

ICS 93.020

CCS P 07

T



团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

岩石隧道掘进机（TBM）法隧道智慧工地 平台建设指南

Guidance for the construction of a smart site platform for tunnels by
the rock tunnel boring machine (TBM) method

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

| | |
|----------------------|-----|
| 前言 | II |
| 引言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 2 |
| 4 通则 | 2 |
| 5 目标与原则 | 2 |
| 5.1 标准性原则 | 2 |
| 5.2 先进性和成熟性原则 | 2 |
| 5.3 可靠性和稳定性原则 | 2 |
| 5.4 可扩展性原则 | 3 |
| 5.5 安全性原则 | 3 |
| 5.6 高效性原则 | 3 |
| 5.7 易用性原则 | 3 |
| 6 智慧工地系统 | 3 |
| 6.1 基本原则 | 3 |
| 6.2 总体架构 | 3 |
| 6.3 功能 | 4 |
| 6.4 系统建设及数据采集 | 4 |
| 6.5 数据安全 | 4 |
| 6.6 数据维护 | 5 |
| 6.7 系统移交 | 5 |
| 7 智慧管理 | 5 |
| 7.1 基本原则 | 6 |
| 7.2 人员管理 | 6 |
| 7.3 TBM 机械设备管理 | 7 |
| 7.4 物资管理 | 7 |
| 7.5 环境管理 | 7 |
| 7.6 视频监控 | 8 |
| 7.7 过程管理 | 8 |
| 8 智能建造技术 | 9 |
| 8.1 TBM 超前地质预报 | 9 |
| 8.2 TBM 智能掘进 | 9 |
| 8.3 TBM 智能导向 | 9 |
| 8.4 TBM 智能支护 | 10 |

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

隧道工程项目一般具有规模大、工期长、设备物资分散、安全隐患多等特点，与之相应的安全质量问题难以得到有效管控，TBM 法隧道施工项目对施工效率、安全质量、智慧化管理提出了新的需求。随着信息化技术的发展，以智慧化为核心的信息系统对隧道领域原有的设计、施工和监测技术产生了深远的影响。

智慧工地平台作为施工企业针对项目施工管理所应用的一种信息化管控方式，通过智慧工地平台可以使项目管理人员能够远程、快速、标准化、相对客观的掌握现场情况，做好现场施工管理工作。鉴于此，有必要针对 TBM 隧道工程制定一套技术指南去指导隧道行业智慧工地的建设，为隧道行业的施工相关企业搭建智慧工地平台提供可参考实践依据。

本文件主要提供了岩石隧道掘进机（TBM）法隧道智慧工地平台建设的目标与原则、智慧工地系统、智慧管理、智能建造技术的建议，可指导使用单位快速构建 TBM 法隧道智慧工地系统平台。

