

# 前 摇 摇 言

城市地下管线是城市重要的基础设施，担负着运输城市正常运转所必需的物质流、信息流、能量流，是城市赖以生存和发展的“生命线”。城市地下管线安全、畅通地运行，是现代城市健康发展的保障，所以城市地下管线的施工与管理尤为重要。鉴于此，我们邀请了清华大学、北京建筑工程学院、北京理工大学、北方交通大学等高校的地下管线施工专家和有丰富经验的施工人员编写了《城市地下管线施工新技术与质量检验评定标准实施手册》一书，旨在为城市现代化建设提供地下管线施工的前沿技术，确保地下管线施工的质量，为我国城市地下管线的施工技术与管理创新、实现跨越性发展做出贡献，为城市现代化建设增光添彩。

本书共分五篇，主要内容有城市地下管线概述，土方工程施工技术，地下管道施工技术，地下线缆施工技术，以及为了保证地下管线安全、畅通的运行的质量检验评定等内容。在本书编辑过程中我们借鉴了国际最先进的施工技术，也吸收了同行的施工经验，全书把理论性与实践性，研究性与操作性有机地融合于一体，图片与文字相得益彰，是一套融正确性、实用性、全面性于一体的工具书。

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，书中难免存在不足和纰漏之处，敬请广大读者批评指正。

编委会

二〇〇四年 远月

# 城市地下管线施工新技术 与质量检验评定标准实施手册

主编 赖新元

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市地下管线施工新技术与质量检验评定标准实施手册 赖新元主编, —北京: 地震出版社, 2004

Ⅰ. 城市地下管线施工新技术与质量检验评定标准实施手册

Ⅰ 城市地下管线施工新技术与质量检验评定标准实施手册 ① 市政工程—地下管道—管道施工—技术手册 ② 市政工程—地下管道—管道施工—质量检验—标准 Ⅳ TU995.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 12345 号

城市地下管线施工新技术与质量检验评定标准实施手册

赖新元主编

责任编辑: 曾胜 陈宏德 等

——

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 100 号 邮编: 100081

发行部: 电话: 62080066 传真: 62080067

门市部: 电话: 62080065 传真: 62080068

总编室: 电话: 62080064 传真: 62080069

印刷厂: 北京地震出版社印刷厂

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京东光印刷厂

——

版 (印) 次: 2004 年 1 月第一版 2004 年 1 月第一次印刷

开本: 16 开

字数: 100 千字

印张: 6

印数: 1000~1500

书号: 155-00000-00000-0 (CIP)

定价: 15.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

# 第一篇

## 城市地下管线概述

# 第一章 城市地下管线的种类与施工方法

## 第一节 城市地下管线的种类

地下管线的种类繁多，结构复杂，按功能主要可分为排水管道、给水管道、燃气管道、热力管道、工业管道、电力电缆和电信电缆等七大类，每类管线按其传输的物质和用途又可分为若干种（图 1-1-1）。

### 一、排水管道

排水管道按排水的性质分为雨水管道、生活污水管道、两污合流管道、工业废水管道等，主要用于接受、输送和净化城市、工厂以及生活区的各种污水，包括工业废水、生活污水、雨水。排水管道系统按排出的方式分为合流式、分流式和组合式三种。合流式是将生产废水、生活污水和雨水经由一条共同的管道排出；分流式是每一种污水经由独立的管道排出；组合式是将需处理的生产废水和生活污水经由一条管道排出，将不需要处理的生产废水和雨水经由另一条管道排出。

一般排水管道按管材分为钢筋混凝土管、混凝土管、铸铁管、石棉水泥管、陶土管、陶瓷管、砖石沟等。排水管道除了预制的圆形管外，还有现场砌筑的非圆形沟道，如方沟、拱形沟、马蹄形沟、卵形沟等。

我国的排水管道主要是钢筋混凝土管，其公称内径是统一的，但壁厚有差异。内径一般在 300mm~1500mm，其中内径  $\leq 600$ mm 的排水管道占总长的 60%，内径在 600mm~1500mm 的占 40%。

### 二、给水管道

给水管道可按水的用途分为生活用水、消防用水、工业用水、农业用水等输水和配水管道。

由给水管道组成的给水系统一般由水源地（江河、湖泊、水库、水井）取水，通过主干管道（明渠、隧道、大口径管道）送到水厂，经水厂净化处理后，再由主管道送到各用水区（住宅区、工厂、企事业单位等）。各用水区根据各自的需要和条件，敷设本区的给水管道系统。

