

小浪底水利枢纽的初期运行

唐红海,王全洲,许 滔

(小浪底水力发电厂,河南 济源 454681)

摘要:总结了小浪底水利枢纽投运初期的水沙情况、孔板洞原型观测试验、调水调沙试验和枢纽的安全监测情况,介绍了大坝防渗、转轮裂纹问题的处理方案,总结了枢纽在防洪、防凌、减淤、供水和发电等方面发挥的作用。试验和对监测资料的分析表明,枢纽运行稳定,孔板洞设计合理、消能效果显著,各部位建筑物性态稳定,发挥了巨大的综合效益。

关键词:枢纽初期运行;原型观测;调水调沙;综合效益;小浪底水利枢纽

中图分类号:TV61 文献标识码:B 文章编号:1006-7647(2006)02-0056-03

Initial operation of Xiaolangdi Multipurpose Hydro Project//TANG Hong-hai, WANG Quan-zhou, XU Tao(Xiaolangdi Hydropower Plant, Jiyuan 454681, China)

Abstract: A brief introduction was given to the water-sediment situation and safety monitoring during the initial operation of the project, prototype observation and model test of orifice tunnel, water and sediment diversion test, measures for seepage control and treatment of the runner cracks. The functions of the hydro project in flood control, ice prevention, sediment reduction, water supply, and power generation were summarized. The analysis of test result and monitoring data shows that the hydro project is stable in operation, the design of orifice plates is reasonable, the effect of energy dissipation is evident, and the performance of each part of the construction is stable. The Xiaolangdi Multipurpose Hydro Project has generated great comprehensive benefits.

Key words: initial operation of the project; prototype observation; water and sediment diversion; comprehensive benefit; Xiaolangdi Multipurpose Hydro Project

小浪底水利枢纽位于河南省洛阳市以北黄河中游最后一段峡谷的出口处,控制黄河 92.3% 的流域面积,近 100% 的输沙量和 87% 的水量,是一座以防洪、防凌、减淤为主,兼顾供水、灌溉和发电效益的综合性的特大型枢纽控制工程。经过监测资料分析,枢纽投入运行以来运行稳定,在防洪、防凌、减淤、供水、发电等方面均发挥了显著的作用。

1 枢纽初期的运行情况

1.1 水位情况

枢纽投入运行以来,最低运行水位 191.76 m (2001 年 7 月 27 日),最高运行水位 265.69 m,距离设计最高水位仅 9.31 m(2003 年 10 月 15 日)。库水位运行过程曲线见图 1。

1.2 水沙运行情况

2000~2004 年年均入库水量 179.17 亿 m³,年均入库沙量 4.21 亿 t,与 1978~1982 年统计的年均入库水量(342.2 亿 m³)和年均入库沙量(9.0 亿 t)相比,2000~2004 年均均为严重枯水枯沙年,见表 1^[1]。

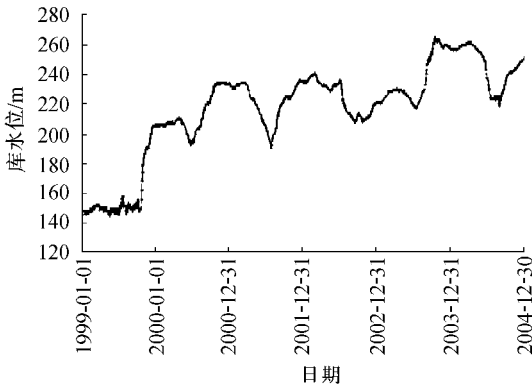


图 1 库水位运行过程曲线

表 1 小浪底水利枢纽水沙运行情况

年份	入库水量/ 亿 m ³	出库水量/ 亿 m ³	入库沙量/ 亿 t	水库淤积/ 亿 t	下游减淤/ 亿 t
2000	182.14	152.60	3.57	3.815	2.29
2001	156.12	155.32	2.94	2.816	2.31
2002	153.20	189.82	4.48	2.100	2.09
2003	237.37	215.73	7.75	4.890	5.88
2004	167.00	206.67	2.32		
年均	179.17	184.03	4.21	3.415	3.14

