

DUNGOU JISHU
LILUN YU SHIJIAN

盾构技术 理论与实践

主编 鲍绥意

副主编 关 龙 刘 军 张国京

中国建筑工业出版社

盾构技术理论与实践

主编 鲍绥意

副主编 关 龙 刘 军 张国京

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

盾构技术理论与实践/鲍绥意主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 5

ISBN 978-7-112-13950-7

I. ①盾… II. ①鲍… III. ①盾构法 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 005666 号

责任编辑: 李玲洁 田启铭

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 王雪竹

盾构技术理论与实践

主编 鲍绥意

副主编 关 龙 刘 军 张国京

*

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

北京千辰公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 534 千字

2012 年 5 月第一版 2012 年 5 月第一次印刷

定价: 56.00 元

ISBN 978-7-112-13950-7

(21982)

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)



《盾构技术理论与实践》编写委员会

主 编：鲍绥意

副 主 编：关龙 刘军 张国京

参编人员：（按姓氏笔画排序）

马志伟	王才庆	王云飞	王文治	王玉辉
王丙辉	王海涛	方依文	孔 恒	卢常亘
田建华	乐贵平	吕卫东	朱玉明	刘 盈
关 伟	杨永亮	李元晖	李志强	李青林
李国祥	李显峰	李祥兵	汪 波	汪 挺
沈 辉	张 汎	张涿娃	邵翔宇	周 政
周秀普	郑 昊	郑仔弟	孟学文	郭玉海
靳利军	翟来生	薛 彦		

序

北京采用现代盾构技术修建城市隧道始于1997年。当时北京市为解决酒仙桥地区污水治理问题，利用世界银行贷款建设酒仙桥污水处理厂及相应污水干线工程，原北京市政工程总公司经过两年多的技术论证，决定采用刀盘为辐条式的加泥式土压平衡盾构机修建亮马河污水干线截流工程，并获得成功，成为北京市最早采用现代盾构技术修建城市隧道的企业。随后2001年，北京市城建集团在北京地铁5号线雍和宫至北新桥区间开展盾构施工试验。盾构技术在北京的应用至今虽然只有十二年，但其发展建设前所未有，其应用范围几乎涵盖城市隧道的所有领域。作为一个盾构技术的喜爱者，我有幸亲历并见证了整个发展历程。值此北京市政集团主编的《盾构技术理论与实践》出版之际，我深感欣慰并衷心表达祝贺之意。

北京市政集团是一家技术力量雄厚、极富创新激情的大型国有施工企业。在这十二年里，他们潜心于北京地区盾构技术的发展研究和应用实践，创造了多项全国第一（如连续多月进尺超1000m，砂卵石地层一次掘进1300m等），施工技术居世界领先水平。《盾构技术理论与实践》是他们十二年的技术结晶，具有鲜明特色和代表性。北京市政集团将其奉献给社会，我由衷地感到钦佩。我相信，随着《盾构技术理论与实践》一书的出版，必将推动北京市盾构技术的进一步发展。

地下空间的开发与利用，是本世纪土木工程技术发展的重点，而北京市的工程地质和水文地质条件又为地下工程技术人员提供了很好的舞台，希望北京的盾构技术在大断面、大深度、多工法结合修建地下空间等方面取得重大突破，为人类造福。



2011年09月09日

目 录

第1章 盾构技术综述	1
1.1 北京盾构技术现状与发展趋势	1
1.1.1 北京地层与环境特点	1
1.1.2 北京市盾构技术应用现状	3
1.1.3 北京市盾构技术发展趋势	8
1.2 盾构掘进机引进技术	11
1.2.1 盾构机引进概述	11
1.2.2 引进盾构机的一般工作程序	12
1.2.3 设备招标前的准备工作	13
1.2.4 招标文件的编写	14
1.2.5 设备引进谈判的思路和技巧	15
1.2.6 签约合同中技术文件的编写	17
1.2.7 盾构机引进情况小结	17
1.3 盾构技术在北京的应用和发展	18
1.3.1 盾构技术在北京市的发展与应用水平	18
1.3.2 盾构技术在北京市的应用特点	21
1.3.3 北京市应用盾构法的几个技术问题	22
1.3.4 盾构技术发展建议	25
1.4 盾构施工技术在北京市的应用	26
1.4.1 北京盾构施工技术应用概述	26
1.4.2 盾构及盾构法	27
1.4.3 北京开发盾构施工技术的可行性及必要性	27
1.4.4 北京应用盾构技术与上海的差异	28
1.4.5 北京亮马河北路污水管道盾构施工技术	29
1.5 北京市政集团盾构技术发展展望	33
1.5.1 历史沿革	33
1.5.2 技术开发	34
1.5.3 盾构技术展望	36
第2章 盾构造型与机械	37
2.1 北京地区地铁隧道施工用盾构机选型	37
2.1.1 北京地区地质情况简介及地铁隧道结构形式	37
2.1.2 地铁施工用盾构机选型基本原则	38
2.1.3 盾构机选型考虑要素及注意点	38

