

涡环流排沙在阜康白杨河电站中的应用

高亚平<sup>1</sup>, 卢新乐<sup>2</sup>, 徐靖<sup>3</sup>, 郝功华<sup>4</sup>

(1. 新疆水利水电科学研究院, 乌鲁木齐 830049; 2. 昌吉州水电设计院, 831100  
3. 阜康市水利局, 831500; 4. 阜康市白杨河水电站, 831500)

摘要: 涡环流排沙技术是在漏斗排沙的基础上提出的又一新技术。该技术采用不对称结构设计来适应不对称流态, 在涡内设置了稳定环形成内涡与外环, 内涡的水流由稳定环的底部从外环进入, 增加了自由涡与外环的底部流速, 对泥沙的运移十分有利。该技术在阜康市白杨电站运行 5 年来未出现异常, 通过进一步研究完善后, 应该是一种很有发展前景的泥沙处理方法。

关键词: 涡流; 环流; 排沙

中图分类号: S 157; T V 621      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409( 2004) 03-0214-03

Desilting Application by Eddy Current in Baiyang River  
Hydropower Station, Fukang

GAO Ya-ping<sup>1</sup>, LU Xin-le<sup>2</sup>, XU Jing<sup>3</sup>, HAO Gong-hua<sup>4</sup>

( 1. Xinjiang Institute of Water Conservancy and Hydropower Science, Urumqi 830049, China; 2. Changji Designing Institute on Hydropower 831100; 3. Fukang Water Resources Office 831500; 4. Fukang Baiyang River Hydropower Station 831500)

**Abstract:** This technique of desilting by eddy current is a new one based on funnel-shape desilting. It has applied asymmetrical structure design for asymmetrical current. Steady loop installed separates eddy current and circulating current. Water from instrument flows from outside loop through the bottom of steady loop, which will add water velocity of the bottom of steady loop resulting in conveying silt quickly. The technique has been practised for five years in Baiyang River Hydropower Station, Fukang. Good perspective will come after further research.

**Key words:** eddy current; circulating current; desilting

1 基本情况

阜康白杨河电站 1978 年建成投产, 该电站由底栏栅式引水渠首、沉沙池、引水渠、前池压力管道、厂房及升压站等工程组成。工作水头 59 m, 渠道最大引水流量 5 m<sup>3</sup>/s, 装机容量 2×800+ 320 kW, 年发电量 380 万 kW·h。

阜康市白杨河年径流量 650 万 m<sup>3</sup>, 是一条典型的多泥沙河流, 泥沙中推移质比例较大, 经实测河床质组成以砾石、卵石为主, 大于 5 mm 的沙石占 80% 以上。

该河年径流变化在 0.2 ~ 35 m<sup>3</sup>/s 之间。丰水期日流量变化很大, 坡陡流急, 一般纵坡 1/50, 加之河床不稳定, 水流加沙量大, 底栏栅引水存在在问题较多。25 mm 宽的栏栅间隙中经常卡有石子, 使许多栏栅条变形影响了引水量, 经实测引水渠中大于 50 mm 的石子随处可见。电站引水口向下 150 m 设有厢式沉沙池两座, 改造前每次排沙要 4 h。丰水期

最短排沙间隔只有 8 h, 最长间隔 72 h 左右, 还有一部分沙子进入引水渠前池, 经常造成引水渠淤积, 引水流量不足, 常被迫停水清淤。白杨河是条季节性河流, 每年 12 月至第二年 3 月中旬为枯水期不能发电, 能满发的只有 6 ~ 8 月中旬, 这两个半月的发电量占全年发电总量的 70% 以上。所以丰水期的发电时间对电站来讲十分宝贵, 具电站统计表明 1997 年丰水期电站因排沙停机 263 h, 损失发电量 47.2 万 kW·h, 全年因排沙停机 1 401 h, 损失发电量 56.7 万 kW·h。

