

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.14.011

城市道路下大口径污水压力管道的止推优化设计

涂 青, 朱艳薇, 王植林, 刘尚春, 吴斯文, 陈启迪
(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 污水压力管道作为城市污水转输的主要载体,在现状道路下遇到既有管道、河道等复杂障碍物的情况不可避免,穿越这些障碍物时进行的止推设计尤为重要,一旦发生事故将造成严重的后果;然而城市道路地上交通繁忙,地下管线综合尤为复杂,无论是施工还是使用阶段,管线周边的空间均受到限制,无法设计尺寸较大的支墩。对比分析现行图集、规程中同等外部条件下采用的支墩尺寸和混凝土量,总结出优化的思路 and 方案。以南京市某城市主干道下新建的DN2 200污水压力管道为例,在保证安全稳定的前提下,管道转弯处采用钢筋混凝土沿线包封的方式,减少对周边空间的占用,避免因支墩尺寸过大带来的地基处理、基坑支护等设计问题,取得了较好的经济效益和社会效益,可为后续类似工程提供参考。

关键词: 污水压力管道; 止推设计; 城市道路; 大口径

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)14-0069-08

Thrust Optimization Design for Large-diameter Sewage Pressure Pipelines beneath Urban Roads

TU Qing, ZHU Yan-wei, WANG Zhi-lin, LIU Shang-chun, WU Si-wen,
CHEN Qi-di

(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan
430010, China)

Abstract: As the primary infrastructure for municipal sewage transfer, sewage pressure pipelines frequently encounter complex obstacles such as existing underground pipelines and watercourses beneath current roadways. The thrust design during the crossing of these obstacles is critically important, as any incident could lead to severe consequences. However, given the heavy above-ground traffic on urban roads and the intricate network of underground pipelines, both the construction and operational phases are constrained by limited surrounding space, which precludes the design of large-sized thrust blocks. This paper compared and analyzed the dimensions of the thrust blocks and the quantity of concrete utilized under identical external conditions based on the current atlas and regulations, leading to the summarization of optimization concepts and strategies. The newly constructed DN2 200 sewage pressure pipeline project located beneath the main urban roads in Nanjing adopted the method of reinforced concrete encasement along the pipeline bends. This approach was implemented under the premise of ensuring safety and stability, aiming to minimize the occupation of surrounding space and prevent design challenges such as foundation treatment and pit support that could arise due to the excessive dimensions of thrust blocks. Consequently, it achieved superior economic and social benefits, providing valuable reference for subsequent similar projects.

Key words: sewage pressure pipeline; thrust design; urban roads; large diameter

近年来随着城市发展,大口径污水压力管道的敷设越来越多,其作为城市污水转输的主要载体,在现状道路下遇既有管道、河道等复杂障碍物的情况不可避免,穿越这些障碍物时进行的止推设计尤为重要,一旦发生事故将造成严重的后果^[1]。《柔性接口给水管道支墩》(10S505,以下简称“图集”)给出了不同设计内水压力、地质条件、管径及转弯角度等情况下的支墩尺寸,其设计原理主要是利用混凝土支墩自重、支墩底部与土的摩擦力以及支墩的被动土压力来平衡水压力和主动土压力。但当管道口径及转弯角度均较大时,图集不再适用,这是由于支墩体积庞大,需占用大量地下空间;而城市道路地上交通繁忙,地下管线综合尤为复杂,无论是施工还是使用阶段,管线周边的空间均受到限制,无法设计尺寸较大的支墩。因此,部分学者根据现场情况对支墩进行优化设计^[2-6],温晓英等^[7]对比了水平转弯PCCP限制接头与钢管的止推设计,黄仕香^[8]结合支墩和限制接头的止推计算,总结探讨了水平、纵向弯管外包混凝土支墩的止推计算方法。

以上研究大多着眼于止推设计的抗推力计算、增加被动土压力等单一因素,而在不同的设计内水压力、地下水位以及采用不同计算方法的情况下,相对全面系统地对水平与垂直向止推设计进行分析的研究较少。针对大口径管道止推设计的几种形式,进行算例结果对比和分析,并以南京市某城市主干道下新建DN200污水压力管道的支墩设计为例,在保证管道转弯处安全性的前提下,对支墩进行优化设计,减少对周边空间的占用,避免因支墩尺寸过大带来的地基处理、基坑支护等问题,旨在为类似工程提供参考。

1 止推设计的探讨

1.1 水平向止推设计

影响止推设计的因素主要有管道内水压,管道自身重力、上覆土重力及管内水重力共同产生的摩擦力,止推构件后靠土的主动和被动土压力。常用的止推形式主要包括以下几种:①支墩,通过设置混凝土支墩来承担推力;②限制接头,通过采用焊接或自锚式接头将多根管道连接,从而增大限制管

