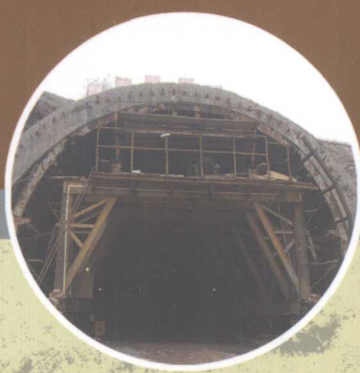
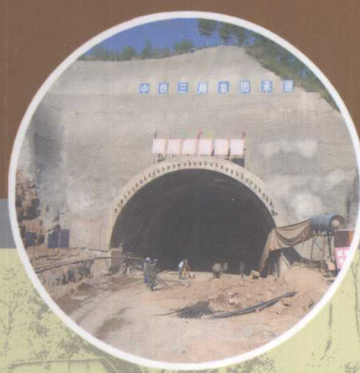


管棚工法的计算原理及其应用

周顺华 董新平 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

管棚工法的计算原理及其应用

周顺华 董新平 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书系统地介绍了作者近 10 年来针对管棚工法开展研究所取得的成果,旨在将管棚工法从经验设计提升到量化设计计算。全书共分 8 章,分别从管棚的工作机理、设计计算方法、敏感因素分析、施工方法和应用实例等方面阐述管棚工法的设计和应用理念。

本书为高等院校城市轨道交通工程、隧道工程等相关专业本科生及研究生开展研究的教学参考书,也可供从事隧道与地下工程等领域的相关工程技术人员、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

管棚工法的计算原理及其应用/周顺华,董新平编著,
上海:同济大学出版社,2007.11

ISBN 978-7-5608-3620-1

I. 管… II. ①周…②董… III. 隧道工程—计算
IV. TU452

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 138880 号

管棚工法的计算原理及其应用

周顺华 董新平 编著

责任编辑 高晓辉 责任校对 杨江淮 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 12.25
印 数 1—3100
字 数 306000
版 次 2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-3620-1/TU·752

定 价 25.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

管棚工法在我国地下工程施工中的应用非常广泛。尤其是近年来,城市轨道交通地下工程需要下穿交通线或管线,对变形控制要求比较严格,管棚工法不失为一种经济实用而又快速有效的方法。但遗憾的是,长期以来,该方法无论是从设计方面还是施工方面,均依赖于工程类比或经验。在理论计算方面,采用非常简化的锚固岩体近似计算,或者将管棚视为弹性地基梁做强度方面的简化估算。大量的工程实践表明,当管棚和格栅形成支护体系时,通常强度不是控制指标,而系统的综合效果是工程成败的关键。为此,笔者分别以广州地铁2号线的公园前站至纪念堂站区间隧道中的大跨度段、南京地铁1号线的鼓楼站至玄武门站区间、鼓楼站至珠江路站区间的软流塑地段、杭州解放路隧道等工程为背景,结合现场观测和室内试验手段,开展了较为系统的研究。

本书试图将笔者对管棚工法的理解以及由此而建立起来的计算分析方法呈献给读者。为了便于理解该方法的原理,笔者收集了相关资料,在第3章介绍了管棚成孔的机械设备和方法;第8章介绍了几个案例,这些实例分别由不同的设计单位和不同的施工企业承担,在此向他们表示衷心的感谢。

本书之所以能够出版,首先要感谢支持笔者开展研究工作的南京地下铁道有限责任公司的余才高先生、中铁十三局集团有限公司的李永利先生、中铁隧道(洛阳)设计有限公司的张先锋先生、上海市工程设计研究院的包旭范先生、上海市交通局的五一先生、上海申通集团公司的白庭辉先生、宏润建设集团股份有限公司的陈超先生以及中铁隧道集团的周建仁先生和赵建新先生等。

笔者的研究团队多年来致力于管棚工法的实践和理论研究,该团队包括王炳龙教授、宫全美教授、许恺副教授、杨龙才博士、毕湘利博士以及雷震宇副教授、李志雄、章立峰、庄丽、孙玉永等人。

感谢郑州大学王复明教授、刘泽明书记、乐金朝教授、蔡迎春先生对本书第二作者撰写本书的鼓励以及从各方面给予的大力帮助,同时,对河南省济邵高速公路有限公司的陈宝先生、赵泽辉先生、吕小永先生、蔡宝成先生的支持表示深深的谢意,本书的一些图片取材于济源—邵原高速公路的隧道施工现场。

特别要感谢笔者的前辈学长王梦恕院士和轩辕啸雯先生,感谢他们两位长期以来的关心和指导。

限于笔者对管棚工法的理解,书中不妥之处,敬请读者批评和指正。

作者
2007年7月

目 录

前言	1.8
第1章 绪论	(1)
1.1 管棚工法的基本概念	(1)
1.2 管棚工法的工程应用情况	(2)
1.3 管棚工法的研究现状及有关问题	(8)
第2章 隧道工程中的辅助工法	(11)
2.1 插板法	(11)
2.2 小导管超前注浆法	(12)
2.3 浅层地表锚杆注浆加固法	(13)
2.4 水平旋喷或水平搅拌法	(17)
2.5 冷冻法	(22)
2.6 管幕法	(25)
2.7 管棚工法	(28)
第3章 管棚工法的施工	(29)
3.1 施工概述	(29)
3.2 坑道钻机法	(31)
3.3 管棚夯管法施工	(40)
3.4 水平定向钻管棚施工方法	(51)
3.5 管棚注浆	(61)
第4章 管棚工法机理分析	(63)
4.1 软弱地层隧道采用管棚工法施工的棚架原理	(63)
4.2 喷射混凝土的作用	(68)
4.3 管棚作用空间分析	(84)
第5章 管棚工法的设计计算	(101)
5.1 管棚计算模型	(101)
5.2 管棚对围岩压力的调节作用	(107)
5.3 管棚成孔引起的地表沉降	(113)
第6章 管棚的刚度敏感度分析	(120)
6.1 设计敏感度分析(DSA)方法	(120)
6.2 开挖释放荷载引起管棚位移关于管径的敏感度	(125)
6.3 开挖释放荷载引起管棚弯矩的敏感度	(130)
6.4 地下工程中一类基于有限元的敏感度分析算法	(136)
6.5 浅埋地下工程管棚工法施工中合理管棚直径研究	(141)
第7章 管棚工法的设计	(147)
7.1 管棚的构造形式	(147)

