



T/CECS XXX—2025

中国工程建设标准化协会标准

铁路隧道凿岩台车随钻测量技术规程

Technical specification for measurement while drilling by
drilling jumbo of railway tunnel
(征求意见稿)

中国 XXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

铁路隧道凿岩台车随钻测量技术规程

Technical specification for measurement while drilling by drilling jumbo
of railway tunnel

(征求意见稿)

T/CECS ***-2025

主编单位：山东大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2025 年 xx 月 xx 日

中国 XXXXX 出版社

2025 年北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 6 章和 4 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、测量实施、数据分析与处理、检验和验收等。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由山东大学负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送山东大学（地址：山东省济南市历下区经十路 17923 号；邮政编码：250000），并抄送中国工程建设标准化协会铁道分会（北京市海淀区三里河路 9 号，邮政编码：100038），以供修订时参考。

主 编 单 位：山东大学

参 编 单 位：中国铁路经济规划研究院、中铁二院工程集团有限责任公司、山东百廿慧通工程科技有限公司、中铁十九局集团有限公司、中铁十局集团有限公司、中交第二公路工程局有限公司、南京理工大学、陆军工程大学、中国建筑第八工程局有限公司

主要起草人员：

主要审查人员：

目 次

1 总 则.....	3
2 术 语.....	4
3 基本规定.....	6
4 测量实施.....	8
5 数据处理与分析.....	13
6 检验和验收.....	17
附录 A 凿岩台车信息记录表.....	18
附录 B 凿岩台车随钻数据记录表.....	19
附录 C 钻孔三维坐标信息表.....	20
附录 D 抗压强度随钻测试计算方法.....	21
用词说明.....	22

Contents

1 General provisions	3
2 Terms	4
3 Basic requirements.....	6
4 Measurement implementation.....	8
5 Data processing and analysis	13
6 Inspection and acceptance.....	17
Appendix A Drilling jumbo information record form	18
Appendix B Drilling jumbo real-time data record form	19
Appendix C Borehole three-dimensional coordinate information table	20
Appendix D Compressive strength real-time testing calculation method	21

1 总 则

- 1.0.1** 本规程旨在规范铁路隧道施工中凿岩台车随钻测量的技术流程与要求，确保测量精度与施工质量的稳步提升，促进隧道工程的高效、安全施工。
- 1.0.2** 本规程适用于凿岩台车施工的钻爆法隧道随钻测量相关技术工作。
- 1.0.3** 本规程以国家和行业现行隧道工程技术标准为依据，结合最新的随钻测量技术、数据处理方法及施工应用实践，制定相关技术要求和实施规范。
- 1.0.4** 凿岩台车应具备自动化随钻测量功能，确保实时记录钻孔过程中各项关键参数，如冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速等，以提高施工效率和安全性。
- 1.0.5** 为确保测量结果的准确性，应对随钻测量设备定期进行校准，实施严格的质量监控措施，并确保数据的真实性和可追溯性。
- 1.0.6** 在执行随钻测量时，需确保施工人员安全操作，避免数据采集过程中的人为误差和设备损伤，并严格执行安全管理规程。
- 1.0.7** 随钻测量的实施需与其他工程环节密切配合，各单位应做好信息共享和数据传递工作，确保项目顺利开展。
- 1.0.8** 凿岩台车施工的钻爆法隧道随钻测量相关技术工作除应符合本技术规程外，尚应符合现行国家、行业和中国铁路总公司有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 凿岩台车 drilling jumbo

是一种隧道及地下工程采用钻爆法施工的凿岩设备。它主要配备有凿岩机、推进机构、钻臂和电气系统、液压系统、控制系统的凿岩钻进装备。

2.0.2 随钻测量 measurement while drilling data

指在钻孔作业的同时，实时采集和记录钻进过程中产生的各类参数数据的技术。包括冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速等参数。

