

国家“十一五”科技支撑计划课题资助

城市地下空间新技术 应用工程示范精选

朱合华 等 ◎ 编著

中国建筑工业出版社

国家“十一五”科技支撑计划课题

城市地下空间新技术 应用工程示范精选

朱合华等 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市地下空间新技术应用工程示范精选/朱合华等编著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2011.6

ISBN 978-7-112-13215-7

I. ①城… II. ①朱… III. ①城市建设-地下工程-工程施工-新技术应用-研究-中国 IV. ①TU984.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 086451 号

本书对近几年来国内典型的运用新技术的综合性示范地下空间开发利用建设工程进行了分析。重点分析了地下空间开发投资模式、建筑技术、施工技术、环境质量保证技术、防灾减灾技术及地下空间建设综合技术在不同类型的城市地下工程中的示范应用。本书包括了 14 个范例工程, 每个工程都包括工程概况、技术应用情况及总结三部分。内容丰富, 对从事地下空间建设的设计施工管理人员有很好的参考作用。

* * *

责任编辑: 王 梅 咸大庆

责任设计: 董建平

责任校对: 肖 剑 姜小莲

国家“十一五”科技支撑计划课题资助
城市地下空间新技术应用工程示范精选
朱合华等 编著

*

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
北京天成排版公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 $\frac{3}{4}$ 字数: 390 千字

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-13215-7
(20617)

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)

《城市地下空间新技术应用工程示范精选》

编 委 会

主 编：朱合华

副主编：范庆国 傅德明 衡朝阳 张季超 陶连金
刘新荣 闫治国

编委会（以汉语拼音排列为序）：

白廷辉	陈 庆	范庆国	傅德明	衡朝阳
黄美群	雷华阳	李 鹏	梁 利	刘新荣
毛利勤	庞永师	沈 佳	孙曦源	陶连金
滕延京	王庆国	吴小建	武亚军	许 勇
许有俊	徐 旭	闫治国	颜正红	张季超
张孟喜	郑 刚	周 智	朱合华	朱泽兵

参 编 单 位

同济大学
中国建筑科学研究院
上海申通轨道交通研究咨询有限公司
广州大学
上海建工(集团)总公司
北京城建设计研究总院
北京工业大学
上海大学
重庆大学
天津大学

前 言

本书是在国家“十一五”科技支撑计划课题“城市地下空间建设工程化技术开发(2006BAJ27B05)”的资助下完成的。

进入 21 世纪后,我国面临大规模开发利用地下空间资源、加速推进城市现代化进程的历史机遇,城市地下空间开发利用的数量、类型、规模都快速增长。我国目前已成为城市地下空间开发利用的大国,是世界上地下空间开发利用研究的热点区域。在此背景下,为了推进我国城市地下空间开发利用新技术的工程化集成应用,并为我国城市地下空间开发利用中新技术的推广应用起到积极的示范效应和支撑作用,经协商组织编写出版了本书。

本书精选了课题组在我国北京、上海、广州、天津、宁波、重庆等不同地区建设的 14 项典型城市地下空间示范工程,涵盖了地下空间综合开发、轨道交通、市政工程以及地下道路工程等不同类型、不同规模的地下空间开发利用形式。通过这些示范工程,一方面集中展现了诸如大深度气压沉箱施工技术在内的单项新技术的示范应用以及包括大型枢纽站施工技术、盖挖逆作法施工技术、地下空间施工相互影响控制技术及深基坑钢支撑复合支护技术等在内的地下空间开发利用技术的集成示范应用;另一方面,这些示范工程在开发利用模式、设计建造及运营管理等方面的新理念、新方法也为今后类似工程提供了借鉴。

本书由同济大学、中国建筑科学研究院、上海申通轨道交通研究咨询有限公司、广州大学、上海建工(集团)总公司、北京城建设计研究总院、北京工业大学、上海大学、重庆大学以及天津大学等单位专家学者编写。在本书的组织 and 编写过程中,得到了示范工程建设、管理、设计、施工等各单位的大力支持和帮助,限于篇幅,不一一列出,在此谨表衷心谢意。

