



团 体 标 准

T/DGGC 017—2022

特殊地段盾构施工技术规范

Technical specification for shield construction in special sections

2022-09-17 发布

2023-01-01 实施

北京盾构工程协会 发 布
中国标准出版社 出 版

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
5 特殊地段划分	2
5.1 划分依据	2
5.2 划分原则	2
6 施工准备	2
6.1 前期调查	2
6.2 技术准备	3
6.3 盾构选型与配置	3
6.4 设施、设备和物资准备	3
7 特殊地段盾构施工要求	3
7.1 施工难度大地段	3
7.2 变形控制严地段	5
7.3 安全风险高地段	6
7.4 地质条件特殊地段	7
8 监控量测	12
8.1 一般规定	12
8.2 特殊地段监测	13
8.3 监测预警	13
参考文献	15

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京盾构工程协会提出并归口。

本文件起草单位：北京建工土木工程有限公司、中铁十五局集团城市轨道交通工程有限公司、中建交通建设集团有限公司、北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司、中隧隧盾国际建设工程有限公司、济南重工集团有限公司、中铁二局集团有限公司城通分公司。

本文件主要起草人：马云新、赵洪岩、李森、阚宝存、张庆军、焦雷、阎向林、王春河、尹清锋、韩瑞平、韦华江、李保营、张庚斯、孙传建、贾研、王家祥、陈廷涛。

特殊地段盾构施工技术规范

1 范围

本文件规定了特殊地段盾构施工的基本规定、特殊地段划分、施工准备、盾构施工要求、监控量测。本文件适用于特殊地段的土压平衡模式、泥水平衡模式和多模式盾构施工。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JGJ 8 建筑变形测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

特殊地段 special area

盾构施工难度大、变形控制严格、安全风险高、地质条件特殊，采取针对性措施的地段。

3.2

盾构施工 shield construction

利用盾构法完成隧道开挖掘进、出渣、管片拼装等作业并使隧道一次成型。

3.3

多模式盾构 multi-mode shield

不同平衡模式和出渣方式集成在同一盾构上，根据实际需要实现特定模式掘进，并在隧道内快速转换模式的盾构。

注：包括土压平衡-泥水平衡盾构、土压平衡-TBM 盾构、泥水平衡-TBM 盾构和土压平衡-泥水平衡-TBM 盾构。

4 基本规定

4.1 施工前，应加强现场调查、地质探测、超前地质预报，对风险进行识别、评估，并制定针对性风险控制措施。

4.2 盾构类型和技术性能应符合工程地质和水文地质条件、线路条件、环境保护和隧道结构设计要求。

4.3 关键节点风险应执行管控程序。

4.4 施工前应查明和分析地质状况、隧道周边环境状况，编制专项施工方案和应急预案。

4.5 开挖面压力应根据隧道位置与地层条件合理设定，并应控制地层变形。

4.6 壁后注浆材料、压力和注浆量应根据隧道位置与工程地质和水文地质条件确定，施工过程中应根据量测结果及时调整。

4.7 应建立施工测量和监控量测系统，控制隧道姿态，对地层及结构监测，并及时反馈信息，实行信息

化施工。

4.8 施工应与建(构)筑物、管线、道路设施、轨道线路、文物保护、高灵敏仪器设备场所等产权单位联系,制定应急联动措施。

4.9 施工应对地表、建(构)筑物、管线、道路设施、轨道线路、文物保护、高灵敏仪器设备场所等变形监测分析,并应根据监测结果及时调整掘进参数。

4.10 施工应设置试验段,根据地面变形监测数据调整施工参数。

4.11 盾构及后配套设备应保养和维修。

4.12 控制措施应根据盾构施工阶段沉降制定,应控制施工引起的土体沉降、隆起、固结、蠕变和地层损失。

4.13 掘进模式应根据地层变化及时转换,开挖面压力、刀盘扭矩、推进速度、渣土改良等掘进参数应精确管理。

4.14 同步注浆应根据地质条件、隧道条件和工程环境选用单液浆或双液浆材料,并优化注浆施工参数,必要时可采用壁后补浆或径向深孔注浆。

5 特殊地段划分

5.1 划分依据

施工前应识别隧道分类,识别分类应根据下列资料确定:

- a) 隧道周边水文地质、工程地质、自然环境及人文、社会区域环境等资料;
- b) 已建隧道线路的相关工程建设风险或事故资料,类似工程建设风险资料;
- c) 隧道线路设计和结构设计等资料;
- d) 隧道周边建(构)筑物等资料;
- e) 隧道邻近地下工程等资料;
- f) 施工机械与设备,施工技术、工艺、材料、管理等资料;
- g) 其他相关资料。

5.2 划分原则

5.2.1 施工前应根据施工难度、变形控制、安全风险、地质条件等对特殊地段划分。

5.2.2 施工难度大地段宜包括小净距、叠落、大坡度、浅覆土、小半径曲线、空推等地段。

5.2.3 变形控制严地段宜包括穿越或邻近建(构)筑物、地下管线、道路设施、轨道线路、文物保护、高灵敏仪器设备场所等地段。

5.2.4 安全风险高地段宜包括有毒有害气体、地下障碍物、水域等地段。

5.2.5 地质条件特殊地段宜包括大粒径卵石、漂石、孤石、岩溶、软土、湿陷性土、断裂带或破碎带、地裂缝、采空区、液化土、钙质胶结、坚硬岩、软硬不均、高承压水、泉水排泄区、垃圾土等地段。

6 施工准备

6.1 前期调查

6.1.1 施工前应特殊地段工程地质和水文地质情况调查分析,必要时应补充地质勘察。

6.1.2 对工程影响范围内的地表、地貌、建(构)筑物、道路设施、轨道线路、文物、高灵敏仪器设备场所等应现场踏勘和调查研究,调查范围应根据工程情况确定,必要时应对施工影响范围内的重要建(构)筑物、道路设施、轨道线路、文物、高灵敏仪器设备场所等调查、鉴定和评估,并应提前做好施工方案。

