

尼泊尔塔纳湖水电站技术供水系统设计

曹 静, 丁 况

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘 要: 尼泊尔塔纳湖电站安装 2 台立轴混流式水轮发电机组, 单机容量 70.125 MW。电站技术供水系统为水轮发电机组冷却用水、主轴密封用水、主变压器冷却用水、空调冷却用水及生活用水提供水源。技术供水系统采用开/闭式循环方式, 利用板式热交换器为机组和主变压器提供冷却水。文章论述了技术供水系统、空调冷却、消防系统及生活用水系统综合设计, 为后续电站各系统优化设计、节约投资提供借鉴。

关键词: 技术供水; 板式热交换器; 主变压器冷却; 空调冷却; 生活用水

中图分类号: U664.5+92; TV674

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)06-0080-04

Technical Water Supply System Design of Tanahu Hydropower Project in Nepal

CAO Jing, DING Kuang

(PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu Sichuan 610027)

Abstract: There are two vertical Francis turbine-generator units with a single unit capacity of 70.125MW in Nepal's Tanahu Hydropower Project. The technical water supply system of the hydropower project provides water for turbine-generator units' cooling water, main shaft sealing water, main transformers' cooling water, HVAC system's cooling water and potable water. Water supply system has closed circuit and opening circuit, by plate heat exchangers to supply cooling water for turbine-generator units and main transformers. This paper introduces the integrated design of technical water supply system, HVAC system, firefighting system and potable water system, which provides reference for the optimization design and investment saving of subsequent hydropower project systems.

Key words: Technical water supply; Plate heat exchanger; Transformer cooling; HVAC cooling; Potable water

1 电站概况

尼泊尔塔纳湖电站位于加德满都以西 150 km 的 Seti 河以西大马里附近, 距博卡拉 50 km。电站在电网中担任调峰作用。电站上游水库调节库容 1.67 亿 m^3 , 属于季调节水库, 水库一部分来自喜马拉雅山脉雪山融水, 一部分来自降雨。喜马拉雅山脉雪山融水中泥沙硬度高, 雨季瞬时降雨量极大, 每小时降雨量可达 150 mm, 雨水裹挟泥沙汇集到河中, 导致河水泥沙含量很高。

尼泊尔塔纳湖电站安装了 2 台单机容量为 70.125 MW 立轴混流式水轮发电机组。电站净水头 84.0~126.4 m。

2 技术供水系统设计

水电站的技术用水部门主要是水轮发电机组、水冷变压器、水冷式空气压缩机及其他采用水

冷却的附属设备^[1]。合同要求技术供水系统兼顾水轮发电机组冷却、主轴密封、主变压器冷却、通风空调系统冷却, 并从支管提供全厂水消防、生活用水供水等。为保证技术供水系统可靠、灵活, 系统采用了多种冗余设计^[2], 因此该电站辅助系统复杂, 非常具有借鉴性。由于电站处河水中泥沙多、硬度高, 为保护主要设备的冷却器, 系统分为开式循环和闭式循环, 通过热交换器换热。闭式循环使用净化过的生活用水或纯净水。闭式循环解决了漂浮物、泥沙堵塞管路等难题^[3]。

技术供水开式循环系统应满足水轮发电机组冷却用水、主轴密封用水、主变压器冷却用水、空调冷却用水及生活用水。闭式循环系统满足机组冷却及主变冷却用水。

技术供水开式循环系统主要从水轮机尾水管肘管取水, 备用水从压力钢管取水, 合同提供的水

收稿日期: 2024-04-10

温度为 30℃,但是根据经验,技术供水系统主、备用水温度不合理,会造成技术供水系统水泵、滤水器、热交换器流量增加,而且进水温度 30℃无法满足经厂内空调系统冷却后厂内室温 29℃的设计目标。从合同执行开始,曹静建议现场人员安排专人每周测量河流表面水温并做好记录。经过一年的观测记录,发现全年河水表面水温最高为 25.1℃。无论技术供水开式循环取自压力钢管还是取自水轮机尾水时,水都来自水库中层,水温不会高于河水表面温度。因此与监理工程师反复沟通后,修改技术供水开式循环系统进水温度为 26.0℃。

电站在电网中担任调峰作用,当机组停机备用时,主变需要热备用。主要用水部位及用水量见表 1。

表 1 主要用水部位及用水量

编号	用水点	用水量 /(m ³ ·h ⁻¹)	水压 /MPa
1	机组用水	水轮发电机组冷却	318.0
2		水轮机主轴密封	14.4
3	主变用水	主变冷却器(有载)	30.0
4		主变冷却器(无载)	8.0
5		生活用水	2.0
6		空调系统	170.0

