

双柏水电站扩机增容设计

强世成

(中国水利水电第十工程局, 四川 都江堰 611830)

摘要: 通过总结双柏电站扩建设计工作, 提出在对老电站的扩建、增容等技术改造中, 所应考虑的一般设计原则和兼顾具体的技术和经济问题。根据电站的不同情况, 因地制宜地采取切实可行的解决措施, 从而使改造项目经济合理。

关键词: 双柏电站; 扩建设计; 设计原则; 方案比较; 经济合理

中图分类号: TV 72

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)增-0055-03

1 问题的提出

双柏水电站位于都江堰市蒲阳镇境内的蒲阳河上, 属蒲阳河梯级开发的第五级, 是一座无调节径流式电站。该电站设计水头 10.5 m, 引用流量 121.50 m³/s, 原装机 2 台共 10 MW。该电站已于 1991 年 4 月竣工发电。

蒲阳河系渠系河流, 径流主要来自岷江, 由都江堰渠首工程和内江各节制闸控制河流的水量, 是一条灌溉兼排洪河道。河口流量的大小是根据人民渠灌区用水和岷江来水量确定。近几年来, 随着都江堰的渠系改造, 青白江灌区的发展使蒲阳河的流量呈逐年增大趋势。1993 年建成的飞沙堰节制闸, 更加保证了流入宝瓶口的流量。电站运行资料表明, 每年 5~10 月平均流量为 164.7 m³/s, 而原机组发电引用流量才 121.50 m³/s, 每年都有大量弃水, 造成水资源浪费。

经过几年运行发现, 蒲阳河每年枯水期有近一个月时间来水流量为 25 m³/s 左右, 该流量为原机组单机流量的 40% 左右。此时, 机组不能稳定运行, 振动较大, 气蚀严重, 供电质量差, 影响了电站的经济效益。

为了充分利用该河段的水能资源, 解决机组运行稳定性问题, 提高供电质量, 增加电站经济效益。经详细计算分析并反复研究论证后, 认为还可扩机 2 500 kW, 扩机后该电站引用流量为 153.5 m³/s。

2 原有建筑物校核及扩机后的发电水头

本电站原有水工建筑物为: 首部枢纽(包括泄洪闸、冲沙闸、取水口)引水渠、前池、厂房及尾水等。

2.1 基本数据

原建筑物校核主要是核定双柏电站扩机增容后的水力条件变化情况和重要建筑物的受力条件变化, 以决定是否对原建筑物进行增高和补强。校核时, 引水流量按扩机推荐方案所定增加 32 m³/s 的流量进行。

双柏电站原引水渠道糙率核定为: 引水渠道底宽 $B = 10.2$ m, 梯形断面 $m = 1, i = 1/3000$ (底坡施工时略有改变), 双柏电站原设计报告拟定衬砌形式底板是混凝土, 边坡为浆砌石。渠道通过正常引用流量 149.3 m³/s 时, 糙率值取 0.017, 计算出水深为 4.58 m, 流速 2.2 m/s。施工时将边坡

改为浆砌石衬砌后再沙浆抹面。通过由双柏电站提供的实际运行时的流量、水深值反算糙率值, 得出糙率值为 0.014~0.015, 再采用手册查值及与已建类似工程类比取值的方法推定糙率值, 得出糙率在 0.0155~0.016 范围。为偏于安全计, 决定糙率统一取为 0.0155。

2.2 拦河闸——压力前池的水面线

从拦河闸起, 引水道中水流情况大致为: 水流因为拦河闸的控制作用流进进水道的首端建筑物拦污栅, 由于水流从河道中流进拦污栅内流速变大, 因而产生水面跌落, 并发生进口、过拦污栅的局部水头损失, 出拦污栅后水流经过收缩段, 除发生局部水头损失外, 还有因流速加大而产生的水面跌落, 之后进进水闸亦产生水面跌落。根据计算, 水流过进水闸时, 流量较小时是淹没出流状况, 流量较大时是自由出流状况, 其流量分界值大约在 150 m³/s 左右 (此时按拦污栅进口水位 677.00 m 进行推算)。进水闸后再接一收缩段, 正常过流时水面线情况与拦污栅后的收缩段相似, 过流量很大时则成为扩散段, 水面略有回雍。该收缩段之后为引水明渠, 水流为明渠均匀流, 渠道末端的水位即大约等于前池正常水位。采用水力学公式进行计算, 得出引水道水头损失见表 1。

