

SL

中华人民共和国行业标准

P

SL 76—94

小水电水能设计规程
**Hydroenergy design code for
small hydro power projects**

1994—03—28 发布

1994—05—01 实施

中华人民共和国水利部 发布

Issued:28-03-1994

Excuted:01-05-1994

Issued by the Ministry of Water Resources of People's Republic of China

中华人民共和国行业标准
小水电水能设计规程

SL 76—94

主编单位：水利部、能源部农村电气化研究所
批准部门：中华人民共和国水利部

中华人民共和国水利部

关于发布《小水电水能设计规程》SL 76—94 的通知

水科教[1994]118号

根据水利水电技术标准制修订计划，由水利部水电及农村电气化司主持，农村电气化研究所主编的《小水电水能设计规程》，经审查，批准为水利行业标准，其编号为SL76—94。

该标准从一九九四年五月一日实施，实行中如发现问题，请及时向主编单位反映；该规程由水利部水电及农村电气化司负责解释；由水利电力出版社出版发行。

一九九四年三月二十八日

目 次

1 总则	(4)
2 中小河流的水能规划	(4)
3 水能指标计算	(4)
4 负荷预测	(6)
5 装机容量选择及电力电量平衡	(7)
6 抽水蓄能	(9)
7 综合利用	(10)
8 参数选择计算	(10)
附录 A 河流水能理论蕴藏量计算(补充件)	(12)
附录 B 无调节或日调节水电站水能计算(参考件)	(13)
附录 C 年调节水库等流量调节水能计算(参考件)	(14)
附录 D 年调节水库已知水电站出力过程或已知兴利库容时的水能计算(参考件)	(15)
附录 E 多年调节水库水能简化计算(参考件)	(16)
附录 F 梯级水库电站群水能计算(参考件)	(18)
附录 G 各种电量划分办法(参考件)	(19)
附加说明	(19)

1 总 则

- 1.1** 为了加强小水电建设的宏观指导和宏观控制,促进小水电的合理开发,提高小水电的经济效益,加快农村电气化进程,特制订本规程。
- 1.2** 本规程适用于装机容量 25000 kW 以下的小水电站的可行性研究和初步设计(扩大初步设计)阶段的水能设计;以小水电为主体的河流(河段)开发规划中的水能设计;以及相应小水电供电地区电力系统规划中的水能设计。容量较小的电站及小河流的水能设计可以适当简化。
- 1.3** 小水电水能设计的基本任务应以河流(流域或河段)规划为基础,根据各开发目标的要求和工程本身安全要求,经综合分析和论证,选定工程规模及特征值。对于骨干电站,应研究水电站投产初期运行方式和水库蓄水过程,根据电力系统要求确定水电站在设计水平年的调度原则和运行方式。
- 1.4** 小水电水能设计必须遵循和贯彻国家的有关政策和行业产业政策,贯彻执行《水法》,符合有关专业的规程规范要求。
- 1.5** 小水电水能设计应在广泛收集和分析本地社会经济、自然资源、电力系统、生态环境以及综合利用的基本资料和基本要求的基础上进行,其精度应满足各设计阶段的要求。

2 中小河流的水能规划

- 2.1** 中小河流规划中的水能设计应贯彻执行国家有关政策法令,并根据有关规程规范,结合流域开发、生态保护、国土整治以及水利多目标开发统筹进行。
- 2.2** 中小河流水能理论蕴藏量与可开发量应用多年平均电能和出力两个指标表示。计算河流水能理论蕴藏量可通过绘制河流水能理论蕴藏量图进行,具体办法见附录 A。
- 2.3** 中小河流的水能可开发量应根据河流水能理论蕴藏量图,结合当地地形、地质、施工、输电距离、系统要求、水库淹没以及交通运输等技术经济指标、环保要求等条件并结合具体布置站点及设备条件等因素确定。
- 2.4** 中小河流水能开发应遵循统筹规划、梯级开发的原则,并尽可能兴建有一定调节能力的上游水库或“龙头”水库,以发挥较大的调节效益。当梯级开发中有若干座水库时,应考虑梯级联合调度、补偿调节作用,搞好梯级之间的衔接,并尽可能增加系统保证出力。
- 2.5** 中小河流水能规划必要时可考虑跨流域引水的可能性和可行性,兴建集水网道工程,在技术经济条件许可时广开水源,实行低扬程抽水,高水头发电,实行水量、水头合理利用,以获得较大的开发效益。
- 2.6** 在河流统一规划之前,已兴建有某些工程时,河流规划应尽可能结合已有工程进行,若需要废弃已有工程时,应有充分论证,并依法申报批准。

3 水能指标计算

- 3.1** 水能指标计算的内容应包括出力计算和电量计算,提供电站的出力保证率曲线或出力历时曲线,计算保证出力、保证电能及多年平均电量等指标。
- 3.2** 水能指标计算必须在收集与分析下列基本资料的基础上进行。

3.2.1 水文资料:

(1)水电站取水口处的径流资料,包括年径流系列、典型年年径流按月分配资料(用于有年调节(含不完全年调节)以上性能电站)或典型年年径流按日分配资料(用于无调节电站和日调节电站),再根据水能计算的目的,确定所需的内容。

(2)电站下游流量水位关系曲线,包括洪、枯水位变化情况。

(3)历年各月水库库区陆面蒸发和水面蒸发以及渗漏资料。

(4)其它有关的资料。

3.2.2 水库水位容积、水位面积关系曲线。

3.2.3 综合利用部门的需水资料,包括水库上、下游取水部门的用水资料。

3.3 无调节或日调节水电站的水能指标计算由上游来水过程决定。

3.3.1 根据电站取水口处多年日平均流量系列绘制日流量历时曲线或日流量保证率曲线,当资料缺乏或为了简化工作量可采用丰、平、枯三个典型年的日平均流量资料绘制日流量历时曲线或日流量保证率曲线,其计算方法见《小型水力发电站水文计算规范》SL 77—94。

3.3.2 无调节或日调节水电站的保证出力计算应根据日流量历时曲线,按各种流量时的相应水头和选择的出力系数,计算出力并绘制出力历时曲线或出力保证率曲线。对应于电站设计保证率的出力即为保证出力。

