

软土地下工程施工技术

上海隧道工程股份有限公司
《软土地下工程施工技术》编写小组

华东理工大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了常见的软土地下工程施工技术,重点阐述了沉井、盾构、地下连续墙、顶管、箱涵、预制管段沉放、特殊混凝土等施工技术,可作为施工技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

软土地下工程施工技术 上海隧道工程股份有限公司《软土地下工程施工技术》编写小组 编
—上海:华东理工大学出版社, 2005.12
ISBN 7-313-03100-0

I 土—工程 II 上—工程 III 土地区—地下工程—工程施工 IV 土—工程

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第 125620 号

软土地下工程施工技术

上海隧道工程股份有限公司
《软土地下工程施工技术》编写小组

华东理工大学出版社出版发行 上海市梅陇路 800 号 邮编 200233 电话(021)54251115 网址 http://www.ecup.com.cn 新华书店上海发行所发行经销 上海展望印刷厂印刷	开本 787mm×1092mm 1/32 印张 6.5 字数 160千字 版次 2005年 12月 第 1 版 印次 2005年 12月 第 1 次 印数 1—5000册
ISBN 7-313-03100-0	定价 12.00元

前 言

21世纪是城市地下空间开发利用广泛发展的新世纪,世界各国都已意识到地下空间开发的广阔前景。我国已有 100多个城市正在建设或筹建地铁,城市地下街、地下停车库、地下管道、地下公用设施的建设方兴未艾,铁路隧道、公路隧道、水电隧道工程的建设迅猛发展。

本书较系统地介绍了常见的软土地下工程施工技术,重点阐述了沉井、盾构、地下连续墙、顶管、箱涵、预制管段沉放、特殊混凝土等施工技术,可作为施工技术人员的参考资料。

本书由长期从事地下工程施工的专业技术人员编写,它是多年来施工技术的总结。全书共分十章,其中第一章由白云、傅德明编写;第二、三、十章由戴海蛟编写;第四章由饶维森编写;第五章由丁志诚、赵峻、朱金林编写;第六章由曹荫裕编写;第七章由周文波、吴惠明编写;第八章由傅德明编写;第九章由王吉云编写。

编写工作小组由白云、周松、周文波、翁可儿、刘青青五人组成,对全书进行统稿、审核、编排。对徐志玲、徐洁晨两位小姐所作的大量文字打印工作表示感谢!

由于我们的水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编写工作小组

2006年 8月

序

在 21 世纪来临之际 ,由上海隧道工程股份有限公司长期从事地下工程施工的技术专家们精心编写的《软土地下工程施工技术》一书终于出版了。本书是专为工作在软土地下工程领域的工程技术人员和高级技工编写的 ,旨在介绍软土地下工程施工的新技术 ,提高专业技术人员解决施工问题的能力。

“ 隧道股份 ”成立 10 多年来 ,作为软土地下工程施工的专业公司 ,一直立足于培养自己的工程技术人员和高级技工。随着社会主义市场经济的发展和对外开放 ,我们深切地感受到 ,市场的竞争就是人才优势的竞争 ,如果没有一大批优秀的工程技术人员和高级技工 ,那么我们的施工技术就很难得到发展 ,企业也就很难在激烈的市场竞争中生存下去。

科技发展日新月异 ,软土地下工程技术也在实践中得到了长足的发展 ,为了软土地下工程施工的需要 ,“ 隧道股份 ”的技术专家们呕心沥血编写了本书 ,在此我谨向他们表示衷心的感谢。

软土地下工程技术发展很快 ,希望本书能随着地下工程施工技术的发展而不断地得到修改和补充 ,使其日趋完善。是为序。

程晓

2001 年 1 月

目 录

第一章 绪论.....	(员)
第一节 盾构施工技术.....	(员)
第二节 顶管施工技术.....	(愿)
第三节 沉管、沉井施工技术的发展.....	(员)
第四节 深基坑围护施工技术	(员)
第二章 土的基本知识及基坑工程	(员)
第一节 土的基本知识	(员)
第二节 基坑开挖施工	(猿)
第三节 土方回填	(猿)
第三章 钢筋混凝土工程施工	(源)
第一节 模板的种类及模板结构的设计	(源)
第二节 钢筋工程	(缘)
第三节 混凝土	(缘)
第四节 钢筋混凝土结构的浇筑施工	(远)
第四章 沉井施工	(远)
第一节 概述	(远)
第二节 沉井的类型和构造	(苑)
第三节 沉井施工	(苑)
第四节 沉井下沉若干技术问题及处理方法	(愿)
第五节 沉井下沉施工减摩技术	(愿)
第六节 特殊施工方法沉井简介	(怨)
第五章 盾构法施工	(怨)
第一节 概述	(怨)
第二节 盾构构造、分类及适用范围.....	(怨)
第三节 盾构法施工准备.....	(员)
第四节 盾构的出、进洞技术	(员)
第五节 盾构推进.....	(员)
第六节 管片拼装及防水.....	(员)
第七节 隧道注(压)浆.....	(员)
第八节 盾构法隧道施工地层变形的控制.....	(员)
第九节 盾构隧道内衬(钢拱模板台车)施工.....	(员)
第十节 垂直顶升.....	(员)
第六章 地下连续墙施工.....	(员)
第一节 概述.....	(员)

