

1 绪 论

1.1 缘由

1.1.1 问题的重要性

水文设计成果非常重要，一切江河的治理开发规划，水利水电工程的规划、设计、施工和运行管理，都离不开它。它不仅关系着流域或地区水资源规划的战略布局、具体工程的安全与经济，还关系着人民生命财产的安全与社会的稳定，以及工程建成后所发挥的经济效益、社会效益和环境生态效益。

但是，由于水文现象的影响因素十分复杂，观测资料往往又不充足，而水文科学目前尚处于不断发展的阶段，一些计算理论和方法尚存不足，并随科学技术的发展而不断改进，所以计算方法也多种多样，再加上工作人员的技术水平和工作经验有差异，致使对同一工程的同一水文特征值的计算成果，往往存在一定的差别。因此，为了使水文设计特征值具有充分的可靠性，必须从多方面认真地进行合理性检查、评价。否则，有时可能造成极为惨重的损失。

1975年8月上旬，淮河上游发生了特大洪水，导致板桥和石漫滩两座大型水库垮坝（垮坝最大流量板桥为 $78\ 100\text{m}^3/\text{s}$ ，石漫滩为 $30\ 000\text{m}^3/\text{s}$ ）使29个县市的1100万人受灾，淹死26000多人，京广铁路被冲毁102km，中断行车18天，影响运输48天^[1]。根据世界银行专家估计，这场洪水总损失约为100亿美元^[2]。

从水文角度来总结，板桥、石漫滩水库垮坝的主要原因，就是在修建水库时，采用的设计洪水数据严重偏小。如按1956年扩建设计时采用的校核洪水：板桥水库名为1000年一遇的洪峰（ $4\ 236\text{m}^3/\text{s}$ ）实际还不到1977年复建该库时计算成果10年一遇的数值（ $4\ 990\text{m}^3/\text{s}$ ）石漫滩水库名为500年一遇的洪峰（ $1\ 396\text{m}^3/\text{s}$ ）也低于1986年复建该库时计算的10年一遇的数值（ $1\ 947\text{m}^3/\text{s}$ ）。为什么会严重偏小呢？第一个原因是，当时水文资料系列太短，代表性太差；第二个原因是，对设计洪水计算成果，没有进行合理性检查、评价，因为在当时设计人员的头脑中还没有这种概念。因此，从这个意义上说，中国人十分重视水文设计成果的合理性检查、评价，是用大量的生命和财产换来的。

1.1.2 现实状况

鉴于水文设计成果合理性检查、评价的重要性，我国与水文计算有关的文献资料、历次规程规范和教科书，都对此作了强调，并列出了一些合理性检查、评价方法。但是，现实情况是：

(1)规程规范只能作原则规定，教科书只能讲一些基本原理和方法，而现实工程千差万别，要求计算的项目多种多样，书本知识远远不能满足实际的需要。

(2)有的人,虽然了解合理性检查、评价的重要性,但在实际工作中,不善于进行这种工作。表现在生产、科研报告上,就是很简单地作几条分析,不深不透,说服力差。

(3)有的人,对计算成果根本就不作合理性检查、评价,只把工作重点放在电子计算机的计算上。虽然,这是少数,但是必须注意纠正,树立合理性检查、评价的概念。

(4)在有关水文的生产、科研成果审查或鉴定会议上,有的人提不出问题或问题提不到点子上,其主要原因是没有掌握合理性检查、评价的基本思路、方法以及判别是非的标准。

总之,从现实情况看,在水文界非常需要一本全面系统地总结介绍水文设计成果合理性检查、评价的专著。

1.2 如何看待水文设计工作

1.2.1 水文设计应用的方法

水文设计所采用的主要方法,大体上可以概括为两大途径:

一是数理统计途径,即把水文现象看做是随机事件,运用数理统计学的原理和方法,求出指定频率或保证率的水文特征数值。如设计暴雨、设计洪水、设计年降水量、设计年径流量、设计输沙量等,都可以运用这种方法。

二是成因分析(严格说是半成因、半统计)途径,即把水文现象看做是必然事件,运用与研究事件成因有关的科学,如气象学、土壤学、地质学、水力学、物理学等的理论和方法,求出指定标准或设计条件下的水文特征数值。

顺便说明,过去我们有时也认为,水文设计所采用的途径,除数理统计途径和成因分析途径之外,还应该增加地理分布途径,地区经验公式途径,水文比拟途径,对于推求设计洪水而言,还有历史洪水加成途径。后来经过深入研究,发现增加的这四种途径,作为一种方法可以,但不能算作一种途径,因为它们都不是独立存在的。

地理分布途径,通常是指利用水文特征值的等值线图来推求水文设计数值。如推求设计暴雨的等值线图,是属于数理统计途径;推求 PMP 的等值线图,是属于成因分析途径。

地区经验公式途径,一般是指反映某种水文特征值地区规律的经验关系,如果公式中包含有与频率有关的参数就属于数理统计途径,否则属于成因分析途径。

水文比拟途径,一般是指把自然地理和气候条件相似地区的某一水文特征值,通过某种关系的修正,移用到设计流域。显然这个被移用的水文特征值,如果含有频率概念,则属于数理统计途径,否则,就属于成因分析途径。

历史洪水加成途径,就是将历史上已经发生过的某一特大洪水年,再加大一个百分数作为设计洪水。其实,这个加成数也是或明或暗含有频率概念的。例如,黄河天桥水电站原设计时采用历史洪水(1945年洪水)加大20%作为设计洪水,实际就相当于百年一遇洪水。

水文设计工作所提供的成果,一般都属于超长期预测(预测工程施工和运行期间的

水文情势)，具有推测性。尽管现行方法尚不够十分严密，但是只要注意按中国水文界几十年来所积累的经验办事，最终所得的成果，完全可以满足工程规划设计的要求。

这里所说的经验，就是重视基本资料，重视历史暴雨/洪水，重视调查研究，重视流域自然地理特性和水文、气象特性分析，重视用多种方法、方案比较，重视成果的合理性分析。新中国成立 50 多年来的水利水电建设发展历史可以证明，凡是按以上经验修建的工程，绝大多数都是成功的。

1.2.2 水文设计成果的精度

我们常常听到有人说：

“水文计算中不确定性因素太多，所得成果的精度很难说。”

“水文就这样，反正你们算不准。”

“水文计算成果的精度，天知道。”

