

千岛湖水体营养物质的主导因子分析

吕唤春¹, 陈英旭¹, 方志发², 虞左明³

(1. 浙江大学华家池校区环境工程系, 浙江 杭州 310029; 2. 淳安县环境监测站, 浙江 淳安 311700;
3. 杭州市环境保护科学研究所, 浙江 杭州 310005)

摘 要: 应用因子分析方法对千岛湖 1989 年—1999 年间的常规监测资料进行了统计分析, 探讨了湖区不同点位营养物质的变化特征及其相互关系。分析表明, 各断面的总氮和总磷浓度在地表水标准的Ⅳ—Ⅴ类间, 已经超过导致富营养化的危险浓度; 湖区不同监测点位的 1—5 个主导因子均表达了原始信息的 75% 以上, 反映了不同点位水质要素和污染因子之间的相互关系。。

关键词: 湖泊; 水质; 因子分析

中图分类号: X832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)04 – 0318 – 04

Evaluation on Dominated Factors of Nutrient Matters in Qiandao Lake

LÜ Huan-chun¹, CHEN Ying-xu¹, FANG Zhi-fa², YU Zuo-ming³

(1. Zhejiang University, Department of Environmental Engineering, Hangzhou 310029, China; 2. Chun’ an Environmental Monitoring Station, Chun’ an 311700, China; 3. Hangzhou Institute of environmental Science, Hangzhou 310005, China)

Abstract: An evaluation on dominated factor was used to discuss the variation and correlation of nutrient matters in Qiandao Lake based on routine monitoring data during the period from 1989 to 1999. The analysis showed that concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) reached at the Ⅳ – Ⅴ levels, which went beyond the dangerous concentration limit for eutrophication. Over 75% original information of variation and correlation of water quality parameters in different monitoring sites could be expressed by the five principal factors.

Keywords: lake; water quality; factor analysis

千岛湖(新安江水库)位于浙江省淳安县境内,地处杭州西部,是 20 世纪 50 年代修建新安江电站大坝拦水形成的大型深水水库。水库坝址以上流域面积 10 442 km², 其中 60% 的流域面积在安徽省。千岛湖正常高水位 108 m 时的水域面积为 583 km², 相应库容达 178.4 亿 m³, 多年平均输入(入库)水量达 94.5 亿 m³, 大坝输出水量 91.07 亿 m³。千岛湖兼有发电、防洪、旅游、养殖、航运、饮用水源及工农业用水等多种功能, 湖泊水体本身就具有巨大的经济价值, 它又是作为浙江、杭州生命线的钱塘江的重要水源, 其水资源量约占钱塘江水资源量的 30%。因此千岛湖的生态环境对保障钱塘江中下游的环境质量和水体功能具有举足轻重的意义。本文根据 1989 年—1999 年

的湖区水质常规监测资料进行统计分析, 研究不同湖区水质变化的主要原因及其变化规律。

1 材料与方法

1.1 数据获取

每年的平水期(4 月)、丰水期(7 月)和枯水期(12 月)均在千岛湖内布置多个监测点, 常规监测项目包括水温、pH、SS、DO、COD_{Mn}、BOD₅、NO₂ – N、NO₃ – N、NH₃ – N、TN、TP、透明度、挥发性酚、氰化物、砷、总汞、六价铬、镉、锰、铜、铅、锌、碱度、电导率等, 监测及分析方法分别按照《环境污染监测方法》和《水和废水分析方法》进行。本文数据采用淳安县环境监测站 1989 年—1999 年间的常规监测资料。

千岛湖水质历来优异, 挥发酚、氰化物、砷等有毒物质和六价铬、镉、铜、锰、铅等重金属浓度长期在监测下限内, 同时考虑到监测点位的稳定性, 本文采用

了街口、航头岛、三潭岛、排岭水厂、毛家源和大坝 6 个监测点位的水温、pH、SS、DO、COD_{Mn}、BOD₅、NO₂ - N、NO₃ - N、NH₃ - N、TN、TP、透明度这 12 个参数。监测点位置如图 1，街口点位代表占千岛湖入湖水量 60% 的新安江来水水质，航头岛点位代表东北湖区水质，排岭水厂点位代表了城镇附近湖区水质，大坝点位代表了湖区出水水质，三潭岛点位代表了中心湖区的水质，毛家源点位则代表了西南湖区水质状况。