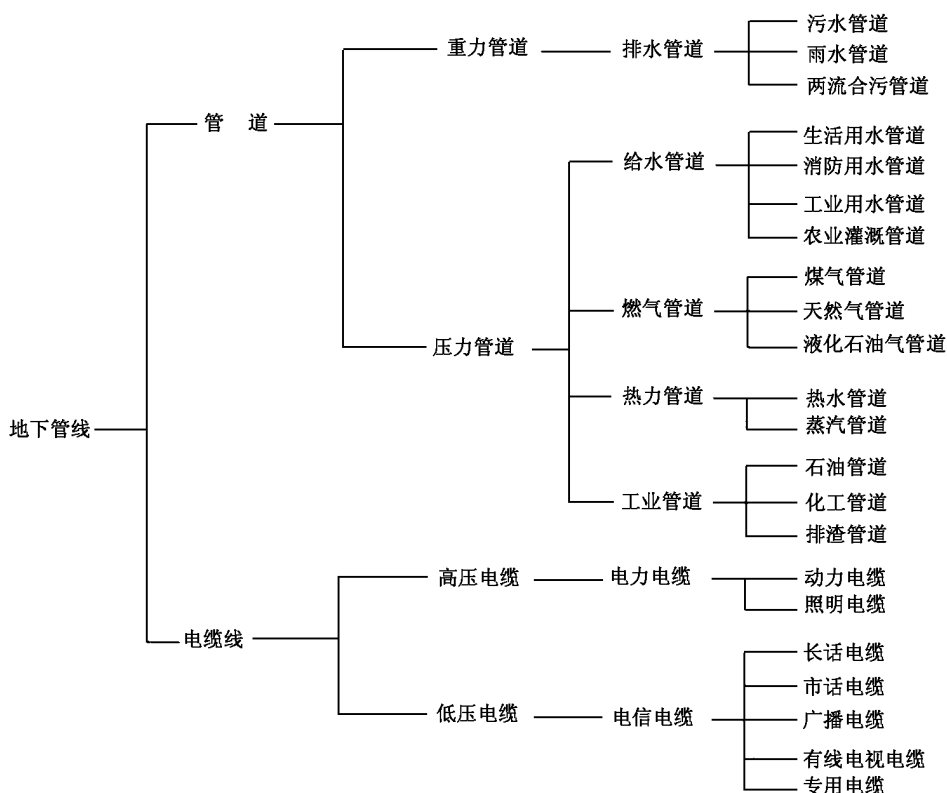


图 11-1-1 地下管线的分类

在我国，使用最广泛的给水管道为铸铁管（分承插口和法兰口两种）和钢管（直径在 150mm 以下的管道中广泛应用），其次为预应力混凝土管、石棉水泥管、聚乙烯（PE）塑料管等。

### 三、燃气管道

燃气管道按其所传输的燃气性质分为煤气、天然气、液化石油气输配管道。

燃气是现代化城市生活的主要能源。燃气的种类有焦炉煤气、直立炭化炉煤气、重油裂解气、天然气、液化石油气等。

燃气管道的材质多为钢管（主要是无缝钢管和焊接钢管），其次是承插口的铸铁管（用于低压煤气）和聚氯乙烯（PVC）塑料管（在一定的温度和压力下使用）。燃气管道的直径一般在 150mm 之间。

### 四、热力管道

热力管道按其所输送的介质分为热水管道和蒸汽管道两种，一般采用无缝钢管和钢

板卷焊管。

### 五、电力电缆

电力电缆按其功能可分为动力电缆（输电或配电）、照明（路灯）电缆、电车电缆等，按电压的高低可分为低压电缆、高压电缆和超高压电缆三种。

电力电缆的埋设方式有直埋、穿管、管块三种方式。

### 六、电信电缆

电信电缆主要包括市话电缆、长话电缆、光纤电缆、广播电缆、电视电缆，以及军用、铁路等专用电信电缆等。

电信电缆的埋设方式有直埋、穿管、管块三种方式。穿管埋设时一般使用单孔钢管和聚氯乙烯（PVC）塑料管，其次为石棉水泥管、陶瓷管。最普通、使用得最多的管块是混凝土矩形断面的管块，它是一种多孔组合式结构的管材，有单孔、双孔、三孔、四孔、六孔、九孔、十二孔、二十四孔等形式。