6.1.3 对工程影响范围内的地下管线、地下障碍物和地下构筑物等应调查研究,调查范围应根据工程情况确定,必要时可进行物探和施工详勘、补勘。

6.1.4 工程环境调查应根据当地环境保护要求确定。

6.2 技术准备

6.2.1 施工前应编制专项方案,应包括但不限于监测方案、环境保护预案、应急预案,并应进行专家评审。

6.2.2 施工前应根据特殊地段及盾构特点,对现场施工管理人员和施工作业人员进行技术培训、技术考核和技术交底。

6.2.3 施工前应根据特殊地段特点,完成测量和监测准备,实行信息化施工。

6.3 盾构选型与配置

6.3.1 盾构选型与配置应适用、可靠、先进、经济,并应根据不同特殊地段配置相应功能。

6.3.2 盾构选型应根据工程地质和水文地质勘察报告、隧道线路及结构设计文件、施工安全、施工环境及其保护要求、始发与接收井尺寸、工期条件、辅助施工方法和类似工程施工经验确定。

6.3.3 盾体应采用倒锥形设计,减少卡盾风险。

6.3.4 盾构配置符合下列要求:

- a) 土压平衡盾构配置应包括但不限于刀盘、推进液压缸、管片拼装机、螺旋输送机、铰接装置、超前地质预报系统、渣土改良系统、有害气体监测系统、注浆系统、压气进仓系统、安全保障系统、测量导向系统、防爆系统、驱动系统等;
- b) 泥水平衡盾构配置应包括但不限于刀盘、推进液压缸、管片拼装机、泥水循环系统、铰接装置、超前地质预报系统、有害气体监测系统、注浆系统、压气进仓系统、破碎装置、安全保障系统、测量导向系统、防爆系统、驱动系统等;
- c) TBM 盾构配置应包括但不限于刀盘、刀盘护盾、推进液压缸、撑靴系统、铰接系统、管片拼装机、除尘系统、皮带出渣系统、豆粒石注入系统、砂浆注入系统、超前地质预报系统、有害气体监测系统、安全保障系统、测量导向系统、防爆系统、驱动系统等;
- d) 多模式盾构除应具有土压平衡盾构、泥水平衡盾构和 TBM 相应配置外,还应具有模式快速转换功能。

6.4 设施、设备和物资准备

6.4.1 盾构设备进场前,应对其进行工程适应性评估。

6.4.2 施工前,应对盾构施工设备和应急设备验收或检修,并提交验收或检修报告。

6.4.3 施工前,应储备施工物资和应急物资并验收。

7 特殊地段盾构施工要求

7.1 施工难度大地段

7.1.1 小净距地段应为隧道净间距小于 0.7 倍盾构直径的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应根据隧道地层条件、盾构类型、隧道断面、隧道间距、隧道施工或运营状态分析施工对既有隧道的影响,或隧道同时掘进时的相互影响,并采取施工措施;
- b) 应控制掘进速度、刀盘转速、开挖面压力、出渣量、泥浆环流和注浆压力等,减少对邻近隧道的影响;
- c) 应对先行和既有隧道加强监测,根据反馈数据调整盾构掘进参数;

- d) 施工前可加固隧道间土体,可采取在既有隧道内设置支撑体系、径向深孔注浆、在施隧道内径向深孔注浆等控制地层和隧道变形的辅助措施。

7.1.2 叠落地段应为同一区间隧道处于不同水平面,呈上下交叠状态、施工相互影响的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.1.1 小净距地段盾构施工要求;
- b) 宜采用先下后上的隧道施工顺序;
- c) 在掘进方向上叠落隧道应先后施工,间隔距离不小于 20 倍隧道外径且不小于 150 m,周边环境变形趋于稳定。

7.1.3 大坡度地段应为隧道坡度大于 30‰的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 当选择牵引机车时,应对牵引力和制动力计算,机车参数应符合设计要求,车辆应采取防溜车措施;
- b) 应对隧道内水平运输系统轨道、轨枕、道岔等部位加强巡视管理,连接应牢固,几何偏差值应符合设计要求,轨道面摩擦力应符合设计要求;
- c) 在台车内或隧道口设置防溜车应急拦阻装置;
- d) 上坡时,应加大盾构下半部分推力,后配套设备应采取防脱滑措施;
- e) 下坡时,应加强盾构姿态控制,可利用辅助液压缸等防止盾构栽头;
- f) 下坡时,应加强隧道内排水管理;
- g) 壁后注浆宜采用收缩率小、早强度高的注浆材料;
- h) 应加强盾尾间隙管理,应采用针对性设计的盾尾密封,防止盾尾泄漏;
- i) 应提高施工测量频率,勤测勤纠,并定期复核洞内控制点;
- j) 应采取控制管片浮动的措施。

7.1.4 浅覆土地段应为隧道覆土厚度不大于盾构直径的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应控制盾构开挖面压力、土体改良、掘进速度、泥浆环流等参数,控制泥浆质量,减少施工对环境的影响,防止地面产生过量变形或泡沫、泥浆击穿上部土层;
- b) 应采取控制盾构姿态等防止发生栽头或上仰的措施;
- c) 应采取控制壁后注浆压力及流量等减小地层变形的措施;
- d) 掘进时,应采取精确控制开挖面压力等减小土压力波动的措施;
- e) 宜采取对隧道上方土体加固、填土、压重等地面辅助措施;
- f) 应加密地表监测和巡视频率;
- g) 应补充地质勘探,检查地层脱空情况。