第二节	护壁泥浆	(员猿)
第三节	导墙工程	(员员)
第四节	槽段开挖	(员源)
第五节	清底换浆	(员源)
第六节	钢筋笼制作	(员缘)
第七节	钢筋笼吊装	(员源)
第八节	浇灌墙体混凝土	(员愿)
第九节	墙体接头	(员员)
第十节	地下连续墙施工管理	(员怨)
第七章	顶管施工	(员园)
第一节	顶管法施工	(员园)
第二节	顶管机的构造类型及其选型	(员源)
第三节	基坑及其布置	(员员)
第四节	顶管施工及进出洞技术	(员源)
第五节	顶进的阻力及降低阻力的措施	(员员)
第六节	管节接缝的防水	(员源)
第七节	顶管法管道施工地层变形的控制	(员怨)
第八章	箱涵施工	(员员)
第一节	箱涵施工	(员员)
第二节	箱涵设计	(员缘)
第三节	工程实例	(员愿)
第九章	预制管段沉放施工	(员缘)
第一节	概述	(员缘)
第二节	管段结构及制作	(员源)
第三节	基槽浚挖	(员园)
第四节	管段的沉放与水下连接	(员员)
第五节	沉管基础施工	(员员)
第六节	回填覆盖	(员愿)
第十章	特殊混凝土的施工	(员怨)
第一节	水下混凝土的施工	(员怨)
第二节	喷射混凝土施工	(员缘)
第三节	预应力混凝土施工	(猿园)
参考文献	(猿员)

第一章 绪 论

第一节 盾构施工技术

盾构施工技术是一项系统科学, 190多年来世界各国同行从设计、研究、制造、施工等各个方面对盾构施工技术进行不断的革新, 形成了今天内容非常丰富的技术领域。

一、国外盾构施工技术发展概述

1. 人工开挖盾构的发明

世界上第一条人工开挖盾构隧道是由 1825年 詹姆斯·瓦特和他的儿子 1825年 詹姆斯·瓦特一起在伦敦泰晤士河下建成的。该盾构呈矩形(1.5米宽, 2.5米高), 总共只有 1.5米长的隧道耗时 1.5年左右, 曾经历很大困难, 出现过五次以上涌水。

1843年, 詹姆斯·瓦特曾采用圆形敞开式盾构在泰晤士河下再建了一条外径为 1.5米的行人隧道, 该隧道衬砌是铸铁管片, 隧道在不透水的粘土层中掘进, 无地下水威胁, 因此进展相当顺利。1843年, 詹姆斯·瓦特在建造伦敦地铁时首次使用了压缩空气盾构, 解决了在含水地层中修建隧道的问题。

2. 机械化盾构的问世

第一台机械化盾构的专利出现在 1844年, 由英国的 詹姆斯·瓦特和 詹姆斯·瓦特合作申请。如图 1-1 所示, 第一台机械化盾构的设想是用由几块板构成的半球状刀盘旋转切削土体, 然后靠径向转动的土斗将切削下来的土体运到皮带输送机上。1844年, 詹姆斯·瓦特的专利(图 1-1) 比图 1-2 有较大改进, 刀盘由若干轮辐构成, 电动驱动由长轴传递, 其外形也与现代盾构较为接近。

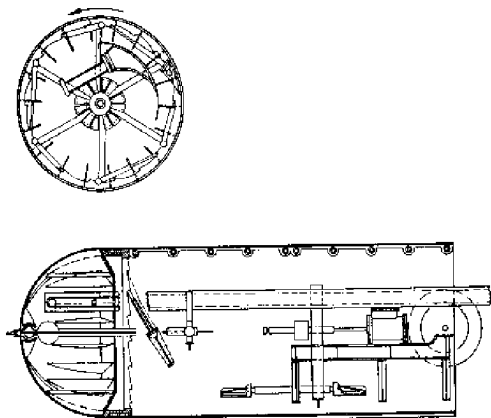
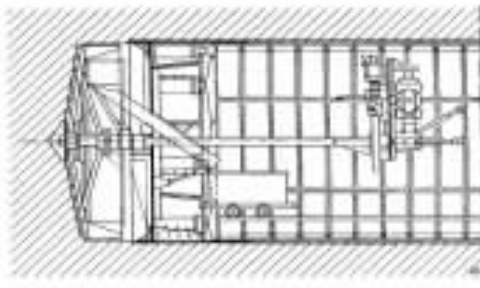