2.0.3 冲击压力 percussion pressure

凿岩台车钻头在钻进过程中对岩石施加的瞬时冲击力。

2.0.4 推进压力 feed pressure

在钻进过程中推动钻头向前移动所施加的力，影响钻进速度和深度。

2.0.5 回转压力 rotation pressure

凿岩台车钻头旋转时产生的力，用于提高钻进的切削效果。

2.0.6 钻速 penetration rate

钻头在单位时间内钻入岩石的速度，通常以 m/min 表示。

2.0.7 转速 rotation speed

凿岩台车钻头的旋转速度，以 r/min 表示，影响钻孔效率。

2.0.8 钻孔深度 drilling depth

凿岩台车钻头从起始位置钻入岩石的深度，通常以 m 为单位表示。

2.0.9 数据采样率 data sampling rate

随钻测量过程中，测量设备采集数据的频率，通常以每秒采集的次数为单位。

2.0.10 测量精度 rotation speed

随钻测量过程中，采集数据与实际参数之间的吻合程度。

2.0.11 数据校准 data calibration

定期对随钻测量设备进行调整，以确保测量数据的准确性。

2.0.12 数据清洗 data cleaning

对随钻测量数据进行处理，剔除无效数据、错误记录或冗余信息的过程。

2.0.13 数据过滤 data filtering

在随钻测量数据处理过程中，对数据进行降噪处理，以提高数据质量。

2.0.14 规则化处理 normalization

将随钻测量数据标准化，使其符合统一的尺度或范围，便于数据分析和比较。

2.0.15 整机定位 machine positioning

通过定位系统确定凿岩台车在隧道内的具体位置和姿态，确保设备在进行钻孔等作业时处于正确的工作位置。

2.0.16 钻孔基准面定位 borehole reference plane positioning

通过全站仪或激光测量确定钻孔的参考平面或基准面的位置，以确保凿岩台车的钻孔作业按照设计要求进行。

2.0.17 质量监控 quality control

在随钻测量过程中，确保数据质量和施工符合标准的监控措施。

2.0.18 数据追溯性 data traceability

确保测量过程中所有采集的数据均可追溯至其来源与条件。

2.0.19 钻孔报告 drilling report

基于随钻测量数据生成的报告，包含随钻数据和岩体参数。

3 基本规定

3.0.1 铁路隧道凿岩台车随钻测量应达到以下目的：

- 1 提供实时、精准的钻进参数数据，确保隧道施工过程的有效监控和管理。
- 2 通过随钻数据分析，识别岩体参数，为隧道施工提供参考。
- 3 为优化工程设计、施工方案决策、降低隧道地质灾害及事故发生风险提供参考依据。
- 4 通过数据积累和分析，为后续施工提供有价值的地质资料和参考。

3.0.2 铁路隧道凿岩台车随钻测量应包括以下内容：

- 1 钻孔过程中的关键参数监测，如钻孔深度、冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速等。
- 2 数据处理与分析，评估钻进岩体抗压强度、结构面等岩体参数，生成随钻测试报告供工程人员参考。
- 3 通过数据存储与备份，确保所有测量数据的完整性和可追溯性。
- 4 测量过程中对设备状态的监控，确保设备正常运行并降低故障风险。

3.0.3 铁路隧道凿岩台车随钻测量设备使用和管理应符合下列要求：

- 1 凿岩台车应配备自动化随钻测量系统，确保实时采集钻进数据。
- 2 随钻测量设备应满足国家和行业标准，并定期进行维护与校准。
- 3 设备应具有高数据采集率，确保能够精确捕捉钻进过程中的每个关键参数。
- 4 凿岩台车在运输、行走、泊车以及钻掘作业等时应保持稳定。
- 5 数据存储装置应具有足够容量，能够连续记录至少 12 小时的测量数据。

3.0.4 铁路隧道凿岩台车随钻测量设备使用人员应符合下列要求：

- 1 每班次应配备至少一名技术人员，负责随钻测量设备的管理与操作。
- 2 技术人员应能够识别和处理随钻测量过程中出现的异常数据。
- 3 测量人员必须熟悉设备的安全操作规程，并按规程操作。

3.0.5 铁路隧道凿岩台车随钻测量数据采集应符合下列要求：

- 1 数据采集应与钻孔作业同步进行，确保无漏采情况发生。
- 2 冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速等关键参数宜以 1cm~10cm

为采样间隔进行采集。

3 钻孔位置和钻进深度数据应通过全站仪及激光测距仪等采集。

4 设备必须能够实时记录随钻参数，并支持导出为标准格式。

5 所有采集到的数据应保存至少两年，供项目回溯与分析。

3.0.6 铁路隧道凿岩台车随钻测量数据处理应符合下列要求：

1 开展随钻数据分析前进行数据处理，包括异常值检测及数据过滤、规则化处理等。

2 采用定量关系模型及岩体结构反演方法，对岩石力学参数及结构面等进行识别。

3 应用校准模型对原始数据进行校正，确保测量精度符合要求。

3.0.7 铁路隧道凿岩台车随钻测量质量控制应符合下列要求：

1 必须制定详细的质量控制计划，确保每项操作符合标准要求。

2 随钻测量设备应定期进行功能检查，确保各项参数测量的准确性。

3 测量结束后，操作人员应提交测量数据报告，并对数据质量进行评估。

3.0.8 铁路隧道凿岩台车随钻测量成果报告应满足下列要求：

1 成果报告依据的原始资料应经编录、整理、检查、分析，确认无误后方可使用。

2 成果报告应保证报告内容全面、方法技术可靠、数据真实、图表齐全、结论明确。

3 成果报告宜包括以下内容：

1) 项目地质概况。

2) 测量方法及现场钻孔布置。

3) 测量成果，宜包括随钻数据记录、岩体参数、围岩情况等。

4) 附图或附表。

4 现场随钻测量工作结束后，出具报告，经校核和审查合格后，应及时提交给有关各方，并应按有关规定进行归档。

5 宜将隧道凿岩台车随钻测量成果报告和常规隧道测量结果结合，作为后者的一部分内容。

4 测量实施

4.0.1 铁路隧道凿岩台车随钻测量设计原则应符合下列要求：

- 1 随钻测量方案设计应遵循科学性、实用性、安全性和经济性原则，确保测量数据的准确性和完整性。
- 2 方案设计应充分考虑地质条件、隧道断面尺寸、施工工艺和设备性能等因素，确保测量方案的可行性。
- 3 设计应采用模块化、标准化的设计方法，便于测量设备的安装、调试和维护。

