

UDC

中华人民共和国行业标准



P

CJJ/T 284 – 2018

备案号 J 2597 – 2018

---

# 热力机械顶管技术标准

Technical standard for mechanical pipe jacking  
of heating engineering

2018 – 10 – 18 发布

2019 – 03 – 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

**中华人民共和国行业标准**

**热力机械顶管技术标准**

Technical standard for mechanical pipe jacking  
of heating engineering

**CJJ/T 284 - 2018**

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部  
施行日期：2 0 1 9 年 3 月 1 日

**2018 北 京**

# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2018 年 第 232 号

---

## 住房城乡建设部关于发布行业标准 《热力机械顶管技术标准》的公告

现批准《热力机械顶管技术标准》为行业标准，编号为 CJJ/T 284 - 2018，自 2019 年 3 月 1 日起实施。

本标准在住房城乡建设部门户网站（[www.mohurd.gov.cn](http://www.mohurd.gov.cn)）公开，并

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018 年 10 月 18 日

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2015年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2014〕189号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

本标准的主要技术内容是:1.总则;2.术语;3.工程地质勘察与工程环境调查;4.平面及断面设计;5.结构上的作用;6.顶管结构基本设计规定;7.顶管结构与计算;8.工作井设计;9.防水设计;10.顶管施工;11.监控量测;12.工程验收。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由北京市热力工程设计有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送北京市热力工程设计有限责任公司(地址:北京市朝阳区幸福二村37号楼;邮编:100027)。

本标准主编单位:北京市热力工程设计有限责任公司

本标准参编单位:北京市热力集团有限责任公司

唐山市热力总公司

牡丹江热电有限公司

北京正远监理咨询有限公司

北京市特欣市政公用工程有限公司

北京城建道桥建设集团有限公司

三河京龙新型管道有限责任公司

北京远通水泥制品有限公司

本标准主要起草人员:董乐意 张玉成 董淑棉 刘艳芬

高 艳 牛小化 黄建春 吴守晔

刘仰鹏	陈新栋	王莉莉	董学斌
石忠凯	潘国庆	钱争晖	张程波
刘国庆	伍克平	辛弘峰	王 华
陈晓晴			
陈鸿恩	刘世宇	鲁亚钦	屈新龙
贾嘉陵	刘昌用	乐贵平	武志国
余家兴	张国京	贺少辉	

本标准主要审查人员：

# 目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	工程地质勘察与工程环境调查	4
3.1	一般规定	4
3.2	工程地质勘察	4
3.3	工程环境调查	6
4	平面及断面设计	9
4.1	一般规定	9
4.2	平面设计	9
4.3	纵断面设计	10
5	结构上的作用	11
5.1	作用分类	11
5.2	永久作用	11
5.3	可变作用	13
5.4	偶然作用	13
6	顶管结构基本设计规定	14
6.1	一般规定	14
6.2	承载能力极限状态计算	15
6.3	正常使用极限状态验算	17
6.4	材料及耐久性	17
6.5	顶管内支架设计	18
7	顶管结构设计与计算	19
7.1	一般规定	19

7.2	管口承载能力验算 .....	20
7.3	管节内力计算 .....	20
7.4	顶管变形计算和抗滑移验算 .....	21
7.5	构造 .....	24
8	工作井设计 .....	26
8.1	一般规定 .....	26
8.2	顶进井 .....	26
8.3	接收井 .....	29
9	防水设计 .....	30
9.1	一般规定 .....	30
9.2	顶管接口 .....	30
9.3	检查室洞口防水 .....	32
10	顶管施工 .....	34
10.1	一般规定 .....	34
10.2	顶管机选型 .....	35
10.3	顶前准备 .....	36
10.4	工作井洞口止水及封门 .....	37
10.5	顶管及配件 .....	38
10.6	工作井及后背墙 .....	39
10.7	始发与接收 .....	39
10.8	中继间 .....	40
10.9	正常顶进 .....	41
11	监控量测 .....	44
11.1	一般规定 .....	44
11.2	监测项目与控制 .....	45
11.3	顶进方向监测项目与控制 .....	48
12	工程验收 .....	50
12.1	一般规定 .....	50

12.2 质量验收 .....	50
12.3 竣工验收 .....	52
本标准用词说明 .....	54
引用标准名录 .....	55
附：条文说明 .....	57

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	Investigation of Engineering Geological and Environment .....	4
3.1	General Requirements .....	4
3.2	Investigation of Engineering Geological .....	4
3.3	Investigation of Environmental .....	6
4	Design of Plane and Longitudinal-section .....	9
4.1	General Requirements .....	9
4.2	Design of Plane .....	9
4.3	Design of Longitudinal-section .....	10
5	Action on Structure of Pipe Jacking .....	11
5.1	Classification of Action .....	11
5.2	Permanent Action .....	11
5.3	Variable Action .....	13
5.4	Accidental Action .....	13
6	Basic Regulations of Pipe Jacking Structural Design .....	14
6.1	General Requirements .....	14
6.2	Calculation of Ultimate Limit States .....	15
6.3	Checking Calculation of Serviceability Limit States .....	17
6.4	Material and Durability .....	17
6.5	Design of Trestles in Pipe Jacking .....	18
7	Structural Design and Calculation of Pipe Jacking .....	19
7.1	General Requirements .....	19

7.2	Check Calculation of Nozzle Carrying Capacity .....	20
7.3	Calculation of Tube Coupling Internal Force .....	20
7.4	Calculation of Pipe Deformation and Anti-slip Stability .....	21
7.5	Construction Requirements for Pipe Jacking Structure .....	24
8	Design of Working Shaft .....	26
8.1	General Requirements .....	26
8.2	Jacking Shaft .....	26
8.3	Reception Shaft .....	29
9	Design of Waterproof .....	30
9.1	General Requirements .....	30
9.2	Structure of Pipe Jacking Interface .....	30
9.3	Waterproofing of Inspection Well Opening .....	32
10	Pipe Jacking Construction .....	34
10.1	General Requirements .....	34
10.2	Selection of Pipe Jacking Machine .....	35
10.3	Construction Preparation .....	36
10.4	Hole of Working Shaft and Shield .....	37
10.5	Jacking Pipe and Accessories .....	38
10.6	Working Shaft and Reaction Wall .....	39
10.7	Originating and Receiving .....	39
10.8	Intermediate Jacking Station .....	40
10.9	Normal Jacking .....	41
11	Monitoring .....	44
11.1	General Requirements .....	44
11.2	Monitoring Items Design and Control Standards .....	45
11.3	Jacking Direction Monitoring Items and Control Standards ...	48
12	Construction Acceptance .....	50
12.1	General Requirements .....	50
12.2	Construction Quality Acceptance .....	50

12.3 Completion Acceptance .....	52
Explanation of Wording in This Standard .....	54
List of Quoted Standards .....	55
Addition: Explanation of Provisions .....	57



# 1 总 则

- 1.0.1** 为规范热力管线机械顶管工程设计、施工及验收，做到技术先进、经济合理、安全适用，确保工程质量，保护工程环境，制定本标准。
- 1.0.2** 本标准适用于热力机械顶管工程的设计、施工及验收。
- 1.0.3** 冻土地区、塌陷区、湿陷性黄土地区及膨胀土地区热力机械顶管工程，应符合国家现行标准的有关规定。
- 1.0.4** 热力机械顶管工程的设计、施工及验收除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 顶管 pipe jacking

利用液压顶进设备，将预制管节从顶进井顶到接收井的非开挖管道施工方法。

### 2.0.2 机械顶管 pipe jacking with machine

利用机械开挖土体的顶管施工方法。

### 2.0.3 顶管机 jacking machine

安装在顶进管道的最前端，能进行机械挖掘、排土、导向、纠偏等作业，并能结合后方顶推装置进行管道铺设作业的机械设备。

### 2.0.4 工作井 working shaft

顶管施工时，进行设备组装、拆卸、顶管、管节吊运、排土等使用的竖井，包括顶进井、接收井。

### 2.0.5 顶进井 jacking shaft

顶管始发端，放置顶进设备并进行顶进作业的竖井。

### 2.0.6 中继间 intermediate jacking station

将整条管道分成若干个推进单元而设置的顶进设施。

### 2.0.7 接收井 reception shaft

顶管终端，接收顶管机的竖井。

### 2.0.8 后背土体 reaction soil

承受主顶油缸反作用力的土体。

### 2.0.9 后背墙 reaction wall

承受主顶油缸反作用力的顶进井的墙体。

### 2.0.10 混凝土后背 concrete sacking base

在顶进井内制作的钢筋混凝土后背墙。

### 2.0.11 后背铁 steel plate of jacking base

安装在主顶油缸与后背墙或混凝土后背之间，用于后背墙承力面积的钢制构件。

**2.0.12 导轨** guide track

固定在顶进井底板上作为顶管初始导向、管节拼接用的轨道，或者固定在接收井底板上作为接收顶管机的轨道。

**2.0.13 顶进力** jacking force

在顶管施工中，为克服顶进阻力而由顶进油缸施加在顶管管节管端的作用力。

**2.0.14 减阻措施** drag reduction methods

为减少管节顶进过程中的摩阻力所采取的方法。

**2.0.15 姿态控制** attitude control

顶管机在顶进过程中的状态控制。

## 3 工程地质勘察与工程环境调查

### 3.1 一般规定

- 3.1.1 顶管工程的结构设计和施工应以工程地质勘察及工程环境调查资料为依据。
- 3.1.2 顶管工程地质勘察及工程环境调查应包括钻探和物探。
- 3.1.3 当顶管管线范围内存在有害气体和其他有害物质时，应查明分布状态，并应采取安全措施。
- 3.1.4 工程地质勘察结束后，应对勘探孔进行封堵处理。

### 3.2 工程地质勘察

- 3.2.1 工程地质勘察应查明工程沿线地段的水文地质、地貌、地层结构特征、土层性质及分布空间等情况。
- 3.2.2 地质勘察钻孔位置及数量应符合下列规定：
  - 1 宜在工作井位置，且应在顶管侧面布置，距离顶管外轮廓不宜大于 5m；
  - 2 当顶管穿越铁路、城市轨道交通和其他市政管线时，钻孔位置不得影响其正常运行；
  - 3 工作井勘察钻孔位置应布置在四角，数量不应少于 2 个；
  - 4 顶管勘察的钻孔沿轴线间距，Ⅰ类场地应为 100m~150m，Ⅱ类场地应为 50m~100m，Ⅲ类场地应为 30m~50m。
- 3.2.3 地质勘察钻孔深度应符合下列规定：
  - 1 顶管沿线应达到顶管管底的设计标高以下 3m~5m；
  - 2 工作井的钻孔深度应达到井底标高以下 5m；
  - 3 顶管基底存在松软土层或未经固结的回填土时，除应符合第 1、2 款的规定外，应加深钻孔深度；
  - 4 顶管穿越河道时，钻孔深度应在河床最大冲刷深度以下

4m~6m，并应满足顶管管底的勘察深度要求；

5 顶管基底存在粉细砂可能产生流砂、管涌或地震液化地层时，应将该层钻穿；

6 工作井采取降低地下水位施工时，钻孔深度应满足降水设计要求。

### 3.2.4 地下水勘察应符合下列规定：

1 应调查地下水类型、含水层类型、地下水埋藏条件、补给与排泄条件、分布特征；

2 应调查地下水历史最高水位和最低水位；

3 应测定地下水的 pH 值、氯离子、钙离子和硫酸根离子等的含量以及对混凝土、工程相关金属材料及橡胶的腐蚀程度；

4 当地下有承压水分布时，应勘察承压水的分布范围和测定承压水的压力。

### 3.2.5 勘察报告应包括初步勘察报告、详细勘察报告和施工勘察报告，并应符合下列规定：

1 初步勘察报告应阐述场地工程地质条件、评价场地稳定性和适应性；

2 详细勘察报告应提供工作井和顶管区间，设计阶段和施工阶段所需的各岩土层物理力学性质参数，以及地下水和环境资料，并应作出分析评价、结论和建议；

3 施工勘察报告应根据设计、施工要求提供相应的资料，并应作出结论和建议。

### 3.2.6 勘察报告应包括下列内容：

1 勘察目的和任务要求；

2 拟建顶管工程的基本特性；

3 勘察方法和工作布置图；

4 场地地形、地质（地层、地质构造）、地貌、岩土性质、地下水位（最高水位、最低水位、勘察时水位和抗浮设防水位）及地下水压力和地下水对混凝土、钢材的腐蚀性的阐述和评价；

5 地基土的稳定性评价；

- 6 岩土参数的分析及选用；
  - 7 建议顶管选位及地基处理方案；
  - 8 工程施工及使用期间可能发生的岩土工程问题的预测及监控、防治措施的建议和顶管工程设计及施工措施的建议；
  - 9 勘察钻孔点的平面布置图；
  - 10 工程地质柱状图；
  - 11 工程地质剖面图；
  - 12 原位测试成果图表；
  - 13 室内试验成果图表；
  - 14 岩土工程计算简图及计算成果图表；
  - 15 建议地基不稳定土层的处理方案的图表。
- 3.2.7 勘察报告应提供岩土参数的平均值、最大值、最小值、子样数、均方差和变异系数。
- 3.2.8 地质勘察报告中的土层物理力学性质参数应包括下列内容：
- 1 颗粒分析；
  - 2 密实度；
  - 3 垂直和水平渗透系数；
  - 4 黏聚力；
  - 5 内摩擦角；
  - 6 与混凝土、钢材的摩擦系数；
  - 7 变形模量；
  - 8 泊松比；
  - 9 岩石、卵石单轴抗压强度值；
  - 10 地基承载力及其他常规参数。

### 3.3 工程环境调查

3.3.1 顶管工程环境调查应分为地上环境调查和地下建（构）筑物勘察，调查时探明顶管施工影响范围内的建（构）筑物、管线等情况，并应符合下列规定：

1 设计、施工前应对顶管施工影响范围内的建（构）筑物进行详细调查；

2 应查明顶管施工影响范围内桥涵、道路、交通状况、架空管线等特性及分布位置；

3 对施工影响范围内的地上建（构）筑物，应标明名称、外形尺寸、功能、结构形式、与顶管的空间位置关系、修建年代等；大型和重要建筑物宜取得工程技术资料，并应了解建（构）筑物的基础形式和施工情况。

**3.3.2** 地上建（构）筑物调查应包括建筑层数、高度、结构形式、基础形式、基础埋深（标高）的主要设计参数、施工工艺等。

**3.3.3** 地下建（构）筑物调查应包括工程的平面布置、修建年代、结构形式和结构材料、外轮廓尺寸、结构厚度、顶板和底板标高、施工方法、变形缝设置、围护结构、抗浮措施及使用情况等。

**3.3.4** 桥涵调查应符合下列规定：

1 应对桥梁的桥墩、桥台和主要防护构筑物进行调查，对桥涵结构进行检测；

2 桥涵构筑物调查内容应包括桥梁的设计荷载、防震烈度、桥长、桥宽、结构布置、桥梁下部结构类型、跨度、墩柱基础形式、桩基或地基加固设计参数、运营年限等。

**3.3.5** 道路、铁路调查应包括下列内容：

1 铁路、轨道交通或道路等级、路面材料、路面宽度、路堤高度、支挡结构形式及地基与基础形式；

2 路基（路面下）下一定深度范围内的土体密实状态、可能存在的空洞等；

3 交通干道的交通流量、交通状况、附属设施。

**3.3.6** 架空线塔（杆）调查应包括电压等级、电线高、线塔（杆）基础形式、埋置深度等。

**3.3.7** 河道调查应包括河宽、河深、河床最大冲刷深度、河底

铺砌和河岸结构形式、标高、通航、防洪、泄洪要求等。

**3.3.8** 湖泊和水库调查应包括长、宽、水深、水位标高、底标高、冲刷线、防洪要求等。

**3.3.9** 人防工程调查应包括防护等级类型、平面位置、埋深或高程、结构形式、出入口位置等情况。

**3.3.10** 地下管线调查应包括管线的类型、平面位置、埋深或高程、敷设方式、材质、管节长度、接口形式、介质类型、工作压力、工作井及阀门位置、运营年限、运营状况等。

**3.3.11** 直埋热力管线调查应包括管线埋深、运行压力和温度、供回水管间距、直埋补偿器、固定支墩的结构等。

**3.3.12** 工程环境调查报告应包括下列内容：

1 调查的经过、调查方法、调查内容，并分类列出调查和测量的沿线周围建（构）筑物、管线；

2 顶管工程穿越或邻近范围内建（构）筑物、管线的影响评价；

3 穿越或临近区域允许变形控制值；

4 安全防护建议。

## 4 平面及断面设计

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 顶管工程的平面及纵断面设计应符合城市整体规划和环境保护的要求，并应以工程地质勘察和工程环境调查为依据。

**4.1.2** 工作井的位置应结合热力检查室布置，并应考虑工程环境、施工条件和热力运营维护的要求。

### 4.2 平面设计

**4.2.1** 顶管管线宜采用直线，当受条件限制为曲线时，转弯弧度应满足工艺和顶管施工的最小转弯半径的要求，还应符合现行行业标准《城镇供热管网设计规范》CJJ 34 的有关规定。曲率半径可按下式计算：

$$R = \frac{L_g \times D}{X} \quad (4.2.1)$$

式中： $R$ ——曲率半径（m）；

$L_g$ ——预制管管节长度（m）；

$D$ ——顶管外径（m）；

$X$ ——相邻管节之间的最大缝隙（m）。

**4.2.2** 顶管邻近或穿越既有建筑、立交桥等地上建（构）筑物和地下室、人防、地铁隧道、车站等大型地下建（构）筑物时，应进行环境风险源专项设计。设计内容和要求应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

**4.2.3** 顶管管道内热力管道的滑动支架、固定支架、导向支架，应错开设置在不同的顶管管节上。

**4.2.4** 工作井宜采用矩形，其位置设置应符合下列规定：

1 宜设置在热力管道的直线段；

2 应避开车流、行人密集的地段，并应减少施工对周围环境的影响；

3 应便于排水、排泥和排土；

4 应便于顶管管节的堆放和顶管设备的吊装和运输。

### 4.3 纵断面设计

4.3.1 工作井宜设置在自稳能力强的地层中。

4.3.2 顶管宜设置在粉土、黏性土、砂层等土层中，并应避免设置在可液化地层中。

4.3.3 顶管的最大坡度应根据热力管道的设计要求、顶管内自然排水等因素确定，并应满足顶管机械施工能力的要求，顶管宜设置为单面坡。

4.3.4 顶管与现状市政管线的垂直距离应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

4.3.5 地下水地区的顶管覆土厚度应符合顶管的抗浮要求。

## 5 结构上的作用

### 5.1 作用分类

5.1.1 作用在顶管结构上的荷载，可按表 5.1.1 进行分类。

表 5.1.1 作用分类

序号	作用分类	结构受力及影响因素
1	永久作用	结构自重
2		结构附加恒荷载
3		地层压力
4		地表水或地下水的静水压力及浮力
5		混凝土收缩和徐变影响
6		地基下沉影响
7		热力管道及设备自重
8		温度影响
9	可变作用	地面车辆荷载及其动力作用
10		支架的推力
11		施工荷载
12	偶然作用	地震作用
13		沉船/抛锚或河道疏浚产生的撞击力等

5.1.2 荷载数值应根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 有关规定确定，并应根据施工和使用阶段可能发生的变化，按最不利情况，确定不同荷载组合系数。

### 5.2 永久作用

5.2.1 结构自重应按结构设计尺寸及材料计算重度计算确定，钢筋混凝土计算重度可采用  $25\text{kN/m}^3$ ，素混凝土计算重度可采

用  $23\text{kN/m}^3$ 。结构自重还应包括顶管内部作为人行道的混凝土台及管道结构等的自重荷载。

**5.2.2** 结构附加恒荷载应按现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定确定。

**5.2.3** 地层压力计算应符合下列规定：

1 竖向和水平地层压力应根据工程地质和水文地质条件，埋置深度等因素，结合已有的试验，测试和研究资料确定；

2 竖向地层压力计算应根据工程地质、水文地质条件和覆土厚度、土体卸载拱作用影响，以及地面和邻近其他荷载对竖向压力影响等因素确定；

3 水平压力宜按静止土压力，以及地面荷载和破坏棱体范围的建（构）筑物引起的附加水平侧压力计算。

**5.2.4** 围岩的分级和地层压力计算应按现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定执行。

**5.2.5** 作用在顶管结构上的水压力和浮力计算应符合下列规定：

1 水压力和浮力应根据设防水位以及施工阶段和长期使用过程中地下水的变化，取最不利水位，并按静水压力计算；

2 砂性土地层的侧向水、土压力应采用水土分算，黏性土地层的侧向水、土压力应采用水土合算；

3 施工阶段应采用常水位计算，使用阶段应按设计基准期内的最不利水位计算。

**5.2.6** 混凝土收缩对结构的影响应按现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定确定。

**5.2.7** 地基下沉应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算确定。

**5.2.8** 当顶管沿线存在地层不均匀、荷载突变、地下水位变化等情况时，顶管设计应计算纵向不均匀沉降对顶管结构内力的影响。

**5.2.9** 顶管内的热力管道及设备荷载应根据设备和管道安装、检修和正常使用的实际情况，按现行行业标准《城市供热管网暗

挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定确定。重型设备荷载与范围尚应根据设备实际重量、动力影响、安装运输途径等确定。

