



提要：本文原为水利水电工程水文计算规范（SDJ214—83）的附录——主要内容为还原计算的准备工作，还原计算的方法包括分项调查法、降雨径流模式法和蒸发差值法及还原成果的合理性检查。

第一章 概 述

本附录主要介绍山丘区、大中型水利水电工程水文计算中实测径流系列还原计算。

目前，设计年径流的分析和计算，一般采用数理统计的方法。应用数理统计法，要求径流系列应具有一致性和代表性。对一致性而言，要求在资料统计年份内，影响径流的气候因素、下垫面因素和水利水电工程的影响不发生显著变化。在几十年短时期内，气候变化一般是不显著的。但是人类经济活动，尤其是我国五十年代后期及其以后的大规模水利水电工程建设，在山丘区，除了重点水土保持地区、大片森林破坏地区外，人类活动对径流的影响主要是农业灌溉耗水量、水库调蓄影响、跨流域引水量、城镇、工业、生活耗水量等，各年变化不同，且没有包括在测站的实测径流内。因而各年实测径流资料是基础不一致的条件下取得的。这些资料原则上不能直接应用数理统计的方法进行分析。所以有必要把受不同程度的人类活动影响的径流资料，通过还原计算达到具有一致性。

从水资源合理规划的要求出发，本规范规定受人类活动影响的资料应还原到天然状态。所谓“天然状态”，可以理解为流域内没有受到水利措施、水电工程等人类活动影响的径流量和径流过程。因此在需要还原的年份，原则上有多少影响水量就还原多少。

影响径流变化的人类活动措施很多，主要还原项目为：

标书人才网 job.biaoshu.com 建造师、造价师（与“标书”相关的工作免费介绍）

- （1）农业灌溉用水的净耗水量；
- （2）跨流域引出（或引入）和分洪决口水量；
- （3）设计站以上大中型水库蓄水变量；
- （4）工业和生活用水的净耗水量。

一般情况下，农业灌溉用水的净耗水量是还原计算最主要的项目，应详细计算。跨流域引出水量，为直接还原水量，即引出多少还原多少。兴建水库之后，库区蒸发由原来的陆面蒸发变为水面蒸发，增加蒸发损失。这部分损失水量，在我国南方湿润地区，由于水面和陆面的蒸发差值不大，可以略去不计。但在我国北方干旱地区，这个项目是不能忽略的。

第二章 还原计算的准备工作

还原计算前应认真做好流域基本资料的调查、整理和合理性分析，使计算建立在可靠的基础上^[8]。具体要求如下：

第一节 基本资料的调查和搜集

一、流域自然地理概况



动对径流影响有密切关系的一部分。主要内容有：
地貌类型，对估计人类活动的发展趋势有很大意义。查清土壤种类、分布和入渗的关系，有助于采用计算指标的确定。例如灌溉回归系数、粘土和砂土的差别是很大的。流域植被情况的调查，可概略地了解入渗、蒸发、地表和地下径流等特性。

二、水文气象资料

搜集设计流域和邻近流域的实测径流（包括水库蓄泄过程、跨流域引出、引入水量等）、降雨、蒸发、气温、日照、云量等水文气象资料。并注意了解其测验精度、站网分布及其存在问题和面代表性。

三、人类活动措施的内容和数量

人类活动措施的内容，主要有土地利用措施和水利措施。这些措施对径流具有不同程度的调蓄作用，将改变径流的天然状态，是研究人类活动对径流影响所必需的基本资料。土地利用情况和措施的调查项目有：各县总面积和旱地、水田、森林、荒地等面积及其所占总面积的百分数。还要调查各县的总人口和牲畜头数。水利措施方面的调查项目，分为蓄水工程和引提水工程两类。蓄水工程有大、中、小型水库和塘堰的集水面积、水面面积、总库容、有效库容、建成时间、灌区位置和灌区面积等。引提水工程包括引提水地点、引提水时间、引提水量、建成时间及相应的灌溉面积等。调查这两类措施的数量要注意下面两点，一是调查和搜集有径流资料以来的蓄、引、提水量及其相应灌溉面积的逐年变化情况，以便计算逐年的还原水量。二是要查清这些蓄、引、提水量是否跨流域引水及其引水时间。

四、还原计算指标

还原计算指标有：作物需水量或灌溉定额、有效雨量、渠系利用系数、灌溉回归系数、水库山塘的复蓄系数等。这些资料可向实验站等部门搜集。作物需水量和灌溉定额至少要调查丰、平、枯三个典型年的资料，并注意区分毛定额或净定额。回归系数应注意区分灌区回归系数、灌溉回归系数和田间回归系数。

