

龚嘴水库泥沙淤积与水轮机磨损

10
33-36

黄国辉

(龚嘴水力发电总厂, 四川乐山 614900)

TV697.22
TK7308

摘要:分析了龚嘴水库的运用与泥沙淤积发展情况,介绍了在检修中观测到的水轮机磨损情况并分析了原因,阐述了综合治理水轮机磨损损坏的对策与措施。

关键词:龚嘴水库;运用方式;泥沙淤积;水轮机磨损;原因分析;探讨

中图分类号:TV697.2+2;TV734.1;TK730.5+3

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(1999)04-0033-04

1 前言

龚嘴水电站是大渡河梯级开发的第一期工程,按高坝设计、低坝施工,以减缓与成昆铁路的矛盾。低坝运行设计期限为15年。

水库运用至1986年底以后,已超期服役运行至今达12年。随着库区泥沙淤积的进一步发展,推移质泥沙逐步向坝前逼近,粗颗粒泥沙过机的磨损加重,危害迫在眉睫,其前景不容乐观。为了保库、保安全运行好本电站,探讨综合治理库区泥沙淤积与水轮机磨损的对策措施尤为重要和必要。

2 水库运用与泥沙淤积

2.1 水库运用情况

龚嘴水库正常蓄水位528m,相应初始库容3.45亿m³;校核洪水位530m,相应初始库容3.737亿m³;死水位520m,相应初始死库容为2.432亿m³;520~528m供调节使用的初始有效库容1.018亿m³;回水影响范围42.0km。

水库调度运用方式有两个控制因素:

(1)在距坝33.74km的成昆铁路沙坪一号闸处,铁路路基高程为538.03m,是最低控制段,要求在设计期限的15年内泥沙淤积所抬高的百年一遇洪水位不影响铁路安全。

(2)电力系统需要水库保护0.96亿m³的调节库容以供长期使用。

水库从1971年10月蓄水至今,其运行情况可分为三个时期,现分述如下:

(1)运用初期(1971年10月~1978年10月即)水库低水位运用期。多年平均坝前水位521.18m。

(2)库水位按时段调度运用期(1978年10月~1985年初)。1978年,坝前水位首次蓄水至528m,至此,坝前水位开始按划时段调度运用。

(3)汛期按入库流量分级调度库水位运用期(1985年汛期至今)。1985年~1989年,在试运行研究总结后,经省电力局批准,从1989年正式列入运行计划,汛期按入库流量分级调度坝前水位运用。

2.2 库区泥沙淤积发展状况

龚嘴水库的入库悬沙以三角洲型式向坝前推进,对应水库的分时期运用,其淤积发展过程可分为四个阶段,现分述如下:

(1)三角洲形成阶段(1971年3月~1978年11月)。

该阶段入库悬沙以三角洲型式逐年向坝前推进,库尾淤积向上游延伸。1978年底,泥沙淤积三角洲洲头推至GK31号断面处,推进库长10.55km,约占总库长的1/4,见表1。库区累积淤积量1.289亿m³,总库容损失34.5%,调节库容损失2.06%,见表2。粒径大于1mm的粗沙推进至距坝12.169km的GK31号断面,库尾沙坪一号闸(GK81号断面)距坝33.74km处,同级入库流量下水位比原天然情况平均抬高0.92m。

(2)三角洲洲头出库阶段(1978年11月~1984年12月)。

1983年,三角洲洲头推至坝前于汛期出库,见表1。至1984年12月,库区累积淤积量达2.123亿m³,总库容损失56.8%,520m高程以下的库容损失85.0%,调节库容损失5.19%,尚存0.96亿m³,基本维持设计要求,见表2。粒径为1mm的粗沙推进至坝前GK01号断面,库尾沙坪一号闸处,同级入库流量下水位比原天然情况平均抬高1.87m。

