

气举作业中管道强度和变形计算

彭福来

提 要

以前确定气举作业中管道的强度和变形,通常采用作受力简图的方法进行分析。用这种方法显然不能完全反映管子变形的实际情况。本文试图采用另一种方法,并通过实例介绍其计算过程。

ABSTRACT

Force distributing diagrammatic sketch has so far used for making analysis of and determining the pipeline strength and deformation in air-lift operation. But this approach can not completely represent how pipelines are actually being beformed. This paper aims to try another method and presents the calculating procedure for specific cases.

气举是水下开挖管沟的方法之一。气举作业过程中,管子的形状如图1。随着气举作业线的前进,管子就从河床落入沟底。管道强度和变形计算的目的在于保证管子在气举作业中不致因弯曲应力过大而遭到破坏,同时可以确定一次气举所能达到的最大沉没深度以及气举作业线的长度。以前常采用图2的形式作受力简图分析,显然这样计算没有完全反映管子的变形。而采用图1的形式则更接近于真实的变形。从实例计算表明,按不同的受力简图进行分析,在保证最大弯曲应力相同的情况下,最大允许沉没深度相差甚大。本文将按图1的变形形式对管子进行强度和变形计算。

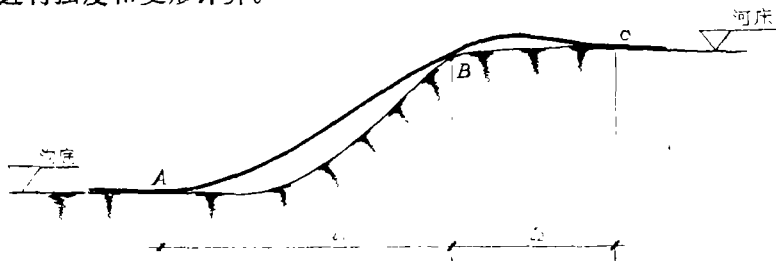


图1

管子在图1的情形下是一个超静定结构。可以将其分成两部分(图3)单独进行分析,而用B截面变形协调条件即 $\theta_B' = \theta_B''$ 将两个结构联系起来。

例, 已知数据如下: $\phi 529 \times 7 / \phi 377 \times 7$ 复壁管, 材质 A3F, 负浮力 $q = 50$ 公斤/米 惯性矩 $J = J_1 + J_2 = 53040$ 厘米⁴; 最大允许弯矩 $M_B = [\sigma]W = 0.72\sigma W = 3465146$ 公斤·厘米。

在图 3b 结构中需要求得满足 C 点边界条件及 M_B 达到最大容许值 (已给定) 时 B 截面的转角 θ_B 。这里采用共轭梁法来求解。将实弯矩作为虚荷载加到虚梁上 (图 4)。

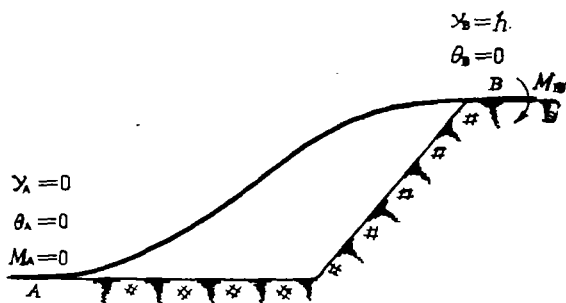


图2

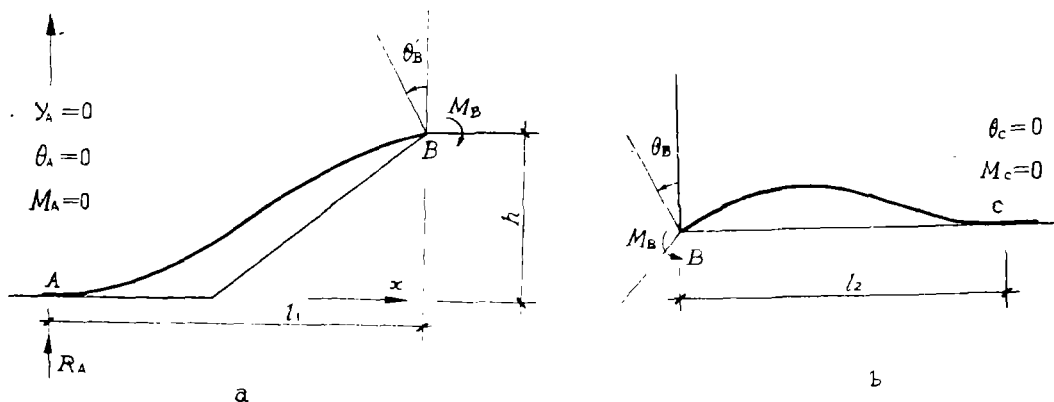


图3

欲求 θ_B 首先应求出 l_2 , l_2 可由边界条件求得。显然在支点 C 处有 $\theta_C = 0$, 而虚梁支反力 $\bar{R}_C$ 便是实梁的转角 θ_C 与 EJ 的乘积,