表 1 引水道水头损失计算表

项 目	流 量	拦河闸水位	水头损失	压力前池正常水位
	/m ³ ·s ⁻¹	/m	/m	/m
2 大机 1 小机	153.5	677.00	1.26	675.74
1 小机	32	677.00	0.50	676.50

通过对双柏电站两台大机实际运行情况下的复核, 在选取相同参数的条件下计算, 其结果与实测拦河闸到前池的水位变化情况较吻合。

2.3 前池不稳定流计算

为核定前池和渠道的超高及新建机组进水口的顶高程, 对前池内水位在突然开机和突然关机情况下的涨跌进行了计算, 结果见表 2、表 3。

表 2 甩负荷水位计算值表

项 目	前池正常水位	前池最高水位	备 注
	/m	/m	
2 大机, 1 小机	675.74	677.36	
1 小机	676.50	677.11	

收稿日期: 1998-06-11

表3 突然开机水位计算值表

项 目	前池水位	前池最低水位	备 注
	/m	/m	
2 大机, 1 小机	677.00	675.60	
1 小机	677.00	676.81	

2.4 尾水

扩建机组后,下泄流量增加,尾水池及尾水渠内水位均有所增高。计算结果见表4。

表4 尾水水位计算值表

项 目	2 大机 1 小机	1 小机	备 注
尾水池反坡点 /m	633.335	633.335	小机尾水池
尾水渠水深 /m	4.17	1.48	原尾水渠
正常尾水位 /m	665.21	665.21	
校核洪水水位 /m	667.20	667.20	

2.5 原有建筑物校核结论

拦河闸运行方式:增扩机组后,需要通过拦河闸的控制作用使蒲阳河中水流在汛期比增扩前多流进进水口 $32\text{ m}^3/\text{s}$ 的水量。根据双柏电站初设报告,了解到一孔拦河闸的启闭可以控制 $0\sim 154.36\text{ m}^3/\text{s}$ 的流量。因此,增加仅 $32\text{ m}^3/\text{s}$ 的流量完全可以通过闸门控制引进所需的流量。

渠道、前池顶是否需加高:如上所述,渠道在通过扩机后的发电流量时,其水面离渠道堤顶还有 1.20 m ,此时渠道不需加高。对机组甩负荷、压力前池水位雍高时的情况,渠道、前池仍不需加高。渠道、前池顶高程仍由拦河闸闸顶溢水时发生的最高水位控制,原建的(前池)顶高程 678.20 m 已足够,不需再加高。

增扩机组后进水口顶高程的确定:对前池内负荷突然增加的情况的计算,知道前池最低水位为 675.60 m 。为满足在前池最低水位时进水口不进气、不发生涡流并与机组蜗壳进口以较小坡度相连接,新建扩机组的进水口顶部确定在 673.90 m 高程之下。

尾水:正常过流时尾水位仅抬高 0.40 m ,原建渠道尚有 1.65 m 的富裕,因此,尾水渠不需加高。

2.6 扩机后的发电水头

发电水头:增扩机组后,前池正常水位、尾水正常水位均有所变化,各种情况下发电水头变化情况见表5。

表5 发电水头变化情况表

水 位	单 位	2 大机	2 大机 1 小机	1 小机	备 注
前池正常水位	/m	675.71	675.74	676.50	
尾水正常水位	/m	664.95	665.21	665.21	
发电水头	/m	10.76	10.53	11.29	
发电水头变化	/m	0	-0.23	+0.53	

从表5可看出:三机联合运行时发电水头比不扩机时的正常运行情况略有减少,但三台机组仍能正常发电;一台小机单独发电时,因为引水道中流量小,其水头损失相应也减少,发电水头比原正常情况下的发电水头还有所增加。

3 扩建工程设计

3.1 设计原则

根据双柏电站的地形地质条件和原有建筑物布置情况,确定扩建设计原则如下:

(1)充分发挥原有工程设施的作用,节约投资、缩短工期,减少停电损失。

(2)新建或改建建筑物的基础不宜太深,以免扰动原建筑物基础。

(3)新建建筑物尽量靠近原建筑物,使扩建后总体布置紧凑,以便减少辅助设施。

3.2 扩建工程布置方案比较

根据对原有建筑物的校核结果,原电站的首部枢纽、引水明渠、前池及尾水均能满足扩机后的过流要求。扩建工程主要发生在厂区,按新厂房与原厂房之间的相互关系,扩建工程布置方案有紧接布置和分离布置。两方案布置比较如下所述。

