

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51372 – 2019

小型水电站水能设计标准

Standard of hydroenergy design for small hydro power stations

2019 – 05 – 24 发布

2019 – 10 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
国家市场监督管理总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

小型水电站水能设计标准

Standard of hydroenergy design for small hydro power stations

GB/T 51372 - 2019

主编部门：中华人民共和国水利部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2019年10月1日

中国计划出版社

2019 北 京

中华人民共和国国家标准
小型水电站水能设计标准

GB/T 51372-2019

☆

中国计划出版社出版发行

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 1.5印张 34千字

2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷

☆

统一书号: 155182·0406

定价: 12.00元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

2019 年 第 130 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《小型水电站水能设计标准》的公告

现批准《小型水电站水能设计标准》为国家标准,编号为 GB/T 51372—2019,自 2019 年 10 月 1 日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开,并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2019 年 5 月 24 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2012年工程建设标准规范制订修订计划〉的通知》(建标〔2012〕5号)的要求,标准编制组经过广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国内外标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准共分6章和3个附录,主要技术内容是:总则、基本资料、水能计算、负荷预测及电力电量平衡、装机容量选择及机组机型、水能特征值选择等。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由水利部负责日常管理,由水利部农村电气化研究所负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送水利部农村电气化研究所(地址:杭州市学院路122号,邮政编码:310012)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主编单位:水利部农村电气化研究所

参编单位:浙江省水文管理中心

主要起草人:黄建平 张同声 刘光裕 何 峰 张喆瑜

饶大义 周卫明 吴晋青 阮跟军 殷 庆

严 俊

主要审查人:郭东浦 陈森林 李如芳 孙亚芹 郑雄伟

杨杰锋 杨铁荣 戴群莉 张大顺 苗云江

陶 纲 程夏蕾

目 次

1 总 则	(1)
2 基本资料	(2)
2.1 社会经济资料	(2)
2.2 水文资料	(2)
2.3 其他资料	(3)
3 水能计算	(5)
4 负荷预测及电力电量平衡	(7)
5 装机容量选择及机组机型	(8)
6 水能特征值选择	(10)
附录 A 梯级水库电站群水能计算	(13)
附录 B 无调节或日调节水电站水能计算	(15)
附录 C 年、季调节水库电站水能计算	(18)
本标准用词说明	(22)
引用标准名录	(23)
附：条文说明	(25)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Basic data	(2)
2.1	Socio-economic data	(2)
2.2	Hydrological data	(2)
2.3	Other relevant data	(3)
3	Calculation of hydroenergy	(5)
4	Forecasting of load as well as power and electricity balance	(7)
5	Selection of installed capacity and hydroturbine generator unit type	(8)
6	Selection of hydroenergy characteristic data	(10)
Annex A	Calculation of hydroenergy for reservoir-type cascade hydropower stations	(13)
Annex B	Calculation of hydroenergy for run-of-the-river or daily regulation hydropower stations	(15)
Annex C	Calculation of hydroenergy for yearly or seasonal regulation hydropower stations	(18)
	Explanation of wording in this standard	(22)
	List of quoted standards	(23)
	Addition; Explanation of provisions	(25)

1 总 则

1.0.1 为了经济合理地开发利用水能资源,规范小型水电站水能设计技术要求,提高水能设计质量,特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于装机容量 50MW 及以下的小型水电站水能设计。对于一些以小水电开发为主的中小河流(河段)水电开发规划以及以水电为主的地区电力发展规划的水能设计部分,也可根据本标准进行计算。

1.0.3 小型水电站水能设计应遵循水资源综合利用和保护的原则,并应根据国民经济各行业以及流域生态建设和环境保护等需要,处理好近期与远景、干流与支流、上游与下游、左岸与右岸等方面的关系。

1.0.4 小型水电站水能设计应以已审批的水能开发规划或含有水能开发规划内容的有关规划为基础,综合分析当地经济社会需求,合理选择水电站设计保证率及设计水平年,确定水电站装机容量、水库正常蓄水位、死水位等水能特征值及主要动能经济指标。

1.0.5 小型水电站水能设计应重视基本资料收集,基本资料精度应满足相应设计阶段的要求。

1.0.6 小型水电站水能设计中应根据下游生活、生产、生态等用水要求,分析确定堰、坝下游最小流量。不能用作发电的水量应在发电用水中予以扣除。

1.0.7 小型水电站水能设计除应符合本标准规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 基本资料

2.1 社会经济资料

2.1.1 社会经济资料应包括区域国民经济现状和发展规划、流域综合规划、流域水能资源开发现状和规划、综合利用部门专业规划和用水需求、水环境保护现状和规划、区域电网现状和规划、综合利用效益计算所需资料。

