

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.06.009

基于主成分分析的博斯腾湖水污染动态评价

唐 兵¹, 安瓦尔·买买提明^{1,2}, 玉素甫江·买买提^{1,2}

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;
2. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐, 830054)

摘要:运用主成分分析法和系统聚类法对新疆博斯腾湖近 10 a 的水污染状况进行综合评价和对比分析。分析结果指出: 2000—2009 年期间, 2000 年的水污染综合评价得分最高, 说明该年水污染程度是 10 a 中最为严重的。得到结论如下: 近 10 a 的博斯腾湖水污染的综合评价得分呈下降趋势, 说明水污染程度有所降低, 但从聚类分析结果发现其改善幅度并不大, 甚至从 2005 年起, 水污染综合得分有趋于上升的趋势, 说明目前博斯腾湖水污染问题依然严峻, 水质型污染突出, 其污染发展趋势仍不容乐观。

关键词:主成分分析; 水污染; 综合评价; 博斯腾湖; 新疆

中图分类号: X820.6 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2012)06-0041-05

Dynamic evaluation of water pollution in Bosten Lake based on principle component analysis

TANG Bing¹, Anwaer MAIMAITIMING^{1,2}, Yusufujang MAIMAITI^{1,2}

(1. School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;
2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Land, Urumqi 830054, China)

Abstract: The water pollution in Bosten Lake in Xinjiang over the last ten years was evaluated and analyzed using the principal component analysis and the system clustering method. Analysis shows that, during the period from 2000 to 2009, the score of comprehensive evaluation of water pollution in 2000 was the highest, indicating that the most serious water pollution over the last ten years occurred in this year. The score of comprehensive evaluation of water pollution in Bosten Lake over the last ten years has a declining trend, indicating a water pollution alleviation in the lake. Clustering analysis shows that the water pollution in the lake has not been alleviated, and the score of comprehensive evaluation of water pollution even had an increasing trend in 2005, which indicates that the water pollution in Bosten Lake was still serious and the water quality was unsatisfactory.

Key words: principal component analysis; water pollution; comprehensive evaluation; Bosten Lake; Xinjiang

水环境是一个复杂的多因子体系, 极易受到各种因素影响^[1]。新疆地处干旱、半干旱地区, 该地区特殊的自然条件和社会历史背景, 致使其社会经济的发展对水的依赖程度很高。同时, 社会经济的快速发展也造成了水环境的污染, 并由此引起了一系列生态环境问题, 从而对人类的生存环境及区域经济的可持续发展造成了极大的威胁^[2]。而博斯

腾湖地处生态环境十分脆弱的新疆焉耆盆地, 它是焉耆盆地、孔雀河沿岸及塔里木河下游各族人民赖以生存的基础, 可以说博斯腾湖对新疆尤其是南疆地区的经济发展、社会稳定和民族团结起着无法替代的作用^[3-5]。但是, 自 20 世纪 60 年代以来, 由于博斯腾湖的自然环境的变迁、大规模工农业开发活动以及焉耆盆地人口数量的急剧增加, 使得工业废

基金项目: 新疆维吾尔自治区新疆干旱区湖泊环境与资源实验室基金(XJDX0909-2010-02)

作者简介: 唐兵(1984—), 男, 硕士, 从事城市地理与规划研究工作。E-mail: 252750704@qq.com

通信作者: 安瓦尔·买买提明, 维吾尔族, 教授。E-mail: anwaer@xjnu.edu.cn

水和生活污水急剧增多,这些污染物大多直接或间接地排入了博斯腾湖,加之对博斯腾湖的不合理开发利用,导致近年来博斯腾湖水位逐渐下降,矿化度不断增加,湖水污染问题日益突出^[6-7]。

鉴于博斯腾湖的重要地位和面临的水环境恶化状况,许多专家、学者已对博斯腾湖开展了大量的研究工作,包括博斯腾湖湿地调查研究^[8-9]、博斯腾湖环境调查与污染防治研究^[5,10]、焉耆盆地水盐变化监测^[11-12]等,积累了较为丰富的研究资料。笔者在总结国内外湖泊污染评价经验的基础上,结合博斯腾湖流域具体情况,运用主成分分析法和系统聚类法对博斯腾湖湖水的污染程度进行定量分析,以便全面了解博斯腾湖近 10 a 的水污染程度的变化状况,旨在为加快博斯腾湖环境治理和促进当地社会经济可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

