

文章编号:1001-8166(2002)03-0435-06

中国大陆面向生态的水资源管理与调控战略^{*}

周国逸,黄志宏

(中国科学院华南植物研究所,广东 广州 510650)

摘 要:通过对 1999 年度中国大陆降水量、水资源量和供需水量的分析,理论上提出了潜在的水资源和现实的水资源两个概念,潜在的水资源是所有形式产水量的总和,现实的水资源是指具有利用价值的水资源,认为中国的水资源战略应着力于将潜在的水资源最大限度地转化为现实的水资源,但在西北干旱地区,如何使降水量最大限度地转化为潜在水资源也是一个重要的命题。在大陆范围内,潜在的水资源是丰富的,但现实的水资源不足,中国未来需水总量并不会有很大的增加,但对水质的要求会有较大的提高。从面向生态的水资源管理观点出发,分析了从降水量到供需水量过程中一系列环节的调控途径和原理,指出了水资源宏观调控的技术和方法——植被调节、地表水水库调节、地下水水库调节和水体污染控制。针对我国各区域的具体特点,阐明了在不同区域水资源调控的主要目的和手段。

关 键 词:中国大陆;潜在水资源;现实水资源;生态;水资源管理

中图分类号:Q14;P33

文献标识码:A

水资源问题日益引起人们广泛的关注^[1~5]。作为资源的范畴,水资源具有与其他资源类似的属性,它的质与量既决定于天然秉赋,也决定于经济技术水平^[6],即能被利用的量与有效性受制于经济技术条件的限制。这个限制不仅表现在对水的净化与处理能力上,更表现在对水的调蓄能力上,并受生态可持续要求的制约。

水资源在理论上是一种可更新的资源,在人类现阶段的经济技术条件下,主要是指液态淡水和固态水。从大气降水到陆地液态淡水和固态水的过程中,中间经过一系列的环节,每个环节都将大量的液态或固态水变成汽态水或直接流入海洋,这些环节有些是可以人为控制的,有些受制于全球大气循环和区域性的能量状况。在生态可持续要求的制约下,如何有效地调控这些环节,减少各个环节对陆地液态淡水和固态水的消耗,是我国水资源战略的核

心问题。

1 水资源量的基本状况与分析

1999 年中国水资源公报指出^[7],1999 年度大陆平均降水量 629 mm,合 59 702 亿 m³,比多年平均少 1.6%。各流域与常年相比的情况如图 1 所示。

图 1 显示,不同流域降水量变动从 - 29.6% ~ 34.6%,河川径流量变动从 - 64.5% ~ 112.1%,地下水量变动从 - 36.9% ~ 8%,水资源总量从 - 54.3% ~ 120.9%。说明即使在平水年里,地区间降水差异仍然很大,是一个普遍的分布规律。由于下垫面调蓄能力低下,地区间河川径流量距平差异较降水量的距平差异大得多,要维持现阶段水资源的正常需求量,下垫面至少需要有 100% 的调蓄能力,以保证枯水地区不会因为河川径流量的减少而影响水资源的正常需求,也不会因为河川径流量的增多而造成洪涝灾害。

收稿日期:2002-03-11;修回日期:2002-03-11.

^{*}基金项目:中科院知识创新工程项目“农林复合生态系统构建机理与可持续性研究”(编号:KZCX2-407);国家自然科学基金项目“几类主要生态系统功能过程受全球变化影响的模拟”(编号:39928007);广东省重点基金项目“森林生态系统调节水的机制”(编号:010567)资助。

