

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.016

滇池蓄清排污调度方案探析

段琪彩¹, 黄 英¹, 柏绍光²

(1. 云南省水利水电科学研究院, 云南 昆明 650228; 2. 云南省水文水资源局昆明分局, 云南 昆明 650051)

摘要:从分析滇池水量入手,考虑外流域引水和沿湖周边及下游工农业用水,结合滇池水域内外湖运行特征水位和水质差异特性,以及海口、西园隧洞排水口位置分布,研究通过蓄清排污非工程措施来改善滇池水环境的调度方案。通过对比蓄满外排和蓄泄结合两种调度方案,得出蓄泄结合方案的交换水量大、负面影响较小,该方案现状条件每年可交换水量 1.30 亿~4.38 亿 m³,2012 年实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程后每年可交换水量 3.42 亿~7.41 亿 m³。从调水量大、草海运行水位变幅小和对湖周边用水、湖堤影响的角度考虑,推荐蓄泄结合的调度方案。

关键词:蓄清排污;水资源调度;水环境改善;滇池

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)05-0075-05

Analysis of scheme of clear water storage and wastewater release in Dianchi Lake

DUAN Qi-cai¹, HUANG Ying¹, BAI Shao-guang²

(1. Yunnan Water Resources and Hydropower Research Institute, Kunming 650228, China;
2. Kunming Substation of Yunnan Hydrology and Water Resources Bureau, Kunming 650051, China)

Abstract: A scheme of clear water storage and wastewater release for improvement of the water environment in Dianchi Lake was studied based on the characteristic operational water level and water quality difference, and the distribution of the drain position of the Haikou River and Xiyuan tunnel, with consideration of the inter-basin water transfer and industrial and agricultural water consumption around and downstream of Dianchi Lake. Two schemes, one of which is to fully store and then release, and the other of which is to store and discharge at the same time, were compared. The results show that the quantity of water exchange was excellent with fewer negative effects on the surrounding environment using the second scheme, which allowed a water exchange volume of $1.30 \times 10^8 \text{ m}^3$ to $4.38 \times 10^8 \text{ m}^3$ under current conditions for each year. This volume will reach $3.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ to $7.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ after the implementation of the Qingshuihai and Niulanjiang water filling project in 2012. Considering the large amount of water transferred, the insignificant variation of the operational water level of Caohai Lake, and the low degree of influence on water use in surrounding areas, the second scheme is recommended.

Key words: clear water storage and wastewater release; water resources regulation; improvement of water environment; Dianchi Lake

滇池是我国著名的高原淡水湖泊,属国家重点保护水域之一,对维护区域生态平衡起着重要作用,同时也是昆明市发展不可或缺的城市景观用水、工农业用水的重要水源和城市生活备用应急水源。从 20 世纪 80 年代初开始,滇池藻类大量繁殖,水质不断恶化,成为国家“三湖三河”重点治理的湖泊之一^[1-3]。近年来,滇池治理已投入了大量的人力、物力和财力,截至 2010 年 1 月,滇池治理总投资

120 亿元^[4],取得了阶段性成果,水质恶化的趋势得到有效遏制^[2-3]。但是,由于高原宽浅湖泊水动力条件差、自净能力弱,滇池水环境质量仍未根本好转^[1-3]。滇池现状水质总体评价南部优于北部,现阶段滇池治理的研究方案之一是:尝试将滇池北部水质较差的水体从位于西北侧的西园隧洞外排,通过蓄清排污的非工程措施来改善水环境。本文对滇池的蓄清排污调度方案进行分析研究,旨在为滇池水

资源综合利用、水环境改善探索新的思路。

1 流域概况

滇池流域是云南省的政治、经济、文化中心,流域内包含五华、盘龙、西山、官渡、呈贡、晋宁、嵩明、寻甸等 8 个县(区)。2009 年流域内总人口 332 万,人口密度 1 137 人/km²。流域处于长江、珠江、红河分水岭地带,人均水资源占有量不足 300 m³,属资源型缺水地区;因流域内人类活动影响大,入湖河道水质污染严重,又属水质型缺水地区。