第二节 基本资料的整理

一、资料整理的要求

对于调查资料，一般要求边调查边分析整理，以便发现问题就地复查解决，避免返回复查。

还原计算要求按流域为单元进行，行政区划与流域往往不一致，因此应把按行政区划调查的资料换算为按流域划分的资料。

还原计算所需要的资料，要搜集齐全。发现有缺项时，应尽可能在调查地点根据实际情况加以估算。

二、资料的合理性检查

资料的合理性检查，可参照下列各点进行；耕地面积应抽样核实；各分类面积之和应与流域总



量一般应多于平原地区；蓄、引、提工程的数量应与
 具有一定的规律性，发现突变现象要分析原因，并
 与有关部门进一步核对。

第三章 还原计算的方法

选择还原计算方法，要根据精度要求和资料条件而定。同时要考虑还原计算程序简单、工作量
 少、且计算精度符合要求。在可能的条件下，应采用多种方法，以便通过综合分析、比较，选定适
 合设计流域实际情况的方法。

第一节 分项调查法

分项调查法是还原计算的基本方法。当社会设计资料比较充分，各项人类活动措施和指标比较
 落实时，能获得较满意的结果。该方法的优点是概念明确，能充分利用调查资料，分析成果定性准
 确，可以划分为不同措施的不同影响。不足之处是社会调查工作量较大，常有统计数字不落实以及
 单项指标任意性较大等情况。

从还原到天然状态的概念出发，各年天然径流、实测径流与还原水量间的水量平衡方程式为

$$W_{\text{天然}} = W_{\text{实测}} + W_{\text{还原}} \quad (1)$$

$$W_{\text{还原}} = W_{\text{农}} + W_{\text{引}} + W_{\text{蒸}} + W_{\text{蓄}} + W_{\text{工}} + W_{\text{渗}} \quad (2)$$

式中：W_{天然}——还原后的天然径流量（万 m³）；

W_{实测}——实测径流量（万 m³）；

[标书网](http://biaoshu.com) [人才网](http://job.biaoshu.com) [建造师、造价师](http://job.biaoshu.com)（与“标书”相关的工作免费介绍）

W_{还原}——还原总水量（万 m³）；

W_农——农业灌溉净耗水量（万 m³）；

W_引——跨流域引出（或引入）、分洪决口水量（引出为正，引入为负）（万 m³）；

W_蒸——水面面积扩大增加的耗水量（万 m³）；

W_蓄——蓄水工程的蓄水变量（增加为正，减少为负）（万 m³）；

W_工——工业和生活净耗水量（万 m³）；

W_渗——水库渗漏量（万 m³）。

根据调查资料的情况和对还原计算的不同要求，采用总量还原法或过程还原法。当调查资料齐
 全，还原计算要求较高，需要分汛期、非汛期或逐月逐旬还原时，可用过程还原法；仅要求还原年
 总量，则用总量还原法。

一、总量还原法

首先根据（2）式分别求出各分项年还原水量，然后按（1）式计算天然径流量。

1、农业灌溉净耗水量

当具有实测或调查的渠首引水总量资料时，农业灌溉净耗水量可由下式计算：

W_农——农业灌溉净耗水量（万 m³）；

W_毛——灌区渠首引水总量（万 m³）；

φ₁——灌溉回归系数，即灌区地表废泄损失水量、渗漏量之和与渠首引水总量之比值。

值得注意的是，灌溉回归系数有别于灌区回归系数。灌区回归系数是地表废泄损失水量、地下渗漏量、灌溉引水期间当地径流量三者之和与渠首引水总量之比值。一般大灌区回归水量都是包括当地径流量在内的。灌区回归系数的数值要比灌溉回归系数大（表 1）。当仅有灌区回归系数时，应作适当折扣，换算为灌溉回归系数，再用（3）式计算。

表 1 灌 溉 回 归 系 数 参 考 表

地 区	面积 (km ²)	土壤类别	回归系数（%）		
			灌 区	灌 溉	田 间
四川凯江黄水河	114	砂壤、亚粘土	30~38（年） 40~48（枯季）	49	
四川安县白雉秀灌区	14	砂壤土	54		
四川都江堰灌区	8000	砂壤土	43		
陕西泾惠渠灌区	800	中、轻壤土	38		
陕西洛惠渠灌区	390	壤 土	49	35	35
陕西渭惠渠灌区	400	中壤土	53		
宁夏青铜峡灌区	6679	砂 土	42		
内蒙河套灌区					
四川安县安昌试验田				31~32	32~44
江西临川跃进水库					
湖南四个试验站					
广 东					
贵 州				36	20~32
山东临沂四个站					
黑龙江					
甘肃靖会灌区					
吉 林				20~25	15~20
河 南					

