



T/CECS G XXXX: 2026

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路隧道全断面岩石掘进机法
技术规程

Technical Specification for full face Rock Boring Machine of
Road Tunnel

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道全断面岩石掘进机法技术规程

Technical Specification for full face Rock Boring Machine of Road Tunnel

T/CECS G: XXX

主编单位：中交第二公路勘察设计院有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

征求意见稿

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2022]40 号）的要求，由中交第二公路勘察设计院有限公司承担《公路隧道全断面岩石掘进机法技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

编写组在系统总结国内公路隧道全断面岩石掘进机法技术工程实践经验和研究成果的基础上，完成了本规程的编制工作。

本规程分为 16 章、1 篇附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、勘察、总体设计、荷载与结构计算、衬砌结构设计、特殊地质地段设计、防排水设计、设备选型、组装与调试、施工准备、施工掘进、衬砌及防排水施工、附属洞室施工、超前地质预报与监控量测、掘进机保养与拆机，附录 A 掘进机适应性等级确定方法。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或刘继国（地址：湖北省武汉市经济技术开发区创业路 18 号；邮编：430056；电子邮箱：liujiguogg@163.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：中交第二公路勘察设计院有限公司

参 编 单 位：中交一公局集团有限公司

中交天和机械设备制造有限公司

中交第二公路工程局有限公司

中国交建总承包经营分公司

中交第一公路勘察设计院有限公司

北京交通大学

中国科学院武汉岩土力学研究所

四川省公路规划勘察设计院有限公司

主 编：张晟斌

主要参编人员：

主 审：郭小红

参与审查人员：王华牢 张旭东 刘洪洲 李伟平 齐志冲 胡学兵

征求意见稿

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	5
4	勘察	7
4.1	一般规定	7
4.2	勘察内容	7
4.3	勘察要求与成果	9
4.4	掘进机施工适应性评价	10
5	总体设计	12
5.1	一般规定	12
5.2	线形设计	12
5.3	横断面设计	13
5.4	服务洞室设计	14
5.5	施工组织筹划	15
6	荷载与结构计算	16
6.1	一般规定	16
6.2	荷载	17
6.3	结构计算	17
7	衬砌结构设计	23
7.1	一般规定	23
7.2	复合式衬砌结构设计	23
7.3	管片衬砌结构设计	25
8	特殊地质地段设计	26

8.1	一般规定	26
8.2	岩溶地段	27
8.3	岩爆地段	28
8.4	软岩挤压变形地段	28
8.5	断层破碎带地段	29
8.6	富水地段	30
9	防排水设计	31
9.1	一般规定	31
9.2	复合衬砌防水	31
9.3	管片衬砌防水	32
9.4	衬砌排水	33
10	设备选型、组装与调试	34
10.1	一般规定	34
10.2	掘进机选型	35
10.3	特殊地质地段设备配置	38
10.4	后配套设施配置	40
10.5	设备运输	41
10.6	设备组装	41
10.7	设备调试	43
10.8	设备验收	44
11	施工准备	47
11.1	一般规定	47
11.2	施工前调查	47
11.3	技术准备	48
11.4	材料准备	48
11.5	施工场地布置	49
11.6	施工临时设施	50
12	施工掘进	51

12.1	一般规定	51
12.2	始发与试掘进	51
12.3	正常掘进	53
12.4	姿态控制	54
12.5	特殊地质地段掘进	55
12.6	施工运输	57
12.7	掘进机卡机脱困	58
12.7	掘进机接收	61
13	衬砌及防排水施工	63
13.1	一般规定	63
13.2	初期支护施工	64
13.3	防排水施工	65
13.4	二次衬砌施工	67
13.5	管片结构施工	68
14	附属洞室施工	71
14.1	一般规定	71
14.2	始发洞室施工	71
14.3	拆机洞室施工	72
14.4	横洞施工	73
15	超前地质预报与监控量测	74
15.1	一般规定	74
15.2	超前地质预报	74
15.3	监控量测	75
15.4	动态设计与信息化施工	76
16	掘进机保养与拆机	78
16.1	一般规定	78
16.2	掘进机保养	78
16.3	刀盘与刀具管理	80

16.4 掘进机维修80

16.5 掘进机拆机81

附录 A 掘进机适应性等级确定方法83

本规程用词用语说明87

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路隧道全断面岩石掘进机法的勘察、设计、设备选型及施工，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施工的新建公路隧道工程。

1.0.3 采用全断面岩石掘进机法施工的公路隧道，应贯彻国家技术经济政策，通过技术、经济、安全、环保综合比选，确定合理的技术方案和设备选型。

1.0.4 公路隧道全断面岩石掘进机法应积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.5 公路隧道全断面岩石掘进机法除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语

2.0.1 全断面隧道掘进机 full face tunnel boring machine

通过开挖并推进式前进实现隧道全断面成型，且带有周边壳体的专用机械设备。

2.0.2 敞开式岩石隧道掘进机 open type tunnel boring machine

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，不采用管片支护的岩石隧道掘进机。

2.0.3 单护盾岩石隧道掘进机 single shield tunnel boring machine

采用钢壳体保护，依靠管片提供掘进反力的隧道掘进机。

2.0.4 双护盾岩石隧道掘进机 double shield tunnel boring machine

采用钢壳体保护，依靠管片、撑靴或两者结合提供掘进反力，同时掘进可与管片拼装同步的隧道掘进机。

2.0.5 岩石磨蚀性 rock abrasiveness

岩石对破碎工具产生磨蚀作用的性质。

2.0.6 磨蚀指数 cerchar abrasivity index

反映岩石对隧道掘进机刀盘和刀具磨损的重要指数，是岩石磨蚀性高低的重要指标。

2.0.7 接地比压 pressure on the tunnel wall

掘进机支撑部件与隧道围岩接触部位单位面积承受的压力值，用投影面正压力与投影面积的比值表示。

2.0.8 喷锚衬砌 shotcrete and rockbolt lining

喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等单独或组合使用的隧道围岩支护结构。

2.0.9 复合式衬砌 composite lining

由喷锚衬砌、防水层和模筑混凝土衬砌构成的复合衬砌结构。

2.0.10 管片 segment

隧道预制衬砌环的基本单元。

2.0.11 标准环 standard ring

两侧环面平行的管片衬砌环。

2.0.12 楔形环 tapered ring

两侧环面不平行的管片衬砌环，亦称转弯环。

2.0.13 楔形量 taper

楔形环最大环宽与最小环宽之差。

2.0.14 通用环 universal ring

一种通用的楔形环，可以通过该楔形环的不同组合形成直线隧道和不同半径的曲线隧道。

2.0.15 主机 main machine

全断面隧道掘进机开挖、推进和支护装置的总称。

2.0.16 刀盘 cutter head

设置在全断面隧道掘进机前端，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。

2.0.17 刀具 cutting tools

对地层进行切削或破碎的刀具。

2.0.18 撑靴系统 gripper system

敞开式岩石隧道掘进机设备中，撑紧洞壁并承受掘进反力的系统。

2.0.19 后配套系统 back-up system

连接在主机后方，安装有弱电、强电、机械、液压、空气压缩机等设备的分节式组合台车。

2.0.20 出渣系统 mucking system

掘进时，经刀盘、主机皮带、后配套皮带，将渣土转载到连续皮带或出渣车辆的装置。

2.0.21 导向系统 guidance system

对全断面隧道掘进机在掘进过程中的掘进姿态、方向和位置关系，进行测量、显示、引导的系统。

2.0.22 贯入度 penetration

全断面隧道掘进机刀盘旋转一周，刀具切入岩层的平均深度。

2.0.23 预备洞 preparation hole

采用人工开挖至围岩条件较好的地段，依靠掘进机自身的步进装置进洞，并形成尺寸

满足隧道的功能要求和掘进机步进通过要求的洞室。

2.0.24 始发洞 starting hole

掘进机步进至预备洞工作面开始掘进，由步进状态转入掘进状态，为掘进机提供初始反力而设置的洞室。

2.0.25 检修洞 manhole

用于对掘进机主机进行检修、维护的专用洞室。

2.0.26 组装洞 assembly hole

用于在洞内组装掘进机主机及后配套系统的专用洞室。

2.0.27 接收洞 receiving hole

用于接收到达的掘进机，并为其提供拆解空间的专用洞室。

2.0.28 拆卸洞 disassembly hole

用于拆解掘进机主机及后配套系统的专用洞室。

3 基本规定

3.0.1 采用全断面岩石掘进机法的公路隧道宜满足下列条件：

- 1 单洞连续掘进长度不宜小于 5km。
- 2 开挖直径宜为 6m~15m。
- 3 围岩以Ⅱ级~Ⅳ级为主。
- 4 岩石单轴饱和抗压强度宜为 10MPa~150MPa。

3.0.2 采用全断面岩石掘进机法修建公路隧道，应进行全过程的工程地质勘察、技术方案设计与施工组织，并建立相应的质量、安全、环保管理体系。

3.0.3 工程地质勘察应满足掘进机法隧道设计与施工的要求，应重点查明岩石坚硬程度、岩体完整性、岩石磨蚀性等地质参数，并对不良地质进行专题研究。

3.0.4 隧道设计前，应根据地质勘察成果，对采用全断面掘进机法施工的地质适宜性进行评价。

3.0.5 隧道位置、线形、断面型式与支护方案的选择，应综合考虑地形地质、水文环境、施工条件、运营维护及全断面掘进机的施工工艺特点，经技术、经济、安全、环保综合比选确定。

3.0.6 全断面掘进机级型和设备基本功能的选择，应根据工程地质与水文地质条件、隧道设计参数、环境要求、工期及经济性等因素，遵循“安全、可靠、先进、经济”的原则综合确定。

3.0.7 隧道施工前，应编制完整的施工组织设计及针对掘进机运输、组装、始发、掘进、通过不良地质、接收拆机等关键环节的专项施工方案与应急预案。

3.0.8 隧道施工应建立项目信息化管理系统，对关键施工过程、掘进参数、设备状态及环境监测数据进行管理并进行动态设计与施工，应重视施工通风、除尘、供电、排水等辅助系统的保障。

3.0.9 隧道施工应采取有效措施，控制对周边环境的影响，并对工程影响范围内的建

(构)筑物、地下管线等进行必要的监测与保护。

征求意见稿

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 全断面岩石掘进机法公路隧道工程勘察应按工程建设阶段分阶段开展，并应满足路线方案选择、工法论证与比选、隧道总体设计、结构设计、设备选型、施工组织和风险控制的需要。

4.1.2 工程勘察应综合采用资料收集、地质调绘、遥感解译、物探、钻探、原位测试、室内试验、观测及综合地质分析等方法，勘察方法和成果应相互验证。对长大、深埋、地表勘探条件受限或地质风险高的隧道，宜采用水平定向钻、深孔钻探、孔内物探等控制性勘察方法。

4.1.3 工程勘察应重点查明岩性、岩石坚硬程度、岩体完整性、结构面发育特征、地应力、地下水、岩石磨蚀性和可掘性等主要地质参数，并评价掘进机施工的适宜性。

4.1.4 对断层破碎带、岩溶、富水及高水压地层、高地应力、软弱围岩、高地温、有害气体、采空区等不良地质和特殊地质地段，应加强勘探、测试和分析，必要时开展专项勘察或专题研究，评价其对掘进机施工的影响，并提出处理措施和风险控制建议。

4.1.5 施工期间如揭示新的或与原勘察成果差异较大的工程地质问题，可能影响施工安全或掘进方案时，应及时开展补充勘察工作。

4.2 勘察内容

4.2.1 全断面岩石掘进机法公路隧道的工程勘察，应按表 4.2.1 所列项目开展勘察、测试及试验工作，并应重点查明以下内容：

1 地形地貌、地层岩性、地质构造。

2 水文地质条件，包括地下水类型、发育状况、补给与排泄条件、水化学特征，富水带分布及规模，预测可能出现突涌水的段落。

3 不良地质与特殊性岩土，包括断层、破碎带、岩溶、高地应力、膨胀性地层、高地温、有害气体、放射性等。

4 隧道进出口段岩体风化、卸荷深度，滑坡、崩塌、泥石流的分布与规模，评价隧道进出口边坡的稳定性。

5 岩石坚硬程度，包括岩石单轴抗压强度、抗拉强度、弹性模量、泊松比等。

6 岩体完整性，包括岩体的结构面发育特征、岩体质量指标（RQD）、岩体完整性系数（K_v）等。

7 岩石磨蚀性，包括岩石磨蚀性指数（CAI）、岩石的构成及石英含量等。

表 4.2.1 勘察、测试、试验项目

地质 条件	综合勘测							岩石室内试验项目									
	地质 调 绘	地质 钻 探	弹 性 波 测 试	电 阻 率 测 试	孔内测试			块 体 密 度 试 验	吸 水 性 试 验	颗 粒 密 度 试 验	单 轴 抗 压 强 度 试 验	抗 拉 强 度 试 验	硬 度 试 验	膨 胀 性 试 验	岩 块 波 速 测 试	矿 物 成 分 试 验	磨 蚀 性 试 验
					抽 提 压 水 试 验	综 合 物 探 测 井	岩 体 应 力 测 试										
硬质岩	√	√	√	√		√		√	○	√	√	√	√		√	√	√
软质岩	√	√	√	√		√		√	√	√	√	○	○		√	√	√
岩溶、富水带	√	√	√	√	√	√			√								
高地应力	√	√					√										
膨胀性地层	√	√		○				√	√	√	√	○	○	√	○	√	
高地温	√	√				√											
破碎带	√	√	√	√		√			√						○		
有害气体、放射性	√	√				√											

注：“√”代表必做项目，“○”代表选做项目。

4.2.2 断层及破碎带，应查明其性质、产状、规模、破碎带物质组成、胶结程度、富水性及对隧道稳定性的影响。

4.2.3 岩溶发育区，应查明岩溶的空间分布、规模、联通性和充填情况及富水性，分析突水、涌泥的风险。

4.2.4 高地应力区，应通过测试分析地应力大小与方向，地应力异常区特征及成因，预测岩爆或软岩大变形发生的可能性与等级。

4.2.5 膨胀性地层，应查明其成因、分布、特征及影响程度等。

4.2.6 高温地段，应查明地温梯度及变化规律，地热异常区分布规律及成因，地下热水的补给、径流、排泄特征，进行高地温分级，确定热害类型。

4.2.7 存在有害气体的地段，应查明有害气体地层分布、厚度、有害气体种类、浓度，评价其对人体健康和施工安全的影响。

4.2.8 存在放射性的地段，应查明放射性元素的生成与聚集条件，辐射强度，评价放射性元素对人体健康和安全的影響。

4.3 勘察要求与成果

4.3.1 全断面岩石掘进机法公路隧道的地质勘察应根据勘察阶段、区域及工程场地地质条件、勘察手段的适宜性，结合掘进机法施工的特点及要求，开展综合勘察工作。

4.3.2 钻探布置应符合下列规定：

1 钻孔位置和深度应满足查明隧道工程地质与水文地质条件、获取设计所需参数的要求。

2 对隧道洞身主要岩层、重大不良地质地段及水文地质复杂地段，应有钻孔控制。

3 钻孔深度宜进入隧道设计底板高程以下不小于 5m，遇溶洞、破碎带等不良地质时，应适当加深。

4.3.3 岩土试样采取和试验应符合下列规定：

1 对隧道通过的主要岩层，应采取代表性岩样进行物理力学性质试验。每一主要岩层的试样组数不宜少于 3 组。

2 岩石磨蚀性试验的岩样应取自隧道洞身深度范围，试验方法可按现行行业标准《工程岩体试验方法标准》执行，并给出磨蚀指数（CAI）等评价指标。

3 对软弱夹层、断层破碎带等特殊岩土，应取样进行专项试验。

4.3.4 水文地质试验与观测应符合下列规定：

- 1 应进行钻孔水文地质试验，测定含水层渗透系数、涌水量等参数。
- 2 对水文地质条件复杂的隧道，应进行地下水动态长期观测，预测施工涌水量。

4.3.5 地应力测试宜采用水压致裂法、应力解除法等方法。对深埋隧道或高地应力区，应进行地应力测试。

4.3.6 勘察成果应包括文字报告、图表及必要的影像资料。报告除常规内容外，应重点分析以下内容：

- 1 隧道围岩的工程地质特性及分段评价。
- 2 对掘进机施工有重大影响的不良地质问题及其风险评价。
- 3 岩石强度、岩体完整性、岩石磨蚀性、地应力等关键地质参数的测试结果、统计值及建议设计取值。
- 4 水文地质条件分析与涌水量预测。
- 5 对掘进机选型、设计及施工的地质建议。

4.3.7 成果图表应包括但不限于：工程地质平面图、纵断面图、横断面图、钻孔柱状图、岩石物理力学试验成果汇总表、水文地质试验成果表等。

4.3.8 勘察成果宜提供三维地质模型，并应符合下列规定：

- 1 应根据勘察钻孔、物探解译及地质调查成果，建立隧道沿线的三维地质模型。
- 2 三维地质模型应包含地层岩性、地质构造、水文地质、不良地质体等关键地质信息，并应实现空间属性的可视化表达。
- 3 勘察单位应在施工前向设计、施工单位提交三维地质模型电子文件。
- 4 施工过程中可根据超前地质预报、开挖揭示等信息对模型进行动态更新。

4.4 掘进机施工适应性评价

4.4.1 应在按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 确定的隧道围岩分级基础上，进行岩石掘进机施工适应性评价。

4.4.2 岩石掘进机施工适应性等级可按表 4.4.2 分为五级。

表 4.4.2 岩石掘进机施工适应性等级

适应性等级	适应性描述
A	适应性好
B	适应性较好
C	适应性一般
D	适应性较差
E	适应性差

4.4.3 岩石掘进机施工适应性评价应根据岩石单轴抗压强度(R_c)、岩体完整性系数(K_v)、岩石磨蚀指数(CAI)、不良地质类型及程度等多源地质信息综合分析,可按照附录 A 的规定确定岩石掘进机适宜性等级。

4.4.4 应根据岩石掘进机施工适应性等级给出建议,并应符合下列规定:

- 1 适应性等级为 A 或 B 的隧道宜采用岩石掘进机施工。
- 2 对适应性等级为 C 的隧道,应分析原因并提出设计选型与施工预案的建议。
- 3 对适应性等级为 D 的隧道,应明确其制约因素,并提出进行专题研究或工法比选论证的建议。
- 4 适应性等级为 E 的隧道不应采用岩石掘进机施工。

5 总体设计

5.1 一般规定

5.1.1 掘进机法隧道总体设计应综合考虑地形、地质、水文、环境等因素，通过安全、技术、经济综合比选，确定隧道线位、隧道线形、横断面、服务洞室和施工组织等。

5.1.2 隧道设计除应满足正常使用功能要求外，还应便于维修与养护，并与所选取的掘进机施工工艺相适应。

5.1.3 隧道位置宜选择在稳定地层，当不可避免需穿越重大不良地质地段时，应开展专项研究。

5.1.4 线形设计应满足所选取掘进机的爬坡能力和最小转弯半径要求。

5.1.5 服务洞室设计应满足掘进机组装、始发、掘进、检修、到达、拆卸等各阶段作业要求，并应兼顾施工效率与安全。

5.1.6 施工组织筹划应考虑设备运输、施工场地布置、材料供应、电力保障及弃渣场地等条件。

5.2 线形设计

5.2.1 隧道平曲线和竖曲线设计应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）和《公路路线设计规范》（JTG D20）的规定。

5.2.2 隧道平面线形宜采用直线或不设超高的大半径曲线。不宜采用需加宽断面的平曲线。

5.2.3 隧道纵坡设计应符合下列规定：

- 1 宜采用人字坡，并与施工组织相匹配。
- 2 最大纵坡不宜大于 3%，最小纵坡不宜小于 0.3%。

3 最大纵坡应考虑掘进机设备的持续爬坡能力、后配套运输系统的能力以及施工期排水要求。

5.2.4 隧道平面线形设计应满足所选掘进机主机及后配套系统的最小转弯半径要求。线路最小曲线半径不宜小于 600m，困难条件下不应小于 400m。

5.2.5 隧道轴线与区域最大主应力方向水平投影的夹角宜小于 30°。当难以满足时，应对高地应力地段围岩稳定性进行专项评价。

5.2.6 隧道线位应避免与宽大断层、破碎带小角度相交，无法避开时，宜以大角度或垂直穿越，并应评估其影响并制定针对性措施。

5.2.7 隧道洞口位置应结合地形地质、环境保护要求及掘进机施工场地布置综合确定，并应便于施工通道的接引和大型部件的运输。

5.3 横断面设计

5.3.1 隧道横断面应根据使用功能进行明确分区，并应满足建筑限界、紧急疏散、运营维护、排水及各级管线布设等要求。

5.3.2 隧道建筑限界应满足现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)的规定。

5.3.3 采用全断面岩石掘进机法施工的隧道宜采用圆形断面。隧道内轮廓直径应根据建筑限界、设备布置、结构厚度、施工误差及预留变形量等因素综合确定。

5.3.4 隧道横断面设计应充分利用圆形断面的富余空间，在满足安全和使用功能的前提下，可于拱部布置排烟道，于下部空间布置电缆通道、消防管道廊道、设备检修通道等附属设施。

