

# 南伟水电站设计点评及缺陷处理

林旭新, 周丽娜

(水利部农村电气化研究所, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 南伟水电站是1座利用已建水库开发的坝后式小水电站, 开发条件很好, 但由于设计单位没选好, 且设计方案没有得到审批就开工, 施工也不规范, 所有问题在设备安装和充水调试时都暴露出来, 业主为此付出巨大代价。通过分析对相关缺陷进行了重新设计和处理, 取得很好的效果。

**关键词:** 小水电站; 设计; 枢纽布置; 缺陷处理

## 1 工程概况

南伟水电站位于海南省白沙县南开乡境内的南渡江上游段, 即南开河的中游, 坝址位于南开河与其支流南美河汇合口下游1.5 km处, 厂房位于拦河坝左岸下游300 m的河边, 距白沙县县城约17 km。

南伟水库建于20世纪60年代, 水库以灌溉为主, 担负着12 000亩农田的自流灌溉。坝址集水面积403.66 km<sup>2</sup>, 多年平均年入库水量3.87亿 m<sup>3</sup>, 水库正常蓄水位(229.5 m)以下库容350万 m<sup>3</sup>, 发电调节库容48.5万 m<sup>3</sup>, 调节性能为日调节。由于水库实际灌溉面积只有8 700亩, 灌溉用水量只有800万 m<sup>3</sup>左右, 98%的水量没有得到有效利用, 每年有大量的水从溢洪道白白流掉, 大坝上下游落差20 m以上, 浪费了宝贵的水能资源。由于主要的枢纽建筑物(水库)已建成并得到除险加固, 因此南伟水电站工程建设投资少, 对环境的影响小, 不占用耕地和无移民搬迁, 开发利用条件好, 具有较高的开发价值。

南伟水电站于2007年11月立项, 原由白沙远祥工程有限公司开发, 广东省茂名市水利水电勘测设计院承担初步设计。原设计装机容量960 kW, 并于2008年动工, 后由于资金问题, 项目转由白沙

南开河水电开发有限公司(即目前的业主, 简称南开河公司)续建。南开河公司接手南伟水电站后, 又委托湖南某设计院对本项目重新设计, 并于2009年10月重新编制《海南省白沙县南伟水电站工程初步设计报告》, 将装机容量扩大到4 800 kW, 并以此方案继续施工, 同时补报方案变更的报批手续。在对设计院的初设报告进行审查时, 审查会的专家就对设计提出质疑, 最令专家诟病的是承压箱的结构过于单薄, 并预言一旦通水将爆裂, 所以该初设报告没有通过审查。由于土建工程已接近完工, 业主只能将信将疑继续施工, 直至机电设备和金属结构安装完毕。2012年上半年在充水试验时, 在静水头只有15 m(比设计工况低6 m)时, 承压箱顶板连同水轮机层上游边墙被整体抬起, 水从裂缝喷出并淹没水轮机层。2012年9月, 台风“纳沙”来袭, 随着下游水位的升高, 河水从厂区防洪墙基础渗出, 造成厂房被淹, 台风过后又花巨资重建了厂区防洪墙。为了处理承压箱的漏水问题, 业主咨询了几家设计院的专家, 经过计算, 认为结构没问题, 并在专家指导下, 对裂缝进行了化学灌浆。承压箱的裂缝经过修补后, 2013年8月进行第二次充水试验, 在静水头17 m时, 承压箱顶板再次被抬起, 漏水比第一次更严重。2013年11月, 笔者所在单位承担了承压箱加固处理的设计工作。

## 2 电站设计方案

### 2.1 装机容量和发电量

南伟水电站采用3台单机容量1 600 kW的立式

收稿日期: 2014-09-03

作者简介: 林旭新(1962-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事中小水电站的规划设计、中小河流水能开发规划、技术咨询、工程评估等工作。

E-mail: xxlin@hrcshp.org

轴流机组,最大运行水头20.13 m,最小运行水头17.43 m,水轮机额定水头19.0 m,额定流量 $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,多年平均年发电量911.52万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ,装机年利用小时1899 h。

## 2.2 枢纽总布置

南伟水电站为坝后式开发,工程枢纽由拦河坝、输水隧洞、承压箱、厂房和升压站组成。拦河坝为已建,有压输水隧洞位于左岸,进水口在左坝肩上游95 m处,出口位于大坝下游300 m处的岸边,隧洞总长309 m,出口接承压箱和发电厂房。

