



团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

钻爆法隧道智能建造 安全监测及风险预警 管控系统技术规范

Intelligent construction of tunnels using drilling and blasting method
Technical specifications for security digital warning and control
platform

(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、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 基本规定	3
5 人机料动态监测	3
5.1 基本要求	3
5.2 人员安全行为	4
5.3 设备安全状态	4
5.4 物料安全转运	4
6 全环境安全感知	5
7 施工实时安全监测	6
7.1 基本要求	6
7.2 洞口施工	6
7.3 洞身开挖	7
7.4 初期支护	8
7.5 仰拱填充	8
7.6 二次衬砌	8
8 安全风险管控	8
8.1 安全风险预警	8
8.2 安全管控	11
9 系统平台建设	11
9.1 基本要求	11
9.2 数字模型	12
9.3 数据融合	14
9.4 动态模型修正	16
9.5 网络建设	16
9.6 硬件建设	17
10 安全数据集成应用	18
10.1 人机料动态数据	18
10.2 环境感知数据	18
10.3 监控量测数据	19
10.4 安全控制数据	19
参考文献	20

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。

本文件由中建铁路投资建设集团有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：中建铁路投资建设集团有限公司、中建工程产业技术研究院有限公司、山东大学、华中科技大学。

本文件主要起草人：。

引 言

钻爆法隧道作为当前隧道工程的两大主流施工工法之一，相较掘进机法能够适应各种隧道断面形式和地质条件，灵活性和适应性更强，应用更加广泛。同时，得益于大数据、物联网、5G 通讯、人工智能等技术的快速发展和深度融合，钻爆法隧道智能建造技术已经得到了迅速的发展，在隧道围岩智能评价与爆破设计、智能施工装备、智能化建造管控平台以及辅助工序装备上均有了一定的积累和突破。由此，在信息技术、隧道建造技术和智能装备进一步融合的基础上，已初步形成了隧道建设新模式——隧道智能建造。

本文件是在系统分析钻爆法隧道工程施工安全管理现状、全面总结“隧道智能建造物联交互系统”安全监测及风险预警板块建设经验的基础上编制而成的。系为指导钻爆法隧道智能建造中安全监测及风险预警管控系统的建设，统一安全监测对象、监测方法、监测标准、风险预警与管控、数字化系统建设等技术要求。本文件从人机料动态安全监测、全环境安全感知、实时监控量测、风险管控、系统平台建设、安全数据集成应用等方面规定了监测对象、监测方法、监测方式、风险管控、系统建设等关键技术与指标。本文件仅限定了钻爆法隧道安全监测及风险管控系统技术的相关要求，其他方式隧道施工的安全监测及风险管控系统建设亦可参考本文件相关内容。

本文件主要包括人机料动态安全监测、全环境安全感知、实时监控量测、风险管控、系统平台建设以及安全数据集成应用等内容，主要内容如下：

- a) 定义了安全数字化预警管控平台技术的适用范围、服务对象、结构体系等；
- b) 明确了人机料安全监测、全环境安全感知及实时监控量测的具体监测对象、监测方法、监测标准等；
- c) 明确了系统建设所需 BIM、GIS 模型搭建及融合要求，多元异构数据标准及融合要求，施工模型动态更新要求等；
- d) 明确了安全风险管控的分级标准、预警方式、预警对象以及管控措施等相关要求；
- e) 明确了安全数据的集成方法及集成运用要求。

钻爆法隧道智能建造 安全监测及风险预警管控系统技术规范

1 范围

本文件给出了钻爆法隧道安全监测及风险预警管控系统技术的基本规定，从人机料动态安全监测、全环境安全感知、施工实时安全监测、安全风险管控、系统平台建设、安全数据集成应用等方面规定了监测对象、监测方法、监测标准、风险管控、系统建设等关键技术指标。

本文件适用于采用钻爆法施工的公路、市政、铁路等隧道工程。可为建设安全监测及风险预警管控系统提供指导和参考。

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 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

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

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

施工实时安全监测 *real-time safety monitoring of construction*

在隧道工程施工阶段，采用仪器监测、数据传输的方式，获取和反映监测对象的安全状态、变化特征及其发展趋势的信息，并进行分析、反馈的工作。

3.1.2

差分干涉测量 (DInSAR) *differential interferometry*

利用同一地区不同时相的 SAR 影像，通过差分干涉，获取该地区地表形变信息的技术手段。

3.1.3

钻爆法隧道智能建造安全监测及风险预警管控系统 *drill-and-blast tunnel intelligent construction safety monitoring and risk early warning control system*

以 BIM+GIS 三维模型为载体，搭载高性能图形引擎，结合瓦片化和轻量化技术，将现场数据在全要素三维模型中实时加载，利用数据中台汇聚隧道内施工过程中的监测设备状态信息、生产数据、现场管理信息，并与隧道施工业务深度融合而搭建的数字化、智能化、可视化的隧道安全监测及风险预警的管理平台。

注：钻爆法隧道智能建造安全监测及风险预警管控系统简称隧道预警平台、平台。

3.1.4

用户信息传输装置 *user information transmission device*

设置在联网单位，通过有线/无线网络与应用支撑平台进行设施运行状态信息传输的装置。

3.1.5

数据传输单元 (DTU) data transmission unit

是专门用于将串口数据转换为 IP 数据或将 IP 数据转换为串口数据，并通过无线通信网络进行传送的无线终端设备。

3.1.6

远程终端单元 (RTU) remote terminal unit

一种针对通信距离较长和工业现场环境恶劣而设计的具有模块化结构的、特殊的计算机测控单元，它将末端检测仪表和执行机构与远程调控中心的主计算机连接起来，具有远程数据采集、控制和通信功能，能接收主计算机的操作指令，控制末端的执行机构动作。

3.1.7

数据采集传感器 data acquisition sensors

用于隧道内相关数据采集的传感器总称，通常由敏感元件和转换元件构成，有传感、通信、信息处理等功能一体化或分体式的装置。

注：包括压力传感器、流量传感器、水位传感器、温湿度传感器、视频传感器、气体传感器、电磁传感器、声光传感器射频识别、压差传感器、风压传感器、风速传感器等。

3.1.8

数据融合 data fusion

数据融合是指将来自不同数据源的数据进行整合、清洗、转换和统一的过程，以实现数据的一致性、质量和可用性。

注：数据融合的主要目的是将不同数据源的数据进行整合，以得到更全面、更准确的数据。数据融合可以帮助组织更好地了解其业务，提高决策效率。

3.1.9

数据交换 data exchange

数据交换是指将数据从一个系统或数据源传输到另一个系统或数据源的过程。

注：数据交换的主要目的是将数据从一个系统或数据源传输到另一个系统或数据源，以实现数据的共享和协同合作。数据交换可以帮助组织更好地协同合作，提高业务效率。

3.1.10

数据集成 data integration

数据集成是指将来自不同来源的数据进行整合、清洗、转换和统一的过程，以实现数据的一致性、质量和可用性。

注：数据集成的核心环节包括数据融合和数据交换。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CoAP: 受限应用协议 (the Constrained Application Protocol)

HTTP: 超文本传输协议 (Hypertext Transfer Protocol)

LoRa: 远距离无线电 (Long Range Radio)

MQTT: 消息队列遥测传输 (Message Queuing Telemetry Transport)

