

浅谈草头坪电厂进水口清污机改造

何艳玲

广西三聚电力投资有限公司 广西 柳州 545000

摘要:草头坪电厂拦污栅正常运行时栅前栅后水头落差0.5米,机组运行一定的时间后水头损失逐渐增加,当测量落差较大时立即需要停机清理拦污栅垃圾。草头坪电厂清理拦污栅垃圾的方法是,首先将机组停机,然后通过启闭机将拦污栅提出水面,由人工将栅体上附着的杂物剥下来放到清污浮排上,最后把杂物运到地面进行焚烧。对电站经济效益有较大影响。为此,选择了回转式清污机,其更有利于提高电站经济效益。

关键词: 回转式清污机; 改造; 拦污栅

1 工程概况

草头坪电厂是一座低水头河床径流式水电站,是淘江河梯级开发利用的最末一级电站,上连厘金滩电厂,下接融江麻石电厂,主要由左岸接头坝、低水头无调节河床式电站厂房拦河闸坝、右岸重力坝和开关站等建筑物组成。电站总装机容量为 $2 \times 14 \text{N}$,水轮机型号G2995WP360,为2台灯泡贯流转浆式机组,单机设计流量 $115.31 \text{m}^3/\text{s}$,设计水头13.5米,最高水头15.5米,最低水头3米。1#机组于2003年3月投入运行,2#机组于5月投入运行,运行情况良好。

发电机组进水口采用单机独立引水方式布置,每台机组的进水口设拦污栅1扇,拦污栅孔口尺寸(宽 \times 高) $7.1 \text{m} \times 10.026 \text{m}$,底坎高程122.73m,拦污栅采用直立布置,为潜孔式平面钢栅。拦污栅的操作方式为静水启闭,利用台车式启闭机提栅后人工清污。

2 草头坪电厂进水口清污机改造前旧况

发电厂前共设有两道拦污设施,第一道为进水口前沿的浮式拦污排,第二道为流道进水口的拦污栅。拦污排下游端系于溢流坝边墩头部,上游端系于左岸岸边,拦污排浮筒下部挂有钢格栅对河道内的污物进行粗拦,但主要拦截的是些漂浮在水面的污物^[1]。电站上游沿江两岸林木茂盛,汛期大量的竹子、木头、禾秆、水草及生活垃圾进入电站库区,很多半沉浮的污物越过浮筒底部格栅,被发电引流吸附到拦污栅前大量堆积。污物阻水对本站取水的影响十分巨大,一旦拦污栅取水面积被较多的污物堵塞(超过30%),电站的设计水头损失严重造成较大的效益损失的同时,由于拦污栅过栅流速极高且承载已超过了4m的常规拦污栅推荐设计水头而存在非常严重的安全隐患,因此必须停机,再对拦污栅栅体部分的污物和拦污栅前面的浮渣进行人工清理,然后利用船只在水上进行清理,有时还需要潜水作业清除栅体

水下部分的污物。这种清污方式总体工作效率低,清污效果不理想。强度大、效率低,且清理污物均为水面作业,存在一定的安全隐患。

按照以前人工清污方式,草头坪电站每年在春末秋末两个季节(丰水期4月至9月份)河道内的杂草、树枝、竹竿、塑料等污物都比较严重,每月需要清理3次/台机,每次人工清污停机需要9至10个小时,草头坪水电站发电机组总装机容量为2.8万KW,按每年污物严重阻挡36天计算,每天因清污浪费9个小时计算发电损失,按现行上网电价0.3元计算,损失约为272万;每次清理拦污栅发生人工费约为5000元/台机,按每月3次/台机计算,一个月人工清理费3万元,每年丰水期按5个月计算人工清理费15万元。)

