



# 黄河上中游地区水-粮食-能源协同发展战略研究 Coordinated Development of Water, Food, and Energy in Upper and Middle Reaches of the Yellow River

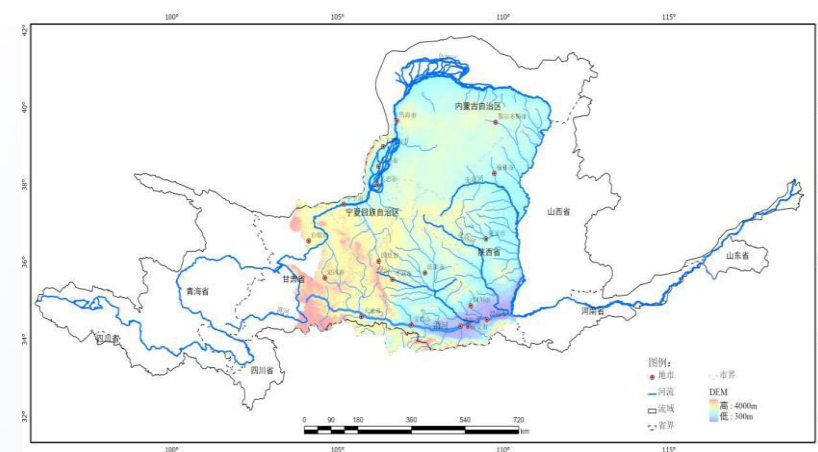
**朱永楠**

**Zhu Yongnan**

**中国水利水电科学研究院**

**China Institute of Water