

区域水资源规划及灌区节水增产灌溉 专家系统研制

徐建新 陈南祥 黄 强 著

3.4

 黄河水利出版社

区域水资源规划及 灌区节水增产灌溉专家系统研制

徐建新 陈南祥 黄 强 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书全面系统地论述了区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研制的理论与方法。全书共分为5大部分:一是区域(灌区)水资源评价、规划及宏观调控的理论与方法研究;二是区域水资源开发利用理论与技术研究;三是基于半结构多目标优选技术的灌水方法选择研究;四是灌区水资源优化分配及渠系优化配水决策研究;五是区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研制。全书理论与实例相结合,内容翔实,层次分明,具有较强的实用性。

本书可供从事农田水利、水文水资源、生态环境等相关专业的科研和管理人员参考使用,也可供大专院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研制/
徐建新,陈南祥,黄强著. —郑州:黄河水利出版社,2008. 10
ISBN 978 - 7 - 80734 - 520 - 6

I. 区… II. ①徐…②陈…③黄… III. ①区域 - 水资源管理②节约用水 - 灌区规划 IV. TV213.4 S274.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 156984 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:6.375

字数:190 千字

版次:2008 年 10 月第 1 版

印数:1—1 400

印次:2008 年 10 月第 1 次印刷

定价:18.00 元

前 言

水资源短缺是一个世界性的问题,在我国,尤其是我国北方表现更为突出。随着经济社会的迅速发展及人民生活水平的不断提高,对水的需求量还将继续增加。搞好水资源管理,解决好水资源问题,以水资源的可持续利用支撑经济社会的可持续发展,已成为 21 世纪人类社会面临的战略问题。

在我国社会总用水量中,农业用水量占 65% 左右。在农业用水中,一方面水资源严重短缺,另一方面水资源利用率又非常低下。形成此种情况,一是工程措施老化失修,节水灌溉工程建设比例尚少;二是管理水平偏低,管理措施不到位;三是没能很好地将先进的理论与技术系统地应用到水资源优化调配与工程运用管理工作中。

未来解决农业生产方面水资源短缺问题,将主要通过建设、改造节水灌溉工程和提高灌区灌溉管理水平来加以解决。“区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研制”项目正是在此背景下提出来的,该项目系水利部重点科研项目。经过多方努力,项目组顺利完成了预定的研究内容,其成果在河南、河北等省的部分区域(灌区)得到了应用。为了进一步扩大影响,使其成果在区域水资源的评价及灌区灌溉管理中得到推广应用,并便于与同行专家进行理论探讨与学术交流,现将研究成果整理编辑成此书。

本书内容共分为五大部分,包括区域(灌区)水资源评价、规划及宏观调控的理论与方法研究,包括地表水资源评价、地下水资源评价、区域水资源总量评价、区域水资源优化、神经网络模型和时间序列模型在水文预报中的应用;区域水资源开发利用理论与

技术研究,包括用区域水量平衡法估算农业用水量和灌区节水防盐灌排制度设计研究;基于半结构多目标优选技术的灌水方法选择研究;灌区水资源优化分配及渠系优化配水决策研究;区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研制。作为科研项目,其成果已通过河南省科技厅组织的鉴定。

本书由徐建新、陈南祥、黄强共同撰写,由徐建新统稿。其成果还是第一作者徐建新博士论文的主要研究内容。沈晋前辈作为徐建新的博士导师,对论文及本书进行了系统的审阅,并对最终定稿提出了许多宝贵的修改意见。值此专著出版之际,也表达了学生徐建新对沈晋老师最诚挚的谢意!