图 1-1 第一台机械化盾构



(癸)



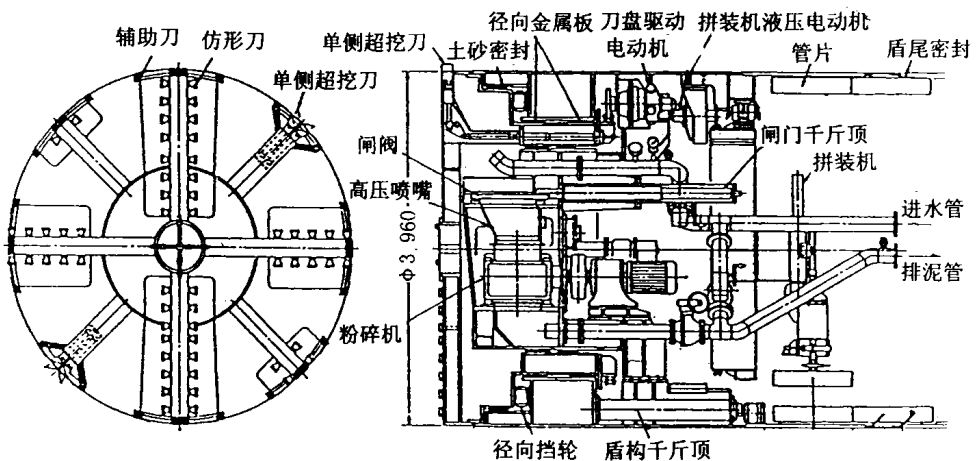
(丑)

图员圆 轮辐式刀盘盾构

早期的盾构技术在英国发明并得到发展并不是偶然的事件,由于19世纪和20世纪上半叶,英国是全球最强盛的工业化国家,而对隧道掘进来讲,伦敦的粘土可说是地球上较理想的土层,因此,由当时最发达的国家率先在较理想的土层中发展盾构技术是合乎技术发展的逻辑的。

猿 泥水密封式压力平衡盾构的出现

1879年,日本首先制造了泥水盾构(杂型盾构),其基本原理是用液体(水或加膨润土的水)平衡开挖面的土体,如图员猿所示。与压缩空气盾构相比,泥水盾构不需要人员在压缩空气条件下工作,但泥水处理系统比较复杂,泥水盾构虽然也可用于粘土地层,但绝大多数情况是在含水砂层中使用。1893年,日本的森田有限公司发明了如图员源所示的土压平衡盾构(精型盾构)。在此之前,虽然压缩空气盾构和泥水盾构已能克服含水层中的施工问题,但压缩空气对人体的危害和泥水对环境的不利影响促使日本的隧道专家寻找一个更好的解决问题的办法,土压平衡盾构便应运而生了。