NB-IoT: 窄带蜂窝物联网 (Narrow Band-Internet of Thing)

TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)

UDP: 用户数据报协议 (User Datagram Protocol)

ZigBee: 低速短距离传输的无线网上协议

4 基本规定

- 4.1 建设各方应结合工程实际和项目特点，落实施工安全责任和施工安全措施，做好安全管理和安全技术工作，规范现场作业，预防事故发生。
- 4.2 安全监测及风险管控系统应包含人机料动态监测、全环境安全感知、实时监控量测、风险管控、安全数据集成应用功能，各板块间应建立良好的数据通讯网络，保障数据实时交换，保证洞内外信息及时传达。
- 4.3 系统建设宜考虑内外网通信网络布置、带宽等需求部署网络，网络应满足工厂的信息采集、传输、反馈、控制等应用需求，并充分考虑网络安全。
- 4.4 系统应实现信息采集、传输、反馈、控制等过程的各环节之间的信息集成与展示，不应有信息孤岛。
- 4.5 安全监测及风险管控系统中使用的设备应符合国家法律法规和现行相关标准的要求，并经法定机构检验或认证合格。
- 4.6 新建隧道宜同步布置安全监测及风险管控系统，布设相应的设备、中控系统或预留空间位置及供电、通信条件等后续建设条件，并随隧道施工开展逐步完善各项功能，相关功能布置原则上应早于工序施工时间。
- 4.7 根据隧道工程施工特点，辨识主要风险源，选择监测对象、监测方法及风险预警控制策略。
- 4.8 有特殊要求需制定精细信息模型时，应进行专项勘察或专题研究。
- 4.9 其他整体要求：钻爆法隧道数字化系统主要性能指标应满足表 1 的要求。

表 1 钻爆法隧道数字化系统主要性能指标

性能指标名称	目标性能指标值	描述
用户人数	≥10000 (人)	支持多层级多角色的用户数量
并发访问量	>500 (次/s)	指系统可以同时承载的正常使用系统功能的用户的访问数量
页面响应时间	<5 s	对请求系统做出响应所需要的时间，打开或刷新首页、功能切换到其它页面的响应时间
查询检索时间	<3 s (简单查询)	简单查询：对数据库单个表结构进行的匹配查询； 复杂和组合查询：对数据库多个表结构进行的匹配查询
	<30 s (复杂和组合查询)	
文件上传速率	≥50 KB/S	文件上传的速率，应显示实时传输的速率与上传进度
数据分析时间	≤1 min (一般情况)	一般情况：针对单个功能模块进行的数据分析 复杂情况：针对多个功能模块进行的综合数据分析
	≤5 min (复杂情况)	
系统日志的备份/恢复时间	≤10 min	系统日志应记录对系统数据的修改、访问日志（包括 IP 地址），系统日志应提供定期清理功能。
系统备份恢复时间	≤30 min (增量备份)	
	≤24 h (完全备份)	

- 4.10 钻爆法隧道智能建造安全监测及风险预警管控系统应有安全保障体系、运行维护体系作为支撑。
- 4.11 钻爆法隧道智能建造安全监测及风险预警管控系统的安全要求应满足 GB/T 22239 的规定。
- 4.12 钻爆法隧道智能建造安全监测及风险预警管控系统建设要求应分为基本项与可选项。

5 人机料动态监测

5.1 基本要求

- 5.1.1 人机料动态监测应包含人员安全行为、设备安全状态、物料安全转运。
- 5.1.2 隧道内宜选用穿透性强、功耗低、抗干扰强、成本适中、传输距离远的定位技术，建议应用超宽带（UWB）定位技术进行隧道内定位管理。
- 5.1.3 隧道内间隔一定距离需布设定位基站，间隔距离视实际定位技术确认，定位基站布设应自洞口开始，若采用 UWB 定位技术宜间隔 300 m 左右安装定位基站，人、机共用定位基站。
- 5.1.4 隧道内网络应满足人员定位、视频监控及施工装备信息化数据传输要求，一般宽带承载能力不应低于 30 Mbps，最大上行速率：30 Mbps（隧道内→隧道外），最大下行速率 4 Mbps（隧道外→隧道内）。
- 5.1.5 隧道内关键施工区域应布设视频监控，宜在隧道洞口、二衬区域、掌子面附近安装视频装置，视频可实时传输回系统。

5.2 人员安全行为

- 5.2.1 隧道内人员的监测应覆盖外来人员、管理人员与全部作业人员，作业人员包含但不限于普工、电工、钢筋工、混凝土工、爆破工、湿喷机操作手、测量人员、挖掘机司机、装载机司机、自卸车司机等。
- 5.2.2 人员定位信息应在系统定位图中实时呈现，外部人员、管理人员、劳务人员应分别显示，系统后台应对人员轨迹进行记录。
- 5.2.3 进入隧道人员应佩戴有定位装置的安全帽，安全帽固定配置，定位数据根据不同工种分类显示，人员信息应涵盖姓名、工种、班组、编号、里程、轨迹。
- 5.2.4 人员位置信息宜每隔 2 s 抓取一次，实时监控洞内人员去情况。
- 5.2.5 系统后台应布置 AI 识别算法，检测明火、吸烟、人员倾倒等人员安全行为，自动抓拍、推送预警。

5.3 设备安全状态

- 5.3.1 隧道内施工机械安全状态监控应包含但不限于凿岩台车、开挖台架、拱架安装台车、湿喷机、挖掘机、装载机、仰拱栈桥、罐车、防水板台车、二衬台车、检测台车、水沟电缆槽模板台车、出渣车、钢筋运输车等。
- 5.3.2 隧道内施工机械应安装定位装置及生产参数作业装置，远程监管设备状态，获取运行参数。
- 5.3.3 隧道内网络布设应覆盖全部施工装备，宜在二衬台车集中布设信息化柜、光猫、路由器、交换机等网络装置，在防水板台车附近设置 WiFi 发射点。
- 5.3.4 应确保 WiFi 发射点与掌子面间无遮挡，且距离 ≤ 100 m。
- 5.3.5 设备监控数据的传输宜通过 2 种方式进行，衬砌台车、仰拱栈桥宜采用有线连接方式；凿岩台车、湿喷机等移动类机械宜采用无线连接方式。
- 5.3.6 凿岩台车应实现钻孔时间、位置坐标、钻孔数量、钻孔位置、钻孔深度、炮孔布置图、车载视频图等参数的监测与传输。
- 5.3.7 注浆锚杆一体机应实现钻孔深度、钻孔数量、注浆压力、注浆量、注浆时间等参数的监测与传输。
- 5.3.8 湿喷机械手应实现湿喷时间、本次泵送方量、速凝剂消耗量、累计喷射方量等参数的监测与传输。
- 5.3.9 衬砌台车应实现浇筑方量、拱顶压力值、浇筑温度、工作效率、二衬施作时间等参数的监测与传输。

5.4 物料安全转运

- 5.4.1 隧道施工物料监管应涵盖钢筋、钢拱架、混凝土等。

- 5.4.2 钢筋、钢拱架、防水板、原材进场时，应将进场批次、型号、时间等用二维码标识，半成品加工后将加工时间、质检结果、质检人和所用部位用二维码标识，领料用料与机械动态监控相结合实现物料监控。
- 5.4.3 隧道洞渣应用装载机和出渣车配合，监管定位位置、作业时间、作业轨迹和单车容量、出渣时间、出渣量。
- 5.4.4 混凝土监控应结合拌和站、罐车、湿喷机械手、二衬台车、水沟电缆槽套车等设备参数共同监控。

