

轴流定桨式水轮机改造的适应性分析

马跃先

牛振全

(郑州工业大学水环系)(青天河水库管理处,焦作,454464)

摘 要 介绍了轴流定桨式水轮机改为手动调桨式水轮机的技术路线,分析了改造前后水轮机的工况,说明这种改造有着广泛的应用前景,对老电站的技术改造和新电站的水轮机选择具有借鉴意义。

关键词 轴流定桨;手动调桨;水轮机;技术改造

中图分类号 TK733.6

我国有小水电资源 1.5×10^8 kW,可开发容量达 7.5×10^7 kW,目前已建成的小水电站有 6 万多座,而总装机容量只有 1.5×10^7 kW,仅占可开发容量的 20%。因此在未来一个时期发展小水电建设任务还非常艰巨。

根据统计,在已建成的小水电站中,约有 1/7 安装着轴流定桨式水轮机,今后开发兴建的小水电站中仍然会遇到许多低水头、大流量的场合,继续安装使用轴流式水轮机的情况也必然有很多。轴流定桨式水轮机安装到电站以后,转轮的叶片通常只能保持在某个固定角度下运行,一般无法自由调节来适应工况的变化,对工作水头和流量的变幅适应能力较差。无论是原来自然条件的原因,还是由于电站建成以后情况发生了变化,都可能导致电站无法正常运行,严重时还有可能使电站长期停运,造成设备闲置和大量资源浪费。将轴流定桨式水轮机改造为手动调桨式水轮机不失为 1 种有效手段。

1 轴流定桨式水轮机工况分析

从图 1 所示的某型号轴流定桨式水轮机模型综合特性曲线可以看出,其高效率区的范围非常窄,一旦水轮机的工作水头和流量偏离设计值太多时,便超出了水轮机的工作范围,其效率急剧下降,而且还会引起严重的汽蚀和振动。

小型低水头水电站的开发方式大致分为两种类型,其一为通过明渠或无压隧洞引水形成落差,本文称之为明渠引水式电站;另一种为利用水库抬高水位,在水库和电站之间通过压力引水系统输水,本文称之为水库电站。

明渠引水式电站受明渠和压力前池的限制,工作水头的变化幅度很小,但受非汛期天然河道的来流变化及受农田灌溉或城市供水等外界因素的干扰,电站引用流量的变化往往很大,有许多电站每年大部分时间的实际可引用流量和水轮机的设计流量严重不相符。如某明渠引水式电站设计水头 15.4 m,安装两台 ZD560—LH—120、 $\varphi=10^\circ$ 的水轮发电机组,单机容量为 1000kW,保证率 $p=50\%$ 时,天然来流量为 $6.2\text{m}^3/\text{s}$, $p=95\%$ 时,天然来流量为 $2.9\text{m}^3/\text{s}$,某水轮机的工作参数如表 1 所示^[1]。

收稿日期:1998—02—16

第一作者 男 1957 年 12 月生 硕士学位 副教授

表 1 某明渠引水式电站
1 号机工作参数表

| 引用流 量(m^3/s) | 水轮机 效率(%) | 水轮机 功率(kW) |
|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 8.34 | 86.5 | 1090 |
| 7.8 | 86.6 | 1020 |
| 7.3 | 83.5 | 921 |
| 6.8 | 78 | 801 |
| 6.3 | 68 | 647 |
| 6.0 | — | — |

从表 1 可以看出,当引用流量偏离设计流量 $Q=8.34\text{m}^3/\text{s}$ 时,水轮机的效率急剧下降,保证率低于 $p=50\%$ 时,已超出了水轮机的工作范围,全年有 50% 的时间机组无法正常运行。对于水库电站,当工作水头变化幅度太大时,也同样会导致机组无法正常运行。如某水库利用灌溉洞修建 1 座电站,尾水泄入灌溉及城市供水干渠。安装了两台单机容量为 3000kW 的混流式机组和 1 台单机容量为 800kW、水轮机型号为 ZD560—LH—120、 $\varphi=10^\circ$ 的机组,配合农田灌溉、城市供水和汛期水库弃水发电,电站最小水头 7 m,最大水头 22 m,其中轴流式机组的工作参数如表 2 所示。

从表 2 可以看出,在 7~9m 水头段,机组无法结合灌溉和城市供水发电,在 17~22 m 水头段,通常是每年的汛期,机组也无法利用水库弃水发电,让本应该用来发电的那部分水白白流掉了。

2 水轮机技术改造简介

将轴流定桨式水轮机改为手动调桨式水轮机,其机械加工部分比较简单,一般的小型水电设备厂都可以完成,改造后转轮叶片角度的调整也很容易实现。

2.1 转轮改造的技术思路^[2]

由于受规模、造价及自身结构尺寸的限制,中小型轴流定桨式水轮机无法加工得象大型轴流转桨式水轮机那样,附属 1 套结构复杂、机构庞大的控制操作系统,在水轮机运行中实现转轮叶片角度和导叶开度之间的协联关