7.1.5 小半径曲线地段应为地铁隧道平面曲线半径小于 300 m,其他隧道平面曲线小于 40 倍盾构直径的曲线地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应对地层条件、隧道轴线、盾构、管片、超挖量、辅助工法、壁后注浆等进行研究,采取施工措施;
- b) 应选取使管片转弯量与隧道轴线匹配的最优管片拼装点位;
- c) 应控制推进液压缸和铰接油缸压力与行程差、盾尾间隙等参数;
- d) 应控制推进反力引起的管片环变形、移动等;
- e) 当使用超挖装置时,应选取适合的超挖角度,控制超挖量;
- f) 应及时注浆充填衬砌和围岩之间的空隙,选择体积变化小、早期强度高、初凝时间短、速凝型的注浆材料;
- g) 应提高施工测量频率,勤测勤纠,并定期复核洞内控制点;
- h) 应采取防止后配套设备脱轨或倾覆的措施;
- i) 应采取防止管片错台或开裂的措施;
- j) 应对衬砌结构加强;

- k) 宜使用小楔形量和环宽较小的管片,楔形量应与管片转弯能力匹配,不应任意用垫片做成楔形;
- l) 应采取防止盾尾和铰接发生泄漏的措施;
- m) 应采取提前调整分组油缸推力、分析左右侧分组油缸行程差等避免大幅度调向的措施,小半径岩层掘进时,应采取防止刀盘、盾体卡死的措施;
- n) 盾构沿设计线路内切掘进时,应定期收缩推进油缸。

7.1.6 空推地段应为盾构采用拼装管片推进方式通过既有地下空间的地段,管片作为隧道永久结构。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应加强结构受力监测,确保盾构通过时结构安全;
- b) 应采取盾构增阻措施,管片压紧力应符合设计要求;
- c) 应加强推进速度、推力和纠偏量的控制;
- d) 应确保管片与空推地段之间间隙填充密实;
- e) 应控制管片收敛、变形,可采取多次复紧、注浆措施。

7.2 变形控制严地段

7.2.1 建(构)筑物地段应为隧道穿越或邻近生产、生活或其他活动的房屋或场所并处在保护区影响范围内需要保护的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 施工前,应对建(构)筑物地段调查,评估施工对建(构)筑物的影响,并应采取控制地层变形的措施;
- b) 施工前,应取得产权单位同意,施工方案、应急预案应取得产权单位认可,并签订安全责任协议;
- c) 施工时,应同产权单位加强联系,采用联动监测;
- d) 加固、隔离或托换等措施宜根据建(构)筑物基础与结构类型、现状和沉降控制值等确定;
- e) 应加强地表和建(构)筑物变形监测及反馈,及时调整盾构掘进参数;
- f) 盾构施工阶段沉降控制应根据建(构)筑物沉降速率采取壁后注浆、径向深孔注浆等措施;
- g) 穿越建(构)筑物后,宜对建(构)筑物结构变形评估。

7.2.2 地下管线地段应为隧道穿越或邻近给排水、污水、燃气、输油、热力、通信等管线并处在保护区影响范围内需要保护的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.2.1 b) 和 c) 的要求;
- b) 应查明地下管线产权情况、类型、接头形式、位置、允许变形值等,并应制定专项施工方案、应急预案及建立联动机制;
- c) 对受施工影响可能产生较大变形的管线,应根据具体情况采取保护措施;
- d) 应设定合理的掘进参数控制地下管线变形;
- e) 应加强管线监测,及时掌握管线动态变化;
- f) 应根据管线隆沉监测,及时调整盾构掘进速度、出渣量,减少地层土体的隆沉和变形;
- g) 应采取控制同步注浆压力、注浆量、浆液性能指标等保证注浆质量的措施。

7.2.3 道路设施地段应为隧道穿越或邻近建设完成或投入使用的道路及其附属设施并处在保护区影响范围内需要保护的地段,可包括市政道路、市政桥梁、城市隧道、地下通道、公路、公路桥梁、公路隧道、人行天桥及上述结构的附属设施。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.2.1 b) 和 c) 的要求;
- b) 施工前,应对道路设施调查,查明道路设施重要程度、现状、路基形式及路基下疏松情况、与隧道邻近程度和空间位置关系,评估施工影响,并应采取控制地层变形的措施;
- c) 结构加强、隔离或托换、注浆加固等措施宜根据道路设施基础与结构类型、现状和沉降控制值

等确定；

- d) 应加强道路设施变形监测及反馈,及时调整盾构掘进参数;
- e) 盾构施工阶段沉降控制应根据道路设施变形速率采取壁后注浆、径向深孔注浆等措施。

7.2.4 轨道线路地段应为隧道穿越或邻近机车牵引或自身动力车辆循规行驶的交通线路并处在保护区影响范围内需要保护的地段,可包括铁路、城市轨道交通和其他有轨线路。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.2.1 b) 和 c) 的要求,并办理穿越或邻近施工手续;
- b) 施工前,应对轨道线路结构、位置、水文、地质、环境调查,评估邻近施工影响,编制并实施控制轨道线路变形的专项设计、施工方案、专项应急预案和专项监测方案;
- c) 施工引起的轨道线路变形应符合设计要求;
- d) 应设置合理的邻近段、穿越段,在邻近段和穿越段分别采取施工技术和管理措施;
- e) 应加强信息化施工,及时分析反馈,根据轨道交通线路变形数据及时调整盾构施工参数;
- f) 应加强穿越段盾构施工管理;
- g) 穿越段管片宜采用多孔管片;
- h) 穿越施工宜在轨道线路运行空窗期内。

7.2.5 文物保护单位地段应为隧道穿越或邻近具有历史、艺术、科学价值的遗物和遗迹需要保护的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.2.4 a) 的要求;
- b) 应对文物调查,评估施工影响,并配合相关单位采取保护措施;
- c) 应全面检修盾构及后配套设备;
- d) 应采取保证盾构连续均衡施工等减少盾构在文物保护区停留时间的措施;
- e) 应加强地表和文物保护单位监测及反馈,及时调整盾构掘进参数,减小盾构施工对地层影响;
- f) 应采用快凝早强注浆材料,加强壁后同步注浆和二次补浆,并根据监测数据及时调整注浆参数,减小地面沉降。

