



“阳明号”类矩形盾构机施工现场。(张培坚 摄)



工程人员在检查“阳明号”类矩形盾构机。(张培坚 摄)



2015年11月，庆祝“阳明号”胜利始发。(张培坚 摄)

6次迭代升级，类矩形盾构机应用于国内10条地铁线路

“阳明号”：在更大范围向“难”掘进

“具有较好的实操性和可推广性。”前日，中国岩石力学与工程学会在宁波举行“类矩形盾构法隧道装备、设计和施工关键技术及推广应用”科技成果评价会，何满潮、刘加平、周创兵等“两院”院士和数十位国内外专家学者，对该技术展开成果评价。

十年沉淀，成就今天。

2015年，作为我国首台自主研发、世界上最大断面类矩形盾构机，“阳明号”在宁波一经问世就引发极大关注。

一组数字，记录十年历程，刻印进步足迹——

“阳明号”从无到有、从有到优，从优到强，经过6次迭代升级，技术功效达到国际领先水平，破解了城市核心区和旧城区“放不下”“碰不得”难题；

“阳明号”在宁波诞生，之后去杭州、赴郑州，自如“游”走在不同地质条件的应用场景，至今已成功应用于国内10条地铁线路，在更大范围内向“难”掘进；

“阳明号”科技创新硕果累累，获批42项发明专利及实用新型专利、5项软件著作权，发表相关论文130余篇。

记者 戚良田

A

一个新构想

“双线一次成型，能不能做到？”

宁波轨道交通4号线，起于江北慈城，穿过海曙老城区，止于东钱湖。正是这条地铁线催生了类矩形盾构机。

“4号线部分区间隧道位于老城区狭窄道路下方，道路宽度仅14米，且交通繁忙、两侧民房密集，用传统的两条圆形隧道盾构施工，隧道施工影响宽度将达24米，安全风险大，需要大量拆迁。”宁波市轨道交通集团建设分公司副总经理黄毅说。

其实，受困的又何止轨道交通4号线。随着城市快速发展，核心区和旧城区地下可利用空间越来越少，地下空间开发面临着“放不下”“碰不得”等难点、痛点。

“放不下”——城市地下空间涵盖了地铁、隧道、管廊等，空间资源有限，加之老城区道路狭窄，无法适应传统盾构施工要求。所以，运用“节约型”开发方式迫在眉睫。

“碰不得”——城市核心区和旧城区内居民区密集，“开膛破肚”式大拆大建问题突出，运用

“微创手术”式开发手段势在必行。如何“螺蛳壳里做道场”？

“把两个盾构隧道合并到一起，双线一次成型，能不能做到？”2014年夏天，宁波市轨道交通集团提出前瞻性设想，希望把解决一个问题，变为破解一类问题，从而破解老城区、核心区小空间施工难题。

当时，负责施工的上海隧道工程有限公司给出方案：采用双圆盾构机掘进。此前，双圆盾构机曾成功掘进上海地铁6号线、8号线。

然而，一星期后，这个方案被推翻了。宁波市轨道交通集团深入调研后发现，双圆盾构机在日本曾经用过，但实际效果一般，故后来就没再用了。

“我们要用最先进的”。于是，类矩形盾构机进入了大家的视野。

与传统圆形盾构机相比，这种似圆而方的类矩形盾构机，空间利用率高、占用地下空间少、对周边土壤扰动少，可以缓解人流密集城区地下空间建设的“老大难”问题。

C

一台新机器

“国内自主研发”“世界最大断面”

“断面宽11.83米，高7.27米；机器重720吨，长68米。”2015年11月30日，宁波轨道交通3号线一期工程现场，这台国内自主研发、世界最大断面的类矩形盾构机一经亮相，就惊艳四方。

这台“方脑袋”盾构机，头部“一横一竖”装有两个“X”形刀盘，后方还有一个“I”形刀盘，让人眼睛一亮。

一系列“首创”实现技术领先——

刀盘系统，首创“双X同面+偏心多轴”模式，可100%精准实现断面切削，边边角角都能“照顾”到。

拼装系统，首创串联臂式，适应在狭窄和多局限空间完成管片和中立柱拼装，突破现有平装机在这一领域的作业瓶颈。

铰链密封系统，首创施工同步可更换压密量可调模式，大幅提高隧道工程密封质量安全性及效率。“在应用上，适用道路狭窄、建筑密集的浅层地下空间开发，实现‘微创手术’式掘进；在操控感

