

水电站排水系统排水口设计的比较与分析

李小乐 张卫东 唐林钧

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司 贵州 贵阳 550081

摘要: 水电站检修、渗漏排水泵的扬程由排水管的出口高程、下游尾水位和集水井的运行水位以及排水系统管路水力损失进行确定。排水管的出口高程与选定的水泵的稳定运行范围息息相关。通过对三个电站的不同的排水方式进行比较与分析,论证了排水管出口高程的选择和排水出口方式的优缺点、为后续水电站的排水系统设计提供参考。

关键词: 水电站; 排水系统; 排水管出口

Comparison and Analysis of Drainage System Outlet Design in Hydraulic Power Stations

Li Xiaole, Zhang Weidong, Tang Linjun

China Power Construction Group Guiyang Survey, Design and Research Institute Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550081

Abstract: The head of dewatering and drainage pump for hydraulic power station is determined by the outlet elevation of the drainage pipe, the downstream tail water level, the operating water level of the collection well, and the hydraulic loss of the drainage system pipeline. The outlet elevation of the drainage pipe is closely related to the stable operating range of the selected water pump. By comparing and analyzing the different drainage methods of three power stations, the selection of drainage pipe outlet elevation and the advantages and disadvantages of drainage outlet methods were demonstrated, providing reference for the design of drainage system in subsequent hydropower stations.

Keywords: Hydropower station; Drainage system; Drainage pipe outlet

问题的提出

水电站检修、渗漏排水泵的扬程由排水管的出口高程、下游尾水位和集水井的运行水位以及排水系统管路水力损失进行确定。有些电站下游水位变幅较大,由于常规排水泵在高效区扬程变化范围较小,水电站排水设计时往往将排水管的出口高程设置较高,以增加水泵的扬程,满足下游水位较高时的排水要求,同时减少尾水位波动对水泵运行扬程的影响,使水泵在扬程变幅较小的范围内稳定运行。据有关电站运行人员反映,将排水管设置在较高的高程,由于电站尾水位长期不会淹没排水管出口,常常在尾水处看到小孔出流的排水现象,影响电站的美观。针对这个情况,以下以结合A、B、C三个电站的排水系统设计对排水管出口高程的设置及排水口的设计进行比较与分析。

1 A电站排水方式设计

A电站为某大型的河床式电站,装设4台轴流转桨式机组,电站尾水位为:

单台机发额定出力对应尾水位为588.98m,

三台机发额定出力对应尾水位为591.86m,

四台机发额定出力对应尾水位为593.00m,

校核洪水尾水位为600.77m。

1.1 机组检修排水泵扬程计算

根据NB/T 10860《水电站排水系统规范》,机组检修排水泵的扬程可按一台机组检修、其他机组满负荷运行时的下游尾水位确定。A电站装机4台,机组正常检修时,排水量按1台机检修时的排水量,尾水位按3台机满发时的尾水位考虑。检修排水系统设置4台长轴深井泵,停泵水位为554.80m,报警水位为557.90m。

检修排水泵扬程为: $H_{\text{泵}} = \nabla_2 - \nabla_1 + \sum h$ (1)

式中: $H_{\text{泵}}$ ——水泵总扬程(m)

∇_2 ——下游尾水位(m), $\nabla_2 = 591.86\text{m}$ 。

∇_1 ——停泵水位(m), $\nabla_1 = 554.80\text{m}$ 。

$\sum h$ ——水力损失(m), $\sum h = 7\text{m}$ 。

1台机检修时,下游尾水位 ∇_2 : 591.86 m,考虑到排水管检修的方便,将检修排水的排水管出口高程管稍高于机组正常检修时下游尾水位,取检修排水总管的出口高程为594m,此时 ∇_2 应取水泵出水管高程为594m。

经计算,机组检修排水泵扬程 $H = 46.2\text{m}$,考虑水泵扬程留有一定余量,取 $H = 50\text{m}$ 。

检修排水泵的出水管高程一般在一台机组检修尾水位或稍高于一台机组检修尾水位,检修排水泵的扬程和出水管高程的设置受下游尾水位变幅的影响不大。

1.2 厂房渗漏排水泵扬程计算

根据NB/T 10860《水电站排水系统规范》,厂房渗漏排水泵的扬程应根据厂房渗漏排水管路出口高程、厂址最高尾水位、集水井运行水位范围、排水系统管路水力损失进行确定,并留有裕量。

渗漏排水泵设计扬程: $H_{\text{泵}} = \nabla_2 - \nabla_1 + \Sigma h$ (2)

式中: $H_{\text{泵}}$ ——水泵总扬程(m)

∇_2 ——校核尾水位(m), $\nabla_2 = 600.77\text{m}$ 。

∇_1 ——停泵水位(m), $\nabla_1 = 564.7\text{m}$ 。

Σh ——水力损失(m), $\Sigma h = 6.3\text{m}$ 。

经计算,渗漏排水泵扬程 $H = 42.37\text{m}$,考虑水泵扬程留有一定余量,取 $H = 47\text{m}$ 。

A电站下游校核尾水位和4台机满发水位相差7.77m,渗漏排水泵的扬程选择和排水管出口高程的设置应考虑其影响。以下就排水管出口高程选择的两种情况进行分析:

第一、如果排水管出口高程较低,此时水泵扬程选择是以校核洪水位与集水井停泵水位之差加上管道水力损失确定。当尾水位较低时,水泵会在低扬程区运行,会带来以下问题:

水泵效率方面,由图1可以看出,水泵的效率曲线的变化趋势为从最高效率点向两侧下降,随着扬程的降低、水泵效率会偏离高效区;

电机功率方面,根据水泵H-Q曲线,随着扬程的降低,水泵流量会增大,根据《水泵与水泵站》^[2],离心泵的功率曲线是一上升的曲线,即功率随流量的增加而增加。因此,随着流量的增大所需电机功率也会增大,会有电机过载的风险。曾经有电站由于水泵扬程选择过高,实际运行中水泵经常在低扬程区运行发生过电机过载故障烧电机的情况;

海拔影响方面,在高海拔地区还要考虑电机功率减载的影响。根据《工业泵选用手册》^[3],在电动机功率确定的同时应考虑电机使用条件对电机的影响。当海拔高度超过1000m或环境温度超过40℃、相对湿度超过95%时,应计算电机功率的降低程度,以满足使用要求高海拔对电机的功率有较大影响,一是影响空气的绝缘强度由于海拔高空气稀薄,转子和定子之间间隙的导磁能力差,影响电机的额定功率输出;二是影响散热电机带动负荷的能力减小,同时发热量也增大,使得效率降低。由此可见,在高海拔地区还应考虑电机功率减载以及低扬程大流量时所需功率增大的双重的影响,

汽蚀余量方面,众所周知,水泵如果发生汽蚀,对系统乃至水泵本身都会造成比较大的危害。如:水泵的自身震动和噪音会急剧增加水泵的叶轮会发生“点蚀”现象,长期会对叶轮进行损坏,缩短水泵的使用寿命。根据水泵的汽蚀余量曲线,随着扬程的降低,水泵的汽蚀余量会出现陡增。

对于叶轮淹没深度较浅的水泵如:潜水深井泵、长轴深井泵等,应考虑低扬程大流量时水泵的汽蚀余量能否满足要求。在高海拔地区的电站,应考虑海拔修正后水泵在低扬程大流量工况时水泵的汽蚀余量能否满足要求。

第二、如果排水管出口高程在校核尾水位及以上,此时水泵扬程选择是以排水管出口高程与集水井停泵水位之差加上管道水力损失确定。水泵运行的扬程变幅将不受下游尾水位变幅的影响,仅受集水井中水位变幅的影响,水泵扬程变幅较小,水泵运行稳定。由于正常运行中尾水位长期在排水管出口以下,水泵扬程选择时需考虑选择较高的扬程,相应的电机功率也会较大,会造成电能的浪费。

A电站在选择水泵排水管出口高程时综合考虑了以上因素,结合A计算出来的扬程和符合A电站工况的水泵曲线,见图1。可以看出水泵扬程在39m~52m之间时效率在80%以上,处于高效区。结合水泵的高效稳定运行区域可以适当的降低出水管的高程,A电站选择排水管出口高程为594m,在保证水泵稳定运行的前提下,尽可能的节省能耗。

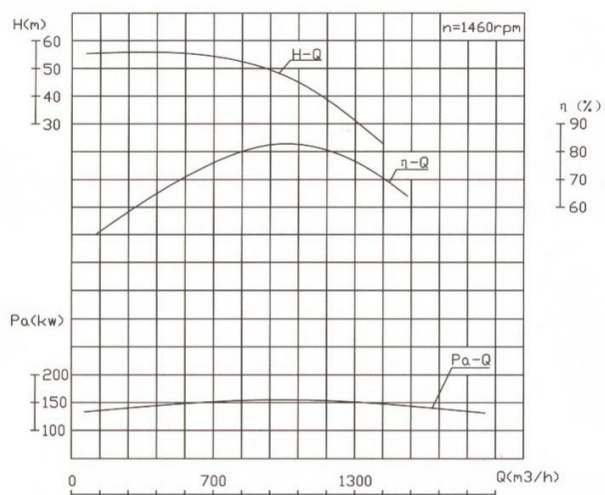


图1 水泵性能曲线

2 B 电站排水方式设计

B电站为某大型的坝后式电站,装设4台轴流转桨式机组,电站尾水位为:

单台机发额定出力对应尾水位为478.7m,

四台机发额定出力对应尾水位为482.00m,

校核洪水尾水位为489.00m。

B电站检修集水井停泵水位为454.1m、报警水位为455.7m;渗漏集水井停泵水位为471.3m、报警水位为472.8m。由此可见,B电站检修、渗漏集水井的水位变幅较小,水泵扬程的变幅主要受下游尾水位的影响。B电站检修、渗漏排水采用回水井排水的方式,排水至稍高于校核洪水尾水位的489.6m高程,使水泵扬程变幅仅受集水井水位的影响,保证水泵运行稳定。