4.0.2 铁路隧道凿岩台车随钻测量设备选型应符合下列要求：

- 1 凿岩台车应选择具有自动化随钻测量功能的设备，能够实时记录钻孔深度、冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速等关键参数，宜具备记录钻孔三维坐标功能。
- 2 应具有旋转速度、冲击压力和推进压力连续可调的功能。
- 3 应能够按照导入的布孔图及钻孔路线自动对点、自动钻孔。
- 4 应具有施工数据记录、生成报告等功能。
- 5 设备应具备良好的稳定性和可靠性，能够适应隧道施工中的恶劣环境。

4.0.3 铁路隧道凿岩台车随钻测量钻孔方案设计应符合下列要求：

- 1 钻孔方案应根据隧道设计要求、地质条件和施工计划进行详细设计，确保钻孔作业的科学性和合理性。
- 2 钻孔布设应遵循隧道设计图纸和施工规范，确保钻孔位置、深度和角度的精确性。
- 3 钻孔方案导入凿岩台车电脑后，操作手应严格按照方案钻孔，如有变更应及时记录坐标及参数变化情况。

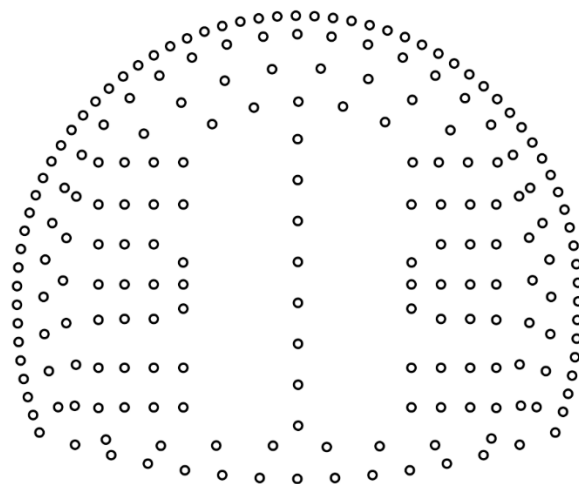


图 4.0.3 凿岩台车掌子面钻孔深度和设计分布

4.0.4 铁路隧道凿岩台车随钻测量整机定位应符合下列要求：

- 1 整机定位系统应包括高精度的扫描仪或全站仪、车载三维扫描仪、数据传输接口以及电脑控制系统。
- 2 定位系统应能够实现凿岩台车在隧道内的精确定位，包括整机定位和钻孔基准面定位。
- 3 整机定位精度应控制在 2cm 以内，以确保钻孔作业的精确性。
- 4 定位系统宜配备高精度倾斜仪，以检测凿岩台车的倾斜角度并进行误差补偿。
- 5 操作人员应导入设计的工程项目信息、工作区间信息、隧道线要素信息等设计数据信息。
- 6 定位操作应包括扫描仪定位和全站仪定位两种方式，根据实际情况选择最合适的定位方式。
- 7 扫描仪定位应采用三角测量法，通过测量目标点与固定基准线的已知端点的角度来确定目标距离。定位过程中需要现场隧道坐标系中的三个点，其中两个点用于定位，一个点用于检测定位精度。
- 8 全站仪定位应在凿岩台车车身前后取两个固定点放置棱镜，并将棱镜相对于凿岩台车坐标输入程序中保存。使用全站仪测量隧道内预先放置的已知点设站，根据测量结果计算获得凿岩台车与隧道的空间关系。

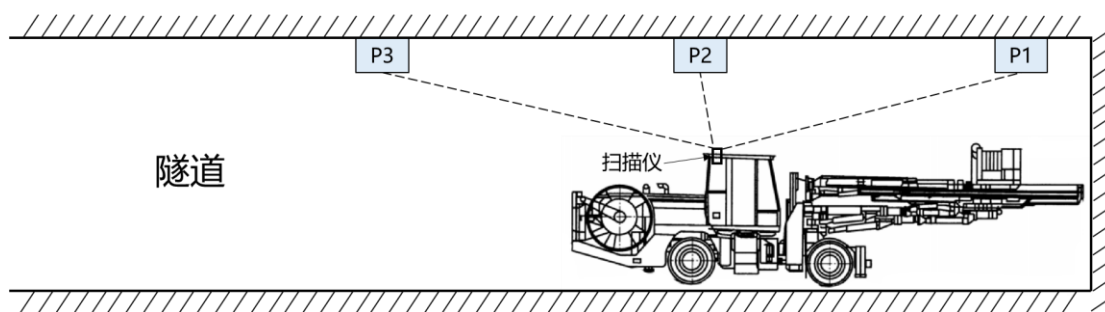


图 4.0.4 隧道扫描仪定位

4.0.5 铁路隧道凿岩台车随钻测量钻孔基准面定位应符合下列要求：

- 1 可使用机械臂定位掌子面，将臂架末端顶住掌子面，利用臂架末端位姿确定掌子面里程。
- 2 可支持直接输入掌子面里程，完成掌子面的智能定位工作。
- 3 定位完成后可在台车电脑查看里程、掌子面坐标、台车坐标、掌子面相对于台车位置等定位信息。