(3)沉沙库容丧失殆尽阶段(1984年12月~1992年11月)。

收稿日期:1999-08-05

此阶段淤积以侵占沉沙库容为主。至1992年11月,库区累积淤积量达2.381亿 m^3 ,总库容损失63.8%,沉沙库容损失92.8%,调节库容损失12.0%,仅存0.895亿 m^3 可供调节使用,见表2。粒径为1.15mm的粗沙竟推进至坝前仅137.5m的GK0+5号断面处。建库以来,泥沙在沙坪一号洞GK81号断面总淤积抬高4.07m,已严重威胁成昆铁路最低控制段的安全运行。

(4)淤积近基本平衡阶段(1992年11月至今)。

此阶段沉沙库容已基本淤满,库区再造河床形成,淤积以侵占调节库容为主。汛期河槽已基本失去

表1 龚嘴水库三角洲发展情况统计表

施测年月	洲面顶点位置		顶点推进位置	备注
	断面号	距坝里程/km	/km	
1973-04	GK55	22.72		
1973-11	GK53	21.69	1.03	
1974-11	GK49	19.74	1.95	
1975-11	GK43	16.74	3.00	
1977-04	GK37	14.44	2.30	
1977-11	GK33	13.07	1.37	
1978-11	GK31	12.17	0.90	
1979-11	GK28	11.11	1.06	
1980-11	GK18	7.11	3.40	
1981-11	GK14	6.36	1.35	
1982-11	GK12	5.45	0.91	
1983	坝前	0	出库	发生在汛期

表2 龚嘴水库历年累积库容损失百分率统计表

施测年月		1971-03	1973-11	1974-11	1975-11	1977-11	1978-11	1971-03~1978-11			
高程 /m	520	库容	0.86	18.7	22.3	32.4	45.2	52.1	51.2		
	528	损失	0.61	13.4	15.9	23.2	32.2	37.4	36.8		
	530	百分率	0.56	12.4	14.7	21.5	29.8	34.5	33.9		
	520~528	/%	0	0.69	0.59	1.08	1.08	2.06	2.06		
施测年月		1979-11	1980-11	1981-11	1982-11	1983-11	1984-12	1979-11~1984-12			
高程 /m	520	库容	58.1	65.7	72.2	77.6	82.6	85.0	32.9		
	528	损失	42.0	47.5	52.3	56.1	59.7	61.4	24.0		
	530	百分率	38.2	43.9	48.3	51.8	55.1	56.8	22.3		
	520~528	/%	3.44	4.28	4.59	4.64	4.73	5.19	3.13		
施测年月		1985-11	1986-11	1987-11	1988-11	1989-11	1990-11	1991-11	1992-11	1984~1992	
高程 /m	520	库容	87.2	87.6	88.2	89.6	90.8	91.1	91.9	92.8	7.80
	528	损失	63.4	63.8	64.3	65.9	67.0	67.3	68.1	69.0	7.60
	530	百分率	58.6	58.9	59.5	60.9	61.9	62.2	63.0	63.8	7.00
	520~528	/%	6.65	6.83	7.37	9.36	10.4	10.6	11.2	12.0	6.91
施测年月		1993-11	1994-11	1995-11	1996-11	1997-11	1998-11	1992-11~1998-11			
高程 /m	520	库容	92.5	93.0	94.0	94.2	94.1	93.1	0.30		
	528	损失	69.3	69.5	70.7	71.0	71.1	70.4	1.40		
	530	百分率	64.0	64.3	65.3	65.6	65.7	65.0	1.20		
	520~528	/%	13.8	13.4	15.1	15.8	16.2	16.1	4.10		

沉沙、调沙作用。至1998年11月,库区累积淤积量竟达2.43亿 m^3 ,总库容损失65.0%,沉沙库容损失93.1%,调节库容损失16.1%,仅存0.854亿 m^3 可供调节使用,见表2。

3 水轮机磨损情况

3.1 清水期的水轮机磨蚀

1971年10月蓄水至1983年间,三角洲淤积洲头并未出库,时段内过机泥沙较少,泥沙出库率仅21.7%~53.4%,颗粒粒径也较细。1982年过机泥沙仅591万t,过机泥沙的中值粒径为0.015~0.025mm,所以,该时段内水轮机磨蚀较轻微,见表3。