道移动的摩擦力来抵抗推力;③支墩与限制接头的组合使用。

考虑大口径管道,以图集中最大管径DN2000为例,工况如下:水平向转弯45°弯头、土壤等效内摩擦角度为28°、摩擦系数 $f=0.30$;地下水位在支墩底部或设计地面以下0.50m;管材为铸铁管道,工作压力0.40MPa,设计内水压力0.80MPa,分别采用4种止推方式进行试算。止推设计1按照图集进行支墩的设计及计算,具体见图1。

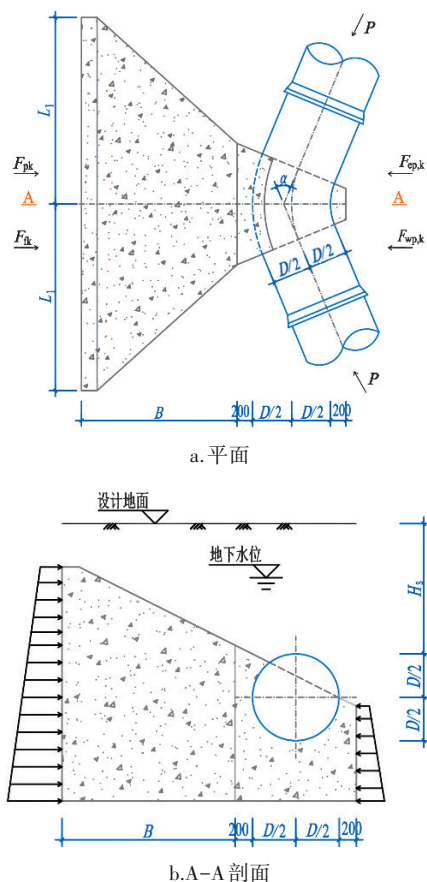


图1 水平弯管支墩(图集)

Fig.1 Diagram of horizontal bent pipe thrust block (atlas)

止推设计1中管道在设计内水压力作用下,弯头处受到的水压合力标准值计算见下式:

$$F_{wp,k} = 2P \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

$$P = 0.785 d n^2 F_{wd,k} / 1000 \quad (2)$$

式中: $F_{wp,k}$ 为水平向支墩承受管道截面外推力 P 对支墩产生的水压合力标准值,kN; P 为管道截面

外推力标准值, kN; α 为管道的转弯角度, ($^{\circ}$); $F_{wd,k}$ 为管道设计内水压力, MPa; dn 为管道接口设计内径, mm。

抗推力稳定性验算见下式:

$$F_{pk} - F_{ep,k} + F_{fk} \geq K_{s1} F_{wp,k} \quad (3)$$

$$F_{fk} = (\sum G - F_{fw,k})f \quad (4)$$

式中: F_{pk} 为支墩受到的被动土压力, kN; $F_{ep,k}$ 为支墩受到的主动土压力, kN; F_{fk} 为支墩底部滑动平面上的摩擦力标准值, kN; K_{s1} 为抗滑稳定性抗力系数, 取 1.50; $\sum G$ 为支墩、管道自身、管内水、支墩上覆土等各项所受重力标准值之和, kN; $F_{fw,k}$ 为支墩及其顶部覆土所受浮托力标准值, kN; f 为土体对混凝土支墩底部的摩擦系数。

止推设计2考虑支墩与限制接头的组合, 采用钢筋混凝土包封, 包封厚度为管道四周 0.50 m, 具体见图2。

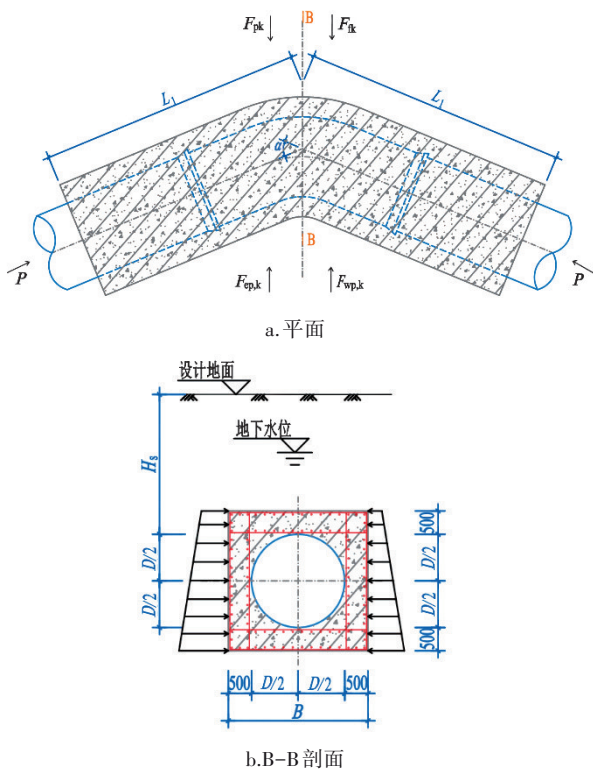


图2 水平弯管支墩(全截面包封)