博斯腾湖位于新疆天山南坡焉耆盆地的东南部,巴音郭楞蒙古自治州博湖县境内,是中国最大的内陆淡水湖。地理位置为 41°56' ~ 42°14' N, 86°40' ~ 87°56' E,水域面积约 1 100 km²,东西长 55 km,南北宽 25 km,湖面海拔 1 048 m(吴淞基准面),平均深度 9 m,最深处 17 m。整个湖区由小湖区、大湖区和黄水区 3 个相连水域组成。

博斯腾湖既是开都河的尾间又是孔雀河的源头,对开都河及孔雀河的蓄、引、灌、排起到了巨大的调节作用^[13],并且是焉耆盆地、库尔勒市和尉犁县工农业生产及人民生活的主要的水源地,同时也是塔里木河下游生态应急输水的直接水源地。

2 数据来源与研究方法

数据来源于焉耆县、博湖县、和硕县和和静县 4 县环保局及相关部门提供的水质监测结果数据及《巴州环境状况公报》(2001—2010 年)、《新疆统计年鉴》(2001—2010 年)统计数据。运用主成分分析法对博斯腾湖中的 pH 值、总硬度、COD_{Mn}、硫酸盐、氯化物等 9 项指标进行定量分析和综合评价,为了进一步了解博斯腾湖水污染程度的动态变化过程,还运用聚类分析法对 2000—2009 年各年份水污染程度的差异进行分析。

2.1 主成分分析法

主成分分析是对多变量平面数据进行最佳综合和简化,即在保证数据信息丢失最少的原则下,对高维变量空间进行降维处理^[14]。利用 SPSS 19.0 进行主成分分析的步骤如下。

a. 数据的标准化处理。

$$x_{ij}^* = (x_{ij} - x_i) / S_{ij}$$

式中: $i = 1, 2, \dots, n, n$ 为样本数; $j = 1, 2, \dots, p, p$ 为样本原变量数。

b. 计算数据标准化之后的协方差矩阵 R 。

c. 首先解特征方程 $|\lambda_j R - I| = 0$, 求出特征值 λ_j ($j = 1, 2, \dots, p$), 并使其按大小顺序排列, 即 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$; 然后分别求出对应于特征值 λ_j 的特征向量 u_j ($j = 1, 2, \dots, p$)。

d. 确定主成分的个数。累计方差的贡献率达到 85% 以上时, 取前 m 个主成分:

$$F_i = \beta_{j1}x_1 + \beta_{j2}x_2 + \dots + \beta_{jp}x_p$$

e. 计算出各个主成分的得分和综合得分。根据本文具体情况, 综合评价选用 m 个主成分的加权值作为综合评价值, 权重值取各主成分的贡献率 b_j 。

2.2 系统聚类法

为了使主成分分析结果进一步明晰化, 采用系统聚类法对博斯腾湖 10 a 的水污染程度进行聚类分析。在主成分分析的基础上进行聚类的具体步骤如下^[15]: ①选取进行聚类分析的聚类指标, 本文选取各年水污染程度综合得分 Z 进行聚类; ②采用欧氏距离 (Euclidean distance) 测度样本间距离; ③选用组间平均距离法 (between-groups linkage) 计算类间的距离, 并对样本进行归类。

3 博斯腾湖水污染综合评价

3.1 水污染现状的统计分析

环博斯腾湖周边的县市、团场每年约有 5 亿 m³ 农田排水、工业废水和生活污水通过农业排水渠或城市排水管网进入博斯腾湖, 每年滞留湖中的各类盐分达 2.17 万 t, 造成湖水变咸、矿化度提高、富营养化趋势加剧^[10,16]。根据污水来源和性质, 可以将污染源排出的废污水分为: 工业废水、农田排水、城镇污水及工业、生活、农田混合废水, 这些废污水通过湖区周围的 25 条主要用于排污的排污渠进入湖中, 这些排污渠便成为向博斯腾湖中输入污染物的主要通道。在对这些排污渠进行调查分析发现: 大湖区、小湖区的污染较轻, 而黄水区水污染较为严重(表 1)。主要原因是黄水区水域面积虽仅占博斯腾湖总水域面积的 12%, 但是入湖的污染物占整个人

