



东六环改造工程开工已满一年，工程进入盾构始发前的最后阶段。随着京剧脸谱特色的刀盘缓缓转动，该工程上周六迎来关键节点——国产最大直径盾构机“京华号”调试完成并试运转，预计于3月底开启西线地下穿越之旅。同时，另一台相同直径的盾构机“运河号”也已组装完成进入调试阶段，将于“京华号”始发一个半月后投入掘进任务。两台盾构机将间隔200米一前一后挖掘隧道。

这两台“最大”盾构机，究竟有何“大”不同？记者走进现场逐一揭秘。

▶“京华号”盾构机内部，犹如大型厂房。

## “京华号”“运河号”整装待发

本报记者 刘薇

### “最大”盾构机掘进“最长”公路隧道

东六环改造项目南起京哈高速施园桥，北至苑苑北大街雍里桥，全长约16公里。按规划，东六环路对外纵向联系北京东部地区和北京首都国际机场、北京大兴国际机场，对内串联宋庄文化创意产业集聚区、行政办公区、城市绿心、北京环球主题公园及度假区等四个功能节点，形成贯通历史、现状、未来功能集聚，集约高效的创新发展轴。

该项目将现状双向四车道拓宽改造为双向六车道，并将万盛南街至露苑二街段约9.2公里改建为地下隧道。竣工后，城市副中心各组团11条东西向城市道路将实现贯通，有效缝合城市空间，织密城市路网。

该工程采用盾构法隧道掘进，盾构段长度7.4公里，成型隧道外径15.4米，是全国最长的地下公路隧道。

“京华号”“运河号”两台盾构机，代表了

我国相关领域的最高水准。“京华号”最大开挖直径16.07米，整机长150米，总重量4300吨。“运河号”最大开挖直径同样为16.07米，整机总长约145米，总重量约4500吨。这两台“大家伙”的投用，标志着中国最大直径盾构隧道施工依靠国外品牌时代的终结。

据介绍，我国盾构机研制和生产始于20世纪90年代，此前一直被发达国家垄断且造价昂贵。在国家大力支持下，盾构机行业迎来快速发展，逐步掌握了自主设计制造的能力，摆脱了以往关键技术“卡脖子”的情况。

2008年，大直径盾构施工首次在南京长江隧道应用，十余年来，盾构机直径从4米、8米、到12米，再到16米，一次次挑战极限，突破自我，盾构机的意义已经不仅是其本身价值，而在于创造了中国制造业特别是施工装备的一种创新模式。

### “大块头”功能强大 隧道主体一次成型

在东六环六合桥附近的施工现场，记者看到了“京华号”这个“大家伙”。巨大的盾构机“平躺”在29米深的始发井下，几名工人正在进行设备调试。

“京华号”盾构机是中国迄今研制的最大直径、拥有完全自主知识产权的泥水平衡盾构机，最大开挖直径16.07米，高度超过了5层楼。“中铁十四局东六环改造工程项目部工程部部长陈建介绍，之所以选择如此大直径盾构机，是为满足该项目高速公路80公里时速的三车道通行设计标准，且不受天气影响，可更好发挥自动化智能化优势。

此次启用的两台超大直径盾构机，不仅块头大，功能也非常强大。

在盾构掘进过程中，将同时完成开挖、排土、碎石、出渣、支护、衬砌、密封等工序，实现隧道主体一次性成型。陈建解释，所谓“盾”，就是指在掘进时修建隧道之“盾”——支撑性管片。

据介绍，在隧道盾构施工中，盾构机每向前推进两米，就要拼装一环管片，每一环由10块管片拼装而成。“此次东六环改造工程盾构隧道使用的管片外径达到15.4米，为中国北

方直径最大。”陈建说，为保证管片精准安装，保护隧道的防水体系不受破坏，管片生产的尺寸精度需控制在毫米内，对于预制构件来说难度也极大。

据了解，“京华号”的“寿命”是10公里。不过，在完成此次7公里多的任务后，它将回厂大修，对关键部件进行检查，更换磨损部件后，会继续应用到下一个工程。

如此庞大的盾构机，运输、组装等工序的工作量也十分庞大。

“京华号”在项目中承担着长达7.4公里的隧道掘进任务，光是运到施工现场的零件就有上万个，300余辆货车分几批运输。其中，最大件重量近250吨，最大件尺寸宽度8.2米。不仅如此，这些零部件中还有百余个需要现场组装。其中，最大最重的当属刀盘，重量达530吨。

“零件中有许多都属于超大件运输，我们使用的是专用车辆，走专用道路，并且协调了沿路交通运输条件。其实，更费劲的是吊装。”陈建说，别看都是大块头零件，吊装却是个精细活儿。需要事先对每一个零件的重心，起吊翻转角度等进行精密计算，微调距离以厘米计。

### “脸谱”刀盘合金刀具比钢还硬

150米长的盾构机内部都有什么？据介绍，盾构机内部一般分为推动、注浆、拼装、泥水循环、密封等五部分系统。“它好比一条放大若干倍的‘蚯蚓’，前面的刀盘‘吃’土，然后管道内泥水会通过循环系统排到地面。”陈建形象地比喻。

为了确保在地表下精准定位、准确施工，“京华号”盾构机装有高精度测量和导航系统，动态显示当前位置相对于隧道设计轴线的位置偏差，准确度精准到毫米级。

在开掘过程中，隧道需穿越粉细沙、中粗沙及黏性土交互层等地质，工程不仅面临超大直径、超长距离、超深覆土等施工难点，还面临下穿地铁、市政道路、铁路、河道、建筑物等超敏感环境施工情况。

