

费效比分析在箱子河电站总体方案选择中的应用

黎丹

重庆江源工程勘察设计有限公司, 重庆 401120

[摘要] 箱子河水电站位于贵州省毕节市纳雍县水东乡箱子河, 采用在箱子河上游修筑低坝挡水, 拦截的径流通过管渠输水至电站压力前池的引水式开发方式, 电站枢纽的主要建筑物有挡水坝、引(输)水石渠、引(输)水隧洞、压力前池、发电压力管道及主、副厂房等, 电站装机3台, 总装机容量1890kW。长期以来, 大部分小型电站业主将控制成本的主要精力放在施工图预算审核上, 忽略了方案在工程建设的影响, 往往参考相关经验, 直接指定设计单位一个装机规模, 建筑成本又要控制的很小, 这往往并不是最优的功能成本比; 设计组针对山区引水式小水电站点多线长、各分部工程重要程度及费效比并不完全一致的特点, 通过费效比计算分析, 优选方案, 在合理的投资范围内, 达到最优的发电装机规模, 从现场实际效果来看, 运用本方法确定的电站工程总体方案, 得到了项目业主的认可。

[关键词] 中小型电站; 功效; 成本

DOI: 10.33142/hst.v4i4.4406

中图分类号: F426.61

文献标识码: A

Application of Cost-benefit Ratio Analysis in Overall Scheme Selection of Xiangzi River Hydropower Station

LI Dan

Chongqing Jiangyuan Engineering Survey and Design Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract: Xiangzi hydropower station is located in Xiangzi River, Shuidong Township, Nayong County, Bijie City, Guizhou Province. It adopts the diversion development method of building a low dam at the upstream of Xiangzi River to retain water, and the intercepted runoff is transmitted to the pressure forebay of the hydropower station through pipes and canals. The main buildings of the hydropower station hub include retaining dam, diversion (transmission) stone canal, diversion (transmission) tunnel, pressure forebay, power generation penstock and main auxiliary power house, etc. the power station has 3 installed units, with a total installed capacity of 1890KW. For a long time, most owners of small power stations have focused on the budget review of construction drawings, ignoring the impact of the scheme on project construction. They often refer to relevant experience and directly designate a design unit with an installed capacity, and the construction cost should be controlled very small, which is often not the optimal function cost ratio. In view of the characteristics of multi line length, importance of each divisional project and cost-effectiveness ratio of diversion type small hydropower station in mountainous area, the design team optimizes the scheme through cost-effectiveness ratio calculation and analysis to achieve the optimal installed power generation scale within a reasonable investment range. From the actual effect on site, the overall scheme of power station project determined by this method is adopted, which has been recognized by the project owner.

Keywords: small and medium-sized power station; effect; cost

1 项目概况

1.1 项目背景

根据纳雍县社会经济发展现状, 全县电力供需矛盾十分突出。加之“西电东送”战略, 给小水电发展带来了机遇, 据有关资料显示, 纳雍县水能资源理论蕴藏量22.4万kW, 可开发利用量14.2万kW, 具有开发建设资源优势。

箱子河水电站工程是纳雍县脱贫致富的希望工程, 它的建设能充分利用当地资源, 进一步改善农民生产、生活条件, 改善生态环境, 促进地方经济可持续发展, 促进西部大开发, 为全面建设小康社会和社会主义新农村提供有力的能源支撑和保障。

1.2 项目难点

在我国, 中小型水电站定义虽然不断调整提高, 到现阶段, 主要是指单站容量小于50000KW的水电站, 西南山区由于落差大, 中小河流众多, 水能资源丰富, 中小型水电站的建设需求较大, 相应的水电站总体方案设计在此类电站建设过程中占有重要的地位, 对项目建设的成效有较大的作用。

