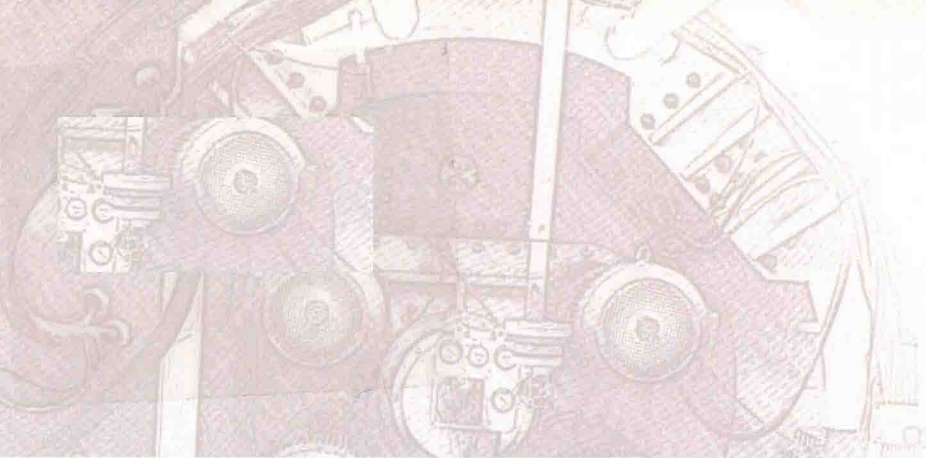




DingGuan JiShu

# 顶管技术

余彬泉 主 编

贾连辉 范 磊 副主编

朱伯锦 朱晓肆 计保林 参 编



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

Dingguan Jishu  
**顶管技术**

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
|     | 余彬泉 | 主 编 |
| 贾连辉 | 范 磊 | 副主编 |
| 朱伯锦 | 朱晓肆 | 参 编 |
|     | 计保林 |     |



**人民交通出版社股份有限公司**  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书主要介绍各类顶管施工所用的设备,以及顶管施工的一些新工法、新技术等。全书共分 14 章,包括顶管施工概论、人工顶管与半机械顶管、泥水顶管、浓泥顶管、土压顶管、异形顶管、岩石顶管、小口径与超小口径顶管、小型盾构以及顶管与盾构可转换工法、长距离和曲线顶管、其他形式的顶管。

本书可供各类从事顶管设备制造企业、专业施工技术人员和高等院校土木工程相关专业师生教学参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

顶管技术 / 余彬泉主编. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018. 10

ISBN 978-7-114-15014-2

I. ①顶… II. ①余… III. ①顶进法施工 IV.

①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 220981 号

书 名: 顶管技术

著 作 者: 余彬泉

责任编辑: 刘永超 石 遥

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 24.25

插 页: 2

字 数: 590 千

版 次: 2018 年 10 月 第 1 版

印 次: 2018 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15014-2

定 价: 95.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

# 序

工欲善其事必先利其器,谓工匠想要使他的工作做好,一定要先让工具锋利,比喻要做好一件事,准备工作非常重要。语出《论语·卫灵公》:子贡问为仁。子曰:“工欲善其事,必先利其器。居是邦也,事其大夫之贤者,友其士之仁者。”

《顶管技术》一书脱稿了。这是年逾古稀的余彬泉老先生及所有参编人员为我国的顶管事业所作出的新贡献。余老先生现在依然老骥伏枥、创新不断。为此,我代表扬州广鑫重型设备有限公司、并以我个人的名义向余老先生及所有参编人员表示衷心的祝贺!

余老先生从事顶管事业至今已达 50 年之久,他在任上海市市政二公司顶管技术研究所所长时,曾分别于 1988 年 3 月和 1992 年 6 月先后成功组织设计、制造了我国第一台  $\phi 2720\text{mm}$  多刀盘土压平衡顶管机,并于 1995 年获得了专利。1992 年他和他的团队设计、制造了我国第一台  $\phi 1440\text{mm}$  加泥式土压平衡顶管机,并在汕头市的金砂东路顺利顶了 68m。后来,他组织设计、制造的  $\phi 1650\text{mm}$ 、 $\phi 3000\text{mm}$  辐条式加泥土压平衡顶管机,获得了上海市科技成果三等奖。他于 1989 年被评为上海市劳动模范。他又是我国双级等推力油缸的命名和首推人物。1989 年 8 月,他主编的《顶管施工技术》出版了,很受业内人士欢迎,接连印刷了 3 次。

2001 年他退休后到我公司担任总工程师至今,先后为我公司成功设计了多边形泥水顶管机、土压平衡顶管机、土砂泵、矩形顶管机、行星齿轮式顶管机、矩形管节盾构等一系列新产品。这使得我公司当之无愧地成为我国最大的顶管机专业生产厂商并成为我国第一家出口顶管设备的企业。目前,我公司产品在国内外已有一定的知名度。

近几年,他又参与编写了《给排水工程顶管技术规程》和《顶管工程设计与施工》这两本书。

参与编写的朱伯锦先生是我公司技术部门负责人。他设计的圆形各种口径、矩形顶管机已超过百台。先后设计完成了出口到埃及、俄罗斯、新加坡、泰国等国

的泥水、土压平衡顶管机及其配套设备,设计完成了各种规格的矩形顶管机及主顶油缸等配套设备和套筒式土砂泵的液压控制系统,还设计完成了我国第一台 2.5m×2.2m 矩形半管节盾构机等。他是一个有着丰富经验的技术人员,一直从事顶管机及其配套设备的设计、研发工作。