参加课题研究的人员还有刘培斌、邱林、谷红梅、刘俊园、丁志雄、王萍、白雪梅等,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,且部分成果有待进一步深入研究,书中难免存在不足和不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2008 年 8 月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 选题背景及意义	(1)
1.2 相关领域国内外研究现状	(3)
1.3 主要内容和特点	(17)
第 2 章 区域水资源评价理论及应用	(19)
2.1 传统水资源评价理论简介	(19)
2.2 有限元计算方法的数据处理问题研究	(31)
2.3 水资源评价实例	(37)
2.4 神经网络在水文预报及地下水位预报中的应用研究	(43)
2.5 时间序列模型在水文及地下水预报中的应用研究	(63)
2.6 区域水资源优化理论与方法探讨	(69)
第 3 章 区域水资源开发利用理论与技术研究	(77)
3.1 用区域水量平衡法估算农业用水量	(77)
3.2 灌区节水防盐灌排制度设计研究	(98)
第 4 章 用半结构多目标优选技术进行灌水方法优选研究	(112)
4.1 概 述	(112)
4.2 节水灌溉综合评价指标体系的建立与分析	(113)
4.3 工程方案优选理论与方法简介	(120)

4.4	用半结构多目标模糊优选技术进行灌水方法选择研究	(127)
4.5	系统方案模糊优选应用举例	(142)
第5章	灌区水资源优化分配及渠系优化配水决策研究	(157)
5.1	有限水资源在作物间的最优分配	(157)
5.2	灌区实际优化配水过程设计	(163)
5.3	渠系灌溉过程设计	(166)
第6章	区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统软件研制	(167)
6.1	专家系统程序基本结构及特点简介	(167)
6.2	灌溉专家系统软件研制	(169)
6.3	灌水技术选择专家系统研制与应用	(175)
6.4	灌区优化灌溉决策系统软件研制及应用	(178)
第7章	结论与建议	(187)
7.1	主要研究结论	(187)
7.2	建 议	(190)
参考文献		(192)

第 1 章 绪 论

1.1 选题背景及意义

1.1.1 选题背景

人口、资源、环境与发展是当今国际社会普遍关注的重大问题。控制人口数量,珍惜和节约自然资源,保护和改善生态环境,实行可持续发展战略,已成为全球紧迫而艰巨的任务。1992 年联合国环境与发展大会通过的《21 世纪议程》把水问题作为重要的组成部分。

水是人类赖以生存和发展不可替代的宝贵资源,由于社会经济的发展,特别是工业化、城市化进程的加快,水资源短缺已形成全球性的危机。同许多国家一样,中国在发展经济、保护人类生存环境的进程中也面临着日益严重的水资源短缺与水环境恶化等问题。

我国是一个水资源相对贫乏的国家,水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 ,居世界第 6 位,人均水资源占有量约为 2 150 m^3 ,仅为世界人均水资源占有量的 1/4,居世界第 109 位,现已被列为世界上 13 个贫水国家之一。我国北方缺水尤甚,据统计,我国北方京、津、冀地区人均水资源量仅为 517 m^3 /年,相当于全国人均水资源量的 1/5,全世界人均水资源量的 1/21。缺水已严重影响了当地工、农业生产发展和人民生活水平的提高,以及区域内社会、经济、环境的可持续发展。

我国一方面水资源短缺,另一方面又存在着严重的水资源浪费。目前,占我国总水资源使用量 65% 左右的农业用水中,由于

灌区建筑工程建设标准低,老化失修严重,灌溉设备落后,特别是管理水平低、灌水方式粗放,灌区水资源规划中大部分仍采用充分灌溉制度和理论,使得我国目前的灌区灌溉水有效利用系数不足 0.5,远低于发达国家农业灌溉水资源有效利用系数 0.8 左右的水平。水资源的利用率低、严重浪费,加剧了水资源供需紧张的状况,而且部分灌区由于超量引水还造成了土壤次生盐碱化,使灌区生态环境恶化。

随着人口的增长、工业的发展,近年来非农业用水量增长很快。从经济效益来看,目前非农业用水效益远比农业用水效益高,所以今后工业和生活用水增加还将挤占农业用水。

按国民经济发展计划,我国近期内要使粮食产量比现状增加 500 亿 kg。而粮食总产量的增加主要依靠扩大灌区灌溉面积和提高现有灌区粮食单产。

我国自 1949 年以来,经过 50 多年的水利工程建设,取得了举世瞩目的伟大成就,兴建了一大批水利工程,现状水资源开发利用水量已经超过了 6 000 亿 m^3 ,达到潜在水资源量的 21%。今后继续搞开源水利工程其成本将越来越高。因此,受各种条件制约,我国在 21 世纪初的近 10~20 年内,不会搞太多的水源灌溉工程。

