

平原河网地区水资源配置仿真模拟模型研究

康 瑛 陈志刚

(浙江省水利水电勘测设计院 浙江 杭州 310002)

摘要 :从平原河网地区水资源配置要求出发 ,建立以平原产汇流模型、水资源配置模型和河网水流动力模型组成的平原河网地区水资源配置仿真模拟模型 ,以时甚至分为计算时段 ,达到仿真模拟平原产汇流、供排水、水体在河网中流动及各种水利工程的调度运行的目的。

关键词 :平原河网地区 ;水资源配置 ;逐时模拟 ;仿真模型

中图分类号 :TV212.5⁺1 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2007)05-0031-04

Simulation model of water resources allocation in plain river network area

KANG Ying , CHEN Zhi-gang

(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy & Hydro-electric Power , Hangzhou 310002 , China)

Abstract :According to the demand of water resources allocation in plain river network area , a water resources allocation simulation model was established , including plain runoff model , water resources allocation model and hydrodynamic model in river network . Taking an hour or even a minute as time step , the model can simulate the plain runoff yield and concentration , water supply and drainage , water flow in river network and the operation of all kinds of water projects .

Key words :plain river network area ; water resources allocation ; hourly simulation ; simulation model

平原河网地区一般具有以下特点 :地势低洼平坦 ,河流纵横交错 ,且流向不定 ;区域年降雨大 ,但时空分布不均 ;平原水系与外江或外海以节制闸控制 ,平原排涝受外部水位(外江水位或河口潮汐)影响大 ,洪涝灾害频繁。同时 ,平原地区由于其特殊的地理位置和自然条件 ,通常人口稠密 ,经济发达 ,用水量大 ,水污染严重 ,生态环境问题突出。

平原河网地区水资源优化配置需考虑以下几个因素 :①河网的输水能力和输水时间。由于平原河网地区河底坡降小 ,部分为平坡 ,在输水过程中很难产生水力坡降。②控制输水过程中沿程水位 ,避免河网水位长期超过正常蓄水位而造成平原渍涝。由于平原河网地区地势低洼平坦 ,但地势也有高低 ,不同地势的区域(河区)内部保持不同的高中低河网蓄水位 ,河区之间均有节制闸、滚水堰为界。③防洪排涝与水资源配置的关系。由于地势和水资源供需情况是两个完全无关的因素 ,平原河网区必然存在供

水方向与排水方向的不一致性 ,排涝骨干河道与输水骨干河道也具有不一致性 ,因此在水资源配置过程中各项调水工程设施应服从防洪排涝的需要。④输水过程中河网的供排水。由于平原河网地区河道纵横交错 ,大量工农业生产用水和部分生活用水历来直接从河网中取水 ,部分又直接回归河网。这些取排水点面广量大 ,无法统一管理 ,特别是枯水期易产生上游与下游争水现象 ,很难保证供水末端重要用水户的需水。⑤潮汐对取水和排水的影响。由于平原河网地区部分受潮汐影响 ,在水量充分的前提下 ,取水时间受每日两涨两落的高低水位和水质(含氯度及泥沙)的影响 ,水闸排水也受平原外部水位的限制。

因此 ,在平原河网地区的水资源配置过程中 ,若按常规单纯考虑以月、旬甚至日为计算时段的水量调配^[1] ,是不能满足水资源优化配置要求的。需要建立以时甚至分为计算时段 ,并考虑平原产汇流、供排水、水体在河网中流动及各种水利工程的调度运

作者简介 :康瑛(1968—) ,浙江嘉兴人 ,高级工程师 ,从事水利水电勘测设计规划工作。E-mail :ky347@163.com

行的仿真模拟数学模型。

1 仿真模拟模型

平原河网地区水资源配置调度的仿真模拟需要模拟平原河网地区水资源的供、用、耗、排全过程,模型主要由平原的产汇流模型、水资源配置模型和河网水流动力模型组成。

1.1 平原产汇流模型

平原产汇流模型模拟流域内各类下垫面的降雨径流关系及净雨汇流过程,计算流域内不同区域的径流深过程,模拟流域内农业排水过程,为水资源配置模型和河网水流动力模型提供边界条件。可分为水面、普通地面(包括建设用地)、耕地3种产水模式。

