

南水北调中线总干渠澎河分水口门改造技术研究

杨书统¹ 朱伟君²

1. 河南省水利勘测设计研究有限公司 河南 郑州 450003

2. 中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300222

摘要:南水北调中线起点位于丹江口水库陶岔渠首,终点位于北京市团结湖水库,总干渠总长1432km,全线共设置97座分水口门,向沿线北京、天津、石家庄、郑州等130余座城镇供水,通水以来输水约570亿 m^3 ,受益人口约1.5亿人,有效缓解受水区城市水资源紧缺状况,为沿线城市经济社会可持续发展提供供水安全保障。为进一步发挥南水北调工程社会、生态和经济效益,需要已建口门的基础上扩大供水范围和供水水量。本文以南水北调中线总干渠澎河分水口门改造为例,在不改变总干渠调度运行方案、地形条件复杂情况下,采用分水口门闸后连接池增设正堰下设钢管方案,有效解决了问题,为其他类似工程提供借鉴。

关键词:南水北调总干渠;分水口门;改造

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澎河分水口,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,支管道长度11.59km,采用K9级DN1600球墨铸铁管道。

澎河分水口门位于鲁山县张良镇贺塘村南总干渠左岸,主要向平顶山市老城区和叶县供水。分水口门处总干渠桩号为TS231+953.0,渠底高程126.062m,分水口门设计流量为 $26m^3/s$,设计水位133.06m,加大水位133.83m。口门型式为分水闸,与澎河渡槽退水闸联合布置,供水方式为将水输入澎河,利用澎河河道14.20km输水至白龟山水库,经水库调蓄后向平顶山市老城区和叶县供水。

分水闸工程包括上游进口段、闸室段、消力池段和海漫与防冲槽段,为单孔胸墙式分水闸,闸室底板顶高程为126.06m,闸顶高程为134.63m,与总干渠堤顶齐平。闸孔净宽2.0m,净高2.5m,顺水流方向长12.0m,底板厚1.2m。分水闸闸室段设有一道工作门和一道检修门,门型均为平板钢闸门。退水闸与分水闸合并布置,按事故退水设计,设计流量采用所处渠段设计流量50%,故退水闸退水流量 $160m^3/s$,孔口宽5.5m。

2 工程地质

工程区地层结构为土岩双层结构,主要由 aIQ_4^1 的粉质壤土、含有机质壤土及砂砾石与N的砂砾岩组成。粉质壤土,孔隙比大,中等压缩性,承载力标准值 $f_k = 130\sim 170KPa$ 。含有机质壤土,软塑,压缩性高,承载力

标准值 $f_k = 100\sim 110KPa$,分布不均。分水口门进口段地基主要由粉质壤土、含有机质壤土、砂砾石与砂砾岩组成。粉质壤土厚约5.2m,含有机质壤土厚约1.3m,砂砾石厚4~6m。工程区地下水含水层主要有第四系孔隙含水层和上第三系孔隙含水层,按埋藏条件主要为潜水层,局部具承压性。第四系孔隙水主要赋存于第四系砂砾石层中。

3 方案比选

该处总干渠设计水位为133.06m,最高水位为133.83m,则澎河分水口门的设计引水位为132.96m。由于输水管道设计流量为 $6.5m^3/s$,其余 $19.5m^3/s$ 流量须通过别的通道下泄到河道中。考虑分水口门的现状,在分水闸后设置连接池,输水管道从连接池中取水 $6.5m^3/s$,其余 $19.5m^3/s$ 下泄到河道中有两种方案选择:闸后连接池增设分水闸方案和闸后连接池增设正堰下埋钢管方案。

(1) 方案一: 闸后连接池增设分水闸方案

该方案在分水闸室后修建连接池,下游墙接输水管道和分水闸孔。连接池水平长度为28m,右边利用完建的扶臂式挡土墙,左边修建分水隔墙,厚度与分水闸和退水闸之间的中墩等厚,均为1.2m,下游侧修建挡水边墙,厚度也为1.2m。池底板利用现有的泄槽底板,厚0.8m,坡度为1:23.6。连接池墙顶高程与闸顶高程一致,均为134.63m。考虑结构安全,池下游侧设置撑梁连接左边墙和退水闸侧扶臂式挡土墙。考虑管线不输水偶然工况时,池中静水位和总干渠水位一致,墙顶超高不够,由于现状两侧的扶臂式挡土墙墙顶高程为134.63m~132.42m,故挡墙均加高到134.63m高程。

