

ICS 93.160

CCS P 59

DB 65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB65/T 4791—2024

水工隧洞敞开式 TBM 施工技术规范

Technical specification for open type TBM construction of hydraulic tunnels

2024-07-11 发布

2024-09-10 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发布

目 次

前言	III
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	3
4.1 施工	4
4.2 验收	4
4.3 工程管理要点	4
5 施工准备	4
5.1 一般规定	4
5.2 施工前调查	5
5.3 设计文件核对	5
5.4 施工阶段风险评估	6
5.5 施工组织设计	6
5.6 设备、设施	7
5.7 敞开式 TBM 辅助洞室及洞口工程	8
6 测量	9
6.1 一般规定	9
6.2 控制测量	9
6.3 施工测量	10
6.4 贯通和竣工测量	11
7 TBM 掘进	11
7.1 一般规定	11
7.2 步进	12
7.3 始发与试掘进	12
7.4 正常掘进	12
7.5 姿态控制	12
7.6 到达掘进	13
7.7 反坡掘进	13
8 初期支护	13
8.1 一般规定	13
8.2 钢拱架	13
8.3 网片	14
8.4 锚杆	14
8.5 喷射混凝土	14
9 不良地质施工	14

9.1	一般规定	14
9.2	不良地质掘进	14
10	二次衬砌	16
10.1	一般规定	16
10.2	模筑衬砌	16
10.3	特殊部位衬砌	16
11	施工运输	17
11.1	一般规定	17
11.2	无轨运输	17
11.3	有轨运输	17
11.4	皮带运输	18
12	超前地质预报	19
12.1	一般规定	19
12.2	预报方法及技术要求	20
12.3	预报信息管理与处置	20
13	监控量测	20
13.1	一般规定	20
13.2	监控量测内容及要求	20
14	TBM 施工安全	22
14.1	一般规定	22
14.2	掘进安全	23
14.3	支护与衬砌安全	23
14.4	到达掘进安全	24
14.5	拆卸安全	24
14.6	特殊地质条件下施工安全	24
14.7	施工物料运输安全	25
15	环境保护	25
15.1	一般规定	25
15.2	污水处理	25
15.3	弃渣场	26
15.4	噪音	26
15.5	废气	26
15.6	垃圾处理	27
15.7	固体废弃物处理	27
	参考文献	28

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。

本文件由新疆维吾尔自治区水利厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：新疆水发建设集团有限公司、盾构及掘进技术国家重点实验室、新疆水利发展投资（集团）有限公司、中铁隧道局集团有限公司、北京交通大学、中铁隧道股份有限公司、新疆维吾尔自治区标准化研究院。

本文件主要起草人：魏飞、王利明、杨峰、赵海雷、裴成元、曾垂刚、张亚明、倪志华、马平、文斌、王庆勇、李凤远、王哲、杨振兴、杨刚、韩伟锋、张惠兰、董长平、李行星、王建、杨光、翟乾智、周振梁、张万泉、张永辉、毛培良、武振兴。

本文件实施应用中的疑问，请咨询新疆水发建设集团有限公司。

对本文件的修改意见建议，请反馈至请反馈至新疆维吾尔自治区水利厅（乌鲁木齐市黑龙江路146号）、新疆水发建设集团有限公司、新疆维吾尔自治区市场监督管理局（乌鲁木齐市新华南路167号）。

新疆维吾尔自治区水利厅 联系电话：0991-5816236；传真：0991-5816236；邮编：830000

新疆水发建设集团有限公司 联系电话：0991-5989830；传真：0991-5989986；邮编：830000

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 联系电话：0991-2818750；传真：0991-2311250；邮编：830004

水工隧洞敞开式 TBM 施工技术规范

1 范围

本文件规定了水工隧洞敞开式TBM施工技术的基本规定、施工准备、测量、TBM掘进、初期支护、不良地质施工、二次衬砌、施工运输、超前地质预报、监控量测、施工安全、环境保护的要求。

本文件适用于敞开式TBM施工的水工隧洞工程。

注：本文件中的“TBM”及“掘进机”均为敞开式TBM。

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。

GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
GB 50108 地下工程防水技术规范
GB/T 50326 建设工程项目管理规范（附条文说明）
GB 50431 带式输送机工程技术标准（附条文说明）
GB 50720 建设工程施工现场消防安全技术规范
DL/T 5783 水电水利地下工程地质超前预报技术规程
SL 52 水利水电工程施工测量规范（附条文说明）
SL 279 水工隧洞设计规范
SL 378 水工建筑物地下开挖工程施工规范
SL 677 水工混凝土施工规范（附条文说明）
SL 764 水工隧洞安全监测技术规范（附条文说明）
T/CSPSTC 54—2020 岩石隧道掘进机法技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

敞开式岩石隧道掘进机 open type tunnel boring machine (TBM)

在稳定性较好的岩石中，利用撑靴撑紧洞壁以承受掘进反力及扭矩，不采用混凝土管片支护的岩石隧道掘进机。

[来源：GB/T 34354—2017,2.14]

3.2

岩石磨蚀性 rock abrasiveness

岩石对破岩工具造成一定程度磨蚀的性质。

注：可用岩石磨蚀性指数表征其强弱。

3.3

主机 main machine

全断面岩石隧道掘进机的开挖、推进和支护装置的总称。

[来源: GB/T 34354—2017,2.18]

3.4

后配套系统 back-up system

为主机提供工作支持条件、位于连接桥及其后方的设备和结构的总称,包括连接桥、后配套拖车及辅助设备。

[来源: GB/T 34354—2017,2.19]

3.5

刀盘 cutter head

设置在全断面岩石隧道掘进机的前端,通过旋转或其他运动方式对地层进行全断面开挖的钢结构和刀具的总成。

[来源: GB/T 34354—2017,2.20]

3.6

刀具 cutting tools

对地层进行切削或破碎的刀具。

[来源: GB/T 34354—2017,2.21]

3.7

主轴承 main bearing

主驱动单元中用于支撑刀盘旋转并传递掘进推力的轴承。

[来源: GB/T 34354—2017,2.38]

3.8

护盾 shield

全断面岩石隧道掘进机中用于保护设备及人员安全的周边壳体。

[来源: T/CSPSTC 54—2020,3.1.14]

3.9

撑靴系统 gripper system

敞开式岩石隧道掘进机中可撑紧洞壁承受掘进反力的系统,主要由钢结构架、液压缸、撑靴等组成。

[来源: GB/T 34354—2017,2.33,有修改]

3.10

通风系统 ventilation system

为全断面岩石隧道掘进机作业环境提供新鲜空气及进行散热的系统。

[来源: GB/T 34354—2017,2.64]

3.11

导向系统 guidance system

实时动态测量和显示全断面岩石隧道掘进机掘进位置和姿态的系统。

[来源: GB/T 34354—2017,2.75]

3.12

掘进机姿态 machine attitude

掘进机与隧道设计轴线之间的相对关系。

3.13

步进 stepping

掘进机利用支撑行走机构换步或滑行到工作面的过程。

3.14

总推力 **total thrust force**

全断面岩石隧道掘进机各推进油缸推力的总和。

3.15

施工斜井 **construction inclined shaft**

倾角 $6^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，为隧洞施工而开挖的倾斜通道，包括明斜井和盲斜井。

3.16

预备洞 **preparation hole**

一般因隧洞洞口覆盖层薄、岩石破碎稳定性差等原因，通常不适合敞开式TBM直接掘进，采用人工开挖至围岩条件较好的洞段，依靠TBM自身的步进装置进洞，并形成断面尺寸满足隧洞的功能要求和TBM步进通过要求的洞室。

[来源：T/CSPSTC 54—2020,3.1.27,有修改]

3.17

组装洞 **assembly hole**

由于地形条件限制或长隧洞分段掘进时，需要在洞内组装掘进机，修建满足设备组装并具备一定净空要求的附属洞室。

[来源：T/CSPSTC 54—2020,3.1.30]

3.18

始发洞 **starting hole**

在TBM步进至预备洞工作面开始掘进时，由步进状态转入掘进状态，使TBM能够提供撑靴支撑于已开掘的隧洞洞壁，能够达到克服摩擦力向前掘进的刀盘推力和扭矩，其断面净空能够满足掘进机通行而设置的一定长度的洞室。

[来源：T/CSPSTC 54—2020,3.1.28,有修改]

3.19

检修洞 **manhole**

在对掘进机进行检查、维修、修理、更换等工作任务时，为能够保持或恢复设备的期望功能，满足掘进机定期和不定期检修任务修建的一定规模附属洞室。

[来源：T/CSPSTC 54—2020,3.1.29,有修改]

3.20

接收洞 **receiving hole**

当掘进机完成掘进任务，受直接出洞条件限制，需提前修建满足掘进机接收功能的附属洞室。

[来源：T/CSPSTC 54—2020,3.1.31]

3.21

拆卸洞 **disassembly hole**

当掘进机到达掘进完成后，受地形条件限制，需要在洞内拆卸掘进机，而修建满足设备拆卸功能并具有一定净空要求的附属洞室。

[来源：T/CSPSTC 54—2020,3.1.32]

3.22

供电系统 **electric power supply systems**

为TBM掘进、施工照明、安全应急等提供动力和保障的关键措施。

4 基本规定

4.1 施工

4.1.1 TBM 施工应根据施工组织设计和施工条件建立安全、质量和环境保护体系，做到节能降耗、保护环境和文明施工。

4.1.2 TBM 在进场、组装、掘进、拆卸过程中，应建立过程控制保障体系，强化施工工艺流程组织，确保 TBM 正常使用。

4.1.3 隧洞工程施工应根据规定的测量精度及导向系统选择施测方法，并建立复核制度，隧洞的轴线应符合设计要求和 SL 279 的规定。

4.1.4 隧洞工程施工前宜由勘察设计单位牵头负责组织具有相应工作能力或资质的专业单位对隧洞分段进行地质复杂程度分级和地质风险等级划分，确定重点预报洞段，设计超前地质预报方案和制定超前地质预报实施细则。

4.1.5 隧洞工程施工过程中应收集真实、系统、完整的原始记录、试验检测数据、质量检测结果等质量保证资料以及施工影像资料，做好施工记录。隧洞竣工时应编写施工技术总结并及时存档。

4.1.6 应针对 TBM 工作特点，对影响劳动安全和工业卫生的各类危险有害因素进行分析，并采取相应的防护措施或工程措施。针对深埋长隧洞施工，还应研究其他特殊的防护措施或预案。