5.3.5 隧道内轮廓与建筑限界之间应预留富余量，并应符合下列规定：

1 位于抗震设防段的隧道，其富余量应符合现行《公路隧道抗震设计规范》(JTG 2232)的规定。

2 其他地段，沿内轮廓径向的富余量应结合支护结构型式，考虑施工误差和后期结构变形的影响，且不宜小于 5cm。

5.3.6 敞开式掘进机施工隧道的开挖直径，应在内轮廓直径基础上，增加初期支护、二次衬砌厚度及预留变形量。护盾式掘进机施工隧道的开挖直径，应在内轮廓直径基础上，

增加管片衬砌厚度、壁后注浆层厚度及必要的盾尾间隙。

5.3.7 隧道内设置紧急停车带、车行横洞等断面加宽段时，应进行专项设计。宜优先采用掘进机正常掘进通过后，再采用钻爆法或其他方法扩挖的施工方案，并应保证过渡段结构的平顺与安全。

5.3.8 当利用隧道下部富余空间设置检修道、电缆沟等时，其结构（如预制仰拱块）的设计应与隧道主体衬砌协调，并应保证其承载能力、稳定性和耐久性。

5.3.9 平行导洞横断面设计应符合下列规定：

1 平行导洞横断面形式应根据其功能、地质条件及施工方法确定，断面尺寸应满足运输、排水、通风及运营期人员疏散的要求。

2 平行导洞的最小断面不应小于人行横通道断面。

3 当平行导洞兼作为超前的泄水洞时，其洞底高程应低于主洞底面高程不小于 0.2m。

5.4 服务洞室设计

5.4.1 服务洞室应根据掘进机施工工艺要求设置，主要包括组装洞、始发洞、预备洞、检修洞、拆卸洞等。

5.4.2 服务洞室的设计应满足掘进机设备尺寸、作业空间、结构稳定及施工安全的要求，并宜与隧道永久结构相结合。

5.4.3 组装洞、始发洞、拆卸洞的断面尺寸应满足掘进机主机及后配套设备在洞内安全作业和运输的要求，其长度应根据设备长度、作业流程及安全距离确定。

5.4.4 预备洞和检修洞的断面尺寸应满足设备临时停放、检查、维修及必要部件更换的作业空间要求，其长度不宜小于 15m。

5.4.5 始发洞的起始端应设置反力架或相应的始发基座，其设计应能承受掘进机始发时的最大推力。

5.4.6 当服务洞室位于不良地质地段时，应采取加强支护、超前加固或改变洞室位置等措施，保证其施工期和使用期的稳定。

5.4.7 服务洞室与主隧道的连接段应平顺过渡，其支护与衬砌结构应与主隧道协调，并应做好连接处的防排水处理。

5.4.8 服务洞室宜结合隧道运营期的功能需求进行设计。在满足施工要求的前提下，经

技术经济论证，可将部分服务洞室改造为运营期的紧急停车带、设备洞室或联络通道等。

5.5 施工组织筹划

5.5.1 施工组织筹划宜结合气候、地形地貌、地质条件、工程布置、设备能力、工期要求及环境保护等因素，通过技术经济比选后确定。筹划内容应包括施工方案、施工场地布置、施工交通、各种配套临时设施、施工进度计划及环境保护措施等。

5.5.2 施工方案应根据隧道长度、地质条件、工期要求及设备能力等因素制定，并应明确掘进方向、施工分段、辅助坑道设置及特殊地质地段的应对预案。

5.5.3 严重影响施工安全、进度等方面的不良地质段可采用钻爆法、超前预加固、扩挖法、导洞等单独或组合的处理方法和措施。

5.5.4 掘进机开挖方向、起止位置宜根据地形地质条件、施工分段、洞室布置等因素综合分析确定。水文地质条件复杂，突涌水风险高的隧道，掘进机宜逆坡掘进，必须顺坡掘进时，应加强超前地质预报，并做好排水措施及应急排水预案。

5.5.5 施工场地布置应遵循紧凑、高效、安全、环保的原则，并应满足掘进机组装、调试、掘进、拆卸及物料储运等全过程作业要求。

5.5.6 掘进机组装、拆卸场地宜选择在隧道洞外，必须选择在洞内时，施工通道型式、布置及断面尺寸应满足掘进机组装、拆卸、运输等方面的要求。

5.5.7 施工场地应进行专项地质勘察和地基处理设计，确保大型临时设施、重型设备基础及运输通道的地基稳定。

5.5.8 施工通道的位置和形式应根据工程条件、防洪度汛、施工方案、设备检修、环境保护等因素综合确定，并应与隧道出渣、物料运输、通风、排水等施工装备相匹配。

5.5.9 对于多台掘进机施工或掘进机与钻爆组合施工的隧道工程，应进行施工通风、物流运输、供电通信等系统的专项统筹设计。

5.5.10 施工进度计划应合理确定掘进机设备的制造、运输、组装、调试、试掘进、正常掘进、到达、拆卸等关键工序的时间节点，并应预留处理不良地质的弹性时间。

5.5.11 施工组织筹划应制定详细的弃渣处理、施工排水、通风防尘、噪声控制等环境保护措施，并应符合项目环境影响评价报告的要求。

6 荷载与结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 隧道结构上的荷载应按表 6.1.1 的规定分类。

表 6.1.1 隧道结构上的荷载分类

编号	荷载分类		荷载名称
1	永久荷载		围岩压力
2			结构自重
3			结构附加恒载
4			混凝土收缩和徐变的影响力
5			水压力
6			隧道上方和破坏棱体范围内的设施及建筑物压力
7	可变荷载	基本可变荷载	公路车辆荷载、人群荷载
8			立交公路车辆荷载及其所产生的冲击力、土压力
9			立交铁路列车活载及其所产生的冲击力、土压力
10			立交渡槽流水压力
11		其他可变荷载	温度变化的影响力
12			冻胀力
13			施工荷载
14	偶然荷载		落石冲击力
15			地震力

6.1.2 衬砌结构设计应分别按施工阶段和使用阶段进行验算，并应考虑施工荷载、地层变化及结构体系转换的影响。

6.1.3 复合式衬砌结构可采用破损阶段法或基于分项系数的极限状态法进行设计。管片衬砌结构应采用基于分项系数的极限状态法进行设计。

条文说明

本规程规定管片衬砌按以概率理论为基础，以分项系数表达的极限状态法设计。

施工期间根据极限状态法结构计算的内容如下：

(1) 推进油缸推力作用在管片的承载力计算。

(2) 管片吊装与堆放计算。

使用期间根据极限状态法结构计算、验算的内容如下：

(1) 管片主截面承载能力计算。

(2) 纵向和环向接缝承载能力计算，包括接缝连接螺栓强度验算、混凝土局部受压强度验算。

(4) 管片在正常使用状态下的钢筋混凝土裂缝宽度验算。

(5) 管片在正常使用状态下的隧道收敛变形验算及接缝张开量计算。

6.2 荷载

6.2.1 复合式衬砌结构计算荷载应符合下列规定：

1 采用破损阶段法时，其荷载组合与安全系数应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）的有关规定。

2 采用基于分项系数的极限状态法时，其荷载组合、作用分项系数及组合值系数等应符合现行《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）的有关规定。

6.2.2 管片衬砌结构应根据施工阶段和使用阶段可能同时出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行组合，采用基于分项系数的极限状态法进行设计，其荷载组合、作用分项系数及组合值系数等可参照现行《盾构隧道工程设计标准》（GB/T 51438）的有关规定。

6.2.3 深埋隧道垂直均布压力及水平均布压力，在不产生显著偏压及膨胀力的围岩条件下，可根据《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）计算围岩压力，公式中的隧道宽度 B 应以刀盘开挖直径 D 替代。

6.2.4 护盾式掘进机施工的隧道，进行管片衬砌结构计算时，应考虑千斤顶推力、盾尾注浆压力及管片吊装拼装荷载等施工荷载。

6.3 结构计算

6.3.1 隧道衬砌结构内力计算宜采用荷载—结构法。当获取可靠的地层参数时，也可采

用地层—结构法进行校核或分析，地层—结构法计算应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 的相关规定。

6.3.2 采用荷载—结构法计算时，围岩对衬砌的弹性抗力作用应符合下列规定：

- 1 弹性抗力的大小及分布，对回填密实的衬砌可按局部变形理论计算。
- 2 围岩弹性抗力系数无实测数据时，可按经验或工程类比确定。

6.3.3 复合式衬砌计算应符合下列规定：

- 1 初期支护与二次衬砌可分开计算，也可按整体结构计算。当按整体结构计算时，应考虑两者之间的相互作用。
- 2 钢筋混凝土构件的最大裂缝宽度验算应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）的有关规定。

6.3.4 管片衬砌横向内力计算应符合下列规定：

1 计算模型宜根据管片拼装方式选用，错缝拼装时宜采用匀质圆环模型或梁—弹簧模型，通缝拼装时宜采用弹性铰模型。

2 采用匀质圆环模型时（见图 6.3.4），衬砌环整体刚度折减系数 η 可取 0.5~0.8，弯矩传递系数 ξ 可取 0.2~0.5，并应对接头弯矩和相邻管片截面弯矩进行修正。

错缝拼装衬砌环在纵向接头处的接头弯矩按式（6.3.4-1）进行修正：

$$M_1 = (1 - \zeta)M \quad (6.3.4-1)$$

式中：

ζ ——管片弯矩传递系数；

M ——匀质圆环模型的计算弯矩（kN.m）；

M_1 ——修正后的管片接头弯矩（kN.m）。

与纵向接头位置对应的相邻管片截面弯矩按式（6.3.4-2）进行修正：

$$M_2 = (1 + \zeta)M \quad (6.3.4-2)$$

式中： M_2 ——修正后的管片截面弯矩（kN.m）。

3 管片衬砌与地层间的相互作用宜采用地基弹簧模拟。考虑壁后注浆层影响时，围岩弹性抗力系数可按式（6.3.4-3）~式（6.3.4-7）计算：

$$k_R = \frac{k_1 G_4 + G_2}{k_1 G_3 + G_1} \quad (6.3.4-3)$$

$$G_1 = \frac{(R+b)^2 + (1-2\nu_0)R^2}{2(1-\nu_0)(R+b)^2} \quad (6.3.4-4)$$

$$G_2 = \frac{E_0}{1-\nu_0^2} \times \left[\frac{1}{R} - \frac{R}{(R+b)^2} \right] \quad (6.3.4-5)$$

$$G_3 = \frac{(1-2\nu_0)(1+\nu_0)}{2E_0(1-\nu_0)} \times \frac{(R+b)^2 - R^2}{R+b} \quad (6.3.4-6)$$

$$G_4 = \frac{R^2 + (1-2\nu_0)(R+b)^2}{2(1-\nu_0)(R+b)R} \quad (6.3.4-7)$$

式中： k_1 ——原始围岩弹性抗力系数（MPa/m）；

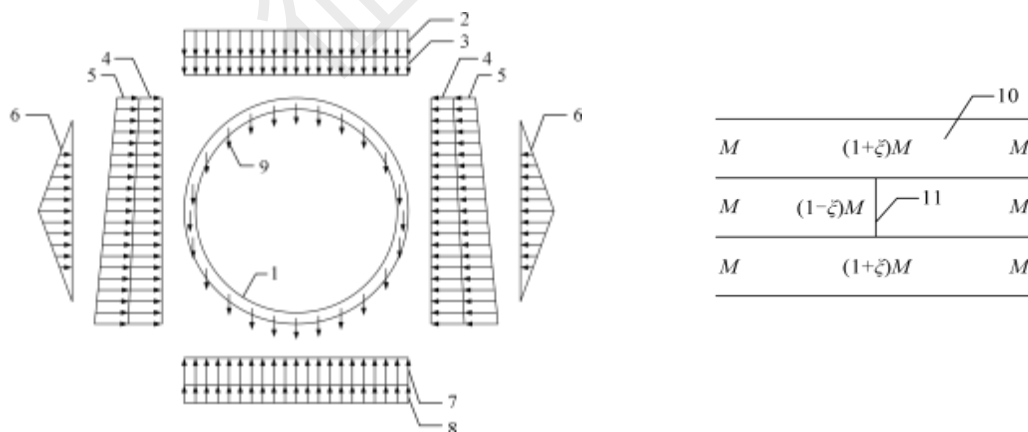
k_R ——考虑管片背后回填层作用的围岩弹性抗力系数（MPa/m）；

$G_1 \sim G_4$ ——与回填层物理性质和几何尺寸相关的参数；

E_0 、 ν_0 ——回填层的弹性模量（MPa）和泊松比；

b ——均匀化的回填层厚度（m）；

R ——管片环外半径（m）。



a) 匀质圆环计算简图

b) 管片及接头弯矩修正示意

说明：1—衬砌环；2—竖向土压力及地面超载；3—竖向水压力；4—侧向土压力；5—侧向水压力；6

—地层水平抗力；7—竖向水土压力引起的地层反力；8—管片自重引起的地层反力；9—管片自重；10—管片；11—接头。

图 6.3.4 均质圆环模型示意图

条文说明

2 横向刚度折减系数 η 的取值与管片环周边地层情况有关，当周边地层整体性好、强度高时，管片环横向整体变形小，此时刚度折减系数宜取大值，反之宜取小值。

6.3.5 隧道管片衬砌结构应进行管片接头计算，并应符合下列规定：

- 1 管片接头计算内容应包括管片接头强度验算及接缝张开量计算。
- 2 管片接头强度验算应包括连接螺栓抗拉强度、抗剪强度、接缝混凝土局部受压及螺栓手孔处管片的抗剪和抗冲切承载力验算。
- 3 管片接头处设有凹凸榫槽时可不进行螺栓的抗剪强度验算。

条文说明

管片接头处接缝张开量以环向螺栓达到允许拉应力时衬砌外侧的张开量作为验算标准，接缝张开量满足弹性密封垫的防水适用能力。

6.3.6 管片衬砌环向螺栓强度验算应符合下列规定：

- 1 钢筋混凝土管片的环向螺栓应按照现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）中矩形截面偏心受压构件的承载能力极限状态模型计算螺栓拉应力。
- 2 钢管片的环向螺栓应采用以管片边缘为回转中心的模型计算螺栓拉应力。

6.3.7 管片衬砌纵向螺栓强度验算应符合下列规定：

- 1 管片拼装阶段应进行纵向螺栓抗剪强度的验算。
- 2 位于 7 度及以上地震设防区的隧道应进行地震作用下的纵向螺栓抗拉强度验算。

6.3.8 承受千斤顶作用的管片环面应按照现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）进行局部受压承载能力计算。

6.3.9 进行钢筋混凝土管片螺栓手孔设计时，应对螺栓连接处混凝土环肋、端肋结构按照现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）进行抗剪和抗冲切承载力的验算。

6.3.10 钢管片应按照现行《钢结构设计标准》（GB 50017）对接头板抗压强度、抗剪强度、局部稳定性进行验算。

6.3.11 当遇下列情况之一时，应对隧道纵向内力与变形进行计算。

- 1 隧道覆盖层厚度或地层沿纵向有较大变化。
- 2 隧道穿越重要建（构）筑物或直接承受较大局部荷载。
- 3 地基沿隧道纵向产生不均匀沉降。

4 小半径曲线隧道承受掘进机千斤顶推力作用。

条文说明

当隧道覆盖层厚度或地层沿隧道纵向有较大变化、直接承受较大局部荷载时，管片衬砌可能产生较大的纵向内力并发生较大的纵向变形。小半径曲线施工时，管片上会出现千斤顶推力不均匀情况，可能会产生变形和破坏。当遇到以上情况时，为保证管片衬砌的结构安全和正常使用，应对此情况下的管片衬砌进行纵向强度和变形验算。

6.3.12 管片衬砌结构应按荷载效应的准永久组合进行正常使用极限状态验算，管片环收敛变形和接缝张开量限值应符合表 6.3.12 的规定。

表 6.3.12 管片环收敛变形和接缝张开量限值

类别	限值
衬砌收敛变形	$\leq 2\%D1$ （错缝拼装）或 $\leq 3\%D1$ （通缝拼装）， 且小于 50 mm
接缝张开量	$\leq 2\text{mm} \sim 4\text{mm}$ ，且小于弹性密封垫的允许张开量
注 1：D1 为管片环外径。	
注 2：表中收敛变形和接缝张开量限值不含管片拼装误差造成的变形量。	
注 3：当周边地层较好，隧道直径小时，接缝张开量限值取小值，反之取大值。	

条文说明

为了满足隧道净空要求，本条给出了管片衬砌收敛变形的限值。管片的接缝张开量限值应与接头的弹性密封垫设计相适应，保证接头防水能力。

6.3.13 仰拱预制块结构计算应符合下列规定：

- 1 仰拱预制块结构应与上部衬砌结构一起整体建模。
- 2 计算应分别考虑施工工况与使用工况。
- 3 施工工况结构计算所采用的施工荷载应包括吊装荷载、车辆荷载，两种荷载不应同时施加。

4 使用工况结构计算所采用的可变荷载主要是公路车辆荷载。

条文说明

1 敞开式岩石掘进机法隧道衬砌底部采用仰拱预制块时，其上部衬砌结构有两种形式：拱墙为喷锚衬砌+现浇二次衬砌以及拱墙为预制块衬砌。两种不同的衬砌形式结构计算均需采用整体建模。

6.3.14 一般环境管片衬砌钢筋混凝土结构正截面受力最大计算裂缝宽度允许值应符合表 6.3.14 的规定。

表 6.3.14 一般环境管片衬砌钢筋混凝土结构正截面受力最大计算裂缝宽度允许值

环境作用等级	允许值 (mm)
I _A 、I _B	0.2 mm
I _C	0.15 mm
注：一般环境下管片衬砌混凝土结构的环境作用等级划分按照《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T3310-2019 第 4.3.2 条执行。	

6.3.15 处于冻融环境、氯化物环境、盐结晶环境、化学侵蚀环境下的混凝土结构，其最大计算裂缝宽度允许值按现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310）的相关规定取值。

6.3.16 对构造形式复杂的隧道，或承受大偏压、高水压、严重形变压力等条件下的特殊隧道，宜采用整体化的分析方法进行衬砌结构的内力和变形计算。

6.3.17 整体化的分析方法应符合下列规定：

- 1 应考虑管片接头刚度的非线性特性。
- 2 应考虑衬砌结构—地层（地下水）的交互作用特性。
- 3 应体现施工期的结构受荷特征。
- 4 宜采用三维模型进行分析。

7 衬砌结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 全断面岩石掘进机法施工的公路隧道衬砌结构设计，应遵循安全可靠、技术先进、经济合理、耐久适用的原则，并应充分考虑掘进机施工工艺的特点。

7.1.2 隧道衬砌结构设计除应符合本规范的规定外，尚应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）的通用规定。

7.1.3 隧道衬砌结构应根据围岩条件、隧道断面、使用要求及施工方法综合确定。敞开式掘进机施工的隧道宜采用复合式衬砌；护盾式掘进机施工的隧道应采用管片衬砌。

7.1.4 隧道衬砌结构所用材料，其性能、强度等级及耐久性要求应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）的有关规定。

7.2 复合式衬砌结构设计

7.2.1 复合式衬砌设计应符合下列规定：

- 1 初期支护宜采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架和钢筋排等支护单独或组合使用。
- 2 二次衬砌应采用模筑混凝土或钢筋混凝土衬砌结构。
- 3 预留变形量大小应根据围岩级别、开挖直径、埋置深度、支护情况等，通过计算分析或工程类比确定。

7.2.2 当二次衬砌在隧道贯通后施作时，初期支护应按永久支护结构设计，并按承担施工期间全部围岩荷载的支护结构进行设计。

7.2.3 锚杆设计应符合下列规定：

- 1 锚杆宜采用全长粘结型锚杆，杆体材料宜采用 HRB400、HRB500 热轧带肋钢筋。
- 2 锚杆长度、间距及布置形式应根据围岩条件确定，系统锚杆长度不宜小于 2.0m，间距不宜大于 1.5m。

