

# 基于河流健康及国际法的跨境水分配关键指标及阈值

冯彦<sup>1,2</sup>, 何大明<sup>1,2</sup>, 王文玲<sup>1,2</sup>

(1. 云南大学亚洲国际河流中心, 昆明 650091;

2. 云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室, 昆明 650091)

**摘要:** 基于前期研究中获得的8个河流健康主要评价指标、3个主要跨境水分配指标的结果以及指标之间的相关性, 确定了河流健康和跨境水分配的关键指标: 多年平均水量、最大取水量和最小维持水量。跟踪查询《国际淡水条约数据库》内1864-2002年应用3个关键指标的38个国际条约及其所涉及28条国际河流的主要水文信息, 通过对条约中水分配指标的标准化计算和分析, 得到各指标阈值及其区域性特征: ① 最小维持水量指标得到普遍应用, 其次是多年平均水量指标, 而最大取水量指标应用率明显低于前两个指标。② 应用多年平均水量指标, 在界河上基本确定了平均分配方案, 阈值为50%; “内河”属性支流的阈值为100%; 跨境河流上产生了较多的差额分配方案和较多的上游国用水多于下游国的方案。③ 最小维持水量指标, 其应用有从发达地区向发展中地区扩展、从保证用水向维持生态用水发展的特点; 当该指标在跨境和界河的河流尺度上用于保证供水时, 该指标阈值平均分别为41.7%和50%, 且流域国家实力对其影响极为明显, 而在跨境河流河段尺度上阈值平均为36.1%; 用于维持河道生态水量时, 阈值平均为14.7%, 并有逐步增长的趋势。

**关键词:** 跨境水分配; 关键指标; 阈值; 河流健康; 国际法

DOI: 10.11821/dlxb201501010

## 1 引言

随着对河流健康问题及其评价的广泛研究, 维护河流健康被视为实现水资源可持续利用的基础<sup>[1-4]</sup>。在全球变化背景下, 跨境水资源的合理利用与协调管理、公平分配与利益共享、地缘水政治等广受关注<sup>[5-7]</sup>。近20年来对跨境水分配的相关研究认为<sup>[8-16]</sup>: 构建合理的水资源分配模式比解决冲突更为有效和节约成本; 减少冲突风险最重要的是实现跨境水资源公平与可持续的分配; 跨境水分配和国际合作是结束冲突、重建区域相互信任、安全发展的关键; 解决分歧的合作应注重水需求或一揽子利益的分配, 公平的利益分配更有可能实现双赢; 基于国际公约, 以不同情景确定跨境水资源公平合理利用需考虑的因素及不同的水分配方案。

国际法是解决跨境水资源利用分歧的主要途径, 流域国之间的缔结区域性和流域性

收稿日期: 2014-10-08; 修订日期: 2014-11-03

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目(U1202232); 国家社会科学基金重点项目(11AZD04); 国家科技支撑计划课题(2013BAB06B03, 2011BAC09B07); 国家自然科学基金项目(40971091) [Foundation: Key Project of National Nature Science Foundation of China, No.U1202232; Key Project of National Social Science Foundation of China, No.11AZD04; National Science and Technology Support Program, No.2013BAB06B03, 2011BAC09B07; National Nature Science Foundation of China, No.40971091]

**作者简介:** 冯彦(1967-), 女, 研究员, 主要从事国际河流水资源利用与管理研究。E-mail: fengyan@ynu.edu.cn

协定/条约则是跨境水资源利用、管理及利益协调的具体实践<sup>[18-19]</sup>。研究、分析相关国际条约,对揭示跨境水资源分配模式、指标特征及其阈值具有重要指导意义。

## 2 基于河流健康及国际条约的跨境水分配关键指标确定

维护河流健康、遵循国际法的跨境水资源分配将是寻求国际河流水资源公平合理和区域和平与稳定的最终目标。作者考虑将河流健康的主要指标与以国际条约方式确定下来的跨境水分配主要指标进行归纳合并,求得两者的交集,即确定基于河流健康和国际条约的跨境水分配关键指标。通过前期研究,作者已筛选出河流健康评价的8个主要指标:河岸植被覆盖率、河流连续性、湿地保留率、径流变化率、水质达标率、鱼类生物完整性指数、水资源利用率和土地利用率<sup>[20]</sup>,并从国际条约中判识出跨境水分配的3个主要指标:多年平均水量、最大取水量和最小维持水量<sup>[21]</sup>。