### 七、工业管道

工业管道按其所传输的介质分为石油、重油、柴油、液体燃料、氧气、氢气、乙炔、乙炔、压缩空气等油气管道，氯化钾、丙烯、甲醇等化工管道，工业排渣、排灰管道，以及盐卤和煤浆输送管道等。

工业管道一般为钢管和塑料管。

## 第二节 城市地下新管线铺设方法

非开挖施工方法早在 19 世纪末就已经出现，一些非开挖铺管法，如顶管法和水平钻进法已大量采用，只是当时没有使用“非开挖”这一术语而已。这里将顶管法和水平钻进法称为“传统的非开挖地下管线施工法”。

自 20 世纪 70 年代以来，为了适应经济发展的需要，陆续出现了各种新的非开挖地下管线施工方法（图 1-1-1），主要有：微型隧道法（又称小口径顶管法）、水平定向钻进法、导向钻进法、水平螺旋钻进法、冲击矛法、夯管法等，用于铺设各种地下管线的非开挖施工，还有各种各样用于更换和修复现有地下管线的非开挖施工法。这些方法与传统的非开挖方法相比具有以下的特点：

- ①引入了管线轨迹的测量和控制技术；
- ②可在复杂地层（如在地下水位以下、含卵砾石的地层和硬岩地层）中施工；
- ③大大提高了铺管的能力，包括铺管的直径、长度和精度；
- ④可以原位更换和修复现有的地下管线；
- ⑤高效、低成本。

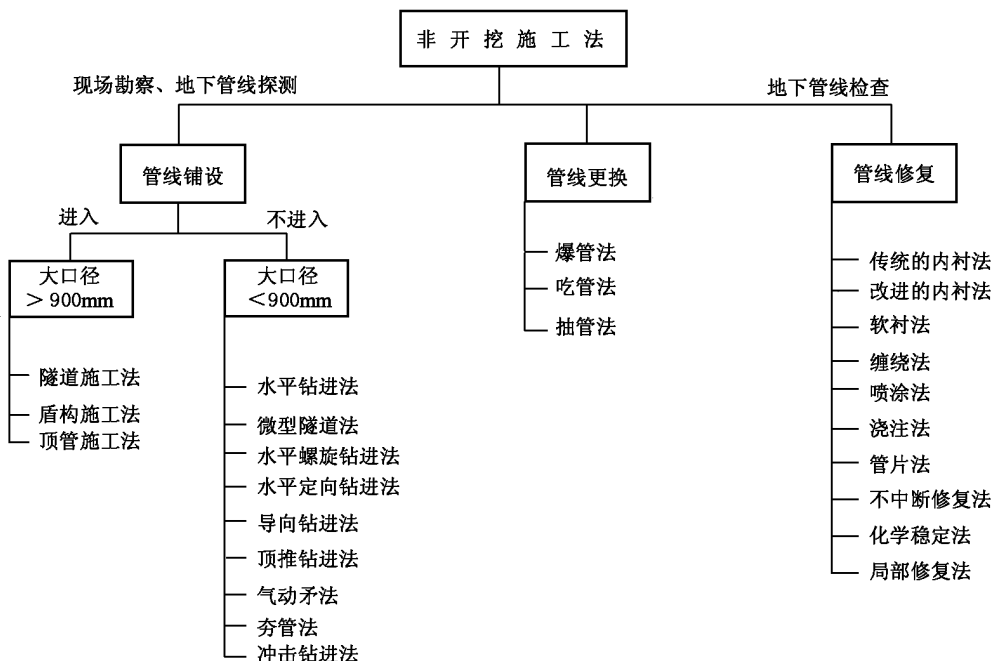


图 员原员原 非开挖地下管线施工方法的分类

为了区别于传统的非开挖地下管线施工法，我们称新的非开挖地下管线施工法为现代的非开挖地下管线施工法。

目前，我国在地下管线施工中大部分还是采用开挖施工方法，少数采用传统的非开挖施工方法。最近几年，采用现代的非开挖施工方法进行地下管线施工的工作量呈逐年增加的趋势。为此，本章在详细介绍现代非开挖地下管线铺设施工法之前，对传统的施工方法也作一简单的介绍。

