

《TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术规程》

团体标准编制说明

标准编制组

二〇二六年五月

目 录

一、工作概况	1
二、主要技术内容	3
三、编制原则	3
四、主要实验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果	4
五、采用国际标准的程度度及水平的简要说明	5
六、重大分歧意见的处理经过和依据	6
七、其他应予以说明的事项	6

一、工作概况

1、任务来源

盾构/TBM 注浆是隧道施工中的关键工序，其核心作用是通过向管片与地层之间的环形间隙（建筑间隙）及地层内部注入具有特定性能的浆液，实现多重施工目的。一方面，浆液凝固后能快速填充间隙，阻止地层沉降或隆起，保护地表及周边建（构）筑物的安全稳定；另一方面，形成的固结体可与管片共同构成隧道的外层防水屏障，有效隔绝地下水渗透，保障隧道内部干燥环境；同时，早期强度达标的浆液能及时为管片提供均匀的支撑力，限制管片位移和变形，确保隧道结构的长期受力稳定，此外，注浆还可通过浆液扩散改良周围软弱地层，提高地层自稳能力，为盾构机安全掘进创造有利条件。

传统填充豆砾石吹填+灌浆（单液浆），管片刚脱出盾尾即吹填豆砾石，容易导致豆砾石沿盾尾与管片外壁的间隙泄漏至隧道内，导致现场人工清理时间较长，影响掘进工效。盾尾不开槽，单道止浆板不满足耐磨要求，失去封堵效果。若在管片脱出盾尾较长距离后吹填豆砾石，可以解决豆砾石泄露的问题，但会导致脱出盾尾尚未吹填豆砾石的管片缺少竖向支撑，极易造成管片失稳等问题。

为保障成型隧道管片错台、破损、渗漏水等缺陷，研究出新型同步注浆工艺，确保该工艺能够高效、准确地完成同步注浆任务，提高施工效率和质量。

新型同步注浆工艺是专为盾构/TBM 隧道壁后填充设计的标准化技术，技术特点主要体现在三方面：材料上，采用工厂预制的干混料，按地质需求分为不同类型，分别适配特殊地质与一般地质场景，确保材料性能贴合工程实际；设备上，盾构/TBM 需安装特定止浆板，TBM 配备集成存储、上料、搅拌、输送功能的专用拌注一体机，注浆系统均具备监测与数据记录功能，盾构搅拌仓还需满足计量需求；施工上，采用与掘进同步的注浆模式，盾构通过“压力+注浆量”双控方式注浆，TBM 通过管片吊装孔多点对称注浆，注浆效果不足时可进行二次注浆，岩石地层的盾构注浆施工参照 TBM 工艺执行。其优势在于：材料类型适配性强，能应对不同地质条件；设备集成化与施工同步性提升了施工效率；搭配取芯验证、地球物理检测等质检手段，可保障隧道结构安全与注浆质量；同时，材料制备过程中的密封计量、废水规范处理等环节，也符合环保要求。

综上所述，如何在盾构/TBM 施工中用好壁后新型同步注浆工艺技术是当前高速公路建设的迫切需求，而目隧道建设中壁后新型同步注浆工艺的使用还缺乏相应的规范或标准，因此，针对壁后新型同步注浆工艺技术编写技术指南，对其在隧道建设中的推广具有重要意义。

2、协作单位及主要起草人

本标准于 2025 年由中国技术市场协会交通运输专业委员会提出并归口，由青岛地铁集团有限公司、中铁一局集团第五工程有限公司主编，并由中铁一局集团有限公司、中国矿业大学（北京）、中铁发展投资有限公司等共同参与编制。主要起草人为武涛、刘泉维、黄成、徐方林、辛庆飞、荆学林、刘成龙、王虹程、吕彦明、刘远建、张真煌、史爱军、常勇、刘海涛、孟勇、李策、乔永刚、李健健等权威专家进行了审查。

3、工作过程

2025 年 12 月，由中国技术市场协会交通运输专业委员会提出，通过立项及大纲评审，启动了《TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术规程》团体标准的制定工作，成立了标准编制组，开始着手《TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术规程》标准的起草工作，于 2026 年 1 月完成标准草案，2026 年 5 月完成标准征求意见稿，计划于 2026 年 6 月完成标准送审稿并召开送审稿审查会，具体工作过程如下。

1) 标准调研、验证阶段（2023 年 5 月～2025 年 9 月）

2023 年 5 月～2025 年 9 月，明确工作后立即成立了编制组，邀请行业内优秀企业及相关的设计、使用单位参与，对 TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术进行了充分研究，结合已有的研究基础和工程项目实施经验，对该技术提出了相应改进意见，并就该技术的国内外相关技术标准进行了充分的调研，在充分吸收现有防腐涂装技术的基础上对该项技术进行了详细补充和完善。