统计表明,现有的清污方式对电站损失较大,对进水口拦污栅进行自动化清污改造是刻不容缓的事实。

3 回转式清污机的特点

回转齿耙式清污机是将拦污和清污结合为一体的固定式连续自动清污设备。其主要应用于泵站、水电站、倒虹吸等水工建筑的进水口处,它以拦污栅拦截水流中所携带的污物(树木枝干、竹子、杂草、生活垃圾等),并通过回转的齿耙将其捞到桥面上,用皮带输送机或其他方式运走,避免污物进入引水道内,保证机组或其他设备能够顺利运行。该回转式清污机结构简单,整机刚性好、运行平稳、操作简便、清污效果好、效率高、耗能低、寿命长,便于维护保养。

4 回转式清污机的组成部分

清污机主要由拦污栅体、清污齿耙、驱动传动系统、辅助栅、过载保护机构和牵引链条等几部分组成^[2]。

5 回转式清污机的工作原理

回转式清污机是将拦污与清污结合为一体的固定式清污设备。栅体底端设有辅助拦污栅,防止污物从渠底

空档直接通过。齿耙装在两条牵引链条之间绕栅体回转，由于齿耙上的每个耙齿都插入栅条一定深度，故栅面上的污物强制随齿耙运动，将污物从栅体上游面自下而上梳上来，当齿耙转到栅体顶部，牵引链条换向时，齿耙也随之翻转，此时齿耙上的污物脱落到与之配套的皮带输送机上，送至用户指定位置，方便用户进行集中清理，或者污物滑落到工作桥上，由工作人员清理，实现自动清污的目的。

6 草头坪电站技改回转式清污机技术设计总方案

6.1 增大过水断面。现行拦污栅其过水断面过小、过栅流速过快，这种情况如果得不到较好的改善，那么回转式清污机即便技改安装后由于过栅流速过大也将无法实现动水作业。基于此，结合回转式清污机的回转需求和适用性要求，将现行拦污栅后方的基础胸墙通过潜水作业进行部分切除，以大幅增大过水断面，从而改善取水状况^[3]。清污机技改后取水口净高约22m，单台机组取水总面积为高22.0m*宽7.1m = 156.2m²，原来的取水口净高约8.7m，单台机组取水总面积为高8.7m*宽7.1m = 61.77m²，因此单机取水口净高增加13.3米，取水口总面积增加94.43m²。

6.2 底坎清淤。由于现行拦污栅进行清污工作时必须先将其吊装至检修台，故而水下区域无法有效清污，从而在拦污栅底部底坎区域可能存在有大量的垃圾淤积（通过潜水探摸，拦污栅底部底坎区域的垃圾淤积有约1.0米厚），因此底坎清淤清污也是本技改得以有效开展的必备条件之一。前排桩墩水下承台间混凝土连接。

6.3 切除部分检修桥面。为满足清污机的回转需求，应切除现行拦污栅槽后方的部分检修桥面至胸墙；同时，考虑清污机安装后较大污物的通行问题，将上游检修桥面也去除500mm-650mm。

6.4 增设回转式清污机。依托原拦污栅槽为支撑基础，利用回转式清污机替代现行拦污栅，从而实现良好的动水清污功效。

7 草头坪水电站增设回转式清污机后的水头校核

7.1 主要计算参数：

单孔设计额定流量115.3m³/s，清污机技改后取水口净高约22m，故可知单台机组取水总面积高22.0m*宽7.1m，清污机阻水一般阻水25-35%，考虑草头坪水电站清污机栅条间距（186mm）较大，故阻水率暂按30%校核。同时清污机技改后相对于原拦污栅而言，其取水情况由近似于原来的潜孔隔板型取水模式变成了近似于扎口型取水模式，也一定程度上缓解了设备对取水的影响。

7.2 理想无污物情况运行状态取水分析：

单孔设计流量115.3m³/s，单孔面积156.2m²；无污物状态下，清污机自身阻水30%，故实际过水面积约为109.34m²，此时局部水头损失系数 $\xi_{0.7} \approx 0.97$ ，其相关水头计算如下：