**5.2.10** 顶管结构温度变化的影响，应根据地层和顶管内年平均温度、最冷（热）月平均温度等气温条件，及以运营环境和施工条件确定。设计时应计入结构内外壁面温差产生的结构内力。壁面温差作用标准值可按现行行业标准《城镇供热管网结构设计规范》CJJ 105 的有关规定计算确定。

### **5.3 可变作用**

**5.3.1** 地面车辆荷载的数值及排列，应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定确定。

**5.3.2** 铁路下方的顶管结构的荷载，应按现行行业标准《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的有关规定确定。

**5.3.3** 顶管内部可变荷载应包括固定支架的水平推力、导向支架的水平推力及管道位移在活动支架结构上产生的水平力，并按现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定确定。

**5.3.4** 顶管结构设计时应考虑下列施工荷载：

- 1 设备运输荷载、吊装荷载、施工机具及人员活载；
- 2 地面临时堆载；
- 3 顶管施工时主顶油缸的推力；
- 4 注浆所引起的附加荷载。

### **5.4 偶然作用**

**5.4.1** 顶管结构上的地震荷载，可按现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的有关规定计算确定。

**5.4.2** 沉船荷载应按工程水域可能通航的最大船舶类型分析确定。

## 6 顶管结构基本设计规定

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，除验算结构抗滑移及抗浮外，均应采用分项系数的设计表达式设计。

**6.1.2** 顶管的结构设计使用年限应为 100 年。

**6.1.3** 顶管结构的安全等级应为一级，结构重要性系数应为 1.1。施工阶段承载力验算时，结构重要性系数应为 1.0。

**6.1.4** 顶管结构的内力分析，应按弹性体系计算，可不考虑由非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

**6.1.5** 顶管结构设计计算中，荷载效应基本组合的设计值，应包括组合的弯矩、轴力和剪力设计值等，并应考虑下列两种极限状态：

1 承载力极限状态：在热力管道安装、试压、运行及检修阶段，顶管结构或管道支架因材料强度被超过而破坏；顶管结构作为刚体失去平衡；管体因顶力超过材料强度发生破坏。

2 正常使用极限状态：在热力管道运行阶段，对应于顶管结构或结构构件正常使用或耐久性能的规定限值；钢筋混凝土顶管结构裂缝宽度超过规定限值。

**6.1.6** 顶管结构的承载力极限状态设计应包括下列内容：

1 热力管道运行阶段结构的承载力计算。顶管结构应进行热力管道安装或检修阶段起吊管道时结构的承载力计算；设有热力管道支架的顶管结构，尚应进行管道试压阶段结构的承载力计算。

2 设有管道支架的顶管结构，应按刚体进行抗滑移稳定验算。

3 当结构位于地下水位以下时，应进行管道运行阶段的抗浮稳定验算。

4 应考虑预埋件对结构的影响。

6.1.7 顶管结构内，管道支架及滑动支墩的承载能力极限状态设计应符合现行行业标准《城镇供热管网结构设计规范》CJJ 105 的有关规定。

6.1.8 顶管结构上的预埋件设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

## 6.2 承载能力极限状态计算

6.2.1 顶管结构按承载能力极限状态设计时，除验算结构抗滑移及抗浮外，均应采用作用效应的基本组合，并应符合下式的要求：

$$\gamma_0 \times S \leq R_D \quad (6.2.1)$$

式中： $\gamma_0$ ——结构的重要性系数，不应小于 1.0；

$S$ ——荷载效应基本组合的设计值，包括组合的弯矩、轴力和剪力设计值等；

$R_D$ ——结构构件抗力的设计值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定确定。

6.2.2 荷载效应基本组合的设计值应按下式计算：

$$S = \gamma_G \times S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \times \psi_{c_i} \times S_{Q_{i,k}} \quad (6.2.2)$$

式中： $\gamma_G$ ——永久荷载的分项系数；

$\gamma_{Q_i}$ ——第  $i$  个可变荷载的分项系数；

$S_{Gk}$ ——按永久荷载标准值  $G_k$  计算的荷载效应值；

$S_{Q_{i,k}}$ ——按可变荷载标准值  $Q_{ik}$  计算的荷载效应值；

$\psi_{c_i}$ ——可变荷载  $Q_i$  的组合值系数；

$n$ ——参与组合的可变荷载数。

6.2.3 永久荷载的分项系数应按下列规定确定：

1 当永久荷载效应对结构不利时，对由永久荷载效应控制的组合，永久荷载的分项系数应取 1.35；对由可变荷载效应控制的组合，永久荷载的分项系数应取 1.20；

2 当永久荷载效应对结构有利时，永久荷载的分项系数应取 1.00。

6.2.4 可变荷载的分项系数应按下列规定确定：

1 荷载效应基本组合时，可变荷载的分项系数应取 1.4；

2 可变荷载的组合值系数应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定确定。

6.2.5 按承载能力极限状态设计时，顶管结构上的作用组合应根据顶管实际条件按表 6.2.5 选取。

表 6.2.5 顶管结构上的作用组合

工况类别	永久作用							可变作用				
	附加恒载	结构自重	顶管结构及设备自重	围岩(土)压力		静水压力(包括浮托力)	地基不均匀沉降	温度影响	地面车辆	地面堆积	管道作用	吊装荷载
				竖向	侧向							
运行工况	√	√	√	√	√	√	△	√	√	√	△	
非运行工况	√	√	—	—	√	√	—	—	√	√	—	△

注：1 表中打“√”的作用为相应工况应予计算的项目，打“△”的作用应按具体设计条件确定；

2 地面车辆荷载和地面堆积荷载应根据不利设计条件计入其中一项，不应同时计算；

3 管道作用包括固定支架的水平推力、导向支架的水平推力及管道位移在活动支架结构上产生的水平作用；

4 运行工况为热力管道带压运行的工况。

6.2.6 结构在组合作用下的抗滑移及抗浮验算，应采用符合稳定性抗力系数的设计表达式。

**6.2.7** 当结构位于地下水位以下时，顶管结构在施工、运行、停热检修阶段均应进行抗浮稳定验算。管道运行阶段结构抗浮稳定验算时，抗力应计入管道及设备自重、结构自重、结构上的竖向土压力。施工和停热检修阶段抗力不应计入热力管道及热力设备重量。

### 6.3 正常使用极限状态验算

**6.3.1** 顶管结构按正常使用极限状态设计，应采用作用效应的准永久组合，并应符合下式要求：

$$S \leq C \quad (6.3.1)$$

式中：C——结构或构件达到正常使用要求的规定限值。

**6.3.2** 钢筋混凝土顶管结构在准永久组合作用下，最大裂缝宽度不应大于0.2mm，且不应有通缝。

**6.3.3** 当验算截面的最大裂缝开展宽度时，应按准永久组合作用计算。荷载效应组合的设计值应按下式计算：

$$S = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \sum_{i=1}^n \psi_{q_i} \times S_{Q_i,k} \quad (6.3.3)$$

式中： $S_{G_j,k}$ ——按第j个永久荷载标准 $G_{j,k}$ 计算的荷载效应值；

$\psi_{q_i}$ ——可变作用的准永久值系数。

**6.3.4** 正常使用极限状态验算时的作用组合，应根据顶管实际条件按本标准表6.2.5确定。

**6.3.5** 管道支架挠度变形应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定。

### 6.4 材料及耐久性

**6.4.1** 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于C50。

**6.4.2** 当地下水对混凝土和钢筋具有腐蚀性时，钢筋混凝土管应采取防腐措施。

**6.4.3** 钢结构及钢连接件应进行防锈、防火处理，管节内钢环预埋件应进行防腐处理。

**6.4.4** 混凝土结构耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定。

**6.4.5** 防水混凝土的抗渗等级和配合比应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规定。

**6.4.6** 当管道运行阶段的环境温度超过 20℃时，混凝土的强度值及弹性模量应予折减，折减系数应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

**6.4.7** 防水硅橡胶与管节粘结材料宜选用硫化型硅橡胶胶粘剂。

**6.4.8** 管口应针对水文地质条件进行设计。顶管管节应采取可靠成型工艺，钢圈和混凝土接口处的密实度，应使管体和管口在地下水作用下不渗水。

## **6.5 顶管内支架设计**

**6.5.1** 支架宜采用型钢结构，支架锚固形式宜采用两端嵌固式。

**6.5.2** 支架与顶管管环之间宜采用预埋件连接，不应大量采用植筋、后锚固等方式。

**6.5.3** 组合型钢支架的焊缝验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

**6.5.4** 钢支架除锈、防腐应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定执行。

**6.5.5** 钢支架底部应设钢筋混凝土护墩，护墩高度不宜小于 150mm。

## 7 顶管结构与计算

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 顶管结构设计应对周边环境的风险进行分析，风险控制专项设计应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

**7.1.2** 钢制顶管管材、壁厚、外防腐等应符合现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 的有关规定。钢筋混凝土顶管管节的壁厚、钢筋配置、管口结构等应根据顶管结构上的作用、热力管道使用要求、施工条件、环境条件等，通过结构计算、工程类比和结构计算分析确定。

**7.1.3** 钢质顶管强度验算应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423 的有关规定，刚度和稳定性验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。钢筋混凝土顶管结构应按施工顶进阶段和正常使用阶段分别进行结构承载力、刚度和稳定性计算，并应对使用阶段进行裂缝宽度和变形验算。

**7.1.4** 钢筋混凝土顶管结构应进行横向受力和变形计算。当遇下列情况之一时，尚应对纵向受力和变形进行计算：

- 1 沿线地层条件有较大变化；
- 2 顶管覆土厚度变化较大；
- 3 穿越大型建（构）筑物，承受较大局部荷载；
- 4 地基沿纵向产生不均匀沉降；
- 5 地震作用。

**7.1.5** 设有固定支架和导向支架的顶管隧道，应进行抗滑移验算。

## 7.2 管口承载能力验算

7.2.1 施工阶段钢筋混凝土管管口承载能力可按下式计算：

$$F_{dc} = \frac{0.5\phi_1 \times \phi_2 \times \phi_3 \times f_c \times A_p}{\gamma_d \times \phi_4} \times 10^{-3} \quad (7.2.1)$$

式中： $F_{dc}$ ——混凝土管道允许顶力设计值（kN）；

$\phi_1$ ——混凝土材料受压强度折减系数，取 0.90；

$\phi_2$ ——偏心受压强度提高系数，取 1.05；

$\phi_3$ ——混凝土脆性系数，取 0.85；

$f_c$ ——混凝土受压强度设计值（MPa）；

$A_p$ ——管道的最小有效传力面积（mm<sup>2</sup>）；

$\gamma_d$ ——顶力分项系数，取 1.3；

$\phi_4$ ——混凝土强度标准调整系数，取 0.79。

7.2.2 施工阶段钢质顶管管口承载能力可按下式计算：

$$F_{ds} = \frac{0.5\phi_5 \times \phi_6 \times \phi_7 \times f_s \times A_p}{\gamma_d} \times 10^{-3} \quad (7.2.2)$$

式中： $F_{ds}$ ——钢管管道允许顶力设计值（kN）；

$\phi_5$ ——钢材受压强度折减系数，取 1.0；

$\phi_6$ ——钢质顶管稳定系数，取 0.36；

$\phi_7$ ——钢材脆性系数，取 1.0；

$f_s$ ——钢材受压强度设计值（MPa）。

7.2.3 使用阶段单根管道固定支架的轴向推力应小于顶管管口承载能力。

## 7.3 管节内力计算

7.3.1 顶管内力应根据顶管纵断面高程，分别选取顶部覆土最厚（薄）、水压力最大（小）、超载或偏压、顶管穿越地层条件突变处等位置进行计算。

7.3.2 钢筋混凝土顶管管节内力计算应符合下列规定：

- 1 宜选用荷载结构法，并宜采用平面有限元法求解；

- 2 内力计算模型可采用匀质圆环模型；
- 3 应考虑顶管管节与围岩的相互作用。

**7.3.3** 顶管管节与围岩间的相互作用应按局部弹簧（即只受压）作用模式模拟。土层弹簧受压状态的刚度应根据管节周边岩层的地层弹性抗力系数确定；地层弹性抗力系数应依据工程的地质条件和岩土工程勘察报告选取。当无详细勘察报告和试验资料时，可按表 7.3.3 选取。

**表 7.3.3 地层弹性抗力系数**

地层岩土名称	弹性抗力系数 (MPa/m)	
	水平向	垂直向
碎石土壤、破碎片石、粘结的卵石和碎石、硬化黏土	120~200	150~250
密实黏土、坚硬的冲积土	60~120	80~150
湿砂、黏砂土、填土、泥炭、轻型黏土	50~60	40~80

**7.3.4** 钢筋混凝土顶管截面强度验算和裂缝宽度计算应符合下列规定：

- 1 应选取整环管节中最不利内力状态的截面；
- 2 应按混凝土矩形截面偏心受压构件进行验算；
- 3 应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

#### **7.4 顶管变形计算和抗滑移验算**

- 7.4.1** 顶管结构应按荷载效应中准永久组合进行变形计算。
- 7.4.2** 钢筋混凝土顶管直径变形不应大于 3‰顶管内径。
- 7.4.3** 柔性接头钢承口、柔性接头钢承插口的钢筋混凝土顶管，管口间的纵向间隙应符合表 7.4.3 的规定，并应小于弹性密封垫的允许张开量。

表 7.4.3 管口间的纵向间隙

顶管内径 (mm)	1800~2400	2600~3000	>3000
纵向间隙 (mm)	10~15	10~20	10~25

7.4.4 钢筋混凝土顶管曲线顶进时, 管口接口允许的张开角度应满足管节接口的要求, 并应小于弹性密封垫的允许张开量。

7.4.5 受轴向推力作用的固定支架和导向支架作用的顶进管道, 抗滑移验算应符合下列公式的要求:

$$F_{pc} \geq K_s \times F_x \quad (7.4.5-1)$$

$$F_{pc} = \pi D \times L_z \times q_k \quad (7.4.5-2)$$

式中:  $F_{pc}$ —— $L_z$ 长度范围内顶管外壁与周边围岩之间的摩阻力 (kN);

$K_s$ ——结构稳定性抗力系数, 取 1.3;

$F_x$ ——单根热力管道固定支架轴向推力 (kN);

$D$ ——顶管外径 (m);

$L_z$ ——起到轴向抗滑移作用的顶管隧道净长度 (m), 取支架前后共 7 节顶管长和 20m 的较小值;

$q_k$ ——管道外壁与土的单位面积平均摩阻力 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ), 可按表 7.4.5 选用。当有实际工程经验时, 可依据经验值适当调整。

表 7.4.5 管道外壁与土的单位面积平均摩擦阻力

土体名称	土体状态	管道外壁与土的单位面积平均摩阻力 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	
		混凝土顶管	钢质顶管
填土	—	16~20	5~7
淤泥	—	10~16	4~5
淤泥质土	—	16~20	5~7
黏性土	$I_L > 1$	18~30	6~10
	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40	10~13
	$0.5 < I_L \leq 0.75$	40~53	13~17

续表 7.4.5

土体名称	土体状态	管道外壁与土的单位 面积平均摩阻力 (kN/m <sup>2</sup> )	
		混凝土顶管	钢质顶管
黏性土	$0.25 < I_L \leq 0.5$	53~65	17~22
	$0 < I_L \leq 0.25$	65~73	22~24
	$I_L \leq 0$	73~80	24~27
粉土	$e > 0.90$	22~44	7~15
	$0.75 < e \leq 0.9$	42~63	14~21
	$e < 0.75$	63~85	21~28
粉细砂	稍密	22~42	7~14
	中密	42~63	14~21
	密实	63~85	21~28
中砂	稍密	54~74	18~25
	中密	74~90	25~30
	密实	90~120	30~40
粗砂	稍密	90~130	30~33
	中密	130~170	33~56
	密实	170~220	56~70
砾砂	中密、密实	190~260	63~87

注：表中数值是基于顶管背后置换泥浆彻底且凝固后的计算值，泥浆置换不及时或置换量不满足要求时，表中数值应适当折减。

7.4.6 受侧向推力作用的固定支架或导向支架（图 7.4.6）处顶管隧道抗滑移应按下列公式验算：

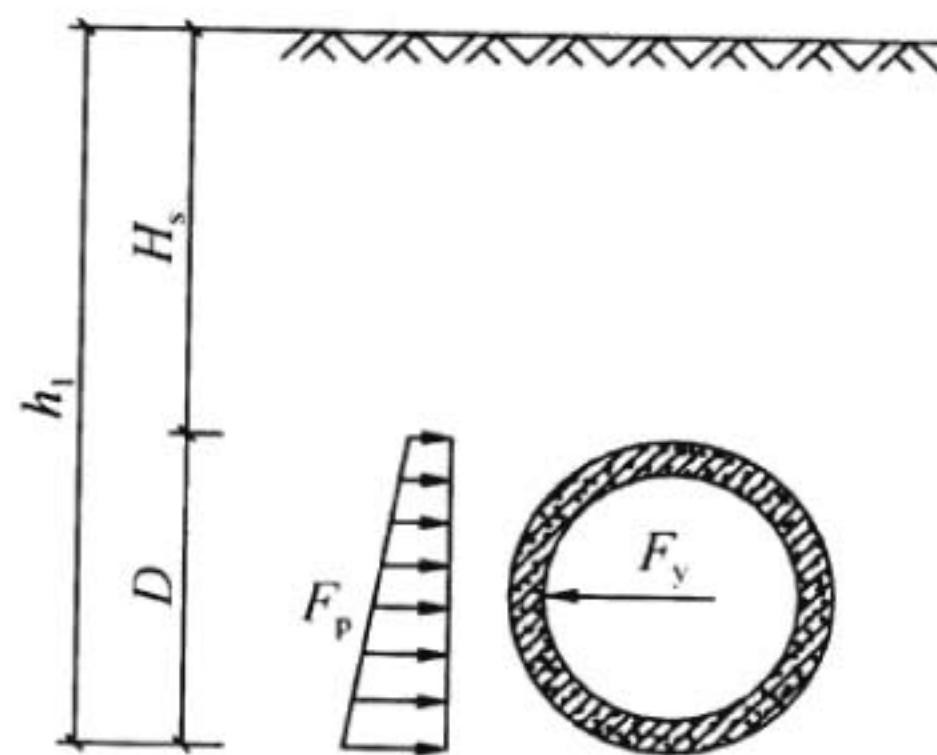


图 7.4.6 顶管受侧向推力作用示意

$$F_p \geq K_s \times F_y \quad (7.4.6)$$

$$F_p = 0.5D \times L_c \times \gamma_n \times (h_1 + D) \tan^2(45^\circ + 0.5\phi)$$

式中： $F_p$ ——受侧向推力作用的管节侧面被动土压力 (kN)；  
 $F_y$ ——单根热力管道固定或导向支架侧向推力 (kN)；  
 $L_c$ ——起到侧向抗滑移作用的顶管隧道净长度 (m)，可取单根顶管管节的倍数；  
 $\gamma_n$ ——土的天然重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；  
 $h_1$ ——顶管底部距地面的距离 (m)， $h_1 = H_s + D$ ，可取顶管外底到地面的距离与  $2D$  的较小值；  
 $\phi$ ——土体内摩擦角 ( $^\circ$ )；  
 $H_s$ ——覆盖层厚度 (m)。

