

双壁波纹塑料滤水管耐围压能力分析*

李宗利 王纪科 周建召

(西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘要 针对双壁波纹塑料滤水管的结构及破坏特点,应用弹性稳定理论,推导了该种管材的临界围压力计算公式,并分析其影响因素,确定了实际耐围压能力。文中还给出两种常用双壁波纹塑料滤水管耐围压能力分析结果。

关键词 双壁波纹塑料管,滤水管,临界围压力,耐围压能力

中图分类号 TV 314, S277.2

双壁波纹塑料滤水管是以聚氯乙烯为主要原料,加工生产的内壁光滑、外壁波纹、内外壁中空的特殊管材。其造型美观,抗压力强,进水阻力小,耐酸碱腐蚀,质轻,易安装运输,具有节材、节能、节资的显著优点,广泛用于灌排工程中^[1]。该种滤水管能否承受周围滤料及水的径向压力是其用作井管的重要依据^[2,3]。其外壁采用波纹,提高了其抗屈曲能力,但提高多少,如何去计算该种管材的临界围压力,实际耐围压能力等问题需要进一步研究。本文应用弹性稳定理论,对独立波段圆环临界围压力计算公式进行推导,结合波纹滤水管的构造特点,分析其实际耐围压能力,为工程设计和滤水管的使用提供依据。

1 双壁波纹塑料滤水管的结构及破坏特点

双壁波纹塑料滤水管管壁构造如图1,滤水管直径大,管壁极薄,壁厚与直径比达1/150~1/200,且在槽间开设条形滤水缝,降低了承载力。在径向外压力作用下,管壁很容易发生屈曲失稳破坏。实际破坏特征也说明这一点,其表现为:当外围压荷载增大到某一程度时,管壁某些部位凸出,相邻部位则凹陷,随着外力荷载的继续增大,凸凹范围不断扩大,直至破坏。这正是屈曲失稳的表现。

滤水管在封填之前,当管内水位骤降,造成管外静水柱高于管内静水柱时,或封填过程中,放置滤料时产生的冲击;填料暂时架桥后突然下沉与不稳定地层坍塌等,都会在管壁外形成较大的径向压力,造成屈曲失稳破坏。但当滤水管封填完成后,管壁与周围滤料造成良好的接触,则使滤水管周围形成一种较好的平衡与安全密实的支撑,形成径向包封力。在这种情况下,管壁类似于一个受限制的环,多发生压碎破坏,即强度破坏。或者管壁与直径之比较大时,无论滤水管是未封填还是封填,都可能发生强度破坏。一般来说,稳定破坏承载力小于强度破坏承载力,故选最不利荷载工况分析,

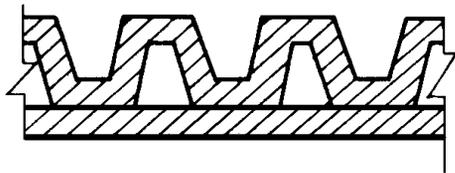


图1 双壁波纹管管壁纵剖面

收稿日期: 1996-03-27
* 李仪祉青年教师、科技工作者科研活动奖励启动基金资助

即滤水管在封填前或封填过程中耐围压能力分析。

2 临界围压力计算公式

2.1 基本假定

滤水管在封填前或封填中,外壁受压力最大,此时填料处于松散状态,对管壁的变形约束极小。可假定滤水管周围只承受径向均匀围压力,方向指向圆心。由于井管是由单元长度为6 m的管材,通过承插、螺钉连接或绑扎在一起的。连接处径向变形受到约束,而允许发生沿管轴线(纵向)弯曲变形,故认为每节管为一独立单元,两端简支。径向屈曲叶数决定于长径比^[4],常用滤水管管材长径比较大(大于19),故假定径向发生两叶屈曲,形状如图2,4个反曲点正好是圆的4个等分点。滤水管在槽底开设有条形滤水缝,大大减弱由于泊松比效应引起的纵向曲率变化。下面分析中取一波段单元,认为每一个波段单元彼此独立,简化为独立圆环承受均匀外压力。

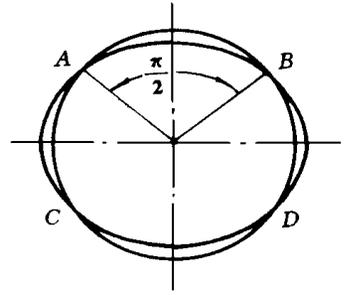


图2 屈曲形式

双壁波纹塑料管材材料属于一种粘弹性材料,应力-应变关系线为非线性曲线。但在短期荷载作用下,多表现为弹性,可近似认为应力-应变关系为直线^[5]。考虑本文研究的荷载工况,运用弹性理论推导,近似计算临界围压力。

2.2 临界围压力公式推导

取一个波段,作用于1/4圆柱壳上的力如图3(a)所示。弹性曲线方程^[4]为

$$EI\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right) = -M \quad (1)$$

