

昆明市第二届学术年会论文集

水利

——“跨界水、共享的水、
共享的机遇”论坛

曾光宇 主编

云南大学出版社
Yunnan University Press



图书在版编目 (CIP) 数据

水利：“跨界水、共享的水、共享的机遇”论坛/
曾光宇主编. —昆明：云南大学出版社，2010
(昆明市第二届学术年会论文集)

ISBN 978—7—5482—0163—2

I. ①水… II. ①曾… III. ①水利建设—文集 IV.
①TV—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 121363 号

· 昆明市第二届学术年会论文集 ·

水利——“跨界水、共享的水、共享的机遇”论坛

曾光宇 主编

策划编辑：张丽华

责任编辑：张丽华 谢 程 潘 芮

封面设计：刘 雨

出版发行：云南大学出版社

印 装：云南省地矿测绘院印刷厂

开 本：787mm×1092mm 1/16

彩色插页：8 页

总 印 张：18.5

总 字 数：461 千

版 次：2010 年 5 月第 1 版

印 次：2010 年 5 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978—7—5482—0163—2

定 价：100.00 元（共两册）

地 址：云南省昆明市翠湖北路 2 号云南大学英华园

邮 编：650091

发行电话：0871—5033244 5031071

E-mail: market@ynup.com

前 言

在新中国成立 60 周年之际，我们迎来了昆明市第二届学术年会——“跨界水、共享的水、共享的机遇”论坛。来自各县区的代表汇聚一堂，围绕“跨界水、共享的水、共享的机遇”这一主题，在开展引水、调水，区域水环境保护、水土保持、病险水库处理，水利科技等方面进行学术交流，对如何合理开发、利用、节约、保护水资源水环境具有十分重要的意义。

水是自然界最宝贵的资源之一。昆明市委、市政府始终高度重视水的问题，新中国成立 60 年来，组织开展了大规模水利建设，水利事业取得了可喜的成绩。昆明水利工作的内涵和外延得到不断拓展，从防汛抗旱到城乡供水，从农村水利到城市水利，从工程水利到资源水利，再到生态水利，实现了新跨越、新发展。城乡防洪体系初步建立，松华坝、西园隧洞、“2258”工程、柴石滩、云龙水库全面发挥效益，清水海、牛栏江引调水工程顺利实施，《滇池保护条例》、《昆明市松华坝水源保护区管理条例》、《昆明市云龙水库保护条例》颁布实施，水资源保护深入推进，水利改革和管理不断加强。水利在构建支撑经济社会可持续发展、构建和谐新昆明建设中发挥了重要作用。

地球上的大部分地表水和地下水为共有资源。全球范围内，以湖泊、河流等形式存在的跨界水系涉及世界约 150 多个国家和地区。此外，跨界水资源还存在于地下蓄水层中。在昆明也有跨界水资源的问题。为了更好地保护好我们的水资源，避免跨界水带来新的水环境问题，省、市各有关部门和社会各界都作出了积极的努力。松华坝水源保护区由原来的两县（区）分管调整为一个区统管，云龙水库保护条例也正由市条例上升为省条例，还有清水海和牛栏江也在工程建设的同时开展立法和保护工作。

在当前水资源日益匮乏，对水资源的需求随着人口增长日益加大的情况下，合理开发和管理跨界水资源更为重要。我们必须以科学发展观为指导，牢固树立以人为本、人与自然和谐的理念，对水资源进行合理开发、高效利用、综合整治水环境、优化配置、全面节约、有效保护和科学管理，以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发

展。一方面，要科学合理有序开发利用水资源，集中力量建设一批重点水源和水资源配置工程，进一步提高水资源配置和调控能力，为经济社会发展提供可靠的水资源保障；另一方面，要统筹考虑经济社会发展与水资源节约、水环境治理、水生态保护，实行最严格的水资源管理制度，全面建设节水型社会，推动经济社会发展与水资源承载能力、水环境承载能力相协调。

本次论坛上，昆明市水利科技工作者进行了广泛的学术技术交流，百花齐放、百家争鸣，增强了合作。“跨界水”是共享的水、共享的机遇，让我们携起手来，共同利用机遇，应对挑战，保护水资源，节约用水，以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发展。

编 者

2009 年 10 月

目 录

前言

科学发展 共建和谐

——前进中的昆明水利	耿宏伟	卢文霞
掌鸠河引水供水工程特点及新技术应用	曾光宇	
昆明市水资源承载力及补偿机制研究	邱云生	
保护寻甸水资源 支持昆明水环境建设	李伟恒	
保障饮水安全 建设和谐西山	杨秀芝	
昆明市城区河道治理设计理念与建设探索	段 玫	
昆明市城市化对暴雨洪水影响研究	柏绍光	方绍东
昆明市五华区红云片区防洪抢险工程建设及其效益	白昆生	张乌迺
团结水库库盆渗漏分析	林建红	
发展中的昆明市拱坝技术和河道生态治理	刘元月	段 玫 陆加林
解救严重污染湖泊的策略	徐才俊	
传承历史 抒写昆明水文化乐章	卢文霞	邹 蓉 沈丽霞
严格水资源管理手段探讨	郑天媛	
昆明水利回顾与展望	刘元月	
浅析中小型水库土坝基岩溶灌浆施工技术	蔡林顺	
阳宗海砷污染水循环及固结处理意见	李正林	喻晓超
决策咨询的硕果——《滇池保护条例》	曾光宇	王鸿武
晋宁县采矿项目中水土保持的运用	吴耀中	
滇池西园隧道施工地质灾害的防治及其效果	韦照华	
宝象河整治工程施工技术措施总结	杨德兴	
运用多种方法分析水文资料样本系列的一致性	崔松云	
发展农业节水和农业增效的水利工程	杨兴尧	
2007年后汛期滇池动态汛限水位分析	刘正伟	张丽花 邹嘉福
浅析外流域引水对滇池水环境的影响	韦照华	
科学决策保民生 团结治水保安全		
——昆明成功应对城市供水危机经验	关德华	
昆明滇池流域重要防洪工程		
——新宝象河的防洪整治及其效果	刘开学	
病险水库测量中的几个常见问题研究	刘家才	
团结水库加固扩建工程调水施工测量一体化管理	黄绍华	

