

亚的斯亚贝巴市高扬程深井供水工程特点及设计经验

余仁志, 郝新宇, 鞠兴沂, 怀肖清, 金岳忠
(浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310030)

摘要: 通过对埃塞俄比亚首都亚的斯亚贝巴市深井供水第三期工程项目的介绍,总结了高海拔、高扬程供水系统的设计经验。在经济技术水平落后的东非地区采用三级加压系统解决地势高差较大地区供水问题,选择球墨铸铁管材降低管道防腐维护难度,设置空气罐式防水锤系统应对因供电不稳定造成的停泵水锤,并针对当地特殊的黑棉土地质条件提出相应的基础级配换填和宽散水结构设计方法等。同时,对比分析工程设计中对水泵扬程、管道损失和水锤波动的计算结果与实际运行数据的区别,为今后类似地区实施高压供水工程项目的设计提供借鉴。

关键词: 深井供水; 输水系统; 高扬程; 水锤防护

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0073-04

Characteristics and Design Experience of High-lift & Deep Wells Water Supply Project in Addis Ababa

YU Ren-zhi, HAO Xin-yu, JU Xing-yi, HUAI Xiao-qing, JIN Yue-zhong
(Zhejiang Urban and Rural Planning Design Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: Through the introduction of Deep Wells Water Supply Project Phase III in Addis Ababa, the capital of Ethiopia, the design experience of high altitude and high-lift water supply system is summarized. The three-level pumping station is adopted in the low economic and technological region to solve the problem of high elevation water supply system. The ductile iron pipes are chosen to decrease the difficulty of pipeline corrosion maintenance. The air hammer tank waterproofing system is set to avoid water hammer caused by unstable power supply. The basic gradation in fill and wide-dispersed structure design method are mentioned for dealing with local black cotton soil. Through comparison and analysis between calculation result and actual running data of pump head, pipeline loss, water hammer fluctuation, it is provided design experience for similar area of high pressure water supply.

Key words: deep well water supply; water transmission system; high-lift; water hammer protection

1 城市供水现状

亚的斯亚贝巴作为埃塞俄比亚的首都以及非盟总部所在地,严重缺水是非常突出的问题。在城市中心范围外的地区,随处可见居民用塑料桶背水和排队等水的景象(见图1),集中供水点定时供水是主要的供水方式。为了尽快改变这种状况,亚的斯亚贝巴市政府和水局进行了大量的分析论证工作,确定了近期优先考虑采用深井取水、集中供水方式。



图1 居民取水现状

Fig.1 Water intake status

截至2011年底,亚的斯亚贝巴市人口约318万人,总供水能力为 $38.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。城市供水主要由地表水和地下水联合提供,城市北面主要由二座地表水水厂供水,供水能力为 $19.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水源为水库水;城市南面主要由地下水供水,分散的地下深井及泉水的供水规模约为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,已投产运行的深井供水项目第一期供水规模为 $4.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水源取自Fenta井区,已经建成并投入试运行的亚的斯亚贝巴深井供水项目第二期的供水规模为 $8.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水源为城市南面Akaki地区的地下水,现状地下水总供水能力为 $18.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 工程内容介绍

亚的斯亚贝巴深井供水第三期工程 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水项目分成两个部分。第一部分 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水工程由世界银行贷款建设。第二部分 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水工程由埃塞俄比亚政府向中国政府申请贷款建设。每一部分都是一个系统的、完整的、独立的项目,包括深井取水、收集管道、水池和加压泵站、输送管道和配水管道等工程内容。

深井供水第三期工程建成后,城市供水总能力将提高到 $52.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,可大大改善亚的斯亚贝巴市供水紧张的局面。本项目即由埃塞俄比亚政府向中国政府申请贷款建设的 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 供水工程。项目主要供水范围是亚的斯亚贝巴城市西部和西南面地区,以陆军医院水池、K3水池和Alem Bank三个现有水池为中心的辐射范围内,用地面积约为 45 km^2 ,服务人口约41万人。

工程内容包括取水深井、高位水池、加压泵站及压力输水管道和重力配水管道(见图2)。

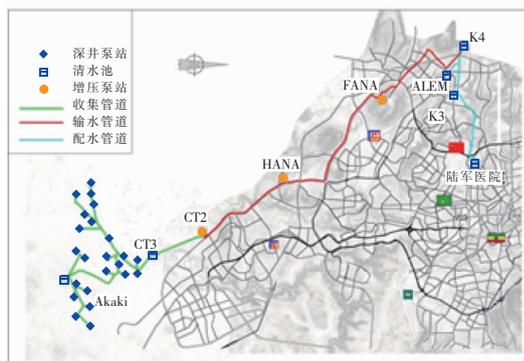


图2 系统总图

Fig. 2 System layout

本项目从水源地井群取水后,通过收集管道,

输送至CT3高位水池,然后从CT3水池重力流至CT2水池,再经过三级加压泵站,输送至22 km以外的K4高位水池,再从K4水池依重力自流至已建的陆军医院水池、K3水池和Alem Bank三个水池内。

