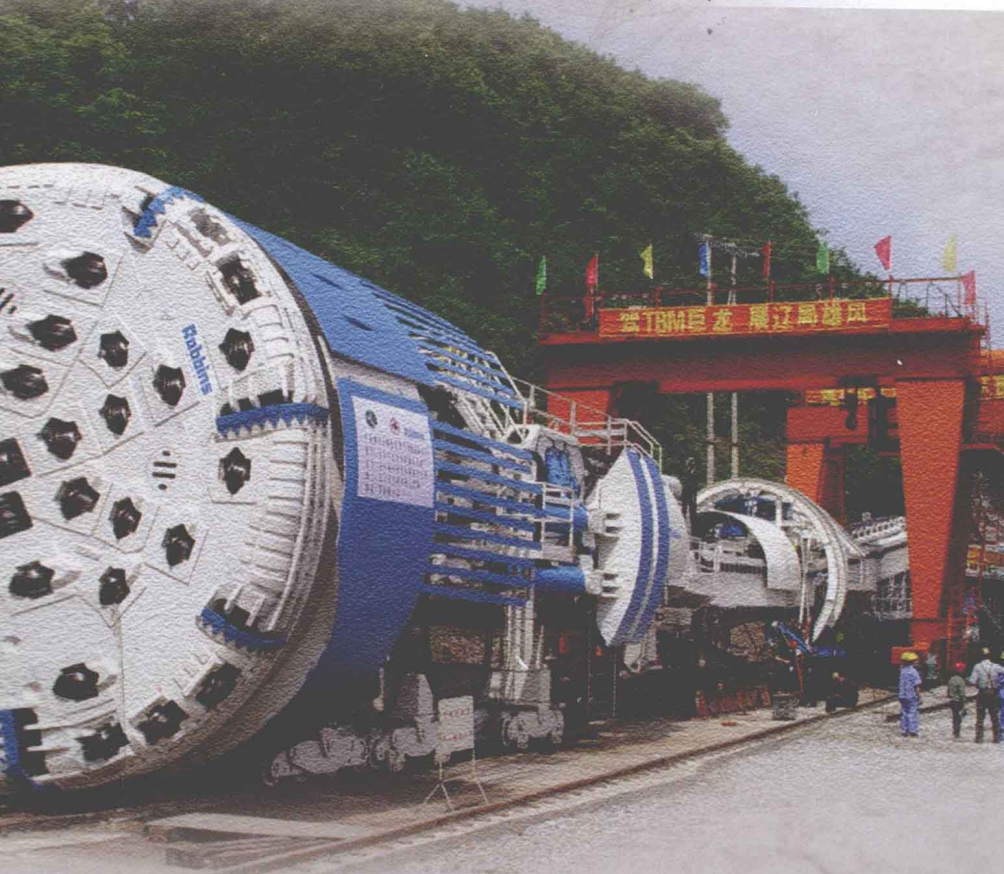


KAICHANGSHI **TBM**  
DE YINGYONG

# 开敞式TBM的应用

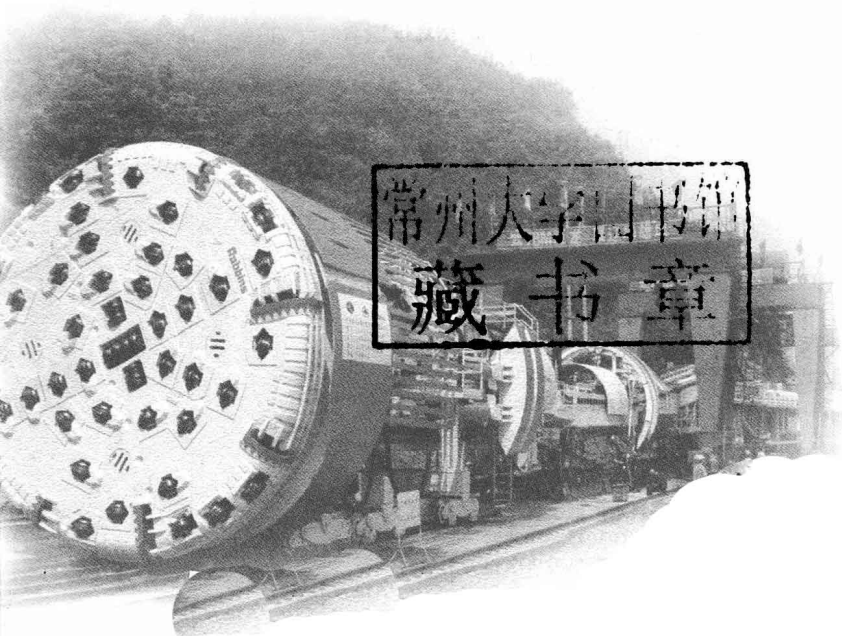
杜士斌 揣连成 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 开敞式TBM的应用