朱晓肆虽然从事顶管机设计时间不长,但对于顶管机尤其是岩石顶管机的切削刀具和刀盘的设计有独到之处。此外,他还先后设计了套筒式土砂泵、矩形顶管管节浇捣的钢模等。

贾连辉先生是中铁工程装备集团设计研究总院副院长、高级工程师。一直致力于盾构机、TBM、顶管机等设备的设计、研发及管理工作。先后参与了三项国家“863”课题、一项“973”课题研究,突破了国外一直封锁的核心技术,打破了国外技术的垄断。并参与完成了 300 余台盾构机的设计工作,成功应用于国内 28 个城市,为隧道机的国产化做出了贡献。期间获得国家发明专利 3 项、实用新型专利 15 项。作为项目负责人,历经 2 年的时间,成功研制了国内首台超大断面的矩形顶管机。

范磊先生现任中铁工程装备集团顶管所副所长。从事地下空间隧道掘进机的设计、研究工作。先后参与完成 30 多台盾构机、土压平衡顶管机以及硬岩泥水平衡顶管机的研发制造。也是世界最大断面矩形顶管机的主要完成人之一,该机成功应用于郑州下穿中州大道顶管工程。“超大断面矩形盾构顶管机的研制”课题荣获 2014 年中国铁路工程总公司科学技术一等奖。

计保林先生是上海力行建筑安装工程有限公司工程部经理,非开挖项目生产部经理,现任上海力行建筑安装工程有限公司矩形顶管部经理。职称是工程师、二级建造师。先后参与、组织实施了朱家角老城区污水管网改造,上海陆家嘴地下空间、上海银城路地下人行通道矩形顶管工程、广东佛山桂城 C 地块地下空间建设,淮安有轨电车人行通道,南京地铁人行通道,金鹰国际商业人行通道,常州污水尾水管工程,虹桥 4M 公共管沟工程等一批难度较高的重大工程项目。

扬州广鑫重型设备有限公司董事长 张道广

2017 年 7 月

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 顶管施工概论.....         | 1  |
| 第一节 顶管施工综述.....         | 1  |
| 第二节 顶管施工分类.....         | 3  |
| 第三节 顶管施工综合评价.....       | 6  |
| 第四节 顶管机的选型.....         | 6  |
| 第五节 顶管施工新技术.....        | 8  |
| 第六节 顶管施工展望 .....        | 12 |
| 第二章 人工顶管与半机械顶管 .....    | 14 |
| 第一节 手掘式顶管与工具管 .....     | 14 |
| 第二节 挤压式工具管 .....        | 17 |
| 第三节 网格水冲式工具管 .....      | 20 |
| 第四节 半机械式顶管机 .....       | 21 |
| 第三章 泥水顶管 .....          | 24 |
| 第一节 概述 .....            | 24 |
| 第二节 泥水管理 .....          | 26 |
| 第三节 泥水输送设备和泥水处理设备 ..... | 32 |
| 第四节 泥水处理设备 .....        | 39 |
| 第五节 普通的泥水顶管 .....       | 42 |
| 第六节 泥水加压顶管 .....        | 43 |
| 第七节 土压平衡泥水顶管 .....      | 48 |
| 第四章 浓泥顶管 .....          | 54 |
| 第一节 概述 .....            | 54 |
| 第二节 LDC 工法 .....        | 58 |
| 第三节 Two-Way 推进工法.....   | 60 |
| 第四节 Apach 工法 .....      | 61 |
| 第五节 Command 工法.....     | 62 |
| 第六节 超泥水加压推进工法 .....     | 63 |
| 第七节 超流 Balance 工法 ..... | 65 |
| 第八节 Hume 管推进工法 .....    | 67 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 第九节 Verst Mole 工法 .....           | 69         |
| 第十节 Ramsus 工法 .....               | 71         |
| 第十一节 浓泥工法顶管施工集锦 .....             | 74         |
| <b>第五章 土压顶管</b> .....             | <b>78</b>  |
| 第一节 概述 .....                      | 78         |
| 第二节 土压顶管的分类和基本原理 .....            | 79         |
| 第三节 土压顶管机 .....                   | 83         |
| 第四节 土体的改良 .....                   | 88         |
| 第五节 弃土的管内运输 .....                 | 91         |
| 第六节 土压平衡顶管机施工 .....               | 98         |
| <b>第六章 异形顶管</b> .....             | <b>104</b> |
| 第一节 概述 .....                      | 104        |
| 第二节 多刀盘矩形顶管机 .....                | 108        |
| 第三节 偏心多轴顶管机 .....                 | 112        |
| 第四节 正方形行星齿轮式掘进机刀盘 .....           | 122        |
| 第五节 日本的几种异形掘进机 .....              | 128        |
| 第六节 复杂地质条件下的矩形顶管施工 .....          | 141        |
| <b>第七章 岩石顶管</b> .....             | <b>150</b> |
| 第一节 岩石与岩石顶管机刀具 .....              | 150        |
| 第二节 日本推研的岩石顶管机 .....              | 163        |
| 第三节 海瑞克的岩石顶管机 .....               | 170        |
| 第四节 MTS 公司的岩石顶管机 .....            | 174        |
| <b>第八章 小口径与超小口径顶管</b> .....       | <b>177</b> |
| 第一节 小口径、超小口径顶管概述 .....            | 177        |
| 第二节 泥水式小口径、超小口径顶管 .....           | 178        |
| 第三节 浓泥式小口径、超小口径顶管 .....           | 185        |
| 第四节 土压式小口径、超小口径顶管 .....           | 188        |
| 第五节 压入式小口径、超小口径顶管 .....           | 196        |
| 第六节 螺旋式小口径、超小口径顶管 .....           | 202        |
| <b>第九章 小型盾构以及顶管与盾构可转换工法</b> ..... | <b>209</b> |
| 第一节 微型盾构工法 .....                  | 209        |
| 第二节 小型盾构工法 .....                  | 216        |
| 第三节 顶管与盾构可转换工法 .....              | 224        |
| <b>第十章 长距离与曲线顶管</b> .....         | <b>234</b> |
| 第一节 长距离与曲线顶管概述 .....              | 234        |
| 第二节 润滑浆材料 .....                   | 238        |
| 第三节 注浆设备 .....                    | 245        |

