

倒砌井受力理论分析与验证

张立明

(中亿丰建设集团股份有限公司, 江苏 苏州 215131)

摘要: 以宜兴市农村污水改造工程设计的倒砌井为例, 重点阐明圆形倒砌井的设计思路和设计理念、基坑高度适用原则, 并推导出了适合圆形井的 Von-Mises 公式。运用该公式得出的解析解与用有限元软件得出的计算结果相近, 对比误差在 5% 以内, 可提供给工程技术人员对圆形井进行应力分析。

关键词: 拉美公式; Von-Mises 应力; 切向应力; 径向应力

中图分类号: X32

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)01-0212-03

0 引言

工作井逆作法施工是指进行地下结构施工时, 对基坑不架设临时支撑, 而是利用结构本身来作为挡土墙, 同时作为支撑, 采取从上而下依次开挖和构筑结构的施工方法。逆作法作为一种灵活、经济、可控、安全环保、节省工期的工法, 在城镇农村污水改造项目中得到广泛应用, 但缺乏指导性规范和设计施工原则。本文以宜兴市农村污水改造工程采用逆作法施工的工作井为例, 从计算参数的选取、设计原则、计算方法、有限元复核、施工注意事项等方面进行深入剖析, 为逆作法设计和施工提供理论依据和工程经验。经工程实践检验证明, 本文所述逆作法设计原则和方法具有合理性和可实施性。

1 工程概况

在宜兴市农村污水治理改造项目中, 部分基坑维护采用如图 1 所示的倒砌井方案(图中 d 为壁厚, r 为半径)。倒砌井内径 3.5 m。该方案距地面以下 2.5 m 采用砖砌倒砌井, 砖砌倒砌井以下采用现浇混凝土倒砌井。本文重点阐述此设计方法的依据、原理和实体验证。

2 理论解析解

倒砌井可以看成为厚壁圆筒, 厚壁圆筒的应力特点有:

(1) 不能忽略径向应力, 应做三向应力分析。

(2) 厚壁容器的应力在厚度方向非均匀分布, 具有应力梯度。

收稿日期: 2020-06-08

作者简介: 张立明(1976—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 从事桥梁设计工作。

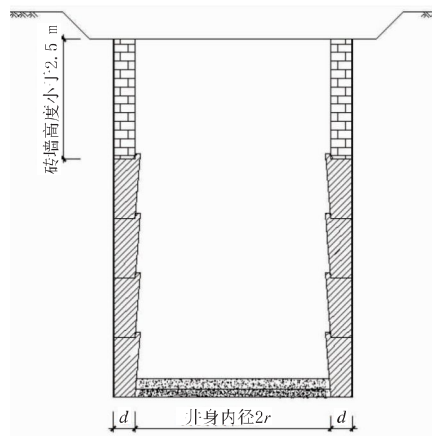


图 1 倒砌井立面构造图

所以, 在求解时需要联立几何方程、物理方程、平衡方程, 才能确定厚壁各点的应力大小。

如图 2 所示的外压为 p 的厚壁圆筒, 需要求出径向应力 σ_r 、切向应力 σ_θ 和轴向应力 σ_z , 其中轴向应力 σ_z 不随半径 r 变化。倒砌井平面内应力分布图见图 3。

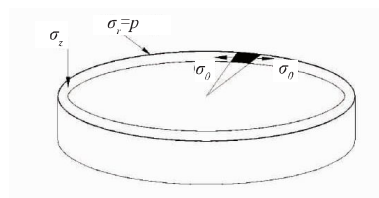


图 2 倒砌井承受三向应力

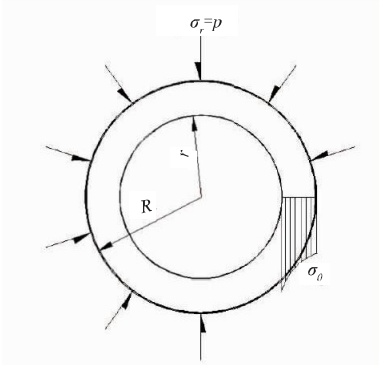


图 3 倒砌井平面内应力分布图

由此得到外压 p 作用下的拉美公式 (式中 R 为圆筒外壁半径、 r 为圆筒内壁半径):

圆筒外径处切向应力:

$$\sigma_{\theta 1} = \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} p \quad (1)$$