图员猿 泥水盾构

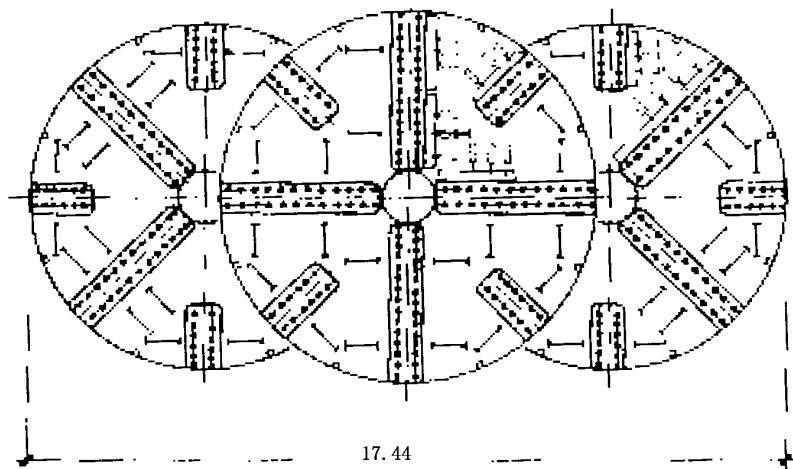


图 员-苑 三圆形盾构

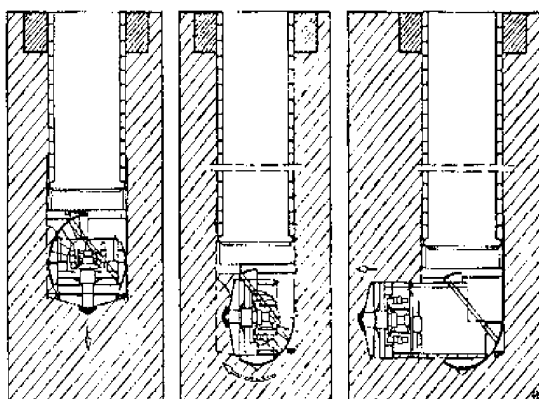


图 员-愿 竖井隧道一体化盾构



图 员-怨 可变断面盾构

欧洲幅员辽阔,地层条件复杂多变,为满足欧洲一体化发展的需要,在建造长隧道工程中,常常会遇到不同的地层条件,于是就产生了各种各样的多功能盾构(见图 1-16-图 1-18)。

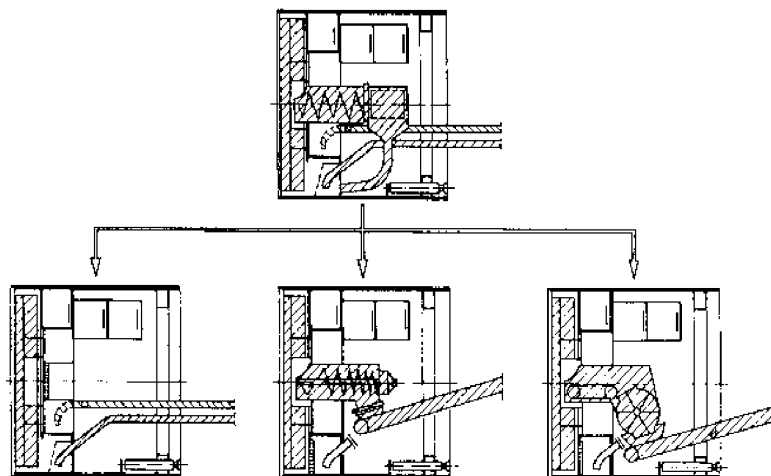
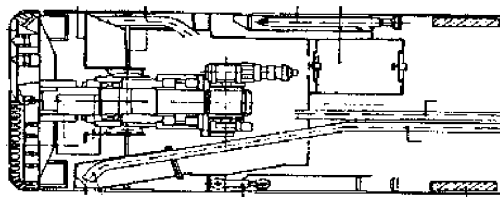
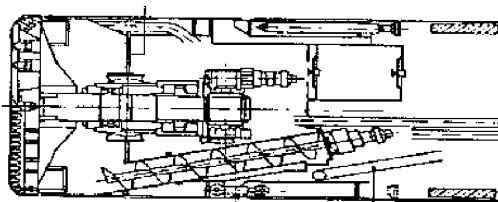


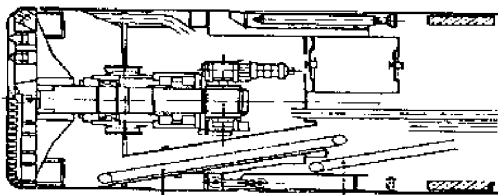
图 1-16 混合盾构



(a) 泥水平衡



(b) 上压平衡



(c) 机械平衡

图 1-17 合成盾构

管片及其联接方式的新发展

管片及其联接方式也是盾构技术的一个主要部分,在 20 世纪 70 年代之前采用铸铁管片,此后开始采用钢筋混凝土预制管片。目前,绝大多数的盾构隧道衬砌是采用钢筋混凝土预制管片。钢纤维混凝土管片由于强度高、耐久性好,使管片可以设计得更薄等优点而开始被人们采用。

管片的联接方式主要是螺栓联接和销钉联接两种方式。近十年来,奥地利的 辛奈根等人发明了新型的 塑料销钉(图 1-10)和 钢销钉(图 1-11)。新型的销钉技术正在全世界得到越来越广泛的应用,与螺栓联接相比,辛奈根的销钉技术具有以下特点:

(1) 施工速度大大提高,这是因为减少了穿螺栓和拧螺栓的时间;

(2) 可以实现连续施工,这是因为在管片拼装时,盾构可以不停顿地继续推进,大大提高了工作效率;

(3) 可以减少隧道上方的土体沉降,这是因为盾构能够保持连续推进,并能及时进行壁后注浆,有效地充填建筑孔隙;

(4) 可以减少管片的厚度,这是因为在管片的设计中可以省略因穿放螺栓的手孔;

(5) 可以大大提高管片内壁光洁度,减少水流的摩擦因数,这对用于水工隧道是非常有利的;