兴贡水库坝基岩体风化分带特征及建基面确定	李 竣
改革求生存 创新谋发展	
——昆明市东川区水务局团结渠管理所推进水管改革纪实	何永德
晋宁县打黑水库库区右岸滑坡工程地质研究	赵保祥
生态清洁小流域建设对松华坝水源保护的成效初探	李 虎 汤海军
浅谈滇池流域农业面源污染现状及治理对策	吴耀中
从滇池流域水环境综合治理的实践与探索看治水理论的创新	关德华
西山区水利发展思路	何绍琼
寻甸县水库水情监测系统建设方案分析	李伟恒 张庆勇
通过水文分析计算,论证金钟山老水库报废的条件和替代方案	施田昌
水土保持措施在水库除险加固工程中的运用	张富泽
浅析城市化进程中的水土保持	杨玲仙
资料短缺地区中小型水库的年径流分析	
——以寻甸县木戛利水库为例	宁显昆
土工管袋围堰在东风坝北堆场中的应用	杨万奎
通过实践对水工设计的总结探讨	蔡林顺
生态理念在昆明新运粮河水系西北沙河城市河道治理中的实践	张乌迓 任礼伟
浅谈工程勘察中的水文地质问题	王树龙
水利工程中 GPS 高程实时动态 RTK 技术在线路放样中的应用	邬建东
龙照庵水库砌石微拱重力坝优化设计与探讨	李焱平 陆加林
八家村水库左岸渗漏及帷幕灌浆效果分析	李 竣
单管高压喷射注浆法在黏性土工程中应用的初步探索	王树龙 周建忠
嵩明县乡镇供水现状分析与建议	李焱平

服务农业、服务农民、建设新农村

生菜铺出致富路	蒲长文
让斗南花卉的明天更美好	华明升
大胆艰苦创业 发展草乌生产	马慧祥
发挥协会作用 带动农户谋发展	乔迁富
发展特种养殖 促进地方经济发展	段 淮
生产优质良种 服务农村建设	朱美华
开拓创新 发展农村蛋鸡养殖	何桂芳
以特色打造核心竞争力 以品牌促产业	李海燕
蔬菜产品的质量和卫生安全是企业壮大的根本	唐少华
我国现代农业发展中的特色产业——观光农业	李自禄
依靠科技 创建一流鸵鸟养殖业	杨俊宏
要做就做第一 要干就干最好	杨树云
发展不止 奋斗不息	赵丽萍

科学发展 共建和谐

——前进中的昆明水利

耿宏伟 卢文霞

(昆明市水利局)

摘要：新中国成立 60 年来，昆明水利建设硕果累累，走过了不断探索、总结、提高的道路，水利促进了昆明市经济社会的和谐发展。

关键词：昆明 水利 和谐发展

昆明市位于长江、珠江、红河三大流域分水岭地带，全市多年平均降雨量约 1 000 毫米，多年平均水资源量 73.13 亿立方米，2008 年人均拥有水资源量 1 114 立方米，属贫水地区，是全国 14 个严重缺水城市之一，水资源时空分布不均，资源性和工程性缺水并存。对于昆明这样一个缺水城市，省委、省政府，市委、市政府高度重视昆明水利事业。

经过 60 年的建设与发展，60 年的奋斗与拼搏，60 年的进取与奉献，昆明水利事业在探索中前进，在改革中发展，水利事业蒸蒸日上，水利建设硕果累累。松华坝、西园隧洞、柴石滩、云龙水库……一个个重点工程见证了昆明水利 60 年的辉煌成就。

新中国成立之初，昆明市仅有小（一）型水库 1 座、小坝塘 629 座，库容 1 794 万立方米，有效灌溉面积 5.8 万亩。新中国成立后，在市委、市政府的坚强领导下，在各级各部门和社会各界的关心支持下，在全市各族人民的积极参与下，全市水利系统干部职工团结一心、扎实苦干，实现了昆明水利的历史性跨越，至 2008 年，全市 14 个县（市）区共建成小（二）型以上水库 798 座、总库容超过 26 亿立方米；小坝塘 2 835 座，建成引水工程 1 953 处、机电排灌站 3 101 处、1 万亩以上灌区 27 个、水闸 233 座、堤防 651 公里，地方小水电站 89 座，有效灌溉面积达 199 万亩，节水灌溉面积达 67 万亩，2008 年供水量达 17 亿立方米，基本形成了拦、蓄、引、提、排、灌、供、防的水利体系。与此同时，科学治水方略不断完善，从传统水利向现代水利加快转变，从工程水利到资源水利，再到生态水利，水利改革发展取得新突破，民生水利带给百姓越来越多实惠，水利在构建支撑经济社会可持续发展、构建和谐新昆明建设中发挥了重要作用。

1980 年以前水利主要是为农业服务，按照“蓄、引、提”相结合的水利建设方针，兴建水库拦蓄地表水源，提高河道防洪能力，大力发展农业灌区，大搞农田水利建设。到 1980 年，昆明水利建设有了较大发展，所辖的五华、盘龙、官渡、西山 4 区，晋宁、呈贡、安宁、富民 4 县共建成水库 463 座，水库库容 6.04 亿立方米，有效灌溉面积 78.35 万亩，为农业持续发展打下坚实的基础。

