

《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》  
（征求意见稿）编制说明

《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》

团体标准

起草工作组

二〇二五年六月

# 《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》

## （征求意见稿）编制说明

### 一、工作简况

#### 1.1 编制背景

随着我国水利、交通、能源等基础设施建设的快速推进，全断面隧道掘进机（TBM）因其高效、安全、环保的优势，已成为深长隧洞工程的核心施工装备。尤其在水利水电工程中，TBM 面临复杂地质条件和严苛施工要求，其运行数据（如刀盘扭矩、推进速度、贯入度等）的精准采集与处理，直接关系到施工安全、效率及成本控制。然而，当前行业缺乏统一的数据管理规范，导致数据质量参差不齐，制约了智能化施工的发展。

TBM 施工过程中产生海量多源异构数据（传感器数据、地质信息、设备状态等），但存在以下问题：

采集层面：传感器布设标准不一，数据精度、频率和完整性难以保障；

存储层面：本地与云端存储方案混杂，数据安全性和可追溯性不足；

处理层面：异常数据清洗、关键参数提取、降噪方法缺乏标准化流程，影响后续围岩分类、掘进效能分析等应用。

亟需建立从采集到预处理的全链条技术规范，为大数据分析和人工智能应用提供高质量数据基础。国家《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》《智能建造与建筑工业化协同发展纲要》等政策明确提出推动施工装备智能化转型。TBM 数据的规范化处理是实现“地质-设备-决策”闭环智能管控的核心环节：支撑掘进参数自适应优化，提升设备利用率和施工速度；服务于围岩稳定性实时评估，保障施工安全；

现行标准（如 GB 50487《水利水电工程地质勘察规范》、SL 279《水工隧洞设计规范》）聚焦勘察与设计，对 TBM 施工数据的采集、存储及前处理缺乏细化规定。本规程填补了以下空白：

统一传感器布设、数据传输加密、多级存储安全等技术要求；

规范循环段分割、异常数据清洗、降噪算法选择等关键流程；

建立兼容 Python/Java 等信息化工具的数据处理框架，推动工程数字化落地。

规程内容源于多个重大水利隧洞工程（如吉林引松、引绰济辽、引汉济渭、滇中引水）的 TBM 应用实践，针对“数据孤岛”“噪声干扰”“分类混乱”等痛点，提炼出可复用的处

理方法（如循环段合并阈值设定、正弦波异常扭矩识别算法），为行业提供普适性解决方案。

## 1.2 标准编制的目的、意义和必要性

### 编制的意义：

#### ① 提高数据质量：

在 TBM 施工过程中，数据采集涉及多个设备和传感器，数据类型繁多且实时性要求高。标准的制定确保每一项数据都能在统一的规范下进行采集和记录，避免了因操作不规范或设备间接口不一致而造成的数据失真问题。标准化不仅仅关注数据的准确性和完整性，也强调数据的一致性，这有助于不同施工阶段和不同项目间的数据互通和对比。通过高质量的数据，可以为工程的后期评估和效益分析提供可靠依据。

#### ② 提升施工效率：

标准化的数据采集与处理，不仅帮助施工人员及时掌握设备运行情况，也为工程管理提供了更为精准的信息。通过对关键施工参数如推进力、刀盘负荷、土压等数据的实时监控和分析，能够快速响应施工过程中可能出现的异常，预防设备故障和施工延误。这种规范化的管理方式能够有效地提高工作效率，减少停机时间，从而推动项目按期完成。

#### ③ 降低施工风险：

TBM 施工所面临的地质环境复杂且不可预测，施工过程中可能遇到诸如设备故障、地质突发事件等风险。标准化数据流程帮助施工团队全面监控关键施工数据并进行实时分析，及时发现潜在的危险因素。比如，通过实时监控刀盘扭矩、推进力和施工地质的变化趋势，可以预测并规避某些施工风险，如设备过载或进度延迟等，从而有效降低施工过程中的事故发生率。

