

# 县域供水管网及泵站工程设计探讨

韩杨<sup>1</sup> 胡成军<sup>2</sup> 张俊<sup>3</sup> 郝斌<sup>1</sup> 董兴鹏<sup>1</sup>

1. 青岛市市政工程设计研究院有限责任公司
2. 含山县城乡供水公司
3. 含山县住建局市政公用管理中心

**摘要:** 实施城乡供水一体化工程, 大力发展城市供水设施, 并向乡镇和农村辐射, 就是解决城市和农村“不平衡不充分的发展之间的矛盾”。本文以含山县南片区管网延伸工程为例, 从设计角度给出距离长、服务范围广、地形高差大的输水管网系统的设计要点和策略。

**关键词:** 城乡供水一体化; 管网; 泵站; 水锤; 设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.15.096

## 一、引言

乡镇及农村自来水厂水源选址不合理, 取水能力不足, 枯水期取水保证率不高, 配水管网漏损率较高, 不同程度存在安全隐患和水质风险。为消除乡镇农村供水与城市供水的差距, 各地推行城乡供水一体化建设, 以解决乡镇及农村地区水量不足, 水质不达标问题。

近年来, 含山县、镇政府和水利部门通过持续推进农村饮用水解困工程、农村饮用水安全及提升工程, 农村饮用水状况虽得到明显改善, 但仍存在停水频繁、用水高峰期长时间没水、水质差、水压低等问题。结合长江供水工程的实施契机, 含山县着力推进城乡供水一体化建设, 完善县城与各镇区的转供水管道, 各乡镇与县自来水厂供水系统联网, 实行县城水厂向含山县域供水。

含山县县域呈不规则长条状, 丘陵起伏, 山区错落, 供水管网具有管线线路长、高差起伏大的特点。本文结合含山县南片区管网延伸工程, 介绍了长距离输水管网及泵站设计的要点, 针对需水量计算、泵站方案选型、水泵扬程计算、水锤防护设计、漏损监测等方面进行探讨。

## 二、工程概况

含南片管网延伸工程作为城乡供水一体化的重要组成部分, 服务含山县城以南5个乡镇, 约15万人口。本工程输配水管线起点自县城水厂出厂管, 终点至陶厂镇镇区, 并向沿线环峰镇输送清水, 同时满足更为偏远的含山南片区其他乡镇(林头镇、铜闸镇、运漕镇)的水量运输需求。

工程包含了给水管网和加压泵站两个部分。

(1) 给水管网: 自县城水厂出厂管接管点, 沿太

湖山路、S226至陶厂镇, 新建DN800供水管道, 管道总长度约为12.5km。

(2) 加压泵站工程: 输配水管线起点地面高程约11.7m, 自由水头约28m, 沿线经过两处高点, 分别为东山、苍山, 东山高点地面高程44.5m, 苍山高点地面高程93.7m, 由于输水距离长, 沿线用水点较为分散, 因此, 分别设置东山泵站、苍山泵站分级加压, 如图1所示。<sup>[1]</sup>



图1 总体布置图

## 三、需水量计算

工程服务范围覆盖环峰镇(部分区域)、林头镇全域、陶厂镇全域、铜闸镇全域、运漕镇全域, 涉及含山镇区及农村区域, 合计约15万人。

镇区最高日用水量采用两种方法进行预测, 一是城市综合用水量指标法、二是综合生活用水分类加法, 农村最高日用水量采用居民生活用水分类加法预测。

含山县位于安徽省, 各镇区远期规划人口<10万人, 按《城市给水工程规划规范(GB50282-2016)》用水量指标注释内容, 属于一区II型小城市, 镇区最高日城市综合用水量指标为0.25~0.55万m<sup>3</sup>/(万人·d), 镇区最高日综合生活用水量指标为180~320L/(人·d)。

农村区域用水量指标按《村镇供水工程技术规范(SL310-2019)》表4.1.2内, 水龙头入户、基本全日制供水、有洗涤设施、卫生设施较齐全的情况, 在气候和地域分区属于五区, 最高日居民生活用水定额为: 100~140L/(人·d)。