(6) 可以大大提高隧道的成环质量和管片防水性能,这是因为销钉技术提高了管片拼装精度,接缝间隙大大减小。



图 1-10 塑料销钉

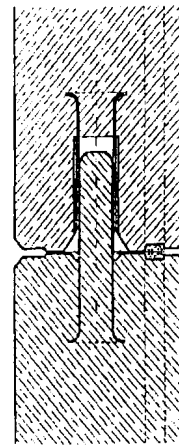
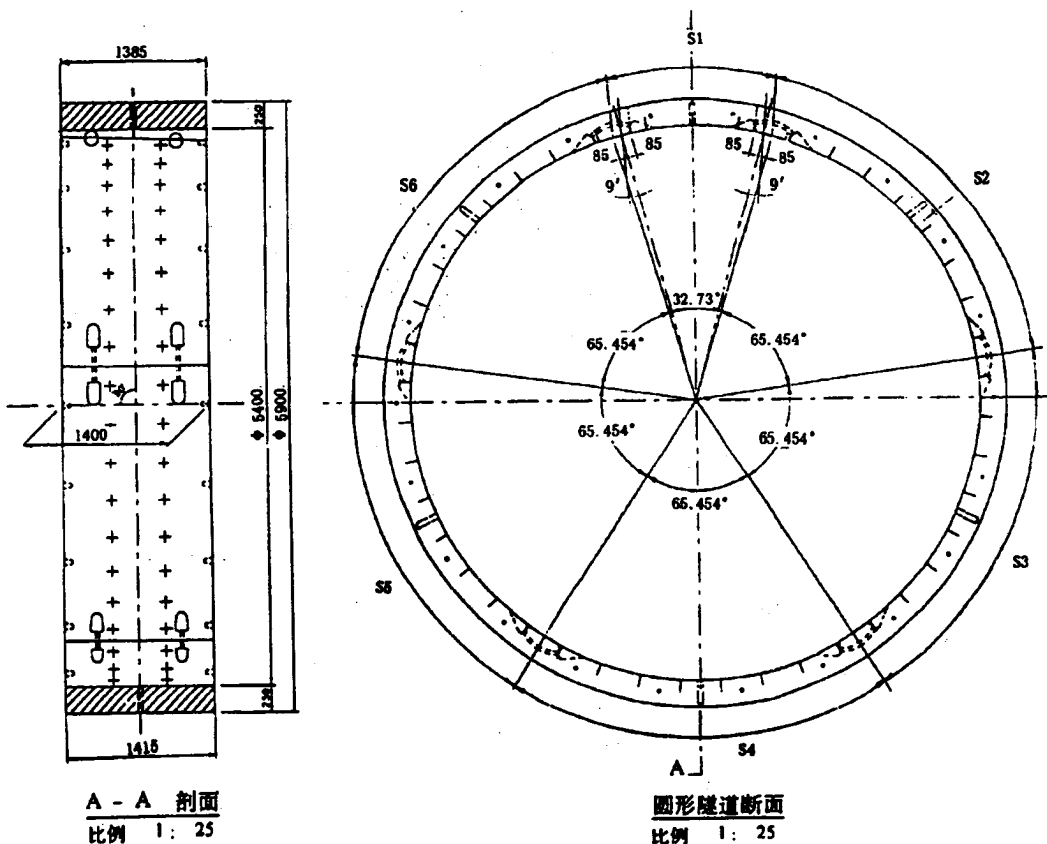


图 1-11 钢销钉

管片的拼装方式有通缝拼装和错缝拼装两种。近年来,英国 配利德公司提出的通用管片(图 1-12)具有不必通过另做楔子环即可形成三维曲线隧道的优点,如图 1-12 所示。通用管片的工作机理是管片成环后将成为非等宽衬砌环,通过对相邻管片环的旋转排列可以达到拼装成三维曲线(含曲率半径为无穷大的直线隧道)隧道的目的。对通用管片进行拼装,必须根据隧道轴线的情况,事先确定管片的空间排列。



