

文章编号: 1001-6791 (1999) 03-0265-06

水分循环与气候背景

张 家 诚

(中国气象科学研究院, 北京 100080)

摘要: 指出水分循环的关键在于海洋通过大气向大陆输送水分。水分循环的基本环节, 都同气候有密切关系。夏季风在输送水分中有极其重要的作用, 季风环流的高变率是水分循环高变率的重要原因之一, 论述了厄尔尼诺与全球增温等气候变化现象对水分循环的复杂影响过程, 指出现代水荒是人类活动对气候变化影响的主要结果之一, 人类根据自然规律, 能够调控好自己与自然界的 关系, 保证正常的水分循环, 解决现代水荒问题。

关键词: 水分循环; 气候; 气候变化; 人类影响; 自然灾害

中图分类号: P 339 **文献标识码:** A

现代关于水分循环的最早研究是 40 年代在苏联开始的^[1], 我国 50 年代起也开始了此项研究, 其中, 高国栋、陆渝蓉在 70 年代的工作比较系统^[2], 这些工作大多着重于水分循环各分量的气候平均情况的分析与研究。在我国的暴雨研究中, 也曾计算过水分输送量。1997 年刘国纬的水文循环的大气过程是较全面研究水分循环与大气关系的最新著作^[3], 表明了水分循环的研究已由单纯的水分计算向水气关系研究发展。

本文注意到人类活动已成为水分循环的一个重要环节, 提出人类与自然界系统的水分循环概念和水分不足地区(即干燥度大于 1, 水分不足已经影响到社会经济发展的地区)的水分供需平衡模式。这就把水分循环从一个纯自然科学问题扩展成社会科学与自然科学的问题, 并指出, 面对现代水荒的严峻形势, 水资源概念尚有待于改革完善^[4, 5]。

从宏观上看, 水分循环对人类的影响主要在陆地, 其中植被与气候都是受人类影响最敏感的两方面, 它们又都是水分循环的关键环节, 因而讨论水分循环问题不能不联系气候与植被的变化。

1 水分循环与气候

水分循环的关键是海洋向大陆输送水分, 因为陆地获得水分, 才能保证陆地表层生态循环, 并为人类提供所需的生态环境, 水分循环是贯穿和连系各种自然与社会现象的纽带, 因而有极其重要的意义。

收稿日期: 1999-02-26; **修订日期:** 1999-04-06

作者简介: 张家诚 (1927-), 男, 湖南溆浦人, 中国气象科学研究院研究员, 苏联副博士。主要从事气候学研究。著有《中国气候》《气候变迁及其原因》《地理环境与中国古代科学思想》等专著 18 部, 发表学术论文 300 余篇。

过去,气候学与水文学所研究的水分循环主要是自然界里全球或区域性的宏观的静态现象,但到了现代水分循环已经成为人类与自然系统间的动态过程,其情况如图 1 所示:

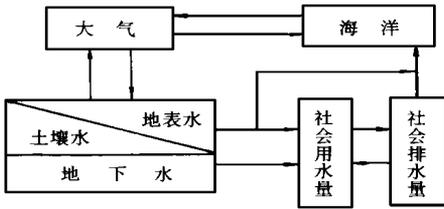


图 1 人类与自然系统的水分循环示意图

Fig. 1. A sketch of water circulation in watermen system

图 1 中的粗线表示水分循环的主线,水分循环基本上是由四个主环节组成,即蒸发(海洋向大气供水),大气环流(地区间水分交换的载体,主要是水汽从海洋向大陆),降水(大气向陆地供水),径流(水分从陆地返回海洋)。其中,大气环流还能影响到降水与蒸发过程,因而发挥水分循环的枢纽作用。

除了这个主循环外,还有各种分枝循环过程,包括海洋内部和大陆内部的水分循环,应当指出,内循环是不完整的,它只是对海陆之间的大循环的补充,不能离开海陆之间的大循环而独立存在,大陆的内循环更是如此,因为凡是海洋水分难以到达的地区,就是降水很少的干旱地区,说明了陆地对海洋水分的依赖关系。

