

# 泾河来水来沙对渠首电站运行的影响

王媛

(陕西省泾惠渠管理局 渠首电站, 陕西 泾阳 713800)

**摘要:** 针对泾河河流含沙量高, 电站运行工况复杂的实际情况, 通过分析泾河干流(电站取水口)1994—2009年水文数据, 研究了泾河来水来沙变化特点及对电站运行的影响。结果表明, 在强烈的区域水土保持措施的作用下, 泾河近16a来年径流量和输沙量均呈明显下降趋势; 河道来水来沙年内分布极不均匀, 汛期来水来沙分别占全年来水来沙量的64.6%和92.6%, 尽管来沙量减少但汛期河水含沙量仍然很高。针对泾河来水来沙变化特点, 进一步探讨了泾河来水来沙对电站运行的影响, 并初步给出了高含沙条件下几种保证电站正常运行的对策。

**关键词:** 泾河; 来水来沙特点; 渠首电站; 对策

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0166-04

中图分类号: S157, TK73

## Effects of Water and Sediment in Jinghe River on Operation of Canal Head Power Station

WANG Yuan

(Canal Head Power Station, Jinghui Canal Authority, Jingyang, Shaanxi 713800, China)

**Abstract:** In consideration of the high sediment concentration in Jinghe River and the complexity of the power station operation, the characteristics of water and sediment in Jinghe River and their effects on power generation were studied by analyzing the hydrological data of water intake of power station from 1994 to 2009. Results showed that annual runoff and sediment yield presented a significant trend of decrease, which was closely related to the construction of soil and water conservation in Jinghe River basin. Runoff and sediment were unevenly distributed during a year, mainly in the flood season, and the amounts accounted for 64.6% and 92.6% of the whole year, respectively. However, sediment concentration in flood season was still high. Based on the change characteristics of water and sediment in Jinghe River, the effects of water and sediment on power generation were further discussed and several countermeasures ensuring the normal operation of the power station under high sediment concentration were preliminarily given.

**Keywords:** Jinghe River; characteristics of river water and sediment; canal head power station; countermeasure

河流的高含沙已经成为我国水电开发中面临的突出问题, 特别是在每年汛期, 含沙量显著增加, 导致各水电站泥沙磨损特别严重。据不完全统计, 我国运行中的水电站机组有近40%的水轮机承受着不同程度的磨蚀破坏。这不仅影响了水机组的安全经济运行, 造成巨大的经济损失, 而且威胁电网的安全。针对这些问题, 一些专家和技术人员专门分析了高含沙水流磨损过水部件(水轮机、水泵等)的作用机理, 提出了水轮机设计的新技术、新材料和新工艺, 并根据自己多年的工作实践经验, 总结了多泥沙条件下减轻水轮机磨蚀, 延长水泵使用寿命的措施<sup>[1-9]</sup>。泾河为黄河的二级支流, 其水流高含沙问题极为严重, 年均含沙量为黄河的3倍多。近年来, 泾河流域水土保

持工作发展迅速, 但水土流失依然较为严重, 汛期河流泥沙含量依然较高, 对电站发电造成很大影响。针对泾河河流含沙量高, 电站运行工况复杂。本研究探讨了近十几年来泾河来水来沙变化特点及其对电站发电的影响, 并初步给出了保证渠首电站正常运行的对策, 为减少设备磨损, 提高发电效益提供参考。

### 1 渠首电站的引水条件

泾惠渠管理局渠首电站位于陕西省泾阳县泾河下游河谷出口处, 属坝后引水式电站。电站于1994年开工建设, 1998年元月正式投产。渠首电站设计水头19.2m, 单机满负荷用水量 $16\text{ m}^3/\text{s}$ , 装机容量 $3 \times 2\,500\text{ kW}$ , 年实际发电量 $2.10 \times 10^7\text{ kW} \cdot \text{h}$ 。发

