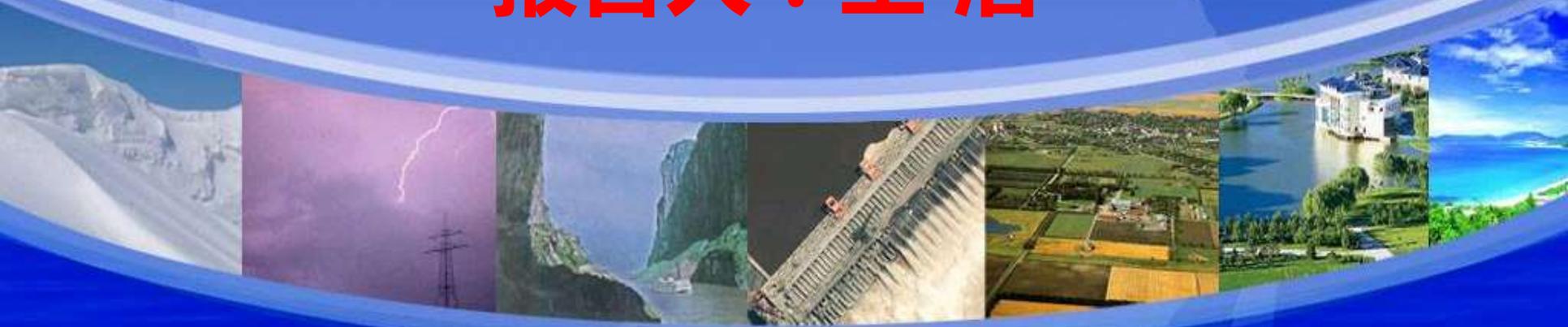


# 中国水资源危机与应对

报告人：王浩



中国水利水电科学研究院水资源研究所  
流域水循环模拟与调控国家重点实验室  
二零一七年七月二十七日 哈尔滨

# 特别声明

本课件为2017中国水资源高效利用与节水技术论坛专家发言材料，仅供参会人员内部交流使用，禁止外传及作为他用！

本届论坛支持单位：中国水利学会

本届论坛主办单位：河海大学、中国水利经济研究会、黑龙江省水利科学研究院

更多信息可关注微信公众号：swltzx

论坛会务组

电话：010-6320 3233

网址：[www.sinowbs.com](http://www.sinowbs.com)

地址：北京市西城区白广路北口水利部综合楼732

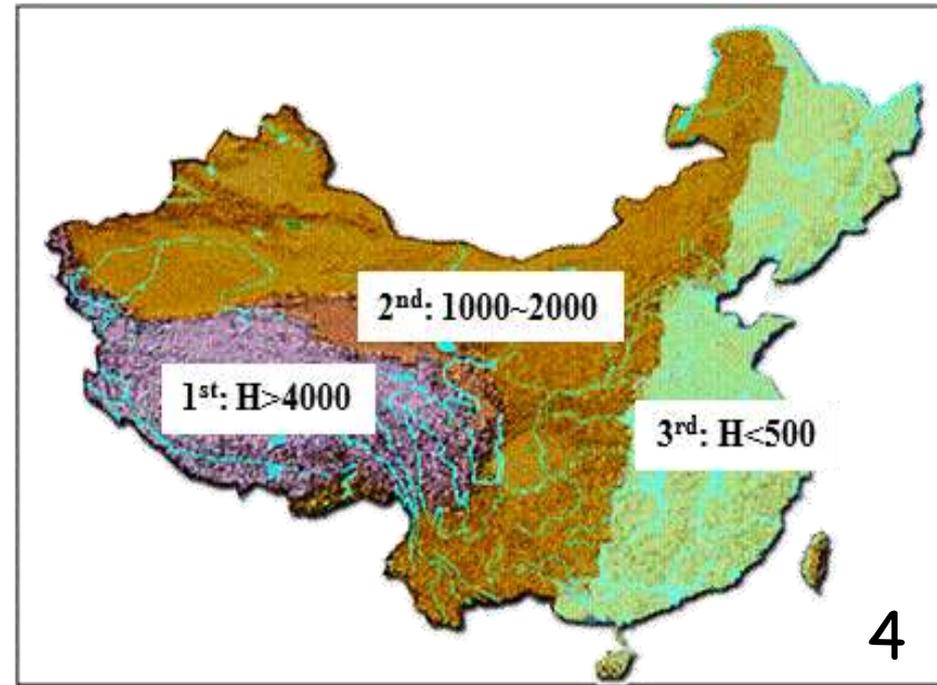
# 内 容 提 要

---

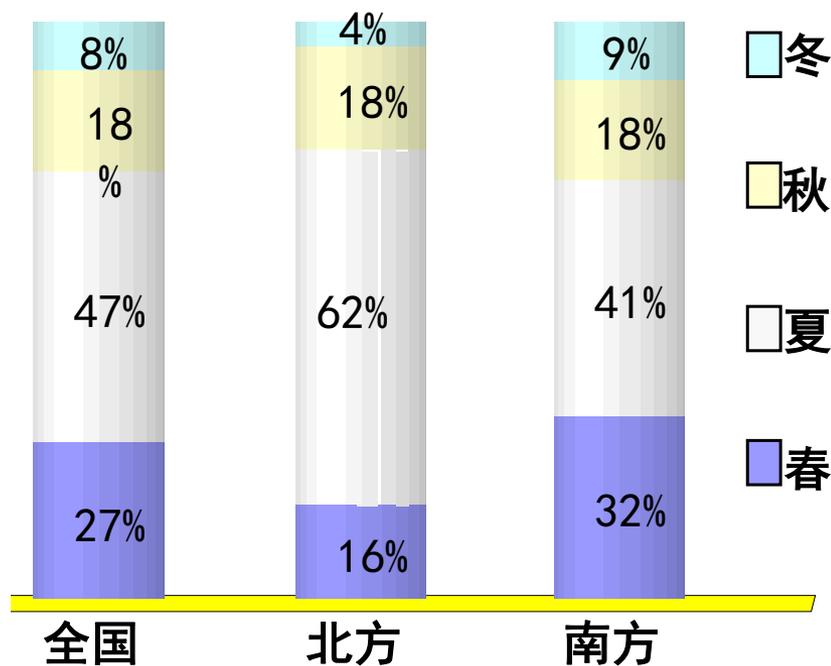
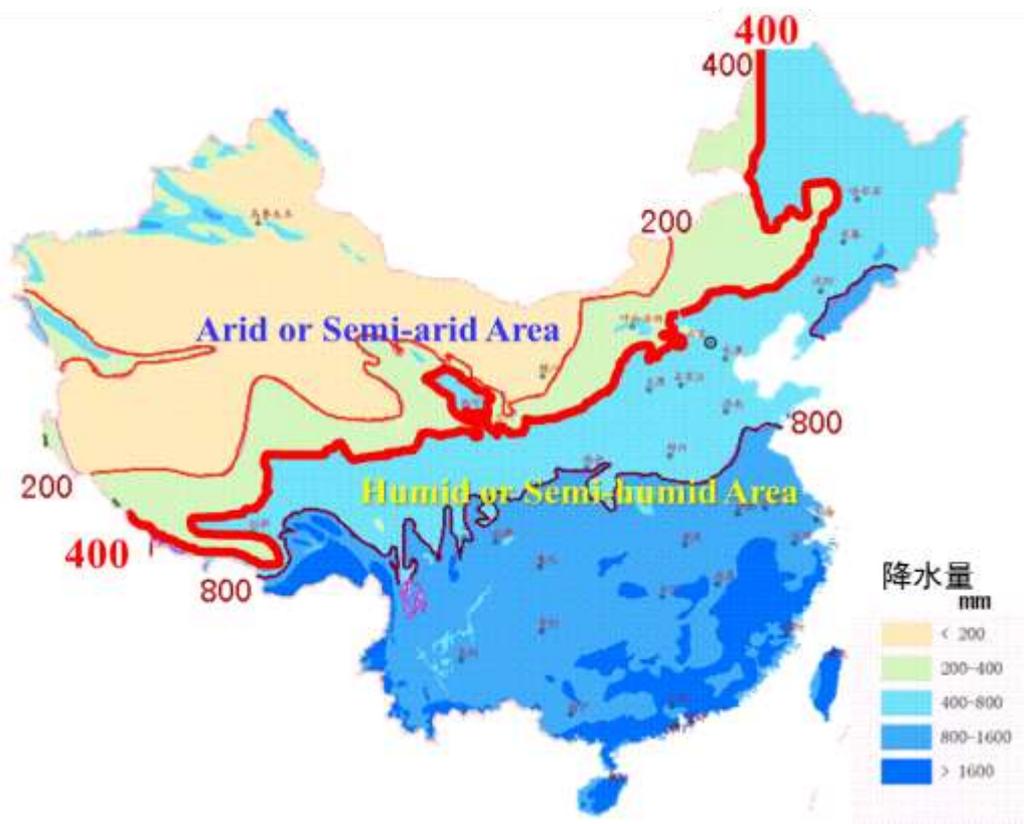
- 一、中国水资源现状
- 二、中国水资源危机
- 三、水资源危机应对

# 1.1 我国水资源本底条件

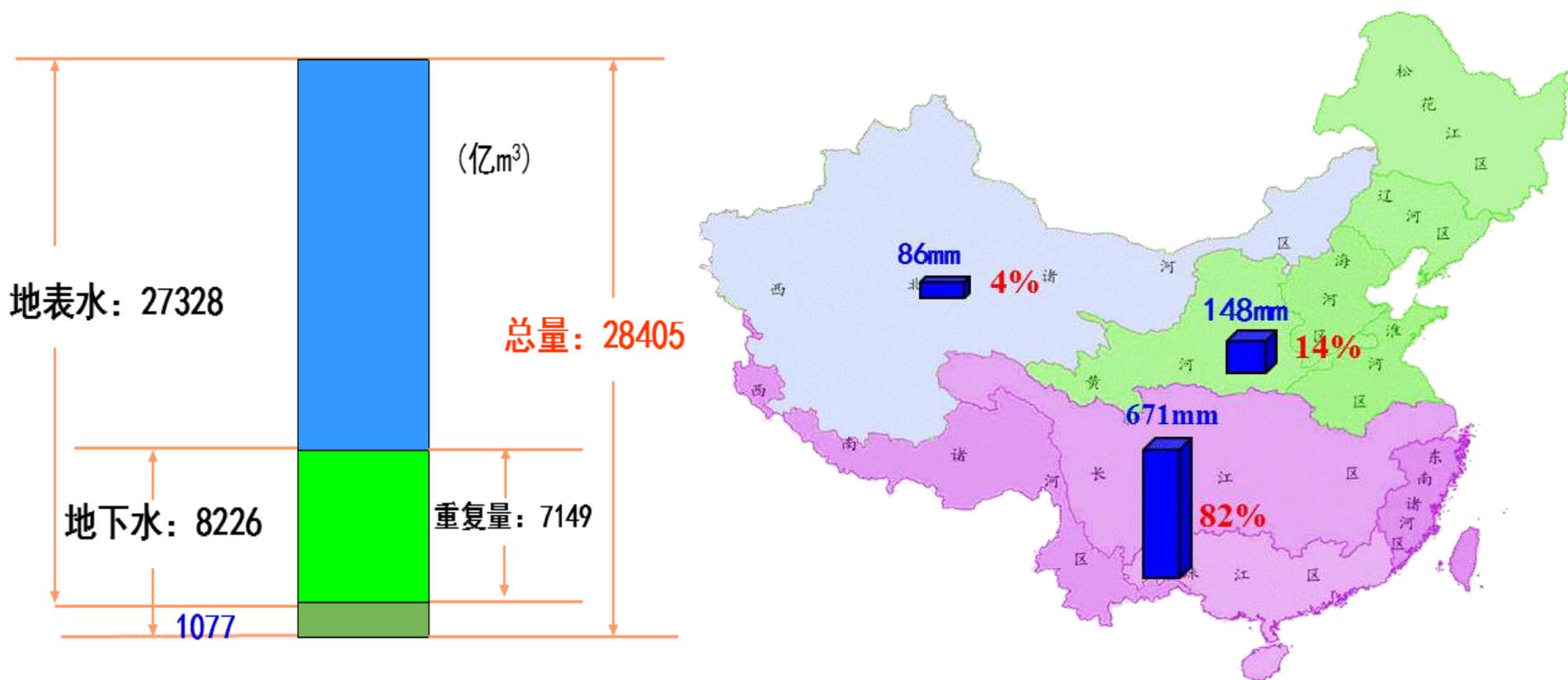
受地理位置、季风气候区、三大阶地地形等因素控制，中国水资源具有**总量大但人均少、时空分布不均、水资源与社会经济要素分布不匹配**等特点。



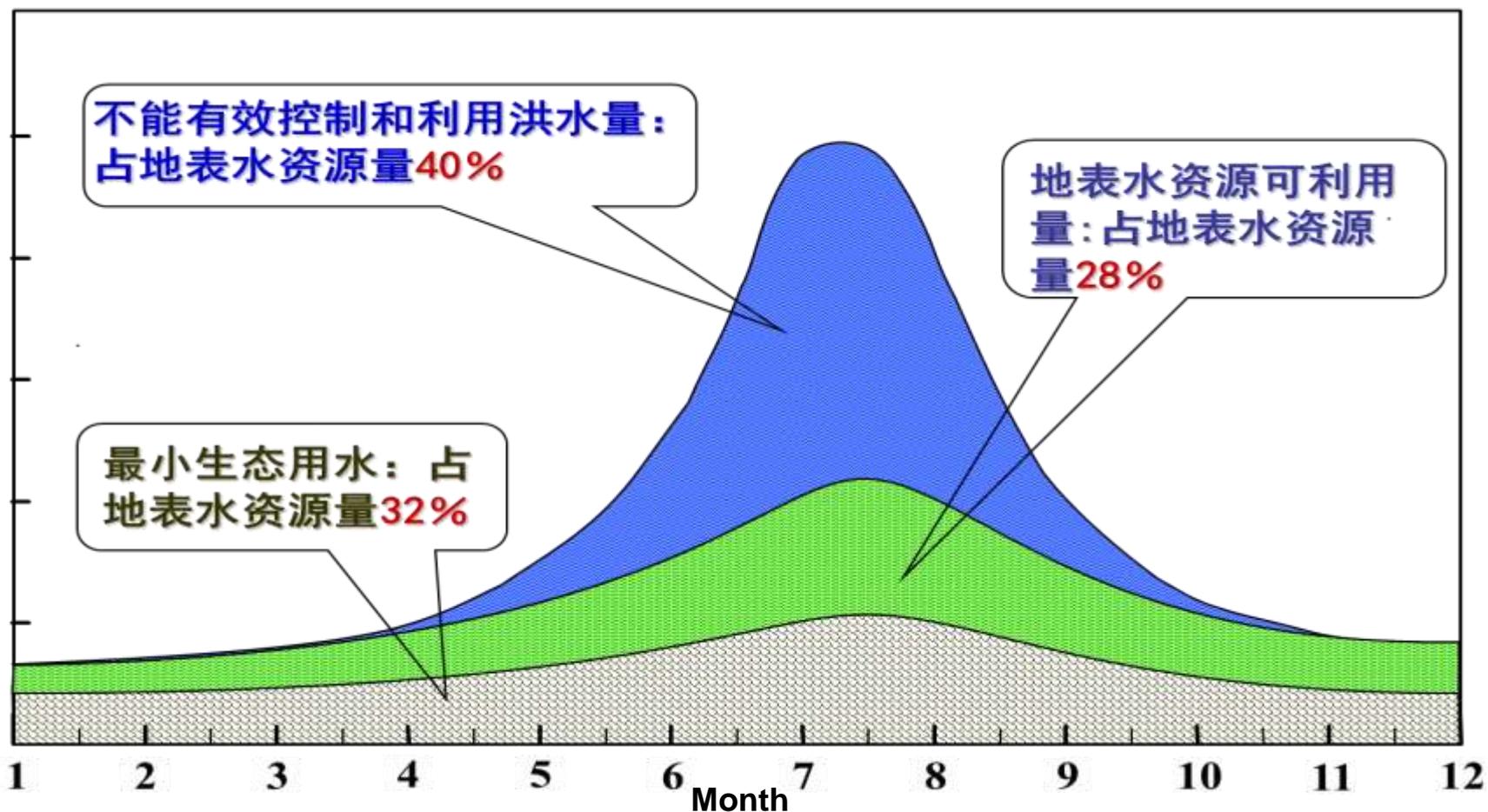
全国多年平均降水量**649mm**，南多北少，东多西少。具有明显雨热同期的特征，夏季降水占全年的**47%**，其中北方地区占到**62%**。



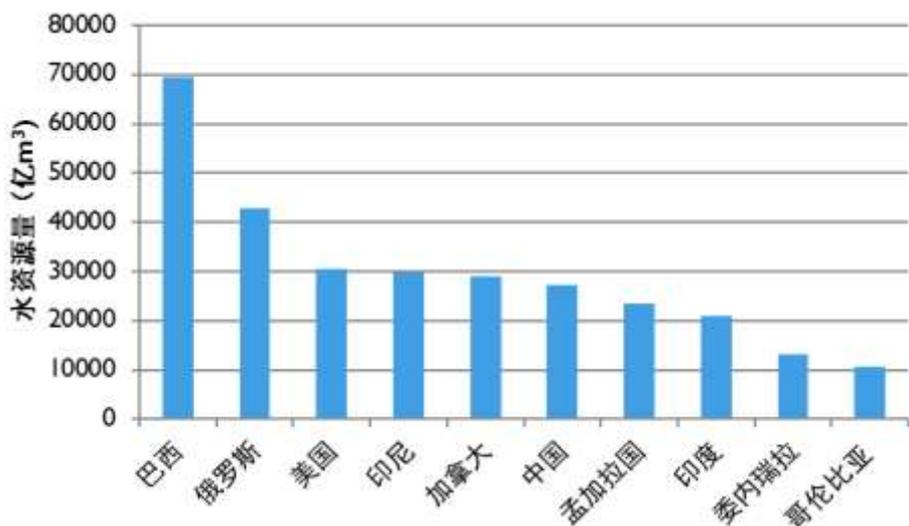
全国多年平均水资源量**2.84万亿m<sup>3</sup>**，其中河川径流量**2.73万亿m<sup>3</sup>**，地下水资源量**8226亿m<sup>3</sup>**，二者重复量**7149亿m<sup>3</sup>**。



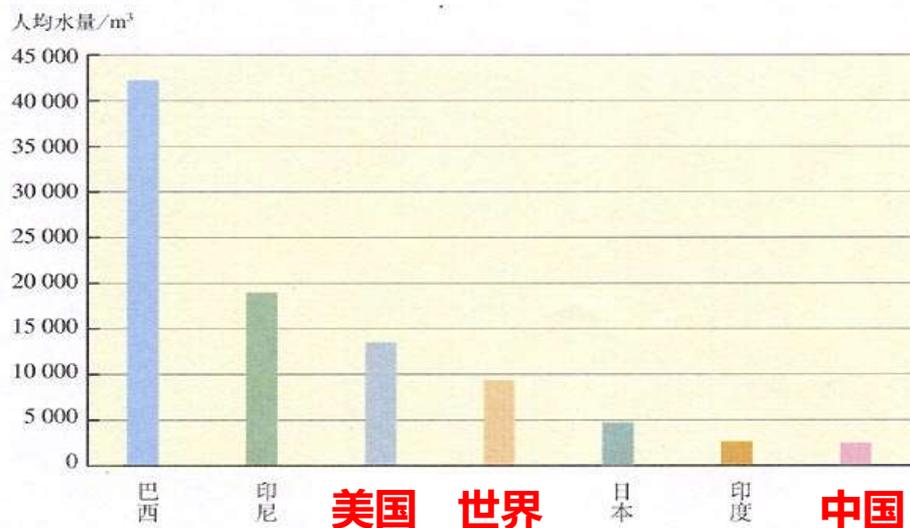
# 考虑洪水和基本生态用水，我国河道外最大可消耗的地表水量为7524亿m<sup>3</sup>