2.1.2 区域国民经济现状和发展规划资料应包括人口、资源、工农业生产和交通运输等内容。

2.1.3 综合利用部门专业规划和用水需求资料应包括上下游用水、生态需水和旅游、航运等要求。

2.1.4 水环境保护现状和规划资料应包括生态功能区、水功能区、水环境功能区等区划要求，流域或区域生态环境目标等。

2.1.5 区域电网现状和规划资料应包括已有、在建和拟建的各类电站的地区分布、装机规模、运行特性、发电经济指标、电网网络结构、负荷预测、电源规划和电网规划等。

2.2 水文资料

2.2.1 水文径流系列应根据流域实测资料、人类活动的影响，按下列情况分析确定：

1 水文连续径流系列宜不少于 30 年，且应具有代表性；5MW 及以下的小型水电站可分析选取丰水年、平水年和枯水年 3 个代表年的资料；

2 缺乏实测资料地区的小型水电站可引用邻近流域实测资料或经审查的水文图表资料，分析选取丰水年、平水年和枯水年 3 个或 3 个以上代表年的资料；

3 具有周调节及以下调节性能的小型水电站应采用日径流资料,季调节及以上调节性能的小型水电站可采用长系列月或旬径流资料;

4 当设计电站的上游有已建或在设计水平年内拟建的水利水电工程时,上下游梯级电站的水文系列应协调一致。

2.2.2 电站尾水水位流量关系资料应反映现状及规划工况洪、枯水位变化情况以及下游干支流洪水(潮)顶托及建筑物的影响。

2.2.3 水量损失资料应包括水库库区蒸发和渗漏资料、严寒地区相应的结冰损失资料。

2.2.4 泥沙资料应包括输沙量及其分配、颗粒级配曲线。资料短缺或无资料时,可利用邻近流域泥沙测验资料和水文部门发布的泥沙资料。

2.3 其他资料

2.3.1 其他资料应包括水库水位面积关系曲线与水位容积关系曲线、水库淹没与工程占地资料、水力学及泥沙计算成果、工程投资资料、机组机型资料、电站上下游梯级水电站主要水能设计参数、水库防洪资料、综合用水现状和规划成果。

2.3.2 水库淹没与工程占地资料应包括淹没人口、房屋、耕地、林地、园地等主要实物指标和补偿费用,重要淹没对象的位置和控制性高程,以及移民安置方案等。

2.3.3 水库防洪资料应包括防洪保护对象和防洪设施及其标准、防洪对本工程的要求等。

2.3.4 综合用水现状和规划成果应包括灌溉、供水、下游生态用水等资料,并应符合下列规定:

1 灌溉资料应包括灌区范围、灌溉面积、灌溉保证率、用水量及年内分配、取水地点、取水方式和取水水位;

2 供水资料应包括城镇和工业供需水量及年内分配、保证率、取水地点、取水方式和取水水位;

3 下游生态等用水资料应包括电站下游生态环境用水、减水段最低综合用水等。

2.3.5 水力学及泥沙计算资料应包括水库回水曲线、淤积计算及发电输水系统水头损失计算等成果。

2.3.6 工程投资资料应包括工程部分投资、移民和环境部分投资。移民和环境部分投资应包括水库移民征地补偿费、水土保持工程费、环境保护工程费等。

2.3.7 机组资料应包括机组机型、额定流量和特征水头等。

2.3.8 相关上下游水电站主要水能设计参数及成果应包括装机容量、机组额定流量和特征水头、发电尾水位、水库特征水位、回水位、综合用水要求、调度方式、水文设计成果等。

3 水能计算

3.0.1 水能计算应根据电站的调节性能和各部门用水要求,主要采用时历法,计算电站的保证出力、多年平均年发电量和特征水头等指标。特征水头包括最大工作水头、最小工作水头、算术平均水头和加权平均水头。

3.0.2 水能计算应分清各用水目标之间的主次关系。灌溉、供水为主的水库电站,发电应优先满足灌溉、供水用水要求;更新改造的小型水电站应分别按照改造前后的不同设计参数计算水能指标。

3.0.3 对引水式开发或通过跨流域引水增加发电水量的小型水电站,应充分考虑调(出)水区下游的灌溉、供水和生态环境用水要求及调(出)水可能产生的影响,并根据发电引水需要和引水工程规模,分析确定引水量及引水过程。