本章将要介绍的非开挖地下管线铺设方法有：

- ①顶管法 (员原员原)
- ②水平钻进法 (员原员原)
- ③微型隧道法 (员原员原)
- ④水平螺旋钻进法 (员原员原)
- ⑤水平定向钻进法 (员原员原)
- ⑥导向钻进法 (员原员原)
- ⑦顶推钻进法 (员原员原)
- ⑧气动矛法 (员原员原)
- ⑨夯管法 (员原员原)
- ⑩冲击钻进法 (员原员原)

各种非开挖地下管线铺设方法的应用见表 员原员原

# 第一篇 城市地下管线概述

表 员原员原 非开挖地下管线铺设施工方法

施工方法	给水管	污水管	煤气管	电缆线	适用口径 毫米	最大施工长度 米
顶管法		✓			跃 圆	员 圆
水平钻进法	✓	✓	✓	✓	缘 圆	员 圆
微型隧道法						
先导式	✓	✓	✓		员 圆- 苑 圆	员 圆
螺旋式		✓			员 圆- 怨 圆	员 圆
泥浆式		✓			圆 圆- 怨 圆	猿 圆
水平螺旋钻进法	✓	✓	✓	✓	员 圆- 员 圆	员 圆
水平定向钻进法	✓	✓	✓	✓	猿 圆- 员 圆	员 圆
导向钻进法	✓	✓	✓	✓	缘 圆- 猿 圆	猿 圆
气动矛法	✓		✓	✓	猿 圆- 圆 圆	员 圆
夯管法	✓		✓	✓	缘 圆- 圆 圆	愿 圆
顶推钻进法	✓	✓	✓	✓	源 圆- 圆 圆	缘 圆
冲击钻进法	✓	✓	✓		员 圆- 员 圆	愿 圆

注：✓表示可采用的方法。

## 一、顶管法

顶管法是使用得最早的一种施工方法，起源于美国。最初，顶管施工法主要用于跨越孔施工时顶进钢套管。随着技术的改进，顶管法也用于无套管的情况下顶进永久性的公用管道，主要是重力管道。顶管法所使用的盾构类型、工作面开挖方式和排土方式完全与隧道施工法相同，所不同的是形成衬砌的方法。

按工作面的开挖方式可将顶管法分为普通顶管（人工开挖）、机械顶管（机械开挖）、水射顶管（水射流冲蚀）、挤压顶管（挤压土柱）等。采用何利方法要根据管径、土层条件、管线长度以及技术经济比较来确定。排土的方式可以是螺旋排土、浆液泵送或用手推车、电瓶车、皮带输送排土。

顶管法的优点是：

- ①对地表交通的干扰少；
- ②与传统的方法相比，施工时噪声、振动小。

顶管法的缺点是：

- ①需进行详细的现场调查；
- ②需开挖顶进工作坑和接收工作坑。

顶管法的适用条件是：

- ①管径在 2000mm 以上；
- ②管材一般混凝土管、钢管、陶土管、玻璃钢管；
- ③管线长度一般为 1000m 以内，最长可达 3000m；
- ④各种地层，包括含水层。

一般来讲，按工作区间的不同，可将顶管施工分为四个部分：①开挖工作面；②铺设管线；③顶进工作坑；④地面设备布置。

### （一）开挖工作面

开挖工作面的工作内容

在开挖工作面进行的工作有：

- ①开挖土层和控制工作面的稳定性；
- ②装土以供运输；
- ③测斜和纠偏。

开挖工作面的机械设备——盾构机

上述工作是在顶进管前端的盾构机内进行的，盾构机的种类包括最基本的钢管壳，到复杂的带有土压平衡和自动测斜纠偏装置的全断面隧道掘进机。图 1-1 为常用的三种盾构机。

（1）盾构机的主要作用：

- ①提供坚固表面的切削刃；
- ②提供安全的工作场所；
- ③固定机械开挖设备；
- ④固定测斜和纠偏装置；
- ⑤固定稳定工作面的装置。

（2）盾构机的分类。

盾构机一般可分为以下四大类型：

①普通盾构机。

普通盾构机，又称敞口式盾构机，人可进入到开挖工作面或工作面开挖切削具的后面。这种盾构机相对比较简单、灵活，且价格低，主要用于在稳定的地层中进行短距离顶管施工。最近几年由于在控制工作面的稳定性方面取得了较大改进，因而它也可以用于稳定性较差的地层。