当具有试验或调查分析的田间净灌定额和实灌面积资料时，农业灌溉净耗水量可按下式计算：

W_农=W_{净灌}-W_{田回}+W_{渠蒸}..... (4)

式中：W_农——农业灌溉净耗水量（万 m³）；

W_{净灌}——田间灌溉净用水量（万 m³）；

W_{田回}——田间灌溉回归水量（万 m³）；

W_{渠蒸}——灌溉引水过程的渠系蒸发损失量（万 m³）。

我国南方地区，W_{渠蒸}相对较小，可略而不计，但 W_{田回}是一可观数量，不能忽略。因此可采用



$$=MA(1-\phi_2)\times 10^{-4}\cdots\cdots\cdots(5)$$

式中 M——净灌定额 (m³/亩)，采用此定额时要考虑丰、平、枯各典型年的差异；

A——实灌面积 (亩)；

ϕ_2 ——(= $W_{田回} / W_{净灌}$) 田间回归系数，为田间下渗量及其废泄损失水量与净灌水量的比值；

10^{-4} ——单位换算系数。

我国北方地区，蒸发能力较强而田间回归水量较少，通过分析，当 $W_{渠蒸}$ 和 $W_{田回}$ 可互相抵消时，农业灌溉净耗水量可近似地采用下式计算：

$$W_{农}=MA\times 10^{-4}\cdots\cdots\cdots(6)$$

式中符号同前。

2、跨流域引水量

跨流域引水，系指设计站控制断面以上引出和引入的水量。当发现引出或引入水量观测资料不全或缺测时，应根据要求插补出逐年、月（或旬）的引水量资料，以便按需要统计各种时段的还原水量。

从外流域引入的水量，使径流量增加，还原水量为负值。其中用于灌溉的部分，还原水量只计其回归水部分，此时

$$W_{入}=-W_{灌}\phi_1\cdots\cdots\cdots(7)$$

式中 $W_{入}$ ——用于灌溉部分的引入还原水量 (万 m³) (与“标书”相关的工作免费介绍)

$W_{灌}$ ——引入水量中用于灌溉的毛用水量 (万 m³)；

ϕ_1 ——灌溉回归系数。

引入水量中用于其它部分，视回归和损失情况进行还原。 $W_{引}$ 应是各部分还原水量之和。

3、水面面积扩大增加的耗水量

流域内修建的山塘、水池、水库使部分流域面积由陆面变为水面，其蒸发损失也由陆面蒸发变为水面蒸发，增加了蒸发耗水量，其算式为

$$W_{蒸}=\frac{1}{10}(\alpha E_{水}-E_{陆})A_{水}\cdots\cdots\cdots(8)$$

式中： $W_{蒸}$ ——水面面积扩大增加的耗水量 (万 m³)；

$E_{水}$ ——水面蒸发皿蒸发量 (mm)；

α ——水面蒸发折算系数；

$E_{陆}$ ——陆面蒸发量 (mm)；

$A_{水}$ ——增加的水面面积 (km²)；

$\frac{1}{10}$ ——单位换算系数。

陆面蒸发的估算，以采用地区经验公式为宜^{[1][4]}。无经验公式可利用时，可借用降水 (P) 和径



响后的流域其蓄变水量增大，这种代替常会遇到

我国南方地区，陆面蒸发和水面蒸发的差值较小。因此，当增加的水库、山塘水面面积占全流域的比例不大时，可不进行此项估算工作。

4、水库蓄水变量

蓄水工程的蓄水变量对于有实测资料的大中型水库，按计算时段始末的蓄水量确定还原水量：

$$W_{蓄}=V_{末}-V_{初} \dots\dots\dots (9)$$

式中：W_蓄——蓄水工程的蓄水变量（万 m³）；

V_末——时段末水库蓄水量（万 m³）；

V_初——时段初水库蓄水量（万 m³）。

对于没有实测资料的中小型水库，可以分区采用部分水库的实测资料，建立降水量（P）与相对蓄水变量（ΔV/V）的关系图。根据本地蓄水、用水规律，分月或分季求得时段蓄水变量（ΔV），再用兴利库容（V）除之。然后与时段内降水总量（P）建立相关关系。应用此相关线，便可根据时段雨量和兴利库容查得蓄水变量。

5、工业和生活净耗水量

工业和生活用水，有取自地表和地下之别，此处指引用地表水。其算式如下：

$$W_{工}=W_0(1-\phi_2) \dots\dots\dots (10)$$

式中：W_工——工业和生活耗水量（万 m³）；

W₀——工业和生活引用的地表水量

[标书网](#)
[人才网](#)
[建造师](#)
[造价工程师](#)
[造价师](#)
[（与“标书”相关的工作免费介绍）](#)

