

CECS

T/CECS 246-2020

中国工程建设协会标准

给水排水工程顶管技术规程

Technical specification for pipe jacking of water supply and sewerage engineering

（征求意见稿）

中国计划出版社

中国工程建设协会标准

给水排水工程顶管技术规程

Technical specification for pipe jacking of water supply and sewerage engineering

T/CECS 246-2020

主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2020 年 xx 月 xx 日

中国计划出版社

2020 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会文件（建标协字[2017]014号）：关于印发《2017 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划》的通知要求，由上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司会同有关单位共同修编《给水排水工程顶管技术规程》。

本规程系根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一规程》GB50068 和《工程结构可靠度设计统一规程》GB50153 规定的原则，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法编制，并与有关的结构专业设计规范协调一致。

在本规程编制过程中，进行了大量的调研和分析论证，收集了近年来顶管行业的新兴管材，总结了各地顶管的工程实践经验，并广泛征求了有关设计和施工单位意见。

本规程主要内容有：1 总则；2 术语和符号；3 顶管工程地质调查与勘探；4 管材选用及管件构造要求；5 顶管管线设计；6 顶管管道上的作用；7 顶管结构基本设计规定；8 承载能力极限状态计算；9 正常使用极限状态验算；10 顶管井；11 顶管允许顶力设计；12 特种顶管；13 顶管沉降估算；14 顶管施工；15 顶管检测；16 顶管验收标准。

各单位在使用中如发现需要修改或补充之处，请将意见和资料寄交编制组（上海市杨浦区中山北二路 901 号；邮编 200092；E-mail: pengxiajun@smedi.com），以供今后修订时参考。

主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	5
3 顶管工程地质调查与勘探	8
3.1 一般规定	8
3.2 布孔要求	8
3.3 地下水勘察	10
3.4 勘察报告	10
3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求	12
3.6 工程物理勘探	12
4 管材选用及管件构造要求	14
4.1 管材选用	14
4.2 钢管	14
4.3 钢筋混凝土管	16
4.4 预应力钢筒混凝土管 JPCCP	18
4.5 球墨铸铁管	20
4.6 玻璃纤维增强塑料夹砂管	20
4.7 橡胶密封圈	23
4.8 木垫圈	23
5 顶管管线设计	25

5.1	顶管管位选择	25
5.2	顶进土层选择	25
5.3	顶管间距	25
5.4	管顶覆盖层厚度	26
6	顶管管道上的作用	27
6.1	作用的分类和作用代表值	27
6.2	永久作用标准值	28
6.3	可变作用标准值及其准永久值系数	30
7	顶管结构设计基本规定	32
7.1	一般规定	32
7.2	承载能力极限状态计算	33
7.3	正常使用极限状态验算	35
8	承载能力极限状态计算	37
8.1	管道强度计算	37
8.2	管道稳定性验算	42
9	正常使用极限状态验算	44
10	顶管井	45
10.1	顶管井选址	45
10.2	顶管井围护形式	45
10.3	工作井尺寸要求	46
10.4	接收井尺寸要求	47
10.5	穿墙孔、接收孔尺寸要求	48

10.6	穿墙管止水装置	48
11	顶管允许顶力设计	52
11.1	管道管材允许顶力计算	52
11.2	顶管井允许顶力计算	53
12	特种顶管	56
12.1	曲线顶管	56
12.2	矩形顶管	59
12.3	岩石顶管	60
12.4	垂直顶升	60
13	顶管沉降估算	62
14	顶管施工	64
14.1	一般规定	64
14.2	顶管机选型	65
14.3	辅助配套装备	67
14.4	顶力估算	69
14.5	中继间	71
14.6	进洞、出洞	73
14.7	管道顶进	75
14.8	测量与纠偏	76
14.9	减阻措施	77
14.10	管内弃土运输	79
14.11	通风	80

14.12 供电	80
14.13 减少地面沉降措施	82
15 顶管监测	83
16 顶管验收	84
16.1 管材验收标准	84
16.2 顶进施工验收标准	87
附录 A 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系 数	89
附录 B 刚性管道在各种荷载作用下的内力系数	90
附录 C 地面车辆荷载对管道作用标准值的计算方法	92
附录 D 钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受拉（压）状态时的 最大裂缝宽度计算	95
本规范用词说明	98
引用标准名录	99
条文说明	100

Contents

1 General principles	1
2 Definitions and symbols	2
2.1 Definitions	2
2.2 Symbols	5
3 Geological investigation.....	8
3.1 General requirements	8
3.2 Underground water investigation	8
3.3 Hole arrangement requirements	10
3.4 Geological investigation reports	10
3.5 General requirements for geotechnical physics-mechanics index supply	12
3.6 Geophysical exploration	12
4 Material selection and detailing requirements of pipe	13
4.1 Material selection of pipe	13
4.2 Steel tube	13
4.3 Reinforced concrete tube	15
4.4 Pccpe	18
4.5 Ductile iron pipe	10
4.6 Rpmp	20
4.7 Grommet.....	22
4.8 Wooden gaske	23

5 Pipeline design.....	24
5.1 Location selection of pipe jacking	24
5.2 Jacking soil layer selection.....	24
5.3 Pipe jacking spacing	24
5.4 Thickness of covering layer	25
6 Action on the jacking pipe.....	26
6.1 Classification and representative value	26
6.2 Characteristic value of permanent action	27
6.3 Characteristic value of variable action and coefficient of its quasi-permanent value	29
7 Structural basic requirements	31
7.1 General requirements	31
7.2 Ultimate limit states.....	33
7.3 Serviceability limit states	34
8 Ultimate limit states design.....	36
8.1 Calculation of pipe strength	36
8.2 Checking of pipe stability	41
9 Checking of serviceability limit states	43
10 Pipe jacking shaft.....	44
10.1 Site selection.....	44
10.2 Structure selection	44
10.3 Size determination of working shaft	45

10.4 Size determination of arriving shaft	47
10.5 Size determination of the hole for penetrating wall and receiving.....	47
10.6 Sealing device for penetrating wall pipe	48
11 Allowance jacking pressure design.....	50
11.1 Total jacking pressure estimate.....	50
11.2 Calculation of pipe material's allowance jacking pressure	51
11.3 Calculation of pipe jacking shafts' allowance jacking pressure	52
11.4 Intermediate station	54
12 Special pipe jacking.....	56
12.1 Jacking in curve	56
12.2 Rectangle pipe jacking	58
12.3 Rock pipe jacking	60
12.4 Vertical jacking	60
13 Settlement estimate	61
14 Pipe-jacking construction.....	63
15 Pipe-jacking monitoring.....	82
16 Pipe-jacking acceptance	83
Appendix A The maximum bending moment and vertical deformation coefficient of flexible tube under various loads.....	88
Appendix B The inner force coefficient of rigid tube under different support conditions and various loads	89

Appendix C	Characteristic value calculation method of the effect of ground vehicle load on the pipe	91
Appendix D	Maximun crack width calculation of reinforced concrete rectangle section under bending or large eccentricity tension (stress) states	94
	Explanation of wording in this specification	97
	List of quoted standards	98
	Explanation of provisions	100

1 总 则

1.0.1 为了规范各地顶管工程中的设计施工质量，贯彻国家的技术经济政策，力求做到技术先进、经济合理、安全适用、保障工程建设安全和质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于口径 DN800 及以上，并使用顶管机顶进的给水排水顶管工程的勘察、设计、施工和验收，微型顶管工程和非给水排水的顶管工程也可参照使用。

1.0.3 本规程适用于钢管、钢筋混凝土管、玻璃纤维增强塑料夹砂管、球墨铸铁管、预应力钢筒混凝土管及矩形箱涵的顶管工程。

1.0.4 对于拟建在地震区、冻土地区、湿陷性黄土地区及膨胀土地地区的顶管工程，尚应符合国家现行的有关标准的规定。

1.0.5 顶管规程除应符合本规程规定外，尚应符合国家、行业和本市现行有关规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 顶管 pipe jacking

借助顶推装置，将管道在地下逐节顶进的非开挖施工技术。

2.1.2 小直径顶管 smaller diameter pipe jacking

不宜进人或无法进人作业的内径 800mm（包含）~1400mm（包含）的顶管。

2.1.3 大直径顶管 larger diameter pipe jacking

内径不小于 3500mm 的顶管。

2.1.4 长距离顶管 long distance pipe jacking

一次连续顶进长度 500m~1000m 的顶管。

2.1.5 超长距离顶管 Super long distance pipe jacking

一次连续顶进长度大于 1000m 的顶管。

2.1.6 工作井 starting shaft

顶管始发端放置顶进设备并进行顶进作业的竖井。

2.1.7 接收井 arriving shaft

顶管终端接收顶管机及管道的竖井。

2.1.8 曲线顶管 curvilinear pipe jacking

轴线在水平方向或垂直方向呈曲线变化的顶管。

2.1.9 顶管机 jacking machine

安装在顶进管道最前端的，用于掘进、防坍、出泥和导向等的机械。

2.1.10 主顶站 main jacking station

设置在工作井内并向顶进管道尾端施加推力的装置。

2.1.11 中继间 intermediate jacking station

为控制最大顶力而设置在管道中间的续顶机构。

2.1.12 导轨 guide track

固定在工作井底板上，作为顶管初始导向和管段拼接平台用的轨道。

2.1.13 穿墙孔 passage hole for pipe jacking

顶管机从工作井穿墙入土的墙洞。

2.1.14 接收孔 arriving hole for pipe jacking

顶管机从土中穿入接收井的孔洞。

2.1.15 不稳定土 nonstabilized soil

指饱和、松散的粉细砂、淤泥、淤泥质土等。

2.1.16 反力墙（后座墙） reaction wall

工作井中承受顶力的墙体。

2.1.17 后座 jacking base

安装在主油缸与反力墙之间，用于扩大反力墙受力面积的支承件。

2.1.18 特殊管材 special pipe

指玻璃纤维增强塑料夹砂管、预应力钢筒混凝土管及球墨铸铁管等顶管管材。

2.1.19 特种顶管 special pipe jacking

采用特殊的施工方法的顶管，如曲线顶管、矩形顶管等。

2.1.20 超挖量 over-excavated volume

顶管机顶进过程中，开挖土体的体积减去顶进管道占用体积的差值。

2.1.21 预应力钢筒混凝土顶管 jacking of prestressed concrete cylinder pipe)

带有钢筒的混凝土管芯外侧缠绕环向预应力钢丝，然后在外层设置钢筋骨架，再采用立式振动方法浇灌管外壁混凝土制成的适用于顶进法施工的管子。

2.1.22 球墨铸铁顶管 jacking of ductile iron pipe

外包钢筋混凝土保护层，保证承口外径一致、适用于顶进法施工的球墨铸铁管。

2.2 符号

2.2.1 管道结构上的作用和作用效应

F_{svk1} ——管顶覆土小于 1 倍管径或覆土皆为淤泥时，管顶上部竖向土压力标准值；

F_{svk2} ——管拱背部竖向土压力标准值；

F_{svk3} ——管顶覆土较深时的竖向土压力标准值；

F_{d0} ——顶力偏心时管道传力面承受的最大顶力设计值；

F_{dk} ——顶力作用标准值；

F_{tk} ——温度作用力标准值；

F_{wk} ——管道内水压力标准值；

G_{wk} ——管内水重标准值；

S ——作用效应组合值；

R ——材料抗力设计值。

2.2.2 土及管材性能

C ——土的粘聚力；

E_p ——管材弹性模量；

E_d ——管侧原状土的变形模量；

E_f ——垫圈材料弹性模量；

f ——钢管材料抗拉强度；

f_c ——混凝土材料抗压强度；

f_{td} ——球墨铸铁管材抗拉强度

f_{th} ——玻璃纤维增强塑料夹砂管管材的环向等效折算抗拉强度；

f_{tm} ——玻璃纤维增强塑料夹砂管管材的环向等效折算抗弯强度；

f_d ——地基承载力特征值；

SN ——玻璃纤维增强塑料夹砂管刚度等级；

g_s ——土的重度；

g ——管材重度；

k ——土的渗透系数；

f ——管顶土的内摩擦角。

2.2.3 几何参数

A_p ——当管节间无脱离时，木垫圈与管道的接触面积；

B_t ——竖向土压力传至管顶的影响宽度；

D_o ——管道公称直径；

D ——管道内径；

D_1 ——管道外径；

DN ——管道公称直径；

H_s ——管顶覆土厚度；

H_w ——地下水位深度；

t ——管壁设计厚度；

R_1 ——曲率半径；

a ——最大允许安装偏转；

a_1 ——木垫圈厚度；

h_p ——垫圈宽度；

A_p ——垫圈与管材接触面积；

α ——中继间允许转角；

q ——管道张口角度；

d ——用度表示的最大允许偏转角；

V_s ——超挖量；

V ——总挖量。

2.2.4 设计系数

K_a ——主动土压力系数；

j_c ——可变荷载组合系数；

f_1 ——承受顶力的受压强度折减系数；

f_2 ——偏心受压最大压应力提高系数；

f_3 ——材料脆性系数；

f_4 ——钢管顶管稳定系数；

f_5 ——混凝土强度规程调正系数；

K_d ——顶力附加系数；

μ_1 ——箱涵顶面与顶上土的摩擦系数；

μ_2 ——箱涵底板与基地土的摩擦系数；

μ_3 ——箱涵侧面摩擦系数；

i ——地面沉降槽宽度系数。

3 顶管工程地质调查与勘探

3.1 一般规定

3.1.1 对顶管井的地质勘察可根据施工工法参照基坑、沉井的勘察要求进行。

3.1.2 对顶管区段的勘察，应符合下列要求：

- 1 应查明顶管区段沿线的地质、地貌、地层结构特征、各类土层的性质和空间分布。
- 2 应查明顶管区段沿线暗埋的河、湖、沟、坑的分布范围、埋置深度，提供覆盖层的工程地质特性。
- 3 应查明顶管区段沿线的软弱土、潜蚀、流沙、管涌和液化土层的分布范围、埋深、厚度及其工程地质特性。
- 4 应查明地下障碍物及邻近地段地下埋设物的分布范围、埋置深度和特性。
- 5 应查明顶管区段沿线对人有害气体和其它有害物质的分布位置。
- 6 位于化工区内的顶管工程，应查明地下受工业污染的程度及分布范围。

3.2 布孔要求

3.2.1 矩形顶管井的勘探孔应布置在四角，圆形顶管井的勘探孔应沿周边均匀布置。

3.2.2 顶管井勘探孔的间距不宜超过 30m。孔的数量不宜少于 2 个。

3.2.3 顶管井的勘探孔深度：沉井法施工，勘探孔深度宜达沉井以下 0.5~1.0 倍井宽（或井直径）；且不小于沉井刃脚以下 5m；**基坑法施工，**

一般性勘探孔深度不宜小于基坑开挖深度 2.5 倍。特殊情况应适当加深。

3.2.4 顶管区段的勘探孔应沿顶管设计轴线两侧 5m~10m（水域 8m~15m）范围交叉布置，不宜布置在顶管管体范围，并应满足设计、施工要求。管道穿越河道或主要道路时，在河道或道路两侧宜布置勘探孔。

3.2.5 顶管区段勘察的勘探孔间距，按现行国家规范《市政工程勘察规范》CJJ56 的场地条件复杂程度确定。初步勘察应符合表 3.2.5-1 的规定，详细勘察应符合表 3.2.5-2 的规定。

表 3.2.5-1 初步勘察勘探孔间距（m）

场地条件复杂程度	一级	二级	三级
勘探孔间距	30—60	60—100	100—150

表 3.2.5-2 详细勘察勘探孔间距（m）

场地条件复杂程度	一级	二级	三级
勘探孔间距	20—30	30—50	50—100

3.2.6 管道穿越河流时，河床及两岸均应布置勘探点；穿越铁路、公路时，铁路和公路两侧应布置勘探点。

3.2.7 顶管的勘探孔深度一般应达到管底设计标高以下 5m~10m。

遇有下列情况之一时，应适当增加勘探孔深度：

- 1 当管道穿越河谷时，勘探孔深度应达到河床最大冲刷深度以下 4m~6m，并应满足管底勘探深度要求；
- 2 当基底下存在松软土层或未经沉降稳定的回填土时，勘探孔深度应适当增加；
- 3 当基底下存在可能产生流沙、潜蚀、管涌或液化地层时，应

予以钻穿；

- 4 当已有资料证明，或勘探过程中发现粘性土层下存在承压含水层，且其水压较大，需要降水施工时，勘探孔应适当加深，并应测量其水压。

3.3 地下水勘察

3.3.1 应调查地下水历史的最高水位和最低水位及其季节性变化范围。

3.3.2 在有地下水的地区，应测定地下水的水温随深度的变化。当无地下水时，应测定土体温度随埋深的变化。

3.3.3 应采集水样进行水质分析，测定地下水的 pH 值、氯离子、钙离子和硫酸根离子等含量以及对混凝土、钢、铸铁及橡胶的腐蚀程度。

3.3.4 当地下有承压水分布时，应测定承压水的水头高度，评价对顶管施工的影响。

3.4 勘察报告

3.4.1 勘察报告由文字和图表构成，应满足相应设计阶段的技术要求。

3.4.2 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，为合理确定平面布置、选择顶进标高，防治不良地质现象提供依据。

3.4.3 详细勘察报告，应提供顶管区段和工作井、接收井设计、施工所需的各土层、岩石物理力学性质设计参数，以及地下水和环境资料，并作出针对性的分析评价、结论和建议。

3.4.4 施工勘察报告，应满足设计、施工的具体要求，提供相应的资料，并作出结论和建议。

3.4.5 勘察报告文字部分应包括下列内容：

- 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说明；
- 4 场地地形、地质（地层、地质构造）、地貌、岩土性质、地下水及不良地质现象的阐述和评价；
- 5 地基与边坡稳定性评价；
- 6 岩土参数的分析及选用；
- 7 建议地基处理方案；
- 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；有关顶管工程设计及施工措施的建议。

3.4.6 勘察报告图表部分应包括以下内容：

- 1 勘探点平面布置图；
- 2 工程地质柱状图；
- 3 工程地质剖面图；
- 4 原位测试成果图表；
- 5 室内试验成果图表；
- 6 岩土工程计算简图及计算成果图表；
- 7 建议地基处理方案的图表。

根据设计要求，勘察报告可附特殊性岩土分布图、综合工程地质图，或工程地质分区（段）图、地下水等水位线图、素描及照片等。工程地质条件简单和勘察工作量小的工程，可适当简化勘察报告的内容。

3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求

3.5.1 岩石和土的物理力学性质指标，应按工程地质区（段）及层位分别统计，当线路较长，宜进一步划分土质单元，并分别进行统计。

3.5.2 土层物理力学性质参数表应具有下列内容：土的颗粒分析、密实度、垂直和水平渗透系数、粘聚力、内摩擦角、土与管材的摩擦系数、土的变形模量、泊松比、地基承载力及其它所需的常规参数。

3.5.3 岩石层物理力学性质参数表应具有下列内容：块体重度、单轴抗压强度试验（天然、饱和、干燥）、抗剪强度、变形试验、膨胀岩还需进行膨胀性试验、岩石与混凝土、钢和玻璃钢等材料的摩擦系数及其它所需的常规参数。并进行岩石坚硬程度、完整程度分类。

3.5.4 对于顶管范围内的碎石土，应测定颗粒级配，对于漂石、块石、卵石、碎石，应注明粒径大小、含量及密实度等参数。

3.5.5 对于金属管道，尚应对管道埋设深度范围内各岩土层进行电阻率测试。

3.6 工程物理勘探

3.6.1 顶管工程设计前，应对顶管区段沿线范围内的障碍物进行物理勘探，为设计和施工提供依据。

3.6.2 物理勘探内容：物探应查明顶管区段沿线范围内已有管线、建（构）筑物及其它地下障碍物。

3.6.3 顶管物理勘探范围：平面范围顶管中心线两侧各 2 倍管道外径，且每侧不应小于 5m。物探深度为地面至管底下 1 倍管径且不应小于管底以下 3m。

3.6.4 提交物理勘探成果报告，并附有物探范围内分布的地下管线、建（构）筑物及地下障碍物的平面及剖面图。

4 管材选用及管件构造要求

4.1 管材选用

4.1.1 顶管材质应根据管道用途、管材特性及使用经验确定。

4.1.2 排水工程管道宜选用钢筋混凝土管或玻璃纤维增强塑料夹砂管，也可选用球墨铸铁管或 JPCCP。

4.1.3 给水工程管道宜选用钢管，也可选用玻璃纤维增强塑料夹砂管、球墨铸铁管或预应力钢筒混凝土管。

4.1.4 输送腐蚀性水体及管外水土有腐蚀性时，应优先选用玻璃纤维增强塑料夹砂管或钢筋混凝土管。

4.2 钢管

4.2.1 顶管用钢材宜选用 Q235B，也可采用 Q355B。

4.2.2 顶管钢材的规格和性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 或《低合金高强度结构钢》GB/T1591 的要求。

4.2.3 管壁厚度应采用计算厚度加腐蚀量厚度，腐蚀量构造厚度不应小于 2 mm。钢管年腐蚀量规程可参见表 4.2.3。

表 4.2.3 钢管年腐蚀量（单面）规程

腐蚀环境	低于地下水位区		地下水位变化区		高于地下水位区
	海水	淡水	海水	淡水	
腐蚀量(mm/年)	0.03	0.02	0.06	0.04	0.03

4.2.4 卷制钢管的长度一般为钢板宽度，同一横断面内宜采用一条纵向焊缝。若采用两条纵向焊缝，则管道焊缝间距应大于 300mm。

4.2.5 卷制钢管接长时，管口对接应平整，当采用 300mm 的

直尺在接口外纵向贴靠检查时，相邻管壁的错位允许偏差为 0.2 倍壁厚，且应不大于 2mm。相邻管段对接时，纵向焊缝位置错开的距离应大于 300mm。

4.2.6 下井管段的长度应为卷制管段的倍数。管段长度不宜小于 6m，长距离顶管管段长度可适当增长。

4.2.7 工厂内制作管节的焊缝可根据板厚采用单边 V 形坡口、双边 V 形坡口、X 形坡口等。

4.2.8 井内管道的对接焊缝：小直径管道焊缝宜采用单边 V 形坡口，大直径管道宜采用 K 形坡口，也可采用单边 V 形坡口。不论采用何种坡口形式，同顶铁的接触面应为坡口的平端。

4.2.9 钢管焊缝质量检验，非压力管不应低于焊缝质量分级的 III 级标准；压力管不应低于焊缝质量分级的 II 级标准。

4.2.10 钢管内外应做防腐处理。下井管节两端各 100mm 范围应在井下焊缝检查合格后再涂快干型涂料防腐。给水管道的内壁防腐可采用涂料或水泥砂浆，所用防腐涂料应具有相应的卫生检验合格证书。管道的外壁防腐宜采用熔结环氧粉末涂料。

4.2.11 水泥砂浆内防腐层的质量应符合下列规定：

- 1 宜在顶管完成后，一次性施工；
- 2 水泥砂浆的抗压强度标准值不应小于 30N/mm²；
- 3 水泥砂浆防腐层厚度可根据钢管直径按《埋地给水钢管道水泥砂浆衬里技术标准》CECS10 选用。

4.2.12 当顶管两端设有工作井和接收井，并且管道长度在

100m 以上时，工作井的穿墙孔或接收井的接收孔宜允许管道伸缩；长度超过 600m 时，工作井的穿墙孔、接收井的接收孔均宜允许管道伸缩。

4.2.13 钢管与两井墙均采用刚性连接时，必须验算温差作用下的井墙受力和管道的连接强度。

4.3 钢筋混凝土管

4.3.1 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于 C50，抗渗等级不应低于 P8。

4.3.2 当地下水或管内贮水对混凝土和钢筋具有腐蚀性时，应按现行相关规范要求对钢筋混凝土管内外壁做相应的防腐处理。

4.3.3 混凝土的耐久性应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 及《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的有关规定，氯离子含量不得大于胶凝材料总量的 0.06%，混凝土的总碱含量不应大于 3.0kg/m^3 ，电通量不应大于 1000C，设计配制的混凝土使用前必须经过氯离子扩散系数测定，氯离子扩散系数不应大于 $1.2 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

4.3.4 采用外加剂时应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 的规定。

4.3.5 钢筋应选用 HPB300 级热轧光圆钢筋、HRB400 级热轧带肋钢筋及 CRB550 冷轧带肋钢筋，其性能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》GB1499.1、

《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB1499.2、《冷轧带肋钢筋》GB 13788 的规定。优先选用带肋钢筋。

4.3.6 混凝土及钢筋的力学性能指标，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定采用。

4.3.7 钢筋混凝土顶管管节长度应根据顶管线型、使用条件和起吊能力确定。

4.3.8 钢筋混凝土管接头可按下列原则选用：

- 1 钢筋混凝土管接头宜使用钢承口（单橡胶圈）（见图 4.3.9-1）和钢承口双橡胶圈（见图 4.3.9-2）。

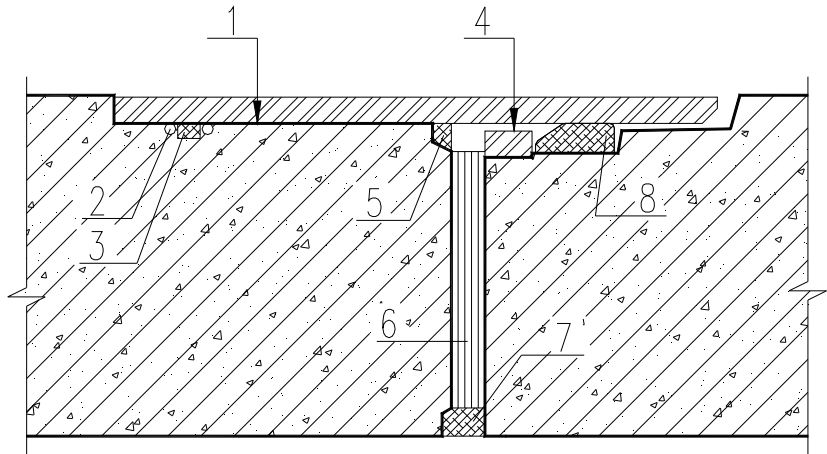


图 4.3.9-1 钢承口接头（单橡胶圈）

1-钢承口；2-钢筋挡圈；3-膨胀橡胶条；4-插口钢环；
5-弹性密封填料；6-木垫圈；7-弹性密封填料；8-密封橡胶圈

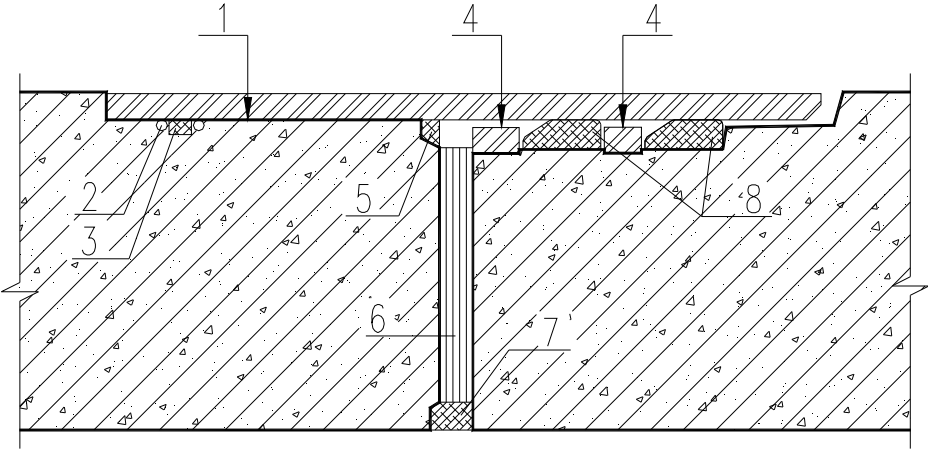


图 4.3.9-2 钢承口接头（双橡胶圈）

1-钢承口；2-钢筋挡圈；3-膨胀橡胶条；4-插口钢环；
5-弹性密封填料；6-木垫圈；7-弹性密封填料；8-密封橡胶圈

2 曲线顶管时，应优先采用钢承口双橡胶圈。

3 接头的允许偏转角应大于 0.3° 。

4.3.9 钢筋混凝土管传力面上均应设置环形木垫圈，并用胶粘剂粘在传力面上。

4.3.10 承口接头的钢套管与钢筋混凝土的接缝应采用弹性密封填料勾缝。

4.3.11 接头钢套管宜采用 Q355B 级低合金结构钢，其性能应符合现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB 3274 的规定，且必须有良好的防腐措施。

