



[苏] B·A·基京柯

Б·Б 巴谢夫

吴铭汉 译 陈家远 校

径流调节 分析计算法

成都科技大学出版社

译者的话

我国的径流调节理论和方法，基本上是学习苏联学者的经验和成果而建立起来的，并且一直延用至今，在七十年代以来，苏联在这方面又有了较大的发展，尤其是在径流多年调节计算方面。

本书所论述的径流调节分析计算方法就是径流调节理论发展的成就之一，苏联科学院III. B. 邱金院士对本书给以很高的评价，认为它是对水能及水利计算的发展作出了很大的贡献，填补了高度径流多年调节计算方面的空白。作者在书中给出了各种调节情况下的数学方程式，计算过程具有数学理论上严密，计算上迅捷，避免了大量的中间迭代计算，可以直接求得所需的结果，可以连续求解，能适用于任何库容 $\beta \geq 0.5$ 条件的计算等特点。分析方法还具有容易编制程序利用电子计算机计算的优点，书中给出了大量实例及工程方法便于在实际工程设计中应用。本书的不足之处在于方法中未能摆脱多年调节库容 $V_{\text{多}}$ 和年调节库容 $V_{\text{年}}$ 人为割裂分别确定的缺点，不能直接给出总有效库容（雪源河流除外）。但本书仍不失其重要的科学价值。

为了适应和推动我国的水利电力事业的发展和水资源的开发利用，以及径流调节理论和方法的研究及发展，译者认为有必要把这本书推荐给读者。由于水平有限，译文难免有错误之处，敬请广大读者指正。

译者

前 言

本书是河川径流调节理论分析方法的研究专著，基本上概括了科学技术博士B. A. 基京柯多年来的著作，为水能及水利计算的发展作出了很大的贡献。

随着国家水利事业的发展已修建了一些大型的水利工程，其中包括河川径流多年调节程度很高的水库，而确定水库的设计和状态参数仍然是需要深入解决的任务。无疑，作者所研究的计算方法，填补了水利计算领域里的这个空白。

书中提出的分析方法是基于径流过程的随机特性概念的，众所周知，径流过程的描述需要应用随机过程理论和概率微分方程理论等数学工具。发展径流调节程度低的和高的多年调节分析方法理论是重要的，它所导出的积分方程式，能够依据一定的径流随机特征值和调节规则绘制出调节流量、水库蓄水量和水库运行的其他变动状态的随机特性曲线来。

已有的研究基本上只涉及低程度的径流调节，其多年调节库容小于或等于年供水量 α ，如果 β 超过 α 几倍，对于年径流变差系数大的地区便不可能应用这些成果进行计算。

书中介绍了各种供水方式，如固定和变动的年供水量，以及考虑蒸发及渗漏损失的计算方法。

对于各种调节程度的径流调节以及考虑相邻年水量间的相关情况，根据积分计算中值定理绘制水利特征曲线的分析方法的简化法，既简单又有较高精度（与精确方法比较，其计算误差出现在小数点后第三位）。这些方法可用于初步设计阶段。

应高度评价水库供水量依年终蓄水而变动的综合计算方法，以及具有两种供水保证率的计算方法，有关计算已绘成诺模图。

应该指出，专著所引用的径流调节计算方法只能确定设计水库的多年调节库容，其中如果河流为雪水补给，用这个方法也可计算出水利枢纽的全部有效容积，这是因为几乎全年的水量都来自短暂的汛期，即几乎不存在径流年内的不均匀性。

水库总有效库容按季库容和多年库容分别确定，给严格的计算方法引入了主观的因素，因为季库容不是用径流的随机概念的方法确定的。

事实上，水库供水量在年和年际是变动的数值。更明确地说，它表现在天然湿润不稳定的区域，而发电和灌溉水库主要建造在这样的地方。灌区的年灌溉水量取决于年降水量，特枯水年达到最大值，丰水年有一最小值。因此，供水量在年与年之间得到的是不同的数值（在最大值和最小值之间），形成一个连续序列，它的每个数值由水文、地理条件及区域气候而定，这些因素都具有随机特性，也即是说水库的供水量应作为随机数值来研究，而它的变动情况则应视为一个随机过程。因而，水利计算应以这个概念为基础。在专著中提出了径流调节的积分方程式。作者的研究虽然带有方法的特征，但却具有科学的及实际的重要意义。

