

城市

管理模型与应用

主编

竺士林

杨裕英

山西科学技术出版社

CHENG SHI SHUI GUAN LI MO XING YU YING YONG

城市水管理模型与应用

主编 竺士林 杨裕英

山西科学技术出版社

责任编辑 谢一兵
总 编 辑 郭博信
社 长 王 慷

城市水管理模型与应用

竺士林 杨裕英 主编

*

山西科学技术出版社出版发行 (太原并州北路十一号)

太原兴晋科技印刷厂印刷

*

开本: 787×1 092 1/16 印张: 18.25 字数: 300 千字

1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月山西第 1 次印刷

印数: 1—2 000 册

*

ISBN 7-5377-1001-5

X·1 定价: 20 元

编辑委员会名单

主 编：竺士林 杨裕英

顾 问：张世法 文 康

执笔人员： 第 一 篇

第一章 竺士林

第二章 竺士林 武桂梅

第三章 戴 星 杨裕英 竺士林
孙云伟 武桂梅 牛娅薇 张 泉

第四章 李 琪 谢自银 文 康

第五章 庄一鸽 郝振纯 叶寿征

第六章 孙云伟 李砚阁 马玉明

第七章 杨裕英 朱建盈 张稳柱

第八章 汪静萍 张世法

第九章 顾 颖

第十章 梁瑞驹 周彦东 仲金华

第十一章 武桂梅 叶本彦 竺士林

第 二 篇

第十二章 竺士林 张稳柱 赵树林

第十三章 朱娅薇 牛丕奇 竺士林

第十四章 竺士林 王建国

第十五章 竺士林 郑福祥 孙桂兰 张 泉

第十六章 李茂林 竺士林 贾建民

第十七章 沈秀英 谢桂秀 牛丕奇

第十八章 华家鹏 任立良 胡方荣

结 论 竺士林 杨裕英

前 言

水是生命之源，又是经济建设中不可缺少的自然资源。随着人口的增长，经济的发展，城市的建设，用水紧张状况与日俱增。水资源紧缺已是全球性一个重大问题，地球上缺乏淡水的国家已从 1955 年的 7 个增加到现在的 20 个。预测到 21 世纪初，非洲和中东许多国家，以及墨西哥、印度南部、中国华北地区，甚至美国西部一些城市都将出现水的危机。

城市人口集中、产业发达、公共设施众多，使水的供需矛盾更加突出，水已成为许多城市社会经济持续发展的主要制约因素。据国家建设部资料，截至 1993 年底，中国设市城市 570 个，其中，300 个城市缺水，近 100 个城市严重缺水。中国城市人口（不含市辖县）已占到全国人口的 32.7%，城市的国内生产总值已占全国的 59%，利税总额占全国的 77.7%。因此，如何保护、利用和管理好城市有限的水资源，就显得格外重要。

太原市是山西省政治、经济和文化中心，是华北地区严重缺水的城市，水资源系统比较复杂。为加强管理，合理利用水资源，在功能模拟和计算机技术应用的基础上，一些科研单位近年来开发研究制了水资源系统管理模型，这是水资源管理方面新技术应用的一次尝试。

本书以太原市为例，系统地论述了水资源管理整体模拟模型及其组件如地表水模型、地下水模型、农业灌溉需水模型以及水资源数据库等的研制、联结和反馈方式。该模型成功地实现了地表水和地下水同步联合调度，以便更多地利用地表水，减少丰水年水库弃水，控制地下水的开采量，更好地发挥地下含水层的储蓄功能；同时，又可用于分区优化调配和严格管理水资源，以及解决远景规划中一些疑难问题。这对其他缺水城市有一定借鉴作用。

“太原水资源管理模型”是“华北水资源管理”项目中一个研究课题，“华北水资源管理”项目是联合国开发计划署（UNDP）对发展中国家援助的最大软科学研究课题。在国家科学技术委员会和水利部的领导下，由华北水资源研究中心负责组织实施。项目文本规定重点研究北京、天津、太原、青岛、潍坊、宁波等缺水城市的水资源问题。太原市水利局和水利部南京水文水资源研究所经过 3 年的

