

沙河抽水蓄能电站可行性研究若干问题论证

黄炳照 徐卫忠

施泽凤

(河海大学农村电气化学院 南京 210098) (溧阳市计委 江苏溧阳 213300)

关键词 抽水蓄能电站 可行性研究 装机容量 碾压混凝土坝 半地下式厂房

为了改善电网运行条件,江苏省溧阳市计委于1990年4月委托河海大学设计院对沙河抽水蓄能电站进行预可行性研究,对电站站址选择做了大量的前期工作,选择了以沙河水库为下水库,在库区龙界沟兴建上水库的抽水蓄能电站方案。1991年9月,江苏省计经委批准该项目立项。1991年11月,溧阳市委托河海大学农村电气化学院对沙河抽水蓄能电站进行可行性研究设计。下面就可行性研究中的几个主要问题进行论证。

1 装机容量规模

抽水蓄能电站的装机容量一般根据负荷设计水平的日负荷图用能量平衡法来确定。

1.1 设计水平年的选定

根据溧阳市经济发展总体规划对电力供应的需求,并考虑当前电力供需的实际矛盾,该电站计划在2000年投产。根据有关设计规范,考虑电站施工准备期(包括勘测、设计)一年、施工期三年,选定设计水平年为2005年。

1.2 设计水平年负荷预测

根据溧阳市电网的具体情况和已有资料,采用一元回归预测法、灰色预测法和自适应过滤法,对溧阳市电网电力负荷和全年社会用电量分别进行预测,并将其结果互相校验,见表1。一元回归预测法是取1980~1993年的负荷平均增长率来预测未来值,灰色预测法预测结果受资料系列中个别特殊情

况的影响较小,偏重于整个系列,而自适应过滤法受个别特殊因素的影响较大。因此,认为一元回归法和灰色法的预测结果比自适应过滤法更可信、更合理。故采用前两者的均值作为实际采用值。设计负荷水平年(2005年)的最高负荷值为317.101MW,年用电量为17.905亿kW·h。

1.3 极限装机规模

蓄能电站极限装机规模取决于下库水源、上库蓄能库容及电网可提供的抽水电量。蓄能量与蓄能库容的关系为

$$E = K \sum_{i=1}^n (Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}) \Delta V_i$$

式中 E 为蓄能量; K 为常数, $K = 9.81 \eta / 3600$, $\eta = 0.82$, 所以 $K = 1/447$; $Z_{\text{上}}$ 为水库时段初、末水库水位均值, m ; $Z_{\text{下}}$ 为下水库正常蓄水位(冬春和汛期水位均值)和死水位的均值, m ; ΔV_i 为某一时段上库放水量, m^3 。所以有

$$E = \frac{1}{447} \sum_{i=1}^n (Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}) \Delta V_i$$

按上式对上水库坝址方案进行计算,根据省、市电力局的意见,沙河抽水蓄能电站规模可不受溧阳市电网抽水电量供应的限制,不足的抽水电量可由省电网补充,其规模在考虑经济因素前提下,尽量利用可能有的库容来增加调峰电量,为此对水库进行扩容,见表2。

表1 1995~2010年溧阳市电网最高负荷及全年用电量预测

项目年	预测年最高负荷/MW				预测全年用电量/亿 kW·h			
	一元回归 法预测	自适应过 滤法预测	灰色法 预测	采用值	一元回归 法预测	自适应过 滤法预测	灰色法 预测	采用值
1995	115.841	108.079	112.600	114.221	5.913	5.856	5.969	5.941
1996	128.615	118.577	124.376	126.496	6.596	6.490	6.672	6.634
1997	142.799	128.250	137.384	140.092	7.357	7.304	7.458	7.408
1998	158.546	141.745	151.752	155.149	8.207	8.290	8.336	8.248
1999	176.030	154.437	167.623	171.827	9.155	9.320	9.318	9.236
2000	195.443	168.399	184.518	189.981	10.212	10.316	10.415	10.314
2005	329.744	263.663	304.457	317.101	17.638	17.871	18.172	17.905
2010	556.336	412.194	500.631	528.484	30.463	30.847	31.705	31.084

表2 上坝址方案蓄能量与蓄能库容关系(水库增容)