分析河流健康评价8个指标和跨境水分配3个指标之间相互关系特征,认为:①河流健康8个主要指标从4个方面(河流生境物理特征、水环境特征、水生生物状况和水资源开发状况)综合反映河流生态系统基本特征,而河流水分配则集中关注的是水文指标,从本文当今目标出发,关键指标应为反应河流水文特征及水资源开发状况的指标。11个指标中的5个:径流变化率、水资源利用率、多年平均水量、最大取水量和最小维持水量与本文主题直接相关。②5个水资源指标之间,多年平均水量是反应流域水资源状况的基础性核心指标,它既可以作为一个独立性指标来反应流域水资源基本特征,也可以作为核算其它指标的一个基础参数来间接揭示流域水资源状况。为此,首先将其确定为关键指标之一。③在径流变化率、水资源利用率和最大取水量之间,最大取水量直接反映了流域水资源利用率,在时间尺度上也决定着径流变化率。例如,取水量除以多年平均水量可表达为水资源利用率;如果有长时间系列的水文观测数据,则“径流量”扣除“取水量”再除以“多年平均水量”的一个序列可表达为“径流变化率”,因此,最大取水量可确定为第二个关键指标。④最小维持水量指标,在跨境水分配条约中多被用于约束上游国用水量、保证下游国用水量和下游河道水流。近年来,一些跨境河流委员会/流域机构以备忘录的方式不断调整该水量,以满足河流生态系统所需水流,使其内涵正逐步与“最小生态/环境需水量”<sup>[22]</sup>、“环境水流/流量”<sup>[23]</sup>的内涵接近,且其与维持河流水资源可持续利用直接相关。因此,“最小维持水量”应为跨境水分配的关键指标。

综上所述,基于河流健康指标和国际法的跨境水分配指标,多年平均水量、最大取水量和最小维持水量3个指标将作为本文讨论的关键指标,并进行其阈值的确定。

## 3 跨境水分配关键指标阈值

### 3.1 关键分水指标国际条约的分布特征

基于美国俄勒冈州立大学建立的《国际淡水条约数据库》(International Freshwater Treaties Database)(1864-2007年),我们跟踪查询了49个有量化指标的跨境水分配国际条约<sup>[21]</sup>,增加和最终确认在1864-2002年间应用以上3个关键指标的国际条约共38个,涉及28条国际河流和41个国家(未考虑苏联1990年解体、卡恩格瓦尼于1994年并入南非的情况)(表1)。

分析相关国际条约、涉及流域和国家的分布特征,发现:①尽管仅有38个国际条约

表1 跨境水分配关键指标的应用及其分布情况  
Tab. 1 Adoption of the key indicators and their regional distribution

区域	国际河流			应用关键指标的分水条约、河流、国家及其占所在区域比例					
	条约数 (个)	数量 (条)	国家 (个)	条约		国际河流		涉及国家	
				数量 (个)	比例 (%)	数量 (个)	比例 (%)	数量 (个)	比例 (%)
北美	91	40	12	7	8%	6	15%	3	25%
欧洲	215	69	39	10	5%	9	13%	14	36%
亚洲	86	57	35	16	19%	10	18%	16	43%
非洲	80	59	48	4	5%	2	3%	6	13%
南美	50	38	13	1	2%	1	3%	3	23%
全球	522	263	147	38	7%	28	11%	42*	28%

注：\*因前苏联分别在亚洲和欧洲与相关国家签订过分水协定，产生了重复统计，实际应为41个国家。

应用这3个关键指标进行跨境水资源分配，占1820-2007年间可确认的5大洲522个跨境水条约总数的7.3%、涉及全球11%的国际河流及超过1/4的国际河流流域国，但却占49个定量化分水条约的77.6%，表明关键指标在定量化分水条约、涉及流域国方面具有较好的代表性。② 38个条约涉及的28条国际河流均为跨越3个以上国家的河流，但有35个条约（占92%）为双边条约，说明绝大多数条约仅解决了流域局部区域和部分流域国之间的分水问题。③ 38个条约签订于1864-2002年期间，从138年间3个关键指标的区域实践上看（表2），欧洲的分水时间跨度最长，达134年，其次是北美，为91年，之后是亚洲、非洲和南美，后三者均是在第二次世界大战和结束殖民统治之后才逐步推动了独立地跨境水分配实践。从区域分布情况看，亚洲、欧洲和北美洲的分水条约数量多（33个）且比重大（86.8%），而非洲和南美洲产生的分水条约非常有限，表现出分水条约具有明显的区域性与时序性差异特征。④ 亚洲16个分水条约涉及9条国际河流、16个国家，存在同一条河上续签多个条约和同一河流不同河段由不同国家间签订条约的情况，具有涉及河流和签约国相对集中的特征；欧洲10个分水条约涉及10条河流、14个国家，存在同一条约涉及多条河流和不同条约解决同一河流不同支流问题的情况，说明欧洲在较多河流上实现了水分配；北美洲7个分水条约涉及6条国际河流和3个流域国，存在一个条约涉及多条河流和相同流域国在同一河流不断签订新条约的情况，体现出其分水实践集中且不断调整的特征。