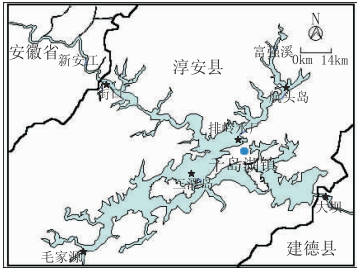


图 1 千岛湖水质常规监测点位分布图
Figure1 Sampling sites in the Qiandao Lake

1.2 因子分析方法

因子分析方法以多个变量之间的相互关系为基础,利用数学工具把众多的旧变量组合成少数独立的新变量——因子,用较少具有代表性的因子来概括多变量所提供的信息,找出影响监测数据的主要因素,反映环境间内在的关系^[1、2]。随着多元统计分析理论的逐步完善以及相关计算程序的商品化,越来越多的科技工作者在环境监测数据分析中采用了多元统计分析技术^[3-14]。本文采用研究各变量间相互关系的 R 型因子分析,利用 SPSS for Windows 软件计算统计数据的相关矩阵特征值、贡献率、积累贡献率及其正交旋转因子荷载矩阵^[15]。

2 结果与讨论

2.1 监测结果

千岛湖各个断面 1989 年—1999 年间的常规监测结果统计如表 1。表中数据显示湖区水质良好,除总氮、总磷和透明度 3 个湖泊水库特定项目外,其余

表 1 1989 年—1999 年间千岛湖水质监测结果统计
Table1 Statistics of water quality in Qiandao Lake during the period of 1989—1999

项目	街口			航头岛			排岭水厂		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
水温℃	11.0	30.5	18.0	10.0	27.0	16.4	10.0	27.5	17.2
pH	6.60	8.30	7.55	6.92	8.65	7.72	6.82	8.01	7.62
SS/mg·L ⁻¹	1.0	23.0	8.7	1.0	25.0	5.9	1.0	18.0	6.6
DO/mg·L ⁻¹	5.55	9.99	7.55	5.89	10.10	8.00	4.27	10.40	7.91
COD _{Mn} /mg·L ⁻¹	1.09	3.54	1.98	0.90	2.70	1.61	1.14	2.47	1.57
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	0.98	2.68	1.28	0.18	3.32	0.93	0.05	2.76	0.95
NO ₂ -N/mg·L ⁻¹	0.005	0.099	0.018	0.003	0.030	0.009	0.003	0.028	0.008
NO ₃ -N/mg·L ⁻¹	0.02	1.18	0.50	0.03	0.80	0.39	0.02	0.77	0.40
透明度/cm	20	500	225	80	750	328	150	800	454
TN/mg·L ⁻¹	0.10	2.62	1.10	0.16	1.74	0.87	0.11	1.30	0.76
TP/mg·L ⁻¹	0.014	0.191	0.047	0.010	0.140	0.033	0.010	0.161	0.036
NH ₃ -N/mg·L ⁻¹	0.02	1.45	0.20	0.02	0.57	0.13	0.02	0.64	0.13

项目	三潭岛			毛家源			大坝		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
水温℃	10.0	31.5	16.4	10.0	29.0	18.5	9.5	30.0	16.3
pH	6.80	8.38	7.65	6.80	8.20	7.62	6.80	8.26	7.58
SS/mg·L ⁻¹	1.0	15.5	3.8	1.0	14.4	5.3	1.0	20.0	4.2
DO/mg·L ⁻¹	5.40	10.41	8.06	5.82	9.99	8.33	5.74	10.41	8.04
COD _{Mn} /mg·L ⁻¹	1.00	2.54	1.63	0.89	4.16	1.82	0.64	1.97	1.39
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	0.12	1.95	0.85	0.47	6.61	1.25	0.10	2.96	1.51
NO ₂ -N/mg·L ⁻¹	0.003	0.515	0.027	0.003	0.206	0.015	0.002	0.014	0.005
NO ₃ -N/mg·L ⁻¹	0.04	0.85	0.38	0.04	0.77	0.35	0.02	0.70	0.34
透明度/cm	100	900	530	80	760	370	400	1100	706
TN/mg·L ⁻¹	0.10	1.68	0.79	0.24	1.87	0.87	0.11	1.50	0.69
TP/mg·L ⁻¹	0.010	0.370	0.033	0.013	0.430	0.043	0.010	0.086	0.028
NH ₃ -N/mg·L ⁻¹	0.02	0.56	0.09	0.02	0.82	0.14	0.02	0.49	0.07