水库 水位 $Z_{\text{上}}/\text{m}$	水库平 均水位 $\bar{Z}_{\text{上}}/\text{m}$	时段放 水量 ΔV_i /万 m^3	时段产 能量 ΔE_i /万 $\text{kW}\cdot\text{h}$	蓄能 量 E /万 $\text{kW}\cdot\text{h}$	蓄能 库容 V /万 m^3
136				0	0
135	135.5	11.5	3.02	3.02	11.5
130	132.5	55.5	14.19	17.21	67.0
125	127.5	50.5	12.34	29.55	117.5
120	122.5	48.0	11.19	40.74	165.5
115	117.5	44.0	9.77	50.51	209.5
112	113.5	23.0	4.90	55.41	232.5

根据上述蓄能量与蓄能库容关系,上坝址水库正常水位为 136.0 m,极限死水位为 112.0 m,相应蓄能量为 40.5 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$;考虑上水库增加有效库容 65.5 万 m^3 ,增容后上水库的总蓄能量为 55.75 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,按发电工况 5 h 计,求得极限装机规模为 100 MW。

2 主要参数

根据地形地质条件,上水库蓄水位的上限不宜超过 136 m。从尽可能获得较高水头和国内机组制造情况出发,下限不宜低于 126 m,因而在 136 m 至 126 m 间每隔 5 m 拟定一方案,即得 136 m,130 m,126 m 三个可比方案,采用电力系统年费用最小准则来评选最优方案,计算结果见表 3。从水库蓄能量来看,水库消落水位越低,则蓄能量越大,这是有利的。但水库消落水位降低,使电站最小水头及额定水头也降低,从而降低机组运行效率。由表 4 可见,本电站已选定的机组(HLNTF05-LJ-270)效率受其影响不大,故从多发电量以尽量满足电网调峰要求出发,选定上水库死水位为 112 m,其相应的装机容量为 100 MW。

表3 上水库正常蓄水位方案(上坝址方案) 万元

项 目	136 m 方案	131 m 方案	126 m 方案
有效库容/万 m^3	232.35	174	124
水库蓄能量/万 $\text{kW}\cdot\text{h}$	55.75	40.5	28
装机规模/MW	100	74.0	51.0
蓄能电站总投资	27 983	24 454	21 198
其中:土建投资	18 730.99	16 368.78	14 202.66
机电投资	9 252.01	8 085.22	6 995.34
蓄能电站年折算投资	4 165.489	3 640.17	3 155.36
蓄能电站年运行费	559.66	489.08	423.96
蓄能电站年费用	4 725.149	4 129.25	3 579.32
替代电站投资	—	19 140	35 640
替代电站年折算投资	—	2 973.66	5 537.16
替代电站年运行费	—	1 148.4	2 138.4
替代电站年燃料费	—	1.42	2.65
替代电站年费用	—	4 123.48	7 678.21
电力系统年费用	4 725.49	8 252.73	11 257.53

注:电站土建使用年限 40 年,机电设备使用年限 20 年,年利率 14.5%,年运行费率 2%,系数 1.1,单位千瓦投资 6 000 元;替代电站年利率 14.5%,年运行费率 6%,系数 1.06,煤耗率 0.44 $\text{kg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

表4 上水库死水位方案比较(上坝址方案)

项 目	单 位	112 m 方案	118 m 方案	124 m 方案
水库消落深度占 H_{max} 百分比	%	20	15	10
水库消落深度	m	24	18	12
水库蓄能量	万 $\text{kW}\cdot\text{h}$	55.75	45.0	32
装机容量	MW	100	81.0	58.0
水轮机效率	%	88.3	87.9	87.5

3 站址规划

抽水蓄能电站站址规划是设计中的一个重要环节,它直接影响电站的作用、规模和经济效益。

为了降低电站的投资,利用现有的沙河水库为下库,上库经多次查勘分析,确定对龙界沟上游一荒田冲坝址(简称下坝址)和岸选在 145 m 高地,左岸选在 149 m 高地,其间跨越荒田冲、水竹沟山和龙界沟上游,正常蓄水位 136 m 时,坝顶长 505 m,最大坝高 47.5 m,有效库容 230.9 万 m^3 ;输水线路沿水竹沟山—龙兴亭—线布置,长约 670 m;厂房位于龙兴亭西北麓,尾水渠总长 380 m。下坝址左岸选在夏立志山,右岸选在水竹沟山,正常蓄水位 100 m 时坝顶长约 480 m,最大坝高 72.5 m,有效库容 304 万 m^3 ;输水路线布置在左岸,长约 330 m;厂房位于龙界村,尾水渠总长约 450 m。

