

岩滩溢流坝应用宽尾墩联合消能技术的机理、效果、效益与启迪*

Mechanism, Effectiveness, Benefit and Enlightenment on the Combining by Application of Flaring Gate piers Combining Energy Dissipation on Yantan Spillway Dam

罗秉珠

Luo Bingzhu

(广西电力工业勘察设计研究院 南宁市建政路10号 530023)

(Guangxi Electric Power Industry Investigation Design and Research Institute, 10 Jianzhenglu, Nanning, Guangxi, 530023)

摘要 宽尾墩联合消能技术, 是传统二元水流消能方式迈进三维空间消能简单而有效的工程措施。通过岩滩水电站具体应用, 并经过工程运行实践表明, 可以兼收工程、经济与社会三方面效益。

关键词 水电站 戽式消力池 宽尾墩 联合消能效果 流态

Abstract The technic of combining energy dissipation by means of flaring gate piers is a simple and effective measure for transition from two-dimensional energy dissipation into three-dimensional one. Through the application and practice on Yantan project the profitability and engineering economics can be proved.

Key words hydro-power station, bucket basin, flaring gate pier, effectiveness of combining dissipation, flow condition

中图法分类号 TV 653

岩滩水电站溢流表孔应用宽尾墩与戽式消力池联合消能技术, 于 1992年 5月 11日开始投入运行, 至今已五年。每年 6月~ 10月表孔持续承担枢纽洪水宣泄, 最大洪水流量达 $15\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 。原型实际运行表明联合消能削波减浪效果显著, 戽后水面平顺衔接, 主流归槽, 岸坡稳定, 满足工程安全运行要求。在岩滩联合消能工投入运行后, 引起同行的关注与重视, 1994年 8月中国水力发电工程学会水工水力学专业委员会在岩滩召开“宽尾墩新型消能工联合运行总结学术讨论会”。会议上专家们对本工程的评价是: “宽尾墩与戽式消力池在岩滩水电工程中的应用成功地解决了岩滩工程泄洪消中诸多难题。从目前经历洪水的考验证明, 宽尾墩与戽式消力池在岩滩工程中的应用是非常成功的”; “在我国属首次, 在国外也未见先

例。” 1999年被香港新华通讯社编入《世界优秀专利技术精选 (中国版)》。今将岩滩水电站溢流表孔消能应用联合消能技术的原因、机理、效果与效益加以概述。

1 岩滩水电站溢流消能设计条件

电站近期装机容量 1 210 MW, 最大坝高 110 m, 设计洪水流量 $30\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$, 校核流量 $34\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$ 。坝址河谷狭窄, 坝前水面宽约 500 m, 而泄洪建筑出水口只有 143 m, 因此泄洪能量集中, 表孔最大单宽流量达 $308\ \text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$, 总泄洪功率 11 620 MW。汛期来水流量超过 $2\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 则需弃水, 洪枯水位变化极差达 35 m。消能工底板以上水头 71.5 m~ 81.7 m, 尾水深度变幅 11 m~ 46 m。坝下河床岩石允许抗冲流速 $6\ \text{m}/\text{s}\sim 8\ \text{m}/\text{s}$ 。

溢流坝 7个表孔, 每孔净宽 15 m, 堰顶高程 202 m, 是枢纽主要泄洪建筑物, 承担枢纽泄洪比重占 85%~ 97%, 因此, 表孔消能防冲效果具有控制下

1997-01-02收稿

* 本文献给母校河池中学成立 60周年 Devoted to the 60th anniversary of establishment of Alma Mater Hechi Middle-school.

