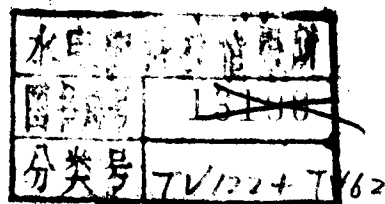


洪水和水库安全： 工程指南



水利电力出版社



洪水和水库安全:

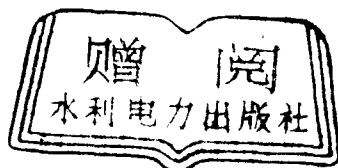
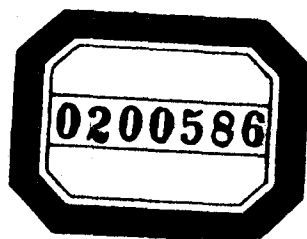
工程指南



006147 水利部信息所

英国土木工程师学会 著

丁 照 译
侯建功 校



水利电力出版社

**FLOODS AND RESERVOIR SAFETY,
AN ENGINEERING GUIDE
Institution of Civil Engineers
London, 1978**

**洪水和水库安全：工程指南
英国土木工程师学会著
丁 照 译 侯建功 校**

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

850×1168毫米 32开本 2印张 48千字
1984年8月第一版 1984年8月北京第一次印刷
印数 0001—8320册 定价 0.35元
书号 15143·5473

内 容 提 要

英国境内的水库建设是以中小型水库为主，自1930年制定水库法规以来，积累了较丰富的防洪实践经验，在世界上属坝工失事最少的国家之一。本书是英国的一本关于洪水及水库安全的指导性文献，论述了水库在设计、施工和运行中各阶段的洪水问题。内容包括：水库防洪标准；设计洪水的推算；水库调洪计算；风浪超高和大坝安全超高；大坝施工洪水等。

本书可供水利水电工程技术人员以及大专院校有关专业师生参考。

21457/15

序 言

洪水和水库安全工作组受委员会的委托，其职责如下：

与自然环境研究委员会协作，起草工程设计手册或各种手册中有关洪水的规定，以替代1933年提出的水库洪水报告。

曾讨论过二十二次。

为了进一步征集各方意见，土木工程师学会准备并提出了一份水库洪水标准的讨论稿。

包括在1933年临时报告中的有关建议，当时是为水利工程师用来决定其具体问题时的指南，而并未作为严格的条文予以硬性规定。现在英国的任何地方，均能以远高于过去的精度来估算洪水，这是自然环境研究委员会设计部门所取得的巨大成就；但对工作组而言，显然仍不能以此来制订适于英国境内各支流和各种坝型条件下的各种硬性条例。为此，本讨论稿仍采用指南的形式。

讨论稿由福兰克M.劳（Frank M. Law）先生在1975年4月22日土木工程师学会的工程师与水文专家集会上做了说明，在1975年5月8日由土木工程师学会举办的洪水研究会议上进行了讨论，同年9月24日在纽卡斯尔（Newcastle）大学举行的不列颠国家大坝委员会上，在已建大坝的检查、运行和改进的专题座谈会中又进一步深入地进行了讨论。

在考虑了这两次很有意义的讨论意见之后，又进行了修订。为了保证这些建议能得到负责大坝检查和安全的有关人士的支持，曾向第一专题组的全体工程师们发出征集修改有关洪水标准的意见表，并得到了几乎所有有关人士的回复意见。这些意见或批评均曾仔细考虑过，所有的建议也都得到重视。这些，对修正最初的讨论稿很有帮助。