$$\text{即 } EJ\theta_C = \bar{R}_C = 0$$

根据平衡条件

$$\bar{R}_C + \frac{q}{24} l_2^3 = \frac{1}{6} M_B l_2$$

由于

$$\bar{R}_C = 0$$

故

$$M_B = \frac{q}{4} l_2^2 \quad \text{或} \quad l_2 = \sqrt{\frac{4M_B}{q}} \quad (1)$$

代入已知数求得 $l_2 = 5265$ 厘米。

求 B 点的虚支反力 $\bar{R}_B$ 。

$$\bar{R}_B + \frac{q}{24} l_2^3 = \frac{M_B}{3} l_2$$

$$\bar{R}_B = \frac{M_B}{3} l_2 - \frac{q}{24} l_2^3 \quad (2)$$

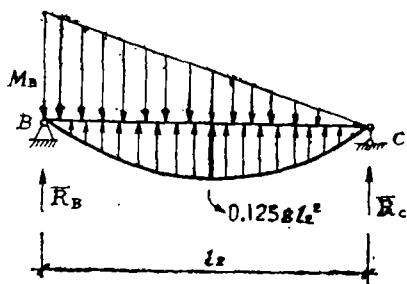


图4

代入数据得

$$\bar{R}_B = EJ\theta_B'' = 3040769043 \text{ 公斤} \cdot \text{厘米}^2.$$

下面来分析图 3 a 的结构。

根据平衡条件

$$M(x) = R_A x - \frac{q}{2} x^2 \quad (3)$$

由于

$$y'' = \frac{M(x)}{EJ}$$

由边界条件 ($x = 0$; $y = 0$; $y' = 0$)

$$EJy = \frac{1}{6} R_A x^3 - \frac{1}{24} q x^4 \quad (4)$$

考虑边界条件

$$x = l_1; \quad y = h; \quad y' = \theta_B' = \theta_B''$$

则有

$$EJh = \frac{1}{6} R_A l_1^3 - \frac{1}{24} q l_1^4$$

移项后

$$R_A = \frac{24EJh + ql_1^4}{4l_1^3} \quad (5)$$

又由式 (4) 求导可得

$$EJ\theta_B' = \frac{1}{2} R_A l_1^2 - \frac{1}{6} q l_1^3$$

整理得

$$R_A = \frac{2(EJ\theta_B' + \frac{1}{6} q l_1^3)}{l_1^2} \quad (6)$$

B 截面的弯矩平衡方程式为:

$$M_B = R_A l_1 - \frac{q}{2} l_1^2$$

即

$$R_A = \frac{M_B + \frac{q}{2} l_1^2}{l_1} \quad (7)$$

由于式 (6) = (7)

故

$$l_1^3 + \frac{6M_B l_1}{q} - \frac{12EJ\theta_B'}{q} = 0$$

将已知数值代入 (注意 M_B 为负弯矩)

$$l_1^3 - 41581752l_1 - 7.2978547 \times 10^{10} = 0$$

对该多项式求得正数解

$$l_1 = 7192 \text{ 厘米}$$

代入式 (7) $R_A = 1316 \text{ 公斤}$

将 R_A 代入式(5)后整理得

$$h = (R_A \times 4 l_1^3 - q l_1^4) / 24 E J \\ = 232 \text{ 厘米}$$

在图2的条件下弯矩最大值在B点, 为 $\frac{q l_1^2}{6}$ 。但在图1的条件下, 在求得 h 后还应验算跨中的极值弯矩 M_{max} 是否大于 M_B 。令式(3)的一阶导数为零, 便可求出 M_{max} 的位置, 即 $x = R_A/q$ 。在上述例题条件下,

$$x = 2414 \text{ 厘米},$$

代入式(3)得

$$M_{max} = 1456849 \text{ 公斤} \cdot \text{厘米} < M_B$$

若取 $q = 30$ 公斤/米, 重复上面的运算求得:

$$h = 386 \text{ 厘米}, \quad l_1 = 9284 \text{ 厘米}。$$

考虑到施工载荷是临时的, 允许将许用应力提高到 0.8σ , (提高到什么程度是值得讨论的), 计算得到的结果为(按 $q = 50$ 公斤/米):

$$h = 286 \text{ 厘米}, \\ l_1 = 7581 \text{ 厘米}。$$

从上面的计算结果可以看出, 若想使沉没深度加大, 降低负荷力、提高管材强度都是可行的(提高管材强度更有效)。但负浮力过小会使管道不稳定, 因而在某些情况下采用强度较高的钢材或许是合理的。

