

ICS 号

CCS 号

团体标准

T/CHTS XXXXX-2022

公路隧道 TBM 施工技术规范

Technical specification for TBM Construction of highway
tunnels

(征求意见稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

中国公路学会 发布

作为国家标准委、中国科学技术协会团体标准双试点单位，中国公路学会积极贯彻国务院《深化标准化工作改革方案》（国发〔2015〕13号）的要求，立足交通运输行业公路交通领域，于2015年6月份正式启动团体标准工作。同时，中国公路学会标准工作得到了交通运输部的大力支持，并正式写入交通运输部《交通运输标准化“十三五”发展规划》。

中国公路学会严格按照学会标准管理办法及团体标准良好行为指南要求对标准化工作进行管理，遵循开放、公平、透明、协商一致的原则，突出团体标准贴近实际、注重实用的特点，充分发挥密切跟踪行业科技创新进程、及时了解市场技术发展需求的优势，为交通运输行业公路交通领域提供优质的标准，促进行业技术进步，并打造中国公路学会标准品牌。

获取更多学会标准资讯请关注“中国公路学会标准”微信公众号(微信号: CHTS-standard)。

本标准版权为中国公路学会所有。除用于国家法律法规规定用途，或事先得到中国公路学会文字上的许可，不得以任何形式擅自复制、改编、汇编、翻译、发行或传播本标准。

中国公路学会地址：北京市朝阳区安华路 17 号

电话：010-64288712

网址：<http://www.chts.cn/>

电子信箱：CHTS-S@qq.com

团体标准

公路隧道 TBM 施工技术规范

Technical specification for TBM Construction of highway tunnels

T/CHTS XXXXX-2022

主编单位：中交一公局集团有限公司

发布单位：中国公路学会

实施日期：2022 年××月××日

×××××× (出版单位)

前 言

本规程是在系统总结国内 TBM 公路隧道施工研究成果和工程经验的基础上编制而成。

本规程按照《中国公路学会标准编写规则》(T/CHTS 10001) 编写。共分为 14 章, 主要内容包括: 总则、术语、基本规定、施工准备、超前地质预报、TBM 组装与调试、掘进施工、TBM 保养与维修、TBM 接收与拆机、不良地质段施工及处治、隧道防排水施工、支护衬砌、施工测量、监控量测。

本规程由中交一公局集团有限公司提出, 受中国公路学会委托, 负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题和建议反馈至中交一公局集团有限公司(地址: 北京市朝阳区管庄周家井世通国际大厦 A 座, 联系电话: 010-65894613, 电子邮箱: 304173986@qq.com), 供修订时参考。

主编单位: 中交一公局集团有限公司

参编单位: 中交隧道工程局有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司、中交一公局第三工程有限公司

主要起草人: 赵宗智、朱荣辉、王传奇、周思峰、王贺起、黄登侠、乔浩利、孙建平、鞠加元、裴宏宇、王知远、荆敏、于方正、李辉、蒯振东、刘晓星、成晓青、余昌平、于瑞斌

主要审查人: ×××、×××、×××

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 施工准备	8
4.1 前期调查	8
4.2 地质核查	8
4.3 技术准备	8
4.4 TBM 设备选型	9
4.5 配套设备配置	11
4.6 场地总体布置	12
4.7 施工通风	14
5 超前地质预报	15
5.1 一般规定	15
5.2 超前预报内容	15
5.3 超前地质预报方法	15
6 TBM 组装与调试	17
6.1 一般规定	17
6.2 设备组装	17
6.3 设备调试	18
6.4 现场验收	18
7 掘进施工	22
7.1 一般规定	22
7.2 始发准备	22
7.3 TBM 步进	22
7.4 TBM 试掘进	23
7.5 TBM 全断面掘进	23
7.6 TBM 半断面掘进	23
7.7 姿态控制	23
7.8 施工运输	24
8 TBM 保养与维修	26
8.1 一般规定	26
8.2 TBM 保养	26
8.3 TBM 维修	27

8.4 TBM 刀具更换	28
9 TBM 接收与拆机	32
9.1 一般规定	32
9.2 TBM 接收	32
9.3 TBM 拆机	32
10 不良地质段施工及处治	34
10.1 一般规定	34
10.2 高地应力区域施工措施	34
10.3 突水突泥施工措施	36
10.4 断层破碎带施工措施	37
10.5 岩溶地段施工措施	38
10.6 有害气体地段施工措施	39
11 隧道防排水施工	40
11.1 一般规定	40
11.2 接缝防水	40
11.3 仰拱块防水	40
11.4 特殊部位防水	40
11.5 施工阶段 TBM 排水	41
11.5 隧道排水	41
12 支护衬砌	42
12.1 一般规定	42
12.2 初期支护作业	42
12.3 二次衬砌施工	43
13 施工测量	46
13.1 一般规定	46
13.2 隧道外控制测量	46
13.3 隧道内控制测量	46
13.4 联系测量	47
13.5 TBM 掘进施工测量	47
13.6 隧道贯通测量	47
13.7 竣工测量	47
14 监控量测	49
14.1 一般规定	49
14.2 隧道周边环境监测	49
14.3 围岩监测	50

中国公路学会标准征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范公路隧道工程 TBM 法施工，统一公路隧道工程 TBM 法施工技术及质量验收标准，保证施工过程的质量和安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于以 TBM 法施工的隧道施工。

1.0.3 采用 TBM 法施工的隧道，施工前，应根据隧道场地地形、地质条件及工期计划等，进行 TBM 适用性进行设备选型论证和施工安全风险评估，保证施工的安全、质量。

1.0.4 隧道工程 TBM 法施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和现行有关标准的规定。

中国公路学会标准征求意见稿

2 术语

2.0.1 TBM

TBM 全称是 Tunnel Boring Machine, TBM 是一种全断面硬岩隧道掘进机。

条文说明

TBM 分为敞开式 TBM 和护盾式 TBM, 是集掘进、支护、出渣等施工工序并行连续作业, 是机、电、液、光、气等系统集成的工厂化流水线隧道施工装备, 具有掘进速度快、利于环保、综合效益高等优点。

2.0.2 始发、拆机洞室

始发洞室是在 TBM 掘进前, 提前采用钻爆法进行施作完成,

条文说明

为 TBM 设备提供必要的始发掘进条件的施工段落; 拆机洞室是指因隧道距离太长, 采用两台或多台 TBM 共同进行施工, 在隧道贯通前, 选择一处围岩良好的地层, 施作的 TBM 拆机洞室。

2.0.3 TBM 步进

TBM 在洞外组装调试完成后, 利用步进小车前移至掌子面的过程。

2.0.4 TBM 始发

TBM 首次从掌子面开始掘进施工。

2.0.5 TBM 贯通

TBM 隧道施工完成或到达指定里程。

2.0.6 TBM 步进小车

为 TBM 盾体前移提供提升、推力的装置。

条文说明

TBM 步进小车是一套含有液压举升油缸、底座、液压油箱的装置, 通过盾体两侧的液压油缸举升 TBM 盾体、底座向前滑行的循环方式进行 TBM 向前平移。

2.0.7 预制仰拱块

隧道衬砌仰拱部份的基本单元, 采用工厂集中预制法施工, 为 TBM 台车、物料运输提供平台。

2.0.8 钢拱架

用工字钢或 H 型钢等制成的圆形骨架结构。

2.0.9 开挖直径

TBM 掘进过程中得到的实际隧道直径。

2.0.10 监控量测

通过使用各种量测仪器,在隧道内围岩地层的变形和支持结构的变形与受力进行观测、分析与评价的活动。

2.0.11 导向系统

是 TBM 隧道掘进施工的导向系统,宜采用无线数据传输工程,能方便、快捷的将 TBM 掘进动态以图形和文字的形式直接计算机显示器上,指导 TBM 操作手进行掘进操作。

条文说明

TBM 上均配有激光导向系统,用以精确地监测 TBM 在掘进时的位置,提供 TBM 与隧道设计中线的偏差,以便操作者及时调整 TBM 掘进方向,使其精确的按隧道的设计方向掘进。激光导向测量以安装在边墙上的激光经纬仪/测距仪发出的激光为基准,接口单元使激光数据、距离、经纬仪的坐标(X、Y、H)与控制系统发生联系,并输出给控制单元。当激光束照射到安装于 TBM 主机上的目标单元,目标单元测量出激光束与目标单元轴线的夹角在水平面和铅垂面上的投影角度、激光束照射到目标单元屏幕上的位置(X、Y)、目标单元的左右横向滚动角度、目标单元中的棱镜配合测距仪测出经纬仪到目标单元靶屏幕距离。

3 基本规定

3.0.1 隧道 TBM 法施工应建立完善的施工管理体系，质量控制和检验制度，采取质量保证措施。

条文说明

施工管理体系包括质量管理体系、环境管理体系、职业健康安全管理体系。对于施工现场管理，除应具有健全的施工管理体系外，还要求有相应的施工技术标准、施工质量控制和检验制度，以及施工人员和设备安全保障和环境保护措施。

3.0.2 TBM 设备机型和技术性能应满足工程地质和水文地质条件、环境保护和隧道结构设计的要求。

3.0.3 隧道 TBM 法施工应复核确认围岩级别，将超前地质预报纳入施工工序管理。

条文说明

超前地质预报为 TBM 掘进施工中隧道地质监测的重要组成部分，包括隧道围岩描述、水文地质监测、施工地质编录、围岩变形监测、围岩类型判别、不良地质预报等，并及时提供超前地质预报成果资料，供 TBM 掘进参数作为参考。

3.0.4 隧道 TBM 法施工过程中，应及时、准确填写掘进施工记录，进行隧道 TBM 法施工技术总结。

3.0.5 施工现场场地要满足始发洞室、材料存放场地、拌和站、临时弃渣场、供配电站、监控室、库房等生产设施用地和施工运输要求。

3.0.6 TBM 施工过程中油污等应进行收集专业处理。

3.0.7 TBM 法隧道施工应实施项目信息化管理，配置远程监控系统。

条文说明

TBM 法隧道施工应建立信息管理体系，制定信息管理制度。为便于及时了解施工现场情况，施工现场配置远程监控系统，将 TBM 掘进参数实时传递到监控中心。

3.0.8 施工期间对周围的构建筑物进行监测。

3.0.9 隧道 TBM 法施工应采取措预防塌方、突水突泥、岩爆及瓦斯等不良地质。

条文说明

在施工前应根据 TBM 类型、地质条件和工程实践，首先有针对性地进行危险源和环境因素的辨识和评估，根据分析结论制定包括 TBM 安全操作技术规程、对周边环境的影响及应对措施等在内的专项施工方案和应急预案，确保施工作业在安全和良好环境下进行。

3.0.10 质量合格指标应符合下列规定：

- 1 主控项目的质量达到 100%时，为合格；
- 2 一般项目的质量达到 95 %及以上时，为合格；
- 3 应具有完整的施工质量验收依据和质量验收记录。

3.0.11 掘进机的配置应符合全断面隧洞掘进机岩石隧洞掘进机安全要求。

3.0.12 掘进机在运输、安装、运行、转场、拆除之前，应编制专项施工方案，专项方案应包括但不限于危险源的辨识与评价的内容。

3.0.13 未经许可，不得调节、更改或解除安全连锁装置，不得更改电气元件规格型号和电气连接方式，不得更改掘进控制参数。

条文说明

1 作业环境要求

1) 作业区域环境中的有害气体最高允许含量应符合表 18.1-1 的规定。当岩体中可能存在有害气体和放射性气体时，应提前编制专项措施。

表 18.1-1 掘进机作业区域有害气体最高允许含量

有害气体名称	化学分子式	最大允许浓度（体积） %
瓦斯（甲烷）	CH ₄	0.75
一氧化碳	CO	0.0024
二氧化碳	CO ₂	0.50
氮氧化物	[NO]	0.00025
二氧化硫	SO ₂	0.0005
硫化氢	H ₂ S	0.00066
氨气	NH ₃	0.004

2) 作业环境空气中粉尘容许浓度应符合表 18.1-2 的规定。

表 18.1-2 作业环境空气中粉尘容许浓度

粉尘名称	PC-TWA (mg/m ³)	
	总尘	呼尘
硅灰石粉尘	5	-
硅藻土粉尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）	6	-
滑石粉尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）	3	1
石灰石粉尘	8	4
水泥粉尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）	4	1.5
膨润土粉尘	6	-
其他粉尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）	8	-

注 1：PC-TWA：时间加权平均容许浓度（8 h）。
注 2：总粉尘：可进入整个呼吸道（鼻、咽、喉、胸腔支气管、细支气管和肺泡）的粉尘，简称“总尘”。

注 3: 呼吸性粉尘: 按呼吸性粉尘标准测定方法所采集的可进入肺泡的粉尘粒子, 其空气动力学直径均在 $7.07 \mu\text{m}$ 以下, 简称“呼尘”。

3.0.14 运输安全应符合以下规定:

1 在洞内、洞口等狭窄路段车速不应大于 15km/h , 应设置醒目的警示标志, 倒车、会车应由专人指挥交通。

2 保障车辆各项性能指标达到安全运行的标准, 应对车辆进行定期检查, 检查频次不少于 1 次/月, 严禁车辆带病作业。

3 出渣皮带机机架应安装坚固, 机架上的部件安装应“横平竖直”, 辊筒和托辊应与输送带的传动方向成直角, 托辊与托辊之间、托辊与辊筒之间应相互平行, 辊筒和托辊与转动自如、无损伤、油污和结垢物。

4 严格按皮带输送机的使用与保养规程定期对皮带输送机的电器、机械、液压系统进行检查、保养与维修, 运行时发生故障应及时处理。

5 储带仓内的皮带延伸完时应及时安装及硫化粘结。

6 带式输送机运行时输送带应在规定的范围内运行, 当输送带发生偏移时应及时纠偏。

7 多级皮带机启动应按照从后向前顺序启动, 启动皮带输送机前, 应发出声光警示。空载启动后, 宜检查各部位的运转和皮带的松弛度。

8 进洞重车必须严格按操作规程, 使用缓速模式行驶, 严禁超速、超载行驶。

9 在洞内会车时, 运行车辆应遵循下坡运输车辆避让上坡运输车辆、空车避让重车的规定。

3.0.15 TBM 组装时应符合下列规定

1 组装前应编制设备组装专项施工方案, 对超过一定规模危险性较大的部件吊装, 还应组织专家论证。

2 组装过程中, 所有作业人员穿戴应符合安全操作要求。

3 组装人员应明确施工任务和安全技术措施及注意事项, 熟悉作业环境和施工条件, 遵守现场安全管理规定。

4 各部件安装前应按照安装图纸核对安装顺序、安装方向、安装位置、连接位置等。

5 设备组件之间连接时, 除有特殊要求外, 连接螺栓的张紧应由中间向两边施紧。高强度螺栓应分为初拧和终拧两次拧紧, 初拧扭矩一般为设计扭矩的 $50\%—60\%$, 初拧和终拧应在 24 小时完成。