- 3 锚杆垫板尺寸及强度应满足设计要求。

7.2.4 钢拱架设计应符合下列规定：

- 1 钢拱架宜采用 HW 型钢钢架。
- 2 钢拱架应具有足够的刚度和强度，其安装不应侵入二次衬砌断面。
- 3 钢拱架纵向连接应牢固可靠。

7.2.5 二次衬砌设计应符合下列规定：

- 1 二次衬砌应采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土结构，强度等级不应低于 C30。
- 2 二次衬砌厚度可采用工程类比法设计，必要时可通过理论分析进行验算，且不宜小于 300mm。

- 3 二次衬砌配筋率应满足结构计算和构造要求。
- 4 二次衬砌截面宜为等截面。

7.2.6 出现下列情况时，二次衬砌宜采用钢筋混凝土结构：

- 1 存在明显偏压的地段。
- 2 净宽大于 3 m 的横通道、通风道、地下变电所等与主洞交叉的地段。
- 3 V 级围岩地段。
- 3 地震动峰值加速度大于 0.20 g 的地区洞口段。

7.2.7 二次衬砌应设置变形缝，并应符合下列规定：

- 1 明洞衬砌与洞内交界处、不设明洞的洞口段衬砌，在距洞口 5m~12 m 的隧道内应设沉降缝。
- 2 地质条件明显变化处、不同衬砌类型交界处，宜设置沉降缝。
- 3 在连续软弱围岩中，每隔 3 倍开挖直径宜设一道沉降缝。
- 4 严寒与酷热温差变化大地区，特别是最冷月平均气温低于 -15 ℃ 的寒冷地区，距洞口 100m~200 m 范围的衬砌段应根据情况设置伸缩缝。

5 沉降缝、伸缩缝缝宽不应小于 20 mm，缝内可填塞沥青木板或沥青麻丝。伸缩缝、沉降缝宜垂直于隧道轴线竖向设置。拱、墙、仰拱的沉降缝、伸缩缝应设在同一断面位置。

6 沉降缝、伸缩缝可兼作施工缝。在需设沉降缝或伸缩缝地段，应结合施工缝进行设置。

7.2.8 仰拱可采用仰拱预制块，仰拱预制块应采用钢筋混凝土结构，并符合下列规定：

- 1 仰拱预制块尺寸应根据掘进机循环进尺、施工运输方式、排水沟设置、机电设备、消防设施等因素综合确定。

- 2 对于需设置钢架支护的地段，仰拱预制块底部应设置环向开槽，以满足钢架安装要求。
- 3 仰拱预制块应采用工厂化预制，洞内拼装，其底部应采用细石混凝土或砂浆回填密实。
- 4 仰拱预制块应预留回填孔、吊杆、止水带安装槽、水沟接头防水处理槽等，当隧道采用有轨运输方式时，应预留承轨槽、道钉孔。
- 5 仰拱预制块应验算吊装、洞内施工、运营等工况。

7.3 管片衬砌结构设计

7.3.1 管片衬砌宜采用单层装配式钢筋混凝土结构，管片厚度、分块、拼装方式等应根据围岩条件、隧道直径、埋深、荷载及施工工艺等因素，通过计算并结合工程级比确定。

7.3.2 管片混凝土强度等级应符合下列规定：

- 1 应根据结构受力计算确定，且不应低于 C40。
- 2 当管片承受显著荷载或处于高水压时，不应低于 C50。

7.3.3 管片环宽度应根据曲线拟合、运输、拼装及防水等因素综合确定，宜为 1.5m~2.0m。

7.3.4 管片环宜由标准块、邻接块和封顶块组成，分块应符合下列规定：

- 1 分块数量应根据管片制作、运输、千斤顶布置、拼装方式及防水要求等因素综合确定。
- 2 管片环外径为 6m~9m 时，分块数量宜为 6~7 块；外径为 9m~13m 时，分块数量宜为 7~10 块。

7.3.5 管片拼装方式宜采用错缝拼装，特殊情况下可采用通缝拼装。

7.3.6 管片构造设计应符合下列规定：

- 1 管片环、纵缝宜设置交叉斜螺栓或凹凸榫槽。
- 2 螺栓孔应设置密封圈沟槽。
- 3 注浆孔应设置可靠的密封构造。
- 4 管片外弧面边缘应设置倒角，倒角尺寸不应小于 5mm×5mm。

7.3.7 管片衬砌与围岩间的空隙应及时进行回填注浆，注浆材料的强度及填充密实度应满足传递围岩压力和控制衬砌变形的需要。

8 特殊地质地段设计

8.1 一般规定

8.1.1 特殊地质地段设计应结合勘察资料、超前地质预报、监控量测数据开展动态设计，并应遵循“先预报、预加固、强支护、控变形、分阶段处置”的总体原则。

8.1.2 特殊地质地段设计应根据特殊地质的具体情况制定针对性的辅助工程措施，并应同步配套全过程风险管控方案。

8.1.3 特殊地质地段设计应包括下列主要内容：

1 特殊地质综合评估与风险分级：整合详勘、专项勘察、地质调绘成果，划分地质风险等级，定量评估突水突泥、岩爆、大变形、坍塌、设备卡机等灾害发生概率与危害程度。

2 全周期超前地质预报体系设计：明确长短距离预报组合手段、探测步距、搭接长度、钻探布置、成果动态反馈机制。

3 洞室开挖与支护衬砌专项设计：包含岩石掘进机掘进参数控制、超前加固、初期支护、永久衬砌、结构抗水压、抗冲击、抗变形构造措施。

4 配套辅助工程措施设计：超前注浆、管棚、应力释放、排水泄压、地层置换、基底加固等预处理工程。

5 全过程监控量测专项方案：划分必测、选测项目，明确测点布置、监测频率、变形预警与控制阈值。

6 地质灾害风险管理与分级应急预案：划分预警等级，制定停机、加固、排水、人员撤离、设备保护、洞体抢险处置流程。

8.1.4 对无法采用掘进机直接通过的特殊地质地段，应采用钻爆法预处理后实施步进通过，预处理范围应在特殊地质地段延伸不少于 1 倍洞径。

条文说明：

钻爆法预处理包含钻爆法开挖、地层加固、洞室成型、基础处理等工序。预处理的范围在特殊地质地段向前后再延伸 1 倍洞径作为过渡区，以确保施工安全性。

8.1.5 可采用水平定向钻开展特殊地质地段的超前预注浆、泄水泄压等辅助工程措施，

并应符合下列规定：

- 1 超前注浆孔、泄水孔宜沿隧道拱部、边墙、底板分层布设。
- 2 注浆扩散半径、终压、稳压时间应根据围岩渗透性、地下水压力计算确定。
- 3 高压富水地段宜采用分段注浆、前进式注浆工艺。
- 4 应统筹协调水平定向钻施工与岩石掘进机掘进时序，钻孔、注浆作业不应占用主机正常掘进核心工作面，并应配套泥浆处理、排水、通风系统。
- 5 水平定向钻设备选型、钻孔精度、注浆材料、质量检测应符合现行《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）、《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

8.2 岩溶地段

8.2.1 隧道穿越岩溶地层时，应采用相应的预设计对其进行综合治理。

8.2.2 对局部严重的、大型的、不易探明的岩溶地段，应尽量绕避；对一般的中、小型岩溶地段，可选择其最窄的、最易于采取措施的地段通过。

8.2.3 隧道穿越大型溶洞地段，宜采用钻爆法施工后掘进机步进通过。钻爆法穿越大型溶洞地段设计应符合现行《公路岩溶隧道设计与施工技术规范》JTG T 3373 的相关规定。

8.2.4 岩溶地段衬砌设计应符合下列规定：

- 1 穿越溶洞时，衬砌结构应进行特殊设计，可采用梁、拱或箱涵结构跨越。
- 2 对已处理的溶洞充填体，衬砌应考虑其可能的不均匀荷载。
- 3 应加强衬砌与围岩接触部位的防水与加固措施。

8.2.5 应根据实际情况对地下水采取截、引、排等处理措施，并应保护、疏通、恢复岩溶原有排水通道。

8.2.6 根据岩溶的分布形态、地下水渗流特征，支护结构设计宜考虑水压力的作用。

8.2.7 当隧道拱顶以上有较大空溶洞时，根据溶洞洞壁稳定程度，可采取喷锚等措施对溶腔壁进行加固；衬砌拱背应进行回填或设护拱。当隧道两侧有空腔时，可采取加厚衬砌边墙、设混凝土或浆砌片石反压墙等措施。

8.2.8 对隧道底部有充填的溶洞，应根据溶洞充填物的特征以及溶洞与隧道的位置关系，采取桩基、注浆、换填、跨越等措施进行处理。

8.3 岩爆地段

8.3.1 岩爆处治应遵循“以防为主、防治结合”的原则，掘进前应加强超前地质预报，并根据岩爆等级采取相应的工程处理措施并动态调整掘进参数。

8.3.2 岩爆地段衬砌设计应符合下列规定：

1 穿越岩爆段时，应根据岩爆等级确定锚杆长度、间距、类型等，初期支护可采用钢筋网片、喷射纤维混凝土、涨壳式锚杆、消能防护网等，必要时增设钢架和钢筋排等加强措施。

2 中等及以上岩爆地段，宜采用涨壳式预应力锚杆。

3 强烈及剧烈岩爆段二次衬砌应采用钢筋混凝土结构，并宜在岩爆活动期结束后施作。

8.3.3 轻微岩爆段初期支护应以柔性支护为主，可采用挂网喷混凝土、预应力锚杆等联合加固措施。

8.3.4 中等岩爆段应符合下列规定：

1 宜在护盾后方、刀盘附近围岩高压喷水。

2 可采用水平定向钻施作应力释放孔。

2 可采高性能网喷混凝土或纤维喷射混凝土、钢架等支护措施。

8.3.5 强烈岩爆段应符合下列规定：

1 宜在护盾后方、刀盘附近围岩高压喷水。

2 可采用水平定向钻施作应力释放孔。

3 可采用超前钻孔后进行爆破释放应力。

4 可采用高性能纤维喷射混凝土、系统锚杆、钢筋排、加强钢架等综合治理措施，必要时可采用重型钢管片。

8.3.6 护盾式岩石掘进机通过强烈岩爆地段时，管片衬砌厚度及配筋可适当加强，严控壁后注浆效果。

8.3.7 长距离强烈岩爆、剧烈岩爆段可采用钻爆法处理后空推通过。

8.3.8 岩爆地段应加强人员、机械防护，掘进机设备可加装钢板防护。

8.4 软岩挤压变形地段

8.4.1 大变形防治应遵循“加固围岩、预留变形、强支护、强超前”的综合整治原则，并

应根据大变形不同情况采取合理措施。

8.4.2 软岩大变形地段衬砌设计应符合下列规定：

1 宜采用可缩性支护结构或预留足够的变形量。护盾式掘进机施工时，可通过边刀外扩加大开挖断面，为衬砌预留变形空间。

2 初期支护应加强，宜采用高强度、高刚度型钢钢架，并可采用可伸缩接头。

3 喷射混凝土宜采用早强喷射混凝土，设计强度等级不应低于 C25。强烈大变形地层段喷射混凝土的设计强度等级不宜低于 C30，可添加钢纤维或合成纤维。

4 二次衬砌应采用钢筋混凝土结构，并应适时施作。

8.4.3 轻微大变形段宜采用扩挖边刀加大开挖断面，可采用长短锚杆结合、钢筋网锚喷混凝土、可缩式钢架等支护措施。

8.4.4 中等大变形段可采用长锚杆、钢筋网喷混凝土或纤维喷混凝土、可缩式钢架、措施，并根据变形情况，可采用两层或多层喷锚衬砌、增加锚索、加大预留变形量等措施。

8.4.5 强烈大变形段可采取预加固地层、分部开挖、长锚杆、钢筋网喷混凝土或纤维喷混凝土、喷混凝土层留纵缝、可缩式钢架、增设缓冲层等措施。

8.4.6 中等~强烈大变形地段可采用钻爆法及处治措施施工后，掘进机空推通过。

8.4.7 大变形地层系统锚杆设计应符合下列规定：

1 锚杆宜采用快速承载的螺纹钢树脂锚杆。

2 锚杆成孔较困难时可采用自进式注浆锚杆。

3 应在变形较大的部位加强布设。

8.5 断层破碎带地段

8.5.1 断层破碎带地段衬砌设计应符合下列规定：

1 衬砌结构应进行专项设计，并采取相应的加强措施。

2 初期支护应加强，可采用钢筋网喷混凝土、锚杆、钢架、钢筋排等联合支护措施。

3 二次衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

4 应加强衬砌与围岩接触部位的防水与加固措施。

8.5.2 掘进机护盾和刀盘上方围岩不稳定时，应进行超前加固处理，可采用超前管棚注浆加固围岩。管棚长度宜为 15m~20m，设置范围为拱部不小于 90°。

8.5.3 隧道掌子面不稳定时，可采用玻璃纤维锚管注浆加固围岩。玻璃纤维锚管长度宜为 3m~5m。

8.5.4 对无法采用掘进机直接通过的宽大断层破碎带，宜采用钻爆法施工后掘进机步进通过。

8.6 富水地段

8.6.1 隧道穿越富水地层时，应结合地质勘察资料和超前地质预报，根据富水带的位置、规模、地下水级型、水量、水压及补给排泄条件等进行针对性设计。

8.6.2 富水地段应加强衬砌结构的防排水能力，并应符合下列规定：

- 1 复合式衬砌应完善防水系统；管片衬砌应提高接缝密封垫的性能和耐久性。
- 2 衬砌结构应进行高水压作用下的强度、变形及抗浮验算。
- 3 应设置完善的排水系统。

8.6.3 富水地段隧道辅助措施设计应符合下列规定：

1 对于稳定性较好的岩体裂隙涌水，当隧道涌水对掘进机施工影响较小时，可直接掘进通过，待通过后进行“排水+径向注浆堵水”处理。

2 当隧道涌水对掘进机施工影响较大时，宜采取超前注浆堵水处理，待出水量明显减小，具备掘进条件时再行掘进。

3 对于软弱破碎和松散岩体涌水，宜采取超前注浆堵水并加固处理后通过。

4 径向和超前注浆圈厚度应根据涌水量、围岩地质条件和地下水压力等因素综合确定。

8.6.3 富水地段衬砌结构设计应考虑结合注浆堵水和衬砌排水措施后的水压力作用。

8.6.4 富水地段可加大洞内中心水沟、路侧边沟的排水断面。

8.6.9 富水层高水压隧道应通过地层注浆减少围岩渗水量，加强衬砌排水构造，确保衬砌背后地下水能长期、顺畅地排放。

8.6.10 设计水头高度大于 60m 时，宜采用排水型管片衬砌。

8.6.11 在富水层下坡地段掘进时，应加强隧道排水系统和抽水系统。隧道排水系统与掘进机设备排水系统应统筹考虑，以保证掘进机施工安全。

9 防排水设计

9.1 一般规定

9.1.1 隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，妥善处理地表水、地下水，洞内外防排水系统应完整通畅。

9.1.2 采用复合式衬砌的防排水设计应满足现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）的有关规定。

9.1.3 全包防水型管片衬砌应以管片自防水、管片接缝防水为主，辅以对特殊部位的防水处理。

9.1.4 采取的隧道防排水措施，应注意保护自然环境。当隧道内渗漏水可能引起地表水减少，影响居民生产、生活用水时，应对围岩采取堵水措施。

9.1.5 寒区隧道防排水设施应采取抗冻保温措施。

9.2 复合衬砌防水

9.2.1 隧道采用复合式衬砌时，应在初期支护与二次衬砌之间设置防水层。防水层宜采用防水板与无纺布的组合，并应符合下列规定：

1 防水板宜采用易于焊接的防水卷材，厚度不应小于 1.0mm，接缝搭接长度不应小于 100mm。

2 无纺布密度不应小于 300g/m²。

3 无纺布不宜与防水板黏合使用。

9.2.2 隧道模筑混凝土衬砌应满足抗渗要求，混凝土的抗渗等级不宜小于 P8。

9.2.3 隧道模筑混凝土衬砌的施工缝、沉降缝、伸缩缝应采取可靠的防水措施。

9.2.4 当采用预制仰拱块时，仰拱块之间及其与现浇拱墙衬砌之间的接缝应设置可靠的止水构造。

9.2.5 仰拱块间及仰拱块与现浇隧底结构间的防水，宜采用在仰拱块上设置防水密封条的方式。防水密封条应满足在设计水压和接缝最大张开错位量下不渗漏的要求。

9.2.6 仰拱块与现浇拱墙衬砌混凝土间的防水，宜采用中埋遇水膨胀止水条方式。

9.2.7 明洞衬砌外缘应敷设外贴式防水层。明洞与暗洞连接处防水层接头应密封搭接。

9.3 管片衬砌防水

9.3.1 管片衬砌应采用防水混凝土，其抗渗等级不应低于 P10。

9.3.2 管片接缝防水设计应符合下列规定：

1 接缝应至少设置一道弹性密封垫。密封垫应在设计水压和接缝最大张开及错位下不渗漏。

2 密封垫宜采用三元乙丙橡胶或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，其压缩永久变形不应大于 25%。

3 密封垫沟槽的截面尺寸应与密封垫相匹配，沟槽截面积宜为弹性密封垫橡胶部分截面积的 1.0~1.15 倍。

4 管片内弧侧应预留嵌缝槽，并应采用密封材料嵌填。嵌缝槽深宽比不应小于 2.5，槽宽不宜小于 10mm，槽深不宜小于 25mm。

9.3.3 螺栓孔防水应符合下列规定：

1 螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽。

2 螺栓孔密封圈的外形应与沟槽相匹配。

3 螺孔密封圈应采用合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品。

9.3.4 注浆孔的注浆管密封圈和注浆管盖密封圈，应符合下列规定：

1 注浆管密封圈应在管片混凝土浇筑前固定在注浆管四周，单道或多道设置。

2 注浆管密封圈和注浆管盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。

9.3.5 管片衬砌与围岩间的空隙应采用豆砾石灌填、水泥砂浆或细石混凝土充填。注浆材料的强度及填充密实度应满足传递围岩压力和控制衬砌变形的需要。

9.3.6 当设计水头高度大于 60m 或环境保护要求高时，经技术经济比较，可采用排水型管片衬砌或增设内层模筑衬砌。

9.3.7 隧道管片衬砌与现浇混凝土衬砌的环缝宜采用遇水膨胀止水条、注浆防水等方式止水。

9.3.8 富水地层、高水压及断层破碎带，宜结合隧道稳定及防水要求，采用固结灌浆措施。

9.4 衬砌排水

9.4.1 复合式衬砌的排水设计应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)的有关规定。

9.4.2 采用预制仰拱块时,仰拱块内中心排水沟及顶部排水沟断面应满足隧道渗水、施工废水和掘进机循环设备用水的排出需要。

9.4.3 排水型管片衬砌应设置泄水孔或利用注浆孔进行排水。

征求意见稿

10 设备选型、组装与调试

10.1 一般规定

10.1.1 隧道施工前，应根据工程地质与水文地质条件、隧道设计参数、施工环境、工期及经济性等因素，对掘进机设备进行选型与配套设计。

10.1.2 掘进机选型应遵循技术先进、安全可靠、地质适应、经济合理、易于维护及节能环保的原则。

10.1.3 掘进机设备应具备掘进、出渣、支护、导向等基本功能，并根据地质条件和工程需要，配置超前地质预报、物料运输、通风除尘、有害气体监测、应急避险等辅助功能系统。

10.1.4 掘进机选型应按下列步骤进行：

1 根据地质条件、施工环境、工期及经济性等因素，对敞开式、单护盾、双护盾等机型进行综合比选。

2 根据隧道设计参数及地质条件，进行同级机型间结构、参数的比较，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的原则，确定后配套设备的技术参数与功能配置。

10.1.5 掘进机制造前，应由建设单位组织设计、施工、监理及设备制造等单位召开设计联络会，根据详细地质资料和施工要求，最终确定掘进机的设计参数、功能配置及技术要求。

10.1.6 掘进机的关键部件设计寿命应满足隧道掘进长度要求。主轴承、主驱动密封、大齿圈等核心部件的设计寿命不宜低于 15000 小时。

10.1.7 掘进机及后配套设备的现场组装、调试工作应编制专项施工方案，方案应包括组装场地布置、吊装设备选型、组装工艺流程、调试大纲、质量安全控制措施及应急预案等内容，并应按规定组织专家论证。