1980 年以后，宜良、石林、嵩明、禄劝、东川和寻甸相继划入昆明，随着昆明经济社会的迅速发展，工农业生产和人民生活水平不断提高，水利发展速度加快，先后实施了一系

列的重点工程，水利从单一为农业和农村服务转向为全社会服务。

1988 年开始扩建松华坝水库，1995 年完成加固扩建，总库容由 7 000 万立方米增加到 2.19 亿立方米，向城市供水能力由年均 5 800 万立方米增加到 1.1 亿立方米，城市防洪标准由 20 年一遇提高到 100 年一遇。昆明城市年平均供水量由原来 0.6 亿立方米增加至 1.0 亿立方米，为昆明市城市防洪和城市供水起到至关重要的作用。

1994 年开工建设滇池防洪保护及水资源化一期工程，新建隧洞 4.8 公里，最大过流量 $40\text{m}^3/\text{s}$ ，在海埂内外湖分界处建船闸和节制闸，实现外海和草海水体分隔，工程投入运行后提高了滇池的防洪能力，减灾效益显著。

1996 年实施了“2258”引水济昆工程，用两年的时间，投资 2 亿元，分别从东线宝象河水库、西线沙朗河及红坡水库、南线柴河、大河水库引 5 000 万立方米优质水，解决改善昆明东部、西部、南部片约 80 万人的生活用水问题。

1997 年开工建设南盘江梯级电站开发中的龙头水库——柴石滩水库，水库建成后充分发挥防洪、灌溉、发电三大功能并取得巨大效益，水库控制灌溉面积 20 万亩，坝后电站年发电量 1.83 亿千瓦时，防洪保护人口 7.6 万人，农田 4.2 万亩，为下游沿岸工农业供水提供了保证。

1999 年 12 月大型蓄水工程——云龙水库动工建设，经过 7 年的艰苦奋战，于 2007 年 3 月试通水，每年向昆明城市供水 2.50 亿立方米，将满足城市发展到 2020 年前对供水的需求，确保昆明市可持续发展。

2007 年 7 月 27 日开工建设清水海引水工程一期，将用于解决昆明市空港经济区、机场、东城区的工业和生活用水。

与此同时，晋宁洛武河水库、安宁车木河水库、嵩明大石头水库、石林黑龙潭水库等，也由原来的农业供水为主转变为城镇供水为主的水库。近期即将开工建设的寻甸木戛利、宜良海马箐中型水库和安宁王家滩水库，将有效缓解城镇供水紧张局面。

这一系列工程的实施，为昆明城市生产生活提供了充足的水资源保障，为新昆明的发展打下了坚实基础。

进入新世纪以后，党中央提出了科学发展观，强调以人为本，强调人与自然和谐相处，把民生问题放在突出的位置，大力发展民生水利，着力解决群众反映强烈、要求迫切的水利问题。2006~2007 年昆明市连续两年将解决农村人饮水安全列为市政府为民办事的 10 件实事之一，至 2008 年共解决 55 万人饮水安全问题，提高农村饮水质量，改善农村饮水条件；开工建设 50 余座病险水库除险加固工程，有效提升水库防洪减灾能力，增强水库供水和灌溉能力。同时，昆明市水利工程建设也实现了与城乡生态环境、绿化美化的有机结合，因地制宜，对辖区范围内的河道、水库、湖泊的水域浅水区、湿地地区进行绿化，种植芦苇、柳树等适宜树种，最大限度地扩大河道、水库、湖泊公共空间。

随着全市社会经济的迅猛发展，人们对水量水质的要求越来越高，因而保护水资源，减少水污染势在必行。对此，市委、市政府坚持科学发展观，实施可持续发展战略，统筹配置地表、地下水资源，进一步加大水资源管理和保护工作的力度，从 2005 年起，加大地下水清理整顿力度。先后出台关于滇池流域及安宁市地下水清理整顿的公告、实施方案和加强地下水资源禁采管理的决议。按照“先供水，后封停”的原则，2008 年度共封闭自来水满足用水需要的地下水井 162 口，为有效保护地下优质水、优化水资源配置发挥了重要作用，扭转了城区长期超采的局面。严格保护昆明市集中式饮用水源，制定出台《昆明市松华坝水库

保护条例》、《昆明市云龙水库保护条例》以及《关于进一步加强集中式饮用水源保护的实施意见》，实施集中式饮用水源地农业产业结构调整、截污工程、生态环境建设、人口转移四大工程，禁“花”减“菜”、限制畜禽、发展有机农业、推广测土配方施肥、治污减污等 22 项措施；“农改林”补助、产业结构调整 and 清洁能源补助、农民生活保障、学生补助等四方面补助政策，并从资金投入、组织领导方面予以保障，初步形成市、县（区）、乡三级联动的保护运行机制。

在治水新思路的指导下，人水和谐成为主旋律，人为洪水让路，城乡防洪减灾体系正加快构筑；开展以“长治”、“珠治”工程、防治面源污染试点、清洁小流域试点为重点的水土保持生态建设，昔日破坏的山岭将成为秀美山川；滇池治理步伐正在加快，全面实施入湖河道河长、段长、片长责任制，入湖河道治理快速推进，环湖截污、牛栏江—滇池补水工程等重大项目也在加快进行，水生态系统保护与修复正在成为水利工作新焦点；需水管理悄然实施，开始推行最严格的水资源管理制度，水资源承载能力成为地方经济社会发展的重要经济指标……

新中国成立 60 年来，昆明水利走过了一条不断探索，不断总结，不断提高的道路，一大批水利建设工程项目的相继开工建设和完成，有力地促进了昆明市经济社会发展，改善了城乡群众的生产生活；一大批造福于民的水利工程的完工，凝结着水利系统干部职工和广大建设者的心血和汗水；一系列水利法规、政策的出台，彰显了历届党委、政府对水利的高度重视和强力推动。站在新的历史发展起点上，我们坚信，昆明水利明天更美好！

