质调查评价”和“中原典型城市地质环境调查与信息系统建设”的资助下，以能够实际指导城市地下空间开发利用的方案制定和设计施工为目标，总结出了一套城市地下空间的地质条件评价理论与方法，并将其成功地应用于河南省洛阳市和郑汴新区的地下空间开发利用中，取得了良好的经济和社会效益。该方法以岩土工程施工工艺和对地质条件的需求为标准，将城市地下空间分为地下交通（地铁、地下公路和快速过街通道）、地下商业设施（附建型和单建型地下商业街）、地下市政管线（传统铺设和共同沟）三个大类、七个小类；然后对各小类地下空间开发利用的地质条件分别进行评价，分析它们在各类地质条件下施工和运营过程中可能遇到的工程地质问题，并提出了应对措施。

本书共分为两篇 10 章，具体如下：

上篇为城市地下空间开发利用地质条件分类评价理论与方法，该篇共分为 8 章。第 1 章为绪论，主要论述城市地下空间开发利用地质条件评价的必要性、目前该领域的研究现状与存在的问题、城市地下空间分类及分类评价的必要性；第 2 章至第 6 章分别论述地铁、地下公路、地下过街通道、地下商业街（单建型和附建型）、地下市政管线（传统铺设和共同沟）的特征，岩土工程施工工艺及关键技术，施工和运营过程中可能出现的工程地质问题及解决措施；第 7 章为城市地下空间开发利用的地质条件分类评价理论，主要论述各类城市地下空

间在不同地质条件中可能出现的问题以及应对措施；第8章为城市地下空间开发利用的地质条件分类评价方法，主要论述利用上述理论进行地质条件评价的方法及步骤。

下篇为河南省洛阳市与郑汴新区地下空间开发利用地质条件评价，主要是将上篇论述的评价理论与方法应用于洛阳市与郑汴新区地下空间开发利用的地质条件评价中。该篇又分为两章，即第9章、第10章，分别为洛阳市与郑汴新区的地质条件评价，包括地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质、不良地质现象和已有建筑物，以及各类地下空间包括地铁、地下公路、地下过街通道、地下商业街和地下市政管线的地质条件评价。

本书的主要成果包括：

(1) 从岩土工程施工工艺和地质条件需求角度，将城市地下空间分为城市地下交通、地下商业街、地下市政管线三个大类，并将它们细分为地下铁路、地下公路、地下过街通道、附建型地下商业街、单建型地下商业街、传统铺设地下管线和共同沟七个具体类型，并对这些具体类型地下空间的地质条件分别进行评价。相对于目前的综合性评价，本书介绍的分类评价理论与方法更加重视各类地下空间对地质条件需求的特殊性，所得评价结果也更具有针对性。

(2) 基于各类城市地下空间的岩土工程施工工艺提出它们各自的地质条件评价理论与方法，总结它们在不同地质条件（包括地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件、不良地质现象和已有建筑）中的施工难易程度、可能遇到的工程地质问题以及应对措施。相对于传统的数学打分评价方法，此方法的评价结果更加实用，能够指导城市地下空间的规划、设计与施工。

(3) 将上述评价理论和方法成功应用于河南省洛阳市与郑汴新区的地下空间开发利用地质条件评价中，结合洛阳市与郑汴新区的地质条件和已有建筑，从岩土工程施工和运营角度，分别评价了各类城市地下空间在开发利用中可能遇到的工程地质问题，并提出了应对措施，为两个城市的地下空间开发利用提供了科技支撑。

本书是集体智慧的结晶，参与本书撰写的人员有中国地质大学（武汉）的张明、王正波、陈建军；中国地质科学院水文地质环境地质研究所的刘长礼、侯宏冰，中国地质科学院地质力学研究所的吴瑞安和青海省地质环境监测总站的张俊才等。

