

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.07.026

# 长距离深槽大口径沉管运营期排水受力分析

路佳

(南宁建宁水务投资集团有限责任公司, 广西 南宁 530031)

**摘要:** 整体沉管施工是城市长距离引水工程中一种较为常见的施工方法,运营阶段的排水过程会引起管线结构受力变形的变化,为维修人员和管线带来一定的安全隐患。以南宁市邕江引水工程为依托,采用有限元分析方法研究了管线在排水过程中受力变形的变化。研究表明,管内水头高于管顶标高时,管中心未产生竖向位移,当管内水头降低至管顶标高时,管线开始出现上浮趋势。在内外水压作用下沉管管壁呈受压状态,且随着管内水压的降低管壁压应力有明显增加,排水过程中管线的应力满足设计要求。

**关键词:** 大口径;长距离;沉管;有限元计算

**中图分类号:** TU712

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)07-0096-03

## 0 引言

随着我国经济的增长以及城市化的推进,市民对于生活用水的要求越来越高。为保障城市用水的质量与安全,不少城市都修建了第二水源地工程,通过输水管线将清洁的水资源输向城市。沉管法施工具有施工周期短、工程造价低、技术成熟等优势,因此是敷设河底管线时的一种常用的施工方法<sup>[1-5]</sup>。

由于大口径沉管法输水管线位于水下,很难从外部进行维护保养,因此通常需要先将其排空,然后再由操作人员进入并进行修理维护<sup>[6-9]</sup>。在浮力的作用下,管线会发生上浮,其结构受力和变形也将发生变化,为操作人员和管线自身带来一定的安全风险。为了定量地研究管线在排水维护过程中受力变形的变化,本文建立了包含管线和河底地层的有限元模型,并对大口径整体沉管的排水过程进行了模拟,为实际工程提供理论参考。

## 1 工程概况

广西南宁市邕江上游引水工程一期输水管线工程需要穿越邕江,向河南水厂以及凌铁水厂输送原水。经方案比选与专家论证,最终采用水下深槽沉管施工方案,保证了邕江两侧岸堤的稳定性与抗渗性,大幅降低了管线的施工费用。

邕江水位的绝对标高在 67 m 左右,跨江管线长

度为 438 m,采用一根  $\phi 2\ 620\ \text{mm} \times 28\ \text{mm}$  钢管。采用了水下沟槽开挖、管道焊接预制、整体管道下沉安装的施工方法。为了满足管道抗浮与防冲刷要求,管道覆土深度达到了 4.5 m。为了节约施工时间及沟槽开挖量,沉管管道沿河道地形呈“V”字形布设,最低点绝对标高为 39 m,沉管纵断面布置见图 1。邕江河床主要以圆砾为主,为了防止管道检修过程中,空管因为浮力而发生上浮,采用粒径 15~40 mm 砂砾石回填,并用石笼覆盖,具体回填做法见图 2,回填后管道覆土厚度大约为 2 400 mm。

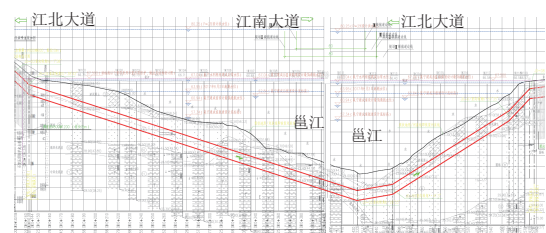


图1 水下管道纵断面图

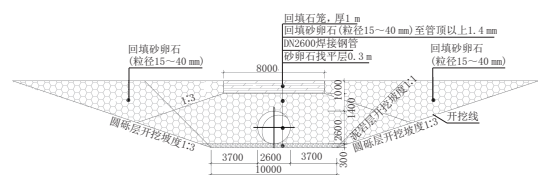


图2 下管道横剖面图

## 2 有限元计算

### 2.1 有限元模型基本参数

为了研究排水对管道受力变形的影响,选取了河床底部 20 m 长的管线与地层,建立如图 3 所示的三维有限元模型。地层分为河床和回填石块两部分,采

收稿日期: 2021-12-23

作者简介: 路佳(1975—),男,学士,工程师,从事城市水务管理工作。

用实体单元建立,开挖坡度为1:3。如表1所示,河床的地层主要为圆砾,弹性模量按照地勘报告中的压缩模量选取,回填石块为粒径15~40mm的砂卵石,按照与圆砾相同的材料参数选取。沉管为直径2600mm厚度28mm的钢管,本文中采用壳单元进行模拟。