本工作组感谢第一专题组的工程师们和全体与会讨论者的贡

献。工作组还感谢气象局的工作人员和水文学会的会员，特别要感谢斯特卡里夫 (J.V.Sutcliffe) 博士等学者的有价值的建议。

本工作组总结并推荐十年来工程师们在使用指南时所取得的新经验，并据此检查指南的内容，修改其中需要修改的部分。但是还应强调指出，指南的内容仍应尽量保持其特点和原则性，而不能仅着眼于水文技术。不应由于科学上的某些新的进展，而轻率地予以修改。指南最基本的问题是，初始库水位、洪量和风浪高度这三项基本因素之间（按优势概率和成因极限计算）是否存在一定的内在联系。本指南建议对这些因素的组合，要谨慎对待。只有全面地考虑这些因素，大坝才有可能安全。要牢记，不管技术如何进步，洪水预报目前仍然是一种估算而已。

目 录

序 言

1. 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 指南的范围	2
2. 水库防洪标准	4
2.1 概述	4
2.2 主要因素	4
2.3 推荐的标准	5
2.4 特殊情况	10
3. 设计洪水的推算	12
3.1 目的	12
3.2 洪水推算的步骤	13
3.3 入库洪峰的速算法	14
4. 水库调洪计算	15
4.1 目的	15
4.2 调洪计算中建议的几个阶段	15
4.3 装有闸门的溢洪道	17
4.4 虹吸式溢洪道	17
4.5 辅助溢洪道	17
4.6 上游临时蓄水	18
5. 风浪超高和大坝安全超高	19
5.1 范围	19
5.2 风速	19
5.3 吹程	19
5.4 浪高	20
5.5 风浪涌高	20
5.6 风浪超高裕度	21
6. 大坝施工洪水	22
6.1 施工期内的风险率	22
6.2 导流工程	23

附录 1 已建大坝防洪能力和安全超高的速算法	24
A1.1 用途	24
A1.2 程序	24
A1.3 算例	26
附录 2 在使用洪水研究报告时对水库安全的某些特 殊考虑	30
A2.1 导言	30
A2.2 考虑的因素	30
术语解释	36
参考文献	39
书目提要	42
附 图	
图 一 最小总费用分析	44
图 二 溃坝洪水与坝高的关系	46
图 三 年平均最大小时风速	46
图 四 十年一遇的最大小时风速	47
图 五 RSMD: 英国及威尔士	48
图 六 RSMD: 苏格兰	49
图 七 RSMD: 爱尔兰	50
图 八 不透水水库流域内的洪峰强度	51
图 九 有效吹程、风速和有效浪高之间的关系	52
图 十 设计浪高下的涌高比值	53
图 十一 典型光滑的坝面(最大涌高)	54
图 十二 毛石坝面(中等涌高)	54
图 十三 厚层碎石坝面(最小涌高)	54
图 十四 调洪计算曲线	55

1. 绪 论

1.1 背 景

1930年的水库法规（安全规定）对库容为500万加仑（约合2.3万立方米——译者注）以上的水库业主，规定了一条有关公众安全的水库检查条例。1975年的法规再次予以加强，而且当法规一旦实施后，对稍大于2500万升（合2.5万立方米——译者注）的水库也将纳入其中。1930年法规改为法律时，对原应作出规定的最大洪水强度，存在着很大的分歧意见，为此，土木工程师学会理事会建立了一个以比尼（W.J.E.Binnie）先生为主席的委员会进行调查研究并写出报告，以帮助使用者处理这类问题。他们的结论发表在1933年水库洪水委员会的阶段报告中，直到最近几年，它仍然是大坝设计工程师在设计洪水和坝顶安全超高方面的依据。

待积累更多的资料后，拟再提出更完善的报告。自从1933年的阶段报告使用以来，发生漫坝的事故减少了，总的说来，其调度线是令人满意的。但是，由于报告中的某些主观因素需由设计者根据自己的经验来加以决断，因而在使用这一报告时，两位工程师有可能各自得出很不相同的设计洪水值，特别是将报告扩大使用到低洼地区时。此外，在过去的45年内，所给出的安全超高控制线，在防止某些土坝的严重风浪破坏方面也并非十分可靠。1933年阶段报告中所给出的经验包络曲线仅是针对山区的洪水强度而言，这是根据当时可能取得的洪水记录而绘制的。此后，增加了包括1952年鲁莫斯（Lynmouth）洪灾在内的一些新的洪水记录，并由土木工程师学会于1960年重新发表。