3.3.3 无调节或日调节水电站的保证电量应为电站设计保证出力对应的电量。

3.3.4 无调节或日调节水电站多年平均发电量的计算应根据电站出力保证率曲线,计算绘制装机一发电量关系曲线,并结合电站装机容量的选择确定,具体计算方法可参见附录 B。

3.4 年调节水电站的水能指标计算可根据丰、平、枯三个典型代表年的来水过程进行计算,必要时也可用长系列来水过程进行计算。

3.4.1 当已知典型年的天然来水过程和水库特性、要求计算出力和发电量指标时,可采用等流量调节计算,具体方法参见附录 C。

3.4.2 当已知水电站按负荷图工作的出力变化过程、其它用水部门用水量及水库特征水位(正常蓄水位或死水位),要求确定所需兴利库容及水库蓄泄过程,或者已知兴利库容,要求计算水库蓄泄过程和出力保证程度时,可用试算法列表进行计算,具体方法参见附录 D。

3.4.3 年调节水电站保证出力和保证电量计算可按下述方法进行。

(1)长系列法计算。即根据某一正常蓄水位方案,确定出水库极限工作深度,用列表法求出各年枯水期平均出力,并作出枯水期平均出力保证率曲线,计算相应保证出力和枯水期保证电量。

(2)设计枯水年法计算。即根据长系列资料绘制枯水期水量或调节流量保证率曲线,用设计保证率查出相应枯水期水量,选择一个接近的设计年份,将其修正到设计值,并作为设计枯水年来水流量资料,列表计算其出力,确定其相应于电站设计保证率的保证出力和枯水期保证电量。

3.4.4 年调节水电站多年平均发电量的计算可根据年水量频率曲线,确定丰、平、枯三个典型年的来水量,在年径流资料中选出相近年份,按水量加以修正后得到三个代表年份的来水过程,并用列表法进行能量指标计算,求出各种典型年的发电量后取其平均值确定。

3.5 多年调节水电站水能指标的计算可采用时历法或数理统计法进行。

3.5.1 时历法计算可采用列表法或水量差积曲线法进行,其保证出力可按相应于设计保证率的连续供水年组电站发出的平均出力计算。

3.5.2 数理统计法进行径流调节计算采用查曲线图法进行,具体方法参见附录 E。

3.6 灌溉为主或有其它供水任务的水库水电站水能指标的计算,应根据国民经济发展需要,分清

主次、合理安排,在水量分配上统筹兼顾,确定综合用水量及综合利用水库的兴利库容,以及水电站的用水过程,然后用列表法进行水能计算。

3.7 梯级水电站水能计算应充分考虑上、下游梯级之间的衔接关系(流量、流程和水位关系)以及梯级之间的互相补偿效用,具体方法参见附录 F。

3.8 小水电站的设计保证率应根据设计水电站占当地电力系统比重,系统中有调节能力水电站所占比重等因素确定,当该电站在系统中的比重大于 20 %且电网以水电为主时,可按表 3.8 选择。

表 3.8 水电站设计保证率

包括本电站系统中有调节能力水电站占比重(%)	25 以下	25~50	50 以上
水电站设计保证率(%)	90~95	85~90	80~85

当电站所占系统比重小于 20 %时允许适当降低。

3.9 以灌溉为主或有其它供水任务的水库水电站,其设计保证率应按主要用水部门的要求选择。

3.10 丰、平、枯三个典型代表年的频率分别按 $P_{\text{丰}} = 10 \% \sim 20 \% ; P_{\text{平}} = 50 \% ; P_{\text{枯}} = 100 \% \sim P_{\text{丰}}$ 选择。

3.11 小水电站水库调度设计的基本原则应为:在保证水利枢纽安全的前提下,分清各用水目标之间的主次关系,进行统一调度,并按调度图操作、计算,校核水能指标。具体可用确定性来水条件下的时历法绘制基本调度线的方法进行。

4 负荷预测

4.1 负荷预测是选择电源方案、确定供电方式、进行电力电量平衡和潮流分布计算的基础,也是确定电力系统发展速度和水电站分期开发计划编制的依据,应在详细收集和分析有关资料的基础上进行,并与国民经济各部门发展相协调。

4.2 通过负荷预测应提供如下成果:

4.2.1 设计水平年系统供、用电力电量指标。

(1) 系统内各类用电设备容量。

(2) 系统逐月用电综合最大负荷、用电量和年总用电量。

(3) 系统逐月供电综合最大负荷、供电量和年总供电量。

(4) 系统综合网损率,各种电站厂用电率以及负荷增长率等。

4.2.2 设计水平年系统具有代表性的典型日负荷图、逐月综合最大供电、用电负荷图,逐月用电量和供电量图。在可行性研究和初步设计(或扩大初步设计)阶段应编制 2~4 个典型日负荷曲线。

4.2.3 设计水平年系统各种负荷特征指标,包括日平均负荷率、日最小负荷率、月不均衡率、年最大负荷利用小时数等。

4.3 当系统内有季节性用户或有必要规划季节性负荷时,应收集分析季节性负荷资料,对季节性负荷进行预测,并编制相应的用电负荷曲线。

4.4 系统负荷应选择几种方法进行预测,互相校验其结果,一般情况下,综合需用系数法、单耗法等可作为基本预测方法。

4.5 典型日负荷图的编制可采用如下方法:

4.5.1 现有图形修正法。当设计水平年与设计基准年相比用电构成和负荷特性变化不大时,可使用现有的典型日负荷图进行分析整理,按比例放大后作为设计水平年的典型日负荷图。

4.5.2 综合典型图法。若某些行业的用电构成变化比较大,则可将这些行业超过原比例关系的那一部分负荷,按其所属行业的特点绘出典型日负荷图,然后与用现有图形修正法求得的设计水平年典型日负荷图相加,得出设计水平年的典型日负荷图。

4.5.3 迭加法。若设计水平年系统由几个孤立系统连接而成,缺乏统一的典型日负荷图,或可以将各用电项目分开计算和统计时,可先利用现有图形修正法或综合典型图法分别绘出各孤立系统或各用电项目的设计水平年典型日负荷图,然后迭加,得出设计水平年典型日负荷图。

4.6 逐月供电综合最大负荷图的编制亦可采用现有图形修正法和综合典型图法进行。当设计水平年逐月用电量指标计算出之后,也可将月电量折算为月平均负荷,再利用下式计算出各月最大负荷,并编为逐月供电综合最大负荷图。

$$P_{\max}^j = \frac{P_p^j}{\gamma\sigma} \quad (4.6)$$

式中 P_{\max}^j ——月最大负荷, kW;

