浅析夏特水电站泥沙综合处理措施研究

王斌¹, 王海岩²

(1. 克州新隆能源开发有限公司, 新疆 克州 845450;

2. 长江委水利水电工程监理中心, 河南 信阳 464399)

摘要:夏特水电站位于新疆克孜勒河中游河段, 电站发电水头高, 河段泥沙含量大, 泥沙硬度高, 进机组泥沙量大, 电站防沙排沙及水轮机抗磨蚀成为工程关键技术问题。如若处理不好将导致水轮机过流部件磨蚀严重, 从而导致水轮机效率下降, 造成机组维修周期大大缩短, 过流部件频繁返厂修复等问题, 将直接造成电站运维、检修成本的增加。电站从枢纽、引水系统的排沙、防沙措施和水轮机抗磨蚀设计及水电站的运行管理维护方案等最基本点切入进行研究分析, 形成泥沙综合处理综合措施。

关键词:多泥沙; 高水头; 水电站; 水轮机; 磨蚀

中图分类号: TV74; TV145+.3; A715

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)01-0043-04

Study on the Comprehensive Treatment Measures of Sediment in Xiате Hydropower Station

WANG Bin¹, WANG Haiyan²

(1. Kezhou Xinlong Energy Development Co., LTD, Kezhou, Xinjiang, 8455402;

2. Water Conservancy and Hydropower Engineering Supervision Center of Changjiang Water

Resources Commission, Xinyang, Henan, 464399)

Abstract: Xiате Hydropower Station is located in the middle reaches of Kizile River in Xinjiang. The power station has high power generation head, large sediment content in the river section, high sediment hardness and large amount of sediment at the intake. Sand prevention and sediment discharge and anti-wear of hydraulic turbine become the key technical problems of the project. If not handled properly, the flow passage parts of the turbine will be seriously abraded, resulting in the decline of turbine efficiency, greatly shortening the unit maintenance cycle, frequent return of flow passage parts for repair and other problems, which will directly increase the operation and maintenance cost of the power station. This paper conducts research and analysis from the most basic points such as the sediment discharge and sand prevention measures of the hydropower project and diversion system, the anti-wear design of the hydraulic turbine and the operation, management and maintenance scheme of the hydropower station, so as to form comprehensive sediment treatment measures.

Key words: high sand content; high head; hydropower station; turbine generator; abrasion

1 概述

塔日勒嘎、夏特、八村水电站工程为克孜河中游河段梯级电站, 开发方案为一库三级开发, 即塔日勒嘎水库大坝, 三个引水式厂房——塔日勒嘎、夏特、八村。塔日勒嘎坝址、位于克孜河中游, 坝址以上无已建水电工程。夏特厂房位于塔日勒嘎坝址下游约 24.5 km 处, 靠河滩布置, 接塔日勒嘎厂房发电尾水。

克孜河属喀什噶尔水系, 发源于吉尔吉斯斯坦境内海拔 6 048 m 的特拉普齐亚峰, 河流全长 445.5 km, 我国境内长约 371.8 km, 河流走向由

西向东, 下游经过平原灌区, 消失于塔克拉玛干大沙漠。克孜河中游山地带两岸山体裸露, 植被稀疏, 气候干燥, 物理分化作用强烈, 当有暴雨发生时, 两岸风化、风积的沙质堆积物冲入河道致使含沙量沿程不断增大。

塔日勒嘎坝址控制集雨面积 10 381 km², 多年平均流量 61.7 m³/s, 多年平均悬移质含沙量 6.2 kg/m³, 多年平均悬移质输沙量 1 174 万 t, 多年平均推移质输沙量 58.7 万 t, 多年平均输沙总量 1 233 万 t, 平均粒径为 $D_{pj}=0.0676$ mm, 最大粒径 $D_{max}=1.13$ mm, 小于 0.05 mm 的颗粒含量为 70.2%, 泥沙硬度高, 石英质含量为 30~

收稿日期: 2022-01-10

45%、长石含量为15~25%,对水库防沙及机组磨蚀极为不利^[1]。

由于河流泥沙含量大,泥沙硬度高,导致进机组泥沙量大,造成电站水轮机过流部件磨损严重,机组维修周期大大缩短,过流部件频繁返厂修复等问题,将直接造成电站运维、检修成本的增加。夏特水电站通过综合研究电站防沙排沙及水轮机抗磨蚀的处理措施,有效降低了机组过机泥沙,提高了机组使用效率,增加了电站运行收益。水电站泥沙综合处理措施不仅解决了夏特电站开发中的技术难题,也为相似类型电站建设提供了借鉴。