4.0.6 铁路隧道凿岩台车随钻测量钻进作业应符合下列要求：

- 1 操作者应将工程项目信息、工作区间信息、隧道线要素信息、隧道轮廓信息及炮眼设计图等通过凿岩台车电脑控制系统的数据传输接口导入。
- 2 凿岩台车应具备工程项目的选择、工作区间的选择、智能定位、炮眼图规划等功能。
- 3 钻进作业模块宜包含手动钻孔、半自动钻孔、全自动钻孔三种作业模式，以适应不同的施工需求。
- 4 钻孔作业应依据预设的炮眼施工设计图自动进行，确保钻孔位置、深度和角度的精确性，满足隧道设计要求。
- 5 钻孔设备应具备防空打和防卡钎功能，通过电脑控制系统自动控制凿岩机的工作模式，提高钻孔的安全性。

4.0.7 铁路隧道凿岩台车随钻测量数据采集应符合下列要求：

- 1 钻孔过程中需实时监测并记录钻孔深度、冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速、间隔时间等关键参数，以评估岩体特性。
- 2 数据采集系统应配备高精度传感器，以确保数据的准确性和可靠性。
- 3 系统宜具备记录每个钻孔的三维坐标数据功能，包括每个钻孔计划和实际的起始和终止点坐标、角度等，以确保钻孔的精确性。

4 随钻数据采集系统应具备数据存储功能，能够存储至少两个完整钻孔周期的数据。

5 系统应能够记录钻孔过程中的异常情况，如卡钻、偏孔等，并及时报警。

6 实时监测深度传感器和相关传感器，深度与时间对应准确，与各传感器数据实时对应。

7 随钻数据采集系统应具备数据备份功能，防止数据丢失。

4.0.8 铁路隧道凿岩台车随钻测量劳动力组织原则应包括以下内容：

1 劳动力队伍中应具备凿岩台车操作、随钻数据分析等专业技能的人员，同时注重团队成员之间的协作与配合。

2 始终把安全放在首位，确保所有操作符合安全规范，降低事故发生。

3 在保证工作质量的前提下，优化劳动力配置，合理分工，提高工作效率。

4 合理安排工作时间和工作轮班。

4.0.9 凿岩台车随钻测量各操作步骤所需劳动力及其组织方式宜包含：

1 应配置技术人员，负责收集、整理和分析地质资料，为凿岩台车随钻测量工作提供前期准备工作。

2 应安排设备维护人员，对凿岩台车整体设备进行全面检查和调试，工作前应检查维修记录，检查设备故障是否已解决。需要进行定期维护和保养，确保设备能够正常运行。

3 应组织安全管理人员和现场工作人员，进行现场布置及安全检查，确保工作环境安全。

4 应安排操作人员，确保数据采集的准确性和完整性，对采集到的随钻数据进行实时记录和初步分析。

5 应安排技术人员对采集到的随钻数据进行整理、筛选和分类，对整理后的数据进行分析，结合地质和测试资料，进行数据解释，并根据结果编制随钻测试报告。

6 应组织项目管理人员和现场工作人员，对测试结果进行沟通和反馈，确保测试结果得到及时有效的应用。

7 施工、监理单位和第三方监测单位在施工监控、评估预警过程中应及时

与设计单位沟通，设计单位应结合监控、评估及预警情况提供有关处理意见和建议。

8 在项目部安全生产领导小组下成立专业分包安全生产领导小组，现场设置专职安全管理人员、技术管理人员等与项目部各级主管对接工作，开展日常安全检查、班前安全讲话，及时发现问题，研究改进措施，积极参加安全培训及其他各类安全活动，提高安全生产意识，掌握应急逃生自救知识，确保安全。

5 数据处理与分析

5.0.1 数据处理与分析的总体要求：

- 1 随钻数据应经过统一的数据处理与分析流程，以确保数据的准确性、完整性和可追溯性。
- 2 数据处理应包括异常值识别、数据清洗、规则化处理、数据筛选及统计分析，确保处理后的数据符合工程要求，并能为后续分析和决策提供可靠依据。
- 3 应根据钻孔过程中不同地质条件、钻孔深度及测量参数变化，采用多维度数据分析技术，确保岩石特性的全面评估。
- 4 数据处理后生成的分析结果应以可视化形式呈现，确保施工管理人员能够快速、准确地了解钻进情况及地质状况。

