



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



小水电技术导则 设计

第2部分：水文

SHP/TG 002-2: 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 2 部分：水文

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 Changjun, Ms. Chen Hongying, Mr. Chen Xiaodong, Ms. Chen Yan, Ms. Chen Yueqing, Ms. Cheng Xiaolei, 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 Hüpfel, 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. Wang Baoluo, Mr. Wei Jianghui, Mr. WU Cong, Ms. Xie Lihua, Mr. Xiong Jie, Ms. Xu Jie, Ms. Xu Xiaoyan, Mr. XuWei, Mr. Yohane Mukabe, Mr. Yan Wenjiao, Mr. Yang Weijun, Ms. Yan Li, Mr. Yao Shenghong, Mr. ZengJingnian, 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 一般规定	1
5 基本资料	2
6 设计径流	2
7 流量历时曲线	5
8 枯水分析	5
9 设计洪水	6
10 水位流量关系	7
11 泥沙、蒸发、冰情及其他	8
12 成果合理性检查	9
附录 A (资料性附录) 暴雨及产流汇流计算	10

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 2 部分:水文

1 范围

本部分规定了小型水电站水文基本资料内容,径流、洪水、泥沙等主要水文成果的计算方法及合理性分析。本文件适用于小型水电站的规划、设计、施工和运行期的水文计算。

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 一般规定

4.1 小型水电站水文计算应根据工程设计要求,分析计算下列内容:

- a) 基本资料收集;
- b) 径流分析计算;
- c) 流量历时曲线;
- d) 枯水分析;
- e) 设计洪水计算;
- f) 水位流量关系线的拟定;
- g) 泥沙、蒸发、冰情等的分析计算;
- h) 现状水质基本情况;
- i) 水情测报系统;
- j) 成果的合理性检查。

4.2 水文计算依据的系列资料应具有可靠性、一致性和代表性。

4.3 水文计算应采用多种方法,对成果进行综合分析,合理选定。通常采用频率分析法,可采用 Pearson-III 曲线或其他线型。

4.4 水文资料和水文设计参数的推求应满足下列规定:

- a) 流量资料比较充分时,宜采用流量资料推求水电站水文设计参数;
- b) 缺乏流量资料,雨量资料比较充分时,可采用雨量资料推求水文设计参数;
- c) 资料缺乏时,宜采用移用或合适的模型方法计算水电站水文资料系列和水文设计参数,并运用区域综合分析方法对水文成果进行评估;
- d) 无资料时,宜采用地区水文模拟及相似性分析得到水文成果;

- e) 在资料缺乏和无资料地区宜设立临时气象站、水位站及开展流量测验和水文调查,为水文分析计算成果提供必要的验证资料;必要时,可设立长期水情测报系统。

4.5 水文分析计算的全过程都应进行水文计算成果的合理性检查。

5 基本资料

5.1 小型水电站水文计算的基本资料应包括水文、气象资料,流域特性及自然地理资料,人类活动影响资料,流域及邻近地区的水文计算成果资料,水文、气象区域综合分析研究成果及其他有关资料,并满足以下要求:

- a) 水文、气象资料包括:
 - 1) 降水、蒸发、水位、流量、泥沙、冰情等基本资料;
 - 2) 气温、水温、水质、水化学、风速、风向、湿度、气压、日照和霜雪等其他资料;
 - 3) 水位站、水文站及雨量站的地理位置、坐标、高程、设站时间、观测项目等相关资料。
- b) 流域特性及自然地理资料包括地理位置、高程特性、形状特征、集水面积、主河道长度、纵坡降等,应按照设计流域集水面积大小和实际情况,根据 1:10 000 或 1:50 000 区域地形图和 1:500、1:2 000、1:5 000 工程区地形图量测确定。
- c) 人类活动影响资料包括流域内现有水电站、水库,跨流域引水、灌区及排灌站、供水取水,水土保持和林木采伐等。
- d) 流域及邻近地区的水文分析计算成果资料包括已审查通过的邻近流域水利水电工程水文分析计算方法及计算成果等。
- e) 水文、气象区域综合分析研究成果资料包括水文手册、水文图集、暴雨径流查算图表、水资源评价、可能最大暴雨图集、历史洪水调查资料等。
- f) 其他有关资料,是指除水利水电和气象系统以外,电力、铁道、公路、市政、航运、农业、林业等部门的有关单位历年勘测设计、整理保存或编制刊印的水文、气象资料,是基本资料的一种来源,而其研究成果,可作为成果合理性检查的对比分析方法。

