UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

小水电技术导则 设计

第4部分:水利及动能计算

SHP/TG 002-4: 2019

免 责 声 明

本导则未经联合国正式编辑。本导则内采用的名称和资料并不代表联合国工业发展组织的秘书处关于各国、领土、城市、地区或其当局的合法地位，以及关于国土、边界的界定、或对经济体系及其发展程度等问题的任何意见和立场。例如“发达的”、“工业化的”和“发展中”等一类词汇只为方便统计，未必表示一个国家或者地区的真实发展程度。本导则中提及的公司名称或者商业产品并非联合国工业发展组织为其代言。本导则尽可能保持内容的准确性，但联合国工业发展组织及其成员国均不对使用本导则可能产生的结果承担任何责任。本导则可被自由引用或转载，但需注明出处。

© 2019 UNIDO/INSHP – 版权所有

小水电技术导则　设计

第 4 部分:水利及动能计算

SHP/TG 002-4:2019

鸣 谢

本导则是联合国工业发展组织（UNIDO）和国际小水电联合会（INSHP）共同合作努力的成果，约 80 名国际专家和 40 家国际机构参与了导则的编制、同行审查，并提出了具体意见和建议，使导则更具实用性和专业性。

UNIDO 和 INSHP 非常感谢许多机构在制定本导则期间作出的贡献，特别是以下国际组织：

——东南部非洲共同市场（COMESA）
——全球区域可持续能源中心网（GN-SEC），特别是西非国家经济共同体可再生能源和能源效率中心（ECREEE）、东非可再生能源和能源效率中心（EACREE）、太平洋可再生能源和能源效率中心（PCREEE）和加勒比可再生能源和能源效率中心（CCREEE）。

中国政府推动了本导则的最终定稿，对其完成具有重要意义。

以下人士为编制本导则作出了贡献，包括有价值的投入、审查和提供建设性意见：Mr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Mr. Adoyi John Ochigbo, Mr. Arun Kumar, Mr. Atul Sarthak, Mr. Bassey Edet Nkposong, Mr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Ms. Chang Fangyuan, Mr. Chen Changju, Ms. Chen Hongying , Mr. Chen Xiaodong, Ms. Chen Yan, Ms. Chen Yueqing, Ms. Cheng Xialei, Ms. Chileshe Kapaya Matantilo, Ms. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Mr. Deogratias Kamweya, Mr. Dolwin Khan, Mr. Dong Guofeng, Mr. Ejaz Hussain Butt, Ms. Eva Kremere, Ms. Fang Lin, Mr. Fu Liangliang, Mr. Garaio Donald Gafiye, Mr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Mr. Guo Chenguang, Mr. Guo Hongyou, Mr. Harold John Annegam, Ms. Hou ling, Mr. Hu Jianwei, Ms. Hu Xiaobo, Mr. Hu Yunchu, Mr. Huang Haiyang, Mr. Huang Zhengmin, Ms. Januka Gyawali, Mr. Jiang Songkun, Mr. K. M. Dharesan Unnithan, Mr. Kipyego Cheluget, Mr. Kolade Esan, Mr. Lamyser Castellanos Rigoberto, Mr. Li Zhiwu, Ms. Li Hui, Mr. Li Xiaoyong, Ms. Li Jingjing, Ms. Li Sa, Mr. Li Zhenggui, Ms. Liang Hong, Mr. Liang Yong, Mr. Lin Xuxin, Mr. Liu Deyou, Mr. Liu Heng, Mr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Ms. Lu Xiaoyan, Mr. Lv Jianping, Mr. Manuel Mattiat, Mr. Martin Lugmayr, Mr. Mohamedain Seif Elnasr, Mr. Mundia Simainga, Mr. Mukayi Musarurwa, Mr. Olumide TaiwoAlade, Mr. Ou Chuanqi, Ms. Pan Meiting, Mr. Pan Weiping, Mr. Ralf Steffen Kaeser, Mr. Rudolf Hüpfl, Mr. Rui Jun, Mr. Rao Dayi, Mr. Sandeep Kher, Mr. Sergio Armando Trelles Jasso, Mr. Sindiso Ngwenga, Mr. Sidney Kilmete, Ms. Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, Mr. Shang Zhihong, Mr. Shen Cunke, Mr. Shi Rongqing, Ms. Sanja Komadina, Mr. Tareqemtairah, Mr. Tokihiko Fujimoto, Mr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Mr. Tan Xiangqing, Mr. Tong Leyi, Mr. Wang Xinliang, Mr. Wang Fuyun, Mr. Wei Jianghui, Mr. WU Cong, Ms. Xie Lihua, Mr. Xiong Jie, Ms. Xu Jie, Ms. Xu Xiaoyan, Mr. Xu Wei, Mr. Yohane Mukabe, Mr. Yan Wenjiao, Mr. Yang Weijun, Ms. Yan Li, Mr. Yao Shenghong, Mr. Zeng Jingnian, Mr. Zhao Guojun, Mr. Zhang Min, Mr. Zhang Liansheng, Mr. Zhang Zhenzhong, Mr. Zhang Xiaowen, Ms. Zhang Yingnan, Mr. Zheng Liang, Mr. Zheng Yu, Mr. Zhou Shuhua, Ms. Zhu Mingjuan.