两个方案大坝主要工程量、工程投资和效益等指标比较见表 5。

表5 上、下坝址方案大坝比较(钢筋混凝土堆石坝)

项 目	单 位	上坝址方案	下坝址方案
堆 石	万 m^3	97.5	181.7
混凝土	万 m^3	2.15	2.34
钢 筋	t	1 204.0	1 460.0
土石方开挖	万 m^3	90.33	317.6
总库容	万 m^3	237.8	489.5
有效库容	m^3	210.9	304.3
最大工作水头	m	120.0	84.0
装机容量	MW	100	100
年发电量	亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$	1.69	1.66
工程投资(静态)	万元	26 353.9	32 200.0
单位千瓦投资	元	2 635.4	3 220.0
单位电能投资	元	1.56	1.94

下坝址方案库容大,输水线路短,没有库岸渗漏问题,但工作水头小,坝体工程大,且大坝与厂房靠近,施工干扰大。上坝址方案库容较小,输水线路较长,局部库岸有渗漏,但工作水头较下坝址方案增加 36 m,年发电量增加 0.03 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,而工程投资较下坝址节省约 22%,单位电能投资减少 24%,且工程相对分散,施工场地大,干扰少。因此推荐上坝址作为该抽水蓄能电站上库的坝址。

4 坝型选择

4.1 工作特点

作为抽水蓄能电站的上库,水位日升降幅度大(本站为 24 m/d),防渗要求高,所选坝型应满足这些要求。

4.2 地形地质条件

主副坝的地基坡积层覆盖厚度较薄,大多在 0.5~1.0 m 之间,谷底最厚处才 3.5 m 左右,强风化层下限埋深为 1.5~7.5 m。基岩为流纹质熔结凝灰岩、花岗斑岩和安山玢岩,石质坚硬,抗压强度高。 F_4 断层与主副坝轴线斜交,规模不大,倾角较陡($72^\circ \sim 75^\circ$),相对不透水层($\omega \leq 0.03 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$)埋深最大不超过 12 m。从地形地质条件看,面板堆石坝和混凝土坝(拱坝除外)均可采用,前者对地基要求较低,堆石体可直接建在强风化层上,趾板处石方开挖较少,似更为有利;虽然混凝土坝要求较深的石方开挖,但由于坝高较低,基底宽度较小,所增加的石方开挖量不大。

4.3 施工条件

从施工条件看,面板堆石坝施工简单,进度快,工期短。在混凝土坝中,碾压式混凝土重力坝施工最为简便,工期短,水泥用量少,温控要求低,节省投资。

表 6 碾压混凝土重力坝与面板堆石坝方案比较

项 目	单 位	碾压混凝土坝	面板堆石坝
土石方开挖	万 m^3	93.08	90.33
碾压砼及常态砼	万 m^3	33.1	2.15
堆石填筑	万 m^3	-	97.5
帷幕灌浆及固结灌浆	万 m^3	0.428	0.737
钢筋加工制作	t	25	1204
排水孔	万 m	0.158	-
有效库容	万 m^3	230.9	210.9
年发电量	亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$	1.84	1.69
坝工投资	万元	7480.0	5850.0
年电费收入(比较)	万元	10196.0	9356.0

碾压混凝土重力坝和钢筋混凝土面板堆石坝的主要工程量、库容、工程投资和效益指标比较见表 6。从技术上看,碾压混凝土重力坝和钢筋混凝土面板坝都是可行的,但面板堆石坝投资较省,碾压混凝土重力坝投资较大,其迎水面铅直,库容相对较大,有利进(出)水口的布置,抵偿年限(静态)约 2 年。因此,将碾压混凝土重力坝作为推荐坝型。坝顶高程为 137 m,防浪墙顶高程 138 m,最大坝高 47.5 m,坝顶长 505 m,坝顶宽 6 m,断面采用三角形,上游面竖直,下游坝坡 1:0.8。

