

ICS 29.240

P 62

备案号: J1731—2014

**DL**

**中华人民共和国电力行业标准**

**P**

**DL/T 5484—2013**

---

## **电力电缆隧道设计规程**

**Code for design of power cables tunnel**

2013-11-28 发布

2014-04-01 实施

---

**国家能源局 发布**

中华人民共和国电力行业标准

电力电缆隧道设计规程

Code for design of power cables tunnel

**DL/T 5484—2013**

主编部门：电力规划设计总院

批准部门：国家能源局

施行日期：2014年4月1日

中国计划出版社

2013 北 京

# 国家能源局

## 公告

2013年 第6号

按照《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法(试行)〉及实施细则的通知》(国能局科技〔2009〕52号)的规定,经审查,国家能源局批准《核电厂操纵人员执照考核》等334项行业标准(见附件),其中能源标准(NB)62项、电力标准(DL)144项和石油天然气标准(SY)128项,现予以发布。

附件:行业标准目录

国家能源局

2013年11月28日

附件:

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
.....						
204	DL/T 5484—2013	电力电缆隧道设计 规程			2013-11-28	2014-04-01
.....						

## 前 言

根据国家能源局《关于下达 2009 年第一批能源领域行业标准制(修)订计划的通知》(国能科技[2009]163 号)的要求,标准编制组经调查研究,认真总结国内外电力电缆隧道设计经验,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准共分 14 章和 2 个附录,主要内容包括:总则,术语,基本设计规定,明挖隧道,暗挖隧道,顶管隧道,盾构隧道,工程防水,通风及消防,排水,照明、动力及监控,其他设施,节能环保,劳动安全及卫生等。

本标准由国家能源局负责管理,由电力规划设计总院提出,由能源行业电网设计标准化技术委员会负责日常管理,由北京电力经济技术研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议,请寄送电力规划设计总院(地址:北京市西城区安德路 65 号,邮政编码:100120)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

**主 编 单 位:**北京电力经济技术研究院

**参 编 单 位:**北京交通大学

上海电力设计院有限公司

广州电力设计院

沈阳电力勘测设计院

**主要起草人:**陈 凯 郭庆宇 袁大军 陈 卓 李继波  
曹林放 尹 凡 李兴高 丁洲祥 李朝顺  
王 军 汪 箐 陈明兰 闫 捷 李小峰  
杨承矩 欧阳晓梅 朱亚平 陈昌振 张 彬  
李晓军 谢 冬

主要审查人:郭跃明 周江天 王 静 吴林林 关 龙  
黄美群 江玉生 段松涛 丛 光 张 崑  
包永忠 徐 瑞 但汉波 王贤灿 刘忠文  
饶文彬

## 目 次

1 总 则 .....	( 1 )
2 术 语 .....	( 2 )
3 基本设计规定 .....	( 4 )
3.1 一般规定 .....	( 4 )
3.2 地形与地质 .....	( 5 )
3.3 工程环境调查 .....	( 7 )
3.4 荷载 .....	( 7 )
3.5 工程材料 .....	( 8 )
4 明挖隧道 .....	( 11 )
4.1 结构设计 .....	( 11 )
4.2 基坑支护设计 .....	( 11 )
4.3 构造要求 .....	( 13 )
5 暗挖隧道 .....	( 15 )
5.1 衬砌结构 .....	( 15 )
5.2 衬砌结构计算 .....	( 18 )
5.3 竖井设计 .....	( 21 )
5.4 辅助工程措施 .....	( 22 )
6 顶管隧道 .....	( 25 )
6.1 一般规定 .....	( 25 )
6.2 设计计算 .....	( 27 )
6.3 工作井 .....	( 37 )
6.4 辅助工程措施 .....	( 38 )
7 盾构隧道 .....	( 40 )
7.1 一般规定 .....	( 40 )

7.2 荷载 .....	(40)
7.3 衬砌结构计算 .....	(42)
7.4 衬砌结构 .....	(43)
7.5 竖井结构 .....	(45)
7.6 辅助工程措施 .....	(46)
8 工程防水 .....	(48)
8.1 一般规定 .....	(48)
8.2 防水 .....	(48)
9 通风及消防 .....	(51)
9.1 隧道通风 .....	(51)
9.2 隧道消防 .....	(52)
10 排水 .....	(54)
11 照明、动力及监控 .....	(56)
11.1 一般规定 .....	(56)
11.2 照明 .....	(57)
11.3 动力 .....	(58)
11.4 监视与控制 .....	(59)
12 其他设施 .....	(60)
12.1 电缆支架 .....	(60)
12.2 接地 .....	(61)
12.3 出入口 .....	(63)
13 节能环保 .....	(66)
14 劳动安全及卫生 .....	(67)
附录 A 围岩分级的有关规定 .....	(68)
附录 B 均质圆环法管片截面内力计算方法 .....	(74)
本标准用词说明 .....	(77)
引用标准名录 .....	(78)
附:条文说明 .....	(79)

## Contents

1 General provisions .....	(1)
2 Terms .....	(2)
3 General requirements .....	(4)
3.1 General .....	(4)
3.2 Topography and geological .....	(5)
3.3 Environmental survey .....	(7)
3.4 Action and load .....	(7)
3.5 Materials .....	(8)
4 Cut and cover tunnel .....	(11)
4.1 Design of structures .....	(11)
4.2 Retaining and protection for foundation excavation .....	(11)
4.3 Detailing requirements .....	(13)
5 Mining tunnel .....	(15)
5.1 Lining structure .....	(15)
5.2 Calculation of lining structure .....	(18)
5.3 Vertical shaft .....	(21)
5.4 Assistant measures of project .....	(22)
6 Pipe jacking .....	(25)
6.1 General .....	(25)
6.2 Calculation for design .....	(27)
6.3 Work well .....	(37)
6.4 Assistant measures of project .....	(38)
7 Shield tunnel .....	(40)
7.1 General .....	(40)

7.2	Load	(40)
7.3	Calculation of lining structure	(42)
7.4	Lining structure	(43)
7.5	Vertical shaft	(45)
7.6	Assistant measures of project	(46)
8	Water proofing	(48)
8.1	General	(48)
8.2	Water proofing	(48)
9	Ventilation and fire control	(51)
9.1	Ventilation	(51)
9.2	Fire control	(52)
10	Water sewerage	(54)
11	Lighting, power and monitoring	(56)
11.1	General	(56)
11.2	Lighting	(57)
11.3	Power	(58)
11.4	Monitoring	(59)
12	Other facilities	(60)
12.1	Cable bearer	(60)
12.2	Grounding apparatus	(61)
12.3	Entrance-exit	(63)
13	Energy saving and environment protection	(66)
14	Labor safety and healthy	(67)
AppendixA: The related regulations of surrounding rock classification		(68)
AppendixB: The calculation method of segment under the assumption of homogeneous ring		(74)
Explanation of wording in this code		(77)
List of quoted standards		(78)
Addition; Explanation of provisions		(79)

## 1 总 则

**1.0.1** 为了适应城市电力电缆线路建设发展和电缆隧道设计需要,使电缆隧道设计符合技术可靠、安全适用、经济合理、确保质量、环境保护的要求,制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于新建、改建及扩建电力电缆隧道工程。

**1.0.3** 电缆隧道路径的选择,应根据电网及城市总体规划,综合地形、地质、对周围环境的影响等因素,经技术经济方案比较后确定。

**1.0.4** 电缆隧道的主体结构工程设计使用年限应为100年。

**1.0.5** 电缆隧道净空尺寸应满足电网远景规划要求,应符合现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB 50217的相关规定,满足施工工艺、结构变形和位移等要求。

**1.0.6** 电缆隧道应符合电缆敷设、检修及运行维护要求,并具有必要的安全防护等设施。

**1.0.7** 电缆隧道设计应根据隧道断面尺寸、隧道长度、工程场地、地质、水文、施工周期、工程造价等因素综合研究确定适宜的施工方法。

**1.0.8** 电缆隧道设计除应符合本标准外,尚应符合国家现行的有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 电缆隧道 cable tunnel

容纳电缆数量较多、有供安装和巡视的通道、全封闭型的地下构筑物。

### 2.0.2 围岩 surrounding rock

隧道工程影响范围内的岩土体。

### 2.0.3 衬砌 lining

为控制和防止围岩的变形或坍落,确保围岩的稳定,或为处理涌水和漏水,或为隧道的内空整齐或美观等目的,将隧道的周边围岩被覆起来的结构体。

### 2.0.4 盾构法 shield tunneling

用盾构进行掘进,在保持开挖面稳定的同时完成排土及隧道衬砌作业从而修建隧道的方法。

### 2.0.5 管片 segment

组成盾构隧道衬砌结构的基本单元,抵抗盾构隧道外力的结构构件。是一种在工厂制作的板状钢筋混凝土、钢、铸铁或多种材料复合的预制构件。

### 2.0.6 顶管法 pipe jacking

利用液压顶进工作站从顶进工作井将待铺设的管道顶入,从而在顶管机之后直接铺设管道的非开挖地下管道施工技术。

### 2.0.7 出入口 entrance-exit

结合人员通行、电缆敷设及安装通风设备等设置的隧道进出通道口。

### 2.0.8 工作井 work shaft

用于敷设电缆及人员进出隧道,结合隧道施工要求而修建的

结构。

### 2.0.9 中继间 intermediate jacking station

顶管施工过程中,为控制最大顶力而设置在管道中间的续顶机构。



### 3 基本设计规定

#### 3.1 一般规定

3.1.1 电缆隧道安全等级应按隧道重要性划分,重要的电缆隧道的结构重要性系数不小于 1.1。

3.1.2 钢筋混凝土结构电缆隧道的环境类别应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 选取。

3.1.3 钢筋混凝土隧道最大裂缝宽度限值应按照结构所处环境类别确定。

3.1.4 隧道设计应依据基本的基础资料,根据隧道不同设计阶段的任务、目的和要求,针对电缆隧道的特点和规模,确定搜集、调查基础资料的内容和范围,并进行调查、测绘、勘探和试验。基础资料应齐全、准确,满足设计要求。

3.1.5 应对结构在施工和使用的不同阶段的多种受力状况,分别进行结构分析,并确定最不利的作用效应组合。

3.1.6 结构分析所需的各种几何尺寸以及所采用的计算图形、边界条件、荷载的取值与组合、材料性能的计算指标、初始应力和变形状况等,应符合结构的实际工作状况,并应具有相应的结构保证措施。

结构分析中所采用的各种简化和近似假定,应有理论或试验的依据,或经工程实践验证。计算结构的准确程度应符合工程设计的要求。

3.1.7 应根据结构形状、支撑条件和极限状态等建立合适的结构分析模型。

3.1.8 地层模拟可采用弹性地基法。设计中的地基反力系数应综合土体模量、荷载条件和支撑状况选取。

#### 3.2 地形与地质

3.2.1 应根据隧道所通过地区的地形、地质条件,并综合调查的阶段、方法、范围等因素,编制相应的调查计划。在调查过程中,如发现实际地质情况与预计的情况不符,应及时修正调查计划。

3.2.2 围岩分级应采用定性划分和定量指标相结合的方法综合评判,分级方法按照本标准附录 A 执行。

3.2.3 隧道调查各阶段的目标、内容及范围可按表 3.2.3 拟定。

表 3.2.3 隧道调查各阶段的目标、内容及范围

阶段	目 标	内容和方法	范围	
施工前	踏勘	为路线路径比选提供区域地形、地质、环境等基本资料	搜集、分析既有资料及沿路线进行地面踏勘,必要时可进行少量勘探工作	大于路线可能方案的范围
	初勘	获取路线所需地形、地质、其他环境资料,为方案比较及下阶段调查提供基础资料	搜集、分析既有资料,现场踏勘、测绘和勘探工作	大于比选方案的范围
	详勘	获取技术设计、施工计划、预算等所需的地质、环境等资料	详细进行地形、地质、环境等调查;按要求进行钻探、物探、测试等	隧道路线两侧及周围地区
施工中	预报和确认施工中出现的地质问题;验证或变更设计、调整施工方法等	地形、地质、环境补充调查;洞内观测、量测、超前探测;预报地质灾害,采取防治措施	隧道内及地面受施工影响的范围	

3.2.4 隧道工程测绘应按设计阶段的要求,搜集或测绘地形图、地下管线、地下建(构)筑物等。测绘成果应符合国家现行标准《工

程测量规范》GB 50026 和《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 的规定。

3.2.5 施工前各阶段的地形与地质调查应包括自然地理概况以及工程地质和水文地质等,并按阶段要求重点调查和分析以下内容:

- 1 地层、岩性及地质构造变动的性质、类型和规模;
- 2 断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系,围岩的基本物理力学性质;
- 3 地下水类型及地下水位、含水层的分布范围及相应的渗透系数、水量和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性,有无异常涌水、突水;

4 按现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的规定或经地震部门鉴定,确定隧道所处地区的地震动峰值加速度。

3.2.6 地形、地质调查尚应注意以下方面:

1 当场区存在区域性断裂构造时,特别是存在全新活动的断裂和发震断层时,应调查新构造活动的痕迹、特点和与地震活动的关系,并查明其对隧道工程的影响程度;

2 当场区存在影响隧道方案的重大不良地质、特殊地质情况时,应进一步搜集调查地质资料,综合分析、预测隧道开挖后可能出现塌方、滑动、挤压、岩爆、突然涌水、流砂及瓦斯溢出等的地段,并提出相应的技术措施,为方案比选和隧道设计提供依据;

3 水文地质条件复杂的隧道(含岩溶隧道)除按一般隧道进行调查、勘探、试验外,必要时还应进行水文地质动态观测或进行专题研究。

3.2.7 施工中的地质调查宜采取地面补充调查,开挖工作面直接观察、素描、摄像、量测等方法。对于工程地质、水文地质复杂的隧道,可采用超前地震波反射、声波反射、地质雷达等地球物理手段,或采用超前钻孔、平行导坑、试验坑道等进行超前探测,及时预报可能发生地质灾害的位置、性质。施工中工程地质调查应完成以

下任务:

- 1 根据对围岩性质的直接观察、量测和试验资料,核定岩性、地质构造、地下水等情况,分析判定实际揭露的围岩级别;
- 2 及时预报和解决施工中遇到的工程地质和水文地质问题;
- 3 为验证和修改(变更)设计及调整施工方案提供依据。

### 3.3 工程环境调查

3.3.1 应对隧道沿线及邻近地区相关地表水系、地下水露头、涌泉、温泉、天然和人工湖泊、植被、矿产资源以及动植物生态等自然环境状况进行调查。

3.3.2 应对隧道沿线内土地使用情况、水利设施、建(构)筑物、地下管线情况等进行调查。若场区内有公园、保护林、文化遗址、纪念建筑等需要保护的重要地物时,除应调查它们的现状外,还应提出隧道建设对其环境影响评价和保护措施。

3.3.3 应对生产生活用水、交通状况、施工和运行噪声、振动、污水及废气排放等对生态环境的影响进行调查。应对施工中地下水大量流失可能造成的地表沉降、塌陷、地面建筑物破坏、生产生活用水枯竭等环境问题的影响程度进行调查和预测。

3.3.4 施工条件调查应包括以下方面:

- 1 施工便道、施工场地、拆迁、弃渣场地、供水、供电和通信条件;
- 2 建筑材料的来源、品质、数量等;
- 3 其他可能影响施工的因素。

### 3.4 荷 载

3.4.1 作用在地下结构上的荷载可按表 3.4.1 进行分类。在决定荷载数值时,应综合施工和使用年限内发生的变化,根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 及相关规范规定的可能出现的最不利情况,确定不同荷载组合时的组合系数。

表 3.4.1 荷载分类表

荷载名称	荷载分类	
结构自重	恒载	主要荷载
围岩压力		
结构附加恒载		
水压力及浮力		
混凝土收缩和徐变的影响力		
车辆荷载	活载	
人群荷载		
电缆及附件荷载		
施工荷载		
温度变化影响	附加荷载	
灌浆压力		
冻胀力		
地震作用	偶然荷载	
落石冲击力		

注：当电缆隧道覆土厚度大于或等于 1.0m 时，可不计入车辆荷载产生的冲击力。

3.4.2 应根据电缆隧道所处的地形、地质条件、埋置深度、结构特征和工作条件、施工方法、相邻隧道间距等因素确定荷载。施工中如发现与实际情况不符，应及时修正。对地质复杂的电缆隧道，必要时应通过实地测量确定作用的代表值或荷载计算值及其分布规律。

3.4.3 作用在结构上的水压力，可根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化，区分不同的围岩条件，按静水压力计算或把水作为土的一部分计入压力。

3.4.4 本标准所列之外的特殊荷载，在荷载计算组合时应作特殊处理。

### 3.5 工程材料

3.5.1 工程材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环

境选用，并符合可靠性、耐久性和经济性的要求。

3.5.2 一般环境条件下电缆隧道的混凝土强度等级不宜低于表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 电缆隧道混凝土的设计强度等级

明挖	整体式钢筋混凝土结构	C30
	预制钢筋混凝土结构	C50
	作为永久结构的地下连续墙和灌注桩	C30
暗挖	喷射混凝土衬砌	C20
	现浇混凝土或钢筋混凝土衬砌	C30
盾构	装配式钢筋混凝土管片	C50
顶管	钢筋混凝土管	C50

注：最冷月份平均气温低于 -15℃ 的地区及受冻害影响的电缆隧道，混凝土强度等级应适当提高。

3.5.3 当有侵蚀性水经常作用时，所用混凝土和水泥砂浆均应具有相应的抗侵蚀性能。

3.5.4 受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；也可采用 HRB335、HRBF335、HPB300 和 RRB400 钢筋。

3.5.5 喷射混凝土宜采用高性能湿喷射混凝土。

3.5.6 钢筋混凝土及所用的材料除应符合国家有关标准规定外，尚应符合下列要求：

1 混凝土不应使用碱活性集料；

2 钢筋混凝土构件中，钢筋的技术条件应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 1 部分 热轧光圆钢筋》GB 1499.1、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分 热轧带肋钢筋》GB 1499.2、《钢筋混凝土用钢 第 3 部分 钢筋焊接网》GB/T 1499.3 的规定。

3.5.7 喷锚支护采用的材料应符合下列要求：

1 喷射混凝土应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥；

2 粗集料应采用坚硬耐久的碎石或卵石;喷射混凝土中的石子粒径不宜大于 16mm,喷射钢纤维混凝土中的石子粒径不宜大于 10mm;集料级配宜采用连续级配,细集料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂,细度模数宜大于 2.5,砂的含水率宜控制在 5%~7%;

3 锚杆的杆体直径宜为 20mm~32mm,杆体材料宜采用 HRB335、HRB400 钢筋;垫板材料宜采用 Q235 钢;

4 锚杆用的各种水泥砂浆强度不应低于 M20;

5 钢筋网材料可采用 HPB300,直径宜为 6mm~12mm。

3.5.8 混凝土和喷射混凝土中掺加的各种外加剂,其性能应满足下列要求:

1 对混凝土的强度及其与围岩的粘结力基本无影响,对混凝土和钢材无腐蚀作用;

2 对混凝土的凝结时间影响不大(除速凝剂和缓凝剂外);

3 不易吸湿,易于保存;不污染环境,对人体无害。

3.5.9 喷射钢纤维混凝土中的钢纤维宜采用普通碳素钢制成,并满足下列要求:

1 宜用等效直径为 0.3mm~0.5mm 的方形或圆形断面;

2 长度宜为 20mm~25mm,长度直径比宜为 40~60;

3 抗拉强度不得小于 380MPa,并不得有油渍和明显的锈蚀。

3.5.10 暗挖隧道初衬的钢架宜用钢筋或 H 形、工字形、U 形型钢制成,也可用钢管或钢轨制成。

## 4 明挖隧道

### 4.1 结构设计

4.1.1 明挖隧道宜采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,以分项系数的设计表达式进行设计。

4.1.2 明挖隧道结构按承载能力极限状态计算和按正常使用极限状态验算时,应按规定的荷载对结构的整体进行荷载效应分析;必要时,尚应对结构中受力状况特殊的部分进行更详细的结构分析。

4.1.3 明挖隧道顶板或拱顶上部垂直土压力宜按全土柱计算。

4.1.4 明挖隧道宜按底板支撑在弹性地基上的结构计算。

4.1.5 明挖隧道应根据地质、埋深、施工方法等条件,进行抗浮、整体滑移及地基承载力验算。

### 4.2 基坑支护设计

4.2.1 基坑支护应综合工程地质与水文地质条件、基坑开挖深度、降排水条件、周边环境对基坑侧壁位移的要求、基坑周边荷载、施工季节、支护结构使用期限等因素设计。

4.2.2 基坑支护结构设计应根据表 4.2.2 选用相应的侧壁安全等级及重要性系数:

表 4.2.2 建筑基坑侧壁安全等级及重要性系数

安全等级	破坏后果	重要性系数 $\gamma_0$
一级	支护结构破坏或土体失稳或过大变形对基坑周边环境和工程施工影响很严重	1.1

续表 4.2.2

安全等级	破坏后果	重要性系数 $\gamma_0$
二级	支护结构破坏或土体失稳或过大变形对基坑周边环境的影响一般,但对地下结构施工影响严重	1.0
三级	支护结构破坏或土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响不严重	0.9

注:各地区建筑基坑侧壁安全等级可根据环境保护等级参照地区经验另行确定。

4.2.3 基坑支护结构应采用以分项系数表示的极限状态设计表达式进行设计。基坑支护结构极限状态可分为下列两类:

1 承载能力极限状态:对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳、管涌导致支护结构和周边环境破坏;

2 正常使用极限状态:对应于支护结构的变形已妨碍地下结构施工或影响周边环境的正常使用。

4.2.4 基坑工程在开挖深、面积大、环境保护要求高或工程有特殊的工期要求等情况下可采用支护结构与主体结构相结合的方案。方案确定前宜开展充分的技术经济分析。采用支护结构与主体结构相结合的基坑工程的设计应符合下列规定:

1 支护结构在基坑开挖阶段应根据有关规定进行设计计算和验算,在永久使用阶段应根据相关规范满足主体结构的设计计算要求;

2 基坑开挖阶段坑外土压力应采用主动土压力,永久使用阶段坑外土压力应采用静止土压力;

3 支护结构相关构件的节点连接、变形协调与防水构造尚应满足主体工程的设计要求。

4.2.5 根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求,基坑支护应按下列规定进行计算和验算:

1 基坑支护结构均应进行承载能力极限状态的计算,计算应

包括下列内容:

1)根据基坑支护形式及其受力特点进行土体稳定性计算;

2)基坑支护结构的受压、受弯、受剪承载力计算;

3)当有锚杆或支撑时,应对其进行承载力计算和稳定性验算。

2 对于安全等级为一级及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁,尚应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

3 地下水控制计算和验算应包括下列内容:

1)抗渗透稳定性验算;

2)基坑底突涌稳定性验算;

3)根据支护结构设计要求进行地下水位控制计算。

4.2.6 基坑支护设计内容应包括对支护结构计算和验算、质量检测及施工监测的要求。

4.2.7 当场地开阔和环境条件允许并经验算能满足边坡稳定性要求时,宜采用放坡开挖。放坡开挖的基坑,应对边坡表面进行保护处理,以防止渗水或土的剥落。

4.2.8 当场地内有地下水时,应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况和支护结构与基础形式等因素确定地下水控制方法。当场地周围有地表水汇流排泻或地下水管渗漏时,应对基坑采取相应的保护措施。

### 4.3 构造要求

4.3.1 变形缝的设置应符合下列要求:

1 明挖整体浇筑式结构沿线应设置变形缝;

2 不同工法结构形式隧道衔接处、结构断面形式明显改变处、与变电站接口处、工作井室外侧、荷载和工程地质等条件发生显著改变处均应设置变形缝;

3 明挖隧道变形缝缝距不宜超过 30m,缝宽宜为 30mm,当采取可靠措施时,变形缝间距可适当增大。变形缝应贯通全截面,变形缝处结构厚度不应小于 300mm,并采取相应的防水措施。

4.3.2 钢筋混凝土保护层厚度应符合下列规定:

1 保护层厚度应根据结构类别、环境条件和耐久性要求等确定;

2 隧道结构迎水面钢筋的混凝土保护层厚度不应小于50mm;

3 箍筋、分布筋和构造筋的混凝土保护层厚度不应小于30mm。

4.3.3 明挖结构现浇钢筋混凝土的横向施工缝的位置及间距,应综合结构形式、受力要求、气象条件及变形缝间距等因素,参照类似工程的经验确定。施工缝间各结构段的混凝土宜间隔浇注。

4.3.4 明挖法地下结构周边构件和中间楼板每侧暴露面上分布钢筋的配筋率,当分布钢筋采用HPB300级钢筋时不宜低于0.3%,当为HRB335级钢筋时不宜低于0.2%,同时分布钢筋的间距也不宜大于150mm。当受拉主筋的混凝土保护层的厚度大于或等于40mm时,分布钢筋宜配置在受力筋的外侧。当位于软弱地基上时,其顶、底板纵向钢筋的配筋量尚应适当增大。

4.3.5 矩形隧道结构顶、底板与侧墙连接处宜设置腋角,腋角的边宽不宜小于150mm,内配置八字斜筋的直径宜与侧墙的受力筋相同,间距可为侧墙受力筋间距的两倍(即间隔配置)。当底板与侧墙连接处由于电缆支架的安装需要无法设置腋角时,应适当增大拐角处的钢筋量。

4.3.6 严寒地区隧道结构宜位于当地冻土层以下,当混凝土结构位于冻土层以上时,应综合冻融环境的作用,并进行相应的抗冻设计。

## 5 暗挖隧道

### 5.1 衬砌结构

5.1.1 衬砌结构应满足以下基本要求:

1 暗挖隧道应采用整体式衬砌或复合式衬砌结构;

2 暗挖隧道衬砌设计应综合地质条件、断面形状、支护结构、施工条件等,并应充分利用围岩的自承能力;衬砌应有足够的强度、稳定性和耐久性,保证隧道长期安全使用;

3 衬砌结构类型和尺寸应根据使用要求、围岩级别、工程地质和水文地质条件、隧道埋置深度、结构受力特点,并结合工程施工条件、环境条件,通过工程类比和结构计算综合分析确定。在施工阶段,还应根据现场监控量测调整支护参数,必要时可通过试验分析确定;

4 暗挖隧道衬砌设计应符合下列规定:

1) 隧道宜采用直墙圆拱式衬砌,Ⅵ级围岩的衬砌应采用钢筋混凝土结构;

2) 隧道围岩较差地段应设仰拱,仰拱曲率半径应根据隧道断面形状、地质条件、地下水、隧道宽度等确定;

3) 围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段延伸,延伸长度宜为5m~10m。偏压衬砌段应向一般衬砌段延伸,延伸长度应根据偏压情况确定,一般不小于10m。

5.1.2 整体式衬砌应符合下列规定:

1 当采用钢筋混凝土衬砌结构时,混凝土强度等级不应小于C25;

2 沉降缝、伸缩缝缝宽应大于20mm,伸缩缝、沉降缝应垂直于隧道轴线设置;

3 最冷月平均气温低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 的地区,应根据情况设置变形缝;

4 沉降缝、伸缩缝可兼做施工缝;在设有沉降缝、伸缩缝的位置,施工缝宜调整到同一位置;

5 各级围岩地段拱部衬砌背后应压注强度不低于 M20 的水泥砂浆。

### 5.1.3 复合式衬砌应符合下列规定:

1 复合式衬砌是由初期支护和二次衬砌及中间加防水层组合而成的衬砌形式。复合式衬砌设计应符合下列规定:

1) 复合式衬砌设计应综合包括围岩在内的支护结构、断面性质、开挖方法、施工顺序和断面闭合时间等因素,力求充分发挥围岩的自承能力;

2) 初期支护宜采用锚喷支护,即由喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护形式单独或组合使用;

3) 锚喷支护基层平整度应符合  $D/L \leq 1/6$  ( $D$  为初期支护基层相邻两凸面凹进去的深度; $L$  为基层两凸面的距离);二次衬砌宜采用模筑混凝土,二次衬砌宜为等厚截面且连接圆顺。

2 复合式衬砌可采用工程类比法进行设计,并通过理论分析进行验算。

3 对软弱流变围岩、膨胀性围岩,隧道支护参数的确定还应计入围岩形变压力继续增长的作用。

### 5.1.4 特殊地质地段的衬砌结构应符合下列规定:

1 黄土地区的隧道,应视黄土分类、物理力学性能和施工方法等确定衬砌结构,并应采用曲墙有仰拱的衬砌,曲墙衬砌的边墙矢高不应小于弦长的  $1/8$ 。

黄土隧道宜采用复合式曲墙带仰拱衬砌,其初期支护宜采用钢架、钢筋网喷射混凝土和锚杆支护,喷层厚度不得小于  $10\text{cm}$ ,钢筋网钢筋直径宜为  $6\text{mm} \sim 12\text{mm}$ 。设锚杆时,其长度宜为  $2.5\text{m} \sim$