5.2 水文计算所依据的资料系列应进行可靠性、一致性和代表性的检查,满足下列要求:

- a) 资料可靠性检查:应针对未正式整编的实测原始资料,检查其来源、年限、观测方法、可能存在的问题以及未整编刊布的原因;
- b) 资料的一致性检查:应对人类活动对水文资料的影响,以及溃坝、冰川湖溃决洪水(GLOF)或河道决口等因素造成的资料不一致情况进行检查;
- c) 资料代表性检查:在资料系列较短,样本和总体之间可能存在较大偏差的情况下,应检查资料的代表性;
- d) 差异分析:对某一特定日期或时期资料的差异或缺失、未记录的数据等进行分析或检查,并用合理的估计来填补差异,如采用插值、外推法或其他一些可行的方法;
- e) 如果条件允许,通过涉及与历史流量事件有关的当地资源进行查证和地方性评估。

5.3 实测资料不足和无资料地区宜进行现场历史洪水调查,近期大洪水洪痕调查及洪水位测量,常水位调查和测量,枯水调查、河道情况查勘、泥沙基本情况查勘;有条件的情况下,应进行水位、流量、泥沙观测和巡测。

6 设计径流

6.1 小型水电站水文计算,应根据设计要求和资料条件,提供以下全部或部分设计径流成果:

- a) 多年平均和指定频率或各设计代表年的年径流、汛期径流、枯期径流、最枯月径流;

b) 设计代表年的径流年内分配。

6.2 当资料条件较好时,应提供 6.1 规定的全部成果;资料条件较差时,应至少提供各设计代表年的年径流及其年内分配。

6.3 根据不同资料条件,设计径流计算宜采用以下方法:

- a) 当站址有充分实测径流资料时,应直接采用频率分析法。
- b) 当站址上下游、本流域、相邻流域或附近水文气象相似流域内有径流参证站时,宜采用水文比拟法。
- c) 当实测径流数据缺乏时,可根据降雨等资料,采用降雨径流关系或模型法。
- d) 当资料缺乏时,可据相关水文手册估算,并结合区域成果综合分析确定。

6.4 参证站主要分为降水量参证站和径流参证站两大类,并满足下列要求:

- a) 径流基本参证站的条件参照 6.9 条的规定;
- b) 当降水量基本参证站的限制条件比较少时,可由近至远,从流域内、相邻流域、附近水文气象相似区域内或气候一致区内选择系列最长的雨量站作为年降水量基本参证站。

6.5 径流频率计算应符合以下要求:

- a) 在 n 项连序径流系列中,由大至小顺序排列的第 m 项经验频率 P_m 采用数学期望公式(1)计算:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- n —— 观测系列项数;
 m —— 观测系列中的序位;
 P_m —— 第 m 项的经验频率。

- b) 径流频率曲线的线型宜采用 Pearson-III 型,或根据项目所在地的地理、气象和水文条件,选择其他适合当地条件的线型,Pearson-III 型曲线统计参数采用均值 \bar{X} 、变差系数 C_v 和偏态系数 C_s 表示,并采用公式(2)~(4)计算:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$C_v = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$C_s = \alpha C_v \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- X_i —— 观测系列, $i=1, 2, 3, \dots, n$;
 K_i —— 模比系数, $K_i = \frac{X_i}{\bar{X}}$;

α —— 倍比系数,根据当地流域水文特性确定。

- c) 根据经验频率点据推求频率曲线时,统计参数宜采用本条中的公式初估,再用适线法调整确定。
- d) 适线法调整时,应在拟合点群趋势的基础上,侧重考虑平、枯水年的点据。

6.6 用于频率分析计算的连序径流系列,宜符合以下要求:

- a) 径流系列不应少于20年,当资料条件短缺时,可适当放宽至10~20年;
- b) 实测径流资料不足时,采用插补延长径流系列后进行频率分析计算;插补延长径流系列的相关参数应有8年以上连续或不连续的同步实测系列,相关线的外延幅度宜不大于实测变幅

的 50%。

6.7 径流系列插补延长,可根据本流域、上下游、相邻流域或附近水文气象相似流域内的资料,采用水位流量相关、降水径流相关、集水面积比拟、径流相关、降雨径流数学模型或其他经过检验论证的方法进行计算。

6.8 在相关分析中,不宜进行辗转相关,应考虑自变量和因变量之间的物理成因关系及相应的相关系数,选配回归方程。相关系数宜为 0.8 以上。

6.9 采用水文比拟法或插补延长系列时,应符合以下要求:

- a) 设计和参证流域的气象、气候条件相似;
- b) 设计和参证流域的地质、地形、植被条件、人类活动影响基本相同或相似;
- c) 采用年降水量或相应时段降水量,修正集水面积比拟成果。

6.10 采用水文比拟法计算设计电站径流系列时,可采用公式(5)计算:

$$Q_s = \frac{F_s P_s Q_c}{F_c P_c} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- Q_c ——参证站流量, m^3/s ;
- F_c ——参证站流域面积, km^2 ;
- P_c ——参证站流域降雨量, mm ;
- Q_s ——设计电站流量, m^3/s ;
- F_s ——设计电站流域面积, km^2 ;
- P_s ——设计电站流域降雨量, mm 。

6.11 区域综合分析计算应包括两方面的工作:

- a) 使用现行的区域综合图表;区域综合图应主要包括区域年径流均值和变差系数 C_v 等值线图及 C_s/C_v 值分区图、区域年降水量均值和 C_v 等值线图及 C_s/C_v 值、以及区域综合年降水径流关系或年径流系数等值线图等。
- b) 根据资料条件及工程设计需要和工作深度,进一步分析综合有关成果。

6.12 已确定使用的年径流系列应按照下列方法进行代表性和一致性分析:

- a) 径流系列较长时,可采用滑动平均、累积平均、差积曲线等方法,分析评价该系列或代表段系列的代表性;
- b) 径流系列较短时,可分析流域内或水文气象相似区内长系列雨量站相应短系列的代表性,分析评价设计依据站径流系列的代表性;
- c) 可通过分析流域年降水径流关系的年际变化和长期变化,或调查了解流域内用水及水利水电工程历史发展情况,分析年径流系列一致性。

6.13 丰、平、枯设计代表年频率可分别取为 5%~25%、50%和 75%~95%。枯水年频率宜与电站设计保证率一致。

6.14 设计代表年年内分配,可采用年水量控制同倍比缩放法确定。

6.15 设计典型年可根据以下三个原则确定:

- a) 经验频率接近设计频率;
- b) 年内实测径流资料完整或经插补后完整;
- c) 对电站未来运行较为不利,即指汛期洪水较多,径流比正常年份偏丰,会造成未来电站运行时的较多弃水;枯期来水较少,径流比正常年份偏枯,会造成电站长时期出力不足乃至断流停机。

6.16 实测径流资料短缺时,应按不同的降水和径流资料条件,采用下列方法确定设计代表年年径流量及其年内分配:

- a) 按集水面积比例直接或经综合后移用参证站资料;

- b) 采用已有的径流区域综合图表；
 - c) 从降水量参证站几个相近频率的年降水量设计典型年年份中,选取有实测径流资料的年份作为年径流设计典型年;相应的设计代表年年径流量应采用区域综合等方法确定；
 - d) 在降水量与径流的年内分配有较好关系时,设计代表年年内分配可根据降水量参证站设计典型年各月降水量占全年降水量的比例,并考虑适量基流后确定。
 - e) 不应只采用平均月数据,标准为日数据;对于特定的运行模式,可以使用小时数据。
- 6.17 径流受人类活动影响显著时,宜按照下列方法进行年径流还原计算：
- a) 应采用分项调查法或降雨径流模式法进行逐年、逐月(旬)计算。
 - b) 逐年还原所需资料不足时,可按人类活动不同发展时期,采用丰、平、枯水典型年进行还原估算。
 - c) 逐月(旬)还原所需资料不足时,可采用主要用水期和非主要用水期进行还原估算。
- 6.18 小型水电站设计径流应考虑极不均匀或极端不稳定河道等复杂的地形地貌,喀斯特等特殊地质条件,以及突发洪水溃堤等自然事件对径流的影响。
- 6.19 上游电站对梯级水文情势影响较大时,应按电站泄引水方式、区间集水面积大小和有关资料计算各级电站径流。

