

文章编号: 1006-0081(2001)07-0023-04

非洲的水电工程改造

摘要: 继亚洲之后, 非洲是世界上开发水资源最活跃的地区之一。至少有 20 个国家正在兴建水电工程, 在更多国家里正在修建用于供水和其他目的的大坝。非洲也是水电对社会和经济发展作出巨大贡献的地区。介绍了阿尔及利亚、喀麦隆、埃及、埃塞俄比亚、马拉维、尼日尔、乌干达、赞比亚和津巴布韦某些在建和拟建工程的最新情况。

主题词: 水力发电工程; 改建工程; 非洲

中图分类号: TV 738

文献标识码: B

1 卡里巴北岸电站和南岸电站的改造

赞比亚卡里巴北岸电站, 装机 600 MW, 1997 年投运。4 台 150 MW 的发电机组, 由立式混流水轮机驱动凸极发电机, 额定净水头 96 m。每台机组有独立的水力系统。水轮机通过 6.75 m 直径的压力钢管从水库引水。发电厂房位于地下 120 m 深处, 通过 330 kV 电缆从地面主变连到与电网相连的开关站。

电站改造的目的是使其寿命延长 25 a。水轮机的更新包括修改设计, 使发电机组运行更平稳, 出力范围更广。查明是否存在碱骨料反应(AAR), 以便制订计划, 使电站和发电厂房能安全地运行。

改进水轮机, 以降低尾水管的压力脉动和调整由土木建筑物的位移所引起的偏心; 2 台发电机的改造, 包括更换定子铁心和绕组, 使发电机的额定容量上升到 200 MVA/180 MW, 为将来电站增容作准备; 其余 2 台发电机的局部改造, 包括更换励磁和调压系统。

电站改造的其他方面包括: 水轮机和发电机辅助设备的改造; 变压器改造; 控制和仪表设备的重点改造; 空调装置的更换; 消防和探测设备更换; 输电设备改造; 确定 AAR 是否存在, 并对解决将来土木建筑物所预期的位移的规划提出建议; 采用改进的维修管理系统; 高架移动式起重机的改造; 安装 1 台移动式起重机, 可用于起吊尾水叠梁和日常维修。

位于南岸的卡里巴南岸水电站属津巴布韦, 它占了该国发电量的大部分。电站将从 666 MW 增

容为 750 MW。提高水轮机效率就是节水, 因为最近几年集水区的降雨量减少。

改造项目的主要特点是: 发电机组的更新增容, 要求更换水轮机转轮, 使效率提高 3%~4%; 重绕发电机定子和转子; 330 kV、18 kV 和辅助设备的增容; 控制闸门的改造。

2 津巴布韦增加蓄水量

尽管目前津巴布韦遇到了各种困难, 但加高鲁蒂坝的工作正在顺利进行。

大坝加高使最高运行水位升高 1.6 m, 将使目前的库容($126 \times 10^6 \text{ m}^3$)增加 20%, 增加蓄水 $25 \times 10^6 \text{ m}^3$, 将用来扩大 350 hm^2 农田的灌溉。

采用法国 Hydroplus 公司的系统, 可使原先 33 m 高的土坝不必加高坝顶。为了确保大坝的长期安全, 可能最大洪水(略高于 $6\,000 \text{ m}^3/\text{s}$)水位超过现坝顶不到 0.5 m。修建一个平底槛, 高出原底槛 100 mm, 在底槛上安置 256 个预制混凝土自溃闸门单元, 土木工程量很小。辅助工程包括用挡土墙和灌浆帷幕加固浆砌毛石辅助溢洪道。配备自溃闸门的主溢洪道和辅助溢洪道的总长度为 693 m。每个自溃闸门高 1.5 m, 宽 2.67 m, 重约 4.4 t。

预制自溃闸门的优点之一是可与土建改建工程同时进行, 尽量缩短总工期, 避免接触面问题。

3 喀麦隆宋卢卢水电站水轮机改造

宋卢卢水电站, 装机容量 398 MW, 为喀麦隆南部电网生产 57% 的电力。电站于 1981 年和 1988

收稿日期: 2001-01-08

年分两期投运。8 台混流式水轮机, 转轮直径 4.5 m, 利用水头 39.2 m。大坝和厂房的混凝土产生了碱骨料反应, 引起膨胀。变形传递到埋置的水机元件如水轮机和进水闸门。水轮机迷宫密封的变形已造成与某些机组的转轮接触。

施加在座环上的巨大压力, 挤压导叶固定环, 降低了转轮密封的间隙。如果不采取行动, 在 3 a 内有 4 台机组将被迫停运。间隙从额定的 2 mm 下降到 0.35 mm。在转轮下环已发现有接触的痕迹。解决办法是拆除座环和导叶固定环之间的径向组件, 建立新的轴向面对面密封表面。