岩石隧道掘进机（TBM）法隧道智慧工地平台建设指南

1 范围

本文件给出了岩石隧道掘进机（TBM）法隧道智慧工地平台建设的通则、目标与原则，提供了智慧工地系统、智慧管理、智能建造技术的建设建议。

本文件适用于正在进行新建、扩建 TBM 法隧道智慧工地平台建设的单位使用。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 9386 计算机软件测试文档编制规范
- GB/T 11457 信息技术 软件工程术语
- GB/T 15532 计算机软件测试规范
- GB 17859 计算机信息系统 安全保护等级划分准则
- GB/T 20157 信息技术 软件维护
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 25000（所有部分）系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE）
- GB/T 25070 信息安全技术 网络安全等级保护安全设计技术要求
- GB/T 25507 工业基础类平台规范
- GB/T 28181 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求
- GB/T 28448 信息安全技术 网络安全等级保护测评要求
- GB/T 30987（所有部分）工业控制系统信息安全
- GB/T 34652 全断面隧道掘进机 敞开式岩石隧道掘进机
- GB/T 41052 全断面隧道掘进机 远程监控系统
- GB/T 41051 全断面隧道掘进机 岩石隧道掘进机安全要求
- GB/T 41056 全断面隧道掘进机 双护盾岩石隧道掘进机
- GB/T 50326 建设工程项目管理规范
- GB 50348 安全防范工程技术标准
- GB 50395 视频安防监控系统工程设计规范
- GB 50464 视频显示系统工程技术规范
- DL/T 5783 水电水利地下工程地质超前预报技术规程
- DL/T 5819 全断面岩石掘进机施工技术导则
- GA/T 1127 安全防范视频监控摄像机通用技术要求
- GA/T 1140 信息安全技术 web应用防火墙安全技术要求
- GA/T 1177 信息安全技术 第二代防火墙安全技术要求
- GA/T 1211 安全防范高清视频监控系統技术要求
- DB52/T 1512 水利水电工程隧洞施工超前地质预报技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

物联网 internet of things ; IOT

通过在建筑施工作业现场安装各种RFID、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何与工程建设相关的人员或物品与互联网连接起来，进行信息交换和通讯，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

3.2

智慧工地 smart construction site

建立在高度的信息化基础上结合物联网传感设备实现的一种支持对工程现场人、物、环境等数据采集、存储、分析、传输等为一体的创新型信息系统，能够实现对项目建造过程智慧监控、数据互通互联、决策科学分析、风险预控等管理需求支撑。

4 通则

4.1 TBM 法隧道智慧工地系统应在项目初期进行合理规划，并纳入施工组织和项目管理。

4.2 TBM 法隧道智慧工地应建立综合信息化管理平台，明确 TBM 隧道施工应开展信息化工作。

4.3 应围绕“人、机、料、法、环”等关键要素，结合不同需求，采用网络、信息、智能化等新技术建立隧道施工信息化系统。

4.4 TBM 法隧道智慧工地系统应包括人员管理、TBM 机械设备管理、物资管理、环境管理、监控管理、施工过程管理、TBM 隧道掘进与支护管理等子系统。

4.5 TBM 法隧道智慧工地数据信息的采集、传输、存储、共享、分析、处理等应用，应符合国家信息安全保密的规定，对不同使用人员进行身份认证，实现分权分域管理确保数据安全。

5 目标与原则

5.1 标准性原则

系统遵循软件行业相关标准及教育服务与监管体系信息化建设项目相关标准与规范。

5.2 先进性和成熟性原则

在技术选择上，充分考虑技术先进性和成熟性之间的平衡，一方面保证整体信息体系的先进性，同时有效避免尖端技术给信息系统带来的不确定性和潜在风险。

5.3 可靠性和稳定性原则

从系统结构，技术措施，系统管理等方面着手，确保系统运行的可靠性和稳定性，达到最大的平均无故障时间。

5.4 可扩展性原则

系统架构、设计和实现有较好的可扩展能力，以满足不断增加的用户、业务变化、架构调整等扩展需求。

5.5 安全性原则

在系统设计中，即要充分考虑到信息资源的共享，更要注意信息资源的保护和隔离，应分别针对不同的应用和不同的网络通信环境，采取不同的措施，包括系统安全机制、数据存取的权限控制等。

5.6 高效性原则

系统在性能上要满足大用户量访问和海量数据处理要求，在关键环节上保障性能，使相关业务能够快速顺畅进行。

5.7 易用性原则

主要技术和产品应具有成熟、稳定、实用的特点，页面美观、简洁，满足用户一般的操作习惯，很容易上手操作。

6 智慧工地系统

6.1 基本原则

TBM 法隧道智慧工地系统各个子系统的数据库应联动、融合，并建立统一的数据标准，对外开放接口。

6.2 总体架构

6.2.1 客户端：平台分为 Web 端和移动端。Web 端通过浏览器进行访问，支持各类可运行浏览器的终端设备（推荐设备屏幕分辨率为 1920×1080）。移动端通过 App（小程序）进行访问，支持各类可运行微信客户端及智能手机的终端设备。

