



「京华号」盾构机内部空间很大，高度超过了5层楼。

盾构司机的十二小时

本报记者 刘薇

稳

一环2米90分钟掘进

“盾构机全天24小时不间断作业，需要2个司机班组倒班运行。”眼前这位“90后”的精神小伙鲁国栋就是“京华号”的司机。盾构机司机，是一个比飞行员还少的工种。想操作这台150米长的“豪车”，要有一颗“最强大脑”，除了熟练掌握盾构技术，还要对所有环境有准确的认知和预判。

6点30分，记者跟随鲁国栋来到位于地下几十米深的盾构机掘进施工现场。长洞里，大约有7节北京地铁车厢那么长的“京华号”正在稍事休息。盾构掘进的空间很宽敞，高度超过10米，宽度足够十来人并排走，完全没有身处地下空间的压抑感，而且眼前也见不到尘土飞扬。鲁国栋介绍，“京华号”最大开挖直径16.07米，可同时完成开挖、排土、碎石、出渣、支护、衬砌、封固等工序，在掘进过程中可实现隧道主体结构一次成型。

“大块头”是不是掘进速度也很快？其实不然，鲁国栋介绍，盾构机作业是按环掘进，1环管片为2米，每前进1环大约需要90分钟。比如此时，盾构机正停下来进行近60分钟管片拼装，才能形成1个完整的圆环，支撑起掘出的隧道。管片，其实就是盾构机名字里的“盾”的由来，指的是在掘进时建造隧道之“盾”——支撑性管片。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。建成这条7.4公里的隧道，需要拼装3600多环，共计3万多块管片。

如果顺利的话，盾构机24小时可以掘进20米。若遇到地下状况复杂时，只能推进七八米左右。

从整体造型来看，“京华号”盾构机全长150米，最前面是刀头，后面长长的“车厢”被称为台车，布置着主驱动、操作室和物料运输通道。盾构机的驾驶室就位于管片拼装机后面。

进入驾驶室，鲁国栋先与夜班同事进行交接。“盾构机每个班组配备1个主司机、2个司机助手。”鲁国栋介绍。主控室的空间不大，大约8平方米，能容三四个人站立。鲁国栋指着画面介绍，上面的4个屏幕分别显示盾构机掘进的画面和参数。其中一个屏幕显示盾构机的精准定位，每10秒校准一次。操作台上还有好几排按钮，用于手动控制盾构机姿态，可以实现驾驶“手自一体”。

8点30分，鲁国栋下达掘进指令。司机助理黄鲁撼下了操作台上的按钮，此时机器轰鸣，油泵、泥浆泵、刀盘运转，盾构机开始缓慢前进。显示屏前，鲁国栋紧紧盯着切口压力、刀盘扭矩、刀盘转速、掘进速度、盾构推力、出土情况等参数，指挥盾构机“掘地前行”。

准

盾构准确度精确到毫米级

驾驶室里的施工图显示，盾构机要先后穿越9条道路、4条铁路和3条河道，对地上构筑物的变形控制要在毫米级范围。而且，通州地下土层相对复杂，有细砂、粉细砂、粉质黏土等多种形式，对自动设备和驾驶员都是不小考验。不过，对鲁国栋最大的挑战还是“下穿11米路段”。

盾构机穿越的地下11米位置，也是整条隧道中盾构机距离地面最近的位置。该段地上为绿地，虽上面没有直接的地上物，但周边还是有一些餐厅、停车场等设施。盾构机是否会造成地面的隆起和沉降是鲁国栋最为注意的情况。

要想做到毫米级的控制，就必须要注意同步浆液的质量、方量和注入率以及盾构机姿态、切口压力等一系列专业参数，此时数据精准监测和及时反馈就更为重要。

“京华号”的自动化和智能化程度非常高，在驾驶室的4个屏幕中，有一个就是导向屏。VMT导向系统将各项测量数据与盾构机的姿态以图文的方式显示。司机通过系统界面上的图形、数据即可形象地观察到盾构机的姿态变化情况。通过地面沉降等数据对盾构机的一些参数进行微调。“最终此处浮动被控制在3至5毫米内！”他信心满满。

未来，盾构机还要下穿道路、河道、铁路，平均覆土20米，最深覆土达57米，这都是将来难啃的“硬骨头”。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。

与此同时，为了确保在地表下精准走位、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，准确度精确到毫米级。“盾构机其实是呈蛇形前进，一旦监测到偏离设计轴线，我们就会立即通过控制千斤顶的推力、调整盾构机各分组油缸的油压差纠偏。”



