

市政排水管网中大高差跌水井的设计

况 旺

(深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要: 通常情况下水系不发达的平原地区由于缺乏受纳水体, 市政雨水排放需长距离转输, 导致市政排水管道容易形成大高差跌水。结合工程案例, 阐述利用现有顶管工作井, 制定可行的市政管网大高差(10.90 m)大流量($11.04 \text{ m}^3/\text{s}$)跌水消能方案, 并设计有效的落差连接构筑物。同时采用 ANSYS Workbench 2022 R1 平台建立 workflow, 实现多软件交互式、参数化建模并进行求解, 以模拟验证跌水井的消能效果。模拟结果表明: 在对顶管工作井内部构造进行跌水消能改造后, 消能效果优良, 适用于解决大流量、大高差的市政雨水主干管跌水问题。案例成果可为类似跌水工况提供参考方案。

关键词: 市政排水; 大高差; 大流量; 跌水; 模型模拟

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0202-03

Design of Large Height Difference Waterfall Well in Municipal Drainage Pipeline Network

KUANG Wang

(Shenzhen Urban Transport Planning and Design Research Center Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Under normal circumstances, in plain areas with underdeveloped water systems, due to the lack of receiving water bodies, the municipal rainwater discharge needs to be transferred over long distances, which leads to the formation of large height difference waterfall in municipal drainage pipes. Combined with an engineering case, the existing pipe jacking shaft is adopted to formulate a feasible energy dissipation scheme for large height difference (10.90 m) and large flow rate ($11.04 \text{ m}^3/\text{s}$) waterfall of municipal pipeline network, and the effective drop connection structures are designed. At the same time, The workflow is established by using the ANSYS Workbench 2022 R1 platform to realize the multi-software interactive, parametric modeling and solve it, which simulate and verify the energy dissipation effect of the waterfall well. The simulation results show that the energy dissipation effect is excellent after the internal structure of the pipe jacking shaft is reconstructed for waterfall energy dissipation, which is suitable for solving the waterfall problems in the main municipal rainwater pipes with large flow and large height differences. The findings from the case can provide a reference for similar waterfall conditions.

Keywords: municipal drainage; large height difference; large flow; waterfall; model simulation

1 工程概况

某市政道路工程, 位于西部城市中心城区, 为渭河Ⅱ级阶地的北部平原区, 项目道路红线宽为60 m, 全长约4.5 km。道路南段地形总体平缓, 北段地形起伏较大, 项目沿线无可作为受纳水体的水系。根据上层次专项规划: (1) 该工程双侧布置雨水管, 主管管径为DN600~DN3000。(2) 道路中段有较大汇水面积的雨水经长距离转输后汇入, 汇入管径为DN3000, 管内埋深14.99 m。项目全线雨水管径变化

跨度较大, 汇入的雨水管管底比汇流前道路沿线主管管底标高低10.90 m。本文讨论的即是DN3000市政雨水管汇入时大高差、大流量的跌水方案设计。

2 现有跌水工艺分析

2.1 市政排水工程中的跌水工艺

现阶段市政排水工程中跌水工艺较为成熟的、运用较广的形式见于国标图集20S515, 包括竖管式、竖槽式与阶梯式跌水井, 分别适用于管径DN1500及以下、落差小于等于6 m的市政雨水、污水管。可见, 现国标图集集中的跌水井适应工况为中小管径、小流量、小高差跌水, 且需要大开挖施工, 无法满足本工程中大管径、大流量、大高差等工况跌水需求。

收稿日期: 2024-04-28

作者简介: 况旺(1984—), 女, 学士, 高级工程师, 从事给排水工程设计工作。

同时检索市政工程中关于跌水消能的发明专利,总结目前对于解决较大高差的跌水主要有以下几种思路。

(1) 阶梯式跌水

跌水井的内壁设置呈阶梯状折板,水流进入井体内后沿折板逐级跌落至井底后流出。阶梯式跌水每级跌差较小,约为0.2 m,超过0.2 m则水力冲击过大,影响跌水井井壁、阶梯使用寿命。因此,当进出水高差较大时,所需跌水阶梯级数就越多。不论采用螺旋阶梯还是采用折返阶梯,阶梯式跌水井占地面积都较大。

(2) 旋流式跌水

跌水井内修建一和外井筒分离的内井筒,水流从内外井筒隔成的环形旋流空间,自上而下旋流到达井底后出流。环形旋流空间设有隔板降低水流速度。旋流式跌水井进水管应相切于井壁,且须在井筒设置护壁,工艺复杂、施工难度大。水流在内、外井筒间旋流,入流流量较大、流速达到设计流速时,难以避免气爆现象。井底设置的水力消能层,仅能使水流稳定溢流,不足以消除水流旋流产生气旋最终导致气爆。