7.2	管棚的布置	(148)
7.3	管棚的几何参数	(160)
7.4	注浆	(163)
7.5	管棚工法的设计原则	(165)
第8章	管棚工法应用实例	(167)
8.1	夯管法施工	(167)
8.2	跟管钻进法施工	(172)
8.3	水平定向钻施工管棚	(176)
参考文献		(185)

第1章 绪论

1.1 管棚工法的基本概念

管棚工法是隧道开挖施工中用以防止掌子面坍塌并限制围岩变形的一种预支护手段。其主要原理是在隧道开挖之前,沿着隧道开挖轮廓线外的设定部位铺设钢管,并可以通过钢管的注浆孔向围岩注浆,对管棚周围的围岩进行加固,使管棚成为隧道后续开挖的防护伞(棚),达到安全施工的目的。

管棚工法最早是作为山岭隧道施工的一种辅助方法,当隧道穿越破碎带、松散带、软弱地层、涌水、涌砂等地段时,管棚及其超前注浆对隧道的稳定起到了重要的作用。管棚作为隧道顶部和边墙的超前预支护,可以有效防止掌子面的坍塌及地层过量变位,为隧道开挖提供了安全保障。同时,管棚施工快、安全性高,被认为是隧道施工中预防冒顶事故的最有效、最合理的辅助措施之一。随着城市地铁浅埋暗挖法施工数量的增加,管棚工法被用于广州、深圳、南京、北京等地铁的重要工程建设之中。此外,该辅助工法在下穿既有建筑物以及铁路、公路等交通线时也得到了大量的应用。

大多数隧道的洞口段属于浅埋和风化层,成洞比较困难,采用管棚工法可以有效地解决洞口段的施工难题,如图 1-1 所示。

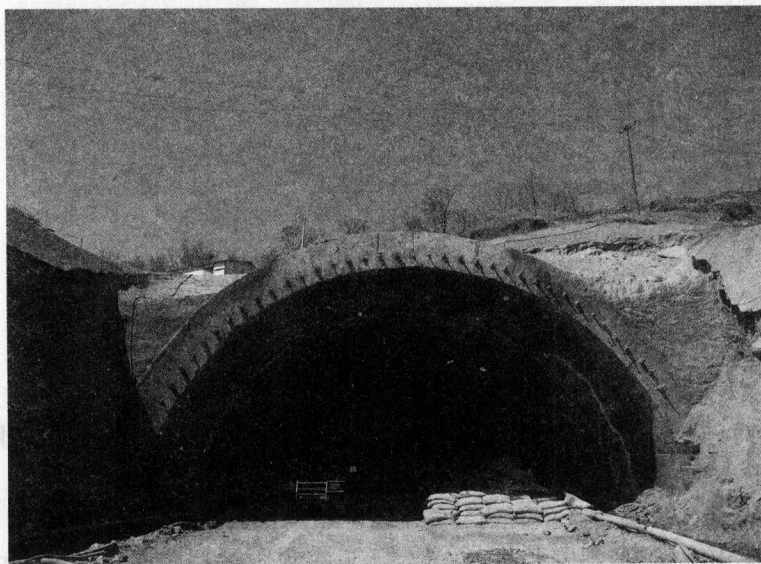


图 1-1 管棚用于隧道洞口段

除管棚工法外,隧道施工中,常见的其他主要预支护方法有超前小导管法、水平旋喷法、冷冻法、管幕法等,其中,小导管法的原理与管棚工法类似。管幕法属于大刚度管棚,是管棚的特例。

完整的管棚工法应包含以下内容:① 超前强支护体管棚及其注浆;② 格栅拱架或型钢拱

架;③ 开挖进尺的控制;④ 临时仰拱。所以,管棚不是单一的超前钢管,而是与施工方法相关联的动态体系,随着施工的推进,由管棚和格栅组成的支护体系以整体稳定的方式对围岩起支撑和稳定作用。当隧道断面较大时,采用管棚工法施工时常常需要结合分部开挖以控制变形和稳定,各部之间的临时支撑将随隧道围岩压力的不同,对体系的受力起到调节作用。

1.2 管棚工法的工程应用情况

管棚工法在隧道工程中的应用,根据工程的特点可分为以下几种情况。

1. 特殊地质地段

这类工程主要是指隧道进、出口浅埋段,断层破碎带、裂隙发育带区段等,管棚主要用于防止隧道坍塌、塌方或者用于对隧道灾害(如塌方、突泥、突水)的治理。

管棚在山岭隧道应用的实例有:福建杨梅岭隧道进口段,福建官头岭隧道进口段,京九铁路江西赣州段岐岭隧道,京珠高速公路洋碰隧道突泥、突水段,海南省环岛高速公路青岭隧道塌方段,内昆线某隧道“4·20”大塌方段等。

内昆线某隧道全长 2228 m,其中,进口段有 183 m II 类围岩(属严重风化玄武岩),埋深仅 5~25 m。该段围岩极为松散、破碎,岩体多呈颗粒状,且为黏土胶结,遇水极易坍塌。1999 年 4 月 20 日,初期支护施工至拱部 DK346+380 处、边墙 DK346+285 时(中槽拉至 DK346+300),DK346+282—DK346+300 位置突然发生坍塌,数秒钟内隧道便被封口,坍塌一直延伸至地表,形成长约 24 m、宽约 20 m、深 3 m 左右的陷坑,塌陷处隧道埋深 23 m。抢险修复方案经研究确定塌方处采用大管棚施工方案,管棚的施工如图 1-2 所示,管棚施工以前,需要临时施工一个管棚工作室。