表 1 博斯腾湖各湖区入湖排污渠状况

湖区	排污渠汇入水域	排污渠汇入条数/条	排污渠特性	主要污染物
小湖区		8	全为农田排水	COD、BOD ₅ 、NH ₃ -N
大湖区		7	工业、生活排水(1条) 农田排水(6条)	COD、NH ₃ -N、挥发酚
黄水区		10	工业、生活排水(4条) 农田排水(6条)	COD、NH ₃ -N、P、挥发酚

湖污染物的比例却是最高,以可溶盐、COD、NH₃-N 为例,分别占入湖污染物总量的 79%、91%、89%,而且 25 条排污渠中有 10 条排污渠都是直接汇入黄水区的,从而反映出博斯腾湖各湖区水污染程度在区域上的差异性。

3.2 水污染评价指标的主成分分析过程

利用 SPSS 19.0 统计分析软件,对博斯腾湖 2000—2009 年 9 项指标组成的 10×9 阶的数据矩阵进行主成分分析。根据 Bartlett 球度检验得出的相伴概率为 0 可知,相伴概率小于 0.05 的显著性水平,因此拒绝 Bartlett 球度检验的零假设,认为适合做主成分分析。

根据累计方差贡献率大于 85% 的原则,本文共提取 3 个主成分,经正交旋转后,3 个主成分的特征值、方差贡献率及累计贡献率见表 2。

表 2 特征值及主成分贡献率和累计贡献率

主成分	特征值	主成分贡献率/%	累计贡献率/%
F_1	5.520	61.337	61.337
F_2	1.828	20.314	81.651
F_3	1.062	11.796	93.447

由表 2 可知,前 3 个主成分的累积贡献率达到 93.447%,因此,可以由前 3 个主成分代表原始因子的全部信息,即利用主成分分析方法把选取的 9 项指标合成 3 个主成分,从数值分析来看完全能够科学合理地反映原始数据的总体特征。运用方差最大旋转法,对成分矩阵进行正交旋转,使每个因子具有最高载荷的变量数最小(载荷矩阵表略),以便简化对因子的解释。

通过分析可以看出: F_1 贡献率占到 61.337%,与之有关联的指标因子主要有 COD_{Mn}、氯化物、TP 污染等。其主导因子主要反映水体有机污染的指标,这也说明博斯腾湖水污染主要是由有机污染物造成的。其中:COD_{Mn} 是湖泊中的主要有机污染物;而 TP 主要来自农田化肥、农药以及生活污水和工业废水的排放,同时也是引起湖泊富营养化的营养元素之一。 F_1 代表的是增长较快的主要污染物,所以可以将 F_1 看成潜力因子。 F_2 的贡献率占到 20.314%,与之有关联的指标因子主要有 TN、可溶性总固体和硫酸盐,它们主要来自于农田洗盐的高矿化度污水以及上游河流、周边工业和生活污水,这些指标表征一定的水污染综合状况和富营养化状况。 F_3 的贡献率占到 11.796%,与之有关联的指标因子主要有透明度、pH 值和总硬度,其中,总硬度的大小表示湖水的矿化度的高低,来自上游和周边不合理的开发及工业污水、生活污水不加控制地排入博斯腾湖,致使湖水盐类污染严重,矿化度升高。透明度、pH 与

生活污水接纳和降解有关,pH 值可以代表水体的酸碱环境,当地土壤盐碱化和大量的农田排水使得博斯腾湖 pH 值居高不下,水质偏碱性。

通过对三大主成分的分析,不但可以定量分析出每种指标对水污染的贡献率大小,而且可以通过指标类型和贡献率确定造成水污染的主要类别及污染源,从而为“对症下药”治理博斯腾湖的水污染问题提供科学依据。