水分循环的每个环节都有其特殊的性能,都分别受气候条件的制约,形成十分复杂的相互制约过程,特别是水分在陆地活动的一段,情况尤为复杂,牵涉到各个地区的物理、化学、生物过程和各种人类活动,对于各地的地理景观和人类社会经济活动都有决定性的意义。同时,水分循环随自然与人类的原因而分解成无数微小的循环过程,各有自身的规律性,也是水分循环中最易受到影响,变率最大,最为敏感和最复杂的环节。

大陆水分主要来源于海洋,但是海洋供水只集中在一定地带(表 1^[6])。

可以看出,纬度 20°~40° 之间海洋的蒸发超过降水,是大气水分的主要源地,这一地带的太阳辐射强,温度高,因而有较强的蒸发力,由此可见,海洋虽是水分的主要源地,但水分的循环的原动力却在于能量的供给,水汽由海洋输送大陆主要依靠大气环流,特别是从 20°~40° 的洋面流向大陆的气流十分有利于输送海洋提供的水分,应当指出,夏季风正是从热带海洋流向大陆的气流,给陆地带去丰富的水分和大量的降水。

位于纬度 40°~70° 之间的西风带并不是海洋蒸发最大的地带,但强大的暖洋流使这里洋面温度升高,加强了洋面蒸发。这种情况在冬季更加明显,使得位于西风带的欧洲等地成为多冬雨的地方。此外,在高纬度地区的个别朝向海洋气流的迎风坡上也是多降水的地方。

我国属季风区,夏季风是输送水汽的主要气流,根据水文局统计的水汽输送情况^[6](表 2),也清楚表现我国输入的水汽中近 2/3 的水分是由夏季风从南方输进的。

表 2 我国大陆上空平均水汽净输入量 (1973~1981 年) 亿 t

Table 2. Mean net input of vapour over continental China, 1973~1981

边界	东	南	西	北	合计	大陆降水	大陆蒸发
水量	- 64849	57691	15529	15386	23757	61889	37932

表 1 北半球各纬度的蒸发减降水差值 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$

Table 1. Difference of evaporation and precipitation in latitudinal zones

纬度	大陆	海洋	半球
0°~10°	- 56	- 29	- 35
10°~20°	- 19	48	30
20°~30°	- 14	67	36
30°~40°	- 9	37	17
40°~50°	- 19	- 24	- 21
50°~60°	- 28	- 18	- 24
60°~90°	- 20	- 9	- 15
0°~90°	- 22	14	0

关于季风雨的成因,竺可桢早在1934年就曾指出,印度的季风雨主要是地形雨^[7],西南季风遇到喜马拉雅山的南麓就形成一条十分强大的雨带,中国的季风雨则主要是锋面雨,出现在冬夏两种季风的界面上,两种季风在我国雨带的形成中都是不可缺少的。因此,在雨季的雨量涉及两个季风的强度与进退速度及其界面在一个地区停滞的时间是决定雨季降水量的最重要的因子,与气候变化的关系也最密切。

由于中国的冬夏季风的强度与进退,同许多地方的冷热源强度与大气环流的变化有关,故中国的降水是全球变化所制约的一个变量。

2 水分循环与气候变化

过去水分循环的研究着重于多年平均情况,因而各地的水分收支基本上是平衡的,但各地每年的水分收支并不是平衡的,甚至还有旱涝灾害。旱涝是有关地区水分失衡的两种表现形式,也是人类经常受到的两种灾害,旱涝形成的原因很复杂,每个原因又是众多因子共同作用的结果,同大气环流与各地的冷暖状况都有密切的关系。

以近年来人们关注的厄尔尼诺为例,它就是十分复杂的海气耦合的结果,由于厄尔尼诺改变了赤道太平洋的东西温度对比,使这里的沃克环流几乎倒转方向,并使赤道太平洋的主要降水区与蒸发区互换位置,导致水分循环的方向反转,成为赤道太平洋东西岸旱涝灾害以及世界各地的天气气候异常现象的一个重要原因^[8]。