10.2 掘进机选型

10.2.1 掘进机机型及基本功能的选择，应基于第4章围岩掘进机施工适宜性评价结论，综合考虑下列因素：

- 1 隧道长度、线形、横断面尺寸、支护结构形式等设计参数。
- 2 围岩强度、完整性、磨蚀性、地应力、水文地质及不良地质条件等工程地质与水文地质因素。
- 3 交通运输、施工场地、水电供应、环境保护等施工环境条件。
- 4 施工总工期、节点工期要求及全生命周期成本。

10.2.2 选型时应重点分析岩石可掘性、开挖面及洞壁稳定性、断层破碎带规模、围岩收敛变形潜力及突涌水风险等制约掘进机施工性能的关键地质因素。

10.2.3 敞开式、单护盾、双护盾、多模式掘进机的主要适用地质范围宜符合表 10.2.3 的规定。

表 10.2.3 掘进机机型主要适用地质范围

掘进机级型	主要适用围岩级别	岩石单轴饱和抗压强度 R_c (MPa)	围岩主要特性
敞开式掘进机	II ~ III	50 ~ 150	岩体完整~较完整，自稳性好
双护盾掘进机	II ~ IV	30 ~ 90	岩体较完整，有一定自稳性，收敛变形小
单护盾掘进机	III ~ IV	5 ~ 60	岩体完整性较差，有一定自稳性，收敛变形较低
敞开式/护盾式掘进机	II ~ IV	5 ~ 150	岩石整体较完整~完整，但存在较长段落的软岩大变形、高地应力、断层破碎带等不良地质地层
单护盾/土压掘进机	III ~ IV	5 ~ 60	有一定自稳性的软岩地层，但存在较长段落的软土或者富水地层

10.2.4 不设置二次衬砌或采用现浇钢筋混凝土衬砌的隧道，宜选用敞开式掘进机。

10.2.5 当隧道穿越多种复杂地质条件，按表 6.2.3 得出的选型结论存在矛盾时，应进行专题研究。经技术经济综合比选，可考虑选用双模式掘进机或其他特殊机型。

10.2.6 掘进机设备配置应具有针对性，并符合下列规定：

- 1 敞开式岩石掘进机应配置钢拱架安装系统、锚杆钻机系统及混凝土喷射系统。
- 2 护盾式岩石掘进机应根据管片端面允许顶推力，合理设计推进油缸的推力与布局。
- 3 应针对工程可能遇到的断层破碎带、突泥涌水、岩爆等不良地质条件，配置或预留相应的超前物探、超前加固、应急支护等地质风险应对功能。
- 4 设备应配备必要的安全监控与报警装置，包括对有毒有害气体、火灾、关键部位

运行状态的监测。

5 对于高海拔、高寒、高地温或存在有害气体等特殊施工环境，应对设备进行相应的适应性设计或配置。

10.2.7 刀盘开挖直径应根据隧道净空断面、衬砌厚度、预留变形量以及施工误差等因素确定。

10.2.8 刀盘转速应根据围岩条件及刀盘直径等因素确定，并应符合下列规定：

- 1 刀盘最外周滚刀线速度不宜大于 3.5 m/s。
- 2 刀盘应具备低速点动功能，点动转速不宜大于 0.2 r/min。

10.2.9 刀盘扭矩应根据围岩条件、掘进机机型、结构及直径确定，并应符合下列规定：

- 1 应分别计算工作扭矩与脱困扭矩，脱困扭矩不应小于额定工作扭矩的 1.5 倍。
- 2 刀盘扭矩理论计算法可按式 10.2.9-1 计算：

$$T = \sum (f \times F_i \times R_i) + \sum T_m \quad (10.2.9-1)$$

式中：T —— 刀盘扭矩，单位为 kN·m；

f —— 滚刀滚动系数，一般取值 0.1~0.15；

F_i —— 滚刀额定承载能力，单位为 kN；

R_i —— 每把滚刀在刀盘上的回转半径，单位为 m；

T_m —— 摩擦扭矩，单位为 kN·m。

3 刀盘扭矩经验估算法可按式计算 10.2.9-2：

$$T = S_t \times D^2 \quad (10.2.9-2)$$

式中：D —— 刀盘直径，单位为 m；

S_t —— 扭矩系数，根据掘进机直径、围岩条件而异，一般取 $S_t \approx 60$ 。

10.2.10 刀盘驱动功率应根据刀盘扭矩、转速及传动效率确定，可按式 10.2.10 计算：

$$W = T \times \frac{n}{9550} \quad (10.2.10)$$

式中：W —— 驱动功率，单位为 kW；

T —— 理论扭矩，单位为 kN·m；

n —— 刀盘转速，单位为 r/min。

10.2.11 掘进机总推力应根据刀盘破岩推力、主机与洞壁的摩擦阻力、后配套拉力、坡

度等因素确定，并需储备一定的安全系数，同时应符合下列规定：

- 1 掘进机总推力可按式 10.2.11 计算：

$$F = K_1 \times (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5) \quad (10.2.11)$$

式中：F——掘进机总推力，单位为千牛（kN）；

K_1 ——储备系数，一般取 $K_1 = 1.1 \sim 1.5$ ；

F_1 ——岩石和护盾间摩擦阻力，单位为千牛（kN）；

F_2 ——拖动后配套系统产生的阻力，单位为千牛（kN）；

F_3 ——刀盘推力，单位为千牛（kN）；

F_4 ——鞍架与主梁导轨之间摩擦阻力，单位为千牛（kN）；

F_5 ——尾刷与管片间的摩擦力，单位为千牛（kN）。

注：敞开式岩石掘进机无需加 F_5 ，双护盾及单护盾岩石掘进机无需加 F_4 。

- 2 护盾式岩石掘进机的总推力设计应同时满足主推进模式（撑靴提供反力）和辅助推进模式（管片提供反力）下的推力需求。

- 3 护盾式岩石掘进机的总推力不得超过管片端面的允许顶推力。

10.2.12 刀具的选型和布置应根据围岩强度、磨蚀性、石英含量、隧道掘进长度及最小转弯半径等确定，并应符合下列规定：

- 1 中心刀、正滚刀和边滚刀的刀间距应满足高效破岩要求。
- 2 刀盘刀具宜采用背装式设计，刀具的安装轨迹半径偏差不宜大于 2 mm。

10.2.13 敞开式岩石掘进机的撑靴系统应能提供足够的支撑力与接地比压，确保在稳定围岩条件下不发生撑靴沉陷或滑移。在较软岩层中，接地比压不宜大于 3 MPa。

10.2.14 护盾式岩石掘进机的管片拼装机应具备管片的抓持、提升、平移、回转及精确定位功能，其自由度和工作范围应满足管片拼装工艺要求，并应符合下列规定：

- 1 制动装置应能可靠制动。
- 2 应具备有线、无线两种控制方式，两种控制方式间应能互锁，无线遥控有效控制范围应覆盖工作区域。
- 3 沿周向顺时针、逆时针旋转角度不应小于 200°。
- 4 当设有盾尾刷时，纵向行程应满足在隧道内至少更换一道盾尾刷的需要。
- 5 在断电情况下，真空吸盘式管片拼装机应能保证吸持管片的时间不小于 20min，且真空度不低于 80%。

6 采用机械锁固的抓取装置安全系数应不小于 1.5，非机械锁固的抓取装置安全系数应不小于 2.5。

10.2.15 掘进机导向系统应满足下列基本性能要求：

- 1 掘进机的最小水平转弯半径和最小竖曲线半径应满足隧道线路设计的要求。
- 2 系统应具备实时动态测量和显示掘进机姿态的功能。
- 3 应具备设计轴线管理、偏差报警及数据远程传输接口。
- 4 导向系统每 500m 人工复核一次，姿态预警阈值 $\pm 30\text{mm}$ 。

10.2.16 对于单洞掘进长度超过 10 km 的长距离隧道，掘进机设备应满足下列要求：

- 1 主轴承、主驱动密封、大齿圈等关键部件的设计寿命不宜低于 15000 小时。
- 2 宜采用全新的主轴承、主驱动电机、减速器等关键部件。
- 3 连续带式输送机的皮带仓容带量不宜低于 500 m。
- 4 高压电缆卷筒的有效工作长度不宜低于 300 m。
- 5 高压进线电压宜选用 20kV。
- 6 掘进机沿直径方向的扩挖量不宜小于 100 mm。
- 7 反坡排水总能力按最大涌水量 1.3 倍以上配置，隧道内应设置多级接力泵站。

10.2.18 掘进机宜具备一体化数字平台功能，并应符合下列规定：

- 1 宜配置同步采集掘进参数、超前地质预报数据及围岩变形监测数据的硬件接口与软件系统。
- 2 一体化数字平台所采集的各项数据，应具备统一的时间、空间基准及存储格式。
- 3 平台应具备数据实时上传、存储、查询及初步分析功能，并宜支持与项目信息化管理系统的无缝对接。
- 4 数据采集频率应满足实时监控需求，其中掘进参数采集频率不宜低于 1 次/秒。

10.3 特殊地质地段设备配置

10.3.1 当隧道穿越特殊地质地段时，应对掘进机进行针对性设计或配置。

10.3.2 穿越岩溶地段的全断面岩石掘进机设备配置，应符合下列规定：

- 1 应具备处理大型溶洞充填物的能力，如配置渣土改良系统、超前注浆等。
- 2 应配置超前地质雷达等物探设备，加强对前方溶洞的探测。
- 3 应配置应急支护材料和设备，以备处理揭露的溶洞。

10.3.3 穿越高地应力、软岩大变形地段的全断面岩石掘进机设备配置，应符合下列规

定：

1 敞开式岩石掘进机应采取措施增加撑靴面积或设置辅助推进系统，并应配置可快速安装的超前支护设备。

2 护盾式岩石掘进机宜采用较短的护盾，并应具备扩挖能力，沿直径方向扩挖量不宜小于 100 mm。

3 应配置围岩收敛实时监测系统。

4 岩爆地层应在掘进机上配置人员通道、元器件等的安全防护措施。

10.3.4 穿越断层、破碎带等软弱围岩地段的全断面岩石掘进机设备配置，应符合下列规定：

1 宜配置防卡盾措施及应急脱困系统。

2 应配置超前注浆、超前钻机等设备，具备通过刀盘或盾体进行超前注浆加固的能力。

3 刀盘、盾体等结构应具有较强的耐磨性。

4 敞开式岩石掘进机应配置应急喷混系统能力。

10.3.5 穿越富水、可能发生突泥涌水地段的全断面岩石掘进机设备配置，应符合下列规定：

1 主机应具备在额定水压下安全掘进和停机的能力，其电气系统防护等级应满足要求。

2 应配置超前探水、预报系统及高效的排水设备。

3 护盾式岩石掘进机应配置双道或多道盾尾密封，并配备盾尾密封油脂自动注入及压力监测系统。

4 应配置应急逃生设施。

10.3.6 在高地温环境中施工的全断面岩石掘进机设备配置，应符合下列规定：

1 应配置高效的制冷通风系统，制冷功率应满足施工环境温度需求。

2 液压系统、电气系统等应采取有效的隔热、冷却措施。

3 应配置环境温度及关键部件温度实时监测与报警系统。

10.3.7 在存在有害气体或放射性物质风险的地段施工时，全断面岩石掘进机设备配置应符合下列规定：

1 应配置有害气体（如 CH_4 、 H_2S 、 CO ）或放射性物质自动监测与报警系统。

2 电气设备应满足相应的防爆要求。

3 应配置应急通风设施和人员防护装备。

10.4 后配套设施配置

10.4.1 后配套设施应与主机掘进能力相匹配，满足连续、高效、安全的施工要求，其配置应包括出渣、物料运输、通风除尘、供电、照明、通信、给排水及安全监控等系统。

10.4.2 出渣系统应根据隧道长度、断面、坡度、掘进速度及渣土特性确定，并应符合下列规定：

- 1 宜采用连续带式输送机出渣。输送机应具备调速、纠偏、防撕裂、急停等功能，其皮带仓容带量应满足连续掘进要求，长距离隧道不宜低于 500 m。
- 2 采用有轨运输时，应合理确定列车编组、牵引方式及错车线布置，运输能力应有一定的富余。

10.4.3 物料运输系统应根据施工组织、隧道坡度等条件合理配置，满足管片（仰拱块）、钢拱架、锚杆、水泥、砂石等施工材料的运输需求，其运输能力应与掘进速度相匹配。

10.4.4 通风除尘系统应能提供充足的新鲜空气，将作业环境中有害气体和粉尘浓度控制在国家职业卫生标准以内，并应符合下列规定：

- 1 施工区域的风速不宜低于 0.5 m/s。
- 2 二次通风宜采用压、抽（含防尘）并用式。
- 3 应配置除尘风机，除尘效率不宜低于 95%。
- 4 长距离隧道应采取通风接力或风机串联措施。
- 5 应配置风速、风量及有害气体浓度监测装置。
- 6 应充分考虑有毒有害气体地层、高地温隧道的风量需求。

10.4.5 供电系统应安全可靠，其容量应满足所有设备同时工作的最大负荷需求，并应有一定的富余。长距离隧道高压进线电压不宜低于 20kV。

10.4.6 后配套应配置完整的照明、通信及给排水系统。通信系统应覆盖掘进机所有主要作业区域，并具备与洞外调度中心的无线通信能力。

10.4.7 安全监控系统应覆盖掘进机关键部位及作业区域，并应符合下列规定：

- 1 应配置视频监控系统，对主梁区、支护区、轨道铺设区、皮带机转载点等关键位置进行实时监控。
- 2 应配置手持式灭火器，宜配置火灾自动报警系统及灭火装置。
- 3 应配置紧急停车按钮和声光报警装置。

10.4.8 后配套设计应贯彻人性化原则，为操作和维修人员提供安全、舒适的工作环境，

并应设置必要的休息室、卫生间等生活设施。

10.5 设备运输

10.5.1 掘进机大件及关键部件从临时存放区运至组装场地前，应制定详细的场内运输方案，明确运输路线、车辆、加固措施及安全注意事项。

10.5.2 场内运输道路应平整、坚实，转弯半径和坡度应满足运输车辆及所载大件尺寸的要求，必要时应进行加固处理。

10.5.3 部件装运应符合下列规定：

- 1 不规则或重心偏移的部件应采取配重等措施保持运输平衡。
- 2 部件应与运输车辆可靠固定，防止在运输过程中发生移动、碰撞或倾覆。
- 3 对精密部件、外露加工面及液压电气接口应采取防雨、防尘和防碰撞的保护措施。

10.5.4 运输过程中应设置醒目的警示标志，并应有专人引导和监护。

10.5.5 部件运抵组装场地后，应按组装顺序和场地规划有序存放，并采取防倾倒、防滑移措施。

10.6 设备组装

10.6.1 全断面岩石掘进机采用洞外组装时，采用洞外组装时场地范围应满足 TBM 主机及后配套大件卸车、存放、翻身、组装的工序需求；；采用洞内组装时，组装洞断面应在满足设备运输通道限界的基础上，重点保障吊装净空要求。

10.6.2 全断面掘进机组装施工前，应进行以下准备工作：

- 1 应由设备制造单位与施工单位联合成立组织机构，做好职责分工，并完成相关人员的技术交底及培训。
- 2 应编制专项组装方案，并组织专项评审后方可执行。
- 3 安装区域地面结构强度应满足掘进机大件设备运输、安装和存放要求。
- 4 吊装设备选择和安装后应经检验合格方可投入使用。
- 5 应制定组装材料、配件、工具供应计划。
- 6 应制定组装安全措施和应急预案。
- 7 洞外组装时，应考虑防寒、防冻、防雷、防雨等措施。
- 8 洞内组装时，应考虑照明、防火、通风、排水等措施。

10.6.3 设备组装应遵循先主机、后后配套，先机械、后液压电气，先单件、后系统的总体顺序，主机组装前应绘制场地布置图，各部件按规划位置有序存放。

10.6.4 刀盘现场拼装应符合下列规定：

- 1 刀盘拼装应在具有防风 and 保温功能的独立区域内进行。
- 2 待连接处及周边 100mm 范围内的油漆、锈蚀应打磨干净。
- 3 刀盘分块连接螺纹孔装配前应使用清洗剂清洗，并检查螺纹有无损伤。
- 4 刀盘工地拼装时，掘进面宜朝上，刀盘法兰平面度不应大于 5mm。
- 5 连接螺栓应分三次预紧：第一次按预紧力的 50% 紧固，第二次按 80% 紧固，第三次按 100% 紧固。
- 6 分块刀盘对接处公差及连接面间隙应符合设计要求。与主驱动连接的法兰面连接处公差不应大于 0.2mm。

10.6.5 刀盘现场焊接应符合下列规定：

- 1 焊接部位施焊前应预热至 100℃~150℃，预热区宽度不应小于焊件厚度的 2 倍且不小于 100mm。
- 2 应选用合理的焊接参数，采用多层多道焊。所有焊缝不应在拐角处起弧及收弧。
- 3 多层多道焊各层道相连接的部位应相互错开 30mm 以上。
- 4 焊后应对焊缝进行缓冷保温。
- 5 刀盘焊接完成后应进行无损探伤检测，质量应符合现行国家标准《金属材料熔焊质量要求》GB/T 12467 的有关规定。

10.6.6 机械件、连接件和重要接触面组装应符合下列规定：

- 1 主机重要部件连接螺栓、高强度螺栓及垫片安装前应进行清洗、去毛刺。
- 2 设备制造单位应提供螺栓紧固力矩表，螺栓拧紧时应按照力矩表操作。

10.6.7 液压系统组装应符合下列规定：

- 1 液压系统不应使用棉纱擦洗管接头和外露的阀平面。
- 2 系统安装前应对各元件逐个进行检查和试验，未经试验的元件不应投入装配。
- 3 软管布置应井然有序、分层布置，软管悬空的位置应安装托架，软管弯曲半径不应超过最小允许值。
- 4 安装的测量仪表应经过检验校对。
- 5 应确保所有堵头、管密封和塑料帽随着安装进程逐步拆除，保持清洁。

10.6.8 电气系统组装应符合下列规定：

- 1 电缆敷设前应对电缆进行检查，合格后按设计图纸敷设，遵循先长后短的原则。
- 2 电缆敷设应不与液压管路、水路和气路干涉。
- 3 动力电缆与控制电缆在桥架内应分开敷设。
- 4 相对移动的机械部件之间的电缆，应在两者之间预留适当长度；电缆不应承受挤压力和拉力。
- 5 高压电缆应单独敷设，转弯处用管夹固定。
- 6 所有电机在接线前，应测试绝缘电阻。保护性导体（PE）应连接可靠。

10.6.9 后配套拖车、连接桥、连续皮带机等系统的组装，应严格按照制造单位提供的图纸和说明书进行，确保各部件连接牢固、管线布置正确、通道畅通。

10.6.10 组装过程中，应对每一步的关键尺寸、配合间隙、安装精度进行测量和记录，形成完整的组装过程质量控制文件。

10.7 设备调试

10.7.1 掘进机组装完成后，应对各系统及整机进行调试，宜先调试分系统再调试整机，过程中应详细记录各系统运行参数。

10.7.2 调试前应制定详细的调试方案，分系统进行调试。调试的主要内容应包括外观检查、功能测试、技术性能测试等。

10.7.3 电气系统调试应包括电路检查、分项用电设备空载调试、分项用电设备加载调试、各设备急停按钮调试、控制系统调试等。

10.7.4 液压系统调试应包括空载和加载时液压泵和液压管路的调试、加载时执行机构的运行调试。

10.7.5 单项设备调试完成后，应进行整机联合调试。整机调试分为空载调试和负载调试。

10.7.6 空载调试完成后，应在试掘进阶段进行负载调试。负载调试应符合下列要求：

- 1 电气系统采用“先高压，再动力，后控制”的顺序，依次检查各高压柜带电指示标志。送电顺序按照各级电压等级从上到下依次合闸。
- 2 液压系统应进行液压管路和阀组的检查。依次启动各泵站，观察运行状态。
- 3 系统运行过程中，应根据程序设计的相互联动和联锁功能，依次进行试验检测。
- 4 分系统调试应包括主驱动、推进、密封、物料运输等系统调试。

