

关于设计洪水计算的几个问题

(1977)

1975年8月，淮河上游出现特大暴雨洪水以来，设计洪水计算途径又成为引人注意的问题。当年11月，水利电力部在郑州召开的全国防汛及水库安全会议上明确规定了对重要水库采用可能最大洪水为保坝标准。1976年，在水利电力部和中央气象局统一安排下，由水利电力部规划设计院、科学研究院和华东水利学院主持，开展了全国可能最大暴雨等值线图编制试点工作。各地也分片开展了同样的工作。在这个工作的推动下，设计洪水计算工作的各种学术思想和认识空前活跃，对进一步发展这门科学技术起着促进作用。

1972年以来，结合重新修订《水工建筑物设计洪水计算规范》的任务，与各地从事这方面工作的同志广泛交换了意见，并在学习新中国成立以来各地从大量实践中总结的新经验的基础上，以及通过对可能最大暴雨工作的初步体会，对当前设计洪水工作中一些带有争论性的问题，进行了学习讨论，提出的一些看法及不妥之处，尚望得到批评指正。

一、成因途径与统计途径

成因途径与统计途径之争是设计洪水计算中的老问题。1973年在兰州《设计洪水规范》座谈会上，经过充分讨论，认识到应当“互相补充、相辅相成，平行发展”。问题似乎解决了，后来证明事实上并没有解决。在1974年、1975年几次关于《设计洪水规范》的讨论会上，每次几乎都要争一争途径、方向问题。在这次编制可能最大暴雨等值线图的工作中，途径问题仍然很尖锐，成因和统计两种观点，相争不已，从理论根据、实用价值到哲学观点，各自从不同的角度论证自己的合理和对方的不合理，有的甚至森严壁垒，界限分明，不容侵犯，没有任何“相辅相成”的余地。

水文或洪水现象，作为自然现象的一种表现，究竟是有因果关系，有规律可循，因而只能从成因途径解决才是惟一正确的呢？还是说，水文现象是偶然的、随机的现象，只服从统计规律而无因果可循，因而只有用统计途径解决才是惟一正确的呢？这正是在两种途径的争论中截然不同的态度。

我们认为：洪水现象和其他自然现象一样，既有因果关系，有规律可循，而在每一场具体洪水的发生过程中，又受到多种的、复杂的、千变万化着的因素的影响，因而其具体表现的形式和在数量上又呈现为偶然的、随机的。因此，把洪水现象单纯看作成因的或单纯看作随机的，都是一种形而上学的片面观点。“自然科学离开哲学结论，无论如何是不行的。”（列宁：《论战斗唯物主义的意义》）成因途径与统计途径在设计洪水领域内的争论，也必须归结到哲学观点上去弄清楚。

恩格斯在《自然辩证法》一书中指出：“形而上学所陷入的另一种对立，是偶然性和必然性的对立。”又说：“常识和具有常识的大多数自然科学家，都把必然性和偶然性看作永远互相排斥的两个范畴……于是，必然的东西被说成是惟一在科学上值得注意的东西，而偶然的的东西被说成是对科学无足轻重的东西。”但是，恩格斯随即批判了这种形而上学的观点，他批判自然科学中只承认必然性存在的“决定论”，是“……力图用根本否认偶然性的办法来对付偶然性。按照这种观点，在自然界占统治地位的，只是简单的、直接的必然性……承认这种必然性，我们也还是没有从神学的自然观中走出来。”同样，只承认偶然性，不承认必然性，也就陷入不可知论，仍然会掉进“上帝”的口袋里。恩格斯在《反杜林论》中回答这一问题时说：“思维的任务现在就在于通过一切迂回曲折的道路去探索这一过程的依次发展的阶段，并且透过一切表面的偶然性揭示这一过程的内在规律性。”他在《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》中，更明确地指出：“表面上是偶然性在起作用的地方，这种偶然性是受内部的隐蔽着的规律支配的，而问题只是在于发现这些规律。”“被断定为必然的东西，是由纯粹的偶然性构成的。而所谓偶然的的东西，是一种有必然性隐藏在里面的形式。”对待设计洪水也要像对待一切自然现象一样，既承认在这个现象中有必然性的存在，也同时有偶然性的存在，而所谓的必然性和偶然性只是当前的认识，这个认识还会逐步深入。因此，对反映必然性的成因途径和反映偶然性的统计规律要相互配合，而不要互相排斥。只有这样，才能逐步揭露目前认为是属于随机现象中的一些问题，进一步找出隐藏在里面的因果规律，使认识逐步深入，逐步达到掌握并驾驭洪水的自然规律。按照辩证唯物主义认识论的观点，这种揭示需要在一个无限的空间与时间的范畴内去完成。而对每一个具体地点与历史阶段来说，都是相对的。从目前的科学技术发展水平来说，我们对洪水这个自然现象的已知数还远小于其未知数。因此，无论对已知的洪水资料的分析或对其将来可能出现情况的预估，都只能从当前认识的水平出发。无论对已经被实践所证明了的与形成洪水有关因果关系的初步认识，或对于目前认为是随机的因素进行统计分析，以预估其可能出现的情况及其发生的机会，都有助于进一步深入认识洪水现象本身及其发生的规律。在设计洪水领域，包括可能最大洪水和可能最大暴雨工作中，成因途径与统计途径不仅要相辅相成，互相补充，而且必须互相渗透，才是正确的做法那种绝对排斥论，是没有根据的，在辩证唯物主义的哲学观上，也是站不住脚的。

二、理论关系与经验关系

在设计洪水的成因分析中，常常从对洪水的感性认识提高到理性认识即概念，并在此基础上建立洪水与其形成有关各因素间的关系，或进而建立其中某个因素与这个因素的形成有关的另一些因素的关系。例如建立洪峰流量与暴雨、流域地形、地貌条件关系式，以及在可能最大暴雨计算中建立暴雨与可降水、风速或比湿、位温等因素的关系。在建立这样那样的关系式时，人们习惯于把从运动学的基本方程，即能量平衡方程和连续方程为基础建立的关系称为理论关系式。而把从根据对已发生的现象观测的或调查的资料，并通过经验相关建立的曲线或公式称做经验关系式。在设计洪水计算领域中。理论关系与经验关系也常常争论不休。争论的内容往往是对建立关系的合理性与实用性究竟如何评价。成因论者，常常认为成因关系与理论关系是一致的，既排斥统计观点，又排斥经验观点，而经

