

附件 1:

# 水工隧洞 TBM 掘进施工技术规范 (征求意见稿)

ICS 93.160

P59

# 团 体 标 准

T/CCIAT ××××-20××

## 水工隧洞 TBM 掘进施工技术规范

Technical Regulations for the Construction of  
the TBM Tunneling in Hydraulic Tunnel

(征求意见稿)

201 — — 发布

201 — — 实施

中国建筑业协会 发布

# 前 言

本规程是根据《中国建筑业协会关于开展第一批团体标准编制工作的通知》（建协涵〔2018〕7号）的要求，按照现行国家标准《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》GB/T 1.1的规定进行制定。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究和资料收集，总结了国内外水工隧洞TBM掘进施工经验，吸收了水工隧洞TBM掘进施工的最新研究成果，在广泛征求意见的基础上，形成征求意见稿。

本规程主要技术内容包括：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 施工准备；5. 施工测量；6. 施工通风、给排水及供电；7. 管片及仰拱预制块制作；8. TBM安装与调试；9. 掘进与支护；10. 特殊地段施工；11. 施工运输；12. TBM解体；13. 设备维护与保养；14. 监测与预警；15. 施工安全与环境保护；16. 质量检查与验收等。

本规程由中国葛洲坝集团第三工程有限公司提出。

本规程由中国建筑业协会归口。

本规程主要编写单位：中国葛洲坝集团股份有限公司

中国葛洲坝集团第三工程有限公司

本规程主要编写人员：

本规程主要审查人员：

本规程在执行过程中的意见和建议反馈至中国建筑业协会（北京市中关村南大街48号九龙商务中心A座7层，100081）

# 目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	4
4	施工准备	6
4.1	一般规定	6
4.2	技术准备	6
4.3	TBM 选型	7
4.4	设备配置	9
4.5	临时工程	9
4.6	辅助设备、设施及材料	10
5	施工测量	12
5.1	一般规定	12
5.2	地面控制测量	13
5.3	地下控制测量	13
5.4	掘进施工测量	14
5.5	贯通测量	15
5.6	竣工测量	15
6	施工通风、供排水及供电	16
6.1	一般规定	16
6.2	通风与防尘	17
6.3	施工供水	17
6.4	施工防、排水	18
6.5	施工供电	20
7	管片及仰拱预制块制作	21
7.1	一般规定	21
7.2	模 具	21
7.3	原材料	21

7.4	钢 筋	22
7.5	混凝土	23
7.6	管片/仰拱预制块	23
8	TBM 安装与调试	25
8.1	一般规定	25
8.2	设备组装	26
8.3	设备调试	27
8.4	现场验收	28
9	掘进与支护	29
9.1	一般规定	29
9.2	TBM 步进及滑行	30
9.3	TBM 始发与试掘进	30
9.4	正常掘进	31
9.5	姿态控制	31
9.6	到达掘进	32
9.7	支护作业	32
10	特殊地段施工	34
10.1	一般规定	34
10.2	施工措施	34
11	施工运输	37
11.1	一般规定	37
11.2	出渣运输	37
11.3	供料运输	38
11.4	人员运送	38
12	TBM 解体	39
12.1	一般规定	39
12.2	设备解体	39
13	设备维修与保养	42
14	监测与预警	43
14.1	一般规定	43

14.2	施工监测.....	43
14.3	超前地质预报.....	44
14.4	岩爆监测与预警.....	46
14.5	管理标准及信息反馈.....	47
15	施工安全与环境保护.....	49
16	质量检查与验收.....	50
16.1	一般规定.....	50
16.2	模 具.....	53
16.3	管片/仰拱预制块制作.....	54
16.4	管片/仰拱预制块安装.....	57
16.5	豆砾石填充.....	59
16.6	充填注浆.....	59
16.7	管片防水.....	60
16.8	单位工程综合质量评定.....	61
	本标准用词说明.....	65
	引用标准名录.....	66
	附：条文说明.....	67

## Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms.....	2
3	Basic requirement.....	4
4	Construction Preparation.....	6
4.1	General requirement.....	6
4.2	Technical Preparation.....	6
4.3	TBM Selection.....	7
4.4	Equipment Configuration.....	9
4.5	Temporary Works.....	10
4.6	Auxiliary Equipment, Facilities and Materials.....	11
5	Construction Survey.....	12
5.1	General requirement.....	12
5.2	Ground Control Survey.....	13
5.3	Underground Control Survey.....	13
5.4	Tunneling Construction Survey.....	14
5.5	Breakthrough Measurement.....	15
5.6	Completion Survey.....	15
6	Construction Ventilation, Water Supply And Drainage and Power Supply .....	16
6.1	General requirement.....	16
6.2	Ventilation and Dust Control.....	17
6.3	Construction Water Supply.....	17
6.4	Construction Prevention and Drainage.....	18
6.5	Construction Power Supply.....	20
7	Segment and Inverted Prefabricated Block Processing.....	11
7.1	General requirement.....	21
7.2	Mould .....	21
7.3	Raw Aterial.....	21

7.4	Rebar.....,,	22
7.5	Concrete.....	23
7.6	Piece/Upward arch prefabricated blocks.....	23
8	TBM Installation And Dismantling.....	25
8.1	General requirement.....	25
8.2	Equipment Assembly.....	26
8.3	Equipment Debugging.....	27
8.4	On-Site Acceptance.....	28
9	Driving and Support.....	29
9.1	General requirement.....	29
9.2	TBM Stepping and Sliding.....	30
9.3	TBM Initiation and Trial Excavation.....	30
9.4	Normal Driving.....	31
9.5	Attitude Control.....	31
9.6	Arrival tunneling.....	32
9.7	Supporting Operation.....	32
10	Special Section Construction.....	34
10.1	General requirement.....	34
10.2	Construction Measures.....	34
11	Construction And Transportation.....	38
11.1	General requirement.....	38
11.2	Slag Discharge Transportation.....	38
11.3	Feed Transportation.....	39
11.4	Personnel Delivery.....	39
12	TBM Disassembly.....	40
12.1	General requirement.....	40
12.2	Equipment Disassembly.....	40
13	Equipment Maintenance And Maintenance.....	43
14	Monitoring and early arning.....	43
14.1	General requirement.....	43



14.2 Construction monitoring.....	43
14.3 Advanced Geological Forecast.....	44
14.4 Rock explosion monitoring and early warning.....	46
14.5 Management Standards and Information Feedback.....	47
15 Construction Safety And Environmental Protection.....	50
16 Quality Inspection And Acceptance.....	51
16.1 General requirement.....	51
16.2 Mould.....	54
16.3 Segment/Inverted Segment.....	55
16.4 Installation OF Segment/Inverted Segment.....	58
16.5 Gravel Filling.....	59
16.6 Backfill Grouting .....	60
16.7 Segment Waterproof .....	60
16.8 Unit Project Quality Assessment.....	62
Explanation of wording in this code.....	66
List of quoted standards.....	67
Addition: Explanation of provisions.....	68

## 1 总 则

1.0.1 为加强水工隧洞 TBM 掘进施工管理，统一 TBM 掘进施工技术标准，确保工程质量和施工安全，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用全断面岩石掘进机法（TBM 法）水工隧洞的施工。

1.0.3 水工隧洞 TBM 掘进施工，应遵守国家有关政策和法规，重视环境保护和节约能源，通过技术经济比较，合理确定施工技术方案和 TBM 选型。

1.0.4 采用全断面岩石 TBM 法的水工隧洞，应根据隧洞场地地形、地质条件及工期计划等，进行 TBM 适用性和施工安全风险评估，确保施工的安全性，保证工程质量。

1.0.5 水工隧洞 TBM 掘进施工，除应符合本规程外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 全断面岩石掘进机: Hard Rock Tunnel Boring Machine (TBM)

旋转并推动刀盘, 通过滚刀破碎岩石而使隧洞全断面一次成形的机器。

### 2.0.2 开敞式 TBM: Gripper TBM

利用支撑机构撑紧洞壁以承受向前掘进的反作用力及反扭矩的全断面岩石 TBM。

### 2.0.3 护盾式 TBM: Shielded TBM

在整机外围设置与机器直径相一致的圆筒状防护结构以利于掘进和管片安装的全断面岩石 TBM。

### 2.0.4 单护盾式 TBM: Single Shield TBM

由一个护盾组成, 掘进与管片安装是分步交替完成的。

### 2.0.5 双护盾式 TBM: Double Shield TBM

护盾由前、后及伸缩护盾组成, 可实现掘进与管片安装同步进行。

### 2.0.6 刀盘 Cutterhead

破岩并铲拾岩渣的部件, 包括刀具、铲斗及刀盘结构等。

### 2.0.7 滚刀 Disc Cutter

破碎岩石的工具, 由刀圈、刀体、刀轴轴承及端面密封等零件组成。

### 2.0.8 刀圈 Cutter Ring

用于破碎岩石的带刀刃的环形体。

### 2.0.9 刀体 Cutter Hub

滚刀的毂部, 它外装刀圈, 内装轴承及端面密封圈。

### 2.0.10 刀轴 Cutter Shaft

支撑刀体回转的心轴。

### 2.0.11 刀盘主轴承 Cutterhead Main Bearing

承受刀盘推力、倾覆力矩和刀盘重量的轴承。

### 2.0.12 铲斗 Bucket

刀盘回转时, 铲拾破碎分离的岩渣, 提升主机上部并将其卸出的部件。

### 2.0.13 护盾 Shield

装在机器外围的防护构件。

### 2.0.14 支撑机构 Gripper Unit

掘进过程中, 承受反推力、反扭矩及机器的部分重量的机构, 由支撑油缸、支撑靴及支撑座等组成。

### 2.0.15 支撑靴 Gripper Shoe

支撑机构中直接与洞壁紧贴的靴板。

#### 2.0.16 钢环梁安装器 Ring Beam Erector

安装隧洞环形支护结构用的机构，用于开敞式 TBM。

#### 2.0.17 后配套 Backup

拖在主机后部，装有电气、液压及其他附属设备等的拖式台车组合。

#### 2.0.18 出渣转载装置 Muck Transfer Equipment

掘进时，将岩渣转载到出渣皮带或出渣车辆的装置。

#### 2.0.19 机器直径 Diameter of The Machine

机器的公称设计直径(m)。

#### 2.0.20 开挖直径 Boring Diameter

掘进开挖得到的实际隧洞直径(m)。

#### 2.0.21 掘进速度 Advance Speed

单位时间内掘进的隧洞长度(m/h)。

#### 2.0.22 掘进行程 Boring Stroke

完成一个掘进循环所达到的掘进长度(m)。

#### 2.0.23 刀盘功率 Cutterhead Horsepower

刀盘的装机功率(KW)。

#### 2.0.24 刀盘扭矩 Cutterhead Torque

与刀盘功率相对应的回转力矩(KN×M)。

#### 2.0.25 刀盘转速 Cutterhead Rotating Speed

刀盘每分钟的回转数(r/min)。

#### 2.0.26 步进 Stepping

TBM 利用支撑机构换步到开挖面的过程。

#### 2.0.27 贯入度 Penetration

掘进过程中，刀盘回转一圈的滚刀进刀深度(mm)。

#### 2.0.28 掘进循环 Boring Cycle

完成一次掘进必须进行的整个操作过程，包括掘进过程与复位过程。

#### 2.0.29 掘进过程 Boring Process

当支撑机构紧贴洞壁后，从推进油缸推进开始直至推进行程结束的过程，也就是破岩的过程。

#### 2.0.30 管片 Segment

隧洞预制衬砌环的基本单元，管片类型有钢筋混凝土管片、钢纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等。

#### 2.0.31 防水密封条 Sealing Gasket

用于管片之间保证隧洞防水的密封材料。

### 3 基本规定

3.1.1 采用 TBM 施工的水工隧洞，应根据项目总体施工组织设计，结合施工单位具体情况，做好以下工作：

1 按照现行国家或行业相关安全作业标准，制定切实可行的安全措施，确保施工安全。

2 按照现行国家或行业质量验收标准，建立完善的质量保证体系，制定切实可行的质量保证措施，确保工程质量。

3 在保证工程施工质量的前提下，节约能源，降低材料消耗，提高隧洞工程施工的综合经济效益。

4 积极改善隧洞工程施工条件，加强通风、防尘、照明、防有害气体及防辐射管理，降低作业人员的劳动强度，遵守国家有关劳动保护法规，确保作业人员身体健康。

5 隧洞工程施工从进场建设到竣工验收，都应把保护环境、文明施工贯穿到施工的每一个环节中。

3.1.2 隧洞工程施工应根据规定的测量精度，采取相应的施测方法，建立复核制度，保证隧洞的中线、水平、开挖断面、初期支护厚度、二次衬砌厚度、管片拼装精度和净空尺寸符合设计要求。

3.1.3 采用 TBM 法施工的水工隧洞工程排水，应采取“因地制宜，综合治理”的原则，根据施工需要和当地环保要求做好施工期间的排水。

3.1.4 采用 TBM 法施工的水工隧洞工程止水，在设计上应以混凝土结构防水为主体，以施工缝防水为重点，并应重视初期支护的止水，辅以灌浆止水和防水层止水，满足结构使用功能。

3.1.5 采用掘进机法施工的水工隧洞工程应采用先进、成熟、科学的检验检测手段，质量数据必须真实可靠，全面反映工程质量状况。所用方法和仪器设备应符合相关标准的规定，仪器精度应能满足质量控制要求。

3.1.6 采用 TBM 法施工的隧洞工程每道工序完成后，均应采取相应的检测手段检测施工质量，并做好记录；隧洞完工后应对隧洞工程施工质量进行全面的无损检测，并将检测结果纳入竣工文件。

3.1.7 施工单位作为工程施工质量控制的主体，应建立健全质量保证体系，对工程施工质量进行全过程控制。建设单位、监理单位、勘察设计单位等各方应按有关规定对工程施工质量进行控制。水工隧洞施工质量必须达到设计要求的结构安全、耐久性和使用功能，主体结构质量应满足设计使用年限内正常运营的需要。

3.1.8 在施工过程中，应随时收集原始数据、资料，做好有关的施工记录。隧洞竣工时应根据施工特点编写单项和全面的施工技术总结，及时提交竣工文件。

3.1.9 采用 TBM 法施工的水工隧洞的各类质量检测报告、检查验收记录和其他工程技术管理资料应符合有关规定，单元（工序）工程质量验收记录，建设单位、施工单位、监理单位

均应长期保存；分部工程、单位工程质量验收记录，建设单位应永久保存，施工单位应长期保存；其他资料应按相关规定保存。

3.1.10 采用 TBM 法的水工隧洞施工中所采用的承包合同文件和工程技术文件等对施工质量的要求不得低于本技术规程的规定。

3.1.11 采用 TBM 法施工的水工隧洞，参建各方的技术、质量、安全、设备及施工管理人员，应经过专门培训，合格后方可上岗。

3.1.12 采用 TBM 法施工的水工隧洞，其质量应符合下列标准：

- 1 主控项目合格率：100%；
- 2 一般项目合格率：95%；
- 3 具有完备的施工操作依据和质量验收记录。

## 4 施工准备

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 隧洞施工前，应对 TBM 设备进行选型，做到配套合理，充分发挥施工机械的综合效率，提高机械化施工水平。
- 4.1.2 隧洞施工前，应针对 TBM 法施工工程特点和内容进行现场调查，了解 TBM 法施工条件、施工范围和当地交通、通信、材料供应情况。
- 4.1.3 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。
- 4.1.4 隧洞施工前，应掌握以下资料及相关信息：
- 1 工程地质和水文地质勘察报告；
  - 2 当地的气象、水文、水质及环境调查报告；
  - 3 工程施工合同文件、分包合同文件、监理合同文件；
  - 4 施工所需的设计图纸资料和工程技术要求文件；
  - 5 TBM 从到达口(岸)到施工场地运输道路的地形、设施调查资料。
- 4.1.5 隧洞施工前，应完成以下主要工作：
- 1 核对洞口位置和进洞坐标；
  - 2 确定洞门放样精度和就位后高程、坐标；
  - 3 进行 TBM 的组装、调试与验收；
  - 4 预制管片/仰拱预制块的准备；
  - 5 准备 TBM 施工的各类报表；
  - 6 做好配套工程的衔接工作；
  - 7 完成 TBM 设备部件运输的施工组织方案。

### 4.2 技术准备

- 4.2.1 隧洞施工前，应由建设单位组织监理单位、施工单位及相关人员对设计图纸进行会审，提出设计疑问及合理化建议，由设计单位进行答疑。
- 4.2.2 隧洞施工前，应由建设单位组织设计单位对各施工单位进行设计交底，由施工单位组织各专业工程师，向各施工队或作业班组、施工人员进行书面安全技术交底，并形成交底记录文件，各方签字确认并存档。
- 4.2.3 隧洞施工前，应根据场地工程条件、工程地质与水文地质条件、质量及工期要求、资源配备情况等，编制施工组织设计，制定施工工艺实施细则，编制作业指导书。特殊地段施工前，应编制专项施工方案，对施工方案进行论证和优化，并按相关程序进行审批。
- 4.2.4 施工组织设计的编制，应遵循下列原则：

- 1 满足合同要求;
  - 2 应在详细调研的基础上进行技术方案比选, 选择最优方案;
  - 3 应完善施工工艺, 积极采用五新技术;
  - 4 因地制宜, 就地取材, 达到环境保护的要求;
  - 5 满足 TBM 法施工的技术特点。
- 4.2.5 施工组织设计的主要内容应包括:
- 1 工程概况及技术标准;
  - 2 工程地质条件及重难点分析;
  - 3 TBM 组装、调试、掘进、解体施工组织;
  - 4 施工场地平面布置、临时设施布置;
  - 5 施工进度指标及进度计划;
  - 6 组织机构与资源配置;
  - 7 质量保证措施和环境保护;
  - 8 复杂地质条件 TBM 施工措施和应急预案;
  - 9 工程重点技术和攻关研究内容。
- 4.2.6 隧洞施工前, 应完成工程测量和监控量测的准备工作。

### 4.3 TBM 选型

- 4.3.1 TBM 设备选型应遵循下列原则:
- 1 安全性、可靠性、先进性、经济性相统一。
  - 2 满足隧洞外径、长度、埋深和地质条件、沿线地形以及洞口条件等环境条件要求。
  - 3 满足质量、安全、工期、造价及环保要求。
  - 4 后配套设备与主机配套, 满足生产能力与主机掘进速度相匹配, 工作状态相适应, 且能耗小、效率高的原则, 同时应具有施工安全、结构简单、布置合理和易于维护保养的特点。进入隧洞的施工机械, 宜优先选择电力驱动机械。
- 4.3.2 TBM 选型应按下列步骤进行:
- 1 根据地质条件、施工环境、工期要求、经济性等因素确定 TBM 的类型, 进行开敞式 TBM 与护盾式 TBM 之间的选择。
  - 2 根据隧洞设计参数及地质条件进行同类 TBM 之间的比较选型, 确定主机的主要技术参数。
  - 3 根据生产能力与主机掘进速度相匹配原则, 确定后配套设备的技术参数与功能配置。
- 4.3.3 TBM 选型应按以下因素综合分析确定:
- 1 隧洞的长度和断面尺寸等隧洞设计参数。
  - 2 隧洞的地质条件:



1) 隧洞的围岩级别、岩性、围岩岩石的坚硬程度(单轴饱和抗压强度  $R_c$  ), 隧洞的断层走向、长度、宽度、充填物种类和物理特性;

2) 岩体完整程度和岩体完整性系数;

3) 岩石的耐磨性及石英含量;

4) 岩体主要结构面的产状与隧洞轴线间的组合关系;

5) 围岩的初始地应力状态;

6) 隧洞的含水、出水状态等水文地质条件;

7) 隧洞的有害、可燃性气体及放射性物质的分布情况。

3 隧洞施工环境:

1) 周边环境、进出口施工场地、交通情况;

2) 气候条件;

3) 水电供应情况。

4 隧洞施工总工期及节点工期要求。

5 经济技术性比较。

4.3.4 TBM 选型时应重点考虑以下制约 TBM 施工性能的因素:

1 岩石的可掘性;

2 开挖面稳定性;

3 开挖时洞壁稳定性;

4 断层带长度;

5 挤压地层的存在。

4.3.5 新建水工隧洞长度超过 800 倍洞径, 且地形、地质、水文和运输场地等条件适合采用 TBM 法修建时, 经技术经济比较, 宜优先采用 TBM 法。

4.3.6 TBM 主要技术参数的确定:

1 刀盘直径 ( $D$ ) 应根据 TBM 的类型、成洞洞径、衬砌厚度等确定。

2 刀盘转速 ( $\omega$ ) 应根据围岩级别及刀盘直径等因素确定。

3 刀盘扭矩 ( $T$ ) 应根据围岩条件、TBM 类型、TBM 结构、TBM 直径确定。

4 刀盘驱动功率 ( $P$ ) 应根据刀盘扭矩、转速及传动效率确定。

5 掘进推力 ( $F$ ) 应根据各种推进阻力的总和及其所需要的富余量确定。

6 掘进速度 ( $v$ ) 应根据围岩条件确定。掘进行程宜选用长行程, 护盾式 TBM 的掘进行程必须根据管片环宽确定。

7 掘进行程 ( $L$ ) 应根据围岩条件、TBM 性能、混凝土管片宽度、后配套接轨长度以及后配套接长处的水、风管长度等因素确定。

4.3.7 TBM 设备的质量应符合设计要求, 整机制造完成后, 必须在工厂进行总装调试, 验收合格后方可出厂, 制造厂家应提供质量保证书。

## 4.4 设备配置

- 4.4.1 TBM 设备应根据施工方法和施工技术要求进行配置，保证功能齐全、能力充足、性能稳定、安全可靠。
- 4.4.2 TBM 设备配置必须具有掘进、出渣、导向、支护四个基本功能，还应具备其它一般功能和特殊功能。如：材料运输、人员运送、清渣、掌子面排水、有害气体监测、应急避险、通风除尘、超前地质预报等。
- 4.4.3 配备辅助设备的型号规格及数量应在设备订货前与供货方进行设计讨论和设计优化，在满足施工要求的前提下尽量节省配置，选用当前较为先进的设备。
- 4.4.4 出渣运输设备可结合出渣强度、运距、隧洞坡比、洞内空间大小等因素，选用技术可靠、经济合理的出渣方式。出渣设备的生产能力应与主机生产能力相匹配，一般采用轨行式渣车或连续皮带机。
- 4.4.5 应根据掘进机类型和围岩条件配备相应的支护设备，一般包括：锚杆钻机、钢环梁安装器、混凝土湿喷机等。
- 1 锚杆钻机单杆钻孔深度宜满足一次性可完成锚杆孔钻孔的要求，避免重复接钻杆。
  - 2 湿喷设备应根据混凝土施工强度配置，同时满足 L1 区和 L2 区以及仰拱混凝土施工。
  - 3 钢环梁安装器应能快速安装且不影响其它支护作业。
- 4.4.6 材料运输和人员运送设备可采用轨行式材料车和轨行式人员箱车，混凝土运输可采用混凝土罐车，其它材料车可采用平板车。材料车和人员车应根据需要进行编组，牵引车可采用柴油动力机车或电瓶动力机车。
- 4.4.7 通风设备配置应遵循下列原则：
- 1 通风效果应满足施工区域的风速不低于 0.25m/s 的要求。
  - 2 一次通风宜采用压入式通风，采用软风带。风机型号、风管直径和功率可通过需求量计算加以确定，与计算相关的因素包括隧洞断面、长度、出渣方式、通风布置等。
  - 3 TBM 后配套台车上的二次通风宜采用刚性风筒，排风系统中装有除尘装置。
  - 4 存在高地温的隧洞应在二次通风系统中配置制冷系统，降低 TBM 作业区的温度。
  - 5 在 TBM 后配套尾部拖车上，应配置风带储存筒。
- 4.4.8 应在 TBM 主机前部配置超前钻机，可施工掌子面沿刀盘外围 360 度范围的超前孔，并可通过记录仪获取相关钻孔数据，从而进行地质状况分析。超前钻还应具备施工超前管棚的能力。