(3) 水力跌水消能

跌水井井底加设坎或堰,局部形成水垫层作为水力消能区,出水管的管底为消能区和跌水区的分界线。水流直落跌至井底后溢流流出。水力跌水消能仅利用井底水力消能区消能,水落势能较大,对井底冲击强,所产生的噪声大。当入流流量较大、水力冲击较大时,消能效果不佳且出水流速高,对下游管道冲刷较严重。除此之外,消能区高约3 m,可能进一步加大跌水高度及下游排水管理设深度,施工维护困难。

2.2 水利工程中的跌水工艺

在水利工程中,与市政排水工程管道类似的封闭式渠系落差联接构筑物,应用最广泛的包括涵管型跌水、直落型跌水两种类别。涵管型跌水主要通过斜管压力泄水,其原理为于文丘里管或拉瓦尔喷管,利用通道过水断面大小突变消解水流能量,降低水流速度。直落型跌水原理为利用孔流出流的压力竖井泄流水流,这种构筑物适用范围较小。两种型式的构筑物多用于渠系水道退水、泄洪、调节流量。此外,筛网式跌水(或称格栅式跌水)、箱式跌水两种特殊型式跌水,分别为USBIV、直落型跌水的变形,两者作用原理均为水流碰撞消能。水利工程中的跌

水工艺类型较多,风格大开大放,与市政排水工程应用场景不尽相同,无法直接引用。

因此,本项目中雨水管道的跌水消能无法索引现有工艺,需另行设计。

3 设计方案

3.1 流量计算

设计前需对规划DN3000雨水汇入管进行复核计算。

(1) 暴雨强度

采用当地城市暴雨强度公式:

$$q = \frac{2785.833(1 + 1.165 \lg P)}{(t + 16.813)^{0.9302}} \quad (1)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $L/(s \cdot \text{hm}^2)$; t 为降雨历时, min , $t = t_1 + t_2$; t_1 为地面集雨时间,地块取 $t_1 = 5 \sim 10 \text{ min}$,道路路面取 $t_1 = 2 \sim 5 \text{ min}$; t_2 为管内流行时间, min ; P 为暴雨重现期,取3 a。

(2) 雨量计算

雨水流量计算公式如式(2):

$$Q = \psi q F \quad (2)$$

式中: Q 为雨水量, L/s ; ψ 为径流系数,依据当地规划,取0.6~0.7; q 为设计暴雨强度, $L/(s \cdot \text{hm}^2)$; F 为汇水面积, hm^2 。

该DN3000雨水管所需服务的汇水面积为 151.95 hm^2 ,管道长度约2 500 m,管内流行时间为20.75 min,降雨历时取30 min,设计坡度取自路网竖向规划,坡度为0.001,暴雨重现期 $P=3 \text{ a}$ 。根据所得计算结果,设计雨水流量为 $11.04 \text{ m}^3/\text{s}$,管道满管重力流时,DN3000断面输水能力为 $14.19 \text{ m}^3/\text{s}$,管道设计流速2.01 m/s。因此,汇流总口DN3000管径可满足排水需求,并预留一定应对超标雨水的裕度,管径合理。汇流前的管道管径为DN1200,按满流设计,其设计流量为 $1.31 \text{ m}^3/\text{s}$,汇流后管径采用DN3000,坡度随项目纵坡调整为0.003,仍可满足汇流后排水需求,且流速仍小于5 m/s,符合设计标准。

3.2 工艺设计

因其他原因,DN3000需采用顶管工艺敷设管道,在跌水形成处现有一座顶管工作井,工作井规模为 $B \times L \times H = 6 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 13 \text{ m}$ 。经技术经济比选,本次设计拟先跌水,再汇流。设计拟利用现状顶管工作井,对其内部进行改造,达到跌水消能目的。因此,本项目跌水特征有三:(1)DN3000雨水管汇流后,流向需转 90° ;(2)跌差较大,10.90 m;(3)较大的流量

进行跌落。

本次设计利用现状顶管工作井,将水流流进方向作为前方,从后往前、从上往下,工作井可分为碎流区、斜管区、石笼区、出流区^[5]。碎流区位于入流管管口,采用固定在混凝土横梁上的一组截面尺寸为0.2 m×0.2 m不锈钢方斜管,不锈钢管与水流方向呈45°夹角。斜管区设置60°斜装的不锈钢斜管,倾斜角度基于自净角度参考斜管沉淀池斜管安装角度。斜管区下部设置格宾网箱石笼,格宾网箱石笼厚1.5 m,用于消散跌落水流对工作井底板的冲击。出流区位于跌水井后部,设有两道消能墩。改造后的跌水井平面与剖面示意图如图1所示。