Fig.2 Diagram of horizontal bent pipe thrust block (full section encasement)

参照《给水排水工程结构设计手册》(以下简称“手册”)中的计算方法, 考虑包封长度范围内的主动和被动土压力, K_{s1} 取 1.50; 采用该方法, 管道需产生一定的水平位移, 支墩后背才能产生被动土压

力; 在转弯点处产生的外推力、沿管道纵向包封长度上的摩擦力、被动与主动土压力均为非线性的分布模式, 与周边土体的横向约束、管道刚度等相关, 较难精确地定量计算。因此, 简化为最不利工况, 将钢筋混凝土包封的管道转弯段看作以转弯点为固定点的两端悬臂构件, 在主、被动土压力差的作用下产生较大的内力, 由一侧包封管道段承担, 进行压弯构件的受力分析, 保证其强度和裂缝满足规范要求。另外, 抗滑安全系数取 1.50, 也是为限制产生过大的位移。

止推设计3的管道支墩设计形式与止推设计2一致(见图2, 钢筋按需配置), 但计算方法和抗滑安全系数不同。参照文献[9]中第5.3.6条和附录G.0.3、G.0.4对限制接头抗推力标准值进行计算, 如下式所示:

$$2L_1(2G_e + G_p + G_w + G_c)f \geq K_{s2} F_{wp,k} \quad (5)$$

式中: K_{s2} 为抗滑稳定性抗力系数, 不考虑包封支墩侧的主动和被动土压力作用, 取 1.10; L_1 为弯管外部一侧的钢筋混凝土包封长度, m; G_e 为单位长度管道支墩顶部以上覆土荷载标准值, kN/m; G_p 为单位长度管道重力荷载标准值, kN/m; G_w 为单位长度管内水重力荷载标准值, kN/m; G_c 为单位长度管道包封混凝土重力荷载标准值, kN/m。

值得注意的是, 当管道、支墩及覆土位于地下水位以下时, G_e 、 G_p 、 G_w 、 G_c 均为浮重度。

止推设计4考虑仅设置水平限制接头的工况, 采用焊接钢管或自锚式球墨铸铁管道, 利用管道与土体的摩擦力来抵抗内水压力, 计算公式见文献[10]。综上, DN2 000 管道在水平转弯工况下止推设计的计算结果见表1。

由表1可知: ①当地下水位较高时, 管道包封混凝土量为地下水位较低时的 1.5~2.0 倍, 考虑仅设置限制接头的情况, 则限制接头管段的长度为考虑包封支墩的 2.0~6.0 倍; ②止推设计1中, 管道纵向向外侧还需占用 4.15 m×10.30 m 的区域, 增加了基坑支护、地基处理的范围和难度, 对现状城市道路围挡及周边管线影响大; ③止推设计2中包封混凝土量与止推设计1相近, 但对周边地下空间占用少, 考虑侧向变形, 简化计算最不利转弯点处弯矩值约 9 717 kN·m, 可由包封混凝土内配置的纵向钢筋承担; ④止推设计3在计算时不考虑管道包封侧的主、

被动土压力,虽然抗滑安全系数取1.10,但包封混凝土量约为止推设计2的3倍,尤其在周边土质条件较好的情况下,差距会更加明显;⑤城市道路地

下空间紧张,综合考虑支墩形式、尺寸等因素,在确保被动土压力的可靠性和转弯节点压弯构件承载力满足要求的前提下,止推设计2是最优的设计方案。

表1 水平转弯工况下止推设计参数

Tab.1 Parameters of thrust design under horizontal turning conditions

项目	地下水位情况	设计内水压力标准值/MPa	管道顶部覆土厚度/m	地下水位在设计地面以下深度/m	一侧包封(管道)长度 L_1 /m	宽度 B /m	支墩总体积/ m^3
止推设计1(参考图集,安全系数1.50)	低	0.80	1.50	4.10(支墩底部)	3.90	2.70	49.86
	高	0.80	1.50	0.50	5.15	3.95	95.55
止推设计2(参考手册,安全系数1.50)	低	0.80	1.50	4.00(支墩底部)	4.50	3.00	52.74
	高	0.80	1.50	0.50	7.50	3.00	87.90
止推设计3(参考文献[9],安全系数1.10)	低	0.80	1.50	4.00(支墩底部)	13.50	3.00	158.22
	高	0.80	1.50	0.50	22.00	3.00	257.84
止推设计4(参考文献[10],安全系数1.50)	低	0.80	1.50	3.50(管道底部)	26.00		
	高	0.80	1.50	0.50	40.00		

