维普资讯 http://www.cqvip.com

滇池，水质，溶氧量，营养盐，负荷量

第5卷第4期 湖 泊 科 学 Vol. 5, No. 4
1993年12月 JOURNAL OF LAKE SCIENCES Dec., 1993

358-366

滇池化学需氧量及营养盐负荷量的预测

吴德玲 X824
(昆明市环境科学研究所，昆明 650032)

提要 本文采用多元线性回归及合田健模型分别对滇池有机污染及富营养化的主要因子COD、TN、TP进行预测，并将污染负荷量分至各点源。定量说明污水处理厂对治理城市污水的积极作用，为流域进行污染治理提供了科学依据。

关键词 水质预测 化学需氧量 营养盐负荷 滇池

滇池位于昆明城区下方，是本区水循环的侵蚀基准面，也是污染物质富集的场所；既是水源地，又是城市污水、工业废水及农业回归水的接纳水体。

随着社会经济的发展、城区人口的增加及生活水平的提高，尤其近10年卫生设备普及率的提高，人均生活用水量由1979年的73 L/d提高到122 L/d；洗衣机的普及导致含磷洗涤剂用量的大幅度增长。大量有机物及氮、磷等物质排入滇池，使内湖严重富营养化，局部水体已达极富营养化；外湖从总体来看，也已进入富营养化阶段。

为了掌握滇池水体污染的发展趋势，以水质现状为基础，对化学需氧量、总氮、总磷分别用多元线性回归、合田健模型进行污染预测，并以实际经济技术的可能性及不同年型的承受能力，制定其相应的允许负荷量，从而计算出各污染物的削减量。并定量说明污水处理厂对治理城市污水的积极作用。

一、预测模型的选择及化学需氧量、总氮、总磷浓度的预测

(一) 预测模型及参数的选择

1. 滇池水体中化学需氧量的监测历时较长，其浓度的变化与人口的增长及湖区经济的发展有显著的相关性。采用多元线性回归法[1]对内湖及外湖分别进行预测。

考虑到内湖直接接纳的工业废水及城市生活污水占整个滇池纳污量的47%，而面积仅为总面积的3.47%，纳污量与水位正相关，因此，选择人口、工业产值及水位为影响参数。

外湖容积大，湖水流向与常年主导风向相对，水质较为均匀。主要入湖河流的污染物来自农田径流。而滇池仅有一人工控制水位的出水口，水位年内变幅不大，故选择人口、工业产值及农业产值为影响参数。

回归方程分别为：

国家"七五"科技攻关项目(75-60-02-01-06-01)。
本文于1992年4月15日收到，10月22日改回。

维普资讯 http://www.cqvip.com

内湖：　　$y = 0.62x_1 + 0.11x_2 + 2.68x_3 - 33.89$

外湖：　　$y = 0.01x_1 + 0.01x_2 + 0.73x_4 + 2.93$

式中：y ——COD 回归值；x_1 ——人口；x_2 ——工业产值；x_3 ——水位；x_4 ——农业产值。

经方差分析，相关显著；经回顾性检验，误差满足预测要求。

2. 用 OECD、Vollon Vaider、Dillon 及合田健模型分别对湖内 TN、TP 的浓度进行预测，结果表明，用合田健模型计算的结果与实测值较为吻合，适合滇池总氮、总磷的预测。

合田健预测模型：

$$C = \frac{L}{(\frac{Q}{V} + \alpha)\overline{Z}}$$

式中：C ——湖水总氮（总磷）浓度（mg/L）；

L ——湖泊单位面积年度总氮（总磷）负荷量（g/m^2a）；

Q ——年入湖水量（m^3）；

V ——湖泊相应的容积（m^3）；

$\overline{Z}$ ——湖泊的平均水深（m）；

α ——沉降系数（1/a）（$\alpha = 10/\overline{Z}$）。

（二）化学需氧量、总氮、总磷浓度的预测

1. **化学需氧量的浓度预测**　根据人口与经济发展速度及内湖可能遇到的水文状况①，分别代入内湖及外湖多元线性回归方程，得出 1995 年及 2000 年可能出现的年平均水质浓度，见表 1。