应该指出，作者建议的方法附有算法的细节，并给出了在实际设计中可供使用的工程方法。因此河川径流调节分析计算法的数值解法值得注意。

哈萨克苏维埃共和国科学院院士

Ш. Ү. 邱金

结 论

国民经济和文化的迅猛发展，预示着国家各部门对水的需求不断增长，其中不只是总供水量的增加，还要求保证严格的供水过程。苏共第25届代表大会的决议指出，国家水利事业的发展方向将是修建大型的水利枢纽建筑物，其中包括具有较高径流多年调节能力的水库。

这项措施对国家的干旱地区是必要的，尤其是哈萨克斯坦平原。河流水资源普遍的局限性和很高的径流变差，一方面是对供水状况和可靠性的苛刻要求，另一方面是被迫必需修建大大超过多年正常径流量的大容积的水库，因为大多数雪水补给河流全年年径流量发生在短暂的春汛，并且有相当大的变差系数（见表1）。

在水库运行情况下它的季库容发挥着重要作用，而多年库容，众所周知是在假定径流年内均匀的概念下确定的，如果在一年内供水分配也是均匀的，则季库容就没有必要了（见图1.a）。

在实际情况中，供水也像径流一样年内分配不均，因此在计算程序中必需考虑。水库季库容的作用实际上与季调节水库库容的作用是有区别的。季调节水库的库容是唯一可用以完全或部分地调节枯水年的径流变差的。在径流多年调节情况下，这种作用则由多年库容和季库容共同来承担，这些库容在计算中仅仅假想地划分开。正如C.H.克里茨基和M.Φ.曼开里所指出的：“……因此季库容应该选择得使整个水库

的泄空概率与水库设计保证率相一致”。如果依据径流调节程度相应的枯水期水量确定季库容，在单独确定水库有效库容的计算方法中这个条件是可以满足的。

应该指出，年内供水分配的不均匀性，仅影响水库的季库容，它对多年调节库容的大小完全没有影响。

水库的季库容通常通过对供水量和设计枯水期径流量累积曲线的比较确定。例如雪源河流的枯水期径流量接近于零，其中包括哈萨克斯坦中部的河流（见表1）。由相应时期需水累积曲线的最大纵标，即可确定出所求的库容。如果汛期也使其等于零，则季库容就等于水库的全年供水量，即 $\beta_{\dots} = \alpha$ （图16）。

表1 哈萨克河流的春汛径流

河 流	观 测 地 点	多年平均径流 (mm)		春汛径流 占年径流 %	变差 系数
		春汛	年		
努腊河	谢尔盖包里斯基站	15	16.4	91.4	0.97
努腊河	罗蒙诺夫卡站	11	13.1	84.0	1.0
依施姆河	阿克姆林斯基市	26	29.6	87.9	0.88
依姆施河	彼得罗巴甫洛夫斯克市	13	16.	81.3	1.01
撒莱—苏河	卡拉热尔	3	3.5	85.8	1.45
肯格尔河	肯格尔站	8	8.8	90.9	1.01
托博尔河	古斯塔内衣站	14	16.4	85.3	1.09
伊列克河	阿克丘平斯基站	38	50	76.1	0.76

可见，季库容理论上可以在零（在径流和供水年内均匀情况下）与等于全年保证供水量（在全年的径流量发生在极短的汛期 $\eta=0$ 的情况下）之间变化。因而，多年库容不论其有无季库容都可以按统一的程序来确定，它的基础是年水

量平衡。对雪源河流这里所用的计算方法可以作为整体确定出水库的总有效库容。这时在所有的方程和公式中多年库容参数 β 所指的是同样的数值 $\beta \Sigma - \alpha$ 。

C. H. 克里茨基、M. Ф. 曼开里、И. И. 邱金、H. A. 卡特维里斯维里、Г. Г. 斯瓦尼采、Я. Ф. 普列什柯夫等的著作大大地丰富了河川径流调节计算的理论和工程实践宝库。

极其重视综合方法的研究和采用基于把河川径流的变化作为随机过程概念的新方法。

分析当代径流多年调节计算理论的情况表明，这些理论的分析解具有较大的发展前景。除了理论上的严密性和能给出连续解之外 它们完全排除了中间迭代计算，这是很多近似计算方法所固有的。分析方法的算法具有很多相同的特点，并且很容易编制程序和用电子计算机进行计算。