1965年河流洪水座谈会以后，土木工程师学会随即成立了以

阿格斯·彼特 (Angus Paton) 先生为主席的英国洪水委员会, 以检查整个洪水问题。这不仅是为了水库安全, 也是为了其它设计目的。该委员会建议应当承担起研究全国洪水的任务。其结果之一是自然环境研究委员会, 在其内部成立了一个英国洪水研究组, 并与指导委员会共同研究磋商, 指导委员会开始是由刚去世的尼克松 (Marshall Nixon) 先生领导, 继由坎浦曼 (E.J.K. Chapman) 先生担任主席。

在英国, 凡涉及与爱尔兰共和国管理局协作的洪水研究论文, 已由自然环境研究委员会发表在1975年的第五卷内^[1]。第三卷所论述的洪水计算研究, 是在环境局水力学研究所的资助下而完成的。在这一卷内, 洪水研究组收集并分析了已有的资料, 包括气象局所分析的随机有效历时和随机重现期的降雨, 甚至有可能是接近自然极限的降雨, 还包括流域中各种径流特性和全国大部分地区的洪水记录。这些工作过去都从未进行过。

鉴于各方都期待着自然环境研究委员会的研究成果, 该会于1972年成立了洪水和水库安全工作组, 因而使该组能够在起草中得以认真考虑洪水研究报告集, 而且能够发挥其代表作用, 以保证对水库的设计洪水问题进行全面充分的研究。工作组的水库洪水标准讨论稿^[2]已于1975年3月提出, 并与自然环境研究委员会的文集具有同样的作用。

1.2 指南的范围

洪水能否在大坝不发生事故或冲毁的条件下, 安全地通过水库 (特别是土坝), 不仅取决于溢洪道的泄洪能力, 还取决于大坝的其它一些性能, 例如在风浪、浪花的作用下, 甚至在某些情况下虽发生漫溢但仍能维持稳定而不发生溃决等。所有这些性能必然会影响到所需要的安全超高。例如, 对疏松风干的土坝比具有密实的草皮护坡坝, 就需要有较高的安全超高。

新建的大坝由于精心设计、施工和维护, 均具有一定的防洪

能力；而对老坝，即使加以改建，仍需很好的维护和观测^[3]，以保持其安全状态。但这些问题均不属本指南的范围，本指南只限于洪水防护标准、洪水大小和安全超高。

本指南旨在帮助由负有专责的工程师们所组成的法定小组的成员，进行水库设计和水库检查。本指南主要是为了大不列颠的大坝安全而制订的，并在法律上生效。本指南的结论也可供北爱尔兰及其它类似地区参考。

本指南力求简单扼要、原则性，这点已体现在文件中。其过时的论述已被删减，因为这可查阅有关文献^[4,5]。这些文献反映了工作组过去所研究的过程。本指南还写进了第一专题组大多数工程师在1976年初对一份洪水标准讨论的内部调查表的有益意见。本指南应当结合洪水研究报告指南^[6]和有关图表一起应用，报告指南和图表可以分别购买。

在以下各页中，工作组在极其广泛地收集主要原则性意见的基础上，制定了洪水标准。而且试图使指南足够明确，以避免不同的工程师在评价已建大坝安全与否时，得出过分分歧的结论。本指南中的建议不能到处随意强用，因为还有例外的情况，例如对临时性的大坝就应特殊对待。工作组还认为，如果工程师认为在个别情况下，不能按指南的建议遵照办理，则必须将其实际情况在检查报告中，如实加以记录。