普通盾构机又可以分为敞口式人力挖掘、盲式、半机械开挖和回转切削机械开挖四种，每种又有几种变型结构，见表 1-1。

# 第一篇 城市地下管线概述

表 1-1-1 普通盾构机

类 型	变 型
敞口式人力挖掘	隔 板 平 板 插 板 侧 板 门 式
盲 式	圆 盘
半机械开挖	改进的液压反铲 切削臂 伸缩式大臂 (铲斗) 回转
机械开挖 (回转) (回转切削式)	辐条式切削臂 切削盘

普通盾构机的最大优点是可以识别和处理工作面前方的任何障碍物。

普通盾构机适用的地层较广，主要是地下水位以上或以下的粘性土层（包括粘土、粉砂质粘土和岩层）以及地下水位以上的非粘性土层。

## ② 压气式盾构机。

压气式盾构机中只有工作面、盾构和最前面的圆刮板管充满压气，其余部分，包括顶进工作坑仍维持在大气压状态；也可像隧道施工那样，使整个工作区间都处于压气的作用下。为了避免人在压气条件下工作，可以只封闭盾构的前部，而使工人在大气压下通过玻璃板观察，或借助于闭路电视摄像机来操作开挖设备。

这类盾构机要求由有经验的人员操作，而且施工时必须始终保持一个稳定的压力。当埋深不够大时，压气会进入裂隙、空洞或开放性的颗粒状土层，甚至到达地表，危及地面人员或设备。

在压气条件下工作对人的身体健康是有害的，因而许多国家都制定了施工规程，并要求严格遵守。当工作压力要求大于 1.5MPa 时，压力平衡式盾构机则是更安全的施工设备。

## ③ 螺旋式盾构机。

螺旋式盾构机是机械开挖盾构机的一种特殊形式，采用遥控的方式进行施工。螺旋式盾构机的切削和排土方式与水平螺旋钻进相似，但在前部具有独立的测斜和纠偏装置。

工作面开挖由全断面回转切削头来完成，该切削头既可由螺旋钻杆来驱动，也可由独立的驱动装置直接驱动。螺旋钻杆同时从工作面将切削下来的土输送到顶进工作坑。

螺旋式盾构机又可分为标准型和加压型两种，后者可用于含地下水的地质施工。螺

旋式盾构机主要用于小口径管道（直径小于 1.5m）的铺设。

④压力平衡式盾构机。

压力平衡式盾构机又称全断面掘进机（掘进机），它在切削头的后面有一个加压室。加压室内充满水、泥浆或土，并且施加压力以平衡土层和地下水的压力。由于人不能进入工作面，因而所有的工作均遥控进行。管道直径较大时，操作人员可在盾构机尾部的控制台上进行操作；直径较小时，控制台则布置在工作坑内或地表上。

压力平衡式盾构机于 20 世纪 70 年代开始引入我国，主要用于在不稳定的地层中铺设管道。实际上，它适用的地层更广。

目前，有多种压力平衡式盾构机可适用不同的地层条件。有些具有破碎装置，以适应含卵砾石地层的施工：有些具有可破碎岩石的切削头，可在岩层中施工。表 10.1.1 列出了压力平衡式盾构机的主要类型。在隧道施工中使用的压力平衡式盾构机的直径较大，而在顶管施工中该机的最大直径约为 1.5m。

对某些粘性土层，仅需加水，就可形成完全合适的浆液，以平衡工作面的压力并作为排土的介质。对于地下水位以上的非粘性细粒土层，只需使用普通的泥浆（大多数为膨润土泥浆，有时为聚合物泥浆），对于地下水位以上的非粘性粗粒土层，尤其是含卵砾石地层，为防止泥浆的漏失和压力损失，则需要特殊性能的泥浆，并使用某些添加剂。

