

ICS 35.240
CCS P 55

DB41

河 南 省 地 方 标 准

DB41/T 2858—2025

输配水管道工程顶管穿越设计技术规程

2025-04-21 发布

2025-07-20 实施

河南省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 工程勘察	2
6 工程布置	3
7 管材选择	4
8 结构设计	6
9 工作井和接收井设计	7
附录 A (规范性) 永久作用标准值	11
附录 B (规范性) 地面车辆荷载对管道作用的标准值计算方法	13
附录 C (规范性) 承载能力极限状态计算	16

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由河南省水利厅提出。

本文件由河南省水利标准化技术委员会（HN/TC 22）归口。

本文件起草单位：河南省水利勘测设计研究有限公司，平顶山市南水北调工程运行保障中心。

本文件主要起草人：苗红昌、曾伟、刘嘉淳、李志华、鞠厚磊、尹箭、朱明锋、杨书统、李玉涛、高余鑫、刘科妍、李云光、郭欣、费小霞、戴鹏礼、舒丹丹、刘智慧、李蕊、刘香君、杨敏敏。

输配水管道工程顶管穿越设计技术规程

1 范围

本文件规定了输配水管道顶管工程的勘察、布置、管材选择、结构设计、工作井和接收井设计等程序。

本文件适用于输配水管道顶管工程穿越设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 5749 生活饮用水卫生标准
- GB/T 11836 混凝土和钢筋混凝土排水管
- GB/T 17219 生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准
- GB/T 19685 预应力钢筒混凝土管
- GB/T 21492 玻璃纤维增强塑料顶管
- GB/T 50010 混凝土结构设计标准
- GB 50017 钢结构设计标准
- SL 191 水工混凝土结构设计规范
- YB/T 4564 非开挖铺设用球墨铸铁管
- DB41/T 2529 输配水管道工程顶管穿越施工技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

顶管

借助顶推装置，将管道在地下逐节顶进的非开挖施工技术。

3.2

顶管机

安装在顶进管道最前端用于掘进、防坍塌、出泥和导向等的机械装置。

3.3

工作井

顶管始发端放置顶进设备并进行顶进作业的竖井。

3.4

接收井

顶管终端接收顶管机的竖井。

3.5

中继间

为控制最大顶进力而设置在管道中间的续顶装置。

3.6

穿越工程

输配水管道通过铁路、公路、堤防、河流、湖泊或其他重要设施地段的管道线路工程。

4 基本规定

4.1 顶管工程设计应按照勘察、布置、结构设计、工作井和接收井设计等程序进行。

4.2 顶管管材的种类、规格及性能应符合相关现行国家标准。

4.3 顶管穿越铁路、公路、堤防、河流、湖泊或其他重要设施时，除应符合本文件规定外，尚应满足相关行业要求。

5 工程勘察**5.1 勘察要求**

5.1.1 顶管工程勘察应在拟建工程位置或线路基本确定后进行。

5.1.2 顶管工程勘察应包含下列内容：

- a) 查明工程沿线区域的地貌、地层分布、土层性质及地下水位状况；
- b) 查明施工区域范围内河、湖、沟、坑或塘的分布范围、埋置深度，并提供覆盖层的工程地质特性；
- c) 查明沿线各地段可能产生潜蚀、流沙、管涌和地震液化地层的分布范围、埋深、厚度及其工程地质特性；
- d) 了解工程沿线影响范围内建（构）筑物、地下管线和地下障碍物的状况；
- e) 根据水文地质单元分层进行地下水样腐蚀性试验和管道埋设深度范围内的地层电阻率测试，分别判定水土对混凝土、钢筋、钢结构及管材腐蚀性级别；
- f) 有承压水分布时，需测定承压水压力并评价其对顶管施工的影响；
- g) 查明施工区域可能存在有害气体和其它有害物质的范围及影响程度。

5.2 勘探孔布置

5.2.1 勘探孔布置应符合以下要求：

- a) 勘探孔间距符合表1规定；

表1 勘探孔间距

单位为米

场地类别	一级场地（复杂场地）	二级场地（中等复杂场地）	三级场地（简单场地）
初级勘察布孔间距	30~60	60~100	100~150
详细勘察布孔间距	20~30	30~50	50~100