1.2 垂直向止推设计

针对垂直向下弯的弯管,因水压合力向上,其止推设计尤为重要,故单独对垂直向下弯管支墩进行讨论。止推设计1按照图集进行支墩的设计及计算,具体如图3所示。

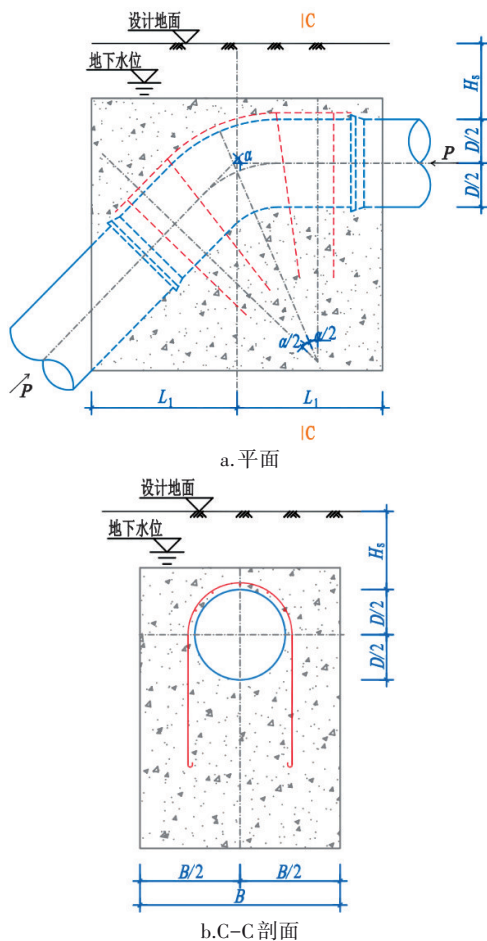


图3 垂直向下弯管支墩(图集)

Fig.3 Diagram of vertical bent pipe thrust block (atlas)

垂直向下弯管支墩的抗推力稳定性验算见下式:

$$F_{fk} \geq K_{s1} F_{hk} \quad (6)$$

$$F_{hk} = P(1 - \cos \alpha) \quad (7)$$

$$F_{fk} = (\sum G - N_k - F_{fw,k})f \quad (8)$$

$$N_k = P \sin \alpha \quad (9)$$

式中: K_{s1} 取1.50; F_{hk} 为水平分力,kN; N_k 为垂直向上分力,kN。

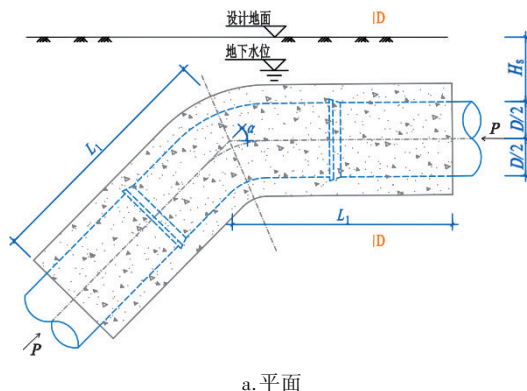
垂直向下弯管支墩的垂直向稳定性验算见下式:

$$\sum G \geq K_f (N_k + F_{fw,k}) \quad (10)$$

式中: K_f 为垂直向稳定性抗力系数,取1.10。

止推设计2考虑支墩与限制接头的组合,采用钢筋混凝土包封的形式,包封厚度为管道四周0.50 m,具体如图4所示。

止推设计2参照文献[9]第5.3.6条和附录G.0.2中计算方法, K_{s1} 取1.50;同时满足支墩垂直向稳定性的要求,其与止推设计1的计算方法基本一致。



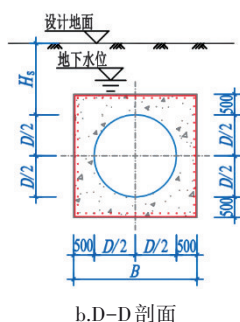


图4 垂直向下弯管支墩(全截面包封)