1.1.1 水面

平面地区水面的产汇流模型的基本原理是产流量等于降雨量减去蒸发量。

1.1.2 普通地面(包括建设用地)

参照湿润地区蓄满产流原理,根据参证站观测资料建立,分为产流与汇流两部分。产流采用新安江蓄满产流模型,汇流采用二层坦克模型,流域蒸散发采用三层计算模型。

模型对流域枯季径流、人类活动影响等进行概化充实。根据本地区降雨径流特性及流域现状产流情况,分别考虑了流域中小型水库滞蓄水量及灌溉水量、城镇生活及工业用水和跨流域引水(引入和引出)情况。根据参证站逐日降水量、蒸发量与流量资料,以径流总量、过程拟合误差最小为目标,对参数进行优选。建设用地是通过增大蓄满产流模型中的不透水面积比例系数来解决的。

最后根据优选参数、设计流域面雨量以及蒸发量,运用模型推求设计流域长系列逐日径流过程。

1.1.3 耕地

耕地中包括水田和旱地。耕地的产流量按照田间水量平衡原理来进行计算。为了保证水稻的正常生长,水稻在不同的生育期需要田面维持一定的水层深度,其中对产水起控制作用的水田水层深度是耐淹水深。耐淹水深主要控制水田的水层深度不能超过其值,当降雨过大而使水层水深超过耐淹水深时,要及时排除水田里的多余水量,水田的排水量即为水田所产生的净雨深。旱地则按蓄满产流控制排水过程。

1.2 水资源配置模型

水资源配置模型以水资源分区为基础,将研究区划分为多个计算单元(箱体),箱与箱之间存在水量交换,箱体内建立水量平衡配置模型。然后,根据质量守恒原理,依照一定的计算顺序和准则计算出

各计算单元的排水过程,为河网水流动力模型提供入流边界。计算时段为日。

为建立水资源配置模型,首先要把实际的流域水资源系统概化为由节点和有向线段等元素构成的网络。节点包括重要水库和计算单元等。计算单元是基本而重要的节点,各项需水、水源的供水及山区非水库控制径流等都是在计算单元的基础上进行的。有向线段则代表了天然河道或人工输水渠,它们反映了节点之间的水流传输关系。

1.2.1 水源

水源以地表水为主。包括各种水利工程蓄水、平原河网蓄水、跨流域引水、工农业用水的回归水量等。

1.2.2 需水

根据浙江省实际情况,需水分为如下几类:①生活需水:包括城镇居民日常生活需水、公共需水及城市环卫需水,以及农村居民生活需水和牲畜饮水等。在某一规划水平年,只考虑年内变化而不涉及年际的变化。②生产需水:其中工业生产包括工矿企业在生产过程中用于制造、加工、冷却、洗涤等方面的用水,分为重要工业和一般工业,重要工业由城市管网供水,一般工业从就近河道或自备井取水,在某一规划水平年,只考虑年内变化;农业生产包括种植业灌溉需水、渔业需水等,农业需水所占比例最大,年内分配和年际间均有显著变化,按田间水量平衡原理进行逐日计算。③生态环境需水:分为河道内环境需水和河道外环境需水。生活和重要工业需水都由城市供水管网供应,保证率一般在95%以上,一般工业和农业需水则取自就近河道或自备井,水质要求和供水保证率较生活需水低。见图1。

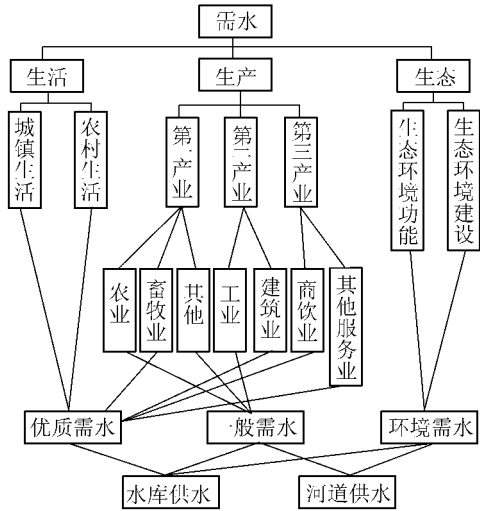


图1 水量供需分配

水资源配置模型包括以下主要约束方程:

a. 水量平衡类方程。

b. 供需平衡类方程。

c. 边界条件类方程 :包括各水库或闸的各种特征参数的约束、有关动态调度控制、各河网的蓄水量上下限约束、各单元污水处理回用量的约束、各渠道和河道的过水能力限制、各计算单元每一时段的各种供水量的上下限以及各种决策变量的非负约束等。

d. 初始条件类方程 :包括各水库或闸、各河网的初始蓄水量或初始水位等。

e. 特殊类方程 :主要是反映特殊水利工程向某些单元或用水部门的分水比例及动态控制关系、供水优先级、某些水利工程的综合利用要求等方程 ,如水库供水调度控制技术。

1.3 河网水流动力模型

为模拟水体在河网中输送过程 ,根据平原河网特点 ,将河网概化为由直河段和汉点(包括桥梁、水闸、河道交叉点)组成的网状结构。由于该模型主要以水资源配置为主 ,属归槽水流 ,可作为一维模型处理。笔者采用平面准二维与河网一维非恒定流结合的‘混合模型’^[2]。

河网水流动力模型的上边界为山区单元来水流量过程 (由水资源配置模型提供 ,并由逐日水量过程转换并直线内插为逐时过程)和取水点的逐时水位过程 ,下边界为排水区的逐时水 (潮)位边界。将平原地区的产水 (由平原产汇流模型提供)和耗水过程作为骨干河道上正向或负向集中入流概化在模型中 ,模型逐时模拟河网中骨干引水河道的水流运动 ,计算各断面的水位、流量 ,达到水资源配置仿真模拟的目的。

2 仿真模拟模型在浙东地区的应用

2.1 概况

浙东地区位于钱塘江下游的杭州湾南岸 ,总面积 13 494 km² ,其中平原占 60% ,其余为山丘区。钱塘江是浙江省最大的河流 ,流域面积 55 558 km²。曹娥江为钱塘江下游支流 ,流域面积 6 080 km²。

浙东地区地势西南高 ,东北低 ,自西南向东北倾斜。南部为丘陵山地 ,北部为滨海冲积平原。平原地势低平 ,水网密布 ,地面高程一般在 1.8 ~ 6.5 m 之间 ,其中曹娥江河口左岸为萧绍平原 ,右岸为姚江平原。

位于浙东平原河网地区的浙东引水工程主要工程有 :萧山枢纽工程、曹娥江大闸枢纽工程、曹娥江至慈溪引水工程 (北线)、曹娥江至宁波引水工程 (南线)、舟山大陆引水工程等。

浙东引水工程通过浙东引水萧山枢纽、曹娥江大闸枢纽和曹娥江引水工程可将钱塘江、曹娥江、姚江等浙东河网地区的供水水源融为一体 ,钱塘江引

入水量和曹娥江径流利用曹娥江大闸枢纽和萧绍平原河网的调蓄作用 ,在满足下游曹娥江大闸闸下冲淤要求的条件下 ,向两岸平原提供工农业用水 ,并在丰水期向两岸平原提供河网生态环境用水量。

浙东引水工程供水范围为浦阳江以东、曹娥江曹娥下游的绍虞平原、姚江平原和舟山海岛。浙东地区水系图见图 2。

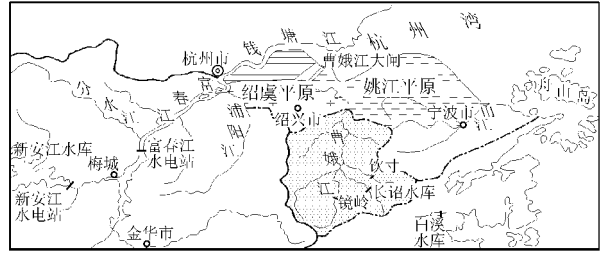


图 2 浙东地区水系

2.2 模型概化

浙东引水工程按由西向东的供水顺序设计。浙东引水萧山枢纽工程位于浙东地区西端的钱塘江下游支流浦阳江河口段右岸 ,取水口萧山枢纽闸站后修建引水河道与杭甬运河相接 ,经杭甬运河进入萧绍平原河网 ,再经曹娥江左岸节制闸与曹娥江大闸闸上水库连通 ,通过曹娥江大闸闸上水库向右岸姚江平原供水 ,实现引入的钱塘江水资源和浙东地区水资源的统一配置。