指标均符合《地表水环境质量标准》(GHZB1-1999)中的Ⅰ类标准,但各断面的总氮和总磷这 2 个湖泊水库特定项目在Ⅳ—Ⅴ类间。在空间分布上,中心湖区(三潭岛)和出水口(大坝)的水质相对较好。

2.2 因子分析结果

对原始数据进行主成分分析,并对提取出的主导因子作方差极大旋转,最终的旋转因子载荷矩阵和前

5 个主因子的特征值、贡献率、积累贡献率如表 2,由表可知库区各断面 1—5 特征值的方差积累贡献率均大于 75%,可以作为主导因子充分反映各污染因子及水环境要素的变化情况。

由表 2 可知第一主因子在街口、航头岛、排岭水厂、三潭岛、毛家源和大坝点位的特征值和贡献率分别为 3.67、30.5%, 2.90、24.2%, 3.01、25.1%,

表 2 旋转因子载荷矩阵

Table 2 Rotated factor loading matrix on the first five principal factors

	街口					航头岛					排岭水厂				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
TN	0.898	0.037	-0.020	-0.021	0.042	0.892	0.041	-0.077	0.107	0.216	0.006	0.827	0.262	-0.233	-0.082
NO ₃ -N	0.784	0.083	-0.173	-0.280	0.049	0.833	0.103	0.103	-0.019	-0.185	0.028	0.936	0.043	0.180	0.042
NH ₃ -N	0.675	0.329	-0.001	0.343	-0.059	0.722	0.200	0.116	0.187	0.043	-0.016	0.277	0.810	-0.119	0.044
透明度	-0.590	-0.244	0.123	-0.135	-0.588	-0.587	0.239	0.078	0.567	0.239	-0.625	-0.322	-0.249	-0.222	-0.331
SS	0.356	0.792	0.081	-0.118	0.019	-0.028	0.068	0.872	0.170	-0.057	0.005	0.072	-0.005	0.917	-0.032
TP	0.498	0.693	0.213	0.100	0.148	0.078	0.086	0.753	-0.076	-0.117	0.522	-0.345	-0.126	0.483	-0.140
COD _{Mn}	-0.263	0.651	-0.250	0.124	0.314	0.124	0.259	0.008	0.789	0.028	0.309	-0.466	0.526	-0.186	-0.260
DO	0.152	0.015	-0.882	0.191	0.116	-0.181	-0.871	-0.118	-0.138	0.197	-0.919	0.018	0.010	-0.031	0.158
水温	-0.002	0.054	0.843	0.338	0.231	0.107	0.862	0.158	0.031	0.153	0.913	-0.039	0.064	-0.053	0.031
pH	-0.134	-0.209	0.090	0.785	-0.109	-0.021	-0.083	-0.151	0.113	0.838	-0.033	-0.022	0.092	-0.071	0.956
BOD ₅	0.123	0.374	-0.060	0.701	0.138	0.194	-0.482	0.011	0.691	0.031	-0.395	0.299	0.654	-0.108	0.251
NO ₂ -N	0.003	0.117	0.105	-0.059	0.907	0.085	0.267	0.588	-0.098	0.526	0.335	-0.080	0.658	0.278	0.078
特征值	3.665	1.897	1.461	1.289	0.905	2.900	2.106	1.616	1.288	1.123	3.008	2.641	1.574	1.164	1.030
贡献率	30.541	15.807	12.173	10.742	7.539	24.168	17.552	13.464	10.732	9.359	25.066	22.008	13.113	9.703	8.586
积累率	30.541	46.348	58.521	69.263	76.802	24.168	41.720	55.183	65.915	75.274	25.066	47.075	60.187	69.890	75.476
三潭岛					毛家源					大坝					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
TN	0.054	0.849	0.122	0.059	-0.373	0.826	0.120	-0.145	0.086	-0.056	-0.140	0.775	0.125	0.337	0.006
NO ₃ -N	-0.046	0.928	0.072	-0.005	0.144	0.884	0.077	0.057	0.121	0.001	-0.006	0.908	0.118	-0.057	0.022
NH ₃ -N	0.188	0.589	-0.157	0.634	0.049	0.475	0.419	0.033	0.474	0.105	-0.241	0.355	0.130	0.752	0.060
透明度	0.155	-0.199	-0.166	-0.587	-0.483	-0.380	0.001	-0.425	-0.471	-0.390	0.591	-0.131	-0.270	0.264	-0.039
SS	0.361	-0.137	0.014	-0.104	0.788	0.435	-0.091	0.097	-0.147	0.679	0.828	0.329	-0.144	-0.038	0.068
TP	0.647	-0.084	-0.289	0.241	0.349	-0.320	0.098	-0.186	0.166	0.751	0.648	-0.337	0.196	0.145	-0.085
COD _{Mn}	0.176	-0.097	0.156	0.880	-0.167	0.328	0.695	-0.032	0.073	0.232	-0.057	0.201	0.700	0.258	0.049
DO	-0.903	-0.004	-0.177	-0.068	-0.069	0.114	-0.049	-0.011	0.904	-0.034	-0.014	-0.069	-0.868	-0.025	0.016
水温	0.874	0.087	0.053	-0.002	0.045	-0.227	0.285	0.753	0.019	0.181	0.062	-0.192	0.548	0.039	0.663
pH	-0.177	0.204	-0.683	0.173	0.161	0.027	-0.198	0.824	-0.033	-0.289	-0.062	0.109	-0.113	0.187	0.843
BOD ₅	-0.293	0.281	0.667	0.253	-0.007	0.483	0.105	-0.106	0.345	0.084	-0.560	0.201	-0.075	0.320	-0.066
NO ₂ -N	0.062	0.149	0.803	0.190	0.192	-0.011	0.826	0.046	-0.048	-0.145	0.319	-0.140	0.247	0.774	0.267
特征值	2.756	2.584	1.602	1.289	0.987	3.214	1.759	1.627	1.464	0.996	2.785	1.897	1.690	1.411	1.224
贡献率	22.964	21.534	13.347	10.738	8.226	26.784	14.659	13.558	12.199	8.300	23.208	15.808	14.083	11.758	10.20
积累率	22.964	44.498	57.845	68.583	76.810	26.784	41.443	55.001	67.200	75.500	23.208	39.016	53.099	64.857	75.057

