

水力发电技术知识丛书

735056

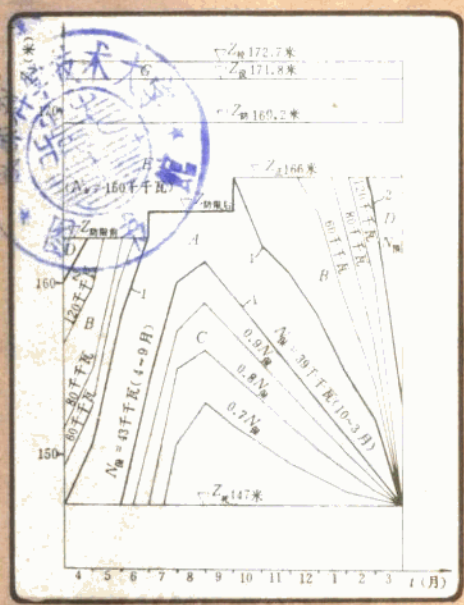
503122

4033

第二十一分册

# 水电站水库调度

李钰心 孙美斋



水利电力出版社

水力发电技术知识丛书

---

第二十一分册

# 水电站水库调度

李钰心 孙美斋

水利电力出版社

## 内 容 提 要

全书共分四章，第一章为水电站水库调度的基本依据与基本概念，第二章为水库防洪调度，第三章为水库发电兴利调度，第四章为水库调度方案及年度计划的编制与实施。本书主要介绍水电站水库调度的基本原理和基本概念，调度图与调度方案及年度计划编制与实施的原则、内容及程序，并附有实例介绍。

本书可作为水力发电战线各级管理干部，其它专业的有关技术人员及从事水电站水库调度技术工人的学习材料，也可供有关专业人员和院校师生参考。

水力发电技术知识丛书

第二十一分册

水电站水库调度

李钰心 孙美斋

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 3.375印张 73千字

1984年7月第一版 1984年7月北京第一次印刷

印数 0001—8340册 定价 0.40元

书号 15143-5422

## 关于编写《水力发电技术知识丛书》 的说明

为了水力发电战线广大职工学习科学技术，适应现代化水电建设和生产的需要，中国水力发电工程学会组织编写了一套《水力发电技术知识丛书》。丛书是从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基础知识，对我国在实践中取得的经验和国外水平以及发展前景也作适当介绍。

读者对象以具有中等学校文化程度以上的各级管理干部为主，使他们能系统地了解水力发电的科技知识，不断提高业务能力和管理水平。对于中等学校文化程度的技术工人，也可通过学习本丛书为学习专业技术打下初步基础，并在工作中不断提高技术水平。对于有某种专业的技术干部，也可了解其他相邻专业的一般知识。

本丛书共分二十五个分册：

- 第一分册 水力发电概况
- 第二分册 水能规划和综合利用
- 第三分册 水能经济
- 第四分册 水电工程地质
- 第五分册 水电工程勘测
- 第六分册 水文测验和水文计算
- 第七分册 坝、泄洪和进水建筑物
- 第八分册 引水工程及发电厂房
- 第九分册 过船过鱼过木建筑物

- 第十分册 水工机械设备
- 第十一分册 水工建筑物的运行维护和观测
- 第十二分册 水电工程的施工组织和管理
- 第十三分册 水工混凝土工程施工
- 第十四分册 土石工程及地下工程施工
- 第十五分册 施工导流工程
- 第十六分册 水轮机和辅助设备
- 第十七分册 发电机和电气设备
- 第十八分册 水电站集中控制、继电保护和自动化
- 第十九分册 机电设备的安装
- 第二十分册 机电设备的运行维护
- 第二十一分册 水电站水库调度
- 第二十二分册 水电站经济运行
- 第二十三分册 小型水电站
- 第二十四分册 抽水蓄能电站
- 第二十五分册 潮汐电站