#### ④ 促进技术进步：

随着技术的发展，数据的采集、处理和应用正朝着智能化和自动化方向发展。标准化流程为新技术的应用提供了可靠的技术支持，如物联网（IoT）技术的引入、智能化设备的监控、人工智能（AI）辅助决策等。标准化不仅使得数据更加规范，还推动了在数据分析、自动化施工和工程监控等领域的技术突破，带动了整个隧道建设行业技术水平的提升。

#### ⑤ 支持科研与决策：

高质量、标准化的数据不仅为施工过程中的实时决策提供依据，也为科研人员提供了可靠的数据支持，帮助他们深入分析施工过程中出现的问题和技术瓶颈。通过对大量数据的研究，可以得出更具实用性的施工经验、设计方案优化建议，以及对未来隧道施工项目的技术

预测。这为政策制定者、科研机构和工程管理者提供了更加科学的决策依据，推动了隧道施工技术的持续进步。

## 编制的目的：

### ① 规范数据采集流程：

TBM 施工现场产生的海量数据涉及设备性能、环境条件、人员操作等多个方面，数据采集的精确性直接影响到后续的数据处理和分析效果。通过制定技术规程，详细列出数据采集的时间频率、采集方式、采集设备等内容，能够确保每一个数据点都符合标准要求，从而最大程度避免人工采集和设备故障引发的误差。此外，规范的数据采集流程还能提高数据的可追溯性，便于将来进行数据回溯和质量评估。

### ② 统一数据存储标准：

由于 TBM 施工项目往往涉及多个环节和不同的工作团队，数据的存储和管理面临着复杂的挑战。统一存储标准可以确保不同设备和系统产生的数据能够在统一的一个平台上存储和管理，便于检索、更新和备份。此外，明确的数据存储格式有助于数据的长期保存和未来的再利用，同时保障数据的安全性，避免因数据丢失或损坏影响施工进度或决策。

### ③ 优化数据前处理流程：

数据前处理是确保后续数据分析的质量和效率的关键环节。TBM 施工数据通常包含噪声、缺失值或异常值，这些都会干扰后续分析结果。通过标准化的前处理流程，如数据清洗、去噪、填补缺失值、数据标准化等，可以确保数据质量和一致性，为机器学习、智能预测等技术的应用提供准确、可靠的输入。此外，前处理流程中也会涉及到数据的归类和分层，使得数据更具可操作性，方便不同分析场景的应用。

### ④ 提升数据利用效率：

标准化的数据采集、存储和前处理不仅帮助提高数据的质量，也为后续的数据利用打下坚实基础。统一的数据标准使得不同部门、不同工程项目间能够共享和比较数据，提升了数据的跨项目可用性。这使得 TBM 施工中不断积累的数据能够在不同阶段、不同环节中得到充分利用，形成一个持续优化的闭环。此外，良好的数据管理还能够提升数据访问速度和准确性，提高数据分析的响应速度，为项目管理者提供及时决策支持。

### ⑤ 推动智能化施工：

在智能化施工的背景下，TBM 施工不仅要求对设备进行精细化监控，还需要依托大量数据进行实时决策。标准化的数据流程为智能化施工提供了必需的数据支撑，确保从数据采集到处理再到应用的全过程顺畅衔接。例如，通过与传感器技术结合，可以实现对刀盘状态、

土壤压力等的实时监控，并结合历史数据和人工智能算法进行预测分析，提前发现潜在风险，减少人工干预，优化施工过程，提高施工的自动化程度，确保工程的安全和高效推进。

## 编制的必要性：

### ① 应对数据量激增的挑战：

随着隧道工程规模的不断扩大，TBM（隧道掘进机）施工过程中生成的数据量呈现指数级增长。数据不仅来自 TBM 设备本身，还涉及到地质、环境、施工进度等多个方面。应对这种庞大的数据量，技术规程的制定变得至关重要。通过明确数据采集和存储的标准化流程，结合现代技术，如云存储、大数据平台等，可以保障数据的高效存储与实时处理，避免数据丢失或损坏。此外，自动化数据处理技术也能够通过清洗、降噪等方式提取有价值的信息，进一步支持施工管理中的实时分析和决策，提升施工过程的灵活性与效率。