4.4 预应力钢筒混凝土管 JPCCP

4.4.1 顶管用预应力钢筒混凝土管质量应符合现行国家标准《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685 的要求。

4.4.2 管芯混凝土设计强度等级不得低于 C50。

4.4.3 钢筒用钢板的厚度不得小于 1.5mm，其物理力学性能指标应符合现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB 3274 的规定。薄钢板的最小屈服强度不应低于 215MPa。

4.4.4 预应力钢丝应采用冷拉钢丝，钢丝力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 的规定。

4.4.5 制造承插口接头钢环所用的承口钢板和插口异型钢应

分别符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《碳素结构钢》GB/T 700 和《碳素结构钢和低合金钢结构钢热轧厚钢板和钢带》GB 3274 的规定，钢板的最小屈服强度不应低于 205MPa，**优选 Q355B 级低合金结构钢。**

4.4.6 预应力钢筒混凝土顶管应采用钢制承插口橡胶圈密封接头，钢制承插口必须与管身钢筒焊接，并应预留设置橡胶密封圈的凹槽和预留注浆孔。见图 4.4.6 所示。

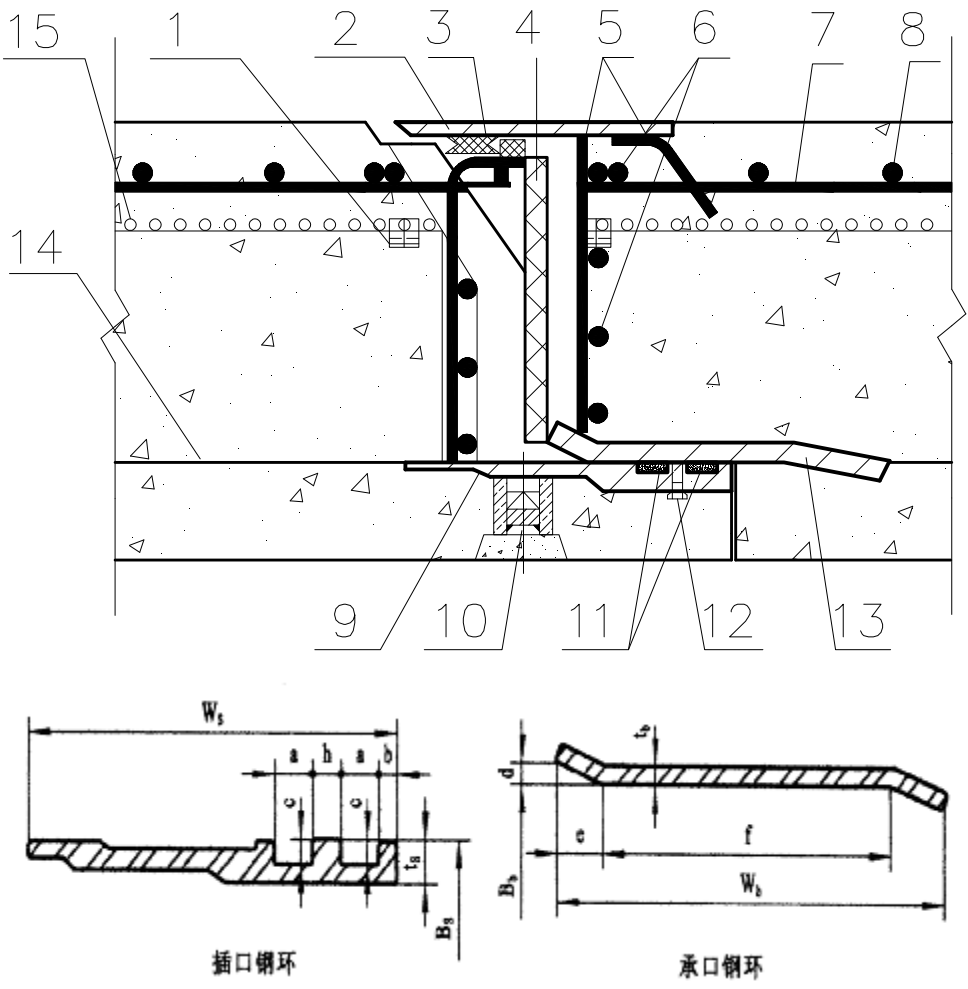


图 4.4.6 预应力钢筒混凝土顶管接头示意图

- 1-锚固块；2-钢承口；3-楔形橡胶；4-木衬垫；5-锚筋；6-加强筋；7-纵筋；8-环筋；
9-插口钢环；10-注浆孔；11-橡胶圈；12-试压孔；13-承口钢环；14-钢筒；15-预应力钢丝

4.5 球墨铸铁管

4.5.1 顶管用球墨铸铁管的质量应符合现行国家标准《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》GB/T13295 的要求。

4.5.2 球墨铸铁顶管外覆混凝土保护层，并在插口端焊接顶推法兰。

4.5.3 球墨铸铁顶管的承口端面和顶推法兰间的传力面上应设置环形木垫圈。

4.5.4 球墨铸铁顶管的外包混凝土强度设计等级不应低于 C30。

4.5.5 球墨铸铁顶管接头的最大允许偏转角不应大于 1° 。

4.5.6 球墨铸铁顶管接头型式采用滑入式柔性接口，接头型式可参照图 4.5.6。

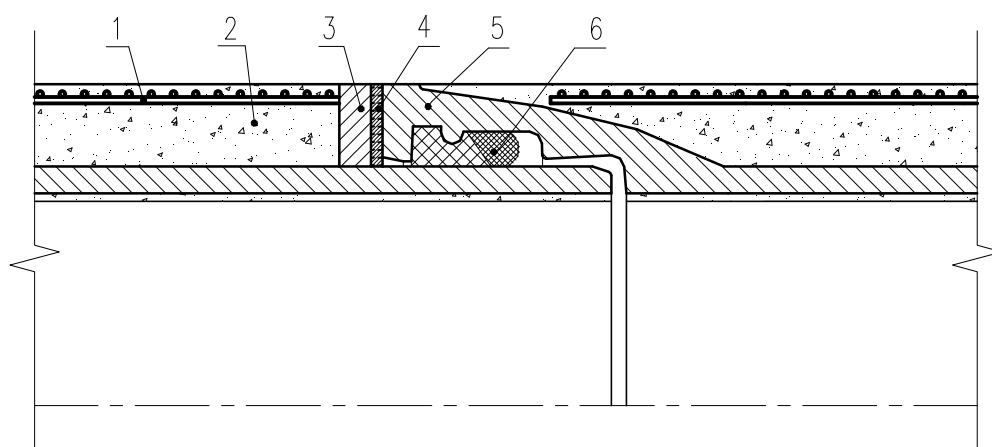


图 4.5.6 球墨铸铁顶管接头

1-钢筋网；2-混凝土；3-法兰；4-木垫圈；5-球墨铸铁管；6-密封胶圈

4.6 玻璃纤维增强塑料夹砂管

4.6.1 顶管用玻璃纤维增强塑料夹砂管宜选用机制的、管壁结构致密均匀的管材，管材质量应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料顶管》GB/T21492 的要求。

4.6.2 缠绕管管体抗压强度等级不应小于 75MPa,管端抗压强度不应小于 105MPa;离心管抗压强度不应小于 90MPa。

4.6.3 顶管用管道的刚度等级不应小于 20000 Pa。

4.6.4 玻璃纤维增强塑料顶管接头宜用双插口接头。无内水压顶管双插口接头见图 4.6.4-1,有内水压顶管双插口接头见图 4.6.4-2。

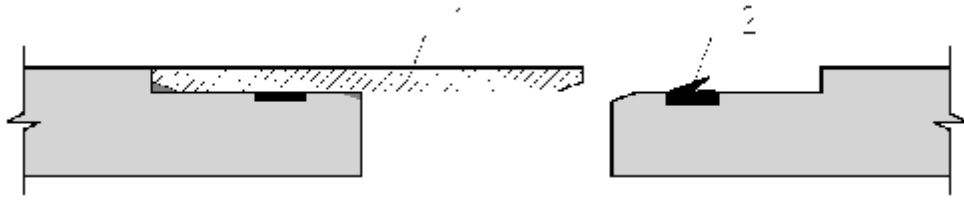


图 4.6.4-1 无内水压双插口接头

1-钢或玻璃钢套筒; 2-橡胶密封圈



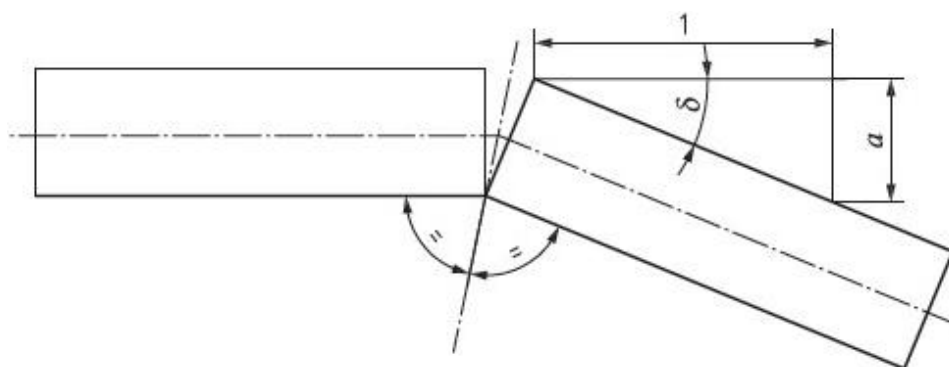
图 4.6.4-2 有内水压双插口接头

1-套筒式接头

4.6.5 玻璃纤维增强塑料顶管接头的最大允许偏转角不应高于表 4.6.5 的要求:

表 4.6.5 玻璃纤维增强塑料顶管接头的最大允许偏转角

公称直径 DN(mm)	最大允许安装偏转 a (mm/m)	最大允许安装偏转角 δ (度)
$800 \leq DN \leq 1000$	10	0.5729
$1000 < DN$	$a = 10' \frac{1000}{D_1}$	由 a 的值求得



d 用度表示的最大允许偏转角, ($^{\circ}$), a 用毫米每米表示的最大允许偏转角

图 4.6.5 玻璃纤维增强塑料顶管接头的最大允许偏转角示意图

4.6.6 管道内表面应光滑、无缺陷和损伤。管道外表面平直度应小于 3mm。

4.6.7 玻璃纤维增强塑料顶管管段长度为 1m、2m、3m、4m、6m。长度允许误差应符合表 4.6.7 的规定。

表 4.6.7 管道长度允许误差 (mm)

管段长度	1000	2000	3000	4000	6000
允许误差	± 5	± 10	± 15	± 20	± 30

4.6.9 管径允许误差应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料顶管》GB/T21492 的规定。

4.6.10 管端垂直度误差应符合表 4.6.10 的规定。

表 4.6.10 管端垂直度允许误差 (mm)

公称直径 DN	管端垂直度偏差 mm
$800 \leq DN < 1600$	≤ 2.0
$DN \geq 1600$	≤ 2.5

4.6.11 用于输送饮用水的顶管，管内涂层树脂必须符合现行国家标准《生活饮用水卫生规程》GB5749 的要求。

4.6.12 双插口接头的玻璃纤维增强塑料夹砂管在顶进时，应在与顶铁及中继间接触面加设木垫圈；玻璃纤维增强塑料夹砂管在顶进时，应在每根管节头处加设木垫圈。

4.7 橡胶密封圈

4.7.1 无压排水管接头可使用单胶圈的橡胶密封圈。

4.7.2 有压水管或地下水位较高的接头应使用双胶圈的橡胶密封圈。

4.7.3 双插口管接头的密封圈宜采用“L”形、齿形、半圆半方形或楔形密封圈。密封圈材料技术规程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/T21873 的要求。

4.7.4 遇含油地下水，密封圈宜选用丁晴橡胶；遇有弱酸、弱碱地下水，密封圈宜选用氯丁橡胶；遇霉菌侵蚀时宜选用防霉等级达二级及以上的橡胶；平均气温低于 0℃，密封圈宜选用三元乙丙橡胶。

4.8 木垫圈

4.8.1 木垫圈应选用质地均匀富有弹性的除疤松木、杉木或多层胶合板。

4.8.2 木垫圈的压缩模量不应大于 140MPa。

4.8.3 木垫圈厚度通常为 10mm~30mm。木垫圈厚度应根据管道直径和曲率半径确定。

4.8.4 钢筋混凝土管木垫圈外径应与橡胶密封圈槽口齐平，内径应比管道内径大 20mm。

4.8.5 玻璃纤维增强塑料夹砂管木垫圈外径应等于接头的最小外径，内径应比管道内径大 2mm。

4.8.6 球墨铸铁管的木垫圈最小外径应比顶推法兰外径小2mm，内径与顶推法兰内径齐平。

5 顶管管线设计

5.1 顶管管位选择

5.1.1 顶管位置宜避开地下障碍物，不宜穿越重要的构（建）筑物。

5.1.2 穿越河道时的埋置深度，应满足河道的规划深度要求，并应布置在河床的冲刷线以下。

5.1.3 穿越铁路、公路、堤防或其他重要设施时，管道上部覆土厚度应遵守铁路、公路、堤防或其它设施的相关安全规定。

5.2 顶进土层选择

5.2.1 顶管可在淤泥质黏土、黏土、粉土、砂土、碎石土及岩石中顶进。

5.2.2 下列符合一个情况时，不宜采用顶管施工：

1 土体地基承载力特征值 $f_d < 30\text{kPa}$ ；

2 江河中覆土层渗透系数 $k > 10^{-2}\text{cm/s}$ ；

3 漂石或块石；

4 坚硬岩。

5.2.3 顶管不宜在土层软硬明显的界面上长距离顶进。

5.3 顶管间距

5.3.1 互相平行的管道水平净距应根据土层性质、顶进距离、管材、管道直径和管道埋置深度等因素确定，宜大于 1 倍的管道外径。若在一根顶管完成后，再进行平行的另一根顶管的；或者一次顶进距离少于 500m 的，水平净距可适当减少，但不

宜小于 0.5 倍管道外径，且不小于 1m。

5.3.2 空间交叉管道的净间距，钢管不宜小于 0.5 倍管道外径，且不宜小于 1.0m；球墨铸铁管、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。

5.3.3 顶管底与建筑物基础底面相平时，直径小于 1.5m 的管道宜保持 2 倍管径净距；直径不小于 1.5m 的管道宜保持不小于 3m 净距。

5.3.4 顶管底低于建筑基础底标高时，顶管间距除应满足本规程 5.3.3 条要求外，尚应考虑基底土体稳定。

5.4 管顶覆盖层厚度

5.4.1 管顶覆盖层厚度在不稳定土层中宜大于管道外径的 1.5 倍，且不宜小于 1.5m。

5.4.2 穿越江河水底时，覆盖层最小厚度不宜小于外径的 1.5 倍，且不宜小于 2.5m。

5.4.3 管顶覆盖层的厚度尚应满足管道抗浮要求。

6 顶管管道上的作用

6.1 作用的分类和作用代表值

6.1.1 顶管管道上的作用，可分为永久作用和可变作用两类：

- 1 永久作用应包括管道结构自重、竖向土压力、侧向土压力、管道内水重和顶管轴线偏差引起的纵向作用；
- 2 可变作用应包括管道内的水压力、管道真空压力、地面堆积荷载、地面车辆荷载、地下水作用、温度变化作用和顶力作用。

6.1.2 顶管管道设计时，对不同性质的作用应采用不同的代表值：

- 1 对永久作用，应采用标准值作为代表值；
- 2 对可变作用，应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值；
- 3 可变作用组合值应为可变作用标准值乘以作用组合系数；可变作用准永久值应为可变作用标准值乘以作用的准永久值系数。

6.1.3 当顶管管道承受两种或两种以上可变作用时，承载力极限状态设计或正常使用极限状态按短期效应的标准组合设计，可变作用应采用组合值作为代表值。

6.1.4 正常使用极限状态应按长期效应组合设计，可变作用应采用准永久值作为代表值。

6.2 永久作用标准值

6.2.1 管道结构自重标准值可按下式计算：

$$G_{1k} = g \times \frac{1}{4} \pi (D_1^2 - D^2) \quad (6.2.1)$$

式中 G_{1k} ——单位长度管道结构自重标准值 (kN/m)；

D_1 ——管道外径 (m)；

D ——管道内径 (m)；

g ——管材重度，可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用。

6.2.2 作用在管道上的竖向土压力，其标准值应按覆盖层厚度和力学指标确定。

1 管拱背部的竖向土压力可近似化成均布压力，其标准值为：

$$F_{sv,k1} = 0.215 g_{si} R_2 \quad (6.2.2-1)$$

式中 $F_{sv,k1}$ ——管顶上部竖向土压力标准值 (kN/m²)；

g_{si} ——管道上部各土层重度 (kN/m³)，地下水位以下应取有效重度；

h_i ——管道上部各土层厚度 (m)；

R_2 ——管道外半径 (m)。

2 管顶覆盖层厚度小于等于 1 倍管外径或覆盖层均为淤泥土时，管顶上部竖向土压力标准值应按下式计算：

$$F_{sv,k1} = \sum_{i=1}^n g_{si} h_i \quad (6.2.2-2)$$

式中 $F_{sv,k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值 (kN/m²)；

3 管顶覆土层不属上述情况时，顶管上部竖向土压力标准值应按下列式计算：

$$F_{sv,k3} = C_j (g_{si} B_t - 2C) \quad (6.2.2-3)$$

$$B_t = D_1 \left[1 + \tan^2 \left(45^\circ - \frac{f}{2\phi} \right) \right] \quad (6.2.2-4)$$

$$C_j = \frac{1 - \exp \left(- \frac{2K_a m H_s}{B_t \phi} \right)}{2K_a m} \quad (6.2.2-5)$$

式中 $F_{sv,k3}$ ——管顶竖向土压力标准值（kN/m²）；

C_j ——顶管竖向土压力系数；

B_t ——管顶上部土层压力传递至管顶处的影响宽度（m）；

g_{si} ——土的重度（kN/m³），地下水位以下应取有效重度；

f ——管顶土的内摩擦角（°）；

C ——土的粘聚力（kN/m²），宜取地质报告中的最小值；

H_s ——管顶至原状地面埋置深度（m）；

$K_a m$ ——原状土的主动土压力系数和内摩擦系数的乘积，普通粘土可取 0.13，饱和粘土可取 0.11，砂和砾石可取 0.165。

4 当管道低于地下水位以下时，尚应计入地下水作用在管道上的压力。

6.2.3 作用在管道上的侧向土压力，标准值可按下列几种条件分别计算：

1 管道处于地下水位以上时，侧向土压力标准值可按主动土压力计算。

$$\text{管中心侧压力 } F_{h,k} = (\gamma F_{sv} + \gamma_{st} D_1 / 2) \times K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (6.2.3-1)$$

式中 $F_{h,k}$ ——侧向土压力标准值 (kN/m^2)，作用在管中心；

K_a ——主动土压力系数， $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ ；

2 管道处于地下水位以下时，侧向压力标准值应采用水土分算，取主动土压力和地下水静水压力之和；土的侧压力按 (6.2.3-1) 式计算，重度取有效重度。

6.2.4 管道内水重的标准值，可按不同水质的重度计算。

6.3 可变作用标准值及其准永久值系数

6.3.1 管道设计水压力的标准值，可按表 6.3.1 采用。准永久值系数可取 0.7，但不得小于工作压力。

表 6.3.1 压力管道内设计水压力标准值

管道类型	工作压力 (MPa) F_{wk}	设计水压力 $F_{wd,k}$ (MPa)
焊接钢管	F_{wk}	$F_{wk} + 0.5 \geq 0.9$
球墨铸铁管	$F_{wk} \leq 0.5$	$2F_{wk}$
	$F_{wk} > 0.5$	$F_{wk} + 0.5$
混凝土管	$F_{wk} \leq 0.6$	$1.5 F_{wk}$
	$F_{wk} > 0.6$	$F_{wk} + 0.3$
玻璃纤维增强塑料夹砂管	F_{wk}	$1.4 F_{wk}$
注：1 工业企业中低压运行的管道，其设计内水压力可取工作压力的 1.25 倍，但不得小于 0.4MPa； 2 混凝土管包括钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管； 3 当管线上设有可靠的调压装置时，设计内水压力可按具体情况确定。		

6.3.2 管道在运行过程中可能产生的真空压力，其标准值可取 0.05MPa 计算，其准永久值系数可取 $y_q = 0$ 。

6.3.3 地面堆积荷载传递到管顶处竖向压力标准值 q_{mk} ，可按 10kN/m^2 计算，其准永久值系数可取 $y_q = 0.5$ 。

6.3.4 地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 q_{vk} 可按

附录 C 规定确定，其准永久值系数应取 $y_q = 0.5$ 。当埋深大于 2m 时可不计冲击系数。

地面堆积荷载与地面车辆轮压可不考虑同时作用。

6.3.5 温度作用标准值，可按温差 $\pm 20^\circ\text{C}$ 计算，其准永久值系数可取 $y_q = 1.0$ 。

7 顶管结构设计基本规定

7.1 一般规定

7.1.1 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量管道结构的可靠度，除管道的稳定验算外，均应采用分项系数的设计表达式进行设计。

7.1.2 管道结构的计算分析模型应按下列原则确定：

1 对于矩形管道结构，均应属刚性管；应按截取单元框架结构的模型进行静力计算。

2 对于圆形管道结构，应根据管道结构刚度与管周原状土体刚度的比值 a_s ，判别为刚性管道或柔性管道，以此确定管道结构的计算分析模型：

当 $a_s \geq 1$ 时，应按刚性管道计算，如钢筋混凝土管及预应力钢筒混凝土管；

当 $a_s < 1$ 时，应按柔性管道计算，如钢管、玻璃纤维夹砂管及球墨铸铁管；

7.1.3 圆形管道结构与管周土体刚度的比值 a_s 可按式(7.1.3)确定：

$$a_s = \frac{E_p}{E_d} \frac{t^3}{r_0^3} \quad (7.1.3)$$

式中 E_p ——管材弹性模量（MPa）；

E_d ——管侧原状土的变形模量（MPa）；

t ——管道的管壁厚度（mm）；

r_0 ——管道结构的计算半径（mm），即自管中心至管壁中心线的距离。

7.1.4 管道结构设计应计算下列两种极限状态：

1 承载能力极限状态：管道结构纵向超过最大顶力破坏，管壁因材料强度被超过而破坏；柔性管道管壁截面丧失稳定；管道的管段接头因顶力超过材料强度破坏。

2 正常使用极限状态：柔性管道的竖向变形超过规定限值；钢筋混凝土管道裂缝宽度超过规定限值。

7.1.5 管道结构的内力分析，均应按弹性体系分析，不考虑由非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

7.2 承载能力极限状态计算

7.2.1 管道结构按承载能力极限状态进行强度计算时，结构上的各项作用均采用设计值。

作用设计值，应为作用代表值与作用分项系数的乘积。

7.2.2 管道按强度计算时，应采用下列极限状态计算表达式：

$$g_0 S \leq R \quad (7.2.2)$$

式中 g_0 ——管道的重要性系数，给水工程单线输水管取 1.1；双线输水管和配水管道取 1.0；污水管道取 1.0；雨水管道取 1.0。

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《混凝土结构设计规范》(GB50010)，钢管道按现行《钢结构设计标准》(GB50017) 的规定确定，其它材质管道按相应规程确定。

7.2.3 作用效应的组合设计值，应按下式确定

$$S = g_{G1} C_{G1} G_{1k} + g_{G,SV} C_{SV} F_{SV,k} + g_{GW} C_{GW} G_{wk} + j_c g_Q (C_{Q,wd} F_{wd,k} + C_{QV} q_{vk} + C_{Qm} q_{mk} + C_{Qt} F_{tk} + C_{Qd} F_{dk}) \quad (7.2.3)$$

式中 g_{G1} ——管道结构自重作用分项系数，取 $g_{G1} = 1.3$ ；

$g_{G,SV}$ ——竖向和侧向水土压力作用分项系数，取 $g_{G,SV} = 1.27$ ；

g_{GW} ——管内水重作用分项系数，取 $g_{GW} = 1.2$ ；

g_Q ——可变作用的分项系数，取 $g_Q = 1.5$ ；

C_{G1} 、 C_{SV} 、 C_{GW} ——分别为管道结构自重、竖向和侧面土压力及管内水重的作用效应系数；

$C_{Q,wd}$ 、 C_{QV} 、 C_{Qm} 、 C_{Qt} 、 C_{Qd} ——分别为内水压力、地面车辆荷载、地面堆积荷载、温度变化作用和顶力作用效应系数；

G_{1k} ——管道结构自重标准值；

$F_{SV,k}$ ——竖向和侧向水土压力标准值；

G_{wk} ——管内水重标准值；

$F_{wd,k}$ ——管内水压力标准值；

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；

F_{dk} ——顶力作用标准值；

j_c ——可变荷载组合系数，对柔性管道取 $j_c = 0.9$ ；对其它管道取 $j_c = 1.0$ 。

7.2.4 承载能力极限状态计算的作用组合，应根据顶管实际

条件按表 7.2.4 的规定采用。

表 7.2.4 承载力极限状态计算的作用组合表

管 材	计算工况	永久作用			可变作用		
		管自重 G_1	竖向和水平土压力 F_{sv}	管内水重 G_w	管内水压 F_{wd}	地面车辆荷载或堆载 q_v, q_m	温度作用 F_t
钢 管	空管期间	√	√			√	√
	管内满水	√	√	√		√	√
	使用期间	√	√	√	√	√	√
钢 筋 混 凝 土 管	空管期间	√	√			√	
	管内满水	√	√	√		√	
	使用期间	√	√	√	√*	√	
注： 1 玻璃纤维增强塑料夹砂管、球墨铸铁管和预应力钢筒混凝土管可参照钢筋混凝土管组合； 2 *指压力管。							

7.2.5 对柔性钢管管壁截面进行稳定验算时，各项作用应取标准值，并应满足稳定系数不低于 2.0，作用组合应按表 7.2.5 规定采用。

表 7.2.5 管壁稳定验算作用组合表

永久作用		可变作用		
竖向土压力	侧向土压力	地面车辆或堆积荷载	真空压力	地下水
√	√	√	√	√

7.3 正常使用极限状态验算

7.3.1 管道结构按正常使用极限状态进行验算时，各项作用效应均应采用作用代表值。

7.3.2 当验算构件截面的最大裂缝宽度时，应按准永久组合

作用计算。作用效应的组合设计值应按下式确定：

$$S = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n \gamma_{qj} C_{qj} Q_{jk} \quad (7.3.2)$$

式中 γ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久值系数，应按本标准 6.3 节的规定采用。

7.3.3 正常使用极限状态验算时，作用组合工况可按本标准表 7.2.4 的规定采用。

7.3.4 柔性管道在准永久组合作用下长期竖向变形允许值，应符合下列要求：

- 1 内防腐为水泥砂浆的钢管、球墨铸铁管，先抹水泥砂浆后顶管时，最大竖向变形不应超过 $0.02D_0$ ；顶管完成后抹水泥砂浆时，最大竖向变形不应超过 $0.03D_0$ 。
- 2 内防腐为延性良好的涂料的钢管、球墨铸铁管，其最大竖向变形不应超过 $0.03D_0$ 。
- 3 玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向变形不应超过 $0.05D_0$ 。

7.3.5 钢筋混凝土管道在准永久组合作用下，最大裂缝宽度不应大于 0.2mm 。

8 承载能力极限状态计算

8.1 管道强度计算

8.1.1 钢管管壁截面的最大组合折算应力应满足下式要求：

$$hs_q \leq f \quad (8.1.1-1)$$

$$hs_x \leq f \quad (8.1.1-2)$$

$$g_0s \leq f \quad (8.1.1-3)$$

$$s = h\sqrt{s_q^2 + s_x^2} - s_qs_x \quad (8.1.1-4)$$

式中： s_q ——钢管管壁横截面最大环向应力（N/mm²）；

s_x ——钢管管壁的纵向应力（N/mm²）；

s ——钢管管壁的最大组合折算应力（N/mm²）；

h ——组合应力折减系数，可取 $h=0.9$ ；

f ——钢管管材强度设计值。

8.1.2 钢管管壁横截面的最大环向应力 s_q 应按下式确定：

$$s_q = \frac{N}{b_0 t_0} + \frac{6M}{b_0 t_0^2} \quad (8.1.2-1)$$

$$N = j_c g_Q (F_{wd,k} - F'_{wd,k}) r_0 b_0 \quad (8.1.2-2)$$

$$M = j \frac{(g_{G1} k_{gm} G_{1k} + g_{G,sv} k_{vm} F_{sv,k} D_1 + g_{GW} k_{wm} G_{wk} + g_{Qj} k_{vm} q_{ik} D_1) r_0 b_0}{1 + 0.732 \frac{E_d}{E_p} \left(\frac{r_0}{t_0}\right)^3} \quad (8.1.2-3)$$