虽然方案设计在前期工作中占有重要的作用, 但由于资源、成本等原因, 很大一部分小型电站的投资建设单位,

主要关注绝对的成本控制，特别关心施工图预算，往往忽略了电站总体布置方案的核心地位，喜欢参考相关经验，直接指定设计单位一个装机规模，建筑成本又要控制的很小，这往往并不是最优的功能成本比；本次箱子河电站设计中，设计组多次与业主方沟通，意图找到最优的总体电站方案，在合理的投资范围内，达到最优的发电装机规模，这是本次设计的重点，也是难点。

2 主要内容

2.1 主要方法及模型

本电站功能比较单一，主要是发电，而投资成本中，建筑工程投资占比较大，为找到总体方案的最优功能成本比，方案阶段采用价值工程理论，对箱子河电站引水及发电建筑物布置方式进行分析。

价值工程理论是 19 世纪五十年代左右由美国通用电气公司工程师研究创设，它初期主要是在工业产品的研发和生产销售领域产生了巨大的价值，随着理论的逐步丰富，已经广泛应用于工程建设领域的各个环节，它的基本思路是进行方法、工艺、技术路线等的技术经济比较，通过费效比的定性和定量分析，探求提高工程建设成果的价值，力求高效，并降低相对成本，确保工程建设取得良好的效果。

价值工程从 80 年代末传入我国，在一些重点工程中开始试点，在中小型项目中使用不多，从试点实施效果来看，设计师通过对功效和成本的系统分析，不断总结、完善、创新，在工程寿命期内的功效比是较高的，综合效益较好，得到了工程建设领域各相关方的一致推崇，在中小型电站设计领域应用前景好，总结下来，该理论有如下核心内容：

电站建设领域的价值，其实是功效与成本之间的动态关系，作为功效来说，相应的指标有年发电量、寿命期总发电量、投资回收期、环境友好性等指标，它相对于建站成本之间的比例关系，就是价值的量化表现。从项目业主的感官体验来说，就是满足其需求的情况下，投入的资源量的大小，即价值，而实现它，从工程建设领域来看，无外乎以下五种途径，见下表 1。

表 1 中小型电站价值实现的路径表

模式	条文	实现路径	可行性
$\text{价值} = \frac{\text{功能} \uparrow}{\text{成本} \downarrow}$	提高功能，降低成本；	优化方案，进行技术创新	中等
$\text{价值} = \frac{\text{功能} \rightarrow}{\text{成本} \downarrow}$	保持功能，降低成本；	进行技术创新	较高
$\text{价值} = \frac{\text{功能} \uparrow}{\text{成本} \rightarrow}$	提高功能，保持成本；	优化方案	中等
$\text{价值} = \frac{\text{功能} \uparrow \uparrow}{\text{成本} \uparrow}$	功能提高很多，适当提高成本；	方案深度调整，进行技术创新	中等
$\text{价值} = \frac{\text{功能} \downarrow}{\text{成本} \downarrow \downarrow}$	功能适当下降，极大降低成本；	方案调整，进行深度技术创新；	低

对中小型电站业主来说，项目建设成本包括前期研究、征地、建筑安装、投产运行等各种有形和无形的投入，也是项目要达到业主期望所需要全部资源，这些成本贯穿于项目的施工-运行全寿命周期，也可以只关注某个阶段，它将目标成本与现实成本进行对比，不断对方案进行电子推演和试错，找到某种降低成本的途径，实现项目价值最大化。

2.2 主要工作内容

箱子河电站的运行工作特点是利用拦河低坝挡水、发电引水系统引水、发电厂房进行水力发电。电站开发的方式主要有坝后式、引水式、河岸式等形式。结合该工程地形地质条件，坝址处为天然河道，河床宽约 15m，上下游水位差较小，河道坡度较大，不利于选择坝后式和河岸式。若采用河床式和坝后式开发方式，需修建长近 20m，高 10.5m 的坝，且淹没损失大，投资很大。采用引水方案开发方式，利用坝址河床面与厂区自然高差约 78m，发电效益较高，建坝高度 6.7m，引水渠长 2577.493m，且前池、厂房有较好的地质、地形条件。因此，箱子河电站采用引水式开发方式。