3.2 基于流域水资源特征的关键分水指标阈值

利用各类中英文图书期刊出版物、数据库及网站，查寻28条国际河流主要水文信息（多年平均径流量、历史最大和最小流量等）<sup>[24-39]</sup>，以此将各关键指标值折算为其占河流分水点处多年平均径流量的百分比，并将该值定义为指标阈值（表3）。其中“多年平均水量指标阈值”下的国1、国2及其阈值分别表示在跨境河流的上游国、下游国，以及界河的左、右岸国各获得的可用水量比例；“最大取用水量指标阈值”，在跨境河流上指上游国、在界河上指两国共同或其中之一获得的最大可用水量比例；“最小维持水量指标阈值”在跨境河流、界河以及内河支流上分别指下游国、界河一国和非内河支流所在国获得的最小可用水量比例，或者签约国需共同维持或预留的最小水量比例。以此使得各指标间具有可比性，以揭示不同地区、时期、河流属性和分水目标下的指标阈值及其特征。

3.2.1 多年平均水量指标阈值及区域性特征 多年平均水量指标在24个条约中（占63.2%）得到应用，其应用量仅次于最小维持水量指标（表2）；该指标在河段（指支流或干流中上游部分河段）和河流（指河流或分水点位于干流下游近河口处）2个尺度，以及内河支流、跨境河流和界河/湖3种属性中均得到应用（表3）；在几大洲中，北美洲

的应用率最高，为 85.7%，其次是非洲与亚洲，分别为 75%和 68.8%，较低的是欧洲，为 40%，表明其应用具有较高的普遍性。

分析多年平均水量指标的应用及其阈值特征（表 2、表 3），结果显示：

（1）北美洲：6 个条约在河段和河流 2 个尺度和内河支流、跨境河流及界河 3 个河流属性上应用多年平均水量指标分水，是区域内采用最多的指标。2 个条约明确规定国家对国际河流的不跨境支流（完全位于一个国家内，本文称内河支流）水资源拥有 100%使用权；1 条约（1944 年《美国与墨西哥关于科罗拉多河、提华纳河和格兰德河水利用条约》）将格兰德河墨西哥一侧 6 条不跨境支流 1/3 的水量分给美国，但其实质是墨西哥为了从科罗拉多河多获得一些水量，而出让了以上支流的部分水权，表明不跨境支流的“内河”属性是得到认可的。3 个条约在河段尺度上规定 3 条跨境河流流域国双方总体上按各 50%的用水比例进行分配（即“平均分配”），其中 2 个条约规定在灌溉季节将两年径流量相当的跨境支流水资源分别优先且高比例分配给一方（加拿大优先获得圣玛丽河 75%水量时，美国则优先获得 Milk 河 75%的水量），而两河剩余 25%的水量留给另一方，形成了表面上的产生差额分配方案（表 3 北美河段跨境 1），实则仍为“平均分配”，包括水量和河流单元上的平均。但由于自上世纪 90 年代以来，以上河流水流量持续减少，2000 年美加两国将原平均分配方案为调整为差额方案（表 3 北美河段跨境 3），但差异不大，没有明显偏离“平均分配”。2 个条约规定 2 条界河上两国用水份额各 50%，仍为平均分配。总体上，北美洲在河段尺度上形成了“内河”支流所有国拥有完全的水资源利用权，跨境支流上为各 50%的平均分配模式，但有视水资源情势变化而调整的特点，在河流尺度上界河水资源也为平均分配。

（2）欧洲：该指标有 4 个区域性条约在河段和河流尺度上对界河和跨境河流分水，其应用率在 3 个关键指标中居第 2。3 个条约规定界河和界河段两国的用水比例各为 50%，也为平均分配。1 个条约在跨境河流上实行差额分配，上游国（南斯拉夫）占 15%、下游国（意大利）占 85%，但下游国需为此向上游国提供经济补偿。可见，欧洲应用该指标分水时侧重于界河水分配，且为平均分配，跨境河流则为差额分配。

（3）亚洲：共有 11 个条约应用该指标在河段、河流尺度上对界河/湖和跨境河流分水，是该区域应用率最高的指标。在河段尺度上，4 个条约对界河段用水实行平均分配，用水阈值各为 50%；3 个条约在跨境河段上进行差额分配，其中 2 个为上游国用水阈值大于下游国、1 个为下游国大于上游国，最小阈值为 36%、最大为 60%，即上下游国家间用水阈值差异最小为 3%、最大为 20%。在河流尺度上，3 个条约在跨境河流上产生了 3 平均分配方案，其中 1 个条约（印度河分水条约）将流域 6 个水系平均分配给两国（印度与巴基斯坦），即各国拥有对 3 条干/支流的无限制利用权，因支流间径流量有实际差异，造成实际水量分配差异较大（巴基斯坦占 80.4%，印度占 19.6%）<sup>[40]</sup>，其比例基本等

