

竖井进水箱涵段水力特性数学模型研究

向恒飞

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 上海市 200235)

摘要: 竖井隧道进水段通常采用较平缓的坡度, 进水流速低于 5 m/s。本项目由于竖井隧道进口段位于现状垃圾体内, 边坡自然坡度接近 60°, 为保障垃圾填埋作业安全, 该工程可施工场地受限, 边坡开挖范围受限。通过数学模型精准分析, 采用绕流加坎消力池措施, 解决消能问题, 为受限条件下竖井进水的消能减速提供设计思路。

关键词: 竖井进水; 消能

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)10-0123-05

1 工程概况

某市垃圾填埋场建于 1997 年, 项目选址位于郊区山脉一处谷底, 谷底地势西北高东南低, 填埋库区沿山谷建设。一期位于山谷东南侧一块平地, 占地面积约为 145 hm², 现状修建了断面为 3 × 3 m 的排洪隧道排填埋区雨水, 排入下游河道。目前库容已全部填满, 一期填埋区已封场。

随着城市建设的发展和人民生活水平的提高, 需在现有库区的西北侧建设二期填埋区, 占地面积约为 560 hm²。目前二期填埋区已经投入使用, 垃圾填埋采用覆膜作业, 导致下垫面的性质改变, 雨水量增大, 但由于地形限制, 无法穿越一期填埋区新建排洪隧道, 雨水只能通过现状隧道排放, 因此隧道过水断面尺寸不足(见图 1)。



图 1 某填埋场填埋区平面示意图

为解决排洪风险, 绕开一期封场区拟新建排洪隧道。新建隧道起点主要排放填埋作业区的膜面雨水, 绕开填埋区, 在南侧山体下埋设, 最终排入下游河道。

新建隧道排放二期填埋区的膜面雨水, 起点处的竖井位于填埋作业区内, 修建箱涵作为竖井进水口。二期填埋区由低到高分 3 个填埋作业标高, 相应的进水箱涵也有 3 个进水标高。首先, 垃圾填埋至最低作业标高后, 垃圾覆膜封场, 膜面水引流至进水箱涵第一进水口。其次, 继续填埋垃圾至第二填埋作业标高, 垃圾再覆膜封场, 膜面水引流至进水箱涵第二进水口。最后, 填埋垃圾至第三填埋作业标高, 垃圾再覆膜封场, 膜面水引流至进水箱涵第三进水口。此时, 填埋区库容全部填满封场。图 2 为进水箱涵与竖井的原设计平面剖面图。进水箱涵有 3 个进水口, 随着垃圾填埋作业, 由低到高逐个封堵启用, 最终只有最高处的进水口进水。



图 2 某填埋场竖井和排洪隧道示意图

按常规设计, 原引水箱涵、竖井平面及剖面如图 3、图 4 所示。

但由于填埋现场正在作业, 施工时需要打开现已铺设好的填埋区底膜。底膜打开范围越大, 对周围的垃圾体影响越大, 施工风险越高。原设计方案箱涵长度为 40 m, 再加上开挖范围, 施工十分困难。

收稿日期: 2021-02-09

作者简介: 向恒飞(1967—), 男, 本科, 高级工程师, 从事给排水设计工作。

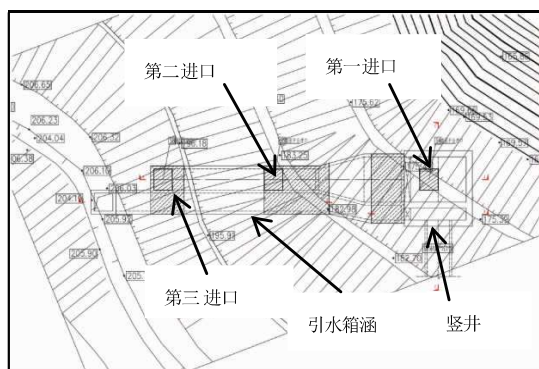


图3 竖井1箱涵段平面布置图(原方案)

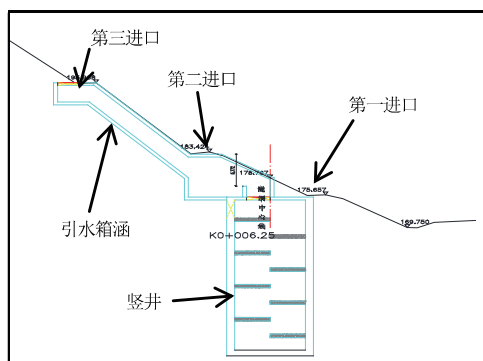


图4 竖井1箱涵段剖面布置图(原方案)