中国位于赤道太平洋地区的西北边缘,厄尔尼诺影响到夏季风的强度,由于厄尔尼诺在冬季达到极盛,故这种影响也在冬季最为明显。平均状况而言,冬季副热带高压的影响已经退出中国的大陆,但在厄尔尼诺年的冬季,副热带高压的西北侧却可以把热带海洋的暖湿气流推进到我国南方。1982~1983年出现强大的厄尔尼诺,1983年的1~3月在广东、福建有些地方的降水量达到常年的3~6倍,1997~1998年的厄尔尼诺更强于1982~1983年,这年的冬季强降水带的位置也更为偏北。1998年的冬末和1999年初春浙江、江西不少地区降水量也达到常年的3倍以上,使这年冬季底水很高,增加了夏季洪水的严重性。

更加异常的是,1998年在强大的厄尔尼诺之后,又出现了强大的拉尼娜。据观测,1998年的5月中旬到6月中旬,热带太平洋的中部与东部的表层海水温度,急速下降 $7\sim 8^{\circ}\text{C}$,比正常年份低了 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,使得原在7月10日已经北进到北纬 30° 的副热带高压又南退到 18° 左右,这一年梅雨前厄尔尼诺使副热带高压提前进入梅雨时的位置,梅雨后因拉尼娜的影响,又使副热带高压退回到梅雨期的位置,因而使雨带长期维持在长江流域,是这年长江大水的主要原因。

1983年虽然前期因厄尔尼诺的影响,南方有过冬季洪涝,但却没有拉尼娜的影响,雨带并不在一地长期停滞,降水也不突出。1954年是本世纪的又一个大水年,这年的前期受厄尔尼诺的影响,副热带高压偏强,从春季起就雨水偏多。在7月又受拉尼娜影响,副热带高压又偏弱,更使雨带长期维持在长江流域,成为这年的长江流域出现特大洪水的原因。

由此可见,厄尔尼诺通过对副热带高压的位置与强度,影响到夏季风,但中国的季风雨是冬夏季风共同影响的结果,在多水年,冬季风(冷空气活动)也要一定的强度,才能使夏季风的水汽形成降水。否则,即使夏季风很强,也难以产生较大的降水,甚至还可能出现干旱。据统计,在厄尔尼诺年中,中国也出现过严重的旱灾,例如,近500年里最大的旱灾出现在1637~1641年(即明崇祯末年),其中最严重的1640年即为厄尔尼诺年,在500年中最大的10个干

早年中有 4 个厄尔尼诺年，由此可见，在厄尔尼诺年中也有可能出现旱年。

其它各个因子的情况也同厄尔尼诺相似，都有其复杂的原因与影响。

当前最为世人关注的气候变化是人类过多使用石化能源引起的大气的温室效应增强所导致的全球增温问题，政府间气候变化委员会提交 1990 年第二次世界气候大会的报告中指出：“较小的气候变化能引起许多地区水资源的大问题，特别是在干旱和半干旱地区以及由于需水或水污染引起水资源短缺的那些湿润地区……根据 1 到 2 的增温方案，再设想降水减少 10%，则可能引起年径流减少 40%~70%。”全球增温将加速海平面上升……预计（在 2050 年前）海平面上升 30~50cm，将会危及低的岛屿及海岸带，而到 2100 年海平面上升 1m，将使某些岛国无法居住，数以千万计的居民要迁移，严重危及地势低洼的城市区域，洪水淹没生产的土地，污染淡水供应以及改变海岸线。”

在这里明确指出全球增温既影响陆地水资源，也影响到海洋的水分收支平衡，这就说明了水分循环不但受到自然界气候变化的影响，而且在现在正在受到人类活动引起的气候变化的影响，人类影响气候变化的过程可用图 2 表现出来。

