

空气压力罐在泵站加压输水系统中消减水锤影响研究

杨书统¹ 张旭哲²

1. 河南省水利勘测设计研究有限公司 河南 郑州 450003

2. 河南省水利第一工程局集团有限公司 河南 郑州 450003

摘要: 为保证泵站输水系统的安全运行,避免由于输水管道中流速的突然变化,使管道中水流压力急剧上升或降低对管道造成破坏,需要在管道系统中布置适当数量的空气阀。如输水线路较长,线路起伏较大,则需要采用空气阀和空气压力罐联合布置预防水锤。本文以河南省供水配套工程为例,来分析空气压力罐在泵站加压输水系统中的作用。

关键词: 压力流;水锤计算;空气压力罐;消减水锤

1 工程概况

平顶山市城区南水北调供水配套工程起点位于鲁山县张良镇贺塘村南总干渠左岸,在平顶山市河滨办事处褚庄经泵站加压后,进入白龟山水厂和九里山水厂。共铺设管道37.71km,其中主管道管道长度26.12km,采用DN2000球墨铸铁管道,褚庄泵站位于沙河南岸褚庄,分别向白龟山水厂和九里山水厂供水,其中泵站至白龟山水厂管道长度约4.99km,管道设计流量 $2.7\text{m}^3/\text{s}$,管材采用K9级DN1600球墨铸铁管道;提水泵站采用一级泵站提水,其中白龟山水厂管线水泵扬程约68.07m,共装机4台(1台备用),总装机 $4\times 900\text{kW}$ 。

褚庄泵站设计水位为93.50m,最高运行水位94.30m。白龟山水厂地面高程150.50m左右,水厂工艺水位155.30m,管道水头损失约5.0m。褚庄泵站至白龟山水厂输水管道属于大流量高扬程输水系统,需要输水系统进行水锤过渡过程复核,以便采取相应的措施,避免管道受水锤影响,影响管道安全。

2 水机布置和选择

2.1 泵站设备选型

由褚庄泵站—白龟山水厂的技术参数知,设计流量分别为 $2.7\text{m}^3/\text{s}$,输水线路总长为4.99km,泵站设计扬程分别为68.20m。经比选褚庄泵站—白龟山水厂的泵型选用单级双吸离心泵,3台工作主泵,1台同容量的备用机组。

为满足水泵的安装、检修要求,在每台水泵进水管上各设1台Q940X-10、DN900型电动偏心半球阀和1台VSSJAF-10、DN900型传力接头,在每台水泵出水管上各设1台Q940X-16、DN700型电动偏心半球阀和1台VSSJAF-16、DN700型传力接头。

为满足离心泵关阀启动和输水管路断流的要求,同时降低事故停泵时的水锤压力,在每台水泵的出水管上

各设1台DYHQ740X-16、DN700液控止回偏心半球阀(全通径),其关闭规律根据输水管道的过渡过程计算结果最终确定。

2.2 输水线路阀件布置及选择

根据工程布置和地形条件,在输水线路沿线不同区段设置了满足不同功能要求的阀件等其它设备,以保证输水管道安全运行和满足输水管道安装检修的要求。线路中布置的阀件类型主要为检修阀、空气阀、排空阀、流量计、压力变送器和传力接头等。

3 水泵运行工况分析

褚庄泵站—白龟山水厂设计流量 $2.7\text{m}^3/\text{s}$,泵站内共装机4台水泵机组(3用1备),单泵设计流量为 $0.9\text{m}^3/\text{s}$ 。在单泵运行、2台水泵并联运行和3台水泵并联运行工况下,水泵运行工况点均在高效区内。

由于褚庄泵站—白龟山水厂为重要供水泵站,且白龟山水厂的需水量是变化的,则褚庄泵站—白龟山水厂输水管道流量存在低于水泵工频运行工况下流量的情况。为满足机组安全、稳定运行以及白龟山水厂的需水量变化,褚庄泵站—白龟山水厂的4台水泵均配套变频电机。

在设计扬程工况下,单泵变频运行时,管道输水流量在 $0.168\text{m}^3/\text{s}$ (81% n)— $1.12\text{m}^3/\text{s}$ (100% n)之间。2台水泵变频并联运行时,管道输水流量在 $0.326\text{m}^3/\text{s}$ (81% n)— $2.139\text{m}^3/\text{s}$ (100% n)之间。3台水泵变频并联运行时,管道输水流量在 $0.465\text{m}^3/\text{s}$ (81% n)— $2.988\text{m}^3/\text{s}$ (100% n)之间。