原水利部汪恕诚部长 1999 年提出了我国水利建设应由工程水利向现代化水利转变的观点。这一观点具有重要的现实意义和深远的历史意义,指明了我国未来水利工作建设的方向。因此,就未来解决水资源短缺问题而言,将主要通过建设节水灌溉工程和提高灌区灌溉管理水平加以解决。进行区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研究就是在此背景下提出来的。

1.1.2 项目研究目的和意义

国际公认:灌溉节水潜力的 50% 在管理。可见管理工作意义重大。把计算机技术应用于灌区管理中,将使大批水利专家的宝贵经验在现代化技术手段的支持下发挥更大的作用,为提高我国

灌区管理水平做出重要贡献。

由于缺水,近年来各国都致力于发展节水型农业,并且十分强调管理在节水灌溉中的地位和作用。1993年在荷兰海牙召开的第十五届国际灌溉大会的中心议题是“21世纪的水管理”。

我国在灌溉农业节水方面也做了大量工作,包括采用工程措施减少输水损失,提高水的利用率;采用先进灌水技术、节水型灌溉制度以及减少棵间蒸发等。但总的看来,单项节水技术应用多,综合技术措施研究运用少;工程节水技术措施多,管理方面的技术研究推广少;节水灌溉设备硬件方面研制多,水资源优化配置等软件研制少。

专家系统是一种在相关领域中具有专家水平解题能力的智能程序系统。它能运用领域专家多年积累的经验和知识,模拟人类专家的思维过程,求解需要专家才能解决的困难问题。本书针对我国目前本研究领域的薄弱环节,以区域水资源评价、灌区水文预报、作物非充分灌溉理论、半结构多目标模糊优选理论为基础,进行了区域水资源最优规划、神经网络技术在水文预报中的应用、灌区农业用水量、水盐平衡灌排制度设计、灌水技术优选、灌区优化配水等新的理论与技术研究,并对以往众多本领域专家知识进行系统的提炼和整理。在此基础上,利用专家系统理论和知识,研制开发具有综合知识、通用性较强的计算机管理专家系统应用软件。该软件对于正确评价区域(灌区)农业水资源状况,合理确定灌区类型,正确选择节水灌溉技术及提高灌区综合灌溉管理水平都具有重要的应用价值。

1.2 相关领域国内外研究现状

1.2.1 专家系统在水资源规划及灌溉管理领域的研究现状

专家系统在水资源开发管理方面的应用在国外是自20世纪

80 年代开始的,其主要研究成果如下。

Raboh. R. Reiter. J 和 Gaschnig. J(1982 年)的 HYDRO 系统,该系统是用以帮助确定流域最佳物理特征参数值的专家系统。其值作为一种新型流域模型的输入量,用于估算不同的水文因素对全区域影响的状况。系统试图提供能与水文专家经过深思熟虑选择的领域特征参数值相媲美的参数值。它的一般推理系统不仅可以应用于水文学领域,还可应用于大量的其他推理工作。

Engman. E. T(1987 年、1989 年)先后研制了 EXSRM 系统和 SRM 系统,其中 EXSRM 系统可用以帮助人们估计融雪径流参数,SRM 是一种预测山区河流日流量的模拟模型。EXSRM 可用以获取必要的专门知识,来估计所选参数的合理性,给出合理值范围;而 SRM 模型需要由卫星提供覆雪量、日温、降雪量以及一些不能直接测量的参数值,如径流系数、温度直减率、衰退系数、延时系数等。

Pelletier. P. M(1987 年)又研制了一种 ESSEM 专家系统的模型。该模型被用来选择露天渠道和河流测站。模型在考虑河流规划、河道水情、冰情、投资能力等大量因素基础上,进行测站和测量方法选择。

Simonovics. S. P(1989 年)在两篇论文中均论述了 SFM 专家系统,该系统可以用于选择河流测试方法。它由两部分组成:第一部分检测测试点的自然特征,其知识库囊括了由世界标准局出版手册中介绍的 27 种测量方法,根据所提供的信息,系统整理出第二部分所需资料;第二部分利用第一部分成果,收集测点的测试结果和使用设备情况,然后利用这些信息来精简应用方法表。该系统还可以提供储存在数据库文件中的有关选择方法的信息。