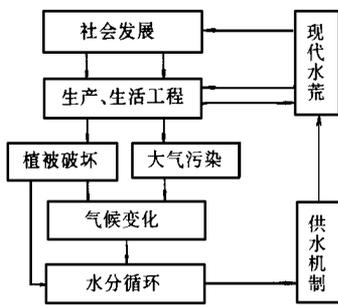


图 2 人类原因的气候变化对水分循环的影响

Fig. 2. Impact of Climate change of anthropogenic origin on water circulation

从图 2 可以看出，人类对水分循环的影响反过来又影响到人类自己，全球增温引起蒸发加强，有可能增加降水，但由于高纬度地区增温的幅度远大于低纬度地区，这就减少了径向温度梯度和西风强度，也减少了中纬度地区由海洋向大陆水分的输送；而大陆的蒸发因增温而有所加强，两种作用的结果都使得这一地带有可能出现干旱化趋势。

全球增温会引起夏季风加强，使夏季风能到达更远的内陆与北方，季风区的边沿地带会得到更多的雨泽，有利于缓和那里的干旱，这种情况也为我国的历史气候史料所证实^[9]。

另外，由于人类破坏植被，影响到雨水无阻拦地迅速汇集流失，失去渗入土壤所需的时间，也无法补充地下水，水土流失丧失了土壤，也就破坏了土壤含水功能，这都使水资源的形成机制受到严重破坏。其结果，增加了洪水的频率和强度，洪

水流失使当地蓄水减少，引起干旱频繁发生，结果，自然界失去原来的协调功能，水分循环发生了巨大的改变。

社会生产规模日益扩大，人口急剧增加，生活水平也很快提高，迅速增加了对水资源的需求，水资源形成率不断下降，但社会需水量却不断上升，这就出现水资源供不应求的局面，水荒就成为现代水分循环的一个重要发展趋势^[9]。

3 气候工程与水分循环

人类不同于其它动物的一个关键在于能够采取工程手段以协调自己同自然界的联系。气候作为一种与人类关系最为密切与变化最大的自然现象，人类也最早采用工程措施以应付多变的气候，这就是气候工程^[10]。例如，房屋就是一种适于生活与生产需要的小气候工程，农业就是利用日光能与水分资源取得更多生物产品的生产工程。

在气候工程中，控制水分循环是其中的一个关键问题，可以说，房屋的第一功能是避雨，只

有在较寒冷的地区房屋才增加防寒等其它功能, 农业生产和季节变化的关系主要依靠正确掌握农时来解决, 而水分的调控是生产过程中的关键问题。在古代历史上人类广泛采用水利工程, 作为防御旱涝灾害和更好利用水资源的重要手段。到了现代, 人们又用地膜与塑料大棚等进一步调控农田水分, 对农业生产的发展有着十分重要的意义。

应当指出, 在 20 世纪以前人类的生产力还不大, 那时的气候工程只是一种被动适应性措施。到现在, 情况有了根本的改变, 人类已经能够在很多方面影响到气候, 特别是在一些地区的水分供需失衡和水资源形成机制的损害, 这严重影响到人类的发展, 现在的问题是如何重新协调人类与气候的关系, 力求为水资源的供需平衡创造良好的背景条件。

其中节水是关键。节水并不是不得已而为之的消极措施, 而是提高水分效益的积极行为。应当认为, 节水的余地是很大的, 就华北而言, 农业一直是用水大户, 但只要采取先进灌溉技术(如滴灌, 渗灌等)就能成倍地减少水耗, 何况当前旱农技术正方兴未艾, 先进的旱农的生产水平并不低于灌溉农业, 前景很大, 在工业与生活用水上同样也有巨大的潜力。