10.7.7 调试过程中应做好相应记录。当测试数据超过标准值时，应查找原因并进行处

理，直至所测数据达到规定范围内。

10.7.8 设备的各项性能指标应符合掘进机技术要求，确认各设备安装无误、调试合格后，方可开始掘进机的步进或始发掘进。

10.8 设备验收

10.8.1 掘进机设备验收应包括出厂验收、工地组装调试验收和试掘进验收三个阶段。

10.8.2 掘进机应在设备制造完成、工厂总装调试后进行出厂验收。出厂验收应对设备的设计符合性、制造质量、关键部件性能及整机空载运行状态进行检查和测试，并应符合本标准第 10.2 节的相关技术要求。

10.8.3 出厂验收前，应根据设备采购合同、设计文件及相关标准编制详细的验收大纲，明确验收项目、标准、方法及判定依据。验收大纲应经采购方确认。

10.8.4 出厂验收的主要项目应包括：

- 1 刀盘驱动系统：包括驱动形式、电机、主轴承、密封及润滑系统的检查与空载测试。
- 2 推进系统：包括推进油缸、撑靴油缸等部件的规格、数量及动作测试。
- 3 液压系统：包括泵、阀、管路等元件的检查及系统压力、动作测试。
- 4 电气系统：包括变压器、配电柜、变频器、控制系统及安全保护装置的检查与功能测试。
- 5 导向系统：包括相关传感器、显示单元的初步功能验证。
- 6 支护系统（如适用）：如管片安装机、钢拱架安装器等机构的空载动作测试。
- 7 整机外观、结构尺寸、焊接质量及随机技术文件、质量证明文件的完整性检查。

10.8.5 验收过程中发现的问题，应由制造单位整改并经采购方或监理方确认。所有验收项目合格后，方可签署出厂验收证书。

10.8.6 工地组装调试验收应在设备运输至施工现场并组装调试完成后进行。验收应由施工单位组织，设备制造单位、监理单位、建设单位等共同参加，并应依据设备采购合同、设计文件、专项组装调试方案及相关标准执行。

10.8.7 盾体结构验收应符合下列规定：

- 1 掘进机盾体的外径、长度等主要尺寸应符合设计要求。
- 2 盾体表面应平整，无明显变形或损伤。

10.8.8 刀盘系统验收应符合下列规定：

1 刀盘连接高强度螺栓的规格、数量及紧固扭矩应符合制造厂家的设计要求；采用焊接连接时，焊缝质量应符合设计及相关标准规定。

2 刀盘应进行空载运行测试，各挡速正、反向运行时间均不应少于 15 分钟，各减速机及传动部分应无异常响声或过热现象。

3 集中润滑系统应进行流量和压力测试，确保各润滑点供油正常。

4 所有刀具应安装牢固，无松动；滚刀刀圈、刮刀等硬质合金部分应焊接可靠，无裂纹。

10.8.9 支护系统验收应符合下列规定：

1 钢拱架安装器、管片拼装机等支护设备应进行空载和负载测试。

2 空载测试时，各执行部件的行程、角度、速度等应达到设计要求，系统工作压力应正常。

3 负载测试时，设备动作应运行平稳，定位准确，停止稳定，各导向部件安装精准，系统压力应稳定。

10.8.10 主驱动与推进系统验收应符合下列规定：

1 主驱动单元、推进油缸等应进行空载和负载动作测试。

2 运行应平稳，无卡滞、爬行现象，压力和位移反馈应准确。

10.8.11 出渣系统验收应符合下列规定：

1 主机皮带机、连续皮带机等应进行空载和负载运行测试。

2 运转应平稳，无跑偏、异常振动和响声，张紧及纠偏装置功能正常。

10.8.12 液压系统验收应符合下列规定：

1 液压泵站、阀组、管路及执行机构应工作正常。

2 压力、流量应稳定，无外泄漏。各液压缸动作应同步、平稳。

10.8.13 电气与控制系统验收应符合下列规定：

1 通电前应进行绝缘测试，合格后方可送电。

2 各配电柜、操作台、传感器、执行器等应工作正常，控制逻辑准确。

3 急停、联锁保护功能应有效。

10.8.14 安全与辅助系统验收应符合下列规定：

1 通风、除尘、供水、排水、消防、有害气体监测、视频监控、通信等系统应功能完好。

2 各系统性能应符合设计要求。

10.8.15 导向与测量系统验收应符合下列规定：

- 1 导向系统应安装正确，并进行初步校准和功能测试。
- 2 数据显示应准确、稳定。

10.8.16 试掘进验收应在设备完成初始段（宜为 50m~100m）试掘进后进行，并应符合下列规定：

- 1 应检验设备各系统在负载条件下的技术性能、协调性与稳定性。
- 2 应验证掘进参数与地质条件的适应性，以及掘进指标是否符合预期。
- 3 应检验支护系统的及时性与质量。
- 4 应评估出渣、运输、通风、供电等辅助系统的匹配性与保障能力。
- 5 应确认导向系统精度、数据采集与信息化管理系统的有效性。

10.8.17 各阶段验收应符合下列规定：

- 1 应对照设备技术要求及合同约定，对关键项目和参数进行实测。当测试数据或性能表现不符合要求时，应查明原因，由责任方进行整改，并重新测试直至合格。
- 2 应形成真实、准确、完整的书面验收报告。报告内容应包括验收依据、参与单位及人员、验收项目与方法、测试数据与结果、存在问题与处理意见、验收结论等。
- 3 验收报告应由参与验收各方代表共同签署确认，并作为工程重要资料存档备查。

10.8.18 掘进机设备须在出厂验收、工地组装调试验收和试掘进验收均合格后，方可投入正式掘进施工。

11 施工准备

11.1 一般规定

11.1.1 采用全断面岩石掘进机法施工的公路隧道，开工前应完成系统、全面的施工准备工作。施工准备应遵循技术先行、资源保障、安全环保、动态调整的原则。

11.1.2 施工准备工作应包括施工前调查、技术准备、设备准备、材料准备、施工场地与临时设施建设、供应系统准备以及安全与防灾准备。

11.1.3 施工前应进行安全风险评估，并应同步搭建项目信息化管理平台，配置远程监控系统。

11.1.4 施工前应建立测量复核体系，并进行测量方案设计，其精度与方法应满足隧道贯通误差要求。

11.1.5 施工场地布置、临时设施及风水电供应系统应在掘进机进场组装前完成，并满足设备组装、调试及试掘进的需求。

11.1.6 施工准备工作应编制详细的实施计划，明确责任与时限，并与掘进机的设计、制造、运输等环节紧密衔接。

11.1.7 施工准备阶段应对工程影响范围内建（构）筑物、地下管线及生态环境开展排查，并制定专项保护措施。

11.2 施工前调查

11.2.1 隧道施工前，应针对施工现场及施工环境进行详细调查，调查完成后应根据调查情况编写书面调查报告。

11.2.2 施工前调查应包括下列内容：

- 1 工程基本情况、区域气候、工程地质与水文地质、工程重难点。
- 2 沿线地面建（构）筑物、地下管线的位置、类型、产权及现状。
- 3 对外运输、施工用水、施工用电、通信、弃渣场及征地拆迁条件。
- 4 当地原材料、预制构件的产能、质量及价格。

- 5 区域交通运输能力、装卸及运维条件。
- 6 当地生活配套、医疗防疫、民俗及社会治安情况。
- 7 区域生态保护要求及工程环境影响防控要点。
- 8 当地劳动力、常规施工设备资源情况。
- 9 高海拔、严寒、酷热等特殊气候条件对施工的影响。

11.2.3 应对掘进机及大型构件运输路线进行实地踏勘，核查道路净空、转弯半径、桥梁荷载及沿线障碍物，编制大件专项运输方案。

11.2.4 应根据调查成果，绘制施工总平面布置图。

11.3 技术准备

11.3.1 技术准备应在正式施工前完成，其内容应包括设计文件核对、实施性施工组织设计编制、专项施工方案制定、测量准备及技术培训等。

11.3.2 应对设计图纸、技术标准、地质勘察报告等设计文件进行全面核对，并参加设计技术交底；应重点核查隧道平纵断面、支护参数、地质条件、不良地质处置措施及与结构衔接关系等。

11.3.3 应在施工调查和设计文件核对的基础上，结合工程特点、合同工期及现场条件，编制实施性施工组织设计，并应按规定履行审批程序。

11.3.4 应针对掘进机组装与调试、始发与到达、特殊地质段掘进、维修作业、设备转场等关键工序和重大风险源，编制专项施工方案，必要时组织专家论证。

11.3.5 应根据测量方案设计，完成洞外控制网的复测与加密，并建立洞内施工测量控制系统。

11.3.6 应建立完善的技术管理体系，对管理人员和作业人员进行全面的技术交底和岗前培训，培训内容应包含设备操作规程、施工工艺、质量标准及应急预案。

11.3.7 应完成施工所需的各种记录、报表、证书等格式的设计与准备，并建立技术档案管理制度。

11.4 材料准备

11.4.1 应根据施工组织设计、材料消耗定额及施工进度计划，编制详细的材料需求与供应计划。

11.4.2 材料准备应包括下列主要内容：

- 1 工程主材：包括水泥、砂石骨料、钢材、防水材料、管片/仰拱块等。
- 2 支护材料：包括锚杆、钢筋网、钢拱架、喷射混凝土用外加剂及纤维等。
- 3 掘进消耗品：包括刀具、油脂、液压油、滤芯、皮带等。
- 4 注浆材料：包括水泥、粉煤灰、膨润土、外加剂及豆砾石等。
- 5 其他辅助材料：包括轨枕、钢轨、风水管、电缆、照明器材等。

11.4.3 进场材料应具有完整质量证明文件，并按规定进行抽样检验，检验合格后方可使用。

11.4.4 管片、仰拱块等预制构件，应提前考察并确定生产厂家，全过程管控生产、运输及存放质量。

11.4.5 应规划并建设材料仓库、堆放场地及必要的加工车间。场地应平整、硬化、排水畅通，不同材料应分区、分级、分规格存放，标识清晰。

11.4.6 刀具、油脂、液压油等关键消耗品应建立合理的储备定额和安全库存，确保连续施工不受影响。

11.4.7 易燃、易爆、有毒及特殊管控材料应设立专用库房，并应符合消防安全及仓储规定。

11.5 施工场地布置

11.5.1 施工场地布置应遵循因地制宜、节约用地、方便施工、保证安全、保护环境的原则，并满足掘进机组装、始发、掘进、出渣、管片/仰拱块运输及设备维修等全过程的作业需求。

11.5.2 施工场地主要功能区应包括但不限于：掘进机组装区、始发井（洞）口作业区、管片/仰拱块存放区、渣土临时堆放与处理区、材料存放与加工区、设备维修保养区、办公生活区以及风水电供应站等。

11.5.3 场地布置应符合下列规定：

- 1 场内宜设置贯通式施工道路，道路宽度、坡度、转弯半径应满足大型车辆通行要求，并应做硬化及排水处理。
- 2 管片、仰拱块存放场地地基承载力应满足要求，应采用专用堆放架，堆放层数应符合产品要求。
- 3 渣土临时堆放场应设置挡护和覆盖设施，容积应满足渣土中转需求。

4 危险品库房应独立设置，并应远离明火区、办公区及主干道。

5 办公生活区应与生产作业区保持安全距离。

11.5.4 施工场地应设置完善的排水系统，并与区域排水系统合理衔接。低洼及雨季场地应增设防洪排涝设施。

11.5.5 施工场地布置完成后应出具正式施工总平面图。

11.5.6 始发井（洞）口区域应进行专项布置，确保掘进机主机、后配套拖车、通风管路、供电电缆、进出人员与物料运输等作业空间互不干扰，安全有序。

11.6 施工临时设施

11.6.1 临时设施建设应包括施工围挡、临时房屋、加工棚、沉淀池、化粪池、消防设施、防洪设施及安全警示标志等，建设标准应符合安全、卫生、环保规定。

11.6.2 所有临时设施应在隧道开工前建成，产能应满足施工高峰期需求。

11.6.3 临时设施的地基基础应满足承载力要求，不满足时应进行地基处理。

11.6.4 临时设施的特种设备选择应符合安全要求。设备安装完成后，应进行试运行，并由技术质量监督部门进行质量验收，合格后方可启用。

11.6.5 严寒及寒冷地区洞外临时设施应采取防寒、保温措施。

11.6.6 临时设施应设置安全标识标牌。

12 施工掘进

12.1 一般规定

12.1.1 全断面掘进机正式掘进前应进行试掘进，试掘进长度宜为 300m。试掘进期间应完成设备磨合、掘进参数确定、人员操作培训及施工工艺验证等工作。

12.1.2 敞开式岩石隧道掘进机始发应设置始发洞及始发导台，护盾式岩石隧道掘进机始发应设置始发导台和反力架。始发导台应符合设计要求，反力架强度及刚度应根据设备自重、摩擦力及围岩条件综合确定。

12.1.3 全断面掘进机始发前应根据掌子面围岩及掌子面与刀盘的密贴情况，选择始发掘进参数。

12.1.4 公路隧道全断面掘进机法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。

12.1.5 公路隧道全断面掘进机法掘进过程中，应监测和记录全断面掘进机运转情况、掘进参数、出渣量，并应及时分析和反馈，动态调整掘进及支护参数。

12.1.6 全断面掘进机施工运输组织应安全、合理、高效、流畅。出渣运输、物料运输、人员运输应分别制定安全规程，隧道内交通导流信号及标识应设置合理。

12.1.7 掘进机操作人员应经过专业培训，熟悉设备性能、操作规程和应急预案，经考核合格后方可上岗，严禁无证操作。

12.2 始发与试掘进

12.2.1 全断面掘进机步进方式可采用应平底步进、步进机构+导向槽步进、弧形槽+导向轨步进，长距离步进宜采用平底步进。

条文说明

平底步进：步进洞施作完成仰拱，掘进机盾体下方设置步进机构，利用顶升油缸和平移油缸相结合的方式实现掘进机步进。

步进机构+导向槽步进：步进段设置 300×300mm 导向深槽，实现导向限位。

弧形槽+导向轨步进：底板设置与护盾匹配弧形槽，槽内铺设预埋钢轨，减小行进摩擦。

12.2.2 全断面掘进机步进前，应完成下列准备工作：

- 1 步进路线应清理、平整、压实，地基承载力应满足步进要求。
- 2 步进轨道、滑靴或导台应铺设完成并验收合格。
- 3 步进反力装置应安装牢固，其强度、刚度和稳定性应经计算验证。
- 4 步进所需的液压、电气系统应连接并调试完成。
- 5 应对预备洞净空进行测量，确保满足掘进机步进要求。

12.2.3 全断面掘进机步进应符合下列规定：

- 1 步进时应缓慢、平稳，并应安排专人全程监护设备及周边围岩状态。
- 2 应将超前钻机、锚杆钻机及钢拱架安装器等附属设备的支撑油缸收回并锁定。
- 3 应监测掘进机姿态，发现偏移应及时纠偏。
- 4 步进轨排应连接牢固，并应及时复核步进中线。

12.2.4 全断面掘进机始发前，应进行始发条件验收，验收合格后方可始发掘进。始发条件验收应包括下列主要内容：

- 1 始发洞、始发导台、反力架等始发设施的结构尺寸、强度、刚度和安装精度。
- 2 洞门密封系统（如设置）的安装质量及密封性能。
- 3 掘进机各系统调试完成状态。
- 4 施工测量控制系统的建立与复核情况。
- 5 专项施工方案、应急预案、监测方案及技术交底情况。
- 6 人员、材料、设备等资源配置情况。

12.2.5 护盾式岩石隧道掘进机始发时，洞门密封应能承受最大注浆压力，并应在始发前完成密封系统的安装与调试。始发过程中，应通过控制推进油缸使掘进机沿设计轴线推进，管片脱出盾尾后应及时进行壁后回填。

12.2.6 全断面掘进机始发掘进时，掘进参数宜按较低值控制，并应密切观察设备状态和出渣情况。初始掘进速度、刀盘转速、推力和扭矩等参数应根据设备性能、掌子面围岩条件及刀盘密贴情况选择，并逐步调整至正常范围。

12.2.7 全断面掘进机始发后，应进行试掘进。试掘进阶段应完成下列工作：

- 1 检验整机及各系统负载运行性能。
- 2 确定适配现场地质的标准掘进参数。

3 验证出渣、支护、运输配套系统的匹配性。

4 完成操作人员实战培训及考核。

12.2.8 试掘进过程中，应连续监测并记录掘进机机械、电气、液压等系统运转状况及掘进参数、出渣情况、地质变化等。

12.2.9 试掘进完成后应编制总结报告，并应明确设备适应性、参数取值、问题及整改措施。

12.3 正常掘进

12.3.1 进入正常掘进阶段后，应结合地质条件、线路参数、监控量测及试掘进成果确定标准掘进参数，并根据围岩变化动态优化。

12.3.2 敞开式岩石隧道掘进机正常掘进时，应符合下列规定：

1 应利用自身支撑机构撑紧洞壁提供掘进反力与反扭矩。完成一个掘进行程后，应下放支腿，移动撑靴至新的位置，完成换步。

2 应及时安装仰拱块。安装前应清理拱底虚渣，确保基底平整；安装后应立即进行螺栓连接，并对块体底部与围岩间的空隙进行回填。可采用注浆孔注浆以消除错台、保证密贴。

12.3.3 护盾式岩石隧道掘进机正常掘进时，应符合下列规定：

1 单护盾掘进机应以已拼装管片作为反力支撑，通过推进油缸顶推管片前进。掘进与管片拼装作业应交替进行。

2 双护盾掘进机应根据围岩条件选择掘进模式：当围岩完整、稳定，能使撑靴提供足够摩擦力时，应采用撑靴撑紧洞壁的“主推模式”，并可实现掘进与管片拼装同步；当围岩破碎、撑靴无法提供有效支撑时，应采用将推进油缸支撑于管片的“辅推模式”。

12.3.4 正常掘进期间，应进行严格的掘进导向与轴线控制，并应符合下列规定：

1 应每日校验自动导向系统的测量精度。

2 应持续比对隧道实际轴线与设计轴线。

3 应依据姿态偏差平缓纠偏。

3 每掘进 100m 或导向系统存疑时，宜采用人工测量复核轴线。

12.3.5 掘进过程中应实施全面的施工记录与信息化管理，并应符合下列规定：

1 应系统记录掘进参数、出渣量及性状、设备各系统运行状态、地质情况等信息。

2 应及时分析记录数据，评估掘进效率、设备状态与围岩稳定性，并用于动态调整

后续施工参数。

3 当出渣量持续偏离理论计算值，或关键掘进参数出现异常波动时，应暂停掘进，分析原因并采取应对措施。

12.3.6 长距离掘进时，应制定详细的刀具检查与更换计划，并严格执行。

12.3.7 多模式掘进机掘进模式切换应符合下列规定：

1 敞开式/护盾式掘进机：岩石整体较完整~完整段落宜采用敞开式模式掘进，进入较长段落的软岩大变形、高地应力、断层破碎带等不良地质地层，宜切换为护盾模式掘进，并由锚喷支护转换为拼装管片支护。

2 单护盾/土压掘进机：在有一定自稳性的软岩地层宜采用单护盾模式掘进，进入到较长段落的软土或者富水地层时，可切换为螺旋机出土的土压模式。

12.4 姿态控制

12.4.1 全断面掘进机掘进过程中，应通过导向系统对掘进机姿态进行连续、实时监测与控制，确保其推进轴线在设计允许偏差范围内。

12.4.2 掘进机姿态控制应符合下列规定：

1 掘进机在平曲线段和竖曲线段掘进时，应提前计算并输入导向系统，并应根据曲线要素、管片/仰拱块宽度及拼装方式等，制定相应的姿态控制与纠偏方案。

2 纠偏操作应遵循“勤纠、缓纠”的原则，避免在单环掘进中进行大幅度、急骤的调向。

3 护盾式掘进机在曲线段掘进时，应充分考虑管片拼装对盾尾间隙和推进油缸行程差的影响，防止盾尾与管片发生干涉。

12.4.3 当掘进机姿态偏差接近或超过设计允许值时，应立即分析原因，并制定专项纠偏方案。纠偏方案应包括原因分析、纠偏目标、具体措施、监测频率和应急预案等内容。

12.4.4 采用敞开式掘进机施工时，可通过调整撑靴区域支护强度、使用侧向支撑油缸等方式辅助进行姿态调整。

12.4.5 采用护盾式掘进机施工时，可通过调整分区推进油缸的推力与行程差进行姿态调整。调整过程中应严格控制油缸压力，避免损坏已拼装管片。当偏差较大需安装楔形管片时，应确保管片选型与拼装位置正确。

