



北京師範大學

Water environment health in Beijing

**water resources and water
resource planning in China**



Liu Jingling
School of Environ.
Beijing Normal Uni.
9.19-2008



主要内容

北京師範大學

- ❁ 中国水资源管理
- ❁ 北京市概述
- ❁ 北京市水环境问题诊断
- ❁ 生态系统健康评价
- ❁ 水量水质联合调度方案



中国七大流域:

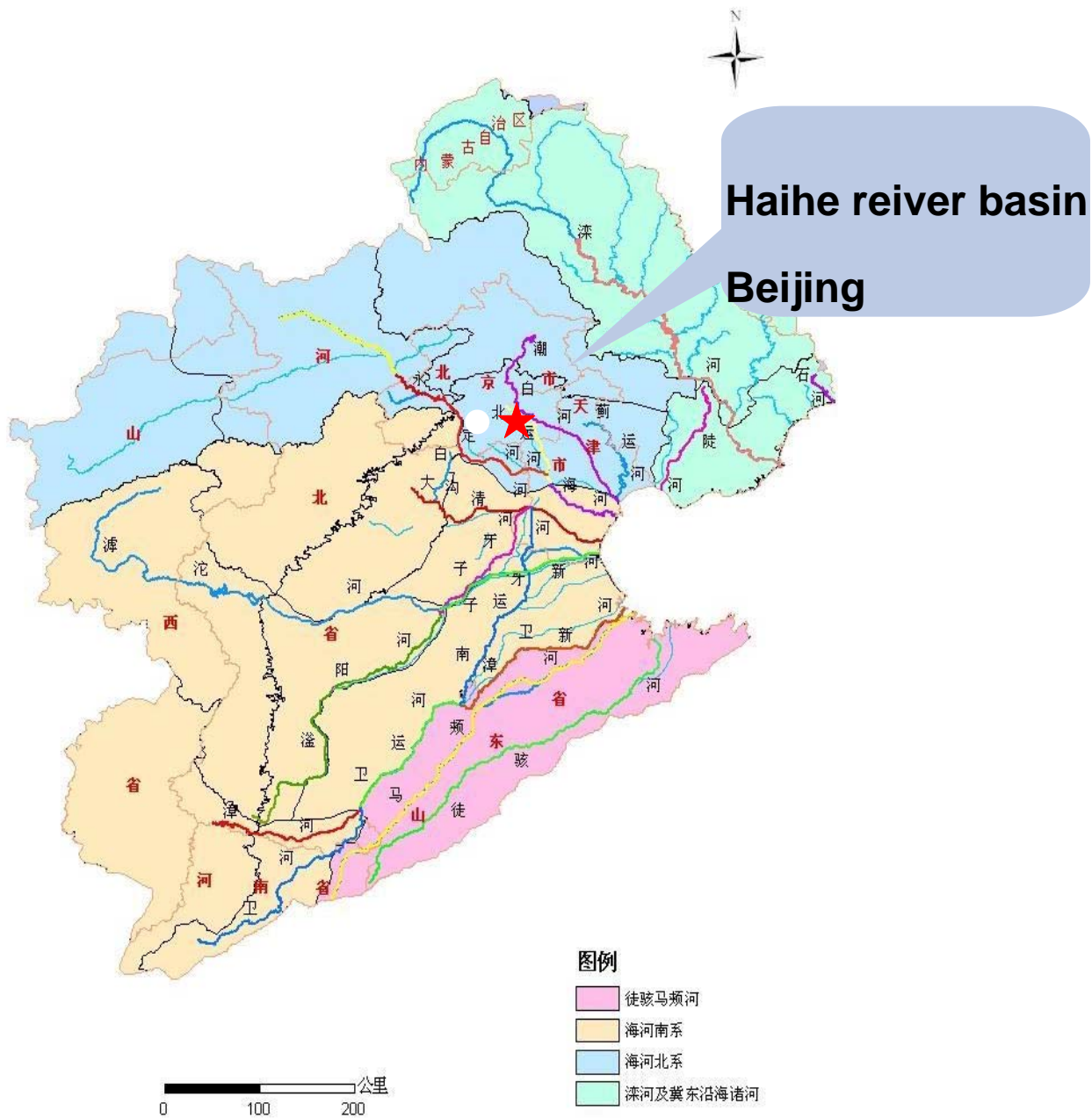
长江、黄河、海河、淮河、珠江、松花江和辽河

北京師範大學



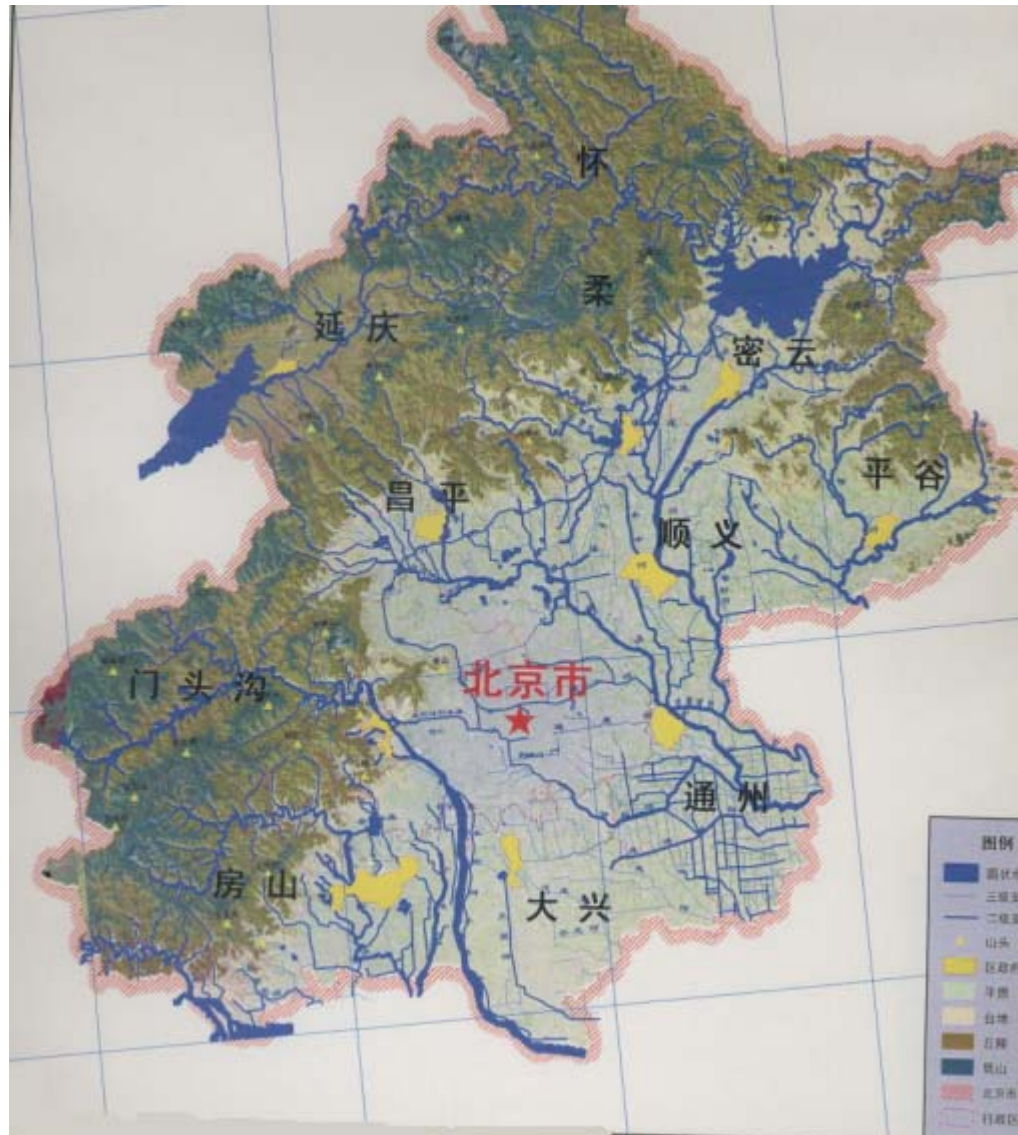


北京師範大學





北京師範大學



Beijing City
+10 districts:
Yanqing
Huairou
Miyun
Pinggu
Sunyi
Changping
Tongzhou
Daxing
Fangshan
Mentougou