本丛书各分册承蒙从事水电事业的有关单位和院校的专家教授大力支持，花了大量时间和精力进行编写和审校，特此一并致谢。

《水电发电技术知识丛书》编辑委员会

1982年8月

# 《水力发电技术知识丛书》

## 编辑委员会

主 任 施嘉炆

副主任 陆钦侃、舒扬荣、刘颂尧

编 委 （按姓氏笔划为序）

于开泉、王伊复、王圣培、伍正诚、冯尚友、  
李毓芬、刘颂尧、沈 晋、谷云青、陈叔康、  
张勇传、汪景琦、施嘉炆、陆钦侃、唐集尹、  
舒扬荣、董毓新、程学敏、杨德晔

## 前 言

本分册的内容主要介绍大中型水电站水库调度的基本概念和基本知识，水库的防洪调度，发电调度及调度方案的编制。在编写中力求反映我国在这方面的经验，并介绍了一些国外的动态。

本书第二章由甘肃省电力局调度所孙美斋同志编写，其它各章由武汉水利电力学院水资源研究室李钰心同志编写。全书由李钰心负责统稿、修改、定稿。

本书是以武汉水利电力学院近年来自编的水电站水库调度短训班讲义为基础，并参考了其他有关资料、讲义和文献编写的。在编写过程中，武汉水利电力学院冯尚友教授曾给予热情支持和指导，仔细阅读了全部书稿，提出了宝贵意见；冯秉超同志协助完成了插图描绘工作。本书最后由水利电力部生产司林碧君同志负责审阅。在此一并表示谢意。

由于水平有限，书中可能有不少的缺点和错误，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

一九八三年八月

# 目 录

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

前 言

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 第一章 水电站水库调度的基本依据与基本概念 .....          | 1  |
| 第一节 河川径流的特性 .....                    | 1  |
| 第二节 电力系统及水利系统对水电站及其水库的基本<br>要求 ..... | 6  |
| 第三节 水库的作用及水库调度的内容和意义 .....           | 10 |
| 第四节 水库特性及其特征值 .....                  | 12 |
| 第五节 水库调度的任务、原则及内容 .....              | 16 |
| 第二章 水库防洪调度 .....                     | 18 |
| 第一节 水库调洪作用及基本原理 .....                | 18 |
| 第二节 水库调洪参数、方式、规则及防洪调度图 .....         | 21 |
| 第三节 水库防洪调度方案的编制 .....                | 26 |
| 第四节 水库防洪补偿调度及水库群防洪联合调度 .....         | 30 |
| 第五节 水库防洪调度的实施与防洪预报调度 .....           | 32 |
| 第三章 水库发电兴利调度 .....                   | 38 |
| 第一节 水库发电兴利调度原则、原理及调度图概念 .....        | 38 |
| 第二节 发电调度图的绘制 .....                   | 42 |
| 第三节 水库的综合利用调度 .....                  | 60 |
| 第四节 水库最优调度及水库群联合调度 .....             | 63 |
| 第五节 水库调度规则及调度图的应用 .....              | 66 |
| 第四章 水库调度方案及年度计划的编制与实施 .....          | 71 |
| 第一节 水库调度方案的编制 .....                  | 71 |
| 第二节 水电站及水库年度运行调度计划的制定 .....          | 74 |
| 第三节 调度方案及年度计划的实施与水库预报调度 .....        | 76 |
| 第四节 评定水电站运行效益的指标 .....               | 82 |
| 第五节 调度方案及年度计划编制举例 .....              | 84 |



# 第一章 水电站水库调度的基本 依据与基本概念

## 第一节 河川径流的特性

水电站水库的任务是调节天然河川径流，满足发电及其它综合利用的要求。显然，为了搞好水电站水库调度，必须首先了解和掌握流入水电站水库的河川径流的特性，正确描述和预测其变化规律。