12.4.6 应定期复核导向系统测量基准，传感器、靶标移位后应重新校准。

12.5 特殊地质地段掘进

12.5.1 全断面掘进机在穿越特殊地质地段前，应符合下列规定：

- 1 应依据超前地质预报成果，预判特殊地质范围与风险等级。
- 2 应编制专项施工方案，方案包含地质风险评估、超前处治措施、设计参数、掘进参数调整、配套设备材料、全过程监测及突发事件应急预案。

12.5.2 超前处治应根据围岩条件采取预加固的措施，并应符合下列规定：

- 1 破碎带或护盾上方围岩不稳定地段，宜采用超前管棚或超前小导管注浆预加固。
- 2 节理裂隙发育的岩层，可采用超前锚杆预加固。
- 3 注浆材料可选用水泥浆、水泥-水玻璃双液浆、化学浆液，高压富水断层可配套地面定向钻孔分段前进注浆工艺。
- 4 超前处治工序全部完工后，应开展围岩完整性、涌水量、支护密闭性专项效果检查验收，验收合格后方可恢复 TBM 掘进。

12.5.3 通过岩溶地段施工时，应符合下列规定：

- 1 应遵循“以排为主，截、堵、排、防相结合”的原则。
- 2 应加强超前地质预报，探明溶洞规模、位置、填充物及水文情况。
- 3 小型溶洞宜在掘进机通过后采用混凝土或砂浆回填。中型溶洞溶洞，敞开式掘进机可采用超前注浆封堵，护盾式掘进机应对底部溶腔先回填混凝土再安装管片。
- 4 大型溶洞宜采用钻爆法预处理后，掘进机步进通过。
- 5 应配备大功率排水设备，制定防突泥涌水应急预案。

12.5.4 通过高地应力地段施工时，应符合下列规定：

- 1 应布设岩爆监测系统进行实时预警。
- 2 轻微岩爆地段，应采取超前应力释放孔、掌子面高压喷水软化卸压；中等及以上岩爆地段，应采取超前钻孔注水压裂、预裂爆破释放弹性应变能。
- 3 当发生弱~中等岩爆时，应采取调整掘进参数、刀盘喷水、及时支护等措施。
- 4 当发生强烈及以上岩爆时，应立即停机，并采取水平定向钻应力释放、加强支护等措施后再掘进。
- 5 敞开式掘进机应加强钢架、钢筋网等柔性支护；护盾式掘进机可考虑采用具有抗冲击能力的管片。

12.5.5 通过断层破碎带及节理密集段施工时，应符合下列规定：

- 1 应加强超前地质预报，准确探明断层性质、宽度、填充物及富水性。

2 敞开式掘进机应缩短掘进循环进尺，及时施作系统锚杆、钢筋网、钢架等支护，必要时可采用超前管棚、注浆等方式预加固。

3 护盾式掘进机应降低掘进速度与推力，加强盾体姿态监测，防止卡盾。管片拼装后应及时进行壁后注浆，必要时可进行二次补浆。

4 应加强洞内排水，防止掌子面涌水、坍塌。

5 经超前注浆、管棚加固后，仍无法安全掘进时，可采用钻爆法预处理后 TBM 步进通过。

12.5.6 通过富水破碎带或可能发生涌水突泥地段时，应以“超前探水、预注浆堵水、加强排水”为主要处治原则，并应符合下列规定：

- 1 宜采用超前水平钻探探水并提前泄水降压。
- 2 可根据涌水量、静水压力实施超前预注浆堵水固结围岩。
- 3 护盾式掘进机应确保盾尾密封系统完好，并备足应急密封材料。
- 4 应制定详细的逃生预案，设置必要的应急避险设施。

12.5.7 通过存在有毒有害气体地段施工时，应符合下列规定：

- 1 应遵循“有疑必探、先探后掘”的原则，加强超前探测。
- 2 应在刀盘后方、除尘风口、渣土转载点等关键位置设置自动监测报警装置。
- 3 应加强通风管理，确保洞内空气质量。瓦斯隧道严禁明火作业，刀盘应加强喷水。
- 4 监测气体浓度超标时，应立即停机、撤人、加强通风，并查明原因。
- 5 应配备个人防护装备和应急救援设施。

12.5.8 通过高地温地段施工时，应符合下列规定：

- 1 应加强地温、水温监测。
- 2 应采取加强通风、喷雾洒水、设置隔热层等综合降温措施，改善作业环境。
- 3 应选用耐高温的混凝土、防水及支护材料。
- 4 对高温热水，应采取“以堵为主，限量排放”或“集中引排”的原则进行处理，排水管应采取隔热措施。

12.5.9 冻土区域掘进应符合下列规定：

1 高含冰量冻土地段应选择冬季开挖，开挖面及设备应采用厚度不小于 100mm 聚氨酯保温层。

2 挖基土与泥浆应及时运至指定弃渣场，运输过程应采用封闭车厢。

12.5.10 对超硬岩洞段，可采取下列施：

- 1 对滚刀材料、刀刃宽度和布置间距以及刀具防磨蚀措施进行专题研究。
- 2 采取辅助破岩手段。

12.6 施工运输

12.6.1 全断面掘进机施工运输系统应包括出渣运输、物料运输和人员运输，其运输能力应与掘进能力相匹配。

12.6.2 出渣运输应符合下列规定：

- 1 应根据隧道长度、断面、坡度、掘进速度及渣土特性，选择有轨运输、无轨运输或带式输送机运输方式。
- 2 长隧道宜设置中间转载或错车系统。
- 3 渣土运输过程中应采取防洒落措施。
- 4 采用矿车有轨运输时，应定期检查轨道状态，并设置可靠的防溜车装置。

12.6.3 物料运输应符合下列规定：

- 1 管片、仰拱块、钢轨、管道、支护材料等物料的运输，应制定专门的装卸、固定与运输方案。
- 2 运输车辆或列车应配备专用的固定支架或夹具，防止物料在运输过程中移位、碰撞或损坏。
- 3 物料运输应与出渣运输统筹协调，减少相互干扰。

12.6.4 人员运输应符合下列规定：

- 1 应采用符合安全标准的专用人员运输车辆，严禁人货混装。
- 2 运输车辆应配备充足的照明、通信和安全防护设施。
- 3 应制定明确的运输时刻表与调度规则，人员上下车应在指定站点有序进行。

12.6.5 隧道内应建立统一的交通管理与调度系统，并符合下列规定：

- 1 应设置清晰、完整的交通信号、标识、标线和照明。
- 2 应规定各级车辆的行驶速度、会车与超车规则。
- 3 关键路段、交叉口或工作面附近应设专人进行交通指挥与协调。

12.6.6 运输系统的所有操作人员应经过培训，熟悉运输路线、设备性能和安全规程。应定期对运输设备进行维护保养，确保其处于良好工作状态。

12.7 掘进机卡机脱困

12.7.1 掘进机卡机高风险地层施工前应编制分级卡机脱困专项方案及应急物资储备清单。

条文说明

炭质泥岩、断层破碎带、强蚀变软岩、挤压大变形地层为掘进机卡机高风险地层。

12.7.2 掘进机卡机按护盾包裹围岩挤压程度、整机移动阻力可划分为轻度卡机、中度卡机、严重卡机三级，并应符合下列规定：

1 轻度卡机：推进油缸满行程推力仍无法前进，但刀盘可正常低速转动；护盾周边局部围岩挤压接触，无大面积抱死，围岩日收敛量 $<5\text{mm}$ 。

2 中度卡机：刀盘转动阻力显著超标、频繁过载报警，推进系统持续憋压；护盾 1/2 以上环向与围岩紧密挤压，围岩日收敛量 $5\sim 10\text{mm}$ ，无突涌水、大面积坍塌。

3 严重卡机：刀盘完全抱死无法转动，推进油缸无有效行程；护盾全环被围岩抱死，围岩日收敛量 $>10\text{mm}$ ，伴随掌子面坍塌、涌泥突水、支护开裂变形。

12.7.3 掘进机卡机处置应遵循“先卸压、再加固、后分步脱困掘进”总体工艺流程，处置全过程应同步开展围岩收敛、护盾受力、洞内涌水实时监测，当变形速率超过预警值时应立即暂停脱困作业，并采取补强地层处置措施。

条文说明

不同级别卡机的脱困可参考下列标准化工艺流程。

(1) 轻度卡机标准化脱困工艺流程

1) 停机管控：立即停止掘进，保持刀盘低速点动间歇运转，切断主推进动力，锁定撑靴（敞开式）/管片推进油缸（护盾式）。

2) 护盾周边卸压：利用盾体预留径向注浆孔、侧向泄压孔注入清水或稀释浆液，软化护盾与围岩间挤压充填物，释放地层挤压应力；敞开式同步收回单侧撑靴，局部释放围岩约束力。

3) 局部超前扩挖：通过刀盘周边超前钻机施作 $3\sim 5\text{m}$ 径向扩挖孔，清除护盾上下、两侧挤压浮渣、炭质泥岩软弱充填体，释放护盾外部约束空间。

4) 分步试掘进脱困：泄压扩挖完成后，采用低推力、低贯入度模式分段推进，单次推进行程控制 $\leq 100\text{mm}$ ，每步推进后停机监测围岩收敛，确认无再次卡机趋势后方可正常恢复掘进。

5) 永久预加固：脱困完成后沿隧道拱部施作长锚杆/径向注浆圈，控制后续围岩挤压

变形，规避二次卡机。

(2) 中度卡机标准化脱困工艺流程

1) 整机停机隔离：整机完全停机，切断主驱动、推进系统动力，设置洞内安全警戒，撤离非作业人员；实时监测护盾应力、围岩收敛、洞内涌水量。

2) 多层应力释放：

盾体环向分层泄压，沿护盾拱顶、两侧、底部分段开设泄压孔，分段注水软化挤压围岩，分批次释放环向挤压力；掌子面应力释放，刀盘预留孔施作应力释放孔，高压喷水软化掌子面炭质泥岩、破碎岩体，降低刀盘旋转阻力。

3) 护盾外围超前注浆加固+扩挖：

拱部 120° 范围施作 15~20m 超前小导管/管棚注浆，形成上部承载加固拱，防止扩挖过程围岩持续坍塌挤压护盾；分层扩挖护盾四周抱死岩体，单侧扩挖径向预留不小于 100mm 变形间隙，及时喷射纤维混凝土封闭裸露围岩。

4) 交替脱困推进：完成单侧卸压扩挖后，单侧撑靴/分区油缸小推力分步顶推，左右侧交替脱困，单次推进行程 $\leq 50\text{mm}$ ，同步监测盾体姿态，防止偏载卡盾。

5) 全环地层补强：脱困贯通后实施全环径向注浆，增设可缩性钢架、加长系统锚杆，降低后续大变形卡机风险。

(3) 严重卡机标准化脱困工艺流程

1) 应急避险与停机防护：立即切断整机所有动力，组织人员从专用应急通道撤离至后方安全洞室；封堵掌子面、盾尾，设置截排水系统，防控突泥涌水淹没设备。

2) 洞外/后方辅助预处理：

条件允许时从隧道后方横洞、平行导洞钻穿护盾外侧，实施深部泄压注浆；盾体后方 3~5 环范围施作径向固结注浆，加固后方围岩，防止脱困过程后方围岩持续变形挤压盾尾。

3) 护盾全环分段钻爆扩挖（受控弱爆破）：

沿护盾环向分上、左、右、底 4 个分区，采用浅孔弱爆破，单孔装药量严格控制，避免震动损毁护盾壳体、主驱动；爆破后人工配合机械清除抱死破碎炭质泥岩、断层充填物，每分区扩挖完成立即喷锚封闭围岩，预留 $\geq 150\text{mm}$ 径向变形间隙。

4) 分步渐进脱困：分区扩挖全部完成后，采用最小额定推力间歇推进，每前进 30mm 停机，复测护盾受力与围岩变形，变形超标立即停止并补做地层加固。

5) 长期综合治理脱困段：脱困完成后，该段全环采用加强型复合衬砌/加厚配筋管片，增设深层锚索，建立长期收敛监测断面。

12.7.4 迂回导洞辅助脱困工艺的选择应符合下列规定：

1 当出现严重卡机，盾体全环抱死、掌子面持续大变形或突涌水，采用盾体径向泄压、超前注浆、洞内局部扩挖方案均无法实现脱困时，应采用迂回导洞辅助脱困工艺。

2 当地层为厚层炭质泥岩、宽大富水断层、强挤压破碎带，围岩持续收敛且常规扩挖风险极高时，可提前规划迂回导洞作为备用脱困通道。

条文说明

迂回导洞脱困可参考下列标准化工艺流程。

(1) 整机断电锁机，人员撤离至卡机后方安全区域，封闭盾尾，设置多级集水坑与大功率应急排水泵。

(2) 对卡机段后方主洞围岩实施径向注浆加固，防止开挖导洞时主洞围岩失稳、加剧护盾抱死。

(3) 布设自动化收敛、水压监测系统，同步监测主洞护盾受力与导洞开挖扰动变形。

(4) 从主洞后方稳定围岩处开挖第一条联络横通道，光面弱爆破，循环进尺 $\leq 0.8\text{m}$ ，开挖完成立即初支封闭。

(5) 沿主洞外侧平行开挖绕行主通道，平行段长度覆盖卡机盾体前后各1倍洞径范围。

(6) 在护盾拱顶、两侧、底部分别开挖多条侧向支洞，直达护盾外侧抱死围岩区域，形成多点作业工作面。

(7) 从侧向支洞向护盾外围破碎炭质泥岩、断层充填体施作深孔泄压孔，分阶段释放环向挤压应力。

(8) 拱部 180° 范围实施分段前进式注浆，水泥-水玻璃双液浆封堵涌水、固结松散岩体，形成外围承载加固圈。

(9) 清除护盾与围岩间全部挤压充填物，径向预留不小于 150mm 永久变形间隙，全程边扩挖边喷锚封闭围岩。

(10) 护盾四周扩挖、注浆加固全部验收合格后，收回全部撑靴/松开分区推进油缸，消除外部抱死约束。

(11) 采用最小推力间歇式试前进，单次行程 $\leq 30\text{mm}$ ，每一步完成后，从侧向支洞复核盾体四周间隙与围岩变形。

(12) 出现局部再次挤压卡阻时，立即停机，由侧向支洞补挖泄压、二次注浆加固，禁止强行顶推。

(13) TBM 整机完全驶出卡机段后, 对所有侧向支洞、联络横通道采用 C20 混凝土密实回填封堵。

(14) 原卡机全段实施全环深层径向注浆, 配套加长可缩性钢架、锚索加强衬砌, 控制后期围岩大变形。

(15) 拆除导洞配套临时排水、注浆设备, 清理洞内渣土, 恢复主洞正常施工物流通道。

12.7.5 用于卡机脱困的迂回导洞设计应符合下列规定:

- 1 迂回导洞应设于卡机段后方稳定围岩区并平行主洞布设, 导洞与主洞净距不宜小于 1.5 倍开挖直径。
- 2 迂回导洞可分联络横通道、绕行主通道、盾体侧开挖支洞三段, 联络横通道与主洞轴线夹角宜采用 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$;
- 3 迂回导洞净宽不宜小于 2.5m, 净高不宜小于 3.0m, 应满足小型钻机、注浆设备、出渣车辆通行, 盾体侧支洞断面可根据护盾扩挖需求加宽加高。
- 4 迂回导洞底板应低于主洞底板不小于 0.2m。
- 5 迂回导洞全段应采用锚网喷+临时钢架加强支护, 破碎富水段应增设超前小导管预注浆。

12.7.6 掘进机卡机高风险地层施工时, 配套保障应符合下列规定:

- 1 TBM 出厂应预留盾体径向泄压孔、超前注浆孔、护盾周边扩挖钻机安装接口, 穿越炭质泥岩、宽大断层前配齐注浆设备、弱爆破机具、应急排水设备。
- 2 洞内应储备水泥、水玻璃双液浆、纤维喷射混凝土、加长锚杆、应急钢板护盾、排水泵等脱困专用材料, 储备量应满足单次严重卡机处置需求。
- 3 卡机脱困专项方案应组织专家论证, 洞内应设置有毒有害气体、围岩坍塌实时报警装置及有限空间作业的持续通风检测。
- 4 各级卡机处置全过程应记录卡机参数、监测数据、注浆工艺、扩挖尺寸、脱困推进参数, 并应形成专项处置报告纳入工程竣工资料。

12.7 掘进机接收

12.7.1 距隧道贯通 300m~500m 前, 应进行掘进机掘进姿态与隧道轴线复核。

12.7.2 掘进机接收前应根据实际围岩地质情况确定推进速度, 宜控制在 10mm/min~30mm/min。最后 20m 掘进段, 应采取低速度、小推力的掘进参数, 并及时进

行支护或回填灌浆。

12.7.3 掘进机接收前应先施工接收洞室，接收洞室长度宜为 10m~20m；洞口接收宜提前加固洞口段边仰坡。接收洞室应设置刀盘翻身区、设备拆机区、装车运输区，并安装吊装设备。

12.7.4 护盾式掘进机接收段，为防止管片在失去后盾推力后产生松弛导致环缝张开，应设置管片纵向拉紧装置。

12.7.5 接收前应增加洞内监测频次，并及时反馈监测结果。

征求意见稿

13 衬砌及防排水施工

13.1 一般规定

13.1.1 全断面掘进机法隧道衬砌及防排水施工，应遵循动态设计、信息化施工的原则，根据工程地质与水文地质条件、掘进进度、监控量测反馈及设计要求，及时调整施工工艺与参数。

13.1.2 衬砌及防排水施工前，应完成下列准备工作：

- 1 应熟悉设计文件，进行技术交底，并完成专项施工方案的编制与审批。
- 2 所用原材料、构配件及防水材料应进行进场检验，其品种、规格、性能应符合设计要求及相关产品标准的规定。
- 3 施工机具、设备应配置齐全，状态良好，其能力应与施工计划相匹配。

13.1.3 二次衬砌宜与初期支护同步施工，当平行导洞TBM成洞段作为物料运输通道时，也可滞后施工。

条文说明

同步衬砌施工条件：当隧道净空断面足够大，足以容纳物料运输车辆、连续皮带机、通风管道及专用衬砌台车等全套设备；同时，配套高效的出渣系统以消除物流干扰，并采用高度集成的专用同步衬砌台车，在保障自身强度的同时为其他设施预留空间并解决走行与浇筑等技术难题。

衬砌滞后施工条件：在围岩破碎、软弱等稳定性差的区段，需优先快速完成初期支护以控制变形，二衬作为安全储备须待围岩变形稳定后再施作，必要时可充分利用围岩自承能力适当延后；同时，如隧道断面过小导致无法协调物流组织，或双护盾TBM等特定机型的同步衬砌技术尚不成熟。同时，滞后施工作为传统方案，其施工组织简单、技术风险可控，在缺乏充分论证和把握时，应优先选择这一稳妥路径，而非盲目追求工艺创新

13.1.4 全断面掘进机法隧道二次衬砌施工前应完成防水施工，二次衬砌钢筋安装时应加强对防水层的保护。

13.1.5 衬砌及防排水施工应进行全过程质量控制，关键工序和隐蔽工程应经验收合格后方可进入下道工序，并应形成完整、真实的施工记录。

13.1.6 衬砌及防排水施工除应符合本规程规定外，尚应符合现行《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660 的相关规定。

13.2 初期支护施工

13.2.1 敞开式岩石隧道掘进机施工的初期支护施工应及时、有效，并与掘进速度相匹配。

13.2.2 型钢拱架施工应符合下列规定：

- 1 型钢拱架应在围岩脱出盾尾之后及时支护。
- 2 型钢拱架应全环设置，每环单元连接板应设加劲肋，并采用双面焊满焊。
- 3 首榀型钢拱架安装前，应精确测量定位，并应精确置于仰拱块底肋中线。首榀型钢拱架应设置环向等间距锚杆进行固定。
- 4 型钢拱架安装前，应清除仰拱块及岩壁表面虚渣与杂物。
- 5 型钢拱架应垂直于隧道轴线，并紧贴岩壁安装。其横向位置及高程偏差均不应大于 50mm，倾斜度偏差不应超过 2° 。
- 6 钢拱架与围岩间的间隙应采用喷射混凝土或垫块填实。

13.2.3 钢筋网施工应符合下列规定：

- 1 钢筋使用前应调直并清除锈蚀和油渍。
- 2 钢筋网宜在初喷混凝土前安装，并随受喷岩面起伏铺设，与初喷面的间隙不宜大于 50mm。
- 3 撑靴及以下部位钢筋网宜在撑靴通过后安装。
- 4 不良地质段采用双层钢筋网片时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被初喷射混凝土覆盖后再进行安装。