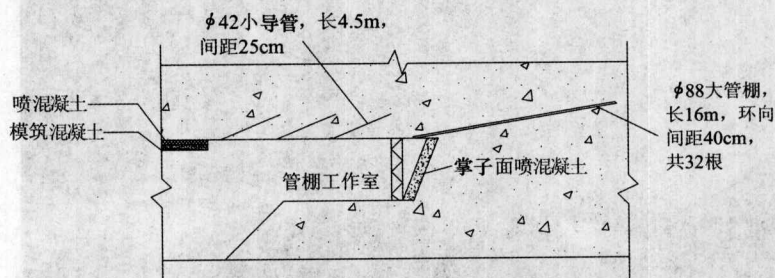


图 1-2 管棚施工示意图

塌方处理历时三个月零七天。从坍塌开挖可看出,经管棚压浆后,松散体除局部塑性较大、较密实的黏土未胶结外,绝大部分松散体都已固结。开挖施工亦比较顺利。

官头岭隧道是福建罗源至长乐高速公路中的一座双洞分离式隧道,隧道长 3467 m,隧道进口段以 30°斜穿 104 国道,斜交长度 40 m。隧道拱顶距国道路面仅 8~9 m,隧道进口段 120 m 范围的主要地层为残坡积黏性土、碎石质黏性土、人工填土(石)、山涧冲沟块石淤积层、强风化晶屑熔岩、弱风化晶屑熔岩等,地下水发育。原设计拟截断 104 国道,大开挖施作明洞,然后再恢复国道,施工期间,修建临时便道维持通车,经反复论证,为保证施工期间国道的通行,最后改用“大管棚超前支护、暗挖施工”的方案。

大管棚采用 $\phi 108$ mm 热轧无缝钢管(壁厚 $\delta=6$ mm),沿隧道拱部 150°范围设置 38 根,间

距 45 cm。隧道断面如图 1-3 所示。

洋碰隧道为分离式双线隧道,是京珠国道主干线粤境高速公路小塘至甘塘段最重要工程之一。在洋碰隧道右线出口施工至 RK78+028(F12,F16 断层交汇带)时,掌子面发生突泥、突水,涌出物掩埋已开挖的初期支护约 100 m。1999 年 11 月施工单位对隧道掩埋段清理至 RK78+038 处,因前方地质情况不明,为避免再次引发突泥、突水事故,遂封闭工作面,进行超前地质钻探。根据地质钻探资料,经专家研究提出了采用深孔注浆、大管棚注浆、超前小导管注浆等多种注浆方式对突泥、突水段进行加固的方案,以确保安全、稳妥地通过该软弱围岩地段。

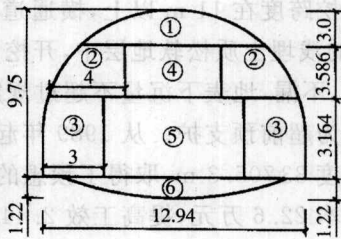


图 1-3 官头岭隧道断面图(单位:m)

洋碰隧道右线出口管棚注浆开孔里程 RK78+038,大管棚注浆选用水泥-水玻璃双液浆,大管棚总计完成 462 m。隧道右侧的破碎围岩得到了很好的充填和加固,管棚处理效果明显。

2. 特殊结构形式地段

在地铁车站、大跨度地铁渡线区间隧道以及一些大跨度公路隧道等地段,如北京王府井地铁车站、北京西单车站、北京地铁大北窑车站、广州地铁 2 号线公园前站至纪念堂站区间、南京地铁 1 号线南京站站—东井亭站区间隧道渡线段等,因隧道的断面积较大,需要超前支护以保证隧道稳定。

广州地铁 2 号线公园前至纪念堂区间大跨度段,由隧道左线、右线、存车线三线构成,开挖跨度 21.6 m,开挖高度 14.2 m,拱部最小埋深 13.5 m,开挖面积达 253.7 m²,采用双侧壁导坑法施工。辅助工法采用内外双层 $\phi 108$ mm 管棚,管棚内设钢筋骨架,注[#] 425 普通硅酸盐水泥。采用复合式衬砌,即 40 cm 初期支护和 80 cm 二次衬砌。该隧道的分步施工工序如图 1-4 所示,该区段的地层依次为人工填土层、淤泥质土层、残积土硬塑层、岩石全风化带和岩石强风化带、岩石中风化带。地下水有贮存于第四系覆盖层中的裂隙水,冲积—洪积土层和残积土层含水贫乏,透水性差。

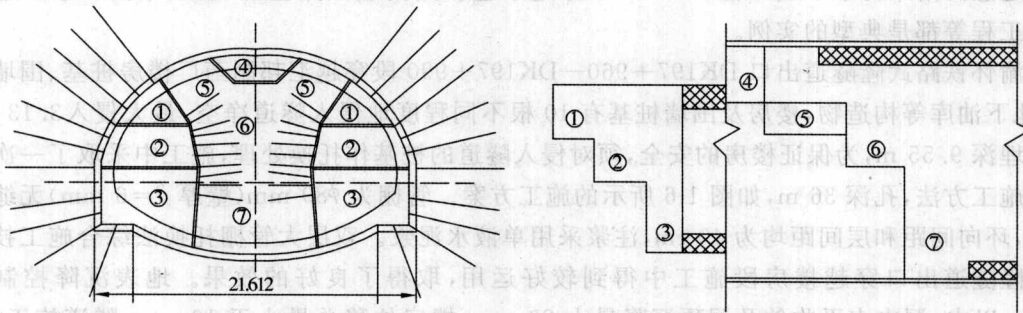


图 1-4 广州地铁公园前至纪念堂区间大跨段隧道施工顺序图

北京地铁西单车站主体工程为三拱两柱双层结构,岛式站台。开挖高度 13.50 m,跨度 26.14 m,开挖断面 340 m²,覆盖层厚仅 6 m,断面形式如图 1-5 所示。工程地质为第四纪地层,亚黏土、粉细砂、中细砂和砾砂土互层,自稳能力极差。如何做到开挖过程中地表不塌陷并控制地表下沉量,是施工遇到的技术难题。经技术方案对比,采用浅埋暗挖双眼镜法施工,按由大化小、从小到大,上下弧导、双层掘进,先挖两边、后取核心的施工方案进行。两边孔上弧