## 7.5 构 造

**7.5.1** 热力供回水管道的固定支架、导向支架宜设置在直线段上，且宜分别布置在前后不同的管节上。供回水管道的滑动支墩宜设置在不同的管节上，且应避免管节连接处。

**7.5.2** 固定支架、导向支架位置处的顶管管节宜预埋钢板内衬，固定支架、导向支架型钢立柱与预埋钢板应焊接牢固。钢板内衬宽度宜比型钢立柱每侧宽度宽出不少于 200mm。

**7.5.3** 顶管机后部应设置机头管 (图 7.5.3)，机头管应能保证

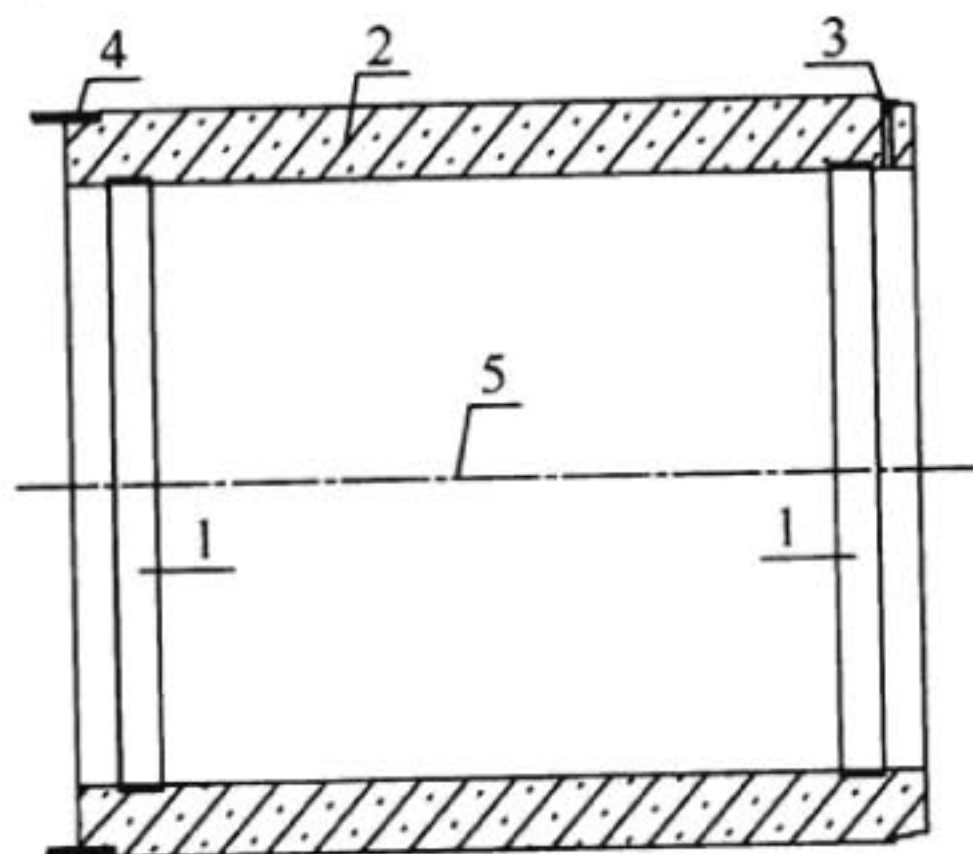


图 7.5.3 机头管

1—钢板圈；2—钢筋混凝土顶管；3—顶管结构预留注浆孔；  
 4—顶管管节端头钢板；5—钢筋混凝土顶管结构中心线

姿态控制。机头管的管节两端宜预埋钢板圈，钢板圈厚度不宜小于 10mm，宽度不宜小于 200mm。

**7.5.4** 顶进井和接收井位置处的顶管端部外侧，宜预埋宽度不小于 200mm 的封闭钢板环（图 7.5.4）。工作井二衬施工前，应在预埋钢板环上焊接止水钢板翼环。

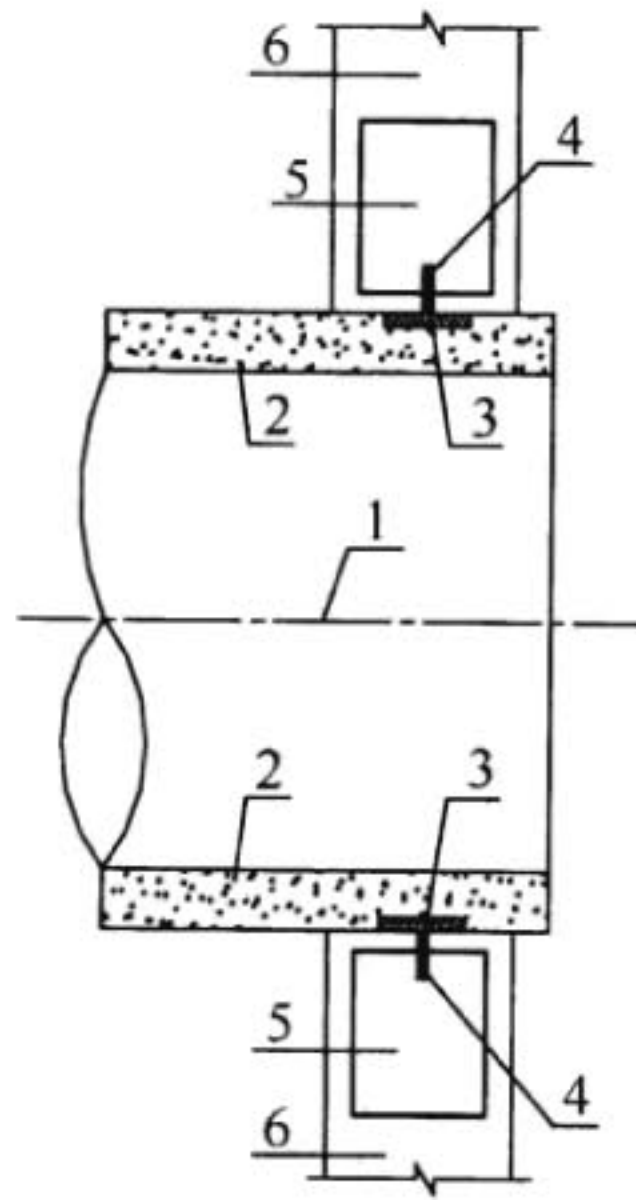


图 7.5.4 工作井位置处顶管外侧埋钢板

1—钢筋混凝土顶管结构中心线；2—钢筋混凝土顶管；3—预埋封闭钢板环；  
4—止水钢板翼环；5—顶管外侧加强环梁；6—检查室二衬结构

**7.5.5** 工作井二衬范围内的顶管口部应设置加强环梁，后施做检查室部位宜通过切割钢筋混凝土管节形成开口，开口周边应施作加强环梁，见本标准图 7.5.4。

**7.5.6** 管节注浆孔宜均匀分布在顶管周围，注浆孔的数量每个断面宜设置 3 个~6 个。

## 8 工作井设计

### 8.1 一般规定

- 8.1.1 工作井的结构形式宜根据顶管施工条件、工程地质和水文地质条件、井深度、周边工程环境等因素确定。
- 8.1.2 工作井平面尺寸和深度应根据顶管施工工艺、管节结构尺寸、施工场地及热力工艺要求等确定。
- 8.1.3 工作井宜采用封闭式。
- 8.1.4 工作井结构应满足承载力、刚度、稳定性和抗浮要求。
- 8.1.5 格栅挂网锚喷支护工作井的设计和计算应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200的有关规定，钢筋混凝土灌注桩、地下连续墙工作井的设计和计算应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定。
- 8.1.6 工作井顶管洞口井壁结构应进行加固。
- 8.1.7 顶进井后背墙及背后土体承载力应满足顶管施工最大顶力。
- 8.1.8 热力中间检查室宜在顶管贯通后施工。

### 8.2 顶进井

- 8.2.1 顶进井净长度尺寸应符合下列规定：

1 当顶管机长度大于单根管节长度时，顶进井净长应按下式计算：

$$L_s = L_1 + L_2 + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + L_3 \quad (8.2.1-1)$$

式中： $L_s$ ——顶管井净长（m）；  
 $L_1$ ——顶管机长度（m）；  
 $L_2$ ——主顶油缸长度（m）；  
 $T_1$ ——环形顶铁厚度（m）；

$T_2$ ——钢后背厚度 (m);

$T_3$ ——钢筋混凝土后背墙厚度 (m), 一般取 0.4m  
~0.6m;

$T_4$ ——洞口止水圈的安装厚度 (m);

$L_3$ ——操作空间长度 (m), 不宜小于 1.0m。

2 当顶管机长度小于单根管节长度时, 顶进井净长应按下式计算:

$$L_s = L_2 + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (8.2.1-2)$$

式中:  $L_4$ ——单节顶管长度 (m);

$L_5$ ——前一节顶进管的预留长度 (m), 不宜小于 0.5m。

8.2.2 顶进井净宽度应按下式计算:

$$B = D + B_s \quad (8.2.2)$$

式中:  $B$ ——顶进井净宽度 (m);

$B_s$ ——顶管作业操作宽度 (m), 每侧不宜小于 1.0m  
~1.5m。

8.2.3 顶进井净深度应按下式计算:

$$H = (h_4 - h_5) + h_3 \quad (8.2.3)$$

式中:  $H$ ——顶进井净深度 (m);

$h_4$ ——井位处地面标高 (m);

$h_5$ ——顶管结构外侧底标高 (m);

$h_3$ ——导轨安装高度 (m)。

8.2.4 顶进井后背土体抗力应符合下式要求:

$$R_l \geq 1.4P_z \quad (8.2.4)$$

式中:  $R_l$ ——顶进井后背土体抗力 (kN);

$P_z$ ——总顶进力 (kN)。

8.2.5 顶管的总顶进力应按下列公式计算:

$$P_z = \pi D \times L \times q_k + N_F \quad (8.2.5-1)$$

$$N_F = \frac{\pi}{4} D_g^2 \times P \quad (8.2.5-2)$$

$$P = \gamma(H_s + D/2) \quad (8.2.5-3)$$

式中： $L$ ——管道设计顶进长度（m）；

$N_F$ ——顶管机的迎面阻力（kN）；

$D_g$ ——顶管机外径（m）；

$P$ ——预设土压力（kN/m<sup>2</sup>）；

$\gamma$ ——土的重度（kN/m<sup>3</sup>）；

$H_s$ ——覆盖层厚度（m）。

**8.2.6** 当顶进井为格栅挂网喷锚支护结构形式时，顶进井后背土体抗力应按下列公式计算：

$$R_{li} = B_h \left( \gamma \times H_h^2 \times \frac{K_p}{2} + 2c \times H_h \times \sqrt{K_p} + \gamma \times h \times H_h \times K_p \right) \quad (8.2.6-1)$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\bar{\phi}}{2} \right) \quad (8.2.6-2)$$

式中： $B_h$ ——后背墙宽度（m）；

$H_h$ ——后背墙的高度（m）；

$K_p$ ——被动土压力系数；

$c$ ——土的黏聚力（N/m<sup>2</sup>）；

$h$ ——地面到后背墙顶部土体的高度（m）；

$\bar{\phi}$ ——后背墙背后土体加权内摩擦角（°）。

**8.2.7** 当顶进井为钢筋混凝土灌注桩、地下连续墙等结构形式时，顶进井后背土体抗力应按下列公式计算：

$$R_{li} = \gamma \times B_h \times (h + H_h) \times \frac{K_p}{2} (h + 2H_h + h_2) \quad (8.2.7)$$

式中： $h_2$ ——桩墙锚固深度（m）。

**8.2.8** 后背土不能扰动的土体长度应按下列公式计算：

$$L_t = \sqrt{\frac{P_z}{B_h}} + L_a \quad (8.2.8)$$

式中： $L_t$ ——后背土不能扰动的土体长度（m）；

$L_a$ ——附加安全长度（m），砂土可取 2，亚砂土可取 1，黏土或亚黏土可取 0。

**8.2.9** 后背墙的承载力、刚度和结构尺寸应满足施工顶力要求。当不能满足顶力要求时，应进行加固处理。

**8.2.10** 钢筋混凝土后背墙宜与顶进井同宽，且不应小于后靠铁的宽度和高度。

**8.2.11** 顶进井顶管洞口应设置止水圈。

**8.2.12** 双向和多向顶进的顶进井应对已顶进顶管管口进行保护，并应符合下列规定：

- 1 顶管结构管口不宜高于钢筋混凝土后背墙墙面；
- 2 后背铁与管口之间应设置缓冲衬垫。

### 8.3 接收井

**8.3.1** 接收井长度应满足顶管机在井内拆除和吊出的需要，并按下式计算：

$$L_j = L_1 + L_3 \quad (8.3.1)$$

式中： $L_j$ ——接收井长度（m）。

**8.3.2** 接收井洞口应设置止水圈，接收井宽度应满足施工要求。

**8.3.3** 接收井深度应按下列式计算：

$$H = h_4 - h_5 \quad (8.3.3)$$

## 9 防水设计

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 检查室和顶管隧道的结构防水设计，应根据工程地质、水文地质、使用功能和温度变化范围、不同的结构部位等因素确定。

**9.1.2** 顶管隧道的防水，应遵循以防为主、刚柔结合、多道防线、因地制宜、综合治理的原则。

**9.1.3** 顶管隧道的防水等级不应低于二级。

**9.1.4** 顶管隧道防水设计范围，应包括顶管工作井（热力检查室）、管节接口及顶管进出检查室的穿墙洞口。

**9.1.5** 顶管工作井（热力检查室）结构防水应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

**9.1.6** 顶管混凝土管抗渗等级不应小于 P8。结构防水设计应采取预防结构混凝土早期裂缝的措施。

**9.1.7** 处于侵蚀介质中的混凝土顶管，其耐侵蚀系数不宜小于 0.8。

### 9.2 顶管接口

**9.2.1** 顶管接口结构设计应符合下列规定：

1 顶管结构接头应具有传递轴向荷载的能力，当发生一定角度的偏斜时，应仍具有防水能力；

2 密封材料应有耐热、耐老化、防潮等性能；

3 顶管结构防水接头应设置在顶管结构壁内，不应突出于顶管结构的内外壁。

**9.2.2** 顶进管节接口防水形式宜采用柔性钢承口或柔性钢承插口，并应包括遇水膨胀胶条、密封胶圈、外压承口钢环。当地层无水时，顶管管节接头橡胶密封圈可采用单胶圈（图 9.2.2-1）；

当地层含水量较大时，宜采用双胶圈（图 9.2.2-2）。

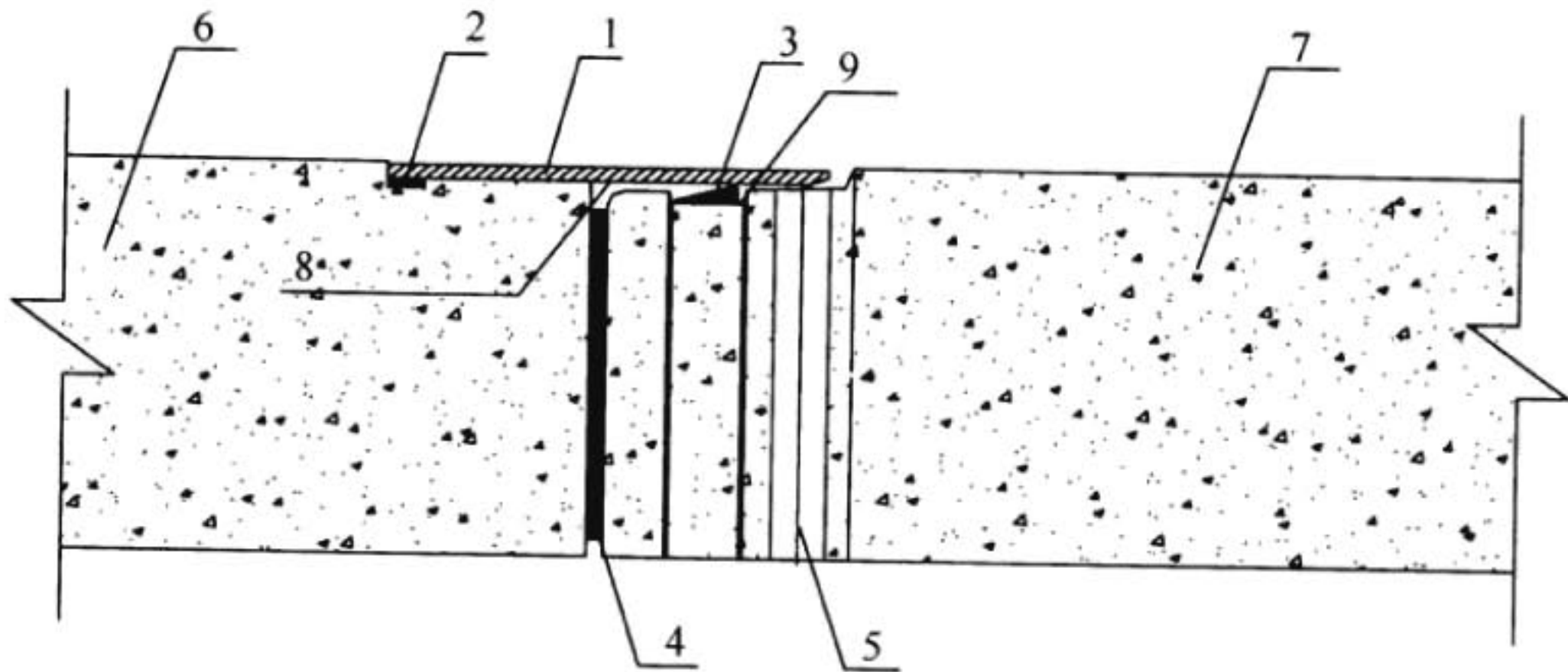


图 9.2.2-1 柔性钢承口顶管接口布置

- 1—承口钢板；2—遇水膨胀胶条；3—胶圈（耐热硅橡胶）；  
4——垫板（耐热硅橡胶）；5—注浆孔；6—承口体；  
7—插口体；8—承口工作面；9—插口工作面

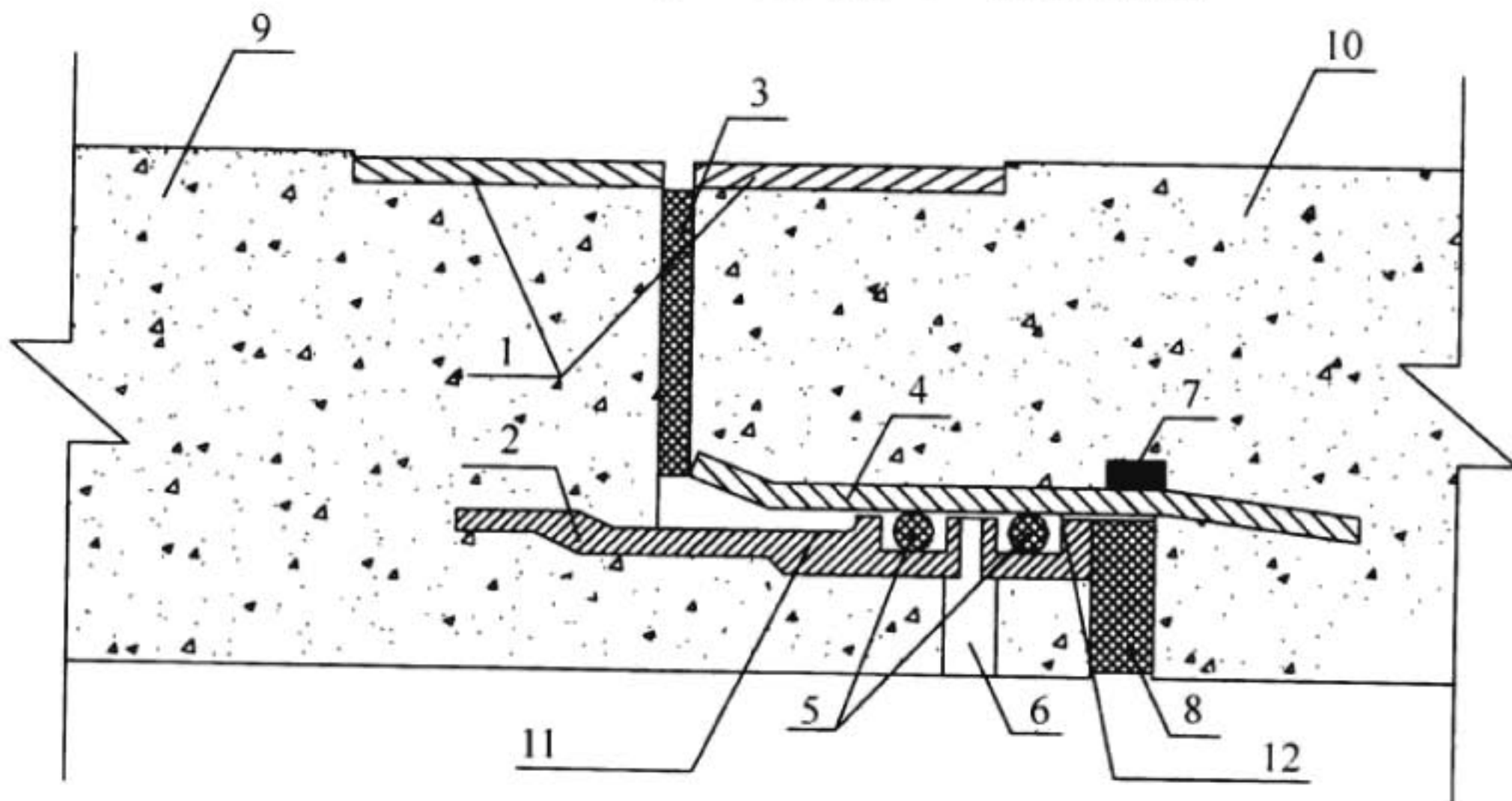


图 9.2.2-2 柔性接口钢质承插口布置

- 1—钢环；2—插口钢环；3—胶垫（耐热硅橡胶）；4—承口钢环；  
5—O形密封圈（耐热硅橡胶）；6—接头试验进水孔；7—遇水膨胀胶条；  
8—胶板（耐热硅橡胶）；9—插口体；10—承口体；11—插口工作面；  
12—承口工作面

**9.2.3 顶管接口胶圈密封材料及端面胶板应适应高温高湿环境，宜选用硅橡胶作为主防水材料，并应符合下列规定：**

- 1 橡胶材料性能指标应符合表 9.2.3 的规定；

表 9.2.3 橡胶材料性能指标

项目	单位	胶圈	端面胶板
硬度	邵尔 A	65±5	55±5
拉伸强度	MPa	≥8	≥8
扯断伸长率	%	≥350	≥350
压缩永久变形 (150℃×24h)	%	≤20	≤20
热空气老化 (150℃×96h)	硬度变化	邵尔 A	≤+8
	拉伸强度变化率	%	≥-20
	扯断伸长变化率	%	≥-30
防霉等级	级	0~1	0~1