感谢中国建筑工业出版社对本书出版发行的大力支持以及所作的辛勤工作。

书中不足之处,恳请读者批评指正。

2011 年 4 月

目 录

1 概述	1
2 示范工程一：北京白石桥南站工程	3
2.1 工程概况	3
2.1.1 工程简介	3
2.1.2 周边环境条件	4
2.1.3 岩土工程条件	4
2.1.4 设计要求及参数	5
2.1.5 主要施工项目	8
2.1.6 施工顺序	8
2.2 技术应用情况	9
2.2.1 相邻建筑物地基基础变形控制标准应用	9
2.2.2 地下管线保护技术集成应用	11
2.2.3 交通导改及军便桥施工技术应用	12
2.2.4 复杂地层大直径灌注桩施工技术应用	15
2.2.5 大断面竖井型深基坑钢支撑复合支护技术应用	19
2.3 总结	28
3 示范工程二：天津站交通枢纽工程后广场工程	30
3.1 工程概况	30
3.1.1 天津站交通枢纽工程后广场工程简介	30
3.1.2 岩土工程条件	34
3.1.3 施工中面临的主要岩土工程问题	37
3.2 技术应用情况	37
3.2.1 抽水试验分析及参数反演	37
3.2.2 天津站交通枢纽工程后广场 I 标段的降水分析及应用	40
3.2.3 超深基坑施工环境与结构稳定基准建议	44
3.2.4 超深、超厚地下连续墙施工技术应用	45
3.3 总结	51
4 示范工程三：上海轨道交通徐家汇枢纽站工程	52
4.1 工程概况	52

4.1.1	9 号线车站	53
4.1.2	11 号线车站	53
4.1.3	换乘大厅和地下通道工程	54
4.2	技术应用情况	55
4.2.1	9 号线车站工程利用原地下车库改建技术开发应用	55
4.2.2	11 号线车站工程超深基坑施工技术	60
4.2.3	换乘大厅和通道施工技术	61
4.2.4	利用港汇广场地下空间的补偿方案	63
4.3	总结	65
5	示范工程四：上海轨道交通世纪大道四线换乘枢纽站工程	66
5.1	工程概况	66
5.2	技术应用情况	67
5.2.1	四线换乘枢纽站方案	67
5.2.2	“丰”字形四线换乘枢纽站的结构设计和施工	67
5.2.3	原东方路站 35m 范围顶板、侧墙结构改建	68
5.2.4	解决穿越段站厅层承受 6 号线列车荷载的设计	73
5.2.5	9 号线车站深基坑施工实施和相邻车站结构安全保护监测	73
5.2.6	换乘车站之间的连接通道数量及宽度计算	73
5.2.7	侧向连通道的设计及加固措施	74
5.2.8	施工监控	75
5.3	总结	78
6	示范工程五：上海轨道交通 7 号线常熟路车站工程	79
6.1	工程概况	79
6.2	技术应用情况	80
6.2.1	新型盖挖法施工流程	80
6.2.2	水平支撑体系的设计	82
6.2.3	临时路面体系的设计及构建	84
6.2.4	常熟路车站盖挖法施工流程	85
6.2.5	新型盖挖法其他相关技术	88
6.2.6	施工监控	90
6.3	总结	92
7	示范工程六：上海轨道交通 7 号线 12A 标南浦站—耀华站中间风井工程	94
7.1	工程概况	94
7.2	技术应用情况	96
7.2.1	气压沉箱技术分析	96
7.2.2	现代气压沉箱设备系统	97

