

958/118
44489

顶管技术

高乃熙 张小珠 编



中国建筑工业出版社

顶 管 技 术

高乃熙 张小珠 编

中国建筑工程工业出版社

这是一本介绍不开槽敷设室外地下管道的施工技术书籍，共分三篇(十四章)，第一篇介绍管道材料、土质与顶管施工的关系；第二篇介绍顶进设施、顶进设备及普通顶管施工工艺；第三篇介绍减阻、水射、挤压、牵引、机挖及工作面稳定等特种施工技术和小口径顶管。

通过本书可使读者掌握顶管施工的基本技术，包括管材和土质与顶管的关系、施工设计计算、施工方法与设备以及施工工艺等。

本书供给给排水施工技术人员、顶进设备设计人员及大专院校有关专业师生参考。

顶 管 技 术

高乃熙 张小珠 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：11 字数：292 千字

1984年8月第一版 1984年8月第一次印刷

印数：1—8,600册 定价：1.40元

统一书号：15040·4633

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 管材和土质

第一章 管材及接口	9
第一节 管节	9
第二节 接口	12
第二章 土质和地下水	18
第一节 土质	18
第二节 地下水	28

第二篇 顶管施工工艺

第三章 顶进设施	31
第一节 工作坑	31
第二节 后背	42
第三节 基础与导轨	50
第四章 设计计算	59
第一节 顶力计算	60
第二节 后背的设计计算	75
第五章 顶进设备	85
第一节 千斤顶	85
第二节 油压元件和油压辅件	92
第三节 液压油和液压系统	98
第四节 顶铁和刃脚	101
第六章 测量和校正	109
第一节 普通测量	109

第二节	激光测量	114
第三节	顶进中的误差	118
第四节	误差校正	121
第七章	普通顶管法	132
第一节	概述	132
第二节	顶进前的工序	136
第三节	顶进	141

第三篇 特种施工技术

第八章	延长顶距技术	150
第一节	概述	151
第二节	触变泥浆减阻	153
第三节	中继间接力顶进	166
第四节	盾顶法	178
第九章	机械挖掘	183
第一节	概述	183
第二节	伞式掘进机	185
第三节	机械手	201
第四节	机械连续输土	202
第十章	水下顶进	210
第一节	水下顶进工作原理	211
第二节	射流破土	215
第三节	水力输土	222
第四节	水力顶进工艺	232
第五节	泥浆处理	241
第六节	小口径水射顶管	251
第十一章	挤压技术	255
第一节	概述	255
第二节	出土挤压法	258
第三节	不出土挤压法	263
第十二章	管道牵引	268
第一节	普通牵引法	269

第二节	牵引挤压	275
第三节	牵引顶进	278
第四节	牵引贯入	279
第十三章	小口径顶管	285
第一节	水平钻进法	286
第二节	逐步扩孔法	291
第三节	爆破成孔法	295
第四节	真空振动法	303
第五节	气动冲孔法	306
第六节	导管引向法	312
第七节	筒套钻进法	315
第十四章	土层稳定技术	318
第一节	排水法	319
第二节	灌浆法	323
第三节	空气加压法	331
第四节	其它稳定土层法	336
结束语		341
参考文献		343

绪 论

敷设地下管道，一般采用开槽方法，施工时要挖大量土方，并要有临时存放的场地，以便安好管道后进行回填。这种施工方法污染环境、断绝交通，给工农业生产和人们日常生活带来极大不便。而顶管施工可以避免以上问题。

我国于1953年开始采用顶管施工。二十余年来，顶管技术在我国发展很快，采用过不同的顶进方法，顶进过各种直径的管节。目前，顶进的最大管径已达2600毫米，并采用了水力切土、激光定向、自动纠偏等新工艺。

顶管施工操作程序是：先在管道一端挖工作坑，在工作坑内，按管道设计位置，根据管子外径尺寸在地层内挖土洞，边挖土、边用千斤顶将管节逐节顶入土洞内，反复操作，直到顶至设计长度为止。顶管施工过程见图0-1，图0-2。

