

RESEARCH ON ENGINEERING TECHNOLOGY
OF SHIELD TBM FOR ELECTRIC POWER TUNNEL

电力隧道盾构工程 技术研究

主 编 冯庆燎

副主编 郭广才 陈伟良 姜书初 吴彦伟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

RESEARCH ON ENGINEERING TECHNOLOGY
OF SHIELD TBM FOR ELECTRIC POWER TUNNEL

电力隧道盾构工程 技术研究

主 编 冯庆燎

副主编 郭广才 陈伟良 姜书初 吴彦伟

主 审 鞠世健 王 晖 黄威然



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

全书共分 11 章, 主要内容包括电力隧道设计、复合地层典型工程地质特征、盾构机选型、建(构)筑物调查和施工场地布置、电力隧道端头加固技术、盾构机始发及到达和吊装技术、盾构掘进施工技术、电缆支架安装关键技术、过井施工技术、基于 WHS 模式的电力隧道质量管理。全书结合电力隧道工程的实际情况, 通过理论分析和室内试验及现场监测试验, 充分利用国内外类似条件下的工程经验, 对电力隧道盾构施工综合配套技术进行系统研究, 解决电力隧道中型直径、浅埋深、长距离、急转弯土压平衡盾构施工的技术难题。研究适合工况的土压平衡盾构机设计选型; 研究急转弯半径(小于 100m 转弯半径); 研究急转弯半径盾构隧道衬砌结构受力分布和变化情况, 同时对周边围岩进行监测, 分析急转弯对周边围岩的影响情况。把研究成果应用于盾构隧道信息化施工的监控评价、预测和反馈分析研究当中, 建立和实施一套完整的中型直径土压平衡盾构在电力隧道施工的安全与质量管理体系。本书中“盾构管片及盾构隧道”获国家实用新型专利, “缩短大直径盾构隧道穿越竖井工期”获南方电网公司 2014 年度 QC 奖一等奖。

本书可供电力工程专业及隧道盾构专业设计、施工、监理等工程技术和管理人员使用, 也可供相关专业本科和研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力隧道盾构工程技术研究 / 冯庆燎主编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5123-8670-9

I. ①电… II. ①冯… III. ①电力工程-隧道工程-盾构(隧道)-研究 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 305265 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 460 千字

定价 138.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《电力隧道盾构工程技术研究》

编 委 会

主 编 冯庆燎

副 主 编 郭广才 陈伟良 姜书初 吴彦伟

编 委 (按姓氏笔画排序)