4.1.7 TBM 施工应根据地质条件、掘进信息及监控量测信息，及时调整掘进参数，优化支护结构，实行全过程动态管理。

4.1.8 TBM 施工应将监控量测、超前地质预报、设备参数及其他信息纳入大数据建设管理，实现项目信息化管理。

4.1.9 TBM 施工进入特殊地质段前，应根据设计提供的工程及水文地质资料，结合超前地质预报成果和现场实际情况，对可能遇到重大地质问题的特殊不良洞段，制定针对性的 TBM 掘进施工技术预案和应急预案，并做好设备、物资的储备工作。

4.2 验收

4.2.1 隧洞工程质量应满足结构安全、耐久性和使用功能等设计要求。

4.2.2 隧洞工程原材料、半成品和成品进场验收应符合 SL 677 的相关规定。

4.2.3 隧洞工程开挖中轴线及高程应符合设计要求。

4.2.4 TBM 验收内容应包括 TBM 设备整机质量、安全设施、设计布局、功能及性能等主要方面。

4.3 工程管理要点

4.3.1 核对设计文件，参与设计技术交底、检查及验收等工作，编制施工组织设计和专项施工方案。

4.3.2 编制隧洞掘进、初期支护等关键工序的作业指导书，明确施工作业标准和工艺要求。

4.3.3 确定设备主要功能及参数，编制设备运输、组装调试、步进始发、掘进、检修、拆机等方案。

4.3.4 出现紧急情况应启动应急救援预案，积极组织抢险防止损失扩大，并应根据损失情况及时逐级上报。

5 施工准备

5.1 一般规定

5.1.1 隧洞施工前应针对 TBM 施工工程特点和内容进行现场调查，了解 TBM 施工条件、施工范围和当地交通、电力供应、通信、材料供应情况。

5.1.2 隧洞施工前，应了解工程所在地的环境保护要求，进行工程环境调查。

5.1.3 施工准备应包括临时设施及场地、供应系统、技术文件与施工人员培训等准备。

5.1.4 TBM 施工临时设施及场地布置应符合下列要求：

- a) 应本着“节约用地，施工必需”的原则进行布置，并注意环境保护和水土保持工作；
- b) TBM 相配套的临时设施应满足不同时期 TBM 施工的要求；
- c) 应留有足够的场地满足运输装卸、组装、出渣倒运、材料供应、混凝土拌合运输、电力供应及环保需要等施工占地要求。

5.1.5 供应系统准备应符合下列要求：

- a) 供水系统：洞口水池、供水管提供的供水量应满足 TBM 连续施工综合用水要求，水质及水压应满足 TBM 设备使用要求；
- b) 通风系统：应满足 SL 279 对通风系统的要求，保证 TBM 后配套系统上的风流压力满足施工要求；
- a) 供电系统：施工供电系统应满足洞内 TBM 施工和洞外生产管理及生活综合用电需求。

5.1.6 技术文件准备应包括下列内容：

- a) 工程地质和水文地质勘查报告；
- b) 施工所需的设计图纸资料和工程技术要求文件；
- c) TBM 运输道路的地形和设施核查资料。

5.1.7 施工作业人员应专业齐全、满足施工要求并应经过专业培训，考核合格后方能上岗；特种人员应持证上岗。

5.2 施工前调查

5.2.1 施工前调查应查阅设计文件和相关资料，制定调查提纲。调查结束后，根据调查情况编写书面的施工调查报告。

5.2.2 施工前调查应包括下列内容：

- a) 工程概况：包括工程环境、气候特征、工程地质、水文地质、工程规模和工程特点等；
- b) 工程的施工条件：包括施工运输、水源、供电、通信、场地布置、弃渣场地及容纳能力、征地拆迁情况等；
- c) 当地原材料及半成品的品种、质量、价格及供应能力等；
- d) 当地的交通运输状况，包括运能、运价、装卸费率等；
- e) 地方生活供应、医疗、卫生、防疫、民族风俗及居民点的社会治安情况等；
- f) 对当地生态、环境保护的一般规定和特殊要求，工程对环境可能造成的近、远期影响等；
- g) 当地可供利用的劳动力资源状况，包括工费、就业情况等；
- h) 绘制施工调查平面总图。

5.3 设计文件核对

5.3.1 设计文件的核对应包括下列内容：

- a) 标准、技术条件、设计原则等；
- b) 隧洞的平面及纵断面；
- c) 隧洞的勘测资料，如地形、地貌、工程地质、水文地质钻探图表等；
- d) 设计各专业的接口及相互衔接的施工方法和技术措施；
- e) 隧洞穿过不良地质地段的设计方案，隧洞施工对环境可能造成影响的预防措施；
- f) 洞口位置、洞门式样、洞口边坡与仰坡的稳定程度、衬砌类型、辅助坑道的类型和位置等；
- g) 指导性施工组织设计；
- h) 洞内外排水系统和排水方式等；
- i) 施工通风方案；

j) 弃渣场的设计、位置及渣容量是否能满足施工需要和环保要求。

5.3.2 控制桩和水准基点的交接和复核应符合下列规定：

- a) 隧洞控制桩和水准基点的交接，应在建设单位主持下，由设计单位持交桩资料向施工单位逐桩、逐点交接确认，遗失的应补桩；
- b) 对接收的控制桩和水准基点，应按同等级测量精度进行复核并保护；
- c) 测量复核结果应呈报监理工程师，审核批复后方可使用。

5.3.3 在施工调查和设计文件核对后，应将结果及存在的问题，以书面形式报送建设、设计、监理等相关单位。

5.4 施工阶段风险评估

5.4.1 隧洞施工阶段风险的评估、监测、处理、管理应参照相应行业的有关规定。

5.4.2 施工单位应根据设计阶段的评估结果，进一步评估设计确定的主要风险源、风险等级以及采取的降低风险措施实施的可行性，提出施工阶段的风险评估结果及措施。

5.4.3 施工阶段风险评估，应在施工的全过程中根据风险识别情况，分阶段进行风险监控和管理。

5.4.4 风险评估流程宜参照图1。

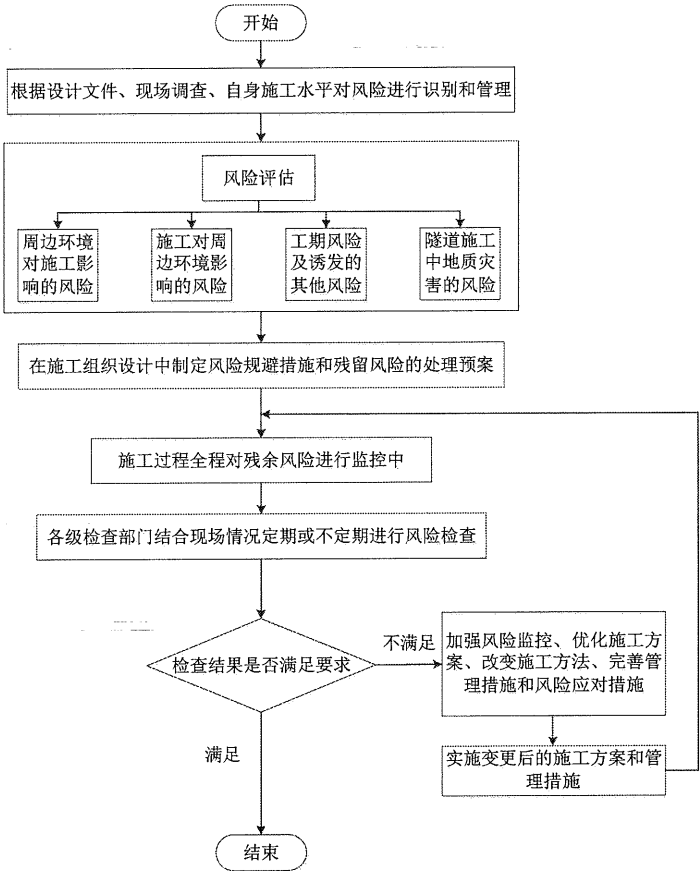


图1 风险评估流程图

5.5 施工组织设计

5.5.1 施工组织设计应根据工程地质条件、设计方案、工程特点、施工条件等因素进行编制，合理组织和安排工期、施工方案、施工方法，并提出劳动力、材料、机具设备等生产资源的合理配置。

5.5.2 隧洞施工分段、施工方案选择、施工通道型式、工业广场位置和辅助工程等施工规划宜结合工程地质、工程布置、隧洞特性、设备能力、施工条件及工程所在地区社会的自然条件和环境保护等因素，通过技术经济比选后确定。并统筹规划准备期和主体工程施工期的施工装备、施工交通、施工总布置及各种配套临时设施。

5.5.3 编制实施性施工组织设计应以下列内容为依据：

- a) 工程建设法律、法规和有关规定文件；
- b) GB/T 50326 中项目管理实施规划的要求；
- c) 建设工程项目的招标文件及合同文件；
- d) 设计文件、现行的相关国家标准、行业标准及企业标准等；
- e) 企业的质量管理、环境管理和职业健康安全管理等体系文件；
- f) 设计单位技术交底纪要；
- g) 调查资料，如气象、交通运输情况、当地建筑材料分布、临时辅助设施的修建条件以及水、电、通信等情况；
- h) 企业的实际施工水平。

5.5.4 实施性施工组织设计应包括下列内容：

- a) 地理位置、地理特征、气候气象、工程地质、水文地质、工程设计概况、主要工程数量等；
- b) 合同文件关于工期、安全、质量、文明施工、环境保护等的要求；
- c) 施工条件、工程特征分析（特点、重点、难点）、施工方案；
- d) 施工单位关于工期、安全、质量、文明施工、环境保护的控制目标；
- e) 项目经理部组织机构设置及岗位职责；
- f) 洞口生产场地布置及临时工程规划；
- g) 洞内、外管线布置及风、水、电供应方案；
- h) 编制各工序进度指标、施工总进度计划、单位工程施工进度计划及次级进度计划横道图、网络计划图并标明关键线路；
- i) 洞口工程、进洞、洞身开挖、钻爆设计、TBM 施工准备（制造、监造、运输、组装、调试、步进）、测量、TBM 掘进、初期支护、二次衬砌、施工运输、施工通风、施工排水、超前地质预报、监控量测等工序的施工方法、工艺流程、检验标准、实施要点；
- j) 机械设备配备、劳动力配备、主要材料分阶段供应计划、主要材料的采购、运输方式等；
- k) 材料检验、工程计量、资料归档、成本控制、职工培训计划等各项管理制度；
- l) 关于工程工期、工程质量、安全生产、文明施工、环境保护和雨季、冬季及高温季节施工的组织、技术、经济等保证措施及奖惩条例；
- m) 施工过程中对环境的直接影响和潜在的影响，对各种影响因素所采取的预防和保护措施；
- n) 施工阶段风险评估和风险规避措施；
- o) 隧洞施工地区复杂地质条件的施工措施和发生自然灾害、施工过程发生紧急情况时的应急预案。