回水井的设计如图2所示:在尾水平台的大体积混凝土结构中设置回水井,回水井分A井和B井,A、B井之间设置

隔墙, 隔墙顶部设置圆弧状溢流堰, 回水井顶部设有检修盖板。排水管接至A井, 初次排水时水位在A井中缓缓上升至A井和B井之间的溢流隔墙顶部, 然后溢流至B井, 在B井的底部出水口流出排至尾水。初次排水后A井水位长期处于隔墙堰顶高程, 后期排水时水泵可以直接开阀启动。溢流隔墙堰顶高程为489.60m稍高于校核尾水位, 水泵扬程变幅仅受集水井水位变幅影响, 水泵运行稳定。且B井出水口高程为477.0m在1台机运行尾水位478.7m以下, 不会看到尾水有小孔出流的现象。

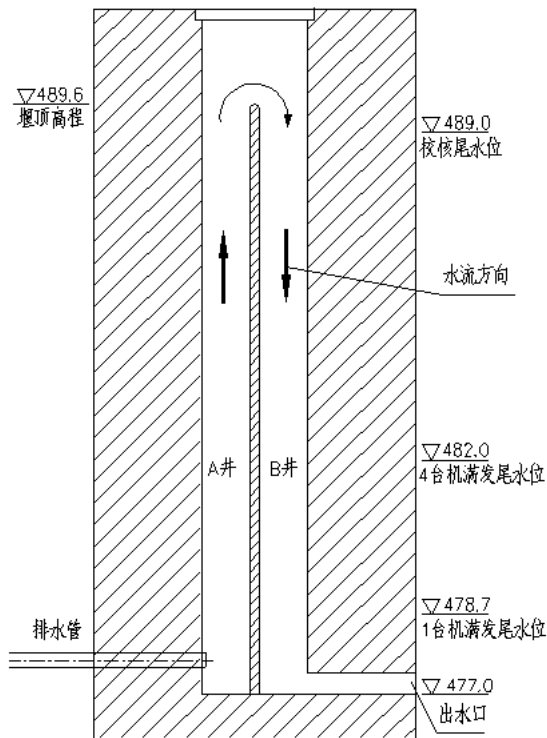


图2 回水井排水方式

3 C 电站排水方式设计

C电站^[1]为某小型电站, 电站正常尾水位与校核尾水位相差12m, 排水管出口高程设置在正常尾水位高程。按排水至正常尾水位选择水泵的扬程为15m, 并设置型号相同的备用泵。当电站下游水位较高, 且有排水要求时, 将备用水泵与工作泵串联工作, 以满足高尾水位时的排水要求。C电站也几乎不会在尾水看到小孔出流的排水现象^[2]。

4 结语

A电站的检修渗漏排水通过埋管至尾水, 不需要水工专业另做结构设计, 在电站尾水位低于排水管出口高程时会有小孔出流的现象。当需要检修排水管时, 需通过搭设平台或用吊笼在排水管出口处检修。采用A电站的排水方式时, 在遇到电站下游校核尾水位和正常尾水位之间高差较大时, 渗漏排水泵扬程的选择和排水管出口高程的设置应考虑水位变幅的影响。结合计算出来的扬程和水泵特性曲线选择排水管的出口高程, 同时考虑节能以及水泵的运行稳定性^[3]。

B电站检修渗漏排水通过回水井排至尾水, 在最低尾水位以下出水, 不会看到有小孔出流的现象, 有利于电站的美观, 但需要水工配合做回水井设计。运行一段时间后A井底部会沉淀部分泥沙, 需要定期用潜污泵排出泥沙。排水管的检修也不受下游尾水位的影响。由于首次启动水泵排水时A井中水位缓缓上升, 扬程慢慢升高, 为减小电动机启动负载, 首次启动时需闭阀启动, 并逐渐增大水泵出口阀门开度。

C电站的排水方式适用于尾水位变幅较大的小型电站, 水泵尺寸较小, 不需要太大的布置空间, 且水泵采用离心泵, 方便串联布置。为适应高尾水位时排水, 用于串联的水泵型号尽可能与工作泵相同, 以便互为备用。不能选择相同型号的水泵时, 水泵的额定流量应相同, 扬程根据具体水位变幅确定。

参考文献

- [1]杨铁荣.下游水位变幅较大时排水泵的选择.农田水利与小水电,1990年第9期.
- [2]沙鲁生,《水泵与水泵站》.中国水利水电出版社,1993年10月第一版.
- [3]全国化工设备设计技术中心机泵技术委员会编.工业泵选用手册(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2011.

作者简介

李小乐, 男, 汉族, 出生于: 1991年12月, 籍贯: 河南济源, 学历: 本科, 职称: 工程师, 毕业院校: 华北水利水电大学, 研究方向: 水力机械设计。