杜士斌 揣连成 编著



常州大学图书馆  
藏书章



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书结合实际工程经验,系统介绍了开敞式 TBM 施工隧洞工程的设计施工技术。主要内容包括:绪论,开敞式 TBM 施工隧洞工程特点,TBM 设备选型,开敞式 TBM 施工准备,开敞式 TBM 现场组装,开敞式 TBM 施工,TBM 施工超前地质预报,灾害地质洞段施工与处理。

本书可供水利、交通、铁道等工程设计、施工、监理及建设管理等技术人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

开敞式TBM的应用 / 杜士斌, 揣连成编著. — 北京  
: 中国水利水电出版社, 2011.6  
ISBN 978-7-5084-8690-1

I. ①开… II. ①杜… ②揣… III. ①隧道施工—掘  
进机械 IV. ①U455.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第107452号

|      |                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 开敞式 TBM 的应用                                                                                                                               |
| 作 者  | 杜士斌 揣连成 编著                                                                                                                                |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: www. waterpub. com. cn<br>E-mail: sales @ waterpub. com. cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心 (零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                      |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                           |
| 印 刷  | 北京市兴怀印刷厂                                                                                                                                  |
| 规 格  | 140mm×203mm 32 开本 11.375 印张 306 千字                                                                                                        |
| 版 次  | 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷                                                                                                         |
| 印 数  | 0001—2000 册                                                                                                                               |
| 定 价  | 40.00 元                                                                                                                                   |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

TBM (Tunnel Boring Machine) 作为集掘进、出渣、初期支护、通风除尘为一体的现代隧洞工程大型施工设备,以掘进速度快、施工质量稳定、安全作业条件好、对生态环境影响小的优势,在国内外隧洞工程建设中得到了广泛应用,且前景广阔。

然而,迄今尚无技术标准指导 TBM 施工隧洞的设计与施工。采用 TBM 施工,必然会提出与其固有特点相关的新课题;隧洞功能不同,对设计和施工的要求也不一致;铁路隧道和水工隧洞所遵循的规则也不尽相同。因此,隧洞工程界企盼着能够尽早编制 TBM 施工隧洞的技术标准,以规范其设计和施工,促进 TBM 应用的健康发展。

技术标准是建立在成熟经验基础上的经验积累。经验越多、越成熟,技术标准也就越具权威性和约束力。每一项工程,都有自己的成功经验,只有不断总结经验,交流经验,传承经验,才能为编制技术标准提供保证。本书旨在总结开敞式 TBM 施工无压隧洞设计和施工的成功经验,为类似工程提供借鉴;提出开敞式 TBM 施工无压隧洞设计的新课题及其设计原则,供业界讨论;提出开敞式 TBM 施工规避地质风险、设备风