7.2.3 3D地貌与信号监测技术	99
7.2.4 气压沉箱结构设计技术	102
7.2.5 现代气压沉箱工艺与施工技术	103
7.3 总结	104
8 示范工程七：上海 500kV 世博变电站工程	106
8.1 工程概况	106
8.1.1 建筑概况	106
8.1.2 周边环境	107
8.1.3 工程地质条件	108
8.2 工程特点及难点	110
8.2.1 工程特点	110
8.2.2 工程难点	110
8.3 技术应用情况	112
8.3.1 超深地下连续墙施工技术	112
8.3.2 超深高压旋喷桩旋喷注浆施工技术	113
8.3.3 超长钻孔灌注桩施工技术	114
8.3.4 超长桩侧壁注浆技术	114
8.3.5 一柱一桩施工技术	115
8.3.6 超深地下空间逆作法取土技术	119
8.3.7 超深基坑降水和承压水控制技术	120
8.3.8 大面积逆作清水混凝土施工技术	122
8.3.9 地下变电站结构防水施工技术	125
8.3.10 深基坑数字化技术	127
8.4 总结	132
9 示范工程八：上海轨道交通人民广场枢纽工程	134
9.1 工程概况	134
9.1.1 人民广场车站	134
9.1.2 下沉式广场	135
9.1.3 人民大道过街地道	136
9.1.4 南京路地下人行通道	137
9.1.5 大三角换乘大厅	137
9.2 技术应用情况	138
9.2.1 运营车站单侧卸载变形控制	138
9.2.2 运营区间隧道上方基坑开挖变形控制	139
9.2.3 运营区间隧道单侧卸载变形控制	140
9.2.4 运营车站结构大面积微损开洞安全与变形控制	141
9.2.5 聚丙烯纤维混凝土试验	142

9.2.6	新老地下结构连接及防水技术	142
9.2.7	半幅车站结构逆作施工工艺	143
9.2.8	地下管线原位保护技术	144
9.2.9	钢筋混凝土支撑拆除的噪声控制	145
9.2.10	钢筋混凝土支撑拆除的振动控制	145
9.3	总结	146
10	示范工程九：上海轨道交通 7 号线浦江耀华站工程	148
10.1	工程概况	148
10.1.1	工程简介	148
10.1.2	建筑与结构概况	148
10.1.3	围护概况	148
10.2	技术应用情况	151
10.2.1	一体化围护模式施工技术	151
10.2.2	对已建端头井结构及区间隧道的保护技术	156
10.2.3	以“兼容、同步”为核心的施工组织技术	160
10.3	总结	163
11	示范工程十：天津小白楼音乐厅及地下空间开发工程	164
11.1	工程概况	164
11.1.1	建设地点	164
11.1.2	用地面积	165
11.1.3	建设规模及设计范围	165
11.1.4	功能布局	165
11.1.5	工程地质及水文地质条件	166
11.1.6	主要施工工艺	168
11.1.7	工程特点及难点	169
11.2	技术应用情况	169
11.2.1	盖挖逆筑法	169
11.2.2	AM 工法桩	170
11.3	总结	171
12	示范工程十一：宁波福庆路—宁穿路城市道路工程(二期)地下工程	172
12.1	工程概况	172
12.1.1	建设地点	172
12.1.2	建设内容	173
12.1.3	总平面布置	174
12.1.4	指导思想和设计原则	175
12.1.5	工程进展	176

12.1.6 工程特点及难点	177
12.2 技术应用情况	177
12.2.1 建筑布局、结构体系及主要特点	177
12.2.2 地下工程的抗浮及明挖基坑设计	180
12.3 总结	187
12.3.1 社会效益	187
12.3.2 经济效益	187
13 示范工程十二：重庆轻轨佛图关一大坪区间隧道及大坪车站隧道工程	188
13.1 工程概况	188
13.1.1 工程简介	188
13.1.2 技术难点	189
13.1.3 需解决的关键问题	190
13.2 技术应用情况	191
13.2.1 进洞方案的研究	191
13.2.2 特大跨超浅埋、特大断面、高边墙、结构扁平车站隧道开挖和支护技术	192
13.2.3 大拱脚围岩保护和大拱脚拱墙接合部防水板铺设和钢筋连接方法	194
13.2.4 相邻洞室平行施工相互影响	195
13.2.5 大体积混凝土施工和大断面衬砌台车的制作	195
13.2.6 地表复杂条件下特大断面，特大跨浅埋隧道地表沉降的控制	195
13.2.7 地表复杂条件下爆破振动控制方法	196
13.2.8 信息化施工方案	197
13.3 总结	198
14 示范工程十三：广州大学城综合管沟	200
14.1 工程概况	200
14.1.1 工程简介	200
14.1.2 岩土工程条件	201
14.2 综合管沟工程系统方案	201
14.2.1 指导思想	201
14.2.2 遵循的技术原则	201
14.2.3 综合管沟内纳入的管线种类	202
14.3 综合管沟工程方案	203
14.3.1 综合管沟规划设计方案	203
14.3.2 综合管沟工程建设	205
14.4 综合管沟工程的特点及难点	205
14.4.1 周边地下环境	205
14.4.2 开发投融资模式	207
14.5 新技术集应用情况及效果	207