P_p^j ——月平均负荷, kW;

γ ——日平均负荷率;

σ ——月不均衡率。

4.7 系统设计水平年供、用电指标之间的关系为

$$P_{gz} = \frac{P_{yz}}{1-\xi} \quad (4.7.1)$$

$$E_g = \frac{E_y}{1-\xi} \quad (4.7.2)$$

$$E_f = \frac{E_g - E_{wg}}{1-\eta} \quad (4.7.3)$$

式中 P_{gz} ——系统供电综合最大负荷, kW;

P_{yz} ——系统用电综合最大负荷, kW;

E_g ——系统供电量, kW·h;

E_y ——系统用电量, kW·h;

E_f ——系统发电量, kW·h;

E_{wg} ——系统外购电量, kW·h;

ξ ——系统综合网损率, 应不大于 11 %

η ——系统综合厂用电率(即各电站综合平均厂用电率, 小水电站可取 $\eta = 0.5 \% \sim 1.0 \%$)。

5 装机容量选择及电力电量平衡

5.1 小水电站的装机容量必须在充分研究水库的调节性能、综合利用要求、系统负荷水平及其特性、水电站供电范围、系统调节性能的基础上, 计算各装机方案的有效电量、发电效益和相应费用, 结合电力电量平衡, 分析比较后合理确定。

5.2 小水电站装机容量选择按其各自的特点进行。

5.2.1 并入孤立小水电网中运行的小水电站, 其装机容量必须在全网电力电量平衡的基础上选择。

--- The comprehensive grid/line loss, should not be more than 11%

--- Internal power consumption of the power plant, 0.5%~1.0% can be used for small hydropower plants.

- 5.2.2** 并入小水电网中运行的小水电站,当小水电网与国家电网联网时,其小水电站的装机容量选择应在小水电网电力电量平衡的基础上,结合国家电网吸收电力、电量的能力和经济分析比较后确定。
- 5.2.3** 与以水电为主的国家电网联网运行的小水电站,其装机容量选择除需采用方案比较经济评价确定合理规模外,还需结合小区域的电力电量平衡确定其装机容量。
- 5.2.4** 与以火电为主的国家电网联网运行的小水电站,其装机容量选择可根据当地电力需求实际情况,采用经济评价和方案比较的方法确定,而不必进行电力电量平衡。
- 5.3** 所占系统比重不大的小水电站和微型水电站的装机容量选择,允许采用简化的方法进行。
- 5.3.1** 装机在 100~500 kW 的水电站装机容量选择可不进行电力电量平衡,根据水能计算参数结合经济评价与方案比较方法确定其合理的装机容量。
- 5.3.2** 对于容量较大的系统,当水电站装机容量占系统总装机容量比例在 2% 以下时亦可不进行电力电量平衡,根据水能参数结合经济评价与方案比较方法确定合理的装机容量。
- 5.3.3** 装机在 100 kW 以下的微型水电站,其装机容量可按年利用小时数控制,一般年利用小时数不应低于 3000 小时。
- 5.4** 灌溉和供水为主的水库电站,其装机容量的选择应以灌溉和供水流量过程为主要依据,选择若干个装机方案,进行技术经济比较,结合设计水平年电力电量平衡确定。
- 5.5** 当设计水电站有较多季节性电量受负荷限制不能充分利用时,则应研究发展季节性用户的可能性和合理性。
- 5.6** 当系统中有若干座水电站同时规划设计时,应将新设计的水电站统一考虑,按照系统总体平衡的原则,确定装机规模,然后按各电站的具体情况,按费用最小准则在各电站间进行装机容量合理分配。
- 5.7** 存在下列情况时,应研究预留机组的经济性和合理性。
- 5.7.1** 预计上游将有调节性能较好的水库投入运行,可以提高本电站的出力。
- 5.7.2** 预计本工程有可能增加坝高和有效库容。
- 5.7.3** 本电站有较强的调节能力,远期有可能担负更多的尖峰负荷。
- 5.7.4** 本电站考虑分期建设和分期蓄水,或在设计水平年和供电范围内,设计电站径流利用程度较低,而远景由于系统或综合利用部门用水方式发生变化,可提高其装机容量。
- 5.8** 选择梯级水电站装机容量时,应在经济合理的原则下协调上、下梯级电站的引用流量,并考虑当上游水电站检修或发生事故时对下游梯级的影响。
- 5.9** 小水电装机容量由工作容量、负荷备用容量、事故、检修备用容量及重复容量组成。
- 5.9.1** 工作容量一般应按照设计枯水条件,通过电力电量平衡确定,对于低水头电站还应用丰水年进行校核。
- 5.9.2** 负荷备用容量一般由系统中某些电站担负,需由设计电站担负负荷备用容量时,各电站担负的负荷备用容量总和按系统综合最大负荷的 3%~5% 计算。
- 5.9.3** 小水电的检修和事故备用容量可按系统综合最大负荷的 2%~4% 计算,对规模较小的县电网,可不考虑检修和事故备用容量。
- 5.9.4** 重复容量根据电力系统用户情况、经济比较与电力电量平衡确定。
- 5.10** 装机容量选择应与水轮发电机组型号同时选定,机型选择包括型式、台数、转轮直径、额定转速、出线电压以及安装高程的选择;对于冲击式水轮机还应选出转轮数、喷嘴数及射流直径,对于定桨式水轮机尚应选择叶片的角度和导叶的最大开度等。