Resources and Hydropower Research, IWHR**

**2023.9.13 · 北京**



# 一、基本认识 basic understanding

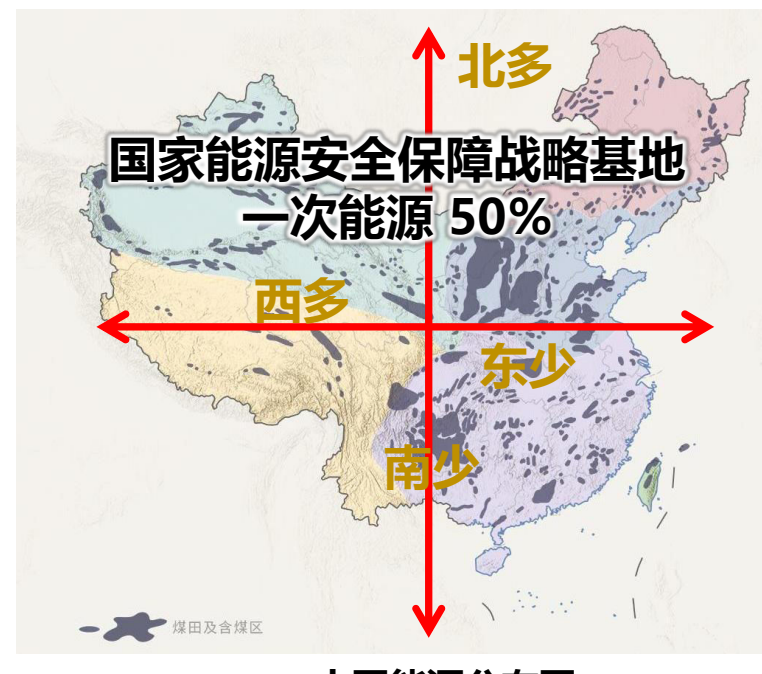
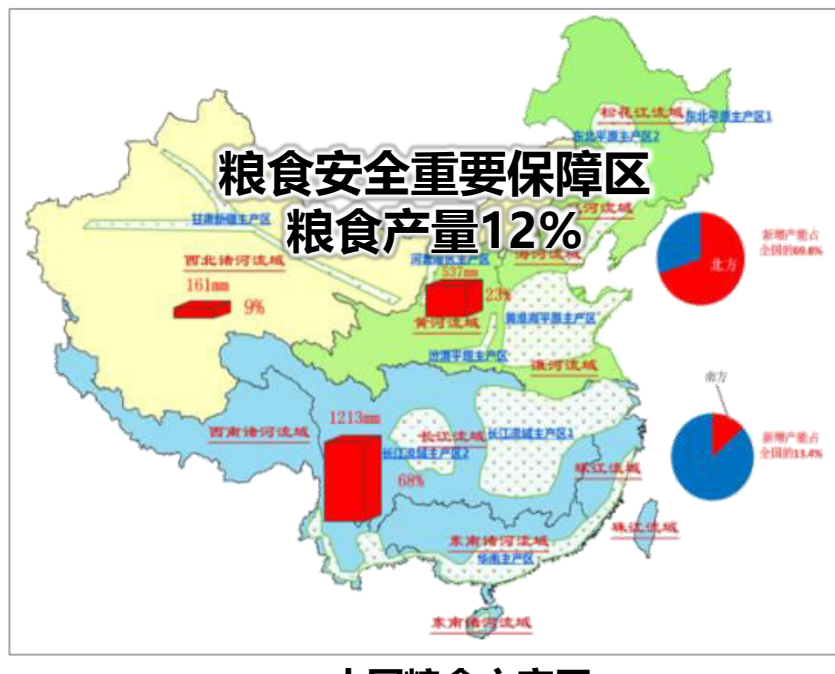
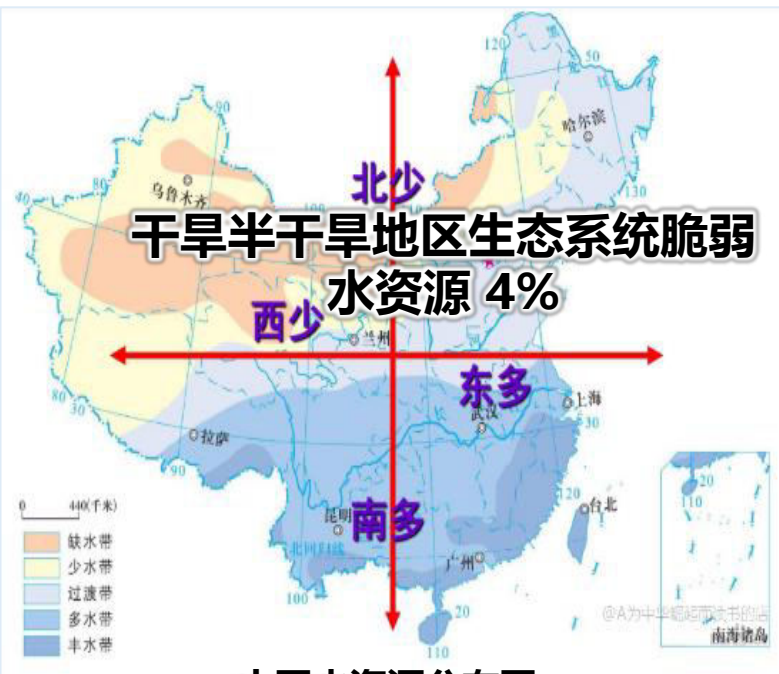
实现流域高质量发展关键在上中游地区，难点也在上中游地区。