险和技术管理风险的措施，以保证施工安全、顺利地进行。

囿于经验和水平，不周、偏颇乃至谬误在所难免，尚望读者赐正。

作 者

2010 年 12 月

# 目 录

## 前言

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第一章 绪论</b> .....               | 1   |
| 第一节 国外 TBM 发展概况 .....             | 1   |
| 第二节 国内 TBM 的应用 .....              | 7   |
| 第三节 TBM 工法的优势与弱点 .....            | 10  |
| 第四节 大伙房应用开敞式 TBM 成就 .....         | 26  |
| <b>第二章 开敞式 TBM 施工隧洞工程特点</b> ..... | 39  |
| 第一节 开敞式 TBM 施工特点 .....            | 39  |
| 第二节 支护衬砌设计施工特点 .....              | 44  |
| 第三节 隧洞断面设计特点 .....                | 47  |
| 第四节 隧洞轴线设计特点 .....                | 57  |
| 第五节 地质勘察工作特点 .....                | 65  |
| 第六节 深埋长大隧洞的测量控制 .....             | 79  |
| 第七节 项目划分特点 .....                  | 92  |
| 第八节 五方认证快速反应机制 .....              | 103 |
| <b>第三章 TBM 设备选型</b> .....         | 108 |
| 第一节 TBM 设备选型的特点 .....             | 108 |
| 第二节 设备性能及其适用条件 .....              | 109 |
| 第三节 TBM 施工段工程地质条件 .....           | 110 |
| 第四节 支护衬砌方式 .....                  | 112 |
| 第五节 衬砌结构对施工质量的影响 .....            | 116 |
| 第六节 经济比较 .....                    | 120 |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 第七节        | 其他方面的比较 .....             | 121        |
| 第八节        | 大伙房隧洞工程设备选型 .....         | 123        |
| <b>第四章</b> | <b>开敞式 TBM 施工准备 .....</b> | <b>125</b> |
| 第一节        | TBM 组装场地布置与准备 .....       | 125        |
| 第二节        | TBM 施工通风 .....            | 127        |
| 第三节        | TBM 施工供排水系统 .....         | 133        |
| 第四节        | TBM 和连续皮带机施工供电 .....      | 141        |
| 第五节        | 施工支洞布设 .....              | 144        |
| 第六节        | 扩大洞室设计与施工 .....           | 150        |
| <b>第五章</b> | <b>开敞式 TBM 现场组装 .....</b> | <b>161</b> |
| 第一节        | 组装人员和技术准备 .....           | 161        |
| 第二节        | TBM 设备组成 .....            | 164        |
| 第三节        | 现场组装特点和原则 .....           | 167        |
| 第四节        | 现场组装程序 .....              | 168        |
| 第五节        | 刀盘的焊接与吊装 .....            | 174        |
| 第六节        | TBM 的滚轮步进 .....           | 177        |
| <b>第六章</b> | <b>开敞式 TBM 施工 .....</b>   | <b>180</b> |
| 第一节        | 作业程序 .....                | 180        |
| 第二节        | 启动准备 .....                | 181        |
| 第三节        | 掘进作业 .....                | 182        |
| 第四节        | TBM 换步 .....              | 184        |
| 第五节        | 掘进模式选择 .....              | 189        |
| 第六节        | TBM 基本参数 .....            | 190        |
| 第七节        | 掘进参数选择 .....              | 193        |
| 第八节        | 采用大直径滚刀掘进的优越性 .....       | 198        |
| 第九节        | 刀具的安装与更换 .....            | 205        |
| 第十节        | 曲线洞段的掘进与出渣 .....          | 209        |
| 第十一节       | 取消预制混凝土仰拱 .....           | 212        |
| 第十二节       | TBM 施工的中间转场 .....         | 217        |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 第十三节       | 在转场期间更换主轴承 .....          | 227        |
| 第十四节       | 在掘进途中更换主轴承 .....          | 230        |
| 第十五节       | 不良地质 TBM 施工技术 .....       | 245        |
| 第十六节       | TBM 拆卸 .....              | 261        |
| <b>第七章</b> | <b>TBM 施工超前地质预报 .....</b> | <b>267</b> |
| 第一节        | TBM 施工隧洞超前预报 .....        | 267        |
| 第二节        | 超前地质预报分类 .....            | 269        |
| 第三节        | 综合超前预报技术 .....            | 274        |
| 第四节        | TSP 超前预报技术 .....          | 275        |
| 第五节        | HSP 声波反射法预报技术 .....       | 282        |
| 第六节        | BEAM 超前预报技术 .....         | 287        |
| <b>第八章</b> | <b>灾害地质洞段施工与处理 .....</b>  | <b>294</b> |
| 第一节        | 塑性变形洞段的处理 .....           | 294        |
| 第二节        | TBM 卡机脱困处理 .....          | 306        |
| 第三节        | 地质构造复杂带洞段的处理 .....        | 315        |
| 第四节        | 涌水淹洞的处理 .....             | 326        |
| 第五节        | 连续塌方涌水洞段的处理 .....         | 336        |
| 参考文献 ..... |                           | 352        |