圆筒内径处切向应力:

$$\sigma_{\theta 2} = \frac{2R^2}{R^2 - r^2} p \quad (2)$$

最大径向应力出现在圆筒外壁处:

$$\sigma_r = -p \quad (3)$$

轴向应力:

$$\sigma_z = -p \frac{K^2}{K^2 - 1} \quad (4)$$

式中: $K = \frac{R}{r}$ 。

则 Von-Mises 组合应力 σ 为:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{\theta}^2 - \sigma_r \sigma_{\theta}} \quad (5)$$

将式(1)、式(3)代入式(5),得到结构外壁处的 Von-Mises 组合应力 σ 计算式为:

$$\sigma = p \frac{\sqrt{K^4 + 3}}{K^2 - 1} \quad (6)$$

3 实例分析

某倒砌井内径为 3.5 m, 壁厚分别选择 0.12 m、0.24 m、0.36 m 进行计算; 井身采用钢筋混凝土结构, 埋深 7 m。土的参数见表 1。

表 1 土的物理学参数表

土层名称	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$
粉质黏土	20	30

该土的主动土压力系数 K_{α} 为:

$$K_{\alpha} = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$$

墙底土的主动土压力强度 p_0 为:

$$p_0 = \rho h K_{\alpha} \quad (7)$$

式中: ρ 为土的重度; h 为土的厚度。

则 7 m 坑深位置土的主动土压力产生的压强为:

$$p_0 = \rho h K_{\alpha} = 46.7 \text{ kPa}。$$

外径处的切向拉应力 $\sigma_{\theta 1}$ 为:

$$\sigma_{\theta 1} = \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} p_0 = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} p_0$$

内径处的切向拉应力 $\sigma_{\theta 2}$ 为:

$$\sigma_{\theta 2} = \frac{2R^2}{R^2 - r^2} p_0 = \frac{2R^2}{K^2 - 1} p_0$$

则 Von-Mises 组合应力 σ 为:

$$\sigma = p_0 \frac{\sqrt{K^4 + 3}}{K^2 - 1}$$

4 软件验证

应用 Midas 通用有限元软件进行该倒砌井验算, 该井深 7 m, 井壁厚度分别按 0.12 m、0.24 m、0.36 m 进行验算, 求出不同壁厚条件下井壁最大的 Von-Mises 组合应力^[1]大小, 见图 4~ 图 6。

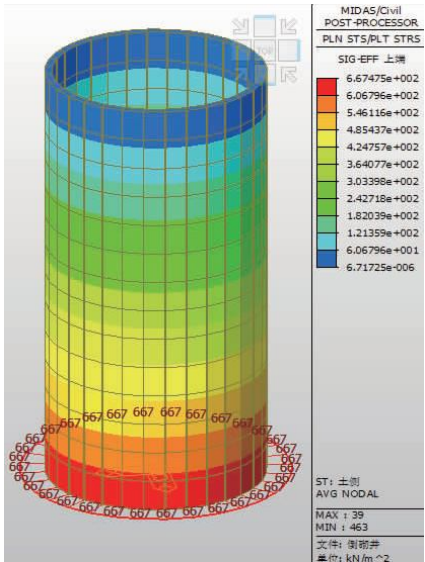


图 4 壁厚 0.12 m 组合应力图, 最大 667 kPa (单位: kPa)

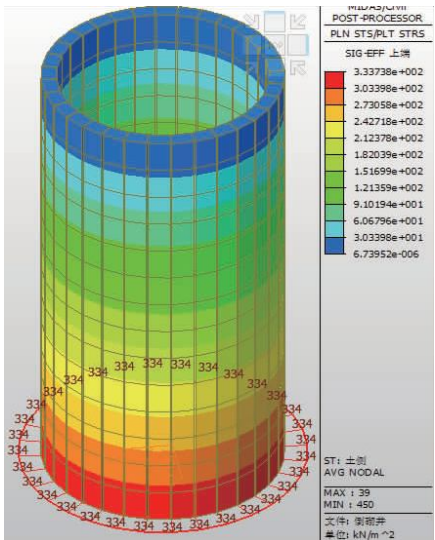


图 5 壁厚 0.24 m 组合应力图, 最大 334 kPa (单位: kPa)