7.2.6 高灵敏仪器设备场所地段应为隧道穿越或邻近存放高灵敏度仪器设备场所需要保护的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应根据仪器设备要求,减少盾构施工时噪声、振动;
- b) 应控制地层损失率,可采用电磁法查明壁后浆液分布,增强壁后注浆效果;
- c) 穿越施工宜在仪器设备运行空窗期内。

7.3 安全风险高地段

7.3.1 有毒有害气体地段应为隧道掘进地层中存在 CH_4 、 CO 、 H_2S 、 NO_2 及 SO_2 等有毒有害气体,在自然条件下隧道内有毒有害气体浓度超过危害人体健康限值的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 施工前应编制应急预案,并对施工人员进行安全技术交底,组织安全演练;
- b) 施工前应对地层中有毒有害气体浓度检测,必要时采取提前排放措施;
- c) 施工前应对盾构密封系统检查和处理;
- d) 施工时,隧道内应加强通风换气,设置应急排风装置或空气净化装置;
- e) 应对有毒有害气体监测预警,当有毒有害气体浓度大于安全标准,应停止推进,封闭盾体、螺旋机、排渣口等部位,同时采取隧道内加强通风等措施,气体浓度达标后,才能进行后续施工;
- f) 在易燃易爆气体地层中施工时,应审批隧道内动火作业,动火前应对气体检测,隧道内应配备呼吸器等应急装备且应符合防爆要求,宜在隧道内放置动物对隧道内气体环境进行活体检测;
- g) 隧道内作业区域应设置固定式气体检测仪、手提式或便携式检测仪,并按要求及时校对检测;
- h) 盾构选型时,应具备防爆的能力。

7.3.2 地下障碍物地段应为建(构)筑物等侵入盾构隧道开挖限界内,影响盾构正常施工的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 盾构选型时,应具备洞内处理障碍物的能力;
- b) 应查明障碍物,并制定处理方案;
- c) 地面处理障碍物时,应选择合适处理方法,处理后应回填;
- d) 开挖面拆除障碍物时,可选择带压作业或加固地层的施工方法,并应防止地层漏气漏水,控制地层开挖量,确保开挖面支撑稳定;
- e) 采用刀盘切削障碍物时,应控制盾构掘进参数,减少盾构刀盘和刀具磨损,减少对地层的扰动;
- f) 应加强地面变形监测,必要时连续监测。

7.3.3 水域地段应为隧道穿越水渠、江、河、湖、海等水域,地下水丰富,存在高水压影响或潜在影响的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 施工前,应查明工程地质、水文地质条件和周边环境状况,选择合适的盾构类型;
- b) 施工前,应编制施工防喷涌、隧道防淹没专项应急预案并演练;
- c) 施工时,应设定合适的开挖面压力,加强开挖面管理与掘进参数控制,制定专项盾构施工技术和监测方案;
- d) 应配备足够的排水设备与设施;
- e) 应采用快凝早强注浆材料,加强壁后同步注浆和二次补浆;
- f) 穿越前,应对盾构密封系统、应急装置等检查和处理;
- g) 应加强刀盘、刀具和盾尾密封刷的磨损管理,制定刀盘、刀具检修和盾尾密封刷更换预案;
- h) 应采取防止对堤岸和周边建(构)筑物影响的措施;
- i) 应对水域底隆沉监测,必要时可采用声呐法、水中设立观测桩和测量船声波探测法;
- j) 采用土压平衡盾构时,宜配备保压泵碴系统;
- k) 采用泥水平衡盾构时,应优化泥浆性能,控制泥浆质量;
- l) 施工前应对盾尾密封油脂质量检测,选择优质盾尾密封油脂;
- m) 应确保盾尾密封油脂足量注入;
- n) 应加强盾构掘进姿态监测及管片选型,减小管片接缝错台,保证较好的隧道线形;
- o) 应调整同步注浆浆液配比,缩短浆液凝结时间;
- p) 应采取增强性防水措施;
- q) 应对盾构掘进线路上方水域巡视;
- r) 盾构选型时,应满足防水要求,保证主密封、铰接密封、盾尾、径向孔、中心回转体等不渗漏。

7.4 地质条件特殊地段

7.4.1 大粒径卵石地段应为粒径大于 60 mm 的卵石粗颗粒含量大于总质量的 70% 的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应根据地质条件,确定合适的刀盘转速、扭矩、推力等设备基本参数;合理选择盾构形式、刀盘形式、开口率、刀具形式及组合方式与数量,加强刀具管理;
- b) 应对刀盘、刀具、螺旋机、环流系统等部位采用耐磨专项设计;
- c) 应对渣土改良系统、同步注浆系统、二次补浆系统采用针对性设计;
- d) 应根据地层情况,选择合适的掘进参数;
- e) 应制定合理的刀具管理制度、刀具检查与更换计划,加强对刀盘监控,建立刀具损坏分析制度,分析刀具损坏原因;
- f) 应在掘进中加强刀具磨损检测,并应采取刀具保护措施;
- g) 掘进模式应根据地质条件、地下水状况和地表沉降控制要求等选择;