砂层、粉土，听上去“软”，实际却“硬”。工程专家告诉记者，“日常生活中的磨刀石常用的就是石英，磨刀石能‘磨钢’。这次盾构机脸谱刀盘就采用比钢更硬，含有锰、铬等元素的特殊合金刀具，减少刀具磨损。”

刀要够硬，换刀也要够快。“京华号”应用了常压换刀技术。目前，“京华号”盾构机采用

的是更安全、更高效的第三代常压换刀技术。

陈建介绍，地层中富水高压，以前工作人员只能带压换刀，要像“潜水员”一样，在压力环境下操作。换一次刀需要经过繁琐的加压、减压等过程，常要花上一天时间。现在采用了常压换刀，就是在刀盘内部设置一个刀箱，工作人员钻到里面，最快40分钟就能轻松更换刀具。

除了常压换刀技术，“京华号”盾构机还应用了多项核心创新技术，让隧道掘进作业安全高效。其中包括伸缩主驱动、高效大功率泥水环流系统、高精度开挖面气液独立平衡控制等多项高新技术。同时，创新性地搭载管环收敛测量、管环平整度检测、同步双液注浆等系统装置，更加安全高效。

比如在施工过程中一旦需要换刀或推进遇到障碍，伸缩主驱动技术就会发挥作用。尽管刀盘重达530吨，却可以前后移动，灵活应对；双液注浆系统则用于快速制造“防水层”，迅速填充开挖直径与隧道外径之间的间隙，浆液在短时间内快速凝固，增强隧道的抗渗性；高效大功率泥水环流系统，则随时收集掘进中产生的泥浆，提高掘进效率。



▲1月20日，“运河号”刀盘顺利下井组装。

◀工人在“京华号”盾构机内进行收尾工作。

### 4800米“运河号”全球首创长距离掘进不换刀

“京华号”的兄弟“运河号”，同样是完全自主研发设计制造的中国最大直径泥水平衡盾构机。“运河号”整机总长约145米、总重量约4500吨。接下来，它将与“京华号”先后参与东六环改造工程建设。当前，“运河号”已经组装完成进入调试。此次隧道掘进是自北向南始发，“京华号”和“运河号”同向施工。

在“运河号”入地的施工现场，记者看到一个长28米、深21米的基坑，百余名工人穿梭在区域内，有序进行钢筋调运、绑扎，为侧墙的浇筑做准备。“中间是盾构工作井，是目前北京最深的基坑工程之一。”中交隧道工程局东六环改造工程盾构施工准备部第一项目经理部总工程师慧涛介绍。

慧涛说，业界通常将12米及以上直径盾构机划分为超大直径盾构机。超大直径盾构机集机械、电气、液压、信息、传感、光学等尖端技术于一体，对设备的可靠性要求极高。

该隧道是从张采路以北连续下穿京津公路、通三铁路、滨河路、北运河、广渠路、地铁6号线、京秦铁路、通胡路、减河、通燕高速、京榆旧线，再由京榆旧线北侧爬至上至地面。其中，最大难度在于穿越城市核心区，因地下管线构筑物复杂，需下穿或上跨多条道路、轨道及河流，盾构机平均覆土20米，而最深处位于穿越副中心火车站时的段位，覆土

达59米。

为减少对地面影响，项目采取了预加固和洞内加固措施，并在盾构沿线设置上百个监测点，全方位实时监控施工区域及周边建筑物，及时调整盾构姿态及掘进参数。

同时，为保持掘进连续性、稳定性，“运河号”还具备长距离掘进不换刀技术。

“一般情况下在砂卵石地层超大直径盾构机平均每掘进200米就需更换刀具，‘运河号’首次采用了自主研发的全球首创长距离掘进不换刀技术，可连续掘进4800米不换刀，极大降低工程风险。”慧涛解释，刀盘内外周同轨差共布置了20余把先行刀，其中焊接型先行刀选用大合金、大宽度和大厚度的重型撕裂刀，刀具宽度达300毫米，在刀体裸露部分还焊接了耐磨和耐磨堆焊，足够耐磨，以保障实现长距离掘进任务。

此外，为方便操作人员及时调整盾构掘进参数，提升刀具使用寿命和掘进效率，该盾构机研发团队还在全球范围内首次将光纤磨损检测技术应用于盾构刀具检测上。在刀盘转动时，刀具内部嵌入的光纤传感器等，将采集数据传给电脑解析，计算出磨损检测刀的实时磨损量，推算刀具的磨损量。

“运河号”还应用了中交天和自主研发的管片自动化拼装技术、智能化远程安全监控系统等先进技术和装

备，将“大块头”与智能化结合，降低制造成本。

比如管片自动化拼装技术，可对盾构姿态、盾尾间隙、推进油缸行程等进行数据分析，预测后续管片的类型及安装点位，实现管片自动搬运、位置智能识别、精准定位拼装盾构管片，大幅提高管片拼装质量，减轻人工作业强度；泥水分层洗渣循环技术则主要应对排泥管口大量砾石堆积以及盾构机内管路堵塞情况，多个压力传感器会自动识别可能堵塞的位置，再通过冲洗及时防止排泥管堵塞。

据介绍，该项目预计2023年底完工。建成后可以有效缓解东六环路的交通拥堵。隧道采用分离式双洞布置，每洞设3条车道分为三层，上层为排烟通道、中间层为行车通道、下层为疏散救援通道。隧道中每100米将设置一处逃生口，遇到危险情况时，司机和乘客可从逃生口下楼梯进入逃生通道内。

值得一提的是，不同于常规的道路改造，东六环入地后，地面上原有的东六环主路将建设为公园并改造成为慢行系统，与城市景观融为一体，成为居民散步骑行好去处。



▶“京华号”盾构机内部还有一台轨道起重用来吊运所需物资。



▶在东六环六合桥附近的施工现场，“京华号”盾构机“平躺”在29米深的始发井下。