

前言

带着一年多的期盼，宁波轨道交通联合上海隧道自主研发、具有多项自主知识产权的世界最大断面类矩形盾构隧道顺利贯通，这也是目前世界上最大断面土压平衡类矩形盾构隧道。

在200多天作业中，“阳明号”切削和铺装的387米隧道将成为中国乃至世界未来轨道交通隧道掘进和铺装技术的创新和示范。

国内首台 世界最大断面

# “阳明号”开启地下空间开发新天地

## 宁波轨道交通组织研发,创造多项技术成果,将被广泛应用



2015年9月30日，“阳明号”研制成功暨下线剪彩仪式。

### “阳明号”的自白

我的诞生，是一个和“底气”与“勇气”有关的故事。从2015年1月合同签订，到2015年11月盾构始发，我的研发历经10月，好似“十月怀胎”。

我自豪，因为我是世界上最大断面的类矩形土压平衡盾构机，也是国内第一台城市轨道交通类矩形盾构机，是由宁波轨道交通集团与上海隧道股份共同研发的大型盾构施工装备。

我自豪，因为在过去的300个日日夜夜中，我克服了超浅覆土推进、穿越河流和房屋、穿越城市轨道交通主干线、小半径大坡度掘进等诸多困难，我走过的地方，形成了一条完善、高效、高效的双向隧道。

我自豪，在主人研发我的过程中，创新突破了多项关键技术，得到了孙钧、钱七虎、梁文灏、杨华勇等多位院士，日本地域地壳环境研究所（GRI）所长桥本正，国际隧道协会前主席In-Mo Lee等国内外知名专家的认可和赞誉，给出了“罕见”“非常成功”“国际领先”等高度评价。

习近平总书记多次提到明代著名哲学家王阳明先生和他的学说；前不久，宁波主流媒体“重走阳明路”，探寻先生的足迹和精神，而我的名字——“阳明号”正是积极践行王阳明先生“知行合一”的最好诠释。

今天，是我“破土而出”的日子，入秋的天气有点凉，但我的心正火热朝天。我知道，未来，很多大事等着我和我的兄弟姐妹们一起去干。

### 诞生 创新彰显勇气和底气

地铁将地下空间很好的利用起来，相当于再造一个地下城市的大容量公共交通。地铁隧道的掘进，通常有三种方法：最常用的早期地铁修建方法之一是明挖覆盖法，即直接对地面“开膛破肚”，挖好深沟，然后覆盖上路面；其二是矿采法，类似于采矿打洞，这种方法在一些土质好的地段可以使用，宁波地铁1号线首条隧道就使用了矿采法；还有一种就是盾构法。

盾构，顾名思义就是用“盾”即钢壳将所挖空间保护起来，防止坍塌；再对该空间进行“构”建，包括切削泥体和铺装管片。盾构机于1847年发明，它是一种带有护罩的隧道施工专用设备，利用尾部已装好的衬砌块作为支

2014年，正当宁波人为即将到来的“地铁时代”欢呼时，宁波轨道交通已着手4号线的方案。在进行初步方案时发现，4号线大脚桥—翠柏里—双东路两个区间，位于老城区，盾构施工在狭窄道路下方，道路宽约14米，交通繁忙，且道路两侧多层居民房密集。若用传统的圆形盾构机施工，地下空间总宽度需要近20米，这不仅无法满足地面房屋的安全要求，连基本的道路宽度都不够。

能否自己研发一台矩形或类矩形盾构机，能同时挖掘双轨道的隧道，提高地下空间利用率，而且能与房屋保持一个安全的距离？这个大胆的想法被提了出来。

2014年元月，在4号线初步设计方案讨论会上，宁波轨道交通集团有限公司总工程师朱瑞宏，前瞻性地提出了采用“类矩形盾构工法”来解决这一问题。至此，“类矩形盾构工法”慢慢进入了宁波轨道交通决策者的视野。

“技术基础、密集考察、试验条件等是我们的底气，这让我们有勇气来做这件事。”朱瑞宏说。原来，从国内外的类似工程经验来看，类矩形盾构技术源头可行且有一定基础，宁波经过一段工程的研究和实践，完全可以掌握。