14.5.1	建筑设计	207
14.5.2	防灾减灾技术	211
14.5.3	施工技术	214
14.6	总结	216
15	示范工程十四：广州珠江新城核心区地下空间开发工程	218
15.1	工程概况	218
15.1.1	工程简介	218
15.1.2	岩土工程条件	220
15.2	技术应用情况	221
15.2.1	开发建设投融资模式及运营管理模式	221
15.2.2	地下设施及交通规划设计	222
15.2.3	环境质量保障技术	223
15.2.4	防灾减灾技术	224
15.2.5	施工技术	231
15.3	总结	241

1 概 述

可持续发展是城市建设和未来城市发展的基本原则，建设可持续发展的城市必须大力开发和利用城市地下空间资源。人类对于地下空间的开发利用有着悠久的历史，按时间和经济发展的先后分为市政基础设施、地下轨道交通、环境协调与深化开发这三个建设需求阶段，其中，城市大规模的地下轨道交通建设使地下空间开发进入快速发展时期。

第一次工业革命以后，城市化水平的迅速提高，使城市人口大量增加，并远远超过了城市原有基础设施的承载能力，为解决这一问题，工业化较早的国家开始了以建设现代城市基础设施为主的地下空间开发利用，如地下供排水系统、共同沟、地下仓储等。第二次世界大战以后，世界经济秩序得到了迅速的恢复和发展，同时城市化水平也得到了极大的提高，与此相伴的交通问题成为这一阶段主要的城市问题。为此一些经济快速发展的城市开始大规模地建设城市快速轨道交通体系，并形成了世界范围内地下空间开发利用的高潮，如地铁、地下停车场、地下街、地下大型综合体等。20 世纪 80 年代以后，随着可持续发展观的提出，加之发达国家城市化水平趋于稳定、城市基础设施趋于完善，为建设人与自然充分协调的城市环境，许多城市将影响城市环境的设施逐步转入地下建设，如地下工厂、地下污水处理厂、地下道路、地下文化体育设施等。这一时期发达国家地下空间开发利用呈现出新的趋势，即充分利用地下空间资源提高城市土地资源利用效率，改善城市生态环境。

我国现代城市地下空间开发利用源于人民防空工程。1978 年召开了第三次全国人防工作会议，提出了“平战结合”的人防工程建设方针，对既有人防工程进行改造，在和平时期可以有效利用；新建工程必须按“平战结合”的要求进行规划、设计与建设。1986 年 10 月国家人防办和建设部联合召开了全国人防建设与城市建设相结合座谈会，进一步明确了人防工程平战结合的主要方向是与城市建设相结合。1997 年 12 月建设部颁布了国家层面的法规《城市地下空间开发利用管理规定》，明确了“城市地下空间规划”是城市总体规划的重要组成部分，有效地推动了全国大中城市地下空间的开发利用。同时，我国一些地下空间开发利用需求旺盛的省份与城市，也制定了各自的管理规定，如《上海市地下空间规划编制导则》、《天津市地下空间规划管理条例》、《深圳市地下空间开发利用暂行办法》等。针对地下空间的开发利用，上海、北京、青岛、深圳、广州、厦门、杭州、无锡等 10 多个城市完成了地下空间概念规划和专项规划。进入 21 世纪后，我国面临进入大规模开发利用地下空间资源、加速推进城市现代化进程的历史机遇，城市地下空间的开发数量、类型快速增长，我国已成为城市地下空间开发利用的大国，是世界上地下空间开发利用研究的热点区域。从地下空间开发利用的进程来看，目前我国中小城镇地下空间的开发利用进入了市政基础设施需求阶段，大中城市进入了轨道交通需求阶段，而少数特大城市已进入了环境协调与深化开发的需求阶段。