6 全环境安全感知

6.1 基本要求

- 6.1.1 全环境安全感知应包含：空气质量监测、有毒有害气体检测、温湿度监测、风速监测、洞口环境监测等。
- 6.1.2 隧道内监测设备应选用采集高频率、精度高、抗干扰、成本适中的设备，监测设备应具备网络传输数据能力。
- 6.1.3 瓦斯隧道中隧道内部署的环境感知设备应具备抗静电、防漏电、防爆、防火等能力，并满足国家标准。
- 6.1.4 隧道内网络应满足监测设备信息化数据传输要求，一般宽带承载能力不应低于 30 Mbps，最大上行速率：30 Mbps（隧道内→隧道外），最大下行速率 4 Mbps（隧道外→隧道内）。
- 6.1.5 隧道内部署监测设备应根据设备类型部署在相应的位置，如表 2 所示。

表 2 隧道内部署监测设备部署的位置

监测设备类型	设备安装位置	数据采集频率
空气质量监测	仰拱台车	3 s/次
有毒有害气体检测	开挖台车	3 s/次
温湿度监测	二衬台车	5 s/次
风速监测	风速仪	5 s/次
地质环境监测	开挖台车	30 s/次
污水监测	洞口	5 s/次

6.2 隧道内环境监测

- 6.2.1 隧道内应在掌子面二衬位置安装温湿度监测设备、粉尘浓度监测设备，应在隧道内通风管道处安装风速仪监测隧道风速，在隧道洞口处安装污水监测设备。
- 6.2.2 温湿度监测设备、粉尘浓度监测设备、风速仪、污水监测设备应根据设备类型具备实施采集能力，并具有国家 3C 认证，监测标准符合国家标准。
- 6.2.3 监测设备应具备实施采集并通过网络上传至系统的能力，应能通过网络通讯接收并执行系统指令。
- 6.2.4 根据施工进度和环境影响程度确定，在施工过程中应实时进行采集数据。

6.3 有毒有害气体监测

- 6.3.1 隧道内应在掌子面处安装有毒有害气体监测设备，设备应具备监测一下数据：氧气、一氧化碳、甲烷、硫化氢等类型。
- 6.3.2 有毒有害气体监测设备设备应根据设备类型具备实施采集能力，并内置气体检测浓度预警算

法，具备实时提示声光报警的能力。

6.3.3 监测设备应具备实施采集并通过网络上传至系统的能力，应能通过网络通讯接收并执行系统指令。

6.3.4 有毒有害气体监测设备应7*24小时开启，当监测数值异常报警提示时人员应迅速撤离。

6.4 洞口环境监测

6.4.1 隧道洞口应根据地质情况安装边坡位移测量设备、洞口变形监测设备、防洪防汛监测设备等。

6.4.2 边坡位移设备应根据地质勘察报告确定边坡的潜在不稳定区域和滑动面。设备应安装在这些关键区域，以便能够准确监测到任何微小的位移变化，具备通过网络将监测位移数值上传至系统的能力。

6.4.3 洞口变形监测设备应安装在洞口周边的关键位置，如洞口顶部、两侧以及底部，以全面捕捉洞口的变形情况，应具备通过网络将洞口变形位置、变形速率、变形数值上传至系统的能力。

6.4.4 防洪防汛设备主要包含液位传感器、水压传感器、流速传感器等，监测设备应安装在洞口周边区域的关键位置，如洞口上方、两侧以及可能受洪水影响的其他区域。

6.4 监测数据处理

6.4.1 系统通过网络接收监测设备传输的监测数据，系统应确保监测数据应实时记录，确保数据的真实性和准确性。

6.4.2 系统应对监测数据进行统计和分析，应设定三级安全阈值范围，对超预警范围的数据设备应推送对应的预警信息。

6.4.3 系统产生的预警信息，施工现成应根据监测结果及时调整施工方案和环境保护措施。

6.5 监测报告

6.5.1 监测报告应包含监测时间、地点、方法、结果以及评估意见等内容。

6.5.2 监测报告应定期提交给相关部门和单位，以便及时了解 and 掌握隧道施工过程中的环境状况。

7 施工实时安全监测

7.1 基本要求

7.1.1 施工实时安全监测应包含洞口施工、洞身开挖、初期支护、仰拱填充、二次衬砌模块。

7.1.2 监测网点布设应根据围岩等级、支护结构设计计算及施工计划等因素综合确定，不同监测项目的监测点宜布设在同一断面上。

7.1.3 监测点应布设在支护设计计算位移与受力较大及能表征边坡和周边环境安全状态的关键部位。监测点布设不应影响被监测对象的结构安全，并应减少对施工作业的不利影响。

7.1.4 监测标志应稳固、明显、结构合理，监测点位置应避开障碍物，便于观测。

7.2 洞口施工

7.2.1 洞口施工安全监测重点关注洞口上方山体或土体的稳定性，应包含边仰坡稳定性监测以及危岩落石监测。

7.2.2 洞口监测施作前，应进行必要的洞口勘察调研，重点勘察洞口不良地质体发育类型、发育位置、规模、稳定性等，以及危岩落石的分布特征、大小、类别、结构面等信息，辨识危险块体。

7.2.3 在洞口勘察调研后，制定边仰坡稳定性监测方案及危岩落石监测方案，全监测布置应在洞口施作前完成。

7.2.4 监测网点布设应根据边仰坡、边坡支护设计计算及施工计划等因素综合确定，洞口位于建筑

物及道路下方、滑坡、崩塌、泥石流等不良地质体及特殊地段时应加密测点布置。

7.2.5 边仰坡稳定性监测及危岩落石监测仪器应采用无线位移传感器、加速度传感器，预先对其监测频率、监测精度、数据传输等性能指标进行测试，监测仪器经检定后方可应用。

7.2.6 条件允许的情况下，边仰坡变形监测可采用DInSAR技术进行，危岩落石监测可采用卫星定位监测方式。

7.2.7 监测数据通过移动通讯网络实时传输至系统，系统分析监测变形速率、累计变形量，系统中应显示测点位置、测点变形数据、变形曲线等。

7.2.8 在设有主被动防护网的位置，应在拉线处加装无线应力传感器，拉线应力值实时传输至系统，发生突变或超限时进行预警。

7.2.9 隧道洞口边仰坡变形控制标准应按照设计文件要求执行，如未进行相关要求，建议采取以下控制措施：

- a) 安全阶段：边仰坡测点位移在 2 cm~4 cm，且没有突变发生，继续进行监测；
- b) 三级警戒：任一测点的位移超过 5 cm~6 cm，或有个别测点位移速率加大，且有加速趋势，报告现场管理人员；
- c) 二级警戒：有多个测点位移速率加大，或者边仰坡上面有裂缝产生，并且裂缝有增大的趋势，写出书面报告和建议，施工单位进行必要的工序调整；
- d) 一级警戒：有多个测点位移超过 7 cm~10 cm，边仰坡裂缝继续加大，局部有喷层脱落，主管工程师立即现场调查，召开会议，研究应急措施；
- e) 抢险救灾：个别裂缝已经贯通，大多测点下沉趋势加大，立即停工，采取重大抢险救灾措施。

