

2018 年度国家科技进步奖提名公示表

项目名称	异形全断面隧道掘进机设计制造关键技术及应用
提名单位意见 提名者：河南省 提名意见： 该项目针对异形全断面隧道掘进机设计制造关键技术，通过 10 余年“政产学研用”协同攻关，在多刀盘空间构型及协调驱动、位姿测量及纠偏、多自由度柔性拼装机构与控制等领域取得重大突破与创新，成功解决异形隧道高精、高效盾构法成型难题，研制出世界首台超大断面矩形、马蹄形等系列异形掘进机。授权发明专利 40 项，论文 61 篇，获省部级一等奖 3 项，成果多项技术达到了国际领先水平。 项目成果具有不断路、不扰民、断面利用率高、适应狭窄空间浅覆土隧道施工的优点，已成功应用在综合管廊、城市过街通道、地铁出入口、地下停车场、山岭公路铁路双线隧道等领域的建设当中，近三年新增经济收入 54.4 亿元，具有显著的经济、社会及环境效益，实现了异面隧道装备的跨越式发展，提高了我国重大装备在国际市场上的竞争力，对促进城市地下空间开发具有深远的意义。 我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。提名该项目申报 2018 年度国家科技进步奖 <u>二</u> 等奖。	

项目简介

随着国家公铁交通的快速发展，以及打造智慧城市、建设海绵城市、构建城市地下综合管廊等国家政策的出台，仅我国未来每年就有 2000km 以上异形隧道的开挖任务。本项目实施前，国内外均未突破全断面异形掘进技术，异形隧道开挖多采用传统的明挖或暗挖工法，施工效率低；部分异形隧道采用圆形盾构进行开挖，造成空间浪费，成本增加。因此，研制高效经济的异形全断面隧道掘进机势在必行。

不同于圆形盾构机，国内外尚无大断面异形全断面隧道掘进机相关设计理论。该项目历经十年产学研联合攻关，在断面开挖稳定性、掘进姿态控制、多速率管片拼装技术领域实现重大突破，取得如下核心创新成果：

1. 针对异形断面开挖及主机构造难题，设计了异形全断面隧道掘进机开挖机构，分析了开挖面流场动态特性，突破了低扰动多刀盘多驱动联合开挖技术，研制出紧凑型低扰动的多刀盘多驱动系统，实现异形断面低扰动开挖。

2. 针对异形掘进机的姿态控制难题，设计了异形掘进机导向系统，构建了异形掘进机的多点联动纠偏机构，提出了异形掘进机姿态纠偏控制策略；研究了双螺旋输送机协同出渣的土压自适应平衡技术，实现土仓压力的精准控制，满足异形隧道高精度掘进。

3. 针对变速率异形管片拼装的难题，构建了异形管片拼装机构的多体动力学模型，设计了多自由度异形管片拼装机构，开发了适应重载大惯量管片的电液柔性控制系统，实现了狭窄空间内异形管片复杂轨迹高精度、高效率拼装。

该成果授权发明专利 40 项，发表论文 61 篇，获省部级一等奖 3 项、中国好设计金奖、新加坡工程与建筑类施工管理金奖。中国机械工程学会成果鉴定委员会认定：“该成果填补了国内外异形掘进机技术空白，整体技术达到国际先进水平，多项创新技术达到国际领先水平”。该成果已孵化出世界首台超大断面矩形盾构顶管机、世界首台马蹄形盾构机等，先后在众多工程中得到成功应用，并成功出口新加坡等国家，近三年新增经济收入 54.4 亿元、新增利税 9.13 亿元。

客观评价

（一）鉴定及验收专家意见

1、2016 年中国机械工程学会组织专家鉴定会，意见为：“该异形全断面隧道掘进机关键技术的研究及技术成果应用，填补了国内外马蹄形全断面隧道掘进机技术领域的空白，整体技术达到国际先进水平，其中在马蹄形盾构机整体技术、多刀盘多驱动联合开挖技术、7 自由度异形管片拼装技术方面达到国际领先水平。”

2、河南省重大科技专项验收意见：“该项目完成了超大断面矩形盾壳结构强度与刚度、多组驱动的系统同步性、控制系统集成技术、微扰动掘进技术及施工工艺等方面的研究任务，研制出的同期世界最大断面的矩形盾构顶管机在郑州市下穿中州大道隧道工程施工中得到成功应用，对国内城市下穿主干道、地铁过街通道等工程建设起到示范作用”。