连接池下游侧墙体增设分水闸孔,孔口尺寸 $2.0\times 2.2m$

(宽×高),设计流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ (在不影响澎河分水口门调度的情况下,具备下泄 $26\text{m}^3/\text{s}$ 的能力),闸门采用铸铁闸门控制。闸孔底槛高程为 125.20m ,启闭操作平台高程为 134.63m 。渠水经过该闸孔后顺着泄槽流到澎河河道中。

(2) 方案二: 闸后连接池增设正堰下设钢管方案

该方案在分水闸室后修建连接池,位置同方案一,下游侧全段均为WES实用堰,堰体下部埋设引水钢管。连接池水平长度 28m ,上游侧紧接澎河分水闸出口,右边利用完建的扶壁式挡土墙,左边修建分水隔墙,厚度与分水闸和退水闸之间的中墩等厚,均为 1.2m 。池底板利用现有泄槽底板,厚 0.8m ,坡度 $1:23.6$ 。连接池墙顶高程与挡墙一致,为 $134.63\sim 132.42\text{m}$ 。

WES实用堰顶高程考虑下游洪水影响及钢管淹没深度要求,并满足上游澎河分水口门通过 $26\text{m}^3/\text{s}$ 时的工况,

最终堰顶高程为 129.67m ,堰高 4.8m ,堰宽 6.55m 。正常运行时,该堰设计流量为 $19.5\text{m}^3/\text{s}$,连接池中正常水位 130.88m ,堰上水深 1.21m ,无闸门控制。超过钢管引用流量 $6.5\text{m}^3/\text{s}$ 的取水由堰顶下放。堰体下部右侧埋设输水管道并设置止水环,管道紧靠泄槽右侧扶壁式挡土墙布置^[1]。

(3) 方案比选

两种方案均能满足本工程在不影响总干渠分水口门安全运行的情况下的取水要求,利用管道输水至平顶山市城区和叶县。方案一存在增设分水闸,改变总干渠分水口门运行调度方案,增加管理难度,日常巡检不便。方案二运行管理方便,可以让超出引用流量的渠水天然地下泄到河道中,虽对末端水厂日用水变幅要求较高,可通过水厂用水合理调配,影响较小。综合分析,推荐方案二闸后连接池正堰下埋钢管方案。如图1所示。

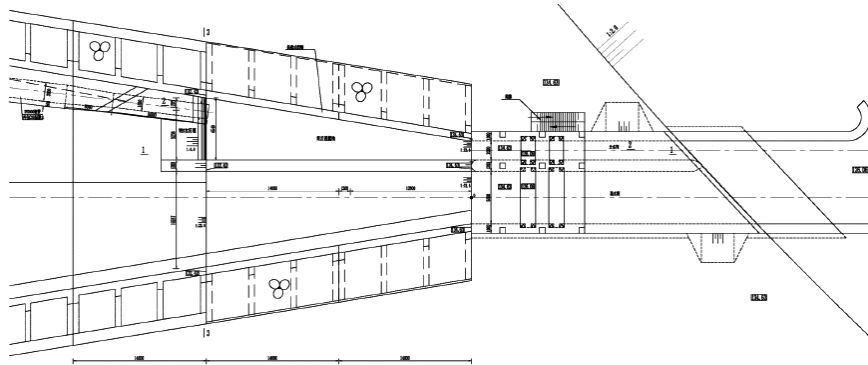


图1 闸后连接池正堰下埋钢管方案平面布置图

4 工程设计

考虑澎河分水口门的现状,在分水闸后设置连接池,输水管道从连接池中取水 $6.5\text{m}^3/\text{s}$ 输送到受水水厂,其余 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ 通过连接池下游增设分水闸下放到河道流向白龟山水库。连接池紧贴澎河分水口布置,下游侧全段均为WES实用堰,堰体下部埋设引水钢管。连接池水平长度为 28m ,右边利用完建的扶壁式挡土墙,左侧修建分水隔墙,厚 1.2m 。池底板利用现有的泄槽底板,厚 0.8m ,坡度 $1:23.6$ 。连接池墙顶高程与挡墙一致,为 $134.63\sim 132.42\text{m}$ 。