Beijing area:北纬39° 56' , 东经116° 20' ,面积

16807.8km²

Population:1949年420.1万人增长到2007年的1492.7万人。

北京師範大學





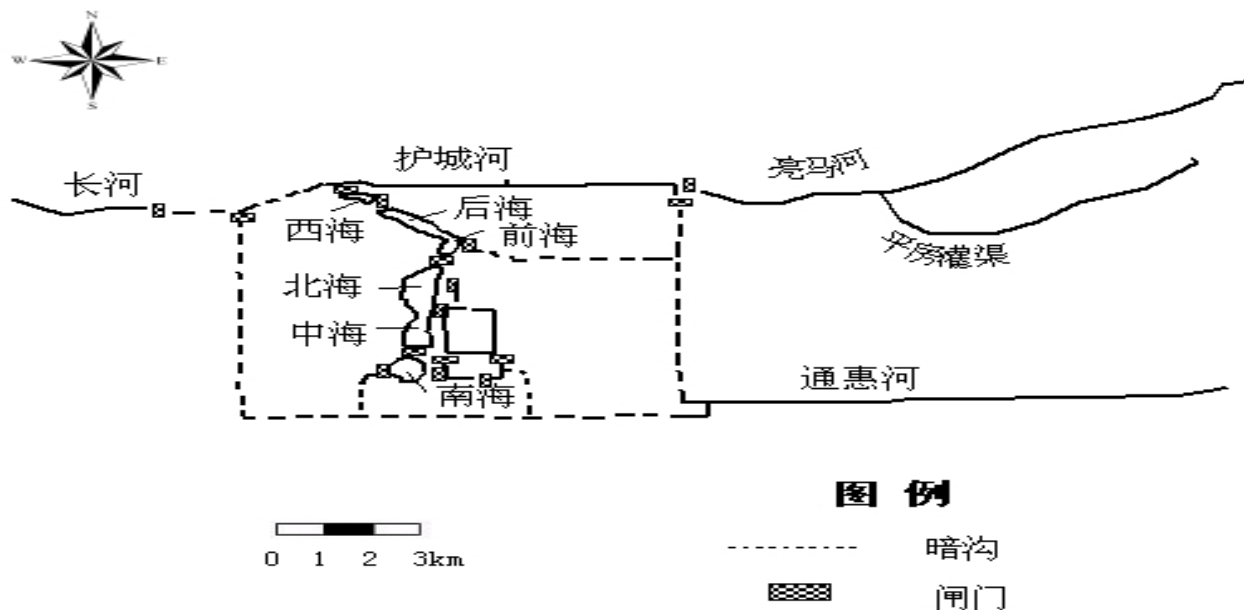
北京師範大學

研究区-北京内城水系

研究区分为“五河一湖”：

五河：京密引水渠昆玉段；永定河引水渠；北护城河；内城河；亮马河

一湖：六海湖泊群





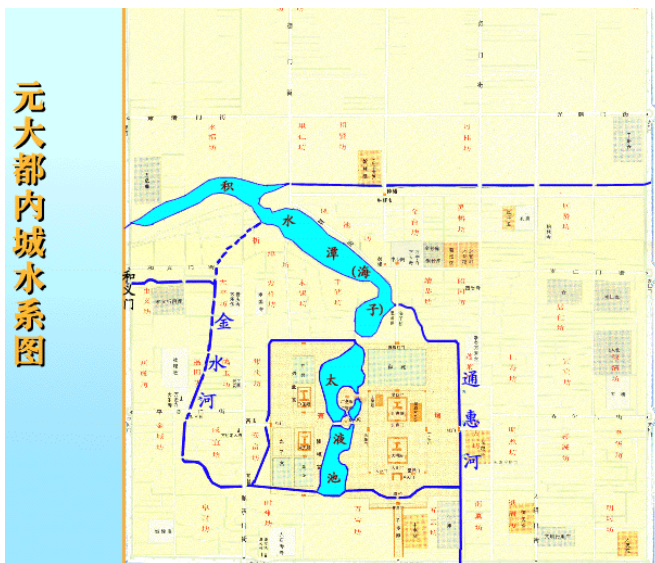




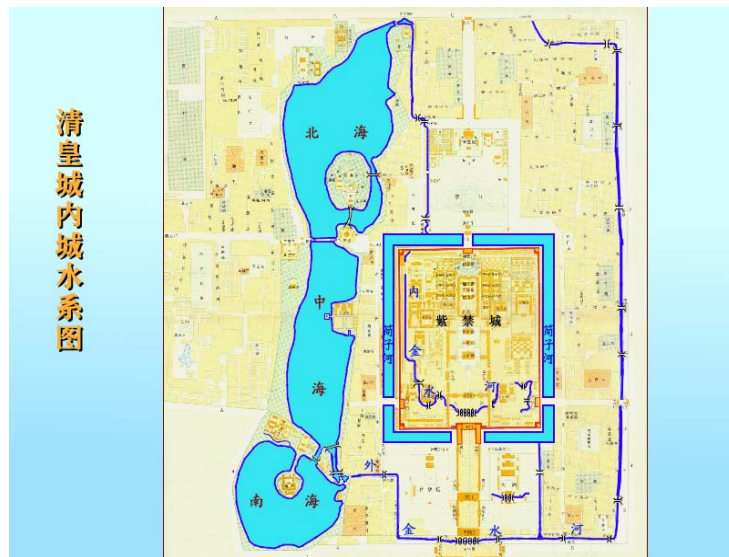
内城河湖水系历史演变

北京師範大學

元大都内城水系图



清皇城内城水系图



内城河系流域图

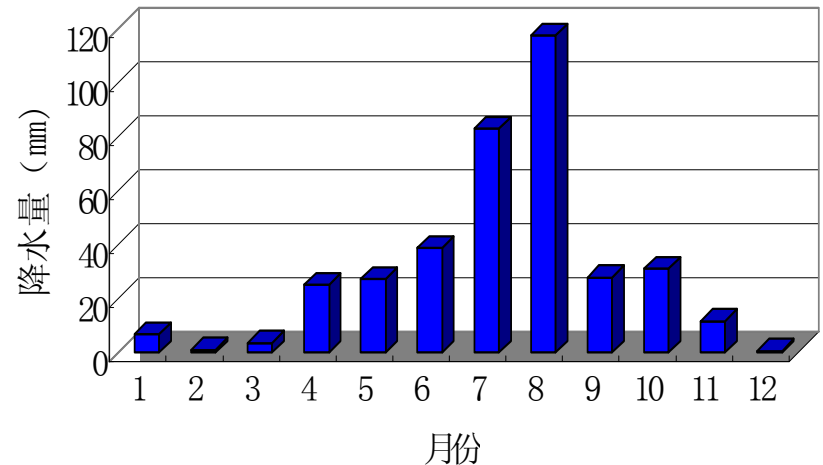
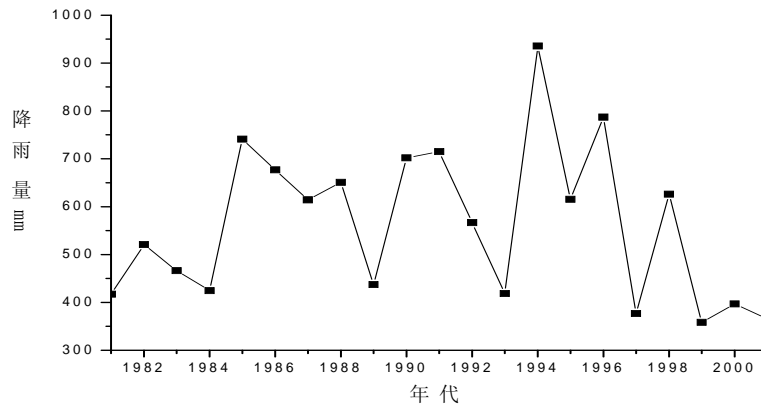
(流域面积16.7平方公里)