（二）权威机构检测报告结论

1、2014 年国家矿山机械质量监督检验中心检测报告（ZJ201405005）“超大断面矩形盾构顶管机”：从开挖尺寸、刀盘数量、刀盘扭矩、刀盘转速、驱动功率、顶推能力、顶推速度、纠偏能力等 13 方面，对本项目超大断面矩形盾构顶管机进行了多项参数指标的检测，检测结果均符合测试大纲要求。

2、国家矿山机械质量监督检验中心检测报告（ZJL201612003）“超大断面马蹄形盾构机”：从掘进机外形尺寸、刀盘扭矩、刀盘转速、驱动功率、螺旋输送机能力、推进速度、导向精度等 16 方面进行了多项参数指标的检测，检测结果均符合测试大纲要求。

（三）科技查新报告结论

教育部科技查新工作站针对“异形全断面隧道掘进机关键技术研究及应用”（201736000Z120053）国内外查新结论：除该项目组的相关研究成果外，未见其他与该项目查新点内容相同的公开文献报道。

（四）重要科技奖励

1、2017 年 12 月，“异形全断面隧道掘进机关键技术研究及应用”获得河南省科学技术进步奖一等奖。

2、2016 年 11 月，“超大断面矩形盾构顶管机的研制”获得中国施工企业管理协会科学技术奖科技创新成果一等奖。

3、2016 年 12 月，“超大断面矩形顶管机”项目荣膺 2016 年度“中国好设计”金奖头名，并入选《中国设计年鉴》。

推广应用情况

项目在超大异形全断面开挖技术、紧凑型刀盘驱动设计与多驱动联合控制技术、异形掘进机姿态控制、异形断面多曲率管片拼装机可靠性技术等关键技术方面取得重大突破与创新，自主研制出完全拥有知识产权的超大断面异形全断面隧道掘进机，并成功应用于郑州市中州大道、蒙华铁路白城隧道工程，经过现场工业性试验，超大断面异形全断面隧道掘进机掘进性能良好，满足安全、快速、环保施工的要求。该研究成果的成功应用，得到了国内外广泛好评与认可，为该新工法的推广应用起到了很好的示范作用。项目的实施带来了显著的经济社会效益，目前已形成异形全断面隧道掘进机生产线 5 条，近三年新增经济收入 54.4 亿元、新增利税 9.13 亿元，并成功应用于新加坡汤申线（地铁出入口项目）、天津黑牛城道下穿、广州广汕路下穿、成都四川大学下穿、武汉轨道交通 7 号线、杭州综合管廊项目等项目。

主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用情况
中铁隧道股份有限公司	多刀盘联合驱动技术、轻量化主机	实现郑州中州大道隧道矩形断面开挖。
中铁四局集团第四工程有限公司	多刀盘联合驱动技术、异形管片拼装技术	实现马蹄形全断面开挖，异形管片拼装。
中铁隧道集团海外工程有限公司	多刀盘联合驱动、土压自适应平衡技术	完成新加坡汤申线两地铁出入口项目。
中铁隧道集团三处有限公司	异形掘进机导向系统、姿态自动控制技术	实现世界最大断面天津黑牛城道矩形顶管施工通道项目施工。
成都建工路桥建设有限公司	双螺旋输送机出渣、土压自适应平衡技术	完成富水砂卵石地层的成都四川大学下穿隧道施工。
中铁一局集团城市轨道交通工程有限公司	姿态自动控制技术、多刀盘联合驱动技术	完成广州、武汉多个地铁出入口项目，隧道成型较好。
中铁隧道集团二处有限公司	多刀盘联合驱动技术、轻量化主机	首次应用于地下停车场项目，装配式结构，可整体和分体掘进。
中铁工程装备集团有限公司	整机集成技术	研制出世界首台超大断面矩形、马蹄形等各类异形全断面隧道掘进机，并成功推广应用。