2 承口钢环应选用 Q235 及以上标号的板材，板材厚度不应低于 10mm；

3 承口钢环应防腐，防腐蚀量应小于 0.1mm/年。

### 9.3 检查室洞口防水

9.3.1 顶管进出检查室的穿墙洞口处，应采用穿墙套管止水环结构（图 9.3.1）。钢质顶管进出检查室的穿墙洞口的防水应考

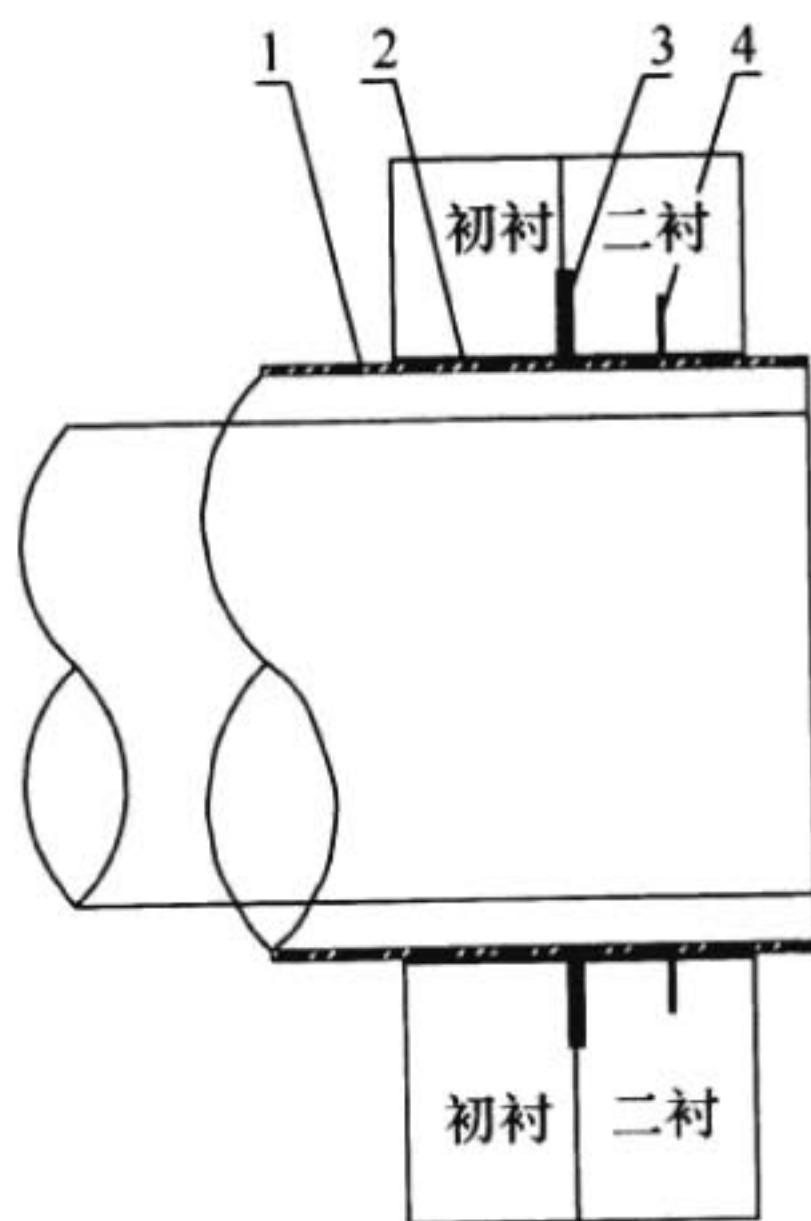


图 9.3.1 穿墙套管止水环结构

1—穿墙套管；2—遇水膨胀橡胶膏；  
3—遇水膨胀橡胶条；4—钢板止水环

考虑钢管伸缩的影响，止水环应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规定。

**9.3.2** 钢质顶管伸入检查室部分不应小于 100mm。

## 10 顶管施工

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 顶管工程施工前应对下列施工现场的情况进行核查：

- 1 现场地形、地貌、河流、沟渠等水文地貌情况；
- 2 顶管路由上及附近的建（构）筑物、桥梁、公路铁路等相关建筑、设施；
- 3 现状地下管线、地下构筑物、地铁等市政设施和其他障碍物情况；
- 4 架空电缆电线、灯杆线杆、树冠等施工占地，施工用水排水、用电、交通运输等。

**10.1.2** 顶管工程施工前应编制顶管施工方案，并应包括下列内容：

- 1 施工标准及依据；
- 2 工程概况、工程量；
- 3 施工组织与管理措施；
- 4 顶管技术措施；
- 5 监测措施；
- 6 设备选择；
- 7 现场布置；
- 8 工程质量要求及保证措施；
- 9 工程安全、文明施工和环境保护措施；
- 10 应急预案。

**10.1.3** 工作井的施工应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

**10.1.4** 当顶管内进行涂装、防水、防腐、明火及焊接等作业时，应进行连续机械通风。

**10.1.5** 顶管内的照明及通风应符合国家现行标准《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定。

## 10.2 顶管机选型

**10.2.1** 顶管设备选型应根据顶管穿越土层的地质水文情况、地下障碍物、施工条件和施工环境等因素，在保证施工安全、工程质量前提下，经技术、经济比较后确定。顶管机选型可根据表 10.2.1 综合确定。

表 10.2.1 顶管机选型

地层类型		土压平衡式	泥水平衡式	气压平衡式
无地下水	胶结土层、强风化岩	★	★	—
	稳定土层	★★	★★	—
	松散土层	★★	★★	—
有地下水	淤泥	★★	★★	★
	黏性土	★★	★	★
	粉性土	★★	★★	★
	砂土 $k < 10^{-1} \text{ cm/s}$	★	★★	★
	砂土 $k = (10^{-4} \sim 10^{-3}) \text{ cm/s}$	★	★★	—
	砂砾	★	★	—
	卵石、岩石	—	—	★
含可排除障碍物	—	—	★★	

注：“★★”为宜用，“★”为可用，“—”为不宜用。

**10.2.2** 含大粒径的卵石层应选用具有相应破碎能力的泥水平衡顶管机。

**10.2.3** 当对地面沉降有要求时，应选择对正面压力有精确计量装置的平衡式顶管机。

**10.2.4** 当超长距离、曲线顶管时，可选择有倾角测量装置、自

动测站和计算机联控的自动测量导向系统的顶管机。

### 10.3 顶前准备

**10.3.1** 导轨的整体强度和刚度应满足施工要求，导轨安装的坡度应与设计坡度一致，安装固定应牢固，管道顶进时不得产生位移，并应符合下列规定：

1 导轨对管道的支承角宜为  $60^\circ$ ，导轨的高度应使管中心线与准洞口中心线一致；

2 导轨安装的轴线位置允许偏差 3mm，顶面高程允许偏差  $0\sim+3\text{mm}$ ，两轨净距允许偏差  $\pm 2\text{mm}$ 。

**10.3.2** 顶铁的安装应符合下列规定：

1 顶铁的强度、刚度应满足最大允许顶力，安装轴线应与管道轴线平行、对称。顶铁在导轨上滑动应平稳，且应无阻滞现象。

2 顶铁与管端面之间应采用木垫圈等缓冲材料衬垫，两个受压面应平整、互相平行。

**10.3.3** 主顶油缸、油泵等主顶进装置的安装应符合下列规定：

1 主顶油缸宜固定在支架上，并应与管道中心垂线对称、与管道轴线平行，其合力应在管道中心的垂线上。主顶油缸应对称布置，规格应相同，且应为偶数。

2 油泵应与主顶油缸相匹配，管道应顺直。

3 主顶油缸、油泵、换向阀及连接高压油管等安装完毕后，应试运转。整个系统应满足耐压、无泄漏要求，主顶油缸顶进速度、行程和各主顶油缸同步性应符合施工要求。

**10.3.4** 顶管机在进入现场前应做全面的调试运转，并应符合下列规定：

1 油管应清洗干净，电路系统应保持干燥，液压系统应无泄漏；

2 顶管机安放在导轨后，应测量前后端中心的方向偏差和相对高差，顶管机的接触面应相互吻合；

- 3 顶管机放置平稳后，高程误差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ 。
- 10.3.5** 顶管施工宜采取注浆措施来减少管壁摩阻力，注浆应遵循先注后顶、随顶随注、同步注浆与补浆结合的原则。
- 10.3.6** 每个注浆孔内应安装单向阀，注浆孔的设置应符合下列规定：
- 1 第一组注浆孔应靠近顶管机布置，后续数节管注浆孔间距宜为 $6\text{m}\sim 15\text{m}$ ；
  - 2 每隔 $15\text{m}$ 宜设置一个具有排气与检测功能的注浆孔。
- 10.3.7** 注浆管管件宜选用拆卸方便、密封可靠的管件，管件抗压能力应符合输送浆液的要求。
- 10.3.8** 注入浆液应搅拌均匀，制浆、注浆过程应由专人负责，专人检测。
- 10.3.9** 注浆量宜按管道与周围土层之间环状间隙体积的 $1.5$ 倍 $\sim 2.0$ 倍计算。
- 10.3.10** 顶管后宜注入水泥砂浆或粉煤灰水泥砂浆，置换触变泥浆填充管外空隙。注浆量宜按计算空隙量的 $150\%$ 控制。
- 10.3.11** 拆除注浆管路后，应对管道上的注浆孔进行封闭。

#### **10.4 工作井洞口止水及封门**

- 10.4.1** 锚喷护壁工作井洞口止水应符合下列规定：
- 1 洞口止水环中心线应与洞口中心线一致；
  - 2 止水圈应安装牢固，止水环压板螺栓应拧紧，压板应贴实、压紧。
- 10.4.2** 旋喷桩工作井洞口止水应符合下列规定：
- 1 洞口的穿墙钢套管应在主体结构施工时预埋完成；
  - 2 凿除洞口位置的围护结构混凝土前，应在洞口围护结构的上、中、下位置施工水平探测孔，并应检查洞门土体的加固情况；
  - 3 混凝土凿除后，应立即进行洞口止水板施工。
- 10.4.3** 止水装置安装应符合下列规定：

1 在渗透系数较小的黏性土层，当地下水压力不大于0.08MPa时，可使用板式橡胶止水装置或套筒式止水装置；

2 在透水性较好的粉土、砂土、砾石层，当地下水压力大于0.08MPa时，可使用盘根式止水装置；

3 当覆土深、地下水丰富、顶进距离较长时，在顶进井内可增设充气式止水圈备用；

4 止水橡胶圈应具有一定的耐磨性和较大抗拉性。

**10.4.4** 当采用钢管作洞门钢套管时，钢套管外宜加焊止水环，并应焊牢。

**10.4.5** 工作井洞口封门应符合下列规定：

1 洞口封门应保证背后土体稳固，且应无漏水和流砂现象；

2 洞口封门应在顶进前拆除，并宜采用静力法拆除；

3 拆除封门时，应保证作业安全，不得超挖，拆除深度宜为300mm~500mm。

## 10.5 顶管及配件

**10.5.1** 施工现场顶管管节及配件的储存数量应满足连续顶进施工要求。

**10.5.2** 顶管管材应符合下列规定：

1 钢筋混凝土成品管质量应符合现行国家标准《混凝土和钢筋混凝土排水管》GB/T 11836的有关规定；

2 钢质顶管宜选用Q235，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700和《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268的有关规定和设计要求，焊缝等级不应低于Ⅱ级，外防腐结构层不应小于2mm。

**10.5.3** 橡胶圈应与管节粘附牢固，表面应平顺，并应符合下列规定：

1 材质应符合现行国家标准《橡胶密封件 给、排水管及污水管道用接口密封圈 材料规范》GB/T 21873的有关规定；

2 应由管材厂配套供应；

- 3 外观应光滑平整，不得有裂纹、破损、气孔、重皮等缺陷；
- 4 每个接头的橡胶圈不得超过 2 个。

## 10.6 工作井及后背墙

10.6.1 施工前应对后背土体进行抗力验算，必要时应对后背土体进行加固。

10.6.2 后背墙平面与顶进轴线应保持垂直，表面应坚实平整，与背后结构或土体应贴紧。

10.6.3 后背墙材料的材质应均匀一致，整体与竖井结构应连接牢固，组装构件的规格应一致。

10.6.4 双向或多向顶进时，后背墙上预留洞口应满足顶进受力和密封要求，洞口预留尺寸应根据顶管机外径和止水需要确定，洞口密封止水装置应与后背墙可靠连接。

10.6.5 后背墙的允许偏差应符合表 10.6.5 的规定。

表 10.6.5 后背墙的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
垂直度	$0.1\%H_h$	挂水平线、垂线，钢尺检查
水平扭转度	$0.1\%B_h$	

注： $H_h$ 为后背墙高度， $B_h$ 为后背墙宽度。

## 10.7 始发与接收

10.7.1 顶管始发顶进应符合下列规定：

1 始发前应做好顶管机械、设备的相关检查和联动试运转，应无故障始发；

2 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；

3 始发时，顶管机与后方 2 节~3 节机头管应采用刚性连接；

4 顶管机刀盘全部进洞后，洞口止水圈与顶管机的间隙应均匀、密封应良好；

5 始发阶段，当端面土体压力过大时，应采取止退措施；

6 始发阶段，应控制顶进的速度和方向，采取防转措施；

7 始发阶段，应设定试验段，并应观察和记录水文地质情况、地层变形、基坑变化等监控量测数据，并应监控顶力、刀盘扭矩、机身旋转、电流及泥土仓压力等数据。

**10.7.2** 到达顶进应符合下列规定：

1 应按设计要求进行洞口土体加固（止水），顶管机进井前，接收井应清理干净，准确测量底板标高。接收装置应预先准备就位，并应调整至适当标高。接收装置、临时支撑的承载力、刚度和稳定性应经过验算合格后方可使用。

2 拆除洞口封门时应采取措施减少对土体的扰动。

3 当顶管机到达接收井洞口土体加固段时，应逐渐降低掘进速度，并应加强接收井及周围地表监测。当变形超过预警时，应采取有效措施后方可继续顶进。

## 10.8 中 继 间

**10.8.1** 顶管的最大顶力不应大于管节或工作井后背墙的允许顶力。当顶距较长、计算顶力大于管节或后背允许顶力时，应在管线适宜位置增设中继间。

**10.8.2** 中继间的数量可按下式确定：

$$n_1 = \frac{\pi D(L + l_0) \times q_k}{0.7 F_{dc}} - 1 \quad (10.8.2)$$

式中： $n_1$ ——中继间数量，向上取整数；

$l_0$ ——长度经验值，取 50m。

**10.8.3** 采用中继间顶进时，应符合下列规定：

1 中继间的允许顶力不应大于管节相应设计转角的允许顶力；

2 中继间在轴线偏差段运行时，应及时调整合力中心，中

继间转角不应扩大；

3 超长距离顶管的中继间宜采用计算机联动控制；

4 在顶管正常情况下，当主顶油缸的顶力达到中继间设计顶力的60%时，应设置第一个中继间，此后，每当主顶油缸顶力达到中继间设计顶力60%~70%时，应设置一个中继间；

5 中继间顶力余量，第一个中继间不宜小于40%，其余不宜小于30%。

**10.8.4** 中继间的安装、运行、拆除应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268的有关规定。

**10.8.5** 中继间合龙应符合下列规定：

1 合拢时应拆除中继间内部组件，并应由后部中继间或主顶油缸的顶力将拆除部分的中继间段合拢；

2 合拢应由前向后依次进行；

3 合拢后应对中继间接缝进行封闭处理；

4 钢质顶管中继间合拢后，应在薄弱断面处加焊内环。

## 10.9 正常顶进

**10.9.1** 管道顶进过程中，应遵循勤测量、勤纠偏、微纠偏的原则。

**10.9.2** 顶管过程中应有相应记录，并应包括日期、时间、顶进长度、顶进总长度、启动顶力、正常顶力以及中继间油压记录等。

**10.9.3** 顶进开始后应连续作业，并应实行交接班制度。每班作业前，应对机械、设备检查和试运行，确认合格并记录后，方可作业。

**10.9.4** 顶进过程中，严禁在工作井内竖向运输作业，施工人员不得在顶铁上或两侧停留。

**10.9.5** 顶进时，应随时观测顶管机切削功率变化情况，切削功率应稳定，且不得大于额定功率。

**10.9.6** 顶进过程中出现下列情况之一时，应立即停止顶进，并

应采取相应技术措施，确认正常后，方可恢复顶进：

- 1 开挖面前方地面出现严重沉陷或隆起；
- 2 遇到障碍物无法顶进；
- 3 后背变形、位移超过规定；
- 4 顶铁出现弯曲、错位现象；
- 5 顶力骤然增大或超过控制顶力；
- 6 管道接口出现错位、劈裂或管道出现裂缝；管道或中继间接口出现大量漏浆；
- 7 影响区内地面、地下管线、建（构）筑物的沉降、倾斜度、结构裂缝和变形等量测数据有突变或超过限值；
- 8 顶管机的切削功率大于额定值；
- 9 管道偏差过大且纠偏无效；
- 10 油泵、油路等设备发生异常现象。

**10.9.7** 顶管内设置有固定支架、导向支架预埋钢环时，施工前应对每个管节进行编号，并按编号顺序顶进。

**10.9.8** 顶进施工停顿期间，不应停止注入触变泥浆。

**10.9.9** 当在软土层中顶进钢筋混凝土管顶管时，应将前3节～5节管节与顶管机连成一体。

**10.9.10** 初始顶进应缓慢进行，待各接触部位密合后，再按正常顶进速度顶进。当顶进中出现油压突然增高，应立即停止顶进，并应经处理后方可继续顶进。主顶油缸活塞退回时，油压不得过大，速度不得过快。

**10.9.11** 管路拆接应符合下列规定：

- 1 拆接电路、油管 and 泥、浆、水管时，应在卸压、断电后进行；
- 2 拆接泥、浆、水管时，应在作业点采取控制和收集遗洒物的措施；
- 3 管路拆接后，应检查接口密封状况，确认无渗漏方可使用。

**10.9.12** 顶进过程中，应连续观察土（泥）仓压力，并应保持

压力稳定。

**10.9.13** 顶管机姿态控制应符合下列规定：

1 顶管机进洞前应验收导轨高程、中线，调整好顶管机进洞姿态，并应记录初始值；

2 每顶进一节管节应测量一次顶管机的姿态偏差，在出洞进洞以及纠偏过程中应加大测量频次；

3 施工过程中每次纠偏角度不应大于 $0.5^{\circ}$ 。

**10.9.14** 钢管不宜用于曲线段顶进。曲线顶进钢筋混凝土顶管应符合下列规定：

1 曲线段前几节管接口处可预埋钢板、预设拉杆；

2 顶进阻力计算可按相同条件下直线顶管的顶进阻力估算，并应考虑曲线段管外壁增加的侧向摩阻力，以及顶进作用力轴向传递中的损失影响；

3 当存在中继间时，应缩短第一个中继间与顶管机以及后续中继间之间的间距；

4 管节接口在一定角变位时应保持密封。

**10.9.15** 钢质顶管顶进时，管节长度不宜小于4m，并应符合下列规定：

1 钢管对口焊接应保持内壁平齐，内壁错边量不得大于2mm。焊接定位焊缝时，应采用与根部焊道相同的焊接材料和焊接工艺。

2 管节焊接过程中，多层焊时层间接头位置应错开。

3 每条焊缝宜一次连续焊完。当中断焊接时，再次焊接前应检查焊层表面，确认无裂纹后，方可按原工艺要求继续焊接。

**10.9.16** 顶管工程贯通后，应及时进行泥浆置换，并应对注浆孔进行封闭处理。

# 11 监控量测

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 施工竖井和隧道应进行监控量测设计。工作井、顶管、地下管线、地上建（构）筑物等的监测方案应根据工程地质、地下管线和周边建（构）筑物等条件确定。

**11.1.2** 施工中应及时监测，并对监测数据进行分析、预测最终位移值，判断工作井、顶管、地上建（构）筑物和地下管线的稳定性。

**11.1.3** 监控量测的测点初始值可取三次观测数据的平均值；顶管外测点应在顶进前测读，顶管内测点应在顶进完成 24h 内测读。

**11.1.4** 顶管施工过程中应设置专职检查员，对顶管隧道内外随时巡视、观察并记录。顶管隧道内观察项应包括管节变形、开裂、错台、掉块、拼装缝渗漏水、顶管顶力、排土情况等。顶管隧道外观察项应包括地表开裂、地表隆沉、建（构）筑物开裂、倾斜、隆沉等。

**11.1.5** 顶管结构上的监测布点应在顶管加工时完成。

**11.1.6** 顶管穿越既有建（构）筑物，监测应符合下列规定：

1 高层、高耸结构监测项目应包括沉降、倾斜、裂缝。应根据建（构）筑物外观和与顶管的距离，沿建（构）筑物周边或靠近顶管的一侧基础轴线上对称布点。

2 桥体观测项目应包括沉降、倾斜、裂缝，测点应布置在桥（墩）桩、桥梁、桥面板上。

3 地下构筑物 and 地下管线应沉降监测，沿地下构筑物顶部结构中心线和地下管线顶部中轴线对称布点。

## 11.2 监测项目与控制

11.2.1 锚喷工作井监测项目及要求应符合表 11.2.1 的规定。

表 11.2.1 锚喷工作井监测项目及要求

项目	监测类别	测点布置	监测频率
地质状况描述及支护观察	A	—	施工过程中每天进行
竖井圈梁水平位移	B	锁口圈周边	施工过程中 2 次/d；竖井开挖后 2 周内，1 次/2d；开挖后 3 周~4 周，2 次/周；开挖 4 周以后到二衬完成前，1 次/周
竖井圈梁沉降	A	锁口圈周边	
竖井井壁收敛	A	竖井井壁周边，3m 一个断面	
临时支撑变形	A	2 个点/单根支撑	同上
竖井周边地表沉降	A	锁口圈开挖范围外 5m~10m 范围	同上
格栅钢筋应力	B	每开挖 5m 选 1 个断面，每个断面取 5 个~10 个测点，视断面尺寸定	竖井封底初始顶进前 2 次/d；顶进 10m 后 2 次/周，竖井二衬前 1 次/周
应力影响范围内的建（构）筑物变形、沉降观测	A	—	同竖井圈梁沉降