- h) 采用土压平衡盾构时,应对渣土改良;
- i) 富水大粒径卵石地层掘进时,土压平衡盾构应加强注浆控制和渣土改良,并快速通过;
- j) 采用泥水平衡盾构时,破碎方法和泥浆配合比应根据卵砾石含量和粒径确定;
- k) 富水大粒径卵石地层掘进时,泥水平衡盾构应优化泥浆性能,加强泥浆管路的维护与维修保养,易受磨损的泥浆管路,可采用耐磨钢材制作,对调排泥管路减少磨损;
- l) 应加强人工测量,检核自动导向系统,加强盾构姿态控制及隧道线型控制;
- m) 穿越之前应对盾构刀盘、盾尾密封刷、螺旋输送机 and 土仓、泥水环流系统、铰接、密封油脂系统、注浆系统等检查、维修;
- n) 土压平衡盾构宜配备保压泵碴系统,当遇喷涌,可开启保压泵碴系统;
- o) 应加大盾尾油脂用量,防止盾尾漏浆。盾尾油脂宜采用优质油脂。

7.4.2 漂石地段应为粒径大于 200 mm 的大卵石且具有硬度大、粒径变化大、分布不规律、可能局部富集等特点的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.4.1 大粒径卵石地段盾构施工要求;
- b) 应提高刀盘扭矩等基本参数,强化盾构刀盘、刀具耐磨设计,增强抗冲击性能;
- c) 破碎方法、排石方案应根据漂石粒径和强度确定;
- d) 宜补充地质勘察,加强超前地质预报;
- e) 施工时应加强漂石段对应地面监测和巡视。

7.4.3 孤石地段应为岩体或岩块体量及其强度远大于周围介质的地段,可包括人工抛石、冰碛块石和花岗岩球状风化体等地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.4.1 大粒径卵石地段和 7.4.2 漂石地段盾构施工要求;
- b) 应合理选择盾构类型、刀盘形式、开口率、刀具形式及组合方式与数量并论证,应对刀盘、刀具加强设计,宜采用重型刀盘、重型刀具,提高刀盘抗变形能力和刀具抗冲击能力;
- c) 应采用物探等方式提前探明孤石体积和分布范围,根据探测结果制定处理方案,体积较小的孤石,可对周边土体加固,与孤石形成加固整体再使用盾构破岩掘进;体积稍大的孤石,可从地面引孔爆破碎裂后再按体积较小的孤石处理;
- d) 应采取预处理孤石措施,可采取预处理破碎,当孤石强度和岩石质量指标不高时,可采取注浆加固固结孤石,刀盘切削孤石固结体;
- e) 遇到地层稳定的未探明孤石,可采用地面打孔爆破、冲击锤冲击破碎、加压开仓人工爆破等方法破岩后再盾构通过;
- f) 采用隧道内刀盘磨孤石时,应采取减小冲击荷载,加强开挖面压力管理。

7.4.4 岩溶地段应为可溶性岩层受水的化学和物理作用产生的沟槽、裂隙和空洞,以及由于空洞顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等侵蚀及堆积地貌形态特征和地质作用的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应根据地质条件合理选择刀盘形式、刀具形式及组合方法与数量;
- b) 应根据现有地质资料和补充地质勘探资料,探查并分析岩溶类型、空间位置、规模与发育程度、充填状况、分布范围和规律、岩溶形成原因及与地表水、地下水关系、岩溶的富水和导水情况、对隧道掘进的影响程度;
- c) 盾构掘进前,应按设计要求和施工方案做好溶洞、土洞的充填、岩溶破除及效果检测,制定防喷涌及地面防坍塌专项措施;
- d) 对掘进施工影响范围内的岩溶和洞穴,应采取注浆、填充等处理措施;
- e) 应根据溶洞与隧道位置关系、溶洞、有无充填物及充填物类型采用投石、静压灌浆等处理措施;
- f) 应合理设置刀盘转速、贯入度等掘进参数,控制姿态,避免姿态突变,减少刀盘、刀具的冲击荷载;

- g) 应避免在岩溶高风险地段换刀；
- h) 宜配备超前钻设备和超前注浆设备；
- i) 宜提高管片螺栓等级、加强管片纵向连接，可在隧道内增设内支撑等构造措施；
- j) 应加强出渣量、土压力、同步注浆等参数观察和控制，发现参数异常时，及时停机，查找原因，处置完成后再恢复掘进。

7.4.5 软土地段应为天然孔隙比不小于 1.0，且天然含水量大于液限的细粒土地段，可包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土。盾构施工时，符合下列要求：

- a) 宜对软土地段详细补勘，查明水文、地质情况；
- b) 应采取针对性施工措施，必要时，可采取盾体压重等减小土体回弹量措施；
- c) 宜采取增大管片配筋、提高管片含钢量等管片增重措施；
- d) 应控制盾构姿态，必要时，可采取盾体径向注浆措施。

7.4.6 湿陷性土地段应为采用现场荷载试验，土在 200 kPa 压力下浸水载荷试验的附加湿陷量与承压板宽度之比不小于 0.023 的地段，可包括湿陷性黄土、湿陷性碎石土、湿陷性砂土和其他湿陷性土。盾构施工时，符合下列要求：

- a) 应根据地质条件、地下水状况和地表沉降控制要求等选择盾构类型；
- b) 应优化注浆浆液配比，加强壁后同步注浆和二次补浆；
- c) 应优化泥浆性能、渣土改良剂配比，使用符合环保要求的渣土改良剂；
- d) 应加强监测与姿态控制，并根据监测结果及时调整掘进参数；
- e) 应连续均衡施工，快速通过。

7.4.7 膨胀岩土地段应为含有大量亲水矿物，湿度变化时有较大体积变化，变形受约束时产生较大内应力的岩土地段。盾构施工时，符合下列要求：

- a) 宜对膨胀岩土地段详细地质补勘，查明膨胀岩土特性参数，确定膨胀岩层膨胀率，选取合适的刀盘直径；
- b) 应防止发生盾构卡死、姿态抬升，可采取调整边缘刀具外伸尺寸、前盾增设裙板等措施；
- c) 施工时应加强刀具管理，加强周边刀具磨损量检测，及时更换刀具；
- d) 应根据膨胀岩土特性确定盾构掘进时最佳添加剂用量对渣土改良；
- e) 应根据膨胀岩土特性优化盾构管片设计；
- f) 应根据膨胀岩土特性，选取合适的施工参数，确保壁后注浆质量，保持开挖面稳定；
- g) 应连续均衡，快速通过。