滇池位于长江干流金沙江下段右岸一级支流普渡河上游,坐落于昆明市区西南面,地理位置介于东经 102°37' ~ 102°48',北纬 24°40' ~ 25°02'之间,是云贵高原水面最大的天然淡水湖泊。湖面呈弓形,水位 1 887.40 m(黄海基准面)时湖面南北长 40 km,东西平均 7 km,湖岸线长 163.2 km,平均水深 5.3

m,最大水深 11.2 m,湖面面积 309.5 km²,蓄水容量 15.6 亿 m³[5]。目前,滇池水域分为内湖(草海)和外湖(外海),其中外海水面面积约 298.5 km²,草海水面面积约 11 km²[5]。内、外湖之间由船闸和节制闸连接,两湖水量交换受人为控制。

滇池流域为中、低山地貌,流域面积 2 920 km²,其中外海流域面积 2 725 km²,草海流域面积 195 km²。滇池流域水系不对称发育,入湖河流主要分布于北部和东部,西侧紧邻西山,无较大支流汇入,北部的草海流域有新运粮河、老运粮河、大观河等 8 条主要入湖河流,外海有盘龙江、宝象河、马料河等 27 条主要入湖河流。滇池 35 条入湖河流控制面积 2 430 km²,占滇池流域总面积的 83.2%,其中 13 条河流上游建有 23 座水库,控制面积 1 142 km²,占滇池流域面积的 39.1%。滇池流域水系分布见图 1。

