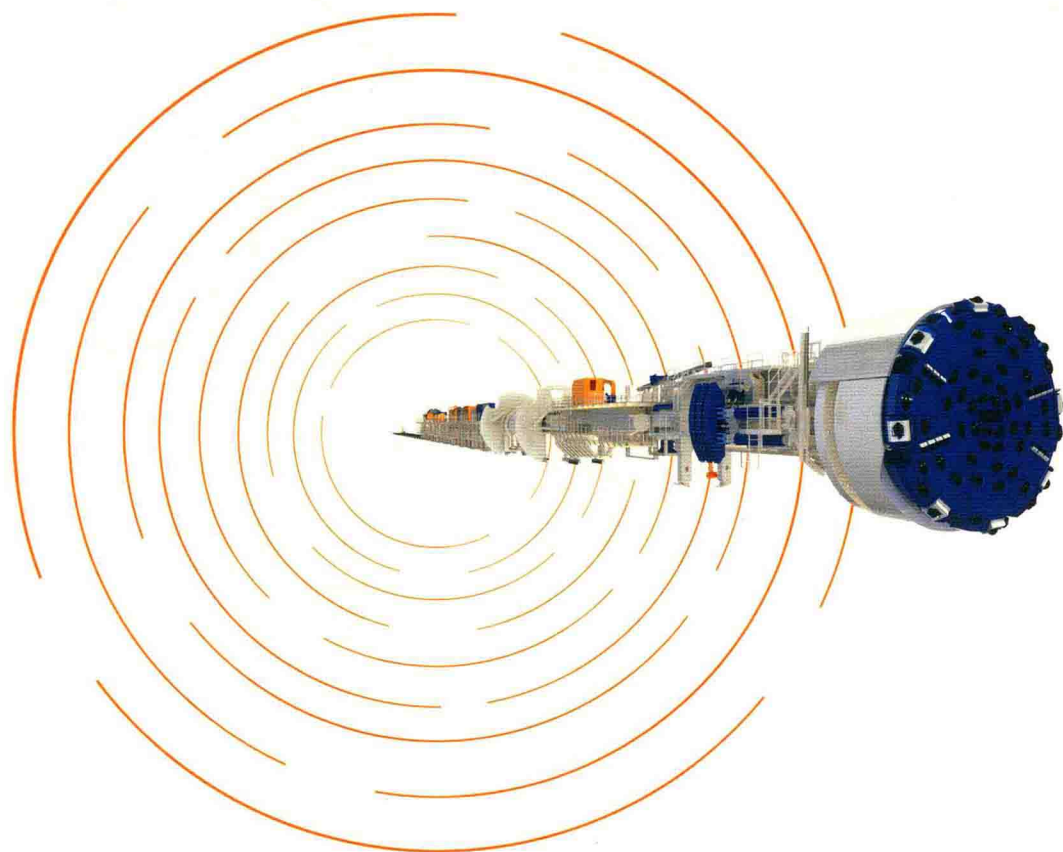


Shield Driver Training Course

# 盾构机司机培训教程

盾构机司机培训教程编写委员会 编写



中国建筑工业出版社

# 盾构机司机培训教程

盾构机司机培训教程编写委员会 编写

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

盾构机司机培训教程 / 盾构机司机培训教程编写委员会编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-112-19733-0

I. ①盾… II. ①盾… III. ①隧道施工—盾构—施工机械—操作—技术培训—教材 IV. ①U455.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第201069号

随着国内基础设施建设的大力发展, 隧道工程越来越多, 盾构施工以其高度的自动化、信息化逐渐成为隧道施工的主要方式。本书全面系统地论述了盾构机基础知识、工作原理、标准化操作、事故预防及应急知识, 并结合大量国内盾构施工典型案例分析, 首次系统性地提出了盾构机司机规范化的操作程序。

本书共分为 11 章。第 1~4 章内容为盾构机基本知识; 第 5~9 章为盾构机操作知识; 第 10、11 章为盾构施工安全事故预防与应急措施、典型案例分析, 总结盾构机操作的注意事项, 并列举部分重要的应急预案与安全常识。

本书既可作为盾构机司机培训认证教程, 也可供从事盾构机设计、制造、施工、工程管理、科研等人员参考使用。

责任编辑: 刘婷婷

责任校对: 王宇枢 李欣慰

## 盾构机司机培训教程

盾构机司机培训教程编写委员会 编写

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京京点图文设计有限公司制版  
北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12¼ 字数: 243 千字