2.1.4	盾构机机型选择	40
2.1.5	加泥式土压平衡盾构机的基本技术（配置）	42
2.1.6	北京地区地铁隧道施工用盾构机的几个关键问题	48
2.2	北京地铁四号线 14 标段盾构机选型	55
2.2.1	工程概况及水文地质条件	55
2.2.2	工程适用的机型	55
2.2.3	开挖系统的选型	57
2.2.4	其他附属系统的选用简介	59
2.3	土压平衡式盾构机	60
2.3.1	系统组成	60
2.3.2	主要技术参数	62
2.4	北京首台土压平衡盾构机的研制	63
2.4.1	北京市盾构技术研究与应用项目概况	63
2.4.2	内容与成果	65
2.4.3	主要成果	65
2.4.4	产业化	66
2.5	北京地区土压式盾构刀具的适应性分析	67
2.5.1	盾构刀具的开挖原理	67
2.5.2	切削式刀具的种类与适用条件	68
2.5.3	盾构刀具的合理配置	69
2.5.4	盾构切削刀具耐用度分析	70
2.5.5	提高盾构刀具耐用度的措施	73
2.6	盾构施工设备及附属设备的改进措施	73
2.6.1	盾构施工工程概况	73
2.6.2	设备改造方案简介	74
2.7	加泥式土压平衡盾构机及其配套技术研究	75
2.7.1	国内外盾构技术概况	76
2.7.2	设备研究与设计	76
2.7.3	工艺研究及工程试验	80
2.7.4	盾构机研究成果	81
2.8	IHI 盾构机刀盘的使用和维修	81
2.8.1	盾构机刀盘的作用	82
2.8.2	刀盘的分类及优缺点	82
2.8.3	IHI 盾构机刀盘刀具的种类、原理和功能	82
2.8.4	刀盘施工前后的对比参数	83
2.8.5	刀盘维修措施	84
2.8.6	施工期间所需要的设备和材料	85
第3章	盾构始发与到达技术	86
3.1	地铁盾构施工始发和接收的控制措施	86

3.1.1	工程概况	86
3.1.2	盾构始发控制措施	86
3.1.3	盾构接收控制措施	89
3.2	盾构机吊装下井技术	91
3.2.1	工程概况	91
3.2.2	盾构机规格	91
3.2.3	吊装前的准备	92
3.2.4	盾构机的吊装下井	94
3.2.5	监控量测	95
3.3	盾构吊装对竖井的实时监控量测	95
3.3.1	工程概况	95
3.3.2	监测目的及内容	95
3.3.3	测点布设及数据采集	96
3.3.4	盾构吊装监测数据处理及分析	97
3.3.5	监控量测总结	99
3.4	盾构隧道口旋喷加固对周边影响的分析	100
3.4.1	工程概况	100
3.4.2	地质及水文条件	100
3.4.3	西端头井盾构进出洞口处旋喷加固施工	101
3.4.4	旋喷加固对基坑围护结构变形的影响	102
3.4.5	旋喷施工对周围环境的影响	103
3.4.6	旋喷施工总结	103
第4章	盾构掘进技术及风险控制	104
4.1	土压平衡盾构掘进施工技术管理	104
4.1.1	土压平衡盾构掘进技术管理的构成	104
4.1.2	开挖管理	104
4.1.3	管片拼装管理	108
4.1.4	注浆管理	109
4.1.5	盾构隧道的线形管理	113
4.2	盾构施工测量方法	113
4.2.1	盾构法施工测量简介	113
4.2.2	盾构隧道施工测量	113
4.3	曲线段盾构施工的轴线控制	118
4.3.1	与曲线隧道盾构推进有关的几个概念	118
4.3.2	缓和曲线盾构推进轴线的坐标	119
4.3.3	圆曲线段盾构推进轴线的坐标	120
4.3.4	案例分析	121
4.4	土压平衡盾构施工中土的塑流化技术	123
4.4.1	土壤种类与塑流化状态	124