中国人均水资源量约**2100m<sup>3</sup>**，不足世界人均水平的**1/3**。在联合国2006年对192个国家和地区评价中，位居第**127**位。

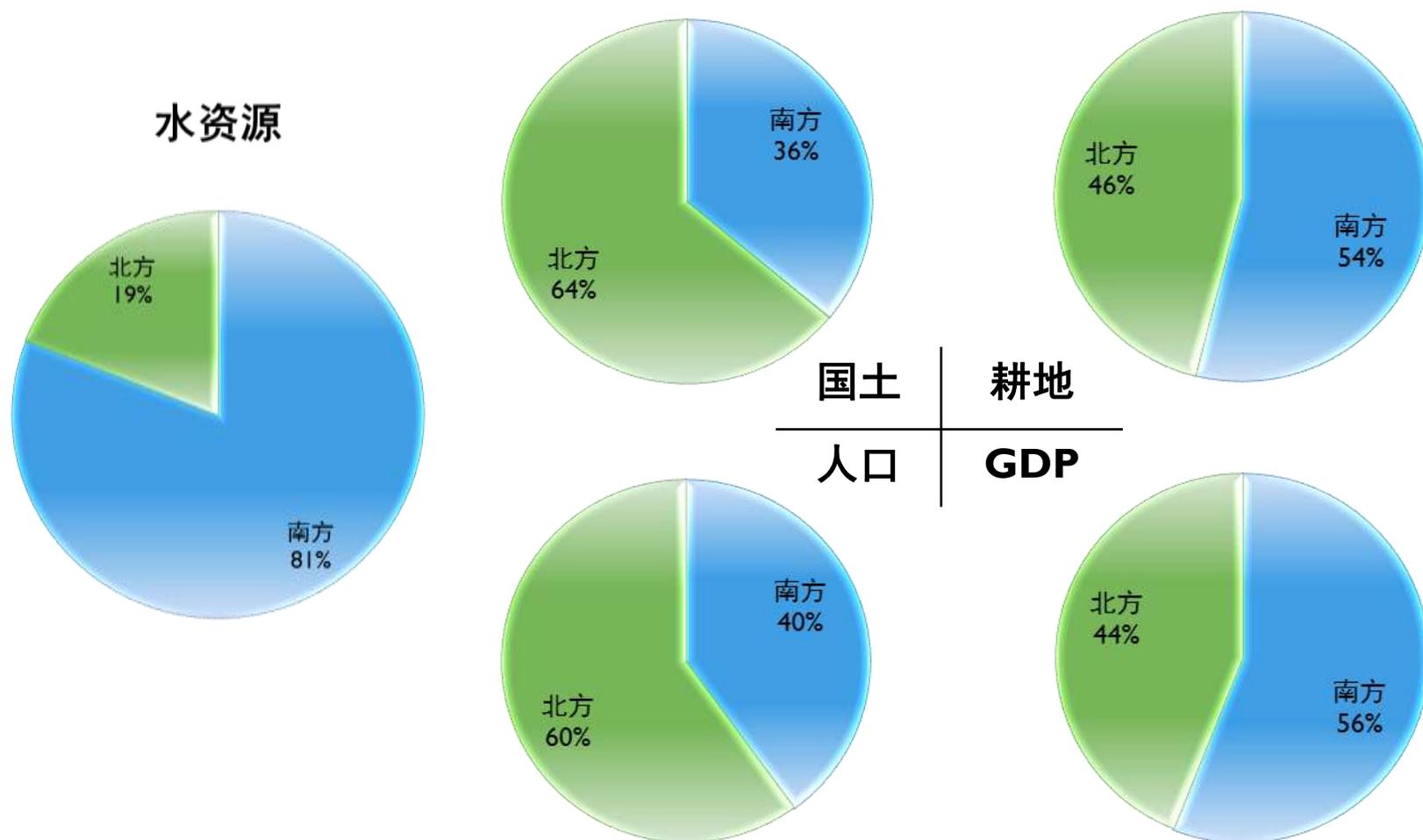


不同国家水资源总量对比

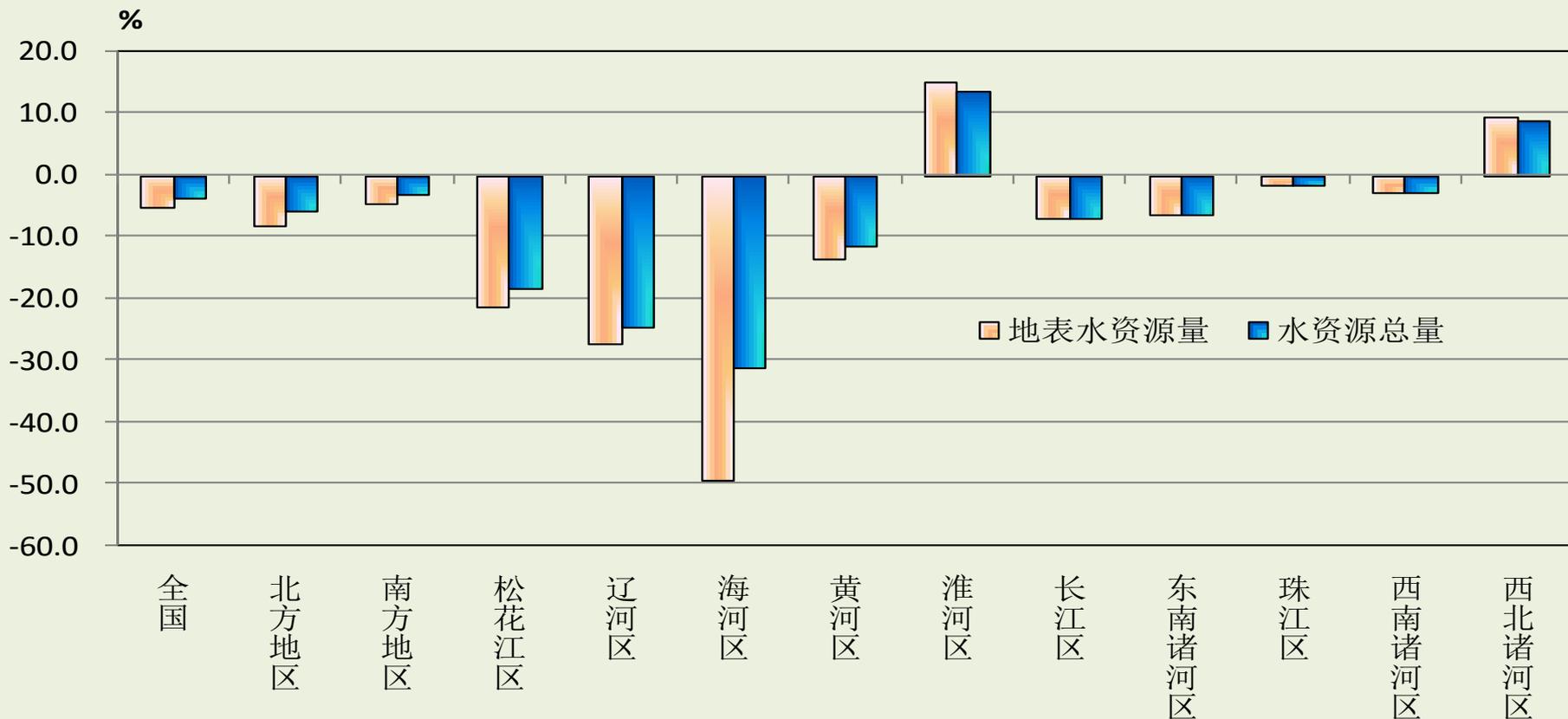


世界与中国人均水资源量对比

# 水资源空间分布与人口、耕地、矿藏资源等社会经济要素的空间分布不相匹配。



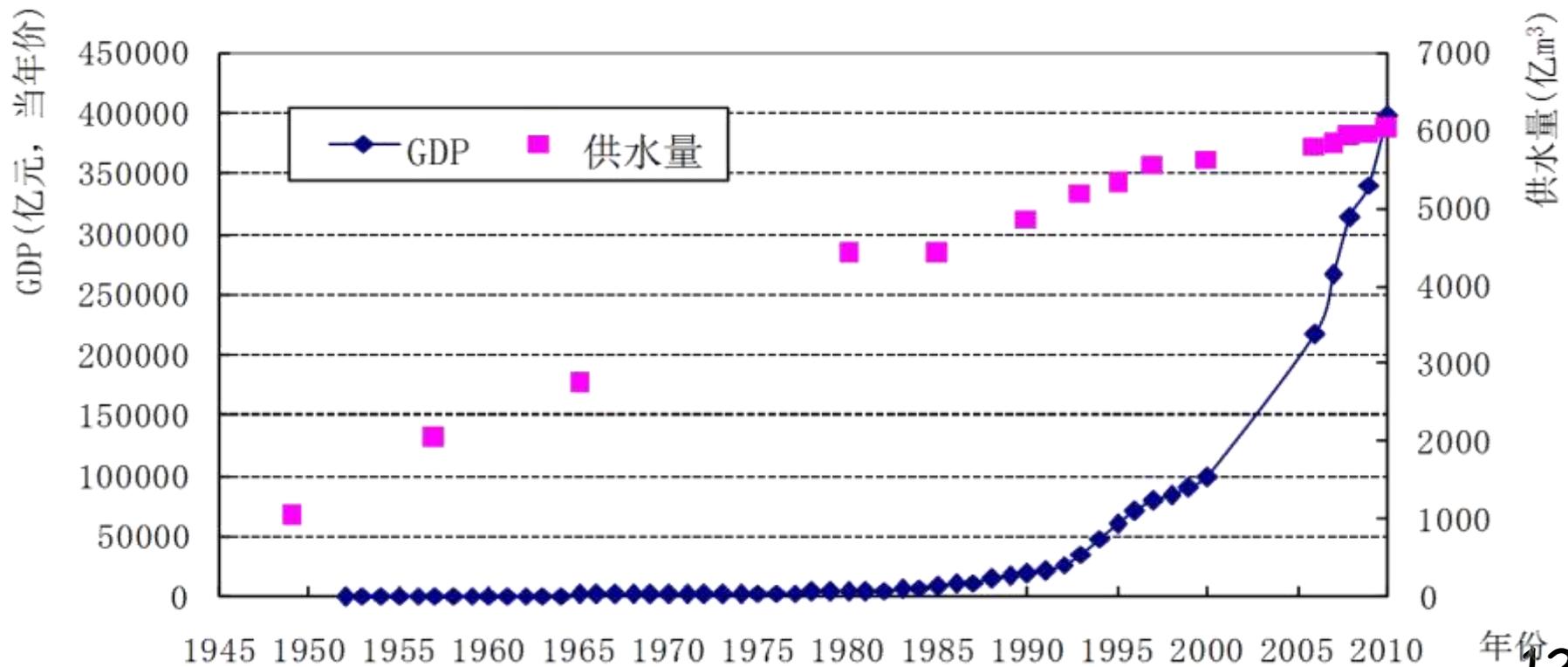




**受自然因素和人类活动影响，水资源量减少明显。2001-2010年与1956-2000年比较，全国降水减少2.8%，地表水资源和水资源总量分别减少5.2%和3.6%，其中海河区最为显著，降水减少9%，地表水减少49%，水资源总量减少31%。**

# 1.2 中国水资源开发利用情况

全国**供水量**从上世纪50年代的1031亿 $m^3$ 增加到2015年6103亿 $m^3$ ，增加了近6倍，年均增率1.03%。



全国供水量变化状况

全国**用水量**呈缓慢上升趋势，生活用水持续增加，工业用水从总体增加转为渐趋稳定，农业用水受气候等因素影响波动变化。

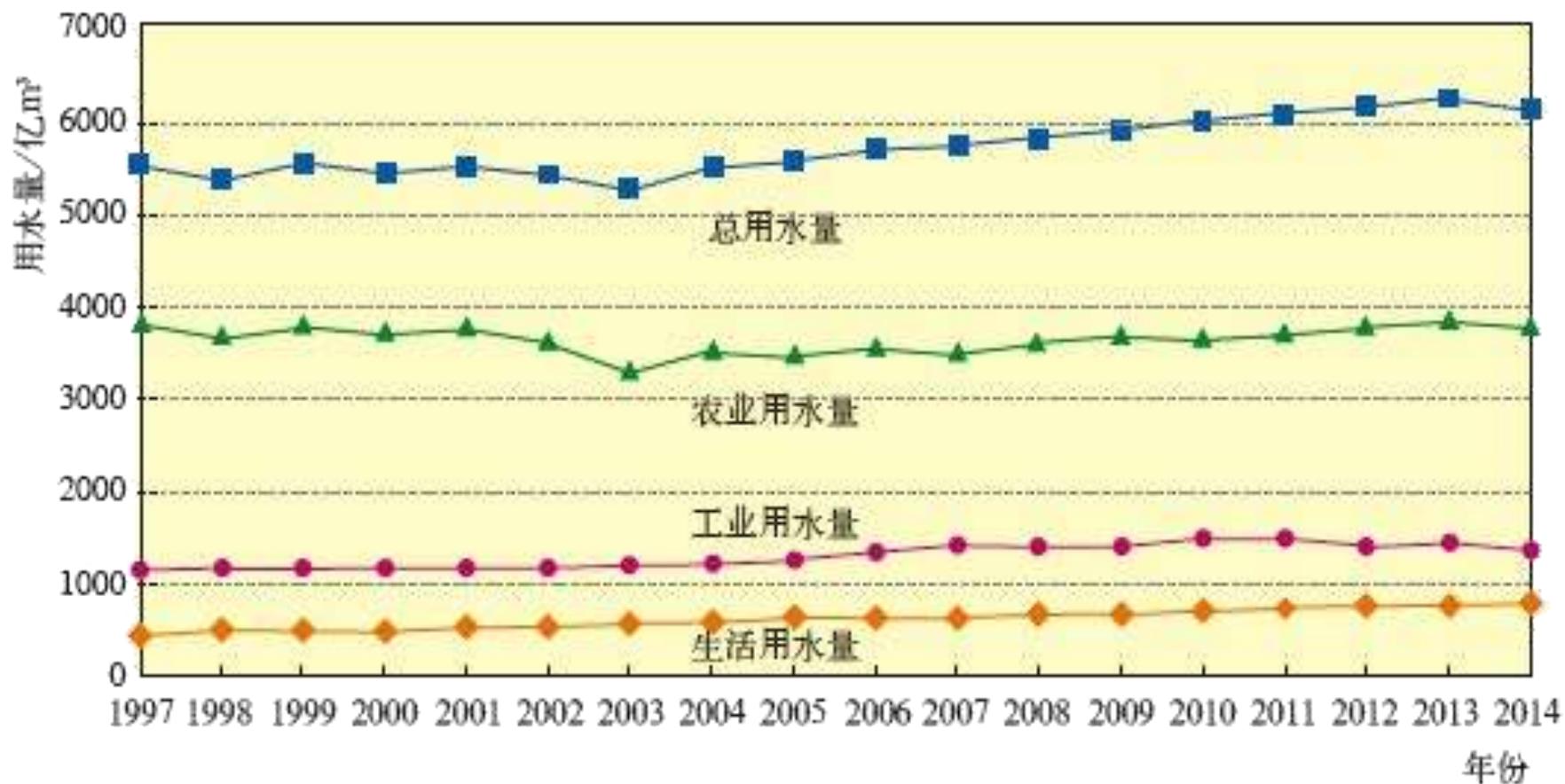
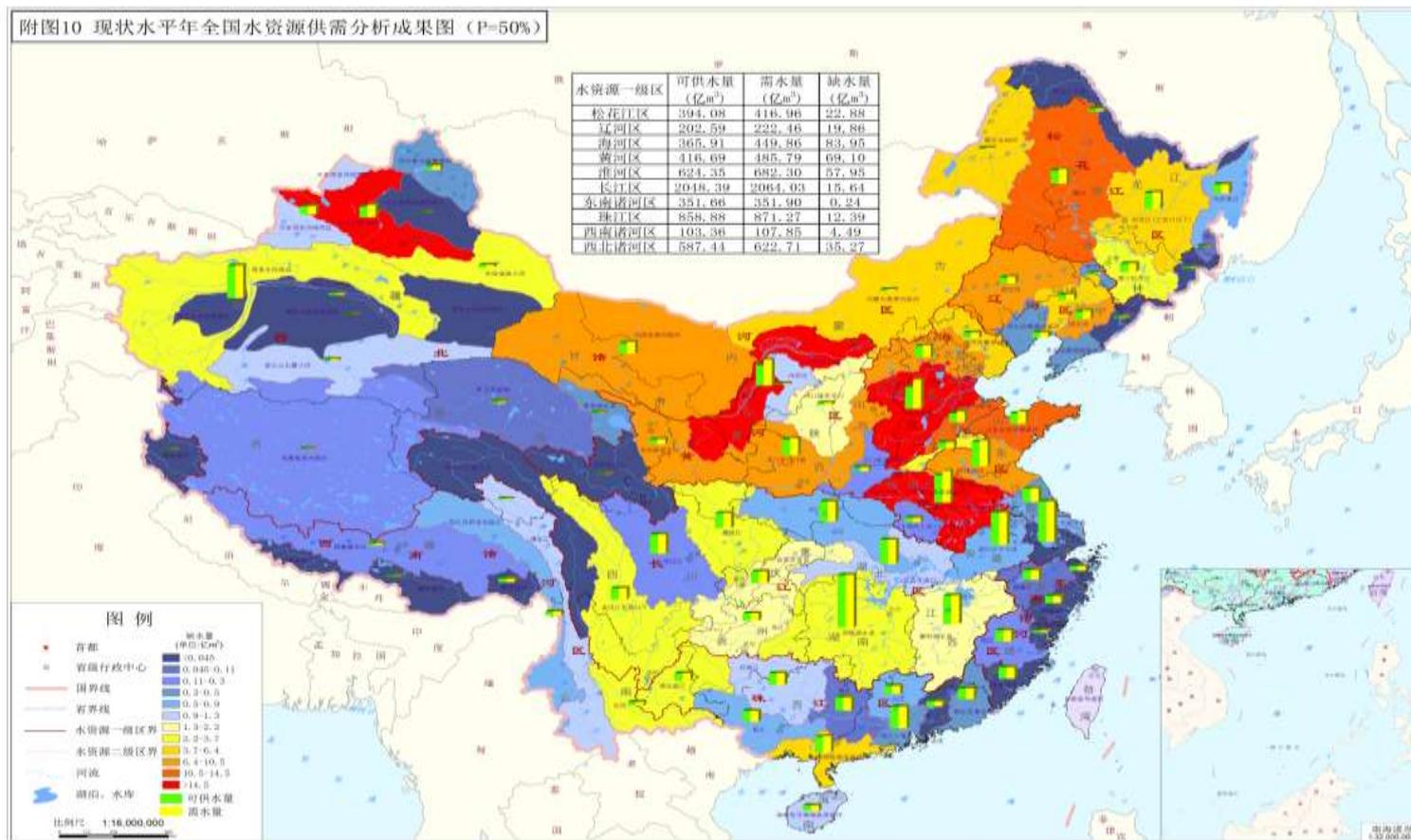