## 4.5 临时工程

- 4.5.1 临时工程及设施一般包括：TBM 临时存放场、TBM 洞外组装场、TBM 洞内组装间、TBM 修理及刀具车间、砂石拌和厂、管片/仰拱块预制厂、场内道路及桥涵、TBM 弃渣场、重油

发电站、试验室、仓储设施、生活设施等。

4.5.2 临时工程及设施应按以下要求进行布置设计：

- 1 保证功能需要，方便使用，有利于施工和生产。
- 2 有利于环境保护，节约用地。
- 3 统筹规划，整齐划一，结构紧凑，布局合理，不发生干扰。
- 4 满足 TBM 部件临时存放和组装条件，保证 TBM 掘进、出渣、支护、运输、维修等工作需要。

4.5.3 TBM 临时存放场应选在地势较为平缓的地方，靠近河边一侧应进行必要的防护，场地应进行平整和硬化，周围应设置防护栏和防护网，并应布置进场道路。

4.5.4 TBM 洞外组装场应位于 TBM 掘进洞口附近，场地范围应满足 TBM 安装需要，场地应用混凝土硬化，强度满足承载力要求。

4.5.5 TBM 洞内组装间设计尺寸应满足 TBM 设备组装需要，组装间内配置桥式起重机，除了安装 TBM 之外，还应承担 TBM 施工材料吊装等任务。桥机规格应根据 TBM 安装需要进行配置。

4.5.6 TBM 修理及刀具车间宜布置在洞口附近交通便利的地方，车间内应配置相应的修理设备和专用工机具、储备周转所需的刀具及其备件。

4.5.7 砂石拌和厂的布置应考虑环保要求，排污系统应设有沉淀池。如砂石拌和系统仅为 TBM 施工所建，其生产能力应略大于 TBM 施工所需混凝土量的 10%~20%；如果砂石拌和系统除向 TBM 供应混凝土外还向其它部位供应混凝土，其生产能力应综合计算。

4.5.8 管片/仰拱预制块厂应配置相应的吊装及翻转设备，应有足够的场地用于管片制作、管片养护和管片存储，存放的管片/仰拱预制块数量应满足 TBM 施工进度要求。管片模具应定期检查保养，确保不变形。对制作的管片进行蒸汽养护时应在封闭的空间进行，搭建养护棚或修建养护池。

4.5.9 场内道路及桥涵应满足 TBM 大型部件进场需要，道路宽度应能满足车辆会车要求。

4.5.10 TBM 弃渣场应符合环境保护的要求。弃渣不得堵塞沟槽和挤压河道。弃渣场的渣堆坡脚应采用重力式挡土墙防护，施工结束后，渣堆表面应覆土绿化。

4.5.11 TBM 弃渣场应根据施工场地情况合理布置，如果一个弃渣场不能满足需要，可在业主指定的地方设多个弃渣场。

#### 4.6 辅助设备、设施及材料

4.6.1 为 TBM 施工服务的辅助设备设施主要包括：混凝土拌和站、混凝土搅拌运输车、供配电设备及线路、供水设备及管线等；TBM 施工材料主要包括：锚杆、网片、钢环梁、混凝土、速凝剂等。

4.6.2 在 TBM 施工过程中，应保持辅助设备性能良好，确保 TBM 正常施工。

- 4.6.3 TBM 机上供电宜采用 20KV 高压电源通过高压电缆输送；TBM 连续皮带机供电宜采用 400V 电源，从皮带仓附近的箱式变压器取电。如当地电网不能满足要求时，可采用功率较大且相对经济的重油发电站。
- 4.6.4 管片/仰拱预制块加工场应建在洞口附近，保证管片/仰拱预制块制作、养护空间，并预留管片/仰拱预制块的存放场地。
- 4.6.5 应根据 TBM 型号确定其正常运行时的需水量，合理选用供水水源，并配置各级水泵。
- 4.6.6 TBM 施工材料进场时应有原材料产品合格证，使用前应根据规定进行抽样检验。混凝土中的水泥、砂石骨料、外加剂、钢纤维以及成品混凝土等材料应分别检验，合格后方可使用。
- 4.6.7 TBM 施工前应备足施工所需要的各种材料，并定期进行库存盘点，做好月度、季度、年度需用计划和材料供应工作。
- 4.6.8 应根据进度安排，备足 TBM 及附属设备所用的油、脂、刀具及常用易损件。

## 5 施工测量

### 5.1 一般规定

5.1.1 TBM法施工测量按时间顺序,可分为掘进前施工测量、掘进期施工测量和竣工测量。掘进前施工测量的内容为地面控制网(平面和高程)、洞外动力系统和进洞口原始地形、皮带机出渣系统、联系测量(指将洞外控制点联测至TBM安装间)的测量工作,掘进期的施工测量分为洞内基本导线、施工导线、洞内TBM导向和开挖断面测量。

5.1.2 TBM法施工测量应按照现行国家标准《全球定位系统(GPS)测量规范》GB/T 1831及现行行业标准《水利水电工程测量规范》SL 52的有关规定执行。

5.1.3 测量工作开始前,应对施工现场进行踏勘,接收和收集相关测量资料,办理测量资料交接手续,并对既有测量控制点进行复测和保护。

5.1.4 应根据TBM结构和其自身配置的导向系统的特点、精度以及人工测量仪器精度等,制定科学、适用的TBM施工测量方案。

5.1.5 控制测量应符合下列规定:

1 根据隧洞长度及贯通精度要求进行隧洞平面和高程控制测量设计;

2 控制测量必须在确认桩点稳固、可靠后进行;

3 测量工作中的各项计算均应由两组独立进行,计算过程中应及时校核,发现问题应及时检查并找出原因;

4 利用原控制点(含中线控制点)作第2次设站观测或根据原控制点增设新点时,应对原控制点的相邻边和水平角进行复核;

5 利用原水准点作引伸测量时,应对其相邻已测段高差或相邻水准点间高差进行复核;

5.1.6 控制测量工作应按下列要求进行:

1 用于测量的设计图资料应认真核对,确认无误后方可使用,引用数据资料必须核对无误。

2 隧洞施工前,应根据设计单位交付的测量资料进行控制桩点核对和交接。

3 平面控制测量布网形式应结合隧洞长度、平面形状、线路通过地区的地形和环境等条件综合考虑。长隧洞及隧洞群的洞外平面控制测量宜采用GPS测量、GPS测量和导线测量综合使用的方法,洞内平面控制测量宜使用全站仪、数字水准仪进行测量。

4 长隧洞平面控制宜建立独立坐标系统,三角锁或导线应沿隧洞两洞口连线方向布设。

5 每个洞口应测设不少于3个平面控制点(包括洞口投点及其相联系的三角点或导线点)和2个高程控制点。

5.1.7 地面施工测量控制点应埋设在施工影响的变形区以外。

5.1.8 测量外业数据采集和内业数据处理应符合现行国家或行业有关标准规定,使用规范的表格和软件,并有复核手续。经纬仪、水准仪及标尺、光电测距仪、全站仪、GPS全球定

位系统都应按规定周期进行检定和校正。各类测量仪器设备在使用过程中应按规定定期进行自检。

## 5.2 地面控制测量

5.2.1 应了解全线已有控制网的现状、坐标和高程系统、布网方式、布网层次和精度等状况，并通过踏勘和检测对本施工段测量控制点分布的合理性、可靠性等做出评价，选择适宜的坐标、高程起算控制点，制定合理的 TBM 施工控制测量方案。

5.2.2 TBM 施工地面平面控制宜采取 GPS 方法建立平面控制网，一等为 GPS 控制网或精密导线网，二等为施工加密导线网，在满足精度要求的情况下可采用其他方法布网。地面高程控制宜采用国家二等水准要求观测，观测线路应力求线路短和线路起伏小。地面高程控制网宜从基准点联测至各个洞口附近的 GPS 点。

5.2.3 TBM 施工控制网测量应满足 GPS 静态测量的技术要求。精密导线测量、精密水准测量/光电三角高程的主要作业要求应符合现行行业标准《水利水电工程测量规范》SL 52 的要求。

5.2.4 在隧洞洞口应建立统一的施工控制测量系统，控制点在保证贯通精度的前提下应尽量分布在便于使用的地方，每个洞口应布设不少于 3 个控制点。

5.2.5 在洞口进行观测时，应确保洞内洞外的气温接近、进出的气流小、烟尘少、洞内没有强逆光，必要时停止洞内施工。

## 5.3 地下控制测量

5.3.1 地下控制测量应包括地下施工导线测量、施工控制导线测量和地下施工水准测量、施工控制水准测量。

5.3.2 地下控制测量起算点应采用直接从地面传递到洞内的平面和高程控制点，一般地下平面起算点不应少于 3 个，起算方位边不应少于 2 条，起算高程点不应少于 2 个。

5.3.3 控制点应埋设在稳定的隧洞结构上，一般位于隧洞两侧或顶、底板便于观测的位置，并应埋设强制对中装置。在临近 TBM 安装间且较为稳定位置，标墩点埋设不应少于三个。采用标称精度为 $\pm 0.5$ 秒和 1+1ppm 的仪器观测，闭合导线应按二等观测限差要求观测，观测方向为 2 个时，可采用左右角观测，左角和右角各观测 3 个测回。

5.3.4 地下控制网宜为支导线和支水准路线，隧洞较长时或对于双线隧洞，应形成闭合路线或构成导线网和水准网。单侧掘进超过 8000m 时，应加测陀螺方位角，同一条导线边应往返观测陀螺方位角，并按现行国家或行业规范要求取值。

5.3.5 二等闭合导线单个闭合环长度不得超过 2.5km。二等闭合导线边长宜控制在 120m~250m 之间，边长力求均匀，相邻的两条边的边长相差不能超过两倍，在转弯处的最短边长不得小于 60m，相邻的两个环的公共边应有合适的长度。直线隧洞掘进大于 200m 或到达曲

线段时，应布设施工导线和施工水准，同时宜选择稳固的施工导线点组成施工控制导线。

5.3.6 角度、距离测量和水准测量精度应不低于设计所要求的测量精度。

5.3.7 每次延伸地下控制导线和控制水准时，应对已有施工控制点进行检测，检测点如有变动应剔除，并应选择其他稳定点进行延伸测量。

5.3.8 在隧洞贯通前，地下导线控制和水准控制测量应不少于3次。重合点坐标较差应小于点位中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍，且应采用各次的加权平均值作为测量结果。

#### 5.4 掘进施工测量

5.4.1 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，并应满足TBM组装、基座、反力架和导轨等安装以及TBM始发对测量的要求。

5.4.2 TBM上所设置的测量标志点应满足下列规定：

1 TBM测量标志应牢固设置在TBM纵向或横向截面上，且不应少于2个，标志点间距应尽量大，前标志点应靠近切口位置，标志点可粘贴反射片或安置棱镜；

2 测量标志点间三维坐标系应和TBM几何坐标系一致，当不一致时，应建立明确的换算关系。

5.4.3 TBM就位后应利用人工测量方法准确测定TBM的初始位置和姿态，TBM自身导向系统测得的成果应与人工测量结果一致。

5.4.4 TBM姿态测量应满足下列要求：

1 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。

2 TBM姿态计算取位精度应符合表5.4.4规定。

表 5.4.4 掘进机姿态计算取位精度

名称	单位	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

3 TBM配置的导向系统应具有实时测量功能。人工辅助测量时，测量频率应根据其导向系统精度确定。TBM始发50m内，到达前50m内应增加人工测量频率。

4 TBM测量标志点的允许测量误差为±3mm。

5.4.5 双护盾TBM的衬砌环测量应满足下列规定：

- 1 衬砌环测量应在盾尾内完成管片拼装和衬砌环完成壁后注浆两个阶段进行。
  - 2 在盾尾内管片拼装成环后应测量盾尾间隙，并结合 TBM 姿态测量数据，为管片选型和 TBM 姿态调整提供依据。
  - 3 衬砌环完成壁后注浆后，宜在后配套台车通过该管片环后进行测量，内容应包括衬砌环中心坐标、底部高程、水平直径、垂直直径和前端面里程。测量误差应在±3mm 以内。
- 5.4.6 每次测量完成后，应及时提供 TBM 和衬砌环测量结果，及时调整 TBM 姿态。

## 5.5 贯通测量

- 5.5.1 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。
- 5.5.2 测定贯通误差时，应在贯通面设置贯通相遇点。
- 5.5.3 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。
- 5.5.4 隧洞高程贯通误差可利用隧洞贯通面两侧高程控制点测定与贯通面邻近的（或贯通面上）同一水准点的高程较差确定。
- 5.5.5 隧洞贯通测量限差应符合现行国家或行业相关规范要求，或根据工程具体情况做专门的技术设计以确定贯通限差。
- 5.5.6 隧洞贯通后应分别以隧洞进出口的控制点为起算数据，采用附和路线形式重新布设和施测地下控制网，应计算分析并确立合理的调线地段进行贯通误差的调整分配。

## 5.6 竣工测量

- 5.6.1 竣工测量采用的坐标系统、高程系统等应与原施工测量或勘测设计系统相一致（有特殊要求的除外）。
- 5.6.2 隧洞贯通后应以隧洞洞口的控制点为起算点，对隧洞内的导线点和水准点分别重新组成附和路线或附合网进行施测，平差计算后的成果作为以后建设工作的测量依据。
- 5.6.3 隧洞竣工测量内容应包括隧洞轴线平面偏差值、高程偏差值、衬砌环椭圆度以及隧洞纵、横断面测量等。
- 5.6.4 断面测量一般直线段 5m~10m，曲线段 3m~5m 测量一个净空断面，断面上的测点位置、数量应按设计要求确定，并应符合相关规范规定。
- 5.6.5 横断面测量可采用断面仪或全站仪极坐标法等方法测量，测量误差为±10mm。
- 5.6.6 竣工测量成果应按要求整理归档，并作为隧洞验收依据。



## 6 施工通风、供排水及供电

### 6.1 一般规定

#### 6.1.1 隧洞施工通风应符合下列原则：

- 1 保证施工设备用气量供给，确保正常施工。
- 2 减少隧洞内有害气体含量，确保隧洞内作业人员人身安全。
- 3 降低隧洞环境温度，保证施工设备正常运转及作业人员正常作业。

#### 6.1.2 施工现场配电线路路径选择应符合下列规定：

- 1 应结合施工现场规划及布局，在满足安全要求的条件下，方便线路敷设、接引及维护；
- 2 应避开过热、腐蚀以及储存易燃、易爆物的仓库等影响线路安全运行的区域；
- 3 宜避开易遭受机械性外力的交通、吊装、挖掘作业频繁场所以及河道、低洼、易受雨水冲刷的地段；
- 4 不应跨越在建工程、脚手架、临时建筑物。

#### 6.1.3 配电线路的敷设方式应符合下列规定：

- 1 应根据施工现场环境特点，以满足线路安全运行、便于维护和拆除的原则来选择，敷设方式应能够避免受到机械性损伤或其他损伤；
- 2 供用电电缆可采用架空、直埋、支架等方式进行敷设；
- 3 不应接触潮湿地面或接近热源。

#### 6.1.4 施工现场供用电管理应遵循下列原则：

- 1 对危及现场施工人员安全的电击危险场所应进行防护；
- 2 施工现场供用电设施和电动机具应符合现行国家或行业有关标准的规定，线路绝缘应良好。

#### 6.1.5 供用电设施的管理应符合下列规定：

- 1 供用电设施投入运行前，应建立、健全供用电管理机构，设立运行、维修专业班组并明确职责及管理范围。
- 2 应根据用电情况制订用电、运行、维修等管理制度及安全操作规程。运行、维护专业人员应熟悉有关规章制度。
- 3 应建立用电安全岗位责任制，明确各级用电安全负责人。

#### 6.1.6 供水工程设计应根据工程施工特点和不同用户的用水要求选择水源，通过技术经济比较，确定采用直流、循序或循环供水系统。

#### 6.1.7 选择供水方式，设计水位频率应考虑季节变化对供水水源的水质、水量、水位的影响和施工阶段对用水水质和水量水压的要求。

#### 6.1.8 供水系统的设计供水压力应满足 TBM 掘进用水的要求。

#### 6.1.9 全断面岩石TBM隧洞结构防水等级应达到现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB

50108 规定的一级防水标准，二次衬砌结构不允许渗水，二次衬砌结构表面无湿渍。

6.1.10 护盾TBM隧洞防水以管片防水为基础，以接缝防水为重点，辅以对特殊部位的防水处理，形成一套完整的防水体系。

6.1.11 钻爆法施工段、开敞式TBM施工段、双护盾不设管片施工段的复合式衬砌，其防排水应按现行国家或行业相关规范和设计要求执行。

6.1.12 全断面岩石TBM隧洞管片支护后，设计有特殊防水要求时，可在管片内增设二次混凝土衬砌，其施工方式按设计要求执行。

6.1.13 隧洞排水应满足环境保护的要求，不得影响周边环境，应采取污水处理措施，达标后排放。

## 6.2 通风与防尘

6.2.1 隧洞施工通风应根据施工机械、人员数量、风速决定最小供风量。

6.2.2 通风机的功率及通风管的直径应根据隧洞的掘进长度、运输净空以及衬砌作业净空等计算确定。

6.2.3 通风机、通风管的安装应符合下列要求：

1 通风机应安装保险装置，当发生故障时应能自动停机；

2 通风机应有适当的备用数量；

3 通风机的安装位置宜在洞口前方30m以外；通风机前后5m范围内不得堆放杂物，通风机进口应设置铁箅。

4 通风管的安装应平顺，接头严密，每100m平均漏风率不应大于1%，弯管半径不得小于通风管直径的3倍或采用刚性风筒连接；

5 通风管的吊点间距一般不大于3m，吊点应牢固；

6 通风管破损时，应及时修理或更换。

6.2.4 当通风管较长，需要提高风压时，可采用多台通风机串联；风机串联或并联时，应采用同一型号风机。

6.2.5 TBM上配备的空压机的功率应能满足洞内同时施工时，各种风动机具的最大耗风要求。

6.2.6 应定期检查空压机上的油水分离器，定期排放油水分离器中的积油和水。

6.2.7 应定期检查、养护空压机上的各种闸阀和安全装置。

6.2.8 隧洞施工必须采用综合防尘措施，并按规定时间测定灰尘和有害气体浓度。洞内空气每月至少应取样分析一次。

## 6.3 施工供水

6.3.1 隧洞施工供水方案的选择及配备应符合下列要求：

- 1 水源的水量应能满足工程和生活用水的需要。
  - 2 蓄水水池高度应能满足洞内最大水压的要求，水池容量应有一定的储备量，满足洞内集中用水的需要。
  - 3 采用机械抽水供水时，应有备用抽水机。
  - 4 工程和生活用水使用前必须经过水质鉴定。TBM 施工用水应使用软水，浑、硬水不得使用，浑水在水池中进行沉淀并达到工业用水标准后方可使用。
  - 5 施工供水温度不宜高于 26℃。
- 6.3.2 洞内供水管的直径及水压应与 TBM 设备上的管路及要求相配套。
- 6.3.3 洞内水管的安装和使用应符合下列要求：
- 1 管路应敷设平顺，接头严密、不漏水。
  - 2 水管在安装之前应进行检查，有裂纹、创伤、凹陷等缺陷的管材不得使用，管内不应保存有残余物和其他脏物。

#### 6.4 施工防、排水

- 6.4.1 洞内排水应符合下列要求：
- 1 洞内顺坡排水水沟断面应能满足隧洞中渗漏水、施工废水和 TBM 循环设备用水的排出需要，排水沟应经常清理；
  - 2 洞内反坡排水，可根据坡度、水量和设备情况设集水坑及布置管路和泵站，将洞内积水一次或分段接力排出洞外；
  - 3 工作面及运输道路的路面不应有积水；
  - 4 排水泵的容量应比最大涌水量大 30%以上，使用一台水泵排水时，应有与排水泵相同容量的备用水泵，使用两台水泵排水时，应有 50%的备用量，重要部位应设有备用电源
  - 5 寒冷地区的冬季施工，应防止洞口段排水沟或排水管受冻堵塞。
- 6.4.2 隧洞开挖前应根据施工场地工程地质与水文地质条件，制定防、排水措施。开挖后可能引起大规模坍塌时，应在开挖前进行灌浆堵水，加固围岩。
- 6.4.3 当通过超前地质预报判明前方地层可能为含水地层时，应对场地工程地质与水文地质条件进行详细的调查分析，判明地下水流方向，确定钻孔位置、方向、数量和钻进深度，采用注浆方式进行超前加固，并应采取下列措施：
- 1 非施工人员必须撤出危险区；
  - 2 当隧洞为下坡开挖时，应测算水量大小，备足抽水设备；
  - 3 钻孔钻到预期的深度未出水时，可会同设计部门进一步进行工程地质和水文地质勘测，重新判明地下水情况。
- 6.4.4 管片接缝防水材料必须满足设计要求。施工前应做好如下工作：
- 1 所采用的防水材料，必须按设计要求和生产厂家的质量指标分批进行抽检；