导开挖跨度在 11 m 以上,横通道、出入口、通风井等开挖跨度也在 9 m 以上,在覆盖层只有 6 m 的浅埋土质松软地层中,开挖 9~11 m 跨度的洞室,为确保开挖时工作面不坍,地下管线不断、不漏,地表下沉量不超过规定的 30 mm,在试验研究基础上,经充分论证,确定采用大管棚作为超前预支护。从 1989 年起,在横通道和主洞等施工中,共施作管棚钢管 2 178 根,累计总长度 33 705.3 m,取得了预想的效果,不但加快了施工进度,且降低了工程成本,合计节约工程成本 22.6 万元,提高工效 2.44 倍,争取工期 306 d。

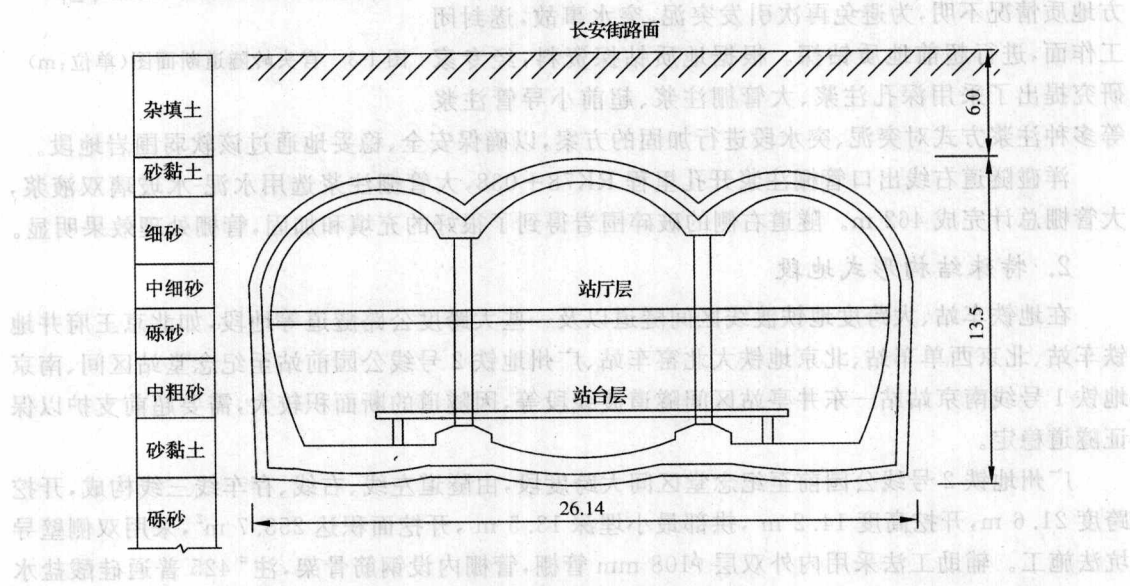


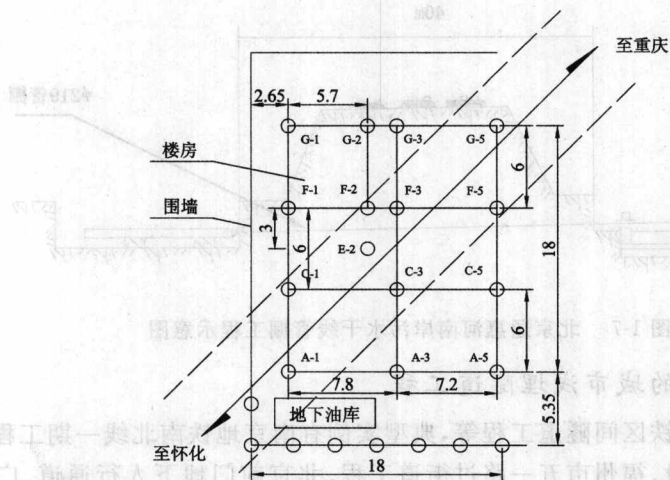
图 1-5 北京地铁西单车站结构图(单位:m)