# 第一章 绪 论

## 第一节 国外 TBM 发展概况

### 一、TBM 简史

TBM 是“隧洞掘进机”英文 Tunnel Boring Machine 的缩写。

本书所述 TBM，均指全断面岩石隧洞掘进机（Full Face Rock Tunnel Boring Machine）。

随着硝化甘油、黄色炸药和风动凿岩机的问世，大约在 19 世纪到 20 世纪中叶世纪内，钻爆法成为隧洞施工唯一具有代表性的施工方法。

锚喷支护、光面爆破、预裂爆破技术的应用，新奥法支护原理的提出，促使钻爆理论和钻爆技术日益成熟。

日本 53.85km 长的青函海底隧道就是钻爆法施工的杰作之一。

由于钻爆法施工存在劳动强度大、作业条件差、生产效率低、施工安全难以保证等弱点，业内人士在改进、完善钻爆法施工的同时，也在不断探索、尝试新的隧洞施工方法。

1846 年，意大利的 Henry Joseph Maus 为进行穿越阿尔卑斯山 Cenis 隧道的施工，设计了世界上第一台硬岩 TBM 的原型样机。其破岩机理是采用凿岩钢钎破岩。1849 年该机制造完成，因隧道推迟开工而未付诸使用。

1851 年，美国的 Charles Wilson 为进行 Hoosac 隧道施工，设计了将圆锥刀盘安装在悬臂上的旋转式 TBM。由于存在难以克服的滚刀等问题，试验没有取得成功。

在此后的一个世纪内，TBM 的研制处于长期停滞状态。

TBM 的再次问世，是在 100 年后的 1953 年。美国 Robbins 公司的首任经理 James S. Robbins 制造了内、外圈对转式刀具（刮、滚刀兼备）的 TBM（910—101 型）。刀盘直径 8.0m，整机长 27.4m。内、外圈刀盘分由 2 台 149kW 电机驱动。该台 TBM 成功地完成了 Oahe 水坝 4 条排水隧洞的开挖。日进尺达 49m。但该隧洞地层为软弱页岩，转用于芝加哥强度达 124~183MPa 坚硬岩层的下水道施工时，终因机械的坚固性和刀具的磨损等问题而未获成功。

1956 年，世界第一台硬岩 TBM 在美国 Robbins 公司问世。

为进行加拿大多伦多 Humber River 下水道隧洞工程的施工，Robbins 制造了一台真正用于硬岩隧洞工程施工的 TBM（131—106 型）。该隧洞穿越的地层为砂岩、页岩、石英质石灰岩。岩石抗压强度 55~186MPa。经改进后，该 TBM 成功、顺利地掘进了 4510m。

该 TBM 具备了现代 TBM 的基本结构特点：

- (1) 通过撑靴撑紧洞壁，提供推进反力和扭矩。
- (2) 推进、撑靴固定和调向采用液压油缸控制。
- (3) 刀盘为单向旋转。
- (4) 全部采用盘形滚刀。
- (5) 刀盘周边设有渣斗，随刀盘旋转，在底部铲渣、顶部卸渣。
- (6) 利用皮带机输送出渣等。