|             |                     |            |
|-------------|---------------------|------------|
| 第四节         | 注浆工艺和方法             | 251        |
| 第五节         | 中继间                 | 255        |
| 第六节         | 预调式长距离、小半径曲线顶管      | 258        |
| <b>第十一章</b> | <b>其他形式的顶管</b>      | <b>263</b> |
| 第一节         | 钢管顶管                | 263        |
| 第二节         | 兼容顶管工法              | 273        |
| 第三节         | 管棚工法                | 276        |
| 第四节         | 超大口径顶管              | 281        |
| 第五节         | 低强度管的顶进             | 288        |
| 第六节         | 废旧管道的更新方法           | 292        |
| <b>第十二章</b> | <b>管材与接口</b>        | <b>297</b> |
| 第一节         | 钢筋混凝土管              | 297        |
| 第二节         | 特殊的钢筋混凝土管           | 302        |
| 第三节         | 树脂混凝土管              | 308        |
| 第四节         | 钢管                  | 311        |
| 第五节         | 玻璃钢夹砂顶管             | 316        |
| 第六节         | 球墨铸铁管               | 322        |
| <b>第十三章</b> | <b>基坑构筑与顶进设备</b>    | <b>324</b> |
| 第一节         | 小型顶管基坑的构筑           | 324        |
| 第二节         | 摆动压入基坑的构筑           | 326        |
| 第三节         | 钢波纹板基坑的构筑           | 331        |
| 第四节         | 主顶与基坑附属设备           | 335        |
| <b>第十四章</b> | <b>顶管机的设计与常用零部件</b> | <b>341</b> |
| 第一节         | 顶管机的设计原则            | 341        |
| 第二节         | 顶管机开发流程             | 344        |
| 第三节         | 顶管机刀盘设计             | 345        |
| 第四节         | 刀盘驱动系统设计            | 349        |
| 第五节         | 主轴密封设计              | 353        |
| 第六节         | 纠偏系统设计              | 355        |
| 第七节         | 螺旋输送机设计             | 361        |
| 第八节         | 二次破碎装置              | 363        |
| 第九节         | 行星减速机               | 368        |
| 第十节         | 摆线针轮减速机             | 369        |
| 第十一节        | 主顶油泵                | 371        |
| 第十二节        | 液压马达                | 373        |
| 本书主要参考资料    |                     | 379        |



# 第一章 顶管施工概论

## 第一节 顶管施工综述

顶管施工就是借助于油缸等的推力,把掘进中的顶管机(或工具管)及其随后的一节节管子,按设计要求从一定深度的工作坑开始顶到预设的接收坑,再把顶管机(或工具管)取出的一种敷设地下管道的施工方法。

顶管施工与开挖施工比较有其独特的优点:不需挖开路面,只需一个较小的工作坑和接收坑;对交通和居民的影响较小;减少了噪声和扬尘等公害,是一种环保型的地下管廊施工方法。

顶管施工诞生至今的一百余年里,发展和改进最为明显的当属工具管和顶管机了。它们的发展大体上经历了人工顶管、气压顶管、泥水顶管、土压顶管和浓泥顶管五个阶段,这五个阶段涵盖了顶管施工发展历史的全过程。

我国的顶管施工虽然起步比较晚,但是,其发展速度非常之快。尤其是在 1988 年 8 月 25 日正式开工,1993 年 12 月 29 日建成通水的、工程总投资 16 亿元的上海市合流污水治理一期工程中,大量采用了顶管施工技术。它的口径在  $\phi 1200\text{mm}$  至  $\phi 3500\text{mm}$  之间,一次顶进距离从几十米到千余米,顶管类型有手掘式、气压式、泥水平衡式、土压平衡式。该工程对推广、普及和发展我国的顶管施工技术起了至关重要的作用。上海市合流污水治理一期工程覆盖了苏州河两岸的  $70.57\text{km}^2$  的面积,约占当时上海城区面积的三分之一,受益人口约 255 万人。