图员 源

二、中国盾构技术发展概述

我国在第一个五年计划期间,东北阜新煤矿用直径 圆 盾构及小型混凝土预制块建造了疏水巷道, 员 在北京下水道工程中也用过直径为 圆 及 圆的盾构。而系统地开发我国的盾构技术可认为是始于 员 年上海隧道公司在浦东塘桥第四纪软弱含水地层进行的 ϕ 源 盾构隧道试验。该盾构是手掘式,衬砌为钢筋混凝土管片,接缝防水材料为沥青环氧树脂,试验中曾采用降水法和气压法两种疏干地层的辅助措施。 员 年隧道公司开发了网格式盾构, 员 年用可封闭式网格盾构建造了直径为 员的上海第一条黄浦江越江隧道(打浦路隧道); 员 年在地铁试验段使用了自己生产的高精度管片; 员 年上海隧道工程公司(英文缩写名: 杂 杂)用日本进口的 ϕ 源 小刀盘土压平衡盾构,建造了内径为 猿 的下水道总管; 员 年 杂 杂设计和使用了加泥式土压平衡盾构。经过工程实践,得到适合上海地层的加泥材料宜为粘土或膨润土类的结论; 员 年 杂 杂设计了刀盘削土土压平衡盾构; 员 年 杂 杂使用以法国 云 月公司为主制造的土压平衡盾构施工了上海地铁一号线的大部分区间隧道; 员 年 杂 杂使用以日本为主制造的 ϕ 员 泥水盾构建造了上海黄浦江下的延安路南线隧道。

1985年至今,魏巍在承接新加坡东北线地铁工程的施工过程中,掌握了当今流行的通用管片的使用方法等国际最新盾构施工技术,从而成为一家国际隧道界认可的盾构隧道施工专业公司,标志着20世纪末在总体上代表中国盾构施工技术的上海隧道工程股份有限公司已跻身世界较先进行列。

第二节 顶管施工技术

直径小于 3m 的地下隧道除了采用盾构法掘进外,还可采用顶管法施工,其机头的掘进方式同盾构,但其推进的动力由放在始发井内的后顶装置提供,故其推力要大于同直径的盾构隧道。顶管管道是由整体浇筑预制的管节拼装成的,一节管节长 3~6m,对同直径的管道工程,采用顶管法施工的成本比盾构法施工的要低。

顶管施工主要用于地下进排水管、煤气管、电讯电缆管的施工。欧洲发达国家最早开发应用顶管法,而日本在近 50 年来,对顶管机头的研究和不同顶管工法的应用取得了瞩目的成果。顶管掘进从最早的手掘式逐渐发展为半机械式、机械式、土压平衡式、泥水加压式等先进的掘进机。尤其在直径小于 2m 的微型隧道开发应用方面,更是得到迅速的发展。

在我国,顶管技术的应用始于 20 世纪 70 年代,在少数城市的下水道施工中采用手掘式顶管机。进入 80 年代后期,随着城市建设的发展,顶管施工逐渐替代明挖排管的落后工艺。顶管技术在近 30 余年得到了迅速的发展,在引进国外先进技术的同时,先后开发了水力机械顶管机、反铲顶管机、土压平衡顶管机和泥水平衡顶管机。长距离顶管技术也得到了开发和应用。混凝土管节制作技术和管节防水技术也得到了发展和提高。80 年代上海地区为解决污水排放问题而进行的污水治理一、二期工程中有数十公里管道采用顶管法施工。穿越黄浦江底的 3 条引水和排水管道采用长距离顶管技术,一次顶进 3000m。1985 年 1 月由上海隧道工程股份有限公司承建的奉贤南排 1500m 顶管工程一次顶进成功,创了国内新纪录。我国在顶管技术方面所取得的成果已经达到了国际先进水平。

一、局部气压反铲式顶管机

德国较早开发反铲式顶管机技术,开挖面施加气压可用于含水地层,尤其适用砂性土和混有砾石、卵石的地层。1985 年,上海污水治理一期 3 号工程采用德国崔柏林公司的 φ1000mm 反铲顶管机一次顶进 1000m。1988 年,上海隧道公司研制的 φ1000mm 反铲顶管机,用于深圳华侨城排水管道工程,一次顶进 1000m。

二、土压平衡顶管机

日本是最早开发土压平衡盾构,并把该项技术用于顶管工程。德国在土压平衡顶管机技术方面也处于领先地位。隧道公司在 1985 年研制出国内第 1 台 φ1000mm 土压平衡顶管机,并开发了土压平衡顶管工法,接着,国内又研制成功了小刀盘土压平衡顶管机,具有制造成本低、土压平衡顶管机具有刀盘切削土体、开挖面土压平衡、对土体扰动小、地面和建筑的沉降较小等特点,适用于软粘土地层的城市建筑密集区内进行顶管施工。在砂性土或砾石土层中采用土压平衡顶管机时,应适当加注泥浆使土体塑流。隧道公司于 1985 年设

计制造的φ1500小刀盘土压平衡顶管机用于奉贤污水南排工程,一次顶进1500m,创国内之最,标志着我国在土压顶管机制造和施工技术已达到国际先进水平。

三、泥水平衡顶管机

泥水平衡顶管机可分为泥水机械平衡和泥水加压两种顶管机。日本伊势机公司在泥水机械平衡顶管机的制造和销售方面处于国际领先地位,顶管机的口径小至φ300,大至φ4000。我国在1985年引进伊势机公司φ1500泥水机械平衡遥控顶管机用于小口径顶管工程。1990年代,我国自行研制了φ1500、φ1800、φ2000泥水机械平衡顶管机。该类顶管机采用大刀盘切削,泥水和机械双重平衡开挖面土压,具有施工速度快、地面沉降小的优点,已经在上海地区广为应用。