验论者则认为理论关系不能解决实际问题，既对理论关系不感兴趣，也对成因途径不感兴趣。

正如成因途径与统计途径的关系一样，把理论关系和经验关系绝对对立起来，同样是违反辩证唯物主义的观点，陷入了形而上学的对立。本来，在设计洪水计算中理论关系和经验关系都是为建立洪水和与其形成有关的因素间的关系，或建立其中某个因素和与其形成有关的另外一些因素间关系时所使用的手段。但是，由于自然现象的多样化及影响因素的繁多，这些因素随时间、空间变化多端，在建立能用数学模型表达的纯理论关系时，不可避免地要对与洪水形成有关的自然现象及其过程采取一系列的概化、简化（均化、模式化）和假定，以使这种关系可通过常见的数学形式表达出来。这就必然使这种理论关系与实际现象之间存在差异，因而影响其实用性。经验关系的建立是在已知现象（资料）的基础上，通过实际现象所表现的相互关系用图解或分析的方法建立的。由于有实际资料为基础，因而常常被认为是实用性较高并具有说服力的。但是，全然离开成因分析而盲目追求建立经验关系，也有时会把“假相关”关系当做真相关而出现谬误。

正是由于目前对洪水这个自然现象的认识是相对的，在现实条件下建立的理论关系还是很朴素、很原始的，是建立在一系列对自然现象的概化和假定基础上的，理论关系和经验关系也必须在互相补充、相辅相成的前提下结合起来，才有助于设计洪水课题的解决，正如毛泽东在《实践论》中所指出的：“理性的东西所以靠得住，正是由于它来源于感性”，“认识开始于经验”，“如果以为认识可以停顿在低级的感性阶段，以为只有感性认识可靠，而理性认识是靠不住的，这便是重复了历史上的‘经验论’的错误。”只相信实际资料，不相信理论分析，就是重复这种“经验论”的错误。同时，只相信理论分析，不要求这种建立起的理论关系需要用实际资料去检验，去补充，这就又是重复了“唯理论”的错误。

事实上，从解决设计洪水这个实际问题来说，目前凡是在实践中行之有效的办法，都是理论关系与经验关系能较好地相辅相成的方法。在建立经验关系时，或者从简单的成因概念出发，去找与其形成有关的因素作为建立相关的根据；或是在某个理论关系（无论这种理论关系是很原始的或相当复杂的）的基础上，通过实际观测资料反求并确定其中某些经验性的参数，都是这种理论与经验关系相结合的例证。相反，把两者对立起来或绝对排斥，并不会有助于设计洪水问题的解决。

像成因途径和统计途径一样，理论关系和经验关系也不要仅仅停留在相互配合与相辅相成的水平上，而要互相补充、互相渗透，才能更好地解决设计洪水计算的实际问题。

三、计算方法和资料条件

无论根据任何途径，建立什么样的关系，设计洪水计算方法都必须与一定的资料条件相适应，才能在实践中发挥作用，并通过实践的检验不断改进。设计洪水计算是为了解决工程实践中的问题，理论方法和实用效果必须一致。不与当前资料条件相适应的理论和办法，由于不能应用到实际中去，也就不能检验其正确与否，因而也就没有什么实用价值。

经验关系需通过资料建立，理论关系也必须通过资料来检验其是否合乎实际，并对其某些参数进行经验性的复核定量。统计法更要建立在资料系列的基础上去确定各统计参

数。为使参数定量具有一定精度，待定参数愈多，所需资料数量也愈多。虽然从可以确定待定参数的条件来说，资料的数量与待定参数的数量相等就可以求解，但是由于实测资料中，一方面包含了在取得资料过程中不可避免的偶然误差（观测设备与条件等使其不能完全反映现象本身），另一方面我们所取得的资料只能包括预测现象在一个无限过程中的一小部分。特别是与洪水有关的水文或气象现象中某项因素的观测资料，又只能在某个观测时期中取得，因此就有一个这一段资料是否能代表或概括这个因素的全部特点的问题。这也就是通常在频率计算方法中常常提到的资料系列代表性问题。实际上，不仅在频率计算中应当考虑资料代表性，凡是应用实测（包括调查）资料进行分析，例如经验相关、外包、反求经验性参数等也都应考虑这一问题。

这一切说明，在当前科学技术发展阶段，由于我们取得的关于各种自然现象的记录或资料，相对来说，数量是很有限的，为了解决实际中的问题，也就不能一味追求计算方法中包含因素的增多。而且，即使在方法中包含的因素并不是过多的，也要照顾到这些因素所相应的资料是不是足够的，否则，这种计算方法便很难在实践中得到应用、检验和改进。在计算中使用的资料愈多，相对来说成果的可靠程度就愈高。为了尽最大的可能使设计洪水计算成果能够比较切合实际，按照上述的思路，就应当在计算并判定成果合理性的工作中，尽可能使用更多、更广泛的资料，以增加论证的依据。因此，除了应当继续不断增加实测资料外，尽可能去探取实测期以外的历史资料，以及把在其他地点发生的相应资料经过分析后移用到本地，例如，使用历史洪水、历史暴雨资料及暴雨移置等，都是扩大资料来源的办法。此外，根据不同的计算方法而使用更多方面的资料，也是扩大资料情报来源的一种办法，例如，为了确定某地点的设计洪水，除了可以直接使用该地点的年最大洪峰流量的资料系列外，并同时使用形成该地点洪水的暴雨和洪水对应观测资料（不止每年一次），如有条件的话，再增加使用形成暴雨的有关气象、暴雨资料，再加上历史资料和地区资料，经过综合分析后选用合理成果就比单纯采用某种单一方法计算的成果把握要大一些，这就是为什么近年来一直强调在设计洪水计算中，包括可能最大洪水计算在内，都要用多种途径、相互补充论证，也就是用多种方法，综合分析，合理选用成果的根据。