6.2.2 前端服务宜使用 Html+Css+JavaScript，配合前端开源框架进行开发，以满足不同的客户端（web，App，小程序等）场景下使用。界面使用 Element-UI 组件统一全局风格。

6.2.3 后端服务建议使用微服务架构，搭建网关服务作为所有后端服务的入口，简化前端接口调用的同时，在网关层面进行统一的身份校验、权限控制和全局的日志记录，最大程度上降低代码的耦合性。

6.2.4 前后端应使用 https 协议，以确保数据传输的安全性和可靠性。数据统一以 JSON 或文件流的形式进行传输。http 请求建议采用 GET、POST、PUT、DELETE 四种常用请求方式，分别对应服务器资源的获取、新增、修改、删除功能。所有接口应提供统一风格的接口文档，简化开发过程。

6.2.5 数据存储宜使用关系型数据库，分别搭建一主一从两台服务器，保证数据安全的同时，实现读写分离，减轻对单台服务器的压力。

6.2.6 应使用反向代理向用户提供平台入口，隐藏服务器资源的真实地址，确保服务器资源的安全性。

6.3 功能

6.3.1 TBM 法隧道智慧工地系统（互联网协作类功能、管理协同类功能、移动互联、大数据分析、IoT 接入、GIS、隧道工程信息模型等类型）应适应 TBM 隧道工程建设业务和管理需求，具备先进性、兼容性、扩展性等特点。

6.3.2 宜规划面向主要智能建造管理的数字化、信息化应用，包含人员、物资、质量、安全、进度、环境等专项管理。

6.3.3 宜规划面向主要智能建造技术的数字化、信息化应用，包含隧道开挖及支护、TBM 施工等工程项目。

6.3.4 宜基于同一个平台进行设计与研发，采用标准化/模块化数据接口，统一系统风格样式，满足基础数据引用和成果输出统一等要求，第三方系统和数据需满足集成要求。

6.3.5 宜建立面向物联网应用场景与大规模数据存储的数据库，满足大规模、高并发、多源异构数据的高效存储与查询需求，信息存储采取分级存储管理和数据保护技术，满足信息安全和查询要求。

6.4 系统建设及数据采集

6.4.1 在可行性研究阶段应完成智能建造系统的总体设计，包括建设内容、应用范围与深度等，满足 TBM 隧道智慧工地系统的通用性要求，局部功能针对项目实际可个性化设计，合理规划投入，并纳入工程概算。

6.4.2 应综合考虑工程特点、应用场景和实现成本等因素，规划智慧工地系统的基础网络、硬件、服务器资源等，满足数据与业务扩展需求。

6.4.3 应以 TBM 隧道工程信息模型为核心，规划基础数据、过程数据、监测数据、环境数据等结构化、半结构化、非结构化数据的采集、存储、管理与应用，随工程进展分阶段研发应用业务系统功能。

6.4.4 应制定进度、质量、安全、成本等保障措施，建立沟通与风险应对策略，加强过程配置管理和成果文档管理。

6.4.5 应包含主数据、风电工程信息模型+GIS、消息服务、系统集成、系统导航等平台。

6.4.6 应采用统一的主数据平台，根据工程进展持续补充、动态完善。

6.4.7 宜基于微服务架构，采用开放式数据格式与访问接口，实现应用服务之间松耦合与可扩展，异构子系统间的数据共享和交换。综合管理平台应与各子系统应建立统一的数据标准，并预留与数字化管理系统对接的外部数据接口。