$4\text{m}$ ,支护沿纵向每隔  $5\text{m} \sim 10\text{m}$  应设置环向变形缝,其宽度宜为  $10\text{mm} \sim 20\text{mm}$ 。

位于隧道附近地表的冲沟、陷穴、裂缝应予回填、铺砌,并设置地表水的引排设施。

2 含水砂层及软弱、膨胀性围岩的隧道设计应符合下列规定:

1) 衬砌应采用曲墙有仰拱的结构,必要时可采用钢筋混凝土或钢架混凝土结构;

2) 通过含水砂层时,施工前宜采取设置地表砂浆锚杆、从地表或沿隧道周边向围岩注浆等预加固措施;施工中可采用超前锚杆、超前小导管注浆或管棚等超前支护措施;

3) 通过软弱和膨胀性围岩时,宜采用圆形或接近圆形断面;

4) 根据具体情况,应对地表水和地下水作出妥善处理。

3 穿越岩溶、洞穴的隧道,应根据空穴大小、充填情况及其与隧道的关系、地下水情况,采取下列处理措施:

1) 对空穴水的处理应因地制宜,采用截、堵、排结合的综合治理措施;

2) 干、小的空穴,可采取堵塞封闭;有水且空穴较大,不宜堵塞封闭时,可根据具体情况,采取梁、拱跨越;

3) 当空穴岩壁强度不够或不稳定,可能影响隧道结构安全时,应采取支顶、锚固、注浆等措施。

4 通过含瓦斯地层的隧道,应采取下列防瓦斯措施:

1) 隧道应采用复合式衬砌,初期支护的喷射混凝土厚度不应小于  $15\text{cm}$ ,二次衬砌模筑混凝土厚度不应小于  $40\text{cm}$ ;

2) 衬砌应采用单层或多层全封闭结构,并选用气密性建筑材料,提高混凝土的密实性和抗渗性指标;

3) 衬砌施工缝隙应严密封填;

4) 应向衬砌背后或地层压注水泥砂浆,或采用内贴式、外贴式防瓦斯层,加强封闭。

5 通过放射性岩层的隧道,应根据放射性元素性质和放射强度,采用特殊方法设计。

## 5.2 衬砌结构计算

5.2.1 衬砌结构计算应符合下列规定:

1 暗挖隧道结构应按破损阶段法验算构件截面的强度。结构抗裂有要求时,对混凝土构件应进行抗裂验算,对钢筋混凝土构件应验算其裂缝宽度;

2 采用荷载结构法计算隧道衬砌时,应计入围岩对衬砌变形的约束作用,如弹性抗力。弹性抗力的大小及分布可根据衬砌在荷载作用下的变形、回填情况和围岩的变形性质等因素,采用局部变形理论,由下式计算确定:

$$\sigma = K\delta \quad (5.2.1)$$

式中: $\sigma$ ——弹性抗力强度;

$K$ ——围岩弹性抗力系数;

$\delta$ ——衬砌向围岩的变形值。

5.2.2 荷载计算应符合下列规定:

1 隧道结构上的荷载应按表 3.4.1 分类;

2 暗挖法隧道可分为深埋和浅埋两种类型,深埋、浅埋隧道划分标准如下:

$$\text{浅埋} \quad h < ah_q \quad (5.2.2-1)$$

$$\text{深埋} \quad h \geq ah_q \quad (5.2.2-2)$$

$$h_q = 0.45 \times 2^s \times [1 + i(B-5)] \quad (5.2.2-3)$$

式中: $h$ ——地下结构的埋深(顶板上覆地层的净高度);

$ah_q$ ——地下开挖的有效影响高度;

$\alpha$ ——有效影响系数,反映的是天然拱内外岩体的塌落与变形范围,一般取  $\alpha = 2.0 \sim 2.5$  (围岩愈软弱,  $\alpha$  愈宜取较大值);

$h_q$ ——天然拱的高度;

$s$ ——围岩的级别;

$B$ ——洞室的开挖跨度;

$i$ —— $B$  每增减 1m 时的围岩压力增减率,当  $B < 5\text{m}$  时,取  $i = 0.2$ ,  $B > 5\text{m}$  时,可取  $i = 0.1$ 。

3 浅埋隧道围岩压力计算方法如下:

1) 垂直荷载计算方法:对于地面基本水平的浅埋隧道,所受的荷载具有对称性,计算公式如下:

$$q = \gamma h \left( 1 - \frac{\lambda h \tan \theta}{B} \right) \quad (5.2.2-4)$$

$$\lambda = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \theta \tan \varphi_c]} \quad (5.2.2-5)$$

$$\tan \beta = \tan \varphi + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1) \tan \varphi_c}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (5.2.2-6)$$

式中: $\theta$ ——顶板土柱两侧摩擦角,当无实测资料时,可按照表 5.2.2-1 选取;

$\lambda$ ——侧压力系数;

$\gamma$ ——土的容重;

$B$ ——洞室的开挖跨度;

$\varphi_c$ ——围岩计算摩擦角;

$\beta$ ——产生最大推力时的破裂角。

表 5.2.2-1 土柱两侧摩擦角取值表

围岩级别	I、II、III	IV	V	VI
$\theta$	$0.9\varphi_c$	$(0.7 \sim 0.9)\varphi_c$	$(0.5 \sim 0.7)\varphi_c$	$(0.3 \sim 0.5)\varphi_c$

2) 水平压力计算方法:

$$e_i = \lambda \gamma h_i \quad (5.2.2-7)$$

式中: $h_i$ ——内外侧任意点至地面的距离;

$e_i$ ——水平压力。

浅埋隧道围岩压力示意图如图 5.2.2 所示。



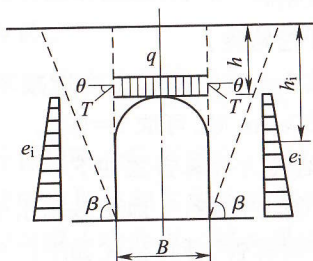


图 5.2.2 浅埋隧道围岩压力示意图

#### 4 深埋隧道围岩压力计算方法如下:

围岩中深埋隧道的围岩压力可视为松动荷载,其垂直匀布压力及水平匀布压力可按公式(5.2.2-8)计算:

$$q = \gamma h q \quad (5.2.2-8)$$

与之相应的侧向压力  $e$  的计算公式为

$$e = \eta q \quad (5.2.2-9)$$

式中: $\eta$ ——视围岩级别不同而按经验取值的侧向压力系数,可参照表 5.2.2-2 选取。

表 5.2.2-2 侧向压力系数取值表

围岩级别	I、II	III	IV	V	VI
$\eta$	0	0.15	0.15~0.3	0.3~0.5	0.5~1.0

#### 5.2.3 衬砌计算应符合下列规定:

- 1 整体式衬砌采用荷载结构法计算。
- 2 I级~III级围岩复合式衬砌的初期支护应主要按工程类比法设计;IV级~VI级围岩的支护参数应通过计算确定,计算方法为地层结构法。
- 3 复合式衬砌中的二次衬砌,I级~III级围岩中为安全储备,并按构造要求设计;IV级~VI级围岩中为承载结构,采用地层结构法计算内力和变形。

4 按破损阶段验算构件截面的强度,应根据不同的荷载组

合,分别采用不同的安全系数,并不小于表 5.2.3 所示的数值。验算施工阶段的强度时,安全系数可采用表 5.2.3“永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载”栏内的数值乘以折减系数 0.9。

表 5.2.3 钢筋混凝土结构的强度安全系数

破坏原因	荷载组合	
	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载
钢筋混凝土达到计算强度或混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7
混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0

### 5.3 竖井设计

#### 5.3.1 竖井的布置应符合下列规定:

- 1 竖井平面位置的选择应满足施工与运行的需要;
- 2 施工竖井宜结合永久竖井结构设置;
- 3 三通井及四通井,竖井平面尺寸应满足电缆最小转弯半径的要求;在满足电缆敷设的同时,尚应满足人员通行的要求;
- 4 竖井断面宜采用圆形,井筒内应设置安全梯。

5.3.2 竖井井口段、地质条件较差的井身段及马头门的上方宜设壁座,其形式、间距可根据地质条件、施工方法及衬砌类型确定。

5.3.3 竖井马头门施做时,不应同时施做两个及多个马头门。马头门处衬砌结构应加强。

5.3.4 竖井出口 2m~3m 处宜设置变形缝,且竖井底板高程应一致。

5.3.5 竖井应设置人员出入口,且应符合下列规定:

- 1 竖井未超过 5m 高时,可设置爬梯,且活动出入口尺寸不宜小于 800mm×800mm;

2 竖井超过 5m 高时,宜设置楼梯,且每隔 4m 宜设置中间平台;

3 竖井超过 20m 高且电缆数量多或重要性要求较高时,可设置简易式电梯。

#### 5.4 辅助工程措施

##### 5.4.1 井点降水应符合下列规定:

1 对地下水进行疏干或降压可采用井点降水。当工程规模较小,施工条件简单,且水量不大时,可采用重力排水或集水坑排水;

2 井点降水方法可按表 5.4.1 选用;

表 5.4.1 各类井点降水方法适用范围

降水方法 适用条件	单层轻型 井点	多层轻型 井点	喷射井点	管井井点	砂(砾)渗 井点
土层渗透系数 (m/d)	0.1~50	0.1~50	0.1~50	20~200	0.1~20
水位降低深度 (m)	3~6	6~12	8~30	>10	按下伏 强导水层 的水头、 导水性与 坑深确定

3 井点降水应使地下水位保持在基底以下 0.5m;

4 降水井点布置应符合下列规定:

- 1) 井点距暗挖隧道结构不应小于 2m;
- 2) 井点应沿暗挖隧道布置,在隧道终点应延长 1 倍以上的隧道横断面长度;
- 3) 暗挖隧道如地面无条件布置井点时,可在隧道内设置水平井点或采取其他隔水措施。

##### 5.4.2 超前导管和管棚应符合下列规定:

1 超前导管和管棚的设计参数可按表 5.4.2 选用。

表 5.4.2 超前导管和管棚支护设计参数值

支护形式	适用地层	钢管直径 (mm)	钢管长度(m)		钢管钻 设注浆孔 的间距 (mm)	钢管沿拱 的环向 布置间距 (mm)	钢管沿拱 的环向 外插角度	沿隧道纵向 的两排钢管 搭接长度 (m)
			每根长	总长度				
导管	土层	40~50	3~5	3~5	100~150	300~500	5°~15°	1
管棚	土层或不 稳定岩体	80~180	4~6	10~40	100~150	300~500	不大于 3°	1.5

注:1 导管和管棚采用的钢管应直顺,其不钻入围岩部分可不钻孔。

2 导管如锤击打入时,尾部应补强,前端应加工成尖锥形。

3 管棚采用的钢管纵向连接丝扣长度不小于 150mm,并应采用厚壁钢管制作。

2 导管和管棚注浆应符合下列规定:

1) 注浆浆液宜采用水泥或水泥砂浆;

2) 注浆浆液必须充满钢管及周围的孔隙并密实,其注浆量和压力应根据实验确定。

##### 5.4.3 注浆加固应符合下列规定:

1 注浆加固,在砂卵石地层中宜采用渗入注浆法;在砂层中宜采用劈裂注浆法;在黏土层中宜采用劈裂或电动硅化注浆法;在淤泥质软土层中,宜采用高压喷射注浆法。

2 隧道注浆,如条件允许宜在地面进行。如无条件,可在洞内沿周边超前预注浆,或施做导洞后对隧道周边进行径向注浆。

3 注浆材料应符合下列规定:

1) 具有良好的可注性;

2) 固结后收缩小,具有良好的粘结力和一定强度、抗渗、耐久和稳定性,当地下水有侵蚀作用时,应采用耐侵蚀性的材料;

3) 无毒并对环境污染小;

4) 注浆工艺简单,操作方便、安全。

4 注浆浆液应符合下列规定:

1) 预注浆和高压喷射注浆宜采用水泥浆、黏土水泥浆或化学浆液;

2) 壁后回填注浆宜采用水泥浆液、水泥砂浆或掺有石灰、黏土、粉煤灰等水泥浆液;

3) 注浆浆液配合比应经现场试验确定。

5 注浆孔距应经计算确定;壁后回填注浆孔应在初期支护结构施工时预留(埋),其间距宜为 2m~5m;高压喷射注浆的喷射孔距宜为 0.4m~2.0m。

6 注浆过程中应根据地质、注浆目的等控制注浆压力。注浆结束后应检查其效果,不合格者应补浆。注浆浆液达到设计强度后方可进行开挖。

## 6 顶管隧道

### 6.1 一般规定

6.1.1 顶管隧道采用以概率理论为基础的极限状态设计法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,以分项系数的设计表达式进行设计。

1 顶管管道按强度计算时,应采用下列极限状态计算表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (6.1.1-1)$$

式中: $\gamma_0$ ——管道的重要性系数,一般取 1.0,重要的电缆隧道取 1.1;

$S$ ——作用效应组合的设计值;

$R$ ——管道结构抗力设计值,钢筋混凝土管道按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定确定。钢管道按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定确定,其他材质管道按相应标准确定。

2 作用效应的组合设计值,应按下式确定:

$$S = \gamma_{G1} C_{G1} G_{1k} + \gamma_{G,sv} C_{sv} F_{sv,k} + \gamma_{Gh} C_h F_{h,k} + \gamma_{Gw} C_{Gw} G_{wk} + \varphi_c \gamma_Q (C_{Qv} Q_{vk} + C_{Qm} Q_{mk} + C_{Qt} F_{tk}) \quad (6.1.1-2)$$

式中: $\gamma_{G1}$ ——管道结构自重作用分项系数,可取  $\gamma_{G1} = 1.2$ ;

$\gamma_{G,sv}$ ——竖向水土压力作用分项系数,可取  $\gamma_{G,sv} = 1.27$ ;

$\gamma_{Gh}$ ——侧向水土压力作用分项系数,可取  $\gamma_{Gh} = 1.27$ ;

$\gamma_{Gw}$ ——管内电缆设备自重作用分项系数,可取  $\gamma_{Gw} = 1.2$ ;

$\gamma_Q$ ——可变作用的分项系数,可取  $\gamma_Q = 1.4$ ;

$C_{G1}, C_{sv}, C_h, C_{Gw}$ ——管道结构自重、竖向和侧向水土压力及管内

电缆设备自重的作用效应系数；

$C_{Qv}, C_{Qm}, C_{Qt}$ ——地面车辆荷载、地面堆积荷载、温度变化的作用效应系数；

$G_{1k}$ ——管道结构自重标准值；

$F_{sv,k}$ ——竖向水土压力标准值；

$F_{h,k}$ ——侧向水土压力标准值；

$G_{wk}$ ——管内电缆设备自重标准值；

$Q_{vk}$ ——车行荷载产生的竖向压力标准值；

$Q_{mk}$ ——地面堆积荷载作用标准值；

$F_{tk}$ ——温度变化作用标准值；

$\varphi_c$ ——可变荷载组合系数，对柔性管道取  $\varphi_c = 0.9$ ；  
对其他管道取  $\varphi_c = 1.0$ 。

**6.1.2** 顶管隧道结构按承载能力极限状态计算和按正常使用极限状态验算时，应按规定的荷载对结构的整体进行荷载效应分析；必要时，尚应对结构中受力状况特殊的部分进行更详细的结构分析。

**6.1.3** 顶管管径应根据设计功能及相关要求确定。顶管常用的管材有钢筋混凝土管、钢管和玻璃纤维增强塑料夹砂管。管材的选择应根据管径、管道用途、管材受力特性和地质条件等因素确定。对于各种管材制成的顶管管段，应满足性能要求，并符合施工工艺机械配备要求。

**6.1.4** 顶管应有足够的覆土厚度，覆土厚度应符合下列规定：

1 顶管覆土厚度一般不宜小于 1.5 倍管径，并应大于 1.5m。

2 穿越河道时应满足河道的规划要求，布置在河床的冲刷线以下，覆土厚度不宜小于 2.5m。

3 在有地下水地区及穿越河道时，顶管覆土厚度应满足管道抗浮要求。

**6.1.5** 顶管间距应符合下列规定：

1 互相平行的管道水平间距应根据土层性质、管道直径和管

道埋置深度等因素确定，一般情况下宜大于 1 倍的管道外径。

2 空间交叉管道的净间距，钢管不宜小于 1/2 管道外径，且不应小于 1.0m。钢筋混凝土管和玻璃纤维增强塑料夹砂管不宜小于 1 倍管道外径，且不宜小于 2m。

3 顶管底与建筑物基础底面相平时，直径小于 1.5m 的管道宜与建筑物基础边缘保持 2 倍管径间距，直径大于 1.5m 的管道宜保持 3m 净距。

4 顶管底低于建筑基础底标高时，其间距尚应满足地基土体稳定性的要求。

**6.1.6** 工作井设计的基本原则是：

1 工作井尺寸应按照顶管的管节长度、管节外径、顶管机尺寸、管底高程等参数确定；

2 接收井的控制尺寸应根据顶管机外径、长度、顶管机在井内拆除和吊装的需要以及工艺管道连接的要求等确定；

3 需计算顶管施工时顶推力对井身结构的影响；

4 尽可能减少工作井数量；

5 工作井的选址应尽量避免房屋、地下管线、池塘、架空线等不利于顶管施工的场所。

**6.1.7** 中继间设计的基本原则是：

1 中继间的设计允许顶力不应大于管节相应设计转角的允许顶力；

2 中继间的允许转角宜大于  $1.2^\circ$ ；

3 中继间的合力中心应可调节；

4 中继间顶力富裕量，第一个中继间不宜小于 40%，其余不宜小于 30%。

## 6.2 设计计算

**6.2.1** 顶管的结构计算包括以下内容：

1 顶力的估算。计算完成一次顶进过程（从工作井至接收

井)所需的最大顶推力。当估算的总顶推力大于管道允许顶力或工作井允许顶力时,需设置中继间或增加减阻措施。

2 管道允许顶力。计算管段传力面允许的最大顶力。

3 管道强度计算。计算管壁截面的最大环向应力、最大纵向应力、最大组合应力等。计算的应力应小于管壁截面的极限荷载值。

4 管壁稳定验算。计算柔性管道(钢管、玻璃纤维增强塑料夹砂管等)管壁截面失稳临界压力。计算的临界压力应大于管道外壁实际承受的水土压力值。

5 管道竖向变形验算。计算柔性管道(钢管、玻璃纤维增强塑料夹砂管等)在地面荷载等竖向荷载作用下产生的最大长期竖向变形,其变形量应不影响管道的正常使用。

6 钢筋混凝土管道裂缝宽度验算。计算钢筋混凝土管在长期效应作用下,处于大偏心受拉或大偏心受压状态时,最大裂缝宽度,其计算值应不影响管道正常使用。

6.2.2 管道的总顶力可按下式进行估算:

$$F_p = \pi D_0 L f_k + N_F \quad (6.2.2)$$

式中:  $F_p$ ——总顶力(kN);

$D_0$ ——管道的外径(m);

$L$ ——管道的设计顶进长度(m);

$f_k$ ——管道外壁与土的单位面积平均摩阻力(kN/m<sup>2</sup>),通过试验确定,对于采用触变泥浆减阻技术的宜按表 6.2.2-1 选用;

表 6.2.2-1 采用触变泥浆的管外壁单位面积平均摩擦阻力  $f_k$  (kN/m<sup>2</sup>)

土类 管材	土类			
	黏性土	粉土	粉、细砂土	中、粗砂土
钢筋混凝土	3.0~5.0	5.0~8.0	8.0~11.0	11.0~16.0
钢管	3.0~4.0	4.0~7.0	7.0~10.0	10.0~13.0

注:当触变泥浆技术成熟可靠、管外壁能形成和保持稳定、连续的泥浆套时,  $f_k$  值可直接取 3.0kN/m<sup>2</sup>~5.0kN/m<sup>2</sup>。

$N_F$ ——顶管机的迎面阻力(kN),不同类型顶管机的迎面阻力宜按表 6.2.2-2 选择计算式。

表 6.2.2-2 顶管机迎面阻力( $N_F$ )的计算公式

顶进方式	迎面阻力	式中符号
敞开式	$N_F = \pi(D_g - t)tR$	$t$ —工具管刃脚厚度(m)
挤压式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 (1 - e)R$	$e$ —开口率
网格挤压	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 \alpha R$	$\alpha$ —网格截面参数,取 $\alpha = 0.6 \sim 1.0$
气压平衡式	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 (\alpha R + P_n)$	$P_n$ —气压强度(kN/m <sup>2</sup> )
土压平衡和泥水平衡	$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 P$	$P$ —控制土压力(kN/m <sup>2</sup> )

注:1  $D_g$ ——顶管机外径(m)。

2  $R$ ——挤压阻力(kN/m<sup>2</sup>),取  $R = 300 \text{ kN/m}^2 \sim 500 \text{ kN/m}^2$ 。

6.2.3 后背的最低强度应能确保在设计顶力的作用下不被破坏,并能充分发挥千斤顶的顶进效率,且本身的压缩回弹量为最小。后背要有充分的强度,足够的刚度,表面要平直且垂直于顶进管道的轴线以及材质均匀,结构简单装拆方便等特点。后背土体的承载力应满足下列公式:

$$R_c \geq R_{f_{\max}} \quad (6.2.3-1)$$

$$R_c = K_x B H (h + H/2) \gamma K_b \quad (6.2.3-2)$$

式中:  $R_{f_{\max}}$ ——顶管段最大顶力(kN);

$K_x$ ——后背的土抗系数,如果管顶覆土浅,取  $K_x = 0.85$ ,

如果管顶覆土深,则  $K_x = \frac{0.5h}{H} + 1$ ;

$H$ ——后背墙高度(m);

$B$ ——后背墙宽度(m);

$h$ ——后背墙顶至地面的高度(m);

$\gamma$ ——后背土的容重(kN/m<sup>3</sup>);

$K_b$ ——被动土压力系数,  $K_b = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$ 。

#### 6.2.4 管道允许顶力验算应符合以下规定:

##### 1 钢筋混凝土管顶管传力面允许最大顶力可按式(6.2.4-1)计算:

$$F_{dc} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd} \phi_5} f_c A_p \quad (6.2.4-1)$$

式中:  $F_{dc}$ ——混凝土管道允许顶力设计值(N);

$\phi_1$ ——混凝土材料受压强度折减系数,可取 0.90;

$\phi_2$ ——偏心受压强度提高系数,可取 1.05;

$\phi_3$ ——材料脆性系数,可取 0.85;

$\phi_5$ ——混凝土强度标准调整系数,可取 0.79;

$f_c$ ——混凝土受压强度设计值(N/mm<sup>2</sup>);

$A_p$ ——管道的最小有效传力面积(mm<sup>2</sup>);

$\gamma_{Qd}$ ——顶力分项系数,可取 1.3。

##### 2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管传力面允许最大顶力可按式(6.2.4-2)计算:

$$F_{db} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd}} f_b A_p \quad (6.2.4-2)$$

式中:  $F_{db}$ ——玻璃纤维增强塑料夹砂管道允许顶力设计值(N);

$\phi_1$ ——玻璃钢材料受压强度折减系数,可取 0.90;

$\phi_2$ ——偏心受压强度提高系数,可取 1.00;

$\phi_3$ ——玻璃钢材料脆性系数,可取 0.80;

$f_b$ ——玻璃钢受压强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)。

##### 3 钢管顶管传力面允许的最大顶力可按式(6.2.4-3)计算:

$$F_{ds} = \frac{\phi_1 \phi_3 \phi_4}{\gamma_{Qd}} f_s A_p \quad (6.2.4-3)$$

式中:  $F_{ds}$ ——钢管管道允许顶力设计值(N);

$\phi_1$ ——钢材受压强度折减系数,可取 1.00;

$\phi_3$ ——钢材脆性系数,可取 1.00;

$\phi_4$ ——钢管顶管稳定系数,可取 0.36,当顶进长度小于 300m、穿越土层又均匀时,可取 0.45;

$f_s$ ——钢材受压强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)。

#### 6.2.5 管道强度计算应符合以下规定:

##### 1 钢管管壁截面的最大组合折算应力应满足下列公式要求:

$$\eta \sigma_\theta \leq f \quad (6.2.5-1)$$

$$\eta \sigma_x \leq f \quad (6.2.5-2)$$

$$\gamma_0 \sigma \leq f \quad (6.2.5-3)$$

$$\sigma = \eta \sqrt{\sigma_\theta^2 + \sigma_x^2} - \sigma_\theta \sigma_x \quad (6.2.5-4)$$

式中:  $\sigma_\theta$ ——钢管管壁横截面最大环向应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma_x$ ——钢管管壁的纵向应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma$ ——钢管管壁的最大组合折算应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\eta$ ——应力折减系数,可取 0.9;

$f$ ——管材的强度设计值。

##### 2 钢管管壁横截面的最大环向应力应按下列公式确定:

$$\sigma_\theta = \frac{N}{b_0 t_0} + \frac{6M}{b_0 t_0^2} \quad (6.2.5-5)$$

$$N = \varphi_c \gamma_Q F_{wd,k} r_0 b_0 \quad (6.2.5-6)$$

$$M = (\gamma_{G1} k_{gm} G_{1k} + \gamma_{G,sv} k_{vm} F_{sv,k} D_1 + \gamma_{Gw} k_{wm} G_{wk} +$$

$$\gamma_Q \varphi_c k_{vm} Q_{ik} D_1) r_0 b_0 / \left[ 1 + 0.732 \frac{E_d}{E_p} \left( \frac{r_0}{t_0} \right)^3 \right] \quad (6.2.5-7)$$

式中:  $b_0$ ——管壁计算宽度(mm),取 1000mm;

$\varphi_c$ ——可变作用组合系数,可取 0.9;

$t_0$ ——管壁计算厚度(mm),使用期间计算时设计厚度应扣除 2mm,施工期间可不扣除;

$r_0$ ——管的计算半径(mm);

$M$ ——在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向弯矩设计值(N·mm);

$N$ ——在荷载组合作用下钢管管壁界面上的最大环向

轴力设计值(N);

$E_d$ ——钢管管侧原状土的变形模量(N/mm<sup>2</sup>);

$E_p$ ——钢管管材弹性模量(N/mm<sup>2</sup>);

$k_{gm}$ 、 $k_{vm}$ 、 $k_{wm}$ ——钢管管道结构自重、竖向土压力和管内电缆重力作用下管壁截面的最大弯矩系数,可取土的支承角为120°,按表6.2.5-1确定;

$D_1$ ——管外壁直径(mm);

$Q_{ik}$ ——地面堆载或车载传递至管道顶压力的较大标准值。

表 6.2.5-1 最大弯矩系数和竖向变形系数

项目	最大弯矩系数			竖向变形系数
	管道自重 $k_{gm}$	竖向土压力 $k_{vm}$	管内电缆重力 $k_{wm}$	竖向压力 $k_b$
系数	0.083	0.138	0.083	0.089

3 钢管管壁的纵向应力可按下列公式核算:

$$\sigma_x = \nu_p \sigma_0 \pm \varphi_c \gamma_Q \alpha E_p \Delta T \pm \frac{0.5 E_p D_0}{R_1} \quad (6.2.5-8)$$

$$R_1 = \frac{f_1^2 + \left(\frac{L_1}{2}\right)^2}{2f_1} \quad (6.2.5-9)$$

式中: $\nu_p$ ——钢管管材泊松比,可取0.3;

$\alpha$ ——钢管管材线膨胀系数;

$\Delta T$ ——钢管的计算温差;

$R_1$ ——钢管顶进施工变形形成的曲率半径(mm);

$f_1$ ——管道顶进允许偏差(mm),具体偏差控制参考表6.2.5-2;

$L_1$ ——出现偏差的最小间距(mm),视管道直径和土质决定,一般可取50m。

表 6.2.5-2 顶管管道顶进允许偏差

检查项目		允许偏差(mm)		
1	直线顶管 水平轴线	顶进长度<300m	130	
		300m≤顶进长度<1000m	200	
		顶进长度≥1000m	100+L/10	
2	直线顶管 内底高程	顶进长度<300m	$D_i < 1500\text{mm}$ +60, -60	
		$D_i \geq 1500\text{mm}$	+80, -80	
		300m≤顶进长度<1000m	+100, -100	
		顶进长度≥1000m	+150, -100, -L/10	
3	曲线顶管 水平轴线	$R \leq 150D_i$	水平曲线	150
			竖曲线	150
			复合曲线	200
		$R > 150D_i$	水平曲线	150
			竖曲线	150
			复合曲线	150
4	曲线顶管 内底高程	$R \leq 150D_i$	水平曲线	+100, -150
			竖曲线	+150, -200
			复合曲线	±200
		$R > 150D_i$	水平曲线	+100, -150
			竖曲线	+100, -150
			复合曲线	±200
5	相邻 管间错口	钢管、玻璃钢管	2	
		钢筋混凝土管	15%壁厚,且≤20	
6		钢筋混凝土管曲线顶管相邻管间接口的最大间隙与最小间隙之差	ΔS	
7		钢管、玻璃钢管道竖向变形	0.03D <sub>i</sub>	
8		对顶时两端错口	50	