掌鸠河引水供水工程特点及新技术应用

曾光宇

(昆明市水利局)

摘要：昆明掌鸠河外流域调水工程，七年规划设计、七年施工奋战。98km 的输水线路以隧洞为主，工程艰巨、施工困难。工程创新设计理念、科学管理，精心施工，采用多项新技术和新工艺，云龙水库获 2006 年云南省优质工程一等奖，第七自来水厂获 2005 年国家优质工程银质奖。

关键词：掌鸠河 外流域调水 新技术 应用

一、基本情况

新中国成立以来，特别是近 30 年昆明经济社会高速发展，城市人口剧增，昆明逐渐变成一个严重缺水的城市。为解决昆明水荒，几代水利人作了不懈的努力。1993 年 4 月昆明外流域调水前期工作启动，1998 年 4 月、11 月，国家计委分别批复了掌鸠河引水供水工程项目建议书和可研报告，1999 年 12 月掌鸠河引水供水工程的水源工程开工建设。这是确保昆明市经济社会可持续发展的重大水利基础设施建设项目，是云南省规模最大的解决城市供水的跨流域引水工程。

在滇池流域周围的河流水系中，掌鸠河水量相对丰富，经多方案比较，最后选定掌鸠河跨流域调水方案。工程建设包括：新建总库容 4.84 亿 m^3 的云龙水库，搬迁移民 1.1 万人；修建设计流量 $8\text{m}^3/\text{s}$ （校核 $10\text{m}^3/\text{s}$ ）、长 98km 的输水线路（隧洞 86km，倒虹吸和沟埋管 12km）；新建日供水 60 万吨的昆明第七自来水厂和 93km 的配水管网。近期每年向昆明供 2.2 亿 m^3 优质水（远期 2.5 亿 m^3 ）。工程批准投资概算 39.4 亿元，其中利用日本国际协力银行贷款 209.03 亿日元（约合人民币 14.3 亿元）。

二、工程建设存在的主要困难

工程沿线为山地与沟谷相间的地形地貌，高程 1560~2670m，山高谷深。区内地质条件复杂，地层发育较全，从元古界至新生界均有分布。输水线通过普渡河大断裂，普渡河断裂两侧分支断层发育，沿线有 61 条宽度大于 10m 的断层，破碎带总宽约 2.3km。86km 长的隧洞通过不同时代的灰岩和白云岩，长度约 33km，岩溶发育。大部分隧洞埋深 200~500m，地下水丰富。

输水线以隧洞为主，隧洞之间跨沟谷采用倒虹吸或沟埋管连接。隧洞共 16 条、共 86km，其中长 5~10km 的 7 条，长 10km 以上的 2 条。最长的上公山隧洞长 13.8km，采用 TBM 施工，由于地质条件差，岩性软硬不均，出现较大涌水和流沙，全断面掘进机在掘进 7.5km 后卡死，停机 10 个月，处理无效后，不得不改变施工方法，拆除掘进机，新开三条

施工支洞,采用钻爆法施工。11.2km 长的厂口隧洞,Ⅴ类围岩占 44.6%,塌方、涌水、泥石流层出不穷,隧洞穿普渡河主干断层时,同一掌子面,四次发生泥石流,2002 年 12 月 7 日第三次泥石流,方量高达 2 500 m³,2 分钟左右将已开挖、长 240m 的洞段塞满,处理 500m 长的穿普渡河主干断层洞段,耗时两年多,施工异常艰辛。长 9km 的五老山隧洞处于输水线末端,地下水位高,涌水大,Ⅴ类围岩高达 50.8%,岩石破碎,塌方频频发生,施工多次受阻。8.2km 长的平地隧洞,最大埋深 430m,地下水极为丰富,掌子面多次被涌水淹没,最大涌水约 400L/s,排水、施工十分困难。其余隧洞、Ⅴ类围岩比例平均占 35%左右,由于长隧洞多,施工断面偏小、埋深大,通风、排烟、排水、除渣及施工机械使用均较困难。四座倒虹吸全长 10km,水头分别为 230m、130m、340m、420m,其中岔河倒虹吸水头 420m,长 2.1km,管径 2.2m,堪称亚洲之最,管线跨越普渡河峡谷,两岸山坡坡度 30°~44°,施工机械和设备难以到位,施工极为困难。

三、采用新技术和新工艺,提高工程的科技含量

在国家、省、市各级领导和有关部门的关心支持下,在全市人民的关注下,掌鸠河引水供水工程的全体建设者,高标准、严要求,创新设计理念,不断优化设计、科学管理、精心施工,采用多项先进技术,铸就百年工程。

(一) 云龙水库

可研批复坝型为碾压混凝土重力坝,随着地勘工作的深入,发现建重力坝的基础条件不太理想。坝基有一条顺水流较宽 F2 断层,坝体易产生不均匀沉陷,采取技术措施处理,会增加投资。经方案比较,设计单位建议改用更能适应基础条件的土石坝型,采用当地建筑材料的黏土心墙堆石坝,节约了工程投资约 0.5 亿元。施工中,设计、监理、质检人员对筑坝材料反复试验,严格控制含水量和级配,精心施工,大坝填筑质量符合规范要求。云龙水库大坝填筑材料试验,获云南省 2006 年度优秀工程勘察二等奖。设计单位通过调查,水库表层 0~2m 水温及含氧量适宜藻类生长,库水表层 6m 以下,藻类含量很少,为保证取水口水质,在引水隧洞进口设置了分四层的取水塔,在云南省属首例。根据设计、施工质量、管理水平等,云龙水库枢纽工程评为 2006 年云南省优质工程一等奖。

