

盾构机：挖掘地铁隧道的“铁蚯蚓”

过日子不能总宅在家里，也要出行，或上下班通勤，或公务出差、观光旅游，出行就离不开地铁、铁路和高速公路，当你乘地铁、坐火车、上高速时，你可曾想过：穿行其中的那些隧道是怎么挖掘的？

撰文/供图 刘植荣

刀子嘴地雷心

□孙香我

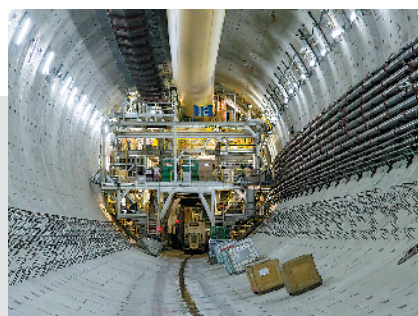
在朋友圈里听到一位女歌手唱的《刀子嘴地雷心》，应该是一首摇滚，我平日不大听歌的，这首歌却一连听了好几遍，还忍不住转发给好朋友听。词曲皆为女歌手自己所创作，歌词内容是斥责有人嘴巴尖刺心地险恶，歌中唱道“你刀子嘴你地雷心，你要破坏他的幸福啊，你要炸毁那一个家”，最后则是一句高亢的“惹急了我就掰掉你一口毒牙”，歌曲戛然而止，愤怒而有力量。

俗语有“刀子嘴豆腐心”，是形容人说话尖刺但心肠温软的。对这句话我向来是有点怀疑的，嘴上总是尖刺伤人，那心肠怎么可能是温软的，有一口毒牙，怕是因为有一颗毒心。刀子嘴就总是可怕的，嘴上的刀子和手上的刀子，是一样的锋利，且杀人不见血。而嘴巴尖刺心地险恶之人，又往往是以心直口快作掩护来伤人的，这就是《论语》里斥责的“讦以为直”，一个讦字，便是毒心。

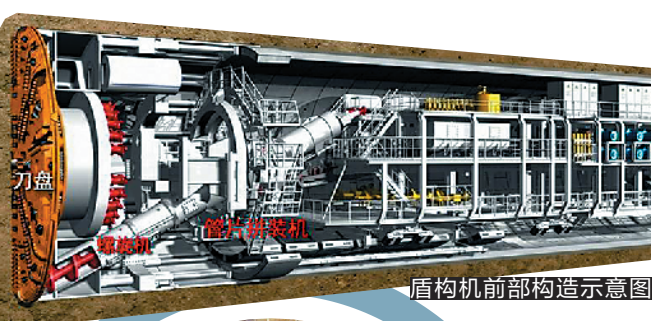
清人冯班在《钝吟杂录》中有言：“凡人作文字，下笔须有轻重，论贤人君子，虽欲纠正其谬误，词宜婉转，若言小人奸贼，不妨直骂。”我辈平日写小文章，亦是不免要骂骂奴才和小人的，虽也“不妨直骂”，却又不可学那“刀子嘴地雷心”，一味刻毒伤人。奴才小人自己是当骂的，但我们骂奴才骂小人，骂之是悲悯之，我辈当存一个悲悯之心，如此，骂人亦骂得心安理得。



日本制造的“贝莎”盾构机刀盘



日本制造的“贝莎”盾构机尾部



盾构机前部构造示意图



岩石盾构机推压刀盘的液压千斤顶



盾构机挖掘地铁隧道示意图

1 早期挖掘隧道是人工加爆破

过去，隧道的挖掘方式都是人工开凿加爆破，对土层和碎石地质而言，用人工开凿，在掌子面用镐头、铁锹等工具挖掘；对岩石地质而言，镐头、铁锹就挖不动了，必须借助炸药，在掌子面用炸药把岩石炸碎，然后再把碎石运出隧道。

就地铁隧道而言，过去大都采用“明挖埋地法”工艺，即先把街道破坏，大揭盖挖出一条沟渠，然后在沟渠里浇筑隧道壁，隧道建好后再用土方掩埋夯实，重新把街道修好。中国大陆早期地铁隧道用“明挖埋地法”挖掘，后来才采用“盾构机挖掘法”。广州首条地铁线（一号线）建设就采用盾构机挖掘隧道。

近百年来，盾构机逐渐在隧道挖掘工程中流行起来，目前，较长的隧道挖掘基本上都用盾构机。

2 英国1825年使用盾构机挖掘隧道

“盾构机”是在中国的称呼，国际上一般叫“隧道钻机”（TBM），土木工程行话叫“鼯鼠”，因为它就像鼯鼠那样在地下挖洞。

1825年，英国挖掘泰晤士隧道时就使用盾构机，这台盾构机是由法裔英国工程师马克·伊萨姆·巴尔德·布鲁内尔爵士发明的，他还申请了盾构机专利。泰晤士隧道长396米，从伦敦泰晤士河底穿过。

1845年，法国到意大利的国际铁路开通，这条铁路横贯阿尔卑斯山脉，需要在海拔1123米的高度挖掘弗雷瑞斯隧道，这条隧道长14公里，是当时世界上最长的隧道，隧道从海拔2932米的弗雷瑞斯峰下贯通，也就是说，隧道上面的