5.5.5 项目管理有关部门的专业技术管理等人员应参与实施性施工组织设计的编制。

5.5.6 在实施过程中应根据客观条件、生产资源配置的变化情况及时调整实施性施工组织设计，并及时报送监理工程师批准，实行动态管理。

5.6 设备、设施

5.6.1 掘进机及配套设备应进行进场设备检验。

5.6.2 测量、监测仪器及配套施工设备应按工程特点和环境条件配备。

5.6.3 长大隧道应配置合理的通风设备和出渣方式，选择合理的洞内供料方式和运输设备，并达到环

境保护的要求。

5.6.4 反坡或坡度小于 1/3000 掘进时，排水设施应配置到位。

5.7 敞开式 TBM 辅助洞室及洞口工程

5.7.1 TBM 辅助洞室包括预备洞、组装洞、始发洞、检修洞、拆卸洞、接收洞。

5.7.2 预备洞应满足以下条件：

- a) 预备洞采用钻爆法施工、复合式衬砌、TBM 步进前完成施工；
- b) 预备洞长度可按公式 (1) 估算：

$$L \geq L_1 - L_2 + L_3 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

L ——预备洞长度，单位为米 (m)；

L_1 ——TBM 设备总长度，单位为米 (m)；

L_2 ——洞外拼装场长度，单位为米 (m)；

L_3 ——富裕长度，单位为米 (m)。

5.7.3 组装洞应满足以下条件：

- a) 满足 TBM 组装及大型配件的运输、吊装需求；
- b) 满足大型车辆的运输通行、错车、快速掘进的材料存储、洞内抽排水、物料运输（皮带机、运输轨线等）需求；
- c) 满足其他辅助配套设施安装、使用；
- d) 根据现场及后期掘进施工需要，合理利用现场有限空间，对应设置其它功能性辅助洞室（如集水仓、会车洞、绞车洞室、倒车洞、抽水泵站等）；
- e) 组装洞应在设备进场之前完成施工，达到设备组装条件。

5.7.4 始发洞应满足以下条件：

- a) 为保证 TBM 开始掘进，应设置始发洞，其支护后直径应大于刀盘直径 300 mm；
- b) 始发洞长度应根据围岩情况，按撑靴需要支撑在始发洞壁的位置确定；
- c) 如采用平底步进小车步进，始发洞应设置 TBM 始发台；
- d) 始发洞撑靴位置初支弧度应与撑靴弧度匹配。

5.7.5 检修洞尺寸应根据 TBM 掘进设备实际状况而制定的需要检修具体内容，结合转场附属设施布置来确定。

5.7.6 拆卸洞应满足以下条件：

- a) 长度不应小于主机长度与 2 倍刀盘直径之和；
- b) 宽度不应小于刀盘直径的 1.5 倍；
- c) 高度应高于刀盘起吊高度 2 m。

5.7.7 接收洞净空断面相关要求参见 5.7.2。

5.7.8 洞口工程应满足以下条件：

- a) 施工场地布置按下列要求进行平面设计：
 - 1) 有利于生产、文明施工，节约用地和保护环境；
 - 2) 实现统筹规划，分期安排，便于各项施工活动有序进行，避免相互干扰；
 - 3) 保证掘进、出渣、衬砌、转运、调车等需要，满足设备的组装和初始条件。
- b) 施工场地临时工程布置包括：
 - 1) 确定弃渣场的位置和范围；
 - 2) 有轨运输时，洞外出渣线、备料线、编组线和其他作业线的布置；
 - 3) 汽车运输道路和其他运输设施的布置；

- 4) 确定 TBM 的组装和配件储存场地;
- 5) 确定风、水、电设施的位置;
- 6) 确定砂、石、水泥等材料、机械设备配件等机料存放或堆放场地;
- 7) 确定各种生产、生活等房屋的位置;
- 8) 场内供、排水系统的布置。
- c) 仰拱块加工车间应配置吊装运输线、模具车间、拌合站、钢筋加工车间、蒸汽养生及养护池、室外存放仰拱块场地, 满足仰拱块生产进度和储存数量要求;
- d) 弃渣场地要符合环境保护的要求, 弃渣不应堵塞沟槽和挤压河道, 弃渣场的渣堆坡脚采用重力式挡土墙挡护;
- e) 组装场应位于洞口附近, 场地应用混凝土硬化, 强度满足承载力要求;
- f) 根据设备主要大件运输要求, 必要时加固和加宽 TBM 设备的运输便道。

6 测量

6.1 一般规定

- 6.1.1 TBM 施工测量应满足 GB/T 18314 及 SL 52 的有关规定。
- 6.1.2 TBM 施工测量方案应根据 TBM 结构和其自身配置的导向系统的精度, 以及配套测量仪器精度等确定。
- 6.1.3 当线路控制网不能满足长大隧洞贯通精度要求时, 应在隧洞开挖前, 建立隧洞独立施工控制网。
- 6.1.4 隧洞长度大于 2 km 时, 应进行平面控制网设计。水准路线长度大于 6 km 时, 应进行高程控制网设计。控制网技术设计应符合下列规定:
 - a) 洞外控制测量前, 应根据规定的隧洞洞外控制测量贯通误差进行洞外控制网设计;
 - b) 完成洞外控制测量后, 应估算洞外控制测量引起的贯通误差;
 - c) 根据总的洞内外贯通中误差和洞外控制测量后贯通中误差, 进行洞内控制测量设计, 由此确定洞内控制测量方案;
 - d) 对于相向开挖长度大于 20 km、独头掘进长度超过 15 km 和通过竖井进行贯通的隧洞, 应单独设计平面控制测量。当洞外水准路线大于 150 km 时, 应单独设计水准测量精度等级。
- 6.1.5 经纬仪、水准仪及标尺、光电测距仪、全站仪、GPS 全球定位系统等各类测量仪器设备在使用过程中都应按规定周期进行检定和校正。

6.2 控制测量

- 6.2.1 同一座隧洞的不同开挖洞口, 应以统一的洞外控制测量成果为准引测进洞。
- 6.2.2 洞外高程控制测量应根据技术设计确定的精度等级执行。二等高程控制测量应采用水准测量方法。相邻开挖洞口间绕行路线长的越岭地段, 二等高程控制测量可采用精密光电测距三角高程测量方法。
- 6.2.3 洞口测站观测应选择阴天或夜间进行, 有条件时选择洞内外温差较小的季节。测量时, 宜停止通风, 视线宜尽量远离地面, 远离通风机、风管及洞口附属建筑物。
- 6.2.4 洞内导线应随施工进度分期、分段布设。建立新一期导线前, 应检测原有控制点。在隧洞贯通前, 应进行至少 3 次的洞内导线复测, 采用历次成果的加权平均值作为最新采用成果。
- 6.2.5 洞内导线起算坐标和方位角应采用测量设计时确定的进洞联系边测量成果。洞内导线平差应采用严密平差。
- 6.2.6 对于施工斜井、横洞与正洞交叉口附近的平纵断面设计, 宜尽可能增大平曲线半径和最小纵坡长度, 以利于增加导线边长, 减少短边数量。当边长小于等于 200 m 时, 应采取补强措施, 采取强制对

中、三联脚架法或自由测站边角交会法进行测量。

6.2.7 洞内高程测量应采用水准测量进行往返观测，并应隔 200 m~500 m 设置一对水准点。洞内水准点应结合地质条件、施工方法和施工进度进行定期复测。建立新一期水准点前，应检测起算高程点。

6.2.8 对于双向贯通长度大于 20 km、独头掘进长度大于 15 km 的特长隧洞，宜采用一次定向精度高于 5 s 的陀螺仪，在隧洞内每 5 km 进行 1 次陀螺定向测量，对洞内导线方位进行检核。

6.3 施工测量

6.3.1 TBM 始发前，应将平面和高程测量数据传入隧洞内的控制点上，满足 TBM 组装时的设备安装以及 TBM 始发对测量的要求。

6.3.2 TBM 步进之前应对始发洞的断面净空进行测量，不应侵限。

6.3.3 TBM 应配备自动导向系统，实时测量并显示 TBM 的姿态。

6.3.4 TBM 应给导向系统预留测量窗口，测量窗口宜从 TBM 后部一直延伸到刀盘护盾内部，任何设备不应侵入测量窗口。在测量窗口附近，不宜安装能产生大量热量的机械设备。

6.3.5 导向系统应满足下列要求：

- a) TBM 姿态的测量内容，应包括刀盘和盾尾的里程、方向和高程偏差，TBM 前体的俯仰角、偏航角和滚动角等参数，并实时以图形和数字方式显示在主控室电脑屏幕上；
- b) 导向系统测量的 TBM 姿态数据，应能够被大数据平台读取；
- c) 导向系统测量 TBM 静止时的位置中误差应小于等于 ± 5 mm，轴线角度中误差应小于等于 ± 1 mm/m。

6.3.6 隧洞设计轴线数据（DTA），应经复核无误后，方可输入导向系统。在整个掘进过程中，应保证系统内存使用 DTA 的正确性。

6.3.7 TBM 应设置人工测量点，用于对 TBM 姿态进行人工测量。人工测量点应满足下列要求：

- a) 人工测量点位应牢固设置在与 TBM 轴线相对关系固定之处；
- b) 人工测量点设置数量大于等于 3 个，由此形成的空间三角形面积宜尽量大。标志点宜焊接棱镜强制对中装置；
- c) 1 次置镜应能观测到 3 个或 3 个以上点位；
- d) 人工测量点应与 TBM 轴线建立明确的几何换算关系。

6.3.8 TBM 始发前，应对 TBM 姿态进行人工测量，测量结果与导向系统测量结果较差的限差为：激光靶（马达棱镜）处平面和高程 ± 15 mm，偏航角、俯仰角与滚动角限差 ± 2 mm/m，里程限差 ± 10 mm。超出限差时，应对导向系统进行零位设置。

6.3.9 TBM 姿态测量应满足下列要求：

- a) TBM 姿态测量内容包括平面偏差、高程偏差、俯仰角、方位角、滚转角及切口里程；
- b) TBM 姿态计算取位精度应符合表 1 的规定。

表1 TBM 姿态计算取位精度

名称	取位精度
平面偏差/mm	1
高程偏差/mm	1
俯仰角/°	1
方位角/°	1
滚转角/°	1
切口里程/m	0.01

6.3.10 在下列情况下，应进行人工测量：

- a) 导向系统出现故障不能工作，需要继续掘进时；
- b) 激光靶/马达棱镜/倾斜仪托架变形、位置改变或拆除后重新安装时；
- c) 掘进偏差较大时；
- d) 对导向系统测量结果有怀疑；
- e) 隧洞贯通前；
- f) 正常掘进时，按照每周 1 次或每掘进 100 m 进行 1 次人工测量的频率，对导向系统进行检核。

6.3.11 导向系统的全站仪与后视棱镜应固定在相对稳固的岩壁，采取合理措施及时发现和纠正可能出现的平面和高程位移、旋转、后视方向变化等情况。

6.3.12 全站仪前移搬站应符合以下规定：

- a) 记录搬站前的 TBM 姿态；
- b) 搬站过程中，应停止掘进；
- c) 以经检测后确认无误的控制点为准，测量新全站仪托架的坐标高程；
- d) 对比搬站前后 TBM 姿态数据。搬站前后刀盘、盾尾的姿态较差应控制在 20 mm 以内，超限时应查找原因，必要时重新测量。