- 2 采用遇水膨胀橡胶防水材料时，运输和存放须采取防潮措施，并设专门库房存放；
  - 3 材料专用库房按规定配备防火设施。
- 6.4.5 管片防水密封条粘贴应遵守下列规定：
- 1 按管片型号使用，严禁使用尺寸不符或有质量缺陷的产品；
  - 2 在管片角隅处加贴自粘性橡胶薄片时，其尺寸应符合设计要求；
  - 3 环面纠偏要求粘贴传力衬垫材料时，必须按正确位置粘贴；
  - 4 变形缝、柔性接头等管片接缝防水的处理应按设计图纸要求实施；
  - 5 管片防水密封条粘贴后，在运输、堆放、拼装前应有防雨、防潮措施，拼装时应逐块检查；
  - 6 管片采用嵌缝防水材料时，槽缝应清洗干净，使用专用工具填塞平整密实。
- 6.4.6 管片接头面上密封材料的粘贴、保护、储运应按规定的程序进行。
- 6.4.7 管片密封材料的选择应满足以下要求：
- 1 具有足够弹性，在千斤顶的反复推力下和管片变形时不失去水密性；
  - 2 能承受千斤顶的推力及螺栓的紧固力；
  - 3 不得给管片的组装精度带来影响；
  - 4 密封材料与管片有充分的粘附性；
  - 5 能适应气候的变化，有良好的化学稳定性、耐久性；
  - 6 易于施工，具有均质性。
- 6.4.8 管片嵌缝施工中的填料应满足以下列要求：
- 1 具有水密性、良好的化学稳定性及对气候变化的适应性；
  - 2 在湿润状态下应易于施工；
  - 3 伸缩性小，伸缩及复原性好；
  - 4 硬化时不受水分影响；
  - 5 施工后应尽快成为非粘接，完全硬化时间短。
- 6.4.9 螺栓孔、注浆孔外周的防水材料应满足以下要求：
- 1 伸缩性好，不失水密性；
  - 2 能承受螺栓紧固力；
  - 3 有耐久性而且不老化。
- 6.4.10 开敞式TBM采用仰拱预制块方式施工地段，隧洞底部也可采用现浇混凝土仰拱方式，达到与拱墙复合式衬砌整体防水的目的。
- 6.4.11 护盾式TBM管片衬砌与现浇混凝土衬砌的接触部位应采用缓膨型遇水膨胀止水条、注浆防水等方式达到止水目的，并满足设计要求。
- 6.4.12 采用双层衬砌的特殊设计地段，内层衬砌混凝土浇筑前，应将外层衬砌的渗漏水引排或进行封堵。

6.4.13 TBM 管片/仰拱预制块背后豆砾石充填完成后，及时充填注浆防水，并对注浆孔、螺栓吊装孔进行封堵。

6.4.14 TBM 管片衬砌与联络通道、附属构筑物的接缝防水按设计要求选择防水材料和施工方法。

## 6.5 施工供电

6.5.1 施工用电负荷计算应根据用电设备特征，按需求系数进行负荷计算，汇总得出施工总用电量。

6.5.2 根据国别、地域等环境条件选择供电电源，一般宜优先考虑电网供电。对于电力资源短缺，停电频繁的地区可采用临时建设发电厂进行供电，施工供电应满足用电设备对电能质量的要求。

6.5.3 应了解用电设备特征，包括生产规模、生产班制、用电设备的额定电压、功率、功率因素、效率、用电设备安装数量和备用率，选择合理供电方式。

6.5.4 配电网络规划设计应遵循下列原则：

1 配电网络应简单可靠便于操作和管理，适应各阶段负荷需要，电压级数应尽量减少，一般不宜多于两级。

2 平行生产的流水线及互为备用的用电设备机组，根据生产要求，应由不同的母线或线路供电。同一生产流水线的用电设备，宜由同一母线或线路供电。

6.5.5 配电变电所配电变压器数量和容量的选择应遵循下列原则：

1 对于重要、次要负荷用户，采用双电源线路或环形线路供电时，变压器设置数量不宜超过 2 台。

2 对于一般负荷用户，采用环形线路或单回架空线路供电时可设置 1 台或 2 台变压器。

6.5.6 配电所型式有户内、户外、半露天和移动式四种，应根据环境条件及变压器型式合理选用。洞内一般采用箱式变压器。

6.5.7 生产和生活用电的配电所应分开设置。

6.5.8 低压配电系统宜采用 400V/230V 三相五线制（TN-S）供电。

6.5.9 消防等重要负荷应由总配电箱专用回路直接供电，并不得接入过负荷保护和剩余电流保护器。

6.5.10 配电线路的敷设方式应符合下列规定：

1 应根据施工现场环境特点，以满足线路安全运行、便于维护和拆除的原则来选择，敷设方式应能够避免受到机械性损伤或其他损伤；

2 洞外供电应采用架空线路、洞内宜采用电缆进行敷设；

6.5.11 应制定安全用电措施和电气防火措施。

## 7 管片及仰拱预制块制作

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 混凝土管片及仰拱预制块应由具有相应资质等级的厂家制造。
- 7.1.2 混凝土管片及仰拱预制块制造厂家应具有健全的质量管理体系及质量控制和质量检验制度。
- 7.1.3 混凝土管片及仰拱预制块制造应编制施工组织设计或技术方案，并经审查批准。
- 7.1.4 模具制造应编制完善的技术文件，模具安装完毕后应进行质量验收。
- 7.1.5 原材料应经验收合格；混凝土应经试配确定配合比，其性能应符合设计及本规程要求。
- 7.1.6 混凝土搅拌、运输、振捣、养护等设备完成安装调试和安全检查后，应进行验收；各种计量器具、设备应通过检定。
- 7.1.7 对操作人员应进行技术培训，经培训合格后，方可进行操作，特殊工种应持证上岗。

### 7.2 模 具

#### 7.2.1 模具设计、制作、验收应符合下列规定：

- 1 模具应具有足够的强度、刚度和稳定性，应具有良好的密封性能，并应满足管片的尺寸和形状要求，保证在正常使用条件下在规定的周转使用次数内不变形。
- 2 模具表面应具有良好的平整度和光洁度，并便于安装和拆卸。
- 3 模具应由专业厂家制作。
- 4 每套新制作的模具到场安装后应进行初验，符合设计要求后可进行试生产；在试生产的管片中，应随机抽取三环进行水平拼装检验，合格后方可正式生产。

#### 7.2.2 合模、开模与周转应按下列规定进行：

- 1 应按模具使用说明书规定顺序合模和开模，并应对模具进行检查。
- 2 环向、纵向螺栓孔预埋件、中心吊装孔预埋件以及其他各类预埋件和模具接触面应密封良好，钢筋骨架和预埋件严禁接触脱模剂。
- 3 开模和出模时均应注意保护模具，按照顺序拆卸，轻拿轻放，及时清理。
- 4 模具每周转 100 次，必须进行系统检查，允许偏差和检验方法应符合现行国家有关标准的规定。

### 7.3 原材料

#### 7.3.1 钢筋混凝土管片原材料应符合下列规定：

- 1 砂石骨料、水泥、钢筋、掺合料、外加剂等原材料进场应有产品质量证明合格文件，应按国家有关标准进行复验，质量应符合现行国家或行业标准的规定。

2 宜采用非碱活性骨料，当采用碱活性骨料时，混凝土中碱含量的限值应符合现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》SL 191 的规定。

3 钢筋的品种、级别和规格应符合设计要求。当钢筋的品种、级别或规格需作变更时，应办理设计变更手续。

7.3.2 钢筋混凝土管片的钢材、焊材、防腐涂料等的品种、规格性能应满足设计要求。

## 7.4 钢筋

7.4.1 钢筋加工应符合以下要求：

1 应按钢筋料表进行钢筋切断或弯曲。

2 弧形主筋加工时应防止平面翘曲，成型后表面不得有裂纹，且成型尺寸应准确。

3 受力钢筋的弯钩和弯折应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

4 除焊接封闭环式箍筋外，箍筋的末端应作弯钩，弯钩形式应符合设计要求。当设计无具体要求时，应符合下列规定：

1) 箍筋弯钩的弯弧内直径应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677 的有关规定。

2) 箍筋弯钩的弯折角度应符合设计要求。当设计无具体要求时，箍筋弯钩的弯折角度应为 135 度，且弯后平直部分长度不应小于箍筋直径的 10 倍。

5 钢筋调直应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677 的相关规定。

7.4.2 钢筋骨架成型及钢筋安装应符合下列规定：

1 钢筋焊接前，应根据施工条件进行试焊，合格后方可施焊；焊工必须持证上岗。

2 焊接骨架时，应核对钢筋级别、规格、长度、根数及胎具型号。焊接应根据钢筋级别、直径及焊机性能合理选择焊接参数；钢筋应平直，端面整齐；焊接骨架的焊点设置，应符合设计要求。当设计无要求时，骨架的所有钢筋相交点必须焊接；钢筋骨架成型应对称跳点焊接。

3 焊接前焊接处不应有水锈、油渍等；焊后焊接处不应有缺口、裂纹及较大的金属焊瘤。

4 预埋件的材质、加工精度和焊接质量应满足设计要求。

5 钢筋骨架制作成型后，应进行实测检查并填写记录。检查合格后，分类码放，并设明显标识牌。

6 保护层垫块规格应符合设计要求，且绑扎牢靠。钢筋骨架入模后，各部位保护层应符合设计要求。

7 钢筋及钢筋骨架安装后，在浇筑混凝土时，应对钢筋布设进行验收，钢筋加工的形状、尺寸、钢筋骨架安装应符合设计要求及现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677

的相关规定。

## 7.5 混凝土

### 7.5.1 混凝土配合比设计要求：

- 1 混凝土应根据强度等级、耐久性等要求和原材料品质以及施工工艺进行配合比设计。
- 2 混凝土中碱含量和氯离子含量应符合设计要求；当设计无要求时，应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677 的有关规定。
- 3 首次使用的混凝土配合比应进行开盘鉴定，其工作性能应满足设计配合比的要求。开始生产时应至少留置一组标准养护件，作为验证配合比的依据。
- 4 应严格按施工配合比投料。混凝土原材料计量偏差应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677 的有关规定。
- 5 每工作台班至少应测定一次砂石含水率，并据此提出施工配合比。

### 7.5.2 混凝土的拌和应满足以下条件：

- 1 混凝土的搅拌应采用强制式搅拌机并严格控制搅拌时间。
- 2 混凝土应搅拌均匀、色泽一致，和易性良好。应在搅拌或浇筑地点检测坍落度，并应逐盘做目测检查混凝土粘聚性和保水性。

### 7.5.3 混凝土浇筑应符合下列规定：

- 1 施工过程中应派专人负责记录混凝土浇筑时间和浇筑时的坍落度、浇筑时现场温度与混凝土浇筑温度以及养护方式、养护过程，包括养护开始时间、养护中的降温速率、拆模时间与拆模时温度等。
- 2 混凝土应连续浇筑成型；根据生产条件选择适宜的振捣方式；振捣时间以混凝土表面停止沉落或沉落不明显、混凝土表面气泡不再显著发生、混凝土将模具边角部位充实并有灰浆出现时为宜，不得漏振或过振。
- 3 浇筑混凝土时不得扰动预埋件。
- 4 管片浇筑成型后，在初凝前宜再次进行压面。
- 5 浇筑混凝土的同时应留置试件，所做试件应具有代表性。
- 6 混凝土浇筑及间歇的总时间不应超过混凝土的初凝时间。

## 7.6 管片/仰拱预制块

### 7.6.1 管片/仰拱预制块养护应符合下列规定：

- 1 混凝土浇筑成型后至开模前，应覆盖保湿，采用蒸汽养护或自然养护方式进行养护。
- 2 当采用蒸汽养护时，应经试验确定混凝土养护制度。管片/仰拱预制块混凝土养护时间不宜少于 2h，升温速度不宜大于 15℃/h，降温速度不宜大于 10℃/h，恒温最高温度不宜大于 60℃。出模时当管片/仰拱预制块表面温度与环境气温差大于 20℃时，管片/仰拱预制



块应在室内车间进行降温，直至管片/仰拱预制块表面温度与环境气温差不大于 20 ℃。

3 采用蒸汽养护时应监控温度变化并根据工艺要求及时调整蒸养温度，同时做好记录。

4 管片/仰拱预制块脱模后应继续进行喷淋或水池养护，养护时间不少于 7d 。

5 管片/仰拱预制块在贮存阶段应进行养护。

7.6.2 混凝土管片应在管片的内弧面角部喷涂标记，标记内容应包括管片型号、模具编号、生产日期、生产厂家、合格状态。每一片管片应独立编号。

7.6.3 预制钢筋混凝土管片/仰拱预制块应按设计要求进行结构性能检验并满足要求，吊装预埋件首次使用前必须进行抗拉拔试验，拉拔力应符合设计要求，管片/仰拱预制块混凝土不应有露筋、孔洞、疏松、夹渣、有害裂缝、缺棱掉角、飞边等缺陷，麻面面积不得大于管片面积的 5%。

7.6.4 预制钢筋混凝土管片应满足规范要求：宽度允许偏差为±1mm，厚度允许偏差为-1mm~+3mm，弧、弦长允许偏差为±1mm。

7.6.5 管片及仰拱预制块储存运输要求：

1 贮存场地应硬化，且坚实平整。雨季应加强贮存管片场地的检查，防止地基出现不均匀沉降。

2 应采用内弧面向上或单片侧立的方式码放，码放高度应经计算确定，每层管片之间应使用垫木，且位置正确。

3 在管片翻转、吊装和运输过程中，应采取适当的防护措施。

4 应根据管片及仰拱预制块类型分类堆放。管片达到设计强度后方可使用。

5 吊装管片时，应使用专用的吊具，并根据相关安全操作规程进行吊装。

6 管片运输应采取适当的防护措施。

## 8 TBM 安装与调试

### 8.1 一般规定

8.1.1 TBM 大件的进场运输应由具有相应资质的专业运输公司承担。用于 TBM 安装的桥机应完成负荷试验，确保满足最大最重件起吊安全。洞外应有 TBM 及其配套设备的临时存放场地，并应做好临时存放部件的防护。

8.1.2 洞外组装的场地应符合以下要求：

1 组装场地表面平整，主机的组装场地平整度应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，其中线基本对准隧洞中线；场地硬化，并采用“暗轨”形式铺设 TBM 后配套轨道，保证车辆通行。

2 TBM 组装场地应设置排水沟，保持作业区域无积水。

3 组装场地地基土的承载力及混凝土厚度应满足掘进机生产厂家对组装场地的要求。洞外安装一般使用大型履带吊或门式起重机作为吊装手段，门机的轨道应设计成“暗轨”形式。

4 组装场地的长度、宽度应满足 TBM 组装和大件进场的需要。

8.1.3 洞内 TBM 组装洞室应符合以下要求：

1 TBM 组装洞室的长、宽尺寸应满足 TBM 组装以及部件进场车辆调头需要，洞室的高度应满足桥机安装及运行需要，桥机吊钩的最大高度应大于主机直径 $3\text{m}\sim 4\text{m}$ 。

2 在设计组装洞室时还应考虑连续皮带机的皮带仓布置位置、材料列车受料时的停放位置、供电设备及排水设备摆放位置以及后续施工过程中一些施工材料的临时存放等。

3 TBM 主机组装区域应事先进行混凝土硬化，表面平整。后配套安装区域应铺设轨道（“暗轨”形式）。

4 始发洞支护后的直径应大于刀盘直径 $300\text{mm}$ ，便于步进时刀盘顺利通过。

8.1.4 掘进机大件到达施工现场后，应根据掘进机的组装顺序要求，合理安排卸车顺序和存放位置。

8.1.5 应由经过专业培训的起重人员负责掘进机大件的卸车，并设专人指挥。

8.1.6 采用洞外组装时，应根据 TBM 设备的最大件重量和尺寸确定起吊设备，宜采用门式起重机，其跨度应大于刀盘直径，起重能力应满足最大件和最重件吊装需要。

8.1.7 采用洞内组装时，宜根据 TBM 设备的最大件重量和尺寸选用桥机，双钩抬吊时的最大负荷按照不大于最重件重量的 $80\%$ 考虑。

8.1.8 门式起重机和桥机必须选择具备相应资质的专业厂家生产的产品。起重机组装完成后，应进行负荷试验，经当地技术安监部门检验验收，合格后方可使用。

8.1.9 TBM 安装前应对现场作业人员进行书面技术和安全交底，由各方签字确认并归档。

8.1.10 门机操作手和桥机操作手必须取得同类起重设备安全操作合格证并持证上岗。

## 8.2 设备组装

### 8.2.1 设备组装前应完成如下工作：

- 1 应完成组装场地、临时存放场地、安装洞室、始发洞室的施工及设备安装前的清理。
- 2 应研究装配图及技术要求，了解装配结构、装配特点和调整方法；根据 TBM 部件情况及现场场地条件，制定详细的装配工艺规程。
- 3 应准备符合安全要求的装配工具、量具、夹具、吊具和材料；应对装配件进行外观检验。根据最大部件尺寸和最重部件规格选择吊装设备，做好组装场地的准备工作。
- 4 应准备风、水、电及电气焊设备，电源插座应为防水、防爆型。
- 5 应配备数量足够的消防器材。

### 8.2.2 主机的组装应符合以下要求：

- 1 在开始进行主机组装时，首先确定刀盘所处的位置，保证底架中心线与洞轴线一致。
- 2 按照组装顺序依次安装底护盾及步进机构，步进机构四个角的水平误差应控制在±5mm 内。
- 3 主机安装包括：TBM 主驱动吊装、TBM 主梁吊装、TBM 副梁吊装、刀盘拼装及吊装、TBM 鞍座吊装、TBM 撑靴吊装。
- 4 TBM 主驱动吊装应采用桥机通过平衡梁进行双钩抬吊，先将主驱动总成从平放状态吊转至垂直状态，然后平移至底护盾上。
- 5 TBM 副梁与主驱动联接螺栓、副梁与主梁联接螺栓应按规定的顺序和力矩值进行紧固，宜使用专用液压紧固器进行紧固。
- 6 刀盘拼接后应进行焊接和无损检验，每层焊缝均要进行焊缝质量检验，焊缝不得存在焊接缺陷。
- 7 拼接后的刀盘应进行整体吊装，并与主驱动轴承法兰盘螺栓联接。联接应按规定的顺序和力矩值进行紧固，宜使用专用液压紧固器进行紧固。
- 8 主机的调试和功能性试验应在完成液动力系统和电气控制系统安装后进行。

### 8.2.3 设备桥的组装应符合以下要求：

- 1 设备桥为长重型构件，一般分为三段，安装时应现场焊接成整体。
- 2 应根据设计要求控制好设备桥的上拱度，先进行接头的连接，然后进行分步焊接。
- 3 在焊接设备桥时，应选用与构件材料相符的电焊条，分层焊接，并对每层焊缝进行无损检测，确保无焊接缺陷。

### 8.2.4 后配套拖车的组装应符合以下要求：

- 1 组装拖车时应按照自下而上、先内后外、先主后次的顺序进行拼装，采用临时支撑、支垫和其它辅助措施，保证组装时结构的稳定性。
- 2 应根据台车结构图进行各部位联接，采用螺栓联接的部位不得任意用焊接代替，按规定力矩拧紧所有螺栓。

- 3 组装后的拖车行走轮应转动自如，车轮与轨道应紧密贴合。
  - 4 应对各节拖车之间的连接销轴加注油脂，使各活动关节、轴承活动自如。
  - 5 应根据设计布置准确地就位安装拖车上的其它设备，确保稳固。
  - 6 连接各设备系统液压管路、气路时应确保管路清洁无污染，接头密封良好无泄漏。
  - 7 电气线路连接后应对线束进行绑扎，使之符合相关电气安装规范要求。
- 8.2.5 连续皮带机的组装应符合以下要求：
- 1 对于洞外安装的 TBM，应在洞口合理布置皮带仓的安装位置。
  - 2 连续皮带机支架应固定牢固，沿线平直顺滑。
  - 3 连续皮带应采用热硫化方式进行连接，接头不得有起泡、错台等缺陷。
  - 4 连续皮带机安装完成后应进行空负荷试验，检查皮带是否跑偏，检查驱动机构和滚筒运转是否有异响等现象，及时进行调整和处理。
- 8.2.6 应完善安装所有的防护栏、走台、爬梯，检查各液压站的油位、各驱动机构的油位，并按规定添加相应的润滑油。
- 8.2.7 所有设备安装完成后，应对结构焊接部位进行油漆涂刷，清理机上杂物并对所有设备做一次全面清洁。

### 8.3 设备调试

- 8.3.1 设备组装完成后，应进行各系统的空载调试和整机空载试验。
- 8.3.2 设备调试的主要内容包括外观检查、功能测试、技术性能测试和调整。
- 8.3.3 应按主机、辅助设备、附属设备等编制《设备测试功能表》，进行各单台设备的功能调试和 TBM 设备的整机连锁功能调试，将测试数据与表中的标准值进行比较，根据试验结果参照设计性能判断装机质量，并及时处理各系统存在的问题。主要调试内容如下：
- 1 机械部分—能否完成设计动作、测试噪声等；
  - 2 液压部分—试验动作之压力、流量、频率(油脂系统)、泄漏等；
  - 3 电气部分—试验电压、电流、控制电压、频率、功率因素、PLC 模块功能等；
  - 4 水、汽系统—试验压力、泄漏、管路布置等；
  - 5 数据记录系统及通信系统—试验功能。
- 8.3.4 外观检查、单台设备的功能测试、技术性能测试等单一的测试和检查应在组装期间同步进行，系统的调试工作可在组装完成后进行。
- 8.3.5 应按编制的设备测试功能表逐项测试，设备调试时应做好相应记录，数据超过标准值时应查找原因，直至调试至所测数据达到规定范围内。
- 8.3.6 应确保设备的各项性能指标符合 TBM 技术要求，在确认各设备安装无误的前提条件下，方可开始 TBM 的步进。

## 8.4 现场验收

8.4.1 TBM 组装调试完成后，应根据 TBM 设备的主要设计功能、使用要求及与制造厂家共同确定的《验收大纲》，分系统逐项进行 TBM 设备验收。

8.4.2 TBM 主机应满足下列要求：

- 1 外径应符合设计要求；
- 2 主机内各辅助设备达到功能要求，运行中不得相互干扰；
- 3 护盾应为表面平整的正圆柱体；
- 4 对于护盾式 TBM，在辅助推进油缸活动范围内，盾尾内表面应平整，无突出焊缝，盾尾真圆度在允许的范围内。