考虑到工业和生活用水的回归水量较大，如该项用水量较小，且回归水未流出设计流域控制断面，可略而不计。

6、水库渗漏量

水库渗漏量可分为坝身渗漏、坝基渗漏、库区渗漏三部分。多数水库有坝下反滤沟实测流量资料，可直接作为坝身渗漏量的依据。但坝基和库区渗漏量难以直接观测，只有根据水文地质资料通过水量平衡法估算。

位于控制断面以上的水库，其渗漏量只有部分回归到设计站断面以上时，则水库渗漏量只计算未回归到设计站断面以上的部分。

二、过程还原法

在径流分析计算中，有时不仅需要计算年径流总量，而且需要各种不同的径流量年内分配过程。有的要求分汛期与非汛期，有的要求逐月、逐旬计算。根据还原水量大小和还原计算要求，分为粗略的过程分配和详细的过程计算两种。

还原水量水大，对径流年内分配要求不高的枢纽工程可用粗略的分配法。对于水源为引水或提水工程的农业灌溉净耗水量和跨流域引入水量，可按灌溉需水过程的比例分配年内各月。工业和生



其农业灌溉水量、跨流域引出水量、水库水面增加的
则可根据典型水库的实测资料，计算出拦蓄量分配百分数，然后将总还原水量乘以分配百分数求得年内分配过程。水库渗漏量一般可平均分配于全年各月，如水位变幅较大，按月平均水位分配。

还原水量较大，且精度要求较高，需要逐月或逐旬还原，且调查资料较充分时，可采用详细的过程还原。此法也分水源为引提水工程和蓄水工程两种情况计算。

1、水源为引提水工程的过程还原

直接从河道引提水的各项人类活动，它的取水过程扣除回归水过程就为还原过程，但其回归水主要是灌溉回归水要后延一段时间。当调查资料只有实灌面积和灌溉试验资料而没有引提水实测过程时，可用需水过程减去有效雨量求得灌水过程，一般可按月或旬根据下式计算：

$$W_i = \frac{1}{10} \frac{I_i - P_i B_i}{K} A \dots\dots\dots (11)$$

式中：W_i——第 i 月(或旬)的灌溉毛用水量 (万 m³)；

I_i——第 i 月(或旬)的作物需水深 (mm)，可从灌溉试验资料得出；

P_i——第 i 月(或旬)的降水量 (mm)；

B_i——第 i 月(或旬)的雨有效利用系数，可从灌溉试验资料得出；

K——渠系田间有效利用系数；

A——作物灌溉面积 (km²)；

$\frac{1}{10}$ ——单位换算系数。

灌溉毛用水量扣除回归水量就是净灌溉还原水量。但灌溉回归水并不是当月全部回归，例如，根据四川凯江径流实验站的资料得知，丘陵水田灌区需要三个月才能回归完毕。当月回归系数 (r_j) 为 44%，次月回归系数 (r_{j+1}) 为 37%，第三月回归系数 (r_{j+2}) 为 19%。因此，各月的灌溉还原水量应是扣除本月和前两月的回归水量的结果，其公式为：

$$W_{\text{农}i} = W_i - \phi_1 (W_{ir_j} + W_{i-1}r_{j+1} + W_{i-2}r_{j+2}) \dots\dots\dots (12)$$

式中：W_{农i}——第 i 月的农业灌溉还原水量 (万 m³)；

φ₁——灌溉回归系数；

W_i、W_{i-1}、W_{i-2}——第 i 月、i-1 月、i-2 月的灌溉毛用水量。

把各月的灌溉还原水量都算出来，就得到还原过程。

计算举例：据某站以上流域的调查，某年（中水年）实灌面积中由引提水工程为水源的共有 40.99 万亩，其中单季稻（中稻）9.84 万亩（6560.03m²）、早晚稻（双季稻）31.15 万亩（20766.78m²）。要求按月计算农业灌溉还原水量。

根据流域内有代表性的灌溉试验站资料分析出中稻及早稻、晚稻各生长期有腾发量、渗漏量、有效雨量，并把这些量加上泡田用水量按时序分配到每月各日，然后按月相加得早、晚稻及中稻的需水量 (I_i) 的过程。同时根据中水年的降雨集中程度分析出各月的雨量有效利用系数 (B_i)，考虑到本流域为老灌区，渠系利用系数 (K) 采用 0.7，灌溉回归系数 φ₁，借用邻近流域的分析成果为