“十一五”期间，在我国城市地下空间快速、大规模开发利用的背景下，为促进、引

导和规范我国城市地下空间的建设，围绕当前我国城市地下空间建设必须解决的突出问题，瞄准国际前沿，国家启动了“十一五”科技支撑计划重点项目《城市地下空间建设技术与工程示范》项目，对地下空间开发利用中涉及的最为迫切和突出的问题进行了若干专项技术的攻关研究。同时，考虑到城市地下空间资源具有无限性与制约性、层次性与不可逆性、致密性与稳定性、环境单一性四大特点，且地下空间开发利用对工程周期、工程质量、工程安全和工程效益有着较高的要求。由于城市地下工程自身的显著特点，决定了新技术在地下空间开发利用中的应用具有重要的意义，一项新技术的成功推广应用能带来巨大的社会效益和经济效益。

基于此，为了促进城市地下空间开发利用新技术的工程化集成应用，并为我国城市地下空间开发利用中新技术的推广应用起到积极的示范效应和支撑作用，课题“城市地下空间工程化技术开发”选择在北京、上海、广州、天津、宁波、重庆等不同地区建设了不同类型的城市地下空间示范工程，对地下空间开发利用中的大深度气压沉箱施工技术、异形管幕施工技术、盖挖逆作法施工技术、AM 扩底桩工法、地下空间施工相互影响控制技术、大型枢纽站施工技术及深基坑钢支撑复合支护技术进行了系统的集成应用示范。本书介绍了每项示范工程的工程背景及技术示范应用。

2 示范工程一：北京白石桥南站工程

工程建设地点：北京市海淀区首体南路

工程建设单位：北京市轨道交通建设管理有限公司

工程设计单位：中铁工程设计咨询集团有限公司

工程施工单位：总承包单位为北京城建集团有限责任公司

专业分包单位为建研地基基础工程有限责任公司

2.1 工程概况

2.1.1 工程简介

北京地铁 9 号线白石桥南站，呈南北向布置，位于首体南路与车公庄大街交叉口西北角，地面为人行步道、非机动车道和绿化带位置，为地下双层岛式(局部三层)车站，与同期实施的地铁 6 号线车站平面上呈“L”形，地铁 6 号线为地下三层岛式车站。交叉换乘节点 9 号线车站在上，6 号线车站在下。该基坑工程周边环境复杂，紧邻高耸建筑物，其换乘节点为大断面竖井型深基坑($44.5\text{m} \times 38.5\text{m} \times 26.0\text{m}$)，施工难度大，地下空间集成技术应用典型，具有示范作用。该工程自 2009 年 10 月正式开工，2010 年 7 月基坑工程已分段完成(图 2.1)。



图 2.1 白石桥南站工程全貌

北京地铁 9 号线白石桥南站车站为明挖施工岛式站台车站，车站主体结构全长 231.10m，为地下两层三跨两柱箱形框架结构，与地铁 6 号线换乘节点段为五跨四柱箱形结构，最厚覆土厚度约为 3.9m。车站主体除与主语城东侧出入口交叉段采用盖挖顺

作法施工外,其余均采用明挖顺作法。地铁9号线车站明挖标准段基坑宽度约22.2m,开挖深度约18.0m;与6号线换乘节点处基坑宽度为38.5~44.5m,开挖深度约26.0m。拟建场地自然地形基本平坦,自然地面标高为51.94~52.87m。基坑支护采用钻孔灌注桩-钢管内支撑-网喷混凝土护面的复合支护体系,如图2.2、图2.3所示。



