

干旱区内陆河流域绿洲水循环监测及评价系统

邓铭江¹ 董新光² 郭春红³

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098 ;
2. 新疆农业大学, 新疆 乌鲁木齐 830052 ;
3. 新疆水利厅, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要 :以新疆为例 ,针对干旱区内陆河流域平原绿洲水资源的运移、转化和消耗等水循环特点 ,以水资源科学管理、高效利用、合理配置和可持续发展为出发点 ,提出了加强绿洲水文研究、建立绿洲水循环监测系统及绿洲水资源利用评价系统的初步构想。监测评价系统能适时科学地诊断绿洲水循环过程及水资源利用的合理性 ,并及时有效地解决绿洲水资源利用存在的问题。

关键词 :干旱区 ;内陆河流域 ;绿洲 ;水循环监测 ;评价系统

中图分类号 :P641.6 ;P331 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2004)06-0016-04

1 绿洲水文与绿洲水循环

1.1 绿洲水文及研究的主要问题

“荒漠绿洲、灌溉农业”是内陆干旱区典型的区域特征。随着人口的增加、城镇化和灌溉农业的发展 ,人工绿洲逐步扩展 ,并成为人类活动和经济发展的主要载体。河流出山口后 ,70% ~ 90% 的水资源消耗于绿洲 ,因此 ,在绿洲区内大气水—地表水—地下水—土壤水在人为的干预下形成了极其强烈的水文循环过程。

绿洲水文包括平原河川水文、农业水文、绿洲区生态水文和城市水文等。绿洲水文研究是以绿洲水循环、水物理和水化学为理论基础 ,以地表水、地下水、土壤水运移与转化为基本运动规律 ,从绿洲各种耗水条件、洪旱情势分析、水盐动态等方面的监测 ,研究水资源合理配置的水文问题。主要是研究绿洲内部大气水—地表水—地下水—土壤水等“四水转化”规律 ;从供水工程对水资源分配产生影响的角度 ,研究实现地表水平衡—地下水平衡—耗水平衡—供需平衡“四水平衡”“合理有效的控制手段 ;遵循可持续发展的原则 ,研究维持水土、水盐、供水与需水、绿洲经济系统耗水与生态环境耗水“四个平衡点”的措施与对策 ,为水资源合理配置提供科学依据。也就是说对于内陆干旱区 ,绿洲水文以研究和实践“四水转化”、“四水平衡”及维持“四个平衡点”

为核心 ,从而形成其独特的绿洲水文系统^[1] ,如图 1 所示。

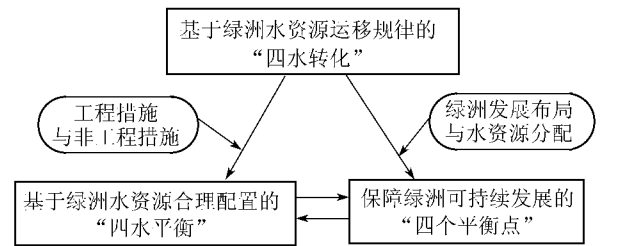


图 1 绿洲水文问题研究的层次关系

虽然 ,绿洲水文学还未形成一门独立的学科 ,但实际上 ,新疆水利工作者已从不同角度、不同层面 ,结合具体水问题开展了许多研究与实践工作。如灌溉用水合理调配、灌区地表水和地下水水量水质监控、盐碱地改良、各种节水工程措施和非工程措施应用等。但是 ,这些工作主要是由水利管理部门在水资源利用过程中完成的。工作的重点是控制断面的水量分配 ,注重分水协议的执行和对进入灌区水量的监测 ,而对灌区内地表水和地下水的时空分布却疏于监测 ,没有真正认识到绿洲水文过程(包括灌区水资源的循环、分布)与水资源可持续利用的内在联系。所以 ,绿洲内的水量监测点大都布置在用水的上游 ,监测集中在灌溉季节 ,在绿洲下游及周边和荒漠地带生态区的水量极少监测。监测断面和观测项目少 ,资料时间、空间的连续性差 ,对整个绿洲来水情况研究较多 ,而对绿洲输出水量研究不够。

基金项目 :水利部科技创新项目(SCX2001-02)
作者简介 :邓铭江(1960—) ,男 ,湖南耒阳人 ,教授级高级工程师 ,博士研究生 ,主要从事技术管理和水资源规划研究工作。