13.2.4 系统锚杆施工应符合下列规定：

- 1 锚杆钻孔宜采用 TBM 主机配备的锚杆钻机施作。
- 2 钻孔深度应大于锚杆杆体长度不小于 5m，钻孔直径应大于杆体直径不小于 15mm。
- 3 锚杆与岩壁的夹角应以钻机打设角度为准，宜径向布置，其垂直偏差宜不大于 20° 。
- 4 垫板与岩壁之间的空隙应用锚固剂或砂浆填塞密实。
- 5 位于撑靴投影范围内的锚杆，宜在撑靴通过后进行施工。

13.2.5 喷射混凝土施工应符合下列规定：

- 1 正式喷射前，应进行现场试喷作业。

- 2 盾尾揭露形成的空腔，应先实施应急喷射混凝土封闭，再复喷至设计厚度。
- 3 喷射混凝土的生产能力应与 TBM 掘进速度相匹配，确保支护及时性。
- 4 喷射作业应分段、分片、自下而上进行，复喷最小厚度不宜小于 50mm。
- 5 喷射混凝土终凝后应及时养护。

条文说明

1 现场试喷作业是为了确定与掘进速度相适应的施工配合比、最佳工艺参数，同时检验设备运行性能及管路密封性，并测定喷射混凝土与岩面的粘结效果及一次喷射厚度。

13.3 防排水施工

13.3.1 复合式衬砌防水层施工应符合下列规定：

- 1 防水层铺设前，应进行基面处理，清除尖锐物，确保基面平整，初支表面平整度应符合 $D/L \leq 1/10$ 的要求。
- 2 防水层应铺设平顺，与基面密贴，不得有绷紧、褶皱等侵限现象。
- 3 防水板接缝应采用热熔焊接，搭接宽度不应小于 100mm，焊接应牢固、严密。焊接完成后应进行充气检查。

条文说明

- 1 D 为相邻两凸面间凹进去的深度，L 为相邻两凸面间的距离。

13.3.2 复合式衬砌施工缝、变形缝防水施工应符合下列规定：

- 1 施工缝、变形缝的防水构造应严格按设计要求施作，所用止水带、止水条的品种、规格、性能应符合设计要求。
- 2 中埋式止水带应位置准确、固定牢靠，混凝土浇筑时不得发生位移、扭曲。其安装径向位置允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$ ，纵向位置允许偏离中心 $\pm 30\text{mm}$ 。
- 3 遇水膨胀止水条应牢固安装在预留槽内，接头搭接长度不应小于 50mm，混凝土浇筑前不得浸水。
- 4 变形缝处的嵌缝密封材料应填充密实，与混凝土粘结牢固。

13.3.3 复合式衬砌排水应符合下列规定

- 1 反坡排水时，宜根据纵坡、水量和设备排水能力设置集水坑、管路和泵站，一次或分段接力排出洞外。
- 2 掘进机掘进前，应安装排水泵、排水管，并配置备用应急排水泵、应急排水管、应急电源，排水泵总排水能力宜为最大涌水量的 1.3 倍。

- 3 排水管路规格型号应与掘进机管路相配套。管路应敷设平顺，接头严密、不漏水。
- 4 反坡排水系统宜配套 PLC 自动控制系统实现排水过程的智能化管理。
- 5 仰拱块内中心排水沟及顶部排水沟断面，应满足隧道中渗水、施工废水和掘进机循环设备用水的排出需要，排水沟应每月清理。
- 6 寒区隧道排水沟系统宜采用清污分离设计，并在洞口保温段范围内采取主动保温措施。
- 7 洞口段保温段长度范围内设置中心深埋水沟、防寒泄水洞、洞外暗沟，并顺接端部保温出水口。

13.3.4 仰拱块接缝防水应符合下列规定

- 1 遇水膨胀止水条应于仰拱块起吊装运前或安装就位前完成安装。
- 2 止水条应按设计位置嵌入预留槽内，并与槽底及槽壁紧密贴合，不得发生偏位、翘起、鼓包或架空。
- 3 宜采用环氧树脂胶或氯丁胶粘剂均匀涂刷于预留槽内，也可采用卡具辅助固定，固定点间距不宜大于 300mm。
- 4 止水条接头部位应采用对接或搭接方式，搭接长度不应小于 50mm，搭接面应涂刷粘结剂并压实。
- 5 在转角或异形部位，止水条不得出现尖锐弯折，宜采用弯弧过渡，并应适当增加固定点。

13.3.5 复合式衬砌排水系统施工应符合下列规定：

- 1 环向、纵向排水盲管应位置准确，安装牢固，环向盲管应与纵向盲管连通，纵向盲管坡度应与隧道纵坡一致。
- 2 横向排水盲管应以三通与纵向排水盲管连接，其端部插入仰拱块预留横向排水通道内的长度不应小于 10cm。
- 3 环向施工缝防水，在边墙和拱部除铺设防水材料外，另外宜采用三道防水措施。
- 4 沉降缝防水，在拱部和边墙除铺设防水材料外，宜采用四道防水措施。
- 5 排水盲管不得侵占二次衬砌结构空间。
- 6 中心排水沟、路侧边沟的断面尺寸、纵向坡度及结构形式应符合设计要求，保证排水通畅，并应定期清理，防止淤堵。

13.3.6 管片衬砌接缝防水施工应符合下列规定：

- 1 管片接缝密封垫应安装到位、压缩均匀，其性能应在设计水压和接缝最大张开错

位下满足不渗漏的要求。

- 2 螺栓孔密封圈应安装正确、密实，不得遗漏、外露。
- 3 管片内弧侧预留的嵌缝槽，应按设计要求采用密封材料嵌填密实。

13.4 二次衬砌施工

13.4.1 二次衬砌施作时机应根据监控量测结果确定。当位移速率有明显减缓趋势、水平收敛速率小于 0.2mm/d 或拱顶下沉速率小于 0.15mm/d 、已产生的位移量达到总位移量的 90% 以上，且初期支护表面裂缝不再发展时，方可进行二次衬砌施工。

13.4.2 钢筋安装应符合下列规定：

- 1 现场钢筋安装应采用专用定位卡具对钢筋位置进行精确定位。
- 2 仰拱块两端进行凿毛处理，并涂刷与衬砌混凝土同配合比的水泥砂浆，或涂刷专用界面处理剂。
- 3 预制仰拱块两端预留植筋孔道内应插入深度不小于 22cm 直径为 20mm 的连接钢筋，并用胶粘剂固定牢固。
- 4 钢筋端部宜采用土工布或专用保护套进行包裹。
- 5 钢筋焊接时，应在防水板与焊接点之间设置阻燃挡板。

13.4.3 预埋件安装应符合下列规定：

- 1 预留洞室宜采用定型组合钢模板。
- 2 箱形模板宜按洞室净空尺寸制作成内小外大的喇叭口形式，并较设计尺寸各边增加 50mm 。
- 3 预埋件开口弧度应与衬砌台车模板弧面精确匹配，并紧贴台车面板。
- 4 预埋箱体附近浇筑混凝土时，应严格控制振捣操作角度。

13.4.4 模板台车应符合下列规定：

- 1 衬砌模筑混凝土施工宜优先采用无轨步进式液压调节衬砌台车，应有足够的强度、刚度和稳定性，能承受混凝土浇筑的各项荷载。
- 2 模板台车结构尺寸应准确，各种伸缩构件、液压系统、电气控制系统运行应良好。
- 3 模板台车应设置作业窗口，窗口间距纵向不宜大于 3m ，横向不宜大于 2.5m 。
- 4 模板台车支撑桁架门洞净空应满足施工设备通行要求，各层平台高度应满足施工作业要求。
- 6 台车挡头模板应采用可重复使用且能同时固定止水带的定型模板，并应便于安装

与固定。

7 同步衬砌台车门架结构设计应综合考虑连续皮带机出渣、物料运输、施工通风、风水电管线铺设及衬砌作业空间等因素，并宜设置皮带运输减震装置及偏压减载系统。

8 衬砌台车定位前，应依据 TBM 成洞段的实测轴线及高程数据进行拟合计算。

13.4.5 衬砌混凝土施工应符合下列规定：

1 浇筑前，应检查输送管道布置、输送泵接头、脱模剂涂刷、施工缝处理及基仓清理等。

2 混凝土应采用输送泵送料入模、均匀布料，入模温度应控制在 $5^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$ 。

3 混凝土浇筑之前应采用同配合比水泥砂浆、水泥浆或洁净的清水润湿管道。

4 运输途中发生离析的混凝土，不得加水重新拌和，应加入同水灰比的水泥砂浆并快速进行二次搅拌。

5 首罐混凝土运至浇筑地点后，应测试其坍落度和扩展度，并按现行相关标准留取混凝土试件。

6 浇筑时宜采用附着式和插入式振捣相结合的方式，振捣应密实，不得扰动预埋件和防水层。

13.4.6 混凝土养护应符合下列规定：

1 混凝土拆模后，应立即开始养护，并应同时采取保温与保湿相结合的养护措施。

2 混凝土拆模后，应及时进行洒水养护，且养护时间不应少于 7d。

3 当混凝土中掺加引气剂或引气型减水剂时，其养护时间不应少于 14d。

4 寒区混凝土养护期间，其内部温度与环境温差不得超过 20°C ，且不得直接对负温混凝土表面洒水养护。

5 高寒地区宜采用智能化洒水养护技术替代传统洒水养护方式。

6 混凝土养护宜采用恒温恒湿蒸养台车，也可采用往返喷淋跟养台车进行喷淋养护。

13.5 管片结构施工

13.5.1 管片结构施工应包括管片进场验收、运输、拼装、连接及壁后注浆等工序。

13.5.2 管片进场验收应符合下列规定：

1 管片生产过程的资料应齐全。

2 应按进场量的 10% 抽查管片实体质量，以无损检测为主，检测应符合现行《盾构隧道管片质量检测技术标准》CJJ/T 164 的规定。

3 管片外观质量、尺寸偏差应符合设计要求及现行《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 的规定。

13.5.3 管片防水密封材料粘贴质量检查合格后方可进入隧道安装，防水密封材料应按 500 环为一个批次进行检测。

13.5.4 管片运输与堆放应符合下列规定：

1 管片宜采用内弧面向上平放或单片侧立方式分类码放；平放超过六层或侧立超过四层时，应进行受力验算。

2 管片存放及装车运输时，层间应采用带橡胶垫的楔形方木或垫木隔开，各层支承点应位于同一水平面，且各层垫木应与下层支垫物保持在同一垂直线上。

3 管片存放超过 6 个月时，应采取防裂、防冻等保护措施。

4 管片表面应在显著位置标注构件编号、生产日期、合格状态及生产单位等信息。

5 管片应在混凝土强度达到设计强度后方可运输，宜采用 MSV 多功能胶轮车等矮平板车运输。

13.5.5 管片拼装前应做好下列准备工作：

1 拼装人员应熟悉管片排列位置、拼装顺序。

2 应检查管片防水密封条及前一环管片环面质量。

3 拼装前应检查管片拼装机、推进千斤顶、管片吊机及相关电气、液压系统性能良好及作业区域安全。

4 封顶块安装前，应在侧面涂抹润滑剂。

5 管片防水密封材料及传力衬垫应在地面粘贴完成，管片就位前应清理表面，并检查吊装孔预埋位置及封堵盖的完好性。

6 拼装前应确认盾构机姿态稳定，并控制推进液压缸的行程与压力。

7 管片选型应根据隧道设计轴线和上一环管片姿态综合确定，明确本环管片的类型、组合方式及拼装位置。

8 封顶块安装前，应在两侧接触面涂抹润滑剂。

13.5.6 管片拼装作业应符合下列规定：

1 拼装时，拼装机作业范围内不得有人和障碍物。

2 应严控推进油缸的压力和伸缩量，保持掘进机姿态符合拼装要求。

3 管片应逐片初步拧紧连接螺栓，脱出盾尾后应再次拧紧。连接螺栓紧固力矩应符合设计要求。

- 4 曲线段管片拼装时，管片环向定位应准确，管片中线应与隧道中线一致。
- 5 单环管片拼装完成后，应及时用辅推油缸将管片顶紧或紧固好螺栓。
- 6 首块管片定位应严格控制，确保其与上一环管片在同一平面，且管片与盾壳间隙控制在允许偏差范围内。

7 封顶块拼装前，应确认两侧邻接块管片间距大于设计值 $0.5\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ 后，方可进行安装。

- 8 千斤顶活塞伸出应保持同步均匀，严禁顶力分布不均，以防管片出现结构性裂缝。

13.5.7 管片拼装完成后，应及时对管片背后空隙进行充填注浆，并应符合下列规定：

1 注浆浆液宜选用单液浆或双液浆(如水泥-水玻璃)，其抗压强度宜为 $1\text{MPa}\sim 5\text{MPa}$ 。松散软弱地层宜取 $1\text{MPa}\sim 2\text{MPa}$ ，岩石层不宜超过 5MPa 。

2 注浆压力应根据地质条件和水土压力变化动态调整，不宜超过被注浆部位水土压力 0.15MPa ，且管片壁后注浆压力不宜超过 0.5MPa ，施工中宜控制在 $0.2\text{MPa}\sim 0.5\text{MPa}$ 。

3 注浆速度应与盾构掘进速度同步。

4 注浆应优先采用管片预留注浆孔。采用双液浆时，注浆孔与盾尾之间的距离不宜小于 5 环。

5 充填注浆宜在管片脱出盾尾 3 环~5 环内进行。

6 应先充填豆砾石，再注入砂浆对豆砾石进行固结。

7 注浆应饱满、密实，填充体强度及抗渗性能应满足设计要求。

8 注浆质量检测宜采用地质雷达扫描或打开注浆孔放水试验等方法。

9 经检查注浆效果不能满足要求时，应及时进行补强注浆。

14 附属洞室施工

14.1 一般规定

14.1.1 附属洞室施工前，应根据地质条件、洞室规模及施工方法，编制专项施工方案，应组织专家论证，并应包括下列内容：

- 1 洞室断面尺寸、结构形式及支护参数。
- 2 施工方法与工艺流程。
- 3 围岩监测方案与控制指标。
- 4 安全措施与应急预案。

14.1.2 附属洞室宜选择在围岩较完整、较稳定段落，且无地下水影响的地段。当位于不良地质地段时，应采取加强支护、超前加固或改变洞室位置等措施。

14.1.4 附属洞室采用钻爆法施工时，其开挖及支护方式应符合现行《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的有关规定。

14.1.5 附属洞室与主隧道的连接段应平顺过渡，其支护与衬砌结构应与主隧道协调，并应做好连接处的防排水处理。

14.2 始发洞室施工

14.2.1 始发洞室施工前应做好下列准备工作：

- 1 完成洞门坐标及高程的复测与放样。
- 2 始发导台施工或安装就位，其位置允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ 。
- 3 掘进机已组装、调试完毕并通过验收。

14.2.2 始发洞室施工应符合下列规定：

- 1 始发洞室长度宜按 TBM 主机长度加 5m 确定，其断面宜采用马蹄形。
- 2 撑靴影响段初期支护应采用模筑混凝土结构，其径向净空尺寸应较开挖直径大 100mm；其余段初期支护宜采用锚网喷结构，径向净空尺寸应较开挖直径大 500mm。
- 3 撑靴部位围岩承载力不应小于撑靴设计最大接地比压的 2 倍。

4 始发洞室开挖宜采用光面爆破，以减少围岩扰动，维护围岩完整性。

5 TBM 步进基面应为钢筋混凝土基面，要求基面平顺，平整度不应大于 10mm；导向槽的宽度和深度允许偏差应为+50mm，且直线段应线形顺直，曲线段应线形圆滑；

6 始发洞室步进基面应采用钢筋混凝土仰拱结构。

14.2.3 始发洞室施工完成后，应对所有净空进行断面测量验收，确保满足掘进机步进通过要求。

14.2.4 护盾式掘进机始发洞室的底部应设置导向台，导向台的定位应准确、牢固。反力架（墙）端面与盾尾距离不应大于 0.5 倍管片环宽。

14.2.5 始发洞室附近应预留掘进机步进机构拆除与存放空间。

14.2.6 始发洞室与主隧道连接段的支护应与主隧道协调，连接应平顺，并应做好防排水处理。

14.3 拆机洞室施工

14.3.1 拆机洞室施工前应做好下列准备工作：

- 1 拆机洞室施工应编制安全专项施工方案，并按规定组织专家论证。
- 2 完成接收洞室及接收导台的施作。
- 3 吊装设备已安装完成并通过验收，检修设备、工具齐备。
- 4 完成洞内测量导线复核及掘进趋势分析，调整贯通误差。

14.3.2 拆机洞室应根据需要设置刀盘翻身区、设备拆机区、装车运输区，并安装吊装设备。

14.3.3 拆机洞室的高度应根据刀盘直径、起重设备起升高度、刀盘顶部至吊点距离等因素综合确定。

14.3.4 拆机洞室的宽度应根据刀盘直径、起重设备最大宽度及其两侧安全距离等因素综合确定。

14.3.5 拆机洞室采用钻爆法施工时，应加强围岩支护，保证洞室在掘进机到达前及接收过程中的稳定。

14.3.6 拆机洞室施工完成后，应进行断面测量验收，确保净空尺寸满足掘进机接收要求。

14.3.7 洞口接收时，应提前加固洞口段边仰坡，并做好洞门密封或防水措施。

14.3.8 护盾式掘进机接收段，应设置管片纵向拉紧装置，防止管片环缝张开。

14.4 横洞施工

14.4.1 横洞施工前，应根据地质条件、横洞与主洞的交角及断面变化情况，编制专项施工方案。方案应包括交叉口段的支护加强措施、施工工序及防排水措施等内容。

14.4.2 横洞与主洞交叉口施工应符合下列规定：

- 1 附属横洞与主洞交叉口处进行初期支护加强措施。
- 2 横洞开挖宜在主洞初期支护完成并稳定后进行。
- 3 横洞开挖宜采用弱爆破或机械开挖，减少对主洞结构的影响。
- 4 横洞采用钻爆法开挖时，应采取分部分块开挖。

14.4.3 横洞施工时，应加强围岩变形及主洞结构的监测，发现异常应及时调整施工方案并采取加固措施。

14.4.4 横洞施工期间，应采取措施保护 TBM 连续皮带机等附属设施，避免其受到干扰或损坏。

15 超前地质预报与监控量测

15.1 一般规定

15.1.1 公路隧道全断面岩石掘进机施工应开展超前地质预报与监控量测工作，做到安全适用、技术先进，为动态设计和信息化施工提供依据。

15.1.2 超前地质预报应以对掘进机工作影响最小为原则，以地质综合分析为主导，采用地质调查与物探相结合、长短距离探测相结合、洞内与洞外相结合、物探与超前钻探相结合的综合预报方法，并相互验证。

15.1.3 监控量测应纳入施工工序管理，及时掌握围岩和支护结构的动态，判断围岩的稳定性和支护结构的可靠性，并应将监控量测数据与超前地质预报信息、掘进机掘进参数进行综合分析和反馈。

15.1.4 超前地质预报与监控量测实施前，应编制专项方案或实施细则，针对于突发安全事故，应有应急监测预案。实施过程中应遵循动态预报原则，根据地质条件变化和施工揭示情况，实行动态设计和信息化施工。

15.1.5 超前地质预报与监控量测工作应积极推进新技术、新设备、新方法的应用，并宜建立信息化管理系统，实现数据采集自动化、信息共享实时化、决策反馈智能化。

15.2 超前地质预报

15.2.1 公路隧道全断面岩石掘进机施工应开展超前地质预报，并应重点预报断层破碎带、富水带、岩溶、软弱地层、高地应力、有害气体和高地温等不良地质及重大工程地质问题。

15.2.2 施工前应根据工程地质与水文地质条件、地质复杂程度、掘进机类型、预报作业空间及施工干扰等，编制超前地质预报方案和实施细则，明确预报重点、方法组合、循环衔接、成果时限和处置流程。

15.2.3 超前地质预报应以地质分析为基础，采用地质调查、物探和超前钻探等方法进行综合预报，并坚持长短距离结合、洞内洞外结合和多种方法相互验证。

15.2.4 施工中应连续采集和分析推进力、刀盘扭矩、刀盘转速、贯入度、掘进速度、刀盘振动、岩渣特征、出渣量和涌水量等信息，结合地质编录开展岩机响应分析，识别掘进面前方地质异常。