3 盾构机是怎样挖掘隧道的？

从盾构机的国际通用名称“隧道钻机”更容易理解它的工作原理：它就是一个大钻机，在地下或山体上钻出一个洞来。

盾构机可称得上是土木工程中最大的施工机械，大的直径有十七八米，长度有一百几十米。盾构机最前面是一个巨大的刀盘，刀盘上有刀片阵列，掘进时靠刀盘转动切削掌子面上的土石，渣土从刀盘空隙流入渣土仓，由螺旋输送机传送到皮带输送机上，再转到另一条更长的皮带输送机运到隧道外的渣土处理场，也有的是用轨道渣土车运到隧道外。

有点常识的读者应该明白，刀盘后面如果没有推力，是无法切削掌子面上的土石的。那么，怎么给刀盘推力呢？

2 英国1825年使用盾构机挖掘隧道

岩石最大厚度是1809米。为修建这条隧道，亨利·约瑟夫·茂斯发明了“开山机”，于1846年在意大利都灵附近的一个兵工厂制造。“开山机”的样子像一个火车头，前面有100多个震动钻头，用这些钻头把掌子面上的岩石捣碎。“开山机”已经具备了现代盾构机的一些功能。

1853年，美国人埃比尼泽·塔尔博特申请了盾构机专利，专利名就是“Tunnel Boring Machine”（隧道钻机）。

1870年，英国人约翰·D·布鲁内尔研发制造了带刀盘的盾构机，和现在广泛使用的盾构机已十分接近。

1875年，法国国民议会通过法案修建英吉利海峡隧道，选定

顶再伸出来轻轻顶住它，以此类推，直到这一圈的所有管片拼装到位。此时，所有液压千斤顶同时开始均匀加压，一起顶着新拼装的一圈管片，靠反作用力向前推刀盘继续切削掌子面，向前掘进。

盾构机在掘进时，刀盘切削掌子面与拼装管片交替进行，盾构机整体在液压千斤顶的推动下向前一步一步移动，直至把隧道掘进。如果地质松软，每天可掘进几十米；如果遇到坚硬的岩石，每天只能掘进几十厘米。

衬砌管片与隧道壁之间的空隙要用灰浆填充，以此来加固管片，保持整体内衬层的稳定性，并防止水向隧道渗漏。

上面讲的这一系列复杂的工序都是盾构机自动完成的。盾构机内有个中央控制室，盾构机各关键部位均有传感器，将采集的数据传到中央控制室，操作人员通过显示器上显示的各种数据，便知道盾构机的工作情况，并在必要时进行干预。

刀盘上的刀头要经常保养更换。刀头上也有传感器，当刀头温度升高到一定数值时，就会向中央控制室发送报警信号。

读到这里，可能有读者会问，盾构机在隧道里能转弯吗？当然能。城市地铁隧道大都在街道下面挖掘，隧道沿街道走向设计，要不断转弯，并根据地下情况“上蹿下跳”。公路和铁路隧道，也要根据地貌、地质和水文情况选线，这也要求盾构机能360度转向。

盾构机转弯靠衬砌管片改变刀盘切削方向来实现。在需要转弯的地方，每一圈衬砌管片的宽度是不同的。如果向左转弯，右侧管片的宽度依照转弯半径就设计得比左侧管片宽些，这样，右侧的液压千斤顶就把刀盘顶得向左倾斜，实现左转弯。如果右转弯，左侧管片的宽度依照转弯半径就设计得比右侧管片宽些，这样，左侧的液压千斤顶就把刀盘顶得向右倾斜，实现右转弯。“上蹿下跳”的转向原理同上。

4 盾构机在隧道里如何转弯？

5 目前世界上最大的盾构机直径17.5米

2006年9月15日，加拿大用于引水灌溉的尼亚加拉隧道开钻，该隧道长10.2公里，从加拿大安大略省尼亚加拉瀑布市地下140米深处穿过，用的盾构机是美国罗宾斯公司制造的“大贝基”，直径14.4米，刀盘由15台电动机驱动，功率470万千瓦（6375匹马力），当时是世界上最大的盾构机。之所以要在如此深的地下挖掘隧道，是为了防止盾构施工给地面建筑带来影响。

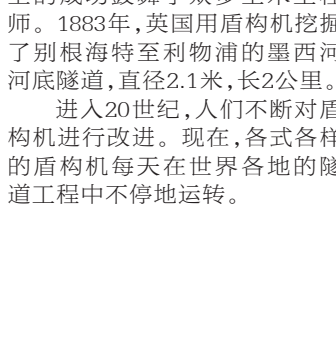
2011年，意大利佛罗伦萨附近5030米长的斯特沃隧道开钻，用的岩石盾构机

6 盾构机挖掘隧道的优缺点

隧道设计图纸定做，施工准备周期长，维护成本高昂，挖掘短隧道经济效益较低，一般而言，隧道长度超过1公里才具有经济效益。

最后提及的是，盾构机并非只能挖掘圆形隧道，也可设计成挖掘任意横断面隧道，如矩形隧道、椭圆形隧道等。人们也用盾构机挖掘输水管道和排污、排水管道，甚至挖掘电力管道等。