2 水电站泥沙处理措施

2.1 水利工程中沉沙工程措施

水利水电工程中常用水沙分离技术主要有沉沙池、螺旋流排沙涡管和排沙漏斗等。自上世纪五十年代开始,新疆水利工程上基本全采用从原苏联引进的曲线型沉沙池,以及少数厢型沉沙池。由于曲线型沉沙池只能排除粒径大于5 mm的粗颗粒泥沙,其排除的泥沙仅为入渠泥沙的40%左右;厢型沉沙池处理的泥沙颗粒要比曲线型沉沙池处理的泥沙颗粒细,可工程造价要昂贵得多,其截沙率与曲线型沉沙池都差不多。这两种沉沙池存在的一个共同问题是已排沙耗水量都要占到引水量的30%左右,这对于水资源紧缺的新疆乃至我国整个西部干旱地区,已不适合。新疆从上世纪七十年代末开始,已不再建曲线型沉沙池,厢型沉沙池亦极少修建。

螺旋流排沙涡管是在渠道底部安装一根顶部开口且与水流流向有一夹角的涡管,利用水流流入管内所形成的平轴螺旋流,将落入管内的推移质泥沙卷起并排到渠外。排沙涡管的试验研究和原型观测发现,细颗粒的泥沙容易越过涡管开口输向下游,而颗粒较粗的泥沙如卵石等则易掉入管内,造成涡管的淤积和卡堵,特别是其对水流条件的要求较严格,仅当渠道水流的 $F_r=0.7\sim 0.8$ 时,排沙效果较好。因此排沙涡管在工程应用中受到一定的限制。

漏斗式全沙排沙技术是新疆农业大学水利水电设计研究所发明的一种高效节水节能的排沙技术。该技术是通过试验研究和工程应用而获得的一项既可排除推移质泥沙又可排除悬移质泥沙的

全沙排沙技术^[2]。

2.2 同类型电站对比分析

(1)大盈江水电站(四级)位于云南省德宏州盈江县境内的大盈江干流上。水库正常蓄水位585.0 m,死水位583.5 m,正常蓄水位对应库容为15.99万 m^3 ,死水位对应库容为12.41万 m^3 ,为引水式电站。电站最大水头329 m,加权平均水头303.15 m,额定水头289 m,最小水头286 m。电站安装5台机组,单机容量175 MW,总装机容量875 MW。电站多年平均含沙量0.446 kg/m^3 ,实测最大含沙量9.25 kg/m^3 ,沙的主要成份为金钢砂。

2013年在距发电引水洞进口约3.0 km位置增设一约200万 m^3 的沉沙池,采用不定期排沙。2013年4月沉沙池投入运行。该电站2013年5~12月份沉沙池建成后大坝进水口平均含沙量0.698 kg/m^3 ,含沙量最高为7月,通过沉沙池沉降后,尾水平均含沙量0.26 kg/m^3 。坝址来水总体上泥沙颗粒以0.1~1 mm为主,粒径小于0.1 mm、大于1 mm泥沙相对较少。整体上泥沙粒度分布相对比较均匀,没有大颗粒的砾石出现,以泥沙为主,其中值粒度约在0.1~0.3 mm之间。尾水泥沙颗粒以0.03~0.2 mm为主,泥沙粒度分布均匀,没有较大石子出现,泥沙粒度小,中值粒度约在0.04~0.08 mm之间,并且泥沙颗粒粒度出现区域比较集中。

同时,该电站还选取50份2013年7~10月份代表性泥沙样本,对其进行沉降率实验,除去泥沙脉动对水流中泥沙粒度的影响,坝址来水泥沙沉降率7月份约75.89%、8月份约77.23%、9月份约66%、10月份约47.38%。由实验结果可见,在汛期坝址来沙沉降率约在66%~90%以上,沉降效果较好。而在枯水期来水、来沙量较小,泥沙粒度也相对较小的情况下,主要以粉沙、泥土为主,其沉降率只能维持在20%左右。