Fig.4 Diagram of vertical bent pipe thrust block(full section encasement)

止推设计3的包封形式同止推设计2(见图4),但计算方法和抗滑安全系数不同。参照文献[9]第5.3.6条、附录G.0.3、G.0.4和文献[8]进行计算,

表2 垂直向转弯工况下止推设计参数

Tab.2 Parameters of thrust design under vertical turning conditions

项 目	地下水 位情况	设计内水压力 标准值/MPa	管道顶部覆 土厚度/m	地下水位在设计地 面以下深度/m	一侧包封 长度 L_1 /m	宽度 B /m	支墩总体 积/ m^3
止推设计 1(参考图集,安全系数 1.50)	低	0.80	1.50	4.80(支墩底部)	2.78	11.10	215.59
	高	0.80	1.50	0.50	3.38	13.50	396.74
止推设计 2(参考文献[9],安全系数 1.50)	低	0.80	1.50	4.00(支墩底部)	15.00	3.00	175.80
	高	0.80	1.50	0.50	28.00	3.00	328.16
止推设计 3(参考文献[9],安全系数 1.10)	低	0.80	1.50	4.00(支墩底部)	12.00	3.00	140.64
	高	0.80	1.50	0.50	24.00	3.00	281.28
止推设计 4(参考文献[9],安全系数 1.10)	低	0.80	1.50	3.50(管道底部)	14.00		
	高	0.80	1.50	0.50	38.00		

由表2可知:①当地下水位较高时,管道包封混凝土量约为地下水位较低时的2.0倍;②止推设计1中,管道横断面需占用11.10~13.50 m宽,一侧超出管道外边缘4.55~5.75 m,增加了基坑支护和地基处理的范围和难度,对现状城市道路围挡及周边管线影响大;③止推设计3与止推设计4所采用公式的差别在于前者中推力按照合力考虑,但二者均未考虑推力水平分力与摩擦力的稳定性验算,止推设计3因安全系数取值为1.10,故支墩体积略小于止推设计2;④城市道路地下空间紧张,止推设计2的包封混凝土量与止推设计1相近,但对周边地下空间占用少。综合考虑支墩形式、尺寸等因素,止推设计2是最优的设计方案。

1.3 水平向与垂直向转弯止推设计的综合对比

针对止推设计1~3,水平向与垂直向转弯止推设计的混凝土量对比如图5所示。

如下式所示:

$$L_1(G_e + G_p + G_w + G_c) \cos \frac{\alpha}{2} \geq K_{s2} F_{wp,k} \quad (11)$$

式(11)中 K_2 取1.10,该式未考虑垂直向支墩水平分力的抗力计算。

止推设计4为仅设置垂直向限制接头的情况,参照文献[9]第5.3.6条以及附录G.0.3、G.0.4进行计算,如下式所示:

$$2L_1(G_e + G_p + G_w) \cos \frac{\alpha}{2} \geq K_{s2} F_{wp,k} \quad (12)$$

式(12)中 K_2 取1.10。

综上, DN2 000管道在垂直向转弯工况下, 其一侧包封长度、宽度、支墩总体积等止推设计的计算结果如表2所示。

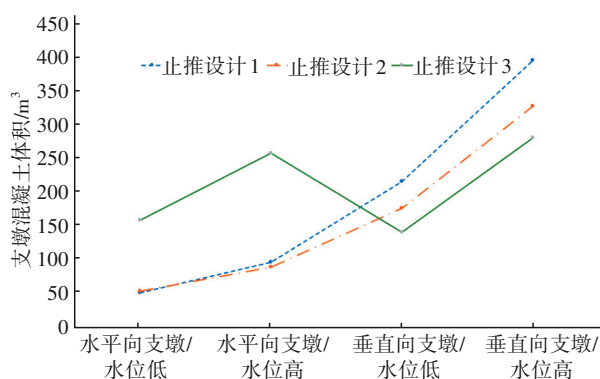


图5 水平向与垂直向转弯止推设计的混凝土量对比

Fig.5 Comparison of concrete volume for thrust design in horizontal and vertical turning conditions

由图5可知:①止推设计1和2中,因垂直向转弯需考虑水压推力垂直向上的分力,且垂直向转弯不考虑土体的被动土压力,故虽然与水平转弯的角度相同,但其止推设计的混凝土工程量是水平向的4倍左右;②止推设计3参照文献[9]中公式计算,垂