作者简介:周国逸(1963-),男,湖南人,研究员,主要从事生态系统水文学研究. E-mail:gyzhou@scib.ac.cn

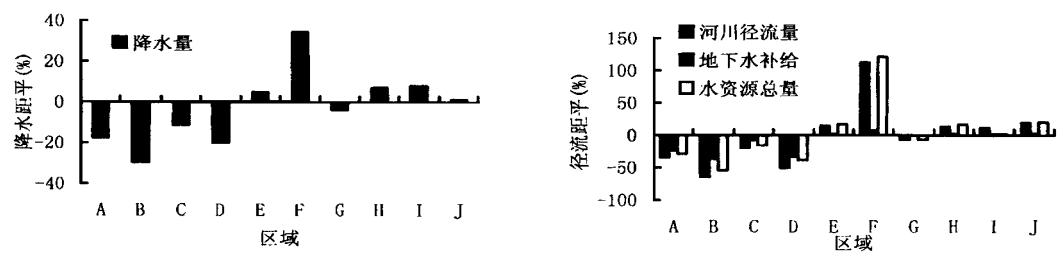


图 1 1999 年各区域水资源参量的距平值

A: 松辽河流域; B: 海河流域; C: 黄河流域; D: 淮河流域; E: 长江流域; F: 太湖片; G: 珠江流域; H: 东南诸河区域; I: 西南诸河区域; J: 内陆河区域

Fig. 1 The anomaly percentage of water resource parameters for different areas of China continent in 1999

A: Song-Liao river reach; B: Haihe river reach; C: Yellow river reach; D: Huaihe river reach; E: Yangtze river reach; F: Taihu area; G: Peral river reach; H: Area of southeast rivers; L: Area of south west rivers; I: Area of inland rivers

对 2 873 座水库 (其中大型 406 座) 的统计表明,1999 年末蓄水总量 1 689 亿 m^3 , 比 1998 年末减少 112 亿 m^3 。尽管水资源总量基本与 1998 年度持平或略有上升, 水库的蓄水量还是较 1998 年度减少了 7.1 %, 这主要由水资源在地区间和不同时间上分配极不均匀引起, 水库的蓄排水和河川径流量的大小在时间上不一致, 流域产水量的减少必然引起水库蓄水量的不足, 但产水量的增加却未必能被水库有效地容纳。

地下水量的距平变化特别值得注意, 尽管降水量呈现北枯南丰的态势, 但地下水补给量并没有出现相应的变化格局, 河川径流量距平值达 112.1 % 的太湖流域, 其 1999 年地下水补给量较多年平均相比仅增加 8 %, 这种现象可能归于如下原因, 第一, 地下水蓄库本就处于饱和状态, 降水量的增加并不会带来地下水补给量的变化; 第二, 河川径流量变化太快, 地下水补给过程难于完成。

对平原区 21 个省级行政区 72 个地下水位降落漏斗的调查表明, 与 1998 年年末相比, 在 35 个浅层漏斗中, 漏斗中心水位下降的有 20 个, 占 57.1 %, 上升的只有 11 个, 占 31.4 %, 没变化的 4 个, 占 11.4 %; 漏斗面积增加的有 26 个, 占 74.3 %, 减少的只有 6 个, 占 17.1 %, 没变化的 3 个, 占 8.6 %。在 37 个深层漏斗中, 漏斗中心水头下降的有 22 个, 占 59.5 %, 上升的 14 个, 占 37.8 %, 没变化的 1 个, 占 2.7 %; 漏斗面积增加的有 21 个, 占 56.8 %, 减少的 11 个, 占 29.7 %, 没变化的 5 个, 占 13.5 %。

2 供水和用水态势分析

1999 年总供水量 5 613 亿 m^3 , 各地区地表水水源、地下水水源所占比例情况如表 1 所示。

表 1 各流域片供水量及地下水源比例

Table 1 The total water supply and underground water percentage

流域	A	B	C	D	E	G	H	I	J	Total
供水量 (亿 m^3)	620	431	407	600	1725	840	308	98	584	5613
地下水源比例 (%)	42.9	62.3	32.8	30.3						/
地表水源比例 (%)							> 94		86.0	/

A, B, C, D, 意义与图 1 一致。

表 1 的统计数据表明, 地表水是长江流域、珠江流域、东南地区、西南地区以及内陆河区域的主要供水水源; 地下水是松辽河流域、海河流域、黄河流域和淮河流域等区域的重要供水水源。