根据含山县的地理位置、服务人口规模和现状用水情况, 结合规范推荐的指标, 最终确定用水量指标如表1:

表1 用水量指标取值

| 区域 | 最高日综合用水量指标<br>(万m <sup>3</sup> /(万人·d)) | 最高日综合生活用水量指标<br>(L/(人·d)) | 最高日居民生活用水定额<br>(L/(人·d)) |
|----|---|---------------------------|--------------------------|
| 镇区 | 0.28                                    | 180                       |                          |
| 农村 | /                                       | /                         | 120                      |

镇区采用城市综合用水量指标法、基于综合生活用水的分类加和法两种方法计算工程范围内镇区最高日用水量，见表2、表3：

镇区采用两种方法的预测基本相符，设计取两种方

法的算术平均值作为镇区的最终需水量预测结果，即 2.617万m<sup>3</sup>/d。

农村采用基于居民生活用水的分类加和法预测农村最高日用水量，见表4：

表2 镇区最高日用水量（城市综合用水量指标法）

| 区域名称 | 人口（万人） | 最高日综合用水量定额（万m <sup>3</sup> /（万人·d）） | 最高日用水量 |
|------|--------|-------------------------------------|--------|
| 镇区   | 9.6    | 0.28                                | 2.688  |

表3 镇区最高日用水量（综合生活用水的分类加和法）

| 区域名称 | 人口（万人） | 综合生活用水量指标（L/（人·d）） | 工业用水与综合生活用水量比值 | 道路浇洒、绿化用水量系数（前两项*4%） | 管网漏损水量系数（前三项*10%） | 未预见水量系数（前四项*12%） | 最高日用水量（万m <sup>3</sup> /d） |
|------|--------|--------------------|----------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| 镇区   | 9.6    | 180                | 0.15           | 4%                   | 10%               | 12%              | 2.546                      |

表4 农村最高日用水量（基于居民生活用水的分类加和法）

| 区域名称 | 人口（万人） | 综合生活用水量指标（L/（人·d）） | 道路浇洒、绿化用水量系数（前一项*4%） | 管网漏损水量系数（前两项*10%） | 未预见水量系数（前三项*12%） | 最高日用水量（万m <sup>3</sup> /d） |
|------|--------|--------------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| 农村   | 5.3    | 120                | 4%                   | 10%               | 12%              | 0.815                      |

通过以上计算，该工程服务范围内镇区需水量 2.617万m<sup>3</sup>/d，农村需水量0.815万m<sup>3</sup>/d，另外计入沿线城际铁路站提供的需水量0.05万m<sup>3</sup>/d，总需水量合计 3.5万m<sup>3</sup>/d。

通过以上计算可确定，东山泵站规模为3.5万m<sup>3</sup>/d。同理可计算出苍山泵站规模为3.2万m<sup>3</sup>/d。

#### 四、泵站设计方案

##### （一）泵站形式的确定

在工程设计中，就泵站的加压形式比选了两种方案：

##### 1. 无负压加压方案

无负压泵站在市政管网压力的基础上直接叠压供水，可以不建清水库，减小了工程费用和占地，同时，充分利用了来水余压，从而节省运行费用，因此是较好的中途增压方式。无负压泵站适用于来水压力≥10m，且水量均较为充足的情况。

##### 2. 水库加压方案

来水进入清水库，加压泵自水库中吸水并输送至下游用户。水库加压方式为上游管道水压、水量波动，或出现故障时提供一定量的应急用水，在一定的时间内，下游的供水基本不受影响。水库加压方式增加了清水库的投资，且未充分利用来水余压，增加了日常电耗。

东山泵站工程起点接管至东山泵站仍有20m左右的自由水头，用水低峰期满足无负压加压方案对于水压、水量的要求，但考虑到本工程需水量较大，用水高峰期时直接抽吸上游给水管网，易影响上下游供水稳定。综上所述，东山泵站采用无负压加压和水库加压相结合的供水方案。工程设置2座清水池，在用水高峰期，从水池抽水加压至下游用户，不对县城市政管网造成负压的危害；在用水低峰期，在市政管网压力的基础上直接叠压向含南片供水，节约能源。当供水量较小的情况持续较长时间时，为保证清水库水质，定期开启水库加压泵外，保证清水库内不出现死水。