6.3.13 隧洞贯通前，应对接收端洞门进行测量复核，并根据洞门实际偏差，调整盾构机姿态，对准接收端洞门。

6.4 贯通和竣工测量

6.4.1 隧洞贯通后应进行贯通测量，贯通测量包括隧洞的纵向、横向、高程贯通误差和方位角贯通误差。

6.4.2 相向施工的两台 TBM 如采用地中对接施工，在贯通前 2 台 TBM 刀盘相距 30 m 时，宜采用钻孔的方法提前连通两个掌子面，测定贯通误差，调整 TBM 姿态精确对准。

6.4.3 隧洞的纵、横向贯通误差，可利用隧洞贯通面两侧平面控制点测定贯通相遇点的坐标闭合差确定，也可利用隧洞贯通面两侧中线在贯通相遇点的间距测定。方位角贯通误差可利用两侧平面控制点测定邻近贯通面同一导线边方位角较差确定。隧洞的纵、横向贯通误差应投影到线路的法线方向上。

6.4.4 TBM 与钻爆法进行贯通的隧洞，钻爆段距离预计贯通点 300 m 时，开挖断面宜适当加宽，加宽值不应超过该隧洞横向贯通限差的一半。

6.4.5 贯通误差宜在未衬砌地段调整。当不影响已衬砌段的建筑限界时，调整范围可伸入已衬砌段。

6.4.6 贯通误差的调整，可采用洞内轨道控制网（CPIII）实测隧洞中线，采用线位拟合法进行调整。以满足线路设计规范和轨道平顺性要求为原则，调整后的线路应满足隧洞建筑限界要求。调线地段的衬砌、沟槽和无砟轨道均应调整后的中线和高程进行放样。

6.4.7 对于相向开挖洞口长度大于 15 km 的隧洞，进行洞内线路平面控制网（CPII）测量时，每间隔 5 km，宜联测一个施工阶段的控制点，以此为准进行整网约束平差。

6.4.8 隧洞竣工测量应包括以下内容：

- a) 洞内 CPII 控制网测量；
- b) 隧洞二等水准贯通调整测量；
- c) 隧洞内线路贯通测量；
- d) 隧洞断面测量。

7 TBM 掘进

7.1 一般规定

- 7.1.1 应做好掘进姿态的控制，确保隧洞轴线符合设计要求。
- 7.1.2 应根据隧洞的地质条件，选择合理的掘进参数并持续进行超前地质预报。
- 7.1.3 应加强对刀具检测、检查，对刀具消耗量及其他各项材料消耗进行统计和分析，并定期进行设备强制保养和状态检测。

7.2 步进

- 7.2.1 步进之前应对钻爆段净空进行测量验收，满足 TBM 步进要求。
- 7.2.2 步进可选用平底、平底+导向槽或弧型槽+导向轨方式。
- 7.2.3 操作司机应密切监视各主要部件的状态，安排专人加强对 TBM 稳定情况、底板完好状态的巡视。专职安全员应全程旁站。
- 7.2.4 步进轨排应整体安装连接牢固，保证结构的稳定性，防止受压失稳。
- 7.2.5 步进过程中应做好步进中线检查，发现偏差及时纠偏。
- 7.2.6 步进结束后，拆除步进装置，检查 TBM 设备状况，开始 TBM 始发相关准备工作。

7.3 始发与试掘进

- 7.3.1 始发前应派专人检查掌子面，确保岩面平整、无异物，必要时施作锁口。
- 7.3.2 敞开式岩石掘进机始发时确保撑靴撑紧始发洞壁。
- 7.3.3 始发时应加强测量工作，严格控制 TBM 的姿态。
- 7.3.4 试掘进长度应根据 TBM 运行情况与掘进段地质情况综合确定。
- 7.3.5 始发及试掘进推进过程中，应依据超前地质预报并结合掌子面的岩石状况选择掘进参数。
- 7.3.6 试掘进过程中，应加强 TBM 各机械、液压、电气、皮带系统运转情况检查并记录。
- 7.3.7 在试掘进初期，掘进速度不宜过快，应以低速度、低推力进行试掘进，了解设备对岩石的适应性。待掘进、支护、物料运输等各项工作协调配合度提高后，方可逐步加快掘进和支护速度。

7.4 正常掘进

- 7.4.1 掘进参数应根据地质勘察结果、围岩揭示情况及监控量测信息等因素调整。
- 7.4.2 掘进过程中掘进参数和出渣量异常时应及时分析，并进行针对性处理。
- 7.4.3 根据围岩、皮带机渣料量、渣料粒径等与掘进参数变化情况，实时调整刀盘、刀具检查频次。
- 7.4.4 TBM 姿态应根据导向系统实时调整，定期人工复测，不应一次性大幅度调向。
- 7.4.5 TBM 正常掘进期间，应加强通风、供排水、供电、材料供应管理，保证 TBM 施工各环节的协调统一。
- 7.4.6 在掘进过程中 TBM 主司机应仔细观察各仪表的显示数值，设备维护人员应加强巡视，发现异常时及时分析，必要时停机检查处理。

7.5 姿态控制

- 7.5.1 TBM 推进过程中应严格控制推进轴线，使 TBM 的运动轨迹在设计轴线允许偏差范围内，TBM 中线及高程偏差应满足 T/CSPSTC 54—2020 的相关要求。
- 7.5.2 TBM 步进时及到达始发洞时，应控制 TBM 的姿态在设计允许偏差范围内。到达始发洞后，TBM 宜调整为 5‰~10‰的抬头趋势。
- 7.5.3 TBM 滚转角不宜超过 15 mm/m，掘进过程中随时调整。
- 7.5.4 TBM 轴线纠偏应符合以下要求：
 - a) TBM 姿态与隧洞设计中线及高程的偏差控制在设计值允许的范围内；

- b) 偏离设计轴线小于等于 200 mm 时,掘进中或换步时,应小量纠偏。掘进偏离设计轴线大于 200 mm 时,应编制纠偏方案;
- c) 每次调向动作不应使边刀移动量超过 3 mm;
- d) TBM 的导向角控制在 10 mm/m 以内;
- e) 每次调向的导向角变化量控制在 2 mm/m 以内,硬岩地段导向角变化量还应适当减小,以防造成边刀的损坏。

7.6 到达掘进

7.6.1 到达掘进前,应编制 TBM 到达施工方案。

7.6.2 到达掘进前应做好以下工作:

- a) 检查洞内的测量导线、掘进趋势,调整贯通误差;
- b) 接收洞、接收导台施作完成;
- c) 吊装设备已安装完成并通过验收,检修设备、工具齐备。

7.6.3 到达掘进应控制掘进参数,及时支护或回填灌浆。

7.6.4 应做好接收洞围岩的加强支护及监测。

7.7 反坡掘进

7.7.1 反坡掘进应根据设计最大涌水量进行泵站管路配置,宜充分考虑排水系统的流量和扬程,避免淹没隧洞。

7.7.2 反坡掘进应对运输系统的适用性与突涌水风险的可控性进行评估。

7.7.3 施工排水应配置双方案,施工排水供电应配置双电源。

7.7.4 TBM 电机等核心部件应具有较高的防水等级,隧洞内各配电系统宜高位放置。

8 初期支护

8.1 一般规定

8.1.1 初期支护包括喷混凝土、挂网/钢筋排、锚杆、钢拱架等。喷锚支护施工中,应做好喷锚支护施工记录、锚杆锚固力或拉拔力、喷混凝土的强度、厚度、外观尺寸等项检查和试验报告、监控量测记录。

8.1.2 软弱围岩地段施工应坚持“管超前、低转速、低贯入度、强支护、快封闭、勤量测”的施工原则,围岩出露后根据围岩破碎程度应及时进行针对性初期支护,必要时可采取边刀扩挖方式。

8.1.3 初期支护背后空腔、松散体应及时加固处理。

8.1.4 富水洞段可根据现场情况采取超前泄水或超前注浆堵水措施,已开挖段应采取集中引排或径向注浆堵水等措施。

8.1.5 支护体系应根据围岩监控量测结果、工程地质、水文地质条件等实际揭露围岩情况合理调整。

8.2 钢拱架

8.2.1 钢拱架应在开挖后及时架设,钢拱架安装前钢拱架安装器应位于初始状态,采用折臂吊机、手动或电动葫芦、人工配合吊装钢拱架并固定在拼装轮托架上,然后安装其余单节钢拱架,钢拱架自由端采用连接板、连接螺栓连接且螺栓拧紧牢固。

8.2.2 钢拱架安装前应清除仰拱的虚渣及杂物。

8.2.3 钢拱架间距及其横向位置和高程的偏差不应大于 ± 5 cm,垂直度不应大于 $\pm 2^\circ$ 。

8.2.4 钢拱架应密贴围岩并与锚杆焊接牢固,以增强其联合支护的效应,钢拱架之间应按设计采用纵

向连接筋连接，当遭遇不良地质时，纵向连接筋可采用槽钢、工字钢等刚性更强的材料代替。

8.2.5 钢拱架应与喷混凝土形成一体，钢拱架与围岩间的间隙宜采用喷混凝土充填密实，保护层厚度满足设计要求。

8.3 网片

8.3.1 钢筋网应在洞外分片制作，网格间距误差 ± 20 mm。

8.3.2 网片搭接长度应大于等于 200 mm，搭接处用扎丝绑扎。

8.3.3 锚杆钻机作业范围以外的部位，应采用手持风钻施作 0.5 m~1.0 m 的短锚筋固定网片。

8.3.4 撑靴系统以上部位的钢筋网应在围岩出露护盾后立即安装，撑靴及以下部位的钢筋网可在撑靴系统通过后进行安装。

8.3.5 网片铺设应圆顺美观、横平竖直，且与钢拱架、锚杆焊接成整体。

8.4 锚杆

8.4.1 锚杆施工时，由 TBM 主机上配备的锚杆钻机实现设计支护范围内的锚杆钻孔。

8.4.2 锚杆原材料加工前应去污除锈，无明显损伤。

8.4.3 锚杆的类型长度、数量、布置范围应满足设计要求，并采用锚固剂、砂浆等填塞密实。

8.4.4 锚杆与岩壁的角度以钻机打设角度为准，方向宜尽可能径向或与岩面大角度相交。若因角度限制垫板不能与岩面密贴时，垫板与岩面的空隙采用锚固剂、砂浆填塞密实。

8.5 喷射混凝土

8.5.1 喷射混凝土前，应用高压水冲洗作业面，清除浮石、松动的岩块、岩粉、岩渣等，对遇水易潮解的岩层可用风压清除岩面的松石、浮渣和尘埃，确保岩面干净。

8.5.2 混凝土拌合物在运输或停放过程中应不停搅拌，喷射前应对管路、泵站等进行疏通。

8.5.3 采用混凝土喷射系统施做混凝土时要分层分段、自下而上的顺序进行作业，拱顶每层混凝土喷射厚度应控制在 3 cm~5 cm，边墙每层喷射厚度应控制在 6 cm~8 cm。