7.3 洞身开挖

7.3.1 洞身开挖监测应包含电子围栏、围岩稳定性监测及开挖质量监测。

7.3.2 作业人员需携带设备定位装置，在数字隧道地图上设置电子围栏，电子围栏应在隧道开挖前设置，设置区域为掌子面后方、仰拱前后 30 m 范围内。

7.3.3 应在掌子面区域、仰拱作业范围应用人员设备定位装置、数字地图设置电子围栏，电子围栏设置区域为掌子面、仰拱 30 m 范围内。

7.3.4 严控钻孔、爆破等工序作业人员聚集，应结合隧道断面、开挖形式、围岩等级等综合确认电子围栏内上线人数，在开挖阶段可按照上限 9 人进行控制，人员超出后预警。

7.3.5 系统内数字地图应显示人员位置与电子围栏区域，动态展示人员时空信息，数据更新频率不低于 1 s，必要时可在重点作业区域增加视频监控。

7.3.6 围岩稳定性监测包含拱顶下沉、净空变化、地表沉降、拱脚下沉、拱脚位移等监控量测项目，具体监测项目、监测频率与监测断面应依据设计文件或相关标准规范执行。

7.3.7 监控量测工作应随施工工序及时进行，测点应及时埋设支护后 2 h 内读取初始数据，并应根据现场情况及时调整监控量测项目和内容。

7.3.8 监测数据通过移动通讯网络实时传输至系统，系统分析监测变形速率、累计变形量，系统中应显示测点位置、测点变形数据、变形曲线等，预警阈值按照相关工程施工规范设置，超限时预警。

7.3.9 掌子面开挖排险后，应立即取照上传系统，照片应能清晰反应厘米级结构面发育情况，由专业人员辨识可能发生的顺层、掉块、破碎、出水等风险，也可采用数字识别技术定量判识掌子面稳定性情况，出现明显风险时预警。

7.3.10 开挖质量监测应用三维激光扫描仪扫描评估，紧随开挖排险施工后，拱架架设前实施。

7.3.11 三维激光扫描仪工作时应设置清晰的后视点，用以确认三维激光扫描仪的绝对位置，宜在确保安全的情况下，将三维激光扫描仪布置在新开挖面的正下方，保障新开挖面扫描质量。

7.3.12 宜打通三维激光扫描设备与系统的数据接口，保障扫描所获得的点云数据可无线传输回系统，如无相关条件，可线下将点云数据传输回系统，生成点云模型。

7.3.13 结合设计轮廓线评估线性超欠挖量、掌子面平整程度，必要时还应识别炮眼保存率、炮眼利用率及掌子面结构面发育情况，辅助判识超欠挖质量。

7.4 初期支护

7.4.1 初期支护阶段应重点关注初期支护的收敛变形，初期支护混凝土的喷射质量，对初支收敛变形、初支平整度进行监测。

7.4.2 初期支护完成后，应按照相关规范要求设置监控量测点，运用无线设备动态监控变形速率及累计变形量，监测数据实时传输系统生成曲线图，变形速率或累计变形量超限或不符合变形规律时预警，预警阈值按照相关工程施工规范中执行。

7.4.3 初支平整度监测应在初支混凝土初凝完成后实施，应用三维激光扫描仪进行初支面扫描，评估初期支护平整度情况，显示平整度情况异常位置与异常值，设置预警阈值，侵限时预警。

7.4.4 三维激光扫描生成的点云模型应直观、形象的展示出初支平整度情况。点云模型纵坐标为拱墙轮廓展开，拱顶为 0 m，左为负、右为正，横坐标为里程。采用深长比作为评估参数，蓝色、橙黄色及红色分别表示 0-0.05、0.05-0.1、0.1 以上，数值大小用颜色深浅表示。

7.4.5 初期支护平整度监测成果应包含二维报告、三维漫游图、坑洼区域重点关注图，在断面检测模块进行集中展示。

7.5 仰拱填充

7.5.1 仰拱填充应重点关注支护成环位置，应监测安全步距。

7.5.2 隧道施工前，应在掌子面开挖台架、仰拱栈桥位置安装定位装置，定位装置宜安装在 位置。

7.5.3 掌子面与仰拱施工应同步进行，安全步距超标时或即将超标时预警；安全步距依据围岩等级不同而变化，相关距离控制按照相关标准规范或设计文件执行，如无明确要求，按照Ⅲ级及以上围岩不超过 90 m，Ⅳ级不超过 50 m，Ⅴ级及以上围岩不大于 40 m 控制。

7.6 二次衬砌

7.6.1 二次衬砌施工应重点关注衬砌成环位置，二次衬砌质量薄弱点，施工过程中应对安全步距、二衬钢筋、拱顶密实度进行监测。

7.6.2 隧道施工前，应在掌子面开挖台架、二衬台车位置安装定位装置，定位装置宜安装在设备前部位置。

7.6.3 掌子面与仰拱施工应同步进行，安全步距超标时或即将超标时预警；安全步距依据围岩等级不同而变化，相关距离控制按照相关标准规范或设计文件执行，如无明确要求，按照Ⅰ、Ⅱ级围岩不超过 200 m，Ⅲ级围岩不超过 120 m，Ⅳ级围岩不超过 90 m，Ⅴ级及以上围岩不超过 70 m 进行控制。

7.6.4 二次衬砌施工前应对钢筋直径、数量、钢筋间距、保护层厚度进行检测，宜采用三维激光扫描仪扫描生成钢筋点云模型，钢筋质量不符合要求进行预警。

7.6.5 点云模型纵坐标为拱墙轮廓展开，拱顶为 0 m，左为负、右为正，横坐标为里程。采用线条表示钢筋，颜色表示保护层厚度。

7.6.6 二衬施工前应在拱顶注浆孔安装电通量传感器，电通量传感器密贴拱顶最高点位置安装，连通信号后停止注浆。

8 安全风险管控

8.1 安全风险预警

8.1.1 隧道工程风险分级应根据风险事件的发生概率，风险时间发生后果的等级，评定相应风险的等级，针对不同等级风险进行分级预警。

8.1.2 风险事件发生概率等级及风险事件发生后果的等级应分别符合表 3、表 4 的规定，风险事件发生后果等级应综合人员伤亡数量、稳定影响、自然环境影响、社会环境影响、经济损失、工期延误、功能缺陷综合确定，按照表 5 确定。风险等级标准应符合表 6 的规定。

表 3 风险事件发生概率等级标准

定量判别标准	风险判识标准	概率等级
>0.3	频繁发生	1
0.03~0.3	可能发生	2
0.003~0.03	偶然发生	3
0.0003~0.003	很少发生	4
≤0.0003	极不可能发生	5

