

小浪底水电站两种技术供水方案研究

王嘉雨¹, 翟冬毅¹, 王秀¹

(1. 黄河水利水电开发总公司, 河南 济源 459017)

摘要: 小浪底水电站具有机组大容量、高水头运行、泥沙含量多等特点。目前采用的技术供水方案有蜗壳供水、清水供水两种, 本文以这两种供水方案为基础, 根据实际运行条件, 从经济性计算、可靠性分析、综合效益比较等方面研究不同方案下的技术供水效率, 得出目前小浪底电站技术供水方案的最优解。

关键词: 技术供水、清水、效率、冷却效果

1 前言

水轮发电机组技术供水是对水轮机、发电机、变压器等设备进行水冷的统称。若技术供水系统出现异常, 如流量降低, 压力降低, 管道堵塞等造成冷却效果下降, 则会导致机组温度不断升高报警, 最终水机保护动作跳机。

目前水电站采用的技术供水取水方案主要有以下几种: 坝前取水, 地下取水, 水池取水, 尾水取水, 顶盖取水等。水电站技术供水方案应根据自身设计条件进行选择, 如水温、水压、水质、水源位置、取水成本等。技术供水方式可选择多种方案, 在机组不同运行条件下根据需求进行切换。

小浪底电站机组具有大容量、高水头、多泥沙的特点, 本文结合上述条件, 对目前正在使用的两种技术供水方式进行全方面比较分析。

2 小浪底技术供水概况

小浪底水电站机组理论运行最大水头为 141 m、额定运行水头为 112 m、最低运行水头为 67m, 属于高水头电站范畴; 实际运用中正常蓄水位高程约为 250m, 最低蓄水位高程为 210m, 最高蓄水位高程为 271m, 正常尾水位高程约为 134.5 m, 全年库水位变幅较大。

2.1 供水对象及用水量

水轮发电机用水: 包括对发电机定转子进行冷却的空冷器冷却用水, 及对水轮机各部导轴承冷却用水, 总用水量约为 700m³/h, 压力为 0.5MPa;

变压器冷却用水为 105m³/h;

主轴密封用水为 16m³/h。

2.2 技术供水方案介绍

小浪底水电站机组全年大部分时间运行水头较高, 非汛期至汛期及汛期至非汛期转换过程中水头变幅很大, 变幅可达 50 m 以上。当主汛期到来, 库水位大幅下降 (库水位降至 220m) 后, 过机含沙量可达到 50 kg/m³ 以上。电站机组单机容量大、发电任务重, 故技术供水对冷却水量、冷却水质均有较高要求。根据电站多年运行情况, 目前实际使用的技术供水方案有两种: 机组蜗壳取水、厂外清水池取水。

2.2.1 蜗壳供水

电站每台机组从自身蜗壳内引出一路管路供技术供水 (相当于坝前取水), 并在引出管路出口处设置一个减压阀, 两组滤水器 (一组工作、一组备用)。机组运行时蜗壳中一部分水流经减压阀减压、滤水器过滤后供水轮发电机组冷却用水, 之后排入机组尾水。6 台机组通过蜗壳取水干管连接, 互为备用

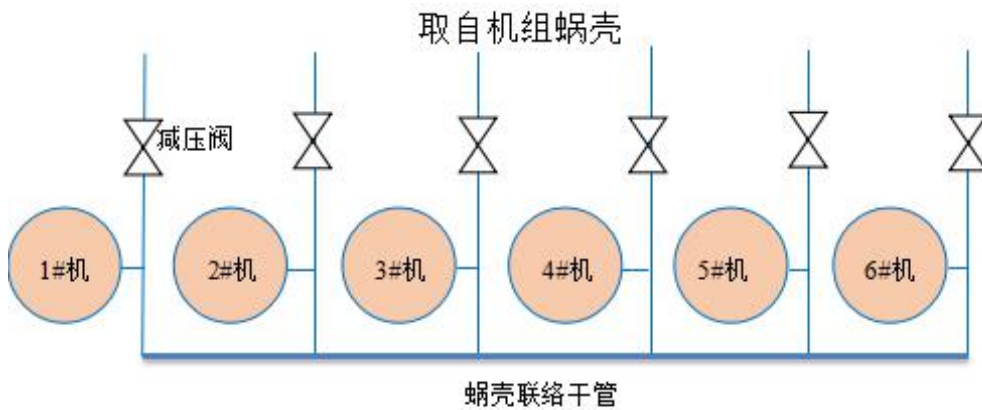


图 1 小浪底机组技术供水结构简图

2.2.2 清水供水

清水供水方式水源来自地下水，在电站外设置两处地下水采水点：蓼坞备用井和葱沟备用井。通过水泵将水流抽送至厂外清水池，清水池至机组有 50m 高程，0.5MPa 的清水通过自流方式为机组冷却供水，之后排入机组尾水。