由于机组用水、主变冷却用水与空调冷却用水不同步,若采用一台水泵供水,水泵需要稳定并高效率覆盖 170.0~534.2 m³/h 的运行范围。经查询水泵样本及咨询水泵厂家,水泵没有这样宽的运行范围。电站每年 6 月~9 月水轮发电机组停机,因此全年空调冷却系统运行时间短。结合投资成本综合考虑,将机组用水及主变冷却系统作为一个单元设计,采用开式与闭式循环系统,空调冷却系统采用开式循环系统,可节约一套空调冷却闭式循环系统的费用,技术供水系统与空调冷却系统、生活给水系统、消防系统综合设计见图 1。

2.1 技术供水系统闭式循环设计

闭式循环管路配置水泵,为闭式循环提供动力。主水泵设置三台,其中两台工作,一台备用,任一台主、备用水泵均可满足一台机组及一台主变有载运行,流量取 370 m³/h。辅助水泵设置一台,在两台机组停机,两台主变热备用时,为主变

冷却器提供冷却水,由于主变热备用时间短,不设置备用泵,流量取 16 m³/h。

闭式循环供水路径为:板式热交换器→主管→主、备用水泵、辅助水泵→主管→板式热交换器。生活水系统经 500 L 的膨胀水箱连接到闭式循环供水主管上,为闭式循环系统稳压、补水。在主变冷却器、机组空冷器等设备最高处设置手动排气阀,使闭式循环系统设备在初次注水及检修后注水时,管路内部没有空气,利于设备热交换。

2.2 技术供水系统、空调系统开式循环综合设计

从尾水管肘管取水作为开式循环主要取水方式,从主阀前压力钢管取水作为备用。

尾水管肘管取水时主要设备、管路布置思路:从尾水管取水后合并成主管,两台机组供水互为备用,并且从任一台机组尾水管取水量满足全厂水轮发电机组外循环冷却用水、主轴密封用水、主变压器冷却用水、空调冷却用水及生活用水使用。在主管上分出 2 根消防水供水管、空调冷却水供水管,剩余水量为机组外循环冷却用水、主轴密封用水、主变冷却用水和生活用水。为机组外循环冷却用水、主变冷却用水和生活用水的管路上设置 2 台主水泵、1 台备用水泵(代号 M1)、1 台备用水泵(代号 M1)及 1 台辅助水泵(代号 M2),4 台水泵后的管路联通成机组及主变和生活用水总管,任一台主、备用水泵均可满足一台机组及一台主变有载运行及生活用水。消防系统和空调系统冷却用水单独增压。消防系统设置两台滤水器(代号 F4)及水泵(代号 M6),各一主一备。空调系统设置两台滤水器(代号 F3)及水泵(代号 M5)。

机组及主变和生活用水开式循环主用供水路径为:2 台尾水管分别取水→主管 1→主、备用水泵 M1、辅助水泵 M2→主管 2→主、备用滤水器 F1→主管 3→2 台板式热交换器→2 台尾水管排水。从主管 1 接出支管引至空调用水系统及消防用水。空调用水系统供水路径为:主管 1→空调主、备用水泵 M5→主管 4→空调主备用滤水器 F3→主管 5→用水设备→尾水管排水。消防用水系统供水路径为:主管 1→消防主、备用水泵 M6→主管 6→消防主备用滤水器 F4→主管 7→用水设备。从主管 3 接出支管引至生活用水系统及主轴密封用水。