游全局流态,直接影响主体工程安全。岸坡稳定,电站出力与通航的运行条件。表孔在工程初步设计审查时,已确定采用戽式消力池布置方案,施工设计阶段的任务是在已确定方案基础上,研究采取提高消能效果的工程措施。

3 传统二元水流消能方式的缺陷

审查确定选用的戽式消力池方案,具有比底流能节省工程量;克服了单圆孤实体消力戽不适用于高水头、大单宽流量、水深多变河流上水电工程的缺陷;戽池体型简单,方便施工。但它仍属于传统二元水流消能方式,潜在着因消能率低,坝下水面余能大对下游安全的危害。我国已建成的石泉、西津、麻石等采用戽流面流水电工程,都存在着因消能不充分,表面余能致使下游河道水面出现高流速、大波浪、流态不稳定且向下游延伸,造成了不同程度的河岸坍塌,冲垮农田、毁坏交通、增加护岸难度与投资的教训。尤其是岩滩工程的水头、流量都比上述电站大得多,以百年洪水流量下游河床单位宽度承受的泄洪功率进行比较:岩滩是石泉的2.5倍、西津的2倍、麻石的11倍,可见不设法提高原戽式消力池的消能效果,所留下的后患是不可低估的。

再看科研单位作岩滩水工模型试验,测试设计洪水时的有关数据:戽底最大流速 30.44 m/s ,戽坎 24.06 m/s ,在距离戽坎 265 m 长的河段内,水面流速 $15.5\text{ m/s} \sim 9.4\text{ m/s}$ 。戽坎后 55 m 处最大浪高 10.55 m ,平均浪高 4.6 m ;戽坎后 555 m 处最大浪高仍有 4.21 m 。戽后形成水面涌浪跌落极差是 9.6 m 。戽坎后水面波涛延伸超过 1.5 km 。在厂房尾水形成一个长约 450 m ,宽 $100\text{ m} \sim 150\text{ m}$ 的大回流区,岸边回流流速 5.95 m/s ,尾水波动 3.5 m ,这一流态对电厂稳定出力极为不利。试验结果还表明,在常遇洪水流量 $3\,000\text{ m}^3/\text{s} \sim 15\,000\text{ m}^3/\text{s}$,因尾水深度不足,难以确保下游获得运行所要求的淹没戽流流态。流态交替变换影响电站出力及岸坡稳定。

4 联合消能机理及宽尾墩体型设计

4.1 消能机理

为了解决上述消能难题,在技术设计阶段,设计科研团结协作,共同攻关,应用了宽尾墩与戽式消力池联合消能技术。根据早在1977年广西水电科学研究所开始把宽尾墩联合消能技术应用于岩滩戽流消能的初步试验。部直属水电单位将其应用于潘家口水电站的挑流消能、安康水电站的底流消能等的科学技术研究成果,使我们深刻认识到单独依靠传统的消力

戽、挑流鼻坎、消力池来增加消能率,都是非常有限的。归根到底是因为它们仍都属于传统的二元水流消能方式。由中国水利水电科学研究院首创的应用宽尾墩联合消能的消能机理,是通过溢流堰闸墩尾部体型的简单改变,对过堰水流产生导向与约束作用,彻底改变以往为人常见的坝面薄层二元水流结构,使其向三元水流消能演变,把过程表达如下:过堰二元水流在闸室受宽尾墩的约束先作横向收缩(伴随出现水翅交汇与开始掺气)→水流沿竖直方向扩散发展呈窄而高的射流水舌→水舌在宽尾墩后失去约束再往横向自由扩散→在坝面与戽池首部,相邻孔的扩散射流互相交汇;所有射流在戽池水垫内交汇混合。在这些收缩、扩散、交汇、掺混和掺气过程中,是水体处在高速度运动中进行剧烈碰撞,所耗损的动能必将远远超过传统二元水流消能方式,从而实现了联合消能工改善下游流态的目的。

4.2 在岩滩应用的设计原则

应用宽尾墩是在原来已审查通过枢纽布置基础上作局部调整优化,在宽尾墩体型设计中遵循的基本原则有:

(1)不改动在1982年已审查通过的戽式消力池体型结构,只改变闸墩尾部的原来形式。

(2)设置宽尾墩后不抬高汛期水库限制运行水位;顺利宣泄校核洪水流量而不再提高坝顶高程。

(3)设置宽尾墩后在宣泄设计洪水时,水流不碰撞弧形闸支墩。

(4)宽尾墩体形结构要简单,应满足出流平顺、方便施工、具有增强抵抗水流与漂浮物冲击能力、形式力求统一美观。

4.3 宽尾墩体形设计

设计参考有关技术文献,结合岩滩工程具体情况加以消化吸收,经中国水利水电科学研究院水力学所、广西水电科学研究所进行试验优化后,根据部位不同,设计的体形有两种类型:

(1) I型宽尾墩:应用于边孔的右边墩,水平方向长 16 m ,竖向最大高度 28.55 m ,墩尾扩宽 4.32 m 。孔闸室宽度由 15 m 收缩至 7.18 m ,收缩比 0.479 。

(2) II型宽尾墩:用于中孔闸墩,水平方向长 12 m ,最大高度 24.55 m 。顶点与溢流堰顶齐平,尾部扩宽 3.5 m 。中墩末端厚度由 5 m 变为 12 m ,闸室宽度由 15 m 缩窄至 8 m 。收缩比 0.533 。宽尾墩结构见照片1。

5 模型试验测得的消能效果

根据水工模型试验,对比采用宽尾墩联合消能前

后岸式消力池的消能效果, 其测试数据见表 1

由于采用联合消能技术而得到的效果可概括为 6 个方面:

(1) 增加岸池水深, 加大岸池底板上的时均压力, 从而增大了岸池底板的抗浮稳定能力;

(2) 降低岸底岸坎流速, 促使出岸水流流速均匀分布, 削减出岸水流动量, 为改善岸池内外流态, 减轻下游水面流速 降低波浪提供前提条件;

(3) 削波减浪效果显著, 缩短坝下流速分布调整到天然状况的距离, 利于节省护岸工程投资。据 $Q=33\ 400\ \text{m}^3/\text{s} \sim 17\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 的试验统计, 下游波浪高度削减率为 58%~73%, 如百年一遇洪水, 在岸坎后 55 m 处, 最大浪高由 9.64 m 降为 3.18 m, 平均浪高由 5.67 m 降为 1.76 m, 削减率分别为 67% 和 70%。

(4) 削弱厂房尾水区回流强度及水面波动, 冲刷深度及范围减小

表 1 设计洪水 ($Q=29\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$) 两种墩型岸式消力池消能效果对比表

Table 1 Effectiveness of energy dissipation between two pier types of bucket basin Under design flood flow $Q=29\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$

对比项目 Compared item	宽尾墩岸式消力池 Widened pier bucket basin N_K	直尾墩岸式消力池 Straight pier bucket basin N_Z	差值 Difference $\Delta N = N_K - N_Z$	增减率 Rate of Difference $\eta = \Delta N / N_Z \times 100\%$
岸池最小水深 Min. water depth in bucket basin (m)	36.18	27.56	8.62	31.3%
岸池首部动水压力 Dynamain pressure at beginning of bucket basin (kPa)	472.8	339.3	133.5	39.3%
岸池底板抗浮稳定安全系数 Coeffient safety against floating for bucket basin floor	1.109	0.898	0.211	23.5%
岸底最大流速 Max. bottom velocity in bucket basin (m/s)	17.99	30.44	-12.45	-41%
岸池尾坎最大流速 Max. velocity on the sill of bucket basin (m/s)	14.01	24.06	-10.05	-41.8%
岸池尾坎出岸水流动量 Water kinetic energy permeter at sill of bucket basin (kNm/s.m)	164.5	318.0	-153.5	-48.3%
岸流发生临界水深 Critical depth of bucket flow (m)	33.7	35.8	-2.1	-5.9%
河道水面最大流速 Max. water surface velocity in river (m/s)	7.92	15.02	-7.10	-47.3%
下游最大浪高 (距岸坎 55m) Max. wave height at downstream (m) (Distance 55m from bucket sill)	4.38	10.55	-6.17	-58.5%
下游平均浪高 (距岸坎 55m) Average wave height at downstream (m) (Distance 55m from bucket sill)	1.86	4.60	-2.74	-59.6%
岸后涌浪水面跌落极差 Max. water surface drop of wave behind the buket (m)	1.80	9.60	-7.80	-81.2%
冲刷深度 Eroded depth (m)	9.19	11.76	-2.57	-21.8%
岸边回流速度最大值 Max. backward velocity alongbank (m/s)	3.43	5.95	-2.52	-42.3%
溢流堰面最小动水压力* Min. dynamic pressure on the spillway crest (kPa)	-23.5	-60.5	37.0	61.1%
堰顶检修闸槽附近最小动水压力* Min. dynamic pressure near gateslot on the crest (kPa)	-71.6	-85.6	14.0	16.3%
堰顶检闸附近水流空化数最小值* Min. cavitation no near gate slot on crest	0.24	0.11	0.13	118%