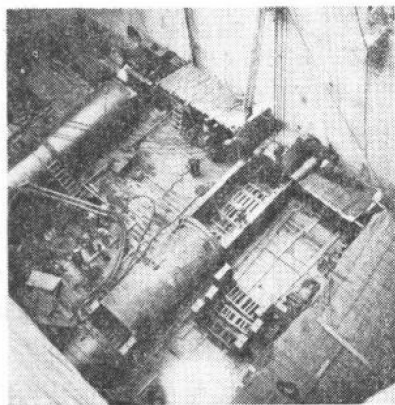


图 0-1 顶管施工

顶管施工的适用范围甚广，遇到下面情况时就可采用：

- 1.管道穿越铁路、公路、河流或建筑物时。

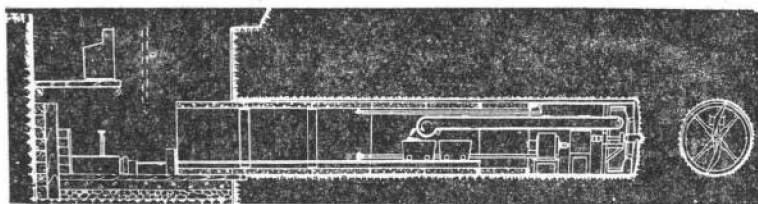


图 0-2 顶管施工

2.街道狭窄、两侧建筑物多时。

3.在交通量大的市区街道施工，管道既不能改线、又不能断绝交通时。

4.现场条件复杂，与地面工程交叉作业，相互干扰，易发生危险时。

5.管道覆土较深，开槽土方量大，并需要支撑时。

影响顶管施工的因素包括：地层土质、管道覆土深度、管道用途、管材和接口种类、管内径、管壁厚度、管节长度、顶进长度和方向、施工环境、工期等，其中主要因素是管节和土质。

顶管施工技术具有以下特征：

1.施工面由线缩成点，占地面积少，与同管径的开槽施工相比可节约用地。

2.施工面移入地下，使地面活动不受施工影响，可保持交通运输畅通无阻。

3.穿越铁路、公路、河流、建筑物等障碍物时可减少沿线的拆迁工作量，节约资金和时间，降低工程造价。

4.施工过程中能作到不破坏现有的管线及构筑物，不影响其正常使用。

5.施工无噪音，减少对沿线环境的污染。

但是，这项技术也存在一些问题：

1.土质不良或管顶超挖过多时，竣工后地面下沉，路表裂

缝，需要采用灌浆处理。

2. 必须要有详细的工程地质和水文地质勘探资料，否则顶进中遇到未估计到的恶劣土层，将出现不易克服的困难。

3. 遇到复杂的地质情况时，如松散的砂砾层、地下水位下的粉土，施工困难、工程造价增高。

顶管施工的技术经济效果显著，表现在：

1. 大量减少土方的挖填量。如覆土四米以上的中型管径，顶管施工与开槽施工相比，可节约90%以上的挖填土方量。

2. 开槽施工要浇筑混凝土基座，而顶管施工是利用管底下边的天然土作地基，可节省管道的全部混凝土基座。

3. 降低了劳动强度。顶管施工除工作面挖土尚多使用人工外，其他工序大部分实现了机械化，降低了劳动强度。

4. 顶进时除工作坑有支撑外，一般沿线无需支撑，可节约大量木材。

5. 减少占地面积。

6. 降低工程造价。顶管施工较开槽施工降低40%左右的费用。

顶管的方法通常分成四种。

1. 按工作面土层的稳定程度分成开放式顶管和密闭式顶管。当工作面土层的物理力学性质良好，土层处于稳定状态下，操作时不会出现塌方现象，不需要对工作面采取其它措施，能直接挖土，因工作面开敞，称开放式顶管。当工作面土层不稳定时，为了防止塌方，将管前端加以密封，并施以气压、水压或土压来支撑工作面，使工作面土层稳定，由于工作面是密封的，称密闭式顶管。根据加压时使用的介质不同又分为三种类型。