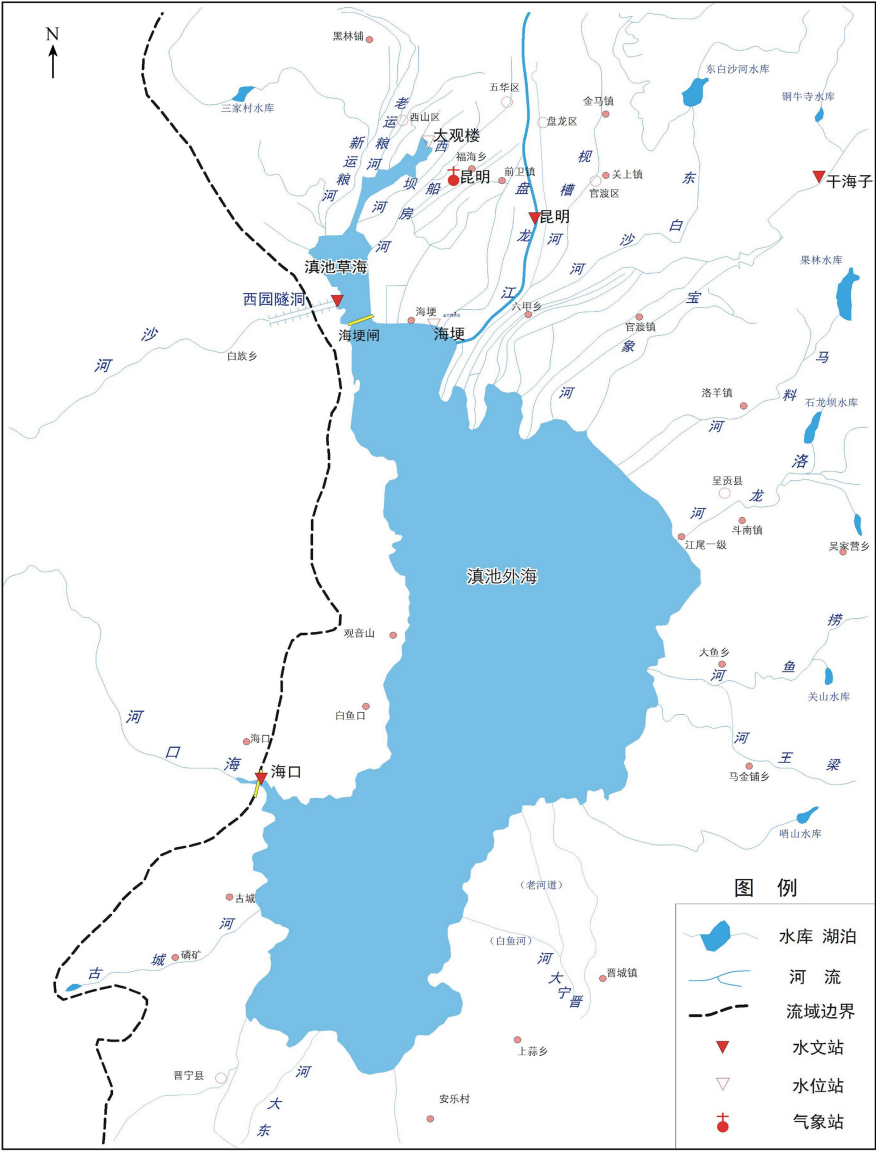


图 1 滇池流域水系分布

2 水量条件

2.1 滇池入湖径流量

1996 年以前,海口河为滇池唯一排水通道,1996 年 8 月在草海西侧人工开凿西园隧洞,增加另一排水通道。海口河和西园隧洞有实测出湖水量资料,湖内有 3 个站观测水位,但因滇池调蓄作用和沿湖工农业用水、湖面蒸发量大,故滇池入湖径流采用水量平衡还原计算,还原时考虑湖容变量、出湖水量、沿湖工农业用(耗)水量和湖面蒸发量。由于人类活动对径流影响大,将还原的径流系列修正到同一影响的基础上,得到具有一致性的现状入湖径流系列,系列长为 1953—2009 年。不同保证率入湖径流量经频率计算推求,外流域引水的回归水量分别按现状年和实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程(2012 年)以后两种情景考虑,现状年加入云龙水库引水回归水,2012 年以后又增加清水海(一期)、牛栏江引水的回归水。云龙水库日引水量 51 万 m³^①,清水海(一期)引水量 1.12 m³/s^②,回归水量按引水量的 75% 计。牛栏江丰、平、枯水年补水量分别为 20.7m³/s、19.0m³/s、17.3m³/s^③。云龙水库引水回归水分别退入草海和外海,清水海和牛栏江引水回归水全部进入外海。

经还原修正,滇池本流域多年平均入湖径流量 9.86 亿 m³,考虑自外流域调水加入云龙水库引水回归水量后多年平均入湖径流量 11.25 亿 m³,实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程后多年平均入湖径流量 17.51 亿 m³。不同保证率入湖径流量详见表 1。

2.2 外海盈余水量

滇池外海集水面积和水域面积均远大于草海,现状入湖水量是草海的 8.7 倍。滇池外海来水满足周边工农业用水、下游海口河段用水和湖面蒸发损失后,汛期盈余水量现状由海口河外排,研究考虑将部分外海汛期盈余水量经草海由西园隧洞外排。因入湖水量、用水量和湖面蒸发损失水量均是动态的,

且蓄泄水受滇池运行水位和海埂闸、西园隧洞闸的过水能力限制,故外海汛期盈余水量通过外海与草海联合调度来计算。计算边界条件:① 特征水位执行《滇池保护条例》规定的控制水位,即外海主汛期 6—9 月的水位控制在 1 887.20 m 以内,其余时期最高水位控制在 1 887.50 m 以内;草海主汛期 6—8 月的水位控制在 1 885.50 m 以内,其余时期最高水位控制在 1 886.80 m 以内。② 海埂节制闸最大过水量 36.0 m³/s,西园隧洞最大过水量 40 m³/s(含 19.2 万 m³/d 的城市污水处理厂处理后的中水量),海口中滩闸最大过水量 80 m³/s。③ 保证下游海口河段的工业用水量 10 422 万 m³/a,农业用水量 661 万~763 万 m³/a。按以上边界条件控制,经逐月调度计算,得到不同保证率外海盈余水量,详见表 2。

表 2 滇池内外海径流联合调度计算成果

时期	来水条件	区 域	水量/亿 m ³				
			P=10%	P=50%	P=75%	P=90%	
现状年 (2010 年)	来水	外海	14.00	9.78	7.98	6.58	
		草海	1.44	1.14	1.01	0.91	
		合计	15.44	10.92	8.99	7.50	
	用、耗水 蒸发水	外海	6.30	6.79	7.16	7.40	
		草海	0.23	0.25	0.26	0.27	
		合计	6.53	7.04	7.42	7.67	
	汛期 盈余水	外海	7.70	3.04	2.23	1.34	
		草海	1.21	0.89	0.75	0.64	
		合计	8.91	3.93	2.98	1.98	
	实施清水海(一期) 牛栏江—滇池 补水工程后 (2012 年以后)	来水	外海	20.80	16.04	13.70	12.31
			草海	1.44	1.14	1.01	0.91
			合计	22.24	17.18	14.71	13.22
用、耗水 蒸发水		外海	6.30	6.80	7.20	7.47	
		草海	0.23	0.25	0.26	0.27	
		合计	6.53	7.05	7.46	7.74	
汛期 盈余水		外海	14.50	9.24	6.50	4.84	
		草海	1.21	0.89	0.75	0.64	
		合计	15.71	10.13	7.25	5.48	
2010 年外海可调入草海水		4.42	2.00	1.51	1.33		
2012 年以后外海可调入草海水		7.90	5.97	4.35	3.54		