式中： b_0 ——管壁计算宽度（mm），取 1000mm；

j ——弯矩折减系数，有内水压时取 0.7，无内水压时取 1.0；

j_c ——可变作用组合系数，可取 0.9；

t_0 ——管壁计算厚度（mm），使用期间取 $t_0 = t - 2$ ；施工

期间及验水期间取 $t_0 = t$;

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截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/mm²);

E_p ——钢管管材弹性模量 (N/mm²)

k_{gm}, k_{vm}, k_{wm} ——分别为钢管管道结构自重、竖向土压力和管内水重作用下管壁截面的最大弯矩系数, 土弧支承角取 120°, 可按附录 A 确定;

D_1 ——管道外径 (mm)。

$F_{wd, k}$ ——管外水压力, 按最低地下水位计算 (N/mm²);

q_{ik} ——地面堆载和车辆荷载的传递至管顶压力的较大标准值。

当计算土柱高度 $\frac{c_j(r_{si}B_t - 2c)}{g_s}$ 小于覆土深度 H_s 时, q_{ik} 可以不

计。

8.1.3 钢管管壁的纵向应力可按下式计算:

$$s_x = n_p s_q \pm j_c g_q a E_p D T \pm \frac{0.5 E_p D_0}{R_1} \quad (8.1.3-1)$$

$$R_1 = \frac{f_1^2 + \frac{a L_1}{c} \frac{\sigma}{2 \phi}}{2 f_1} \quad (8.1.3-2)$$

式中： n_p ——钢管管材泊松比，可取 0.3；

α ——钢管管材线膨胀系数；

ΔT ——钢管的计算温差；

R_1 ——钢管施工变形形成的曲率半径（mm），取

$R_1 \geq 1350D_0$ ；

f_1 ——管道顶进允许偏差（mm），应符合本标准附录 E 的规定；

L_1 ——出现偏差的最小间距（mm），视管道直径和土质决定，一般可取管线中继间之间的距离，并不小于 50m。

8.1.4 钢筋混凝土管道在组合作用下，管道横截面的环向内
力可按下式计算：

$$M = r_0 \sum_{i=1}^n k_{mi} P_i \quad (8.1.4-1)$$

$$N = \sum_{i=1}^n k_{ni} P_i \quad (8.1.4-2)$$

式中： M ——管道横截面的最大弯矩设计值（N·mm/m）；

N ——管道横截面的轴力设计值（N/m）；

k_{mi} ——弯矩系数，应根据荷载类别按附录 B 确定；

k_{ni} ——轴力系数，应根据荷载类别按附录 B 确定；

P_i ——作用在管道上的 i 项荷载设计值（N/m）。

8.1.5 玻璃纤维增强塑料夹砂管的强度应按下列公式计算：

$$g_0 h_1 (\gamma_c s_{th} + \alpha_f r_c s_{tm}) \leq f_{th} \quad (8.1.5-1)$$

$$g_0 \gamma_c s_{th} \leq f_{th} \quad (8.1.5-2)$$

$$g_0 s_{tm} \leq f_{tm} \quad (8.1.5-3)$$

式中： s_{th} ——管道内设计水压力产生的管壁环向等效折算拉伸应力设计值（MPa）；

s_{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）；

a_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，即 $a_f = \frac{f_{th}}{f_{tm}}$ ；

r_c ——管道的压力影响系数。对重力流排水管道应取 1.0，对有压力管道可按表 8.1.5 取值；

h_1 ——应力调整系数，取 0.8。

表 8.1.5 管道压力影响系数

管道工作压力 F_{wd} （MPa）	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
r_c	0.93	0.87	0.80	0.73	0.67

注：其他工作压力的影响系数可取线性插值。

8.1.6 玻璃纤维增强塑料夹砂管管道设计内水压力产生的管壁环向等效折算拉应力按下式计算：

$$s_{th} = \frac{g_Q F_{wd,k} D_0}{2t} \quad (8.1.6)$$

式中： $F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值（MPa）；

g_0 ——管道的内水压力分项系数，取 1.4。

8.1.7 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式计算：

$$s_{tm} = D_f E_p \left(\frac{w_{d,max}}{D_0} \right) \left(\frac{t}{D_0} \right) \quad (8.1.7-1)$$

$$SN = \frac{E_p t^3}{12 D_0^3} \cdot 10^6 \quad (8.1.7-2)$$

式中： $w_{d,max}$ ——管道的最大长期竖向变形（mm），可按 9.1.2 式计算；

E_p ——管材的环向弯曲弹性模量（MPa）；

D_f ——管道的形状系数。刚度等级为 20000Pa 时 $D_f = 3.2$ 。

SN ——管材的刚度。

8.1.8 预应力钢筒混凝土顶管的结构设计按照中国工程建设协会标准《给水排水工程埋地预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道结构设计标准》CECS140 规定执行，管道竖向土压力按本标准 6.2.2 条计算，侧向土压力按本标准 6.2.3 条计算。

8.1.9 球墨铸铁顶管的管壁横截面的最大环向应力按本标准 8.1.2 条计算，并符合下式要求。

$$g_0 s_{qd} \leq f_{td} \quad (8.1.9)$$

式中： f_{td} ——球墨铸铁管材抗拉强度设计值，取 $f_{td} = 230$ （MPa）；

8.2 管道稳定性验算

8.2.1 钢管在真空工况作用下管壁截面环向稳定验算应满足下式要求：

$$F_{cr,k} \geq K_{st} (F_{sv,k} + q_{ik} + F_{vk}) \quad (8.2.1)$$

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管顶的压力标准值 (N/mm^2)；

K_{st} ——钢管管壁截面设计稳定性系数，可取 2.0。

8.2.2 钢管管壁截面的临界压力应按下式计算：

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2 - 1)}{3(1 - n_p^2)} \frac{D_0^3}{D_0} + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + n_s)} \quad (8.2.2)$$

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

n_s ——管两侧胸腔土的泊桑比，应根据土工试验确定；一般对砂性土可取 0.30，对粘性土可取 0.40；

n_p ——钢材的泊桑比， $n_p = 0.30$ ；

D_0 ——管壁中心直径 (mm)；

E_p ——管材弹性模量 (N/mm^2)；

E_d ——管侧土的变形模量 (N/mm^2)。

8.2.3 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：

$$F_{cr,k} \geq K_{st}(F_{sv,k} + q_{ik} \cdot 10^{-3} + F_{vk}) \quad (8.2.3)$$

式中： $F_{cr,k}$ ——管壁截面环向失稳的临界压力标准值（N/mm²）；

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，应不低于 2.5；

8.2.4 玻璃纤维增强塑料夹砂管管壁截面环向失稳的临界压力，应按下列式计算：

$$F_{cr,k} = \frac{8 \cdot 10^{-6} SN(n^2 - 1)}{(1 - n_p^2)} + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + n_s)} \quad (8.2.4)$$

9 正常使用极限状态验算

9.1.1 钢管、球墨铸铁管管道在土压力和地面荷载作用下产生的最大竖向变形 $w_{c,max}$ ，应按下式计算：

$$w_{c,max} = \frac{k_b r_0^3 (F_{sv,k} + y_q q_{ik}) D_1}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (9.1.1)$$

式中： k_b ——竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数，按附录

A 确定；

y_q ——地面作用传递至管顶压力的准永久值系数；

I_p ——钢管、球墨铸铁管管壁单位纵向长度的截面惯性矩（ mm^4/m ）。

9.1.2 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 $w_{d,max}$ 可按下式计算：

$$w_{d,max} = \frac{(F_{sv,k} + y_q q_{ik}) D_1 k_b}{8 \times 10^{-6} SN + 0.061 E_d} \times 10^{-3} \quad (9.1.2)$$

9.1.3 钢筋混凝土管道结构构件在长期效应组合作用下，计算截面处于大偏心受拉或大偏心受压状态时，最大裂缝宽度可按附录 D 计算，并应符合本标准 7.3.5 条的规定。

10 顶管井

10.1 顶管井选址

10.1.1 顶管井的位置应按以下因素确定：

- 1 应利用管线上的工艺井；
- 2 应考虑排水、出土和运输方便；
- 3 应靠近电源和水源；
- 4 应远离居民区 and 高压线；
- 5 应避免对周围建构筑物 and 设施产生不利影响；
- 6 当管线坡度较大时，工作井宜设置在管线埋置较深一端，接收井宜设置在管线埋置较浅一端；
- 7 在有曲线又有直线的顶管中，工作井宜设在直线的一端。

10.2 顶管井围护形式

10.2.1 顶管井围护形式可采用板桩围护墙、型钢水泥土搅拌墙、灌注桩排桩围护墙、地下连续墙或沉井。

10.2.2 当顶管井埋置较浅、地下水位较低、顶进距离较短时，宜选用板桩围护墙或型钢水泥土搅拌墙。

10.2.3 在顶管井埋置较深、顶管顶力较大的软土地区，顶管井宜采用沉井或地下连续墙。

10.2.4 除沉井外其它形式的工作井，当顶力较大时皆应设置钢筋混凝土内衬及后座墙。

10.2.5 顶管井可分为圆形、矩形和多边形三种。管线交叉的中间井和深度大的顶管井应采取圆形或多边形顶管井。

10.3 工作井尺寸要求

10.3.1 工作井的长度，应根据顶管机长度、千斤顶长度、下井管节长度和井内接管、吊装管节要求综合确定。

1 当按顶管机长度确定时，工作井的内净长度可按下列公式计算：

$$L \geq l_1 + l_3 + k \quad (10.3.1-1)$$

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，如采用刃口顶管机应包括接管长度 (m)；

l_3 ——千斤顶长度，一般取 2.50m；

k ——后座和顶铁的厚度及安装富余量，可取 $k = 1.60m$ 。

2 当按下井管节长度确定时，工作井的内净长度可按下列公式计算：

$$L \geq l_2 + l_3 + l_4 + k \quad (10.3.1-2)$$

式中 l_2 ——下井管节长度，参考长度如下：

钢管一般可取 6.0m；长距离可取 8.0～12.0m。

钢筋混凝土管可取 2.5～3.0m；

预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管、玻璃纤维增强

玻璃纤维增强塑料夹砂管可取 4.0～6.0m。

钢筋混凝土矩形箱涵可取 1.5～3.0m；

l_4 ——留在井内的管道最小长度，可取 $l_4=0.5m$ ；

3 工作井的最小内净长度应按上述两种方法计算结果取

大值，并与井内工艺接管要求综合确定。

10.3.2 工作井的宽度，应根据管道外径和两侧工作面的宽度综合确定。最小内净宽度可按下列公式计算：

$$B = D_1 + 2' (1.0 \sim 2.0) \quad (10.3.2)$$

式中 B ——工作井的内净宽度 (m)；

D_1 ——管道的外径 (m)。

10.3.3 工作井深度，应根据管顶覆土厚度，管道外径和管底工作面的高度综合确定。应按下列公式计算：

$$H = H_s + D_1 + h \quad (10.3.3)$$

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)，

钢管和矩形箱涵可取 $h=0.70\sim 1.00\text{m}$ ；

钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管和玻璃纤维增强塑料夹砂管等可取 $h=0.4\text{m}\sim 0.5\text{m}$ 。

10.3.4 工作井底板应预埋安装导轨的预埋钢板。

10.4 接收井尺寸要求

10.4.1 接收井最小内净宽度应按下列公式计算：

$$B = D_g + 2' (1.0 \sim 1.5) \quad (10.4.1)$$

式中 B ——接收井最小内净宽度 (m)；

D_g ——顶管机外径 (m)。

10.4.2 接收井的最小内净长度应满足顶管机在井内拆除和

吊出的需要。

10.4.3 接收井尺寸应满足工艺管道连接的要求。

10.5 穿墙孔、接收孔尺寸要求

10.5.1 工作井的穿墙孔尺寸应按下式确定：

$$D'' = D_g + 2' 0.10 \quad (10.5.1)$$

式中 D'' ——穿墙孔的直径 (m)；

10.5.2 接收井的接收孔尺寸应按下式确定：

$$D' = D_g + \frac{2(c + 100)}{1000} \quad (10.5.2)$$

式中 D' ——接收孔的直径 (m)；

c ——管道允许偏差的绝对值 (mm) 见本规程附录 E。

10.5.3 穿墙孔、接收孔外为不稳定土层时，应对孔外的不稳定土层应经过洞口加固。

10.5.4 顶管完成后，穿墙孔、接收孔应按设计要求将穿墙孔、接收孔和管道之间空隙封堵。永久性工作井上的橡胶板止水穿墙管应改造成永久性柔性堵头。当接收井与管道之间可能产生不均匀沉降时，应采用柔性材料封堵。

10.5.5 穿墙孔临时封堵可采用下列材料：

- 1 沉井穿墙孔可采用砖砌体或低强度水泥土。
- 2 地下连续墙穿墙孔可用低强度水泥土或钢板。

10.6 穿墙管止水装置

10.6.1 盘根止水穿墙管构造见图 10.6.1，盘根止水穿墙管可用于以下情况：

- 1 穿墙管处于透水层或承压水层（包括砂土、粉土和砾石）；
- 2 地下水压力 $> 0.08\text{MPa}$ ；
- 3 穿墙管兼作释放管道温度应力的伸缩机构；
- 4 一次性顶进距离超过 1000m 以上的。

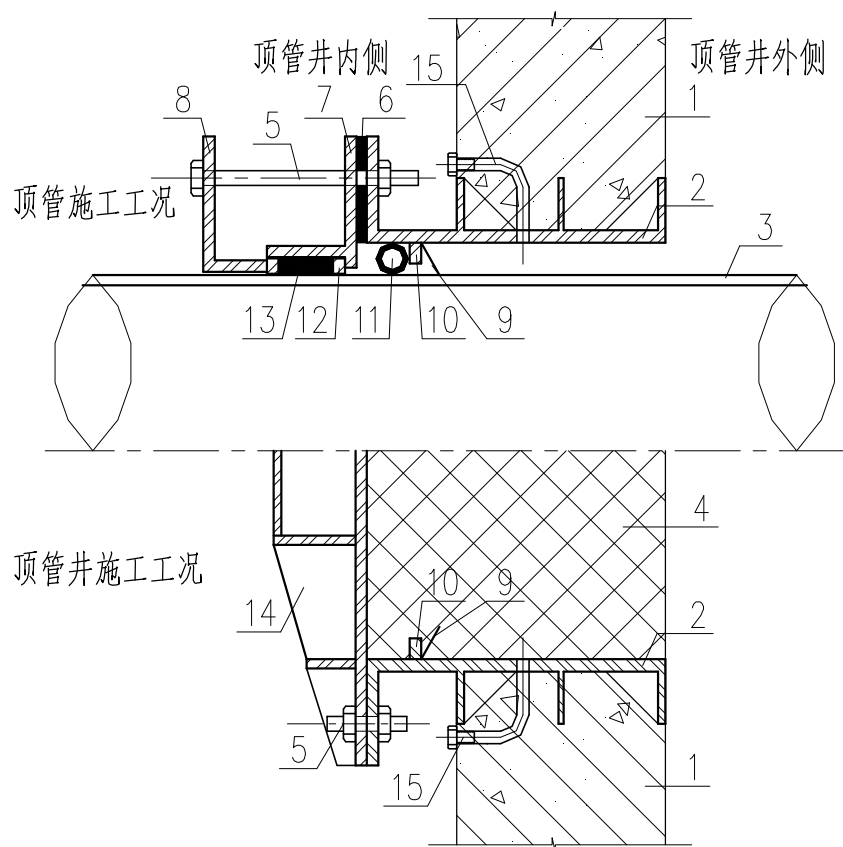


图 10.6.1 盘根止水穿墙管构造

1-顶管井井壁；2-穿墙套管；3-顶管管节；4-洞口封堵材料；5-高强螺栓；6-橡胶止水板；7-止水挡板；8-止水法兰；9-挡土板；10-钢挡圈 1；11-橡胶圈；12-钢挡圈 2；13-牛油盘根；14-闷板；15-预留注浆管，沿 120° 设置 3 个；

10.6.2 橡胶板压板止水穿墙管的构造 见图 10.6.2，橡胶板压板止水穿墙管可用于以下情况：

- 1 穿墙管处于渗透系数小的粘性土土层；
- 2 穿墙管处的地下水压力 $\leq 0.08\text{MPa}$ ；
- 3 一次性顶进距离 300m 以内的。

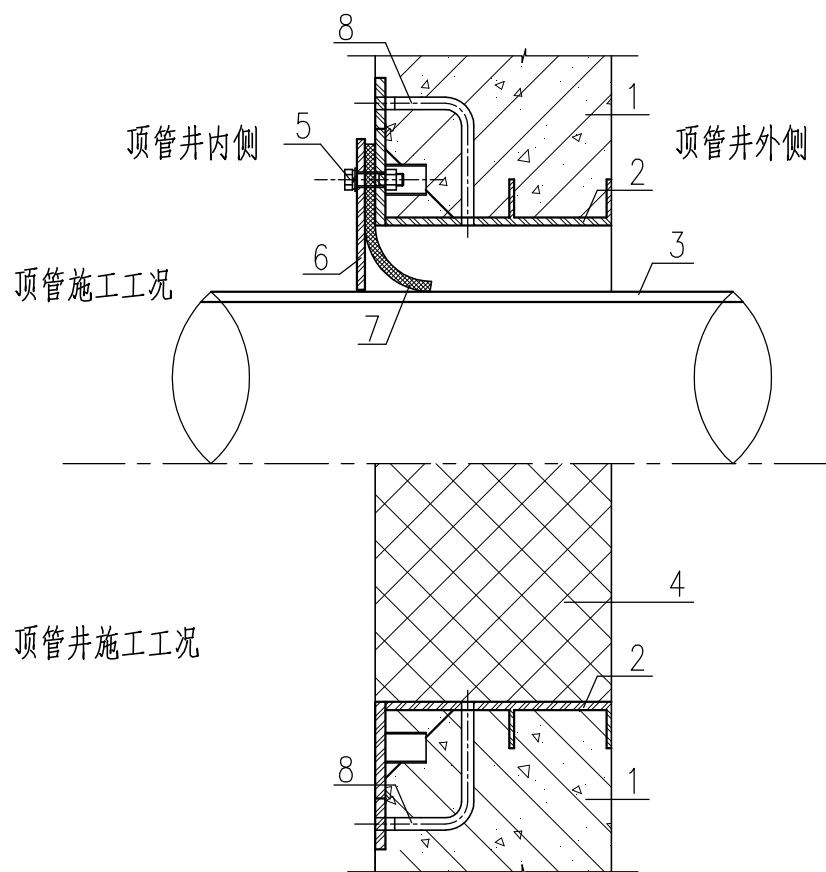


图 10.6.2 橡胶板止水穿墙管构造

1-顶管井井壁；2-穿墙套管；3-顶管管节；4-洞口封堵材料；5-高强螺栓；6-插板；7-橡胶止水板；8-预留注浆管，沿 120° 设置 3 个

10.6.3 橡胶板插板止水穿墙管的构造见图 10.6.3，橡胶板插板止水穿墙管可用于以下情况：

- 1 穿墙管处于透水层或承压水层（包括砂土、粉土和砾石）；
- 2 地下水压力 $> 0.08\text{MPa}$ ；
- 3 一次性顶进距离 300m 以上的。

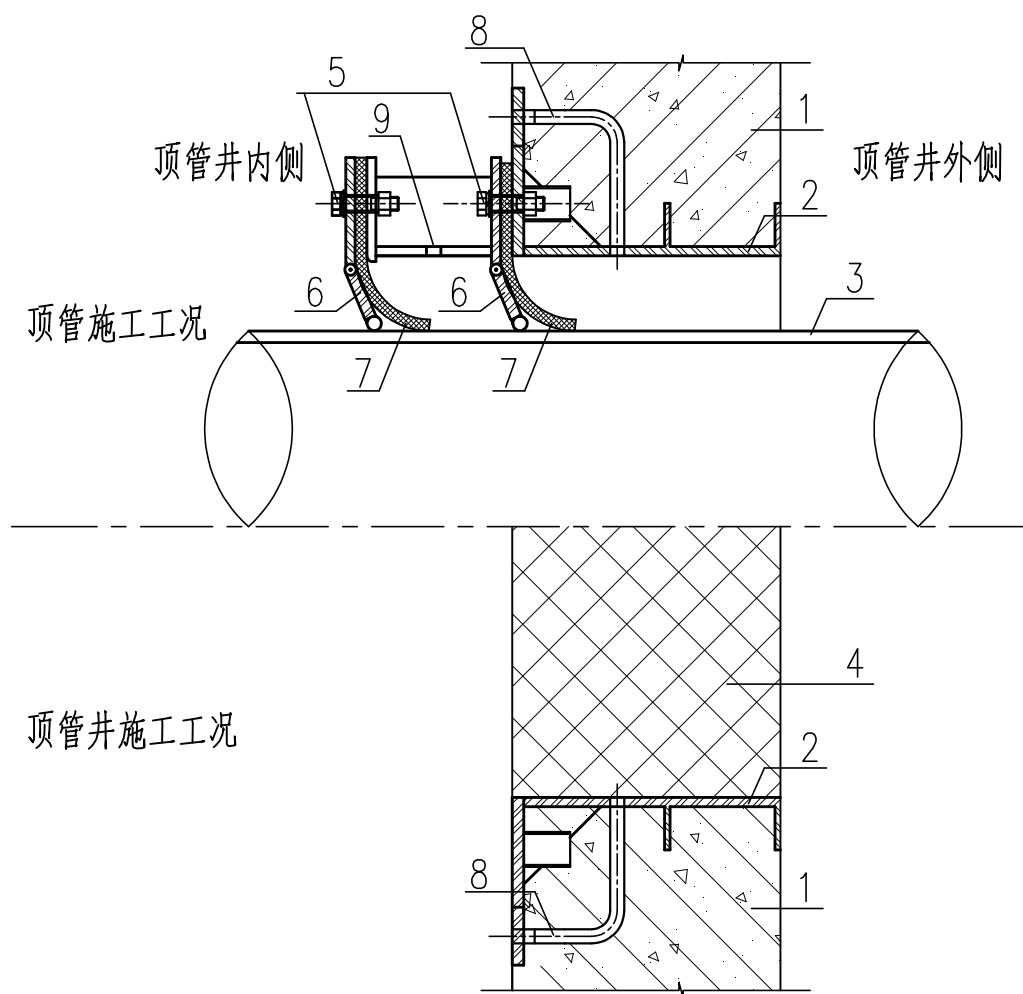


图 10.6.3 橡胶板插板止水穿墙管构造

1-顶管井井壁；2-穿墙套管；3-顶管管节；4-洞口封堵材料；5-高强螺栓；6-插板；7-橡胶止水板；8-预留注浆管，沿 120° 设置 3 个；9-预留注浆孔

11 顶管允许顶力设计

11.1 管道管材允许顶力计算

11.1.1 钢筋混凝土管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算：

$$F_{dc} = 0.5 \frac{f_1 f_2 f_3}{g_{Qd} f_5} f_c A_p \quad (11.1.1)$$

式中 F_{dc} ——混凝土管道允许顶力设计值 (N)；

f_1 ——混凝土材料受压强度折减系数， $f_1=0.90$ ；

f_2 ——偏心受压强度提高系数， $f_2=1.05$ ；

f_3 ——材料脆性系数， $f_3=0.85$ ；

f_5 ——混凝土强度标准调整系数， $f_5=0.79$ ；

f_c ——混凝土受压强度设计值 (N/mm²)；

A_p ——管道的最小有效传力面积 (mm²)；

g_{Qd} ——顶力分项系数， $g_{Qd}=1.3$ 。

11.1.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管传力面允许最大顶力可按下式计算

$$F_{db} = 0.5 \frac{f_1 f_2 f_3}{g_{Qd}} f_b A_p \quad (11.1.2)$$

式中 F_{db} ——玻璃纤维增强塑料夹砂管道允许顶力设计值 (N)；

f_1 ——玻璃纤维增强塑料夹砂管材料受压强度折减系数，
 $f_1=0.90$ ；

f_2 ——偏心受压强度提高系数， $f_2=1.00$ ；

f_3 ——玻璃纤维增强塑料夹砂管材料脆性系数， $f_3=0.80$ ；

f_b ——玻璃纤维增强塑料夹砂管受压强度设计值 (N/mm²)。

11.1.3 钢管顶管传力面允许的最大顶力按下式计算：

$$F_{ds} = \frac{f_1 f_3 f_4}{9_{Qd}} f_s A_p \quad (11.1.3)$$

式中 F_{ds} ——钢管管道允许顶力设计值（N）；

f_1 ——钢材受压强度折减系数， $f_1=1.00$ ；

f_3 ——钢材脆性系数， $f_3=1.00$ ；

f_4 ——钢管顶管稳定系数， $f_4=0.36$ ；

f_s ——钢材受压强度设计值（N/mm²）。

11.1.4 预制管节接触面有脱离时最大允许顶力可根据接触面的脱离情况计算确定。

11.1.5 预应力钢筒混凝土管最大顶力可按照钢筋混凝土管计算确定。

11.1.6 球墨铸铁管最大顶力为前管节的顶推法兰和后管节的承口端面传递顶力，可利用有限元方法计算确定，也可按表 11.1.6 直接选用。

表 11.1.6 球墨铸铁管顶管的允许顶力值

DN	允许顶力/kN		DN	允许顶力/kN	
	K8	K9		K8	K9
700	1640	2720	1500	6810	11350
800	1980	3300	1600	7420	12360
900	2490	4140	1800	7420	12360
1000	3050	5080	2000	10190	16970
1100	3670	6110	2200	10190	16970
1200	4350	7240	2400	10190	16970
1400	5420	9020	2600	14010	23340

11.2 顶管井允许顶力计算

11.2.1 圆形沉井在顶管力作用下，后背土体的稳定应符合下列公式规定(见图 11.2.1)：

$$P_{tk} = x(0.8E_{pk} - E_{ep,k}) \quad (11.2.1-1)$$

$$E_{pk} = \frac{1}{4}prH \times F_{pk} \quad (11.2.1-2)$$

$$E_{ep,k} = \frac{1}{4}prH \times F_{ep,k} \quad (11.2.1-3)$$

$$x = (h_f - |h_f - h_p|) / h_f \quad (11.2.1-4)$$

$$h_p = H / 3 \quad (11.2.1-5)$$

式中： H —— 沉井入土深度（m）；

r —— 沉井外壁半径（m）；

$F_{ep,k}$ —— 刃脚底部主动土压力标准值（kN/m²）；

F_{pk} —— 刃脚底部被动土压力标准值（kN/m²）；

$E_{ep,k}$ —— 沉井前方主动土压力合力标准值（kN）；

E_{pk} —— 沉井后方被动土压力合力标准值（kN）；

P_{tk} —— 顶管井允许顶力标准值（kN）；

h_p —— 土压力合力至刃脚底的距离（m）；

x —— 考虑顶管力与土压力合力作用点可能不一致的折减系数。

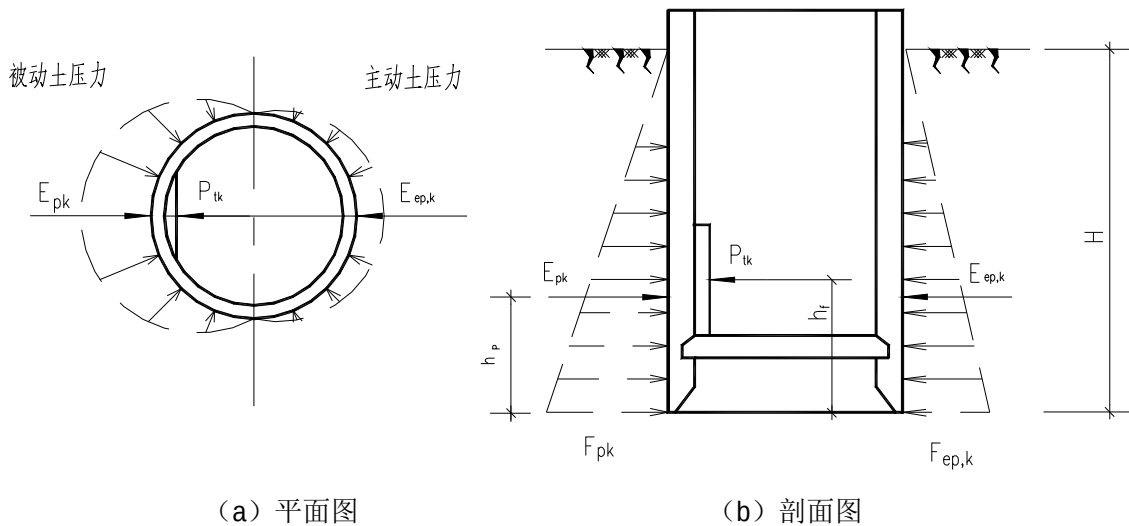


图 11.2.1 圆形沉井在顶管力作用下后背土体的稳定计算

11.2.2 矩形沉井在顶管力作用下，后背土体的稳定性验算应满足本标准公式(11.2.1-1)的要求。 E_{pk} 和 $E_{ep,k}$ 应按图 11.2.2 所示的土压力分布计算。