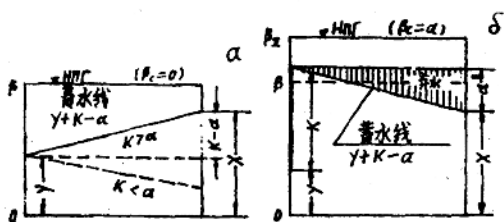


图1. 径流多年调节水库季库容计算图， a ——年径流和供水年内分配均匀分配情况； δ ——年径流集中在短暂汛期，年内供水分布均匀情况。

径流调节的积分方程可由C. H. 克里茨基和M. Ф. 曼开

里的方法，以及独立地运用全概率公式，水库年水量平衡方程式和概化函数理论的数学方法推导出来。

本专著对于单独确定水库的多年库容及其有关调节参数的方法具有典型意义，即它的基本方法的建立，以及方程式和计算公式对不同水文区域均可应用。水库总有效库容作为单一参数确定，只能限于干旱的地区，在这些地区全年的径流集中在特别短的供水季节。

书中第一部分提出了水库供水量固定条件下径流调节程度低的和高的两种情况的分析计算方法，在此基础上得出了确定水库任何库容的综合结论。

考虑水库蒸发和渗漏水量损失的径流多年调节综合计算方法，可以在给定的净供水量条件下进行计算，这样确定出的是获得实际耗水量的供水保证率，而不是虚假的毛供水量的保证率。净供水量的数值可以是固定的，也可以是变动的。

由于在计算方法的建立中考虑相邻年径流间相关关系特别复杂，在著作中提出了确定水库总的水利特征值的简化方法，此方法相当简便，适于各种精度要求，能确定出水库多年运行情况下所有要求的特征值。

在书的第二部分所研究的低、高两种径流调节程度计算方案中，提出了年供水量随水库年初和年末蓄水量而变动情况下的分析计算方法，使可能大大提高调节供水量。计算方法达到了工程应用的程度，绘制了计算诺模图。

具有两个不同保证供水量要求的径流多年调节计算方法，在有两种开发目标的水库规划设计和运行中特别有用。和供水保证率相同水平的其他计算方法比较，它可以提高水

库的总供水量达20~25%。计算方法也已诺模图化。

变动供水的径流多年调节计算方法具有更大的理论意义，其中年供水量是作为随机变量，而它的变化情况是作为随机过程来研究的。除此之外，所有方法都有具体的有插图的计算实例。该方法运用了线性代数方程来表示径流调节积分方程式，它的解在现代电子计算机上是不难求得的。已经编制出这种计算方法的求解程序。

与此同时，Э.Н.奥希洛夫研究并绘制了径流多年调节不足供水和水库弃水保证率曲线图。

И.И.马里柯夫斯基深入研究了在水库计算中考虑相邻年水量间相关关系的变动供水诺模图。

作者对科学技术副博士И.В.普卡拉也夫审阅手稿，并提出了宝贵意见表示深切地感谢。

对负责本书装订工作的А.Ж.阿卡托夫，А.Г.阿普哈康诺夫、З.С.塔阳诺夫、С.苏丹卡里也夫，作者也十分感激。

特别感谢哈萨克苏维埃共和国科学院院士И.Ч.邱金亲自担负校阅本书所作的巨大劳动，并对本书的书写提出了有益的建议。

译者的话
前言
绪论

目 录

第 一 篇

水库固定供水时的径流多年调节分析算法 …	(1)
第 1.1 章 径流多年调节计算的现行方 法及其发展趋势 ……………	(1)
1. 基本原理 ……………	(1)
2. 基于河川径流天然模型的计算方法 ……	(2)
3. 基于径流数学模型的计算方法 ……………	(3)
4. 径流多年调节计算方法的主要发展 趋向 ……………	(7)
第 1.2 章 调节程度低的径流多年调节分析 计算法 ……………	(9)
1. 无条件蓄水保证率函数 ……………	(10)
2. 缺水与弃水保证率函数的积分关系 式 ……………	(19)
3. 径流调节分析法的数值解 ……………	(23)
第 1.3 章 调节程度高的径流多年调节分析 计算法 ……………	(34)