以上这些说法的中心意思是，水文成果精度差，不可靠。其实，持这种见解的人是很多的，不仅是非水文专业人员有，就是水文专业的人员，也有这样的认识。例如，有一位长期从事水文教育的老教授就公开说：“水文很玄，学生很烦！”

我们认为，以上这些认识是不全面的。事实上，水文计算的精度，完全能与其他工程的精度相媲美。据刘国纬教授介绍，我国著名的水文专家林平一与著名的桥梁专家茅以升二人在 1963 年有一场精彩的对话：

茅以升说：“你们那个水文计算成果 精度太差！”

林平一说：“不对！我们的水文计算成果，和你们桥梁设计相比，精度一点不差。比如，我们的设计洪水，对频率计算成果最后加的安全保证修正值，不超过计算值的 20%；而你们桥梁设计采用的安全系数比这大得多，一般都在 2 以上，到底谁精确？！”

茅以升说：“言之有理 言之有理！”

在水利水电工程建筑物设计上，采用的安全系数也是很大的。例如，浆砌石坝和混凝土拱坝 1 级建筑物的抗滑稳定安全系数，一般都 $\geq 3^{(3)}$

至于钢结构，有的安全系数更大，例如，作为拉吊重物的钢绳架，安全系数可达 5。

美国著名水文学家林斯雷（Ray K. Linsley 筹在《工程水文学》^[4]一书中说：“对于水文学所涉及的自然现象，不适用于对工程力学所作的那种严格分析。因此，水文学中有更多种式样的问题，具有更多的判断余地，而且看起来问题的解答缺乏准确性。事实上，健全的水文学解答的精度，完全能和其他种工程计算的精度相比拟。工程上的不可靠性，常常由于使用安全系数、硬性标准化的工作程序，以及关于材料性质的保守假设而掩饰起来了。”

作者认为，林平一和林斯雷等的见解是十分正确的。

1.2.3 水文计算与分析的关系

有许多专家都认为，在工程设计上，水文分析计算工作的计算与分析的关系，应该是三七开，即三分计算，七分分析。也就是说，工作的重点应是分析。为什么呢？因为正如 1.1.1 中所述，水文现象的影响因素复杂、资料有局限性，学科本身还在发展中，计算的答

案不是惟一的。所谓分析，也就是针对具体工程，结合设计流域的自然地理情况，从基本资料、计算方法到计算结果，每一个环节都要从多方面进行检查、分析、评价。这样，才能使设计选取的成果，尽可能接近实际，而且也使水文人员对流域的自然地理特性、水文气象特性、水文特征值的物理成因概念等的认识，得到提高、升华，从而对计算成果更抱有信心。

我们上节(1.2.2)所说的水文计算成果的精度能与其他工程计算成果相媲美，其前提是，水文计算成果必须是合理的。

作者在从事水文分析计算工作近 50 年，深深体会到这项工作是十分诱人的。因为，它不是机械地计算，而是自始至终都贯穿着分析、推理、判断。这就要求我们具有广泛的知识，并勤于思考，善于分析，从而可以培养人思路开阔，思维逻辑清晰，综合概括能力强，并具有创新的精神。因此，不能把水文学视为一种玄学，而应视为具有魅力的一种技术科学。

中国在水利水电工程建设上对水文设计数据的确定采用专家集体审查，上级主管部门批准的办法，是十分正确的。因为这可以集中大家的智慧，做到使成果尽可能合理。

由于水文科学还不够严密，故对设计人员所提出的水文计算成果，谁都可提出几个问题。水文设计人员的任务，就是要面对一大群专家，对他们所提出的各种问题，一一进行答辩，使提问者满意。能做到这一点，并非易事。

对于大型工程，这种审查、答辩，一般都要进行多次，即所谓要“过五关斩六将”。当每一次审查能得到通过时，对设计人员来说，都是一次褒奖，而且是一件莫大快慰的事。

1.3 几个具有普遍性的问题

本节所述的几个问题，都与水文分析计算成果的合理性有关。

1.3.1 学习与创新的关系

在水文上，学习外国的经验，必须结合本国实际，创造性地运用，切不可原样照搬。

例如，对洪水频率计算法，我国是学习苏联的经验，把它用于大型工程的设计，是采用千年一遇洪水设计，万年一遇洪水校核。但苏联是以融雪洪水为主的国家，洪水的大小与气温关系密切，而气温的年际变化较小，故洪水的变差系数 C_v 小，一般为 0.2 ~ 0.6^[5]。因此，其频率曲线的上端，变化相对比较平缓，万年一遇洪水仅为多年平均值的 2 ~ 5 倍。而中国是以暴雨洪水为主的国家，洪水 C_v 大，一般为 0.5 ~ 0.9。北方很多河流都在 1.0 ~ 1.6 之间，有的甚至达到 2 以上，故万年一遇洪水较大，一般为多年平均值的 5 ~ 10 倍， $C_v > 1$ 的河流较多年平均值竟高达 14 ~ 30 倍(图 1.3.1)！与苏联相比，中国的万年一遇洪水，与实测和调查值比较，大得惊人！

又如，对水文气象法，我国是学习美国的经验。美国推求可能最大降水(PMP)的方法，主要是时面深概化法，即对于 PMP 的降雨深度(总量)，是采用高效暴雨—水汽放大—移置—外包的办法；对于 PMP 面分布，是采用一组同心的椭圆形图线解决；对于 PMP 的时程分布，是采用单峰概化(峰尖略偏后)的办法解决。这套方法的适用范围：流域面积，

平原为 52 000km² 山区为 13 000km² 降雨历时为 72h 以内^[7]。这一套办法,是根据美国情况提出来的。美国的地形条件比较简单,国土面积大部分属丘陵平原地区。而中国地形复杂,国土面积绝大部分属山区和丘陵区^[8],而且大型水库的控制面积大,超过 10 万 km² 的不在少数,如黄河小浪底水库的控制面积为 69.4 万 km²,长江三峡水库控制面积达 100 万 km²。这样,中国搞 PMP 决不能照搬美国的做法,而必须结合中国的实际有所创新。事实上,中国的生产部门,也是这样做的,详见文献^[9]。

