

隧道盾构



混凝土管片预制与模具

张弛 蔡亚宁 著

中国建筑工业出版社

隧道盾构混凝土管片预制与模具

张弛 蔡亚宁 著

中国建筑工程出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道盾构混凝土管片预制与模具/张弛, 蔡亚宁著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2010

ISBN 978-7-112-11871-7

I. 隧… II. ①张…②蔡… III. 隧道工程—盾构(隧道)—
混凝土管—预制构件模板 IV. U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 035398 号

隧道盾构混凝土管片预制与模具

张弛 蔡亚宁 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京密东印刷有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 2 $\frac{3}{4}$ 字数: 68 千字

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月第一次印刷

定价: 18.00 元

ISBN 978-7-112-11871-7

(19124)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

以减少城市拆迁为主要优点的盾构法建设隧道已经在国内隧道工程领域得到大规模地普及使用。成型隧道结构质量优劣与隧道混凝土管片的质量密不可分，混凝土管片的质量在很大程度上取决于钢模具的质量。作者提炼了法国 CBE 集团三十年制造模具的技术经验，以北京首家生产混凝土管片的北京城建建材工业有限公司近十年来管片生产及工艺技术为例，结合模具在华推广过程当中遇到技术与观念问题的解决，全面反映了当今混凝土管片生产及钢模具的新技术、新设备、新成果、新观念与经验。可作为从事隧道建设以及预制混凝土管片生产企业与相关技术人员的参考材料。

* * *

责任编辑：张 磊

责任设计：赵明霞

责任校对：赵 颖

序 言

当今已在全球成功应用的隧道盾构混凝土预制管片技术近二十年来不断完善，特别是在欧洲中法英吉利海峡高速火车大型隧道中的应用，有力地推进了此项技术工艺的提高。

隧道混凝土预制管片的成功主要来自混凝土管片预制工艺的提高，也归功于所使用的钢模具的质量。“隧道盾构混凝土管片预制与模具”把模具和混凝土管片这两个关系紧密的高精设备与技术工艺作为一个质量体系阐述，对于管片构件厂以及与该行业有关的技术人员具有指导意义和参考价值。

中国正处在隧道建设飞速发展的时期，本书为隧道盾构管片技术的发展增砖添瓦。任何一条隧道的建设都应当在技术上十分谨慎。优质的隧道离不开高质量的管片生产。

我向两位作者表示祝贺。相信本书是目前中国业内唯一的难得的技术参考书。

在本书出版之际，我谨代表 CBE 集团衷心感谢所有正在使用和即将采用 CBE 品牌隧道钢模具的企业。感谢选择 CBE，感谢与我们长期的合作，祝友谊长存。

CBE 集团愿为中国隧道事业的发展作出贡献，愿与所有的专家学者和企业界真诚合作，为企业提供优质产品和周到的服务。

Didier LEFEBVRE(乐飞)

法国 CBE 集团 总裁

2010 年 2 月 28 日

前 言

随着北京等一线城市轨道交通建设的迅速发展，2009 年，全国已有 25 个城市陆续加入了城市及城郊轨道交通建设的大军。因此，以减少城市拆迁为主要优点的全断面掘进的盾构法建设隧道已经在国内隧道工程领域得到大规模的普及使用。成型隧道结构质量优劣与隧道混凝土管片的质量密不可分，混凝土管片的质量在很大程度上取决于钢模具的质量。据不完全统计，目前国内从事隧道混凝土管片生产的企业已经超过 30 家。每年仍然有数十家新建工厂，发展之势迅猛。但在国内，尚未见到有关管片生产与钢模具介绍的系统的技术专著。本书作者把模具与混凝土管片这两个关系极其密切的产品作为一个统一的整体进行系统的介绍，填补了该领域的一项空白。

作者提炼了法国 CBE 集团 30 年来制造模具的技术经验，以北京首家生产混凝土管片的北京城建建材工业有限公司近十年来管片生产及工艺技术为例，结合模具在华推广过程中遇到的技术与观念问题，全面反映了当今混凝土管片生产及其钢模具的新技术、新设备、新成果、新观念与经验。可作为从事隧道建设以及预制混凝土管片生产企业与相关技术人员的参考材料。

书中关于混凝土管片生产制作相关部分由蔡亚宁总工程师执笔，张弛博士执笔了书中模具及自动化工厂部分。

本书在编写过程中，得到了隧道混凝土管片生产和模具使用

单位及各界专家学者的诚挚帮助，北京城建集团建材工业有限公司乔中胜总经理和法国 CBE 集团乐飞总裁(Didier Lefebvre)对本书的出版给予了鼎力支持。作者在此一并致谢！