5 引水系统线路与型式

电站输水系统包括上游输水系统、厂房、下游输水系统及上下游进出口等。

5.1 输水系统线路

根据地形条件,输水系统的可比平面线路有两

条;其一是由北副坝沿 166.1 m 高地西北坡经大界直通沙河水库(称北线);其二是在主坝 0+240 m 处沿水竹沟山至龙兴亭脊方向至龙兴村直通沙河水库(称西线),两条线路地质条件基本相同。但北线方案输水系统的总长度要比西线长 200 多米。因此推荐西线方案。

5.2 输水系统结构布置方案

输水系统结构布置型式有两种可比方案:

a. 压力钢管-调压室方案。压力钢管紧接上游进(出)水口末端布设,起始高程 99 m,穿过混凝土坝身后沿地面自然坡度敷设,直至龙兴亭,与调压室联接。调压室后压力钢管呈埋管至分岔管,分岔四条与 4 台机组前的蝴蝶阀相接。主管内径 5.5 m,管内流速 5.26 m/s,调压室内径 12 m,采用阻抗式,室内最高水位 150.9 m,高出地面 70 m。

b. 隧洞方案。根据地质钻探资料,上游输水系统沿线均为流纹质熔结凝灰岩及花岗斑岩,石质坚硬致密,节理不发育,适合隧洞输水。隧洞沿线虽穿过 F_1, F_2, F_3 三条断层,但断层与洞轴线交角均大于 60° ,断层宽 2.5~4 m,内填泥角砾、泥质胶结构等。隧洞内径 7 m,洞内流速为 3.25 m/s,隧洞采用 0.5 m 厚钢筋混凝土衬砌。

综合比较两方案(见表 7),隧洞方案具有明显的优势,故推荐隧洞结构方案。

表 7 隧洞方案与压力钢管-调压井方案比较

项 目	单 位	压力钢管-调压井方案	隧洞方案
管洞内流速	m/s	5.26	3.26
年电能损失	万 $\text{kW} \cdot \text{h}$	1606.2	856.6
耗用水泥	t	5628	3880
耗用钢材	t	2434.5	1134.7
土建投资	万元	2871.4	2219.5
占地面积	m^2	20000	3000
施工难易程度		制作及安装难度大,施工困难	技术成熟,遇到破碎带会影响进度

6 厂房型式及结构

6.1 厂房型式

电站安装 4 台 HLN1F05-LJ-270 型可逆式水泵-水轮机,其吸出高度 $H_s = -12 \text{ m}$,机组安装高程 3 m,发电机层高程 13.1 m,发电机层高程在最低水位(15 m)以下 1.9 m,在最高水位(24.4 m)以下 11.3 m。这对厂房防洪和对外交通布置等都有一定的要求。若采用地面式厂房,困难多,开挖量大;若采用地下式厂房,给地下开挖、通风、采光、厂区布置以及建成后的运行管理带来一系列问题。因此,本电站采用半地下式厂房。

(下转第 62 页)

序的各种功能。用窗口功能组织多个任务,做到多任务并行运行,多窗口任意重叠,使应用程序界面驱动由线性方式转移到层次方式上来。另外,对于像投资来源、工程类别、建设性质、主管机构等值域不变而且影响分组统计的数据项,在屏幕编辑时采用值列表输入法,既提高了输入汉字的速度,又控制了字段数据的完整性。

4.3 数据的存取与保护

数据的安全性、完整一致性和共享控制是任何信息系统需要研究的中心问题。本系统的安全性采用 dBase IV 的 Protected 安全控制功能。数据库的完整一致性控制一般有两种途径:在 DBMS 的数据库定义包内部或应用程序内部嵌入控制代码^[3]。由于 Xbase 没有数据库引擎功能,不能对字段级、文件级提供完整一致性的控制,更没有库表间的级连参照完整性控制。为了实现控制,每个数据库文件建立专用控制函数,在编辑数据的事务程序模块中引用,对库表码值唯一性、字段域值限制、级连参照完整性等实现控制。