(1) 气压式 采用压缩空气加压，使工作面土层稳定。按操作间内是否有人，又分为：全面加压式和局部加压式。全面加压式，人要在高于大气压下操作。

(2) 泥水加压式 采用泥水加压，用全断面切削机在泥水中切土，并将挖下的土搅拌成泥浆，靠水力运输到工作坑外。

(3) 土压平衡式 用挖下来的土造成土压在工作面加压。机械在土压下旋转切削，土靠土压力通过螺旋输送机挤出。

2. 按管前挖土方式的不同，可以分为普通顶管、机械化顶管、半机械化顶管、水射顶管和挤压顶管，见图0-3。

(1) 普通顶管 是目前最普遍采用的方法，管前用人工挖土，具有设备简单、能适应不同的土质，但工效低，见图0-3(a)。

(2) 机械化顶管 工作面采用机械挖土，工效高，但对土

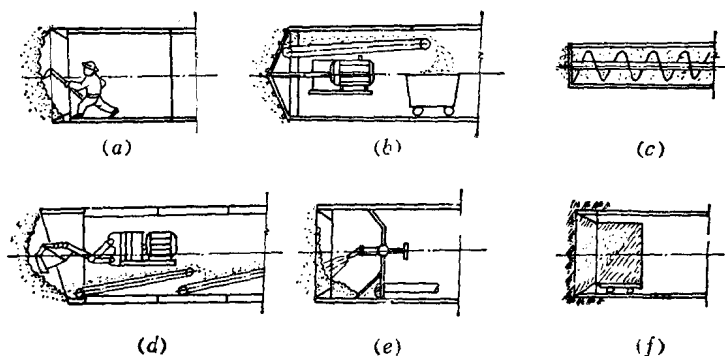


图 0-3 顶管按挖土方法分类

质变化的适应性差，顶进过程中遇土质变化，容易给机械挖土带来困难，甚至不得不停止。机械化顶管，还可分为螺旋钻进式和全面挖掘式。

螺旋钻进式是采用螺旋式水平钻机进行水平钻进，边钻进、边出土、边顶入管节。适用于 $\phi 200 \sim 1400$ 毫米的管径。主要问题是耗功率大。

全面挖掘式是一种比较常见的机械顶进形式，挖掘刀盘装于主轴上，动力通过减速器带动主轴，刀盘旋转挖土，一次挖成土洞，边挖土、边顶进，见图0-3(b、c)。

(3) 半机械化顶管 根据管径大小，采用各种形式的单机挖土，如单斗液压铲、旋转切削机在工作面进行局部挖土，边角

剩下的余土，靠前端刀脚切齐。这种方法介于前述两种方法之间，即采用机械代替人工挖土，又对变化的土层采用不同的挖掘机械。机械挖掘困难的土层也可辅助以人工挖掘，见图0-3(d)。

(4) 水射顶管 使用水力射流破碎土层，工作面要求密闭，破碎的土块与水混合成泥浆，用水力提升机运出管外。这种方法一般用于穿越河流的顶管，现场要求供水有源、排水有道。市内使用时，泥浆要采用泥水分离处理后，才能排入下水道，见图0-3(e)。

(5) 挤压顶管 管前装有工具管，工具管前端是环刀式挤压口，顶进时挤压刀口切土，土被挤入工具管内，呈土柱状，挤进一定长度后，用钢丝切断土柱，将土柱运到工作坑外，见图0-3(f)。此法设备简单，不用人工挖土，但只能用于软土。

