

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.04.006

# 埋地塑料圆形管道环刚度计算

赵金涛<sup>1</sup>, 姚 婷<sup>2</sup>

(1. 中机国际工程设计研究院有限责任公司华东分院, 江苏 南京 210042;  
2. 江苏省建筑科学研究院有限公司高性能土木工程材料国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 为了有效控制工程中管材的费用, 从而准确地确定埋地塑料圆形管道的环刚度, 通过计算及工程经验比较, 结果表明, 由管道变形限值反推出环刚度的计算方法所得出的数值较精确。在计算过程中, 经过多次比较, 发现环刚度计算公式中参数的选取对计算结果影响很大, 尤其是管侧土综合变形模量的选取。计算结果表明, 获取准确的管侧土综合变形模量值对环刚度的确定有着举足轻重的作用。

**关键词:** 环刚度; 管道变形系数; 变形滞后效应系数; 变形模量; 塑料管道

**中图分类号:** TU992.24; TU532+.61 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2012)04-0393-04

## Calculation of ring-bending stiffness of buried round plastic pipeline

ZHAO Jintao<sup>1</sup>, YAO Ting<sup>2</sup>

(1. China Machinery International Engineering Design & Research Institute Co., Ltd.,  
East China Branch, Nanjing 210042, China;  
2. State Key Laboratory of High Performance Civil Engineering Materials, Jiangsu Research  
Institute of Building Science Co., Ltd., Nanjing 210008, China)

**Abstract:** In order to effectively control the cost of pipe materials in engineering, the ring-bending stiffness of buried round plastic pipeline needs to be accurately determined. Comparison of the calculated value and engineering experience shows that the value deduced by the ring-bending stiffness of the anti-deformation limit is accurate. In the ring-bending stiffness calculation, parameter selection, especially the selection of the soil deformation modulus, had a significant effect on the calculation results. The calculated results show that to obtain accurate soil deformation modulus is vital to determination of the ring-bending stiffness.

**Key words:** ring-bending stiffness; pipeline deformation coefficient; deformation hysteresis coefficient; deformation modulus; plastic pipeline

环向弯曲刚度是指管道抵抗变形的能力, 简称环刚度<sup>[1]</sup>。如果管材的环刚度选择太低, 管材可能发生过大变形或出现压屈失稳破坏; 反之, 如果环刚度选择得太高, 必然采用过大的截面惯性矩, 将造成材料使用太多, 成本过高。因此, 在管道环刚度计算中参数的选择非常重要。

## 1 环刚度的计算

目前, 埋地塑料管管材主要用环刚度来衡量其强度, 环刚度可以用试验的方法测定, 也可以根据地质报告等相关资料由相关公式计算得出。

根据 CECS 164:2004《埋地聚乙烯排水管道工程技术规程》, 环刚度计算采用的公式为

$$S_p = \frac{E_p I_p}{8r_0^3} \quad (1)$$

式中: $S_p$ ——管材环刚度,kPa; $E_p$ ——管材短期弹性模量,kPa; $I_p$ ——管道纵截面每延米管壁的惯性矩, $m^4/m$ ; $r_0$ ——管道计算半径(管壁中心轴半径),m。

由式(1)根据管道的物理性质计算出管道的环刚度<sup>[2-3]</sup>,但在实践中 $E_p$ 、 $I_p$ 、 $r_0$ 这3个量的数值不易获得<sup>[4]</sup>。首先,管材的弹性模量不易测量,采用不同品牌 and 不同配方的原材料,弹性模量都会有较大变化;此外,管道纵截面每延米管壁的惯性矩很难计算(埋地塑料排水管一般采用结构壁管,结构截面常常是比较复杂的几何形状),结构尺寸(如壁厚)的变动会造成惯性矩明显变化。而且,在设计方案确定以后,如果要求制造厂家保证这3个量值都不变是很不现实的。因此,设计中一般按管道的竖向变形来控制环刚度的大小。管道竖向直径的变形量一般按式(2)计算:

$$W_{d\max}=D_1\frac{K_d(F_{svk}+\psi_qq_{vk}D_1)}{8S_p+0.061E_d}$$

(2)