作者简介:唐红海(1975—),男,湖南邵东人,工程师,从事水力发电厂运行管理工作。E-mail: tanghonghai@xiaolangdi.com.cn

1.3 孔板洞原型观测试验

1.3.1 试验历程

2000 年 4 月 25 ~ 27 日 ,水库水位 210.00 m ,对 1 号孔板洞进行了首次孔板洞的过流原型观测试验。2000 年 11 月 8 日 ,水库水位 234.23 m ,对 1 号孔板洞进行了第二次孔板洞的过流试验 ,2004 年 6 月 20 ~ 21 日 ,水库水位 260.00 m ,对 2 号孔板洞进行了第三次孔板洞的过流原型观测试验。

1.3.2 试验内容

①孔板段和孔板洞侧壁时均压力与脉动压力观测 ,计算三级孔板的消能水头及消能系数 ;②孔板洞段与中闸室水流空化噪声检测 ;③弧形工作闸门流激振动观测 ;④左岸山体振动观测 ;⑤中闸室掺气浓度及底流速、通风风速、时均及脉动压力 ;⑥结构应力应变观测。

1.3.3 试验结论

经过观测分析 ,认为孔板洞设计合理 ,施工成功 ,消能效果显著 ,3 次试验结果基本一致。过流中未见空蚀迹象 ,混凝土应力变化处于正常变化范围 ,结构及山体振动微弱 ,证明孔板洞泄洪是安全的。

1.4 调水调沙试验

小浪底水库经历了 3 次调水调沙试验 ,根据试验取得的成果 ,2005 年转入调水调沙正式运行阶段 ,见表 2。

表 2 小浪底水库调水调沙试验水库运用情况			
调水调沙	时 间	水库泄水量/亿 m ³	水库泄沙量/万 t
第一次 (2002 年) ^[2]	7 月 4 日 9 时至 7 月 15 日 9 时	26.10	3 184.2
第二次 (2003 年) ^[3]	9 月 6 日 9 时至 9 月 18 日 18 时	18.25	7 400.0
第三次 (2004 年) ^[4]	6 月 19 日 9 时至 6 月 29 日 0 时 7 月 2 日 12 时至 7 月 13 日 8 时	45.26	43.7
生产运行 (2005 年) ^[5]	6 月 9 日 0 时至 7 月 13 日 8 时 6 月 16 日 9 时至 7 月 1 日 5 时	约 38	约 540

1.5 闸门运用情况

小浪底水利枢纽泄洪用事故闸门和工作闸门共 31 扇 ,闸门启闭累计 3 012 次 ,年平均动作 548 次 ,其中主要动作发生在调水调沙期间。

1.6 枢纽监测情况

a. 原型观测。根据监测结果 ,大坝变形呈现出整体性和一致性的工作性态 ,测值连续并趋于稳定 ,在空间分布上呈现出良好的规律性 ,内部变形和外部变形在一定程度上得到相互验证 ,属正常变形。进水塔、泄洪系统、进出水口高边坡、消力塘、左岸山体、地下厂房的观测数据连续、完整 ,满足安全监测和分析的要求 ,各部位建筑物工作性态稳定 ,未见异常。

b. 渗漏水质监测。主坝防渗墙、大坝心墙和灌浆

帷幕前后的渗透压力监测结果表明 ,垂直防渗体系的防渗效果良好 ;右岸 1 号排水洞的渗漏水量与原水位变化呈现一致性 ;左岸地下水位分布满足设计要求 ;4 号、28 号、30 号排水洞及厂房顶拱的渗水量和左岸渗水总量在同水位条件下呈逐年递减趋势 ,尤其经 2004 年下半年左岸补强灌浆防渗漏效果更为显著。