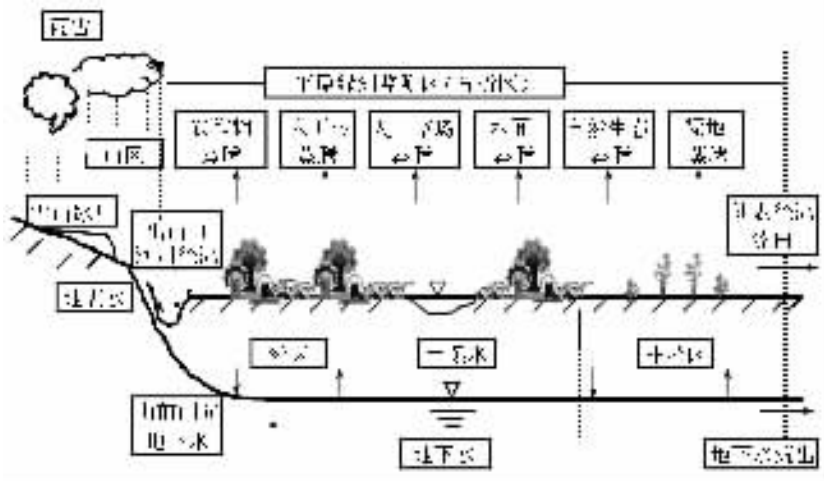


图2 干旱区内陆河流域平原绿洲水分消耗及转化

1.2 绿洲水循环特点

干旱区内陆河流域平原绿洲水资源主要为山区下泄的地表径流和少量山前侧向补给的地下水。平原绿洲所引用的水资源最终均以各种形式蒸发、蒸腾而被消耗掉,见图2。从水资源被引用到水资源被消耗,其间发生着大气水、地表水、土壤水、地下水之间的复杂的“四水转化”关系。

目前,从整体上看,很多灌区水循环还不尽合理,主要表现在:①灌溉定额高,用水效率低;②地下水水位上升,土壤次生盐碱化,南疆灌区地下水水位高,土壤盐碱化严重,北疆大部分灌区有灌无排,有潜在盐碱化和地下水水质恶化的趋势;③有些地区地下水严重超采,例如昌吉、哈密、石河子、克拉玛依等地;④灌区用水挤占生态用水,同时把农业排水泄入下游,使下游受到水量减少、水质变坏的双重危害。

这些问题既是独立的,又是相互联系、相互制约的统一体,需要从理论和实践上进行系统的研究。首先,要建立科学的监测网络,确定绿洲内需监测的水文要素,为认识绿洲内水文过程(地下水补给、排水、农业耗水与回归水等)取得必要的实测数据;然后,通过监测研究绿洲内的水文过程,进而理清绿洲内的水循环路径与各种平衡关系,为工程规划设计与管理运行、水资源合理配置、精确农业与经济可持续发展、建立高效节水社会等提供科学的决策依据。

从总体上分析,干旱区内陆河流域平原绿洲水循环有如下特点:①由于降水稀少,且大部分直接消耗于腾发,极少参与其他“三水”转化环节。②各种形式的腾发是平原绿洲区水资源最终消耗的途径。内陆干旱区蒸发强烈,腾发消耗最大,且腾发组成复杂,其中,生态蒸腾消耗占有很大比重。因此,各类下垫面的腾发规律及腾发量研究,将是内陆干旱区水资源利用及合理配置研究的重点。③农业灌溉用

水总量大,地表水与地下水转化量及其复杂性均较大。④“四水转化”关系以垂直方向的水分迁移转化为主,水平方向的水分迁移转化或扩散水量不大,且过程较为缓慢。⑤干旱平原区绿洲的耗水可分为农区耗水和非农区耗水。农区耗水主要包括各种作物种植面积和农田周边伴生植被的蒸发蒸腾,防护林及人工林地的蒸发蒸腾,人工草场耗水等。非农区耗水主要为自然生态耗水及裸地潜水蒸发等。此外,在农区和非农区均存在水面蒸发(河、渠、水库、积水洼地等)。⑥灌区水循环中的主导过程为河道耗水及径流沿程变化过程;人工渠道与地下水和水库的调节输水过程;农田和各类天然植被的耗水过程;退排水与盐分运移过程等。