注:1  $D_i$ 为管道内径(mm); $L$ 为顶进长度(m); $\Delta S$ 为曲线顶管相邻管节接口允许的最大间隙与最小间隙之差(mm); $R$ 为曲线顶管的设计曲率半径(mm)。

2 对于长距离的直线钢顶管,除应满足水平轴线和高程允许偏差外,尚应限制曲率半径 $R_1$ ;当 $D_i \leq 1600\text{mm}$ 时,应满足 $R_1 \geq 2080\text{m}$ ;当 $D_i > 1600\text{mm}$ 时,应满足 $R_1 \geq 1260D_i$ 。

4 混凝土管道在组合作用下,管道横截面的环向内力可按下列公式计算:

$$M = r_0 \sum_{i=1}^n k_{mi} P_i \quad (6.2.5-10)$$

$$N = r_0 \sum_{i=1}^n k_{ni} P_i \quad (6.2.5-11)$$

式中:  $M$ ——管道横截面的最大弯矩设计值( $N \cdot mm/m$ );

$N$ ——管道横截面的轴力设计值( $N/m$ );

$r_0$ ——圆管的计算半径( $mm$ ),即自圆管中心至管壁中心的距离;

$k_{mi}$ ——弯矩系数,应根据荷载类别取土的支承角为  $120^\circ$ ,按表 6.2.5-3 确定;

$k_{ni}$ ——轴力系数,应根据荷载类别取土的支承角为  $120^\circ$ ,按表 6.2.5-3 确定;

$P_i$ ——作用在管道上的第  $i$  项荷载设计值( $N/m$ )。

表 6.2.5-3 圆形刚性管内力系数表

荷载类别 \ 内力系数	$k_{mA}$	$k_{mB}$	$k_{mC}$	$k_{nA}$	$k_{nB}$	$k_{nC}$
垂直均布荷载	0.154	0.136	-0.138	0.209	-0.021	0.500
管自重	0.100	0.066	-0.076	0.236	-0.048	0.250
管内电缆设备重	0.131	0.072	-0.111	0.258	-0.070	0.500
侧向主动土压力	-0.125	-0.125	0.125	0.500	0.500	0

注:内力系数的下标 A、B、C 分别表示圆形管道截面拱底、拱顶和水平位置处的系数。

5 玻璃纤维增强塑料夹砂管的强度应按下列公式计算:

$$\gamma_0 \eta_1 \alpha_f \sigma_{tm} \leq f_{th} \quad (6.2.5-12)$$

$$\gamma_0 \sigma_{tm} \leq f_{tm} \quad (6.2.5-13)$$

式中:  $\sigma_{tm}$ ——在外压力作用下,管壁最大的环向等效折算弯曲应力设计值( $MPa$ );

$f_{th}$ ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值( $MPa$ );

$f_{tm}$ ——管材的环向等效折算抗弯强度设计值( $MPa$ );

$\alpha_f$ ——管材的环向等效折算抗拉强度设计值与等效折算抗弯强度设计值的比值;

$\eta_1$ ——应力调整系数,可取 0.8。

6 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道在外压力作用下,管壁最大的环向等效折算弯曲应力可按下列公式计算:

$$\sigma_{tm} = D_i E_p \left( \frac{\omega_{d,max}}{D_0} \right) \left( \frac{t}{D_0} \right) \quad (6.2.5-14)$$

$$SN = \frac{E_p t^3}{12 D_0^3} \times 10^6 \quad (6.2.5-15)$$

式中:  $\omega_{d,max}$ ——管道的最大长期竖向变形( $mm$ ),可按本标准式(6.2.7-2)计算;

$E_p$ ——管材的环向弯曲弹性模量( $MPa$ );

$D_i$ ——管道的形状系数,刚度等级为  $15000N/m^2$  时,可取  $D_i = 3.8$ ,刚度等级为  $20000N/m^2$  时,可取  $D_i = 3.2$ ;

$SN$ ——管材的刚度。

6.2.6 稳定验算应符合以下规定:

1 钢管在真空工况作用下管壁截面环向稳定验算应满足下列要求:

$$F_{cr,k} \geq K_{st} (F_{sv,k} + q_{ik} + F_{vk}) \quad (6.2.6-1)$$

式中:  $F_{cr,k}$ ——管壁截面失稳临界压力标准值( $N/mm^2$ );

$F_{vk}$ ——管内真空压力标准值( $N/mm^2$ );

$F_{sv,k}$ ——管外水土压力标准值( $N/mm^2$ );

$q_{ik}$ ——地面堆载或车辆轮压传至顶管的压力标准值( $N/mm^2$ );

$K_{st}$ ——钢管管壁截面设计稳定性系数,可取 2.0。

2 钢管管壁截面的临界压力应按下列公式计算:

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2-1)}{3(1-\nu_p^2)} \left( \frac{t}{D_0} \right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2-1)(1+\nu_s)} \quad (6.2.6-2)$$



式中： $n$ ——管壁失稳时的折绕波数，其取值应使  $F_{cr,k}$  为最小并不小于 2 的正整数；

$\nu_s$ ——管两侧胸腔土的泊松比，应根据土工试验确定，一般对砂性土可取 0.30，对黏性土可取 0.40；

$\nu_p$ ——钢材的泊松比，可取 0.3；

$D_0$ ——管壁中心直径(mm)；

$E_p$ ——管材弹性模量(N/mm<sup>2</sup>)；

$E_d$ ——管侧土的变形模量(N/mm<sup>2</sup>)。

3 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道的管壁截面环向稳定验算，应满足下式的要求：

$$F_{cr,k} \geq K_{st}(F_{sv,k} + Q_{ik} \times 10^{-3} + F_{vk}) \quad (6.2.6-3)$$

式中： $F_{cr,k}$ ——管壁截面环向失稳的临界压力标准值(N/mm<sup>2</sup>)；

$K_{st}$ ——玻璃纤维增强塑料夹砂管管壁截面环向稳定性抗力系数，不应低于 2.5。

4 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道管壁环向失稳的临界压力同样可按式(6.2.6-2)确定，亦可按下式计算：

$$F_{cr,k} = \frac{8 \times 10^{-6} SN(n^2 - 1)}{1 - \nu_p^2} + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + \nu_s)} \quad (6.2.6-4)$$

6.2.7 柔性管道竖向变形验算应符合以下规定：

1 钢管管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大竖向变形应按下列式计算：

$$\omega_{c,max} = \frac{k_b r_0^3 (F_{sv,k} + \varphi_q Q_{ik}) D_1}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (6.2.7-1)$$

式中： $k_b$ ——竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数，按本标准表 6.2.5-1 确定；

$\varphi_q$ ——地面作用传递至管顶压力的准永久值系数；

$I_p$ ——钢管管壁单位纵向长度的截面惯性矩(mm<sup>4</sup>/m)。

2 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道在土压力和地面荷载作用

下产生的最大长期竖向变形应按下列式计算：

$$\omega_{d,max} = \frac{(F_{sv,k} + \varphi_q Q_{ik}) D_1 k_b}{8 \times 10^{-6} SN + 0.061 E_d} \quad (6.2.7-2)$$

## 6.3 工作井

6.3.1 工作井结构设计应根据工程地质和水文地质条件及城市规划要求，结合周围地面既有建筑物、管线状况，通过对技术、经济、环保等的综合比较，合理选择施工方法和结构形式。

6.3.2 工作井坑的设置应根据开挖方式、电缆敷设以及运行维护等要求确定。工作井的位置宜按以下因素确定：

- 1 利用管线上的工艺井；
- 2 便于排水、出土和运输；
- 3 靠近电源和水源；
- 4 远离居民区和高压线；
- 5 避免对周围建(构)筑物和设施产生不利的影响；
- 6 在有曲线又有直线的顶管中，工作井宜设在直线段的一端。

6.3.3 工作井可分为圆形、矩形和多边形三种。管线交叉的中间井和深度大的工作井宜采取圆形或多边形工作井。

6.3.4 工作井的最小长度可按下列公式进行计算：

1 当按顶管机长度确定时，工作井的最小内净长度可按下列式计算：

$$L \geq l_1 + l_3 + k \quad (6.3.4-1)$$

式中： $L$ ——工作井的最小内净长度(m)；

$l_1$ ——顶管机下井时最小长度(m)，如采用刃口顶管机应包括接管长度；

$l_3$ ——千斤顶长度，一般可取 2.5m；

$k$ ——后座和顶铁的厚度及安装富余量，可取 1.6m。

2 当按下井管节长度确定时，工作井的内净长度可按下列式

计算:

$$L \geq l_2 + l_3 + l_4 + k \quad (6.3.4-2)$$

式中:  $l_2$ ——下井管节长度: 钢管一般可取 6.0m, 长距离顶管时可取 8.0~10.0m; 钢筋混凝土管可取 2.5~3.0m; 玻璃纤维增强塑料夹砂管可取 3.0~6.0m。

$l_4$ ——留在井内的管道最小长度, 可取 0.5m。

**6.3.5** 工作井最小宽度可按以下公式进行计算:

1 浅工作井内净宽度可按下列公式计算:

$$B = D_1 + (2.0 \sim 2.4) \quad (6.3.5-1)$$

式中:  $B$ ——工作井的内净宽度(m);

$D_1$ ——管道的外径(m)。

2 深工作井内净宽度可按下列公式计算:

$$B = 3D_1 + (2.0 \sim 2.4) \quad (6.3.5-2)$$

**6.3.6** 工作井底板面深度可按公式计算:

$$H = H_s + D_1 + h \quad (6.3.6)$$

式中:  $H$ ——工作井底板面最小深度(m);

$H_s$ ——管顶覆土层厚度(m);

$h$ ——管底操作空间(m), 钢管可取  $h = 0.70\text{m} \sim 0.80\text{m}$ , 玻璃纤维增强塑料夹砂管和钢筋混凝土管等可取  $h = 0.4\text{m} \sim 0.5\text{m}$ 。

#### 6.4 辅助工程措施

**6.4.1** 顶管进、出工作井时应根据工程地质和水文地质条件、埋设深度、周围环境和顶进方法, 选择技术经济合理的技术措施, 并应符合下列规定:

1 应保证顶管进、出工作井和顶进过程中洞圈周围的土体稳定。

2 应满足顶管机切削能力的要求。

3 洞口周围土体含地下水时, 若条件允许可采取降水措施,

或采取注浆等措施加固土体以封堵地下水; 在拆除封门时, 顶管机外壁与工作井之间应设置洞口止水装置, 防止顶进施工时泥水渗入工作井。

4 工作井洞口封门拆除应符合下列规定:

1) 钢板桩工作井, 可拔起或切割钢板桩露出洞口, 并采取措  
施防止洞口上方的钢板桩下落;

2) 工作井的围护结构为沉井工作井时, 应先拆除洞圈内侧  
的临时封门, 再拆除井壁外侧的封板或其他封填物;

3) 在不稳定土层中顶管时, 封门拆除后应将顶管机立即顶  
入土层。

5 拆除封门后, 顶管机应连续顶进, 直至洞口及止水装置发  
挥作用为止。

6 在工作井洞口范围可预埋注浆管, 管道进入土体之前可预  
先注浆。

**6.4.2** 对顶管施工影响范围内的地上、地下建(构)筑物应制订详  
细的监测与保护措施。

**6.4.3** 对有地下水影响的顶管工程, 应根据工程规模、工程地质、  
水文地质、周围环境等要求, 制订降排水方案。

## 7 盾构隧道

### 7.1 一般规定

7.1.1 隧道的断面形状除应满足电缆敷设的要求外,还应根据受力分析、施工难度、经济性等因素确定,宜优先采用圆形断面。

7.1.2 盾构隧道的平面线形宜选用直线和大曲率半径的曲线。

7.1.3 盾构法施工的电缆隧道的覆土厚度不宜小于隧道外径,局部地段无法满足时应采取必要的措施。

7.1.4 盾构法施工的平行隧道间的净距应根据地质条件、盾构类型、埋设深度等因素确定,且不宜小于隧道外径,无法满足时应做专项设计并采取相应的措施。

### 7.2 荷载

7.2.1 垂直土压力大小宜根据隧道的覆土厚度、断面形状、外径和围岩条件等来确定,可按下列规定计算:

1 当覆土厚度不大于隧道外径时,宜采用总覆土压力。

2 当覆土厚度大于隧道外径时,可采用松弛土压力,但对于中等固结的黏土( $4 \leq N < 8$ ,  $N$  为标准贯入击数)和软黏土( $2 \leq N < 4$ ),宜采用总覆土压力。单圆隧道松弛土压力可参照太沙基公式进行计算(图 7.2.1):

$$h_0 = \frac{B_1 \left(1 - \frac{C}{B_1 \gamma}\right)}{K_0 \operatorname{tg} \varphi} \left(1 - e^{-K_0 \operatorname{tg} \varphi \frac{H}{B_1}}\right) + \frac{P_0}{\gamma} e^{-K_0 \operatorname{tg} \varphi \frac{H}{B_1}} \quad (7.2.1-1)$$

$$B_1 = R_0 \cot \left[ \frac{\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}}{2} \right] \quad (7.2.1-2)$$

$$\sigma_v = h_0 \gamma \quad (7.2.1-3)$$

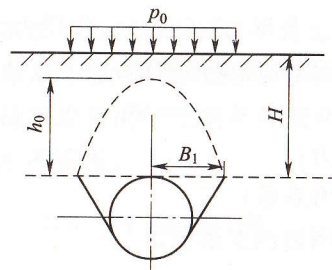


图 7.2.1 塌落拱高度示意图

但在  $P_0/\gamma < H$  时可使用下式:

$$h_0 = \frac{B_1 \left(1 - \frac{C}{B_1 \gamma}\right)}{K_0 \operatorname{tg} \varphi} \left(1 - e^{-K_0 \operatorname{tg} \varphi \frac{H}{B_1}}\right) \quad (7.2.1-4)$$

式中:  $\sigma_v$ ——松弛土压力;

$h_0$ ——土的塌落拱高度;

$K_0$ ——水平土压力与竖向土压力的比值,通常取  $K_0 = 1$ ;

$\varphi$ ——土的内摩擦角( $^\circ$ );

$C$ ——土的黏聚力;

$P_0$ ——上覆荷载;

$\gamma$ ——土的容重;

$H$ ——隧道覆土厚度;

$R_0$ ——一次衬砌的外半径。

3 当覆土厚度不小于两倍隧道外径且采用松弛土压力计算时,宜设定一个土压力下限值,一般取相当于两倍隧道外径覆土厚度的土压力值。

7.2.2 地基抗力的作用范围、分布形状和大小应根据结构形式、变形特性、计算方法等因素来确定。可采用以下两种计算方法:

1 常用算法,适用于单圆隧道。将隧道底部的地基抗力取与垂直荷载相平衡的均布反力;隧道侧面的水平方向地基抗力作

用在衬砌水平直径上下各 45° 中心角的范围内,分布形状为以水平直径处为顶点的三角形(图 7.2.2),作用力大小可根据衬砌向围岩方向的变形,采用局部变形理论,按下式计算:

$$q = k\delta \quad (7.2.2)$$

式中:  $q$ ——地基抗力;  
 $k$ ——地基抗力系数;  
 $\delta$ ——衬砌向围岩的变形值。

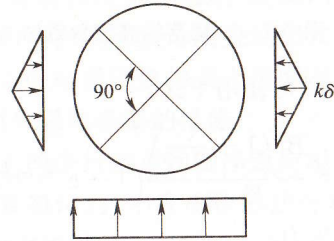


图 7.2.2 地基抗力计算模型

2 利用地基弹簧模型来模拟管片环与地基间的相互作用。

### 7.3 衬砌结构计算

#### 7.3.1 结构计算的基本原则:

1 隧道的结构计算应对应于施工过程和运行状态下不同阶段的荷载进行;

2 管片环的计算尺寸应取隧道横断面的形心尺寸。

7.3.2 管片结构的计算方法应根据地质条件、接头形式、拼装方式等因素确定,可采用均质圆环法、多铰圆环法和梁-弹簧法等方法。当采用均质圆环法时应符合以下规定:

1 管片环模型:将接头部分弯曲刚度的降低简化为管片环整体刚度的降低,管片环是具有弯曲刚度为  $\eta EI$  (弯曲刚度折减系数  $\eta \leq 1$ ) 的均质圆环;

2 错缝拼装中管片主截面的设计弯矩为  $(1 + \zeta)M$ , 其中弯

矩增大系数  $\zeta \leq 1$ ;

3 地基抗力选用第 7.2.2 条中的第一种方法;

4 管片内力计算方法参照本标准附录 B 确定;

5 当存在偏压荷载或者由于土壤条件变化产生非均匀变化荷载的情况下,该方法不适用。

### 7.4 衬砌结构

7.4.1 盾构法隧道宜选用装配式钢筋混凝土单层衬砌。

7.4.2 在竖井的位置或预期需要拆除的区段,可采用钢管片或钢与钢筋混凝土的复合管片。

7.4.3 管片宜采用接头具有一定刚度的柔性结构,应限制荷载作用下变形和接头张开量,满足其受力和防水要求。

7.4.4 管片的拼装方式有通缝拼装和错缝拼装两种,电缆隧道中应根据地质条件、防水要求等确定。

7.4.5 楔形管片环按其功能可分为左转弯环、右转弯环、通用楔形环和楔形垫板环。使用时应符合下列规定:

1 盾构隧道平、竖曲线的线路是通过不同管片衬砌环的组合来拟合的;

2 楔形管片环的最大宽度宜采用标准管片宽度加上楔形量的一半;

3 通用楔形环宜采用两侧楔形设计;

4 楔形量可按式计算:

$$\Delta = \frac{2D(m+n)S}{n(2R-D)} \quad (7.4.5)$$

式中:  $\Delta$ ——楔形量;

$S$ ——标准管片环宽度;

$R$ ——设计曲线曲率半径;

$D$ ——隧道外径;

$m$ ——标准管片环使用数量;

$n$ ——楔形管片环使用数量。

#### 7.4.6 管片的尺寸应符合下列规定：

1 电缆隧道管片的环宽应根据盾构机情况、隧道外径、曲线段拟合、施工速度、防水性等来确定。

2 管片的厚度应根据隧道外径、管片自重、地质条件、使用阶段及施工阶段的荷载情况等确定，钢筋混凝土管片厚度不得小于250mm。

3 管片的分块应根据隧道外径、拼装方式、盾构设备、结构分析、制作和运输等来确定，并符合下列规定：

- 1)分块数量不宜小于5块；
- 2)宜保证千斤顶不压缝操作；
- 3)采用通用楔形环时应注意各拼装点位的旋转设计。

7.4.7 管片的接头结构应根据所需要的强度、组装的准确性、作业方便性和防水性确定。设计时宜采用螺栓接头，采用螺栓接头时应符合下列规定：

1 环向螺栓(管片块与块之间的连接螺栓)的配置应满足衬砌结构所要求的强度和刚度；

2 纵向螺栓(管片环与环之间的连接螺栓)一般配置一排，其位置宜在距离管片内侧 $1/4\sim 1/2$ 管片厚度的地方；

3 纵向螺栓的配置应满足错缝拼装和曲线施工时的选装要求，宜在圆周上等间距配置或者分组等间距配置；

4 螺栓孔的直径应略大于螺栓的直径。

7.4.8 管片上应设置可用于二次补浆的壁后注浆孔。混凝土平板型管片可将注浆孔同时兼作起吊环使用，钢管片应另行设置起吊环。

7.4.9 细部设计应满足以下要求：

- 1 对管片应进行防蚀、防锈处理；
- 2 在使用钢制管片或球墨铸铁管片内浇筑二次衬砌混凝土时，必须事前在这些管片上设置排气口；

3 钢管片应设置用于加固管片接头板和提高接头刚度的加劲板；

4 混凝土管片应在其边缘设置倒角等，以防止缺损；

5 管片上应标有管片类型和型号；

6 管片环朝向千斤顶的一面宜设置传力衬垫，防止环面混凝土被顶碎；

7 管片拼装精度要求高时宜在管片上设置定位标识或者采取相应的措施；

8 钢筋的配置应符合下列规定：

1)主筋的混凝土保护层厚度：迎水面不应小于50mm，背水面不应小于40mm；

2)钢筋不宜设置接头，在螺栓孔、手孔和注浆孔等薄弱位置应设置相应的孔口加强筋。

7.4.10 管片制作和拼装的尺寸精度应根据管片种类、所用材料、制造方法等来确定。

## 7.5 竖井结构

7.5.1 竖井结构设计应根据工程地质和水文地质条件及城市规划要求，结合周围地面既有建筑物、管线状况，通过对技术、经济、环保等的综合比较，合理选择施工方法和结构形式。

7.5.2 中间竖井的设置应根据电缆的敷设要求、运行检修、通风、消防等因素确定。

7.5.3 始发竖井和到达竖井尺寸应按以下原则确定：

1 盾构两侧应预留0.75m~2.00m的作业空间，盾构下侧应预留盾构组装、隧道内排水所需的空間；

2 当竖井为三通井或者四通井时，应满足电缆及设备的安装和运行维护要求；

3 始发竖井在盾构前后应预留始发推进时渣土的运出、管片的运入及其他作业需要的空间。

7.5.4 始发竖井和到达竖井的开口结构应符合下列规定:

- 1 开口结构尺寸应比盾构外径大 10cm~20cm;
- 2 开口结构一般采用薄壁混凝土墙,始发到到达之前应按小分片拆除临时挡土墙体,以确保施工的可靠性和安全性;
- 3 开口结构应设置洞口密封圈,待壁后注浆浆液完全硬化后应浇筑洞口混凝土。

## 7.6 辅助工程措施

7.6.1 为控制隧道变形及地层沉陷,盾构法隧道必须进行壁后注浆。壁后注浆可分为同步注浆、即时注浆和二次注浆。应根据地质条件、环境要求、设备情况以及穿越建(构)筑物等选择合理的注浆方式和材料,并符合下列规定:

1 浆液材料应满足可充填性、流动性、黏度、强度、水密性、凝结时间、收缩率、环保等要求;

2 以下情况应进行二次注浆:

- 1)对地表沉降有严格要求或者需提高抗渗透效果时;
- 2)同步注浆浆液未能填充密实时。

7.6.2 盾构始发、到达、急曲线、小覆土部位围岩易出现不稳定现象,当可能发生开挖面坍塌,地表面下陷时,应根据围岩条件、盾构形式、环境等因素,采用安全、合理的加固方法,如注浆加固、搅拌桩、旋喷桩、冻结法、降水法或组合加固等。

1 盾构始发和到达端头加固应满足以下要求:

- 1)端头加固纵向长度不宜小于 6m,横向和深度加固范围宜为盾构外围 3m;
- 2)加固土体的无侧限抗压强度不宜小于 1MPa,渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-7}$  cm/s。

2 当始发井的洞口段处于砂性土或者有承压水地层时,宜首先采取降水措施。降水设计应遵循下列原则:

1)当降水深度为 3m~6m 时,可采用井点降水;当深度大

于 6m 时,可采用深井降水;

2)井点的布置应根据地层的渗透系数、降水范围及降水深度等因素确定。

3 注浆加固应遵循下列原则:

1)浆液材料应根据工程要求、地质情况确定,并进行室内配比试验;

2)注浆钻孔间距宜为单孔浆液扩散半径的 1.4 倍~1.7 倍。

4 始发井洞门外侧土体可采用深层搅拌法加固;当洞门埋深超过搅拌机械加固深度、洞门有地下管线而采用搅拌桩有困难的情况下,可采用高压旋喷桩进行地基加固。

5 当用其他方法难以达到稳定开挖面时,可采用冻结法。

7.6.3 盾构穿越既有管线和建构筑物时应满足以下要求:

1 必须进行事前调查,预测盾构推进带来的周围地基的变形和对既有建筑物的影响。预测结果认为对既有建筑物的功能及结构上有可能带来障碍时,应根据情况采取对策。

2 在通过重要建(构)筑物时应根据规范和相关产权单位的要求,以及经验设定变形容许值,并在相应的位置布设监测点。

## 8 工程防水

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 电缆隧道防水应遵循“防、堵结合,综合治理”的原则,保证电缆隧道结构和电缆、其他电气设备的正常使用。电缆隧道防水设计应根据地表水、地下水和毛细管水等的作用,以及由于人为因素引起的附近水文地质改变来确定。

**8.1.2** 电缆隧道应采用全封闭的防水设计,其附建的电缆隧道出入口的防水设防高度应高出室外地坪高程 500mm 以上。

**8.1.3** 电缆隧道应满足下列要求:

- 1 隧道拱部、边墙、路面不渗水;
- 2 有冻害地段的隧道、竖井衬砌背后不积水,排水沟不冻结。

**8.1.4** 电缆隧道的变形缝、施工缝、后浇带、穿墙管(盒)、预埋件、预留通道接头等细部构造应加强防水措施。

**8.1.5** 电缆隧道的排水管沟、出入口、通风口等应有防倒灌措施,寒冷及严寒地区的排水沟应有防冻措施。

### 8.2 防水

**8.2.1** 电缆隧道的防水等级应不低于二级,各等级防水标准应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

**8.2.2** 电缆隧道的防水设防要求应根据使用功能、使用年限、水文地质、结构形式、环境条件、施工方法及材料性能等因素合理确定,明挖隧道、暗挖隧道应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求,顶管隧道和盾构隧道应满足表 8.2.2-1 和表 8.2.2-2 的要求。

表 8.2.2-1 顶管施工的电缆隧道防水设防要求

防水等级	工程部位 顶管主材	接缝防水						
		钢套管 或钢(不锈 钢)圈	钢 (不锈钢) 或玻璃套筒	弹性 密封 填料	密封 胶圈	橡胶 密封胶圈	预水 膨胀 橡胶	木垫圈
二级	钢管	—	—	—	—	—	—	—
	钢筋混凝土管	必选	—	必选	必选	—	必选	必选
	玻璃纤维增强 塑料夹砂管	—	必选	—	—	必选	—	—

表 8.2.2-2 盾构法施工的电缆隧道防水设防要求

防水措施 防水等级	高精度管片	接缝防水				外防水涂料
		弹性 密封垫	嵌缝	注入 密封剂	螺孔 密封垫	
二级	必选	必选	部分 区段 宜选	可选	必选	对混凝土有 中等以上腐蚀 的地层宜选

**8.2.3** 电缆隧道防水混凝土的抗渗等级:有冻害地段及最冷月份平均气温低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 的地区应不低于 P8,其余地区应不低于 P6。防水混凝土设计抗渗等级的选择尚应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求。

**8.2.4** 隧道采用复合式衬砌时,在初期支护与二次衬砌之间应设置防水层,防水层的选择应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求。

**8.2.5** 电缆隧道二次衬砌的施工缝、变形缝、后浇带等应采取可靠的防水措施,并符合下列规定:

1 电缆隧道防水混凝土应连续浇注,宜少留施工缝。当留设施工缝时,应符合下列规定:

- 1) 墙体水平施工缝不应留在剪力最大处或底板与侧墙的交

接处,应留在高出底板表面不小于 300mm 的墙体上,拱(板)墙结合的水平施工缝宜留在拱(板)墙接缝线以下 150mm~300mm 处,墙体有预留孔洞时,施工缝距孔洞边缘不应小于 300mm。

2)垂直施工缝应避开地下水和裂隙水较多的地段,并宜与变形缝相结合。

2 施工缝、变形缝、后浇带、穿墙管(盒)、埋设件、预留通道接头、孔口和集水坑等细部构造防水应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求。

8.2.6 有侵蚀性地下水时,应针对侵蚀类型,采用抗侵蚀混凝土,压注抗侵蚀浆液,或铺设抗侵蚀防水层。

8.2.7 围岩破碎、涌水易坍塌地段,可向围岩内预注浆。

8.2.8 盾构隧道管片接缝应至少设置一道密封垫沟槽。管片接缝密封垫应满足在设计水压下、在计算的接缝最大张开量和估算的错位量不渗漏的技术要求。

8.2.9 盾构隧道防水材料的规格、技术性能和螺孔、嵌缝槽等部位的防水措施除满足设计要求外,尚应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求。

## 9 通风及消防

### 9.1 隧道通风

9.1.1 电缆隧道通风设计应符合以下规定:

1 电缆隧道内的温度应满足设备正常运行要求,并设置相应的通风降温措施;

2 当采用通风降温措施困难或难以保障隧道内的温度要求,经过技术经济比较后,可以采用其他辅助降温措施;

3 电缆隧道内各降温措施应同时满足现行国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019 相关规定的要求。

9.1.2 电缆隧道通风计算参数按照现行国家标准《小型火力发电厂设计规范》GB 50049 相关规定确定,排风温度不应高于 40℃,进、排风温差不宜大于 10℃。

9.1.3 电缆隧道通风量应同时符合下列规定:

1 消除余热通风量,宜按隧道电缆正常运行状态下最大载流量通过能力计算;

2 人员检修新风量,宜按  $30\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$  计;

3 每个通风区段的事事故通风量,宜按最小换气次数 6 次/h 计。当采用其他辅助降温设施时,设备容量的选取应满足及时排除电缆发热量要求,同时满足人员检修时新风量和事故通风量的要求。