8.4.3 刀盘应满足下列要求：

- 1 所有连接用的螺栓应按制造厂家的设计要求配置，使用液压扭力扳手达到设计扭矩值，液压扭力扳手应进行定期标定；
- 2 刀盘空载运行正向、反向各 15min，运行平稳，各减速机及传运系统无异常响声；
- 3 集中润滑系统应进行流量和压力的测试，各润滑部件的受油情况应满足设计要求。

8.4.4 护盾式 TBM 的管片安装机应满足下列要求：

- 1 空载试车时，各部件的行程、回转角度、提升距离、平移距离、调节距离应符合设计要求，各系统的工作压力应满足设计要求；
- 2 负载试车时，管片安装机作回转、平移、提升、调节等动作运行平稳，各滚轮、挡轮安装定位准确、安全可靠，各系统的工作压力正常。

8.4.5 皮带运输机应满足下列要求：

- 1 空载试车时，不得有皮带跑偏现象；
- 2 负载试车时，运转平稳，无振动和异常响声，全部托辊和滚筒均运转灵活。

8.4.6 连续皮带机应满足下列要求：

- 1 应进行运行速度测试、张紧装置测试、手动功能测试、电气联锁测试、皮带机全程信号报警测试；
- 2 皮带机 PLC 控制系统应与主机 PLC 系统相匹配，以保证由主机控制启动和停止连续皮带机。

8.4.7 现场验收时，应详细记录设备运转状况并进行评估，满足技术要求后，签认验收文件。

## 9 掘进与支护

### 9.1 一般规定

9.1.1 采用 TBM 施工时,需要开挖始发洞及为设备在洞内安装、拆卸的辅助洞室。当始发洞和辅助洞室采用钻爆法施工开挖时,其开挖及支护方式应按现行行业标准《水工隧洞设计规范》SL 279 有关规定执行。

9.1.2 当组装场地不能满足整机组装要求时,应设置组装预备洞。预备洞的施工应符合下列要求:

- 1 基底必须清理干净,混凝土铺底,隧洞底板应满足 TBM 步进时的承载力要求。
- 2 预备洞施工完成后,应对所有净空进行检查,预备洞的底板平整度允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

9.1.3 开敞式 TBM 施工应设置始发洞,护盾式应设置始发导台。始发洞和始发导台应符合下列规定:

1 始发洞的长度按 TBM 主机长度确定,保证 TBM 始发时有足够的支撑反力,断面按支撑结构确定。

2 在始发导台施工或安装时,应确保导台位置允许误差在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,从而保证始发位置正确。

3 始发洞应使用钢筋混凝土衬砌,衬砌完成后应对所有错台进行处理,错台不得大于 $3\text{mm}$ 。衬砌背后不得有空洞。

9.1.4 TBM 施工应做好掘进方向的控制,确保隧洞轴线符合设计要求。

9.1.5 TBM 施工应根据隧洞的地质条件,选择合理的掘进参数。

9.1.6 应根据围岩条件选择合理的支护体系。

9.1.7 应加强对刀具检测、检查,对刀具消耗量进行统计和分析。

9.1.8 应加强对各项材料消耗的统计分析,必须坚持设备强制保养和状态检测。

9.1.9 主机及各附属设备的操作人员应通过培训持证上岗,非操作人员严禁操作设备。

9.1.10 在掘进施工中,作业人员应分工明确,并加强值班巡视。

9.1.11 对特殊地段及特殊地质条件下 TBM 法施工,应有应急预案和详细的施工组织措施。

9.1.12 管片拼装前,管片防水密封材料的黏贴效果应验收合格。

9.1.13 管片选型应符合下列规定:

1 应根据设计要求,选择管片类型、拼装方式和拼装位置。

2 当在曲线地段或需纠偏时,管片类型和拼装位置的选择应根据隧洞设计轴线和上一环管片姿态、盾构姿态、盾尾间隙、推进油缸行程差和铰接油缸行程差等参数综合确定。

9.1.14 管片应按便于拼装的顺序存放,存放场地基础条件应满足承载力要求。

9.1.15 管片拼接时,拼装机作业范围内严禁站人和穿行。

9.1.16 壁后注浆应符合下列规定:

- 1 应根据工程地质条件、地表沉降状态、环境要求及设备性能等选择注浆方式。
- 2 管片与地层间隙应填充密实。
- 3 壁后注浆过程中，应采取减少注浆施工对周围环境的影响。

## 9.2 TBM 步进及滑行

- 9.2.1 在 TBM 步进之前应对步进段洞室净空进行测量，保证 TBM 步进时与洞壁不发生干涉。
- 9.2.2 开敞式 TBM 步进时，应沿事先架设的导轨前行，护盾式 TBM 步进时，需在步进段洞室顶面测出隧洞设计中线，便于 TBM 步进导向。
- 9.2.3 应将超前钻机、锚杆钻机及钢拱架安装器收缩和锁定在最小尺寸状态。
- 9.2.4 步进时应加强步进监控，操作手应密切注意相关仪表的显示并及时进行操作调整，作业人员应加强巡视工作并作好施工轨道延伸。
- 9.2.5 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。

## 9.3 TBM 始发与试掘进

- 9.3.1 在护盾式 TBM 始发前须检查始发导台是否稳固、位置是否准确。开敞式 TBM 应检查撑靴与洞壁的贴合情况，保证撑靴撑紧洞壁。
- 9.3.2 刀盘开始转动前应派专人观察刀盘与岩面的接触情况，观察人员撤离观察区后，操作手方可启动刀盘。开始时应低速转动刀盘，慢速推进，将岩面慢慢切削平整后方可开始试掘进。
- 9.3.3 在试掘进初期，掘进速度不宜过快，以低速度、低推力进行试掘进，以便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。
- 9.3.4 II、III级围岩宜选用双护盾掘进模式，IV、V级围岩宜选用单护盾掘进模式。在出现断层破碎带及剪切破碎带时，宜采用单护盾掘进模式，检查反力架和负环钢管片，辅助推进油缸伸出，顶在钢环片上，调整 TBM 姿态和方向。
- 9.3.5 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。掘进时的推进速度应保持相对平稳，并控制好每次的纠偏量。
- 9.3.6 在试掘进操作中，操作手应逐步掌握 TBM 的操作规律，各班组作业人员应逐步掌握施工作业工序和要求，在掌握 TBM 的作业规律性后，再适当提高 TBM 的掘进速度。
- 9.3.7 在试掘进施工过程中，应全面系统地检验 TBM 设备和系统的运行状况，及时调整不合理的结构和装置，处理设备相关故障。
- 9.3.8 应加强试掘进过程中的测量工作，把 TBM 的姿态控制在一定的范围内，通过管片/抑拱预制块的铺设、TBM 本身的调整来达到姿态的控制。
- 9.3.9 试掘进期间，应加强 TBM 及附属设备的监控，按照 TBM 保养规程进行设备保养。

9.3.10 应通过试掘进施工，及时总结 TBM 掘进支护作业规律，完善 TBM 施工管理体系和作业流程，为 TBM 正常掘进施工奠定基础。

9.3.11 试掘进期间，应做好材料供应，及时进行轨道和管路延伸。

#### 9.4 正常掘进

9.4.1 TBM 正常掘进施工前，应对 TBM 设备进行系统检查，确保各系统无安全隐患，运行正常；为 TBM 施工服务的辅助设备应具备高强度生产能力；原材料准备充足；TBM 施工和管理人员全部到位；安全设施齐备。

9.4.2 TBM 施工期间，应持续进行超前地质预测预报工作。

9.4.3 应定期检查自动导向系统精准度，确保导向准确。应对已掘进洞段进行轴线检测，及时进行轴线纠偏。

9.4.4 TBM 一般具有自动扭矩控制、自动推力控制和手动控制三种控制模式，应根据地质状况合理选择：

- 1 在均质硬岩条件下，宜选择自动控制推力模式；
- 2 在节理发育或软弱围岩条件下，宜选择自动控制扭矩模式；
- 3 掌子面围岩软硬不均，如果不能判定围岩状态，应选择手动控制模式。

9.4.5 在掘进过程中 TBM 操作手应仔细观察各仪表的显示数值，设备维护人员应加强巡视，发现异常时及时停机检查处理。

9.4.6 当班工长应统一指挥协调相关施工作业，保持掘进与支护同步施工，严控施工质量，确保施工安全。

9.4.7 在 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。

9.4.8 应重点关注洞内有害气体监测工作，确保监测设备完好，实时分析有害气体监测结果，及时预警。

9.4.9 TBM 在通过地质破碎带时，应严格控制出渣量，并采取综合措施，及时支护，避免出现掌子面大范围坍塌，保证掘进安全。

#### 9.5 姿态控制

9.5.1 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。

9.5.2 掘进过程中，应对掘进姿态和管片状态进行测量复核，并详细记录。TBM 机身偏转量应控制在设计允许值范围内，当偏离时应进行纠偏。纠偏时，必须逐环、小量纠偏，防止过量纠偏损坏已拼装管片和盾尾密封。

9.5.3 双护盾 TBM 在竖曲线与平曲线段施工时应考虑已成环隧洞管片竖、横向位移对轴线



控制量的影响。

9.5.4 双护盾 TBM 在纠偏时不得损坏已安装的管片，并保证新一环管片的顺利拼装。

9.5.5 TBM 进行姿态调整时，应平缓操作，不得强行急促转弯。

## 9.6 到达掘进

9.6.1 到达掘进前，应制定 TBM 到达施工方案，做好技术交底，施工人员应明确 TBM 掘进的实时桩号及刀盘距贯通面的距离，并按制定的施工方案实施。

9.6.2 到达终点前应做好以下准备工作：

- 1 检查洞内的测量导线；
- 2 在洞内拆卸时应检查 TBM 拆卸段支护情况；
- 3 准备到达所需材料、工具；
- 4 设置施工接收导台、铺设滑行轨道；
- 5 增加监测的频次，并及时反馈监测结果。

9.6.3 到达掘进的最后 20m，掘进时的掘进参数采用低转速、低推力、小贯入度，及时跟进支护。

9.6.4 双护盾掘进机到达掘进前，为防止管片在失去后盾管片支撑或盾构推力后产生松弛、环缝张开，应设置管片纵向拉紧装置。

9.6.5 应做好出洞场地、洞口段的加固。

9.6.6 应保证洞内、洞外通讯联络畅通。

## 9.7 支护作业

9.7.1 开敞式 TBM 在软弱破碎围岩掘进时应进行初期支护，以满足围岩支护抗力，确保施工安全。

9.7.2 开敞式 TBM 施工初期支护包括喷混凝土、挂网、锚杆、钢环梁等。喷锚支护施工中，应做好喷锚支护施工记录、喷射混凝土的强度、厚度、外观尺寸等项检查和试验报告、监控量测记录。

9.7.3 应及时进行初期支护施工，并按设计要求进行监控量测，保证施工安全。

9.7.4 护盾式 TBM 在管片拼装时应做好以下准备工作：

- 1 拼装人员应熟悉管片排列位置、拼装顺序；
- 2 对管片及防水密封条进行检查，并按拼装顺序存放；
- 3 管片拼装机推进后的姿态应符合拼装要求；
- 4 应对前一环管片环面进行质量检查和确认；
- 5 应对管片拼装机具和材料进行检查；
- 6 封顶块安装前，应在侧面涂抹润滑剂，以免损伤密封条。

9.7.5 管片拼装作业应满足以下要求：

- 1 拼装管片时，拼装机作业范围内不得有人和障碍物；
- 2 拼装过程中，应严格控制推进油缸的压力和伸缩量，使 TBM 姿态保持不变；
- 3 连接螺栓紧固力矩应符合设计要求；对拼装五环后的管片，应按螺栓紧固力矩进行复紧；
- 4 拼装时应防止管片及防水密封条损坏；
- 5 对已拼装成环的管片环进行拼装精度检查；
- 6 平曲线段管片拼装时，应注意使各种管片环向定位准确，保证隧洞轴线符合设计要求。

9.7.6 管片/仰拱预制块拼装完成后，应及时对管片/仰拱预制块背后充填豆砾石，注入砂浆对豆砾石进行固结，达到管片背后孔隙充填密实，减少围岩松动和土压力的直接作用。经检查，注浆效果不能达到要求时，应及时补强完善。

9.7.7 开敞式 TBM 隧洞衬砌时首先应进行隧洞底板及仰拱浇筑，并按照现行国家或行业有关规范要求进行全断面衬砌。

9.7.8 壁后注浆作业应满足以下要求：

- 1 注浆前应根据注浆施工要求准备拌浆、储浆、运浆和注浆设备，并应进行试运转。
- 2 注浆前应对注浆孔、注浆管路和注浆设备进行检查。
- 3 注浆浆液应符合下列规定：
  - 1) 浆液应按设计施工配合比拌制。
  - 2) 浆液的相对密度、稠度、和易性、杂物最大粒径、凝结时间、凝结后强度和浆液固化收缩率均应满足设计要求。
  - 3) 拌制后浆液应易于压注，在运输过程中不得离析和沉淀。

9.7.9 合理制定壁后注浆的工艺，并应根据注浆效果调整注浆参数。

9.7.10 宜配置对注浆量、注浆压力和注浆时间等参数等进行自动记录的仪器。

9.7.11 注浆作业应连续进行。作业后，应及时清洗注浆设备和管路。

9.7.12 采用管片注浆口注浆后，应封堵注浆口。

## 10 特殊地段施工

### 10.1 一般规定

10.1.1 当水工隧洞 TBM 掘进施工进入下列特殊地段时，应采取施工安全措施：

- 1 覆土厚度小于隧洞洞径 2 倍的浅覆地层地段；
- 2 平面曲线半径小于 5 倍洞径的小半径曲线地段；
- 3 坡度大于 3%的大坡度地段；
- 4 富水地段；
- 5 断层破碎带地段；
- 6 岩溶地段；
- 7 存在有害气体地段；
- 8 岩爆地段；
- 9 高地温地段等。

10.1.2 特殊地段施工应符合下列规定：

- 1 应查明和分析地质条件和隧洞周边环境状况，制定专项施工技术措施和应急预案；
- 2 应根据隧洞所处位置与地层条件，合理设定掘进参数，控制地层变形；
- 3 根据隧洞所处位置及工程地质与水文地质条件，确定壁后注浆的材料、压力和注浆量，在施工过程中应根据量测结果及时调整；
- 4 应对地表及建（构）筑物等变形进行监测分析，并根据检测结果及时调整掘进参数；
- 5 应对隧洞所处位置的有害气体、地温及地应力进行监测分析，并根据检测结果采取相应措施。

10.1.3 特殊地段施工时，应根据隧洞所处地段地质条件和隧洞周边环境状况制定地质预报方案。并根据地质预测、预报结果，及时调整施工方案。

10.1.4 特殊地段施工过程中，应加强变形监测工作，及时反馈量测结果，进行动态设计和动态施工。

### 10.2 施工措施

10.2.1 浅覆土层地段施工应严格控制掘进参数和掘进姿态。

10.2.2 小半径曲线地段施工应符合下列规定：

- 1 应控制推进液压缸行程差、护盾间隙等参数；
- 2 应控制推进反力引起的管片环变形、移动、渗水等；
- 3 当使用超挖装置时，应控制超挖量；
- 4 壁后注浆应选择体积变化小、早期强度高、速凝型的注浆材料；
- 5 应增加施工测量频率；

6 应采取防止后配套设备脱轨或倾覆的措施；

7 应采取防止管片错台或开裂的措施。

#### 10.2.3 大坡度地段施工应符合下列规定：

1 当选择牵引机车时，应进行必要的计算，车辆应采取防溜车措施；

2 上坡时，应对后配套设备采取防脱滑措施；

3 下坡时，应加强掘进姿态控制，可利用辅助液压缸等防止 TBM 栽头；

4 壁后注浆宜采用收缩率小、早期强度高的注浆材料。

#### 10.2.4 富水地段施工应符合下列规定：

1 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；

2 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；

3 应采用快硬早强注浆材料，加强壁后同步注浆和二次注浆；

4 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；

5 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。

#### 10.2.5 断层破碎带地段施工应符合下列规定：

1 在断层破碎带地段施工时，应采用与之适宜的 TBM 施工方法，选择合理的施工参数。

2 开敞式 TBM 采用人工喷混凝土时，必须做好相关设备的防护工作，避免混凝土回弹料污染主机设备。喷射混凝土必须从填充岩面空洞、裂缝开始。在钢环梁地段，钢架与围岩裂隙必须用喷射混凝土填充密实，并需及时对钢环梁进行覆盖。

3 双护盾 TBM 通过软弱破碎围岩时，应减少刀盘喷水，降低刀盘转速和推力，减少单位时间内出渣量，不停机快速通过，防止塌方，安装重型管片并及时填充豆砾石并注浆，待通过后进行固结灌浆。

#### 10.2.6 岩溶地段施工应符合下列规定：

1 隧洞通过岩溶地段时，施工前应根据设计图结合施工现场情况，查明溶洞的分布范围、类型、规模、发育程度、填充物及地下水的情况，及时正确地制定施工方案。

2 应采用超前地质预报系统，利用超前钻机进行补充地质勘察并与物探结合，判断溶洞的位置、大小、范围、充填状况和地下水状况。

3 应根据查明的溶洞规模、填充物的情况对溶洞进行处理，以满足 TBM 施工要求。

4 在掘进过程中，应通过控制掘进参数控制掘进方向，减缓掘进速度，使 TBM 在掘进的瞬间刀盘各部位受力尽量相同，减少对刀具的偏磨和 TBM 姿态的偏移等现象。

5 做好溶洞段施工应急预案。

#### 10.2.7 在高瓦斯地段 TBM 掘进施工时，应加强有害气体监测，及时预警，确保施工安全。

#### 10.2.8 岩爆地段施工应符合下列规定：

1 在潜在岩爆发生的隧洞段施工时，应遵循“预防为主，防治结合”的原则，对开挖面前方的围岩特性、水文地质情况进行预测、预报。当发现有较强烈岩爆存在的可能时，应及时研究施工对策措施，做好施工前的准备工作。

2 在岩爆地段隧洞施工过程中，应采取下列方法进行地质预报：

1) 对开挖面及其附近围岩进行观测，通过地质素描，分析围岩的“动态特征”，初步判断围岩地质条件的变化情况。

2) 采用工程地质类比法进行宏观预报。

3) 微震监测。

3 应根据岩爆强度大小对其进行严格分级，针对不同的岩爆级别采取不同的技术措施。

4 隧洞施工中一旦发生岩爆，应立即采取下列处理措施：

1) 进行工作面的观察，做好各种记录，如岩爆的位置、强度、类型、数量以及灾害情况等；

2) 安排专职人员清除岩爆后的松石，加强巡回检查和危石处理，杜绝崩落的岩石砸坏设备或伤害人员现象发生。

10.2.9 高地温地段 TBM 掘进施工可采取以下措施：

1 高地温地段 TBM 掘进施工时，可通过加大隧洞的供风量、通风流速把隧洞内的热量排出洞外；

2 对隧洞围岩采用隔热材料进行防护，减少隧洞围岩的散热量；

3 采用制冷设备，降低隧洞环境温度，确保作业人员及设备安全；

4 将隧洞场地附近的冷却水引入隧洞排水系统，用以吸收隧洞内热量，降低隧洞场地工作温度。

10.2.10 TBM 掘进施工过程中，针对 TBM 无法施工的突发性特殊地段，可采用开挖导坑绕道到 TBM 前方进行处理。

10.2.11 护盾式 TBM 在设备选型时，应考虑管片安装机的行程，以便在必要时拆除后面的管片从侧面开挖导坑，迂回到掌子面前进行处理。

10.2.12 旁侧导坑的施工应符合现行行业标准《水工建筑物地下开挖工程施工规范》SL 378 的有关规定。

## 11 施工运输

### 11.1 一般规定

11.1.1 全断面岩石TBM隧洞施工运输应根据隧洞的长度、直径、纵坡、TBM的类型及掘进速度，选择最方便、最合理的运输方式、运输设备及其配套设施。运输能力应满足掘进与支护的最高施工强度要求。施工进料应采用有轨运输方式。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或皮带输送机运输方式。

11.1.2 有轨运输时，应根据施工需要在洞外设置调车、编组、出渣、设备维修等作业线路，洞内应铺设双道。在单道地段，错车线的有效长度应符合最长列车运行的要求。皮带机运输时应设置转渣装置。

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，随时处于良好的工作状态。

11.1.4 牵引设备的牵引能力应满足隧洞最大纵坡和运输重量要求，车辆配置应满足出渣、进料及掘进进度的要求，并考虑一定的余量。

11.1.5 编组列车在洞内作业地段、视线不良的曲线上、通过道岔、进入TBM和通过洞口平交道等处时，其运行速度不得大于5km/h，其他地段在采取有效的安全措施后，运行速度不宜大于20km/h。

11.1.6 有轨运输应符合下列安全规定：

- 1 机车牵引不得超载；
- 2 车辆装载高度不得大于车厢顶面50cm，宽度不得大于车宽；
- 3 列车连接应良好，编组和停留时，应有刹车装置和防溜车装置；
- 4 车辆在同一轨道行驶时，两组列车的间距不得小于100m；
- 5 轨道旁临时堆放材料，距钢轨外缘不得小于80cm，高度不得大于100cm；
- 6 车辆运行时，应鸣笛或按喇叭，并注意瞭望，严禁非专职人员开车、调车和搭车以及在运行中进行摘挂作业；
- 7 载人列车，应制定安全保证措施；
- 8 当采用卡车、内燃机车牵引时，应配置排气净化装置，并符合环保要求。

### 11.2 出渣运输

11.2.1 TBM施工时应通过技术、经济比较合理选择皮带运输方式或轨道运输方式。

11.2.2 采用皮带机出渣时，应符合下列安全规定：

- 1 按TBM的最高生产能力进行皮带机的设计；
- 2 皮带机机架应坚固，平、正、直；
- 3 皮带机全部辊筒和托辊，应与输送带的传动方向成直角；

- 4 运输皮带应保持清洁，并经常清理；
  - 5 应按照皮带机的使用与保养规程，对皮带机电气、机械、液压系统进行定期检查、保养与维修；
  - 6 应设专人沿线检查皮带的跑偏情况并及时调整；
  - 7 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；
  - 8 严格按照技术要求设置出渣转载装置。
- 11.2.3 采用有轨出渣时，应根据现场卸渣条件确定采用侧翻式或翻转式卸渣形式。
- 11.2.4 在卸渣区域应设置明显报警装置，编组列车卸渣前，应对卸渣区域进行预警，所有人员必须撤离危险区域。
- 11.2.5 在翻渣时，严禁机车移动。