河川径流是指河道某一断面以上流域内的降水（包括雨、雪等），经蒸发等损耗后，在重力作用下，通过地面和地下，流向该断面的水量。其中地面部分称为地面径流，地下部分称为地下径流（也称为基流）。一般把流经水电站的河川径流称为水电站来水。若水电站设有水库，则水电站来水即为水库来水。

河川径流通常用流量和径流总量计量。流量是指单位时间内流经河道一定断面的水量，其单位一般为 $\text{米}^3/\text{秒}$ ；径流总量是指某一时段或时期（如日、旬、月、年等）内通过该断面的总水量，其单位一般为 $\text{米}^3$ 。

由于各种因素（如气候、地形、地理及人为等因素）的综合作用，河川径流随时间不断变化。这种变化有着明显的丰、枯交替的年周期性。枯水期径流主要由前期降水所形成的地下径流所补给，变化比较平缓。丰水期径流在我国主要由汛期（常在夏、秋季）暴雨所产生的地面径流所组成，称为洪水径流，其变化比较剧烈。汛期洪水可能发生数次。从河

道开始涨水，到退水并恢复到基流为止，随时间的变化过程形成一次洪水。一次洪水的最大流量，称为洪峰流量。扣除基流后的、一次洪水过程的总水量称为一次洪水总量（洪量）。洪峰流量、洪量及洪水流量过程构成洪水三要素。

顺便指出，径流变化的“年周期”是指“水文年”，是从当年丰水期开始到第二年枯水期结束作为一年，以分析当年降水形成当年的径流，一般也为12个月。表1所示为某水电站水库历年（水文年）平均来水流量，从当年4月初起到第二年3月底为止。

河川径流的变化虽然有一定的周期性，但是相邻时刻流量的配合和各年丰、枯水期径流量的交替组合是偶然的、不重复的，即同一河流断面的径流过程在不同年份是不一样的。这就是径流变化的偶然性（也称随机性）和不重复性。

总的来看，河川径流的变化是一种周期性的连续随机过程。这就是河川径流的基本特性，是其变化的基本规律。

在水电站及其水库的运行调度中，常用径流的时历特性资料和统计特性资料作为描述和预测径流变化规律，进行水库调度的基本依据。

所谓径流的时历特性，是说明径流随时间变化的特性，一般可用河流一定断面流量随时间的变化过程表或图来表示，表1所示为某水电站水库历年平均来水流量表；用图形表示的流量过程称为流量过程线，如图1所示为长江汉口站1952年至1954年逐日流量过程线。

所谓径流的统计特性，是说明径流的各种流量或径流总量在多年时期内可能重现的机会或可能保证程度的特性，一般常用年周期径流量（即每年周期性地出现的径流量，如年

表 1 某水电站水库历年(水文年)平均来水流量(米<sup>3</sup>/秒)