东山泵站工艺如图2所示：

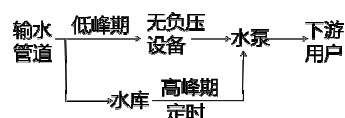


图2 东山泵站工艺流程图

苍山泵站来水由东山泵站供应，水压和水量均能得到保障，为充分利用来水水压，减少能量浪费，采用无负压加压方案。

##### （二）泵站水泵扬程的确定

##### 1. 东山泵站出厂水压计算

根据规划，乡镇镇区大部分区域地面自由水头不小于20m；农村配水管网末梢水压不宜低于0.16Mpa，个别地势较高的较小区域自行加压。

东山泵站无负压加压和水库加压相结合的供水方案共用一套水泵，水泵扬程计算需满足水库加压方案。清水池最低水位12.3m，沿线用水控制点高程70.5m，用水点最小服务水头16m，泵站至控制点输水管网长度5.2km，管径DN800，水头损失12.36m（局部水头损失按沿程水头损失的10%~20%），则水泵扬程不应小于84.7m，取值85m。水泵在用水高峰期以及定时开启，加上清水库水位不在最低水位，实际扬程会适当减小。

##### 2. 苍山泵站出厂水压计算

苍山泵站进水管管道标高64.5m，与东山泵站之间输水管网长度7.5km，管径DN800，水头损失17.1m，东山泵站水泵扬程85m，东山泵站清水池最低水位12.3m，计算可知苍山泵站进水自由水头15.7m，满足无负压泵站适用于来水压力≥10m的要求。

#### 五、水锤防护设计

本工程供水管道全长约12.5km，东山泵站水泵设计参数Q=725m<sup>3</sup>/h，H=85m，3用1备；苍山泵站水泵设计参数Q=1000m<sup>3</sup>/h，H=45m，3用1备。供水管道管径为DN800，材质为球墨铸铁管，K9级，管道承压值为1.6MPa。管道中心线标高以及平稳状态下的水压线如图3所示：

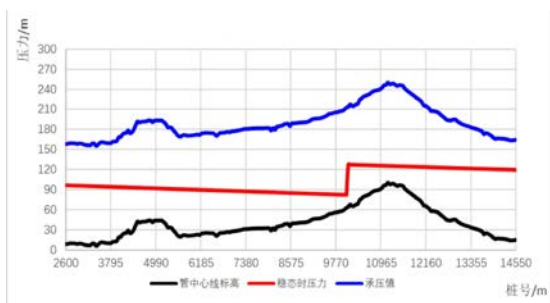


图3 管道中心线标高及平稳状态下压力图

本工程管道线路长，地形高差大，水泵扬程高，由于启泵、停泵、启闭阀门等操作而使管路系统水流速度发生急剧变化或发生事故造成运行中水泵动力突然中断时，输水管路便会引起水波脉动现象，严重时便形成水锤。因此，需进行输水系统的水力过渡过程分析，根据分析结果采取合理的防水锤措施。

压力管道常用的水锤防护措施主要有普通排气阀、复合排气阀、单向调压塔和双向调压塔。本工程主要采用复合排气阀和双向调压塔作为管道水厂防护措施，并提出两种方案，对两种水锤防护方案下的管道水锤升压进行具体分析计算，计算的工况均为水泵控制阀快关时间8s，快关角度60°，总关闭历时80s。<sup>[2]</sup>

方案一：特定位置安装复合排气阀

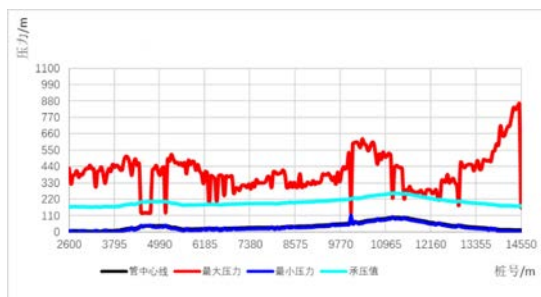


图4 方案一水锤压力线

由图4可以看出，采用方案一，突然关闭水泵控制阀会造成管段内的水压迅速升高，管道内的水锤升压高于管道的承压能力，存在安全隐患，不利于管道及泵站的运行，需要增加防水锤措施，把管道中的水锤升压控制在合理范围内。