为减小平面占地范围,不能通过平面增加箱涵长度的方法降低箱涵坡度。因此,设计引水箱涵的坡度加大,与现状地形接近。现场地形条件(见图5)坡度较大,斜坡深20.23 m,长22.53 m。坡度为1:0.9。而竖井的设计深度为20 m,受垃圾体施工条件限制,其自身的消能设计已经十分困难,对进水流速的要求非常严格,需要控制在5 m/s以内。综合比较,保证进水箱涵内流态稳定,降低与竖井连接处的流速是设计关键^[1-2]。

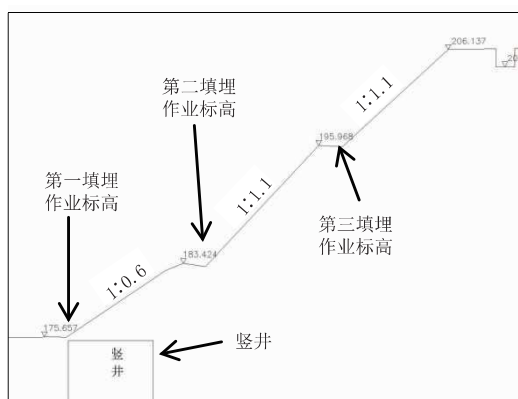


图5 填埋区地形

为此,设计改善了箱涵的平面布置,采用侧向入流的方案,延长了消力池长度,消能效果充分。将斜坡段箱涵向侧边平移,使水流从斜坡流下来之后,从箱涵侧面,越过一个底坎,跌入竖井,从而达到延长消力池的目的。侧向入流方案布置如图6、图7所示。

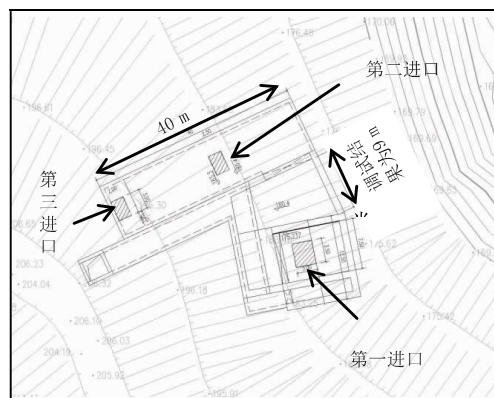


图6 设计方案平面图

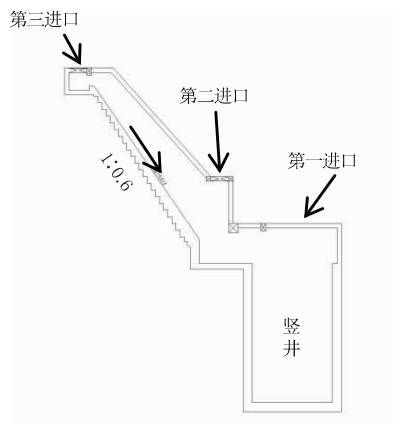


图7 设计方案剖面图

在侧向入流方案的基础上通过进一步增加侧向入流流道长度的方式,减小进入竖井的流速,提高消能效果。将斜坡进口箱涵侧向平移,在竖井进口前增加一个水平的流道,形成一个环形通道,通过水流方向的旋转将水流能量消耗掉,从而达到降低竖井进口流速的目的。并在两个箱涵交接处和竖井进口处设置高2 m的底坎,使箱涵内保持一定的水深,增加消强效果。为验证侧向入流的方案,优化水平流道的长度,采用数学模型来进行研究。

研究建立了数学模型模拟水流状态,对进水箱涵段进行局部三维水动力模拟,分析水流流态、压力分布和气液相分布等水力学问题,提供压力、流态、流速分布,对进水箱涵段消能效果、布置形式、结构形式的可靠性和合理性做出评价,并提出优化改进意见^[3-6],为进口箱涵设计工作提供科学依据。本文主要介绍进水箱涵段设计和数学模型的研究过程。

2 研究条件

现场共有3个填埋作业标高,进水箱涵设有2个进水口,竖井顶部设1个进水口。3个进水口使用时间不同,但汇水范围一致。在流量一致的条件下,第三进水口高差最大,消能最不利,因此选用第三进