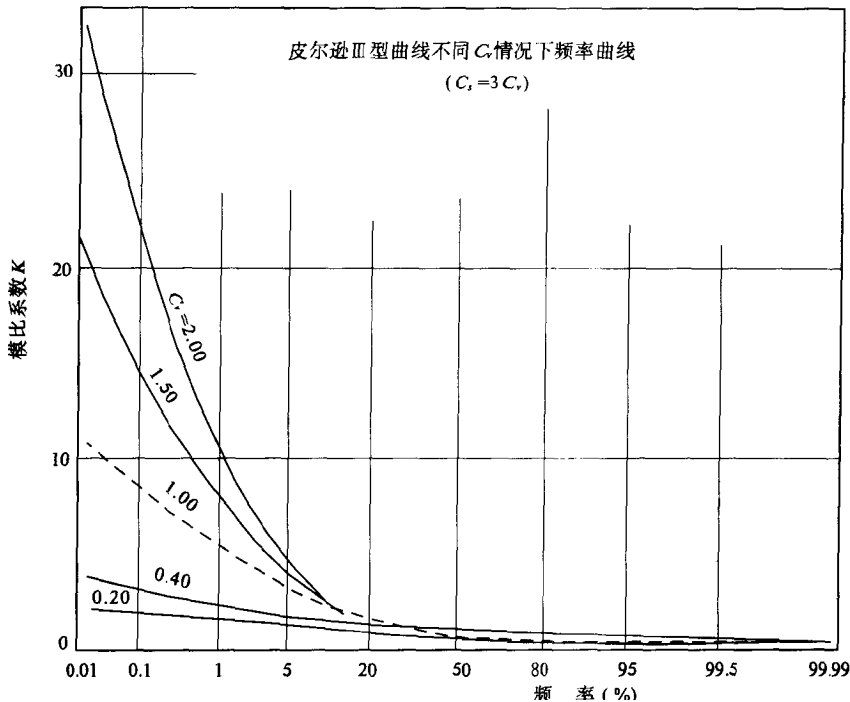


图 1.3.1 洪水频率曲线^[6]

3.2 安全与风险的关系

在水文问题中,由于不确定性因素较多,存在一定的风险,所以,对水文设计过程中的某些环节(例如,选典型年,确定设计前期土壤含水量等)和最终成果的取值,一般都要按偏于安全的原则来考虑。因为现有的资料,毕竟不够充分,适当留有一定的安全余地,是必要的。

但是,不能过分追求安全,应该接受合理的风险。例如,住在城市的人,上街就有可能会遇到车祸,但是人们还是照样上街,绝对没有人会接受为了上街安全而使用军用坦克这样的一种安全概念。

在洪水频率计算上,对于 $C_v > 1$ 的河流来说,作者认为按皮尔逊 III 曲线求得的所谓万年一遇洪水,一般已经够大了,如果还要加 20% 的安全保证修正数,那就不合理了。

1.3.3 特殊与一般的关系

在水文计算中,有时会碰到一些特殊现象。例如,在绘制相关图时,会发现有一二个

反常的特殊点；用模型计算时，有时 98% 的点据精度是好的，只有一二个很差，这从统计上讲是满意的，但从水文规律上来看，很可能这一二个点据，正好显示出一个重要的客观规律，代表一次稀遇洪水所蕴含的变化规律。因此，赵人俊教授强调：“应当欢迎而且珍惜每一个‘例外’与‘反常’不放过任何可能有希望的苗头^[10]”。

赵教授的意见是十分正确的。作者正是按这种思维方法，对中国和世界一些大江大河的特大洪水资料进行了研究，于 1983 年提出了“中国大面积江河的可能最大洪水要小于皮尔逊 III 型曲线的万年一遇值”的假说^①，明确指出，在国家规程规范上硬性规定可能最大洪水必须大于万年一遇洪水是不合理的。在这项研究的开始，就是看到了长江宜昌站的洪峰流量资料，受到启发。该站自 1877 年设站以来，实测最大流量为 $71\ 100\text{m}^3/\text{s}$ ，而根据调查和文献考证在历史上自 1153 年以来，该站有 8 年的洪峰流量超过 $80\ 000\text{m}^3/\text{s}$ （表 1.3.3.1）。表现在频率曲线上，这些点据特别突出，连接成线，比较平缓，上端似乎趋近于一上限，与实测资料的经验频率曲线的趋势差别较大。于是，作者着手收集国内外资料进行研究，结果发现，有许多大江大河的洪峰流量，前几位都有相差不大的现象存在^{①[9]}，故而提出了上述假说。

表 1.3.3.1 长江宜昌历史洪水

年份(年)	1870	1227	1560	1153	1860	1788	1796	1613
Q_m (m^3/s)	105 000	96 300	93 600	92 800	92 500	86 000	82 200	81 000

1.3.4 数学与水文的关系

画家、雕刻家、发明家兼土木工程师达·芬奇(Da Vinci, 1452 ~ 1510)说：“科学上没有什么肯定的事情用不上一门数学科学的”^[11]。哲学家培根(Bacon, 1561 ~ 1626)说：“当物理学由数学来限定时，对自然界的研究就能很好地进行”^[11]。马克思说：“一门科学只有在成功地运用数学时，才算真正发展了”^[12]。是的，数学是定量地描述事物变化规律的一种客观工具，是自然科学的基础。因此，水文学的发展，当然也离不开数学。

当前，国际上在水文领域运用数学之风空前高涨（如应用随机模拟、模糊数学、灰色系统、混沌分析、人工神经网络、子波分析等等），这是可喜现象，说明众多的水文研究人员希望通过某些数学方法的引进，能够把水文科学向前推进一步。但是，在运用数学方法时，必须弄清该方法的基本原理及适用条件，并应与水文实际，特别是水文物理实际相结合，否则，效果不会很好。因为，数学只涉及到科学方法，并不代表科学理论必须适应的那些真理。

中国著名的水文预报学者赵人俊教授，1991年在《从实际出发研究水文学》一文^[10]中说：“国内外正在讨论水文学如何发展的问题，比较公认的看法是：发展得比较好的是一