4 水力过度过程计算分析

4.1 空气阀预防水锤措施下计算分析

4.1.1 褚庄泵站—白龟山水厂输水系统空气阀布置情况

褚庄泵站—白龟山水厂输水管道共布置12个复合式空气阀,空气阀直径为DN250mm,微量排气孔直径为

DN12mm。

4.1.2 设计扬程工况下事故停泵过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池水位为设计水位93.5m，出水池水位为设计水位155.3m。泵站输水系统按设计流量运行。根据机组运行方式，在突发断电事故时，3台主泵同时停泵时水锤压力变化最大，为最不利工况。利用美国Bentley公司编制的水锤计算软件对褚庄泵站—白龟山水厂机组突然掉电时的事故停泵工况进行水锤计算^[1]。

经计算，事故停泵时，褚庄泵站—白龟山水厂输水系统泵后阀门采用一阶段关闭时，泵后阀门阀后最大压力上升率和输水管线最小负压均不能同时满足相关规范要求。褚庄泵站—白龟山水厂输水系统泵后阀门采用两阶段关闭+合理的关阀规律时，泵后阀门阀后最大压力上升率和输水管线最小负压可同时满足相关规范要求，但是输水管线最小负压均在-4.35m附近，相对较大，考虑将空气阀预防水锤防护措施调整为空气阀+空气罐联合预防水锤防护措施。

4.2 空气阀+空气罐预防水锤措施下计算分析

4.2.1 褚庄泵站—白龟山水厂输水系统空气罐、空气阀及其附件的布置

在褚庄泵站—白龟山水厂水泵出水管汇至DN1600mm输水主管道的下游2.5m处接1根DN500mm的支管引至内胆式空气罐。内胆式空气罐的有效总容积为9m³，胆内充氮气。为方便空气罐的安装、检修等，在的支管上设1台手动偏心半球阀和1套传力接头。沿线空气阀布置保持不变。

4.2.2 输水管线正常运行时，输水系统过渡过程计算分析

(1) 设计扬程工况下输水管线正常运行过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池设计水位93.5m，出水池设计水位155.3m。泵站输水系统按设计流量运行。经计

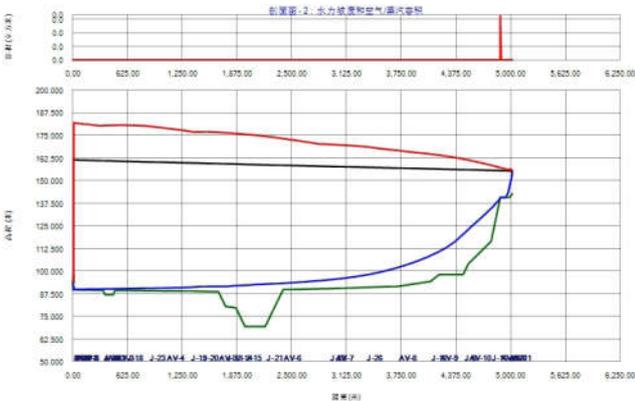


图1 设计扬程事故停泵工况计算成果

算，输水管线正常运行时，输水管道无负压，且输水管道最小压力大于2m（除水泵吸水管），符合规范要求。

(2) 最高扬程工况下输水管线正常运行过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池最低水位91.5m，出水池设计水位155.3m。泵站输水系统正常运行。经计算，输水管线正常运行时，输水管道无负压，且输水管道最小压力大于2m（除水泵吸水管），符合规范要求。

4.2.3 事故停泵时，输水系统过渡过程计算分析

(1) 设计扬程工况下事故停泵过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池水位为设计水位93.5m，出水池水位为设计水位155.3m。泵站输水系统按设计流量运行。根据机组运行方式，在突发断电事故时，3台主泵同时停泵时水锤压力变化最大，为最不利工况^[2]。

经计算，事故停泵时，褚庄泵站—白龟山水厂输水系统泵后阀门采用两阶段关闭，关闭规律采用10s-75%-100s-100%，输水管线最小负压为-0.06m，泵后阀门阀后最大压力上升率为28.74%，水泵最大反转速度与水泵转速比值为1.122，计算成果均符合规范要求，其过渡过程成果见图1。

(2) 最高扬程工况下事故停泵过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池水位为最低水位91.5m，出水池水位为设计水位155.3m。泵站输水系统正常运行。根据机组运行方式，在突发断电事故时，3台主泵同时停泵时水锤压力变化最大，为最不利工况。

经计算，事故停泵时，褚庄泵站—白龟山水厂输水系统泵后阀门采用两阶段关闭，关闭规律采用10s-75%-100s-100%，输水管线最小负压为-0.50m，泵后阀门阀后最大压力上升率为29.58%，水泵最大反转速度与水泵转速比值为1.172，计算成果均符合规范要求，其过渡过程成果见图2。