4.4.2	常用改良材料	124
4.4.3	改良材料选用	125
4.4.4	泥土的塑性流动性管理	127
4.4.5	塑流化技术小结	127
4.5	注浆技术在盾构施工中的应用	127
4.5.1	盾构施工壁后注浆工作原理	128
4.5.2	同步注浆施工技术	128
4.5.3	二次补注浆施工技术	131
4.5.4	注浆技术小结	133
4.6	背后注浆法在盾构施工中的应用	134
4.6.1	盾构施工引起地面沉降原因的分析	134
4.6.2	盾构工法中的背后注浆技术	134
4.6.3	双液同步注浆法的实际应用	135
4.6.4	工程完成情况	136
4.7	土压平衡盾构同步注浆浆液组成	137
4.7.1	注浆目的与浆液性能要求	137
4.7.2	水玻璃系浆液固化机理分析	138
4.7.3	浆液配比试验研究	139
4.8	盾构施工壁后注浆 C-S 浆液的研制与应用	143
4.8.1	C-S 浆液的组分构成	143
4.8.2	浆液的特点	143
4.8.3	浆液的反应机理	143
4.8.4	浆液的研制方法	144
4.8.5	浆液的一般配比	145
4.8.6	注意事项	146
4.9	北京地铁盾构隧道管片设计	146
4.9.1	修正惯用法和梁-弹簧法的理论基础	146
4.9.2	北京地铁盾构隧道管片设计实例	147
4.9.3	计算结果对比分析	150
4.10	地铁盾构法隧道管片设计	151
4.10.1	管片结构形式	152
4.10.2	管片的环境	154
4.10.3	封闭块管片插入搭接长度	156
4.10.4	管片设计建议	157
4.11	盾构隧道联络通道施工中管片纵向应力变化	158
4.11.1	工程概况	158
4.11.2	测试原理	158
4.11.3	管片应力监测分析	159
4.11.4	结论	162

4.12	隧道盾构曲线管片拼装技术在纠偏中的应用	162
4.12.1	纠偏时管片拼装技术的作用	162
4.12.2	管片结构及拼装形式	162
4.12.3	楔形量位置计算	163
4.12.4	施工方法	164
4.12.5	工程实例	164
4.13	北京地铁盾构管片拼装技术	165
4.13.1	工程概况	165
4.13.2	盾构管片制作	165
4.13.3	盾构管片拼装	165
4.14	北京地铁4号线14标段盾构隧道防水工程质量控制	169
4.14.1	工程概况	169
4.14.2	盾构隧道防水设计做法	169
4.14.3	盾构隧道施工防水质量控制要点	170
4.15	盾构隧道施工引起的地表沉降因素分析	173
4.15.1	地表沉降的影响因素分析	173
4.15.2	地表沉降的历时阶段分析	174
4.15.3	现场监测	174
4.15.4	监测数据分析	175
4.16	区间盾构隧道联络道施工对隧道结构和周围地层安全性影响的分析	175
4.16.1	工程背景	176
4.16.2	施工过程力学形态三维模拟分析	177
4.16.3	结论	180
第5章	盾构近接施工及风险控制技术	181
5.1	地铁盾构下穿古建筑地面沉降控制措施	181
5.1.1	工程概况	181
5.1.2	盾构施工地面沉降控制原理及重要性	181
5.1.3	盾构施工地面沉降控制措施	182
5.2	盾构隧道近距离侧穿高层建筑的影响	183
5.2.1	工程概况	183
5.2.2	数值计算	184
5.2.3	实测分析	186
5.2.4	结论	189
5.3	新建隧道与高层建筑间距变化对其基础沉降的影响	190
5.3.1	工程概况	190
5.3.2	数值计算分析	191
5.3.3	结论	194
5.4	双线盾构隧道穿越对既有结构变形的影响	194
5.4.1	盾构穿越既有建(构)筑物的影响研究现状	194