2. 水库防洪标准

2.1 概 述

防洪标准必须妥善解决安全与经济的矛盾。现在虽然可以为了防止漫坝而设计一座溢洪道，而且这座投资较少、规模不大的溢洪道还可使几代人免遭洪水灾害。可是，这并非是一个单纯的经济评价问题，1973年土木工程师学会在关于社会责任方面的声明中指出，土木工程师“应当承认许多因素不能直接用金钱来表示其价值，特别是影响到国计民生方面的因素”。

应当根据对下游民众生命财产的威胁情况来进行大坝的分类。有些大坝即使漫顶，也不会象溃决那样危险，因此，在当今的新标准中，还应增加介绍抗冲新经验的内容。

2.2 主要因素

研究防洪时一个最重要的问题，是将可能引起接近于稀遇洪水的有关各项因素进行组合。为此，必须确定以下三个主要因素：

- (a) 初始库水位；
- (b) 入库洪水；
- (c) 洪水时的风速。

尽管确定洪水过程线、风浪涌高和洪水计算的技术不断改进，但实际上至今还没有可供工程师使用的任何指标，因此只能分别做出一些假定，以解决上述三个问题。做为标准而言，为了保证这些假定的合理性，曾广泛征求多方意见。虽然所附总表适应性较广，但是附表中的数字仅限于应用在英国的大坝上。

初始库水位 当研究水库安全时，必须首先研究洪水入库时的汛前水位应当多高。鉴于现有技术已经能够分析与水库蓄洪能力有关的各种长历时的洪水，工作组认为从洪水到来之前的前期稳定径流开始，进行调洪演算，较为可取；而认为选用某个假定的洪水，以此到来之前的库水位作为初始库水位，则具有明显的缺点。

入库洪水 对设计洪水应该与大坝所应具有的风浪能力同时考虑，而且洪水通过水库时，不应破坏大坝的主要部位。在低于坝高的两岸内，设置泄洪洞以宣泄设计洪水，是不经济的。溢洪道尾部的消力池或其侧面发生稀遇的漫溢时，只要不威胁大坝的整体性安全，是可以允许的；同样，把溢洪道设计得过大，足以通过全部设计洪水，也是不必要的。有些工程师总喜欢在水库设计洪水与溢洪道设计洪水之间，找出个明显的关系。但是，对水库安全具有决定意义的，是水库设计洪水，因此，本指南将集中研究较大洪水的洪水标准。

洪水时的风速 对英国来说，历时数小时的大雨可能由几种完全不同的暴雨系列所引起，急剧的低气压可能在大面积内产生相对稳定的大风，雷暴雨系列也能在几公里以内出现各种不同类型的大风。有些时候，随着低压空气侵入，暴雨可以稳定在整个区域内，而其它暴雨区将沿着一条线运动，并随着风向转变而沿着流域上下移动。特别在水库出现超高水位时，暴雨中所出现的风浪变化剧烈。以往的最高记录说明，对风浪应有个裕度，而且必须予以谨慎对待，因为风浪对生命安全具有潜在的危险。这个裕度在许多（而非全部）稀遇洪水中将成为一个安全裕度。

2.3 推荐的标准

表一所列标准适用于不列颠安全法所包括的规模不同的各种坝型。使用此表，必须根据相应的水库初始条件，进行水库设计洪水的演算，由此得出两个水位：一个是理论洪水超高水位；另

一个是总的超高水位。后者包括表一中所规定的风速下产生的风浪涌高裕度（或者是最小风浪超高，如果此值较大），这一裕度对防止漫坝危险是足够的。

对填筑坝而言，坝顶高程将由两个条件之一来决定：第一是洪水超高水位不能高过坝顶高程和正常的公路路顶高程，而且如果洪峰的历时较长，则必须降低超高水位，以避免渗流穿过心墙以上的公路路基，产生有害的渗漏；第二条是，总的超高不能超过防浪墙，如果坝上没有防浪墙，则坝顶必须有足够的高度，高于总的超高。对具有防浪墙的老坝，在考虑其作用时，应特别谨慎，其弱点通常是墙体上有贯通的裂缝。因此为了大坝的安全，下列措施是必要的，即不考虑该防浪墙的作用，或者干脆改建它。对土石坝而言，在某些情况下，表一中的洪水要比过去预计的为大，因此，必须在新的计算条件下，校核坝身安全。