本书所介绍的城市地下空间开发利用地质条件评价理论与方法，涉及工程地质学、岩土工程施工、地质灾害防治、环境地质学和水文地质学等多方面的内容，是在该研究领域的一次大胆尝试，同时也意味着本书还存在许多不足之处，敬请读者批评指正。

目 录

上篇 城市地下空间开发利用地质条件分类评价理论与方法

| | |
|----------------------------------|------|
| 第 1 章 绪 论 | (3) |
| § 1.1 城市地下空间开发利用地质条件评价的意义 | (3) |
| § 1.2 发展现状与存在的问题 | (4) |
| § 1.3 分类评价的必要性以及城市地下空间分类 | (5) |
| 第 2 章 城市地下铁路 | (7) |
| § 2.1 地铁的平面分布形态与构成 | (7) |
| § 2.2 地铁的岩土工程施工技术与流程 | (8) |
| § 2.3 地铁开发利用可能出现的工程地质和环境地质问题 | (17) |
| 第 3 章 城市地下公路 | (26) |
| § 3.1 城市地下公路的分类 | (26) |
| § 3.2 地下公路的岩土工程施工技术与流程 | (27) |
| § 3.3 地下公路开发利用可能出现的工程地质和环境地质问题 | (28) |
| 第 4 章 城市地下过街通道 | (32) |
| § 4.1 地下过街通道的岩土工程施工技术与流程 | (32) |
| § 4.2 地下过街通道开发利用可能出现的工程地质和环境地质问题 | (32) |
| 第 5 章 地下商业街 | (35) |
| § 5.1 单建型地下商业街 | (35) |
| § 5.2 附建型地下商业街 | (42) |
| 第 6 章 地下市政管线 | (48) |
| § 6.1 地下市政管线的特征 | (48) |
| § 6.2 地下市政管线的岩土工程施工技术及流程 | (50) |
| § 6.3 地下市政管线开发利用可能出现的工程地质和环境地质问题 | (52) |
| 第 7 章 城市地下空间开发利用地质条件分类评价理论 | (56) |
| § 7.1 地下铁路 | (56) |
| § 7.2 地下公路 | (67) |
| § 7.3 地下过街通道 | (69) |
| § 7.4 单建型地下商业街 | (72) |
| § 7.5 附建型地下商业街 | (80) |
| § 7.6 地下市政管线 | (82) |
| 第 8 章 城市地下空间开发利用地质条件分类评价方法 | (91) |

下篇 河南省洛阳市与郑汴新区地下空间开发利用地质条件评价

| | |
|--------------------------------------|-------|
| 第 9 章 洛阳市地下空间开发利用地质条件评价 | (95) |
| § 9.1 洛阳市工程地质条件概述 | (95) |
| § 9.2 洛阳市地下铁路地质条件评价 | (99) |
| § 9.3 地下公路地质条件评价 | (113) |
| § 9.4 地下过街通道地质条件评价 | (119) |
| § 9.5 单建型地下商业街地质条件评价 | (121) |
| § 9.6 附建型地下商业街地质条件评价 | (126) |
| § 9.7 地下市政管线地质条件评价 | (131) |
| 第 10 章 郑汴新区地下空间开发利用地质条件评价 | (137) |
| § 10.1 郑汴新区社会经济规划与地下空间开发利用的必要性 | (137) |
| § 10.2 郑汴新区地质条件简述 | (138) |
| § 10.3 郑汴新区地下铁路地质条件评价 | (141) |
| § 10.4 郑汴新区地下公路地质条件评价 | (148) |
| § 10.5 地下过街通道地质条件评价 | (153) |
| § 10.6 单建型地下商业街地质条件评价 | (156) |
| § 10.7 附建型地下商业街地质条件评价 | (159) |
| § 10.8 地下市政管线地质条件评价 | (162) |
| 参考文献 | (167) |
| 附图 | |