似乎是天时地利，在4号线之前，3号线一期高塘桥站至出入段区间地处相对偏远，原设计使用明挖施工，若改为盾构掘进，与原造价预算差别不大，可以成为“试验田”。就这样，类矩形盾构工法在宁波轨道交通的研发和应用，徐徐拉开序幕。

宁波轨道交通将它命名为“阳明号”，因为第一台产品，又称“阳明1号”，取自明代思想家王阳明先生。王阳明先生是宁波余姚人，他创立的心学提出“知行合一”的思想。以“阳明”为名，是一种思想传承，也承载着宁波轨道交通对类矩形盾构的期盼。

“技术基础、密集考察、试验条件等是我们的底气，这让我们有勇气来做这件事。”朱瑞宏说。

原来，从国内外的类似工程经验来看，类矩形盾构技术源头可行且有一定基础，宁波经过一段工程的研究和实践，完全可以掌握。

似乎是天时地利，在4号线之前，3号线一期高塘桥站至出入段区间地处相对偏远，原设计使用明挖施工，若改为盾构掘进，与原造价预算差别不大，可以成为“试验田”。

盾构机于1847年发明，它是一种带有护罩的隧道施工专用设备，利用尾部已装好的衬砌块作为支

2014年元月，在4号线初步设计方案讨论会上，宁波轨道交通集团有限公司总工程师朱瑞宏，前瞻性地提出了采用“类矩形盾构工法”来解决这一问题。至此，“类矩形盾构工法”慢慢进入了宁波轨道交通决策者的视野。

“技术基础、密集考察、试验条件等是我们的底气，这让我们有勇气来做这件事。”朱瑞宏说。

原来，从国内外的类似工程经验来看，类矩形盾构技术源头可行且有一定基础，宁波经过一段工程的研究和实践，完全可以掌握。

似乎是天时地利，在4号线之前，3号线一期高塘桥站至出入段区间地处相对偏远，原设计使用明挖施工，若改为盾构掘进，与原造价预算差别不大，可以成为“试验田”。

就这样，类矩形盾构工法在宁波轨道交通的研发和应用，徐徐拉开序幕。

宁波轨道交通将它命名为“阳明号”，因为第一台产品，又称“阳明1号”，取自明代思想家王阳明先生。

王阳明先生是宁波余姚人，他创立的心学提出“知行合一”的思想。以“阳明”为名，是一种思想传承，也承载着宁波轨道交通对类矩形盾构的期盼。

“技术基础、密集考察、试验条件等是我们的底气，这让我们有勇气来做这件事。”朱瑞宏说。

盾构机于1847年发明，它是一种带有护罩的隧道施工专用设备，利用尾部已装好的衬砌块作为支

2014年元月，在4号线初步设计方案讨论会上，宁波轨道交通集团有限公司总工程师朱瑞宏，前瞻性地提出了采用“类矩形盾构工法”来解决这一问题。至此，“类矩形盾构工法”慢慢进入了宁波轨道交通决策者的视野。

“技术基础、密集考察、试验条件等是我们的底气，这让我们有勇气来做这件事。”朱瑞宏说。

原来，从国内外的类似工程经验来看，类矩形盾构技术源头可行且有一定基础，宁波经过一段工程的研究和实践，完全可以掌握。

似乎是天时地利，在4号线之前，3号线一期高塘桥站至出入段区间地处相对偏远，原设计使用明挖施工，若改为盾构掘进，与原造价预算差别不大，可以成为“试验田”。

就这样，类矩形盾构工法在宁波轨道交通的研发和应用，徐徐拉开序幕。

宁波轨道交通将它命名为“阳明号”，因为第一台产品，又称“阳明1号”，取自明代思想家王阳明先生。

王阳明先生是宁波余姚人，他创立的心学提出“知行合一”的思想。以“阳明”为名，是一种思想传承，也承载着宁波轨道交通对类矩形盾构的期盼。

“技术基础、密集考察、试验条件等是我们的底气，这让我们有勇气来做这件事。”朱瑞宏说。



操作人员身穿组服，“阳明号”

### 探营 “巨无霸”多项技术世界领先

盘旋走了百余级楼梯，终于到达地下18米处，眼前豁然开朗。一个椭圆形大约8米高、11米宽的隧道口出现在眼前，还有“世界最大断面类矩形盾构隧道欢迎您”的字样，这里便是“阳明号”的“试验段”——3号线一期出入段。