① 王国安，中国大面积江河的可能最大洪水要小于皮尔逊 III 型曲线的万年一遇值——一项大胆的假说，西安“西北片水文计算情报会”论文，1983

些实际应用的方法技术，可统称为工程水文学。但作为水文科学，则尚未建立起来，尚缺乏科学体系与科学方法，理论水平不高，原因在哪里？有的认为是没有找到合适的数学理论，有的认为是没有与地理地质等学科联系起来，有的认为是工程师出身的人科学修养不够，也有的认为能实用即可，不必追求科学理论，但仔细回顾一下，情况不是这样简单。只要有一种新的数学出来，在水文学上都是有反映的，有时还很强烈。富里哀级数，概率论与数理统计，随机过程与时间序列分析、模糊数学……但其结果，用于工程问题则可，揭发水文规律则无。其他学科的知识也有引进，如地质之于地下水、地貌之于汇流……但也未在揭发水文规律上起多大作用。归结起来，没有从水文的实际情况出发是一个根本原因。往往是把别的学科的理论与方法在水文问题上套用，并未与水文规律结合起来。如概率论与数理统计，在工程水文学中用得很多，但实际的水文现象及其观测资料，并不符合一般概率论的前提要求。又如水力学，是河道与流域汇流的基本理论，但由于水文现象的边界条件很复杂，直接应用水力学并不成功，等等。另外，还有一些成功的例子，如产流理论与山坡水文学，线性系统分析等，它们都是从直接研究水文规律得来的，不是从其他学科中搬来的。从其他学科中搬来一些先进的理论与方法，套在水文资料上以拔高水文学的科学水平，是不能成功的。套用一下比较省力，因为不必深入全面了解研究水文问题本身，只要找到水文资料即可。不懂水文的人也可以做这件事，而且成果的外观比较好看，容易受到重视。”

中国著名的物理学家周培源，1984年在南京紫金山天文台召开的一次天文科学大会上说：衡量一项科学发明是否具有先进性的标准有3条：①现有的理论能解释的，它能够解释；②现有理论不能解释的，它也能解释；③要能预报未来。他还指出，科学研究应着重于物理机制，而不是数学，离开了物理实质，数学是无用的。

前国际水文科学协会主席，加拿大的V·柯莱斯博士，曾大声疾呼：现在的水文学家是不够格的，他们实际上是工程师，只为工程应用提供数字。水文作为科学还没有建立起来，要克服这一点，水文工作者必须重视科学思维与科学方法，少搞一些过分的数学化，多研究一些自然规律^[10]。

言念及此，作者怀着既十分崇敬，又十分沉重的心情，介绍中国一位德高望重的教授（以下简称教授，他也是作者敬爱的老师）的临终遗言。

教授知识渊博，人品高尚，文学水平、数学水平都很高；通晓英语，熟悉俄、法、德语；精通水文。他思维敏捷，治学严谨，为人正直，待人真诚，毕生从事水文教育事业，培养了大量人才，为国家作出了巨大贡献！是中国水文教育的奠基人之一。

但是，在学术研究上，教授一生把注意力，主要集中在数学——概率论（水文频率分析）上，而所获得的创新性成果并不是太多（按他的学识水平理应更多）。故他在80多岁临终时，怀着沉痛的心情对守候在身边的亲人和挚友说：“颗粒无收！颗粒无收呵！！”一位挚友安慰他说：“您为国家培养了大量的水文人才，怎么能说是颗粒无收呢？！”

教授在患病前不久，曾对他的一位学生M教授说，概率论是一门严密的科学，在科技上的许多领域都要用到它。但是其他领域主要用它来研究一般规律，是内插。例如，在统计物理学中，根据大量的随机事件，推断随机现象的宏观平均特征，如热功当量，粘滞系数，比热等热力学常数。统计物理学的理论计算与实验结果高度吻合，证实了概率论

在统计物理中运用，非常成功。但是，在水文学中，是把概率论用来推断个别随机事件的行为（如千年一遇、万年一遇的洪峰、洪量等），由于是大幅度地外延，故推断的结论，无法用实践去检验。因此，概率论在水文学上应用，并不成功。

可惜！教授还没有来得及校正他的研究方向时，就与世长辞了！

作者认为，教授是一位伟大的、光明磊落的教育家。他的临终遗言是留给中国、留给世界科技界的一份极其珍贵的遗产，对于千秋万代的青年科技人员，都有很好的教育作用。其核心点就是：科技人员在研究工作中应用数学方法时，一定要紧密结合研究对象的物理实际，否则，有可能浪费毕生的精力，在学术上一事无成！

1.3.5 计算机与水文的关系

电子计算机的在水文领域应用，至少有 5 大好处：第一，把水文工作者从繁重的手工计算中解放了出来，使水文工作者有时间来进行分析研究工作；第二，使以往无法用手工计算的工作，变得轻而易举，从而提高成果的质量；第三，由于它能按照水文人员的构思，在短小时内分析处理大量的数据，这就可以提高水文人员对水文现象的综合概括能力；第四，可以帮助提取某些（例如遥感图片上的）信息，使水文计算的资料基础更为雄厚；第五，利用数据信息处理系统，能使影响水文要素变化的流域下垫面情况，以清晰的图像显示出来，使人能直观地认识问题，分析问题，解决问题。

总之，计算机是个非常好的工具，但是在使用时还必须注意：它不改变实际资料状况，不能代替人脑的思维判断能力。因此，同样要重视审核观测和调查资料的可靠性和代表性，因为这些是计算的原料；②要显示计算过程中的各项参数和图形（如频率分析中的均值和 C_s 及经验频率点子、频率曲线等）不要搞“黑箱”操作只给出结果。对各项参数、图形及成果，要进行必要的检查分析，不要不加分析地迷信电算成果。

参 考 文 献

- 1 胡明思 骆承政，中国历史大洪水（下卷），北京：中国书店，1992
- 2 王国安，对淮河 75·8 洪水垮坝主要原因及其引出问题的认识与建议，河南水利，1995(4)
- 3 中华人民共和国工程建设标准强制性条文。（水利工程部分），北京：中国水利水电出版社，2000
- 4 R·K·林斯雷等著，刘光文等译，工程水文学，北京：水利出版社，1981
- 5 苏联电站部水电建设总局水电设计院技术指导处，水文计算简明手册，北京：燃料工业出版社，1954
- 6 王国安 温善章，国标《防洪标准》何以把 PMF 与万年洪水并列，水利水电标准化与计量，1995(2)
- 7 WMO. Manual for Estimation of Proloable Maximum Precipitation. 2nb Edition, WMO. 1986
- 8 钱正英，中国水利，北京：水利电力出版社，1991
- 9 王国安，可能最大暴雨和洪水计算原理与方法，北京：中国水利水电出版社；郑州：黄河水利出版社，1999
- 10 赵人俊，水文预报文集，北京：水利电力出版社，1994
- 11 陈衡，科学研究的方法论，北京：科学出版社，1982
- 12 赵文彦等，科学研究与管理，北京：时事出版社，1986