图24 1997—2014年全国用水量变化图

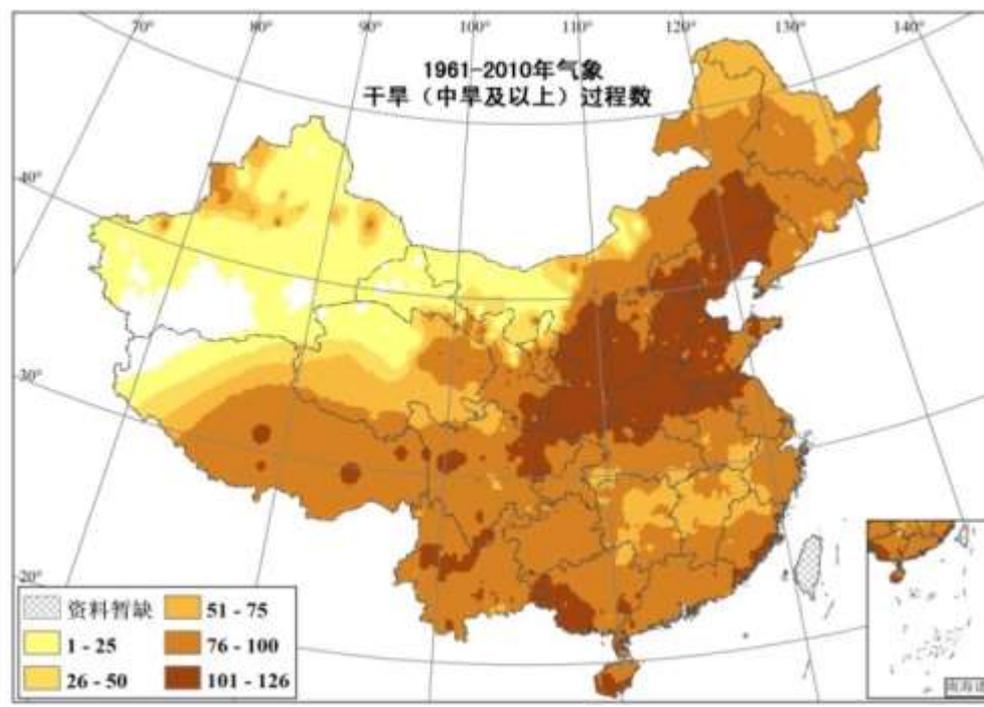
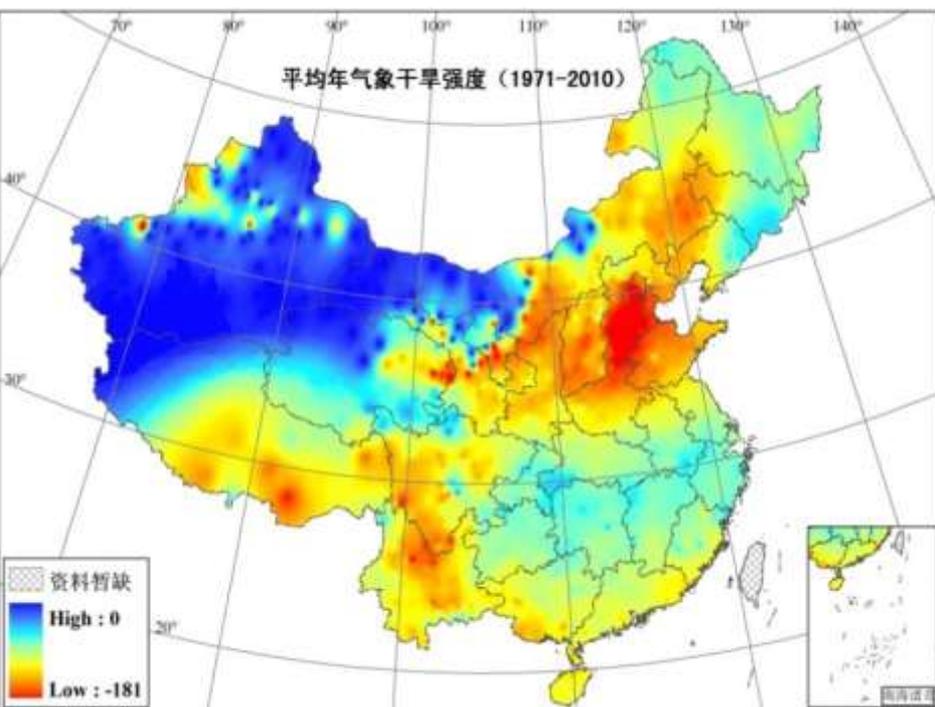
# (1) 水资源短缺

全国正常年份缺水约500亿m<sup>3</sup>，海河、黄河、辽河、西北和东部沿海城市等地缺水严重，缺水范围在蔓延。



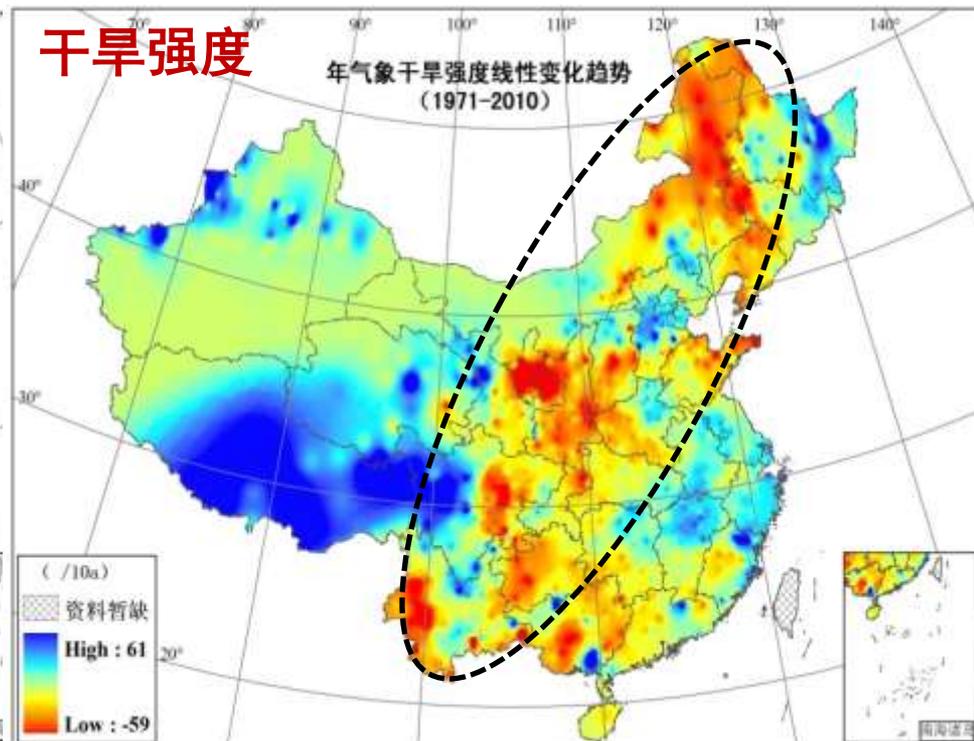
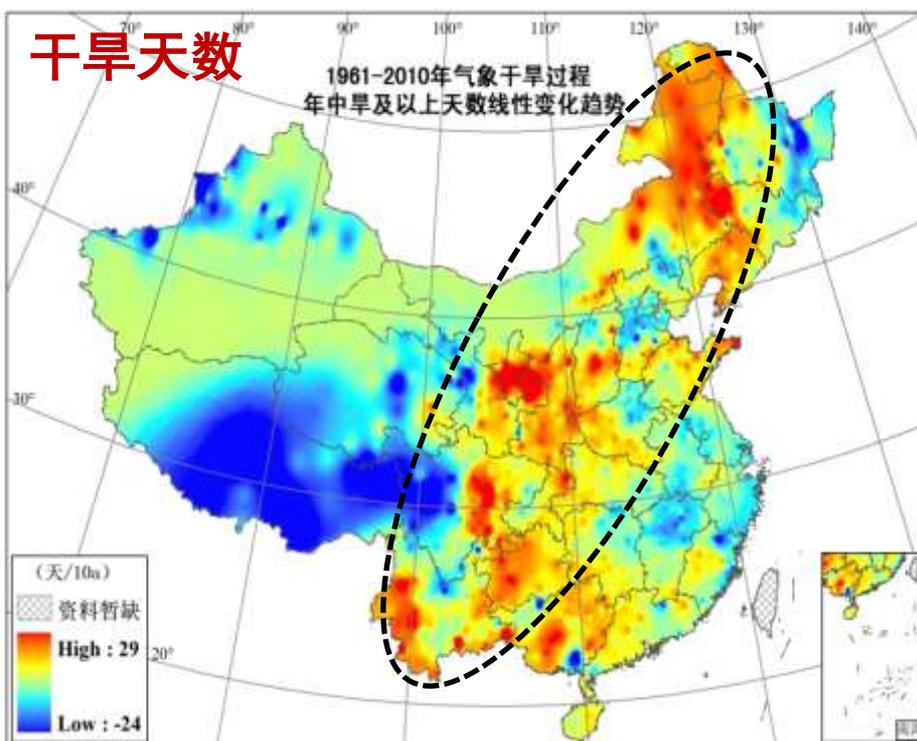
# (1) 水资源短缺

从分布情况来看，我国的东北西南部、华北地区、淮河流域和西南地区是干旱缺水发生频率和强度较高的地区。



# (1) 水资源短缺

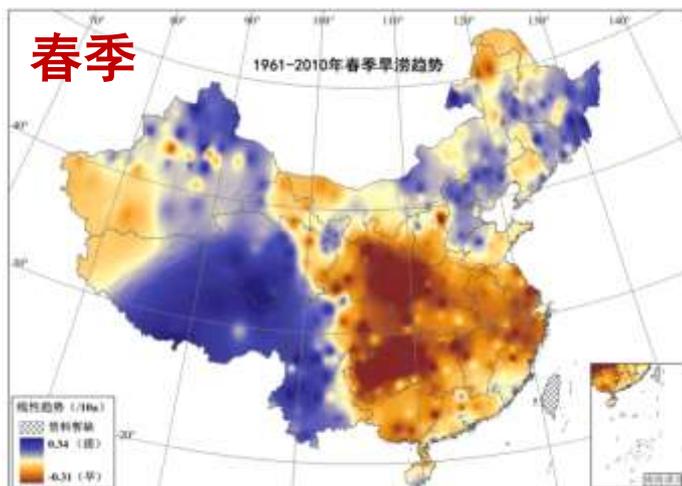
从变化趋势看，近50年我国存在一条明显的西南至东北走向的干旱缺水趋势带。



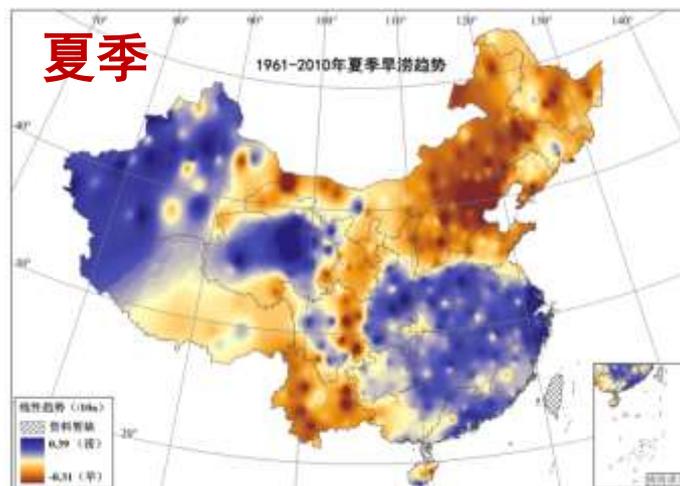
# (1) 水资源短缺

从四季变化来看，各季节空间上存在一定的差异。

中东部  
大部地区  
趋旱

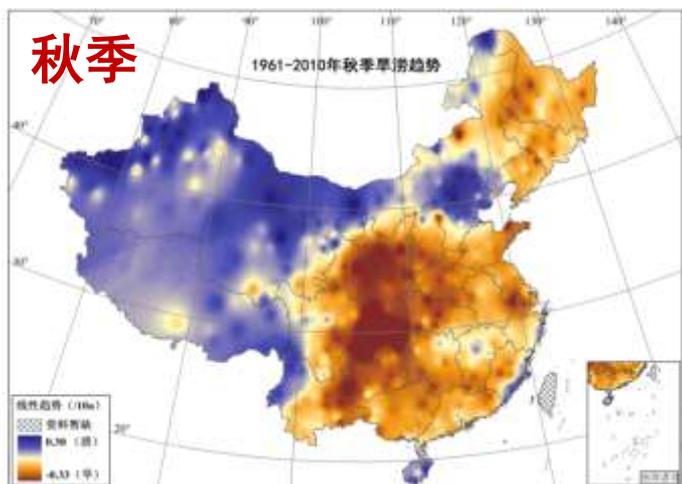


夏季

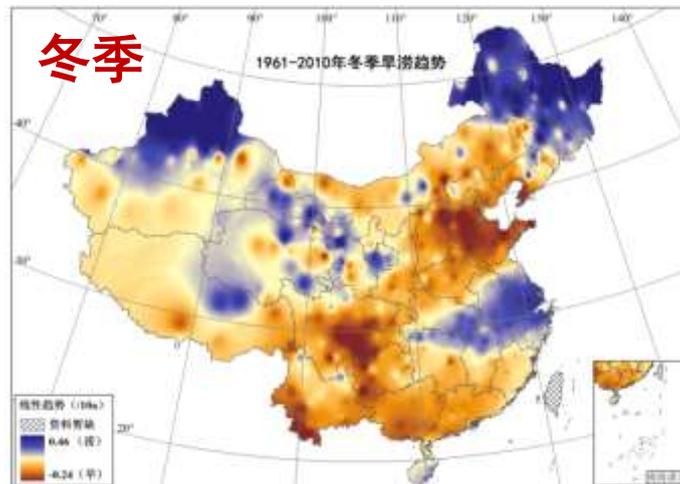


东北  
趋旱

中东部、  
东北地区  
趋旱



冬季



全国  
大范围  
趋旱

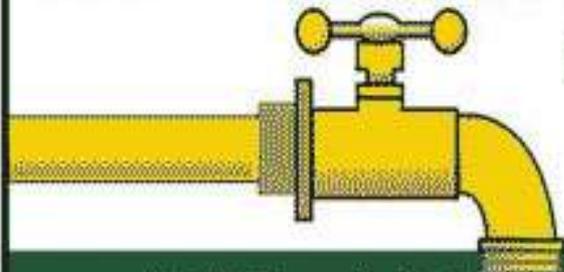
# (1) 水资源短缺

三分之二的城市缺水

水资源短缺、水污染加剧、地下水超采和用水效率低下，正在不断加剧我国的水资源供需矛盾

目前

全国 600 多个城市中存在供水不足问题的城市 400 多个



比较严重的缺水城市 110 个

全国城市缺水总量 60 亿立方米

据预测，2030 年我国人口将达到 16 亿人的高峰，届时我国将成为严重缺水国家

预计 2030 年

人均水资源拥有量 1750 立方米

用水总量 7000 亿立方米至 8000 亿立方米

要求供水能力比现在增长 1300 亿立方米至 2300 亿立方米

## (2) 洪涝灾害

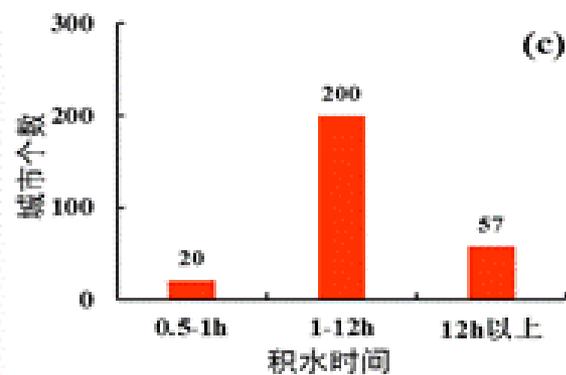
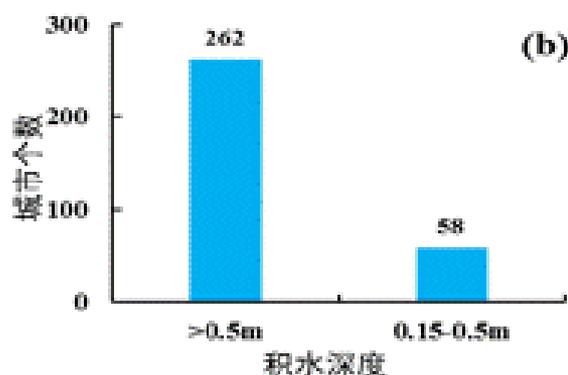
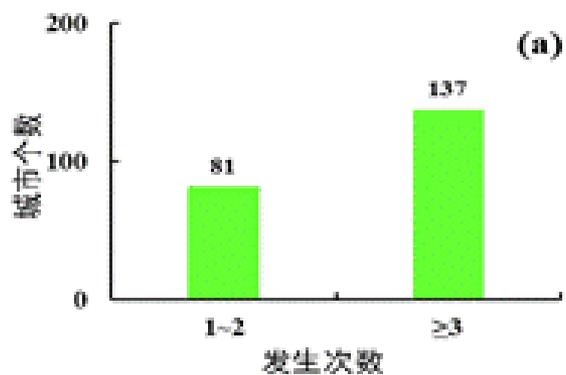
中国是世界上洪涝灾害最频繁的国家之一，有**10%**国土面积、**5亿**人口、**5亿亩**耕地，**100**多座大中城市受到洪涝灾害的威胁，在有文献记载的2200多年中，共发生大水灾**1600**多次。



# (2) 洪涝灾害

## 城市内涝愈演愈烈

- 全国62%的城市发生过内涝，一年超过3次以上的有137个
- 城市内涝覆盖所有省份，全国城乡年均受灾人口1亿人左右



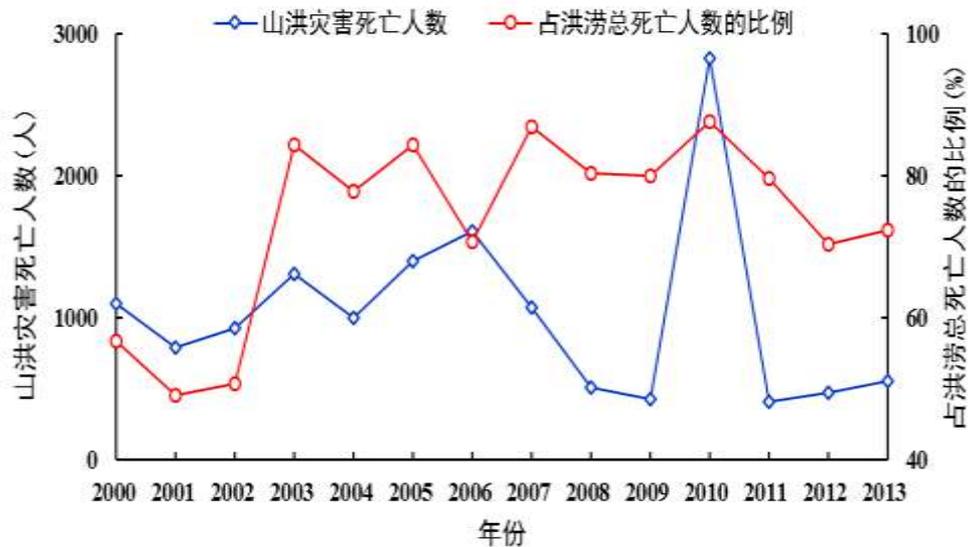
213座城市积水深度和积水时间统计

# (2) 洪涝灾害

## 山洪灾害异军突起

- 全国山洪灾害死亡人数1029人/年，占洪涝总死亡人数73.6%
- 因山洪灾害死亡人数减少，但占洪涝总死亡人数比例却在增加

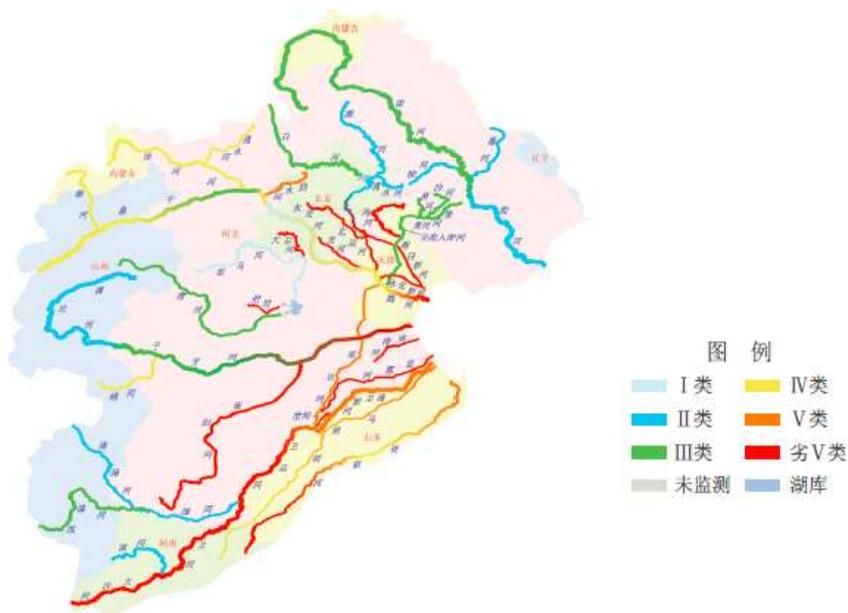
皖、赣、湘、鄂：死亡800人，受灾农田228.4万hm <sup>2</sup> ，毁坏水利工程3.7万处	1955-6	黑龙江克山县：死亡60人，受伤16人	1957-7
云南禄劝县：88户443人被掩埋死亡	1965-11-22	成昆铁路利子依达沟：300人遇难	1981-7-9
甘肃东乡：冲毁4座村庄，死亡277人；冲毁农田200hm <sup>2</sup> ；死亡大牲畜11.6万头	1983-3	潼关县西峪河：51人死亡	1994-7
福建：受灾142.1万人，死亡10人，直接经济损失10亿元	1999-7	陕西佛坪、宁陕等县：455人死亡和失踪	2002-6-8
四川、重庆：233人死亡和失踪	2004-9	黑龙江沙兰镇：117人死亡(其中学生105人)，直接经济损失1.36亿元	2005-6-10
贵州省望谟县：30人死亡，20人失踪	2006-6-12	湘东南、粤东北、闽南：618人死亡，114人失踪	2006-7-14
河南卢氏县：72人死亡，16人失踪，直接经济损失14亿元	2007-7-29	陕西安康市：17.5万人受灾，18人死亡，32人失踪	2007-8-7
甘肃舟曲县：1434人死亡，331人失踪	2010-8-8		