表 2 应用关键分水指标条约的区域和时间分布  
Tab. 2 Regional and temporal distribution of the treaties with adopted the key indicators

区域	时间(年)	用多年平均水量指标的条约数(个)	用最大取用水量指标的条约数(个)	用最小维持水量指标的条约数(个)	条约数合计(个)
北美	1909-2000	6	4	5	7
欧洲	1864-1998	4	1	6	10
亚洲	1957-2002	11	2	9	16
非洲	1959-1992	3	1	4	4
南美	1979			1	1
条约数合计(个)	1864-2002	24	8	25	38

表3 分水指标阈值、涉及条约数量及区域分布

Tab. 3 Thresholds of the indicators, numbers of related treaties in different regions

地区	分水点	河流属性	多年平均水量指标阈值及条约			最大取用水量指标阈值及条约		最小水量指标阈值及条约	
			国1 阈值 (%)	国2 阈值 (%)	条约数 (个)	阈值 (%)	条约数 (个)	阈值 (%)	条约数 (个)
北美	河段	内河1	100, 0	0,100	2	100	2		
		内河2	66.7	33.3	1			33.3	1
		跨境1	75,25	25, 75	2	75	2	25	2
		跨境2	50	50	3			40	1
		跨境3	55	45	1				
	河流	界河	50	50	2	29.5, 53	2	25,50	2
		跨境				90	1	10	1
欧洲	河段	界河	50	50	1	50	1	3.6, 15.1	2
	河流	界河	50	50	2			2.3, 8.3,12	3
		跨境	15	85	1			10	1
亚洲	河段	界河	50	50	4	4.9	1	1.7,33.3	2
		跨境	39,42,60	36,58,40	3	20	1	15.4,25,40,50,80	5
	河流	跨境1	50	50	3			37.3,39.4	2
		跨境2	53.3	46.7	2				
		界湖	60	40	1				
非洲	河段	跨境	55.8,66.3, 80.7,88.6	38.1,31.6, 7.7,4.2	2	3.6	1	2.1,6.1,7.2, 11.6,66.7	3
	河流	跨境	21.5	64.5	1			14	1
南美	河段	界河						29	1

于当时两国流域内灌溉面积用水量的比例，但从条约具体条款上看，双方确定的是水系的平均分配，为此本文将其归入平均分配；2个条约依据不同径流条件同时产生了2个平均分配方案，和2个上游国阈值（53.3%）大于下游国（46.7%）的差额分配方案；1个条约在界河/湖上产生1个上游国用水（60%）大于下游国（40%）的差额分配方案，其比值基本等于两国（叙利亚与黎巴嫩）境内流域面积占流域总面积的比例。总体上，亚洲分水复杂，但基本维持了界河平均分配，跨境河流上差额分配多于平均分配，且多数为上游国用水阈值大于下游国的特征。

（4）非洲：3个条约采用该指标分水，仅次于最小维持水量指标的应用。在河段尺度上，2个条约（Inkomati河支流南非与其下游国之间）在高低两种保证率条件下各产生了2个差额分配方案，均为上游国用水阈值大于下游国，且差异极大，如上游国在高、低保证率下获得的用水阈值分别为88.6%和55.8%，而下游国则分别为4.2%和38.1%；在河流尺度上，1个条约产生了1个下游国用水阈值明显高于上游国的差额分配方案。区域上，在跨境河流的河段、河流尺度上，非洲较其他三大洲产生了差异最大的分水方案，分析时发现获得水量多的国家（南非和埃及），其综合国力明显强于获得水量小的国家（莫桑比克、卡恩格瓦尼和苏丹），可见其水分配在很大程度上受到区域地缘政治、经济等因素的影响。

**3.2.2 最大取用水量指标阈值及区域性特征** 38个条约中有8个条约采用了最大取用水量指标，是3个关键指标中采用率最低的（表2）。其中有2个条约（1989年美国与加拿大关于Souris河供水与防洪协定、1952年波兰与德国关于界河航运及其水资源利用与维护协定）的该指标用于控制洪水流量而非分水，且其洪水控制流量远大于多年平均流量而

未纳入阈值分析。全球有4大洲采用了该指标,其中北美洲的采用率最高,占其分水条约的57%,欧洲最低,仅占其分水条约的10%,亚洲和非洲分别占其分水条约的12.5%和25%。