紧接布置方案指新厂房紧接于原厂房左侧,厂房内安装一台 2500 kW 水轮发电机,发电机层高程、厂房高、宽度均与原厂房相同,以便与原厂房共用安装间和行车。这样,主厂房尺寸为 $9.64\text{ m}\times 16.17\text{ m}\times 14.94\text{ m}$ 。对该紧接方案来说,新建的一孔增扩机组进水口亦紧接原电站机组进水口布置,位于原电站机组进水口左侧的原建重力挡墙位置。该新建进水口孔宽度为 5.80 m ,底板高程为 664.99 m 。厂房后的尾水池与原尾水池用一道导墙相隔,尾水池宽度为 9.64 m ,尾水池反坡点高程按一台新装机组单独发电的最小淹没高度要求定为 663.34 m ,后接尾水渠宽度为 4.0 m ,底坡 $1/500$,长度为 87.64 m ,衬砌型式与原尾水渠相同。

分离布置方案指新厂房与原厂房分离,为避开原厂房修建时基础开挖后再回填形成的回填物软基地段,将新厂房布置于原厂房左下游侧,厂房与进水口之间用一条压力管道相连接。分离式布置的厂房发电机层高程与地面高程相同,厂内单设安装间和起重行车。这样,主厂房(包括安装间)尺寸为 $21.15\text{ m}\times 13.97\text{ m}\times 12.66\text{ m}$ 。对该分离式布置方案来说,新建的一孔增扩机组进水口亦与原电站进水口离开一定距离布置,位于原电站压力前池端头左侧的已建清水池位置。该进水口孔宽度为 5.80 m ,底板高程为 667.31 m 。厂房后的尾水池宽度为 9.64 m ,尾水池反坡点高程按一台新装机组单独发电的最小淹没高度要求定为 661.00 m ,后接尾水渠的衬砌型式与原尾水渠相同,宽度为 4.0 m ,底坡 $1/1000$,长度为 30 m ,平面上以曲线转弯后用锐角与原尾水渠相连接。为了确定技术可行、经济较优的布置方案,对上述两方案进行比较见表6。通过比较,综合评定认为紧接布置方案技术上可行,经济上较优。作为本次扩机设计的推荐方案。

3.3 装机台数选择

紧接式方案作为推荐方案后,我们再对厂房内装机台数作了如下分析:

装一台 2500 kW 水轮发电机组:首先,其厂房面积相对最小,相应的进水口、尾水池、尾水渠工程量也较小。其次,因为其装机容量与原厂所装大机组构成了档差,运行调度方面,除了和两台大机或一台大机联合运行外,还可一台小机单独运行,适应河道中的不同来水情况,较为灵活。根据我们的调查,一套 2500 kW 的水轮发电机组目前厂家报价约需 280 万元。

装两台 1 250 kW 水轮发电机组: 其厂房面积与装一台机组相比相对大一些, 相应的进水口、尾水池、尾水渠工程量也为大。根据我们的调查, 两套 1 250 kW 的水轮发电机组目前厂家报价约需 340 万元, 比装一台大机贵了 20%。不过, 装两台机运行调度方面显然比装一台机更为灵活, 适应河道中的不同来水情况。

综上所述, 装两台机组方案除了运行调度方便之外均不如装一台机, 而装一台机方案的运行调度基本能够适应河道中的不同来水情况, 因此决定推荐装一台 2 500 kW 机组的方案。

表 6 厂房布置方案比较表

序号	项 目	单 位	布 置 方 案		备 注
			紧 接	分 离	
1 进水口部分					
	混凝土	/m ³	1 159	910	
	钢筋	/t	40.6	36.4	
	沙卵石挖填	/m ³	450	3 000	
	拆除混凝土	/m ³	1 750	240	
2 进水口到蜗壳管道					
	混凝土	/m ³	/	290	
	钢筋	/t	/	26.1	
	沙卵石挖填	/m ³	/	4 400	
3 主厂房					
	厂房	/m ²	156(14.94)	296(12.66)	括号内为房高
	沙卵石挖填	/m ³	7 912	10 000	
	尾水底板以上钢筋	/t	102.4	119.51	
	尾水底板以上混凝土	/m ³	2 028.2	1 857.8	
	尾水底板以下混凝土	/m ³	312	/	处理回填基础
4 副厂房					
	副厂房	/m ²	/	59.4	
5 升压、开关站					
			/	/	相同
6 尾水池及尾水渠					
	沙卵石挖填	/m ³	15 060	7 100	
	浆砌石边墙	/m ³	953.4	299	
	混凝土底板	/m ³	61	56	
7 机电设备					
	厂内行车	/台	/	1	规格: 20/5
8 发电运行管理					
	方便程度		方便	较方便	
	运行人员工资	/万元年	/	+ 2.30	
9 其 他					
	施工组织		较简单	简单、容易	
	施工对发电的影响		有一定风险	风险较小	
1~8 项比较		/万元	253.60	282.80	