盾构机最初发明人马克·伊萨姆·巴尔德·布鲁内尔（油画）



盾构机最初发明人马克·伊萨姆·巴尔德·布鲁内尔（油画）



建于1825年的伦敦泰晤士隧道使用了盾构机

日本日立造船株式会社2012年制造的盾构机“贝莎”，直径17.5米，长110米，重7000吨，刀盘有260个刀头，该盾构机由美国华盛顿州交通局订购，用于99号公路阿拉斯加高架桥替换隧道挖掘（该隧道上下两层行车道），这是迄今世界上最大的盾构机。

幽黙一举三得

□赵盛基

美国著名人际关系学家卡耐基曾经讲过这样一个故事。一天，一个小男孩拿着瓶子来到食品店买果酱。营业员称好后，边递给他边嘱咐道：“拿好，别洒了。”小男孩闻了闻说：“味道好极了。”说完，做了个鬼脸走了。

过了一会，食品店气冲冲地走进一个妇人。一进门就对着营业员吼道：“你们不是标榜童叟无欺吗？为何短斤少两？”

营业员被搞蒙了，问道：“您说的什么呀？别着急，说明白点。”

妇人余怒未消，气呼呼地说：“刚才我让儿子来买了1斤果酱，我称了，只有8两。为什么？你要解释清楚。”

营业员明白妇人的来意了，可是自己明明称了1斤，不可能出错。想起小男孩临走时的表情，营业员断定，是小男孩在路上偷吃了。

自己冤冤枉，营业员完全可以理直气壮地说自己没错，或者干脆说是被你儿子偷吃了，回家问你儿子去，别在这儿撒泼。但是，这样一来势必造成僵局，不但不能平息妇人的怒气，反而会引发一场更激烈的争吵。

营业员没有这样做，而是礼貌地看着妇人，幽默委婉地说：“请您回去称称你儿子，看他是否长胖了。”

妇人恍然大悟，脸上立马阴转晴，心平气和地对营业员说：“噢！我把这点忽视了。对不起，误会了。”

幽默确有奇效，既维护了商店的信誉，又平息了纷争，还赢得了顾客的信赖，一举三得。

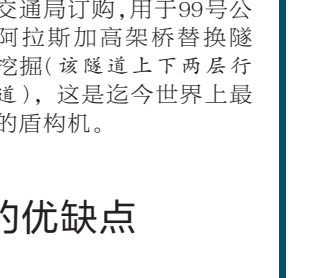
二十四画品之“纤秣”王翠画风浓艳而飘渺

□罗韬

自明中叶以后，画派开始形成，浙派、吴门派、娄东派，派系纷然，门户森严。王翠对此多有异议，认为画学衰微自此始。王翠虽然得到王翬、王时敏的指导，但他却不受其局限，而能合南北于一手，更有这样的野心——“以元人笔墨运宋人丘壑，以唐人气韵”，这与董其昌以来提倡“南宗”是很不一样的。这也是他与“三王”不同的地方。

此作是王翠背临赵孟頫的《桃花源图》。就王翠与赵孟頫在画风上的联系，好友恽寿平曾经作过很精彩的评价：“青绿设色至赵吴兴而一变，一洗宋人刻画之迹，运以深沉，出之妍雅，积雨得中，灵气洞目，所谓绚烂之极，仍归自然，真后学无言之师也。”再看此画，富丽而简明，古翠照烂，桃花夹溪，一水宛然，落花缤纷，渔舟徜徉其间，水和云融合一片，空灵飘渺，如梦如诗，桃花源正在有无之间，真是“春来遍是桃花水，不辨仙源何处寻”。

王翠（1632—1717年），字石谷，号耕烟散人、乌目山人、清晖老人等。江苏常熟人。清代著名画家，被称为“清初画圣”，与王翬、王时敏、王原祁合称山水画家“四王”。



桃花渔艇图 □王翠

●其实，人最不熟悉的一张脸就是自己的，我们很少能以旁观的角度观察自己，对自己的一颦一笑、一举一动都不熟悉。

●部分青少年的心理：我的偶像是最牛的=我是最牛的。

●不要等到了有一个笑容，才面露慈善；不要等到了爱了，才去爱；不要等到了寂寞了，才明白朋友的价值；不要等到别人受伤了，才乞求原谅。不要等待，因为你不知道等待需要花费多少时间。

●时间，珍惜了就是黄金，虚度了就是流水；家庭，有爱了就是港湾，没爱了就是牢笼。

●一位男教师对两个吵闹不休的女学生说：“两个女人的声音，犹如1000只鸭子的叫声。”

一会儿，教师的妻子来看望他。其中一个女学生赶来报告：“老师，门外有500只鸭子来看您。”

●儿子的手机通讯录里有个叫“和平使者”的女孩。我一时好奇，就问儿子：“这是什么意思？”

儿子说：“她放了我几十次鸽子！”