王欢贵 邓丽文 丘 鹏 刘光波

许汉杰 许永丰 许斌斌 杜凯明

李 飞 李正青 李世佳 李 春

李春盛 李懿乾 吴秀国 吴维斌

利小兵 张 荣 张高城 张 彬

陈丹莲 陈 汉 陈兆斌 陈沛民

范星星 林卓峰 罗淑仪 周 维

郑 石 冼海欧 祝思然 符剑良

梁建波 梁家杰 隋鲁东 熊 燕

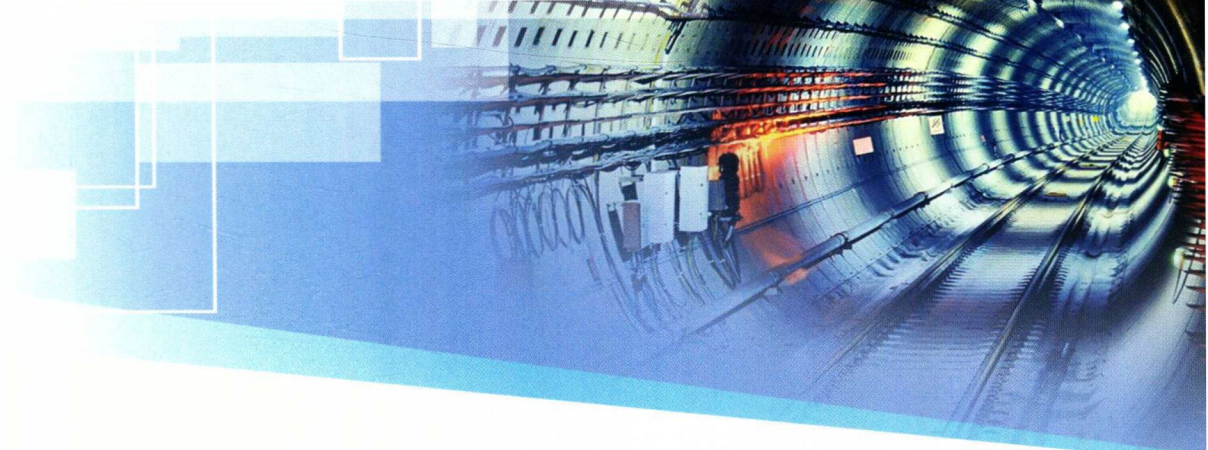
颜天佑

主编单位 广州供电局有限公司

广州轨道交通建设监理有限公司

广州电力设计院

中煤第三建设(集团)有限责任公司



| 序

在我国，盾构技术的研究工作始于 20 世纪 50 年代，到 80 年代上海地铁一号线隧道采用了盾构法施工，使得这项技术得到了实质性的应用。盾构隧道用于电力电缆的敷设还只是近 10 年的事，而在复合地层采用盾构法修建电力隧道则是由广州供电局有限公司在全国开创的先例。

进入 21 世纪，广州电网进入了高速发展阶段。在刚刚过去的 2014 年，随着 500kV 木棉输变电工程、狮洋配套 220kV 线路等一批重点项目的建成投产，广州 220kV 及以上主网架结构得到根本性改善，电网供电分区进一步优化，主网架结构基本成型，长期困扰广州电力供应的主网网架卡脖子问题得到根本性解决。与此同时，奥林、犀牛、厚德、航云、凯旋等多条电力盾构隧道陆续建设和贯通，“智能、高效、可靠、绿色”的广州电网正在加速建设中，让美丽广州绽放出更加璀璨夺目的光彩。

广州第一条电力隧道“珠江新城电缆隧道”始建设于 1999 年，于 2000 年投入使用。此后陆续修建了“奥林电力隧道工程”和“犀牛电力隧道工程”等电力盾构隧道，至 2014 年年底运行中的电力隧道约 20km，在建的电力隧道约 23km，近期待建的电力隧道约 23km。在修建的过程中广州供电局有限公司的领导和技术人员会同广州轨道交通建设监理有限公司的技术人员深入到盾构隧道当中，兢兢业业，踏踏实实地搜集第一手信息，与施工人员一起研究推进过程中的各种问题，提出切实可行的解决方法，使得工程得到安全、顺利地推进。

《电力隧道盾构工程技术研究》是广州供电局有限公司和广州轨道交通建

设监理有限公司技术人员几年来辛勤工作的积累，是双方通力合作的结晶。

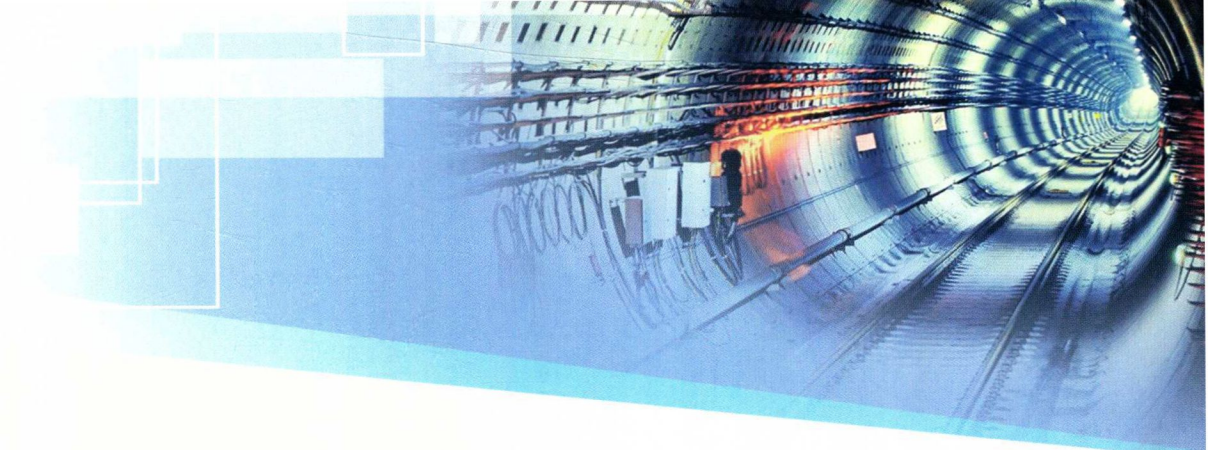
本书分析了电力盾构隧道的运营特点，对隧道结构、使用的盾构机及各种盾构施工问题和相关辅助工法做了深入的研究，书中提到的主要结论和相关施工经验为今后修建电力盾构隧道，特别是在复合地层中修建盾构隧道，提供了十分宝贵的指导性经验和意见。