Liong. S. Y. 、Chan. W. J 和 Lum. L. H(1991 年)研制了一种用以校准暴雨水管理模型中径流分量的专家系统(KBSMM)。该系统可完成一种“最陡坡”型的有关 10 种标定参数的最佳数值选定。其参数包括粗糙系数、蓄量损失率、渗透率和渗透衰减率、倾

斜角、抗渗系数等。该系统既可以帮助用户选择下一步标定的合适参数,又可以估算拟合度。

Simonvic. S. P. 和 Saric. D. A (1989 年) 研制了 REZEX——一种人机交互、菜单操作专家系统,用于水库基本情况咨询。该系统可将水库数学问题转换成规范的数学表达式,然后为表达式选择适当的计算方法求解问题。该软件包含 9 种水库模型,覆盖了从系统优化方法到水库规模、规划操作、实时调度等多方面的问题。

Abbott. M. B (1986 年) 研制了 WATQUAS 专家系统。此系统可从大量有价值的历史水质资料中提取相关知识,并以适当形式将其表示出来。但该系统转换过程具有不确定性,尚难用数字表达其模型,所以该系统主要用于历史资料的解释。

Palmer. R. N 和 Tull. R. M (1987 年), Palmer. P. N 和 Holmesk. J (1988 年) 先后研制了功能近似的 WMS 和 SID 有关旱情管理计划专家系统,两系统可预估和展示有关旱情管理计划的信息。在用户判别现今旱情与过去的类似程度的基础上,根据以往经验,用线性规划模型制定最优决策。此系统是由西雅图水系统部门管理人员设计操作的,用以帮助他们做出复杂的决定,即水量的优化调配。

Raman. H 建立了根据干旱程度和不同的年初蓄水量,采用线性规划模型进行作物优化的专家系统,用以指导今后灌溉系统面临干旱的调度决策。

Palmer 和 Richard. N 等建立了以利用规划库对美国西雅图水库管理处的工作人员以交谈方式获取调度经验的专家系统。

CADSM 模型是具有决策支持功能的专家系统,该模型有多个子模块,可模拟作物产量和作物需水过程,预测土壤盐分及水分胁迫对产量的影响,向用户提供不同类型渠系的配水计划,对各种供水决策进行效率和生产率公正性评价。

国内灌区水资源管理专家系统软件的开发应用远落后于国外,其具体研究开发情况如下。

汪家权(1993年)进行了平原地下水资源评价专家系统研究;田峰巍等(1993年)进行了水库群联合优化调度的专家系统设计;翁文斌等人研制了包含有专家知识的评价方案系统和具有专家知识的咨询系统在内的京津塘水资源规划决策支持系统;束沧龙(1996年)建立了基岩裂隙水寻找与开发的专家系统;1993年河北省石津灌区管理局和中国科学研究院合肥智能所等单位首次联合,采用合肥智能化所研制的编辑型专家系统开发工具雄风2.1,研制了石津灌区管理专家系统,该系统整理了灌区管理专家、经济专家的经验 and 知识,由灌区灌溉信息服务、管理决策咨询、灌溉优化调度3个子系统组成,并进行了实际应用尝试;水利部农田灌溉研究所(1997年)在总理基金项目《华北地区节水型农业技术与示范》中,在总结分析华北地区主要农作物的各种节水灌溉措施基础上,将研究成果采用Turbo、Prolog、dBaseⅢ等语言编写了包含知识库、推理机、人机接口和知识获取4个子系统的“华北地区节水型农业技术体系专家系统”(NCWSA);王德次(1997年)初步进行了“节水灌溉综合评价决策专家系统”方面的研究,并采用了Prolog与Turbo语言混合编程,研制了WSIPES系统软件;谷红梅(1999年)采用专家系统进行了灌区灌水技术选择方面初步研究;汪志农(2000年)在节水灌溉管理决策专家系统研究中,采用雄风3.1专家系统开发工具结合生产实际,分别建立了灌溉预报与节水灌溉决策、灌区管理体制改革的陕西旱情决策等3个专家系统,取得了良好的社会效益。