3.3 水污染综合评价分析结果

对选取的 3 个主成分因子 F_1 、 F_2 、 F_3 建立主成分旋转后的载荷值,得到各因子的得分系数矩阵(表 3),根据因子得分系数矩阵,得到博斯腾湖各年的各主成分的得分(即各年标准化后的原始变量与相应的得分系数的乘积)。表达式为:

$$Z_1 = 0.397X_1 + 0.290X_2 + 0.402X_3 - 0.148X_4 - 0.033X_5 + 0.031X_6 - 0.007X_7 - 0.226X_8 + 0.254X_9$$

$$Z_2 = -0.198X_1 - 0.051X_2 - 0.170X_3 + 0.366X_4 + 0.274X_5 + 0.219X_6 + 0.216X_7 + 0.183X_8 - 0.350X_9$$

$$Z_3 = -0.002X_1 + 0.013X_2 - 0.250X_3 - 0.095X_4 + 0.072X_5 + 0.032X_6 + 0.208X_7 + 0.592X_8 + 0.354X_9$$

表 3 因子得分系数矩阵

污染物名称	评价指标	主成分因子		
		F_1	F_2	F_3
COD _{Mn}	X_1	0.397	-0.198	-0.002
氯化物	X_2	0.290	-0.051	0.013
TP	X_3	0.402	-0.170	-0.250
TN	X_4	-0.148	0.366	-0.095
可溶性总固体	X_5	-0.033	0.274	0.072
硫酸盐	X_6	0.031	0.219	0.032
总硬度	X_7	-0.007	0.216	0.208
pH	X_8	-0.226	0.183	0.592
SD	X_9	0.254	-0.350	0.354

算出各主成分的得分后,再乘以各主成分的方差贡献率,即可得到各年份水污染程度的综合得分 Z (表 4)。表达式为:

$$Z = 0.61337Z_1 + 0.20314Z_2 + 0.11796Z_3$$

表 4 博斯腾湖各年水污染程度综合得分

年份	Z_1	Z_2	Z_3	综合得分 Z
2000	1.5803	0.4346	1.9283	1.29
2001	1.0669	0.3993	-2.1550	0.48
2002	0.2780	1.4319	-0.2060	0.44
2003	0.6433	0.2776	-0.1050	0.44
2004	-0.4290	0.3257	0.3708	-0.15
2005	-2.0730	1.1370	0.1840	-1.02
2006	-0.4850	-0.7300	0.1014	-0.43
2007	-0.2900	-0.3540	-0.2940	-0.28
2008	-0.2660	-1.1470	0.4747	-0.34
2009	-0.0260	-1.7750	-0.2990	-0.41

由于综合指标 Z 反映了综合污染状况的多个

方面的信息,因此可以利用综合指标 Z 对各年份水污染程度进行综合评价。 Z 值越小,污染程度越轻;反之,则说明污染程度越重。

利用主成分的 Z 得分对各年份水污染程度进行综合评价,可以较精确地把握各年份水污染状况,以便对各年份水污染程度进行动态对比分析。通过图 1 可知,近 10 a 间,2000 年水污染综合评价得分最高,这说明 2000 年水污染程度是近 10 a 中最为严重的,而 2005 年相对最轻。总体上,近 10 a 的博斯腾湖水污染的综合评价得分呈下降趋势,说明这些年湖水污染治理取得一定的成效。近年来,由于政府与有关部门对博斯腾湖流域附近的造纸厂、纺织厂等污染企业进行规范、整顿和外迁,要求未经达标处理的污水不得排入湖内,对违规的企业或法人追究其刑事责任;并对大中型企业重点污染排污口也进行了规范化整治,实施污染在线动态监测;对新建项目严格执行环境影响评价制度。这一系列的举措对遏制湖水水质进一步恶化起到了很大作用。