* $Q=33\ 400\ \text{m}^3/\text{s}$

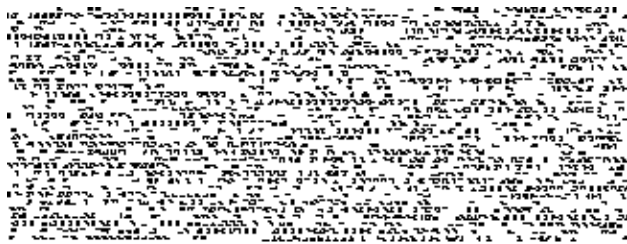


图1 溢流坝上宽尾墩

Fig. 1 Widened piers for overflow dam

及雾化降雨扩散至坝下 600 m, 高度超过坝顶, 出现了正常运行中所不允许的异常流态。当年汛期, 库池内外水流不对称, 流态不稳定。但在汛后抽水进行检查, 除库底有施工过程中坠落建筑垃圾, 在高速水流作用下对过流面混凝土造成磨损外, 溢流坝面及消力库尾坎顶, 都没有出现空蚀破坏。

在溢流坝投入运行前, 对过流面的不平整度进行全面检查, 在坝面上有超过“无空蚀坡度”控制指标的凹凸面, 且面积较大, 采用砂轮打磨方式处理, 将给施工带来许多麻烦, 且影响 1992 年汛期工程投入初步运行, 因而研究决定先不作处理, 看实际运行以后有无空蚀破坏再采取工程措施。运行至今已 5 年, 坝面仍然安全无恙, 未作打磨削平。又给工程节省了一笔资金。

归结上述部位不发生空蚀破坏的根源, 是由于在采用宽尾墩联合消能过程中, 水流掺气浓度足以确保建筑物过流面不受空蚀破坏的危害。在坝顶俯视泄洪现象, 就可以看见闸室两侧宽尾墩处, 水翅隆起而后交汇, 在坝面陡坡段形成一个口径 2 m~4 m 不断吞吐白色“烟雾”的空腔, 使水流在高速运动中得到充分的掺气量, 为工程带来了经济效益与工程效益。

6.3 确保主体工程安全, 为电站提供良好运行条件
溢流坝投入运行以后, 即使在 1993 年出现过异常流态, 也没有给消能工造成结构性的破坏。根据逐年水下地形测量对比, 在消力库尾坎附近, 河床比建坝前淤高 1 m~5 m, 近厂坝导墙左侧, 局部被冲的深度不足 2 m, 导墙基础有 5 m 安全余度。最大冲刷坑是在建筑物基础以外, 不威胁主体工程安全。

水流在消力库内消能充分, 库后出流平顺, 主流归槽, 即使在厂坝导墙末端, 河面成倍扩宽, 在厂房尾水渠内, 由于表孔泄洪而形成的回流强度不大, 尾水渠内无严重泥沙淤积而影响发电出流。

采用联合消能后的库式消力池, 在正常运行时可以观察到, 宣泄小洪水时为淹没底流, 大流量时为淹没库流, 因出库水流流速、动量小, 即使下游水深较低, 也不致出现挑流, 库后没有水面二次跌落而产生的巨大涌浪 (试验测到涌浪跌落极差由 9.6 m 降为 1.8 m 的消能效果), 与模型试验流态是相吻合的。下游波浪减小见图 2, 厂房尾水波动也相应变幅较小, 为电站出力保持稳定, 提供了良好条件。

