

老挝会兰庞雅水电站机组选型设计

伍晓芳, 黄玉虎

(广西电力工业勘察设计研究院, 广西南宁 530023)

摘要:老挝 Houay Lamphan Gnai(会兰庞雅)水电站为 EPC 合同建造项目, 业主单位老挝国家电力公司, 总承包单位为中国葛洲坝集团第二工程公司, 电站的引水系统长约 6.5 km, 装机容量 88 MW。本文介绍了该水电站的基本情况, 并阐述了基于水电站特殊引水系统下机组选型和主要参数确定过程, 本文对于有类似长引水系统的国外 EPC 项目的设计有一定的参考意义。

关键词:老挝 Houay Lamphan Gnai(会兰庞雅)水电站; 水轮机参数; 发电机参数; 调节保证计算

中图分类号: TV7; TK73

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)02-0125-03

0 电站概况

老挝 Houay Lamphan Gnai(会兰庞雅)水电站位于老挝南部的 Bolaven 高原的 Houay Lamphan Gnai(会兰庞雅)河流上。电站采用引水式, 上游工程总控制流域面积约 237 km²。水库正常蓄水位 820 m, 死水位 795 m, 最大库容 1.41 亿 m³, 有效库容 1.22 亿 m³。拦河坝坝型为粘土心墙堆石坝, 最大坝高 75 m, 右岸设溢洪道, 孔净宽 10 m。引水隧道位于右岸, 采用一洞二机布置, 隧洞长约 6.5 km, 洞径 2.4 m。引流隧洞共 5 条, 总长约 5.0 km, 洞径为 2 m~3 m。地面发电厂房位于 Sekong 省, 装机容量 88 MW, 装 2 台机组。

电站属于老挝国家电力公司(EDL)南方电网, 目前该电网最高电压等级为 115 kV。

老挝会兰庞雅水电站为 EPC 合同建造项目, 业主单位为老挝国家电力公司, 总承包单位为中国葛洲坝集团第二工程公司, 工程于 2010 年 11 月 8 日正式开工。

1 电站基本设计参数

(1) 特征水位

正常蓄水位 820 m

死水位 795 m

最大库容 1.41 亿 m³

有效库容 1.22 亿 m³

(2) 尾水位

最高尾水位 202.77 m

(3) 流量

多年平均流量 11.9 m³/s

(4) 电站特征水头

最大水头 613.0 m

额定水头 529.0 m

最小水头 514.3 m

(7) 水文气象

多年平均气温 26.8 ℃

极端最高气温 41.2 ℃

极端最低气温 5.5 ℃

多年平均相对湿度 86%

2 水轮机及其附属设备选择

2.1 机组机型和台数选择

虽然本电站水头范围在 514.3~613 m, 属于混流式机组与冲击式机组均可适用的水头段, 但是本电站额定流量 $Q = 9.69 \text{ m}^3/\text{s}$, 相对较小, 而且由于其引水系统很长, 引水管径相对较小, 引水系统流速相对较大, 为了保证在机组甩负荷过程中减少水锤, 增大系统稳定性, 考虑选用水斗式机型。

水斗式水轮机用于高水头电站, 虽然它的最高效率低于混流式水轮机, 但其对负荷的适应性较强, 在 25%~100% 额定负荷范围内运行时, 可根据出力变化自动切换喷嘴数, 效率较高, 机组稳定、运行区域宽广, 设计制造和运行经验均很成熟, 转轮寿命也不断延长, 因此在国内外得到了广泛的应用。

(1) 转轮比较

本电站初步设计中, 采用目前国内较先进的

收稿日期: 2013-10-28

冲击式转轮模型 A237 和 A475 进行了比选,参数如表 2-1 所示。

表 2-1 A237 和 A475 转轮模型参数比较表

转轮型号		A237	A475
模型转轮直径 /m	0.4	0.4	
应用水头		600	1 000
最优工况	n_{11} (r/min)	40.5	41
	Q_{11} (m ³ /s)	65.5	81.5
	η (%)	91.05	91.5
额定工况	N_{11} (r/min)	38.07	39.13
	Q_{11} (m ³ /s)	98.37	102.49
	η (%)	89.3	90.45
	n_e (m·kW)	18	18.03