3. 对施工沉降有特殊要求的下穿工程

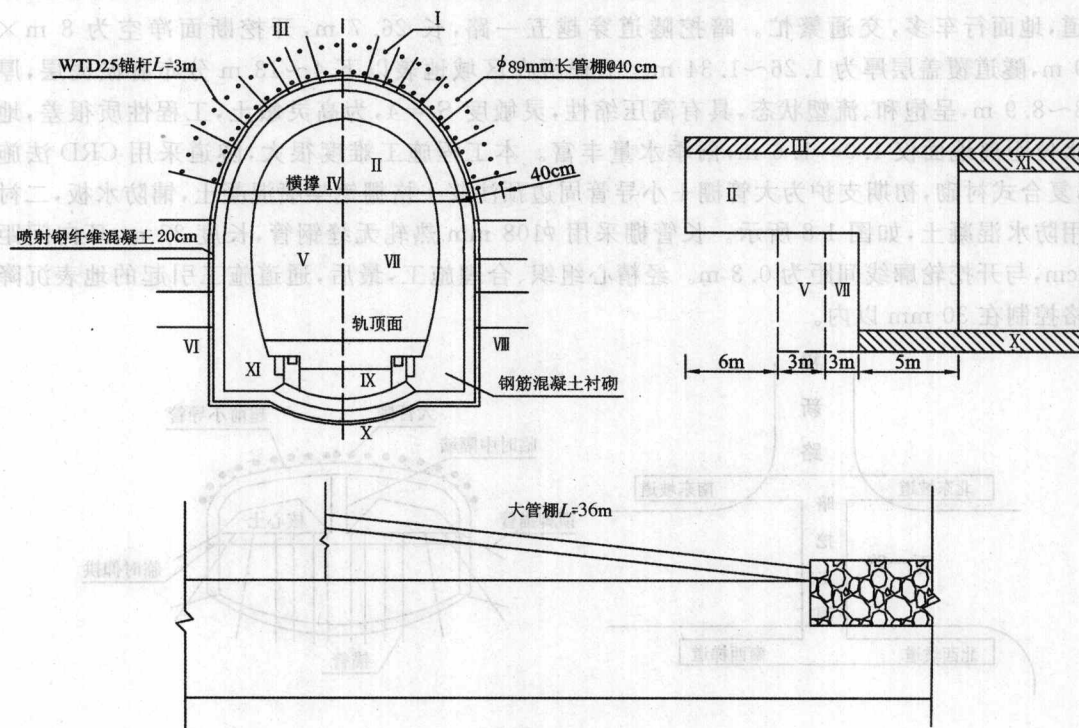
隧道穿越既有建筑物以及铁路、公路等交通线时,如渝怀铁路武隆隧道出口穿桩基工程、北京通惠河南岸污水干线工程^{#70—#71}穿越京包铁路高填土路基段、杭州市西区水厂输水隧道工程等都是典型的实例。

渝怀铁路武隆隧道出口 DK197+960—DK197+990 段穿越汇邦制药厂楼房桩基、围墙桩基、地下油库等构造物,楼房及围墙桩基有 10 根不同程度地侵入隧道净空,最大侵入 3.13 m,隧道埋深 9.55 m,为保证楼房的安全,须对侵入隧道的桩基作托换处理,施工中采取了一次性钻孔施工方法,孔深 36 m,如图 1-6 所示的施工方案。管棚为 $\phi 89$ mm(壁厚 $\delta=6$ mm)无缝钢花管,环向间距和层间距均为 40 cm,注浆采用单液水泥浆。双层大管棚托换法综合施工技术 在武隆隧道出口穿越楼房段施工中得到较好运用,取得了良好的效果。地表沉降控制在 20 mm 以内,洞内水平收敛及洞顶沉降最大 20 mm,楼房位移总量小于 10 mm,隧道施工中,汇邦制药厂地表楼房等安然无恙。

北京通惠河南岸污水干线工程,西起东便门,东至高碑店污水处理厂,工程全长 7 893 m,铺设两条直径 3 m 的钢筋混凝土管。该工程在^{#70—#71}处要穿越京包铁路,穿越地段处于铁路道岔区,且地层复杂,土质软弱,地下水位高,铁路路基为高填土,施工难度较大。为确保施工过程中铁路的安全运行和路基的稳定,采用管棚加固方案,管棚采用 $\phi 219$ mm 钢管(壁厚 $\delta=6$ mm),管棚中心间距 40 cm,长度 40 m。工程情况如图 1-7 所示。



(a) 武隆隧道与托换楼房位置示意图(单位:m)



图意示工棚式置位数技洞隧 8-1 图

I—双层大管棚注浆施工; II—上台阶开挖; III—上台阶初期支护; IV—施作横撑;
V, VII—左、右下台阶交替开挖; VI, VIII—左右下台阶初期支护; IX—仰拱开挖;
X—仰拱及隧底填充施工; XI—钢筋混凝土衬砌。

(b) 施工示意图

图 1-6 武隆隧道

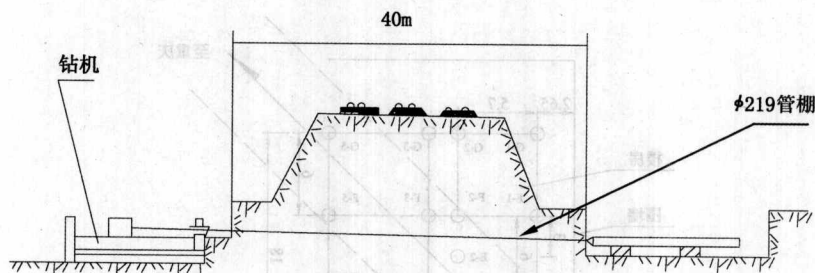


图 1-7 北京通惠河南岸污水干线管棚工程示意图

4. 环境要求严格的城市浅埋隧道工程

如地下过街通道、地铁区间隧道工程等,典型实例有南京地铁南北线一期工程珠江路站—鼓楼站区间隧道软流塑段、福州市五一路过街道工程、北京前门地下人行通道、广州地铁杨体区间过林河村段等。

福新路行人地下通道位于福州市中心的五一路和福新路交叉口,五一路是福州市交通主干道,地面行车多,交通繁忙。暗挖隧道穿越五一路,长 26.7 m,开挖断面净空为 $8\text{ m} \times 4.9\text{ m}$,隧道覆盖层厚为 1.26~1.34 m。工程所在区域地表以下 4~13 m 分布有淤泥层,厚 7.8~8.9 m,呈饱和、流塑状态,具有高压缩性,灵敏度 $S_L=4$,为高灵敏土,工程性质很差,地下水位距离地面仅 1.0~1.6 m,雨季水量丰富。本工程施工难度很大,隧道采用 CRD 法施工,复合式衬砌,初期支护为大管棚+小导管周边预注浆+格栅钢架喷混凝土,铺防水板,二衬采用防水混凝土,如图 1-8 所示。长管棚采用 $\phi 108\text{ mm}$ 热轧无缝钢管,长度 27 m,环向间距 50 cm,与开挖轮廓线间距为 0.3 m。经精心组织、合理施工,最后,通道施工引起的地表沉降严格控制在 30 mm 以内。