主要依靠地表水作为水源的地区, 降水量都很充沛, 地下水的补给也不困难, 但由于工业化程度较高, 地表水受到工业和都市化污染, 造成水质性缺水。主要依靠地下水作为水源的地区, 降水量稀少, 地下水的天然补给很困难, 对地下水的利用必须依照地表水库蓄排水相似的管理方式, 不能只是单方面地开采地下水, 而不试图增大地下水的补给量。

1999 年总用水量 5591 亿 m^3 , 其中农田灌溉用水占 63.7 %, 林牧渔用水占 5.5 %, 工业用水占 20.7 %, 城镇生活用水占 4.8 %, 农村生活用水占 5.3 %, 显示农田灌溉依然是主要耗水途径, 农业总耗水占到 69.2 %。

与 1998 年比较, 总用水量增加 156 亿 m^3 , 占年度用水量的 2.9 %。其中农业用水增加 103 亿 m^3 , 占年度农业用水量的 2.7 %, 考虑到大陆 1999 年粮食产量高于多年平均水平, 和该年度降水量较少, 气候较干燥, 这个增量是不大的, 说明农业节水措施应用的效果; 工业用水增加 33 亿 m^3 , 占年度工业用水

量的 2.9 % ,略高于农业用水增加百分比 ,这主要是工业发展较快的原因造成 ;生活用水增加 20 亿 m³ ,占年度生活用水量的 3.7 % ,生活用水的增加在一定程度上反映出生活水平的上升 ,在政府反复号召节水的情况下 ,生活用水量的增加还是最快 ,说明我国 1999 年城乡生活水平提高是较明显的。

表 2 显示 ,农业用水在各大区域中都占了很大比例 ,西南诸河和内陆河两区域的农业用水比例大于 84.5 % ;松辽河、海河、黄河、淮河等流域农业用水比例介于 69.3 % ~ 78.7 % 之间 ;长江与珠江流域及东南诸河区域农业用水比例介于 59.0 % ~ 64.6 % 之间 ,低于全国平均水平 ;太湖片较少 ,只有 35.6 % 。

表 2 各流域片用水量及农业用水比例

Table 2 Total water consumption and the percentage of agricultural consumption

流域	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total
用水量(亿 m ³)	620	428	403	598	1708	285	840	312	98	584	5591
农业用水比例(%)	69.3	71.8	78.7	72.7	59.0	35.6	64.6	62.2	84.5	94.8	/

A,B,C,D.....意义与图 1 一致。

农业耗水比例大小决定于农业占所在地区国民经济的比重及农业耕作类型与方式 ,同时与该地区的气候条件相关 ,在热量充足、气候干燥的地区 ,单位相同类型的农业用地由于蒸散潜力大而耗水量多。

3 水资源结构中存在的问题

3.1 水资源的几个主要参量及其相互关系

陆地上 ,水资源最终都来自于大气降水 ,从大气降水到水资源之间 ,存在各种耗水过程 ,它们有些是自然界必不可少的 ,如下垫面的蒸散作用、靠近海洋地区的地下水渗漏等 ;有的在自然界并非必不可少 ,人类在一定程度上可以控制 ,如洪水或过量的河川径流、水体污染所造成的水资源浪费等。在实施面向生态的水资源调节措施之前 ,有必要分析这些过程的内在关系。

图 2 给出了由大气降水到人类直接用水之间的逻辑流程。潜在的水资源是所有形式产水量的总和 ,等于大气降水除去蒸散和渗漏后所有的液态和固态水 ;现实水资源是指具有利用价值的水资源 ,为陆地年稳定蓄水量的总和 ,它具有时间分配上均匀性的要求。

蒸散与渗漏量在 1999 年度为 332 mm。虽然改变下垫面植被和水库格局以及水资源调控的每一个过程都将影响蒸散作用 ,但影响方向是难以预测的 ,预计随着水资源调控措施的实施 ,特别是森林植被的增加 ,下垫面水分时空分配趋于均匀 ,蒸散量会增加。