上海市合流污水治理一期工程和在此之后陆续建成的上海市合流污水治理二期、三期工程,不仅大大地改善了上海市的水环境,而且培养和造就了许多顶管专业人才和施工企业。到目前为止,上海的整个合流污水治理工程和青草沙原水工程加在一起的顶管总长度已超过 200km。

上海青草沙水源地原水工程是创建国家环保城市的重要项目,于 2006 年开工建设,到 2011 年 6 月 8 日正式建成。水库总面积约  $66\text{km}^2$ ,设计有效库容为 4.35 亿  $\text{m}^3$ ,供水规模 719 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,供水范围覆盖上海浦东新区、杨浦、虹口、闸北、黄浦、静安、长宁、普陀、徐汇等 9 个区,受益人口达 1150 万人。

输水管线由长江原水过江管和陆域输水管线两部分组成。过江管采用盾构法施工。陆域输水管线由金海支线、严桥支线、凌桥支线、南汇支线四条输水支线组成,总长 179km,全部采用双管平行的钢管顶管施工,最大管径  $\phi 3.6\text{m}$ 。其中,还首创了 2km 大口径输水钢管长距离、曲线顶管施工工艺。青草沙顶管为我国钢管顶管,尤其是大口径、长距离的钢管顶管积累了丰富的经验,对我国钢管顶管的普及、推广和应用起了巨大的推动作用。图 1-1 为上海青草沙水

源地一景。

现在,所顶管子的口径越来越大,一次顶进的距离也越来越长, $\phi 3000\text{mm}$  以上口径的顶管和一次顶进  $1\text{km}$  的顶管也很常见。在上海,双排平行、内径  $\phi 4000\text{mm}$  (外径为  $4640\text{mm}$ ) 钢筋混凝土管的大型污水输送干线——南干线工程计划顶进  $52\text{km}$ ,也是当前世界上口径和规模最大的钢筋混凝土管顶管工程。

作者与扬州广鑫重型设备有限公司的员工一起很荣幸地设计、制造了如图 1-2 所示的国内第一台最大的 TP4000 (外径为  $4680\text{mm}$ ) 加泥土压平衡顶管机。

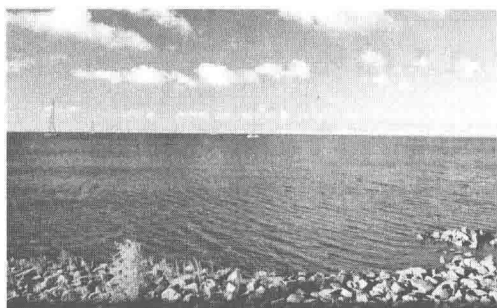


图 1-1 上海青草沙水源地一景



图 1-2 TP4000 加泥土压平衡顶管机

该段顶管开始顶进时,新华网也进行了报道,图 1-3 是新华网所发的顶管施工现场的照片之一。南干线  $4\text{m}$  口径顶管绝大部分是超长距离顶进,一次连续顶进  $500\text{m}$  以上的比比皆是,最长的一次顶进距离达  $2080\text{m}$ 。南干线  $4\text{m}$  口径  $52\text{km}$  顶管已于 2014 年 6 全线贯通。

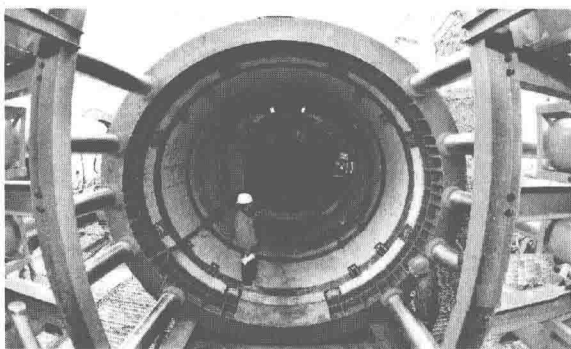


图 1-3  $\phi 4000\text{mm}$  钢筋混凝土管顶进前的准备工作

在我国,除了圆形顶管以外,矩形顶管也有了突飞猛进的发展,而且矩形顶管的断面也一次次被刷新。目前,由上海隧道股份有限公司在郑州顶进  $110\text{m}$ 、外包尺寸  $7.5\text{m} \times 10.4\text{m}$  的矩形顶管是世界上最大的矩形顶管,其断面为  $10.4\text{m} \times 7.5\text{m}$ 。

我们可以用以下几点来概括我国当前的顶管施工。首先,顶管施工技术越来越普及,不仅沿海发达的大、中城市采用顶管施工,即使在内陆西部、北部一些小城市也采用顶管施工。其次,在所有顶管施工中,手掘式的人工顶管并不多见,大多数是泥水式和土压式的机械顶管。再其次,顶进管的口径越来越大,一次顶进的距离越来越长。而且,顶管施工的工艺在不断改进、设备在不断更新。

顶管施工离不开顶管机。以前,在我国重大的或难度较高的顶管工程中,顶管机多采用日本或德国生产的,但是,现在进口顶管机在国内的销售已越来越难了。目前,随着顶管施工的普及,我国顶管机的生产厂商像雨后春笋一般地崛起。其中,有像扬州广鑫重型设备有限公司这类实力雄厚的顶管机的生产厂商,他们的顶管设备不仅在国内有很好的口碑,而且还出口到埃及、俄罗斯、新加坡、印度、泰国以及中国香港等国家和地区。他们不仅能生产  $\phi 600 \sim \phi 4000\text{mm}$  的泥水、土压这两种用于普通土质的顶管施工,而且还能生产用于岩石和砂卵石等这类特殊地质的顶管机以及各种异形断面的顶管机。

