

水利工程中钢管结构计算的影响因素分析及其优化设计

彭维东

固原市水利勘测设计院有限公司 宁夏 银川 750000

摘要：管道是灌溉工程及人饮工程中常用的输水型式，高压力、大厚度覆土的管道工程越来越多，钢管在高压力、大厚度覆土工况下的管材比选中占很大优势，钢管的壁厚不仅对投资影响巨大，而且对管道的安全有着决定性的影响，因此探讨对钢管的结构的影响因素以及如何进行管道结构的优化设计是极其有必要的。

关键词：钢管；稳定性；强度；刚度

1 前言

灌溉及人饮工程直接关乎国家的粮食安全以及老百姓喝水的问题，随时科学技术的发展，高压力、大厚度覆土的管道工程越来越多，钢管在高压力、大厚度覆土工况下的管材比选中占很大优势，钢管的壁厚不仅对投资影响巨大，而且对管道的安全有着决定性的影响，因此探讨对钢管的结构的影响因素以及如何进行管道结构的优化设计是极其有必要的。

2 钢管结构计算方法

管线管道属于回填钢管，回填钢管计算采用《水利水电压力钢管设计规范》(SL/T281-2020)中相关公式进行

计算，主要包括荷载计算、稳定验算、应力及强度计算和刚度计算公式等。

3 钢管结构计算分析

钢管结构计算分析主要包括对抗外压稳定性的影响分析、对强度的影响分析以及对刚度的影响分析。

(1) 对抗外压稳定性的影响分析

以DN1000mm管径为例，对不同覆土厚度、不同土弧角(120°和平底敷设20°)、不同内水压力、不同壁厚以及不同管侧土的变形模量下的抗外压稳定安全系数进行计算，并将计算结果列与表3.1中。

表3.1 不同参数的抗外压稳定性安全系数计算汇总表

基本参数						抗外压稳定性	
管径 (mm)	土弧角 °	覆土厚度 (m)	内水压力 (MPa)	壁厚t (mm)	管侧土的变形模量 (MPa)	安全系数 Kst	允许【K】
1000	120	2	2.0	10	3	5.48	2.0
1000	120	2	2.0	10	5	8.59	2.0
1000	120	2	2.0	12	3	6.26	2.0
1000	20	2	2.0	10	3	5.48	2.0
1000	20	2	2.0	10	5	8.59	2.0
1000	20	2	2.0	12	3	6.26	2.0
1000	120	2	3.5	10	3	5.48	2.0
1000	120	2	3.5	10	5	8.59	2.0
1000	120	2	3.5	12	3	6.26	2.0
1000	20	2	3.5	10	3	5.48	2.0
1000	20	2	3.5	10	5	8.59	2.0
1000	20	2	3.5	12	3	6.26	2.0

根据以上计算成果可知：

管侧土的变形模量对抗外压稳定性影响极大；单纯增加壁厚对提高抗外压稳定性更加有利；调整土弧角对抗外压稳定性影响极其小，基本不受影响。

(2) 对强度的影响分析

以DN1000mm管径为例，对不同覆土厚度、不同土弧角、不同内水压力、不同壁厚以及不同管侧土的变形模量下的强度进行计算，并将计算结果列与表3.2中。

表3.2 不同参数的强度计算汇总表

基本参数						强度计算-运行工况						强度计算-放空工况			强度计算-充水工况			
管径	土弧角	覆土厚度	内水压力	壁厚t	管侧土的变形模量	σ 折算(温降)	σ 折算(温升)	σ_{θ}	$\varphi[\sigma]$	σ_N	$\varphi[\sigma]$	σ 折算	σ_{θ}	$\varphi[\sigma]$	σ 折算(温降)	σ 折算(温升)	σ_{θ}	$\varphi[\sigma]$
(mm)	°	(m)	(MPa)	(mm)	(MPa)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1000	120	2	2.0	10	3	155	181	176	266	125	163	79	89	266	113	137	123	296
1000	120	2	2.0	10	5	148	174	168	266	125	163	54	60	266	85	106	83	296
1000	120	2	2.0	12	3	140	166	158	266	100	163	79	89	266	113	137	123	296
1000	20	2	2.0	10	3	187	214	215	266	125	163	147	165	266	213	240	246	296
1000	20	2	2.0	10	5	176	202	202	266	125	163	99	111	266	147	172	166	296
1000	20	2	2.0	12	3	178	204	204	266	100	163	147	165	266	213	239	245	296
1000	120	2	3.5	14	3	167	193	191	266	146	163	73	82	266	105	129	113	296
1000	120	2	3.5	14	5	163	189	186	266	146	163	57	64	266	88	110	88	296
1000	20	2	3.5	14	3	196	223	226	266	146	163	136	153	266	196	223	226	296
1000	20	2	3.5	14	5	190	217	218	266	146	163	105	118	266	154	180	175	296
1000	120	4	2.0	10	3	177	203	202	266	125	163	136	153	266	163	190	187	296
1000	120	4	2.0	10	5	166	192	190	266	125	163	92	103	266	115	139	126	296
1000	120	4	2.0	12	3	164	191	188	266	100	163	135	152	266	163	189	186	296
1000	20	4	2.0	16	3	205	231	236	266	71	163	203	228	266	253	280	292	296
1000	20	4	2.0	10	5	207	233	238	266	125	163	169	190	266	212	239	244	296
1000	120	4	3.5	14	3	187	213	214	266	146	163	124	140	266	150	176	171	296
1000	120	4	3.5	14	5	181	207	207	266	146	163	96	109	266	120	145	132	296
1000	20	4	3.5	16	3	216	242	249	266	125	163	203	228	266	253	280	292	296
1000	20	4	3.5	14	5	219	246	252	266	146	163	178	200	266	223	250	257	296