c. 水库泥沙测量。从 2002 年开始 ,每年汛前汛后均开展了库区泥沙大断面测量工作。小浪底库区布设有 174 条淤积测试断面 ,2 个水沙因子站 ,6 个水位站 ,坝前漏斗区加密布设了 35 条断面。根据测量结果 ,1999 年 10 月水库下闸蓄水后共淤积泥沙 14.8 亿 m³ ,库区纵向淤积形态为三角洲淤积 ,横向淤积在距坝 51.87 km 以下呈平淤状态。

d. 地震监测^[6]。从监测情况来看 ,库区地震震级在 1 ~ 3 级的较多 ,大于 3 级的地震震次较少。其中最小震级 0.6 级 ,最大震级 3.4 级(发生在 2002 年 3 月 22 日三门峡南村)。从目前情况来看 ,水库尚无明显诱发地震的迹象。

1.7 问题处理情况

a. 大坝防渗处理。枢纽蓄水后 ,两岸坝肩及地下厂房顶拱的渗漏水量偏大 ,并随库水位的升高渗漏水量升高明显。这引起了有关方面的高度重视 ,将其作为重大技术问题专门研究。采取同位素示踪和物探法查找左岸集中渗漏通道 ,对渗水量大的排水孔加装控制阀门和流量计 ;与三门峡水库联合调度在库尾形成异重流加速对渗漏通道的泥沙淤堵作用。同时进行了帷幕补强灌浆、化学灌浆、封闭 F₂₈ 断层入渗途径等一系列综合措施 ,使帷幕的防渗能力有了较大的提高。副坝渗漏和坝基渗漏路径专题研究正在进行中。

b. 转轮裂纹问题。电厂投运初期 6 台水轮机转轮叶片不同程度出现裂纹 ,经多次研究、试验 ,采取在叶片靠上冠出水边处加焊 300 mm × 300 mm 的不锈钢三角块体以提高安全系数 ;在机组启动前补入压缩空气消除开机时由水力弹性脉动与旋转轴系统联合作用产生的扭振(抖动) ;修整出水边 ,消除由转轮叶片出口边卡门涡与转轮固有频率引起的共振。经过几年的运行考验 ,机组的运行状况良好 ,不再有裂纹的发生。

2 枢纽综合效益

枢纽建成后提高了黄河下游的防洪能力 ,基本解除了下游凌汛的威胁 ,在一定时段内遏制了黄河下游河床淤积的态势 ,通过调节黄河的径流量 ,提高下游灌溉供水保证率 ,枢纽在电力系统中承担调峰任务 ,

并发挥了良好的生态效益。在实现水利部提出的“堤防不决口、河道不断流、水质不超标、河床不抬高”黄河治理开发目标中,小浪底水利枢纽发挥了不可替代的作用。

2.1 防洪

小浪底与三门峡、陆浑、故县水库联合运用,并利用东平湖分洪,可使黄河下游花园口站 $22\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 洪水的重现期由 60 年一遇提高到千年一遇。2003 年,由于华西秋雨的影响,中下游干支流相继发生了 10 余次洪水过程,但通过小浪底与下游水库的联合调度,黄河下游未发生大的洪灾。

2.2 防凌

小浪底水库拥有的 20 亿 m^3 的防凌库容,基本解除了黄河下游凌汛的威胁。

2.3 减淤

黄河为害,根在泥沙,病在淤积。黄河是世界上含沙量最大的河流,多年平均含沙量 37.6 kg/m^3 ,多年平均输沙量 13.51 亿 t。每年将 4 亿 t 泥沙堆积在下游河道里,使下游河床每年抬升 10 cm,成为地上悬河。2002~2004 年进行的三次调水调沙送入渤海的泥沙达 2.568 亿 t,下游河槽过流能力由调水调沙试验前的 $1\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 提高到 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$,使黄河下游淤积萎缩严重的冲水河槽重新塑造和恢复^[7]。利用小浪底水库拥有的 75.5 亿 m^3 淤沙库容拦沙 100 亿 t,可使黄河下游河床 20 年内不淤积抬高,减少两三次大堤加高费用。