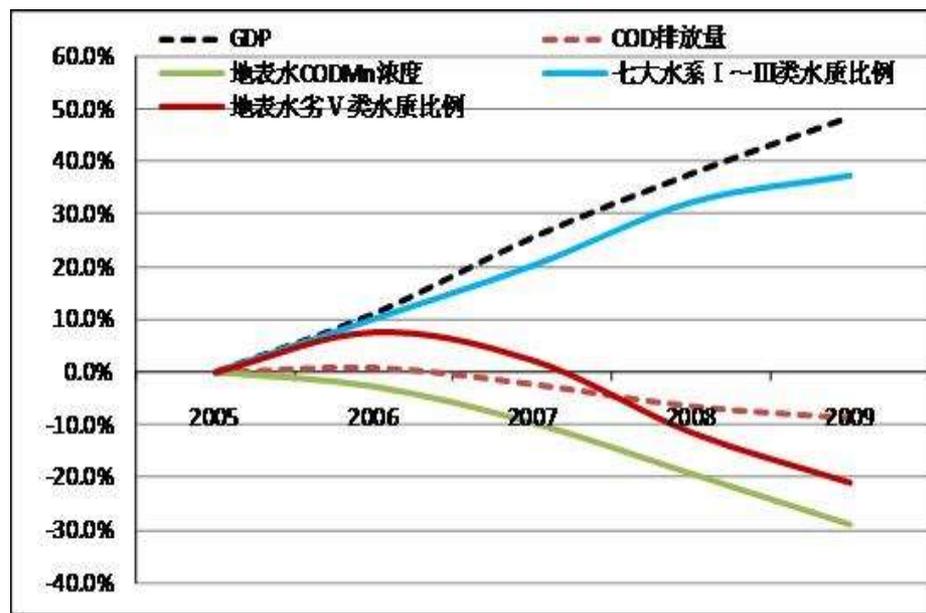
近60年部分重大山洪及次生灾害损失情况

# (3) 水环境污染

地表和地下水体污染十分严重，点源污染不断增加，非点源污染日渐突出，水污染加剧态势尚未得到根本遏制。



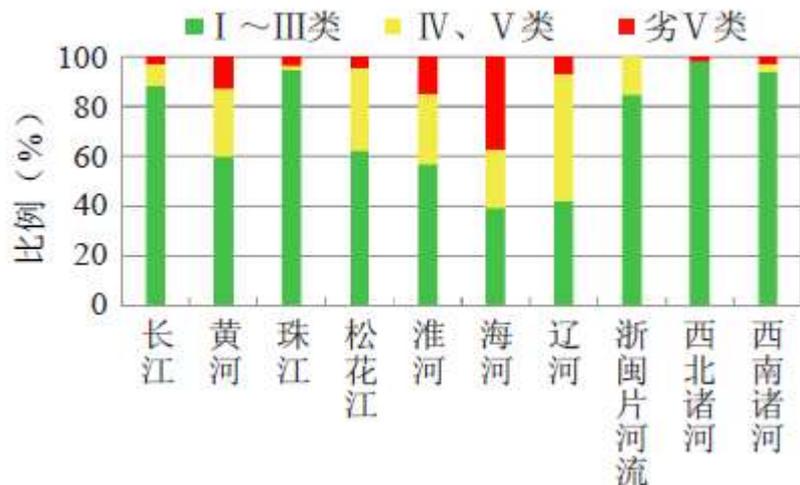
2014年海河流域水质分布



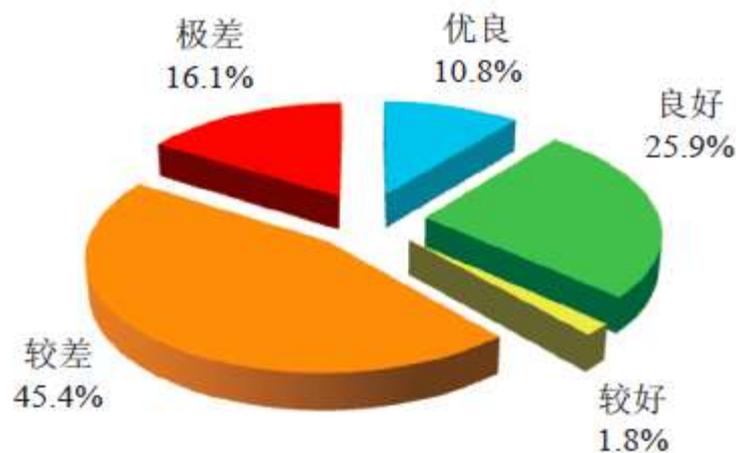
社会经济发展与水污染呈现解耦趋势

# (3) 水环境污染

2014年全国水功能区达标率为**51.8%**，呈现出**复合性、流域性和长期性**，已经成为**最严重和最突出的水资源问题**。



2014年各水资源一级区水质状况



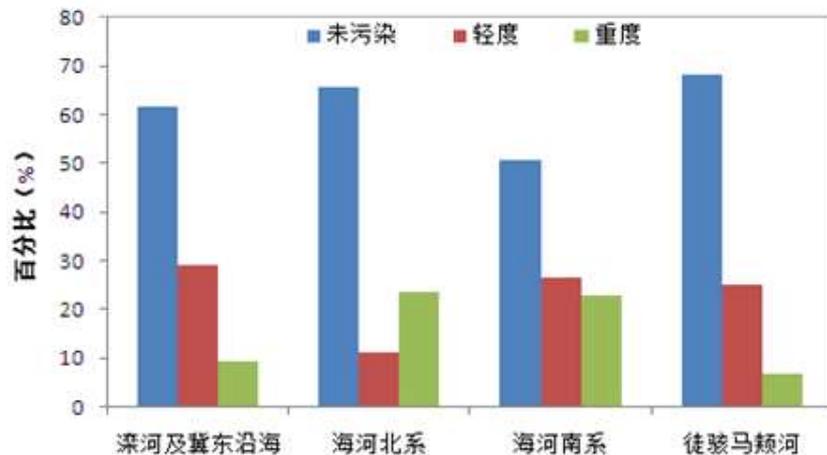
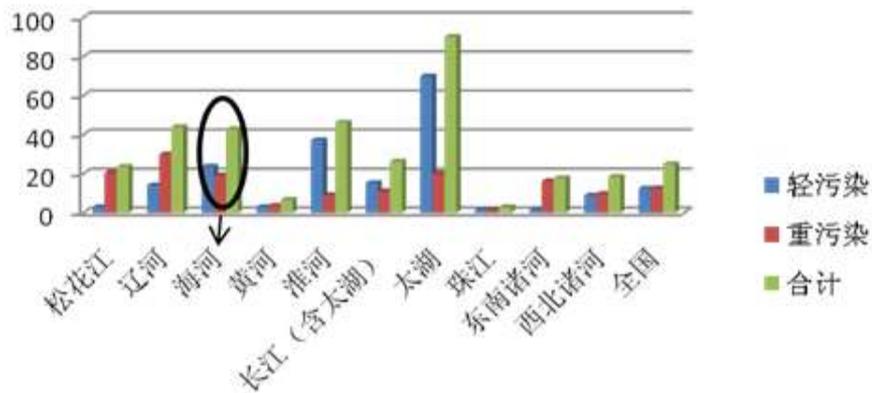
2014年地下水水质状况

# (3) 水环境污染

依据2014年北京、辽宁、吉林、黑龙江、河南、上海、江苏、安徽、海南、广东10个省区市1040眼监测井水质资料：

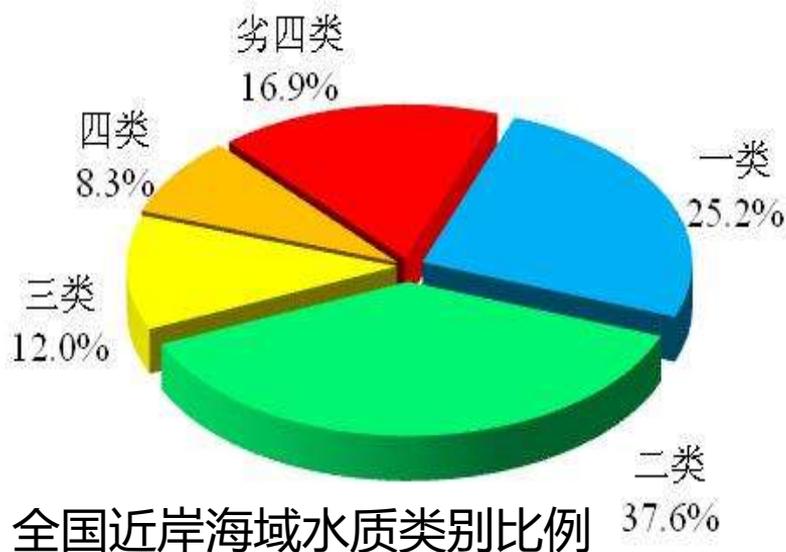
- 水质适用于各种用途的 I - II类监测井占总数的3.4%
- 适合生活饮用水水源及工农业用水的 III类监测井占20.6%
- 适合除饮用外其他用途的 IV ~ V类监测井占76.0%

全国主要流域平原区地下水污染面积比例

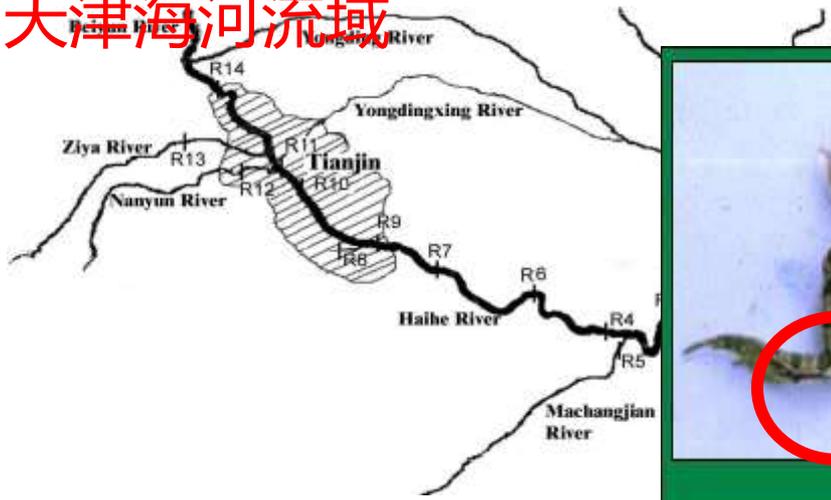


# (3) 水环境污染

不足二类海水面积占总面积37%，陆域污染负荷是影响海域水质的关键因子，入海河流带入的污染负荷总量90%以上



# 天津海河流域



Map of selected sampling sites of Haihe River, Tianjin.

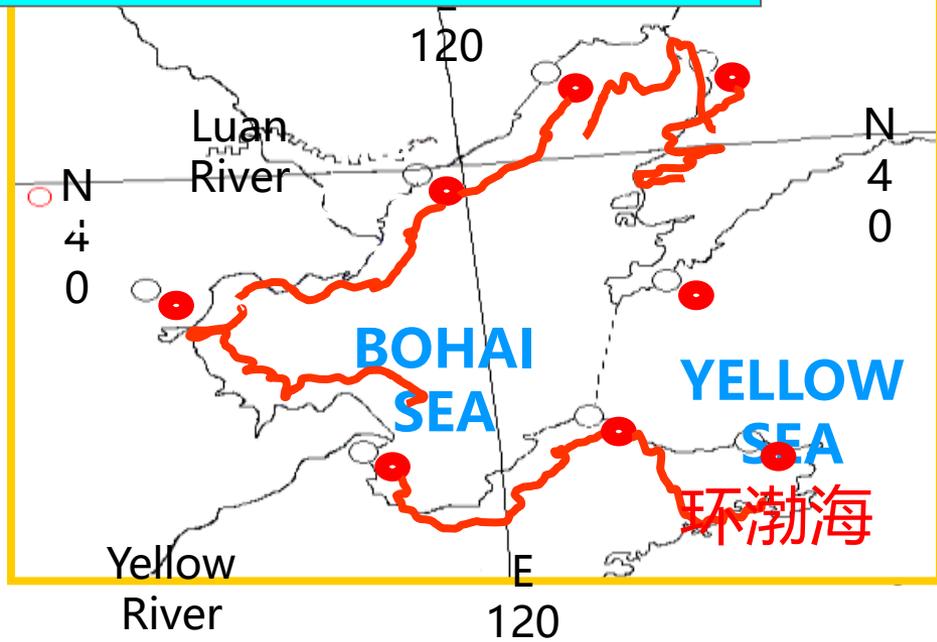
# 珠江三角洲



**持久性有机污染物（如DDT、多氯联苯等）呈加剧趋势，直接危害到环境安全、生态稳定和人体健康**

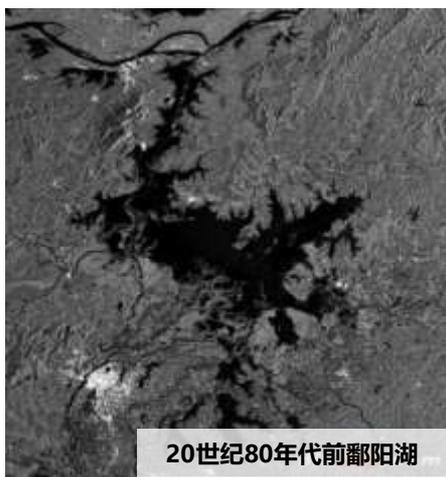


# 官厅水库/永定河流域

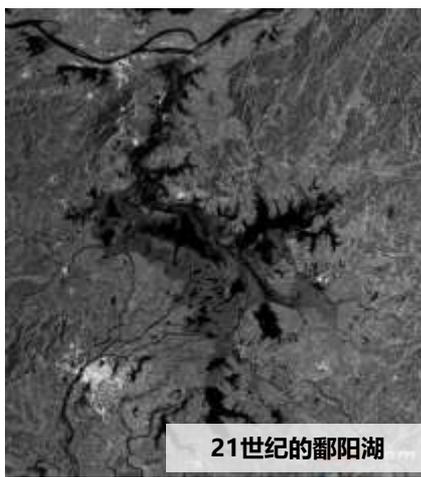


# (4) 水生态退化

水生态系统退化严重，江河断流、湖泊萎缩、湿地减少、水生物种减少和生境退化等问题突出，淡水生态系统功能整体呈现“局部改善、整体退化”的态势。

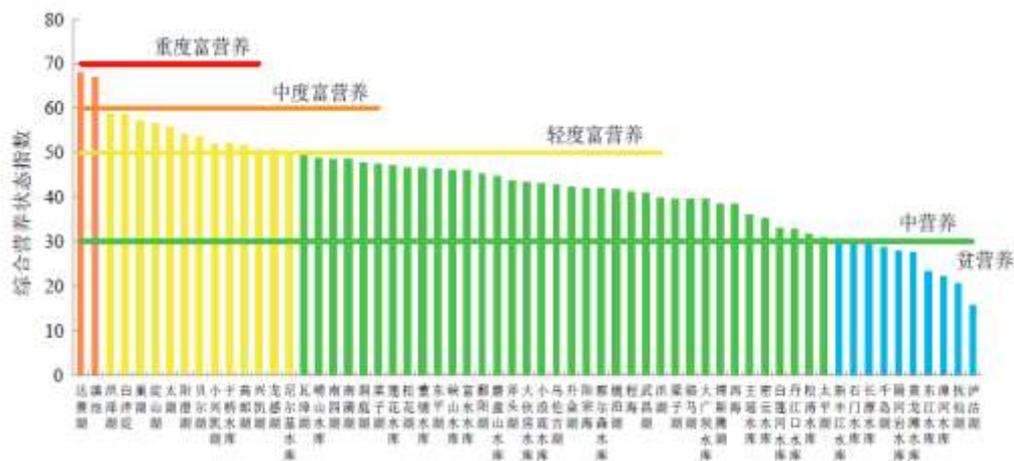


20世纪80年代前鄱阳湖



21世纪的鄱阳湖

鄱阳湖对比



2014年重点湖泊综合营养状态指数<sup>27</sup>

# (4) 水生态退化

北方地区地下水普遍严重超采，全国年均超采**200多亿立方米**，现已形成**160多个**地下水超采区，超采区面积达**19万平方公里**，引发了地面沉降和海水入侵等环境地质问题。

流域分区	面积	超采区	严重超采区	年均超采量
松辽片		12521	9746	7.00
海河片		89068	39680	39.11
黄河片		19245	9433	10.31
淮河片		23605	9089	6.39
长江片		11905	1369	3.56
珠江片		1027	631	0.82
东南诸河片				
西南诸河片				
内陆河片		23951	3401	4.10