## 2.3 主要建筑物

### (1) 水库大坝

南伟水库大坝于60年代建成,为砌石重力坝,最大坝高24.02 m,坝顶高程239.10 m,坝顶宽3.0 m,坝顶长139.6 m;溢流堰堰顶高程229.5 m,堰顶长80 m,采用挑流消能方式;非溢流坝坝顶高程239.1 m。灌溉放水涵布置在左非溢流坝段,放水涵后接灌溉明渠。

### (2) 输水隧洞

发电输水隧洞进水口为岸边式,进口底板高程为223.00 m,进口闸门为平板钢闸门,孔口尺寸为 $4.0 \text{ m}\times 4.0 \text{ m}$ 。

输水隧洞长309 m,开挖断面为 $5.5 \text{ m}\times 5.5 \text{ m}$ 的城门断面,出口底板高程为208.00 m。隧洞中间段不衬砌,进出口段采用厚0.5 m的钢筋混凝土衬砌。隧洞出口与承压箱连接,承压箱的作用是将水均匀地分配给3台机组。承压箱长18 m,宽 $11\sim 4.3 \text{ m}$ ,高3.6 m,为钢筋混凝土箱形结构,壁厚0.5 m,底板高程为208.00 m。每台水轮机蜗壳进口设有1扇铸铁闸门,闸门孔口尺寸 $4.3 \text{ m}\times 4.22 \text{ m}$ ,采用螺杆式启闭机启闭,尾水管出口也各设1扇尾水钢闸门,孔口尺寸 $4.4 \text{ m}\times 2.6 \text{ m}$ ,采用螺杆式启闭机启闭。

### (3) 发电厂房及升压站

发电厂房位于左岸大坝下游300 m处的河边滩地,为钢筋混凝土框架结构,主厂房长26 m,宽9.6 m,厂内装有3台轴流立式水轮发电机组。发电机层地面高程215.77 m,水轮机层地面高程211.32 m。安装场布置在主厂房右侧,与发电机层地面同高,与进厂公路连接。厂内设有16 t电动桥式起重机1台。

副厂房位于主厂房上游侧,即承压箱的顶部,

为钢筋混凝土框架结构,长18.00 m,宽4.3 m,分上下2层。

升压站采用户外中型布置,布置在进厂公路左侧,即厂房的右后侧,长20 m,宽10 m,地面高程227.50 m,布置2台主变。

厂区沿河边(大门口)还布置有高6 m的防洪墙。

## 3 设计点评

### 3.1 装机规模及年发电量

南伟水电站装机容量为4800 kW,年发电量911.52万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ,装机年利用小时1899 h,与当地目前平均约3000 h的利用小时相比,装机容量明显偏大。鉴于水库具有日调节作用,南伟水电站合理的装机容量为2500~3200 kW,如选用2台机组,可获得较大的经济效益。扣除灌溉水量后,如水量全部利用,可发电1600万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ,按计算的年发电量911.52万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 分析,发电水量利用率不足57%,明显偏小。如果灌溉制度执行得好,实际发电量比计算值可能增加10%以上。

### 3.2 枢纽总布置

枢纽总布置的问题主要是隧洞出口到混凝土蜗壳进口之间采用承压箱过渡,由此带来2个问题:一是隧洞出口布置了承压箱,将主厂房推向主河道,挤占了河道的行洪断面,造成上游洪水水位壅高。二是机组进口工作闸门难布置,如采用常规快速闸门,其启闭机操作平台要高出主厂房屋面。设计采用了铸铁闸门,采用螺杆式启闭机,闸门井采用承压结构,启闭机拉杆设止水,造成闸门没有快速关闭保护作用,且闸门检修困难。

南伟水电站的开发条件很好,输水系统如采用隧洞+压力前池+钢筋混凝土箱涵的布置方式,投资会更低,运行管理更方便。

### 3.3 承压箱和蜗壳进口设计

承压箱实际上就是将常规的压力前池底板高程降到蜗壳进口底板高程,然后用钢筋混凝土盖板将压力前池盖住,形成有压的箱形结构。承压箱长18 m,宽 $11\sim 4.3 \text{ m}$ ,高3.6 m,壁厚0.5 m。边墙和顶板双层钢筋,受力筋为直径16 mm的螺纹钢筋,间距0.25 m,分布筋直径8 mm,间距0.25 m。蜗壳进口顶板厚度也只有0.5 m,跨度有4.35 m,顶板和中墩双层钢筋,受力筋为直径16 mm的螺纹钢筋,间距