3.0.16 掘进时应保证排水系统正常运行, 防止涌突水淹没洞室, 危及人员、设备安全, 影响施工质量和进度。

3.0.17 防排水设施施工时, 应重视环境保护, 不得使用有毒的、污染环境材料, 洞内排水洞外排放前应进行处理, 达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 的要求方可排放。

3.0.18 应按设计图纸进行洞渣的堆放和渣场治理, 渣场必须符合安全和环保要求。

3.0.19 隧道弃渣前, 应按照“先挡后弃”的原则, 组织挡墙护坡工程施工, 宜采用设计要求进行挡墙砌筑, 挡墙结构采用路堑挡土墙, 基底采用反坡, 砌筑时, 先砌下游。

条文说明

1 施工中产生的废渣、废水等应及时处置，要注意 TBM 掘进过程中的油污染。

2 施工中，应采取措施避免施工噪音、振动、水质和土壤污染及地表下沉对周边环境的影响。

中国公路学会标准征求意见稿

4 施工准备

4.1 前期调查

4.1.1 隧道施工前，应熟悉设计文件和地质勘察报告，做好现场调查和图纸核对工作，必要时应补充地质勘察。

4.1.2 对工程影响范围内的地面构建筑物应进行现场踏勘和调查，对需要加固或地基托换的构筑物应进行必要的鉴定，提前做好施工预案。

4.1.3 隧道 TBM 法施工穿越山体较大的断层破碎带应进行现场详细踏勘，制定必要的预处理措施。

条文说明

为防止资料与实际工况条件不符，施工前应进行工程环境的调查和实地踏勘，为制定施工组织设计提供足够的依据，调查的主要内容有：

- 1 实地踏勘调查各种建（构）筑物的使用功能、结构形式、基础类型及其与隧道的相对位置等；
- 2 道路种类和路面交通情况；
- 3 工程用地情况，主要对施工场地及材料堆放场地、弃土场地、运输路线等做必要的调查；
- 4 施工用电和给水排水设施条件；
- 5 有关环境保护的法律法规。

4.2 地质核查

4.2.1 隧道外地质核查包括：隧道洞口边、仰坡地质条件；隧道门端墙和翼墙、挡土墙基坑；洞身沿线外部地质条件等。

4.2.2 施工前局部地质条件复杂地段，加强地表调查，核实地质条件；施工过程中加强对超前地质预报资料的分析研究，作出准确及时预报，核实是否与设计情况相符。

4.3 技术准备

4.3.1 隧道 TBM 施工前，应充分论证，完成各项必备的施工方案：

1 整理收集工程地质和水文地质勘察报告，隧道沿线环境、地下管线和障碍物等的调查报告，以及施工所需的设计图纸资料、工程技术要求文件和工程施工有关合同文件；

2 完成分项工程划分、先期工程施工方案编制及混凝土配合比设计等准备工作；

3 临时工程应考虑自然灾害的影响，适当地当地极端天气条件，制定预警、预防和应急措施；

4 便道设计的线形、纵坡、宽度及路基路面结构应满足大型设备、材料及出渣运输的需要；

5 应根据安全、可靠、经济、适用的原则配置隧道 TBM 设备，对拟使用的 TBM 设备选型应进行充分论证，设备技术性能应满足隧道施工技术要求。

6 材料进场时应按批次和规定频率进行试验检测，并应满足设计和相关规范要求；

7 隧道 TBM 施工前应进行安全质量风险辨识、评估，依据风险评估，对风险等级较高的段落编制专项施工方案。

4.2.3 编制施工组织设计，并做好施工准备和组织落实工作；

4.2.4 施工前应进行技术交底及培训工作。

4.2.5 施工前应根据工程特点和环境条件，完成测量和监测的准备工作。

条文说明

1 TBM 法隧道施工是一项综合性的施工技术，施工方法的确定关键在于全面掌握与工程有关的资料。施工前全面了解工程规模、要求、地质和环境条件，有利于正确采取经济合理的施工措施。

2 TBM 法施工过程中很难改变施工方法。因此，在施工前应依据工程特点、工程地质和水文地质条件、隧道结构、环境条件及环境保护等级、TBM 类型与性能等制定施工组织设计，作为施工依据。

3 对 TBM 主控室操作人员、钢拱架、仰拱块拼装操作人员、电气与机械保养维修人员等进行技术培训，加强重点环节和风险源的防控措施技术培训。

4.4 TBM 设备选型

4.4.1 TBM 设备功能应根据不同的地质情况有针对性的进行配置，保证实施过程安全可靠、功能齐全、性能稳定、环保经济。

4.4.2 TBM 基本配置应具有掘进、支护、导向、出渣四个基本功能，还应具备一般功能和特殊保障功能，如：超前地质预报、通风除尘、材料运输、人员行走、清渣、排水、有害气体检测、应急避险等。

4.4.3 TBM 选型配备辅助设备的型号和数量应召开设计联络会，在 TBM 设备订货前与供货方进行设计优化，推广新技术、新工艺、新材料、新设备的应用。

4.4.4 TBM 选型依据应包括下列内容：

- 1 工程地质和水文地质勘察报告；
- 2 隧道线路及结构设计文件；
- 3 施工安全；
- 4 施工环境及其保护要求；
- 5 工期条件；
- 6 辅助施工方法；
- 7 类似工程施工经验。

4.4.5 敞开式 TBM 设备选型

1 敞开式 TBM 适用条件：以 II、III 级围岩为主的硬岩隧道宜采用敞开式 TBM。

2 以应对硬岩隧道围岩局部突变不良地质段，敞开式 TBM 应配置：钢拱架安装机、锚杆钻机、钢筋排系统、喷混设备。

条文说明

敞开式 TBM 掘进过程中可直观看到洞壁岩性的变化，当隧道地质、水文资料不是很充分的条件下，选用敞开式 TBM，可充分发挥敞开式 TBM 及时支护的优势。在超长隧道施工中，敞开式 TBM 可施作斜井、服务隧道等辅助坑洞，充分利用其快速掘进的优势，开辟新工作面。采用敞开式 TBM 施工的隧道，永久衬砌一般待隧道贯通后施作。

4.4.6 单护盾 TBM 设备选型

- 1 单护盾 TBM 适用于以硬岩为主，局部段落存在较软岩地质的隧道掘进。
- 2 单护盾 TBM 掘进以管片作为支撑，掘进与管片安装不能同时作业，影响整体施工速度。

条文说明

单护盾 TBM 适用于中长及以上隧道，在隧道围岩偏差的条件下，单护盾 TBM 可发挥较快的掘进速度，相比比双护盾 TBM 造价偏低，减少设备投资。

4.4.7 双护盾 TBM 设备选型

- 1 双护盾 TBM 采用管片支护，具有掘进和支护速度快、安全性高的优点，适应于以 III、IV 级围岩为主的隧道掘进。
- 2 双护盾 TBM 盾体较长，在小半径洞段掘进时易卡机，脱困较难。

条文说明

双护盾 TBM，又称伸缩护盾式 TBM。与敞开式 TBM 相比，双护盾 TBM 具有全圆的护盾；与单护盾 TBM 相比，双护盾 TBM 掘进与管片安装可同时进行，其伸缩护盾能实现软岩与硬岩模式转换。

4.4.8 TBM 盾体结构应能保证在其所承受的正常施工荷载作用下，各结构件均应处于安全可靠状态。

4.4.9 刀盘应符合下列规定：

- 1 刀盘结构的强度和刚度应满足工程要求；
- 2 刀盘结构形式应适应地质条件，刀盘面板应采取耐磨措施，刀盘开口率应能满足 TBM 掘进和出渣要求；
- 3 刀具的选型和配置应根据地质条件、开挖直径、切削速度、掘进里程、最小曲线半径及地下障碍物情况等确定；

4 刀盘喷水喷口的数量及位置应根据地质条件、刀盘结构、刀盘开挖直径等确定。

4.4.10 刀盘主驱动应符合下列规定：

- 1 刀盘主驱动形式应根据地质和环境要求确定，最大设计扭矩应满足地质条件和脱困要求；
- 2 刀盘转速应根据地质条件和施工要求确定，转速应可调；
- 3 刀盘驱动主轴承密封应根据覆土厚度、地下水位、刀盘喷水注入压力、掘进里程等确定。

4.4.11 推进液压缸应采取分区控制，每个分区液压缸应具备行程监测功能。总推力应根据推进阻力的总和及所需的安全系数确定。

4.4.12 拱架拼装机的自由度应满足拼装要求，各动作应准确可靠，操作应安全方便。

条文说明

TBM 选型主要依据工程地质及水文条件、隧道线路和结构设计要求、周边环境条件、采用的辅助施工方法，以及施工安全、环保和工期要求，并结合以往施工经验等方面因素综合判断。

1 工程地质及水文地质条件包括：地层岩性及分布状况、地层软硬程度、地下水位、地层渗透性等，同时要特别注意高地应力地层、断层破碎带、突泥突水地层、软硬混合地层、地中障碍物、可燃及有害气体等。

2 隧道线路及结构设计条件包括：线路平纵断面（最小曲线半径、最大坡度）、建筑限界、隧道埋深、连续掘进长度、支护参数等。

4 环境条件包括：工程周边的建（构）筑物状况、地下管线情况、道路交通状况、控制沉降要求。TBM 施工过程中应注重对环境的保护，防止施工过程中产生的废弃物、噪声等对环境产生污染。

4.5 配套设备配置

4.5.1 配套设备应根据 TBM 类型、掘进方法和施工工艺要求等配置。

4.5.2 配套设备应符合下列规定：

- 1 根据工程需要和环境保护要求，应配置符合 TBM 出渣运输装置与排水处理设备；
- 2 应选择合理的物料运输设备；
- 3 供电设备应满足 TBM 施工要求。

条文说明

配套设施应与 TBM 类型和施工工艺要求等相适应，主要包括：

- 1 材料堆放场和仓库；
- 2 联络通信设施；
- 3 施工通风设施；
- 4 供电设备；
- 5 拌合站站及相应管路和运输设备；
- 6 给水排水设备；
- 7 渣土临时存放场。

TBM 法施工是一项综合性的施工工艺，为保证 TBM 掘进施工顺利进行，应配备配套设施。

1 拌合站的规模应满足施工需要，站内还须配有砂浆质量测定的设备。

2 在确定运输方案及选择设备时，应根据作业循环所需的运输量详细考虑，同时还应符合各种材料运输要求，所有的运输车辆、起重机械、吊具要按有关安全规程的规定定期进行检查、维修、保养与更换。

4.6 场地总体布置

4.6.1 隧道洞口场地布设应遵循“因地制宜、节约土地、保护环境、安全可靠、规范有序、功能完备、布设合理、方便生活、满足生产”的原则，采取自建的方式建设隧道施工设施。要求交通便利、通信畅通、满足信息化管理要求。避开泥石流、滑坡体、弃土场、取土场等危险区域，远离塌方、落石、危岩等地段。

4.6.2 场地总体施工应进行总体筹划，主要包括场地平整、修筑便道、改沟改渠、大型临时工程建设、生活区、办公区等，按照施工便捷与生活便捷性进行规划。

4.6.3 变电站、取水井、拌和站、空压机房、钢筋加工厂、仰拱预制场等的建设，应按照生产进度进行规划和复核，满足生产需要。

条文说明

场地尽量布置在总体规划征地指定的区域。施工平面布置要满足交通要求。布置合理，充分利用规划用地，并尽量减少对交通及周边环境的影响，确保道路行车及施工行车安全。场地布置既要便于工程施工，又不影响通过施工区域的供水、供电、通讯、道路、排水等公共设施的正常运行，尽量减小规模。重点围绕环境保护和水土保持要求，节约用地，较少对工程所在地环境污染。

4.6.4 施工用电

- 1 施工用电负荷计算应根据用电设备特征，按照需求系数进行负荷计算，汇总得出施工总用电量。
- 2 隧道用电线路应结合施工现场合理布局，在满足安全要求的条件下，方便线路敷设、接引和维护。
- 3 应了解用电设备特征，包括生产规模、生产班制、用电设备特征的额定电压、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。

4.6.5 施工用水

- 1 隧道供水应根据工程施工特点和不同需求来选择水源地，通过经济比选来选择供水方案。
- 2 TBM 供水采用高压供水管，按照需求采用 108mm/200mm 镀锌钢管进行供水，在洞口设置储水箱和泵站，并定期进行维护和清洗，TBM 供水水质应达到工业用水标准。

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，管内不应有残余物和其他脏物。

4.6.6 施工便道

- 1 施工便道施工过程中尽量减少对周围植物、树木的破坏，因地制宜、节约土地，不对当地自然环境构成破坏；

2 便道要充分考虑施工便利，尽量为后期施工降低运输费用，保证运输方便，减少和避免二次倒运；

4.6.7 TBM 拼装场地

1 根据 TBM 设备组装需要，结合施工场地实际情况，选择合适的拼装场地区域；

2 拼装场地应满足以下条件：

- (1) 确保组装的空间和吊装设备作业空间；
- (2) 地面硬化要满足 TBM 设备拼装的地基承载力，明确主机部件摆放区域划分并明确标注标线；
- (3) 预埋 TBM 向洞内步进所需钢轨并保证标高与钻爆段标高一致。