盾构机每掘进10米就要延伸一次泥浆管。

快

“常压换刀”40分钟轻松换

开掘中，盾构机正不断穿越粉细砂、中粗砂及黏性土交互层等地质，这些地质听上去“软”，实际却很“硬”。不过不用担心，这次盾构机刀盘采用了比钢更硬，含有锰、铬等元素的特殊合金刀具，减少刀具磨损。

“刀盘上有300个硬质合金制成的刀头，硬度媲美金刚石，最轻的都有200斤。这些刀头又分为撕裂刀和刮刀。撕裂刀最先接触到地层，刀刃更薄更锋利，可以像耕地的犁一样先松动致密的土体；刮刀的刀刃则更宽厚，用来把已经松动的土体刮下来。”鲁国栋表示，虽然现在“京华号”刀具已经从材料、外形、工作原理等各方面达到世界领先水平，但再坚硬的刀具也有损坏的可能，

因此还需要核心创新技术“保驾护航”，也就是“京华号”让人惊艳的“常压换刀”技术。

在盾构掘进中，每1公里就要检查一次刀头。过去更换刀头，工作人员要像“潜水员”一样在压力环境下作业，经过繁琐的加压、减压等操作，耗时还有一定危险性。“京华号”则采用了更安全、更高效的第三代常压换刀技术，工作人员可以钻到呈箱体状的刀盘中，把刀头抽回箱体内部更换，最快40分钟就能轻松更换刀具，更加安全高效。

此外，“京华号”盾构机还应用伸缩主驱动、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，让隧道掘进作业安全高效。

净

吞泥运渣泥浆循环保绿色

不断向前推进，为什么施工现场却一尘不染，被开挖来的渣土哪里去了？背后的“功臣”，就是在盾构机管道中循环利用的泥浆。

盾构机内部大致分为推动、注浆、拼装、泥水循环、密封等五部分系统。前面的刀盘“吃”土，管道内泥水先是输入到盾构机刀头，经加压后冲洗被切削下来的渣土。混合渣土的泥浆经过排浆管路运至与掘进工地南侧一街之隔的泥浆处理厂进行处理。泥浆经过过滤沉淀，再循环至盾构机。

具体来说，混合渣土的泥浆进入处理厂后，首先要经过一次预筛，过滤掉74毫米以上的大颗粒物，然后再经过脱水筛，进一步将0.3毫米以上的颗粒物全部过滤。紧接着，泥浆再由渣浆泵注入到施流器中进行离心分离，“这就好比洗衣机的滚筒，较重的颗粒甩出后掉落，从而进一步完成过滤。”最后，泥浆再经过沉淀池进行四级沉淀，内含颗粒物小于0.02毫米才算达标，可以重新回流继续运输渣土。

而渣土也可以循环利用。渣土从泥浆中分离后，经过板式压滤机和高速离心机处理干燥后，可以即产即运。最终被运送到指定渣土厂，经过进一步处理后，还可再用于种地、栽树、路基施工等，达到资源的绿色减排再利用。

10点10分，工人开始着手准备拼装管片。此时，鲁国栋也根据手上的数据表和墙上挂着的管片选型示意图计算管片拼装点位、选出合适的管片类型。

与此同时，由于泥水平衡盾构机在掘进中，泥浆管会不断伸长，10米是其伸长极限。为了保证掘进的连续性，另一边工人需在盾构尾部进行泥浆管路的延伸施工。“每推进5环就要延伸一次泥浆管，大约需要180分钟。”

地下工程千变万化，前方都是未知数，盾构司机还要和其他工种的施工人员进行默契配合。“开挖地层稳定性如何？”“注意地质变化，采取分区操作调整油缸压力，控制好方向。”……掘进中，鲁国栋不时与测量工程师、土木工程师等团队沟通掘进地质、出渣等情况。

一环又一环，不知不觉间，已经到了傍晚，鲁国栋与夜班司机顺利交接。经过12小时的工作，鲁国栋眼睛红红的，布着血丝。“操作要精细再精细，长时间看屏幕用眼疲劳，没啥。”他扭头看着“京华号”这位老伙计：“要是哪天隧道贯通了，我要第一个‘走’一遍。”

鲁国栋（左）和同事全神贯注驾驶盾构机。



工人在盾构机“肚子”里吊装管片。