分析该指标在各洲的应用情况,发现:①北美洲,该指标主要用于灌溉、景观和发电用水分配;在河段尺度上,2个条约规定内河支流阈值100%、跨境支流的阈值为75%;在河流尺度上,2个条约定界河(尼亚加拉河)的发电用水和景观用水阈值分别为29.5%和53%,1个条约确定跨境河流用水阈值可达到90%(科罗拉多河),为差异极大的分配方案。②欧洲,1个条约在河段尺度上限定界河最大用水阈值为天然水量的50%,仍是平均分配。③亚洲,在河段尺度上,1个条约为保证界河电站用水而限定上游国的用水阈值为4.9%,1个条约为保证跨境河流下游用水量而限定的阈值为20%,即产生了一个下游国用水量多于上游国的差额分配方案。结合多年平均水量指标的分水,亚洲在跨境河流河段尺度上产生了相同数量的上游国用水量多于下游国和下游国用水量多于上游国的差额分配方案。④非洲,仅有1个条约在河段尺度上限定上游国(南非)的用水阈值为3.6%,以满足下游国用水,但该国在同一流域其他支流上则获得了更多 and 更大的用水份额和水量。

分析该指标阈值在不同应用目标下具有的特征,发现:①8个条约中,大多数条约(6个、占75%)用于河段尺度,仅在北美洲有3个条约用于河流尺度上,表明该指标在河流尺度上和区域上采用有限,而在河段尺度上得到相对较多地应用。②该指标阈值主要用于保证上下游供水、景观用水、下游发电和湖泊水位4个方面;其中,以维持供水为目标时,除具有内河支流的指标阈值为100%外,当上游国综合实力强于下游国,或国家间实力相当的特征,该指标阈值均较大( $\geq 50\%$ ),而当下游国实力略强,或国家间在流域间寻求平衡时,阈值则较小( $\leq 20\%$ );以维护发电为目标时,阈值则很小(约为4.9%);以维持景观和下游水位为目标时,阈值均较大,流域生态保护意识产生。

**3.2.3 最小维持水量指标阈值及区域性特征** 统计和分析最小维持水量指标及阈值的应用情况(表2),发现:①该指标被25个条约采用,是3个主要指标中应用率最高的(占68.4%),且在各大洲中的应用率均超过50%,表明其应用普遍。②从各洲最早采用该指标的条约时间看,北美洲为1909年加拿大与美国的《边界水条约》,欧洲为1950年奥地利与德国的《关于Rissbach, Durrach 和 Walchen地区分水协定》,亚洲为1953年叙利亚与约旦的《Yarmouk河水利用协定》,非洲为1959年埃及与苏丹的《关于充分利用尼罗河水资源的协定》,南美洲是1979年阿根廷、巴西和巴拉圭的《关于巴拉那河开发项目协定》,其应用具有从发达地区向发展中地区扩展、从局部向全球发展的特征。

分析该指标的区域应用及其阈值特征(表3),结果:①北美洲,共有5个条约应用该指标进行分水。4个条约在河段尺度、内河和跨境属性河流上产生了4个阈值,其中3个为保证下游国用水量,最小值为25%,1个为维持河道水量,阈值为40%。在河流尺度上,2个条约在2条界河上分别产生可用水量阈值和维持下游湖泊水位的阈值各1个,为50%和25%;1个条约在跨境河流上产生1个10%的阈值,以满足下游用水。总体上,5个条约共产生7个该指标阈值,其中保证下游国或界河另一国用水阈值5个,最小值为10%、平均值为28.7%;用于维护河流水量阈值2个,最小值为25%、平均值为32.5%。②欧洲,有5个条约分别在河段和河流尺度、界河及跨境河流上共产生阈值6个,均为维持河道流量,最小值为2.3%、最大值为15.1%、平均值为8.6%,其中奥地利与德国决定将1950年分水协定中规定下游最小河道水量进行逐步提高<sup>[41]</sup>,近年来该阈值从2.3%已提高至8.6%,以逐步恢复和提高河流生态功能;可见欧洲长期应用该指标以维持河流生

态功能,其阈值较小但有不断提高的趋势。③ 亚洲,有9个条约应用此指标分水,应用率略少于多年平均水量指标。共产生9个阈值,其中8个用于保证下游用水、1个用于维持下游流量。在河段尺度上,在界河段上产生了2个阈值,分别用于维持流量和邻国用水,其值分别为1.7%和33.3%;在跨境河流上产生了5个预留或保证下游用水的阈值,最小值为15.4%、最大为80%,平均为42.1%。在河流尺度上,产生了2个保证下游用水阈值,分别为37.3%和39.4%、平均为38.35%;总体上,亚洲虽然产生了最多的该指标阈值,但绝大多数保证下游用水,且有下游国国家综合实力强于或相当于上游国时则阈值较大(大于或等于50%),反之则阈值较小(小于或等于40%),河流生态需水虽被提出但其阈值很小。④ 非洲,4个条约均采用了此指标并产生5个阈值。在河段尺度上,2个条约分别在高、低两种保证率条件下产生了2组共4个该指标阈值用于平衡河流水量损失,其中2个高保证率下的阈值2.1%和6.1%、低保证率下2个阈值分别为7.2%和11.6%;1个条约产生了1个保证下游用水的阈值,为66.7%。在河流尺度上,1个条约产生了1个为平衡蒸散损失和预留上游用水而不予以分配水量的阈值,为14%。总体上,非洲大多数指标阈值用于平衡水分蒸散损失及少量预留水量,虽然其值均较低(平均为8.2%),但为适应水资源变化以及重新分配留有余地,同时,也产生了1个在同一流域内小支流上的下游国用水阈值大于高于上游国的情况。⑤ 南美洲,1个条约要求巴那拉河界河段上Itaipu电站在蓄水和运行期间维持下游水量,阈值为29%。

