

# 大风影响下白鹤滩水电站缆机运行安全管理探究

王化恶

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 610000)

**摘要** 缆机系统是白鹤滩水电站大坝混凝土浇筑系统中的关键设备, 也是整个坝体混凝土浇筑的重要手段, 其运行是否正常将直接影响整个白鹤滩水电站工程的进度。大型缆机集群的运行存在着一定的安全隐患, 可能会造成一定的工程损失, 尤其是在大风影响下, 这种水电站缆机运行安全管理就显得更加重要。白鹤滩项目多年来7级以上的大风天气占65.5%, 建设部门就如何采取有针对性、可靠的安全管理措施来保证缆机的安全运行非常重视, 并积累了丰富的经验。本文对白鹤滩水电站施工缆机的使用和管理方法进行了探讨, 以期为白鹤滩水电站相关工程建设中的缆机使用管理人员提供借鉴。

**关键词** 大风影响 白鹤滩水电站 缆机运行 安全管理

中图分类号: TV7

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)12-0087-03

白鹤滩水电站是金沙江下游四川省宁南县、云南省巧家县的一座水电站, 它的主要开发方向是发电, 同时还具有拦沙、发展库区航运、改善下游通航等多种功能, 白鹤滩水电站的装机容量达14000兆瓦, 该工程的主体结构包括拦河坝、泄洪消能大楼、导流电站等。为了能完成810万方的混凝土浇筑和126000吨的金属构件的吊装, 本项目共设置了7个30吨的水平移动缆机, 构成了目前全球最大的缆机集群。白鹤滩水电站7条缆机采用高线和低线双线结构, 其中高线设3台, 低线设4台缆机, 与设于左岸高834米平台、泄洪洞进口768米平台的高、低线输送平台相匹配, 其缆机运行的安全管理工作是工程建设中的重中之重。

## 1 白鹤滩水电站的缆机运行研究背景介绍

2011年7月4日, 中国长江三峡公司在金沙江白鹤滩三期工程上游段的投标中中标, 中标金额为3451.850万元。金沙江白鹤滩水电站位于金沙江下游, 地处四川省宁南县与云南省巧家县接壤, 是西电东送的重要枢纽。电站位于巧家镇45公里处, 上邻溪洛渡梯级, 下邻溪洛渡水库, 距溪洛渡水电站195公里, 控制流域413.03平方公里, 是金沙江流域91.0%的区域。白鹤滩水电站大坝约260公里, 电厂预选水位825公尺、795公尺、765公尺、765公尺, 库容205.1亿立方米, 可调节库容104.36亿立方米, 可控蓄5.38亿立方米, 预选装机1305亿千瓦, 总装机420万千瓦, 多年平均发电569亿度, 该电厂的建设周期为3年半,

发电周期为10年7个月, 工期为12年2个月, 该项目的静态总投资为655亿元。白鹤滩水电站工程征区包括四川省宁南县、会东县、巧家县、会泽县、东川区、禄劝县等6个县(区)。建设用地面积9.4万亩, 涵盖了一座四级电站(装机144万千瓦)和一座尾电厂(0.313万千瓦)。2005年, 白鹤滩工程初步设计了初步设计方案, 2006年5月底通过了国家发展改革委的验收。白鹤滩水电站工程已进入可行性论证, 预计于2009年底竣工, 白鹤滩水电站左岸单台缆机最大发电能力为1900千瓦左右, 白鹤滩水电站右岸单台缆机的最大功率为2000千瓦左右。

## 2 白鹤滩水电站大型缆机群的建设特点

白鹤滩水电站位于干热河谷地区, 常年大风7级, 风速达到240天, 最高风速可达到13级。在恶劣的气候条件下, 缆机作业班组顺利地完成了吊装作业, 确保了施工的安全和进度。白鹤滩水电站缆机组从2017年3月投入使用以来, 已经安全操作22.98万台, 往返近一百万次, 设备的完好率达到99.84%, 累计完成了3000余万吨物料及设备的起吊运输工作, 其中混凝土吊运量达827.92万立方米, 创造了同类机械安全运行时长及混凝土吊运量两项的世界纪录。

白鹤滩水电站大坝是一座300公尺的双曲特高拱坝, 坝高289米, 共分31个坝段进行浇筑, 共完成了803万立方米的混凝土浇筑, 建筑面积是胡夫金字塔的三倍以上。根据白鹤滩大坝的设计需求, 共设置7台