2016 年 9 月第一版 2016 年 9 月第一次印刷

定价: 108.00 元

ISBN 978-7-112-19733-0

(29281)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 编写委员会

顾 问：洪开荣

主 编：程海云

副主编：陈 馈 欧阳刚杰

主 审：康宝生

编 委：（按姓氏笔画排序）

王 焰 刘 辉 李大伟 李凤远 李海滨

李晓东 李彦青 任成国 杨国亮 陈巨滔

周祁衡 贺文波 曾毅军 谢 红

# 序

21世纪是隧道及地下空间大发展的时代。《中共中央关于制定国民经济和社会发展的第十三个五年规划的建议》中提出，预计“十三五”期间全国新建铁路不低于2.3万公里，总投资不低于2.8万亿元；同时，我国正处于城市轨道交通建设的繁荣时期，预计到2020年全国拥有轨道交通的城市将达到50个，全国轨道交通达到近6000公里规模；公路、市政、水电等工程建设也在蓬勃发展中……

**工欲善其事必先利其器。**面对如此庞大的隧道及地下工程建筑市场，随着近年来国内外盾构施工技术水平和国产化程度的不断提高，盾构法施工因其对周围环境影响小、自动化程度高、施工快速、优质高效、安全环保等突出特点，具有广阔的发展空间；尤其是在地层条件差、环境情况复杂、地下水位高等情况下，盾构法施工更具有明显的优越性，使其越来越受重视和青睐。但与之不相匹配的是，相较于我国高铁动车司机和特种作业的成熟培训机制，目前国内盾构机司机技能学习培训基本依赖于各施工企业的内部传帮带学，盾构机司机职业操作技能专业书籍缺乏，完整系统的盾构机司机培训教程更为空白，导致盾构机司机水平良莠不齐，司机队伍整体素质亟待提高，进而产生隧道盾构施工风险，甚至发生安全生产事故。

**百舸争流千帆竞，借海扬帆奋者先。**多位盾构施工技术领域专家积极响应习近平主席“把论文写在祖国的大地上，把科技成果应用在实现现代化的伟大事业中”的重要讲话，认真编写出《盾构机司机培训教程》一书，全面系统地论述了盾构机基础知识、工作原理、标准化操作、事故预防及应急知识，并结合大量国内盾构施工典型案例分析，在国内首次系统性地编写了盾构机司机规范化的操作程序，是实现盾构机司机培训标准化的有力之作，填补了国内外空白，具有创新性和重要的实用、经济价值。

**古人说“授人以鱼不如授人以渔”。**该书理论联系实际，图文并茂，深入浅出，突出应用，能够较好满足盾构机司机对“基本常识、常规操作、简单判定”的实际工作需要，是盾构机司机开展学习培训不可多得的工具书；同时，该书对当前国内外盾构施工具有很好的指导和借鉴作用，对构建我国隧道盾构机司机职业培训认证体系亦具有极其重要的参考价值。

中国古代哲人提出过“立德、立功、立言”为“人生三不朽”的论断。借本书出版之际，谨以此序向多年来为我国隧道及地下工程事业的发展做出突出贡献的广大工程施工技术人员和单位致以诚挚的问候，并对为本书的出版辛勤付出的各位编委表示感谢！

我将本书推荐给从事盾构机设计、制造、施工、工程管理、科研等工作人员和广大读者，相信本书的出版对我国盾构施工技术水平的提高，尤其是盾构机司机的专业素养提升定会起到极大的促进和推动作用。

中国科协副主席  
中国铁路总公司总工程师  
中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, reading '何斌武' (He Binwu), written in a cursive style.

2016年8月



# 前 言

随着国内基础建设的大力发展，隧道工程越来越多，盾构施工以其高度的自动化、信息化逐渐成为隧道施工的主要方式，也因其科技含量高，对盾构机司机操作熟练程度、掘进经验、应变能力等都提出了更高的要求。

盾构机司机岗位操作的重要性类似于焊接、高空作业等国家规定的特种作业及高铁动车司机作业，其操作技能的熟练程度直接影响周边环境和人员的安全，但由于盾构施工在我国发展起步较晚，盾构机操作在业内无统一标准、规范，司机所掌握的操作技能大多凭主观的学习及自身经验教训的积累，加之培训不系统，缺少相应的认证体系，导致国内盾构机司机水平参差不齐，成为盾构施工的安全隐患。例如，由某单位承建的国内特长水下铁路隧道施工过程中，由于盾构机司机操作失误，在未确认泥水仓内是否有人员工作的情况下打开泥浆门，大量泥浆涌入仓内，致使两名调试人员当场死亡；由某单位承建的一铁路隧道采用泥水盾构施工，在掘进过程中遭遇大块岩石致使出渣口堵塞，整个循环管路压力剧烈波动，盾构机司机对此突发情况处理不当，误将阀门关掉，压力突增瞬间将管路击穿，致使泥浆喷入变频器造成严重损坏。这与我国盾构施工的大范围普及不相匹配。