因此,沉沙池在汛 come 水和来沙较大时对坝址来沙具有很好的沉降作用,在平水期和枯水期对坝址来沙的沉降作用一般。

(2)同类电站对比。对比2010年~2014年新疆喀什一级、四川南桤河三级、云南瑞丽江一级、大盈江四级等电站相关参数,同类电站参数统计表见表1^[3]。

表 1 同类电站参数统计表

主要参数	四川南桤河三级电站	南端丽江一级电站	大盈江电站	夏特电站
装机容量 MW	3×40	6×100	5×175	4×62
多年平均发电量 / 亿 kW·h	6.53	38	—	8.786
年利用小时 /h	—	6 330	—	3 543
水轮机型号	HL004-LJ-210	HLA351a-LJ-280 (长、短叶片)	HL* * *-LJ-380 (长、短叶片)	HL* * *-LJ-280 (长、短叶片)
最大水头 /m	290	330.1	—	280
额定水头 /m	265	299	289	250
转轮直径 /m	2.1	2.8	3.8	2.8
额定流量 /m ³ ·s ⁻¹	17.8	37.62	68.1	28.2
水轮机出力 /MW	41.24	102	178.6	63.52
额定转速 /r·min ⁻¹	500	428.6	300	333.3
单位流量 /m ³ ·s ⁻¹	0.248	0.277 5	0.277	0.227
单位转速 /r·min ⁻¹	64.5	69.4	67.1	59
比转速(mkW)	95	110.1	106.4	84.5
比速系数	1 546	1 903.8	1 809	1 336
多年平均含沙量 /kg·m ⁻³	12.9(汛期)	0.76	0.446	6.2
经处理后过机泥沙含量 /kg·m ⁻³	0.782	0.34	0.26	1.684
经处理后 $d>0.05$ mm 过机泥沙含量 /kg·m ⁻³	0.422($d>0.1$ mm)	0.123	0.15	0.131
现正常运行时间	4 年	3~4 年	4 年	—

由表 1 中统计参数可知:夏特电站水轮机的最大水头、额定水头、额定转速、单位转速、单位流量、比转速、比速系数均小于四川南桤河三级电站、云南端丽江一级、大盈江四级电站水轮机的参数,汛期通过塔日勒噶电站工程水库冲、排沙,虽然夏特电站总过机泥沙含量仍大于以上电站,但其 $d>0.05$ mm 的过机泥沙含量已小于以上电站,而且夏特电站 $d>0.25$ mm 的过机泥沙含量基本为 0。

2.3 夏特水电站泥沙综合处理措施

夏特电站从上一梯级塔日勒噶厂房尾水直接取水,结合塔日勒噶电站过机泥沙情况,夏特水电站从泥沙特性研究角度出发,借鉴对比国内外排沙沉沙先进技术应用,采用数学模型和物理模型等研究方法,研究确定了科学合理的上游水库排沙调度运行方式、电站引水系统泥沙处理方案和水轮机抗磨蚀技术措施:

(1) 针对夏特水电站发电水头高、过机泥沙含量大、硬度高等特点,运用数学模型、物理模型、原型观测、工程验证试验和水轮机抗磨技术等研

究方法,对枢纽布置、水库泥沙特性、水库淤积和调度排沙、排沙漏斗、沉沙池、水轮机抗磨蚀处理进行分析研究,形成了梯级电站多泥沙综合处理技术措施即“以库代池、合理避沙、机组抗磨”。

(2) 采用二维水沙数学模型,选用 1990~1998、2000 年 10 年流域水沙资料系列,按来水大于 200 m³/s、225 m³/s、250 m³/s 三个分界流量时停机敞泄排沙运行方案,对塔日勒噶水电站水库进行冲淤分析计算。对应三个方案,水库均约 10 年达到初步淤积平衡,剩余有效库容分别为 993 万 m³、857 万 m³ 和 700 万 m³;水库淤积平衡后,夏特水电站运行 10 年平均过机含沙量分别为 1.44 kg/m³、1.68 kg/m³ 和 2.03 kg/m³,大于 0.05 mm 的泥沙分别占 6%、8% 和 11% 左右。综合分析确定塔日勒噶水库的水库调度模式:当上游来流量大于 200 m³/s 时停机敞泄冲砂来确保水库始终发挥“以库代池”的作用的前提下,夏特水轮机组采取以上一系列措施后能够平稳、安全、连续运行^[4]。

(3) 针对多泥沙河流 300 m 级高水头水轮

机,结合工程验证试验,对多泥沙河流,适当降低水轮机参数水平,针对过机泥沙特性,夏特电站采用400 m水头段水轮机转轮、适当降低水轮机参数,取得良好效果。导叶上下轴颈部位采用大圆盘结构并设置防泥沙密封,导叶采用不锈钢电渣熔铸;转轮、导叶、底环、顶盖上的抗磨板、止漏环等过流部件均选用具有优良抗泥沙磨蚀性能的不锈钢材料制造,满足转轮叶片、导水叶片、抗磨板的硬度要求不低于260HB。为延长机组大修间隔或使用寿命,对固定导叶、活动导叶、蜗壳及尾水管等部件,考虑一定的磨蚀余量,适当加厚。对水轮机过流表面采用喷涂工艺,提高水轮机过流表面硬度,有效地提高水轮机的抗磨蚀能力。水轮机过流部件选择粉末火焰喷涂方式,并针对本电站水轮机转轮长短叶片结构型式,流道狭小,喷涂操作较为困难问题,采取针对性的喷涂方式,有效保证喷涂质量,并防止喷涂过程中引起转轮部件产生有害变形。

