

团 体 标 准

《敞开式TBM施工隧道振动监测技术规程》

编制说明

2024 年 3 月

《敞开式 TBM 施工隧道振动监测技术规程》编制说明

一、标准制定的必要性

我国的城市人口规模越来越大，目前大部分省会城市以及一些主要的地级市都在兴建城市地铁。在国务院等相关部门的审批下，城市地下综合管廊项目也在大量开展，建设海绵城市已经成为各个城市奋斗目标。同时国家交通发展战略势头强劲，轨道交通优先发展，高铁网络越来越发达，穿山越岭也离不开铁路隧道的开挖。而钻爆法施工月平均掘进里程 200m，这种施工速度已经无法满足我国年均 300km 隧道开挖历程和适应复杂地质条件的要求，同时传统的施工法也无法解决隧道开挖过程中环保、安全等问题。隧道工程对开挖设备需求越发强烈，因此全断面隧道掘进机（Tunnel Boring Machine, TBM）正逐渐成为当今开挖隧道工程舞台的主角，也逐渐成为现代隧道高效安全施工不可或缺的主要机械设备。

TBM 是一种靠刀盘旋转并推进，通过滚刀进行破岩（岩石表面材料去除）而使隧洞全断面一次成型的大型工程机械设备，在跨流域调水、大型水电站引水输水及穿越山岭的铁路工程的长大隧道建设中发挥着关键作用。盘形滚刀位于 TBM 最前方，是直接与岩石发生接触的关键部件。TBM 滚刀破岩的基本原理为：盘形滚刀在刀盘推力的作用下侵入岩石一定深度，依靠挤压使岩石内部产生裂纹，当相邻两把滚刀引发的侧向裂纹相互贯通时，会形成大块岩片剥落，同时刀盘旋转带动滚刀沿岩石表面滚动，实现连续地破岩掘进。TBM 振动是 TBM 法施工时应用刀盘在掌子面的岩面上连续滚压和切削进行破岩，在侵入硬岩时，单把滚刀所承受的法向推力最高可达数十吨，并且硬岩弹脆性损伤的特点决定了滚刀破岩是伴随着振动与冲击的动态过程，因此在掘进过程中刀盘不断切削岩体会导致 TBM 及周围岩体产生振动。

一方面由于 TBM 施工本身具有高风险性，一旦出现事故，影响面非常广，因此有必要利用现代化科技手段，尽可能减小事故发生率。为规范化隧道施工，国家也出台了一系列相关政策，要求 TBM 必须安装安全监控管理系统。因此有必要建设一套符合国家政策要求的振动监测系统，降低施工风险，为安全生产保驾护航。

另一方面，岩爆是在高地应力条件下，岩体受开挖或其他外界扰动影响，聚

集在其内部的弹性应变能突然释放,导致岩石爆裂并弹射的一种复炸动力型地质灾害。开挖应力重分布后,处于高应力状态的深部工程围岩受到工程爆破、机械钻凿、地震及相邻隧道岩爆等引起的动力扰动作用而发生岩爆灾害。TBM 施工过程中刀盘在切削岩石需要相当大的功率(通常高达几千 kW),消耗大量的能量,同时刀盘不断切削挤压岩体会产生一种振动波,该振动波携带着大量能量源源不断地传递到掌子面后方围岩处,形成一种长时持续扰动,对岩爆等地质灾害的产生均有重要影响,因此对 TBM 施工振动监测有重要意义。

1. 提高振动监测数据的准确性和可靠性:制定 TBM 振动测试标准,可以明确 TBM 振动监测目的,监测方法和评价标准,有助于振动监测在实际应用中测量结果准确率和可靠率的提高,从而提高测量数据的质量和有效性。

2. 填补 TBM 振动监测国内空白领域:在吸收总结钻爆法施工爆破振动监测已有国家标准和行业标准基础上,填补 TBM 这一特殊施工工法振动监测国内空白领域。

3. 促进行业统一标准和规范化发展:制定 TBM 施工振动监测标准有助于统一行业内的指标评定、监测方法和数据报告等方面的规范。这有助于不同机构、不同施工工法振动监测进行方法与数据比对,提高行业整体的标准化水平,减少因标准不一致而引起的误差和偏差。

4. 促进国际交流与合作:制定 TBM 振动测试标准的过程中,可以参考国际先进标准和经验,吸纳国际间的共识和优秀实践。有助于推动国际交流与合作,提高我国在该领域的话语权和影响力,促进国内振动测试行业与国际接轨。

二、标准编制原则及依据

1、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》要求进行编写。

2、参照相关法律、法规和规定,按照标准化对象将标准定义为产品标准,规定产品需要满足的要求以保证其适用性的标准,同时在保证可用性、互换性、兼容性、相互配合或品种控制的前提下形成技术标准。

三、项目背景及工作情况

（一）任务来源

依托国家重点研发计划《超大埋深极高地应力隧道延保产生演化机理及安全防护技术》任务要求，根据《中国国际科技促进会标准化工作委员会团体标准管理办法》的有关规定，经中国国际科技促进会标准化工作委员会及相关专家技术审核，批准《敞开式 TBM 施工隧道振动监测技术规程振动监测技术规程》团体标准制定计划，计划编号为：CI2024011。本标准由东北大学等单位提出，中国国际科技促进会归口。