7.4.8 断裂带或破碎带地段应为不连续、不完整、破碎且具有一定宽度和长度的岩层组成的带状区域地段。盾构施工时，符合下列要求：

- a) 宜对断裂带和破碎带详细地质补勘，查明断裂带或破碎带空间位置、展布范围、物质组成、破碎程度、富水和导水情况；
- b) 采用土压平衡盾构，应加强注浆控制、渣土改良、出渣管理；
- c) 采用泥水平衡盾构，应优化泥浆性能，加强泥浆管路的维护与维修保养，易受磨损的泥浆管路可采用耐磨钢材制作；
- d) 应根据地质条件预测刀具和盾尾密封磨损，制定更换方案；
- e) 通过断裂带和破碎带时，可采取超前加固措施，并加强对地下水的控制；
- f) 对掘进施工影响范围内的断裂带和破碎带，应采取注浆等处理措施；
- g) 可采取在断裂带、破碎带区域隧道内增强防水等防止隧道渗漏的措施；
- h) 穿越前应检查刀盘刀具，掘进施工时应优化刀盘转速等施工参数；
- i) 穿越小规模的断裂带或破碎带时宜不间断连续均衡掘进，穿越大规模的断裂带或破碎带时宜减少停机次数和停机时间；

- j) 应加强出渣量、土压力、同步注浆等参数的观察和控制,发现参数异常时,及时停机,查找原因,处置完成后恢复掘进。

7.4.9 地裂缝地段应由构造、地震、地面沉降或人工采空等原因,土体岩层产生开裂并形成一定长度和宽度的裂缝地段,可包括地表出露的地裂缝和未在地表出露的隐伏地裂缝。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.4.8 j) 的要求。
- b) 宜对地裂缝详细地质补勘,查明地裂缝规模、走向、长度、宽度、深度、分布范围、与隧道空间关系、产生原因、发展趋势,评价地裂缝对隧道影响程度,对地裂缝处治预设计;
- c) 应采用错缝拼装的管片拼装形式;
- d) 通过地裂缝时,可采取超前加固措施,并加强对地下水控制;
- e) 应对地裂缝位置注浆,填充空洞位置,并对管片接缝处处理;
- f) 应优化施工参数,防止壁后注浆等作业对地面产生不利影响;
- g) 应加强地面监测及巡视频率;
- h) 应采取防止地层被击穿的措施;
- i) 宜提高盾构推力,防止刀盘贯入度减小,快速通过地裂缝地段;
- j) 土压平衡盾构掘进时,宜增大土压力、减小出土量,保证掌子面稳定;
- k) 泥水平衡盾构施工时,宜增加泥水进浆量,弥补泥浆损失,保证掌子面稳定;
- l) 应采取防止隧道后期开裂的措施,可采取前期预处理、姿态控制、注浆充填等措施。

7.4.10 采空区地段应为存在地层规律可循并沿某特征地层挖掘形成坑洞的地段,可包括古老采空区地段、现代采空区地段和未来采空区地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.3.1 有毒有害气体地段盾构施工要求和 7.4.8 j) 的要求;
- b) 宜对采空区详细地质补勘,查明采空年代、规模、分布范围、与隧道空间关系,评价采空区对隧道影响程度,对采空区处治预设计,可采用预充填注浆措施;
- c) 宜采取增大管片配筋、提高管片含钢量等措施,提高管片力学性能。

7.4.11 液化土地段应为饱和土标准贯入锤击数(未经杆长修正)不大于液化判别标准贯入锤击数临界值的地段,具有土体固体状态转变为液体状态、土中孔隙水压力增大、有效应力减小、抗剪能力失去的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 宜对液化土地段详细地质补勘,查明水文、地质情况;
- b) 施工前,宜采用增加场地土体密度、改善排水途径等防止土体液化的方法;
- c) 盾构类型应根据地质条件、地下水状况和地表沉降控制要求等选择;
- d) 应控制盾构掘进参数,减小刀盘转速、推力,增大同步注浆压力和土仓压力;
- e) 应优化注浆浆液配比,加强壁后同步注浆和二次补浆;
- f) 采用土压平衡盾构,应加强渣土改良,减少喷涌现象;
- g) 采用泥水平衡盾构,应优化泥浆性能,加强泥浆质量控制;
- h) 宜采用多孔管片,后期采用补偿注浆;
- i) 应加强管片连接,可采取管片间焊接钢板、安装剪力销等措施;
- j) 应连续均衡施工,加强监测,并根据监测结果及时调整掘进参数;
- k) 应加强轴线控制,增加管片姿态监测频率。

7.4.12 钙质胶结地段应为土层中碎石被钙质物质胶结而成的具有一定强度固结体的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 宜对钙质胶结地段详细地质补勘,查明分布范围、物质组成、富水和导水情况;
- b) 盾构选型时应提高刀盘扭矩等参数,刀盘、刀具采用加强设计;
- c) 应控制掘进参数,加强刀盘转速、贯入度控制;

d) 应加强渣土改良和出渣管理。

7.4.13 坚硬岩地段应为单轴饱和抗压强度不小于 60 MPa 的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.4.1 e)和 f)的要求;
- b) 应根据水文地质条件和硬岩状况,选择合适盾构类型、刀盘形式、刀具形式及组合方式与数量;
- c) 应加强盾构姿态控制,禁止纠偏过量;
- d) 应提高刀具质量,保证破岩能力和使用性能,降低换刀次数;
- e) 宜增加边缘滚刀数量,减小刀间距,增强边缘的破岩能力;
- f) 可在刀盘上安装超挖刀,及时纠正偏差,确保盾构前进方向与隧道设计轴线方向一致;
- g) 刀具宜以盘形滚刀为主,掘进时可采用高转速、低贯入度的掘进方式;
- h) 掘进时应加强刀盘扭矩、推力、贯入度、渣土温度等参数管理,防止刀盘刀具过量磨损、刀盘卡死;
- i) 宜控制贯入度,适当提高刀盘转速,保证掘进速度;
- j) 采用泥水平衡盾构时,宜采用黏性大的泥浆,适当加大泥浆比重,增加泥浆流量。