四、实际条件与设计条件

设计洪水计算要解决的问题之一，就是以某些因素的实际资料（数量、过程）为基础，通过一定的计算方法，求取设计条件下该因素的定量（数量和过程）。

对于产生各次实际资料的条件和设计要求的条件间是怎样的关系，在设计洪水计算的不同理论和方法间，也存在不同的认识。一种观点认为，将来可能出现的设计洪水是目前已经出现的某次典型洪水的重演，但数量上有所放大；另一种观点认为，设计洪水是工程据以进行设计的依据，应当是概括了各种实际典型对工程不利的特点，是一种经过概化处理的虚构典型，不一定与某次发生过的实际典型完全一致。

实际上，洪水作为每年在一定季节重复出现的自然现象之一，在某一定地点的各次洪水间，既反映这个地点所控制的流域内气象、气候和地面自然地理特点的共同性，而每次洪水产生的过程中由于天气系统和局部气候条件的变化，流域中各种自然的、人为的条件在各次间的偶然差异，又使每次具体洪水反映各次独具的特性，这就使表现在同一地点的

每次洪水在数量上、过程上都不会完全一致。共同性即是洪水这一自然现象运动形式的普遍性，特性则反映了这个运动形式的特殊性。毛泽东在《矛盾论》中说：“矛盾的普遍性和矛盾的特殊性的关系，就是矛盾的共性和个性的关系。”“然而这种共性，即包含于一切个性之中，无个性即无共性”。这种共性与个性关系，也就是反映在每次具体出现的洪水与洪水发生规律间的偶然性和必然性的关系。因此，像偶然性和必然性一样，共性与个性也是不能绝对排斥的，共性包含于一切个性之中，就如必然性隐藏在偶然性之中一样。研究设计洪水的问题，就要从每次具体洪水出发，进行具体分析，找出其共性的表现，并按照进行研究的目的是为了解决工程设计中的需要，决定应当采用其中哪些方面来反映我们的要求。因此，对设计洪水或设计暴雨的计算，绝对地以某一次具体的实际典型作为设计条件下必须应当采用的原型，而不承认任何概括或改进，也带有一定的片面性。

设计条件是不是必须概括一切实际典型呢？我们说，又是又不是，因为设计条件也是一种特殊典型，在大多数情况下，设计条件常常是要说明比较稀遇的特大暴雨或洪水的情况，因此应当更多地反映实际发生特大或接近特大暴雨和洪水的特点，而不完全是一般洪水或暴雨的特点。因此，所建立表达各因素间的关系或模式，当用一般暴雨或洪水的实际资料进行验证认为没有什么问题时，遇到接近设计条件的特大暴雨或洪水由于条件的变化，却不一定能得到令人满意的结果。因此，根据对象的不同，要注意采用不同的实际典型作为验算或据以向设计条件下过渡的基础。在分析中，要特别注意特大暴雨洪水与一般暴雨洪水之间许多规律性方面的差异。

从实际条件向设计条件下转化，其中最主要的就是放大（或外延）问题，从设计洪水计算的发展史来看。这种放大或外延可以是直接对洪水（包括峰、时段量、过程）或暴雨（包括不同历时、不同面积上的雨量和过程），也可以针对与洪水或暴雨形成有关的因素，如水汽含量、垂直上升速度等。但现行放大的途径，不外乎取已知的历史上出现的极值（最大或最小，或再适当加成以更多地留有余地），或在一个地区上或各次间取统计外包值（内包值或再加成），以及根据某一定资料系列按概率统计法进行外延等三种情况。采用历史上出现过的极值或再加成作为计算设计洪水或暴雨为根据来放大，以及用地区或各次最大值统计外包（包括再适当加成）的做法，由于放大的基础即原型，和设计条件比较接近，需要放大的倍数较小，可以更好地反映设计条件下所需的特大暴雨或洪水的特点，有其较好的一面。但只以已知的某一次历史上出现的极值为基础，又有反映这个具体资料的特殊性和偶然性较多的一面。以概率统计为根据的放大，以样本系列中多次事件的均值及样本中各项间的均方差为基础进行，与由极值放大相比，放大倍数较大，是其弱点，但又有其以均值为基础比以单个的极值为基础偶然性较小，因而较好的一面。不过均方差的计算受样本代表性影响，也带来一定误差。

在早期，这种放大处理只限于洪水资料本身，但随计算途径和方法的发展，放大的对象逐步由洪水本身发展到暴雨及由暴雨形成洪水时的有关因素，即由暴雨计算洪水的方法，并进而发展为放大那些与形成暴雨有关的气象因素，如可能最大降水的方法。这种发展是带有成因性质的，但无论怎样发展，需要向设计条件下放大（或外延或放大）的因素，其放大途径仍不脱离上述采用历史上出现的极值或再加成，地区统计外包和频率外延三种范畴。换句话说，在放大问题上，无论是采用理论关系或经验关系建立的模式，都没

有离开统计的范畴（历史极值和统计外包都是从朴素的统计概念出发，概率统计外延更是从概率统计原理出发的）。这种放大，在现行设计洪水计算方法中，有的只抓住一个因素进行放大，有的则要同时放大几个有关的因素。这种放大的组合问题，目前实践中经验还不多。应当结合由实测资料向设计条件的转化，进行深入研究。

在现行可能最大暴雨计算方法中，对在设计条件下参数的采用，有的往往只限于已知的历史上出现的极值或统计外包（或加成），而由于排斥统计法而拒绝频率统计外延的方法。结合设计洪水的发展史来看，在放大方法上对某些因素采用频率统计外延，也完全是可以的，因为无论何种放大方法，其实质都是在某一基础上加成或采用安全系数。