从参数表可以看出,A475 转轮适用水头较高且效率比 A237 略高。A237 转轮的最大优点是分水刃外径较大,每个水斗能截取较多射流,因此整个转轮所需水斗数较少,水斗根部强度较好。而 A475 转轮具有以下特点:

1) 转轮水斗背部无肋筋,水的流道畅通阻力小,因此,具有较高效率;

2) 水斗对轮辐的倾角较小,分水刃和切水刃较低,可降低应力和减轻水斗重量;

3) 转轮采用轻斗和强轮辐结构,可避免由交变应力产生共振和应力集中;

4) 水斗具有圆形浅斗状,水力半径大,具有良好的抗磨损和抗气蚀能力。

综合考虑上述,采用 A475 转轮进行设计。

(2) 喷嘴数选择

A475 转轮有 4、6 喷嘴模型数据,本电站水斗式水轮机的喷嘴数可以选 4 或 6,以 2 台单机容量 44MW 的装机方案进行了喷嘴数的分析比较,计算结果见表 3-3。

表 3-3 4 喷嘴与 6 喷嘴方案机组参数比较表

项目	单位	方案 1	方案 2
水轮机转轮		CJA475	CJA475
喷嘴个数	个	6	4
转轮直径 D	m	1.80	2.10
射流直径 d_0	cm	14.4	17.7
额定转速	r/min	500	428.6
额定流量	m ³ /s	9.60	9.69
安装高程	m	205.20	205.70
n_e	(m·kW)	41.97	35.98
厂房长度	m	44.2	45.0
厂房宽度	m	17.0	17.0
厂房高度	m	28.5	28.0

从上表可见,不同喷嘴数方案的厂房尺寸及厂房各层高程相差不大,主厂房土建工程量相差

甚微。因此喷嘴数的选择主要从机组及其附属设备的结构、造价、运行维护的方便等因素来考虑。从机组造价方面讲,6 喷嘴方案机组转速高,发电机造价相对便宜,但尽管水轮机转轮直径稍小,而由于喷嘴数多,水轮机折向器装配、喷嘴喷针装配、配水环管装配等结构更复杂,水轮机总体造价反而较高;从调速器及其油压装置方面讲,6 喷嘴方案的调速器由于调节对象多,内部系统结构复杂,价格也相对较高;从油、气、水等辅助系统设备投资上讲,两个方案的投资均差不多相同,因此从一次性投资角度比较,6 喷嘴数方案的高于 4 喷嘴方案。

从机组稳定运行角度讲,为了保证机组的稳定性,水斗式水轮机机组的运行范围应控制在 (25% ~ 100%) 额定出力范围内。一般说来,水轮机喷嘴数多,对于机组的功率调整而言可能更便利。但是根据对本电站机组水头出力加权因子计算得知,本电站机组在各种水头下不大于 50% 额定出力运行的总加权因子很低,约 1.3%,即各水头段下,50% 以下流量的工况运行的概率很小,4 喷嘴完全可以满足机组出力(对应流量)调节的要求,因此选择 6 喷嘴方案没有优势;而且从电站建成后的水轮机及调速系统设备的运行维护上讲,4 喷嘴方案由于结构相对简单,维护工作量少,具有相对优势。

综合上述比较,在电站基本设计报告阶段推荐了 4 喷嘴方案。最终预估水轮机主要参数如下。

2.2 初选水轮机主要参数

水轮机型号 CJA475-L-210/4X17.7

水轮机额定出力 NT 45.36 MW

额定转速 n 428.6 r/min

额定流量 Q_r 9.69 m³/s

3 发电机参数初选

根据电站机组设计出力和上述水轮机选型设计所确定的转速,如果按照正常设计计算,得到的发电机初步参数为:

型号: SF44-24/()

型式: 立式

额定容量: 48.89 MVA

额定功率 N : 44 MW

额定转速 n : 428.6 r/min

电压等级:	10.5 kV
额定频率:	50 Hz
额定电流:	2 688 A
功率因数 (lag):	0.9
发电机转子外径:	3 510 mm
发电机转子高度:	1 700 m
转子重量:	108 t
转动惯量 GD ₂ :	580 t·m ²