由于引水中泥沙含量太大, 加剧了压力管及水机的磨损, 据电站实测改造前每年蜗壳磨损约 0.3 mm, 转轮磨损 0.8 mm, 抗磨板磨损 0.15 mm, 其他转动部分磨损更为严重, 密封装置难以达到密封效果。对电站运行来讲, 每年因磨损增加的修理费用达 2 万多元。因磨损造成机组运行不正常、漏水严重、损失水能、机组出力下降。泥沙问题已严重影响白杨河电站的正常运行。

① 收稿日期: 2004-02-25

作者简介: 高亚平(1954-), 男, 甘肃人, 高级工程师, 现任新疆水利水电科学研究院副院长, 从事水利水电工程管理及产品研发工作。

2 涡环流排沙装置的设计

2.1 设计背景

1998 年 12 月白杨河电站(业主单位)委托昌吉州水利水电勘察设计院对电站的泥沙处理系统进行改造。接到任务后,首选方案为漏斗排沙。本着学习的态度计划与新疆农业大学水利系联合完成白杨河电站泥沙处理设施的实验与设计,但由于某种原因未能如愿。但在设计之前多次学习考察了新疆农业大学水利系周著、侯杰老师研制的排沙漏斗,在漏斗排沙的基础上提出了涡环流排沙方案并进行了室内 1:10 的模型实验,取得了初步结果后,专程去北京请教了国家著名泥沙专家清华大学水利系教授王光谦对涡环流排沙方案给予指导。

2.2 对漏斗排沙进一步研究

新疆农业大学水利系于 1984 年开始对漏斗排沙进行研究,通过大量模型实验研究对前苏联沙拉克霍夫发明的环流式结构形式做了重大改进,使漏斗排沙处理的流量范围大大拓宽。1984 年提出了处理推质泥沙的“强螺旋流排沙漏斗”设施,1995 年又提出了可同时处理推移质和悬移质泥沙的“全沙排沙漏斗”设施。与曲线型沉沙池比较在处理同样的泥沙水流时结构尺寸相对较小,其工程投资只是厢型沉沙池的 1/5 左右,具有排沙效率高、排沙耗水量少等优点。但通过观察与研究,我们发现漏斗排沙也存在不完善的方面,如结构

的对称性与流态的不对称性存在一定程度的不和谐。

排沙漏斗的基本原理是当水流以切线进入一个底部有孔和中心对称的圆盆中时就会产生垂直中心对称的圆周运动,排沙漏斗的结构形态是基本对称的,但进流是单向的,所以漏斗内的流态是不对称的,随之带来的问题是空气漏斗将偏离结构垂线轴。随着进流的大小变化,空气漏斗将发生变形或摆动,时常会出现空气涡的不稳定。不稳定的空气涡可能影响自由涡的流态,增加排沙的耗水量。针对此问题,提出如下设计思路。

2.3 涡环流排沙设计

2.3.1 边界的非对称结构

将漏斗的圆形结构改变为渐开线结构,来适应不对称流态的需要,尽可能使空气涡轴线与结构涡轴线重合。

2.3.2 强制涡与自由涡的边界增加一道环状边界

此边界切断漏斗内涡流的表面流,这一环状边界被称作稳流环。稳流环的底部设有 100 mm 高的环状间隙,强制涡的挟沙水流可以对称的从稳定环底部环状间隙进入自由涡,使得自由涡中的空气涡十分稳定,不管进水流量大小如何变化,都不影响空气涡的稳定,使得空气涡垂线与结构垂线完全重合。使得三相流(气流、水流、沙流)在自由涡中十分稳定,产生的三维流,能较顺利的将泥沙送入排沙孔,达到用最小的耗水量获得最大排砂的目的。