注:现状年(2010 年)P=50%、P=75%、P=90% 的汛后期来水
不满足用水需求时,由湖内容水供水 0.05 亿~2.16 亿 m³。

表 1 不同保证率下滇池入湖径流量 亿 m³

水域	项目	P=10%	P=50%	P=75%	P=90%	多年平均
草海	草海本流域产水	0.98	0.68	0.55	0.45	0.70
	加入云龙水库引水回归水后	1.44	1.14	1.01	0.91	1.16
外海	外海本流域产水	13.07	8.85	7.05	5.65	9.16
	加入云龙水库引水回归水后	14.00	9.78	7.98	6.58	10.09
	加入云龙水库、清水海、牛栏江引水回归水后	20.80	16.04	13.70	12.31	16.35
滇池(外海 加草海)	滇池本流域产水	14.05	9.53	7.60	6.10	9.86
	加入云龙水库引水回归水后	15.44	10.92	8.99	7.50	11.25
	加入云龙水库、清水海、牛栏江引水回归水后	22.25	17.18	14.72	13.22	17.51

①云南省水利水电勘测设计研究院.昆明市掌鸠河引水供水工程初步设计水源工程(云龙水库)报告.1999.
②昆明市给水工程设计院.昆明市清水海引水工程(一期)初步设计报告.2007.
③中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院,云南省水利水电勘测设计研究院.云南省牛栏江—滇池补水工程初步报告.2011.

从表 2 可以看出,汛期滇池外海除满足沿湖和下游工农业正常用水外,不同年景均有水量盈余,现状年(2010 年)余水量 1.34 亿~7.70 亿 m³,实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程(2012 年)以后余水量 4.84 亿~14.50 亿 m³。不考虑调度方案制约时,现状年和实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程后,外海余水可经草海由西园隧洞外排水量分别为 1.33 亿~4.42 亿 m³、3.54 亿~7.90 亿 m³。

3 调度方案

从水量分析成果可以看出,不同来水条件下外海均有余水,此部分余水经西园隧洞外排,现按蓄满外排和蓄泄结合两种调度方案进行讨论。

蓄满外排调度方案:首先,关闭海埂节制闸,西园隧洞闸门全开,使草海水位降至最低工作水位(1885.50 m)腾空草海湖容,此时外海与草海之间产生较大水位差;然后,打开海埂节制闸,使外海水在较短时间内涌入草海,待草海水位达到或接近正常水位(1886.80 m)时关闭节制闸,如此反复循环。

蓄泄结合调度方案:草海水位控制在正常水位以内,西园隧洞闸门全开,出流量接近最大过流能力(40 m³/s),调整海埂节制闸的闸门开启高度,保持内外海水位差在 0.50 m 左右,使外海水自流进入草海,然后由西园隧洞排出。

根据来水条件,按 2.2 节外海盈余水量计算相同的边界条件,经逐月调度计算,得到两种调度方案由西园隧洞外排的外海水量,成果详见表 3。

表 3 两种调度方案实际调水量比较 亿 m ³					
来水条件	调度方案	不同保证率实际外排的外海水量			
		P=10%	P=50%	P=75%	P=90%
现状年(2010 年)	蓄满外排	3.24	1.31	0.94	0.82
	蓄泄结合	4.38	1.91	1.41	1.30
实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程实施后(2012 年以后)	蓄满外排	4.89	4.14	3.11	2.72
	蓄泄结合	7.41	5.81	4.26	3.42