3.0.4 梯级水电站水能计算应考虑上下游梯级之间的衔接关系,可考虑梯级之间的补偿作用,计算方法应符合本标准附录 A 的规定。

3.0.5 小型水电站的设计保证率应根据电力系统中水电容量比重按表 3.0.5 确定。

表 3.0.5 小型水电站设计保证率

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

3.0.6 日调节小型水电站的水能计算可采用日计算时段或时计算时段两种方法。无调节水电站可采用日计算时段法。计算方法应符合本标准附录 B 的规定。

3.0.7 日计算时段法应根据日平均流量系列计算逐日出力及发电量,绘制出力保证率曲线,对应于电站设计保证率的出力即为保证出力。通过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年发电量。低水头水电站计算时应考虑水位消落深度的影响。

3.0.8 年、季调节小型水电站的水能计算应符合下列规定:

1 可选用等出力或等流量法计算出力和发电量,具体方法应符合本标准附录 C 的规定;

2 保证出力可按长系列供水期出力排频求取,也可采用绘制月出力保证率曲线求取,对应于电站设计保证率的出力即为保证出力,系列年发电量平均值即多年平均年发电量;资料缺乏或 5MW 以下小型水电站可采用丰水年、平水年、枯水年 3 个设计代表年计算多年平均年发电量,设计枯水年供水期平均出力可作为电站保证出力。

4 负荷预测及电力电量平衡

4.0.1 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。

4.0.2 负荷预测应收集电力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、各种电站厂用电率和负荷增长率等负荷预测资料和已有预测成果,经分析采用。

4.0.3 设计水平年日负荷图可根据系统实际运行情况,并分析季节代表性,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。

4.0.4 占系统(孤立电网)比重较大的小型水电站应进行电力电量平衡。电力电量平衡可按丰水年、平水年、枯水年3个设计代表年的电站容量、电量与负荷进行。丰水年、平水年、枯水年3个设计代表年的频率的选择方法应符合下列规定:

- 1 枯水年频率 $P_{\#}$ 应与电站设计保证率一致;
- 2 平水年频率 P_{\mp} 应为 50%;
- 3 丰水年频率 P_{\pm} 应为 $100\% - P_{\#}$ 。

4.0.5 占系统比重不大的小型水电站可不进行电力电量平衡。

5 装机容量选择及机组机型

5.0.1 装机容量应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的基础上,通过计算各装机方案的多年平均年发电量、水量利用率、装机年利用小时数,经技术经济比较后合理确定。0.5MW 以下的水电站可按年利用小时数确定装机容量。

5.0.2 占系统比重较大的骨干小型水电站,装机容量还应结合全网电力电量平衡确定。

5.0.3 对于生态流量有水能开发利用价值的小型水电站,可设置小流量机组增加装机容量。

5.0.4 具备下列情况之一时,应研究预留机组或增大装机容量的可行性:

1 上游规划或在建有调节性能较好的水库;

2 本工程有可能增加坝高和有效库容;

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。

5.0.5 梯级水电站装机容量选择时,应协调上下梯级电站引用流量。

5.0.6 装机容量宜与水轮发电机组机型同时选择。机型、台数及单机容量应考虑电站的出力、水头变化特性、枢纽布置及电力系统的运行要求等因素,通过综合分析比较选择。电站机组台数不宜少于 2 台。

5.0.7 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。对于占系统比重不大的水电站,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,应符合现行

行业标准《小水电建设项目经济评价规程》SL 16 的有关规定。

5.0.8 电站增容改造应综合考虑水工建筑物现状及改造的可行性、机组特性、河流生态流量、水资源利用情况、发电年利用小时数、与上下梯级电站发电引用流量的协调等因素，合理确定增容规模。

<http://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

6 水能特征值选择

6.0.1 水电站的正常蓄水位、汛期排沙运用水位、汛期限制水位、死水位和输水系统规模等特征值的选择均应通过技术经济比较综合分析确定。水轮机额定水头应根据电站开发方式、机组机型特性等选择。

6.0.2 方案比较时应使各方案的效益和费用具有可比基础,应同等程度满足各综合利用部门的要求。当满足程度不同时,宜考虑相应的替代或补偿措施。

6.0.3 方案比较应采用差额投资内部收益率法进行,若差额投资内部收益率 ΔIRR 大于或等于社会折现率或财务基准收益率,原则上应选投资较大的方案,否则应选投资较小的方案。计算应符合现行行业标准《小水电建设项目经济评价规程》SL 16 的有关规定。

6.0.4 发电效益计算应按电力市场要求确定计算方案。对实行分期分时电价政策的系统,应按不同的丰枯季节电价和峰谷时段电价计算发电效益,并从下列方面综合分析社会、环境效益:

1 分析水资源综合利用效益、促进农村经济社会发展、改善生态环境等方面的社会、环境效益;