将有限元软件计算的 Von-Mises 组合应力结果与上节理论简化计算结果作对比, 对比结果见表 2。

由表 2 可知, 理论简化计算结果与有限元软件分析结果的误差在 5% 以内, 故理论推导公式有应用的实际意义。

按照式(2)、式(7), 在已知选用的倒砌井材料特性、井身内径及壁厚情况下, 可求出用该种材料能砌筑的极限高度 $h_{\max}$ 为:

$$h_{\max} = \frac{(R^2 - r^2) f_{td}}{2R^2 \rho K_{\alpha}} \quad (8)$$

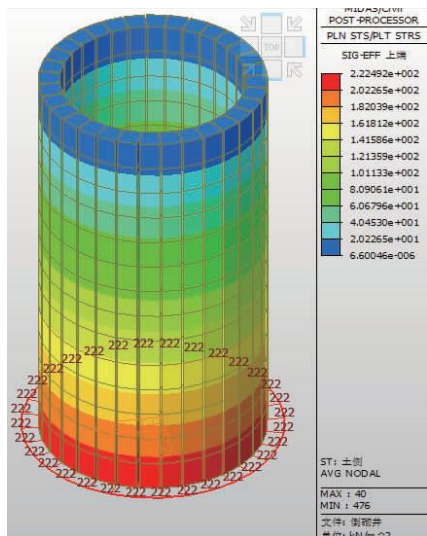


图6 壁厚 0.36 m 组合应力图,最大 222 kPa(单位:kPa)

表2 软件计算结果与理论简化计算结果对比表

R/m	r/m	K	径向应力 p_0/kPa	理论 Von-Mises 组合应力 /kPa	有限元 Von-Mises 组合应力 /kPa	结果 误差率 /%
1.87	1.75	1.069	46.7	683.0	667	2.34
1.99	1.75	1.137	46.7	344.4	334	3.02
2.11	1.75	1.206	46.7	232.7	222	4.61

式中: $f_{td} = \frac{2R^2}{R^2 - r^2} p$, 为材料的抗拉强度。

对于烧结普通砖和多孔砌体结构来说,若采用 MU10 砖墙、M7.5 砂浆,其容许抗拉强度为 0.16 MPa,那么用它砌筑壁厚 0.24 m、内径 3.5 m 的圆井,参照表 1 所列的土参数情况下,该砖井的极限砌筑高度为:

$$h_{\max} = 0.017 f_{td} = 2.7 \text{ m}。$$

(上接第 196 页)

文件,需按照读取规则进行命名。

4 结 语

ORD 的底层配置内容比较多样化,其中包含了诸多可设置内容,对底层的透彻研究会为 ORD 的建模提供巨大的助力;底层配置内容的逻辑比较复杂,同时因为 ORD 是基于 MS 进行开发的道路软件,从而导致其底层分为两部分内容,针对道路专业的底层设置与针对常规建模的底层设置内容需分开进行;但与此同时,也正是因为 ORD 底层内容的多样性与复杂性,使得底层配置的标准化具有可实施性。

在 ORD 底层可配置的内容中,有部分内容尚无法与国内的设计习惯完善地衔接,其中最为重要的两项是:道路设计规范及出图标注内容。此两项虽然

作者在实际工程中,即采用砖砌和混凝土砌筑相结合的方式,距地面 2.5 m 范围内砌筑砖井,2.5 m 深度以下砌筑材料采用钢筋混凝土结构。现场施工图参见图 7。



图7 现场施工图

5 结 语

(1)圆形结构可采用拉美公式的解析解进行结构应力分析。

(2)砖砌倒砌井由于砂浆强度的限值,其适用高度较小,在不做特殊结构处理的情况下不能用于深基坑。

(3)混凝土现浇结构倒砌井因其强度大可适用于深基坑。

(4)本文的理论解析解仅适用于圆形井,施工时需确保砌筑成圆形。

具有一定的可编辑性,但其可设置内容与国内需求出入甚大,且因受到 Bentley 平台自身的限制,仅能对其已有内容进行修改,无法新增内容或者改变内容。因此需借助编程的方法进行二次开发,仅仅停留在表层的设置与修改是无法真正推进国外 BIM 软件在国内的真正落地的。

参考文献:

- [1] 王茹,宋楠楠,蔺向明,等. 基于中国建筑信息建模标准框架的 Building Information Modeling 构件标准化研究[J]. 工业建筑,2016(3):179-184.
- [2] 彭镇东,彭岸,易强,等. 基于 BIM 技术的高速公路大型临时设施标准化建设研究[J]. 工程技术研究,2018,17(1):61-62.
- [3] 牛新新,汪晓琦,张宇辰. The Customization and Exploration of Workspace of Bentley Series 3 D Software% Bentley 三维软件中的 Workspace 定制与探讨[J]. 土木建筑工程信息技术,2016, 8(6): 41-43.