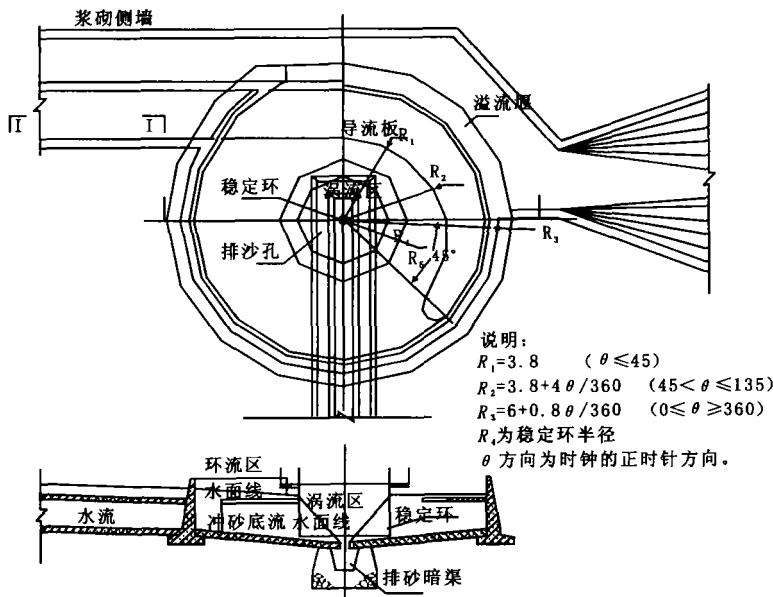


图 1 涡环流砂水分离器

另外,由于进入自由涡的挟沙水通过稳流环底部间隙,增大了底部径向流速,因此稳流环的另一作用是对沙子向排沙孔运移非常有利。根据我们实验观察,水流携带的沙子进入排沙装置后,受几个力的作用,在环流的作用下,有一个切向力  $F_1$ ,在重力作用下,有一个重力  $G$ ,由于沙子和水在涡内作圆周运动,有一个离心力  $F_2$ ,由于涡壳底部的底坡是 1:10,运动的沙子沉到底部后在重力  $G$  的作用下,有一个重力  $G$  的径向分力  $F_3$ ,这个力与离心力方向相反。由于排沙孔出流,有一个指向中心孔的径向流速,在这个流速的作用下,沙

子还应有一径向力  $F_4$ 。在这几个力的共同作用下,沙子在涡内沉淀并运移至排沙孔。

2.3.3 几个关键参数的确定

通过研究,我们认为涡环流排沙设计,关键是处理好这几个力的关系。首先根据排砂的粒径确定进水口及引水渠的底坡,底坡越大,流速越大,  $F_1$  也大,流速大,引水渠不易淤积,但如果进入排沙装置的流速太大,对细颗粒沙子的沉降不利。通过计算白杨河引水渠的纵坡选定为 1/100。进水口纵坡选为  $i = 0.035$ 。涡环流半径确定。通过实验,我们选取以

进水口面为 0°;水流进入涡环流 180°的垂直断面为基准计算面, 计算通过此断面沙子的不冲不淤流速为该断面的基准流速, 用进水口的断面流速比来确定基准面的断面面积, 从而确定涡环流半径。白杨河电站涡环流装置半径计算结果 12 m, 但考虑到间歇冲沙的需要修定为 10 m。涡壳底坡的确定。涡壳底坡越大, 越有利于沙子向排沙孔运动。但相应自由涡内的水深增加, 由于势能增加故耗水量增加。同时还受到地形条件的限制。通过方底比较, 白杨河水电站涡环流排沙装置涡底坡度确定为 1:10。

### 2.4 涡环流排沙机理分析

通过稳流环的作用, 涡环流排沙装置被分为中心自由涡流部分和外环环流部分。排沙底孔位于自由涡流的底部中心位置, 由于结构对称, 进流也对称, 使得涡内所形成的水流是典型的稳定的三维螺旋流, 在这种流态的作用下, 使水中的泥沙沉降运移排出, 稳定的气涡使得耗水量更省。外环的主要作用是迅速降低切向流速, 使泥沙向下沉降, 在底部径向流和重力径向分力的作用下, 克服离心力的作用使泥沙向稳定环底部移动。另外我们对悬板形态也作了调整, 曲线式悬板主要作用是分割挟沙水和无沙水, 悬板的上部为无沙水,