去年11月30日，世界最大断面的土压平衡类矩形盾构机“阳明号”在宁波轨道交通3号线一期高塘桥站南端头开始始发，这是我国首台自主研发的类矩形盾构机。经过近一年时间，神勇的“阳明号”即将把它打通，连接到地面的另一头。

沿着隧道径直往里走，记者老远就看到了一台长达65米的“巨无霸”机器，这就是“阳明号”盾构机，就像是地下工程施工中的“穿山甲”，除了拥有神奇的“双X刀盘”，可以实现100%的切

花缭乱。从抓起管片，到精准摆放，再到调整位置，整套动作一气呵成。“拼装管片一点也不轻松，一个环总共有11片管片，不同的管片要放在不同的位置，而且拼装有先后顺序，盾壳和管片之间需要留有5厘米左右的缝隙。其中难度最大的就是中间的立柱，这是宁波独有的模式，位置没调整好，可能就塞不进去了。”谭少刚挺自豪，原先拼装一整环需要花费3小时至4小时，现在他能将时间控制在2小时内。

“这台机器在国际上都是先进的，我作为它的操作员之一，感到非常自豪。”谭少刚说，近一年来，他的工作时间都是在地下度过的，虽然很辛苦但也让他学到了很多知识，今天盾构机就要“破土而出”了，他期待着这一刻的到来。

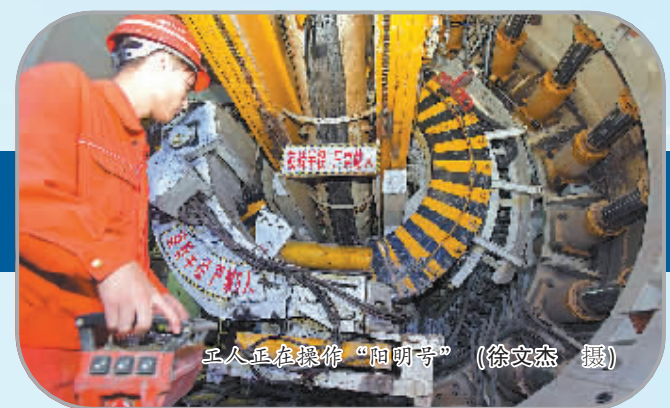
现场，拼装机械手的全自动操作，让人看得眼花缭乱。从抓起管片，到精准摆放，再到调整位置，整套动作一气呵成。

“拼装管片一点也不轻松，一个环总共有11片管片，不同的管片要放在不同的位置，而且拼装有先后顺序，盾壳和管片之间需要留有5厘米左右的缝隙。其中难度最大的就是中间的立柱，这是宁波独有的模式，位置没调整好，可能就塞不进去了。”谭少刚挺自豪，原先拼装一整环需要花费3小时至4小时，现在他能将时间控制在2小时内。

“这台机器在国际上都是先进的，我作为它的操作员之一，感到非常自豪。”谭少刚说，近一年来，他的工作时间都是在地下度过的，虽然很辛苦但也让他学到了很多知识，今天盾构机就要“破土而出”了，他期待着这一刻的到来。



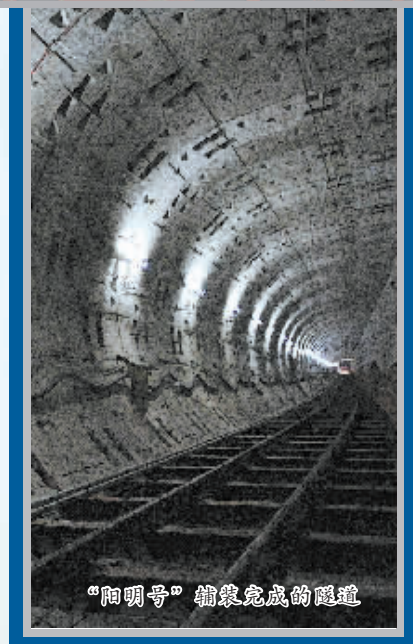
“阳明号”驻场检修管片



工人在操作“阳明号” (徐文豪 摄)



