

某水库头部泵房及输水管线方案的设计

高升

大连市市政设计研究院有限责任公司

摘要：某工程的取水点和受水点分别位于高山两岸，其输水管线需跨越高山，地形的最大高差可达215m，输水管线全长可达3.7km。而输水方案的设计、管道和管材附件的选择以及后期运行管理是保证该工程能够安全顺利运行的关键因子。为了克服取水点和受水点之间高山阻隔带来的难题，本研究通过对输水方案的设计比选，提出先通过头部泵房将水加压到山顶高位水池，再通过重力作用引流至受水点的输水设计方案。通过研究比较不同管材的性质，确定适用于本工程的最佳管材为无缝钢管及PE管。在此基础上，针对该工程提出了相应的安全运行的方案。

关键词：取水船；输水管线；水锤消除

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.042

本工程取水点与受水点分别位于高山两岸，地形中部高而两端低，其中取水点位于山的北侧，水源为水库水，水库的正常蓄水位为1286.5 m，而受水点位于山的东南侧，其中受水点为隧洞入口，隧洞入口高程为1350

m。山顶高程为1500 m，地形最大高差达215 m，输水线路全长约3.7 km。

一、输水整体方案

本研究提出先通过头部泵房将原水加压到山顶高位水池，再通过重力作用引流至受水点的输水设计方案（输水管线剖面图如图1所示）。具体输水设计方案如下：

本工程设计流量： $Q = 16000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，新建取水头部泵站从水库抽水到山顶处的一座新建的高位水池内，头部泵站内水泵扬程约为250米，该扬程大于高位水池与水库正常蓄水池之间的高度差215 m，可保证水源水顺利从取水点到达高位水池。然后，高位水池中的水源水通过重力流输入到隧洞入口，最终成功完成取水点到受水点的输水过程。该设计方案中压力流输水管线管径为DN400，重力流输水管线管径DN350。

山顶的高位水池可以起到稳压、稳定流量的作用，并且根据高位水池的液位，控制头部泵站内原水泵的流量。

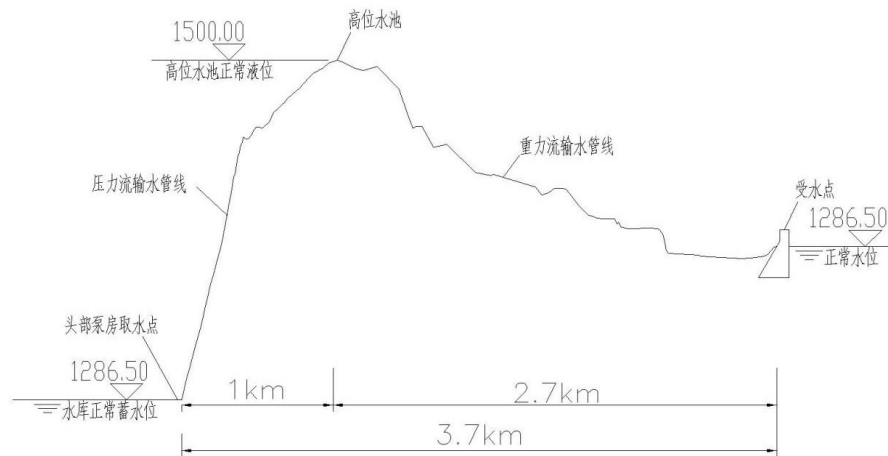


图1 输水管线剖面示意图

二、头部泵站设计方案

取水头部泵站作为供水系统的重要组成部分之一，它的选取对泵站节能及供水安全等方面具有重要的意义。因此，本研究首先对取水头部泵站的进行比较选择。

取水构筑物通常可分为固定式取水构筑物和移动式取水构筑物。移动式取水构筑物的取水方式主要分为浮船式取水和缆车式取水，而固定式取水构筑物主要是竖井式取水。以下我们分别对三种型式泵站进行技术经济比选。