盘形滚刀的应用是全断面硬岩掘进机的重要标志，是 TBM 发展中的一个重要转折点。

此后，相继有美国的 Jarva、Boretac，德国的 DEMAG、Wirth、Herrenknecht，欧洲的 Atras COPCO 等诸多公司陆续开始制造硬岩 TBM。

## 二、TBM 的应用与发展

半个世纪以来，TBM 的设计、制造、施工技术已趋成熟。

国外的隧洞(道)工程,越来越广泛地采用 TBM 施工。更有些国家或发包人明确规定,对于长度超过 3km 的隧洞,必须采用 TBM 施工。

采用 TBM 施工的工程项目,主要是铁路隧道、公路隧道、水工隧洞等。

截至 2003 年,世界各大掘进机制造商共生产 TBM 约 600 台,完成隧洞工程施工近 6000km<sup>[1]</sup>。

另据统计,在世界每年开挖的隧洞中,有 30%~40%是由 TBM 完成的<sup>[2]</sup>。

TBM 设备型式有以下几种:

- (1) 开敞式 TBM (见图 1-1)。
- (2) (单、双、三) 护盾式 TBM (见图 1-2)。
- (3) 扩孔式 TBM。
- (4) 摇臂式 TBM 等。

随着功能的需求和技术的成熟,TBM 型式日趋系列化和多样化。但常用的硬岩掘进机型主要还是开敞式和双护盾式两种。

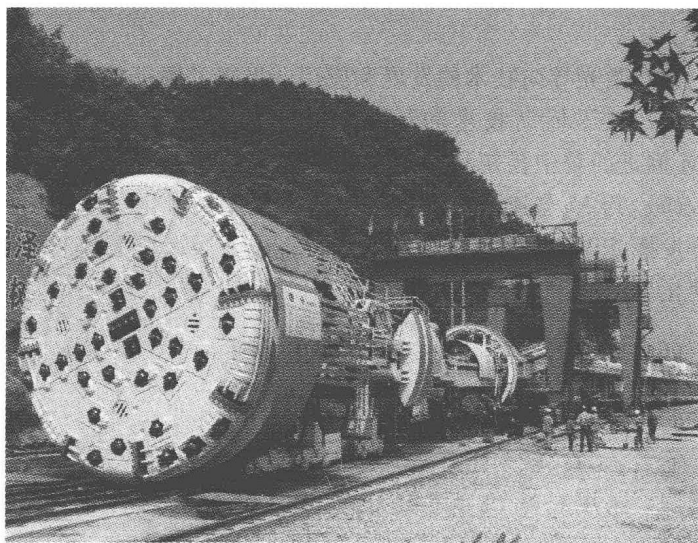


图 1-1 开敞式 TBM

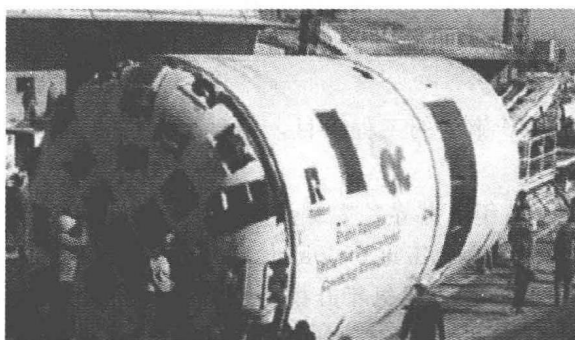


图 1-2 双护盾 TBM

### 三、TBM 应用和发展的主要特点

半个世纪以来，TBM 应用和发展的主要特点如下：

(1) 主轴承设计和制造工艺不断改进，质量和寿命不断提高。

(2) 滚刀材质和刃形不断改进，提高了承载能力和掘进速度。

(3) 激光导向技术的发展和运用，提高了掘进贯通的精度。

(4) 液压传动技术和计算机技术的发展和运用，实现了 TBM 掘进的集中控制和操作的自动化。

(5) TBM 与连续皮带机出渣联合作业，简化了施工，可以充分发挥 TBM 掘进速度快的优势，将成为深埋长大隧洞施工的自动化生产线。

### 四、大断面隧洞的 TBM 施工方法

TBM 开挖洞径变幅较大，一般为 3~12m。

笔者认为，就采用开敞式 TBM 施工而言，以 8m 左右直径的隧洞、采用配备 19 英寸滚刀的 TBM 施工为最优。

对于 10m 以上大直径隧洞，采用 TBM 施工，有 3 种方法可供选择：

(1) 采用设计直径 TBM 全断面掘进一次成形 (见表 1-1)。

表 1-1 国外  $D \geq 10\text{m}$  TBM 全断面施工隧洞实例<sup>[2]</sup>

| 国家与工程名称                  | 岩性, 强度<br>(MPa) | 直径<br>(m) | 长度<br>(m)     | 厂家与型式       |
|--------------------------|-----------------|-----------|---------------|-------------|
| 巴基斯坦<br>Mangla 隧洞        | 砂岩, 粘土, 石灰岩     | 11.20     | 5×500         | Robbins 开敞式 |
| 美芝加哥下水道<br>TARP73-160-2H | 灰页岩, 35~226     | 10.77     | 5408          | Robbins 开敞式 |
| 美芝加哥下水道<br>TARP73-126-2H | 灰页岩, 120~175    | 10.74     | 7725          | Robbins 开敞式 |
| 美芝加哥下水道<br>TARP73-126-CK | 灰页岩, 35~226     | 10.77     | 893           | Robbins 开敞式 |