为此，对广州供电局有限公司的研究成果表示祝贺，并预祝今后在盾构施工技术上取得更大的成绩。

A stylized handwritten signature in black ink, appearing to read '卓伟' (Zhuo Wei).

广州市地下铁道总公司副总经理

2015 年 5 月



| 前言

随着城市化进程逐渐加速，大城市电力负荷不断飙升，电力供应不足遭遇用电难，已成为“城市病”。但另一方面，电网建设掣肘多、建设征地难、增容改造阻力大，电网规划建设升级改造遭遇诸多难题。为解决电力负荷高速增长和电力通道资源相对稀缺的矛盾，满足城市绿色环保生存空间与高标准景观的需求，建设城市电力隧道势在必行。而盾构法修建电力隧道无疑是实现电网“智能、高效、可靠、绿色”这一建设目标的有效途径。

据统计，截至 2014 年仅广州地区电力隧道就有 6 台盾构正在施工，全年完成约 11km 的盾构隧道，对推进城市建设和缓解城市用电压力起到积极作用。

广州素有“地质博物馆”之称，城市电力盾构隧道建设周边环境非常复杂，与一般的盾构隧道相比，盾构法电力隧道特点主要表现在如下几个方面：

(1) 隧道埋深较浅。例如：根据城市规划，电力隧道埋深在 10m 左右，但受既有管线影响，广州地区个别电缆隧道最小埋深为 4m，控制浅覆土地层变形成为盾构施工工法技术攻关的一项新课题。盾构施工对土体的扰动主要表现为盾构机对土体的挤压和松动、孔隙水压力变化，从而引起土体的变形、地表的隆起与沉降。本书通过对 220kV 犀牛站电缆隧道工程浅覆土盾构现场原位监测实验及有限元分析，研究总结出盾构隧道浅覆土施工控制技术，为今后此类地层盾构掘进提供指引。

(2) 隧道直径和转弯半径小。电力隧道由于受规模和造价的制约，电力盾构隧道直径较一般的城市轨道交通隧道直径要小。隧道线路一般规划设计在道路中间绿化带下，受场地和线路走向的限制，电力盾构隧道又设计出许多小曲线，盾构小曲线施工成为又一项技术难题。其难度体现在：盾构掘进和纠偏难度大、管片拼装质量控制难度大、盾构曲线施工对土体扰动大等。本书通过对 220kV 犀牛站电缆隧道 $R=118\text{m}$ 曲线段施工研究，总结分析出盾构隧道小曲线施工技术，为类似工程提供借鉴作用。

(3) 盾构选型复杂。广州进行电力隧道施工，地层非常复杂，东面主要有花岗岩、

球状风化体、残积层；南面深厚富水砂层、淤泥层；西面灰岩溶洞等不良地层，再加上浅覆土、小半径，给盾构选型带来很多技术难题。有针对性的盾构施工设备选型，更有利于盾构工程安全、高效施工，有利于缩短工期。通过一系列的实践，电力隧道盾构设备选型带来一系列的创新，如刀盘及刀具选择、双铰接系统应用改良、泥水盾构循环系统的改良、可调节方向的土压平衡盾构皮带系统改造等。这些革新，为小直径盾构隧道高效施工提供了硬件的保证。

(4) 电力隧道过井多。为满足电缆出线、人员检修、隧道通风功能，基本约 500m 设计一座过井；标准的过井设计，对运行运维功能都较好。工作井的规模和间距直接影响工程总体投资和工期，也制约着盾构发挥自身优势的瓶颈。工程技术人员通过努力钻研和不断创新，在工程中应用玻璃纤维筋混凝土，从而革新传统盾构穿越工作井工序，大大缩短了盾构穿越竖井工期，此项创新在南方电网 2014 年度 QC 大奖中荣获一等奖。