综上所述,干旱区平原绿洲“2个分区”中的“4个水循环主导过程”构成了水资源利用与消耗的主体框架,同时也为平原绿洲水循环要素的确定和点、线、面相结合的水循环监测系统的建设提供了科学依据,见图3。

2 绿洲水文监测

绿洲水文与绿洲耗水问题是密切相关的、相互制约的统一体,它需要从理论上进行系统的研究。首先建立科学的监测网络,确定绿洲内需监测的水文要素,取得必要的实测数据,通过监测绿洲内各水文过程(地下水补给、排水、农业耗水与回归水等),理清绿洲内的水循环路径与各种平衡关系。构建绿洲水循环过程与监测评价体系^[21],系统地诊断绿洲水资源利用效率、水利工程运行状况以及制约水资源可持续利用与保护的主要因素,为水资源综合规划设计与管理运行、水资源合理配置、精确农业与经济可持续发展、建立高效节水社会提供决策依据。

a. 灌区内河道来水及引水、配水监测。监测的目的是掌握河道水的蒸发、渗漏规律。充分利用各

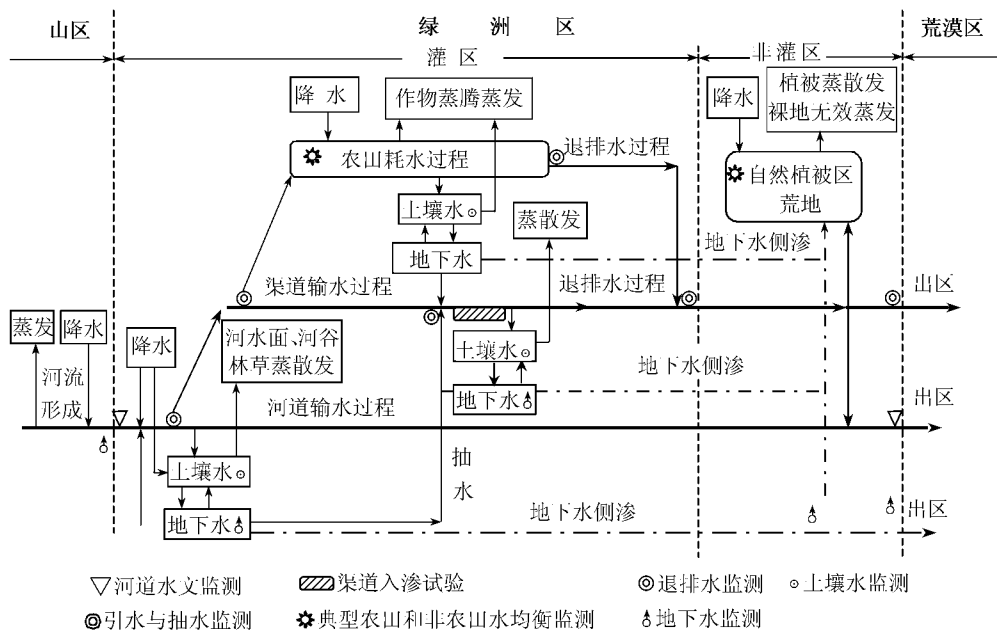


图3 干旱区内陆河流域绿洲水循环过程与耗水分析

级水利管理部门业已形成的灌区内河道来水及渠道引(配)水量测水系统,并不断加以完善,努力达到对干、支、斗渠引水实施全面监测控制。监测方法参照执行GB 50179—93《河流流量测验规范》和SL195—97《水文巡测规范》等现行水文观测规范。

b. 灌区排水、退水监测。通过系列的监测资料建立排水—引水—地下水埋深间的关系,为区域排水量的计算提供依据。努力达到干、支排渠排水有监测断面控制,各排水监测断面应作长期监测。

c. 灌区土壤水、盐监测及田间水入渗监测。通过监测分析灌区排水水量水质的时空变化、水盐平衡状况,确定土壤积(脱)盐率、排灌比、田间水利用率、田间水入渗补给系数。土壤水势拟用负压计测定,土壤水分拟用中子水分仪测定,土壤盐分拟用土壤水提取器或土壤原位盐度计测定。

d. 地下水监测。地下水动态监测资料是水资源利用规划、地下水资源评价和开采格局调整的主要依据,也是判断一个地区已实施的地下水开采方案能否可持续发展的唯一依据。通过监测掌握地下水水位水质年内及年际变化、地下水埋深及面积变化,为计算潜水蒸发量、盐碱地改良和含水层储变量提供依据,把握天然及人类活动条件下地下水的动态变化与地表水利用的关系。

e. 泉水监测。泉水动态是区域地下水动态与均衡最重要、最直接的表现。应在完成绿洲区泉水水量、水质统测的基础上,选定典型泉水沟布设监测断面,以掌握绿洲区地表水、地下水和泉水的相互转化关系。绿洲区内流量大于 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 的泉水均应布设泉水流量基本监测站,流量小于 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 的泉水可