表 10.1.1 压力平衡式盾构机

类 型	变 型
水 压	标准型 偏心破碎型 破碎机
浆 压	标准型 破碎机
土 压	标准型 泥浆 砂浆
气 压	

10.1.2 偏差的测量和校正

顶管过程中，每隔一定时间（一般是每顶进 1m）应测量标高和中心线一次。发现偏差时，除及时校正外，还应每顶进一个行程后，正式测量校正一次。

测量首节管的管底标高一般用水准仪。测量管的中心线时，可在首节管内安装特制的中线尺或目标靶，用经纬仪或激光仪进行测量，也可用“小线垂球延长线法”测量。

当管的偏差超过允许值时，应根据实际情况选用下述方法进行校正。

## ㊟ 挖土校正法。

当首节管发生偏差，而其余的管节尚符合要求时，可用此法，即通过增减不同部位的挖土方量进行校正。如管头部抬高时，则多挖位于管前方下半圆的土；当管的头部下垂时，则多挖管前方上半圆的土。这样，当继续顶进时管的头部自然得到校正。

## ㊟ 强制校正法。

这是强迫管节向正确方向偏移的方法，有以下几种：

① 衬垫法：在首节管的外侧局部管口位置垫上钢板或木板，迫使管子转向。

② 支顶法：应用支柱或千斤顶在管前设支撑，斜支于管口内的一侧，以强顶校正。

③ 主压千斤顶校正法：当顶进长度较短（~~5米~~以内）时，如发现管中心有偏差，可利用主压千斤顶进行校正。如管中心向左偏时，可将管外左侧的顶铁比右侧的顶铁加长~~100毫米~~，这样，千斤顶顶进时，左侧的顶进力大于右侧的顶进力，可校正左偏的误差。

④ 校正千斤顶校正法：在首节工具管之后安装校正环，在校正环内的上下左右安装四个校正千斤顶。当发现首节工具管的位置偏斜时，开动相应的千斤顶即可实现校正。

## （二）管线

### ㊟ 管线的功能

㊟ 在顶进期间的功能：

- ① 提供临时护孔的作用；
- ② 传递顶进力；
- ③ 提供进入盾构内的通道；
- ④ 提供排土的通道。

㊟ 在设计寿命期内的功能：

- ① 提供永久性的保护作用；
- ② 作为防水和耐用的管道。

### ㊟ 管线的铺设

套管和永久性管道的铺设方法有：

① 单步施工法。顶进的管即为永久性的管道。

② 双步施工法。先顶进临时性管道，随后再将永久性的管道顶入，同时将临时性的管道顶出。

③ 套管施工法。先顶进永久性的套管，随后将铺设的管线置入套管内，同时充填二者之间的环形空间。

一般情况下均使用单步施工法，只有当单步施工法不能满足要求时才使用双步施工法。套管施工法主要用于跨越孔的施工，尤其是穿越铁路铺设管道时。

### ㊟ 顶进管。

用于顶管施工的顶进管可以是混凝土管、陶土管、塑料管、钢管或铸铁管，其中混凝土管占绝大多数，钢管主要用做套管。顶进管必须具有足够的强度，以承受端部载荷，包括顶进时产生的载荷。另外，顶进管还应具有与其用途相适应的性能。

管接头必须是防水的，并能承受设计的试验压力。接头必须在管壁的厚度范围内形

成，以消除内外凸出，影响顶进过程和介质的流动。

对重力或非压力管道，最常用的是对接式接头（图 1-10），它由一个外套环套在顶进管的外侧，形成光滑的连接表面。通常，还使用一个密封环。套环本身可以由低碳钢、不锈钢、玻璃钢或者复合材料制成。用于混凝土管的另一种接头是插接式接头（图 1-11）。在这两种接头中，管与管之间均有用于均匀分布载荷的密封垫。

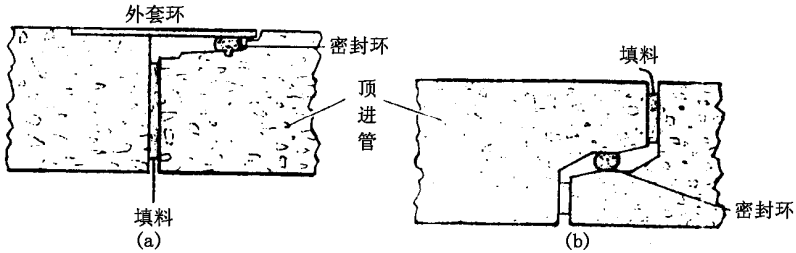


图 1-10 顶进管的接头形式

(a) 对接式；(b) 插接式

对压力管道，主要使用焊接的钢管，内外表面涂上各种防腐材料。在欧洲和日本，还使用球墨铸铁管和预应力混凝土管。

单节管的长度一般为 10~20m。单管长，接头少，因而渗漏的可能性较少。但是，管越长，质量越大，要求的顶进工作坑也大，因而施工成本随之增加。从理论上讲，对管径没有限制，一般小于 3000mm，最大为 5000mm。