尽管作者作了大量努力，但书中难免存在遗漏、缺点或错误，诚望广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 隧道衬砌管片的历史与现状	1
第二章 隧道衬砌管片类型及钢筋混凝土管片 主要技术参数	3
2.1 隧道衬砌管片类型	3
2.2 钢筋混凝土管片主要技术参数	5
第三章 隧道衬砌钢筋混凝土管片模具	7
3.1 管片钢模具设计和制作	7
3.2 管片钢模具选择	15
第四章 固定式预制管片厂设计	18
4.1 管片生产工艺设计	18
4.2 场地选用	20
4.3 场地布置	20
第五章 自动化预制管片厂简介	22
5.1 自动化管片厂组成	22
5.2 自动化生产能力	27

5.3	固定式生产厂与自动化工厂的比较	28
第六章	隧道衬砌钢筋混凝土管片预制	31
6.1	生产准备	31
6.2	工艺流程	33
6.3	技术要求	33
6.4	管片制造	39
第七章	钢筋混凝土管片成品检验	46
7.1	外观质量要求	46
7.2	尺寸允许偏差	46
7.3	强度检验	47
7.4	抗渗试验	47
7.5	管片成品检漏试验	48
7.6	水平拼装试验	50
7.7	吊装预埋件拉拔试验	50
第八章	钢筋混凝土管片运输和储存	52
第九章	有关钢筋混凝土盾构管片生产常见的几个 错误认识	53
附录	《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446—2008 节选	55

第一章 隧道衬砌管片的历史与现状

人类交通网络的建立由地上转到地下是一次伟大的创举，最早的地下铁道工程采用基础明挖和现浇混凝土成洞的施工方法，在城市建设发展初期收到了很好的成效，世界许多著名大都市建成了很多早期的地下铁路。但是随着城市发展、城市地下工程逐步增多以及面向城市中心区域扩张，该种施工方法逐渐暴露出一些局限，迫切需要选用一种新的施工方法来建设城市地下铁道工程，盾构法施工正是在这种背景下应运而生的。

基础明挖和现浇混凝土成洞的施工方法，顾名思义就是在地面上先用机械开挖出一条“地下深沟”，再在“地下深沟”的底部、内壁和顶部现浇混凝土建成牢固的地下孔洞结构，形成地下铁道，最后在上面回填将道路恢复到原来的面目。这种类似“开膛破肚后缝合”的施工方法显然不能适应现代城市对现有建筑保护和地下铁路穿越建筑物的需要，也不能在高山上和海底下施工，于是地下隧道暗挖施工即盾构法得到了发展。盾构法施工的突出优势就是实现地下暗中开挖穿越而不会影响地上的建筑物，要想实现这种施工技术的飞跃有两大施工技术关键，即地下结构开挖技术和新挖隧道衬砌技术。现代盾构法施工采取盾构机进行地下结构开挖，同时安装预制管片组成管环形成衬砌并与隧道一道铸就永久性结构，可见这种隧道衬砌管片的质量关系到隧道的质量与寿命，更关乎隧道上面建筑物的安全。

隧道衬砌管片是隧道衬砌安装和受力的最小单元，管片之间需要通过螺栓连接形成管环，在隧道长度方向上管环与管环通过螺栓连接才形成隧道的永久构筑物。隧道的管片衬砌要求在盾构施工中受到盾构机推进时的推力挤压而不变形不破裂，同时也要在衬砌成型后承受周围的水压力和土荷载而保持结构稳定。因

此，隧道衬砌管片不仅自身需要极高的强度和抗渗要求，还要求很高的外形尺寸精度和预埋件质量以保证接缝的严密，才能达到地下防水的稳定性。

如果我们把隧道视为一个“产品”，这个产品最终的体现是隧道衬砌管片以及由管片组成的隧道衬砌管环，因而可以说隧道衬砌管片的质量直接决定了整个隧道的工程质量。

隧道衬砌管片按拼装成型隧道的形状(目前出现过的)可分为：单圆、双圆和方形。其中单圆形也称环形，是目前最常见和最普遍使用的。

隧道衬砌管片按材质分为：钢质管片、铸铁管片、钢筋混凝土管片、钢纤维混凝土管片和复合管片。其中，钢质管片和铸铁管片一般用于复环管片中，但由于铸铁管片成本较高现已很少采用；钢纤维混凝土管片在国外已有使用，但在国内只是处于试验阶段；钢筋混凝土管片目前在隧道衬砌结构中最常使用，作为预制混凝土制品的管片也代表了混凝土预制技术的最高水平。

钢筋混凝土管片预制质量很大程度上取决于成型混凝土的钢模具品质。一条投资数亿元的隧道，管片钢模具的投入往往数百万元，占隧道总造价的百分之几。所以，完全有理由重视管片模具的质量，选用优质模具，最终保证的是整条投资巨大的隧道质量。一旦采用不良模具，若有幸及时发现，最多损失掉已经浇筑好的管片；而如果不能及时发现，管片一旦装拼到隧道里，其后果将不堪设想。百年大计，不可不察。