9.1.4 电缆隧道内可采用自然通风或机械通风方式。自然通风方式要求通风区域较短,且进、排风口高差应保证足够余压使隧道内空气产生有效流动。机械通风隧道内风速不宜大于 5m/s。进、排风孔处应设置防止小动物进入的设施。

9.1.5 采用空调系统作为隧道内降温措施时,空调送风口及水系



统管道不应布置在电缆正上方。

9.1.6 机房及风口布置应符合下列规定：

- 1 通风降温用机房可设置在地面风亭或隧道内部。也可根据实际情况，与人员出入口建筑相结合；
- 2 地面风亭应与周边环境协调布置，并满足城市规划的要求；
- 3 风口下沿距室外地坪不宜低于0.5m，并满足挡水要求；
- 4 排风口应避免直接吹到行人或附近建筑，直接朝向人行道的排风口出风速度不宜超过3m/s。进风口应设置在空气洁净的地方。

## 9.2 隧道消防

9.2.1 电缆隧道消防设计应采取“预防为主、防消结合”的原则。

9.2.2 当采用阻燃电缆时，电缆隧道的火灾危险性类别为戊类，最低耐火等级为二级；当采用一般电缆时，电缆隧道的火灾危险性类别为丙类，最低耐火等级为二级。

9.2.3 电缆隧道内按工程的重要性、火灾概率及其特点和经济合理等因素，宜采用下列一种或多种安全措施：

- 1 实施防火构造；
  - 2 对电缆通道和电缆本身实施阻燃防护和防止延燃；
  - 3 设置消防器材；
  - 4 设置火灾自动监控报警系统。
- 9.2.4 电缆贯穿隔墙、竖井的孔洞处、电缆引至控制设施处等均应实施具有足够机械强度的防火封堵。防火封堵材料应密实无气孔，封堵材料厚度不应小于100mm。
- 9.2.5 弱电、控制电缆等低压电缆及光缆应与电缆隧道内其他设施分隔，可采用耐火槽盒或穿管敷设。耐火槽盒接缝处和两端应用防火封堵材料或防火包带密封。耐火槽盒应同时确定电缆载流能力或相关参数。

9.2.6 采用的防火阻燃材料、产品应适用于电缆隧道工程环境，并具有耐久可靠性。

9.2.7 电缆隧道内电缆的阻燃防护和防止延燃措施应同时符合现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB 50217的相关规定。

9.2.8 在电缆隧道的进出口处、接头区和每个防火分区内，均宜设置灭火器、黄砂箱等消防器材。

9.2.9 电缆隧道中可设置火灾监控报警系统。

9.2.10 火灾监控报警系统宜采用线型感温探测器。探测器应具有联动报警功能，火灾时可联动主机，及时把信息发至值班室，联动关闭风机。

9.2.11 火灾监控报警系统的电源回路应选用耐火电缆。

9.2.12 有特殊需要时，可在电缆隧道各井腔内设置电话线插座。

## 10 排 水

10.0.1 电缆隧道的排水应满足各项排水的要求,排放应符合国家或当地现行有关排放标准。

10.0.2 电缆隧道排水系统应能排除隧道的结构渗漏水、地面井盖的雨水渗漏水及隧道内的冲洗水等。

10.0.3 电缆隧道露天出入口及敞开通风口应计算雨水排放量,设计重现期取  $P=50$  年。

10.0.4 电缆隧道内应采取有组织的排水,隧道内纵向排水坡度不宜小于 5‰,并坡向集水井。

10.0.5 电缆隧道应结合隧道工作井、通风口、出入口、隧道纵坡最低处等设置集水井,采用潜水排水泵提升至就近市政排水系统,排水泵出水管路上应设止回阀,以防止雨水倒灌。如有条件应直接排入市政排水系统,且确保市政雨、废水不能倒灌至隧道。

10.0.6 应采取措施防止电缆隧道内雨、废水进入变电站。

10.0.7 集水井内潜水排水泵宜采用两台,一用一备,必要时同时启动。

10.0.8 排水泵集水井有效容积宜按最大一台排水泵 15min~20min 流量计算。

10.0.9 排水管材宜采用镀锌钢管、钢塑复合管,螺纹或沟槽式连接。

10.0.10 排水泵的控制应符合下列规定:

1 排水泵应设计为自灌式,一般采用自动和就地控制方式,必要时可采用远动控制;

2 排水泵按二级负荷供电,排雨水时按一级负荷供电;

3 排水泵的集水井应设最高水位、启泵及停泵水位信号,并宜设超高、超低水位信号报警功能;

4 排水泵的工作状态、故障状态及集水井水位信号宜在电缆隧道中心控制室显示。

## 11 照明、动力及监控

### 11.1 一般规定

11.1.1 电缆隧道低压配电系统宜采用专用变压器、双电源供电。每路电源均应满足该供电范围内全部设备同时投入时用电的需要。

11.1.2 供电网络设计应符合规划的要求。低压配电系统电压为380/220V,宜使三相负荷平衡。

11.1.3 配电变压器的负荷率不宜大于70%。变压器宜选用结线组别为D,yn11的三相配电变压器,并应正确选择变压比和电压分接头。

11.1.4 电源计量表计安装位置应符合当地供电部门的要求。

11.1.5 电源分电箱应安装在人员进出口处。电源分电箱可兼作低压用电配电箱,在箱内除需安装照明电源总开关和动力用电总开关外,还应设置电源切换装置。配电箱应留有适当的备用出线回路。

11.1.6 电源分电箱和低压配电箱外壳防护等级不应低于IP54。安装高度宜为箱底距地面1.5m。箱内每回路宜设漏电保护装置。

11.1.7 配电系统的接地类型宜采用TN-S系统,电源分电箱、低压配电箱、灯具、风机、水泵及控制箱屏等的外露可导电部分应就近接地。接地电阻满足本标准第12.2节要求。

11.1.8 照明、插座、风机、水泵及消防控制箱回路均应接自不同回路。

11.1.9 低压配电线路的导线应选用铜芯绝缘导线,导线截面应按回路计算电流进行选择,按允许电压损失、机械强度允许的最小导线截面进行校验。

正常运行情况下,用电设备端子处电压偏差允许值(以额定电压的百分数表示)可按下列规定验算:

1 一般电动机 $\pm 5\%$ ;

2 照明 $+5\%$ , $-10\%$ 。

11.1.10 进入隧道的外部线路应穿管埋设电缆。隧道内低压配电线路宜采用耐火电线、电缆明敷,或电线电缆穿阻燃型硬质管明敷(不同负荷回路应分管敷设),或统一敷设在封闭式耐火电缆桥架内。

导线(包括绝缘层)截面积的总和不应超过管内截面积的40%,或管子内径不小于导线束直径的1.4倍~1.5倍。

### 11.2 照明

11.2.1 隧道应设置正常照明、应急照明和过渡照明。应急照明主要是疏散照明。

11.2.2 照明灯具应采用节能、防潮型灯具。灯具外壳应带单独接地线。

11.2.3 在隧道内人行通道上的平均照度值不应小于15lx,显色指数(Ra)应大于60。疏散照明的平均照度值不应小于0.5lx。在隧道出入口处应设计过渡照明。过渡照明设计宜优先采用自然光过渡,当自然光过渡不能满足要求时,应增加人工照明过渡。

11.2.4 隧道内正常照明灯具的布置宜采用沿隧道顶棚中线均匀布置。疏散照明应由安全出口标志灯和疏散标志灯组成。安全出口标志灯宜安装在隧道出入口上方,疏散标志灯宜设置在隧道内人行通道两侧距地面高度为1.0m~1.2m的电缆支架外侧。

11.2.5 应急照明电源除正常电源外,宜选用另一路供电线路与自带电源型应急灯相结合的供电方式。正常电源故障后,应急电源投入的转换时间应不大于15s。应急照明电源的持续工作时间不应少于30min。

11.2.6 照明系统中每一单相回路不宜超过16A,单独回路的灯

具数量不宜超过 25 个。

**11.2.7** 每个防火分区应有独立的应急照明回路,穿越不同防火分区的线路应有防火措施。

**11.2.8** 照明开关应采用双控开关,开关应选用防水防尘型,其安装高度宜为 1.3m。

**11.2.9** 照明线路分支导线截面不应小于  $2.5\text{mm}^2$ 。中性线(N线)及保护地线(PE线)截面应与相线截面相同。

**11.2.10** 电缆隧道内控制系统应满足下列要求:

- 1 电缆隧道通风系统应具备就地控制和远程控制;
- 2 电缆隧道内宜设置温度和火灾探测器,当隧道内发生异常情况时,应能及时把信息发送至值班室;
- 3 由温度监测器发出的信号应能自动启动风机。风机及辅助降温设施应能在隧道内发生火灾时自动关闭。

### 11.3 动力

**11.3.1** 隧道出入口处应设置检修用动力插座,也可根据运行、安装的需要,在隧道内设置。动力插座安装位置应满足防水和使用要求。

**11.3.2** 插座应选用三级式、防水防尘型,额定电压应为 250V,额定电流不得小于 10A。

**11.3.3** 每个插座回路的插座数量不宜超过 10 个。

**11.3.4** 隧道内通风和火灾自动报警系统的供电系统应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116、《建筑设计防火规范》GB 50016、《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 的有关规定,同时满足以下要求:

- 1 电缆隧道的消防用电应按二级负荷要求供电;
- 2 火灾自动报警系统主电源的保护开关不应采用漏电保护开关;
- 3 通风配电箱进线主开关回路中应串入消防联动控制模块。

### 11.4 监视与控制

**11.4.1** 隧道内宜配置环境监控系统,采用在线实时监控模式对电缆隧道集中监控,宜具有以下功能:

- 1 实时监测隧道环境温度;
- 2 可燃气体、氧气、有害气体监测;
- 3 实时监控电缆隧道内积水水位;
- 4 视频监控及门禁子系统、电缆井盖状态监测和远程开启;
- 5 风机状态监测和远程开启。

**11.4.2** 隧道进出口和工作井处宜设置安全监视系统,可以远程遥控,并且具有感应启动的功能。

**11.4.3** 电缆隧道内的通信系统宜为固定式通信系统,电话应与值班室接通,信号应与通信网络接通。另外,隧道人员进出口或每一防火分区内应设置一个通信点。

## 12 其他设施

### 12.1 电缆支架

12.1.1 隧道内电缆支架宜根据“同一电压等级的电缆通用同一尺寸的支架”的原则进行设计。

12.1.2 电缆支架的层间垂直距离应满足敷设电缆及其固定、安置接头的要求,同时应满足电缆纵向蛇形敷设幅宽及温度升高所产生的变形量要求。电缆支架间的最小净距不宜小于表 12.1.2 的规定。

表 12.1.2 电缆支架的层间最小净距

电缆类型及敷设特征		支架层间最小净距(mm)
控制电缆		120
电力电缆	电力电缆每层多于一根	$2d+50$
	电力电缆每层一根	$d+50$
	电力电缆三根品字形布置	$2d+50$
	电缆敷设于槽盒内	$h+80$

注: $h$ 表示槽盒外壳高度, $d$ 表示电缆最大外径。

12.1.3 电缆支架离顶板或梁底的最小净距,当最上层支架放置电缆时,不宜小于表 12.1.2 所得值再加 150mm 的和值;当最上层支架放置其他管线时,不宜小于 300mm。

12.1.4 隧道内需布置电缆接头时,电缆支架层间布置应满足电缆接头的放置要求,以能方便地安装电缆接头为宜。

12.1.5 电缆支架的长度除应满足敷设电缆及其固定装置的要求外,宜在满足电缆弯曲、水平蛇形和温度升高所产生的变形量的基础上,增加 50mm~100mm。

12.1.6 水平电缆支架在安装前,宜根据计算挠度及安装可能产生的误差,设置预起拱值及预偏量。

12.1.7 电缆支架的材料选型应符合下列规定:

- 1 机械强度应能满足电缆及其附件荷重、施工作业时附加荷重、运行中的动荷载的要求,并留有足够的裕度;
- 2 金属制的电缆支架应采取防腐措施;
- 3 表面光滑,无尖角和毛刺;
- 4 禁止采用易燃材料制作。

12.1.8 电缆支架支持工作电流大于 1500A 的交流系统单芯电缆时,宜选用非铁磁材料。

### 12.2 接地

12.2.1 电缆隧道内应使用一个总的综合接地网,其接地电阻应符合式(12.2.1)要求,且不宜大于  $1\Omega$ 。

$$R \leq \frac{2000}{I} \quad (12.2.1)$$

式中: $R$ ——计及季节变化的最大接地电阻;

$I$ ——计算用的流经综合接地网的入地短路电流。

12.2.2 综合接地网设计应符合下列规定:

1 明挖隧道及工作井内,工作井机房接地装置应利用机房建筑物基础自然间横竖梁内的 2 根以上主钢筋或者埋在基础里的地下金属,组成网格不大于  $5\text{m} \times 5\text{m}$  的机房地网,当机房建筑物基础有桩时,应将地桩内 2 根以上主钢筋与机房接地装置就近焊接连通。

2 非明挖隧道(暗挖、盾构及顶管隧道)内,应充分利用隧道的初期支护锚杆、钢架、钢筋网或底板钢筋作为接地装置。用作接地板的锚杆环向间距要求为 2 倍锚杆长度;接地锚杆与钢筋网、钢拱架或专用环向接地钢筋应可靠焊接;隧道底板钢筋应形成一个  $1\text{m} \times 1\text{m}$  的单层钢筋网。

3 各接地装置均应通过连接钢筋(不小于 $\phi 16\text{mm}$ )每间隔约30m与两条贯通隧道的金属接地均压带(不小于 $50\times 5$ 镀锌扁钢带)相互焊接连通。

4 隧道内兼有接地功能(含连接)的结构钢筋和专用接地钢筋应满足相应的规范要求。

5 接地体(线)的焊接应采用搭接焊,其搭接长度必须符合现行国家标准《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》GB 50169的规定。

6 接地网在腐蚀性较强的地区宜采用钢镀铜或铜材。

7 隧道接入发电厂、变电所内时,其综合接地网应与发电厂、变电所接地网两点及以上相连接。

8 设计接地网时,应按现行行业标准《交流电气装置的接地》DL/T 621 校验接触电位差和跨步电位差。

12.2.3 电缆隧道内电气装置、设施的各外露可导电部分应做等电位连接,可靠保护接地。

12.2.4 供配电及照明系统的接地应符合下列规定:

1 供配电及照明系统宜采用 TN-S 接地保护系统;

2 工作井机房内的变配电房应设专用接地干线,应用不小于 $100\text{mm}^2$ 的铜缆就近引至综合接地网。

12.2.5 防灾与报警系统的接地应符合下列规定:

1 防灾与报警系统应设专用接地干线,应用不小于 $100\text{mm}^2$ 的铜缆就近引至综合接地网,并应在消防控制室设置专用接地板。不应就近与低压配电系统的管、支架、基础连接。

2 工作接地线与保护接地线必须分开。保护接地导体不得采用金属软管。工作接地线应采用铜芯绝缘导线或电缆,不得采用镀锌扁铁或金属软管。

3 通讯线的铠装保护层、编织屏蔽层均应两端接地。

12.2.6 智能监控系统的接地应符合下列规定:

1 智能监控系统的交流工作接地、安全工作接地、直流工作

接地、防雷接地的要求应符合现行国家标准《电子信息系统机房设计规范》GB 50174 的规定;

2 智能监控系统应设专用二次接地网,并与综合接地网一点直接连接,应彻底消除与其他接地的耦合;二次接地网应采用不小于 $100\text{mm}^2$ 的铜缆与综合接地网可靠连接;

3 智能监控系统的各子系统应采取单点接地,并宜采取等电位措施;应满足各系统抗干扰和电气安全的双重要求。

12.2.7 高压电缆系统的接地应符合下列规定:

1 隧道内高压电缆系统应设置专用的接地汇流排或接地干线(不小于 $50\text{mm}\times 5\text{mm}$ 扁铜带),且应在不同的两点及以上就近与综合接地网相连接;

2 隧道内的高压电缆接头、接地箱的接地应以独立的接地线与专用接地汇流排或接地干线可靠连接。

## 12.3 出入口

12.3.1 隧道出入口分为电缆放线口、管线进出口、通风口及人员出入(检修)口,各出入口应满足以下一般规定:

1 出入口的地面建筑应根据其所处地段的地形、地貌条件和环境要求,选择与周边环境、景观相协调的结构形式和建筑造型和色彩;

2 出入口地面建筑宜设置在靠近交通运输方便的地方;

3 出入口地面建筑应布置紧凑,节约用地,不占或少占经济效益高的土地。

12.3.2 电缆放线口的设置应符合下列规定:

1 放线口的设计应满足电缆敷设作业所需空间要求,满足放线时电缆允许最小转弯半径的要求,且应满足电缆不同期敷设时重复使用的要求;

2 放线口在非放线施工的状态下,应做好封堵,或设置防止雨、雪、地表水和小动物进入室内的设施;

3 当放线口兼用作设备、材料吊装口时,应满足吊装设备及材料进出隧道的空间要求;

4 放线口的设置不应影响城市景观、交通疏导、市政管线运营等造成不良影响;

5 放线口的间距宜取  $500\text{m}\sim 1000\text{m}$ ,平面尺寸不宜小于  $800\text{mm}\times 800\text{mm}$ 。

#### 12.3.3 管线进出口的设置应符合下列规定:

1 管线进出口的设计应根据电缆接入、引出隧道的数量及位置确定,并应适当预留空间;管线进出口的内径不宜小于电缆外径的 1.5 倍;电缆隧道与电缆排管接口处应按排管尺寸预留矩形孔或穿墙套管;

2 管线进出口应满足电缆接入、引出隧道时防水封堵的要求;

3 管线进出口的尺寸及埋深宜结合电缆在隧道外敷设的土建形式确定,并应满足电缆敷设作业所需空间;

4 管线进出口处的结构应有防止产生不均匀沉降的措施。

#### 12.3.4 通风口的设置应满足下列要求:

1 通风口的设置应满足通风区段的划分、隧道工作井的设置、城市规划、地面环境景观及环境噪声等因素的要求,宜根据线路长度均匀布置;

2 通风口的尺寸应满足隧道正常运行及消防通风的要求;

3 通风口的布置可结合人员出入(检修)口一并设置,也可单独设置,并应尽量与现有或规划建筑合建,减少对城市景观的影响;

4 进风口和排风口的下缘不得低于当地的防洪、防涝标高,在进、排风口处应加设能防止小动物进入隧道内的金属网格,风亭高度应符合当地城市规划要求,对敞口风井应设置排除雨雪的装置和防止人员入侵的措施;

5 在隧道正常运行状态下,通风口不宜兼作电缆放线口、设

备及材料进出口。

#### 12.3.5 人员出入(检修)口的设置应符合下列规定:

1 人员出入(检修)口的地面标高应高出室外地面,应设置防止雨、雪和小动物进入室内的设施,并按百年一遇的标准满足防洪、防涝要求;

2 人员出入(检修)口的门应为乙级防火门,并向疏散方向开启;

3 人员出入(检修)口的设置应满足防盗、防强行进入的要求;

4 当人员出入(检修)口单独设置时,距周边建筑物的距离应满足相关防火规范的要求;

5 人员出入(检修)口的设置应满足火灾时人员疏散以及平时检查、维修的需要;

6 当人员出入(检修)口用作设备、材料等的进出口时,出入(检修)口内的梯道、通道尺寸应满足人员搬运设备、材料等的通行要求;

7 在城镇公共区域开挖式隧道的人员出入(检修)口间距不宜大于  $200\text{m}$ ,非开挖式隧道的人员出入(检修)口间距可适当加大,且宜根据隧道埋深和结合电缆敷设、通风、消防等综合确定。隧道首末端无安全门时,宜在距离首末端不大于  $5\text{m}$  处设置人员出入(检修)口。

## 13 节能环保

- 13.0.1** 隧道设计应符合国家环境保护、水土保持和生态环境保护的有关法律法规的要求。
- 13.0.2** 工程用材料、设备选型应符合节能环保要求。
- 13.0.3** 隧道通风亭噪声对周围环境的影响应符合现行国家标准《声环境质量标准》GB 3096 的规定。
- 13.0.4** 噪声应从声源上进行控制,宜选用低噪声设备。对运行时产生振动的通风设备,宜设置减振技术措施。
- 13.0.5** 隧道内排出的渗漏水应符合现行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978 的有关规定。
- 13.0.6** 风口应满足环保对噪声的要求,并应符合《声环境质量标准》GB 3096 的相关规定。
- 13.0.7** 通风系统应采用低噪声风机并宜配合隔声、吸声等降噪措施。

## 14 劳动安全及卫生

- 14.0.1** 隧道设计必须执行国家劳动安全和工业卫生的法令、标准和规定,并应贯彻执行“安全第一、预防为主”的方针。
- 14.0.2** 隧道应根据其可能发生的火灾危险性进行消防设计。
- 14.0.3** 出入口、通风口、平台等有坠落危险处,应设栏杆或盖板。
- 14.0.4** 隧道设计时应应对通风设施的噪声进行控制,采取必要的减振隔声措施。



## 附录 A 围岩分级的有关规定

**A.0.1** 隧道围岩分级的综合评判方法宜采用两步分级,并按以下顺序进行:

1 根据岩石的坚硬程度和岩体完整程度这两个基本因素的定性特征和定量的岩体基本质量指标 BQ,进行初步分级;

2 在岩体基本质量分级基础上考虑修正因素的影响,修正岩体基本质量指标值。按修正后的岩体基本质量指标[BQ],结合岩体的定性特征综合评判、确定围岩的详细分级。

**A.0.2** 围岩分级中岩石坚硬程度、岩体完整程度这两个基本因素的定性划分和定量指标及其对应关系应符合下列规定:

1 岩石坚硬程度可按表 A.0.2-1 定性划分。

表 A.0.2-1 岩石坚硬程度的定性划分

名称	定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆,有回弹,震手,难击碎;浸水后大多无吸水反应 未风化~微风化的花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英片岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较坚硬岩	锤击声较清脆,有轻微回弹,稍震手,较难击碎;浸水后有轻微吸水反应 弱风化的坚硬岩; 未风化~微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质胶结的砂页岩等
软质岩	较软岩	锤击声不清脆,无回弹,较易击碎;浸水后指甲可刻出印痕 强风化的坚硬岩; 弱风化的较坚硬岩; 未风化~微风化的凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、页岩等

续表 A.0.2-1

名称	定性鉴定	代表性岩石
软质岩	软岩	锤击声哑,无回弹,有凹痕,易击碎;浸水后手可掰开 强风化的坚硬岩; 弱风化~强风化的较坚硬岩; 弱风化的较软岩; 未风化的泥岩等
	极软岩	锤击声哑,无回弹,有较深凹痕,手可捏碎;浸水后可捏成团 全风化的各种岩石; 各种半成岩

2 岩石坚硬程度定量指标用岩石单轴饱和抗压强度  $R_c$  表达。 $R_c$  一般采用实测值,若无实测值时,可采用实测的岩石点荷载强度指数  $I_{S(50)}$  的换算值,即按式(A.0.2)计算。

$$R_c = 22.82I_{S(50)}^{0.75} \quad (\text{A.0.2})$$

3  $R_c$  与岩石坚硬程度定性划分的关系可按表 A.0.2-2 确定。

表 A.0.2-2  $R_c$  与岩石坚硬程度定性划分的关系

$R_c$ (MPa)	>60	60~30	30~15	15~5	<5
坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩

4 岩体完整程度可按表 A.0.2-3 定性划分。

表 A.0.2-3 岩体完整程度的定性划分

名称	结构面发育程度		主要解构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 (m)			
完整	1~2	>1.0	好或一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层结构
较完整	1~2	>1.0	差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	1.0~0.4	好或一般		块状结构
较破碎	2~3	1.0~0.4	差	节理、裂隙、层面、小断面	裂隙块状或中厚层结构
	>3	0.4~0.2	好		镶嵌裂隙结构
			一般		中、薄层状结构

续表 A. 0. 2-3

名称	结构面发育程度		主要解构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 (m)			
破碎	>3	0.4~0.2	差	各种结构面	裂隙块状结构
		<0.2	一般或差		碎裂隙状结构
极破碎	无序	—	很差	—	散体结构

注:平均间距指主要结构面(1组~2组)间距的平均值。

5 岩体完整程度的定量指标用岩体完整性系数  $K_V$  表达。 $K_V$  一般用弹性波探测值,若无探测值时,可用岩体体积节理数  $J_V$  按表 A. 0. 2-4 确定对应的  $K_V$  值。

表 A. 0. 2-4  $J_V$  与  $K_V$  对照表

$J_V$ (条/ $m^3$ )	<3	3~10	10~20	20~35	>35
$K_V$	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	<0.15

6  $K_V$  与定性划分的岩体完整程度的对应关系可按表 A. 0. 2-5 确定。

表 A. 0. 2-5  $K_V$  与定性划分的岩体完整程度的对应关系

$K_V$	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	<0.15
完整程度	完整	较完整	较破坏	破坏	极破坏

A. 0. 3 围岩基本质量指标 BQ 应根据分级因素的定量指标  $R_C$  值和  $K_V$ ,按式(A. 0. 3)计算。

$$BQ = 90 + 3R_C + 250K_V \quad (A. 0. 3)$$

$R_C$ 、 $K_V$  的取值应遵守下列限制条件:

- 1 当  $R_C > 90K_V + 30$  时,应取  $R_C = 90K_V + 30$ ;
- 2 当  $K_V > 0.04R_C + 0.4$  时,应取  $K_V = 0.04R_C + 0.4$ 。

A. 0. 4 围岩详细定级时,如遇下列情况之一,应对岩体基本质量指标 BQ 进行修正:

- 1 有地下水。

2 围岩稳定性受软弱结构面影响,且由一组起控制作用。

3 存在高初始应力。

围岩基本质量指标修正值[BQ]可按式(A. 0. 4)计算。

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (A. 0. 4)$$

式中:[BQ]——围岩基本质量指标修正值;

BQ——围岩基本质量指标;

$K_1$ ——地下水影响修正系数;

$K_2$ ——构面产状影响修正系数;

$K_3$ ——初始应力状态影响修正系数。

A. 0. 5 可根据调查、勘探、试验等资料,岩石隧道的围岩定性特征,围岩基本质量指标 BQ,或修正的围岩质量指标[BQ]值,土体隧道中的土体类型、密实状态等定性特征,按表 A. 0. 5 确定围岩级别。

当根据岩体基本质量定性划分与[BQ]值确定的级别不一致时,应重新审查定性特征和定量指标计算参数的可靠性,并对它们重新观察、测试。

在工程踏勘和初步勘测阶段,可采用定性划分的方法或工程类比的方法进行围岩级别划分。

表 A. 0. 5 隧道围岩分级

围岩级别	围岩或土体主要定性特征	围岩基本质量指标 BQ 或修正的围岩基本质量指标
I	坚硬岩,岩体完整,巨整体或厚层状结构	>550
II	坚硬岩,岩体完整,块状或厚层状结构; 较坚硬岩,岩体完整,块状整体结构	550~451
III	坚硬岩,岩体较破碎,巨块(石)碎(石)状镶嵌结构; 较坚硬岩或较软岩,岩体较完整,块状体或中厚层结构	450~351

续表 A.0.5

围岩级别	围岩或土体主要定性特征	围岩基本质量指标 BQ 或修正的围岩基本质量指标
IV	坚硬岩, 岩体破碎, 碎裂结构; 较坚硬岩, 岩体较破碎~破碎, 镶嵌破碎结构; 较软岩或软硬岩互层, 且以软岩为主体, 岩体较完整~较破, 中薄层结构	350~251
	土体: 1 压密或成岩作用的黏性土及砂性土; 2 黄土(Q <sub>1</sub> 、Q <sub>2</sub> ); 3 一般钙质、铁质胶结的碎石土卵石土、大块石土	—
V	较软岩, 岩体破碎; 软岩, 岩体较破碎~破碎; 极破坏各类岩体, 碎、裂状, 松散结构	≤250
	一般第四系的半干硬至硬塑的黏性土及稍湿至潮湿的碎石土, 卵石土、圆砾、角砾土及黄土(Q <sub>3</sub> 、Q <sub>4</sub> )。非黏性土呈松散结构, 黏性土及黄土呈松软结构	—
VI	软塑状黏性土及潮湿、饱和粉细砂层、软土等	—

注: 本表不适用于特殊条件的围岩分级, 如膨胀性围岩、多年冻土等。

A.0.6 各级围岩的物理力学参数宜通过室内或现场试验获取, 无试验数据和初步分级时, 可按表 A.0.6 选用。

表 A.0.6 各级围岩的物理力学指标

围岩级别	容重 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	弹性抗力系数 (MPa/m)	变形模量 (GPa)	泊松比 $\nu$	内摩擦角 $\phi$ (°)	黏聚力 C (MPa)	计算摩擦角 $\phi_c$ (°)
I	26~28	1800~2800	>33	<0.2	>60	>2.1	>78
II	25~27	1200~1800	20~33	0.2~0.25	50~60	1.5~2.1	70~78