顶进长度取决于顶进力和管道所能承受的安全载荷。顶进力一方面由管的自重决定，更重要的是由管与土层的表面摩擦力所决定。增加顶进长度的方法有两种：一种是在管与土层之间注入润滑液，以减小表面摩擦力；另一种是在管线中间设置中继顶进站，将顶进力分布在数个顶进点上。使用上述方法后，最大的顶进长度可达 1000~1500m。

#### (四) 排土。

工作面切削下来的土必须输送到顶进工作坑，然后再输送到地表并排出施工现场。顶进施工的速度往往取决于排土的速度。根据顶进长度、管道直径、土层类型以及所用的盾构机类型，可以选用以下六种方法来进行排土。

- ① 轮式或轨式推车或箕斗；
- ② 传送带；
- ③ 正排量泵；
- ④ 液流；
- ⑤ 螺旋钻杆；
- ⑥ 真空抽出。

无论采用哪一种排土方法，都必须注意排土系统和其他设备相协调。

### (三) 顶进工作坑

顶进工作坑的作用

顶进工作坑作用是：

- ① 布置顶进设备；
- ② 将顶进力均匀地分布在管端上；
- ③ 作为顶进力反作用力的后座墙；
- ④ 提供下放、布置和连接管节的空间；
- ⑤ 提供排土的空间；
- ⑥ 作为观察和操作的安全场所。

顶进施工时，首先选择工作坑的位置，开挖工作坑，然后按照管线的位置和坡度，在工作坑底部修筑基础，在基础上设置导轨，并将管节安放在导轨上。顶进前，在管端开挖导孔，再用千斤顶将管节顶入，一节管顶进去后，连接第二节管继续顶进。

工作坑平面尺寸的计算

工作坑（包括顶进工作和接收工作坑）的位置根据地形、管线设计、障碍物的种类等因素确定。工作坑的平面尺寸取决于管径和管节的长度、盾构机的类型、排土的方式、操作工具以及后座墙等因素，一般按下列公式计算确定：

(1) 工作坑的宽度  $B$  (m) 为

$$B = D + 2C + 2t \quad (1-1)$$

式中， $D$ ——顶进管的外径 (m)；

$C$ ——管两侧的操作空间，根据管径大小及操作工具而定，一般取  $0.5 \sim 1.0$  m；

$t$ ——撑板的厚度，一般为  $0.1 \sim 0.2$  m。

(2) 工作坑的长度  $L$  (m) 为

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (1-2)$$

式中， $L_1$ ——管节的长度，一般为  $10 \sim 15$  m；

$L_2$ ——千斤顶的长度，一般为  $0.5 \sim 1.0$  m；

$L_3$ ——后座墙的厚度，约为  $1$  m；

$L_4$ ——前一节已顶进管节留在导轨上的最小长度，通常为  $0.5 \sim 1.0$  m；

$L_5$ ——管尾出土所留的工作长度，根据出土工具而定，用小车时为  $0.5$  m，手推车时为  $1.0$  m；

$L_6$ ——调头顶进时的附加长度 (m)。

工作坑的施工成本，尤其是当埋深较大时，在总成本中占有较大的比重。因此，国外的厂商都试图最大限度地减少顶进设备的尺寸，以减少工作坑的尺寸，最终降低工作坑的施工成本。

(3) 后座墙的计算。

后座墙在顶进过程中承受全部的阻力，故应有足够的稳定性。为了保证顶进质量和施工安全，应进行后座墙承载能力的计算。计算公式为

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) + c \gamma H \quad (1-3)$$

式中,  $\lambda$ ——后座墙的承载能力 (吨);

$B$ ——后座墙的宽度 (皂);

$H$ ——后座墙的高度 (皂);