4.6.8 拌合站

1 拌合站建设前应进行考察，按照经济合理、就近设置的原则布置；

2 拌合站设备、料仓设置应按照最大供应量进行配置与复核，满足生产需要；

4.6.9 仰拱块预制厂

1 仰拱块预制生产依据现场场地条件、项目经济投入情况进行确定，尽量采用新工艺进行生产。

2 仰拱块生产应具有健全的质量管理体系、质量控制和检验制度，并应制定安全生产和绿色生产制度。

3 仰拱块生产操作人员应进行技术培训，经考核合格后方可上岗。

4 仰拱块生产设备和设施应满足生产要求，并应定期对主要设备进行检定和测试。

5 仰拱块生产应编制施工组织设计或技术方案。

6 仰拱块生产原材料应符合下列规定：

- (1) 应具备产品质量证明文件，并应经复检合格；
- (2) 混凝土骨料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国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；
- (3) 预埋件规格和性能应符合设计要求。

7 仰拱块验收应符合下列规定：

- (1) 应逐块检查外观质量。
- (2) 每生产 15 块应抽检 1 块进行几何尺寸和主筋保护层厚度检验。

条文说明

仰拱块预制厂由钢筋笼生产区、仰拱块灌注区、仰拱块临时存放区、仰拱块存放场、混凝土拌合站、锅炉房和原材料堆放场等组成。对生产用水、生产用电进行合理规划，尽量进行架设或敷设，避免场地

内部交叉影响内部通行。

仰拱块生产车间内分为仰拱块灌注区、仰拱块室内养护区。

钢筋加工车间同仰拱块预制车间相连。车间由钢筋堆放区、半成品加工区、半成品堆放区、钢筋骨架制作区、成品钢筋骨架堆放区、混凝土垫块生产区等组成。

混凝土拌合站和蒸汽锅炉拌合站由骨料配料系统(配料机)、骨料输送系统、计量系统、搅拌系统、电气控制系统、供水系统、供气系统、添加剂供给系统、水泥螺旋输送机、水泥筒仓等部分组成。锅炉房采用蒸汽锅炉，用于仰拱块的养生。

4.6.9 弃渣场

1 弃渣场应根据设计及环保要求，合理选择弃渣场位置，防止泥石流、滑坡、堵塞河道等灾害发生，保证下游及附近人员生命财产安全。

2 弃渣场应遵循“先拦后弃”的原则，做好防排水与防护工作。

3 弃渣过程中应进行洒水抑尘，保护弃渣场周边环境。

4.7 施工通风

4.7.1 隧道通风应根据施工人员数量、设备数量、设备功率、风速要求决定最小供风量。

4.7.2 为保证压入较好的新鲜风，风机应在洞口 30m 设置。

4.7.3 风机选择应进行方案比选，选择较合理、省电的风机。

4.7.4 通风量除计算量外，应考虑余量，以保证 TBM 设备后临时工作需要。

条文说明

施工通风是长大及特长隧道施工的重要配套工艺之一。合理的通风系统、理想的通风效果是实现隧道快速施工、施工人员身心健康及施工安全的重要保证。设计科学、先进、合理的通风系统，配置高效的通风机械是解决通风难题的根本。此外，高水平的施工通风管理也是保证通风效果的关键。隧道施工通风用电在隧道施工用电中占有相当的比重，优先选用节能型风机以降低能耗。在满足通风效果的前提下，减少风机的品种、型号、数量。在隧道净空允许的情况下，采用大直径风管以便减少能耗损失。通过科学性、适用性、经济性、一次性投入通风设备，以减少隧道施工通风系统的运行成本。

5 超前地质预报

5.1 一般规定

5.1.1 隧道 TBM 施工前应根据区域地质资料和设计文件的地勘资料，编制超前地质预报方案和实施细则，报批后实施。

5.1.2 超前地质预报技术方法有工程地质法、超长水平钻孔法、弹性波反射法、超前钻探、BEAM、HSP、CT 等。

5.1.3 地质预报应根据隧道工程地质与水文地质条件和复杂程度等，针对不同类型地质问题选择不同方法和手段，分段、分级进行超前地质预测预报。

5.1.4 隧道 TBM 超前地质预报应由具有相关经验的单位实施，实施单位应根据预报方案配备专业人员和仪器设备。

5.1.5 超前地质预报结论应有书面报告，并报至管理相关各方，信息传递顺畅、反馈及时、决策处理迅速。

条文说明

为保证隧道的顺利施工，避免地下水发育地段、不良地质地段发生突水、突泥、塌方等灾害，确保隧道施工安全，需要采取有效措施对 TBM 前方地质情况进行较为准确的地址预报，根据隧道的具体情况判定超前地质预报内容。经过超前地质预报，在掘进后对地质条件再次确认，通过对比反馈信息和分析，逐步提高对围岩的预报判断识别的准确性。

5.2 超前预报内容

5.3 超前地质预报方法

5.3.1 掘进参数和岩渣性状的预报

1 该方法利用 TBM 与岩石相互作用的状态和皮带机出渣情况，实时监测判断前方掌子面岩石的情况和变化趋势。根据不同情况及时作出掘进策略的调整。TBM 掘进参数的变化情况可从操作室显示屏直接观察，岩渣的变化可从操作室视频监控显示观察，也可从皮带机上的出渣直接观察。

2 基于 TBM 掘进参数和岩渣性状的预报方法主要依据有：

(1) TBM 掘进中，推进力大、贯入度小、振动大、扭矩变化幅度小，岩渣基本为片状，表明掌子面前方岩石坚硬、完整。

(2) TBM 掘进中，推进力较大、贯入度较大、振动大、扭矩变化幅度大，岩渣除片状以外含形状各异的大石块和少量渣土，表明前方岩石较硬、但节理裂隙较发育、甚至有塌方或断层。

(3) TBM 掘进中，推进力较小、贯入度大、振动小，岩渣含大量渣土或非片状小石块，表明前方岩石为软弱破碎围岩。

5.3.2 超前钻探预报方法

通过在 TBM 上配备超前钻机，可以以洞轴线约 7° 角，穿过护盾预留孔，斜向前方钻孔，可以辅助探明前方约 30m 左右的地质情况。若发现围岩有较大变差倾向，施工前勘察设计资料也表明可能存在不良地质，可采取此技术进行进一步确认，已确保施工安全。

5.3.3 BEAM 实时超前地质预报方法

BEAM(Bore-tunnelling Electrical Ahead Monitoring)是隧道实时电法超前地质预报方法。将其配置在 TBM 上，可在 TBM 掘进的同时，实时监测和预报掌子面前方约 3 倍隧道直径距离的地质情况。BEAM 主要有 BEAM 装置（可安装在 TBM 主控室）、屏障电极 A1(+)（如护盾）、追踪测量电极 A0(+)（如刀盘刀具）、接地电极 B(-)、电缆等构成。通过发射两种不同频率的追踪测量电流，得到与岩体空隙和水量有关的电能储存能力系数(PFE—频率影响系数)和电阻率(R)，预报前方岩体的完整性和含水性。

5.3.4 TSP 地震波超前地质预报法

长期超前地质预报采用的主要技术手段是 TSP 探测，是当前国内外最先进的隧道隧洞长期超前地质预报设备，预测距离为前方 150m。由于开敞式 TBM 主梁两侧洞壁裸露，具备实施 TSP 探测作业空间。

条文说明

在隧道内，人工制造一系列有规则排列的轻微震源；震源发出的地震波遇到不良地质界面时，将产生反射波，它的传播速度、延迟时间、波形、强度和方向等均与相关界面的性质以及产状密切相关，并通过不同数据表现出来；通过设备设置的震源反射波的数据采集系统，将这递增数据经微机处理后储存起来。然后，将数据输入带有特制软件的电脑，经过复杂数学计算后，最后形成反应相关界面或地质体反射能量的影像图和隧道平面、剖面图，供工程技术人员解译。

长期超前地质预报在隧洞地质资料的基础上进行，每次需要占用 6 小时以上，用于预报断层、溶洞和富水带的位置和规模，它要贯彻隧洞从开挖到贯通前的全过程。主要成果是 TSP 探测超前地质预报通知书，最高分辨率为 1m 地质体。

5.3.5 超前探测激发极化法

激发极化探测方法是电法勘探的一个重要分支，以围岩和含水地质构造的电性参数差异为物理基础，根据施加电场作用下围岩传导电流的分布规律，推断探测区域电阻率的分布情况和地质情况。

条文说明

在刀盘上布置若干个测量电极，形成排列相对均匀的测量电极系(测量电极 M)，同时也在掌子面上布置一个供电电极；在隧道掌子面轮廓上均匀布置 4 个供电电极，在隧道岩壁上每隔一定距离布置 1 圈，每圈 4 个供电电极(供电电极 A)；在隧道后方边墙上布置 2 个无穷远电极(测量电极 N 与供电电极 B)。在掌子面探测时，掌子面轮廓 4 个供电电极和掌子面中间的供电电极供入同性电流，其余测量电极进行数据采集。采集完毕后，更换下一圈供电电极进行供电，实现移动式测深。最后一圈供电电极系距离掌子面的距离不低于 60m，最远可达 100m。

6 TBM 组装与调试

6.1 一般规定

6.1.1 设备定制前应设计运输路线并进行勘察，限制 TBM 出厂最大件的尺寸及重量，必要时对运输线路上的路基、桥梁进行计算、加固。

6.1.2 TBM 运输应满足下列要求：

- 1 运输工具应能适应货物重量和尺寸；
- 2 运输工具应能满足运输线路通过性要求；
- 3 运输工具应功能完好，保证运输安全；
- 4 TBM 部件应固定可靠，防止运输过程中移动；
- 5 超宽、超重、超长应作醒目警示标志、警示灯；
- 6 装运时考虑部件不平衡，防止偏重；
- 7 禁止超载，超速运输；
- 8 采取合适的固定方法，不损坏 TBM 部件；
- 9 禁止使用钢丝绳串联的绑扎方法；
- 10 随时检查货物运输情况，如有货物损坏、滑动情况应及时处理。

6.2 设备组装

6.2.1 按照安全、经济的原则，一般在隧道洞口进行 TBM 组装工作，受其他条件限制时，也可以在隧道内进行 TBM 组装。

6.2.2 TBM 组装场地的长度、宽度、坡度应满足 TBM 设备的拼装条件和步进条件，坡度不宜太大。

6.2.3 TBM 组装时，应按照以下要求进行：

- 1 制定详细可行的 TBM 组装计划，使组装工作有序可控；
- 2 提前做好技术培训，项目总工组织专家对现场组装技术人员进行详细的安全技术交底，使参与组装的人员了解整机结构及功能；
- 3 制定合理的组装材料、配件、工具供应计划；
- 4 组装零部件标识清楚、堆放整齐，并做好清洁工作；
- 5 制定组装安全措施及应急预案。

条文说明

1 TBM 组装前制定组装方案，选择组装设备，并确保地基承载力满足起吊要求。

2 TBM 组装方案需确定 TBM 始发和设备吊运方式。TBM 始发包含 TBM 盾体和后配套设备两部分，一般可分为整体始发和分体始发；设备吊运方式应针对 TBM 部件的分解形式确定。大件吊装作业由具有资质的专业队伍负责。

3 地基承载力不满足要求时，可对承载土体实施加固或加铺钢板等措施。

4 TBM 组装时需注意下列内容：

- 1) 结构件、动力线的连接螺栓需按紧固扭矩的要求拧紧；
- 2) 连接销安装到位并紧固；
- 3) 液压管线保持清洁；
- 4) 电线、电缆连接牢固。

6.3 设备调试

6.3.1 TBM 组装完成后，需要对各个系统及整机进行调试，以确保整机在无负载情况下正常运行。调试过程可先分系统进行，再对整机运行进行调试，调试过程中详细记录各系统运行参数。

6.3.2 电气系统调试：电路检查、分项用电设备空载检查、分项用电设备加载检查、各设备急停按钮检查、控制系统检查等。

6.3.3 液压系统调试：空载和加载时泵和液压管路的调试、加载时执行机构的运行情况。步进系统的调试在主机安装完成后就进行，主要分为液压泵站负载运行时的状态和步进机械结构运转情况。其余各分系统调试根据组装和步进程序组织实施。

6.3.4 设备单项调试完成后，进行联合调试，对后配套工作平台上的电气系统、液压动力系统及与主机系统连接架等进行全面的检验，经检查后进行设备的调试工作，调试工作包括所有的运行系统。

条文说明

TBM 是集机、电、液、控为一体的、复杂的大型设备，包含了多个不同功能系统，若在掘进中发生问题，处理十分困难且易导致地层坍塌。因此，在现场组装后，应首先对各个系统进行空载调试，使其满足设计功能要求。然后必须进行整机联动调试，使 TBM 整机处于正常状态，以确保 TBM 始发掘进的顺利进行。调试通电前检测核查高压电缆及变压器要求。低压送电符合现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 的规定。

6.4 现场验收

6.4.1 所有调试工作完成后，进行现场验收，现场验收项目应包括以下内容：

主部件名称	验收项目	单位	验收指标	验收方法
整机	主机长度	m		
	整机长度	m		
	掘进行程	mm		
	表面耐磨措施与材质			
	分块数量与分块			
	开挖直径	mm		
	中心刀数量/直径	把/mm		

主部件名称	验收项目	单位	验收指标	验收方法
	正滚刀数量/直径	把/mm		
	边滚刀数量/直径	把/mm		
	刀具数量	把		
	刮渣槽	个		
	喷水嘴安装部位/ 数量/运行			
推进系统 (敞开式模 式)	油缸数量	个		
	油缸行程	mm		
	内径/活塞杆直径	mm		
	最大伸出速度	mm/min		
	最大回缩速度	mm/min		
	最大工作压力			
	总推力(最大)	kN		
推进系统 (压注式模 式)	油缸数量	个		
	油缸行程	mm		
	内径/活塞杆直径	mm		
	最大伸出速度	mm/min		
	最大回缩速度	mm/min		
	最大工作压力			
	总推力(最大)	KN		
铰接系统	油缸数量	个		
	油缸行程	mm		
	内径/活塞杆直径	mm		
	最大工作压力			
	总推力(最大)	kN		
撑靴	撑靴开槽数量及			
	撑靴油缸数量	个		
	撑靴油缸行程	mm		
	撑靴油缸内径/活 塞杆直径	mm		
	扭矩油缸数量			
	扭矩油缸行程	mm		
	扭矩油缸内径/活 塞杆直径			
后支撑	油缸数量	个		
	油缸行程	mm		
仰拱块安装 机	起吊高度	m		
	自由度			
	运行范围	m		
	侧向位移	mm		
	额定起吊重量	T		