续表 A.0.6

围岩级别	容重 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	弹性抗力系数 (MPa/m)	变形模量 (GPa)	泊松比 $\nu$	内摩擦角 $\phi$ (°)	黏聚力 C (MPa)	计算摩擦角 $\phi_c$ (°)
III	23~25	500~1200	6~20	0.25~0.3	39~50	0.7~1.5	60~70
IV	20~23	200~500	1.3~6	0.3~0.35	27~39	0.2~0.7	50~60
V	17~20	100~200	1~2	0.35~0.45	20~27	0.05~0.2	40~50
VI	15~17	<100	<1	0.4~0.5	<22	<0.1	30~40

注: 1 本表数值不包括黄土层。

2 选用计算摩擦角时, 不再计内摩擦角和黏聚力。

## 附录 B 均质圆环法管片截面内力计算方法

**B.0.1** 管片按照均质圆环法计算时,将隧道底部的地基抗力取为与垂直荷载相平衡的均布反力,隧道侧面的水平方向地基抗力作用在衬砌水平直径上、下各 45° 中心角的范围内,分布形状为以水平直径处为顶点的三角形,其荷载示意图如图 B.0.1 所示。

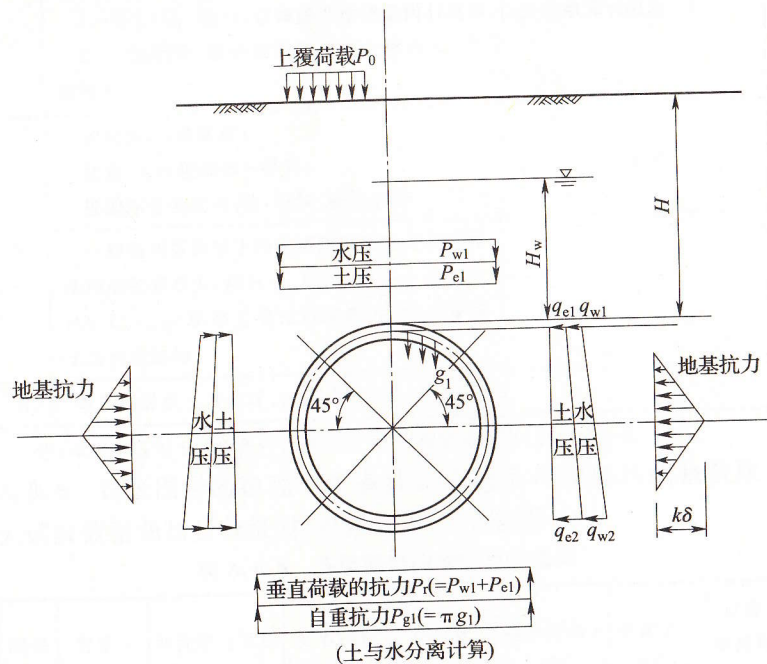


图 B.0.1 荷载示意图

**B.0.2** 均质圆环法管片截面内力按照表 B.0.2 计算。

表 B.0.2 均质圆环法管片截面内力计算公式

荷载	弯矩	轴力	剪力
垂直荷载 ( $P_{e1} + P_{w1}$ )	$M = \frac{1}{4} (1 - 2 \sin^2 \theta) (P_{e1} + P_{w1}) R_c^2$	$N = (P_{e1} + P_{w1}) R_c \sin^2 \theta$	$Q = -(P_{e1} + P_{w1}) R_c \sin \theta \cdot \cos \theta$
水平荷载 ( $q_{e1} + q_{w1}$ )	$M = \frac{1}{4} (1 - 2 \cos^2 \theta) (q_{e1} + q_{w1}) R_c^2$	$N = (q_{e1} + q_{w1}) R_c \cos^2 \theta$	$Q = -(q_{e1} + q_{w1}) R_c \sin \theta \cdot \cos \theta$
水平三角形荷载 ( $q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}$ )	$M = \frac{1}{48} (6 - 3 \cos \theta - 12 \cos^2 \theta + 4 \cos^3 \theta) (q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}) R_c^2$	$N = \frac{1}{16} (\cos \theta + 8 \cos^2 \theta - 4 \cos^3 \theta) (q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}) R_c$	$Q = \frac{1}{16} (\sin \theta + 8 \sin \theta \cdot \cos \theta - 4 \sin \theta \cdot \cos^2 \theta) (q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}) R_c$
地基抗力 ( $k\delta_d$ )	$M = (0.2346 - 0.3536 \cos \theta) k\delta_d R_c^2$	$N = 0.3536 \cos \theta \cdot k\delta_d R_c$	$Q = 0.3536 \sin \theta \cdot k\delta_d R_c$
自重 ( $g$ )	$M = (-0.3487 + 0.5 \sin^2 \theta + 0.2357 \cos^3 \theta) k\delta_d R_c^2$	$N = (-0.7071 \cos \theta + \cos^2 \theta + 0.7071 \sin^2 \theta \cdot \cos \theta) k\delta_d R_c$	$Q = (\sin \theta \cdot \cos \theta - 0.7071 \cos^2 \theta \cdot \sin \theta) k\delta_d R_c$

续表 B.0.2

荷载	弯矩	轴力	剪力
管片环水平直径点 向围岩的变形值 ( $\delta_d$ )	不考虑衬砌自重引起的变形		
	考虑了衬砌自重引起的变形		

$$\delta_d = \frac{[2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2})] R_c^3}{24(\eta EI + 0.0454kR_c^2)}$$

$$\delta_d = \frac{[2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2}) + \pi g] R_c^3}{24(\eta EI + 0.0454kR_c^2)}$$

注:  $P_{e1}$ ——垂直土压力;

$P_{w1}$ ——垂直水压力;

$q_{e1}$ ——隧道顶部水平土压力;

$q_{w1}$ ——隧道顶部水平水压力;

$q_{e2}$ ——隧道底部水平土压力;

$q_{w2}$ ——隧道底部水平水压力;

$R_c$ ——管片环计算半径;

$g$ ——结构自重;

$k$ ——地基反力系数;

$\delta_d$ ——管片环水平直径点向围岩的变形值;

$EI$ ——单位宽度的弯曲刚度;

$\theta$ ——计算断面与管片垂直中心线的夹角;

$\eta$ ——刚度折减系数;

$M$ ——单位宽度的管片弯矩;

$N$ ——单位宽度的管片轴力;

$Q$ ——单位宽度的管片剪力。

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009  
《混凝土结构设计规范》GB 50010  
《建筑设计防火规范》GB 50016  
《钢结构设计规范》GB 50017  
《采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019  
《工程测量规范》GB 50026  
《小型火力发电厂设计规范》GB 500  
《地下工程防水技术规范》GB 50108  
《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116  
《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》GB 50169  
《电子信息系统机房设计规范》GB 50174  
《电力工程电缆设计规范》GB 50217  
《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229  
《中国地震动参数区划图》GB 18306  
《钢筋混凝土用钢 第1部分 热轧光圆钢筋》GB 1499.1  
《钢筋混凝土用钢 第2部分 热轧带肋钢筋》GB 1499.2  
《钢筋混凝土用钢 第3部分 钢筋焊接网》GB/T 1499.3  
《声环境质量标准》GB 3096  
《污水综合排放标准》GB 8978  
《交流电气装置的接地》DL/T 621  
《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61

中华人民共和国电力行业标准

## 电力电缆隧道设计规程

DL/T 5484—2013

### 条文说明

## 制 订 说 明

《电力电缆隧道设计规程》DL/T 5484—2013 经国家能源局 2013 年 11 月 28 日以第 6 号公告批准、发布。

本标准制订过程中,编制组进行了广泛的调查研究,总结了我国电缆隧道工程建设的实践经验,并借鉴了铁路、公路和地铁等相关领域隧道工程建设的成功经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,许多单位和学者进行了卓有成效的试验和研究,为本标准的制订提供了极有价值的参考资料。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《电力电缆隧道设计规程》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为解释和把握标准规定的参考。

## 目 次

1 总 则 .....	(85)
3 基本设计规定 .....	(87)
3.1 一般规定 .....	(87)
3.2 地形与地质 .....	(88)
3.3 工程环境调查 .....	(90)
3.4 荷载 .....	(90)
3.5 工程材料 .....	(91)
4 明挖隧道 .....	(93)
4.1 结构设计 .....	(93)
4.2 基坑支护设计 .....	(94)
4.3 构造要求 .....	(100)
5 暗挖隧道 .....	(102)
5.1 衬砌结构 .....	(102)
5.2 衬砌结构计算 .....	(108)
5.3 竖井设计 .....	(110)
5.4 辅助工程措施 .....	(112)
6 顶管隧道 .....	(116)
6.1 一般规定 .....	(116)
6.2 设计计算 .....	(117)
6.3 工作井 .....	(117)
6.4 辅助工程措施 .....	(118)
7 盾构隧道 .....	(119)
7.1 一般规定 .....	(119)
7.2 荷载 .....	(120)



7.3	衬砌结构计算	(121)
7.4	衬砌结构	(124)
7.5	竖井结构	(130)
7.6	辅助工程措施	(131)
8	工程防水	(134)
8.1	一般规定	(134)
8.2	防水	(135)
9	通风及消防	(137)
9.1	隧道通风	(137)
9.2	隧道消防	(137)
10	排水	(139)
11	照明、动力及监控	(140)
11.1	一般规定	(140)
11.2	照明	(141)
11.3	动力	(142)
11.4	监视与控制	(142)
12	其他设施	(144)
12.2	接地	(144)
12.3	出入口	(145)
13	节能环保	(147)
14	劳动安全及卫生	(148)

## 1 总 则

**1.0.2** 对于改建、扩建的电缆隧道工程,因其有些技术要求与本标准制定的基础有所不同,故可根据情况参照执行。

**1.0.3** 如果城市缺乏对地下管线和其他市政设施的统一安排与总体规划,势必导致地下管线紊乱,给管线增设、更新、事故抢修带来困难。重复开挖路面,除了要支付高额的路面修复费用外,还严重影响地面交通和市民生活等。为改变这样被动的局面,应按电网规划向城市管理部门提出确保电缆敷设路径的要求。

**1.0.4** 电缆隧道是永久性建筑物,建成后的隧道不易改建、扩建,不仅在勘测设计中,而且在施工中及竣工后,它的耐久性等各方面均受到地形、地质及环境等条件的影响,并且由于洞内工作条件差,对隧道施工及运行养护存在不利因素。根据《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476—2008 中 3.3 设计使用年限的规定,城市快速路和主干道上的桥梁及其他道路上的大型桥梁、隧道,重要的市政设施等设计使用年限不低于 100 年。

**1.0.6** 建成的隧道应能适应电缆敷设的需要,应设置一些为保证检修、运行维护的设施,如爬梯、竖井平台,通风、排水设施设备,有的是隧道结构设计时必须考虑的,有的是隧道设计时就要为其提供安置条件的,故条文做了原则规定。

**1.0.7** 隧道施工方法选择的恰当与否,直接关系到施工安全、工程进度、工程质量和工程造价等方面问题。应结合工程场地环境(包括隧道规划位置、地面的建构筑物、地下市政管线等)、工程地质和水文地质、规划控制高程、社会影响、工程造价等多种因素,经技术经济方案综合比较后选择合理的工法。如果具备条件(主要考虑地上建构筑物的拆迁、地下管线的拆改、园林绿化的移栽、隧

道理深等因素),应优先选用经济合理的明开挖工法。暗挖隧道主要适用于围岩自稳性好、地下水处理简单的工程。顶管工法主要适用于围岩土质相对较软、周围环境要求不高的情况。盾构工法以机械化作业程度高、施工安全、工期控制性高、地层适应性强等特点,正在地下工程中广泛推广应用,目前阶段其造价相对稍高,可根据建设工程的特点合理采用。

**1.0.8** 本标准与其他有关规范、标准的关系是:凡本标准有规定的,在设计中应按本标准执行;本标准未作规定的,应符合国家现行有关强制性标准的规定,或参照其他有关的现行国家规范和标准的规定执行。

## 3 基本设计规定

### 3.1 一般规定

**3.1.4** 隧道调查是勘测设计人员通过各种勘测手段,对隧道所处位置的地形、地质等自然条件进行的调查、测绘。调查应按本标准及相关规范的要求分阶段、按项目认真开展工作。

调查资料是隧道位置选择、工程布置和结构设计,以及计划工程投资等整个设计工作的依据,因此,调查资料应齐全、准确。

**3.1.5** 结构在不同的工作阶段,例如结构的施工期、检修期和使用期等,以及出现偶然事故的情况下,都可能出现多种不利的受力状态,应分别进行结构分析,确定其可能最不利的作用效应组合。

**3.1.6** 结构分析应以结构的实际工作状况和受力条件、几何尺寸为依据,如果结构复杂,可以对结构体型进行适当的简化。简化后的模型应能反映出结构实际的受力状况,所采用的分析方法应有可靠的依据和足够的计算准确程度。

**3.1.7** 鉴于施工和使用目的要求,明挖隧道横断面形状通常为管箱式。对该类隧道结构分析,构件应力计算一般基于弹性理论,其中荷载选择要与隧道施工实际情况相符,同时要考虑荷载引起的地基反力。

**3.1.8** 设计中地基反力的三种分析方法:

(1)方法1:隧道构件和地基均为弹性体,并考虑弹性理论分析中每一个可能荷载下的隧道构件变形。

(2)方法2:基于上述理论考虑以构件(地下连续墙等)支撑的隧道构件变形,同时考虑隧道底部的变形。

(3)方法3:假定隧道为刚性体,同时竖向荷载、水平荷载和倾覆力矩由隧道底面的地基反力来平衡。

上述分析方法 1 和方法 2 理论上与隧道结构和地基条件是协调的,计算分析模型中将隧道结构体作为梁,同时将地基作为弹簧。方法 3 通常用于小断面隧道,也可用于隧道底面下土体均质、结构刚度大于地基土体和隧道底部地基承载力大于侧面地基承载力等条件下的地基反力计算。设计时,可根据实际情况予以选用。地基反力系数的取值应考虑土类、土性参数和实际标贯击数等,参考有关规范并结合当地经验综合确定。

### 3.2 地形与地质

**3.2.1** 调查工作是各阶段相互紧密联系的一个整体,由面到线再到工程具体位置,在初步了解工程地区概貌的基础上,编制调查计划。在调查过程中,应随时根据实际情况,及时调整或修改调查计划,做到对主要工程地质、水文地质问题有准确评价,提供齐全的设计、施工所需资料,不漏项。

**3.2.2** 本标准遵循《工程岩体分级标准》GB 50218 的规定,围岩分级采用围岩的定性划分和定量指标相结合的综合定级方法,这是目前国内外大多数围岩分级(分类)所采用的方法。定性和定量两者可以相互校核和检验,可提高分级的可靠性。

**3.2.3** 本条对施工前各阶段及施工中调查的目标、内容、方法和范围作了规定。

隧道调查不同阶段有不同的目标,在踏勘时,首先进行大范围的全貌调查,了解线路可能走向及隧道位置存在的地质环境问题,提出调查的重点,然后在先前调查已获得成果的基础上,选择隧道两侧为调查重点,并用后续进行的调查成果不断地加以评价、修正,使之更趋完善。

调查各阶段是相互联系的一个整体。因此,规定了调查方法,踏勘阶段以地面调查为主,初勘、详勘阶段按要求采用各种勘测和岩土物理力学试验手段。

**3.2.5** 本条规定了施工前各阶段隧道工程的地形、地质调查内

容。隧道地形、地质调查是综合性的工作,查明测区的工程地质、水文地质条件,对各种不良地质条件作出评价,并提出有效措施或建议,为工程设计提供正确的资料。

由于各类地质问题的复杂程度、规模、性质、自然地理条件的不同,很难划分初勘、详勘工作的基本内容,实际工作中常互有穿插。条文中只提出了调查内容,应结合实际情况安排调查内容之深度。一般在初勘阶段,以地质测绘为主要手段,辅以少量的勘探试验,对隧道围岩稳定性作出定性为主的评价,初步划分围岩级别;在详勘阶段,合理采用各种勘探手段,对各类地质现象进行综合分析,互相印证,尽量对隧道工程地质条件作出定量或半定量评估,详细划分围岩级别。

**3.2.6** 本条规定在调查时,应对某些特殊地质环境问题作专门调查,并提出注意事项。这是对调查的重点内容作出的特别要求。例如,当测区存在区域性断裂带,特别是存在近期活动和发震断层时,应查明其对工程的影响程度并作出评价。

**3.2.7** 施工中的地质调查是一项十分重要的工作,为此本条对施工中的调查内容和方法作了明确的规定。条文规定的几种调查方法是施工地质调查常用和有效的方法。

开挖面的地质观察和素描是极其重要的基础工作。每次开挖后,应立即由专人进行开挖面的观察、素描或摄像等。主要观察内容有:

- (1) 地层、岩石分布、岩层走向、倾角;
- (2) 固结程度、风化及变质程度、软硬程度;
- (3) 裂隙方向及频度、充填物及性质;
- (4) 断层位置及走向、倾角、破碎程度;
- (5) 涌水位置及涌水量;
- (6) 坍塌位置及形态。

施工地质超前预报工作,应强调地质调查分析与物理探测相结合的方法,同时应采用中长距离预报与短距离预报相结合的

方法。

根据施工中对实际开挖的岩体进行直接观察、量测等资料,若岩性、地质构造和地下水状态、初始应力状况等与设计资料不一致时,应及时对围岩稳定性、围岩级别作出合理修正。

### 3.3 工程环境调查

3.3.1~3.3.4 规定了隧道地区自然生态环境、社会环境、生活环境和施工条件的调查内容和要求。通过对环境调查和隧道开挖对环境影响的初估,将环保意识融入设计理念中。要求尽量减少隧道开挖对环境的影响,若难以避免时,应采取保护环境的防治措施。

### 3.4 荷载

3.4.1 作用在电缆隧道结构上的荷载,如地层压力、水压力、地面各种荷载及施工荷载等,有许多不确定因素,所以应考虑每个施工阶段的变化及使用过程中荷载的变动,选择使结构整体或构件的应力为最大、工作状态最不利的荷载组合及加载状态来进行设计。

3.4.3 作用在地下结构上的水压力,原则上应采用孔隙水压力,但孔隙水压力的确定比较困难,从实际和偏于安全考虑,设计水压力一般都按静止水压力计算。

在确定设计地下水位时应注意,由于自然和人为的工程活动都可能使地下水位发生变化,所以在确定设计地下水位时,不能完全凭借地质勘查取得的当前结果,必须估计到将来可能发生的变化。尤其近年来对水资源保护力度的加大,需要考虑结构在长期使用过程中城市地下水回灌的可能性。其次应符合结构受力的最不利荷载组合原则:将可能出现的各种情况进行计算比较,选用最不利的地下水位。设计时应至少考虑最高水位和最低水位两种情况。针对圆形隧道,采用较低的地下水压值进行设计往往更加偏于安全。

3.4.4 本条所提的特殊荷载是指在第 3.4.1 条中未列出的而又有可能出现的所有荷载。由于对一切出现几率很小的荷载全部列出既有困难,也没有必要,故在本条中加以概括。

### 3.5 工程材料

3.5.3 在有侵蚀性水的围岩中修建隧道,若处理不当,衬砌混凝土会被腐蚀成豆腐渣状,严重影响衬砌的强度和安全,需要事后补救。故本条强调有侵蚀性水时,隧道衬砌的混凝土或砂浆应采取抗侵蚀措施。

3.5.6 为了保证混凝土的质量,本条规定“不应使用碱活性集料”。

3.5.7 喷射混凝土优先选用普通硅酸盐水泥,是因为它含有较多的  $C_3A$  和  $C_3S$ ,凝结时间较快,特别是与速凝剂有良好的相容性,细集料采用中砂或粗砂及细度模数大于 2.5 的规定,不仅是为了有足够的水泥包裹细集料,有利于获得足够的混凝土强度,同时可减少粉尘和硬化后混凝土的收缩。砂的含水率控制在“5%~7%”,主要是为了减少具有活性的水泥颗粒的损失,减少粉尘,也有利于水泥的充分水化。关于粗集料粒径,国内的喷射机可使用的最大粒径为 25mm,但为了减少回弹和管路堵塞,故条文规定不大于 16mm。

锚杆的杆体材料,按现行国家标准《钢筋混凝土用钢》GB 1499 规定采用 HRB335 或 HPB300 钢筋,杆体直径一般为 20mm~32mm,除考虑强度要求外,由于钻孔眼一般为 42mm,可便于注入必要的砂浆。

钢筋网的钢筋不宜太粗,否则易使喷层产生裂纹,故采用钢筋直径不大于 12mm。

3.5.8 为了改善模筑混凝土和喷射混凝土的性能,在混凝土中加入有关外加剂是当前一种不可缺少的重要手段。如为了提高强度可掺加增强剂,为提高防水性可掺加抗渗剂,为提高早期强度可掺

加早强剂,欲使喷射混凝土速凝需加入速凝剂,为减少喷射混凝土回弹及粉尘可掺加增黏剂等。但目前各种外加剂还在不断改进,不断创新,因此条文未规定具体产品型号,采用时应满足条文提出的普遍要求,即使采用一种外加剂满足了某一特殊需要,也不能对混凝土原有性能产生不良影响。为此,可能要采用多种外加剂的组合。选用外加剂时,首先选用经过鉴定的产品,并结合工程实际情况进行验证改进。否则,要在使用前进行相应试验,找出合理组合及其掺量。

**3.5.9** 本条根据《钢纤维混凝土结构设计规程》CECS 38:92,并结合相关材料发展情况而定。由于钢纤维表面光滑,喷射钢纤维混凝土的破坏通常都是纤维从混凝土中被拔出。要使喷射钢纤维混凝土性能更加增强,需提高混凝土纤维间的握裹力,钢纤维可加工成麻花形,并采用矩形断面,如料源有困难,可采用圆形断面。

**3.5.10** 用钢筋组焊成的格栅钢架是近年来吸取国外经验而使用的一种新型钢架,它与往常使用的钢轨、钢管等组成的钢架相比,有受力好、质量小、刚度可调节、省钢材、易制造、易安装等优点,应大力推广使用。

## 4 明挖隧道

### 4.1 结构设计

**4.1.2** 结构布置和体型设计不当时会造成结构受力、构造配筋等不合理的现象,因此,在对结构进行两种极限状态分析之前,应首先按照有关规范规定,确定合理的结构布置和结构构件形体。

在所有的情况下应对结构的整体进行分析。结构中的重要部位、形状突变部位以及内力和变形有异常变化的部分(例如较大孔洞周围、节点及其附近、支座和集中荷载附近等),必要时应进行更详细的局部分析。

对结构的两种极限状态进行结构分析时,应采取相应的荷载组合。

**4.1.3** 明挖隧道顶板土体为回填土体,不适宜考虑埋管效应,且明挖隧道覆土一般较浅,故本条明确规定隧道顶板或拱顶上部垂直土压力按全土柱保守计算。

**4.1.5** 国内抗浮验算表达式如下:

$$\frac{R}{F_s} \geq \lambda$$

式中:R——抗浮力设计值;

$F_s$ ——浮力设计值;

$\lambda$ ——抗浮安全系数。

在验算结构抗浮稳定性时,对浮力、抗浮力的计算及抗浮安全系数的取值均需慎重。

(1)设计抗浮水位一般依据勘察报告并结合各地区工程经验确定。

(2)由于地下结构与地基土直接接触,地层介质的渗透性将直

接影响到其所受浮力的大小。假设地层渗透系数无限大,即结构泡在水中,可按阿基米德理论公式计算浮力;假设地层渗透系数为0,即地层完全不透水且与结构底板光滑接触,则结构浮力也为0。实际地层渗透性介于两者之间,可以认为地下水对地下结构的浮力比理论值小,但实际大小尚需进一步研究确定。

(3)抗浮力一般有隧道自重、隧道内部静荷载及隧道上部的有效静荷载,也可考虑侧壁与地层之间的摩擦力。应注意抗浮力是随施工过程及使用阶段不断变化的。施工期间,由于静荷载尚未全部作用在结构上,抗浮稳定性往往会成为问题。

抗浮安全系数目前尚无统一规定,宜参照类似工程,根据各地的工程实践经验确定,见表1。

表1 抗浮安全系数

	不计侧壁摩擦阻力	计侧壁摩擦阻力
上海地铁	1.05	1.1
广州、南京、深圳、北京地铁	1.05	1.15
《给水排水工程管道结构设计规范》 GB 50332—2002	1.10	—

注:摩阻力采用值根据实践经验决定,考虑软黏土的流变特性,一般取极限摩阻力的一半。

## 4.2 基坑支护设计

4.2.2 从近年发展来看,明挖隧道基坑工程的开挖深度有加深的趋势,安全和环境保护的要求也日益提高。对于明挖隧道,基坑工程的安全等级可依据环境保护等级参照地区经验确定。

上海地区根据基坑的开挖深度等因素,基坑工程安全等级分为以下三级:

(1)基坑开挖深度大于或等于12m或基坑采用支护结构与主体结构相结合时,属一级安全等级基坑工程。

(2)基坑开挖深度小于7m时,属三级安全等级基坑工程。

(3)除一级和三级以外的基坑均属二级安全等级基坑工程。

广州地区建筑基坑侧壁安全等级见表2。

表2 广州地区建筑基坑侧壁安全等级

安全等级	破坏后果	基坑和环境条件
一级	支护结构破坏或土体失稳或过大变形对基坑周边环境 和工程施工影响很严重	1 开挖深度大于或等于10m; 2 在3倍开挖深度范围内有重要建 (构)筑物、重要管线和道路等市政设施; 3 在1倍开挖深度范围内有基础埋 深小于坑深的建筑物; 4 基坑位于地铁、隧道等大型地下设 施安全保护区范围内; 5 地下水埋深小于2m,支护深度范 围内软土层厚度大于5m
二级	支护结构破坏或土体失稳 或过大变形对基坑周边环境 影响一般,但对地下结构施工 影响严重	除一级和三级以外的基坑工程
三级	支护结构破坏或土体失稳 或过大变形对基坑周边环境 及地下结构施工影响不严重	1 开挖深度小于6m; 2 在周围3倍开挖深度范围内无特 殊要求保护的建(构)筑物、管线和道路 等市政设施; 3 地下水埋深大于5m,支护深度范 围内软土层厚度小于2m

注:1 凡符合基坑和环境条件中的一个条件即属于该侧壁安全等级,对同时满足不同安全等级条件的侧壁,应按基坑工程施工可能造成的破坏后果确定安全等级。

2 有特殊要求的建筑基坑侧壁安全等级可根据具体情况另行确定。

4.2.3 基坑工程的设计除应满足稳定性和承载力要求外,尚应满足基坑周围环境对变形的控制要求。应根据基坑周围环境的状况及环境保护要求进行变形控制设计,并采取相应的保护措施。

当基坑周围环境没有明确的变形控制标准时,可根据基坑的环境保护等级参考表3、表4确定基坑变形的设计控制指标。

表 3 上海地区基坑变形设计控制指标

基坑环境保护等级	维护结构最大侧移	坑外地表最大沉降
一级	0.18% <i>H</i>	0.15% <i>H</i>
二级	0.3% <i>H</i>	0.25% <i>H</i>
三级	0.7% <i>H</i>	0.55% <i>H</i>

注：*H* 为基坑深度。

表 4 广州地区支护结构最大水平位移允许值

安全等级	支护结构最大水平位移允许值
一级	30mm
二级	60mm
三级	150mm

4.2.4 明挖隧道基坑工程的特点是宽度较小而长度较长,目前支护结构主要采用放坡开挖、土钉墙、钢板桩、混凝土板桩和型钢水泥土搅拌墙支护结构等几种形式。水泥土重力式围护墙和地下连续墙目前使用较少。

表 5~表 7 给出了部分地区基坑支护结构形式的选型原则。

表 5 广州地区支护结构形式选型原则(按支护类型分类)

结构形式	适用条件	不宜使用条件
放坡	基坑周边开阔,满足放坡条件; 允许基坑边土体有较大水平位移; 开挖面以上一定范围内无地下水或已经降水处理; 可独立或与其他结构组合使用	淤泥和流塑土层; 地下水位高于开挖面且未经降水处理
土钉墙	允许土体有较大位移; 岩土条件较好; 地下水位以上为黏土、粉质黏土、粉土、砂土; 已经降水或止水处理的岩土; 开挖深度不宜大于 12m	土体为富含地下水的岩土层、含水砂土层,且未经降水、止水处理的; 膨胀土等特殊土土质; 基坑周边有需严格控制土体位移的建(构)筑物和地下管线