研究区自然地理条件

研究区多年平均降水量为**562mm**；集中在**6-9月**。
蒸发量**1833mm**



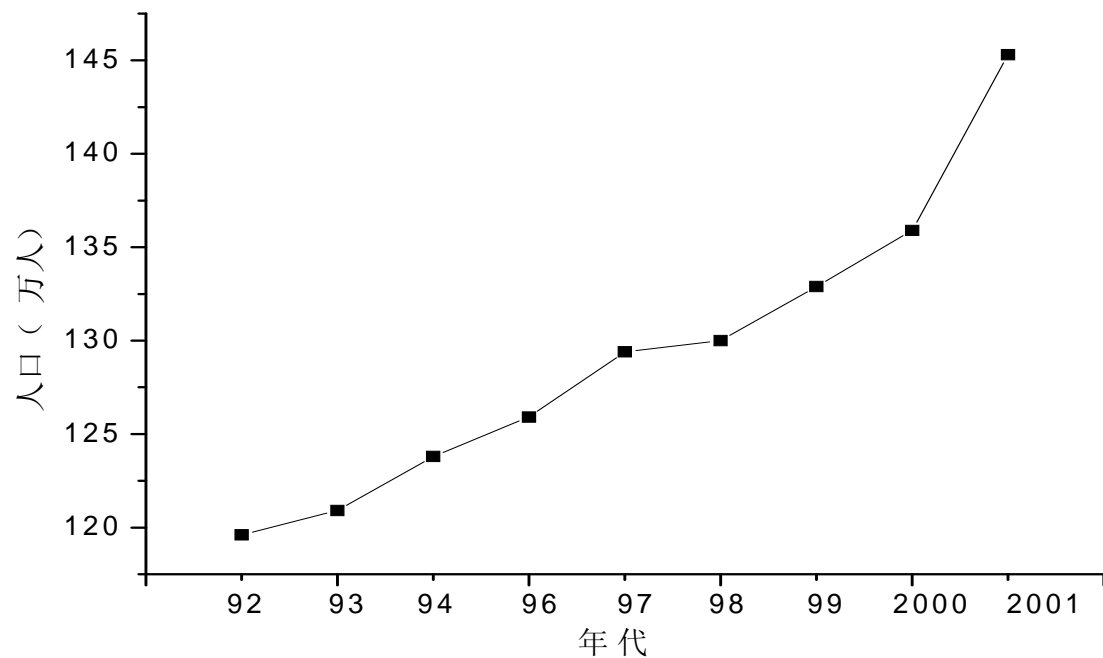
北京師範大學



研究区人口变化

北京師範大學

从1992年到2001年10年间研究区人口增长了22%





北京師範大學

研究意义

古都北京自然与人文景观的重要标志，
蕴藏了六朝古都水文化

城市水系物质能量循环和信息专递中枢

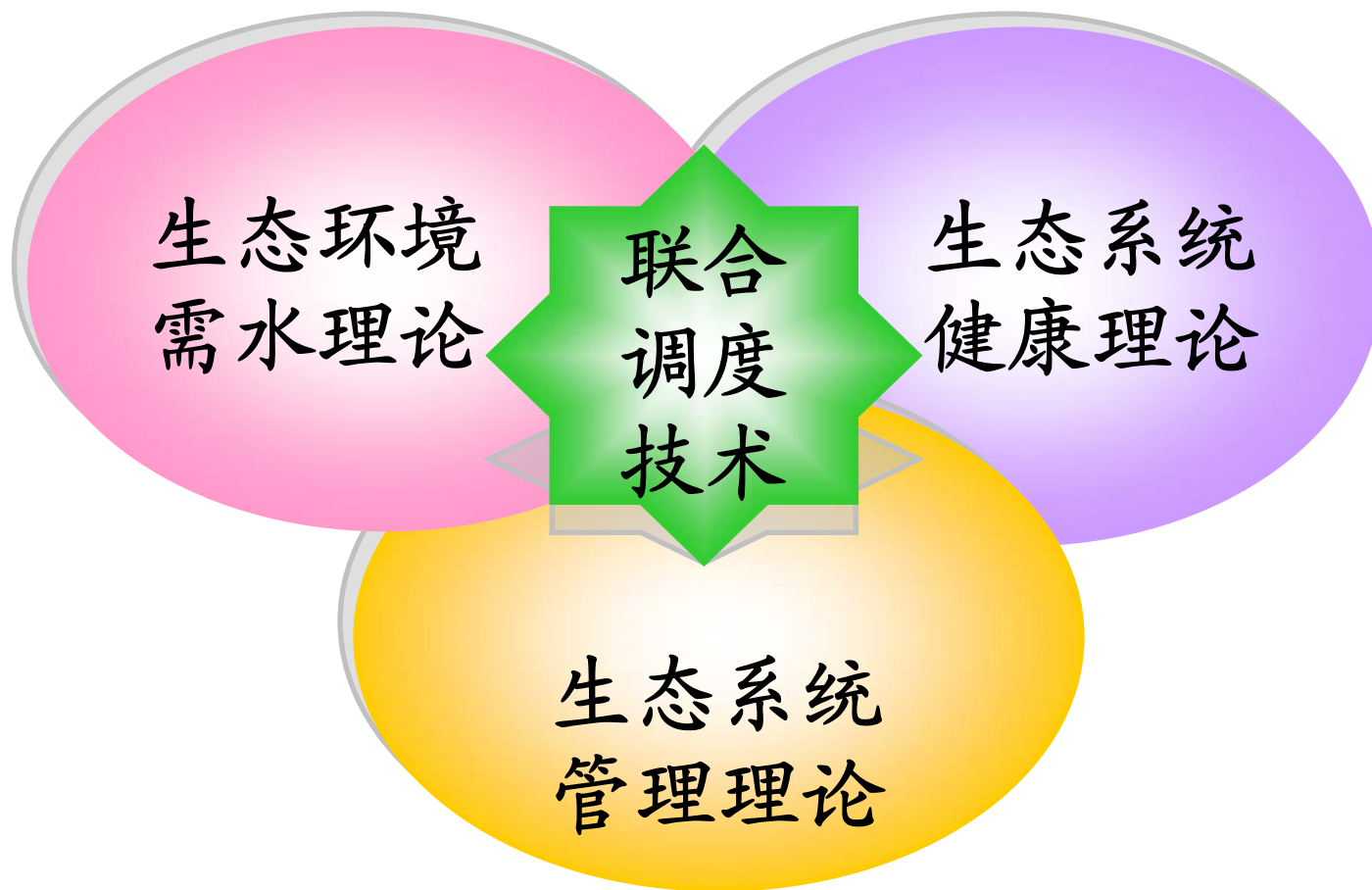
北京市水环境质量改善的关键环节

生态北京和绿色奥运的前提和保证



理论基础

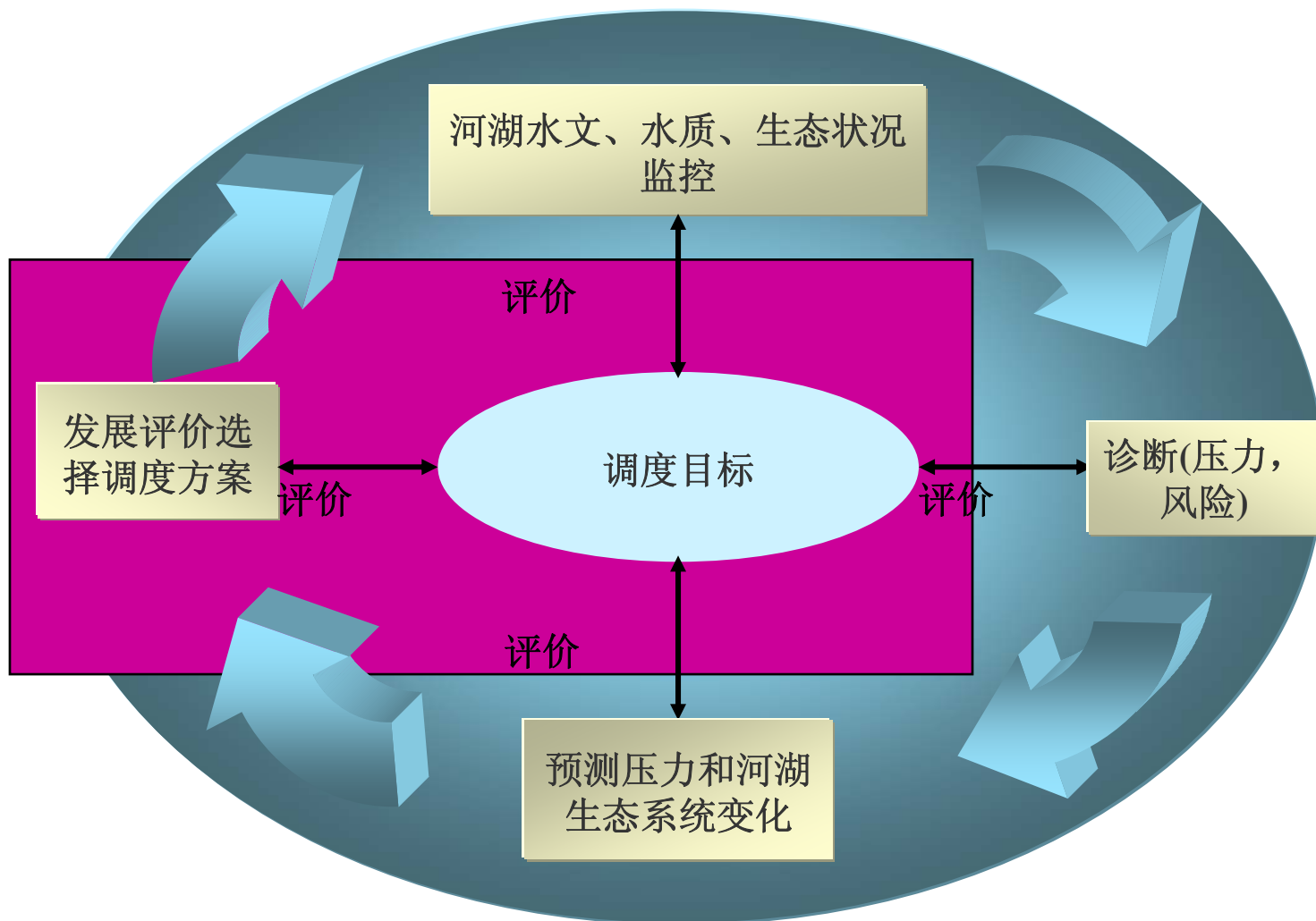
北京師範大學





生态系统管理方法

北京師範大學





基本原则

❖ 流域整体性

从流域整体出发，与流域水资源总量相适应

❖ 生态完整性

关注生态系统结构与功能的完整性，保证最小生态环境需水量和生态基流量

❖ 配置高效性

最佳水量配置，多水源合理调度，实现经济、社会、环境效应最优化



北京師範大學

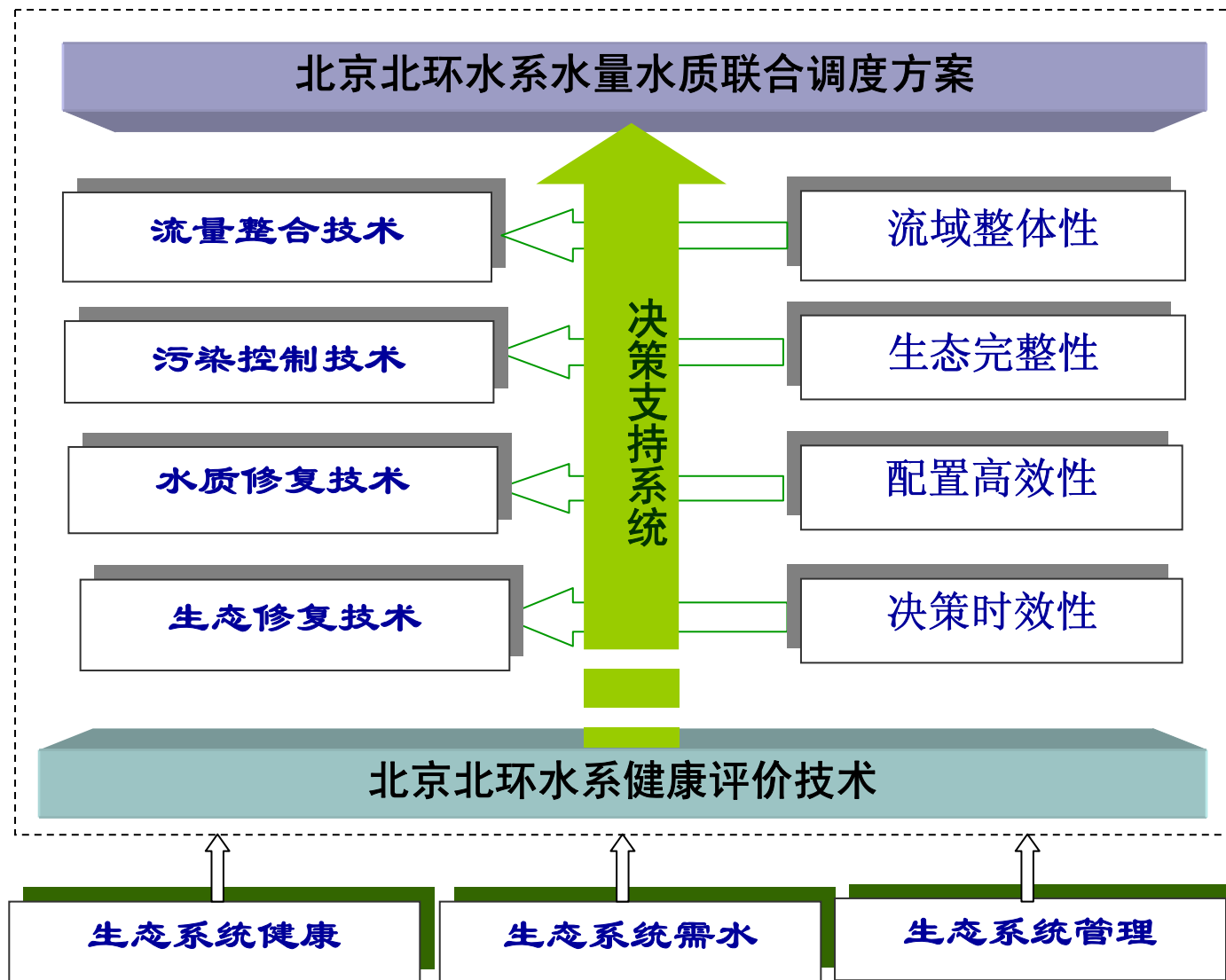
基准年与目标年

- 选取1999-2002年水资源管理部门的3年以上的连续监测数据为基础，适当参照历史系列数据，并以**2002年为现状年**。
- 根据北京市21世纪水资源规划，确定近期、中期和远期目标年为**2010年、2020年和2030年**。
- **关键的目标年为2010年**，一是由于2008年奥运会的举办，二是由于生态环境恢复工程的滞后效应，是实现水资源可持续管理的前提和条件。