平移缆机，“双平双层”结构，3台高线，4台低线，是目前全球最大的一组缆索，每个缆机标称重量30吨，用9立方米的水罐进行垂直输送。缆机是大坝施工的关键设备，它担负起大坝混凝土和设备材料的吊装工作，被称为“空中走廊”，赢得了同行业的赞誉。白鹤滩水电站的主缆系统是按高程、高程和高程设计的，跨度都在1000米以上。其自身结构复杂，相互干扰较大，在大风环境中运行的时间较长。白鹤滩坝区的气象数据显示，全年白鹤滩坝区年平均有239次7级以上的大风，占全年总天数的65.5%。因此，白鹤滩水电站受到大风天气的影响，可能会影响到水电站缆机的正常运转，甚至影响到大坝浇筑的进度、质量和安全。缆机集群既要在有限的空间上交叉、联合运行，又要与邻近的塔机运行保持一定的安全距离，对设备运行的安全性和防撞性有很高的要求。高处缆机主索与低送料平台高度相差160米，而下层缆机主索与低进给平台高度相差约100米，缆机在取料时摇摆幅度大，可能会在大风的影响下出现难以稳罐、落罐等实际施工问题<sup>[1]</sup>。

### 3 大风对白鹤滩水电站缆机运行影响的分析

研究者以《白鹤滩水电工程缆机吊钩摆动与风速的测量系统研究》为依据，对不同风速、不同坝段、不同高度的吊罐摇摆进行了观测和数据分析后得知，白鹤滩坝区年平均有239次7级以上的大风，这是由天然气候造成的，每年平均有65.5%。大风天气对钢索的使用和浇筑进度、质量和安全都有很大的影响。为了保证缆机的高效率运转，必须采取相应的措施，减少大风对缆机的影响。白鹤滩水电站坝位区属亚热带季风区，大风季节分布较大，据气象资料分析，白鹤滩水电站所处地区大风多集中于1月到4月，10月到12月，7级以上日极大风速主要分布于11月到次年5月，8级以上日极大风速主要分布于1月到3月，9级以上日极大风速主要分布于1月到2月。白鹤滩水电站坝体混凝土竖向输送采用7台30吨的水平移动缆机，采用高、低线双层结构，高线3个，低线4个。本文通过白鹤滩水电站大风作用下缆机的试验研究，白鹤滩水电站初步结果表明：在空罐工况下，16米/秒的最大摆距为9.69米，平均摆动距离为7.55米，在重油罐工况下，20米/秒的最大摆距为9.03米，平均摆距6.81米，按《水利水电工程缆索起重机安全操作规程》DL/T5266-2011的规定，在6级(13.8米/秒)以下的大风工况下，可正常工作。在大风天气中，由于罐体的摆动幅度比较大，会对缆索的正常工作产生一定的

影响，从而使缆绳的工作效率下降，易出现罐体与罐体、罐体与周边人员、设备、模板等，因此，白鹤滩水电站缆机工作人员经过研究发现，在大风天气下，物料发生碰撞时，应采取相应的措施，以减少对白鹤滩水电站缆机运行的影响<sup>[2]</sup>。

## 4 大风条件下白鹤滩水电站缆机安全管控优化措施

### 4.1 大风条件下缆机安全运行强制性措施

根据白鹤滩水电站坝区大风特点和大风对缆机运行影响分析，结合白鹤滩水电站缆机运行的实际情况，研究者对大风条件下缆安全运行加以规定，认为应该做好大风条件下的安全运行强制性管理。

#### 4.1.1 风速对缆机设备本体的安全影响规定

白鹤滩水电站缆机缆索风速计(设在缆索辅助塔中的风速计)的实测风速(3秒内的平均瞬时风速，下同)低于24.5米/秒(9级)。在缆索风速计测量的风速为24.5~283米/秒(10级)时，缆索必须严格按照非正常工况操作(缆机不能行走，小车和牵引机构仍能正常工作)。在缆索风速计测量的风速超过28.3米/秒时，缆索应立即停用，并进行锁紧。

#### 4.1.2 大风对缆机吊运安全影响规定

当风速低于13.8米/秒(6级)时，白鹤滩水电站缆机设备可以正常工作。当速度为13.9~171米/秒(7级)时，混凝土浇筑工作正常，吊运、金结机械停止吊装。当风速为172~20米/秒时，普通仓面可继续浇筑，吊索和拖绳单动作操作，严禁行走小车，狭长的仓面、异型仓面的浇筑、零活吊送的中止。当风速超过20米/秒(9级)时，白鹤滩水电站所有起重机都要停止运行，缆机缆索要做好防风工作，并进行紧急锁定。

#### 4.1.3 相邻缆机安全距离规定

当风速小于13米/秒(6级)时，白鹤滩水电站高平台的两个缆机在接近时，最小主索间距为10米，当两个缆机在低台附近时，主索之间的最小间距是12.5米，在不同的平台上，两个缆机在使用时，主索之间的最小安全间距是8米。当白鹤滩水电站风速为13~17.1米/秒时，高平台的两个缆机接近时，主索之间的最小间距为15米，当两个缆机在低台附近时，主索之间的最小间距是15米，在不同的平台上，两个缆机在使用时，主索之间的最小安全间距是10米。当风速为172~20米/秒时，高平台的两个缆机在接近时，主索之间的最小间距为20米，当两个缆机在低台附近时，主索之间的最小间距是20米，在不同的平台上，两个缆机在使用时，白鹤滩水电站缆机主索之间的最

小安全间距是15米<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 加强缆机设备本体管理,提高缆机运行效率

