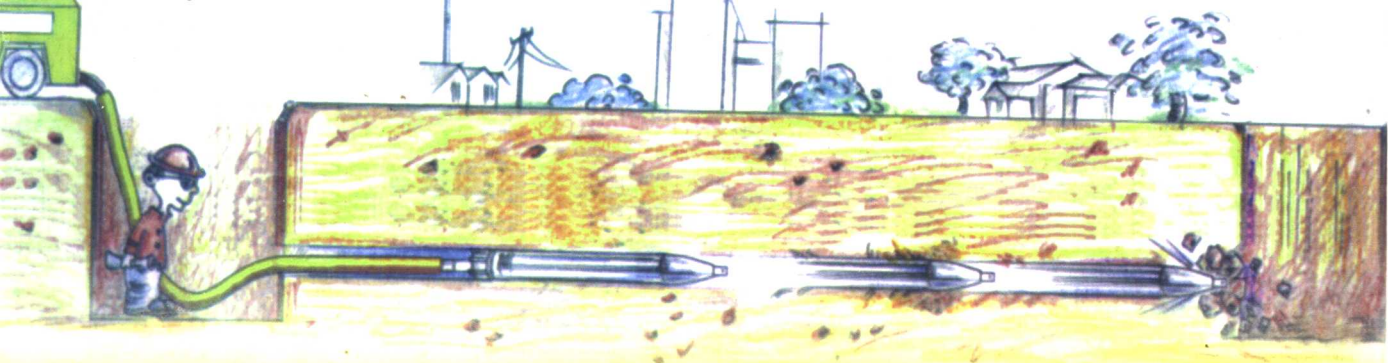
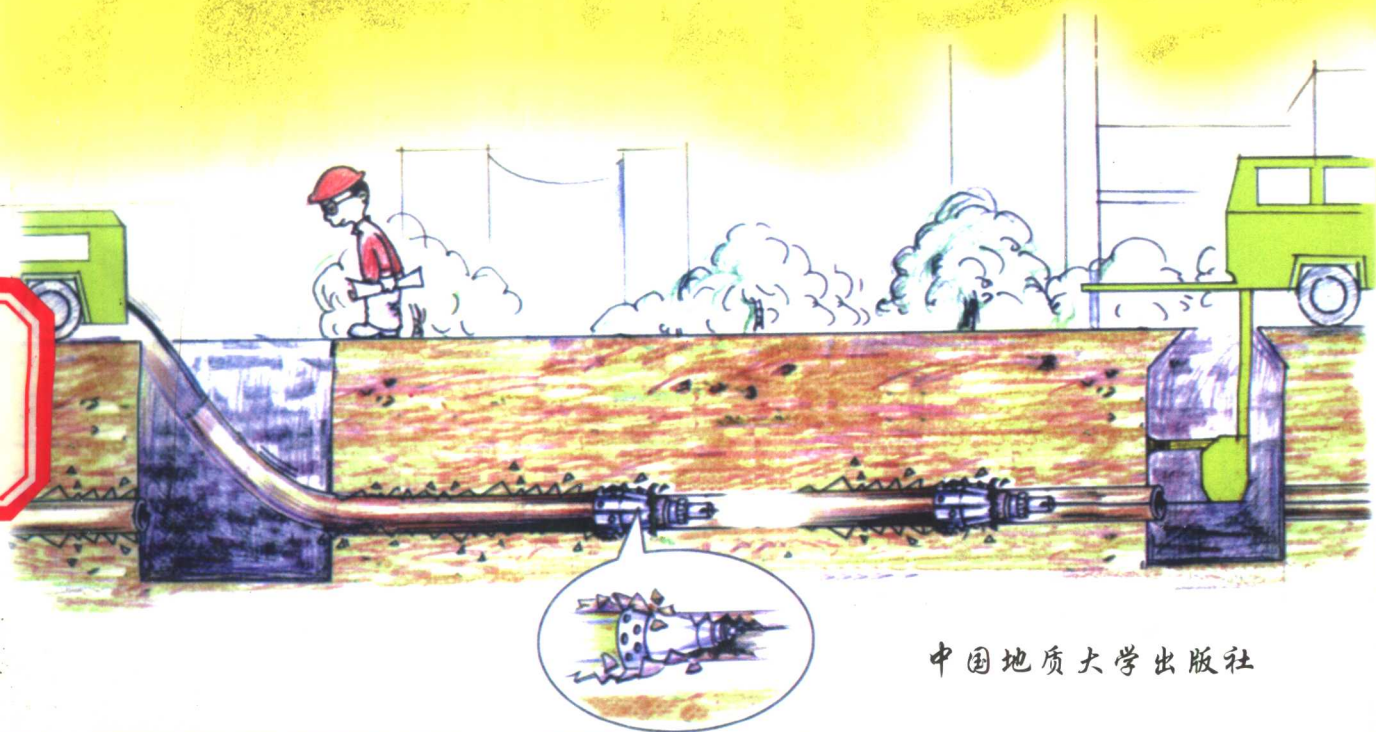




非开挖铺设地下管线 施工技术与实践

叶建良 蒋国盛 窦 斌 编著



中国地质大学出版社

非开挖铺设地下管线施工技术与实践

叶建良 蒋国盛 窦 斌 编 著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书是在总结了国内外有关非开挖铺设地下管线施工技术的基础上,系统地讲述了应用非开挖施工技术进行地下管线的铺设、旧管线的更换、修复等理论以及在工程实践中的应用;适当介绍了学科的最新成果与发展。