如何把潜在的水资源最大限度地转化为现实的水资源是面向生态的水资源合理配置与调控的关键所在 ,有两个主要的过程限制了现实水资源最大化

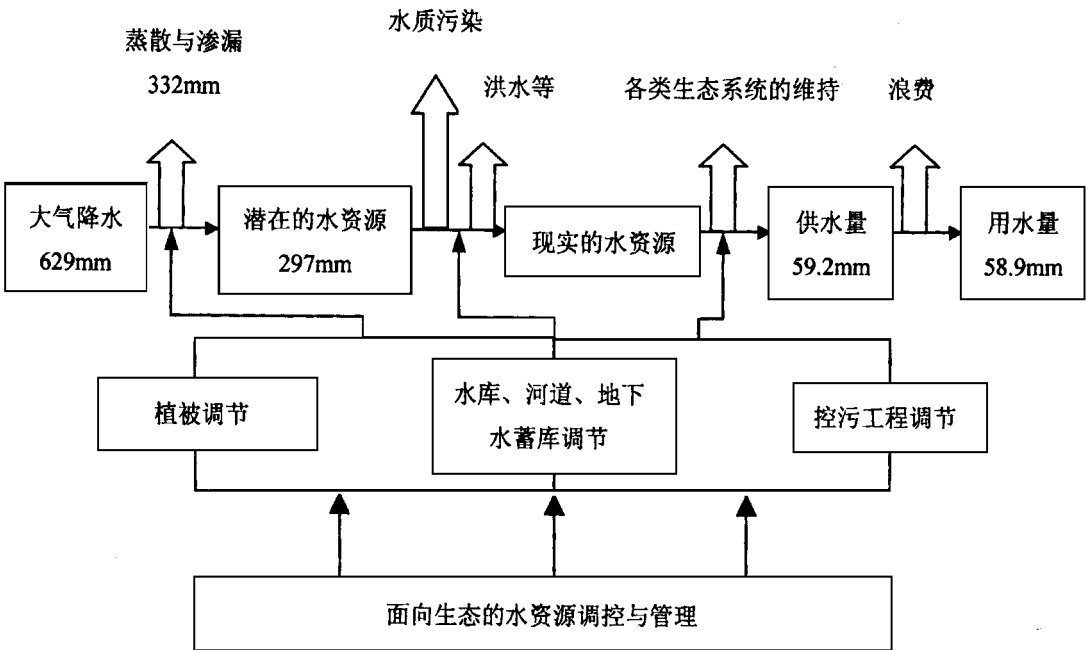


图 2 陆地水分消耗与调控示意图

Fig. 2 A sketch of water consumption and control in continent

的实现,即由降水的时空分布不均所引起的洪水和水质污染。前一过程主要受气候变化和海陆分布的影响,部分地决定于植被的破坏,可通过植被调节、区域间调水、地表水库调节和地下水库调节的方法,在一定程度上解决这一问题;而后一过程则决定于环境污染,可以通过自身的努力而彻底根治。

3.2 我国水资源的潜在战略问题

中国大陆的客水很少,河流大多发源于境内,受两个大尺度的因素控制,我国水资源存在如下潜在的威胁:

第一,主要河流大多发源于世界屋脊的青藏高原,到入海处的总落差在 5 400 m 以上,由于河流的比降大,汇流时间短,水流激,降雨期间的河川径流往往容易形成洪灾,无法对这部分水资源加以利用,是我国水资源的一个天然缺陷。以长江流域为例,长江流域地势西高东低,形成三级巨大的阶梯^[8],第一二级阶梯河流湍急,第三级阶梯由淮阳山地、江南丘陵和长江中下游平原组成,落差较小,其中,宜昌至入海口 1 800 km 河段的落差仅 50 m 左右,干流比降平缓,洪水安全泄量较小,造成江水退水缓慢。较小的降水距平将带来巨大的河川径流距平差异。