2 评价的准备

本章内容是为搞好合理性评价服务的，也就是要先了解一些背景情况，以便在评价过程中能发现问题，并能抓住重点，结合工程的实际，作出合理的判断。

需要特别指出的是，本章所列的内容，并非任何一项成果的合理性评价，均需这样做，而是要根据工程的实际情况，有针对性地选取一些关系密切的内容，进行准备。

2.1 了解设计工程的有关情况

2.1.1 工程性质

了解工程是水库、电站 还是堤防、桥梁、围堰、涵闸、引水或排水渠道等。

修建与江河湖海有关的任何工程，都有个防洪问题只不过有的是为保证工程自身的安全而防洪，有的则是除了保证自身安全以外，还要为承担保护工程下游防护对象的安全而防洪。既都有防洪问题，相应地都有设计洪水问题。

在设计洪水问题上，不同性质的工程，考虑的重点不一样。

对于水库工程，若库容很大，泄量很小，则检查时应注重设计洪量；反之，若库容很小，泄量很大，则应注重抓设计洪峰；若库容和泄量都不是太大，则设计洪峰、洪量和洪水过程线都很重要。

对于堤防、桥梁则应注重抓设计洪峰流量和水位。

2.1.2 工程任务

工程任务不同，在水文设计中，其注重点也有所不同。

例如，若为单库防洪，则应注重本库的设计洪水；若为水库群联合防洪，则注重设计洪水的地区组成和水库联合防洪调度运用方式。

若为发电、灌溉、供水，则除设计洪水外，还应注重设计年月经流系列及其统计特征值的选定。对供水工程要注重设计枯水。此外，厂坝区和引水口的水位流量关系也很重要。

若为跨流域调水，则重点是可调水量的确定。对南水北调工程，冰情也很重要。

若为防洪减淤，则除设计洪水外，应注重对水库冲淤和下游河道演变情势有关的设计来水来沙系列和水库运用方式。

2.1.3 防洪标准

工程的防洪标准应根据国家标准 GB50201 - 94《防洪标准》⁽¹⁾选定。

若防洪标准很高，在暴雨 / 洪水变差系数 C_v 较大的河流，对频率曲线的外延趋势要认真分析，注意所得千年一遇、特别是万年一遇洪水是否脱离实际。

对用可能最大洪水 (PMF)校核的工程, 特别要注意是否有意要拿 PMF 必须要大于万年一遇洪水的老框框来套的情况。当然, 也要注意是否有故意使 PMF 一定要小于万年一遇洪水的情况。一定要实事求是。

顺便说明, 现行国家标准《防洪标准》有相当的灵活性。由于作者是该标准的主要编制人员之一, 故在 1995 年水利部和建设部联合组织宣贯班时, 作者负责第六章水利水电工程防洪标准宣贯讲稿的编写和主讲。这个讲稿把这部分标准条文的来龙去脉以及在执行时如何掌握的分寸, 都说清楚了。现将其作为本书的附录 1 供大家参考。

2.1.4 设计阶段

目前, 中国在水力水电建设上对设计阶段的划分, 分 2 个层次。

第一个层次是流域规划, 解决一个流域内江河开发治理的战略布局问题, 根据规划的结果选出第一期实施的工程。这个阶段的水文计算成果, 应注意面上的平衡协调, 使依据此成果安排的工程, 不致有定性的错误。

第二个层次是具体一项工程, 这又可以划分为项目建议书、可行性研究、初步设计和施工(技术)设计 4 个阶段。对水文计算成果内容和精度的要求, 前 2 个阶段可稍低一点; 后 2 个阶段, 则要求较高, 设计值选定后就不便再变动了。

2.1.5 要求分析计算的内容

对于大中小型水利水电工程, 不同设计阶段的水文分析计算内容, 现行有关标准、规范^[1~8]都有明确的要求。

一般来说, 水文设计的内容有以下诸项^[9]:

(1)设计径流。设计径流包括年径流、时段径流, 以及时段最小径流和年际持续径流干旱的频率分析及其分配情况。它们是进行水库径流调节、水能设计和水库运行设计的重要依据。不同情况的水利水电工程, 设计径流的内容和深度有所不同。例如, 具有多年调节性能的水库, 除对年径流及其年内分配进行一般性分析外, 还应对年际持续的径流干旱即连续枯水段进行深入的分析; 而没有或有很小调节库容的径流式电站或引水工程, 则对以日为时段的丰、平、枯水年径流及枯水期径流的分析要求较高。对于有航运任务的工程, 还需要计算日流量保证率曲线。

(2)设计洪水。设计洪水包括洪峰流量、时段洪量和洪水过程线。它是确定大坝高程和泄洪建筑物尺寸的关键性指标。

采用频率分析法推求设计洪水时, 对于洪水频率分析, 应特别注意对历史洪水资料的收集和利用; 对于暴雨频率分析, 应注意本流域及邻近流域大暴雨资料的搜集、分析, 并应进行相应的产流和汇流计算。

采用水文气象法推求设计洪水时, 要进行可能最大降水(简称 PMP, 中国习惯称可能最大暴雨)和可能最大洪水(简称 PMF)计算。

当水库面积相对较大, 对天然来水过程有较大的附加影响时, 需要进行入库设计洪水计算。

小汇水面积的设计洪水, 除为小型水利水电工程本身直接采用外, 一些大型工程的

施工现场,对一些小河沟的防洪设计,也常用到。一些灌溉、引水渠道设计,也常常需要计算小汇水面积的设计洪水。

(3)厂坝区水位流量关系线。为配合水利水电工程规划、设计、施工和运行的需要,对厂坝区的一些特定断面,应提出工程修建前后的水位流量关系线。这种关系线由于施工(如堆渣)工程特性如射流增差和河床冲淤的影响,有时变得相当复杂。

(4)水库调蓄演算。水库调蓄演算包括调洪演算和径流调节演算。在调洪演算中,需要根据设计入库洪水、工程泄洪能力、库容曲线和水库调洪规则,推算出库流量过程和水库在各种设计洪水标准时的最高水位,作为确定水库防洪库容或水库淹没、移民的依据。径流调节计算,则是确定电站水能指标和水库综合利用不可缺少的工作内容。