由此可见，比照高铁动车司机和国家特种作业成熟的培训模式，针对盾构施工的特点，开展盾构机司机培训，将有效规范和提高司机的操作水平、降低盾构施工风险，为盾构施工保驾护航。

本书共分为 11 章。1 ~ 4 章内容为盾构机基本知识，详细介绍盾构机的发展史、施工特点及构造原理等；5 ~ 9 章为盾构机操作知识，对盾构机各系统的操作进行全面、深入的介绍；第 10、11 章为盾构施工安全事故预防与应急措施、典型案例分析，总结盾构机操作的注意事项，并列举部分重要的应急预案与安全常识。

本书在编写过程中参考引用了有关单位和学者的部分技术资料；在组稿过程中，得到了中南大学教授傅鹤林、盾构及掘进技术国家重点实验室韩伟锋、中铁隧道股份有限公司游永锋、叶忠、马林坡、杨海林等诸多专家的大力支持，在此一并致以诚挚的感谢！

尽管付出了诸多努力，但书中仍难免存在错漏和不足，恳请读者提出宝贵意见，共同探讨、学习。

主编

2016 年 8 月

# 目 录

<b>第 1 章 盾构机的起源及发展史</b> .....	<b>1</b>
1.1 国外盾构机的起源及发展史 .....	1
1.2 国内盾构机的发展史 .....	5
1.3 国内盾构机产业化发展状况 .....	11
习题 .....	13
<b>第 2 章 盾构机概述</b> .....	<b>14</b>
2.1 盾构机的定义 .....	14
2.2 盾构机的分类 .....	15
2.3 盾构机的基本功能 .....	17
习题 .....	17
<b>第 3 章 盾构法施工的特点及盾构机选型</b> .....	<b>18</b>
3.1 盾构法施工的特点 .....	18
3.2 盾构法施工工艺流程 .....	20
3.3 盾构机选型 .....	20
3.4 盾构机工作原理 .....	25
习题 .....	32
<b>第 4 章 盾构机构造</b> .....	<b>34</b>
4.1 盾构机外形 .....	34
4.2 盾构机刀盘及壳体材料 .....	34
4.3 盾构机构造 .....	34
习题 .....	54
<b>第 5 章 盾构机司机要求及职责</b> .....	<b>55</b>
5.1 人员要求 .....	55
5.2 岗位职责 .....	56
5.3 工作要求 .....	57
习题 .....	57



<b>第 6 章</b>	<b>盾构机控制原理及监控界面</b>	<b>58</b>
6.1	盾构机控制系统概述	58
6.2	盾构机控制集成硬件组态	59
6.3	操作台	61
6.4	上位机监控界面	80
6.5	数据采集界面	86
	习题	87
<b>第 7 章</b>	<b>盾构机操作前的准备</b>	<b>89</b>
7.1	开机前检查	89
7.2	参数设置	89
	习题	93
<b>第 8 章</b>	<b>盾构机操作模式选择</b>	<b>94</b>
8.1	土压平衡盾构机掘进模式选择	94
8.2	泥水平衡盾构机操作模式选择	97
	习题	100
<b>第 9 章</b>	<b>盾构机操作程序及过程控制</b>	<b>102</b>
9.1	盾构机掘进程序	102
9.2	管片转运拼装程序	114
9.3	同步注浆程序	118
9.4	开仓作业程序	121
	习题	126
<b>第 10 章</b>	<b>盾构施工安全事故预防及应急措施</b>	<b>128</b>
10.1	盾构机掘进始发和到达事故预防及应急措施	128
10.2	盾构机掘进突泥、涌水事故预防及应急措施	129
10.3	下穿建（构）筑物事故预防及应急措施	130
10.4	带压进仓事故预防及应急措施	132
10.5	盾尾密封失效发生涌水、涌砂事故预防及应急措施	132
10.6	爆炸、隧道瓦斯突出和爆炸事故预防及应急措施	134
10.7	水、燃气、电力、通信等管线设施损坏事故预防及应急措施	135
10.8	螺旋输送机的喷涌事故预防及应急措施	135