图 3 是根据多年的水资源公报资料统计分析得出的,表明降水量距平在 - 10 % ~ 20 % 以内,则不会对河川径流量造成大的影响,但在这个范围以外,则对河川径流量影响极大,反映下垫面的调节能力非常小。而前面的研究也表明,即使在平水年里,地区间降水量距平也为 - 29.6 % ~ 34.6 %,远远超过目前下垫面的对降水量距平 - 10 % ~ 20 % 的调蓄能力。

第二,受季风气候的影响,全年降水的季节分配存在较大差异,降水相对集中,干湿季节明显,河川径流主要在湿季,现实的水资源量相对减少。

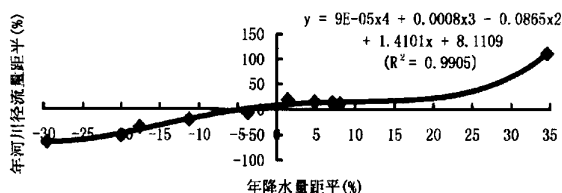


图 3 中国大陆降水量的变化对天然河川径流量变化的影响

Fig. 3 The impact of anomaly percentage of precipitation on that of surface runoff

第三,水的源与汇途径多,82.8 % 的河川径流流

向太平洋,12.5 % 流向印度洋,0.4 % 流向北冰洋,还有 4.3 % 的河川径流消耗在内陆湖泊中。大气降水也主要来自这几大洋,由于主要山脉的阻隔和海陆分布的远近,降水量差异巨大,气候环境也绝然不同,潜在的水资源量相差很大,不可能通过区域内的人工措施得以解决,这就决定了我国的水资源管理必然是跨流域、跨地区的。

第四,现实的水资源受污染和破坏严重,潜在的水资源在季节和空间分配不均的影响下,主要以洪水和其他不可利用的状态流走,留下的少量水资源由于受到农业和工业污染的破坏,可以被直接利用的量更少。

3.3 未来水资源的主要矛盾

可以预见,随着工业化程度的提高,农业耕作方式的改进,农业用水的比重会逐步降低,由于农业是主要的耗水行业,其耗水量的减小,耗水效率提高,使得我国在相当长的一段时期内,总耗水量不会大幅度地增大。

但工业和生活耗水量比重上升,对高水质的水源要求将会提高,同时,工业、城市化和农业经营集约化,对现实水资源污染的威胁还在加大,因此,我国未来在水资源方面,将主要表现为水源质量上的矛盾和为满足工业和人们生活对用水的要求而必须提高水源质量所带来的经济压力。实际上,水质性缺水的问题近年来已经凸现出来,在淮河流域、长江中下游地区、珠江三角洲等地,人口密集、工业发达,江河中大量的水源基本不能被直接利用,很多矿区周围的水源受到严重的污染。

4 面向生态的水资源宏观对策分析

4.1 基本原则

水是生态系统一个主要组成成分,但人们在考虑和利用水资源时却很少认识到这一点,只把水资源当成是取之不尽、用之不竭的资源。然而由大气降水到潜在的水资源再到现实的水资源,中间的所有环节,水都在生态系统中运动,它既受制于该系统也制约着该系统,对水资源的宏观调控应该基于这个基本的生态学观点。

植树造林既是改造水资源也是利用水资源的行动,因为森林既能调节大气降水到现实水资源的量,也消耗大量的水分,因此,植树造林在有些地方能增加现实水资源量,在有些地方减少现实水资源量。如果仅从水资源的角度来考虑,则只有当增加现实水资源时,才考虑植树造林,如某地有足够的大气降

水,除去在区域背景下的蒸散量以外,还有大量的潜在水资源,但潜在水资源由于洪水或水质差只有很少一部分转化为现实水资源,在这种情况下,就应该考虑植树造林,森林虽然由于大量的蒸散作用可能减少潜在水资源,但可以增加现实水资源,最终得到了较大的现实水资源量。

地下水是生态系统的一部分,它和地表的植被、土壤一起构成了一个完整的、活的体系,即生态系统。如果一味地只开采地下水,而不试图增加其补给,则无异于从这个系统中持续地移去一个必不可少的成分,其结果是造成地表植被系统崩溃,土壤板结,地下水由于得不到补给而越来越少,地下水资源就由可再生资源变为不可再生资源。