续表 5

结构形式	适用条件	不宜使用条件
水泥土墙	开挖深度不宜大于 7m,允许坑边土体有较大的位移; 填土、可塑~流塑黏性土、粉土、粉细砂及松散的中、粗砂; 墙顶超载不大于 20kPa	周边无足够的施工场地; 周边建筑物、地下管线要求严格控制基坑位移变形; 墙深范围内存在富含有机质淤泥
排桩	悬臂	开挖深度不宜大于 8m 周边环境不允许基坑土体有较大水平位移
	桩锚	场地狭小且需深开挖; 周边环境对基坑土体的水平位移控制要求严格 基坑周边不允许锚杆施工; 锚杆锚固段只能设在淤泥或土质较差的软土层
	内撑	场地狭小且需深开挖; 周边环境对基坑土体的水平位移控制要求更严格; 基坑周边不允许锚杆施工
地下连续墙	适用于所有止水要求严格以及各类复杂土层的支护工程;适用于任何复杂周边环境的基坑支护工程	悬臂或与锚杆联合使用的地下连续墙不宜使用与排桩相同

表 6 广州地区支护结构形式选型原则(按安全等级分类)

基坑侧壁安全等级	支护方案	说明
一级	地下连续墙加锚杆; 地下连续墙加内支撑; 地下连续墙加逆作法; 排桩加锚杆; 排桩加内支撑; 密排桩加逆作法; 组合式支护结构	排桩包括人工挖孔桩、冲钻孔灌注桩、预制桩(单排或双排)、板桩(钢板桩组合、异型钢组合、预制钢筋混凝土竖板组合); 排桩应有冠梁和腰梁结构; 地下连续墙可兼作永久结构和承重结构; 当基坑开挖面以上有地下水时,先用高压喷射注浆止水后,方可用挖孔排桩,且进行基坑内降水; 采用逆作法时,应有可靠的施工通风和照明等条件

续表 6

基坑侧壁安全等级	支护方案	说明
二级	地下连续墙加锚杆; 地下连续墙加内支撑; 地下连续墙加逆作法; 悬臂式桩墙结构; 排桩加锚杆; 排桩加内支撑; 密排桩加逆作法; 土钉墙或土钉墙加预应力锚杆; 组合式支护结构	基坑开挖面以上有地下水时,采用土钉墙宜进行基坑外降水;采用排桩支护,应采取高压喷射注浆、深层搅拌止水等措施,且基坑内降水; 对土钉墙,可采用预制桩、板桩、微型钢管桩、微型灌注桩加预应力锚杆来控制土体水平位移;局部土体放坡段应喷射混凝土护面或堆压砂包
三级	放坡; 土钉墙; 深层搅拌水泥土挡墙; 悬臂式排桩或单层锚杆钢板桩	高压喷射注浆、深层搅拌水泥土挡墙可采用壁式或格栅式; 当基坑开挖面以上有地下水时,应于基坑内或基坑外降水; 开挖深度较大时,宜采用分级放坡,并在分级之间留平台

表 7 北京和南京地区支护结构形式选型原则

结构形式	适用条件
排桩或地下连续墙	适于基坑侧壁安全等级一、二、三级; 悬臂式结构在软土地中不宜大于 5.0m; 当地下水位高于基坑底面时宜采用降水排桩加截水帷幕或地下连续墙
水泥土墙	基坑侧壁安全等级宜为二、三级; 水泥土桩施工范围内地基土承载力不宜大于 150kPa; 基坑深度不宜大于 6m
土钉墙	基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地地; 基坑深度不宜大于 12m; 当地下水位高于基坑底面时应采取降水或截水措施

续表 7

结构形式	适用条件
逆作拱墙	基坑侧壁安全等级宜为二、三级; 淤泥和淤泥质土地不宜采用; 拱墙轴线的矢跨比不宜小于 1/8; 基坑深度不宜大于 12m; 当地下水位高于基坑底面时应采取降水或截水措施
放坡	基坑侧壁安全等级宜为三级; 施工场地应满足放坡条件; 可独立或与上述其他结构结合使用; 当地下水位高于坡脚时应采取降水措施

上海地区针对明开隧道支护结构的选用原则如下:

(1)地形空旷、地下水位较低、地质条件较好、土质均匀、开挖深度不超过 3m、有较好的堆土场地时,可采用放坡开挖。对于深度较大的沟槽,采用放坡开挖易发生安全事故,不宜采用;当开挖范围内有粉性土、砂土且开挖深度大于 2.5m 时,应采用井点降水。

(2)采用横列板式支护的基坑开挖深度不宜大于 3m,开挖期间应采用井点降水。

(3)当基坑开挖深度大于 3m 且周边环境条件允许打、拔钢板桩和配置井点降水时,宜采用钢板桩支护。

(4)当周边环境条件不允许起拔、回收钢板桩时,可采用混凝土板桩支护。在现浇管道或箱涵工程中,混凝土板桩也可作为永久性结构的一部分。

(5)对于环境保护要求高或不允许在沟槽外进行井点降水的工程,宜采用型钢水泥土搅拌墙支护结构。

4.2.5 基坑支护结构的稳定性验算应包括锚撑内撑的稳定性验算、基坑坑底土抗隆起稳定性验算、基坑坑底抗渗流稳定性验算、抗承压水稳定性和基坑边坡整体稳定性验算,各种支护支护形式的验算内容和侧重点不一样。



(1)在某些工程中,基坑可能采用组合支护形式,譬如,当基坑深度较深时,可采用上部放坡开挖、下部钢板桩支护两次成槽的挖土方法。对采用组合支护形式的基坑,必须同时验算边坡及坑底土体稳定性。

基坑坡脚附近有局部深坑时,且坡脚与局部深坑的距离小于2倍深坑的深度,应按深坑的深度验算边坡稳定性。

(2)土钉支护的整体稳定性验算分为两种情况:一是外部整体稳定性验算,可将土钉支护视为复合土体的重力式支护结构进行验算;二是进行土钉支护内部整体稳定性验算,包括根据施工各阶段实际开挖深度进行整体稳定性验算。

(3)抗隆起验算。基坑隆起破坏,是由于开挖面外土体载重大于开挖底部土体的抗剪强度,使得土体产生滑动而导致开挖面底部土体产生向上隆起之现象。

(4)抗渗流验算。以渗流水力梯度 $i$ 小于或等于地基土的临界水力梯度 $i_c$ 来判别坑底土体的抗渗流稳定性, $i_c$ 通常由坑底土体的性质确定。确定 $i_c$ 的方法较多,工程上常用的有基于平面稳定渗流的直线比例法、流网法、阻力系数法和电模拟实验法等。对于板式支护体系的基坑,其防渗地下轮廓线形状比较简单,为便于计算,又满足工程设计要求,在水头不大时(15m~20m内),一般采用直线比例法。需指出的是,由于该方法没有考虑基坑形状对渗流的影响,也没考虑坑周土不透水层的深度,以及地基土的不均匀性等因素,不能用来计算基坑渗流量。对于基坑内外地下水位的取值,宜考虑降雨、地下水位季节性变化以及施工降水等的影响。

(5)抗倾覆验算。对水泥土重力式围护与板式支护结构应进行抗倾覆验算。

### 4.3 构造要求

4.3.1 当采用低收缩混凝土、加强浇筑后的养护、跳仓法、后浇

带、控制缝等有效的综合措施时,变形缝间距可以适当增大。设计者应通过有效的分析或计算慎重考虑各种不利因素对结构内力和裂缝的影响,确定合理的变形缝间距。

4.3.2 保护层厚度的规定是为了满足结构构件的耐久性要求和受力钢筋有效锚固的要求。

4.3.3 地下结构设置横向施工缝的主要目的是为了通过分段浇筑控制超长结构或大体积浇筑时在混凝土中产生的收缩应力,同时也是施工作业的需要。

4.3.6 当明挖隧道结构位于当地冻土层以上或者直接暴露于外部环境之中并需要考虑冻融环境作用时,混凝土材料、钢筋保护层厚度应根据冻融环境级别取值,混凝土还应满足相应的抗冻耐久性要求。具体要求见现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476—2008 第五章冻融环境。

## 5 暗挖隧道

### 5.1 衬砌结构

#### 5.1.1 本条说明如下:

1 电缆隧道作为电力工程永久性构筑物,应避免隧道围岩日久风化和水的侵蚀,产生松弛、掉块、坍塌甚至围岩失稳,危及运行安全;隧道建成后应能适应长期运行的需要。隧道投入运行后,补做衬砌、加固围岩非常困难,技术、经济、安全方面都是不合理的,因此,条文规定“暗挖隧道应采用整体式衬砌或复合式衬砌结构”。

隧道支护衬砌有:整体式衬砌、复合式衬砌。

2 最大限度地利用和发挥围岩的自承能力是隧道衬砌结构设计应遵守的基本原则。隧道围岩自身具有一定的结构作用,应通过一些工程措施和合理的衬砌形式使围岩的这一特性得以充分发挥,达到节省工程投资的目的。隧道衬砌是永久性的重要建筑物,运行中一旦破坏很难恢复,维护费用很高,给电缆运行管理带来极大困难。因此,要求衬砌具有足够的强度、稳定性和耐久性,保证隧道长期安全使用,不产生病害。

3 衬砌结构类型和尺寸的影响因素十分复杂,设计中应在满足使用要求的前提下,因地制宜地进行设计。隧道围岩级别、埋置深度、施工条件和施工方法直接影响到围岩的应力状态和结构受力。电缆隧道衬砌结构设计目前仍以工程类比法为主,但由于地质条件复杂,不同围岩地质条件自身的承载能力不同,并与隧道开挖方式、支护手段和支护时间密切相关,有时单凭工程类比还不足以保证设计的合理性和可靠性,还应进行理论验算。隧道设计阶段,设计者难以准确预测各种复杂条件,在工程实施过程中,应通

过现场监控量测,观测围岩与初期支护的变形变化,掌握围岩动态及支护结构受力状态,调整支护参数。围岩地质条件好,围岩变形小或变形趋于稳定,可适当减少支护;反之,应增强支护,实行动态设计。

4 衬砌一般有直墙和曲墙两种,一般隧道开挖后,围岩均会产生较大侧压力导致衬砌破坏,电缆隧道断面采用直墙形式可以有效利用隧道空间,故各级围岩宜采用直墙圆拱式衬砌。

在围岩较差地段,围岩自稳能力差,侧压力较大,地基承载力弱,为保证结构整体安全,控制沉降,应采用有仰拱的封闭式衬砌断面。设置仰拱以后,能够抵抗较大的侧压力,调整围岩和衬砌的应力状态,保持隧道围岩和衬砌结构的稳定。

在工程实际中,很多情况下拱部围岩条件很差,甚至还需采用管棚等辅助工程措施。

洞身围岩地质条件不同,围岩压力和变形也不相同,加上围岩级别分界里程很难准确划分,围岩级别的变化有时是渐变的,围岩较差段的衬砌向围岩较好段延伸是使衬砌能适应这种条件变化,起过渡作用。

#### 5.1.2 本条说明如下:

2 设置沉降缝、伸缩缝的目的是为了把不同承载能力结构、承受不同围岩压力的结构完全断开,产生的沉降变形和受力变形各自独立。结构的荷载作用方向垂直于隧道轴线,所以,沉降缝也应垂直于隧道轴线设置。

3 在严寒地区,冬春季节,由于冷缩影响,往往导致衬砌圻工开裂、变形,为了结构安全,应设置伸缩缝,伸缩缝的间距可视隧道长度及其所在地区的最冷月平均气温等条件确定。

4 沉降缝、伸缩缝本身可作施工缝,施工缝调整到沉降缝、伸缩缝的同一位置,可减少一道专门工序。同时沉降缝、伸缩缝与邻近施工缝的距离一般不小于5m,是为保证一次浇筑衬砌段的长度。

5 隧道衬砌背后,尤其是拱圈顶部与围岩之间,由于混凝土收缩,一般会留有空隙,围岩压力不能均匀传布,也不能充分发挥围岩的弹性反力,衬砌易变形,故规定:“各级围岩地段的拱部衬砌背后应压注强度不低于 M20 的水泥砂浆”。

### 5.1.3 本条说明如下:

1 复合式衬砌是由两层衬砌组合而成的,中间设防水层。其结构稳定,防水和衬砌外观均能满足电缆隧道使用的基本要求,适合多种地质条件,技术较为成熟,是目前电缆隧道最好的衬砌结构形式。复合式衬砌已成为电缆隧道衬砌的标准结构形式。因此,一般情况下,应采用复合式衬砌。

1) 复合式衬砌的初期支护多用喷锚支护,具有支护及时、柔性的特点,并在一定程度上能随着围岩的变形而变形,力求最大限度地发挥围岩的自承能力。根据围岩条件,复合衬砌初期支护采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等单一支护形式或组合施工,并通过监控量测手段确定围岩已基本趋于稳定,再进行内层二次衬砌施工,二次衬砌可采用模筑混凝土、喷锚、拼装式衬砌等,但一般采用模筑混凝土。

2) 复合式衬砌初期支护多采用喷锚柔性支护,具有支护及时、柔性的特点,并在一定程度上能够随着围岩的变形而变形,能很好地发挥围岩的自承能力;由于喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架等的作用各不相同,初期支护的刚度与其组成成分有着密切关系。故在设计时应根据工程地质、水文地质、隧道断面尺寸、覆盖层厚度等条件选择初期支护的组成,确定初期支护的刚度。

3) 二次衬砌一般受力比较均匀,为防止应力集中,故宜采用连接圆顺、等厚的马蹄形断面。

2 复合式衬砌的设计参数是根据国内外公路、铁路隧道支护参数统计、类比,结合电缆隧道的实际工程情况进行修改的。

初期支护及二次衬砌的支护设计参数可参照表 8 选用,并根据现场围岩监控量测信息对支护设计参数进行必要的调整。

表 8 隧道复合式衬砌的支护设计参数

围岩级别	初期支护					二次衬砌厚度 (cm)			
	喷射混凝土厚度 (cm)		锚杆			钢筋网 (cm)	钢架	拱、墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度 (m)	间距 (m)				
I	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	5	—	—	—	—	—	—	25	—
III	7	—	局部	2.0	1.2~1.5	—	—	25	—
IV	10	—	拱、墙	2.0~2.5	1.0~1.2	必要时设置 @25×25	—	25	30
V	15~25	15~25	拱、墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱、墙 @25×25	必要时设置	25	40
VI	通过试验确定								

注:1 采用钢架时,宜选用格栅钢架,钢架设置间距宜为 0.5m~1.5m。

2 对于IV级、V级围岩,可视情况采用钢筋束支护,喷射混凝土厚度可取小值。

其中IV级、V级围岩当初期支护设置格栅钢架时,要求喷射混凝土必须覆盖钢架。结合目前工程施工实际,对于V级围岩,岩质相对较好时可采用钢筋束作加强支护,喷射混凝土厚度可适当减少;对于IV级围岩,有时视情况也可采用钢筋束作加强支护,喷射混凝土厚度亦可适当减少。

3 国内外隧道现场试验表明,软弱围岩隧道在施工后 2 年~3 年,甚至 5 年~6 年,围岩变形才最终稳定,故对软弱流变围岩隧道,应考虑以后继续增长的围岩形变压力的作用。

### 5.1.4 本条说明如下:

1 通过黄土地层的隧道,应按其土壤分类和物理力学性能确定衬砌结构。

根据黄土隧道衬砌现场试验研究和量测资料,说明垂直压力

是不均匀的,大致呈马鞍形分布,侧压力比较大,其侧压力系数约为0.5,故规定黄土隧道应采用曲墙仰拱衬砌。实践证明,带仰拱、边墙曲率较大(矢高不小于弦长的1/8)的复合衬砌,能促使围岩较快地稳定,为了避免或减少土体应力集中,隧道开挖轮廓宜圆顺。

由于黄土遇水软化、坍塌,位于隧道附近的地表冲沟、陷穴、裂隙应予以回填、铺砌,并做好地表水的引排设施,将水排至隧道范围以外,以免下渗影响结构安全。

2 通过含水砂层及软弱、膨胀性围岩的隧道,由于围岩压力较大,开挖后易于变形坍塌,甚至造成衬砌破裂、下沉情况,为了保证施工安全和衬砌完好,设计应遵守下列规定:

1)衬砌结构应适应围岩压力情况和满足衬砌上的荷载作用要求,在松散堆积层、流砂层及软弱、膨胀性围岩的隧道,非但有垂直压力,而且有较大的侧压力和底压力,因此衬砌应采用曲墙带仰拱的结构;如压力特别大,为避免单纯增加衬砌厚度,使隧道开挖断面加大,导致压力增大,给施工造成更大困难,并考虑钢筋混凝土结构绑扎钢筋的不便,可采用钢骨架混凝土结构(即刚性骨架混凝土结构),加强衬砌;其钢构,一般采用型钢,也可用旧钢轨,在开挖过程中可兼作临时直护,防止围岩松散,并减少主撑替换时再次扰动围岩的稳定。

2)含水砂层强度很低,稍有变形就会松散,其开挖面几乎不能自稳。此外,如地质特别破碎,还可向围岩中预先压注水泥砂浆或进行水平、斜向和竖向旋喷(桩)加固地层,确保施工安全。

3)软弱且膨胀性围岩,开挖后变形量大,且延续时间较长,其中膨胀围岩常作用较大的膨胀侧压力和底压力,有时侧压力大于垂直压力,从而导致边墙变形大而底鼓,因而不宜一次完成永久衬砌,宜用复合衬砌,并宜用带仰拱的圆形或接近圆形的马蹄形断面。初期支护可提供一定的支护抗力,使围岩不致松散,同时又允许基岩的塑性变形有一定发展,以充分发挥围岩的自承作用;二次

衬砌作为永久结构物,可保证隧道长期稳定,并便于防水措施的实施。

4)在含水层的情况下,松散堆积及流砂地层会发生岩土流失,软弱围岩遇水更易软化失稳,膨胀性围岩的坑道安全性更为降低。因此,应根据地形、地质、水文地质等具体情况对地表水和地下水做出妥善处理,如整平地表防止积水下渗,增加衬砌背后疏干地层的排水设施;采用排水坑道、排水钻孔、井点法、深井法等降低地下水位,以及压注水泥砂浆或化学浆液等。

3 岩溶是可溶性岩层(石灰岩、白云岩、石膏)受水的化学作用(溶解、沉积)和机械作用(冲蚀、潜蚀)等地质作用和这些地质作用所形成的各种现象的总称。不利位置的岩溶、洞穴对隧道的危害很大,当隧道穿越岩溶或洞穴时,除大溶洞难以跨越或施工不易处理及运行安全无保证的复杂洞穴,需改动线路绕避外,凡影响洞身稳定的,均需予以处理,其处理措施,应视空穴大小、有水无水、空穴充填情况且与隧道的相对位置而定。

1)对空穴水的处理,不宜盲目采取以排为主,应根据水源、水量、水压、水的活动规律和工程地质情况等综合研究,慎重考虑,因地制宜采取截、堵、排的治理措施。

2)对干燥无水、无填充、小的人工洞穴,可采用浆砌片石或干砌片石堵塞封闭。

3)与隧道围岩接触的空穴,可根据不同情况采取支顶、锚固等措施处理。

4 通过含瓦斯地层的隧道,衬砌设计时,为保证安全和正常运营,应根据不同情况采取相应措施:

1)含瓦斯地层的隧道,一般采用有仰拱的封闭式衬砌或复合衬砌,以及混凝土整体模筑,并提高混凝土的密实性和抗渗性,以防瓦斯逸出。

2)向衬砌背后压注水泥砂浆及其他化学浆液,使衬砌背后形成一个帷幕,以隔绝瓦斯的通路,这也是常用的封闭堵塞措施

之一。

5 通过放射性地层的隧道应视放射指标严重程度,采用特殊方法设计,衬砌材料要依放射性质选取,要求结构具有放射性防护性能。

## 5.2 衬砌结构计算

### 5.2.1 本条说明如下:

1 在结构设计领域,目前多数工程结构已采用概率极限状态设计法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,并采用以分项系数表达的计算式进行设计。电缆隧道因建设时间短,样本及专题研究成果积累都尚少,目前尚未具备采用极限状态设计法设计的条件,然而由于对隧道衬砌限制裂缝开展宽度等将使其延长使用寿命的基本条件,因而对隧道结构设计提出同时按承载能力和限制裂缝开展宽度进行计算的规定。

对构件的截面强度,因电缆隧道目前尚未具备按概率极限状态设计法设计的条件,故规定按破损阶段法验算,必要时配筋量按限制裂缝开展宽度进行计算。

2 由理论分析和模型试验说明:隧道衬砌承载后的变形受到围岩的约束,引起围岩的约束力,阻止衬砌变形的发展,从而改善了衬砌的工作状态,提高了衬砌的承载能力,这是地下结构区别于地面结构的主要标志,故在计算衬砌时应考虑围岩对衬砌变形的约束作用。

弹性抗力、衬砌与围岩的粘结力均属围岩的约束力,由于粘结力约束作用以往研究不多,今后应加强注意。

为简化计算,弹性抗力的摩擦力对衬砌内力的影响可不考虑,这对结构安全储备是有利的。

### 5.2.2 本条说明如下:

2 一般并不能确切地计算天然拱的高度;天然拱以外的岩体虽然没有坍塌,但并非没有变形,为偏于安全计,目前通常是以天

然拱的高度为参照,并兼顾开挖对天然拱以外岩体的某个影响范围来判别结构的深埋、浅埋状态。按照这种判别方法,定义开挖的有效影响高度达到天然拱高度以外的某个位置,则可以把地下结构的埋深划分为以下2种不同状态:①浅埋,地下结构的埋深小于开挖的有效影响高度;②深埋,地下结构的埋深大于等于开挖的有效影响高度。

3 一般来说,对于埋深较浅的隧道,开挖会引起整个上覆地层的变位,如果不及时支撑,地层就会大量变形和坍塌,波及地表而形成一个沉陷区。按平衡条件可得松动围岩压力=支护结构反力=滑动岩体的重力-滑动面上的摩擦阻力,其中,滑动面上的摩擦阻力与具体的埋深情况有关。

4 对于深埋结构,天然拱可以形成且岩体的变形没有波及地表,可以把围岩压力的计算归结为确定天然拱的形状和范围。当然,也可以对围岩变形做出其他假设,并借以计算主动围岩压力。应用假定天然拱性质的理论计算。

### 5.2.3 本条说明如下:

1 整体式衬砌通常用于自成拱能力差的Ⅵ级围岩,衬砌上方的覆盖层通常不能形成卸载拱,故应按荷载结构模型设计。

2 由于岩土体介质的性质通常具有明显的不确定特征,岩土工程问题分析中经验常起主导作用,因而本标准规定Ⅰ级~Ⅲ级围岩中复合式衬砌的初期支护主要按工程类比法设计,即参照以往工程实例确定支护参数。

Ⅳ级~Ⅵ级围岩采用地层结构法计算时,可通过对释放荷载设置释放系数控制初期支护的受力,以使初期支护和二次衬砌能按较为合理的分担比例共同承受释放荷载的作用。

3 复合式衬砌的二次衬砌用于Ⅰ级~Ⅲ级围岩时,由于初期支护作为永久结构已可使围岩保持稳定,因而二次衬砌可按构造要求选定厚度,不必进行验算。对于Ⅳ级~Ⅵ级围岩,二次衬砌应按承载结构进行力学分析,计算原理和方法与同类围岩中的初期

支护相同。然而,由于已往有对其采用荷载结构法计算的经验,因而对其也可采用荷载结构法计算。

4 表 5.2.3 所列数值主要参照现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003,这些安全系数是以我国所建成的电缆隧道的调查及实践经验为基础提出的,且结构基本上是安全的。因此,可以认为,在结构计算理论和材料指标没有较大变动的情况下,这些安全系数值基本上是合适的。特别是根据地下结构的特点(如衬砌施工条件差、质量不易保证、作用变异大、结构计算简图与实际受力状态有出入等),结构强度安全系数的取值应较地面结构略有提高,以保证隧道在正常设计施工条件下具有必要的安全储备。

验算施工阶段强度时,因隧道衬砌结构处于施工阶段的时间比使用阶段短得多,围岩压力等荷载一般不会立即达到使用阶段的最大值,且在验算施工阶段强度的计算假定中,受力较好的空间结构常被简化为内力较大的平面结构,一些对衬砌受力有利的因素,如工作缝的粘结强度、围岩的阻抗及衬砌与围岩的粘结作用等常忽略或取很小的数值,故本标准规定对施工阶段安全系数可按使用阶段的值乘以折减系数 0.9 后采用。

### 5.3 竖井设计

#### 5.3.1 本条说明如下:

1 为了便于隧道施工及后期敷设电缆、隧道通风及排水,竖井平面位置宜设置在隧道中线上。

3 不同电压等级的电缆有不同的最小转弯半径,因此,在三通井及四通井内应设置相应的转弯以满足电缆的转弯敷设。

4 由于圆形结构受力状态好,因此,电力隧道多采用圆竖井;为了便于将来电缆运行维护人员的出入,竖井内应设置人员上下的安全梯。

#### 5.3.2 衬砌参数可按表 9 选用。

表 9 衬砌设计参数

围岩级别	喷锚衬砌		复合衬砌		二次衬砌
	$D < 5m$	$5m \leq D \leq 7m$	初期支护		
			$D < 5m$	$5m \leq D \leq 7m$	
I	喷射混凝土厚 10cm	喷射混凝土厚 10cm~15cm, 必要时局部设锚杆	—	—	—
II	喷射混凝土厚 10cm~15cm, 锚杆长 1.5m~2.0m, 间距 1.0m~1.5m	喷射混凝土厚 15cm~20cm, 锚杆长 2.0m~2.5m, 间距 1m, 配钢筋网, 必要时加钢圈梁	—	—	—
III	喷射混凝土厚 15cm~20cm, 锚杆长 2.0m~2.5m, 间距 1m, 配钢筋网, 必要时加钢圈梁	喷射混凝土厚 20cm, 锚杆长 2.5m~3.0m, 间距 1m, 配钢筋网, 加钢圈梁	喷射混凝土厚 5cm~10cm, 锚杆长 1.5m, 间距 1m, 必要时配钢筋网	喷射混凝土厚 10cm~15cm, 锚杆长 2m, 间距 1m, 必要时局部配钢筋网	25cm
IV	—	—	喷射混凝土厚 10cm~15cm, 锚杆长 2m, 间距 1m, 必要时配钢筋网	喷射混凝土厚 15cm~20cm, 锚杆长 2.5m, 间距 0.75m~1.00m, 配钢筋网	30cm
V	—	—	喷射混凝土厚 15cm~20cm, 锚杆长 2.5m, 间距 0.75m~1.00m, 配钢筋网, 必要时配钢圈梁	喷射混凝土厚 20cm~25cm, 锚杆长 3m, 间距 0.5m~0.7m, 配钢筋网, 必要时配钢圈梁	30cm

注:1 VI级围岩地段应采用特殊支护措施。

2 D为竖井开挖直径。

直径大于7m的竖井应做专项设计。在竖井支护中,一般地质条件下均可采用无壁座支护;当地质条件差,衬砌与地层间粘结力小,地基承载力低,或需承受上方较大的荷载,而设置壁座可以扩散承受的负荷,故规定“井口段、地质条件较差的井身段及马头门的上方宜设壁座”。

**5.3.3** 马头门处受力情况复杂,易出现应力集中,为结构的薄弱点,因此,为了保证竖井的结构安全,竖井施工时应分别逐一的施做马头门。衬砌结构应进行加强。

**5.3.4** 竖井和隧道的连接为不同结构间的连接,因此,连接处宜设置变形缝。竖井井身范围内为了施工及电缆敷设的需求不宜再设置纵向变坡点。

#### 5.4 辅助工程措施

**5.4.1** 本条说明如下:

2 在电缆隧道结构施工中,降低地下水位的方法主要有重力法、真空法、砂(砾)渗井法等,而各种施工方法各具特点,在选用时,需根据土层渗透系数、性能及工程具体情况而确定。

(1)各种降水方法与渗透系数的关系。轻型井点和喷射井点是利用真空度产生的负压将地下水抽吸上来的,所以这两种降水方法适用于渗透系数小的土层降水;而管井井点采用深井泵或潜水泵的扬程高,所以适用于渗透系数大的土层降水;砂(砾)渗井点是疏通上、下含水层,将上层地下水疏向下层含水层,所以中间为隔水层。

(2)各种降水方法适用降水深度。喷射井点和轻型井点,虽都是利用真空度产生的负压将地下水抽吸上来的,但由于喷射井点的真空度远大于轻型井点,所以喷射井点比轻型井点降水深度深。而管井井点采用的深井泵或潜水泵,本身的扬程高,抽吸水能力大,所以管井井点的降水深度深。

3 隧道结构线路长、面积大,无论是明挖或暗挖隧道,特别是

在土质地层中,如果不把地下水位控制在基底以下是无法保证安全和正常施工的。

4 本款说明如下:

1)降水井点之所以要求距暗挖隧道有一定的距离,其目的是为防止井点系统渗漏水而影响隧道结构施工。

2)暗挖隧道端头降水井点布置若不延长,将在两端井点行程的降水影响曲线之间形成一条降水盲区,使地下水降不下去而影响施工。

**5.4.2** 本条说明如下:

1 超前导管和管棚是喷锚暗挖隧道超前预支护的一种措施,采用这两种支护方法的地层,一般都很软弱、破碎,如不采取措施,开挖时工作面极易坍塌,同时,导管和管棚是主要的受力杆件,因此,纵向两排导管或管棚应采取一定搭接长度。