合作研究，全面完成了项目文本所规定的“太原水资源管理模型”的各项任务，最终经华北水资源研究中心和山西水资源研究管理中心审查，以及国际专家组的评估，对太原课题所取得的成果给予充分的肯定。在此基础上，经过进一步充实，编辑成为本书的第一篇，以利技术交流和实践中检验。

在“太原水资源管理模型”课题研究中，得到国家科学技术委员会、水利部、联合国开发计划署、山西省科学技术委员会、山西省水利厅、山西省水资源管理委员会和太原市人民政府的支持和资助；华北水资源研究中心、河海大学和山西水资源研究管理中心给予技术指导和多种帮助，谨此一并致以诚挚的谢意。

为适应建立社会主义市场经济的要求，密切结合实际研究了水资源开发利用中各种经济问题，本书第二篇对水经济方面一些问题作了专项分析，如水价格调整，污水处理回用量预测和经济评价，农田综合节水技术和经济效益分析等。水在各种使用中均有一定的经济价值，充分发挥其经济杠杆作用，对加强水利的基础产业地位，促进国民经济持续发展具有重要作用。

本书中的讹误和不妥之处，敬请广大读者指正。

竺士林 杨裕英

目 录

第一篇 水资源系统管理模型

第一章 城市概况	(1)
第一节 社会经济概况	(1)
第二节 水资源系统	(3)
第三节 水的危机	(5)
第二章 水资源管理现状	(10)
第一节 地方性水法规的建设	(10)
第二节 行政管理	(13)
第三节 组织管理	(15)
第四节 技术管理	(17)
第三章 太原水资源系统管理模拟模型	(22)
第一节 概述	(22)
第二节 水资源系统	(24)
第三节 水资源管理分区	(24)
第四节 建模的思路与特点	(29)
第五节 系统分析目标和模型整体结构	(31)
第六节 地表水和地下水联调	(40)
第七节 管理模型成果分析	(47)
第四章 月径流模型	(53)
第一节 太原月径流模型 (TYMRM) 结构	(53)
第二节 模型在静乐以上流域的应用	(57)
第三节 模型在汾河水库—兰村区间的应用	(63)
第四节 模型研讨	(70)
第五章 太原西山区水资源计算模型	(72)
第一节 模型的建立	(72)

第二节	水文模型在太原西山区水资源计算中的应用	(78)
第六章	地下水模型	(91)
第一节	地下水系统	(91)
第二节	盆地地下水数学模型	(96)
第三节	程序结构	(100)
第四节	模拟计算成果及分析	(102)
第五节	西山岩溶水系统的模拟	(105)
第七章	农业灌溉需水模型	(112)
第一节	基本思路	(112)
第二节	耕作层逐日土壤含水量计算	(113)
第三节	灌溉需水量计算	(116)
第四节	供需关系分析和反馈计算	(120)
第五节	模型研讨	(123)
第六节	农作物缺水经济损失分析	(126)
第八章	水库(群)优化调度数学模型	(130)
第一节	单库优化调度	(130)
第二节	库群联合优化调度确定性动态规划	(141)
第九章	水库水沙联调数学模型	(149)
第一节	多目标动态规划模型的建立	(149)
第二节	泥沙模型的建立	(151)
第三节	汾河水库水沙联调优化计算	(152)
第四节	水库水沙联合运行的调度方程	(155)
第十章	汾河太原段水质模型	(160)
第一节	概况	(160)
第二节	汾河河道水流的模拟	(163)
第三节	水质模型	(168)
第十一章	水资源数据库	(177)
第一节	水资源数据特性	(177)
第二节	数据库的总体构思	(178)
第三节	数据库管理系统及其主要功能	(180)
第四节	水资源数据库的数据资料	(182)