习题	137
<b>第 11 章 盾构施工典型案例分析</b>	<b>138</b>
11.1 盾构姿态超限	138
11.2 地表塌陷	144
11.3 盾构卡机	152
11.4 重大设备故障	156
习题参考答案	174
参考文献	183

## 1.1 国外盾构机的起源及发展史

1818 年, 法国的布鲁诺尔 (M.I.Brunei) 发现船的木板中, 有一种蛀虫钻出孔道, 蛀虫头部有外壳, 在钻穿木板时, 分泌出的液体涂在孔壁上形成坚韧的保护壳, 用以抵抗木板潮湿后的膨胀, 以防被压扁。在蛀虫钻孔并用分泌物涂在孔壁的启示下, 布鲁诺尔最早提出用盾构法建设隧道的设想, 并在英国注册了专利 (见图 1.1-1)。

布鲁诺尔构想的盾构机内部结构由不同的单元格组成, 单元格牢靠地装在盾壳上 (见图 1.1-2), 每一个单元格可容纳一个工人独立工作并对工人起到保护作用。布鲁诺尔设计了两种推进方法, 一种方法是当一段隧道挖完后, 整个盾壳由液压油缸借助支座向前推进; 另一种方法是每一个单元格能单独地向前推进。第一种方法易于实现, 得到推广与应用, 演变为成熟的盾构法。

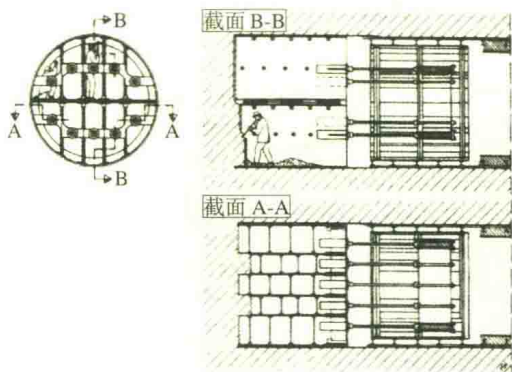


图 1.1-1 布鲁诺尔注册专利的盾构机

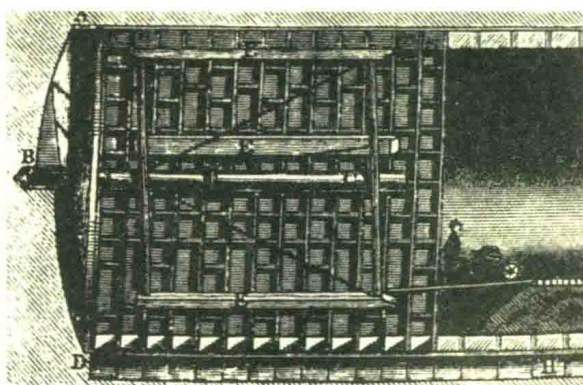


图 1.1-2 1818 年, 布鲁诺尔设计的螺旋盾构机

此后, 布鲁诺尔逐步完善盾构机的机械系统, 采用全断面螺旋式开挖的封闭式盾壳, 衬砌紧随其后的开挖方式。1825 年, 他第一次在伦敦泰晤士河下用一个断面高 6.8m、宽 11.4m 的矩形盾构机修建了世界上第一条盾构法隧道。布鲁诺尔的矩形盾构机由 12 个邻接的框架组成, 每一个框架分成 3 个仓, 每一个仓里有一个工人, 共有 36 个工人。此系统工作模式是借助螺杆将鞍形框架压入前方的土中, 此时从上部撤除隧道工作面上的木料, 并掘土 6 英寸。然后, 隧道工作面重新用木料覆盖并用螺杆支撑, 盾构机



后部砌砖作为整个机架的支座（见图 1.1-3）。

泰晤士河下的隧道施工期间经历了五次以上的特大洪水（见图 1.1-4），由于没有掌握抵制泥水涌入隧道的方法，隧道施工因被淹而停工。直到 1843 年，经过 18 年施工才完成了全长 458m 的第一条盾构法隧道。期间，1830 年英国的罗德发明“气压法”辅助解决了隧道涌水问题。