从而可以推导出环刚度的表达式为

$$S_p=\frac{D_1\frac{K_d(F_{svk}+\psi_qq_{vk}D_1)}{W_{d\max}}-0.061E_d}{8}$$

(3)

当设计地面高于原状地面时

$$F_{svk}=C_c\rho_sgH_sB_c$$

(4)

对由设计地面开槽施工的管道,则

$$F_{svk}=C_d\rho_sgH_sB_c$$

(5)

式中: $W_{d\max}$ ——管道在荷载准永久值组合作用下的最大竖向变形量,m; $D_1$ ——变形滞后效应系数; $K_d$ ——管道变形系数,根据管道敷设基础中心角 $2\alpha$ 按表1选用; $F_{svk}$ ——每延米管道上管顶的竖向土压力标准值,kN/m; $\psi_q$ ——可变荷载准永久值系数,取0.5; $E_d$ ——管侧土的综合变形模量,kPa; $q_{vk}$ ——地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值,kN/m; $C_c$ ——填埋式土压力系数<sup>[5]</sup>,与 $H_s/B_c$ 、管底地基土及回填土的力学性能有关,一般取1.20~1.40; $\rho_s$ ——回填土的密度, $kg/m^3$ ; $H_s$ ——管顶至设计地面的覆土高度,m; $B_c$ ——管道的外缘宽度(当为圆管时应以管外径 $D_1$ 替代),m; $C_d$ ——开槽施工土压力系数,与开槽宽有关,一般取1.2。

表1 管道变形系数  $K_d$

Table 1 Pipeline deformation coefficient  $K_d$

| $2\alpha$ | 20°   | 45°   | 60°   | 90°   | 120°  | 150°  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $K_d$     | 0.109 | 0.105 | 0.102 | 0.096 | 0.089 | 0.083 |

管道竖向直径变形率 $\epsilon$ <sup>[6]</sup>按式(6)计算:

$$\epsilon=\frac{W_{d\max}}{D_1}\times100\%$$

(6)

柔性管道在实际使用过程中允许存在一定的变形,但这种变形必须不影响管道的使用寿命。当埋地柔性管的变形量超过5%时,管材间的接口及管材与窰井间的接口可能出现渗水,从而造成沟槽回填砂土流失,甚至影响路基安全,因此管道的长期变形必须加以控制。所以,当 $\epsilon\leq5\%$ 时,可推导出 $W_{d\max}\leq5\% D_1$ ,由式(3)可得

$$S_p\geq\frac{K_d(F_{svk}+\psi_qq_{vk}D_1)}{0.05}-0.061E_d}{8}$$

(7)

根据式(7)可以算出埋地管道的环刚度。

2 参数的选取

在环刚度的计算过程中,参数的选取对结果的影响很大。下面讨论对计算结果影响比较大的几个参数的选取。

a. 变形滞后效应系数  $D_1$ <sup>[7]</sup>。该系数取值为1.0~1.5,主要是管侧土体并非理想的弹性体,在抗力的长

期作用下,土体会产生变形或松弛,管侧回填土的压实密度越高其滞后变形效应越显著,黏性土的滞后变形历时比砂性土长。该系数的取值不仅与埋地管道覆土竣工至投入运行的时间有关,还与管道的运行功能相关。如果是压力运行,内压将使管体变形复圆。因此,对无压或低压管(内压在 0.2 MPa 以内), $D_1$  应取接近 1.5 的数值;对于压力运行管道,竣工至投入运行的时间较短时可取  $D_1 = 1.0$  亦即可以不考虑滞后变形因素),倘若从竣工至运行时间较长则可取  $1.0 < D_1 < 1.5$ 。

b. 管道变形系数  $K_d^{[8]}$ 。该系数根据管道的敷设基础中心角确定, $K_d$  随着管道敷设基础中心角的增大而变小,所需的管道环刚度也逐渐变小。

c. 管侧土的综合变形模量  $E_d$ 。  $E_d$  对环刚度的影响最大,  $E_d$  可根据式(8)计算:

$$E_d = \zeta E_e$$

(8)