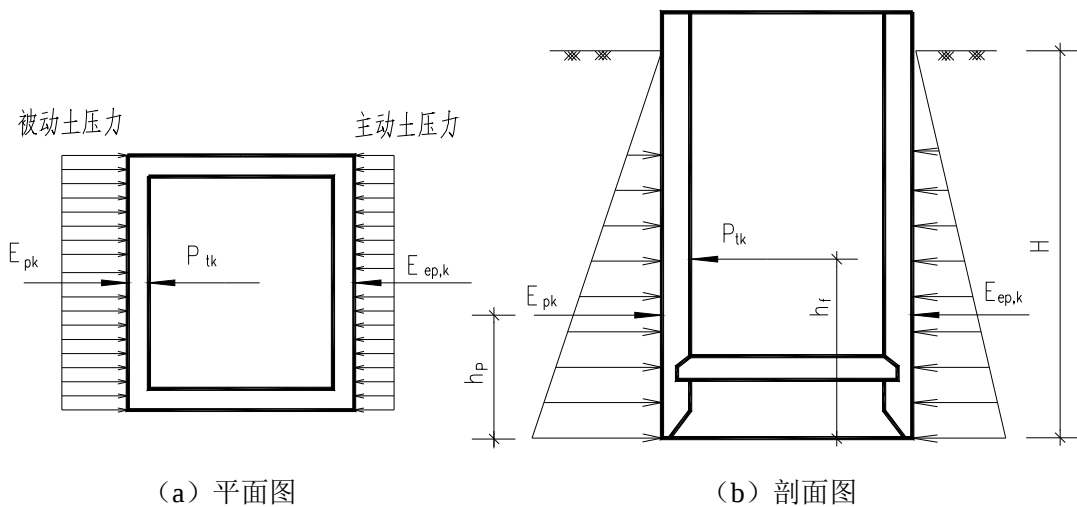


图 11.2.2 矩形沉井在顶管力作用下后背土体稳定计算

11.2.3 基坑后背土体的稳定性验算可按照沉井进行验算。

11.2.4 当顶力计算不足时，顶管工作井后靠背宜进行土体加固，可以采用水泥土搅拌桩、高压喷射注浆、超高压喷射注浆、全方位高压喷射注浆等形式。

12 特种顶管

12.1 曲线顶管

12.1.1 设有中继间的曲线顶管最小管径不宜小于 DN1400。

12.1.2 曲线顶管应选用较短的管节，相邻两个管节间的转角不宜大于 0.3° 。

12.1.3 曲率半径小的曲线顶管，应选用较厚的和弹性模量较小的木垫圈。管材宜使用弹性模量较低、弹性应变高的玻璃纤维增强塑料顶管。

12.1.4 钢筋混凝土管节的顶管曲率半径估算：

1 传力面一侧压应力为零，另一侧压应力最大的不张口，接头受力模式见图 12.1.4-1。

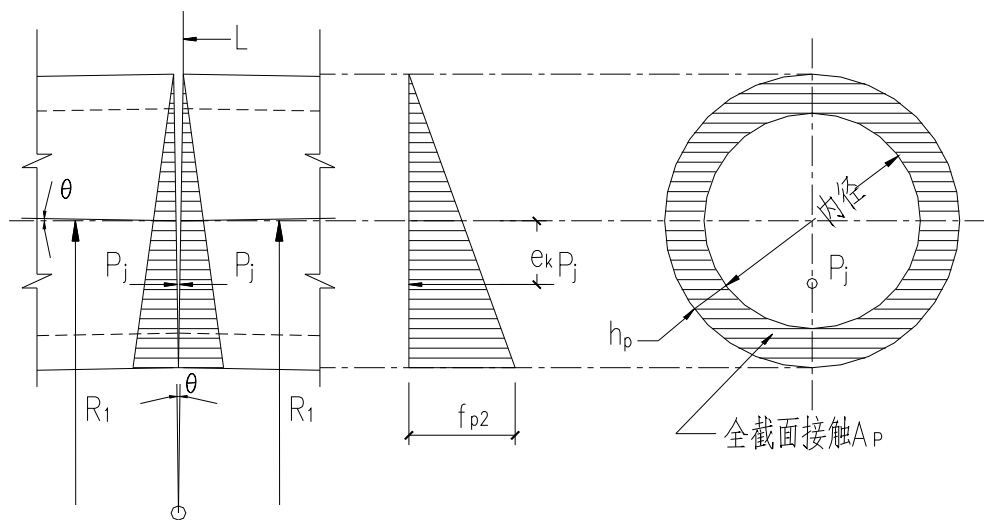


图 12.1.4-1 不张口接头的受力模式

曲率半径估算式：
$$R_1 = \frac{L + a_1}{\tan \theta} \quad (12.1.4-1)$$

式中： R_1 ——曲率半径(mm)；

L ——管段的长度(mm)；

a_1 ——木垫圈厚度(mm)；

q ——管道张口角度；

$$\tan q = \frac{2(f_{p2} - f_{p1})}{d} \frac{h_p L}{E_p t} + \frac{h_p L}{E_p t} \frac{f_{p1}}{f_{p2}} \quad (12.1.4-2)$$

式中： E_f ——垫圈材料弹性模量（N/mm²）；

E_p ——管材弹性模量（N/mm²）；

t ——管壁设计厚度（mm）；

h_p ——木垫圈宽度（mm）；

d ——木垫圈外径（mm）；

f_{p1} ——中心顶力作用下表面均匀压应力（N/mm²）， $f_{p1} = \frac{F_{dk}}{A_p}$ ；

f_{p2} ——偏心顶力作用下表面最大压应力（N/mm²），

$$f_{p2} = \frac{2F_{dk}}{A_p}；$$

F_{dk} ——顶力标准值（N）；

A_p ——垫圈与管材接触面积（mm²）；

L ——管节长度（mm）。

2 张口接头的受力模式见图 12.1.4-2。

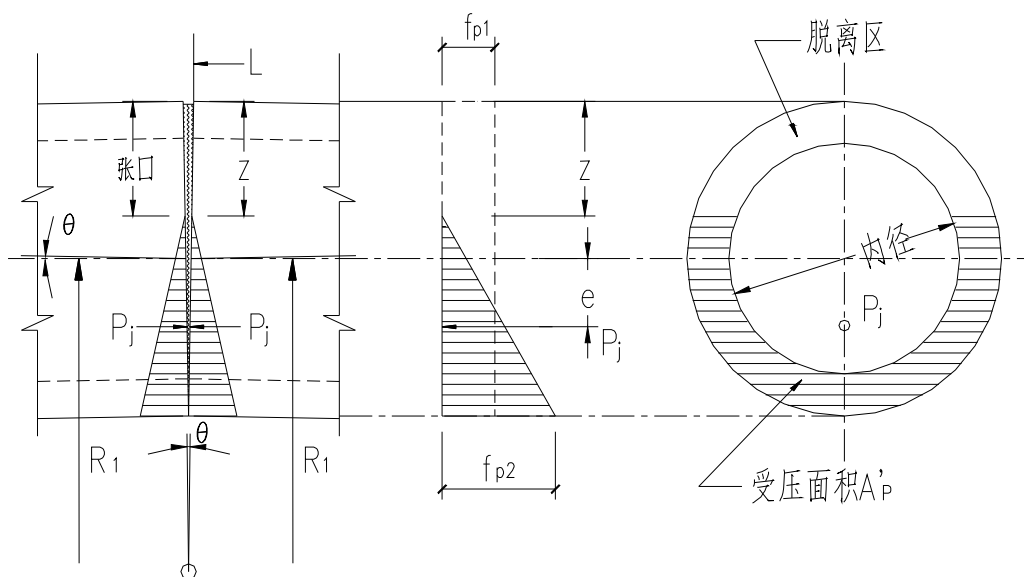


图 12.1.4-2 张口接头的受力模式

曲率半径可按式估算：

$$R_1 = \frac{D_1 - Z}{D_1} \left(\frac{L + a_1}{\tan q} \right) \quad (12.1.4-3)$$

$$\tan q = \frac{2(f_{p2} - f_{p1})}{d - Z} \left[\frac{a_1}{E_f} + \frac{h_p L / t}{E_p} \right] \quad (12.1.4-4)$$

12.1.5 焊接钢管不宜用于曲线顶管，也可通过中继间进行曲线顶管，曲率半径可按式估算：

$$R_1 = \frac{L_1}{2 \times \sin(0.5 \times a / 2)} \quad (12.1.5)$$

式中： L_1 ——中继间设置间距（m）；

a ——中继间允许转角，一般取 $a = 1^\circ$ 。

12.1.6 曲线顶管的总顶力估算中，曲线顶管与直线顶管相比较，应除以顶力附加系数 K_d 值， K_d 值宜按表 12.1.6 选取。

表 12.1.6 曲线顶管顶力附加系数 K_d 值

R_1	$300D_1$	$250D_1$	$200D_1$	$150D_1$	$100D_1$
K	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3

12.2 矩形顶管

12.2.1 矩形顶管上覆土层的厚度不应小于 1 倍矩形顶管机的高度且不应小于 3.0m。

12.2.2 顶进矩形箱涵的顶力计算，应根据顶进长度，土的性质、地下水情况及施工方法等因素按下式计算：

$$P = K_1[N_1\mu_1 + (N_1 + N_2)\mu_2 + 2E\mu_3] + RA \quad (12.2.2)$$

式中 P ——最大顶力（kN）；

N_1 ——箱涵顶上荷载，按顶部的土柱重计算（kN）；

μ_1 ——箱涵顶面与顶上土的摩擦系数，视顶上润滑处理经试验确定；无试验资料时可采用以下数值：涂石蜡为 0.17~0.34；涂滑石粉浆为 0.30；涂机油调制的滑石粉浆为 0.20；

N_2 ——箱涵自重（kN）；

μ_2 ——箱涵底板与基地土的摩擦系数，视基底土性质经试验确定；无试验资料时可采用 0.7~0.8；

E ——箱涵两侧土压力（kN）；

μ_3 ——侧面摩擦系数，视土的性质经试验确定；无试验资料时可采用 0.7~0.8；

R ——顶管机正面阻力，视顶管机的开孔率、土的性质经试验确定；无试验资料时可采用：砂黏土为 500kPa~550kPa；卵石土为 1500kPa~1700kPa；

A ——顶管机正面截面积（ m^2 ）；

K_1 ——系数，宜采用 1.2。

12.3 岩石顶管

12.3.1 岩石顶管应以岩石天然单轴抗压强度值作为岩石顶管机的设计制造依据，明确岩石顶管机的换刀次数，岩石顶管机宜设置二次破碎装置。

12.3.2 岩石顶管宜根据岩石耐崩解指数判断岩石的耐崩解性，宜设置合理的排渣设施和排渣位置，以防止岩石碎屑进入泥浆套，引起卡管。

12.3.2 在高初始应力区的顶管，应严格控制顶管机迎面阻力和管侧注浆压力。

12.4 垂直顶升

12.4.1 垂直顶升的最大顶力估算可按式（12.4.1）计算。

$$P = \alpha_1 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_g'^2 \cdot f_{ak} + \pi \cdot D_g' \cdot q_u \cdot H_s \right) \quad (12.4.1)$$

式中： P ——垂直顶升的最大顶力（kN）；

α_1 ——垂直顶力的折减系数，取 $\alpha_1 = 0.6 \sim 0.8$ ；

D_g' ——顶升管道的闷板外径（m）；

f_{ak} ——顶升管道顶面土体地基承载力极限值（kPa）；

q_u ——顶升管道侧面的土体抗剪应力（m）；

H_s ——顶升管道顶面覆土厚度（m）。

12.4.2 顶升架管段应进行下部土体承载力验算，并应根据土体允许承载力确定顶升架尺寸。

12.4.3 顶升过程中，在安装管节或加顶升垫块时，应设置保险装置锁住顶升的管节，结束后顶升管节及时与管道连接保证

稳定。

13 顶管沉降估算

13.0.1 顶管引起的地面沉降宜简化为平面问题进行分析，主要有垂直于顶管顶进轴向方向沉降分析（简称横向沉降分析）和平行于顶管顶进轴向方向的沉降分析（简称纵向沉降分析）。

13.0.2 顶管引起的地面沉降，横向沉降分布可按下式估算：

$$S_{(x)} = S_{\max} \times \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \quad (13.0.2-1)$$

$$S_{\max} = \frac{V_s}{\sqrt{2p} \times i} \quad (13.0.2-2)$$

式中：x——顶进管道轴线的横向水平距离（m）；

i——地面沉降槽宽度系数（m）。一般取

$$i = \frac{H_s + D_1 / 2}{\sqrt{2p} \times \tan(45^\circ + f / 2)};$$

f——管顶土的内摩擦角；

H_s ——管顶至地面的覆土厚度（m）；

D_1 ——管道外径（m）；

$S_{\max}$ ——顶进管道轴线上方的最大地面沉降量（m）；

$S_{(x)}$ ——x 处的地面沉降量（m）；

V_s ——超挖量，可根据顶管机头的型式，直接按下表取值：

各种顶管机头的超挖量估算 表 13.0.2

机型	敞开式	多刀盘	土压平衡	泥水平衡
V_s	10~20%V	7~10%V	5~8%V	3~5%V

V——总挖量（m³）；

13.0.3 顶管引起的地面沉降可采用三维有限元进行分析，应符合

合下列要求：

1 计算模型的建立、必要的简化和计算与处理，应符合实际顶管工况。

2 应采用不少于两个合适的不同力学模型进行估算，并对其计算结构进行分析比较。

13.0.4 地面沉降应符合下列规定：

1 顶管造成的地面沉降不应造成道路开裂，大堤及地下设施毁坏和渗水。

2 顶管造成的地面沉降量不应超过下列规定：

（1）碾压式土石坝、堤：+10mm~-30mm

（2）公路：+10mm~-20mm

（3）顶管穿越铁路、地铁及其它对沉降敏感的地下设施时，累计沉降量尚应符合有关部门的规定。

3 当监测数据达到沉降限值 70% 时，应及时报警并启动应急事故处理预案。

14 顶管施工

14.1 一般规定

14.1.1 施工前应进行现场调查研究，并应对工程沿线有关工程地质、水文地质、地上与地下管线、建（构）筑物、障碍物及其它设施等周边环境情况的详细资料进行核实确认。

14.1.2 顶管施工前应熟悉施工图纸，掌握设计意图与要求，并应进行设计交底。

14.1.3 顶管施工前应编制施工组织设计，施工组织设计应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 工程的地质、水文条件及环境条件；
- 3 工程难特点分析与针对性措施；
- 4 施工现场总平面布置；
- 5 顶管机的选型；
- 6 顶管设备、系统的布置；
- 7 管内布置形式；
- 7 管材、接口连接与管道防水；
- 8 管节的内外防腐；
- 9 顶力估算及后座布置；
- 10 中继间的布置；
- 11 测量及纠偏方法；
- 12 顶管施工参数的选定；

- 13 触变泥浆的配制与管理；
- 14 顶管的通风系统、供电系统、通讯系统及监视系统；
- 15 进出洞措施；
- 16 环境监测与影响分析；
- 17 施工进度、机械设备、材料及劳动力安排计划；
- 18 安全、质量及文明施工措施；
- 19 应急处置措施及预案；
- 20 验收要求；
- 21 附图。

14.1.4 顶管工程所用的管材、中继间、构配件和主要原材料等产品进场应按照国家有关标准的规定进行验收。

14.1.5 顶管机、辅助配套装备必须经检验合格后再进入施工现场，并应进行单机、整机联动调试，按规定进行检查、维修和保养。

14.1.6 顶管施工中的测量应建立地面与地下测量控制系统，控制点应设在不易扰动、视线清楚、方便校核和易于保护的地方。

14.1.8 顶管工程应采用信息化施工，施工过程中，应详细记录顶力、轴线、高程等偏差数据，并绘制变化曲线图。

14.2 顶管机选型

14.2.1 顶管机的类型可根据工程地质条件、水文地质条件、周边环境等因素，并结合表 14.2.1 综合确定。

表 14.2.1 顶管机选用参考表

地层	敞开式顶管机	平衡式顶管机
----	--------	--------

		机械式	挤压式	人工挖掘	土压平衡	泥水平衡	气压平衡
	岩石			★		★★	★
无地下水	胶结土层、强风化岩	★★					
	稳定土层	★★		★			
	松散土层	★	★	★★			
地下水位以下地层	淤泥 $f_{ak} > 30\text{kPa}$		★		★★	★	★
	粘性土 含水量 $> 30\%$		★★		★★	★	★
	粉性土 含水量 $< 30\%$				★	★★	★
	粉性土				★	★★	★
	砂土 $k < 10^{-4}\text{cm/s}$					★★	★★
	砂土 $k < 10^{-4} \sim 10^{-3}\text{cm/s}$					★	★★
	砂砾 $k < 10^{-3} \sim 10^{-2}\text{cm/s}$					★	★
	含障碍物						★

注：1 ★★—首选机型；★—可选机型；空格—不宜选用；

2 f_{ak} 地基承载力特征值；k 土的渗透系数。

14.2.2 顶进土层单一时宜选用表中的“首选机型”；在复杂土层顶进时，应根据可能的土层选择“可选机型”或“首选机型”。

14.2.3 含卵石、砾石地层可选用具有相应破碎能力的泥水平衡顶管机。

14.2.4 地面沉降有严格要求时，应选择对正面阻力有精确计量装置的平衡式顶管机。

14.2.5 顶管机的刀盘，应能满足开挖面的土质要求，刀盘驱动扭矩应按下式计算。

$$T = a \times D_g^3 \quad (14.2.5)$$

式中： T ——刀盘驱动扭矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

a ——刀盘扭矩系数（ kN/m^2 ），泥水平衡式顶管机，刀盘扭矩系数宜大于 $14\text{kN}/\text{m}^2$ ；土压平衡式顶管机，刀盘扭矩系数宜大于 $16\text{kN}/\text{m}^2$ ；在较硬土层中，应根据地层情况增大刀盘扭矩系数；

D_g ——顶管机外径（ m ）。

14.2.6 刀盘驱动功率应按下式计算。

$$P = \frac{nT}{9.55m} \quad (14.2.6)$$

式中： P ——刀盘驱动功率（ kW ）；

T ——刀盘驱动扭矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

μ ——机械效率，建议取 70%；

n ——转速（ r/min ）。

14.3 辅助配套装备

14.3.1 导轨安装应符合下列规定：

- 1 导轨宜选用钢质材料制作；
- 2 导轨安装前，应先复核管道中心位置，导轨上管道中心标高应与穿墙管中心标高相对应；
- 3 两导轨安装应顺直、平行、等高，并应固定牢靠；
- 4 导轨对管道的中心线支承角宜为 60° ；

5 导轨安装的允许偏差应符合表 14.3.1 的规定。

表 14.3.1 导轨安装的允许偏差

序	项目	允许偏差 (mm)
1	轴线平面位置	±3
2	标 高	+3~0
3	轨道内距	±2

14.3.2 顶管后座安装应符合下列规定：

- 1 顶管可采用装配式后座或整体式后座；
- 2 顶管后座强度与刚度应满足要求；
- 3 顶管后座尺寸应满足顶管最大顶力扩散需要，确保工作井结构安全；
- 4 后座安装应与顶进轴线垂直，并应在顶进过程中适时测量复核。
- 5 装配式后座墙宜采用型钢、混凝土块或钢结构等组装；
- 6 后座墙土体壁面应与后座墙贴紧，有间隙时应采用砂石料填塞密实；

14.3.3 主顶配置和安装应符合下列规定：

- 1 千斤顶的规格和数量应根据实际需要的顶力、工作井允许顶力及管节允许顶力确定；
- 2 安装在支架上的千斤顶数量宜为偶数，规格应相同，并按管道轴线两侧对称布置，每只千斤顶均应与管轴线平行其合力的作用点应在管道中心的铅垂线上。
- 3 千斤顶的合力中心应低于管中心，其尺寸宜为管道外径的 1/10~1/8。

4 千斤顶应同步运行。

14.3.4 油泵站布置应符合下列规定：

- 1 油泵站应与千斤顶相匹配，并应有备用油泵，油泵流量应满足顶进要求；
- 2 油泵站宜设置在千斤顶附近，油管应顺直、转角少；
- 3 除遥控顶管外，主油泵的运行应受控于顶管机
- 4 油泵站安装完毕应进行试运转。

14.3.5 顶铁安装应符合下列规定：

- 1 顶铁应满足传递顶力、便于出泥和人员出入的需要；
- 2 顶铁的两个受压面应平整，互相平行；
- 3 宜采用“U”形或弧形刚性顶铁；
- 4 与管尾接触的环形顶铁应与管道匹配，顶铁与混凝土管或玻璃钢管之间应加木垫圈；

14.3.6 管道内部装置的布置应符合下列要求：

- 1 管道内部应遵循安全可靠及方便施工的原则进行布置；
- 2 管道内部通风装置宜设置在管道两侧，并应固定牢靠；
- 3 进水排泥装置宜设置在管道底部，进水排泥两路管道宜分不同颜色标识；
- 4 供电线路及通信线路可设置在同侧，便于设备供电。

14.4 顶力估算

14.4.1 顶进所需的总顶力可按下式估算：

$$F_0 = pD_1 L f_k + N_F \quad (14.4.1)$$

式中： F_0 ——总顶力标准值（kN）；

D_1 ——管道的外径（m）；

L ——管道设计顶进长度（m）；

f_k ——管道外壁与土的平均摩阻力（kN/m²），可参照本标准表 14.4.3；

N_F ——顶管机的迎面阻力（kN）。

14.4.2 不同类型顶管机的迎面阻力计算可按 14.4.2 表选用。

表 14.4.2 顶管机迎面阻力（ N_F ）的计算公式

顶管机型	迎面阻力（kN）	式中符号
挤压式	$N_F = \frac{p}{4} D_g^2 (1 - e) R_F$	e ——开口率
网格挤压	$N_F = \frac{p}{4} D_g^2 a R_F$	a ——网格截面参数， 可取 $a = 0.6 \sim 1.0$
气压平衡式	$N_F = \frac{p}{4} D_g^2 (a' R_F + P_n)$	P_n ——气压(kN/ m ²)
土压平衡和泥水平衡	$N_F = \frac{p}{4} D_g^2 P$	P ——控制土压力及泥水压力（kN/m ² ），一般取 $P = g_s \times (H_s + D_g)$
注： 1 D_g ——顶管机外径(m)； 2 R_F ——挤压阻力(kN/m ²)，可取 $R = 300 \sim 500$ kN/ m ² 。		

14.4.3 采用触变泥浆减阻的顶管，管壁与土的平均摩阻力可按表 14.4.3 采用。

表 14.4.3 触变泥浆减阻管壁与土的平均摩阻力（kN/m²）

土的种类		软粘土	粉性土	粉细土	岩石
触变泥浆	钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-11.0	1.0-3.0
	钢管	2.0-4.0	4.0-7.0	7.0-10.0	1.0-2.0

注：1 玻璃纤维增强塑料夹砂管可参照钢管乘以 0.8 系数采用。

2 采用其它减阻泥浆的摩阻力可通过试验确定。

14.4.4 当估算总顶力大于管材允许顶力设计值或工作井允许顶力设计值时，应设置中继间。

14.5 中继间

14.5.1 中继间的设置应根据估算总顶力、管材允许顶力、工作井允许顶力、中继间千斤顶总顶力和主顶千斤顶的顶力确定。

14.5.2 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%。长距离顶管施工，宜在顶管机后 20~50 米范围内加设中继间。

14.5.3 中继间布置宜按式（14.5.3）计算确定。

$$S_1 = k_d (F_1 - N_F) / (p D_1 f_k) \quad (14.5.3)$$

式中： S_1 ——中继间的间隔距离（m）；

k_d ——顶力系数，宜取 0.5~0.6；

F_1 ——控制顶力（kN）；

N_F ——顶管机的迎面阻力（kN），可按本规范表 14.4.2 选用；

D_1 ——管道的外径（m）；

f_k ——管道外壁与土的平均摩阻力（kN/m²），可参照表 14.4.3；

14.5.4 中继间的构造应符合下列规定：

- 1 中继间的允许转角宜为 0.4°~1.2°；
- 2 中继间的外径应和管道外径相同；
- 3 中继间千斤顶应予以固定，防止旋转；
- 4 中继间宜采用组合式密封形式，对于超深、长距离或砂性土层

中的顶管工程应采用组合式密封形式；

5 中继间的止水橡胶密封圈应耐磨，保养时应易于更换；

6 对于曲线顶管，中继间千斤顶应能够单独关闭及开启油路，使得中继间具有调整合力中心位置的能力；

7 中继间拆除经处理后的管道结构强度不应低于管道的结构强度；

8 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。

14.5.5 中继间各部件应满足功能要求，组装完成后应进行试运行，应检查合格后投入使用。

14.5.6 顶进过程中暂不启用的中继间应固定锁死。

14.5.7 中继间使用时应符合下列规定：

1 中继间应设置安全行程开关；

2 曲线顶管在曲线内启用中继间时，应预先向曲线内弧侧调整合力中心，并应在使用过程中调整。

3 中继间最大使用顶力不应超过其设计顶力的 90%。

4 应在主千斤顶顶力达到管材允许顶力的 80~90%之前启动中继间。

5 超长距离顶管的中继间应采用计算机联动控制。

14.5.8 顶进结束后应从顶管机向工作井方向逐环拆除中继间，拆除部位并应按设计要求进行处理，处理后的管道结构和防腐性能应符合设计要求。

14.5.9 混凝土管的中继间拆除后，应填充混凝土，使内表面与混凝土顶管内表面齐平，形成完整的管道，管道强度和防腐性能应符合管

道设计要求。

14.5.10 钢管顶管中继间拆除后应将中继间间体复原成管道，闭合时管内温度宜控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，中继间处的管道强度和防腐性能应满足管道原设计的功能要求。

14.6 进洞、出洞

14.6.1 顶管进洞、出洞的技术措施应根据工程地质和水文地质条件、埋深、周围环境和顶进方法选择，并应符合下列规定：

- 1 应保证顶管进、出洞和顶进过程中，洞圈周围的土体稳定；
- 2 应保证进、出洞轴线精度。
- 3 在地下水位以下的工作井，穿墙管应有临时封堵；无地下水的穿墙，应防止井外土体的坍塌。
- 4 穿墙管周围为粘性土且水头较高时，应提前安装好穿墙管止水装置，闷板开启后管道应迅速顶进。
- 5 穿墙管周围为粉土时，应降低地下水，并缩短穿墙时间。
- 6 穿墙管周围为淤泥质粘土时，应设置防管道回弹的措施。
- 7 穿墙管周围为砂土时，应加固穿墙管外的土体，降低渗透系数。

14.6.2 顶管进出洞的洞口土体宜进行加固，宜采用水泥土搅拌桩、高压喷射注浆、超高压喷射注浆、全方位高压喷射注浆、冰冻法及降水等一种或多种组合形式。

14.6.3 顶管洞口的加固效果应采用钻芯取样的方式进行检验，加固体的强度不宜小于 0.5MPa ，并应检查加固体的均匀性和防渗漏性能，进洞、出洞前应在洞门上打设探测孔，确认止水措施的有效性。

14.6.4 在软土地区，顶管机入土长度小于管道直径范围，应采取以下措施防止顶管机头部下沉：

- 1 导轨前端应尽量接近穿墙管，减少顶管机的悬臂长度。
- 2 穿墙作业应迅速连续不可停顿。
- 3 应在穿墙管内设置定心环。
- 4 出洞口段土体进行加固，加固长度宜大于顶管机长度。