### 11.3 供料运输

- 11.3.1 有轨运输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。
- 11.3.2 应根据洞内掘进情况有计划的提前安排进料工作。
- 11.3.3 材料装车时，应固定牢靠，以防运输中途跌落。
- 11.3.4 TBM上应储备一定数量的易损件和材料，并随时补充。
- 11.3.5 根据隧洞支护要求，应及时组织运输混凝土和管片等。
- 11.3.6 应根据地质情况，组织运输锚杆、钢环梁、钢筋网等支护材料。
- 11.3.7 应依照刀具的消耗统计资料，安排好刀具的运输供应，在刀具非正常损坏时应及时组织提供。
- 11.3.8 应根据掘进里程，确定运输油脂、电缆、皮带、风带、水管等延伸材料数量。
- 11.3.9 应组织好每循环管片/仰拱预制块、豆砾石及砂浆等材料的运输。
- 11.3.10 长距离掘进时，宜每隔1km设置一个会车道岔，保证材料、构件的及时供应。

### 11.4 人员运送

- 11.4.1 作业人员的运送应通过轨道小火车的方式运送。
- 11.4.2 人员的运送应采用专用的乘人车厢，座位数量应满足最大乘人要求。
- 11.4.3 作业过程中，严禁人员乘坐运输材料的小车进出隧洞。

## 12 TBM 解体

### 12.1 一般规定

- 12.1.1 TBM的解体方式应根据总体施工组织设计确定，并制定安全操作规程。
- 12.1.2 应根据TBM设备的最大件重量和尺寸、场地和道路情况，经综合比选后，确定吊装设备的型号和规格。
- 12.1.3 吊装设备应选择符合安全要求，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，并请当地技术监督部门进行质量验收，合格后方可启用。
- 12.1.4 应由经过专业培训起重人员负责TBM大件的吊装，并设专人指挥。吊装作业时，应确保各大型部件选择合理的吊点，吊运、吊装应平稳。大件吊装作业应按相关作业安全操作规程及TBM制造厂的拆卸要求进行。
- 12.1.5 应按正确的拆卸顺序进行拆卸，并按规定的顺序拆卸螺栓。
- 12.1.6 应做好施工现场的消防工作，电焊作业时，应有专人进行防护。
- 12.1.7 应加强现场的协调指挥，确保拆卸作业按计划实施。

### 12.2 设备解体

- 12.2.1 应编制TBM解体施工组织设计，并应包括以下内容：
- 1 当TBM在洞内拆卸时，应编制洞室拆卸施工方案；
  - 2 应编制TBM拆卸安全细则及拆卸期间防护方案；
  - 3 应进行TBM拆卸前的状态评估，编制拆卸前后的保养方案；
  - 4 应编制主机、设备桥、后配套系统、液压系统、电气系统的拆卸技术细则；
  - 5 应对主机、设备桥、后配套系统、液压系统、电气系统的编码与标识进行统一规定；
  - 6 应制定主机、设备桥、后配套系统、液压系统、电气系统的包装方案。
- 12.2.2 设备拆卸前应完成如下工作：
- 1 完成拆卸场地、拆卸洞室等配套工程的施工；
  - 2 配备满足拆卸施工要求的吊装设备、专用工具、夹具、吊具、材料及拆卸人员，并对拆卸人员进行质量、安全、拆卸技术培训；
  - 3 准备风、水、电及电气焊设备，洞外拆卸时，电源插座应为防水、防爆型；
  - 4 配备数量足够的消防器材；
  - 5 进行拆机前的状态评估；
  - 6 进行设备及管线的标识；
  - 7 进行拆卸技术交底。
- 12.2.3 洞外拆卸场地应符合以下要求：



- 1 拆卸场地表面平整，其中线基本对准隧洞中线；
- 2 应做好拆卸场地支挡和排水工作；
- 3 应夯实地基，门吊走行轨道基础应为钢筋混凝土结构，拆卸场地的地基承载力及混凝土厚度、强度满足TBM生产厂家对拆卸场地的要求；

4 拆卸场地的长度、宽度应满足TBM的拆卸和大件的吊装，并有一定的机动长度。

#### 12.2.4 洞内拆卸场地及拆卸应符合以下要求：

1 拆卸洞室的建造应遵循经济原则，尽量减少建造费用；拆卸洞室应选择在围岩较稳定、整体较完整的位置，尺寸应满足洞中吊装的工作条件。洞室平面与净空高度应根据主机大件拆卸的要求确定。

2 采用桥机时，桥吊的横向工作范围应大于主机直径，吊钩相对地面的最大有效起吊高度应大于主机直径3m~4m，起吊能力按相关规定确定。应充分考虑桥吊在洞内的运输和安装条件。

3 配电系统应满足桥吊和附属设备拆卸等用电及照明、电焊机、空压机等机具的用电要求，同时结合后期衬砌施工要求进行配置。

4 应注意拆卸洞室的排水能力。

5 采用洞内拆卸方式时，主机在洞内利用桥机解体，设备桥及后配套拖车等一般在洞外利用门吊和汽车吊进行解体。

拖车拆除前应将管线和皮带机的皮带进行拆解，并对主机及部分拖车上的小型装置和设备进行拆解。拆卸下来的设备，及时用平板车等运出洞外，并在洞外利用门吊或汽车吊，经汽车转至存放场。

拖车、设备桥应分组从洞内拖出，在洞口拆卸场地利用门吊和汽车吊解体，并直接包装或者用汽车运送到存放场存放。

6 洞外存放场地必须进行平整、硬化，满足大件运输车辆和吊机作业需要，并做好场地排水及照明，设置防护装置及消防器材。

#### 12.2.5 拆卸作业应遵循以下安全规定：

1 拆卸作业应设置专职安全管理人员。

2 拆机人员必须经过安全技术培训，吊机作业人员应持证上岗。

3 拆卸作业时，作业人员应戴安全帽；登高作业时，应系安全带；梯上作业时，严禁站立多人同时作业。

4 起吊前，应仔细检查连接件是否已全部拆除。起吊刀盘、护盾、主轴承、主梁等大件时，应再次检查吊机制动器和吊具，先试吊后再平衡吊运。

5 吊件不得从作业人员的头顶上空通过。

6 翻转吊件时，钢丝绳应保持在垂直状态，不得斜拉斜吊。

7 焊接作业人员应配戴防护眼镜和手套，氧气瓶、乙炔瓶应放置在规定的安全区域。

8 拆卸作业时，不得损坏设备上的标识。

9 油泵、油压表、油管 and 油缸等液压系统拆卸时，应及时封堵油路。

10 洞外施工受天气影响较大，电气设备、液压设备应做好防潮、防尘。

11 交接班时应对工具、吊具等专用机具进行交接和检查，如有破损、裂纹、断裂现象时应及时更换，做好交接班记录，交接班记录中应包括当班拆卸作业内容。

12 应加强洞内、洞口、存放场的安全保卫工作，危险部位应设置安全警示牌，在洞内外拆卸作业区和存放场等地方，应设置防护装置及消防器材。

12.2.6 拆卸记录文档工作应符合以下要求：

1 应将各班组拆卸记录、运输装车记录、装箱记录等技术资料整理归档。

2 应将TBM拆卸后的维修计划、拆卸过程中缺损件统计、拆卸中各类螺栓装机统计、库存统计及订购清单、液压系统编码标识记录、电气系统编码标识记录、裸放件编码与标识记录、备件装箱单、拆卸后的遗留问题等统计资料整理并归档。

## 13 设备维修与保养

13.0.1 TBM 设备维修保养主要包括主机的维修与保养、附属设备的维修与保养、后配套设备的维修与保养等。

13.0.2 在 TBM 整个施工期应对 TBM 及附属设备进行日常保养与维修,始终保持设备处于良好的工作状态,避免带病作业。

13.0.3 当出现下列情况之一时,应对 TBM 及其附属设备进行维修与保养:

- 1 超过正常负荷水平长时间运行。
- 2 发生故障或运转不稳定。
- 3 通过特殊地段前。
- 4 长时间停机或拆机贮存期间。

13.0.4 保养与维修应坚持“预防为主、经常检修、强制保养、养修并重”的原则,采用日常保养和定期维修保养相结合的方式。

13.0.5 保养与维修应按照生产厂家提供的设备维修保养规程并结合设备实际状况,制订相应的保养与维修计划。

13.0.6 维修保养人员应经过相关专业的培训后持证上岗,维保人员应相对固定,职责分工明确。

13.0.7 保养与检修工作中,应做好书面记录。

13.0.8 在对 TBM 及附属设备进行保养维修时,应采取安全措施,机器停止运行前,不得实施相关维保作业,防止发生人员伤害。

13.0.9 电器设备保养与检修时,应断开电气部件的开关,防止触电。

13.0.10 在拆检液压系统管路、元件前,应先停机,关闭相关液压闸阀,并释放液压系统压力,防止高压油液造成人员伤害。

13.0.11 在对液压系统进行维修时,应保持元件及管路的清洁,严禁使用棉纱等容易起毛的物品清洁油管的内壁以及装油容器。

13.0.12 TBM 长期停止运行前,应进行系统性地保养,并做好相应的停机防护工作。

## 14 监测与预警

### 14.1 一般规定

- 14.1.1 TBM施工中应结合施工环境、地质条件、施工方法与掘进速度等制定施工监测方案和应急预案。
- 14.1.2 TBM施工监测范围应包括沿线周边环境、隧洞结构和岩土体。
- 14.1.3 选择的监测手段、监测仪器和设备应满足测量精度、抗干扰和可靠性等要求。
- 14.1.4 应根据监测对象的变形量、变形速率等调整支护设计及监测方案，对突发的变形异常情况应及时启动应急预案。
- 14.1.5 浅埋段地上、地下同一断面内的监控量测数据以及TBM掘进参数应同步采集，以便进行分析。
- 14.1.6 采用TBM法施工的水工隧洞应开展超前地质预报工作，避免漏报重大地质灾害段。
- 14.1.7 TBM法施工中主要的地质灾害及风险因素应包括隧洞坍塌、突水、岩爆、瓦斯爆炸等。
- 14.1.8 隧洞坍塌、突水、瓦斯爆炸等地质灾害的监测与预警应符合现行国家或行业有关标准的规定。
- 14.1.9 隧洞岩爆的监测与预警应符合本规程14.5节的规定。
- 14.1.10 地质预报和风险监测方法的选择应以不占用或少占用TBM工作时间为原则。

### 14.2 施工监测

- 14.2.1 全断面岩石TBM隧洞施工监测内容应包括隧洞钻爆法施工区段监控量测和TBM施工区段的监控量测，并应根据围岩条件、支护参数、施工方法、周围环境及监测目的编制监测大纲和监控量测作业指导书。
- 14.2.2 隧洞始发洞、预备洞、通过支洞或斜井施工的组装、拆卸洞室等其他利用钻爆法施工的作业段的监控量测内容，应按设计要求执行，并符合现行行业标准《水工建筑物地下开挖工程施工规范》SL378的相关要求。
- 14.2.3 采用全断面TBM施工段，隧洞监控量测内容和方法见表14.2.3。

表13.2.3 全断面岩石TBM施工监控量测内容和方法

序号	监测内容	主要监测仪器
1	浅埋深地段地表和构筑物变形监测	水准仪
2	围岩、初期支护监测(包括顶拱下沉和水平收敛)	水准仪、收敛仪
3	衬砌管片监测(管片下沉、管片环向净空变化)	水准仪、收敛仪、全站仪

- 14.2.4 钻爆法施工洞段监控量测点位布置、频率应符合现行行业标准《水工隧洞设计规范》

SL 279的规定。

14.2.5 全断面岩石TBM施工段地表沉降观测断面设置应按本规程表14.2.5-1的规定执行，围岩、围岩支护观测断面设置应按本规程表14.2.5-2的规定执行，围岩环向净空变化监测间距为30m~50m。

14.2.6 全断面岩石TBM监控量测频率按本规程表14.2.6的规定执行。

14.2.7 观测点应埋设在能反映变形、便于观测、易于保存的部位。

表 14.2.5-1 地表沉降观测断面设置要求

隧洞埋深 (m)	观测点纵向间距 (m)	观测点横向间距 (m)
$H > 2D$	20~50	7~10
$D < H < 2D$	10~20	5~7
$H < D$	10	2~5

表 14.2.5-2 围岩支护观测断面设置要求

围岩情况	观测断面纵向间距 (m)	备注
IV、V级	10	围岩变化处应适当加密，在各类围岩的起始段增设顶拱下沉观测点1~2处，水平收敛1~2对（管片衬砌跟进时不做此项监测）
III级	25	
II级	40	

表 14.2.6 全断面岩石TBM监控量测频率

变形速率 (mm/d)	施工状况	测量频率
$> 10$	距工作面1倍洞径	2次/d
10~5	距工作面(1~2)倍洞径	1次/d
4~1	距工作面(2~5)倍洞径	1次/2d
$< 1$	距工作面 $> 5$ 倍洞径	1次/7d

### 14.3 超前地质预报

14.3.1 超前地质预报与监测的内容应包括：

1 根据隧洞场地地层岩性、地质构造、水文地质条件及掘进施工所处位置的环境状况，对隧洞涌水量进行预测预报。

2 根据隧洞围岩岩石强度、岩石节理裂隙发育程度、断层破碎带位置、走向及宽度、水文地质条件等，判定隧洞围岩级别，预测可能产生片帮、冒顶或产生坍塌的隧洞位置，及时采取防护措施。

3 根据隧洞埋深、围岩岩性特征及水文地质条件等，对隧洞施工过程中可能发生岩爆

的段落、发生岩爆的等级进行预测，并作出评价。

4 通过对隧洞内瓦斯、有害气体的类型、浓度的检测分析，及时作出预警，确保作业人员及设备安全。

14.3.2 影响 TBM 参数选用和施工安全的地质因素包括：

- 1 对 TBM 参数选用有关的地质因素
  - 1) 地层岩性、岩石硬度、岩石强度；
  - 2) 断层、节理裂隙发育带位置、规模及性质；
  - 3) 软、硬地层分界面位置。
- 2 对 TBM 施工安全有影响的地质因素
  - 1) 岩溶发育的位置、规模、充填情况等；
  - 2) 瓦斯及有害气体的规模；
  - 3) 特殊地层如剪切破碎带、膨胀性岩土的分布；
  - 4) 潜在的岩爆区域、等级及其发生概率；
  - 5) 涌水、涌泥的位置。

14.3.3 TBM 法施工的隧洞应动态监测掘进前方的地质情况，地质复杂的隧洞段应辅以超前水平钻探或其他物探方法进行探测、验证。

14.3.4 预报采用的方法包括：

- 1 传统地质分析法；
- 2 超前水平钻探法；
- 3 地球物理探测法，包括地震超前预报 (TSP203)、瞬变电磁法 (TEM) 及地质雷达等；

14.3.5 预报采用预报简报和预报总报告的方式实施，预报简报应在实施洞内钻探和监测数据分析后当日提交。

- 1 预报简报内容
  - 1) 隧洞工程概况；
  - 2) 地质预报采用的方法原理；
  - 3) 钻探或探测布置图；
  - 4) 钻探或监测结果分析与风险评估；
  - 5) 预报结论及下一步施工措施建议。
- 2 地质预报总报告内容
  - 1) 隧洞工程概况；
  - 2) 采用的技术方法原理；
  - 3) 隧洞地质展示图；
  - 4) 隧洞实际地质纵剖面图；
  - 5) 典型预报实例；

- 6) 预报与施工验证的对比分析, 预报准确率的统计分析;
- 7) 结论。

#### 14.4 岩爆监测与预警

##### 14.4.1 微震监测方案设计应包括:

- 1 微震监测设备选择。
- 2 微震传感器类型选用及数量确定。
- 3 微震传感器布置方案。
- 4 微震监测通讯方案。
- 5 安全运行保障措施。

14.4.2 微震监测设备应满足监测目的和监测环境要求, 宜选择采样频率较高的微震监测设备。

14.4.3 微震传感器类型选用一般由监测的目的和岩体岩性确定, 对于定位精度要求较高, 且需深入研究岩爆规律与机理的水电工程, 宜选择三向微震传感器。

14.4.4 微震传感器之间的间距设计需要考虑微震传感器的有效监测范围, 确保监测区域尽量在多个微震传感器的有效捕捉范围内。

14.4.5 微震传感器可随洞室和隧洞开挖动态增补, 关键部位和可预见的潜在岩爆风险区域, 应加密微震传感器布置。

##### 14.4.6 TBM 施工隧洞工程, 微震传感器布置方案宜按下列原则进行设计:

- 1 一般布置两至三组微震传感器, 第一组微震传感器一般在 TBM 上 L1 区安装。
- 2 每组微震传感器间距以 40m 为宜, 具体距离应根据岩体条件、工程条件、微震传感器灵敏度、TBM 结构以及监测目的等确定。
- 3 每组微震传感器数量以 (3~4) 个为宜, 微震传感器安装于拱顶左右 70° 范围内, 同组微震传感器沿洞轴线方向错开一定距离, 以 2m~3m 为宜。
- 4 微震传感器应跟随 TBM 推进以组的形式循环移动, 将距离最远的一组微震传感器移至最前, 约每 40m 移动一次。

##### 14.4.7 微震监测数据分析应包括:

- 1 岩石破裂信号提取。
- 2 微震源定位。
- 3 微震活动性分析。

14.4.8 TBM 施工条件下应主要分析累积微震事件数、累积微震辐射能、累积微震视体积、即时微震事件数、即时微震辐射能以及即时微震视体积。

##### 14.4.9 即时微震信息预警时间选取, 应按下列原则确定:

- 1 根据工程预警周期需求确定。

2 应考虑数据量以及数据分析的效率耗时。

3 日常预警宜以天为单位。

4 针对微震活动活跃区域，或有较高等级岩爆风险、特殊工况条件下，宜以小时为单位。

14.4.10 微震活动率为累积微震活动除以孕育时长，孕育时长从开始产生微震活动时刻算起，预警时间选取应符合本规程第 14.4.9 条的规定。

14.4.11 岩爆预警宜选择基于微震实时监测信息的岩爆动态预警方法对岩爆进行预警。

14.4.12 利用基于微震实时监测信息的岩爆动态预警方法进行岩爆预警时，应按照评估区域选取、评估区域微震信息分析、岩爆预警公式选取、岩爆烈度等级及发生概率预警以及动态预警的步骤逐步进行。

14.4.13 开展岩爆的动态预警，应符合下列规定：

1 应根据不断监测到的微震信息，利用预警公式开展岩爆动态预警。

2 预警区域发生改变时，选取改变后的预警区域内微震信息，进行岩爆动态预警。

3 在岩爆风险防控措施采取后，监测到的微震信息发生明显变化时，应基于变化的微震信息进行防控后的岩爆风险动态预警。

4 在已发生多次岩爆的区域和前期微震活动活跃但未发生相应烈度等级岩爆的区域，应及时更新微震监测信息，基于变化的微震信息进行岩爆动态预警。

5 在微震信息变化异常或微震活动性极为活跃或快速增长的区域，应加强岩爆动态预警。

6 相向开挖临近贯通洞段，应加强相向开挖掌子面及岩柱区域岩爆动态预警。

## 14.5 管理标准及信息反馈

14.5.1 隧洞钻爆法施工段监控量测标准应按设计要求执行，并符合现行行业标准《水工隧洞设计规范》SL 279的规定。

14.5.2 全断面岩石TBM施工段围岩或初期支护监控量测实测相对位移值或预测的总相对位移值可按本规程表14.5.2 的规定执行。

14.5.3 如果位移速度未明显下降，而此时实测位移相对值已接近表中的规定数值，同时支护混凝土表面已出现明显裂缝，或者实测位移速度出现急剧增长时，应立即采取支护补强措施，并改变施工程序或支护参数，必要时应立即停止开挖，进行施工处理。

14.5.4 围岩与支护结构的位移速度判别标准按以下规定执行：

1 位移速度持续大于1.0mm/d时，围岩与支护结构处于急剧变形状态；

2 位移速度为0.2mm~1.0mm/d时，围岩与支护结构处于缓慢变形状态；

3 位移速度小于0.2mm/d时，围岩与支护结构达到基本稳定。

表14.5.2 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下沉实测值与隧洞宽度之比。

2 硬质围岩取表中较小值，软质围岩取表中较大值。

3 本表所列数值可在施工过程中通过实测和资料积累作适当修正。

14.5.5 宜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。

14.5.6 应结合施工和现场环境状况对监控量测数据定期进行综合分析，并应绘制出地表沉降、隧洞水平收敛、拱顶下沉等时态曲线图。

14.5.7 每次监控量测完成后应提供书面报告并报送相关部门，在实测值大于允许变形量2/3或出现异常情况时必须及时报告。工程竣工后应提供监控量测技术总结报告。

## 15 施工安全与环境保护

- 15.0.1 施工前，应根据 TBM 设备状况、地质条件、施工方法、进度和隧掘进长度等条件，选择通风方式、通风设备和隧洞内温度控制措施。
- 15.0.2 隧洞内作业场所应设置照明和消防设施，并应配备通信设备和应急照明。
- 15.0.3 隧洞内应设置足够的排水设施。
- 15.0.4 隧洞内作业位置与场所应保证作业通道畅通。
- 15.0.5 当存在可燃性或有有害气体时，应使用专用仪器进行检测，并应加强通风措施，气体浓度应控制在安全允许范围内。
- 15.0.6 隧洞在整个施工过程中，作业环境应符合下列规定：
- 1 空气中氧气含量不得低于 20%（按体积计）。
  - 2 甲烷浓度应小于 0.5%（按体积计）。
  - 3 有害气体容许浓度应符合下列规定：
    - 1) 一氧化碳不应超过  $30\text{mg}/\text{m}^3$ ；
    - 2) 二氧化碳不应超过 0.5%（按体积计）；
    - 3) 氮氧化物换算成二氧化氮不应超过  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。
  - 4 粉尘容许浓度，空气中含有 10% 及以上的游离二氧化硅的粉尘不得大于  $2\text{mg}/\text{m}^3$ ，空气中含有 10% 以下的游离二氧化硅的矿物性的粉尘不得大于  $4\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- 15.0.7 隧洞内空气温度不应高于  $32^\circ\text{C}$ 。
- 15.0.8 隧洞内噪声不应大于 90dB。
- 15.0.9 隧洞通风应符合下列规定：
- 1 宜采用机械通风方式；
  - 2 按隧洞内施工高峰期人数计，每人需供应新鲜空气不应小于  $3\text{m}^3/\text{min}$ ，隧洞最低风速不应小于  $0.25\text{m}/\text{s}$ 。
- 15.0.10 施工中产生的废渣和废水等应及时处置。
- 15.0.11 施工中，应采取措施避免施工噪声、振动、水质和土壤污染及地表下沉等对周边环境造成影响。