4.2 面向生态的水资源调控策略

目前全国平均供水量只占潜在水资源量的19.9%,中国最干旱的西北地区1999年度的水资源总量也有2129亿 m^3 ,而该年度的实际供水量仅812亿 m^3 ,占38.1%,如果有50%的潜在水资源转化为现实的水资源,则水资源量就是丰富的。

水资源调控的根本目标是使潜在的水资源最大限度地转化为现实的水资源,途径是试图将潜在水资源的时空变异性最大限度地缩小,同时,维护好水环境。

要达到这样一个目标,必须在不破坏生态系统的前提下,综合应用植被调节、地表水库调节、地下水水库调节、流域间调水及环境污染控制等手段,通过保护生态系统,实现潜在水资源的最大转化。

植被调节是面向生态的水资源调控的基础,利用植被保持水土、涵养水源、降低和延缓洪峰、提高枯水期径流等作用,达到水资源时空均匀分布的目的,减小潜在水资源中的无效部分,提高现实可用的水资源;同时,由于植被是生态系统的主体,构建了合适的植被类型,也就创造了一个优美的生态环境,是水资源调蓄的基础。

地表水库调节是一种有效而直接的河川径流调节方式,但它只有在植被调节的基础上才有效,从调蓄水资源的角度出发,地表水库应按蓄水总量和空间配置合理的原则建立,由于我国地形由东向西抬升较大,在西部地形抬升最大的地区应建立一系列调蓄河川径流的地表水库,调蓄潜在的水资源,使之最大限度地转化为现实的水资源。对全国2873座大中型水库统计表明,1999年末的蓄水总量只有1689亿 m^3 ,比1998年年末减少112亿 m^3 ,约占该年度供水量的30.1%,这是不够的,蓄水库容应该达

到供水量的50%,再加上科学的蓄排水计划,以保证实际蓄水量接近于供水量。

充分利用地下水水库的调蓄作用以保证水资源平稳供应并没有受到足够的重视,大多只是把地下水当作一种不可再生资源来加以利用,只开采,不补给,把地下水当成一种“死”的资源。地下水系统构成了地下水水库,与地表水水库一样,它不仅是人类水资源直接的源,也可以作为河川径流的汇,同样具有调蓄潜在水资源的功能,这种调蓄作用或许没有地表水水库明显,但对近地表层生态系统非但不会造成影响,而且还起着保育的作用;地下水水质良好,其水资源的利用价值大;地下水水库分布比较均匀,任何地域都有相应的地下水系统。因此,充分地利用地下水水库的调蓄作用具有很大的意义。

面向生态的水资源调控的另一个战略是环境污染控制,环境污染是人类自身造成的,却极大地制约了现实可用的水资源量,必须加大环境污染控制的力度,从而相对地增加现实的水资源量。

随着技术的进步,水资源量、蓄水量与供水量三者之间紧密连通的条件逐步具备,可以参照电网布设的范例来实行,在加强植被与地下水蓄库作用的基础上,把潜在水资源与供水量之间通过建立各种大中型水库来调蓄,以增大现实可用的水资源量,减小由于时空分布的不均匀性而造成水资源潜力的浪费,就像目前广泛使用的蓄能电站对电网电量的调节一样。

4.3 全国范围内水资源调控的方针

面向生态的水资源调控要求我们把以上4种调控方式在全国范围内综合运用,但具体到某个区域则应该有所侧重。

在几大江河的上游地区,主要以植被调节和地表水库调节为主,保证水源的时空均匀和防洪减灾,增加现实的水资源量,为流域间调水创造条件,同时,辅以污染和水土流失控制。

在大江大河的中游地区,以植被调节为主要手段,加强对污染和水土流失控制,对一些主要的支流建立大小不同的中型地表水水库,起到季节性的调蓄作用,开展地下水水库的补给研究和实践。