14.6.5 顶管机出洞口时应符合下列要求：

1 封门拆除后应将顶管机立即顶入穿墙管内，检查、调整穿墙管止水装置，然后连续顶进，直至洞口及止水装置发挥作用为止；

2 在工作井穿墙管范围可预埋注浆管，顶管机顶入穿墙管后，对穿墙管与顶管机的间隙进行填充注浆，起到止水作用。

3 顶管机出洞时，管节柔性连接的，机头与后续 3 节~5 节管节应用拉杆相连。对特殊地段、下坡较大的顶进区段，机头与后续管节的连接应根据工程情况确定。

14.6.8 顶管进洞时应符合下列规定：

1 顶管机进洞前的 3 倍管径范围内，应减慢顶进速度，减小管道正面阻力对接收井的不利影响。

2 进洞口的临时闷板宜加水平支撑便于顶管机接近闷板。

3 接收洞轴线上可安装临时支架，防止顶管机头下落。

4 接收洞处于饱和砂土层时，应进行土体加固。

5 管道进洞后应按设计要求封闭接收洞，防止水土流入井内。

14.6.9 在含承压水的砂性土层中，顶管始发和接收时，宜采取降低

地下水的措施。当周边环境保护要求高时，顶管机接收宜采用水下进洞和钢套筒辅助进洞方式。

14.6.10 工作井内拼装管节时，主顶千斤顶在缩回前应对已顶进的管节进行临时限位固定。

14.7 管道顶进

14.7.1 顶管顶进过程中，为维持迎土面的稳定，宜采取下列措施，：

- 1 顶进过程中应检查排泥流量、送泥流量及掘进排土量，并应结合监测数据分析迎土面压力的变化情况，保持迎土面的稳定；
- 2 顶进过程中应控制顶进速率、泥浆性能等施工参数；
- 3 在管节拼装或维修期间应对顶管机压力舱进行补浆保压。

14.7.2 管道顶进时应符合下列规定：

- 1 顶管机在出洞口外侧土体加固区的初始顶进速度宜小于 10mm/min；
- 2 顶管机进入土层后正常顶进时，顶进速度宜小于 30mm/min；
- 3 顶管机初始土压力控制值和顶进速度应根据洞口外侧土体的加固强度和加固体积设定；
- 4 顶管机土压力控制值应根据选用的顶管机型确定，土压平衡式顶管机宜设定在静止水土压力值与被动土压力值之间；泥水平衡式顶管机宜设定在地下水压力值加 0.03 MPa。

14.7.3 管道顶进中的顶管机防磕头可采取如下措施：

- 1 调整后座主顶千斤顶的合力中心，用后座千斤顶进行纠偏；
- 2 土体承载力低于 100kPa 时，对于柔性接口的顶管，应将顶管机

后的 3 节~5 节管节用拉杆连成一体；

14.7.4 顶管顶进时，顶管机应备限止扭转的措施。顶管机及中继间应设管道扭转显示装置，管道扭转时宜采用单侧压重，或改变顶管机切削刀盘的转动方向进行纠正。

14.7.5 在流塑性土层和浅覆土中的长距离顶管，应防止管道纵向失稳。

14.8 测量与纠偏

14.8.1 顶管测量应包括地面控制点复测和地面控制网的布设、联系测量、地下平面、高程测量和贯通、竣工测量。首级控制点的复测和地面控制网的测量应符合精密导线测量的技术要求。

14.8.2 首级精密地面平面控制点不应少于 3 个，高程控制点不应少于 2 个。地面平面控制网应附合在首级精密导线点上，通视良好，并使定向具有最有利的位置。地面控制点的选点和测量应符合精密导线和二等水准测量的相关要求。

14.8.3 联系测量应包括地面导线测量、地面水准测量、定向测量和高程传递测量。联系测量应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的规定。

14.8.4 井上和井下定向的平面测量点应采用固定观测墩的形式。

14.8.5 定向和导入高程测量应在顶管每掘进 100m 复核一次，在距进洞前 50m 时应增加复核，数量不应少于 3 次。

14.8.6 顶进的首级控制点和复测贯通面洞门的控制点应为相同点。

14.8.7 管道贯通后应按设计要求进行竣工测量，并提交竣工测量成果表、竣工图和竣工测量报告。

14.8.8 长距离顶管和曲线顶管宜采用自动测量系统，并编制测量专项方案。

14.8.9 自动测量系统的施工应符合下列规定：

1 自动测量系统应由软件系统和硬件系统组成，软件系统应具备控制及测量数据处理功能，硬件系统应包括测量仪器、通讯线缆及接头等；

2 全站仪站点数量和位置应根据顶管线路及施工进度进行合理布置，并应进行软件预模拟；

3 测量初期应根据实际情况进行人工辅助，调整测量仪器和站点布置。

14.8.10 每顶进一节管节应测量一次顶管机的姿态偏差，超过允许值0.5倍时应及时纠偏，并应根据纠偏效果调整纠偏角度。顶管偏离轴线时，应按下述原则进行纠偏：

1 增加测量频率，纠偏角度不宜超过 0.3° ；

2 结合测量数据变化及工具管后跟进管节的张缝变化进行角度纠偏。

14.9 减阻措施

14.9.1 管道减阻可采用触变泥浆，石蜡、废油脂等非亲水性减阻剂。

14.9.2 膨润土触变泥浆可用于粘性土、粉质土和渗透系数不大于

10^{-5}cm/s 的砂性土。渗透系数大于 10^{-2}cm/s 的粗砂和砂砾层宜采用高分子化学泥浆。

14.9.3 膨润土触变泥浆配合比应根据试验确定，触变泥浆性能指标可按表 14.9.3 选用。泥浆应充分搅拌水化，泥浆搅拌完成宜放置 24h 后再行使用。

表 14.9.3 触变泥浆性能指标

比重 (g/cm^3)	静切力 Pa	黏度 s	滤失量 (ml/min)	稳定性	pH 值
1.02~1.60	100	>30	<25/30	静置 24 小时 无离析水	<10

14.9.4 地下水有酸或碱离子时，应就地采用地下水调配触变泥浆。

14.9.5 触变泥浆压注管路布置应符合下列规定：

- 1 顶进距离为 500m 以内的，宜采用一根总管、一套管路系统；
- 2 长距离顶管宜采用两根总管、两套管路系统和两种不同配方的浆液；
- 3 长距离顶管应在总管沿线设置中间接力泵站。

14.9.6 注浆泵可选用液压注浆泵、柱塞泵或螺杆泵。泵的压力和流量应能满足顶管管径、埋深与顶进长度的要求。总管宜采用直径 50mm 的钢管，支管宜采用直径 25mm 的耐压橡胶管。每个注浆孔处应设球阀，并应在管路上设置压力表。

14.9.7 顶管机尾部后方管节应设置不少于 4 个连续同步注浆断面，同步注浆量应根据实际情况确定。注浆压力应大于地下水压力。

14.9.8 注浆孔的间距宜自顶管机头至顶管井处由密到疏设置。钢管

预留注浆孔纵向间距一般可采用 10m~25m，混凝土管取 3~5 个管节。

每组压浆孔在同一横截面上设 2~6 个，管底不宜设注浆孔。

14.9.9 主注浆口的实际注浆量，对于粘性土和粉土应不大于理论注浆量的 1.5~3 倍，对于中粗砂层应大于理论压浆量的 3 倍以上。

14.9.10 管道在覆盖层较薄的流塑性土层中顶进，注浆量不宜过大，防止地面拱起及管道上浮。

14.9.11 注浆孔封堵应符合下列规定：

- 1 顶管顶进完成后，应对管节上的注浆孔进行封堵；
- 2 注浆孔封堵应采用弹性密封材料，密封胶与固化剂配比数量应经现场封堵试验确定；
- 3 胶粘剂宜按现场试验确定的重量比均匀混合，且配置后应立即使用；
- 4 注浆孔应封堵严密，不得出现渗漏。

14.10 管内弃土运输

14.10.1 管内弃土运输方式应根据管道内径、顶进长度和顶管机类型确定。

14.10.2 网格式及泥水平衡式顶管机排出的泥水应用管道输送方式排放。

14.10.3 土压平衡式顶管机，顶进距离较短时，宜采用螺旋输送机或运输小车排土；顶进距离较长时，宜采用泥水转换管道输送或排泥泵排放方式。

14.10.4 采用泥水排放出泥时，宜设置泥浆沉淀池。对砂性土层宜配

置泥水分离设备。

14.10.5 废弃泥浆必须经过处理才可排放，避免污染环境。

14.11 通风

14.11.1 管道内的通风系统应进行计算确定，并应设置通风装置及有毒有害气体检测报警装置，顶管施工全过程应采取通风措施。

14.11.2 送风口宜设在距顶管机 10m~15m 处。

14.11.3 管道内供气量不应小于每人 $25\text{m}^3/\text{h}$ ~ $30\text{m}^3/\text{h}$ ，出口空气质量应符合环境保护要求。

14.11.4 对小直径顶管、超长距离顶管宜采用压缩空气送风。

14.11.5 通风管应固定在工作井侧壁及顶管管道内壁侧边，并应不影响施工作业。

14.11.6 地面空气湿度较高且地面温度又高于地下温度的季节，应采用经除湿后的压缩空气通风。

14.12 供电

14.12.1 顶管施工现场临时用电输出端宜分成 3 路，分别为地面供电系统、井下顶进系统及顶管机系统用电。

14.12.2 顶管施工供电系统应进行计算确定。顶管施工现场临时用电应符合国家现行标准《建设工程施工现场供用电安全规范》GB 50194 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 以及相关高压用电规范的规定。

14.12.3 超长距离顶管施工宜采用高压供电。高压供电应在井下设置带零序继电保护的高压操作电柜，管内变压器高低压侧应配备单独的

操作开关。

14.12.4 超长距离顶管供电设置应符合下列规定：

- 1 超长距离顶管应配置足够容量的动力电源；
- 2 供电设置应采用高压进线或调压措施；
- 3 高压电缆及变压器投入使用前应进行检测；

4 超长距离顶管供电宜采用 150mm² 软电缆，每隔 200m 应设 1 只控制电箱。

14.12.5 管内电缆线路应采用架空敷设，严禁沿管道内底面明设，并应避免机械损伤和腐蚀。若采用高压供电，应与低压电缆分开单独走线，并且应做醒目安全标识。

14.12.6 井内与管内照明应符合下列规定：

- 1 井内与管内照明应使用特低电压照明变压器，电源电压不应大于 36V；
- 2 潮湿和易碰触带电体的照明，电源电压不应大于 24V；
- 3 特别潮湿环境或钢顶管内的照明，电源电压不应大于 12V；
- 4 照明变压器应使用双绕组型安全隔离变压器，严禁使用自耦变压器。

14.12.7 管道内应设有应急照明系统，应急照明宜安装在顶管机和中继间处。

14.12.8 管内供电系统应配备防触电、漏电保护装置。

14.12.9 配电系统应设置总配电箱、分配电箱和开关箱，每台用电设备应设置独立开关箱。

14.12.10 井外地面箱式变压器、井下高压操作电柜、管内降压变压器均应设置可靠的安全接地，同时接地电阻系数应能满足使用要求。

14.13 减少地面沉降措施

14.13.1 在不稳定土中应选择有平衡功能的顶管机，不应采用敞开式挖掘顶管。

14.13.2 建立试顶区段，根据地面沉降的监测结果，及时修正顶管机的施工参数，指导标准段的顶进。

14.13.3 顶管施工时，应采取以下措施：

- 1 减少顶管机外径与管道外径的间隙，即减少减阻泥浆套的厚度。
- 2 顶管轴线宜笔直，不应采用大角度纠偏。
- 3 严格控制出泥量，不可超量出泥。

14.13.4 在道路下顶进，当路下沉量超过 10mm，应钻孔取样检查土体孔隙变化。

14.13.5 顶进贯通后，应及时对管道外的空隙进行填充、固化处理。可采用水泥砂浆、粉煤灰+水泥砂浆等易于固结或稳定性较好的浆液置换泥浆。

15 顶管监测

15.1.1 顶管施工应根据设计要求、工程特点及有关规定，对顶管沿线影响范围内的地表、邻近建（构）筑物及地下管线设置观测点进行监测。监测的信息应及时反馈，发现问题应及时处理。

15.1.2 施工监测的范围应包括地面以上和地面以下两大部分。地面以上应监测地面沉降和地面建筑物的沉降、位移和损坏。地面以下应监测在顶管扰动范围内的地下构筑物、各种地下管线的沉降、水平位移及漏水、漏气。

15.1.2 施工监测的重点应放在邻近建筑物（构筑物）、堤岸及可能引起严重后果的地下管线及其它重要设施。

15.1.3 设置监测点时，应避开各种可能对其产生影响的因素，以确保不被损坏。

15.1.4 观察裂缝应记录地面和结构裂缝的生成时间、裂缝的长度及宽度发展状况。

15.1.5 所有监测点须在顶管施工开始前进行埋设、布置。

15.1.6 观测点应定时测定，测定数据应保持连续、真实、可靠。

16 顶管验收

16.1 管材验收标准

16.1.1 钢管管节的几何尺寸允许偏差应符合表 16.1.1 的规定。

表 16.1.1 钢管几何尺寸允许偏差 (mm)

序	项目	允许偏差
1	周长	$\pm 3/1000 D_1$
2	椭圆度	管端部位 $1/200 D_1$ ，其它部位 $1/100 D_1$
3	端口平整度	$1/1000 D_1$ ，且不应大于 1.5
4	弧度	用弧长 $\frac{p}{6} D_1$ 的弧形板量测于管内壁或外壁纵缝处形成的间隙，其间隙不大于 $0.1 t_1 + 2\text{mm}$ ，且不大于 4mm，距管端 200mm，纵缝处间隙不大于 2mm

注：1 D_1 为管道外径 (mm)， t_1 为管壁实际厚度 (mm)；

2 椭圆度为同一横截面上互相垂直的最大直径与最小直径之差 (mm)。

16.1.2 钢管管节焊接的允许偏差应符合表 16.1.2 的规定。

表 16.1.2 钢管焊接的允许偏差 (mm)

序	项目	允许偏差	
1	咬边	深度	≤ 0.5
2		长度	≤ 100
3	表面余高	≤ 4	
4	相邻管节错位	≤ 2	
5	纵缝间隙	$-2 \sim +1$	

16.1.3 钢筋混凝土管管节、管节接口尺寸的允许偏差应符合表 16.1.3 的规定。

表 16.1.3 钢筋混凝土管拼装几何尺寸允许偏差 (mm)

公称内径 D_0	管节			管节接口				
	D_0	t	l_2	D_3	D_4	D_5	L_4	L_5
800	+4 -8	+8 -2	+18 -10	± 2	± 2	± 2	± 3	± 2
900~1500	+6 -10	+10 -3	+18 -12	± 2	± 2	± 2	± 3	± 2

1600~2400	+8 -12	+12 -4	+18 -12	±2	±2	±2	±3	±2
2600~4000	+10 -14	+14 -5	+18 -12	±2	±2	±2	±3	±2

注： D_0 —公称内径； t —管壁厚度； l_2 —管节长度；

D_3 —插口端凹槽处（粘止水橡胶密封圈）外径； D_4 —插口端外径；

D_5 —钢承口内径； L_4 —插口端长度； L_5 —钢承口端长度。

16.1.4 钢筋混凝土管道端面倾斜的允许偏差应符合表 16.1.4 的规定。

表 16.1.4 钢筋混凝土管端面倾斜允许偏差（mm）

序	公称内径 D_0	允许偏差
1	<1200	≤3
2	1200~3000	≤4
3	≥3000	≤5

16.1.5 钢筋混凝土管的内、外表面应平整、无裂纹、蜂窝、塌落、露筋、空鼓，钢套环尺寸应符合设计要求。

16.1.6 钢筋混凝土管插口橡胶密封圈槽口处的混凝土表面应平整、密实。当槽口处有气孔、裂纹和合缝漏浆缺陷时，应进行修补。

16.1.7 钢筋混凝土管的钢套环与管身之间应设置遇水膨胀橡胶条，遇水膨胀橡胶条的材料应经检测并符合设计要求。

16.1.8 预应力钢筒混凝土管的制作除应符合现行国家标准《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685 的有关规定外，其承插口、管身尺寸的允许偏差还应符合表 16.1.8-1、16.1.8-2 的规定。

表 16.1.8-1 预应力钢筒混凝土管承插口允许偏差（mm）

序	项 目		指 标
1	承口	内径 B_b	+1.0~+0.2

2		长度 E	± 2
3		局部圆度	$+0.0 \sim +2.0$
4	插口	内径 B_s	$-0.2 \sim -1.0$
5		长度 C	± 3
6		槽深 c	± 0.75
7		局部圆度	± 2.5
8	承、插口椭圆度		0.5%或 12.7mm (取小值)

表 16.1.8-2 预应力钢筒混凝土管管身尺寸允许偏差 (mm)

序	项 目	指 标
1	公称内径 D_0	± 8
2	管道外径 D_1	± 2
3	管壁厚度 t	± 6
4	管道总长	± 6
5	管道端面倾斜度	≤ 5
6	管道弯曲度	5
7	管外壁局部圆度	± 3.0

16.1.9 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管制作精度应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料顶管》GB/T 21492 的规定。

16.1.10 球墨铸铁顶管的制作除应符合现行国家标准《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》GB/T 13295 的有关规定外，其管身外径的允许偏差还应符合表 16.1.10 的规定。

表 16.1.10 球墨铸铁顶管管身尺寸允许偏差 (mm)

公称内径	管道外径 D_1		公称内径	管身外径 D_1	
	公称值	公差		公称值	公差
700	853	± 10	1500	1714	± 10

800	959	±10	1600	1825	±10
900	1067	±10	1800	2047	±10
1000	1173	±10	2000	2266	±10
1100	1274	±10	2200	2486	±15
1200	1400	±10	2400	2706	±15
1400	1604	±10	2600	2926	±15

16.2 顶进施工验收标准

16.2.1 管道允许偏差应符合表 16.2.1 的规定。

表 16.2.1 顶管施工贯通后管道的允许偏差 (mm)

检查项目				允许偏差（mm）		检查数量		检查方法		
				柔性接口	焊接接口 钢管	范围	点数			
1	直线顶管 水平轴线	顶进长度<300m		50	100	每管节	1点	用经纬仪测量或挂中线 用尺量测		
		300m≤顶进长度<1000m		100	200					
		顶进长度≥1000m		L/10	L/10+100					
2	直线顶管 内底高程	顶进长度 <300m	D ₁ <1500	+30， -40	+60， -60					用水准仪或 水平仪测量
			D ₁ ≥1500	+40， -50	+80， -80					用水准仪测量
		300m≤顶进长度<1000m		+60， -80	+100， -100					
		顶进长度≥1000m		+80， -100	+150， -（L/10+100）					
3	曲线顶管 水平轴线	R ₁ ≤150D ₁	水平曲线	150	——				用经纬仪测量	
			竖曲线	150						
			复合曲线	200						
		R ₁ >150D ₁	水平曲线	150						
			竖曲线	150						
			复合曲线	150						
4	曲线顶管 内底高程	R ₁ ≤150D ₁	水平曲线	+100， -150	——				用水准仪测量	
			竖曲线	+150， -200						
			复合曲线	±200						
		R ₁ >150D ₁	水平曲线	+100， -150						
			竖曲线	+100， -150						
			复合曲线	±200						
5	相邻管间错口	柔性接口		混凝土管	15%壁厚， 且≤20				用钢尺量测	
				玻璃钢管	≤2					
		焊接接口钢管		≤2						

6	混凝土管、玻璃钢管曲线顶管相邻管 间接口的最大与最小间隙之差	$\leq \Delta S$			
7	钢管、玻璃钢管道竖向变形	$\leq 0.03 D_1$			
8	相相对顶时相邻管道两端口的错口	50			

注：1 D_1 为管道外径（mm）；L为顶进长度（m）； ΔS 为柔性接口管道曲线顶管的相邻管节接口允许的最大间隙与最小间隙之差（mm），一般可取 1/2 的木垫圈厚度； R_1 为曲线顶管的设计曲率半径（mm）；

2 混凝土管包括钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管。

16.2.2 水平管道垂直顶升施工的允许偏差应符合表 13.2.2 的规定。

表 13.2.2 水平管道内垂直顶升施工的允许偏差（mm）

检查项目			允许偏差	检查频率		检查方法
				范围	点数	
1	顶升管帽盖顶面高程		±20	每根	1 点	用水准仪测
2	顶升管 管节安 装	管节垂直度	≤ 1.5‰H	每节	各 1 点	用垂线量
		管节连接端面平行度	≤ 1.5‰D ₁ ， 且 ≤ 2			用钢尺、角 尺等量
3	顶升管节间错口		≤ 20			
4	顶升管道垂直度		0.5 % H	每根	1 点	用垂线量
5	顶升管的中 心轴线	沿水平管纵向	30	各 1 点	各 1 点	用经纬仪、 钢尺测
		沿水平管横向	20			
6	开口管顶升 口中心轴线	沿水平管纵向	40	每处	1 点	
		沿水平管横向	30			
注：H 为垂直顶升管总长度（mm）；D ₁ 为垂直顶升管外径（mm）。						

附录 A 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数

A.0.1 柔性管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数可按表 A.0.1 采用。

表 A.0.1 最大弯矩系数和竖向变形系数

项目	弯矩系数			变形系数
	管道自重 k_{gm}	竖向土压力 k_{vm}	管内水重 k_{wm}	竖向压力 k_b
系数	0.083	0.138	0.083	0.089
注：基础支承角取 $2\alpha = 120^\circ$ 。				

附录 B 刚性管道在各种荷载作用下的内力系数

B.0.1 刚性管道的内力系数 K_{mi} 、 K_{ni} (图 B.0.1-1), 可按表 B.0.1 采用。

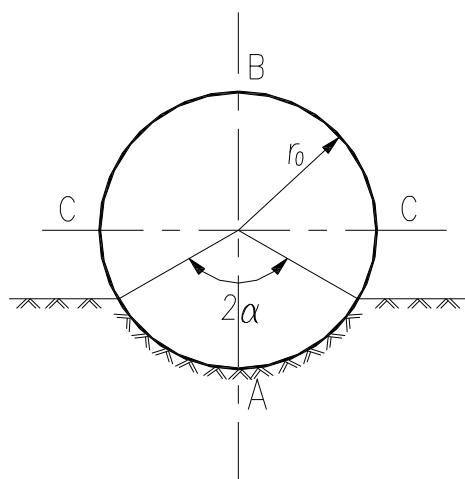
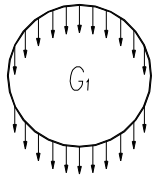
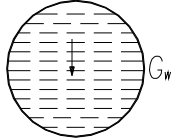
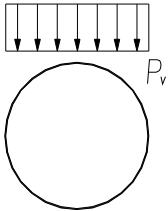
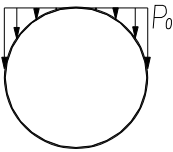
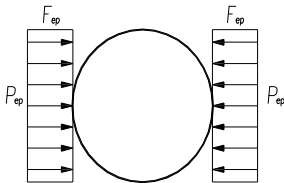


图 B.0.1 计算简图

表 B.0.1 圆形刚性管的内力系数（基础支承角 $2\alpha = 120^\circ$ ）

荷载类别	管自重						管内满水重					
	 $P_{G_1} = G_1$						 $P_{G_w} = G_w$					
内力系数	k_{mA}	k_{mB}	k_{mC}	k_{nA}	k_{nB}	k_{nC}	k_{mA}	k_{mB}	k_{mC}	k_{nA}	k_{nB}	k_{nC}
	0.100	0.066	-0.076	0.236	-0.048	0.250	0.100	0.066	-0.076	-0.240	-0.208	-0.069

荷载类别	垂直均布荷载						管上腔内土重						侧向主动土压力					
	 P_v						 $P_0 = 0.1073g_s D_1^2$						 $P_{ep} = F_{ep} D_1$					
内力系数	k_{mA}	k_{mB}	k_{mC}	k_{nA}	k_{nB}	k_{nC}	k_{mA}	k_{mB}	k_{mC}	k_{nA}	k_{nB}	k_{nC}	k_{mA}	k_{mB}	k_{mC}	k_{nA}	k_{nB}	k_{nC}
	0.154	0.136	-0.138	0.209	-0.021	0.500	0.131	0.072	-0.111	0.258	-0.070	0.500	-0.125	-0.125	0.125	0.500	0.500	0

附录 C 地面车辆荷载对管道作用标准值的计算方法

C.0.1 地面车辆荷载对管道上的作用，包括地面行驶的各种车辆，其载重等级、规格型式应根据地面运行要求确定。

C.0.2 地面车辆荷载传递到埋地管道顶部的竖向压力标准值，可按下列方法确定：

1 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力标准值可按下列式计算（图 C.0.2-1）：

$$q_{vk} = \frac{Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)} \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中 q_{vk} ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值（ kN/m^2 ）；

$Q_{vi,k}$ ——车辆的 i 个车轮承担的单轮压标准值（ kN ）；

a_i —— i 个车轮的着地分布长度（ m ）；

b_i —— i 个车轮的着地分布宽度（ m ）；

H ——自车行地面至管顶的深度（ m ）。

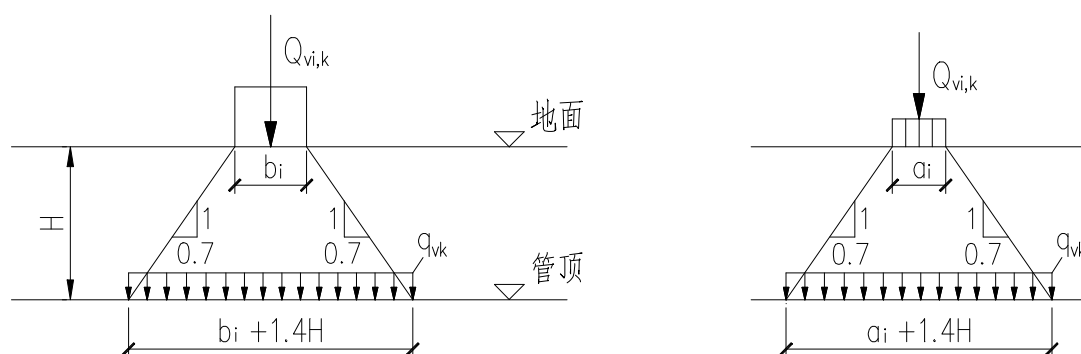


图 C.0.2-1 单个轮压的传递分布图

（a）顺轮胎着地宽度的分布；（b）顺轮胎着地长度的分布

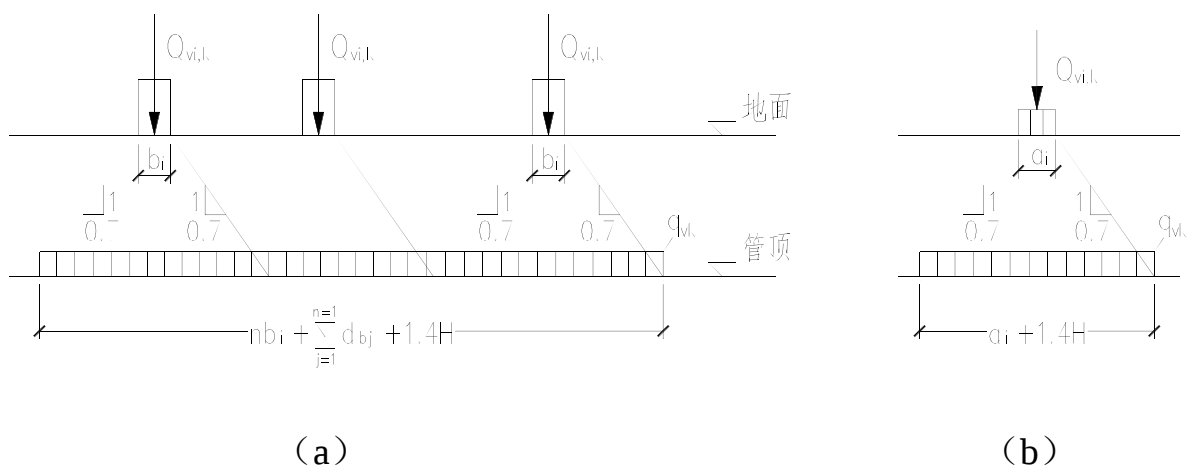


图 C.0.2-2 两个以上单排轮压综合影响的传递分布图

(a) 顺轮胎着地宽度的分布；(b) 顺轮胎着地长度的分布

2 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值，可按下式计算（图 C.0.2-2）：

$$q_{vk} = \frac{nQ_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{bj} + 1.4H)} \quad (C.0.2-2)$$