全书共分七章:内容包括非开挖地下管线施工技术概况,非开挖地下管线施工的工程勘测,钻孔孔身轨迹设计和实际孔身轨迹的计算,非开挖地下管线施工的原理和设备,技术经济分析和风险性评价,施工组织和工程实例。

本书可作为高等院校环境工程、市政工程、电力、通讯、地下建筑及相关专业的教材,也可作为大专院校有关专业的参考书以及从事城市规划、环境保护、石油天然气、电力、通讯、给排水管等地下铺设和修复的科技人员的技术参考书。

非开挖铺设地下管线施工技术与实践/叶建良,蒋国盛,窦斌编著. —武汉:中国地质大学出版社, 2000. 3

ISBN 7-5625-1488-7

I. 非…

II. ①叶…②蒋…③窦…

III. 地下管线-施工技术-非开挖工艺

IV. TU473

非开挖铺设地下管线施工技术与实践

叶建良 蒋国盛 窦斌 编著

责任编辑:吴巧生 杨凯华

责任校对:熊华珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87483101

传真:87481537

E-mail: cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:240千字 印张:9.375 图版:2

版次:2000年3月第1版

印次:2000年3月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—4 000册

ISBN 7-5625-1488-7/TU·20

定价:17.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序 言

在迎接 2000 千禧之年举国欢腾的日子里，于 1999 年末我收到了由叶建良、蒋国盛等同志合著的《非开挖铺设地下管线施工技术与实践》一书的书稿，十分高兴。

非开挖铺设地下管线施工技术，国外称 TT 技术，即 Trenchless Technology，又称 HDD 技术，即 Horizontal Directional Drilling，水平定向钻探。是近年来发展起来的一项高新技术，是钻探工程技术的一项重要延伸。在我国大规模进行交通、铁道、电力、地铁、水利以及城市规划与建设中，都是一项十分重要的、方兴未艾、非常有应用前景的，而且社会经济效益极为良好的新技术。在美国、加拿大以及欧洲各国早已应用了 27 年之久，而且应用领域还在不断改进、创新和扩展。我国尚处于引进、消化、吸收阶段，只有 5 年多的发展史，正处于认识发展的上升时期，急需一些书籍资料作为学习推广这一十分先进新技术的指导性的启蒙导读书籍。《非开挖铺设地下管线施工技术与实践》的出版发行可谓是一场及时雨，一副良方制剂。雪里送炭，正逢其时。

本书内容涵盖了非开挖地下管线施工技术概况，前期的施工、钻孔孔身估计设计和实际孔身轨迹的计算、施工原理与设备，在这一章中，作者叙述了：顶管法，定向钻进和制导钻进，其他非开挖铺管法以及管线更换与修复技术等等。对技术经济风险性评价，施工管理与安全措施都作了重要的阐述，还介绍了多处工程实例，并附上了一些必要的图件和设备数据资料。

经过通读后，我认为本书具有的特点是：理论联系实际，深入浅出地先阐明了理论基础、立论依据，然后讲工程实际，这样对读者会条理分明，便于加深理解，一扫过去“说明书”式的资料，使本书的水平提高很多。文字简练、观点明确，文字流畅，提高了本书的可读性和理解深度。图件比例合理、清晰是本书的另一特色，易于读者阅读欣赏。

总之，我为有如叶建良、蒋国盛二位这样的年轻有为的跨世纪探矿工程接班人而欢欣鼓舞，更为他们的著作而大受启发和鼓励。特为此序。

中国工程院院士

刘广志

2000. 1. 3

目 录

第一章 非开挖地下管线施工技术概况	(1)
§ 1.1 国外发展概况	(1)
§ 1.2 国内发展概况	(3)
§ 1.3 我国非开挖施工技术与发达国家之间存在的差距	(4)
§ 1.4 非开挖地下管线施工技术的类型和应用领域	(6)
第二章 非开挖地下管线施工的工程勘测	(9)
§ 2.1 非开挖地下管线施工的工程勘察	(9)
2.1.1 管道地基岩土分类	(9)
2.1.2 城市室外地下管线工程勘察	(11)
2.1.3 大型油气长输油管道工程勘察	(14)
§ 2.2 城市地下管线的探测	(16)
2.2.1 施工场地管线探测的一般性要求	(16)
2.2.2 施工场地管线的探查	(17)
2.2.3 物探法探查地下管线的技术原理	(21)
2.2.4 探查工作的质量检查	(24)
§ 2.3 城市地下管线的测量	(25)
2.3.1 地下管线的控制测量	(25)
2.3.2 已有地下管线测量	(27)
2.3.3 地下管线定线测量与竣工测量	(28)
2.3.4 地下人防巷道测量	(28)
2.3.5 测量成果质量的检验	(29)
§ 2.4 地下管线现状检查	(29)
第三章 钻孔孔身轨迹设计和实际孔身轨迹的计算	(31)
§ 3.1 钻孔空间位置	(31)
3.1.1 描述钻孔轨迹的基本参数和有关术语定义	(31)
3.1.2 定(导)向钻进地下管线施工的一般轨迹形式	(32)
§ 3.2 钻孔轨迹的设计方法	(33)
3.2.1 定(导)向钻进钻孔轨迹设计的原则和内容	(33)
3.2.2 定(导)向钻进钻孔孔身轨迹设计的方法	(34)
§ 3.3 实际孔身轨迹的计算	(40)
第四章 非开挖地下管线施工的原理和设备	(42)
§ 4.1 顶管法	(42)
4.1.1 顶管法施工原理	(43)
4.1.2 顶管设备	(49)
§ 4.2 定向钻进和导向钻进	(51)