$H_1$ ——后座墙顶至地面的高度 (皂);

$\gamma$ ——土的容重 (吨/米<sup>3</sup>);

$K$ ——被动土压力系数, 与土的内摩擦角  $\varphi$  有关:

$$K = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$K_1$ ——后座墙的土坑系数, 当埋深浅, 不需打钢板桩, 墙与土直接接触时,  $K_1 = 1$ ; 当埋深较大, 打入钢板桩时,  $K_1 = 1.5 \sim 2.0$ 。

### 顶进设备

顶进设备主要是千斤顶。在顶管施工时使用的千斤顶按其功能分为以下三种:

- ①主压千斤顶: 固定在工作坑内, 用于顶进管节;
- ②校正千斤顶: 固定在盾构机内, 用于调节高程和中心线的偏差;
- ③中继千斤顶: 固定在管节之间, 作为接力顶进的工具, 一般为活塞式双作用千斤顶。

主压千斤顶的数量一般为两个或两个以上, 总的顶进力取决于顶进管所能承受的安全顶进力。对大口径顶管, 最多可达 10 个千斤顶, 顶进力达数千吨。单个千斤顶的工作压力为 1000~2000 吨, 顶进能力为 10~20 吨。

当顶进距离较长, 或者在复杂的地层中顶管时, 则需将载荷分布在数个点上, 以减少每个顶进点的顶进力, 中继千斤顶正是为此而设置的。

顶管施工时, 千斤顶的顶进力用于克服管壁与土层之间的摩擦力和首节管前端的切土阻力 (迎面阻力), 计算顶进力的理论公式为

$$F = K_1 [\mu (P_1 + P_2 + G) + R] \quad (1.1.1)$$

式中,  $F$ ——千斤顶的计算顶进力 (吨);

$P_1$ ——管顶的垂直土压力 (吨);

$P_2$ ——管侧的侧向土压力 (吨);

$G$ ——全部顶进管的重量 (吨);

$R$ ——管前端的切土阻力 (吨);

$K_1$ ——安全系数, 一般取  $K_1 = 1.5$ ;

$\mu$ ——管壁与土层之间的摩擦系数。

管顶上部覆土的垂直土压力按下式计算:

$$P_1 = K_1 \gamma (H_1 + L) \quad (1.1.2)$$

式中,  $K_1$ ——垂直土压力系数, 见图 1.1.1;

$\gamma$ ——土的容重 (吨/米<sup>3</sup>);

$H_1$ ——管的埋深 (皂);

$L$ ——顶进管的外径 (皂);

$L$ ——顶进管段的长度 (皂)。

管侧的土压力由下式计算：

$$k_v \gamma (H - \frac{1}{2} D_1) \quad (1)$$

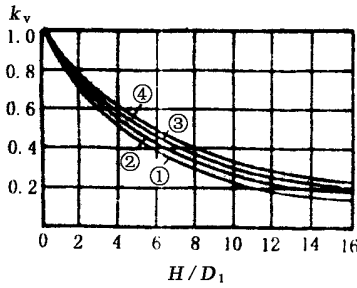


图 1 土压力系数  $k_v$  与  $H/D_1$  的关系曲线

①砂土及耕植土（干燥）；②砂土、硬粘土、耕植土（湿的和饱和的）；③塑性粘土；④流塑性粘土

理论上计算管端的切土阻力比较复杂，即使计算出来也不精确，故一般采用经验值。表 1 列出了几种土的单位切土阻力经验值。

表 1 管端的单位切土阻力经验值

工作面上的操作方法	单位切土阻力 $k_v$ (kN/m <sup>2</sup> )
工作面稳定，先超挖后顶进	0.5
首节管前端装有钢刃，贯入土后再挖土	砂质粘土 0.5 - 0.7
	砾石土 0.7 - 1.0
首节管前端装有钢刃，采用挤压法顶进	砂质粘土（含水量 15%） 0.5 - 0.7
	砂质粘土（含水量 10%） 0.5 - 0.7

#### （四）地面设备

在工作坑上面的地表布置有各种辅助设备，主要包括：

- ①土的处理和排除设备；
- ②管的存放和加工设备；
- ③动力装置；
- ④润滑液的搅拌和注入设备；
- ⑤泥浆的搅拌和输送设备；
- ⑥控制盘。