来源于《全国地下水超采区现状与治理对策》

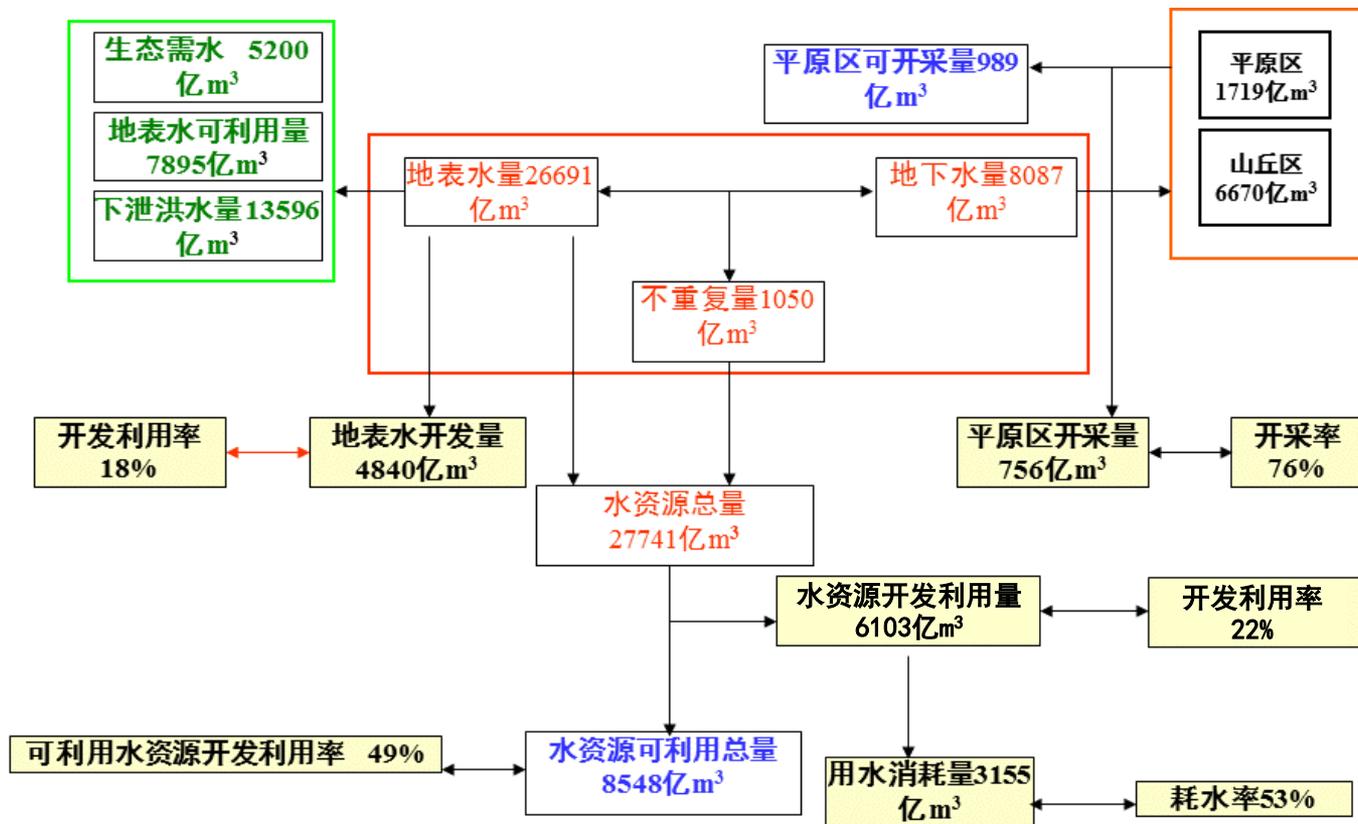
全国各流域地下水超采状况



全国水生态状况

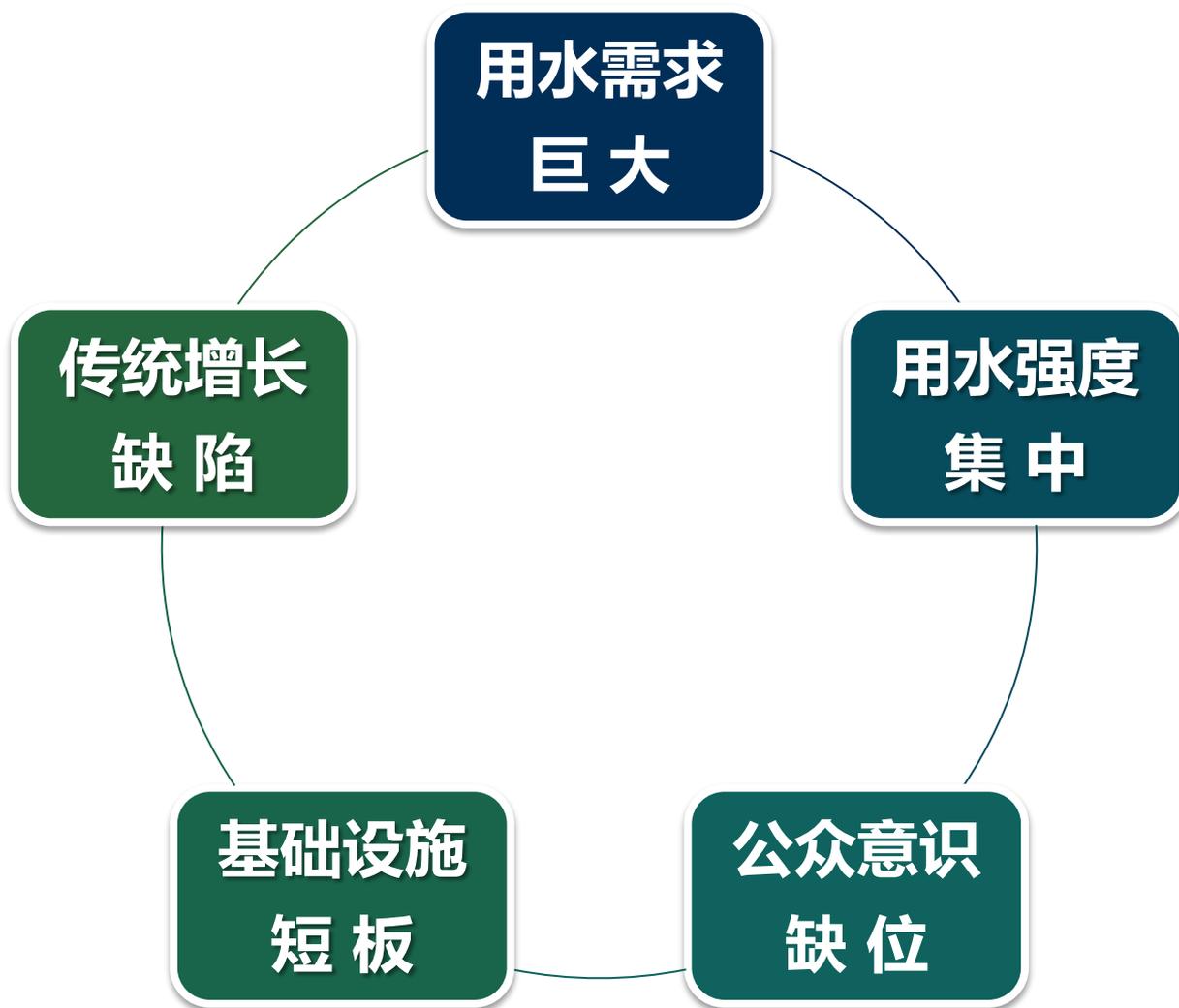
# (4) 水生态退化

经济社会用水挤占基本生态用水，河流水域侵占、湿地开发等也是水生态退化的重要原因



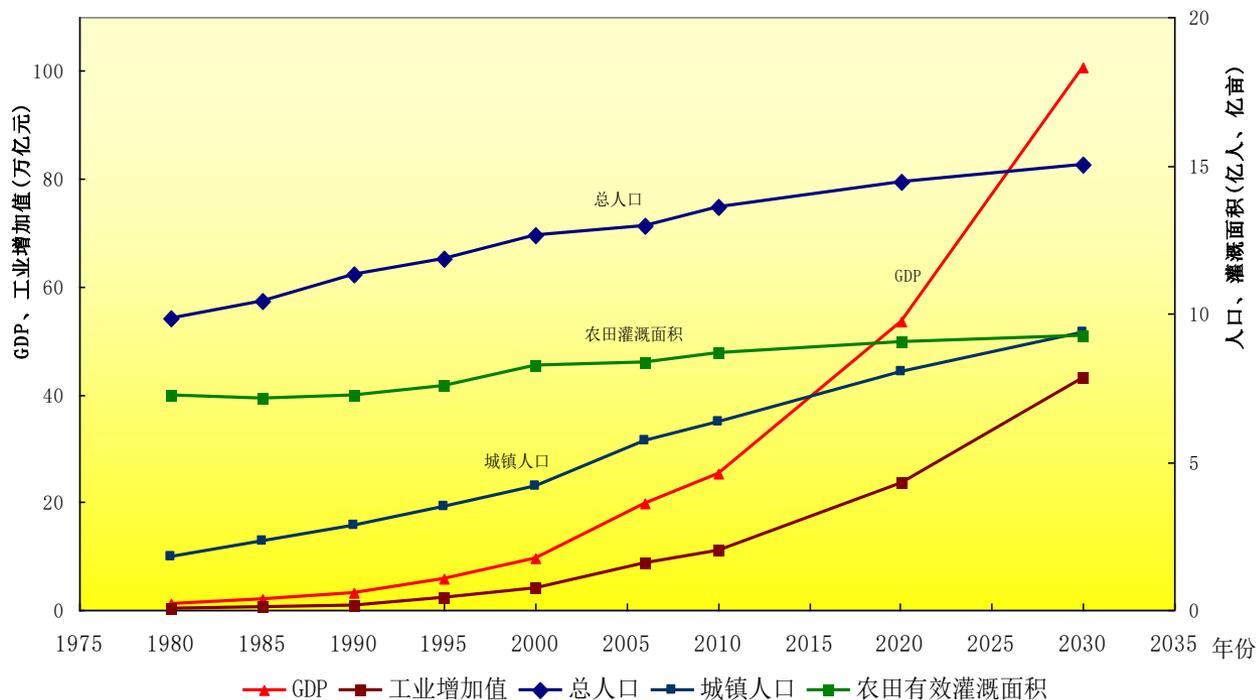
全国水资源收支平衡表

# 水资源问题产生的社会根源



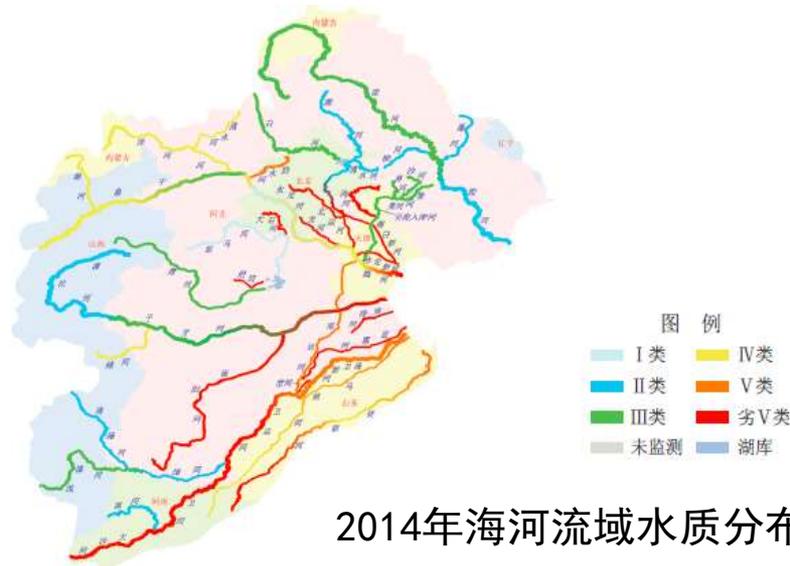
# 水资源问题产生的社会根源

**用水需求巨大：**伴随着我国人口增加、城市化的发展和经济的快速增长，我国用水总量也在快速增长。预计到2030年，我国人口总量将增加到**15亿**，人均将下降到不足**1900m<sup>3</sup>**。



# 水资源问题产生的社会根源

**用水强度集中：**京津冀、珠三角、长三角三大城市群，是我国经济中最具有活力的地方，也是水资源短缺最为集中、生态问题最为突出、水环境恶化最为显著、水灾害损失最大的地区。



2014年海河流域水质分布

# 水资源问题产生的社会根源

**传统增长缺陷：**高能耗、粗放型的经济增长方式，水资源开发利用量、污染物使用和排污量的快速增加，给水资源系统带来了严峻的挑战。



# 水资源问题产生的社会根源

**基础设施短板：**城乡水源工程建设滞后，水资源配置体系尚不健全，应急备用水源缺乏、保障程度不高，特别是在应对连续干旱和特重干旱时更显得能力不足。



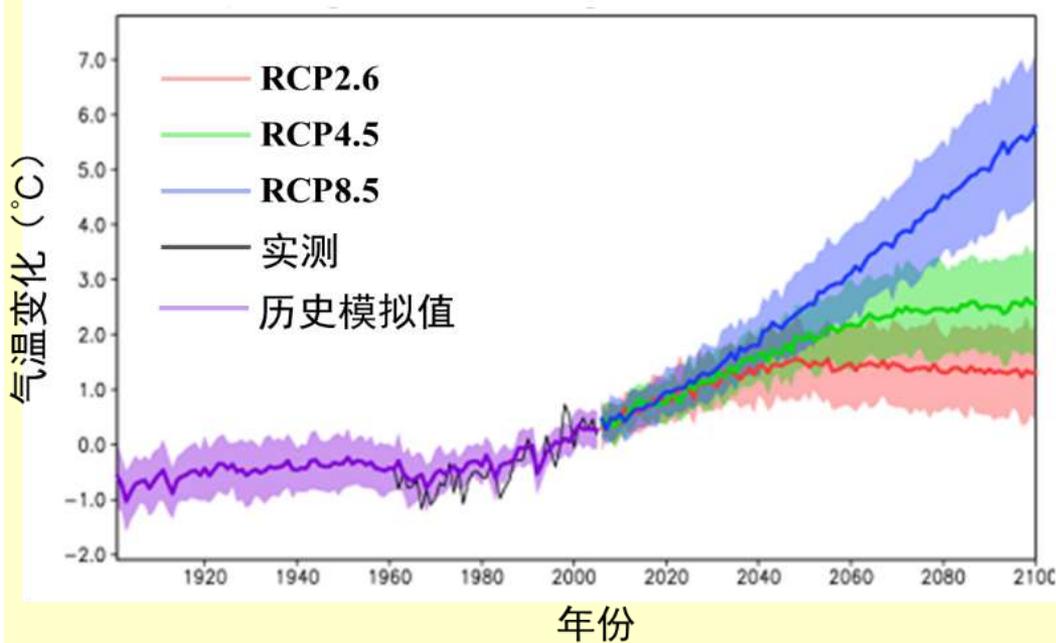
# 水资源问题产生的社会根源

**公众意识缺位：**我国社会调查所（SSIC）一项调查结果表明，**仅27%**的被访者表示在平时用水时有节水意识。



# 水资源问题产生的科学背景

以增温为背景的气候变化和以竞争性用水为特征的人类活动影响，水循环及其伴生过程间多向反馈作用发生了显著变化，是水资源、水环境与水生态问题形成演化的共同根源



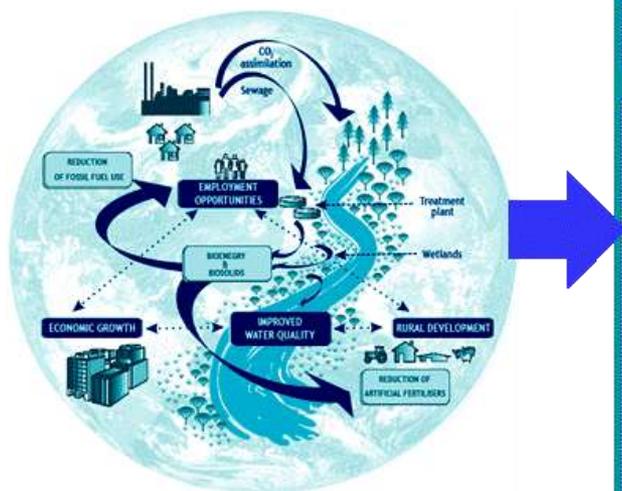
# 水资源问题产生的科学背景

随着人类活动影响的加深，自然与社会水循环在**循环通量**上此消彼长，在**循环过程**上深度耦合，在**循环功能**上竞争融合，影响着自然生态系统和经济社会系统，产生了一系列水问题

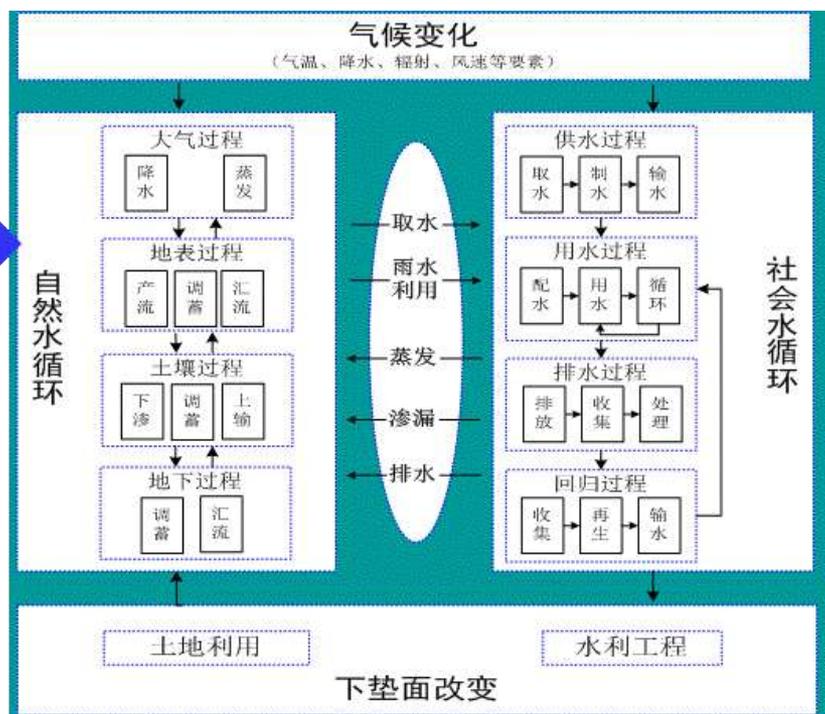
- **洪涝事件**：气候变化下的自然水循环过程演变
- **缺水问题**：自然水循环-社会水循环演变失衡
- **水污染**：与水循环伴生的水化学过程演变失衡
- **生态退化**：与水循环伴生的生态过程演变失衡