2.1 水源和取水系统

根据《Akaki地区地下水资源评价报告》,Akaki地区位于亚的斯亚贝巴市西南面的Akaki河流域,含有丰富的地下水资源,平均海拔约在2 050 ~ 2 110 m之间,由Abey高原和Awash河盆地补给。该报告通过对其补给量、可开采量等的计算,以及对样井抽水试验和水质的分析,得出的结论是Akaki地区地下水可开采量(即安全开采量)为每年约 $0.815 \times 10^8 \text{ m}^3$,即 $22.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,除二期工程外,还可以满足亚的斯亚贝巴深井供水第三期工程供水规模为 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的需求。地下水的指标(包括氟化物)均满足世界卫生组织的居民生活饮用水卫生标准,经消毒后可以直接作为城市供水。

按照《亚的斯亚贝巴市供水发展五年计划》以及当地政府和水利局的要求,每口井按60 L/s的流量、连续抽水18 h计算,为保证本项目 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水要求,考虑20%的备用水井,需要挖钻24口深井,钻井深度约300 ~ 500 m,井间距约为1 000 m。

根据本项目井群在Akaki水井区范围的地质物探,初步确定24口井的位置,然后进行收集管道的水力计算。根据每口井的实际位置、标高、抽水试验的静水位、动水位、出水量等数据,进行收集管道的水力计算,以确定收集管道的管径和每口井内深井泵的选泵^[1]。

2.2 输水系统

输水系统的竖向流程见图3。

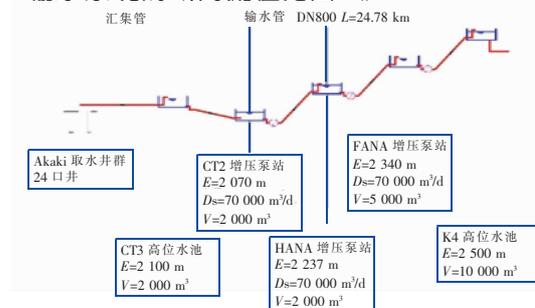


图3 竖向流程

Fig. 3 Vertical flow

深井取水后集中至 CT3 高位水池,其地面标高为 2 100 m。然后经过设置在 CT2、HANA、FANA 三处的增压泵站加压后,压力输送至本项目的最高点 K4 水池,其地面标高为 2 502.5 m。

从 CT3 至 K4 输送管道总长约 24.78 km,设计管径为 DN800。

2.3 配水系统

从 K4 高位水池至已建的陆军医院水池、K3 水池和 Alem Bank 水池三个区域供水清水池,采用的是重力自流方式,总长度约为 8 km,设计管径为 DN600。

2.4 工程投资

本工程总投资约 9 568 万美元,全部采用中国政府优惠贷款,理论测算水价为 0.38 美元/m³,年经营成本约 242.39 万美元。

3 项目特点和设计要点

从整个项目来看,工程内容并不复杂,深井取水、收集管道、高位水池、加压泵站,以及输送管道和配水管道,但由于工程地处非洲,受当地地理环境、经济条件和技术水平的限制,在设计方面存在以下几个特点。

3.1 高海拔、高扬程的供水系统

项目所在地平均海拔为 2 000 ~ 2 500 m,因此在设备选型计算中,充分考虑了水泵、发电机等设备的高海拔地区可能的降容问题。

本工程从 CT2 至最高供水水池 K4 之间的地面高差达到了 432 m,总长度为 21.8 km,在充分考虑建设投资、运行费用、安全维护等多方面因素后,设计采用三级加压泵站,每级加压泵站的水泵扬程在 180 ~ 195 m 之间,使供水系统的最高工作压力控制在 2.0 MPa 之内,并在供水管道设计中重视系统的压力变化,在管道转弯、上下坡等处设置支墩、镇墩等设施^[2]。

3.2 管材选择

本工程输送管道的最大压力为 2.0 MPa,由于是长距离输水,若采用钢管,需增设阴极保护,工程投资较大,且受当地供电水平限制,管道沿线用于阴极保护的供电电源较难解决,而球墨铸铁管在项目所在地应用比较广泛,当地水务部门对其质量、管理、维护都有多年的经验,其抗腐蚀和压力等级均可以满足本工程的需要,因此,工程设计中输配水管道主管材采用球墨铸铁管,管道经过山地,坡度超过