本模型将浙东地区概化为曹娥江上游区、萧绍平原河网及曹娥江大闸闸上水库区两大模块。曹娥江上游区主要是山区性河道 ,主要由产汇流模型和水资源配置模型组成 ,模拟山区产汇流和区域内各水源与用水户之间水资源供需平衡过程 ,逐日模拟计算曹娥江上游区的来水过程。萧绍平原河网及曹娥江大闸闸上水库区则采用产汇流模型、水资源配置模型和河网水流动力模型 ,模拟平原地区产汇流过程、区域内各水源与用水户之间水资源供需平衡过程 ,并将平原来水和用排水过程加入到河网水流动力模型中 ,逐时仿真模拟水体在平原河网地区的实际配置过程。

在河网水流动力模型的仿真模拟计算时 ,上游边界采用曹娥江上游来水流量过程和富春江取水点的潮位变化过程 ,下游边界采用曹娥江大闸闸下的杭州湾潮位过程。模型中考虑水资源配置过程中各引水闸、节制闸和排水闸的实际运行和水流在平原河网中的流动。

由于曹娥江右岸的引水规模为 100 m³/s ,而萧山枢纽的引水规模为 50 m³/s ,在上述两处引水若按引水规模引水时 ,如曹娥江上游来水小于 50 m³/s ,则需要暂时调用萧绍平原河网蓄水量。为在不影响

萧绍平原正常用水的前提下,保证向曹娥江右岸的引水,需要确定曹娥江右岸引水闸最低可引水水位,该水位既影响曹娥江右岸的引水量,又影响萧绍平原的水位消落。为此,需建立工程运行仿真模型复演浙东引水工程的实际调度运行,通过长系列逐时模拟计算,分析不同的最低可引水曹娥江水位对浙东引水水资源系统的影响,从而合理选定最低可引水水位。

整个浙东引水地区水资源的调度,要求在确保曹娥江大坝闸下冲淤的条件下,既满足平原河网的防洪排涝及日常控制水位要求,又达到设计引水量要求,使浙东引水工程达到预期的效果,充分发挥浙东引水工程的多目标效益。

2.3 曹娥江大坝建成后仿真模拟分析(准现状工况)

曹娥江大坝枢纽工程于2005年底开工建设,预计2008年建成。目前,浙东引水萧山枢纽工程、曹娥江引水工程尚处在前期工作。本文首先分析仅有曹娥江大坝枢纽工程建成工况(下称“准现状工况”)对萧绍平原地区的影响,对准现状工况进行长系列(1962~2000年)逐时仿真模拟计算。

由计算可知,曹娥江大坝建成以后,除满足曹娥江大坝闸下冲淤水量外(多年平均冲淤水量 $0.67\text{亿}\text{m}^3$,用于维持曹娥江大坝闸下两条潮沟),曹娥江大坝闸上水库与萧绍平原在非洪水期可以相互沟通,曹娥江上游径流在萧绍平原需要生产、生活及生态用水且萧绍平原水位低于正常蓄水位 3.9m 时,可以通过曹娥江左岸排涝节制闸直接进入平原,多年平均进入平原的水量达到 $8.75\text{亿}\text{m}^3$ 。进入平原的水量部分是为了激活平原河网水体,在曹娥江丰水期(5~6月)直接从平原北部的滨海闸(规划工程,位于绍兴县滨海工业区北部的钱塘江南岸)排入钱塘江,多年平均水量为 $3.0\text{亿}\text{m}^3$ 。曹娥江大坝枢纽工程建成以后,浙东引水工程实施前,除1967年和1968年外,曹娥江流域来水均可以满足曹娥江大坝闸下冲淤和工农业生产要求。萧绍平原河网年最低水位见图3所示。从图中可以看出,在准现状工况(曹娥江大坝建成)条件下,由于受曹娥江上游来水的限制,绍虞平原年最低水位的年际变化较大,1967年、1968年由于旱情严重,曹娥江上游来水很少甚至断流,萧绍河网一度干涸,仍可能出现受灾严重状况。

2.4 浙东引水工程运行仿真模拟分析(规划工况)