为了更好地提高白鹤滩水电站缆机的利用率,提高缆索的使用效率,可以采取如下措施:执行严格的经营和管理体系,实施白鹤滩水电站缆机维修管理制度,实施缆机机长负责制,实行缆索维护的程序管理。推进规范化运作流程,建立紧急情况下的紧急维修机制,设立足够的备用零件储备,强制白鹤滩水电站监督系统的实施。在此,我们将对执行严格的经营管理体系作一个具体的阐述,缆机机长可以定期进行监督,并总结白鹤滩水电站缆机的实际运行情况,做好工作记录。白鹤滩水电站缆机工作组工作人员应该实行严格的经营管理体系,制定相关的制度,实施强制维护制度,以定期和随机抽查的形式,对缆机的操作、维修、维护进行监督,维护工作是否符合缆机设备的要求。对缆机设备进行定期和不定期的抽查,及时采取强制措施,以排除影响设备安全的潜在危险,提高缆机的完成率。定期检查缆机设备,缆索是一种特殊的设备,为了避免出现安全事故,必须定期对其进行安全检查。上下游斜拉钢线牵伸检验,其目的是为了避免缆机运料车在承受较大的动力作用时,上下游牵线也将左右摆动而磨损钢丝,造成牵伸断裂,缆机起升机鼓轮上的钢索检验,其目的是为了防止在起重过程中,起重轮上的钢丝绳互相摩擦,从而导致钢索断裂。

#### 4.3 掌握白鹤滩水电站缆机故障处理方法

为了保证吊运作业的安全,施工单位编写了《白鹤滩水电站30t缆索式起重机吊运作业安全标准手册》,从标准化使用、标准化操作、标准化信号指挥、标准化吊运程序等方面入手,进一步细化和规范了吊运作业程序,消除了潜在的安全隐患或风险,确保吊运安全。机器的故障更容易被发现,但是处理的时间相对较长,一旦被发现,白鹤滩水电站缆机机组施工人员就必须快速地处置。这对机电工程师和维修工人的技术水平都有很高的要求,他们不仅要熟悉机械传动的结构和原理,还要懂得电气的调速和控制原理。白鹤滩水电站运行时缆机自身存在的问题是不可避免的,但随着使用一段时间后,缆机的缺点就会显露出来<sup>[4]</sup>。要进一步分析和研究缆机的工作原理,进行大量的实验,提出可行的方案,并进行改进。对关键部件进行技术管理,例如:缆机承台的技术管理,由电气和机械工程师负责。

“故障信息表”虽能提供一定的资料,但也不能涵盖所有的问题,而且一次故障的原因很多,可能会让缆

机维修维护人员在处理相关故障的时候顾此失彼。因此,缆机工作组成员首先要对缆索的性能有一定的了解,其次要有丰富的经验,再利用“故障信息表”中的数据,通过排除方法,逐一排除故障,直至找到问题的根源。通常,当出现错误时,目标是清楚的,并分析造成这种错误的原因,这样才能找到一些特定的地点。这样一来,缆机维护人员发现问题就简单多了。

经过多年的工作经验总结,白鹤滩水电站缆机故障解决方法一般有如下几点:首先要检查电源是否正常,然后对硬件进行故障排除。施工人员可以衡量有些部件可以手工制作,例如带有试验手柄的中间继电器,结合以往的工作经验,想办法绕过并屏蔽部分的控制电路,例如:外部的探测元件。在排除了外部的可能性后,根据下面的方法和步骤来发现问题。检查故障类型,缆机维护人员要查阅“故障信息表”,并观察PLC的指示灯,当PLC没有出现故障时,可以通过对PLC输入输出状态的检查,找到问题所在,首先输出,然后输入相关数据<sup>[5]</sup>。

### 5 结论

综上所述,随着现代信息技术的全面发展,白鹤滩水电站缆机工作组可以结合大风预警系统、移动设备APP天气预报预警平台等,将大风的信息及时发送到控制室、缆机驾驶室,提前做好防风准备。缆机维护小组及时做好相应的防风准备,施工人员和技术人员可以根据白鹤滩工程的大风特性,分析大风对缆机群组的影响,并根据白鹤滩水电站现场混凝土浇筑的实际情况,坚持缆机安全部件事前、事中、事后管控的原则,使得白鹤滩水电站缆机组件即使是在大风的影响下也能保证运行始终处于安全受控状态。

### 参考文献:

- [1] 杨洁冰.亭子口水电站生产现场设备设施安全管理[J].四川水利,2021,42(06):74-75.
- [2] 李冠军,张玉炳,柏海骏.基于云服务架构的水电站安全管理移动应用系统研发与实践[J].水利水电快报,2021,42(07):74-79.
- [3] 刘涵.混凝土大坝缆机运行的风力工况安全性研究[D].宜昌:三峡大学,2021.
- [4] 倪建光.农村水电站运营的安全管理分析[J].河南水利与南水北调,2020,49(12):29-30.
- [5] 夏凡.水电站风险控制和安全管理对策[J].通讯世界,2018(06):178-179.