（一）浮船式泵站

浮船式取水是指浮船置于水体中来吸取湖水、河水

或水库水。浮船式泵站的取水设备放置于船舱中，该设备并通过连络管能够与岸上的输水管相连。根据船舶动力划分，浮船式泵站主要有两种，分别为自航式、非自航式，即停泊式。自航式浮船泵站为机动船只，在其船舱中配有自航动力设备以及内燃机联动水泵机组。也有一些自航式浮船泵站其自航动力主要通过取水设备的动力装置获得。该类自航式浮船泵站可适应河道的主流摆功，因此大部分应用于游荡性河段的取水。停泊式浮船泵站不配备自航的动力设备，因此其使用范围更加广泛，并具有如下优点：建设周期短，施工简便以及随水位的涨落而发生升降。

由于本工程为水库水取水，水下情况稳定，不需要

航行来增加成本，因此宜选择停泊式浮船泵站，泵船内布置3台离心泵（2用1备），设计参数：单机流量 $Q = 340 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H = 250 \text{ m}$ ，功率 $N = 355 \text{ kW}$ ，并在泵船上设置航标灯等安全信号指示装置。

（二）缆车式泵站

缆车式取水是指将缆车建造于岸坡上来吸取水库衣层水或河流水的取水。缆车式泵站的核心部件为泵车，并由输水斜管、坡道以及牵引设备一起组成。其工作原理为设有水泵机组的泵车通过卷扬机绞动钢丝绳牵引，从而沿着斜坡上的轨道运行，随着水位的涨落该泵车能够上下移动进行取水。缆车式泵站的特点与浮船式泵站基本相同。而相较于浮船式泵站，该泵站具有稳定性好的操作管理较方便的优点，但同时存在机动灵活性较差的缺点。因此，其主要适用于无冰凌、漂浮物较少以及水位变化较大的水库或河流。

本工程缆车式泵站设置取水泵车1台，配备3台离心泵（2用1备），设计参数：单机流量 $Q=340 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H = 250 \text{ m}$ ，功率 $N = 355 \text{ kW}$ 。

（三）竖井式泵站

根据取水口地形地貌，本工程可采用竖井式泵站。竖井为C25 钢筋混凝土圆筒框架结构。启闭台上安装3 台长轴深井泵（2用1备），设计参数：单机流量 $Q = 340 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H = 250 \text{ m}$ ，功率 $N=400\text{kW}$ 。并在启闭机房屋面梁上设置手电两用的电动葫芦，用于起吊水泵。

综合考虑到工程投资、施工周期、运行管理及供水安全等各方面的因素，本工程选用移动式泵站。具体原因如下：本工程为水库取水，若建设竖井式取水泵站，其投资造价成本及设计标准要求均不易达到。移动式泵站由于具有一次性投资小、见效快、水下建筑物结构简单和施工周期短的优点，因此相对于竖井式取水泵站，移动式泵站为本工程的最优选择。

移动式泵站中，浮船式泵站随水位涨落的而发生升降，当取水量发生改变时，设备易于改装，集成度高，因此适用于供水要求紧迫的情况。其次，因为浮船式水

泵吸水口可以一直保持于液面以下1到2m 的位置，因此该泵站取出的水泥砂含量低且污物少。此外，相比于缆车式泵站，浮船式泵站更为机动灵活。综上，本工程推荐选择使用浮船式泵站进行取水。

根据方案比选后，本工程推荐在水库南岸新建一座浮船式一体化泵站，浮船式泵站选择停泊式，配备浮船长度20米，宽度7.5米，深1.5米，吃水深度1米（浮船式泵站平面布置如图2所示）。泵船内布置3台离心泵（2用1备），设计参数：单机流量 $Q = 340 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H = 250 \text{ m}$ ，功率 $N = 355 \text{ kW}$ ，泵船上设置航标灯等安全信号指示装置。

浮船式泵站主要建筑物包括取水泵船、主泵房、支墩、工作桥等，采用主辅旋臂连接浮船式泵站与水库坝顶，旋臂长55 m，极限角度 $0^\circ \sim 24^\circ$ 。