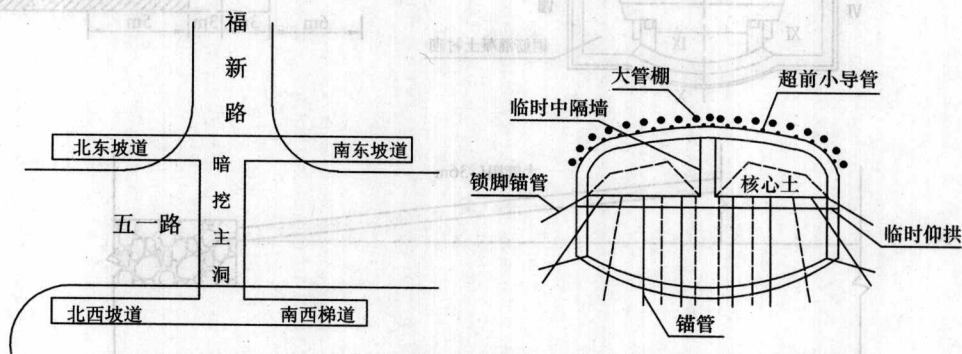


图 1-8 福新路过街道位置及施工示意图

1999 年江苏常州成功采用浅埋暗挖法工法完成了常州市文化广场地下过街通道工程,该工程位于常州市中心,设计净空尺寸 $11.512\text{ m} \times 4.68\text{ m}$,通道全长为 41.683 m,其中,暗挖段长度为 26.5 m,覆盖层厚度仅为 1.6 m,属于超浅埋暗挖,通道顶部为无任何自稳能力的杂填土层,洞身穿越粉质黏土层、粉砂质黏土层。该工程采用了 $\phi 108\text{ mm}$ 大管棚辅以小导管超前注浆进行超前支护,在 $\phi 159$ 钢管支撑下采用上下台阶法分步开挖,通道断面尺寸如图 1-9 所示。

通过以上工程例子也可看出,在我国大陆地区,应用较多的是小直径管棚,其中,应用最为

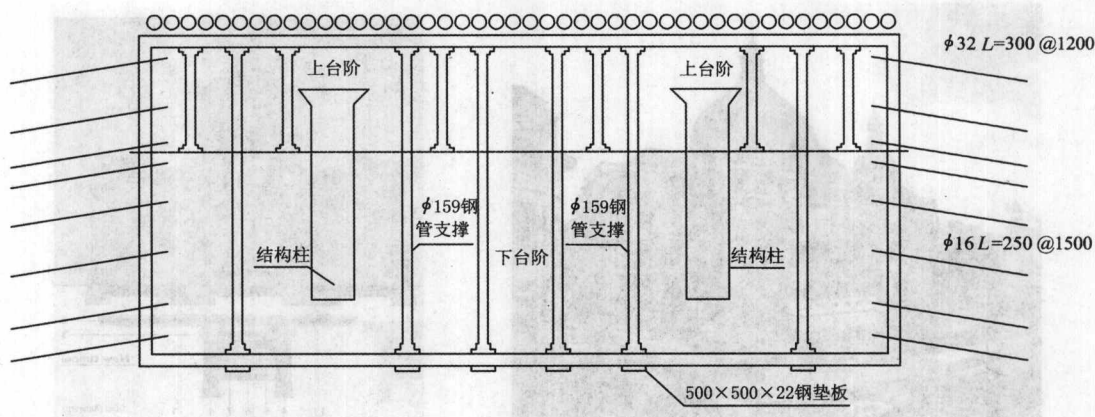


图 1-9 常州文化广场地下过街道开挖示意图(单位:mm)

广泛的是 $\phi 108$ mm 的管棚,而在我国港台地区以及新加坡、日本、欧洲等国家和地区,应用较多的是大直径管棚(又称为管幕),管棚直径一般在 600 mm 以上,以下为几个典型的工程例子。

德国承建商 POTSCH 公司在一段穿越铁路的立交桥工程中采用“管棚支护法”,用 TRACTO-TECHNIK 公司的夯管锤将 44 根 $\phi 1220$ mm(壁厚 $\delta=22$ mm)的钢管夯压进去,管棚互相邻接,在路堤下形成圆形支护,如图 1-10 所示。