使用中如有其他意见和建议，欢迎提供，以便再版更新。

目　　次

前言 …… Ⅱ
引言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　一般原则 …… 1
5　径流调节计算 …… 1
6　水能计算 …… 2
7　负荷预测与电力电量平衡 …… 3
8　洪水调节及防洪特征水位选择 …… 4
9　正常蓄水位与死水位选择 …… 4
10　装机容量与机组选择 …… 4
11　引水道尺寸及日调节池容积选择 …… 5
12　水库泥沙淤积分析及回水计算 …… 5
13　水库运行方式与多年运行特性 …… 5
14　附图 …… 5
附录 A（资料性附录）　无调节或日调节水电站水能计算 …… 7
附录 B（资料性附录）　年调节水库电站水能计算 …… 8

前　言

联合国工业发展组织(UNIDO)是旨在促进全球包容和可持续工业发展(ISID)的联合国专门机构。为联合国和各国未来15年可持续发展提供框架的《2030年可持续发展议程》和联合国可持续发展目标,已将ISID列为其可持续发展的三大支柱之一。能源对经济、社会发展和提高生活质量不可或缺,UNIDO的ISID任务明确将支持建立可持续能源体系。过去20年里,国际社会对能源的关注和讨论越来越多,扶贫、环境风险和气候变化等问题正成为焦点。

国际小水电联合会(INSHP)是一个协调和促进全球小水电发展的国际组织,各区域、次区域和国家对口单位、相关机构、公共单位和企业自愿加入,以社会效益为其主要目标。INSHP旨在通过发达国家、发展中国家和国际组织间的三方经济技术合作促进全球小水电发展,为广大发展中国家的农村提供环保、负担得起、充足的能源,从而增加就业机会、改善生态环境、减少贫困、提高农村生活文化水平和经济发展水平。

UNIDO和INSHP自2010年起合作编制的《世界小水电发展报告》显示,全球对小水电的需求和其发展程度并不匹配,技术缺乏是大多数国家发展小水电的主要障碍之一。UNIDO和INSHP决定基于成功发展经验并通过全球专家合作,共同编制《小水电技术导则》(简称导则)以满足各成员国的需求。

本导则根据ISO/IEC指令第二部分(详见www.iso.org/directives)的编制规则起草。

提请注意,本导则中的一些内容可能涉及专利权问题。UNIDO和INSHP不负责识别任何此类专利权问题。

引　言

小水电是广泛认可的解决偏远农村地区电气化问题的重要可再生能源。尽管欧洲、北美、南美和中国等大多数国家都拥有很高的装机容量，但许多发展中国家受到许多因素的阻碍（包括缺乏全球认可的小水电好案例或标准），仍有大量小水电资源未得到开发。