6.4.8 宜具备统一的身份认证、功能与数据授权、系统导航等功能，实现单点登录。

6.4.9 宜建立开放式的消息服务平台和系统集成平台，实现业务系统的集成与信息统一发布。

6.4.10 应采用大数据挖掘技术，对主要异常数据进行分层分级预警，实现现场问题的自动反馈与快速处置。

6.4.11 应包含试运行、正式运行等阶段，试运行前全面测试平台功能、性能、安全性等技术指标。

6.4.12 应保证现场网络通畅、稳定，以确保硬件设备与平台之间的正常交互，实现数据的实时采集、分析和展示。

6.5 数据安全

6.5.1 网络与信息安全管理应符合 GB/T 22239 中的一级规定。

6.5.2 系统安全应符合行业、企业和国家相关信息系统安全法律法规要求。

- 6.5.3 系统应从信息加密、身份认证、访问控制、安全通信协议等四个方面进行安全保障。
- 6.5.4 信息加密，应采用公钥基础设施（PKI）、可信计算等技术手段，提高系统的安全性。
- 6.5.5 网络环境应支持 IPv6 协议，密码算法采用国密算法，能集中管理安全策略、恶意代码、补丁升级等安全事项。
- 6.5.6 敏感信息应采用加密算法进行存储和传输，在查阅和输出过程中要进行加密算法校验。
- 6.5.7 身份认证，应建立统一身份认证平台，实现统一的用户认证管理，其他子系统基于 OAuth2 实现单点登录，只有通过身份认证的用户才能访问平台。
- 6.5.8 宜启用双因子认证，双因子为秘密信息、个人物品、生理特征中的两个。
- 6.5.9 访问控制，应采用 RBAC（Role-Based Access Control 基于角色的访问控制）实现控制用户可访问的系统功能。
- 6.5.10 安全通信，应采用 HTTPS 协议保证通信过程中数据的安全性。
- 6.5.11 正式上线运行前，应完成信息系统安全保护定级备案和测评。

6.6 数据维护

- 6.6.1 应以保障系统稳定工作、可持续发展为基础开展相关工作。
- 6.6.2 应包括系统正常运行所需的机房环境、计算机硬件、配套网络、基础软件、应用软件等运行维护内容。
- 6.6.3 应具备系统操作、维护、架构手册等常规运维指导文件，以及运维巡检计划、应急处理流程及方案、备份和故障后恢复措施等准备。
- 6.6.4 应具备设备运行状态、设备间网络端口转发与路由、业务数据库和应用进程等的日常监控和运行状态报告。
- 6.6.5 应记录系统中的配置元素，通过配置管理工作流程进行系统配置变更。
- 6.6.6 系统实施单位应安排专人常驻工程建设现场，负责系统正式运行期间的运行维护、日常培训和异常处理等，包括实时监控平台运行状态、保证平台运行指标符合相关规定、检查与测试网络线路、及时定位和排除、确保平台所承载的应用和业务正常运行等内容。
- 6.6.7 应进行数据稽核与应用效果评价，通过周报、月报、年报等反馈平台运行维护情况，做到故障及时发现、报告、解决和存档。
- 6.6.8 应建立重点设备、特种设备日常运维记录，并遵守国家特种设备使用、维护等规定。
- 6.6.9 宜采用自动化运维技术，实现自动化编译、测试、部署、启动、运行。
- 6.6.10 宜采用异地灾备系统，满足重要业务数据的备份要求。

6.7 系统移交

- 6.7.1 TBM 法隧道智慧工地系统移交应以工程运维阶段深入、持续应用、继续发挥智慧工地系统作用为基础开展相关工作。
- 6.7.2 应包括涉及向建设/运行单位移交系统程序、数据、资料等相关内容。
- 6.7.3 应制定移交策略（符合建设/运行单位的信息工作目标、方针和策略），确定移交需求（系统、数据、数据属性及格式、资料），制定移交计划（移交内容、移交时间和实施方法），按期移交，通过检查、验收及评价。