表3 龚嘴电站水轮机轮叶气蚀情况统计表

检修日期	机号	运行小时/h	气蚀总面积/ m^2	平均深度/mm	气蚀指数/ $10^{-4}mm \cdot h^{-1}$	气蚀级别
1973-01-10	2F	5 520	0.956 6	9.6	0.280 5	II
1974-03-19	4F	6 082	1.083 1	8.0	0.214 8	II
1975-01-28	3F	14 450	1.855 0	7.0	0.151 5	II
1976-01-04	2F	17 105	0.396 7	8.3	0.034 8	I
1977-01-24	1F	22 690	0.254 1	12.5	0.023 6	I
1978-12-05	3F	13 332	1.257 2	8.6	0.136 8	II
1979-12-04	6F	10 568	1.345 3	4.71	0.101 1	II
1980-12-01	5F	17 919	0.890 0	10.86	0.090 9	II
1981-02-16	4F	20 135	0.183 0	4.71	0.007 2	I
1983-01-24	3F	24 806	0.338 5	11.5	0.026 46	I

以3号机为例:1983年1月31日检查时无明显磨蚀痕迹,基本上是以局部气蚀为主,呈明显蜂窝状,发生部位在叶片迎水面边缘和正面尾部,局部有5~8 mm的线状槽痕,单个叶片的最大气蚀面积为0.154 m²。

3.2 浑水期水轮机的磨蚀损坏

1983年汛期,三角洲淤积洲头出库后,沉沙库容所剩无几,过机泥沙数量猛增,泥沙颗粒粒径也明显粗化。实测1985年过机泥沙达1250万t,过机最大粒径达1.72 mm,至此,水轮机开始进入严重的磨蚀损坏期。

在1985年底3号机大修中发现:仅叶片在一个大修周期内(3年),出现大面积磨蚀沟槽,14个叶片磨蚀损坏的总面积达10.42 m²,气蚀指数上升为 0.7094×10^{-4} mm/h,这与清水期气蚀面积0.07~1.85 m²、气蚀指数 $0.0022 \times 10^{-4} \sim 0.1515 \times 10^{-4}$ mm/h相比,增大了约10倍。由此可见,粗沙过机的磨蚀损坏威力日趋明显。

转轮轮叶的磨蚀区域见图1。

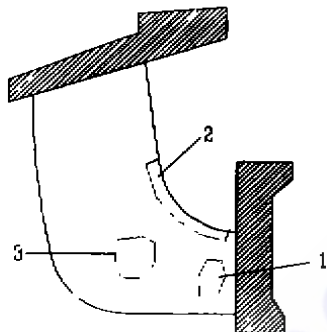


图1 轮叶磨蚀区域示意图

又如1987年12月,在5号机大修中发现:叶片在一个大修周期内(3年),仅13号叶片区域1的磨蚀面积就达0.315 m²(相当于清水期14个叶片在一个大修周期内的气蚀总面积),5号叶片区域2的磨蚀面积达0.048 m²,8号叶片区域3的磨蚀面积达0.028 m²,最大磨蚀深度在8号叶片区域3处竟达25 mm,在5号叶片区域1处达24 mm,叶片出水边的磨蚀面积高达0.39 m²,呈明显蜂窝状和面积沟槽状,沟槽长达400 mm,沟深在10~30 mm之间,厚约20~30 mm的1号叶片出水边被磨成了锯齿形。

另外,在底环等部位也存在大面积的沟槽,进一步显示出了泥沙对水轮机磨蚀损坏的破坏力。

目前,龚嘴水库已进入超期服役期,因沉沙库容基本淤满后,泥沙对水轮机的磨损不可避免。1987年以来,在历次大修中发现的水轮机磨蚀损坏程度大同小异,在1987年的基础上基本处于维持状态。