(5) 鉴于电力隧道工程线路曲线急转弯半径 ($R=10\sim100\text{m}$) 及工作井多的特点，工程技术人员研究了目前国际上此类盾构隧道最新发展，给予总结整理，希望为电力隧道的建设和规划提供可借鉴的技术支持。

本书是工程技术人员在深入一线过程中一点点搜集起来的，在这个过程中，得到了建设参与各方和广大技术人员的大力支持和帮助，因此本书的出版是工程参与各方辛勤工作和智慧的结晶。在此衷心地感谢领导、专家、同事及同行们的支持和帮助！

限于编者水平，加之时间仓促，疏误之处在所难免，敬请专家和读者批评指正。

编 者
2015 年 7 月



| 目 录

序
前言

第 1 章 工程概述	1
1.1 电力隧道发展史	3
1.2 电力隧道土建工法分类	5
1.3 工法比选	10
第 2 章 电力隧道设计	17
2.1 平纵线路关键技术标准	19
2.2 隧道断面设计	20
2.3 盾构法管片设计	22
2.4 隧道过井的设计	35
2.5 电缆支架设计	39
第 3 章 复合地层典型工程地质特征	41
3.1 复合地层理论	43
3.2 复合地层特点	44
3.3 广州地区主要几个岩土问题	48
第 4 章 盾构机选型	55
4.1 盾构机形式选择	57

4.2	盾构机主要参数	64
4.3	盾构系统适应性设计要点	69
第5章	建（构）筑物调查和施工场地布置	95
5.1	建（构）筑物调查	97
5.2	狭小施工场地布置	101
5.3	道岔布置和管理	111
第6章	电力隧道端头加固技术	117
6.1	一般原则	119
6.2	常规端头加固工法	125
6.3	电力隧道端头加固典型的组合法	134
6.4	小结	138
第7章	盾构机始发及到达和吊装技术	139
7.1	电力隧道始发形式特点	141
7.2	盾构机吊装下井	142
7.3	土压盾构机分体始发技术	144
7.4	泥水盾构机分体始发技术	155
7.5	盾构到达	164
7.6	土压盾构拆解吊出	167
7.7	对电力隧道盾构始发、吊出工作井的建议	172
第8章	盾构掘进施工技术	175
8.1	一般掘进原理	177
8.2	盾构掘进控制重难点	198
8.3	盾构机隧道小曲线施工技术	221
第9章	电缆支架安装关键技术	249
9.1	盾构电力隧道支架安装工艺	251
9.2	电缆支架制作	254
9.3	电缆支架安装	255