凡是与水库群蓄水工程有关的各项耗水，如农业灌溉、库水面蒸发损失、跨流域引水、工业和生活用水等，均可经过水量平衡和拦蓄不均演算，在拦蓄过程上综合反映出来。所以蓄水工程为水库群的拦蓄过程就是相应的还原过程。

表 2 某站农业灌溉还原量计算所采用的指标表

项 目	月 份					
	四月	五月	六月	七月	八月	九月
早、晚稻需水量（mm）						
中稻需水量（mm）						
早、晚稻雨量有效利用系数						
中稻雨量有效利用系数						
备 注	早、中、晚稻需水量包括生长期腾发量，泡田水量，下渗量。					
	早、中、晚稻雨量有效利用系数为实验站提供的平均值。					
	灌溉回归水月分配四川凯江分析成果（当月 44%、次月 37%。第三月 19%）					
	渠系利用系数 0.7，灌溉回归系数 0.4					

把蓄水工程相应的还原过程、由引水（或提水）工程供水的各项耗水量或还原水量过程，按其对应的日期叠加，便得到设计流域的还原过程。上述计算看起来很复杂，实际上并不麻烦，如果采用功能较全的电子计算机，计算就更方便了。

第二节 降雨径流模式法

降雨径流模式法，适用于难以进行人类活动措施调查，或调查资料不全的情况下直接推求天然径流量。具体步骤如下：

首先建立人类活动显著影响前的降雨径流模式，然后用人类活动显著影响以后各年的降雨资料，用上述降雨径流模式，求得不受人类活动影响的天然年径流量及其过程。显然，相应的还原水量即为计算的天然年径流量与实测年径流量的差值。

因此，建立人类活动前的降雨径流模式是该方法的关键。考虑到要完全依赖不受人类活动影响的资料建立降雨径流模式，在许多地区存在不少实际困难。为了保证建立的模式有足够的资料，可适当加入某些人类活动影响较小且还原精度较高的还原后天然径流。

用于还原的降雨径流模式，一是多元回归分析法（即基于降雨径流模式的双累积法），二是参数分析法（即产流模式法）。

1、多元回归分析法

此法应用条件是：对流域内人类活动措施没有详细调查，或调查资料不很落实可靠。但人类活



立流域下垫面显著改变前降雨径流模式的需要。
 由于降雨径流关系是十分复杂的，它与流域内许多水文、气象因子有关。有条件时，可建立如下方程：

$$R = a_0 + a_1P + a_2P_{\text{上}} + a_3T + \dots \quad (13)$$

- 式中：R——年径流量；
- P——年降雨量；
- P_上——上一年 10~12 月总雨量；
- T——年平均气温；

a₀、a₁、a₂——特定系数，如取（13）式右边前四项，其系数可由求解下列方程得到；

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum P + a_2 \sum P_{\text{上}} + a_3 \sum T = \sum R \\ a_0 \sum P + a_1 \sum P^2 + a_2 \sum P_{\text{上}}P + a_3 \sum TP = \sum RP \\ a_0 \sum P_{\text{上}} + a_1 \sum PP_{\text{上}} + a_2 \sum P_{\text{上}}^2 + a_3 \sum TP_{\text{上}} = \sum RP_{\text{上}} \\ a_0 \sum T + a_1 \sum PT + a_2 \sum P_{\text{上}}T + a_3 \sum T^2 = \sum RT \end{cases}$$

方程组中的 n 为统计系列的年数，如 9 年资料，则 n=9。在求解（13）式的系数时，要注意定性合理，即要符合一般产流成因概念。如式中系数 a₃ 应为负值，a₀ 一般也为负值。a₁、a₂ 为正值。

标书网址导航 wz.biaoshu.com

与年径流有关的因子很多，有些流域还可加上 P_超(一次峰水量超过最大初损 L_{max} 的累计值)作参数。但参变量也不宜多取，视具体情况取公式前三项即可。南方不少地区，只取公式右端前两项，其相关数已很高，如广东桥园水文站^[5]，单因素的相关系数 0.99。所以在确定多元回归的参变量时，应在成因分析的基础上，抓住主要因素从少到多进行选用，以节省工作量。

当公式的系数确定后，便可将受人类活动影响后的各年降水、气温等资料代入回归方程，求得不受人类活动影响的径流量，此量与实测径流的差值即为还原水量。

2、参数分析法

当设计流域的径流受人类活动多种措施的影响，难以逐项定量计算其影响量时，可按照设计流域的产流方式和影响产流的主要因素，初步拟定一个符合设计流域的，包含若干参数的产流模式。选定不受人类活动影响的年份（或年组），利用实测降雨、径流资料调整模式的结构及有关参数，使其用雨量资料按模式推算出的径流过程与选定年份（或年组）的实测径流过程相吻合，否则应再次调整产流模式。