三、输水管线设计

（一）输水管线管材的比选

输水管线属于地下永久性隐蔽工程设施，为保证供水安全和经济以及便于管理维护，管材、管件及附属设备要求具有承受内外荷载和一定抗腐蚀性的能力，并具有水密性好、内壁光滑、使用寿命长以及运输、安装方便的特点。

目前常用的给水管材主要有玻璃钢管、球墨铸铁管、钢管及PE给水管等，几种常见的输水管线管材的主要特性对比如表1所示：

在管材选择上，首先要考虑管材的安全性，其次需要考虑安装的便捷性和施工周期的进度性，尽可能减少对人们日常工作、生活的影响。结合对管材的主要优缺点的比较，从管道投资上来看，玻璃钢管的投资虽然最低，但管道柔性稍差，管道脆性；大钢管与球墨铸铁管管道压力等级较大。由于本工程头部泵站扬程达到250m，抽水到高位水池的1000m管线中部分管线公称压力需达到4.0 Mpa，因此这段管线推荐采用无缝钢管作为头部泵站后的输水管线。

高位水池到隧洞入口为重力流输水管线，管线长度

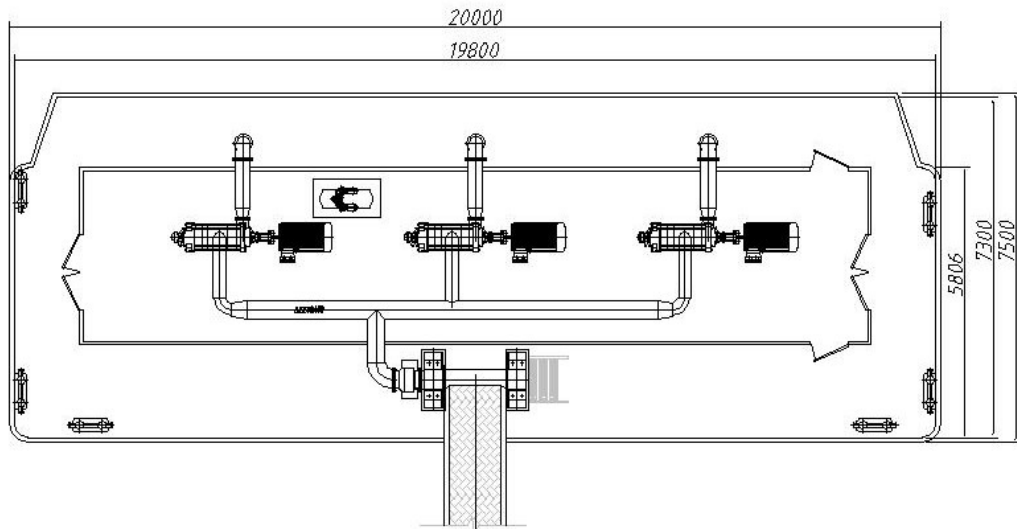


图2 浮船式泵站平面布置图

表1 常见的输水管线管材主要特性的比较

名称	接口形式	生产应用	优点	缺点
玻璃钢管	承插接口橡胶圈密封	广泛应用	1 重量轻, 运输方便, 施工方便, 维修费用低 2 耐腐蚀, 使用寿命长 3 水力条件好, 节省电能 4 内壁不易结垢, 输水能力保持久	1 回填要求较高, 要求撼砂至管顶50厘米 2 管道柔性稍差, 管道脆性大 3 地基较差地段的处理费用高
球墨铸铁管	承插、法兰接口	使用量最多	1 抗震性能好, 使用寿命长 2 防腐能力较钢管强 3 有标准配件, 适用于配件及支管较多的管段 4 接口采用橡胶圈接口, 柔性较好 5 在中低压管网中, 运行安全可靠, 破损率低, 施工维修方便快捷	安装受人为因素较大
钢管	焊接、法兰接口	广泛使用	强度大	1 抗腐蚀能力差 2 管道防腐费用较高
PE 给水管	焊接、法兰接口	广泛使用	1 寿命长 2 管节长, 重量轻, 热熔连接, 施工速度快 3 水头损失小	管道价格较高