技术路线

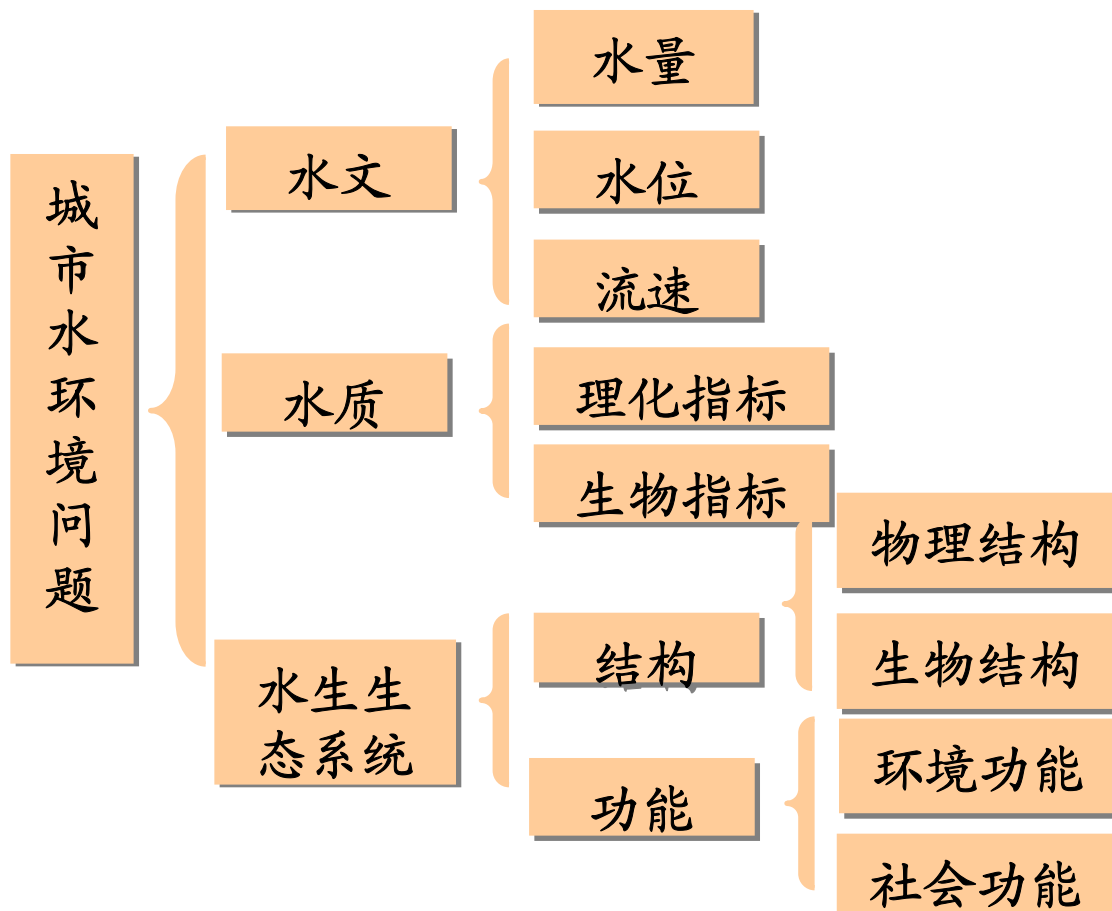
北京師範大學





研究区生态环境问题诊断

- ◆ 找出引起生态系统退化关键因子，为改善生态环境现状提供突破口



北京師範大學



北京師範大學

“六海”湖泊

✧ 2002年来水量

544万 m^3

✧ 六海整体换水

周期 $P=95\%$,

$T=1208$ 天

✧ 故枯水年, 来

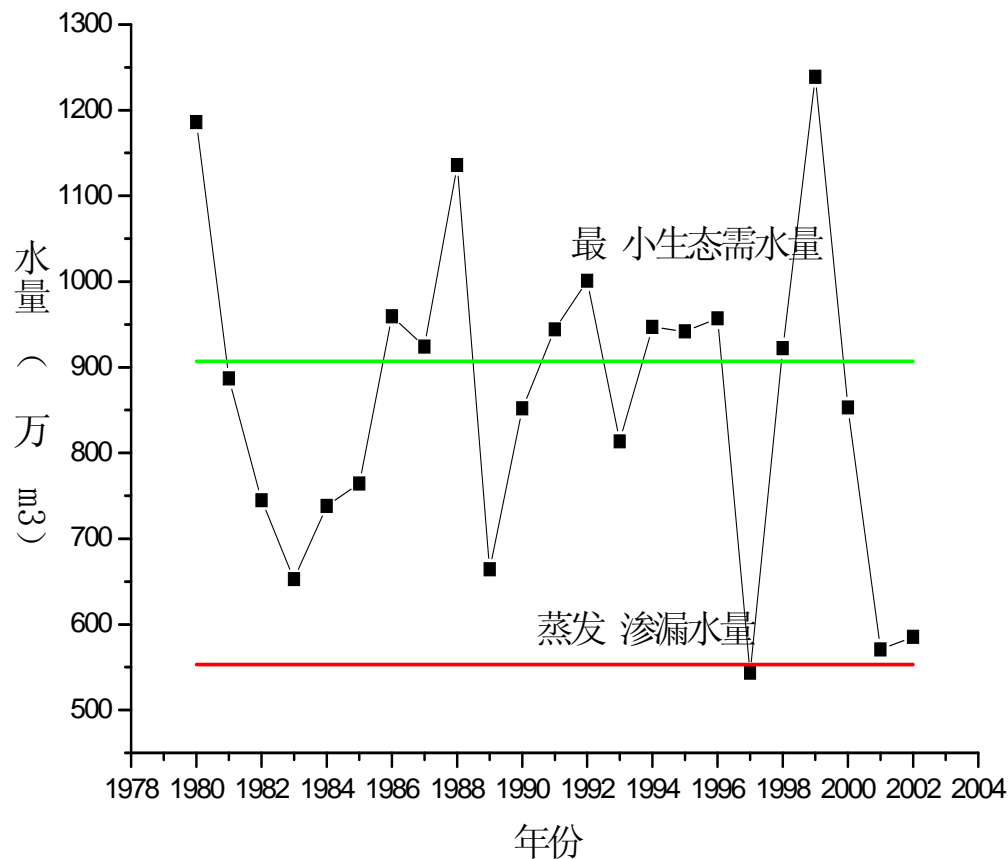
水量仅能维持湖

面蒸发渗漏, 根

本无水可换, 平

水年, 一年能换

三次水左右





研究区水质

表 2-2 2002 年全年平均水质状况统计 (m)

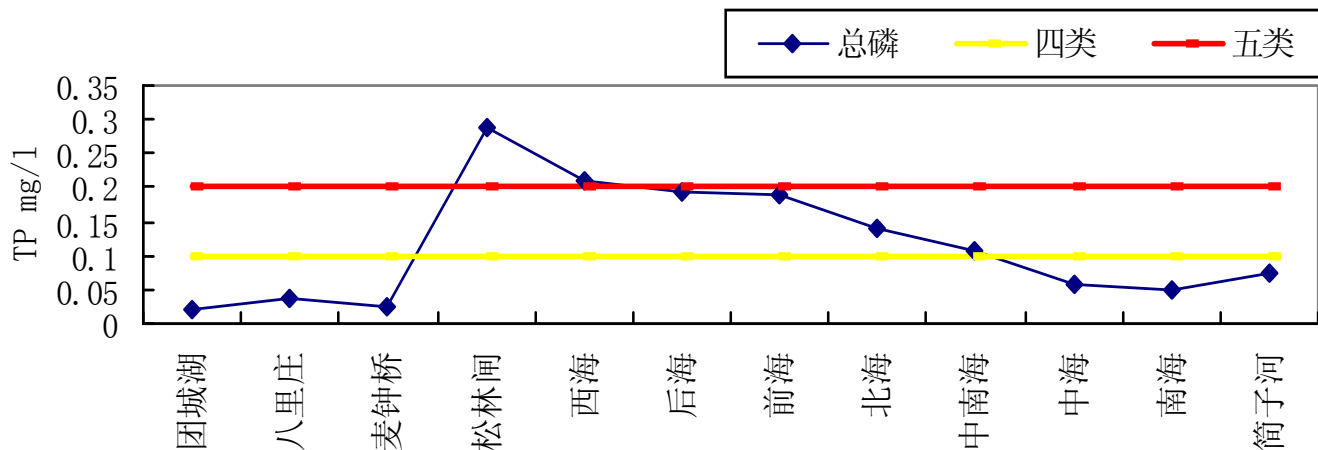
河系	站 名	DO	COD _{Mn}	氨氮	总磷	总氮
永引水渠	三家店	9.6	4.2	0.11	0.025	1.23
	高井	9.1	4.3	0.32	0.043	1.18
	罗道庄	7.7	5.1	0.66	0.197	1.92
北护城河	松林闸	6.4	5.9	1.30	0.287	2.43
	亮马河		106.3	15.8	1.600	24.00
六海	西海	12.0	8.6	0.81	0.209	1.58
	后海	11.0	9.2	0.39	0.193	0.934
	前海	8.8	8.0	0.39	0.190	0.803
	北海	9.0	6.2	0.31	0.109	0.535
	中海	10.0	6.3	0.28	0.057	0.413
	南海	11.0	6.8	0.35	0.049	0.584
内城河系	筒子河	10.4	7.5	0.31	0.074	0.543