表 4 风险事件发生后果等级标准

后果等级	5	4	3	2	1
严重程度	灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的

表 5 风险后果等级判识标准

后果等级	5	4	3	2	1
人员伤亡数/人	死亡≥30 或重伤≥100	10≤死亡<30 或 50≤重伤<100	3≤死亡<10 或 10≤重伤<50	死亡<3 或重伤<10 或轻伤≥5	轻伤<5
稳定影响	绝大部分群众有见、反应极其强烈,引发大规模群体性事件	大部分群众有意见、反应特别强烈引发较大规模群体性事件	部分群众有意见、反应强烈,引发矛盾冲突	多数群众理解支持但少部分人有意见,通过有效工作可防范与化解矛盾	绝大多数群众理解支持,极少数人有意见,矛盾易化解
自然环境影响	涉及范围非常大,周边生态环境发生严重污染或破坏	涉及范围很大,周边生态环境发生较重污染或	涉及范围较大,邻近区域内生态环境发生污染或破坏	涉及范围较小,邻近区域生态环境发生轻度污破	涉及范围很小,施工区生态环境发生少量污染或破坏
社会环境影响	恶劣的,或需	严重的或需转			

		转移安置 1000 人以上	移安置 500 人~ 1000 人			
	绝对经济损失/万元	≥10000	5000~10000	1000~5000	100~1000	<100
	相对经济损失/% 基数为工程造价	≥100	50~100	20~50	5~20	<5
控制 工期 工程	绝对延误时间/月	>12	6~12	3~6	0.5~3	≤0.5
	相对延误时间/%	>50	20~50	10~20	5~10	≤5
非 控制 工期 工程	绝对延误时间/月	>24	12~24	6~12	1~6	≤1
	相对延误时间/%	>100	50~100	25~50	10~25	≤10
	功能缺陷程度	完全丧失使用 功能	主要功能严重 缺失	主要功能部分 缺失	辅助功能严重 缺失	辅助功能部分 缺失

表 6 风险等级标准

后果等级 概率等级		灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
		5	4	3	2	1
频繁发生	5	极高	极高	极高	高度	中度
可能发生	4	极高	极高	高度	高度	中度
偶然发生	3	极高	高度	高度	中度	中度
很少发生	2	高度	高度	中度	中度	低度
极不可能发生	1	中度	中度	中度	低度	低度

8.1.3 风险等级划分为灾难性的、很严重的、严重的、较大的、轻微的 5 个等级，针对 5 级风险作 5

级预警，风险事件等级划分，本文件所涉及的风险监测事项宜按照表 7 确认。

表 7 风险事件预警建议表

监测板块	风险事件	风险等级	预警等级

8.1.4 预警方式应包含网页端综合预警界面、微信小程序推送、短信推送、现场声光报警 4 个方面。

8.1.5 预警信息应明显的展示出预警内容、预警位置以及预警时间，隧道现场声光报警装置报警信号应保证明显可视。

8.1.6 不同预警等级采用不同的预警方式，轻微等级采用网页端综合预警及现场声光报警、较大风险同步在微信小程序进行推送，较大及以上风险 4 种预警方式同步推送。

8.1.7 轻微等级风险预警应传输至作业人员、现场安全员、现场工长，由现场工长负责处置。

8.1.8 较大风险等级预警应传输至项目部安全、技术等相关负责人，由安全总监或技术总监负责处置。

8.1.9 严重风险等级预警应传输至项目经理，由项目经理负责处置。

8.1.10 很严重的及以上风险等级预警应传输至后台公司负责人，由后台公司负责处置。

8.2 安全管控

8.2.1 部分安全风险可通过系统的自动化分析、决策，进行风险事件的自动控制，主要包括通风联动、排水联动、设备急停等。

8.2.2 通风联动通过系统联动通风机进行实时控制，在灰尘或有害气体浓度超限、风速降低、氧气浓度降低等增大通风，在气体正常时恢复至常规水平，动态调控。

8.2.3 排水联动通过系统联动抽水系统进行实时控制，在水位超限时加大抽水功率，抽水出发条件依据项目特点确认，一般水位达到 50 cm 时，自动启动抽水；水位达到 80 cm 时，加大抽水功率。

8.2.4 设备急停通过系统联动设备进行实时控制，传感器监测到设备失稳后触发，制动设备。

9 系统平台建设

9.1 基本要求

9.1.1 总体框架

9.1.1.1 钻爆法隧道数字化系统应由前端、边缘服务器、传输层、数字中台、应用平台。详见表 8。

9.1.1.2 系统宜采用 SAAS 架构。满足基于多项目的系统架构。

表 8 钻爆法隧道数字化系统

应用平台	大屏可视化服务展示		
	微信小程序	PCWeb 端	大屏可视化

数字中台	物联网平台				AI 平台				数据服务平台				BIM/GIS 引擎平台	视频中心	云通讯平台			
	设备接入	数据采集	数据清洗	设备与管理	多协议链接	机器学习	机器决策	计算机视觉	智能感知	安全预警	模型数据服务					模型轻量化发布	短信推送 微信小程序推送	
											人	机	料	法	环	测		模型场景编辑
											空间数据库					数模融合 API		
云基础实施平台				CPU/GPU 计算		存储	网络		安全		数据库							
边缘网关	构建数据采集标准				集成设备数据/控制设备				AI 监测与预警				多目标服务器数据发送					
前端	定位系统	有毒有害气体监测设备			环境监测		监控摄像设备		结构变形监测传感设备			气体监测传感设备						

9.1.2 分层功能要求

9.1.2.1 前端应包括施工现场数据采集、监测、显示等各类信息设备，以及设备运行的基础设施，实现对施工现场各类数据进行传感、采集、识别、控制。

9.1.2.2 边缘服务器应包括如下功能及流程：构建数据采集标准、集成智慧工地各类数据、采集封装各类数据以及多目标服务器数据发送，从而实现现场数据的采集、封装、传输。

9.1.2.3 传输层应支持如下方式进行数据传输：移动、联通、电信网络、交换机、路由器以及相关信号塔等，满足各种传输功能需求。

9.1.2.4 数字中台应包括：视频联网平台、AI 平台、数据服务平台、BIM/GIS 引擎平台、物联网平台、云短信平台，实现施工现场各种信息数据的汇聚、整合及各业务功能模块的集成运行，为应用层的具体应用提供支撑。

9.1.2.5 应用平台主要用于 web 浏览器端，应由以下功能模块组成：配套微信小程序、远程视频监控、隧道安全监测、隧道大数据分析、隧道三维数字沙盘、隧道业务管理等。

9.2 数字模型

9.2.1 一般规定

9.2.1.1 钻爆法隧道施工宜根据施工工法特点建立对应 BIM 模型，应包含地质模型、临建模型、设备模型等。

9.2.1.2 钻爆法隧道施工 BIM 模型可与物理实体形成映射关系，1:1 还原物理实体。

9.2.1.3 钻爆法隧道施工根据工程特点需要建立 GIS 模型，应包含 DEM、DOM 等高精度模型。

9.2.1.4 钻爆法隧道 BIM 模型因体量较大需要进行轻量化处理。

9.2.1.5 对 BIM 模型的精细度如表 9。

表9 模型精细度等级代号及要求

名称	代号	形成阶段
----	----	------

施工过程模型	Lod400	施工实施阶段
--------	--------	--------

9.2.1.6 各级模型精细度对应的几何表达要求应符合表 10 的规定。

表10 各级模型精细度对应的几何表达要求

代号	几何表达要求
Lod400	应满足建造、施工安装、采购、单位分部分项工程划分等精细识别需求，体现盾构隧道工程对象精确的各部件细部尺寸、安装尺寸、形状、位置、数量、方向和细节刻画等主要外观的几何特性信息，支持施工计划、组织、管理、协调等应用