7 在工程运行实践中消除疑虑

7.1 关于闸墩振动

在设计提出把宽尾墩联合消能技术应用于岩滩

(5) 使产生库流流态所需尾水深度, 比采用联合消能前降低 2.1 m~3.2 m, 避免汛期流态频繁演变。

(6) 减少闸门槽、溢流堰顶、消力库尾坎等部位过流时的负压值, 利于防止空蚀破坏。

6 工程投入运行后显示的效益

6.1 为工程节约投资

岩滩与下游大化水电站, 溢流坝采用同一范畴的消能方式。若以 5 年至 10 年一遇洪水标准计算护岸, 相应洪水流量 $Q = 15\,000\text{ m}^3/\text{s} \sim 18\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 两工程的水位落差 H 及过堰最大单宽流量 q 分别是: 岩滩 $H = 38.5\text{ m} \sim 41\text{ m}$, $q = 140\text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$; 大化为 $H < 3\text{ m}$, $q = 101\text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 。岩滩下游护岸范围, 是根据工程投入运行以后, 观察下游流态来确定护至坝轴线以下 1 300 m, 正和大化电站下游岸长度相同。这就充分说明采用联合消能产生的经济效益。

依据联合消能效果, 在工程施工时, 左岸 7 孔消能工底板及下游导航墙, 长度比原设计缩短 69 m; 右岸厂坝导墙建基面高程抬高 3 m; 下游护岸以增加 200 m 作为不使用联合消能前护岸长度; 在扣除用于增设宽尾墩及防止泄洪雾化雨扩散挡墙所需工程量之后, 则净省混凝土 1.98 万 m^3 , 土石方 5.65 万 m^3 , 钢筋 226 t, 按工程开始投入运行时的单价计算, 因应用联合消能技术所节省的投资不低于 400 万元。

6.2 收缩射流强化水流掺气, 避免产生空蚀破坏

1992 年汛期, 溢流坝是在无闸门控制条件下自由溢洪的。1993 年汛期, 坝顶工作闸门安装尚未就绪, 上游洪水预报系统未健全, 7 个表孔, 可泄洪只有 5 个。其中 4 孔无闸门, 5 孔闸门不具备运行条件。7 月 7 日凌晨以后, 数小时内来水流量由 3 640 m^3/s 暴涨到 12 480 m^3/s , 4 孔曾一度出现宽尾墩收缩射流干冲库池底板, 水舌在库坎后腾空而起, 溅水

工程时,人们担心由于用宽尾墩促使水流相互剧烈碰撞、掺混,必将加大紊流脉动压力,它对坝面以上高度31 m~45.5 m厚度为5 m的闸墩,由脉动压力激发的结构振动,是否威胁着建筑物的安全?

通过模型试验及原型实际流态观察表明,宽尾墩体形设计合理,闸室内流线是渐变的,连续的,没有出现强烈冲击波,试验测得宽尾墩壁面水流脉动压力均方根值很少超过10 kPa。在岩滩工程宽尾墩的位置较高,应用联合消能技术后,闸孔宽度缩窄近一半,泄洪时形成收缩射流,在同闸及相邻孔之间水舌互相碰撞;收缩射流和库池内水体的互相掺混、碰撞;库池内产生库流水跃等,激发起远远大于二元水流所产生的紊流脉动压力,然而产生上述最强烈的水流碰撞区,被宽尾墩收缩射流推出闸墩范围以外,即使在校核流量,水跃也不能进入闸室,这就避免了闸墩在泄洪过程中出现有害振动。诱发闸墩振动的主要因素,是泄流时闸室内急流紊流边界层的脉动压力作用而引起的,它与前述收缩射流在高速中互相碰撞、掺混、剪切所产生的脉动压力,在性质上和量级上有巨大差别。在模型试验及原型测到闸墩顶部最大振动位移值,前者不足0.5 mm(不计墩顶混凝土桥面板约束),后者不到0.2 mm,均少于允许振幅。再从共振方面分析,试验测到水流脉动压力的主频率不超过0.1 Hz,而闸墩的自振频率为2 Hz左右,两者相差甚大,水流不会诱发建筑物结构产生共振破坏。经实际运行证明,闸墩安全是得到保障的。