主部件名称	验收项目	单位	验收指标	验收方法
	起重链条规格型			
	前后走行速度	m/s		
	起升速度	m/s		
	下降速度	m/s		
混凝土压注系统	压注泵数量	台		
	压注泵流量、压注			
	搅拌罐容量	m ³		
	土压计数量	个		
	止回油缸数量	个		
盾尾密封系统	压注油缸数量	个		
	型式			
	供脂型式			
	注脂部位数量	个		
模板拼装机	盾尾油脂泵	台		
	转速	r pm		
	旋转角度	°		
	自由度	个		
模板拆除机	拼装时间	min		
	转速	r pm		
	旋转角度	°		
	自由度	个		
钢模板	拆除时间	min		
	分块	块		
	外径	mm		
	内径	mm		
	宽度	mm		
	模板环椭圆度	(‰)		
	模板环内错台	mm		
	模板环间错台	mm		

条文说明

TBM 验收项目可按设计功能、参数、图纸和说明书的内容进行补充，并符合相关技术要求。

1 TBM 盾体的外径和长度符合设计要求，盾体表面平整。

2 刀盘连接用的高强度螺栓按 TBM 制造厂家的设计要求配置，使用扭力扳手检查达到设计扭矩值，采用焊接形式时符合设计要求。刀盘空载运行各档正向、反向各 15min,各减速机及传运部分无异常响声。集中润滑系统进行流量和压力测试，各润滑部件受油情况达到设计要求。刀具装配牢固，不得出现松动，刀具硬质合金焊接可靠坚固，且不得有裂纹。

3 钢拱架、仰拱拼装机空载测试时，各部件的行程、回转角度、提升距离、平移距离、调节距离符合设计要求，各系统的工作压力满足设计要求；负载测试时，拼装机作回转、平移、提升、调节等动作

运行平稳，回转运动停止可靠，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。

4 皮带输送机空载测试时，不应有皮带跑偏现象。负载测试时，运转平稳，无振动和异常响声，全部托辊和滚筒均运转灵活。

5 集中润滑系统的管路布置合理，润滑部位无油脂溢出，循环开关动作次数达到设计值。

6 液压系统的管路配管布置合理，泵组工作声音正常，无异常振动；各系统的调定压力符合设计要求，空载压力正常；系统工作的泄油压力正常；各传感器、压力开关、压力表等工作正常；系统经耐压试验，无泄漏；系统处于工作状态时，油箱温度正常。

7 铰接液压缸的配管线路、阀组等布置合理，状态良好，伸缩动作状况、动作控制和行程良好，工作压力符合设计要求；密封装置集中润滑工作正常，密封圈充满油脂。

8 电气系统通电前验收内容包括：电器型号、规格符合设计要求；高、低压箱柜等符合要求；电器安装牢固、平正；电器接地符合设计要求；电器和电缆绝缘电阻符合安全标准。

9 通电后验收内容包括：操作动作宜灵活、可靠；电磁器件无异常噪声；线圈及接线端子温度不超过规定值。

10 TBM 验收在试掘进后进行。根据 TBM 实际运转状况、掘进状况对照约定的验收考核内容及指标，由 TBM 设计、制造和使用方共同进行评估，达到设计制造和约定的技术要求后，履行验收手续，完成 TBM 验收。

7 掘进施工

7.1 一般规定

7.1.1 TBM 现场组装完成后对设备系统进行调试、静态验收与动态验收。

7.1.2 TBM 施工按照工序划分为始发、掘进和接收。施工过程中，应按照各阶段的施工特点和施工安全、工程质量和环保要求等采取针对性施工技术措施。

7.1.3 TBM 试掘进阶段应在 TBM 起始端 50~200m 进行。试掘进应根据掘进情况调整并确定掘进参数。

7.1.4 掘进施工应控制出渣量、TBM 姿态和地层变形。

7.1.5 仰拱块铺设后及时进行砂浆回填和注浆。

7.1.6 TBM 掘进过程中，后配套设备、排水设备、通风设备、运输设备和供电系统应保证正常运转。

7.2 始发准备

7.2.1 TBM 始发洞室施工尺寸，要结合 TBM 发盘到撑靴的长度、撑靴的最大行程宽度、TBM 步进时的抬升高度，选用最安全、经济的始发洞室尺寸。

7.2.2 TBM 始发前要根据掌子面的岩层、掌子面与刀盘密贴情况，选择 TBM 始发掘进的参数。

7.2.3 TBM 始发前步进为整机步进法或分段步进法。

条文说明

TBM 始发前，进行始发条件验收，满足验收条件后方可实施 TBM 始发。始发条件验收包括但不限于施工方案、应急预案、监测措施、人机料筹备、技术交底等项目。

7.3 TBM 步进

7.3.1 做好始发洞室与步进底板，控制好始发洞室的内径和步进底板坡度、标高。

7.3.2 步进前要做好步进槽，控制好步进槽的轴线。

7.3.3 步进小车安装，检查好电气、液压系统，保证步进工作正常。

7.3.4 每班步进工作完成后及时检查电气、液压系统，防止油缸泄压导致盾体失衡和姿态偏差。

7.3.5 TBM 步进前应做好以下准备工作：

- 1 接通主变压器电源，施工人员配备照明设备及通讯设备；
- 2 检查故障指示器，在没有任何故障显示时，才能进行下一步操作。如有故障，应由有关人员立即检查排除；
- 3 检查润滑油油位，如有必要，立即补油；
- 4 对各部进行简单检查，确信机器状态良好；
- 5 保证撑靴与步进架连接状态良好。

7.3.6 当 TBM 完全进入始发洞室后，将步进小车及步进架与 TBM 连接处分解，将步进架就地拆解，人工配合吊机将其各部件通过机车运出洞外。

7.4 TBM 试掘进

7.4.1 始发前应在盾体两侧焊接防扭块，防止出现盾体偏转，并对姿态进行复核。

7.4.2 始发时观察掌子面围岩情况，遇破碎围岩应进行加固，防止塌方。

7.4.3 始发时根据围岩情况选择掘进参数，控制掘进参数和推力，加强监测，并根据监测数据调整掘进参数。

7.4.4 TBM 始发时，撑靴撑紧在始发洞室掌子面上，做好撑靴监测，防止撑靴打滑和盾体偏转。

7.5 TBM 全断面掘进

7.5.1 TBM 掘进过程中，应根据隧道工程地质和水文地质条件、埋深、线路平面与坡度、地表环境、施工监测结果、TBM 姿态以及始发掘进阶段的经验，设定 TBM 刀盘转速、掘进速度、推力等掘进参数。

7.5.2 TBM 掘进过程中应监测和记录 TBM 运转情况、掘进参数、出渣量，并应及时分析和反馈，调整掘进参数、控制 TBM 姿态，加强支护。

7.5.3 仰拱块安装前，应进行拱底清渣，保证仰拱块底部的平整。

7.5.4 仰拱块安装时，注意吊装安全和吊装正确，防止碰撞损坏仰拱块。

7.5.5 仰拱块安装完成后，进行螺栓连接和砂浆回填，出现错台时应从仰拱块注浆孔注浆，保证错台在规定范围内。

7.6 TBM 半断面掘进

7.6.1 TBM 半断面掘进过程中，会造成刀盘偏载，需要注意 TBM 的各项掘进参数。

7.6.2 TBM 半断面掘进过程中，需要对设备的震动频率、主梁应力与变形进行监测。

条文说明

TBM 半断面掘进工法，是在长大深埋隧道施工过程中，可能会遇到高地应力条件下的岩爆和涌水施工难题，为了减小强烈~极强岩爆发生的概率和降低施工的风险，保证 TBM 能够安全、顺利通过岩爆易发生洞段，采取钻爆法开挖导洞后 TBM 再进行扩挖的施工工法。

7.7 姿态控制

7.6.1 TBM 在掘进过程中，要控制好撑靴压力、推进油缸推力，以保证 TBM 掘进时的轴线控制。

7.6.2 TBM 在曲线段掘进时，要注意控制 TBM 姿态，防止出现卡盾；钢拱架拼装间距和垂直度，防止后续推进时，撑靴与拱架干涉导致拱架损坏；仰拱块拼装，注意控制仰拱拼装错台，轴线偏差，防止轨道铺设偏移，导致 TBM 台车掉轨。

条文说明

TBM 掘进施工中,经常测量和复核隧道轴线及 TBM 姿态,发现偏差应及时纠正。应采用调整 TBM 姿态的方法来纠偏,纠正横向偏差和竖向偏差时,采取分区控制 TBM 掘进液压缸的方法进行纠偏;纠正滚动偏差时采用改变刀盘旋转方向、施加反向旋转力矩的方法进行纠偏。

7.8 施工运输

7.8.1 一般规定

1 出渣运输设备可结合出渣强度、运输距离、隧道坡度、隧道洞内空间大小等因素,选用技术可靠、经济合理的出渣方式,出渣方式一般采用有轨运输或连续皮带机运输。出渣设备的运输能力与主机皮带的运输能力应相匹配。

2 TBM 施工时,可采用有轨运输或无轨运输来进行物料、渣土运输,长距离隧道的 TBM 施工,渣土运输一般采用连续皮带机进行出渣。

3 TBM 隧道中的运输组织,一定要安全、合理、流畅,隧道内的通行信号明确。

条文说明

TBM 施工物料运输主要包含出渣和支护材料,目前 TBM 施工采用的出渣及物料运输方式主要为有轨运输系统、有轨运输+连续皮带机出渣系统、无轨运输+连续皮带机出渣系统三种方式。

有轨运输指采用具备牵引力的机车出渣和物料运输,机车又分为电力驱动和内燃机驱动两种。电瓶车具有使用灵活无污染的优点,但是电瓶使用寿命短、用电效率低、牵引能力不足。内燃机车牵引力大、运输量大、污染严重,相对电瓶车通风费用有所增加,但对长隧道有轨运输来说仍然是首选方案。

有轨运输+连续皮带机出渣系统是指采用牵引机车运输物料,连续皮带机出渣,其优点是出渣效率高、污染少,但是需要大量的轨道等周转材料。

无轨运输+连续皮带机出渣系统是指内燃机车运输物料,连续皮带机出渣,其优点是物料运输较为灵活,隧道内的交叉作业互不干扰。

7.8.2 出渣运输

1 有轨运输的轨道应保持平稳、顺直、牢固,并进行养护。当采用卡车、内燃机车牵引时,不应对环境空气造成影响。

2 当长距离运输时,宜在适当位置设置会车道。

3 牵引设备的牵引能力应满足隧道最大纵坡和运输重量的要求。

4 车辆配置应满足出渣、进料及 TBM 掘进速度的要求。

5 隧道内运输宜设置专用通道。

7.8.3 供料运输

1 材料运输时,仰拱块体积大、重量大、重心高,宜采用重心低、牵引力大、刹车能力强的车辆进行运输。

2 材料放置应牢固,防止掉落伤人。

3 隧道内应设置会车道，使各项运输流畅。

7.8.4 人员运送

1 隧道较长时，减少通勤时间，配备安全的人员运输车辆，车辆载人不应超过 10 人/车。

2 运输人员的车辆应定期进行检修，隧道内部通勤频繁，维保时间应比常用车辆缩短时间，以确保车辆安全。

3 作业过程中，严禁工作人员乘坐运输材料车辆进出隧道。

条文说明

隧道距离较长时，为了方便施工人员上下班，规范隧道内的交通管理，一般情况下会安排专车接送施工人员，并安排专职司机驾驶，非专职司机不得驾驶运输施工人员车辆。

中国公路学会标准征求意见稿

8 TBM 保养与维修

8.1 一般规定

8.1.1 TBM 保养与维护可以大大减少设备发生故障的机会，并使维护人员增强对设备的了解；

8.1.2 在进行保养维护操作前，要查阅相关图纸、装配图和技术资料，严格按安全操作规程进行。

8.2 TBM 保养

8.2.1 当出现下列情况之一时，应对 TBM 及其附属设备进行保养：

- 1 TBM 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 在 TBM 通过特殊地段前。
- 4 长时间停机或拆机贮存期间。

8.2.2 TBM 保养必须贯彻“养修并重，预防为主”的原则，依照不同的机型所规定的周期和作业范围，有计划地做好机械定期保养工作。

8.2.3 TBM 保养可采用日常巡检保养和定期停机保养相结合的方式。每天进行日常巡检保养。每周停机 24 小时进行强制性集中保养。采取以日常保养为主，停机保养为辅的方式。

8.2.4 TBM 保养工作必须制定维保计划，并且应严格按计划执行。

8.2.5 在进行 TBM 保养操作前，作业人员要查阅相关图纸、装配图和技术资料，严格按安全操作规程进行。

8.2.6 TBM 在隧道掘进过程中，当遇到富水围岩地段时，应做好设备防水：

- 1 TBM 高压电缆、设备电路需高挂，且防止磕碰、水泡。
- 2 TBM 弱电电路应做好电路接头的密封防水。
- 3 TBM 主机柜、变频柜、变电柜，应按照“遮盖、密封、隔绝”的原则进行防水，防止渗水进入设备。
- 4 TBM 各润滑系统，应按照“早防护、勤检查、多清理”的原则进行防水管理，防止设备运转过程中渗水进入润滑系统。

8.2.7 TBM 保养采取责任工程师签认制度，所有保养工作内容都要有书面纪录，并且由责任工程师检查签认。对电气和液压系统的任何修改（包括临时接线等）都要做详细记录、签字并存档。

8.2.8 TBM 维保工作必须遵循以下安全说明：

- 1 只有当机器停止操作时才能进行维护保养工作。
- 2 断开要维护保养的电气部件的开关，并确保维护期间不会工作。
- 3 在液压系统维护保养之前必须关闭相关阀门和泄压，必须防止液压油缸的意外伸缩和液压马达的意外运行。意外泄漏的高压油会造成人员的伤亡和液压设备的损坏。

4 液压系统的维护保养必须注意清洁,严禁使用棉纱等易起毛的物品清洁管接头内壁、油桶、油管等。

8.2.9 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。

8.3 TBM 维修

8.3.1 为保证设备状态持续完好,必须根据 TBM 操作、保养以及状态监测的信息,综合分析,及时准确地判断故障部位、性质以及原因,确定维修方案,在最短的时间内实施维修,并且尽量减少维修时间、降低维修成本。