3.4 扩建工程布置

双柏电站扩建工程发生在厂区, 包括机组进水口、主厂房、尾水渠等。机组进水口位于前池端头原建重力挡墙位置,

机组进水口的中轴线由其后的厂房内机组中线定, 进水口宽度由机组蜗壳尺寸决定为 5.80 m, 底板高程一是考虑防沙, 二是满足在前池最低水位时不进气、不发生涡流并与机组蜗壳进口以平坡相连接定为 664.99 m。由于底板高程比原大机组进水口底板高 3.67 m, 新建厂房底部可不设冲沙孔。机组进水口设拦污栅一道, 快速平板钢闸门一道。主厂房紧接于原老厂房左侧端头布置, 厂房宽度、高度与原厂房相同, 为 16.17 m、17.57 m, 厂房长度为 11.80 m。主厂房平面布置上, 长度由蜗壳加两侧所包混凝土尺寸和机组附加段决定。由于受进水口布置位置限制, 蜗壳右侧混凝土厚度为 1.65 m, 小于左侧的 2.90 m; 尾水管布置时作了偏转, 尾水管中心线相应偏离机组中心线 107.5 cm。

水轮机安装高程, 经计算水轮机允许吸出高度后根据单机发电尾水位(最不利情况)和一大一小两台机组发电尾水位综合确定为高程 665.00 m, 尾水管底板高程、水轮机层、发电机层均由机组设备要求定, 分别为 658.719 m、668.500 m、672.500 m。

主厂房内, 水机层上蜗壳顶部布置有放水阀, 下游布置有尾水进入孔和尾水放水管。整个新建厂房内不设集水井, 全部渗漏水及各种废水采用埋管从尾水放水管排至老厂房集水井内统一抽排。与老厂房协调方面, 厂房上游进水段高程、长度两座厂房均相同; 发电机层高程新厂房比老厂房低 2.236 m, 用专设于发电机层的梯步连通; 尾水平台高程相同为 666.00 m, 平台长度新厂房比老厂房缩进 3.55 m。

由于扩建工程主厂房基础底板高程比原厂房底板高程高出 2.89 m, 座落于原厂房基础开挖时回填形成的砂卵石上。为确保厂房基础稳定, 不产生较大的沉陷, 决定对其基础实施压实措施进行处理。

新建厂房尾水池由水流收缩要求和尾水渠连接高程要求决定, 尾水池反坡坡度为 1:65, 长度为 15 m, 反坡止点高程为 660.93 m。新建尾水渠底宽为 4 m, 底坡 1/1 000, 衬砌形式为先浆砌石, 衬砌后再水泥砂浆抹面减糙。平面布置上, 为了使新老尾水渠平顺交汇, 新建尾水渠从尾水池末端 33.89 m 起以半径 $R = 67.45$ m 转弯, 两渠道相交角度为 31.241°; 新建的尾水渠渠道长为 87.01 m, 两渠交汇之后底板有 0.17 m 的高差, 采用 1:6 的正斜坡连接。

两厂房尾水池之间留有一道导墙, 导墙最宽处近 6 m, 导墙两侧用浆砌石衬砌, 中间填筑沙砾石。主厂房房建套用原老厂房结构和形式, 装修规格等也相同。扩建后, 新老主厂房保持一样的建筑风格, 无论是平面、立面、横向、纵向, 还是厂内厂外, 均无明显扩建痕迹。

4 结 语

本扩建工程经过约一年多时间的紧张施工, 已于 1996 年 6 月正式并网发电, 现在机组运行稳定, 其主要指标均达到或超过设计要求, 经济效益良好, 用户十分满意。

作者简介:

强世成(1963年-), 男, 四川江油人, 中国水利水电第十工程局勘测设计院设计室主任, 高级工程师, 学士, 从事水电工程设计工作