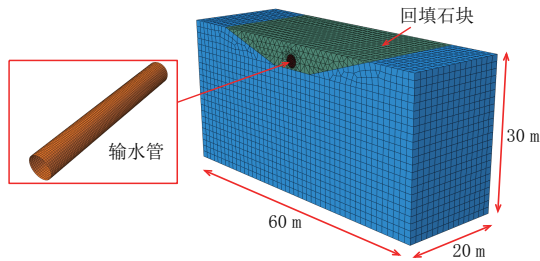


图3 有限元计算模型

表1 材料参数表

材料	密度 / (kg·m <sup>-3</sup> )	弹性模量 / GPa	泊松比
钢管	7 800	200	0.2
河床(圆砾)	2 150	0.032	0.3
回填砂石	2 150	0.032	0.3

在模型顶部设置250kPa水压力,用以模拟河道表面的水压力。输水管道内壁的水压力按照静水压力来考虑,每一节点上的压力与其深度成正比。通过减小其管道内部的水头高度来反映维修过程中钢管排水的过程,本文共计算了管内水头为30m、24m、18m、12m、6m以及0m的6个工况。当钢管内水头为零时,表示钢管已经排空,浮力达到最大。

## 2.2 有限元计算结果

### (1)管道上浮位移

图4是管道排水结束后的竖向位移,管内压力减小使管道直径缩小。当水头高于管顶时,管内水压力的变化并不会引起管道中心的位移变化,当水头降至管顶以下时,管道在浮力的作用下出现向上位移。当管内水完全排空,钢管中心整体上浮量达到2.21mm。

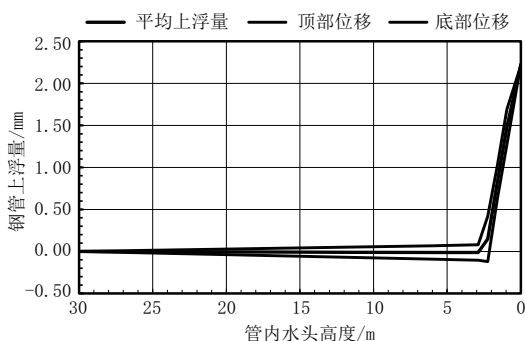


图4 管道顶部上浮量

### (2)钢管壁应力变化

图5为管内水头为0m时每延米钢管压力分布,最大压力主要分布于钢管左右90°位置,最大压力为每延米1134kN。钢管壁厚为28mm,可以得到各工况下钢管的压应力变化,见图5。钢管在上覆土的作用下呈受压状态,内水压作用下会使管壁产生环向拉应力,从而抵消一部分压应力。如图6所示,随着管内水头高度由30m降低至0m(即空管),管壁的最大压应力明显增大,由24.75MPa升高至37.64MPa,能够满足设计要求。

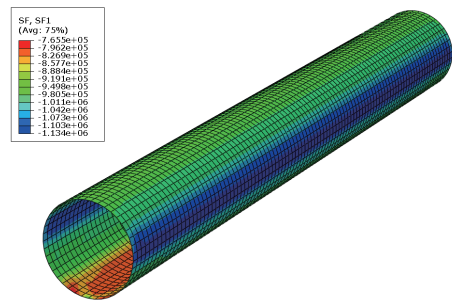


图5 输水管道最大压力(单位:N/m)