2 分析提高防洪抗旱能力、减少山洪和地质灾害、改善灌溉和供水条件、带动乡村道路和输配电线路等公共基础设施建设、促进农民增收的作用;

3 分析防治水土流失、保护森林植被、减少温室效应和污染物排放等方面的作用;

4 扩容改造的小型水电站还应提出改造后消除电站安全隐患、保障工程安全和公共安全等方面的作用。

6.0.5 方案比较按照以下方法进行：

1 对于以防洪、灌溉等社会效益为主的小型水电站，应从国民经济角度分析计算可比性投资和效益，按社会折现率要求选择较优方案；

2 对于以发电效益为主的小型水电站，可从项目财务评价的角度计算分析可比性投资和效益，按财务基准收益率要求选择较优方案；

3 对于扩容改造的小型水电站，应根据改造费用以及改造前、后的差额发电效益，结合扩容改造后的社会、环境效益选择较优方案。

6.0.6 水库正常蓄水位和汛期限制水位的选择除应比较各方案的动能经济指标外，还应考虑下列因素的影响：

1 坝址地形地质、水工建筑物布置、施工条件、梯级衔接、环境生态及水资源综合利用等；

2 库区农田、城镇、交通、矿区及重要文物古迹的淹没、浸没、盐碱化损失；

3 泥沙淤积后回水抬高对上游电站衔接的影响，多沙河流应考虑不同淤积年限对库容、效益及梯级间的相互影响，并根据水库淤积进程计算效益变化。

6.0.7 汛期限制水位选择还应根据洪水和泥沙特性，研究防洪、发电及其他部门对水库淹没、泥沙冲淤、枢纽布置及水轮机运行条件等方面的影响，通过不同方案的效益和费用比较综合分析确定。

6.0.8 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及其他部门对水位、流量的要求等，经综合分析比较后确定。

6.0.9 日(周)调节库容应根据设计水平年及设计保证率条件，经日调节后满足系统日负荷要求所需要的库容确定，安全系数可采用 1.1~1.2。

6.0.10 输水系统规模选择应根据装机容量及电站的运行方式，并结合地形地质条件，通过不同方案的效益和费用综合分析比较确定。

<http://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

附录 A 梯级水库电站群水能计算

A.0.1 以发电为主的梯级水库电站群的水能计算应采用“自上而下”的顺序,并符合下列规定:

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,上游来水量过程线、非发电用水过程及兴利库容等资料,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、发电流量过程线及下泄流量过程线,具体计算中可采用等流量、等出力法进行调节计算;

2 “龙头”水库电站以下的各梯级径流调节计算应先从上一级下泄流量过程加区间来水过程,得到经上游梯级水库调节后本梯级上游来水过程,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;

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,应用长系列或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年发电量等指标。

A.0.2 梯级水库电站的补偿调节应符合下列规定:

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;

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;

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;

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,应考虑两梯级之间的流程以及河槽槽蓄作用的影响。

A.0.3 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 B 无调节或日调节水电站水能计算

B.1 日计算时段法

B.1.1 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, 5MW 及以下的小型水电站也可采用以丰水年、平水年、枯水年 3 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。缺乏实测资料地区的小型水电站可引用邻近流域实测资料或经审查的水文图表资料, 分析选取丰水年、平水年和枯水年 3 个或 3 个以上代表年的系列资料。

B.1.2 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, 无调节或日调节水电站历年日平均流量出现次数统计表可按表 B.1.2 进行制订。

表 B.1.2 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 \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)
$Q_1 \sim Q_2$									
$Q_2 \sim Q_3$									
$Q_3 \sim Q_4$									

注: 本表统计的年数应根据实际占有的资料情况确定, 但至少应包括丰水年、平水年、枯水年 3 年。

B.1.3 无调节或日调节水电站列表法水能计算方法应按表 B.1.3 进行。应根据表 B.1.3 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 B.1.3 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}_i (m^3/s)	上游 水位 Z_{0i} (m)	下游 水位 Z_{1i} (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 \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 B.1.2。

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 $S_{ni} = S_{n_{i+1}} + n_i$ 。

5 第(10)栏的 $P_i = 100 \times S_{ni} / (S_{ni} + 1)$ 。

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

7 第(12)栏的第一行数值 $E_i = N_i t_i$ 。

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 $SE_i = SE_{i-1} + E_i$ 。

B.2 时计算时段法

B.2.1 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 24h 调节计算,日内小时来水流量可取日平均流量。