1. 蓄水保证率函数	(34)
2. 缺水保证率函数	(46)
3. 弃水保证率函数	(49)
4. 分析法数值解法的特点	(50)
第 1.4 章 径流多年调节分析计算法的总结	(51)
1. 蓄水保证率函数	(51)
2. 缺水保证率函数	(56)
3. 弃水保证率函数	(57)
第 1.5 章 径流多年调节计算中相邻年水量 相关关系的考虑	(65)
1. 问题的提出	(65)
2. 考虑相关关系的水库蓄水概率分布 函数的建立	(67)
3. 水库综合水利特征曲线的绘制	(70)
第 1.6 章 考虑水库水量损失的径流多年调 节计算综合法	(79)
1. 基本原理和计算方法	(79)
2. 分析计算方法	(82)
3. 分析法的数值解	(91)
第 1.7 章 水库综合水利特征曲线分析计算 法的简化法	(93)
1. 问题的提出	(93)
2. 调节程度低的径流多年调节计算方 法	(94)
3. 高度径流调节时的计算方法	(97)
4. 弃水和缺水保证率曲线的绘制	(101)

第 二 篇

水库年供水量变动情况下的河川径流多年调

节分析算法 (103)

第 2.1 章 供水量依水库年初蓄水量而变的

径流调节计算综合法 (103)

1. 调节程度低的径流多年调节 (104)

2. 调节程度高的径流多年调节 (110)

3. 任何库容情况时的综合算法 (117)

第 2.2 章 供水量随水库年末蓄水量而变的

径流调节计算方法 (129)

1. 调节程度低的径流多年调节计算 (130)

2. 调节程度高的径流多年调节计算 (133)

3. 数值解法的特点 (142)

4. 计算方法的诺模图 (143)

第 2.3 章 两个不同保证率需水部门的水库

水利特征曲线绘制的综合法 ... (151)

1. 水库蓄水保证率函数 (153)

2. 缺水和弃水保证率函数 (172)

3. 数值解法的特点 (184)

4. 计算诺模图 (188)

第 2.4 章 水库随机供水情况下的低径流多

年调节分析算法 (196)

1. 计算径流量与水利综合需水量的概

率分布函数 (197)

2. 径流调节积分方程	(202)
第2.5章 运用电子计算机进行径流多年调 节计算	(207)
1. 无条件蓄水保证率曲线积分方程组 的求解程序	(207)
2. 用电子计算机绘制无条件蓄水保证 率曲线计算方法的通用方案	(211)
结束语	(215)

第一篇 水库固定供水时的

径流多年调节分析计算法

第 1.1 章 径流多年调节计

算的现行方法及其发展趋势

1. 基本原基

径流多年调节计算方法是依据人们关于年(月、日等)径流量形成规律的认识而发展起来的。

最初,人们把年水量作为随机变量加以研究,依据这个概念,径流调节理论在随机事件、随后是随机序列的水平上进行了详细研究,当时对序列元素之间的相关关系通常是没有考虑的。

随后,基于现代对河川径流变化的认识水平,便在随机过程的理论基础上进行研究,随机过程理论在水文学中提出要早些,这些概念被归结为水文特征值序列的概率概念,其中包括年径流。

应当指出,河川径流是连续的非平稳随机过程,数学上是用随机函数理论来对它加以描述的,由于对非平稳过程的理论研究不足,因而便把它通过这种或那种方法(滑动平均值法、众值理论方法、变换时间等)转变成平稳的问题(连续的和时间离散的),在调节综合法中则利用径流的统计特

征值及其它的概率关系曲线（保证率曲线）。

关于年径流量的概率分布，Н. А. 卡特维里斯维里 等的研究中，都把年径流量假定为未受人类经济活动影响的天然径流。

年径流量的变化状态被认为是周期为一年的各态历经过程和过程(Эргодический Гармонизированный Процесс) 更确切地说，即时间离散的平稳随机过程，它存在固有的各态历经特性，即它的过程现实的均值与样本现实对时间的均值相一致。这样，我们就有可能应用在水利计算中已大量使用的马尔可夫理论，特别是在径流过程呈现马尔可夫特性情况下，我们所研究的多年调节计算方法能够确定出位于雪源河流上的水库的整个有效库容（作为单一参数计算和不考虑相邻年水量间的相关关系两种情况）。