# 1 水-粮食-能源-生态矛盾突出，是协调发展重点地区 key area for coordinated development

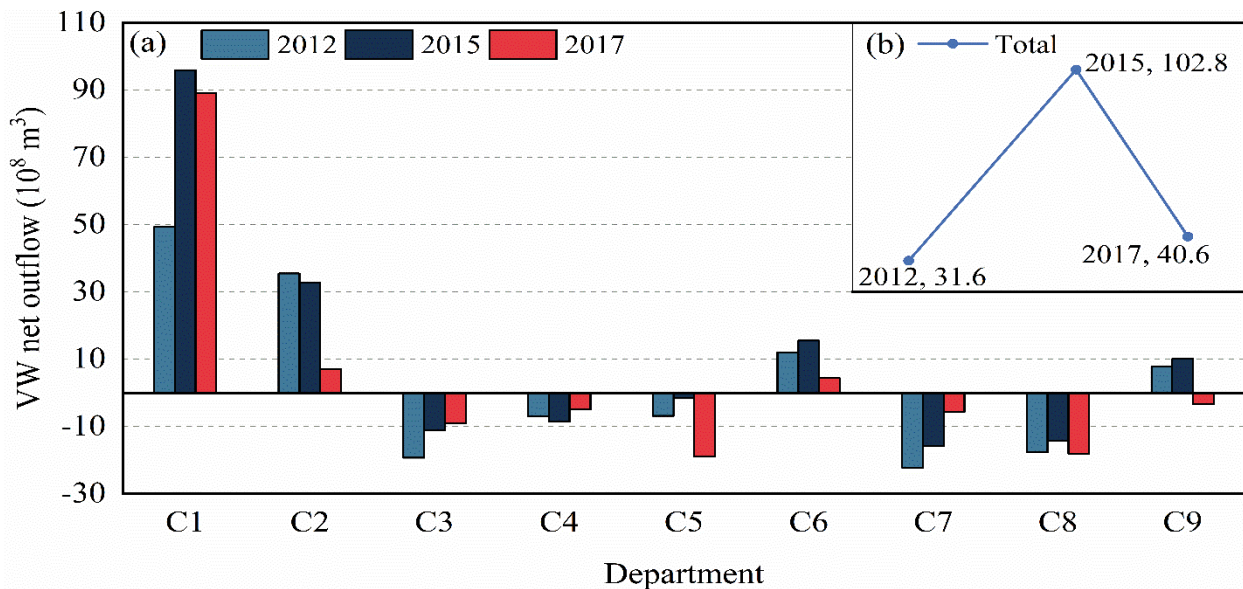
黄河上中游地区水-粮食-能源-生态系统与社会经济要素的空间错配特征十分显著，是我国“纽带关系”表现最显著、矛盾最突出的区域之一。

The spatial mismatch between water-food-energy-ecosystem and socio-economic factors in the upper and middle reaches of the Yellow River is significant.



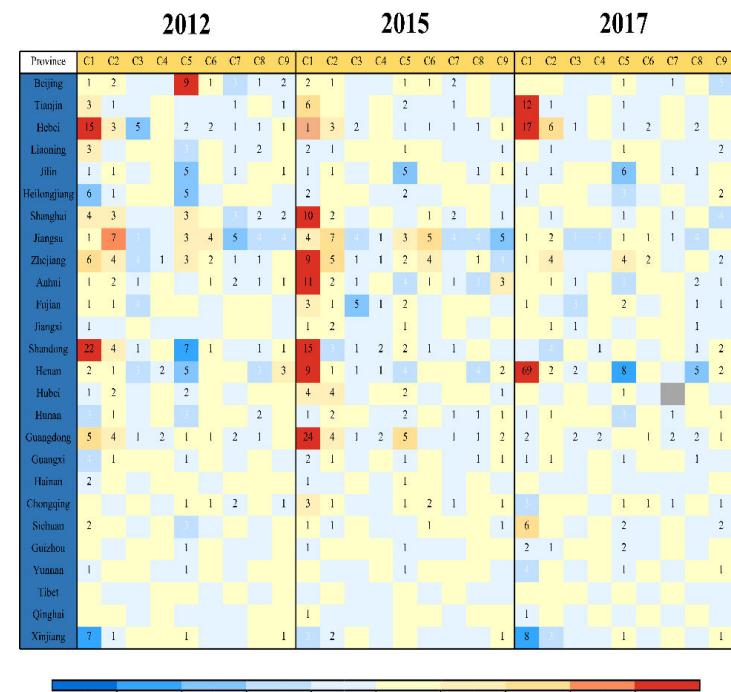
# 1 水-粮食-能源-生态矛盾突出，是协调发展重点地区 key area for coordinated development