水口工况进行分析研究。膜面水经过导流排入设计的进水箱涵,连接进的竖井采用折板形式,50 a 一遇设计流量为 $18.49 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3 模型模拟

3.1 模型控制方程

本项目通过 FLUENT 软件建立三维模型,模拟竖井进口段和竖井内的水力学过程、水气两相瞬变流动特性和启动特性。

3.2 边界条件

(1)进口边界:进口流量为 $18.49 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2)空气进口:竖井上方设空气进口,模型采用压力进口进行设置,压力为 1 个大气压。

(3)通气孔:为了增加竖井内气体交换,每块隔板下方设置 1 个通气孔,通气孔采用压力出口进行设置,压力为 1 个大气压。

(4)出口边界:模型出口边界为压力出口,压力大小按照下游水位进行换算。

3.3 计算工况

数学模型计算考虑最大流量为 50 a 一遇设计流量工况。

4 数值模拟成果与分析

4.1 设计方案要求

本章主要采用 FLUENT 对各关键部位进行水动力模拟,验证工程的消能是否满足要求。

(1)流速要求:下游竖井进口流速一般不超过 5 m/s 。

(2)压强要求:C40 混凝土最大抗压强度为 26.8 MPa ;绝对压强大于 0,即不出现负压。

4.2 设计方案模拟

尝试将斜坡进水箱涵向侧向平移 3 m,在竖井进口前增加一个水平长度为 3 m 的流道,形成一个环形通道,通过水流方向的旋转将水流能量消耗掉,从而达到降低竖井进口流速的目的。

4.2.1 模型建立

模型范围如图 8 所示。

4.2.2 计算结果

计算结果主要包括气液相分布、压力分布、流速分布。

4.2.2.1 气液相分布

气液相分布如图 9~图 11 所示。

从气液相分布图中可以看出,水流从进口跌入

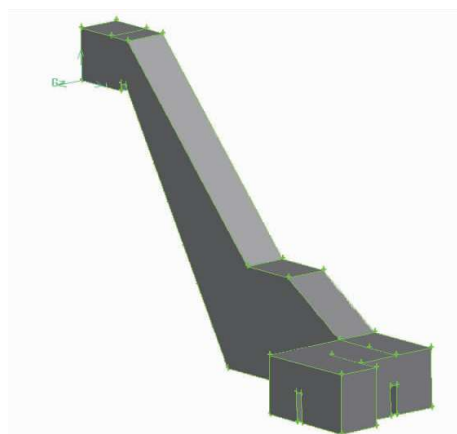


图 8 进口箱涵模型(侧向入流 +3 m 环形通道方案, 三维立体图)

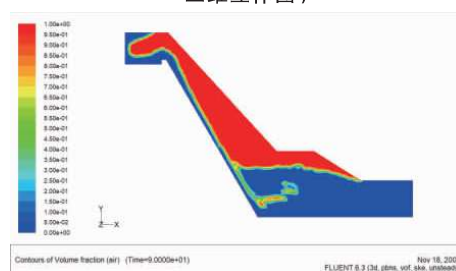


图 9 气液相剖面分布图(侧向入流 +3 m 环形通道方案)

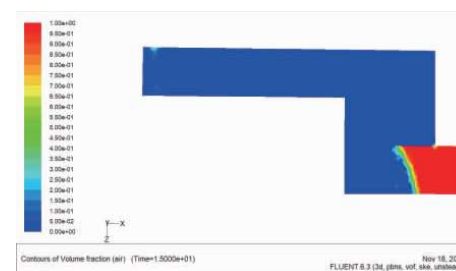


图 10 气液相俯视分布图(侧向入流 +3 m 环形通道方案)

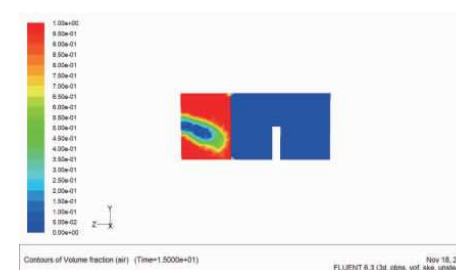


图 11 气液相横剖分布图(侧向入流 +3 m 环形通道方案)