B.2.2 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。

B.2.3 当谷荷时段不发电且不能蓄满水库时,则可在谷荷全时

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。

B.2.4 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。

B.2.5 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。

<https://www.sizijx.com>
水利造价信息网

附录 C 年、季调节水库电站水能计算

C. 0.1 年、季调节水库水能计算可采用等出力调节计算或等流量调节计算。

C. 0.2 等出力调节计算应符合下列规定：等出力调节计算一般应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，出现破坏）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、多年平均年发电量等水能指标，年调节能力以上水库必要时应按调度图调节进行校核。

C. 0.3 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，可通过下列公式联立求解用试算法列表计算，年调节水库已知电站出力时水能计算表可按表 C. 0.3 进行制订。

$$N = A Q_p (Z_s - \bar{Z}_s - \Delta h) \quad (\text{C. 0.3-1})$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{蓄水期} \quad V_m = V_c + (Q_r - Q_p - Q_s) \Delta t \\ \text{供水期} \quad V_m = V_c - (Q_p - Q_r + Q_s) \Delta t \end{array} \right\} (\text{C. 0.3-2})$$

式中： N ——水电站出力(kW)；

A ——电站综合出力系数；

Q_r ——水电站引用流量(m^3/s)；

Z_s ——上游平均水位(m)；

\bar{Z}_s ——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_1 —— 上游来流量 (m^3/s);

Q_2 —— 其他部门用水、蒸发渗漏损失以及弃水流量 (m^3/s);

Δt —— 时段长 (s)。

表 C.0.3 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)	上游 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_{p_i}	其 他 Q_{2_i}	合 计 Q_{3_i}	蓄 水 $+\Delta W_i$	供 水 $-\Delta W_i$	月 初 V_c	月 末 V_m	月 平 均 \bar{V}_i	上游 水位 Z_u	下游 水位 Z_d	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_{p_i} ,在蓄水期为 Q_{2_i} ,但不得超过电站最大过流量。

2 第(5)栏 Q_{2_i} ,包括其他部门用水、蒸发渗漏损失及弃水等。

3 第(6)栏, $Q_{3_i} = Q_{p_i} + Q_{2_i}$ 。

4 第(7)、(8)栏, $\Delta W_i = \pm(Q_{3_i} - Q_1)T$,其中 T 为当月秒数。

5 第(9)、(10)栏, $V_m = V_c \pm \Delta W_i$ 。

6 第(12)栏,上游水位 Z_u 为利用 \bar{V}_i 查水库水位与库容关系曲线求出。

7 第(13)栏,由下泄流量查下游水位与流量关系曲线。

8 第(15)栏, $H_i = Z_u - Z_d - \Delta h_i$ 。

9 第(16)栏, $N_i = AH_i Q_{p_i}$ 。

10 第(17)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, $i=1, 2, \dots, 12$ 。

C.0.4 等流量调节计算应符合下列规定:

1 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、供水期的引用流量应通过试算求解。

1) 供水期引用流量应按下列式计算:

$$Q_p = \frac{W_{st} + V_s - W_{st} - W_{st}}{T_s} \quad (C.0.4-1)$$

式中： Q_p ——水电站引用流量(m^3/s)；

W_{sl} ——供水期上游来水量(m^3)；

V_x ——兴利库容(m^3)；

W_{ss} ——供水期水量损失(m^3)；

W_{sy} ——供水期其他部门用水量(m^3)；

T_p ——供水期历时(s)。

2) 蓄水期引用流量应按下式计算：

$$Q_p = \frac{W_{sl} - V_x - W_{ss} - W_{sy}}{T_x} \quad (C.0.4-2)$$

式中： Q_p ——水电站引用流量(m^3/s)；

W_{sl} ——蓄水期上游来水量(m^3)；

V_x ——兴利库容(m^3)；

W_{ss} ——蓄水期水量损失(m^3)；

W_{sy} ——蓄水期其他部门用水量(m^3)；

T_x ——蓄水期历时(s)。

2 等流量调节水能可采用表 C.0.4 列表进行计算。由设计枯水年或多年(或丰水年、平水年、枯水年 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。多年或丰水年、平水年、枯水年 3 个典型年年发电量的平均值即为多年平均年发电量。

表 C.0.4 年调节水库等流量调节水能计算表

月 份	上游 来水 流量 Q_p (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 (kW)	发电量 E (kW·h)
		发 电 Q_w	其 他 Q_y	合 计 Q	蓄 水 $+\Delta W_1$	供 水 $-\Delta W_2$	月 初 $V_{初}$	月 末 $V_{末}$	月 平 均 V_c	上游 水位 Z_u	下游 水位 Z_d	水头 损失 Δh_1	净 水头 H_1		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