直向转弯与水平向转弯的混凝土量差异不明显,由于垂直向转弯未考虑水平方向推力的抗力验算,故止推设计3的垂直向计算偏不安全。

综上所述,止推设计2采用钢筋混凝土沿管道纵向包封的方式,可以减少占用周边地下空间,避免大尺寸支墩设计产生的地基处理和支护等问题;同时考虑主动和被动土压力(水平向)、止推支墩与土壤之间的摩擦力来抵抗推力,与止推设计1图集的混凝土工程量相当,满足管道在转弯处的稳定性和安全性,故工程设计中采用止推设计2。此外,考虑垂直向止推设计的混凝土量较大,建议垂直向采用小角度转弯。

2 工程实例

南京市某城市主干道下新建DN2 200污水压力管道,其输水能力 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,管道工作压力0.4 MPa,球墨铸铁管道和钢管的设计内水压力分别为0.8和0.9 MPa。该段新建管道沿线途经多条城市主干道,总长约6 km,道路下燃气、电力、给水等现状管线尤为复杂。新建管道在路口需 45° 或 30° 水平转弯,遇现状不能迁改管道需垂直向下穿,垂直向转角为 11.25° 或 22.50° 。因该工程中管道直径超出图集适选范围,故采用止推设计2的方法单独设计止推支墩。

2.1 水平向转弯止推设计

根据管道后期维护检修的需求,转弯管道采用 270° 钢筋混凝土包封,同时为了提高该段的整体性和稳定性,包封段采用钢管D2 220 mm $\times$ 24 mm替换原球墨铸铁管道。新建污水压力管道水平转弯工况下止推支墩设计参数见表3。

表3 新建污水压力管道水平转弯工况下止推支墩设计参数

Tab.3 Design parameters of thrust block of newly-built sewage pressure pipeline under horizontal turning conditions

项目	设计内水压力标准值/MPa	管道顶部覆土厚度/m	地下水位在设计地面以下深度/m	一侧包封长度 L_1 /m	包封总宽度 B /m	支墩总体积/ m^3
水平转弯 45°	0.90	1.50	0.50	9.00	3.20	84.78
水平转弯 30°	0.90	1.50	0.50	6.00	3.20	56.52

注: 土壤等效内摩擦角度为 28° ,摩擦系数 $f=0.30$ 。

对于 45° 水平转弯,一侧钢筋混凝土包封管道长度9.00 m,复核其主、被动土压力差作用下的参数,简化为最不利情况计算,弯矩值约 $13\,570 \text{ kN}\cdot\text{m}$,轴压力为2 559 kN,考虑由D2 220 mm $\times$ 24 mm钢管承担,经计算可以满足要求;同时加强支墩纵向钢筋配置,并在钢板桩拔除后,在支墩后靠背施打双排高压旋喷桩,加固土体,增加被动土压力区的可靠性。新建污水压力管道水平转弯止推支墩设计见图6。

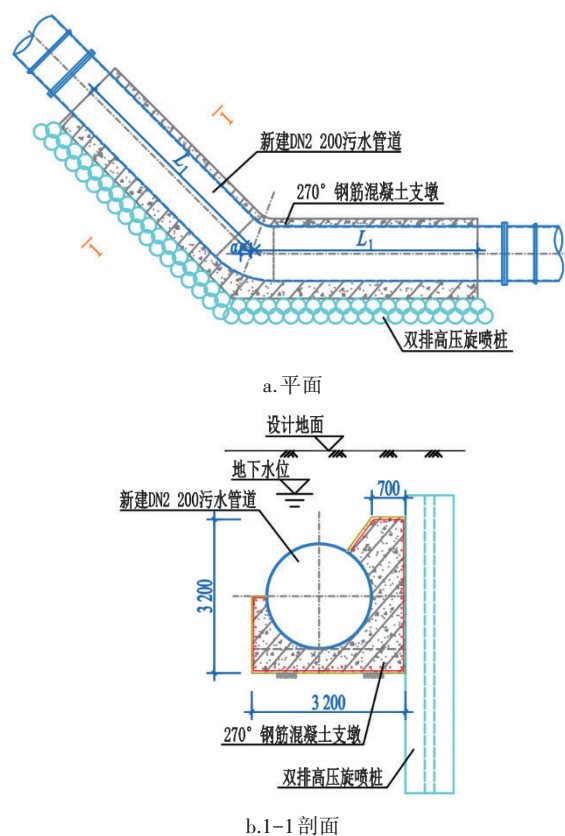


图6 新建污水压力管道水平转弯止推支墩设计
Fig.6 Design of thrust block of newly-built sewage pressure pipeline under horizontal turning conditions