式中 n ——轮胎的总数量；

d_{bj} ——沿车轮着地分布宽度方向，相邻两个车轮间的净距（m）。

3 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值，可按下式计算：

$$q_{vk} = \frac{\sum_{i=1}^g Q_{vi,k}}{(\sum_{i=1}^{m_a} a_i + \sum_{j=1}^{m_a-1} d_{aj} + 1.4H)(\sum_{i=1}^{m_b} b_i + \sum_{j=1}^{m_b-1} d_{bj} + 1.4H)} \quad (C.0.2-3)$$

式中 m_a ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数；

m_b ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数；

d_{bj} ——沿车轮着地分布长度方向，相邻两个车轮间的净距（m）。

C.0.3 当刚性管道为整体式结构时，地面车辆荷载的影响应考虑结构的整体作用，此时作用在管道上的竖向压力标准值可按下式计算（图 C.0.3）：

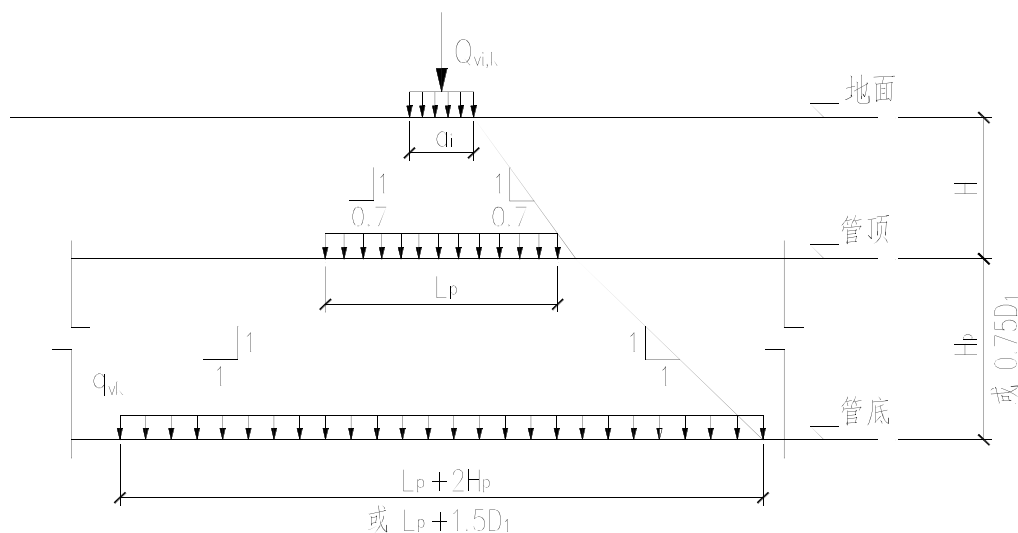


图 C.0.3 考虑结构整体作用时
车辆荷载的竖向压力传递分布

$$q_{ve,k} = q_{vk} \frac{L_p}{L_e} \quad (\text{C.0.3})$$

式中 $q_{ve,k}$ ——考虑管道整体作用时管道上的竖向压力（kN/m²）；

L_p ——轮压传递到管顶处沿管道纵向的影响长度（m）；

L_e ——管道纵向承受轮压影响的有效长度（m），对圆形管道可取 $L_e = L_p + 1.5D_1$ ；对矩形管道可取 $L_e = L_p + 2H_p$ ， H_p 为管道高度（m）。

附录 D 钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受拉（压）状态时的最大裂缝宽度计算

D.0.1 受弯、大偏心受拉或受压构件的最大裂缝宽度，可按下列公式计算：

$$w_{\max} = 1.8y \frac{s_{sq}}{E_s} (1.5c + 0.11 \frac{d}{r_{te}}) (1 + a_1) \times n \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$y = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{p_{te} s_{sq} a_2} \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中 $w_{\max}$ ——最大裂缝宽度（mm）；

y ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数，当 $y < 0.4$ 时，应取 0.4；当 $y > 1.0$ 时，应取 1.0；

s_{sq} ——按长期效应准永久组合作用计算的截面纵向受拉钢筋应力（N/mm²）；

E_s ——钢筋的弹性模量（N/mm²）；

c ——最外层纵向受拉钢筋的混凝土净保护层厚度（mm）；

d ——纵向受拉钢筋直径（mm）；当采用不同直径的钢筋时，应取 $d = \frac{4A_s}{u}$ ； u 为纵向受拉钢筋截面的总周长（mm）；

r_{te} ——以有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率，即 $r_{te} = \frac{A_s}{0.5bh}$ ； b 为截面计算宽度，

h 为截面计算高度； A_s 为受拉钢筋的截面面积

(mm²), 对偏心受拉构件应取偏心力一侧的
钢筋截面面积;

a_1 ——系数, 对受弯、大偏心受压构件可取 $s_1=0$; 对

$$\text{大偏心受拉构件可取 } s_1 = 0.28 \frac{1}{\frac{e_0}{h_0} + 1};$$

n ——纵向受拉钢筋表面特征系数, 对光面钢筋应取
1.0; 对变形钢筋应取 0.7;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²);

a_2 ——系数, 对受弯构件可取 $a_2=1.0$; 对大偏心受压

构件可取 $a_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}$; 对大偏心受拉构件可取

$$a_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0}。$$

D.0.2 受弯、大偏心受压、大偏心受拉构件的计算截面纵向
受拉钢筋应力 s_{sq} , 可按下列公式计算:

1 受弯构件的纵向受拉钢筋应力

$$s_{sq} = \frac{M_q}{0.87 A_s h_0} \quad (D.0.2-1)$$

式中 M_q ——在长期效应准永久组合作用下, 计算截面处的
弯矩 (N·mm);

h_0 ——计算截面的有效高度 (mm);

2 大偏心受压构件的纵向受拉钢筋应力

$$s_{sq} = \frac{M_q - 0.35 N_q (h_0 - 0.3 e_0)}{0.87 A_s h_0} \quad (D.0.2-2)$$

式中 N_q ——在长期效应准永久组合作用下，计算截面上的纵向力（N）；

e_0 ——纵向力对截面重心的偏心距（mm）；

3 大偏心受拉构件的纵向钢筋应力

$$\sigma_{ls} = \frac{M_q - 0.5N_q(h_0 - a')}{A_s(h_0 - a')} \quad (\text{D.0.2-3})$$

式中 a' ——位于偏心力一侧的钢筋至截面近侧边缘的距离（mm）。

本规范用词说明

一. 为便于执行本规范条文时区别对待,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:

正面词采用“可”;

反面词采用“不可”。

二. 条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 3 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 4 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB50068
- 5 《给水排水管道工程施工及验收规范》 GB50268
- 6 《给水排水工程管道结构设计规范》 GB50332
- 7 《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》
GB/T11345
- 8 《混凝土和钢筋混凝土排水管》 GB/T11836
- 9 《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》 GB/T13295
- 10 《预应力钢筒混凝土管》 GB/T 19685
- 11 《玻璃纤维增强塑料夹砂管》 GB/T21238
- 12 《玻璃纤维增强塑料顶管》 GB/T21492
- 13 《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/T21873
- 14 《给水排水工程埋地管芯缠丝预应力混凝土管和预应力
钢筒混凝土管管道结构设计标准》 CECS140
- 15 《给水排水工程埋地钢管管道结构设计标准》 CECS141
- 16 《给水排水工程埋地铸铁管管道结构设计标准》 CECS
142
- 17 《给水排水工程埋地预制混凝土圆形管管道结构设计标

准》 CECS143

18 《给水排水工程埋地玻璃纤维增强塑料夹砂管管道结构设计标准》 CECS190

19 《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》 J 462

20 《市政工程勘察规范》 CJJ56

给水排水工程顶管技术规程

条文说明

2020 上海

目 次

1 总则	108
3 顶管工程地质调查与勘探	109
3.1 一般规定	109
3.2 布孔要求	109
3.3 地下勘察	110
3.4 勘察报告	110
3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求	111
3.6 工程物理勘探	111
4 管材选用及管件构造要求	113
4.1 管材选用	113
4.2 钢管	113
4.3 钢筋混凝土管	115
4.4 预应力钢筒混凝土管	116
4.5 球墨铸铁管	116
4.6 玻璃纤维增强塑料夹砂管	116
5 顶管管线设计	117
5.1 顶管管位选择	117
5.2 顶进土层选择	117
5.3 顶管间距	118
5.4 管顶覆盖层厚度	118
6 顶管管道上的作用	119

6.2	永久作用标准值	119
6.3	可变作用规程值及其准永久值系数	119
7	顶管结构基本设计规定	121
7.1	一般规定	121
7.2	承载能力极限状态计算	122
7.3	正常使用极限状态验算	123
8	承载能力极限状态计算	124
8.1	管道强度计算	124
9	正常使用极限状态验算	126
10	顶管井	127
10.2	顶管井围护形式	127
10.3	工作井尺寸要求	127
10.5	穿墙孔、接收孔尺寸要求	128
10.6	穿墙管止水装置	128
11	顶管允许顶力计算	130
11.1	管道管材允许顶力计算	130
12	特种顶管	134
12.1	曲线顶管	134
12.2	矩形顶管	134
12.3	岩石顶管	136
12.4	垂直顶升	136
13	顶管沉降估算	137

14 顶管施工	139
14.2 顶管机	139
14.3 辅助配套设备	142
14.4 顶力估算	144
14.5 14.5 中继间	146
14.6 14.6 进洞、出洞	147
14.7 管道顶进	149
14.8 测量与纠偏	149
14.9 减阻措施	150
14.10 管内弃土运输	153
14.11 通风	154
14.12 供电	155
14.13 减少地面沉降措施	155

Contents

1 General principles	81
3 Geological investigation.....	82
3.1 General requirements.....	82
3.2 Underground water investigation	82
3.3 Hole arrangement requirements	82
3.4 Geological investigation reports	83
3.5 General requirements for geotechnical physics-mechanics index supply	83
3.6 Geophysical exploration	84
4 Material selection and detailing requirements of pipe	85
4.1 Material selection of pipe	85
4.2 Steel tube	85
4.3 Reinforced concrete tube	87
4.4 Pccpe	88
4.5 Ductile iron pipe	88
4.6 Rpmp	88
5 Pipeline design.....	89
5.1 Location selection of pipe jacking	89
5.2 Jacking soil layer selection.....	89
5.3 Pipe jacking spacing.....	89
5.4 Thickness of covering layer	90
6 Action on the jacking pipe.....	91

6.2 Characteristic value of permanent action	91
6.3 Characteristic value of variable action and coefficient of its quasi-permanent value	91
7 Structural basic requirements	92
7.1 General requirements	92
7.2 Ultimate limit states.....	93
7.3 Serviceability limit states	123
8 Ultimate limit states design.....	95
8.1 Calculation of pipe strength	95
9 Checking of serviceability limit states	96
10 Pipe jacking shaft.....	97
10.2 Structure selection	97
10.3 Size determination of working shaft	97
10.6 Sealing device for penetrating wall pipe.....	97
11 Allowance jacking pressure design.....	100
11.1 Total jacking pressure estimate.....	100
11.2 Calculation of pipe material's allowance jacking pressure.....	100
11.4 Intermediate station	104
12 Special pipe jacking.....	106
12.1 Jacking in curve	106
12.2 Rectangle pipe jacking	106
12.3 Rock pipe Jacking	106
12.4 Vertical jacking	106

13 Settlement estimate 109

1 总则

1.0.2 本规程主要针对口径 DN800 及以上，采用顶管机掘进的顶管工程。由于微型顶管（一般口径 DN300~DN800）及人工掘进式顶管问题较多，本规程难以概括，有关单位在设计和施工中可以参照本规程某些章节，但应根据具体情况进行修正。

1.0.3 钢管、钢筋混凝土和玻璃纤维增强塑料夹砂管运用已日臻成熟。球磨铸铁管和预应力钢筒混凝土管是这几年来新兴的顶管管材，通过多个工程运用，技术成熟，因此纳入本规程。矩形顶管一直运用于轨道交通的联络通道、这几年来在综合管廊、排水箱涵中运用较多，因此也纳入本规程。目前承插式钢管顶管已经开始研发、运用，由于工程案例较少，暂时不列入本规程。

1.0.4 在冻土地区顶管应在冻结深度以下进行，在膨胀土地区顶管应避开地下水变化的土层。并应按照现行国家标准和强制性条文的有关规定执行。

3 顶管工程地质调查与勘探

3.1 一般规定

3.1.2 对顶管区段的勘察目的：

1 应查明地层结构特征及各类土的空间分布，供顶管选位参考，发现不稳定土层应特别提示。

2 对管道沿线分布的暗浜(塘)，宜在调查的基础上有针对性地采用小螺纹孔查明其分布情况；对管道穿越的明浜(塘)，应进行河床断面测量，提供地表水水位及淤泥厚度等。避免顶管处于软硬极不均的土层上或管顶覆土不足引起管道上拱。

4 当有地下障碍物，应查明障碍物范围、埋深和特性。

5 地下存在沼气及其它有毒有害物质时，应查明分布范围、埋深和特性。

6 在化工厂区地下顶管时，查明酸碱和油脂的污染程度。供设计单位对管材选用和防腐处理作参考。

3.2 布孔要求

3.2.2 工作井和接收井的勘探孔间距应视井的尺寸大小而有所不同。如同泵站结合施工在一起的大尺寸工作井，孔距一般控制在 30m 左右，而长度小于 30m 的小尺寸工作井至少设 2 个孔，矩形井一般宜对角设置，必要时设 4 个孔。

3.2.4 勘探孔布置在轴线两侧，不要布置轴线上，以避免对顶管施工造成不利影响。

3.2.5 本条参照《市政工程勘察规范》CJJ56-2012，场地条件复杂程

度等级见表 1。

表 1 场地复杂程度等级

等级	场地复杂程度	划分依据
一级	复杂	地形地貌复杂；抗震危险地段；不良地质作用强烈发育；地质环境已经或可能受到强烈破坏；地下水对工程的影响大；周边环境条件复杂
二级	中等复杂	地形地貌较复杂；抗震不利地段；不良地质作用一般发育；地质环境已经或可能受到一般破坏；地下水对工程的影响一般；周边环境条件中等复杂
三级	简单	地形地貌简单；抗震一般或有利地段；不良地质作用不发育；地质环境基本未受破坏；地下水对工程无影响；周边环境条件简单

注：1 等级划分只需满足划分依据中任何一个即可；
2 从一级开始，向二级、三级推定，以最先满足的为准。

3.3 地下勘察

3.3.1 地下水勘察时的水位不是最高水位也不是最低水位。最高水位和最低水位应向当地水文部门查询。

3.3.2 地下水温度或土体温度对顶管设计很重要，影响管道中继间的闭合温度，应当在勘察报告中提供。

3.3.4 地下的承压水有可能威胁顶管施工的安全，特别应准确提供必要的

数据。

3.4 勘察报告

3.4.1 勘察报告内容应根据任务要求，勘察区域的地理、地质特征和工程地质环境特征，以及市政工程建设项目的具体情况确定。为便于工作，本规程规定了勘察报告内容的基本要求，这些内容可根据上述原则作适当增减。对地质条件简单和勘察工作量小的工程，勘察报告可适当简化，采用图表形式，并附必要的文字说明。

3.5 提供岩土物理力学指标的基本要求

3.5.1~3.5.3 本规程要求提供的物理力学的基本要求,是针对顶管工程的必需资料。勘察部门编写勘察报告时应参照勘察行业的有关规范编写。3.5.2 条和 3.5.3 条所列的土层和岩石层物理力学系数是顶管设计和施工的必需参数,不同于一般的工程勘察项目。

本章的内容主要参考了国家行业规程《市政工程勘察规范》(CJJ56-2012)。

3.5.3 目前国内规范,划分岩石的坚硬程度是以饱和单轴抗压强度为依据,但是,对于顶管工程来说,判断能不能顶管,顶管机的选型,岩石的天然单轴抗压强度更加符合顶管的实际工况,因此地质报告要求一定要提供岩石的天然单轴抗压强度。岩石顶管不同于土层顶管,顶管机迎面切削的碎削;顶进过程中,泥浆套周边剥落的岩石碎削,会严重影响顶管顶进,引起卡管、破坏管道外防腐层,因此,必须进行岩石的完整程度分类,以便引起施工单位的重视。

3.6 工程物理勘探

3.6.1 顶管属于非开挖工程,顶管区段沿线的地下障碍物,直接影响顶管实施的可行性,因此建议初步设计阶段前就进行工程物理勘探。

3.6.2 物探应查明顶管区段沿线范围内说明管材类型,河道规划、现状深度、宽度,建(构)筑物结构型式、基础型式、埋深,地下障碍物的类型。

3.6.3 本条根据上海市青草沙水源地原水工程和黄浦江上游水源地连通管工程的物探要求提出,并在各地工程中也提出类似要求,根据

工程实践表明，能够满足顶管施工要求。

4 管材选用及管件构造要求

4.1 管材选用

给水工程常用钢管，排水工程常用钢筋混凝土管。目前，各地玻璃纤维增强塑料夹砂管运用已日臻成熟，在排水工程中已普遍使用；在给水管工程中也运用，如长江三期引水工程中，顶管最大口径 DN2300。预应力钢筒混凝土管 JPCCP 在顶管工程中也有运用，如 2014 年黄浦江上游水源地闵奉原水支线工程，采用预应力钢筒混凝土管顶管，管道口径 DN3000，目前已经完成一次顶进长度 273m 和 829m，试压合格。球墨铸铁管顶管应用也越来越广泛，在河南郑州、江苏宜兴、陕西西安、浙江慈溪、安徽铜陵、上海等都有成功的工程案例。如上海迪斯尼乐园的配套工程南六公路污水支线 DN1400 顶管工程，双管顶管，两管中心间距 3.0 m，累计顶进长度 500m，一次最大顶进长度 180m，设计工作压力位 0.20 Mpa，该工程于 2016 年 3 月 18 日顺利完工，打压一次性通过。

4.2 钢管

4.2.1 参见《钢结构设计规范》(GB 50017-2003) 条文说明的 3.3.2 条第 6 款：对于焊接结构中，焊接性能主要取决于碳含量，碳的合适含量宜控制在 0.12%~0.20%之间，超出该范围的幅度愈多，焊接性能变差的程度愈大。因此对于承压的焊接钢管应具有碳含量的合格保证。而国家规范《碳素结构钢》GB/T 700 明确规定，A 级钢的碳含量不作为交货条件，也就是说，Q235A 级钢用于重要的焊接结构，发生事故后，钢材生产厂在法律上是不负任何责任的。因此对焊接钢管一定要保证碳含量，即不能使用 Q235A 级钢。

4.2.3 表 3.2.3 来源于日本的防腐蚀学会资料。

4.2.6 钢制顶管的现场焊接工作量大，工期长。因此每节管长越长越好，一般而言，短距离顶管，单节管长取 6m，长距离顶管宜应取 8~12m 或更长。单节管长度大的缺点是顶管工作井长度相应增加，提高了工作井的造价。

4.2.7 本条针对工厂内制作管节的焊缝要求，摘自现行国家标准《钢结构焊接规范》（GB50661-2011）。由于管道在工厂内可以任意翻转，避免仰焊，对于厚板，采用 X 形剖口，可以节省焊接材料和焊接时间。

4.2.8 本条针对的是工作井内管道对接焊缝。顶管顶出管节的后端，与顶铁接触的端面必须是平整的，顶出管节的前端可以开剖口，以便焊接。一般情况下，板厚不大于 26mm，宜采用单边 V 形剖口；板厚大于 26mm，从管道结构受力均匀对称性考虑，采用 K 形剖口最合适。根据 2010 年竣工的青草沙水源地原水工程金海支线工程（DN2800 钢管，壁厚 28mm）及严桥支线工程（DN3600 钢管，壁厚 34mm）的工程经验，现场焊接钢管坡口均采用单边 V 形 $40^{\circ} \begin{smallmatrix} -0^{\circ} \\ +2^{\circ} \end{smallmatrix}$ 坡口形式，上半圆 180° 为外开口单边 V、下半圆 180° 为内开口单边 V 的坡口形式，根据近十年来的运行情况，未出现过质量事故。2016 年通水的黄浦江上游水源地连通管工程（DN4200 钢管，壁厚 40mm；DN4000 钢管，壁厚 40、38mm（如下图所示）；DN3800 钢管，壁厚 38、36mm；DN3600 钢管，壁厚 36、34mm；）均采用单边 V 形的坡口形式，未出现过质量事故。主要是避免仰焊的工作，保证焊接质量。因此也可采用单边 V 形坡口。

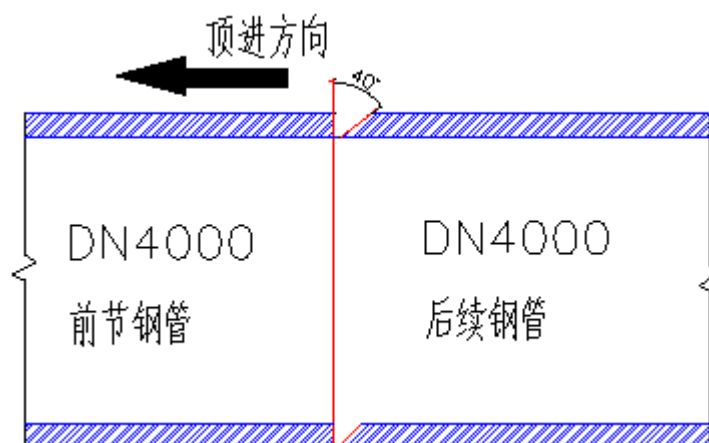


图 1 DN4000 钢管剖口型式

4.2.9 钢管中的无压管，一般用于给水工程中的取水管。取水管中的埋管段接头常用哈夫接头，所以顶管中的取水管，焊缝质量检查规程不必取Ⅱ级而取用Ⅲ级。

4.2.11 本条规定来源于《给水排水管道工程施工及验收规范》（GB50268）。

4.2.13 焊接钢管计算纵向应力时，考虑了 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 的温度应力。钢管与井连接经常发生断裂漏水，除了钢管收缩变形原因外，尚有沉降变形的原因。

4.3 钢筋混凝土管

4.3.1 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于 C50，如果管径较小，顶距也不长时可以适当降低，但要经过顶力验算。

4.3.7 混凝土顶管每节长度通常取 2.0~3.5m。直线顶管可取长值，曲线顶管应取短值。

4.3.8 凝管接头过去常称 T 型接头、F 型接头等。根据国家规程《混凝土和钢筋混凝土排水管》（GB/T 11836-2009）管道连接方式分为柔性接头管和刚性接头管，柔性接头管型式分为钢承口管、企口管和双插口

管。基于各地的经验，为了保证顶管施工的安全，增加冗余度，目前都开始使用钢承口管（双橡胶圈），即通常所说的 F 型接头。

4.3.9 木垫圈应选择有弹性的木质材料做成，其厚度视顶管条件决定，曲线顶管时厚度要厚些。据了解，在日本曲线顶管工程中，按照曲率半径要求将木垫圈做成变截面厚度而不是等截面厚度。

4.4 预应力钢筒混凝土管

4.4.6 预应力钢筒混凝土由于本身管道的结构特点，管身无法开设注浆孔，因此开设于承插口处，有别于其他承插口管材。

4.5 球墨铸铁管

4.5.2 球墨铸铁顶管外部的钢筋混凝土保护层是为了满足顶管施工要求而设计的，即保证顶管管材外径通径一致，配筋的目的是防止混凝土开裂。因此，当顶管施工完成后，即使在外荷载的作用下导致钢筋混凝土保护层破坏，也不会影响到输水管道的功能性。

4.6 玻璃纤维增强塑料夹砂管

4.6.4 二种图示的为常用接头。应优先采用套筒固定在一节上的接头。橡胶圈也可采用 O 型或鹰嘴类型。

4.6.7 管节越长纠偏越困难，接头偏转角越大，容易造成漏水。所以管节不宜过长，一般控制在 4000mm 之内。

4.6.12 承插式玻璃纤维增强塑料夹砂管接头的内圈很难加工平整，故应在每个节头处都设木垫圈。

5 顶管管线设计

5.1 顶管管位选择

5.1.1 目前顶管工程中，要求避开所有障碍物，很难操作；但是，穿越文物古迹、军事设施等区域时，还是应该慎重，尽量避开。

5.1.2 当河床有冲刷，顶管应布置在冲刷线以下。除此以外，抗浮和航道要求在设计中仍要考虑。

5.2 顶进土层选择

5.2.1 在地下水以下的土体承载力小于 30KPa，含有垃圾的杂填土和渗透系数较大土层虽然也可以顶管，但要采取必要的措施，且工程风险特别大，一般不建议顶管。

5.2.2 所列不宜顶管的条件是顶管经验教训总结，不是不能顶管，是曾出过不少工程事故。现代技术发展了，采取适当措施当然也可以顶管，能避开则应尽量避免为好。存在漂石或块石的地质，顶管过程中，线型的控制难度很大，宜慎重。岩石顶管是本次规程增加的内容，岩石的坚硬程度的划分按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011) 4.1.3 条执行，根据各地情况调研，各地岩石顶管工程的岩石饱和单轴抗压强度一般都不大于 60MPa，大于 60MPa 坚硬岩的顶管工程不是不能顶管，而是顶管费用很大，效率很低，对顶管机械、刀盘的要求很高，因此应慎重。

5.2.3 对于大口径的顶管，选择合理的土层是一件很困难的事情，有时不得不在软硬不匀的土层界面上顶管，这样会加大纠偏的频率，存在较大的工程风险。

5.3 顶管间距

5.3.1 顶管间距是从顶进时避免相互影响的最小距离。对于重要的输水干道之间安全运行距离尚应考虑水管破坏时压力水释放的影响。本次对互相平行的管道净距进一步细化，主要是因为顶管施工水平的提高，对于短距离的顶管，适当缩短管道水平净距，减少顶管路由对路幅的占用，提高地下空间的利用率。

5.3.3 本处为最小距离要求，如土质较差或曲线顶管，宜结合施工需要适当放大。

5.4 管顶覆盖层厚度

规定管顶覆盖层厚度主要减少地面沉降。另外，也有施工方面的考虑。对于长距离及超长距离的顶管，覆土厚度宜适当提高，建议不宜小于2倍管道外径。

5.4.2 穿越江河一般都是短距离的，局部的区段，对于长距离的顶管工程应综合考虑水压力，土层物理力学性质，并适当加厚覆盖层厚度。

6 顶管管道上的作用

6.2 永久作用标准值

6.2.2 管顶覆盖层的竖向土压力公式取自国家规程《给水排水工程管道结构设计规范》(GB50332)附录 B。

原公式只考虑土的内摩擦角 f ，未考虑的粘聚力 C ，本规程考虑了内摩擦角和粘聚力共同作用，对于顶管而言比较符合真实情况，但由于粘聚力的土工试验时离散性较大，为确保安全建议设计时取试验成果的最低值。砂性土也可考虑 C 值，对于粉质砂土 C 可取 4800 N/m^2 ，密实砂土 C 可取 4400 N/m^2 。干燥的松砂时 $C=0$ 。本规程取 $B_t = D_1[1 + \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{f}{2})]$ 。 Km 值，管道结构设计规范中取 $Km=0.19$ ，本规程则建议按土质分别取值。

6.2.3 当覆盖层土体部分在地下水以上，部分在地下水以下时，地下水以上土重取实重，地下水以下土重取有效重度。

管道处于地下水以下时，计算竖向土压力和水平土压力时都采用水土分算。有地下水时计算结果比没有地下水时要小，因此地下水位应选取较低的水位比较安全。

6.3 可变作用规程值及其准永久值系数

6.3.1 表 6.3.1 摘自国家规程《给水排水管道结构设计规范》(GB50332)。

6.3.4 地面堆积荷载与地面车辆轮压不考虑同时作用，当垂直土压力计算的土柱高度大于顶管埋深时，这二项都可不考虑。

6.3.5 温差指冬季或夏季管内水温与顶管埋置深度的土体温度之差。顶管与埋管有相同之处，都有闭合温差，埋管在最后接拢的管节处，顶管

在中继间处。

7 顶管结构基本设计规定

7.1 一般规定

7.1.2 国内现行规范柔性管一般采用美国的 Spangler 计算模型(简称“斯氏”), 见图 2, 而刚性管一般采用克列恩计算模型, 见图 3。由于刚性管道可以不计圆管结构的变形影响, 而柔性管应予考虑管道结构变形引起的土体的弹性抗力, 这两种管道的计算模型完全不同。因此, 首先应对管道的相对刚度进行计算, 以此确定刚性管或柔性管, 以便选取不同的计算模型。