8.3.2 在长距离隧道 TBM 施工中,应检测并全面掌握 TBM 设备技术状况,制定合理维修方案及维修计划,完成维修过程中的人员、设备、配件、材料等资源准备工作。为了保证在 TBM 停机检修之前将所需配件准备到位,维修准备工作应在 TBM 停机维修之前根据部分配件交货期提前数月开始启动。

8.3.3 在对 TBM 及附属设备进行全面检修前,为了完成好 TBM 全面检测及设备技术状况判定,应安排相关专业人员组成评估小组,完成 TBM 全面检测及设备技术状况评估工作。评估小组逐部件、逐系统对 TBM 设备进行调查和检测:

1 调查工作主要是对设备前期运转情况进行摸底,根据运转情况判断设备可能的状态。

2 检测工作是通过一定的技术手段对每个部件、每个系统进行检测,检测方法主要是使用检测仪器进行带载、空载检测,外观目测,抽样拆检等方法。

8.3.4 TBM 掘进期间发生影响掘进的设备故障临修,应在掘进工班长的领导下,由跟班机械、电气、液压技术工程师全权负责处理。一般小故障,可在洞内由各操作工位的负责人独立解决,难于处理时,优先采用换件修理方法,尽快恢复掘进。

8.3.5 TBM 出现重大设备故障时,由现场机械总工程师调度指挥,召集技术部门、掘进工班、整备工班以及其他相关人员,共同商讨解决办法,制定维修计划.必须停机时,报上级领导同意后,方可进行维修。

8.3.6 在 TBM 维修前,维修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。

8.3.7 在对 TBM 及附属设备进行维修时,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。

8.3.8 TBM 维修时,应做好书面记录。任何维修均应有准确完整的记录,记录包括维修日期、操作时间,零件更换目录和其它有关工作。

8.3.9 为了使 TBM 达到最佳的工作状态,应维修更换备件以延长其工作年限,以排除工作中的安全隐患。

8.3.10 TBM 掘进期间,应根据制定的维修方案及检修计划,进行整机清理,停机拆检,功能校核,更换损坏或达到使用寿命的备件,磨损部位进行修理以恢复功能,委外检测及维修等工作。维修工作包含不限于以下内容:

1 停机清理:全面清理液压、电气系统。

- 2 功能校核：对传感器、测量系统等部件进行校核，以保证传感数据准确无误。
- 3 结构检查：对立柱、侧支撑、连接法兰、台车连接处等承重部分的焊接进行检测，对变形部分进行校正，对连接螺栓进行查漏补缺。对后支腿、撑靴等承重重点部分进行检测。
- 4 更换备件：根据既定检修方案，更换损坏或达到使用寿命的备件，如各系统滤芯；更换重要部位变速箱的润滑油，如主轴承减速箱、皮带机减速箱、驱动系统减速箱等。
- 5 停机拆检和维修：在 TBM 维修准备工作中，由于 TBM 正在运行，无法对运转部分的部分系统和部件进行检测，应停机拆检。如主轴承密封，在停机阶段，应对密封及其配合部件进行拆检，如磨损情况不能保证下一阶段掘进，则应更换密封系统。
- 6 恢复性维修：对难以进行更换的磨损部位进行恢复性维修，主要针对刀盘进行。
- 7 委外维修：对存在问题的液压泵站、马达、油缸、阀件，电机等，现场不具备检测和维修手段，应在停机阶段送至专业厂家检测和维修。

8.4 TBM 刀具更换

对 TBM 刀具更换标准、刀具更换地层选择做出规定。

8.4.1 当刀具磨损达到一定程度或由于地质变化时，必须进行刀具更换，更换前做好计划和准备工作，宜分期分批进行。

8.4.2 刀具更换必须在确保安全的前提下进行：

1. 更换作业尽量选择在中竖井或地质条件较好、地层较稳定的地段进行。
2. 如在较差的地层换刀时，必须对地层进行预加固等措施，确保开挖面的稳定。

8.4.3 刀具更换评判标准见表 16.3.3。

表 8.4.3 刀具更换评判标准表

部件类型	检查项目	检查方法	更换/判断标准	备注
滚刀	刀圈磨损量	用专用刀具测量尺	中心刀 25mm、正滚刀 25mm、边滚刀 15mm	正面滚刀相邻刀高差小于 12mm；边滚刀建议允许磨损量 12mm，相邻刀高差小于 10mm；对与新换刀具与相邻旧刀量差过 15mm 可换一过渡刀。
	刀圈有无裂纹、断裂、弦磨及挡圈脱落现象	清理刀孔，仔细观察。弦磨需用手触摸感觉，或用自己的适宜工具或方法测量	刀圈出现裂纹、断裂必须立即更换；边刀、过渡刀及中心刀出现弦磨现象必须更换；弦磨刀具的极限以弦磨最严重部位的数据为准；正滚刀可根据实际情况而定，但不宜超过 2 环。	刀圈弦磨时，必须仔细检查附近两把刀具的工作情况。

部件类型	检查项目	检查方法	更换/判断标准	备注
	轴承及其密封	观察刀具轴承在刀盘手动状态下是否转动及密封是否完好,也可通过气味识别(若刀具润滑油泄漏会产生刺鼻、难闻的臭味)。	边刀、过渡刀及中心刀出现轴承密封失效现象必须更换,正滚刀可根据实际情况而定,但不宜超过2环。	刀具漏油时,必须仔细检查附近两把刀具的工作情况,为了准确性,所以要求刀孔必须清理干净。
	螺栓及保护套	用手拧及小铁锤敲击	若有松动需将刀具拆下,清洗安装结合面,重新安装。	有保护套发生脱落的必须重加一个,不要因其对刀具没运行影响而最终导致楔螺栓螺纹受损。
	中心刀夹紧块	清理后观察磨损情况、变形情况	若中心刀固定效果不好,存在松动现象,应清洗中心刀结合面并更换夹紧块。	
刮板及齿刀	磨损情况	清理后观察	刮板应为正常磨损而无明显残缺现象	更换边刀必须更换刮板,螺栓使用新螺栓。
	螺栓	目测,用手拧及小铁锤敲击	螺栓若出现断裂松动现象,应将原件拆下,清洗安装结合面,重新安装。	每次安装应使用新螺栓
主轴密封	油脂溢出情况	用灰刀清洁密封附近观察,如无明显油脂,开启油脂泵,观察油脂溢出情况	观察密封附近清洁面油脂是否充溢及是否是新鲜油脂;如不明显,或因其它原因无法判断,则开启油脂泵,几分钟后应有大量油脂从迷宫密封处溢出,否则需检查油脂系统。	检查并注油
喷嘴	磨损情况	清洗后观察	磨损不应影响固定和喷水	因地质等原因,时常不能检查到位,但当地质适宜时必须检查。
	喷水效果	开启热水泵并打开喷水阀观察	喷嘴不能堵塞,每个喷嘴应喷出足够的流量和很高的压力。	
旋转接头	运转情况	转动刀盘,观察旋转接头运转情况。	运转平稳,无异响。	
	油脂润滑情况	检查注油口	润滑效果是否良好	检查的同时应通过两个黄嘴加注润滑油至充溢
	管路连接情况	目测,用手拧	管路连接应完好,连接处不能有泄漏。	
扩挖刀	刀具磨损情况	测量、目测	刀圈不能出现弦磨	

部件类型	检查项目	检查方法	更换/判断标准	备注
	油管磨损情况	目测	油管不能出现破损、渗油等现象，否则立即更换。	
	油缸固定支架	用手拧及小铁锤敲击	支架应稳固且无大的磨损	

8.4.4 在 TBM 掘进中进行刀具检查与测量，施工时获取原始数据，原始数据是对刀具的分析及更换做准备，原始数据应详细、真实，做好记录并存档。

8.4.5 对前期勘察地质资料中不同岩层变化部位及断层构造带应有周密的掘进计划，充分估计刀具的磨损程度，选择合适的时间检查、测量刀具，尽量避免因刀具的检查及测量耽误掘进时间，选择合适的停机时间检查、更换刀具，避免因刀具问题延误特殊洞段最佳通过时机。

8.4.6 根据刀具磨损原始记录以及实际的掘进情况，当检查刀具发现滚刀磨损量超过刀具更换规定值或偏磨、崩刃等其他形式的损坏需要更换刀具时，换刀人员必须通知主管部门，由主管部门与维保人员确定刀具更换数量与新刀安装位置。

8.4.7 在刀具更换过程中应遵循正确的换刀规律，一旦发现该更换刀具时必须及时更换，控制在修复范围内；在更换时确保换刀过程的正确合理；严格按照滚刀的拆装工艺进行滚刀的更换，确保刀具的更换质量。

8.4.8 刀具更换前，作业人员必须经过相关专业的安全技术培训后才能上岗。

8.4.9 更换刀具时应作好更换纪录。

8.4.10 拆卸刀具时，应在主管部门人员或维保人员在场的情况下进行拆卸。

8.4.11 刀具运输过程（包括从洞外到换刀位置的全过程）以及旧刀具运出地面过程中，必须保护好刀具不被碰撞，严禁刀具碰撞设备。必须检查吊具、钢丝绳、木板等的质量，确保其安全性能的前提下方能投入使用。

8.4.12 在刀具检查、测量、更换及清理刀具积泥过程中，工作人员必须要做好安全防护工作，做好进出刀盘的工作人员登记确认工作，进出刀盘的工作人员必须签字确认，严禁在没有通知 TBM 操作手的情况下进入刀盘，并且严禁在刀盘里有工作人员的情况下启动刀盘。

8.4.13 安装刀具时，应将维修好的刀具做好标记，必须按照已经做好的刀具标记进行刀具安装，如果没有按照安装标记安装的刀具，必须重新拆卸安装。边刀更换必须安装新刀，正面滚刀安装时相邻刀磨损差应控制在 10mm 以内。

8.4.14 完成刀具更换后，为了使刀具受力均衡，能够更好地工作，必须转动并再次检查刀盘以确保刀具安装质量合格。同时着重观察每把刀具的转动情况，并再次确认相邻刀位的刀具磨损量相差不超过 15mm。

8.4.15 刀具更换后，必须检查确认刀盘内没有人员、换刀工具或者其它物品，准备开始掘进。在掘进之前，刀盘以低速（4~5r/min）空转 5min，直到刀盘扭矩值很小且没有大的变化，逐渐加大推力，直到刀盘完全接触掌子面，再根据掘进情况和碴土的状态选取合理的掘进参数。

中国公路学会标准征求意见稿

9 TBM 接收与拆机

9.1 一般规定

9.1.1 TBM 拆机前，应编制拆机专项方案，制定 TBM 的拆解工艺流程及安全操作规程。

9.1.2 TBM 掘进贯通前，应进行精确测量和调整，确保掘进方向和出洞精度。

9.1.3 TBM 拆机流程，应根据工程总体规划和现场条件，确定拆机的总体流程，分系统、分部位、分时段地进行拆机管理、技术组织和安排。

9.1.4 应根据 TBM 设备的最大件重量和尺寸、场地道路情况，经综合必选后，确定吊装设备的型号和规格。

9.1.5 吊装设备应选择符合安全要求、具备相应资质的专业厂家的产品；门吊或桥吊组装完成后，必须进行试运行及模拟重量试吊，合格后方可投入使用。

9.1.6 应由经过专业培训的起重人员负责 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。

9.1.7 应充分做好拆机前的工、料、机的准备工作，加强现场的协调指挥，确保拆机作业按计划实施。

9.2 TBM 接收

9.2.1 TBM 贯通前，进行掘进姿态与隧道轴线复核，实现精准贯通。

9.2.2 TBM 贯通前，按照设计要求，做好接收洞室，加固接收洞掌子面，防止出现塌方。

9.2.3 准备好步进小车设备，贯通前安装好吊装拆机设备；若是洞内拆机，则当 TBM 到达位置时，进行隧道扩挖，施作拆机洞室。

9.3 TBM 拆机

9.3.1 设备拆机前应完成下列工作：

- 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。

9.3.2 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 场地应做好硬化，门吊行走轨道基础应为钢筋混凝土结构，拆卸场地地基承载力及混凝土厚度、强度应满足 TBM 生产厂家对拆卸场地的要求；
- 4 拆卸场地应满足 TBM 拆卸和大件的吊装，并预留一定的富余空间。

9.3.3 洞内拆卸场地及拆卸应符合以下要求：

1 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 采用桥吊时，应采用双钩双梁式。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 3~4m，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、拆卸用电、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 应做好洞室内的排水工作，保证拆卸洞内的干燥和清洁。

5 拆卸洞内拆卸下来的设备，应及时运出洞外存放场。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，并做好场地排水和照明，设置防护装置及消防器材。

9.3.4 拆机作业应遵循以下安全规定：

1 拆机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 拆机作业时，作业人员应佩戴安全帽；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，先试调后再平衡吊运；

5 吊件不得从作业人员头顶上空通过；翻转吊件时，钢丝绳应保持垂直状态，不得斜拉斜吊；

6 拆卸作业时，不得损坏设备上的标识；

7 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；

8 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、断裂现象应及时更换，做好交接班记录，记录中应包括当班拆卸作业内容。

7.3.5 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 拆机后的维修计划、拆卸过程中缺损件统计、拆机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、拆机后的遗留问题等统计资料整理并归档。

10 不良地质段施工及处治

10.1 一般规定

10.1.1 在 TBM 施工过程中, 坚持“预防为主, 防治结合”、“有疑必探, 先探后掘”的方针, 采取“探、放、堵、截、排”综合措施。轻微涌水, 可以采用设备自带水泵进行排水; 当涌水量较大时, 增加水泵, 并且可以进行超前注浆封堵。

10.1.2 针对施工过程中遇到的地应力较高、可能出现岩爆地段遵循“短进尺、弱爆破、勤量测、强支护、早衬砌”的原则, 采取积极主动的预防措施和强有力的施工支护, 确保岩爆地段的施工安全, 将岩爆发生的可能性及岩爆的危害降到最低。加强监测, 采取向掌子面加强刀盘喷水、钻地应力释放孔、增设锚杆、挂网等措施, 同时加强观测, 以确保人身、机具安全和施工的顺利进行。