3. 根据顶管前进用的千斤顶装置的部位可分为：后方顶进式、前方牵引式、盾头顶进式、中继间接力式，见图0-4。

(1) 后方顶进式 在工作坑内顶进方向的对面设后背，用后背支承千斤顶向前顶进管节，这是顶管的通用方法，见图0-4(a)。

(2) 前方牵引式在顶段前后两端挖工作坑，坑间钻水平孔并穿入钢丝绳，由前井装置的中孔千斤顶牵引钢丝绳，拉着后井的管节前进，管节由后井逐节安装。前方牵引式由于钢丝绳的导向作用，可减少管道误差，见图0-4(b)。

(3) 盾头顶进式 管前装有盾构式工具管，简称盾头。顶进千斤顶装于盾头内，在工作面上顶进盾头，然后在工作坑内顶进管节，因前面已先形成巷道，后面顶进管节时省力，延长顶矩，见图0-4(c)。

(4) 中继间接力式顶进 除在后面工作坑顶进外，并在全顶段内，根据顶进距离、管节强度、顶进设备能力及临界顶力，设置中继间。中继间内装设千斤顶，在顶进过程中，分段接力顶进。将总顶力分布于各段，作长距离顶进，见图0-4(d)。

顶管从操作条件考虑，有时也按顶进的管径分类。习惯上将

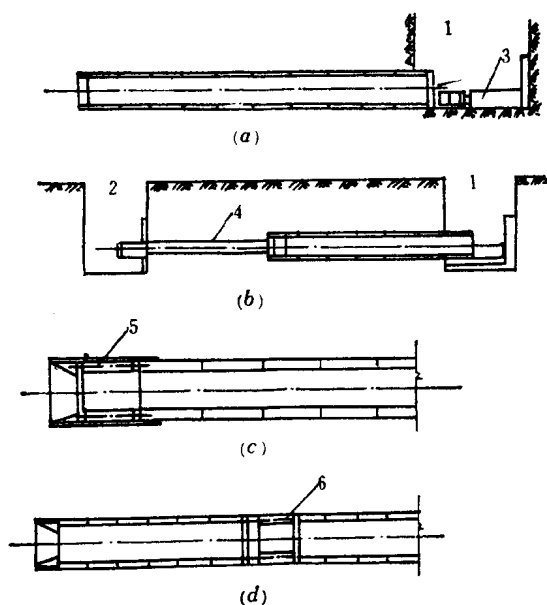


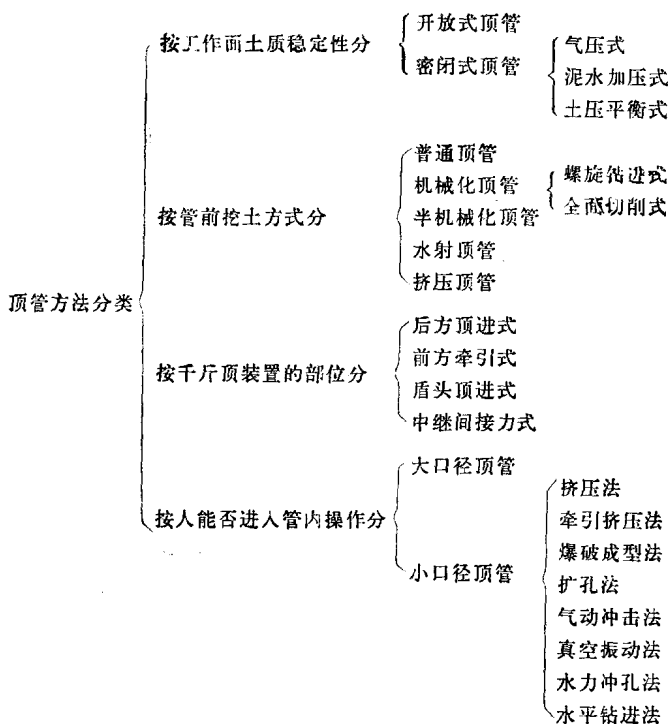
图 0-4 顶管形式

1—顶进工作坑；2—接收工作坑；3—千斤顶；4—牵引钢丝绳束；5—盾头；
6—中继间

直径 $\phi 800$ 毫米以上的，工人能直接进去操作，称为大口径；而 $\phi 500$ 毫米以下，工人不能进入操作，称小口径。直径在 $\phi 500$ 毫米以上， $\phi 800$ 毫米以下的管道，虽然人能进去，但无法操作，勉强操作也非常困难，这类管道，距离短时，有时采用人工挖土顶进，距离长时可采用螺旋式钻进。大口径顶管以普通顶管法为主，前述其它方法均属于大口径顶管范畴内。小口径顶管的方法甚多，主要有：

