

永和水电站发电机组选型及参数确定

赵 军

长治市水利勘测设计研究院, 山西 长治 046000

[摘要] 机组选型作为水电站建设初期的关键工作, 是决定水电站综合功能能否正常发挥的重要因素。为此, 笔者结合永和水电站应用实例, 围绕额定水头、机组型式、单机容量和机组台数等方面探讨了水电站的机组选型工作, 并阐述了水轮机参数的确定, 以供实践参考。

[关键词] 永和水电站; 额定水头; 机组选型; 参数确定

Type Selection and Parameter Determination of Generator Set of Yonghe Hydropower Station

ZHAO Jun

Changzhi Water Conservancy Survey and Design Institute, Shanxi Changzhi, China 046000

Abstract: As the key work in the initial stage of hydropower station construction, unit selection is an important factor that determines whether the comprehensive function of hydropower station can be performed normally. Therefore, combined with the application example of Yonghe Hydropower Station, the author discusses the unit selection of hydropower station in terms of rated head, unit type, unit capacity and unit number, and expounds the determination of hydraulic turbine parameters for practical reference.

Keywords: Yonghe Hydropower Station; Rated head; Unit selection; Parameter determination

1 工程概况

永和水电站位于山西省沁源县郭道镇永和村东沁河一级支流紫红河上, 以向下游企业供水为主, 兼有发电、灌溉和其他效益, 是一座综合利用的水利水电工程。坝址以上控制流域面积 368km^2 , 设计总库容 968.41万 m^3 , 坝后水电站装机容量 325kW 。

枢纽工程由大坝(挡水坝段、溢流坝段)、坝下放空(排砂)洞、引水洞及水电站组成; 大坝采用混凝土实体重力坝, 坝体结合坝顶溢流、坝底放空(排砂)洞、电站引水洞等集中布置; 坝顶长 395m , 最大坝高 40.0m , 坝顶宽 8.0m , 坝顶高程为 1152.0m 。枢纽工程等别为四等, 设计洪水标准 50 年一遇, 校核洪水标准 500 年一遇。

水电站位于坝后右端, 为坝后式引水电站, 设计装机容量 $1 \times 75 + 2 \times 125\text{kW}$, 厂房为地面式。

发电引水洞位于大坝右侧的挡水坝段, 桩号 $0+282$ 处, 进口中心线高程 1130.0m , 出口中心线高程 1121.0m , 进口至电站总闸处的水平长度 29.84m 。进口处设拦污栅和检修闸门, 出坝后设控制总闸。洞身为有压圆形断面, 直径 1.2m 。

2 水电站水机设备选择与布置

电站为坝后式电站, 在保证供水的情况下发电, 发电保证率确定为 70%。根据水电站供水调节, 多年月最大调节流量为 $1.86\text{m}^3/\text{s}$, 月最小调节流量为 $0.336\text{m}^3/\text{s}$, 最大净水头为 28m , 最小净水头 12.4m 。

根据水能计算调算的结果, 根据不同的水电站特征水位, 装机容量、机型选择进行比较。

2.1 水电站的设计参数

电站特征参数见表 1。

表 1 水电站特征参数表

电站特征参数	数 值	备 注
电站发电最高水位	1148.63	
电站发电最低水位	1138.20	
电站发电设计水位	1148.00	

电站尾水位	1120.50	
电站最大净水头	28.00	
电站设计水头	26.90	
电站设计流量	1.86	
电站最小流量	0.336	

2.2 水电站装机及单机容量的确定

水电站的发电流量是根据永和水电站天然径流调节, 根据用水协议, 减去向下游用水户的供水流量后确定, 根据水能计算的结果, 结合机组选型的要求, 水电站最终确定电站的动能参数为: 最小流量 0.336m³/s, 多年月最大调节流量为 1.86m³/s, 设计水头为 26.90m。经计算最终确定实际装机容量为 325kw, 年平均发电量 84.84 万 kw · h, 年利用小时数 3000h。

机组台数确定: 根据电站装机规模与动能参数, 如果单机容量过大, 则限制了小流量时发电; 为了利用最小流量时发电, 装机按小流量多机组选用, 以保证枯水季节单机组的高效率运行, 丰水季节又能多发电。电站运行方式为每天的用电高峰期晚上发电。本电站拟定装机 3 台, 1 台小机组和 2 台大机组。小机组设计流量为 0.336m³/s, 单机容量为 75kw, 大机组设计流量为 0.763m³/s, 单机容量为 125kw。总装机容量 325kw。