上相当于从手动挡升级为自动挡，更精准智能。”上海隧道工程有限公司SG6113标项目部盾构经理、曾操作过多款盾构机的纪庆说。

从3号线试验段起步，“阳明号”开启“全城挖”模式，同时不断升级优化，持续推出“新版本”。

2016年11月，3号线陈婆渡段，第一条类矩形盾构隧道贯通；2017年6月，进入4号线，正式在老城区狭窄道路下、密集居民区旁，连续进行S形曲线施工；2017年10月，在4号线东钱湖段，首次实现浅覆土施工，在距地面仅2.5米的地下成功接收；2018年4月，4号线东钱湖段，无立柱衬砌试验一举成功；2021年6月，首次完成类矩形顶管/盾构模式转换……

从整体刀盘系统，到出土系统，再到顶/盾一体施工技术，10年来，“阳明号”在不同地质条件、不同场景中被成功应用，并不断优化提升，从“阳明号V1.0”迭代升级至“阳明号V6.0”，每日推进工效从日均3.5环提升至日均10环，最高达13环，技术水平持续提升。

B

一个联合体

首创科研、设计、施工一体化招标模式

盾构机，是目前世界上最先进的隧道掘进装备，被誉为“工程机械之王”，其技术水平是衡量一个国家地下施工装备制造水平的重要标志。当时，类矩形盾构机在国内尚属空白。日本虽有该产品，却对中国禁售，且核心技术处于封锁状态。

“不卖给我们，那就自己搞。”创新，从来都是“九死一生”，尤其是类矩形盾构机这种高端设备，技术极其复杂，要求极高。一旦失败了，怎么办？

重大科技创新，首先是理念、模式、制度的创新。作为第一个“吃螃蟹”的，宁波市轨道交通集团以巨大的勇气和担当，作出一系列创新之举——

2015年初，经过大量调研和半年筹划，宁波市轨道交通集团开出一个非常独特的“标”，在全国开创新河。“特”就“特”在此次招标不只是招某一家单位，而是首创科研、设计、施工一体化招标模式。

“在业主单位牵头下，整合

各方资源，实现从装备研发入手，打破设计、施工、装备制造之间的行业隔阂，从而推动我国地下工程技术迈向领先地位。”上海隧道工程有限公司有关负责人说。

投入巨大研发经费，购买重大技术装备保险，享受技术市外推广受益权……在“风险共担、利益共享”原则下，科研、设计、施工三方埋头搞研发，攻克“圆”改“矩”的难关。在解决刀盘切削、盾构转身、管片拼装等一系列难题之后，第一台自主研发的类矩形盾构机仅用8个月时间就顺利下线。

“在没有先例可参考的条件下，从开始研发到产品下线，8个月就造出一个新盾构机，这在盾构机建造史上是绝无仅有的。”黄毅感慨道。

上海隧道工程有限公司总工程师朱雁飞认为，8个月研发一台新的盾构机，意味着“我们终于找到了一条路——科研、设计、施工一体化模式”。

D

一堆新成果

5项省部级科技进步奖

2019年9月，上海，第21届中国国际工业博览会。“阳明号”全断面切削类矩形盾构掘进机脱颖而出，荣获“中国国际工业博览会大奖”。

“盾构机很多，全世界有一两千台，但绝大多数是圆形的。根据我们掌握的数据，非圆形盾构机全世界有21台，其中4台在中国。”在当年的新闻通气会上，朱雁飞曾自豪满满地介绍，“而类矩形盾构机仅有两台，都是我们的”。

大约两个月后，这台特殊的“钢铁穿山甲”就开进了杭州。“彭埠站一明挖转换井是杭州地铁4号线攻坚段，地质条件复杂，在复杂地层中，要跨过既有运营线路和穿过河流，且面临小半径曲线施工等难题，工程施工面临不小的挑战。”上海隧道工程有限公司有关人员介绍，最终“阳明号”不辱使命，在杭州黏土层中顺利推进，最快达到每日6环，体现了类矩形盾构机的超强地层适应性。

一年多后，杭州地铁首条类

矩形盾构隧道顺利贯通，“阳明号”在杭州“首秀”获得成功。

2022年，继杭州后，“阳明号”又远赴郑州，首次在全断面砂性地层施工，成功下穿众多市政管线，实现长距离水平侧穿地铁运营隧道。

“阳明号”类矩形盾构机下线以来，已成功应用于宁波轨道交通3号线、4号线、5号线一期、6号线一期、7号线、8号线，以及郑州地铁8号线、杭州地铁4号线、杭州地铁9号线等工程中。

不仅如此，经过10年的研发应用，类矩形盾构技术还取得了多项创新成果：获得省部级科技进步奖5项；获批发明专利及实用新型专利42项、软件著作权5项；发表相关论文130余篇，其中SCI、EI收录41篇……

“10年，只是一个阶段，并非终点。”黄毅说，“我们将放眼未来，以永不停歇的精神，持续开展技术创新、更新迭代，推动‘阳明号’类矩形盾构机保持国际领先地位，为破解地铁施工难题贡献宁波力量。”



轨道交通列车进站。(唐严 摄)