WES实用堰顶高程考虑下游洪水影响及钢管淹没深度要求,并满足分水口门通过 $26\text{m}^3/\text{s}$ 的出流要求,堰顶高程设为 129.67m ,堰高 4.8m ,堰宽 6.55m ,溢流面采用三圆弧接幂曲线后连接 $1:0.8$ 的斜坡段。正常运行时,该堰设计过流流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$,连接池中正常水位 130.88m ,堰上水深 1.21m 。超出引用流量 $6.5\text{m}^3/\text{s}$ 的渠水由堰顶下放至河道中。堰体下部右侧埋设输水管道并设置止水环,管道紧靠右侧扶壁式挡土墙布置,进口段直径 1.5m ,

渐变至 2.0m ,输水管道采用钢管,材质为Q355C,壁厚 16mm 。为防止水流冲刷,管道外采用C25混凝土进行封装,厚度不小于 0.5m 。

分水口改造的重点在于其堰顶高程的设置、设计流量、水位等相关能否满足总干渠调度运行及新建工程的正常运行引水的要求,需要进行进一步复核。

4.1 实用堰顶高程的拟定

WES实用堰顶高程的拟定,必须确保上游澎河口门下放的水量,除管道引用部分外,能天然的下泄到河道中。同时实用堰也宜尽可能高,连接池有一定的水深,保证输水钢管的淹没深度^[2]。

实用堰泄流能力按下式计算:

$$Q = Cm\epsilon\sigma_s B \sqrt{2g} H_w^{3/2} \quad (\text{公式1})$$

式中: Q —泄流量, m^3/s ;

C —上游面坡度影响修整系数,上游面垂直时,取 $C = 1.0$;

m —流量系数;

ϵ —闸墩侧收缩系数;

σ_s —淹没系数,视泄流的淹没程度而定;

B —泄流过水断面净宽, $B = 6.5\text{m}$;

H_w —计入行进流速的堰上总水头, m 。

初拟堰顶高程129.67m,堰高4.8m,当堰上流量 Q 为 $19.50\text{m}^3/\text{s}$,总流量为 $26.00\text{m}^3/\text{s}$ 时,连接池水位为130.88m,堰顶过流水头为1.208m,管顶水深3.76m。

澎河分水口下泄 $26.00\text{m}^3/\text{s}$ 时,按闸孔出流流量计算公式进行复核:

$$Q = \sigma_s \mu e n b \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon e)} \quad (\text{公式2})$$

式中:

e ——闸门开启高度 (m);

b ——每孔净宽 (m);

n ——闸孔孔数;

H_0 ——包括行进流速水头的闸前水头 (m);

ε ——垂直收缩系数;

μ ——闸孔自由出流的流量系数,它综合反映闸孔形状和闸门相对开度 e/H 对泄流量的影响;

σ_s ——淹没系数。

澎河分水闸前正常水位为132.96m,加大水位为133.73m,闸底高程126.06m,经复核,当下游水位为130.88m,即闸后水深4.82m,闸孔过流能力为 $26\text{m}^3/\text{s}$ 。

4.2 实用堰过流能力复核

从澎河分水口进入连接池中的渠水,设计工况下输水管道从连接池取水 $6.5\text{m}^3/\text{s}$ 输送至受水水厂,其余 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ 通过下游WES实用堰下泄。考虑输水过程中,澎河口门下放流量和输水管道引用流量均可能发生变化,应计算各级流量在拟定堰高下,下游实用堰相应的过流能力采用上文实用堰泄流能力计算公式(公式1)进行复核。