本导则将通过应用全球现有的专门知识和最佳实践，解决目前缺乏适用于小型水电站的技术导则的问题，让各国利用这些达成共识的导则来支持他们目前的政策、技术和生态环境。对于机构和技术能力有限的国家，将夯实他们发展小水电的知识基础，从而制定鼓励小水电发展的优惠政策和吸引更多的小水电投资，以促进国家经济发展。本导则对所有国家都是有益的，特别是在技术知识比较缺乏的国家中分享经验和最佳实践。

本导则适用于装机容量 30 MW 及以下的小型水电站，可作为小型水电站规划、设计、建设和管理的技术性指导文件。

- 《小水电技术导则　术语》给出了小型水电站常用的专业技术术语和定义。
- 《小水电技术导则　设计》给出了小型水电站设计的基本技术要求、方法学和程序，专业涵盖了电站选址规划、水文、工程地质、工程布置、动能计算、水工、机电设备选型、施工、工程造价估算、经济评价、投资、社会与环境评价等。
- 《小水电技术导则　机组》对小型水电站水轮机、发电机、调速系统、励磁系统、主阀和监控保护及直流电源系统设备提出了具体的技术要求。
- 《小水电技术导则　施工》对小型水电站施工技术提出了规范性指导意见。
- 《小水电技术导则　管理》对小型水电站项目管理、运行维护、技术改造和工程验收等技术方面提出了规范性指导意见。

小水电技术导则　设计
第4部分:水利及动能计算

1　范围

本部分规定了小型水电站水利及动能计算的方法和步骤,包括水电站设计可能涉及的负荷预测和电力电量平衡等内容。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改)适用于本文件。

SHP/TG 001　小水电技术导则　术语和定义

3　术语和定义

SHP/TG 001 界定的术语和定义适用于本文件。

4　一般原则

4.1　水利及动能计算应坚持水资源综合利用和综合治理的原则,妥善处理需要与可能、近期与远期、上游与下游、干流与支流等方面的关系以及水资源开发与生态环境、征地移民的关系,经济合理地开发水资源。

4.2　水利及动能计算应以流域综合规划或河流(河段)规划和电力规划为基础,根据综合利用要求确定电站的开发任务、供电范围,选择设计保证率和设计水平年,确定电站的规模和特征值,研究水库和电站的运行方式,阐明工程效益。

4.3　水利及动能计算应在收集和分析当地社会经济、自然条件、电力系统、生态环境保护等基本资料和综合利用要求的基础上进行。基础资料应包括以下内容:

a)　经济社会资料:区域国民经济现状及发展资料、流域综合规划资料、流域水能资源开发现状及规划资料、水环境保护现状及规划资料、区域电网现状和规划及综合利用效益计算所需资料。

b)　河流地形资料:库区地形图(比例尺不应低于1∶10 000),坝址上下游河段纵、横断面图,厂址下游河段纵、横断面图等;

c)　综合利用部门专业规划及用水需求资料:水库上下游取水部门的用水量、生态需水量和渔业、旅游、航运等用水需求。

4.4　可采用电站第一台机组投产后3年～5年为电站设计水平年,并宜与国民经济发展规划相一致。

5　径流调节计算

5.1　径流调节计算应根据电站的调节性能和各部门用水要求,进行水量平衡,计算电站保证出力、多年平均发电量和特征水头,阐明电站运行特征和效益。在进行水量平衡时,应考虑上、下游各类用水量、用

水过程及用水保证率的要求。

5.2 有生态、灌溉、生活、航运等用水要求的水库水电站水能指标的计算，应统筹各方面需求，合理确定水库必需库容及死水位。发电计算应综合考虑各类用水需求，并适当考虑满足特枯水年的供水要求，根据供水过程计算有关水能指标。