电机型号为 SF2500-32/3300, 转速 187.5 r/min, 转轮型号为 HL240-LJ-180B。

泾河流域属典型的温带大陆性季风气候, 处于温带半湿润向干旱气候的过渡地带。冬季干旱少雨, 夏季易产生短历时、大强度的暴雨或特大暴雨, 且易形成暴涨暴落, 灾害性大的洪水过程, 其突发性强, 破坏性大, 致使该流域水土流失严重, 生态环境恶化<sup>[10]</sup>。泾河作为黄河二级支流, 为渭河最大的支流。从含沙量来看, 渭河是世界泥沙最多的河流之一, 而渭河的泥沙主要来自泾河。泾河年径流量  $1.97 \times 10^9 \text{ m}^3$ 、占渭河的 19.5%, 年输沙量  $2.89 \times 10^8 \text{ t}$ , 占渭河的 55.6%, 主汛期 6—10 月份, 为全年泥沙含量最高的时段<sup>[8]</sup>, 常出现大于  $1000 \text{ kg/m}^3$  的高含沙水流, 产沙和输沙在短时间内高度集中, 是泾河流域输沙量年内分配的一个重要特征。汛期的高含沙水流使水电站过流部件受到严重损害, 尤以水轮机转轮及转轮室受损最为严重, 平均每 3 a 就要大修, 更换转轮叶片, 修补过流部件, 大修工期长, 给电站造成损失严重。因此, 如何在提高汛期发电效率, 高效利用汛期来水的同时尽量减少设备的磨损和损坏是泾河水电站发电运行过程中需要解决的关键问题。

## 2 电站渠首来水来沙变化特点及对电站的影响

### 2.1 泾河流域水土保持概况

泾河流域地处黄土高原中部, 流域总面积  $45451 \text{ km}^2$ , 其中水土流失面积  $33220 \text{ km}^2$ , 占总面积的 73.1%。全流域主要涉及黄土丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区两个土壤侵蚀类型区, 水土流失严重, 多年平均土壤侵蚀模数分别为  $10000$  和  $4000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

泾河流域的水保治理工作始于 20 世纪 50 年代初期, 至今已有 60 a, 治理方法由单一措施发展为工程、生物和耕作措施相结合的综合治理。目前的水保措施主要包括梯田、林地、草地和淤地坝 4 种类型, 泾河流域水保建设发展迅速, 年新增水土保持面积从 1959 年的  $54.45 \text{ km}^2$  增长到 1996 年的  $328.82 \text{ km}^2$ , 增速达到了 6 倍; 水保总面积从 1956 年的  $82.86 \text{ km}^2$  增长到 1996 年的  $7562.91 \text{ km}^2$ , 增大了 91.3 倍, 占流域总面积的比重从 0.18% 增长到 16.64%。在各项水保措施里面, 林地比重最大, 其次是梯田, 1996 年两项措施分别占水保面积的 54.70% 和 31.16%, 占流域总面积的 9.10% 和 5.18%。水土保持工程在拦截泥沙的同时, 也拦截了大量的地表径流, 减少了河流径流量和泥沙量, 是泾河流域减水减沙的主要因素之一。

### 2.2 泾河来水来沙变化特点

2.2.1 泾河来水来沙年际变化特点 图 1 显示了泾河干流(电站取水口)1994—2009 年年径流量和输沙量变化特征。由图中可知, 泾河水沙年际变化较大, 河水含沙量高, 河道输沙量大。干流多年平均径流量为  $1.04 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 多年平均输沙量为  $3.26 \times 10^7 \text{ t}$ , 近 16 a 的总体变化趋势是径流量和输沙量均呈明显下降趋势, 且输沙量的下降程度要明显大于径流量。这与泾河流域的水土保持建设密切相关。近年来, 泾河流域草地、梯田、林地和淤地坝面积逐年增大, 极大地减少了汇入河道中的径流量和泥沙量, 且这些水保措施的减沙效应要大于减水效应, 因而泾河输沙量下降趋势更为明显。

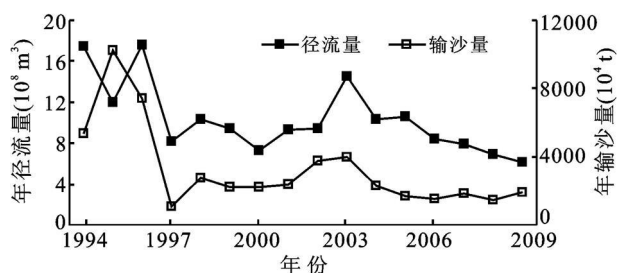


图1 泾河年径流量和输沙量变化特征(电站取水口)