由于地下水水温很低，目前小浪底清水供水可采用串联供水方案，即冷却水先流经各部导瓦冷却后再循环进入空冷冷却器冷却，经两次利用后流入尾水。通过这种方式供水，发电机组冷却水用水量可减少至 450m³/h。

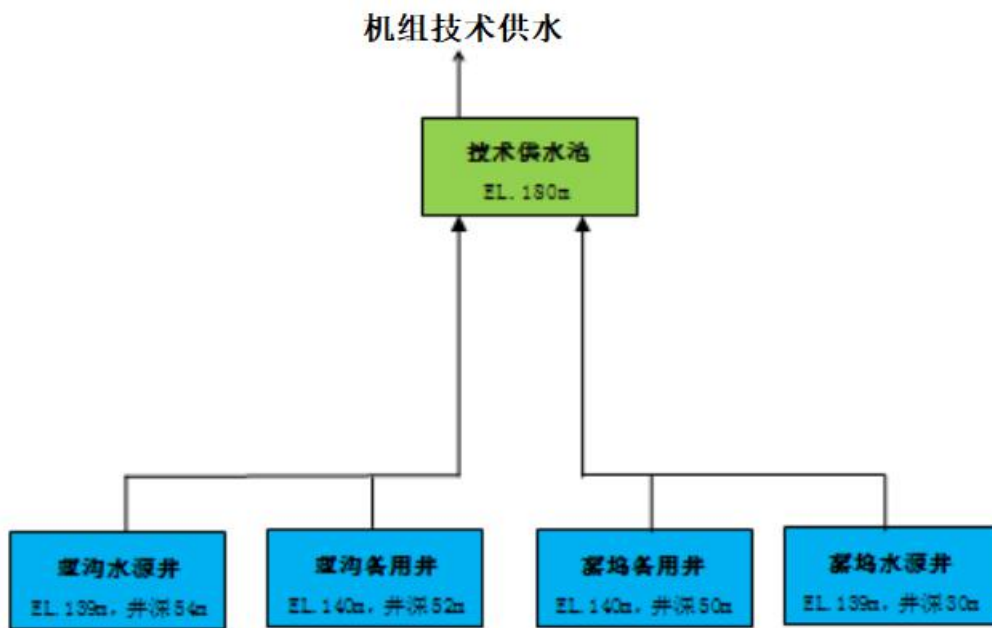


图 2 小浪底技术供水厂外清水供水结构简图

3 综合比较分析方案

3.1 经济性比较分析

为便于比较，计算不同供水方案下 1 台机组运行 1 天技术供水的费用支出。蜗壳供水时，将

1 台机组技术供水消耗的水能折算成机组的发电量，电价按小浪底电站上网电价 0.316 元/kWh 计算；清水供水时，计算维持 1 台机组运行一天，清水抽水泵消耗的电量，清水抽水泵用电来自厂用电，电价也按 0.316 元/ kWh 计算。

机组的主轴密封用水对水质要求较高，蜗壳取水只能作为紧急情况下的备用方案，正常情况下全年使用清水供水，故后文计算技术供水用水量时只考虑水轮发电机及主变用水量，按 805 m³/h 计算。

3.1.1 蜗壳取水供水方案

水能损失效益，即将蜗壳供水方案消耗的水能折算成机组的发电量：小浪底电站 2018 年水头加权平均值为 114.67m，减压阀引用流量 805m³/h (0.224m³/s)，水轮机效率 93%，发电机效率 98%。

水能计算公式为：

$$P = 9.81QH\eta$$

其中 Q 为发电流量，H 为水头， η 为水能转化电能的综合效率。

根据公式计算得到：蜗壳取水的用水量可产生的发电功率为 229.65kW，则一天的发电量为 5510kWh，技术供水消耗水能一天产生的费用为 1741.7 元。

蜗壳取水相关设备如减压阀、滤水器由于使用年限不长没有出现大的故障，故暂不统计蜗壳取水设备的维护成本。

3.1.2 清水取水方案

清水供水泵房高程约为 140m，地下水水位高程约为 125m，厂外清水池内蓄水的正常水位高程为 185m。

2018 年调水调沙时期，清水系统连续不间断运行超过 20 天，根据实际运行数据，葱沟备用井抽水泵运行时抽水量约为 1550m³/h，工作效率为 80%；蓼坞备用井抽水泵运行时抽水量为 900m³/h，工作效率为 85%。

根据实际运行流量的比例，得出清水抽水泵平均工作效率为 81.84%，清水供水所需流量为 805m³/h (0.224m³/s)，清水抽水高程为 60m，计算出抽水所需用电功率为 161.1kW，则一天产生用电量为 3866.5kWh，消耗清水产生的费用为 1221.8 元。

若清水供水采用串联供水方式，则所需流量降低至 555m³/h (0.154m³/s)，计算出抽水所需用电功率为 111.07kW，则一天产生用电量为 2665.7kW·h，消耗清水产生的费用为 842.4 元。