5.4.2	工程概况	195
5.4.3	数值模拟	195
5.4.4	数值模拟结果与监测结果对比分析	196
5.4.5	结论	196
5.5	盾构隧道斜交下穿地铁车站的影响与监测研究	197
5.5.1	工程概况	197
5.5.2	影响范围的理论预测	198
5.5.3	新建盾构隧道施工参数控制分析	198
5.5.4	既有地铁结构沉降监测	199
5.5.5	监测数据分析	199
5.5.6	结论	202
5.6	盾构法隧道下穿既有结构三维数值模拟分析	202
5.6.1	工程背景	203
5.6.2	盾构穿越车站数值模拟	203
5.6.3	实测结果	207
5.6.4	数值模拟分析小结	208
5.7	盾构隧道近距离小角度上穿已建暗挖隧道方案	208
5.7.1	盾构隧道通过前施作下方隧道二衬结构	209
5.7.2	最终采用的施工方案及隧道加固措施	210
5.7.3	型钢支撑体系的受力监测	212
5.7.4	结论	214
5.8	盾构穿越铁路的沉降综合控制技术	214
5.8.1	工程概况	214
5.8.2	土体变形对列车运行的影响	215
5.8.3	盾构穿越铁路时地面沉降的影响因素	215
5.8.4	穿越铁路的主要技术措施	218
5.8.5	加泥式土压平衡盾构穿越京九和柳西线的效果	220
5.9	盾构隧道穿越铁路沉降控制研究	221
5.9.1	工程概况与控制的变形基准	221
5.9.2	穿越铁路地层变形的控制要点分析	221
5.9.3	穿越铁路施工的数值模拟	222
5.9.4	地层变形实测分析	223
5.9.5	沉降控制综合措施	225
5.10	盾构下穿城铁线施工技术	226
5.10.1	概况	226
5.10.2	盾构过轨施工有限元模拟分析	227
5.10.3	风险点分析与解决思路	228
5.10.4	开挖面稳定措施	229
5.10.5	盾构掘进	229

5.10.6	监控量测	229
5.11	盾构近距离穿越大型桥区安全监测技术	232
5.11.1	工程背景	232
5.11.2	工程重点及难点	233
5.11.3	桥区预注浆加固方案	233
5.11.4	安全监测方案	234
5.11.5	监测成果分析	237
5.12	盾尾空隙对邻近桩基位移影响分析	239
5.12.1	工程概况	239
5.12.2	数值模拟	239
5.12.3	结论	241
5.13	地铁隧道重叠段施工技术	241
5.13.1	工程概况	241
5.13.2	工程重点与难点分析	242
5.13.3	施工方案优化	242
5.13.4	深孔注浆施工	244
5.13.5	监控量测	245
5.14	夯管法加固穿越盾构管道的浅埋暗挖施工技术	246
5.14.1	工程概况	246
5.14.2	方案的选定	246
5.14.3	方案的实施	247
5.14.4	量测监控	248
第6章	砂卵石层盾构掘进技术	249
6.1	适用于砂卵石地层的土压平衡盾构	249
6.1.1	工程地质与水文地质条件	249
6.1.2	盾构总体配置与参数	249
6.1.3	切削刀具使用寿命	251
6.1.4	塑流化改良技术	253
6.2	穿越全断面砾石层的盾构施工	254
6.2.1	工程及地质概况	254
6.2.2	工程特点	255
6.2.3	盾构机主要技术参数	255
6.2.4	泥浆材料的配合比	256
6.2.5	注浆材料及配合比	256
6.2.6	施工实测结果	256
6.2.7	结论	257
6.3	砂卵石地层盾构隧道关键施工技术	258
6.3.1	概述	258
6.3.2	工程特点与难点	258