5.0.2 数据预处理

- 1 数据预处理是数据分析前的重要步骤，包括数据清洗、数据过滤和规则化处理。数据清洗是指去除错误、重复或不完整的数据记录，确保数据集的整洁。数据过滤是指通过一定的算法去除噪声数据，保留有价值的信息。规则化处理是指将数据转换为统一的格式或尺度，以便于比较和分析。
- 2 随钻测量数据的清洗应在数据分析前进行，以确保数据的准确性和完整性。所有错误、重复或不完整的数据应通过清洗过程予以剔除，严禁未经清洗的数据进入分析流程。数据清洗过程中，应通过规则化处理和异常检测来提升数据质量。
- 3 数据过滤应根据设定的阈值或算法进行，应剔除明显的噪声数据，确保保留有价值的测量信息。过滤规则必须确保钻孔过程中关键参数，如冲击压力、推进压力和钻速等，能完整保留，不得因过度过滤丢失有效数据。
- 4 在钻进数据分析中，应通过设定合理的上下限进行异常值处理。对于检测到的异常数据，应采用适当的补偿或插值方法进行修正，避免数据不一致影响后续分析。异常值不得影响整体趋势的判断和分析结果的准确性。
- 5 为了确保不同单位和量级的测量数据具有可比性，应对数据进行归一化处理。归一化处理应基于统一的标准，将数据转换为相同尺度或范围。归一化后的数据应符合分析模型的要求，保证计算和对比的准确性。

6 对于因设备或环境因素导致的测量数据缺失，宜采用插值或补全技术填补数据空白，确保数据的连续性。常用的插值方法包括线性插值和多项式插值。若缺失数据影响关键分析，应详细记录缺失原因并适当处理。

7 随钻测量数据的格式应进行标准化处理，以确保各类数据在不同分析系统中的兼容性。数据应按照标准格式保存，包括时间戳、单位和字段名称的一致性。

8 随钻测量数据在使用前必须进行校准，确保测量结果的准确性。传感器校准应基于国家或行业标准的标定数据进行，定期检查测量设备的校准状态。未经校准的设备产生的数据严禁用于关键分析或施工决策。

5.0.3 岩体参数反演与地质分析

1 可根据定量关系模型计算岩石抗压强度。计算结果应真实反映岩体的力学性能，为隧道施工方案的设计优化提供科学支持，确保施工安全。

2 可采用突变点检测算法，识别并反演出岩体中的结构面，如裂隙、断层等，通过反演模型分析结构面分布特征。

3 可结合钻孔数据和历史地质资料，通过异常值分析方法，识别出岩体中的断层、破碎带或软弱夹层等异常地质结构。

4 反演结果的精度可通过对比现场实测数据和地质勘察结果进行评估。采用误差分析、现场验证等方法，确保反演结果准确可靠，必要时宜根据实测情况对反演模型进行校正，以提高分析结果的可信度。

5 反演模型宜结合现场地质特征和施工过程中的实时反馈，持续优化。应根据不同的地质条件，调整模型参数，以确保反演的岩石力学参数和结构面特征更贴近实际情况。

5.0.4 可视化展示：

1 数据分析结果宜通过可视化展示，确保施工管理人员和工程技术人员能直观、快速地理解复杂的测量和分析结果。宜包括图表、三维模型等，便于解释随钻测量的变化趋势和岩层特性。

2 随钻测量的关键参数，如冲击压力、推进压力、回转压力、钻速等，宜以曲线图的形式展示。通过可视化展示这些数据，可直观识别岩层的变化点，帮助施工人员及时调整钻进方案。

3 可视化展示宜支持历史数据与当前钻进数据的对比，帮助施工人员了解地质条件的变化趋势。通过对比分析，应能够识别岩体参数的逐渐变化，并根据变化趋势调整施工策略，确保施工安全与质量。

4 随钻测量的实时数据宜以动态图表或仪表盘形式呈现，便于施工人员在操作过程中实时监控钻孔参数的变化。实时可视化展示应快速响应钻进数据的变化，并对异常情况进行实时预警，以保证施工安全。

5.0.5 随钻测量报告编制应符合以下要求：

1 宜编制单次随钻测量成果报告与开挖结果对比报告、月报、年报、竣工总报告；

2 应及时出具随钻测量报告并提交给有关各方；

3 单次随钻测量成果报告内容宜包括：

1) 工程概况，随钻测量时掌子面的里程，已开挖段落的工程地质和水文地质条件；

2) 随钻测量方法及仪器、参数设置、环境干扰情况；

3) 随钻测量结果和分析；

4) 随钻测量结论及建议。

4 应结合地质资料和开挖结果、室内岩石力学参数测试结果，对随钻测量结果进行分析，实现岩体特性评估。

5 应对钻爆法隧道开挖情况进行跟踪，对比分析岩体参数测试结果及开挖揭示情况，总结、改进、不断提高随钻测量质量。

6 月报/年报内容应在单次随钻测量成果报告基础上增加当月/当年的随钻测量工作量与开挖揭示对比情况、下一步的随钻测量建议等方面内容。

7 凿岩台车随钻测量竣工总报告应包括以下内容：

1) 工程概况；

2) 地质概况，包括原有地质及岩体参数测试资料及施工开挖过程中揭示的地质情况；

3) 设计随钻测量方案和根据实际地质情况调整后的随钻测量实施方案；

4) 随钻测量方法原理、现场实施、质量控制情况；

5) 随钻测量与开挖揭示对比情况；

6) 工作总结分析与建议，包括采用新技术、新设备、新方法的情况；

7) 其他。

8 随钻测量报告应经校核和审查批准后才能提交，并按有关规定进行归档。

6 检验和验收

6.0.1 随钻测量过程中采集的数据应在数据处理前进行全面检验。应检查数据的完整性、准确性和一致性，及时剔除异常值。原始数据、数据处理方法及处理后数据，应记录存档，以确保测量数据的可追溯性。