第二篇 水资源利用经济分析

第十二章	水价格调整	(193)
第一节	水价格体系	(193)
第二节	现行水价体系存在的问题分析	(197)
第三节	水价调整对其它行业价格的影响	(199)
第十三章	城乡用水定额及节水分析	(202)
第一节	用水特点	(202)
第二节	工业用水及节水经济效益分析	(203)
第三节	城乡生活用水	(206)
第四节	农业用水	(211)
第十四章	工业重点行业供水经济效益分析	(215)
第一节	基本情况调查	(215)
第二节	工业供水效益计算方法	(215)
第三节	太原市工业供水效益计算成果	(218)
第十五章	污水处理回用量预测和经济评价	(225)
第一节	主要污染源	(225)
第二节	污水处理厂的设置	(227)
第三节	污水处理回用量	(228)
第四节	污水处理回用量预测及分区设厂规划	(229)
第五节	污水处理回用经济效益分析	(231)
第十六章	农田综合节水技术和经济效益分析	(234)
第十七章	晋祠泉水灌区工农业供水效益	(241)
第十八章	小流域水土保持非线性规划模型	(251)
结 论		(263)
附录 1	太原市水资源管理办法	(267)
附录 2	太原市晋祠泉域保护条例	(273)
附录 3	太原市新水源工程建设基金征收办法	(277)
附录 4	矿山排水水资源费的征收办法	(279)

第一篇 水资源系统管理模型

第一章 城市概况

第一节 社会经济概况

太原市位于山西省中部，晋中盆地北端，东接阳泉，西壤吕梁，北毗忻州，南邻晋中，地理坐标为北纬 $37^{\circ}27'$ ~ $38^{\circ}12'$ ，东经 $111^{\circ}31'$ ~ $113^{\circ}09'$ ，辖 1 市 5 区 3 县，即古交市、南城区、北城区、河西区、南郊区、北郊区、清徐县、阳曲县和类烦县。行政区域总面积 $6\,988\text{km}^2$ ，其中山丘区 $5\,753\text{km}^2$ ，占总面积的 82%；盆地平原区 $1\,235\text{km}^2$ ，占总面积的 18%。