式中: E ——材料的弹性模量, N/mm^2 ; I ——单个波段的截面惯性矩 (m^4)。计算时可按弯曲等效原则,即弯曲等刚度原则,将此箱形(图3(b))简化为非对称I字形(图4),方便计算; R' ——曲率半径, m ; R ——管材的计算半径 (m)。 $R = r + y$, r 为管材内径, y 为截面中性轴到内壁内侧距离; M ——位于 θ 断面弯矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

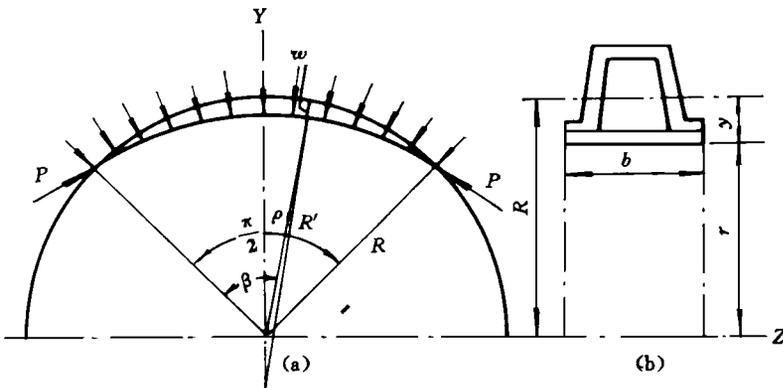


图3 作用于1/4圆柱壳上的力

以极坐标 (d, θ) 表示的曲率半径^[6]为

$$R' = \frac{R^2 - 2Rw}{R - w + \frac{d^2w}{d\theta^2}} \quad (2)$$

将式 (2) 代入式 (1) 并化简得

$$\frac{d^2w}{d\theta^2} + w = -\frac{MR^2}{EI} \quad (3)$$

根据曲梁弯曲, 位于 θ 断面处挠度为 w , 轴力为 $P = pR$. 取隔离体, 对该断面中心求矩可得

$$M = pRw \quad (4)$$

将式 (4) 代入式 (3) 得

$$\frac{d^2w}{d\theta^2} + w(1 + \frac{pR^3}{EI}) = 0 \quad (5)$$

设 $k^2 = 1 + (pR^3/EI)$, 则上式方程可写成

$$\frac{d^2w}{d\theta^2} + k^2w = 0 \quad (6)$$

此微分方程的通解为

$$w = c_1 \sin k\theta + c_2 \cos k\theta \quad (7)$$

根据边界条件: 当 $\theta = 0$ 时, $w = 0$; 而当 $\theta = \frac{c}{2}$ 时, $w = 0$. 应用第一个条件可得 $c_2 = 0$, 应用第二个条件可得

$$0 = c_1 \sin k \frac{c}{2} \quad (8)$$

但是, 当 w 非零时, c_1 不得为零. 因此, 必定得

$$\sin k \frac{c}{2} = 0 \quad (9)$$

上式角 $k(\frac{c}{2})$ 的非零最小值为 $k(\frac{c}{2}) = c$, 此时 $k = 2$ 所以得最小围压力, 即临界围压力 (N/m) 计算式为

$$p_{cr} = \frac{3EI}{R^3} \quad (10)$$

换算为单位面积荷载 (MPa)

$$q_{cr} = \frac{p_{cr}}{b} = \frac{3EI}{R^3 b} \quad (11)$$

式中: b ——一个波段宽度, m.

2.3 临界围压力大小分析

式 (11) 左侧分子分母同乘以与双壁波纹管等内径、等内壁厚的圆管截面惯性矩 I_0 , 同时将 $R = r + y$ 代入得

$$q_{cr} = \frac{3EI_0}{(r + y)^3 b} \cdot \frac{I}{I_0} \quad (12)$$

y 相对于内径 r 较小, 近似取 $r + y \approx r$. 则上式变为

$$q_{cr} = T q_{cr0} \quad (13)$$

式中: T — 双壁波纹管临界围压力增大系数, $T = I/I_0$; q_{cr0} — 与双壁波纹管等内径、等内壁厚的圆管临界围压力, $q_{cr0} = 3E I_0 / (r^3 b)$, MPa.