8.5.4 喷射混凝土应密实、圆顺、平整、无裂缝、脱落、漏喷、空鼓现象，锚杆头及钢筋无外露。对于一次衬砌成型的隧洞，喷射混凝土表面平均起伏差应控制在 50 mm 以内。对于二次衬砌成型的隧洞，初次喷射混凝土表面平均起伏差应控制在 100 mm 以内。

8.5.5 冬季施工时，作业区的气温和混合料进入喷射机的温度均不应低于 5℃。

8.5.6 当有钢筋排、网片、钢拱架时，应控制风压，以减少钢筋网振动，降低回弹。

8.5.7 喷射混凝土应采用湿喷工艺，可添加钢纤维或合成纤维。

9 不良地质施工

9.1 一般规定

9.1.1 进入特殊地质段施工时，应根据具体情况制定地质预测、预报方案。根据地质预测、预报的结果，及时地调整施工方案。应加强量测工作，并及时反馈量测结果，进行动态设计和动态施工。

9.1.2 TBM 穿越不良地质时应做好相应技术、物资、机械的准备。

9.2 不良地质掘进

9.2.1 软弱破碎地段 TBM 施工宜按以下要求进行作业：

- a) 减缓掘进速度，当出渣量明显增大时，宜降低掘进速度检查分析原因，必要时停机处理；

- b) 小规模岩石剥落无需停机, 调整掘进参数, 挂钢筋网, 打锚杆, 喷混凝土, 必要时立钢拱架支护掘进通过;
 - c) 中等规模坍塌, 宜停机进行处理, 可采用化学灌浆封闭坍塌、固结坍塌体, 围岩稳定后继续掘进, 安装全圆钢拱架, 必要时增加钢筋排, 应急喷射混凝土快速封闭围岩;
 - d) 大规模坍塌破碎, 应停机进行处理, 坍塌体采用化学灌浆固结, 以及超前管棚、注浆加固措施, 加固完成后恢复掘进, 必要时安装全圆钢拱架。若破碎段落较长可采用辅助洞室进行长距离预加固处理, 加固完成后恢复掘进;
 - e) 撑靴处坍塌部位采用喷射或模筑混凝土封闭回填;
 - f) 富水软弱破碎围岩可采取超前钻孔排水或注浆堵水措施;
 - g) 破碎段掘进通过后应立即对坍塌、松散体进行混凝土回填或注浆回填加固。
- 9.2.2 岩爆地段 TBM 施工宜按以下要求进行作业:
- a) 隧洞施工中可能发生岩爆时, 应遵循“以防为主, 防治结合”的原则;
 - b) 发现有岩爆迹象时, 应综合选择微震监测、工程地质类比、观察分析等手段预判岩爆等级, 并制定相应处理措施;
 - c) 轻微岩爆段, 宜采用涨壳式锚杆;
 - d) 中等岩爆段, 开展微震监测, 宜采用涨壳式锚杆、钢纤维喷射混凝土和消能防护网, 必要时设置钢拱架和钢筋排联合支护;
 - e) 强烈和极强岩爆段, 开展微震监测, 宜采用涨壳式锚杆、钢纤维喷射混凝土、钢拱架和钢筋排联合支护, 设置应力释放孔;
 - f) 对人员和设备进行安全防护, 做好避险和安全防护准备。
- 9.2.3 岩溶地段 TBM 施工宜按以下要求进行作业:
- a) 重点查明溶洞的分布范围、类型、规模、发育程度、填充物及地下水等情况, 确定处理措施并制定专项施工方案;
 - b) 降低掘进速度, 出现渣土含水量增大或伴有泥浆出现时立即停机, 判断是否揭露岩溶;
 - c) 岩溶微弱和弱发育段, 宜采取探灌结合措施, 确保安全后掘进通过;
 - d) 岩溶中等和强烈发育段, 宜改用钻爆法或其他辅助开挖方法绕挖, 确保安全后步进通过;
 - e) 做好溶洞段施工应急预案。
- 9.2.4 富水地段 TBM 施工应按以下要求进行作业:
- a) 根据施工地段的工程地质与水文地质条件, 选择适当的开挖掘进参数, 防止地层坍塌;
 - b) 应采用超前钻孔排水, 超前灌浆堵水措施对富水地段围岩进行处理。应配备足够的排水设备和设施, 防止突水、淹溺;
 - c) 富水地段 TBM 掘进施工前, 应对密封系统进行全面检查和处理;
 - d) 应根据地层岩性预测刀具和密封装置的磨损情况, 制定更换方案。
- 9.2.5 挤压大变形地段 TBM 施工应按以下要求进行作业:
- a) 重点查明挤压大变形围岩区域地层岩性、岩石矿物成分、地质成因和地质构造;
 - b) 分析大变形围岩区域的岩石物理力学特性及应力场;
 - c) 应加强围岩变形监测, 并及时进行数据分析;
 - d) 根据围岩变形监测及分析结果, 制定针对性支护措施。
- 9.2.6 中等及以上膨胀性围岩地段 TBM 施工应按以下要求进行作业:
- a) 施工方案应根据膨胀岩的特性, 并结合施工条件、围岩稳定情况等因素综合确定;
 - b) 膨胀岩隧洞的防排水, 应采用“以防为主, 防、截、堵、排相结合”的原则;
 - c) 减少停机时间迅速通过, 必要时可加大开挖直径;
 - d) 膨胀岩隧洞的衬砌应在围岩变形基本稳定后进行。

9.2.7 有毒有害气体地段施工,敞开式 TBM 上应配备有害气体探测设备,同时应增加便携式有害气体检测仪进行人工测试。当探测设备报警时应停止施工,加强通风。有毒有害气体浓度较高时应开展专项研究,采取有效措施降低有毒有害气体浓度。

9.2.8 高岩石磨蚀性地层 TBM 施工宜进行针对性刀具比选,适当加大刀盘刀具检查频次。

9.2.9 二级及以上挤压性围岩、突泥涌水等敞开式 TBM 无法施工的特殊地段可采用迂回导坑方式处理。迂回导坑开挖应符合 SL 378 及相关设计要求。

10 二次衬砌

10.1 一般规定

10.1.1 衬砌施工时,其隧洞中线、水平、断面和净空尺寸应符合设计要求,衬砌不应侵入隧洞建筑限界。

10.1.2 衬砌混凝土原材料应进行检验,其检验频次和技术指标应符合 SL 677 的有关规定。

10.1.3 衬砌施工缝、变形缝,排水盲管设置应符合设计要求。

10.1.4 同步衬砌时,应合理安排掘进、支护、通风等工序作业。

10.1.5 衬砌施工时,应与设计单位密切配合,对衬砌完成的地段,应继续观察和监测隧洞的稳定状态、衬砌的变形、开裂、侵入净空等现象,并作出稳定性评价。

10.1.6 隧洞防水应提高混凝土自防水性能。防水混凝土抗渗等级不应低于 P8 并符合设计要求。防水混凝土的施工配合比抗渗等级应比设计要求提高 1 级(0.2 MPa)。防水混凝土施工应符合 GB 50108 的规定。在有冻害地段及最冷月平均气温低于 -15°C 的地区,防水混凝土的抗渗等级还应当适当提高。防水混凝土处于侵蚀性介质中时,其耐侵蚀系数不应小于 0.8。当为钢筋混凝土时,迎水面主筋保护层厚度不应小于 5 cm。

10.2 模筑衬砌

10.2.1 模筑衬砌施工应按照设计、施工组织要求,根据监控量测结果适时施作二次衬砌。

10.2.2 不良地质和特殊岩土段存在较大安全隐患时,应及时进行模筑衬砌施工。多模板台车编组施作时,宜结合衬砌断面大小顺序布置。先施作衬砌断面净空应满足后续衬砌台车通过要求。

10.2.3 采用连续皮带机方式出渣的隧洞,衬砌模板台车结构设计宜考虑材料运输、皮带出渣运输、施工通风、风水电管线铺设和衬砌作业工作空间等要求。

10.2.4 模板台车设计与加工应符合下列要求:

- 模板台车的门架结构设计宜考虑后配套运输、皮带出渣运输、混凝土运输、施工通风、风水电管线铺设和衬砌作业工作空间等要求,并配置皮带运输减震装置及偏压减载系统;
- 模板台车应配置混凝土布料系统、带压浇筑功能、防顶裂装置、止水带夹具、混凝土振捣系统、回填注浆系统及抗浮装置等功能结构和辅助装置,并考虑隧洞排水盲管、槽道等安装要求;
- 衬砌台车应根据浇筑速度、混凝土工作性能、左右分层浇筑高度差等进行设计,并有经审查批准的结构计算书,其强度、刚度及稳定性应符合 SL 677 的相关规定;
- 模板台车出厂前应进行验收,对骨架结构、桁架及钢模板等的外形几何尺寸和加工焊接质量进行检查,对电气系统、液压系统进行检验,并提供检验报告、出厂合格证和使用说明书,模板拼装检查后应进行防锈处理。

10.2.5 隧洞二次衬砌钢筋、混凝土、衬砌结构养护等施工应符合 SL 677 相关要求。

10.3 特殊部位衬砌

10.3.1 附属洞室应根据工程条件采用拼装式组合钢模板或整体模板形式进行施工。

10.3.2 附属洞室应超前衬砌提前开口施工，衬砌混凝土宜考虑防排水要求，宜与正洞衬砌同时浇筑。

11 施工运输

11.1 一般规定

11.1.1 施工运输方式应根据隧洞长度、断面大小、运输能力、基底形式、材料重量与尺寸以及转换作业便捷性等因素综合比选确定，运输能力应满足掘进与支护的最高施工强度要求。可采用无轨运输、有轨运输、带式运输以及几种方式结合的综合运输等。

11.1.2 施工运输方式选择宜遵循以下原则：

a) 交通坡度大于 3% 小于等于 15% 的隧洞，有多个缓冲平台且满足装车、会车及调头等需求的运输道路宜采用无轨运输；

b) 交通坡度小于等于 3% 的隧洞可采用有轨运输；

注：施工进料、人员进出一般采用有轨运输。

c) 带式运输一般用于出渣运输；

d) 出渣运输可根据隧洞的长度、掘进能力、掘进速度选择有轨运输和皮带输送机运输方式，应满足 TBM 连续掘进和最高掘进速度的要求。

11.1.3 运输线路应保持平稳、顺直、牢固，设专人按标准要求进行维修和养护，随时保持良好状态。

11.1.4 牵引设备能力应满足隧洞最大纵坡和运输重量的要求，车辆配置应满足出渣、进料及掘进进度的要求，行驶过程中不应超载。

11.1.5 运输车辆应加强刹车系统检测，隧洞内应设置防溜车装置，并配置防溜车报警装置。

11.1.6 运输车辆长距离运输过程中，应具备隧洞内运输车辆实时定位、单车道行驶车辆避让提醒、语音通话等应急和调度能力。

11.1.7 列车编组与运行应满足 TBM 连续掘进和最高掘进速度的要求。

11.1.8 列车编组在洞内作业地段、视线不良的曲线上、通过道岔、进入 TBM 后配套系统和通过洞口平交道等处时，运行速度不应大于 5 km/h，其他地段在采取有效的安全措施后，运行速度不宜大于 15 km/h。