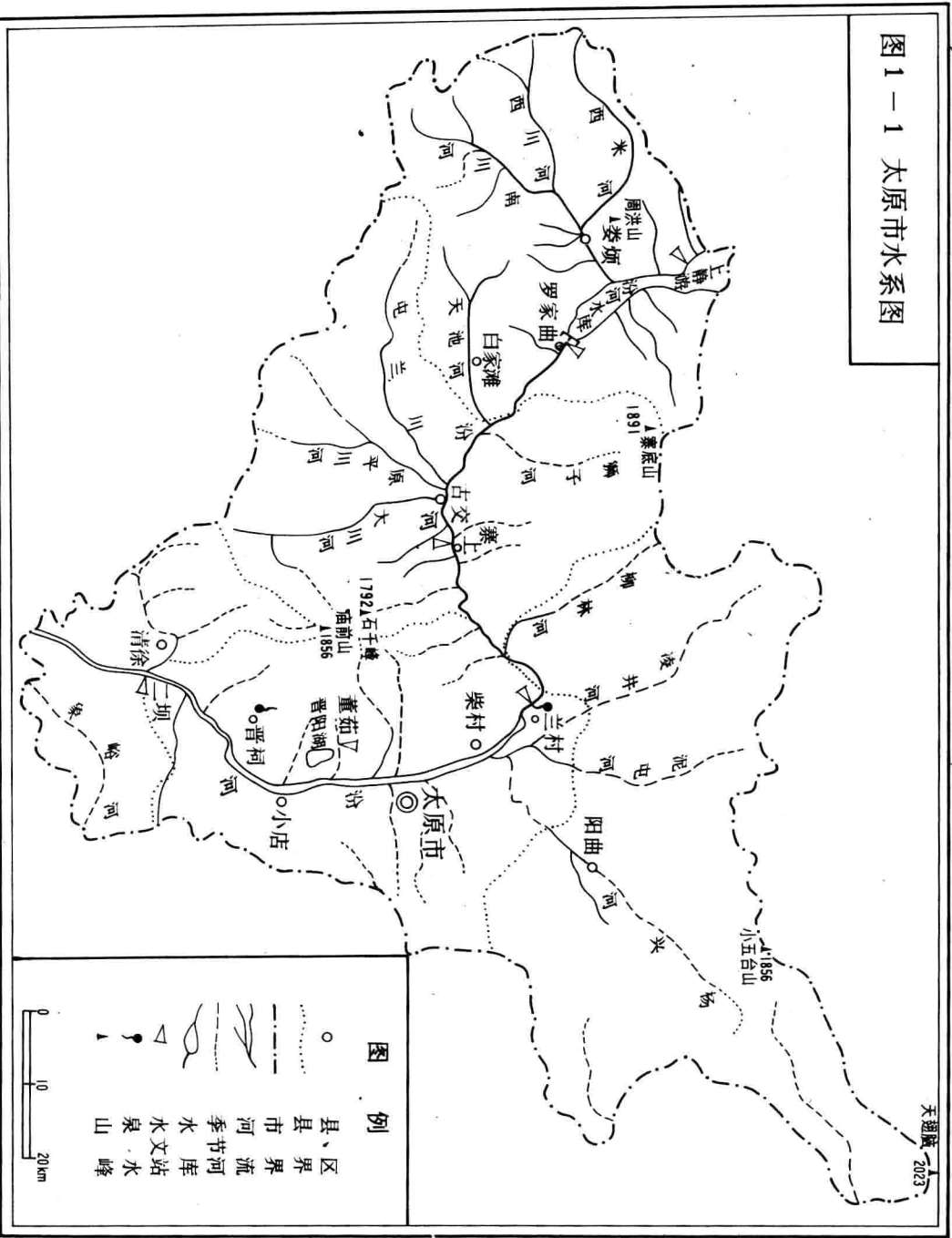
区内水系较为发育，大部分属黄河一级支流汾河水系，汾河由北而南贯穿全区，较大的支流有涧河、天池河、屯兰川、原平川、大川河、杨兴河、潇河等季节性河流。北部箭杆河、权庄河和东北部的温川河、乌河为滹沱河支流，属海河水系。太原市水系图见图 1—1 所示。

太原市是山西省省会，地理位置优越，交通方便，铁路纵贯南北，并与石太、太焦、太古岚铁路联通，太茅、太汾、太运、太榆、太宁等公路干线与各县、区、乡镇联通，还有航空班机定期飞往外地。

太原市煤、铁、石膏、石灰石、铝土矿、石英石以及铜、铝、锰等金属矿产资源，分布广泛，储量丰富，开发条件优越，为太原市国民经济的发展奠定了坚实的基础。

1949 年以来，经过 40 余年的大规模的经济建设和城市建设，太原市已成为山西省政治、经济、文化中心及山西能源重化工基地的中心城市。已建成西山矿区，东山矿区，河西化工区，太钢、向阳店，北营 5 个工业区，形成了以煤炭、冶金、机械、化工、电力为主体的、门类比较齐全的重工业城市。

图 1-1 太原市水系图



1990 年全市工业总产值 160.17 亿元，其中，重工业产值 119.61 亿元，占工业总产值的 74.68%，轻工业产值 40.56 亿元，占工业总产值的 25.32%。

1990 年全市耕地总面积 14.03 万 hm^2 ，其中水浇地 5.43 万 hm^2 ，水产养殖面积 0.12 万 hm^2 ，果林 1.06 万 hm^2 。主要农作物有小麦、水稻、玉米、谷子、高粱、蔬菜和油料等，粮食总产量为 38.78 万 t，农业总产值达 7.52 亿元。

1990 年太原市总人口为 291.89 万人，其中常住人口 261.21 万人。城区面积由 1949 年的不足 20km^2 ，扩大到 1990 年的 162km^2 。城市建设及公用事业不断发展，市政设施日趋完善，人民生活水平明显提高。