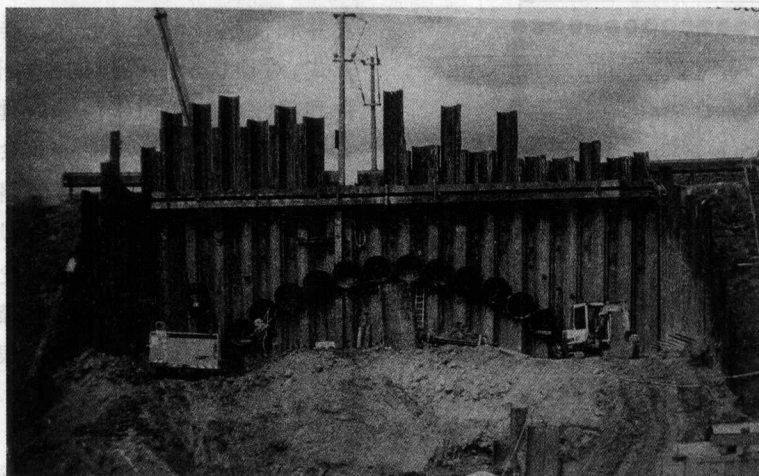


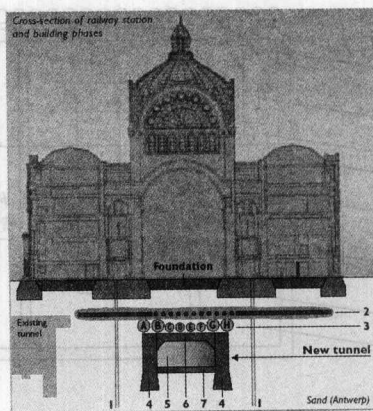
图 1-10 德国管幕工程案例

比利时 Antwerp 城市中心区采用管棚工法施工地铁车站,地铁车站位于既有铁路车站的下面,如图 1-11(a)所示。既有铁路车站高达 70 m,建造于 1989 年和 1905 年,比利时铁路公司计划通过 Antwerp 车站将高速铁路从布鲁塞尔延长到阿姆斯特丹,该计划使普通铁路和高速铁路可以直接换乘。隧道的施工采用比利时隧道工法,即先建造管棚,降低地下水位,然后人工开挖 15 m 深的隧道挡土墙,最后施作隧道拱部的开挖和衬砌,工法情况如图 1-11(b)所示。

在注浆完成后,8 根 $\phi 2500$ mm 和 $\phi 3000$ mm 的管棚通过顶管法进行施工,施工中最大沉降仅为 4 mm。每根管棚顶管结束后,立即进行补偿注浆,对松动地层进行加固,通过主动注浆将其恢复到原始位置。



(a) 既有的Antwerp车站



(b) 比利时工法示意图

图 1-11 Antwerp 车站

台北某地下通道位于台北市一条既重要又繁忙的道路下面,断面为 $7.575\text{ m} \times 10.35\text{ m}$,通道位于高透水性砂土层中,地下水位较高,为保证开挖过程掌子面的稳定,管棚呈封闭的“口”字形,如图 1-12 所示。钢管为 $\phi 600\text{ mm}$ (壁厚 $\delta = 12\text{ mm}$),长 $46 \sim 51\text{ m}$,共 52 根。为防止施工中发生涌水、涌砂问题,选用具有水密性机头的顶管机施作管棚,同时,原设计从始发井和接收井两处,分别以垂直和水平注浆方式,对顶管所需经过的路径范围,以及始发井和接收井的四周作注浆处理。

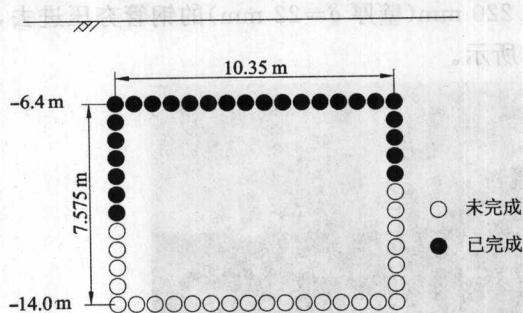


图 1-12 通道断面及管棚布置

达 50 m ,有些水平钻孔的长度达 36 m ,精度不易控制,因此,在注浆范围和效果方面均不易掌握。管棚采用顶管法施工,最初采用螺旋式小口径顶管施工完成 9 根,但因其导向功能不佳,施工精度不理想,最大水平偏差达 1 m ,严重地影响到旁边两根管的后续施工。当泥浆加压式小口径顶管机进场后,其导向功能和准确性均优于螺旋式小口径顶管机,剩下的管棚均采用该法施工。基本上,本工法在此工程的施工还算顺利,在 50 m 左右的顶管过程中,各管在接收井出口处的上下和左右偏移量控制在 $10 \sim 35\text{ mm}$ 之间,精度很高。

1.3 管棚工法的研究现状及有关问题

管棚工法虽然在地下工程的实践中已得到了广泛应用,尤其是在软弱地层以及浅埋、大跨度地段,但非常遗憾的是,目前的设计还主要依赖于工程类比,即使采用了各种计算分析方法,大多数也停留在定性研究的基础上,其根本原因是对管棚支护系统的工作机理未完全认识清楚。通常可以将管棚原理归纳为以下三方面:① 加固岩体法,即采用连续介质力学的方法将

管棚及其注浆围岩简化为加固岩体进行近似计算；② 荷载-梁模型，即将管棚的作用近似简化为梁，按照结构力学的方法计算；③ 棚架原理，将管棚、格栅和注浆体视为支护体系，并借助动态开挖的观点来计算棚架支护体系的整体效果，这是本书介绍的重点。

1. 管棚加固土体(围岩)模型

在该类模型中，一种方法是采用锚固体理论，用提高支护结构周围土体(岩体)参数(主要是弹性模量)的方法来近似模拟管棚的功能，该模型可以近似反映管棚本身以及管棚注浆后形成的注浆体对土体(围岩)的加固效果，但土体(围岩)特性提高程度如何，则主要是分析者依据经验近似估计，对于该方法如何验证也缺乏有效的评价方法和标准。另一种方法类似于在地下结构分析中对锚杆的处理，用实体单元模拟土体，管棚对土体的加固作用用梁(杆)单元模拟。在这类方法中，由于单元划分精度的要求，体系总体模型的单元总数和节点数很大，建立模型需耗费大量的时间，模型求解时间长，土体单元与梁单元之间的位移协调问题如何处理也比较困难，且即使对于成熟商业软件，计算结果的可靠性也需要分析者自己验证，同时，对计算结果规律性的把握上比较困难。该类模型的优点是可以考虑多种因素，尤其是管棚对土体的加固作用。