表5.4.2中所列参数,设计时应根据具体情况进行选用。

2 导管和管棚的钢管,隧道开挖时均承受地层的压力,特别是管棚的钢管,为增强其强度和刚度并加固周围的地层,一般都应灌浆。为保证灌浆质量防止漏浆,导管和管棚钢管的尾部需设置封堵孔。

**5.4.3** 本条说明如下:

1 地层加固施工时的注浆工艺分四种,即渗入性注浆、劈裂注浆、电动硅化注浆以及喷射注浆,本条针对不同工程地质情况规定了宜采用的注浆方法。

2 地下铁道喷锚暗挖隧道由于埋深浅,钻孔注浆在地面操作方便,所以在有条件的地方,尽量采用地面钻孔注浆的方法。如果地面建筑物多,交通繁忙,很可能环境条件不允许,在这种情况下,只能在洞内进行超前注浆。

洞内注浆,除沿隧道周边超前注浆外,还可以采用先导洞,然后对隧道周围岩进行径向注浆,固结后再进行隧道开挖。

3 注浆材料系指注浆用的主料,并分颗粒浆化材料和化学浆

化材料两种,而颗粒浆化材料主要包括水泥浆、水泥砂浆、黏土浆、水泥黏土浆以及粉煤灰、石灰浆等。为适用于不同注浆目的,还可在浆液中掺入各种外加剂。

化学浆液在注浆中常用的有聚氨酯、丙烯酰胺类、硅酸盐类、水玻璃等。

在施工中,应根据具体情况经比较后选用。

4 根据注浆目的、地质等情况选用适当浆液,这不仅对取得满意的效果至关重要,而且还直接影响造价,因此,在隧道工程注浆中,常采用颗粒浆材先堵塞大的孔隙,再注入化学浆液,这样既经济,又达到注浆的满意效果。

壁后回填注浆因为是起填充作用的,所以尽量采用颗粒浆液,这样既经济,又达到注浆的满意效果。

在水泥类浆液中,普通硅酸盐水泥使用得比较多,在特殊情况下,也可采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和抗硫酸盐水泥等。

由于各种浆液适用于不同的地质情况,所以配合比必须根据地质经过现场试验后确定。

5 注浆孔距、排距根据注浆加固厚度和浆液扩散半径经计算初步确认,由于地质原因,还得通过实地试验后,方能提出较正确的数据。

壁后回填注浆应在初期支护结构完成一定长度后,且不影响隧道开挖的情况下及时进行,以控制地层沉陷。其压浆管应根据设计预埋于初期支护结构内。

高压喷射注浆一般分为定向喷射和旋转喷射两种注浆形式。定向喷射时,要一面喷射,一面提升,其方向不变,使固结体形成壁状;旋喷时,喷嘴一面喷射,一面旋转和提升,使固结体形成柱状。

注浆时应根据注浆目的采用不同的注浆方法。

6 注浆压力能克服浆液在注浆管内的阻力,把浆液压入隧道周边地层中,如有地下水时,其注浆压力尚应高于地层中的水压,

但若压力太高,因扰动围岩,浆液就会溢出地表或其有效范围之外,给周边结构带来不良影响,所以应严格控制注浆压力。

由定量上判断注浆效果在技术上是很难的,所以可采用开挖取样和贯入试验等判断注浆效果。



## 6 顶管隧道

### 6.1 一般规定

**6.1.3** 顶管管径应根据设计功能及相关要求确定,管径不宜太小,较小管径管内操作空间较小,施工较为不便;也不宜太大,较大的管径要求顶推力大,对顶管设备的要求比较高。如计算所需的管径较大,可考虑布置两根或多根管道同时顶进。管材的选择应根据管径、管道用途、管材受力特性、当地采购或制作条件的具体情况来考虑。顶管管材的材料通常包括:混凝土管道,包括普通混凝土管道、钢筋混凝土管道、复合混凝土管道和聚合物混凝土管道;钢管,包括有缝钢管和无缝钢管;玻璃纤维加强管(又称纤维缠绕玻璃钢夹砂管);球墨铸铁管道;陶土管;塑料管(PVC管);石棉水泥管道。顶管管材选用时,要求所用管材应满足如下一些基本性能要求:

- (1)能够抵抗管道内、外的侵蚀;
- (2)能够承受一定的静、动荷载;
- (3)能够承受管道内、外部压力;
- (4)具有较高的轴向承载力;
- (5)满足紧密的配合尺寸;
- (6)要保持好关节端部平整度及与管轴线的垂直度;
- (7)要保证好管道长度方向上的平直度;
- (8)防水接头应设置在管道壁内,不允许突出于管道的内外壁;
- (9)管道接头应具有传递轴向荷载的能力,同时还需保证当发生一定角度偏斜时仍具有防水能力。

**6.1.5** 同时顶进的几根平行管道之间应有足够的净距,顶管间距

是从顶进时避免相互影响的最小距离考虑。

**6.1.6** 工作井的布置需要综合考虑多方面因素,避免对周围建(构)筑物和设施产生不利影响;满足工程地形条件、交通、水利等行业管理要求等制约因素对工作井布置的限定条件;应考虑施工组织的便利,选择靠近电源、水源,便于运输、排水的位置等。工作井和接收井还应根据确定的顶进形式进行布置,常见的顶进形式可分为单向顶进、双向对接顶进、调头顶进、多向顶进等几种。工作井形状一般有矩形、圆形、腰圆形、多边形等几种,其中矩形工作井最为常见,较深的工作井一般采用圆形,且常采用沉井法施工。工作井和接收井按其结构可分为钢筋混凝土井、钢板桩井、地下连续墙井等。工作井和接收井的控制尺寸包括井的最小长度、最小宽度,设计时考虑顶管施工要求。在土质条件好、总顶推力不大和井底不深的情况下,工作井和接收井可采用水泥搅拌桩临时支护或放坡开挖式,但需在工作井中浇筑一堵后座墙。顶进宜力求长距离顶进,少设工作井;直线顶管工作井宜设在管道附属构筑物内,以同时作为永久性管道附属构筑物;长距离直线管道顶进时,在检查井处设置工作井,以便掉头顶进;多排顶进或多向顶进时,应尽可能利用同一个工作井。

### 6.2 设计计算

**6.2.2** 顶力设计公式是根据实际工程的一些测试资料所得的,较符合实际情况,但因影响顶力的因素很多,不同地区顶力的变化情况也不相同,即使在同一地区同一区段的顶管顶力,有时也会相差很大,对经验公式的应用范围应认真分析研究。

### 6.3 工作井

**6.3.1** 在土质条件好、顶管口径比较小和顶进距离不长的情况下,工作井可采用放坡开挖式,在顶进坑中需浇筑一堵后座墙。工作井的围护结构形式可采用钢板桩、沉井、地下连续墙、灌注桩或

SMW 工法。工作井围护结构的工法选取可按照以下情况选择:

(1)当工作井埋置较浅、地下水位较低、顶进距离较短时,宜选用钢板桩或 SMW 工法。工作井内水平支撑应形成封闭式框架,在矩形工作井水平支撑的四角应设斜撑;

(2)在顶管埋置较深、顶管顶力较大的软土地区,工作井宜采用沉井或地下连续墙;

(3)当场地狭小且周边建筑需要保护时,工作井宜优先选用地下连续墙;

(4)在地下水位较低或无地下水的地区,工作井可选用灌注桩;

(5)除沉井外其他形式的工作井,当顶力较大时皆应设置钢筋混凝土后座墙。

**6.3.2** 顶进工作井是顶进的起点,垂直运输、设备安装、水电供应、工作人员出入都要通过此井;终点工作井是顶进管道的终点,用于运出顶进设备;中间工作井既是此段的终点,又是新顶管道的起点,兼起上述两种工作井的作用。

**6.3.3** 工作井的形状可根据如下几种情况进行选取:

(1)在直线顶管或两段交角接近  $180^\circ$  的折线顶管施工中,多采用矩形工作井,矩形工作井的短边与长边之比通常为  $2:3$ ,这种工作井的优点是后座墙布置方便,井内空间能充分利用,覆土深浅都可以利用;

(2)在两段交角比较小或者是在一个工作井中需向几个不同方向顶进时,往往采用圆形工作井,较深的工作井一般也采用圆形,圆形工作井的优点是占地面积小,但需另筑后座墙;

(3)小口径顶管常用腰圆形工作井。

#### 6.4 辅助工程措施

**6.4.3** 降排水时应应对沿线地下和地上管线、建(构)筑物进行保护,以确保施工安全;降排水方案应经过技术经济比选,必要时应经过专家论证。

## 7 盾构隧道

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 盾构隧道的断面形状有圆形、矩形、椭圆形、双圆搭接型等多种形式。对于电缆隧道,矩形断面的空间利用率最高,与圆形断面相比可节约  $30\%$  左右的空间。但与其他断面相比,圆形断面结构稳定、受力好,盾构机造价低、容易操作,管片的制作和拼装简单方便,而且目前国内绝大多数为圆形断面,积累了丰富的经验,所以选取断面时宜优先选取圆形断面。如果条件成熟,也可采用其他断面。

**7.1.2** 从盾构工法自身的施工性方面看,盾构隧道的平面线形宜选用直线和大曲率半径的曲线。

**7.1.3** 盾构法隧道的埋深应根据地面环境、地下设施、地质条件、开挖面大小、盾构特性等来确定。日本规范中提出盾构法隧道顶部的覆土厚度一般为  $1D \sim 1.5D$  ( $D$  为隧道外径),在工程实践中,有覆土厚度小于  $D$  的成功实例;也有埋深较大时仍发生地面沉降和爆喷等事故。对于电缆隧道,由于其断面小,而且城市地表多为填土层,土质一般较差,盾构法施工的电缆隧道的覆土厚度不宜小于隧道外径,局部地段无法满足时应采取必要的措施。

**7.1.4** 本条所说的平行设置隧道,是指在一定区间的平面上或立面上设置相互平行的隧道且距离较近时,会在横断面方向或纵断面方向发生与单个隧道所不同的位移及应力,严重时会影响隧道衬砌的安全性。因此必须对由于多条隧道相互干扰而产生的地基松弛或施工荷载的影响进行分析论证,根据需要进行衬砌加固、地基改良或采用辅助施工措施控制变形等。

参照《隧道标准规范(盾构篇)及解说》(日本),当平行隧道的

相隔距离小于后续隧道外径( $D$ )时有必要对其进行充分的论证,尤其是相隔距离小于 $0.5D$ 时有必要进行详细的论证。国内实践也表明,隧道间的相隔距离越小其影响就会越大,且大多平行盾构隧道的间距都在 $1D$ 以上,因此本条规定平行隧道间距不宜小于隧道外径。无法满足时应根据隧道之间的相互位置、地质条件、施工次序等因素分析其影响程度,必要时采取相应的措施。

## 7.2 荷 载

7.2.1 关于垂直土压力的取值说明如下:

1 考虑长期作用于隧道上的土压力时,如果覆土厚度小于隧道外径,一般不考虑地基的拱效应,故采用总覆土压力。

2 当覆土厚度大于隧道的外径时,地基产生拱效应的可能性比较大,可以考虑在设计计算时采用松弛土压力。但对于中等固结的黏土( $4 \leq N < 8$ ,  $N$  为标准贯入击数)或软黏土( $2 \leq N < 4$ ),很难产生拱效应,据日本的统计,采用全覆土重量作为土压力考虑的实例比较常见。

对于圆形断面以外的隧道,只要合理地评价松动带宽度( $B1$ ),也可以采用太沙基(Terzaghi)公式计算松弛土压力。但是由于荷载的分布形状等条件会跟随隧道的断面而发生变化,应慎重地进行分析判断。

3 在计算松弛土压力时如果土的黏聚力很大,松弛土压力会变得很小甚至变为负值,所以在公式的应用方面要加以注意。根据以往的经验,当垂直土压力采用松弛土压力时,考虑到施工时的荷载以及隧道竣工后荷载的变动,多设定一个土压力的下限值,电缆隧道中一般取相当于 $2D$ ( $D$ 为隧道外径)覆土厚度的土压力值。

7.2.2 地基抗力的考虑方法有两种,一种方法是认为地基抗力与地层位移无关,是与作用荷载相平衡的反作用力,一般预先对其分布形状进行假定;另一种方法则认为地基抗力从属于地基的位移,例如 Winkler 的假定等,认为地基抗力是由衬砌向围岩方向位移

而发生的反力。

1 该方法假定垂直方向的地基抗力与地基位移无关,取与垂直荷载相平衡的均布反力作为地基抗力。另一方面,作用在隧道侧面的水平方向的地基抗力,则是伴随衬砌向围岩方向的变形而产生。

2 这一方法是将地基抗力考虑为管片向地基方向变形时所产生的反力。在欧美各国多采用全周地基弹簧模型,而日本则较多使用部分地基弹簧模型。从国内外应用实例来看,多数只将半径方向弹簧作为有效弹簧,也有少数考虑切线方向弹簧。此时的地基弹簧系数多参考地基抗力系数进行确定(图1)。

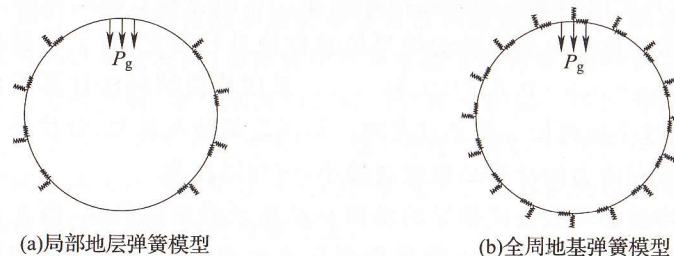


图1 地基弹簧模型

## 7.3 衬砌结构计算

7.3.2 管片结构的计算方法说明如下:

(1)均质圆环法。管片接头部分的刚度要小于主截面的刚度,在荷载作用下,存在接头的管片比刚度完全均匀的管片变形量大。因此将管片假设成刚度均匀的圆形结构时,可以将接头部分弯曲刚度的降低评价为管片环整体刚度的降低。另一方面,管片接头由于存在一些铰的功能,所以可以认为弯矩并不是全部都经由管片接头传递,其中一部分通过环之间接头的剪切阻力传递给由错接头连接的相邻管片。如图2所示,弯矩增大系数 $\zeta$ 是传递给与接头相邻管片上的弯矩 $M_2$ 与具有 $\eta \cdot EI$ 均匀弯曲刚度环上产生的弯矩 $M$ 之比 $M_2/M$ (图2)。

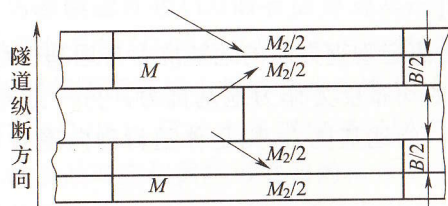


图2 弯矩在接头处的传递

刚度折减系数  $\eta$  和弯矩增大系数  $\zeta$  是互相关联的。据推算,  $\eta$  越接近 1, 则  $\zeta$  就接近于 0。  $\eta$  除了因管片的种类、管片接头的结构特性、环相互之间的错接头方法及其结构特性等因素而取值不同外, 尤其受周围围岩的影响特别明显。目前  $\eta$  和  $\zeta$  主要根据大量的使用经验和地上试验的结果经验性地进行确定, 对于错缝拼装一般取  $\eta=0.6\sim 0.8$ 、 $\zeta=0.3\sim 0.5$ 。采用均质圆环法计算截面内力时, 过小地评价  $\eta$  就是过大地评价围岩的地基抗力, 管片环上产生的截面内力的计算结果就会偏小, 应加以注意。

均质圆环法公式推导的前提是结构承受对称荷载, 因此当存在偏压荷载或者由于土壤条件变化产生非均匀变化荷载的情况下, 该方法不适用。

(2)多铰圆环法。该方法求得的截面内力中弯矩会有相当大的减少。该法应用的前提是隧道周边地层需要提供良好的反力。另外由于周围围岩的好坏会对隧道的安全性产生决定性的影响, 所以隧道竣工后, 后续隧道近接施工等因素引起围岩扰动, 以及隧道防渗等问题需要认真考虑。

在管片拼装过程中以及盾尾刚脱出后地基反力尚未充分发挥作用时, 需要采用辅助手段使管片接头具有一定的刚度, 多先使用螺栓接头进行管片组装, 在作用荷载稳定以后便拆除螺栓, 使管片更加接近于铰结构而进行使用。

该法主要应用于欧美国家。

(3)梁-弹簧法。该方法是将管片主截面简化为圆弧梁或者直

线梁构架, 将管片接头看成旋转弹簧, 将环接头看成剪切弹簧的构造模型, 将其弹性性能用有限元法进行构架分析, 计算截面内力。直梁-弹簧模型和曲梁-弹簧模型如图 3 所示。

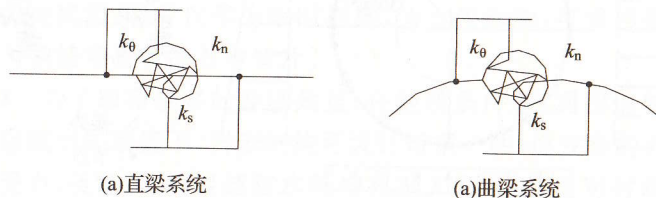


图3 梁-弹簧模型

如将剪切弹簧常数和旋转弹簧常数同时设定为零, 则基本上与多铰环计算法相同; 如将剪切弹簧常数设置为零, 将旋转弹簧常数设为无限大时, 则与刚度均匀环的计算法相同。所以可以认为这一方法不但包含了上述两个方法, 同时还可以利用管片环接头剪切刚度的大小表征错接接头的拼接效应。所以从力学机理上讲是解释管环承载机制的有效方法。

用梁-弹簧模型可以对任意一种管片环的组装法以及接头的位置进行解析, 也可以计算出环接头上产生的剪力。旋转弹簧常数和剪切弹簧常数除了可用试验求得外, 对于一般性的管片接头, 也可通过计算求出。

如果对剪切弹簧常数取值偏小, 则主截面的计算弯矩也会偏小, 所以, 为了安全起见, 也常采用将其设定为无穷大的方法。

根据日本所做的接头弯曲试验, 通缝拼装的管片环(图 4)的弯矩和接头转角大致呈线性关系, 用弯曲梁代替管片, 横向接头用与弯矩相当的旋转弹簧来替换, 地基抗力用弹性弹簧代替。

错缝拼装的管片环(图 5)的连接螺栓被看成连接每一环的切向和径向剪切弹簧。这样可以限制错缝拼装临近的一环、两环或三环的切向和径向位移。

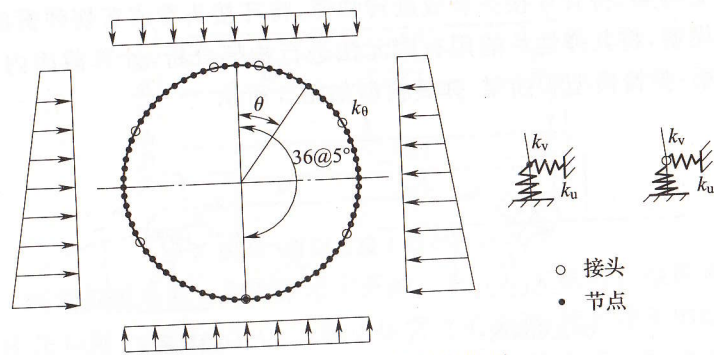


图4 通缝拼装的解析模型  
 $k_v$ —切向弹簧;  $k_u$ —径向弹簧;  $k_\theta$ —旋转弹簧

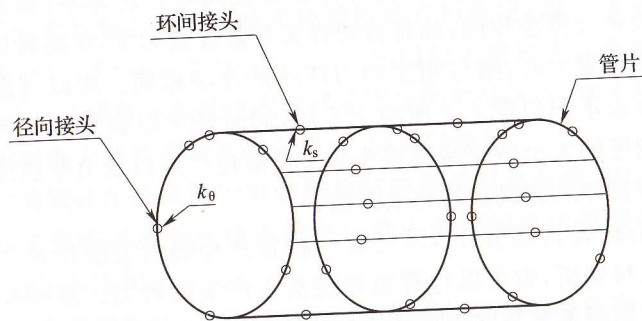


图5 错缝拼装的解析模型  
 $k_\theta$ —旋转弹簧;  $k_s$ —剪切弹簧(切向和径向)

### 7.4 衬砌结构

7.4.1、7.4.2 盾构法隧道一般由管片拼装的一次衬砌和在其内灌注混凝土的二次衬砌组成。一次衬砌是隧道的主体结构,二次衬砌多用于管片补强、防蚀、防渗、矫正中心线偏离、防震、使内表面光洁和隧道内部装饰等。但是双层衬砌施工周期长,造价高,且其止水效果在很大程度上还是取决于管片的施工质量、渗漏情况。加上一次衬砌完全能满足电缆隧道的功能需求,因此条文规定电缆隧道宜选用单层装配式衬砌。

制作管片常用的材料有铸铁、钢材、混凝土等。钢筋混凝土管片制作方便、强度高、耐腐蚀、耐压性好、造价低,而且使用高精度的钢模具也可保证其尺寸精度,目前较为常用。所以在电缆隧道中宜选用钢筋混凝土管片。但在三通井和四通井的位置或预期需要拆除的区段,管片仅作为临时衬砌,为方便拆卸,可采用钢管片或钢与钢筋混凝土的复合管片。

7.4.3 为了取得较好的经济效益,在地质条件好、周围地层能提供一定抗力的前提下,衬砌结构可设计得柔一些,但变形的大小对结构受力、接缝张角、接缝防水等均有重大影响,故应对衬砌结构的变形进行验算,做必要的控制。根据已有的实践经验,控制圆形衬砌环的直径( $D$ )变形在  $0.3\%D$ 、纵缝张开量在  $1\text{mm}\sim 2\text{mm}$  以内为宜。

7.4.4 在通缝拼装方式下,衬砌相邻环间没有剪切力及弯矩的相互传递,纵缝接头的变形没有受到相邻环管片体的约束,仅靠接头本身的螺栓连接,因此通缝拼装方式能够使衬砌结构获得较好的柔性,在良好地层中采用拼装方式,能够充分调动周围土层的抗力,在保证衬砌结构在满足使用要求的前提下使衬砌设计更加经济合理。但在变形量大的软弱土体中,尤其是在特浅埋、施工环境复杂等特殊场合,尽管管片结构抗弯能力有很大富余,但有可能产生较大变形而丧失使用功能。

错缝和通缝之间的区别从本质上讲是一个管片环整体刚度上的差异。错缝的存在,使得管片环之间的螺栓可以发挥纵向加强作用,使得管片间接头处的薄弱部位得到加强从而增加了管片环整体的刚度,继而使管片变形减小,但截面内力也相应增大。另外错缝拼装方式下,纵、环缝相交处仅有三缝交汇,相比通缝拼装方式下的十字缝,在接缝防水上易处理。因此在防水要求较高(如过江、海底隧道)或软土地区盾构法隧道中,往往采用错缝拼装方式。

此外,在确定拼装方式时还应考虑电缆支架的安装方式。目前支架的固定多采用与衬砌预埋螺栓连接或者与预埋铁焊接的方

式。通缝拼装时预埋件的位置容易确定,数量少;而错缝拼装时预埋件的设置需考虑管片环的旋转,确定难度大且数量多,国内也有整环布置预埋铁的例子。

7.4.5 楔形管片环是具有锥度的管片环,主要用于曲线段和蛇形修正。楔形量是指楔形管片环中的最大宽度与最小宽度之差,其位置不同可将楔形环分为单侧楔形环和双侧楔形环(图6)。

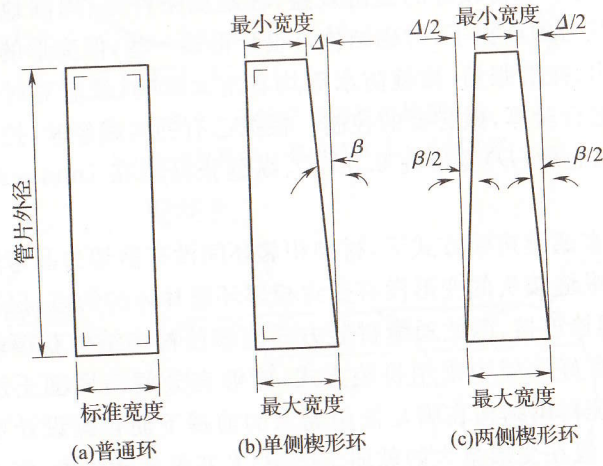


图6 楔形管片环

1 盾构隧道平、竖曲线的线路可通过以下三种管片衬砌组合来拟合:①直线环+左转环+右转环的组合方式在直线段使用标准环,曲线段根据转弯方向分别采用左、右转弯环,封顶块始终位于顶部,操作简单,目前国内运用较为普遍;②左转环+右转环;③通用。设计时应根据线路情况、结构使用功能、施工难易程度和经济性等因素来确定。

2 为使管片环轴线处环宽一致,楔形环的最大宽度和最小宽度宜采用标准管片宽度加减楔形量的一半。

3 采用两侧楔形设计可提高通用楔形环的拼装精度。

4 楔形量除应根据管片种类、管片宽度、管片环外径、曲线半

径、曲线区间楔形管片环使用比例、管片制作的方便性确定外,还应根据盾尾操作空隙而定。根据日本的统计,曲线区间楔形环和标准环的使用比例以2:1最多,其次为3:1、1:1、4:1、3:2。楔形量可按公式计算,并参照经验确定,其中混凝土管片的楔形量宜控制在75mm以内。表10给出了《隧道标准规范(盾构篇)及解说》(日本)中关于楔形量、楔形角的统计。

表10 楔形量、楔形角

管片环外径 $D_0$	$D_0 < 4\text{m}$	$4\text{m} \leq D_0 < 6\text{m}$	$6\text{m} \leq D_0 < 8\text{m}$	$8\text{m} \leq D_0 < 10\text{m}$	$10\text{m} \leq D_0$
楔形量(mm)	15~75	30~80	30~90	40~90	40~70
楔形角	20'~115'	20'~70'	15'~50'	15'~35'	10'~25'

7.4.6 管片的尺寸应符合下列规定:

1 从便于搬运、组装以及在隧道曲线段上的施工方面考虑,再考虑盾尾长度等条件,管片宽度小一些为好。但是从降低隧道总长的管片制造成本,减少易出现漏水等缺陷的接头部数量、提高施工速度等方面考虑,则宽度大一些为好。此外,如果电缆隧道中支架采用与管片预埋件连接的固定方式,还应考虑支架的间距,最好环宽与支架间距是整数倍数关系。因此应综合考虑。

2 管片的厚度通常为管片外径的4%~6%。国内地铁区间隧道的钢筋混凝土管片一般为300mm~500mm,直径10m以上的大型盾构法隧道其厚度为500mm~600mm,电缆隧道一般直径较小,但根据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108的规定,采用钢筋混凝土管片时厚度不得小于250mm。

3 管片的分块数量多可减轻单块管片质量,方便运输和拼装,但会削弱管片整环的刚度,增加螺栓和纵缝的数量,不利于防水。

1)国内直径10m以上的大型盾构法隧道一般分8块~10块,直径为6m~10m的一般分6块~8块,直径在6m以下的一般分5块~6块。当分块数量小于5块时,会使单块管片角度和质量较

大,不利于运输和拼装,因此本项规定不宜小于5块。

2)拼装管片时,千斤顶需顶住已经拼好的管片块,如果千斤顶压缝(块与块之间的纵缝)操作,则下一块管片难以拼装。另外,两块管片之间由于拼装误差会存在一定的错台,如果压缝顶进会造成应力集中,继而导致管片破损,盾构超挖等问题。

3)当采用通用楔形环管片时,分块的数量和大小直接影响着旋转角度和拼装点位的设计,在设计时应确保管片环在各拼装点位时均能满足要求2),且相邻两环不出现通缝的情况。

7.4.7 管片基本的接头结构有螺栓接头、铰接头、销插入式接头、楔接头、榫接头等。接头结构一旦误选,管片环的组装的可靠性和作业效率会下降,施工上还容易出现漏洞,甚至会损坏接头功能,形成衬砌结构上的缺陷。螺栓接头虽然操作复杂、用钢量大,但有利于保证施工精度,增加管片环整体刚度,提高抵抗变形的能力,因此目前使用最为广泛。

1 环向螺栓配置少不利于提高管片环的整体刚度,多了会增加手孔尺寸,削弱单块管片边缘的刚度和强度。

3 错缝拼装时需要旋转一定角度,特别是采用通用楔形环管片时旋转的角度较多,为保证旋转后螺栓的准确定位,纵向螺栓宜在管片环圆周上等间距配置或者分组等间距配置。

4 如果螺栓孔径比螺栓直径大太多,管片拼装时易出现较大的错位,此时施工荷载的影响会变得较大,而且不利于防水,应加以注意。钢管片及混凝土平板型管片可按照表11的规定选取。