顶管施工成败的关键在以下五个方面:

第一,要了解详细的土质情况和施工条件。

第二,根据土质和施工条件选择与之相适应的顶管机和顶管施工工法。

第三,根据所选的顶管施工工法来制定施工组织设计以及周详的施工计划。

第四,要组织一支经验丰富和责任心强的施工队伍来严格执行施工计划。

第五,强化施工现场的管理、监督和检查工作,做到信息反馈迅速、准确,处理问题及时。上述五项工作都做好了,顶管施工则成功,反之,则失败。

## 第二节 顶管施工分类

顶管施工可从口径大小、掘进方式、顶进长度、掘进地质、断面形状等不同的角度作不同的分类。

### 一、按口径大小分类

按口径大小的不同,可把顶管施工分为超小口径、小口径、中口径、大口径和超大口径五种。其中,超小口径有的用水平定向钻来施工,而大于  $4000\text{mm}$  的超大口径则多被盾构施工所取代,所以,这两种用的都比较少。顶管施工按口径大小分类情况见表 1-1。

按口径大小分类表

表 1-1

| 名 称    | 口 径 $D$                                   | 备 注                          |
|--------|-------------------------------------------|------------------------------|
| 超小口径顶管 | $D < 400\text{mm}$                        | 其中 $200\text{mm}$ 以下的管材多用钢管  |
| 小口径顶管  | $400\text{mm} \leq D < 800\text{mm}$      |                              |
| 中口径顶管  | $800\text{mm} \leq D < 1800\text{mm}$     |                              |
| 大口径顶管  | $1800\text{mm} \leq D \leq 3000\text{mm}$ |                              |
| 超大口径顶管 | $3000\text{mm} \leq D \leq 5000\text{mm}$ | $4000\text{mm}$ 以上管节可由两半组合而成 |

注:口径  $\geq 400\text{mm}$  的可以是钢筋混凝土管、钢管、铸铁管、树脂混凝土管或玻璃纤维夹砂管等,口径  $< 400\text{mm}$  的可以是钢筋混凝土管、树脂混凝土管或钢管。

### 二、顶管施工的综合分类

顶管施工的综合分类法是顶管施工用得比较多的分类法。与其他分类法相比较,它可以较全面地涵盖所有顶管施工。

中、大口径和超大口径顶管施工根据其使用的掘进方式不同,可分为人工顶管、半机械式顶管和机械式顶管三大类。这三大类还可以进一步细分,形成如图 1-4 所示的中、大口径和超大口径顶管施工的综合分类法。

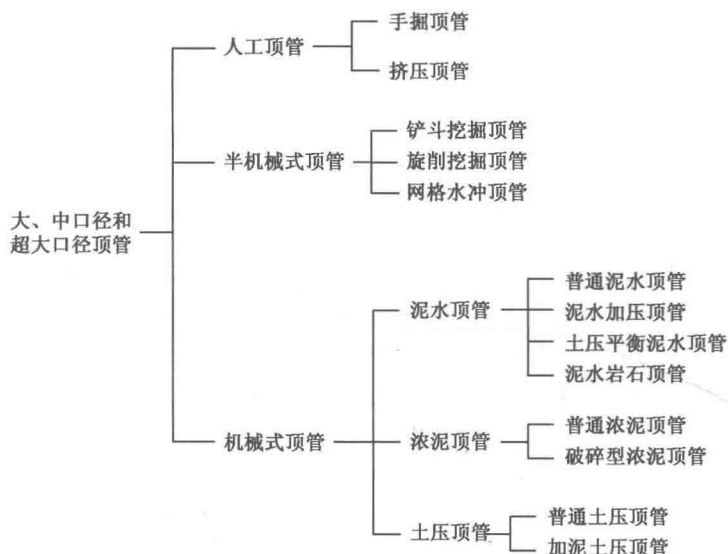


图 1-4 中、大口径和超大口径顶管施工综合分类法

人工顶管是指工具管内没有任何掘进机械设备,完全靠手工掘进或靠挤压排土的顶管方式。

半机械式顶管也是用一个钢制的工具管安装在所顶管子的前端,用挖掘机、机械臂挖土,或者靠高压水的冲力破碎土体的顶管方式。

机械式顶管就是用顶管机刀盘来切削土体,同时用螺旋输送机或用泥水管道来输送弃土的顶管方式,这也是目前使用得最多、适用土质范围最为广泛的一种顶管方式。机械式顶管可分泥水式、浓泥式和土压式三类。

根据使用的掘进方式不同,小口径和超小口径顶管施工可分为浓泥顶管、泥水顶管、土压顶管、压入顶管、螺旋钻顶管和低强度管顶管六大类,细分后成为如图 1-5 所示的小口径和超小口径顶管施工的综合分类法。