2) 标准初稿起草阶段（2025 年 10 月～2025 年 12 月）

2025 年 12 月，起草组完成标准初稿，经归口单位审阅，并与起草组进行了标准开题论证会，编制组开始分析整理试验数据，完成了公路桥梁钢结构微纳米防腐涂装相关技术、准备资料的收集整理，完成了《TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术规程》的编制大纲资料初稿，并召开立项评审会及标准编制大纲评审会。编制组根据专家意见，对标准工作组草案进行修订，进一步完善了该系列产品的

应用技术。

3) 征求意见稿起草阶段(2025 年 12 月~2026 年 5 月)

2026 年 5 月,在充分调研和分析总结的基础上,编制组在标准初稿的基础上确定标准的各项技术指标,经过讨论和改进,完成征求意见稿,并将于 2026 年 6 月进行公开征求社会意见。

4) 送审稿起草阶段(2026 年 7 月~2026 年 8 月)

计划于 2026 年 7 月~2026 年 8 月,根据意见汇总和处理情况,重新对《TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术规范》进行修订,完成标准送审稿,于 2026 年 9 月召开标准送审稿审查会。

5) 报批稿起草阶段(2026 年 10 月)

计划于 2026 年 10 月,根据标准送审稿审查会各位专家意见,对《TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术规范》修订,完成标准报批稿,提交归口单位,进行报批。

二、主要技术内容

新型同步注浆工艺是专为盾构/TBM 隧道壁后填充设计的标准化技术,技术特点主要体现在三方面:材料上,采用工厂预制的干混料,按地质需求分为不同类型,分别适配特殊地质与一般地质场景,确保材料性能贴合工程实际;设备上,盾构/TBM 需安装特定止浆板,TBM 配备集成存储、上料、搅拌、输送功能的专用拌注一体机,注浆系统均具备监测与数据记录功能,盾构搅拌仓还需满足计量需求;施工上,采用与掘进同步的注浆模式,盾构通过“压力+注浆量”双控方式注浆,TBM 通过管片吊装孔多点对称注浆,注浆效果不足时可进行二次注浆,岩石地层的盾构注浆施工参照 TBM 工艺执行。其优势在于:材料类型适配性强,能应对不同地质条件;设备集成化与施工同步性提升了施工效率;搭配取芯验证、地球物理检测等质检手段,可保障隧道结构安全与注浆质量;同时,材料制备过程中的密封计量、废水规范处理等环节,也符合环保要求。

本标准从总则、术语和定义、基本规定、注浆材料、设备、施工、质量控制。等七个方面对 TBM 法隧道壁后同步注浆工艺技术进行了规定。

三、编制原则

- 1、认真贯彻国家有关法律法规和方针政策。标准中的所有规定，均不得与现行法律和法规相违背。
- 2、充分考虑使用要求，并兼顾全社会的综合效益。满足使用要求是制定标准的重要目的，在考虑使用要求的同时，也应兼顾全社会的利益。
- 3、合理利用国家资源，推广先进技术成果，在符合使用要求的情况下，有利于标准对象的简化、选优、通用和互换，做到技术上先进、经济上合理。
- 4、相关标准要协调配套。制定标准要考虑有利于标准体系的建立和不断完善。这样才能保证生产的正常进行和标准的有效实施。
- 5、积极采用国际标准和国外先进标准，有利于促进对外经济技术合作和发展对外贸易，有利于我国标准化与国际接轨。

四、主要实验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

1、主要实验（验证）的分析

微纳米防腐涂装技术已在厦门日圆大桥、福州平潭海峡跨海大桥、厦门集美跨海大桥、港珠澳跨海大桥、江苏崇启跨海大桥、浙江嘉绍跨海大桥、苏通大桥、灌河大桥、江阴大桥、等项目中进行了实际应用，部分工程应用案例见表 1。微纳米防腐涂装技术在《铁路桥梁钢结构及混凝土表面石墨烯防腐涂料研制》的科技成果评价中，专家组一致认为技术水平国内先进（上铁技验字〔2023〕第 138 号）。2024 年，微纳米防腐涂装技术荣获中国铁路上海局集团有限公司科学进步奖二等奖。

表 1 部分工程应用案例

项目时间	项目名称	应用区域
部分应用案例		
2023 年	青岛地铁 6 号线二期	青海区间
2024 年	青岛地铁 8 号线	北福区间
2025 年	青岛地铁 6 号线二期	红辛区间
2025 年	青岛地铁 6 号线二期	海朝区间
2026 年	青岛地铁 6 号线二期	海东区间