第二章 隧道衬砌管片类型及钢筋混凝土管片主要技术参数

2.1 隧道衬砌管片类型

2.1.1 管环类型

使用现代化掘进机施工的地下隧道，其后衬砌是由一环一环的盾构管片环拼装成型的(图 2-1、图 2-2)。隧道盾构管环除了上述按照材质分类外，按隧道所处地质条件和结构受力分为加强管环和非加强管环，每种管环又根据隧道曲线施工和纠偏需要分为(直线环+左转环+右转环)组合管环和通用管环两种。

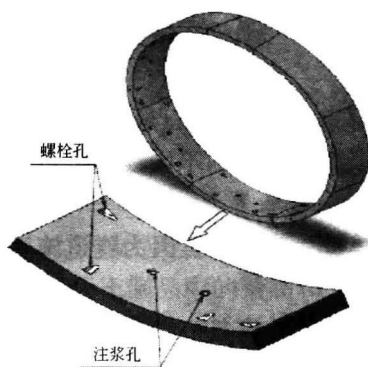


图 2-1 管片及管片环



图 2-2 混凝土管片隧道衬砌

盾构管环衬砌是随着隧道在长度方向刚性安装铺就的，由于隧道有直线和曲线转向之分，因此传统的隧道管环也有直线环、左转环和右转环之区分，以适应隧道的直线和曲线施工。这些不同的管环会反映在模具的订货要求上，在设计制造时，需要三种

不同的模具：左转环模具、右转环模具和直线环模具。如果隧道是直线，即仅需要直线环模具；如果有转向或纠偏要求，则还同时需要左(右)转环模具。管片生产时要根据隧道在直线段还是在曲线段的数量调整不同型号模具用量，有时会停用生产线上不用生产管片的模具。为了减少模具的种类，近几年国际普遍流行的是通用管环，该种管环通过环上设计楔形量达到隧道的转弯需要(图 2-3)。

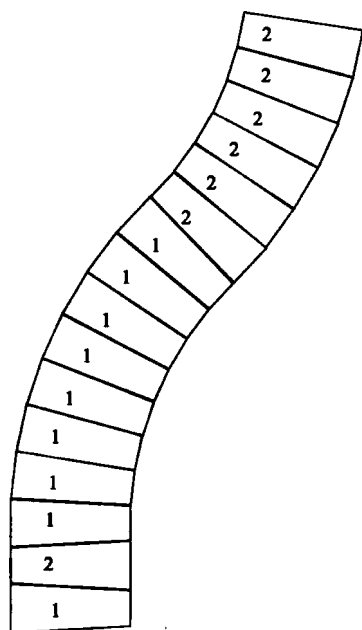


图 2-3 通用管环转向示意

隧道管片通用环的原理是每个管环都具有楔形量，管片环拼装根据不同的线路进行调整配合，以达到直线和曲线、上行和下行的目的。

采用通用管环的优点很多，最显著的有以下三点：

(1) 节约模具：一套模具即可以适用隧道的不同线型，可以减少采购模具的数量。

(2) 有利管片生产：工厂可以连续生产，不再因为隧道施工的需要而调整生产。

(3) 重复使用：是指一条隧道竣工后，模具可以在寿命范围内重复使用，不因为隧道变化而重新调整模具类型。

通用管环设计和施工在国外已经是非常成熟的技术，只是在国内推广使用较晚。世界上任何一家盾构机制造厂也都非常熟悉通用环，所有盾构机也适用于通用环。在国内，除北京等建设地铁较早的城市仍然采用直线、左右转环外，深圳已率先在地铁建设中使用通用环。

2.1.2 管片类型

无论是哪种盾构管环，单独就每环中的管片来讲，构成一环的管片无论直径大小，通常只有三种类型：标准块、邻接块和楔块，有的把标准块称为 A 块、邻接块称为 B 块、楔块称为 K 块或称封顶块。

以北京地铁 5 号线预制混凝土盾构管片设计为例：管片外径 6000mm，内径 5400mm，管片厚度 300mm，管片环宽 1200mm，管片宽度和弧、弦长尺寸误差仅为 $\pm 1\text{mm}$ 。在环向分成 6 块(3A+2B+1C)，即由 3 块标准块(中心角 67.5°)、2 块邻接块(中心角 67.5°)和 1 块封顶块(中心角 22.5°)组成一环(图 2-4)。管片块之间采用弯螺栓连接，环向每接缝有 2 个螺栓，纵向共设 16 个螺栓；环与环之间采用错缝拼装方式，管片端面为平面式，仅在防水胶条处留有沟槽。