4 水轮机磨蚀损坏原因分析

根据以上资料证明水轮机的磨蚀现象为:在叶片正面或背面的磨损、气蚀区出现鱼鳞坑,在鱼鳞坑的始端往往出现垂直叶片表面的气蚀针孔,有针孔的地方必有鱼鳞坑。这种情况说明:当叶片的表面受磨损而形成鱼鳞坑时,则易形成脱流而产生气蚀;当气蚀严重发展时,针孔则联成一片而形成蜂窝状,促使磨损加剧。所以,磨损与气蚀是互为先导、相互促进的。并且,从鱼鳞坑排列的形态来看,其排列方向基本上与过流部件水流方向一致,鱼鳞坑的大小、密度也有一定规律,与过机水流的含沙量、泥沙颗粒的粗细有着密切关系。这又说明鱼鳞坑是叶片上层流附面层波动的烙印,而附面层波动时,伴随波动的泥沙磨蚀金属,从而产生更为严重的鱼鳞坑和大面积的沟槽。所以,鱼鳞坑和大面积沟槽是水流与泥沙相互作用的产物。

当然,水轮机磨蚀损坏的原因和影响因素较多,但以上实测资料证明:水轮机磨蚀损坏严重的主要原因之一是过机泥沙问题。

5 前景展望

龚嘴水库蓄水运用至今已超过27年(超期服役达12年之久),在近期无望实现枢纽大坝加高条件下,库区泥沙淤积将继续发展,特别是推移质淤积不断向坝前逼近,前景日趋严峻,主要有以下几点影响:

(1)对成昆铁路的安全运行有威胁。推移质淤积洲面不断淤高上延,沙坪一号坝GK81号断面河床逐年抬高,致使该断面水位逐年抬高。近期如遇特大洪水即可能水淹铁路路基最低控制段,难以确保该段铁路的安全运行。

(2)对水库调节性能有影响。目前,沉沙库容已基本淤满,汛期河槽完全失去沉沙、调沙作用,近似天然河道,水库调节库容仅剩0.854亿m³,根据发展趋势,淤积还将主要侵占调节库容(见表4、图2),将大大降低水库调节性能,减少发电效益。

表4 龚嘴水库分时段库容损失百分率对比表

高程 /m	时 段	
	1971年~1986年(15年平均)	1986年~1998年(12年平均)
520	5.84	0.46
528	4.25	0.55
530	3.93	0.51
520~528	0.46	0.77