# 水资源管理核心是维持自然与社会水循环平衡

在强烈人类活动作用下，水循环呈现“自然-社会”二元特征，水资源管理核心就是调控社会水循环过程，维持自然与社会水循环的平衡。



- 通量上此消彼长
- 过程上深度耦合
- 功能上竞争融合



# 水资源管理核心是维持自然与社会水循环平衡

## 传统水问题

## 现代水问题

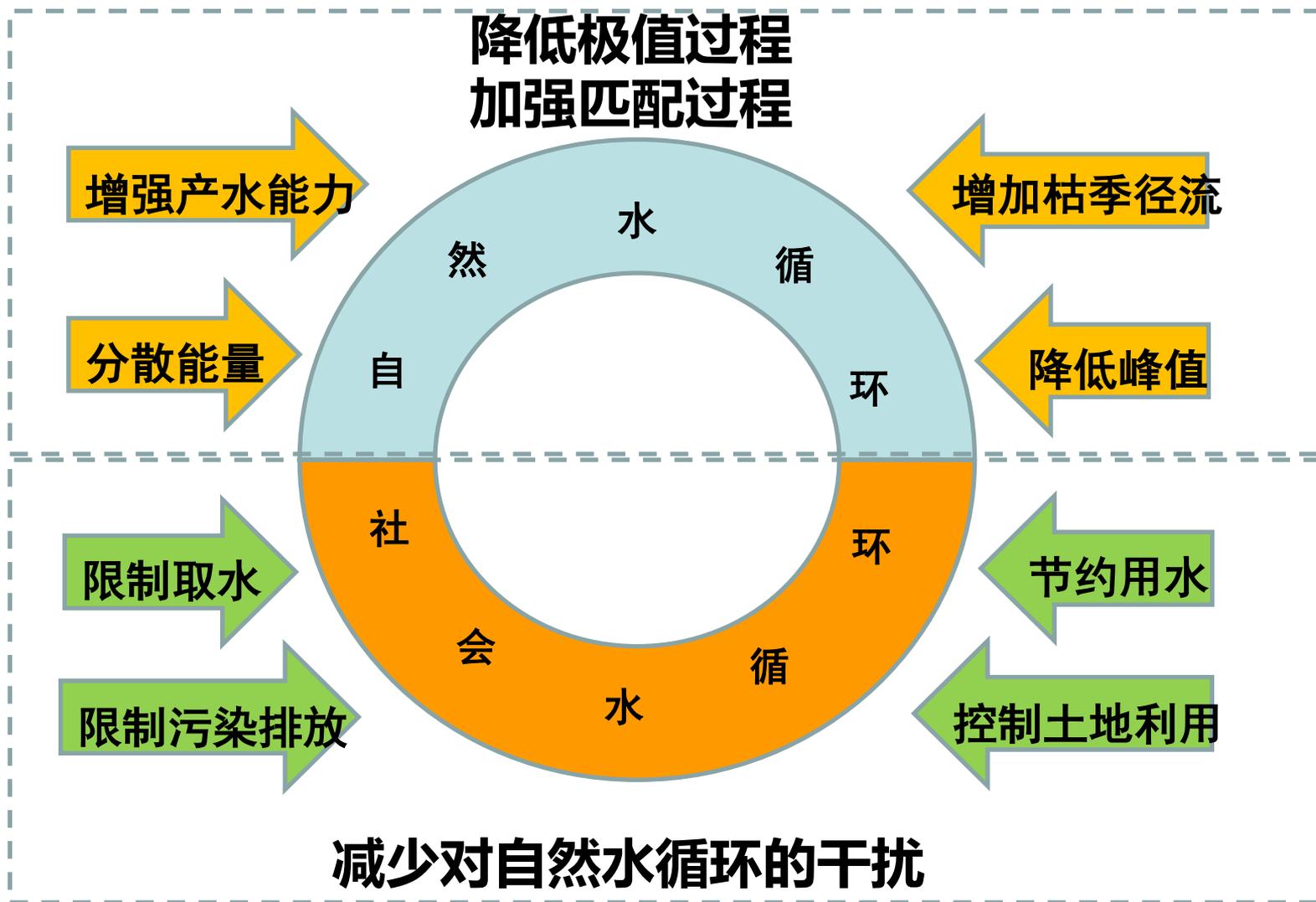


## 自然水循环调控

## 社会水循环调控 39



# 水资源管理核心是维持自然与社会水循环平衡



# 构建建立健康的自然-社会水循环系统

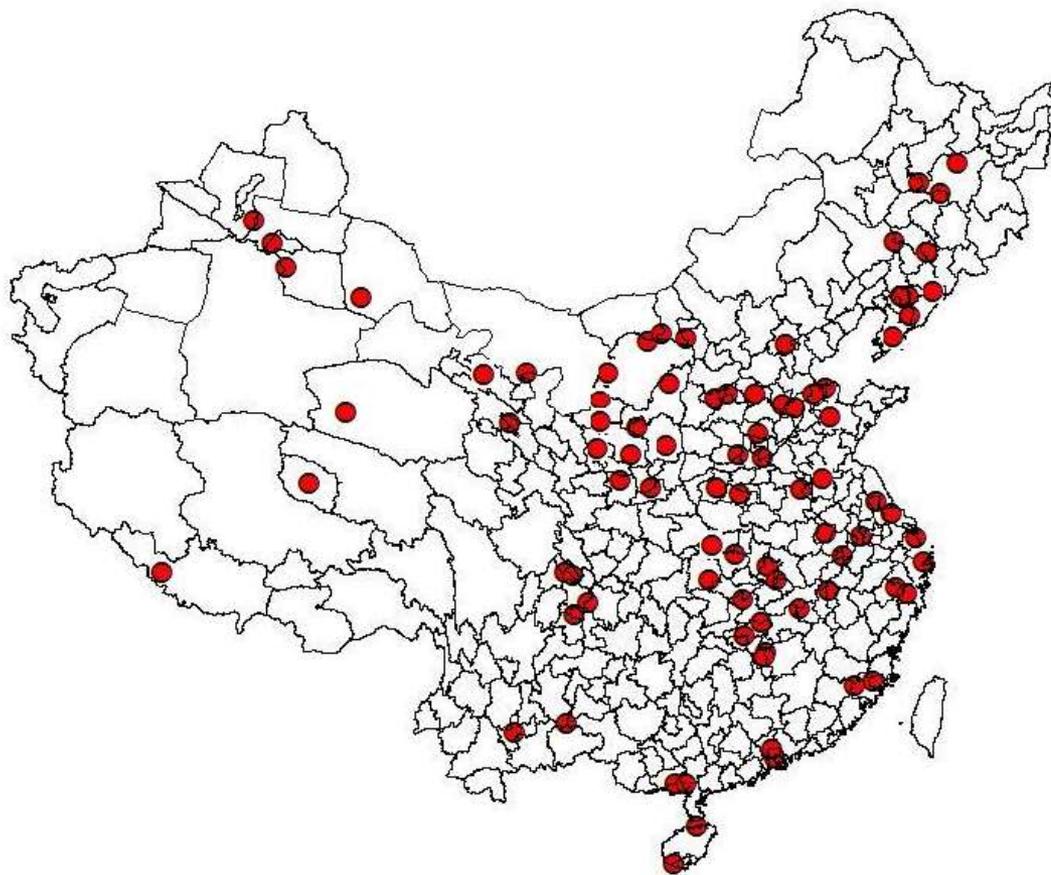
- 社会水循环利用不影响河湖水域的水体功能
- 水的社会循环不损害自然水循环的客观规律
- 社会物质循环不切断、不损害植物营养素的自然循环，不产生营养素物质的流失，不积累于自然水系而损害水生态
- 维系或恢复全流域的良好水环境

# 水资源管理应对措施



# 1、建设节水型社会

2000年以来，全国建设**100个**国家级节水型社会试点，  
**200个**省级试点，形成了以试点带动区域的建设格局。



# 1、建设节水型社会

## 建设内容

- 1) 建设以总量控制与定额管理为核心的**水资源管理体系**
- 2) 建设与水资源承载能力相适应的**经济结构体系**
- 3) 建设水资源优化配置和高效利用的**工程技术体系**
- 4) 建设公众自觉节水的**社会行为规范体系**

# 农业节水

## 主要建设内容

- ❖ 促进农业结构调整；
- ❖ 大中型灌区续建配套与节水改造；
- ❖ 加快高效节水工程建设；
- ❖ 北方井灌区改造；
- ❖ 因地制宜发展牧区节水灌溉；
- ❖ 发展旱作农业；
- ❖ 发展林果和养殖业节水；
- ❖ 村镇集中供水和农村生活节水

## 建设目标

- ❖ 新增农田节水灌溉工程面积1.5亿亩；
- ❖ 节水灌溉工程面积占全国有效灌溉面积60%以上；
- ❖ 新增高效节水灌溉工程面积5000万亩；
- ❖ 农业灌溉用水有效利用系数提高到0.53；
- ❖ 灌溉用水总量基本不增长



领域	主要建设内容	建设目标
工业节水	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 促进工业结构调整和发展方式转变</li> <li>❖ 推动节水型企业建设</li> <li>❖ 推进工业园区节水</li> <li>❖ 推广节水工艺技术和设备</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 万元工业增加值用水量降低到61立方米</li> <li>❖ 主要高耗水行业产品单位用水量指标达到或接近国际先进水平</li> </ul>



领域	主要建设内容	建设目标
<b>城镇生活节水</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 加快城镇供水管网节水改造</li> <li>❖ 推广中水利用</li> <li>❖ 加强公共用水管理</li> <li>❖ 推广节水器具</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 基本完成对运行超过50年以及老城区严重漏损的供水管网改造</li> <li>❖ 全国设市城市供水管网平均漏损率<math>&lt;18\%</math></li> <li>❖ 节水型器具在城镇得到全面推广使用</li> </ul>

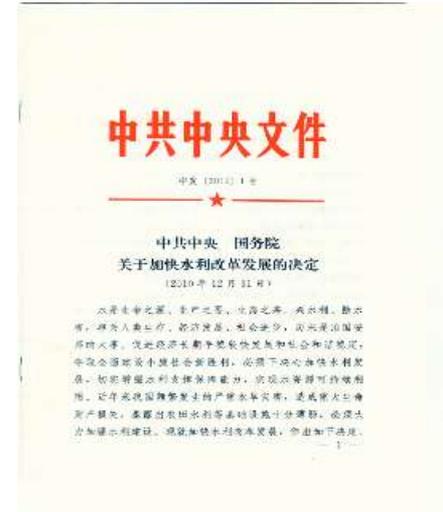


领域	主要建设内容	建设目标
<b>非常规水源利用</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ 再生水利用</li><li>❖ 雨水集蓄利用</li><li>❖ 海水与微咸水利用</li><li>❖ 矿井水利用</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ 北方缺水城市再生水利用量达到污水处理量的25%~30%，南方沿海缺水城市达到10%~20%</li><li>❖ 非常规水源开发利用替代新鲜水量达到100亿立方米以上</li></ul>



## 2、实行最严格的水资源管理

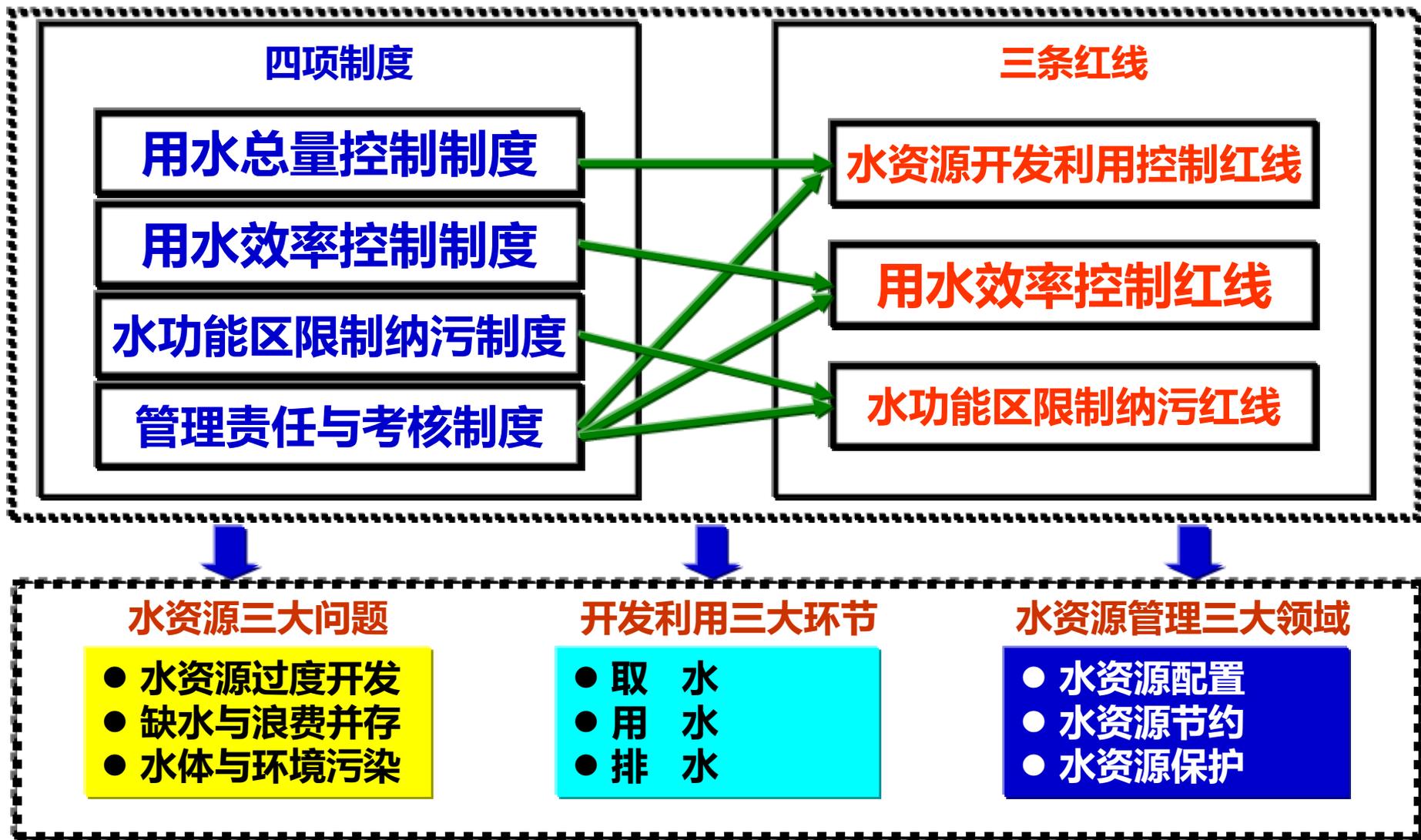
◆ 2011年1月中国发布1号文件《**中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定**》，明确要求实行最严格的水资源管理制度。



◆ 2012年1月中国发布《**关于实行最严格水资源管理制度的意见**》，进行全面部署和具体安排。

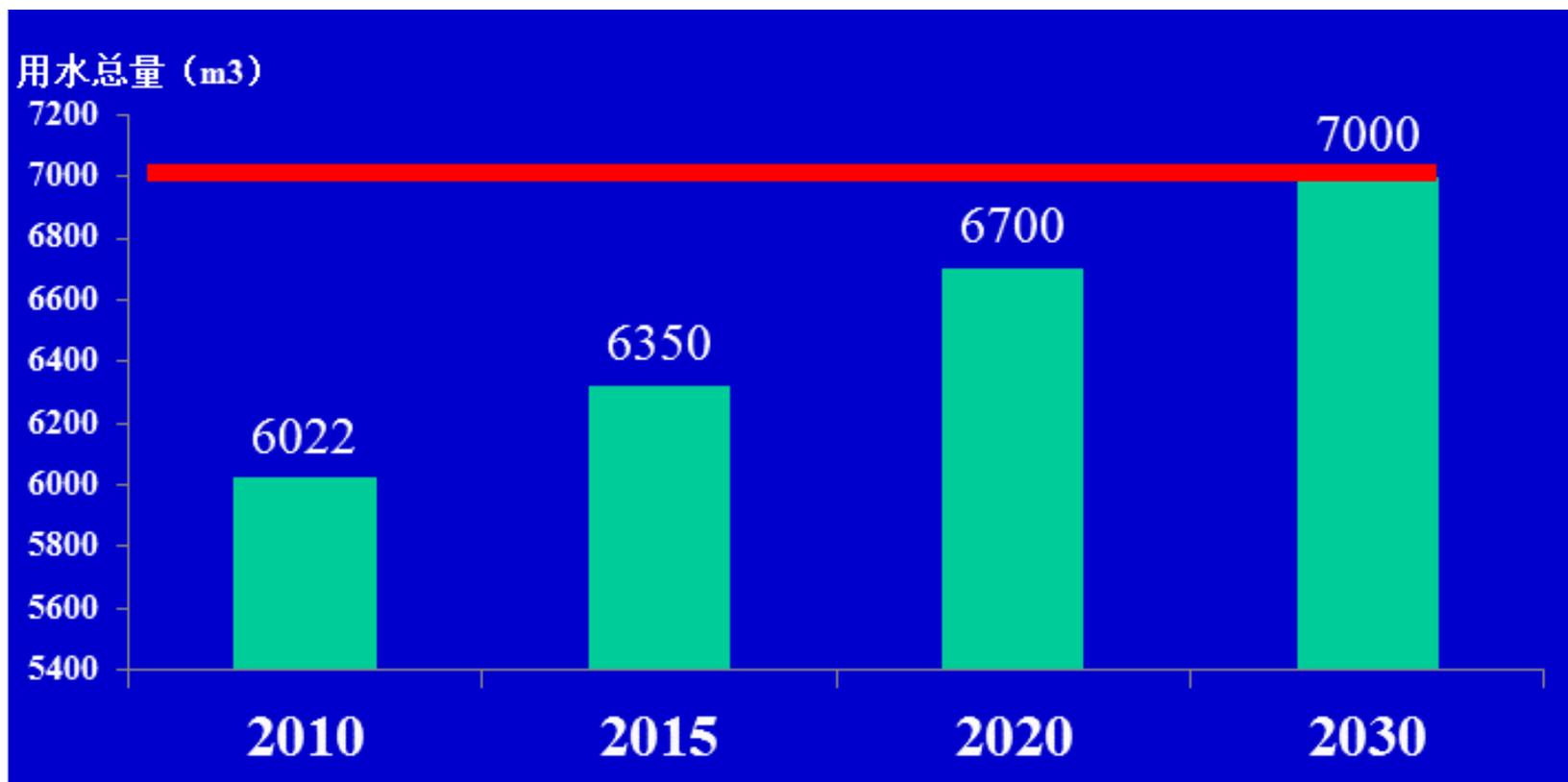


## 2.1 最严格水资源管理制度架构



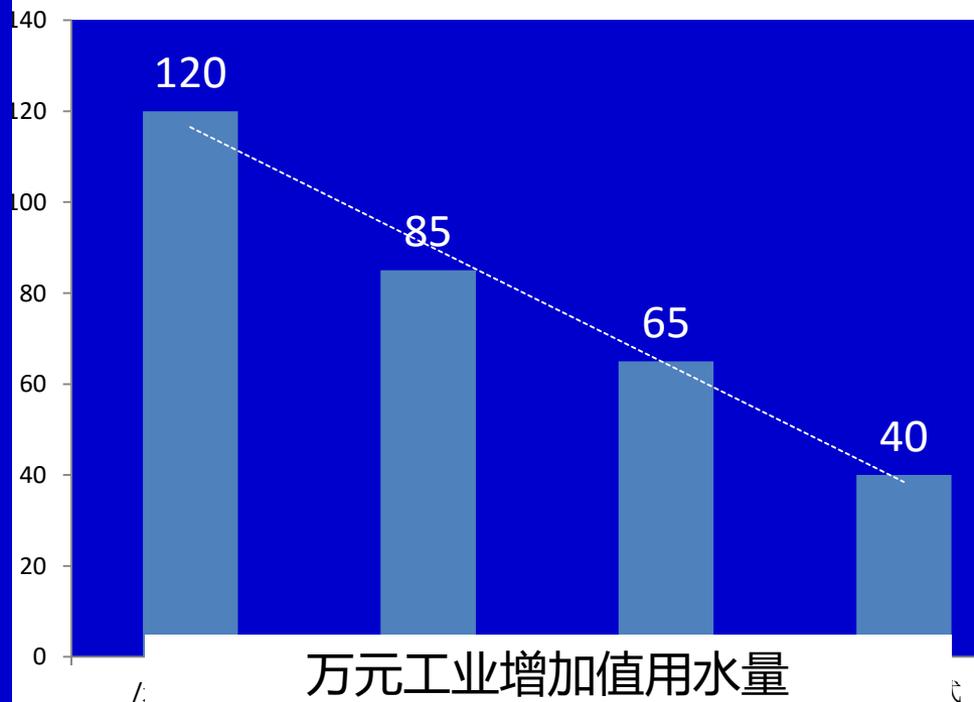
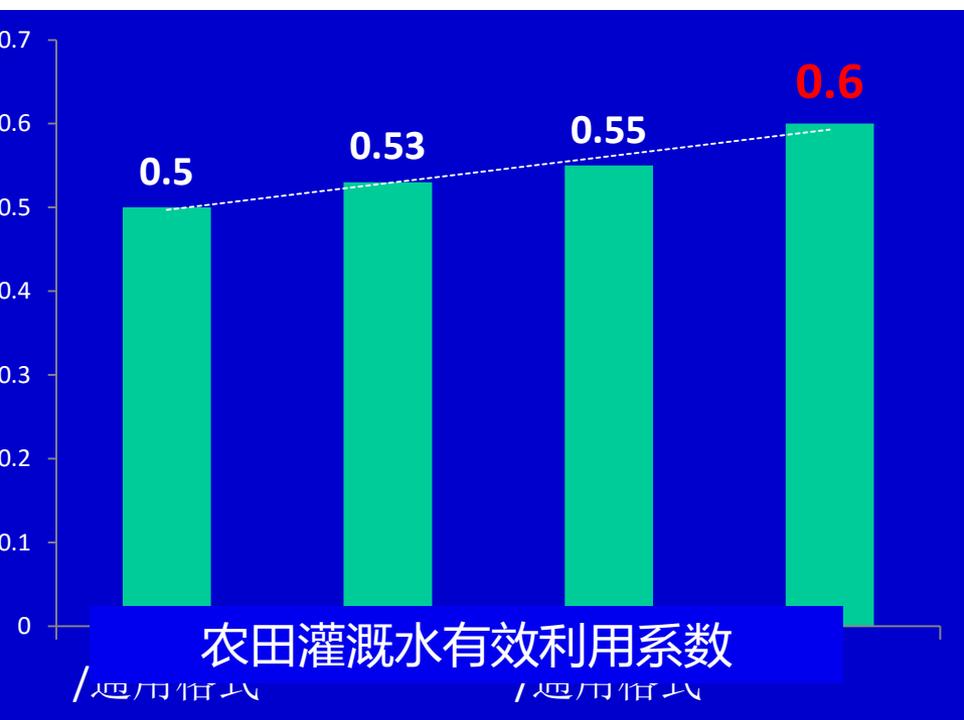
## 2.2 最严格水资源管理制度主要内容