**上篇 城市地下空间开发利用
地质条件分类评价理论与方法**

第1章 绪论

§ 1.1 城市地下空间开发利用地质条件评价的意义

随着我国经济的发展和城市化进程的推进,我国城市数量和城市人口均急剧增长。从1981年到2016年,我国的城市由182个增加到654个,城市人口由约3亿增加到7.7亿。伴随着城市人口的增加,城市规模也急速膨胀。目前,我国百万人口以上的城市有160个,其中城区人口在1000万以上的超级城市有3个,分别是上海、北京和成都。

随着城市人口的急剧增加,目前我国绝大多数省会城市和二、三线城市均或多或少地出现了交通拥堵、环境恶化和资源短缺等“城市病”,很大程度上限制了城市的进一步发展。

地下空间是城市可持续发展的重要资源,地下空间的开发利用目前已经是国际国内促进城市可持续发展、改善城市环境和提高空间利用率的主旋律。联合国经济和社会理事会早在1998年就在莫斯科召开了以“地下城市”为主题的地下空间国际会议,认为广泛合理利用地下空间将成为21世纪城市发展的主题之一。

我国城市地下空间的大规模开发利用,始于20世纪50年代的人防工程。1971年,北京修建了我国第一条地铁;20世纪七八十年代,我国的一些城市已经陆续修建了不少地下工程,包括地铁、地下停车场、越江隧道、地下商场、地下贮藏库、地下廊道以及高层建筑的多层地下室等。20世纪90年代以来,随着经济的飞速发展,为了缓解城市土地资源严重短缺的矛盾,我国的许多大中型城市都投入到“多层次立体”地下空间的开发热潮中。截至2008年,已有北京、上海、重庆、南京、杭州、青岛等20多个城市编制了城市地下空间专项规划(李胡生,2008)。截至目前,我国已有北京、上海、重庆、南京、沈阳、温州、武汉等20多个城市开通地铁,还有无锡、南宁、石家庄、贵阳等10多个城市的地铁正在建设之中;而地下商场和商业街等更是在每个大中型城市已经成为人们主要的消费和娱乐场所之一。

近年来,我国城市地下空间开发利用进入快速增长阶段。“十二五”时期,我国城市地下空间建设量显著增长,年均增速达到20%以上,约60%的现有地下空间为“十二五”时期建设完成(截至2016年)。据不完全统计,地下空间与同期地面建筑竣工面积的比例从约10%增长到15%。尤其在人口和经济活动高度集聚的大城市,在轨道交通和地上地下综合建设的带动下,城市地下空间开发规模增长迅速,需求动力充足(中华人民共和国住房和城乡建设部,2016)。

但是,与地上空间不同,地质体是城市地下空间开发利用的载体。地质条件的优良程度是决定城市地下空间施工和运营能否顺利进行的前提。地质环境制约人类工程活动,反过来人类工程活动进一步影响地质环境。在城市地下空间开发利用的过程中,不仅要最大限度利用地下空间资源,还要协调人类工程活动与地质环境的关系,不能剜肉补疮,为了改善城市用地矛盾而破坏了地质环境,从根本上破坏了城市的可持续发展。

从目前我国城市地下空间的开发利用现状来看,由于规模大、工期紧等,许多城市的地

下空间工程在施工以前都没有进行充分的地质勘察,更没有对各类城市地下空间的地质条件进行评价,以致在施工过程中以及正常运营期间都出现过或多或少的工程地质和环境地质问题。例如在施工建设过程中遇到的基坑突水、基坑边坡失稳(郭海生等,2007),基坑降水导致渗透变形以及周围地面变形问题(周宏磊等,2011),岩溶塌陷和突水(卢耀如和刘琦,2009;钟洛加等,2009),地铁隧道开挖过程中洞室围岩坍塌(吴文博等,2013),地面沉降、渗透变形以及导致的附近建筑物变形开裂(严学新等,2004),地下水串层污染(周宏磊等,2011;郑国明,2013);地下工程正常运行过程中地面沉降(王初生等,2005;沈小克等,2010),活动断层和地裂缝对地下工程的破坏(闫文中,1998;王景明,2000),地下水环境恶化(张惠平,2005)等问题,在我国城市地下空间开发利用中频繁发生。