2.2.2 泾河来水来沙年内变化特点 图 2 显示了泾河干流(电站取水口)1994—2009 年月平均径流量和输沙量变化特征。由图 2 中可知, 泾河干流年来水来沙分布极不均匀。河道来水量集中在每年的 6—10 月, 来沙量集中在每年的 6—9 月, 即泾河来水来沙主要集中在每年的汛期阶段, 特别是每年的 7、8 月份, 汛期来水量占全年来水量的 64.60%, 来沙量占全年来沙量的 92.60%, 而 7、8 月份的来水来沙量占分别占汛期来水来沙量的 58.06% 和 88.82%。高强度的泥沙, 特别是汛期阶段, 使电站过流部件受到严重损害, 影响了电站发电效益。

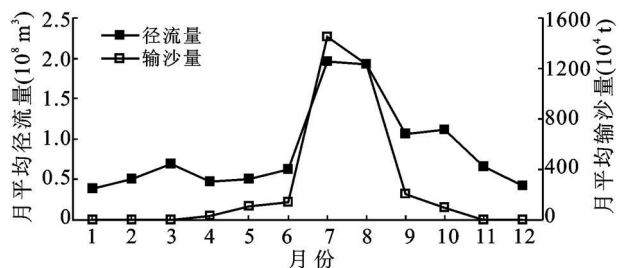


图2 泾河月平均径流量和输沙量变化特征(电站取水口)

### 2.3 高含沙水流对电站发电影响

2.3.1 汛期高含沙来水并伴随大量柴草, 影响进水管在河水含沙量占径流量的 25% 情况下, 河流中的泥沙和柴草共同作用会使拦污栅全部拥堵, 无法进

水,这是渠首电站面临的问题之一。柴草易封堵住拦污栅,且缠绕或堵在固定、转动导叶上,减少进水量、破坏了导叶的正常运行;柴草也可能涌进蜗壳,挂在导水机构上,影响进水破坏流态。由于高含沙伴随大量柴草,所以几次开停机后就会因为导叶夹柴使整体导叶开度不均匀,在停机过程中漏水过大,无法用调速器正常关机,只能落下快速闸门,快速闸门因机组进水量过大、侧压过大而落不到底时,就必须落进水闸门降低调压井水位,使快速闸门落下进行停机;再开机时由于蜗壳充水不足,快速闸门两边压力差太大无法正常开启快速闸门,要提快速闸门开机就必须落下进水大闸,降低调压井水位才能开启快速闸门开机,这就使水机部分振动加剧,开关机时剪断销可能被剪断,同时导叶间隙因材草拥堵而不均匀或关闭不严,造成停机困难,有时必须打开进人孔进行人工清理,费时费力影响生产。

**2.3.2 顶盖上水问题** 渠首电站面临的又一问题就是顶盖上水问题。电站发电机组水机部分顶盖排水设计按清水设计,排水设计为上水在顶盖上低处汇集,在固定导叶中 $90^\circ$ 夹角处有两个固定导叶沿轴打有两寸粗的排水孔,沿着预埋的两寸管道流出,三台机组顶盖上水汇集到一个预埋的粗管道,流向集水井用排污泵抽到厂房外,由于预埋管道在预埋中,没有足够的倾斜度也就是落差,加之渠首电站的发电用水含沙太高,长时间运行被泥沙沉积堵住无法疏通,现在只能用塑料管子倒虹吸水,这样很难掌握,因为当管子断流时,这个水管停止抽水导致顶盖上水,危害到水导油盆的正常运行。

渠首电站始终在努力解决这一问题,但由于地方太小,不能用水泵抽水,让水流自流但转动油盆安装的太低,上水高于顶盖就接近转动油盆,油盆转动带起的水四溅,危机到水导油盆,所以目前这一问题仍然没有得到解决。

### 3 高含沙条件下保障电站正常运行的对策

(1) 合理掌握含沙量阈值。泥沙含量多少能发电,多少不能发电,这就要求合理把握运行沙限,做到汛期河源涨水时发电和保护设备之间的平衡。可以根据河源来水预报含沙量及落水实测含沙量,制定开停机运行规程。比如当河源涨水时,井村水文站预报含沙较高时也预示着柴草较多,那么当河水含沙超过15%时马上停机,因为含沙会在一个小时内超过20%,这样对设备危害很大;洪峰过后含沙量开始下降,当含沙量降到20%左右时,可用拦污栅试一下柴