根据选定装机月平均出力分析和水电站调节供水流量设计, 月平均流量在 0.336 ~ 0.5m³/s 之间的占 84.42%, 0.5 ~ 2.0m³/s 之间的占 11.6%, 2.0m³/s 以上的占 3.8%。这样, 根据拟定的机组容量, 绝大部分时段小机组可运行发电, 流量增大时则根据情况调整组合机组运行^[1]。

2.3 水轮机发电机组选择

2.3.1 水轮机选型

水轮机形式经比较采用混流式水轮发电机组, 金属蜗壳, 效率较高, 结构简单, 运行可靠, 经比选, 永和水电站 3 台机组中的 2 台大机组推荐 HLF13 转轮, 型号 HLF13—WJ—35, 配套发电机型号为 SFW125—6/590; 1 台小机组推荐 HLD54 转轮, 型号 HLD54—WJ—50, 配套发电机型号 SFW75—8/590。水轮机及发电机参数见表 2。

表2 水轮机型及发电机参数表

序号	参 数	数 值	
1	水轮机型号	HLF13—WJ—35	HLD54—WJ—50
2	装机台数 (台)	2	1
3	转轮直径 (m)	0.35	0.5
4	设计水头 (m)	26.9	26.9
5	单机设计流量 (m ³ /s)	0.76	0.34
6	额定转速 (rpm)	1000	750
7	水轮机效率 (%)	88.5	89.2
8	发电机型号	SFW125—6/590	SFW75—8/590
9	发电机容量 (kw)	125	75
10	发电机电压 (kv)	400	400
11	调速器	SDT—150	SDT—150
12	总装机容量	325	

2.3.2 水轮机安装高程确定

$$\nabla_{\text{安}} = \nabla_{\text{尾}} + H_s - \frac{D_1}{2}$$

$$H_s = 10.0 - \frac{\nabla_{\text{尾}}}{900} - (\sigma + \Delta\sigma) \cdot H - 1.0$$

式中: $\nabla_{\text{尾}}$ ——尾水位, $\nabla_{\text{尾}} = 1120.50\text{m}$;

H_s ——吸出高程 (m);

σ ——汽蚀系数;

$\Delta\sigma$ ——汽蚀系数修正值;

H ——电站设计水头;

D_1 ——转轮直径;

永和水电站设计尾水位 1120.50m，《小型水力发电站设计规范》(GB 50071—2014) 中的要求，最低尾水位淹没尾水管出口 0.5m，根据大小机组尺寸结合计算值，最后确定安装高程为 $\nabla_{安} = 1122.90\text{m}$ 。

2.4 水电站调节保证计算

电站引水主管道设在坝内，内衬 DN1200mm 的钢管，在坝后出口处安装控制主阀，阀后布置叉管，主管先由叉管分为两条 DN800mm 的渐变管，再分为 4 条支管，其中 3 条 DN500mm 的支管进入厂房，另 1 条 DN800mm 的支管通向下游，向下游工业工农业用户供水。主管长度 35.33m，最大渐变管长度 4.25m，最大支管长度 15.20m。

2.4.1 水锤及调节保证计算的内容

① 当丢弃全部负荷或部分负荷时，转速的最大升高值、压力水管和蜗壳内的压强最大升高值及最大降低值、尾水管内的最大真空值。

② 当增加全部负荷或部分负荷时，转速的最大降低值、压力水管和蜗壳内的压强最大降低值。

以上各值均应在允许范围之内。对于负水锤还应满足压力管路任何一点不出现负压且有一定余压^[2]。

2.4.2 压力管路特性及电站技术参数

压力管路特性见表 3，电站技术参数见表 4。

表 3 压力管路特性表

名称	长度Li	直径Di	管壁厚度	流量Qi	断面积Fi	流速Vi	LiVi
	m	m	mm	m ³ /s	m ²	m/s	m ² /s
主管	35.33	1.2	8	1.86	1.13	1.65	58.30
渐变管	4.25	0.8	12	1.52	0.5	3.04	12.92
支管	15.20	0.5	15	0.76	0.196	3.88	58.98
阀门~蜗壳	3.0	0.5		0.76	0.196	3.88	11.64
蜗壳	5.0	0.5		0.76	0.196	3.88	19.40
尾水管	4.0	1.2		0.76	1.13	0.67	2.68
合计	66.8						163.92