11.1.9 有轨运输时，洞外应根据需要设调车、编组、卸渣、进料、设备维修等线路，皮带机运输时应设转渣装置。

11.2 无轨运输

11.2.1 无轨运输作业应遵守以下规定：

a) 运输设备应配备刹车安全装置，并加强检查；

b) 施工作业地段的行车速度不应大于 15 km/h，成洞地段不应大于 25 km/h。

11.2.2 高海拔、严寒及寒冷地区无轨运输配套宜符合以下要求：

a) 发动机、电动机及配套设施应根据海拔高度选择，并参照相关标准修正；

b) 设备不宜长时间处于满负荷运转状态；

c) 宜采用封闭式驾驶室并配置应急供氧设备；

d) 设备运转所用油品及冷却液等应适用于高海拔、严寒及寒冷地区；

e) 设备存放应设置保温棚。

11.3 有轨运输

11.3.1 列车编组应根据单循环出渣量和支护材料用量配置，进行相关参数计算配置。

11.3.2 有轨运输应符合下列安全规定：

- a) 车辆装载高度不应大于列车顶面 50 cm、宽度不应大于列车宽；
- b) 列车应连接良好，并符合 11.1.5 的要求；
- c) 车辆在同一轨道行驶时，两组列车的间距不应小于 100 m；
- d) 轨道旁临时堆放材料，距钢轨外缘不应小于 80 cm，高度不应大于 100 cm；
- e) 车辆运行时，应鸣笛，并注意瞭望，非专职人员不应开车、调车和搭车，以及在运行中进行摘挂作业；
- f) 载人列车，应制定安全保证措施；
- g) 采用内燃机车牵引时，应配置排气净化装置，符合环保要求；
- h) 加强洞内车辆的管理，增加车辆调度员，负责指挥调度洞内车辆运行；
- i) 所有轨道应由养道班组专人定期维护保养；
- j) 所有物料机车都应有统一的检修记录及运转记录，并由设备管理部门形成分析汇总及归档。

11.3.3 洞内成洞地段，视线良好准行 15 km/h，TBM 后配套系统、施工地段、道口、道岔等特殊地段最大不应超过 5 km/h，不应急刹车，洞内和夜间行车应注意安全，机车不应超载、超限。

11.3.4 应确保机车及各种运输车辆的刹车灯光、制动装置等安全设备状态良好。

11.3.5 对于轨道两边堆放材料距钢轨外应有一定安全距离，并且码放整齐、稳固，保证不对行车造成影响。

11.3.6 运输线路要求见 11.1.3。

11.3.7 根据隧洞的洞径和运输量要求选择轨线布置方式，可设计为单线、四轨三线或复合式轨线等形式，布置原则如下：

- a) 洞径较小及隧洞较短的采用单线轨道布置；
- b) 洞径较小及隧洞较长的选择单线和会车点的复合式轨线布置；
- c) 洞径较大及运输量大的选择四轨三线布置。

11.3.8 有轨运输牵引机车可采用电力机车、内燃机车及电瓶车等形式，选择原则如下：

- a) 长大隧洞一般选择内燃机车；
- b) 小断面、短距离及运输能力要求不高的隧洞，可优先选用电瓶车。

11.4 皮带运输

11.4.1 TBM 施工时是否选用皮带运输方式，应通过合理的技术、经济比选后确定。

11.4.2 一般宜采用阻燃输送带，极寒地区应采用耐寒阻燃输送带。

11.4.3 采用皮带机出渣应遵守以下安全规定：

- a) 按 TBM 的最高生产能力进行皮带机的设计；
- b) 皮带机机架应坚固，平、正、直；
- c) 皮带机全部滚筒和托辊，应与输送带的传动方向成直角；
- d) 运输皮带应定期清理；
- e) 应定期按照皮带机的使用与保养规程对皮带机电气、机械、液压系统进行检查、保养与维修；
- f) 设专人检查皮带的跑偏情况并及时调整；
- g) 皮带机延伸应严格按照皮带硫化作业规程和安全操作规程作业；
- h) 应严格按照技术要求设置出渣转载装置。

11.4.4 皮带机安装应达到平、直、稳、机体整洁、不漏油、支架无开焊、托辊转动灵活、不缺辊，各部连接件齐全紧固，各转动部位灵敏可靠，皮带接头牢固可靠，并符合以下要求：

- a) 皮带机应严格按图纸设计线和腰线为基准进行安装（保证整台机中心线成一直线），距离偏差不应超过 $\pm 10\text{ mm}$ ；
 - b) 传动滚筒和转向滚筒轴的水平度不应超过 $0.3/1000$ ；
 - c) 传动滚筒和转向滚筒宽度中心线与皮带输送机纵向中心线不重合度不应超过 2 mm ；
 - d) 传动滚筒与转动滚筒轴心线与皮带输送机纵向中心线的不垂直度不应超过滚筒宽度的 $2/1000$ ；
 - e) 各滚筒紧固螺栓和螺母无松动现象，各滚筒无裂纹和破损，各滚筒、托辊轴线与输送带中心线协调一致；
 - f) 设置前倾斜侧托辊，将槽形托辊两侧滚筒的外端向输送带运行方向偏斜 $2^\circ\sim 3^\circ$ ，利用托辊给皮带向内的横向推力，使输送带回复到正中位置；
 - g) 张紧小车轨道安装时，轨距偏差不应大于 $\pm 3\text{ mm}$ ，轨道直线不超过 $3/1000$ ，车架应无损伤无变形，车轮在轨道上运行自如，无异响，拉紧装置的调整均以输送机满载时起动和制动不打滑为准；
 - h) 机头、机尾和各给料点都应装设清扫器，清扫器调节装置应完整无损；
 - i) 皮带清扫器与皮带距离不大于 $2\text{ mm}\sim 3\text{ mm}$ ，并有足够的压力，其接触长度应大于带宽的 85% ，清扫器连接螺栓无松动，脱落和缺损现象；
 - j) 应装设皮带机综合保护装置，具有 GB 50431 规定的各种保护功能；
 - k) 做皮带接头时应严格按标准使用硫化工艺，并检查接头质量，皮带连接长度不小于 1.5 m ；
 - l) 电控、制动、逻辑关系正确，功能可靠；
 - m) 所有设备、线缆应有标志牌；
 - n) 机头支架、驱动机架固定使用规定螺栓，紧固件齐全，强度符合要求；
 - o) 整机试验无跑偏，运行平稳，无异响，温度正常。
- 11.4.5 皮带运输过程中应做好过程监控，主要应采取以下措施：
- a) 制定皮带机使用及管理制度，每日派专人对皮带机几个主要驱动部分及结构件进行巡查，并形成记录；
 - b) 每日检查张紧装置与储带仓间钢丝绳和索具状况，并定期保养并形成记录；
 - c) 每周对皮带机运行状况进行检查评估，并形成记录；
 - d) 皮带机运行超过 6 个月时应应对皮带机状况进行评估。
- 11.4.6 连续皮带机参数应根据隧洞曲线、运输距离、掘进断面和掘进速度等确定。

12 超前地质预报

12.1 一般规定

12.1.1 应根据地质条件、现场环境条件，并结合 TBM 掘进参数、岩渣分析等，采用 2 种或 2 种以上的相互验证或互补性预报手段为基础，以地质综合分析判断为核心，运用地质学理论，对比、论证、推断和预报隧洞施工前方的工程地质和水文地质条件，预报隧洞灾害类型及危害程度，确定预报预警等级的超前地质综合预报方法。

12.1.2 预报方法的选择应以对 TBM 施工工序影响最小为原则。

12.1.3 超前地质预报设备可分为搭载式和非搭载式两种类型，宜选择自动化数据采集的搭载式超前地质预报设备。

12.1.4 超前地质预报应对与 TBM 参数选择、TBM 施工安全等有关的地质因素进行预报，包括以下主要内容：

- a) 断层带、裂隙密集带、破碎带等地质构造预报，包括其位置、范围、产状、性状及富水性；

- b) 岩溶、采空区等不良地质现象预报,包括其位置、范围、规模、充填情况等;
- c) 地下水预报,包括含水层、储水构造、岩溶管道的分布、规模、富水情况及水压等;
- d) 破碎岩层、软弱夹层、煤层和特殊岩土层等不良地层预报,包括其分布、厚度、岩性及性状、结构特征等;
- e) 不稳定块体预报,包括不利结构面组合形成的块体的位置、规模、稳定性等;
- f) 有害气体、放射性、岩爆、高地温预报,包括有害气体、放射性物质、岩爆、高地温的位置、危害程度、岩爆等级等;
- g) 复核围岩类别和主要工程地质问题;
- h) 其它特殊地层及不良地质体的分布位置和范围。

12.1.5 应将超前地质预报工作信息化纳入施工工序管理,并对各种地质预报信息进行系统、规范管理,实现信息及时共享。

12.1.6 超前地质预报宜重视新技术、新设备、新方法的应用。

12.2 预报方法及技术要求

12.2.1 TBM 施工的隧洞可根据隧洞地质条件复杂程度、对 TBM 施工隧洞影响程度和环境因素,确定隧洞地质风险等级,针对不同风险等级采用一种或两种以上方法进行超前地质预报。

12.2.2 地质调查法、超前导坑法、超前钻探法、物探法等预报方法和要求应符合 DL/T 5783 的相关规定。

12.3 预报信息管理与处置

12.3.1 地质预报信息管理系统平台的选取,应满足超前地质预报工作的相关要求,以智能、简便、实用为导向,逐步优化预报信息管理系统。

12.3.2 预报成果分为预报简报和总报告,预报简报应在实施洞内钻探或探测后 24 h 内提交,并保证预报成果有效应用,总报告应在隧洞贯通后 1 个月内提交。

13 监控量测

13.1 一般规定

13.1.1 施工中应结合施工环境、地层条件、施工方法与施工进度制定监控量测方案,并将监控量测作为关键工序纳入现场施工组织。

13.1.2 监测设计应具有针对性、适用性、经济性、科学性,对突发安全事故应有应急监测预案,宜采用新技术、新材料、新方法。监测仪器应稳定、可靠、实用、先进,适合实现自动化监测。

13.1.3 施工方案及掘进参数应根据监控量测结果进行调整。

13.1.4 浅埋段地表、洞内同一断面的监控量测数据应与 TBM 施工参数同步采集。

13.1.5 监控量测仪器和设备应满足量测精度、抗干扰性、耐久性等要求。

13.1.6 监测仪器安装埋设应合理安排,在尽量降低与 TBM 施工相互干扰的情况下,及时安装、埋设、观测和保护,并编制仪器档案。

13.1.7 应定期对监测设施进行检查、维护和鉴定,监测设施不满足设计要求时应进行维修或更新。

13.1.8 TBM 施工状态、关键参数应实时监测,并对数据进行存储和分析。

13.2 监控量测内容及要求

13.2.1 TBM 施工作业段应依据围岩条件、支护参数、施工方法、周围环境及监测目的编制实施细则

和监控量测作业指导书。

13.2.2 TBM 施工段监控量测内容和方法应符合 SL 279 要求。

13.2.3 围岩、初期支护观测断面设置应符合表 2 的规定。拱顶下沉测点和水平收敛测点应布置在同一断面上，每断面应布置 1 个下沉测点和 1 组收敛测点。

表2 围岩、初期支护观测断面设置要求

围岩情况	观测点纵向间距/m
V级	5~10
IV级	10~20
III级	30~50
II级	50~100
不良地质和特殊岩土地段应取小值 围岩变化处应适当加密，在各类围岩的起点段增设拱顶下沉1个~2个，水平收敛1对~2对	