5.3 梯级水电站水能计算应充分考虑上、下游梯级之间流量、流程和水位的衔接关系，以及梯级之间的互相补偿效用，上一级电站的发电尾水位需要考虑下一级水库回水的影响。

5.4 小型水电站的设计保证率应满足下列要求：

a) 根据电力系统中水电容量比重可按表1选择水电站设计保证率。

表1 水电站设计保证率

电力系统中水电容量比重(%)	25以下	25～50	50以上
水电站设计保证率(%)	80～85	85～90	90～95

b) 以灌溉为主或有其他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。

c) 丰、平、枯三个典型代表年的频率宜分别按 $P_{丰}=100\%-P_{枯}$；$P_{平}=50\%$；$P_{枯}=$(设计保证率)选择。

5.5 径流调节计算应按下列要求采用时历法：

a) 对于日调节或无调节电站，根据资料条件，宜采用长系列逐日平均流量计算，也可采用典型年日平均流量计算。典型年宜选择丰水、平水、枯水三个代表年，也可增加平偏丰水、平偏枯水两个代表年。

b) 多年调节水库及年调节水库，应采用长系列，按月(旬)平均流量进行计算。典型年选择时，设计枯水年的水量频率宜基本等于设计保证率，丰水、平水、枯水年的年径流量均值宜等于或接近于多年平均径流量。

5.6 当设计电站的上、下游有已建或在设计水平年内拟建的水利水电工程时，应进行梯级电站径流调节计算。

6 水能计算

6.1 水能指标计算主要采用时历法，应根据电站的调节性能和生态、灌溉、生活、航运等用水要求进行水量平衡，计算电站的保证出力、多年平均发电量、峰荷电量、谷荷电量和特征水头等指标。

6.2 保证出力计算应满足下列要求：

a) 对于多年调节水电站，其供水期为枯水年组；年(季)调节水电站，其供水期为数月(旬)。保证出力按长系列供水期出力排频求取。

b) 对于资料缺乏或5 MW以下水电站可用设计枯水年供水期平均出力作为保证出力。

6.3 特征水头的计算应满足下列要求：

a) 最大工作水头：宜为正常蓄水位和发电保证出力时相应的下游尾水位之差。若电站担负日调节任务，应选取日调节中最小出力计算下游尾水位；若水库下游有防洪任务，应用防洪调度过程中可能出现的最大水头校核，取较大值为最大工作水头。最大工作水头计算可不考虑输水水头损失，对于引水式电站可按遭遇小流量的工况计算输水水头，并保证一定余量。

b) 最小工作水头：宜为死水位和电站最大过水能力相应的下游尾水位之差，并按遭遇大流量的工况扣除输水水头损失。对低水头电站，应研究洪水期可能出现的发电最小水头。

c) 算术平均水头：应为长系列计算成果中各计算时段平均水头的算术平均值。

d) 加权平均水头：应取长系列计算成果中各计算时段平均水头与平均出力乘积之和，与各计算时

段平均出力之和的比值。

6.4 日调节水电站的水能指标计算可采用日计算时段或时计算时段两种方法。无调节水电站采用日计算时段法,并应满足下列规定:

a) 采用日计算时段法时,应按以下规定进行:
   1) 根据取水口处多年(规模在 5 MW 以下的小水电站可采用丰、平、枯 3 个或 3 个以上典型年)的日平均流量系列,绘制日流量历时曲线或日流量保证率曲线;
   2) 根据各种流量相应水头和选择的出力系数,计算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) 根据电站出力保证率曲线,计算绘制装机与发电量关系曲线,并结合电站装机容量的选择确定多年平均发电量,具体计算方法可参见附录 A。
b) 采用时计算时段法时,应按以下规定进行:
   1) 根据本地日负荷图中峰荷运行时间,按多发峰电和维持高水位运行的原则,对径流进行日内 24 h 调节计算,日内小时来水量取日平均流量。
   2) 当日平均流量大于机组额定流量时,可不考虑水库调节,水库上游水位取正常蓄水位,直接进行水能指标计算;
   3) 当谷荷时段不发电且不能蓄满水库,则谷荷全时段和峰荷初时段不发电,直至蓄满后,在剩余峰荷时段内将时段总来水量与调节库容之和平均用于发电;
   4) 当谷荷时段不发电可以蓄满水库并有多余水量时,可在谷荷初时段不发电,先行蓄水至库满后,在谷荷后时段按入库流量满水位发电,峰荷全时段将时段总来水量与调节库容之和平均用于发电;
   5) 当谷荷时段不发电可以蓄满水库并有多余水量,且调节库容和来水可满足峰荷时段机组满发水量并有弃水时,为避免峰荷时段弃水,可在谷荷初时段不发电,先行蓄水至库满后,在谷荷后时段按入库水量与峰荷时段弃水量之和发电,峰荷全时段将时段总来水量与调节库容之和扣减弃水后平均用于发电。

6.5 年调节水电站的水能指标计算可采用等出力调节计算和等流量调节计算,具体方法参见附录 B。并应按以下规定进行:

a) 采用长系列径流资料计算逐年的发电量,应取平均值获得多年平均发电量指标。保证出力按长系列供水期出力排频求取。
b) 资料缺乏或 5 MW 以下水电站可采用丰、平、枯设计典型年径流计算多年年平均发电量。设计枯水年供水期平均出力可作为电站保证出力。

6.6 多年调节性能水电站水能指标计算可参照年调节水电站计算。计算起算时段水库水位可从死水位起算,求得水库多年的蓄水过程,然后统计各年初水库蓄水位,取其平均值作为初始水位再次进行计算;也可简化计算,取死水位至正常蓄水位的 2/3 处作为初始水位。

7 负荷预测与电力电量平衡

7.1 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应以负荷预测为基础,确定电力系统发展速度和编制水电站分期开发计划也应以负荷预测为依据。

7.2 负荷预测应以收集电力部门已有预测成果为主,经分析采用。其依据的主要资料应包括:系统内各类用电设备容量;系统逐月用电综合最大负荷、用电量和年总用电量;系统逐月供电综合最大负荷、供电量和年总供电量;系统综合网损率,各种电站厂用电率以及负荷增长率等。

7.3 对于占系统比重较大的骨干电站,应采用多种方法对电力部门的负荷预测成果进行校验。综合选择应用系数法、单耗法等基本预测方法。

7.4 占系统比重不大的小型水电站的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，不需要进行电力电量平衡。如果电站没有并入电网(即独立发电厂)，其装机容量可根据周边地区20年的电力需求来选择。也可考虑对该独立项目实施分阶段开发。

7.5 占系统比重较大，并入孤立电网中运行的骨干水电站，其装机容量还应在全网电力电量平衡的基础上选择，电力电量平衡应满足下列要求：

a) 可按丰、平、枯三个代表年的各类电站容量和电量与负荷进行平衡。丰、平、枯代表年的频率可按如下方法选择：
   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；
   2) 平水年频率 $P_{平}$ 选为50%；
   3) 丰水年频率 P 丰可按 $P_{丰}=100\%-P_{枯}$ 确定；
b) 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个～4个月份，绘制其典型日负荷图，进行电力电量平衡。

8 洪水调节及防洪特征水位选择

8.1 洪水调节计算应根据工程防洪标准及下游防洪要求，对拟定的泄洪建筑物规模及汛期限制水位进行技术经济比较，确定汛期限制水位、设计洪水位及校核洪水位。

8.2 防洪特征水位应结合泄洪建筑物的布置和规模进行技术经济比较确定。

8.3 汛期限制水位应按照防洪与兴利相结合的原则，根据不同汛期限制水位对主要兴利目标、下游防洪、泥沙淤积、库区淹没、工程投资等的影响，综合分析确定。

8.4 对于梯级水库，应分析梯级中各水库的防洪标准、防洪任务、洪水调度原则等，使设计电站的防洪运行方式与梯级中其他水库相协调。

9 正常蓄水位与死水位选择

9.1 正常蓄水位选择应根据河流梯级开发方案、综合利用要求、工程建设条件、泥沙淤积、水库淹没、生态环境等因素，拟定若干方案，通过技术经济论证及综合分析确定，在进行方案比较时，应把水库淹没、生态环境作为方案比较的重要因素。