10.1.3 对于软岩大变形地段, 应增大初期支护预留变形量, 要求刀盘应具有直径方向不小于 100mm 的扩挖功能, 前下支撑应具有垂直抬升不小于 100mm 的功能; 加强超前预支护及初期支护。采用锚、注、喷一体化围岩加固-支护系统, 设底部横撑或临时仰拱, 提高隧道抗挤压, 抗变形的强度。

条文说明

由于 TBM 设备庞大, 对地质条件适应性没有钻爆法灵活, 在没有预警的情况下遇到不良地质时, TBM 掘进受到的影响远大于钻爆法开挖, 往往导致掘进速度缓慢、效率低下以及工期延误, 处理不当甚至带来灾难性后果。在不良地质段掘进时, 要根据 TBM 自身特点和工程地质条件采取相应的施工方法和处理措施, 以保证安全、顺利地通过不良地质段。

10.2 高地应力区域施工措施

10.2.1 对于高应力地段, 容易发生较大变形以及岩爆, 可以采用释放应力的措施。采用高压水管对岩面喷水软化围岩, 促使应力释放和调整; 掘进前打超前孔提前释放应力, 必要时利用超前地质钻机施作 $\Phi 75$ 应力释放孔, 孔深 10m。掘进后打径向应力释放孔, 钻孔方向垂直岩壁。

10.2.2 根据围岩类别和岩爆强烈程度对围岩进行初期支护, 拱部 120° 范围采用格栅拱架+钢筋排联合加强支护, 必要时, 根据岩爆发生范围布置 $\Phi 6.5$ 柔性钢丝网或普通钢筋网。

10.2.3 当遇到岩爆发生时, 可采用如下处理措施:

- 1 设临时防护网: 主要是防止飞石伤人和砸坏机具;
- 2 待避及清除浮石: 在岩爆比较猛烈的时候, 应在安全处躲避一段时间, 待避到平静时为止; 洞顶的岩爆松石要清除掉;

3 喷雾射水: 岩爆后立即向工作面及工作面以后一定距离的隧道周边进行喷雾和高压冲洗, 以适当改变岩石力学性质, 降低岩石的脆性, 将需释放的能量转变为热能。

10.2.4 当遇到软岩大变形时, 可采用如下处治措施:

1 刚柔层(RFL)支护技术

刚柔层(RFL)支护技术及其力学原理 预留刚柔层(Rigid-Flexibal-Layer)支护技术, 从力学概念上讲

就是利用高应力软岩的特点,在支护体内设置一种刚柔层,使其既具有足够的肉度来适应高应力软岩的大变形,以转化高应力,又在一定的时刻具有足够的刚度来限制高应力软岩的破坏变形,从而使支护既安全又经济的一种方法。

2 刚隙柔层(RGFL)支护技术

刚隙柔层(RGFL)支护技术及其力学原理 预留刚隙柔层(Rigid-Gap-Flexible-Layer)支护技术的力学概念是在支护体内设置刚性层和柔性层,在刚性层和柔性层之间预留一定量的间隙,使其能够大幅度地吸收高应力软岩的大变形。这样就形成了所谓的刚隙柔层,它具有充分的柔度和间隙以适应高应力软岩的大变形,同时又在一定的时刻(间隙压密、刚柔层相接时)具有充分的刚度以限制围岩的有害变形,从而使之成为高应力转化最大、围岩强度保护最好的一种支护技术。预留刚隙柔层支护技术的工作原理是在柔性喷层和钢架之间预留一定量的空隙,允许围岩变形释放能量,待柔性喷层与钢架接触时,再喷混凝土永久支护,故其毛断面要大于设计断面。

3 超前锚杆支护技术

在节理发育、破碎岩体的隧洞施工中,超前锚杆支护是一种新型支护结构,其目的对开挖面前方的围岩进行预先加固补强,以防止围岩在开挖后坍塌。国内外已有不少应用超前锚杆预支护结构顺利通过松散、破碎带或土砂质地层成功例证。超前锚杆与隧洞围岩相互作用,通过借助锚杆下方完整岩体,对锚杆上方的岩体起到向上支承的作用,从而防止上方岩体冒落,对于锚杆群,在推进方向上,由于各锚杆之间的相互作用,各锚杆之间的作用范围相互叠加,在推进方向上形成支承拱,并随隧洞向前推进而随之推进,从而使超前锚杆群形成一个整体,增加了整个超前锚杆群对隧洞围岩的支承能力。选择何种长度、直径的超前锚杆,采用多大的布设角度,要根据隧洞围岩的具体强度以及破碎程度来确定。一般来讲,对于强度比较低、破碎程度较大的岩体,应选择长度较长、直径较大的超前锚杆,同时布设角度也应相对较小,这才能充分与隧洞围岩内部完整岩体相互作用,形成较强的支承能力。

4 锚杆与围岩耦合支护技术

锚杆对岩体的加固作用机理比较复杂,主要表现为:①锚杆与岩体粘结在一起,提高了岩体的整体强度,增强了岩体的抗变形能力,加强了岩体的完整性;②由于锚杆的抗拉作用,当锚杆穿越破碎岩层深入稳定岩层时,对不稳定岩层起着悬吊作用;③对于层状岩体,由于锚杆的作用,对岩层离层的产生有着一定的阻碍作用,并增大了岩层间的摩擦力,与锚杆本身的抗剪作用阻止岩层间产生相对滑动,从而整个岩层夹紧形成组合梁,提高了岩层的承载能力;④由于锚杆的作用,从而形成了3作用面,改变了边界岩体的受力状态,使其由一维应力状态转化为三维受力状态,提高了岩体的承载能力。

5 立体桁架支护技术

针对应力高度集中的隧洞交叉部位,立体桁架支护技术能获得良好的支护效果。对于立体桁架支护技术的优点,关键在于:①新型立体桁架具有把钢架的抗弯、抗扭的部位通过结构设计转化为抗拉、抗压或抗剪的性能②在新支护设计中,必须将骨架和混凝土的刚度设计和耦合匹配;③软岩隧洞工程设计和常规设计的重要区别,就是在注意强度设计的同时,十分重视刚度设计。

条文说明

岩爆是在高地应力硬脆性岩体中隧道开挖诱发的一种工程地质问题严重威胁隧道内施工人员安全和设备安全。TBM 施工对围岩扰动相对较小，且开挖断面为圆形，在一定程度上减弱了围岩应力局部集中的现象，降低了岩爆发生的可能，尽管如此，在国内外一些隧道施工过程中，仍然有岩爆发生，如我国的秦岭隧道和天生桥二级水电站引水隧道，在 TBM 施工过程中发生了不同程度的岩爆。

软岩隧洞系指塑性大变形工程岩体有关的岩体工程，而工程软岩是指在工程力作用下能产生显著塑性变形的工程岩体。工程软岩的定义不仅重视软岩的强度特征，而且强调软岩所承受的工程力荷载的大小，强调从软岩的强度和工程力荷载的对立统一关系中分析、把握软岩的相对性实质。除一般隧洞中常见的变形破坏方式拱顶下沉、坍塌外，还有片帮和底鼓、底围隆破，隧洞表现出强烈的整体收敛和破坏。变形破坏表现的形式既有结构面控制，又有应力控制型，尤以应力控制型为主。拱顶下沉大于 10cm，有的高达 50cm，两帮挤入在 20~80cm 之间，底鼓非常强烈，在常规无仰拱支护的情况下，强烈的底鼓往往将整个隧洞封闭。软岩隧洞初期收敛速度可以达到 3cm/d，即使施作了常规锚喷支护以后，软岩隧洞的收敛速度依然很高，可达 2cm/d，而且其变形收敛速度降低缓慢，因此，在不长的时间内其变形收敛就很大，多则一年，少则几个月就将隧洞封闭。

10.2.6 护盾式 TBM 在掘进至高地应力洞段时，可采用如下处治措施：

- 1 护盾式 TBM 在掘进至高地应力洞段时，利用刀盘设置的喷水系统，加强对掌子面的喷水量来软化围岩。
- 2 利用护盾式 TBM 配置的超前钻机，进行应力释放，并可对超前应力释放孔进行注水软化围岩。
- 3 护盾式 TBM 遇到软弱围岩时，通过刀盘配置的扩挖刀，对隧道进行扩挖，预防卡机。
- 4 利用护盾式 TBM 配置的超前钻机和注浆设备，对软弱围岩超前加固。

10.3 突水突泥施工措施

10.3.1 对于涌水轻微地段，采用排水措施。待出水点出护盾后，采用锚杆钻机施工排水孔，进行导排，若遇地下水压力较大，采用钢板将地下水引至隧道边墙上，待 TBM 通过后进行堵水注浆处理。TBM 配置排水系统主要用于排除洞内渗水、施工机械用水及一般涌水。当涌水量较小时，采用潜水泵排水。

10.3.2 当隧道涌水严重，不具备作业条件的情况下，应采用堵水措施。采取超前中导管、超前注浆封堵处理，其超前注浆和支护采用 TBM 自带的设备进行，必要时增加设备。注浆处理根据实际情况选择以水泥-水玻璃双液浆、HSC 水泥浆、超细水泥-水玻璃浆和聚氨酯类化学灌浆材料，待出水量明显减小具备掘进条件时再行掘进。

10.3.3 TBM 掘进至富水地层时，应采用设备上自带的伞钻进行超前钻孔注浆，提前止水后，再开始掘进。

10.3.4 突水应急措施：

- (1) TBM 隧道洞内及始发井处设置大功率水泵连续进行抽排作业；
- (2) 在刀盘周围钻孔，采用改性水玻璃 + 聚氨酯材料（两种材料隔孔注）进行封堵，确保后续水泥基注浆加固材料不进入刀盘及主机区域，防止刀盘卡死后续 TBM 无法启动的情况发生。

条文说明

地下突涌水具有压力高、稳定流量大等特点，地下水涌水的处理是工程安全、快速施工的关键。涌水量大于 20L/s 的涌水点除个别地段为密集线状渗水外，一般为高压集中涌水。隧洞地下水处理思路为：根据地质超前预报成果，立足于超前注浆封堵，争取在开挖前封闭地下水通道；对意外揭露的突发性涌水，根据涌水量大小采取合适的施工方法将动水变成静水后再实施注浆封堵。

10.3.5 单护盾 TBM 和双护盾 TBM 均采用管片支护，遇到突水突泥洞段时，采用加强支护形式基本一致，可采用如下处治措施：

1 超前固结灌浆：

当护盾式 TBM 遇到突水突泥地层，预判可能会发生较大范围的坍塌时，应进行超前固结灌浆。通过中盾预留的外插孔超前钻孔，布设注浆管，超前加固刀盘前方 15m~30m 围岩，固结围岩后掘进通过。多循环固结围岩时，应预留 5m~10m 的搭接加固段。

2 管片背部固结灌浆：

当护盾式 TBM 遇到含水、破碎砂岩段落，预判掌子面破碎岩体可能受 TBM 掘进扰动，导致盾体外部和管片背部发生大面积坍塌造成 TBM 盾体被抱死而卡机时，可通过管片注浆孔打设 $\phi 48\text{mm}$ 小导管进行灌浆，固结破碎岩体，形成固结环。

10.4 断层破碎带施工措施

10.4.1 TBM 掘进至软弱围岩、破碎带时，出现塌方的情况下，应做好停机措施，采用 TBM 设备上的超前管棚钻机进行管棚施工，超前加固，按照超前加固、段循环施工的方式通过不良地质段。

10.4.2 对于规模较小且破碎不很强烈的断层，当断层面产状与隧洞轴线大角度相交时，不必进行超前钻探；当断层面产状与隧洞轴线小角度相交或近乎平行时，应进行超前钻探；若断层陡倾或虽平缓但位于隧道顶时，要进行必要的超前固结灌浆。

10.4.3 对于规模较大的断层带，要视其产状和掘进机所处的构造部位不同具体处理：

1 对于陡倾断层，无论断层与洞线的关系如何，当掘进到断层强烈影响带时都应进行超前钻探，并通过不同部位的钻孔进行超前固结灌浆。

2 对于缓倾断层，若断层面走向与洞线轴线交角较小，当进入断层影响带时就应进行超前钻探，并对破碎带及强影响带固结灌浆。若交角较大，则分为两种情况，当断层倾向与掘进方向相同时，掘进至断层影响带时，就应进行超前钻探，并对破碎带及强影响带固结灌浆；当断层倾向与掘进方向相反时，要注意围岩的变化情况，进入强影响带时要进行超前钻探，并对不同方向的钻孔固结灌浆。若断层破碎规模大，且围岩破碎强烈，则需要多次钻孔和灌浆，以确保 TBM 顺利施工。

条文说明

断层破碎带对 TBM 掘进会产生较大影响，不仅可能导致 TBM 掘进作业时间利用率降低，甚至有可能出现 TBM 损坏和难以顺利通过的情况。必须采取有效的措施，否则处理不当就会给施工带来严重后果。我国云南天生桥水电站引水隧洞、意大利戈森萨铁路隧道以及奥地利坎波罗索铁路隧道在 TBM 通过断层带时都遇到 TBM 刀盘被卡住事故，造成长时间的停机。中铁隧道集团在摩沟岭隧道工地施工时，也

出现了TBM被卡20多天的教训。TBM施工有其自身的特点。在切削岩石时其对围岩的扰动比钻爆法要小,但初期支护不如钻爆法及时;初期支护前岩石暴露时间长,极易发生危石损伤设备的事故。

10.4.4 单护盾TBM断层破碎带洞段掘进时,可采用如下处治措施:

- 1 利用单护盾TBM设备自带的超前地质探测设备进行超前地质探测。
- 2 利用单护盾TBM设备自带的超前钻机进行超前探水探测。
- 3 单护盾TBM断层破碎带掘进时,可利用刀盘预留的注浆孔进行掌子面超前围岩注浆加固。

10.4.5 双护盾TBM断层破碎带洞段掘进时,可采用如下处治措施:

1 双护盾TBM断层破碎带洞段掘进,遇到洞壁塌腔导致撑靴无法撑紧洞壁时,需提前转换成单护盾TBM模式掘进施工。

- 2 双护盾TBM断层破碎带洞段掘进其它超前加固围岩方式与单护盾TBM超前加固方式一致。

10.5 岩溶地段施工措施

10.5.1 隧道施工中遇到溶洞地段时,首先要查明溶洞分部范围、类型情况、岩层的稳定程度,洞内填充物和地下水流情况等,分别采取截、引、堵、绕等措施进行处理和施工。