2、技术经济论证

由于 TBM 施工常采用豆砾石回填并灌浆的方式往往及时性不够、饱满度不足，导致成型隧道管片存在着开裂、错台、破损、渗漏水、隧道偏离设计轴线较大等多种不良情况，这对隧道整体结构的质量及安全带来了不利影响。因此针对

青岛地铁 TBM 管片壁后间隙填充注浆的及时性、有效性、饱满度和管片结构稳定性等问题，本项目开展 TBM 管片壁后同步注浆关键技术研究。

根据地铁隧道的预留孔点位以及地铁隧道管片错缝拼装的顺序，从材料下料、运输、吹填豆砾石、再到施作止浆环、灌注单液浆的全过程，提出了一套适合地铁隧道的循环作业体系，保证了管片的稳定性和充填体的质量，有效降低了管片的位移和隧道内的渗水，可有效应对软硬岩交互地层、断层破碎带、节理裂隙发育带等复杂地质条件，特别适用于富水地层及需要穿越河流、湖泊等水体下方的隧道工程，确保施工质量达到标准。

3、预期的经济效益

3.1 经济效益

在青岛市地铁 6 号线二期青岛西站至海西路区间双护盾 TBM 施工中，通过豆砾石吹填灌浆工艺与新型盾尾止浆板结构的综合应用。采用 6mm 厚三层叠加错缝止浆板设计，有效封堵豆砾石泄漏，避免盾尾内部积料，减少人工清理工作量，施工全程无需更换止浆板。缩短了计划工期，同时减少专职清理工人。豆砾石回填密实度的提升与同步注浆工艺优化，使管片错台量 $\leq 3\text{mm}$ 、渗漏率 < 0.5 处/百环，降低后期堵漏及错台修复成本。相较于传统同步注浆工艺，本工法无需盾尾油脂密封，节省了油脂费用。

3.2 社会效益

本工法以我公司承建的青岛市地铁 6 号线二期工程青西站～海西路站区间双护盾 TBM 施工为载体，根据地铁隧道管片的预留孔点位和管片错缝拼装的方法，提出一种针对地铁隧道的双护盾式 TBM 管片壁后豆砾石回填灌浆施工工法，经过本工法施工的隧洞成型效果好，回填灌浆饱满，可有效控制管片的错台量、降低洞内渗漏水情况，保障了隧道施工的质量；本工法采用的新型盾尾止浆板兼具密封性好、耐磨性高、拆卸方便等优点，同时可提高施工效率，可广泛应用于各类 TBM 豆砾石回填灌浆隧道工程。此外，本工法的实施为工程行业的地铁建设机械化施工提供了宝贵的经验，新颖的工法技术将促进地下工程施工技术进步，社会效益明显。

五、采用国际标准的程度度及水平的简要说明

在盾构/TBM 壁后新型同步注浆工艺技术的实际运用中，国内外均围绕“提

升注浆效果、适配地质场景、优化施工效率”展开，且国内依托重大工程与标准落地实现了显著突破，国外则在技术积累与工艺转型上形成特色。

国内方面，以青岛地铁、南京地铁、北京东六环等工程为依托，深度落地相关技术标准，重点攻克复杂地质下的注浆难题。例如在富水断裂带、全断面围岩等场景，通过研发新型同步双液浆（搭配专用促凝剂，平衡泵送性与凝结时间）、设计盾尾封堵板（防止浆液窜流与盾壳抱死），结合“豆砾石吹填与注浆同步”工艺，有效解决管片上浮、渗漏水及回填不及时等问题。

国外方面，同步注浆技术经历从单液浆到双液浆的转型，欧洲国家（如德、法）早期侧重单液惰性浆在硬岩地层的应用，日韩美等则聚焦双液浆在富水、软土地层的适配，近年还开发出高分子改性浆、纳米膨润土浆液等特种材料，提升浆液抗分散性与适配性；同时，国外在自动化监测与废浆再生技术上有成熟实践，不过其技术应用多集中于中小直径常规地质盾构工程，在大直径盾构、复杂岩溶等特殊场景的突破相对滞后于国内。

整体来看，国内外均朝着“高效控形、绿色环保、智能精准”方向发展，国内以标准为框架，在复杂地质适配与工程落地效率上优势突出，国外则在特种浆液研发与自动化技术上积累深厚，双方技术路径共同推动同步注浆工艺在盾构/TBM 隧道施工中发挥更核心的支护与沉降控制作用。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编写过程中无重大意见分歧。

七、其他应予以说明的事项

虽然在标准的起草过程中，标准编制工作小组人员进行了大量调研工作，尽可能使标准制订地科学合理，但是由于认知的局限性，难免有疏忽之处。为了标准的进一步完善，请各单位在执行本标准的过程中，注意积累资料，总结经验，如发现需要修改和补充之处，请将意见和有关资料及时反馈给我们，以供修订时参考。