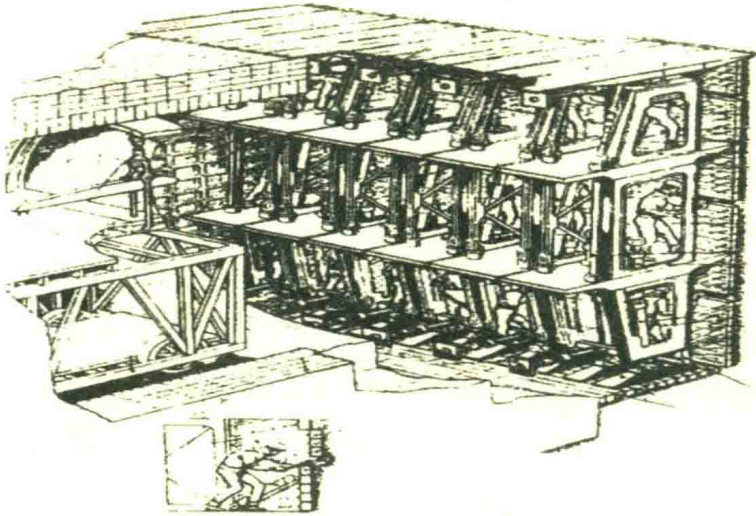


图 1.1-3 第一台用于隧道施工的盾构机

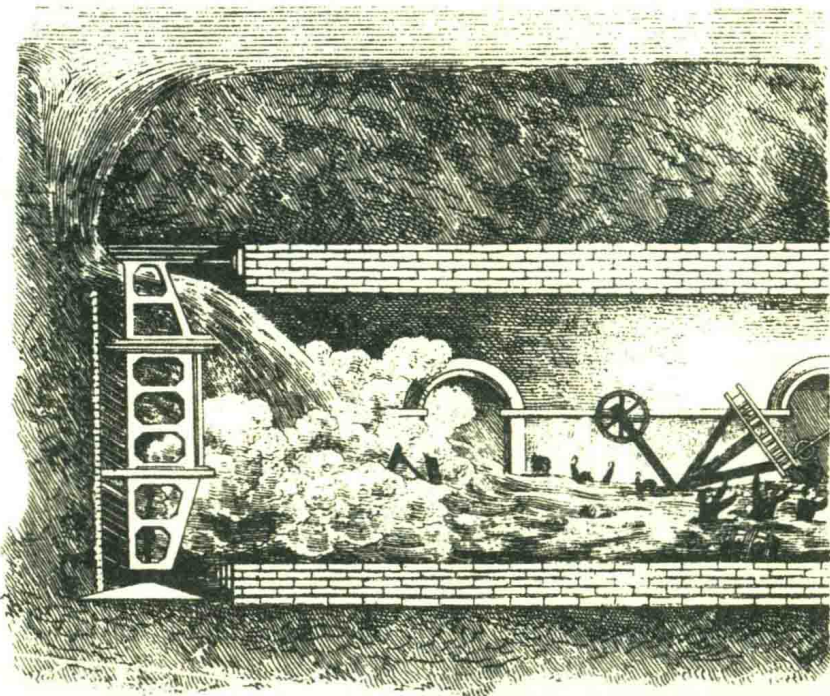


图 1.1-4 1828 年 1 月 12 日泰晤士河水涌入盾构机

1866年,莫尔顿申请了“盾构”专利。盾构最初被称为小筒(cell)或圆筒(cylinder),在莫尔顿专利中第一次使用了“盾构”(shield)这一术语。1869年,英国人格瑞海德(J.H.Greathead)用圆形盾构再次在泰晤士河底修建外径2.2m、长402m的隧道,并第一次采用了铸铁管片。由于隧道基本上是在不透水的黏土层中掘进,所以在控制地下水方面没有遇到困难。格瑞海德圆形盾构(见图1.1-5)后来成为大多数盾构机的原型。

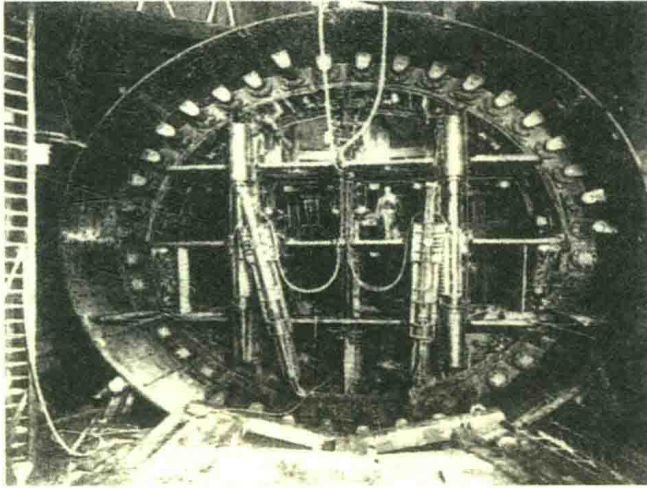


图 1.1-5 圆形盾构和铸铁管片

此后,工程师格瑞海德于1874年开发了液体支撑隧道工作面的盾构机,通过液体流,土料以泥浆的形式排出。

1886年,格瑞海德在伦敦地下施工中,将压缩空气方法与盾构掘进相组合使用。压缩空气在盾构掘进中的使用,标志着在承压水地层中掘进隧道的一个重大进步,填补了隧道施工的空白,促进了盾构法在世界范围内的进一步推广。20世纪初,大多数盾构隧道都是采用格瑞海德盾构法修建的。