其中

$$\zeta = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 \left( \frac{E_e}{E_n} \right)}$$

式中: $\zeta$ ——综合修正系数; $E_e$ ——管侧回填土在要求密实度<sup>[9]</sup>时相应的变形模量,MPa; $E_n$ ——基槽两侧原状土的变形模量,MPa; $\alpha_1$ , $\alpha_2$ ——与  $B_r$ (管中心处槽宽)和  $D_1$  的比值有关的计算参数,可按表 2 确定。 $E_e$  和  $E_n$  应根据试验确定;当缺乏试验数据时可参照文献[1]附录 C 确定。

表 2 计算参数  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$

Table 2 Calculation parameters

| $B_r/D_1$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $B_r/D_1$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ |
|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 1.5       | 0.252      | 0.748      | 3.0       | 0.680      | 0.320      |
| 2.0       | 0.435      | 0.565      | 3.5       | 0.838      | 0.162      |
| 2.5       | 0.572      | 0.428      | 4.0       | 0.948      | 0.052      |

d. 综合修正系数  $\zeta$ 。对于填埋式敷设的管道,当  $B_r/D_1 > 5$  时取  $\zeta = 1.0$ 。此时  $B_r$  应为管中心处按设计要求达到压实密度的填土宽度<sup>[10]</sup>。

3 算 例

在原状地面标高开槽施工敷设一段埋地重力自流管线,管材为圆形 HDPE 管,位于绿化带处,管道基础中心角  $2\alpha = 90^\circ$ ,基槽开挖坡度为 1:0.25,管底粗砂垫层厚度为 150 mm,管顶覆土厚度为 2.5 m,管径为 600 mm,壁厚为 39 mm,计算管道的环刚度。

a. 参数选取。敷设基础中心角  $2\alpha = 90^\circ$ ,由表 1 可查得  $K_d = 0.096$ ,  $C_d = 1.2$ ,  $\rho_s = 1\,800\text{ kg/m}^3$ ,  $\psi_q = 0.5$ ,  $d = 2.5\text{ m}$ ,  $B_e = D_1 = 0.678\text{ m}$ 。由于在绿化带汽车荷载小于地面堆载,因此可取  $q_{vk} = 10\text{ kPa}$ ;所敷设管线是重力自流管线,可取  $D_1 = 1.5$  (根据地质报告,标准贯入锤击数为 1X 在 4~14 之间),取  $E_n = 1.0\text{ MPa}$  (根据文献[11]基槽底部宽度为 1.7 m,计算得出  $B_r = 1.945\text{ m}$ ,  $B_r/D_1 = 2.868$ ,按  $B_r/D_1 = 3.0$  取值,由表 2 查得  $\alpha_1 = 0.680$ ,  $\alpha_2 = 0.320$ )。

b. 计算结果。管顶竖向土压力标准值  $q_{sv,k} = 45.000\text{ kPa}$ 。(a)保持其他参数不变,只改变管侧回填土在要求密实度时相应的变形模量  $E_e$  的大小,计算结果如下:当  $E_e = 3.0\text{ MPa}$  时,由式(8)得出  $\zeta = 0.610$ ,  $E_d = 1.829\text{ MPa}$ ;由式(7)得出圆形埋地 HDPE 管的环刚度为 5.15 kPa;当  $E_e = 1.0\text{ MPa}$  时,由式(8)得出  $\zeta = 1.000$ ,  $E_d = 1.000\text{ MPa}$ ;由式(7)得出圆形埋地 HDPE 管的环刚度为 11.474 kPa。(b)取  $E_e = 3.0\text{ MPa}$ ,保持其他参数不变,改变  $D_1$  的取值,计算结果如下:当  $D_1 = 1.5$  时,计算出圆形埋地 HDPE 管的环刚度为 5.15 kPa;当  $D_1 = 1.4$  时,计算出圆形埋地 HDPE 管的环刚度为 3.877 kPa。