4.2.1	导向钻进施工原理	(52)
4.2.2	导(定)向钻进设备	(57)
§ 4.3	其他非开挖铺管法	(76)
4.3.1	水平螺旋钻进法	(76)
4.3.2	微型隧道施工法	(78)
4.3.3	冲击矛铺管技术	(86)
4.3.4	夯管施工法	(90)
4.3.5	水平钻进法	(92)
4.3.6	冲击钻进法	(93)
§ 4.4	旧管线更换	(94)
4.4.1	爆管法	(94)
4.4.2	吃管法	(97)
§ 4.5	管线修复	(98)
4.5.1	内衬法	(99)
4.5.2	缠绕法	(105)
4.5.3	喷涂法	(105)
4.5.4	浇注法	(106)
4.5.5	管片法	(106)
4.5.6	化学稳定法	(107)
4.5.7	局部修复法	(107)
4.5.8	挤压涂衬法	(110)
第五章	技术经济分析和风险性评价	(112)
§ 5.1	非开挖施工的风险分析	(112)
5.1.1	应用非开挖技术的利弊分析	(112)
5.1.2	风险分析和控制方法	(113)
5.1.3	风险管理	(115)
§ 5.2	管道修复工程的技术经济评价	(115)
5.2.1	技术经济分析	(116)
5.2.2	管道修复后的质量检验	(117)
第六章	非开挖地下管线施工的施工管理与安全措施	(119)
§ 6.1	施工组织	(119)
§ 6.2	安全措施	(119)
§ 6.3	施工过程质量管理	(120)
§ 6.4	技术资料提交	(120)
第七章	工程实例	(121)
§ 7.1	定(导)向钻进铺管技术	(121)
7.1.1	导向钻进铺设光缆	(121)
7.1.2	导向钻进技术在岩石中施工重力排污系统	(122)
§ 7.2	管道顶进施工技术	(125)
7.2.1	南宁朝阳溪截污管道顶进施工技术	(125)

7.2.2	用顶管机和卷扬机进行非开挖铺管施工	(128)
7.2.3	用顶管施工技术铺设电信管道	(129)
§ 7.3	用夯管锤在卵石中进行非开挖铺管	(130)
7.3.1	工程概况	(130)
7.3.2	施工方法	(130)
7.3.3	验收	(132)
7.3.4	结论	(132)
§ 7.4	非开挖隧道工程施工	(132)
7.4.1	TITAN 自钻式岩栓成功运用于台湾八卦山隧道工程	(132)
7.4.2	弗莱娜隧道	(133)
§ 7.5	用爆管法更换污水管道	(133)
§ 7.6	管线穿插技术和翻衬技术的应用	(134)
7.6.1	待改造的生产、生活污水管线现状	(135)
7.6.2	改造方案	(135)
7.6.3	管线穿插技术	(135)
7.6.4	翻衬技术	(136)
7.6.5	结论	(136)
附录 1	地下管线图图例	(137)
附录 2	国际非开挖技术协会概况	(138)
附录 3	中国非开挖技术协会概况	(139)
参考文献		(140)

第一章 非开挖地下管线施工技术概况

铺设地下管线传统的方法是在地表挖沟(槽),然后将管线放入沟(槽)中,最后进行回填土方。随着社会的进步、经济的发展,通讯、电能传输、石油工业、天然气的开采及水利事业的发展突飞猛进,同时随着城市高层建筑及铁路、公路、核电基地和水利工程设施的不断兴建,地下工程的建设和应用日益广泛,开挖施工方式表现出很大的局限性和明显的不足之处。非开挖施工技术(Trenchless Technology 或 No-Dig)是指在不开挖地表的条件下探测、检查、修复、更换和铺设各种地下公用设施(管道和电缆)的任何一种技术和方法。与开挖施工法相比,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等条件下进行供水、煤气、电力、电讯、石油、天然气等管线的铺设、更新和修复。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/管桩、微型桩、土钉)、环境治理工程等领域。因而非开挖技术是地下管线铺设和修复的一种全新的方法。

与开挖施工技术相比,非开挖施工技术的主要优势是:

(1) 可以避免开挖施工对居民正常生活的干扰,以及对交通、环境、周边建筑基础的破坏和不良影响。非开挖施工不会阻断交通,不破坏绿地、植被,不影响商店、医院、学校和居民的正常生活和工作秩序。

(2) 在开挖施工无法进行或不允许开挖施工的场所(如穿越河流、湖泊、重要交通干线、重要建筑物的地下管线),可用非开挖技术从其下方穿越铺设,并可将管线设计在工程量最小的地点穿越。

(3) 现代非开挖技术可以高精度地控制地下管线的铺设方向、埋深,并可使管线绕过地下障碍(如巨石和地下构筑物)。

(4) 有较好的经济效益和社会效益。在可比性相同的情况下,非开挖管线铺设、更换、修复的综合技术经济效益和社会效益均低于开挖施工,管径越大、埋深越大时越明显。

实践证明,在大多数情况下,尤其是在繁华市区或管线的埋深较深时,非开挖施工是明挖施工很好的替代方法;在特殊情况下,例如穿越公路、铁路、河流、建筑物等,非开挖施工更是一种经济可行的施工方法(两种施工方法的成本比较如图1-1、1-2)。