草多少,如柴草较少时开始蓄水发电,这样含沙和柴草会越来越,不会影响发电,对设备破坏也不大。

(2) 汛期中加强水情监测预报,做好水量调配工作。做到科学调配合理安排,充分利用河源来水,做到发电效益最大化,如汛期河源涨水时,当水库还蓄有一定的水量时,渠首电站会根据井村水文站水报计算来水时间,计算水库蓄水量以及大水来之前最少多长时间可以将库水量完全用于发电,这样可以充分利用水库库容多发电多创造效益,这一点非常重要。电站水库库容 $5.10 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,可利用库容 $2.60 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。一般情况下库存水量平均为 $2.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,电站单机负荷2500 kW,用水量 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,计算下来完全利用可发电 $9.26 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,一个汛期涨水很多次,如果能够充分利用库水,生产效益非常可观。

(3) 加强汛期设备检查、维护和保养。汛期设备检查、维护和保养非常重要,首先要做的是汛期前对所有设备进行检修,以保证汛期设备的安全运行和发电;汛期中要做的最重要的是检查,因为汛期含沙高、柴草多,设备容易出问题,机组在停机和运行中可能出现一些意想不到的问题,如果检查不到位,机组很可能在需要开机的时候无法运行影响生产,也有可能带病运行,这成为人身设备的安全隐患,这是非常危险的。渠首电站在生产中遇到很多意想不到的问题,如停机之后必须认真检查剪断销,因为当渠首电站多次正常停机后发现剪断销多个被剪断,这导致在运行中水流不均匀进而使转轮受力不均匀,严重时会使水导轴颈严重磨损或者烧毁报废,导致生产降低效益。总之设备检查非常重要,可以将问题或危险提前解决,这样既保证了安全也提高了经济效益;检查完后维护保养成为必须尽快进行的工作,这样才能不影响生产发电,保证效益。

(4) 汛期生产期间,及时处理电站运行问题。比如发现顶盖上水无法抽掉,就应该及时停机,以避免损害导油盆。渠首电站曾因停机不及时,使泥水进入油盆磨损了轴颈,为此检修了一个月,花费了近3万元,损失惨重;当剪断销剪短时要及时停机更换,以免转轮受力不匀,使机组震动加大,也可能使导瓦和轴颈产生偏磨,易发生危险。

(5) 汛期发电生产要综合考虑,权衡利弊。在汛期高含沙情况下和平时清水情况下相比较,汛期设备特别容易出问题。2009年汛期河源来水小,涨水次数多,含沙高,设备常出问题,电站因为任务完成较差,所以开机运行中含沙量高于往年,虽然提高了部分效益,但检修从八月开始就没有间断,影响生产。因此渠首电站在汛期发电生产一定要权衡利弊。

(6) 在运行、检修过程中应加强抗磨蚀措施。在运行过程中应避免低负荷运行。因为低负荷运行一方面效率低震动大对机组危害大影响效益, 另一方面使气蚀磨蚀更加严重, 因为低负荷运行转轮室产生负压, 使气蚀加剧而气蚀伴随着磨蚀进一步恶化, 这样二者互相作用, 减少了机组的寿命, 缩短了大修周期, 提高了检修费用, 影响了效益。因此在运行过程中一般情况下负荷不低于设计满负荷的 50%, 实际中可根据自己单位机组震动的情况而定, 电站实际情况是 60% 以上震动较小, 8% 以下震动也小, 中间震动大, 震动大就说明转轮室负压大, 气蚀强烈, 水流不均匀, 应及时关机避开。在检修过程中也应注意这一点, 首先采用抗气蚀材料, 在机组大修过程对顶盖抗磨板和坐环采用抗气蚀材料喷涂, 这样做的好处是很多不用焊补避免变形, 抗气蚀效果好, 简单, 费用低; 将铸钢转轮的叶片换成不锈钢材料上冠下环并采用铸钢, 这样防止了易磨损部位损伤也降低了转轮造价; 最后在检修过程中要检修蜗壳和尾水的真空补气阀, 该阀在运行过程中可起到破坏真空减弱气蚀, 减少磨蚀的作用。对于检修周期可根据实际情况而定, 每年对机组水下部分进行认真检查, 根据设备磨损情况和规程要求来确定大修周期, 规程规定 3 a 小修 1 次, 5 a 大修 1 次; 但在实际中渠首电站几乎 8~10 a 大修 1 次。只要设备运行良好, 磨损不严重、水能利用效率较高, 就可以延长大修周期。