因此,对地质条件进行评价是城市地下空间开发利用的前提,是其施工和运营能够顺利进行的重要保障。

§ 1.2 发展现状与存在的问题

我国政府历来重视城市地下空间开发利用的地质条件评价工作。住房和城乡建设部2016年制定的《城市地下空间开发利用“十三五”规划》中,明确规定“编制城市地下空间规划,应当具备国家规定的勘察、测绘、气象、地震、水文、环境等基础资料”。国土资源部近年来规定城市地质调查必须对城市的地下空间资源进行调查,对地下空间开发利用的地质条件进行评价,并从2016年开始进行专门的城市地下空间资源的地质条件调查和评价工作。

目前规划部门和学者对城市地下空间的地质条件评价,主要是利用层次分析法和模糊评判法等,将地下空间开发利用的影响因子如地形地貌、地质构造、岩土体类型及其工程性质、水文地质条件和不良地质现象等进一步细分为不同地质条件,然后利用一定的规则和评分标准对各地质条件打分,并利用一定的数学模型得出评价区各个区域内的总得分,最后根据总得分将评价区分为城市地下空间开发利用地质条件优、良、中、差区(贺成斌,2004;欧刚,2008;黄于新等,2009;徐军祥等,2012;吴文博等,2013;彭雅婷和马悦明,2013;胡学详,2014;杨明等,2016;刘运来等,2017)。近年来,也有学者考虑到各地下空间类型的地下深度不同而分别进行深、中和浅层的地质条件评价(史玉金等,2016)。国土资源部对我国各大中型城市实施的地下空间地质条件评价,最终的成果也都是以此类形式呈现。图1-1为采用层次分析法对洛阳市地下空间开发利用的地质条件评价结果。

此类评价理论与方法存在如下问题:

(1) 各类地下空间如地下铁路、地下商业街、地下市政管线等开发利用所需要的地质条件(或者说最适宜和不适宜的地质条件)各不相同,综合评价所得的笼统结果没有针对各类地下空间对地质条件需求的特殊性,因此,不适用于所有甚至任何地下空间类型。

(2) 不同深度地质体的地质条件不一样,各类地下空间所处的深度也不一样。上述评价方法没有考虑地质体的深度变化对特定地下空间类型开发利用的影响,所得评价结果可信度不高,实用性不强。

(3) 分区评价所得优、良、中、差区,对城市地下空间的规划、设计和施工指导性不强。例如,在优和良区中设计和施工时适宜的地质条件是什么?会不会遇到工程地质问题?