本次选取纳雍县水东乡箱子村基子岩处作为箱子电站拦水坝的坝址，拟定的坝址上游及下游均没有更优的坝址方案选择，电站工程总体布置选取了两个方案进行比较，方案一：混凝土重力坝+左岸引水隧洞+中线压力管道+下厂址；

方案二：混凝土面板堆石坝+右岸引水隧洞+右线压力管道+上厂址；为验证总体方案的技术经济可行性，现利用价值工程理论对项目初设代可研总体方案投资的成本进行分析，并提出推荐的总体布置方案；

对箱子河电站来说，成本费用的开支中，建筑安装工程占比为约 70%，造价最高，以建安成本作为控制成本进行分析，利用价值理论分析方程将其进行细分，整理出结构承载安全、运行管护方便、资源利用高效三项一级功能及相应的二级功能，如下表 2：

表 2 功能分解表

发电→→	G1 结构承载安全→→	强度稳定性
		耐久
		抗震稳定
	G2 运行维护方便→→	厂区布置合理
		前池、管道等设施可维护性好
	G3 资源利用高效→→	防洪墙及地下结构防渗
排水体系完整		

通过前述的价值理论分析方程，根据电站的等级和电网中的作用，可确定相应的重要性系数及功能系数，再根据上述三个一级子功能的成本影响因素，得到各功能成本系数 C_i ，并利用公式 $C_{vi} = \frac{C_i}{\sum C_i}$ ，计算两个总体方案的成本系数，两个方案的成本分析结果如下表 3、表 4 所示。

表 3 方案 A 成本分析

建安投资组成	成本		子项功能成本		
	(万元)	排序	G1	G2	G3
挡水工程	44.76	4	31.45	6.35	6.96
引水工程	502.69	1	378.72	88.56	35.41
发电厂工程	145.34	3	103.78	29.87	11.69
房屋建筑工程	31.53	5	10.72	18.27	2.54
机电设备及安装工程	279.62	2	102.83	154.67	22.12

表 4 方案 B 成本分析

建安投资组成	成本		子项功能成本		
	(万元)	排序	G1	G2	G3
挡水工程	121.3	4	96.53	11.98	12.79
引水工程	573.38	1	445.17	94.76	33.45
发电厂工程	153.61	3	116.74	23.69	13.18
房屋建筑工程	30.79	5	11.85	16.23	2.71
机电设备及安装工程	286.37	2	104.31	158.61	23.45

根据上述成本分析结果，对两个总体方案的成本系数进行对比计算，结果见下表 5。

表 5 总体方案影响系数计算表

子项	成本系数 C_{vi}		价值系数 V_i	
	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B
G1	0.714	0.767	1.012	0.837
G2	0.165	0.143	1.005	0.951
G3	0.059	0.051	1.107	1.279

根据上表价值系数计算结果，方案 B 的 G1、G2 子功能的成本占比大于功能的实现，成本值偏高，应对 G1 和 G2 两项重点改进，G3 子功能的计算结果显示，其投入成本比重相对于功能，偏离过大，需进行改进，从总体来看，方案 A 的除 G3 外，其值均接近临界点 1.0，较为合理，确定为推荐总体方案，但仍需要进行细部优化。

基于上述总体思路，总体方案布置如下：

箱子河电站工程由挡水低坝、引渠(隧洞)、压力前池、厂区压力钢管、主、副厂房、变电站、综合楼、以及泄水建筑物、闸门等金属结构组成。

挡水建筑物布置在纳雍县水东乡箱子村基子岩处,为埋石砼重力坝,正常水位 1215.693m,最大坝高 6.7m,坝顶长 18.3m,右岸重力坝段嵌入岸坡基岩中,中部为溢流坝坝段,溢流堰顶高程 1215.69m,靠大坝左岸为非溢流挡水混凝土重力坝段,与右岸通过闸桥连接,坝顶面高程 1217.69m。