7 流量历时曲线

- 7.1 径流式或引水式水电站的水文计算成果,应提供电站引水口断面或坝址断面的日平均流量历时曲线。
- 7.2 径流资料齐全时,应采用长系列或丰、平、枯设计代表年的日平均流量,按照下列方法进行统计：
- a) 分级排队统计时,将径流资料从大到小排队划分为若干流量等级,统计各流量等级出现的次数,计算各流量等级的频率；
 - b) 不分级排队统计时,将径流资料从大到小排队,计算径流资料中每一个流量的频率。
- 7.3 流量保证率应采用经验频率的数学期望公式(1)计算。
- 7.4 实测径流资料短缺时,可先推求月平均流量历时曲线,然后经径流参证站或区域综合的日、月平均流量历时曲线的对比分析,将月平均流量历时曲线转换为日平均流量历时曲线。对比分析按下列要求进行：
- a) 有合适的径流参证站时,可按集水面积比例和多年平均年降水量比例,缩放移用径流参证站的日平均流量历时曲线。
 - b) 没有合适径流参证站时,应在周围较大的范围内多选择几个径流参证站进行区域综合分析计算。区域流量历时曲线以无因次流量或模数流量表示,各参证站的无因次或模数日平均流量历时曲线,点绘在同一格网图上,采用目估手绘其平均曲线作为区域日平均流量历时曲线。
 - c) 当流域面积较小,且仅有一个参证站,可直接将此参证站的无因次或模数日平均流量历时曲线作为本流域的区域性日平均流量历时曲线。

8 枯水分析

- 8.1 根据资料条件和工程设计要求,枯水分析宜提供最小日平均流量、最枯月平均流量、枯水保证流量以及人类活动对枯水影响及未来枯水径流形势评估等成果。
- 8.2 枯水径流分析计算宜符合下列要求：
- a) 具有充分枯水径流资料时,应根据枯水径流特性,采用径流频率分析计算方法；
 - b) 枯水系列中出现零值时,可采用包含零值项的频率计算方法；

- c) 枯水径流资料短缺时,可进行专门的枯水调查。专门枯水调查应满足下列要求:
 - 1) 专门枯水调查时间应选择在内年枯水期。
 - 2) 专门枯水调查主要内容应包括:河道枯水水位、流量;历史枯水年份、发生时间、水位、流量、持续历时,或河道断流的年份、发生时间、持续历时;人类活动对枯水径流的影响等。

8.3 实测调查的枯水流量水平,应根据流域代表性雨量站或参证雨量站的年、枯期降水量和当年相应的年、枯期降水量频率,对比分析确定。

9 设计洪水

9.1 小型水电站水文计算,应根据资料条件和工程设计要求,提供以下全部或部分的设计洪水成果:

- a) 指定设计频率的年最大洪峰流量;
- b) 指定设计频率的分期最大洪峰流量;
- c) 指定设计频率的年和分期时段洪量;
- d) 指定设计频率的年和分期设计洪水过程线。

9.2 有充分实测洪水资料时,应进行频率分析计算,根据实测洪水资料推求设计洪水。

9.3 频率计算中的年(期)洪峰流量和不同时期的洪量系列,应由每年(期)的最大值组成。

9.4 在 n 项连序洪水系列中,由大至小顺序排列的第 m 项经验频率 P_m 应采用数学期望公式(1)计算。

9.5 在调查考证期 N 年中特大洪水 a 个,其中 l 个发生在 n 项连序系列内,这类不连序洪水系列中各项洪水的经验频率可采用下列数学期望公式(6)、(7)计算:

- a) a 个特大洪水中由大至小顺序排列的第 M 项经验频率 P_M 采用公式(6)计算:

$$P_M = \frac{M}{N+1} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- N ——历史洪水调查考证期;
- M ——特大值序位, $M=1,2,3,\dots,a$;
- P_M ——第 M 项特大值的经验频率。

- b) $n-l$ 个连序洪水系列中,由大至小顺序排列的第 m 项经验频率 P_m 采用公式(7)计算:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- l ——从 n 项观测连序系列中抽出的特大值个数;
- n ——观测系列总项数;
- m ——观测系列中除了特大值 l 后的序位, $m=l+1,\dots,n$;
- P_m ——第 m 项的经验频率。

9.6 频率曲线的线型一般采用 Pearson III 型,或根据项目所在地的地理、气象和水文条件,选择其他适合当地条件的线型, Pearson-III 型曲线统计参数采用均值 \bar{X} 、变差系数 C_V 和偏态系数 C_S 表示,可按公式(8)、(9)、(10)计算:

- a) 对于 n 项连序系列,均值 \bar{X} 采用式(2)计算、变差系数 C_V 采用式(3)计算;
- b) 对于不连序系列,均值 \bar{X} 、变差系数 C_V 和偏态系数 C_S 采用下列公式计算:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^a X_j + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n X_i \right) \dots\dots\dots(8)$$

$$C_V = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{j=1}^a (X_j - \bar{X})^2 + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right)} \dots\dots\dots(9)$$

$$C_s = \alpha C_v \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

X_j ——特大值变量, $j=1, 2, 3, \dots, a$;