第 10 章 过井施工技术 261

10.1 先隧道后工作井施工技术..... 263

10.2 工作井横通道施工技术..... 268

第 11 章 基于 WHS 模式的电力隧道质量管理 275

11.1 实施 WHS 背景 277

11.2 WHS 质量控制标准介绍 277

11.3 运用 WHS 进行工程质量控制 280

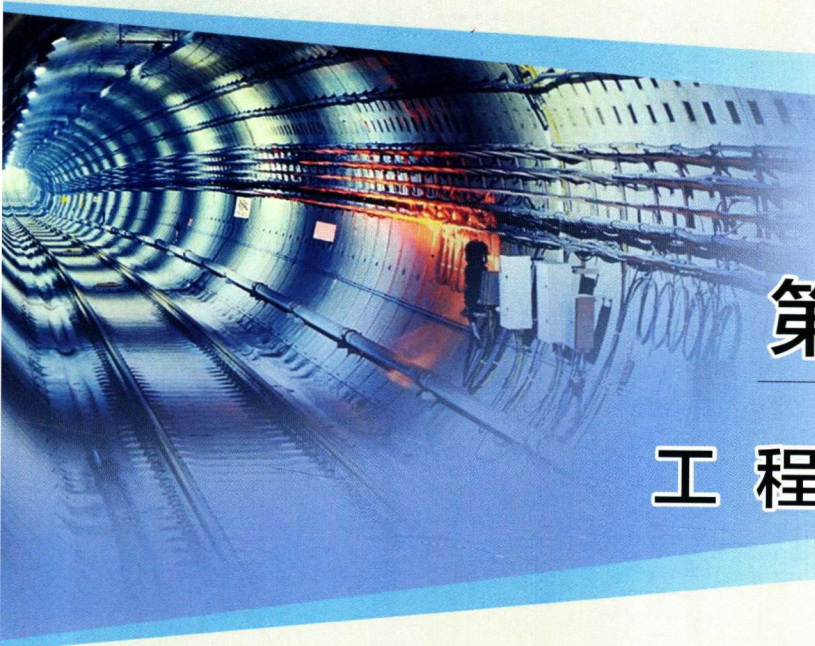
11.4 WHS 实施效果 283

11.5 WHS 在应用过程存在的问题及对策 284

11.6 小结..... 285

附录 A 相关技术介绍 286

参考文献 293



第1章

工程概述

电力隧道是电力工程的一部分，担负着电力资源向千家万户输送的任务，与架空线路相比，电力隧道运行安全、辐射小，尤其在城市土地资源越来越紧张的情况下，将既有的架空线路埋入地下，可以腾出很多空间。深埋的电力隧道可逐步改善城市浅埋杂乱的线路铺设情况，使得管理更加规范科学。

1.1 电力隧道发展史

近些年，伴随我国经济爆发式增长，城市电力负荷也快速增长，社会各方面对供电可靠性提出越来越高的要求。随着我国城市的快速发展，架空线路暴露出很多与城市发展不协调的矛盾，具体体现在：

- (1) 城区高压架空线路受线路走廊和同杆回路数的限制，许多街道输送容量跟不上社会用电的发展。
- (2) 架空线路故障多、运行方式不灵活，经常造成大面积停电，严重影响居民正常生活。
- (3) 架空线路一般位于街道一侧，限制绿化带树木的生长高度。
- (4) 架空线路的横跨街道和其他线路在电力杆上的私拉乱扯，严重影响城市美观。
- (5) 城市架空线路的施工难度较大，并易发生危及人身安全的断导线、漏电等事故。

从解决电力负荷高速增长和电力通道资源相对稀缺的矛盾，以及满足城市绿色环保生存空间与高标准景观的需要角度出发，建设城市电力隧道势在必行。城市市区内的一些架空线路逐步被电力电缆线路取代，一些经济较发达城市的 10、35kV，甚至 110kV 和 220kV 架空线路都已经全部或部分改为电缆线路。

北京是我国电力隧道应用最多的城市，截止 2014 年的最新资料，北京电力公司 2.4m×2.6m 截面以上隧道 64km，2.0m×2.3m 截面以下隧道 854km，总共约 918km。

上海于 1979 年建设了第一条专用电力隧道，目前上海电力隧道共有 20 余条，总长度 60 多千米，均为专用电力隧道。

广州作为华南地区的中心城市和珠江三角经济区的中心，随着社会经济的发展，用电负荷增长迅猛。为使电网建设跟上社会发展的速度，2003 年广州市城市规划局与广州供电局联合开展了《广州市城市高压电网规划》。为减少架空线路与极为紧张的城市建设用地之间的矛盾，该规划确定了 110kV 及 220kV 电力电缆的建设范围，在该范围内的新建线路全部采用电缆形式，现状线路也逐步改造为电缆。