7.4.14 软硬不均地段应为开挖断面范围内和开挖延伸方向上,由两种及以上地层组成,地层不均、单轴饱和抗压强度和压缩变形模量差异明显的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.4.1 e)和 f)的要求;
- b) 当在软硬不均地层掘进时,应采取控制地表变形的措施;
- c) 应控制盾构油缸推力,可采取硬岩区油缸推力大于软岩区油缸推力、调整推进油缸的油压差等措施;
- d) 宜差异调节同步注浆压力,防止管片位移变形;
- e) 应防止刀盘、刀具产生不良磨损;
- f) 刀盘、刀具宜采用磨损检测技术,对磨损量进行信息化监测;
- g) 应控制掘进参数,减少对围岩扰动;
- h) 应控制出土量、泥水进排泥量,防止超挖,加强开挖面压力管理,防止软弱地层发生超挖;
- i) 采用土压平衡盾构,应加强渣土改良,防止刀盘内结泥饼;
- j) 当盾构开挖面上部为硬黏土下部为承压水砂性土时,应向黏土层压注泥浆使之软化并加大盾构下部千斤顶顶力,增大砂性土压力防止砂性土液化流失引起盾构栽头,隧道底部注浆防止下沉;
- k) 必要时,应对地层预处理,可采用软土地层预加固或基岩地层预爆破,提高施工效率和施工安全性。

7.4.15 高承压水地段应为两个隔水层之间具有不小于 0.5MPa 静水压力的重力水地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 盾构类型应根据地质条件、地下水状况和地表沉降控制要求等选择;
- b) 应控制盾构开挖面压力、掘进速度、泥浆进排泥量等参数;
- c) 应采取减小切口水压力波动的措施;
- d) 应控制注浆压力和注浆量,提高管片拼装的精度和效率;
- e) 采用泥水平衡盾构时,应提高泥浆的物理力学性能,控制泥浆质量;
- f) 应采取防止管片上浮的措施。

7.4.16 泉水排泄区地段应为天然条件下含水层或含水系统中的地下水以泉水形式向外界排泄且土体具有高渗透性的地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应查明工程地质、水文地质条件,选取合适的盾构类型;
- b) 应加强开挖面管理与掘进参数控制,制定专项施工方案和监测方案;
- c) 应采取控制管片上浮的措施;

- d) 宜选择加强型盾尾刷和加厚型钢板束,提高盾尾密封系统部件强度和刚度;
- e) 采用土压平衡盾构时,添加剂注入系统和螺旋机出土系统应具备减小喷涌的功能;必要时配备保压泵碇系统,当遇喷涌,可开启保压泵碇系统;
- f) 采用泥水平衡盾构时,应优化泥浆性能,控制泥浆质量。

7.4.17 垃圾土地段应由建筑垃圾、生活垃圾、工业垃圾、商业垃圾等固体废弃物单独或与土体形成的混合物经填埋形成的特殊地段。盾构施工时,符合下列要求:

- a) 应符合 7.3.1 有毒有害气体地段盾构施工要求和 7.4.8 j) 的要求;
- b) 宜对垃圾土地段详细地质补勘,可采用勘探、原位测试和室内试验等手段,查明垃圾土历史填埋情况和现状情况、成分特征、类别、分布范围、埋藏深度和土体量,评价垃圾土对隧道影响程度,对垃圾土处治预设计;
- c) 应根据详勘探测情况,选取合适类型盾构、刀盘形式、刀具形式及组合方式与数量;
- d) 施工中应加强渣土取样,分析土体成分,适时调整掘进参数;
- e) 应加强地面监测及巡视频率,控制地面沉降;
- f) 应采取相应措施,防止地层被浆液、泡沫击穿。

8 监控量测

8.1 一般规定

- 8.1.1 监测方案和应急预案应根据施工环境、工程地质和水文地质条件、掘进速度、产权单位要求等制定。
- 8.1.2 施工监测方案应包括特殊地段和环境条件产生异常时的应急变形监测方案。
- 8.1.3 施工监测方案应根据监测对象变形量和变形速率等调整,对突发变形异常情况及时启动应急预案。
- 8.1.4 突发风险事件时的应急抢险监测应在监测工作基础上加密监测点、提高监测频率或增加监测项目,并宜采用远程自动化实时监测。
- 8.1.5 地面和隧道内监测点宜在同一断面布设;盾构通过后,处于同一段面内的监测数据应同步采集,并应收集同期盾构掘进参数。
- 8.1.6 施工监测仪器和设备应符合测量精度、抗干扰性、可靠性、定期标定等要求,应适应长期测试监测。
- 8.1.7 现场监测信息采集应采用仪器量测、现场巡查、远程视频等相结合方法。
- 8.1.8 施工监测项目、频率、控制值等监测信息应根据设计要求、施工方法、施工进度、监测对象特点、地质条件、周边环境条件、产权单位要求确定,并应符合反映监测对象变化过程的要求。
- 8.1.9 监测信息应及时处理、分析和反馈,发现影响工程及周边环境安全异常时,应立即报告。
- 8.1.10 竖向位移监测可采用水准测量方法,水准基点应埋设在变形影响范围外,且不得少于 3 个。在寒冷地区基准点应埋设在冻土层以下稳定的原状土层中。
- 8.1.11 水平位移监测可采用边角测量或 GNSS 等方法,并应建立水平位移监测控制网,水平位移监测控制点宜采用具有强制对中装置的观测墩和照准装置。
- 8.1.12 当采用物理传感器监测时,传感器埋设应符合仪器埋设规定和监测方案的规定。
- 8.1.13 当竖向位移监测采用静力水准测量方法时,静力水准埋设、连接、观测、数据处理等应符合 JGJ 8 的有关规定,测量精度应与水准测量相同。
- 8.1.14 监测点应埋设在反映变形、便于观测、易于保存的位置,不应影响或妨碍监测对象的结构受力、正常使用和美观。
- 8.1.15 特殊地段地表沉降观测断面和观测点设置应编制专项方案。