通过查阅资料了解到水泵的维护成本约为耗电成本的 7%，综合下来清水供水一台机组一天水能费用为 1287 元（占蜗壳供水费用的 75.08%），循环供水水能费用为 901.4 元（占蜗壳供水费用的 51.78%）。

3.1.3 低水头条件下两种方案经济性比较

前面两小节经济性计算是基于机组全年运行的平均水头得出计算结果，并没有考虑极端条件下，机组在低水头条件下运行时两种技术供水方式效率比较。

假定在水头低至 h_1 情况时，蜗壳供水与清水供水相同的用水量，产生的电能相同，计算 h_1 的值。

蜗壳供水与清水取水用水量 Q 均为 805m³/h (0.224m³/s)，蜗壳供水与清水产生用电功率 P 均为 161.1kW。

根据公式

$$P = 9.81Qh_1\eta$$

计算出 h_1 为 80.44m，即理论上当机组运行水头低于 80.44m 时，蜗壳供水经济性会优于清水

取水供水。

但是根据小浪底水库多年运行经验,当库水位降至 220 m 时,机组的过机含沙量就会大幅增加,高含沙水流对减压阀、滤水器、空冷器等设备损伤较大,故每当库水位接近 220 m 时,电站会使用清水供水取代蜗壳供水。水头 80.44 m 对应的库水位约为 215m,已经远低于 220 m,故在低水头运行条件下,清水供水方式综合效益仍然优于蜗壳供水方式。

3.2 可靠性分析

3.2.1 蜗壳供水方案

蜗壳供水方案存在的问题有以下三点:一、小浪底电站机组运行水头很高,而技术供水压力只需要 0.5 MPa,故减压阀必须将蜗壳水压力降低 60%左右,减压阀长时间高强度运行,剧烈振动、磨损导致偷关、减压失效、异响等问题经常出现,据不完全统计,当临近汛期水质泥沙含量开始增大后,每月均有机组减压阀会出现异常情况;二、当电站水头低时,冷却水内泥沙含量大幅上升,堵塞减压阀,滤水器及各冷却管路,从而降低运行可靠性;三、当气温升高时,蜗壳水温升高速度明显快于清水水源地地下水,影响冷却效果(根据测量数据,蜗壳水温 6 月至 11 月均高于清水水温)。目前还没有解决这些问题的有效办法。

3.2.2 清水供水方案

清水供水方案存在的问题有以下三点:一、清水水泵电机可能会存在不稳定因素,如电机绝缘、防潮等,可通过相应操作、维护规范解决;二、目前清水供水能力不足限制无法满足 6 台机组全部使用清水供水,可通过清水系统改造,加泵增容解决。三、清水串联供水方式在夏季运行时间较短,对高温状况下机组冷却效果考验不够,还需继续实际运行观察。这三个问题都有有效的办法加以解决,故清水供水方案可靠性较高。

4 结论

通过经济性、综合效益、可靠性等方面对两个方案进行比较,清水供水方式明显优于蜗壳供水方式,因此小浪底电站清水供水方式在未来应该成为主用方式。

参 考 文 献

- [1] 李鹏,孔卫起.小浪底电站技术供水系统运行实践[J].电网与清洁能源,2015,32(5):114-117.
- [2] 徐生杰.某水电站技术供水系统存在的问题及改进方法[J].中国水运,2015,15(9):230-232.
- [3] 岑美.高水头大容量机组技术供水方案研究[J].可持续发展,2018(293):52-55.
- [4] 王雨云.高寒地区多泥沙河流水电站技术供水系统设计特点[J].甘肃水利水电技术,2018,54(10):154-157.
- [5] 刘扬.万家寨水电站技术供水清水循环控制系统改造[J].内蒙古电力技术,2018,36(2):54-58.

Study on two technical water supply modes of Xiaolangdi Hydropower Station

Wang Jiayu¹, Zhai Dongyi¹, Wang Xiu¹

(1. Operation Department, Yellow River Water Resources and Hydropower Development Corporation, Jiyuan 459017, China)

ABSTRACT: Xiaolangdi hydropower station has the characteristics of large capacity units, high head operation and high sediment content. There are two kinds of technical water supply

modes: spiral case water supply and clear water supply. This paper based on two modes of water supply, according to the actual operating conditions, from the economic calculation, reliability analysis and comprehensive benefit comparison, reached the technical water supply efficiency under different modes. Optimal solution of Xiaolangdi power station technical water supply mode.

KEY WORDS: technical water supply, clear water, efficiency, cooling effect

作者简介：王嘉雨（1986—），男，山西太原，工程师，从事水电站运行管理工作。通讯地址：河南省郑州市郑东新区诚工嘉园、电话/传真：0379-63898013、手机：15136316360、电子邮箱：
406642913@qq.com