16.1.2 采用TBM法施工的水工隧洞必须按规定及时填写各类质量检测报告、检查验收记录和其他工程技术管理资料，严格履行责任人签字制度。施工质量验收资料的归档整理应符合有关规范的要求。

16.1.3 采用全断面岩石TBM法施工的水工隧洞工程，应按下列规定进行施工质量控制：

1 施工单位应对工程采用的主要材料、零配件和设备的外观、规格、型号和质量证明文件进行验收，并经监理工程师认可；凡涉及结构安全和使用功能的，施工单位应进行检查，监理单位应按规定进行平行检查或见证取样检查。

2 各工序应按施工技术标准进行质量控制，每道工序完成后，施工单位应进行检验，并形成纪录。

3 工序之间应进行交接检查检验，上道工序应满足下道工序的施工条件和技术要求；相关专业工序之间的交接检验应经监理工程师检查认可。未经检查或检查不合格的不得进行下一道工序施工。

16.1.4 采用全断面岩石TBM法施工的水工隧洞施工质量，应按下列规定进行验收：

1 工程施工质量应符合现行行业标准《水工建筑物地下开挖工程施工规范》DL/T 5099、《水工混凝土施工规范》SL 677、《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176以及相关专业验收标准的规定；

2 工程施工质量应符合设计文件的要求；

3 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；

4 工程施工质量的验收均应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；

5 涉及结构安全的试块、试件以及现场检验项目，监理单位应按规定进行平行检验、见证取样检测或见证检测；

6 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；

7 对涉及结构安全和使用功能的分部工程应进行抽样检验，衬砌混凝土强度同条件养护试件检测项目和频次应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677的规定；

8 承担见证取样检测及有关结构安全检测的单位应具有相应的资质；

9 单位工程的综合质量应由验收人员通过检查共同确认。

16.1.5 采用全断面岩石TBM法施工的水工隧洞工程施工质量验收，应划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批。

1 单位工程应按一个完整工程或一个相当规模的施工范围划分，并依照下列原则确定：

1) 一座隧洞宜作为一个单位工程，长隧洞和特长隧洞可按施工标段划分为若干个单位工程；

2) 独立明渠(或棚洞)可作为一个单位工程。

2 分部工程应按一个完整部位或主要结构及施工阶段划分。

3 分项工程可按工种、工序、材料、施工工艺等划分。

4 检验批可根据施工质量控制和施工段验收需要划分，其检验项目分为主控项目和一般项目。

16.1.6 分部工程、分项工程划分和检验批检验项目划分应符合现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176的规定。

16.1.7 检验批的质量验收应包括以下内容：

1 实物检查，按下列方式进行：

1) 对原材料、构配件和设备等的检验，应按进场的批次和现行国家或行业有关标准的规定执行；

2) 对混凝土主性能指标的检验，应按国家现行有关标准规定的抽样检验方案执行；

3) 对本技术规程中采用计数检验的项目，应按抽查点数符合本技术规程规定的百分率进行检查。

2 资料检查，包括原材料、构配件和设备等的质量证明文件(质量合格证、规格、型号及性能检测报告等)和检验报告、施工过程中重要工序的自检和交接检验记录、平行检查报告、见证取样检测报告等。

16.1.8 工程施工质量验收应符合下列要求：

1 检验批质量同时符合下列要求时，其质量评为合格：

1) 主控项目的质量经抽样检验全部合格；

2) 一般项目的质量经抽样检验全部合格，其中有允许偏差的抽检点，除有专门要求外，80%及以上的抽检点应控制在规定允许偏差内，最大偏差不得大于规定允许偏差的1.5倍；

3) 具有完整的施工操作依据、质量检查记录。

2 分项工程施工质量同时符合下列要求时，其质量评为合格：：

1) 所含的检验批均符合合格质量的规定；

2) 所含的检验批的质量验收记录完整。

3 分部工程施工质量同时符合下列要求时，其质量评为合格：：

1) 所含分项工程的质量均验收合格；

2) 质量控制资料完整；

3) 隧洞衬砌内轮廓、衬砌厚度和强度、衬砌背后回填及防水等涉及结构安全和使用功能的检验和抽样检测结果符合设计要求及有关标准规定。

4 单位工程施工质量同时满足下列标准时，其质量评为合格：

1) 所含分部工程的质量均应验收合格；

2) 质量控制资料应完整；

3) 实体质量和主要功能应符合相关标准、规范的规定和设计要求；

4) 观感质量验收应符合要求。

16.1.9 当检验批工程质量不符合要求时，应按下列要求进行处理：

1 经返工重做或更换构配件、设备的检验批，应重新进行验收；

2 当对试块试件的试验结果有怀疑，或因试块试件丢失损坏、试验资料丢失等无法判断实体质量时，应由有资质的法定检测单位对实体质量进行检测鉴定，凡达到设计要求的检验批可予以验收；

3 通过返修或加固处理后，部分质量指标仍达不到设计要求时，经设计复核，项目法人及监理单位确认能满足或基本满足结构安全和使用功能要求，可予以验收，但应按规定进行质量缺陷备案。

4 通过返修或加固处理仍不能满足结构安全和使用功能要求的分部工程、单位工程，严禁验收。

16.1.10 工程施工质量验收的组织程序按下列要求执行：

1 检验批应由施工单位自检合格后报监理单位，由监理工程师组织施工单位专职质量检查员等进行验收。监理单位应对全部主控项目进行检查，对一般项目的检查内容和数量可根据具体情况确定。

2 分项工程应由监理工程师组织施工单位分项工程技术负责人等进行验收，并按照现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176附表G-1格式填写记录。

3 分部工程应由建设单位（或委托监理单位）组织施工单位项目负责人和技术、质量负责人等进行验收。隧洞衬砌分部工程进行验收时，勘测设计单位项目负责人应参加，并按现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176附表G-1格式填写记录。

4 单位工程完工后，施工单位应自行组织有关人员进行检查评定，并向建设单位提交工程验收报告。

16.1.11 建设单位收到单位工程验收报告后，应由建设单位项目负责人组织施工、设计、监理单位负责人进行单位工程验收，并按现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176附表G-2格式填写记录。单位工程验收包含综合质量验收的内容，综合质量验收应符合本规程第16.8节的规定。

## 16.2 模 具

### 1 主控项目

16.2.1 管片/仰拱预制块钢模具应编制施工组织设计和技术方案，设计制造时的规格尺寸、强度、刚度和稳定性必须以符合设计断面管片分块要求为准，应考虑加工精度，初验其允许制造偏差，偏差值应符合表16.2.1的规定。钢结构及模板必须具有足够的强度、刚度和稳定性，应便于拆卸。

表16.2.1 模具制造允许偏差度

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验方法	检查数量
1	宽度	±0.4	内径千分尺	6点/片
2	弧旋长	±0.4	样板	2点/片, 每点2次
3	边模夹角	≤0.2	靠尺塞尺	4点/片
4	对角线	±0.8	钢卷尺、刻度放大镜	2点/片, 每点2次
5	内腔高度	-1~+2	高度尺	4点/片

检验数量: 施工单位、监理单位检查每套模具及支架。

检验方法: 检查设计资料、产品验收合格证明。试生产管片, 随机抽取三环进行水平拼装检验, 合格后方可正式验收。

16.2.2 模具安装必须稳固牢靠, 接缝严密, 不得漏浆。模具与混凝土的接触面必须清理干净并均匀涂刷脱模剂, 浇筑混凝土前, 清理干净模具内杂物, 钢筋骨架、预埋配件严禁接触脱模剂。

检查数量: 施工单位、监理单位全数检查。

检验方法: 观察。

16.2.3 管片出模时, 管片混凝土强度应达到20MPa。

检验数量: 施工单位、监理单位全数检查。

检验方法: 施工单位拆模前进行一组同条件养护试件强度试验; 监理单位见证试验。

## II 一般项目

16.2.4 模具每周转100次, 必须进行系统检验, 其允许偏差应符合表16.2.1规定值。

检验数量: 模具每周转100次检查一次。

检验方法: 观察、丈量。

## 16.3 管片/仰拱预制块制作

### I 主控项目

16.3.1 水泥、细骨料、粗骨料、外加剂、矿物掺合料的质量, 配合比、强度等级、抗渗等级等的质量标准、检验数量、检验方法应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》SL 677相关要求。

16.3.2 管片养护应符合下列规定:

- 1 管片混凝土浇筑成型后至脱模前, 应覆盖保湿采用蒸汽养护或自然方式进行养护。
- 2 自然养护时间: 在掺加减水剂时自然养护时间为8h~12h。

3 蒸汽养护的混凝土管片静停2h 后,开始输入蒸汽,升温速度不宜超过15℃/h,降温速度不宜超过10℃/h,恒温最高温度不宜超过60℃。

4 蒸汽养护时间不宜超过6h,停止蒸汽养护时管片温度与环境温度差不得超过20℃。

5 管片脱模后,非冬季施工期间生产的管片宜置于水中养护7d以上,冬季施工期间生产的管片宜涂刷养护剂。

检查数量:施工单位、监理单位全数检查。

检验方法:观察、测量。

16.3.3 管片在贮存阶段宜采取适当的方式进行养护、且养护周期不得少于14d。管片/仰拱块出厂时的混凝土强度不应低于设计强度。

检查数量:施工单位、监理单位全数检查。

检验方法:检查出厂时混凝土强度报告。

## II 一般项目

16.3.4 混凝土管片钢筋加工要满足设计要求,允许偏差值应符合表16.3.4 的规定。

表16.3.4 钢筋加工允许偏差和检验数量

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查数量
1	主筋和构造筋长度	±10	≥5件/班,同类型、同设备且≤15环
2	主筋弯折点位置	±10	≥5件/班,同类型、同设备且≤15环
3	箍筋内净尺寸	±5	≥5件/班,同类型、同设备且≤15环

检验方法:尺量。

表16.3.5 钢筋骨架安装位置的允许偏差和检验数量

序号	项 目		允许偏差(mm)	检查数量
1	钢筋骨架	长	-10~+5	每环检1片、每片骨架检查4点
		宽	-10~+5	每环检1片、每片骨架检查4点
		高	-10~+5	每环检1片、每片骨架检查4点
2	受力主筋	间距	±5	每环检1片、每片骨架检查4点
		层距	±5	每环检1片、每片骨架检查4点
		保护层厚度	-3~+5	每环检1片、每片骨架检查4点
3	箍筋间距		±10	每环检1片、每片骨架检查4点
4	分布筋间距		±5	每环检1片、每片骨架检查4点
5	环、纵向螺栓孔和中心吊装孔		畅通,内圆面平整	



16.3.5 混凝土管片浇筑时，要保证钢筋骨架的稳定位置，钢筋骨架安装的偏差应符合本规程表16.3.5 的规定。

16.3.6 预制钢筋混凝土管片/仰拱预制块的尺寸偏差应符合表16.3.6的规定。

表16.3.6 预制成型管片允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	宽 度	±1
2	弧弦长	±1
3	厚 度	-1~+3

检查数量:施工单位每日生产量或不超过15 环检查一块，每块检查3点。

检验方法:观察、丈量。

16.3.7 每套钢模每生产100 环后应进行管片水平拼装检验一次，检查结果应符合表16.3.7 的规定。

表16.3.7 管片水平拼装检验允许偏差

序号	项目	允许偏差(mm)	检验频次	检验方法
1	环向缝间隙	2	每环测6点	塞尺
2	纵向缝间隙	2	每条缝测2点	塞尺
3	成环内径	±2	测4条(不放衬垫)	钢卷尺
4	成环外径	-2~+6	测4条(不放衬垫)	钢卷尺

检查数量:施工单位每生产100 环后检查一次。

检验方法:观察、丈量。

16.3.8 预埋件和预留孔洞的设置应符合设计要求。允许偏差和检验方法应符合表16.3.8 的规定。

表16.3.8 预埋件和预留孔洞的允许偏差

序号	项 目		允许偏差 (mm)
1	预留孔洞	中心线位置	10
		尺 寸	0~+10
2	预埋件中心线位置		3

检验数量:施工单位全部自检。

检验方法:观察、丈量。

16.3.9 管片/仰拱预制块混凝土外观质量不应有严重缺陷，有严重缺陷的管片不得用于工程中。管片外观质量缺陷等级见表16.3.9。

表16.3.9 混凝土管片外观质量缺陷等级

名称	现象	缺陷等级
露筋	管片内钢筋未被混凝土包裹而外露	严重缺陷
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	严重缺陷
孔洞	混凝土内孔穴深度和长度均超过保护层厚度	严重缺陷
夹渣	混凝土内夹有杂物且深度超过保护层厚度	严重缺陷
疏松	混凝土中局部不密实	严重缺陷
裂缝	①可见的贯穿裂缝	严重缺陷
	②长度超过密封槽且宽度大于0.1 mm 的裂缝	严重缺陷
	③非贯穿性干缩裂缝	一般缺陷
外形缺陷	棱角磕碰、飞边等	一般缺陷
外表缺陷	①密封槽部位在长度500mm的范围内存在直径5mm以上的气泡5个以上	严重缺陷
	②管片表面麻面、掉皮、起砂、存在少量气泡等	一般缺陷

检查数量:施工单位全数检查。

检验方法:观察。

## 16.4 管片/仰拱预制块安装

### I 主控项目

16.4.1 管片拼装应严格按拼装设计要求进行，管片无内外贯穿裂缝，无大于0.2mm的推顶裂缝及混凝土剥落现象。

检查数量:施工单位、监理单位逐片检查。

检验方法:用刻度放大镜检查。

16.4.2 管片防水密封条质量应符合设计要求，无缺损，粘结牢固，平整，防水垫圈无遗漏。

检查数量:施工单位、监理单位逐片检查。

检验方法:检查施工日志；检查材料合格证和试验报告。

16.4.3 螺栓质量及拧紧度必须符合设计要求。

检查数量:施工单位、监理单位逐根检查。

检验方法:扭矩扳手紧固检查;检查材料合格证或试验报告。

## II 一般项目

16.4.4 施工中管片拼装允许偏差和检验方法应符合表16.4.4的规定。

表16.4.4 管片拼装允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	检验方法	检查频次
1	衬砌环直径椭圆度	$\pm 6\%D$	丈量后计算	4点/环
2	隧洞圆环平面位置	$\pm 70$	经纬仪测中线	1点/环
3	隧洞圆环高程	$\pm 70$	水准仪测高程	1点/环
4	相邻同环管片间的径向错台	6	丈量	4点/环
5	相邻环片同环管片间环面环向错台	7	丈量	1点/环

注：D指隧洞的外径 (mm)

检验数量：逐环检查。

检验方法：丈量。

16.4.5 成型隧洞其允许偏差值应符合表16.4.5 的规定。

表16.4.5 成型隧洞允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	检验方法	检查频次
1	衬砌环直径椭圆度	$\pm 6\%D$	丈量后计算	4点/环
2	隧洞圆环平面位置	$\pm 120$	经纬仪测中线	1点/环
3	隧洞圆环高程	$\pm 120$	水准仪测高程	1点/环
4	相邻同环管片间的径向错台	12	丈量	4点/环
5	相邻环片同环管片间环面环向错台	17	丈量	1点/环

注：D指隧洞的外径 (mm)

检验数量：逐环检查。

16.4.6 结构表面无裂缝、缺棱、掉角，管片接缝符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查施工日志。

16.4.7 衬砌结构不得侵入建筑限界。

检查数量：逐环检查。

检验方法：经纬仪、水准仪测量。

## 16.5 豆砾石填充

### I 主控项目

16.5.1 管片与围岩之间的空隙应在每环管片安装完成后及时充填豆砾石,将整个间隙充填密实,防止管片错动失稳,用高压风通过管片灌浆孔嵌入。

检查数量:施工单位、监理单位全数检查。

检验方法:观察、检查施工记录。

### II 一般项目

16.5.2 充填顺序应按先拱底、次两侧、后拱顶的次序,避免充填的豆砾石出现架空。

检验方法:观察、检查施工记录。

## 16.6 充填注浆

### I 主控项目

16.6.1 管片与周围围岩的环形空隙应用豆砾石充填并进行回填灌浆。。

检查数量:施工单位、监理单位每段注浆时。

检验方法:压力表和流量计。

16.6.2 灌浆体的早期固结强度检查,固结强度终凝当天应不小于0.2MPa,28d强度不小于2.5MPa。确保管片衬砌的早期稳定。

检查数量:施工单位、监理单位每段注浆时。

检验方法:试块检查。

16.6.3 注浆压力和注浆量。注浆压力为0.2MPa~0.3MPa,注浆量应为管片环型间隙理论体积的1.3倍~1.8倍。

检查数量:施工单位、监理单位每段注浆时。

检验方法:压力表和流量计。

16.6.4 已注浆的壁后注浆材料进行取样,检查注浆厚度、情况、强度等。

检查数量:施工单位、监理单位取样检查。

检验方法:试验仪器。

### II 一般项目

16.6.5 充填灌浆材料应使用符合有关质量规定的材料,其物理力学性能满足要求,同时应定期验收以确保其质量。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察、检查施工记录。

## 16.7 管片防水

### I 主控项目

16.7.1 同一配合比的管片混凝土，每30环留置抗渗试件一组，试验结果必须符合设计要求。混凝土抗渗试件应在浇筑地点随机取样。

检查数量:施工单位、监理单位每浇筑30环，试验一次。

检验方法:检查试件抗渗试验报告。

16.7.2 防水密封条品种、规格、性能必须满足设计要求。

检验数量:施工单位、监理单位以每6个月同一厂家的防水密封条为一批，取样进行物理性能检验。

检验方法:检查防水密封条出厂试验报告和进厂(场)检验报告。

16.7.3 胶粘剂质量应符合设计要求。

检查数量:施工单位、监理单位以每一批货6个月的使用量检查一次。

检验方法:检查胶粘剂出厂材质证明。

16.7.4 管片成品应按要求进行检漏测试。检漏标准按设计抗渗压力恒压2h，渗水深度不超过管片厚度的1/5为合格。

检查数量:施工单位、监理单位在管片正式生产后，每生产50环应抽查1块管片做检漏测试，连续三次达到检测标准，则改为每生产100环抽查1块管片，再连续三次达到检测标准，按最终检测频率为200环抽查1块管片做检漏测试。如出现一次不达标，则恢复每50环抽查1块管片的最初检测频率，再按上述要求进行抽检。当检漏频率为每50环抽查1块管片时，如出现不达标，则双倍复检，如再出现不达标，则逐块检测。

检验方法:观察、丈量。

16.7.5 防水密封条安装应符合下列要求:

- 1 粘贴管片防水密封条前应将管片密封条槽清理干净。
- 2 粘贴后的防水密封条应牢固、平整、严密、位置正确，不得有鼓包、超长和缺口现象。
- 3 管片防水密封条粘贴完毕并达到粘贴时间要求后方可拼装，拼装时不得损坏密封条。

检查数量:施工单位、监理单位逐块检查。

检验方法:观察检查。

16.7.6 隧洞防水施工、防水效果应符合设计要求。

检查数量:施工单位、监理单位逐环检查。

检验方法:观察检查;检查施工日志。

### II 一般项目

16.7.7 螺栓孔密封圈品种、规格、性能必须满足设计要求。

检查数量:对进场每一批或使用6个月的材料。

检验方法:检查出厂试验报告和进场检验报告。

#### 16.7.8 嵌缝材料品种、性能必须满足设计要求。

检查数量:施工单位、监理单位对进场每一批或使用6个月的材料。

检验方法:检查出厂试验报告和进场检验报告。

#### 16.7.9 螺栓封孔密封胶圈应按设计要求安装,不得遗漏且不易外露。

检查数量:逐块检查。

检验方法:观察检查。

#### 16.7.10 管片嵌缝防水应符合设计要求。

检查数量:逐环检查。

检验方法:观察检查;检查施工日志。

### 16.8 单位工程综合质量评定

#### 16.8.1 单位工程质量控制资料核查

1 单位工程质量控制资料应齐全完整,全面反映工程施工质量状况;

2 单位工程质量控制资料核查应由监理单位组织施工单位进行,并按本规程表16.8.1填写记录。

#### 16.8.2 单位工程实体质量和主要功能核查:

1 单位工程完成后,应由建设单位组织设计、监理、施工单位对单位工程实体质量和主要功能进行核查,并按本规程表16.8.2填写记录。

2 单位工程实体质量和主要功能核查方法和数量应按现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176的规定执行。

3 结构实体质量和主要使用功能达不到设计要求的单位工程不予验收。

#### 16.8.3 单位工程观感质量评定

1 单位工程观感质量评定由建设单位、监理单位、施工单位共同进行现场评定,并按本规程表16.8.3填写记录。

2 单位工程观感质量检查项目评定达不到合格标准者应进行返修。

3 单位工程观感质量合格标准

1) 洞门观感质量合格标准:

混凝土端墙、翼墙和挡土墙表面平整,色泽均匀。接茬处无明显错台、跑模现象。局部蜂窝麻面已修补,外形整体轮廓清晰,线角基本平顺。

浆砌片石边、仰坡表面平顺,砌缝密实。边、仰坡开挖面无裸露,地表植被恢复及水土保持良好,无冲刷痕迹。



贯通。

弃渣堆表面平整，已按要求覆盖耕植土，完成绿化或造田。弃渣场排水设施齐全，与周围环境已有的排水沟渠连接良好，排水畅通。

表16.8.2 单位工程实体质量和主要功能核查记录

单位工程名称				
施工单位				
序号	项 目	份数	审查意见	核查人
1	衬砌混凝土强度检测			
2	钢筋混凝土中钢筋位置和保护层厚度检测			
3	衬砌混凝土厚度检测			
4	仰拱混凝土厚度检测			
5	底板混凝土厚度检测			
6	衬砌壁后回填密实度检测			
7	衬砌渗水情况检查			
8	隧洞衬砌内轮廓检查			
9	衬砌表面内轮廓检查			
结论：  施工单位项目负责人：      总监理工程师：      建设单位项目负责人 年 月 日      年 月 日      年 月 日				

注：核查项目由验收组协商确定。



表16.8.3 单位工程观感质量检查记录

单位工程名称					
施工单位					
序号	项目名称	质量状况	质量评定		
			合格	差	
1	洞门	端 墙			
		挡翼墙			
		边仰坡			
		排水设施			
		铭牌、号标			
		检查梯、扶手			
2	洞身	拱 部			
		边 墙			
		仰 拱/底 板			
		沟槽盖板			
3	防排水效果	衬 砌			
		沟 槽			
4	弃渣	挡护工程			
		排水系统			
		渣场表面			
<p>结论:</p> <p>施工单位项目负责人:      总监理工程师:      建设单位项目负责人</p> <p>年 月 日                      年 月 日                      年 月 日</p>					