2. 荷载-梁模型

该类模型是将管棚作为单根梁来处理，是当前管棚计算中的主要计算模型。根据是否考虑土体的作用，可以将该类模型分为两种：

第一种，不考虑土体的作用，将管棚视作两端固定的梁。管幕法比较符合这种极端情况。

荷载-梁模型的计算中，可以依据掌子面的稳定情况，对管棚周围土层进行简化，如图 1-13 所示，假定掌子面破裂面之外的岩土体对管棚起锚固作用，开挖后方的格栅支撑起支点的作用，这种简化与实际情况有出入，但可以用来确定管径大小的计算。

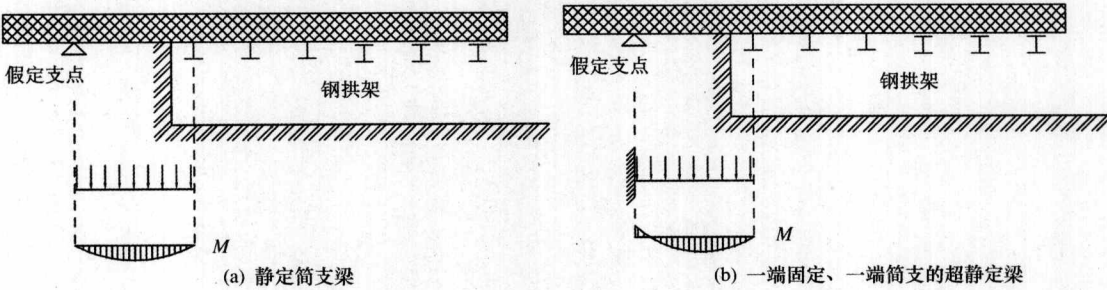


图 1-13 梁理论的力学模型

第二种，将管棚简化为弹性地基梁，如图 1-14 所示。从原理上讲，这一方法与实际情况更接近一些，但计算参数的选取仍然是比较困难的。

荷载-梁模型把管棚简化为承载构件，用以确定管径的大小，这种思路和隧道工程界的实际现状有出入，显然，根据上述方法，必然是管棚直径越大，其功能发挥越有利。根据我国工程实践，管棚直径的大小对这种支护体系的整体效果不起决定性的作用，而各项措施的协调性才是关键的。

3. 棚架原理

对管棚机理的最新认识是将管棚、格栅和注浆体等作为完整体系，共同承受上部土体(围岩)荷载以及附加荷载。

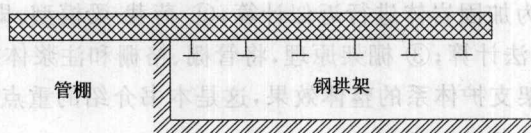


图 1-14 弹性地基梁分析模型

棚架原理是笔者在大量工程实践的基础上,结合离心模型试验,系统研究管棚的工作基础,分别从管棚扩散围岩压力、减小开挖荷载等方面阐述管棚支护体系形成“棚”与“架”的条件。在棚架原理的基础上,根据管棚管径的大小,将管棚支护体系分为小管棚、中管棚和大管棚,并提出了各自对应的设计和施工参数。依据棚架原理,实现了开挖步骤的动态计算原理。

第2章 隧道工程中的辅助工法

隧道工程中辅助工法的选择和设计是施工组织中处理特殊地段的重要内容之一。辅助工法的选择是否得当直接关系到隧道的安全和经济效益,如山岭隧道穿越断层带、破碎带等,或者在交通繁忙的公路、铁路或既有建筑物等构筑物下修建地下工程时,为维持掌子面的稳定,控制开挖导致的地层位移量,预防坍塌冒顶事故的发生,通常需要进行辅助工法的选取,进行超前预支护的选择、设计和施工。

隧道超前预支护是指在隧道开挖之前,在掌子面前方的地层里,沿隧道横断面设置一个类似拱壳的连续体或加固体,用以加固掌子面前方的地层,保证掌子面及围岩的稳定,控制围岩的变位,形成一个超前的支护体系。施工实践和研究均表明,超前预支护能从空间上、时间上有效抑制掌子面前方的地层变位和隧道支护变形。

隧道施工中,主要有插板法、小导管超前注浆法、浅层地表锚杆注浆加固法、水平旋喷或水平搅拌法、冷冻法、管幕法、管棚工法等预支护方法。

2.1 插板法

插板法是在隧道开挖之前,先沿着隧道外轮廓线向围岩内夯入一定长度的密排木板或钢板,利用其作为超前预支护进行隧道掘进。插板法在隧道施工技术不发达的早期应用较多,主要是因为当时缺乏有效的钻孔机具和注浆机具,对围岩一般不进行注浆加固,现基本不再使用。

图 2-1 是某高速公路隧道采用插板法的施工情况,由于开挖断面较大,插板和分部开挖相结合可以起到稳定导坑的作用。图 2-2 是插板沿隧道纵向布置情况,显然,插板必须与洞内的临时支撑配合使用。

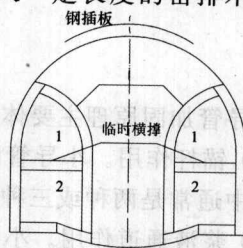
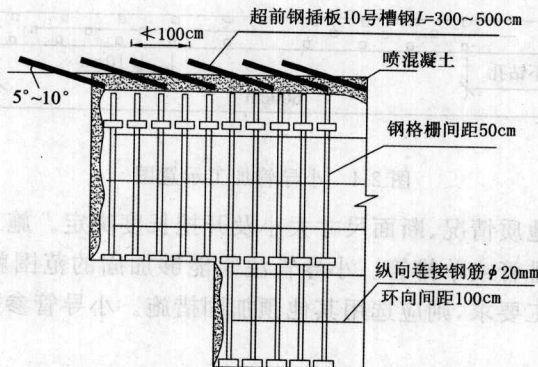


图 2-1 隧道插板施工方法示意图



注: 钢插板采用10号槽钢,长3~5m, 间距25cm, 外插角5°~10°

图 2-2 插板法施工示意图