- 5.11 小水电电力电量平衡应在绘制系统设计水平年逐月供电量,逐月供电综合最大电力负荷、典型日负荷图的基础上针对几种不同水文代表年的发电情况分别进行。
- 5.12 通过电力电量平衡应确定出电站在系统负荷图上的位置,以及装机进度,合理安排系统备用容量和检修次序,确定季节性负荷规模,编制系统电力电量计划。
- 5.13 小水电站的设计水平年可参照系统国民经济五年计划以及本电站的规模及其在系统内的比重确定,容量较大的骨干电站一般可采用第一台机组投产后的4~7年为电站设计水平年。
- 5.14 电力电量平衡,一般可按丰、平、枯三个水文代表年的电站出力和电量与负荷进行平衡。丰、平、枯水文代表年的频率可按如下方法选择。
- 5.14.1 枯水年频率 $P_{枯}$ 可选为与规划要求的电力系统综合供电保证率相一致。
- 5.14.2 平水年频率 $P_{平}$ 选为50%。
- 5.14.3 丰水年频率 $P_{丰}$ 可按 $P_{丰}=100\%-P_{枯}$ 确定。
- 在电力电量平衡分析中,无调节和日调节水电站流量按对应保证率的来水过程中各月的最小旬平均流量计算。
- 5.15 电力电量平衡所采用的设计水平年日负荷图可根据系统实际运行情况,在各月中选出矛盾最为突出的2~4个月份,绘制其典型日负荷图,进行电力电量平衡。
- 5.16 当电力电量平衡比较困难时,应考虑采取调整负荷、抽水蓄能、安排季节性负荷等措施,以提高系统经济效益和解决供需平衡矛盾。
- 5.17 选定电站装机容量后,应结合系统电力电量平衡结果,计算分析电站的有效电量,以作为电站经济评价决策的依据。对于容量较小的小水电站,无法确定其有效电量时,可采用有效电量系数折算有效电量,参见《小水电建设项目经济评价规程》SL 16—92。
- 5.18 小水电站的有效电量分为跨季调节电量、调峰电量、可靠电量和季节性电量,各种电量的划分办法见附录G。

6 抽水蓄能

- 6.1 小水电抽水蓄能电站水能设计应包括:
- 6.1.1 小水电抽水蓄能电站在系统中的调峰填谷、改善系统运行条件的效益计算,论证其必要性和可行性。
- 6.1.2 选择电站装机和机组型号以及抽水电源。
- 6.1.3 选择上、下水库库容及水源、特征水位。
- 6.1.4 选择输水管道尺寸。
- 6.2 在进行抽水蓄能电站规划时,应落实抽水电量、抽水电价、抽水水源、发电电价等,在电站运行期水量平衡中应考虑蒸发、渗漏和结冰损失以及枯水期情况等,如有必要时,还要考虑补水措施设计。
- 6.3 小水电抽水蓄能电站装机容量选择应在系统电力电量平衡和水量平衡的基础上进行。结合可靠性、经济性分析、机组抽水运行特性对电站填谷运行方式以及蓄能电量和调峰电量的影响综合确定。
- 6.4 小水电抽水蓄能机组选择应在研究抽水和发电两种情况的水头及其变化范围,使其满足电站的运行方式的要求、机组周期效率,以及供货条件限制等问题的基础上进行。
- 6.5 小水电抽水蓄能机组的发电额定水头应按电站调峰发额定出力时的最小毛水头减去水头损

失确定,额定扬程则按填谷抽水时的最大毛扬程加上水头损失计算。

6.6 小水电抽水蓄能电站的年发电量和抽水电量,应根据下列原则进行计算。

6.6.1 按设计水电站装机容量在逐月典型日或周负荷图上的工作位置,并结合上、下水库特性和机组运行特性进行计算,在方案比较阶段则可适当简化。

6.6.2 对于全部计算期中不同年份的年电量,应根据负荷及电源建设情况取若干个水文代表年分别计算,然后取其平均值,容量较小的抽水蓄能电站也可采用设计水平年负荷条件下丰、平、枯水三种代表年份的平均值计算。

6.6.3 当抽水蓄能电站与常规水电站混合开发或上、下库有天然径流时,应分别考虑其对抽水蓄能电站效益的影响。

7 综合利用

7.1 小水电水能设计应贯彻综合利用、综合治理的原则,统一考虑国土整治和国民经济各部门的要求以及流域生态建设等,以充分发挥工程的综合效益。

7.2 综合利用工程的规模、各用水目标库容及水量分配方案,应根据各部门用水主次关系和具体要求,拟定比较方案,通过径流调节分析,经技术经济比较确定。

7.3 防洪标准的选择,应在充分了解洪水特性,防护对象要求的基础上进行,并统一考虑上下游、近远期以及各种防洪设施和措施相结合的问题,合理确定防洪任务。具体参见《防洪标准》。

7.4 灌溉用水应考虑灌区土壤、气候、农作物组成等条件,充分利用当地地面、地下水和天然降水资源,按照客观条件确定。

7.5 城镇供水应考虑当地经济的发展、人口增长和主要工矿企业用水规模以及水价等合理确定。

7.6 当工程有航运、漂木等其它要求时,亦应按照大中小及近远期相结合的原则确定工程的设计任务。

8 参数选择计算

8.1 参数选择计算包括水库特征水位选择、输水系统尺寸估算及日调节池容积计算、水轮发电机组设计水头选择计算等。对任一参数的选择计算均应通过技术经济比较论证后确定。

8.2 选择水库正常蓄水位除应比较各方案的动能经济指标外,还必须考虑下列因素。

8.2.1 考虑坝址地形地质、水工布置、施工条件、梯级衔接、环境生态及水资源综合利用等因素。

8.2.2 考虑库区淹没、浸没、盐碱化损失以及对大片农田、城镇、交通、矿区及重要文物古迹的影响。

8.2.3 考虑泥沙淤积对回水的抬高及梯级衔接的影响,多沙河流应考虑不同淤积年限对库容、效益以及梯级衔接的影响,并根据水库淤积进程计算其效益的变化。

8.3 水库死水位的选择除应比较不同方案的电力电量效益(保证出力、发电量)外,还应考虑其它部门对水位、流量的要求、泥沙冲淤、水轮机工况要求等,经综合分析比较后确定。

8.4 水轮机设计水头应根据电站的开发方式选择,一般可按下列原则确定。

引水式电站: $H_p/H_{pj} = 0.95 \sim 1.0$

河床式电站: $H_p/H_{pj} = 0.9$

坝后式电站: $H_p/H_{pj} = 0.90 \sim 0.95$

式中 H_p ——水电站设计水头, m;
 H_{pj} ——水电站加权平均水头, m。

8.5 水轮机安装高程应结合机组特性、电站运行方式、枢纽布置条件、下游水位变化范围综合分析确定。

8.6 有压水道的断面或无压输水道的纵坡方案应根据动能经济比较结果确定。各方案在计算费用指标时应计及输水道的水头损失不同的影响。当日(周)调节池容积对电站装机容量影响较大时,其容积应根据设计水平年及相应于设计保证率的流量和可能的日(周)运行方式计算确定,并按 1.1~1.2 的安全系数考虑。一般情况下,日调节库容可按能满足设计保证率条件下,经调节后能满足 4 小时高峰负荷所需库容确定。