### ② 避免数据管理混乱：

TBM 施工涉及多个环节和部门，数据采集和存储的标准化流程可以有效避免各部门之间的管理混乱。标准化流程通过统一的数据格式、时间戳、标识符等，确保不同部门之间能够无缝对接，避免重复采集和不一致的数据问题。这不仅有助于确保施工进度的准确跟踪，还能减少因数据错误或遗漏而带来的施工风险。通过明确的数据管理规范，能够有效减少人为操作错误，保障数据的准确性和一致性，提升项目的整体施工质量。

### ③ 支持智能化施工需求：

随着隧道工程逐步向智能化和自动化转型，TBM 施工中数据采集和处理的技术成为智能施工的核心基础。智能决策、设备自动化和风险预测等技术将依赖于数据的准确采集与处理。通过智能算法对实时数据进行分析，能够提前预测设备故障、施工进度问题和地质变化，优化施工方案，减少人工干预，提高施工安全性和效率。同时，自动化设备的广泛应用要求所有相关数据能够通过标准化流程实时流转，确保系统之间的高度协同，为智能化施工提供必要的信息支持。

### ④ 提高施工管理水平：

数据标准化不仅有助于提升施工管理水平，也能使项目管理更加精细化。通过实时监控施工进度、设备状态、土壤压力等关键数据，管理人员能够及时识别潜在问题，提前采取措施，避免工期延误或设备故障。标准化数据流还能够为施工质量跟踪提供精准依据，管理者可以根据数据分析结果对施工进行优化调整，确保项目按时保质完成。此外，数据驱动的决策过程还能够进一步提升项目管理的智能化水平，推动工程管理从传统模式向更加高效和科学的方向发展。

### ⑤ 推动行业标准化发展：

技术规程的制定不仅为单一项目提供保障，还为整个隧道工程行业的标准化发展奠定了基础。通过建立统一的数据采集和处理标准，不同项目和地区的隧道建设能够共享技术经验，减少地区差异对项目质量的影响。随着行业内标准化程度的提高，新技术的创新和应用也能够更大范围内得到推广，从而推动整个行业的技术进步与管理提升。这不仅促进了隧道工程领域的发展，还为其他相关工程项目提供了有益的借鉴与参考。

## 1.3 主要工作过程

2023年5月，成立《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》编制小组。

2023年5月~2023年12月，对现有的与《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》相关的技术标准进行调研。

2024年1月，《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》在中国水利水电第六工程局的牵头、在北京交通大学、中国水利水电科学研究院的支持下正式立项。

2024年1月~2024年8月，标准编制组开展广泛收集、整理国内外相关标准、科研成果、专著、论文及专家的意见和建议并进行分析与探讨。同时，结合工程项目实践，完成《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》征求意见稿。

2024年8月~2024年12月，在征求意见稿的基础上，广泛征集意见，完成意见征集、稿件修改工作。

2025年1月~2025年3月，由中国科技产业化促进会牵头召开团体标准研讨会，召集行业内相关的30家单位，近50位行业内专家对《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》展开详细讨论。

2025年4月~2025年5月，对《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》进一步修改整理。

## 二、标准编制原则

### 2.1 科学性与规范性并重

规程编制严格遵循岩石力学、掘进动力学及数据科学理论，确保参数定义（如刀盘扭矩、贯入度、FPI/TPI）的准确性和计算方法的科学性。所有数据处理流程（如循环段提取、异常清洗、降噪算法）均基于工程验证，避免主观经验干扰。例如，通过快速傅里叶变换（FFT）识别正弦波异常扭矩，设定能量比阈值为0.15，确保方法可复现、结果可验证。同时，术语

和符号体系参照国际标准，与 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则》保持一致，提升规程的权威性和普适性。