| 年 份       | 四月   | 五月   | 六月   | 七月   | 八月   | 九月   | 十月   | 十一月  | 十二月  | 一月   | 二月   | 三月   | 合 计    | 年平均   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|
| 1953~1954 | 308  | 586  | 573  | 220  | 137  | 179  | 80.2 | 72.2 | 142  | 52.8 | 48.8 | 38.2 | 2437.2 | 203.6 |
| 1954~1955 | 162  | 162  | 375  | 115  | 132  | 100  | 54.0 | 44.8 | 34.3 | 30.3 | 29.1 | 25.6 | 1264.0 | 105   |
| 1955~1956 | 41.9 | 178  | 212  | 262  | 157  | 119  | 38.4 | 40.7 | 30.3 | 40.4 | 63.0 | 61.8 | 1244.5 | 104   |
| 1956~1957 | 60.5 | 278  | 388  | 98.6 | 66.5 | 30.9 | 27.3 | 40.3 | 33.3 | 25.5 | 69.2 | 117  | 1235.1 | 103   |
| 1957~1958 | 104  | 405  | 495  | 131  | 74.7 | 137  | 140  | 69.2 | 54.6 | 62.1 | 134  | 90.7 | 1897.3 | 158   |
| 1958~1959 | 160  | 98.2 | 142  | 153  | 84.3 | 82.9 | 50.4 | 32.2 | 27.0 | 24.8 | 166  | 149  | 1169.8 | 97.5  |
| 1959~1960 | 265  | 267  | 720  | 258  | 191  | 426  | 99.8 | 70.2 | 58.4 | 43.9 | 25.7 | 102  | 2527.0 | 211   |
| 1960~1961 | 130  | 372  | 353  | 112  | 262  | 163  | 85.3 | 60.2 | 49.0 | 43.3 | 53.8 | 151  | 1835.3 | 153   |
| 1961~1962 | 177  | 242  | 291  | 140  | 434  | 652  | 164  | 146  | 87.5 | 64.6 | 43.7 | 55.6 | 2497.4 | 208   |
| 1962~1963 | 154  | 278  | 529  | 215  | 102  | 88.2 | 65.1 | 45.8 | 33.0 | 26.9 | 30.7 | 30.1 | 1591.8 | 133   |
| 1963~1964 | 30.8 | 17.5 | 75.8 | 55.6 | 22.4 | 28.9 | 14.2 | 45.5 | 19.5 | 81.8 | 67.9 | 47.1 | 507.0  | 42.3  |
| 1964~1965 | 111  | 165  | 603  | 98.9 | 101  | 92.0 | 107  | 40.9 | 31.4 | 29.8 | 28.1 | 41.9 | 1450.0 | 121   |
| 1965~1966 | 149  | 242  | 168  | 85.9 | 80.5 | 29.0 | 78.8 | 60.9 | 35.4 | 28.8 | 30.5 | 52.8 | 1041.6 | 86.8  |
| 1966~1967 | 84.3 | 71.4 | 702  | 203  | 162  | 60.0 | 46.5 | 40.5 | 44.0 | 36.5 | 57.2 | 33.0 | 1540.4 | 128   |
| 1967~1968 | 152  | 318  | 118  | 120  | 98.9 | 92.9 | 38.0 | 34.4 | 32.1 | 26.1 | 48.9 | 96.2 | 1074.5 | 89.5  |
| 1968~1969 | 89.9 | 98.4 | 686  | 312  | 191  | 76.2 | 59.4 | 39.1 | 38.6 | 64.5 | 87.9 | 167  | 1890.0 | 157.5 |
| 1969~1970 | 114  | 180  | 124  | 63.0 | 78.8 | 43.8 | 53.9 | 36.1 | 26.5 | 46.1 | 29.2 | 107  | 902.4  | 75.2  |
| 1970~1971 | 121  | 175  | 216  | 95.7 | 106  | 330  | 132  | 72.9 | 92.9 | 58.0 | 46.9 | 37.9 | 1484.3 | 124   |
| 1971~1972 | 34.3 | 106  | 154  | 85.0 | 102  | 93.4 | 40.9 | 30.7 | 70.7 | 40.8 | 34.1 | 14.2 | 806.1  | 67.2  |
| 1972~1973 | 118  | 200  | 262  | 88.3 | 148  | 52.4 | 43.6 | 48.8 | 52.9 | 97.4 | 47.6 | 38.1 | 1197.2 | 99.7  |
| 1973~1974 | 403  | 502  | 578  | 343  | 213  | 158  | 97.9 | 59.3 | 50.6 | 51.5 | 58.8 | 34.8 | 2539.9 | 212   |
| 1974~1975 | 78.6 | 259  | 310  | 166  | 106  | 57.2 | 116  | 109  | 65.2 | 104  | 178  | 239  | 1788.0 | 149   |
| 1975~1976 | 341  | 601  | 425  | 207  | 256  | 158  | 212  | 126  | 131  | 76.7 | 62.0 | 88.9 | 2684.6 | 224   |