对于混凝土和圬工坝，当溢洪道占去了大部分坝顶长度时，则坝顶超高不是太重要的。对这类坝来说，重要的问题是表一中所求得的洪水荷载不应超过大坝的设计值。

对各类水库都规定成统一标准，通常无此必要。如果由于洪水甚至是可能最大洪水（PMF）而漫坝，其引起坝体溃决的机率很小（比如说1%），则可采用最小标准，特别是在混凝土坝和圬工坝其超高水位不致危及大坝稳定的情况时。表一中所指的漫坝是指入库洪水超过了静水位，而不是指风浪涌高；此外，最小标准只允许用于运行很好的水库，而不宜用于新坝的设计。

虽然表一似乎很复杂，但它是由小组的工程师们在检查大坝时，综合表中的有关因素，经过权衡而制订的。其主要用意在于，保证避免大坝失事引起洪灾危害国计民生，但另一方面又要注意投资规模应限制在失事风险所决定的范围之内。有关初始库水位和风速标准的正确性将在第四、五两节内论述，这里不再重复。不过，应当注意，风浪超高最小裕度系因坝型而异。这一点从1933年阶段报告发表以来45年的新经验中得到了初步证实，同时也从难以预测的坝坡反射波浪及浪花所需的超高裕度中，得

表一 按坝型区分水库洪水 and 风浪标准

水库类别	水库初始条件	设计入库洪水			洪水时的风速和风浪超高的最小裕度
		一般标准	最小标准 (允许个别漫溢)	论证标准 (有可靠的经济论证)	
A类(水库失事危及公众安全)	宣泄多年平均日流量	可能最大洪水(PMF)	0.5PMF或万年洪水(取大者)	无	冬: 十年一遇的最小时风速(图四) 夏: 年平均最大小时风速(图三) 风浪超高裕度不小于0.6米
B类(水库失事, (i)危及局部公众安全 (ii)危害较广)	满蓄(即无泄水)	0.5PMF或万年洪水(取大者)	0.3PMF或千年洪水(取大者)	相应于溢洪道投资与下游损失费用为最小的洪水频率(图一)	年平均最大小时风速(图三) 风浪超高裕度不小于0.4米
C类(水库失事几乎不会危及公众安全, 仅引起有限损失)	满蓄(即无泄水)	0.3PMF或千年洪水(取大者)	0.2 PMF或150年洪水(取大者)	入库流量不小于最小标准, 也可以超过一般标准	年平均最大小时风速(图三) 风浪超高裕度不小于0.3米
D类(失事后不涉及公众安全, 仅引起极有限的损失)	宣泄多年平均日流量	0.2 PMF或150年洪水	无	无	年平均最大小时风速(图三) 风浪超高裕度不小于0.3米

注: 如果泄量容许, 全年内水库是在规定水位或其以下运行, 可根据水库报告或其说明书的要求而定。
PMF的百分比是指, 先算出PMF过程线, 然后在所有的纵座标上乘以0.5、0.3或0.2(如表中所示)。

到了初步证实。

A类水库 是指水库失事虽属稀遇和偶然的，但社会舆论是不会接受的那种对公众安全具有一定威胁性的水库。所以，在村镇上游的水库决不应由于溢洪道泄洪能力不足而溃坝，造成重大的灾害。简言之，公众反对这样做；在任何山谷内，不管是村庄、学校或居民点，位于其上游的水库均应列入A类。位于洪水区的公路和铁路交通因系偶然为洪水所包围，不足构成为A类水库。一个比较难办的情况是，假期中在建有水库的沿河两岸野营驻地，例如团体性的学校活动等。但如仅属个别人的短暂停留，则无关紧要。