附录 A 河流水能理论蕴藏量计算

(补充件)

A1 河流水能理论蕴藏量计算可通过绘制水能理论蕴藏量图进行,水能理论蕴藏量图包括:高程—河长曲线、流量—河长曲线以及出力—河长和电能—河长曲线。

A2 河流高程与河长曲线 $Z \sim L$, 可通过测量河流若干控制点处的枯水期水面高程或利用已有的大比例地形图推算,最后绘成曲线,该曲线表示河流水位沿程降落情况,各河段的落差可应用 $Z \sim L$ 曲线确定。

A3 河流流量与河长曲线 $Q \sim L$, 可根据水文资料,计算各控制点的多年平均流量,并连接为 $Q \sim L$ 曲线,当水文资料缺乏时,也可通过河流到河口进行短时水文实测,最后按河口(或水文站)处的多年平均流量修正为 $Q \sim L$ 曲线。对于小河流也可应用有关部门编制的多年平均年径流等值线图进行推算。

A4 河流水能理论蕴藏量计算时可将河流按实际情况分段进行,在计算各河段水能理论蕴藏量的基础上绘制水能理论蕴藏量与河长曲线。

A4.1 分段的主要依据为:

A4.1.1 有较大支流注入点。河段的上断面应在上支流注入点之下,下断面则在下支流注入点之上。

A4.1.2 河床纵坡变化较大的河段。

A4.1.3 开发条件特别明显的河段。

A4.2 各河段水能理论蕴藏量的计算公式为:

$$\left. \begin{aligned} \text{水流出力: } N &= 9.81 \frac{\bar{Q}_s + \bar{Q}_x}{2} \times H \\ \text{水流能量: } E &= 8760 N \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.4.2})$$

式中 N ——水流出力(功率),kW;

E ——水流能量,kW·h;

\bar{Q}_s ——河段上断面的多年平均流量,m³/s;

\bar{Q}_x ——河段下断面的多年平均流量,m³/s;

H ——河段落差,m。

A4.3 河流各河段出力及能量之和 $\sum N_i$ 及 $\sum E_i$ 即为本河段的水能理论蕴藏量,具体计算见表 A1。

表 A1 河流水能理论蕴藏量计算表

断面 序号	高程 Z (m)	落差 H (m)	河长 L (km)	流量 Q_0 (m ³ /s)	河段平均 流量 Q_i (m ³ /s)	出力 N_i (kW)	能量 E_i (kW·h)	单位河段水 流出力 N_i/L_i (kW/km)	出力累加 $\sum N_i$ (kW)	能量累 加 $\sum E_i$ (kW·h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1										
2										

注:1. 落差为两相邻河流断面的高程差, $H_i = Z_i - Z_{i-1}$ 。

2. 河长为相邻两河流断面之间的距离。

3. 河段平均流量为每段河长进口与出口流量的平均值。

附录 B 无调节或日调节水电站水能计算 (参考件)

B1 无调节或日调节水电站水能计算应以长系列日平均流量水文资料为基础进行,容量较小的电站或规划阶段也可采用如下简化办法计算。

B1.1 以旬平均流量系列资料代替日平均流量系列资料进行计算,但应对所得成果进行修正。

B1.2 以丰、平、枯三个代表年的日平均流量系列资料代替多年日平均流量系列进行计算。

B2 将所采用的径流资料从小到大排队划分为若干流量等级,计算各流量等级出现的次数,具体见表 B1。

表 B1 无调节或日调节水电站历年日或旬平均流量出现次数统计表

流量等级 (m ³ /s)	平均流量 \bar{Q} (m ³ /s)	历年各流量等级的流量出现次数							出现次数合计 n_i
		××年	××年	××年	××年	××年	××年	××年	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
$Q_1 \sim Q_2$									
$Q_2 \sim Q_4$									
$Q_5 \sim Q_6$									

注:本表统计的年数应根据实际占有的资料情况确定,但至少应包括丰、平、枯三年。

B3 无调节或日调节水电站水能计算可采用列表法进行,见表 B2。根据表 B2 的成果绘制为出力频率或出力历时曲线,并求出其水能指标。

表 B2 无调节或日调节水电站水能指标计算表

编号 i	平均流量 \bar{Q} (m ³ /s)	上游水位 $Z_{上}$ (m)	下游水位 $Z_{下}$ (m)	净水头 H_i (m)	出力 N_i (kW)	出力差值 ΔN_i (kW)	出现次数 n_i	累积次数 S_{ni}	保证率 P_i (%)	持续时间 t_i (h)	电能 E_i (kW·h)	累积电能 SE_i (kW·h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)=(7)×(11)	(13)
1												
2												
i												

注:1. \bar{Q}_i 在表中自上而下,按数值由小到大排列。

2. 第(7)栏的数值等于本行第(6)栏数值与上一行第(6)栏数值之差, $\Delta N_i = N_i - N_{i-1}$ 。

3. 第(8)栏的数值取自表 B1,第(9)栏的数值为来自本表第(8)栏数值之最末一行向上逐渐累积,即 $S_{ni} = S_{n_{i-1}} + n_i$ 。

4. 第(10)栏的 $P_i = S_{ni} / S_{n_1} + 1$ 。

5. 第(11)栏的 $t_i = 8760 \times (P_i + P_{i-1}) / 200$,当 $i \geq 2$ 时。

6. 第(12)栏的第一行数值 $E_1 = N_1 t_1$ 。

7. 第(13)栏的数值为来自本表第(12)栏数值从第一行向下逐渐累积,即 $SE_i = SE_{i-1} + E_i$ 。

附录 C 年调节水库等流量调节水能计算

(参考件)

C1 等流量调节计算中假定水电站在蓄水期和供水期分别引用不同的流量,蓄、供水期的引用流量需通过试算求解。

C1.1 供水期引用流量计算公式为

$$Q_p = \frac{W_t + V_x - W_s - W_y}{T_g} \quad (C1)$$

式中 Q_p ——供水期水电站引用流量, m^3/s ;

W_t ——供水期上游来水量, m^3 ;

V_x ——兴利库容, m^3 ;