2.76、23.0%, 3.21、26.8%, 2.79、23.2%, F₁ 为最主要的因子。表 2 的旋转因子载荷矩阵显示街口和航头岛点位的 TN、NO₃-N、NH₃-N 是 F₁ 的主要正载荷,透明度是主要负载荷;毛家源点位主要正载荷是 TN、NO₃-N、NH₃-N,负载荷为 BOD₅;排岭水厂和三潭岛点位主要正载荷为温度和 TP,主要负载荷为 DO;大坝点位主要正载荷为透明度、SS、TP,负载荷为

BOD₅。由此可见,千岛湖区不同点位的污染物来源和水质主要影响因素存在差异,反映了不同点位的水环境变化内部所蕴含的环境成因,结合湖区环境现状和点位分布,在街口、航头岛、毛家源附近,主要受农业非点源污染影响,因此以氮污染对水质的影响最大;在排岭水厂和三潭岛,以水温对附近的水质影响最大。

第二主因子 F_2 在街口的主要正载荷是 SS、TP、 COD_{Mn} , 该因子着重反映了水土流失对主要入湖河流水质的影响; 航头岛点位的主要正载荷是水温, 负载荷是 DO, 该因子说明了水温对水质的影响; 毛家源的主要正载荷是 COD_{Mn} ; 排岭水厂、三潭岛、大坝的主要正载荷是 TN、 $NO_3 - N$ 。第二主因子在不同点位所表达的环境要素存在较大的差异, 反映了不同湖区水环境的营养物来源和消耗机理有差异。

第三主因子 F_3 在街口的主要正载荷是水温, 负载荷是 DO, 该因子说明了水温对水质的影响; 航头岛点位的主要正载荷是 SS、TP, 该因子说明了上游富强溪流域水土流失对水质的影响; 排岭水厂的主要正载荷是 $NH_3 - N$ 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 $NO_2 - N$; 三潭岛点位的正载荷是 BOD_5 、 $NO_2 - N$, 负载荷是 pH; 毛家源点位正载荷是水温、pH; 大坝点位的正载荷是 COD_{Mn} , 负载荷是 DO。