广州于 2000 年即建成第一条电力隧道——珠江新城电力隧道，该隧道连接 220kV 天

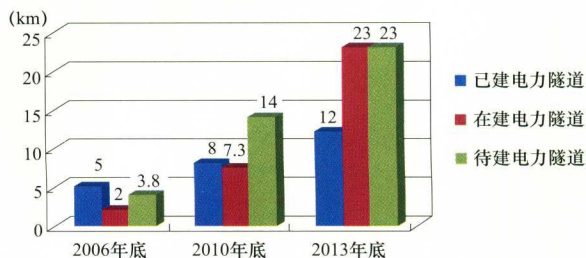


图 1-1 广州地区电力隧道建设规模

由图 1-1 可知，电力隧道建设将是电力规划建设中的重点工作。

广州电力工程部分线路的电缆化，节约了城市用地，但在实施过程中却遇到了新的挑战：一方面，旧有道路狭窄、管线复杂，新建道路未预留电缆地下廊道或预留的电缆地下廊道位置不够等，使电缆地下廊道的实施举步维艰；另一方面，随着《广州市人防工程规划（2002—2010）》《广州市轨道交通线网规划深化方案（2007—2040）》《广州市污水治理总体规划修编（2007—2020）》《广州市城市雨水工程规划》等的编制，道路的地下空间资源日趋紧张。因此，为推进电缆地下廊道建设的顺利开展，广州市急需依据《广州市城市高压电网规划》所确定的远景接线，对电缆地下廊道的路径进行规划，综合协调电缆地下廊道与人防、地下工程、地下隧道、其他市政管线等的关系，并指导城市道路管线综合规划。电缆地下廊道需求量依据整合后的远景规划 220kV 及 110kV 接线，对远景规划 220kV 及 110kV 主干电缆地下廊道进行整合优化，形成广州市中心城区主干电缆地下廊道；规划电缆地下廊道支线就近接入周边的主干电缆地下廊道，最终形成广州市中心城区电缆地下廊道规划方案（见图 1-2）。

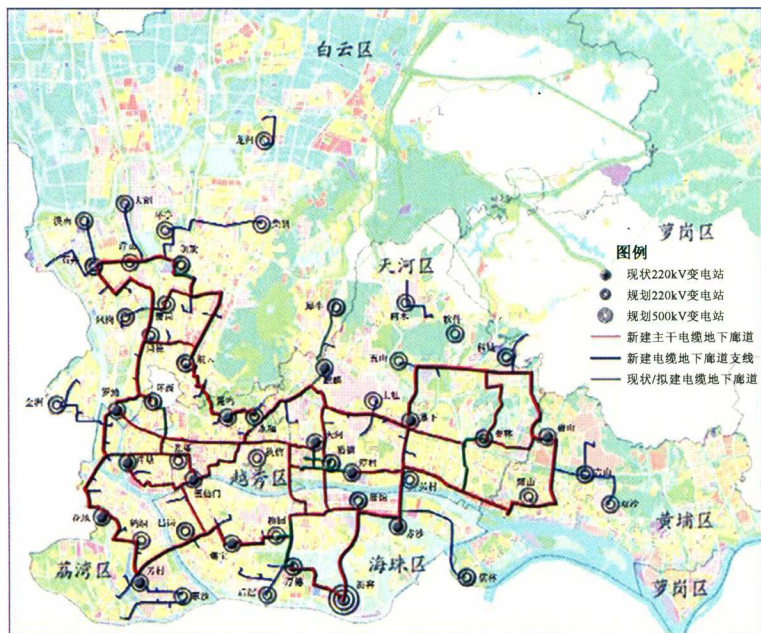


图 1-2 广州电力隧道规划布置图



规划范围：与广州中心城区 110kV 电缆地下范围一致，为：北二环—东二环—黄埔航道—珠江后航道—佛山水道所包围区域。总面积约 744km²。

重点规划范围：与 220kV 电缆地下范围一致，为：华南路—广汕公路—东二环—黄埔航道—珠江后航道—佛山水道。总面积约 470km²。

核心规划范围：包括荔湾区、越秀区、天河区、海珠区、白云新城。总面积约 341km²。各类型标准断面电力隧道长度及工程投资情况见表 1-1。

表 1-1 各类型标准断面电力隧道长度及工程投资情况

各类型标准	长度（km）	单价（亿元/km）	造价（亿元）
φ6000mm	8.90	1.000	8.90
φ4080mm	14.15	0.550	7.783
φ3580mm	83.85	0.500	41.925
宽度在 3200mm 内的矩形隧道	159.48	0.350	55.818
合 计	266.38	—	114.426

1.2 电力隧道土建工法分类

电力隧道常用施工工法主要涉及明挖隧道工法、矿山法隧道工法、盾构法隧道工法、顶管法隧道工法及暗挖隧道工法，本节将对各工法施工优缺点进行简单介绍。

1.2.1 明挖隧道工法

明挖隧道工法（简称明挖工法）是电力隧道与基坑施工的首选方法，在地面交通和环境允许的地方通常采用明挖法施工。它具有施工作业面多、速度快、工期短、工程质量易保证等优点；因此在地面交通和环境条件允许的地方，应尽可能采用。但是明挖工法对城市交通及居民生活干扰较大，一般需要对道路进行较长时间的封闭。明挖工法一般包括明挖顺作法和逆作法；其中，逆作法又包括盖挖顺作法和盖挖逆作法。

