

项目公示信息

项目名称：复杂地质条件下 TBM 超长距离掘进关键技术

完成单位：中铁十八局集团有限公司、中铁十八局集团市政工程有限公司、西南交通大学、长安大学、大连理工大学、中铁十八局集团隧道工程有限公司

完成人：王灿林、冀国栋、耿麒、章慧健、王立川、王峥峥、廖建炜、王宝友、陈霞飞、李庆斌、杨银伟、黄江帆、付柏毅、白涛、张帅

拟申报奖项：2024 年中国岩石力学与工程学会科学技术奖

项目简介：

本项目属于隧道及地下工程领域。

随着水资源的合理配置及高效利用得到政府越来越广泛的重视，诸多跨流域调水工程已纳入建设规划，水工隧洞建设逐渐向特长、超长方向发展，对建造技术提出了更高的要求。长距离输水隧洞在建设过程中将不可避免地需要穿越具有复杂地质构造的山岭地区，面临着自然环境恶劣、不良地质多发等不利因素，同时，随着水工隧洞长度增加，TBM 出碴的难度急剧提升，成为工程建设的重要技术难题。

本项目围绕“超长距离”和“复杂地质”两大特点，针对完整坚硬岩滚刀破岩效能提升、富水反坡洞段突涌水防治、深埋隧洞超长距离高效出碴等关键问题开展研究，形成了复杂地质条件下 TBM 超长距离掘进关键技术。

主要科技创新如下：

(1) 揭示了滚刀刃型参数对不同强度岩石的破岩效能和刀具磨耗影响规律；提出了滚刀“以楔替平”适用范围并修正了刀具磨耗预测模型；发明了 TBM 激光破岩、振冲（振动+冲击）破岩实现方式，实现了破岩效能和刀具减磨的持续改进。

(2) 研发了前置于 TBM 掌子面的超前钻孔自适应装置加速钻孔探水，提出探水-堵水一孔多用高效模式和机前机后耦合联动互补式注浆方法，创新了反坡段大阶梯排水抽水智能控制和因地制宜地表钻孔排水技术，提升了 TBM 施工突涌水防治效果。

(3) 揭示了从掌子面出碴到皮带出碴的全过程力学行为及其影响因素，提出了基于出碴形态和粒径级配的掘进参数反分析方法并实践了螺旋式优化掘进参数，首创了磁力摩擦式辅助驱动高效出碴施工工艺，解决了 TBM 施工超长距离出碴难题。

项目研究获授权国家发明专利 7 件，实用新型专利 7 件，取得工法 1 项，发表论文 13 篇。研究成果在晋中

引黄输水隧洞等工程实践中得到成功应用，确保了 26km 输水隧洞安全建设、加快了施工进度、保证了工程质量；磁力摩擦式辅助驱动技术应用于新疆西水东引二期输水工程项目，实现了连续皮带机系统安全高效运行。

研究成果为复杂地质条件下 TBM 超长距离掘进提供了解决方案；拓宽了连续皮带机辅助驱动的适用范围，有力提升了我国 TBM 隧道建设施工技术水平。

2022 年 10 月 10 日，天津市科学技术评价中心组织了项目成果评价，评价委员会一致认为研究成果达到“国际先进”水平。

主要论文专著目录（限 8 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时间	通讯作者	第一作者
1	Application of full-scale experimental cutterhead system to study penetration performance of tunnel boring machines (TBMs)	Rock Mechanics and Rock Engineering	Qi Geng, Fei He, Maoxun Ma, Xiaohui Liu, Xuebin Wang, Zeyu Zhang, Min Ye		2022.08	Qi Geng	Qi Geng
2	TBM 滚刀贯入度对破岩效能的影响规律研究	铁道科学与工程学报	冀国栋, 付柏毅, 章慧健, 耿麒, 王立川, 王灿林, 胡恒千	2023 年 20 卷 4755-4768 页	2023.12	章慧健	冀国栋
3	基于能量法的 TBM 滚刀磨损机理分析研究	机械工程学报	耿麒, 魏正英, 任军辉	2018 年 54 卷 36-43 页	2018.01	耿麒	耿麒
4	TBM 滚刀切削花岗岩和灰岩的力学响应差异	现代隧道技术	王立川, 付柏毅, 章慧健, 冀国栋, 耿麒, 王铮铮, 王灿林, 王锋	2023 年 60 卷 81-89 页	2023.06	章慧健	王立川
5	基于 FEM-SPH 耦合的 TBM 滚刀切削仿真与试验研究	山东大学学报(工学版)	耿麒, 张俊杰, 汪珂, 路宇峰, 谢立扬, 叶敏	2022 年 52 卷 93-102 页	2022.02	耿麒	耿麒
6	TBM 带式输送机出碴技术经济比较研究	现代隧道技术	杨银伟, 王宝友, 王立川, 王峥峥, 耿麒, 章慧健, 冀国栋	2022 年 51 卷 62-65+69 页	2022.10	王立川	杨银伟
7	高压富水硬岩地层双护盾 TBM 前置式超前注浆堵水技术研究	施工技术	冀国栋, 王立川, 陈典华, 王灿林, 王宝友, 李庆斌, 黄江帆, 陈霞飞	2024 年 53 卷 87-92 页	2024.01	冀国栋	冀国栋
8	Research and Practice of Full Plugging Groundwater Technology in Water-Rich TBM Diversion Tunnel	KSCE Journal of Civil Engineering	Lichuan Wang, Shuai Zhang, Zongqing Zhou, Jian Wu, Tao Bai, Yunjuan Chen Jingbo Zhao, Shuo Xu		2023.11	Wang Lichuan	Wang Lichuan