(二) 输水线路

输水线路是引水工程的关键和难点。规划阶段推荐采用沿地形等高线重力流加盖渠道、长 181km 的方案,项目建议书上报后,根据现场评估调研意见,补充了采用以隧洞为主的输水方案(线路长 126.8km),国家计委按隧洞为主的输水方案批复了项目建议书。可研阶段设计单位通过深入工作,从输水线路的可靠性,维护管理方便及技术经济等方面考虑,隧洞为主的方案优化为 99.36km 长。初设时方案进一步优化。

云龙水库死水位与第七水厂配水井高差 98.5m,对于是否利用库水头以及隧洞采用有压输水还是无压、高压还是低压,设计单位反复论证,最终采用了不利用库水头、沿输水线设 9 个结合井,分段压低水头的低承压输水方案(最大承压 0.18MPa)。实践证明,低承压输水方案,技术风险小、控制方便、运行可靠。

穿越普渡河断裂是输水线的难点。普渡河断裂属区域性活动断裂,历史上多次发生 6 级左右地震,最近一次地震为 1985 年 4 月 18 日禄劝转龙 6.3 级地震。厂口隧洞中段穿过普渡河主干断层,破碎带及影响带总宽度 450m。为适应复杂地质条件,确保地震时,隧洞衬砌结构破坏情况下,输水线仍能正常工作,设计上对 450m 洞段采用洞内钢管方案,并设置波

纹伸缩节 10 套和双向滑动支座 9 套。

为安全通过普渡河主干断层，面对塌方、涌水不断、泥石流频频发生，施工单位遵循新奥法施工原则，制定了周密的施工方案稳扎稳打，逐步推进。基本清理完泥石流后，在距掌子面 60m 处，设混凝土墙封堵，用泵送 C15 混凝土和化学灌浆固结坍方体；进行超前地质预报，采用高密度电阻率法勘探、地震 CT 勘探、TSP 超前地质预报等综合方法，预测破碎带开挖面前方围岩情况、地下水情况等，查清地质情况后，采取相应施工措施；采用超前大管棚预注浆支护，以堵为主、适当排水。施工采用不爆破、浅进尺、多循环。同时采用径向长锚杆、喷射混凝土、格栅钢架联合支护拱顶边墙，及时施工底部钢筋混凝土，尽早封闭形成环，增强一次支护抗力。掌子面根据情况适时封堵，前方围岩固结灌浆后再打开。二次钢筋混凝土衬砌紧跟施工，为保安全，设置 13 个监测断面，埋设单点位移计、多点位移计、应变计、渗压计、水位传感器等 12 种监测仪器，及时监测围岩及衬砌变化。施工单位将上述施工措施总结为：“准预报、管超前、严注浆、不爆破、留核心、强支护、快封闭、勤量测、二衬紧跟。”经过近两年的顽强拼搏，最艰难的 450m 洞段安全通过。

上公山隧洞采用了世界先进施工技术——双护盾全断面掘进机（TBM）施工。输水一段原为 TBM 施工两个隧洞（上公山和康乐）共 21.6km，施工中，由于地质条件复杂、机型选择不佳、施工操作存在问题等诸多原因，TBM 掘进 7.5km 后，卡死报废，余下洞段被迫改用钻爆法施工。尽管 TBM 施工未达到预期目的，但对于低承压水工隧洞采用 TBM 施工，对昆明水利、云南水利无疑是一次有益的尝试。

（三）第七自来水厂

新建的七水厂是云南省规模最大水厂，供水能力为 60 万吨/日（一期 40 万吨/日）。水厂采用常规处理工艺，其主要技术特点为：一是采用瑞士苏尔寿翻板滤池技术，陶粒、石英砂双层滤料，气水反冲洗，分阶段不连续排除反冲洗水，水过滤时间长，水质优良，反冲洗用水量少。这在亚洲为第二座（香港为第一座）。二是充分利用水厂高程优势，重力供水（取、净、配、供均为重力流方式）。能耗仅为常规水厂的 20%~25%（昆明 1~6 水厂平均单位电耗为 0.21kWh/m³，七水厂一期为 0.052、二期为 0.037）。由于质量优良、设计先进、管理科学，一期工程评为国家市政工程 2004 年度中国金杯示范工程奖、2005 年国家优质工程银质奖。

四、结束语

2007 年 3 月 13 日云龙水库的清泉流进昆明第七自来水厂，3 月 25 日昆明市举行了隆重的掌鸠河引水供水工程通水仪式，历时 7 年 3 个月建设的昆明市外流域调水工程，创造了昆明水利史和城市供水史的奇迹。跨越世纪的昆明掌鸠河外流域调水工程，七年规划设计、七年施工奋战，数千名建设者顽强拼搏，用智慧和血汗镌刻了一座无字的丰碑，它将永远载入昆明水利史册。

昆明市水资源承载力及补偿机制研究

邱云生

(昆明市水利局)

摘要：昆明市水资源紧缺、时空分布不均，水污染形势严峻，水资源的承载能力有限，通过构建适宜的生态、水权、水价等补偿机制，实现水资源的有效保护，不断提高水资源的承载能力。充分发挥市场调节功能，解决水资源的保护、水资源的优化配置、节水减排等问题，实现水资源保护与市场的对接。

关键词：水资源 承载能力 补偿机制 研究

一、昆明市水资源状况

昆明市地处金沙江、珠江和红河三大流域的分水岭地带，国土面积 $21\,111\text{km}^2$ ，水资源主要依赖自然降雨形成的地表水和地下水，多年平均水资源总量为 73.13亿 m^3 ，其中地表水资源量为 55.15亿 m^3 ，占水资源总量的 75.4% ，地下水资源量为 17.98亿 m^3 ，占水资源总量的 24.6% 。昆明水资源时空分布不均匀，每年的11月至次年的4月为旱季，降水量仅为全年降水量的 $11\%\sim 17\%$ ；5月至10月为雨季，降水量占全年降水量的 $83\%\sim 89\%$ 。