- 注：1 A 类为必测项目，B 类为选测项目，在一定条件下 B 类监测项目可转化为 A 类项目；
- 2 若情况复杂或出现异常情况时应加大监测频率；
- 3 锁口圈梁水平位移、沉降布点可取同一监测点；监测点应对称布置在竖井中轴线两侧，并应根据竖井平面尺寸沿长边每隔 5m~7m 设一对监测点，短边 3m~5m 设一对监测点；
- 4 临时支撑每开挖 4m~6m 或土质变化处设一对监测点；
- 5 圈梁水平位移、沉降、竖井井壁收敛等项目在拆除临时支撑后均应加大监测频率。

## 11.2.2 桩撑工作井监测项目及应符合表 11.2.2 的规定。

表 11.2.2 桩撑工作井监测项目及要

监测项目	监测类别	测点布置	监测频率
地质状况描述及支护观察	A	--	施工过程中每天进行
井周边地表沉降	A	桩外皮 5m~10m 范围	施工过程中 2 次/d; 井开挖后 2 周内, 1 次/2d; 开挖后 3 周~4 周, 2 次/周; 开挖 4 周以后到二衬完成前, 1 次/周
围护桩顶水平位移和垂直位移	A	沿工作井长边设置不少于 2 个、短边设置不少于 1 个主测断面, 在桩顶设置测点	工作井开挖期间, 开挖深度 $\leq 5\text{m}$ 时 1 次/3d; $5\text{m} < \text{开挖深度} \leq 10\text{m}$ 时 1 次/2d; $10\text{m} < \text{开挖深度} \leq 15\text{m}$ 时 1 次/1d; 开挖深度 $> 15\text{m}$ 时, 2 次/d。 工作井开挖完成以后, 1d~7d, 1 次/d; 7d~15d, 1 次/2d; 15d~30d, 1 次/3d; 30d 以后, 1 次/周, 经数据分析确认达到基本稳定后, 1 次/月
井壁收敛	A	井结构的长、短边中点, 沿竖向 3m~5m 高一个监测断面, 每个监测断面不少于 2 条测线	
围护桩变形	A	沿工作井长边设置不少于 2 个、短边设置不少于 1 个主测断面, 在桩顶设置测点	
支撑轴力	B	全面监测, 测点一般布置在支撑的端部或中部, 宜同时监测端部和中部的沉降和位移	1 次/月
应力影响范围内的建(构)筑物变形、沉降观测	A	--	施工过程中 2 次/d; 井开挖后 2 周内, 1 次/2d; 开挖后 3 周~4 周, 2 次/周; 开挖 4 周以后到二衬完成前, 1 次/周

注: 1 A 类为必测项目, B 类为选测项目, 在一定条件下 B 类监测项目可转化为 A 类项目;

2 若情况复杂或出现异常情况时应加大监测频率。

11.2.3 顶管隧道监测项目及要求应符合表 11.2.3 的规定。

表 11.2.3 顶管隧道监测项目及要求

监测项目	监测类别	测点布置	监测频率
顶管隧道内外观察	A	—	施工过程中每天进行
地表沉降或隆起	A	10m~30m 一个监测断面	顶进过程中, (1~2)次/d
土体分层沉降	B	每个代表性地段 1 个~2 个监测断面	顶进过程中, (1~2)次/d
建(构)筑物变形和沉降监测	A	符合一般规定要求	穿越过程中 2 次/d, 穿越后 2 周内 1 次/d; 2 周~1 月 1 次/周。

注: 1 A 类为必测项目, B 类为选测项目, 在一定条件下 B 类监测项目可转化为 A 类项目;

2 若情况复杂或出现异常情况时应加大监测频率。

11.2.4 施工引起的变形控制应符合下列规定:

1 工作井沉降及控制值应符合表 11.2.4-1 的规定。

表 11.2.4-1 工作井沉降及控制值

控制值 (mm)	预警值 (mm)	报警值 (mm)	位移平均速率控制值 (mm/d)	位移最大速率控制值 (mm/d)
30	18	24	2	5

注: 位移平均速率为任意 7d 的位移值, 位移最大速率为任意 1d 的最大位移值。

2 地表变形及控制值应符合表 11.2.4-2 的规定。

表 11.2.4-2 地表变形及控制值

变形	控制值 (mm)	预警值 (mm)	报警值 (mm)	位移平均速率控制值 (mm/d)	位移最大速率控制值 (mm/d)
地表下沉	20	12	16	2	5
地表隆起	10	6	8	1	2.5

注: 位移平均速率为任意 7d 的位移值, 位移最大速率为任意 1d 的最大位移值。

**11.2.5** 施工引起的变形控制值应符合路政管理部门对道路隆沉的变形控制和周边建（构）物的沉降控制要求。

**11.2.6** 当出现下列情况之一时，应加强监测，提高监测频率，并应及时向相关单位报告监测结果：

- 1 监测数据达到报警值；
- 2 监测数据变化量较大或速率加快；
- 3 存在勘察中未发现的不良地质条件；
- 4 邻近的建（构）筑物、周边地面出现异常。

**11.2.7** 监测数据整理后上报，当实测数据达到（或超过）预警值时，应即刻报警，及时采取相应措施确保施工和周围环境的安全，并对超限数据标记警示。

### 11.3 顶进方向监测项目与控制

**11.3.1** 管顶施工进过程中应对顶进方向进行监测。

**11.3.2** 钢筋混凝土顶管顶进的允许偏差及检查方法应符合表 11.3.2 的规定。

表 11.3.2 钢筋混凝土顶管顶进的允许偏差及检查方法

监测项目		允许偏差 (mm)	检查频率		检查方法
			范围	点数	
顶管水平轴线	顶进长度 < 300m	50	每管节	1点	经纬仪或挂中线用尺测量
	300m ≤ 顶进长度	100			
顶管内底高程	顶进长度 < 300m	+30, -40			用水准仪测量
	300m ≤ 顶进长度	+60, -80			
相邻管间错口	15%壁厚, 且 ≤ 20	用尺测量			

**11.3.3** 钢质顶管顶进的允许偏差及检查方法应符合表 11.3.3 的规定。

表 11.3.3 钢质顶管顶进的允许偏差及检查方法

监测项目	允许偏差 (mm)	检查频率		检查方法
		范围	点数	
轴线偏差	±50mm	每管节	1点	经纬仪
高程偏差	±50mm	每管节	1点	水准仪

## 12 工程验收

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 工程质量验收应按检验批、分项、分部、单位工程划分。

**12.1.2** 单位工程验收应在分部工程、分项工程、检验批验收合格后进行。

**12.1.3** 单位工程完工后，施工单位应组织有关人员检查评定，并向建设单位提交工程验收报告，由建设单位项目负责人组织接收管理单位、施工单位、勘察设计单位、监理单位进行验收。

**12.1.4** 顶管结构施工完成，经分部工程验收合格后，方可进行后续施工。

**12.1.5** 工程验收应包括下列内容：

- 1 管道顶进情况；
- 2 结构防水效果；
- 3 承重和受力结构；
- 4 竣工资料。

### 12.2 质量验收

**12.2.1** 检查室质量验收应符合下列规定：

1 检查室内结构施工、回填应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

2 顶管管节和附件、管节连接的工程质量检验与验收除应符合本标准要求外，尚应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的有关规定。

3 检查室的原材料、成品、半成品的产品质量应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关

规定。

检验数量：全数检查；

检验方法：检查产品质量合格证、出厂检验报告和进场复试报告。

**4** 检查室的结构承载力、刚度和尺寸应符合设计要求，结构应无滴漏和线流现象。

检验数量：全数检查；

检验方法：观察检查，按现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的规定执行，监理单位应见证试验。

**12.2.2** 顶管隧道质量验收应符合下列规定：

**1** 顶管管材及附件的质量应符合现行产品标准和设计要求，管材长度、直径、厚度和强度应符合设计要求。在物资进场报验时应提供管材出厂合格证，钢筋混凝土特殊管的预埋件材质、位置、尺寸等应符合设计要求。管口止水钢环、止水胶圈等管口止水设施安装位置应正确，并应无位移、脱落现象。

检验数量：全数检查；

检验方法：检查管材质量合格证明文件、观察检查、尺量和取样试验。

**2** 顶管的中线、高程应符合设计要求。

检验数量：施工单位初始顶进时每 0.2m 对管道高程及中心偏差记录一次；正常顶进时，每项进 1m 记录一次；纠偏时，每 0.2m 记录一次；每顶进一节管，核对激光经纬仪是否出现移位，水平角、竖直角是否出现偏差。监理单位应每日对偏差记录检查。偏差应设定预警值，当偏差超过预警值时应立即停止顶进施工，上报监理共同分析偏差原因并解决。

检验方法：激光经纬仪、全站仪、水准仪测量。

**3** 管道接口端部应无破损、顶裂现象，接口处应无滴流和线流现象。

检验数量：全数检查；

检验方法：观察检查，其中渗漏水程度检查应按现行行业标

准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的规定执行。

**4** 顶管施工的最大允许偏差应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。

检验数量：全数检查；

检验方法：观察和使用量尺。

**5** 管道内应线形平顺，无突变、变形现象；一般缺陷部位应修补密实、表面光洁；管道应无明显滴漏和线流现象。钢管防腐层及焊缝处的外防腐层及内防腐层验收合格。

检验数量：全数检查；

检验方法：观察检查，按现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的规定执行。

**6** 管道顶进过程中止水环无漏水现象。止水环拆除前注浆完毕，拆除后管道与检查小室进出洞口的间隙连接密实牢固，无漏水现象。

检验数量：全数检查；

检验方法：观察检查。

**7** 顶进不得造成管节结构出现管体裂缝。

检验数量：全数检查；

检验方法：观察和使用量尺。

## 12.3 竣工验收

**12.3.1** 竣工验收时施工单位应提供施工技术资料和施工管理资料。

**12.3.2** 施工技术资料应包括施工组织设计、竣工测量资料、竣工图等。

**12.3.3** 施工管理资料应包括下列内容：

**1** 材料的产品合格证、材质单、分析检验报告和设备的合格证、质检部门核发的特种设备质量证明文件和设备竣工图、安装说明书、技术性能说明书和备件的移交证明；

**2** 施工单位检查、检验和记录等资料。

**12.3.4** 竣工验收应鉴定，鉴定方法可按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 的有关规定执行。

**12.3.5** 顶管工程验收合格后，建设单位应按照基本建设程序，对工程勘察、设计、施工、监理等评价，内容包括验收时间、程序、内容和组织形式，验收意见等。

## 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

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 3 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 4 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 5 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 6 《地铁设计规范》 GB 50157
- 7 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 8 《输油管道工程设计规范》 GB 50253
- 9 《给水排水管道工程施工及验收规范》 GB 50268
- 10 《油气输送管道穿越工程设计规范》 GB 50423
- 11 《盾构法隧道施工及验收规范》 GB 50446
- 12 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 13 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 14 《混凝土和钢筋混凝土排水管》 GB/T 11836
- 15 《橡胶密封件 给、排水管及污水管道用接口密封圈材料规范》 GB/T 21873
- 16 《城镇供热管网工程施工及验收规范》 CJJ 28
- 17 《城镇供热管网设计规范》 CJJ 34
- 18 《城镇供热管网结构设计规范》 CJJ 105
- 19 《城市供热管网暗挖工程技术规程》 CJJ 200
- 20 《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46
- 21 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 22 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60
- 23 《铁路桥涵设计规范》 TB 10002



中华人民共和国行业标准

热力机械顶管技术标准

**CJJ/T 284 - 2018**

条文说明

## 编制说明

《热力机械顶管技术标准》CJJ/T 284-2018，经住房和城乡建设部 2018 年 10 月 18 日以第 232 号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组对我国管道顶管工程做了广泛调查研究，总结了国内热力管道机械顶管敷设的实践经验，同时吸收、借鉴了其他相关行业的成熟经验和相关标准规定。

为便于广大设计、施工、科研、院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，《热力机械顶管技术标准》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，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 目 次

1	总则	61
3	工程地质勘察与工程环境调查	63
3.1	一般规定	63
3.2	工程地质勘察	63
3.3	工程环境调查	64
4	平面及断面设计	66
4.1	一般规定	66
4.2	平面设计	66
4.3	纵断面设计	66
5	结构上的作用	67
5.1	作用分类	67
5.2	永久作用	67
5.3	可变作用	69
5.4	偶然作用	69
6	顶管结构基本设计规定	70
6.1	一般规定	70
6.2	承载能力极限状态计算	70
6.3	正常使用极限状态验算	70
6.4	材料及耐久性	70
6.5	顶管内支架设计	71
7	顶管结构设计及计算	72
7.1	一般规定	72
7.2	管口承载能力验算	72
7.3	管节内力计算	73
7.4	顶管变形计算和抗滑移验算	74

7.5	构造 .....	75
8	工作井设计 .....	76
8.1	一般规定 .....	76
8.2	顶进井 .....	76
8.3	接收井 .....	78
9	防水设计 .....	79
9.1	一般规定 .....	79
9.2	顶管接口 .....	79
9.3	检查室洞口防水 .....	87
10	顶管施工 .....	88
10.1	一般规定 .....	88
10.2	顶管机选型 .....	89
10.3	顶前准备 .....	90
10.4	工作井洞口止水及封门 .....	92
10.5	顶管及配件 .....	95
10.6	工作井及后背墙 .....	95
10.7	始发与接收 .....	96
10.8	中继间 .....	96
10.9	正常顶进 .....	97
11	监控量测 .....	99
11.1	一般规定 .....	99
11.2	监测项目与控制 .....	99
11.3	顶进方向监测项目与控制 .....	100
12	工程验收 .....	101
12.1	一般规定 .....	101
12.2	质量验收 .....	102
12.3	竣工验收 .....	102

# 1 总 则

**1.0.1** 机械顶管技术特点是工程造价低，施工速度较快，安全生产有保证，结构质量稳定，沉降易于控制在允许范围之内，对周边环境、建（构）筑物和居民出行影响小，一次性穿越距离较长，综合效益好。

目前机械顶管技术已大量应用于给水、排水、电力、电信等市政工程。受内工作环境温度高、湿度大以及热机工艺管道推力大等工作条件和特点的制约，机械顶管技术在热力行业中的应用仅限于过路、过河时的局部穿越。随着城市供热管网行业的快速发展，将机械顶管技术广泛应用在热力工程的建设中，将会大大提高施工安全和施工质量，加快施工速度，减小对城市交通及环境的影响，为热力行业的发展提供强有力的保障。

由于热力行业无机械顶管的设计和施工规范，主要参照与给水排水相关的规程，不尽符合热力工程的结构与工艺特点，为了更好地将机械顶管技术用于热力行业中，亟待编制符合热力顶管结构与工作特点的技术规范。

本标准在参考国外热力机械顶管技术、综合近年来热力机械顶管工程设计和施工经验的基础上，针对热力机械顶管的关键技术问题，开展科学、深入、系统的技术研究，取得了大量课题成果，结合课题成果并通过多项热力工程实例进行验证和提炼，从而编制完成。

**1.0.2** 热力管线工程机械顶管所用顶管材质一般为钢管和预制钢筋混凝土管。钢筋混凝土管节内可通过预埋钢板内衬，来固定热机管道的固定支架、导向支架立柱。钢质顶管内的固定支架和导向支架可直接焊在顶管管节上，并在支架端部采取措施加大刚度。

热力管线人工顶管可参考本标准进行设计、施工和验收。

**1.0.3** 冻土、塌陷区、湿陷性黄土及膨胀土，这些土的物理力学性质比较特殊，在修建热力检查室和顶管时应充分予以考虑，并按国家现行标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025、《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112、《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118 的规定进行设计。

**1.0.4** 热力工艺管道的敷设方式有多种，主要包括明开地沟、盾构隧道、暗挖隧道、直埋等。本标准结合热力行业特点，对采用机械顶管法施工的热力工程，在设计、施工和验收等方面进行了规定和要求。虽然制定的技术内容较多，但也很难把热力工程中的各种实际情况完全涵盖。本标准与相关的标准和规范有一定的分工和衔接，因此在执行本标准时尚应符合相应标准规范的规定。例如：格栅挂网锚喷支护工作井的设计和计算应符合现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的规定；钢筋混凝土灌注桩、地下连续墙工作井的设计和计算应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定；设计采用的材料、产品要符合国家有关产品和材料标准的规定等。

## 3 工程地质勘察与工程环境调查

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 工程地质勘察与工程环境调查是为了查明影响工程建（构）筑物的地质因素、环境因素而进行的调查研究工作，为工程建设的设计、施工提供必要的依据及参数。查明后需根据设计建（构）筑物的结构和运行特点，预测工程建（构）筑物与地质环境相互作用的方式、特点和规模，并作出正确的评价，为确定保证建（构）筑物稳定与正常使用的防护措施提供依据。随着城市化建设的快速发展，地上地下工程环境越来越复杂，机械顶管工程在顶进过程中，一旦遇障碍物，处理起来非常困难，机械顶管在顶进施工中，也会对施工影响范围内的建（构）物的变形和沉降产生影响，顶管工程建（构）筑物调查是顶管工程设计和施工的重要依据，并为后期施工前的风险源识别及控制提供依据。

**3.1.2** 钻探和物探是为了查明影响范围内的地质构造、地下管线，了解岩层的完整性或破坏情况，为工程探寻良好的持力层和查明对工程稳定性有不利影响的因素。

**3.1.3** 顶管施工中容易受到有毒气体伤害，所以应制定应急预案。

**3.1.4** 勘探孔封堵是为了防止管涌，消除工程安全、质量隐患。

### 3.2 工程地质勘察

**3.2.2** 顶管工程勘察钻孔布置一般不沿顶管中心轴线布置，可布置在顶管两侧。

根据建筑场地覆盖层厚度和土层等效剪切波速等因素，按有关规定对建设场地所做的分类。Ⅰ类场地土：岩石，紧密的碎石土；Ⅱ类场地土：中密、松散的碎石土，密实、中密的砾、粗、

中砂；地基土容许承载力  $[\sigma_0] > 250\text{kPa}$  的黏性土；Ⅲ类场地土：松散的砾、粗、中砂，密实、中密的细、粉砂，地基土容许承载力  $[\sigma_0] \leq 250\text{kPa}$  的黏性土和  $[\sigma_0] \geq 130\text{kPa}$  的填土。

**3.2.4** 地下水对顶管影响很大，不可随意提供粗糙的数据，地下水的高低影响顶管结构的受力分析，在同样地质情况下，地下水高时，顶管结构受力小，而地下水位低时反而不利。

地下水有污染时，是否有腐蚀对管节尤其是钢质顶管的使用年限有较大的影响。

勘察单位提供地下承压水的范围与压力作为设计选定顶管标高的参考，避免顶管穿过承压水范围，造成承压水释放而导致管线失稳。

地下水的温度是勘察的重要内容，地下水水温的变化对钢质顶管设计非常重要。

**3.2.5** 初步勘察报告可以为设计合理确定平面布置、选择顶进标高及防治不良地质现象提供设计依据。对于工程地质简单和勘察工作量小的工程可以适当简化勘察报告的内容。

**3.2.7** 勘察报告中岩土参数应根据地质区（段）及层位分别统计，当同层岩土指标差别较大时，应进一步划分土质单元，并分别进行统计。

**3.2.8** 土层物理力学性质参数是供设计计算和施工选择措施参考的依据。参数中的变形模量应提供顶管轴线深度处的指标。

### 3.3 工程环境调查

**3.3.1** 地上环境勘察，应在拟建工程项目的位置或规划设计线路确定前进行。当场地环境变化较大时，可做补充勘察。

**3.3.2~3.3.12** 地下建（构）筑物调查前应会同有关部门查清地下设施现状，或用专门探测仪器探明拟布置的勘探、原位测试的点位及其邻近地段地下埋设物（如电力、通信电缆、管道、人防工程建筑、地下铁道等）的分布位置、埋深，并查明电力、通信电缆架空线的分布位置，根据落实和探查情况，在现场确定勘

探，原位测试点位；在交通要道进行勘探时，事先应与交通管理监督部门取得联系，以便协调工作。

地下建（构）筑物调查的对象包括：地上建筑物下部构筑物，地下构筑物，桥涵，河道，湖泊，水库，铁路，公路，市政道路，高压线塔等。

顶管穿越区域大多是繁华闹市，所经路线上高楼密集，地下建（构）筑物密集，涉及的产权单位也较多，要求在调查前查询各类已有资料，并对现场进行细致、周密的调查。

## 4 平面及断面设计

### 4.1 一般规定

**4.1.2** 热力工程的特点是需设置的热力检查室较多，检查室内一般有补偿器、阀门、弯头、支架等，所以检查室平面尺寸较大，合理、有效地利用检查室位置和检查室结构设置工作井，可以尽量减少围挡占地，节省工程造价。

### 4.2 平面设计

**4.2.3** 热力工艺管道是同管径的双管制，分为供水管和回水管，一般供水管和回水管同时布置滑动支架、固定支架、导向支架，当供回水管的支架设置在同一钢筋混凝土顶管管节上时，此管节结构受力较为集中，导致在热力管道运行过程中，此管节产生较大变形，影响顶管接口防水和使用寿命。