第四主因子 F_4 在街口的正载荷是 pH、 BOD_5 ; 航头岛点位的主要正载荷是 COD_{Mn} 、 BOD_5 ; 排岭水厂的主要正载荷是 SS; 三潭岛点位的正载荷是 $NH_3 - N$ 、 COD_{Mn} , 负载荷是透明度; 毛家源点位正载荷是 DO, 负载荷是透明度; 大坝点位的正载荷是 $NH_3 - N$ 、 $NO_2 - N$ 。

第五主因子 F_5 在街口的正载荷是 $NO_2 - N$; 航头岛和排岭水厂点位的正载荷是 pH; 三潭岛点位的正载荷是 SS; 毛家源点位正载荷是 SS、TP; 大坝点位的正载荷是水温、pH。

3 结论

1989 年—1999 年间的水环境常规监测资料统计分析表明, 千岛湖水体目前的水质除湖泊水库特定项目外, 其余指标均满足地表水的 I 类标准, 但各断面的总氮和总磷在 IV—V 类间(湖泊水库特定项目), 已经超过导致富营养化的危险浓度^[16]。在空间分布上, 中心湖区和出水口的水质相对较好。

因子分析表明, 湖区不同监测点位的 1—5 个主导因子均表达了原始信息的 75% 以上, 反映了不同点位水质要素和污染因子之间的相互关系; 对同一主因子, 不同监测点位的标识污染物不同, 反映了不同湖区水环境的污染物来源和消耗机理不同。

因子载荷矩阵显示, 街口、航头岛、毛家源点位的 TN、 $NO_3 - N$ 、 $NH_3 - N$ 是第一主因子的主要正载荷, 该因子反映了水质的环境成因, 结合湖区环境现状和点位分布, 此 3 个监测点附近均为农业和林业种植区, 主要受非点源污染影响, 因此以氮污染对水质的影响最大。

参考文献:

- [1] 吴聿明. 环境统计学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.
- [2] 卢崇飞, 高蕙旋, 叶文虎. 多元统计分析方法及其在环境科学中的应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [3] 刘元波, 高锡芸. 太湖北部梅梁湾水域水质因子聚类[J]. 湖泊科学, 1997, 9(3): 255 - 260.
- [4] 李连科. 因子分析法用于近岸海域大气污染来源的判别[J]. 海洋环境科学, 1998, 17(1): 30 - 34.
- [5] 廖奇志, 陆晓华. 山丹湖环境水化学特征的主因子分析[J]. 华中理工大学学报, 1998, 26(增刊): 65 - 67.
- [6] 卢文喜. 长春南湖水质成分的因子分析[J]. 世界地质, 1999, 18(3): 61 - 65.
- [7] 刘瑞秋, 张水元. 长江中下游地区若干湖泊水质的多元分析与比较[J]. 水生生物学报, 2000, 24(5): 339 - 445.
- [8] 尹魁浩, 袁弘任, 阮 娅, 等. 丹江口水库水质要素变化特征及其相互关系[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(1): 75 - 81.
- [9] Marisol V, Rafael P, Enrique B, et al. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory date analysis[J]. *Wat Res*, 1998, 32: 3 581 - 3 592.
- [10] Perona E, Bonilla I and Mateo P. Spatial and temporal changes in water quality in a Spanish river[J]. *The Science of the Total Environment*, 1999, 241: 75 - 90.
- [11] Morales M M, Marti P, Llopis A, et al. An environmental study by factor analysis of surface seawaters in the Gulf of Valencia[J]. *Analytica Chimica Acta*, 1999, 394: 109 - 117.
- [12] Gyung S P and Soung Y P. Long - term trends and temporal heterogeneity of water quality in tidally mixed estuarine waters[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40: 1201 - 1209.
- [13] Juan C C, Rosario J E and Antonio P B. Numerical analysis of hydro-geochemical data: a case study[J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15: 1053 - 1067.
- [14] Vidal M, Lopez A, Santoalla M C, et al. Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer[J]. *Agricultural Water Management*, 2000, 45: 1 - 15.
- [15] 洪 楠, 林爱华, 李志辉, 等. SPSS for Windows 统计分析教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [16] 蒲新民, 吴玉霖. 浮游植物的营养限制研究进展[J]. 海洋科学, 2000, 24(2): 27 - 30.