滇池流域面积 $2\,920\text{km}^2$ ，多年平均降水量 993.9mm ，多年平均地表水资源量 9.74亿 m^3 ，扣除蒸发等，多年平均水资源量仅为 5.34亿 m^3 ，人均水资源量不足 300m^3 ，为全省人均水资源量的 $1/20$ ，全国人均水资源量的 $1/8$ ，属典型的资源型缺水 and 水质型缺水地区，是全国14个严重缺水城市之一。

昆明市全市地下水资源量为 17.99亿 m^3 。其中滇池流域地下水资源以岩溶水为主，在城区和近郊区分布较广，在滇池盆地的深部储存有丰富的热水和矿泉水。区内共27个水文地质单元，含43个富水块段，其中滇池流域内有37个富水块段。松华坝以下28个富水块段多年平均补给量 $13\,912\text{万 m}^3/\text{年}$ ，可开采资源量 $9\,181.26\text{万 m}^3/\text{年}$ 。

二、昆明市水资源开发利用及水环境形势

(一) 地表水开发利用

截至2008年底，全市已建小(二)型以上水库798座，其中：大型3座，总库容 11.4亿 m^3 ，兴利库容 7.27亿 m^3 。中型20座，总库容 10.56亿 m^3 ，兴利库容 3.64亿 m^3 。小(一)型123座，总库容 2.71亿 m^3 ，兴利库容 2.19亿 m^3 。小(二)型652座，总库容 1.45亿 m^3 。水库总库容 26.1287亿 m^3 ，兴利库容 14.365亿 m^3 。滇池流域面积 $2\,920\text{km}^2$ ，占全市国土面积的 13.8% ，是昆明市经济最发达的地区。滇池流域内已兴建了一大批蓄、引、提及其配套的水利工程。建有小(二)型以上水库153座，各类水库总库容 4.2亿 m^3 ，控制径流面积 $1\,589\text{km}^2$ ，占流域总面积的 53.08% ，水资源开发利用程度达 161% ，已远超过

40%水资源的承载能力。

（二）地下水资源开发利用

据《昆明市城市规划区地下水资源保护规划报告》评价分析，滇池流域的地下水资源以岩溶水为主，在城区和近郊区分布较广，在滇池盆地的深部储存有丰富的热水和矿泉水。滇池流域内有 37 个富水块段。37 个富水块段中 28 个富水块段位于松华坝水库以下，松华坝以上的各富水块段纳入松华坝以上地表水系统，为松华坝水源地的重要保护对象。松华坝以下 28 个富水块段多年平均补给量 13 912 万 m^3 /年，可开采资源量 9 181.26 万 m^3 /年。目前，滇池流域共有地下取水井 828 口，其中冷水井 605 口，热水井 223 口，年均开采量约 4 500 万 m^3 。

（三）外流域引调水

（1）掌鸠河（云龙）—滇池引水情况。在掌鸠河上游云龙河与石板河交汇口下修筑云龙水库，通过调节均匀自流引水进入昆明。近期工程可供水量 2.20 亿 m^3 ，远期年供水量可增加至 2.45 亿 m^3 。（2）目前正在实施的调水方案。清水海引水方案是继掌鸠河引水供水工程实施后的另一项引水工程，该工程已于 2007 年 10 月开工建设，计划 2011 年 10 月一期工程建成投入使用，年引水量 1.04 亿 m^3 。二期工程全部建成后，供水总量可增加到 1.6 亿 m^3 。（3）近期外流域调水方案。牛栏江调节水工程年调水量 6.19 亿 m^3 ，供水保证率达到 95%，水质仅达到Ⅳ类水体。

（四）水资源环境形势

（1）水资源分布不均，资源型与工程性缺水并存。昆明市水资源时空分布不均，北部五县区水资源相对丰富，由于受经济发展的制约，水资源开发利用率低，工程性缺水严重。滇池流域多年平均水资源量 5.40 亿 m^3 （扣除湖面蒸发水量），人均水资源量不足 300 m^3 ，水资源利用率高达 161%，存在资源型与水质性缺水并存，是全国 14 个重点缺水城市之一。水资源紧缺特别是生态环境用水紧缺已成为制约滇池污染治理的重要因素。2010 水平年缺水量 7.98 亿 m^3 ，2015 水平年缺水量 8.68 亿 m^3 ，2020 水平年缺水量 8.36 亿 m^3 。（2）水质性缺水严重。目前，滇池流域的入湖河道，绝大部分河道的水质均处于劣Ⅴ类。草海 2006 年以来全年水质为劣Ⅴ类，外海为Ⅴ类，湖水自净能力很差。但滇池流域人口增长迅速，工业、生活废水的排放也成倍增加，严重影响区域的生态环境，加速了滇池水体富营养化进程。根据研究结论，在减少入湖污染物的同时，现状每年需增加 6~8 亿 m^3 、远期则需要 5~7 亿 m^3 水质Ⅲ类以上的清洁水进入滇池，以增加滇池水环境容量，实施滇池外流域补水刻不容缓。（3）地下水保护。由于历史原因，地下水开发利用存在问题：一是由于地下水开采无统一规划，布井和开采限量不合理，导致部分地区地下水位持续下降，名泉断流，地面塌陷和局部沉降。二是长期以来管理体制不顺。多头管理，多头审批，多头收费。地下水取用秩序混乱。三是地下水污染有从盆地边缘向盆地中心逐步加重的趋势。四是地下水资源费率地区差异大，不利于区域水资源的优化配置、节约和保护。

三、新昆明经济社会可持续发展对水资源的承载需求

（一）水资源需求

据预测，到 2030 年，全市总人口预计达 806 万人，人均水资源量仅为 913 m^3 ，按国际公认的人均水资源拥有量低于 1 000 m^3 属水资源严重缺乏地区，经济发展会遇到困难的标准来衡量，水资源不足将直接影响昆明市经济社会的可持续发展及城市规模的进一步扩大，新