由于小口径和超小口径中的排泥管细,所以在卵石层中用浓泥法顶进就必须对卵石进行破碎。

其实,在小口径和超小口径顶管中更适合用泥水顶管、压入顶管、螺旋钻顶管等方式。低强度管顶管通常只会发生在小口径和超小口径顶管中,必须对它采取保护措施以后才可顶进。

### 三、根据一次顶进距离的长径比来分类

顶管施工根据其一次顶进距离的不同可分普通顶管、长距离顶管和超长距离顶管三种。

过去对长距离顶管只是单纯地用一次顶进多少米来区分,作者认为这种区分方式过于简单,没有揭示出不同口径、不同距离顶管其内在施工难度的大小这一本质问题。例如,同样是

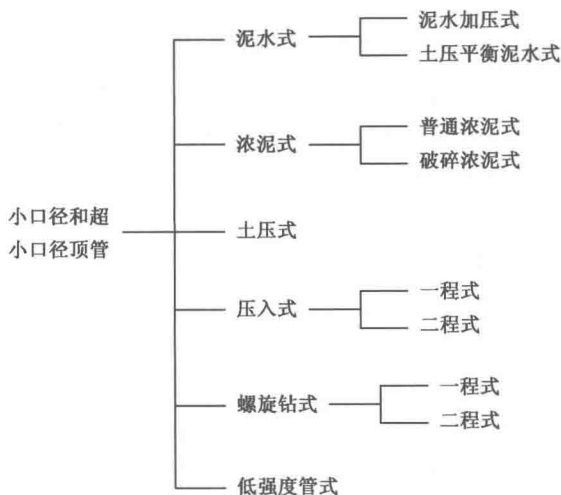


图 1-5 小口径和超小口径顶管施工综合分类法

300m 的长距离顶管,对于 1m 以下口径的顶管来说,要远比 2m 以上口径的顶管难得多。

正因为如此,作者引进一个长(一次顶进长度)径(管外径)比  $R_a$  的概念来区分普通距离顶管、长距离顶管和超长距离顶管的分类方法,即以  $R_a=150$  和  $R_a=300$  作为两个区分点:当  $R_a \leq 150$  时,为普通顶管;当  $150 < R_a \leq 300$  时,为长距离顶管;当  $R_a > 300$  时,为超长距离顶管。

从表 1-2 中可以很明显地看出,尽管长径比  $R_a$  相同,但由于管外径的不同,一次顶进的距离并不相同,这似乎比单纯用一次顶进距离的长短来界定更能揭示其本质。接下来需要讨论的是  $R_a$  分别取值多少来定义普通距离、长距离还是超长距离顶管更合理的问题。

| 三种规格管子顶进距离比较表 |         |       |       |       |        | 表 1-2 |
|---------------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 管内径(mm)       | 普通距离    | $R_a$ | 长距离   | $R_a$ | 超长距离   | $R_a$ |
| 800           | <120m   | 125   | <240m | 250   | >336m  | 350   |
| 1800          | <270m   | 125   | <540m | 250   | >756m  | 350   |
| 3000          | <442.5m | 125   | <885m | 250   | >1239m | 350   |

四、按掘进的地质分类

按掘进地质的不同,可把顶管施工分为普通(砂和土)顶管、砂卵石顶管和岩石顶管三种。其中,以普通(砂和土)顶管最为普遍,以埋深在地下水位以下,且含有较多、粒径巨大的砂卵石地质条件下顶管施工的难度最高。

五、按管材的断面形状分类

按管材的断面形状可把顶管分为两大类:圆形顶管和异型顶管。其中,最为常见的是圆形顶管。在异型顶管中,常见的有矩形顶管、拱门形顶管和长圆形顶管。

### 第三节 顶管施工综合评价

目前,敷设地下管道有开挖与非开挖两种方式。在开阔地和农田等埋设口径不大、覆土层不太深的管道宜采用开挖方式施工。反之,在城市街道、穿越河流和建筑物、构筑物等则宜采用非开挖方式施工。

以前,把非开挖施工的口径定为 1m 及 1m 以下的管道。现在非开挖施工的概念已扩大,甚至于把盾构施工也列入其中。这样,非开挖施工就包含三种施工方式:定向钻施工、顶管施工和盾构施工。

从管径上讲,顶管施工处于定向钻和盾构之间。按传统意义上分,定向钻是用于口径 600mm 以下的管子,盾构是用于口径 3000mm 以上的管子。当然,现在已有所突破,顶管的最小口径可为 100mm,最大口径可为 5000mm。而且,在各种管线、各种口径中顶管施工所占比例最大。

与定向钻相比,顶管施工的管径可比定向钻大,施工精度比定向钻高,除了圆形管道以外,各种异形管道也同样可以采用顶管施工,而定向钻是做不到的。但是顶管施工的速度比定向钻慢,并且顶管施工还需要工作坑和接收坑。因此,在敷设相同管径管道时,顶管施工的施工费用比定向钻高许多。

与盾构施工相比,顶管施工的管径可比盾构施工小,一次顶进距离也比盾构施工短。但是顶管施工的速度比盾构施工快,所需设备也比盾构施工少,而且顶管施工的管道还能承受内压。因此,在敷设同管径管道时,顶管施工的施工费用比盾构施工低许多。例如原来上海南干线长 52km、口径 4m 的管道准备采用盾构法施工,后经过专家论证,认为采用顶管施工是可行的。现在已施工完成,事实也证明 4m 口径采用顶管施工的确是可行的。这样,它的投资成本也大大降低了。