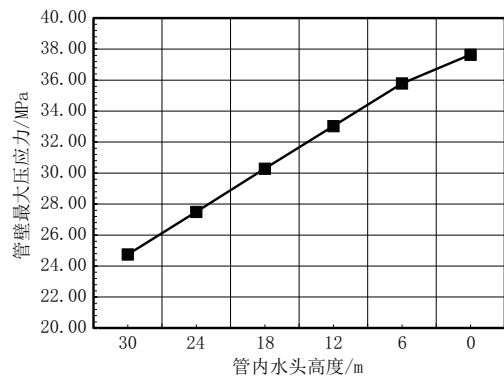


图6 管壁最大压应力随管内水头变化

### (3)钢管壁附加应力计算

以30m水头时的管壁压应力为基础,绘制出各水头高度对应的管壁附加应力,见图7。

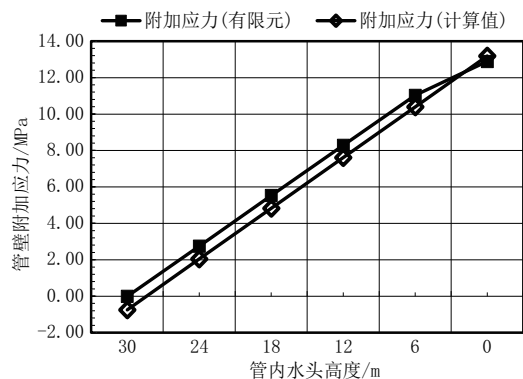


图7 管壁附加应力

可以通过内水压变化量来计算出管壁附加应力:

$$\Delta p_0 = \frac{D \Delta p_w}{2t} \quad (1)$$

式中:  $\Delta p_0$  为排水引起的钢管内壁附加应力;  $\Delta p_w$  为钢管内平均水压变化;  $D$  为钢管直径;  $t$  为钢管壁厚。

从图 7 中,可以看出采用式(1)计算出的钢管附加应力与有限元计算结果基本一致。

### 3 结 论

本文以邕江输水管线为例,采用有限元方法建立了河底输水管线和周边地层的力学模型。通过对沉管管道内压的调整,模拟了该段水平管线的排水维护过程。重点分析了管内水位对管线环向受力以及竖向位移的影响,为保障管线运营阶段安全提供了理论依据与参考价值。本文所得到的主要结论如下:

(1)当水头高于管顶时,管内水位对管线竖向位移影响较小。当管内水位低于管顶标高时,随着水位的降低管线出现上浮趋势。

(2)管线在排水过程中,管壁环向以压应力为主。随着管内水头的降低,管道所受浮力明显增加,使管

壁压应力增大。当管内水完全排空时,钢管应力达到最大,能够满足设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 周炜峙,陈位洪,陈伟雄.广州市西江引水工程管道穿越北江方案设计优化[J].中国给水排水,2011,27(12):5-8.
- [2] 于孝民,丁北斗,方建国,等.大直径长距离输水管沉管施工技术研究[J].中国水利,2018(16):52-55.
- [3] 卓国勇.沉管法在闽江取水口改造工程过江管道中的应用[J].城市地理,2015(16):154-156.
- [4] 杨亚龙,李春庆,王永,等.沉管过河施工中供热管道的安全性验算分析[J].华电技术,2019,41(6):61-63.
- [5] 曹云祥,李映光,王伟,等.沉管过河施工中供热管道的安全性验算分析[J].安装,2018(7):45-47.
- [6] 费霞丽.厦门翔安海底隧道给水管道的设计和运行维护[J].中国给水排水,2018,34(2):118-122.
- [7] 张宝东,何刚.给水管清洗技术在管网运营维护中的应用分析[J].中国给水排水,2018,28(22):43-45.
- [8] 莫志军.给水管工程中 PVC-U 管的施工及维护[J].广东建材,2005(7):14-15.
- [9] 秦树东.浅析 PVC-U 管在给水管工程中的施工及维护[J].黑龙江科技信息,2004(11):166.

(上接第 95 页)

析指导生产运行调度,及时准确生成统计分析报表,科学规范管理设备资产,快速高效进行成本分析,简洁快速进行计划管理,从而达到了细致入微的企业体系管理,全面提升生产管理效率和运营水平的信

息化管理目标。

#### 参考文献:

- [1] 张万顺,王浩.流域水环境水生态智慧化管理云平台及应用[J].水利学报,2021,52(2):142-149.