五、标准和数据

工程的设计洪水具体体现在工程建设中如何处理好工程的安全与经济的技术政策。作为工程安全标准的设计洪水本身包括标准和数据两个方面，人们常常针对某一具体工程发生的情况说：设计洪水“偏大”了或“偏小”了，而没有说清楚究竟是数据的“偏大”、“偏小”，还是标准的“偏高”或“偏低”，或是没有什么客观的标准，而只是人们认识上一时的偏见。在实际生活中，这些情况兼而有之，都需在一个较长的反复实践中去纠正认识。设计洪水关于标准和数据的这两种属性是不可分的，有数据就有标准，有标准才有数据，但是由于科学技术发展的水平和人们对洪水这个自然现象认识的相对性，对每一个具体工程设计洪水计算成果，由于种种误差的干扰（客观的和主观的），相应于某个标准的设计洪水数据，又往往出现不甚一致或不相应的情况，这就使许多名为某标准的设计洪水，并不反映客观实际情况。安全标准，实质上反映了人类在和自然进行斗争中，从不断成功或失败的经验中总结出来的一种人为的安全与经济的衡量尺度。由于人们对自然规律的认识还是相对的，正如恩格斯在《自然辩证法》中所说，对自然现象“我们只能在我们时代的条件下进行认识。而且这些条件达到什么程度，我们便认识到什么程度”。因此，我们一方面要根据安全与经济的矛盾，来选择某一类工程应当采用的安全标准，并力图使按照这类标准计算的设计洪水数据反映实际情况，而另一方面也要足够地估计到，这个计算所得的设计洪水数据也是相对的，会随人们对洪水现象及其规律认识的深化，而产生相应的变化。由于认识是逐步深入的，因此变是绝对的，不变则是相对的。

既然设计洪水具有“标准”这个属性，体现这个标准的数据又带有相对性，因此，无论什么标准的设计洪水数据，都有可能出现超过这个数据的洪水。一种情况是：安全标准是相对的，是以可能出现等于或超过该标准的洪水数据的机会为根据的。有标准，就有出现超标准的可能。因此，安全度永远不会等于 1；另一种情况是：由于数据的相对性，具体的设计洪水成果必然存在一定的误差。因此，完全有可能出现大于原计算成果的没有料想到的更大数据，即使按目前所说的以“可能最大洪水”为标准，也是一样。

20 世纪 30 年代后期在美国最初出现最大可能洪水（maximum possible flood——极限洪水）的概念时，曾有人认为这种标准的洪水被超过的可能性为零，因而以为用这个标准设计的工程从水文观点上是绝对安全可靠了。一直到现在，尽管在国外也出现了名词上的变化，即由最大可能（maximum possible）变成可能最大（probable maximum），计算方法中数据处理的改变（不是一味追求所谓极限值），但把可能最大洪水或暴雨与所谓的洪水

或暴雨的“物理上限”联系在一起的说法，还是相当流行的。因而，如不从概念上搞清楚，广泛使用“可能最大洪水”为标准以后，有可能进一步增加“虚假的安全感”。

所谓某一具体地点的洪水或其相应流域内的暴雨，是有限还是无限的问题，本来是很容易弄清楚的。因为我们研究的对象局限在人们居住的地球上，这个星球上的水量是有限的而不是无限的（只有在宇宙空间才能说是无限的），而且又具体到某一确定的范围即某固定流域，当然更不是无限的了。如果说在某一具体地点或其相应流域上存在着洪水的某种“物理上限”的话，原则上是应该成立的。但是问题在于：由于目前人们对洪水现象认识的相对性，还不能比较客观地估计这个“物理上限”是怎样的，而仅仅从常识的推断，也许甚至会差到几个数量级以至这种估计没有任何实用意义。目前从工程概念上，正确处理安全与经济的矛盾而认为能接受的最高标准，也很有可能与那个客观的“物理上限”，哪怕是接近物理上限的数字相差很远。从认识论的角度，即使对洪水这样一个日常现象，要想探知其绝对的物理上限，这个认识过程也将是无限的，而在当前这个历史阶段，以可能最大洪水作为工程设计的根据，仍然是作为一种洪水标准提出的，因此这种洪水也就有一个发生的几率问题。不能因为是可能最大洪水，就认为没有一个可能发生的几率问题，也不能说，作为工程设计标准的可能最大洪水，就是发生频率为零（不可能发生）的一种特大洪水。作为工程设计的标准，可能最大洪水只能理解为在当前条件下一种最高的防洪安全标准，这种标准的具体化，应当从政治、经济各方面综合考虑。归根结底，还是要正确处理安全与经济（其集中表现为政治）的关系。

在工程的防洪安全标准问题上，要防止那种只对标准负责，不对下游人民安全负责的片面观点。正是由于考虑到标准与数据的关系，考虑到超标准的可能与数据的可能误差，在设防上要留有一定的余地，就是使用可能最大洪水为标准也不例外。

在当前的条件下，可能最大洪水的标准究竟应当怎样考虑，需要结合我们的具体情况确定，并在实践中逐步完善。因此，这是一个带有决策性的问题，而不是自然科学本身可以解决的。例如，在当前我国具体条件下，可能最大洪水的标准可根据不同地区的具体情况定为不低于万年一遇洪水。随科学技术的发达和生产建设的发展，在正确处理安全与经济的前提下，这个标准也将进一步提高。

六、设想与实际

设计洪水计算理论与方法，终究是在人们对洪水这个自然现象长期观察并与之斗争的长期实践中逐步认识并形成的概念，进而推理而出的产物。在这些概念和推理基础上产生的方法和按照这些方法所计算的成果，应当如何进行检验，也是在设计洪水计算中经常议论的问题。设计洪水一般都是较稀遇的特大洪水，因此有一种看法，认为设计洪水数据是无法检验的。当某地出现了特大洪水超过原设计值时，又有究竟是出现了超标准洪水还是原计算数据偏小这类扯不清的问题，甚至在美国，关于可能最大降水的手册中也公开认为：“没有客观的办法来评估本手册中各种方法或已知的任何其他方法得到的 PMP 估值的一般精度。”于是，对任何设计洪水，包括可能最大洪水在内的计算成果的评定，就只剩下“基于气象及经验的判断”，或者简直就是凭某些权威人士点头、拍板。这样，设计洪水成为不可知论和唯心论的俘虏，而被人嗤为“玄学”或“天书”。