“阳明号”始发暨首段掘进启动仪式



“阳明号”始发隧道的洞顶

### 研发 践行“知行合一”

回想起去年下半年，“阳明号”测试时的场景，市轨道交通建设指挥部副总指挥、总工程师朱瑞宏用“蔚为壮观”来形容。“当时对‘阳明号’进行测试时，盾构机两旁围满了专业人士，随便找一个就是博士、教授。”朱瑞宏说。

事实上，“阳明号”的研发，是一项重大的产学研合作。在上海隧道股份公司中标后，“阳明号”进入了全面研发阶段，除了宁波轨道交通自身的研发团队，一个由高等院校、盾构实验室、设计院、施工单位、制造公司等12家单位、100余人组成的联合研发团队开始了“抱团合作”。

在中国，如此大型且紧密的产学研合作，基本为“国家队”，在地方组织起来并不容易，而这一次，我们12家单位都出于强烈的愿望和衷衷而集中在一起。”朱瑞宏说，从某种意义上说，“阳明号”的研发也给后来民间产学研发展作出了示范作用。

从2015年1月6日项目招标完成，到“阳明号”的成功研发仅有10个多月的时间。

在研发过程中，所有参与人员一月一次大会，一周一次小会，一发现问题就随时决策。“类矩形”的形状就是通过随时决策完成的。当时国际上，日本有矩形盾构机，它适合对土体的切削，但在隧道管片拼装上，它显得过于笨重。如何同时满足切削和拼装的要求，在多次“会诊”中，灵活的“随时决策”方法最终选择了目前“阳明号”这种“似圆似方”的“类矩形”结构。

类矩形盾构的创新是立足于宁波轨道交通工程实际需求，旨在推动整个轨道交通甚至工程行业创新发展水平的壮举。在外形上，“阳明号”是世界上最大断面、中国第一台应用于城市轨道交通的类矩形土压平衡盾构机，该技术具有国内自主研发、具有自主知识产权的盾构技术，破解了众多技术难题，为城市轨道交通以及城市地下空间开发提供了新的技术选项。在“阳明号”之后，国内相关单位形成了盾构机的研发热潮，异形盾构机打开了百花齐放的局面。

2015年11月30日，当“阳明号”第一次露出它神秘的面纱，其前端两个X形切片成“阳明号”的成功研发仅有10个多月的时间。

多位于国内权威专家表示，“阳明号”的切削系统和管片拼装系统，在国际上具有领先地位。

多位于国内权威专家表示，“阳明号”的切削系统和管片拼装系统，在国际上具有领先地位。

### 未来 技术将会被广泛应用

模式达到了参与各方风险共担、成果共赢的结果，值得国内大型工程借鉴和推广。

值得一提的是，业主宁波轨道交通在开始项目招标时，实行了利益共享、风险共担的原则。宁波轨道交通为设备的研发投入2000多万的经费，研发成功后，“阳明号”若应用于宁波地铁以外的其他项目，将向实施方收取不超过投入2倍的收益；而实施方上海隧道股份公司则购买了“设备首台套”保险，一旦研发失败，将由保险公司赔偿全额损失。

事实上，类矩形盾构的成功具有极高的经济价值。首先能够有效破解宁波轨道交通4号线工程的现实问题，极大减少因盾构影响造成的拆迁量，仅4号线两个区间能节约经济成本约7亿元。此外，宁波轨道交通后续线路上也存在此类情况，目前已准备建设的2号线二期工程镇海段，同样采用类

形盾构进行施工，仅拆迁成本就能节约3亿元。随着国家对城市建设提出可持续发展的新要求，地下空间的合理开发愈加受到重视，特别是在城市核心区与老旧城区，可利用的地下空间已越来越少，城市建设带来大量房屋与管线搬迁造成了严峻的社会问题，迫切需要寻求能有效节约城市地下空间且环境保护能力高的地下空间开发手段。

“阳明号”创新的脚步没有停止。目前“阳明2号”已经开造，“阳明3号”也有了蓝图。“宁波发挥了良好的示范效应，相信用不了10年，这项技术将会被广泛应用。”朱瑞宏说，与一般的圆形隧道相比，类矩形隧道具有空间利用率高、覆土浅、建造综合成本低等优点，可广泛应用于城市轨道交通人行地道、地下共同沟、轨道交通等建设领域。

本报通讯员 徐昭  
记者 张燕  
本版未署名图片由宁波轨道交通提供