图 2.2 换乘节点坑深-26.0m



图 2.3 标准段坑深-18.0m

2.1.2 周边环境条件

(1) 周边建(构)筑物

拟建白石桥南站场地西北角紧邻主语国际中心高层建筑林立,东北侧有国兴家园高层写字楼及住宅楼和中国机械进出口总公司等建筑,西南侧有市环境保护局、中国水利水电科学研究院办公楼。

(2) 地下管线

沿车公庄大街主要管线有:位于路中沟底埋深4.4m的4400×2100热力沟,与基坑净距2.3~3.1m;路中埋深2.7m的 $\phi 1250$ 雨水管;路北侧埋深1.66m的 $\phi 400$ 给水管;路中埋深11.47m的 $\phi 1050$ 天然气管。

沿首体南路主要管线有:位于路中管内底埋深2.7m的 $\phi 1250$ 雨水管,该雨水管与车站主体基坑水平净距1.17~3.76m;路中埋深5.75m的4400×2800热力沟;西侧辅路埋深1.2m的 $\phi 500$ 天然气管。

(3) 道路交通状况

施工区域附近路面车流量较大,人流量一般。呈东西走向的车公庄大街:道路宽为75m,双向6车道,是北京市城区交通干道;呈南北走向首体南路:道路宽65~95m,双向6车道。

2.1.3 岩土工程条件

2.1.3.1 地形地貌

自然地形基本平坦,地面为两条十字交叉的城市交通主干道,道路两侧高层建筑物林

立。建筑物自然地面标高为 52.12~52.87m。

2.1.3.2 岩土分层及其特征

本标段土层分布较为稳定，自上而下依次为厚度 0.60~5.90m 的人工堆积层及第四纪沉积层两大类，按地层岩性及其物理力学性质进一步分为 8 个大层及其亚层。根据钻孔钻探揭露与原位测试及室内土工实验结果，本车站主体及附属部分涉及的地层包括：杂填土①层，粉土填土①₁层；粉土③层，粉质黏土③₁层，黏土③₃层，粉砂、细砂③₄层；细砂、粉砂④层，粉土④₂层；卵石、圆砾⑤层，细砂⑤₂层；粉质黏土⑥层，黏土⑥₁层，粉土⑥₂层；卵石、圆砾⑦层，细砂⑦₁层。地层剖面如图 2.4 所示。

2.1.3.3 水文地质概况

本车站处于工程水文地质分区Ⅲb亚区。本场区在勘探期间(2007年1月下旬~2月上旬)于勘察深度范围内测到1层地下水为潜水，水位标高为20.05~20.33m(埋深32.20~32.50m)，含水层为卵石、圆砾⑨层。受季节性降雨入渗、管道渗漏的影响，拟建场区范围内的浅部地层(主要指砂卵石层中的黏性土、粉土层)中局部地段可能会形成上层滞水。

2.1.3.4 抗震设计条件

根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)、《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111—2006)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)，本车站场地抗震设防烈度为8度，设计基本地震加速度值为0.2g，设计地震分组为第一组。拟建车站自地面以下计算深度范围内(按33m)土层的等效剪切波速 $v_{se}=323\text{m/s}$ 。根据《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111—2006)，判别本车站拟建场地类别为Ⅱ类。

当地震烈度为8度且地下水位达到历年最高水位时，本场地自然地面以下20m深度范围内的饱和粉土及砂土不会发生地震液化。

2.1.4 设计要求及参数

2.1.4.1 本工程基坑支护结构设计基本要求

- (1) 本车站基坑侧壁安全等级为一级；
- (2) 桩顶水平位移控制在10mm以内；
- (3) 护坡桩桩体变形最大值控制在两层段为12mm，在三层段为18mm以内；
- (4) 护坡桩桩顶沉降最大值控制在10mm以内；
- (5) 车站换乘节点处基坑周边地表下沉控制在18mm以内；
- (6) 车站标准段基坑周边地表下沉控制在12mm以内；
- (7) 立柱沉降最大值控制在10mm以内；
- (8) 基坑周边地下管线沉降、建筑物沉降、倾斜及裂缝的最大值按权属单位要求进行控制；
- (9) 主体结构施工完成前，基坑周边地面超载不得大于20kPa。