开式循环备用方式:由于电站水头为 84.0~

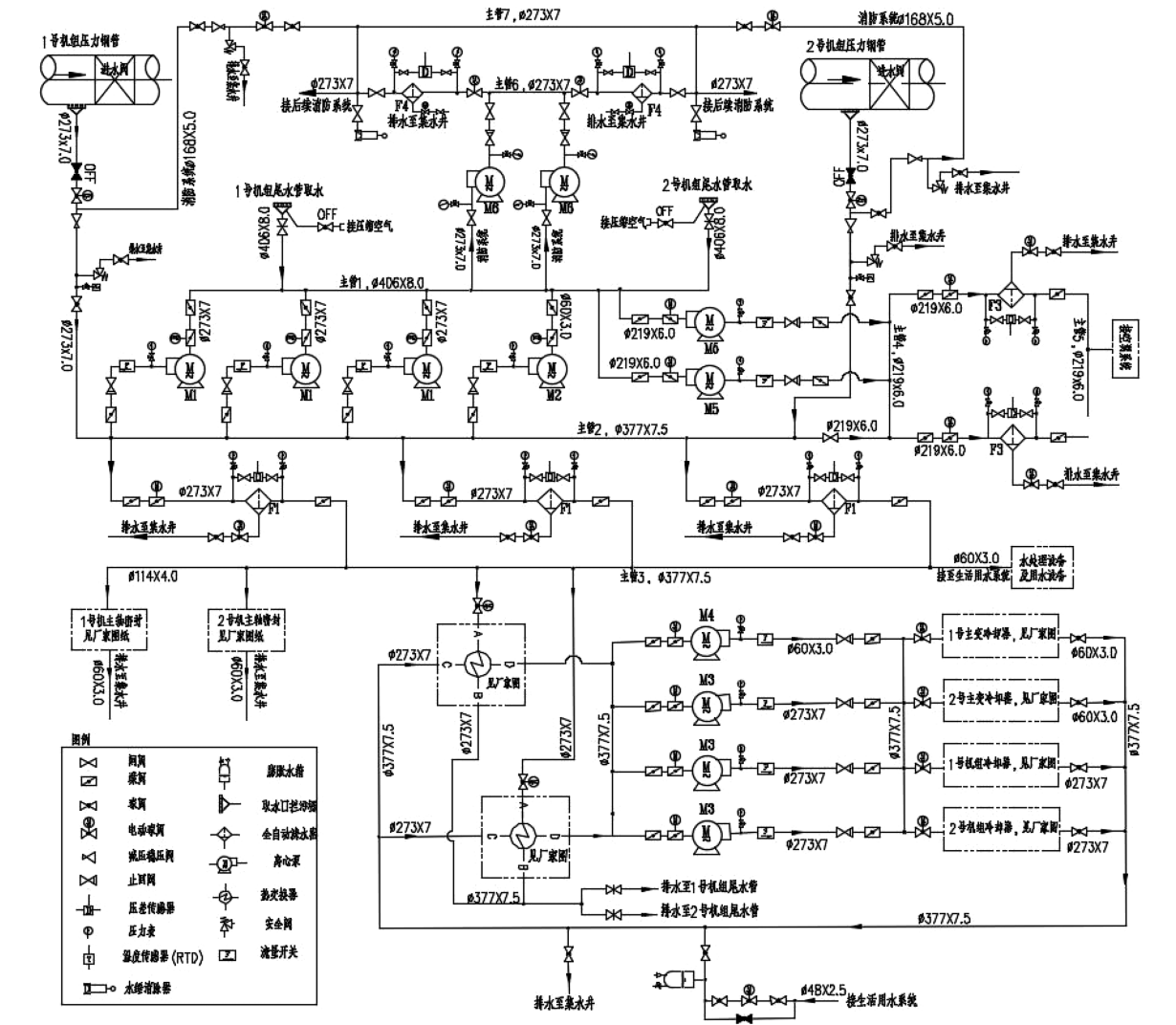


图 1 技术供水系统与空调冷却系统、生活给水系统、消防系统综合设计

126.4 m,从两台进水主阀前的压力钢管取水时需要减压供水,减压阀后稳压至 0.45 MPa。两台机减压阀后的管路连接至开式循环主用方式的 4 台水泵后的总管,连接至空调水泵后滤水器前。与监理及业主沟通后,监理及业接受压力钢管取水直接连接消防水泵后滤水器前,并将水压稳定至 84.0~87.0 m,基本满足高程最高的消火栓的栓口压力为 0.69 MPa。

开式循环机组及主变备用供水路径为:压力钢管取水→减压阀→主管 2→水处理设备及用水设备。开式循环空调备用供水路径为:压力钢管取水→减压阀→主管 2→主管 4→主备用滤水器→板式热交换器→尾水管排水。

2.3 板式热交换器及滤水器的选择

塔纳湖电站技术供水系统采用室内板式热交

换器。板式热交换器换热负荷为 3.6 MW,按照开式循环侧温升 4℃,流量 370 m³/h,闭式循环侧温降 4℃,流量 370 m³/h 设计。板式热交换器内部流速 0.5~0.8 m/s,运行中水中部分杂质会附着在板式热交换器翅片上,降低热交换效率^[4],因此设计时预留 50% 裕量,最终换热冷却面积为 134 m²。板式换热器翅片选用 S. S. 304 不锈钢波纹板,流道间隙 6 mm。

塔纳湖电站技术供水系统采用全自动反冲洗滤水器。滤水器过滤精度需要配合板式热交换器流道间隙,运行中水中较大杂质会堵在过滤孔上,滤水器前后压差达到设计值会反冲洗,反冲洗时备用滤水器运行,因此,滤水器过滤孔既不能太大,导致板式热交换器淤堵,又不能太小导致滤水器频繁反冲洗,导致主备用滤水器仍不能满足各