北京師範大學

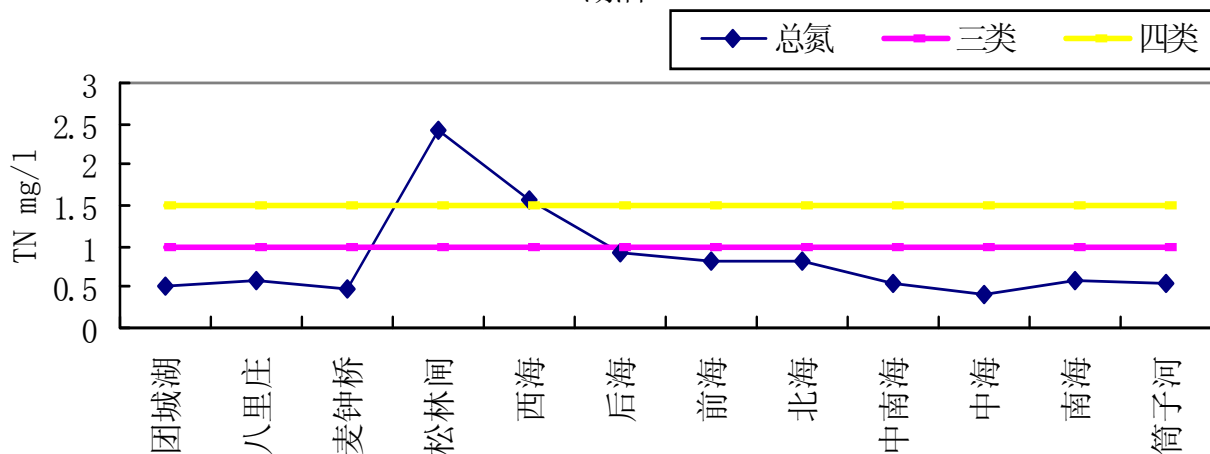


北京師範大學

研究区水质空间变化



湖泊



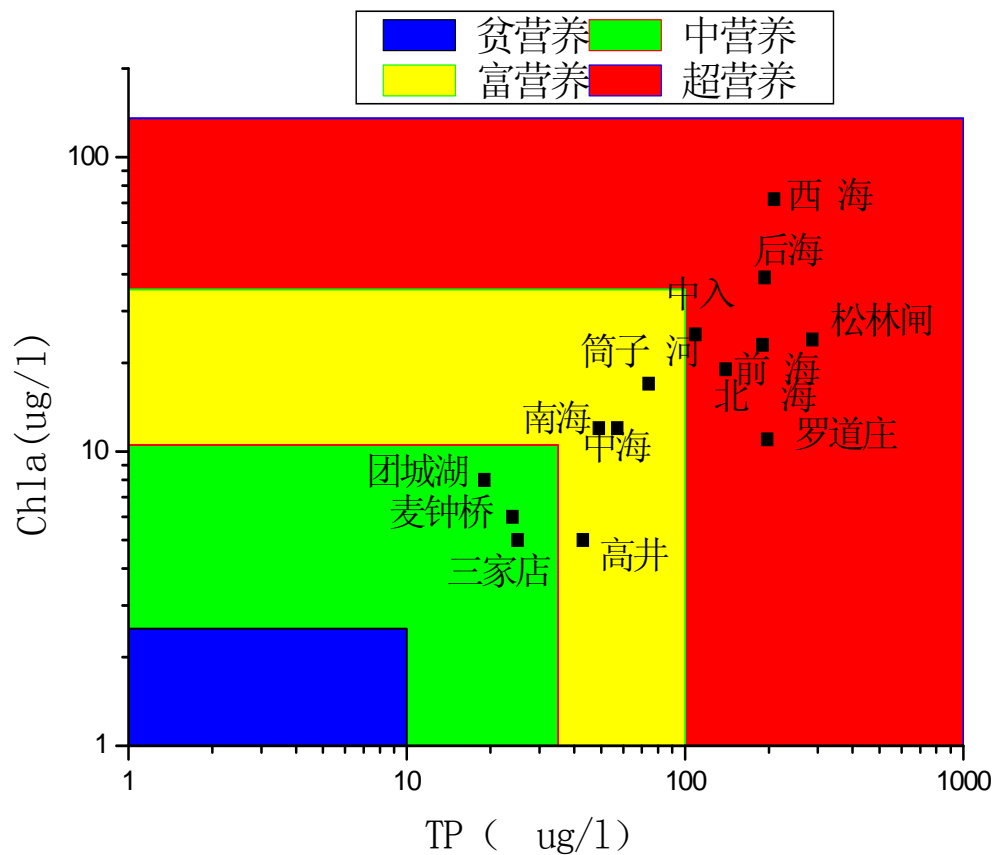
湖泊

A京密引水渠水质沿程变化



研究区富营养状况

北京師範大學



中营养: 团城湖, 麦钟桥, 三家店

富营养: 高井, 南海、中海、筒子河

超营养: 中海入口, 西海, 前海、后海, 北海, 松林闸, 罗道庄, 亮马河



“水华”形成

北京師範大學





水滨空间结构

北京師範大學

河段	河岸及断面	河槽及边坡特点	河岸缓冲带
京密引水渠 昆玉段	石砌驳岸， 复式断面	上河槽水深0.6m， 宽度2m，河深槽水深 1.85m；边坡系数：0	河岸缓冲带：西 岸3.5m
永定河引水 渠	石砌驳岸， 梯形断面	边坡系数：2.5	两边紧挨水泥路 面
南长河	石砌驳岸， 复式断面	边坡系数：2.0	紫竹园以上河岸 带达30-40m，紫 竹园以下缓冲带 2-3m，具下渗透 岸面
北护城河	石砌坡岸	边坡系数：0	缓冲绿化带3- 5m，亮马河部分 河道无绿化带
内城河系	石砌坡岸	边坡系数：0	无缓冲绿化带



- 河岸硬化/衬砌

北京師範大學





景观效果

北京師範大學

河段	绿化植物	绿化带宽度	景观效果
京密引水渠	毛白杨、草坪	3.5-8.6m	植物种类单调
永定河引水渠	柳树、毛白杨、草皮	2.5m	乔灌木分布较单薄
南长河	杨树、松树、等，人工种植有水葱、香蒲等		景观效果好
北护城河	绿化少		垃圾随意堆放，景观效果差



“景观效果与净化功能

北京師範大學





水环境污染

点源污染负荷量

表 2-11: 入城市河流废水量估算

	废水量(10^4 t/a)	COD (t/a)	TN(T/a)	TP(t/a)
京密引水渠昆玉河	15.5	17.8	3.00	0.60
南长河	5.8	15.6	2.50	0.50
北护城河	7.2	19.2	7.52	1.92
六海	0	0	0	0
永定河引水渠	42.4	151.9	4.90	0.48
合计	70.9	204.5	17.92	3.48

北京師範大學



北京師範大學

面源污染负荷量

表 2-5 各分区降雨径流污染物负荷

分区	流域面积 (km ²)	缓冲带情况	TN (t/a)	TP (t/a)
京密昆玉段	23.9	0.9	2.35	0.96
永引	52	1	5.69	2.33
南长河	9	0.8	0.79	0.32
北护城河	19.5	0.9	1.92	0.79
六海			0.00	0.00
筒子河	16.7	1	1.83	0.75
合计			12.57	5.15



内源污染负荷

↓ 大多数点P含量都在1克/kg多水平；底泥中N含量在0.5g/kg水平

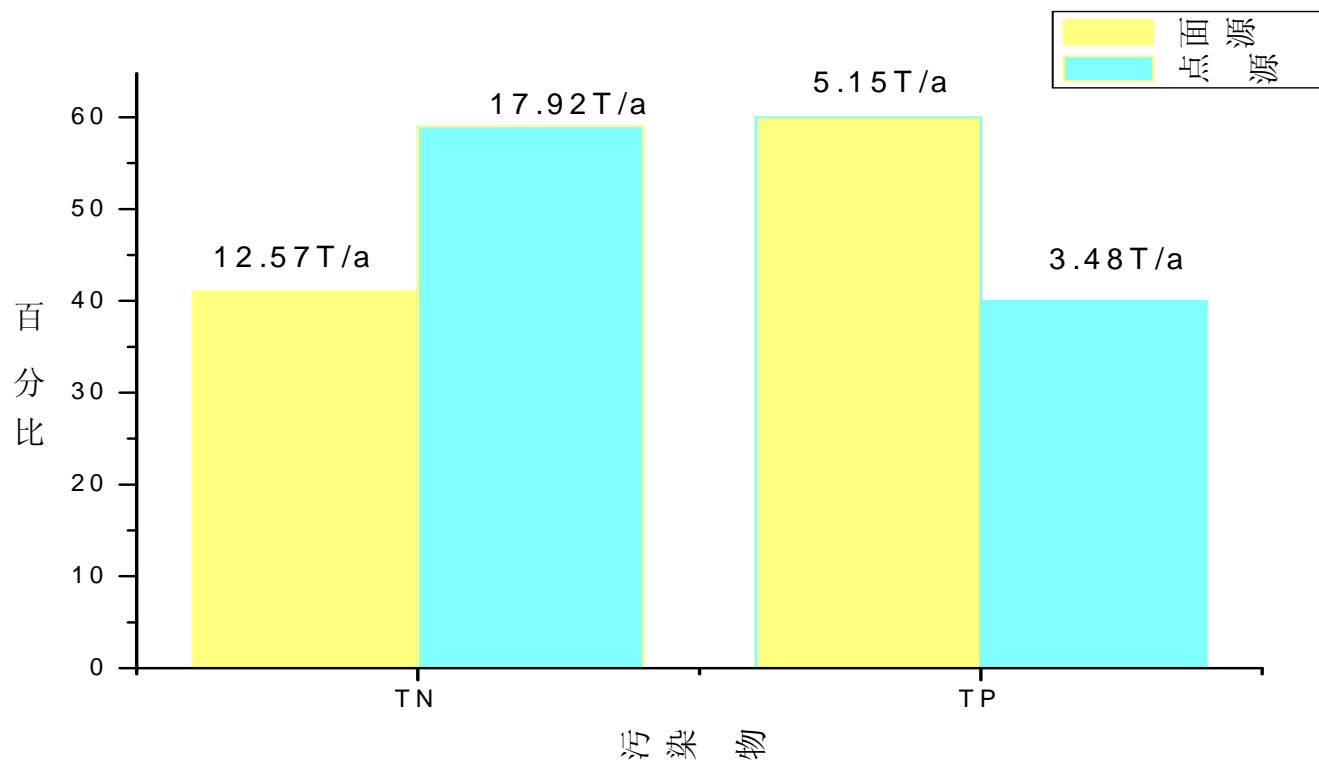
表 2-6 底泥中 C、N、P 的含量(克/kg)

采样点	6 月			7 月		
	C	N	P	C	N	P
颐和园	2.660	0.333	0.476	1.719	0.148	0.445
动物园				8.217	0.583	1.446
西海	7.441	0.560	0.8893	8.204	0.493	1.317
后海	7.267	0.553	0.750	7.091	0.424	1.009
前海				7.992	0.44	1.106
北海	6.842	0.533	0.797	6.469	0.425	1.084



污染物来源比例

北京師範大學





研究区问题分析

北京師範大學

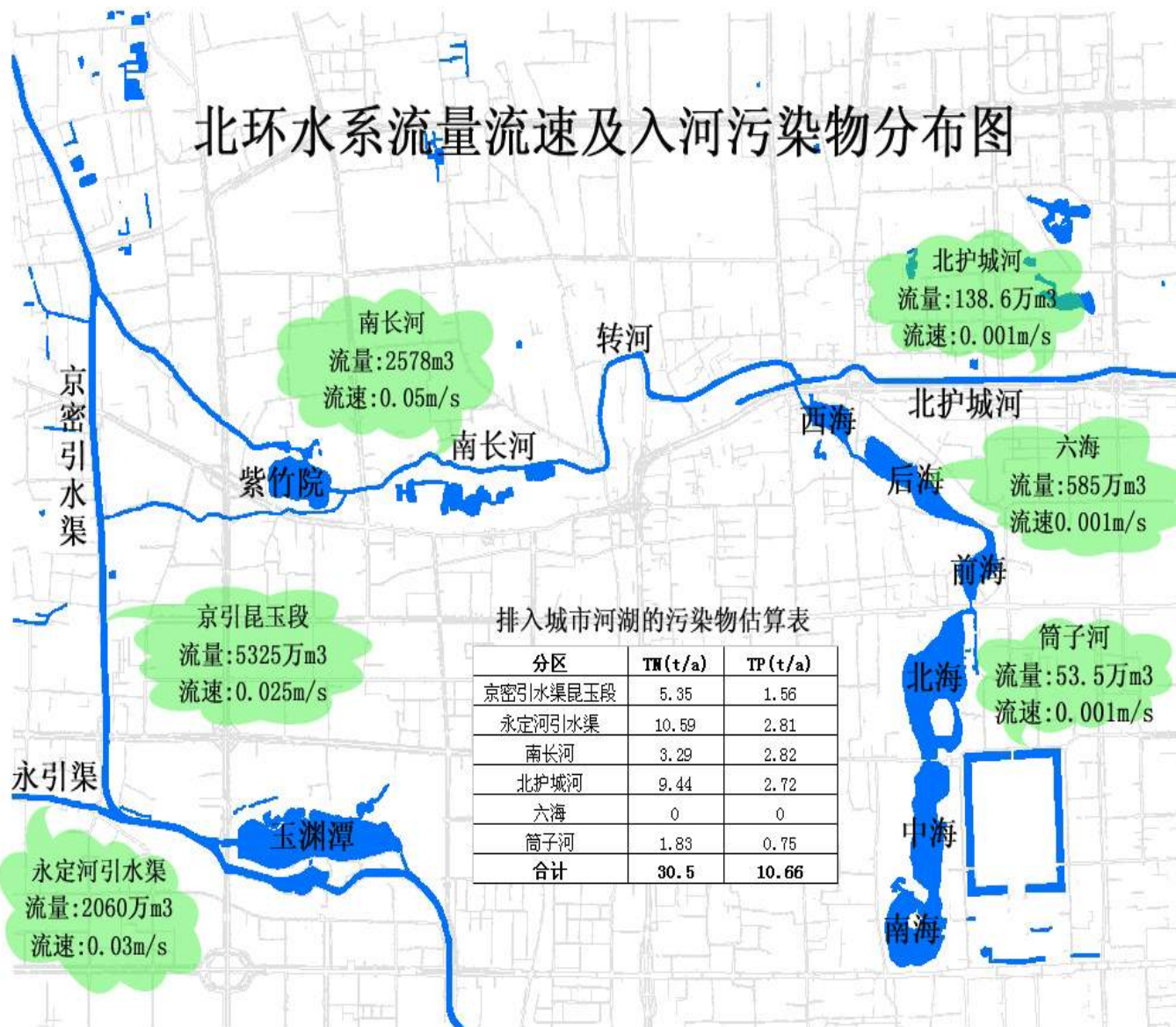
表 2-7 研究分区水环境问题类型

分区	水文			水质		水生态系统			胁迫因素		问题类型
	水量	水位	流速	理化	生物	生物结构	物理结构	景观效果	点源	面源	
昆玉段	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	生态型
永引渠	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	水质型
南长河	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	清洁型
北护城河	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	量质型
内城河	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	水力型
六海	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	水质型