主要知识产权证明目录（限 10 条）

知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	专利有效状态
中国发明专利	一种基于 TBM 法隧洞施工的钻孔用移动台车	中国	CN 111173445 B	2021-10-8	4725134	中铁十八局集团有限公司， 中铁十八局集团市政工程有 限公司	王灿林;王学强;高云生; 陈学富;王宝友;廖建炜	有效
中国发明专利	一种 TBM 法隧洞施工的管片与围岩间大规模补充灌浆方法	中国	CN 111173537 B	2022-5-3	5123286	中铁十八局集团有限公司; 中铁十八局集团市政工程有 限公司	王灿林;王富仓;李勇;李 凌霄;王宝友;廖建炜	有效
中国发明授权	一种皮带机用车载式磁加力站	中国	CN 106697730 B	2022-11-11	5574258	车新宁; 郁清林; 李秀云	车新宁;王灿林;杨兴昆; 郁清林;李秀云	有效
中国发明授权	一种激光辅助隧道掘进机及其破岩的方法	中国	CN 106884662 B	2021-4-20	4375198	大连理工大学	王峥峥;高阳	有效
实用新型专利	一种应用于 TBM 掌子面表层裂隙的引流止水结构	中国	CN 215949516 U	2022-3-4	15940884	中铁十八局集团有限公司， 中铁十八局集团市政工程有 限公司	王灿林;李凌霄;穆永刚; 李勇;刘传普	有效
实用新型专利	一种反坡 TBM 隧道应急排水施工用阶梯挡水坝	中国	CN 216130964 U	2022-3-25	16112498	中铁十八局集团有限公司， 中铁十八局集团市政工程有 限公司	王灿林;王宝友;廖建炜; 李勇;刘传普;高福林	有效
实用新型专利	一种适用于 TBM 超前帷幕注浆旋转支架	中国	CN 217176516 U	2022-8-12	17154026	中铁十八局集团有限公司， 中铁十八局集团市政工程有 限公司	王灿林;冀国栋;王富仓; 廖建炜;苏睿;李勇	有效
实用新型	一种 TBM 超前帷幕注浆可重复使用止浆塞	中国	CN 217176643 U	2022-8-12	17166629	中铁十八局集团有限公司， 中铁十八局集团市政工程有	王灿林;陈典华;岳长城; 冀国栋;陈霞飞;刘玉飞;	有效

专利						限公司	高福林	
实用新型专利	一种 TBM 后配套台车的加强连接结构	中国	CN 215979417 U	2022-3-8	15960759	中铁十八局集团有限公司, 中铁十八局集团市政工程有 限公司	王灿林;岳长城;刘蕊;王 宝友;廖建炜;李勇;刘传 普;高福林	有效
实用新型专利	一种具有散热功能的磁力辅助驱动装置	中国	CN 218967958 U	2023-5-5	18956664	中铁十八局集团有限公司, 中铁十八局集团市政工程有 限公司	穆永刚;陈典华;冀国栋; 王宝友;黄江帆;王锋;陈 霞飞;王富仓;李勇	有效