（二）标准起草单位

本标准的主要起草单位是东北大学、中铁第一勘察设计院集团有限公司、北方重工集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁隧道局集团有限公司、四川华能泸定水电有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，负责标准文档起草及相关文件的编制等。何本国、王杰、冯夏庭、黄勇、申玉生、刘书兵、李志军、江权、尚俊龙、姚志宾、胡磊、张伟、李红普、孟祥瑞、李嘉雨、乔志宾等参与起草，负责标准中重要技术点的研究和建议，并参与标准内容的讨论。

（三）标准研制过程及相关工作计划

1、前期准备工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛收集敞开式 TBM 施工隧道振动监测技术相关的材料。同时，多次投身于现场 TBM 施工隧道工程监测试验，并与该行业相关人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2、标准起草过程

团体标准立项通知公示后，标准编制小组首先组织了标准制定工作会议，各编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了数次内部研讨会和专家咨询会，经过多次修改，于2024年2月完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。

3、征求意见情况

2024年3月标准编制小组先后通过现场会议、电话、微信等多种形式征集行

业专家相关意见和建议。针对征集的意见，标准编制小组召开了研讨会，将收集到的意见进行汇总处理分析，在充分吸纳合理意见的基础上，先后修改和完成标准内容，于2024年3月底根据在各单位反馈意见基础上，形成了标准征求意见稿并由中国国际科技促进会提交全国标准信息平台公示。

（四）主要试验（或验证）情况分析

通过系统研究TBM振动源产生机理及其在岩石中的传播规律，并调研各种现有行业爆破振动监测设备、技术及数据处理方法，深入研究并优化关键技术体系，提出了具体的敞开式TBM施工隧道振动监测技术方案。

本技术规程主要阐述利用现有一体化三轴智能振动监测传感器，在国家重大铁路某钻爆法隧道进行爆破振动监测，借鉴爆破振动监测技术实现敞开式TBM施工隧道振动监测，具体要点包括：

（1）敞开式TBM刀盘、护盾、撑靴振动监测：阐明敞开式TBM关键部位刀盘、护盾、撑靴的振动监测意义、测点选取技术要点、关键部位传感器安装技术要点、无线长时连续监测技术要点，并基于国家重大研发计划对重大铁路TBM施工隧道进行关键部位护盾和撑靴位置处的现场振动监测，得出TBM护盾尾部振动远远大于撑靴位置处，振动加速度-10~10g，振动效应相当明显，而撑靴位置处主要振动方向为隧道轴线方向，撑靴位置处沿隧道轴线方向振动速度：1.5~2.5cm/s、振动频率：30~40 Hz，隧道径向和垂直于隧道底板方向振动速度均小于1cm/s、振动频率均为280~320 Hz，即沿隧道轴线开挖方向撑靴对围岩产生较高振速，低振幅、低频率扰动，有效揭示了护盾和撑靴振动对围岩拱顶及边墙位置处破坏的影响程度。

（2）敞开式TBM施工隧道围岩表面振动监测：阐明敞开式TBM施工隧道围岩表面振动监测试验段选取技术要点、围岩表面传感器安装技术要点、考虑结构面、断层布置测点技术要点，并基于国家重大研发计划对重大铁路TBM施工隧道掌子面附近30m范围内围岩表面开挖扰动监测，在距离掌子面10m处的振动速度：0.1~0.9cm/s、振动加速度：-3~3g；在距离掌子面20m处的振动速度：0.1~0.4cm/s、振动加速度：-0.3~0.1g。有效揭示了开挖一定距离内的振动波传播规律。

（3）敞开式TBM施工隧道围岩内部振动监测：阐明敞开式TBM施工隧道围岩内部振动监测测点选取技术要点、围岩内部传感器安装技术要点、综合振动监测

（轴向、径向）系统技术要点，并计划于2024年7月进行现场试验验证。

(4) 振动监测数据清洗处理技术及其频谱分析、功率谱、能量谱分析技术要点：阐明结合TBM掘进信息及地质信息的TBM振动监测数据清洗技术要点，运动傅里叶变换、功率谱、幅度谱的振动数据处理技术要点。

四、标准制定的基本原则

标准编制过程中，遵循了以下基本原则：

1、标准需要具有行业特点，指标及其对应的分析方法要积极参照采用国家标准和行业标准。

2、标准能够体现出产品的具有关键共性的技术要素。

3、标准能够为产品的开发、改进指出明确的方向。

4、标准需要具有科学性、先进性和可操作性。

5、要能够结合行业实际情况和产品特点。

6、与相关标准法规协调一致。

7、促进行业健康发展与技术进步。

五、标准主要内容

本标准规定了敞开式TBM施工隧道振动监测技术规范要求，正文部分共分六章包括标准的适用范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、监测设备、TBM振动监测、数据处理和报告编制。

六、与有关法律法规和强制性标准的关系

遵守和符合相关法律法规和强制性标准要求。规范性引用文件包括：

GB/T 41052-2021 全断面隧道掘进机 远程监控系统

GB/T 41051-2021 全断面隧道掘进机 岩石隧道掘进机安全要求

GB/T 34652-2017 全断面隧道掘进机 敞开式岩石隧道掘进机

TB 10313-2019 铁路工程爆破振动安全技术规程

T/CECS 986-2021 爆破安全监测技术标准

七、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准起草过程中没有重大分歧意见。

八、后续贯彻措施

建议由隧道与地下工程相关行业标准化管理机构组织贯彻本标准的相关活动，利用各种活动（如工作组活动、行业协会的管理和活动、专家培训、标准化技术刊物、网上信息、产品认证等）尽可能向相关团队及机构宣传该标准，促进相互理解与应用。

建议本标准发布之日起半年内实施。

标准编制小组

2024年3月