### 第四节 顶管机的选型

对于顶管机的选型我们必须遵循以下四大原则:适应性原则、可靠性原则、安全性原则和经济性原则。

#### 一、适应性原则

适应性原则是选用顶管机时首先必须遵循的一大原则。到目前为止,所有的顶管机都只能在某个范围内适用,如果选用的顶管机不能与施工条件相适应,所导致的后果将是不堪设想的:轻者将影响施工的进度,重者将使顶管施工失败。就施工条件的适应性而言,具体有以下几个方面。

(1)与土质相适应:就目前生产的所有顶管机而言,它对于土质的适应都是有一定范围的,有的适用于软土,有的适用于砂砾,没有一种是万能的。所以,选顶管机时必须看该机对施工土质的适应程度。先要了解该机的结构和工作原理,再查看它的相关业绩资料,最好,根据生

产厂商所提供的业绩资料做进一步的核实和调查研究工作后,再来确定该机与土质相适应的程度。

(2)与设计条件相适应:这里是指设计图纸中的要求和规定,如顶进管的口径、顶进管的材质、顶进的长度和线形、工作坑和接收坑的构筑形式、覆土深度等条件。

(3)与地面条件相适应:应与地面上的建筑物、街道、公路、铁路、交通、河流、湖泊、大堤、驳岸等条件一一相适应。如地面建筑物是密集的又没有基础的居民区,则要求顶管机施工过后的地面沉降小。又如在穿越公路、铁路过程中,顶管机必须对地面动载所产生的影响能适应等。

(4)与地下条件相适应:地下条件有地下水的压力、各种构筑物、各种公用管线、桥梁桩基和可能遇到的障碍物等都须一一加以考虑,并与之相适应。

## 二、可靠性原则

可靠性原则包含了设计的可靠性、顶管机的耐久性和设备的可维修性。

(1)设计的可靠性:这是决定顶管机质量的关键,由于人—顶管机系统的复杂性以及人可能存在的误操作和使用环境因素对人和顶管机产生的影响,发生错误的可能性必然存在,所以设计顶管机时就必须充分考虑它的易使用性和易操作性,这就是设计可靠性。

(2)顶管机的耐久性:产品使用无故障、寿命长就它是耐久性。对顶管机而言,其主轴密封的耐久性应放在第一位,因为一旦主轴密封损坏了,通常是无法修理的。但是,任何产品都不可能保证 100% 的不会发生故障,只是发故障的概率越小越好。

(3)设备的可维修性:当顶管机发生故障后,能够很快、很容易地通过维护或维修排除故障,这就是可维修性。一般通过日常的维护和保养,可大大延长它的无故障寿命。顶管机的可维修性与顶管机的结构有很大的关系,也与设计可靠性有很大的关系。

## 三、安全性原则

由于顶管机是在地下进行施工作业的一种特殊机械,有一定的危险性,它的安全性原则除了机械、电器自身方面的安全性以外还要考虑到机械应对外部条件的安全性。

(1)机械的安全性:一般来说,顶管机的操作系统越可靠,发生人为失误或其他问题造成的故障和安全问题的可能性就越小。另外,由于顶管机所在的操作空间很小,对有可能造成人身伤害的机械都必须加设安全罩。

(2)电器的安全性:电器的安全性主要包含必须要有防止触电事故发生的安全装置,必须要有防止电器元器件产生过热和过载的保护装置和必须要有防止过量辐射对人体造成伤害这三个方面的安全装置和安全保护措施。另外,设置过载报警装置也可减少安全事故。

(3)机械应对外部条件的安全性:顶管机应对外部条件的安全性也是在选用顶管机时必须认真研究的。例如,在穿越河流或可能遇到有毒、有害气体时,最好选择不需要人在管道内作业的遥控式顶管机,这比选用需要人在机内控制的顶管机要安全。

## 四、经济性原则

经济性原则需要从以下几方面考虑。

(1)顶管机的性价比高的好。这个不是说价格越低越好,而是要考虑性价比。

(2)顶管机的适用范围广的好。

(3)顶管机的施工速度快、施工质量高的好。

(4)弃土处理容易且处理成本低的好。这需根据顶距、施工环境、排土方式、口径大小等因素综合考虑。

## 第五节 顶管施工新技术

### 一、管道更新工艺

如果现有的下水道的管径不够大,或者损坏比较严重须敷设新的下水道,通常的做法有两种:一种是用开槽埋管的方式,把原管道拆除,埋一根新的管道;一种是把原管道废掉,重新采用顶管的方式敷设一根新的管道。现在有一种新的顶管施工技术是沿着原管道一边把老的管道破碎,一边顶一根新的管道,这就是边破边顶的管道更新工艺。

边破边顶的管道更新工艺如图 1-6 所示。在老管道内塞有一段导向管,它的外径比老管道的内径略小些,并且,在它和老管道之间安装四道密封圈。导向管的前端有一个倒角以便于导向,导向管的后端与顶管机刀盘之间用一个回转接头连接。这样,当顶管机刀盘旋转时,导向管是不跟随刀盘旋转的。然而,当顶管机被往前推进时,导向管也被向前推进。