泥水加压顶管机采用泥水加压盾构的原理,以膨润土泥浆充满开挖面密闭舱,在开挖面土体接触面形成泥膜,起到止水作用,以泥水压力平衡开挖面水土压力。该种顶管机尤其适用砂性高水压条件下的顶管施工,其安全性好,施工机械化、自动化程度高,但制造和施工成本也较高。隧道公司于1995年研制出国内第一台φ2000泥水加压顶管机用于污水治理二期黄浦标过江倒虹管工程,在黄浦江底埋深10m的砂性土高水压工况下,掘进了两条近2km长的管道,使我国在顶管机技术上又上了一个台阶。

四、微型顶管机及非开挖技术的发展

非开挖施工技术(国外称为定向钻进、水平定向钻进或定向掘进)是指利用各种岩土钻掘的技术手段,在地表不开沟(槽)的条件下铺设、更换或修复各种地下管线的施工新技术,即改传统的“挖槽铺管和修复”施工方式为“钻孔铺管和修复”。与传统的挖槽施工法相比,非开挖施工技术具有不影响交通、不破坏环境、施工周期短、综合施工成本低、社会效益显著等优点,可广泛用于穿越高速公路、铁路、建筑物、河流,以及在闹市区、古迹保护区、农作物和植被保护区进行市政、供水、煤气、电力、电讯、石油、天然气等管线的铺设、更新或修复。此外,非开挖施工技术还可用于水平降排水工程、隧道工程(管棚)、基础工程(钢板桩、微桩、土钉)、环境治理工程等。

现代非开挖施工技术是20世纪70年代末在西方发达国家兴起,并逐渐走向成熟的地下管线铺设、修复和更换的新技术,是地下管线施工的一项技术革命,它以独特的技术优势和广阔的市场前景得到世界各国的极大重视。

1. 小口径顶管或微型隧道施工法

微型隧道施工法源于日本,是一种遥控、可导向的顶管施工,主要用于铺设精度要求较高的非进入管道(≤φ300),但实际上可用于各种尺寸的管道,一般为φ100~φ1000。

微型隧道施工设备主要由切削系统、激光导向系统、出碴系统、顶进系统、控制系统等组成。视地层条件不同可选用带不同刀具的切削头,如刮刀式和滚刀式,可破碎的最大砾石块度为切削头直径的1/3。根据激光导向系统测量偏斜数据,可操纵液压纠偏系统,从而实现调节铺管方向的目的。出碴系统有两种方式,一是螺旋排碴系统,一般用于不含水的地层;另一种是泥浆排碴系统,适用于铺管距离较长和在含水的地层中施工。

根据施工方法和出碴系统的不同,可将微型隧道施工法分成以下三种:

- (员) 先导式微型隧道施工法；
- (圆) 螺旋出土式微型隧道施工法；
- (猿) 泥水平衡式微型隧道施工法。

圆 气动矛施工法

气动矛施工法是使用最广的一种非开挖铺管方法。施工时,在压气的作用下气动矛内的活塞作往复式运动,不断冲击矛,矛头挤压周围的土层形成钻孔,并带动矛体前进。随着气动矛的前进,可将直径比矛体小的管线拉入孔内,完成管线铺设。根据地层条件也可先成孔,后随着气动矛的后退将管线拉入,或边扩孔边将管线拉入。冲击矛的矛头有多种结构形式,可根据土质条件不同选择使用,如锥形矛头适用于均质土层;台阶式矛头可在含砾石层中施工;活口式矛头能够冲碎砾石保持直线前进,如图 员- 缘 所示。

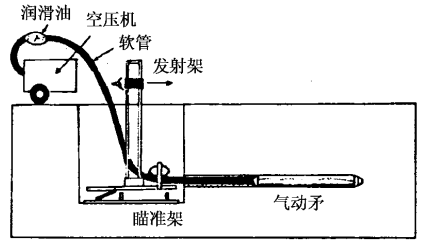


图 员- 缘 气动矛施工法

虽然已有可控制的气动矛出现,但绝大多数气动矛仍是不可控的。为保证施工的精度,施工前的校正工作极为重要。此外,为保证气动矛受力均匀,并防止因冲击挤压引起的路面“隆起”,一般气动矛以上的土层厚度(即管线的埋深)应大于矛体外径的 员- 圆 倍左右。