6.0.2 随钻测量结果应按照项目要求进行精度检验。对于关键参数，如冲击压力、推进压力、回转压力和钻速，应进行精度校准，确保符合设计要求。精度不符合要求的测量数据不得用于施工决策。

6.0.3 随钻测量数据在提交之前应经过全面验收，验收工作应包括对测量数据完整性、准确性的检查。验收结果应记录并存档，确保数据符合项目要求，未通过验收的数据不得进入下一步处理流程。

6.0.4 每次数据验收后应生成验收报告，报告内容应包括检验方法、结果及处理建议。验收报告应及时提交给项目管理方，并经过审核批准后归档，作为后续质量控制和施工调整的参考依据。

6.0.5 项目完工后，应根据地质情况、设计要求及施工实际，评估随钻测量的精度和效果。最终验收结果应作为竣工报告的一部分，提交给有关单位审查。

6.0.6 随钻测量检验和验收的报告、数据应按项目管理规定归档。数据档案应保证完整性和可追溯性，并应在项目完工后保存至少两年，以便项目回顾和质量分析使用。

附录 A 凿岩台车信息记录表

A.0.1 凿岩台车信息记录应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 凿岩台车信息记录表

凿岩台车型号	
生产厂商	
冲击功率	
扭矩	
转速	
冲击频率	
冲击压力	
推进压力	
回转压力	
球齿个数	
球齿半径	

附录 B 凿岩台车随钻数据记录表

B.0.1 凿岩台车随钻数据记录应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 凿岩台车随钻数据记录表

孔号	深度 (m)	冲击 压力 (bar)	推进 压力 (bar)	回转 压力 (bar)	钻速 (m/min)	转速 (r/min)	水压力 (bar)	水流量 (l/min)	气流量 (l/min)

附录 C 钻孔三维坐标信息表

C.0.1 钻孔三维坐标信息记录应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 凿岩台车随钻数据记录表

孔号	起点 X	起点 Y	起点 Z	终点 X	终点 Y	终点 Z

附录 D 抗压强度随钻测试计算方法

D.0.1 抗压强度随钻测试方法以能量守恒定律和赫兹弹性接触理论为理论基础，基于三个基本假定：

- 1 被破碎的岩石为均匀的各向同性弹性体或弹塑性体。
- 2 忽略凿岩台车在冲击回转破碎岩石时所产生的声能、微震能等能量。
- 3 忽略未破碎岩石内部塑性变形所储存的能量。

D.0.2 在 D.0.1 理论和假设前提下，基于随钻参数的抗压强度计算公式为：

$$\sigma_c = \frac{\eta_I P_m + \eta_N M N_m + \eta_P F_P V}{\pi n (1 + 2\pi) V \rho_a^2} \quad (D.0.2)$$

式中： σ_c —抗压强度，MPa

η_I, η_N, η_P —贡献因子

P_m —凿岩机冲击功率，KW

M —扭矩，N·m

N_m —回转速度，r/min

F_P —推进力，N

V —钻速，m/min

n —球齿个数

ρ —曲率半径

D.0.3 开展现场抗压强度随钻原位测试时，应通过现场取样获取对应的随钻参数与抗压强度样本，开展冲击、推进、回转贡献因子的标定试验，可采用最小二乘法或自适应增强型粒子群优化算法计算。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

中国工程建设标准化协会标准

铁路隧道凿岩台车随钻测量技术规程

T/CECS XXX—20XX

条 文 说 明

制 定 说 明

本规程编制过程中，编制组进行了广泛而深入的调查研究，总结了凿岩台车施工的随钻测量技术所需工作，为保障隧道工程质量和施工安全提供参考。

为便于扩大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《铁路隧道凿岩台车随钻测量技术规程》编制组按章、节、条的顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握条文规定的参考。

目 次

2	术 语.....	26
3	基本规定.....	27
4	测量实施.....	29
5	数据处理与分析.....	30

2 术 语

2.0.2 随钻测量是指凿岩台车在钻孔作业时，实时采集和记录钻进过程中钻头向前移动的位移数据，为钻杆推进、旋转和冲击运动提供动力的油缸部件传感器监测的油压数据，转换为可读的冲击压力、推进压力、回转压力、钻速、转速等参数数据。

2.0.11 数据校准是指定期对位置与姿态传感器、力学参数传感器、运动控制传感器进行检修，对位移传感器、压力传感器、扭矩传感器、振动传感器、速度传感器进行调整维护，以确保测量数据的准确性。