这个以降水为输入、径流为输出的产流模式一经确定，即可用以后各年降水资料推求出各年不受人类活动影响的天然径流过程。

从参数分析入手建立的产流模式，只需人类活动前有少数几年降雨径流同步资料即可，这是该方法的一个优点。它主要适用于实测径流受多种人类活动措施的影响，其影响量逐年发展变化较大，又不易调查清楚的设计流域。

524km²，境内大部分为岩溶地貌。1970 年以前的水的部分也基本调查清楚。但 1970 年以后的跨流域引水和流域内的灌溉用水，既无实测资料又无法调查清楚。需要估算 1959 年至 1979 年各年天然径流和还原水量。

根据该站上述情况，1959 年至 1970 年的天然径流系列可用分项调查法计算求得。以这 12 年天然径流系列为基础，选用适当的参数通过多元回归分析建立降雨径流模式，用此降雨径流模式查得 1971 年至 1979 年的天然径流。

根据当地经验，选用年降雨量（P），上一年 11~12 月降水量（P_上）和年径流量（R），建立关系：

$$R=a_0+a_1P+a_2P_{上}$$

求得 a₀=-340.1，a₁=0.771，a₂=0.351

即
$$R=0.771P+0.35P_{上}-340.1$$

经实测资料验算相关系数为 0.97。

用上述模式算得 1971 至 1979 年还原水量和天然径流系列（表 4）。

表 4 某站用降雨径流模式法还原成果表

年 份	P(mm)	P _上 (mm)	R _实 (mm)	R _{还原} (mm)	Δ R(mm)
1959	1134	41	599.2	618.3	
1960	1039	109	505.7	5241.0	
1961	1211	98	593.5	616.4	
1962	1488	172	799.6	812.9	
1963	1390	109	720.2	739.4	
1964	1555	253	990.5	1003.8	
1965	1233	83	616.3	631.4	
1966	1129	97	467.6	488.5	
1967	1713	58	982.8	998.1	
1968	1274	99	669.8	683.2	
1969	1451	135	847.3	856.9	
1970	1474	82	816.8	824.4	
1971	1160	124	505.5	597.8	92.3
1972	1230	77	519.2	635.3	116.1
1973	1369	105	684.7	752.3	67.6
1974	1224	24	561.8	612.0	50.2
1975	1450	48	657.4	794.7	137.3
1976	1539	177	881.7	908.6	26.9
1977	1707	127	988.5	1020.6	32.1
1978	1157	106	432.2	589.2	156.0
1979	1021	142	394.1	496.9	102.8



蒸发差值法

1、方法概述

对于一个流域，在计算时段较长的情况下，可略去水量平衡方程式中流域蓄水量变化项。此时，还原水量可归结为人类活动前后流域蒸发的变化。流域蒸发可分为陆面蒸发和水面蒸发两种。人类活动前的陆面蒸发可以用经验公式计算，水面蒸发一般可用实测蒸发资料换算。这样，流域下垫面变化前的流域蒸发（ $E_{前}$ ）就能算得。流域下垫面变化后的流域蒸发（ $E_{后}$ ）可以用流域总损失量代替，即用实测降水（ P ）与径流深（ R ）的差值（ $P-R$ ）代替，所以其还原水量为