布鲁诺尔发明盾构法之后的另一个技术进步是用机械开挖代替人工开挖。第一个机械化盾构专利是1876年英国人约翰·荻克英森·布伦敦和姬奥基·布伦敦申请的。这台盾构机采用由几块板构成的半球形旋转刀盘,开挖的土渣落入径向装在刀盘上的料斗中,料斗将渣土转运至皮带输送机上,再将它转运到后方吊离盾构隧道,这一构想后来被用于修建地铁隧道。

1917年,日本成为欧美国家以外第一个引进盾构法施工技术的国家。1963年,日本Sato Kogyo公司研发出世界第一台土压平衡盾构机(见图1.1-6)。1974年,日本制造商IHI(石川岛播磨)公司制造出世界第一台土压平衡盾构机,盾构外径3.72m,用于掘进日本东京1900m的主管线。



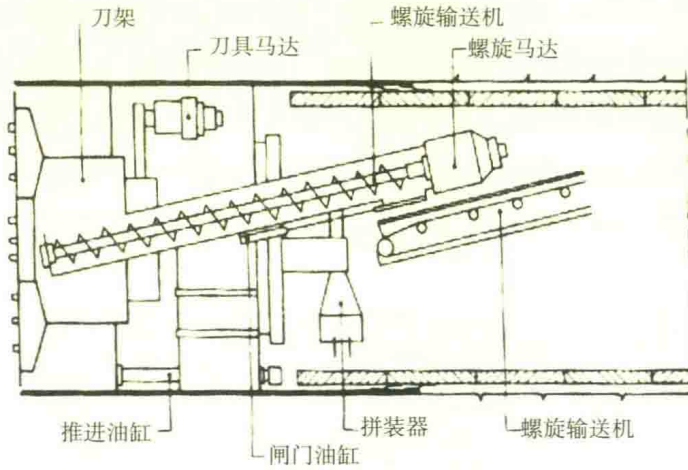


图 1.1-6 1963 年日本 Sato Kogyo 公司研发的土压平衡盾构机

此后，“土压平衡盾构机”被很多厂商以土压盾构机、压力保持盾构机、软泥盾构机、土壤压力盾构机、泥压盾构机等名称投产，但所有这些盾构机都应用了同一种工法，国际上统称为“土压平衡系统”（EPBS）。

1989 年，日本最引人注目的泥水盾构隧道工程开工——东京湾海底隧道。该隧道长 10km，采用八台直径 14.14m 泥水加压式盾构机施工（见图 1.1-7、图 1.1-8），是当时世界最长的公路专用海底隧道。