W_s ——供水期水量损失, m^3 ;

W_y ——其它部门用水量, m^3 ;

T_g ——供水期时段, S 。

试算时在上游来流量较小的各月中假定 T_g , 可计算出 Q_p , 若计算的 Q_p 小于供水期 T_g 之内某月上游来流量 Q_i , 则说明此月不在供水期内; 重新假定 T_g , 重复上述计算, 直到求出的 Q_p 大于供水期 T_g 内各月的上游来流量, 小于非供水期内各月上游来流量为止。

C1.2 蓄水期引用流量可用下式采用试算法确定水电站的最大过水能力

$$Q_m = \frac{N}{A(\bar{Z}_s - \bar{Z}_x)} \quad (C2)$$

式中 Q_m ——水电站最大过水流量, m^3/s ;

N ——水电站装机容量, kW ;

A ——水电站出力系数 ($A = 9.81 \eta$);

\bar{Z}_s ——上游平均水位, 根据 $(1/2 \text{ 兴利库容} + \text{死库容})$ 水位库容曲线求得;

\bar{Z}_x ——下游平均水位, 与 Q_m 有关, 通过下游水位流量关系确定。

计算时, 先假设一 Q_m , 按此值查下游水位流量关系可得 \bar{Z}_x , 以此代入式 (C2) 计算 Q_m , 经几次试算至计算值与原假设值相等为止。

Q_m 确定后, 当上游来流量大于 Q_p 小于 Q_m 时, 水电站引用上游来流量, 当上游来流量大于 Q_m 时, 水电站引用 Q_m , 同时水库蓄水, 直到水位上升到正常蓄水位。

表 C1 年调节水库等流量调节水能计算表

月 份	天然来 水流量 Q_{ti} (m^3/s)	用水流量(m^3/s)			水库蓄供水量(m^3)		水库总蓄水量(m^3)		水 头(m)				出力 N_i (kW)	发电量 E_i (kW·h)	
		发电 Q_{pi}	其他 Q_{yi}	合计 Q_i	蓄水 $+\Delta W_i$	供水 $-\Delta W_i$	月初 V_{ei}	月末 V_{mi}	月平均 \bar{V}_i	上游 水位 Z_{si}	下游 水位 Z_{xi}	水头 损失 Δh_i			净水头 H_i
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

注: 1. (3) 栏, 在供水期为 Q_{pi} , 在非供水期应尽量发电, 但不得超过 Q_m 。

2. 第(4) 栏 Q_{yi} , 包括其它部门用水及蒸发渗漏损失及弃水等。

3. 第(5) 栏, $Q_i = Q_{pi} + Q_{yi}$ 。

4. 第(6)、(7) 栏, $\Delta W_i = \pm(Q_{ti} - Q_i)T$, 其中 T 为当月秒数。

5. 第(8)、(9) 栏, $V_{mi} = V_{ei} \pm \Delta W_i$ 。

6. 第(11)栏,上游水位 Z_{s_i} 为利用 \bar{V} 查水库水位库容关系曲线求出。
7. 第(12)栏,由下泄流量查下游水位流量关系曲线。
8. 第(14)栏, $H_i = Z_{s_i} - Z_{x_i} - \Delta h_i$ 。
9. 第(15)栏, $N_i = AH_i Q_i$ 。
10. 第(16)栏 $E_i = N_i T$, T 为各月小时数,全年累计 $\sum E_i$,即为年发电量。
11. 表中各符号的下脚标 i 代表月份, $i = 1, 2, \dots, 12$ 。

C2 等流量调节可采用列表法进行计算,如表 C1 所示。由设计枯水年或多年(或丰、平、枯三个典型年)列表计算的成果,求得相应水能指标。

C2.1 设计枯水年供水期的平均出力即为保证出力。

C2.2 多年或丰、平、枯三个典型年年发电量的平均值即为多年平均发电量。

C3 等流量调节计算应考虑水库蓄水和放水时水电站运行水头的影响,具体计算时可应用水库库容水位关系曲线查算时段初与时段末的库容或水位变化情况。

附录 D 年调节水库已知水电站出力过程 或已知兴利库容时的水能计算

(参考件)

D1 已知水电站出力时的水能计算,包括两种情况。

D1.1 已知水电站按负荷图工作的出力变化过程 $N = f(t)$,及其它用水部门用水资料和水库正常蓄水位(或死水位),要求确定所需兴利库容及水库的蓄泄过程 $V = f(t)$ 及 $Q = f(t)$ 。

D1.2 已知兴利库容,要求计算水库的蓄泄过程。

D2 具体进行已知水电站出力过程或已知兴利库容时的水能计算时,可通过下两式联立求解用试算法列表计算。

$$N = A Q_p (\bar{Z}_s - \bar{Z}_x - \Delta h) \quad (D1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{蓄水期} \quad V_m = V_c + (Q_i - Q_p - Q_y) \Delta t \\ \text{供水期} \quad V_m = V_c - (Q_p - Q_i - Q_y) \Delta t \end{array} \right\} \quad (D2)$$

式中 N ——水电站出力, kW;

Q_p ——水电站引用流量, m^3/s ;

\bar{Z}_s ——上游平均水位, m;

\bar{Z}_x ——下游平均水位, m;

Δh ——水头损失, m;

V_m ——时段末水库蓄水量, m^3 ;

V_c ——时段初水库蓄水量, m^3 ;

Q_i ——上游来流量, m^3/s ;

Q_y ——其它部门用水,蒸发渗漏损失以及弃水流量, m^3/s ;

Δt ——时段长, s。

具体计算时,先从某一已知库水位(Z_c)开始,此时已知 V_c ,假设 Q_p 由式(D2)求得 V'_m ;再由 V_c 、 V_m 求出平均库容 \bar{V} ,利用水库水位库容关系曲线和下游水位流量关系曲线查出 \bar{Z}_s 、 \bar{Z}_x ,应用式(D1)计算 N' ,若有 $N' = N$ (已知值)则 Q_p 正确;若不相等,则重新假定 Q_p 重复如上过程,直到 $N' = N$ 为止。已求得的上一个时段末数据即为下一个时段初的已知数据,逐时段计算,就可算得水库水位过程和蓄水量过程 $Z_s = f(t)$ 、 $V = f(t)$,并求得兴利库容 V_x ,已知出力时的水能计算表见表 D1。