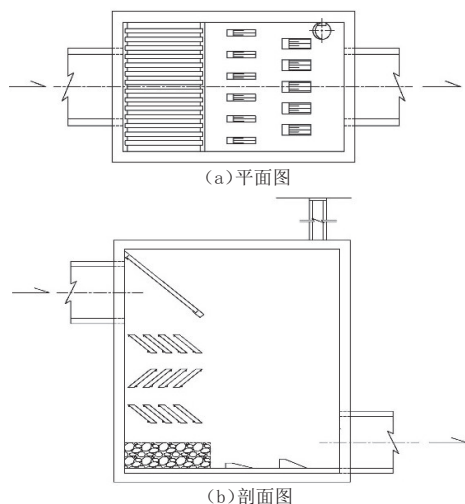


图1 跌水井平面、剖面示意图

水流从进水管进入跌水井,首先与碎流栅碰撞,减小流速和动能后跌落至斜管消能区。在斜管消能区内,水流沿斜管内、外壁跌落,经多次与斜管外壁多次碰撞消散水流的部分能量。同时部分水流多次进入、流出斜管内部,既增加了水流流行路程、产生急变流,又增加沿程摩擦阻力、加大水流的紊流程度,进一步消散能量。从斜管消能区跌落后,水流落入石笼消能区,格宾网箱石笼可消解跌落水流对工作井底板的冲击,并释放水流掺气。释气后的水流进入出流区,出流区设置有两道消能墩。经与消能墩碰撞进一步释气后,水流消能减速流入下游雨水管^[5]。在设计流量出现时,井底存在水垫层,水垫层亦可发挥消能作用。

此外,该设计解决了需另外开挖新建跌水井,而现状顶管工作井则需回填部分井腔改造为普通检查井的矛盾问题,改造工艺部件少、施工简单,消能效果优良,无气爆现象,环保高效,节能节地,维护简单,特别适用于顶管施工的大流量、大高差市政雨水

主干管跌水^[5]。

3.3 模型模拟

3.3.1 模型选用

本次设计采用ANSYS Workbench 2022 R1平台建立多软件交互式工作流,实现参数化建模及求解。ANSYS Workbench是一个集成化的工程仿真平台,这个平台通过提供各种模块化工具,采用参数化设计语言,高效地进行设计优化和敏感性分析,帮助用户对各种物理现象进行建模和仿真,评估不同设计方案下的性能预测。通过ANSYS Workbench,用户可以创建复杂的多物理场仿真模型,进行灵活的操作,包括模型的设置、加载条件的定义、材料属性的设定、网格划分、求解设置及后处理分析等。

3.3.2 参数设定

计算网格尺寸的大小与计算收敛稳定性机器结果存在直接相关性。网格尺寸过大,收敛稳定性降低,计算结果误差随之增大;网格尺寸过小,计算则过于冗繁,不易收敛。因此选定合理的网格尺寸对模型模拟结果至关重要。本次根据跌水井内最小消能构件斜管的尺寸,拟将网格划分的最大尺寸设置为0.1 m(见图2)。

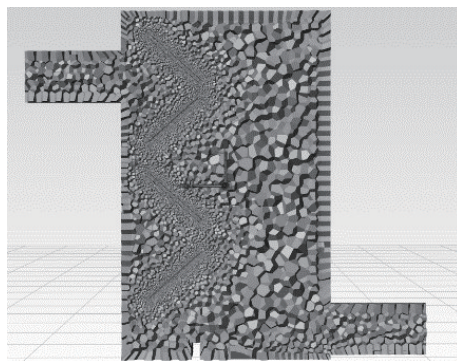


图2 网格划分

此外,进口类型设置为速度型,基于预留超标雨水排放空间,速度选为设计流量11.04 m³/s时流速1.56 m/s。下游水深经核算约为2.2 m。边界层设置为5层,网格型式选用poly-hexcore六面体及多面体网格。不考虑传热,表面报告选择面积加权平均值,计算健康残差定为0.001,运行计算迭代次数为300步。

3.3.3 模型模拟

本次模型在Workbench中建立工作流,采用SpaceClaim建立跌水井足尺模型,包括进水管、工作井井壁、方管、出水管等;采用ICEM CFD提取计算区域及划分网格;最后在Fluent中进行求解。

模型模拟结果如图3所示,经跌水消能出口水流