- 粮食、能源生产量全国占比大（粮食12%、煤炭45%、天然气31%、发电量18%）
- 是粮食和能源输出区，水资源压力增加
- The production of food and energy accounts for a large proportion in China (12% of grain, 45% of coal, 31% of natural gas, and 18% of power generation), and it is also an export area of grain and energy. The pressure on water resources is increasing



黄河上中游虚拟水净输出图

a图为各研究部门虚拟水净输出图，b图为研究区总虚拟水净输出图



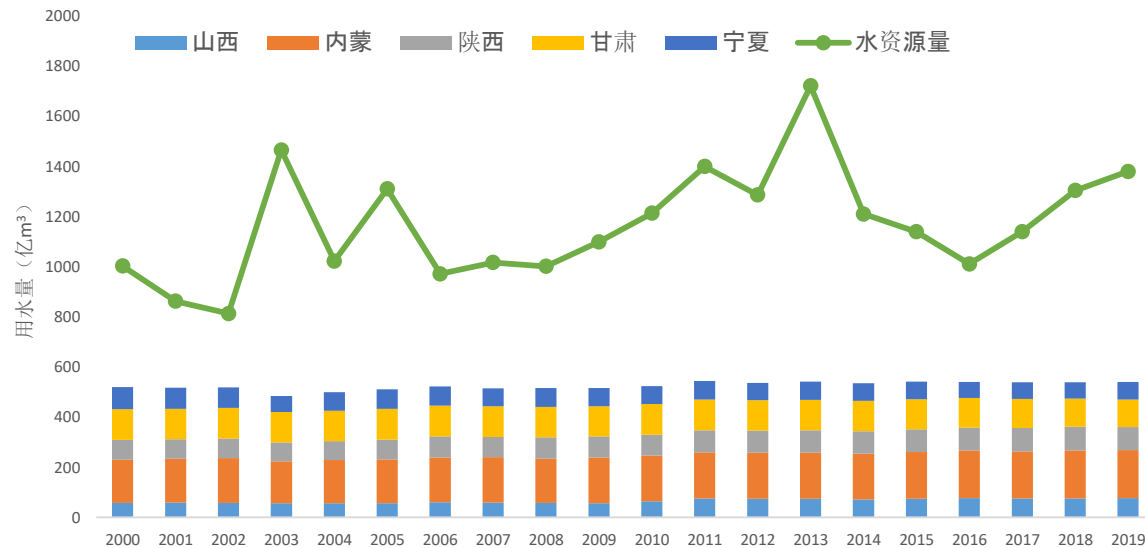
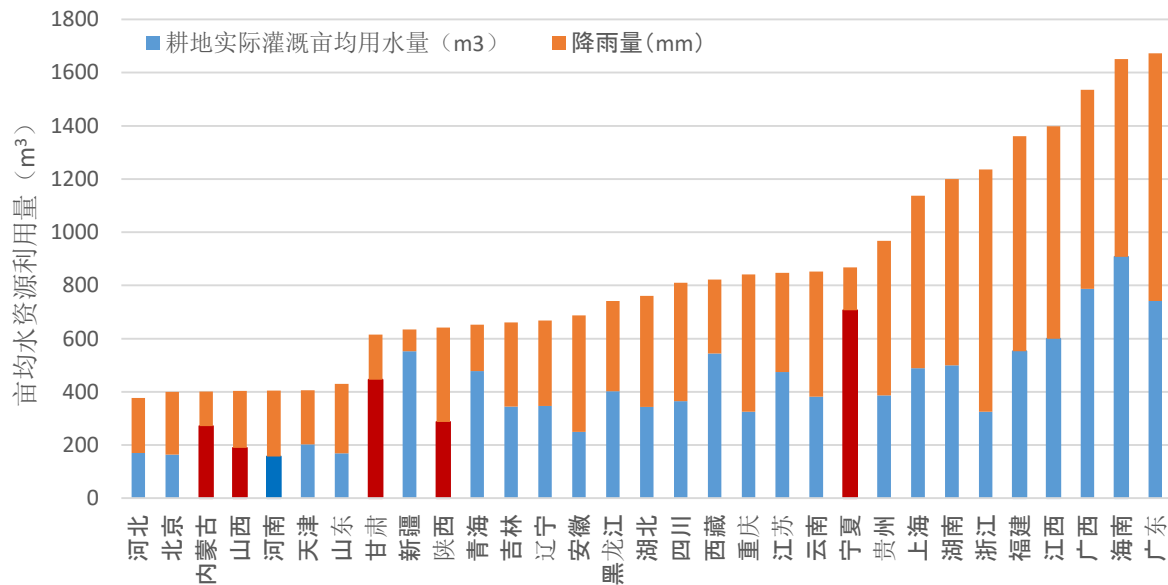
黄河上中游各研究部门虚拟水分省流动图