太原市是全国最大的特种钢生产基地，随着古交矿区的大规模建设，已成为全国最大的焦煤生产基地，将为国家经济建设做出更大的贡献。

第二节 水资源系统

太原市水资源系统可分为地表水系统、地下水系统及污水处理回用系统。

一、地表水资源系统

汾河上有已建的汾河水库，拟建的汾河二库（玄泉寺水库），规划的跨地区调水的滹沱河南庄引水工程以及引黄入并（太原）工程。

工业供水主要设施有：古交矿区管道供水工程、晋阳湖以及太钢蓄水池、太化晋泉引水工程。

农业供水主要设施有：汾河一坝灌区和汾河二坝灌区的灌溉渠道系统。

二、地下水资源系统

包括晋泉岩溶水系统、兰村和枣沟岩溶水系统、汾河谷地带孔隙含水层系统。

地下水工程设施主要有城区市自来水供水系统，有 8 个水源地，9 座水厂，生活水井 94 眼。各水厂基本情况及产水量，参见表 1—1。

大型企业提取地下水的自备水源有太钢、化工区和西山矿务局的自备水厂。

各县（市、区）均拥有众多自备水井，城区主要为生活用水井，农业县（区）主要为灌溉用水井。

三、污水处理回用系统

城市污水处理厂有北郊污水处理厂（处理能力 $1.5\text{万 m}^3/\text{d}$ ，下同），殷家堡污水处理厂（ $1.5\text{万 m}^3/\text{d}$ ），杨家堡污水处理厂（ $16.64\text{万 m}^3/\text{d}$ ），总处理能力为 19.64

万 m³/d，但现状实际处理量为 (5~6) 万 m³/d。近年来，新建的赵庄污水处理厂 (8 万 m³/d) 及南堰污水处理厂 (7 万 m³/d) 已投入运行，但实际处理量未能达到设计处理能力，主要原因是城区排水管网不配套，污水处理、回供系统设施不健全，而且处理级别较低，处理后的净化水，除少量回供工业，一部分回供农业使用外，大部分直接排入汾河，从而影响了效益的发挥。