4.4 任意条件组合查询和查询结果多种形式输出

查询设计中比较困难的是任意条件的组合以及查询结果输出的多样化。本系统的任意条件组合查询设计中,采用了参数查询法。即屏幕显示查询参数表,用户根据参数表中的编辑域和条件弹出栏定义查询条件;提交查询参数后,由应用程序自动生成组合的查询条件,并实施查询;然后循环控制查询结果的输出;屏幕浏览、报表打印、文件存储。这种任意条件组合查询功能覆盖了事先难以预计的各种单项查询。

5 结 语

管理信息系统是研究管理领域的信息处理问题,为管理的各个层次建立信息处理和部分决策支持环境。信息系统建设所需的工作量大,投资多,实现周期长。能否成功地建设起一个管理信息系统,关键在于合适的开发方法和实现技术的支持。在开发方法上,认清功能需求后,坚持以数据为中心,摒弃用户观点的数据结构,立足于设计覆盖整个系统的全局性的综合数据库,并在此基础上,设计数据处理功能,以基本不变的数据结构适应可能多变的处理要求。实践证明,仍是成功地开发管理信息系统的有效途径。然而,为了提高开发效率,还需要新技术的支持。在开发本系统时,充分利用了 dBase IV 数据库系统的自动生成工具,生成应用程序的菜单、屏幕窗口、报表等应用程序对象,提高了开发效率。

本系统已在水利部计划司和准委、珠委等流域机

构的水利基建计划管理部门投入使用,建立了水利基建项目数据资源库,成功地实现了 1995 年建议计划编制、投资计划安排以及报表数据传输等辅助管理功能。本系统的研制为水利基建投资计划管理的信息标准化及其后期的决策支持工作建立了基础。

参考文献

- 1 杨美清等.管理信息系统开发途径.软件学报,1991(1):1~11
- 2 王男领.计算机数据处理系统分析与设计.北京:清华大学出版社,1990.115~170
- 3 萨师煊,王珊.数据库系统概论,第二版.北京:高等教育出版社,1991.185~230

(收稿日期:1996-03-28)

~~~~~

(上接第 59 页)

#### 6.2 厂房布置及结构

厂房位置选在龙兴亭西北麓,该处高程 25 m。根据地质钻探资料,地面以下 14~15 m 深度范围岩石较破碎,属残坡积层,其下为流纹质凝灰岩,石质坚硬致密。据此,经比较确定,厂房内 4 台机组分别布置在两个圆形竖井内。上游输水隧洞在厂房前 30 m 处分岔后,各岔管分别与机组蜗壳平接。竖井内径 23.6 m,外径 26 m。井壁以钢筋混凝土衬砌,两竖井中心距 41.0 m,机组安装高程 3.0 m,基础开挖高程 -4 m,水轮机层高程 5.0 m,发电机层高程 13.1 m,安装场高程 24.5 m。地面以上厂房高 15.5 m,地面以下厂房高 28.5 m。厂房长 67.0 m,宽 18.9 m。副厂房布置在主厂房下游侧,长度与主厂房相同,宽 8 m,高 6.2 m。升压站紧接副厂房下游侧,其面积为 60 m × 80 m。进厂房公路由主厂房上游侧通至安装场。

(收稿日期:1995-08-28)

~~~~~

简 讯

▲英国 Dinorwig 抽水蓄能电站是欧洲最大的抽水蓄能电站之一。该电站自 1984 年正式投入运行以来一直非常可靠,从而保证了威尔士和英格兰电网平稳供电,Dinorwig 电站现已成为该电网调峰和向该电网提供紧急用电的理想电站。该电站可在 12 秒钟内生产 1320 MW 出力,这是当今抽水蓄能电站非常迅速的反应能力。这几年该电站平均设备利用率为 98% (包括两年一度的彻底检修时的 93%),平均每年转换运行模式 42 000 次。

▲越南高级官员声称,越南需要发展核能发电。现在越南电力供应主要依靠水力发电,随着用电量增加,越南政府拟兴建若干座核电站,现正准备与韩国就兴建核电站事宜进行磋商。(熊莉芸 供稿)