表 1　化学需氧量浓度预测值　　单位：mg/L

Tab. 1　Predicted COD concentration

年　份	内　湖			外　湖
	丰	平	枯	
1995 年	20.58	18.95	17.32	7.29
2000 年	23.84	22.20	20.57	7.93

以 1988 年度内湖、外湖月平均值与年平均值之比预测逐月水质污染浓度（图 1、图 2 及表 2）。1988 年内湖、外湖年平均浓度分别为 16.32 mg/L 和 6.5 mg/L（体积加权浓度）。

从表 2 及图 1、图 2 看出，内、外湖年内月平均浓度出现三个丰值，最高值均发生在枯季。2000 年内湖为 26.22 mg/L（4 月份），外湖为 9.44 mg/L（3 月份）；另二次出现在 8 月份及 11 月份。最低值分别出现在 1、9、12 月份。内湖月均浓度变化幅度较大，最高值是最低值的 2.06 倍；外湖月均浓度变幅较小，最高值是最低值的 1.38 倍。

滇池条例规定，内湖水质按《地面水环境质量标准》三级（即 GB3838-83III 级）标准保护，外湖二级（即 GB3838-83II 级）标准保护，其水质标准分别为≤ 6mg/L 及≤4mg/L。以 2000 年预测值计，内湖月平均值为 12.75 mg/L—26.22 mg/L，分别超标 1.13—3.37 倍；外湖月平均值为 6.82 mg/L—9.44 mg/L，分别超标 0.71—1.36 倍。

① 人口增长率、工农业产值预测取率参考昆明市经济研究中心对昆明市经济 2000 年预测值。丰水年（1971 年）保证率 10%；平水年（1962 年）保证率 50%；枯水年（1977）保证率 80%。