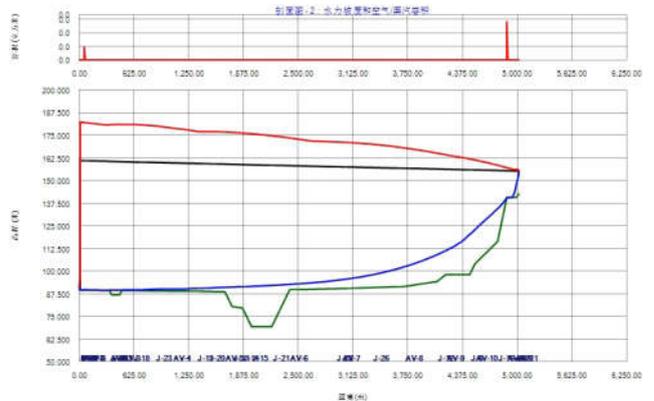


图2 最高扬程事故停泵工况下计算成果

4.2.4 正常停泵时，输水系统过渡过程计算分析

(1) 设计扬程工况下正常停泵过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池水位为设计水位93.5m，出水池水位为设计水位155.3m。泵站输水系统按设计流量运行。

经计算，正常停泵时褚庄泵站—白龟山水厂输水系统泵后阀门采用两阶段关闭，关闭规律采用10s-75%-100s-100%，输水管线无负压，泵后阀门阀后最大压力上升率为3.5%，水泵无反转，计算成果均符合规范要求，

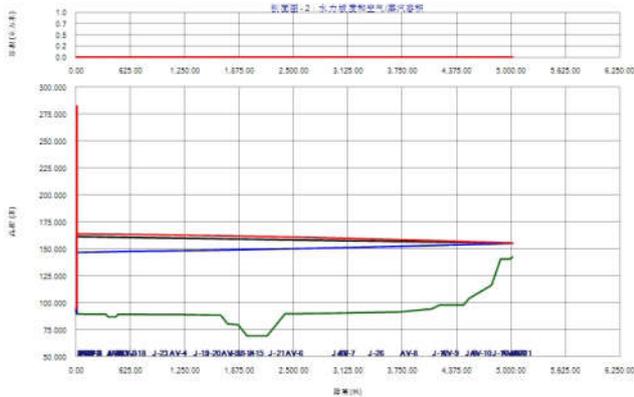


图3 设计扬程正常停泵工况计算成果

5 结论

泵站水锤以机组突然掉电停泵产生的水锤危害最大，由于水泵机组突然掉电停泵，水泵阀门关闭造成输水管线压力急剧上升。计算泵站水锤压力的同时，还应考虑机组的机械性能的要求，即机组的反转速度要控制在一定的范围。通过过渡过程计算分析，就是要合理确定阀门的关闭规律，降低水锤升压以及机组的反转速度，以保证供水系统安全。该工程泵站加压流输水系统，经综合比选采用空气阀+空气罐联合预防水锤防护措施。经计算输水系统最小负压为-1.16m，泵后阀门最大压

其过渡过程成果见图3。

(2) 最高扬程工况下正常停泵过渡过程计算分析

计算初始条件为泵站进水池水位为最低水位91.5m，出水池水位为设计水位155.3m。泵站输水系统正常运行。

经计算，正常停泵时，褚庄泵站—白龟山水厂输水系统泵后阀门采用两阶段关闭，关闭规律采用10s-75%-100s-100%，输水管线最小负压为-1.16m，泵后阀门阀后最大压力上升率为4.3%，水泵无反转，计算成果均符合规范要求，其过渡过程成果见图4^[3]。

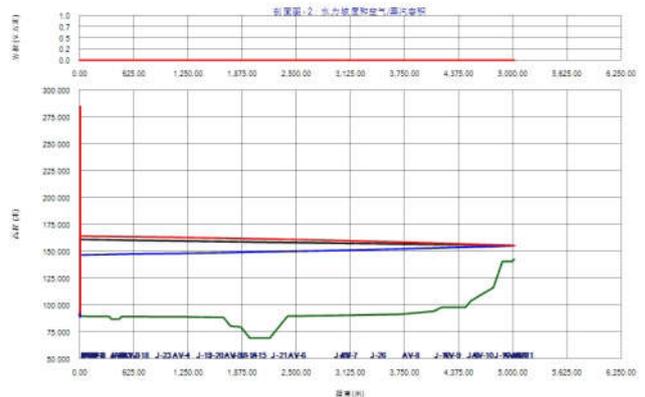


图4 最高扬程正常停泵工况计算成果

力上升率为4.3%，水泵无反转，满足相关规范要求，供水系统的安全可靠。

参考文献

- [1]张洁.高扬程泵站输水管道水锤防护研究[J].水利规划与设计,2024(06):138-141.
- [2]马全,蒋丽云,厉忠庆.泵站停泵水锤事故溯源分析及防护[J].水电能源科学,2024(05):169-171+202.
- [3]闫晓彤,杨春霞,郑源.含重力流支线的泵站加压供水系统水锤防护[J].南水北调与水利科技(中英文),2023(02):167-174.