选择有代表且具有供水意义的布设流量基本监测站。监测频率执行SL/T183—96《地下水监测规范》。

f. 出区水量监测。绿洲区出区水量包括经绿洲引用后的河道下泄水量、退排水量和地下水侧向排泄量,是荒漠区生态需水的主要来源。应在绿洲尾部河流和排水(沟)渠出区处设立水量、水质监测断面,监测方法执行现行水文观测规范。同时收集地矿、石油等部门在绿洲边缘带的钻孔(井)水文地质资料,以提高地下水侧向排泄量的计算精度。

g. 河渠水入渗、水库水入渗监测。通过监测分析灌区渠系水利用率、渠系水入渗补给系数和水库水入渗系数,利用水文、水管部门的观测资料,分析确定河道水入渗补给系数,监测研究不同地下水埋深、不同土质、不同防渗措施典型渠道的入渗补给系数,建立健全水库出、入库水量的监测系统,进而监测水库水入渗量。

h. 潜水蒸发蒸腾量监测。以往对绿洲区裸地条件下的潜水蒸发规律的研究较多,但有植被(农作物、林、草)覆盖条件下的潜水蒸发蒸腾试验尚未系统开展,直接影响着灌区水量平衡计算和荒漠区生态耗水量的分析计算。应在不同农作物和植被覆盖、不同岩性(主要为亚粘土、亚砂土、粉细砂)、不同地下水埋深($0.5\sim 7.0\text{ m}$)条件下监测研究反映潜水蒸发蒸腾规律的系列参数。

i. 土地利用状况监测。通过卫星遥感数据分析,确切掌握灌区土地利用的变化状况,精确总灌溉面积、作物比例、植被分布与不同覆盖率的林草面积,以提高灌区耗水量计算和水土平衡计算的精度。

j. 工业及城市(废)污水处理及中水回用监测。

3 绿洲水资源利用评价系统

监测不是目标,是手段,其主要目的是通过系统的监测,分析研究和评价绿洲水循环系统运行的合理性、可持续性,为水资源合理利用和工程配套提供科学依据。为此,设想建立一套科学的、可操作的监测评价系统,见图4。

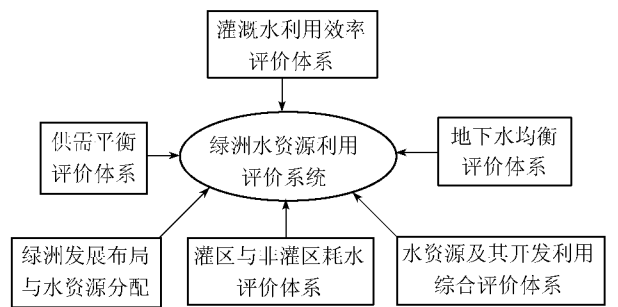


图4 干旱区内陆河流域平原绿洲水资源利用评价系统

3.1 供需水平衡监测评价体系

以流域或监测区为基本评价单元,通过监测、收集资料,特别是遥感卫星的解译分析,较为准确地给出监测区总灌区与非灌区面积、灌区灌溉面积、作物种植比例、植被分布与覆盖率、林草地面积与分布等供需水分析的主要因子。在此基础上,建立监测评价区供需水平衡分析模型,重点计算分析:年总供水量、年总需水量、年供需水平衡差;河水、地下水、泉水、水库各自的供水量与所占比例;各种水源供水能力与实际供水量(分析水利设施利用效率)。

3.2 灌区水资源利用效率监测评价体系

灌区水资源利用效率分为人工可控的渠道(水库)输水效率(渠系水利用系数)和农田耗水效率(田间水利用系数)。渠系水利用系数可按统计、典型区监测、定点渠道损失监测等三种方法计算分析,田间水利用系数主要通过田间水分运移过程监测和典型区水量平衡分析得到。这两部分工作与地下水转化补给量和耗水量监测评价统一开展。灌区水资源利用效率评价体系,主要计算分析:各级渠道水利用系数;渠道水入渗后在包气带土壤蒸散发量以及对地下水形成的有效补给量;进入田间的水量;田间水利用效率。