3 结 语

能源的可持续发展事关经济发展、社会稳定和国家安全。水电作为技术最成熟的可再生能源,具备大规模开发的技术和市场条件。我国水电开发主要集中在西部地区,但西部地区河流泥沙含量大,常导致水轮机的气蚀、磨蚀比较严重。

夏特水电站从泥沙综合处理技术的最基本点切入分析,根据国内外目前关注的多泥沙河流泥沙研究方法及进程,分析泥沙产生机理、泥沙特性指标,结合电站开发的特点,通过理论研究、物模模拟试验、数模计算、水轮机抗泥沙磨损技术和相似工程调研等研究,提出具有针对性的泥沙综合治理措施,解决了夏特电站开发中的技术难题,为相似类型电站建设提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 杨百银,等.新疆克孜河夏特水电站工程泥沙及水轮机抗磨蚀处理方法咨询报告[R].克州新隆能源有限公司,2015.
- [2] 王斌,等.夏特水电站排沙漏斗可研报告[R].克州新隆能源开发有限公司,2010.
- [3] 胡正福,朱红,陈璐.新疆卡死噶尔河流域克孜河中游河段夏特水电站工程泥沙及水轮机抗磨蚀处理方案[R].克州新隆能源有限公司,2015.
- [4] 张楠,王斌.高水头水电站多泥沙处理技术综合研究成果报告[R].克州新隆能源开发有限公司,2018.
- [5] 付元初,等.高水头水电站多泥沙处理综合研究科技成果鉴定证书[R].克州新隆能源有限公司,2018.

作者简介:

王 斌(1979-),男,辽宁沈阳人,工程师,现任职于克州新隆能源有限公司,从事水电站工程建设管理工作;

王海岩(1972-),男,吉林双辽人,工程师,现任职于长江委水利水电工程监理中心,从事水电站金属结构及机电设备制造安装监督管理工作。

(责任编辑:吴永红)

长龙山抽水蓄能电站4号机组投产发电

2022年3月1日23时45分,三峡集团所属三峡建工浙江长龙山抽水蓄能电站(以下简称长龙山电站)4号机组顺利完成15天考核试运行,正式投产发电。长龙山电站共设计安装6台抽水蓄能机组,这是第4台顺利实现投产发电的机组,也是该电站2022年投产发电的首台机组。

目前,长龙山电站5号机组正在进行无水调试,6号机组总装工作也在有序推进,预计今年6月底实现全部机组投产发电。4号机组于2021年12月29日开始启动调试,先后进行发电方向试验、抽水方向试验、工况转换试验、涉网试验等共计约60项试验项目。2022年2月15日,完成所有调试工作,进入15天考核试运行。

4号机组安装调试过程中,由长龙山公司、监理单位、安装调试单位、设备厂家等各参建单位组成的调试团队认真总结已投产3台机组的经验,成功实现了抽水和发电两个旋转方向“零配重”。

在“零配重”情况下,4号机组抽水方向摆度小于80微米,发电方向小于100微米,达到精品机组要求。表明该机组在研发设计、制造加工、安装偏差控制等每一个环节均做到了精益求精。

长龙山电站位于浙江安吉,地处华东电网负荷中心,总装机容量210万千瓦,全部机组投产后年平均发电量可达24.35亿千瓦时,是华东地区最大的抽水蓄能电站,主要承担华东电网调峰、填谷、调频、调相及紧急事故备用等任务,对于优化华东地区电源结构、改善华东电网运行条件、促进新能源发展、助力构建新型电力系统、服务国家能源安全战略具有重要意义。4号机组投产发电后,长龙山电站在运机组容量达到140万千瓦,调节能力和灵活运行潜力得到进一步加强,对提高华东电网运行的“弹性”和“韧性”起到积极推动作用。截至3月1日24时,长龙山电站累计在电网用电高峰及时发电出力超过9.8亿千瓦时,在用电低谷抽水填谷耗电约12.7亿千瓦时,为华东电网平稳运行贡献三峡力量。

(来源:三峡小微)