表 4 电站技术参数表

序号	内容	单位	数值
1	发电最高水位	m	1148.63
2	发电设计水位	m	1148.00
3	发电最低水位	m	1138.20
4	尾水位	m	1120.50
5	最大净水头	m	28.00
6	设计水头	m	26.90
7	最小静水头	m	12.40
8	电站最小流量	m ³ /s	0.336
9	单台机流量	m ³ /s	0.76
10	主管直径	m	1.2
11	最大管长	m	66.78
12	导叶关闭时间	t	5
13	机组转动惯量	t · m ²	6
14	单机额定出力	kw	125
15	机组额定转速	t/min	1000
16	水轮机吸出真空高度	m	-1.9

2.4.4 水锤压强及转速变化的计算

① 压力管路等价波速计算

按照水锤波速计算公式，把蜗壳及尾水管中的水流假定为一元流，将其作为压力管路的延续部分，分别求出主管、支管、蝶阀、蜗壳、尾水管处的波速 C_i ，最后求出压力管路等价波波速 \bar{c} ，则等价波速：

$$\bar{c} = \frac{\sum L}{\sum \frac{L_i}{v_i}} = 1000 \text{ (m/s)}$$

② 压力管路流速计算

压力管路流速按等价流速计算，则等价流速：

$$\bar{V} = \frac{\sum L_i V_i}{\sum L} = 2.46 \text{ (m/s)}$$

③ 水锤性质判别

$$\text{水锤波相长 } t_{\text{相}} = \frac{2\sum L_i}{C} = 0.13 \text{ (s)}$$

因 $T_s = 5s > t_{\text{相}} = 0.13s$ ，故发生间接水锤。

④ 水锤压强及速率上升值计算

在最高静水头、设计水头情况下机组丢弃全部负荷时，将会产生正水锤。在最低静水头情况下机组丢弃全部负荷时将会发生反水锤，在增荷时使最后一台机组投入运行时将会产生负水锤。计算结果见表 5。

表 5 水锤及调节保证计算表

H静 m	B %	[B] %	ζ %	[ζ] %	ΔH m	$\Delta H+H$ m	H尾 m	[H尾] m
27.53	4	60	11.0	50	3.03	29.56	1.98	8
26.90	4	60	12.0	70	3.23	30.13	1.98	8
17.10	-4.1		-19.0		-3.25	13.85		8
17.10	-2.2	60.0	-16.0		-2.74	14.36		8

⑤ 计算结果分析

根据计算结果分析，永和水电站坝后水电站在发生水锤情况下，其水锤压强及转速变化的各项数值均在允许范围内，故不需设调压设备。

2.4.5 水轮机附属设备

根据公式 $A = 30gQ\sqrt{H_{\max}D_1}$ 计算调速功，大、小机组调速功分别为 $696N \cdot m$ 和 $371N \cdot m$ 。参考有关机组选型手册，调速器型号为 SDT—150，3 台机组各配 1 套。

水轮机进水阀门均选用 Z45T—10 型电动闸阀。大、小机组进水阀公称直径分别为 DN500 和 DN400。

2.4.6 电站辅助机械设备

1) 供排水系统

① 水用户

本站用水设备为发电机推力和轴承冷却器、发电机空气冷却器和水轮机水导轴承冷却器以及厂内生活用水。

② 水源及取水方式

由于本电站工作水头较低，采用从压力钢管取水即可满足技术供水要求。在每台机组的压力钢管进水阀前分别设技术供水取水口，后接滤水器，然后接技术供水总管，分别接入水轮机径向推力轴承和发电机径向导轴承冷却器。电站生活供水也取至技术供水总管。