3.3 地下水均衡监测评价体系

根据监测区的水利、水文气象、农业等各项监测和统计资料,建立水均衡模型,分析监测区地下水补排项和地下水储变量。主要计算分析监测区地下水总补给量、总排泄量、储变量和平衡差;年内地下水水位变化、年际地下水变化;地下水开采量与泉水溢出量;灌区转化补给量及年际变化;河道补排量;地下水埋深及不同埋深、不同岩性面积,计算潜水蒸发

量(包括有效与无效蒸发量)。

3.4 排水与盐平衡监测评价体系

分析监测区(或流域)与典型监测区水盐平衡,分析排水量、排盐量时空分布(主要结合各项监测和统计、遥感资料)。主要计算分析进入监测区总盐量、排出总盐量以及盐平衡;总排水沟排水量(水平排盐);地下水埋深大于5m的灌溉入渗补给量(垂直排盐);典型剖面土壤盐分、化肥农药等变化,根据土壤水盐监测,计算分析土壤积、脱盐率和化肥农药利用率;监测区或典型区排水排盐量及排灌比;非灌区土壤盐分变化。

3.5 灌区与非灌区耗水监测评价体系

根据监测区河道、退排水、地下水出区水量和盐量,综合上述几个方面的分析,计算分析监测区和典型区耗水量。主要计算分析监测区总耗水量(总进水量-总出水量);典型区各项耗水量分析,提出当年农田耗水指标;灌区作物的耗水量;各种水面耗水量;植被(灌区内非灌溉植被和灌区外天然植被)耗水量;潜水无效蒸发量、低效蒸散发量和有效蒸散发量。

3.6 水资源及其开发利用综合评价体系

在建立和完善上述分项评价体系的基础上,集成监测区(流域)水资源利用综合评价系统,用于诊断流域水循环过程和水资源利用的合理性,主要从以下几个方面进行分析评价:社会经济用水量与生态环境用水量;绿洲水资源利用效率(亩灌溉定额、渠系水利用效率);供水保证率;绿洲耗水结构及组成(主要指国民经济耗水:农业、生活、城市、工业等);无效和低效蒸发量;水盐平衡状况(流域或区域积盐率或脱盐率);城市生活用水与排污情况(这部分引用城建部门监测和统计资料分析);工程配套与利用效率;水价与水成本、水权管理(总量控制和定额管理)、用水管理(量水到村或户);地下水水位变化。

4 监测评价系统的实施

绿洲水文监测及水资源利用评价系统的建设是一个复杂的系统工程,这项工作一直是弱项,在短时间内难以全面展开,在实施中应注意以下几个问题:

a. 科学规划,合理站网布局,建立多渠道的投入机制。积极开展绿洲水文监测系统的规划设计工作,开发研究绿洲水资源利用评价系统。通过科学规划,实现合理站网布局,不断完善站网监测功能,建立多层次、多渠道的建网投入机制,努力将绿洲水文监测站网建设纳入基本建设计划。在科学规划基础上,分项分片实施,逐步完善。

(下转第39页)

表 5 监测断面 COD_{Mn}、NH₃-N 的年通量估算值

t

监测断面	1999 年		2000 年		2001 年		2002 年	
	NH ₃ -N	COD _{Mn}	NH ₃ -N	COD _{Mn}	NH ₃ -N	COD _{Mn}	NH ₃ -N	COD _{Mn}
淮 滨	2083.6	6096.0	6804.7	30409.1	1431.2	13647.6	2505.9	18665.5
王家坝	3530.6	16374.1	16330.0	68932.9	2424.2	20564.3	3906.6	35579.5
鲁台子	12749.0	38888.5	10916.3	184941.6	11969.7	37563.1	7301.0	87335.8
吴家渡	6641.1	36212.4	26030.5	226987.2	20864.0	58446.2	14259.1	91711.9