| 瑞士 Cubrist<br>道路隧洞       | 泥灰岩, 砂岩         | 11.55     | 2×3000        | Robbins 护盾式 |
| 瑞士 Zurichberg<br>道路隧洞    | 泥灰岩, 砂岩         | 11.52     | 4355          | Robbins 护盾式 |
| 美芝加哥下水道<br>TARP73-160-2H | 灰页岩, 105~226    | 10.77     | 6454          | Robbins 开敞式 |
| 瑞士 Bozberg<br>公路隧洞       | 石灰岩, 砂岩, 100    | 11.80     | 3681<br>+3726 | Robbins 开敞式 |
| 瑞士 Mt. Russein<br>道路隧洞   | 泥灰岩, 砂岩, 粘土     | 11.81     | 3400          | Robbins 护盾式 |
| 法国里昂<br>道路隧洞             | 片麻岩, 冲积层        | 10.96     | 2×3200        | 三菱重工护盾式     |
| 瑞士 Hertsberg<br>铁路隧洞     | 砂岩              | 10.65     | 2600m         | Robbins     |
| 意大利铁路隧洞<br>Castiglione   | —               | 10.87     | 7396          | Robbins     |

(2) 先用小直径 TBM 开挖导洞, 再用扩孔式 TBM 扩挖成形 (见表 1-2)。

(3) 非圆形隧洞, 先用小直径 TBM 开挖导洞, 再采用钻爆法扩挖成形 (实例如下)。

表 1-2 国外  $D \geq 10\text{m}$  采用 TBM 扩挖施工隧洞实例<sup>[2]</sup>

| 国家与工程名称                 | 岩性, 强度<br>(MPa)   | 直径<br>(m) | 长度<br>(m)      | 厂家    |
|-------------------------|-------------------|-----------|----------------|-------|
| 瑞士 Sonnenberg<br>道路隧道   | —                 | 11.46     | 2×1300         | Wirth |
| 瑞士 Kerenzerberg<br>道路隧道 | —                 | 11.00     | 3587           | Wirth |
| 瑞士 Nevenberg<br>道路隧道    | —                 | 11.30     | 2×2600         | Wirth |
| 瑞士 ATEX<br>道路隧道         | 大理岩, 石灰岩          | 11.00     | 2×2500         | Wirth |
| 意大利 Aosta<br>道路隧道       | 页岩                | 11.40     | 2×2670         | Wirth |
| 韩国 Num Sum<br>道路隧道      | 安山岩               | 11.30     | 1200           | Wirth |
| 瑞士 Locarno<br>公路隧道      | 片麻岩 (石英 40%), 200 | 10.80     | 5518           | Wirth |
| 意大利布伦纳<br>公路隧道          | 斑岩                | 10.40     | 7338<br>+13159 | Wirth |