栅前 流速 $v_{\text{栅前}} = 115.3\text{m}^3/\text{s} \div 156.2\text{m}^2 \approx 0.74\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{栅前}}^2/2g \approx 0.0278$ ；

所以： $h_{\text{栅前}} = \xi_{0.7} \cdot v_{\text{栅前}}^2/2g = 0.97 \times 0.0278 = 0.027\text{m}$

过栅 流速 $v_{\text{过栅}} = 115.3\text{m}^3/\text{s} \div 109.34\text{m}^2 \approx 1.05\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{过栅}}^2/2g \approx 0.0567$ ；

所以： $h_{\text{过栅}} = \xi_{0.7} \cdot v_{\text{过栅}}^2/2g = 0.97 \times 0.0567 \approx 0.055\text{m}$

因此，理想无污物状态下清污机栅前后水头损失为： $0.055 - 0.027 = 0.028\text{m}$ 。

此时，平均过栅流速仅1.05m/s

7.3 5%污物（实际无污物状态）阻水情况运行状态取水分析：

单孔设计流量115.3m³/s，单孔面积156.2m²；清污机自身阻水30%，污物阻水5%，故实际过水面积约为101.53m²，此时局部水头损失系数 $\xi_{0.65} \approx 1.5$ ，其相关水头计算如下：

栅前 流速 $v_{\text{栅前}} = 115.3\text{m}^3/\text{s} \div 156.2\text{m}^2 \approx 0.74\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{栅前}}^2/2g \approx 0.0278$ ；

所以： $h_{\text{栅前}} = \xi_{0.65} \cdot v_{\text{栅前}}^2/2g = 1.5 \times 0.0278 = 0.042\text{m}$

过栅 流速 $v_{\text{过栅}} = 115.3\text{m}^3/\text{s} \div 101.53\text{m}^2 \approx 1.13\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{过栅}}^2/2g \approx 0.0658$ ；

所以： $h_{\text{过栅}} = \xi_{0.65} \cdot v_{\text{过栅}}^2/2g = 1.5 \times 0.0658 \approx 0.098\text{m}$

因此，实际无污物状态下拦污栅栅前后水头损失为： $0.098 - 0.045 = 0.056\text{m}$ 。

此时，平均过栅流速仅1.13m/s

7.4 清污机技改后运行状态下取水情况分析：

回转齿耙式清污机由于其强大的清污效率，其正常运行时污物阻水率一般在5%~15%之间，以最差工况进行核算，即考虑污物阻水率15%，此时实际过水率55%，而 $h = \xi \cdot v^2/2g$ ，局部水头损失系数 $\xi_{0.55} = 3.0$ ，此时单孔设计流量115.3m³/s，单孔过水断面面积156.2m²，实际过水面积约为85.91m²，其相关水头计算如下：

栅前 流速 $v_{\text{栅前}} = 115.3\text{m}^3/\text{s} \div 156.2\text{m}^2 \approx 0.74\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{栅前}}^2/2g \approx 0.0278$ ；

所以： $h_{\text{栅前}} = \xi_{0.55} \cdot v_{\text{栅前}}^2/2g = 3.0 \times 0.0278 = 0.084\text{m}$

过栅 流速 $v_{\text{过栅}} = 115.3\text{m}^3/\text{s} \div 85.91\text{m}^2 \approx 1.34\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{过栅}}^2/2g \approx 0.092$ ；

所以： $h_{\text{过栅}} = \xi_{0.55} \cdot v_{\text{过栅}}^2/2g = 3.0 \times 0.092 \approx 0.2757\text{m}$