但是,并没有一种适合所有场合的“万能的”非开挖方法,专业技术人员必须根据自己的知识和经验从这些已有的方法中选择适合特殊要求的施工方法。

§ 1.1 国外发展概况

“非开挖”这一词语相对较新,但其原理并不是新的。例如,作为大口径隧道的一种施工方法的顶管法已经使用了许多年;用于自来水防腐处理的灰浆喷射衬层法是另一种具有较长

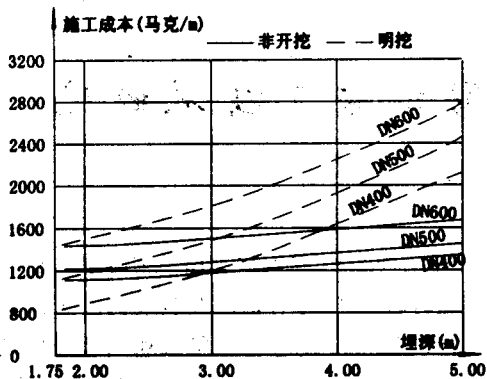


图 1-1 铺管的施工成本与管径、埋深的关系

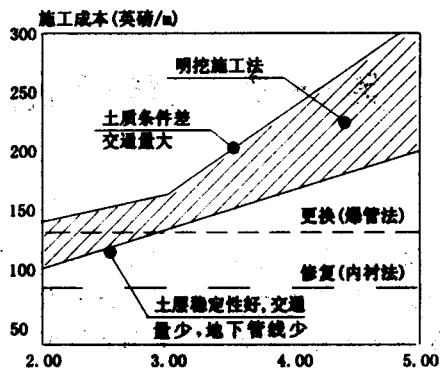


图 1-2 明挖施工与非开挖施工成本

历史的“非开挖”施工法。非开挖管线施工技术的发展，大致可分为三个阶段：

(1) 人工（或用简单机械）地下挖掘后再铺设管线。这是非开挖技术发展的初期，将地下挖掘与管线铺设分开进行，效率低、安全性差，只用于特殊场合下的短距离工程。

(2) 常规钻、掘机械挖掘、铺设阶段。这基本上是 20 世纪 70 年代以前的技术，虽然在一定程度上将地下挖掘和铺管结合起来，但无法控制管线铺设方向，加之设备能力和施工技术水平的限制，效率低下，难于铺设直径、长度较大的管线。

(3) 采用专用设备和技術，把地下挖掘和管线的铺设、更换等各项作业有机地合成为一体，并能准确控制管线铺设方向，形成了现代非开挖管线施工技术。

新技术的开发与应用取决于工程需要和市场需求。非开挖技术也是一样，但是，各国的情况并不一样。非开挖技术的发源地主要在三个国家——日本、美国、英国。

在日本，过去人们几乎与主要的污水系统无关。因此，在 20 世纪 60 年代和 70 年代，日本建设部决定设法增加提供污水管道服务的居民数。由于交通拥挤、道路狭窄，使用开挖的方法来施工污水管道极为困难，成本也极为昂贵，因而产生了开发新的施工方法的实际动力。在日本政府的支持下，共用部门、制造商、承包商和大学协力在顶管法的基础上开创了一个新兴的小工业——微型隧道法。大阪和东京的地层条件尤其适合于微型隧道施工法，工程设计人员也将顶管用的工作井设在以后作为人井的位置。所有的操作均为遥控的，没有人在工作面，这样便形成了微型隧道的特性。如今，大阪往往被视为卫星隧道施工法的诞生地。

英国在 20 世纪 60 年代和 70 年代的需求与日本大不相同。污水管道服务设施俱全，但是许多污水管道和自来水管均具有一百多年的历史，因而，需要修复或更新这些管道的施工技术。首先的需求是要查明管道的内部状况，所以开发了闭路电视 (CCTV) 摄像机以满足这一要求。软衬法 (Insituform) 和内衬法也是这一时期在英国发明和开发的。因而，在 20 世纪 70 和 80 年代又进一步开发了用于污水管、自来水管、煤气管修补和更换用的许多修复方法。

同英国一样，美国对铺设新管线的的需求很小，城市内污水管道设施俱全。然而与英国不同的是，这些污水管并不怎么年久，对修复方法的需求也就较少。而石油和天然气工业发现它们往往需要穿越对环境敏感的地区铺设长距离管道，从而导致了定向钻进和导向钻进的开发和利用。

1986 年国际非开挖技术协会 (ISTT—International Society for Trenchless Technology) 在伦敦的成立和自 1985 年开始举办国际非开挖会议的促进了非开挖施工技术的传播。微型隧道法、定向钻进法和管道修复技术目前在世界各地被广泛用于铺设或修复污水管、自来水管、煤气管以及动力电缆和通讯电缆。

现代非开挖技术是 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。如美国克林顿政府在 1994 财政年度批准了为期七年、投资 2.5 亿美元的“先进的钻探和掘进技术国家计划”(NADET—National Programme For Advanced Drilling and Excavation Technologies),非开挖技术被列入其内。

在国际非开挖技术协会推动下,许多国家和地区相继成立了国家和地区性协会(约有 20 多个,有的几个国家联合组成一个协会),而且还发展了很多个人会员(共 2 000 多人,并且每年都在增加)。国际非开挖技术协会每年还举办 1~2 次国际性的技术交流会和设备展览会,至今大约举办了近 20 次。同时,为培养该领域的专业人才,先后有英国的曼彻斯特工业大学、美国路易斯安纳理工大学、德国波鸿大学等设立了非开挖技术专业和研究机构,从而使非开挖技术成为企业参与、政府支持、社会关注的一个新的应用技术领域,使之在近十年获得了飞速发展,已经成为发达国家中一个新兴的产业(机械制造业和工程承包业)和技术。