- b) 在管线设计轴线两侧5 m~10 m范围内布置勘探线；

c) 根据工程地质条件的复杂程度布置勘探孔, 布孔间距以能控制地层土质变化为原则, 在管线两侧进行布孔, 孔数不宜少于 2 个;

d) 在地质条件复杂地段, 根据场地复杂程度适当增加勘探孔数量;

e) 穿越河谷时, 在河谷两岸及河床上布置勘探孔, 数量不小于 3 个;

f) 矩形工作井和接收井的勘探孔宜布置在四角, 圆形工作井和接收井沿周边均匀布孔。

5.2.2 勘探孔深度应达到管底设计标高以下 3 m~5 m, 如遇下列情况之一, 应适当增加勘探孔深度。

a) 穿越河谷时, 勘探孔深度达到河床最大冲刷深度以下 4 m~6 m。

b) 基底存在松软土层、湿陷性土、未经固结的回填土及可能产生流砂、潜蚀、管涌或地震液化地层时, 勘探孔深度加深或钻穿该类土层。

c) 管线下部有承压强透水层时, 勘探孔适当加深, 或钻穿承压水层, 并测量其水压。

d) 工作井和接收井的勘探孔深度可取井底下 5 m, 特殊情况下适当加深。

5.3 勘察成果

5.3.1 勘察成果应阐述场地工程地质条件、评价场地稳定性和适应性。

5.3.2 勘察成果应提供顶管段和工作井、接收井设计和施工所需的各土层物理力学性质参数, 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, 同时满足相应设计阶段勘察要求。

6 工程布置

6.1 顶管工程选线应满足下列要求:

a) 符合工程区的相关规划及被穿越建(构)筑物的安全要求, 并考虑地形地貌、地质条件及施工、

交通、运行管理、建设征地等因素, 经技术经济比较后确定;

b) 避开地下障碍物;

c) 不宜在活动性地震断裂带通过;

d) 与交叉建筑物的交角不宜小于 60°;

e) 与附近建(构)筑物的水平距离, 满足工作井和接收井施工空间的要求。

6.2 管顶覆土厚度应满足下列要求:

a) 不稳定土层中, 管道覆土厚度大于管道外径的 1.5 倍, 且不小于 1.5 m;

b) 穿越河道时布置在河床的冲刷线 1.0 m 以下, 最小覆土厚度不小于管道外径的 1.5 倍, 且不小于 2.5 m;

c) 穿越有航运或整治要求的河段时, 覆土厚度满足通航和河道整治安全要求;

d) 穿越河流及地下水位较高的地层等区域时, 覆土层厚度满足管道抗浮要求;

e) 穿越铁路、公路、堤防、河流或其他重要设施时, 管道覆土厚度满足相应设施保护的要求。

6.3 相邻管道净距应满足下列要求:

a) 平行管道的水平净距应根据土层情况、管道埋置深度、施工要求等要素确定, 顶管净间距不宜小于较大顶管外径; 管线不在同一高程时, 管中心的高差与水平距离之比, 不大于 1:1.5;

b) 空间交叉管道的垂直净距, 钢管不小于管道外径的 0.5 倍, 且不小于 1.0 m; 其他管材不小于管道外径的 1 倍, 且不小于 2.0 m;

c) 顶管从建(构)筑物基础外侧穿越, 管道与该建(构)筑物基础的净距大于 2 倍管道外径且不小于 3.0 m; 顶管底低于建(构)筑物基础底部时, 当穿越地层土(岩)性较差时, 应考虑采取相应的工程措施。

6.4 顶管穿越建（构）筑物最小长度应满足下列要求：

- a) 穿越铁路时，布置在铁路安全保护区外；
- b) 穿越公路时，按照高速、国道、省道、县道的等级，距公路用地外缘外分别为 30 m~50 m、20 m、15 m、10 m；
- c) 穿越堤防时，布置在护堤地外，背水侧护堤地宽度按照堤防工程 1 级、2 级和 3 级、4 级和 5 级分别为 30 m~20 m、20 m~10 m、10 m~5 m；
- d) 穿越河流时，布置在管理范围外；
- e) 穿越其他重要设施时，符合相关设施保护要求。

6.5 曲线顶管应满足下列要求：

- a) 工程布置应结合顶进距离、管节长度、接头允许转角及土层特性等因素确定；
- b) 应选用较短的管节；
- c) 相邻管节间接头允许转角取表 3 中“双胶圈接头允许转角”的 0.5 倍；
- d) 在管内设中间测站，设置的测站数不宜超过 4 个；
- e) 焊接钢管不宜用于曲线顶管。

7 管材选择

7.1 顶管管材包括钢管、球墨铸铁管、钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管、玻璃纤维增强塑料夹砂管和其他能满足顶管要求的管材，并符合相应的规范要求。