维普资讯 http://www.cqvip.com

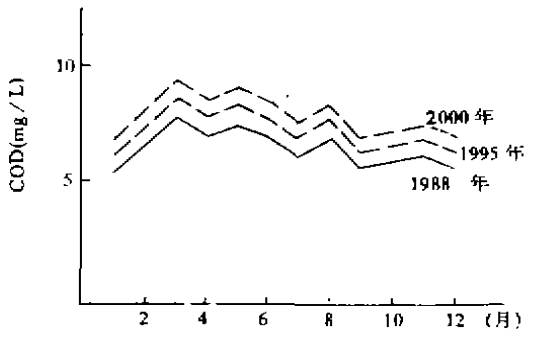

图1 外湖逐月有机污染(COD)预测值

Fig. 1 Predicted COD concentration in Outer Lake

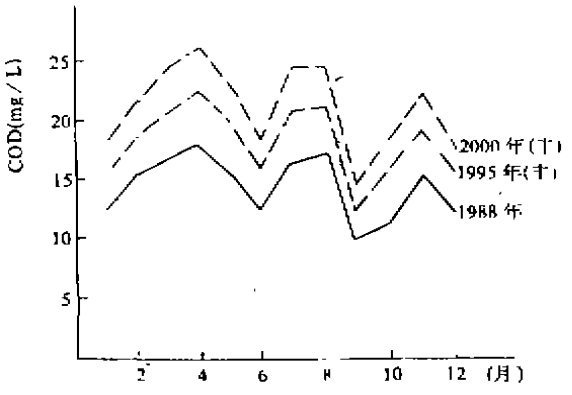

图2 内湖逐月有机污染(COD)预测值

Fig. 2 Predicted COD concentration in Inner Lake

表2 内、外湖逐月有机污染(COD)预测浓度 单位:mg/L

Fig. 2 Monthly predicted COD concentration in Inner and Outer Lakes

湖区	浓度及比值		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
内湖	月平均浓度		12.48	15.06	16.81	18.01	15.88	12.65	16.81	17.06	10.04	12.65	15.55	12.50
	比值		0.76	0.92	1.03	1.10	0.97	0.78	1.03	1.04	0.62	0.78	0.95	0.76
	1995年预测浓度	丰	15.64	18.93	21.20	22.64	19.96	16.05	21.20	21.40	12.76	16.05	19.55	15.64
		平	14.40	17.43	19.52	20.85	18.38	14.78	19.52	19.71	11.75	14.78	18.00	14.40
		枯	13.16	15.93	17.84	19.05	16.80	13.51	17.84	18.01	10.74	13.51	16.45	13.16
	2000年预测浓度	丰	18.12	21.93	24.56	26.22	23.12	18.60	24.56	24.79	14.78	18.60	22.65	18.12
		平	16.87	20.42	22.87	24.42	21.53	17.32	22.87	23.09	13.76	17.32	21.09	16.87
		枯	15.63	18.92	21.19	22.63	19.95	16.04	21.19	21.39	12.75	16.04	19.54	15.63
外湖	月平均浓度		5.58	6.63	7.75	6.96	7.44	6.97	6.14	6.92	5.75	6.01	6.20	5.74
	比值		0.86	1.02	1.19	1.07	1.14	1.07	0.95	1.06	0.88	0.92	0.95	0.88
	1995年预测浓度		6.27	7.44	8.68	7.80	8.31	7.80	6.93	7.73	6.41	6.71	6.93	6.41
	2000年预测浓度		6.82	8.09	9.44	8.48	9.04	8.48	7.53	8.41	6.98	7.30	7.53	6.98

2. **总氮、总磷的浓度预测** 将1988年①总氮、总磷负荷代入合田健模型,预测总氮、总磷浓度。预测值与实测值比较见表3。

表3 总氮、总磷预测值与实测值比较 单位:mg/L

Tab. 3 Comparison between measured and predicted values of TN、TP

TN			TP		
预测值	实测值	相对误差(%)	预测值	实测值	相对误差(%)
1.31	1.30	+0.77	0.126	0.111	+13.5

① 1988年为枯水年,保证率为80%(1988年径流量 $457.9\times10^8m^3$,1977年径流量为 $463.64\times10^8m^3$)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

将总氮、总磷年负荷预测值与相应面积之比计算出不同年型单位面积年负荷量，并以1988处入湖量代入合田健模型，算出1995年及2000年总氮、总磷预测浓度值，见表4。

表4　总氮、总磷浓度预测值　　单位：mg/L

Tab. 4　Predicted concentrations of TN and TP

年型	水位 (m)	库容 ($\times10^8m^3$)	面积 (km^2)	平均水深 (m)	入湖水量 ($\times10^8m^3$)	TN		TP	
						1995年	2000年	1995年	2000年
丰	1886.89	13.766	303.16	4.54	14.392	1.40	1.49	0.162	0.197
平	1886.28	12.231	299.61	4.08	8.625	1.42	1.51	0.165	0.200
枯	1885.67	10.418	294.50	3.54	6.979	1.44	1.53	0.167	0.202

二、化学需氧量、总氮、总磷不同年型年负荷量的预测及削减量的分配

（一）入湖途径及所占比例

根据1988年的实测资料计算出不同途径的入湖量及所占比例，见表5。

表5　总氮、总磷、化学需氧量入湖途径及所占比例　　单位：t/a

Tab. 5　Incoming channels and proportions of TN, TP and COD

项目	点源负荷量			非点源负荷量							总计
	排污河道	直排点源	合计	农田径流	城区径流	西山散流	湖滨区	降尘	降雨	合计	
TN	2735	499	3234	789	135	74	59	118	294	1469	4703
百分比(%)	58.15	10.62	68.77	16.78	2.87	1.58	1.25	2.51	6.24	31.23	100
TP	212	39	251	127	17	13	12	28	8	205	456
百分比(%)	46.49	8.61	55.1	27.95	3.66	2.75	2.69	6.13	1.72	44.9	100
COD	16098	2340	18438	1465	244	186.5	104	—	439.5	2439	20877
百分比(%)	77.1	11.2	88.3	7.02	1.17	0.89	0.5	—	2.1	11.7	100

