

滇西高原高山峡谷区高扬程大流量泵站应用浅析

邵维赛

保山市万润水利电力勘测设计有限公司 云南 保山 678000

【摘要】水是生命之源、生产之要、生态之基。以滇西某市为例，随着城市城镇化推进及城市产业变革，长期性缺水导致的行业之间争水、生产与生活争水、生态的必要补水已成为制约城市发展的关键环节。在本区域水资源总量不足的前提下，跨区调水成为必然。滇西地区典型的高山峡谷地貌决定了水低人高的独特地理特征，实现低水高用的唯一途径，便是合理开发利用水资源，通过建设高扬程大流量泵站，以彻底解决生产、生活、生态用水问题。

【关键词】高原；高扬程；大流量；泵站

1.工程背景

某市素有滇西粮仓之美称，是云南省的粮食蔬菜重要生产区，是国家和云南省重点投入建设的商品粮基地，现状耕地面积有近 30 万亩。区域水资源极度紧缺，人均水资源量 740m^3 ，亩均水资源量 1370m^3 ，现状水资源开发利用程度达 28.7%，现状建成各类水利工程合计年供水量 1.13 亿 m^3 ，但仍缺水量 1.13 亿 m^3 ，缺水率 50%。在充分节水的基础上，2035 年缺水量仍将超过 1.5 亿 m^3 ，缺水形势十分严峻，供需水矛盾十分突出。根据该市水生态开发利用规划，xxx 工程作为重点和骨干外流域调水工程列入开发建设内容。

2.高扬程大流量泵站应用

该工程通过水源点兴建提水泵站，将高程较低的泉水通过泵站提升至出水池，通过后续输水渠系（管道）建筑物将水输送至末端调节水库及水厂，实现外流域调水。

2.1.泵站级数确定

本工程设计提水流量为 $1.6\text{m}^3/\text{s}$ ，泵站进出水池几何高差约 500m；属高扬程大流量泵站。通过与国内外多家一线水泵厂座谈交流，以及国内工程案例实地考察结果，一级提水泵站技术成熟、泵组效率高，方案可行。通过一级泵站提水，土建投资、机电设备配套、运行管理、后期运维成本均更为高效、经济。

2.2.枢纽总体布置特点

2.2.1. 泉水收集方式

本工程泉水属于顺层发育的地下暗河，暗河主要顺层面裂隙发育，露头处受压性断层影响，从半坡处出露，除 2 处集中出露点外，尚余零星坡面出露，分布高程差约 30 米。

本工程将出露的泉水分成 2 组，上组泉水高程高于下组泉水约 30m，多年平均出流量约占泉水多年平均出

流量的 70%，下组占 30%。基于充分利用现有水头的原则，通过修建引水渠将上组泉水引入主泵站进水管，通过主泵提水；下组泉水通过设置引水渠、截水沟的方式收集进入小泵站，提水至主泵站引水渠进行补水，实现对不同高程泉水的收集。

本工程通过对不同高程的泉水分别收集，充分利用现有水头，节能效果显著；考虑到来水过程的不均匀性，为尽可能减少弃水，当来水与泵组运行推荐流量区间不匹配时，通过调整提水管末端设置的流量调节阀开度，使泵组在小流量区间亦可正常稳定运行，以应对极端气候条件下对取水的需求。略有遗憾的是，由于受地形条件限制，引水渠及进水池体积较小，若条件许可，适当增大泵站进水池容积，对稳定水位、机组平稳运行更加有力。

2.2.2. 厂房选址

本工程位于 V 形峡谷区，地形狭窄，缺少天然可用的平坦开阔场地，提水泵站占地面积较大，不适宜采用大开挖厂房方案。经综合考量，本工程泵站厂房选择泉水下游 60m 处河道左岸冲洪积砂卵石层阶地。综合考虑防洪、抗震、机组震动等因素对地基的不利影响，机组层采用下沉式设计，底板采用筏板基础，边墙采用混凝土墙；上部整体采用框架结构。

2.2.3. 泵站进出水管道

泵站进水管长约 200m，连接引水渠和泵组，设置一根主进水管，为保证进水流态的稳定，管内流速控制在 1.5m/s 左右，临近泵站采用一机一管方式进水。

泵站提水管长约 1500m，单管布设，管内流速控制在 2.0m/s 左右，平面上尽可能沿直线、山脊布设，同时尽可能避开多起伏、局部异常凸起地段。考虑到提水泵站提水管设计内压高达 750m，设计工况复杂，选择直缝钢管作为泵站提水管管材；钢管采用 Q355C、Q390C 两种钢板制作，有效控制钢板厚度。