据统计,在西方发达国家中,目前非开挖设备制造商和材料供应商达 450 多家,工程承包商达 4 000 余家,各种非开挖施工方法达百余种。近年来非开挖管线工程施工量已占全部地下管线工程量的 10%,个别地区更高,如柏林市达到 40% 左右。

§ 1.2 国内发展概况

我国非开挖施工技术、设备的开发和研制工作起步较晚,对非开挖地下管线施工技术的发展和应用尚未引起足够的重视。只是由于一些局部的特殊工程不允许开挖铺设时才使用非开挖施工技术。从 20 世纪 70 年代中后期开始,原地质矿产部的一些厂家(如张家口探矿机械厂、原西北探矿机械厂、北京探矿机械厂等)与市政部门合作,共同研制开发了少量水平钻机和螺旋钻机,以适应工程急需。从 20 世纪 80 年代中后期起,由于不允许开挖铺设地下管线的工程量日益增多,且重要性也日趋加大(如穿越河流、高速公路、铁路干线、机场跑道等),不得不通过引进国外设备进行非开挖施工,以解燃眉之急。据不完全统计,此间我国各工业部门已引进各类非开挖设备共计约 70 台套,其价格最高为每台套 450 万美元(大型定向钻机)。

随着各类非开挖施工设备的引进和工程市场的需要,也促进了我国非开挖施工设备的开发和研制工作。已研制成功并投放市场的有:原地质矿产部勘探工艺研究所生产的 GPS-10、GPS-15 型导向钻机, M63、M108 气动矛, M180、M300、M377 夯管机;原地质矿产部河北三队与宣化英格索兰公司合作研制的 DZ-200 导向钻机;首钢地质勘探公司研制的 FDP-15B 型导向钻机;河南畅通管道电讯工程公司研制的 SYD 顶推钻机;上海同济大学和上海宝山油缸厂研制的 PH 系列气动矛和夯管锤,以及上海市市政工程研究所研制的 $\phi 1200$ 和 $\phi 1650 \sim 1800$ 泥浆式盾构机等。此外,原地质矿产部河北地质矿产开发局还研制出了 GT-1A 导向探测仪。我国研制的非开挖施工设备的主要性能参数见表 1-1。

表 1-1 国内研制的非开挖施工设备的主要技术性能参数

型号	设备类型	适用管径 (mm)	最大施工长度 (m)	研 制 单 位
	水平钻机	140~300	50	天津市市政公司
GLP-150	水平螺旋钻机(1981)	150	50	地矿部勘探所 地矿部西北探矿机械厂
SPZ-3060	水平螺旋钻机(1984)	300~600	50	北京市市政工程研究所 呼和浩特第一机械厂
GP-220	水平工程钻机(1985)	250	50	北京市市政工程研究所 地矿部张家口探矿机械厂
φ1200	泥水土压平衡式遥控顶管机 (1989)	1 200	100	上海市市政工程研究所 上海市隧道工程设计院
φ2400 和 φ2200	土压平衡顶管机(1990)	2 200~2 400	100	上海市市政工程研究所
DGJ-1000	水平顶管机(1990)	600~1 000	50	北京市市政工程研究所 北京探矿机械厂
HKZ-1500	螺旋钻机(1990)	273~1 050	100	江汉石油机械厂
SYD 系列	SYDS, YD-L, SYD-Z ₁ , SYD-Z ₂ , 水平液压顶管机(1990)	60~800	60	河南畅通管道电讯工程有限公司
φ1650~1800	两用泥水机械平衡式顶管机 (1992)	1 650, 1 800	100	上海市市政工程研究所 上海市隧道工程公司
	气动矛(φ130)(1993)			长春路下工程股份公司
	气动矛和夯管锤(φ80, 90, 130) (1994)			长春科技大学 东煤公主岭钻探机械厂
M 系列	M63, M108, M180 气动锤 (1994)	42~272	30~50	地矿部勘探所
H 系列	H300, H377 夯管锤(1994)	325~800	50	地矿部勘探所
DZ-200	全液压动力头式导向钻机 (1995)	30~350	200	河北地质矿产开发局 河北省地质三队
GBS 系列	GBS-5, 10, 15, 20 导向钻机 (1997)	42~650	500	地矿部勘探所
FDP-15B	导向钻机(6)	50~480	300	首钢地质勘探公司 地矿部连云港黄海机械厂
PH 系列	大小 10 多种规格的气动矛/夯 管锤(1997)	45~2 000	80~130	上海同济大学 上海宝山油缸厂
GT-1A	工程定向孔多用无线探测仪 (1995)		10	河北省地质矿产开发局

§ 1.3 我国非开挖施工技术与发达国家之间存在的差距

从某种意义上讲, 一个国家地下管线的人均拥有量, 反映了这个国家的经济发展水平和人们生活、工作的环境质量。例如: 目前北京每人拥有的上水和下水管道分别为 1.45 m 和 1.2 m, 而欧洲国家平均达 12 m。而且, 随着经济的发展和人们生活水平的提高, 工业化和城

市化进程的加快, 各类地下管线工程已经成为推进这一进程或遏制这一进程的重要基础性工程之一。因此, 各发达国家在地下管线工程的投入上都和对建筑业、交通业的投入一样, 给予了充分的重视。据不完全统计, 发达国家 1992 年铺设的管线达 24.2 万公里 (见表 1-2), 总投资 300 亿美元, 并以每年 10% 的速度增长。另外, 为了更新和修复现有的地下管线, 每年还须投资约 300~500 亿美元 (见表 1-3)。

表 1-2 1992 年发达国家新铺设管线的

估计值 (km)