太原市水资源系统示意图，见图 1—2 所示。

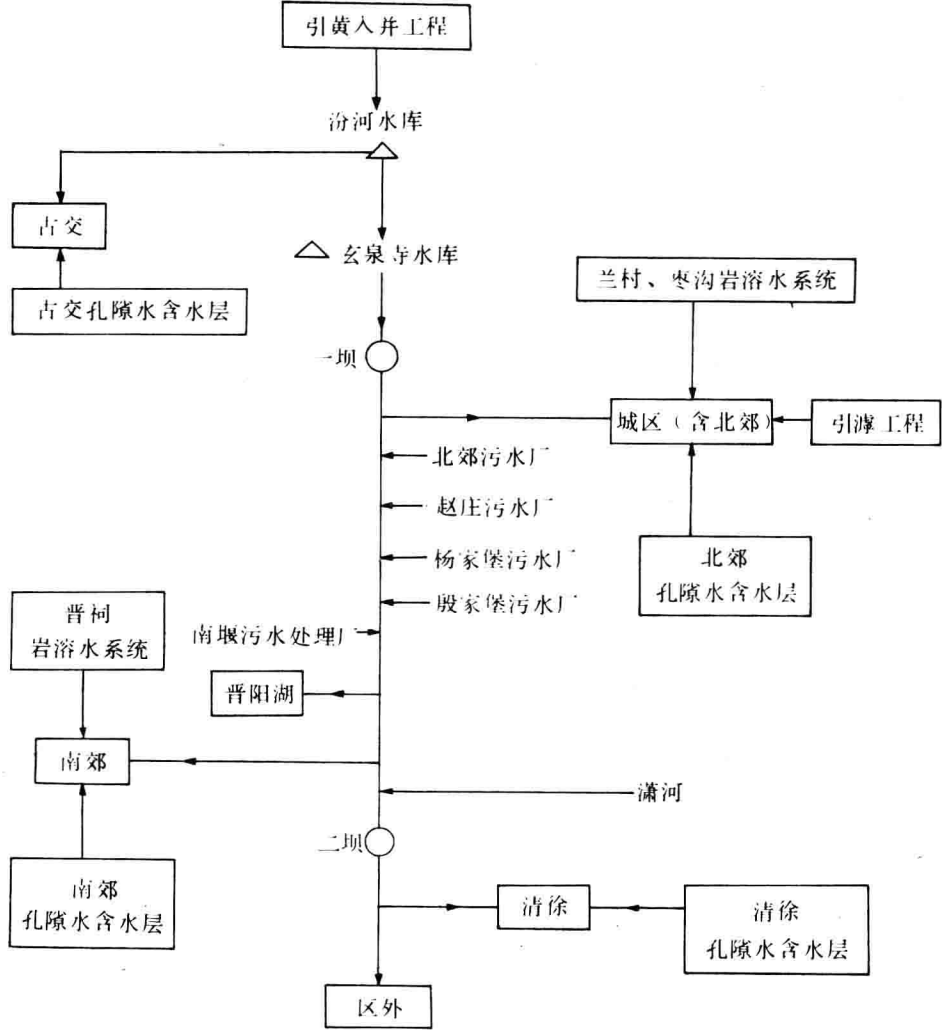


图 1—2 太原市水资源系统示意图

表 1—1

自来水公司各水厂及产水量情况表

水源地名称	位 置	建 厂 期 (年代)	产水井数 (眼)	开采量 (万 m ³ /d)	水 化 学 类 型	采水地层 类 型
兰村水源 (一水厂)	兰 村	50	15	23.43	H—C. M	岩溶水
枣沟水源	枣 沟	80	6	1.04	H—C. M	岩溶水
西张水源 (四水厂)	西 张	70	33	8.13	H—C. M	孔隙水
南北固碾水源 (七水厂)	南北固碾	70	9	1.66	H—C. M	孔隙水
北下温水源 (八水厂)	北下温	70	3	—	H—C. M	孔隙水
后王水源 (三水厂)	后王村	70	9	0.67	H—C. M	孔隙水
菜园水源 (六水厂)	菜园体育馆	50	16	1.67	H—C. M	孔隙水
五、十水厂	三给地垒	80	3	0.80	H—C. M	岩溶水
合 计			94	37.40		

第三节 水的危机

太原市地处黄土高原,降水量年平均为 456mm,年际和季节性丰、枯变幅大。目前,人均拥有水资源量(多年平均)仅为 253m³,是全国严重缺水的城市,现从 3 个方面说明太原市的水危机的情势及其对策。

1. 重型工业结构,城市人口增长,需水量已超过水资源承载能力。

1950 年,太原市有一些规模不大的工矿企业,工业产值 4 000 余万元,城市面积不足 20km²,人口 27 万,城市生活和工业用水量 300 余万 m³/a,拥有一个供水量为 70 万 m³/a 的自来水厂和一些自备水井,供需水保持平衡。经过 40 多年的建设,太原市已成为工业基础比较雄厚的重工业城市。1990 年,工业产值突破 100 亿元,城市面积扩大到 162km²,常住人口增至 261.21 万人。城市生活和工业用水量为 3.48 亿 m³,增长了 100 余倍,市自来水公司开采水量已达 37.4 万 m³/d。

太原市城市供水,以开发利用地下水为主,地下水开采量占城市供水总量的 76%,现有地表水资源满足不了城市发展需求。长时期以来,大量超采地下水,靠消耗主要含水层地下水静储量来维持,致使地下水位急剧下降,并引起泉水枯竭,