中部溢流坝坝过流,采用折线型实用堰,堰顶宽度 3.0m;坝段高 6.7m,采用 C20 埋石混凝土,迎水面坝坡比为 1:0.35,下游砌筑面坡比 1:0.8,上游迎水面及下游溢流面采用 C25 钢筋砼防渗和抗冲刷,钢筋砼厚 0.5m,采用长为 1.5m 的 $\Phi 25$ 锚杆嵌入埋石砼 1.0m,间排距 1.5m,呈梅花型布置。在 1208.99m 设置齿墙并回填 C20 砼,坝体向下设置齿墙,下游齿墙深 0.8m,宽 1.0m,齿墙开挖坡度 1:1.0,坝基建基面位于完整基岩层,设计高程为 1208.19m。溢流坝下游接消力池,采用底流消能。

非溢流坝长 3.0m,顶宽 1.5m,下游发电取水口设计尺寸 2.4 \times 1.25m。取水口进口处基底高程 1214.44m,取水口设取水闸门,为平面钢闸门,闸门尺寸 2.7m \times 1.5m,启闭机为手动螺杆启闭机。距取水口 0.8m 处设 $\Phi 600$ mm 冲砂管,坝后设闸阀,进口底板高程 1212.00m。

引水渠道布置在左岸,全长 2577.493m,采用明渠+隧洞的型式将水引至前池。压力钢管起始于压力前池进水室末端,进口底高程 1208.00m,管道出口接主厂房,管道出口中心高程 1135.40m,采用 $\Phi 1300 \times 10$ 焊接钢管, Q235C 材质,管道水平距离 89.60m,主管在桩号 G0+089.568 处渐变为 $\Phi 600$,岔管有两处,分别位于桩号 G0+071.948、G0+081.323 处,岔管采用非对称 Y 形布置,岔管夹角 54°,岔管后接支管,支管为 $\Phi 600 \times 10$ 焊接钢管,支管总长度 25m(截止电站外墙边缘);压力钢管进口端设置 DN300 排气孔,钢管末端设置 DN650 放空闸阀。

压力钢管后接厂房,厂房总长度为 32.40m,宽为 13.00m。电站设综合楼一栋,位于发电厂房左后方上游侧,长 15.30m,宽 9.70m,两层砖混结构。

3 工作效果

根据上述优化布置成果,电站修建完成后,总投资为 1456.79 万元,其中建筑安装工程 1035.31 万元,施工临时费用 127.67 万元。从工程财务数据显示的结果来看,箱子河电站单位千瓦投资为 7586.24 元,单位电量投资为 1.78 元/kW \cdot h,单位发电成本(含经营成本)为 0.1 元/kW \cdot h,财务内部收益率经计算,结果为 10.12%,满足财务基准收益率 10%的要求,财务净现值为 10.80 万元,远大于零,敏感性分析也满足国家规范规程要求,电站单位经济指标和纳雍县临近同类型新建电站对比,效益和抗风险能力是比较好的。

从结果来看,基于价值工程理论的费效比分析在箱子河电站总体方案研究中是比较成功的,设计组针对山区引水式小水电站点多线长、各分部工程重要程度及费效比并不完全一致的特点,参考价值工程理论提出适用于小型水电站的成本分析模型,能较快速的找到适合于该工程的总体方案。从现场实际效果来看,运用本方法确定的电站工程总体方案,在同地区电站投资效费比较高,各项指标均符合国家对小水电工程建设项目评价要求,得到了项目业主的认可,值得在今后的工作中继续完善总结。

[参考文献]

[1]王乃静.价值工程概论[M].北京:经济科学出版社,2006.

[2]沈岐平,刘贵文.建设项目价值管理.理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

作者简介:黎丹(1976.7-),男,毕业于武汉水利电力大学水利水电工程专业;现就职于重庆江源工程勘察设计有限公司,总工程师,高级工程师。