挤压法；牵引挤压法；爆破成型法；扩孔法；气动冲击法；真空振动法；水力冲孔法；水平钻孔法。

现将各种分类方法归纳如下：



主要顶管方法适用的施工条件，见表0-1。

最近十余年来，随着科学技术的发展，许多新技术如：射流、激光、气垫、液压、电子技术等，已逐步应用到顶管技术中。为了克服恶劣的工程地质和水文地质条件给顶管带来的困难，要求不断地采用辅助顶管施工的新技术，如稳定工作面的泥水加压技术；压缩空气加压和土壤加固技术；降低地下水位，延长顶进距离的泥浆润滑技术；修建深型工作坑的地下连续墙技术；以及泥水分离技术等，以促使顶管与许多专门技术直接或间接地联系起来，使它发展成为一项综合性的施工技术。

我国顶管施工技术虽然有了一定的发展，但如何进一步提高以适应我国国民经济高速发展的要求，是给从事这项工作的工程技术人员提出来的新课题。

主要顶管方法适用的施工条件

表 0-1

顶管方法	适用管径 (毫米)	适用管 材	土壤种类	地下水	其 它
普通顶管法	≥800	钢筋混凝土、钢	不 限	有、无压	
机械化顶管	不限	钢筋混凝土、钢	粘性土、砂土	有、无压	顶距宜长
水射顶管	不限	钢、铸铁	粘性土、砂土	无关	水源、排水要方便
挤压顶管	≥800	钢筋混凝土、钢	软性土、淤泥	无关	不适于穿越建筑物
前方牵引法	不限	钢筋混凝土、钢	软性土、淤泥	有、无压	牵引距离短
盾头式顶管	≥1500	钢筋混凝土、钢	不 限	有、无压	用于长距离
中继间顶管	≥1000	钢筋混凝土、钢	不 限	有、无压	用于长距离
不出土挤压法	≤300	钢筋混凝土、钢	除砂砾石外	无关	不能穿越重要建筑物
爆破成型法	<1000	钢筋混凝土、钢	除砂砾石外	无关	覆土大于 5 倍管径
逐步扩孔法	≤500	钢筋混凝土、钢	除砂砾石外	无关	顶 距 短
真空振动法	≤300	钢筋混凝土、钢	除砂砾石外	有、无压	顶 距 短
螺旋钻进法	≤1400	钢筋混凝土、钢	除砂砾石外	有、无压	功 率 高
水平钻孔法	≤500	钢筋混凝土、钢	除砂砾石外	有、无压	
泥水加压法	≥1000	钢筋混凝土、钢	粘性土、砂土	无关	
气压顶管	≥1000	钢	粘性土、砂土	无关	人在气压下工作

要科学地解释和解决在顶管施工中所遇到的新问题，势必涉及许多学科和专业。若为了促进顶管施工技术的发展，必须组织各有关专业共同协作、共同研究才能完成。

第一篇 管材和土质

第一章 管材及接口

顶管法施工可采用各种管材，而使用最广的是钢筋混凝土管和钢管。管材选择取决于工程性质及使用要求。表1-1是不同工程使用的管道材料。

不同工程性质使用的管道材料

表 1-1

管 道 种 类	管道性质	管 道 材 料
1.排水管道	重 力 流	钢筋混凝土管、混凝土管、铸铁管
2.灌溉管道	压 力 流	钢筋混凝土管、混凝土管、石棉水泥管
3.引水管道	压 力 流	钢筋混凝土管、钢管
4.给水管道	压 力 流	预应力钢筋混凝土管、钢管、铸铁管
5.煤气管道	压 力 流	自应力管、铸铁管、石棉水泥管
6.热力管道	压 力 流	钢管
7.电缆管	套 管	钢管 石棉水泥管
8.跨越管	套 管	钢管 钢筋混凝土管