$$\Delta R = E_{前} - E_{后} = P - R - E_{前} \dots\dots\dots (3-1)$$

显然，天然径流量为

$$R_{天然} = P - E_{前}$$

因人类活动前后的流域降水量的变化可忽略不计，关键是如何计算 $E_{前}$ 。现介绍如下。

$$E_{前} = \frac{(A - A_1)E_{陆} + \alpha A_1 E_{水}}{A} \dots\dots\dots (3-2)$$

式中： $E_{前}$ ——设计流域天然状态下（即人类活动前）的蒸发量（mm）；

A ——设计流域总面积（ km^2 ）；

A_1 ——人类活动前流域内的水库、湖、塘等水面面积（ km^2 ）；

α ——水面蒸发折算系数；

$E_{水}$ ——蒸发皿实测水面蒸发（mm）；

标书网 www.biaoshu.com 建造师、造价师（与“标书”相关的工作免费介绍）
 $E_{陆}$ ——陆面蒸发（mm）。

陆面蒸发在南方湿润地区可用气象资料按凯江公式^[4]计算：

$$E_{陆} = (\alpha T + \beta)\theta / L \dots\dots\dots (3-3)$$

式中： θ ——太阳总辐射（ cal/cm^2 ）；

T ——日平均气温（ $^{\circ}C$ ）；

L ——蒸发潜热（ $590cal/g$ ）；

α 、 β ——系数和常数，就凯江地区而言， $\alpha = 0.19$ ， $\beta = 0.8$ 。

$$\theta = \theta_0 [0.65 - 0.35(n - s)] \dots\dots\dots (3-4)$$

式中： θ_0 ——碧空无云时的太阳总辐射（有表可表）（ cal/cm^2 ）；

n ——月平均云量，以小数计；

s ——月平均日照率，即月的实测日照数与该月理论日照数（可查表）的比值，以小数计。

若需计算月蒸发总量时，除 θ 和 θ_0 应采用月辐射总量外，其它因子 T 、 n 、 s 都采用月平均值。

通过方程式（3-2）、（3-3）、（3-4）算得 $E_{前}$ ，再用方程式（3-1）算得还原水量。

对于丘陵地区，一般湖、塘的水面面积不大，略去不计也不致引起多大的误差。例如江西抚河

占全流域面积的 0.5%。故可仅用陆面蒸发经验公式

对于北方半干旱地区，可用适当的陆面蒸发计算公式，如考虑高程影响的黑龙江经验公式^[1]，以及国外的某些公式（如布狄科、奥里切科普、史拉别尔公式）。

2、应注意的问题与参数修正

用蒸发差值法进行还原时，要注意两个问题：一是流域平均雨量的计算要有代表性，即要真正代表流域平均雨量，因为这是一项与还原水量计算直接有关的数值。若平均雨量偏大或偏小某个量级，相应还原水量也偏大或偏小某个量级。由于降水量的绝对值比还原水量大得多，所以还原水量的相对误差要比降水量的相对误差大得多。因此应尽量设法增强流域面平均雨量的代表性。二是要注意蒸发资料的代表性和蒸发公式的地区适用性。采用凯江蒸发公式或黑龙江经验公式计算流域平均蒸发时，应选用气象站的高程位置与流域平均高程基本一致的气象资料，否则对有关要素应进行高程订正。特别是气温随高程变化的订正。一般每升高 100m，气温下降 0.4~0.6℃。另外，要注意蒸发公式的适用性，若气候地理条件超过适用范围，应进行适用性检验。误差较大时，要适当修正有关参数。修正办法视资料条件而定。当设计流域降雨资料精度较高、代表性较好时，可选用人类活动影响较小，且陆面蒸发量（P-R）接近多年平均的几个年份（这些年份流域土壤蓄水量最小），用 P-R 计算所得陆面蒸发年总量与凯江蒸发公式计算的陆面蒸发年总量的比值修正凯江蒸发公式计算的各月陆面蒸发量。然后根据（3-3）式点绘 $LE_{陆}/0 \sim T$ 相关图，从而求得适用于设计流域的 α 和 β 两参数。

计算举例：某站的集水面积为 15811km²，流域平均高程约 130m，流域内气象站高程 115m，人类活动影响较小，有湖、塘等水面面积 3692km²（与“标书”相关的工作免费介绍）

表 5 蒸发差值法还原水量计算表

项 目 \ 月 份	一月	二月	十一月	十二月	年
碧空无云太阳总量辐射 θ_0 (cal/cm ²)	9456	10363		9914	8787	
平均云量 n	0.83	0.87		0.49	0.82	
平均日照率 S	0.24	0.21		0.55	0.35	
平均气温 T (℃)	7.0	3.5		13.9	9.5	
太阳总辐射 $\theta_{总}$ (cal/cm ²)	4194	4342		6652	4266	
陆面蒸发 $E_{陆}$ (mm)	15.1	10.8		38.8	18.8	736.6
土地面积 $A-A_1$ (km ²)	12119	12119		12119	12119	
陆面蒸发量 $E_{陆}$ ($A-A_1$) (10^8m^3)	1.83	1.31		4.70	2.28	
水面蒸发 $E_{水}$ (mm)	37.4	18.9		59.8	33.3	
折算大水体蒸发 $\alpha E_{水}$ (mm)	36.7	18.6		58.6	32.7	
水面面积 A_1 (km ²)	3692	3692		3692	3692	
水面蒸发量 $\alpha E_{水} A_1$ (10^8m^3)	1.35	0.69		2.16	1.21	
水面蒸发量 $E_{水}$ (mm)	20.1	12.6		43.4	22.0	812.0

项 目	二月	十一月	十二月	年
降水量 P (mm)					1440
实测径流量 R (mm)					580
P-R E ₀ (mm)					860
还原水量 ΔR (mm)					48
备 注	E ₀ = (0.19T+0.8) 0 /590; 0 = 0 ₀ [0.65-0.35 (n-S)]; α=0.98; A=15811 km ²				