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	发明专利有效状态
发明专利	一种超大矩形断面盾构顶管机	中国	ZL201410247831.9	2015-05-27	1676181	中铁工程装备集团有限公司	李建斌, 赵华, 范磊, 贾连辉, 卓兴建, 董艳萍, 王小涛, 龚廷民	有效
发明专利	一种超大断面马蹄形盾构机	中国	ZL201511002703.9	2017-09-22	2632301	中铁工程装备集团有限公司	李建斌, 张梅, 范磊, 申志军, 王杜娟, 卓兴建, 贾连辉, 董艳萍, 于少辉, 龚廷民, 王小涛, 蒋鹏鹏, 刘娇, 陈世友	有效
发明专利	隧道掘进施工导向系统的电子激光靶	中国	ZL200410012735.2	2009-06-24	512329	华中科技大学	朱国力, 熊建桥, 潘明华	有效
发明专利	一种用于富水鹅卵石地层的同平面多刀盘矩形隧道掘进机	中国	ZL201610440498.2	2017-08-25	2588987	中铁工程装备集团有限公司	李建斌, 龚廷民, 郑永光, 范磊, 王小涛, 蒋鹏鹏, 孙国艳	有效
发明专利	盾构机自动任意分组推进控制系统	中国	ZL201410184999.X	2016-04-20	2033040	中铁工程装备集团有限公司, 中铁工程装备集团技术服务有限公司	呼瑞红, 贾连辉, 张宁川, 赵华, 孙志洪	有效
发明专利	整体串并联可切换式多路换向转阀	中国	ZL201410840966.6	2017-01-04	2332021	浙江大学、盾构及掘进技术国家重点实验室	龚国芳, 王鹤, 周鸿彬, 韩冬, 陈馈, 周建军	有效
发明专利	大断面矩形顶管管节及其对接施工方法	中国	ZL201410353386.4	2017-02-08	2375339	中铁隧道集团有限公司, 中铁隧道股份有限公司	杨红军, 荣亮, 申会宇, 段树涛, 孙振川, 徐军哲, 贺楠, 刘明辉, 沈兆烨, 郑清君, 李锐	有效
发明专利	中隔墙矩形隧道管片衬砌及管片拼装方法	中国	ZL201510132325.X	2017-02-22	2385528	中铁工程装备集团有限公司	李建斌, 王杜娟, 卓兴建, 贾连辉, 董艳萍, 范磊, 龚廷民, 王小涛	有效
发明专利	能小角度翻转且快速拼装矩形管片的矩形盾构及拼装方法	中国	ZL201410506852.8	2017-01-04	2328972	中铁工程装备集团有限公司	李建斌, 贾连辉, 范磊, 董艳萍, 王小涛, 龚廷民, 陈世友	有效
发明专利	多自由度并行管片拼装定位液压控制系统及其方法	中国	ZL201310003196.5	2015-01-07	1559548	浙江大学	龚国芳, 王林涛, 杨华勇, 侯典清, 陈馈, 杨旭	有效

主要完成人情况			
姓名	李建斌	排名	1
行政职务	总经理	技术职称	教授级高级工程师
工作单位	中铁高新工业股份有限公司	完成单位	中铁工程装备集团有限公司
对本项目技术创造性贡献： 作为课题组长，负责总体技术研究方案制订与实施，主持各关键技术的研究路线制定。参加研究时间 80%。在 2012 年国奖项目圆形掘进机成果研究的基础之上，又在如下领域做出突破：具体贡献为发明了低扰动异形全断面多刀盘联合开挖技术；发明了基于神经网络的双螺旋输送机控制算法，提出了智能纠偏控制数学模型。			
主要完成人情况			
姓名	朱国力	排名	2
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	华中科技大学	完成单位	华中科技大学
对本项目技术创造性贡献： 针对异形隧道多维特征点，发明了可适应变温、变湿、灰尘等复杂环境的基于光感技术的导向测量系统，实现隧道姿态高精度实时测量。参加研究时间为 80%。具体贡献为发明了多传感信息融合位姿在线测量方法及用于其的电子激光靶，开发了异形掘进机导向系统。			
主要完成人情况			
姓名	赵华	排名	3
行政职务	副总经理	技术职称	教授级高级工程师
工作单位	中铁工程装备集团有限公司	完成单位	中铁工程装备集团有限公司
对本项目技术创造性贡献： 负责刀盘形式、结构设计，分析不同埋深、不同地质和掘进参数的掘进动态特征，提出多种刀盘开挖结构；构建了纠偏机构的运动学与动力学模型，研制出多点协同纠偏机构。参加研究时间为 75%。具体贡献为提出了多刀盘拓扑分析、层距参数化、动静结合的构型设计方法；开发了异形全断面隧道掘进机多点联动智能纠偏机构。			