浙东引水工程的各项工程全部实施以后,曹娥江右岸除丰惠河网与曹娥江大坝闸上水库连通外,其余姚江平原地区正常水位均低于曹娥江大坝闸上

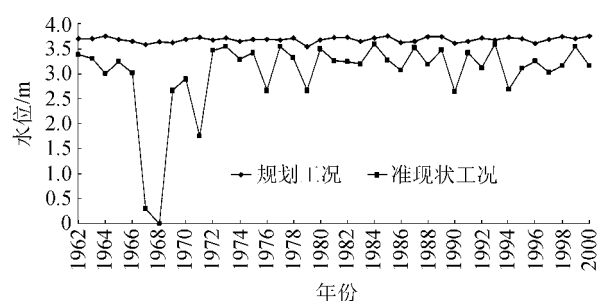


图3 绍兴南门站年最低水位比较

水库的常水位,需通过曹娥江右岸通明闸和三兴闸,以自流引水的方式向绍兴市的上虞和宁波舟山地区供水。

采用前述模型对规划工况进行长系列(1962~2000年)仿真模拟计算。计算遵循了以下原则:①保证曹娥江大坝闸下冲淤水量、萧绍平原和虞北平原的用水;②保证曹娥江右岸南北线引水水量得到满足。

经模拟计算比较分析,曹娥江最低可引水水位确定为低于正常蓄水位(3.9m)的 3.6m 。在此条件下,多年平均从富春江引水 $8.87\text{亿}\text{m}^3$,曹娥江大坝多年平均泄水量 $19.68\text{亿}\text{m}^3$ 。为了改善萧绍平原的河网水质,每年的3~6月份和9~10月份,浙东引水工程多年平均可向萧绍平原河网补充环境用水 $4.75\text{亿}\text{m}^3$ 。曹娥江大坝闸上水库与萧绍平原在无洪水时相互沟通,曹娥江上游径流在萧绍平原需要生产、生活及生态用水且萧绍平原水位低于正常蓄水位 3.9m 时,可以通过曹娥江左岸节制闸直接进入平原,多年平均进入平原的水量达到 $6.38\text{亿}\text{m}^3$ 。多年平均引曹北线引水量为 $4.86\text{亿}\text{m}^3$,南线为 $3.67\text{亿}\text{m}^3$ 。另外,还有部分水量是为了搞活曹娥江两岸萧绍平原和姚江平原河网水体,在钱塘江和曹娥江丰水期(3~6月、9~10月)直接从平原北部的节制闸排入杭州湾,多年平均水量为 $4.75\text{亿}\text{m}^3$ 。曹娥江大坝有些月份无水量下泄。

萧绍平原河网年最低水位见图3所示。与准现状工况相比,规划工况下萧绍平原的年最低水位均在 3.5m 以上,低于 3.6m 的仅为2年。曹娥江流域来水加上富春江引水,可以满足曹娥江大坝闸下冲淤要求。规划工况的萧绍平原河网水位波动变化远比浙东引水工程实施前的准现状工况稳定。

3 结 语

平原河网地区水资源配置仿真模拟模型研究及其在浙东地区的初步应用,实现了浙东平原河网地区水资源配置过程中考虑当地降雨径流、本地水源供水、实际多用户的用水排水过程、(下转第37页)

3.2 小型水库

根据野外实测资料,分析、计算出逐日和月年平均水位、流量、降水量等资料,推求计算出以月为单位的平均水位、库容量、库容面积、来水量、降水量、放水量、蒸发量、蓄变量等参数,然后根据式(1)计算出渗漏量。

a. 柏山水库。1999年11月~2002年4月枯水期日平均水库渗漏量为0.064万m³,相应水位为124.73m(蓄水量22.73万m³),并建立了柏山水库渗漏量-蓄水量关系,图2显示关系比较密切。

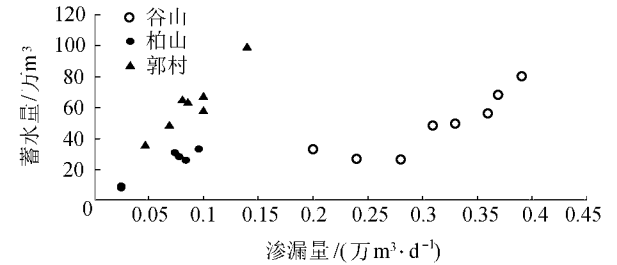


图2 小型水库渗漏量-蓄水量关系

b. 郭村水库。水库平均水位113.25m(蓄水量62.71万m³)时,平均日渗漏量为0.089万m³。从图2看出:水位低(蓄水量小)渗漏量小,水位高(蓄水量大)渗漏量则大,最高、最低水位的最大渗漏量和最小渗漏量相差5.7倍。

c. 谷山水库。经计算水库平均水位在128.23m(蓄水量49.10万m³)时,日平均渗漏量为0.31万m³,从建立的谷山水库渗漏量关系图上明显可看出该水库蓄水量和渗漏量关系密切,见图2。