7.2 关于泄洪雾化降雨危害

在国内外尚无宽尾墩联合消能工程实例可以引证的情况下,工程技术人员普遍担心,因过坝水流先收缩,后扩散坦化坠落过程中,水体互相碰撞掺混,紊动比传统消能方式剧烈,由此产生有脱离了水舌表面的“抛洒雨”;水舌间碰撞而产生的“激溅雨”;小粒径水滴微珠在大气来流及泄洪水舌风作用下,在坝区上空飘逸、扩散而形成的“雾流”等,这些“雨雾”落到与消力库仅一墙之隔的右岸电站厂房,估计造成的危害有三方面:泄洪雾化降雨量太大,超过厂房抽水能力,导致水淹厂房;雾化雨使输电线路开关跳闸,影响交通;红水河汛期水流含泥量大,雨滴挟带泥浆在坝区降落,把大坝、厂房、设备都渲染上黄泥。设计为了保护设于厂坝之间开关站和主变设备安全运行,在厂坝隔墙顶部,根据过坝水舌形状,设置高15 m(5.191 m至5.206 m)的梯形挡墙,兼作厂坝交通道。通过泄洪“雾化”模型试验测试,在有挡墙后厂区泄洪降雨径流量仅为 $1.002 \text{ m}^3/\text{h}$,设计洪水时,测点最大雨强从 13.098 mm/h 降为 1.818

mm/h 降雨量远远小于厂房原设计抽水能力。

在数年实际运行中观察表明,由于挡墙存在,将泄洪产生的抛洒雨、激溅雨及雾流约束在消力库一侧,这些雨雾是阵发性地升腾,随风向而变,在近宽尾墩末端的挡墙顶上,赶上甚者可顿时领略到“风雨交加”,淋湿衣着,但持续时间不会超过3 min,其分布也是局部的,“暴雨中心”主要集中在挡墙与5.217 m高程交通桥交汇处。据实地察看,这种降雨在厂房开关站的地表不形成径流,洒落到主厂房顶更是稀少。

从原型水力现象分析,由于加了宽尾墩库池水面升高而相对使落差减少,过坝流程缩短,水体掺气量增加,减小水体质点在碰撞过程中的质量与“刚度”,增加库池水垫的“柔度”,这些因素的存在,对水滴飞溅和雾化雨扩散,具有缓冲和削弱的作用。此外由于宽尾墩后水舌扩散坦化坠落与下游水面连接,竖向向液面连续,不同于挑流消能把水流往空中高速抛射,流程长,水舌风大,水舌充分解体分离所产生的雾化降雨。岩滩电站在采取防护措施之后,能确保电厂安全运行。

7.3 关于库池底板结构安全

“用宽尾墩,消能效果是好的,就是消力库的底板受不了。”这是80年代初设计讨论中的一种看法,即担心宽尾墩收缩射流水舌“砸”坏了底板。根据脉动压力试验测得宣泄设计洪水时,在闸孔中心线上库首反弧段附近的脉动压力均方根值为 $23.8 \text{ kPa} \sim 51.7 \text{ kPa}$,是不加宽尾墩前1.3倍~2.4倍,但在水平段以后脉动压力却减少且变化平缓,只要形成淹没库流,其变化规律也相似。将脉动压力与时均压力变化进行比较就发现:增设宽尾墩后脉动压力的增值,是时均水压力增值的 $1/4 \sim 1/9$,所以反而使底板的抗浮稳定安全度提高了。从脉压力分布来看脉动压力最大值集中在库首反弧段上,即底板与坝体分缝线以前,最强的脉动压力是作用在完全可以承受的坝体上,底板上脉动值已明显减弱。