- ◆ **水资源开发利用控制红线。** 严格控制用水总量过快增长，使水资源开发控制在水资源承载范围之内。



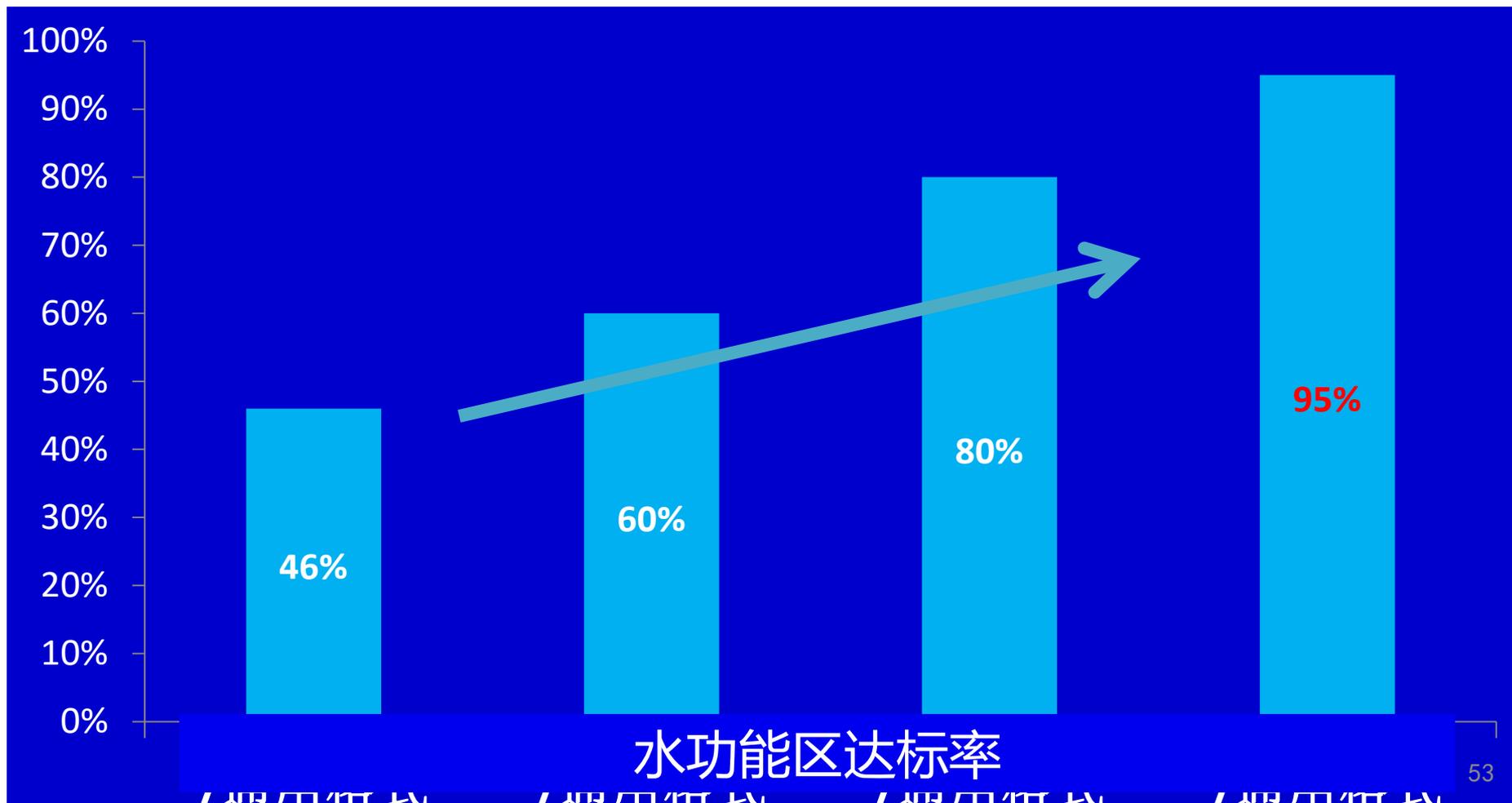
## 2.2 最严格水资源管理制度主要内容

◆ **用水效率控制红线。** 按照建设节水型社会的要求，着力遏制用水浪费，全面提高用水效率。



## 2.2 最严格水资源管理制度主要内容

◆ **水功能区限制纳污红线。** 使入河湖排污总量控制在水环境承载能力范围之内，确保水资源能够满足使用功能要求。





# 1.3 最严格水资源管理制度落实措施

## (2) 完善水资源管理法规政策体系

### 法规建设

--节约用水、地下水管理、水资源论证、水功能区监督管理立法。

### 责任和考核 制度建设

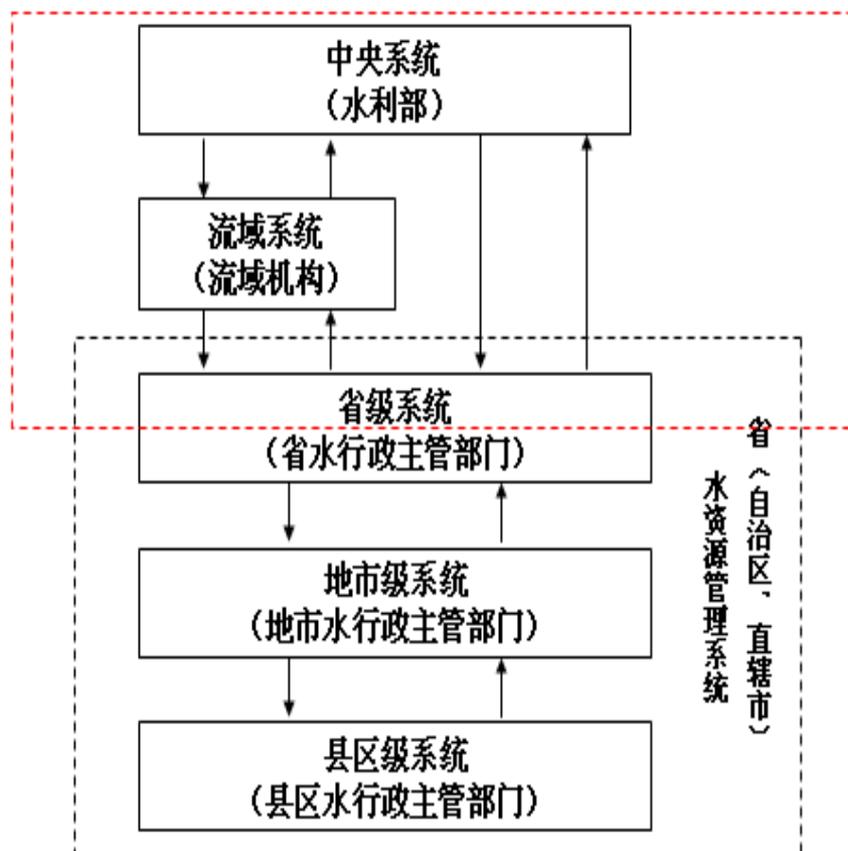
--建立考核评价体系，制订考核办法；  
--明确责任，逐级考评。

### 技术标准

--水资源开发、利用、节约和保护技术标准

# 1.3 最严格水资源管理制度落实措施

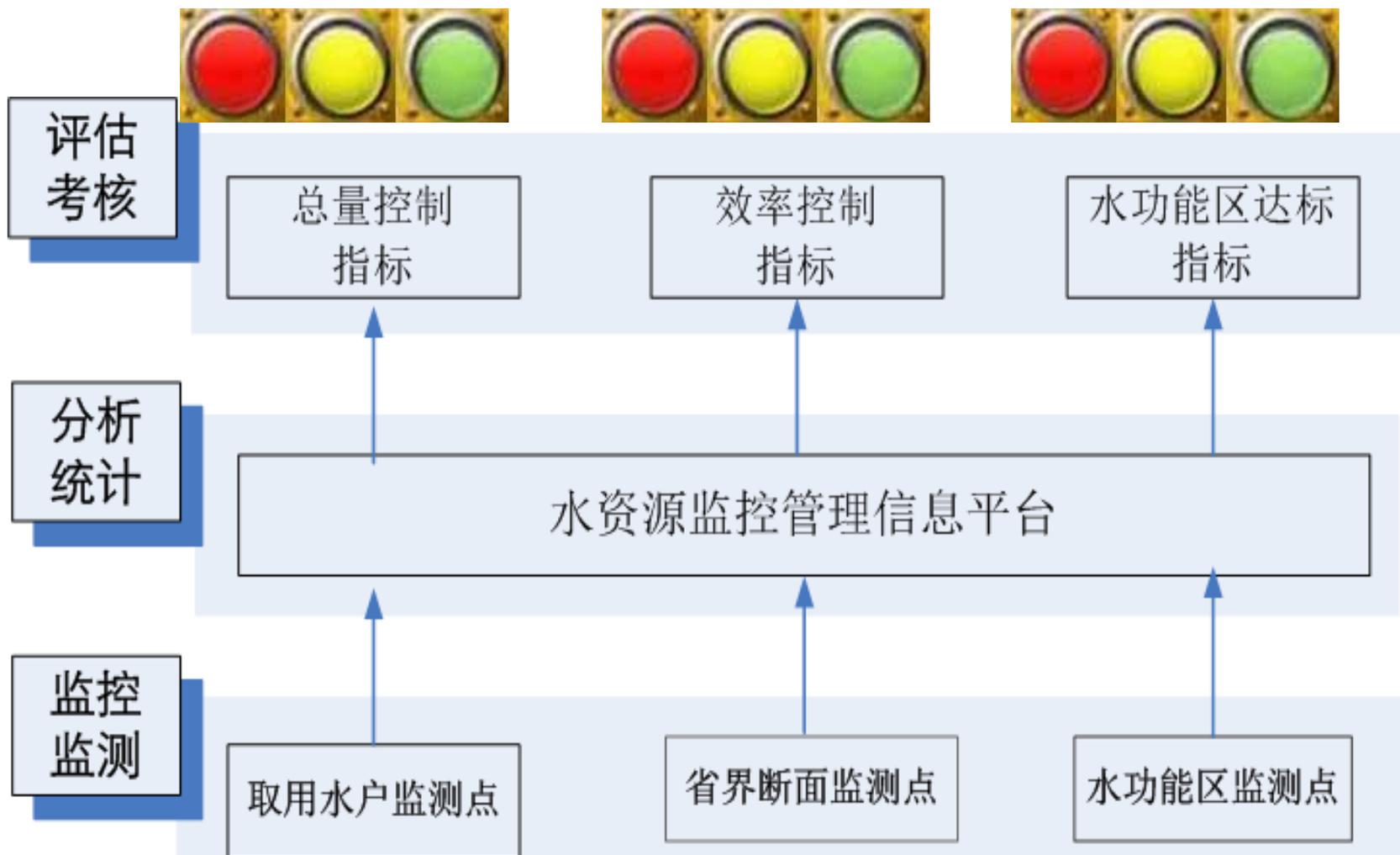
## (3) 建立国家水资源管理信息系统



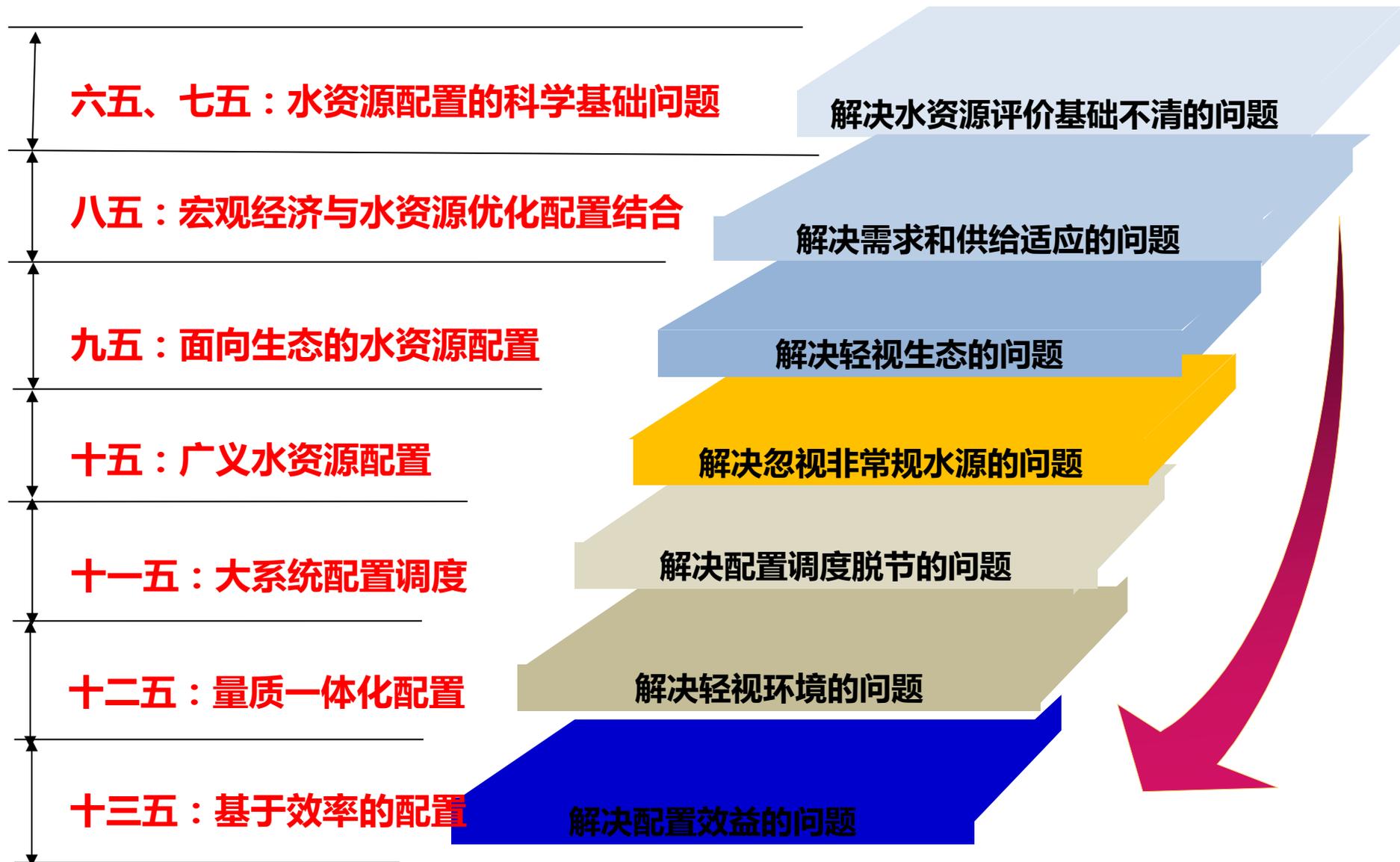
**建立重要取水户、重要水功能区 and 主要省界断面三大监控体系，控制指标可监测、可评价、可考核**