7 智慧管理

7.1 基本原则

智慧管理平台集成人员、TBM 机械设备、物料、环境、监控、质量、安全、进度等智慧管理信息子系统。

7.2 人员管理

7.2.1 施工现场采用信息系统实施人员实名制管理，施工现场安装身份识别（人脸、指纹、虹膜、手机 NFC 或其他生物特征）设备采集人员信息。

7.2.2 人员管理系统应按照施工现场管理人员、施工作业人员及其他进入隧道的人员进行分类管理，进入隧道人员应随身佩戴电子标识装置，人员管理采集的数据应包括人员身份、时间、位置等。隧道洞口可设立 LED 显示屏等信息展示装置，动态显示进出洞人数、时间和位置等信息。

7.2.3 现场封闭式管理采用智慧化手段，施工现场采用电子围栏、闸机、AI 摄像头至少 2 种方式对施工现场进行人员、车辆管理。

7.2.4 人员管理功能应满足以下数据要求：

- a) 人员信息采集应包括：身份证信息、联系方式、文化程度、合同信息、工作经历及业绩、执业（岗位）资格证书或者职称证书、职业健康信息、入场安全教育、日常安全教育、工种（专业）、人脸数据信息；
- b) 合同信息应包括合同编号、合同期限、合同生效日期、合同失效日期、工资核算方式；
- c) 资格证书信息应包括证书名称、类型、编号、等级、发证机关、发证日期、有效时间、资格状态；
- d) 人员考勤管理应包括进场时间、出场时间、数据来源、人脸抓拍照片信息；
- e) 人员薪资管理应包括薪资发放记录信息；
- f) 日常安全教育应包括培训内容、培训类型、培训时间、考核结果信息；
- g) 评价管理应包括不良行为信息、奖惩信息信息；
- h) 人员定位管理应包括活动轨迹、实时位置、考勤记录信息；
- i) 用人计划管理应包括计划工种、计划数量、用工时间信息。

7.2.5 人员管理功能满足以下功能和管理要求。

- a) 人员实名制管理应具备通过身份证阅读器采集人员身份证信息的功能，宜具备人员实名认证、电子签名/签章的合同管理功能。
- b) 人员考勤管理应具备人员通行授权管理功能、支持人脸识别技术对人员出入场进行身份验证、人员通行权限自动判别功能、自动统计进出场人员数据功能、自动统计工时数据功能、通过移动设备进行人脸识别考勤功能、出勤综合分析功能。宜具备主动预警人员缺岗功能设置基本的上下班时间和刷卡次数。
- c) 人员考勤管理应具备支持视频拍照技术自动采集人员通行影像资料的功能。
- d) 人员薪资管理应具备薪资发放记录功能、薪资线上代发功能、薪资发放数据统计功能、月度工资自动计算功能、薪资逾期发放预警功能。
- e) 日常安全教育管理应具备在线培训教育管理功能，包括在线发起管理功能、课件资源维护功能、考试管理功能、培训教育课程管理功能、成绩发布管理功能、统计报表功能。
- f) 评价管理应具备人员奖励行为记录功能、人员不良行为记录功能、黑名单共享管理功能、人员评价自动分析功能。
- g) 人员定位管理宜具备实时定位、智能考勤和工时统计功能、电子围栏功能。
- h) 用人计划管理宜具备用人计划方案管理功能、用人监测预警功能。

7.3 TBM 机械设备管理

7.3.1 TBM 机械设备信息化管理系统管理对象应包括主驱动、刀具、钢拱架安装系统、锚杆钻机、混凝土输送泵及喷射机械手、除尘通风系统、起重运输设备、空气压缩机、主机皮带机、后配套皮带机和连续皮带机等。

7.3.2 根据 TBM 各机械设备的运行特性，应规定相应的测定方式（在线连续检测、离线精密诊断、简易监测诊断等）和管理方法（规定日常监测及维保频率、异常状态处理办法等）。