由表5可见，各污染物以点源为主，主要来自城市生活污水及工业废水，其中COD占总量的88.3%，TN占总量的68.77%，TP的点源、非点源比例相差不大。滇池地处磷矿区，通过农田径流进入湖体的比重很大，占总量的27.97%。

（二）年负荷量的预测及削减负荷量的计算

1. 年负荷量的预测及削减负荷量的计算　滇池水质状态属均匀混合型，故根据污染物质平衡原理及水环境质量标准，分别算出1995年、2000年不同年型预测负荷量及容许负荷量，以预测负荷量减去允许负荷即得削减负荷量。见表6和表7。

2. 削减负荷量的分配　化学需氧量、总氮、总磷排放量主要来源于点源。农田、降雨径流等非点污染源目前还难以控制，故将削减量分配到各排污河道及直排点源。采用污染负荷比

维普资讯 http://www.cqvip.com

表6 不同年型化学需氧量预测负荷量及削减负荷量 单位:t/a

Tab. 6 Predicted and reduction loads of COD in different types of year

负荷量	年型		内湖	外湖	滇池
预测值	1995年	丰	16620	16093	32716
		平	13606	13178	26784
		枯	10741	10403	21144
	2000年	丰	18079	17509	35588
		平	14801	14334	29135
		枯	11684	11316	23000
允许值	1995年	丰	11399	11040	22439
		平	9332	9038	18370
		枯	7367	7135	14502
	2000年	丰	9119	8832	17951
		平	7466	7230	14696
		枯	5893	5708	11601
削减值	1995年	丰	5221	5056	10277
		平	4274	4140	8414
		枯	3374	3268	6642
	2000年	丰	8960	8677	17637
		平	7335	7104	14439
		枯	5791	5608	11399

表7 不同年型总氮、总磷预测负荷量及削减量 单位:t/a

Tab. 7 Predicted loads and reduction amounts of TN, TP in different types of year

负荷量	年型		内湖		外湖		滇池	
			TN	TP	TN	TP	TN	TP
预测值	1995年	丰	1933	202	4324	523	6257	725
		平	1692	177	3785	458	5477	635
		枯	1621	170	3624	440	5245	610
	2000年	丰	2058	244	4602	635	6660	879
		平	1800	214	4024	556	5824	770
		枯	1723	205	3852	531	5575	736
允许值	1995年	丰	1381	124	3089	323	4470	447
		平	1192	107	2666	279	3858	386
		枯	1126	101	2517	263	3643	364
	2000年	丰	1105	100	2471	258	3576	358
		平	954	86	2132	223	3086	309
		枯	901	81	2014	211	2915	292
削减值	1995年	丰	552	77	1235	201	1787	278
		平	500	69	1119	181	1619	249
		枯	495	68	1107	178	1602	246
	2000年	丰	953	145	2131	376	3084	521
		平	846	128	1891	333	2738	461
		枯	822	123	1838	321	2660	444

维普资讯 http://www.cqvip.com

的分配方法，分别求得各点源的削减量，见表8、表9、表10。

表8　化学需氧量削减负荷量的分配　　单位：t/a

Tab. 8　Allocation of reduction loads of COD

点污染源		大青河	船房河	运粮河	新　河	大观河	云南印染厂	其　它	合　计
1995年	丰	3473	1435	1360	751	733	674	649	9075
	平	2844	1175	1113	615	600	552	531	7430
	枯	2244	927	879	486	474	436	419	5865
2000年	丰	5960	2462	2333	1289	1258	1157	1114	15573
	平	4879	2016	1910	1056	1030	947	912	12750
	枯	3852	1591	1508	833	813	748	720	10065