注：表中以红、黄、绿灯表示各因子的不健康，亚健康，健康三种程度。



北环水系流量流速及入河污染物分布图





闸门 - 人工调度

北京師範大學





北京師範大學

研究区问题分析

■ 水系物理结构破碎化

- 一些河湖工程的改造割断了河湖系统，减少了城市水面积 降低了排水应变能力，使中心区丧失**80公顷**宝贵的水面。
- 一些水利工程的改造对原有的水循环产生一定影响，导致内金水河流动性变差，甚至成为死水。
- 城市河湖基本上都用混凝土衬砌，降低河湖景观效应，更降低了城市水体的生态效应，



北京師範大學

水环境管理问题分析

部门利益冲突

- 💰 旅游经济利益与生态价值
- 💰 水量与水质管理部门冲突

城市水环境综合管理能力

- 💰 生活污水管理
- 💰 技术手段+公众参与



北京師範大學

公众参与在改善

问卷调查结果表明:

49 %	认为北京水质有待改进
95.9 %	认为选择旅游地应考虑水环境
61.2 %	选择高价的水景商品房
32.7 %	认为水系面临的最大问题是人工化严重
53.1 %	关注水体污染
87.8 %	正在或打算将水重复利用

公众水环境的水质与景观要求也越来越高，

对参与环境保护和管理技术和途径不清。



研究区生态系统健康评价

北京師範大學

目标层	指标类别	要素层	指标层	
			具体指标	计算方法及说明
城市河湖生态系统健康程度	自然环境指标	水文特征	水量	蓄水量/河湖面积(m)
			河湖补给系数	补给量/损失量
			流速	流量/过水断面积
		水资源质量	水质	《地面水环境质量标准》(GB3838-2002)
			水营养状况	TSI _M 营养状态指数
			底质污染状况	底质污染指数P评定 ^{a)}
		水生生态系统结构与功能	水生植物覆盖率	水生植物面积/河湖面积
			物种多样性	底栖动物Shannon多样性指数
			浮游植物初级生产力	$0.28chl a(\mu g/l)+0.96$
		水滨空间结构	水陆交错带状况	$F_1=f(\text{坡度、人工湿地比例})$
			植被缓冲带宽度	宽度(m)
	社会环境指标	景观效果	观赏游憩价值	$F_2=f(\text{自然景观、人文景观、游人数})$
			公众对环境满意率	满意人数/调查总人数
		胁迫因素	最小需水保证率	现状蓄水量/最小生态环境需水量
			污水处理率	污水处理量/排放量
			面源污染强度	平均降雨径流量×污染物浓度/河湖蓄水量(mg/l)

六海生态系统健康评价指标和标准

具体指标	单位	健康	临界状态	不健康
水深	m	≥ 1.6	1.2 ~ 1.6	≤ 1.2
河湖补给系数	—	≥ 1	0.5 ~ 1	≤ 0.5
流速	m/s	≥ 0.04	0.02 ~ 0.04	≤ 0.02
水质	—	Ⅲ类	Ⅳ类	V类或劣于V类
水营养状况	—	TSI_M 指数 ≤ 37	38 ~ 53	≥ 54
水生植物覆盖率	%	≥ 60	30 ~ 60	≤ 30
底栖动物多样性	—	≥ 2	1 ~ 2	0 ~ 1
浮游植物初级生产力	$gO_2/m_2 \cdot d$	≤ 2.5	2.5 ~ 7.5	7.5 ~ 14
水陆交错带状况	—	坡度 $\leq 30^\circ$, 人工湿地 $\geq 70\%$	坡度 $30^\circ \sim 45^\circ$, 人工 湿地 $50\% \sim 70\%$	坡度 $45^\circ \sim 90^\circ$, 人工湿地 $\leq 50\%$
植被缓冲带宽度	m	≥ 10	5 ~ 10	≤ 5
观赏游憩价值	分	≥ 90	70 ~ 90	≤ 70
公众对环境满意率	%	≥ 70	50 ~ 70	≤ 50
最小需水保证率	%	≥ 90	70 ~ 90	≤ 70
污水处理率	%	≥ 70	60 ~ 70	≤ 60



北京師範大學

生态系统健康评价方法

健康评价模型

$$A = W \times B$$

其中： A为城市河湖生态系统健康度

W为两个指标类层对总体健康程度权矩阵

B为自然环境指标和社会环境指标对各健康标准的隶属度矩阵



北京師範大學

1.1.2 北京北环水系生态系统健康评

目标价	要素层	指标层	
		具体指标	计算方法及说明
城市水系生态系统健康	水文特征	水量 河湖补给系数 流速	蓄水量/河湖面积(m) 补给量/损失量 河流：闸门导致的河流流速变化程度
	水环境质量	地表水质 水营养状况 底质污染状况	《地面水环境质量标准》（GB3838-2002） TSI _M 营养状态指数 底质污染指数P
	水生态系统结构与功能	水生植物覆盖率 物种多样性 浮游植物初级生产力	水生植物面积/河湖面积 底栖动物Shannon多样性指数 $0.28chl a(\mu g/l)+0.96$
	水滨空间结构	水陆交错带状况 植被缓冲带宽度	生态护岸比例 宽度(m)
	景观效果	观赏游憩价值 公众对环境满意率	$F_1=f(\text{自然景观、人文景观、游人数})$ 满意人数/调查总人数
	胁迫因素	最小需水保证率 污水处理率 面源污染强度	现状蓄水量/最小生态环境需水量 污水处理量/排放量 城市降雨径流污染物负荷/允许纳污量



(1) 评价指标和标准 (表1-3)

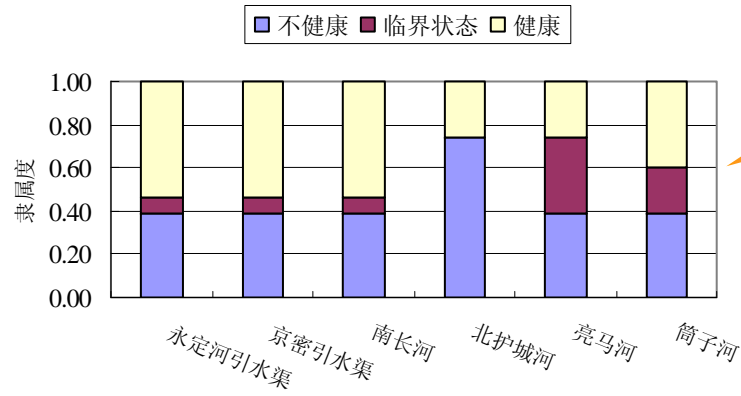
具体指标	单位	健康	临界状态	不健康
水量 河流	—	0.7 ~ 1	0.5 ~ 0.7	0 ~ 0.5
湖泊	—	≥ 1.6	1.2 ~ 1.6	≤ 1.2
河湖补给系数	—	≥ 1	0.5 ~ 1	≤ 0.5
河流: 闸坝导致的河流流速变化	—	≤ 20	20 ~ 50	≥ 50
湖泊: 流速	m/s	≥ 0.04	0.02 ~ 0.04	≤ 0.02
地表水质	—	\leq III类	IV类	V类或劣于V类
水营养状况	—	TSI_M 指数 ≤ 37	38 ~ 53	≥ 54
水生植物覆盖率 河流	%	30	10 ~ 30	≤ 10 或 >30
湖泊	%	60	30 ~ 60	≤ 30 或 >60
底栖动物多样性	—	≥ 2	1 ~ 2	0 ~ 1
浮游植物初级生产力	$gO_2/m_2 \cdot d$	≤ 2.5	2.5 ~ 7.5	7.5 ~ 14
水陆交错带状况	—	≥ 70	50 ~ 70	≤ 50
植被缓冲带宽度	m	≥ 10	5 ~ 10	≤ 5
观赏游憩价值	分	90 ~ 100	70 ~ 90	≤ 70
公众对环境满意率	%	≥ 70	50 ~ 70	≤ 50
最小需水保证率	%	≥ 90	70 ~ 90	≤ 70
污水处理率	%	≥ 70	60 ~ 70	≤ 60
面源污染强度	—	≤ 30	30 ~ 50	≥ 50



(2) 健康评价结果

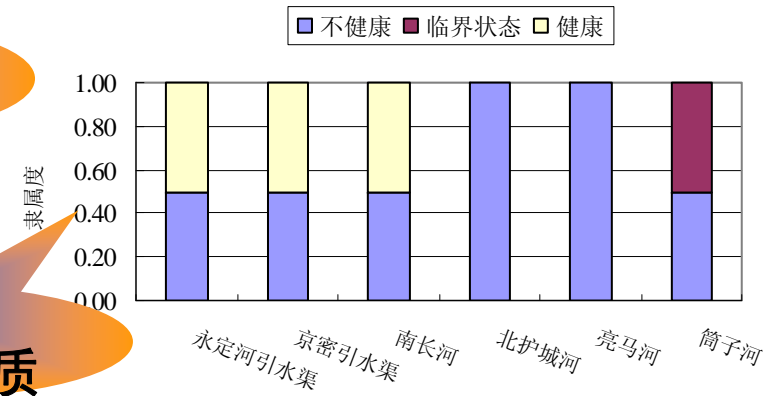
表1-4 北环水系河湖生态系统健康评价结果

水系河段	健康	临界状态	不健康	状态描述
永定河引水干渠	0.327	0.253	0.420	不健康
京密引水渠昆玉段	0.357	0.312	0.331	健康
南长河	0.377	0.293	0.330	健康
北护城河	0.098	0.082	0.820	不健康
筒子河	0.135	0.362	0.503	不健康
亮马河	0.042	0.112	0.846	不健康
六海				
西海	0.097	0.125	0.778	不健康
后海	0.154	0.104	0.742	不健康
前海	0.103	0.155	0.742	不健康
北海	0.127	0.090	0.783	不健康
中海	0.188	0.402	0.410	临界
南海	0.277	0.315	0.408	健康