## 2.2 全流程覆盖与质量控制

规程涵盖从数据采集、传输、存储到预处理的全链条技术环节，明确各阶段的技术边界和操作标准。在采集阶段，规定传感器精度、布设位置及防尘防水要求；在存储阶段，细化本地与云端协同方案，强调加密与备份机制；在预处理阶段，制定循环段合并（停机时间  $T_d \leq 100s$ ）、异常数据修正（如 B1 类超速数据滑动平均处理）等具体规则。通过建立数据完备性检查表（如参数名称校对、数据量统计）和索引文件追踪处理轨迹，实现闭环质量管理，确保数据可追溯、结果可复核。

## 2.3 工程实用性与兼容性

编制紧密结合 TBM 施工场景，优先选择轻量化、易实施的技术方案。例如，支持 Python/Java 等通用语言库，适配工地有限的算力环境；允许 CSV/Excel 等常见数据格式，降低使用门槛。同时，规程与现行国标（如 GB 50487、SL 279）无缝衔接，补充施工数据维度（如围岩分类与掘进参数的映射规则），避免重复建设。针对不同工程需求（如水利隧洞与交通隧道），设置可调整的参数阈值（如推进速度超限判定值  $120mm/min$ ），增强灵活性和适用性。

## 2.4 安全可控与风险冗余

数据安全是规程的核心要求。在传输环节，采用 TCP 协议结合流量控制技术，确保可靠性与实时性；在存储环节，实施分级访问控制（如运维人员与数据分析人员权限分离），符合 GB/T 22240 网络安全等级保护要求。针对关键流程（如内部段分割），预设异常处理机制（如定义 `rise:steadyS:steadyE=0:0:0` 的无效标记），避免程序中断。此外，强制要求数据备份与原数据同权限管理，并定期测试恢复流程，最大限度降低数据丢失风险。

## 2.5 智能化适配与前瞻性设计

规程为未来技术升级预留空间。预处理结果（如降噪后数据集、循环段标签）采用结构化存储，直接支持机器学习模型调用；参数体系允许扩展字段，便于接入新型传感器（如激光扫描仪、地质雷达）。同时，引入推力贯入指标（FPI）、扭矩贯入指标（TPI）等岩机互馈参数，为智能掘进（如参数自适应优化、围岩实时识别）提供数据基础。通过标准化数据

接口和命名规则（如“循环段编号-桩号-时间”），促进施工、设计、科研多方协同，加速行业知识沉淀。

## 2.6 协同共享与持续优化

规程旨在打破“数据孤岛”，推动全行业信息共享。通过统一数据格式、处理流程和输出标准，实现跨项目、跨单位的数据互通。例如，索引文件记录分类标签、降噪方法等元数据，形成可复用的知识库；数据汇编环节生成标准化 PDF 报告（含基础信息、参数图表），便于专家会诊与经验总结。此外，建立动态更新机制，定期吸纳新技术（如边缘计算、时序数据库）和工程反馈，确保规程持续迭代，始终引领行业技术发展。。

## 三、标准主要内容和相关依据

### 3.1 标准主要内容

#### 3.1.1 范围

本文件规定了 TBM 数据采集存储及前处理的流程，包括数据采集与存储、循环段提取、关键破岩参数提取、数据分类、异常数据的清理修正、合并形成数据集、数据降噪、内部段分割、数据绘图、数据汇编。本文件适用于由采用全断面隧道掘进机法施工水工隧洞过程中产生的大数据前处理工作。在进行全断面隧道掘进机法施工水工隧洞施工数据监测和处理时除应符合本文件规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

#### 3.1.2 术语和定义、符号

针对《隧道掘进机（TBM）数据采集、存储与前处理技术规程》编制过程中，涉及的相关专业术语进行解释，并对行业内常用符号及本规程使用特殊符号进行前述定义。

#### 3.1.3 基本规定

为规范大数据数据预处理在全断面隧道掘进机法施工水工隧洞中的应用，统一其技术标准，特制定本文件。

对采用全断面隧道掘进机法施工产生的数据进行处理应做到方法适用、技术先进、经济合理、节能环保。

采用全断面隧道掘进机法施工的工程建设单位宜组织施工、监测、科研等参与方建立高效协同的工作机制。

全断面隧道掘进机施工应实时收集各类掘进信息和监测资料，应用信息化、智能化技术，建立有关掘进信息和监测资料的共享机制。

前期地质勘察时，除应满足 GB 50487 的技术要求外，尚应结合全断面隧道掘进机的施工特点开展勘察工作，隧洞的选线和掘进机选型除应满足 SL 279 的技术要求外，尚应根据掘进机的施工特点进行设计。