国家与地区	重力(下水)管道	压力(水、气)管道	电缆(通讯动力)管道
北美	15 000	30 000	30 000
西欧	11 000	50 000	90 000
日本	10 000	2 000	4 000
合计	36 000	82 000	124 000

总计: 24.2 万公里, 总投资: 300 亿美元。

表 1-3 发达国家各种地下管线的估计值 (km)

国家与地区	(上、下水, 煤气)管道	(通讯, 动力)管道
北美	4 900 000	4 000 000
西欧	5 400 000	4 700 000
日本	900 000	200 000
合计	11 100 000	8 900 000

总计: 2 000 万公里, 更换和修复所需的资金
30 000 亿美元。

目前我国正处于国民经济持续快速健康增长的阶段, 是实现“十五大”提出的远景目标的关键时期。因此, 各类地下管线的铺设、改造已成为顺利实现这一目标、使人民生活水平逐步达到小康水平的重要基础工程之一。表 1-4 不完全统计了至 1993 年底我国现有的各类地下管线的长度和“九五”期间每年需铺设的管线长度。

表 1-4 国内各种地下管线及施工情况 (km)

管 线	现有管线 (到 1993 年底)		每年新铺设管线 (到 2000 年底)	
	全国	北京	全国	北京
上水	123 000	57 000	5 000	100
下水	75 027	2 300	3 000	80
油气	15 861			
电讯	37 000	3 500	26 000	
煤气		2 000		
动力		6 000		60

备注: 1. 目前, 全国的电话普及率为 4.2% (北京为 20%), 到 2000 年将达 9% (城市 17%, 北京 45%); 全国供热的普及率 19%; 2. 北京每人拥有的上水和下水管道分别为 1.45 和 1.2m (欧洲为 12m); 3. 有 30 000 km (全国) 和 2000 km (北京) 管道急需更新和修复。

据最近中国非开挖技术协会对 30 多家会员单位进行的调查统计表明, 1998 年我国用非开挖技术施工铺管的工作量为 75 kg, 还不到全部铺管工作量 34 000 kg (不包括油气管道) 的 0.2%, 而在管道修复方面, 除对北京少数城市的煤气管道进行过少量的非开挖技术修复外, 几乎为零。全部非开挖工程费用估计不会超过 10 亿元人民币 (1.2 亿美元)。另据统计, 1997 年各类管道的非开挖铺管工作量为 48 km, 1998 年比 1997 年增加了 27 km, 年增长率达 56.3%。从统计数字表明, 与发达国家相比, 虽然目前我国非开挖工程量不大, 但其发展速度之快令世人瞩目。

在非开挖施工设备的研制开发上我国已开始起步并取得了一定的进展, 但与国外相比, 我

国的非开挖施工技术无论在施工装备, 还是在施工技术方面, 都处于较落后的状态。由于制造工艺差造成产品质量不高, 限制了在国内施工市场的应用(见表 1-5)。尤其在装备方面与国外一些发达国家相比差距很大。具体表现在以下几个方面:

表 1-5 我国非开挖设备使用情况

名 称	数量 (台)	其中: 进口 (台)	所占比例 (%)
定向钻机	39	16	41
顶管 (微型隧道) 机	39	19	49
气动矛与夯管锤	23	11	48
导向与定位仪	(以英国 Radio detection 和美国 DCI 公司产品为主)		
插管设备	2 (国产)		

1. 品种单一、能力有限、不成系列, 难于满足工程施工的需要

迄今为止, 我国已开发的产品主要为小型导向钻机, 不同部门开发的三个机型基本属于同一档次 (管径 40~400 mm、长度 200~300 m, 辅助设备尚不能达到性能的上限值) 和水平, 施工设备的能力有限, 对工程和地层的适应性差, 难以满足工程施工的要求。例如, 大部分设备的最大铺设长度均在 50 m 左右 (导向钻机除外), 长距离施工难以满足; 又如, 导向钻机在含卵砾石地层和硬岩中施工变得无能为力。

国外非开挖设备的类别齐全, 系列完整, 品种多样, 其工程和地层适应性很强, 便于用户选择。如美国奥格 (Augers) 公司、Ditch witch 公司的导、定向钻机就多达 11 种以上, 大、中、小三个系列; 日本伊势机 (ISEKI) 公司的小口径顶管设备, 仅泥浆式的就多达 26 个品种。

2. 液压化程度较低

国外的导、定向钻机, 小口径顶管设备, 水平螺旋钻机等均为全液压的, 即从主驱动系统到各专用执行机构均采用液压传动。这就使设备结构紧凑、操作灵活、工艺适应性强、组合灵活等特点得以充分发挥。即使气动矛类设备, 目前国外液动锤的使用数量也日趋增多。

反观国内已研制的导向钻机, 多为“半液压”式, 即主传动仍为机械传动, 仅控制系统和部分执行机构采用液压传动, 致使各方面的功能均远较同类国外机型低。

3. 装载型式单一, 适应性差

以导、定向钻机为例, 国外机型基本以履带式底盘为主体, 重心低, 地面和工程适应性强。国内现有机型均为拖轮式底盘, 对工程场地、路面要求高, 机动性差、施工准备繁琐。

4. 工程用方向识别系统研制和产品极为有限

为确保管线的铺设方向和精度符合设计要求, 国外在导向、定向钻进中分别采用了导航仪和随钻测量系统, 而在小口径顶管设备中则采用激光导向装置。而我国在此方面基本处于空白状态, 已进入市场的导向钻机所用的导航仪全为进口 (主要为英国雷迪公司—Radio detection 的产品)。原地质矿产部河北地质矿产开发局研制的 GT-1A 探测仪虽已通过鉴定, 但探测深度仅为国外新型导航仪的 2/3 (10 m 以内), 且不能投入批量生产。