X_i ——实测系列变量, $i=l+1, \dots, n$;

α ——倍比系数, 根据当地流域水文特性确定。

9.7 根据经验频率点据推求频率曲线时, 统计参数宜采用 9.6 条中的公式初估, 再用适线法调整确定。适线法调整时, 应在拟合点群趋势的基础上, 侧重考虑较可靠的大洪水点据。

9.8 有实测洪水资料时, 设计洪水过程线应采用放大典型洪水过程线的方法推求, 应选择能反映洪水特性、对工程防洪运用较不利的大洪水作为典型洪水。

9.9 设计暴雨分析计算应符合下列要求：

- a) 有长系列实测暴雨资料时, 设计暴雨应采用频率计算方法确定。
- b) 暴雨资料缺乏时, 查算本地区最新的设计暴雨参数等值线图。
- c) 本地区及邻近地区近期发生特大暴雨时, 应对查算成果进行检查。

9.10 由设计暴雨推求设计洪水时, 设计雨型、产流汇流参数和设计洪水过程线, 应采用暴雨洪水查算图表的区域综合成果, 必要时宜根据参证站实测暴雨洪水资料分析综合选定, 具体方法参见附录 A。也可采用正式发布的本地区洪峰流量经验公式计算。

9.11 小型水电站设计暴雨历时应根据站址流域集水面积的大小和参证站实测暴雨洪水资料的综合分析成果, 合理确定设计雨型中同频率控制的短历时成峰暴雨时段。

9.12 当实测暴雨洪水资料短缺、无法确定设计流域暴雨洪水参数时, 可按本区域或邻近地区各参证站的“实测和调查大洪水洪峰流量模数(M)~集水面积(F)~重现期(N)”关系线, 用区域综合法估算设计洪水。

9.13 应重视历史洪水调查复核工作：

- a) 可靠或较可靠的特大或较大的历史洪水成果应参与频率分析计算、或验证由区域综合成果确定的设计洪水、或辅助推求水位流量关系曲线。
- b) 当资料条件十分缺乏时, 可根据历史洪水成果估算设计洪水。
- c) 已有调查洪水成果时, 可直接引用有关资料, 也可在项目河段及流域进行洪水调查。其洪峰流量宜在站址上下游附近河段内, 查证两个以上洪痕, 布设两个以上计算断面, 采用两断面算术平均或两断面比降法公式估算。此外, 应根据适当的重现期提出洪水高程, 确定施工期间洪水造成的不可抗力。

9.14 梯级水电站设计洪水, 应根据梯级枢纽布置、电站泄水或引水方式、区间集水面积, 计算区间设计洪水同经上级电站调节后下泄的设计洪水的组合洪水。

9.15 计算施工分期设计洪水时, 分期应考虑工程施工设计要求, 起迄时期应基本符合洪水成因变化规律和特点。

10 水位流量关系

10.1 小型水电站水文计算, 应拟定电站上游进口断面和下游尾水断面的水位—流量关系曲线。计算断面水位流量关系应考虑下游河道水位影响。

10.2 水位流量关系的水位高程系统, 应与电站设计采用的高程系统一致。

10.3 当站址上下游附近有水文测站时, 可在设计断面设立临时水尺观测水位, 通过水位相关或调查测量, 分析各级代表水位下河段水面曲线或水面比降的变化规律, 修正水位后得到设计断面的水位流量关系。

10.4 水位流量关系线的高水位外延, 可采用比降法计算和调查洪水经综合分析后确定。

10.5 站址河段无水文测站时,应根据河段纵断面图和设计断面横断面图,参考主槽河底平均比降和洪、枯水调查时的水面比降及其估算流量,采用单断面比降法拟定水位流量关系。

10.6 采用单断面比降法拟定水位流量关系时,可按公式(11)和(12)计算:

$$Q = AC (Ri)^{1/2} \dots\dots\dots(11)$$

$$C = \frac{1}{n} (R)^{1/6} \dots\dots\dots(12)$$

式中:

- Q ——流量, m³/s;
- A ——断面面积, m²;
- R ——水力半径, m;
- C ——谢才系数;
- i ——水面比降;
- n ——河床糙率。