③ 滤水器及供水管径确定

根据供水量和电站运行时间，本电站采用进出水管口径为 DN50mm 的固定式自动滤水器，技术供水总管管径采用 DN50mm 钢管。

④ 排水系统

发电机轴承冷却器、空气冷却器排水、水导轴承冷却器均通过自流排至闸门后尾水池。厂内生活排水也通过自流排至闸门后尾水池。

厂房渗漏水由厂房内排水沟自流排至闸门后尾水池。

2) 油系统

① 透平油系统

本电站透平油用油设备主要有调速器油压装置、发电机推力及轴承和水轮机水导轴承。透平油系统设置专门的油库和油处理室，选用油泵、压力滤油机和真空滤油机等设备。

② 绝缘油系统

本站绝缘油用油设备主要是变压器。绝缘油在更换时可直接排走旧油换成新油。

3) 压缩空气系统

本电站空气系统只设低压气系统。低压气系统工作压力 0.7Mpa, 主要供机组制动、风动工具用气和吹扫用气。本电站低压气系统选用了空压机设备。

4) 水力监视测量系统

水力监视测量内容包括: 上、下游水位监测, 拦污栅前后压差、水轮机工作水头、轴功率、蜗壳进口压力、尾水管进口真空、压力管道的流量、技术供水温度、机组效率等监测。

5) 起重机及机修设备

① 厂内起重设备

本电站机组最大起重件为发电机, 重约 3.7t, 因此选用起重量为 5t 的电动单梁起重机。起重机行走部分为轻级工作制, 电气部分为中级工作制。

② 机修设备

参考原水电部颁布的《水电站机械修理设备配置标准》中的规定, 需酌情选配及修设备。考虑该电站容量较小, 故检修设备从简。

表 6 机械修理设备配置表

序号	名称	规格	单位	数量	备注
1	落地砂轮	J3SL—300, 1.5kw	台	1	
2	手提砂轮	J3SL—125, 0.25kw	台	2	
3	直流电焊机	AX—320, 12kw	台	1	
4	手枪钻	冲击两用, 0.15kw	个	2	
5	手动葫芦	HS2	个	1	
6	千斤顶	LQ5	个	2	

3 水力机械主要设备布置

3.1 主厂房

电站机组采用一字形布置。发电机层与安装间在同一高程, 发电机层高程 1122.10m, 布置有调速器, 水轮发电机组、机旁屏。闸阀层高程 1120.40m, 设有电动闸阀、自动滤水器等。厂房内安装电动单梁起重机。

根据机组设备尺寸, 机组轴线间距为 6m。主厂房宽 9m, 长 25m, 安装间长 5.77m。厂房高度以安装间为基准算起吊高度, 起重机轨顶高程 1127.40m。

3.2 副厂房

副厂房布置在主厂房的右侧, 与主厂房并排布置, 轴线宽 5.8m, 轴线长 13.20m。地面高程 1122.10m, 设有中央控制室、高低压配电室、电工实验室等。地面下设电缆沟, 与主厂房电缆相接, 通至各机组位置。

4 水力机械主要设备表

电站水力机械主要设备见表 7, 电站水力机械附属设备见表 8。

表 7 电站水力机械主要设备表

序号	名称	规格	单位	数量	备注
1	水轮机	HLF13—WJ—35	套	2	
2	水轮机	HLD54—WJ—50	套	1	
3	发电机	SFW125—6/590	套	2	
4	发电机	SFW75—8/590	套	1	
5	调速器	SDT—150	套	3	
6	阀门	Z45T—10, DN500	套	2	
7	阀门	Z41T—10, DN400	套	1	
8	伸缩节	DN500, PN0.6Mpa	套	2	
9	伸缩节	DN400, PN0.6Mpa	套	1	
10	励磁装置		套	3	
11	自动化元件		套	3	厂家配套
12	电动单梁起重机	5t, LK=7.5m低速轻级	台	1	按常规配置

表 8 电站水力机械附属设备表

序号	名称	规格	单位	数量	备注
1	自动滤水器	DN50	台	2	
2	油泵	KCB—4.5	台	2	
3	压力滤油机	LY—50	台	1	
4	真空滤油机	ZJCQ—1	台	1	
5	低压空压机	PN=0.8Mpa W=2m ³ /min	台	1	
6	空调	5P	台	1	中控室
7	电暖气	2kw	台	2	值班室等
8	轴流风机	FT40I NO.5	台	2	主厂房
		FT40I NO.3	台	2	副厂房

5 结论

通过对永和水电站机组选型和参数确定的分析过程，可以明确机组选型及参数确定工作是影响水电站综合效益的重要因素。因此，水利工作者必须综合考虑到水电站建设的经济性和建成后发电效益的最大化，并确保水电站在枯水季节能够保持较好的稳定性及可靠性。永和水电站工程经过多种方案比选后，机组机型选择为HLF13—WJ—35型，有效提高了水电站的经济效益。

[参考文献]

[1] 郑冬飞, 李仕宏. 吉沙水电站机组型式及主要参数的选择[J]. 水力发电, 2012 (03).

[2] 江勇. 浅谈小型水电站机组选型设计中的若干问题[J]. 广东水利水电, 2008 (02).

作者简介: 赵军 (1974年7月), 高级工程师。1997年毕业于太原理工大学水利系水利水电工程建筑专业, 目前任职于长治市水利勘测设计研究院高级工程师。