全断面隧道掘进机应具备实时对掘进机装备数据、施工数据的监测、搜集、存储、传输等功能。

全断面隧道掘进机应具备具有数据处理能力的上位机或远程主机，上位机或远程主机具备安装 Python 或 Java 等常用计算机语言文件库的功能。

掘进机施工应结合隧洞的围岩条件、施工环境、隧洞结构型式、施工方法与进度要求，制定合理可靠的监测方案，数据监测、搜集、存储、传输仪器与掘进机设施宜做到永临结合。

工程参与各方应协同合作，加强现场地质条件确认和掘进机状态评估工作，保证在运行过程中数据的及时获取，出现中断状况，应及时采取应对和处理措施。

在进行数据预处理前，应确保全断面隧道掘进机数据的参数名称准确、参数单位符合要求、数据完备。

数据处理的目的是为提升数据质量、减小数据误差、便于直观查看数据，在实际处理过程中宜根据实际需求选择需要的处理方法并合理安排各方法的顺序。

各数据使用方应严格遵守数据保密协议，在各流程实现数据安全传输、安全存储、安全应用。

### 3.1.4 循环段提取

循环段提取章节的主要内容是如何从连续的采集数据中识别并提取出每个独立的循环段。循环段是指在地下作业中，从开始到完成一个作业周期的完整过程，通常包括推进、停顿、破岩等阶段。提取过程需要根据特定的标志性参数，如推进速度、推力、岩层强度等，对数据进行分段。首先，通过设定合理的阈值和判定规则，确定每个循环段的起始点和终止点。这一过程要求数据提取过程精准，能够应对不同岩层和工况的变化。提取后的循环段数据将为后续的破岩参数分析和设备性能评估提供基础。因此，准确的循环段提取不仅是数据处理的重要环节，也是后续分析的前提。

### 3.1.5 关键破岩参数提取

关键破岩参数提取章节介绍了如何从循环段数据中提取出对破岩效率和质量具有重要影响的参数。这些关键破岩参数包括推力、转速、冲击力等，它们直接影响到岩石的破碎效果

和施工进度。提取关键破岩参数时，需要综合考虑设备运行状态和岩石特性，以确保所提取的参数能够真实反映设备的工作表现。在实际操作中，参数提取的准确性至关重要，因为它决定了后续破岩效率的评估和优化。通过对这些参数的分析，能够发现潜在的问题，改进破岩工艺，进而提高施工效率和降低成本。此章节的目标是通过科学合理的参数提取方法，为设备维护和工艺优化提供可靠依据。

### 3.1.6 数据分类

数据分类章节关注如何根据掘进数据的特征对循环段进行分类。首先，通过对掘进数据进行分析，确定不同数据类型的标签，如空推段、上升段、稳定段和下降段等。此过程应考虑设备运行规律及数据特征，确保分类准确并符合实际情况。分类过程需灵活应对异常数据，例如速度值超限、数据传输异常等。在分类完成后，分类结果应准确、简明，便于后续的数据分析与处理，同时确保分类标签的准确性和简洁性，以实现后续多级分类的目标。

### 3.1.7 异常数据清理与修正

异常数据清理与修正章节介绍了对不符合预期的数据进行清理和修复的流程。此过程中，需识别和处理数据中的异常值，如丢失数据、异常波动和传感器故障等情况。通过使用 Python 或 Java 等工具对异常数据进行自动检测和修正，确保数据的完整性和一致性。对于无法修复的数据，应进行标注和排除，以免影响后续分析。在清理修正后，需核实数据是否准确，确保数据质量达到后续处理的标准，保障后续工作不受影响。