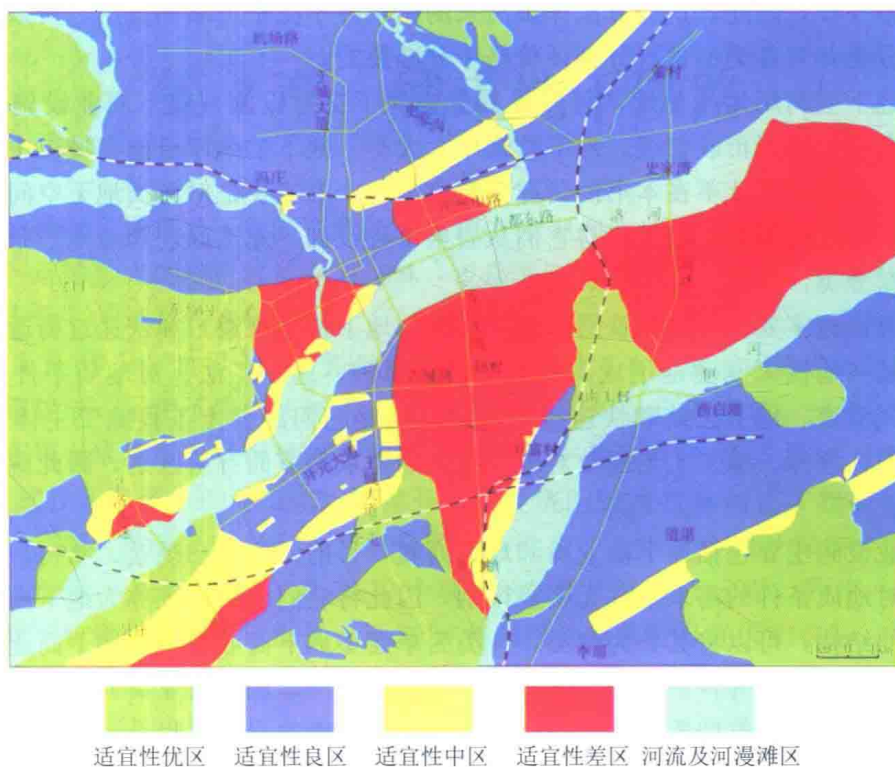


图 1-1 采用层次分析法对洛阳市地下空间开发利用的地质条件评价结果

在中和差区中不适宜的地质条件是什么？在施工和运营过程中会遇到什么工程地质和环境地质问题？应该采取什么应对措施？这些是地下空间规划、设计、施工和运营过程中的关键问题，上述评价方法均不能得出有明确指导意义的结果。

(4) 上述评价方法只考虑了客观的地质条件，而没有与现在的岩土工程施工技术方法联系起来，导致其评价结果可靠性存疑。城市地下空间的地质条件适宜程度其实主要取决于岩土工程施工的难易程度，因此客观的地质条件和主观的施工技术方法是地质条件评价中不可或缺的两个方面。只考虑前者而忽略后者导致评价结果较为片面。

综上所述，目前我国城市地下空间开发利用的地质条件评价理论和技术方法，远远落后于实际建设的需求。

针对上述评价理论与方法中的缺陷，以各地下空间类型本身对地质条件的需求为标准，本书首先将它们进行分类，然后分别总结各地下空间类型在不同地质条件下进行岩土工程施工和运营过程中可能出现的工程地质和环境地质问题，并提出应对措施。最后将这些理论应用于各类城市地下空间的地质条件评价中。这种基于地下空间岩土工程施工技术与方法的地质条件分类评价理论与方法，相对于传统的层次分析法更加具有针对性和实用性。

§ 1.3 分类评价的必要性以及城市地下空间分类

如 § 1.2 节中所述，目前的城市地下空间地质条件评价理论和方法均为综合性评价，没有对城市地下空间进行分类评价。但是，各类地下空间对地质条件的需求不一致，且它们所

处的深度也不一样,因此,这些方法评价出来的结果并不完全可靠和实用。所以,对城市地下空间进行分类并对各类型进行分别评价是十分必要的。

从城市地下空间用途的角度,可以将其分为地下交通设施、地下商业设施、地下居住区、地下停车场、地下市政管线、地下贮藏库六大类。地下贮藏库目前在城市中并没有得到大规模的开发利用,因此不在本书的研究范畴之内。本书主要是对各类地下空间开发利用的地质条件适宜性进行研究,因此要将它们从岩土工程设计、施工原理和对地质条件的需求等角度进行重新分类。

地下交通设施主要包括地下铁路、地下公路(地下快速交通)和快速过街通道,其中地铁由地铁车站和地铁区间隧道组成,两者的设计原理、施工工法、对地质条件的需求均不同;地铁区间隧道、地下公路和快速过街通道,虽然它们的岩土工程施工主体均为隧道开挖,但是它们在埋深、施工工艺以及对地质条件的需求等方面有所区别,因此应该对它们分别进行研究。

地下商业设施主要包括地下商业街和地下商城,目前,两者在规模、结构、岩土工程设计、施工和对地质条件的需求上并无明显区别,因此将它们合并,统称为地下商业街。根据地下商业街的结构,可以将其分为两类:一类为单建型地下商业街,即地下商业街的上方为城市广场、绿地或街道等;另一类为附建型地下商业街,即地下商业街为地面高层建筑的地下室,或直接为地面建筑的箱型基础。这两类地下商业街的岩土工程设计原理、施工工艺及流程不一样,对地质条件的要求也不尽一致,因此,应对这两类地下商业街分别进行研究。