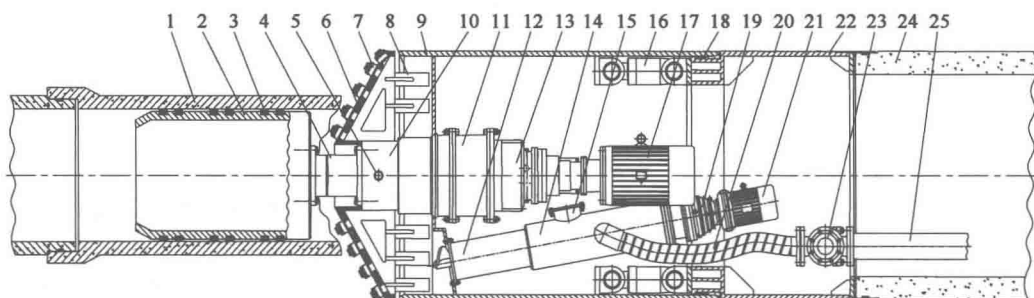


图 1-6 管道更新工艺

1-老管道;2-导向管;3-密封圈;4-回转接头;5-注浆孔;6-刀盘;7-滚刀;8-搅拌棒;9-顶管机前壳体;10-主轴;11-主轴传动箱;12-螺旋机;13-行星减速器;14-破碎装置;15-取物口;16-纠偏油缸;17-主轴驱动电机;18-壳体密封圈;19-行星减速器;20-进排泥软管;21-电动机;22-顶管机后壳体;23-机内旁通装置;24-新顶进的管道;25-进排泥钢管

顶管机刀盘被焊在顶管机的主轴上。刀盘是由主轴驱动电机通过行星减速器减速后,驱动安装在主轴传动箱中的主轴而被驱动的。

刀盘上焊有许多滚刀可压碎老管道、切削老管道下的基础和周围的土体。刀盘上还焊有许多搅拌棒。它们在土仓内把老管道和基础的碎渣与切削下来的土体以及通过注浆孔注入的



黏土浆一起搅拌后,被螺旋输送机排送到破碎装置中进一步破碎成更小的颗粒,再通过进排泥管道被排泥泵排到地面上来。如果遇到较长的钢筋和其他不能被进一步破碎的物体时,则可打开取物口的端盖,把它们从取物口取出。

在顶管机前后壳体之间设有四组纠偏油缸可控制顶管机的方向。顶管机后端的尾套与新管道的第一节管子连接。本管道更新工艺其余的设备和泥水平衡顶管的设备一样。

上述结构的顶管机适用于新顶进的管道的口径在 DN1500mm 以下,如果新顶进的管道的口径在 DN1500mm 以上,就可以和普通的土压平衡顶管机一样,直接用螺旋输送机排土。

## 二、二次注浆新工艺

注浆润滑,减小顶管过程中的顶进阻力是长距离顶管施工中一项必不可少的措施。但是,在常规的注浆工艺下,减阻效果与土质是密不可分的:在黏性土中,减阻的效果最好;在中、细砂土质中,减阻的效果次之;在粗砂和卵石土层中,减阻的效果最差。

在常规的注浆工艺下,减阻的效果与土质的空隙大小有着密切的关系:在粗砂和卵石土层中,由于土质的空隙大,浆液容易逸散和被地下水稀释,所以,减阻的效果就差;反之,在黏性土中,由于土质的空隙小,浆液不容易逸散和被地下水稀释,所以,减阻的效果就好。

二次注浆新工艺能很好地克服上述缺陷。所谓二次注浆新工艺就是:第一次先在所顶管道的外周注入一圈固结性的材料,等它固结后就形成一个有一定强度而又不透水的外壳;第二次再在这层外壳内壁与管子外周之间,注入用来减阻的润滑浆。这样一来,即使是在粗砂和卵石的土层中,润滑浆液也不容易逸散和被地下水稀释,所以,它的减阻效果就非常好。二次注浆新工艺的断面如图 1-7 所示。

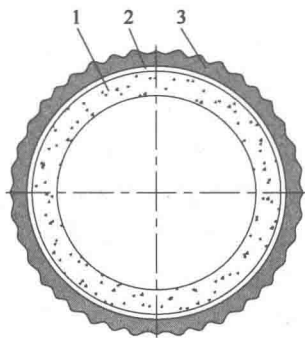


图 1-7 二次注浆新工艺  
1-混凝土管;2-润滑浆套;3-固结性材料形成的外壳

二次注浆新工艺实施方案如图 1-8 所示。在顶管机后连接一节固结性材料注入的作业钢管,用于第一次注浆。作业钢管前端管壁的周边,均布有多个相互连通的固结性材料的注入孔。最后,这些孔又都汇集于固结性材料注入管,并与固结性材料注入泵的出口连通。为了防止固结性材料粘在作业钢管的表面上,可以在作业钢管表面涂上一层聚四氟乙烯(即塑料王)。

混凝土管的外径要比作业钢管的外径小些,以便于在混凝土管的外周形成一个有一定厚度的润滑浆套。而顶管机的外径也要比作业钢管的外径略小些,便于在顶管机的外周挤压成一圈较密实的土体,以防止注入的固结性材料流到顶管机的土仓里去。

连接在作业钢管后面的是混凝土管。混凝土管上设有注浆孔,润滑浆就从这些孔中注入到混凝土管外壁与固结性材料形成的外壳的内壁之间,形成一个润滑浆套。第二次注浆则与普通顶管的注浆大体是相同的。

采用二次注浆新工艺在砂卵石土层中顶大口径管道变得轻而易举,不用中继间一次可顶进 800~1000m。