在下游和三角洲地区,则主要应以水源污染治理,河流疏通整治等水生生态系统维护为主,并大力开展地下水水库调蓄的研究和实践。

在西北干旱地区,由于降水少,如何使大气降水更多地转化为潜在的水资源成为主要矛盾,因此,植被类型的选择成为重要的内容,在能生存下来的植

被中,首先选择耗水少的类型,植被的功效益主要应该定位在防止水土流失与风沙上,而将调节时空均匀性的作用放在次要位置,由于该地区蒸散潜力大,地表水水库对水资源总量的保存无益,因此在确定了植被类型后,应致力于增大地下水蓄库的蓄排水,依靠地下水蓄库尽可能多地保存大气降水所带来的水资源。

华北和东北平原主要以增大地下水补给为主要水资源调控策略,该区域由于降水量适度,又居于水系的中下游,植被的主要作用表现在疏松土壤,增加降雨期间的水分入渗方面,同时,防止水源污染。

参考文献 (References):

- [1] Zhou Guoyi. Water and Heat Principles and Applications of Ecosystem[M]. Beijing: Meteorological Press. 1997. 1-22. [周国逸. 生态系统水热原理及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 1997. 1-20.]
- [2] Zhou Guoyi, Yan Junhua. The Economic Compensation Theories and Practice of Ecological Forest [M]. Beijing: Meteorological Press, 2000. 35-50. [周国逸, 闫俊华. 生态公益林补偿理论与实践[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 35-50.]
- [3] Hibbert A R. Water yields improvement potential by vegetation management on western rangelands[J]. Water Resources Bulletin, 1983, 19: 375-381.
- [4] Swanson R H. Forest hydrology issues for the 21st century: A consultant's viewpoint [J]. Water Resources Assoc, 1998, 34 (4): 2 663-2 681.
- [5] Vertessy R A, Hatton, T. J. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model[J]. J of Hydrology. 1993, 150: 665-700.
- [6] Lu Guoping. On new concepts of natural resources adaptable to sustainable development thought [J]. Resources Science, 2001, 23(3): 1-3. [吕国平. 论与可持续发展思想相适应的新资源观[J]. 资源科学. 2001. 23(3): 1-3.]
- [7] Ministry of Water Resources, People's Republic of China. Chinese communiqué of water resources in 1999[N]. People's Daily. 2000-09-21. [中华人民共和国水利部. 1999 年中国水资源公报[N]. 人民日报, 2000-09-21.]
- [8] Zhang Jianmin, Gao Ge, Chen Yu. Climate background of flooding and waterlogging and disaster inducing factors of the Yangtze valley [J]. Resources Science, 2001, 23(3): 73-77. [张建敏, 高歌, 陈峪. 长江流域洪涝气候背景和致灾因子分析. 资源科学, 2001, 23(3): 73-77.]

STRATEGIES OF WATER RESOURCES MANAGEMENT FOR ECOLOGICAL TARGETS IN CHINA CONTINENT

ZHOU Guo-yi, HUANG Zhi-hong

(South China Institute of Botany, CAS, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Based on the analysis on precipitation, water resources and its supply and consumption of China continent in 1999, the concepts of Potential and Practical Water Resources were put forward. The potential water resources (POWER) is the sum of liquid water yield of all forms in continent and the practical water resources (PRWR) is part of POWER which can be easily used. How to make the POWER mainly change into PRWR is the key problem in the strategies of water resources management. But in the dry region of northwest China, it is also important to find a suitable way to make more rainfall not evaporate but change into POWER. The analysis result demonstrates that POWER in China continent is rich but PRWR is poor. In the future, although the total water resources consumption will not increase greatly, the need for water quality is to be much higher. From the ecological viewpoint in water resources management, the paper studied the manipulating and control mechanism of different processes from precipitation to water resources consumption and discussed the four techniques of water resources management, that is, vegetation manipulation, reservoir control, underground water system conservation and water quality enhancement. In the end, the strategies of water resources management under ecological consideration for the different regions of China continent were approached.

Key words: China continent; Ecology; Water resources; Potential and practical water resources; Water resources management.