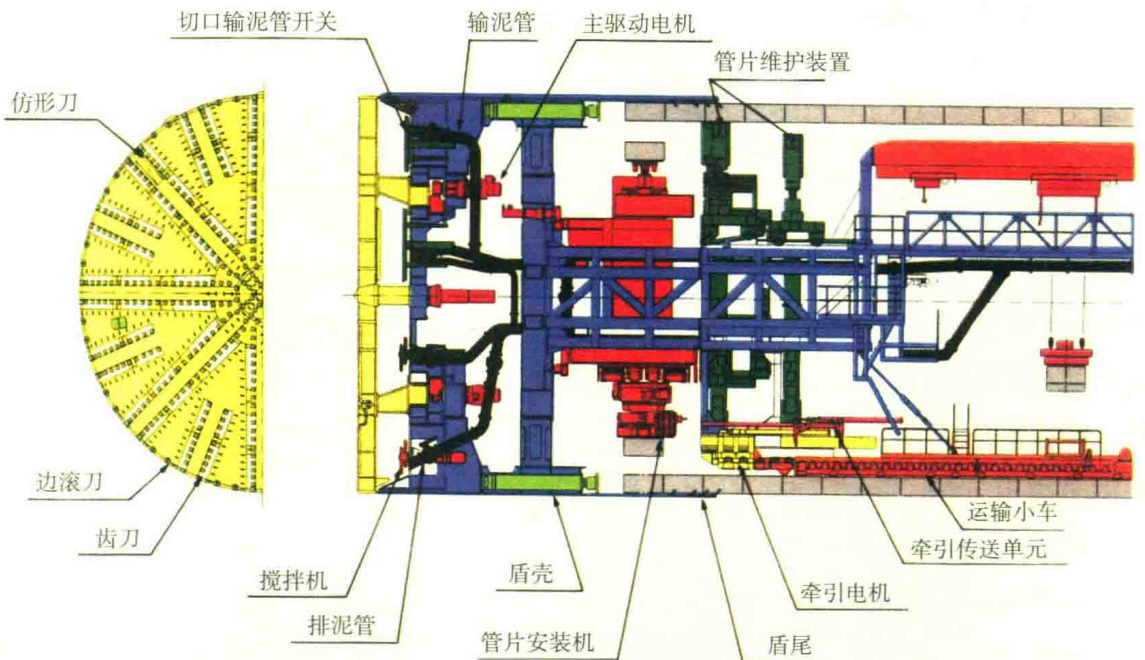


图 1.1-7 日本东京湾海底隧道盾构机示意图



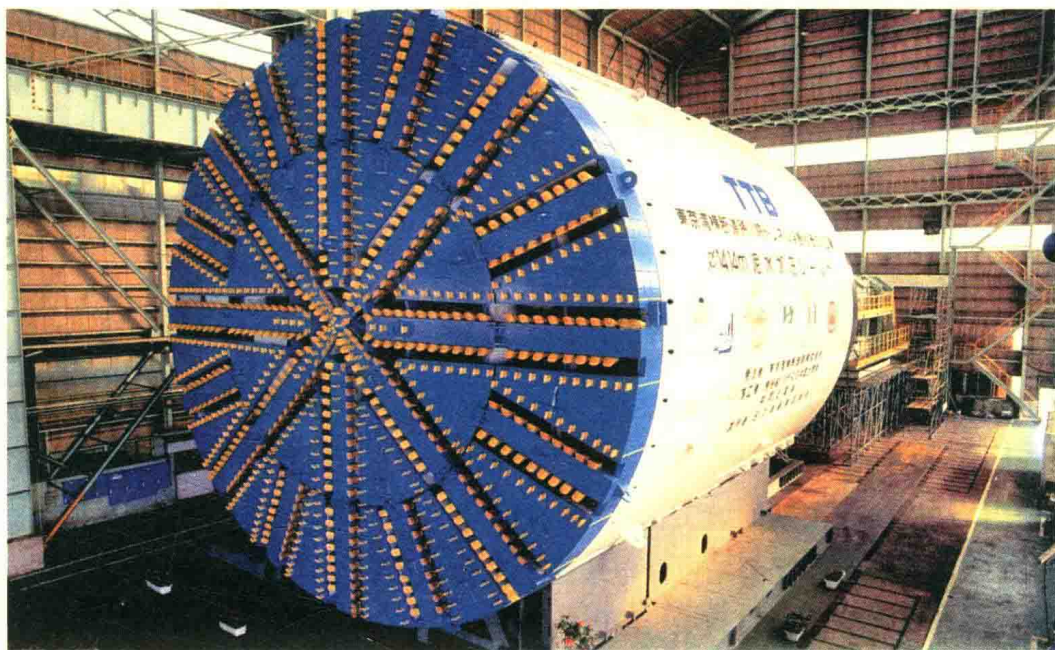


图 1.1-8 日本东京湾海底隧道泥水式盾构机

1992年,日本研制成世界上第一台三圆泥水加压式盾构机,并成功用于大阪市地铁7号线“商务公园站”车站工程施工。

综上所述,国外盾构机的发展经历了四个阶段:一是以 Brunel 盾构为代表的手掘式盾构机(1825 ~ 1876年);二是以机械式、气压式盾构为代表的第二代盾构机(1876 ~ 1964年);三是以闭胸式盾构为代表(泥水加压平衡式、土压平衡式)的第三代盾构机(1964 ~ 1984年);四是以大直径、大推力、大扭矩、高智能、多样化为特色的第四代盾构机(1984年至今)。

## 1.2 国内盾构机的发展史

### 1.2.1 国内盾构机的发展历程

国内盾构机的发展历程,大体上可以分为三个阶段:一是起步阶段(20世纪60年代~80年代初);二是平稳发展阶段(20世纪80年代中~90年代末);三是快速发展阶段(21世纪初期至今)。