图 2-4 钢筋混凝土管片拼装成管环

2.2 钢筋混凝土管片主要技术参数

钢筋混凝土管片既是地铁隧道衬砌管片中最常用的产品，也是混凝土制品中的精品和先进技术的代表。钢筋混凝土管片采用具有防水要求的高性能混凝土，北京地铁中在用的预制混凝土盾构管片主要技术参数如下：

- (1) 外径 6000mm，内径 5400mm，环宽 1200mm，厚度 300mm。
- (2) 混凝土强度等级 C50，抗渗等级 P10。
- (3) 钢筋采用 HPB235、HRB335 级。
- (4) 钢筋骨架采用焊接成型，焊条使用 E43 系列产品。

(5) 钢筋混凝土管片最大计算裂缝宽度允许值为 0.2mm。

(6) 管片连接螺栓采用强度等级为 4.6 级、性能等级为 C 级的钢材制造。

另外在深圳和郑州等城市普遍采用 1500mm 宽的管片，与北京等地使用 1200mm 比较，减少了连接缝，提高了隧道的整体性能质量，还提高了工程建设速度。在南方等地下水位较高的城市，管片厚度多为 350mm。

第三章 隧道衬砌钢筋混凝土管片模具

钢筋混凝土管片模具是浇筑成型管片混凝土模板的统称，模板质量是影响混凝土预制构件质量的关键。模板在混凝土管片构件生产中既是重要的生产物资，也是决定管片外形尺寸技术指标精度、混凝土成型质量和安装质量的关键因素，同时对生产工艺和进度产生显著影响。所以，对于隧道衬砌工程起关键作用的管片来说，模具的重要性不言而喻。

3.1 管片钢模具设计和制作

3.1.1 管片钢模具构成

混凝土预制构件一般采用钢材作为模具制作材料，称为钢模具。一套优秀的管片模具要求具有结构形式合理、便于施工，采用优质钢材进行精加工以达到保证管片外形尺寸高精度，重复生产不易变形、利用率高，且利于维护保养以及投资成本较低的特点。

目前，绝大多数管片模具采取的是管片外弧面朝上的结构设计。这种模具由底座、底模、侧模板(弧板)、端模板、盖板构成(图 3-1)，采用优质钢材(16 锰)在数控机床上加工成型。其中底板和弧板端板都是直接接触混凝土的部分，是保证模具胸腔尺寸的关键部件。

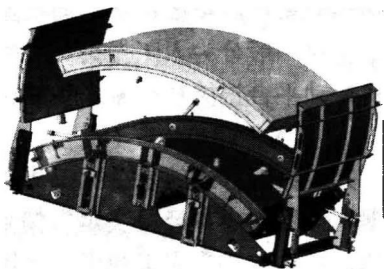


图 3-1 管片钢模具示意图

模具底座为焊接整体钢结构托架，为自承重体系。模具底部板面采用厚度 8mm 以上的钢板。模具除底板外，还有两侧弧板

及挡头的端板共计四块构成模具四周板面。这些板面都是在厚约大于 35mm 以上的整块优质钢板上切割加工的整体板面。四面全部由加筋钢板焊接而成。四块板上都设有开启和关闭的系统与左右把手，四周模板在底板上的安装精度通过底模支架的定位销/孔来保证。此外设有模板自锁闭紧固系统，防止任何结构变形。模具实体图 3-2。

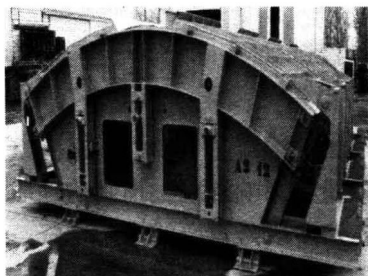


图 3-2 管片钢模具实体图

模具上方设有两个可以开启的盖子，之间留有空隙供浇灌混凝土，模具底部附设气动振动器，顶盖与模具的紧固通过螺栓连接。模具顶盖附有弹簧，开启不费力气，一般只需要 1~2 人即可。

所有的工序如：开启顶盖、锁定侧板、紧固和开模都是用扭矩扳手($30\text{kg} \cdot \text{m}$)来实现，所有的紧固件等都是可以单独更换，每个模具的精度都是严格按照设计要求进行加工且不超过允许误差。

3.1.2 管片钢模具振捣方式

管片模具振捣方式决定了管片混凝土成型的密实质量，对管片结构质量产生重要影响，而且振捣效果好坏还直接影响生产效率。振捣一般分为人工振捣和机械振捣，而机械振捣又分为：整体式振动平台振捣和附着式整体振捣。

1. 人工振捣

人工振捣方式就是由振捣人员采用振动棒等小型振捣工具，根据工作面大小和经验决定振捣点布置和振捣时间的振捣方式。显然，这种方式受人工约束，比较简单，投资不大。对于小段面的小型模具比较适宜，同时对于工程项目规模小、模具使用次数要求不大时可以选择。

人工振捣只是一种可供选择的振捣方式，它具有显著的