目前的地下居住区多为地面高层建筑的地下室,即为附建型,其结构、设计与施工原理、对地质条件的需求与附建型地下商业街是一致的,因此本研究将地下居住区与附建型地下商业街合并。

地下停车场可以分为单建型和附建型,它们的结构、设计原理与施工工艺、对地质条件的需求与单建型、附建型地下商业街是一致的,因此本研究将地下停车场和地下商业街合并。

地下市政管线的埋设,可以分为传统布局铺设和共同沟铺设,它们在结构、设计和施工原理、对地质条件的需求上均有所区别,因此,应对它们分别进行研究。

综上所述,从地质条件适宜性角度,可以将此次研究的对象分为地下交通设施(地铁、地下公路和快速过街通道)、地下商业设施(附建型和单建型地下商业街)和地下市政管线(传统铺设和共同沟)三个大类、七个小类。

第2章 城市地下铁路

地铁建设带动了城市地下空间资源的大规模开发利用。地铁交通既是一种快速、准点、安全、舒适、运输量大的城市客运交通工具，也是节约用地、减少污染、立体分流、综合高效解决“城市病”的最有效途径之一。

1863年1月10日，世界上第一条地铁采用明挖法施工在伦敦建成通车；1890年，伦敦的第二条地铁建成，采用了盾构法施工。到20世纪上半叶，已有伦敦、纽约、芝加哥、巴黎、柏林、东京、维也纳等城市建成了地铁。我国第一条地铁于1965年7月在北京动工，于1971年正式投入运营。20世纪90年代开始，经济的快速发展加速了我国的地铁建设，地铁建设进入高潮，截至2010年10月，全国已有北京、上海、广州、深圳、南京、天津、重庆、武汉、长春、大连、成都、沈阳12个城市的轨道交通投入运营。另外，全国已有29个城市获得地下轨道交通的建设批复，至2020年路线规划总里程将达6100km，所需地铁车辆将超过3万辆（梁波等，2008；曹平和王志伟，2013）。

§ 2.1 地铁的平面分布形态与构成

2.1.1 城市地铁的平面分布特征

地铁的平面分布形态有单线单环式、放射式、棋盘式（曹平和王志伟，2013）。

(1) 单线单环式。单线单环式主要用于城市人口不多，对运输量要求不高的中小城市。单环式路网将线路封闭成环，可以减少机车折返。但单线单环式路网有其缺陷，即不能疏散和吸引人流量，当客流量较大时线路运输能力不够。

(2) 放射式。放射式又称辐射式，是将单线式地铁网汇集成一个或多个中心，通过换乘站从一条线路换乘到另一条线路。放射状线路网的缺点是线路之间换乘不方便，增加了中心换乘站的运输量。为了解决这一问题，在放射式路网基础上建设一些环线，就形成了蛛网式路网。

(3) 棋盘式。棋盘式由数条纵横交错布置的线路网组成，大多与城市道路走向吻合。此路网的特点是客流量分散，增加换乘次数，车站设备复杂。

2.1.2 地铁的构成

地铁由地铁车站和连接车站的区间隧道构成。

地铁车站（图2-1）是提供乘客上下车和换乘、候车的场所，一般包括供乘客使用的设施、运营管理设施、技术设备设施和生活辅助设施四大部分。地铁车站位置通常设在客流量大的地方，如商业中心、地面交通枢纽等，以便能更大限度地吸引客流和方便乘客。地铁车站的设计应保证乘客使用安全、方便并具有良好的内部和外部环境条件。其总体设计应妥善处理与城市规划、城市其他交通、地面建筑、地下管线、地下建（构）筑物之间的关系；