该指标在25个条约中共产生阈值29个,其中:① 用于保证下游用水的阈值13个,分布于3个洲,从多到少为亚洲、北美和非洲,其阈值平均为38.9%。在河段尺度上有8个阈值,最小值15.4%、平均值为36.1%。在河流尺度上,阈值5个,其中界河上1个,其值为50%,跨境河流上4个,最小值10%、平均值为41.7%。该指标在河段尺度上的应用多于河流尺度,国家实力对阈值的影响在河流尺度上极为明显,但河段尺度上不明显,即综合实力强的流域国会通过在河段尺度上让利于实力较弱流域国,而在河流尺度上则会尽力体现自己的实力或对河流水资源的掌控能力。② 用于维持河道水量的指标阈值10个,集中于欧洲和北美,阈值最小值为1.7%、平均值为14.7%,有逐步增长的趋势。在河流尺度上阈值5个,其中跨境河流上1个,其值为10%,界河上4个,最小值为2.3%、平均值12%。③ 用于平衡水量蒸散损失及预留水量的阈值6个,集中于非洲,阈值最小值为2.1%、平均值为11%。④ 从指标阈值产生时间上看,用于保证下游用水的阈值产生于1909-1998年间,用于维持河道水量的阈值产生于1950-2000年间,而用于平衡水量损失的阈值则产生于1959-1992年间,呈现出最小维持水量指标首先应用于保证分水且持续时间长,后多应用于维持河流生态用水目标的特点。

## 4 结论与讨论

### 4.1 主要结论

基于国际条约的跨境水分配主要指标和河流健康的主要评价指标之间的相关性分析,判识出两者共同的关键指标:多年平均水量、最大取水量和最小维持水量。跟踪查询《国际淡水条约数据库》中应用3个关键指标的38个水分配条约及其所涉及河流的主要水文信息,将条约中各关键指标数值占河流分水点多年平均径流量百分比定义为“阈值”,分析、归纳3个关键指标阈值及其区域性特征,得到以下主要结论:

(1) 多年平均水量得到广泛的应用。在界河上基本采用平均分配方案,其阈值为两

国各 50%；在跨境河流上，产生了较多的差额分水方案和较少的平均分配方案、较多的河段尺度分水方案和较少的河流尺度分水方案、以及较多的上游国用水多于下游国的方案；在具有“内河”属性的支流上产生了所在国拥有 100%用水权的水分方案。

(2) 最大取用水量指标的应用率明显低于其他两个关键指标，当指标用于上下游保证供水时，其阈值的大小受到上下游国实力的影响明显。

(3) 最小维持水量指标应用得到普遍应用，有从发达地区向发展中地区扩展、从用于保证用水向维持生态用水发展，以及用于河段尺度多于河流尺度的特点。当指标在河流尺度上保证下游用水时，国家实力对其阈值影响极为明显，平均阈值为 41.7%，但河段尺度上国家实力对该指标阈值影响不明显，平均为 36.1%。用于维持河道生态水量指标阈值平均为 14.7%，并有逐步增长的趋势。

## 4.2 讨论

以上研究结果主要体现了河流健康评价和跨境水分配中的水文指标，没有考虑会对河流水文情势产生影响的陆域土地利用和水生生物等指标，但这些指标将会成为未来研究和讨论跨境河流联合管理的重要因素，以弥补目前研究的不足。

从表 3 所显示的 3 个指标应用过程中产生的阈值看，3 个指标间出现了重复阈值，体现了区域性协定不断强调对用水保证和控制。

界河水分分配基本上都是平均分配，有叙利亚与黎巴嫩之间对 Nahr Al Kabir 河干流下游界河段水电开发形成人工界湖的水分配，依据两国各自境内流域面积占流域总面积比例产生了一个差额分配方案，与印度与巴基斯坦就印度河的分水一样，形成了另一种“平均”分配模式，跳出了“就水分水”格局，具有一定的借鉴意义。