10.5.2 通过拦截地表水进行处治。根据勘测资料和施工现场观测,当地表自然沟床,汇水洼地发现有关有溶穴、落水洞、漏斗、竖井等为隧道地下水补给来源,补给量随季节变化,则采用拦截地表水。如为自然沟槽,采用在溶穴、落水洞、漏斗、地表陷穴四周施作浆砌片石排水沟。如地表为一溶蚀封闭洼地,则可采用截水沟,泄水暗管,泄水暗管将水引到隧道渗泄区以外。

10.5.3 通过引排进行处治。当隧道掘进遇到溶洞有流水时,宜排不宜堵,首先应查明水源,涌水量,流向及与隧道位置的关系,采取以排为主,截引相结合的措施常年流量大的采用开凿泄水将水排除洞外,流量小的可采用拦截引排将水引入隧道排水沟内,排出洞外。

10.5.4 通过填堵进行处治。对已停止发育,径跨不大,无水或渗水较小量,可根据其与隧道相交的位置及其充填情况,采用浆砌石或砼回填封闭,并辅以适当的引排水。

10.5.5 通过绕行进行处治。施工中遇到特大和一时难以处理的溶洞。为使工程不陷入停顿,可以改线绕行通过溶洞或用迂回导坑绕过溶洞区,继续进行施工一面进行溶洞处理。

条文说明

岩溶是可溶性岩层受具有溶解能力的水长期作用而产生的,由于溶蚀的形成位置、塌陷作用不同,岩溶的个体形态、大小也不同。如轿顶山隧道出口正洞掘进1600m遇到特大溶洞,溶洞沿线长度80m、高25m、宽60m,通道、支洞错综迂回,下部有常年流动的暗河。

10.5.7 护盾式TBM岩溶洞段掘进时,可采用如下处治措施:

- 1 护盾式TBM岩溶洞段掘进时,可通过刀盘的人孔对岩溶情况进行观测。
- 2 护盾式TBM掘进遇到小型溶洞时,可通过后采用回填豆砾石和注浆方式处治小型溶腔。

3 护盾式TBM掘进遇到大型溶洞时,应先对底部进行混凝土回填,再一边空推一边安装管片,通过后对管片背部和拱顶进行混凝土回填。

4 护盾式 TBM 掘进遇到溶洞，管片安装出现较大错台时，应采用钢板纵向连接安装好的管片。

10.6 有害气体地段施工措施

10.6.1 隧道内存在有害气体时，含量高时会发生危险，如不重视不仅影响施工人员身体健康，还可能给隧道造成毁灭性灾害。

10.6.2 有害气体地段施工时，应加强通风和监测，并且加强用电、动火作业管理。

条文说明

隧道所有施工人员应接受相应的有害气体隧道安全施工基本安全知识培训，持证上岗。制定并落实隧道施工现场安全管理制度。制定用火安全制度，不得在隧洞内携带火种和抽烟，加强用电、动火作业管理，提供电力安全防范等级。施工管理部门应定期和不定期对隧道安全施工进行检查，及时处理暴露的安全问题，及时消除安全隐患，确保隧道施工任务安全顺利完成。

中国公路学会标准征求意见

11 隧道防排水施工

11.1 一般规定

TBM 施工防水工作主要在二衬施工时进行，二衬钢筋安装时加强对防水板的保护，焊接过程中采用木板等材料对焊接部位防水板进行遮挡，以免烧伤或损伤防水板。

条文说明

隧道防水应充分利用混凝土自防水能力，衬砌混凝土抗渗等级不低于 P8。

11.2 接缝防水

11.2.1 沉降缝设置在明暗交界位置、围岩级别变化处、衬砌形式变化处以及洞身每隔 50m 间距设置一道变形沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝处采用中埋式钢边橡胶止水带。

11.2.2 变形缝应满足密封防水、适应变形、施工方便、检修容易等要求，变形缝的施工应注意：

1 变形沉降缝的最大允许沉降差值应符合设计规定，在洞口浅埋以及断层破碎带每隔 20m、衬砌结构变化处设置一道变形缝。当计算沉降差值大于 30mm 时，应采取特殊措施。

2 变形沉降缝的宽度宜为 20~30mm，伸缩变形缝的宽度宜小于此值。

3 变形缝底应设置遇水膨胀止水条。

条文说明

初期支护与二次衬砌间设置防水板及环纵向防水材料。施工缝、变形缝防水应采用止水带、止水条及其他可靠的防水材料组成的防水结构。

11.3 仰拱块防水

11.3.1 仰拱块采用的防水材料，必须按照设计要求和生产厂家的质量指标分批进行抽检；

11.3.2 仰拱块防水条粘贴可在场内或施工现场粘贴，若现场粘贴时，应进行烘干，保证防水条效果。

11.3.3 仰拱块安装完成后，进行螺栓连接，以保证防水胶条的对齐达到密封效果，若仰拱块有错台时，应从仰拱块注浆孔进行注浆。

11.3.4 仰拱底部砂浆回填时，应进行振捣并保证密实度。

11.4 特殊部位防水

11.4.1 隧道与工作井、联络通道等附属构筑物的接缝处，应按设计要求进行防水处理。

11.4.2 加强支护，混凝土中应加入防水剂提高其抗渗性，加强二次衬砌混凝土板与板之间环向施工缝防水工艺。

11.5 施工阶段 TBM 排水

11.5.1 TBM 掘进施工前，应安装排水泵、排水管，并配置备用应急排水管、应急排水泵。

11.5.2 TBM 掘进过程中，应坚持“有疑必探、先探后掘、预防为主、防治结合”的超前探水原则，并采取“探、放、堵、截、排”相结合的措施处治。

11.5 隧道排水

加强衬砌防排水施工，通过设置环向排水盲管，环向半圆排水管，增设横向排水管，加强防水板施工等措施加强衬砌背后的防排水。

条文说明

当隧道内地下水发育或有集中涌水时，应先对围岩进行注浆，以避免大量的地下水流失，然后对少量地下水进行引排。

中国公路学会标准征求意见稿

12 支护衬砌

12.1 一般规定

12.1.1 TBM 在敞开模式掘进过程中初期支护主要进行锚杆施工+钢筋网片(钢筋排架)+工字钢+喷射混凝土的支护体系。支护施工工序流程为:超前支护→开挖后初喷砼→系统支护(系统锚杆、钢筋网、格栅钢架)施工→复喷砼至设计厚度→辅助支护措施。

12.1.2 一般情况下, TBM 施工隧道二次衬砌作业, 在隧道贯通后进行, 部分隧道要求二衬同步施工。

12.1.3 二次衬砌作业要选择性能良好、作业效率高、安全性能好的衬砌台车, 二次衬砌要达到设计要求。

12.2 初期支护作业

12.2.1 针对敞开式 TBM 在围岩破碎、软弱围岩、地下水发育等不良地质地段掘进的实际情况, 在进行超前地质预报的基础上需采用相应的辅助施工措施, 即先进行超前加固, 再掘进通过, 并通过加强初期支护等手段, 尽量减少掘进过程中的坍塌剥落量和围岩出护盾后的变形量。

12.2.2 钢筋网施工根据设计支护参数的要求, 在相应的围岩地段安装。钢筋须经试验合格, 使用前必须除锈, 钢筋网在洞外预制加工, 现场通过 TBM 自带的钢筋网安装器进行安装, 人工配合固定。钢筋网与锚杆(或钢架)连接牢固(或点焊焊接)。钢筋网和钢架绑扎时, 应绑在靠近岩面一侧, 确保整体结构受力平衡。

12.2.3 当围岩较破碎, 安装钢筋网后仍有石块掉落且围岩仍不稳定的情况下, 可采用钢筋排与钢拱架、喷射混凝土联合支护; 钢筋排提前在洞外加工, 分别采用 $\phi 14 \sim \phi 22$ 螺纹钢加工成两种类型钢筋排。钢筋排在洞外钢筋场按照设计要求加工而成, 再通过 MSV 多功能胶轮车运输至, 再通过设备桥处的吊机将钢筋排吊到上部平台, 然后人工将钢筋排安装在护盾上的空槽中。

12.2.4 钢拱架采用 TBM 自带的钢架安装器进行安装。施工时, 加工好的钢拱架通过材料运输车运送到 TBM 吊机附近, 由吊机运送到拱架安装器下方, 分段连接钢架并旋转安装器, 直至下一段拱架可以用螺栓固定在前一段的尾端, 重复这个过程直至整环完成。当一环完成后由拱架安装器上的张紧机构将钢架向外扩张, 并与岩面楔紧。

12.2.5 TBM 掘进完成一个行程后, 按照设计要求进行初喷混凝土。

12.2.6 初喷混凝土完成后, 安装钢拱架, 要保证钢拱架的间距和垂直度。

12.2.7 在 L2 区进行二次喷混凝土, L2 区喷混厚度要达到设计要求。

条文说明

在敞开式 TBM 上, 配置了钢拱架安装器、喷混和锚杆等辅助设备, 以适应地层的变化。敞开式 TBM 如遇局部不稳定的围岩, 由 TBM 配备的辅助设备通过施作锚杆、安装钢筋网、喷射混凝土、安装钢拱架等方法进行加固, 以保持围岩稳定, 当遇到局部地段软弱围岩和断层破碎带, 通过 TBM 超前钻机和

注浆设备，预先团结前方上部围岩，当注入浆液凝固达到强度后再进行掘进。一般情况下，采用敞开式TBM施工，永久衬砌待隧道贯通后集中进行。

12.3 二次衬砌施工

12.3.1 二衬施工准备应按下列要求进行：

1 二衬施工前收集围岩变形数据分析围岩有无变化是否侵限，在隧道水平净空变化速度及拱顶或底板垂直位移速度明显下降，隧道位移相对值已经达到相对位移值的90%以上，若有围岩变化引起侵限导致衬砌厚度不足时提前进行处理，待双项指标均满足要求后进行二次衬砌施工。

2 纵环向排水管采用三通进行连接，环、纵、横向盲管外均缠绕无纺土工布，以防止水泥或泥土等堵塞管道，确保排水通畅。

3 仔细检查是否有尖锐物刺穿防水板现象，避免后期二衬表面渗水。

12.3.2 二衬施工预留洞室与预埋件应符合下列要求：

1 预留洞室模板及预埋件在钢筋混凝土衬砌地段，宜固定在钢筋骨架上；在无钢筋衬砌地段采取在衬砌台车模板上钻孔，用螺栓固定。

2 预留洞室模板采用钢模，承托上部混凝土重量时应加强支撑。

3 加强对预埋管线口保护，防止二衬浇筑过程中堵塞预埋管，每板二衬脱模后及时检查管线是否畅通，存在问题及时处理。

12.3.3 模板台车

1 采用全液压自行式衬砌台车，结构尺寸准确，各种伸缩构件、液压系统、电气控制系统运行良好，支撑机构设置合理，并有闭锁装置。

2 台车应具有足够的强度、刚度、稳定性和抗上浮能力，具有承受所浇筑混凝土的重力、侧压力、及施工中产生的各项荷载的能力。

3 设置作业窗口，作业窗口间距纵向不宜大于3m，横向不宜大于2.5m，窗口尺寸50cm×50cm，且应整齐划一；作业窗口周边应加强，防止周边变形，窗门应平整、严密、不漏浆。

4 模板支撑桁架门下净空满足各种施工设备通行要求；桁架各层平台的高度满足工人安管、混凝土振捣等作业要求。

5 衬砌台车现场拼装，拼装完毕后，对模板表面彻底打磨，清除锈斑；对模板板块拼缝进行焊联并将焊缝打磨平整，最后做好涂油防锈工作。

6 二衬台车现场拼装完成后应检查验收如下内容：

(1) 衬砌台车长度符合设计要求；

(2) 模板外观尺寸符合设计要求；

- (3) 两端结构尺寸及偏差 $\leq 3\text{mm}$;
- (4) 模板面板厚度: 不小于 12mm ;
- (5) 每块模板宽度: 不小于 1.5m ;
- (6) 每延米台车总量: 不小于 8.5t ;
- (7) 行走机构: 电动减速机应能前后自动行走, 且制动良好;
- (8) 台车架、液压、支撑系统: 刚度和强度满足设计要求, 液压缸采取液压锁锁定, 同时采用丝杆千斤进行机械锁定;
- (9) 工作窗: 应布局合理, 封闭平整。

12.3.4 钢筋加工安装

1 钢筋加工应符合下列要求:

- (1) 钢筋按照设计图纸要求, 统一下料, 采用工厂集中化加工, 安装可采用焊接、绑扎或者机械连接;
- (2) 钢筋应该顺直, 不得有裂纹、断伤、刻痕, 钢筋表面的油渍, 铁锈等应清理干净。断口垂直光圆, 打磨掉毛刺, 留 $2\text{--}3\text{mm}$ 的倒角;
- (3) 钢筋调直, 弯钩, 弯折, 弯曲应采用冷加工。

2 钢筋绑扎应符合下列要求:

- (1) 钢筋绑扎之前组织作业人员, 进行技术交底工作, 绑扎外层定位钢筋, 要确保有足够的保护层厚度; 严禁打锚杆固定, 以防止损坏防水板;
- (2) 横向钢筋与纵向钢筋的每个节点均必须进行绑扎或焊接。
- (3) 主筋接头采用搭接焊, 单面焊缝不得小于 22cm , 双面焊缝不得小于 11cm , 且搭头需弯折加工, 确保接头两根钢筋的轴线在一条直线上; 所有电弧焊焊缝高度应大于 $0.3d$, 焊缝宽度应大于 $0.7d$ 。焊缝表面平顺, 无缺口、裂纹和较大的金属焊瘤。
- (4) 相邻主筋搭接位置应错开, 错开距离不应小于 1000mm 。
- (5) 同一受力钢筋的两个搭接距离不应小于 1500mm 。
- (6) 箍筋连接点应在纵横向筋的交叉连接处, 必须进行绑扎或焊接。

条文说明

为确保二衬钢筋定位准确、钢筋保护层厚度符合要求, 采取措施有:

- ①先由测量人员用坐标放样, 在调平层及拱顶防水层上定出自制台车范围内前后两根钢筋的中心点, 确定好法线方向, 确保定位钢筋的垂直度及与仰拱预留钢筋连接的准确度。钢筋绑扎的垂直度采用三点吊垂球的方法确定。
- ②用水准仪测量调平层上定位钢筋中心点高程, 推算出该里程处圆心与调平层上中心点的高差, 采用自制三角架定出圆心位置。
- ③钢筋固定采用自制台车, 二衬钢筋间距由钢管焊接的可调整的支撑杆控制。
- ④定位钢筋固定好后, 根据设计钢筋间距, 在支撑杆上用粉笔标出环向主筋布设位置, 然后开始绑

扎此段范围内钢筋。各钢筋交叉处均应绑扎。

⑤钢筋保护层应全部采用混凝土垫块控制，保证钢筋保护层厚度，保护层厚度不得小于 5cm；

12.3.5 混凝土浇筑及养护

二衬混凝土浇筑应检查下列内容：

- (1) 输送泵接头是否密闭，机械运转是否正常，基仓清理是否干净。
- (2) 输送管道布置是否合理，接头是否可靠。
- (3) 施工缝是否经过适当处理。
- (4) 脱模剂是否涂刷均匀。

条文说明

1 在拆模前用高压水冲洗模板外表面，拆模后采用雾炮或二衬喷淋台车进行喷淋混凝土表面，以降低水化热，在冬季施工时，养护温度不得低于 5℃，确保混凝土强度。

2 养护时间要求：洞口 100m 养护期不少于 14d，洞身养护不少于 7d。

中国公路学会标准征求意见稿

13 施工测量

13.1 一般规定

13.1.1 施工测量应包括地面控制测量、联系测量、隧道内控制测量、掘进施工测量、贯通测量和竣工测量。

13.1.2 测量前，应对施工现场进行踏勘，收集相关测量资料，办理测量资料交接手续，并应对既有测量控制点进行复测和保护。

13.1.3 施工前，应根据周边环境、地面控制网、TBM 进入隧道方式、贯通长度和贯通精度，以及 TBM 配置的导向系统的精度、特点和人工测量仪器精度等，制定施工测量方案。

条文说明

根据 TBM 法施工隧道的不同用途和贯通长度确定贯通测量限差。地铁隧道、铁路隧道、水工隧道的贯通测量限差分别参考了《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308-2008、《铁路工程测量规范》TB 10101-2009、《水利水电工程施工测量规范》SL 52-93 中贯通测量限差的要求，公路隧道、市政隧道、油气隧道由于没有相关的行业规范进行参考，确定贯通测量限差时参考了《工程测量规范》GB 50026-2007 中贯通误差的要求。当地铁隧道贯通长度大于 4km，水工隧道贯通长度大于 7km，其他隧道贯通长度大于 10km 时，应进行贯通测量限差设计。

贯通限差与贯通测量中误差相比，更便于测量的直观体现。进行贯通设计时，贯通测量中误差取贯通测量限差的 1/2。

贯通误差主要受地面控制测量、联系测量、隧道内控制测量三项测量误差影响，以地铁横向贯通误差为例，在上述各环节横向贯通中误差的一般分配原则分别为±25mm、±25mm、±35mm，总横向贯通中误差为±50mm。也有工程根据各个环节中误差控制的实际情况按 1:1:2 的比例进行分配。

13.2 隧道外控制测量

13.2.1 平面和高程控制网应与线路工程整体控制网联测，线路整体控制网应满足国家现行相关标准的要求。

13.2.2 平面控制网应分为两个等级，一等控制网宜采用全球导航卫星系统(GNSS)网，二等控制网宜采用导线网。高程控制网可采用水准测量方法一次布网。

13.3 隧道内控制测量

13.3.1 隧道内控制测量应包括隧道内施工导线测量、施工控制导线测量和隧道内施工水准测量、施工控制水准测量。

13.3.2 隧道内控制测量起算点应采用直接从地面通过联系测量传递到工作井下的平面和高程控制点，隧道内平面起算点不应少于 3 个，起算方位边不应少于 2 条，高程起算点不应少于 2 个。

13.3.3 控制点应埋设在稳定的隧道结构上，并应埋设强制对中装置。平面控制点应避免强光源、热源、淋水等地方。

13.4 联系测量

13.4.1 联系测量应包括地面近井导线测量和近井高程测量、工作井定向测量和导入高程测量，以及隧道内近井导线测量和近井高程测量等。

13.4.2 TBM 隧道贯通前的联系测量次数不应少于 3 次，宜在隧道掘进至 100m、1/3 贯通长度和距贯通面 150m 前分别进行一次。当贯通长度超过 1500m 时，应增加联系测量次数或采用高精度联系测量方法，提高联系测量精度。当地下起始边方位角较差小于 $12''$ 时，可取各次测量成果的平均值作为后续测量的起算数据指导隧道掘进与贯通。

条文说明

地面近洞导线和近洞高程路线采用附和路线形式可进行路线检核，提高测量精度。为了提高近隧道点测量精度，近洞导线和高程测量技术要求与地面控制相同。

13.5 TBM 掘进施工测量

13.5.1 TBM 始发洞室建成后，应采用联系测量方法，将平面和高程测量数据传入隧道内控制点。

13.5.2 TBM 步进到位后应采用人工测量方法测定 TBM 的初始姿态，人工测量与 TBM 导向系统测量较差不应大于 $2\sqrt{2}m$ （ m 为点位测量中误差）。

13.5.3 当采用人工测量时，应符合下列规定：

- 1 TBM 测量标志点应牢固设置在 TBM 上，且不应少于 3 个，标志点可粘贴反射片或安置棱镜；
- 2 TBM 测量标志点的三维坐标应与 TBM 结构几何坐标建立换算关系；
- 3 TBM 测量标志点测量宜采用极坐标法，并宜采用双极坐标法进行检核，测量中误差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

13.6 隧道贯通测量

13.6.1 隧道贯通后应进行贯通测量，测量内容包括隧道的纵横和高程贯通误差。

13.6.2 贯通测量时，应在贯通面设置贯通相遇点。

13.6.3 纵横向贯通误差，可利用隧道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，也可利用隧道贯通面两侧中线在贯通相遇点的间距测定；隧道的纵横向贯通误差应投影到线路及其法线方向上。

13.7 竣工测量

13.7.1 隧道贯通后应以始发洞室和接收洞室内的控制点为起算点，对隧道内的导线点和水准点分别重新组成附和路线或附和网，测量结果作为隧道竣工测量以及后续施工测量的依据。

13.7.2 竣工测量应包括隧道轴线平面偏差、高程偏差、隧道椭圆度和隧道纵横断面测量等。

条文说明

隧道贯通后进行贯通导线的附和路线测量，并重新平差后，可为断面测量、限界测量、铺轨测量和设备安装测量等提供较高精度的测量控制点。

竣工测量工作内容可根据设计要求选择，平面偏差、高程偏差是指相对于衬砌环设计轴线的偏差。

常用的竣工测量方法包括全站仪解析法和断面仪法。全站仪解析法可在一个测站进行多个断面的测量，测站迁移后应对上一站所测断面进行抽测。采用断面仪法时，应对每个断面的隧道中线点进行放样，并联测高程。

随着新技术、新方法的应用，近景摄影测量法和三维激光扫描法也应用于隧道竣工测量，其测量结果能更为全面、细致地反映隧道结构。采用近景摄影测量和三维激光扫描时，标靶点的测量中误差为±10mm。

中国公路学会标准征求意见稿

14 监控量测

14.1 一般规定

14.1.1 施工监测范围应包括周边环境、隧道结构和岩土体。

14.1.2 施工监测方案和应急预案应根据设计要求，并结合施工环境、工程地质和水文地质条件、掘进速度等制定。

14.1.3 施工监测方案应根据监测对象变形量和变形速率等进行调整，对突发的变形异常情况应及时启动应急预案。

14.1.4 地面和隧道内监测点宜在同一断面布设；TBM 通过后，处于同一断面内的监测数据应同步采集，并应收集同期 TBM 掘进参数。

14.1.5 施工监测仪器和设备应满足测量精度、抗干扰性和可靠性等要求。

14.1.6 施工监测项目应符合表 14.1.6 的规定。当穿越水域、建（构）筑物及其他有特殊要求地段时，应根据设计要求确定。

表 14.1.6 施工监测项目

类别	监测项目
必测项目	施工区域地表隆沉、沿线建（构）筑物和地下管线变
	隧道结构变形
选测项目	岩土体深层水平位移和分层竖向位移
	衬砌内力
	地层与（初支）的接触应力

14.1.7 竖向位移监测可采用水准测量方法，水准基点应埋设在变形影响范围外，且不得少于 3 个。

14.1.8 水平位移监测可采用边角测量或 GNSS 等方法，并应建立水平位移监测控制网，水平位移监测控制点宜采用具有强制对中装置的观测墩和照准装置。

14.1.9 当采用物理传感器监测时，传感器埋设应符合仪器埋设规定和监测方案的规定。

14.1.10 当竖向位移监测采用静力水准测量方法时，静力水准的埋设、连接、观测、数据处理等应符合国家现行相关标准要求，测量精度应与水准测量要求相同。

14.1.11 监测点应埋设在能反映变形、便于观测、易于保存的位置。

14.1.12 监测方法和测量精度应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的规定。

14.1.13 工作（竖）井及附属结构的监测应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的规定。

14.2 隧道周边环境监测

14.2.1 施工周边环境监测对象应包括邻近建（构）筑物、地表和地下管线等，监测项目应符合表 14.2.1 的规定。

表 14.2.1 施工周边环境监测项目

监测对象	监测项目
建（构）筑物	古建筑、危房等建筑、桥梁、隧道、公路设施等变形
地表	地面道路、地表等变形

地下管线	燃气、热力、供水、排水等主要管线变形
------	--------------------

14.2.2 地表沉降观测点布设应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 规定；特殊地段的地表沉降观测断面和观测点的设置应编制专项方案。

14.2.3 邻近建（构）筑物变形监测应根据结构状况、重要程度和影响范围有选择地进行变形监测；监测点的布设应反映邻近建（构）筑物的不均匀沉降及倾斜等情况。

14.2.4 邻近地下管线的监测点应直接设置在管线上。对无法直接观测的管线应采取周边土体分层沉降代替管线沉降监测。

14.2.5 初始值应从 TBM 掘进将影响该监测区域前 10d 开始，到监测对象稳定时结束。

14.2.6 当穿越地面建（构）筑物和地下管线等时，除应对穿越建（构）筑物监测外，宜对邻近土体进行变形监测。

14.3 围岩监测

14.3.1 隧道结构监测内容应包括隧道结构竖向位移和水平位移。必要时，应进行净空收敛和应力监测。

14.3.2 应力监测元器件应预埋在初支内相应位置，并应在初支施工前进行测试。

14.3.3 应力监测宜采用应力计。

14.3.4 隧道结构监测初始值宜在初支施工完成凝固后 12h 内测量。

14.3.5 监测频率应根据监测对象的变形量和变形速率确定，并能及时、系统地反映施工情况及监测对象的动态变化。

14.3.6 TBM 隧道施工中的周边环境、周围岩土体和隧道结构的监测频率可按表 14.3.6 确定。

表 14.3.6 监测频率

监测部位	监测对象	开挖面与监测点或监测断面的距离	监测频率
掘进面 前方	周围岩土体和 周边环境	$5D < L < 8D$	1 次 / (3d ~ 5d)
		$3D < L < 5D$	1 次 / (2d)
		$L < 3D$	1 次 / (1d)
掘进面 后方	隧道结构、周 围岩土体和周 边环境	$L < 3D$	(1 次 ~ 2 次) / (1d)
		$3D < L < 8D$	1 次 / (1d ~ 2d)
		$L > 8D$	1 次 / (3d ~ 7d)

注：1 D 为隧道开挖直径（m），L 为掘进面与监测点或监测断面的水平距离（m）；

2 隧道结构位移、净空收敛在初支脱出盾尾且能通视时进行监测；

3 监测数据趋于稳定，监测频率宜为 1 次 / (15d ~ 30d)。

14.3.7 对穿越既有轨道交通、重要建（构）筑物等周边环境风险等级较高的工程，应提高监测频率，宜对关键监测项目进行实时监测。

14.3.8 施工期间应由专人进行现场巡查，每天不宜少于一次，并进行记录，特殊情况应增加巡查次数。

14.4 监测成果及信息反馈

- 14.4.1 监测预警标准和预警等级应根据工程特点、监测项目控制值及当地施工经验等确定。
- 14.4.2 监测项目控制值应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的规定。
- 14.4.3 当监测数据达到预警标准或实测变形值大于允许变形的 2/3 时，应进行警情报送。
- 14.4.4 预警管理制度应根据监测预警等级和预警标准制定，预警管理制度应包括不同预警等级的警情报送对象、时间、方式和流程。
- 14.4.5 当现场巡查过程中发现下列警情之一时，应根据警情紧急程度、发展趋势和造成后果的严重程度按预警管理制度进行警情报送：
- 1 周边地表出现突然明显沉降（隆起）或较严重的突发裂缝、坍塌；
 - 2 建（构）筑物等周边环境出现危害正常使用功能或结构出现过大大变形、沉降、倾斜或裂缝等；
 - 3 周边地下管线变形明显增长或出现裂缝、泄漏等；
 - 4 隧道结构出现明显变形、较大裂缝、较严重漏水；
 - 5 根据工程经验判断可能出现的其他警情。
- 14.4.6 监测数据采集、计算和处理宜实现计算机管理，并应建立数据库。
- 14.4.7 监测数据应结合施工经验和现场环境状况定期进行分析，并应绘制变形时态曲线图。
- 14.4.8 时态曲线回归分析宜选择与实测数据拟合较好的函数，并应对变形趋势进行预测。
- 14.4.9 监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、各种曲线图表和文字报告等，资料应完整、清晰。
- 14.4.10 监测完成后应及时向有关单位提供阶段性监测成果。
- 14.4.11 工程竣工或监测工作完成后应提供监测技术总结报告。

用词说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 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”。
- 2) 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”。
- 3) 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) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《×××××》（××××）的有关规定”。
- 2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行。”

中国公路学会标准征求意见稿