2720m。若这段输水管线仍采用钢管, 对于不同管段压力取材不经济。同时该管线需沿乡村及公路曲折铺设, 管道需随地势高低变化, 刚性管材装配复杂和施工效率低, 不适用于作为重力流输水管线进行铺设。根据不同压力等级, PE 管可选取不同压力管材, 经济性好, 而且其在曲折线路施工时能有效适应轻微变形, 降低工程复杂程度。因此, PE 给水管选为重力流输水管线的管材。

(二) 输水管道附属设施

1. 水锤防护空气罐

对于浮船泵站的停泵水锤防护, 推荐在坝顶水泵出水管后接缓闭止回阀和水锤防护空气罐, 压力为4 MPa、容积为1 m³的防护罐即可实现对管线的保护。该设备投资小动作可靠性高、占用空间小, 可增强系统的安全性。设置防护罐后管线在事故断电后使负压基本消除。

2. 电控型调流调压阀

建议在隧洞入口处管路末端安装一个电控型调流调压阀, 以匹配输水管道与隧洞的流量平衡, 并且可以根据头部泵房原水泵的流量和高位水池液位, 实时调整管道过流量, 使输水管道流量稳定, 调流阀可为活塞式流量调节阀。

3. 排气阀

排气阀安装在管线的高起部位, 用于在投产、平时或检修后排除管内空气, 保证管道的过水断面。本工程压力流取水管线部分的水锤防护压力较大, 可采用水锤防护型排气阀; 本工程重力流管线部分的水锤防护压力较小, 可选用复合式空气阀, 阀门口径为DN50。排气阀前设置检修阀, 阀门型式为闸阀, 阀门口径为DN50。

4. 排泥阀

排泥阀用于排除管道中的沉积物和管道检修时防空存水, 因此在管线最低处应安装泄水阀。本次设计冲砂排水阀门装在管道穿越现状沟渠附近, 将管道上接出一个之路管道, 将其接入河沟, 待冲砂是将其打开。

5. 管道支墩

在管道沿线安装有三通/弯头、阀门、异径管等的部位, 应设置拖拉墩和管道支墩。

6. 管道镇墩

设置在头部泵站出水压力管上, 主要用来固定压力管道, 防止其位移, 一般建在管道转折的位置, 或直线管道过长时也设镇墩, 为钢筋混凝土结构。

7. 管道伸缩器

在输水管道安装各类阀门处, 宜安装管道伸缩器。明管安装, 为防止温差应力和管道地基非均匀沉降而危害管道, 利用伸缩器将管道断开成若干段, 减小温度应力及管道沉降。伸缩器一般置于镇墩下游侧。

四、结论

第一, 从管线安全可靠和经济合理方面考虑, 头部泵站推荐采用浮船式泵站, 并在山顶新建一座高位水池, 采用先加压再重力流的方式, 管阀最大设计压力4.0 MPa。

第二, 钢管具备物理力学性能好、安全性能好以及接口方便等优点, 本工程压力流管线推荐采用钢管; PE 管具有经济性好, 对于曲折线路施工时能有效适应轻微变形, 降低工程复杂程度等优点, 本工程重力流管线推荐采用PE管。

第三, 为防止的事故状况下水锤的发生, 输水管线应设置水锤防护空气罐、排气阀、调流调压阀等附属设施。

参考文献

- [1] 戴雪峰, 张嘉炜, 赵荣. 白鹿原水厂南线高压输水管道设计探讨[J]. 工程设计, 2020, 5(3): 810-813.
- [2] 王超, 陈文立, 康学飞. 长距离重力输水工程中水锤防护措施的对比研究[J]. 供水技术, 2013, 7(3): 25-28.
- [3] 严建锋. 长距离高压输水管线的水击分析及水击保护[J]. 中国化工贸易, 2018, 10(27): 164-165.
- [4] 周云, 赵海生, 刘崇选. 压力水管镇墩计算的探讨[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(1): 79-82.