Q<sub>2</sub> = 133

径流总量, 枯水期径流量或与它们相应的平均流量, 每年最大一次洪水的洪量或洪峰流量等) 在多年时期出现的频率特性表示。根据过去收集到的径流资料直接进行统计计算, 求得的统计特性称为径流的经验频率特性。某一径流量值  $x$  的经验频率是指在已有径流资料中一共有  $n$  年出现等于和大于该径流量值的频率, 以百分数表示。可按下式计算:

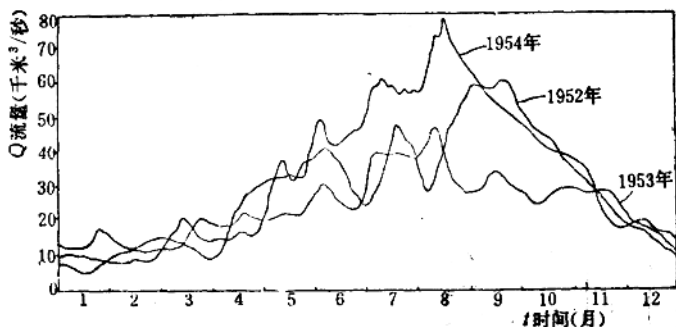


图 1 长江汉口站1952年至1954年逐日流量过程线

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

式中  $m$  为  $x$  在  $n$  项径流量由大到小排列中的序号, 最大  $x$  的  $m$  为 1, 次大  $x$  的  $m$  为 2, 最小  $x$  的  $m$  为  $n$ 。作为实例, 按式 (1) 对表 1 中某水库 23 个水文年 (4 至 3 月) 平均来水流量进行经验频率计算, 将结果列入表 2, 即为某水电站水库水文年来水平均流量频率计算表。根据该表 (1)、(4) 两栏所绘制的年平均流量与相应经验频率的关系曲线称为该水电站水库水文年来水平均流量经验频率曲线 (见图 2)。径流经验频率曲线只在一定程度上反映着径流频率特性, 为了反

表 2 某水电站水库水文年来水平均流量频率计算表

| 年平均<br>流量 $Q$ | 序号<br>$m$ | 年 份       | 频率 $P$<br>(%) | 年平均<br>流量 $Q$ | 序号<br>$m$ | 年 份       | 频率 $P$<br>(%) |
|---------------|-----------|-----------|---------------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| (1)           | (2)       | (3)       | (4)           | (1)           | (2)       | (3)       | (4)           |
| 224           | 1         | 1975~1976 | 4.2           | 121           | 13        | 1964~1965 | 54.2          |
| 212           | 2         | 1973~1974 | 8.3           | 105           | 14        | 1954~1955 | 58.3          |
| 211           | 3         | 1959~1960 | 12.5          | 104           | 15        | 1955~1956 | 62.5          |
| 208           | 4         | 1961~1962 | 16.7          | 103           | 16        | 1956~1957 | 66.7          |
| 203           | 5         | 1953~1954 | 20.8          | 99.7          | 17        | 1972~1973 | 70.8          |
| 158           | 6         | 1957~1958 | 25.0          | 99.5          | 18        | 1958~1959 | 75.0          |
| 157.5         | 7         | 1968~1969 | 29.2          | 89.5          | 19        | 1967~1968 | 79.2          |
| 153           | 8         | 1960~1961 | 33.3          | 86.8          | 20        | 1965~1966 | 83.3          |
| 149           | 9         | 1974~1975 | 37.5          | 75.2          | 21        | 1969~1970 | 87.5          |
| 133           | 10        | 1962~1963 | 41.7          | 67.2          | 22        | 1971~1972 | 91.7          |
| 128           | 11        | 1966~1967 | 45.8          | 42.3          | 23        | 1963~1964 | 95.8          |
| 124           | 12        | 1970~1971 | 50.0          |               |           |           |               |