“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理”，对设计洪水的理论和方法也不能例外。由于设计洪水是比较稀遇的洪水，不能像对待洪水预报一样，要求在短时间内，在某一具体地点就出现设计标准的洪水，以检验计算成果的正确与否。但是在大量的工程实践中，通过对在比较大的区域内出现的洪水情况进行分析，是可以说明（至少是在当前这个历史阶段）设计洪水成果的可靠性如何的。特别是已出现的特大暴雨记录（全地区、全国和全世界的最高记录）和特大洪水（实测的或调查的），都是检验设计洪水数据最好的根据。

有一种观点认为：在推求万年一遇的洪水或暴雨、或是在推求可能最大暴雨或洪水的成果时，可以和国内或世界最大记录相比，如果差不多接近，就认为是可靠了。美国《手册》上也认为世界记录就是可能最大暴雨了。其实无论国内或世界记录也总是在不断地刷新的。而在新记录出现前后，新旧记录可以相差很多，因此这种比较并不能作为惟一的标准，而要综合各方面的情况进行比较论证，如同对待历史资料一样，历史洪水或暴雨是个很重要的旁证资料，但也不是惟一的。历史资料随着工作深度的不断深化，也会随时被更新。因此，在通过实践检验设计洪水成果问题上，切忌孤立地、单项地、局部地和短期地看问题并匆匆作出结论。而应当经过一定阶段，在一个较广泛的地区，较全面地总结经验教训，再改进资料条件和计算方法，使之有所提高，有所前进。通过实践去逐步认识、掌握并运用洪水的自然规律，改进设计洪水计算理论和方法，使我们能够更有把握地驯服洪水，变害为利。

（在 1977 年桂林可能最大暴雨等值线图会议上的发言）

对可能最大暴雨的几点看法

(1978)

开展可能最大暴雨的研究和应用在我国虽然早在 20 世纪 50 年代就已开始，但正式提出用可能最大洪水作为一级防洪安全标准，却是 1975 年淮河上游发生了特大暴雨洪水，并冲毁两座大型水库，造成重大灾害后的事。为此，全国各地按照新的防洪安全标准对已建的水利水电工程进行复核加固，并用于新建工程的设计。为落实可能最大洪水的研究和应用，水利电力部门和气象部门协作，动员了几百人参加，开展了全国可能最大暴雨等值线图的编制工作。由于可能最大暴雨和洪水大规模进入了我国水工程设计的实践中，也在有关方面和人员中引起了种种反响，特别在水利水电工程管理和设计部门的反应尤其强烈，关于水利水电工程的防洪安全标准和设计洪水计算途径的种种议论又多了起来。两年多来，广泛开展的可能最大暴雨和洪水的研究与编制可能最大暴雨等值线图的实践经验非常可贵，使我们在暴雨洪水计算方面开拓了视野，加深了认识和理解，这很有助于把我国设计洪水理论和方法向前推进一步。

事物的发展总是从无到有，从小到大，从不完善到逐步完善。设计洪水计算领域中新的实践经验必将带来新的认识，也会出现新的矛盾。我们应当认真看待这些问题，使认识能朝正确方向再深入一步。

一、可能最大暴雨（或洪水）和频率有无关系

有人反对这样的命题，因为据说这个问题早已解决。例如在美国出版的文献中已有关于“PMP”的定义。40 多年来，在美国对于什么是“极限暴雨”即 MPP (Maximum Possible Precipitation)，或是“可能最大暴雨”即 PMP (Probable Maximum Precipitation) 也是众说纷纭，很难下个大家都满意的定义。世界气象组织 (WMO) 在 1965 年发表的第 98 号技术文件中，曾认为“当研究由降雨估算流域或区域暴雨的物理上限时，其估算结果就称为 PMP。”但在该组织于 1973 年委托美国人蒲尔虎斯等 (Paulhus J.L. et al.) 编写的《PMP 估算手册》中，则说：“PMP 是指流域一年的特定时间中，不计气候的长期趋势，在气象上可能发生的一定历时的最大降水量。目前暴雨机制及其造雨效率知识还不足以精确推算极大降水的极限值，因而 PMP 估算至少在目前还是近似的。”由于 WMO 的权威性，上述解释也相当流行。

对于地球上某个具体地点或地区（包括流域），在一定时段内的降水量是否客观上存在一个“上限”的问题，或说是所谓的“物理上限”，似乎是毋庸置疑的。但是从当前人类所掌握的科学技术和认识水平来说，对这个“物理上限”能认识到什么程度，用什

么手段在什么基础上能计算出一个“物理上限”，则是另外一个问题。我们对暴雨和洪水这个自然现象的认识，目前还只是相对的。我们只能在我们时代的条件下进行认识，而且这些条件达到什么程度，我们便认识到什么程度。因此，如果仅就当前所掌握的知识 and 手段就认为可以认识清楚并准确估计到这个“物理上限”是怎样的，并且天真地就把它当作“物理上限”来对待，那将是很轻率的。人类的实践只能使我们的认识逐步接近这个“物理上限”，但这个认识过程则是无限的。在当前条件下，最好不要把按现行方法计算所得的“可能最大值”和“物理上限”等同看待，以免造成误解。

蒲尔虎斯等在前述文件中把“PMP”解释说存在“概念性定义”和“工作性定义”，进一步造成人们思想上的混乱。其实，如果作为工程防洪安全标准的设计依据，可能最大暴雨及由此产生的可能最大洪水，并没有跳出“设计暴雨（或洪水）”本来的概念，即仍然是针对洪水这一“敌人”设防的根据。这个标准，应当综合反映在当前条件下正确处理安全与经济这一对矛盾的原则和政策。因此，所谓“可能最大”仍应理解为在当前条件下从政策上所能接受、并在技术和经济上可行的最高防洪安全标准。

有一种意见认为，正是为了保证工程的绝对安全，才决定采用可能最大暴雨（或洪水）为设防标准。采用了这个标准，对水库安全就不会出现漫顶失事了，因为按照“定义”，这样计算出来的可能最大暴雨（或洪水）绝对不会被超过。美国人亚历山大（Alexander G.N.）在 1965 年就这样认为：“PMP 是发生在一个特定流域上的降雨，此种降雨产生的洪水实际上没有被超过的危险。”但是，在当前条件下，计算出的可能最大暴雨，并不能说已是“物理上限”，因而说“绝对没有被超过的危险”并不可靠。