13.2.4 拱顶下沉测点应在布点里程出护盾后及时进行布设并编号，水平收敛测点应在通过撑靴系统后及时布设并编号。

13.2.5 TBM 监控量测频率应按表3 执行。

表3 变形测量频率

位移速度/(mm/d)	量测频率
≥5	2次/d
1~5	1次/d
0.5~1	1次/（2 d~3 d）
0.2~0.5	1次/3 d
<0.2	1次/7 d

13.2.6 施工期隧洞周边允许位移相对控制值按表 4 执行。

表4 隧洞周边允许位移相对值

围岩级别	埋深/m		
	<50	50~300	>300
III/%	0.10~0.30	0.20~0.50	0.40~1.20
IV/%	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00
V/%	0.20~0.80	0.60~1.60	1.00~3.00
注1：周边位移相对值指两测点间实测位移累计值与两测点间距离之比或拱顶下沉实测值与隧洞宽度之比。 注2：硬质围岩取表中较小值，软质围岩取表中较大值。 注3：表中所列数值可在施工过程中通过实测和资料累积作适当修正。			

13.2.7 当位移速度无明显下降、实测位移相对值已接近规定值、支护混凝土表面出现明显裂缝或者实测位移速度出现急剧增长时，应立即采用补强措施。必要时应立即停工处理。

13.2.8 围岩与支护结构的位移速度判别按以下规定执行：

- a) 位移速度持续大于 1.0 mm/d 时，围岩与支护结构处于急剧变形状态；

b) 位移速度为 $0.2 \text{ mm/d} \sim 1.0 \text{ mm/d}$ 时, 围岩与支护结构处于缓慢变形状态;

c) 位移速度持续小于 0.2 mm/d 时, 围岩与支护结构达到基本稳定。

13.2.9 监测单位应结合施工和现场环境状况对监控量测数据进行定期综合分析, 并绘制出地表沉降、隧洞水平收敛、拱顶下沉等时态曲线图, 预测最大值。

13.2.10 监测断面围岩与支护结构基本稳定后, 可降低监测频次。

13.2.11 监控量测信息化管理应符合以下要求:

a) 施工准备阶段应完成信息化基础管理平台的建设, 且各工点具备网络通信、数据采集上传条件;

b) 施工阶段应利用计算机和相关软件实行监控量测数据采集实时化、数据处理自动化、数据输出标准化, 并建立监控量测数据库;

c) 监控量测数据整理、分析与反馈可按图 2 规定的流程进行。

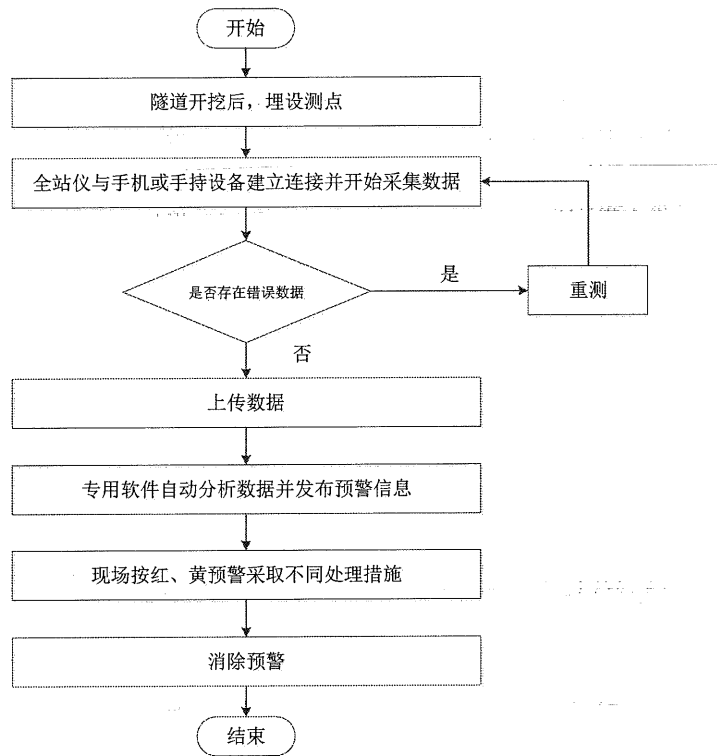


图2 监控量测信息化系统工作流程图

14 TBM 施工安全

14.1 一般规定

14.1.1 TBM 施工作业宜考虑下列主要危险源、危害因素:

- a) 吊装作业钢丝绳断裂、吊钩脱落、限位器失灵;
- b) 机械设备运行和维护中作业人员防护不当;
- c) 通过软弱破碎围岩、岩爆、小岩溶、膨胀岩、高瓦斯、涌水、涌泥等特殊地段;
- d) 刀具、刀盘、主轴承等失效;
- e) 施工运输指挥不当、信号和制动失灵、超速、超载及机械故障等;
- f) 未配备消防器材或消防器材失效。

14.1.2 施工单位应建立健全安全生产保障体系和规章制度，对施工人员进行安全教育和培训。TBM 主司机及各附属设备的操作人员应经过专业培训考核合格并取得相应操作证后持证上岗，非操作人员不应操作设备。

14.1.3 TBM 在重大特殊地质条件下施工前，建设单位应组织专家评审施工方案，施工单位应编制安全事故应急救援预案和详细的施工组织措施，并经建设单位审批。

14.1.4 TBM 施工各工序作业前，应编制安全作业规程和作业指导书，关键工序还应编制专项安全技术措施，经监理单位审批后实施。施工前，应对作业人员进行安全技术交底。

14.1.5 TBM 施工中应建立健全机械设备管理制度，定期对设备进行安全检查、维护。TBM 掘进施工前及大型部件改造后，应对设备进行调试并由四方进行安全评估，形成安全评估报告。

14.1.6 加强洞内通风、照明管理，并配备通信设备和应急照明，确保创造良好的洞内作业环境。

14.1.7 TBM 在通过软弱松散围岩段施工过程中不应超量出渣，当出渣量明显与实际不符时，应立即停止掘进，采取超前加固方法进行围岩加固。

14.1.8 TBM 施工的隧洞应开展超前地质预报工作，避免漏报重大地质灾害点（段）。

14.1.9 TBM 施工中应结合工程施工环境、地质和水文条件编制完善的施工监控量测方案。

14.1.10 做好施工现场消防工作，消防工作应符合 GB 50720 的规定。

14.2 掘进安全

14.2.1 掘进时应根据隧洞的地质条件，选择合理的掘进参数和掘进模式。对于软弱破碎地段等不良地质段存在大量松散体时，采取超前加固措施后 TBM 方可掘进通过。

14.2.2 TBM 运行前，应发出警告信号，确认所有人员远离危险区域后方可按操作顺序开机启动。

14.2.3 TBM 掘进及换步过程中不应破坏钢拱架等初支系统。软弱围岩地段，通过采取调低撑靴压力，降低转速、降低总推力等措施避免破坏初支系统。

14.2.4 掘进过程中应观察判断出露尾盾围岩的稳定性，并及时调整支护参数及掘进参数。

14.2.5 对 TBM 设备进行保养和检修时应符合下列要求：

- a) TBM 及后配套系统设备的保养和检修工作应在机器停止操作时进行；
- b) 液压系统维修前，应关闭相关阀门并降压，应防止液压油缸的缩回和液压马达的意外运行；
- c) 电气系统维修前，应断开电气设备的开关，并防止意外重启；
- d) 对空气和供水系统进行维修作业时，应关闭相应阀门并降压；
- e) 刀盘、支撑等旋转部件区域维修作业前，应停止设备运行；
- f) 现场应配备完善的消防设备，使用明火、电焊进行维修作业时，应有专人监控，附近不应有可燃物；当不能避开可燃物时，应使用阻燃物覆盖。

14.3 支护与衬砌安全

14.3.1 敞开式 TBM 应根据围岩条件选择合理的初期支护，初期支护应及时施工，并按 SL 764 的相关规定进行监控量测。

14.3.2 敞开式 TBM 支护过程中，锚杆钻机、钢拱架安装器、喷射机械手、折臂吊机、提升平台等设备运转半径内不应站人，设备抓取材料应牢固可靠。

14.3.3 已掘进段尤其是不良地质段应对初支的工作状态加强检查，发现变形或损坏时应及时补强，必要时应将人员撤离。

14.3.4 高空应有可靠的保护措施并参照 JGJ 80 相关要求实施。

14.3.5 需要架设钢拱架地段应紧随掌子面掘进及时架设，以达到快速封闭的目的。架设钢拱架时，应清除拱底虚渣等杂物，确保钢拱架贴紧岩面，支护及时受力。拱顶相邻钢拱架各单元接头及钢拱架夹板应错开布置，避免出现在同一条线上。

- 14.3.6 不良地质段支护应及时封闭，其余段落支护应在 TBM 喷浆桥区域内完成封闭。
- 14.3.7 钢筋排背部松散破碎围岩处，应预埋注浆管并注浆回填密实。
- 14.3.8 喷射作业前，应检查岩面是否有危石或明显的开裂并处理，作业人员应佩戴防尘口罩、防护眼镜等防护用具，并避免直接接触液体速凝剂，不慎接触后应立即用清水冲洗。
- 14.3.9 喷射砼施工中应经常检查输料管、接头的使用情况，当有磨损、击穿或松脱时应及时处理。喷射砼作业中如发生输料管路堵塞或爆裂时，应依次停止投料、送水、送风。
- 14.3.10 仰拱块吊装、安装过程中应保持缓慢平稳，作业人员应保持安全距离。

14.4 到达掘进安全

- 14.4.1 TBM 到达掘进前，应制定到达掘进施工方案，进行安全技术交底。
- 14.4.2 TBM 到达掘进的最后 20 m 应根据围岩的地质情况确定合理的掘进参数，减小总推力，降低推进速度，并及时支护或回填注浆。
- 14.4.3 TBM 到达掘进时，应增加监测的频次，及时通过监控量测掌握贯通面及附近围岩的变形和地表沉降的情况。
- 14.4.4 隧洞贯通前，应做好出洞场地、洞口段的加固。贯通面前方区域应设置安全警戒，人员不应入内。
- 14.4.5 隧洞贯通时应保持洞内外联络畅通。