**4.2.4** 一般市政检查工作井，平面上有矩形、圆形、椭圆形、多边形等。热力检查室一般设计成矩形，方便热力补偿器和工艺设备的安装和使用。可以更好地利用地下空间，减少占地面积。工作井设计成矩形，可以方便顶管设备的设置和安装，有利于后背墙与工作井结构密贴。

### 4.3 纵断面设计

**4.3.2** 地层液化后会对顶管结构强度和稳定性产生不利影响，进而影响热力管道的正常运行。穿越液化地层时，热力管道可采用明开地沟或其他可对结构进行加强的敷设方式。

## 5 结构上的作用

### 5.1 作用分类

5.1.1 顶管结构上的作用按时间的变异性分为三类：

1 永久作用：在设计基准期内量值不随时间变化或其变化与平均值相比可忽略的作用，如结构、围岩压力等；

2 可变作用：在设计基准期内量值随时间变化，且其变化与平均值相比不可忽略的作用，如地面车辆何在及支架推力等；

3 偶然作用：在设计基准期内不一定出现，而一旦出现，其量值很大且持续时间很短的作用，如地震力。

### 5.2 永久作用

5.2.3 竖向地层压力，宜根据所处工程地质，水文地质条件和覆土厚度，并结合土体卸载拱作用的影响进行计算；当顶管上覆地层厚度达到一定要求时，例如： $h' \geq 2.5D$ 时，需考虑卸载拱作用（ $h'$ ：顶管上覆地层厚度； $D$ ：顶管外径），岩石地层也应考虑卸载拱作用。

顶管施工过程中，因纠偏时施工机械等引起的附加水平侧压力通常可以忽略不计。

由于影响地层压力分布、大小和性质的因素很多，地层压力应根据隧道的具体条件，结合已有的试验、测试和研究资料慎重确定。当洞顶至地面高度大于或等于  $2.5h_a$  时，属于深埋隧道；当洞顶至地面高度大于  $h_a$  且小于  $2.5h_a$  时，属于浅埋隧道；当洞顶至地面高度小于  $h_a$  时，属于超浅埋隧道（ $h_a$  是深埋隧道围岩压力计算高度）。隧道可按下述方法确定土压力：

1 竖向压力：超浅埋隧道一般按计算截面以上全部土柱重量考虑；深埋隧道按太沙基公式或其他经验公式计算；

2 水平地层压力：岩体的水平地层压力按现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 的规定执行。根据地层情况一般有两种方法，一种是水土分算，一种是水土合算。两种方法的适用条件详见本标准第 5.2.5 条条文说明。

#### 5.2.5 水压力的确定：

1 作用在顶管结构上的水压力，从实用和偏于安全考虑，设计水压力一般都按静水压力计算。

2 地下水位对地下结构的作用，最重要的三个条件是水头、地层特性和时间因素。具体计算方法如下：

砂性土地层的侧向水、土压力应根据设计地下水位按全水头和水土分算的原则确定；黏性土地层的侧向水、土压力应根据设计地下水位按全水头和水土合算的原则确定；并应考虑地下水位在使用期的变化可能的不利组合。与现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的区别在于没有按使用阶段和施工阶段划分，由于热力机械顶管的断面通常为圆形，所以黏性土地层的侧向水、土压力应采用水土合算相对安全，如果设计中采用除圆形断面以外的其他断面形式，设计者需按水土合算和水土分算两种工况分别计算荷载并且取最不利的计算结果。

3 确定设计地下水位时应符合结构受力的最不利荷载组合原则。由于超静定结构某些构件中的某些截面是按侧压力或底板水反力最小的情况控制设计的，所以在确定设计地下水位时，应分别考虑最高水位和最低水位两种情况。

5.2.7、5.2.8 当顶管沿线存在地层不均匀，荷载突变，地下水位变化等情况时，顶管设计应计纵向不均匀沉降对顶管结构内力的影响。通常采取的措施有调整顶管纵向钢筋、加强顶管关节间的接头强度等。

5.2.10 由于壁面温差作用会在混凝土顶管结构内引起内力及变形，根据实际工程的计算，其作用效应通常比较明显，所以在管道运行阶段应计入其对结构的作用。

## 5.3 可变作用

**5.3.1** 顶管结构覆盖层厚度通常大于或等于 3m，车辆荷载及其冲击力应根据所采用的车辆轴重和排列计算，根据结构埋深简化为均布荷载。在道路下方的浅埋顶管，当地面覆盖层厚度大于 3m 时，可按现行国家行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定确定，且标准值不小于 20kPa~30kPa。

**5.3.4** 下列施工荷载按可能发生的组合设计：

1 设备运输及吊装荷载，施工机具及人员活载大小应根据施工工艺，施工设备及施工现场情况确定，并不应小于 10kPa；

2 地面临时堆载，引自现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的规定，地面堆载宜采用 20kPa，始发井和接收井处不应小于 30kPa；

3 机械顶管施工时千斤顶的推力按计算顶力确定；

4 注浆所引起的附加荷载：

1) 顶进时触变泥浆压力 0.15MPa；

2) 泥浆置换注浆压力（根据地层压力及地下水状况确定）；

3) 小于直径 DN1000 以下双胶圈管节因纠偏产生的弯矩。

## 5.4 偶然作用

**5.4.2** 沉船荷载的大小与船型、吨位、装载情况、沉没方式和覆土厚度等因素有关，因此要根据可能通过的最大船舶类型结合具体情况分析确定。

## 6 顶管结构基本设计规定

### 6.1 一般规定

**6.1.2** 现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 规定热力暗挖结构的使用年限为 100 年。顶管结构在施做工艺、材料强度以及受力形式方面比暗挖结构具有优势，且同作为热力结构，设计使用年限不宜低于暗挖结构的使用年限。

**6.1.3** 城市供热管网工程结构破坏可能产生严重后果，如导致热机管道破坏，高温高压热水或蒸汽泄漏造成人身伤亡和停热事故等，造成较大的社会影响，将其安全等级确定为一级比较适宜；相比而言，施工阶段结构发生破坏产生的后果较运行阶段略低，其安全等级确定为二级比较适宜。

### 6.2 承载能力极限状态计算

**6.2.6、6.2.7** 稳定性抗力系数取值，主要是依据以往工程经验提出的，并与现行行业标准《城镇供热管网结构设计规范》CJJ 105 相协调。顶管结构与地沟结构不同，检修时不需要掀开盖板，不存在大规模卸载，因此，管道运行阶段与施工及检修阶段稳定性系数取相同值。

### 6.3 正常使用极限状态验算

**6.3.2** 顶管结构最大裂缝宽度的规定是参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和现行行业标准《城镇供热管网结构设计规范》CJJ 105 的规定制定。

### 6.4 材料及耐久性

**6.4.6** 本条主要是参照现行行业标准《城市供热管网暗挖工程

技术规程》CJJ 200 和现行行业标准《城镇供热管网结构设计规范》CJJ 105 的规定制定。

## 6.5 顶管内支架设计

**6.5.1** 支架的类型一般分为型钢支架、钢筋混凝土支架等，与钢筋混凝土支架相比，型钢支架易于加工制作，且安装方便、精度高，因此在多年来的工程实践中基本采用型钢支架。常用型钢支架的断面形式有单根型钢、双根型钢对扣、钢板组合型钢等。由于顶管管节为预制，采用型钢支架与结构连接更易于操作，且传力更为明确。

## 7 顶管结构与计算

### 7.1 一般规定

**7.1.5** 目前对于非开挖地下工程，围岩变形和地表沉降的计算软件、计算方法较多。根据热力顶管工程多年设计和施工经验，依据 Peck 提出的盾构施工引起的地表沉降估算方法来计算机顶管工程的地表沉降，方法简便并满足要求。盾构隧道与机顶管隧道均为圆形隧道，推进时的破土方法是一样的，对周围围岩的作用和影响也是一样的。

机顶管产生的横向地面沉降量可按下列公式计算：

$$S(x) = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \quad (1)$$

$$S_{\max} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \approx \frac{V_s}{2.5i} \quad (2)$$

$$i = \frac{Z}{\sqrt{2\pi \tan(45^\circ - \phi/2)}} = kZ \quad (3)$$

$$V_s = V_L \pi r^2 \quad (4)$$

式中： $S(x)$ ——沉降量；

$V_s$ ——隧道单位长度的地层损失；

$S_{\max}$ ——隧道中心线的最大沉降量；

$i$ ——沉降槽半宽度；

$k$ ——沉降槽宽度系数；

$Z$ ——隧道埋深；

$r$ ——顶管半径；

$V_L$ ——地层体积损失率。

### 7.2 管口承载能力验算

**7.2.1** 本条给出的施工阶段钢筋混凝土管管口顶面允许顶力计

算公式，结合了多少年的现场施工经验，充分考虑了钢筋混凝土顶管管节预制、加工、运输及顶进过程中安装偏差对管口承载能力的影响，同时考虑了一定的安全储备。

**7.2.2** 本条给出的钢管顶管管口允许顶力，主要是受钢管顶进中的稳定性影响，结合多年的钢管顶管的工程经验，钢管顶管稳定系数取 0.36 是适合的。

**7.2.3** 热力顶管隧道与其他市政工程不同，隧道内需设置约束热机管道轴向变形、侧向变形的固定支架和导向支架。支架的立柱和横担一般采用组合型钢，最终将作用力传递到顶管结构上。设计时应充分考虑支架作用力对顶管结构的影响。

### 7.3 管节内力计算

**7.3.1** 干管与分支管置于不同的高程，是热力工艺管道敷设的特点。因此需对不同覆土厚度的管节进行设计。

**7.3.2** 钢筋混凝土管节的内力计算规定是在多年来热力工程顶管设计计算、工程实践基础上，参考国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定而制定的。

**7.3.3** 地层弹性抗力系数的计算取值一般分为四步：一是从地质勘察报告中取得从顶管上部  $45^\circ$  角以下至顶管底部各层土的水平地层弹性抗力系数和垂直地层弹性抗力系数；二是将各层土的地层弹性抗力系数按土层厚度加权平均，将结果作为平均水平地层弹性抗力系数  $\bar{k}_h$  和平均垂直地层弹性抗力系数  $\bar{k}_v$ ；三是估算土层弹簧的作用区域确定左右两侧土层弹簧的作用中心线与水平线的夹角  $\alpha$ ；四是将第二步求得的平均地层弹性抗力系数向作用角  $\alpha$  方向投影，将投影结果作为土层弹簧的平均法向刚度。投影公式为：

$$K_n = \bar{k}_h \cos^2 \alpha + \bar{k}_v \sin^2 \alpha \quad (5)$$

地层弹性抗力系数的取值参考了现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200。

## 7.4 顶管变形计算和抗滑移验算

**7.4.1** 本条规定是基于顶管管节的正常使用条件，并参照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定制定的。

**7.4.2** 本条规定是多年来热力顶管和盾构隧道的设计和施工经验得出的，完全满足热力顶管隧道结构的变形要求。

**7.4.3** 纵向间隙是指顶管结束后，弹性密封材料勾缝填充纵向间隙施工之前相邻管节之间的空隙。纵向间隙是由顶管纠偏和管节接口结构尺寸所形成。纵向间隙的确定依据：1) 确保耐热硅橡胶密封圈在有效的工作位置；2) 确保弹性密封材料勾缝填充纵向间隙施工便于操作。

**7.4.4** 钢筋混凝土顶管曲线顶进时，管径不同、管节长度不同，特别是接口形式不同，管口接口处张开角度也不同，应根据实际情况确定。保证可以顺利顶进的同时，满足接口部位防水防渗漏的控制要求。

**7.4.5、7.4.6** 根据现场原位试验，顶管隧道内热机管道产生的轴向推力和水平侧向推力，可通过固定支架的型钢立柱传递到管节上，并通过顶管隧道外壁与周围土体之间的摩阻力来平衡，侧向推力则通过顶管侧面的土体抗力来平衡。

根据多年的热力工程经验和试验来看，顶管传递轴向力推力的有效长度不会超过 7 节顶管长度，且在距固定支架立柱 10m 位置处，顶管轴向内力受支架影响几乎为零。

多年来热力机械顶管项目设计时，固定支架、导向支架轴向推力的抗滑移验算，钢筋混凝土顶管参照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中锚杆锚固体与土体之间的极限摩阻力进行，钢制顶管外壁单位面积平均摩擦阻力标准值按钢筋混凝土外壁单位面积平均摩擦阻力标准值的 1/3 考虑，完全符合计算要求。由于我国各地地质条件、特性存在较大差异，且机械顶管背后泥浆置换的施工水平、置换效果差异也较大。所以，在有地区经验的情况下，应优先根据当地经验选取。

为保证泥浆置换效果，在顶管施工完成后，需对整个顶管隧道进行雷达探测，若顶管隧道背后存在空洞或土体不密实，应进行二次补浆，二次补浆一般采用水泥砂浆，以确保顶管结构外壁与土体之间密实。

## 7.5 构 造

**7.5.1** 固定支架和导向支架布置在前后不同的管节上，避免单根管节上的荷载过于集中，不利于结构的安全和稳定；两根管节的接口处有缝隙存在，设置固定和导向较为困难，接口位置容易产生细微变形，影响支架的稳定。

**7.5.2** 预埋钢板内衬通过锚筋与顶管结构钢筋连接。根据现场实际情况，型钢立柱焊在顶管弧形钢内衬上时，由于是仰焊，焊缝高度和焊接质量存在一定的不确定性，因此宜将预埋钢内衬适当加宽，并沿型钢立柱前后增设加劲肋。

**7.5.4** 为使止水钢板翼环焊在预埋封闭钢板环的位置上，保证顶管管口与结构二衬接口位置处的防水质量。设计时需依据顶进距离、顶管两端工作井或热力检查室二衬结构，准确计算和排布顶管管节，必要时可加工特殊长度的管节以满足要求。

**7.5.6** 注浆孔宜在管节端口一侧周围环向均布，管节直径  $DN1800\text{mm}$  以下的宜设置 3 个注浆孔，管节直径  $DN1800 \sim DN2600\text{mm}$  范围的宜设置 4 个注浆孔，管节直径  $DN2600\text{mm}$  以上的宜设置 (4~6) 个注浆孔。

## 8 工作井设计

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 工作井是顶管施工作业的重要垂直运输通道，地面及周边是起重、吊装、运输顶管机及堆放顶管材料、堆放弃土的场所，尤其是吊装顶管机时，顶进井和接收井井边有重型吊车站位，对于大管径顶管项目，顶进井井边需设置活动天车。这些工作荷载在设计时应予以考虑。

**8.1.3** 工作井的结构形式较多，封闭式工作井，宜采用格栅挂网锚喷支护、钢筋混凝土灌注桩、地下连续墙等结构形式。

**8.1.6** 为保证结构的安全和稳定，在顶管顶进和接收前，应对井壁结构进行补强和加固。

**8.1.7** 顶管顶进时后背墙后面的土体提供反作用力来平衡液压千斤顶的顶力，如果土体松散，在顶力作用下工作井容易产生较大变形，影响工作井的结构和顶进施工安全。

**8.1.8** 一般顶管施工完成后再施工中间热力检查室，可以保证顶管施工的连续性，检查室位置也可根据需要后做调整，如果检查室先行施工，顶管通过前，还要将已施工完的检查室回填密实，顶管通过后再将回填土取出，经济性较差。

### 8.2 顶进井

**8.2.1~8.2.3** 顶进井平面长度和宽度尺寸的确定，与顶管机本身尺寸相关联。随着顶管机械设备快速进步和发展，其尺寸变化也较大，实际设计时，宜先调查并确立适用的顶管机类型和尺寸，避免顶进井结构尺寸偏差较大而影响施工或过度浪费。本条的尺寸计算公式参考现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的有关规定而制定。

**8.2.4** 机械顶管施工的总顶进力主要是克服顶管机顶进时挖掘面上形成的迎面阻力和管节外壁与周围土之间的摩阻力，摩阻力的大小与顶进过程中减阻措施密切相关。根据大量的工程实例和经验数据统计，后背墙背后土体抗力不小于 1.4 倍的总顶进力时，顶进并不会产生影响顶进施工安全的较大位移。

由于最大顶力一般在顶进段接近完成时出现，所以在设计后背墙应充分利用土体抗力，而且在工程进行中应严密监测后背土的压缩变形值。当发现变形过大时，应采取注浆等措施加固后背土体，以提高土体抗力。

**8.2.5** 顶进方式仅考虑土压平衡和泥水平衡，其中公式(8.2.5-2)未考虑顶管机正面土体改良、减阻措施。

**8.2.6~8.2.8** 后背土土体一般采用注浆方式进行加固，提高土体内摩擦、抗剪强度、黏聚力等各项指标。后背土土体抗力很难准确计算。本条文所列计算公式，在收集总结多项工程项目的经验计算公式基础上，参考了现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120。公式直观、简单、偏于安全，公式中的侧向压力系数采用简单的朗肯土压力系数。

**8.2.9** 后背墙按结构分类，一般可分为整体式或装配式两类。整体式后背墙多采用现浇混凝土。受施工工艺影响，喷锚支护结构的喷射混凝土强度一般为 C20，最高不会超过 C25，且喷射混凝土的均匀度和密实度远达不到模注混凝土的标准，在集中荷载作用下极易压碎，所以格栅挂网喷锚支护的顶进井有必要设置钢筋混凝土后背墙，且后背墙与工作井结构之间填充密实。

**8.2.11** 在机械顶管始发和接收前，顶进井、接收井先预留与顶管尺寸匹配的洞口，洞口与顶管之间有一定的空隙，设置止水圈，防止地下水、泥沙和触变泥浆从管节与止水环之间的间隙流到工作井。

**8.2.12** 热力工程中，双向、多向始发和双向、多向接收的情况较为常见，尤其是多向始发时，先顶进的顶管管口与后顶进管道的后背墙一起承受油缸的推力，应采取对顶管管口进行

保护。

### 8.3 接收井

**8.3.3** 如接收井在工程中要作为继续顶进井时，井深需考虑导轨安装高度，按本标准公式（8.2.3）计算。

## 9 防水设计

### 9.1 一般规定

**9.1.3** 结构防水等级根据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 防水等级规定，整个工程的防水等级可与管材单元、重要部位的防水等级不同。针对不同的防水等级提出与之相应的可靠措施，才是正确的防水设计方法。否则，定级不准，势必有用超过标准或低于标准的措施，从而造成造价过高或质量下降的后果。顶管管材接口数量较多，除管材本身自防水外，“管道接口防水”、“检查室洞口防水”应是重点。

根据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 防水等级规定，二级防水等级要求为：顶部不允许滴漏，其他部位不允许漏水，结构表面可有少量湿渍，总湿渍面积不大于总防水面积的  $2/1000$ ，任意  $100\text{m}^2$  防水面积上的湿渍不超过 3 处，单个湿渍的最大面积不大于  $0.2\text{m}^2$ ；顶管隧道工程中漏水的平均渗漏量不应大于  $0.05\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，任意  $100\text{m}^2$  防水面积渗漏量不应大于  $0.15\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

**9.1.6** 预防预制钢筋混凝土管的早期开裂，需采取综合的技术措施：

- 1 严格控制水泥用量，采用低水化热的水泥；
- 2 优化混凝土配合比，控制用水量；
- 3 严格控制混凝土的坍落度和入模温度；
- 4 采用可靠的振捣措施，确保密实度；
- 5 加强混凝土的养护条件，严格控制拆模时间。

### 9.2 顶管接口

**9.2.1** 管道接口应承担两项功能：一是力的轴向传递；二是防

止水的渗漏（包括地基沉降引起的管口局部变形）。

**9.2.2** 结合其他市政顶管管道接口防水经验，并考虑热力管道的使用特点，依据管道接口所承担的功能和设计原则，经过专题专项的研究和工程的实践，最终确定了适用于热力工程的顶管接口形式。设计主防水为单道防水和双道防水两套设计方案，防水防线组成为承口端面胶板、聚醚型聚氨酯遇水膨胀胶条和嵌缝聚氨酯密封膏。

**9.2.3** 楔形橡胶密封圈是承插口之间的主要防水材料，利用承插口对接时对该密封圈截面沿管道径向压缩产生的回弹力（压缩应力），在密封产品和承口、插口接触面上形成接触应力，达到密封止水效果。热力顶管结构内环境有着高温的特点，为了能够满足结构的 100 年使用寿命，对管节之间的防水材料有特殊的要求。

### 1 管片防水材料材质的选择

三元乙丙橡胶具有优异的耐老化、耐臭氧、耐腐蚀等性能，因此被广泛用作市政给水排水管道和地铁隧道的防水材料，但和硅橡胶相比，三元乙丙橡胶长期耐高温性能稍差于硅橡胶。考虑到热力隧道长期的高温高湿环境特点，选用硅橡胶作为热力顶管管道的主防水材料应具有更优异的耐老化性。两种胶料的性能对比见表 1：