### [实例 1-1] 日本第二东一名高速公路金谷隧道<sup>[3]</sup>

根据交通量增长需要, 决定增开与东 (京) 一名 (古屋) 高速公路平行的第二东一名高速公路, 长 133.7km。其中的金谷隧道为三车道, 长 4607m。隧道断面为扁马蹄形, 面积 200m<sup>2</sup>。最大开挖宽度 18m。根据日本国家规定, 凡大断面隧道长度超过 1000m 者, 必须首先采用 TBM 打导洞。其目的是查明地质条件, 探明地下水, 制定涌水处理对策, 进行预先加固, 以便顺利进行扩大断面开挖, 提高爆破作业效率。该隧道 TBM 开挖导洞直径 5.0m, 长 4104m。

笔者需要特别强调的是, 对于超过 10m 直径的隧洞, 采用 TBM 施工, 施工方法选择应慎之又慎。

采用设计直径 TBM 全断面掘进一次成形施工方法的决策,

需要缜密考虑三大风险：

(1) 尽可能详尽地掌握整个洞线的工程地质、水文地质条件，特别是要掌握那些可能的不良地质条件，而且要具有应对不良地质条件的成熟经验，以规避采用 TBM 施工的地质风险。

(2) TBM 设备的能力及各种辅助设施的配置，是否足以应对洞线已知或可能的各种不良地质条件，以规避采用 TBM 施工的设备风险。

(3) TBM 施工的操作者和管理者，应具有丰富的 TBM 施工经验和丰富的应对各种不良地质条件的经验，以规避采用 TBM 施工的技术和管理风险。

## 第二节 国内 TBM 的应用

从 20 世纪 60 年代开始，国内 TBM 的研制，经历了几十年艰难、坎坷的历程，没有取得突破性的进展。

### 一、引进国外双护盾 TBM，由国外队伍施工

20 世纪 90 年代，我国水利系统“引大入秦”工程和“引黄入晋”工程，相继引进国外双护盾 TBM，以国外承包商为主导，进行水工隧洞施工，取得了引人瞩目的成绩，对业界产生了广泛、深远的影响。