§ 1.4 非开挖地下管线施工技术的类型和应用领域

非开挖施工方法按其用途可分为管线铺设、管线更换和管线修复三大类, 每种非开挖施

工方法的特点及适用范围见表1-6,适用的土层条件以及适用的环境见表1-7和表1-8。各国由于地下管线的现状和地层条件不同,所使用的方法有所侧重。例如,日本主要是使用微型隧道施工法来铺设交通拥挤、道路狭窄的市内污水管道;英国主要的需求在于修复和更换由于年久而破损的现有管道,因而,发明和开发了许多非开挖管线更换和修复的方法;美国由于石油和天然气工业的发展需要铺设大量的石油和天然气输送管道,其中要穿越一些地表障碍物(如河流、湖泊、铁路、高速公路等),因而定向钻进和导向钻进施工法的发展极为迅速,并得到广泛的应用。

表 1-6 非开挖地下管线施工法的分类及应用

非开挖施工方法	管 线 铺 设	施工方法	典型应用	管 材	适用管径	施工长度
		顶管法	各种大口径管道,跨越孔	混凝土,钢,铸铁	>900	30~1 500
		隧道施工法	各种大口径管道		>900	
		小口径顶管法	小口径管道,管棚,跨越孔	混凝土,钢,铸铁	150~900	30~300
		导向钻进	压力管道,电缆,短跨越孔	钢,塑料	50~350	20~300
		螺旋钻进	钢套管,跨越孔	跨越孔	100~1 500	20~130
		顶推钻进	压力管道,钢套管	钢,混凝土	40~200	30~50
		水平钻进	钢套管,跨越孔,水平降水井	钢套管	50~300	20~50
		冲击矛法	压力管道,电缆线,跨越孔	钢,塑料	40~250	20~100
		夯管锤	钢套管,跨越孔,管棚,打入桩	钢套管	50~2 000	20~80
		冲击钻进法	跨越孔	钢管,混凝土管	100~1 250	20~80
	管 线 更 换	碎管法	各种重力和压力管道	PE, PP, PVC, GRP	100~600	230
		胀管法	各种重力和压力管道	PE, PP, PVC, GRP	150~900	200
		吃管法	各种重力和压力管道	PE, PP, PVC, GRP	100~900	180
		抽管法				
	管 线 修 复	内衬法	各种重力和压力管道	PE, PP, PVC, GRP	100~2 500	300
		改进的内衬法	各种重力和压力管道	HDPE, PVC, MDPE	50~600	450
		软衬法	各种重力和压力管道	树脂+纤维	50~2 700	900
		缠绕法	各种重力管道	PE, PP, PVC, PVDF	100~2 500	300
		喷涂法	各种重力和压力管道	水泥浆,树脂	75~4500	150
		灌浆法	各种重力和压力管道	水泥浆,树脂	100~600	

备注: 1. PE—聚乙烯; PP—聚丙烯; PVC—聚氯乙烯; PVDF—聚偏二氯乙烯; HD/MDPE—高中密度聚乙烯; GRP—玻璃纤维加强树脂(玻璃钢); 2. 管径单位为 mm, 长度单位为 m。

表 1-7 土层条件及各种非开挖方法的适用性

土 层 条 件	顶管法	小口径顶管法	螺旋钻进法	水平钻进法	气动矛法	夯管法	定向钻进法	导向钻进法	顶推钻进法	中继钻进法
极软到软的粘土层	?	?	?	?	*	*	*	*	×	×
中硬到硬的粘土层	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
坚硬的粘土层和高密度风化的页岩	*	*	*	*	×	?	*	?	?	*
松散的砂层	?	?	*	×	×	?	*	*	*	×
中到致密的砂层 (地下水位以上)	*	*	*	*	*	?	*	*	*	*
中到致密的砂层 (地下水位以下)	*	*	*	×	×	?	*	*	*	*
含卵砾石的地层 ($\phi 50 \sim 100$ mm)	*	*	*	*	?	*	*	?	?	*
含卵砾石的地层 ($\phi 100 \sim 150$ mm)	*	?	?	?	×	*	*	×	×	*
风化岩层和坚硬的土层	*	*	*	*	×	×	*	?	×	*
微风化和未风化的岩层	*	*	×	?	×	×	*	×	×	*

备注：*—适用；?—改进后适用；×—不适用。

表 1-8 各种非开挖施工方法的适用性

施工方法	市区主管线	市区支管线	短跨越孔	长跨越孔
顶管法 Pipe Jacking	*	×	⊙	*
小口径顶管法 Microtunnelling	*	*	⊙	×
定向钻进 Directional Drilling	×	×	⊙	*
导向钻进 Guided Boring	⊙	*	*	×
水平螺旋钻进 Auger Boring	×	×	*	⊙
顶推钻进 Thrust Boring	⊙	*	*	×
水平钻进 Horizontal Boring	×	⊙	*	×
冲击矛法 Impact Molding	⊙	*	*	×
夯管法 Pipe Ramming	×	×	*	×
碎管法 (更新) Replacement	*	⊙	×	×
内衬法 (修复) Renovation	*	⊙	×	×

备注：*—极具竞争力；⊙—具有竞争力；×—不具有竞争力。

第二章 非开挖地下管线施工的工程勘测

§ 2.1 非开挖地下管线施工的工程勘察

2.1.1 管道地基岩土分类

室外管道工程勘察中,地基岩土的分类应按现行国家规范即《建筑地基基础设计规范》的有关规定执行。《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)中岩土分类情况如下。