## 参考文献(References)

- [1] European Community. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Communities, 2000: 1-72.
- [2] Parsons M, Ransom G, Thoms M et al. Australian river assessment system: AusRivAS physical and chemical assessment module. Canberra: Environmental Australia, 2001, 1-47.
- [3] Clarke R T, Wright J F, Furse M T. RIVPACS models for predicting the expected macro-invertebrate fauna and assessing the ecological quality of rivers. Ecological Modeling, 2003, 160: 219-233.
- [4] Kamp U, Binder W, Holzl K. River habitat monitoring and assessment in Germany. Environment Monitor Assessment, 2007, 127: 209-226.
- [5] Anton Earle, Anders Jagerskog, Joakim Ojendal. Transboundary water management: principles and practice. Landon and Washtington DC: Earthscan, 2010.
- [6] UNEP, GEF et al. Challenges to International Waters: Regional assessments in a global perspective (the Global International Waters Assessment Final Report). The University of Kalmar and the Municipality of Kalmar, Sweden, and the Governments of Sweden, Finland and Norway, 2006.
- [7] Ines Dombrowsky. Conflict, Cooperation and Institutions in International Water Management: An Economic Analysis. Cheltenham and Northampton: Edward Elgar Publishing, 2007.
- [8] Claudia W. Sadoff, David Grey. Beyond the river: The benefits of cooperation on international rivers. Water Policy, 2002, (4): 389-403.
- [9] Sakhiwe N. Pieter Z. Equitable water allocation in a heavily committed international catchment area: The case of the Komati Catchment. Physics and Chemistry of the Earth, 2004, 29: 1309-1317.
- [10] Pieter van der Zaag, I M Seyam, Hubert H G Savenije. Towards measurable criteria for the equitable sharing of international water resources. Water Policy, 2004, (4): 19-32.
- [11] Juha I. U. Multi-country cooperation around shared waters. Global Environmental Change. 2004, 14: 5-14.
- [12] Rob de Loe. Sharing the waters of the Red river basin. 2009-03-31. Prepared for International Red Rivers Board,

- International Joint Commission. Guelph, On: Rob de Loë Consulting Services.
- [13] Ayşegül Kibarodlu. Socioeconomic development and benefit sharing in the Euphrates-Tigris river basin. <http://www.ipcri.org/watconf/papers/aysegul.pdf>, 2003.
- [14] He Daming, Feng Yan, Chen Lihui et al. Study on the models, principles and index system of transboundary water. *Advances in Water Science*, 2005, 16(2): 96-103. [何大明, 冯彦, 陈丽晖等. 跨境水资源的分配模式、原则和指标体系研究. *水科学进展*, 2005, 16(2): 96-103.]
- [15] Feng Yan, He Daming, Gan Shu et al. Linkages of transboundary water allocation and its eco-thresholds with international laws. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(Suppl.): 25-32. [冯彦, 何大明, 甘淑等. 跨境水分配及其生态阈值与国际法的关联. *科学通报*, 2006, 51(增刊): 21-26.]
- [16] He Daming, Wu Ruidong, Feng Yan et al. China's transboundary waters: new paradigms for water and ecological security through applied ecology. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 51: 1159-1168.
- [17] Shlomi Dinar. *International Water Treaties: Negotiation and Cooperation along Transboundary Rivers*. New York and Oxon: Routledge, 2008.
- [18] Lynne Lewis Bennett. The integration of water quality into transboundary allocation agreements: Lessons from the southwestern United States. *Agricultural Economics*, 2000, 24: 113-125.
- [19] Kong Linjie, Tian Xiangrong. *Study on International Water-related Treaties and Laws*. Beijing: China Water Power Press, 2011. [孔令杰, 田向荣. 国际涉水条法研究. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.]
- [20] Feng Yan, Kang Bin, Yang Liping. Feasibility analysis of widely accepted indicators as key ones in river health assessment. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(1): 46-56.
- [21] Feng Yan, He Daming, Li Yungang. The key indicators of transboundary water apportionment based on international laws and cases. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(4): 710-720.
- [22] Yang Zhifeng, Cui Baoshan, Liu Jingling. *Theory, Method and Practice of Eco-environmental Water Requirement*. Beijing: Science Press, 2003. [杨志峰, 崔保山, 刘静玲. 生态环境需水量理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [23] Acreman M, Dunbar M J. Defining environmental river flow requirements: A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2004, 8(5): 861-876.
- [24] Pranab Jumar Parua. *The Ganga: Water Use in the Indian Subcontinent*. Dordrecht: Springer, 2010.
- [25] Economic commission for Europe. Chapter 8 Drainage basin of the Baltic Sea/Our Waters: Joining Hands across Borders (First Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters). New York and Geneva: United Nations, 2007.
- [26] John Krijnen. *Environment Impact Assessment: Kassla-Hamashkhobeib Integrated Assistance Programme*. Geneva: Canadian Red Cross, 2008.
- [27] Tapan Chakraborty, Parthasarathi Ghosh. The geomorphology and sedimentology of the Tista Megafan, Darjeeling Himalaya: Implications for megafan building processes. *Geomorphology*, 2010, 115: 252-266.
- [28] Nurul Islam, Ashfaque Azam, Islam Q R. Teesta river water sharing: A case study in Teesta barrage project. <http://www.watertech.cn/english/islam.pdf>.
- [29] Walter Binder, Case studies: Isar, <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/10B-S3-P2-Klaus%20ArzetACC.pdf>.
- [30] Drainage Basin of the Black Sea. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/blanks/assessment/black.pdf>.
- [31] Kartexka J Pociask, Czulak J, Niedbala J et al. Model assessing changes of the Raba river runoff caused by the Dobcayce reservoir (Poland). *Polish Journal of Environmental Studies*, 2003, 12(4): 485-488.
- [32] Bruce J P, Martin H, Colucci P. Climate change impacts on boundary and transboundary water management. <http://www.saskriverbasin.ca/file/Final%2520Report%2520A458-402%2520CCAF.pdf>, 2003.
- [33] UN Mission Report. The drought situation in the Islamic Republic of Iran. <http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Annexes.pdf>, 2000.
- [34] Iwan Tejakusuma. Investigations into the hydrography and dynamics of suspended particulate matter and sediments in the Oder Lagoon, southern Baltic Sea. Rostock: Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, 2004.
- [35] Krepper C M, Garcia N O, Jones P D. Inter-annual variability in the Uruguay River Basin. *International Journal of Climatology*, 2003, 23: 103-115.
- [36] Sommerwerk N, Hein T, Schneider-Jakoby M et al. *The Danube River Basin*/Tockner K, Uehlinger U, Robinson C T. Rivers of Europe. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2009: 59-112.
- [37] Sarig Gafny, Samer Talazi, Banan Al Sheikh et al. Towards a living Jordan river: An environmental flows report on the