猿 夯管施工法

夯管施工法是指用夯管锤(低频、大冲击力的气动冲击器)将待铺设的钢管沿设计路线直接夯入地层,实现非开挖穿越铺管。施工时,夯管锤的冲击力直接作用在钢管的后端,通过钢管传递到前端的管鞋上切削土体,并克服土层与管体之间的摩擦力使钢管不断进入土层。随着钢管的前进,被切削的土砂进入钢管内。待钢管全部夯入后,可用压气、高压水射流、螺旋钻杆等方法将其排出,如图 员- 苑 所示。

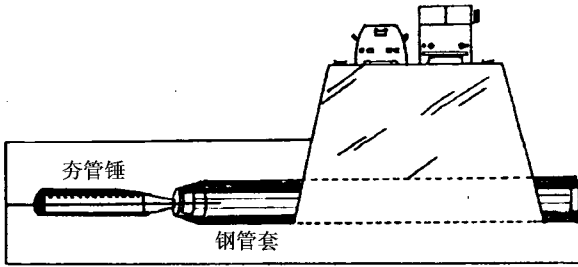


图 员- 苑 夯管施工法

由于夯管过程中,钢管要承受较大的冲击力,因此一般使用无缝钢管,而且壁厚要满足一定的要求。钢管直径较大时,为减少钢管与土层之间的摩擦力,可在管顶部表面焊一根小钢管,随钢管的夯入,注入水或泥浆,以润滑钢管的内外表面。

源 定向钻进施工法

水平定向钻进施工法最初是从石油钻进技术引入的,主要用于穿越河流、湖泊、建筑物而铺设的大口径、长距离石油和污水管道。

施工时,按照设计的钻孔轨迹(一般为弧形),采用定向钻进技术先施工一个近似水平的先导孔,随后在钻杆柱端部换接大直径的扩孔钻头和直径小于扩孔钻头的待铺设管线,在回拉扩孔的同时,将待铺设的管线拉入钻孔,完成铺管作业。有时根据钻机的能力和待铺设管线的直径大小,可先专门进行一次或二次扩孔后再回拉管线。

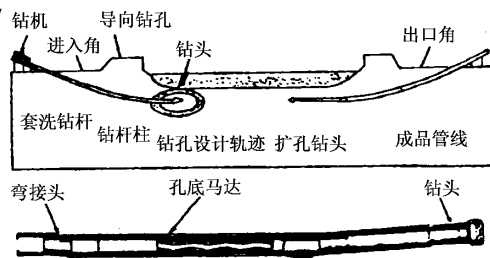


图 员-苑 定向钻进施工法

钻孔轨迹的监测和调控是水平定向钻进最重要的技术环节。目前一般采用随钻测量的方法来测定钻孔的顶角、方位角和工具面向角,采用弯接头来控制钻进方向,如图 员-苑 所示。

缘 我国非开挖施工技术及设备的发展现状

我国非开挖施工技术及设备的开发和研制工作起步较晚,中口径管道的顶进施工从 圆世纪 远年代起采用手掘式顶管机施工, 愿年代中期开始逐步开发机械式密闭顶管机,有土压平衡式、泥水平衡式、水力机械出土式、铲斗式等。直径小于 员 的微型顶管机和水平钻机起步更晚,在 苑年代末因工程急需由地矿系统与市政系统合作,共同开发水平钻机和螺旋钻机。 愿年代中后期,开始引进国外设备进行非开挖施工,至今已达 苑台套。

我国自行研制的主要非开挖施工设备分类如下:

(员) 水平钻机:管径 ϕ 员- 员,钻进距离 缘- 员,一般为 缘,分别由地矿部勘探所、北京市政工程研究所、天津市政三公司、江汉石油机械厂研制。

(圆) 导向钻机:管径 ϕ 员- 员,钻进距离 圆- 猿,在一 全液压力头导向钻机由河北省地矿局开发, 系列由地矿部勘探所研制。

(猿) 气动矛和夯管锤:管径 ϕ 员- 员,顶进长度 猿- 员,分别由地矿部勘探所、长春地质学院、长春路下工程公司、同济大学研制。

(源) 微型液压顶管机:管径 ϕ 远- 员,遥控操作,顶进长度 远- 愿,由上海隧道工程股份有限公司研制。

第三节 沉管、沉井施工技术的发展

一、沉管隧道施工技术

员 沉管法的历史

用沉管法修建水下隧道的历史可追溯到本世纪初,从 员 年在美国底特律河下用沉管法修建第一条水下隧道算起,已有近 怨年的历史。根据国际隧协的最新统计(截止于 员 年),目前全世界用沉管法已修建了 员 条水下隧道,按国别(或地区)的分布见表 员- 员。