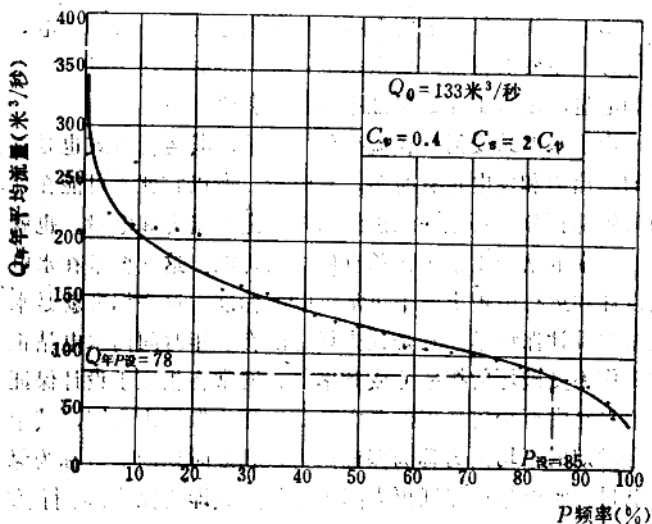


图 2 某河某水库入库年平均流量频率曲线

映和预测未来可能出现的更大或更小径流的频率，一般用概率论中的有关方法将经验频率曲线两端向外延伸。图 2 为某河某水库入库年平均流量频率曲线，就是经过延伸得到的。

## 第二节 电力系统及水利系统对水电站 及其水库的基本要求

水电站水库除保证发电外，往往兼有防洪、灌溉、航运等综合利用任务。因此，水电站水库调度既要满足电力系统的供电要求，又要满足水利系统中防洪及其它综合利用的要求。

### 一、电力系统的基本要求

要搞好水电站及其水库的运行调度，就必须从安全可靠和经济供电的整体利益出发，满足电力系统对水电站提出的两个基本要求：

第一，为了保证电力系统工作的安全可靠，根据水电站运行方式多变的特点，要求水电站在一定时期内，以一定出力和电量，正常工作的保证率不低于其设计值。

由于水电站受河川径流变化的影响，其运行方式也是多变的，出力和发电量有时多，有时少。所以它就不可能在任何时候都百分之百地保证供给用户一定的出力和电量。也就是说，水电站的正常工作总有破坏的可能。这就要求在水电站设计和运行中规定一个正常供电的标准，这个标准就是水电站的设计保证率。它是预先规定的在多年时间内水电站正常工作不受破坏的概率（或频率）。通常将相应于设计保证率的水电站至少应承担的电力负荷图称为保证出力图，其中一定时期的平均出力称为保证出力，相应时期的电量称为保证电量。水电站按保证出力图工作的方式即为保证运行方

式。水电站正常工作是指至少能按保证出力图工作。而其正常工作的破坏是指发不出保证出力图所要求的出力和电量。这可能是由于枯水期水量不足或洪水期下游水位抬高使水头过小（对低水头水电站）而引起的。

水电站正常工作的保证率常以正常工作不破坏的相对历时或相对年数表示，前者为历时保证率，后者为年保证率。由于在破坏年份内还有一部分时间不破坏，所以历时保证率大于年保证率。例如总工作年数为20年，总历时为 $20 \times 12$ 个月，其中有4年共24个月正常工作遭受破坏，则：

$$\begin{aligned} \text{历时保证率 } P_1 &= \frac{\text{正常工作历时}}{\text{总工作历时}} \times 100\% \\ &= \frac{20 \times 12 - 24}{20 \times 12} \times 100\% = 90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{年保证率 } P_2 &= \frac{\text{正常工作年数}}{\text{总工作年数}} \times 100\% \\ &= \frac{20 - 4}{20} \times 100\% = 80\% \end{aligned}$$