经复核,当管道引用 $6.5\text{m}^3/\text{s}$ 时,口门分别下放 $20\sim 10\text{m}^3/\text{s}$,此时堰顶最大下泄流量分别满足 $13.5\sim 3.5\text{m}^3/\text{s}$ 的情况下,连接池中水位分别为 $130.63\sim 130.08\text{m}$,均能满足引水管道的淹没深度要求。当管道引用 $5.0\text{m}^3/\text{s}$ 时,口门分别下放 $20\sim 10\text{m}^3/\text{s}$,此时堰顶最大下泄流量分别满足 $15\sim 5\text{m}^3/\text{s}$ 的情况下,连接池中的水位分别是 $130.69\sim 130.19\text{m}$,均能满足引水管道的淹没深度要求^[3]。

4.3 澎河分水闸过流能力复核

在实用堰高程129.67m(堰高4.8m)情况下,澎河口门除下放 $26\text{m}^3/\text{s}$ 外,还须复核根据相应流量时连接池中水位,下泄 20 、 15 、 $10\text{m}^3/\text{s}$ 时的闸门开度情况,分水闸开度情况采用上文闸孔出流的流量计算公式(公式2)进行复核。

经复核,当管道引用 $6.5\text{m}^3/\text{s}$ 时,口门分别下放 $20\sim 10\text{m}^3/\text{s}$,澎河口门的闸门开度分别为 $1.899\sim 0.973\text{m}$,

均能满足闸门开度的相关要求。当管道引用 $5.0\text{m}^3/\text{s}$ 时,口门分别下放 $20\sim 10\text{m}^3/\text{s}$,澎河口门的闸门开度分别为 $1.927\sim 0.987\text{m}$,均能满足闸门开度的相关要求。

4.4 管道中流量波动影响分析

在拟定堰顶高程情况下,配套工程实际运用时,由于下游用水影响,管道输水流量有一定波动,根据从现状水厂调查了解到的情况,日均变化幅度为 $1.2\text{m}^3/\text{s}$ 左右,为避免澎河口门调度过于频繁,且尽量减小从堰顶弃水,配套工程应有一定的能力适应日用水变化要求。其复核工况为当口门为一定开度时,随着下游连接池水位的上升至堰顶时,所对应的闸门过流,即此时的管道引用最小流量。分水闸过流采用上文闸孔出流的流量计算公式(公式2)进行复核。

经复核,当闸门开度为 0.486m 时,其过流能力为 $6.5\text{m}^3/\text{s}\sim 4.94\text{m}^3/\text{s}$,当闸门开度为 0.372m 时,管道过流能力为 $5.0\sim 3.7\text{m}^3/\text{s}$,当闸门开度为 0.297m 时,管道过流能力为 $4.0\sim 2.84\text{m}^3/\text{s}$ 。从计算结果可知,保持各级流量闸门开度不变的情况下,连接池中水位升至堰顶时,管道中的最小流量分别为 4.91 、 3.70 、 $2.84\text{m}^3/\text{s}$,除最后一级流量差为 $1.16\text{m}^3/\text{s}$,稍小于 $1.2\text{m}^3/\text{s}$,其它均满足要求。考虑澎河口门下放 $4\text{m}^3/\text{s}$ 的情况不常见,从堰顶稍微弃水到河道是可以接受的。

结论

南水北调中线工程为特大型跨流域调水工程,工程等级为I等。其他工程从澎河分水口取水除了要满足管道自身设计标准外,还要满足南水北调中线总干渠主体建筑物设计的相关要求。本工程紧密结合分水口门建筑物布置,采用闸后连接池正堰下埋钢管方案,上游能保证澎河分水口门出流,下游能确保超出输水管道的多余水量下泄到河道中,不影响总干渠的正常调度。

工程取水部分施工过程中关闭前面的分水口闸门,不会给渠水水质带来任何影响,从而不影响中线总干渠的安全运行。此外,输水管道紧贴在右侧挡土墙布置,虽然占用了部分泄槽空间,当按照原设计流量退水时,其需要的消力池长度仍然在原设计范围内,不影响消力池的正常退水消能功能。

参考文献

- [1]史靖雯,彭博,澎河流域设计洪水计算与分析[J].河南水利与南水北调,2015(09)58-59.
- [2]陈晓光,南水北调中线一期总干渠沙河渡槽段工程[C].水利水电工程勘测设计新技术应用,2018.11,244-256.
- [3]刘国军,尹航,南水北调中线一期总干渠鲁山2段金属结构设计[J].水利水电工程设计,2017.36(02)42-43+53.