8.2 特殊地段监测

8.2.1 施工难度大地段施工监测符合下列要求：

- a) 应根据结构状况、重要程度对隧道内管片结构应力、结构收敛、结构上浮等监测，可在地面安置振动传感器、在管片结构上布设收敛钩、应力计及沉降观测点等，宜采用收敛仪、频率读数仪及全站仪监测；
- b) 应力监测元器件应预埋在管片内相应位置，并应在管片拼装前测试、采取初始值。

8.2.2 变形控制严地段施工监测符合下列要求。

- a) 监测点布设应在反映特殊地段变化敏感部位和受施工影响敏感部位。
- b) 宜对邻近土体分层变形监测以及深层土体沉降监测。
- c) 邻近建(构)筑物变形监测应根据结构状况、重要程度和影响范围确定；监测点布设应反映邻近建(构)筑物不均匀沉降、倾斜等。建(构)筑物沉降测点应布设在外墙周围，可采取粘贴式或嵌入式等布点方式，粘贴式宜采用粘贴观测条码和反射片等，嵌入式宜采用螺纹钢锚固嵌入。监测仪器宜采用倾角仪、全站仪等。
- d) 邻近地下管线的监测点应设置在管线上。无法观测的管线应采用周边土体分层沉降代替管线沉降监测，可在土体中埋设沉降仪或位移计监测变形。宜在重要管线影响区段加装气体检测装置，穿越期间应对管线周边加强巡视。直径较大雨污水管线监测时，宜对管线上方及周边先采取雷达探测工作后再布设管线沉降点。
- e) 道路设施地段宜对路面、路基、桥梁进行沉降或差异沉降监测。
- f) 轨道线路地段宜对隧道内管片及既有线路沉降结构应力及结构收敛、道床沉降以及轨道净距、震动等监测，宜采用远程自动化实时监测，可在既有结构上布设震动仪、应力应变计及沉降观测点等，宜采用净距仪、收敛仪、频率读数仪及全站仪观测。
- g) 文物保护单位应在明确结构基础、结构形式、结构现状、历史修缮等情况下对结构整体沉降、位移、倾斜、应力应变、裂缝、震动等监测，监测点位应布设在结构周围，监测仪器宜采用应力应变计、全站仪、倾斜传感器、位移传感器、裂纹监测传感器以及精密电子水准仪等。
- h) 高灵敏仪器设备场所地段宜对振动和噪声监测。

8.2.3 安全风险高地段施工监测符合下列要求：

- a) 穿越有毒有害气体地段，应对盾构盾尾密封、螺旋机排土门处气体、洞内空气、风速、风压实时监测，气体监测应采用固定式气体监测装置和便携式气体检测仪及声光报警器相结合方式；
- b) 穿越地下障碍物地段宜布设土体分层沉降监测点和土体位移监测点；
- c) 穿越水域地段应根据河道、防汛墙、码头保护要求和盾构施工风险控制要求采用专项监测设计，水底隆陷监测宜采用声纳法、水中设立观测桩法或测量船声波探测法。

8.2.4 地质条件特殊地段施工监测符合下列要求：

- a) 穿越大粒径卵石、漂石、孤石、岩溶、钙质胶结、软硬不均地段，宜布设土体分层沉降监测点和土体位移监测点；
- b) 穿越软土、湿陷性土、膨胀岩土、液化土地段，宜在盾构轴线上方加密布设土体分层沉降监测点；
- c) 穿越断裂带或破碎带、地裂缝、采空区、高承压水、泉水排泄区地段，宜在隧道上方布设深层沉降观测点及地下水位观测孔等，监测仪器宜采用精密电子水准仪及水位计等。

8.3 监测预警

8.3.1 盾构穿越特殊地段施工时，应根据盾构施工影响、特殊地段特点、监测项目控制值、当地施工经验和设计文件等制定监测预警等级和预警标准。

8.3.2 盾构穿越特殊地段时,应明确监测项目控制值,并应符合下列规定:

- a) 特殊地段监测项目及其控制值应根据盾构施工特点、周围水文地质环境、环境对象类型与特点、变化特征、盾构施工影响范围、已存在变形及趋势、环境对象重要性、易损性及产权单位要求等确定,且应符合保证监测对象安全、监测结果可靠的要求;
- b) 特殊地段监测项目控制值应在现状调查与检测基础上,通过分析计算或专项评估确定。

8.3.3 预警管理制度应根据监测预警等级和预警标准建立,预警管理制度应包括不同预警等级的警情报送对象、时间、方式和流程等。

8.3.4 当监测数据达到预警值时,应进行监测预警信息报送。

8.3.5 预警发布响应完成后应形成书面总结报告,形成闭环。

参 考 文 献

- [1] GB 50011 建筑抗震设计规范
 - [2] GB 50021 岩土工程勘察规范
 - [3] GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
 - [4] GB 50446 盾构法隧道施工及验收规范
 - [5] GB 50652 城市轨道交通地下工程建设风险管理规范
 - [6] GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
 - [7] TB 10003/J449 铁路隧道设计规范
 - [8] TB 10181/J2372 铁路隧道盾构法技术规程
-