注:观感质量评定为“差”的项目应返修。

## 本标准用词说明

- 1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其它有关标准执行的写法，如“应按.....执行”或“应符合.....的规定”。

## 引用标准名录

本技术规程引用以下标准：

1. 《通用硅酸盐水泥》GB 175
2. 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
3. 《预应力混凝土用钢绞线》GB/ T5224
4. 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
5. 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
6. 《全球定位系统（GPS）测量规范》GB/T 18314
7. 《地下工程防水技术规范》GB 50108
8. 《工程岩体分级标准》GB 50218
9. 《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487
10. 《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099
11. 《水利水电工程测量规范》SL 52
12. 《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176
13. 《水工混凝土结构设计规范》SL 191
14. 《水工隧洞设计规范》SL 279
15. 《水工建筑物地下开挖工程施工规范》SL 378
16. 《水工混凝土施工规范》SL 677

中国建筑业协会团体标准

# 水工隧洞 TBM 掘进施工技术规范

T/CCIAT ××××-20××

条文说明

## 制订说明

本规程是根据《中国建筑业协会关于开展第一批团体标准编制工作的通知》（建协函〔2018〕7号）的要求，按照现行国家标准《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》GB/T 1.1的规定进行制定。

本规程在编制过程中，进行了广泛的调查研究和资料收集，认真总结了国内外水工隧洞TBM掘进施工的先进经验，吸收了有关水工隧洞TBM掘进施工的最新研究成果，参考了相关规范的有关内容。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水工隧洞TBM掘进施工技术规程》编写组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，供使用者参考。

本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 目 次

1	总 则	70
4	施工准备	71
4.1	一般规定	71
4.2	技术准备	71
4.3	TBM 选型	71
4.4	TBM 设备配置	73
4.5	临时工程	74
5	施工测量	75
5.1	一般规定	75
5.2	地面控制测量	75
5.4	掘进施工测量	75
5.5	贯通测量	76
8	TBM 安装与调试	77
8.2	设备组装	77
9	掘进与支护	80
9.1	一般规定	80
9.2	TBM 步进及滑行	80
9.4	正常掘进	80
10	特殊地段施工	82
10.2	施工措施	82
13	设备维修与保养	84
14	监测与预警	89
14.1	一般规定	89
14.4	技术要求	89
16	质量检查与验收	90
16.2	模 具	90
16.3	管片/仰拱预制块	90

## 1 总 则

1.0.4 一般单线隧洞长度在800倍洞径以上时应优先采用TBM施工。对于双线隧洞可采用小断面TBM先行导洞施工，再二次钻爆扩挖，一次TBM施工会造成开挖断面浪费，不宜考虑。

1.0.5 不适宜采用TBM施工的理由：

1 地应力高、塑性变形大的软弱围岩，因其岩石强度低而围压高易产生大的塑性变形，造成隧洞围岩挤出，洞径缩小。

3 宽大断层破碎带及密集软弱破碎带，因其围岩破碎，且多富水，稳定性差。

4 涌、漏水严重的地段，当围岩为软弱岩层、破碎带，将会大大恶化围岩的工程地质条件，一般不宜用TBM掘进，若采用，将会发生开挖工作面坍塌、塌拱和隧洞基底及侧壁承载力低等问题，TBM掘进困难；当围岩为硬质岩，一般不致危及围岩及机具的安全稳定，但若严重涌、漏水区段较长或反复出现，也将大大增加TBM推进的难度。

5 岩溶发育地段，施工中极可能碰到大的岩溶洞穴，充填溶洞或充水溶洞，TBM掘进或通过很困难，严重时可发生掉机、陷机和埋机等事故。

## 4 施工准备

### 4.1 一般规定

4.1.2 掘进机法是目前世界上最先进的隧道机械化施工方法之一，他在施工进度、安全、环境、质量等方面达到较高水平，是一种工厂化作业模式。但施工场地范围，周边环境，临近工程的衔接，也对施工影响较大，必须通过调查和改进以满足合适的作业条件。工程地质条件对掘进机掘进速度和质量影响较大，施工前要仔细核对相关图纸文件和地质资料，全面掌握和领会技术要求，支护方式，质量检验要求和相关技术规程。

4.1.3 针对TBM法施工中各种不良地质情况，技术人员要制定出详细的作业程序及质量控制要求，并将作业程序下发到每个作业人员，使其明确施工的质量安全标准培训工作要以理论培训、现场操作培训、单位学习等多种方式学习职业技能。要求每个员工要岗前培训，考核合格后持证上岗，提高作业水平，严谨无证上岗。

### 4.2 技术准备

4.2.2 实施性施工组织设计是直接指导施工的技术性文件，在充分调研工程现场情况，熟悉工程现场情况，熟悉工程设计图纸和料情况下编制，它不同于投标时期的编制内容，除了满足供需要求外，还要满足投资计划符合环保，安全要求，是隧道施工做到均衡有序。

4.2.3 编制实施性施工组织设计的原则，除了要求做到具有先进性、经济性、可行性外，还要强调环境保护、安全生产及职业健康的重要性，并应详细列出环境保护、安全生产的详细措施依据。

4.2.4 实施性施工组织设计比指导性施工组织设计更具体准确，更能切和实际，其关键点在于做好施工调查和设计文件的核对，在施工中如发现条件有变异，应及时调整。

4.2.5 在核对了设计采用的技术标准后，施工单位应根据工程施工设计的专业研究施工中将要执行的有关施工规范、规程等，同时制定切合实际的现场施工工艺、实施细则，编制作业指导书，完成关键工艺技术交底。

### 4.3 TBM选型

4.3.1 提高隧洞施工机械化配套水平，是隧洞施工技术的发展方向，是实现质量、安全、环保、成本和工期目标的保证。只有认真进行TBM设备的选型、配套，才能充分发挥施工机械的综合效率，才能实施先进的施工工艺、施工方法和施工技术。

做好TBM设备的选型，对保证隧洞工程顺利进行至关重要。以下对选型应遵循的原则进行说明：

1 TBM选型应首先遵循安全性、可靠性原则，并兼顾技术先进性和经济性的原则进行。经济性从两方面考虑：一是完成隧洞开挖、衬砌的成洞总费用；二是一次性采购TBM设备的费用，TBM设备的费用应分摊在工程预算内。



2 TBM选型应根据隧洞施工环境综合分析，TBM性能的发挥在很大程度上依赖于工程地质条件和水文地质条件。工程地质及水文地质是影响TBM隧洞施工质量的重要因素，也是TBM选型的重要依据。因此地质勘察要求全面、真实、准确，除有详细而尽可能准确的地质勘察资料外，还应包括隧洞地形地貌条件和地层岩性，过沟地段、傍山浅埋段和进出口边坡的稳定条件等。TBM对隧洞通过的地层同样最为敏感，不同类型的TBM适用的地层也不同。一般情况下，以II、III级围岩为主的硬岩隧洞适合采用开敞式TBM，以IV、V级围岩为主的隧洞适合采用护盾式TBM。

3 TBM设备的配置应尽量做到合理化、标准化；应依据工程项目的大小、难易程度、安全、质量、工期、造价、环保以及文明施工等要求，在充分调研的基础上进行选型。工程施工对TBM的工期要求应包含TBM前期准备、掘进、衬砌、拆卸转场等全过程；TBM的前期准备工作包含招标采购、设计、制造、运输、场地、安装、调试、进洞等；开挖总工期应满足预定的隧洞开挖所需工期的要求；对边掘进边衬砌的TBM，TBM成洞的总工期应满足预定的成洞工期的要求；TBM的拆卸、转场应满足预定的后续工期的要求。

4 后配套设备的选型应与主机配套，其生产能力应相匹配，工作状态应相适应，配套应合理，其生产能力首先应满足施工组织设计所要求的工期，能确保进度目标的实现。后配套设备的选型应满足劳动保护和环境保护等职业健康安全的要求，满足文明施工的要求。因此后配套设备选型时，应满足操作者劳动强度和劳动条件的改善，应配备污染少、能耗小、效率高的施工机械，以减少作业场所环境污染，有利于环境保护。同时，施工管理者要有强烈的劳动保护和环境保护意识，应自始至终把环境保护工作列入现场管理的重要内容，应强化环境管理，制定环境保护措施。

#### 4.3.2 TBM选型步骤的说明：

1 全断面岩石掘进机主要分为开敞式、双护盾式、单护盾式三种类型，并分别适应于不同的地质。在选型时，主要应根据工程地质与水文地质条件、施工环境、工期要求、经济性等方面按本规程表4.3.1综合分析后确定。

2 在确定了掘进机类型后，要针对具体工程的隧洞设计参数、地质条件、隧洞的掘进长度、确定主机的主要技术参数，选择对地层的适应性强、整机功能可靠、可操作性及安全性较强的主机，开敞式掘进机还要特别重视钢拱架安装器、喷锚等辅助支护设备的选型和配套，以适应隧洞地质的变化。

3 掘进机设备由主机和后配套设备组成，形成一条移动的隧洞机械化施工作业线，主机主要实现破岩和装渣，后配套设备的技术参数、功能、形式应与主机相匹配，应以主机能力、进度为标准进行核算，为了充分发挥掘进机的优势，保证工程顺利完成，还要适当扩大匹配设备的能力，按满足正常施工进度和可能扩大的施工进度需要，留有适当余地。后配套系统大致分为轨行型、连续带式输送机型、无轨轮胎型等三种类型，连续带式输送机型由于结构单一和运渣快捷逐渐得到推广。

表4.3.1 开敞式TBM与护盾式TBM对比

对比项目	开敞式TBM	双护盾式TBM	单护盾式TBM
地质适应性	一般在良好地质中使用，硬岩掘进机的适应性好，软弱围岩需对地层超前加固。适合于II、III级围岩为主的隧洞。	硬岩掘进的适应性同开敞式，软弱围岩采用单护盾模式掘进，比开敞式有更好的适应性。较适合于III级围岩为主的隧洞。	开挖掌子面能自稳，但地质条件相对较差下使用。适合于III、IV级围岩为主的隧洞。
掘进性能	在发挥掘进速度的前提下，主要适用于岩体较完整~完整，有较好自稳性的地层（50MPa~150MPa）。	在发挥掘进速度的前提下，主要适用于岩体较完整，有一定自稳性的较坚硬岩~坚硬岩地层（30MPa~90MPa）	适用于中等长度隧洞有一定自稳性的软岩~较坚硬岩（5MPa~60MPa）
施工速度	地质好时只需进行锚网喷，支护工作量小，速度快，地质差时需要进行超前加固，支护工作量大，速度慢	在地质条件良好时，通过支撑靴支撑洞壁来提供推进反力，掘进和安装管片同时进行，有较快的速度。在软弱地层，采用单护盾模式掘进，掘进和安装管片不能同时进行，施工速度受到限制	掘进和安装管片不能同时进行，施工速度受限制
安全性	设备与人员暴露在围岩下，需加强防护	处于护盾保护下，人员安全性好。在地应力较大的地层时，有被卡机的危险	处于护盾保护下，人员安全性较好。在地应力较大地层时，有被卡机的危险
掘进速度	受地质条件影响大	受地质条件影响比开敞式小	受地质条件影响比开敞式小
衬砌方式	根据情况可进行二次混凝土衬砌	采用管片衬砌	采用管片衬砌
施工地质描述	掘进过程可直接观测到洞壁岩性变化，便于地质图素描。当地质勘察资料不详细时，选用开敞式掘进机施工风险较小	不能系统的进行施工，地质素描也难以进行收敛变形量测。地质勘察资料不详细时，施工风险较大	不能系统的进行施工，地质素描也难以进行收敛变形量测。地质勘察资料不详细时，施工风险较大

4.3.3~4.3.4 TBM选型时，应重点考虑隧洞施工地段的地质条件，在发挥掘进速度的前提下，各型TBM设备适用的地质范围如下：

1 开敞式TBM主要适用于岩石整体较完整~完整，有较好自稳性且强度介于50MPa~300MPa之间的硬质岩地层。当采取有效支护手段并经论证，也可适用于软岩隧洞，但掘进速度应予以限制。

2 双护盾式TBM主要适用于岩石较完整，有一定自稳性的硬质岩地层（30MPa~90 MPa）。

3 单护盾式TBM主要适用于有一定自稳性的较软岩（15MPa~30MPa）。

#### 4.4 TBM设备配置

4.4.5 为适应不同的地质条件，应根据掘进机类型和围岩条件配备相应的支护设备。开敞式掘进机一般需配置超前钻机以及注浆设备，钢拱架安装机、锚杆钻机，混凝土喷射泵喷射机械手，另外，还需配备起吊、运输和铺设预制混凝土仰拱块的设备。双护盾掘进机一般配

置多功能钻机、混凝土喷射机、水泥浆注入设备，还需配备管片安装机、管片输送器等管片拼装设备。

4.4.6 掘进机施工速度快，对地质条件依赖性大，各种不确定因素多，对材料的组织供应要求非常严格，不能因为材料供应不及时，不充分而造成停机，应当结合工程进度、地质情况制定合理的材料供应计划，并预见出现的影响，尽量备齐各种施工材料，掘进机法施工材料供应多在掘进机保养维护时进行，每个班补充充分，不能出现在出现问题时再去材料库联系材料。

4.4.7 一次通风是指洞口到掘进机后面的通风，二次通风是指掘进机后配套拖车后部到掘进机施工区域的通风。

1 压入式通风方式的最大优点是新鲜空气经过管道直接送到开挖面，空气质量好且通风机不需经常移动，只要接通长风管，采用软风管，便于安装，储存和延伸，且软管由化纤增强塑料布制成，有足够的抗拉强度。

2 根据通风管网特性曲线，按照产品说明书提供的风机特性曲线或参数确定通风机的型号，选用的最大风压不宜超过其性能曲线峰点处最大压力的90%，且须位于驼峰的右侧。

3 二次通风管采用硬质风管，在拖车两侧布置送风口位置布置在掘进机上人员相对集中的区域。掘进机工作时产生的粉尘是从切削部与岩石结合处释放出来的，必须采用在切削部附近，将返尘收集，通过吸风管将其送到除尘器处理。

4.4.8 由于地质勘察的局限性，掘进机在隧道掘进中往往会遇到一些地质资料没有反映出来的不良情况。为了进一步探明掘进机前方断层破碎带的确切情况，应积极开展施工地质超前预报工作，以便详细掌握断层破碎带的情况，从而采取合理的措施和选择决定参数。地质超前预报除利用掘进机上的配备和地质超前钻机外，还常采用超前预报系统，如地震地质预报系统。此外，还可利用平导地质情况推断，利用出露的岩石、出渣情况以及掘进时的异常情况进行综合判断。

## 4.5 临时工程

4.5.3 掘进机是一个多环节紧密联系的联合作业系统，它包括破岩、装渣、管片/仰拱预制快制作、材料供应、调车机构以及部分辅助措施，为满足庞大系统的组装和初始运行条件，需要有较大的场地，临时设置要具有防灾能力。

## 5 施工测量

### 5.1 一般规定

5.1.2 为了指导掘进机掘进，使隧洞施工符合设计要求，在掘进机施工的全过程，施工测量应提供掘进机掘进所需的施工测量控制点与掘进机姿态。

对自身具有导向测量系统的掘进机，其掘进机姿态状况，由该导向测量系统以施工测量控制点为起点数据实时测量和计算出来，但施工测量控制点数据和稳定状况需要依靠人工测量方法确定。因此对此类掘进机应以人工测量方法确定施工测量控制点，用导向测量系统测定掘进机姿态状况，而且应在一定的距离内用人工测量方法进行掘进机姿态状况的检核测量并提供修正参数。对自身没有导向测量系统的掘进机应采用人工测量方法测定掘进机姿态状况，并及时提供上述相关信息。

5.1.4 各厂家和各型号的掘进机结构和自身导向系统的特点、精度不完全一样，而且个别差距很大，因此只有在充分了解掘进机结构和自身导向系统特点、精度以及人工使用的大地测量仪器精度后，才能结合实际，制定出科学适用的掘进机施工测量方案。

### 5.2 地面控制测量

5.2.1 不管隧洞全长还是局部采用掘进机，其施工都应了解施工地区的坐标和高程系统已有控制网布设的方法、层次和精度等情况，在此基础上，根据施工方案布设掘进机施工加密控制网。如果原有的控制网精度不能满足要求，则应布置独立的专用控制网，但该网应与该地区坐标和高程系统一致，且宜以该地区一个点的坐标和一条边的方位角为起算数据。因施工现场条件限制，没有可利用的控制点，则可建立完全独立的施工坐标系统，但施工完成后该网应与当地控制网及时联测，并纳入地方统一的控制系统中。

5.2.4 根据测量实践决定基础施工100m以内，隧洞衬砌结构已经趋于稳定，在此稳定处设置地下控制点。导线点的稳定情况，通过重复测量确定，一般不少于3次。导线点宜采用强制对中装置，控制点点位可在隧洞两侧交叉设置，在曲线隧洞，特别是在连续同向曲线的隧洞，要注意旁折光的影响。直接用于掘进机施工测量的控制点，可设置在隧洞两侧或顶、底板便于观测的位置。

### 5.4 掘进施工测量

5.4.1 隧道掘进初期，根据施工现场条件一般先布设精度较低的施工导线和施工水准，当具备条件后，及时选择部分施工导线和施工水准组成的施工控制导线，特殊情况下，可不受曲线要素点的限制，尽可能选择较长的导线边。

## 5.5 贯通测量

5.5.6 隧洞贯通后，中线和高程的实际贯通误差，原则上应在未衬砌地段（调线地段）调整。采用掘进机进行全断面施工，隧洞贯通时的未衬砌长度往往很短，贯通误差和净空断面尺寸在满足设计要求时，其贯通误差的分配及中线、高程调整段（调线地段）不再局限于未开挖和未衬砌的地段。

## 8 TBM 安装与调试

### 8.2 设备组装

#### 8.2.1 设备组装前完成工作的说明：

1 设备组装前应对螺栓、结合面刮脂除锈，并用清洁剂清洗干净（必要时涂油保护），保证安装前达到其加工光洁度。涂有油漆的结合面均应除锈并清洗。运输过程中因不慎造成的伤痕，应在原设计尺寸范围内进行处理，以保证装配精度。液压原件清洗，必须用干净清洗剂，液压元件擦试严谨用棉纱，必须用不脱线的布或毛擦试。

以原设计吊装位置为准，确认其重量，用大于负荷的起吊工具在安全范围内起吊设备，起吊平稳，确保安全，万无一失。吊装作业时，确保各大型部件选择合理的吊点，以正确的方式进行起吊安装，并缓慢、准确的将部件组装到设备上。

2 掘进机结构庞大，在组装前，应研究装配图及技术要求，确定装配顺序（先后顺序，前后左右，上下顺序）。保证装配工艺的质量和精度，对掘进机的使用性能、使用寿命影响重大，因此应在制定详细的装配工艺规程后再正确装配，防止盲目装配造成返工。螺栓的紧固应确认并核实其精度、扭矩，确定其螺栓端口涂何种材料（普通8.8级、10.9级，螺栓端口涂油脂，HV10.9级高强螺栓喷涂MoS<sub>2</sub>），采用正确工具以及正确紧固顺序及规定的扭矩进行螺栓紧固。

3 工具材料、油料、液压管接头、专用工具等应就近设置专用库房，在组装场地依次摆放工具、常用料、液压件、电器件、水管接头等集装箱。

5 在主机组装区和后备套组装区应配备若干手持式灭火器，消防栓等消防用品。

8.2.2 主机组装应严格按照组装程序进行，否则将会给下一步组装工作带来困难，甚至有可能造成返工。主机组装工作，必须将所有的连接螺栓紧固到规定的紧固扭矩，形成主机的基本骨架。

开敞式掘进机主机组装基本顺序如下：

- (1) 步进机构定位；
- (2) 将推进油缸与前后外机架（或主梁）相连；
- (3) 前后外机架下部（带有推进油缸）与步进机构连接；
- (4) 传动轴安装前后连轴器并安装前后定位护套；
- (5) 在前外机架下部套装带防护罩的传动轴，并初步固定在外机架上；
- (6) 安装前后内机架于前后外机架上，并将前后内机架连接；
- (7) 在前内机架两侧安装锚杆钻机轨道；
- (8) 安装前后外机架上部（带有推进油缸）；
- (9) 在前外机架上部套装带防护罩的传动轴，并初步固定在外机架上；
- (10) 套放钢拱架安装器；

- (11) 刀盘下护盾就位；
- (12) 安装带有步进机构的后支撑于后内机架后部；
- (13) 安装内机架尾部；
- (14) 吊装主轴承；
- (15) 安装上护盾支撑架；
- (16) 将集料斗安装在驱动组件上；
- (17) 吊装刀盘；
- (18) 安装刀盘护盾侧翼与顶部；
- (19) 将传动轴和推进油缸安装于正确位置；
- (20) 安装传动机构；
- (21) 安装钢拱架安装器及驱动装置；
- (22) 安装主机皮带输送机；
- (23) 安装主机工作平台和其他工作平台；
- (24) 安装其他辅助设备附件。

**8.2.3** 设备桥是连接主机与后配套拖车的桥梁，组装的重点是设备桥的连接与吊装，因设备桥较长，必须选择合适的吊点，才能保证设备的安全吊装，对于仰拱吊机的安装应注意其运行轨道的顺直。设备组装程序推荐如下：

- (1) 选择合适的组装场地，进行组装前准备；
- (2) 设备桥的地面连接；
- (3) 在设备桥上安装两侧及以上部辅助框架；
- (4) 在延伸的轨道上安装设备桥后部支撑；
- (5) 吊装设备桥与主机相连；
- (6) 安装设备桥上的辅助设备；
- (7) 安装设备桥上的工作平台；
- (8) 安装主控室；
- (9) 各系统与主机相连；
- (10) 安装设备桥皮带输送机。

**8.2.4** 后配套系统有多节拖车，组装工作较为简单，根据不同的组装条件，有不同的组装方法，合理的组装方法能加快组装速度，组装工作的前期，主要是拖车框架的组装和定型设备的安装，后期进行液压与电气系统的连接。后配套拖车的组装顺序如下：

- (1) 各节拖车组装及拖车上相应的辅助设备安装；
- (2) 各拖车连接；
- (3) 安装料车拖拉系统；
- (4) 安装皮带；

(5) 安装电气系统、液压系统、卸渣机和主机连接进行调试。

8.2.5 连续皮带输送机主要由储存仓、主驱动装置、辅助驱动装置、被动轮、胶带、托辊几部分组成。连续皮带输送机尾部安装在后配套上，当后配套前进时，皮带逐段从储带仓中被拉出，使连续皮带输送机不间断的完成石渣输送，随着掘进机每次掘进完成一个循环行程步进时，后背套系统被向前拉动一个行程，此时连续皮带输送机也随之延伸。进行安装前应确保所有土建工程均已完成并确保水平面准确、土建工程合格。安装前，检查确保已标出地段标记，如果存在漏标的情况，则必须在相应的地段做出标记。