这个阶段的突出贡献如下：

(1) 成功地进行了“引大入秦”和“引黄入晋”工程建设。

(2) 7 台双护盾 TBM 累计掘进 130km。

(3) 创造了最高日进尺 99.37m、最高月进尺 1821.51m 的纪录<sup>[4]</sup>。

(4) 取得了 6.00m 以下洞径采用 TBM 掘进、预制混凝土管片衬砌的施工经验。

(5) 使各工种、各级别的中国雇员得到了应用 TBM 的实际锻炼。

国内采用双护盾 TBM 建成或在建的隧洞工程见表 1-3。

表 1-3 国内采用双护盾 TBM 施工的隧洞工程

| 工程名称            | TBM                | 直径<br>(m)     | 掘进长度<br>(m) | 承建单位             | 建设年代                   |
|-----------------|--------------------|---------------|-------------|------------------|------------------------|
| 引大入秦<br>30A     | Robbins 1          | 5.53          | 9080        | 意大利 CMC<br>华水公司  | 1990~1992              |
| 引黄入晋<br>总干(3)   | Robbins 1          | 6.11          | 21400       | 意大利 CMC          | 1994~2001              |
| 引黄入晋<br>南干(4)   | Robbins 3<br>NFM 1 | 4.82<br>~4.92 | 90300       | 英布吉洛 CMC<br>中水四局 | 1994~2001              |
| 引黄入晋<br>连接段     | Robbins 1          | 4.82          | 13500       | 意大利 CMC          | 1994~2001              |
| 新疆大坂<br>输水工程    | Herrenknecht 1     | 6.76          | 19700       | 山西水利<br>工程局      | 在建                     |
| 青海引大<br>济湟      | Wirth 1            | 5.93          | 19970       | 中铁隧道             | 在建                     |
| 甘肃引洮<br>工程 9 号洞 | Wirth 1            | 5.75          | 16495       | 中水四局<br>和 CMC    | 2010 年 2 月 16 日<br>掘进  |
| 甘肃引洮<br>工程 7 号洞 | Wirth 1<br>(单护盾)   | 5.75          | 17166       | 中铁隧道             | 2009 年 4 月<br>掘进       |
| 陕西引红<br>济石工程    | Robbins 1          | 3.655         | 10265       | 中铁隧道             | 2008 年 11 月 11 日<br>掘进 |
| 昆明掌鸠河           | Robbins 1          | 3.655         |             | CMC              | 改钻爆                    |

“引大入秦”和“引黄入晋”工程，使国人树立了应用 TBM 进行隧洞施工的信心，开创了我国应用 TBM 的新纪元。

## 二、引进国外开敞式 TBM，由国内队伍施工

在 20、21 世纪之交的年代，铁路系统的秦岭 I 线铁路隧道和水利系统的大伙房隧洞工程，相继引进国外开敞式 TBM，由国内承包商成功地进行了铁路隧道和水工隧洞的施工。

这个阶段的突出贡献如下：

- (1) 培养、造就了一批国内年轻、配套的 TBM 施工队伍。
- (2) 完善了引进 TBM 的主要类型。
- (3) 成功地进行了 8.00m 以上大直径 TBM 施工。
- (4) 取得了 TBM 掘进、初期支护和二次混凝土衬砌的施工经验。
- (5) 取得了大直径隧洞平均月进尺 600m 的好成绩, 创造了最高日进尺 63.5m、最高月进尺 1111m 的记录。

国内采用开敞式 TBM 施工的隧洞工程见表 1-4。

表 1-4 国内采用开敞式 TBM 施工的隧洞工程

| 工程名称           | TBM                         | 直径<br>(m) | 掘进长度<br>(m) | 承建单位                    | 建设年代             |
|----------------|-----------------------------|-----------|-------------|-------------------------|------------------|
| 秦岭 I 线<br>铁路隧道 | Wirth 2                     | 8.80      | 10864       | 中铁隧道、<br>中铁十八局          | 1998~1999        |
| 桃花铺<br>铁路隧道    | Wirth 1                     | 8.80      | 6016        | 中铁十八局                   | 2000~2002        |
| 磨沟岭<br>铁路隧道    | Wirth 1                     | 8.80      | 4820        | 中铁隧道                    | 2000~2002        |
| 大伙房<br>隧洞工程    | Robbins 2<br>Wirth 1        | 8.00      | 44660       | 北京振冲、<br>辽水工程局、<br>中铁隧道 | 2003~2009        |
| 中天山铁路<br>隧道左线  | Wirth 1                     | 8.80      | 预计 13500    | 中铁十八局                   | 在建               |
| 中天山铁路<br>隧道右线  | Wirth 1                     | 8.80      | 预计 13500    | 中铁隧道                    | 在建               |
| 锦屏电站<br>引水隧洞   | Robbins 1<br>Herrenknecht 1 | 12.40     | 2×16690     | 中铁十八局、<br>北京振冲          | 在建               |
| 锦屏电站<br>排水隧洞   | Robbins 1                   | 7.20      | 15000       | 北京振冲                    | 在建               |
| 那帮电站<br>引水隧洞   | Herrenknecht 1              | 4.50      | 7800        | 中铁十九局                   | 2009 年 8 月<br>在建 |

秦岭 I 线铁路隧道和水利系统的大伙房隧洞工程的成功建成, 开创了我国开敞式 TBM 施工的新纪元, 并进一步将国内