6.3.3	盾构施工的关键技术	259
6.3.4	监控量测与信息反馈技术	262
6.3.5	结论与存在问题	264
6.4	无水砂卵石地层盾构隧道施工地层变形分析	265
6.4.1	工程概况	266
6.4.2	地层变形的监控量测充计	266
6.4.3	地层变形的量测分析	267
6.4.4	监测数据的预测分析与反馈	270
6.5	无水砂卵石地层土压平衡盾构施工泡沫应用技术	271
6.5.1	工程特点及难点	271
6.5.2	泡沫技术研究及工程应用	272
6.5.3	施工效果	272
6.5.4	泡沫的作用原理	273
第7章	微型盾构掘进技术	275
7.1	微型盾构技术在北京地区的应用	275
7.1.1	盾构的类型	275
7.1.2	微型盾构技术	276
7.1.3	微型盾构技术在北京地区的应用	276
7.2	加泥式土压平衡盾构的土压管理	278
7.2.1	土压管理的原理和方法	278
7.2.2	目标土压力的设定	280
7.2.3	结论和建议	281
7.3	盾构主要施工参数的控制与管理	281
7.3.1	工程概况	282
7.3.2	φ3.33m 加泥式土压平衡盾构概述	283
7.3.3	施工参数的控制与管理	283
7.3.4	泥浆泡沫复合添加工艺	285
7.3.5	施工参数的主要影响因素及控制措施	286
7.4	亮马河北路污水工程盾构施工管理	288
7.4.1	工程概况	288
7.4.2	加泥式土压平衡盾构机	288
7.4.3	施工工艺流程和关键施工技术	289
7.4.4	施工组织	290
7.4.5	管理要点	291
7.4.6	结语	294
7.5	亮马河北路污水隧道盾构掘进段施工技术	294
7.5.1	初始掘进段的工艺流程	295
7.5.2	初始掘进段的施工技术	296
7.5.3	初始掘进段的施工管理	297

7.5.4 结论、建议和展望	298
7.6 亮马河北路污水隧道盾构法施工技术总结	298
7.6.1 城市污水隧道盾构法施工技术概述	298
7.6.2 亮马河北路污水隧道盾构施工段工程概况	299
7.6.3 盾构掘进机选型	301
7.6.4 盾构法施工技术	305
7.6.5 结论	311
7.7 砂黏土层盾构施工技术	312
7.7.1 盾构选型	312
7.7.2 加泥式土压平衡盾构开挖面稳定控制技术	313
7.7.3 背后注浆	315
7.7.4 盾构姿态控制技术	317
7.7.5 地面沉降控制技术	317
第8章 盾构技术在其他领域的应用	319
8.1 采用矿山法构筑区间盾构隧道渡线段方案	319
8.1.1 确定施工方案的原则	320
8.1.2 渡线段施工方案	320
8.1.3 施工力学行为分析	322
8.1.4 结论	324
8.2 地铁车站盾构法与矿山法联合施工技术	325
8.2.1 工程对象和施工方案	326
8.2.2 车站盾构法施工隧道结构设计	326
8.2.3 施工组织与安排	328
8.2.4 工程造价预测	330
8.3 结合盾构法建造地铁车站的方案设计	331
8.3.1 目标车站的选择	331
8.3.2 车站的四种建筑方案设计	331
8.3.3 浅埋暗挖拓展车站建筑方案的设计特点	332
8.3.4 结论	333
8.4 盾构法隧道渡线双联拱施工过程数值模拟分析	334
8.4.1 盾构法隧道分叉段结构形式	334
8.4.2 盾构法隧道分叉段数值模拟分析	335
8.4.3 结论	336
参考文献	337

第 1 章 盾构技术综述

1.1 北京盾构技术现状与发展趋势

与传统隧道施工方法相比,盾构法具有施工速度快、地面作业少、自动化程度高、对地层适应性强、对环境影响小等优势,因而在城市地铁隧道施工中有广泛的应用前景。早在 1957 年,北京市政就在全中国率先开展了盾构施工技术的研究与开发应用,并成功地运用自行设计的盾构机头进行了地下管线施工。在随后的 40 年内,北京市对于盾构技术的研究却没有得到持续地、实质性地发展,几乎处于停滞状态。直到 20 世纪 80、90 年代,由于城市地铁建设的快速发展和国内外现代盾构技术的推广应用,引起了对盾构技术的重新审视。1999 年北京市政自主研发第一台加泥式平衡土压盾构,正式承担了亮马河北路污水隧道工程,这是北京市应用现代盾构技术进行隧道工程施工的先例,开创了北京市隧道施工技术的新纪元。经过 10 余年的发展,北京市盾构技术的应用已日臻完善,并在实践中发展了盾构法与辅助工法联合应用的新技术。