从表 3 可以看出,不同调度方案实际经草海由西园隧洞外排的外海水量是不同的。蓄满外排方案现状条件实际外排水量 0.82 亿~3.24 亿 m³,实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程后实际外排水量 2.72 亿~4.89 亿 m³;蓄泄结合方案现状条件实际外排水量 1.30 亿~4.38 亿 m³,实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程后实际外排水量 3.42 亿~7.41 亿 m³。从外排水量来看,蓄泄结合调度方案实际外排水量明显大于蓄满外排方案。

4 调度方案可行性分析

调度方案可行性从水动力、水质、泄水设施设

备、管理及可能产生的负面影响等方面来分析。

根据《滇池保护条例》,草海汛期最低工作水位 1885.50 m,正常水位 1886.80 m;外海汛期限制水位 1887.20 m,正常水位 1887.50 m。外海与草海汛期水位相差 1.7 m,非汛期水位相差 0.7 m。滇池现状的运行方式是草海与外海单独运行,只有遇大洪水西园隧洞不满足洪水宣泄时才打开节制闸外排洪水,一般情况外海与草海之间已保持一定的水位差,且滇池风向以西南向为主,具备自流补水动力条件。

近年来,滇池外海水水质总体优于草海,而外海南部水质又优于北部。通过联合调度,将草海余水和外海北部水质较差的水体由西园隧洞外排,有利于外海水环境改善。

滇池草海与外海之间的节制闸为钢质平底平板闸门,宽 4 m,高 4 m,现状启闭运行正常。西园隧洞闸门位于隧洞入口处,为钢质矩形平底平板闸,宽 6.6 m,高 4.75 m,闸门启闭运行正常。海埂闸、海口闸和西园隧洞闸由昆明市滇池管理局统一管理。具备联合调度的设施设备和条件。

按滇池运行水位控制下进行调度,对滇池入湖河流不会产生大的顶托影响。按蓄满外排方案调度,草海水位在 1885.50~1886.80 m 之间变化,幅度为 1.3 m,对湖周边用水、湿地和湖堤稳定产生一定影响;按蓄泄结合方案调度,草海水位保持较高状态,对湖周边用水、湿地和湖堤稳定基本无影响。

5 结 语

在分析来水、用水、水质及已建工程设施条件的基础上,通过对滇池蓄清排污调度方案比较,得出以下初步结论和建议:

a. 外海汛期盈余水量可经草海由西园隧洞外排,现状年盈余水量为 1.33 亿~4.42 亿 m³,2012 年实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程后外排水量为 3.54 亿~7.90 亿 m³。在保证滇池沿湖和下游工农业用水以及防洪安全的前提下,不同来水条件具备实施滇池北部水质较差水体自西园隧洞外排的水量条件。

b. 按蓄满外排方案调度,现状年可外排水量 0.82 亿~3.24 亿 m³,实施清水海(一期)、牛栏江—滇池补水工程以后可外排水量 2.72 亿~4.89 亿 m³。按蓄泄结合方案调度,现状年可外排水量 1.30 亿~4.38 亿 m³,实施清水海、牛栏江—滇池补水工程以后可外排水量 3.42 亿~7.41 亿 m³。从调水量大、草海运行水位变幅小和对湖周边用水、湖堤影响小的角度考虑,推荐蓄泄结合的调度方案。

c. 滇池现状外海和草海一般单独运行,外海北

部水质较差水体需经湖区后由海口河外排。现有设施和运行管理均具备联合调度的条件, 外海部分水体经草海转由西园隧洞外排, 有利于滇池水环境改善。

d. 滇池特征水位与流域来水有关, 也与下泄水量有关, 为了确保防洪安全和水资源充分利用, 滇池水量调度除了考虑设施设备运行正常外, 还需掌握流域内的雨水情势。因此, 建议加强和完善流域水情测报系统建设, 以及时准确的水情信息为技术支撑。

e. 滇池水资源调度涉及面广, 沿湖工农业用水、湖岸湿地生态用水及下游生产、生态用水与调度方式关系密切, 具体实施时建议制定切实可行的调度方案, 并上报主管部门审批。

(上接第 74 页) 警判别。通过上述方法的耦合, 建立了水资源危机预警的 CC-RS-BP 模型。

CC-RS-BP 模型对 A 市进行水资源危机预警结果表明: 分歧集 $\Delta < 0$ 的是 1998 和 1999 年, 水资源系统处于不稳定状态, 将会发生突跳, 即水资源系统处于危机状态, 其他年份 $\Delta > 0$, 水资源系统处于稳定状态, 发生渐变; I_4 、 I_5 、 I_9 可以作为该地区的水资源危机预警指标, 从系统客观和用户主观两层面在产生的 83 条规则知识中筛选出 5 条规则作为水资源危机预警的判别规则; BP 神经网络滚动预测 2008—2012 年的指标满足其中规则 3:

$I_4(2) \cdot I_5(2) \cdot I_9(1) \rightarrow$ 结论(1) (2)
即未来几年内水资源系统不会发生突变, 这与 A 市 2008—2010 年的实际情况相吻合。

CC-RS-BP 模型将尖点突变模型应用于内部作用尚未知的水资源系统, 充分发挥了尖点突变理论直接处理不连续性而不联系任何特殊的内在机制的优点, 该模型的预警是以规则的形式来判断的有别于传统的预警方法, 易被人理解和利用, 模型采用 BP 神经网络滚动预测预警指标值可以充分利用相邻时期各指标的变化趋势信息, 为非线性、自学习、自适应、大规模并行分布多指标预测问题提供新途径。

参考文献:

[1] 周玉玺, 马传栋. 制度、技术、政策与水资源危机[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 1-4.
[2] 刘梅. 区域水资源危机的识别与对策研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
[3] 陈绍金. 水安全系统评价、预警与调控研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
[4] 文俊, 李靖, 金菊良. 基于熵组合权重的区域水资源可持续利用预警模型[J]. 水电能源科学, 2006, 24(3): 6-10.
[5] 李仰斌, 畅明琦. 水资源安全评价与预警研究[J]. 中国

参考文献:

[1] 罗佳翠, 马巍, 禹雪中, 等. 滇池环境需水量及牛栏江引水效果预测[J]. 中国农村水利水电, 2010(7): 25-28.
[2] 彭张兴, 张征, 李坚. 滇池污染状况及对策建议[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(8): 29-32.
[3] 刘利霞. 滇池水体富营养化成因及控制措施探讨[J]. 菏泽学院学报, 2008, 30(2): 86-87.
[4] 刘波. 滇池治理投资完成近 120 亿[N]. 昆明日报, 2010-01-02(08).
[5] 云南河湖编纂委员会. 云南河湖[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010: 34-38.

(收稿日期: 2011-10-21 编辑: 高渭文)

农村水利水电, 2009(1): 1-4.
[6] 申海亮. 天津市水资源安全预警系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
[7] 艾德春. 我国煤炭供需平衡的预测预警研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.
[8] 徐袁, 祝力, 范学鑫. 基于粗糙集与 K-均值聚类的故障知识挖掘[J]. 微计算机信息, 2007(15): 141-142.
[9] 吕光辉. 中国西部干旱区生态安全评价、预警与调控研究: 以新疆地区为例[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2005.
[10] 刘菁菁, 田银华. 基于主成分-粗糙集理论的企业信贷风险预警研究[J]. 哈尔滨商业大学学报: 社会科学版, 2009(2): 57-61.
[11] 李升. 地下水环境健康预警研究: 以黄河下游悬河段(河南)为例[D]. 长春: 吉林大学, 2008.

(收稿日期: 2011-08-24 编辑: 高渭文)

欢迎订阅《环境科技》杂志

中国科技核心期刊《环境科技》(CN32-1786/X, ISSN 1674-4829, 邮发代号: 28-179) 由江苏省环保厅主管, 江苏省环境科学研究院、江苏省徐州市环境监测中心站联合主办, 是一份集学术性与实用性于一体的环境科学技术类期刊。

《环境科技》以直接为环境污染防治实践服务为宗旨, 重点报道环境科学最新实用技术、科研成果、治理开发及国内外最新信息与动态, 内容涉及水、气、声、固等污染处理技术及清洁生产、生态保护等实用技术的推广应用。常设栏目有: 研究报告、污染防治、环境评价与规划、专论与综述、环境管理、环保论坛等。读者对象: 环境保护管理、科研院所、污染防治技术开发设计、环保产业、工矿企业等部门从事环保工作的管理和专业技术人员以及大专院校师生。

编辑部地址: 徐州市黄河南路 60 号 邮编: 221002; 电话: 0516-85635681, 85635682; 传真: 0516-85737126; E-mail: jshjkj@126.com