但从总体上讲,以上研究成果多数以理论性、探索性或专家咨询性为主,许多成果都尚不完善,也尚未达到真正在生产中实用的目标。到目前为止,我国水资源和农业灌溉专家系统方面的研究尚处于起步和探索阶段。

1.2.2 人工神经网络技术在水文水资源预测预报中的应用状况

人工神经网络理论被广泛地应用于各种模式识别、优化计算、

非线性信号处理、智能控制、人工智能等研究领域。20 世纪 90 年代初,神经网络技术开始应用于水资源评价与预测、优化计算及分类识别和基于人工神经网络的专家系统研制与开发等方面。

1992 年 French 等人在分析了降雨的时空分布特性基础上,采用神经网络模型进行了各站降雨预报,并与模拟模型进行了对比。结果证明,神经网络模型的预报结果达到了较高精度。

Hsiang - Tekung、Lyulin、Smalasri(1993 年)将人工神经网络中的包括数据分析、训练、预报 3 个模块在内的 BP 网络模型应用于降雨预报。该模型输入层、隐含层分别有 20 个节点,输出层为单节点。在训练之后,该网络用美国 Mempics 地区 1982 ~ 1989 年降雨资料进行了预报检验,其结果相对误差在 30% 以内。文献中针对实际典型验证结果得出一些认识,主要观点为:神经网络模型的可靠性取决于输入层、隐含层、输出层节点数和隐含层的层数;当输入层和隐含层节点数目相等时,BP 网络的性能较好;网络的训练时间较短时,网络的识别与预报能力较好。

Ranjithan(1993 年)针对地下水研究中多孔介质透水性的空间变化及其资料较缺乏,很多研究采用随机的地下水管理模型,在分析中需采用大量试验资料使所建地下水优化管理模型求解时维数高、计算量大,而有许多影响因素对最后求解结果影响又不大的特点,采用 BP 网络研究地下水优化管理问题,模型采用包括 102 个输入节点、36 个隐含层节点、一个输出层节点的 BP 网络模型,进行研究,取得了较好的识别效果。在不降低方案可靠性前提下,大大减少了地下水优化管理机遇约束及混合整数规划模型的约束条件,从而节约了大量的计算资源。

SP. Zhang 等(1993 年)针对水文现象自身复杂性、水文变量与诸因素间的函数关系很难明确给出的问题,应用水文因子神经网络模型,利用前一日的转移水量、日最高气温、天气、降雨量级别、日特征等参数进行了日需水量预测研究。

Mu - Lanzhu, M. Fujita 和 N. Hashimoto(1993 年)应用水文时间序列神经网络模型进行了洪水预报研究,并应用纽约 Butternut 河的三场典型洪水资料进行预报,取得了较好效果,经验证,实测洪水基本在预报区间之内。

Gerson Lachtermacher 和 J. Davia Faller(1993 年)应用 BP 网络模型对水文时间序列进行预报,得到了比传统方法更准确的结果。文章中还对不同网络结构对预报结果的影响进行了分析。

H. Raman 和 N. Sunilkumar(1995 年)应用水文时间序列神经网络模型进行了多变量水文序列模拟。并以印度 Manglam 水库和 Pathurdy 水库 1977 ~ 1990 年日入流系列资料为样本,采用 BP 网络进行样本学习训练模拟,所得结果经与传统 AR(Z)模型模拟结果对比,证明神经网络模型精度较高。

Chun - Yang 等(1996 年)将神经网络技术应用到了农田地下排水系统及地下水位的实时控制研究中。

国内 20 世纪 90 年代初也开始了将神经网络技术应用于水文水资源领域的研究。

韦柳涛等(1992 年)应用 Hopfield 网络,建立了以水电厂短期优化运行数学模型为目标函数和约束条件的能量函数及相应数学模型。

吴骁(1993 年)、蔡煜东和许伟杰(1993 年)及胡铁松、丁晶(1994 年)等应用水文因子神经网络模型进行了暴雨预报、湖水位预报、径流分级预报方面的研究。

蔡煜东、姚林声(1995 年)利用水位因子模型进行了径流长期预报的尝试,以辽宁大伙房水库为例,采用 4 个径流前期影响因子作为神经网络的输入,以径流量等级为输出,建立预报因子与径流量等级之间的非线性函数关系,取得了较理想的输出结果。