2.3.水泵机组

2.3.1. 机组数量选择

本工程来水为泉水，年度月平均可提水流量在 $0.37 \sim 1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间，汛枯流量比超过 4 倍以上，来水过程具有年际年内的不均匀性，经综合考虑，选择 4 台工作泵方案，水泵比转速在 $80 \sim 120$ 之间，属于中等比转速水泵，单泵设计流量 $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，扬程 510m，可满足取水需求。

2.3.2. 水泵及电机型式（汽蚀余量限制）

经多方案比选，本工程水泵扬程 510m，流量 $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在此水泵参数范围下适宜的主要水泵型式为中开多级卧式离心泵。水平中开多级卧式离心泵为轴向剖分结构，水泵进水管均布置于泵体下半部份，水泵检修较为方便，对中开面设计及加工要求高，该结构型式利于轴向推力的平衡，运行平稳，气蚀性能较好，主要适用于流量相对较大的中高扬程泵站。配套电机功率 2800kw，选用 10kV 鼠笼型异步电动机。

本工程充分利用泉水水头，水泵进口压力约 0.6Mpa，满足该泵型必须汽蚀余量的要求，避免了水泵安装高程受汽蚀余量的影响。

2.3.3. 机组转速

水泵转速选择受水中颗粒及其硬度影响较大，通常来说，水中颗粒物越多、硬度越大，便倾向于采用低转速以减少叶轮的磨蚀；本工程泉水清澈无杂物，根据泵站特征参数，参考类似水泵制造和运行业绩，额定转速为 1480r/min 和 2980r/min 均可满足工程运行要求；较高转速方案可减小机组尺寸，降低造价，但水泵必须汽蚀余量 NPSHr 约为 10~13m 左右；较低转速方案机组尺寸较大，造价略高，对应的水泵必须汽蚀余量 NPSHr 约为 5~8.5m 左右，泵站装置气蚀余量更大；考虑到本工程泵组容量较大，高转速方案振动、摆度及噪音等设计和安装不容易控制，安全稳定性相对较低，择优采用较低转速方案。

2.3.4. 水锤防护

本泵站管路系统由进水管、水泵、出水支管、提水管、出水池组成。水泵进、出水压力钢管均为 1 管 5 机布置方式。其中进水总管长约 200m，管径 1.4m；进水支管长度约为 8m，管径 0.60m；出口支管长约为 15m，管径 0.45m；提水管长约 1500.0m，管径为 0.90m。

泵站水力过渡过程计算作为泵站安全运行的前提，是设计师首要关注并解决的。目前高扬程大流量泵站水锤防护基本采用两种防护系统：一种是所谓开式防护系统，即在水泵出水支管分别设置止回阀（包括水力、液控、两阶段止回阀），在提水管靠近泵房处设置水击泄放阀，管道沿线适当设置防水锤型空气阀，既起到保护泵组的目的，超过设定值的压力也会得以泄放，缺点是过渡过程压力波动大，负压值难以控制（尤其是管线弓背式布置）；另一种为所谓闭式防护系统，即在水泵出水支管分别设置止回阀，在提水管合适位置设置水锤消除罐，管道沿线适当设置防水锤型空气阀，通过水锤消除罐的吸纳、反补作用消除水锤压力，过渡过程压力波动平缓，负压值可以有效控制，瑕疵是罐体需要占用一定的地面面积。

经试算，本工程最不利工况为泵站突发性停电，4 台工作泵组同时停运。通过水泵出口设置水力止回阀 1 套、提水管始端设置 2 台 $\text{PN}100 \text{ V}=10 \text{ m}^3$ 水锤消除罐、提水管沿线设置 3 套防水锤型空气阀，管道最大升压 1.2 倍，沿线无负压，泵组无倒转。

3.结语

本工程区位于滇西高原边陲，高山峡谷地貌，面对水低人高、坐拥丰富的水资源而不可得的窘境，提水工程的建设早已深入人心。面对新时代水利工程建设新发展、新需求，通过建设高扬程大流量泵站，既能满足工程需求，又能减少占地面积，有效减少对生态、环境的破坏，尤其适用于高山峡谷区提水工程建设。随着相关泵站的不断开工建设，相信水利工程会持续涌现一大批高质量的高扬程大流量泵站，在水利工程建设中留下其浓重色彩。

【参考文献】

- [1]董安建,李现社.水工设计手册(第2版)第9卷 灌溉、供水[M].北京:中国水利水电出版社,2014.4:486-495.
- [2]GB50265-2022 泵站设计标准[S].北京:中国计划出版社,2022.
- [3]金锥,姜乃昌,汪兴华.停泵水锤及防护[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [4]刘竹溪,刘景植.水泵及水泵站[M].北京:中国水利水电出版社,2006.