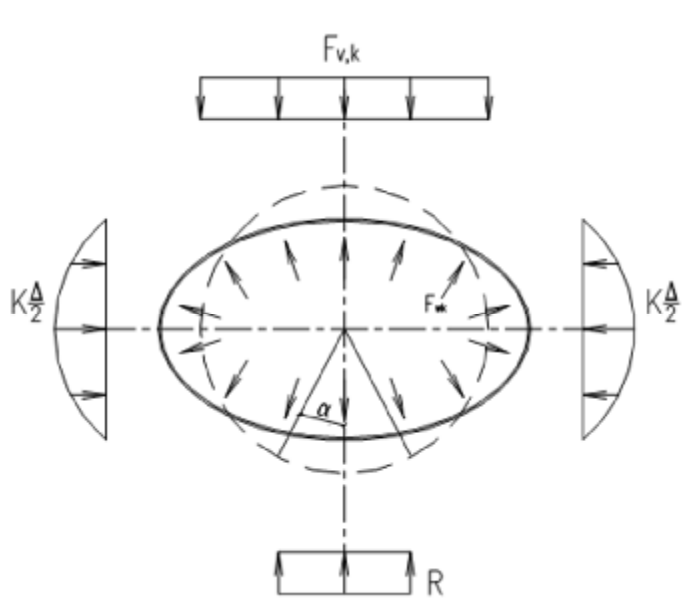


图 2 Spangler 计算模型

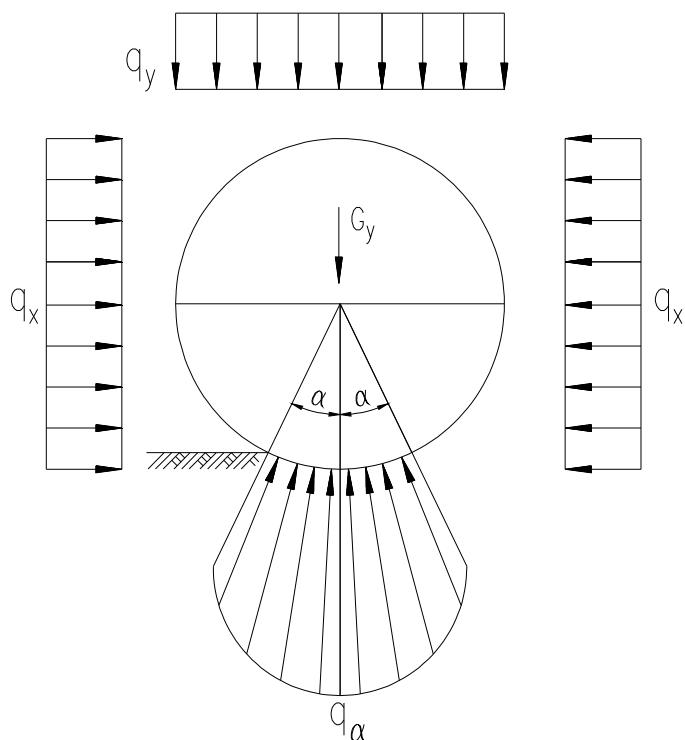


图 3 克列恩计算模型

根据刚度判别，球墨铸铁顶管 $a_s > 1$ ，应为刚性管，但是外包的混凝土仅为方便顶管施工需要设计，配筋不足以承担管道结构受力，因此仍按柔性管计算。

7.1.3 对于管材弹性模量各向异性的，应使用环向的弹性模量。

7.2 承载力极限状态计算

7.2.4 顶管的计算分四个工况：顶管期间、空管期间、管内满水和使用期间。

顶管施工期间管内不可能有水压，也不考虑温差作用。在工作井内的顶管纵向计算只考虑顶力作用。当采取注浆减阻并且浆液确实饱满时，管外水土压力和地面堆载可以不计，只承受减阻泥浆压力，此工况不是受力控制工况所以在计算组合中不考虑。管内满水工况不同于使用工况，

因为管内无静水压力，对管壁横截面弯矩起控制作用。当不使用减阻泥浆施工时可参照使用阶段工况设计，并应考虑顶力作用，但不考虑温度作用。

7.2.5 验算柔性管截面稳定时，竖向土压和侧向土压应按本规程 6.2.2 条所列公式计算，地面车辆或地面堆积荷载是否考虑视计算土柱高度决定，当顶管埋置深度大于计算土柱高度，则不必考虑。

使用期间承载能力和变形验算时，对于钢管应扣除腐蚀构造厚度，对于玻璃纤维增强塑料夹砂管应考虑老化系数和长期作用的强度值。而施工阶段则不应考虑这些因素。

7.3 正常使用极限状态验算

7.3.4 钢管内防腐为水泥砂浆时，其最大竖向变形不应超过 $0.02D_0$ ，超过比值以后砂浆会因此而开裂。如果采取措施提高水泥砂浆抗裂性能，钢管变形可以控制 $0.03D_0$ ，最大竖向变形的控制值可不计涂抹水泥砂浆前的初始变形。如果先顶管，水泥砂浆在顶管后再抹，也可控制变形 $0.03D_0$ 。

玻璃纤维增强塑料夹砂管最大竖向不应超过 $0.05D_0$ ，由于玻璃纤维增强塑料夹砂管会产生老化，刚度老化系数为 0.5，所以这里的变形是指长期变形。因为顶管采用的管道刚度较大，经计算竖向变形很小，不会达到 $0.05D_0$ ，用变形控制的计算受力设计指标可以使用实际计算的长期挠度。

8 承载能力极限状态计算

8.1 管道强度计算

8.1.2 钢管的内力计算公式同《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》(CECS141:2002)协调,由于钢管的侧向弹抗力是通过钢和土的弹性模量比来反映的,不计侧向水土压力作用。由于压力水作用下管道的变形同土压作用下是相反的,计算 M 的组合作用公式的折减系数取 0.7。当有地下水时,计算竖向土压力取土的有效重度。

8.1.3 钢管的纵向应力通常包括三个部分:

- 1 第一项:钢材的泊松比影响产生的纵向应力;
- 2 第二项:温度应力,一般顶管埋置较深,管道本体的温差不大,并且顶管在土层中不可能呈直线,而是不同曲率的曲线,它能影响释放部分温度应力,管道温差变化主要由管道内的输送介质确定。本规程建议温差取 $\pm 20^{\circ}\text{C}$;
- 3 第三项:考虑施工时钢管轴线方向弯曲产生的应力。钢管顶管轴线偏差除了满足顶管验收要求外,尚应满足管道轴线方向变形的曲率半径要求,若曲率半径合适,管道可在泥浆套中顺利顶进,既不会损伤防腐涂层,也能保证管段有足够的强度安全余量。本规程规定 $R_1 \geq 135D_0$, (原规定为 $R_1 \geq 126D_0$, 是由于活载分项系数 $g_Q = 1.50$ 调整引起的)。

$R_1 \geq 135D_0$ 按下式推导:

管道纵向应力 $s_x = n_p s_q \pm j_c g_Q a E_p DT + s_m$, 假定 $s_q = f$, $n_p = 0.3$, $g_Q = 1.50$, $a = 1.2 \times 10^{-5}$, $E_p = 206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, $DT = 20^{\circ}\text{C}$ 。得 $s_x = 0.3f + 0.326f + s_m$,

若 $s_q = f$, 则 $s_m = 0.374f$

$$\text{取 } f = 205 \text{ N / mm}^2, s_m = \frac{0.5E_p D_0}{R_1} = 0.374f ,$$

$$\text{则 } R_1 = \frac{0.5E_p D_0}{0.374f} = 1343D_0 \gg 1350D_0$$

这个最小转弯半径要求与《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS382: 2014) 第 5.3.5 条, 钢管曲率半径宜大于 $1500D_1$, 且不应小于 $1200D_1$ 基本接近。

8.1.4 计算公式来源于《给水排水工程埋地预制混凝土圆形管管道结构设计规程》(CECS143: 2002), 公式 P_i 应按本规程有关公式计算。有地下水时, 水土压力按水土分算。

8.1.5~8.1.7 公式 (8.1.6-1) ~ 公式 (8.1.7) 均来自《给水排水工程埋地玻璃纤维增强塑料夹砂管管道结构设计规程》(CECS190: 2005)。其中 $w_{d \max}$ 取最大长期竖向挠度值, 而不取 $0.05D_0$ 限值, 因为顶管刚度大, 可能达不到此值。公式中形状系数则是根据已有系数按曲线延伸得出。

9 正常使用极限状态验算

9.1 公式 (9.1.1) 来自《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》(CECS141:2002)、公式 (9.1.2) 来自《给水排水工程埋地玻璃纤维增强塑料夹砂管管道结构设计规程》(CECS190: 2005), 所不同的是公式中没有变形滞后系数 D_L , 并且管侧土的综合变形模量 E_d 取原状土的变形模量。顶管同埋管不一样, 顶管管侧是原状土, 据在软土地基上的实测, 施工阶段管道是有所变形且稳定后, 使用阶段变形反而减小。

10 顶管井

10.2 顶管井围护形式

10.2.1 顶管井分为工作井和接收井，工作井承受千斤顶的推力，必须满足在顶力和周边水土压力作用下的强度和变形要求。工作井变形就是必然导致顶管轴线偏移，由于采用土坑或板桩围护墙时，强度和变形很难控制，因此，选择工作井的结构型式时一定要慎重。而接收井只要满足顶管机接收和井内接管的要求，在地质条件较好的区域可直接放坡开挖，接收顶管机即可。

10.2.2~10.2.3 工作井围护构形式应根据顶力大小和地下水情况因地制宜选择。专为接收顶管机用的临时接收井，基坑围护可以不做钢筋混凝土内衬，沉井可不设置钢筋混凝土的底板。

10.2.5 圆形工作井受力性能好，特别适用于深工作井的情况，而矩形井则适用于多根平行顶进的工作井，可根据使用功能和施工方式选择确定工作井形状。

10.3 工作井尺寸要求

10.3.1 工作井内净长度可以参考以下数据估算：

除简易顶管机外，各种圆形平衡顶管机长度参考长度如下：

小于 DN1000 的小直径顶管机长度 3.5m；

大中直径顶管机长度 $\geq 5.5\text{m}$ ；（如上海地区黄浦江上游水源地连通管工程中，DN4000 钢管顶管的顶管机长度普遍在 6100mm 左右。）

千斤顶安装长度 2.5m 左右。

矩形顶管机考虑起吊重量原因，一般都是在顶管井内分段组装，因此一般情况下，矩形顶管的顶进井净长 10m 即可满足顶管施工要求。

10.3.2 条文中的数据，圆形顶管可取小值，矩形顶管可取大值。工作井的宽度宜适当考虑下井楼梯宽度的要求，目前由于工作井人员下井频繁，一般都采用成品梯笼，设置梯笼的尺寸在圆形井内问题不大，在矩形顶管井内，设置梯笼侧的宽度不宜 3.0m。

10.5 穿墙孔、接收孔尺寸要求

10.5.2 接收孔预留较大的间隙，虽然顶管进洞容易控制，但是在水压较大、砂土、粉土的土层中，在顶管机进洞后，洞口封堵的难度较大。因此，在保证进洞安全的前提下，可适当减小接收孔的大小。

10.6 穿墙管止水装置

根据各地工程调研，盘根止水由于结构型式复杂、加工精度要求高，除地下水压力特别大的工程外，施工单位一般很少采用。橡胶板压板止水穿墙管，结构简单，加工精度要求低，在不宜在地下水压力较大，洞口外侧流动性较强的砂层中使用。由于现在施工图设计图中，一般对顶管出洞口都有水泥土加固处理，相对减轻了对穿墙止水的要求。

如果洞口外侧水土压力过大时，橡胶板压板止水穿墙管可能存在将橡胶止水板压出来的情况，针对这种情况，现在工程中，将压板改为插板，钢板有一个合页，一页固定于洞口井壁上，一页斜向插入套管内，抵住橡胶止水板，由于斜向插入钢板的长度大于套管与管道的垂直净距，因此就不会被反向压出来。对于大口径顶管，地下水位较高或存在承压

水的（如上海市污水治理白龙港片区南线输送干线完善工程（内径 4000mm，壁厚 320mm 的混凝土管顶管）、黄浦江上游水源地连通管工程（DN4000/DN3800/DN3600 钢管顶管）等），都开始普遍采用两道橡胶板插板的止水结构。

需要指出的是：顶管穿墙套管的止水不能将希望全部寄托在洞口穿墙套管的止水上，而应该是：

- （1）顶管井洞口降水井降低地下水压力辅助；
- （2）顶管井洞口水泥土搅拌，高压旋喷等止水加固；
- （3）洞口穿墙套管与管道间隙的填充；
- （4）洞口穿墙套管的止水。

一整套止水系统的综合作用。

11 顶管允许顶力计算

11.1 管道管材允许顶力计算

11.1.2 玻璃纤维增强塑料夹砂管顶管允许顶力计算

根据规程的计算式，安全系数为 3.61。与国标《玻璃纤维增强塑料管顶管》(GB/T21492-2008)，附录 F，采用的顶力安全系数为 3.5 比较接近。

11.1.3 钢管顶管接触面最大允许顶力计算

1 计算模型

管道纠偏在减少偏差的同时，必然造成管轴线弯曲。由弯曲造成的纵向弯矩的大小与管道的抗弯刚度、曲率半径（详见本规程 8.1.3 条文说明）有关，刚度越大、曲率半径越小，则抗弯刚度越大，弯曲应力越大。实践经验证明，管径较大的钢管弯曲应力如不加重视，容易造成不良后果的。

钢管设计允许顶力的计算模式是：钢管最大允许弯曲应力加顶力造成的钢管平均应力应等于钢管最大允许应力 f_m （见图 5）。

钢管最大允许压应力为：

$$f_m = \frac{f_1 f_3 f_4 f_s}{g_{Qd}} \quad (11.1.3-1)$$

钢管最大允许弯曲压应力为：

$$f_b = g f_1 f_3 f_s \quad (11.1.3-2)$$

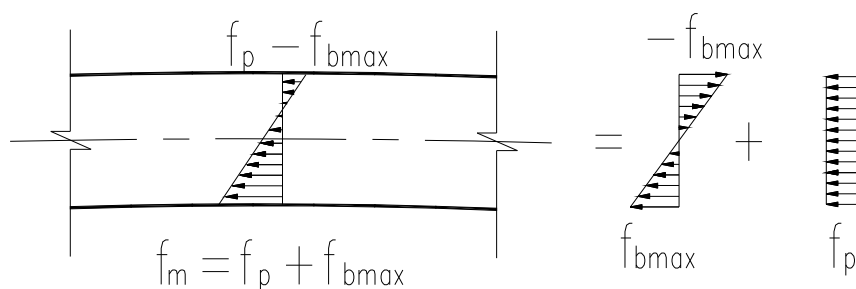


图 5 钢管顶力计算模型图

式中： f_m ——钢管最大允许压应力；

f_{bmax} ——可能发生的钢管最大纵向弯曲应力；

f_p ——允许顶力造成的钢管平均应力。

2 计算公式推导：

$$F_{ds} = f_p A_p = \left[\frac{f_1 f_3 f_4 f_s}{g_{Qd}} - f_{bmax} \right] A_p \quad (11.1.3-3)$$

钢管允许最大纵向弯曲应力 f_{bmax} 是根据施工纠偏的需要及钢管弯曲的可能再参照以往的施工经验确定为：

$$f_{bmax} = 0.72' f_1 f_3 f_s \quad (11.1.3-4)$$

代入上式则得公式：

$$F_{ds} = \frac{f_1 f_3 f_4}{g_{Qd}} f_s A_p, \text{ 取 } f_4 = 0.36 \text{ (根据顶管施工经验推定)}。$$

3 检控办法：

为了防止钢管弯曲超过允许范围可以通过检控管轴线得最小弯曲半径来实现。

首先测定弯曲最严重部分的管道纵向轴线，在轴线上确定最大弯曲平面上的三个点的平面坐标，点与点的间距不宜太大或太小，可采用 5 倍管道外径。三点已知后求出管道的曲率半径。通过下式可得到钢管的

实际弯曲应力：

$$f_1 = \frac{D_1 \times E_p}{2R} \quad (11.1.3-5)$$

式中： R ——曲率半径

D_1 ——管道外径

E_p ——钢材弹性模量

再检查钢管的实际弯曲应力是否超过钢管最大允许纵向弯曲应力：

$$f_1 < f_{b\max} = 0.72' g f_1 f_3 f_s = 0.745 f_s \text{ ——安全}$$

式中： g ——钢管截面塑性发展系数 $g = 1.15$ 。

4 弯曲应力超过设计值情况下的顶力调整：

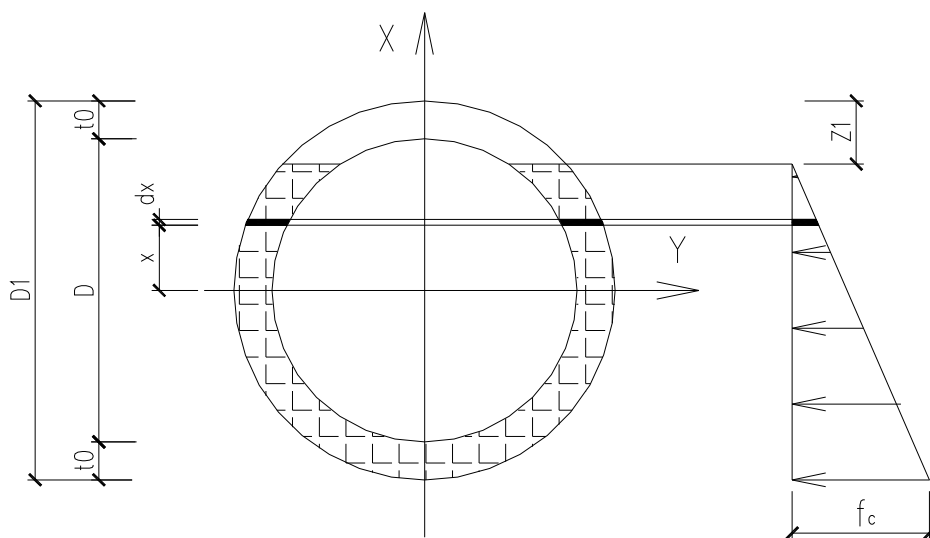
管道轴线弯曲超过钢管最大允许纵向弯曲应力 $f_{b\max}$ 时，应根据实际弯曲应力 f 按下式计算结果调整顶力：

$$F'_{db} = \left[\frac{g f_1 f_3 f_4 f_s}{g_{Qd}} - f \right] \times A_p \quad (11.1.3-6)$$

11.1.4 预制管节接触面有脱离情况下最大允许顶力计算

当接触面上存在部分脱离状况时，截面上尚能承受的最大顶力可按规程编制组为本规程建立的下面公式计算。

当截面脱离高度 Z_1 满足条件： $t_0 < Z_1 < D + t_0$ 时



截面尚能承受的顶力 F_{d0} 可按下式计算

$$P_{d0} = \frac{2f_1 f_2 f_3}{g_Q f_5} \int_{-\frac{D_1}{2} + t_0}^{\frac{D_1}{2}} f_c \times \frac{Z_1 - \frac{D_1}{2} + x}{Z_1 - D_1} \times \sqrt{\frac{\pi D_1 \sigma^2}{C \cdot 2 \cdot \sigma} - x^2} dx$$

式中系数 f_1, f_2, f_3, f_5 及 g_Q 见本规程第 11 章。

11.1.6 球墨铸铁顶管的最大顶力的确定 主要依据是按《Trenchless applications of ductile iron pipes systems-Product design and installation》(ISO 13470)《ISO 13470: 非开挖用球墨铸铁管的设计和安装》第七章试验方法确定管材允许的顶力。主要是前管节的顶推法兰和后管节的承口端面传递顶力，球墨铸铁管顶管顶力设计安全系数应不小于 2。

12 特种顶管

12.1 曲线顶管

12.1.4 曲线顶管的最小曲率半径计算假定截面不脱离，即接触面应力呈三角形分布，考虑接头处垫圈的厚度、弹性模量和管材弹性模量等因素推导建立。

当使用 11.1 节中的允许顶力公式，混凝土管取 $f_{p2} = \frac{f_1 f_2 f_3}{g_Q f_5} f_c$ ，

$f_{p1} = 0.5 f_{p2}$ ；玻璃纤维增强塑料夹砂管取 $f_{p2} = \frac{f_1 f_2 f_3}{g_Q} f_b$ ， $f_{p1} = 0.5 f_{p2}$ 。

分别代入曲率半径计算式，即可求出最小曲率半径 $R_{\min}$ 。

对于管材弹性模量各向异性的，应使用轴向的弹性模量。

12.1.5 焊接钢管一般不宜进行曲线顶管，但曲线顶管曲率半径较大还是可以的。

确实需要做曲线顶管时，可以多设中继环用若干短折线顶管替代曲线，在折线交点处设置中继间，本条公式摘自《软土地基与地下工程》（第二版）。

12.2 矩形顶管

12.2.2 本条摘自《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》J 462-2017，顶进箱涵的顶力，应根据顶进长度，土的性质、地下水情况、箱涵外形及施工方法等因素确定。

顶力计算是修筑后背及配备顶镐的重要依据，而后背又是进行顶进箱涵的重要基地，但当顶进箱涵完成后就要废弃。因此顶力计算应力求准确。后背的设计力简易而坚固，往往后背的修筑是造成顶进法施工造

价高的主要因素之一。

在顶进箱涵时，必须克服各方面的摩阻力以及端刃角切土阻力。这些摩擦力和阻力的总和就是顶力，其计算图式如说明图 5。

图中 P_{v1} 为箱涵顶板和顶土的摩阻力， P_{v2} 为箱涵底板与基底土之摩阻力， P_H 为两侧土与边墙间之摩阻力。

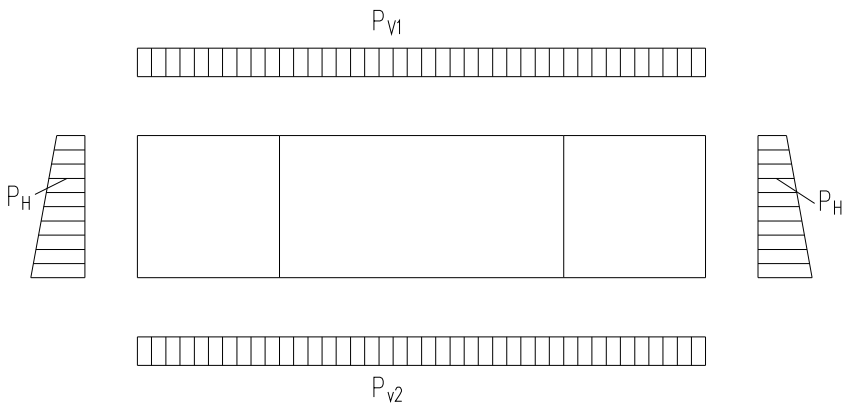


图 5

摩阻系数并不单纯反映箱涵在顶入过程中与土体表面的摩擦情况，而是一个综合值。

在顶进过程中，如土与混凝土表面的附着力大于土内部的抗剪强度时，土受剪而破坏，对于覆土较薄的情况，容易出现顶面土随同箱涵顶进而移动的现象。此外，箱涵在顶进过程中并非直线运动，由此产生的分力也增加了阻力。

实践表明，在决定顶力值的诸因素中，顶管自重是主要因素，因此顶力公式可简化为

$$p = \mu \cdot N \quad (12.2.2)$$

式中 μ —— 综合摩阻系数；

N —— 箱涵自重（包括线路加固重及附属设备重）。

根据各地箱涵的实测资料统计，综合摩阻系数 μ 在 0.8~1.8 之间，其中 60%在 1.2~1.5 之间。

12.3 岩石顶管

随着国内顶管技术的发展，岩石顶管工程越来越普遍，岩石天然单轴抗压强度达到 100MPa 的工程也很多。对于岩石顶管来说，顶管减少侧摩阻力已经不是主要问题，关键技术是顶管机切削岩石的能力和效率，换刀的频率，这个实际是对顶管机提出的技术要求；岩石碎屑引起的卡管、破坏外防腐层等问题，这个和现场的施工管理水平有关。

12.4 垂直顶升

12.4.1 垂直顶升的顶进方式为挤土闷顶，在顶进过程中，主要克服顶升管道自重、管道正面阻力和顶升管道的侧面摩阻力。其中管道自重最小时，管侧摩阻力最大；管道自重最大时，管侧摩阻力最小；由于管侧摩阻力相对于管道自重大很多，因此只计算管侧摩阻力。

13 顶管沉降估算

顶管引起的地面沉降的分布是三维的，随着顶管机头的掘进，动态变化的。由于引起地面沉降或隆起因素很多，不但与土层地质情况有关，而且与顶管管径的大小、顶管机设备的选型、操作人员的技术水平、顶管纵向轴线的垂直度以及顶管持续的时间、注浆情况等很多不可预见的因素有关。因此通过一些量化的计算公式精确计算顶管引起的地面沉降是不可能的，一般对地面沉降的计算只能成为“估算”或“预测”。

由于地面沉降会导致周边建筑和设施不良的后果，过大的地面沉降对周边环境和构筑物的破坏往往是致命的，因此为了避免顶管法施工对周边建筑物、管线、道路等的破坏，必须严格控制地面沉降。所以在顶管工程施工前，必须对不同条件下可能出现的地面最大沉降及沉降的分布形态和范围做出可靠的分析，并准确把握顶管施工的主要因素才能得出符合实际情况的结果，提出有效的保护方案。

13.0.2 本公式为横向沉降分析的 peck 法估算公式，即假定施工引起的地面沉降是在不排水情况下发生的（这与实际情况也是比较符合的），所以地表沉降槽的体积应等于地层损失的体积，地面沉降可视土质情况、覆土深度、采用的掘进机类型、操作水平等因素而不同，并根据这个假定给出了地面沉降量的横向分布估算公式，沉降槽的正态分布曲线如图 6 所示：

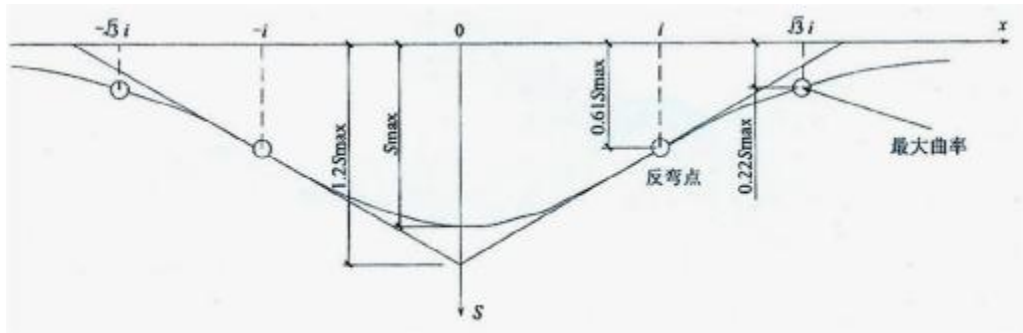


图 6 沉降槽的正态分布曲线

13.0.4 本条参考《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268。

14 顶管施工

14.2 顶管机

1 说明

有无地下水，对土的性能影响很大。顶管机根据有无地下水分为两大类。地下水位以下的大多数土层不够稳定，一般需要采用具有平衡功能的顶管机。

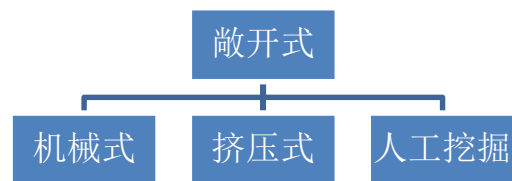
目前我国顶管已处于发展成熟期，顶管机的机型很多，性能各异。仅以泥水平衡式顶管机为例，还可分泥水平衡、泥水土压平衡、带轧石功能的、带破岩功能的泥水平衡顶管机，其中一些机型比较成熟，还有一些不够成熟，还需要时间的考验。参阅余彬泉主编的《顶管技术》，如浓泥顶管机，在日本广泛应用，介于泥水和土压之间的一种工法，特别适用于砂卵石地层和曲线顶管，浓泥顶管机可注入高浓度的浓泥水，和可塑剂；相对于普通的泥水顶管，泥水相对密度一般为 1.03~1.30，浓泥顶管的泥水相对密度一般为 1.40~1.80，增加对卵石的浮力，使卵石容易流动、搅拌；高粘性使泥水仓内不会产生逸泥现象。由于浓泥水归根到底还是泥水，因此没有在进行细分。