表11 钢管片及混凝土平板型管片的螺栓和螺栓孔尺寸

螺栓直径(mm)	16	18	20	22	24	27	30	33	36
螺栓孔直径(mm)	19	21~23	23~25	25~27	27~29	30~32	33~36	36~39	39~41

注:螺栓孔直径为最小处的直径。

7.4.8 为了能在特殊情况下进行二次补注浆,应在每个管片上设置可用于二次补浆的注浆孔。当混凝土平板型管片将注浆孔同时兼作起吊环使用时,需考虑二次注浆设备、注浆方式以及搬运和施

工时的荷载。管片质量较大时,起吊装置可考虑采用真空吸盘,此时应设置相应的定位装置,以确保吸盘和管片能紧密结合。

7.4.9 本条说明如下:

1 钢制管片和球墨铸铁管片一般采用油漆防腐,需要特别防腐时,其油漆可使用焦油环氧树脂和沥青涂料;混凝土类管片一般采用管片背面涂敷水泥或树脂系列材料防腐。

3 为加固钢管片的接头板,提高接头的刚度,应设置加劲板。不过,对于面板较薄的钢制管片,如果设置加劲板,则会以加劲板为支点易造成面板的损坏。

4 混凝土管片的棱线部分在搬运和组装时容易缺损。因此,棱线部分应采取类似倒角之类的防缺损措施。另外,也可在棱线部分和拐角部分配上板条筋以减少损坏。尤其是大断面的管片,管片受到正弯曲时,在其承压缘上使用角钢,以便防止边缘部分缺损,同时可分散压力。

5 对管片进行标记有利于堆放、运输和拼装。

6 在管片与千斤顶之间设置传力衬垫,有助于压力的均匀传递,防止环面混凝土被顶碎。

7 管片拼装精度要求高时,特别是大直径的隧道,可设置有利于定位的标示、定位销或者其他措施。

8 钢筋的配置应满足以下要求:

1)主筋的混凝土保护层厚度是根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476、《地下工程防水技术规范》GB 50108确定的。

2)管片的钢筋,除了主筋、箍筋、分布筋、架力筋之外,还有锚固钢筋和加固钢筋等,一般难以充分保证钢筋间的最小净空。因此,原则上尽量不要在钢筋上设置接头。

7.4.10 钢筋混凝土管片制作和拼装精度可参照下列数据:

1 钢筋骨架的允许误差:钢筋长度为 $\pm 10\text{mm}$ ,间距为 $\pm 5\text{mm}$ ,骨架外形尺寸(长、宽、高)为 $\pm 10\text{mm}$ ,主筋保护层为

+5mm、-3mm。

2 单块管片外观尺寸的允许误差:宽度为 $\pm 0.5\text{mm}$ ,弧弦长为 $\pm 1\text{mm}$ ,厚度为+3mm、-1mm,螺栓孔径和位置为 $\pm 1\text{mm}$ 。

3 每生产100环应抽取3环做水平拼装检验,检验的允许误差为:环缝间距为 $\pm 1\text{mm}$ ,纵缝间距为 $\pm 2\text{mm}$ ,成环后内径为 $\pm 2\text{mm}$ ,外径为 $\pm 2\text{mm}$ 。

## 7.5 竖井结构

7.5.1 根据地质条件与周边环境情况以及竖井规模,盾构法竖井通常采用明挖法施工,其维护结构可选择钢拱架、钢板桩、钻孔桩、地下连续墙以及沉井法等。

7.5.2 根据隧道的使用目的,中间竖井是作为盾构推进路线的中间结构物,或者为了进行盾构的检查等而设置的,在电缆隧道中主要是为了便于电缆的敷设而设立中间检查井。设计时应考虑电缆盘长、敷设方式、运行检修,并结合通风消防要求,确定经济合理的竖井间距。当线路中间需要预留三通井或者四通井时,最好利用中间竖井来施做,特殊情况也可采用暗挖工法。中间竖井可以在盾构通过之前施工,也可以在之后施工,一般很少作为盾构推进基地使用。

7.5.3 始发竖井和到达竖井尺寸确定原则如下:

1 盾构两侧预留 $0.75\text{m}\sim 2.0\text{m}$ 主要是为了方便盾构的吊装和其他施工作业;

2 电缆的转弯半径由电缆的电压等级及截面等确定;

3 始发竖井在盾构前后预留的空间主要考虑台车的长度和数量。到达竖井不用考虑渣土的运出和管片的运入。

7.5.4 始发竖井和到达竖井的开口结构应符合下列规定:

1 考虑施工误差和入口密封圈的安装富裕量,开口结构尺寸应比盾构外径大 $10\text{cm}\sim 20\text{cm}$ 。到达竖井考虑到蛇行导致的误差,宜比出发竖井大一些。

2 因为竖井的开口作业容易引起围岩坍塌,所以应按小分片拆除临时挡土墙体,施工时要迅速而慎重地进行。

3 由于盾构刀盘略大于盾构机体,开口结构应设置洞口密封圈,以防止开挖的土砂、地下水和同步注浆的浆液流入竖井内。特别是始发竖井应重点考虑泥水仓中的泥水压力问题,一旦泄露会使泥水压力骤降,掌子面无法保持平衡,从而引起地表沉陷、围岩塌方的危险,尤其是泥水平衡盾构最为严重。盾构通过之后待浆液完全硬化后应浇筑洞口混凝土。

## 7.6 辅助工程措施

7.6.1 由于管片和土体之间存在缝隙,盾构法隧道施工时必须进行壁后注浆,其目的主要有:①防止地层变形;②提高隧道抗渗性;③确保管片衬砌早期稳定(外力作用均匀)。同步注浆是在盾构掘进的同时通过盾体外侧的注浆管进行壁后注浆的方法;即时注浆是在掘进后迅速进行壁后注浆的方法;二次注浆是对前期注浆进行补充的方法,主要通过管片上预留的注浆孔进行壁后注浆。注浆方法、工艺和单双液材料等应根据地质条件、允许变形速率和变形值等进行合理地确定。围岩较稳定的地层应采用单液注浆,反之应采用双液注浆。

1 这些要求都是为了满足壁后注浆能在限定的范围内进行充分的填充,并具有一定的早期强度。但其中很多因素是相互矛盾的,譬如为提高填充性,应使浆液的流动性好,但流动性太好又会使隧道顶部浆液流失。为解决这一问题,可在双液型浆液中添加短凝合可塑性成分,但造价较高。因此选择浆液材料时应综合考虑各方面因素。

2 第一种情况宜采用双液型浆液,第二种情况是由于跑浆或者体积收缩大造成的,一般采用与同步注浆同样的材料。

7.6.2 急曲线是指转弯半径小于 $40D$ ( $D$ 为隧道外径)的曲线,转弯时要求地层提供足够的反作用力,以及外侧地层必须达到一定



的强度。

盾构始发、到达端头加固方案主要考虑地层的工程地质、水文地质条件来选取,洞门加固的设计应达到以下效果:①提高洞门外土体强度,控制地表沉降,防止端头坍塌;②控制施工过程中地下水的流失;③提高端头土体的承载力;④利于盾构机掘进和姿态的控制。

根据国内经验,针对直径 6m 及以下的中小型盾构而言,盾构始发的洞口加固范围,纵向加固长度一般在 6m~10m 之间,因此本条规定不宜小于 6m,当遇到砂性土/含承压水等特殊地层时,可适当增加加固长度。当然,也有地层条件较好,加固长度小于 6m 的成功案例。横向和深度范围宜为盾构直径外侧 3m。根据端头加固经验和室内土工试验可知,通常要求加固土体的无侧限抗压强度不小于 1.0MPa。但是,端头加固范围和加固后土体强度也不是越大越好,过大的加固范围和过高的土体强度会增大刀盘切削土体的困难,从而引起盾构掘进难以控制、刀盘寿命缩减等问题。当土体的渗透系数  $k < 1.0 \times 10^{-7}$  cm/s 时,表明该土体几乎不透水,为透水层。因此只要加固土体的渗透系数  $k < 1.0 \times 10^{-7}$  cm/s,即认为无水透过加固土体进入工作井。

下面简单介绍几种常用的加固方法。

注浆加固施工,应根据地层条件、施工环境等选择能满足其目的的注浆方法、注浆材料及注浆范围。

盾构隧道施工一般情况下不需降水,但在始发和到达的洞口段处于砂性土或者有承压水地层时,宜采用降水措施。井点降水一般适用于渗透系数为 0.6m/d~0.8m/d 的均质砂土及亚黏土地段,深井降水只要用于覆盖较浅的均质砂土及亚黏土。

深层搅拌法适用于处理淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土和含水量较高、地基承载力小于 0.12MPa 的黏土、粉质黏土等软土地基,宜用于工作井洞门外侧土体的深层搅拌加固。

洞门埋深超过搅拌机械加固深度、洞门有地下管线而采用搅

拌桩有困难的情况下,可采用高压旋喷桩进行地基加固。高压旋喷桩适用于淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土、砂质粉土、粉砂等地基,用于工作井洞门外侧土体的加固较多。

冻结法主要有盐水式和低温液化气式,其截水性好且可靠,主要用于大深度、高地下水压、大土压、存在漏水、大规模塌方危险的情况。但其造价高,存在冻结期内地层膨胀、解冻后地层沉降的问题。

**7.6.3 管线调查:**应根据地质、隧道埋深等确定地表沉降槽宽度及隧道施工的影响范围,对此范围内的既有地下管线(包括交叉、平行)进行调查并核实,尤其是位于隧道轴线上方的地下管线和带压水管、燃气管等对沉降比较敏感的地下管线,应作重点调查。

**建(构)筑物调查:**调查范围包括建(构)筑物的年代(老化程度)、结构材料及其强度、结构形式、形状尺寸、基础形式和支撑条件、结构物的裂隙和已有的变形、用途、目前的利用状况、地基情况及距隧道中心线的距离以及容许的变形值。

根据调查结果,通过试验、有限元分析、工程类比等方法预测盾构推进带来的周围地基的变形和对已有建筑物和管线的影响。预测结果认为对已有建筑物的功能及结构上有可能带来障碍时,应根据情况采取对策。对管线常用的方法有地层加固、保护以及迁改。对建(构)筑物最常用的方法是地层加固,其他的可采用基础托换法、承压板法、切边隔墙法、管排护顶法等。

## 8 工程防水

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 电缆隧道的水害是由洞内、洞外的多种因素引起的,所以不可能靠单一的办法就能得到很好的解决。电缆隧道防水应遵循“防、堵结合,综合治理”的原则。

“防”:即要求电缆隧道衬砌、防水层具有防水能力,防止地下水透过防水层、衬砌结构渗入隧道内。

“堵”:针对隧道围岩有渗漏水地段,采用注浆、喷涂、堵水墙等方法,将地下水堵在围岩体内。

电缆隧道防水,应结合水文地质条件、施工技术水平、材料来源和成本等,因地制宜,选择适宜的方法,以满足保证使用期内结构和电缆、其他电气设备的“正常使用”的目的。

**8.1.2~8.1.5** 水对电缆隧道的危害是多方面的,漏水的长期作用,可能造成电缆及电气设备的腐蚀损坏,电缆隧道侵蚀破坏,影响供电线路的运行,危害电缆隧道结构的耐久性;寒冷地区,尤其是严寒地区,电缆隧道衬砌渗水反复的冻融循环,在衬砌内部造成衬砌混凝土冻胀开裂破坏;电缆隧道渗漏水还将极大地降低电缆隧道内各种设施的使用功能和寿命。因此,电缆隧道防水设计应针对地表水、地下水进行妥善处理,结合电缆隧道支护衬砌采取可靠的防水措施,使隧道内外形成一个完整的通畅的防水系统。电缆隧道主要防水设施为防水层(无纺布)、防水衬砌、止水带等,主要堵水措施有围岩体内压注水泥浆或其他化学浆液、设止水墙等。

为确保电缆隧道的供电运行安全和其他电气设备的正常使用,电缆隧道各部位均不得渗水。

(1)“不渗水”是指隧道衬砌、路面、设备箱洞等结构表面无潮

润痕迹。

(2)“不积水”是指隧道、竖井衬砌背后不产生积水。在冻害地区,积水会造成衬砌背后冻胀,影响电缆隧道结构安全。

(3)“不冻结”是指排水沟不出现结冰冻胀。在冻害地区,排水沟冻结将会影响电缆隧道内排水系统的通畅,甚至造成整个电缆隧道的冻胀病患。

### 8.2 防水

**8.2.1** 现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 中防水等级分为四级,在本标准中,根据电缆隧道的性能和作用,将电缆隧道的防水等级确定为不低于二级。

**8.2.4** 在初期支护与二次衬砌之间,设置有水泥砂浆、卷材、涂料、防水板与无纺布组成的防水层,以防止地下水渗漏进入衬砌内。由于地下水水量、流向等在电缆隧道施工和运行期间可能有所变化,在施工期间无水或少水的电缆隧道并不能保证在电缆运行期间也无水或少水,故在施工期间无水或少水的电缆隧道中,根据耐久性的要求,也应设置防水层。

**8.2.5** 二次衬砌施工缝、变形缝、后浇带等是防渗漏水的薄弱环节。为此,条文提出“应采取可靠的防水措施”。可靠的防水措施是指除按施工规范要求处理外,还应进行精心的设计,采用合适的防水材料和构造形式。

**8.2.6** 有侵蚀性地下水时,应针对不同的侵蚀类型采用不同的抗侵蚀混凝土和抗侵蚀性的防水卷材,防止混凝土结构遭侵蚀而影响其结构强度,失去防水能力。对待侵蚀性地下水要因地制宜,尽可能采用多道防线达到防侵蚀的目的。

**8.2.7** 围岩注浆是将不透水的凝浆物质(防水材料)通过钻孔注入、扩散到岩层裂隙中,把裂隙中的水挤走,堵住地下水的通路,减少或阻止涌水流入工作面,同时还起到固结破碎岩层的作用,从而为开挖、衬砌创造条件。

8.2.8、8.2.9 对于电缆隧道,盾构管片应满足二级防水要求,采用多道设防是必要的。

首先,根据国内外隧道施工的经验,管片的精度直接影响拼装后隧道衬砌接缝缝隙的防水,采用高精度钢模来提高管片精度是很重要的环节。

其次,管片接缝防水包括管片间的弹性密封垫防水、隧道内侧相邻管片间的嵌缝防水、螺孔防水以及必要时向接缝内注浆等。其中弹性密封垫防水是接缝防水的首道防线,是最重要的也是最可靠的,因此条文规定应至少设置一道密封垫沟槽。密封垫应在管片产生变形时,保证在设计水压下不渗漏水,即密封垫在设计水压下的允许张开量应大于管片变形时接缝的张开量,另外还得考虑拼装误差产生的错位量。

嵌缝防水即在管片内侧嵌缝槽内设置嵌缝材料,构成接缝防水的第二道防线。对于电缆隧道,不要求采用全隧道嵌缝措施,过河等防水要求高的局部区段宜选。在渗漏严重的接缝处可采用注入密封剂补强措施。

在管片拼装完成后,常有螺孔渗漏水现象,因此应对环、纵向螺栓孔进行防水处理。其方法是将螺栓孔加工成锥形的沟槽,并设置密封圈(常用橡胶类材质)。再者,对于盾构法电缆隧道不需要设置二次衬砌来加强防水。但对混凝土有中等以上腐蚀的地层宜选外防水涂料。

## 9 通风及消防

### 9.1 隧道通风

9.1.1 电缆工作时有热量产生,为了保证电缆正常运行,有必要采取相应的降温措施。设计时应优先考虑通风降温措施,当电缆发热量大、设置通风措施困难时,可以考虑空调等辅助降温措施。

9.1.2 根据《小型火力发电厂设计规范》GB 50049—2011 第 21.3.8 条规定:“电缆隧道的通风,应按夏季排风温度不超过 40℃,进风和排风的温度差不超过 10℃ 计算。”同时,电缆厂家提供的电缆载流量资料是环境温度为 40℃ 时的数据,因此,本标准亦规定隧道内排风温度不应超过 40℃,进、排风温差不宜大于 10℃。

9.1.3 关于电缆隧道事故通风,是指火灾发生时,全部通风系统停止工作,在火灾发生后,尽快排除隧道内的烟气所需风量。《35kV~220kV 城市地下变电站设计规定》DL/T 5216—2005 第 7.4.6 条规定:“配电装置室通风设备应满足事故时每小时通风换气次数不低于 6 次的要求。”因此,对于电缆隧道的事故通风量也可参照 6 次/h 的标准执行。

### 9.2 隧道消防

9.2.1 对电缆隧道消防设计原则进行规定。

9.2.2 电缆隧道内采用一般电缆(非阻燃电缆)时,其火灾危险性类别应提高。

9.2.3 对电缆隧道应实施的防火安全措施进行规定。

9.2.4 为防止电缆因自身故障或外部火源造成延燃作出规定。

- 9.2.6 为保证材料、产品的可靠性作出规定。
- 9.2.8 灭火器和黄砂箱是最简单、有效的消防器材。
- 9.2.9 为了提前发现和控制火灾事故,电缆隧道内可设置火灾监控报警系统。

## 10 排 水

10.0.3 露天出入口及敞开通风口是雨水的主要进出口,为防止雨水造成电缆隧道的淹没,排雨水量按当地 50 年一遇的暴雨强度计算是比较合适的。

10.0.5 电缆隧道应结合隧道工作井、通风口、出入口、隧道纵坡最低处等雨水容易进入和积聚的地点设置集水井;电缆隧道一般不能自流排水,采用潜水排水泵提升排放,排水泵出水管路上设置止回阀以防市政雨水倒灌隧道。

10.0.6 电缆隧道进入变电站时,应采取防止雨、废水进入变电站的措施。如:设置集水井或排水沟等措施。

10.0.7 为可靠排水并防止潜水排水泵检修时排水,潜水排水泵宜采用两台。当集水井只设置 1 台水泵时,隧道应保证至少 1 台移动式排水泵作为备用。

10.0.8 潜水排水泵启动与停泵间隔时间不应太短,集水井有效容积一般按最大一台排水泵 15min~20min 流量计算。

10.0.9 镀锌钢管、钢塑复合管等管材适合地下工程使用。

10.0.10 排水控制设计主要考虑以下因素:

- (1)便于监控;
- (2)出于排水可靠程度及成本综合考虑;
- (3)排水应自动化。

## 11 照明、动力及监控

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 根据电缆隧道重要性及消防电源的要求,本标准推荐采用接在 10kV 城市公网上的隧道专用变压器供电。但是鉴于一些城市用地紧张,新增电源点困难,以及从资源共享、提高资源综合效益等角度考虑,对于隧道长度较短,用电容量小于 100kW 的电缆隧道,可考虑从 10kV 城市公网变压器上接引电源。

负荷容量考虑作业人员进入时,同时开启照明、排风机、排水泵及使用电缆施工作业机械所需的用电量。

**11.1.3** D,yn11 结线组别的三相配电变压器是指高压绕组为三角形、低压绕组为星形且有中性点和“11”结线组别的三相配电变压器,D,yn11 结线比 Y,yn0 结线的零序阻抗要小得多,有利于单相接地短路故障的切除。另外,Y,yn0 结线变压器要求中性线电流不超过低压绕组额定电流的 25%,严重地限制了接用照明灯具这类单相负荷的平衡度,影响了变压器设备能力的充分利用,因而在 TN 及 TT 系统接地形式的低压电网中,推荐采用 D,yn11 结线组别的配电变压器。此外,中国电工技术学会工业与建筑应用专业委员会于 1986 年 11 月通过的《关于低压电网防触电设计问题的建议》中的第七条指出:“在 TN 系统中应采用 D,yn11 结线变压器”。

由于电网各点的电压水平高低不一,合理选择变压器的变比和电压分接头,可将供电系统的电压调整到合理的水平上。

**11.1.4** 一般采用专用变压器的配电系统计量点设在 10kV 侧,接在公用网变压器上的配电系统计量点设在 380V 侧。因各地情况不同,计量方式的设计应符合当地供电部门的要求。

**11.1.5** 电源切换装置宜采用自动切换方式。

**11.1.6** 参照现行行业标准《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 相关规定,当照明灯具安装高度在 2.2m 及以下,且在特别潮湿的场所,应有防止触电的安全措施。另外,根据现行国家标准《剩余电流动作保护装置安装和运行》GB 13955 相关规定,安装在水中的供电线路和设备、插座回路必须安装剩余电流保护装置。

**11.1.7** 根据《地下建筑照明设计标准》CECS 45 相关规定,地下建筑采用电源中性线(N)和保护零线(PE)分开,有利于人身安全,而且也是安装剩余电流保护装置的需要。

**11.1.8** 参照现行行业标准《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 相关规定,插座回路宜与灯回路分开。参照现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 相关规定,消防用电设备采用专用供电回路。

**11.1.9** 本条参照现行行业标准《民用建筑电气设计规范》JGJ/T 16 相关规定编制。由于电缆隧道供电线路较长,导线选择及供电半径的计算都应进行电压损失校验。线路电压损失计算方法可参照现行行业标准《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 相关规定。

**11.1.10** 本条参照《地下建筑照明设计标准》CECS 45 相关规定编制。

### 11.2 照明

**11.2.1~11.2.3** 条文参照《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 和《地下建筑照明设计标准》CECS 45 相关规定编制。

过渡照明设计可参照 CECS 45 条文规定计算。

**11.2.4** 本条参照《地下建筑照明设计标准》CECS 45 相关规定编制。

**11.2.5** 本条参照《地下建筑照明设计标准》CECS 45 相关规定编制。电缆隧道配电系统为双电源供电,可满足应急照明电源除正常电源外另一路供电线路供电的要求。但考虑到各地电源切换方式不同,若应急电源投入的转换时间不能满足要求,应同时选用自带电源型应急灯。

**11.2.6、11.2.7** 参照《地下建筑照明设计标准》CECS 45 条文。

**11.2.8** 本条规定是防范在隧道内的照明配线发生故障导致全隧道内失去照明的安全对策。参照现行行业标准《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 相关规定,因隧道内潮湿、多灰尘,为防范灯具受潮而短路,开关应选用防水防尘型。

**11.2.9** 本条参照《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 相关规定编制。

### 11.3 动 力

**11.3.1、11.3.2** 参照《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 相关规定编制。

**11.3.3** 《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 条文规定,由专门支路供电的插座回路,插座数量不宜超过 15 个~20 个,本标准考虑到隧道内插座布置间距较远,根据电压允许压降的要求,规定插座数量不宜超过 10 个。具体设计时,可综合插座间距、导线截面、允许压降等因素,选择每回路的插座数量。

### 11.4 监视与控制

**11.4.1** 隧道环境监控系统采用计算机技术、传感器技术、工业控制技术和总线通信等相关的高科技技术手段,利用在线实时监控模式,通过通信线路组网,实现了对电缆隧道环境的集中监控、集中管理。

根据工程要求,该系统对隧道防火门开闭状况、隧道水泵开闭、隧道风机开闭以及隧道环境温度进行在线实时监测,在温度达

到设定的警报值时发出报警,同时自动远程关闭防火门,并对风机实现远程开闭控制;同时对异常状况进行报警。

**11.4.2** 隧道通常为盾构形式,转弯角度较小,隧道基本为直线,而且在转弯处基本都设置有工作井,所以只考虑在工作井处设置夜视功能摄像头,主要用于安全监视,也可以对人员出入进行监视。当人员进行巡视时摄像头可以远程遥控。

**11.4.3** 参照《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116—98,消防专用电话网络应为独立的消防通信系统,该通信系统为生产运行维护人员使用。

## 12 其他设施

### 12.2 接 地

**12.2.1** 本条参照《交流电气装置的接地》DL/T 621—1997 和《民用建筑电气设计规范》JGJ 16—2008 中相关规定编制。共用接地装置时,为满足功能性接地和保护性接地要求,综合接地电阻以最小的要求为准,但不宜大于  $1\Omega$ 。少数的特殊情况,如隧道两端均未与发电厂、变电站地网连接且隧道内无特殊接地要求的设备,其接地电阻不应大于  $4\Omega$ 。

**12.2.2、12.2.7** 参考部分地区电缆隧道建设工程实例,考虑施工条件及接地要求,通常接地网的水平接地极选用  $50\times 5$  扁钢,垂直地极选用  $\phi 32\times 5$  铜管;接地引出线选用  $50\times 5$  扁铜,四根扁铜将地网引出工作井底板面,引出扁铜一端与地网接地铜管焊接,另一端引出至工作井两侧墙上的接地端子处;电缆隧道内电缆接头、接地箱的接地线连接的专用接地汇流排或接地干线通常采用扁铜;电缆隧道内其他金属构件连接接地网的均压带通常采用扁钢;通常电缆隧道工作井内接地网采用不少于四根的接地引出线分别与电缆隧道两侧的均压带、专用接地汇流排或接地干线相连接,其中两根引出线分别与电缆隧道两侧的均压带连接,另两根引出线与专用接地汇流排或接地干线相连接。用铜材做接地材料,优点是铜材具有良好的导电性,耐腐蚀性也比钢更高。

接地装置普遍采用钢接地体,钢接地体(线)耐受腐蚀能力差,采取镀锌后能将耐腐蚀性能提高 1 倍左右。目前铜质材料的采用有逐渐增多的趋势,铜质材料的选用需因地制宜,还需做好技术经济比较论证工作。裸铝导体埋入地下较易腐蚀,强度低、使用寿命较钢材短且价格比钢材贵,通常在工程建设中不采用铝导体作为

接地体或接地线。接地线要热容量充分,以避免接地短路故障时出现熔断、熔断情况,致使设备失地运行,导致恶性事故。接地线的连接应保证接触可靠。对接地体(线)搭焊接的搭接长度做出要求,以保证焊接良好。

**12.2.5、12.2.6** 参考部分地区电力系统内继电保护反事故措施中二次接地网与变电站主地网连接要求采用截面不小于  $100\text{mm}^2$  的铜缆(带绝缘,防止杂散电流)。

### 12.3 出 入 口

**12.3.2** 本条说明如下:

**1** 电缆允许最小弯曲半径除应满足《城市电力电缆线路设计技术规定》DL/T 5221—2005 中表 6.1.1 的要求外,不同地区可能针对不同电压等级的电缆有相应的设计习惯。对于《城市电力电缆线路设计技术规定》DL/T 5221—2005 中表 6.1.1 范围以外的电缆,允许最小弯曲半径宜按厂家建议值。由于隧道内电缆可能分期敷设施工,因此放线口设计时需充分考虑电缆不同期敷设时重复使用的措施。

**5** 根据国内部分地区电缆隧道建设经验,由于工程建设条件及设计考虑因素的不同,电缆放线口设置的间距有较大差异。本标准主要基于  $110\text{kV}$  及以上电缆放线施工的便利,放线口间距取  $500\text{m}\sim 1000\text{m}$  为建议值,各地区可酌情调整具体取值。

**12.3.3** 本条说明如下:

**1** 当接入、引出隧道的电缆为多根时,进出口的内径不宜小于多根电缆包络外径的 1.5 倍。

**2** 电缆在隧道外敷设的土建形式主要为电缆沟、直埋及排管,电缆隧道的管线进出口应根据不同土建形式,并结合隧道结构(冠梁、支撑等)的位置制订。

**12.3.4** 本条说明如下:

**1** 不同城市对通风口的设置有相应的要求。部分城市对市

政工程有相应规定,在绿地、广场上建风亭,最高点原则上不超过限值,无法保证时,其建筑方案需组织专家进行评审通过后才能实施。同时通风口的布置位置应尽量考虑均匀。

2 部分地区电缆隧道通风口常与人员出入口在地面建筑平面布置中一并考虑,以减少占地面积和对城市景观的影响。

## 13 节能环保

**13.0.3** 电缆隧道通风设施应符合现行国家标准《声环境质量标准》GB 3096 对噪声的控制值。

**13.0.4** 隧道噪声主要来自通风设施,采用低噪声设备,就从源头上减少了噪声。设备振动不容忽视,设计时要考虑减振措施。

**13.0.5** 城市有完善的市政管网系统,隧道达标排出水应优先排入市政管网系统。

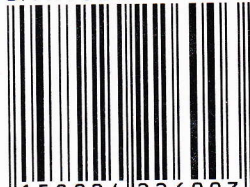


## 14 劳动安全及卫生

**14.0.2** 电缆隧道防火设计要符合隧道内敷设的电缆种类和工作人员的运行、维护要求。

**14.0.3** 出入口、通风口、平台等有坠落危险处,应按电业安全操作规程及其他有关标准、规范的规定设栏杆或盖板。

S/N:1580242·260



9 158024 226003 >



DL/T 5484—2013

中华人民共和国电力行业标准  
电力电缆隧道设计规程  
DL/T 5484—2013

☆

中国计划出版社出版

网址:www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

---

850mm×1168mm 1/32 5印张 125千字

2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷

印数1—8000册

☆

统一书号:1580242·260

定价:45.00元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换