蜗壳周围混凝土块体的向上位移, 使尾水管锥体和导叶固定下环之间的组件法兰损坏。其中, 用螺栓固定的法兰组件以径向滑动密封代替。混凝土膨胀引起的另一个问题是检修门附近尾水管里衬开裂。该门的结构将修改, 以允许围板的弹性变形, 里衬将加固。

6 号机因碱骨料反应发生事故后, 于 1995 年开始改造, 1998 年完成。

1997 年底, 由于获得了瑞士政府 460 万美元的贷款, 因此对其余 7 台机组进行了改造。

2000 年 1 月, 5 号机开始改造, 2000 年底重新投入运行。由于在维修过程中积累了经验, 因此其余 6 台机组的修复进度将大大加快。预计在 2004 年可全部完成。

4 乌干达纳卢巴里水电站改造即将完成

乌干达纳卢巴里水电站(原欧文瀑布电站)改造工作已接近完成。该电站在 1954 年与 1968 年之间投入运行。装机 10 台, 总容量 150 MW。直到 2000 年, 该电站实际提供了乌干达的全部电力, 还向邻国肯尼亚、坦桑尼亚和卢旺达供电。邻近的基拉电站最近完成, 使乌干达的装机容量增加 80 MW, 基拉电站还将增装 3 台机组, 还可增加 120 MW。

在 20 世纪 70 年代, 由于政治和经济问题, 纳卢巴里电站的发电设备缺少备件和维护。乌干达电力局(UEB)的运行和维修人员尽了最大努力使大多数发电机在此期间保持运行。但是, 到乌干达政局稳定时, 电站的机电设备状况很差, 年久失修, 急待现代化。

当 1989 年开始改造时, 10 台机中 7 台不能满发, 有 2 台不能运行。电站的总出力低于 110 MW。

改造的主要特点是: 恢复全部 10 台发电机运行, 使电站继续运行 25 ~ 30 a; UEB、咨询公司和承

包商之间加强合作, 以尽量降低成本, 提高效益。

改造工作主要包括: 安装新的定子铁心, 定子绕组增容; 安装一个静止励磁系统; 电气和控制设备的现代化; 提供 2 台备用的发电机变压器以及电缆和开关设备主要部件; 水轮机机械设备大修或更换(包括水轮机控制和调速系统零件、冷却和润滑系统、制动和顶起设备、水轮机和发电机轴承、主轴密封、水轮机叶片和轮毂密封、导叶叶片、尾水管锥体); 大坝、电站进水口和尾水管的水下检查和维修; 大坝泄水闸、进水口和尾水管闸门的改造, 及其控制设备的改进; 发电厂房的锚固和后张; 电站结构维修; 对正在使用的移动式变压器设置油回收设备。

必须克服影响发电机增容的许多难题, 包括: 定子绕组的电晕放电, 定子铁心接头的损坏和机架中固定定子叠片钢板的反复故障。承包商采用定子缺陷纠正程序, 增加铁心的刚度。

发电厂房的结构问题, 主要是混凝土碱骨料反应引起体积膨胀, 造成水轮机和发电机支持结构的相对位移, 影响几台机组的对中。

因为在电站的整个使用期内, 混凝土膨胀将继续下去, 采取实用方法来定期对中水轮机和发电机至关重要。最终采用的技术是在水轮机和发电机轴之间插入垫片, 以恢复水轮机和发电机的正确位置。使用填料和垫片将发电机定子和推力轴承抬高。因此, 将来由混凝土膨胀引起的机组不对中问题可通过逐渐去掉填料和垫片来解决。考虑到混凝土膨胀的影响, 在推力轴承下, 填料的平均厚度为 75 mm, 而定子下面填料厚度为 70 mm。

改造所采用的技术简便适当, UEB 将来可尽量不用外部帮助对电站进行监控、维护和改进。

5 埃塞俄比亚提斯阿贝水电站第二期工程接近完成

提斯阿贝水电站二期工程是埃塞俄比亚电力开发项目中的重点, 工程费为 6 300 万美元, 由埃塞俄比亚政府投资。该工程将有助于满足国家预计年电力需求量增长 10% ~ 12% 的要求。

提斯阿贝二期工程包括一条 2 km 长的引水渠, 它从提斯阿贝 1 号电站附近引水。1 号电站装机 11.4 MW, 1964 年投运。2 号电站用 2 根 140 m 长的压力钢管和 2 个 4 m 直径的主进口蝴蝶阀向水轮机供水。2 台混流式发电机组, 总装机 68 MW, 利用水头 53 m。发电厂房的下游河道已加宽, 以提高进电站的净运行水头, 并保持尾水位总是低于装