地面沉降,水质污染等一系列不良后果。而且,在自来水供应区 103km^2 范围内,有 42km^2 长期实行间断供水和低压供水,有 42 万居民饮用水十分困难。

当前,太原市水资源形势日趋严峻。一方面,人口增长,经济发展,城市扩大,而现有水源地的出水量却不断衰减,从而形成一对尖锐的矛盾。太原市境内的汾河水库是山西省最大的水库,设计库容 7 亿 m^3 ,泥沙已淤积 3 亿多 m^3 ,调蓄能力逐年降低,预测到本世纪末,兴利库容将减少一半多,城乡防洪与供水均成为严重问题。有关研究报告指出,如将现在地下水超采状况持续下去,到 21 世纪初,平川地区埋深 50m 以内的主要含水层将全部被疏干,城区、北营地区埋深 200m 以内主要含水层的出水能力大大降低,疏干速度加快,工矿企业大批自备水井报废,全市主力水源地——兰村水源日益衰减,100 多万居民供水形势极为严峻。如不采取切实的措施,水资源供需关系将严重失调,从而引发全市性水的危机。

2. 适应水危机情势,制定好太原市经济、环境、资源协调发展的总体规划。

按照 1983 年国务院“关于太原市总体规划批复”的精神,今后工业的发展,应以内涵为主,限制耗水大、污染严重的工业发展;对城市已建成区域内不再安排新项目,以控制城市规模。这是保护环境和缓解水资源供需矛盾的关键所在。

太原市能源、矿产资源丰富,基础工业比较发达,这是优势;但水资源贫乏,环境污染严重,企业设备陈旧,这是劣势。因此,应扬长避短,经济建设要与环境、资源相协调,以获得最佳综合效益。

太原市是以冶金、机械、煤炭和化工为支柱产业的重工业城市,大部分骨干企业建于五六十年代,技术设备落后,能源和原材料消耗高,多属耗水大、污染严重的行业,这是造成水资源供需矛盾突出的原因之一。另外,太原市的重工业偏重资源开发,产品深加工层次低,输出以原材料和初级产品为主,而新兴工业比重小,高科技产品更少。其三,轻、重工业比重不甚合理,重工业产值占工业总产值的 $\frac{3}{4}$,轻工业产值只占 $\frac{1}{4}$,按国家产业政策和城市发展需要,应逐步提高轻工业的比重。现在,城市基础设施建设资金不足,为争取投资往往是先定项目,未落实水源,旧帐未清,新债又来,形成恶性循环,对水资源和环境形成越来越大的压力。

1954 年,太原市编制了为期 20 年的城市总体规划,为城市建设的发展奠定了基础。

1978年至1980年，编制了新的“太原市城市总体规划”，1983年5月国务院在“关于太原市总体规划批复”中指出：“太原市现有工业基础比较雄厚，今后城市工业的发展，应以内涵为主”；“太原市环境污染严重，要将‘三废’治理和企业的调整改造相结合。市区严重污染的企业要加以治理”；“对已经建成区域内不再安排新项目”。

1989年城建部门编制了“太原市城市总体规划调整大纲”，1990年正式提出“太原市城市总体规划调整文本”，并划定“城市规划区范围包括南城、北城、河西3个城区及南郊、北郊行政区划所辖的1460km²土地”。3个城区的土地面积只有162km²，而南郊区、北郊区为1460km²。规划区面积一下扩大了好多倍。

当前，城市建设越来越多地占用了粮田和菜田，而不少工矿企业对土地是征而不用，多征少用，因此，将规划区扩大过多，势必加剧这种不合理趋势。

现在，实际上已把杨家堡一大马一带作为城市扩建区，原规划城区与南郊区小店隔离的防护林带已消失，这里又是地下水位降落漏斗区，市自来水公司又供应不及，新建工厂企业均要求打井取水，使水资源入不敷出的局面进一步加剧。从全市范围来看，宜加快小城镇发展步伐，不宜在城市已建成区域内部或周边搞新建或扩建项目。