根据以上计算成果可知：

1) 单纯增加壁厚没有调整土弧角(改善受力条件)对强度计算更加有利,覆土厚度越大,增大土弧角有利影响越大,覆土2m时120度土弧角比20度土弧角(平底敷设)的有利影响相当于增大4mm壁厚的影响,增加壁厚对强度的影响幅度是小幅度增加,增大土弧角对强度的影响幅度比较大。其他条件不变,随着壁厚的增大,管道的应力是先增大再减小的,所以单纯增大壁厚对于改善受力不一定有利。

2) 不论20度土弧角(平底敷设)还是120度土弧角时,管侧土的变形模量对运行工况强度计算影响较小,

对放空工况和充水工况强度计算影响较大,覆土厚度越大对放空工况和充水工况强度计算影响越大,且20度土弧角(平底敷设)时管侧土的变形模量对放空工况和充水工况强度计算的影响程度远大于120度土弧角时。

3) 平底敷设时(20度土弧角),对于覆土厚度较大的管道,增加壁厚的价值很低,增加壁厚对改善管道应力作用很小。

(3) 对刚度的影响分析

以DN1000mm管径为例,对不同覆土厚度、不同土弧角、不同内水压力、不同壁厚以及不同管侧土的变形模量下的管顶竖向位移进行计算,并将计算结果列与表3.3中。

表3.3 不同参数的位移计算汇总表

基本参数						刚度验算	
管径	土弧角20	覆土厚度	内水压力	壁厚t	管侧土的变形模量	管顶最大竖向位移计算值	最大竖向位移允许值
(mm)	°	(m)	(MPa)	(mm)	(MPa)	(mm)	(mm)
1000	120	2	2.0	10	3	21.3	25.0
1000	120	2	2.0	6	5	17.0	25.0
1000	20	2	2.0	12	3	20.6	25.0

续表:

基本参数						刚度验算	
管径 (mm)	土弧角 θ °	覆土厚度 (m)	内水压力 (MPa)	壁厚 t (mm)	管侧土的变形模量 (MPa)	管顶最大竖向位移计算值 (mm)	最大竖向位移允许值 (mm)
1000	20	2	2.0	6	5	20.8	25.0
1000	120	2	3.5	10	3	21.3	25.0
1000	120	2	3.5	6	5	17.0	25.0
1000	20	2	3.5	12	3	20.6	25.0
1000	20	2	3.5	6	5	20.8	25.0
1000	120	4	2.0	14	3	22.4	25.0
1000	120	4	2.0	10	5	24.9	25.0
1000	20	4	2.0	16	3	20.6	25.0
1000	20	4	2.0	14	5	21.2	25.0
1000	120	4	3.5	14	3	22.4	25.0
1000	120	4	3.5	10	5	24.9	25.0
1000	20	4	3.5	16	3	20.6	25.0
1000	20	4	3.5	14	5	21.2	25.0

根据以上计算成果可知:120度土弧角比20度土弧角减少的位移相对于增大2mm壁厚减少的位移更大,增大土弧角比增大2mm壁厚更有利。管侧土的变形模量对强度计算影响较大。

结论

通过以上对抗外压稳定性的影响分析、对强度的影响分析以及对刚度的影响分析可以得到以下结论:

- (1) 如果管道抗外压稳定性是主要问题,则应首先考虑增大壁厚和提高管侧土的压实度及改善回填土的类别,土弧角对抗外压稳定性没有影响;
- (2) 如果强度是主要问题,则应首先考虑增大土弧角,该措施既经济且对改善受力又极为有利,在优化的土弧角的基础上再考虑增大壁厚,不增大土弧角,仅增大壁厚对改善管道应力微乎其微;
- (3) 如果刚度是主要问题,则可考虑同时采用增大土弧角、增大壁厚和提高管侧土的压实度及改善回填土的类

别等几种方法,改善回填土的类别对投资影响可能较大。

(4) 平底敷设的管道壁厚多由放空工况和充水工况控制,运行工况不控制,覆土厚度对应力影响程度越大,增大壁厚对强度的影响远不如管侧土的变形模量的影响大;土弧角大于90°后,管道的壁厚多由运行工况控制,内水压力对应力的影响大于覆土厚度的影响。

(5) 管道敷设尽量不要采用平底敷设,尤其是覆土厚度大时,千万不可平底敷设管道。

(6) 增大壁厚对于可以肯定的是对抗外压稳定和变形的影响是有利的,对于改善受力不一定有利,因为随着壁厚的增大,管道的应力是先增大再减小的。

参考文献

[1]SL/T281-2020,水利水电压力钢管设计规范[S]
 [2]CECS141:2002_给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程[S]