第一节 管 节

管节的基本数据是：内径、长度、重量、管壁厚度、结构形式、制管材料、管体强度、接口形式及接口材料等，这些数据均与制定顶管施工方案有密切关系。

一、钢筋混凝土管

顶管用的钢筋混凝土管，应用离心法制成。离心法生产的管节具有刚度大、管体不易变形、离心混凝土的密度大、强度高、管壁厚、承压面积大、造价低、使用寿命长、不受腐蚀等优点；缺点是重量大，导致顶力增加，安装运输不便。由于钢筋混凝土管的优点甚多，故在顶管工程中广泛使用。

各地生产的钢筋混凝土管，因受原有管模限制，规格不统一。长度一般为2000毫米，有的管节长度达2430毫米。管径最大达2200毫米。管壁厚度约为管径的1/12。顶管用的钢筋混凝土管管壁厚度约为管径的1/10。表1-2是北京市顶管用的企口管规格。

用于顶管的钢筋混凝土管，管的端面外观要平直，倾斜偏差应小于10毫米，裂缝宽度不超过0.05毫米，无蜂窝、麻面及露筋现象。人工操作时管径最小为800毫米。目前国内顶进最大管径为2600毫米（管子为非离心法生产），国外顶进最大管径为3000毫米。

北京市顶管用企口管规格

表 1-2

公称直径 (毫米)	管内径 (毫米)	管外径 (毫米)	管壁厚度 (毫米)	插口长度 (毫米)	管节长度 (毫米)	参考重量 (公斤/根)	插口厚度 (毫米)
1100	1050	1284	117	30	3020	3445	51
1200	1150	1410	130	32	3016	4004	69
1400	1350	1640	147	35	3010	5289	79
1600	1550	1870	160	35	3090	6775	90
1800	1750	2100	175	35	3090	8336	100
2000	1950	2330	190	40	3090	10047	105
2200	2150	2570	210	40	3090	12248	120

管节长度是施工中影响起重运输设备的因素，也是工作坑尺寸的决定因素。管壁厚度决定管节重量及承受顶力的大小。

二、钢管

钢管也是顶管施工中较常用的管材。

顶管施工使用的主要是焊接钢管。焊接钢管分直缝焊接和螺

缝焊接两种。表1-3是北京煤气用具厂生产的直缝卷焊钢管规格。

大口径顶管用的钢管，应根据施工条件设计管壁厚度，由工厂进行加工。

直缝卷焊钢管规格

表 1-3

公称直径 (毫米)	管外径 (毫米)	壁 厚 (毫米)	单位重量 (公斤/米)	公称直径 (毫米)	管外径 (毫米)	壁 厚 (毫米)	单位重量 (公斤/米)
200	219	6	31.5	500	529	9	115.4
		7	36.6			10	128.0
		8	41.6			8	122.6
		9	46.6			9	137.8
250	273	7	45.9	600	630	10	152.8
		8	52.3			11	167.9
		9	58.5			9	180.0
300	325	7	54.9	800	820	10	199.8
		8	62.5			11	219.5
		9	70.1			12	239.1
		10	77.7			10	250.0
400	426	8	82.5	1000	1024	11	275.5
		9	92.5			12	300.0
		10	102.5			10	298.4
500	529	7	90.1	1200	1220	11	327.5
		8	102.8			12	357.5

钢管节长一般为4~6米，最长可达10米。顶距相同时，管节越长，接口越少、安管次数也少，可节约辅助生产时间。

钢管管壁薄而强度高，相应管节轻，有利于运输、吊装及顶进。但为了防止应力集中产生压曲变形，应在管端加垫边圈均布