也有人反对把可能最大暴雨和标准或政策联系起来，认为可能最大暴雨是一个客观存在的自然现象，不应当和含有人的主观因素在内的标准和政策拉扯在一起。但当前的事实是，就是要把可能最大暴雨（或洪水）用作工程防洪安全的标准，而标准则是人衡量安全与经济后所确定的。

尽管有不少人反对把“可能最大”和“频率”拉关系，但暴雨或洪水愈大也就愈稀遇，则是人人都能接受的，可能发生的最大暴雨或洪水，应当是相当“罕见”或“稀遇”的特大暴雨或洪水，因而也必然有个发生机遇的问题。国外有的文献说，可能最大洪水相当千年一遇洪水，也有的说相当于万年、甚至 10 万年一遇的洪水。这种比较，多是用现行水文气象方法和现行频率分析方法所得成果相对而言，且各国采用的频率曲线不同，结果也各异。

由于现行水文气象方法计算可能最大暴雨，因方法、资料基础的不同，实际上所计算的成果代表了不同稀遇程度的设计暴雨。例如，最常见的根据典型大暴雨用水汽、动力因子放大的方法，其所得结果显然与以下几点有关：典型大暴雨本身的稀遇程度及在这场暴雨中作为放大指标的有关因子的实际出现情况。作为放大指标的有关因子在已掌握的资料范围内极值出现的实际情况。因此，或因本地区未掌握到特大暴雨资料，也无从可以移置的情况下，就放大不出所需的可能最大暴雨；或者由于有关因子的情况，用较大暴雨作典型来放大还不如用较小的典型暴雨放得的结果大。也就是说，这样放大的结果随时有被突破的可能。在现行方法中，对采用单一的水汽因子放大，或采用水汽、效率因子联合放大，而在联合放大中，是把水汽、效率因子作为互相独立的因子而各自放大，还是把水

汽和效率作为综合指标来放大，显然得出各自不同的结果，也反映了不同稀遇程度的数值。此外，各种作为放大指标的因子不外乎是各类因子的实际观测系列中选取的极值，或再加成、外包等，终归要受到资料系列的局限性。因此，使用水文气象法，对其中常用作放大指标的各因子，也有一个类似水文资料的资料系列代表性问题。由于多数情况下是以选用已知资料系列中的极值为依据，稍具一些实践经验的人们都会意识到，无论在何领域，历史极值记录（限于人们所能知的有限范围内）常常会被刷新，因而用这样方法计算的“可能最大”值就有可能被突破。

频率分析法在设计洪水计算中所以遭到部分人士的反驳，正是由于资料年限较短，具有的代表性不好，抽样误差较大，如果不谨慎对待，尽管可以算出所要求的某个稀遇频率的设计值，但结果往往会被突破。水文气象法企图绕过这个困难，但实际上仍受资料系列条件的影响。水文气象法企图从洪水成因的分析上来进一步说明暴雨洪水现象，但事物的出现总是表现为两大类现象，即必然现象（或称因果律）和大数现象（或称机遇律）。这两类现象反映了事物的不可分的两个侧面，合起来才能反映事物的全貌，不能单打一。

因此，水文气象法的计算值和频率分析法的计算值间必然存在有内在的联系，而且这个联系也不仅限在“可能最大”这一点上。

二、水文气象途径和防洪安全标准

当前所关心的问题是，无论采用频率分析法或水文气象法，目的都是为解决工程的设防标准问题。抛开资料条件不谈，既然不可能做到真正科学意义上的绝对安全，用机遇概念来表示安全度还是比用文字形容更加科学些。如果说采用“可能最大”为标准，就会和说采用“频率”为标准，而不说明按“频率”是指多少年一遇一样。

实践中，实际上是把“可能最大”看作是当前条件下的最高级防洪安全标准。当然，从工程经济学的角度，当前条件下的工程最高级防洪安全标准，也是应当根据正确处理安全与经济的原则所确定的合理的防护标准。对不同地区和不同对象的最高级防洪安全标准，应当有所不同，不能笼统地说采用“可能最大洪水”就认为没问题了。

如何具体通过水文气象途径并能按照规定的标准进行计算，是一个需要进一步研究的课题，但也应当是一个可以解决的问题。

三、可能最大暴雨和多种途径

估算可能最大暴雨是否只能采用水文气象途径，对这个问题的看法也有不同。在近年来召开的一系列关于设计洪水和可能最大暴雨座谈会上，也提出过估算可能最大暴雨可不仅限于用水文气象法，频率分析法也是可行途径之一。这在美国人蒲尔虎斯等为世界气象组织编写的《PMP估算手册》中也列有“统计估算”一章，并介绍了赫希菲尔德(Hershfield D.M.)方法，即统计估算法。

我们曾指出过：各种设计洪水计算方法都是在一定历史条件下的产物，从今天看，各种方法虽然存在着这样那样的缺点，却也有各自的长处。在一定条件下，将现行各种途径有机地结合起来，相辅相成，而不是互相排斥，是有助于解决实际问题的。可能最大暴雨（或洪水）作为一种特定等级的设计暴雨（或洪水），计算同样应当遵循上述的原则。“多

种方法、综合分析、合理选用”原则是从我国设计洪水计算经验中归纳总结出来的，反映了设计洪水工作的现实状况和水平。

暴雨洪水问题事关国计民生，是我国需要长期进行不断探索的问题之一。各种设计洪水计算途径还要平行发展，并通过实践，相互取长补短，并随洪水理论和现代计算技术的不断发展，逐步建立起新的体系，以更好地为水利水电建设服务。

（摘自在 1978 年咸宁全国设计洪水和可能最大暴雨等值线图编制工作总结会上的发言）

Views on the design flood problems

(1983)

Abstract All kinds of methods of design flood estimation are the outcome of practice under certain historical conditions and consequently are inherent in insufficiency and shortcoming. Hence different methods should complement each other for the purpose of further revealing the law of flood formation, and development of new methods more geared to actual circumstances is expected.

The flood phenomenon is causative and hence it is controlled by the law of causation, meanwhile as the forms and values of flood occurrence display contingent and random characters, the flood phenomenon is also controlled by the law of contingency. Therefore, in solving the problem of design flood estimation both the genetic and statistic approaches should be mutually incorporated rather than rejected.