表9　总氮削减量的分配　　单位：t/a

Tab. 9　Allocation of TN reduction amount

点污染源		大青河	船房河	化肥厂	运粮河	大观河	其它	合计
1995年削减量	丰	497	219	159	142	94	118	1229
	平	450	198	144	129	85	107	1113
	枯	446	196	142	128	84	106	1102
2000年削减量	丰	858	377	274	246	162	204	2121
	平	762	335	243	218	144	181	1883
	枯	740	325	236	212	140	176	1829

表10　总磷削减量的分配　　单位：t/a

Tab. 10　Allocation of TP reduction amount

点污染源		大青河	船房河	运粮河	磷肥厂	大观河	其　它	合　计
1995年削减量	丰	56	31	21	19	13	13	153
	平	50	27	19	17	12	12	137
	枯	50	27	19	17	12	11	136
2000年削减量	丰	105	57	40	36	25	24	287
	平	93	50	36	32	22	21	254
	枯	90	49	34	21	21	20	245

三、污水处理厂前后的削减量与环境容量的对比分析

以上对化学需氧量及总氮、总磷的预测负荷量、允许负荷量及削减负荷量的计算均按目前的实际情况（即未上污水处理厂）进行的。其中大青河、船房河、运粮河三条河的COD、TP、TN约占总点源的70%，分别占69.06%、69.82%及70.5%，是主要污染点源。现根据城建规划的实施及设想，近期内第一污水处理厂（日处理能力5.5×10^4t）可投产运转，2000

维普资讯 http://www.cqvip.com

年前第二、三污水处理厂建成运转后，城市污水中的化学需氧量、总氮、总磷可明显减少，水质将较大改善。

现以污水处理厂对 COD 去除率以 70%计，对 TN、TP 去除率分别以 60%及 30%计①，对大青河、船房河、运粮河上污水处理厂前后 COD、TN、TP 预测、削减负荷量及比较分别进行计算，列表 11、表 12 和表 13。

从表 11—13 可见，前述污水处理厂运转后，大青河、船房河、运粮河的 COD 及 TN 预测值均低于允许值，COD 将剩余 40—56%的容量，TN 剩余 24—47%的容量。TP 削减量比未上处理厂减少 32—81%。由此可见，污水处理厂对改善我市城市污水的质量，控制和改善滇池的富营养状态将起着重要作用。

从表 11—13 可见，前述污水处理厂运转后，大青河、船房河、运粮河的 COD 及 TN 预测值均低于允许值，COD 将剩余 40—56%的容量，TN 剩余 24—47%的容量。TP 削减量比未上处理厂减少 32—81%。由此可见，污水处理厂对改善我市城市污水的质量，控制和改善滇池的富营养状态将起着重要作用。

表 11 上污水处理厂前后 COD 预测、允许、削减值及比较 单位：t/a

Tab. 11 Predicted permitted and reduction values of COD before and after setting up of sewage treatment plant, and their comparisons.

河流	年份		预测值		允许值	需削减量		上前后比较(%)	
			上前	上后		上前	上后	剩余容量	削减量减少
大青河	1995年	丰	11055	3317	7582	3473		56	
		平	9051	2715	6207	2844		56	
		枯	7144	2144	4900	2244		56	
	2000年	丰	12026	3608	6066	5960		40.5	
		平	9845	2954	4966	4879		40.5	
		枯	7772	2332	3920	3852		56	
船房河	1995年	丰	4567	1370	3132	1435		56	
		平	3739	1122	2564	1175		56	
		枯	2952	886	2025	927		56	
	2000年	丰	4968	1490	2506	2462		40.5	
		平	4067	1220	2051	2016		40.5	
		枯	3211	963	1620	1591		40.5	
运粮河	1995年	丰	4327	1298	2967	1360		56	
		平	3543	1063	2430	1113		56	
		枯	2797	839	1918	879		56	
	2000年	丰	4707	1412	2374	2333		40.5	
		平	3854	1156	1944	1910		40.5	
		枯	3042	913	1534	1508		40.5	