7.2 管材选择应遵循下列原则：

- a) 根据管道用途、管材特性及工程地质条件确定；
- b) 满足埋地管道受力要求，且有较高的轴向承载能力；
- c) 输送饮用水的顶管管材应符合 GB 5749 和 GB/T 17219 的要求；
- d) 腐蚀性水土环境中优先选用玻璃纤维增强塑料夹砂管。

7.3 钢管管道性能应符合下列要求：

- a) 管材规格和性能应符合相应规范规定，且焊缝等级符合设计要求；
- b) 管壁厚度采用计算厚度加腐蚀量厚度，腐蚀量厚度根据使用年限及环境条件确定，且不小于 2 mm，钢管年腐蚀量标准可按表 2 确定；

表2 钢管年腐蚀量（单面）标准

单位为毫米每年

腐蚀环境	低于地下水位区	地下水位变化区	高于地下水位地区
	淡水	淡水	
腐蚀量	0.02	0.04	0.03

- c) 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，采用两条纵向焊缝时，对于大直径管道焊缝间距大于 300 mm；
- d) 下井管段的长度宜为卷制管段的倍数；
- e) 焊缝质量检测，压力管不低于焊缝质量分级的 II 级标准，非压力管不低于 III 级标准；
- f) 与工作井和接收井的井墙采用刚性连接时，须验算温差作用下的井墙受力和管道连接强度。

7.4 球墨铸铁管道性能应符合下列要求：

- a) 顶管法施工的球墨铸铁管采用钢筋混凝土或其他材料制作的护套；

- b) 外防腐层厚度满足抗磨损和设计要求;
- c) 管身设置注浆孔,润滑剂或回填材料加注管道周围;
- d) 接头外径不宜大于管节外径,且具有一定的径向偏转能力,密封性满足设计要求;
- e) 采用承插式柔性接头,接头允许转角不大于0.5°。

7.5 钢筋混凝土管道性能应符合下列要求:

- a) 成品管道质量符合GB/T 11836的规定;
- b) 管节及接口的抗渗性能符合设计要求;
- c) 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于C45,抗渗等级不宜低于P8;
- d) 对混凝土和钢筋具有腐蚀性的环境中,管外壁作相应的防腐处理;
- e) 管道接头可使用双插口和钢承口接头,并应优先选用钢承口接头,双插口管接头使用钢套环或不锈钢套环。

7.6 预应力钢筒混凝土管道性能应符合下列要求:

- a) 成品管道质量符合GB/T 19685的规定;
- b) 管材的混凝土强度等级不宜低于C40,抗渗等级不应低于P8;
- c) 素混凝土保护层厚度不小于35mm,配置钢筋的混凝土保护层厚度不小于80mm,钢筋置于保护层1/2厚度位置,钢筋直径不应小于6mm,间距不应大于200mm;
- d) 含腐蚀性介质的土壤环境中,管体混凝土需进行防腐处理;
- e) 管道接头可采用单胶圈和双胶圈两种型式,其允许转角符合表3的规定。

表3 接头允许转角

公称内径 (mm)	接头允许转角 (°)	
	单胶圈	双胶圈
1000~1600	1.0	1.0
1600~2400	0.7	1.0
2600~3400	0.5	0.7
3600~4000	0.5	0.5

7.7 玻璃纤维增强塑料夹砂管道性能应符合下列要求:

- a) 成品管道质量符合GB/T 21492的规定;
- b) 缠绕成型的玻璃钢夹砂管管端要增强,且有增强过渡段;
- c) 管道接头可采用双插口接头或承插式接头;
- d) 管道外表面平直度应小于3mm,管节长度不宜超过6m。

7.8 管道允许顶进力按式(1)计算:

$$F_p = k_p \cdot \sigma_p \cdot A_p \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

式中:

F_p ——管道允许顶进力,单位为千牛(kN);

k_p ——管道综合系数,其中:钢管取0.277,当顶进长度小于300m且穿越土层均匀时取0.346;钢筋混凝土管和预应力钢筒混凝土管取0.391;玻璃纤维增强塑料夹砂管取0.277;

σ_p ——管材抗压强度设计值,单位为千牛每平方米(kN/m²);

A_p ——管道最小有效传力面积,单位为平方米(m²);

球墨铸铁管道允许顶进力不超过YB/T 4564中规定的成品管材最大允许顶推力。

8 结构设计

8.1 作用分类和作用代表值

8.1.1 顶管结构上的作用应包含下列内容:

- a) 永久作用包括管道结构自重、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;
- b) 可变作用包括管道内水压力、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。

8.1.2 顶管设计时,不同作用采用的代表值应符合下列规定:

- a) 永久作用采用标准值作为代表值;
- b) 可变作用根据设计要求,采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。

8.1.3 管道结构计算的永久作用标准值按附录A的规定确定。

8.1.4 可变作用标准值及准永久作用应符合下列规定:

- a) 管道内设计水压力标准值按表4选用,准永久值系数取0.7且不得小于工作压力;

表4 管道内设计水压力标准值

管材类型	工作压力P	设计水压力/MPa
钢管	P	$P+0.5 \geq 0.9$
球墨铸铁管	P	$P \leq 0.5$ 时, 取 $2.0P$; 反之取 $P+0.5$
钢筋混凝土管	P	(1.4~1.5)P
预应力钢筒混凝土管	P	(1.4~1.5)P
玻璃纤维增强塑料夹砂管	P	(1.4~1.5)P

注1: 工业企业中低压运行的管道,其内水压力可取工作压力的1.25倍且 ≥ 0.4 MPa;
 注2: 当管线上设有可靠的调压装置时,管道内水压力可按具体情况确定。

- b) 管道真空压力标准值按0.05 MPa计算,其准永久值系数取 $\psi_q=0$;
- c) 地面堆积荷载传递到管顶处竖向压力标准值,按 10 kN/m^2 计算,其准永久值系数取 $\psi_q=0.5$;
- d) 地面车辆荷载传递到管顶处的竖向压力标准值的确定应符合附录B的规定;
- e) 温度作用标准值,按温差 $\pm 20^\circ\text{C}$ 计算,其准永久值系数可取 $\psi_q=1.0$ 。

8.2 作用组合

8.2.1 管道结构设计按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行作用组合,并取最不利组合进行设计。

8.2.2 承载能力极限状态计算应符合附录C的规定。

8.2.3 正常使用极限状态验算应符合下列要求:

- a) 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;
- b) 验算构件截面的最大裂缝开展宽度时,按准永久组合作用计算;组合设计值按式(2)计算:

$$S = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n \psi_{qj} C_{qj} Q_{jk} \dots \quad (2)$$

式中:

S ——作用效应组合的设计值;

C_{Gi} ——永久荷载作用效应系数;

G_{ik} ——永久荷载标准值；

ψ_{qj} ——第j个可变作用的准永久值系数，可按8.1.4进行选用；

C_{qj} ——可变荷载作用效应系数;

Q_{ik} ——可变荷载标准值。

- c) 正常使用极限状态验算的作用组合工况按附录 C 表 C.1 选用。

9 工作井和接收井设计

9.1 一般规定

9.1.1 工作井的位置应遵循以下原则：

- a) 充分利用线路上的检查井或通风井;
 - b) 便于排水、出土和运输;
 - c) 尽量避开房屋、地下管线、池塘、架空电线等不利于顶管施工的场地;
 - d) 地下水位以下单向顶进时, 工作井设在管线埋深较深一侧;
 - e) 有直线又有曲线的顶管中, 工作井宜设在直线段一侧;
 - f) 多排顶进或多向顶进时, 宜利用一个工作井。

9.1.2 工作井平面形状选择应遵循如下原则：

- a) 直线顶管或二段交角接近 90° 或 180° 折线顶管时，宜采用矩形工作井；
 - b) 两段交角比较小或同一位置需要多个方向顶进或接收时，采用圆形、多边形工作井。

9.1.3 根据地质条件、周边环境条件、管道埋深及直径、井的平面尺寸、经济指标及施工工期等因素，合理选用工作井和接收井的围护结构型式，并应遵循下列原则：

- a) 顶管埋深较浅、地下水位较低、顶距较短时，宜选用钢板桩或 SMW 工法；
 - b) 顶管埋深较深、顶力较大的软土地区，宜选用沉井或地下连续墙；
 - c) 土质较软或地下水较丰富地区，宜优先采用沉井；
 - d) 地下水位在顶管理设深度以下时，可选用灌注桩和钢板桩；
 - e) 场地受限且周边建（构）筑物需要保护时，宜优先选用地下连续墙。

9.1.4 工作井进洞口和接收井出洞口影响范围内存在软土层且影响顶管机械设备的水平控制时，应在进出洞口位置进行土层加固。

9.1.5 工作井进洞口和接收井出洞口影响范围内存在砂层等强透水层或顶管机械设备进出洞受地下水影响较大时，应在进出洞口位置设置土层加固及防渗措施。

9.2 几何尺寸

9.2.1 工作井内净尺寸应按照以下原则：

- a) 工作井最小长度按式(3)计算:

式中：

L ——工作井最小长度，单位为米（m）；

L_1 ——顶管机或管节长度，取两者中大值，单位为米（m）；

L_2 ——千斤顶长度，单位为米（m）；

L_3 ——后背墙厚度, 单位为米 (m);

m ——考虑顶进管道后退、顶铁厚度及安装富余量，可取1.5 m。

b) 工作井最小宽度可按式(4)计算:

式中：

B ——工作井最小宽度, 单位为米 (m);

D_1 ——管道外径, 单位为米 (m);

b ——施工操作空间，可取1.0 m~1.5 m，浅工作井取小值，深工作井取大值。

c) 工作井底板面深度应按式 (5) 计算:

式中：

H_d ——工作井底板面最小深度，单位为米（m）；

H_s ——顶管覆土层厚度, 单位为米 (m);

h_d ——管底操作空间，单位为米（m），钢管取0.70 m~0.80 m；钢筋混凝土管和玻璃纤维增强塑料夹砂管等取0.40 m~0.50 m。

9.2.2 工作井穿墙孔直径可按式(6)计算:

式中：

D_g ——工作井穿墙孔直径，单位为米（m）；

D ——顶管机外径，单位为米（m）。

9.2.3 接收井内净尺寸设计应遵循以下原则：

- a) 最小长度满足顶管机在井内拆除和起吊要求;
 - b) 最小宽度满足操作空间要求。

9.2.4 接收井穿墙孔尺寸应按式(7)计算:

式中：

D_i ——接收井穿墙孔直径，单位为米（m）；

C_0 ——管道允许偏差绝对值，单位为米（m）。

9.2.5 穿墙止

- 结构设计**

1 工作井和接收井结构上的作用应包含下列内容:

 - a) 永久作用包括结构和永久设备的自重、水重、土压力、淤沙压力及围岩压力、结构的预加应力等;
 - b) 可变作用包括总顶力、内水压力、外水压力、扬压力、动水压力、温度作用、车辆作用、雪作用等;
 - c) 偶然作用包括地震作用

9.3.2 工作井和接收井应力分析宜采用结构力学或弹性力学方法，重要的钢筋混凝土结构建议采用有限元进行复核计算。

8.3.3 工作共和接收共结构计算工况及作用组合应按表 5 确定。

表5 工作井和接收井结构计算工况及作用效应组合

作用效应 组合工况	永久作用				可变作用					偶然作用
	结构自重	水重	土压力	预应力	总顶力	外水压力	内水压力	车辆作用	温度作用	
基本作用组合	√	√	√	√	√	√	√	√	√	—
特殊作用组合（空管）	√	—	√	√	—	√	—	—	√	—
特殊作用组合（地震）	√	√	√	√	—	√	√	—	—	√

9.3.4 工作井和接收井结构设计还应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算，计算应符合SL 191 的规定。

9.4 顶进力估算

9.4.1 总顶进力估算按 DB41/T 2529 相关规定执行。

9.4.2 曲线顶管顶进力应在直线顶管顶进力的基础上，根据曲率半径增加顶进力附加系数 K 值， K 值可按表 6 选取。

表6 曲线顶管顶进力附加系数K值

参数	附加系数组合				
ρ	$300D_0$	$250D_0$	$200D_0$	$150D_0$	$100D_0$
K	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3

注1: ρ : 曲率半径, 单位为米 (m);
注2: D_0 : 管壁中心直径, 单位为米 (m)。

9.5 后背墙设计

9.5.1 顶进力较大时设置后背墙，后背墙的设计和安装应满足下列要求：

- a) 结构强度与刚度能承受主顶工作站千斤顶最大反作用力;
 - b) 承受主顶工作站反作用力时, 其变形在允许范围内;
 - c) 平面与顶进轴线垂直, 表面坚实平直;
 - d) 材料的材质均匀一致;
 - e) 结构简单、装拆方便。

9.5.2 利用已顶进管道承受后背墙反力时，应符合下列规定：

- a) 待顶进管道的顶进力小于已顶进管道外壁摩擦阻力;
 - b) 后背墙钢板与管口之间需衬垫缓冲材料;
 - c) 采取措施保护已顶进管道接口不受损伤。

9.5.3 设计后背墙时应充分利用土抗力，土抗力不满足时进行加固。

9.5.4 后背墙承载能力按式(8)计算:

式中：

R_c ——后背墙承载能力, 单位为千牛 (kN);

S_0 ——后背墙承载能力计算系数，取 $S_0=1.5\sim2.5$ ；

B_h ——后背墙宽度, 单位为米 (m);

γ_s ——土的重度，单位为千牛每立方米 (kN/m^3)；

h_2 ——后背墙高度，单位为米（m）；

K_p ——被动土压系数，计算参考公式 $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$ ，其中 φ 是土的内摩擦角；

C ——土的粘聚力，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

h_1 ——地面到后背墙顶部土体高度，单位为米（m）。

9.5.5 后背墙承载能力也可按式(9)~式(10)确定:

- a) 不考虑后背支撑时:

- b) 考虑后背支撑时：

式中：

H_g ——工作井深度，单位为米（m）；

h_3 ——后背墙深入基坑底部深度, 单位为米 (m);

η ——安全系数，通常取 $\eta \geq 1.5$ 。

9.6 中继间设计

9.6.1 当顶进阻力超过管材允许顶力或工作井后背墙承载能力时需要设置中继间。

9.6.2 采用中继间顶进时，设计顶进力和中继间位置应符合下列规定：

- a) 中继间的设计顶进力不大于管道管节相应设计转角的允许顶进力；
 - b) 第一个中继间设计顶进力能克服前方管道外壁摩擦阻力及顶管机迎面阻力之和；后续中继间设计顶进力能克服两个中继间之间的管道外壁摩擦阻力；
 - c) 第一个中继间安装时考虑顶管机在迎面阻力作用下发生反弹、引起地面沉降，一般安装于顶管机后 20 m~50 m；
 - d) 中继间位置满足所穿越设施的相关要求。

9.6.3 中继间数量计算按 DB41/T 2529 相关规定执行。

9.6.4 中继间允许转角宜为 $0.4^\circ \sim 1.2^\circ$ ，合力中心可调节。

9.6.5 中继间结构形状应符合相应管道接头的要求，中继间带有木质传压环和钢制均压环，端面尺寸同作用于其上的顶进力相适应。

9.6.6 设有中继间的曲线顶管管径不应小于 DN1400。

附录 A (规范性) 永久作用标准值

A. 1 管道结构自重标准值按式 (A. 1) 计算:

式中：

G_{1k} ——单位长度管道结构自重标准值，单位为千牛每米（kN/m）；

γ ——管材重度，单位为千牛每立方米 (kN/m^3)；其中：钢管取 $78.5 \text{ kN}/\text{m}^3$ ，钢筋混凝土管和预应力钢筒混凝土管取 $26 \text{ kN}/\text{m}^3$ ，其他管材按实际情况取值；

t ——管壁设计厚度, 单位为米 (m)。

A.2 竖向土压力标准值按下列条件计算：

- a) 当管顶覆土厚度小于或等于 1 倍管外径或覆土层为淤泥土时，管顶上部和管拱背部的竖向土压力标准值应按式（A.2）～式（A.3）计算：

式中：

$F_{sv \cdot k1}$ ——管顶上部竖向土压力标准值, 单位为千牛每平方米 (kN/m^2) ;

γ_{si} ——管道上部*i*层土层重度，单位为千牛每立方米(kN/m^3)，地下水位以下取有效重度；

h_i ——管道上部*i*层土层厚度，单位为米（m）；

$F_{sw,k2}$ ——管拱背部竖向土压力标准值，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

R_2 ——管道外直径，单位为米（m）。

b) 管顶覆土层不属于上述情况时, 坚向土压力标准值应按式(A.4)~式(A.6)计算:

$$B_t \equiv D_1 [1 + \tan(45^\circ - \phi/2)] \dots \quad (\text{A. 5})$$

$$C_j = \frac{1 - \exp[-2K_d\mu(H_s/B_t)]}{2K_d\mu} \dots \quad (\text{A. 6})$$

武中

$F_{sw,k3}$ ——管顶竖向土压力标准值，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

C_i ——顶管竖向土压力系数;

B_t ——管顶上部土层压力传递至管顶外的影响宽度，单位为米（m）；

——管顶土的内摩擦角，单位为度（°）：

K_u ——原状土的主动土压力系数和内摩擦系数的乘积，一般土质条件可取 $K_u=0.19$

a) 当管道位于地下水位以下时，还应计入地下水作用

A.3 侧向土压力标准值按下列条件计算：

- a) 地下水位以上管道侧向土压力标准值按式(A.7)计算:

式中：

$F_{h,k}$ ——侧向土压力标准值，单位为千牛每平方米（kN/m²），作用在管中心；

$F_{sv,ki}$ ——管顶竖向土压力标准值，单位为千牛每平方米（kN/m²）；

K_a ——主动土压力系数，即 $K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$ 。

b) 地下水位以下管道侧向水土压力标准值应采用水土分算，土的侧压力按式(A.7)计算，重度取有效重度；地下水压力按静水压力计算，水的重度可取 10 kN/m³。

A.4 管内水重标准值按不同水质的重度计算。

附录 B
(规范性)
地面车辆荷载对管道作用的标准值计算方法

B. 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。

B. 2 地面车辆荷载传递到管道顶部的竖向压力标准值, 可按式(B. 1)~式(B. 2)确定:

B. 2. 1 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力作用见图B. 1, 可按式B. 1计算:

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

式中:

q_{vk} ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值, 单位为千牛每平方米 (kN/m^2) ;

$Q_{vi,k}$ ——车辆的*i*个车轮承担的单个轮压标准值, 单位为千牛 (kN) ;

a_i ——*i*个车轮的着地分布长度, 单位为米 (m) ;

H ——车行地面至管顶的深度, 单位为米 (m) ;

b_i ——*i*个车轮的着地分布宽度, 单位为米 (m) 。

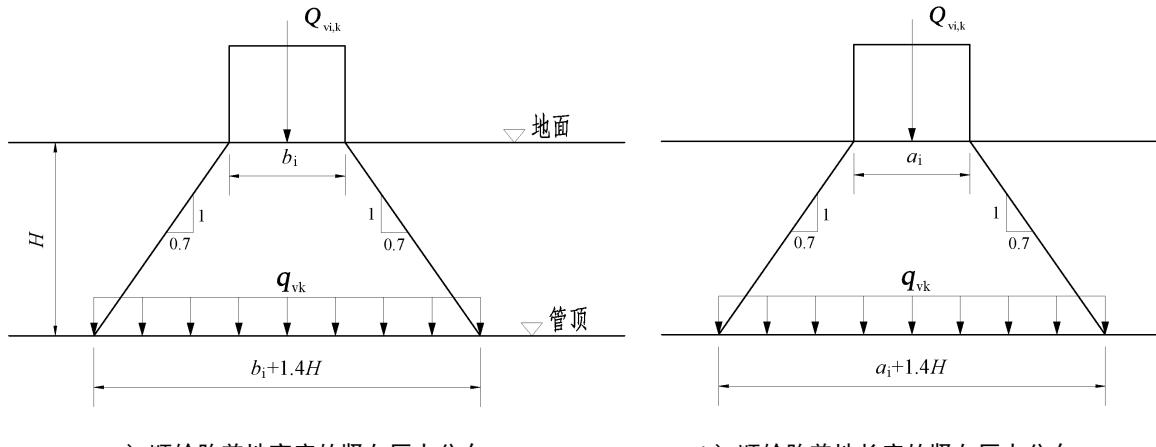


图 B. 1 单个轮压的传递分布示意

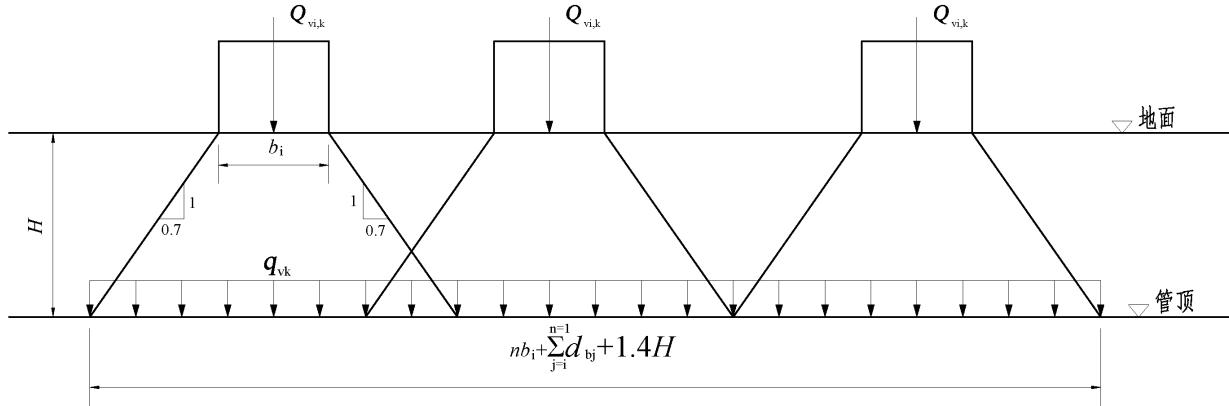
B. 2. 2 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力作用见图B. 2, 可按式B. 2计算:

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

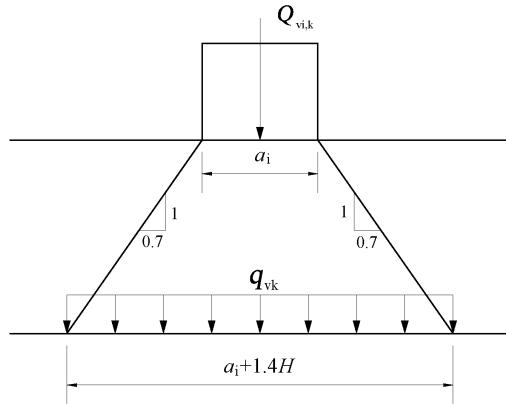
式中:

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, 单位为米 (m) 。



a) 顺轮胎着地宽度的竖向压力分布



b) 顺轮胎着地长度的竖向压力分布

图 B. 2 两个以上单排轮压综合影响的传递分布示意

B. 2.3 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值，可按式（B. 3）计算：

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

式中：

m_a ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数；

d_{aj} ——沿车轮着地分布长度方向，相邻两个车轮间的净距，单位为米（m）；

m_b ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数。

B. 2.4 当刚性管道为整体式结构时，地面车辆荷载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见图B. 3，车辆荷载的竖向压力传递分布可按式B. 4计算：

$$q_{ve,k} = q_{vk} \frac{L_p}{L_e} \quad (\text{B. 4})$$

式中：

$q_{ve,k}$ ——考虑管道整体作用时管道上的竖向压力，单位为千牛每平方米（kN/m²）；

L_p ——轮压传递到管顶处沿管道纵向的影响长度，单位为米（m）；

L_e ——管道纵向承受轮压影响的有效长度，单位为米（m）；其中：圆形管道取 $L_e = L_e + 1.5D_1$ ；矩形管道取 $L_e = L_e + 2H_P$ ， H_P 为管道高度，单位为米（m）。

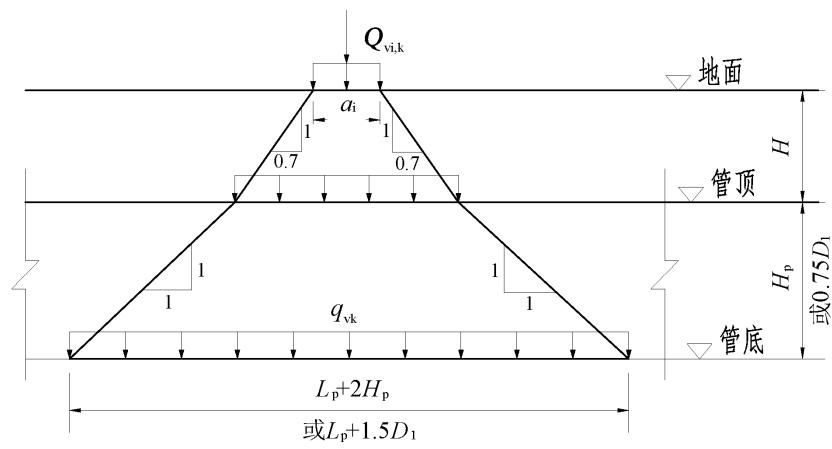


图 B.3 考虑结构整体作用的竖向压力示意

表C.1 承载能力极限状态强度计算作用组合表

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}	管道内水重 G_w	管道内水压 F_{wd}	地面车辆荷载 Q_v 或堆载 Q_m	温度作用 F_t
钢管 球墨铸铁管 玻璃纤维增强塑料夹砂管	空管期间	√	√	—	—	√	√
	管道内满水	√	√	√	—	√	√
	使用期间	√	√	√	√	√	√
钢筋混凝土管 预应力钢筒混凝土管	空管期间	√	√	—	—	√	—
	管道内满水	√	√	√	—	√	—
	使用期间	√	√	√	√ ^a	√	—

^a指压力管。

C.5 钢管、球墨铸铁管、玻璃纤维增强塑料夹砂管的管壁截面稳定验算的各项作用应取标准值，且稳定系数不低于 2.0，作用组合包括竖向土压力、地面车辆或堆积荷载、真空压力、地下水。