蓝色代表虚拟水输入，红色为虚拟水输出，数值则为流动量，亿m<sup>3</sup>

## 2 用水效率处于国内先进水平

# Water efficiency is at the advanced level in China

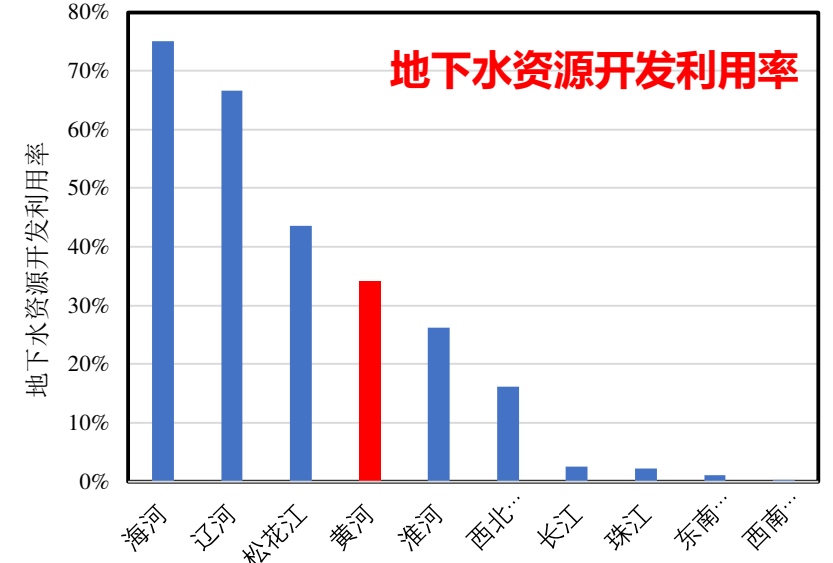
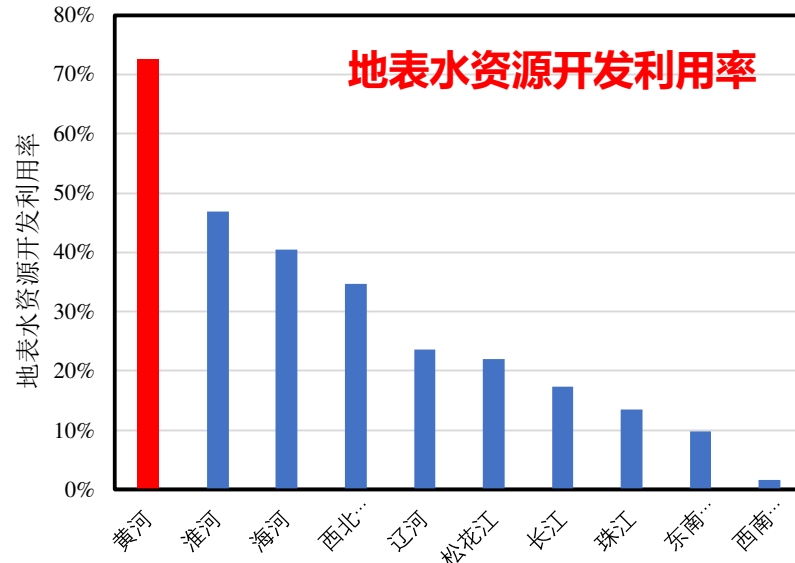
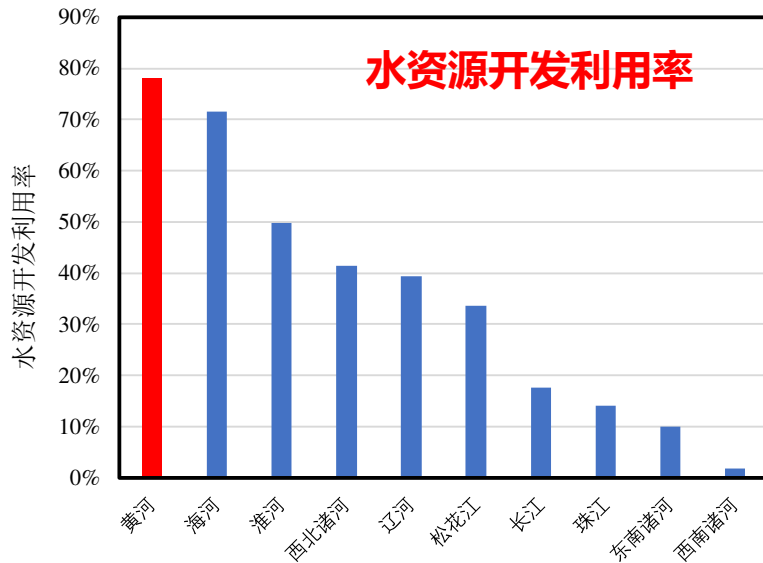
- 用水效率处于国内先进水平，仅落后南水北调中线已通水的京津冀地区
- 水资源利用效率仍有一定提升空间，但节水空间总体来看相对有限
- The water use efficiency is at the advanced level in China, only lagging behind the Beijing Tianjin Hebei region. Overall, the water-saving space is relatively limited.