20%时,采用防拉脱自锚接口。

3.3 防水锤系统

在高压长距离输水过程中,水锤危害很大,因此设计运用水锤分析软件对整个供水系统在不同工况下的水锤产生、传递、终止全过程进行模拟和分析计算,根据软件的计算结果,优化供水系统的防水锤设计,并按照埃塞俄比亚当地的技术水平和后期运行维护的现状,在泵房的出水处采用了安全可靠、运维简单的大容量空气罐式防水锤系统。设备投入使用后,根据实际运行监控记录,在增压泵站的水泵频繁启停过程中,系统产生的压力波动通过空气罐缓冲后变化比较平稳,对于整个系统起到了很好的保护作用^[3,4]。

3.4 黑棉土的结构处理

在工程所在地的整个取水井群区域、管道沿线以及 CT2 提升泵站范围内,普遍分布有具有埃塞特色的黑棉土。

该土质具有吸水膨胀、失水收缩的特性,在国内极为罕见,针对这种特性,通过对当地建筑工程的调查分析,根据《膨胀土地区建筑技术规范》,结合当地对黑棉土的处理经验,本项目在设计中考虑了基础换填、回填料级配、周边回填保护等多种措施,来保证供水系统的结构安全。

对泵站中的清水池等构筑物基础,清除下面一定深度的黑棉土,采用碎石土换填;其他建筑物基础采用独立基础加基础梁的形式,基础下同样换填碎石土;同时对建、构筑物周边采用宽散水设计,以减少雨水对基础的影响。通过这些措施,保障了整个工程的结构稳定和安全。

4 运行和总结

本工程从 2012 年 8 月开始施工,2014 年底投入试运行。2015 年底通过验收交付给业主。

建成的 CT2 泵站和 FANA 泵站照片如图 4、5 所示。



图 4 CT2 泵站

Fig. 4 CT2 pump station



图5 FANA 泵站

Fig.5 FANA pump station

从2016年—2017年的运行统计数据来看,整个供水系统运行稳定,输送的水量基本达到了设计规模的70%以上,高峰时段每天供水量甚至超过 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的设计规模。

通过对本工程两年来的运行情况跟踪调查,总结了经验和教训:

① 对于高扬程多起伏输水管道,空气罐式防水锤系统的防护性能通过了考验,在实际运行中碰到多次断电停泵情况,该系统均发挥了良好的作用,保证了整个供水系统未受到水锤破坏,而且其运行维护简单,特别适合经济不发达、维护水平不高的地区。

② 管道系统的水头损失通过实际运行数据反算,发现比设计计算数据约减少10%~15%,相当于计算时摩阻系数取值为135~140。笔者分析认为,对于新建管道,管内壁较为光滑,因此,阻力较小,而设计时考虑了一定运行时间后管壁结垢堵塞情况,摩阻系数取值适当减小还是必要的。

③ 实际运行中,户外的混凝土基础出现因雨水冲刷外露现象,而做过宽散水设计的建筑物则未受冲刷影响,因此,在类似黑棉土这种易于被冲刷流失的地区,建、构筑物周边地表设计防冲刷措施是十分必要的。

经过两年多的运行,整个系统运行基本稳定,为埃塞俄比亚首都的供水提供了有力的安全保障。

参考文献:

- [1] 孙建春. 孝感三水厂长距离原水输水管道的设计[J]. 中国给水排水,2011,27(4):61-64.
Sun Jianchun. Design of long-distance raw water delivery pipeline for Xiaogan No. 3 Water Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater,2011,27(4):61-64 (in Chinese).

inese).

- [2] 吴宝利,吴延芳,吕杨,等. 衡水市地下水井群取水与输水应急工程设计[J]. 中国给水排水,2014,30(16):65-67.
Wu Baoli,Wu Yanfang,Lyu Yang,*et al.* Design of underground water intake and delivery emergency project in Hengshui City[J]. China Water & Wastewater,2014,30(16):65-67 (in Chinese).
- [3] 王圃,许兰森,王颖. 高扬程多起伏输水管道水锤模拟及其防护[J]. 给水排水,2014,40(6):112-114.
Wang Pu,Xu Lansen,Wang Ying. Modeling and prevention of the water hammer in the high head and vertiginous water transmission pipe [J]. Water & Wastewater Engineering,2014,40(6):112-114 (in Chinese).
- [4] 董茹,杨玉思,葛光环,等. 长距离加压输水工程停泵水锤防护方案对比研究[J]. 给水排水,2016,42(3):119-121.
Dong Ru,Yang Yusi,Ge Guanghuan,*et al.* Compared study on pump-stop water hammer protection measures in pressured long-distance water-transfer engineering project [J]. Water & Wastewater Engineering,2016,42(3):119-121 (in Chinese).



作者简介:余仁志(1966-),男,湖南岳阳人,本科,给排水工程师,主要从事市政工程项目管理工作,在非洲工作多年,参与设计并建造了包括亚的斯亚贝巴市深井供水第三期、埃塞俄比亚至吉布提跨境供水等多个给排水工程项目,着力推广中国技术、产品和标准在非洲的应用。

E-mail:yurenzhi@cgcoc.com.cn

收稿日期:2018-05-08