式(13)中 T 体现两种截面惯性矩的比值,说明双壁波纹管临界围压力提高的本质是增大了其截面惯性矩,也就是提高了径向抗弯曲刚度。若将管壁单个波段看作一非对称 I 字形截面,则 T 就为该 I 字形截面惯性矩与其下翼缘对其本身形心轴的惯性矩比值。从以上推导也可以看出,其临界围压力与管壁截面惯性矩成正比,而惯性矩又与棱高成立方关系,与棱顶部、下部宽度近似于线性关系。为了提高临界围压力,增大棱高是比较显著的。

3 实际耐围压能力分析

实际上,圆环的径向屈曲会受到相邻圆环的约束,产生沿管轴线方向的壳体弯曲,即泊松比效应,使承受外压能力提高。若波纹管中未设置滤水缝,采用平板比拟法得其圆管的临界围压力为

$$q_{cb} = \frac{3EI}{(1 - \nu^2)R^3b} \quad (14)$$

式中: ν — 材料的泊松比

但由于滤水的需要,沿槽周设置了不只一条滤水条缝,使泊松比效应降低。降低的程度取决于滤水缝的个数,单缝长度,沿管轴线方向布置方式,为并列式还是错位式分布,以及单节管材连接方式等因素。管材的实际耐围压能力 q_u 介于独立圆环与未开缝两种状态之间,表示成下式

$$q_{cr} \leq q_u \leq q_{cb} \quad (15)$$

若材料泊松比取 0.36^[31],考虑泊松比效应时,承载力仅提高 14%。设计时,偏安全可按式(11)计算实际耐围压能力。滤水管已封填或壁厚与其直径比较大时,则表现为强度破坏,应按式(16)计算耐围压能力。为安全起见,应按两种破坏形式分别校核耐围压能力。

$$q = \frac{A f_{ay}}{Rb} \quad (16)$$

式中: A — 一个波段的截面面积, m^2 ; f_{ay} — 管材材料的抗压破坏强度, MPa.

4 实例分析

例 4/5 某厂生产的两种双壁波纹管塑料滤水管,外径分别为 250, 315 mm,内壁厚 1.6 mm,外壁厚 1.3 mm。材料弹性模量 1.90×10^8 MPa,抗压破坏强度 14.4 MPa^[7]。将管壁波纹转化为非对称 I 字形,形状尺寸见图 4。分析结果见附表

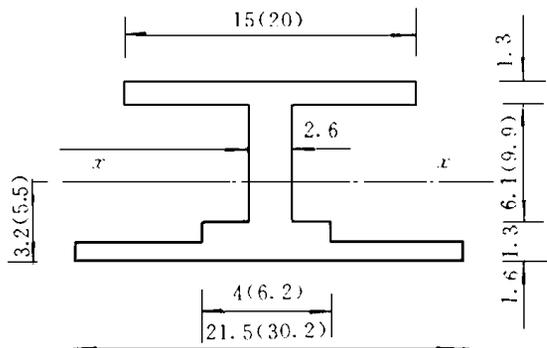


图 4 实例管壁一个波段纵剖面图

括号内数据为 $\Phi 315$ 管材尺寸

附表 实例分析结果

MPa

Φ /mm	q_s	q_{cr0}	q_{cr}	q_{cb}
250	0.445	1.288×10^{-3}	0.192	0.221
315	0.358	0.655×10^{-3}	0.183	0.210

由附表可见: (1)与双壁波纹管等内径、等内壁厚的光面圆管的耐围压能 q_{cr0} 是相当低的,设置波纹使承载力大大提高,这正是双壁波纹管管壁做得较薄的原因;(2)稳定临界围压力几乎是强度围压力的一半,说明壁厚与直径之比较小时,其耐围压能力主要取决于稳定条件;(3)考虑泊松比效应仅能提高强度 14% 左右,且由于设置有滤水条缝,实际还达不到这个数值

参 考 文 献

- 1 低压管道输水灌溉技术研究专题组. 低压管道输水灌溉技术研究. 农田水利与小水电, 1991(9): 1~ 9
- 2 西北农学院, 华北水利水电学院. 地下水利用. 北京: 水利电力出版社, 1984. 218~ 219
- 3 (美) T. 加斯等编著; 刘广志译. 热塑性塑料水井井管选择与安装手册. 北京: 地质出版社, 1985. 18~ 24
- 4 (美) A. P. 博雷西等著; 汪一麟, 汪一骏译. 高等材料力学. 北京: 科学出版社, 1987. 608~ 622
- 5 (美) N. 杰克逊著; 卢璋, 廉慧珍译. 土木工程材料. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988. 389~ 405
- 6 何运林. 结构稳定理论. 北京: 水利电力出版社, 1995. 187~ 192

An Analysis of Resistant Capability to Confining Pressure of Double-wall Corrugated Plastic Filter Pipe

Li Zongli Wang Jike Zhou Jianzhao

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwestern Agricultural University, Yan gling, Shaanxi, 712100)

Abstract According to the characteristics of double-wall corrugated filter well pipe and its failure, a calculation formula of its critical confining pressure was induced by using elastic stability theory. The effect factors were analysed and the capability to confining pressure was determined. In addition, two kinds of the analytical results of this pipe used in practical projects were proposed.

Key words double-wall corrugated plastic pipe, filter well pipe, critical confining pressure, resistant capability to confining pressure