车站的形式、规模、建筑装修标准应根据预测的长远客流量大小、所处位置的重要性以及长远发展规划等因素来确定。

地铁区间隧道(图 2-2)是地铁列车运行的空间,属于地铁交通系统中的动态交通部分。地铁区间隧道的功能要求比较单一,主要是列车运行及安全检查用的各种设施,如轨道、通信及信号用电缆、排水沟、照明、通风设备等。



图 2-1 地铁车站



图 2-2 地铁区间隧道

§ 2.2 地铁的岩土工程施工技术与流程

本书对地铁的研究,主要是研究地铁开发利用过程中的地质条件适宜性,因此,本书主要论述与地质条件评价相关的岩土工程施工技术和流程,为后续的地质条件评价作铺垫。在地铁的施工过程中,岩土工程施工主要包括地铁车站的基坑开挖和地铁区间隧道开挖,施工方法主要有明挖法、盖挖法和暗挖法,其中暗挖法又分为钻爆法、盾构法、全断面岩石隧道掘进机(TBM)法、浅埋暗挖法、顶管法和沉管法等(梁波等,2008;钟春玲和叶增,2011)。下面将分别介绍地铁车站基坑开挖和地铁隧道施工中常用的工法。

2.2.1 地铁车站基坑的主要施工技术与流程

目前城市地铁车站的基坑开挖主要以明挖法和盖挖法为主。

2.2.1.1 明挖法

明挖法(图 2-3)就是在地表开挖基坑,修筑衬砌和地下建筑结构之后,利用土石回填地下建筑顶部与地面之间的部分空间,以恢复原有地面设施的一种施工方法(钟春玲和叶增,2011;钱逢龙,2011)。我国最初的北京地铁北京站到苹果园站一期工程,车站就是采用明挖法修建的。

明挖法的技术优点是施工技术简单、快速、经济,修建于地层表面附近(浅埋)的地下工程多利用明挖法,包括地下商场、地下街、地下停



图 2-3 明挖法施工现场

车场、地铁、人防工程及地下工业建筑等。这类工程结构的建造，实际上采用的是一种“敞开式”的施工方法，与地面结构的建造方法类似，在主体结构完成后，掩土覆盖，恢复地面。但缺点也很明显，如阻断交通时间较长，噪声与振动等对环境影响较大。

根据基坑开挖深度和场地工程地质条件，明挖法可分为放坡开挖和有支护结构的开挖。地铁车站一般较深，放坡开挖时岩土体难以自稳，常采用有支护结构的开挖方式。支护方式主要有地下连续墙支护、排桩支护、水泥土挡土墙支护、土钉墙和锚杆墙支护等（杨党校和詹浩伟，2009；迎春，2010；许勇，2011）。

2.2.1.2 盖挖法

随着城市经济的发展，地面交通、地下管线不断增加，工程建设周围环境越来越复杂。采用明挖法施工容易破坏地面，中断交通且拆迁工作量大；同时施工产生的噪音、振动等也会严重干扰居民的 life 和工作。为了尽可能地减少对地面交通和附近居民的干扰，可以使用盖挖法开挖基坑。

盖挖法是一种先做钻孔灌注桩或连续墙作为支护结构，再做桩或墙顶纵梁和盖顶板跨越基坑以恢复路面（图 2-4），然后进行主体结构施工的方法。根据开挖和结构施工顺序的不同，盖挖法又可分为盖挖顺作法和盖挖逆作法两类。盖挖法是一种比较快速、经济、安全的施工方法。



图 2-4 地铁站盖挖法施工现场

2.2.1.3 施工关键技术

为了保证地铁施工和运营过程中的安全性，在基坑开挖和结构施工过程中要处理好以下 4 类关键技术：基坑边坡支护技术、基坑降排水技术、基础类型的选择和基础抗浮技术。

2.2.1.3.1 基坑边坡支护技术

(1) 放坡开挖技术。基坑自上而下分层分段依次开挖，分段成坡，必要时采用水泥黏土护坡。适用于场地开阔和地质条件较好（岩土体能够自稳）的情况。基坑边坡放坡处理现场如图 2-5 所示。