(7) 加强电站设备的及时更新。渠首电站的辅助系统中水系统用的是泉水, 因此不受河源来水限制。但集水井排水以前用的是离心泵, 经常出问题, 主要是泥堵住了底阀抽不动, 或是被小柴草卡住了底阀无法充水抽不上水。现在渠首电站把它换成了泥浆泵, 让离心泵备用并备用了两台泥浆泵以防出现问题。

(8) 汛期期间柴草及时清理。由于渠首电站的取水口在水下十几米深的地方, 因而柴草清理自动设备很难实施, 只能人工清理。在运行过程中, 当有柴草且不多时可以提一道拦污栅清柴, 二道不能提, 如果进柴会影响机组安全运行, 柴草多时只能停机; 当停机时, 将机组停下放下快速闸门, 防止柴草进入机组影响开机。同时, 需要将拦污栅两道都提起锁定, 把柴草清理干净并排到下游为下一次开机做好准备。

## 4 结论

泾河近 16 a 年径流量和输沙量均呈明显下降趋势, 且输沙量下降程度要大于径流量, 这与泾河流域草地、梯田、林地及淤地坝面积逐年增大以及这些水保措施减沙效应大于减水效益关系密切。河道来水来沙年内分布极不均匀, 主要集中在汛期阶段, 其分别占全年来水来沙量的 64.6% 和 92.6%, 但汛期含沙量仍然很高。高含沙水流严重威胁电站过流部件的安全和电站发电效益, 根据多年工作经验, 初步给出了高含沙条件下几种保证渠首电站正常运行的对策, 在减少对设备的磨损和损害的前提下, 以保障生产运行中渠首电站在汛期高含沙情况下的正常生产运行, 提高发电效益, 保证周围居民正常生产生活。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 高家诚, 孙玉林. 水轮机过流部件用材料的抗磨蚀技术措施[ J ]. 腐蚀与防护, 2004, 25 ( 8 ): 355-358.
- [ 2 ] 李志红. 含沙水流中的水轮机磨蚀与防护[ J ]. 大电机技术, 2007(6): 39-41, 51.
- [ 3 ] 汤永明. 浅谈多泥沙电站水轮机抗磨蚀的措施[ J ]. 机电技术, 2006(3): 28-30.
- [ 4 ] 温晓军, 张冰雪. 万家寨水电站水轮机抗磨蚀的主要措施[ J ]. 中国水利, 2006(6): 59-62.
- [ 5 ] 肖政渝. 含沙海水对电站水泵的影响及耐蚀处理措施[ J ]. 水泵技术, 2009(1): 16-21.
- [ 6 ] 熊茂涛, 卢池, 杨昌明, 等. 水轮机过流部位磨蚀问题的研究与防护[ J ]. 小水电, 2006(1): 31-34.
- [ 7 ] 张建胜. 水轮机抗磨蚀技术在魏家堡水电站中的应用[ J ]. 小水电, 2005(3): 36-38.
- [ 8 ] 张群虎. 多泥沙河流减轻水轮机磨蚀的途径[ J ]. 中国水能及电气化, 2010(4): 48-49, 59.
- [ 9 ] 卓春友. 多泥沙水质水轮机设计与抗磨蚀处理[ J ]. 运行与维护, 2005(6): 50-52.
- [ 10 ] 郑自宽. 泾河流域暴雨洪水特性[ J ]. 水文, 2003, 23 ( 5 ): 56-60.
- [ 11 ] 贾仰文, 周祖昊, 雷晓辉, 等. 渭河流域水循环模拟与水资源调度[ M ]. 北京: 水利水电出版社, 2010.
- [ 12 ] 王小艳, 高建恩, 安猛雄. 泾河水沙基本特性分析[ J ]. 西北水资源与水工程, 2001, 12(3): 21-24.
- [ 13 ] 冉大川, 吴永红. 泾河流域水土保持生态建设与治理方略刍议[ J ]. 水土保持研究, 2003, 10 ( 2 ): 58-59, 100.