2.2 垂直向转弯止推设计

新建压力管道遇现状给水或雨污水管道,常采用“U”型布置下穿,包含对称的垂直向弯管(向下与向上)。考虑该工程新建管道管径大,压力高,垂直向采用 11.25° 或 22.50° 弯头。垂直向上弯管主要考虑地基承载力问题,因地基承载力已满足要求,此处不做讨论。设计重点为垂直向下弯管,研究对象包括弯管水平投影长度的1/2及弯头本身,采用止推设计2的方法,计算结果见表4。新建污水压力管道垂直向转弯止推支墩设计见图7。

表 4 新建污水压力管道垂直向转弯工况下止推支墩设计参数
Tab.4 Design parameters of thrust block of newly-built sewage pressure pipeline under vertical turning conditions

项目	设计内水 压力标准 值/MPa	管道顶部最 小覆土厚度/ m	地下水位在 设计地面以 下深度/m	垂直向转 弯的高差 h/m	弯管弯折的 水平投影长 度 L/m	全包封长度 L ₁ /m	包封总宽 度 B/m	支墩总体 积/m ³
垂直向转弯 11.25°	0.80	1.50	0.50	2.00	10.00	4.00	3.20	68.89
垂直向转弯 22.50°	0.80	1.50	0.50	3.00	7.50	12.00	3.20	110.60

注：土壤等效内摩擦角度为 28°，摩擦系数 f=0.30。

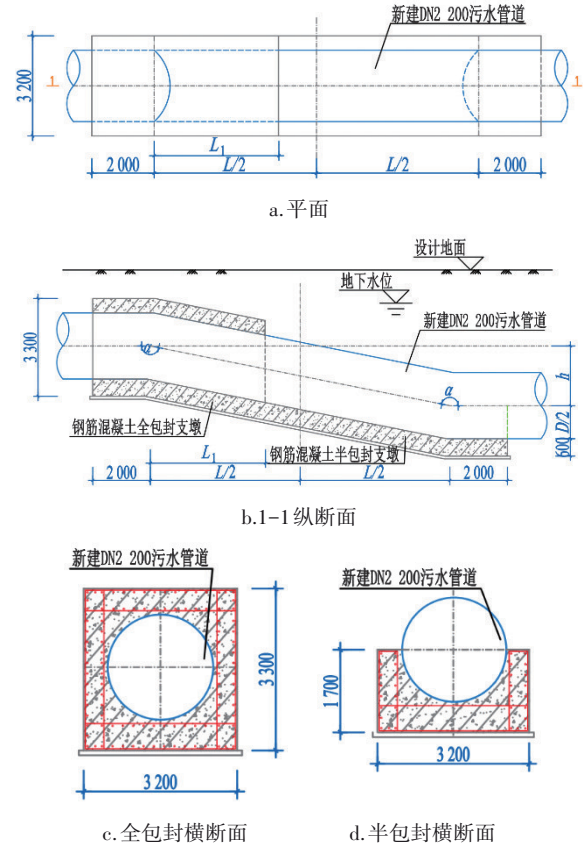


图 7 新建污水压力管道垂直向转弯止推支墩设计
Fig.7 Design of thrust block of newly-built sewage pressure pipeline under vertical turning conditions

对于 11.25°垂直向弯头,采用自锚式球墨铸铁管道钢筋混凝土包封和半包封,可以满足垂直向止推设计的要求。

22.50°垂直向弯头因转弯角度大、水平投影短,其抗推力稳定性系数不足 1.50,解决方案如下:

① 以管道垂直向转弯点为中心,计算管道全包封段长度,经计算,全包封长度为 12.00 m(见表 4);

② 改用 D2 220 mm×24 mm 钢管, L₁=4.0 m。以图 7 中管段为研究对象,计算其承载力,考虑

0.90 MPa 设计内水压力作用下的弯矩与轴力,验算后可以满足强度要求。

3 结论

大口径污水压力管道转弯处的止推设计是保证管道安全运行的重要环节,通过对比分析图集、规程和文献中 4 种不同止推方案及计算公式,总结出止推设计的最优方案。结合工程实例,应用分析结果对支墩进行优化设计,既保证结构安全,又减少对地下空间的占用,具有较好的经济效益和参考价值。主要结论如下:

① 城市道路下,现状管线综合复杂,地下空间受限,管道转弯处采用钢筋混凝土沿线包封的方式较为合适。

② 针对水平向转弯的工况,当忽略被动土压力时,混凝土支墩的体积相比考虑该因素时增加约 2 倍,土质情况越好,差距越明显,反之,土质情况较差,差距则相对减小。因此,设计人员可根据具体情况灵活设计,并复核管道转弯节点的压弯构件承载力。该工程为污水压力管道,应尽量减少转换钢管的长度,故考虑支墩两侧的主、被动土压力,同时为确保结构的安全与稳定,采用高压旋喷桩加固被动区土体。