主要完成人情况			
姓名	龚国芳	排名	4
行政职务	无	技术职称	教授
工作单位	浙江大学	完成单位	浙江大学
对本项目技术创造性贡献： 负责异形掘进机液压系统设计，对顶推系统的载荷顺应性进行仿真、试验与优化，并探索了重载大惯量管片拼装的多自由度液压控制的略。参加研究时间为75%。具体贡献为开发了顶推系统载荷顺应性电液控制集成技术；具体贡献为发明了拼装电液柔性补偿控制技术。			
主要完成人情况			
姓名	王杜娟	排名	5
行政职务	总工程师	技术职称	教授级高级工程师
工作单位	中铁工程装备集团有限公司	完成单位	中铁工程装备集团有限公司
对本项目技术创造性贡献： 作为项目总工，指导项目前期调研、科研立项启动，技术方案制订等工作，参与各关键技术的研究方案制定、过程控制、总结优化。参加研究时间为75%。具体贡献为完成基于变密度法的异形薄壳体结构的拓扑优化设计；发明了矩形断面掘进机管片拼装机构和拼装方法。			
主要完成人情况			
姓名	贾连辉	排名	6
行政职务	副院长	技术职称	高级工程师
工作单位	中铁工程装备集团有限公司	完成单位	中铁工程装备集团有限公司
对本项目技术创造性贡献： 负责异形掘进机液压柔性控制系统、异形管片拼装技术研究。参加研究时间为75%。具体贡献为开发了双闭环的压力流量泵控系统；研制出多自由度异形管片拼装机。			

主要完成人情况			
姓名	肖艳秋	排名	7
行政职务	副院长	技术职称	副教授
工作单位	郑州轻工业学院	完成单位	郑州轻工业学院
对本项目技术创造性贡献： 负责刀盘驱动控制系统设计，开发了多刀盘联合控制的“一拖多”变频驱动系统；负责异形多曲率管片拼装机的结构设计与研究，提出基于拼装机构、管片形式的模块化分析方法。参加研究时间为 70%。具体贡献为提出了多电机联动解耦控制策略；构建了异形管片拼装位姿的多体动力学模型。			
主要完成人情况			
姓名	范磊	排名	8
行政职务	副所长	技术职称	工程师
工作单位	中铁工程装备集团有限公司	完成单位	中铁工程装备集团有限公司
对本项目技术创造性贡献： 负责分析异形掘进机载荷分布特性，进行盾体结构设计及优化，提出了盾体箱型结构、壳体上部起拱、帽檐结构等设计方案。参加研究时间为 70%。具体贡献为异形主机载荷分布特性及传递规律；开发出双螺旋输送机出渣系统。			
主要完成人情况			
姓名	周建军	排名	9
行政职务	副主任	技术职称	教授级高级工程师
工作单位	盾构及掘进技术国家重点实验室	完成单位	盾构及掘进技术国家重点实验室
对本项目技术创造性贡献： 负责液压系统负载压力平衡设计，并探索了异形掘进机施工沉降规律，研究时间为 60%。具体贡献为发明了串并联可切换式顶推阀控系统；揭示了异形掘进机地层扰动变形规律。			

主要完成人情况			
姓名	杨红军	排名	10
行政职务	项目经理	技术职称	高级工程师
工作单位	中铁隧道股份有限公司	完成单位	中铁隧道局集团有限公司
对本项目技术创造性贡献： 探索了矩形顶管施工工艺，完成渣土改良试验方案设计；研究沉降控制机理，进行工业性试验验证分析，提出针对性防沉降措施。参加研究时间为 60%。具体贡献为研制出防沉降协调控制系统，并探索出矩形顶管防沉降施工工艺。			
主要完成单位情况			
单位名称	中铁工程装备集团有限公司	排名	1
创新推广贡献： 中铁工程装备集团有限公司在超大异形全断面开挖技术、紧凑型刀盘驱动设计与多驱动联合控制技术、超薄异形盾壳强度与刚度研究、双螺旋输送机联合出渣技术、异形断面多曲率管片拼装机可靠性技术、电液控制集成技术的研究设计、异形全断面隧道掘进机姿态测量及自动导向技术等方面实现突破，研制出世界首创超大（10m 级）异形全断面隧道掘进机。课题成果具有创新性，整体技术达到了国际领先水平。依托该项目，获得国家专利 34 项（其中发明专利 24 项，实用新型专利 10 项），获得软件著作权 1 项，发表相关学术论文 12 篇。			
主要完成单位情况			
单位名称	华中科技大学	排名	2
创新推广贡献： 华中科技大学针对异形全断面隧道掘进机导向、纠偏中的难点、关键技术，开展设计研发工作。攻关小组针对异形断面掘进姿态难以精准控制的问题，采用差分进化算法进行最优纠偏路径的规划，构建了纠偏机构的运动学与动力学模型。开发了一套掘进机姿态智能化协调控制系统，通过联合仿真，拟合比对设计曲线，确保姿态控制做到微偏离小纠正。解决了异形全断面隧道掘进机掘进姿态控制难题。依托该项目，获得发明专利 3 项，发表论文 15 篇。			