7.3.3 TBM 机械设备信息化管理系统应具备数据采集、自动分析、综合预判、预警管理、指导操作、多样化适应性报表输出以及设备维保辅助等功能。

7.3.4 设备维保辅助功能包括定期维保提醒、维保工艺流程查询、维保记录查询、备品备件查询等。

7.3.5 设备维保工艺流程内容应包括配置及参数、安全要求、维保工艺规程、常见故障及处理等。

7.4 物资管理

7.4.1 项目采用二维码、无线射频等物联网技术对物资进行验收，实现可溯源管理。同时，满足以下条件：

- a) 现场出入口安装、使用智能地磅；
- b) 采用二维码、射频芯片等技术对钢筋、混凝土、装配式构件等影响结构安全或主要使用功能的物资材料出入库、跟踪、退场、使用进行可追溯管理。

7.4.2 物资管理信息系统应针对 TBM 法隧道施工过程中所需的原材料及半成品质量进行监督、检查和调配。应对管片、混凝土浇筑、混凝土取样、制样及送样等关键工序的可视化追溯管理。

7.4.3 原材料及半成品应包括拌合站混凝土及砂石骨料、水泥、钢筋、锚杆等其他重要原料。

7.4.4 物资信息化采集的数据应包括类别、批次、质量数据和存量等，物资管理系统应具备分类汇总原材料进场数量、台账、统计偏差、提醒预警等功能。

7.4.5 可在系统对设备物资验收、出入库进行信息化操作，并具备出入库管理、使用管理、库存管理等功能，并关联所在工作单位信息，可根据需要在智慧工地系统建立垂直组织架构。

7.5 环境管理

7.5.1 TBM 法隧道作业环境主要指气（空气质量）、尘（粉尘）、声（噪声）、电（杂散电流）、水（湿度、涌水）等，应保证洞内 TBM 隧道作业环境的温度、湿度、粉尘、风速、噪声等在规定的范围内，以提高施工效率、确保 TBM 隧道作业环境适宜、安全。现场应安装、使用各种环境监测设备，实时采集现场环境数据。

7.5.2 TBM 隧道施工过程中的有害气体、粉尘、噪音、温湿度和风速的监测数据应在施工环境管理系统的主屏上实时显示，当监测数据超标时应能及时发出声光警报。

7.5.3 对渣土运输车辆进出场进行智慧管理，现场出入口安装、使用高压洗车台及车辆号牌识别系统，对车身覆盖及车辆清洗进行监控预警。

7.5.4 宜采用环境管理信息系统，集成与施工相关的水环境、空气环境、声环境、地下洞室环境、地面施工监测、水保环保监测与修复等信息，实现水质、温度、湿度、风速、粉尘等指标自动监测、传输和分析预警功能，提升环境监测与绿色施工管理水平。

7.5.5 宜采用水质自动化监测站、卫星遥感、无人机、机器学习等方式，实时监测生产用水、生活用水、废水、污水等水环境参数，基于水质模拟、预测评价模型和水污染案例库，实现水环境污染数字化管理。

7.5.6 宜在地下洞室重点部位设置固定式监测和智能通风设备，实时监测洞室内粉尘、焊烟及有害气体等，智能调节通风设备和参数，实现地下洞室施工通风过程智能控制。

7.5.7 宜布置小型分布式气象站，实时采集与传输施工环境温湿度、日照强度、风力风向及降雨等参数，结合地质灾害气象预警信息，指导现场施工。

7.5.8 宜采用视频监控、倾斜摄影、图像自动识别、无人遥感等技术，监测弃渣场的降尘、拦渣情况、排水系统等内容，确保降尘措施有效运行，水土流失有效管控。

7.6 视频监控

7.6.1 项目可通过视频监控设备对施工作业区、生活区、材料堆放区、班前教育区等关键区域进行实时查看和记录。

7.6.2 视频监控系统可采用建立洞内 TBM 监控室，洞外施工项目部监控室等模式进行部署，视频采集设备应安装在掌子面、L1 和 L2 人员作业区、皮带机、出渣口、隧道洞口等特殊作业场所。