2.4 供水、灌溉

枢纽运行以来,为缓解黄河下游的旱情和保证生产生活用水,累计供水 889.5 亿 m^3 ,平均每年增加约 20 亿 m^3 的调节水量,确保下游人民的基本用水需求。

2.5 发电

小浪底水利枢纽装机 6 台,每台 30 万 kW,是河南电网中理想的调峰电站。小浪底电厂自 2000 年首台机组投产以来,发电量呈逐年提高的态势。2000 年发电 6.07 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,2001 年发电 27.53 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,2002 年发电 32.86 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,2003 年发电 36.68 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,2004 年发电 50.15 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,累计发电 153.29 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,有效缓解了电网用电紧张局面,为促进社会经济发展做出了贡献。

2.6 生态环境

小浪底水利枢纽的环境保护与工程建设同步进行,环保投资超过 2 亿元。施工区进行了大面积绿化,植树 150.7 万株,重点建设了坝后保护区和小南庄防护林工程,库区环境大大改善。水库蓄水后,库

区水质得到明显改善,为鱼类和其他水生生物提供了适宜的生存环境。

2.7 下游不断流

黄河断流将导致河道萎缩、水生生物减少、湿地减少、海岸线蚀退加快。1972~1998 年的 27 年里,21 年黄河下游出现了断流。黄河三角洲蚀退面积约 280 km^2 ,农业大幅度减产,甚至绝产,河道泥沙淤积严重,河槽变浅萎缩,黄河三角洲生态环境恶化、种群消失^[8]。自小浪底水库蓄水以来,初步扭转了黄河长期断流的严重局面,实现了黄河连续 6 年不断流,逐步恢复了人与自然的和谐关系,产生了较大的社会政治影响力。

3 结 语

小浪底水利枢纽倾注了几代人的心血,经历了 10 余年的建设,现已进入正常运用期。从 5 年的运行情况看,枢纽运行稳定安全,发挥了巨大的综合效益,达到了枢纽设计的目标和要求。枢纽运行管理过程中也积累了大量的运行资料,总结了宝贵的管理经验,可为类似工程的运行管理提供借鉴。但应该看到,枢纽运行时间还不够长,运行观测资料还不够丰富,枢纽还没有经历最高蓄水位的考验,泥沙问题、渗漏问题、水库调度问题、水电矛盾问题等许多技术课题还需要进一步的研究和探讨,给小浪底水利枢纽管理人员留下了广阔的研究空间。

参考文献:

- [1] 覃谷昌,林秀山.工程建设与管理综述[C]//殷保合.黄河小浪底水利枢纽工程:第一卷:建设管理.北京:中国水利水电出版社,2004:11.
- [2] 李国英.黄河首次调水调沙[J].科学,2003,35(1):3-6.
- [3] 廖义伟,赵咸榕.2003 年黄河调水调沙试验[J].人民黄河,2003(11):26.
- [4] 李国英.黄河第三次调水调沙试验[J].人民黄河,2004(10):5-6.
- [5] 李平.2005 年黄河调水调沙水库调度阶段结束[EB/OL].(2005-07-01).<http://www.shuiwen.net/show.aspx?id=2398&cid=22>.
- [6] 文成玉,李珍,刘强中,等.小浪底水库遥测地震台网的初期运用[J].北京:水力发电,2004,30(9):61.
- [7] 黄河调水调沙试验成果达国际领先水平[EB/OL].(2005-01-25).http://www.yellowriver.gov.cn/lib/hhxx3/2005-01-25/jj_180051109558.html.
- [8] 黄河连续五年未断流,下游河流生态状况开始好转[EB/OL].(2005-01-11).<http://www.zjol.com.cn/05china/system/2005/01/10/004148954.shtml>.

(收稿日期 2005-06-28 编辑 骆超)