15.2.5 超前地质预报成果应与监控量测、现场地质核查和设备状态信息综合判释，进行地质风险预警，并及时用于调整掘进参数、支护参数、支护时机和超前处治措施。

15.2.6 当预报成果、掘进参数或监控量测数据出现异常，或预报结论与实际揭示地质明显不符时，应及时反馈并加密预报，必要时采用超前钻探核查。

15.2.7 存在突涌水（泥）、塌方、卡机等重大风险时，应停止掘进，查明地质条件并采取处治措施后方可恢复施工。

15.2.8 应及时将开挖揭示情况与预报结论进行对比验证，动态优化后续预报方案。

15.2.9 预报成果报告应包括预报范围、采用方法、综合判释结论、风险提示、处治建议及验证情况。

15.3 监控量测

15.3.1 隧道施工监控量测应纳入施工工序管理，并根据掘进机机型、支护形式、地质条件和周边环境等因素，确定监测项目、测点布设和监测频率。

15.3.2 监控量测必测项目应符合下列规定：

- 1 敞开式岩石掘进机法施工的隧道，必测项目应包括围岩及初期支护的拱顶下沉、水平收敛。
- 2 护盾式岩石掘进机法施工的隧道，必测项目应包括管片衬砌的竖向位移、水平位移和净空收敛。

15.3.3 隧道施工过程中，应根据监控量测的相关信息，实行动态设计和信息化施工。

15.3.4 在特殊地质地段施工时，应根据地质特点增加相应的监测项目，并应符合下列规定：

- 1 高地应力岩爆地段，应增加围岩内部位移、锚杆轴力、岩爆微震监测。
- 2 高地温地段，应增加洞内环境温度、围岩温度及支护结构温度监测。
- 3 富水地段，应增加涌水量、水压力监测。
- 4 存在有害气体地段，应增加洞内有害气体浓度监测。

15.3.5 敞开式岩石掘进机法施工的隧道，拱顶下沉测点应在布点里程出露护盾后及时进行布设并编号，水平收敛测点应在通过撑靴后及时布设并编号。护盾式掘进机施工时，

隧道结构位移、净空收敛监测应在衬砌环脱出盾尾且能通视时进行。

15.3.6 监测频率应根据监测对象的变形量和变形速率确定，并应符合下列规定：

- 1 变形速率大于 5mm/d 时，监测频率不应少于 2 次/d。
- 2 变形速率在 1mm/d~5mm/d 时，监测频率不应少于 1 次/d。
- 3 变形速率在 0.5mm/d~1mm/d 时，监测频率宜为 1 次/(2d~3d)。
- 4 变形速率在 0.2mm/d~0.5mm/d 时，监测频率宜为 1 次/3d。
- 5 变形速率小于 0.2mm/d 时，监测频率宜为 1 次/7d。

15.3.7 当位移速度无明显下降、实测位移相对值已接近控制值、支护混凝土表面出现明显裂缝或实测位移速度出现急剧增长时，应立即采取补强措施，必要时应立即停工处理。

15.3.8 监控量测完成后应及时向相关单位提供阶段性监测成果。工程竣工或监测工作完成后应提交监控量测总结报告。

15.3.9 应设置声音报警装置，输出的最低音量值应比施工环境噪声至少高出 10dB (A)，主控室内的噪声不应高于 75dB (A)。

15.4 动态设计与信息化施工

15.4.1 公路隧道全断面岩石掘进机法施工应贯彻动态设计与信息化施工的理念，将超前地质预报、监控量测、掘进参数分析等信息作为动态设计的重要依据。

15.4.2 动态设计应包括下列内容：

- 1 根据超前地质预报及现场地质核对结果，调整隧道支护级型和支护参数。
- 2 根据监控量测信息、掘进参数变化及地质条件变化，调整掘进参数、支护时机和施工工序。
- 2 根据预报和监测信息，对不良地质地段的处治措施进行动态优化。

15.4.3 信息化施工应建立数据采集、分析、反馈与决策机制，并应符合下列规定：

- 1 施工过程中应实时采集超前地质预报数据、监控量测数据、掘进机运行参数、出渣特性等信息。
- 2 应对采集数据进行综合分析和处理，及时评估围岩稳定状态和施工安全性。
- 3 分析结果应及时反馈至设计、施工、监理等相关单位，作为调整设计和施工方案的依据。

15.4.4 隧道施工中，应重点跟踪下列信息的动态变化：

- 1 地质条件的变化，包括岩性、岩体完整性、地下水量和水压等。
- 2 围岩变形与支护结构受力状态。

- 3 掘进机关键掘进参数，包括推力、扭矩、掘进速度、刀盘转速、贯入度等。

15.4.5 当发生下列情况之一时，应及时启动动态设计程序：

- 1 超前地质预报揭示前方地质条件与设计依据有重大差异。
- 2 监控量测数据出现异常或超过预警值。
- 3 掘进过程中出现卡机、塌方、涌水突泥等异常情况。
- 4 掘进参数发生明显异常波动，判定地质条件变化。

15.4.6 隧道信息化管理系统应具备远程监控、数据分析、预警报警和信息共享等功能，并应与施工管理信息系统对接。

15.4.7 施工信息化管理系统宜实现全过程的数字模型同步与交付，并应符合下列规定：

- 1 施工信息化管理系统应建立包含三维地质模型、TBM 设备参数模型、施工监测模型、支护结构模型等在内的集成化数字模型。
- 2 施工过程中，应将实时采集的掘进参数、地质编录、监控量测及影像资料等关联至数字模型，实现施工状态的数字化动态映射。
- 3 施工信息化管理系统应具备数字模型的数据导出与归档功能，形成的电子文件应在验工计价、工程变更及竣工验收阶段同步交付。

16 掘进机保养与拆机

16.1 一般规定

16.1.1 全断面岩石掘进机保养与维修应遵循“保养为主，养修并重”的原则，并建立相应的维修保养制度。

16.1.2 全断面岩石掘进机保养与维修宜采用日常巡检保养和定期停机保养与维修相结合的方式。

16.1.3 应根据设备相关图纸、技术资料及现场实际情况，编制维保说明、安全操作规程及维保计划，并严格按计划执行。

16.1.4 设备维修保养应做好安全防护措施，并应定期进行油液检测工作，检测结果超标应分析原因并处理。

16.1.5 掘进机拆机前应进行设备状态评估，并对设备及管线进行标识。

16.1.6 拆机作业应设置专职安全员进行全过程监督，并落实各项安全防护措施。

16.2 掘进机保养

16.2.1 掘进机出现以下情况之一时，应对整机及其附属设备进行保养：

- 1 掘进机超正常负荷长时间运行。
- 2 发生大型故障或运转不稳定。
- 3 掘进机通过特殊地段前。
- 4 长时间停机或拆机期间。
- 5 掘进机使用说明书规定的其他情况。

16.2.2 掘进机保养内容应结合作业区海拔、地温等环境因素综合确定，一般应包括机械系统、电气系统、液压系统和润滑系统。施工过程中应安排专职人员对设备的运转状况进行巡视。

16.2.3 掘进机机械系统保养宜采用日常巡检保养和定期停机保养相结合的方式，并应符合下列要求：

- 1 日常巡检保养时间不应低于 4 h/d。
- 2 掘进长度达到 1000 m 或掘进时长达到 1000 h 时，应进行停机保养，保养内容应包括主机及后配套的结构件、部件、附属设施。
- 3 整机保养应采取清洁、润滑、紧固、调整及防腐等措施。
- 4 机械系统各主要总成及后配套设备的保养，宜根据设备手册制定包含每班、每日、每周等周期的详细检查与维护清单。

16.2.4 掘进机电气系统保养应符合下列要求：

- 1 电气系统保养应包括线路检查、信号检查及控制柜防水等。
- 2 电气系统保养工作应在停机状态操作。
- 3 电气系统保养期间应断开相关电气部件开关。

16.2.5 掘进机液压系统保养应符合下列要求：

- 1 液压系统保养包括液压油系统、水气管路系统。主要检查内容包括液压阀组、泵站、管路、接头和油缸等。
- 2 液压系统保养前，应关闭相关阀门并泄压，以使压力值为 0。
- 3 不应使用棉纱等易起毛的物品清洁管接头内壁、油桶、油管。
- 4 油品应定期检测，根据检测结果及时更换。液压油工作温度不宜超过 65℃。
- 5 油液检测宜委托有资质的检测单位。油液取样应在设备运转 30min 后抽取样品，单次取样品不应小于 200mL。油液检测报告应包含检测结果、分析结论及建议等。
- 6 过滤器应定期检查，滤芯堵塞应及时更换。

16.2.6 掘进机润滑系统保养包括主驱动密封润滑、主驱动齿轮润滑、轴承润滑及其他转动系统，并应符合下列要求：

- 1 掘进机润滑系统保养应遵循“早防护、勤检查、多清理”原则。
- 2 掘进机润滑系统应每日检查液位，测定温度，观察油品颜色等，及时更换补充。

16.2.7 掘进机刀盘日常巡检应包括刀盘裂纹、磨损、耐磨件脱落、刀座变形、喷水故障及刀具损坏等情况。刀盘检查周期应为每个轮班至少一次，地质条件复杂时应增加检查频率。

16.2.8 掘进机在富水围岩地段掘进时，应进行设备防水检查：

- 1 高压电缆、设备电路应高挂，且防止磕碰、水泡。
- 2 电路接头应密封防水。
- 3 主机柜、变频柜、变电柜、电机应按“遮盖、密封、隔绝”的原则防水。

16.2.9 掘进机保养工作内容宜书面记录，电气和液压系统的调整应详细记录、签字并存档。

16.3 刀盘与刀具管理

16.3.1 应制定刀盘刀具检查维修制度，刀盘维修应编制专项方案并组织评审。

16.3.2 刀盘检查内容应包括裂纹、磨损、耐磨件脱落、刀座变形、喷水故障及刀具损坏等情况。刀盘检查周期应为每个轮班至少一次，地质条件复杂时应增加检查频率。

16.3.3 刀具检查内容应包括外观、轴承及密封、紧固件和磨损量等。刀具检查前，应确认掘进机已停止掘进，刀盘应退离掌子面不小于 200mm，并将刀盘钥匙旋转至“本地”控制，使用点动旋转刀盘的方式进行检查。

16.3.4 施工过程中出现掘进参数异常或围岩条件变化时，应及时进行刀盘刀具检查。出现以下情况之一时，应更换刀具：

- 1 滚刀刀圈断裂、偏磨、崩刃或刀圈磨损量超限。
- 2 刀具漏油或挡圈断裂脱落。
- 3 刀具紧固件损坏及掉刀。
- 4 刮板齿（或铲斗齿）变形、开裂、松动或磨损量超限。

16.3.5 刀具更换宜选择围岩较好地段进行，并应配置专用检修车间、设备和专业人员。刀具检修后应检查油液状况、气密性和启动扭矩。

16.3.6 当刀盘耐磨面板、刀具 C 形块、挡渣环、溜渣口限径块等部件磨损需维修时，应按照专项方案进行焊接、更换或增焊耐磨层等作业。刀盘维修完成后，应对维修部位进行探伤检测。

16.4 掘进机维修

16.4.1 掘进机施工应根据保养以及状态监测信息，编制维修方案及维修计划。维修前，应完成设备运行状态评估工作。

16.4.2 掘进机应根据维修方案及计划进行维修工作，包含以下内容：

- 1 停机清理：全面清理机械系统、电气系统、液压系统、润滑系统。
- 2 功能校核：校核传感器、测量系统等系统功能。
- 3 结构检测：检测刀盘、立柱、侧支撑、连接法兰、台车连接处、皮带机等承重受

力部分的焊缝及结构。

4 更换备件：根据检修方案，更换损坏或达到使用寿命的备件；更换重要部位变速箱的润滑油。

5 滤芯管理：在全断面岩石掘进机的维护过程中，需要对包括滤芯在内的各种易损件和关键部件进行检查和更换。应严格按照制造商的推荐和现场实际情况，制定滤芯的更换周期和维护计划，并按照更换计划进行更换。

16.4.3 维修人员应经培训考核合格后上岗，并应相对固定，职责分工明确。

16.4.4 掘进机及配套设备维修期间应按维修方案落实安全措施。

16.4.5 掘进机维修应形成书面记录，记录应包括维修日期、操作时间、零件更换目录等。

16.4.6 当出现下列条件之一时，应进行设备整机状态评估：

- 1 掘进距离达到 5000m。
- 2 主轴承运转时间达到 3000h 时。
- 3 掘进机卡机脱困。

16.4.7 当整机状态评估结果认为需要整修时，应制定整修方案并实施设备整修。

16.4.8 设备整机维修应包括下列内容：

- 1 刀盘、主机结构、护盾和撑靴的磨损、裂纹及变形等修复或更换。
- 2 主驱动内外密封、跑道及主轴承修复或更换。
- 3 电机、变频器、控制柜、减速机、液压泵阀及油缸等部件修复或更换。
- 4 更换各种齿轮油及液压油。

16.5 掘进机拆机

16.5.1 掘进机拆机前准备工作应符合下列规定：

- 1 完成洞外拆机场地、洞内拆机洞室等配套工程。
- 2 配备满足拆卸要求的吊装设备、专用工具、夹具、吊具、材料及拆机人员，拆机人员应经培训后持证上岗。
- 3 配备风、水、电及电气焊设备，配备数量足够的消防器材。
- 4 完成掘进机拆机前的状态评估。
- 5 完成掘进机设备及管线的标识。
- 6 完成拆机安全、技术交底。

16.5.2 洞外拆机场地应符合下列规定：

- 1 拆机场地地面平整、排水顺畅，场地中线宜与隧道中线重合。
- 2 拆机场地应硬化，门式起重机行走轨道基础应为钢筋混凝土结构。拆机场地地基承载力应满足掘进机制造商相关要求。
- 3 拆机场地尺寸应满足掘进机拆机、临时堆放和大件吊装要求。

16.5.3 洞内拆机洞室应符合下列规定：

- 1 拆机洞室应选择在围岩较稳定、整体较完整的位置，其尺寸应满足洞中吊装的工作条件。
- 2 采用桥吊时，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，起吊能力应满足最大部件吊重要求。
- 3 应注意拆机洞室的排水能力。

16.5.4 拆机作业安全应符合下列规定：

- 1 吊机应由持证上岗司机操作,起吊前须仔细检查连接件是否已全部拆除，起吊大件时应先微动试吊。
- 2 吊件不得从人的上空通过,翻转吊件时，钢丝绳应保持垂直状态，不得斜拉斜吊。
- 3 登高作业时应系扎安全带,焊接作业人员应配戴防护眼镜和手套，氧气瓶、乙炔瓶应放置在安全区。
- 4 液压系统拆卸后应及时封堵油口,电气设备、液压设备应做好防潮、防尘。
- 5 危险部位应设置安全警示牌，在拆卸作业区和存放场等地方应设置防护装置及消防器材。
- 6 有限空间作业时应按作业规范进行有毒有害气体的检测与通风。

16.5.5 拆卸后的设备部件应及时清理和保养，对结合面应涂抹防锈油脂进行保护，并按级别分级存放。对储藏环境有不同要求的电气、液压等设备，应采取相应的防潮、防尘措施。

16.5.6 拆机过程应形成完整记录，包括拆卸记录、运输装车记录、缺损件统计等，所有技术资料应整理归档。

附录 A 掘进机适应性等级确定方法

A.0.1 岩石掘进机适应性等级确定方法可采用模糊综合评价法。

A.0.2 岩石掘进机适应性评价的指标集 U 可包含围岩及不良地质类型等多源地质信息，如式 A.0.1 所示。

$$U = (R, G_1, G_2, \dots, G_n) \quad (\text{式 A.0.1})$$

其中， R ——围岩指标；

G_n ——断层破碎带、裂隙、岩溶、岩爆、大变形等不良地质类型指标。

A.0.3 各指标的权重可考虑不同地质条件在工程中出现频率及其对掘进效率的差异，并基于掘进时间占比确定指标权重。

指标权重确定可按式 A.0.2 确定。

$$w_i = T_i / T_{\text{总}} \quad (\text{式 A.0.2})$$

其中， T_i ——第 i 类地质对应掘进时间；

$T_{\text{总}}$ ——总掘进时间。

汇总各指标权重得到权重集 W ，如式 A.0.3 所示。

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (\text{式 A.0.3})$$

A.0.4 可按表 A.0.4 确定岩石掘进机施工适应性等级和适应性分值 S 的对应关系，并建立得分集 C ，如式 A.0.4 所示。

$$C = (95, 85, 73, 58, 25) \quad (\text{式 A.0.4})$$

表 A.0.4 岩石掘进机施工适应性等级和适应性分值 S 的对应关系

适应性等级	适应性分值	适应性描述
A	90 ~ 100	适应性好
B	80 ~ 90	适应性较好
C	65 ~ 80	适应性一般
D	50 ~ 65	适应性较差
E	< 50	适应性差

A.0.5 可根据岩石单轴抗压强度 (R_c)、岩体完整性系数 (K_v)、岩石磨蚀指数 (CAI), 按表 A.0.5 确定围岩的隶属函数。

表 A. 0. 5 围岩的隶属函数

围岩级别	R_c (MPa)	CAI	BQ	隶属函数
I	$R_c \geq 170$	—	—	$f_I = 0 \sim 0.4$
	$90 \leq R_c \leq 170$	>4	—	
II	$R_c \geq 170$	≥ 4	—	$f_{II} = 0.4 \sim 0.65$
	$90 \leq R_c \leq 170$			
	$70 \leq R_c \leq 170$	<4	—	$f_{II} = 0.65 \sim 0.9$
IIIa	$70 \leq R_c \leq 130$	—	—	$f_{IIIa} = 0.8 \sim 1$
IIIb	—	—	$350 \leq BQ \leq 420$	$f_{IIIb} = 0.7 \sim 1$
IV	—	—	$250 \leq BQ \leq 350$	$f_{IV} = 0.3 \sim 0.7$
V	—	—	$110 \leq BQ \leq 250$	$f_V = 0.1 \sim 0.4$

A.0.6 可按表 A.0.6 确定断层破碎带的隶属函数。

表 A. 0. 6 断层破碎带的隶属函数

类型	隶属函数
大型富水断层	$0 \sim 0.25$
小型富水断层	$0.25 \sim 0.5$
大型无水断层	$0.5 \sim 0.75$
小型无水断层	$0.75 \sim 1$

A.0.7 可按表 A.0.7 确定富水裂隙的隶属函数。

表 A. 0. 7 富水裂隙的隶属函数

类型	隶属函数
高压富水裂隙	$0 \sim 0.6$
一般富水断层	$0.6 \sim 1$

A.0.8 可按表 A.0.8 确定富水蚀变带的隶属函数。

表 A.0.8 富水蚀变带的隶属函数

类型	隶属函数
大规模	0~0.3
中等规模	0~0.6
小规模	0.6~1

A.0.9 可按表 A.0.9 确定岩溶发育区的隶属函数。

表 A.0.9 岩溶发育区的隶属函数

类型	隶属函数
岩溶强烈发育	0~0.25
岩溶中等发育	0.25~0.5
岩溶弱发育	0.5~0.75
岩溶微弱发育	0.75~1

A.0.10 可按表 A.0.10 确定岩爆的隶属函数。

表 A.0.10 岩爆的隶属函数

类型	隶属函数
极强岩爆	0~0.25
强烈岩爆	0.25~0.5
中等岩爆	0.5~0.75
轻微岩爆	0.75~1

A.0.11 可按表 A.0.11 确定大变形的隶属函数。

表 A.0.11 大变形的隶属函数

类型	隶属函数
严重大变形	0~0.3
中重大变形	0.3~0.6
轻微大变形	0.6~1

A.0.12 根据各指标的隶属函数，可按式 A.0.12 建立模糊关系矩阵 R 。

$$R = (f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (\text{式 A.0.12})$$

A.0.13 可根据权重集 W 与模糊关系矩阵 R ，按式 A.0.13 计算得到模糊综合评价集 B 。

$$B = W \cdot R \quad (\text{式 A.0.13})$$

其中， B ——模糊综合评价集，代表各适应性等级的隶属程度。

A.0.14 可根据模糊综合评价集 B 与得分集 C ，按式 A.0.14 计算得到适应性分值 S 。

$$S=B \cdot C^T \quad (\text{式 A.0.14})$$

征求意见稿

本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，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用词，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用词，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用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本细则的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本细则第×章的有关规定”、“应符合本细则第×.×节的有关规定”、“应符合本细则第×.×.×条的有关规定”或“应按本细则第×.×.×条的有关规定执行”。