从以上计算可知,参数的选取对环刚度的计算结果影响很大。经工程验证,环刚度的选择不仅取决于外压负载的情况,还取决于铺设后管道周围土壤(回填材料)的情况(管侧土综合弹性模量  $E_d$  又取决于回填材料的种类、压实程度、槽侧原状土情况等)。

4 结 语

环刚度是塑料埋地排水管抗外压负载能力的综合参数<sup>[12]</sup>。为了保证塑料埋地排水管在外压负载下安全工作,环刚度的选择是设计中的关键参数之一。如果环刚度选择太低,管材可能发生过大变形或出现压屈失稳破坏;反之,如果环刚度选择得太高,必然采用过大的截面惯性矩,将造成使用材料太多,成本过高。在

环刚度的计算过程中参数的选取至关重要,因此,为了实现工程的安全可靠及成本的经济性,今后应该进一步研究计算公式中各个参数的取值问题。

#### 参考文献:

- [ 1 ] CECS 164—2004 埋地聚乙烯排水管道工程技术规程[S].
- [ 2 ] 张玉川.塑料管环向刚度的定义、标准、选择和实现[J].塑料,2002,31(1):50-57.(ZHANG Yuchuan, Definitions, standards, selections and realization of ring stiffness for plastics pipe[J]. Plastics, 2002, 31(1): 50-57. (in Chinese))
- [ 3 ] 孙达.HDPE排水管材应用及分析[J].市政技术,2007,25(6):449-451.(SUN Da. Application and analysis of HDPE drain pipe [J]. Municipal Engineering Technology, 2007, 25(6): 449-451. (in Chinese))
- [ 4 ] 张玉川.塑料埋地排水管的关键性能:环刚度[EB/OL].[2006-11-12].<http://www.863p.com/water/WaterJz/200611/14061.html>.
- [ 5 ] 刘春泽,郝庆芬,赵俭斌.土变形模量的研究与分析[J].岩土工程界,2007,10(12):60-62.(LIU Chunze, HAO Qingfen, ZHAO Jianbin. Soil deformation modulus of research and analysis[J]. Geotechnical Engineering World, 2007, 10(12): 60-62. (in Chinese))
- [ 6 ] 张晓军.HDPE管在市政给排水工程应用中的几个问题[J].建材技术与应用,2007(7):31-32.(ZHANG Xiaojun. Some problems in application of the HDPE pipes in the urban water supply and drainage[J]. Research & Application of Building Materials, 2007(7): 31-32. (in Chinese))
- [ 7 ] GB 50332—2002 给水排水工程管道结构设计规范[S].
- [ 8 ] 张勇.埋地塑料排水管在市政工程中的应用及存在问题[J].工业安全与环保,2007,33(7):16-19.(ZHANG Yong. The application of buried plastic drainage pipeline in municipal engineering and the exist problem[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2007, 33(7): 16-19. (in Chinese))
- [ 9 ] GB 50268—2008 给水排水管道工程施工及验收规范[S].
- [ 10 ] 沈贤琴.市政排水塑料管道的使用及质量事故案例分析[J].工程与建设,2010,24(6):852-854.(SHEN Xianqin. Use of plastic pipe in municipal drainage system and case analysis of quality accidents[J]. Engineering and Construction, 2010, 24(6): 852-854. (in Chinese))
- [ 11 ] 江苏省工程建设标准站.05系列江苏省工程建设标准设计图集:苏S01—2004 给水排水图集[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [ 12 ] 吴雪军,许秋海,肖涛,等.埋地柔性排水管材的设计与施工探讨[J].中国给水排水,2006,22(18):89-91.(WU Xuejun, XU Qiuhai, XIAO Tao et al. Design and construction of underground flexible drainpipe[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(18): 89-91. (in Chinese))