**表 1 硅橡胶和三元乙丙橡胶材料性能指标对比表**

项 目	单位	硅橡胶	三元乙丙橡胶	
			硫黄硫化体系	过氧化物体系
硬度	邵尔 A	64	65	66
拉伸强度	MPa	8	9	8
扯断伸长率	%	470	400	370
压缩永久变形	(150℃×24h)	%	19	—
	(100℃×24h)	%	—	40

续表 1

项 目		单位	硅橡胶	三元乙丙橡胶	
				硫黄硫化体系	过氧化物体系
热空气 老化	硬度变化	邵尔 A	+2	+12	+6
	拉伸强度变化率	%	+12.5	+13	+12
	扯断伸长变化率	%	+6	-45	-30
防霉等级		级	一级	一级	

注：硅橡胶的热空气老化试验条件为  $150^{\circ}\text{C} \times 96\text{h}$ ，三元乙丙橡胶热空气老化试验条件为  $150^{\circ}\text{C} \times 48\text{h}$ 。

## 2 管道接口防水材料（硅橡胶）人工加速老化实验

**试验原理：**橡胶密封垫在顶管工程中，其作用是防止结构内部或外部水的泄漏。橡胶垫在整个使用过程中处于压缩状态，属于静态密封。顶管内气候环境与室内气候环境大致相当，橡胶密封垫在使用过程中所发生的老化主要是热氧老化，同时受机械应力和水的作用。因此可以利用测定橡胶密封制品贮存期的方法来预测橡胶密封垫的使用期，即利用热空气加速老化的方法外推计算。从室温到高温热空气加速老化的一定温度范围内，其老化机理是相同的，即性能与老化时间和老化温度之间存在着特定的关系，按照标准给定的公式即可计算出常温下的寿命。

**实验依据：**国家现行标准《静密封橡胶零件贮存期快速测定方法》HG/T 3087、《硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定》GB/T 7759.1~7759.2。

## 3 试验方法

### 1) 热空气老化试验温度

取五个试验温度：453K、443K、433K、423K、413K。

### 2) 老化性能项目

根据橡胶密封垫的实际使用情况，选择压缩永久变形作为寿命预测的试验项目。试样为圆柱形，规格尺寸为  $\phi 10 \times 10$ ，压缩率为 30%。按照现行行业标准《静密封橡胶零件贮存期快速测

定方法》HG/T 3087 进行。选定性能变化的临界值  $1-\epsilon=0.5$  作为预测的临界值。

#### 4 试验数据

不同温度下测得的压缩永久变形变化 ( $1-\epsilon$ ) 数据见表 2。

表 2 压缩永久变形变化 ( $1-\epsilon$ ) 数据表

413K		423K		433K		443K		453K	
$t$	$y$	$t$	$y$	$t$	$y$	$t$	$y$	$t$	$y$
0.5	0.9424	0.5	0.9368	0.5	0.9229	0.5	0.9174	0.5	0.8877
1.5	0.9216	1.5	0.9079	1.5	0.884	1.5	0.8731	1.5	0.8182
3.5	0.8928	3.5	0.8743	3.5	0.837	3.5	0.8234	2.5	0.7767
6.5	0.8686	6.5	0.8448	6.5	0.8021	6.5	0.7837	4	0.7346
11.5	0.8385	11.5	0.8078	11.5	0.7572	11.5	0.7273	6	0.6985
17.5	0.815	17.5	0.7802	17.5	0.7264	17.5	0.6931	10	0.6564
28.5	0.7936	28.5	0.7554	26.5	0.6915	26.5	0.6501	15	0.611
43.5	0.754	43.5	0.7083	40.5	0.6559	40.5	0.5964	21	0.5709
63.5	0.7279	63.5	0.6815	56.5	0.6217	56.5	0.5527	28	0.5434
94.5	0.6917	94.5	0.6411	76	0.5855	76	0.5111	39	0.498
132.5	0.6649	132.5	0.6069	101	0.5493	101	0.4694	52	0.4559
176.5	0.6394	176.5	0.5726	131.17	0.5158	131.17	0.4278	—	—
227.5	0.626	227.5	0.5544	168.17	0.4909	168.17	0.3962	—	—
293.5	0.6032	293.5	0.5269	218.17	0.4581	218.17	0.3559	—	—
389.5	0.5677	389.5	0.4866	278.17	0.4292	278.17	0.3203	—	—
526.5	0.5248	469.5	0.4469	357.17	0.3977	303.17	0.3096	—	—

#### 5 计算过程

老化特性指标  $y$  与老化时间  $\tau$  之间关系可按下式描述：

$$y = Be^{-K\tau^a} \quad (6)$$

式中： $y$ ——对应力松弛为任一老化时间  $\tau$  时的应力  $f$  与老化前的初始应力  $f_0$  的比值，对于拉断伸长率为任何一老化时间  $\tau$  时伸长率  $L$  与老化前的伸长率  $L_0$  的比值，

对于压缩永久变形为 1 减任一老化时间 $\tau$ 时压缩永久变形率 $\epsilon$ ;

$B$ ——试验常数;

$K$ ——速度常数 ( $d^{-1}$ );

$\tau$ ——老化时间 ( $d$ );

$\alpha$ ——经验常数。

速度常数  $K$  与老化温度  $T$  之间关系服从阿伦尼乌斯公式:

$$K = Ae^{-E/RT} \quad (7)$$

式中:  $E$ ——表面活化能 ( $J \cdot mol^{-1}$ );

$R$ ——气体常数 ( $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$ );

$T$ ——老化温度 ( $K$ );

$A$ ——频率因子 ( $d^{-1}$ )。

根据标准的规定,合理估算出上述两式中的参数,再结合试验所得到的压缩永久变形结果和扯断伸长率,计算出特定条件下的贮存寿命。经验常数 $\alpha$ 是通过多次尝试计算得出的,方法如下:

首先应选定经验常数 $\alpha$ 为 0.50 和 0.51,按公式(5)计算  $I$  值。如果 $\alpha=0.50$ 时  $I$  值小,则 $\alpha$ 的尝试区间为  $0 \sim 0.50$ ,否则为  $0.51 \sim 1$ ,最终选定的 $\alpha$ 应保证  $I$  值最小。

$$I = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 \quad (8)$$

式中:  $y_{ij}$ ——第  $i$  个老化温度下,第  $j$  个测试点特性指标的试验值;

$\hat{y}_{ij}$ ——第  $i$  个老化温度下,第  $j$  个测试点特性指标的预测值。

利用逐次逼近法估计参数:

式(6)经过对数变换后可得如下直线形式:

$$Y = a + bX \quad (9)$$

式中:  $Y = \lg y$ ;  $a = \lg B$ ;  $b = -\frac{K}{2.303}$ ;  $X = \tau^\alpha$

按最小二乘法估计  $a$  和  $b$ ：

$$b_i = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad (10)$$

$$a_i = \frac{\sum Y}{n} - b \frac{\sum X}{n} \quad (11)$$

由此可求得  $p$  个试验温度下的常数  $K_i = -2.303b_i$  和  $B_i = 10a_i$ 。则式 (6) 中参数  $B$  的估计值：

$$\hat{B} = \frac{\sum B_i}{p} \quad (12)$$

式 (7) 经对数变换后可得如下形式：

$$W = C + DZ \quad (13)$$

式中：

$$W = \lg K; C = \lg A; D = -\frac{E}{2.303R}; Z = T^{-1}$$

按最小二乘法估计  $C$  和  $D$ ：

$$D = \frac{\sum WZ - \frac{\sum W \sum Z}{p}}{\sum Z^2 - \frac{(\sum Z)^2}{p}} \quad (14)$$

$$C = \frac{\sum W}{p} - D \frac{\sum Z}{p} \quad (15)$$

由此可计算  $p$  个试验温度下的速度常数  $K$  的估计值  $\hat{K}_i = 10^{(C+DZ_i)}$ 。

于是

$$I = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \hat{B}e^{-\hat{K}_i \tau_{ij}})^2$$

统计分析  $W=C+DZ$  方程的线性相关性，按下式计算相关系数  $r$ ：

$$r = \frac{\sum WZ - \frac{\sum W \sum Z}{p}}{\sqrt{\left[\sum W^2 - \frac{(\sum W)^2}{p}\right] \left[\sum Z^2 - \frac{(\sum Z)^2}{p}\right]}} \quad (16)$$

查相关系数表中显著性水准为 0.01, 自由度  $df=p-2$  的表值, 如果计算值大于表值, 则  $W$  与  $Z$  显著相关, 方程成立。

$W$  的预测区间估计, 按下列公式计算  $W$  的标准偏差:

$$S_w = S \sqrt{1 + \frac{1}{p} + \frac{(Z_0 - \bar{Z})^2}{\left[\sum Z^2 - \frac{(\sum Z)^2}{p}\right]}} \quad (17)$$

式中:

$$S = \sqrt{\frac{(1-r)^2 \left[\sum W^2 - \frac{(\sum W)^2}{p}\right]}{p-2}} \quad (18)$$

则  $W$  的置信界限的上限为:

$$W = C + DZ + tS_w \quad (19)$$

式中  $t$  可以从自由度  $df=p-2$  和显著性水准为 0.5 时的单侧界限  $t$  的相关数值表中查出。

按照式 (19) 得到贮存温度下的常数的上限为:

$$\hat{K} = 10^{(C+D\frac{1}{T_0}Z+tS_w)} \quad (20)$$

在给定临界值的条件下得出不同温度的贮存期限。贮存期按下式计算:

$$\tau = \exp\left[\frac{1}{\alpha} \left(\ln \ln \frac{\hat{B}}{y_0} - \ln \hat{K}\right)\right] \quad (21)$$

经计算后得出的结论: 经 100 年压缩永久变形下降到 0.2832。

## 6 结果讨论

根据本实验结论可见, 硫化硅橡胶在 70°C 的温度环境下, 预测经 100 年的压缩静密封状态下的压缩永久变形为 28.32% (近似 30%), 即可理解为产品在 70°C 的温度下经历 100 年的静压缩后, 产品压缩量的变形量约为 30%。由于实验采用原始压缩量为 25%, 则可计算压缩永久变形量为产品原始高度的:  $25\% \times 30\% = 7.5\%$ , 即压缩永久变形的绝对量很小。这一结论为材料的应用提供了很好的保证。

国内三元乙丙橡胶的人工加速老化实验的预测结果显示，硫化三元乙丙橡胶在常温（20℃）经 100 年的静压缩后，压缩应力松弛率为 35%；国外有关项目（哥本哈根热力隧道）预测的结果为：在 55℃ 的温度条件下，经 100 年的静压缩后，压缩应力松弛率为 50%。我国行业标准《静密封橡胶零件贮存期快速测定方法》HG/T 3087 - 2001 中规定橡胶密封零件在使用寿命期内的压缩应力松弛率临界值为 50%。实验结果说明，在热力隧道中使用三元乙丙橡胶密封垫具有很大的风险。

### 7 材料性能指标的确定

参照国内其他顶管隧道密封圈的应用情况和硅橡胶的特点，结合人工加速老化试验的结果，建议选用硅橡胶，其材料性能指标见表 3。

表 3 硅橡胶防水材料性能指标

项 目		单位	楔形胶圈/拱形胶圈	端面胶版
硬度		邵尔 A	65±5	55±5
拉伸强度		MPa	≥8	≥8
扯断伸长率		%	≥350	≥350
压缩永久变形 (150℃×24h)		%	≤20	≤20
热空气老化 (150℃×96h)	硬度变化	邵尔 A	≤+8	≤+8
	拉伸强度变化率	%	≥-20	≥-20
	扯断伸长变化率	%	≥-30	≥-30
防霉等级		级	0~1	0~1

### 8 粘合试验

硅橡胶由于其表面惰性，属于难粘材料，氯丁酚醛胶粘剂是目前隧道管道工程广泛使用的胶粘剂，试验过程中选择了几种胶粘剂进行了对比试验，结果见表 4。

表 4 粘合试验对比表

胶粘剂种类	粘合强度	施工工艺	优缺点
氯丁酚醛	弱	易操作	成本低，粘合弱
室温硫化硅胶	强	较易操作	成本高，粘合强
环氧树脂	可	难操作	成本高，粘合尚可
瞬干胶水	强	难操作	成本尚可，难操作

根据对比试验的结果，选用室温硫化硅胶胶粘剂作为热力顶管管道粘合材料。

### 9 试验结果

在设计的试验水压（0.2MPa）条件下，两套设计方案在密封圈与管道接触部位均无渗漏水情况。承口钢环应有足够的刚度，以承受顶推过程中侧向力对钢环产生变形的影响；因此承口钢环的材料应选用 Q235 及以上标号的板材，板材厚度不能低于 10mm。为确保承口钢环的尺寸精度，应采用胀圆设备加工。

### 9.3 检查室洞口防水

9.3.1、9.3.2 检查室洞口是机械顶管工程重点防水部位，需结合热力工程的特点，充分考虑热力工艺管道的伸缩和温度变化对结构和防水的影响，所以采取了水平和垂直两个方向均设柔性防水材料，并根据工程经验对钢质顶管伸入检查室部分进行了规定。

## 10 顶管施工

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 本条规定了现场调查应考虑全面，应根据设计路由确定顶管施工所涉及的拆改移、保护、平整、挖填、疏排、加固、剪除、架设铺设、导行等措施或方案。

**10.1.2** 顶管施工方案包括下列内容：

1 施工标准及依据内容包括方案编制依据的法律、法规、规范、规程等，编制方案所依据的设计文件、地质勘察报告、地下障碍物调查报告以及其他相关资料。

2 工程概况的内容包括：1) 工程项目名称、工作内容、工程期限和施工要求；2) 工程的地理位置、交通条件、地形地貌、气候特征等；3) 周边构筑物、地下管线以及施工场地条件等；4) 工程地质条件、水文地质条件，着重说明影响顶管施工的主要地质因素；5) 应有管线平面图、剖面图；6) 应介绍工程的相关单位；7) 按照管线设计及位置说明施工顺序，按照工序计算工程总量。

3 施工组织与管理措施包括施工组织管理体系以及人员健康、环境保护措施。施工进度计划图应合理安排。除施工工艺顺序外，还包括前期施工准备及后期路面恢复、各种辅助施工的内容，并且全部列入施工计划的总工期中。

4 顶管技术措施包括总顶力估算、后背承载力的估算；后背、止水圈、基坑导轨、顶管机、油泵、油缸的安装方法；顶管进出洞的措施；顶进减阻措施；排渣方式、处理方法；顶进纠偏措施；管道定位、测量方法以及采取的仪器、测量精度分析；地面变形及周围环境影响的控制措施；中继间的设置、安装、使用、拆除的措施；施工时的通风、供电、通信措施；顶管施工中

垂直运输措施；工程重点部位的技术措施；管道贯通的处理措施等。

5 监测措施包括：监测对象、手段、方法、技术要求、人员组成以及监测的控制值（允许值、报警值）。

6 根据管径、顶管长度、估算的总顶力、顶管方法来确定顶管设备，包括顶管机、中继间、泥浆泵、主顶泵站、主顶油缸、泥浆搅拌机等。

7 场地布置依据现场调查的情况和顶进方式确定。在顶进坑施工的场地要确定顶进坑、顶进设备、管材、渣土临时存放、泥浆处理设备、垂直运输设备等的具体位置。

8 保证措施包括管道顶进方向的控制、顶力的控制、土体变形控制等。

10 应急预案包括突发事件预案、工程质量安全预案、环境影响预案。

## 10.2 顶管机选型

10.2.1~10.2.3 机械顶管平衡类顶管机有：1) 土压平衡式顶管机——通过调节出泥舱的土压力稳定开挖面，弃土可从出泥舱排出的顶管机，可用于淤泥和流塑性黏性土。2) 泥水平衡式顶管机——通过调节出泥舱的泥水压力稳定开挖面，弃土以泥水方式排放出顶管机，可用于粉质土和渗透系数较小的砂性土。

顶管机的选型除可按表 10.2.1 选取外，根据复杂地层和施工要求还可选择有针对性其他类型的顶管机，或对现有顶管机进行升级改造、增加自动化辅助设备，以保证顶管目标的实现；适合复杂地层顶管机早期常用气压平衡式，现趋向于泥水平衡式。国外除泥水平衡式外还有混合式机型，国内也渐渐出现此类机型。1994 年 2 月在荷兰完成的顶管工程，DN3000 的钢筋混凝土管，曲线向海域顶进，总顶进长度 2535m，采用的是具有土压、泥水、气压混合的机型。混合式机型是专门为特定工程研制的，有其局限性，不是通用机型。

**10.2.4** 一般 400m 以下的机械顶管通过工作井内发射的激光束指引顶进方向，当顶进距离超过 400m 后，导向激光因严重衰减无法工作，而曲线顶管激光因不能照射到顶管机也无法工作。使用自动测量导向系统为顶进指引方向可很好的解决距离超长后的测量问题，这一系统将设备的实时位置和姿态不断地显示给顶管机操作人员，操作人员借助导向数据控制顶管机沿设计轴线前行，管道内的自动测站安装在支架上随管道一起前移，并在计算机的控制下自后向前自动测量导线，测量数据通过无线电台传送给控制计算机。为了记录顶管机的滚动角和俯仰角，顶管机里装有一个高精度的双轴倾斜仪，计算机对全站仪和倾斜仪测量数据进行分析计算机、顶管机中心坐标，显示器上显示有顶管机中心的偏差数据等信息，指导顶管机操作人员进行修正操作。

### 10.3 顶前准备

**10.3.1** 顶管设备的安装应满足顶管机操作和顶进、工作井结构安全、顶管轴线及高程、最大顶推力、主材吊装等要求，同时应做到稳固、顺直。导轨安装的支承角及允许偏差可参考中国工程建设标准化协会标准《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246:2008 的规定。

两根导轨的中心间距可按下列公式计算：

$$A_0 = A + \alpha \quad (22)$$

$$A = 2\sqrt{(D-h+e)(h-e)} \quad (23)$$

式中： $A_0$ ——两导轨中心间距（mm）；

$A$ ——两导轨上部净距（mm）；

$\alpha$ ——导轨上顶面宽度（mm）；

$D$ ——顶管外径（mm）；

$h$ ——导轨高度（mm）；

$e$ ——管外底距底板的距离。

**10.3.3** 主顶千斤顶可固定在组合千斤顶架上作整体吊装，根据其顶力对称布置的要求，通常选用 2、4、6、8 只按偶数组合，

以使传力均匀和受力稳定。

**10.3.4** 顶进作业前应将顶管机及电路、油路、水路、气压、泥浆管路和控制系统等进行逐一连接调试，要求各部件安装正确、牢固，不得渗漏；安装后对各分系统逐一进行检查和试转，以保证设备正常运转。

**10.3.6** 注浆孔的设置可参考现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的有关规定。

**10.3.7** 注浆管道分为主管和支管两种，主管道宜选用直径为40mm~50mm的钢管，支管可选用25mm~30mm的橡胶管。要求管路接头在压力1kPa下无渗漏现象。

**10.3.8** 顶管施工所用触变泥浆的性能主要由以下6个指标来控制：

1 密度：用于顶管施工的泥浆密度通常为 $1.10\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.16\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2 静切力：测定静切力一般用1min和10min两个标准的终切力，一般很小，约100Pa左右，在实际顶管施工中可以不予考虑。

3 黏度：现场施工一般采用漏斗黏度，用漏斗黏度计进行测量，单位是秒（s）。顶管施工采用的触变泥浆黏度较大，一般大于30s。

4 失水量：用于顶管的泥浆要求有较小的失水量，大于 $25\text{cm}^3/30\text{min}$ 的，不宜用于顶管施工。

5 稳定性：指泥浆性能保持不变的持久性，以24h后从泥浆中离析出来的水分与原体积的比作为稳定指标。用于顶管的泥浆要求无离析水。

6 pH值：在钢管顶进中，要求pH值 $<10$ ，以防对钢管腐蚀的不良作用发生。

浆液注入前应搅拌均匀。静置24h后灌注是经验数据，目的是保证减阻泥浆各成分完全溶解，防止泥浆注入土壤出现水分离析流失，影响减阻效果。注浆泵宜采用活塞泵或螺杆泵。设备和

管路要连接可靠，具有足够的耐压和良好的密封性能。

**10.3.9** 注浆量为管道与周围土层之间的环状间隙的体积的 1.5 倍~2.0 倍是经验数据，注浆过程中应严格控制注浆量，避免出现漏浆跑浆以及地面隆起等现象。

**10.3.10** 顶管后注入水泥砂浆或粉煤灰水泥砂浆置换触变泥浆填充管外空隙是防止地面沉陷的必要措施。注置换浆液量根据地层情况，可按计算空隙量的 150% 控制，注浆压力应根据覆盖深度与土质确定。避免注浆量不足地面沉陷或注浆量过大导致地面隆起。

**10.3.11** 拆除注浆管路后，除封闭注浆孔外，可根据相关产权单位要求，对穿越重要建（构）筑物置换触变泥浆后使用地探雷达检测充填密实程度。加强顶管中心轴线上方地面的沉降观测，观测点沿顶管轴线方向布置。为加强对路面地下重要管线安全和及时发现顶管施工过程中可能造成的路基空洞不密实等安全隐患，通过顶管前后对路面雷达图像对比，综合评定顶管施工对道路结构的影响。