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

a) 坝址地形地质、水工建筑物布置、施工条件、梯级衔接、生态环境及水资源综合利用等因素；
b) 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；
c) 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。

9.3 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，还应考虑泥沙冲淤、水轮机工况要求对进水口高程的制约以及其他部门对用水的要求等，经综合分析比较后确定。

10 装机容量与机组选择

10.1 电站的供电范围宜根据地区电力系统发展规划、水电站的规模及其在电力系统中的作用分析确定。

10.2 装机容量应在分析水库的调节性能、综合利用要求、系统设计水平年的负荷及其特性、供电范围、电源结构的基础上，计算各装机方案的年发发电量、发电效益和相应费用，结合电力电量平衡，综合比较后确定。

10.3 有生态、灌溉、生活、航运等用水要求的水库电站，应在满足生态、灌概、生活、航运等各类用水的供水流量的前提下，选择若干装机方案，进行技术经济比较确定。

10.4 装机容量选择时，其引用流量应与上、下游梯级电站相协调。

10.5 水轮机额定水头应根据电站水头变化特性、加权平均水头等确定。额定水头可按额定水头与加权平均水头的比值在0.85～0.95之间选择，且额定水头不宜高于汛期加权平均水头。

10.6 水轮机机型及机组台数应根据电站的出力、水头变化特性、枢纽布置、机电设备制造水平及电力系统的运行要求等因素，经综合分析比较后选择。

11 引水道尺寸及日调节池容积选择

11.1 引水式水电站引水道尺寸和日调节池容积的选择，应根据地形、地质、冰凌、泥沙淤积、电站装机容量、日运行方式等分析比较确定，并适当留有余地。

11.2 引水道(渠道/隧道)尺寸应通过计算水头损失、各方案的电量效益和费用，通过方案比较后进行优选。

11.3 日调节池容积可按设计保证率条件下经调节后能满足日负荷运行要求所需的库容确定。安全系数可采用1.1～1.2。

11.4 当没有其他综合利用部门限制时，梯级水电站日调节池容积宜按梯级水电站同步运行选择。

12 水库泥沙淤积分析及回水计算

12.1 高水头电站，应分析泥沙粒径对水轮机叶片侵蚀产生影响，提出过机含沙量。

12.2 水库泥沙冲淤计算时，根据水沙特性、水库泥沙调度方式、水文资料条件等，可选用不同的计算方法。资料条件较差时，可用类比法或经验法计算。资料条件较好时，可采用数学模型计算，主要参数应用实测资料率定，并提出相应泥沙淤积部位、淤积量及对调节库容的影响等成果。

12.3 水库回水计算应根据河道条件、水库特性、水库运用方式，按满足设计要求的流量，推求建库前天然水面线及建库后泥沙淤积预测年限的库区回水水面线。回水计算的基本资料和计算条件中，应说明回水断面布设情况，糙率选用的根据等，计算断面应能反映河道基本特性及淤积后河床特性。对多沙河流，回水计算应考虑水库淤积的影响。