## 9 掘进与支护

### 9.1 一般规定

9.1.5 按不同地质条件选择合理的掘进参数，应在开挖掘进中进行实际地质的描述记录、相应地段岩石物理特性的实验记录、掘进参数和掘进速度的记录并加以图表化。

掘进机掘进速度与岩石的类别、抗压强度，单位体积节理数、节理发育程度有关。地质条件是影响掘进速度的关键，除关心岩石的抗压强度外，还要注意岩石的石英含量、岩石的塑性（或脆性）和节理裂隙发育程度。

掘进机刀具在切削岩石时所承受的荷载是变化的。在切削完整的岩石时，当刀具所施加于岩石的力量达到岩石强度极限后，岩石裂纹迅速扩展，并在极短时间内破碎，此时刀具便急速卸载，在这样的过程中，加重了其它未卸载刀具承受的推力，正常的刀具应有能力承受这种突然加载的。当节理发育时，由于产生岩石的裂纹更容易一些，急剧卸载的刀具数量可能增多，这时对那些处于施压状态的刀具而言，额外的附加荷载就有可能超过他的承受能力，特别是这种频繁的动荷载，会使轴承失去工作能力，或内、外圈与滚动体之间磨损加剧是轴承产生过大的间隙，或使轴承产生塑性变形以及产生过热、润滑油露出。

掘进中注意掘进参数的选择，减少刀具过大的冲击荷载。要注意刀盘扭矩的变化及整个设备振动的变化，当变化幅度较大时，应减小刀盘推力，保持一定合适的贯入度，并时刻观察石渣的变化，尽最大可能减少刀具漏油及轴承的破坏。在掘进过程中发现贯入度和扭距增加时，适时降低推力，对贯入度有所控制，这样才能保持均衡的生产效率，减少刀具的消耗。

9.1.6 选择支护体系的原则：一是既要保护设备免遭破坏，还要保证掘进期的掘进速度，二是及时进行喷射混凝土作业，施工过程通过提高锚杆作业效率、正确进行临时支护、及时喷射混凝土等保证掘进施工安全、连续的进行。

### 9.2 TBM 步进及滑行

9.2.1 开敞式掘进机法施工的隧洞，地质超前预报可以为掘进机掘进参数调整提供依据；对与掘进机施工安全有关的地质因素的预报，目的是为掘进机通过不良地质地段施工预案提供决策依据，避免卡机、埋机等灾害的发生，确保掘进机施工的安全。

### 9.4 正常掘进

9.4.4 自动扭矩控制适用于均质软岩，自动推力控制适用于均质硬岩，手动控制模式操作方便、反应灵活，适合于各种地质。

不同地质状况下，掘进参数的选择和调整：

(1) 节理不发育～发育的硬岩情况下的作业

①选择刀盘高速旋转掘进

②正常情况下推进速度一般不大于35%。（电位计设定值）

③围岩本身的干抗压强度较大，不易破碎，若掘进速度太低，将造成刀具刀圈的大量磨损；若推进速度太高，会造成刀具的超负荷，所以必须选择合理的参数掘进。

(2) 节理发育的软岩状况下作业

掘进推力较小，应选择自动扭矩控制模式，并密切关注扭矩变化，调整最佳掘进参数；观察双护盾掘进机撑靴支撑能力，确定工作模式。

(3) 节理发育且硬度变化较大的围岩状况下作业，推进速度应控制在30%以下。

因围岩分布不均匀，硬度变化大，有时会出现较大的震动，所以推力和扭矩的变化幅度大，必须选择手动控制模式，密切观察推力和扭矩的变化。

(4) 节理较发育、裂隙较多，或存在破碎带、断层等地质情况下的作业

掘进时，应以自动扭矩控制模式为主选择和调整掘进参数，同时应密切观察扭矩变化、电流变化及推进力值和围岩状况，控制扭矩变化范围在10%以下，降低推进速度、控制贯入度指标，双护盾式掘进机应调整工作模式。

**9.4.9** 在软弱围岩条件下的掘进，应特别注意支撑靴的位置和压力变化。撑靴位置不好，会造成打滑、停机，直接影响掘进方向的准确。如果由于机型条件限制而无法调整撑靴位置时，应对其位置进行预加固处理。此外，撑靴刚撑到洞壁时，极易塌陷，随时观察仪表盘上撑靴压力值下降速度，注意及时补压，防止发生打滑。

## 10 特殊地段施工

### 10.2 施工措施

10.2.5 软弱围岩地段一般围岩等级低，不当施工易引起坍塌、冒顶、片帮、突水等质量安全事故，严重威胁施工人员及设备安全，必须采取防护措施。

1 TBM 在软弱围岩掘进时，应减缓掘进速度，必要时须先停机进行围岩加固支护处理，再行推进。

2 在软弱破碎带掘进时，应根据坍塌的不同程度，采取不同的支护方式。

1) 洞壁发生小规模岩石剥落现象，开敞式 TBM 无须停机，挂钢筋网，打锚杆，喷混凝土，必要时立钢环梁。

2) 节理密集带或中等规模断层破碎带处发生较大规模的岩石塌落现象，此时开敞式 TBM 须停机处理（或出厂时加装“铁篦子”系统，亦称 McNally 系统，其可保证开敞式 TBM 在应对中等程度坍塌时持续掘进）。及时安装全圆钢环梁和钢筋网，利用湿喷混凝土系统向坍塌处喷混凝土及时封闭围岩，减少岩石暴露时间以及时形成支护体系；对支护系统外侧空腔通过预留灌浆管注浆回填密实；对撑靴处坍塌较严重部位，在钢环梁背后立模浇灌混凝土回填。

3) 大规模的断层破碎带处，同时常伴有裂隙水，顶拱及洞壁发生大面积坍塌，发展很快，自然拱很难成型，严重时并有超前发展现象，TBM 停止掘进，并应优先考虑利用伞状钻机实施超前管棚施工，通过管棚预留注浆孔注浆加固处理岩层的方案。超前钻孔的仰角在  $9^{\circ}\sim 15^{\circ}$  左右，钻孔时应将刀盘退离掌子面 50cm~60cm。开敞式 TBM 还可以对外露的塌腔采取立模注浆回填密实，减小临空面以控制坍塌的继续发展。

10.2.9 由于水工隧洞一般埋深较大，施工区段常常位于高应力区，加之受地层岩性、地质构造及水文地质条件等因素影响，在隧洞施工过程中极易发生岩爆，严重威胁施工人员及 TBM 掘进设备安全。因此，在隧洞施工前，应根据隧洞场地地质条件，对隧洞施工地段进行超前地质预报，并按照岩爆强度大小对其进行严格分级，针对不同的岩爆级别采取不同的技术措施。

1) 轻微岩爆地段施工：①通过加大刀盘喷水量对易产生岩爆的岩石进行软化，促使应力释放和调整。②采取锚杆钢筋网（编织钢筋网）加钢环梁的支护方式进行处理，锚杆间距 1.2m~1.5m。

2) 中等岩爆地段：①按间距 1.0m~1.5m 打 3.0m 深的径向应力释放孔，并安装水涨式锚杆，通过杆体胀开过程使用的高压水软化围岩，以释放部分地应力。②在锚杆钢筋网钢环梁支护基础上，人工喷射 5cm 厚钢纤维混凝土。

3) 强烈岩爆地段：除采取上述措施外，应增加水平应力释放孔。布孔位置应根据监测和现场实测结果或确定的地应力集中区域布设。对出露围岩段采用喷射 10cm 厚钢纤维混

凝土，并减小钢环梁间距至 0.7m~1.0m，形成全断面封闭以减轻围岩进一步塑性破坏和能量的蓄积。

## 13 设备维修与保养

13.0.1 TBM 设备维修保养主要包括主机的维修与保养、附属设备的维修与保养、后配套设备的维修与保养等。

### 主机的保养与维修：

TBM 主机部分主要包括：刀盘、主驱动及减速机构（含主轴承）、主驱电机、护盾及油缸、撑靴、推进机构、主梁和副梁、后支撑、主液压站、齿轮油泵站、油脂泵送系统、控制室等。

保养工作应执行“十字”作业法，即：清洁、润滑、紧固、调整、防腐。维修工作应做到：及时、精准、经济、快速、可靠。

主机的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班检查主机各驱动机构润滑油油位、油质，如油位不足时应及时补充，当油质发生变化时，应查明原因，妥善处理。
- 2 每班检查刀具磨损情况，对磨损超标的刀具进行更换或维修。
- 3 每天检查刀盘是否存在异常磨损、刀盘结构是否发生裂纹等情况，重点检查刀盘铲斗磨损情况，必要时焊接铲斗和更换铲齿。
- 4 每天应检查主驱齿轮油防泄漏油箱，确认主轴承密封是否发生磨损。
- 5 应根据规定的更换周期更换各种油滤芯。
- 6 每天应清洗主机水冷却系统的过滤网或过滤袋。
- 7 每班应检查主机及附属设备液压油缸、液压阀、油管是否存在漏油情况，必要时进行处理。
- 8 每班应检查主机皮带进料口、皮带驱动、皮带托辊及皮带是否存在异常，及时清理皮带与支架、上下皮带之间的石渣。
- 9 每班应清除钢拱架移动平台与导向滑轨间的脏物，涂抹润滑油脂。
- 10 每班应检查主轴承润滑油泵的工作状况，发现问题及时检修。
- 11 每天对主机重要结构部件的黄油嘴加注润滑脂，其余部位根据要求每隔二天或一周加注一次。
- 12 每周应检查一次主轴承的密封状况。
- 13 应定期检查和紧固振动较大部位的螺栓，每半年应对液压张紧螺栓复紧一次。
- 14 日常保养时应由专业电工或电气工程师对供配电线路以及配电柜、机上变压器等进行全面检查，及时处理线路老化的接头，更换不合安全要求的电气元件。
- 15 维修工作应由专业维修人员组织实施，维修车间应具备相应的修理条件。
- 16 设备维修前应进行故障检查、分析和判断，不得对设备进行盲目地解体或破坏性拆卸，应根据零件损坏程度、磨损值及更换标准进行修理或更换。
- 17 在设备维修过程中，如发生系统故障或出现程序混乱等疑难问题时，应请求专业厂

家给予技术支持。

18 设备维修应结合现场实际合理计划并组织实施。

#### 附属设备的保养与维修：

主机附属设备主要包括：L1 区锚杆钻机、管片安装系统、护盾系统。

锚杆钻机保养维修应符合下列要求：

- 1 每班进行锚杆钻机的功能检查；
- 2 每班检查冲洗箱、软管、接头等有无泄漏；
- 3 每班加注润滑脂 2 次~3 次；
- 4 每班检查钻机与滑板、行走链条的连接松紧度、检查链条机构是否卡滞，适时调整；
- 5 每班检查钻机与滑板、凿岩机重要螺栓松紧度，按规定扭矩紧固；
- 6 每班清理锚杆钻机上坠落的碎石，同时用废齿轮油润滑钻机行走链条，适时添满油气润滑玻璃油杯里的润滑油。

7 清洗设备时，应妥善保护可能因清洗不当而带来危险和引起损伤的部位；保养完毕及时使防护套（罩）恢复到原始位置。

8 每季度检查凿岩机蓄能器充气压力(低压 0.4 MPa，高压 5 MPa)。

管片安装系统的保养与维修应符合下列要求：

- 1 每天对管片安装机、管片储存器进行日常清洁；
- 2 每天对管片安装机、管片储存器、管片吊机加注润滑油；
- 3 每天检查管片安装机及管片储存器的油缸、液压管路连接及是否存在泄漏；
- 4 每天检查管片安装机、管片吊机的限位传感器接线及工作情况；
- 5 每周检查管片吊机的滑道紧固情况及有无损坏，检查轨道螺栓紧固情况，检查各部件有无松动情况；
- 6 每周检查管片安装机、管片储存器、管片吊机的胶垫有无损坏，检查管片吊机的抓头有无变形，检查管片安装机抓头磨损情况；
- 7 每周检查管片安装机减速机的油位及运转情况，油位低时应及时补充。

护盾系统的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班清除伸缩盾主推进油缸部位及盾尾辅助推进油缸部位的杂物，清理扭矩梁侧面脏物；
- 2 每天检查主推进油缸、辅助推进油缸、防扭装置、扭矩梁、撑靴、稳定器的油缸阀组及管路有无泄漏，检查油缸行程传感器的工作情况；
- 3 每周检查防扭装置防扭环连接工作情况；
- 4 每周检查扭矩梁紧固螺栓有无松动；
- 5 每周检查主推进油缸的连接铰接处并加注润滑油。

#### 后配套设备的保养与维修：

主机后配套设备主要包括环型梁安装器、超前钻机、L1 区湿喷机、主机皮带机等。

后配套皮带机的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班观察皮带跑偏情况，通过皮带从动轮张紧装置的调整螺栓适量调整辊筒两侧张紧量，以皮带运转时松紧适度、不跑偏为标准。
- 2 每班通过皮带运转情况，观察皮带下方皮带托辊旋转灵活、驱动辊筒或从动辊筒轴承噪声和径向跳动是否明显、安装支架是否紧固。检查托辊、刮板磨损，如磨损过度应及时更换。
- 3 每班检查所有皮带表面、背面及侧面的损伤情况，查明原因并及时修补。
- 4 每天检查皮带机内机架下方石渣堆积程度，及时清理并查找堆积原因。
- 5 每周清理皮带两侧或下方，尤其是皮带托辊周围的尘土、沉积物。
- 6 每半年拆下皮带机驱动辊筒的驱动马达，检查变速箱齿轮磨损情况，更换齿轮油。
- 7 连续皮带机按相关规定要求进行保养与检修。

后配套台车拖拉系统的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班进行功能检查。
- 2 每班清理链轨、链槽渣石。
- 3 每班检查拖拉泵站运行压力和泵体发热情况，温度过高立即停机冷却。
- 4 每周检查驱动回转马达链轮和引导小链轮是否磨损、拖拉链条是否脱钩、变形拉长，检查链条连接块及链槽磨损程度。必要时，通过前坡导链轮张紧机构张紧链条，或焊割修整，或更换磨损件。

卸渣机的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班进行功能检查；
- 2 每班清理翻板、渣斗、湾筒等处积石；
- 3 每班检查刮渣器与皮带贴合程度，及时调整；
- 4 掘进机转弯段施工时，每班检查电缆在滑槽内活动是否灵活、卡滞，及时调整、校正；
- 5 每周观察翻板表面磨损、卡滞情况；
- 6 每周检查行走马达连接螺栓是否松脱、折断，行走滚轮是否打滑，必要时在滚轮踏面沿周向间断堆焊凸棱，增加行走附着力。

空气压缩机的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班检查冷却剂液位，不足时及时补充；
- 2 定期用高压风吹扫冷却器及周边积垢；
- 3 每 2000h 更换冷却液过滤器，每年或指示灯闪光时更换空气滤清器；
- 4 每季度检查所有软管是否破裂、老化，更换老化软管；
- 5 每半年标定压力传感器，每年标定安全阀；每 2 年更换冷却剂，并同时更换油气分

离器滤芯。

喷混凝土设备的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班检查喷混凝土泵机的液压油箱油位，不足时进行补充；
- 2 每班对设备所有润滑点加注润滑脂；
- 3 每班清洗混凝土输送泵所有管路；
- 4 每周检查混凝土泵机的耐磨板、S 阀磨损、输料管壁厚和磨损，检查螺栓松动情况，螺栓按规定扭矩校核；
- 5 移动机构的走行齿条和滚轮滚道，每周涂抹润滑脂。

应急发电机的保养维修，除按发动机保养与维修的相关规定执行外，尚应符合下列要求：

- 1 每次启动前，检查机油和燃油油位、冷却液液位，不足时及时补充；
- 2 每周检查蓄电池电解液位置和电压，保证随时处于充足电状态；
- 3 每月检查空气滤清器是否堵塞；
- 4 定期清理发动机表面积尘。

空调系统的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班观察空调运行参数；
- 2 定期检查管路是否泄漏(制冷剂、压缩机油等)，打开蒸发器盖板检查铜管是否污染；
- 3 定期检查螺钉、电路接头；
- 4 每 500h 更换压缩机油和机油滤清器；
- 5 设备封存之前，开动空调设备，将制冷剂收回系统，在断开冷凝器管路的同时，立即严密、妥善密封空调冷却系统出口通道。

豆砾石填充系统的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班对配料转盘进行日常清洁；
- 2 每班检查泵站工作压力、配料盘注油润滑压力是否正常；
- 3 每天检查液压油/润滑油油位及加注情况；
- 4 每天检查豆砾石泵站的限位传感器工作是否正常，除尘系统工作是否正常；
- 5 每周检查豆砾石泵站配电柜电气接线是否可靠、管路连接是否可靠，检查液压油/润滑油油位及各减速机油位，检查管路有无破损现象。

注浆系统的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班进行日常清洁；
- 2 每班检查泵站工作压力是否正常，注浆油缸换向传感器工作是否正常，搅拌装置工作是否正常，水计量系统是否正常；
- 3 每周检查液压油位，检查配电柜电气接线是否可靠。

材料吊机的保养维修应符合下列要求：

- 1 每班进行吊机功能试验，当动作失灵、不动作或有噪声时及时查明原因并进行修理；



- 2 每班清理吊机顶部及走行区域滚轮处积渣，经常在链条上涂抹齿轮油。
- 3 每天观察液压接头、回转接头或油管是否渗漏，油箱油位低时及时加液压油；
- 4 每周检查吊机变速箱，适时补油；
- 5 每周检查走行机构轮组磨损、总成磨损、链条变形情况。

除尘风机的保养维修应符合下列要求：

- 1 每天清洗滤网、视情况更换滤网，冲洗风道积尘；
- 2 每周检查沿途风道连接处软风管接头是否脱落或破损；
- 3 每周检查除尘风机电机固定螺栓是否松动，电机运转是否平稳；
- 4 每季度检查电机接线盒线间、相间绝缘值，观察电机旋转轴与风扇叶片之间的旋转密封是否可靠。

## 14 监测与预警

### 14.1 一般规定

14.1.1 相对于钻爆法施工而言，全断面岩石掘进机法施工的隧洞对工作条件要求较高，对围岩工程地质、水文地质条件的适应性差，特别是在可能出现地质灾害的特殊地质地段，可能发生掘进机速度低、卡机、埋机等问题，必须开展超前地质预报。

开展隧洞地表地质补充调查工作，是确定施工地质超前预报的重点地段(特殊地质地段)及确保洞内地质超前预报的针对性的需要。

开展洞内地质调查工作是常规地质法预报的重要补充手段。洞内地质调查工作不占用掘进机的工作时间，可操作性强，是隧洞工程全过程地质工作重要的一环，它不仅是对隧洞设计地质资料的补充和完善，更是提高地球物理探测预报准确率的需要，也可为隧洞运营阶段病害整治提供完整的地质资料。

根据隧洞勘察设计文件、洞内地质调查结果，地表补充地质调查结果、地表地下构造相关分析结果，可对开挖工作面前方地质状况进行推测、判断和预报。

14.1.7 特殊地质地段隧洞施工地质超前预报工作，以利用掘进机前方配备的地质钻机进行超前水平钻探为主、开敞式掘进机施工辅以地球物理等方法探测，目的是避免占用或尽可能少占用掘进机工作时间。

### 14.3 超前地质预报

14.3.3 TBM 法施工的隧洞应动态监测掘进前方的地质情况，地质复杂的隧洞段应辅以超前水平钻探或其他物探方法进行探测、验证。

开敞式掘进机法施工的隧洞，有开展地质法预报的条件。超前水平钻探法超前地质预报是隧洞施工地质超前预报方法中最直接的方法。它通过对钻孔钻进速度测试和所采取的钻孔岩芯的观察，以及相关试验获取隧洞开挖工作面前方岩石体的强度标准、可钻性指标、地层岩性资料、岩体完整程度指标及地下水状况等诸多方面的直接资料。可以探测和了解隧洞开挖前方几十米甚至上百米范围内岩体的工程地质、水文地质情况；通过岩芯观察和分析对隧洞开挖前方的不稳定岩层、断层破碎带和洞内进行准确定位，利用采集岩芯进行试验获取岩石的物理力学特征参数；通过钻孔确定开挖工作面前方地下水的分布，及时释放隧洞施工开挖工作面前方地层中积累的瓦斯和地下水。

对双洞隧洞，若一洞为掘进机作业，另一洞为钻爆法施工，可采用钻爆法先行施工一隧洞，根据其遇到的地质情况，进行掘进机作业隧洞的地质超前预报。

预报为工作服务，及时提出对预测地段的地质超前预报简报，是体现预报时效性和指导施工的需要。施工地质预报总报不仅是对预报工作的总结，更是提高预报准确率的需要。

## 16 质量检查与验收

### 16.2 模 具

16.2.1 编制施工组织设计和技术方案的目的是使管片生产有序、安排合理，采取各种预控措施以保证质量。该技术文件中对涉及结构安全和人身安全的内容应有明确的规定和措施，并应按程序审批。

管片制作完成后，施工单位应对构建外观质量和尺寸偏差进行检查，并作出记录。当检查发现缺陷时应及时调整，在检验管片水平拼装精度的同时，也是对模具精度的检验。

16.2.2 管片模具是保证管片质量的最重要的环节，其材质和制作精度要求高，制作模具必须具有完善的技术文件，并严格按照技术文件要求进行制作。在实际生产中，不仅要对模具进行实测实量，还应考虑荷载震动等各种影响因素，必须进行管片试生产，并经水平拼装检验合格才能通过模具验收。

16.2.4 正常使用条件下，要求模具在规定的周转使用次数内不变形，包含了反复振捣、高温和温度重复变化等抗疲劳性能的要求，这是保证混凝土管片成型质量的关键。

### 16.3 管片/仰拱预制块

16.3.1 管片混凝土应根据实际采用的原材料进行配合比设计，并按普通混凝土拌合物性能试验方法等标准进行试验、试配，以满足混凝土强度、耐久性和工作性的要求。混凝土不得采用经验配合比。同时，应符合经济、合理的原则。低塌落度有利于减少裂缝的出现，塌落度不宜大于70mm。随着混凝土技术的发展，当有可靠的技术保证时，也可采用大流动性混凝土。