显然， $P_1 > P_2$ 。

通常在初步计算时采用年保证率，详细计算时用历时保证率。

水电站设计保证率是水电站及其水库规划设计的重要依据之一，也是其运行调度的重要考核指标。它的选择是一个复杂的技术经济问题。一般参照《水利水电工程水利动能设计规范》建议的数值和有关要求选定。《规范》建议按水电容量在电力系统中的比重选择水电站设计保证率的范围，详见表3，该表为水电站设计保证率的选择范围。

第二，由于水电站是利用天然水能发电的，电能成本较低，所以，为了使电力系统的运行更经济，水电站应充分利

用水能多发电。

以上两个要求在水电站来水径流不能准确预知情况下，矛盾比较突出。这就需要通过水库调度合理地解决。

表 3 水电站设计保证率（历时保证率）的选择范围

|                 |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 电力系统中水电容量的比重(%) | 25以下  | 25~50 | 50以上  |
| 水电站设计保证率(%)     | 80~90 | 90~95 | 95~98 |

## 二、水利系统综合利用的要求

1. 防洪要求。为确保水电站水库大坝和上、下游防护对象的安全，要求水库在汛期留出一定的调洪和防洪库容，以防御汛期随时可能出现的大洪水。

那么，水库需要防御多大的洪水呢？这就要求有一个衡量洪水大小的标准。洪水标准一般用洪峰流量、洪量出现的频率或重现期表示。如频率为1%的洪水，即表示在多年时期内平均每一百年出现一次，称为百年一遇的洪水，重现期为一百年；频率为2%的洪水表示每50年出现一次，称为五十年一遇洪水，重现期为五十年。

通常把正常条件下能确保大坝本身安全的洪水标准称为水库正常设计标准，简称设计标准。可按此标准推求水库设计洪水，进行调洪计算，确定水库的有关参数和水工建筑物的尺寸。考虑到水文径流资料的可靠性有一定限度，为保证在遇到比设计洪水更大的非常洪水时，大坝不致破坏，还应选定一个更高的非常设计标准作为校核标准，用以推求校核洪水，对水库有关参数及建筑物尺寸进行校核计算。水库设计和校核洪水标准一般可按水库大坝建筑物等级，参照《水利水电工程设计基本技术规范》选定。如，大坝为I级建筑



物，其设计标准为0.1%，校核标准为0.01%，大坝为II级建筑物，其设计标准为1%，校核标准为0.1%。

当水库担负有保护上、下游防洪安全的任务时，还应确定保护对象的防洪标准。这时要求当出现相应防洪标准的洪水时，在上游不超过水库移民高程，在下游水库下泄流量加区间流量不得超过河段的允许（安全）泄量。

防护对象的防洪标准，应根据防护对象的重要性、历次洪水灾害及政治经济影响，结合具体条件并征求有关方面意见，参照《水利水电工程水利动能设计规范》建议数值选定。

2. 其它兴利要求。除发电用水外，灌溉、航运、工业与民用给水等部门也可能对水电站水库提出用水要求。各用水部门在用水量、用水方式和引水地点上各不相同，但它们都要求水库对多变的河川径流进行调节，以补充枯水期天然水量之不足，满足各自正常工作所必需的用水。

类似于水电站设计保证率，其它各兴利部门也各有与其正常工作相应的设计保证率。各部门满足其设计保证率的用水称为正常用水或额定用水，可用某一时期的水量或平均流量表示。各部门的设计保证率（一般以年计）也可按前述的有关规范选定。如灌溉设计保证率，当以旱作物为主时，可采用50~80%；当以水稻为主时，可采用70~95%，其中干旱地区取较小数值，丰水地区取较大数值。航运设计保证率，一般航道为85~90%，重要航道可在95%以上。工业与民用给水的设计保证率要求最高，一般在95~97%及以上。

在水电站水库调度中，以上各兴利用水的要求往往做为必须满足的约束条件加以考虑。

此外，在水库调度中还应考虑鱼道、过木筏道的操作用水和环境与水源保护方面的要求。