续表 C.0.4

月 份	上游 来水 流量 Q_{ii} (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 ($kW \cdot h$)
		发 电 Q_{ei}	其 他 Q_{ri}	合 计 Q_i	蓄 水 $+\Delta W_i$	供 水 $-\Delta W_i$	月 初 V_{i-1}	月 末 V_{im}	月 平均 \bar{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)

注:1 第(3)栏,在供水期为 Q_{ei} ,在蓄水期为 Q_{ri} ,但不得超过电站最大过流量。

2 第(4)栏 Q_{ri} ,包括其他部门用水、蒸发渗漏损失及弃水等。

3 第(5)栏, $Q_i = Q_{ei} + Q_{ri}$ 。

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

5 第(8)、(9)栏, $V_{im} = V_{i-1} \pm \Delta W_i$ 。

6 第(11)栏,上游水位 Z_{ui} 为利用 V_{im} 查水库水位与库容关系曲线求出。

7 第(12)栏,由下泄流量查下游水位与流量关系曲线。

8 第(14)栏, $H_i = Z_{ui} - Z_{di} - \Delta h_i$ 。

9 第(15)栏, $N_i = AH_i Q_{ei}$ 。

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, $i=1,2,\dots,12$ 。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《小水电建设项目经济评价规程》SL 16

<http://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

中华人民共和国国家标准
小型水电站水能设计标准

GB/T 51372 - 2019

条文说明

<https://www.sizjxx.com>
水利造价信息网

编制说明

《小型水电站水能设计标准》GB/T 51372—2019,经住房和城乡建设部 2019 年 5 月 24 日以第 130 号公告批准发布。

本标准编制过程中,编制组进行了我国小水电水能资源开发水能设计的调查研究,总结了现行行业标准《小水电水能设计规程》SL 76 在我国小水电水能资源开发水能设计中的实践经验,同时参考了多个相关标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《小型水电站水能设计标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则	(31)
3 水能计算	(33)
4 负荷预测及电力电量平衡	(35)
6 水能特征值选择	(36)
附录 C 年、季调节水库电站水能计算	(38)

<https://www.sljzjxx.com/>
水利造价信息网

1 总 则

1.0.1 我国小水电资源十分丰富,可开发量约 1.3 亿 kW,居世界首位。同时,小水电资源广泛分布于长江上中游、黄河上中游和珠江上游的退耕还林区、天然林保护区、自然保护区和水土流失重点防治区的 1600 多个县,超过 2/3 的国土面积。到 2012 年底,小型水电站已建成 45000 余座,装机超过 6500 万 kW。小水电水能资源的开发利用,对解决我国农村无电缺电问题、推动农村社会经济发展,优化能源结构、减排温室气体、保障应急供电等发挥了重要作用。

由于小水电装机规模差别较大,又大多分布于广大农村地区的小流域,设计技术条件、水文条件等也有其自身特点,因此,小型水电站对水能设计的要求不能雷同于大中型水电站水能设计所要求的内容和方法。为了使小型水电站水能设计规范化、正规化,满足设计部门和管理部门的需要,特制订本标准。

1.0.4 小型水电站水能设计一般应在河流规划确定各枢纽位置、开发要求的基础上进行。应根据河流规划所确定的目标、准则,综合各部门的要求,进行具体水能参数的计算,提供工程规模如装机容量,水能参数如保证出力、多年平均年发电量、水库正常蓄水位、死水位等指标。

1.0.5 本条强调了小型水电站水能设计中所应收集和分析的基本资料。主要资料包括:

(1)当地自然、社会、经济方面的资料,用以说明社会经济发展情况以及自然资源、水利建设、工农业生产布局等方面的情况;

(2)电网结构、电力系统发展规模,电网主要接线及分布、季节

性电能利用以及目前存在的问题等电网资料。用电量、用电负荷、需电量预测、电力负荷预测等电力电量资料；

(3)其他有关的资料收集应满足精度、广度方面的要求。

<https://www.sljzjxx.com>
水利造价信息网

3 水能计算

3.0.1 水能计算应提供成果主要包括电站的保证出力、多年平均年发电量和特征水头等指标。特征水头主要包括：

(1)最大工作水头：一般为正常蓄水位和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，留有余地确定。

(2)最小工作水头：一般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最小水头。选择水轮机时应考虑这时机组仍能够工作。

(3)算术平均水头：长系列计算成果中各计算时段平均水头的算术平均值。

(4)加权平均水头：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。

3.0.3 对引水式开发或在考虑跨流域引水时，应对被引水流域生活、生产、生态所带来的不利影响做充分论证。

3.0.4 梯级水电站水能计算应按照“自上而下”顺序进行。在具体计算中充分考虑各梯级之间的流量关系影响，包括区间来水、上下游水库补偿调节作用等；流程影响如河道的稽蓄作用等；水位关系如上下游水库电站在各种运行方式情况下的水位衔接影响等。