图 2-5 基坑边坡放坡处理

(2) 地下连续墙支护技术。地下连续墙是沿着深基坑周边挖出一条具有一定宽度与相当深度的沟槽，在槽内放入钢筋笼并灌注混凝土形成连续墙，以便基坑开挖时防渗、挡土，作为邻近建筑物基础的支护以及直接成为承受直接荷载的基础结构的一部分。地下连续墙不仅能承受较大荷载，同时具有隔水效果，在软弱的冲积层、中硬地层、密实的砂砾层以及岩石地基中都可施工，

在软土和松散含水地层中尤为有效。

(3) 排桩支护技术。排桩支护是指由成队列式间隔布置的钢筋混凝土人工挖孔桩、钻孔灌注桩、高压旋喷桩、钢板桩、打入预制管桩等组成的挡土支护结构。根据排桩支护结构形式的不同,可分为悬臂式排桩支护结构、内支撑排桩支护体系、桩锚支护体系。其中,悬臂式排桩一般适用于场地土质较好,有较大的 c 、 φ 值,开挖深度浅且周边环境对土坡位移要求不严格的基坑支护中。内支撑排桩支护体系是以排桩与内支撑相结合来支撑基坑边坡。内支撑体系一般有型钢支撑、钢管支撑、钢筋混凝土梁支撑等,适用于对周围环境保护及变形控制要求较高的深基坑支护工程。桩锚支护体系是将锚杆与桩、墙连接来增强支护能力、控制基坑变形的支护方法,适用于周边环境比较宽敞,地下管线少且没有不明地下障碍物,平面尺寸较大,具有密实砂土、粉土、黏性土等稳定土层或稳定岩层的深基坑支护工程。排桩支护体系如图 2-6 所示。

(4) 水泥土挡土墙支护。水泥土挡土墙是由水泥土搅拌桩两两相互搭接而形成的连续墙体状的固结体,并以其自身强度来抵抗土、水压力,形成重力式的挡土结构。一般采用特定施工设备,将土、水泥或石灰进行原位深层搅拌,待其硬化形成坚硬固结体,达到加固基坑边坡和形成止水帷幕的功效。一般适用于各种成因的饱和软黏土、淤泥、淤泥质土等软土地基,基坑开挖深度不宜大于 6m,不适用于厚度较大的可塑及硬塑以上的软土、中密以上的砂土。利用水泥土搅拌桩形成的挡土墙支护结构如图 2-7 所示。



图 2-6 排桩支护体系



图 2-7 水泥土挡土墙支护结构

(5) 土钉支护。土钉支护就是以土钉作为主要受力构件的边坡支护技术,它由密集的土钉群、被加固土体表面喷射的混凝土面层和必要的防水系统组成。土压力通过土钉传递至粉土、砂和卵砾石等工程性质较好的岩土层中,从而起到加固边坡的作用。土钉支护示意图如图 2-8 所示。

(6) 锚杆(索)支护。锚杆(索)支护是用金属件、聚合物件或其他材料制成杆柱或索,将潜在不稳定岩土体与稳定岩土体固定在一起,以达到加固不稳定岩土体的目的。锚杆(索)与土钉的支护形式相似,但二者的工作

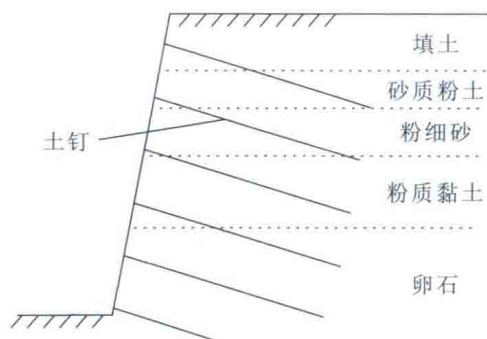


图 2-8 土钉支护示意图