7.6.3 视频监控信息化管理系统应具备以下功能要求：

- a) 具备图像视频的采集、处理、实时监控、回放、分发等；
- b) 通过用户终端（PC 和移动客户端）调用实时和历史视频图像，并可对重要视频图像进行人工存储的功能。

7.7 过程管理

7.7.1 TBM 隧道施工过程控制管理系统宜包括施工质量管理、施工进度管理、施工安全管理、信息和协同管理等。

7.7.2 项目使用移动终端对施工质量进行管理，施工质量管理功能满足以下要求：

- a) 应支持在线提交质量计划及审查，应包括开挖质量、原材料及半成品质量、初期支护混凝土强度、密实情况、钢架间距、二次衬砌混凝土强度、厚度、钢筋分布、密实情况；
- b) 宜通过物联网设备采集开挖支护、量测监控等数据；
- c) 宜通过拍照、文字或短视频录制等方式记录实测实量数据（具体收集哪些数据）；
- d) 应统计、分析和查询数据；
- e) 应用可视化装备辅助质量管理，采用 VR、AR 设备或高清摄像头（40 倍及以上）等可视化装备，辅助质量管理（隧道三维扫描、测量基准点）。

7.7.3 项目计划进度与实际进度可自动对比，并通过 BIM 模型进行可视化展示，施工进度管理功能宜满足以下要求：

- a) 宜可视化展示 TBM 隧道施工进度和资源投入；
- b) 可自动对比计划进度与实际进度；
- c) 宜支持劳动力、TBM 主机及配套设备和工序优化。

7.7.4 施工安全管理功能应满足以下要求：

- a) 应支持安全生产风险识别、风险研判、风险防控、指挥救援和绩效评估等；
- b) 宜针对可能发生的安全风险制定防护措施和应急预案；
- c) 可智能监测重大风险；
- d) 项目应使用移动终端对施工安全风险及隐患进行巡检及管理，宜采用影像方式记录隐患排查情况。

7.7.5 信息和管理协同功能满足以下要求：

- a) 对人员、TBM 机械设备、物料、环境、监控、质量、安全、进度等可通过移动端和 PC 端进行操作；

- b) 应采用集成管理平台进行协同管理。

8 智能建造技术

8.1 TBM 超前地质预报

8.1.1 TBM 超前地质预报系统可选用一种或综合多种超前地质探测手段获取超前地质预报信息，常用的超前地质探测手段有激发极化法、TSP 超前预报技术、TST 超前预报技术、HSP 水平声波剖面法、水平钻孔、超前导坑、正洞地质编录与预报等。

8.1.2 应将地质勘探资料和超前地质预报信息数据上传到 TBM 超前地质预报系统中，实现 TBM 隧道施工超前地质预报信息化管理。

8.1.3 勘探地质资料包括但不限于：TBM 隧道工程范围内的地质构造规律；岩体软弱带的情况；掌子面内部岩性变化情况；岩体内的节理、裂隙、断层、岩脉等；岩体类别、断层位置、规模、断层破碎带位置、宽度等。

8.1.4 TBM 超前地质预报承担单位应及时对超前地质预报信息数据进行采集，采集的数据应包括钻孔资料、波形图、解译结论（人工解译）和地质素描等。

8.1.5 TBM 超前地质预报系统应具备以下功能要求：

- a) 具备超前地质预报工作的进度管理、查询等功能；
- b) 具备地质风险辨识，实现提醒或预警功能；
- c) 具备实际揭露地质情况和预报地质情况的对比验证功能。