从城市大的布局来看，太原市东面为太行山脉，西面为吕梁山脉，城区处在东、西两山中间的狭长地带；北部上风侧安排了十里钢城，西南部河西区业已建成成为全国化工基地之一。现在城区为两山所夹，为两大污染源所围，上空烟雾遮天，汾河水已全面污染。城区东南部是目前仅存的一块清洁之地，宜发展为高科技开发区，若依然建设传统工业项目，使幢幢高楼兴起，工厂烟囱林立，人口急骤增加，那么，这个地区也将受到新的污染，最终将形成对太原城区的全面包围。再有汾河水库上游兴建的尖山铁矿，已使地表水流遭到污染；汾河上游古交市正在建设全国最大的焦煤生产基地，污染物从上而下、顺流而来，构成对兰村水源水质的严重威胁，可供利用的水资源将更加紧缺，环境污染将进一步加重。这就是太原市目前可预见到的现实前景，应引起足够的注意。

山西省委、省政府提出的太原经济协作区构想，从更大的范围来考虑经济发展问题，具有深远意义。太原经济协作区分为3个副区，中部以太原、榆次为中心，南部以介休为中心，北部以忻州为中心。城市发展规划不宜局限于建成区内部或周边，人民不会满意在严重污染和严重缺水的城市中生存下去，要充分发挥

经济协作区的互补协调作用。如忻州地区有滹沱河、牧马河等，水资源尚有一定富余，耗水量大的冶金、电力、化工项目可放到忻州，这样，空间有所扩大，环境污染问题也易逐步得到解决。总之，经济建设和城市规划布局，应与环境、资源紧密联系起来加以考虑，而现在存在着明显的脱节现象。历史的经验和教训值得记取，经济发展、城市扩建受水资源、环境容量等自然条件的制约，如不遵循自然规律办事，到头来必将受到大自然的惩罚，欲速则不达，只有经济、资源、环境三者密切协调配合，才能获得持续的发展和最佳的综合效果。

3. 工农业节水措施缓减了水的供需矛盾，加速污水处理回用步伐和加强水资源经营管理是缓解供水矛盾的最大潜力所在。

太原市的工业节水工作，是从1979年开始抓起的。首先制止了任意开采地下水的混乱局面，逐步加强了地方性法规建设，兴建了一大批工业节水工程，工业万元产值取水量，由1979年的 693m^3 下降到1988年的 341m^3 ，10年间降低了一半多，成效显著，但与先进城市相比，还有很大差距，需要坚持不懈地努力。

太原市农业节水工作取得了可喜进展。从1986年至1990年的5年间，由点到面，完成高标准节水工程面积 2.0万 hm^2 。其中，低压输水管道灌溉面积 0.95万 hm^2 ，明渠防渗系统灌溉面积 11.3万 hm^2 。如清徐县管道灌溉面积已超过 0.67万 hm^2 ，深受群众欢迎。据实际调查，采用管道灌溉使灌水定额降低40%，灌水次数增加75%，经济作物种植面积迅速扩大，农民收入明显增加。

工农业节水缓解了水资源供需矛盾，是必须长期坚持的战略性措施。但今后工业节水重点将转入工艺改革和设备更新上，且投资增加，节水难度增大；农业节水方面，高标准节水工程面积仅占灌溉面积的37%，今后任务还相当艰巨。因此，节水挖潜工作不能有丝毫放松。

1990年，太原市污水排放总量为 $60.3\text{万 m}^3/\text{d}$ 。城市管理的3座污水处理厂设计能力为 $19.64\text{万 m}^3/\text{d}$ ，实际处理量为 $(5\sim6)\text{万 m}^3/\text{d}$ ，不足全市污水排放量的13%。污水处理效率低下的原因是：(1)管网不配套，只能使部分污水进厂，大部分污水未经处理直接排入汾河；(2)干旱时期，城乡争水，农民中途截用；(3)处理回用成本较高，工艺技术需要不断改进等。

1989年10月，北郊污水处理厂承担的净化水回供太原钢铁公司高炉冷却用水试验获得成功，设计回供能力为 $1.5\text{万 m}^3/\text{d}$ ，并开始正式收费；接着，太原化学工业公司与杨家堡污水处理厂签订了回供净化水 $5\text{万 m}^3/\text{d}$ 的意向书。1990年