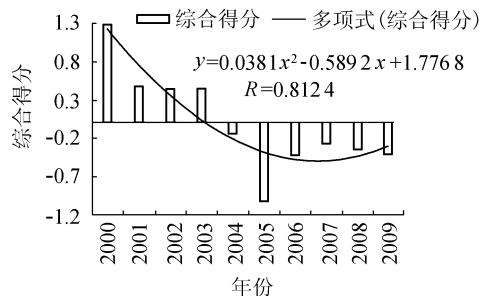


图 1 博斯腾湖水污染动态变化曲线

4 博斯腾湖水污染状况聚类分析

由于主成分分析并不能准确地界定出各年份水污染状况的相似程度,也就无法进一步分析各年份水污染程度的差异。而聚类分析是定量研究地理事物分类问题和地理分区问题的重要方法,因此为使结果进一步明晰,以主成分分析的各年份综合得分为指标,应用聚类分析划分出不同的发展类型对博斯腾湖 10 a 的水污染程度进行对比分析。运用 SPSS19.0 软件进行运算分析,得出聚类系谱图(图 2),当欧氏距离取值为 10 时,基于欧氏距离相近度,将博斯腾湖相对污染程度按年份划分为 3 种类型:

第 1 类:2000 年,在这 10 a 间的对比中污染程度相对较重,污染综合得分为 1.29。

第 2 类:2001—2003 年,在这 10 a 间的对比中污染程度属中等,综合得分均值为 0.45。与 2000 年相比,污染程度有所改善。

第 3 类:2004—2009 年,在这 10 a 间的对比中

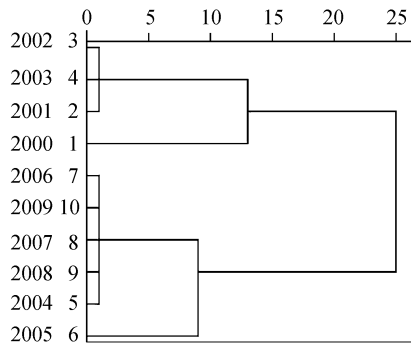


图 2 博斯腾湖水污染程度聚类系谱图

污染程度属污染相对较轻,综合得分均值为 -0.44,污染程度较前几年改善较大。但从图 1 不难发现,从 2005 年起,水污染综合得分有趋于上升的趋势,这说明博斯腾湖水污染的治理和监管难度依然很大,水污染的发展趋势不容乐观。

需要说明的是,排序(表 4)和聚类(图 2)出现不一致的情况,主要是因为主成分分析侧重于考查各年水污染程度综合水平,而聚类分析则侧重于考查各年水污染程度的特征相似性。

5 结语

博斯腾湖水污染分析结果显示:工业污染物贡献率非常低,城镇生活污水类污染物贡献率也相对比较稳定,而与农业生产密切相关的 TP、氯化物、硫酸盐、可溶性总固体、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、pH 等因子的贡献率相当大,这是由于随着耕地的不断扩大,该地土壤渍化问题十分突出,灌区内每年需要大量水去洗盐,而这些高矿化度洗盐水又通过排污渠进入博斯腾湖,造成湖水矿化度增加,加之有机化肥和农药的大肆使用,导致有机质污染与盐污染日益严重,其中磷、氮等是导致湖水出现富营养化的重要原因,因此,改善水体环境质量的出路在于加大对农田排污和入湖河流水体的质量管理。

从主成分分析可以看出,总体上,近 10 a 的博斯腾湖水污染的综合评价得分呈下降趋势,说明水污染程度总体上有所改善。但是,从聚类分析不难发现 10 a 间改善幅度并不大,从 2005 年起,水污染综合得分有趋于上升的趋势;从水质类别上判定,水污染仍处于较严重的水平。建议有关部门还应进一步加强对博斯腾湖水污染的治理力度,污染防治的相关配套政策仍需完善。

参考文献:

[1] 王秀娜,杨太保,闫晶,等.兰州市水污染特征分析与预测[J].水资源保护,2011,27(6):32-35.
 [2] 陈红,韩青,周宏伟.淀山湖水污染状况分析与综合治理

对策研究[J]. 水资源保护,2011,27(6):36-40.

[3] 李新虎,宋郁东,张奋东,等. 博斯腾湖最低生态水位计算[J]. 湖泊科学,2007,19(2):177-181.

[4] 袁峡,杨佃华. 新疆博斯腾湖水环境问题研究[J]. 干旱区研究,2008,25(5):735-740.