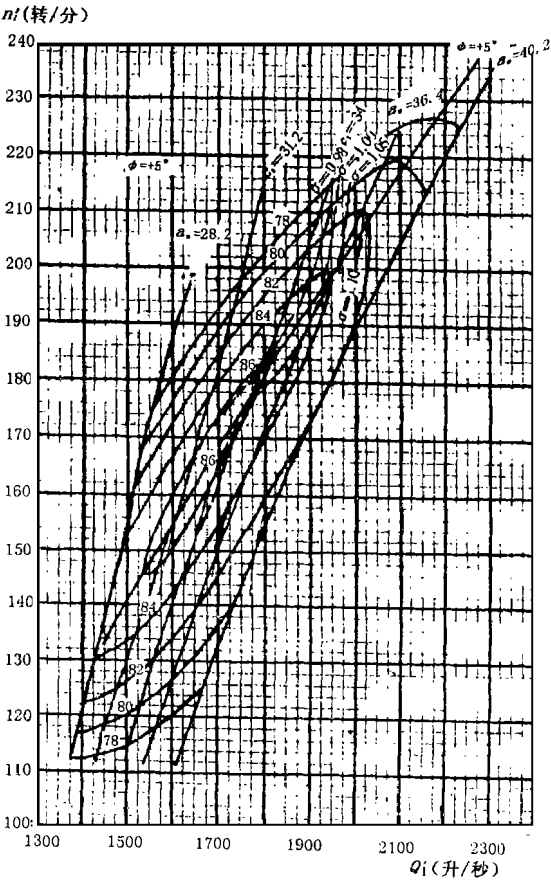


图 1 轴流定桨式水轮机模型综合特性曲线

表 2 某电站轴流式机组工作参数表

| 工作水 头(m) | 引用流 量(m^3/s) | 水轮机 效率(%) | 水轮机 功率(kW) |
|-------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 9 | — | — | — |
| 10 | 7.46 | 84 | 615 |
| 11 | 7.79 | 84.5 | 710 |
| 12 | 7.87 | 85.3 | 790 |
| 13 | 7.9 | 86 | 870 |
| 14 | 7.5 | 85 | 870 |
| 15 | 7.1 | 82.8 | 870 |
| 16 | 6.9 | 80 | 870 |
| 17 | 6.7 | 78 | 870 |
| 17 | — | — | — |

系。根据中小型轴流定桨式水轮机的结构特点,其改造思路为,在转轮轮毂上部设 1 个大齿轮,大齿轮转动则带动该齿轮中心的蜗杆(或螺杆)上升或下降,蜗杆(或螺杆)下部安装操作架,蜗杆(或螺杆)上升或下降带动着操作架上升或下降,操作架带动耳柄、联接板及销在联接板上的叶片枢轴运动,使枢轴绕自身的轴心转动,从而改变水轮机叶片的角度。蜗杆(或螺杆)的自锁性防止了叶片枢轴由于叶片受水流作用而逆向运动。在水轮机的支持盖上安装 1 个和水轮机主轴同向的小柱形齿轮和斜向安装 1 个操作杆,操作杆下部的万向齿轮和小柱形齿轮啮合,柱形齿轮可上下移动。需要调整水轮机叶片角度时,将柱形齿轮推入轮毂中和轮毂中的大齿轮啮合,转动操作杆,由万向齿轮带动柱形齿轮,柱形齿轮再带动轮毂中的大齿轮转动,从而达到调整叶片角度的目的。调整完毕后,让柱形齿轮再缩回到支持盖中和轮毂中的大齿轮脱开,不影响水轮机的正常转动。

2.2 水轮机叶片角度调节分析^[3]

一些中型轴流定桨式水轮机制造时,将叶片用螺栓把合在轮毂上,并在轮毂上预留了一些螺孔,设想在不同的运行季节,可对转轮叶片角度进行有限的调整,但在运用中实际效果很差。一方面是铸钢转轮经运行一段时间后,叶片、轮毂和螺栓很容易锈死在一起,难以拆卸。即便是没有锈死,改变一次叶片角度需要把机组全部吊出来,改变角度后再重新安装和调试,全部过程难以在一、两天内完成。

按 2.1 的技术思路对轴流定桨式水轮机进行改造后,本文称之为手动调桨式水轮机。在电网中,由于小型电站的容量相对较小,一般不承担电网负荷变化、波动的调节任务,通常是最大限度地利用水力资源,所以,小型轴流式水轮机无需在正常运转中调整叶片角度,只有当外界条件即工作水头、来流量发生一定的变化时,才有必要调整转轮叶片角度以适应这种变化,而外界条件的这种变化是有时段性的。对手动调桨式水轮机,需要调整叶片角度时,只需停机 10~15min,按事先计算好的协联关系,根据操作杆上端的开度指示仅用 1 个普通搬手,就可将叶片角度在 -15° ~ $+15^{\circ}$ 之间随意调整完毕,既不影响正常发电,操作起来又简单方便。从某种意义上讲,这种手动调桨式水轮机和仅实现叶片转角——导叶开度之间协联关系的大型轴流转桨式水轮机相比,更容易保持在最佳工况运行。

河南省青天河水库二级站 1993 年将其中 1 台机组成功地进行了改造,经专家鉴定,运行几年来收到了良好的效果。

3 手动调桨式水轮机工况分析

手动调桨式水轮机可以容易地调整转轮叶片角度,适应较大的水头和流量变幅,并且在高效率区运行。本文第 1 部分列举的两个电站改造后水轮机的工作参数如表 3 和表 4 所示。

从表 3 和表 4 可以看出,轴流定桨式水轮机改为手动调桨式水轮机以后,对水头和流量变幅的适应范围大大提高,增加了电站的有效运行时间(如将 $p=50\%$ 提高到了 $p=95\%$),充分利用了水力资源,并且使水轮机的工况基本都处在高效率区。

4 结语

通过对改造前后水轮机工况的分析可知,手动调桨式水轮机的综合性能明显高于定桨式水轮机,因此手动调桨式水轮机在我国大量低水头小水电资源开发利用中有着良好的适