2.0.12 数据清洗是对于超出量程或与认知不符明显错误的的数据，属于无效和错误记录数据；在钻孔起始阶段与结束阶段，随钻数据的阶段变化数据，为冗余信息，对这类数据进行剔除的过程。

2.0.13 数据过滤是经过数据清洗后的随钻数据，仍具有大量噪声，需进行滤波处理，数据降噪。

2.0.14 规则化处理是指将原始随钻数据经过数据清洗和数据过滤后，宜将数据转化为统一的格式和数量级，便于数据整理和归档。

3 基本规定

3.0.2 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量内容作出说明。

1 钻孔过程中的关键参数是与岩石特征参数具有强相关的随钻参数，例如冲击压力、推进压力、钻速与岩石的强度参数相关，回转压力、转速与岩石的力学参数相关，属于关键参数；水压力用于冲洗钻孔岩屑碎块，与岩石的特征参数相关性极小，属于非关键参数。

3 数据存储周期需覆盖施工全周期，确保数据回溯、事故分析及数据共享合作等需求，检测数据的准确性

4 对设备异常振动、温度、压力等数据监控，及时发现卡钻、元器件损坏故障，保障连续作业。

3.0.3 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量设备使用与管理作出说明。

2 参考随钻测量设备现行国家和行业标准，NB/T 10174-2019《矿用定向钻进随钻测量装置技术条件》、SY/T 6702-2019《随钻测量仪通用技术条件》，对设备的基本性能要求如下：

(1) 装置应在以下工作环境条件可以正常工作：

- a) 环境温度（0℃~50℃）；
- b) 平均相对湿度：≤95%（+25℃时）；
- c) 海拔高度大于 4000m；

(2) 设备应具有防水性能，钻孔完成后设备内部应无渗水、漏水现象

(3) 设备应具有不低于 GB 4208-2017 中规定的 IP55 防护等级要求，避免钻孔作业中的岩石掉块损坏设备。

3.0.4 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量设备使用人员作出说明

设备配备的技术人员需具备专门设备培训，熟悉设备原理及基本数据解读能力，技术人员进行设备的安全规范操作包括但不限于设备启动前检查、故障检修、紧急停机流程、数据出现异常时的故障维修或传感器检修等。

3.0.5 关于随钻测量数据采集进行以下说明：采集数据导出格式宜采用.CSV 通用数据格式，便于导入分析软件，数据采用云端+本地双备份，防止数据丢失。

3.0.6 本条对于铁路隧道凿岩台车随钻测量数据处理要求作出说明。

3 由于钻头的磨损、传感器的老化等原因导致随钻数据采集出现偏差，需

要定期开展性能检测，与室内校准模型结果对比，调整附录 D 抗压强度随钻测试计算方法的贡献因子，确保测量精度。

3.0.7 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量质量控制作出说明。

1 详细的质量控制计划包括但不限于设备校验、数据抽检、异常处理情况记录等，定期对设备进行传感器校正、设备检修，维修记录。

3.0.8 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量成果报告作出说明。

1 原始数据数据需经三方（施工、监理、设计）确认，报告建议纳入工程竣工资料，并与超前地质预报、监控量测数据联动分析。

4 测量实施

4.0.1 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量设计原则作出说明。

3 模块化设计方法是根据工况地质，选择不同性能的钻进参数，优化破岩效率；设计通用的数据格式和参数设定步骤，形成标准化流程，提高不同类型设备操作和数据流通的兼容性。

4.0.4 关于铁路隧道凿岩台车随钻测量整机定位，2cm 以内的定位精度控制通过全站仪配合反射棱镜，设置不少于 3 个已知控制点，计算台车空间坐标位置，并通过双轴倾斜仪实时监测台车俯仰/横滚角；扫描仪三角测量法的固定基准线端点应设置在隧道稳定区域，避免因围岩变形导致基准失效，检测点需与主控网独立，用于交叉验证定位结果。

4.0.7 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量数据采集作出说明

4 完整的钻孔周期是完成 1 个掌子面所有钻孔工作的数据记录周期。

4.0.8 本条对铁路隧道凿岩台车随钻测量劳动力组织原则作出说明。

1 操作人员资质要求持有隧道施工特种设备操作证，并接受随钻系统操作专项培训。

5 数据处理与分析

5.0.2 本条对数据预处理作出说明，可采用以下处理方法和可视化形式：

2 数据清洗是对于由于钻进过程中卡钻、冲洗钻孔或未知因素导致的异常数据，如冲击压力负值、扭矩超量程等，属于无效和错误记录数据，需要识别并剔除；在钻孔起始阶段，随钻数据有从 0 逐渐增大到稳定的变化阶段，在钻孔结束阶段，随钻数据从稳定降低至 0 值的变化阶段，此类数据为冗余信息，需要识别剔除，如图 1、图 2 所示。