配场高程,即使是在设计洪水情况下。

提斯阿贝电厂和巴赫达尔变电站用一条 28 km 长的 132 kV 输电线相连。到 2000 年 9 月,蜗壳已安装完毕,水轮发电机的安装刚刚开始。

在提斯阿贝二期工程上游约 30 km 处,在塔纳湖出口处的原查拉查拉堰的施工已接近完成。该堰靠近巴赫达尔市,于 1996 年首先投入运行,它对埃塞俄比亚最大的湖泊(面积约 3 000 km²)的蓄水起到了一定程度的调节作用。目前的工作涉及开挖一条新的泄水渠、5 扇新弧形闸门和建筑物的施工。原先有闸门 2 扇。当提斯阿贝电站和提斯厄萨特瀑布运行需要时,需增加泄水渠的泄量。

7 马拉维卡皮契拉水电工程投入运行

卡皮契拉水电工程位于马拉维南部希雷河上的卡皮契拉瀑布左岸,于最近投入运行。

该工程包括一座长 830 m、高 30 m 的土坝,利用瀑布所形成的水头,进行小时调节;一个位于行洪河槽左岸的闸控溢洪道;一个位于左坝肩下游的发电站。水从进水口经引水隧洞和调压室进入埋置的钢叉管,再进入深置于尾水渠中的地面发电厂房。

发电厂房内最初安装 2 台立式发电机组,准备二期工程再安装 2 台。每台机组包括混流式水轮机(带蝴蝶阀)和凸极发电机,单机额定容量 32 MW,净水头 54 m。采用统一的发电机变压器连接,在电站大楼后面有一个 132 kV GIS 双母线开关站。输电系统互连包括卡皮契拉与特德夫尼之间的一条新的 132 kV 输电线路,另有一条回环线。

工程投资约 1.5 亿美元,包括 3 个土木工程合同,8 个水电站分包合同,以及开关站和输电线的 2 个合同。

7 尼日尔的堪达基大坝

尼日尔共和国是非洲西部次撒哈拉国家,国土面积 130 万 km²。对于这个内陆国家的 1 000 万人来说,尼日尔河是生命之源。

尼日尔河是非洲第 3 大河、流域面积 190 万 km²,流经 9 个国家。发源于几内亚共和国,向东北流入马里的一个三角洲地区,由于蒸发使流量损失接近一半。在通布图附近,河流再次流向东南,跨越尼日尔和尼日利亚国境,汇入几内亚湾。

在最近 30 a 里,在非洲萨赫勒地区,气候变化很大。雨量减少,使沙漠向南扩张。对尼日尔河的

流态产生重大影响。在尼日尔首都尼亚美,尼日尔河的平均流量已从 20 世纪 70 年代前的 1 035 m³/s 降到 1990~1999 年的 696 m³/s。更为严重的是枯水季节的变化,枯水季节已从以前的 2 个月延长到 4 个月。多年平均最小流量已降低到只有 20 m³/s。尼亚美的流量首次降低到零。

在非洲开发银行资助下,尼日尔政府于 1999 年 3 月组织了由德国和埃及公司参加的在尼日尔河上建一座坝的可行性调查。

建坝的主要作用是在冬季丰水时蓄水,以增加每年 4~7 月这几个重要月份中的枯水流量。该工程将确保向居民连续供水,扩大灌溉系统。此外,至少将起到稳定受到气候变化影响的沿河生态系统的作用。其另一个效益是发电,可减少尼日尔对进口能源的依赖。

该大坝位于尼亚美西北约 190 km 处,离马里国境 60 km,以附近的村庄堪达基命名,使沿河的尼日尔居民可从增大枯水流量中受益。

工程的主要特点如下:

- 一座均质分区土坝,最大坝高 25 m,长 8.8 km,总体积 500 万 m³,上游坡为 1:3(V:H),下游坡为 1:2.5(V:H),坝顶高出最高库水位 3 m,1 m 高的防浪墙,超高 4 m,可安全地对付波浪爬高、风壅水和飞溅;

- 当水库蓄到 228 m 高程时,水库只淹没尼日尔境内土地,蓄水面积 282 km²,库容 1.6×10⁹ m³,可使枯水流量增至 120 m³/s,保证率达 99%;

- 所有的混凝土结构,即发电厂房、溢洪道、底孔和鱼道都集中在一起,布置在右河道(主河道),直接与芒特乌鲁巴山脚相连,形成右坝肩,因此,只需从混凝土建筑到土坝之间设一个过渡段即可;

- 水电站将装 5 台立式转桨式机组,单机容量为 25 MW,净水头 15.60 m,总流量为 950 m³/s,平均年发电量 564 GWh,分期开发;

- 溢洪道包括一座闸控溢流堰(配有 8 扇翻板闸门,每扇宽 17.5 m,高 5.5 m)和一个常规消力池,按 10 000 a 一遇洪水 3 150 m³/s 设计;