13 水库运行方式与多年运行特性

13.1 应根据选定的参数，并考虑综合利用要求、已建成的梯级情况，提出水库调度运行方式。

13.2 应根据水库运行方式，提出多年运行特性。

14 附图

水利及动能计算的附图应包括：

a) 工程地理位置示意图

b) 工程供电范围示意图

c) 流域(区域)水电规划工程布置示意图

d) 库区淹没范围图

e) 水库水位—面积—库容曲线图

f) 发电厂址处水位流量关系曲线图

g） 发电出力保证率曲线图
h） 水库泥沙淤积纵剖面及回水曲线图
i） 水库设计洪水调度图
j） 水库运行曲线(根据灌溉、供水等放水要求)
k） 水库校核洪水调度图
l） 满足电力以外的用水需求(如灌溉、供水等)的流量系列。

附　录　A
（资料性附录）
无调节或日调节水电站水能计算

A.1　无调节或日调节水电站水能计算时，可将所采用的径流资料从小到大排队划分为若干流量等级，并计算各流量等级出现的次数，具体见表 A.1。

表 A.1　无调节或日调节水电站历年日平均流量出现次数统计表

流量等级 (m^3/s)	平均流量 $\overline{Q}$ (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
		X 年	X 年	X 年	X 年	X 年	X 年	X 年	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
$Q_1 \sim Q_2$									
$Q_3 \sim Q_4$									
$Q_5 \sim Q_6$									

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 3 年。

A.2　无调节或日调节水电站列表法水能计算方法应按表 A.2 进行。根据表 A.2 的成果绘制出力频率或出力历时曲线，并求出其水能指标。

表 A.2　无调节或日调节水电站水能指标计算表

编号 i	平均流量 $\overline{Q}_i$ (m^3/s)	上游水位 Z_{si} (m)	下游水位 Z_{xi} (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：第(2)栏 $\overline{Q}_i$ 在表中自上而下，按数值由小到大排列。
注 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，$\Delta N_i = N_i - N_{i-1}$。
注 3：第(8)栏的数值取自表 A－1。
注 4：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 $S_{ni} = Sn_{i+1} + n_i$。
注 5：第(10)栏的 $P_i = S_{ni}/(S_{n1}+1)$。
注 6：第(11)栏的 $t_i = 8\ 760 \times (P_i + P_{i-1})/200$，当 $i \geqslant 2$ 时。
注 7：第(12)栏的第一行数值 $E_1 = N_1 \times t_1$。
注 8：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　B
（资料性附录）
年调节水库电站水能计算

B.1　等出力调节计算：等出力调节计算一般利用计算机采用试算法进行，应先假定保证出力，进行逐时段已知出力（假定的保证出力）的发电调节流量试算。若在某时段水位高于正常蓄水位出现弃水（或水位低于死水位）时，则应加大（或减小）发电调节流量，计算相应的出力。全系列调节计算完成后，如果出力破坏情况符合保证率要求，则所假设的出力为所求的保证出力，否则应再重新假定试算，直到符合为止。等出力调节计算得到的电站保证出力、多年平均发电量等水能指标，必要时应按调度图调节进行校核。

B.2　当已知水电站按负荷图工作的出力变化过程、其他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时，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，可通过公式（B.1）、（B.2）和（B.3）联立求解用试算法列表计算，计算表见表 B.1。

$$N = AQ_{\mathrm{p}}(\overline{Z}_{\mathrm{s}} - \overline{Z}_{\mathrm{x}} - \Delta h) \qquad \cdots\cdots (\mathrm{B.1})$$

$$V_{\mathrm{m}} = V_{\mathrm{c}} + (Q_i - Q_{\mathrm{p}} - Q_{\mathrm{y}})\Delta t \qquad \cdots\cdots (\mathrm{B.2})$$

$$V_{\mathrm{m}} = V_{\mathrm{c}} - (Q_{\mathrm{p}} - Q_i - Q_{\mathrm{y}})\Delta t \qquad \cdots\cdots (\mathrm{B.3})$$