如果在运行调度上,不依据科研设计所提出的方法,将上下游水位,下泄流量与闸门开度进行合理的匹配,致使下游出现非淹没库流或淹没底流流态,则在底板水平段脉动压力会急剧增高,有害于底板的安全。先进技术还必须与科学的操作管理相结合,才能发挥先进技术的作用,故胡作非为的错误调度不在讨论之列。

通过几年实际运行体会到,只要底板与岩基之间有足夠的锚固力,正确处理底板施工缝之间的连结,确保浇筑混凝土形成整体,过流面混凝土具有抗冲刷

磨能力,底板安全是有保障的。岩滩库池底板在 1993 年汛期经受了一次收缩射流“干砸”的严重考验,表明结构设计是成功的。



图 2 泄洪时下游流态

Fig. 2 The downstream flow condition when flood was discharged

8 结语

在高水头、大流量、窄河谷、深尾水、泄洪能量大而集中的岩滩水电站消能防冲设计中,抓住了以提高消能效果为主要手段,用增加较少的混凝土量,将闸墩尾部改造成体形简单而新颖的宽尾墩之后,根本地改变了常见溢流坝面及消力库的水流结构,促使过坝水流自身在高速运动中互相碰撞、掺混、剪切和大量掺气,在剧烈的紊动中将大量流水动能消杀在范围不大的消能工本体(库池)之中,所产生的效果是:降低库池内外流速、增加库池水深与时均压力,利于提高库池底板抗浮稳定安全度,削减下游波浪高度,削弱水流对河床的冲刷能力和岸边回流强度,避免常遇中小洪水流量时下游流态多变,提高泄水建筑物过流面抗空蚀破坏能力,因显著改善整个下游流态而简化了护岸工程,节省工程投资,为发电和航运提供良好运行条件,成功地解决库流消能中波浪对工程危害的难题。通过数年实际运行,逐步消除对应用联合消能的疑虑,从中得到启迪,表明了设计科研团结协作,

利用宽尾墩联合消能方式来处理岩滩溢流表孔的消能与防冲两者相互关系上,是正确的!

上述工程效益,经济效益与社会效益的获得,归根到底是由于成功地应用了我国在水工水力学方面首创的联合消能新技术,在库流方面打破过去单一消能型的传统方法,从二元水流消能跨入三维空间水流消能所带来的丰硕成果

致谢

广西水电科学研究所周才力等同志从 1978 年就展开了岩滩库式消力池及用宽尾墩联合消能的试验研究,相继中国水利水电科学研究院水力学所、南京水利科学研究院水工研究所、河海大学等单位都为岩滩表孔溢流消能进行试验研究,数十人长期辛勤细致工作,为工程提供丰富技术资料,是应用联合消能的科学依据;工程投入运行是科研、设计、施工共同劳动的成果,特此致谢!

参考文献

- 1 广西水电科学研究所. 岩滩水电站溢流坝消力库消能试验初步总结. 泄水建筑物消能防冲论文集. 水利出版, 1981.
- 2 Zhou Caili, Lou Bingzhu, Zhu Hongfen. An approach to energy dissipation with bucket basin. Proceedings of ISH-HD (国际高坝水力学会议). Nov, 15- 18, 1988, Beijing, China.
- 3 Lou Bingzhu, Zhou Caili. Effectiveness and application of energy dissipation in a bucket basin combined with flaring gate piers. Proceedings of 7th Congress APD- IAHR (第七届亚太地区国际水力学会议), November, 1990, Beijing.
- 4 罗秉珠. 宽尾墩与库式消力池联合消能在岩滩水电站的应用. 水力发电, 1993, (2).
- 5 谢省宗, 宋荣林, 李世琴等. 宽尾墩库式消力池联合消能工水力特性研究. 水利学报, 1992, (2).
- 6 周 辉, 陈惠玲. 岩滩水电站表孔泄洪雾化试验研究, 泄水工程与高速水流论文集. 成都科技大学出版社, 1994.
- 7 罗秉珠, 闭多能. 岩滩宽尾墩库式消力池泄洪调度, 泄水工程与高速水流论文集. 成都科技大学出版社, 1994.

(责任编辑: 蒋汉明)