斜坡段,由于斜坡坡度较陡,水流流速不断加大,导致液面降低,紧贴斜坡。当水流接近消力池时,受到消力池内水流顶托,流速降低,水深加大。水流在消力池内进行翻滚,随后翻越侧面底坎进入侧向箱涵,在箱涵内水流旋转 270° ,最后翻越底坎坠入竖井内。由于侧向入流面积较小,消力池内水位上升至箱涵顶部,水深约 5 m。消力池内呈淹没出流,消能效果较好,但由于侧向入口有压流状态,进入侧向箱涵后旋转角度较大,侧向箱涵空间有限,导致箱涵内水流流态较差。

模型结果显示,侧向入流 +3 m 环形通道方案有一定的消能作用,尤其对于斜坡段流速有很好的消减作用。但由于消力池内呈现有压流状态,同时水流在侧向箱涵内旋转角度较大,箱涵空间有限,导致箱涵内流态较差,进入竖井内的流速偏大,超过竖井允许的 5 m/s 的流速。总的来说,消能效果还不理想,需要优化。

尝试将斜坡进口箱涵继续侧向平移,形成一个较大的箱涵空间,改善箱涵内的流态,调整环形通道的长度至 9 m,通过水流方向的旋转将水流能量消耗掉。

气液相分布如图 12~ 图 14 所示。

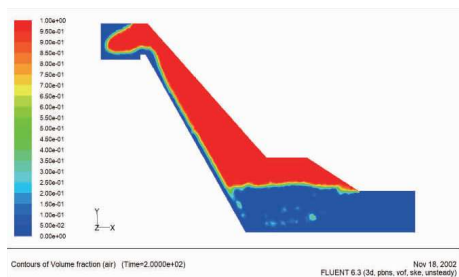


图 12 气液相剖面分布图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

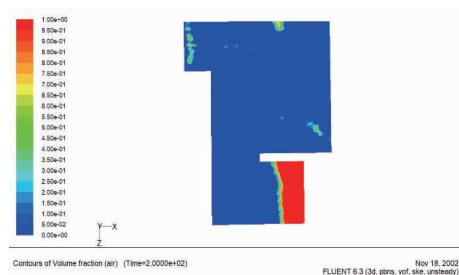


图 13 气液相俯视分布图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

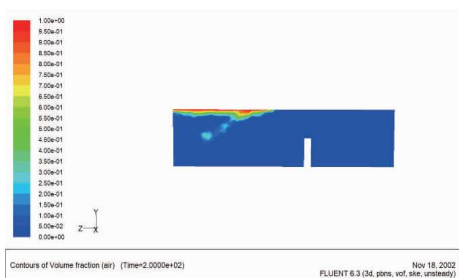


图 14 气液相横剖面分布图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

从气液相分布图可以看出,水流从进口跌入斜坡段,由于斜坡坡度较陡,水流流速不断加大,导致液面降低,紧贴斜坡。当水流接近消力池时,受到消力池内水流顶托,流速降低,水深加大。水流在消力池内进行翻滚,随后翻越侧面底坎进入侧向箱涵,在箱涵内水流旋转 270°,最后翻越底坎坠入竖井内。

4.2.2.2 压力分布

压力分布如图 15~ 图 17 所示。

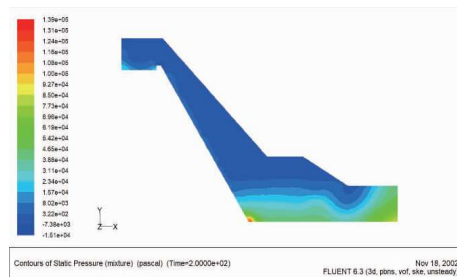


图 15 压力剖面分布图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

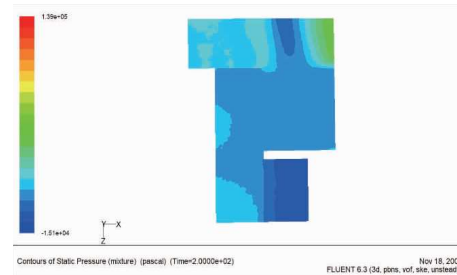


图 16 压力俯视分布图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

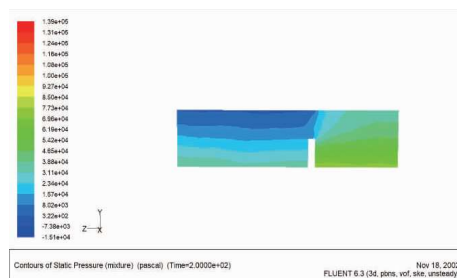


图 17 压力横剖面分布图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

从压力分布图可以看出,水流从进口垂直跌入收水平台,垂向产生的最大压强为 23.4 kPa,模型内没有负压。最大压强分布在消力池底部,斜坡与消力池相交处,最大压强达 139 kPa。最大压强可以满足工程要求。