纵观国内外的顶管机，用平衡方法分类是比较可行的，既有指导意义，又有实用价值。例如世界上第一条超千米的顶管工程——德国汉堡下水道顶管工程所采用的是气压平衡式机型。如今有了许多高性能顶管机，但气压平衡式在复杂地层中仍然被采用，而且还在提高。

2 分类

第一大类：敞开式顶管机

分以下三类：



1) 机械式

指用采用机械方法掘进的顶管机。如全断面切削的顶管机，遇岩层用盆刀，硬土层用切削刀。挖掘机械可固定，也可移动，适用于整体稳定性好的地层，如胶结土层和强风化岩等。

2) 挤压式

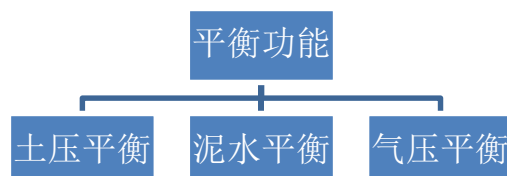
依靠顶力挤压出泥的顶管机。最适用于具有流塑性较好的软土层。在这层土中施工效率很高。

3) 手工挖掘式

这是一种最简单的顶管机，工作面一目了然，排障容易。适用于无地下水、土体稳定，易开挖的土体。

第二大类：平衡类顶管机

又分以下三类：



1、土压平衡式

普通土压平衡式最佳使用土层是淤泥和流塑性的粘性土，带加泥装置的可用于粉性土，但施工时用于淤泥和流塑性的粘性土，仍是最“可靠、经济、环保”。加泥是辅助手段。加泥不但增加施工成本，而且还

会影响工期；如操作不当，会增加设备负荷。如在流砂层加泥，螺旋输送机出口容易产生喷发，增加施工的危险性。虽然泥水平衡式或气压平衡式也可用于淤泥和流塑性粘土，但一方面污染环境，另一方面提高施工成本，不及土压平衡式。

辅助装置的作用是扩大设备的使用范围。如果管道顶进土层主要是淤泥和流塑性的粘性土，另外还有粉性土，则应采用带有反加泥的土压平衡式顶管机。反之，如果主要土层是粉性土，则不应采用土压平衡式，而应改用泥水平衡式。

2、泥水平衡式

普通泥平衡式可用于淤泥和粘性土、粉质土、粉土、砂土，适用土层较广，最佳使用土层是粉质土和渗透系数小的砂性土。但施工最“可靠、经济、环保”的土层是粉性土和渗透系数较小的砂性土。泥水平衡式用于粘粒含量较高的土层，泥分离困难，废泥浆很多，对环境污染较大，用于渗透系数较大的砂性土，进水管中的运载液要改用化学泥浆，随着渗透系数的继续增加，运载液要改用特殊的化学泥浆，这样会大大提高施工成本。虽然泥水平衡式的最佳土层也可采用气压平衡式，但气压平衡出泥效率低、施工成本高。

3、气压平衡式

气压平衡式可用于淤泥和粘性土、粉质土、粉土、砂土，与泥水平衡基本一致，适用土层也较广，最佳使用土层是有障碍物的复杂土层。但施工最“可靠、经济、环保”的地层是渗透系数较大的砂土（渗透系数比泥水平衡大）。在渗透系数较大的砂土中施工，采用气压平衡式不需

要另加措施，而采用泥水平衡式要付出运载液改用高分子化学泥浆后的高额代价，另外还要污染环境。

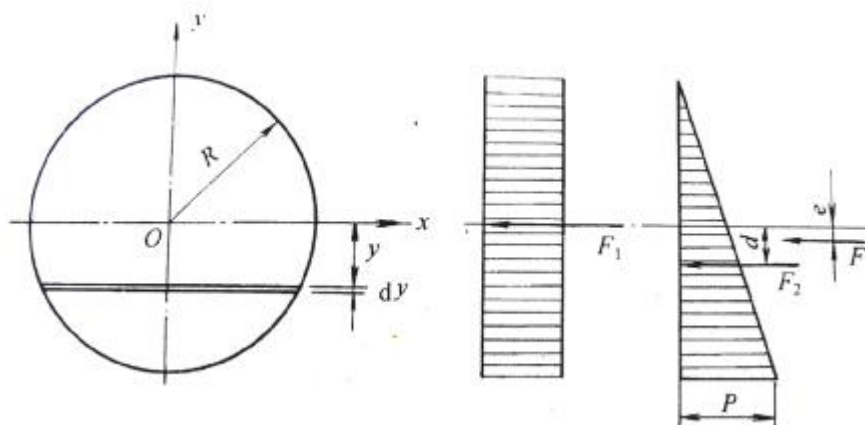
14.2.1 根据单一地层选择顶管机可直接按表 14.1 选取。根据复杂地层选择顶管机就比较复杂，要选择对所有土层均符合“可选机型”或“首选机型”的机型。适合复杂地层顶管机早期常用的是气压平衡式，现在趋向于泥水平衡式。国外除泥水平衡式外还有混合式机型，特别是岩石顶管机，由于要考虑换刀，因此一般都是混合型的顶管机。1994 年 2 月完成的当今世界上最长的顶管工程是在荷兰，DN3000 的钢筋混凝土管，从海岸工作井呈曲线向海域顶进，总顶进长度为 2535m，采用的是具有土压平衡、泥水平衡和气压平衡的混合式机型。

混合式机型是专门为特定工程而研制的，有其局限性，不是通用机型。

14.3 辅助配套设备

14.3.3 主油缸合力中心宜低于管中心，宜低于管道外径的 $1/10 \sim 1/8$ 的说明

顶管机正面阻力可分解成三角形和矩形两部份，矩形部份的合力中心通过管中心，三角形部份的合力中心低于管中心。如果是特殊的矩形断面顶管机，三角形荷载的合力中心离低面为高度的 $1/3$ ，即比断面中心低高度的 $1/6$ 。



附图 12.11 正面阻力计算图式

因为此处是管道是园形断面，三角形荷载的合力中心计算如下：

假设三角形的底边压力强度为 p ，三角形阻力的强度方程为：

$$P = \frac{p}{2R}(R - y)$$

三角形阻力：

$$F_2 = \frac{p}{2} \times pR^2 = \frac{pR^2}{2} \times p$$

三角形阻力的合力中心可通过积分求得：

$$\begin{aligned} F_2 d &= \int_0^R \frac{p}{2R}(R - y) \times y \times 2\sqrt{R^2 - y^2} \times dy \\ &= p \int_0^R y \sqrt{R^2 - y^2} \times dy - \int_0^R \frac{1}{R} y^2 \sqrt{R^2 - y^2} \times dy \end{aligned}$$

积分后得

$$\begin{aligned} \frac{pR^2}{2} \times d &= -\frac{p}{8} pR^3 \\ d &= -\frac{1}{4} R \end{aligned}$$

三角形阻力的合力中心比管中心低 $R/4$ 。由此可见园形断面与矩形断面的三角形阻力合力中心是有区别的。

正面阻力的合力中心

$$e = \frac{F_1 \times O + F_2 \times d}{F} = \frac{F_2 d}{F_1 + F_2}$$

当 $F_1=0$ 时, F_2 的合力中心就是 F 的合力中心。当 $F_1 \gg F_2$ 时, F 的合力中心接近管中心。这说明覆盖层较厚时, 不能忽视三角形阻力的影响, 顶力的合力中心要低于管中心, 低近 $R/4$ 。Φ'管道穿墙时, 顶管机入土较浅, 土的支承面较小, 支撑面的应力就较大, 顶管机容易下沉。入土深度增加后支撑面应力很快就减少, 顶管机不再下沉。为了防止穿墙初期顶管机下沉, 顶力的合力中心也应偏下。

一方面复土较薄时, 合力中心需要下移, 另一方面, 穿墙时为防止管道下偏, 合力中心也需要下移。所以顶力合力中心一般要求低于管中心, 低 $R/5 \sim R/4$ 。

14.4 顶力估算

1 为什么称估算?

经过多年来的施工实践, 影响顶力的主要因素是土的性质、管道弯曲大小、管道静止的时间间隔和施工技术水平高低。在同样的土层中顶管, 施工者水平不同, 顶力相差很大。因此任何公式所得的顶力, 不可能适用于所有施工者。所以这里的计算称估算。

2 估算公式中不反映土压力

这里的估算公式不采用与土层高度有关的理论公式。原因如下:

1) 理论公式的计算顶力普遍偏大, 实际上很少采用此类公式指导施工。

2) 现代的顶管除极短的顶管外, 都需要减阻措施。减阻的基本措施是扩孔。地下水位以上的顶管, 极大部分土层比较稳定, 扩孔后管道

不直接承受土压力作用这是显而易见的。地下水位以下的顶管，扩孔后管道与土层之间压注减阻泥浆，管道是悬浮在泥浆套中向前移动的，管道不直接承受土压力作用。

3) 实践证明管道顶力与覆盖层高低无关。最直观的证明是采用中继环的顶管，同一中继环要在不同厚度的覆盖层下经过，但中继环的顶力对覆盖厚度变化无明显反映。

14.4.2 表 14.4 是通过典型工程的调查确定的。典型工程调查结果见下表。调查发现在同一类土中混凝土管的摩阻力要比钢管稍大。

表 14.4 表所列平均摩阻力，不适用于轴线偏差超标、中继环漏浆严重、曲线顶管等情况。表中的平均摩阻力有一个范围，这是因为同一类土的摩阻力还有区别，而且更重要的是施工技术水平的高低对摩阻力影响很大，各施工队伍在取用时应量力而定。

附表 14.4 典型工程管壁摩阻力调查汇总表

工程名称	管径、长度 $\phi \times L(m)$	中继环使用	土质	平均摩阻力 (kPa)	摩阻力 (kPa)
武钢青山电厂 取水管	钢管 $\Phi 2.6 \times 105$ $\Phi 2.6 \times 107$	无	粉细砂	6. 1 4. 3	
甬江越江通道 顶管	钢管 $\Phi 2.6 \times 581$	有 6 只	粉细砂为主 淤泥质粉质 粘土	5. 4	
宝钢自备电厂 取水管	钢管 $\Phi 3.0 \times 161$ $\Phi 3.0 \times 165$ $\Phi 3.0 \times 167$	无	淤泥质粉质 粘土	4. 5 3. 9 4. 1	
南市水厂 过江源水管	钢管 $\Phi 3.0 \times 1120$	设 14 只	粉质粘土	3. 0	1.7~4.1
汕头自来水 过海管	钢管 $\Phi 2.4 \times 1142$	设 12 只	淤泥质粘土	3. 0	2.5~3.1

工程名称	管径、长度 $\Phi \times L(m)$	中继环使用	土质	平均摩阻力 (kPa)	摩阻力 (kPa)
杨电联网 过江管	钢管 $\Phi 2.4 \times 850$	设 10 只	粉质粘土与 暗绿色粘土 夹层	4. 9	4.4~6.4
长江引水二期 顶管	钢管 $\Phi 2.4 \times 836$ $\Phi 2.4 \times 916$	设 6 只	淤泥质粘土	2. 4 3. 7	
上游引水二期 3. 2 标长桥段	钢管 $\Phi 3.5 \times 1732$	设 18 只	粉砂， 砂粒含量 97%	5. 0	1.5~7.8
星火工业区 污水排海管	砼管 $\Phi 1.6 \times 1511$	设 20 只	淤泥质粘土	4. 0	
合流污水二期 1. 2A 标	砼管 $\Phi 3.0 \times 412$ $\Phi 3.0 \times 335$ $\Phi 3.0 \times 350$	设 5 只 设 4 只 设 4 只	淤泥质粘土	5. 6 5. 4 3. 3	

14.5 中继间

14.5.2 中继间允许顶力是指控制顶力，比中继间的允许最大顶力小，也就是中继间顶力有储备，平均按 30%~40%计。顶管机后 20~50m 设置的中继间，主要是为了顶管机在纠偏时，后续的管道能够及时纠偏，如果距离过长，纠偏效果难以保证。

14.5.4 中继间转角受套接部位的间隙、油缸行程、密封构造制约，不可能很大，有转角的限制。但不同工程对中继间的转角是有要求的，例如曲线顶管。所以中继环应有允许转角的规定，以适合不同施工的需要。

14.5.5 中继间经常发生埋入管道未启用，就发生漏水情况。因此，本条规定中继间出厂前应进行检查，合格后方可投入使用。

14.5.10 对于长距离钢管顶管，中继间是整条管线上最薄弱的环节，

中继间闭合的质量直接关系到整条管线的运行安全，因此，本条对中继间的闭合强度提出明确要求。特别提出了中继间闭合时，管道闭合时的温度宜控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，这样管道的温度变化范围是 $-2^{\circ}\text{C} \sim +42^{\circ}\text{C}$ ，基本能够涵盖目前管道的运行工况的温度变化。

14.6 进洞、出洞

14.6.2 为了保证顶管进洞、出洞安全，除岩石地质外，一般都进行了进洞、出洞口土体的加固。

14.6.3 目前采用打设探测孔是检测进洞、出洞加固土体止水效果最简单有效的手段。

14.6.4 在软土地区，顶管出洞磕头是经常发生的事故，主要原因是（1）顶管机头很重，如果导轨的支承力不够，顶管机入土长度较小时，因土体支承面小，土体承载力不足；（2）洞口土体有流失。因此须引起重视。

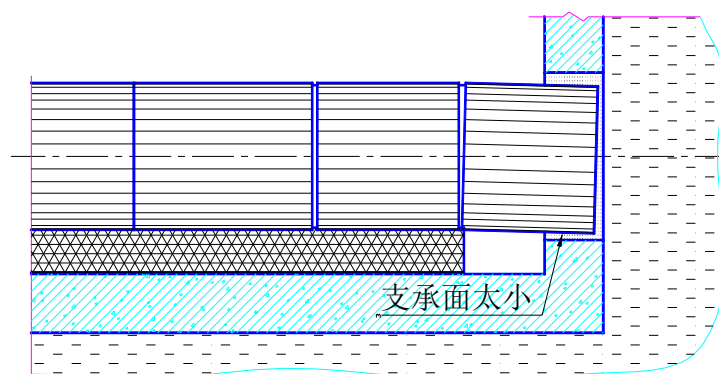
一般宜采取以下措施：

1）导轨前端应尽量接近穿墙管，减少顶管机的悬臂长度（见附图 14.6.4-1）。

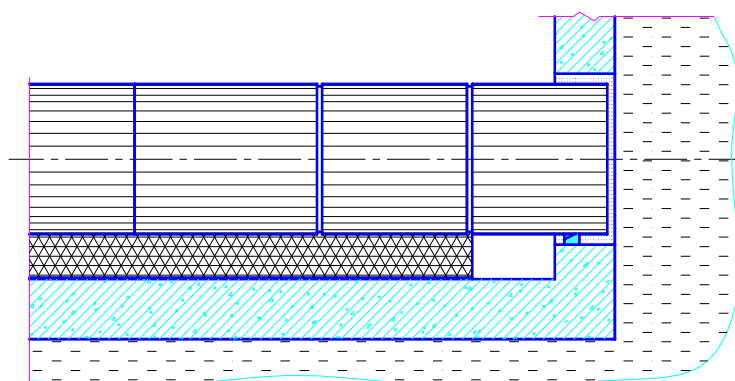
2）穿墙内应有定心环（见附图 14.6.4-2）。

3）穿墙迅速连续，不应在此停留。

4）穿墙套管和顶管机的空隙通过预留的注浆管注入超厚泥浆，填充空隙，可有效支托顶管机和保证洞口止水。



附图 14.6.4-1 顶管机悬臂长、土体支承面小示意图



附图 14.6.4-2 穿墙内定心环在穿墙中的作用示意图

14.6.5 穿墙壁管临时闷板提起后，应迅速顶进。近年来已有数个工程发生穿墙时大量坍方的情况，其中原因之一是打开闷板到顶管机开始顶进时间过长，这是时空效应在顶管中的反映。时空效应在许多场合，例如深基础开挖，证明是非常重要的。顶管的成功经验也证明，穿墙迅速，顶管机尽快向土体挤压，在大多数情况是可以避免坍方的。

14.6.8 进洞前应减慢顶进速度，进洞多发的事故是顶管机正面阻力太大，造成接收孔闷板被顶开，或板桩墙向井内鼓起。结果造成涌土、塌方和流砂。最好的解决办法是减慢顶进速度，减少顶管机的正面阻力，使顶管机平稳地进入墙洞，接近闷板。这种情况对周围的土体扰动最小，

可避免上述不良后果。

14.7 管道顶进

14.7.5 管轴线纵向失稳

防止管道失稳是近年来从工程中提出来的，到目前为止已有数个工程发生管道失稳，后果严重，因此必须引起注意。本条中列举的管道失稳原因，有的已在工程中发生，有的经分析很有可能发生，例如曲线顶管的转弯半径过小。下面是几个实例：

不稳定土体会造成管轴线移动，例如深圳妈湾工程中，由于填海造地，深层土移动，造成管轴线下沉和偏移。

厦门污水排海工程顶管，管道大部份处于软土层，土体承载低（容重仅 1.39kN/m^3 ），再加上施工偏差大，顶管机通过软土层后遇上砂层，顶力增加，造成中继环上拱，最大达 1.6m 。后来通过外力将管轴线基本复位，管道才得以继续顶进。

某工程由于覆盖层薄，管道轴线又向上弯曲，中继环移到弯曲段，侧向分力使覆盖层向上移动，因此造成管轴线向上弯曲，达 1.28m 。

软粘土中触变泥浆过量注浆，也会造成轴线移动。某一工程，管道在淤泥质土层中顶进，由于过量压注触变泥浆，土层抬高，洞穴扩大，管道向上移动约 800mm ，这一情况却好发生在管道向下弯曲段，虽没有造成不良后果，但这一管道上浮的事实，是值得引起注意的。过量压浆造成管道上浮也可能造成管道失稳。

14.8 测量与纠偏

关于长距离顶管和曲线顶管中定向测量的说明

在全球定位系统尚未引入顶管机以前，长距离顶管和曲线顶管中定向测量的基本方法仍然是经纬仪导线法。

1) 管道内布置多台全站仪，依靠全站仪的优势，在短时间内通过计算机测定经纬仪导线，指出管道顶进方向。

2) 管道内设置一台普通经纬仪，一个觇标，两者均布置在顶管机的后部。顶管机上的标尺，经纬仪，后视觇标三者间保持一定的距离，并与管道固定，随管顶进而推进。施工中管道的指向就是靠三者的关系确定的，由经纬仪指向。三者坐标是根据事先测定的实际管轴线计算所得。施工中可以根据顶进距离，推算出三者的即时坐标，通过计算机的运算，就能指出顶管机顶进方向。采用这一方法，速度快、相对精度高，能满足顶管施工的需要。但不能消除经纬仪导线误差。

VMT公司的SLS-RV导向系统，同样是建立在经纬仪导线法之上的，与上面的第二种方法是同一类型的。它优点是已商品化。

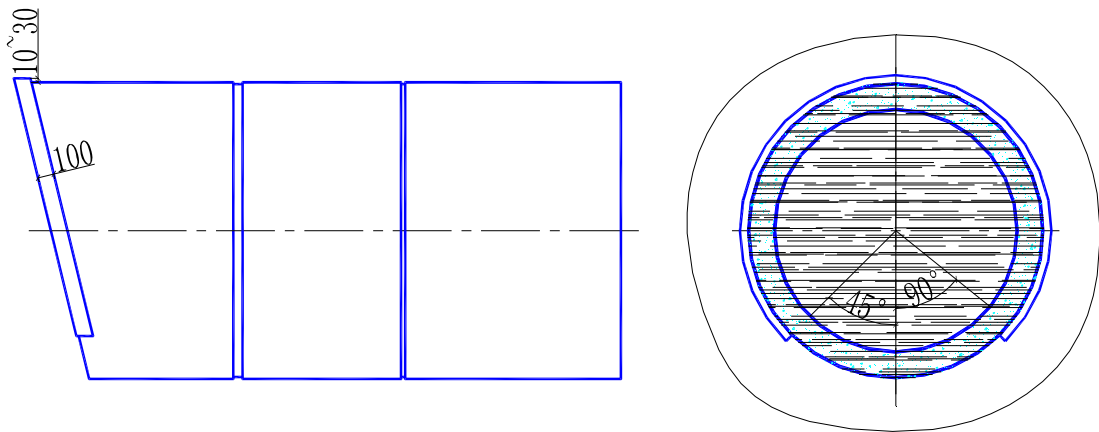
在长距离顶管中，为了提高定向误差，采用陀螺经纬仪是可行的。1986年在我国第一根超长距离顶管中采用的是中误差为10秒的陀螺经纬仪，如采用5秒级、1秒级的陀螺经纬仪，顶管定向精度还会进一步提高。

14.8.8 目前国内长距离顶管普遍开始采用自动测量系统，并辅以人工测量复核，可以大大降低工作强度。

14.9 减阻措施

目前顶管减阻的基本措施是扩孔。地下水位以上的顶管，常用如图所示的顶管头扩孔，方法简单，不会超挖，而且管道在洞中有基础，轴

线偏差不会变化，有利于纠偏。用超挖扩孔不是好办法。由图可见，管道的摩阻力主要是由管道与土在管底摩擦造成的，施工时可在管底涂抹非亲水减阻剂进一步减少摩阻力。如忽略管道弯曲，管道顶进阻力可按管道自重乘摩擦系数估算。



附图 14.9 无地下水稳定土层的扩孔示意图

地下水位以下顶管的扩孔，四周扩大成圆形。扩孔后的间隙注满减阻泥浆（减阻泥浆包括膨润土触变泥浆和化学泥浆），管道浮在泥浆中向前移动。采用减阻泥浆后管道摩阻力的大小除与土质有关外，还与减阻泥浆的质量、压注工艺、泥浆套完整程度、管轴线弯曲程度有关。如发生触变泥浆失水、中继间漏浆、补浆不及时、管轴线弯曲大等任何情况，严重时摩阻力可以成倍增加。例如黄浦江上游引水二期 3.2 标长桥段，有一中继间因严重漏浆，管段的摩阻力从 1.5~3.9kPa 上升到 19.4kPa。

14.9.8 预留注浆孔

管道中增加预留注浆孔是近年来的经验，这对减小管道摩阻力、预防摩阻力突升是很好的办法。管道在顶进过程中，由于种种原因摩阻

力突升时有发生。遇到这种情况可采用增加补浆孔，加大补浆量来减少摩阻力，使管道恢复正常顶进。最典型的例子是 2004 年发生广东省过陈村水道的顶管，管道内径 $\Phi 2200$ 的钢管，全长近 400m。管道顶进到 170 余米时，顶力猛增到 12000kN，后背墙体移动，顶管被迫停止。经过一个多月后背墙重建施工，很担心管道能否启动。增加顶力又怕管道受损，已经没有任何余地。后决定用增加补浆孔大面积补浆。每隔 6m 增设一环补浆孔，每环 3 孔。全面连续注浆后，管道在第四天顶动，不久顶力很快下降到近 8000kN，管道恢复正常顶进。

经过不断的摸索，有经验的施工人员，已经找到用注浆的办法保持管道在低摩阻力下顶进的规律。这就是备足补浆孔，哪里摩阻力大，就在哪里补浆，防患于未然，而且非常经济。

14.9.9 补浆孔间距

补浆孔的间距与泥浆的稳定性、泥浆的流失有关。公式中减阻泥浆失效期“T”值的取用，泥浆稳定、流失少的土层取大值，反之取小值。当管道顶进速度减慢时，可按此经验公式启用补浆孔，特别是遇事故阶段，更应如此。泥浆是否失效，还可通过打开未启用的补浆孔取样检查，但要避开管顶的补浆孔，因为管道在泥中是浮的，管顶与土接触紧密，不能反映真实情况。在管道的弯曲段，又要避开弯曲段内侧的补浆孔，此处管道的管壁与土可能直接接触，也不能反映泥浆的真实情况。

14.9.10 补浆能使摩阻力降低，但是处在流塑性土中的管段，如不加限制大量补浆，注浆压力足够使洞穴扩大。覆盖层薄，扩大方向必然向上。无论钢管还是混凝土管，在泥浆中都是上浮的，所以这段管道轴线向上

浮起，偏差变化。这一情况已经在上海奉贤污水排海混凝顶管工程、上海市污水治理白龙港片区南线输送干线完善工程中发生过，要防止类似情况再次发生。

14.10 管内弃土运输

1 干出泥

干出泥是对环境污染最小的一种施工方法，无地下水的顶管中常被采用，在地下水位以下的顶管只有土压平衡式和挤压式两种顶管机才可以采用。有条件的地方应大力提倡干出泥，特别是在市区或无法排泥的地方。

干出泥方法有三种：人力抛滑、车辆运输和管道输送。人力抛滑是利用顶进管道作为滑道，将泥块由人力一段一段抛滑出管道，效率很高，但仅适合于管径较小的挤压式顶管机和流塑性土的输送。车辆运输设备简单、效率高，适合运距较短的场合。随着运距的增加，效率逐渐降低。为了提高效率宜铺设双轨，但又受到管道空间的限止，所以车辆运输不宜用于顶距较长或管径较小的场合。采用管道输送弥补了车辆运输的不足，运距长、效率高、占用空间小，在管径较小的管道内同样可以采用。管道输送由于设备比较复杂，在顶距较短的顶管是不经济的。

2 用泥泵输送弃土

干出泥顶管机的出泥可采用泥泵。泥泵输送的泥要求呈塑性，而且要有自润滑性，这类土就是有一定含水量的粘土、粉质粘土和部份粘质粉土。也就是说泥泵对土质的要求与土压平衡式顶管机相仿，两者搭配使用是非常合适的，不但满足了出泥，而且还可满足土压平衡式顶管机

连续出泥的需要。

泥泵在上海地区顶管中已有成功应用的实例。合流污水二期 1.2A 标顶管，总长 1097.3m，管径 DN 3000，壁厚 270mm，外径 $\Phi 3540\text{mm}$ ，分 412.8m，334.9m，349.6m 三段顶进。因为运距长，车辆运输效率低，铺双轨又受到管径限止。顶进土层是粘质粉土和淤泥质粘土，适合泥泵输送，因此决定采用泥泵。通过试验，最后以 SCHWING-BP3000 型电动砼泵代用泥泵。该泵的出泥量 0~45 立米 / 小时，最大输送压力 15.4MPa，水平输送距离 >400m。土压平衡式顶管机，最大连续出泥量为 22 立米 / 小时，两者是可搭配的。从实施效果看，采用泵送后管内施工有条不紊，人员出入安全方便，施工效率高，平均每天顶进 15m~20m，采用泵送是合理的。如果采用专用泥泵输送，效果会更好。上海合流污水二期 1.2A 标为顶管干法出泥创出了一条新路。

14.11 通风

14.11.1 顶管内有害气体超标时人员应迅速撤离，当加强通风措施，使空气的有害气体含量达标后，才能恢复施工。

14.11.4 采用压缩空气通风

轴流风扇通风的缺点是噪声较大，管道越小噪声越大，在较长距离顶管中不宜采用。压缩空气通风不但可降低噪声，而且输送距离长应优先采用。

14.11.6 采用压缩空气除湿

地面湿度较高，地面温度又高于地下温度的季节，采用压缩空气通风，空气送入管道后急剧降温，管内湿度达到饱，出现露点，工作条件

极差。潮湿的环境又影响电器和计算机等运行，所以遇这种情况送入管道的空气推荐先除湿。

14.12 供电

本节摘自《顶管工程施工规程》(DG/TJ 08-2049-2016)。

14.13 减少地面沉降措施

14.13.4 在硬壳路面下顶进，如果发生超量出泥的情况，路面一时还不会下沉，如果施工时路面已经发生了较大的坍塌，会使路面下方塌方严重，并产生孔洞。

在硬壳路面下顶进应采取以下措施：

- 1) 顶管机的正面阻力宜取大值，可将硬壳路面转换成等代高度计算正面阻力；
- 2) 加强地面沉观察，严格控制地面下沉。

14.13.5 顶进完成后应填充管外侧纠偏、超挖、塌落等原因造成的空隙以及建（构）筑物、进出洞口，并对被扰动的土体进行分次胶结固化处理。可采用水泥砂浆、粉煤灰+水泥砂浆等易于固结或稳定性较好的浆液置换泥浆。