表 D1 年调节水库已知电站出力时水能计算表

月 份	水电站 出力 N_i (kW)	天然来 水流量 Q_{ti} (m^3/s)	用水量(m^3/s)			水库蓄供水量(m^3)		水库总蓄水量(m^3)			水 头(m)				出力 N_i (kW)	发电量 E_i (kW·h)
			发电 Q_{pi}	其他 Q_{si}	合计 Q_i	蓄水 $+\Delta W_i$	供水 $-\Delta W_i$	月初 V_{ei}	月末 V_{mi}	月 平均 V_i	上游 水位 Z_{ui}	下游 水位 Z_{di}	水头 损失 Δh_i	净 水头 H_i		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)

表注同表 C1。

D3 如果已知水库正常蓄水位,要求确定死水位,可先对供水期进行计算,可以求得水库的兴利库容和死水位,然后再计算蓄水期。供水期开始计算时刻(正常蓄水位),是自洪水期末水库蓄满,而上游来流量开始小于水电站给定出力所需流量的那一时刻,可通过试算确定,顺时序向后计算,一直到下一年的蓄水期开始。蓄水期开始时刻的库水位为死水位,即相应于上游来流量开始大于水电站出力所需流量的那一时刻。

D4 如果已知死水位,求水库正常蓄水位,先对供水期进行计算。从供水期末(死水位)按反时序推算出正常蓄水位,得到供水期的 $Z_s = f(t)$ 曲线和兴利库容 V_x 。然后再由正常蓄水位反时序算到死水位,求出蓄水期的 $Z_s = f(t)$ 曲线。供水期反算开始时刻(水库供水结束时刻),水库水位是死水位,即相应于上游来流量开始小于(反时序)水电站出力所需流量的那一时刻。

附录 E 多年调节水库水能简化计算

(参考件)

E1 简化方法中的径流调节计算利用基于 C.H. 克里茨基与 M.φ. 明凯里第二法编制的 α, Φ 普列什柯夫线解图进行。当已知电站的调节流量 $Q_p(m^3/s)$ 、电站的设计保证率 P 、水库入库多年平均年径流 $\bar{W}(m^3)$ 、年径流系列的皮尔逊 III 型曲线变差系数 C_v 和偏态系数 C_s 后,利用线解图可求出多年库容 $V_M(m^3)$;再利用年调节水库的径流调节计算方法求出年库容 $V_N(m^3)$;多年库容 V_M 与年库容 V_N 之和,即为径流调节计算所要求的多年调节兴利(发电)库容 $V(m^3)$

$$V = V_M + V_N \quad (E1)$$

E1.1 当水库来水的年径流满足 $C_s = 2C_v$ 时,多年库容 V_M 的计算步骤是:

(1) 利用下式计算多年调节水库电站的调节系数 α

$$\alpha = \frac{365 \times 86400 \times Q_p}{\bar{W}} \quad (E2)$$

(2) 利用电站调节系数 α 、电站的设计保证率 P 、年径流变差系数 C_v ,查普列什柯夫线解图,求出电站的多年库容系数 β_M 。

(3) 利用下式计算电站的多年库容 V_M

$$V_M = \beta_M \bar{W} \quad (E3)$$

E1.2 当水库来水的年径流不满足 $C_s = 2C_v$ 时,应以 α' 代替 α 、 C'_v 代替 C_v 、 β'_M 代替 β_M 后,再查普列什柯夫线解图。 α' 、 C'_v 、 β'_M 与 α 、 C_v 、 β_M 的关系为

$$\alpha' = \frac{\alpha - \alpha_0}{1 - \alpha_0}$$

$$C'_v = \frac{C_v}{1 - \alpha_0}$$

$$\beta'_M = \frac{\beta_M}{1 - \alpha_0}$$

式中 $\alpha_0 = \frac{m-2}{m}$, $m = \frac{C_s}{C_v}$ 。

根据 P 、 α' 、 C'_v 查图求出 β'_M 后, 再利用下式求多年库容

$$V_M = (1 - \alpha_0) \beta'_M \bar{W} \quad (\text{E4})$$

E1.3 年库容 V_N 的计算步骤是:

(1) 从水库来水年径流系列中选一典型年, 使其年径流 $W_t(\text{m}^3)$ 接近调节水量 $W = \alpha \bar{V}$ 值。

(2) 将典型年各月径流量乘以系数 $K = \frac{W}{\bar{W}}$, 生成一个新的月径流系列。

(3) 对此生成的月径流系列, 按照调节流量 $Q_p = \frac{\alpha \bar{V}}{365 \times 86400}$ 进行完全年调节, 求出年库容 V_N 。

E2 简化方法中的多年调节水库电站保证出力计算基于萨瓦林斯基方法的原理进行。计算步骤是:

E2.1 按下式计算多年库容在枯水段的平均蓄水值系数 $\bar{\beta}_{M(p)}$

$$\bar{\beta}_{M(p)} = a_0 + a_1 C_v^A + a_2 P^B + a_3 \beta_M^C + a_4 C_v^{2A} + a_5 P^{2B} + a_6 \beta_M^{2C} \quad (\text{E5})$$

式中: 保证率 P 按小数取值, 例如保证率为百分之九十五时, $P = 0.95$ 。 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 、 A 、 B 、 C 为参数, 具体取值见下表:

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	A	B	C
1.46	-0.032	-3.724	0.381	0	2.325	0.198	1.1	1.0	0.75

E2.2 利用枯水段平均蓄水值系数 $\bar{\beta}_{M(p)}$, 计算多年调节库容在枯水段的平均蓄水量 $\bar{V}_{M(p)}$

$$\bar{V}_{M(p)} = \bar{\beta}_{M(p)} \bar{W} \quad (\text{E6})$$

E2.3 利用下式计算保证出力

$$N_p = 9.81 \eta (Z_s - Z_x) Q_p \quad (\text{E7})$$

式中 N_p —— 电站的保证出力, kW;

η —— 电站的发电装置总效率;

Z_s —— 电站的上游计算水位, m, 按照 $V_s + \bar{V}_{M(p)} + V_N/2$ 从库容—水位曲线上查出, 其中 V_s 为死库容;

Q_p —— 电站的调节流量, m^3/s ;

Z_x —— 相应于电站调节流量 Q_p 的下游水位, m。

E3 简化方法中的多年水库电站多年平均发电量计算基于萨瓦林斯基方法的原理进行。计算步骤是:

E3.1 按下式计算多年调节库容的多年平均蓄水值系数 $\bar{\beta}_M$

$$\bar{\beta}_M = b_0 + b_1 C_v^A + b_2 P^B + b_3 \beta_M^C + b_4 C_v^{2A} + b_5 P^{2B} + b_6 \beta_M^{2C} \quad (\text{E8})$$

式中: 保证率按小数取值, b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 、 A 、 B 、 C 为参数, 具体取值见下表:

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	A	B	C
-0.534	0.408	0	0.235	0	0.256	0.412	0.1	2.7	0.5

E3.2 利用多年平均蓄水值系数 $\bar{\beta}_M$, 计算多年库容的多年平均蓄水量 \bar{V}_M

$$\bar{V}_M = \bar{\beta}_M \bar{V} \quad (\text{E9})$$

E3.3 利用下式计算多年平均发电量

$$\bar{E} = 8760 \times 9.81 \eta (Z_s - Z_x) \bar{Q} \quad (\text{E10})$$

式中 \bar{E} ——电站的多年平均发电量, kW·h;

Z_s ——电站的上游计算水位 m, 按照 $V_s + \bar{V}_M + V_N/2$ 从库容—水位曲线上查出;

\bar{Q} ——电站的多年平均流量, m³/s;

Z_x ——相应于电站多年平均流量 \bar{Q} 的下游水位, m。

附录 F 梯级水库电站群水能计算

(参考件)

F1 以发电为主的梯级水库电站群的水能计算应以“自上而下”的顺序进行。

F1.1 梯级水库电站群的径流调节计算应从最上游一级的“龙头”水库开始, 根据水电站的最大过水能力, 上游来流量过程线及兴利库容等指标, 采用与单个水库电站相同的方法进行调节计算, 以求得水库蓄水过程线及下泄发电流量过程线, 具体计算中可采用等流量调节计算或水量差积曲线图解法进行。

F1.2 “龙头”水库电站以下的各梯级径流调节计算先从本梯级上游来水量中减去同一时刻蓄存在上一级水库中的水量, 由此得到修正后的本梯级上游来水量曲线, 再根据本梯级的特征参数按单一水库电站的方法进行径流调节计算。

F1.3 在每一梯级蓄水量过程线及发电流量过程线求得的基础上, 根据各梯级水头变化情况, 应用典型年操作计算各梯级水电站出力过程线和出力频率曲线, 将各电站同频率点的出力相加, 即可求得梯级电站群的出力保证率曲线以及保证出力和多年平均发电量等指标。

F1.4 若梯级中某些电站为径流式电站, 则从本梯级的上游来水量曲线中减去同一时刻上游水库的存蓄水量折算的流量, 考虑区间流量后按径流式水电站径流调节方法进行保证出力和多年平均发电量计算。

F2 梯级水库电站的补偿调节按如下原则进行:

F2.1 根据梯级水库群各梯级的调节能力、供水要求, 将水库群划分为补偿水库和被补偿水库, 并逐段进行补偿调节计算。

F2.2 当被补偿水库的上游来水经调节后的供水过程不能满足要求时, 可按系统要求的供水过程线减去区间入流过程线, 即得应由上一级补偿水库供给的放水流量过程线, 此放水流量过程线与本梯级上游来水流量过程线的差值, 即为补偿水库的调蓄流量过程线。

F2.3 当各补偿水库及被补偿水库的放水流量过程线确定后即可根据各梯级水头变化情况, 求得各梯级的出力过程线及有关水能指标。

F2.4 若上游补偿水库距下游被补偿水库电站距离较远或被补偿水库电站担任变动负荷, 则应考虑两梯级之间的流程以及河槽槽蓄作用的影响。

F3 梯级上游“龙头”水库调节效益可由考虑上游“龙头”水库调节作用后计算所得全部梯级水能

计算成果与没有“龙头”水库时下游各梯级单独的水能计算成果的差值计算。

附录 G 各种电量划分办法

(参考件)

G1 为了准确计算水电站的效益,反映不同调节性能水电站在系统负荷图上承担不同性质的负荷时的经济特性,在水能计算中应进行各种电量的划分计算。不同质量的电能可分为:①跨季调节电量;②调峰电量;③可靠电量;④季节性电量。

G2 不同质量电量划分可采用调节算法进行。对于不同调节能力的电站,采用调节划分法计算结果如图 G1 所示。其中 N 为装机容量, N_g 为工作容量, N_p 为保证出力, P_0 为设计保证率。

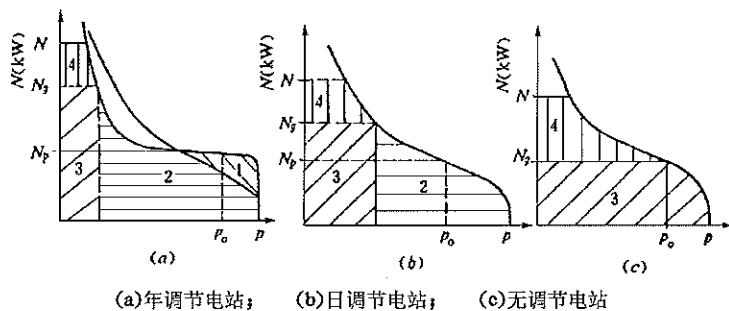


图 G1 调节划分法示意图

G3 跨季调节电量是年调节电站等流量调节出力保证率曲线与按天然径流计算的出力保证率曲线所围面积计算的电量,是经年调节库容将丰水期的水量储存至枯水期所发的电量,见图 G1 中的 1,多年调节水库电站电量全按跨季调节电量计算。

G4 调峰电量是可承担日负荷图以及月、年负荷图中峰荷位置的电量,见图 G1 中的 2。

G5 可靠电量是在正常情况下按电网要求的电站工作容量所对应的电量,即电站必须满发部分的电量,如承担峰荷将会导致弃水,见图 G1 中 3。

G6 季节性电量是电站工作容量之外的电量,因其不属于工作容量对应的电量,保证率较低。见图 G1 中 4。

附加说明

主 编 单 位:水利部能源部农村电气化研究所

参 加 单 位:河北省水利厅

主要起草人名单:李 熨、罗高荣、辛在森、荣丰涛

蒋水心、宋小岩