# 1.3 最严格水资源管理制度落实措施

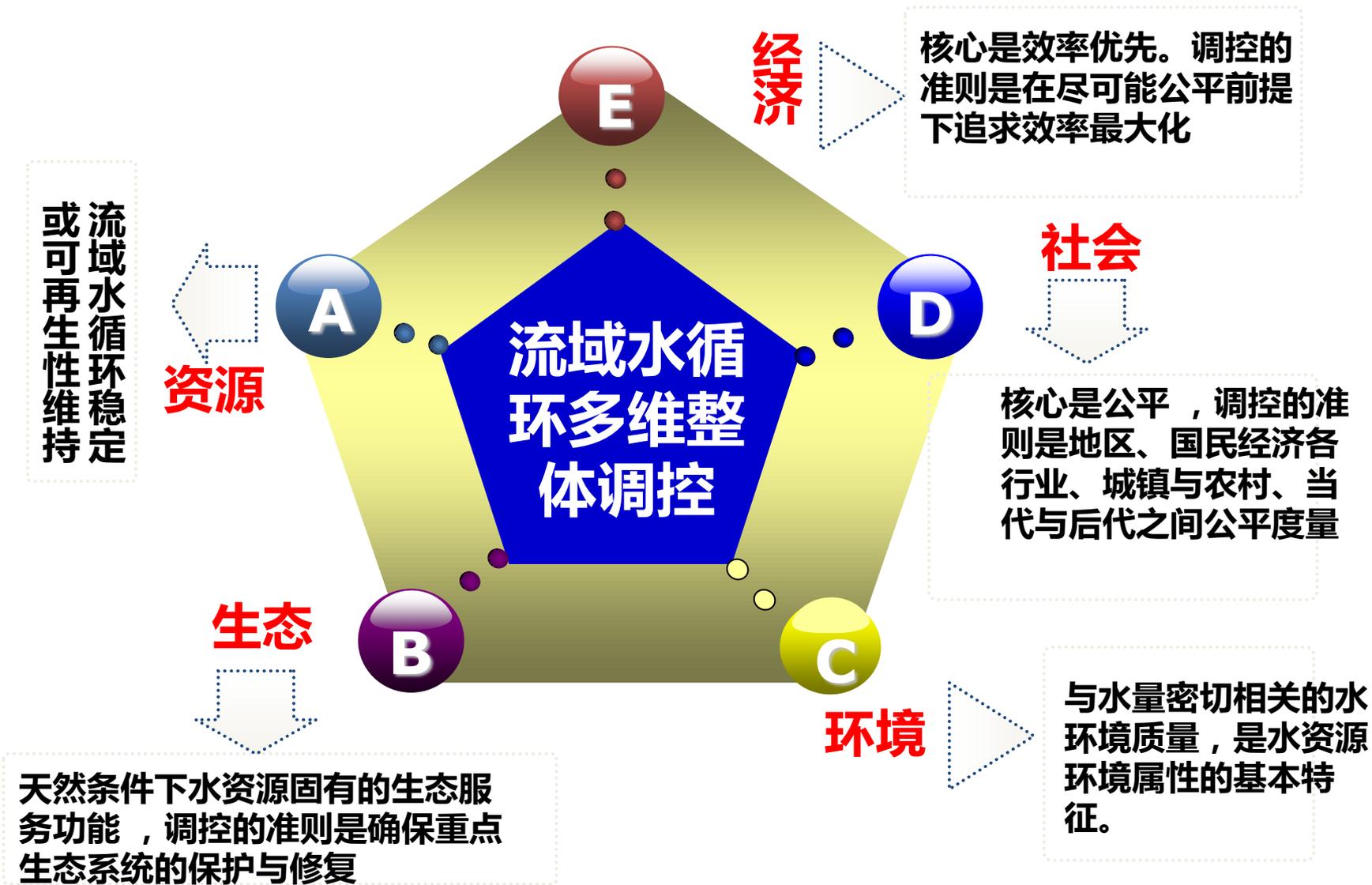
## (4) 建立监控统计与评估考核体系



# 3、水资源合理调配

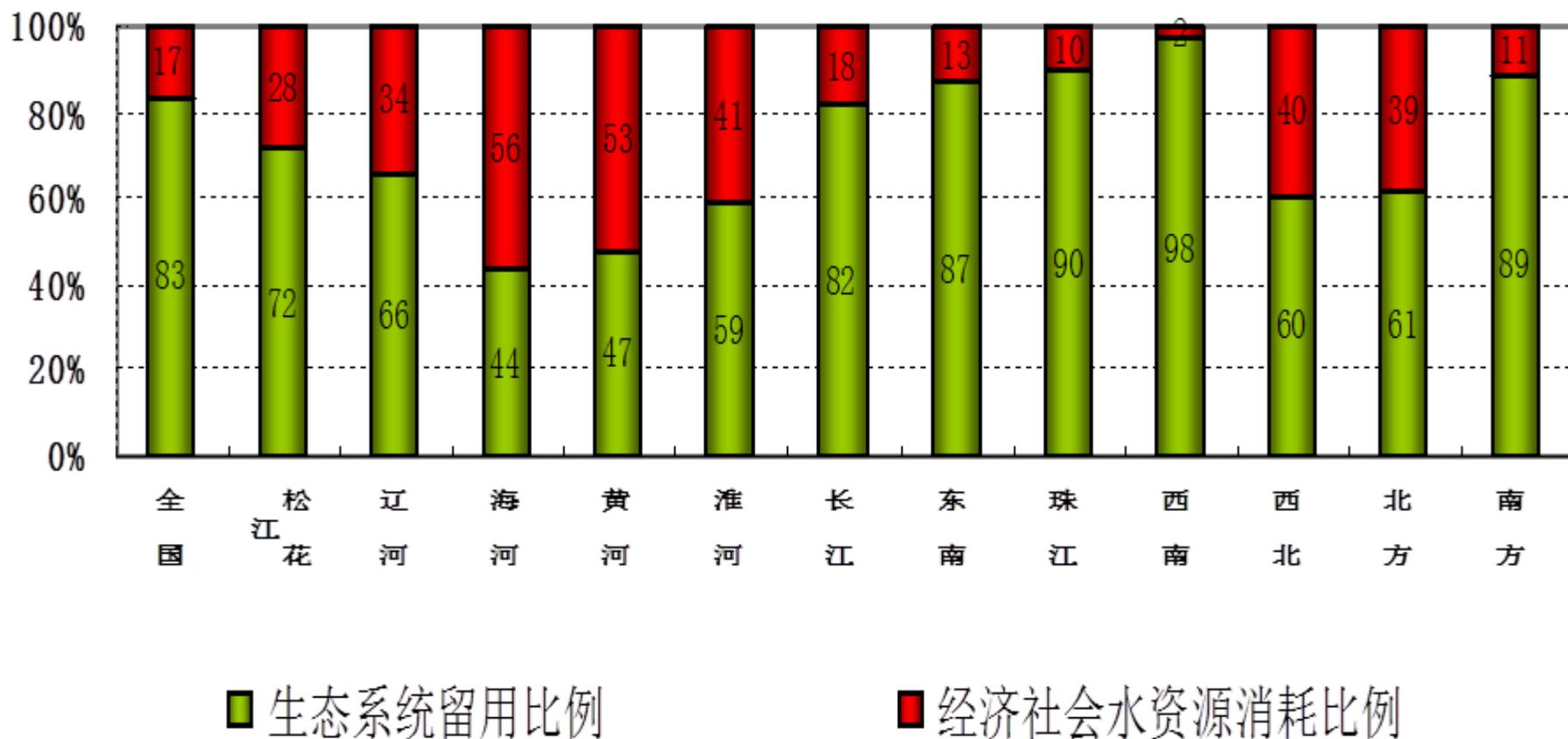


# 水资源合理配置基本思路

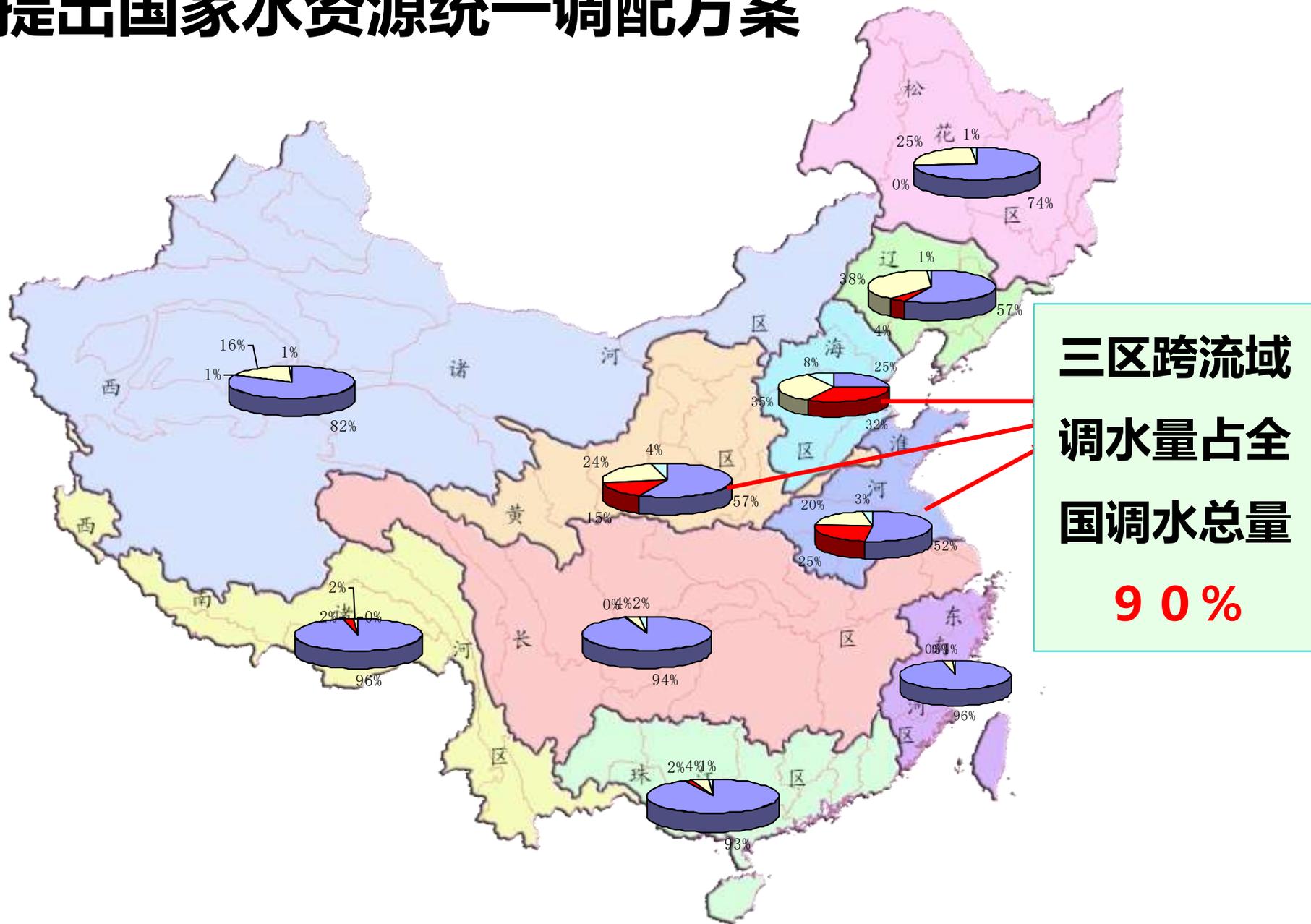


# 国家水资源综合配置

## 水资源一级区经济社会与生态系统总体配置比例关系



# 提出国家水资源统一调配方案



# 主要调水工程17宗，调水总规模近600 亿m<sup>3</sup>



# 规划了一系列重大调蓄工程



# **(四) 水生态环境保护与修复**

---

**水环境的目标倒逼机制**

**流域为单元的系统治理体系**

**全过程的污染防控技术**

# 水环境的目标倒逼机制

水污染问题在水里，原因在岸上，关键是建立水环境目标倒逼机制

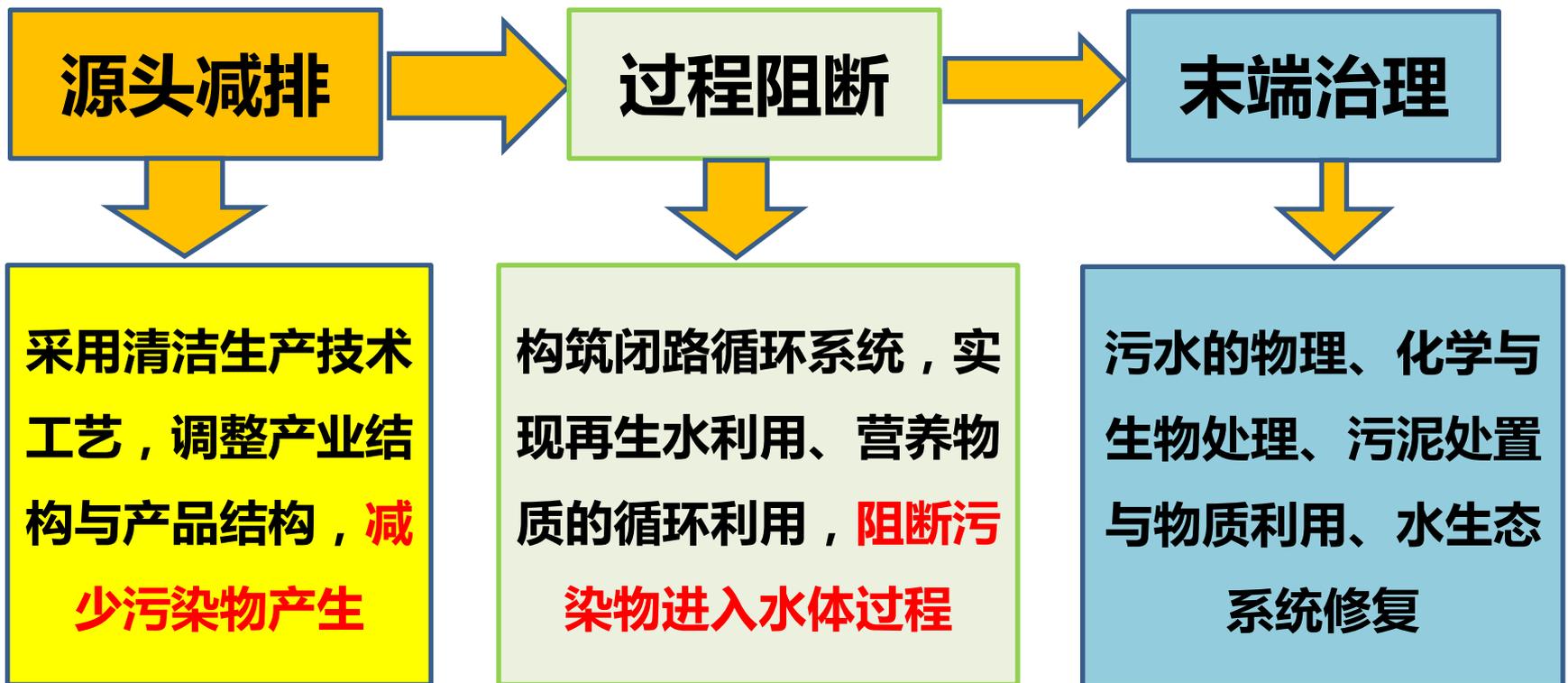


# 以流域为单元的系统治理体系

将流域分解成若干小流域，每一个单元采用分散式生态治理模式，尽可能做到污染物的产生和消减平衡

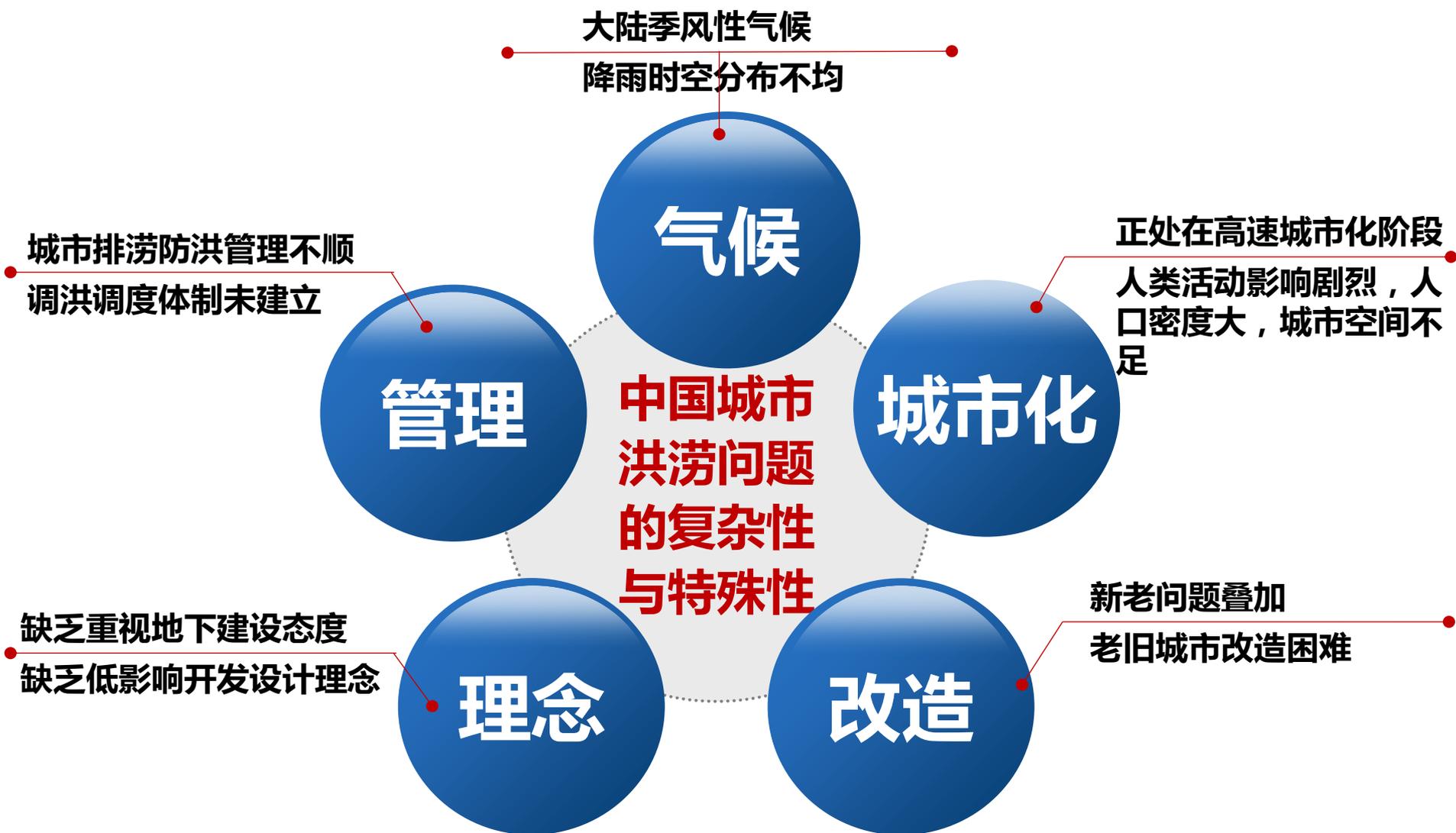


# 实施全过程污染治理与防控



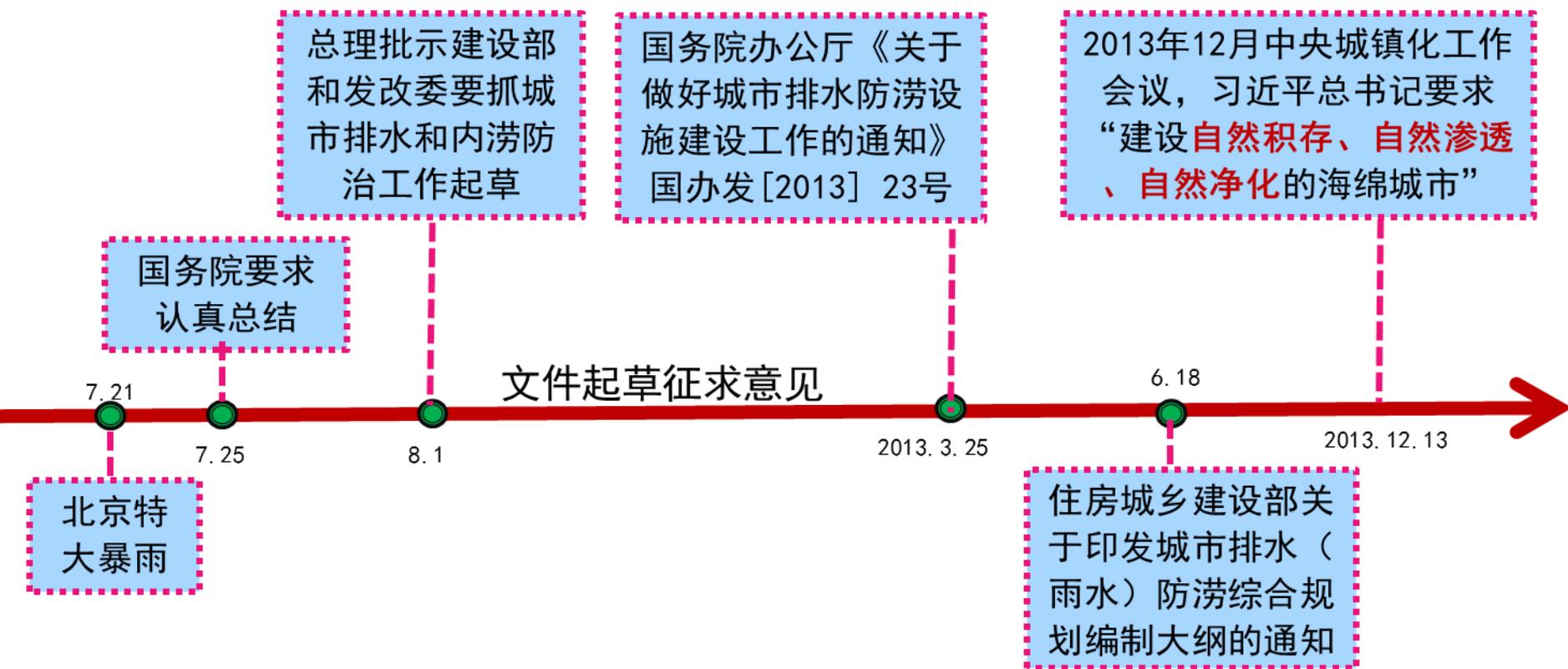
由传统以“末端治理”为主的思路，转变为**重构经济发展模式、多尺度构筑反馈系统**，从而最大化减少污染排放对流域下游的干扰和冲击

# (五) 海绵城市建设



# (五) 海绵城市建设

海绵城市建设包含水量、水质、雨水利用三个方面



# 海绵城市三大系统平衡

实现海绵城市水量下泄与分散滞流平衡、污染产生与削减平衡、雨水控制与需求平衡的基本思想是：**一片天对一片地**

## 海绵城市三内涵

- 水量上要削峰
- 水质上要减污
- 雨水资源上要利用

## 海绵城市三诊断

- 城市洪涝积水诊断
- 污染物来源与累积诊断
- 雨水利用与控制诊断

## 海绵城市三平衡

- 水量下泄与分散滞流平衡
- 污染产生与削减平衡
- 雨水控制与需求平衡

核心理念

问题解析

解决措施

# 海绵城市三大系统平衡

## 一片天对一片地

**基本内涵**：当地降雨，就地消纳；分片平衡，系统耦合。

**关键点**：

- (1) 分类施策：对不同地区不同类型城市分别诊断问题。
- (2) 立体分置：从建筑屋顶到地下蓄水空间立体分层蓄滞流。
- (3) 耦合平衡：“量” / “质” / “用” 三大系统耦合平衡。
- (4) 天地协同：天上降水与地面城市管理及需求协同作用。

# 海绵城市三大系统平衡

在遵循自然产汇流规律的基础上，实现“一片天对一片地”，利用城市空间对降雨“化整为零”进行收集和储存，有效利用“每一滴水”。



# 海绵城市三大系统平衡

一片天对一片地

一片地对一片天

当地降雨

分层滞流

就地消纳

高效利用

城市降雨

屋顶花园：5%

建筑体绿化：5%

土壤蓄滞：20%

地表及河湖调蓄：  
30%

管网排出：30%

深隧调蓄：10%

立体滞流，实现多层次多功能分流分洪