2002 年开建的北京地铁 5 号线是首条贯通北京市南北的地下交通大动脉,也是北京市首条采用盾构法施工的地铁隧道,在北京市轨道交通建设中具有重要地位,开创了北京市特有地质条件下盾构技术研究和应用的先河,使得北京盾构技术得到快速发展。5 号线建成之后北京市地铁区间隧道大量采用盾构法施工,工程实践表明,盾构法因其独特的优势成为城市地下隧道工程施工的首选工法。

北京盾构技术 10 年的快速发展,积累了十分丰富的实践经验,并进行了大量理论方面的研究。

1.1.1 北京地层与环境特点

地层是地下工程设计与施工的载体,因此工程所处地层的地质水文条件是研究盾构隧道设计与施工的重要对象。

1. 北京市工程地质、水文地质条件

工程地质条件是客观存在的地质因素,是工程建(构)筑物所在地区地质环境中各项因素的综合。对于城市地下工程而言,主要考虑地层的岩性和水文地质条件。地层的岩性是最基本的工程地质因素,包括地层成因、岩性特点及物理力学性质等;水文地质条件包括地下水的成因、分布、埋藏深度等因素。

北京市位于永定河山前冲洪积扇群之上,西部、北部为山地,东南部与华北大平原相连,其中山地约占全市面积的 62%,平原约占 38%。境内主要河流有属于海河水系的永定河、潮白河、北运河、拒马河和属于蓟运河水系的沟河,这五大河流从西北向东南蜿蜒于平原之上。自中生代末以来,平原多处于沉降运动中,北京平原就是由五大河流所携带的大量泥沙砾石在下降的基底上沉积而成,为典型的山前第四纪洪、冲积平原,地势由西

北向东南缓慢倾斜。

全市第四纪沉积物分布很广，厚度变化从几十米到千余米不等。由于河流和冲洪积扇的多次迁移，沉积物在横向和纵向上相变迅速，地层结构十分复杂。冲洪积扇的结构是从扇顶到扇缘沉积物由砂砾石、中粗砂、粉细砂到黏土，颗粒由粗到细。在地层的垂直方向上为多层结构，砂砾石、砂卵石、粉砂、黏土、粉土等交互而生，其特点是西部为砂砾石、卵石与粉土互层的状态，东部渐变为黏性土、砂层和砾石互层的状态，北部地层以黏性土为主且含水量少，南部、西南部为含少量黏性土的砂卵石地层和全断面砂卵石地层，中部为过渡地带；另外，局部见胶结卵石层及基岩。

北京市水文地质状况调查结果显示，市区浅层地下水大致可分为六层（浅层地下水主要指地表下 30m 以内含水层所含的地下水），如表 1-1 所示。地下水有三种赋存形式，即上层滞水、潜水和承压水。浅层地下水是地质结构中位于第一透水层中、第一隔水层之上的水，由大气降水、地表径流补给而成，具有可恢复性。地下水流与地形有关，北京地区地面坡度从西北向东南缓慢下降，地下水在埋藏层位上也有相同趋势，如西北部地区的潜水层到了东北和东南部就变成了承压水层，且补给畅通，市区许多地下工程都进入了承压水分布区。地下水的存在对盾构隧道施工有很大影响，因为隧道开挖排水后，易造成地下水渗出，形成多条渗水通道，不仅对隧道衬砌产生一定影响，还会引起周围地层更大范围的沉降。

浅层地下水分布状况 表 1-1

埋藏深度（m）	岩 性	含水层特性
0 ~ 8	表层人工填土	—
2 ~ 12	黏质砂土或砂质黏土	局部地区有上层滞水
10 ~ 15	中细砂	—
12 ~ 17	砂砾石或砂卵石	潜水含水层
15 ~ 21	粉质砂土、砂卵石或砂质黏土	—
19 ~ 29	砂砾石、砂卵石或圆砾	承压含水层
27 ~ 30	黏性土层或砂卵石	岩性分布不均匀