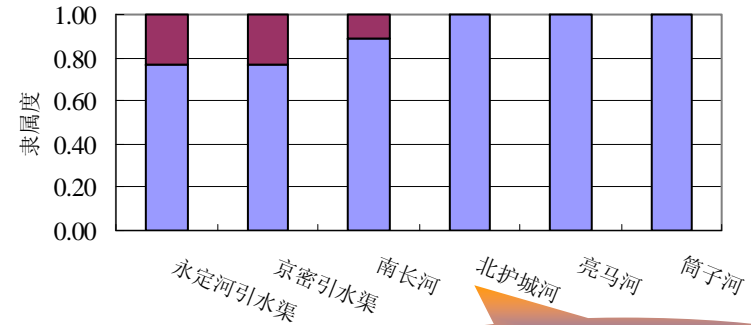
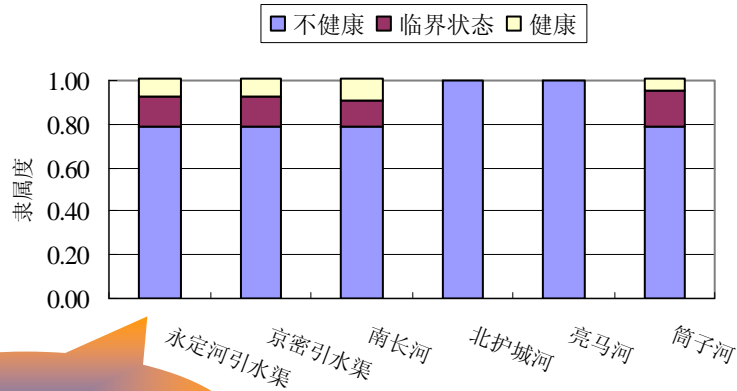