1. 明挖顺作法

明挖顺作法是先施工围护结构，从地面向下开挖基坑至设计标高，然后在基坑内的预定位置自下而上地建造主体结构及防水措施，最后回填土并恢复路面，其工序如图 1-3 所示。明挖顺作法施工中的基坑可以分为敞口放坡基坑和有围护结构的基坑两类，在这两类基坑施工中，又根据采用不同的围护结构形式分为放坡开挖、土钉墙支护、排桩支护、连续墙支护等，见表 1-2。

2. 盖挖隧道工法

盖挖隧道工法（简称盖挖工法）是由地面向下开挖至一定深度后，将顶盖封闭，恢复原地貌，其余的下部工程在封闭的顶盖下进行施工，下部结构可采用顺作法或者逆作法进行施工（见图 1-3）。在工程施工期间，当道路交通只允许在一段时间内封闭部分车

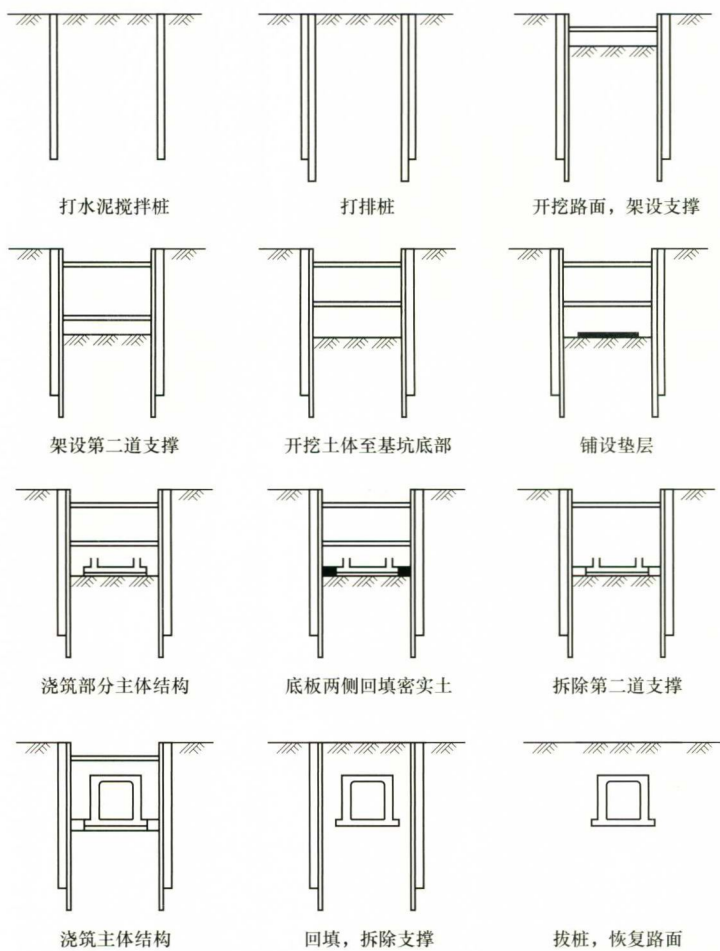


图 1-3 支护开挖现浇隧道明挖顺作法施工流程

表 1-2

明挖结构围护结构形式分类

明挖顺作法 基坑类型	基坑类型	基坑围护形式	具体类型
	敞口放坡基坑	边坡不加支护的基坑	直接放坡式
		喷射混凝土面和锚杆护坡基坑	基坑面喷射混凝土，打插锚杆
	有围护结构的基坑	板桩式围护结构	钢板桩
			钢筋混凝土板桩
			主桩横挡板
		柱列式围护结构	人工挖孔桩支护
			钻孔灌注桩支护
		地下连续墙围护结构	地下连续墙支护
		自立式水泥土挡墙	深层搅拌桩挡墙
			高压旋喷桩挡墙
		组合式围护结构	各种形式的组合