另一方面, 生态系统对地球自然界自我协调有强大潜力, 恢复和发展生态系统就是积极影响陆地水分循环的重大措施。在这方面是大有可为的, 即使在生态系统破坏最严重的城市, 绿化也取得了值得鼓舞的成绩。但是, 城市单靠增加绿地面积, 前景仍然是十分有限的, 只有每座建筑物绿化, 才能开辟广阔的前景。目前已有一些建筑物的屋顶种花, 种草, 植树, 墙壁爬满藤科植物, 整座建筑物变成一个绿色的山丘。如果推而广之, 座座建筑物都同样绿化, 则高楼林立的城市就会变成层峦叠翠的自然景观, 实现建筑与环保的完美结合。

人们还可以用多层次的水利工程去拦蓄暴雨, 最大可能地扩大水资源在雨水中的比例。

一般说, 如果雨水在土面上有足够长的入渗时间, 每米土层至少可以含蓄 100mm 的降水量。为阻止雨水的过速流失, 除植被外, 制造蓄水的微地形, 如鱼鳞坑、水平沟与水平梯田等, 一般也能蓄 100mm 的降水量。如果每 10km^2 的面积里修建一个或多个总库容为 100万m^3 的山间水库, 又可蓄 100mm 的降水量, 如果每 10万 km^2 (略大于浙江省) 的面积内修建一个或多个总库容为 100亿m^3 (相当新安江水库库容的两倍) 的水库, 还可多蓄 100mm 的降水量。

因此, 层层拦截径流, 可以使 300mm 以上的暴雨的水量转变成水资源。

上面提到的气候工程, 一般属于技术工程, 但气候既然是社会共享的环境条件与资源, 它必然具有规划与管理工程的一面, 以色列就已把全国水的分配与用水指标作为国家的规划与管理措施而严格控制执行, 因而气候工程既是技术工程, 也是社会工程, 作为社会工程的一个重要动向就是 1992 年在联合国环境与发展大会上提出的《气候变化框架公约》, 这个公约更把防止温室效应等气候问题作为人类共同努力的目标与规范, 要求各国执行, 如果此项公约能有效执行, 则全球增温所引起的气候变化将会得到控制, 而在此背景上, 水分循环将在一定的范围内受到保护。

地球是一个水分充足的星球, 现代水荒不过是人类与自然界关系失衡的一个表现, 它将随着人类的发展而得到克服, 人类社会也将在与自然界关系协调的情况下而持续发展。

参考文献:

- [1] A lisov B P, O A Drozdov, E C Rubinstein. The Course of Climatology[C], Hydro-Met. Izdat (in Russian), 1952, 75~ 83
- [2] 高国栋, 陆渝蓉. 中国地表面辐射平衡与热量平衡[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 138~ 162
- [3] 刘国纬. 水分循环的大气过程[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 1~ 239
- [4] 张家诚. 水分平衡与降水评价[J]. 地理研究, 1988, (7): 27~ 33
- [5] 张家诚. 水分不足地区降水资源供需平衡模式[J]. 应用气候学报. 1994, (3): 494~ 499
- [6] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987. 14~ 20
- [7] 竺可桢. 东南季风与中国之雨量[M]. 地理学报, 1934(创刊号).
- [8] 张家诚. 再见, 厄尔尼诺. 上海: 上海科学技术出版社, 1999, 1~ 111
- [9] 张家诚. 二氧化碳的气候效应与华北干旱问题[J]. 气象, 1989, (3): 3~ 9
- [10] 张家诚. 气候与人类[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1988. 293~ 342

Water Circulation and Its Climate Background

ZHANG J ia-cheng

(Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: The article takes water transporting from oceans through atmosphere to the continents as a key link of water circulation, which consists of evaporation, precipitation, atmospheric circulation and runoff as its main constituents, related closely with climate and its change. From the main zone of evaporation in oceans, the summer monsoon is the essential current of water transportation. The high variability of monsoons would cause the high variability of water cycling. The article discusses how El-Niño and global warming influences the water cycling and precipitation. It is highlighted that the importance of human activities is one of the causes forming the water deficiency in modern times and confirms that man would be able to reestablish the harmony between nature and man, and successfully solves the water problems confronted.

Key words: water circulation; climate; climate change; anthropogenic influence; natural disaster