● 水文特征

● 水资源质

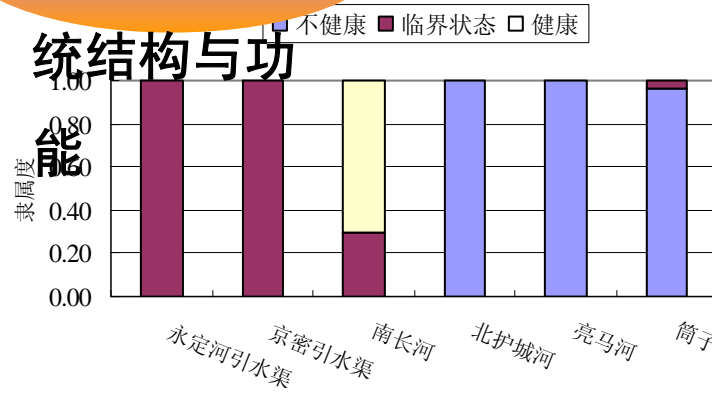


量



● 水生态系

统结构与功



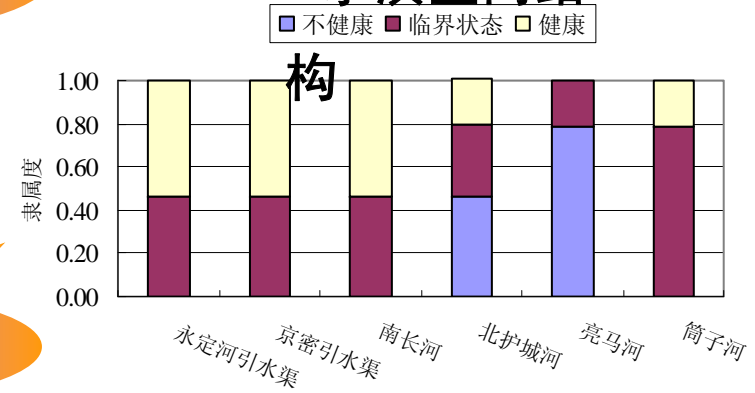
● 景观效

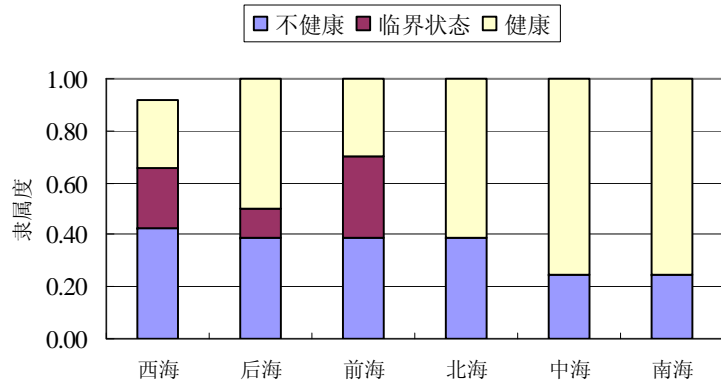
果

● 胁迫因素

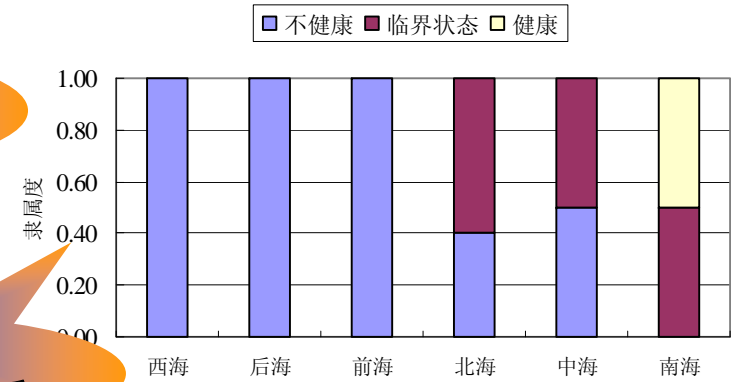
● 水滨空间结

构

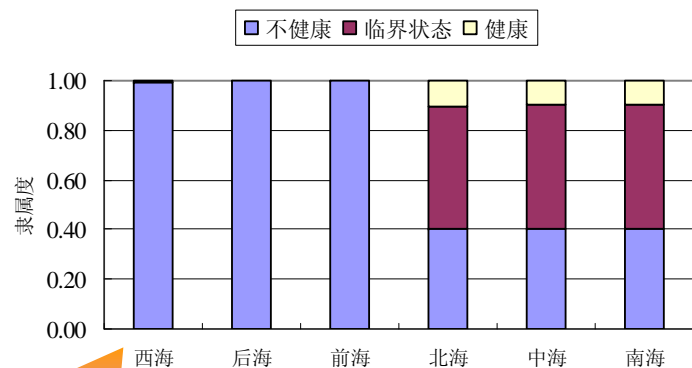




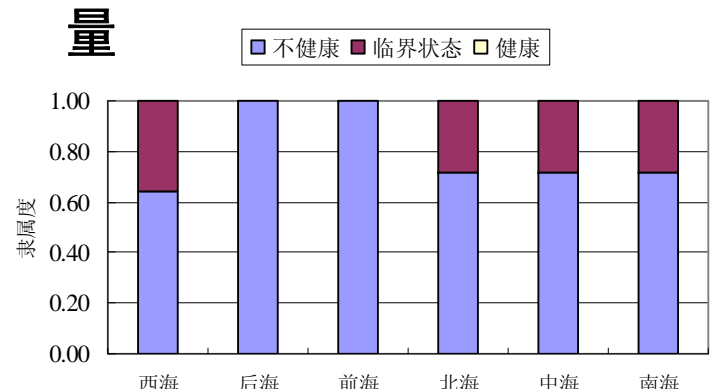
● 水文特征



● 水资源质

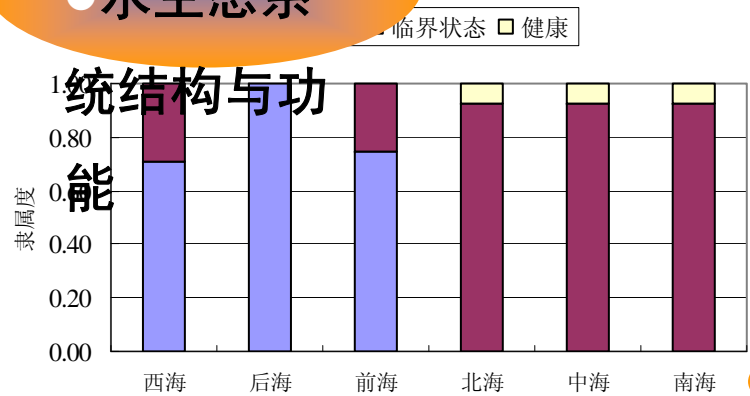


● 水生生态系

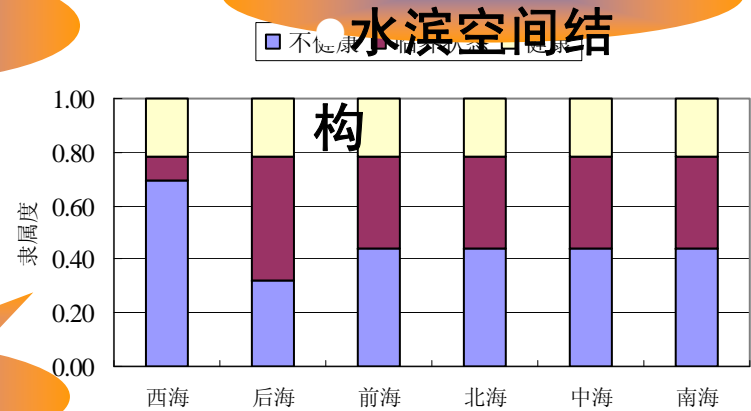


● 景观效果

● 水滨空间结构



● 胁迫因素



系统结构与功能

构

果



(4) 生态环境问题诊断和原因分析

京

密引水渠

南长河

中海

南海

生态型

生态恢复区

永

定河引水渠

筒子河

水质、生态型

污染控制区

西海后海

前海北海

北护城河

亮马河

量质、生态型

综合改善区

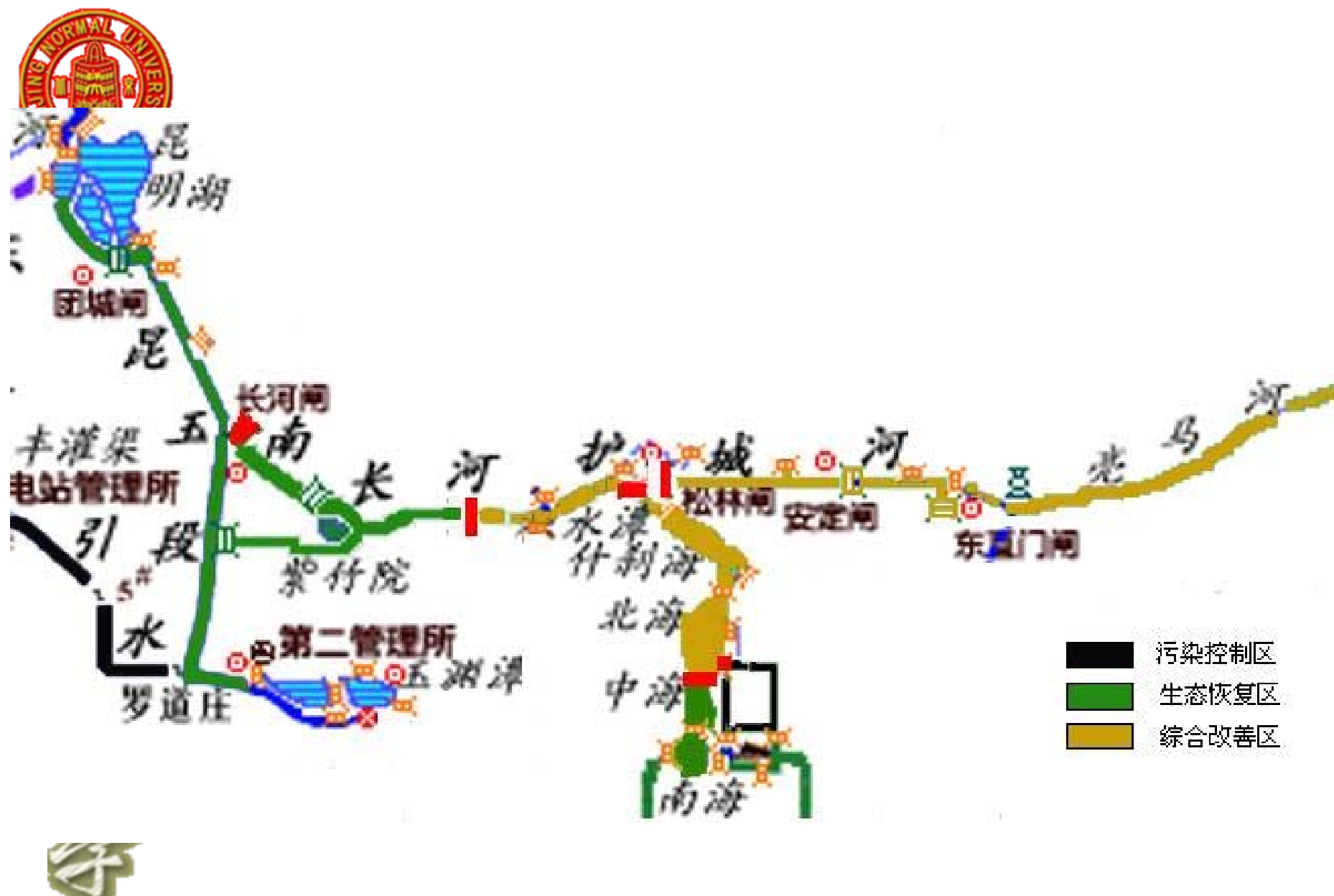


图1-1 北京市水系水功能分区示意图



北京師範大學

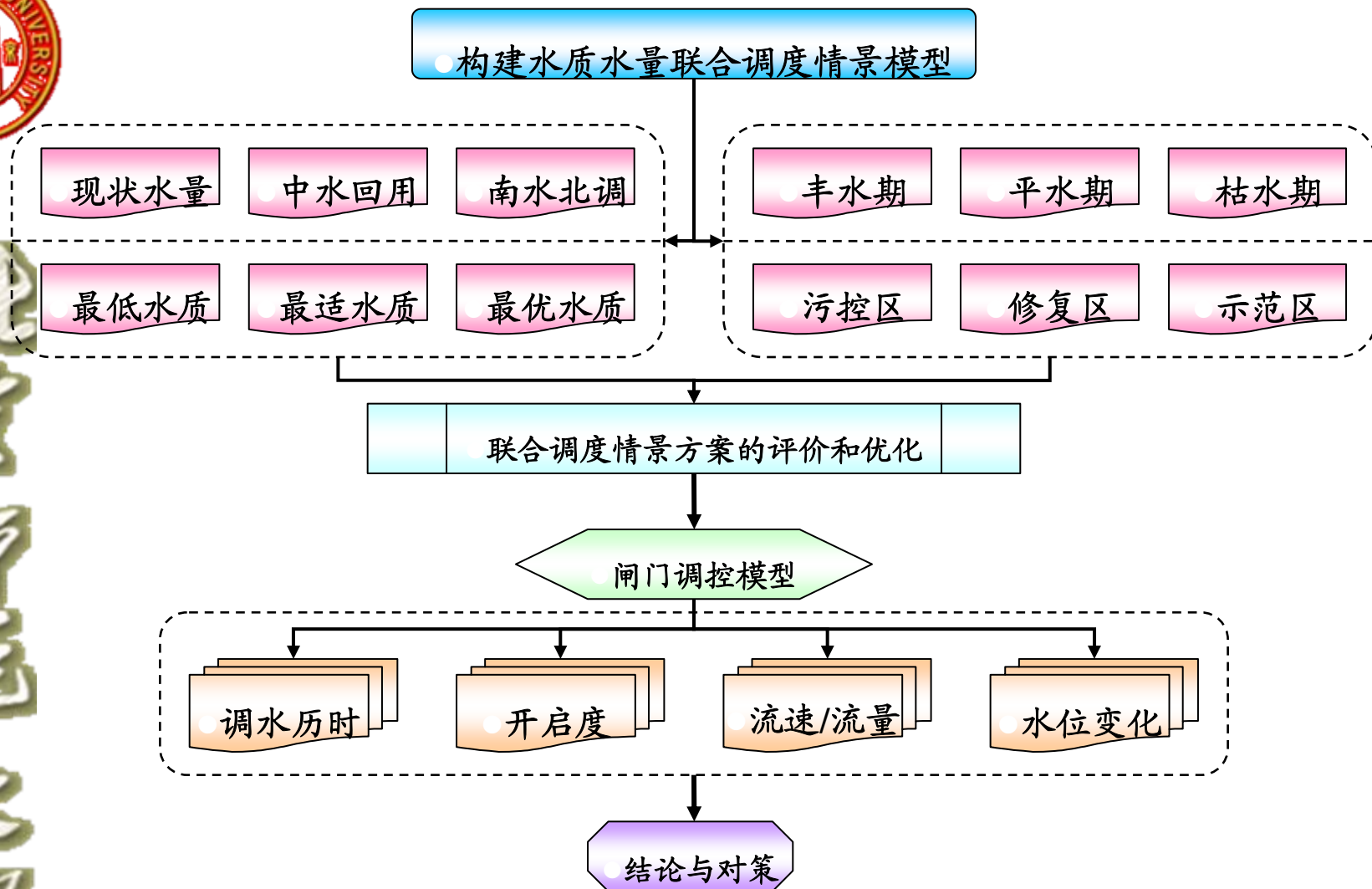


图2-12 闸门调度的技术路线



2.3.2 研究区闸门类型与等级划分

研究区闸门概况（各种闸门40个）

现有调度方式有以下不足：

- ◆ 以蓄水排洪，水量调节为主要目标，兼顾生态健康考虑不足
- ◆ 一定程度上割裂了城市河湖系统
- ◆ 主要采用均匀供水的单一调控模式，对河湖生态需水量的时空变化要求考虑甚少



4 结 论



- 北环水系各河段和湖泊都存在不同程度的生态环境问题：
京密引水渠昆玉段、南长河、中海和南海——生态型
永定河渠、筒子河、前四海 —— 水质和生态型
北护城河和亮马河—— 水量、水质和生态型
- 对各河段和湖泊的生态环境问题进行诊断和功能区分：
永定河引水渠和筒子河——污染控制区；
京密引水渠昆玉段、南长河和中南海——生态恢复区；
北护城河、亮马河和六海（中南海除外）——综合改善区



4 结 论

- 划分水华预警区间：
 - 选择叶绿素a的浓度在0.06 mg/L以下警级为绿色
 - 叶绿素a的浓度在0.06-0.10 mg/L警级为黄色
 - 叶绿素a的浓度在0.10 mg/L以上警级为红色
- 对北环水系闸门采取分类研究、分区管理和分级调度的调控模式，
- 将研究区主要控制闸门分成三个类别。
- 对研究区的17个主要闸门进行了研究，分为两级：
 - 一级闸门包括长河闸、松林闸等7个闸门
 - 二级闸门包括北洼闸等10个闸门。

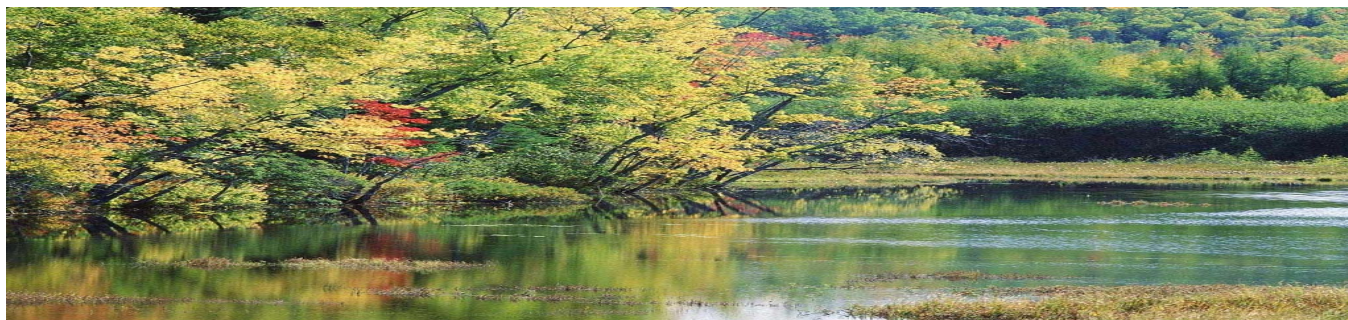


北京師範大學

5 建 议

规划层面

- 对城市河湖进行功能分区
- 严格控制点源面源污染
- 恢复重建生态系统结构
- 景观建设与环境效益相结合





北京師範大學

5 建 议

技术优化

- 根据水系生态健康诊断，采取不同的治理方案，逐步恢复生态系统健康
- 水污染处理技术、水量调度技术和生态恢复技术优化
- 构建管理与应急决策支持系统，为水务和水环境管理部门提供依据



北京師範大學

5 建 议

公众参与

- 明确生态优先和水资源管理多目标优化原则
- 应协调好水质和水量，节水和治污并行
- 禁止使用含P洗衣粉，降低水体的营养负荷
- 让公众参与水资源管理的全过程
- 合理规划和管理城市水系景观



北京師範大學





北京師範大學



Thank your attention!

Beijing

Welcome you