(5)水库水量平衡。包括水库入流、出流以及各种损失量的分析计算,对一些大中型水利水电工程有重要意义。其中的各种损失量,如蒸发增损、水库渗漏以及结冰损失等,往往由于缺乏实际观测资料,不得不采用间接的方法分析确定。

(6)泥沙分析计算。在多沙河流上,泥沙淤积量计算是分析水库使用年限和除害兴利效益的关键性问题,因而在水库规划设计中占有重要地位。水库的泥沙分析计算,包括设计入库沙量和颗粒分析、水库运用方式选定、水库淤积的形态、淤积速度和部位的分析,以及排沙防淤措施的安排等,其目的是尽量延长水库的使用年限和更大地发挥水电站的发电效益和水库的综合利用效益。与此相联系的问题,还有水库淤积、回水计算,由此可以确定库尾和库周水位抬高带来的影响和库区移民、淹没的范围。根据需要,有时还要进行水库蓄水后的塌岸估算,以及下游河道的冲淤估算。

(7)水文预报。水文预报是水利水电工程施工和运行期间的一项极为重要的水文工作,直接关系到工程施工和运行的安全和效益。其中,又分为洪水预报和枯季径流预报。洪水预报,重点为短期实时预报,为工程度汛服务;枯季径流预报,除短期实时预报外,还注意中长期的径流预测,以制定水库、电站运行计划。与此有关的,还有河槽汇流和水力学计算的工作内容。此外,根据具体情况,还需要进行一些特殊项目的预报,如多沙河流上的来沙量预报、异重流预报(这是水库适时排沙的重要依据);在冰冻河流上的冰情预报,以及库区塌岸的预测预报等,都有很重要的实际意义

(8)其他。除上述的主要项目外,还有其他一些水文计算工作,如库区气象要素的统计分析、冰情分析、水质分析、下游不稳定流分析以及溃坝洪水分析等,须视具体情况而定。

2.2 了解流域自然地理特性

了解流域的自然地理特性很重要,因为绝大多数成果,只有我们深入了解了流域的自然地理特性之后,才能判断它们是否符合客观实际了解的内容,一般有以下几个方面。

2.2.1 地理位置

即设计流域所在的经纬度。它决定着本流域降水的水汽来源和气候类型。如沿

地区水汽充沛，气候湿润；西北内陆地区距海洋较远，水汽较少，气候干燥。

2.2.2 流域面积和流域形状

流域面积，影响降水、洪水、径流和泥沙总量的大小

流域形状，影响洪水径流的大小和洪水过程线的形状。例如黄河三门峡至花园口区间（简称三花间），流域形状呈一展翅东飞的蝴蝶，当遇以南北向切变线为主的暴雨天气系统发生时，降雨范围可遍及全流域，出口断面的洪水较大；而当遇东西向切变线为主的暴雨天气系统出现时，主要雨区只及黄河以南的伊洛河流域，出口断面的洪水较小。

流域形状呈扇形，各支流汇流时间相差不大，径流集中，洪水过程线呈尖瘦型。反之流域形状呈长条形，则各支流汇流分散，河道槽蓄作用影响大，洪水过程形状呈矮胖形。

2.2.3 地形地势

地形地势（包括山脉大小及其走向），决定着水汽的人流和抬升状况，影响气候和降水量的大小，也影响产流和汇流。

如设计流域位于高大山脉背风坡之后，则不利于水汽入流。若设计流域坡面正好与水汽人流方向一致，则有利于水汽抬升，成云致雨。通风坡的喇叭口地形，常是暴雨中心的所在位置。山地的多年平均年降水量一般要大于平原（表 2.2.3.1）。流域地势陡峻，有利于产汇流；地势平缓，则不利于产汇流。

特殊地形，如秦岭是中国南北气候的分界线。

表 2.2.3.1 部分山地与邻近平原年降水量比较⁽¹⁰⁾

山地地名	高程(m)	年降水量(mm)	邻近平原 低地地名	高程(m)	年降水量(mm)
贺兰山	2 901	467.9	苏峪山	1 440	295.7
六盘山	2 840	709.3	沈家河	1 646	473.2
华山	1 997	880	华 县	341	583.0
庐山	1 164	1 904.5	九 江	32	1 352.0
峨眉山	3 047	1 914.8	峨 眉	447	1 517.7
泰山	1 524	1 108.3	泰 安	130	717.1
黄山(云谷寺)	1 840	2 254.4	太 平	213	1 509.9
天 池	2 670	1 374.2	二道白河	708	709.6

2.2.4 地质、土壤和植被

它们影响着降水量的入渗，决定地下径流的状况和洪水过程线的形状，以及泥沙量的多少和粒径的大小。

石质山区和黏土地区降雨入渗量小，径流系数较大，河流含沙量较少。

岩溶地区，地下水库调蓄作用大，洪水过程较平缓。

黄土地区入渗率大，一般无壤中流，且由于地形破碎，沟壑纵横，有利汇流，故洪水过程较尖瘦，含沙量大。

植被覆盖率高的地区，洪水较平缓，含沙量较小；反之，植被覆盖率低的地区则洪水较尖瘦，含沙量较大。

2.2.5 河网和干流河道情况

它们影响流域汇流。河网密集、汇流集中，有利形成洪水高瘦洪峰；反之，河网稀疏，汇流分散，则有利于形成低胖洪峰。河道宽阔，其槽蓄作用大，洪峰沿程削减较快；反之，河道狭窄，其槽蓄作用小，洪峰沿程削减较慢。

2.3 了解水文气象有关情况

对水文气象的有关情况，除本流域外，对邻近地区的情况也应大致了解一下，以便从面上进行对比分析。了解的内容一般有：气候分区，暴雨洪水情况和径流与泥沙情况。

2.3.1 气候情况

干旱地区降水稀少，蒸发量大，相应径流量也小，而且暴雨/洪水、径流、泥沙年际变化相对大。

湿润地区降水较多，蒸发较小，相应径流量较大，而暴雨/洪水、径流、泥沙的年际变化相对较小。

2.3.2 暴雨洪水情况

主要是暴雨成因及暴雨洪水的时空变化特点。一般以锋面暴雨为主的流域，暴雨洪水的时空分布相对较为均匀，年际变化相对较小；以涡切变暴雨为主的流域，暴雨洪水的时空分布变化相对较大，年际变化也相对较大。