- 3 个底孔的总泄量为 500 m³/s。

按 2000 年价格计,该大坝工程的施工费用约为 2.44 亿美元。

该工程的可行性研究将于 2000 年底完成。与国际金融机构的谈判正在进行。

8 阿尔及利亚的克拉米斯坝

该坝坐落于穆斯塔加奈姆城以东约 80 km 处,

蓄水 6 000 万 m^3 , 用于灌溉土地 4 300 hm^2 , 并为阿沙阿沙城提供饮用水。

该坝由 1 道粘土心墙, 2 种粗材料、半渗透区和前后两者之间的过渡带组成。心墙的渗透性可得到控制。

因为大坝位于地震多发地区, 大坝设计者(EN-HYD)认为, 最好用所有的标准对坝体的稳定性进行检查。尤其要重视材料选择、材料对施工的适用性、施工时每层的厚度, 以及每层的压实度。

心墙粘土由大坝附近的 6 个取料场供应, 粘土总用量超过 70 万 m^3 。半透水区由沙和砾石构成。砾石按重量计占 70% 以上。

溢洪道位于大坝右岸, 最大泄量 10 000 a 一遇洪水为 1 161 m^3/s 。底孔位于水库的左岸, 为直径

2.60 m 的圆形隧洞, 长 350 m, 施工期供导流用。550 m 长的灌浆帷幕廊道, 沿坝轴线断面布置。

大坝防渗系统由一道灌浆帷幕组成, 最大深度低于河床 40 m, 侧面深度为 20 m。

主坝总体积约为 $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3$, 副坝总体积约 $0.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

该工程的土建工程量为: 地面开挖约 $2.3 \times 10^6 \text{ m}^3$; 地下开挖 5 030 m^3 ; 填方约 $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$; 混凝土浇筑(地面: 约 $54 \times 10^3 \text{ m}^3$, 地下 $3.7 \times 10^3 \text{ m}^3$); 水泥灌浆 40 000 m^3 ; 水泥+膨润土 5 566 t。

估计土建工程费用为 6 600 万美元。该工程由中标公司出资, 工程将于 2004 年 3 月完工。

马小杰 译自英刊《水电与大坝》2000 年第 5 期
刘忠清 校

(上接第 22 页)

溢洪道运行期间, 消力池抗扬压力稳定设计是一项极具挑战性的任务, 因为基础深和地下水位高。研究了以下几种措施: 抽排系统、锚桩、平板压重和排水系统。最后, 根据费用、工期和稳定性, 选择了 7 m 厚的具有排水系统的混凝土平板来保证运行期间消力池的稳定。消力池的混凝土侧墙为重力型, 高 34 m。兴建溢洪道和消力池时的土方开挖量分别为 160 万 m^3 、360 万 m^3 , 总的混凝土浇注量为 75.8 万 m^3 。

由于混凝土的需求量很大, 所以建了额定能力约为 335 m^3/h 的混凝土搅拌厂, 月搅拌能力为 4 万 m^3 。为了控制温度, 采用了 2 型普通水泥、冰片和冷却水。冰片生产厂的生产能力为 8 t/d。

4 电站进水口建筑物和引水隧洞

电站进水口建筑物位于大坝的左坝肩, 由 6 个淹没式喇叭口柱形常规建筑物组成, 两个喇叭口向一个引水隧洞供水。因此, 每个喇叭口的过流能力是水轮机过流能力 163.8 m^3/s 的一半, 并且每个都安装有固定的栏污栅, 面积 264 m^2 。电站进水口建

筑物总长 60 m、深 23 m、高 20 m, 混凝土用量为 21 850 m^3 。

电站引水隧洞在进口下游 85 m 处设有一个闸门井, 井内安装有 8.5 m 高、4.8 m 宽的定轮闸门。3 条混凝土衬砌的压力引水隧洞长 436 ~ 456 m, 内径为 7.2 ~ 5.3 m, 流速为 4 ~ 7.4 m/s 。引水隧洞混凝土衬砌 70 cm 厚, 并用钢板衬砌, 钢板用量为每立方米混凝土 120 kg。

引水隧洞钢板衬砌从坝轴线上游 15 m 处开始, 衬砌长度为 287 ~ 300 m, 厚度因水压力的不同而有所不同, 分别为 20 mm, 28 mm, 30 mm。

电站厂房为传统的坝后式地面厂房, 117.5 m 长, 53 m 宽, 55 m 高。安装 3 台 133 MW 的发电机组和 3 个蝶阀。

地面厂房的修建需要开挖土石方 300 万 m^3 , 混凝土用量为 91 200 m^3 。所有的开挖料都用于大坝的填筑。最大边坡高度约 100 m。大约一半的开挖施工是在地下水位以下进行的。因此, 安装了完善的排水系统。

赵坤云 译自英刊《水力发电与坝工建设》2000 年第 9 期
吴道喜 校