昆明规划战略的实施,进一步加剧水资源供求矛盾,生态环境用水严重短缺,水污染形势严峻。因此,昆明 2030 水平年的用水问题应纳入全省水资源开发利用总体规划来统筹解决。一是滇中调水工程正在进行规划研究工作,预计 2020 年前可分序、分步骤开工建设,工程完工可解决 2030 年后昆明发展的用水问题。二是掌鸠河引水工程完工后,近期年可供水量 2.20 亿 m^3 ,远期年可供水量 2.45 亿 m^3 ,2015 年以内基本可实现昆明主城生产、生活用水供需平衡。随着东城区和空港经济区的开工建设,各类大型工业项目落户昆明,水资源的供需平衡将提前打破,实现水资源的可持续利用迫在眉睫。因此,掌鸠河引水工程投入运行后,应抓紧清水海引水工程的实施,同时在昆明周边 200~400km 范围内寻找新的水源,解决滇池治理所需的生态环境用水及昆明 2030 水平年的用水问题。

(二) 水资源承载力研究

(1) 洪水、缺水都和生态退化直接相关,而水污染又大大恶化了水资源紧缺,水资源问题不可能仅仅通过工程措施来解决,如果不从环境保护和可持续发展的角度变革治水思路,水资源承载力将进一步降低。(2) 工程平衡不能替代生态平衡。昆明水资源短缺的根本问题在于水资源时空分布极其不均:从时间上看,降水高度集中于夏秋,而年际变化也很明显。主要是我们在治水对策中忽略了水资源分配不均背后的人为因素,没能消除生态退化和环境污染这一根源;同时工程水利又刺激我们的经济社会在扩张型的发展道路上愈走愈远,加剧了对水资源的低效和不合理利用。(3) 增加供给临近极限。1998 年洪水之后,改变以往一味依赖水利工程的防洪策略,实施了天然林禁伐、退耕还林、退田还湖等生态措施,这些都是治本之策。资源短缺上升为主要矛盾的今天,我们也必须反思几十年来一味强调增加供水的策略,转而从需求管理上寻找出路。过去五十年我们在开源上可谓不遗余力,修建了大量的蓄水、引水、提水工程,但在许多地区我们的用水量已经大大超过了自然承载力。国际上通常认为一条河流的取水最高不应超过 40%,而滇池流域水资源利用率高达 161%。河流断流、地下水位下降、水污染,都和过度取水有着紧密联系。不改变现行的供水、用水、节水体制,按照价值规律办事,大调水只能带来大浪费、大污染,只会刺激缺水地区用水需求的进一步上升,为发生更大水危机埋下隐患,甚至有可能把水调出区拖入水危机。(4) 推进节约用水、循环用水投入不足,效果有限。节约用水是有潜力的,由于长期对节水工作投入不足,造成工业、农业和生活用水效率低下,浪费严重;一立方米的水平均产粮一公斤,而发达国家一般为两公斤,工业万元产值取水量为 90 m^3 ,是发达国家的五至十倍;市政生活用水浪费现象严重,浪费巨大,说明节水潜力巨大。(5) 有效推进民主管理,引入公益诉讼机制有待加强。节约用水、循环用水的投入不足,直接影响节约用水、循环用水的效率。只有建立一个产权明晰、价格合理的水权、水价形成机制,利用市场手段,促进水资源的高效利用,促进有限的资源在产业间更加公平、合理的流动。改变目前自上而下的水资源管理体制,逐步代之以建立在公开、透明与民主参与的自下而上的管理体制,让水资源的管理权真正体现依赖它生存的公众的利益和意志。

(三) 构建生态水利,提高昆明水资源可持续利用效率

遵循生态平衡的法则和要求,建立满足良性循环和可持续利用的水利生态体系,从而达到可持续发展以及人与自然和谐相处。水资源的开发、利用、保护和配置,对提高水资源的有效利用水平、节约用水,保证生态系统的自我恢复和良性发展至关重要。研究在不超过生态系统自我调节和自我修复能力基础上的合理开发利用水资源,构建人与自然的和谐,尊重生态法则,将生态用水列入水资源开发、利用和配置方案中,构建合理的生态系统,逐步恢

复生物多样性，实现水资源的开发利用与生态环境的良性循环，实现昆明水资源的可持续利用。以水权和水市场理论为基础，以流域统一管理为准市场的结合为体制保障，强调在对水资源开发、利用、治理的同时，要做好水资源的配置、节约与保护，实现人与自然和谐相处。在保证水利工程数量和质量的同时，依托资源优势，建立以资源的优化配置为基础的节约型经济和社会发展体系以及优化组合的防洪减灾体系。

（四）建立水资源开发利用与生态环境保护的和谐关系，提高水资源的承载能力

随着昆明市经济社会的不断发展，水资源的开发利用强度和速度越来越高，形成了以下的发展趋势。（1）水资源的利用，从单向走向综合。水利工程除了灌溉、发电之外，还与防洪、城市供水、调水、渔业、旅游、航运、生态与环境等多目标相联系。一水多用，一个工程为多目标服务已成为普遍的论证、决策原则。单项工程建设逐步发展成小流域综合开发，形成流域水利整体系统。（2）由于水利建设的加快，对环境的影响日益加强。水资源利用、水利工程建设引起的环境问题已经受到人们的重视。兴建水利工程必须付出自然、社会环境和土地为代价。预计到 2030 年滇池流域人口接近 550 万人的高峰时，人均水资源不足 200m^3 ，低于国际一般承认的 500m^3 的“用水及其紧张”的标准，未来新昆明水资源紧缺的形势更为严峻。