2.1.4.2 基坑支护结构主要设计参数

基坑支护结构布置如图2.5、图2.6所示，其主要设计参数如表2.1~表2.3所示。

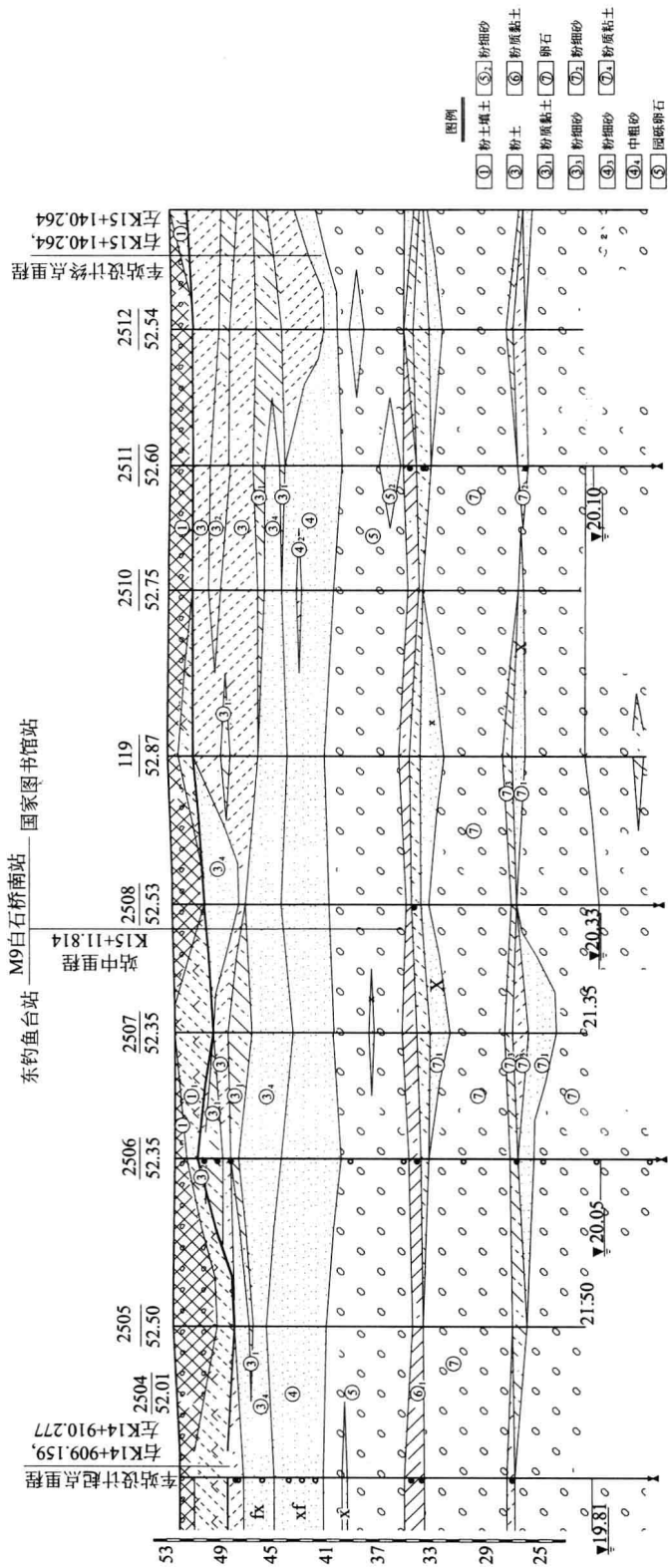


图 2.4 车站地层剖面图