完成人合作关系情况

王灿林作为本项目的第 1 完成人，是本项目的组织、设计、指导与直接实施者，是本项目授权专利 1、2、5、6、7、8、9 的第一作者，以及代表性论文 2、4、7 的合作作者。负责课题组协调、组织管理、研究大纲制定，以及关键技术验证，并指导其余项目完成人开展相关研究工作。在本项目的 3 个主要发现点中，对发现点 1 做出了创新性贡献：提出了滚刀“以楔替平”适用范围。对发现点 2 做出了创新性贡献：研发了前置于 TBM 掌子面的超前钻孔自适应装置，提出探水-堵水一孔多用高效模式和机前机后耦合联动互补式注浆方法。对发现点 3 做出了创新性贡献：首创了磁力摩擦式辅助驱动高效出碴施工工艺，解决了 TBM 施工超长距离出碴难题。

冀国栋作为本项目的第 2 完成人，是代表性论文 2、7 的第一作者及授权专利 7、8、10 的合作作者。对发现点 1 做出了创新性贡献：揭示了滚刀刃型参数对不同强度岩石的破岩效能影响规律；对发现点 2 做出了创新性贡献：创新了反坡段大阶梯排水抽水智能控制技术，与王灿林共同研发了前置于 TBM 掌子面的超前钻孔自适应装置。

耿麒作为本项目的第 3 完成人，是代表性论文 1、3、5 的第一作者。对发现点 1 做出了创新性贡献：发明了 TBM 振冲（振动+冲击）破岩实现方式，实现了破岩效能和刀具减磨的持续改进，与王灿林共同研发了新型滚刀刀圈，为 TBM 硬岩段破岩效能提升提供了技术支持。

章慧健作为本项目的第 4 完成人，是代表性论文 2、4 的通讯作者及论文 6 的合作作者。对发现点 1 做出了创新性贡献：揭示了滚刀刃型参数对刀具磨耗影响规律，修正了刀具磨耗预测模型，与王灿林共同完成了岩石磨蚀性试验和滚刀破岩过程的数值模拟与分析工作。

王立川作为本项目的第 5 完成人，是代表性论文 4、6 的通讯作者。对发现点 3 做出了创新性贡献：揭示了从掌子面出碴到皮带出碴的全过程力学行为及其影响因素，与王灿林共同完成了滚刀破岩机理分析工作，为滚刀参数选取提供了技术支持。

王峥峥作为本项目的第 6 完成人，是授权专利 4 的合作作者。对发现点 1 做出了创新性贡献：发明了 TBM 激光破岩破岩实现方式。

廖建炜作为本项目的第 7 完成人，是授权专利 1、2、6、7、9 的合作作者。对发现点 2 做出了创新性贡献：优化了前置于 TBM 掌子面的超前钻孔自适应装置，为实现全断面多孔同步钻探提供了技术支持。

王宝友作为本项目的第 8 完成人，是代表性论文 6、7 的合作作者及授权专利 1、2、6、9、10 的合作作者。对发现点 2 做出了创新性贡献：与王灿林共同改进了反坡段大阶梯排水抽水智能控制技术。

陈霞飞作为本项目的第 9 完成人，是代表性专利 7 的合作作者。对发现点 3 做出了创新性贡献：改进了磁力摩

擦式辅助驱动高效出碴施工工艺。

李庆斌作为本项目的第 10 完成人，是代表性论文 7 的合作作者。对发现点 2 做出了创新性贡献：创新了钻孔用移动台车，与王灿林共同完成了突涌水处治分析工作。

杨银伟作为本项目的第 11 完成人，是代表性论文 6 的第一作者。对发现点 3 做出了创新性贡献：完善了磁力摩擦式辅助驱动高效出碴施工技术，与王灿林共同完成了超长距离出碴经济性分析。

黄江帆作为本项目的第 12 完成人，是代表性论文 7 的合作作者及授权专利 10 的合作作者。对发现点 2 做出了创新性贡献：优化了超前帷幕注浆技术，与王灿林共同完成了突涌水处治分析工作。

付柏毅作为本项目的第 13 完成人，是代表性论文 2、4 的合作作者。对发现点 1 做出了创新性贡献：优化完善了滚刀“以楔替平”技术，与王灿林共同完成了滚刀破岩机理分析工作。

白涛作为本项目的第 14 完成人，是代表性论文 8 的合作作者。对发现点 2 做出了创新性贡献：提出机前机后耦合联动互补式注浆方案，创新了因地制宜地表钻孔排水技术，与王灿林共同完成了突涌水防治分析工作。

张帅作为本项目的第 15 完成人，是代表性论文 8 的合作作者。对发现点 2 做出了创新性贡献：优化完善了因地制宜地表钻孔排水技术方案。