2.1.1.1 岩石分类

岩石按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩石按强度、风化程度和结构类型的分类如表 2-1~表 2-3。

表 2-1 岩石按强度分类

类别	亚类	强度 (MPa)	代 表 性 岩 石
硬质岩	极硬岩石	>60	花岗岩、花岗片麻岩、闪长岩、玄武岩、石灰岩、石英砂岩、石英岩、大理岩、硅质砾岩等
	次硬岩石	30~60	
软质岩	次软岩石	5~30	粘土岩、页岩、千枚岩、绿泥石片岩、云母片岩
	极软岩石	<5	

表 2-2 岩石按风化程度分类

类别	风化程度	野外特征	风化程度参数指标		
			压缩波速度 v_p (m/s)	波速比 K_v	风化系数 K_f
硬 质 岩 石	未风化	岩质新鲜, 未见风化痕迹	>5 000	0.9~1.0	0.9~1.0
	微风化	组织结构基本未变, 仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色, 有少量风化裂隙	4 000~5 000	0.8~0.9	0.8~0.9
	中等风化	组织结构部分破坏, 矿物成分基本未变化, 仅沿节理面出现次生矿物。风化裂隙发育, 岩体被切割成 20~50 cm 的岩块。锤击声脆, 且不易击碎; 不能用镐挖掘, 岩心钻方可钻进	2 000~4 000	0.6~0.8	0.4~0.8
	强风化	组织结构已大部分破坏, 矿物成分已显著变化。长石、云母已风化成次生矿物。裂隙很发育, 岩体破碎。岩体被切割成 2~30 cm 的岩块, 可用手折断。用镐可挖掘, 干钻不易钻进	1 000~2 000	0.4~0.6	<0.4
	全风化	组织结构已基本破坏, 但尚可辨认, 并且有微弱的残余结构强度, 可用镐挖掘, 干钻可钻进	500~1 000	0.2~0.4	—

续表 2-2

类别	风化程度	野外特征	风化程度参数指标		
			压缩波速度 v_p (m/s)	波速比 K_v	风化系数 K_f
残积土		组织结构已全部破坏。矿物成分除石英外,大部分已风化成土状,锹镐易挖掘,干钻易钻进,具可塑性	<500	<0.2	—
软质岩石	未风化	岩质新鲜,未见风化痕迹	>4 000	0.9~1.0	0.9~1.0
	微风化	组织结构基本未变,仅节理面有铁锰质渲染或多或矿物略有变色,有少量风化裂隙	3 000~4 000	0.8~0.9	0.8~0.9
	中等风化	组织结构部分破坏,矿物成分发生变化,节理面附近的矿物已风化成土状。风化裂隙发育,岩体被切割成 20~50 cm 的岩块。锤击易碎;用镐难挖掘,岩心钻方可钻进	1 500~3 000	0.5~0.8	0.3~0.8
	强风化	组织结构已大部分破坏,矿物成分已显著变化。含大量粘土质粘性土矿物。风化裂隙很发育。岩体被切割成碎块,干时可用手折断或捏碎,浸水或干湿交替时可较迅速地软化或崩解。用镐或锹可挖掘,干钻可钻进	700~1 500	0.3~0.5	<0.3
	全风化	组织结构已基本破坏,但尚可辨认,并且有微弱的残余结构强度,可用镐挖掘,干钻可钻进	300~700	0.1~0.3	—
残积土		组织结构已全部破坏。矿物成分已全部改变并且已风化成土状,锹镐易挖掘,干钻易钻进,具可塑性	<300	<0.1	—

表 2-3 岩石按结构类型分类

岩石结构类别	岩体地质类型	主要结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
整体块状结构	均匀巨块状岩、岩浆岩、变质岩、巨厚层沉积岩、正变质岩	巨块状	以原生构造节理为主,多呈闭合型,裂隙结构面间距大于 1.5m,一般不超过 1~2 组,无危险结构面组成的落石掉块	整体性强度高,岩体稳定,可视为均质弹性各向同性体	不稳定结构体的局部滑动或坍塌,深埋洞室的岩爆
块状结构	块状岩、岩浆岩、变质岩、厚层状沉积岩、正变质岩	块状、柱状	只具有少量贯穿性较好的节理裂隙,裂隙结构面间距 0.7~1.5m,一般为 2~3 组,有少量分离体	整体性强度较高,结构面互相牵制,岩体基本稳定,接近弹性各向同性体	
层状结构	多韵律的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩	层状、板状、透镜体	有层理、片理、节理,常有层间错动面	接近均一的各向异性体,其变形及强度特征受层理面及岩层组合控制,稳定性较差,可视为弹塑性体	不稳定结构体可能产生滑塌,特别是岩层的弯张破坏及软弱岩层的塑性变形
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、断层破碎带、片理、层理及层间结构面较发育,裂隙结构面间距 0.25~0.5m,一般在 3 组以上,由许多分离体形成	完整性破坏较大,整体强度很低,并受断裂等软弱结构面控制,岩体稳定性很差,多呈弹塑性体	易引起规模较大的岩体失稳,地下水加剧岩体失稳
散体状结构	构造影响剧烈的断层破碎带,强风化带,全风化带	碎屑状、颗粒状	断层破碎带交叉,构造及风化裂隙密集,结构面及组合错综复杂,并多充填粘土,形成许多大小不一的分离岩块	完整性遭到极大破坏,稳定性极差,岩体属性接近松散体介质	易引起规模较大的岩体失稳,地下水加剧岩体失稳