2.2.3 径流和泥沙情况

主要是径流和泥沙的总量、地区来源，年内分配和年际变化情况等。了解这些情况，对考虑工程的战略布局和水库运用方式等有好处。

2.4 了解人类活动情况

人类活动使流域下垫面条件发生改变，对洪水、径流、泥沙和水质的变化情势有重要的影响。在设计洪水，特别是设计来水来沙系列中，需要酌情考虑这些影响。

2.4.1 水利水电工程

对流域内已建、在建和拟建的水利水电工程，对其修建时间、控制面积、调蓄能力、运用方式等，要有所了解。

具有多年调节能力的大型水库，对径流和泥沙的多年的年内分配有重大影响。中小型水库对中小洪水有削减作用，但在特大洪水情况下若垮坝则对下游洪水有增大的作用。

例如，1963年8月海河流域发生的特大暴雨，沙河上快水库的入库最大流量为9 600 m³/s，而最大下泄流量仅1 790 m³/s，削减洪峰81%；中易水安各庄水库入库最大流量为6 350 m³/s，最大下泄量仅499 m³/s，削峰达92%^[11]。而当入库（坝）洪水大于设计标准时，则可能溃坝失事，也就是其影响是负的。例如，1975年8月淮河上游出现特大洪水，导致板桥和石漫滩水库垮坝。板桥水库垮坝最大流量达78 100 m³/s，为入库最大流量13 000 m³/s的6.06倍；石漫滩水库垮坝最大流量达30 000 m³/s，为入库最大流量6 280 m³/s的4.78倍^[12]。

在黄河中游，中小型水库在特大暴雨期间，垮坝率是较高的，见表2.4.1.1。

表 2.4.1.1 黄河中游几次暴雨小型水库垮坝统计^[13]

河名	暴雨名称	暴雨中心雨量(mm)	垮坝数(座)	垮坝率(%)
无定河	1966年7月17日绥德、米脂、横山暴雨	165	444	64
清涧河	1973年7月25日延川暴雨	112	3 330	43
延河	1975年7月6日延长暴雨	108	1 830	30.6
清涧河	1977年7月5日至6日子长暴雨	167	121	30

2.4.2 水土保持措施

梯田、淤地坝、谷坊、水窖、林地、草地等水土保持措施，对洪水、径流、泥沙有显著的影响。对洪水的影响主要表现在以下4个方面：一是增大了土壤入渗量；二是增长了汇流时间；三是增加了拦洪量；四是增加了滞洪作用。一般情况下，结果是洪量减小，洪水过程拉长，但在特大暴雨情况下，治坡治沟的工程措施（梯田、淤地坝、谷坊）的作用可能为负（冲垮）。

总的说来，水土保持措施对中小洪水的水沙影响较大，而对大洪水，特别是很稀遇的洪水（例如百年一遇以上的洪水）影响一般较小。在实际工作中，需要针对具体情况作具体分析。

2.4.3 其他措施

重要的城镇和厂矿建设，大规模公路和铁路建设，都会对小流域的水文情势有相当的影响。

例如城市化，由于人口集中和工业发展，因此，造成用水量及排污量成倍增长，地下径流量锐减，水质严重恶化。铺砌不透水面积的扩大和兴建排水管网，完善排水系统，改变了雨洪的产流汇流体系，这直接影响雨洪的形成过程，增大了洪水总量，加快了汇流速

度，使洪峰增高和峰现时间提前。北京市 3 次洪水的情况，见表 2.4.3.1^[9]。

表 2.4.3.1 北京市乐家花园站三次洪水实测雨量和洪峰流量

日期 (年·月·日)	降雨量 (mm)	最大 1 小时雨量 (mm)	洪峰流量 (m ³ /s)	城区面积	
				(km ²)	施测年份(年)
1959.8.6	103.3	39.4	202	100	1949
1963.8.8	107.7	42.3	193	220.8	1959
1983.8.4	97.3	38.4	398	371.0	1983

大型矿山建设，在初期会使水土流失加大。据张胜利研究，黄河中游窟野河上游由于 1986 年进行大型煤矿建设，致使王道恒塔站 1987 ~ 1991 年连续 5 年的瞬时最大含沙量均超过 1 000kg/m³，而相应的洪水却不大。

参 考 文 献

- 1 国家技术监督局，中华人民共和国建设部，中华人民共和国国家标准《防洪标准》GB50201 - 94. 北京：中国计划出版社，1994
- 2 中华人民共和国水利部，能源部，水利水电工程设计洪水计算规范，北京：水利电力出版社，1993
- 3 中华人民共和国水利部，水利水电工程水文计算规范，北京：中国水利水电出版社，2001
- 4 中华人民共和国行业标准《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL252 - 2000. 北京：中国水利水电出版社，2000
- 5 中华人民共和国电力行业标准《水利水电工程初步设计报告编制规程》DL5021 - 93 北京：水利电力出版社，1993
- 6 中华人民共和国电力行业标准《水利水电工程可行性研究报告编制规程》DL5020 - 93. 北京：水利电力出版社，1993
- 7 中华人民共和国标准《江河流域规划编制规范》SL201 - 97. 北京：中国水利水电出版社，1997
- 8 中华人民共和国行业标准《水利工程水利计算规范》SL104 - 95. 中国水利水电出版社，1996
- 9 王维第 朱元铎 王锐琛，水电站工程水文，南京：河海大学出版社，1995
- 10 水利电力部水文局中国水资源评价北京：水利电力出版社，1987
- 11 胡明思 骆承政，中国历史大洪水（上卷），北京：中国书店，1989
- 12 胡明思 骆承政，中国历史大洪水（下卷），北京：中国书店，1992
- 13 叶青超，黄河流域环境演变与水沙运行规律研究，济南：山东科学技术出版社，1994

3 评价的内容

3.1 基本资料

基本资料是分析计算的基础，必须给予足够的重视，万万不可粗心大意。

水文分析计算所依据的基本资料，包括水文（水位、流量、含沙量、地下水等）、气象（降水量、蒸发量、气温、天气图、风速风向、气压、湿度等）地形（地形图、集水面积、河道长度、河道比降、断面、库容曲线等）人类活动（水土保持措施、中小型水库灌溉、引水调水等）及水质等诸方面。