量进行比较 ,未出现逐年递减的趋势 ,见表 5。

淮河干流水质虽向好的方向发展 ,但水质断面的污染物通量未见减少。表 5 中 2000 年的 COD_{Mn}、NH₃-N 的年通量比其它年份均高 ,淮河流域的治污力度不断加强 ,点源污染得到了控制。原因是 1999 年和 2001 年淮河沿线出现严重干旱 ,降雨量小 ,雨水携带的面源污染负荷小 ,各水文站 2000 年 11、12 月份的流量值是 1999 年和 2001 年同月份的近 10 倍 ,水质参数的值不一定增大 ,但面源污染负荷大 ,污染物通量因而很大。由此可见 ,在研究流域水污染治理情况时 ,必须将水质和水量统一起来考虑 ,才能比较全面地反映污染治理情况。点源污染好控制 ,但面源污染就不太容易控制。只有污染物通量才能很好地反映污染负荷大小。

另外在进行 COD_{Mn}、NH₃-N 的年通量估算时 ,也

计算了 BOD₅、COD 的年通量 ,各参数年通量存在很好的线性相关关系 ,而各参数浓度之间并没有良好的线性相关关系。

$$W_{COD_{Cr}} = 4.34 W_{COD_{Mn}} - 23829 \quad R = 0.997$$

$$W_{COD_{Cr}} = 4.21 W_{BOD_5} + 48917 \quad R = 0.939$$

$$W_{COD_{Mn}} = 0.95 W_{BOD_5} + 17529 \quad R = 0.925$$

参考文献：

[1]富国 ,雷坤 ,邢怡 . 河流污染物时段通量估算方法分析 [A] . 中国环境水力学 [C] . 北京 :中国水利水电出版社 , 2002 . 280 ~ 286 .
[2] GB3838—2002 地表水环境质量标准 [S] .
[3] 宁远 ,钱敏 ,王玉太 . 淮河流域水利手册 [M] . 北京 :科学出版社 , 2003 . 21 , 76 ~ 82 , 213 ~ 214 .

(收稿日期 2003-08-07 编辑 舒 建)

(上接第 19 页)

b. 加强行业管理 ,规范监测行为。绿洲水文监测 ,是一个靠众多单位共同组织 ,监测队伍庞大而技术水平参差不齐的系统工程 ,要确保监测成果的可靠性 ,需要实施行业管理。行业管理的职能为 :统一监测技术标准 ,监督检查监测行为的规范性 ,组织技术培训 ,核准监测人员的上岗资质 ,审核认定监测成果 ,管理维护监测信息档案 ,实行监测信息的资源共享。在监测资料汇总整编和水资源利用评价中 ,要注重各级水行政管理部门和流域管理机构 ' 统 ' 的作用。

c. 积极引入 " 工程带监测 " 机制。目前 ,普遍存在 " 重主体工程建 设 ,轻配套管理设施建设 " 的现象 ,这种状况与现代化工程管理的 要求极不适应。要紧紧依托灌区骨干工程建设 ,在实施大型灌区续建配套节水改造、水库除险加固、牧区水利等灌区新建项目的同时 ,推动绿洲水文监测站网建设。将绿洲水文监测及水资源利用评价系统的建立与完善 ,作为标准化农田基本建设和可持续农业灌溉体系的重要标志之一 ,在建设资金等方面给予扶持。

5 结 语

没有绿洲就没有内陆干旱区的社会经济发展。

面向 21 世纪 ,内陆干旱区社会与经济的可持续发展和生态环境的保护与改善 ,其核心是水资源问题。由于水土资源不尽合理的开发利用 ,典型区域生态环境的严重恶化已向人们敲响了警钟。因此 ,内陆干旱区水资源有多大的承载力、水资源如何合理配置、威胁绿洲安全与发展的荒漠化与盐碱化如何防治、提高水资源的利用率的潜力估计及其主要的措施与途径等等 ,都是摆在人们面前需要回答的问题。而要回答这些问题 ,必须加强包括内陆干旱区水文过程(重点是水分转化规律)和作物耗水、尤其是生态耗水等在内的基础性研究。因此 ,建立绿洲水文监测及水资源利用评价系统是十分必要和迫切的。

参考文献：

[1] 邓铭江 ,蔡建元 ,董新光 ,等 . 干旱地区内陆河流域水文问题的研究实践与展望 [J] . 水文 , 2004 , 24 (3) : 18 ~ 24 .
[2] 新疆农业大学 . 新疆平原区大气降水、灌溉水、土壤水与地下水水量转化实验研究 [M] . 新疆 :新疆卫生出版社 , 2002 . 52 ~ 97 .

(收稿日期 2004-06-16 编辑 舒 建)