### 3.1.8 合并形成数据集

在合并形成数据集章节中，重点讲述了如何将分类和清理后的数据合并成一个完整的数据集。首先，需要对不同类型的数据进行整理，确保数据格式统一、结构清晰。接着，通过合理的算法和工具，合并各类数据以形成最终的数据集。在此过程中，需要注意数据的兼容性和一致性，确保合并后数据集的可用性和精确性。最终形成的数据集将作为后续分析、建模和决策的基础，因此，合并过程中需要特别注意数据的完整性和正确性，避免出现数据丢失或错位的情况。

### 3.1.9 数据降噪

数据降噪章节主要介绍了如何通过技术手段去除数据中的噪声，以提高数据质量。在数据采集过程中，噪声可能会干扰数据的准确性，因此，需要采取降噪措施来过滤掉无关或错误的信息。常见的降噪方法包括滤波算法、数据平滑技术等，这些方法可以有效减少数据中

的异常波动和噪声。在执行数据降噪时，应选择合适的算法和工具，并对降噪结果进行验证，确保降噪后的数据更加精准和可靠，为后续分析提供高质量的数据支持。

### 3.1.10 内部段分割

内部段分割章节强调了如何根据特定的参数对循环段数据进行内部分割。通过对数据进行深入分析，将一个完整的循环段划分为多个子阶段，如上升段、稳定段、下降段等。这一过程需要依赖于一些关键参数，如刀盘转速、推进速度等，以确保分割结果准确且符合设备运行规律。在处理过程中，应确保分割后每个阶段的起点和终点明确，便于后续的数据分析和模型应用。此外，对于分割过程中出现的异常数据，也应进行特别处理，以确保最终的分割结果符合实际操作需求。

### 3.1.11 数据绘图

数据绘图章节主要讲述了如何通过图表将数据直观地展示出来，以帮助分析和决策。在绘制图表时，应选取能够反映循环段状态的关键参数，如刀盘转速、推进速度等，以确保图表能够准确反映工作状态。绘图时，参数量不应过多，避免造成图像杂乱。为了清晰展示不同参数之间的关系，应选择颜色区分，确保图表清晰易懂。数据图表应附带必要的坐标轴刻度、图例和刻度线，确保图表具备完整的说明，帮助使用者快速理解和分析数据。

### 3.1.12 数据汇编

数据汇编章节讨论了如何将处理后的数据进行最终汇编，形成系统的报告和分析结果。在此过程中，需要对数据进行整理、归类和整合，将所有处理过的数据集成到一个统一的框架中。汇编过程应确保数据的准确性和一致性，最终形成便于使用者查阅和分析的数据报告。此报告将为项目管理人员提供决策支持，也可为后续的技术分析、模型构建等提供依据。在汇编过程中，强调数据的结构化管理，确保汇编结果具备较强的可读性和适用性。

## 3.2 标准编制依据

- [1] GB/T 22240 信息安全技术 网络安全等级保护定级指南
- [2] 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] GB/T 31496 信息技术 安全技术 信息安全管理体系 指南
- [4] GB/T 41051 全断面隧道掘进机 岩石隧道掘进机安全要求
- [5] GB 50021 岩土工程勘察规范
- [6] SL 191 水工混凝土结构设计规范
- [7] SL 197 水利水电工程测量规范

[8] SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准

[9] SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范

[10] SL 378 水工建筑物地下开挖工程施工规范

[11] SL 642 水利水电地下工程施工组织设计规范

[12] SL 764 水工隧洞安全监测技术规范

[13] SL/T 789 水利安全生产标准化通用规范

#### **四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况**

本标准制定过程中，未检索到国际标准或国外先进标准，标准水平达到国内先进水平。

#### **五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

本标准符合现有的法律、法规、强制性国家标准。

#### **六、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

#### **七、贯标的措施和建议**

本标准团体标准，建议按照国家有关团体标准管理规定和中国科技产业化促进会团体标准管理要求，在协会会员中推广采用本标准，鼓励社会各有关方面企业自愿采用该标准。

#### **八、废止现行有关标准的建议**

无。

#### **九、其他应予说明的事项**

无。