解建仓等(1994 年)进行了水库群调度的因素神经网络系统研究;胡铁松(1995 年)建立了单目标策略目标水库群优化调度的

神经网络模型,并对该模型求解水库群优化运行策略及多目标非劣运行进行了理论分析。

汪家权(1995年)在多年水均衡计算中采用了BP网络模型。

刘国东、丁晶等(1996年)进行了应用ANN求含水层参数的研究。

张翔、刘国东等(1997年)应用ANN进行了地下水的动态分类。

随着神经网络的发展,与专家系统结合、形成神经网络专家系统的研究也已开始起步。然而,总体来讲,神经网络技术在水文水资源领域的应用,到目前为止尚属初步试验研究阶段,在许多方面的研究还有待于改进和提高。

1.2.3 灌区农业水资源评价方法研究现状及存在问题

当前,我们进行区域水资源评价中对农业用水量的计算,通常是计算农田灌溉用水量,而不考虑非耕地的需水问题。其具体方法是在渠灌区灌溉规划设计中,首先选取典型频率年作为一定供水保证率条件下的供水设计标准,然后按灌区农业种植品种对各种农作物以充分供水为前提,进行灌区灌溉制度设计;并按灌溉面积和耕地加权耗水量除以渠系水的有效利用系数计算灌区灌溉毛需水量。在井灌区则根据地下水的补给量(降水和地表水的入渗补给、地下径流侧向补给、不同含水层的侧向补给以及灌溉回归水的补给等)计算地下水的可开采量,然后与灌区需水量对比,计算地下水资源的盈亏。渠井结合灌区则取外来可引水量与地下水可开采量之和与灌溉需水量相比,评价灌区水资源状况。

上述各种方法经分析存在以下几方面的问题:

(1)渠灌区计算方法不能正确反映农田灌溉实际需要的水量。在利用地表水灌溉中,把渠系输水的渗漏水量和耕地灌水的深层渗漏水量都当成是无效的,必然导致灌溉用水量大大超过农田实际需要量。目前我国北方许多流域进行当地水资源需求分析

时都用此方法计算区域需引用水量。有多种文献在海河流域的水资源评价中,都按农田灌溉用水量为 $4\,500 \sim 7\,500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 进行水量平衡分析,笔者认为此数值明显偏大。因为若按耕地有效利用率为 0.67 估算,那么此引水量相当于在全区域增加水深 $300 \sim 500 \text{ mm}$,将当年引水量与降雨量相加,那么相当于海河流域年蓄水深度为 $800 \sim 1\,000 \text{ mm}$,此数值已大于该流域丰水年降雨量,若年年遇此水量,必然造成涝灾。

(2) 井灌区在评价地下水可开采量的计算中,虽然考虑各种补给因素比较周全,大部分都以“三水”转化或“四水”转化方式,以土壤水动力学理论为依据,进行水量平衡分析、模拟水资源转化计算,但由于计算过程复杂,加上非均质土壤等一些复杂地质条件,其计算理论尚在研究初步阶段,使得在实际计算中只能简化各种计算边界或计算参数,从而使得各种计算结果都有不同程度的失真。例如,河北省在 20 世纪 80 ~ 90 年代有三个较大的科研项目,均对本省的地下水可开采资源量进行了评价计算,具体见表 1-1。

表 1-1 地下水可开采资源量计算成果比较 (单位:亿 m^3)

项目成果	降雨入渗补给量	地下水资源量	总补给量	消耗量	地下水可开采资源量
1. 河北报告	69.98	90.45	102.70	11.02	91.68
2. 华北评价	59.73	78.97	90.74	12.43	78.31
3. 水规划报告	45.23	64.60	76.85	3.04	73.81

注:1. 为 1990 年地矿部河北水文工程地质勘探设计院与河北省水文总站合编的《河北省地下水资源评价报告》;

2. 为 1987 年水利电力部 38-1-5 课题组编写的《华北地区水资源评价报告》;

3. 为 1994 年华北水资源研究中心编写的《河北省宏观经济水规划群决策支持系统研究报告》。

从表 1-1 中可以看出三者采用相同计算系列,并将结果折算