3.0.5 水电站设计保证率是指水电站正常发电的保证程度，用水电站正常发电时段数与计时总时段数百分比的百分率表示。时段

长短可根据水库调节性能和设计需要,按年、月、旬、日分别选用。小型水电站的设计保证率严格地讲应根据电站占当地地方电力系统的比重,系统中有调节能力的水电站所占比重等因素进行选择。为简化保证率选择,本条规定小型水电站的设计保证率应根据电力系统中水电容量比重选择。具体选择中,容量较大的水电站因其在电网中处于骨干地位宜取较高的设计保证率。容量较小的水电站可视情况允许取较小的设计保证率。

3.0.6 由于日调节水电站只将一日之内的来水量进行分配,所以也是一种广义上的无调节电站,故按无调节电站的水能计算方法进行计算,在具体计算时对于日调节电站应考虑水头变化的影响。考虑到水电站调峰的作用和效益,对日调节水电站增加了以时为计算时段的水能计算方法,以供设计时选用。

3.0.8 本条是对年、季调节水电站水能计算的规定,多年调节性能水电站水能计算可参照年调节水电站计算。

(1)年调节性能水电站水能计算采用等出力(固定出力)或等流量调节计算办法,具体采用何种办法应根据电站实际调节情况确定。一般情况下,利用长系列来水过程进行长系列操作计算,对于资料缺乏或5MW以下的小型水电站,可用丰水年、平水年、枯水年3个代表年的来水过程进行操作计算,以确定其水能指标。

(2)对于按长系列供水期出力排频求取保证出力,不同调节性能的水电站,其供水期也不同,年(季)调节水电站,其供水期为数月(旬),对于多年调节水电站,其供水期为枯水年组。

4 负荷预测及电力电量平衡

4.0.2 负荷预测可根据收集到的电力部门负荷预测资料和已有预测成果分析采用,从而大大地简化了小水电水能计算负荷预测工作量。负荷预测应收集设计水平年的负荷和用电量水平,并用一些特征指标表示。

4.0.5 占系统比重不大的小型水电站原则上是指占系统比重小于 10%的水电站。

<https://www.sljzjxx.com>
水利造价信息网

6 水能特征值选择

6.0.1 水能设计中的水能特征值应在各方案费用和效益比较的基础上综合选定。

其中,水轮机额定水头初选时可根据电站开发方式选择:

(1)引水式电站:可按水电站加权平均水头的90%~95%选取。因为引水式电站主要利用引水隧洞集中河段落差,一般引水隧洞较长,开挖洞径较小,很多情况下开挖洞径由施工技术条件决定,往往开发规模不大的小型水电站的机械化水平普遍较低,作业面开挖比较粗糙,糙率比较大,施工后的引水隧洞水力损失一般比原设计大,为避免出现电站装机长时间受阻,额定水头选择时应适当留有余地。

(2)河床式电站:可先按水电站加权平均水头的90%初拟,然后结合水电站汛期水头排频成果以及满足所有机组满发要求的上游最低库水位条件进行综合分析选用。当水库消落深度不大时,原则上水库处于死水位时,应能满足所有机组满发要求,这样考虑一般能满足汛期机组满发所需的一定保证率要求。

(3)坝后式电站:可按水电站加权平均水头的90%~95%初步确定后,结合设计枯水年水库运行水位变化情况综合分析确定。

6.0.2 本条强调方案比较中的费用和效益都应具备相同的可比基础。不同方案在综合利用各部门和电力系统需求方面,若满足的程度有差别时,应采取替代或补偿措施使各比较方案在效益上一致,这样在比较时仅需比较费用差别,并以最小费用准则进行选择。

6.0.3 差额投资内部收益率是相邻两个比较方案各年净现金流量差额现值之和等于零的折现率,其表达式见下式:

$$\sum_{t=1}^n [(CI - CO)_2 - (CI - CO)_1]_t (1 + \Delta IRR)^{-t} = 0 \quad (1)$$