The design floods possess dual characteristics: standard and value. The standard and value of design flood are linked together and we should integrate them reasonably and treat them as a pair of contradictory elements—safety and economy for the purpose of obtaining the most appropriate alternative of design flood. The standard is usually determined in accordance with the view of safety and economy, but the value of a design flood can only be obtained by using certain method of flood estimation. However, almost all the methods of flood estimation rely on certain mathematical models developed on the basis of schematization and assumptions. The results of estimation are closely related to the data used.

Since mid 1920's the statistical approaches of flood estimation spread over many countries, although there were debates concerning the following two problems during the past half century, i.e. the first, "Are the terms of a data sequence independent and random?" and, the second, "How will be the representativeness and reliability of the data sequence, which is apparently rather short and the only one for a particular site?" These questions are put forward owing to that the hydrological phenomena naturally display both in stochastic and in periodic manner, meanwhile there may exist self-correlation among the terms of a hydrological statistical sequence. In addition, the hydrological statistical sample size generally amounts to only several ten values, evidently, to meet the need of the statistic theory such sample size is too deficient.

A very small sample size will bring about, of course, a large sampling error. So in practice sometimes the statistical method might give us incorrect answers. But, on the other hand, the merits of statistical analysis methods are evident too. For instance, the statistical methods are based on the series of observed data, by using a great deal of data observed in many years to determine the corresponding statistical parameters. Thus in certain sense, the statistical method may decrease the contingent errors and, consequently, give more stable results in comparison with those methods which use only one or only a few observed values. Additionally, by connecting with the standard of safety for engineering hydraulic structures, the results estimated by statistical methods often give us more distinct idea. This is why irrespective of the big argument the statistical approach still occupies significant position in flood estimation up to date.

The hydrological-meteorological approach opened a new conception for hydrological computation. As a representative of this approach in the field of flood estimation the PMP method was claimed in the beginning years to give the "physical upper limit precipitation under local conditions", and later on it was considered to give only "probable physical upper limit". But in practice owing to the shortage of extraordinary big storm rainfall data at some catchments of rivers the estimated PMP values have been surpassed regardless of the definition as "upper limit". All methods without exception need certain amount of observed data for calculation, and all of them contain some computing parameters connected with the requirement of engineering design and planning, as well as with the method itself.

We have to recognize the fact that we are now still in a successive process of cognition with regard to the flood phenomena, and the data of records concerning flood phenomena so far are very limited. No matter what kind of flood estimation method is used, the results of estimation are usually broken by the floods occurred subsequently. This makes us begin to suspect those methods which had convinced us formerly and been familiar to us. Therefore, we have to look for new methods in order to get more reliable answers.

In China since mid 1950's the statistical methods for flood estimation began to be widely used. In the years 1954, 1956 and 1960 very large floods occurred successively in different regions of China, and the actual flood peaks at some sites of existing dams already exceeded the design values estimated originally. After an all-round investigation upon the design flood values for completed and planned projects, we drew a conclusion that the role of historical flood data is very important and hence we should pay great attention to the application of those historical data in flood frequency analysis. Experience has been summed up also from practice, such as the necessity of reasonable examination on the statistical parameter evaluation, of the comprehensive analysis with respect to the geographical regions, etc. Meanwhile the PMP method has also introduced into the practice of China. As in other countries, in China there also arose the debate concerning which approach, genetic or statistic, is desirable in hydrological computations since the end of 1950's.

All kinds of flood estimation methods are outcome of practice under certain historical conditions. From this point of view, it will be reasonable that all kinds of flood estimation methods should complement each other in order to further reveal the law of flood formation, and development of new methods more geared to actual circumstances is expected. Through practical investigation, the more reasonable method will be bound to replace the old one.

Owing to the limitation of observed data at present, the results of flood estimation are inevitably biased. The degree of confidence for the flood estimation results mainly depends on the accuracy and representativeness of the observed data. In the case of judging a result of flood estimation we should examine not only the method used, but also the data used. Sometimes the problem about the method itself is secondary, and the problem concerning the data used may be primary. In this sense, the frequency analysis method and the PMP method should also mutually complement and permeate in order to get further improvement of themselves.

References _____

- 1 Chen Jiaqi. Experience in Design Flood Estimation in China. Technical Review of Water Resources and Hydropower, No 5, 1982 (in Chinese)
- 2 Chen Jiaqi, Ye Yongyi, Tan Weiyan. The Important Role of Historical Flood Data In the Estimation of Spillway Design Flood, Scientia Sinica, Sept—Oct, 1975 (in English)
- 3 Chen Jiaqi et al. Problems of Storm Rainfall Flood Estimation on Small Catchment, China Industry Press, Beijing, 1966 (in Chinese)
- 4 Standard of Design Flood Estimation for Hydraulic Structures, SDJ 27—79, Min. of Water Conservancy and Min. of Electric Power Industry. Beijing. 1980 (in Chinese)

(在 1983 年于汉堡举行的第 19 届 IUGG 大会期间在国际水文科学协会“防治自然灾害”研讨会上的发言)

推理公式的理论基础及展望

(1985)

一、推理公式的理论基础

在研究由暴雨形成洪水时，习惯上分产流和汇流两个过程来考虑。

产流过程通常考虑为降雨过程与损失过程之差。对流域中某一地点讲，降雨初期雨水主要消耗于土壤表层的湿润、植物截留和洼地蓄水，而没有地表径流的产生。随降雨的继续，土壤表层逐渐湿润。若降雨强度增加到大于地表入渗能力时，地面就开始产生径流；等到降雨强度由大再渐减到小于当时的地表入渗能力时，产流过程就停止。但对流域来讲，流域面上的入渗过程又不同于单点的入渗过程。因为流域入渗过程除受各地点土壤吸水性能的影响外，还受流域地表积水表面积变化的影响，因此降雨的时间和空间变化对流域入渗过程也有影响。且流域上损失只能通过出口断面的径流过程来计算，而在初期形成的地表径流，一部分用于填充地表的局部坑洼，一部分便沿地面经河道流向出口断面因此，径流在到达出口断面以前，除入渗损失外，还继续增加了洼地和各种截留损失。