[5] 胡安焱. 博斯腾湖水水质评价的属性识别模型[J]. 水资源保护,2006,22(6):25-27.

[6] 徐海量,陈亚宁,李卫红. 博斯腾湖湖水污染现状分析[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(3):95-97.

[7] 张建平,胡随喜. 博斯腾湖矿化度现状分析[J]. 干旱环境监测,2008,22(1):19-23.

[8] 万洪秀,孙占东,王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理,2006,9(2):248-254.

[9] 杨光华,包安明,陈曦,等. 新疆博斯腾湖湿地生态质量的定量评价[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(2):119-124.

[10] 李卫红,陈跃滨,徐海量,等. 博斯腾湖的水环境保护与可持续利用对策[J]. 地理研究,2003,22(2):185-191.

[11] 钟瑞森,童新光. 新疆博斯腾湖水盐平衡及水环境预测[J]. 湖泊科学,2005,20(1):58-64.

[12] 王水献,董新光,刘磊. 新疆焉耆盆地绿洲水盐双梯度下天然植被多样性分异特征[J]. 冰川冻土,2010,32(5):999-1006.

[13] 苏宏超,高前兆,王进,等. 塔里木河流域第七次应急输水期间径流情势及其对河流生态的影响[J]. 水资源保护,2011,27(5):83-87.

[14] 王璐. SPSS 统计分析基础、应用与实践[M]. 北京:化学工业出版社,2010:208-224.

[15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002:44-56.

[16] 徐海量,郭永平,李卫红. 新疆博斯腾湖水污染特点分析[J]. 干旱区研究,2003,20(3):192-196.

(收稿日期:2011-11-12 编辑:高渭文)

(上接第40页)

[4] FLECKMENSTEIN J, ANDERSON M, FOGG G, et al. Managing surface water-groundwater to restore fall flows in the cosummes river [J]. Journal of Water Resources Planning and Management,2004,130(4):301-310.

[5] 贾仰文,王浩,仇亚琴,等. 基于流域水循环模型的广义水资源评价[J]. 水利学报,2006,37(9):1051-1055.

[6] FREEZE R A, HARLAN R L. Blue-print for a physically-based digitally simulated hydrologic response model [J]. Journal of Hydrology, 1969(9):237-258.

[7] PERKINS S P, SOPHOCLEOUS M. Development of a comprehensive watershed model applied to study stream yield under drought conditions [J]. Ground Water, 1998,37(3):418-426.

[8] 陶月赞,蒋玲. 地下水补给对河流污染物浓度衰减过程的影响[J]. 水利学报,2008,39(2):245-248.

(收稿日期:2011-11-09 编辑:高渭文)

欢迎订阅 2013 年《水资源保护》

中国科技核心期刊 RCCSE 核心期刊

ISSN 1004-6933 CN 32-1356/TV

《水资源保护》是由河海大学和中国水利学会环境水利研究会主办的科技期刊。杂志针对我国水资源短缺、用水效率不高、水污染严重等突出问题,探讨水资源保护工作中的基础研究、防治技术、宏观管理及水环境治理问题,关注重点是水环境、水资源和大江大湖的环境生态问题和可持续发展。主要栏目有科学研究、应用技术、综述评、管理研究等。

《水资源保护》是中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库统计源期刊,已被美国化学文摘(CA)、波兰哥白尼索引(IC)数据库、“中国期刊网”、“中国数字化期刊群”、“水信息网”、“北极星网”、“中华期刊网”、“中文科技期刊数据库”“中文科技期刊数据库”等收录和引用,长期以来一直都是水利界和环保界备受关注的重点期刊,2012年被评为中国高校特色期刊。

《水资源保护》主要读者对象是全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校师生,邮发代号:28-298,双月刊,96页,12元/期,全年共计72元,每逢单月出版。欲订购者,请向当地邮局订购。若无法从邮局订阅,亦可登陆本刊网站下载征订单。

编辑部地址:南京市西康路1号 河海大学《水资源保护》编辑部

邮政编码:210098 电话/传真:(025)83786642 E-mail:bh@hhu.edu.cn

http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexbh.asp?d_id=37