作者考察了现有单一水库的径流调节计算方法，依据对原始水文资料利用途径的不同，把计算方法划分为利用径流变化状况的天然模型方法和基于径流过程的数学(随机)模型方法。这两种有成效的方法都是应用概率与数理统计，以及气象物理的严格的理论方法。

2. 基于河川径流天然模型的计算方法

所有河川径流调节计算方法的实质在于进行来水和用水过程的比较，这种比较可通过表格或累积曲线进行，依据计算精度要求不用，可采用年、月或旬的径流量计算。

累积曲线法可考虑计算时期内来水和用水过程的所有特性，其中包括河川径流的年内和年际变化，以及它们的内部联系，其主要缺点是用过去历年观测的水文系列，作为未来

的径流情态是没有根据的。这种移用不符合实际情况，因为所依据的自然状况水文过程是不重复的。用过去的实测径流系列计算，而没有综合的手段加以检验是不可靠的，因为无论哪个实测系列（即使是资料很长的），不可能包括各种可能的径流量序列组合。

有些科学家证明了这种见解的正确性，并指出，这些方法仅是蒙特—卡洛统计法的一种不同作法，并且是很不完善的，因为由观测资料所获得的径流过程，被毫无根据地当作为随机过程的现实。

另一途经——统计法，它是在实际发生的（已有的）径流过程基础上，把这个径流过程作为样本通过加工而获得径流变化的综合特性曲线，利用蒙特—卡洛方法可以达到这个目的。

用模拟水文系列（径流过程样本）的方法，可以模拟任何长度的人工径流过程的样本，虽然这样能较全面地反映出各种不同水量时期的各种形式的组合，但并不能使原始系列（一般是有限的）的参数更精确。

3. 基于径流数学模型的计算方法

A. 哈桑首先在调节计算中应用概率和数理统计方法，但存在一个错误的假定（无限库容），由此导致供水保证率的计算结果不正确。II. 萨特列尔纠正了这个错误，但因模拟方法不能保证样本元素之间的独立性，阻碍了它的广泛推广。

径流多年调节计算方法在苏联得到了发展，Г. II. 依万诺夫克服了桑哈的错误，利用18条河流、观测系列达1000年

的资料，通过径流资料的统计分析，绘制出了水库多年调节库容计算用的图和曲线。到六十年代， $\Pi. M.$ 玛玛特摩诺夫和 $\Pi. \Pi.$ 特鲁仁宁又依据27条河流总序列约1800年的径流资料，绘出了类似的更完善的计算图。

与上述研究不同， $C. H.$ 克里茨基和 $M. \Phi.$ 曼开里在更高的理论基础上解决了这个问题，最早的方法(1932年)应用在顿巴斯和其他工程的供水计算中，但不很满意。尽管在理论上还不很严密，但对调节理论的发展起到了良好的作用，引出了大量的新的计算方法和建议。例如 $\Pi. A.$ 叶菲莫维奇考虑了相邻年水量之间的相关关系，以及 $C. \Pi.$ 雷布京的计算诺模图等。

以上构成了苏联径流调节理论发展的最初阶段，有两个不同的重要时期：直接分析径流概率分布为基础的径流调节计算，以及建立确定水库重要状态特征值之一与它的连续工作保证率的关系的综合方法，它为深入研究更完善的径流多年调节计算方法打下了基础。

在1935年克里茨基和曼开里提出了《…水库蓄水特征组选择法》的新方法。如果已知某个时刻 t_1 的水库蓄水量和 t_2-t_1 时段的来水量，则任何时刻 t_2 的水库蓄水量在给定用水量 α 条件下即可进行计算。

数学方法在于根据给定的部份保证率曲线，也即 t_2-t_1 时段的径流和 t_1 时刻的水库蓄水量，建立总的(t_2 时刻的水库蓄水)保证率曲线，计算直到所求的水库蓄水保证率曲线稳定为止。

$\bar{A}. \Phi.$ 普列什可夫、 $A. \Pi.$ 萨瓦林斯基和雷布京不仅研究了供水破坏的问题，并进一步研究了水库的蓄水、弃水问