方案二：在特定位置安装复合排气阀，并在东山泵站、苍山泵站出水管处安装箱式双向调压塔

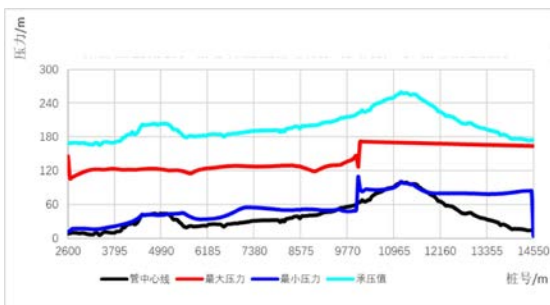


图5 方案二水锤压力线

由图5可知：采用方案二，管段的水锤升压基本都降低至安全承压范围之内，降压效果十分明显，且管道

中不出现断流空腔，防水锤效果较好。

可以看出，采用方案二，突然关闭水泵控制阀时，整个管道系统的水锤升压降低至管道承压能力以内，且管道中未出现断流和空腔。

综合考虑以上两种水锤防护方案的效果，本工程采用方案二，能够有效防止管道上出现负压导致水锤或者气蚀破坏，保护输水管线安全运行。

方案二中复合排气阀的设置位置遵循一定的原则：一是在管线驼峰处必须设置，避免气体积聚在管道隆起点。二是在长水平管段、长下坡管段、长上坡管段间隔1000m设置。

## 六、提高供水安全性措施

本工程由于输水管线距离较长，且远期将在本工程的基础上向各乡镇继续延伸，一旦管道出现故障，将影响到含南片的供水。需要尽可能提高输水管道的安全性。

### (一) 缩短事故检修时间的措施

本工程有较长管段敷设于田地、林地内，间隔约2km设置控制阀门，在管道分支处、管道穿越主要道路、河道的管道上游设置阀门，以便于发生故障时，将故障点两头的阀门关闭，减短检修的时间。

### (二) 输水管道出现故障时的应急保障措施

一旦供水管道出现故障，下游供水将有可能中断。本工程将县城管网与乡镇管网连通，现状乡镇及农村规模较小的水厂逐步关停，规模较大的水厂改成加压泵站，原清水池作为城乡一体化供水的调节水池，应对高峰及事故期间用水。

### (三) 管线漏损监测措施

城乡一体化供水管道长度长，范围广，管道发生漏损难以及时发现和定位。本工程在管网关键节点建立流量和压力监测点，通过无线方式将数据发送到调度中心，结合统计报表和数据曲线分析，及时发现管线漏损情况，提高管网运行效率和调度水平。具体设置位置是结合排气阀井、排泥阀井、阀门井内安装一体式传感器，包括高频压力计和水听器，安装传感器位置间距1km以内，采用太阳能供电。

## 结语

本工程的输水距离较长，供水范围广，输水管道沿线地形高差大，输水线路必然需设置加压泵站。管网及泵站系统方案的设置是否合理是决定工程投资、运行调度和运行费用等最重要的因素。

本文根据项目特点，对城乡供水一体化管网及泵站设计进行了分析，合理设置了管网及泵站系统方案，重点介绍了需水量的计算，泵站工艺的选择，以及水锤防护措施，并结合智慧水务理念，设置管线漏损监测措施，可以为类似县域城乡供水一体化工程提供一定参考。

## 参考文献

- [1] 白聪莉. 山区长距离输水管道工程的设计分析[J]. 给排水工程, 2020(06): 228-233.
- [2] 高风. 箱式双向调压塔在长距离压力流输水系统中的水锤防护研究[J]. 净水技术, 2014(21): 75-77.