上例流域平均高程与选用的气象站高程相差不大，不需要对实测气温进行改正。经用流域内某一小流域降雨径流资料对凯江蒸发公式的参数进行了检验，误差在 5%之内。因此可以直接用 α=0.19， β=0.8 及蒸发折算系数 α=0.98 计算。表 5 为某一年的还原计算成果表。

第四章 还原成果的合理性检查

径流还原计算要求先选取少数站年进行几种方法比较计算，然后选取精度较高的某种方法进行还原计算。对还原计算的正式成果，应从以下几方面进行合理性检查^{[2][7]}。

1、单项指标的检查 [标书网址导航 wz.biaoshu.com](http://wz.biaoshu.com)

在采用分项调查法进行还原计算时，人类活动措施数量和单项指标是否准确，是决定计算成果精度的关键。但有时一个因素偏大，而另一个因素偏小，还原计算成果可能得到补偿而接近实际。因此，当了解到某个调查资料有偏差（例如发现实灌面积偏大），但又不能更改原始调查资料时，计算的单项指标宜采用变动范围的下限，使计算成果相对合理。

灌溉定额、灌溉回归系数等是合理性检查的重点，一般情况下，要有如下的量级概念：

- 水稻单项灌溉定额>综合灌溉定额
 - 保证灌面定额>有效灌面定额
 - 汛期水面蒸发量>以深度计的灌溉净耗定额
 - 老灌区或小灌区的渠系利用系数>新灌区或大灌区渠系利用系数
 - 灌区回归系数>灌溉回归系数>田间回归系数
- 掌握和运用上述概念，可以帮助发现资料中存在的问题，以便即时改正。

2、上下游、干支流及区间水量平衡检查

当上下游区间产流量较小时，可点绘还原前后上、下游站年、月平均流量相关图。检查还原后下游站的流量是否较上游站稍大，从而分析上、下游还原水量的合理性。

当各干支流都有测站控制时，可以把还原后支流站径流量之和与干流控制站径流量比较，其区间水量若出现负值，要查明原因，予以改算。

3、用径流深和降雨径流关系检查

还原后的年径流代表天然情况下的空间分布，所以在全流域降水量基本均匀、下垫面基本一致

上游径流深 $>$ 中、下游径流深

用还原后的径流深点绘的降雨径流关系，其相关点据一般比还原前的相关点据集中，相关系数提高，且符合本地区降雨径流关系的一般规律。

4、各种影响因素的序列对照及统计参数检验

把还原后的天然径流系列由大到小排列，同时把各种主要影响的因素如降水量、蒸发量也由大到小排列，对照序次检查其对应关系。

从径流参数地区分布情况进行检查，一般还原后的径流统计参数具有较好的地区分布规律性。

5、框算检查

还原计算环节很多，考虑的因素复杂，局部计算成果存在的问题常不易发现。例如农业灌溉净耗水量，可利用容易取得的有效灌溉面积和蓄、引水量等资料进行框算。即采用有关部门提供的平均综合定额、回归系数等资料，推算出任一年的还原总量与其它方法计算的成果比较。当流域的蓄、引、提水量资料比较完整时，可将蓄、引、提总水量打一折扣，其数量应与灌溉还原水量接近，这个折扣就是耗水系数。如果水利工程中只有蓄水工程，而引、提水工程很少，则可将蓄水工程有效库容乘上平均复蓄系数，再乘以耗水系数，其成果应与灌溉还原水量接近。

通过上述框算检查，如发现较大差别，要重新审查所采用的措施数量与计算指标是否合理。

参 考 文 献

- [1] 黑龙江水文总站，水热平衡法在陆面蒸发量中的应用，1982年水资料专辑。
- [2] 张经之，山东省河川径流还原计算方法及合理性论证，水文，1982年水资料专辑。
- [3] 金栋梁，水库群对径流影响的估算，人民长江，1979年第3期。
- [4] 金栋梁、杨世才，用普通气象资料计算土壤蒸发量的方法（即凯江蒸发公式），人民长江，1981年第4期。
- [5] 广东水文总站，东桥园水文站还原计算，水资源研究，1982年第1期。
- [6] 李祖寿，年径流还原计算方法——产流模式法——的探讨，安徽水利科技，1982年第2期
- [7] 金栋梁，径流和还原技术专题总结，水资源研究，1981年第1期。
- [8] 长办等，长江三峡以上、以下地区人类活动对径流影响研究报告，1959年12月。

[刊于中华人民共和国水利电力部部标准水文计算规范 SDJ214-83]