若按图2变形情况计算, 与上述3组数据相同的条件下, 其最大允许沉没深度分别为108厘米、180厘米、133厘米。从这里可以明显地看出按不同的变形形式进行计算, 其结果差异较大。这是由于在图1的情况下, B截面允许转动使 M_B 值降低, 而使 h 值增加的缘故。

上面从例题出发介绍了解题过程。实际工作经常提出的是这样两个问题: 给定许用应力求允许的沉没深度, 或给定沉没深度求管子的弯曲应力(有时还需求出变形长度 l_1 、 l_2)。事实上将上述有关公式经过适当变换求解便可得到简明计算公式。下面对此做一叙述, 并介绍一下上述两种情况的简明公式。

1. 给定许用应力 $[\sigma]$, 求沉没深度 h

由于式(6) = (7)

$$\text{则有} \quad \frac{2(EJQ_B' + \frac{1}{6}ql_1^3)}{l_1^2} = \frac{M_B + \frac{q}{2}l_1^2}{l_1} \quad (8)$$

据前推导

$$EJQ_B' = EJQ_B'' = \bar{R}_B = \frac{M_B}{3}l_2 - \frac{q}{24}l_2^3 \quad (9)$$

$$M_B = -\frac{q}{4}l_2^2 \quad (10)$$

将式(10)代入式(9)

$$EJQ_B' = -\frac{q}{24}l_2^3 \quad (11)$$

将式(10)、(11)代入式(8)(注意 M_B 应为负值)

$$\frac{2(\frac{q}{24}l_2^3 + \frac{1}{6}ql_1^3 - \frac{1}{4}ql_2^2 + \frac{1}{2}ql_1^2)}{l_1^2} = \frac{-\frac{1}{4}ql_2^2 + \frac{1}{2}ql_1^2}{l_1} \quad (12)$$

将式(12)移项整理得如下公式:

$$2l_1^3 - 3l_1l_2^2 - l_2^3 = 0$$

令 $\frac{l_1}{l_2} = x$, 上式即成

$$2x^3 - 3x - 1 = 0 \quad (13)$$

式(13)是一个一元三次方程, 其正数解为

$$x = 1.366$$

即

$$l_1 = 1.366l_2。$$

将此值代入上述有关公式, 经过整理可得:

$$h = 2.1544 \frac{[\sigma]^2 W}{qED}$$

式中: $[\sigma]$ ——许用应力, 公斤/厘米²;

W ——管子的抗弯截面系数, 厘米³;

D ——管子外径, 厘米;

E ——钢的弹性模量, 公斤/厘米²;

q ——管子在水中的负浮力, 公斤/厘米。

2. 给定沉没深度, 求 σ

按照上述过程作类似的推导可得:

$$\sigma = \frac{0.4641 E h q D}{W}$$

在上述两种情况下只要求出 h 或 σ , 将其代入有关公式便可导出 l_1 和 l_2 。

在以上公式推导过程中认为支点是绝对刚性的, 实际上管子是放在弹性地基上, 因此上述结果还应进行某些修正(但不影响上述结果的使用)。关于这一点, 有待于在今后实际工作中积累经验或进行某些实验, 以求更加完善。

最早的岩屑录井 距今九百多年的宋代, 在中国四川的顿钻中便使用“扇泥筒”捞取岩屑——“扇泥”。明清时代“扇泥”已成为识别岩石、划分标准层和寻找油气水层的重要手段。

最早的油井 据《元一统志》记载, 公元十二、十三世纪在中国陕北的延长、延川和宜君等地最早钻成一批油井。

最早的天然气井 据有关文字记载, 中国早在三千多年前就发现了天然气燃烧的现象。在距今两千多年前的秦汉时代, 四川的临邛(今邛崃县)一带就钻成了一批“火井”, 可称之为最早的天然气井。