4.2.2.3 流速分布

流速分布如图 18~ 图 20 所示。

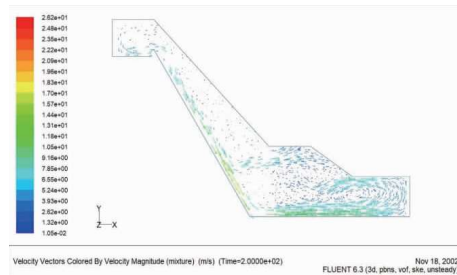


图 18 流速分布纵剖面图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

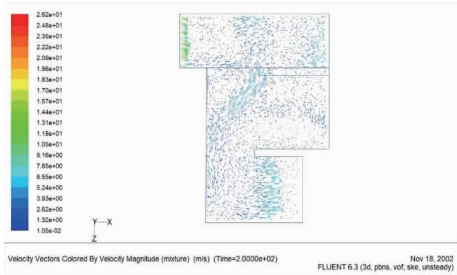


图 19 流速分布俯视图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

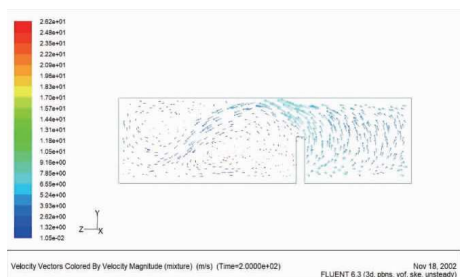


图 20 流速分布横剖面图(侧向入流 +9 m 环形通道方案)

从流速分布图可以看出,水流从进口跌入斜坡段,由于斜坡坡度较陡,水流流速不断加大。当水流射入消力池与池底内液面接触时,流速达到最大,为 14.32 m/s。受到消力池内水流顶托,流速降低,水深加大。水流在消力池内进行翻滚,随后从侧面的出水口通过底坎越出,在侧向箱涵内旋转 270°,通过底坎进入竖井。进入竖井最大流速达 4.88 m/s。

4.2.3 结果分析

从模型结果气液相、压力和流速分布可以看出,侧向入流 + 增加环形通道方案消能效果较好。

对比环形通道长度 3 m 及增大到 9 m 两个方案,3 m 环形通道方案对于斜坡段流速有很好的消减作用,但箱涵内流态较差,为有压状态,进入竖井内的流速偏大。总的来说,消能效果还不理想。9 m 环形通道方案斜坡段流速有所增加,但流速仍在混凝土承受范围内,且整个箱涵呈现出无压流状态,安全性增加。总的来说,消能效果比较理想,进入竖井的流速刚好可降至 5 m/s,能够满足竖井进口流速的要求。

综合比较,本工程竖井的进水箱涵选用了 9 m 环形通道方案。

5 结 论

本工程因为施工场地的局限性,以及现状地形坡度较大等因素,采用非常规的布置形式设计竖井的引水箱涵。设计要保证进水箱涵流态的稳定、进入竖井的流速不超过规定流速,避免对竖井消能设计造成影响。数学模型试验对设计方案进行分析优化,模拟进水箱涵各个位置的模型流态和流速,更高效地改善了进水箱涵末端与竖井衔接处的流态。优化后的设计方案满足设计施工的条件,满足工程正常运行需要,可为坡度大、占地小的类似工程设计提供指导。

参考文献:

- [1] SL551—2012,土石坝安全监测技术规范[S].
- [2] 王猛,张召峰,孙庆森,等.关于变电运检精益化管理的思考[J].中国管理信息化,2019(14):104—105.
- [3] 孙双科,柳海涛,夏庆福,等.跌坎型底流消力池的水力特性与优化研究[J].水利学报,2005,36(10):1188—1193.
- [4] 郑雪.跌坎型底流消能工的水力设计研究[D].昆明:昆明理工大学,2010.
- [5] 海琴.侧向挑入消力池的岸边溢洪道水力特性研究[A].水电能源科学,2020,38(9):104—107.
- [6] 刘文,邓军,卫望汝,等.岸边溢洪道侧面挑入消力池消能方式研究[J].水力发电学报,2015,34(4):111—118.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com