9.2.1.7 各级模型精细度对应的信息交付要求应符合表 11 的规定。

表11 各级模型精细度对应的信息交付要求

代号	信息交付要求
Lod400	应包括 L350 等级的信息，增加施工应用中需体现的单位、分部（子分部）、分项工程划分、工艺工序信息、临时工程信息、施工应用信息（包括进度管理、质量管理、安全管理、造价管理、档案管理等信息）和其他用于工程结算编制的技术经济指标

9.2.2 BIM 建模

BIM 建模遵循如下要求。

- a) 创建模型前应统一项目的参照坐标系、参照原点、和度量单位，各阶段各专业模型需一的坐标系进行建模，各专业之间的模型可整合集成。
- b) 标高统一根据国家 1985 高程系统标高。宜按照实际隧道中心线创建。
- c) 相同格式的模型宜使用统一的软件版本创建，解决软件版本兼容问题。
- d) 工程本体可按工程部位、专业、系统、等分解模型创建工作。
- e) 模型或模型元素在进行增加、细化、拆分、合并、集成等操作后，应对新创建模型进行正确性和完整性检查。
- f) 模型色彩设置应满足如下要求：
 - 1) 地上环境建（构）筑物模型的颜色应近实物颜色；
 - 2) 工程各专业模型的颜色应满足模型展示美观和直观区分各专业、系统的需求。
- g) 模型元素信息的录入方法符合下列要求：
 - 1) 需要进行统计、分析的非几何信息，宜录入模型；
 - 2) 只需要满足查询需求的非几何信息，可采用 BIM 平台建立模型和信息来源（图纸、文档、表格等）的关联关系。
- h) 模型创建完成后应删除模型中冗余的参照文件、模型元素和信息等。

9.2.3 地质模型

9.2.3.1 地质模型范围应包括全线地质数据库和地质三维模型，可在施工期根据补充勘察资料指导工点设计单位对工程地质三维模型进行动态更新维护。

9.2.3.2 工程地质三维模型建模内容应包括基础数据模型、地质界面模型与地质实体模型，具有基本的地质属性信息，并遵循以下规则。

- a) 钻孔数据模型：根据钻孔勘测数据，应通过数据算法还原地质形态整体的形态和地质特性模型信息。
- b) 地质层：分析各层地质层的属性特点，可在模型上能够呈现该土体屋里特性和对结构的影响

分析。

c) 已探明的软弱层、溶洞等：对探明的软弱土层分析，比例估算。影响范围、与周边的土体的差异性分析。对可勘测到的溶洞或孤石，掌握分布特性。从而还原未知的状态分布。

9.2.3.3 钻孔数据模型宜按层划分，并体现钻孔位置地质层的厚度及相关信息。

9.2.3.4 地质层模型宜反映各层的厚度及相关特征信息，并可通过钻孔数据采用合适的插值法生成。

9.2.3.5 如软弱土层、空洞、孤石群、特殊岩体等情况，需着重将该部分的组成形态在地质模型中体现。

9.2.3.6 地质数字模型信息交付宜包含地质层高度、内摩擦角、压缩模量、含水率、岩性、地下水类型等特征信息。

9.2.4 临建模型

9.2.4.1 临建模型宜包含“两场一站”模型、地面构筑物模型等。

9.2.4.2 地面构筑物模型可采用倾斜摄影、激光点云等数据采集技术，或可基于地形图、地勘图创建 BIM 模型。采用倾斜摄影技术时，影像分辨率精度不宜低于 5 cm，不应低于 10 cm。