因此正常运行状况下，清污机技改后最大过栅水头

损失约为： $0.2757-0.084=0.192\text{m}$ 。

此时：平均过栅流速最高约为 1.34m/s 。

7.5 清污机极限运行状态下的取水情况分析：

回转齿耙式清污机由于其强大的清污效率，其正常运行时污物阻水率一般在 $5\%\sim 15\%$ 之间，取污物阻水率 25% 为清污机极限运行状态，此时实际过水率 45% ，而 $h=\xi\cdot v^2/2g$ ，局部水头损失系数 $\xi_{0.45}=6.1$ ，此时单孔设计流量 $115.3\text{m}^3/\text{s}$ ，单孔过水断面面积 156.2m^2 ，实际过水面积约为 70.29m^2 ，其相关水头计算如下：

栅前 流速 $v_{\text{栅前}}=115.3\text{m}^3/\text{s}\div 156.2\text{m}^2\approx 0.74\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{栅前}}^2/2g\approx 0.0278$ ；

所以： $h_{\text{栅前}}=\xi_{0.45}\cdot v_{\text{栅前}}^2/2g=6.1\times 0.0278=0.1658\text{m}$

过栅 流速 $v_{\text{过栅}}=115.3\text{m}^3/\text{s}\div 70.29\text{m}^2\approx 1.64\text{m/s}$ ，可知： $v_{\text{过栅}}^2/2g\approx 0.1373$ ；

所以： $h_{\text{过栅}}=\xi_{0.45}\cdot v_{\text{过栅}}^2/2g=6.1\times 0.1373\approx 0.8374\text{m}$

因此极限运行状态下，清污机技改后最大过栅水头损失约为： $0.8374-0.1658=0.672\text{m}$ 。

此时，平均过栅流速接近 1.64m/s

清污机技改后全面改善了现行拦污栅的过水流态，在任何工况下，均大幅减小了栅前栅后水头损失，在为电站带来较大收益的同时，也有效的改善了现行拦污栅以及发电机组所存在的安全隐患。

当有较多污物条件时，回转式清污机通过其强大的动水清污能力，很快便会改善污物阻水的状况从而更好的为发电机组保驾护航。

如果罕见的出现了垃圾量极大的情况（污物阻水率超过 25% ，栅前栅后水头差超过 1.0m ），此时如果清污机长期处于超载运行状态时将大大增大其故障率，此时不妨适当甩负荷降低下过栅流速展开清污工作，清污机恢复到极限工况之内再恢复正常发电即可。

8 清污机改造后的效果

在高度、宽度保证达到正常使用目的的情况下，设置后便于人工操作；在不违反设计原则的情况下，对水面以上部分的各细节的高宽尺寸进行处理，使水面以上部分视觉感受整齐划一，比例协调。

清污机的单台栅体表面平整美观，整机安装牢固并互相平行，保证每站的所有清污机的栅面在同一个平面上，高度保持一致，达到即使用又美观的效果。

清污机运行时，清污齿耙不停地绕栅体回转，把杂草、树枝等漂浮悬浮物均能清理上来，齿耙的插齿插入到栅条一定深度，栅条上贴附的污物也能够梳理下来，使水流畅通降低了栅体前后水头差，加大过栅流量，增加了电站发电效益，经过一定时间的使用过程，清污机投资成本可以回收。

9 结束语

通过对草头坪拦污栅的改造，降低水轮发电机水头损失，杜绝杂物进入机组流道造成设备损坏，提高工作人员和设备的安全系数，提高公司发电量，提高企业收入，增加企业经济效益。同时，由于河道中的水草污物得以清理，保护了环境，减少了大量水草对澧水水质的影响，取得了良好的社会效益。草头坪电厂进水口回转式清污机的设计和应用，为类似电站清污方式的选择或拦污栅技术改造提供了一种可行的借鉴方案。

参考文献

- [1]何艳玲.草头坪电厂计算机监控系统改造综述[J].科技与企业,2011(14):55,57.
- [2]陈军沈静,王勇,等.BIM技术在引江济淮(安徽段)工程回转式清污机方面的应用[J].治淮,2023(3):23-24.
- [3]陈军,仇宝云,严天序,等.高效回转式泵站拦污清污机研制[J].农业工程学报,2019,35(4):81-87.