10.7 在设计阶段,宜在设计断面实测低、中、高各级水位下的流量以验证水位流量关系。

10.8 站址受回水、冲淤、洪水涨落、水草生长等影响的非单一的水位流量关系,应通过观测分析或实测验证;相关点群离散程度不大时,可取平均值。

11 泥沙、蒸发、冰情及其他

11.1 河流全年多沙或汛期洪水挟沙较多时,应根据资料条件和工程设计要求,提供以下全部或部分的泥沙计算成果:

- a) 多年平均悬移质含沙量、输沙量(率);
- b) 多年平均的年最大断面月平均悬移质含沙量及出现月份;
- c) 多年平均悬移质泥沙颗粒级配或平均粒径、最大粒径;
- d) 汛期推移质泥沙成果。如果条件允许,可绘制泥沙颗粒分析曲线(流量与泥沙浓度)进行分析。

11.2 悬移质泥沙计算可采用下列方法:

- a) 当站址流域有泥沙参证站时,宜用参证站的输沙模数。
- b) 当站址流域无泥沙参证站时,如气候条件和下垫面条件相似,可直接移用参证站的输沙模数,否则应经修正后采用。
- c) 无泥沙资料时,可采用已有的泥沙区域综合图表;必要时,可临时施测。

11.3 推移质泥沙可采用推悬比的方法进行计算。

11.4 对于水库电站,宜根据流域或水文气象相似区域的蒸发量参证站资料或蒸发量区域综合成果,推算设计站址多年平均水面蒸发量及其年内分配。

11.5 寒冷地区的水文分析计算,应根据当地水文、气象特征统计资料,提供下列站址冰情特征:

- a) 封冻和解冻时河流形势;岸冰、流凌出现,全河封冻特征;
- b) 最早、最迟、多年平均结冰和融冰日期;
- c) 封冻期冰厚、冰塞、冰坝和流冰大小等情况及其可能的危害。

11.6 喀斯特地质区域的水文计算,应提供站址处下列水化学资料:

- a) 对水轮机有严重破坏作用的侵蚀性游离 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 等离子的含量及其季节变化规律;
- b) pH 值及其季节变化规律。

12 成果合理性检查

12.1 成果合理性检查,应符合下列要求:

- a) 利用所掌握的全部参证站、设计站的实测资料和分析计算成果;
- b) 进行单站多种方法成果的对比分析和多站同种方法成果的面上分布规律研究;
- c) 按一法为主、多法比较、综合分析、合理选用的原则确定正式成果。

12.2 成果合理性检查应包括以下主要参数或项目:

- a) 年径流均值;
- b) 设计洪峰流量、洪量;
- c) 调查洪水洪峰流量、比降法计算公式中的河床糙率 n 值;
- d) 流量历时曲线和水位流量关系曲线形状及其特征;
- e) 流态变化的特征。

12.3 设计年径流和设计洪水洪峰流量成果,合理性检查应符合下列要求:

- a) 计算成果与区域综合等值线图、相关曲线或经验公式成果基本协调;
- b) 在流域、区域和沿河上下游、干支流等面上分布基本合理,与降水量空间变化基本适应;
- c) 计算成果相差较大,或明显不合理的,或同降水量空间变化差异较大时,及时查找原因,必要时重新分析计算。

12.4 设计洪水计算中应侧重调查洪水洪峰流量估算成果的可靠性和合理性,应比较下列内容:

- a) 各站址同年洪水及其暴雨空间分布;
- b) 同站址不同年份的洪水顺序排列;
- c) 一定重现期的调查洪水同流域或区域内实测和已知调查洪水的量级。

12.5 调查洪水洪峰流量重现期合理的量级范围,可应用区域综合的“实测和调查大洪水洪峰流量模数(M)~集水面积(F)~重现期(N)”关系进行检查;当发现调查洪水洪峰流量估算值过大或过小时,首先检查比降法公式中河床糙率 n 的取值是否合理,并采用参证站实测资料验证比较。

12.6 流量历时曲线和水位流量关系曲线合理性检查应包括下列内容:

- a) 各流量历时曲线之间的相互关系和流量变幅、基流大小对曲线形状的影响。
- b) 横断面特征同水位流量关系曲线形状的关系。

附录 A
(资料性附录)
暴雨及产流汇流计算

A.1 设计暴雨计算

A.1.1 设计面暴雨量计算

- a) 如雨量站网较密,观测系列又较长,建议根据设计流域的逐年最大面雨量系列作频率分析,以推求流域的设计面雨量。
- b) 如流域面积较小,直接进行面暴雨频率分析的资料统计有困难时,可用相应历时的设计点雨量和点面关系间接推算设计面雨量。设计面雨量 H_A 可用设计点雨量 H_O 和点面换算系数 α_A 求出:

$$H_A = \alpha_A H_O \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

- c) 点面关系应采用流域所在地区雨量资料分析的固定地点雨量和固定流域面雨量的综合关系(即定点定面关系)。点面换算系数 α_A 应考虑不同历时、频率(或雨量大小)的差异。与定点定面关系相配套的设计点雨量应采用流域内某固定地点设计值。在点雨量统计参数比较一致的流域,可采用流域中心测站的设计点雨量;如流域内各测站的点雨量统计参数变幅较大,设计点雨量可采用流域内接近平均情况的单站值。
- d) 分析设计流域所在地区综合定点定面关系的资料尚不具备,也可借用动点动面关系推求设计面雨量,但应在设计流域附近选择若干个与设计流域面积相近的流域或地区,对所需历时制作有限面积和历时范围的定点定面关系,以检验该地区动点动面关系的代表性。如动点动面关系与定点定面关系出入较大,则应作适当修正。
- e) 分析动点动面关系有困难时,可直接查算点面折扣综合图表。
- f) 流域面积小于 100 km² 时,可不考虑点面关系,直接以点雨量代替面雨量。

A.1.2 各种历时设计暴雨量可按下列规定进行计算

- a) 对于工程规模较大,要求计算的历时较多,雨量资料条件又较好的流域,可以对本流域及附近的若干个雨量站,分别统计设计所需的各历时年最大点雨量进行频率分析。
- b) 当流域面积较小时,一般可根据经过审批的各历时点暴雨统计参数等值线图查读计算几种标准历时的设计点雨量。
- c) 为计算任意历时的设计雨量,可先计算 n 种标准历时的设计雨量,然后在双对数纸上绘制雨量历时曲线,从中内插所需历时的设计雨量。当分段雨量历时关系接近直线时,也可采用暴雨递减指数公式,根据相邻两个标准历时 t_a 和 t_b 的设计雨量 H_a 和 H_b ,以及该区间的暴雨递减指数 n_{ab} ,内插所需历时 t_i 相应的雨量 H_i :

$$H_i = H_a (t_i/t_a)^{1-n_{ab}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$H_i = H_b (t_i/t_b)^{1-n_{ab}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$n_{ab} = 1 - \lg(H_a/H_b) / \lg(t_a/t_b) \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

H_i —— 历时 t_i 的设计雨量, mm;

H_a —— 历时 t_a 内的设计雨量, mm;

- H_b ——历时 t_b 内的设计雨量,mm;
- t_i ——设计历时,h;
- t_a ——a 标准历时,h
- t_b ——b 标准历时,h
- n_{ab} ——暴雨递减指数。

A.1.3 设计雨型

- a) 设计暴雨的时程分配雨型可采用综合或典型雨型,用几种历时的设计雨量同频率控制缩放推算设计暴雨过程。综合雨型需在多次大暴雨雨型特征分析的基础上选用。雨型特征分析的内容有雨峰个数、雨峰持续时间、两次雨峰之间的间隔时间、主雨峰出现时序等。综合时还要考虑雨量量级、天气条件的影响。
- b) 设计暴雨的面分布图形可根据当地综合或典型面分布图形确定。综合面雨型需在面雨型特征分析的基础上进行。

A.2 暴雨洪水的产流、汇流计算

A.2.1 降雨产流按下列方法计算。

- a) 降雨径流相关法(包括相关曲线):

$$R = f(P, P_a, t_r) \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

- R ——径流深,mm;
- P ——降雨量,mm;
- P_a ——前期影响雨量或雨前流域包气带含水量,mm;
- t_r ——降雨历时,h。

- b) 扣损法

- 1) 初损后损法:

$$\bar{f}_t = \frac{I_t - I_0 - P_{t-t_0-t_r}}{t_r} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

- \bar{f}_t ——后期平均损失率,mm/h;
- I_t ——流域总损失量,mm,
- I_0 ——初期损失量,mm;
- $P_{t-t_0-t_r}$ ——时段($t-t_0-t_r$)内不产流的降雨量,mm;
- t_0 —— I_0 相应的历时,h;
- t_r ——产流历时,h。