#### 10.4 工作井洞口止水及封门

**10.4.1** 锚喷护壁工作井洞口止水密封装置的规定可参考本标准第 10.4.3 条中橡胶止水装置及其条文说明。

**10.4.2** 高压旋喷桩可以分为单管法、双重管法、三重管法及多重管法。

**10.4.3** 橡胶止水装置和盘根式止水装置的构造图（图 1、图 2）和具体参照表（表 5、表 6）如下所示。

表 5 橡胶止水装置尺寸参照表

项 目	管道外径 $D_1$ (mm)		
	800~1100	1100~2400	2400~4000
$\phi_c$	$D_1 + 40$	$D_1 + 50$	$D_1 + 60$
$\phi_G$	$D_1 - 60$	$D_1 - 80$	$D_1 - 100$

续表 5

项 目	管道外径 $D_1$ (mm)		
	800~1100	1100~2400	2400~4000
$\phi_E$	$D_1 + 120$	$D_1 + 140$	$D_1 + 160$
$\phi_F$	$D_1 + 260$	$D_1 + 280$	$D_1 + 320$
$a$	20	25	30
$b$	60	70	80
$J$	160	180	210

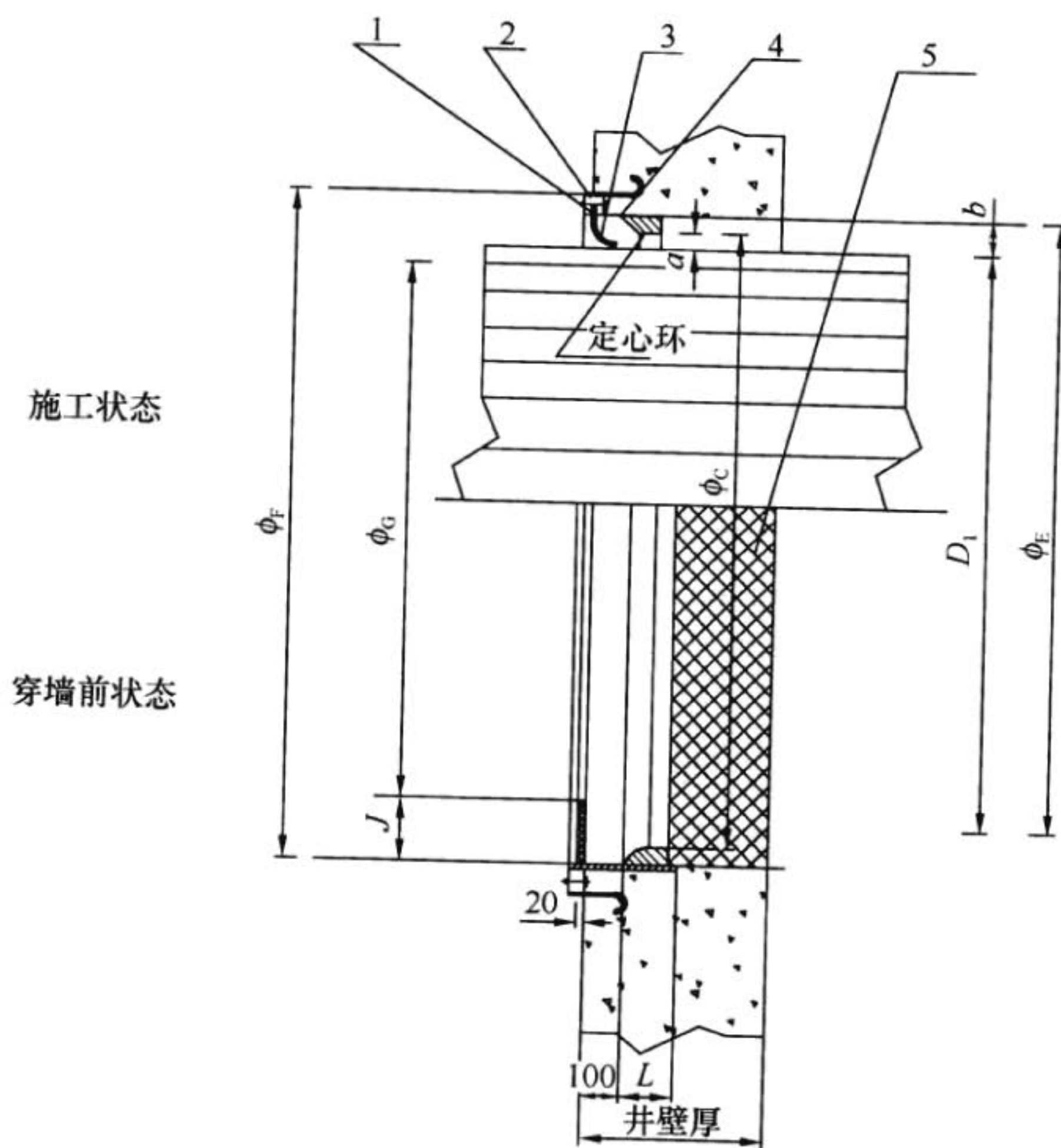


图 1 橡胶止水装置构造图

1—预埋螺栓；2—压板；3—橡胶止水板；4—穿墙套管；5—封填料；  
 $\phi_F$ —压板外径； $\phi_C$ —定心环内径； $\phi_E$ —穿墙管内径； $\phi_G$ —管道外径与  
 $(J-100)$  的差值； $J$ —轧兰高度； $L$ —轧兰长度； $D_1$ —管道外径； $a$ —  
 定心环与管道间隙； $b$ —穿墙管与管道间隙

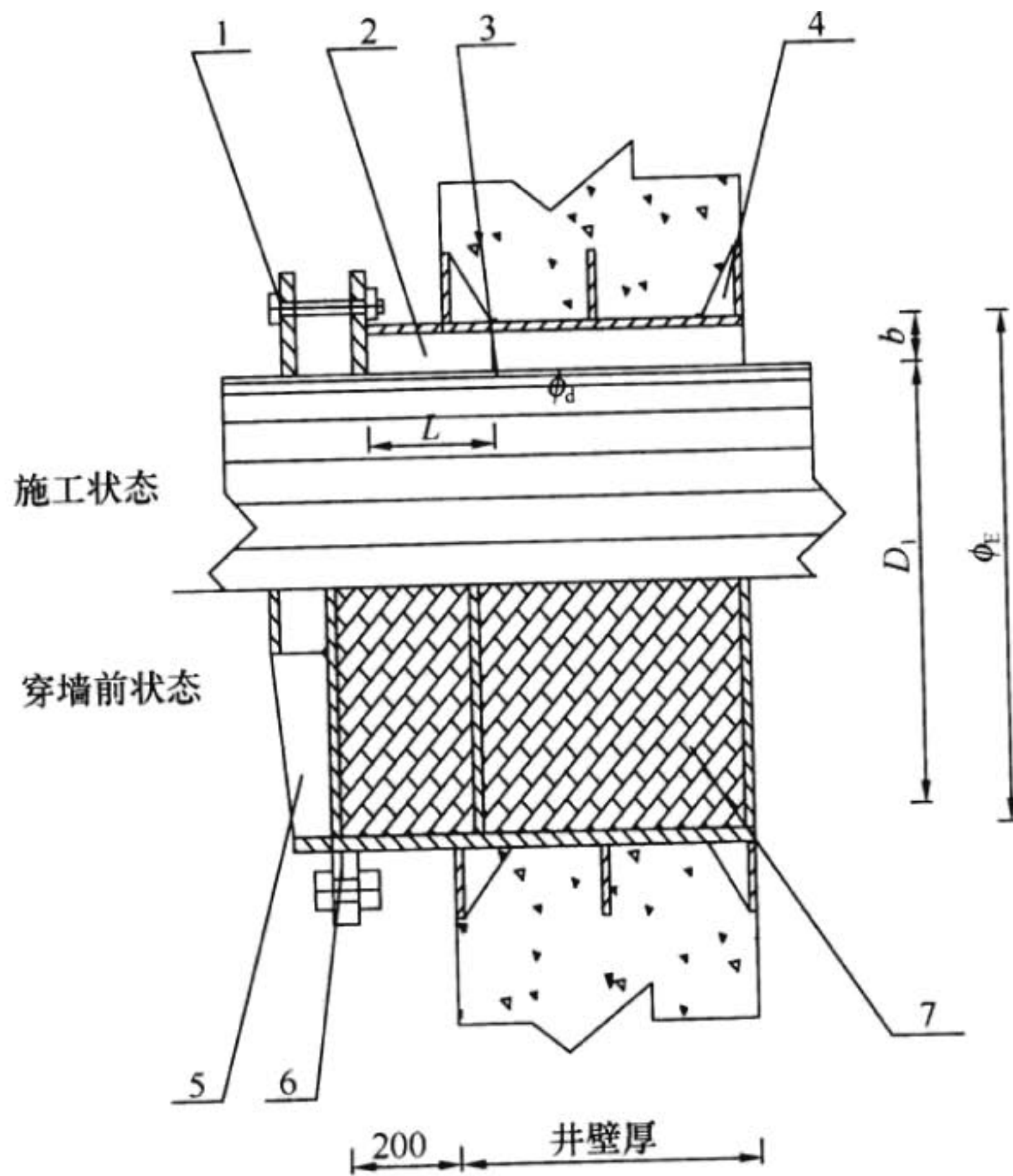


图2 盘根式止水装置构造图

1—轧兰；2—盘根；3—挡环；4—穿墙管；5—阀板；

6—胶圈；7—封填料

$L$ —轧兰长度； $D_1$ —管道外径； $\phi_E$ —穿墙管内径；

$\phi_d$ —挡圈断面直径； $b$ —穿墙管与管道间隙

表6 盘根式止水装置尺寸参照表

项 目	管道外径 $D_1$		
	800~1800	1800~3000	3000~4000
穿墙管内径 $\phi_E$	$D_1 + 90$	$D_1 + 120$	$D_1 + 140$
间隙 $b$	45	60	70
盘根断面	35×35	45×45	50×50
$\phi_d$	20	25	30
$L$	300	350	400

**10.4.4** 采用钢管做洞口钢套管时，钢管外宜加焊止水环，且周围应采用钢制框架，按设计位置与钢筋骨架的主筋焊接牢固；钢管内宜采用具有凝结强度的轻质胶凝材料封堵；钢筋骨架与井室结构或顶管后背墙的连接筋、螺栓、连接挡板锚筋，应位置准确、连接牢固。

**10.4.5** 洞口封门背后土体不稳定时，可采取注浆等措施加固；洞口封门拆除时必须保证竖井结构安全，避免较大的扰动；拆除洞口封门时必须保证人员安全，脚手架搭设必须牢固，并经验收合格；拆除深度以保证洞口结构和土体安全为准，不宜过深。

## 10.5 顶管及配件

**10.5.1、10.5.2** 顶管施工时，预制管材应严格按照进场后材料报验程序执行，经相关方验收或相应的试验检验合格后方可进行顶进作业。

## 10.6 工作井及后背墙

**10.6.1、10.6.2** 后背墙结构的宽度、厚度、承载力、刚度等应根据顶管设备选型、最大顶力、竖井结构形式、后背墙背后土体强度等因素经过计算确定，但必须满足后背墙不被最大顶力反作用力而破坏；忽略钢制后背铁的影响，假设主顶油缸的顶力通过后背墙均匀的作用在工作井后背土上（土的内摩擦角 $\phi$ 值可参考现行国家标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200），当最大总顶力 $F <$ 后背总反力 $R$ 时，则认为可保证后背稳定。

在估算后背的稳定性时应注意：

1 油缸总顶力的作用点低于后背被动土压力的合力点时，后背所承受的推力最大；

2 油缸总顶力的作用点与后背被动土压力的合力点相同时，后背所承受的推力略大；

3 油缸总顶力的作用点高于后背被动土压力的合力点时，后背所承受的推力最小；

因此，为使后背能承受较大的推力，工作井应尽可能深一些，后背墙也尽可能埋入井底多一些。

## 10.7 始发与接收

**10.7.1** 顶管始发前，对所有顶进前安装完毕设备进行单独试运转，并经过联动运转合格；确认拆除洞口临时维护结构的措施完备；机械顶管时应确认洞口止水圈压板位置符合施工要求；确认地下水位是否满足施工要求。

**10.7.2** 顶管到达阶段，土体加固可采用高压旋喷、深层搅拌桩或注水泥浆等方法。不允许采用破碎头或者风镐等震动性很大的拆除机械，以免对结构造成二次破坏。顶管进入接收阶段顶管机控制参数的变化，以确保顶管机顺利进井。接收装置的标高应根据顶管机进井前的实际测量数据设定。防止泥浆、地下水、流沙等进入接收井，避免引起渗漏、沉降和坍塌影响安全，洞口封堵措施有设止水环、注浆、填充柔性材料等。

## 10.8 中继间

**10.8.1** 中继站油缸安装在顶进管道的中间部位作为接力顶进工具。当顶进阻力（即掘进机所受迎面阻力与顶进管道所受摩擦阻力之和）超过主顶工作站的顶推能力、施工管道或者后座装置所允许承受的最大荷载，无法一次到达要求的顶进距离时，则需要施工的管线之间安装中继站进行辅助施工，实行分段逐级顶进。

**10.8.2** 中继间的顶力储备平均按 30% 计，用公式（10.8.2）中的 0.7 表示，估算时忽略顶管机类型，并假设第 1 号中继间安装在前 50m 的位置。如果施工中的摩擦阻力比预期的要小，则可以相应加大中继站的间距；反之，则应适当减小其间距。

**10.8.3** 顶管距离在 400m~1000m 的属于超长距离顶管。

**10.8.5** 在顶管作业结束后中继站合拢施工，前特殊管、后特殊管以及包括钢制的外壳都留在地层中，不再进行回收，但是其内

部的组成部分（如推进油缸、连接件、均压环和液压管线等）将由工作人员通过手工的方法进行拆卸，以备它用。在拆卸工作完成之后，所留下的区间，可以借助于后面的中继站将其合拢封闭，或者通过现场浇筑混凝土的方法形成衬砌。

## 10.9 正常顶进

**10.9.6** 机械顶管施工若较长时间停顿，泥浆容易固化，造成管壁阻力增大，进而导致顶力加大或无法继续顶进的情况。故顶管施工中要连续顶进，无故障等特殊原因不可停顿。出现异常问题必须立即停止作业，分析原因，制定有效措施消除隐患，确保施工作业有序进行。

**10.9.7** 按编号顺序的管节进行顶进是为了保证热力管道固定、导向支架位置安装正确。

**10.9.11** 拆除各种管路指顶管机械、设备的相关管路，拆除和连接均应保证安全，并且保证管路完好，接口密封完好、严密，拆除的管路、电缆等应妥善保存，接口、阀门应上油保存，以免锈蚀。同时在拆除作业时应采取相应排放污水、废弃物等控制措施，避免污染环境。

**10.9.13** 贯通水平偏差参考现行行业标准《城市供热管网暗挖工程技术规程》CJJ 200 的有关规定。为了满足顶管施工精度要求，在施工中必须对下面几个参数进行测量：

- 1) 顶进方向的垂直偏差；
- 2) 顶进方向的水平偏差；
- 3) 掘进机机身的转动；
- 4) 掘进机的姿态；
- 5) 顶进长度。

热力顶管对施工精度要求特别高。顶管施工必须严格按照设定的管道中心线和工作坑位建立地面与地下的测量控制系统，控制点应布置在不宜扰动、视线清晰、方便校核的地方，并加以保护。在安装测量装置时，所用的测量仪器应和工作坑的坑底和坑

壁分开，避免这些位置在施工由于顶进力的施加产生位移，从而和起始位置不一致，则很容易产生误差。

**10.9.14** 曲线段前几节管接口处可预埋钢板、预设拉杆是为了以备控制和保持接口张开量；对于软土层或曲率半径较小的顶管，可在顶管机后续管节的每个接口间隙位置，预设间隙调整器，形成整体弯曲弧度导向管段。

**10.9.15** 长距离顶管时管节长度可以适当加大。

**10.9.16** 常用注浆法填充管外壁与土体之间的缝隙，对被扰动的土体进行胶结固化。注浆材料宜为水泥与粉煤灰混合浆液。注浆编组进行，可将相邻的二组注浆孔编一个单元，分别作为注浆孔与排浆孔，自注浆孔注入固结浆液，将润滑浆从相邻排浆孔挤出，要保持一定的时间，尽量多地排出润滑浆。

固结浆的注入从管道一端开始，依次顺序进行。全线注浆完成后，应关闭注浆阀门，静态保持压力稳定直至固结浆初凝。浆液初凝后，进行第二次注浆，将原来的排浆孔作为注浆孔，原来的注浆孔为排浆孔，交替进行，注浆次数不宜少于3次，每两次的间隔不宜大于24h。

固结浆的注入压力宜控制在主动土压力与被动土压力之间。当有其他地下管线及构筑物时，应控制注浆压力。

顶管工程贯通后管缝封闭可采用柔性材料，注浆孔采用防渗水泥封闭。

# 11 监控量测

## 11.1 一般规定

**11.1.1~11.1.6** 热力机械顶管工程，一般位于不具备明开条件的复杂的城市环境中，无论是工作井施工还是管节的机械顶进施工，不可避免地会对地层产生扰动，引起的地层变形会对周边地下管线和地上建（构）筑物产生影响甚至破坏。机械顶管施工需要考虑对周边环境的不利影响。监控量测可以掌握支护和管节及周边环境的动态，是监视和判断机械顶管施工过程和施工影响范围内的周边环境是否安全和稳定的重要手段，利用监测结果为设计和施工提供参考依据，因此采用机械顶管施工的热力工程，需进行监控量测专项设计，作为设计文件的重要组成部分。

## 11.2 监测项目与控制

**11.2.1~11.2.4** 列出了热力机械顶管工程施工常用的锚喷工作竖井、桩撑工作竖井的监测项目、沉降和变形控制标准。对于采用钢筋混凝土连续墙和其他支护形式的工作竖井，其监测项目和变形控制标准应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

表 11.2.4-1、表 11.2.4-2 中所列控制值，是在总结热力机械顶管工程顶进施工经验的基础上，并参考北京市地方标准《地铁工程监控量测技术规程》DB 11/490 而作出的规定。

**11.2.5** 不同地区、不同城市规定顶管施工对道路隆沉的影响控制标准不同，就北京来说，路政部门要求交通主干道沉降控制值 15mm，人行步道 20mm，隆起值 5mm。

### 11.3 顶进方向监测项目与控制

**11.3.2** 本条考虑热力管道安装要求，规定了钢筋混凝土顶管顶进方向监测项目和控制标准允许偏差值。

**11.3.3** 钢质顶管顶进允许偏差标准参考现行国家标准《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424 中的相应规定。

## 12 工程验收

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 本条是参考现行国家标准《建设工程分类标准》GB/T 50841 对单位工程进行划分。

**12.1.2** 本条要求工程质量验收标准贯彻“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的方针进行。

单位工程：分部工程：土建工程、热机工程。

土建工程：顶管分项工程（管道接口连接、顶管管道（预制钢筋混凝土管、钢管）、工作井、顶进、注浆、检查室）。

**12.1.3** 本条是要求施工单位按《建设工程质量管理条例》对本单位施工的工程质量负责。工程完工后施工单位自行检验合格，监理单位进行预验收合格后，建设单位组织整体验收。

**12.1.4** 顶管工程质量验收合格应符合下列规定：

1 主要材料：预制钢筋混凝土管进行现场混凝土强度检测回弹记录、构配件、钢管。

2 质量控制资料应完整，应附有：

1) 预制混凝土构件管材进场抽检记录；

2) 顶管施工原始记录；

3) 顶管验收记录；

4) 注浆记录；

5) 顶管段雷达检测报告；

6) 顶管沉降观测记录。

3 质量控制资料应填写规范真实，签字、盖章及填写日期要齐全。

4 预制管材混凝土强度及抗渗性能检测报告。

5 预制混凝土管的止水橡胶圈，主要功能抽查及见证试验

应符合国家现行标准的规定；

6 观感质量验收应符合要求：顶管直顺、接口无渗漏。

**12.1.5** 按《建设工程质量管理条例》竣工资料要求，包括建设、勘察、设计、施工、监理等全部资料，相关单位在完工后均应提交建设单位，由建设单位向城建档案馆移交。

## **12.2 质量验收**

**12.2.1** 检查室内结构施工：钢筋原复试、混凝土强度报告、抗渗性能报告、防水卷材复试报告。回填：井室顶板 500mm 以内，压实度达大于等于 87%（分层夯实）；室顶板 500mm 以上，压实度达大于等于 98%（分层夯实）以设计值为准；附有压实度记录表（素土、灰土、级配砂石）。

**12.2.2** 对进场顶管管节全数验收，混凝土管节应进行回弹强度验收。钢筋混凝土管数量较大时，监理单位应安排监理进驻构件厂进行隐蔽验收和相应见证试验。带有预埋铁的特殊管材一般为安装固定支架或导向支架位置，施工单位在进行顶管施工前应编制布管图，对每一节管材进行编号，并严格按照编号进行顶管施工，防止特殊管材位置错误。

## **12.3 竣工验收**

**12.3.5** 顶管工程验收作为工程竣工验收的一部分，由建设单位组织设计单位、施工单位、监理单位、管理单位等对资料和工程验收。