B类水库 *B(i)*类属孤立的居民点，例如紧靠坝下的供水厂（这种情况下可以收买这些财产或者安排好逃避洪水的出路）。*B(ii)*类则属危害较广者，例如冲毁农田，冲断主要的公路铁路交通等。

C类水库 是指对人类生命威胁很小的一类水库，包括只是在个别时间内，才对一些人具有洪水威胁的地区，例如在行洪区内的一些人行小道及运动场等。这类水库也包括有关家畜及谷物的洪灾损失。

D类水库 是指由低矮土坝所形成的许多小水库，没有多大威胁，如果冲毁，还可重修。对某些为了观赏而必须蓄满的水库，可作为特殊情况，列入另一类。稀遇洪水所引起的水库失事，既使对尚处于自然状态中的河谷，也会造成某些损失。但对小水库而言，这种附加损失将无关大局；其蓄满溃决后，如较设计洪水的洪峰或洪量增加值不超过10%，则建议其溢洪道无需通过大于150年的洪水泄量（或0.2PMF，如果更容易计算的话）。如果紧靠坝下有一些很有价值的设施（如工厂、公路桥等），则不管水库是否重要，计算中都要慎重对待。对这类地区，可以使用原河道的千年一遇的洪水过程线，以取代10%的灵敏度分析。

溃坝波 评价水库溃坝波的危害不是一件很容易的事。图二说明，紧靠坝下的流量主要取决于坝高^[7]，不同坝型之间没有

多大差别，主要取决于库容。该图曲线的低坝外延部分，由于具体情况很不相同，需要谨慎使用。现在，已经有了可以用来计算下游洪水位的计算机程序^[8]。洪水水深和洪水流速均能对下游构成威胁。虽然这种计算结果并不精确，但是据此就可以弄清溃坝后的大致危害，从而可以进行水库分类。

经济因素 某些水库虽然对生命安全并无多大威胁，但能引起严重的经济后果。在确定由于水库失事而引起的全部损失时，其中将涉及加固工程和赔偿费用等等。因此，计算溢洪道的大小和安全超高的多少，也是一个经济优化的问题。在总费用曲线上的某点（图一）是代表相应于某一重现期洪水的溢洪道泄洪时下游的损失费用与溢洪道的修建费用之和。根据检验 150 年到 PMF 之间几种洪水设计后，说明上述的最小总费用法是正确的。大坝溢洪道安全状态工作委员会赞许美国工程师的这种方法^[9]。在美国工程师的报告中，还列举了一个设想的典型算例。

为了体现上述经济标准，已在表一中列出，以供方案比较。最小费用法的优点在于能够简化洪水标准的选择，指出费用之间的关系。但是，由于长时间内的最优经济方案可能不是一个，因此，业主宁愿采用短时间内的最优经济方案进行投资。此外，经济研究本身也需要付出相当的代价（虽然并不经常这样^[10]）。例如，一座紧靠坝下的水处理厂，如果停产，将对工业用户带来严重的后果，这种情况下，其自身的经济性是很明显的。有时虽然一座新坝的失事也许可能对财产不发生严重危害，其为防止可能最大洪水所需增加的费用也是比较小的，但是为了不使这类水库下游地区的经济发展受到限制，因此需要有深谋远虑。在经济研究之后，如果认为采用比最小费用方案投资更大一点的方案，较为有利，则可采用更加安全的防洪工程。但是根据表一中的论证标准，即所求出的方案标准，必须高于最小标准。

对现有水库的速评法 在某些情况下，要求对本节开始所讨论的水库防御风浪和洪水的能力以及相应的初始库水位做出迅速的评价。附录 1 简述了这类方法，虽不太精确，但毕竟是综合了最新