4 电站调节保证计算和机组参数调整

4.1 调节保证初步计算

电站负荷变化或因事故全甩负荷时,将会引起输水系统中水压、机组转速的变化,本电站引水管道总长约 6.5 km,调压井后的压力引水管道长约 1 621 m,直径为 2.0 m,然后分岔引至二台机组,分岔管直径为 1.4 m。由于管线长,管内流速较大,有压管段引水系统水流惯性常数 T_w 值较大,各种工况下均大于 4.0。由于项目的特殊性质,在施工设计阶段,引水系统的洞径增大受限。

按照机组初步选型计算,机组的转动惯量约 GD₂ 580 t·m²,按照 T_a 与机组转动惯量 GD₂ 之间的换算公式: $T_a = (n \cdot n \cdot GD_2 / 365 \cdot N)$, 机组时间常数 T_a 约为 6.6, $T_a / T_w = 6.6 / 4.0 = 1.65$ 。而根据相关规范,为了满足机组容量小幅度调节时过渡过程计算的稳定性,系统水流惯性时间常数 T_w 与机组时间常数 T_a 之间存在一个比例关系,即 T_a / T_w 的比值在 2.5 ~ 3 之间。因此上述机组参数选型计算得到的转动惯量将保证不了机组甩负荷过渡过程的稳定性。

为了满足保证机组甩负荷时的稳定性,根据选用的转轮的特性曲线,对本电站不同上库水位、不同的 GD² 及机组甩不同负荷的情况,使用一定的两段折线针阀关闭规律和折向板动作规律进行了电站小波动过渡过程计算。计算结果表明,机组转动惯量取 580 t·m² 时,电站稳定性较差,出力改变后,机组转速最终摆动幅度在 10% 左右,而转动惯量加大到 850 t·m² 后,系统稳定性较好。

4.2 机组参数调整

综合考虑上述各个方面,为了满足机组调节保证计算,即保证机组甩负荷时的稳定性,必须对

机组的转动惯量进行调整。由于水轮机转动部分转动惯量小,则调整转动惯量的关键在于调整发电机的结构参数,最后经过项目机组制造厂家的设计计算,调整得到的发电机部分结构参数修改为如下:

转子外径:	4 048 mm
转子高度:	1 450 mm
转子重量:	112 t
转动惯量 GD ₂ :	850 t·m ²

6 结论

本项目冲击式机组水轮机喷嘴数,除了关注常规的水轮机选型条件外,还充分考虑项目所在地的实际水能水文情况,分析电站水库径流及出力分布情况,最终选择少的喷嘴数量,简化了水轮机机构和附属设备,降低造价,也方便了运行。

本电站为国外 EPC 项目,项目国外业主在招标时已经有初步的总体布置方案,水库、大坝、引水系统和厂房位置都基本确定。项目投标过程中为了增强竞争力量,对于比较小的引水系统洞径维持了原招标设计参数,导致本电站 T_a / T_w 比值偏大,按照常规设计的机组转动惯量难以满足机组甩负荷时水力过渡过程的稳定,因此不得不对发电机的形体进行必要的改进,经过改进设计的水轮发电机组的转动惯量最终可以满足机组甩负荷时稳定性需要。但是,需要说明的是,类似于本项目的发电机形体的改变,不仅会影响厂房设计尺寸,也往往会使得一些已经系列化的发电机组成本提高,这是国内企业在进行国外 EPC 投标设计时要高度重视的。

本电站冲击式水轮机的选型设计、发电机的改进设计经验对于类似长引水系统冲击式机组电站国内外 EPC 项目的投标报价、施工设计有一定的参考意义。

作者简介:

伍晓芳(1968-),女,高工,广西电力工业勘察设计研究院,从事水力机械专业设计;

黄玉虎(1936-),男,高工,广西电力工业勘察设计研究院水电管理部顾问,国家级监理工程师,从事水电站水工设计、设计、工程监理。

(责任编辑:姚国寿)