欲使计算成果合理，不同的计算内容对基本资料的要求有一些差别。例如：

对于水文频率计算而言，基本资料系列必须满足可靠性、一致性、代表性、随机性、独立性。

对于其他任何计算，基本资料都必须具备可靠性。

对于水库和河道的冲淤计算，设计来水来沙系列必须具有代表性。对于河道回水计算、溃坝洪水演算，所选断面对计算河段应有代表性。流域平均雨量计算，所取雨量站应有代表性。

对于水文要素长期变化趋势的分析研究，其资料的基础必须具有一致性。

3.1.1 可靠性

资料是基础，故必须具有足够的可靠性。所谓可靠性就是资料数据应满足适用精度。

中国在工程实践中，由于基本资料不可靠，吃的苦头是不少的。

例如，黄河天桥水电站，1968年在初步设计中，设计洪水计算采用历史调查洪水适当留有余地的原则，根据1945年的历史调查洪水 $10\,500\text{m}^3/\text{s}$ ，将设计洪水定为 $12\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。1970年作技施设计时，按水电部批示，把设计洪水提高定为 $13\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。1972年在进行设计洪水复核时，发现1945年历史调查洪水的洪痕测低了 0.9m ，经修正后洪峰加大为 $13\,000\text{m}^3/\text{s}$ ，考虑适当留有余地，设计洪水按加大 20% 计，则为 $15\,600\text{m}^3/\text{s}$ ，恰相当于复核后的频率洪水百年一遇的数值。而此时该工程施工已过半，主要建筑物已定型，泄洪规模不便扩大，泄洪闸泄洪能力达不到下泄 $15\,600\text{m}^3/\text{s}$ 流量，从而使天桥水库成了险库^①。迄今，问题尚未彻底解决。

又如，辽宁大风口水库1959年垮坝，广东马山湖水库1960年垮坝。这两座水库都是采用暴雨推算的设计洪水。事后分析其垮坝原因，集水面积偏小是主要原因之一，前者

① 水利水电科学研究院水资源所，设计洪水经验汇编（大中型水利水电工程设计洪水计算综合性总结），1982

偏小 24%，后者偏小 41%^①。

我国现行水文计算规范规定，在水利水电工程的规划设计中，首先要对水文基本资料进行必要的审查、复核，就是要求首先要解决资料的可靠性问题。

在审查、复核时，重点要放在大水年和小水年。要注意了解水尺位置、零点高程、水准基面的变动，水位、流量观测情况，比降、糙率、浮标系数的采用，断面的冲淤变化，水位流量关系曲线的定线和高水延长方法等。可通过历年水位流量关系曲线的比较（特别是高水部分），上下游、干支流的水量平衡，水位、流量过程线的对照，降雨径流关系的分析等进行审查。

现将有关单位在水文资料复核中所发现的一些实际问题，简介如下：

(1) 水位。四川大渡河龚嘴工程，原实测的 1960 年最大流量为 $9\,440\text{m}^3/\text{s}$ ，经过复查，发现 1960 年最高水位因水尺附近支沟山洪的影响，观测的水位偏高，经分析后将流量改为 $8\,870\text{m}^3/\text{s}$ ，即原数偏大 6.4%^①。

四川龙溪河狮子滩工程，原设计使用的实测资料在 1964 年水库水文检查复核时，对 1937 年和 1940~1942 年漏测洪峰水位问题，通过上下游站复式相关作了改正。其中 1937 年的最大流量由 $1\,500\text{m}^3/\text{s}$ 改为 $2\,460\text{m}^3/\text{s}$ ，改大 64%^①。

黄河陕县站，1942 年洪水实测最高水位为 299.66m，比 1933 年最高洪水位 299.14m 高 0.52m。原推算洪峰流量为 $29\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。在 20 世纪 50 年代初期，黄河下游的防洪安排即以此数为准。1953 年通过野外调查，发现陕县上下游各站都是 1933 年洪水位比 1942 年高，相差约 0.5m。最后根据调查资料，将 1942 年最高洪水位修正为 298.66m，比原实测值降低 1m（实测偏高的原因是：1942 年是抗日战争时期，当年黄河发大水时日寇正驻在陕县水文站的对岸，测站职工不敢到河边看水尺，而是用经纬仪远距离观测水位，把水尺错读了 1m）。最大洪峰流量修正为 $17\,700\text{m}^3/\text{s}$ ，即原定值偏大了 63.8%。

(2) 比降。东北牡丹江长江屯站 1932 年的洪水，在 1953 年调查时，用 1951 年水面比降 $1/7\,300$ 计算的流量为 $6\,786\text{m}^3/\text{s}$ ；1957 年又根据 1956 年的比降 $3.1‰$ 将流量变为 $10\,700\text{m}^3/\text{s}$ ；1963 年根据洪水调查，参考 1960 年洪水重新计算，结果流量达到 $11\,300\text{m}^3/\text{s}$ 。实际上，它的洪水位变化不大，而流量却增大了 66.5%^①。

嘉陵江上游的谈家庄河段，1954 年调查时发现 1898 年的特大洪水，但只有一个洪痕点，当时参照枯水水面线绘制洪水水面线，求得该年洪水比降为 $30‰$ 。1981 年 8 月出现特大洪水，最高水位略超过 1898 年，所测得实际比降仅 $0.6‰$ 。二者相比，前者是后者的 50 倍^①！

(3) 糙率。黑龙江音河水库的 1932 年洪水，在 1961 年调查时，水位为 192.94m，比降为 $1/600$ ，糙率主槽取为 0.033，滩地为 0.08，算出流量为 $1\,600\text{m}^3/\text{s}$ 。1978 年复查水位为 192.75m，比降为 $1/580$ ，糙率主槽为 0.04，滩地为 0.133，算出流量为 $880\text{m}^3/\text{s}$ 。虽然两次调查的水位、比降相差不大，只是糙率相差较大，但却使流量减小了约 45%^①。

(4) 浮标系数。贵州乌江渡电站，1959 年以前的洪水计算，浮标系数均采用 0.85，后经比测检验确定为 0.90~0.995，使 1955 年的实测最大流量由 $8\,670\text{m}^3/\text{s}$ 增大为 $10\,100$

① 水利水电科学研究院水资源所，设计洪水经验汇编（大中型水利水电工程设计洪水计算综合性总结），1982