式中：

N ——水电站出力，kW；

A ——电站综合出力系数；

Q_{p} ——水电站引用流量，$\mathrm{m^3/s}$；

$\overline{Z}_{\mathrm{s}}$ ——上游平均水位，m；

$\overline{Z}_{\mathrm{x}}$ ——下游平均水位，m；

Δh ——水头损失，m；

V_{m} ——时段末水库蓄水量，$\mathrm{m^3}$；

V_{C} ——时段初水库蓄水量，$\mathrm{m^3}$；

Q_i ——上游来流量，$\mathrm{m^3/s}$；

Q_{y} ——其他部门用水，蒸发渗漏损失以及弃水流量，$\mathrm{m^3/s}$；

Δt ——时段长，s。

表 B.1　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_1 (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_{ci}	月末 V_{mi}	月平均 $\overline{V}_i$	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)	(17)

注 1：第(4)栏，在供水期为 Q_{pi}，在蓄水期为 Q_{xi}，但不得超过电站最大过流量。

注 2：第(5)栏 Q_{yi}，包括其他部门用水及蒸发渗漏损失及弃水等。

注 3：第(6)栏，$Q_i=Q_{pi}+Q_{yi}$。

注 4：第(7)、(8)栏，$\Delta W_i=\pm(Q_{1i}-Q_i)T$，其中 T 为当月秒数。

注 5：第(9)、(10)栏，$V_{mi}=V_{ci}\pm\Delta W_i$。

注 6：第(12)栏，上游水位 Z_{si} 为利用 $\overline{V}_i$ 查水库水位与库容关系曲线求出。

注 7：第(13)栏，由下泄流量查下游水位与流量关系曲线。

注 8：第(15)栏，$H_i=Z_{si}-Z_{xi}-\Delta h_i$。

注 9：第(16)栏，$N_i=A\times H_i\times Q_i$。

注 10：第(17)栏，$E_i=N_i\times T$，T 为各月小时数，全年累计 $\sum E_i$，即为年发电量。

注 11：表中各符号的下脚标 i 代表月份，$i=1,2,\cdots,12$。

B.3　等流量调节计算：

a)　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，蓄水期、供水期的引用流量需通过试算求解。

1)　供水期引用流量应按公式(B.4)计算。

$$Q_p=\frac{W_{gl}+V_x-W_{gs}-W_{gy}}{T_g} \qquad \cdots\cdots(B.4)$$

式中：

Q_p ——供水期水电站引用流量，m^3/s；

W_{gl}——供水期上游来水量，m^3；

V_x ——兴利库容，m^3；

W_{gs}——供水期水量损失，m^3；

W_{gy}——供水期其他部门用水量，m^3；

T_g ——供水期时段，s。

2)　蓄水期引用流量应按公式(B.5)计算。

$$Q_x=\frac{W_{xl}-V_x-W_{xs}-W_{xy}}{T_x} \qquad \cdots\cdots(B.5)$$

式中：

Q_x ——蓄水期水电站引用流量，m^3/s；

W_{xl}——蓄水期上游来水量，m^3；

V_x ——兴利库容，m^3；

W_{xs}——蓄水期水量损失，m^3；

W_{xy}——蓄水期其他部门用水量，m^3；

T_x——蓄水期时段，s。

b） 等流量调节可采用列表法进行计算，如表 B.2 所示。由设计枯水年或多年（或丰、平、枯 3 个典型年）列表计算的成果，求得相应水能指标。设计枯水年供水期的平均出力即为保证出力。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。

c） 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与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。

表 B.2 年调节水库等流量调节水能计算表

月份	天然来水流量 Q_{1i} (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_{ci}	月末 V_{mi}	月平均 $\overline{V}_i$	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：本表中各栏计算方法参表 B.1。

UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

Vienna International Centre
P.O. Box 300 · 1400 Vienna · Austria
Tel.: (+43-1) 26026-0
E-mail: info@unido.org
www.unido.org

INTERNATIONAL NETWORK
ON SMALL HYDROPOWER

136 Nanshan Road
Hangzhou · 310002 · P.R.China
Tel.: (+86-571)87132793
E-mail: secretariat@inshp.org
www.inshp.org