- rehabilitation of the lower Jordan river. <http://www.globalnature.org/bausteine.net/file/showfile.aspx?downaid=7273&domid=1011&fd=0>, 2010.
- [38] The Turkish Ministry of Foreign Affairs, Department of Regional and Transboundary Waters. Water issues between Turkey, Syria and Iraq. <http://sam.gov.tr/wp-content/uploads/2012/01/WATER-ISSUES-BETWEEN-TURKEY-SYRIA-AND-IRAQ.pdf>, 2012.
- [39] Inventory of Shared Water Resources in Western Asia: Chapter 8 Nahr El Kabir Basin. <http://waterinventory.org/sites/waterinventory.org/files/chapters/Chapter-08-Nahr-el-Kabir-Basin-web.pdf>, 2013.
- [40] Zhu Dexiang. The significance and practice of researches on the international rivers. *Geographical Research*, 1993, 12 (4): 85-77. [朱德祥. 国际河流研究的意义与发展. *地理研究*, 1993, 12(4): 85-77.]
- [41] Walter Binder, Case studies: Isar. <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/10B-S3-P2-Klaus%20ArzetACC.pdf>.

## Key indicators and the thresholds of trans-boundary water allocation based on river health and international treaties

FENG Yan<sup>1,2</sup>, HE Daming<sup>1,2</sup>, WANG Wenling<sup>1,2</sup>

(1. Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Yunnan Key Lab of International Rivers and Trans-boundary Eco-security, Kunming 650091, China)

**Abstract:** In the paper, according to the revealed major indicators on river health assessment and of transboundary water allocation in the preliminary studies, after the correlations among them were analyzed, the key indicators of transboundary water allocation and of healthy river were finally confirmed, as: mean annual runoff, maximum water intake, and minimum maintained water volume. Based on 38 international treaties related to water allocation in 1864-2002 adopting the 3 key indicators, some key hydrological data of the 28 rivers covered by the treaties from various publications were looked up, the values of the 3 key indicators were standardized and calculated, and the thresholds and the regional characteristics of them were analyzed. The results were as follows: (1) Among the 3 key indicators, "minimum maintained water volume" was most widely adopted, and "maximum water intake" was the one with the lowest adoption. (2) From the adoption of mean annual runoff, for the frontier rivers, the basic scheme of water allocation was equal allocation, and the threshold was 50%; for the tributary, which was totally within one country, the threshold was 100%; for transboundary rivers, there were more schemes with a different allocation, and more ones with a greater share for an upstream country. (3) As for the indicator of "minimum maintained water volume", its adoption showed the extending tendencies from the developed regions to the developing ones, and from maintaining water supply for downstream countries to keeping ecological water demand. When it was used for maintaining water supply, at the river scale, the average thresholds were 41.7% on transboundary rivers and 50% on frontier ones, respectively, which were obviously affected by riparian countries' strength, while at the reach scale, the average threshold was 36.1% on transboundary rivers. When it was used for keeping water flow in watercourse, the average value of the thresholds was 14.7%, with an increasing tendency.

**Keywords:** transboundary water allocation; key indicator; threshold; river health; international treaties