0.25 m,分布筋直径8 mm,间距0.25 m。

经计算,3台机组同时甩负荷,调速器关闭时间7 s,蜗壳进口处水击压力上升48%,承压箱顶板承受水压力为 $28\text{ t/m}^2$ ,顶板在水流方向1 m宽度将承受210 t的水压力,扣除顶板结构自重,有195 t向上的水压力需要边墙拉住。边墙的受力是大偏心受拉,如仅按轴心受拉计算,195 t水压力就需要32根直径16 mm的螺纹钢筋,按大偏心受拉计算钢筋还要多。而实际上边墙每米只有8根直径16 mm的螺纹钢筋,而且只锚入基础0.2 m(底板浇筑后,钻孔深0.2 m,插上受力筋);所以在充水试验时,承压箱顶板连同水轮机层上游边墙被整体抬起,边墙在顶板下方1 m处形成贯穿性水平裂缝,顶板在跨中处也出现裂缝,上部的副厂房墙体多处开裂。同样,蜗壳进口顶板和中墩的强度也严重不足。

### 3.4 主厂房设计

主厂房布置图上没有将调速器、机旁屏布置上去,只能由安装单位见缝插针。

### 3.5 厂区防洪墙设计

厂区布置了高出地面6 m以上的浆砌石防洪墙,其基础为河滩的砂卵石层,起不到防洪作用。

### 3.6 机电设计

没有油、气、水系统的设计,没有电气一次和二次图纸设计,这些工作都是由相关设备厂家和安装单位现场完成。

## 4 缺陷处理

机电设计的缺陷均由相关设备厂家和安装单位在现场处理,问题都已解决,需要处理的主要是承压箱和蜗壳进口的结构缺陷。

承压箱加固处理的基本思路是在承压箱内部加隔墙,减小箱涵的跨度,同时将原边墙和顶板加厚,并按计算配筋。蜗壳进口加固处理的基本思路是增加原边墙和顶板的厚度,并按计算配筋。

承压箱内的隔墙是从原蜗壳进口隔墩延长而成,将承压箱分隔成3孔,隔墩分流顶点的布置应满足流量均分的原则,隔墩形态为流线型,分流点处为直径0.5 m的半圆,过渡到原隔墩的厚1.7 m。

承压箱边墙内侧加厚0.3 m,左侧边墙外侧也加厚0.3 m;承压箱顶板上下各加厚0.3 m。蜗壳进口段两侧各加厚0.1 m,顶板上下各加厚0.2 m;水轮机层上游侧排架柱间的边墙整体拆除后重新浇筑。设计采用C25商品混

凝土,施工时业主提高到C30。

为了确保新老混凝土的结合和整体性,受力钢筋需要锚入原混凝土结构中(采用砂浆锚筋或树脂锚筋),接触面要凿毛和冲洗。由于施工受原建筑物影响较大,要合理安排施工工序和混凝土入仓方式。对于不易振捣的部位,建议采用免振捣混凝土。

由于业主对加固处理工作高度重视,还委托监理进行施工管理,业主管理人员的管理也很到位,施工单位在关键部位的处理也很到位。2014年4月20日开始充水试验,承压箱和蜗壳进口没有出现漏水和明显变形,刚充水时在门槽顶部出现有一处渗水点,但2天后自行消失。6月份的甩负荷试验表明,甩满负荷时蜗壳进口压力和转速上升值均在正常范围,承压箱和蜗壳进口没有出现异常情况,加固处理取得完美成功。

## 5 结语

历经坎坷,南伟水电站虽然投产了,但业主为此付出了本不应付出的代价,电站总投资超过4 000万元,虽然单位千瓦投资约8 400元/kW,但单位电能投资高达4.4元/kW·h,上网电价只有0.31元/kW·h,效益很差,而且运行管理不方便。

如果一开始就找有经验的设计单位设计,即使按相同的装机容量,电站总投资只需1 700万元(按2011年物价水平),单位电能投资1.98元/kW·h,投产后8 a即可收回投资。如果装机容量为 $2 \times 1\,600\text{ kW}$ ,则总投资只要1 400万元,年发电量约870万kW·h,单位电能投资1.61元/kW·h,效益将更好。有经验的设计人员还能弥补业主和施工单位经验的不足,从建设管理、施工方法、施工质量上提出建议,确保项目建设的顺利进行。

责任编辑 吴昊