由上述内容可知，北京市地层条件复杂，给工程建设带来很大困难。因此，采用盾构技术施工必须根据工程地质及水文特点，选用与之相适应的盾构机型以及采取合适的技术措施。

2. 环境特点

大规模的地下管网系统是城市基础设施的重要组成部分，是维持城市正常运转的生命线，包括给水、排水、电力、热力、燃气、通信管线等。我国现代城市建设始于建国初期，由于受传统建筑规划理念的影响，没有形成管网的概念。因此基于当时认识上的局限性、财力和地面条件的限制等原因，未能很好地对城市现代化建设作出长远规划，尤其突出的是地下管线多为浅埋方式，部分大型管线埋设较深，加之后续的改造、迁建工作，导致地下管线纵横交错、分布密集，不可避免地会给盾构隧道的设计和施工带来影响。加之近几年来各行各业发展速度很快，城市人口猛增，标志城市功能的基础设施规模也日益庞

大。为保证城市高效有序的运行，地下工程建设必须考虑这些因素，采取行之有效的措施，避免产生负面影响。

北京市区现存许多传统民居建筑、文物，特点是基础埋深小，墙体强度低，并且部分道路较窄；市中心区建（构）筑物密集，交通流量大，另外还有大量已经运营的地铁线路，这些对盾构隧道规划和施工都有很大障碍。由于地铁盾构隧道施工要多次穿越建筑群，掘进过程中会对地层产生一定的扰动而变形，当地层变形超过一定限度，就会引起邻近地下管线的变形，甚至威胁地面建筑的安全和正常使用。因此盾构隧道施工要结合周围环境，采取合理的施工措施，确保地面建（构）筑物的安全，保护北京市现有的面貌和格局，不影响城市景观和规划。总之要做到既发展地下工程建设，又保护城市形象和自然环境，实现经济效益、环境效益、社会效益的协调统一，保持城市功能的正常发挥，促进城市的可持续发展。

1.1.2 北京市盾构技术应用现状

1. 盾构机选型

北京市快速轨道交通网共规划 13 条线路和 2 条支线，总长 408km，其中盾构法已在地铁 4 号线、5 号线、10 号线一期、机场线、大兴线、亦庄线成功运用，在建的 6 号线、7 号线、8 号线二期、9 号线、10 号线二期、14 号线、15 号线、直径线也大范围采用盾构法施工，见表 1-2。

北京地铁盾构里程统计表（根据工程开工的时间顺序）表 1-2

线 路	盾构区间总里程（km）	线路总里程（km）	盾构区间占总里程的百分比（%）
5 号线	6.121	27.600	22.18
10 号线 I 期	6.612	24.685	28.79
4 号线	11.878	28.600	41.53
机场线	6.659	27.3	24.39
6 号线	20.839	41.530	50.2
大兴线	4.760	22.510	21.15
8 号线 II 期	13.762	17.460	78.82
10 号线 II 期	22.423	32.460	69.08

据不完全统计，北京地区盾构施工里程基本呈逐年递增的趋势，且各线路中盾构的比例从 5 号线的 22.18% 增长到 8 号线 II 期 78.82%（大兴线及机场线等除外，大兴线及机场线等线路位于郊区，其施工更多的是采用地上线）。说明北京地区随着理论研究和施工方法的进步，盾构法已成为北京地区地铁施工的主要工法。

盾构法适用于对地面沉降控制要求高，工程地质和水文地质条件复杂，地面无降水条件的城市隧道工程。盾构选型的标准是以开挖面稳定为核心，综合考虑地层条件、环境状况、隧道尺度、辅助工法、工期、造价等因素，满足适用性、可靠性、经济性的原则。盾构选型在隧道施工中起着决定性作用，选型的正确与否关系到工程成本、施工进度、综合性价比、对地层地质条件的适应性以及盾构机的使用寿命等多方面因素。此外，盾构选型还要考虑施工中盾构隧道结构的安全和盾构推进中对周围环境的影响。北