下部为挟沙水, 同时还有稳流作用。

### 3 涡环流排沙的运行情况

通过统计可知, 白杨河电站使用了涡环流排沙装置后, 5 年的年平均发电量是 468.6 万 kW·h, 前 5 年的年发电量是 378.5 kW·h, 平均年增发电量 90 kW·h。按现行的上网电价每度 0.24 元计算, 年增收 21.6 万元。效益十分显著。

根据电站有关材料中显示, 工程投运后, 6~8 月丰水期共停机 57 h, 1997 年 6~8 月停机排砂 174 h, 1999 年比 1997 年少停机 117 h, 可增发电量约 20 万 kW·h。1999 年洪水后只对渠首淤积杂物排除停机 8 d, 改变了往年发水后停机达 40 多 d 的历史。同时也反映出水质好了对设备的磨损有了明显的好转, 改变了过去有些密封处磨损间隙增大, 漏水严重, 使机组带漏运行的状况。现在机组运行正常, 往年冬季机组有些部位要补焊、加工修理。现在只需一般性保养, 这样就减少了修理费用, 增长了设备的使用寿命。5 年来电站的运行情况见白杨河电站 1998~2003 年发电量、引水量统计表(见表 1)。

表 1 杨河电站 1998~2003 年发电量、引水流量统计表

年份	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
1998	发电量/kW·h	0	0	1.3	10.5	11.6	127.3	121.3	82.3	4.3	17.5	11.2	0.0	387.3
	运行/h			168.0	692.0	649.0	720.0	640.0	419.0	122.0	719.0	713.0		
	引水流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )			0.2	0.4	0.4	4.1	4.4	4.6	0.8	0.6	0.4		
1999	发电量/kW·h	0	0	3.3	4.6	28.9	94.9	107.9	106.6	52.7	18.7	10.9	0.0	428.5
	运行/h			410.0	710.0	700.0	720.0	660.0	650.0	720.0	720.0	720.0		
	引水流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )			0.2	0.2	1.0	3.1	3.8	3.8	1.7	0.6	0.4		
2000	发电量/kW·h	0	0	3.0	7.6	42.0	112.7	138.8	130.8	45.9	19.9	12.2	0.0	512.9
	运行/h			402.0	720.0	706.0	693.0	731.0	741.0	720.0	734.0	720.0		
	引水流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )			0.2	0.2	1.4	3.8	4.5	4.1	1.5	0.6	0.4		
2001	发电量/kW·h	0	0	5.8	5.8	36.7	111.8	130.8	131.9	47.4	14.9	8.2	0.0	493.3
	运行/h			505.0	604.0	738.0	705.0	737.0	729.0	720.0	740.0	636.0		
	引水流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )			0.3	0.2	1.2	3.7	4.2	4.2	1.5	0.5	0.3		
2002	发电量/kW·h	0	0	0.0	8.0	45.0	121.8	107.3	128.3	39.6	15.9	7.4	0.0	473.3
	运行/h				308.0	720.0	707.0	725.0	738.0	702.0	744.0	702.0		
	引水流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )				0.6	1.5	4.0	3.5	4.1	1.3	0.5	0.2		
2003	发电量/kW·h	0	0											434.2

### 4 结 语

漏斗排沙已被广泛应用, 成果显赫。涡环流排沙是在漏斗排沙的基础上产生的。

白杨河涡环流排沙装置采用结构不对称设计, 设置了稳定环, 自由涡运行比较稳定, 耗水量明显减少。另外排沙孔增设了盖板, 能够做到控制排沙和间歇排沙。通过 5 年的运行,

参考文献:

[1] 邱秀云, 侯杰, 周著. 排沙漏斗的流场特性及输沙机理[J]. 中国农村水利水电, 1999, (4): 3-5.

经计算排沙耗水量不足总引水量的 0.3%, 排沙效果和效益都十分明显。但还存在一些不足, 如涡壳半径偏小, 当洪水期间引水流量挟沙特大时, 排沙能力不足。另外间歇排沙完全是人工操作, 缺少自动系统和智能系统。

目前我们对涡环流排沙的研究只是初步的, 许多描述只是定性的, 若要定量描述, 建立数值模型, 上升为理论的东西, 还需要做大量的研究工作。