用水点需要。参考国内类似电站,滤水器过滤精度确定为1 mm、滤芯有效过滤面积为8倍管道横截面积。

3 结 语

作为基建强国,中国已经走上国际舞台,在国际上遇到的工程,有不同的地质、水文、气象条件,各工程的设计需要因地制宜。尼泊尔塔纳湖项目技术供水系统与消防系统、空调冷却系统、主变压器冷却系统、生活用水系统共用一个取水口,减少了尾水管及压力钢管上的开孔数量,对压力钢管及尾水管结构强度有利。生活用水系统从技术供水系统取水,减少了一系列阀门、自动化元件、水泵和粗滤滤水器,节约了生活用水系统投资。尼泊尔塔纳湖项目技术供水系统与其他系统结合设计可以为多泥沙、机组频繁启停、主变压器和空调水冷的水电站项目提供参考,也为节约电站投资提供了参考。

水库水温结构一般分为分层性、过渡型和混合型^[5]。塔纳湖水电站进水口距离水面约50~90 m,若在国内,水库中发电取水处水温约为8.5℃~14.7℃。由于缺乏尼泊尔地区大中型水库全年分层水温资料,无法给出技术供水进

~~~~~

(上接第75页)

6 结 语

(1)为保证上游衔接梯级龙头石水电站厂房的防洪安全,推荐老鹰岩一级水库在汛期采用按分级流量调度坝前水位的运行方式,从防洪及发电两方面综合考虑,水库坝址处的分级流量推荐为4 000 m<sup>3</sup>/s。

(2)从水库泥沙冲淤角度,汛期排沙运行控制水位越高,水库淤积量、调节库容损失越大,但方案间差异并不显著。

(3)根据水库衔接回水计算成果,从尽量避免对龙头石水电站厂房防洪影响的角度考虑,老鹰岩一级水电站库区汛期排沙运行控制水位不宜高于904.00 m。从尽量减少库区淹没影响,增大电站发电量以及提高水库运行调度的灵活性方面综合考虑,推荐老鹰岩一级库区汛期排沙运行控制水位为903.00 m。

(4)根据推荐方案的水库泥沙冲淤计算成果,老鹰岩一级水库库区淤积形态整体呈锥体形,上游大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前,老鹰

水温度的确切范围,但是参考国内水库水温分布,塔纳湖技术供水开式循环实际进水温度与设计温度之间还有较大裕量,这也是该项目水泵流量只是略大于计算值的原因,实际各部位冷却效果会明显优于设计,运行期可根据需要调节阀门开度。在塔纳湖电站运行期尽量收集技术供水进水温度,为后续类似项目提供参考。

参考文献:

[1] 水电站机电设计手册编写组. 水电站机电设计手册—水力机械[M]. 北京:水利电力出版社,1983.

[2] 茅媛婷,陈宏川. 龙洞水电站技术供水系统设计,2018年水力机械信息网技术交流会议论文集[C]. 杭州:中国水利水电出版社,2018年.

[3] 龙海军,耿清华. 循环冷却技术供水系统在某水电站的设计及应用[J]. 吉林水利. 2014(2):50-52.

[4] 朱亚军,赵弦. GIBEⅢ水电站循环冷却供水系统优化设计,第二十一次中国水电设备学术讨论会论文集[C]. 天津:中国水利电力出版社,2017.

[5] 靖争,张爵宏,曹慧群,等. 水库水稳研究进展及趋势[J]. 长江科学院院报. 2023,40(2):52-58.

作者简介:

曹 静(1986-),女,山东济宁人,高级工程师,硕士学位,从事水力机械专业设计和设备成套管理工作;

丁 况(1984-),男,河南周口人,高级工程师,硕士学位,从事水力机械专业设计和设备成套管理工作. (编辑:廖益斌)

岩一级库区淤积总量仅约200万m<sup>3</sup>左右,大岗山淤积洲头出库后,老鹰岩一级水库迅速淤积平衡,运行第100年末时库区淤积量为1 053万m<sup>3</sup>。大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前后,老鹰岩一级调节库容损失率约为1.10%、11.60%。

参考文献:

[1] 张瑞瑾,谢鉴衡,王明甫,等. 河流泥沙动力学[M]. 北京:中国水利电力出版社,1988.

[2] 韩其为,何为民. 水库淤积与河道演变的一维数学模型[J]. 泥沙研究,1987(3):14-29.

[3] 韩其为. 非均匀沙不平衡输沙的理论研究[J]. 水利水电技术,2007,38(1):14-23.

[4] 曲少军,丁六逸,缪凤举,等. 小浪底水库运用后三门峡水库运用方式的初步研究[J]. 泥沙研究,2001(2):29-32.

[5] 刘娜,李仲钰,杜志水,等. 澜沧江乌弄龙水库泥沙淤积及排沙运行方式[J]. 西安理工大学学报,2020,36(3):357-361.

作者简介:

胡茂银(1991-),女,重庆垫江人,硕士研究生,工程师,从事水力学及河流动力学工作;

李胜双(1990-),男,重庆忠县人,硕士研究生,工程师,从事水文及水资源工作. (编辑:廖益斌)