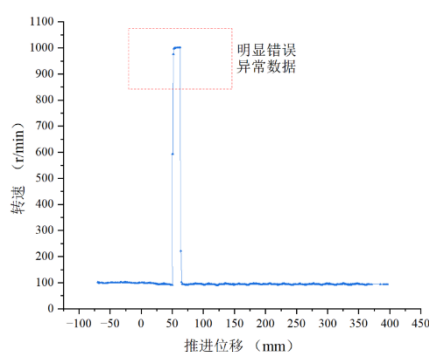


图 1 异常数据示例

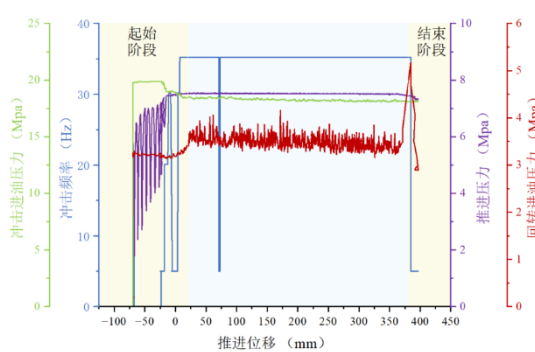


图 2 随钻数据示例

3 数据过滤，由于数据采集频率、钻杆的震动、传感器的灵敏度等原因，造成随着钻头钻进采集的数据具有明显的波动，导致数据具有大量噪声，可采用移动平均法、指数加权移动平均法、卡尔曼滤波、高斯滤波、中值滤波等滤波处理，数据降噪，提高数据的质量。

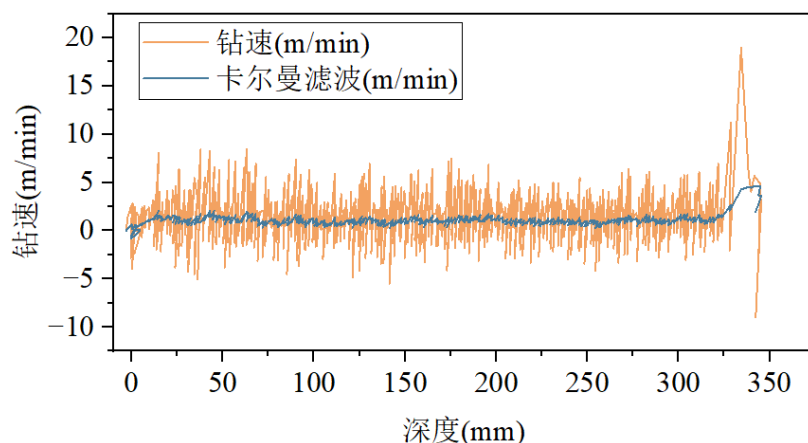


图 3 随钻数据降噪处理示例

5.0.3 对岩体参数反演与地质分析可采用下述方法

1 利用随钻参数计算岩石强度参数的方法包含但不限于附录 D 抗压强度随钻测试计算方法。

2 突变点检测算法是通过最小化损失函数来识别数据中的变化点，使用动态规划来优化损失函数，逐步寻找最优的变化点位置，引入修剪步骤，去除不可能成为变化点的位置。通过调整滞后范围的值来改变突变点检测的灵敏度，进行数据分割，设定识别步长，精细扫描数据，检测突变域，识别结构面。

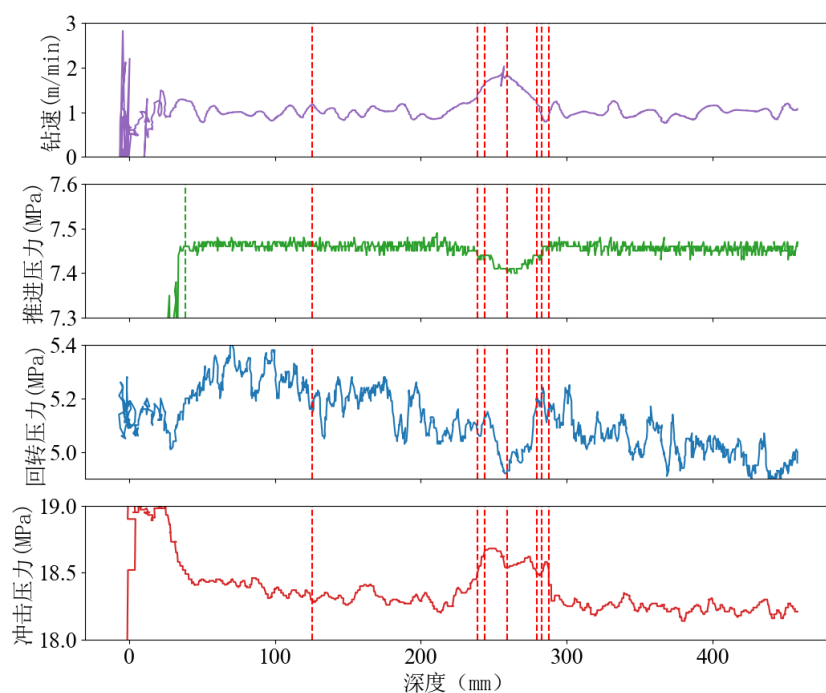


图 4 结构面识别