由于暴雨时空分布的变化，有时整个流域各地点同时产流，有时则只能在部分流域面积上产流。这两种不同的产流情况，称为流域上全面积产流和部分面积产流。

在流域中各地点上产生的径流，由于重力的作用，立即沿着坡面和河网向流域的出口断面汇集。在坡面上的水流受到沿程各地点产流点的补给，而当径流进入河网并沿河网向出口断面传播时，则受到沿河两侧坡面入流的补给。事实上沿流程各水流断面中不同位置水质点的流速不同，处在洪水波不同位相的各瞬时断面平均流速也不同，因而由产流点至出口断面的汇流过程，事实上包含了各地点所产生水流的混杂、互相超越、互相干扰等复杂现象。而且，严格地讲，产流和汇流过程并不是截然分开的。地面水在流域中某一地点形成后，在向出口断面汇集的过程中，损失现象并不会完全停止。特别在坡地汇流过程中，当雨停后而地面径流未终止前，仍有损失发生。汇入河网的径流当突然展开至河滩上时，也会增加一部分入渗和截留损失。一部分在初期渗入土壤表层的水量，在整个洪水过程的落水尾段又会重新回到河槽中来。这些过程实际上是交织地进行着的。能够真实地反映这样过程的计算将非常复杂和烦琐，至今还没有这样的计算方法，当前的资料条件也不能满足这样计算要求。因此多数的计算理论和方法，仍然只能建立在将产流和汇流分开考虑，并对流域降雨、损失、汇流等过程进行一系列概化和假定的基础上，近似地描绘暴雨径流的形成过程。

苏联维里坎诺夫从水流连续方程出发，将距出口断面具有相同汇流时间 τ 的各地点

联接起来绘成等流时线，每条等流时线与出口断面和流域边界线所围成的等流时面积用 $\omega(\tau)$ 来表示，则等流时线面积随汇流时间的变化率就等于 $\partial\omega(\tau)/\partial\tau$ ，可称其为等流时面积曲线。假设在每两根相邻等流时线间的面积 $[\partial\omega(\tau)/\partial\tau]d\tau$ 上，某瞬时 t' 的净雨强度 $i_{t'}$ 相应产生的单元流量为 $Q_{t'}$ ，即

$$\Delta Q_{t'} = \frac{\partial\omega(\tau)}{\partial\tau} d\tau i_{t'} \quad (1)$$

这个流量要经过 τ 时间后才能流到出口断面，所以 $Q_{t'}$ 流达出口断面的时刻为 $t = t' + \tau$ ，在出口断面上某瞬时 t 的流量 Q_t ，等于在此时刻到达出口断面的各块面积，在不同瞬时由净雨强度 $i_{t'}$ 所产生的 $Q_{t'}$ 之和，即

$$Q_t = \int_0^t \left(\frac{\partial\omega(\tau)}{\partial\tau} \right)_{\tau} i_{t'} d\tau \quad (2)$$

因为 $t' = t - \tau$ (3)

则上式变为
$$Q_t = \int_0^t \left(\frac{\partial\omega(\tau)}{\partial\tau} \right)_{\tau} i_{t-\tau} d\tau$$

或
$$Q_t = \int_0^t \left(\frac{\partial\omega(\tau)}{\partial\tau} \right)_{t-\tau} i_t d\tau \quad (4)$$

方程式 (4) 是描述流域径流形成过程的通用表达式。它体现了在流域线性汇流系统中，净雨过程、流域汇流过程和流域出口断面的出流过程三者之间的定量关系。

从数学上讲，若已知函数 i 及 $(\partial\omega/\partial\tau)_{\tau}$ 过程求函数 Q_t ，则称之为杜哈麦尔 (Du Hamel) 积分，或称卷积分，或者称函数 $Q(t)$ 为函数 i_t 与 $(\partial\omega/\partial\tau)_{\tau}$ 的褶积；若已知函数 i_t 和 Q_t 反求积分方程中的核函数 $(\partial\omega/\partial\tau)_{\tau}$ ，则称为求积分方程的解，这种求解过程也可叫作水文系统的辨识。

在许多不同的科学领域中，两个函数的褶积是一个很重要的物理概念。然而，和许多重要的数学关系式一样，从褶积积分本身很难直接揭露出它的真实含义。为了进一步理解上述径流形成过程在流域上的具体应用，同时也为了弄清推理公式形成最大流量的两种汇流条件的实质，我们不妨先通过图解分析来说明褶积的真实含义。

设 $x(t)$ 和 $h(t)$ 分别为图 1 所示的两个时间函数。要计算公式 (4) 的值，就需要给出 $x(\tau)$ 和 $h(t-\tau)$ (为简化计 暂先给定常量) $x(\tau)$ 和 $h(\tau)$ 就是 $x(t)$ 和 $h(t)$ 只是把变量 t 换成了变量 τ 。 $h(-\tau)$ 就是 $h(\tau)$ 关于纵轴的镜像 (即图形以纵坐标为对称轴折叠) 而 $h(t-\tau)$ 即是 $(\partial\omega/\partial\tau)_{-\tau}$ 在横轴上平行移动一个 t 值。图 2 示出了函数 $x(\tau)$, $h(-\tau)$ 和 $h(t-\tau)$ 。

要计算积分式 (4)，就必须对从 0 到积分上限的每个 t 值将 $x(\tau)$ 和 $h(t-\tau)$ 相乘并积分。如图 3 (a) 和 (b)，可以看出， $x(\tau)$ 和 $h(t-\tau)$ 的乘积是一个自变量为 τ 的函数，我们用斜线标明该函数所对应的曲边梯形。该函数的积分值就是斜线阴影部分各离散纵标值与其 $x(\tau)$ 所对应纵标值乘积之和。

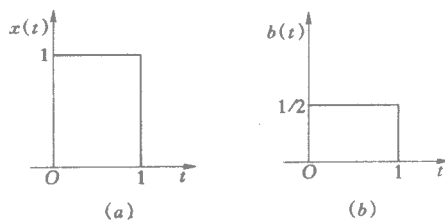


图 1 用来计算褶积的两个函数过程