主要完成单位情况			
单位名称	浙江大学	排名	3
创新推广贡献： 浙江大学大学针对异形全断面隧道掘进机的难点、关键技术，开展设计研发工作。攻关小组针对异形断面掘进机土仓压力平稳控制的问题，创建了顶推系统载荷顺应性电液控制集成技术。同时针对多自由度管片拼装电液控制难度高的问题，发明了电液柔性补偿控制技术。依托该项目，获得国家专利10项，发表相关论文21篇。			
主要完成单位情况			
单位名称	郑州轻工业学院	排名	4
创新推广贡献： 郑州轻工业学院研究了“一拖多”控制方式下各台电机在速度同步条件下扭矩平衡问题，“一拖多”驱动同一负载时单台电机的状态监测和可靠保护问题，大功率、多负载环境下总线网络的通讯干扰、可靠性问题等，开发出多刀盘联合控制的“一拖多”变频驱动系统。在紧凑型刀盘驱动设计与联合控制方面实现突破，解决了异形全断面隧道掘进机多刀盘驱动联合控制难题。发表核心期刊学术论文4篇。			
主要完成单位情况			
单位名称	中铁隧道局集团有限公司	排名	5
创新推广贡献： 中铁隧道局集团有限公司在超大异形全断面渣土改良方法与系统实现的研究论证和方案制定做出了重要贡献，并利用多功能试验台及其它试验设备，并获得了改良剂最佳配比方案。为了获得充分的改良效果，对改良系统进行了设计和优化，并提出防沉降协调控制方法。获得授权发明专利2项。			
主要完成单位情况			
单位名称	盾构及掘进技术国家重点实验室	排名	6
创新推广贡献： 盾构及掘进技术国家重点实验室针对异形全断面隧道掘进机智能纠偏系统，通过搭建盾构电液控制系统综合试验平台，试验验证和修正了异形掘进机姿态检测算法和智能纠偏控制数学模型，完成功能模块设计和数据库的设计，研制出整体串并联可切换式多路换向转阀，开发了一套掘进机姿态智能化协调控制系统。获得授权发明专利1项，发表相关学术论文5篇。			

主要完成单位情况			
单位名称	中铁隧道股份有限公司	排名	7
创新推广贡献： 中铁隧道股份有限公司在超大异形全断面沉降控制机理及设备推广应用方面做出贡献。进行样机工业性试验及试验分析，提出了针对性防沉降措施，并探索出矩形顶管防沉降施工工艺。通过依托项目的试验，积累了丰富应用经验。获得授权专利2项，发表中文核心期刊论文4篇。			
完成人合作关系说明			
1、通过共同知识产权方式进行合作 (1) 李建斌、范磊、贾连辉共同开发了发明专利《一种超大矩形断面盾构顶管机》，授权日期 2015 年 5 月 27 日； (2) 李建斌、范磊、王杜娟、贾连辉共同开发了发明专利《一种超大断面马蹄形盾构机》，授权日期 2017 年 9 月 22 日； (3) 贾连辉、赵华共同开发了发明专利《盾构机自动任意分组推进控制系统》，授权日期 2016 年 4 月 20 日； (4) 浙江大学龚国芳与盾构及掘进技术国家重点实验室周建军共同开发了发明专利《整体串并联可切换式多路换向转阀》，授权日期 2017 年 1 月 4 日； (5) 中铁隧道局集团有限公司与中铁隧道股份有限公司同开发了《大断面矩形顶管管节及其对接施工方法》，授权日期 2017 年 2 月 8 日； 2、通过论文合著方式进行合作 范磊、贾连辉共同合著了《矩形盾构顶管机极限宽度探究》一文，于 2014 年 3 月发表于《科技研究》； 3、通过共同立项方式进行合作 (1) 中铁工程装备集团有限公司与郑州轻工业学院 2010 年签署合作协议，以贾连辉、肖艳秋牵头针对异形掘进机驱动系统及其同步控制展开为期三年合作研究。 (2) 中铁工程装备集团有限公司与华中科技大学制造装备数字化国家工程研究中心 2012 年签署合作协议，以王杜娟、朱国力牵头针对异形掘进机导向系统开展合作研究。 4、通过共同获奖方式进行合作 (1) 李建斌、贾连辉、范磊共同获得了中国好设计金奖，《超大断面矩形顶管机》，奖励日期 2016 年 12 月 14 日； (2) 李建斌、贾连辉、肖艳秋、范磊、杨红军等共同获得了河南省科技进步奖一等奖，《异形全断面隧道掘进机关键技术及应用》，奖励日期 2017 年 12 月 12 日。 上述四种主要合作方式表明本项目的主要完成人都存在较为密切的合作关系，共同合作研究形成了本课题的主要研究成果。			