### 1.2.2 起步阶段(20世纪60年代~80年代初)

1962年2月,上海城建局隧道工程公司结合上海软土地层对盾构机进行系统的试

验研究，研制了一台直径 4.16m 的手掘式敞胸盾构机，在两种有代表性的地层下进行掘进试验获得成功，隧道掘进长度 68m，采集了大量数据资料。掘进试验采用降水或气压来稳定粉砂层及软黏土地层，选用由螺栓连接的单层钢筋混凝土管片作为隧道衬砌，环氧煤焦油作为接缝防水材料。

### 1.2.3 平稳发展阶段（20 世纪 80 年代中～90 年代末）

1980 年，上海市进行地铁盾构法隧道试验段施工，研制了一台直径 6.41m 网格格式机械出土盾构机，采用泥水加压和局部气压来稳定地层的方法施工，总掘进长度 565m。同年 11 月，该盾构机应用于地铁试验段一期、二期的施工。1983 年 6 月再次应用于地铁试验段三期的施工，总试验施工长度 1130m。

1987 年，上海市修建南站过江电缆隧道工程，自主设计了第一台直径 4.35m 加泥式土压平衡盾构机（见图 1.2-1），由上海造船厂制造，于 1988 年 1 月正式用于过江电缆隧道工程的施工。该盾构机的特点是能够控制正面土压平衡并减少地面沉降，施工速度快，掘进长度达 583m。

1990 年 12 月，上海合流污水治理工程过江隧道施工采用加泥式土压平衡盾构机（见图 1.2-2），直径 5.17m，自重 190t，总推力 28800kN，总功率 500kW。

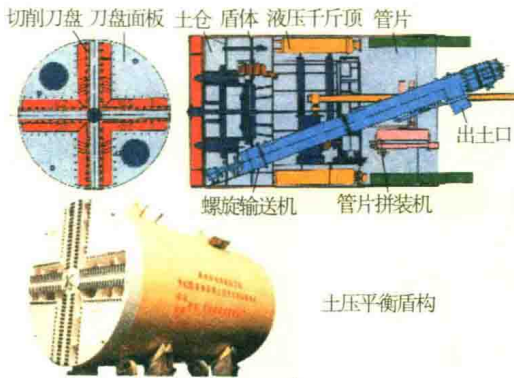


图 1.2-1 国内第一台加泥式土压平衡盾构机



图 1.2-2 直径 5.17m 加泥式土压平衡盾构机

1994 年 10 月，南京第一条秦淮河治理工程夹江隧道施工采用土压平衡盾构机，由中国与法国 FCB 公司联合研制，直径 6.34m（见图 1.2-3）。盾构机于 1995 年 2 月 5 日顺利穿越江底，进入江心洲接收井。

1995 年，国内开始研究矩形盾构隧道掘进技术。1996 年，上海隧道工程股份有限公司研制了一台 2.5m × 2.5m 可变网格矩形盾构机（见图 1.2-4），完成矩形隧道施工 60m，成功解决了推进轴线控制与纠偏、沉降控制、矩形盾构隧道施工等难题。



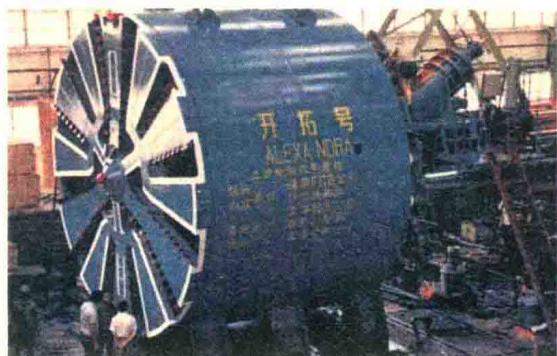


图 1.2-3 中国与法国 FCB 公司联合研制的  
土压平衡盾构机



图 1.2-4 国内自主研发的可变网格矩形盾构机

1998年12月，国内第一条较长距离的水底观光游览隧道——上海外滩观光隧道建成（见图1.2-5）。该隧道采用国外直径7.65m铰接式土压平衡盾构机施工，在极大的坡度和曲率的情况下穿越地铁2号线的两条越江隧道，与地铁隧道最小间距仅1.57m，形成越江隧道施工中罕见的“三隧叠交”，创造了中外越江隧道史上的奇迹，实现了中国软土隧道施工史上的又一次飞跃。



图 1.2-5 上海外滩观光隧道

#### 1.2.4 快速发展阶段（21世纪初期至今）

进入21世纪，国家经济、技术的迅猛发展为地铁建设带来了重大机遇，同时也为