- 2) 初损法:总损失量全部发生在降雨初期,满足总损失量后的降雨全部变成径流。
- 3) 平均损失率法:

$$\bar{f} = \frac{P - R - P_{t-t_R}}{t_R} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

- \bar{f} ——平均损失率,mm/h;
- P ——降雨量,mm;
- R ——径流深,mm;

P_{t-t_R} ——非产流期内降雨量, mm;
 t_R ——产流历时, h。

- c) 地表径流(净雨)过程。地表径流过程一般采用产流过程扣除地下径流时程分配的方法区分。地下径流 R_g 的时程分配可以采用平均分配的形式, 即:

$$\bar{f}_c = \frac{R_g - R_{t_R-t_g}}{t_c} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

\bar{f}_c ——流域平均稳定下渗率, mm/h;
 R_g ——浅层地下径流量, mm;
 $R_{t_R-t_g}$ —— $t_R - t_g$ 时段内不产生地表径流的产流量, mm;
 t_c ——净雨历时, h。

A.2.2 洪水汇流可按下列规定计算。

- a) 经验单位线。应尽量选用降雨比较均匀、净雨历时较短、雨强较大的孤独洪峰资料, 采用割除地下径流后的地面径流过程线与相应的净雨过程推求单位线。单位线时段一般以单位线的上涨历时或洪峰历时滞时的 1/3 左右。由于分析出的单位线常随实测暴雨时空分布的不同而有相当的差别, 因此, 使用时应尽量选择符合设计雨型的单位线。

- b) 瞬时单位线

- 1) 基本公式:

$$U(0, t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} (t/k)^{n-1} e^{-t/k} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中:

$U(0, t)$ ——瞬时单位线, m^3/s ;
 Γ ——伽马函数;
 n, k ——参数, 通常采用矩法计算, 或以此作为初值, 优选确定。

- 2) 非线性改正: 建立 n, k 或 $m_1(nk)$ 同雨强的关系, 雨强的计算时段可按流域汇流时间、产流时段、洪峰上涨历时、流域面积大小等诸因素之一确定。

$$m_1 = ai^{-b} \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

m_1 ——瞬时单位线的一阶原点矩;
 i ——降雨(或净雨)强度, mm/h;
 a, b ——参数。

式(A.10)的应用是有限制的, 应确定临界雨强 $i_{\text{临}}$ 控制式(A.10)非线性外延的幅度。

- c) 推理公式

- 1) 基本公式:

$$Q_m = 0.278 \frac{h}{\tau} F \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3} Q_m^{1/4}} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

Q_m ——洪峰流量, m^3/s ;
 h ——在全面汇流时代表相应于 τ 时段的最大净雨, 在部分汇流时代表单一洪峰的净雨, mm;
 F ——流域面积, km^2 ;

- τ ——流域汇流历时, h;
 m ——汇流参数;
 L ——沿主河从出口断面至分水岭的最长距离, km;
 J ——沿流程 L 的平均比降(以小数计)。

2) 表 A.2.2 可作为在无资料条件下确定 m 值的参考, 表中 $\theta = L/J^{1/3}$ 。

表 A.1 小流域下垫面条件分类表

类别	雨洪特性、河道特性、 土壤植被条件的简单描述	推理公式洪水汇流参数 m 值			
		$\theta=1\sim10$	$\theta=10\sim30$	$\theta=30\sim90$	$\theta=90\sim400$
I	半干旱地区、植被条件较差, 以荒坡、梯田或少量的稀疏林为主的土石山区, 旱作物较多, 河道呈宽浅型, 间隙性水流, 洪水陡涨陡落	1.00~1.30	1.30~1.60	1.60~1.80	1.80~2.20
II	植被条件一般, 以稀疏、针叶林、幼林为主的土石山区或流域内耕地较多	0.60~0.70	0.70~0.80	0.80~0.90	0.90~1.30
III	湿润山丘区, 植被条件良好, 以灌木林、竹林为主的石山区, 或森林覆盖度达 40%~50%、或流域内多为水稻田、卵石, 两岸滩地杂草丛生, 大洪水多为尖瘦型, 中小洪水多为矮胖型	0.30~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60	0.60~0.90
IV	雨量丰沛的湿润山区, 植被条件优良, 森林覆盖度可高达 70%以上, 多为深山原始森林区, 枯枝落叶层厚, 壤中流较丰富, 河床呈山区型, 大卵石, 大砾石河槽, 有跌水, 洪水多为陡涨缓落	0.20~0.30	0.30~0.35	0.35~0.40	0.40~0.80



**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