9.2.4.3 “两场一站”模型精度不宜低于 LOD200 级别。

9.2.5 GIS模型

9.2.5.1 GIS 模型包含数字高程地图、卫星影像、高程数据、矢量数据等组成，范围为全国或项目重点区域。

9.2.5.2 地形图采用国家自然资源部提供的数据或国内有资质商业公司提供的信息，精度不应高于 15 米。

9.2.5.3 卫星影像可采用国家天地图、商业公司提供的高精度卫星影像，精度不易高于 0.6 m。

9.2.6 设备数字模型

9.2.6.1 钻爆法隧道设备数字模型宜包含凿岩台车、二衬台车、仰拱台车、湿喷机械手等。

9.2.6.2 凿岩台车、二衬台车、仰拱台车等数字模型根据机械施工图纸创建，也可利用对应生产厂家数字模型通过相应的模型格式导入至建模软件及应用平台进行后续使用。

9.2.6.3 凿岩台车、二衬台车、仰拱台车等数字模型宜包含特定的基础信息，包括生产厂家、设备编号、技术参数等。

9.3 数据融合

9.3.1 融合标准

9.3.1.1 融合数据内容包含 BIM 数据、GIS 数据、物联网数据、生产数据等。

9.3.1.2 BIM、GIS 数据应统一转换为 3DTiles 数据格式进行加载。

9.3.1.3 物联网数据包含物联网监测设备（定位设备、风速仪、不良气体监测设备等）。

9.3.1.4 生产数据包含进度数据、地表沉降、监控量测、超前地质预报信息等。

9.3.2 模型转换

9.3.2.1 多种 BIM 建模软件建立的模型实现对模型的轻量化，轻量化流程见图 1 所示。

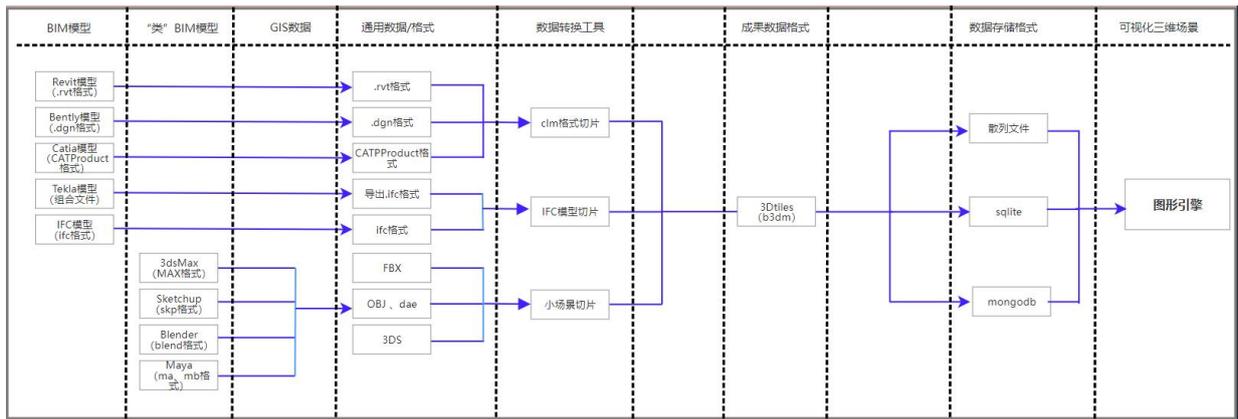


图1 轻量化流程

9.3.2.2 倾斜摄影、点云数据、高程数据、影像数据、矢量数据经过处理软件及切片后形成 3DTiles 文件，实现图形引擎对 GIS 数据的加载，见图 2。

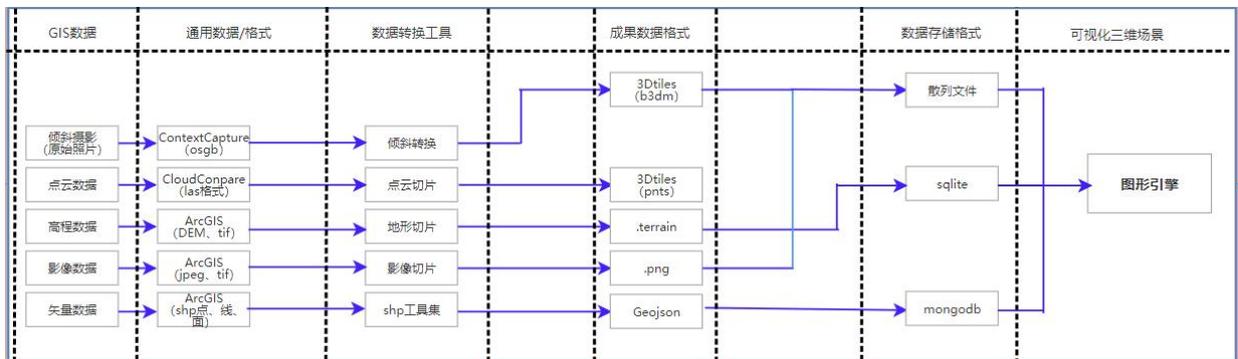


图 2 GIS 数据的加载流程

9.3.3 BIM+GIS 数据融合

9.3.3.1 BIM 模型应将三维视角空间信息转换为 ECU (east-north-up)。

9.3.3.2 BIM 模型应根据建模中线经纬度信息，将 BIM 模型放置在 GIS 场景内。GIS 地表透明度不宜高于 0.6。

9.3.3.3 调整 BIM 模型的碰撞盒范围，添加碰撞检测事件，实现可交互功能。

9.3.4 多元异构数据物联

9.3.4.1 监测设备位置信息数据应转换成 BIM+GIS 场景中的经纬度信息，实现检测设备与监测点位置信息在 BIM+GIS 场景中实现 1:1 映射，实现第检测数据与场景的融合。

9.3.4.2 将监测设备与监测点数据与场景融合后，根据数据决策系统中设定的数据决策规则对数据进行分析。物联网融合流程见图 3。

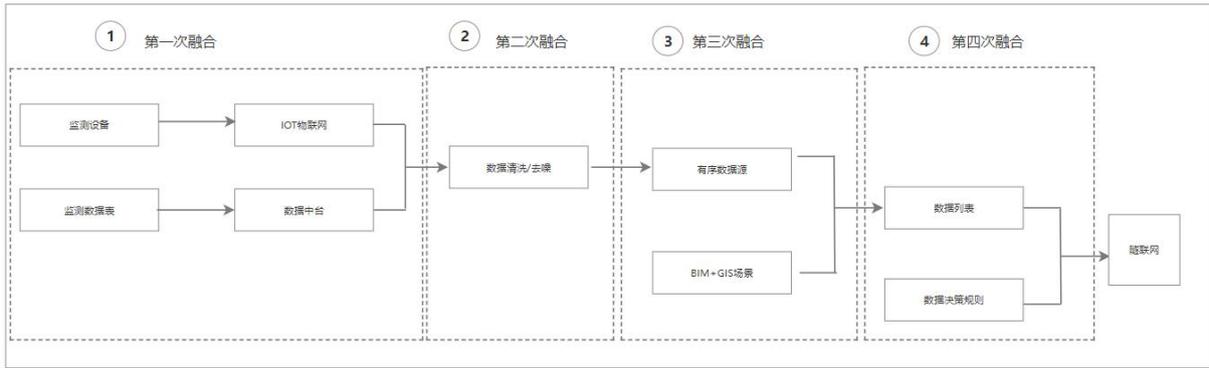


图3 物联网融合流程

9.4 动态模型修正

9.4.1 在隧道内凿岩台车、二衬台车、初支台车设备中安装定位芯片，定位系统实时上传设备位置信息至系统中，位置更新频率不应高于 2 s。

9.4.2 三维场景内凿岩台车模型距离洞口位置应与实际凿岩台车最前端到洞口位置距离一致，位置更新频率不应高于 5 s。

9.4.3 初支模型在三维场景位置应与实际初支台车中心位置到洞口的距离一致，初支模型中心点应在初支台车中心点，位置更新频率不应高于 5 s。

9.4.4 二衬台车模型在三维场景中位置应与实际二衬台车中心位置到洞口的距离一致，初支模型中心点应在二衬台车中心点，位置更新频率不应高于 5 s。

9.5 网络建设

9.5.1 网络覆盖形式符合以下规定：

- 工地各监控系统内部局域网络宜采用无线网络通讯，通讯方式包含但不限于 Wifi、NFC、蓝牙等方式；
- 工地现场不具备无线网络通讯的环节宜采用光纤通讯+无线结合的方式；
- 现场对互联网宜采用 5G 高传播速度低延时的通讯方式，不具备条件的采用有线专网通讯。

9.5.2 网络覆盖范围符合以下规定：

- 施工场地地面宜无死角覆盖无线网络，支持各种设备的 WiFi 网络接入条件；
- 施工隧道应全面覆盖无线 WIFI 网络保证 100 m 1 个无线基站布置，同时至少满足 1 家网络运营商的通话网络。

9.5.3 网络传输效率符合以下规定：

- 施工场地局域网搭建宜使用千兆设备，保证局域网通讯带宽保持在 1000 Mb 以上；
- 施工现场互联网宜使用专线不小于 100 Mb，非专线不小于 500 Mb 的通讯带宽。

9.5.4 网络接入应符合以下规定：

- 施工场地无线网络单基站接入现场移动端和设备端的带宽总合不少于 300 Mb 接入能力；
- 施工场地无线网络单基站接入现场移动端和设备端数量总合不少于 50 个的接入能力；
- 施工场地对互联网网络接入具备按日常办公网络、设备系统数据传输网络划分能力，办公网络应满足 70 人~100 人的办公网络资源需求，设备系统数据传输应满足 500 台不同类型设备数据传输能力。

9.5.5 网络安全应符合以下规定：

- 施工场地信息数据中心应配置网络防火墙对信息数据传输进行安全防护；
- 施工现场各类设备网络接入应进行身份密码验证；

c) 施工现场设备接入到网络后, 后台可以实现黑白名单管理, 具备 MAC 地址屏蔽的能力。

9.6 硬件建设

9.6.1 工区监控室建设参照以下标准:

- a) 施工现场监控室建设采用可移动标准化集装箱拼接方式搭建;
- b) 监控室内部根据盾构机数量配置监控大屏, 配置原则按 1 台盾构机不少于 4 块 46 寸或 55 寸 LCD 拼接屏显示单元配置, 根据大屏总体长度配置顶部 LED 显示屏;
- c) 监控室内配置至少 4 工位操作指挥台、操控电脑不少于 4 台、空调按 3P 规格配置, 其它照明及会议办公桌椅按实际需求配置;
- d) 监控室按照工地各类设备监控系统种类数量配置信息数据管理机柜用于信息数据集成设备、安全防范设备的集中管理, 根据需求宜选用 36 u-42 u 机柜。

9.6.2 人员门禁、定位系统建设宜满足以下标准:

- a) 施工现场门禁系统采用符合国家劳务实名制要求的门禁系统厂家产品;
- b) 施工现场根据场地进出口的实际宽度布置进出闸机通道数量, 闸机具备双向人脸指纹身份识别、防跟随、非法进入预警、访客模式等功能;
- c) 门禁闸机具备连接互联网能力, 可实现云端数据采集与管理;
- d) 隧道内施工人员配置个人定位设备包括限于无线电子定位器、RFID 电子标签、定位手环、智能安全帽等多类型定位产品;
- e) 人员定位设备采用定位精度在 0.1 m~1 m、携带方便、待机时间长的厂商产品;
- f) 人员定位系统具备人员数量统计、分类定位管理、历史轨迹回放、等基本管理能力, 同时具备云端管理能力。

9.6.3 视频监控系统建设应满足以下标准:

- a) 施工现场视频监控系统设备选用国内主流厂商产品, 满足国家视频采集传输符合 GB/T 28181 协议;
- b) 监控摄影头布置应满足施工场地至高点布置球机 1 台、出入通道布置枪机 2 台、吊装井口对角布置枪机 2 台、沿线隧道 100 m 布置枪机 1 台、二衬台车布置监控半球 1 台;
- c) 监控视频系统具备云端通道预览、视频回放、动态侦测、安全 AI 视频分析等能力。

9.6.4 隧道内定位系统应满足以下标准:

- a) 定位基站: 在隧道内洞口位置安装一台定位基站, 间隔 3 km 增加部署一套定位基站;
- b) 定位标签: 隧道内施工人员随安全帽进行佩戴。

表 12 隧道定位系统

UWB 远距离定位基站	信号覆盖: 600 米以上(可视距离); 定位精度: 10 cm~50 cm (无遮挡); 定位方式: TOF 测距 (一维定位); 工作电压 12 V, 电流<500 mA; RJ-45 网络输出, 网络连接和工作指示灯, 内置蜂鸣器, 卡多声音连续、卡少声音间隔输出; 防护等级: IP67, 本安型电路设计; 防爆等级: Ex ib IIB T4 Gb, 支持继电器输出报警信号。
定位基站后备电源(UPS)	定位基站后备电源, 宽电压电源充电、定制箱体; 正常情况使用 220 V 电源, 自动充电, 停电后无缝切换至后备电源供电; 电源规格: 30000 mah 电压输出: 12 V。

UWB 定位卡	<p>安全帽型定位标签、定位卡和卡扣分离，卡扣采用背胶粘贴固定于安全帽内；</p> <p>电池规格：500 ma/h 锂电池，1HZ 工作频率下续航 60 天以上；</p> <p>防反充、磁吸式充电，含磁吸式充电线；</p> <p>一键 SOS 求救报警，低电量报警；内置震动马达；</p> <p>防爆等级：Ex ib IIB T4 Gb；</p> <p>防护等级：IP65 防水防尘；</p> <p>工作温度：-30℃~60℃；</p> <p>工作湿度：0%~95%。</p>
USB 电源适配器	<p>USB 电源充电器；</p> <p>输入：220 v/60 hz，输出：5 v/1 a。</p>
坐标更新参考点	<p>自动更新台车基站坐标使用，通过与基站持续测距实现台车坐标更新。安装固定在隧道成型区域，可视检测距离<300 m，无信号时简单移动固定一次即可；</p> <p>工作频率：3.5 GHz~6.5 GHz；</p> <p>锂电池容量：9000 mah；</p> <p>通讯协议：IEEE802.15.4-2011 支持看门狗，提供电源、数据发送指示灯；</p> <p>防护等级：IP65；</p> <p>工作温度：-30℃~70℃。</p>

9.6.5 隧道内环境监测设备参数如表 13。安装位置：距离掌子面 10 米内。

表 13 隧道内环境监测设备参数

固定式四合一气体检测仪	<p>(四合一) 检测气体:硫化氢 H₂S、一氧化碳 CO、氧气 O₂、甲烷 CH₄；</p> <p>检测范围：H₂S(0 ppm-100 ppm)、CO(0 ppm-1000 ppm)、O₂(0% VOL-30% VOL)、CH₄(0% LEL-100% LEL)；</p> <p>分辨率：H₂S(0.01 ppm)、CO(1 ppm)、O₂(0.01% VOL)、CH₄(0.1% LEL)；</p> <p>检测精度：≤±2% (F.S)；</p> <p>响应时间：T₉₀ ≤20 s、线性度≤± 2%；</p> <p>进口高精度传感器、零点自动跟踪；目标点多级校准，保证测量的线性度和精度；</p> <p>本安电路设计，通过防爆检测、防护等级：IP65；</p> <p>数据通过 RJ45 网络通信，带防爆声光报警器，高清彩屏显示屏。</p>
-------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

10 安全数据集成应用

10.1 人机料动态数据

10.1.1 人机料动态数据应包含人员安全行为信息、设备安全状态信息以及无聊安全转换信息。

10.1.2 人员信息应包含姓名、工种、班组、编号、位置、轨迹、行为。

10.1.3 设备信息应包含开挖、初支、仰拱、二衬、附属、检测全工序的作业装备，涉及凿岩台车、开挖台架、拱架安装台车、湿喷机、挖掘机、装载机、仰拱栈桥、罐车、防水板台车、二衬台车、水沟电缆槽台车、检测台车、运输车等全部作业机械，监测其位置、轨迹、稳定状态。

10.1.4 物料信息应包含钢筋、混凝土、钢拱架、钢筋网片、锚杆、防水板等材料，监测出入库数量、用量等信息。

10.1.5 人机料动态数据更新频率不低于 2 s，数据实时储存至人机料数据板块。

10.1.6 人机料动态数据应用于安全监控、质量监督等板块。重点关注人员安全、机械安全、人机协同、物料质量、物料用量等。

10.2 环境感知数据

10.2.1 环境感知数据应包含明火、气体、水量、风量、植被、水质、辐射等内容。

10.2.2 环境数据动态更新频率应不低于 1 s，数据实时储存至环境数据板块，重点关注环境变化对人员安全、机械安全的影响。

10.3 监控量测数据

10.3.1 监控量测数据应包含洞口施工、洞身开挖、初期支护、仰拱填充、二次衬砌施工过程的安全质量监控数据。

10.3.2 监控量测数据应严格按照隧道施工动态执行，数据每循环动态更新，数据储存于技术管理板块，重点关注超欠挖控制、混凝土超耗、预留沉降量动态控制等安全质量问题。

10.4 安全控制数据

10.4.1 安全控制数据应包含通风控制、排水控制、设备急停、喊话等控制数据。

10.4.2 安全控制数据在发生预警进行处置时记录，数据储存于安全控制板块，用于辨识事故处置的及时性、准确性。

参 考 文 献

- [1] GB/T 18567 高速公路隧道监控系统模式
- [2] GB/T 26944.1 隧道环境检测设备 第1部分：通则
- [3] GB/T 30269.701 信息技术 传感器网络 第701部分：传感器接口：信号接口
- [4] GB/T 30269.901 信息技术 传感器网络 第901部分：网关：通用技术要求
- [5] GB/T 34428.5 高速公路监控设施通信规程 第5部分：隧道环境检测器
- [6] GB/T 51244 公众移动通信隧道覆盖工程技术规范
- [7] Q/CR 9218 铁路隧道监控量测技术规程
- [8] Q/CR 9247 铁路隧道工程风险管理技术规范
- [9] TB 10304 铁路隧道工程施工安全技术规程