四、市场能动作用推动节水型社会建设

加强昆明市城市节水管理工作是解决水资源供需矛盾和滇池污染治理的客观需要，是贯彻落实科学发展观的必然要求；是建设节水型城市，建立资源节约型、环境友好型社会，促进人与自然和谐发展的重要工作；是建设现代新昆明，全面建设小康社会，促进昆明市经济社会可持续协调发展的重要保障措施。中水的运用，既是节流，又是开源，还能从源头上截污，同时也能获取一定的经济回报，多重效益的体现在一定程度推动着城市中水设施建设向产业化方向发展。

为加强城市中水设施建设管理，推进昆明市城市污水的综合利用，实现污水资源化，促进节约用水，减少对滇池的污染。水资源短缺已成为制约昆明市经济社会发展的主要因素之一。按照“开源与节流并重、节流优先、治污为本、科学开源、综合利用”的方针，下大力气解决昆明城市水资源短缺的问题已是当务之急。在不断寻找新水源，通过采取松滇联合调水和实施“2258”引水工程、掌鸠河引水供水工程、加大资金投入力度对滇池污染进行治理等措施以提高城市供水保障能力的同时，重视节水工作，成立节水管理机构，不断加大节水管理力度，深入开展城市节约用水管理工作。（1）认真组织好年度“城市节约用水宣传周”等活动，广泛深入开展节水宣传教育，不断提高市民和全社会的节水意识。（2）坚持计划用水管理制度，充分发挥经济杠杆在城市节水管理中的作用，不断扩大管理范围，计划用水管理率不断提高。（3）在科技节水方面开展了一些有效的探索和实践，积极开展水量平衡测试工作，大力推广节水新技术、新工艺及新器具。（4）制订和完善节水法规和规章。自 1992 年以来，昆明相继出台了《昆明市城市节约用水管理办法》、《昆明市城市浪费水处罚细则》、《昆明市城市节约用水管理条例》、《昆明市城市中水设施建设管理办法》和《昆明市城市节约用水管理处罚办法》等法规和规章。（5）切实加强城市供水管网覆盖区域内地下水的日常管理，目前已对正常取水的地下水井实施了规范、有效的管理。（6）积极开展节水型企业和节水型城市的创建工作，《昆明市创建节水型城市实施方案》已经市政府批准，创建节水型城市领导机构已经成立，工作正在有序开展。通过采取多种形式的节水措施和不懈的努

力,节水工作取得了明显的成绩,截至2008年,二十多年来城市节水量累计达4.0亿 m^3 ,为有效缓解城市供水紧张的压力作出了贡献。

五、构建水权及水生态补偿体系

(一) 构建水权体系,实现水资源的优化配置

水资源紧张已经成为21世纪的一个全球性问题,水资源争夺战的现实正在逐步向人类逼近。滇池流域是一个水资源短缺的区域,突出地表现在人均水资源占有量低、城市缺水严重、水环境污染严重等方面;随着社会工业化、城市化和生态化的发展,水环境污染和人们对清洁水环境需求的矛盾、水资源供给和需求的矛盾将更加突出。研究水权体系和水市场问题,有利于从理论上阐明水资源开发、利用、保护和管理与水权的关系,进一步完善物权理论、环境资源权理论和环境资源市场法律调控理论;有利于推动水权制度和水资源行政管理体制的改革,加强对水资源开发、利用和保护的管理,发挥经济手段,特别是所有权和价格机制在优化配置水资源方面的作用,建立具有社会主义特色的水资源市场机制;有利于解决缺水地区供水等水权纠纷和水利益合理分配问题,更合理地开发利用水资源,节约和保护水资源,防止水资源的污染、浪费和枯竭,实现水资源的可持续开发利用,促进经济、社会和环境的协调、可持续发展。

(二) 构建水生态补偿机制,提高水资源的承载能力

生态补偿指的是对由人类社会经济活动给生态系统和自然资源造成的破坏及对环境造成的污染的补偿、恢复、综合治理的一系列活动的总称,同时生态补偿还应该包括对环境保护丧失发展机会的区域内居民进行的资金、技术、实物上的补偿、政策上的优惠,以及为增进环境保护意识,提供环境保护水平而进行的科研、教育费用的支出。

生态补偿包括对生态环境的补偿、对经济发展的补偿和对社会政治的补偿。对生态环境补偿的目的是保护和恢复生态环境;对经济发展补偿的目的是保持受补偿区合理的经济发展速度;对社会政治补偿的目的是保持全社会的可持续发展。

随着人类对自然的改造和利用,生态资源已经不单纯的是一种自然资源,而成为人类改造过的自然资源,生态资本就成为人造自然资产。建立生态补偿机制需要立法机构制定相应政策法规进行保障,需要研究确定征收幅度和征收办法,接受补偿方经费使用制度,还需要对公众进行广泛的宣传,使补偿者愿意为了保护生态和保证供水而支付补偿基金、受补偿者树立生态也是经济的观念。在生态补偿的实施中,应充分发挥几个方面的作用:(1)建立责任协议制度。在生态补偿的主体和客体之间要建立环境责任协议制度,采用流域水质水量协议的模式,水源的使用者在水源地达到规定的水质和水量目标的情况下进行补偿。(2)强化补偿资金的使用监管。对补偿资金需要进行严格的监管,可以借鉴基金等模式,对补偿基金的来源、使用和最终效果进行规划和评估,确保生态补偿基金的合理使用。(3)充分发挥政府和市场的作用。充分发挥政府在生态补偿中的主导作用,形成政府与市场互补的格局。生态功能区的补偿,政府处于主导地位,小范围的生态补偿以市场调节为主。(4)注重公众参与。在生态补偿活动中,需要注意公众的参与,确保集水区生态保护的主要执行者的知情权和参与权。这样充分调动利益相关者对生态环境进行保护的积极性和主动性,取得良好的效果。