注:表中累积库容损失百分率数据均为%。

(3)粗颗粒泥沙过机对过流部件的破坏。汛期按入库流量分级调度库水位运用方案有利有弊,虽确实起到了保库调沙作用,但同时也加快了推移质淤

积向坝前推进的速度。1998年11月,在距坝10.757 km的GK27号断面,实测淤积物最大粒径已达17.5 mm。预计推移质淤积推进至坝前的时间不会

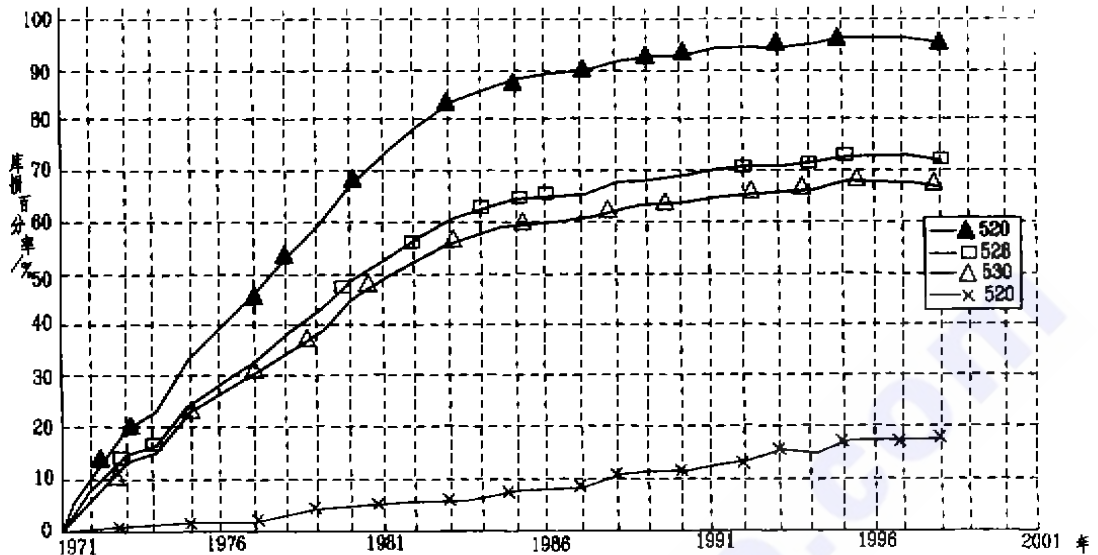


图2 龚库逐年库容损失百分率曲线图

太长,届时,对水轮机已不再仅仅是单纯的磨蚀损坏问题,而是撞击破坏问题了。

(4)对龚站出力的影响和对厂房安全的威胁。龚嘴水库淤积趋于基本平衡后,大量泥沙直接排入铜街子水库,致使铜库库尾段淤积抬高,相应库尾段水位抬高,减小龚站发电水头,直接影响龚站机组的出力,近期如遇百年一遇特大洪水,水淹厂房的危害不得不防。

6 对策探讨

(1)根本解决龚嘴电站工程泥沙问题,维持正常发电,尽快修建上游瀑布沟水库是唯一途径,因此,

仍然需要多渠道呼吁瀑布沟水库尽快上马。

(2)控制推移质淤积向坝前推进。若在2005年内无望在上游兴建瀑布沟水库,预计推移质淤积在5年左右将到达坝前。建议尽快研究在适当位置修建拦沙坝以减缓粗颗粒泥沙过机对水轮机的破坏。

(3)加强水轮机抗磨技术的研究。1987年以来,采用堆焊不锈钢打磨为主,辅以角落镶边技术和涂抹环氧抗磨材料技术,已起到明显效果。建议进一步与科研单位合作研究优化抗磨材料和施工技术。

作者简介:

黄国辉(1965年—),男,四川乐山人,龚嘴水力发电总厂专责工程师,从事水电站水文测验工作。

四川省电力工业局投资450万元兴建的全国首家卫星

卫星测报为岷江流域防洪度汛大显身手

水情测报系统——映秀湾至太平驿卫星测报系统,在今年汛期为岷江流域防洪度汛发挥了重要作用,洪峰预报精度达到95%以上。

今年岷江上游地区持续阴雨,从6月中旬到7月中旬的1个月时间内,映秀湾相继发生了3次较大洪水,3次洪峰预

报流量分别为:1460 m³/s、1395 m³/s、1880 m³/s,实测洪峰流量最大值分别是:1400 m³/s、1406 m³/s和1950 m³/s,预报精度分别达95%、99%、95%。水情测报及时准确,为映秀湾、太平驿、渣子溪、耿达等电站安全运行或停机避峰提供了可靠的保障。

映秀湾水力发电总厂 董洪 陈敏

(上接第22页)

护、免值守的技术改造目的;整套系统及外围自动化元件均具有较强的室外防护能力,完全能够满足“无人值班(少人职守)”的要求。1999年1月,由四川省电力公司组织的专家鉴定委员会对该装置给予了高度评价;具有明显的经济效益和社会效益,有广泛的

推广应用价值,对水电厂的自动化进程起到了积极的推动作用。

作者简介:

江为民(1965年—),男,重庆江津人,龚嘴水力发电总厂检修公司工程部专责工程师,长期从事水电厂自动化改造工作。
蔡军海(1957年—),男,重庆荣昌人,龚嘴水力发电总厂检修公司副总经理,工程师,长期从事水电厂电气设备检修及管理工作。