① 参考国内一些污水处理厂工艺的 N、P、COD 去除率，第一污水处理厂采用氧化沟法，根据设计出水要求，(KN 为 6—8mg/L、TP 为 0.5—1mg/L、COD≤ 15—30mg/L)并考虑昆明地区下水排放系统为混流制，进水浓度低，我们采取的去除率尽量取低值，以便有实际参考价值。课题进行时该厂还未投产，现已投产使用，除 TP 去除率 30%偏低外，TN、COD 与实际情况接近。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表12　上污水处理厂前后TN预测、允许、削减值及比较　　单位：t/a

Tab. 12　Perdicted permitted and reduction amounts of TN before and after setting up of sewage treatment plant, and their comparisons

河流	年份		预测值		允许值	需削减量		上前后比较(%)	
			上前	上后		上前	上后	剩余容量	削减量减少
大青河	1995年	丰	1740	696	1243	497		44	
		平	1523	609	1073	450		43	
		枯	1459	584	1013	446		42	
	2000年	丰	1853	741	995	858		25.5	
		平	1620	648	858	762		24.5	
		枯	1551	620	811	740		23.5	
船房河	1995年	丰	766	306	547	219		44	
		平	670	268	472	198		43	
		枯	641	256	445	196		42	
	2000年	丰	814	326	437	377		25	
		平	712	285	377	335		24	
		枯	681	272	356	325		23.6	
运粮河	1995年	丰	602	241	460	142		47.6	
		平	527	211	398	129		47	
		枯	505	202	377	128		46	
	2000年	丰	641	256	395	246		35	
		平	561	224	343	218		35	
		枯	537	215	325	212		34	

表13　上污水处理厂前后TP预测、允许、削减值及比较　　单位：t/a

Tab. 13　Perdicted permitted and reduction amounts of TP before and after setting up of sewage treatment plant, and their comparisons

河流	年份		预测值		允许值	需削减量		上前后比较(%)	
			上前	上后		上前	上后	剩余容量	削减量减少
大青河	1995年	丰	146	102	90	56	12		79
		平	128	90	78	50	12		76
		枯	123	86	73	50	13		74
	2000年	丰	177	124	72	105	52		50
		平	155	109	62	93	47		49
		枯	148	104	58	90	46		49
船房河	1995年	丰	80	56	49	31	7		77
		平	69	49	42	27	7		74
		枯	67	47	40	27	7		74
	2000年	丰	96	68	39	57	29		49
		平	84	60	34	50	26		48
		枯	81	57	32	49	25		49
运粮河	1995年	丰	56	39	35	21	4		81
		平	49	34	30	19	4		79
		枯	47	33	28	19	5		74
	2000年	丰	68	47	28	40	19		53
		平	59	42	23	36	19		47
		枯	57	40	23	34	23		32

维普资讯 http://www.cqvip.com

参 考 文 献

[1] 顾丁锡。多元线性回归法在湖泊水质污染预测工作中的应用。环境科学与技术,1984,4(总第27期):62—72。
[2] 舒金华。湖泊输入输出模型预测方法的探讨。环境科学与技术,1984,4(总第27期):73—84。

PREDICTION OF EUTROPHICATION OF DIANCHI LAKE

Wu Deling

(*Kunming Municipal Research Institute of Environmental Science, Kunming* 650032)

Abstract

Organic pollution and eutrophication of Dianchi Lake are getting aggravated as a result of urban domestic sewage. In order to better understand the trend in water pollution of Dianchi Lake, such main factors reflecting the organic pollution and eutrophication of Dianchi Lake as COD, TN and TP are predicted by means of a multivariate linear regression and "Ken Koda" Model, and by allocating the pollution loads to each point source. In addition, the active role played by the wastewater treatment plant in controlling urban sewage is quantitatively expounded to provide a scientific basis for the control of water pollution in Dianchi Lake basin.

Key words Dianchi Lake, water quality prediction, COD, eutrophic material loads