式中： $(CI - CO)_1$ ——投资小(装机小)的方案的净现金流量；

$(CI - CO)_2$ ——投资大(装机大)的方案的净现金流量；

ΔIRR ——差额投资内部收益率；

t ——年序， $t=1, 2, \dots, n, n$ 为计算期。

http://www.slzjxx.com
水利造价信息网

附录 C 年、季调节水库电站水能计算

C. 0. 2 利用计算机试算时,首先根据径流资料确定水库的起调时段和起调水位,假设电站保证出力 N_p ,当水库水位处于发电死水位和正常蓄水位(或汛期限制水位)之间区域时,为正常发电期,按保证出力 N_p 发电;当水库水位在死水位时,可用水量达不到保证出力 N_p 发电要求,按实际来水量发电,电站处于发电破坏期;当水库水位在正常蓄水位或汛期限制水位时,可用水量除可满足正常的保证出力 N_p 发电外,还能利用水库蓄满后的多余水量加大发电。电站在加大发电期、发电破坏期水库的出库流量可以直接计算,发电出力不需要试算;正常发电期各时段电站的保证出力是相等的,但相应水位是变化的,对应的发电流量也是变化的,需要试算,通过试算修正发电流量,使时段出力等于保证出力 N_p 。由整个径流系列出力过程 $N=f(t)$,可绘制出力保证率曲线,再根据电站设计保证率 P 查得保证出力 N'_p ,若 $N'_p=N_p$,则 N_p 正确;若不相等,则重新假定 N_p 重复如上过程,直到 $N'_p=N_p$ 为止,最终得到电站保证出力、多年平均年发电量等水能指标。对于计算要求高的季调节性能以上水库电站,必要时还应编制水库调度图,并按发电调度图进行径流调节和水能计算复核,以便精确计算电站的水能指标,指导水库实际运行。

C. 0. 3 利用式(C. 0. 3-1)和式(C. 0. 3-2)联立求解试算时,先从某一已知库水位(Z_{cl})开始,此时已知 V_{cl} ,假设 Q_{pi} 可由式(C. 0. 3-2)求得 V'_{mi} ;再由 V_{cl} 、 V'_{mi} 求出平均库容 V'_1 ,利用水库水位与库容关系曲线和下游水位与流量关系曲线查出 Z'_{cl} 、 Z_{cl} ,应用式(C. 0. 3-1)计算 N'_1 ,若有 $N'_1=N_1$ (已知值),则假设的 Q_{pi} 正确;若 N'_1 与 N_1 不相等,则重新假定 Q_{pi} ,重复如上过程,直到 $N'_1=N_1$ 为止(满足

误差)。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_s 。

如果已知水库正常蓄水位,要求确定死水位时,可先对供水期进行计算,并可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。

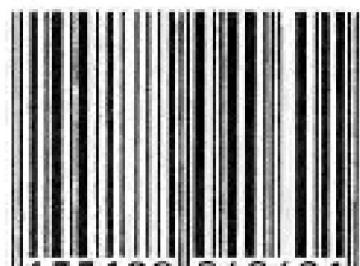
如果已知死水位,求水库正常蓄水位时,先对供水期进行计算。从供水期末(死水位)按反时序推算出正常蓄水位,得到供水期的 $Z_s = f(t)$ 曲线和兴利库容 V_s ,然后再由正常蓄水位反时序算到死水位,求出蓄水期的 $Z_s = f(t)$ 曲线。供水期反算开始时刻(水库供水结束时刻),水库水位是死水位,即相应于上游来流量开始小于(反时序)水电站出力所需流量的那一时刻。

C. 0. 4 利用式(C. 0. 4-1)进行供水期引用流量试算时,在上游来流量较小的各月中假定 T_s ,可计算出发电引用流量 Q_{gs} ,若计算的 $(Q_{gs} + Q_{gs})$ 小于供水期 T_s 之内某月上游来流量 Q_{gs} ,说明此月不在供水期内;重新假定 T_s ,重复上述计算,直到求出的 $(Q_{gs} + Q_{gs})$ 大于供水期 T_s 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。

利用式(C. 0. 4-2)进行蓄水期引用流量试算时,在上游来流量较大的各月中假定 T_x ,可计算出发电引用流量 Q_{gs} ,若计算的 $(Q_{gs} + Q_{gs})$ 大于蓄水期 T_x 之内某月上游来流量 Q_{gs} ,说明此月不在蓄水期内;重新假定 T_x ,重复上述计算,直到求出的 $(Q_{gs} + Q_{gs})$ 小于蓄水期 T_x 内各月的上游来流量,大于非蓄水期内各月上游来流量为止。当上游来流量大于蓄水期引用流量 $(Q_{gs} + Q_{gs})$,水库蓄水;当上游来流量小于供水期引用流量 $(Q_{gs} + Q_{gs})$,水库放水;当上游来流量介于两者之间时,水电站引用上游来流量。

<http://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

S/N:155182 · 0406



9 155182 040601

统一书号: 155182 · 0406

定 价: 12.00 元