8.2 TBM 智能掘进

8.2.1 智能掘进系统实现根据实际施工中的围岩地质信息自动调节掘进参数，应具备数据采集、数据处理、智能决策、异常检测和实时监控等功能。

8.2.2 数据采集模块实时采集掘进数据与围岩地质信息，并通过数据库对采集的数据进行存储和管理。

8.2.3 掘进数据应包括但不限于刀盘转速、刀盘扭矩、总推进力、推进速度、贯入度、油缸行程等参数；围岩地质信息应包括但不限于孔隙比、压缩模量、黏聚力、内摩擦角、天然重度等。

8.2.4 智能决策模块通过对地质和掘进数据进行处理分析，实时计算出 TBM 关键掘进参数建议值，并对掘进参数进行自动调整。

8.2.5 异常检测模块应对实时掘进数据进行信号异常跳变检测、系统故障诊断，并对异常检测结果进行及时报警。报警信息应记录设备故障系统、故障参数、故障时间、故障类型等。

8.2.6 实时监控模块应对掘进数据进行在线监控，通过文本、图、表等可视化方式展示掘进数据当前和历史变化趋势。

8.3 TBM 智能导向

8.3.1 TBM 智能导向系统实现掘进过程中 TBM 姿态的自动纠偏，应具备数据采集、数据处理、实时决策和姿态异常报警等功能。

8.3.2 数据采集模块应实时采集 TBM 导向姿态数据和掘进数据，并通过数据库进行存储和管理。

8.3.3 导向姿态数据包括但不限于盾首坐标、盾尾坐标、盾首水平偏差值、盾尾水平偏差值、盾首垂直偏差值、盾尾垂直偏差值、滚动角、航向角、俯仰角等；掘进数据包括但不限于左扭矩缸压力、右扭矩缸压力、推进油缸压力、左右撑靴压力、推进油缸压力行程、左右撑靴行程、左右扭矩油缸行程等。

8.3.4 实时决策模块应对历史姿态和掘进数据处理分析，实时计算出纠偏参数建议值，并自动进行掘进过程中 TBM 姿态的纠偏。

8.3.5 姿态异常报警模块应对掘进过程中 TBM 姿态进行实时监测，当 TBM 姿态与设计轴线的偏差超出警戒值时进行及时报警。

8.4 TBM 智能支护

8.4.1 TBM 智能支护系统根据实际施工过程中的围岩地质信息和监控量测信息实现隧道支护方式的辅助决策，宜具备数据采集、实时决策和数据记录等功能。

8.4.2 数据采集模块实时获取围岩地质信息和监控量测信息，并通过数据库对数据进行存储和管理。监控量测内容应包括拱顶下沉、净空收敛变化等，监控量测断面及测点布设、监测频率、预警控制值等应按照相关标准的规定要求执行。

8.4.3 实时决策模块根据围岩地质信息选择合适的支护设计形式，并结合监控量测信息进行调整，输出合理的支护形式和参数。

8.4.4 数据记录模块应将实际施工中采用的支护类型及参数记录并上传到 TBM 智能支护系统，实现 TBM 支护体系信息化，所需记录的支护类型及参数包括但不限于：

- a) 锚杆的类型、长度和间距等；
- b) 钢筋网片的尺寸、直径和网格间距等；
- c) 钢拱架的材质、强度和间距等；
- d) 喷射混凝土的强度、厚度和外观尺寸等；
- e) 二次衬砌的类型、厚度等。

8.4.5 宜采用自动化技术进行 TBM 支护施工，内容包括但不限于锚杆钻机自动控制系统、自动喷混系统等。

8.4.6 锚杆钻机自动控制系统应具备以下功能要求：

- a) 具备锚杆作业工作状态监控功能；
- b) 具备钻孔自动定深功能；
- c) 具备锚杆位置、深度、角度、预紧力等信息记录查询功能。

8.4.7 自动喷混系统应具备以下功能要求：

- a) 具备喷混作业工作状态监控功能；
- b) 具备喷混作业轨迹规划功能；
- c) 具备喷混作业混凝土喷射施工自动控制功能。