14.5 拆卸安全

- 14.5.1 TBM 转场拆卸前应制定专项方案及安全操作规程，拆卸方式应根据实际情况确定，采取洞内拆卸或洞外拆卸并按正确的拆卸顺序进行。
- 14.5.2 洞内拆卸时，拆卸洞室应选择在围岩稳定，整体性较好的位置，尺寸应满足洞内吊装的工作条件。
- 14.5.3 洞内、洞外设备拆卸场地的地基应夯实、表面平整，强度应达到设备吊装时承载力的要求，并应在 TBM 贯通前完工。
- 14.5.4 根据 TBM 设备部件的最大重量和尺寸，确定吊装设备的型号和结构。吊装设备应选择符合安全要求并具备相应资质的专业厂家生产的产品。门吊（或桥吊）组装完成后，应进行试运行，并由当地质量监督部门进行质量验收，合格后方可使用。
- 14.5.5 吊装及拆卸作业人员应经培训合格并持证上岗，合理选择吊点，吊装应平稳。并设专职安全员全程盯控。
- 14.5.6 起吊刀盘、护盾、主驱动、主大梁等大件时，应再次检查吊机制动器和吊具，先试吊后平稳吊出。
- 14.5.7 翻转吊件时，钢丝绳应保持垂直状态，不应斜拉斜吊。
- 14.5.8 切割焊接作业人员应佩戴防护用具。

14.6 特殊地质条件下施工安全

- 14.6.1 施工前应符合 4.1.9 的规定。
- 14.6.2 隧道施工时应符合 9.2 的规定。
- 14.6.3 在有毒有害气体段施工时，应在 TBM 上配备探测设备。当有毒有害气体达到一定浓度时，探测设备应发出警告并停止主机作业，强制执行二次通风系统工作等保护程序，操作人员应按照操作规程规范操作。
- 14.6.4 对于区域性大断层、不良地质段段落长，TBM 宜先施作超期管棚、缩小钢拱架间距、加密钢筋排等，极特殊情况下可采取开挖迂回导坑的方式通过。

14.7 施工物料运输安全

14.7.1 机车司机，调车员等相关作业人员应经过培训，考试合格后方可上岗。

14.7.2 机车牵引能力应满足隧洞最大纵坡和运输重量的要求，并考虑一定的余量。

14.7.3 有轨运输应符合下列规定：

- a) 加强线路信号管理，应保证运输线路上的警示标识（信号灯）正常运行；
- b) 派专人对整个运输系统轨道、信号等进行定期养护维修。养护作业时，设专职养护人员和作业标志，封闭线路要限时作业。洞内及洞外控制性道岔，应设专人值班；
- c) 机车长距离运输会车时，应按照轻车避让重车的原则，保证重载列车运行畅通；
- d) 采用有轨出渣时，应在卸渣区域设置明显报警装置，编组列车卸渣前应对卸渣区域进行报警，无关人员应撤离危险区域，翻渣过程中机车不应移动。

14.7.4 皮带输送机出渣时应符合下列规定：

- a) 启动皮带输送机前，应发出声光警示。空载启动后，应检查各部位的运转和皮带的松弛度，如无异常，在达到额定转速后，方可出渣作业；
- b) 皮带输送机在运转中不应进行修理和调整。作业人员不应从皮带输送机下面穿过或跨越皮带；
- c) 皮带两侧应加设挡板或栅栏等防护装置。运输皮带应定期清理保持清洁；
- d) 多级皮带机应按从后往前顺序启动，以防皮带机上残留的渣石、杂物堆积。

15 环境保护

15.1 一般规定

15.1.1 工程总承包企业应建立有效的环境管理体系，用于规范项目环境保护管理工作。

15.1.2 项目部应设置专职管理人员，在项目经理领导下，具体负责项目环境保护管理的组织与协调工作。

15.1.3 项目的安全管理应坚持“安全第一，预防为主”的方针。通过系统的危险源辨识和风险评估，制订并实施环境保护管理计划，对环境的不安全因素以及管理上的缺陷进行有效控制，保证人身和财产安全。

15.1.4 项目的职业健康管理应坚持“以人为本”的方针。通过系统的污染源辨识和评估，全面制订并实施职业健康管理计划，有效控制噪音、粉尘、有害气体、有毒物质和放射物质等对人体的伤害。

15.1.5 建设项目需要配套建设的环境保护设施，应与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。分期建设、分期投入生产或者使用的建设项目，其相应的环境保护设施应当分期验收。

15.1.6 建设项目的初步设计，应当按照环境保护设计规范的要求，编制环境保护篇章，落实防治环境污染和生态破坏的措施以及环境保护设施投资概算。

15.1.7 项目的环境保护管理，应接受政府主管部门、业主及其所委托的监理机构的检查、监督、协调与评估确认。

15.2 污水处理

15.2.1 现场应设计污水处理站，污水排放应限定维护范围，排入指定的排污管道；如无排放管道，设计应明确排放方式及施工排水措施。

15.2.2 所有操作人员在混凝土施工和砂浆熟料及浇筑过程中应穿雨鞋、戴手套作业，在操作中不应向其它半成品及相关环境进行抛撒，应对残余料集中处理。

15.2.3 排水沟应设过滤网，定时进行油污的收取消除措施。

15.2.4 食堂清洗食品及其用具后污水排放时，应清除残物的沉积，不应直接排入污水管。

15.2.5 厕所的污水排放应实施三级过滤，按指定的污水管排放，并定时对化粪池进行抽排。

15.3 弃渣场

15.3.1 弃渣场弃渣前应清除原植被，对地面进行整平清除表层不少于 50 cm 的软弱土层，斜坡地段要顺坡面挖台阶，台阶宽度不小于 2.0 m。

15.3.2 弃渣应分层进行，分层厚度不大于 1 m，弃渣场底部填筑硬质岩渣，填筑厚度不小于 1 m。

15.3.3 弃渣填筑边坡坡率不应陡于 1: 2.5，填筑分级高度不应大于 6 m，分级平台不应小于 3 m，弃渣场最大填筑边坡高度不应大于 30 m，坡面可进行铺土种草绿化。

15.3.4 弃渣挡墙 20 m 宽范围内的弃渣碾压密实，压实度（K）应不小于 0.9。

15.3.5 挡墙基底承载力不小于 250 kPa，并保持弃渣场稳定，挡墙基础埋置深度不小于 1.5 m。

15.3.6 在弃渣场周围应设截水沟，截流山体坡面汇水，水沟要砌筑在自然边坡稳定土体上，截水沟的排水坡度不应缓于 1%。

15.3.7 弃渣场顶部施做向外排水坡，坡度不小于 3‰。

15.4 噪音

15.4.1 施工场界噪声限值，不同施工阶段作业噪声限值如下表。

表5 不同施工阶段作业噪声限值

施工阶段	主要噪声源	噪声限值/dB	
		昼间	夜间
土石方	推土机、挖掘机、装载机、冲气钻等	75	55
结构	混凝土搅拌机、混凝土罐车、地泵、汽车泵、振捣棒、电锯、支拆模板、模板修理、搭拆脚手架、外用电梯等	70	55
装修	吊车、升降机、外用电梯、拆脚手架、石材切割、电锯等	65	55
注：6：00～22：00为昼间，22：00～6：00为夜间。			

15.4.2 如有几个施工阶段同时进行，以高噪声阶段的限值为准，施工时间应安排在昼间进行。

15.4.3 当施工工艺要求或其他原因，应连续作业或进行夜间施工时，项目经理部要在施工前 15 d 向当地行政主管部门申报。

15.4.4 针对施工可能发生对周边环境的影响，应采取相应措施，减少施工噪声、振动、水质和土壤污染，减少地表下沉等。

15.4.5 土石方施工前，施工场界围墙应全部建设完毕。所选施工机械应符合环保标准，操作人员应经过环境教育培训。

15.4.6 在敏感区域施工时，应在噪声影响区域的作业层采用降噪安全围帘包裹。

15.4.7 在正常使用下，易产生噪声超限的加工机械，如搅拌机、电锯、电刨等，采取封闭的原则控制噪声的扩散。

15.4.8 在有噪声的封闭作业环境下，要为操作工人配备相应的劳动保护用品。

15.5 废气

15.5.1 预测存在可燃性或有害气体时，在 TBM 掘进施工前，应使用仪器进行检测，同时增加通风设备，加强通风，使可燃性或有害气体浓度控制在安全允许值以内。如果超过安全允许值，应停止 TBM 掘进，采取有效应急措施进行处理。

15.5.2 工程车辆、发电机应定期年审并做好维修保养，保证运作正常。

15.5.3 长时间接触废气的作业人员应佩戴口罩等劳保用品。

15.6 垃圾处理

15.6.1 应按照清理—分类—运输—弃渣的处理程序，定期对施工现场弃渣清理、分类和处置。

15.6.2 应对可利用的钢筋、钢管、铅丝、木板等进行二次回收再利用。

15.6.3 对于不能二次利用的废钢筋头、钢管头、铅丝、短木板等应统一外运进行处置。

15.6.4 不能二次利用但能满足焚烧要求的清除物，可外运至甲方或政府有关机构指定地点后采用焚烧法处理。

15.6.5 对于焚烧后的残渣和不能焚烧处理的所有清除物，可利用自卸式汽车运至当地环保部门指定的区域内进行堆放或掩埋。

15.6.6 对于施工现场清理出的砖、石、瓦块、砂石、泥土等可就地填坑垫路或掩埋。

15.6.7 拌和站的废渣，利用自卸式汽车运至施工现场，进行场内道路硬化。

15.6.8 对施工/生产和生活垃圾的处理应满足建设单位及当地环保部门的要求。

15.7 固体废弃物处理

15.7.1 各施工现场在施工作业前应设置固体废弃物堆放场地或容器，对有可能因雨水淋湿造成污染的，应搭设防雨设施。

15.7.2 现场堆放的固体废弃物应标识名称、有无毒害，并按标识分类堆放废弃物。

15.7.3 有毒有害类的废弃物不应与无毒无害类废弃物混放。

15.7.4 固体废弃物的处理应由管理负责人根据废弃物的存放量及存放场所的情况安排处理。

15.7.5 对于无毒无害有利用价值的固体废物，如在其他工程项目中再次利用，应向材料部门、生产部门提出回收意见。

15.7.6 对于无毒无害无利用价值的固体废物处理，应委托环卫垃圾清运单位清运处理。

15.7.7 对于有毒有害的固体废物处理，应委托有危害物经营许可证的单位处理。

参 考 文 献

- [1] GB/T 34354—2017 全断面隧道掘进机 术语和商业规格
 - [2] GB/T 34652—2017 全断面隧道掘进机 敞开式岩石隧道掘进机
 - [3] GB 50021 岩土工程勘察规范
 - [4] GB 50026 工程测量标准（附条文说明）
 - [5] GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范（附条文说明）
 - [6] GB/T 50218 工程岩体分级标准（附条文说明）
 - [7] GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
 - [8] JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范
 - [9] SL 191 水工混凝土结构设计规范
 - [10] SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范
 - [11] SL 642 水利水电地下工程施工组织设计规范
-