3.3 小型水库渗漏量综合分析

利用柏山、郭村、谷山水库实际计算出的日平均渗漏量和蓄水量资料建立关系(图2),可以看出渗漏量随着蓄水量的增加而增加,符合实际情况。同时显示柏山、郭村水库渗漏量关系靠近纵坐标轴,即渗漏量偏小,谷山水库渗漏量关系线距纵坐标轴较远,与柏山、郭村水库不在同一条关系线上,证明在同一个蓄水量条件下,该水库渗漏量大于柏山、郭村水库的渗漏量。

3.4 大、小型水库渗漏量综合分析

通过对选择的大、小型水库渗漏量计算分析得知,水库渗漏量随着水位(或蓄水量)的变化而变化。经过对上述变质岩地层水库渗漏量归纳整理,应用水库蓄水量和渗漏量建立相关关系(图3),可以看出蓄水量为零时水库渗漏量也是零,渗漏量随着水库蓄水量的增加而增大。根据图3建立水库蓄水量-渗漏量关系对照成果表,结果显示水库蓄水量在200万m³时,日渗漏量为0.21万m³,占蓄水量百分比最大为0.105%,蓄水量7000万m³时,日渗漏量

为6.85万m³,占蓄水量百分比最小为0.098%,说明水库蓄水量与渗漏量所占比重成反比关系,日最大和最小相差0.007个百分点。

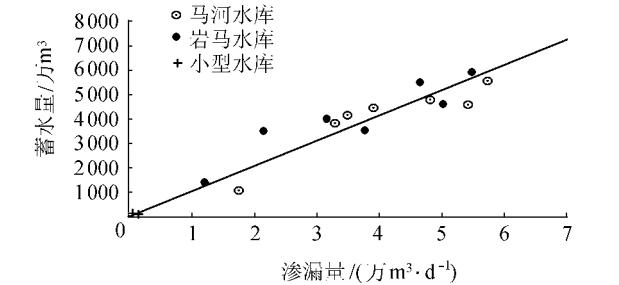


图3 大、小型水库渗漏量-蓄水量关系

4 不同岩性水库渗漏量综合分析

a. 计算分析得知岩马、马河、郭村、柏山4座变质岩区水库日平均渗漏量占蓄水量的比值为0.16%,谷山灰岩地区水库日平均渗漏量占蓄水量的比值为0.63%,灰岩区水库渗漏量是变质岩区水库渗漏量的3.9倍,说明灰岩地区渗透性强,水库渗漏量大。

b. 从图2明显看出,变质岩区渗漏量关系曲线和灰岩区渗漏量关系曲线,线性相近,但不在一条曲线上,灰岩区关系曲线明显大于变质岩关系曲线,同时证明在同一蓄水量条件下,灰岩区的水库渗漏量大于变质岩区水库渗漏量。

参考文献:

[1]王大纯.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,1986:7-9.
[2]地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队.供水水文地质手册[M].北京:地质出版社,1978:706-708.

(收稿日期 2006-06-22 编辑 高渭文)

(上接第34页)

外流域引水的逐时仿真模拟,做到适合平原河网地区的以水位控制各种节制闸、船闸和泵站的实时调度。该成果为下一步制定水资源配置工程调度制度提供科学依据,为解决平原河网地区的水资源供需平衡矛盾和水资源配置的实时调度创造了条件。

参考文献:

[1]畅建霞,黄强,王义民,等.南水北调中线工程水量仿真调度模型研究[J].水利学报,2003(12):85-90.
[2]黄昉.漫垸网河平面准二维与网河一维非恒定流“混合模型”的研究[J].浙江水利科技,2003(1):17-19.

(收稿日期 2007-04-05 编辑 高渭文)