③ 针对垂直向支墩,建议止推设计整体考虑垂直向下和向上转弯节点,应重点关注向下弯工况,支墩需验算抗推力稳定性和垂直向稳定性。当大角度转弯时,可增加包封长度;若抗推力稳定性在 1.0~1.5 之间,则采用钢管并验算其压弯构件承载力是否满足要求。同时,建议施工时加强对“U”型中间区域回填质量的控制。

④ 对于水平向止推设计 2,现采用转弯点作为固定点的悬臂计算模式偏于保守,理论上管道与周边包裹结构形成的整体刚度较大,会约束推力产生的位移变形。但实际情况较为复杂,摩擦力和

主、被动土压力沿管道纵向非线性分布;同时地下水导致土体的干湿程度不同,对摩擦系数也有影响。建议后续在管道转弯处布置传感器,通过管道在线监测系统获取相关位移变形值,并结合数值分析进行深入研究。

参考文献:

- [1] 陈湧城,温晓英,李世龙,等. 大口径PCCP管应用的关键技术问题解析[J]. 中国给水排水,2012,28(8): 1-5.
CHEN Yongcheng, WEN Xiaoying, LI Shilong, *et al.* Analysis on key technical problems in application of large-diameter prestressed concrete cylinder pipe [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (8) : 1-5 (in Chinese).
- [2] 王明辉. 长距离输水柔性接口管道空间转弯支墩的设计及应用[J]. 水科学与工程技术,2022(5):51-52.
WANG Minghui. Design and application of space turning buttress of long-distance water delivery flexible interface pipeline [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2022(5):51-52(in Chinese).
- [3] 何海燕. 埋地压力给水管道水平支墩稳定性验算及优化设计[J]. 水利水电快报,2024,45(7):59-63,69.
HE Haiyan. Stability checking calculation and optimal design of horizontal pipeline buttress of buried pressure water supply pipe [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2024, 45 (7) : 59-63, 69 (in Chinese).
- [4] 温晓英,程子悦,冯树健. 大口径输水管道的止推设计[J]. 中国给水排水,2012,28(4):1-5.
WEN Xiaoying, CHENG Ziyue, FENG Shujian. Discussion on thrust design of large diameter water transmission pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2012,28(4):1-5 (in Chinese).
- [5] 雷晗. 高水压作用下的球墨铸铁管道弯头支撑设计[J]. 特种结构,2019,36(1):44-48.
LEI Han. Design on pipe bend support of ductile iron under high water pressure [J]. Special Structure, 2019, 36(1):44-48 (in Chinese).
- [6] 高宇,江登峰. 高水压大口径球墨铸铁管道支墩设计[J]. 市政技术,2021,39(2):115-118,124.
GAO Yu, JIANG Dengfeng. Design of pipe piers for large diameter ductile iron pipe under high water pressure [J]. Journal of Municipal Technology, 2021, 39 (2):115-118,124 (in Chinese).
- [7] 温晓英,王长祥,张蕾. PCCP限制接头止推与钢管止推设计的对比分析[J]. 中国给水排水,2013,29(14): 62-65.
WEN Xiaoying, WANG Changxiang, ZHANG Lei. Comparison and analysis of thrust design of PCCP restrained joint and steel pipe [J]. China Water & Wastewater,2013,29(14):62-65 (in Chinese).
- [8] 黄仕香. 压力管道外包混凝土支墩的止推计算方法分析[J]. 市政技术,2022,40(12):192-198.
HUANG Shixiang. Research on thrust calculation of pressure pipeline packed by concrete buttress [J]. Journal of Municipal Technology, 2022, 40 (12) : 192-198 (in Chinese).
- [9] 住房和城乡建设部. 城镇给水预应力钢筒混凝土管道工程技术规程:CJJ 224—2014[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical Specification for Prestressed Concrete Cylinder Pipeline of City Water Supply Engineering: CJJ 224-2014 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2014 (in Chinese).
- [10] 中国工程建设标准化协会. 给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程:CECS 141:2002[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
China Association for Engineering Construction Standardization. Specification for Structural Design of Buried Steel Pipeline of Water Supply and Sewerage Engineering: CECS 141: 2002 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2002 (in Chinese).

作者简介:涂青(1984—),女,江西南昌人,硕士,高级工程师,一级注册结构工程师,主要从事给排水结构设计、咨询、研究等工作。

E-mail:290372320@qq.com

收稿日期:2024-09-11

修回日期:2024-12-16

(编辑:沈靖怡)