# 3 水资源开发利用率高，存在转嫁性、约束性和破坏性缺水 High development and utilization rate of water resources

黄河流域水资源开发利用已经高达**78%**，是我国水资源开发利用程度最高的河流，其中**地表水资源开发利用率为73%**，**地下水资源开发利用率为34%**。

The development and utilization rate of water resources in the Yellow River Basin has reached **78%**, making it the river with the highest level of water resource development and utilization in China.



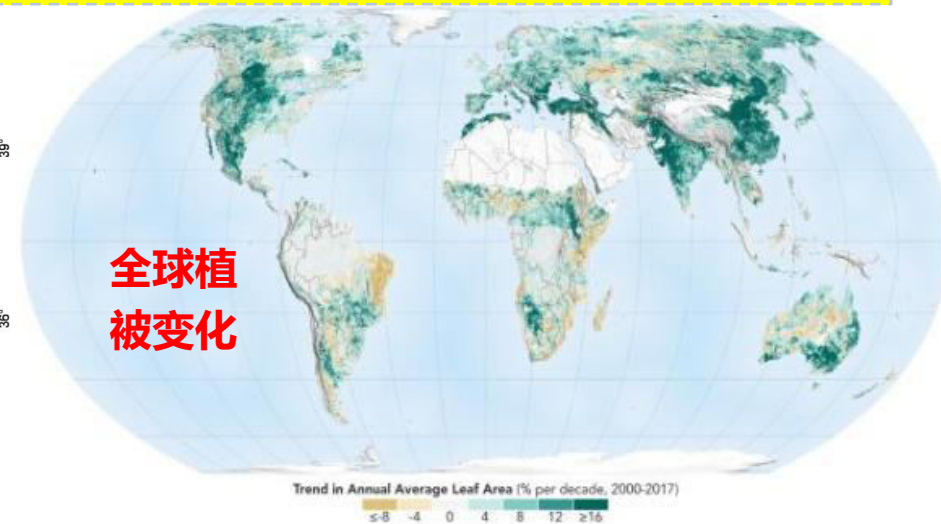
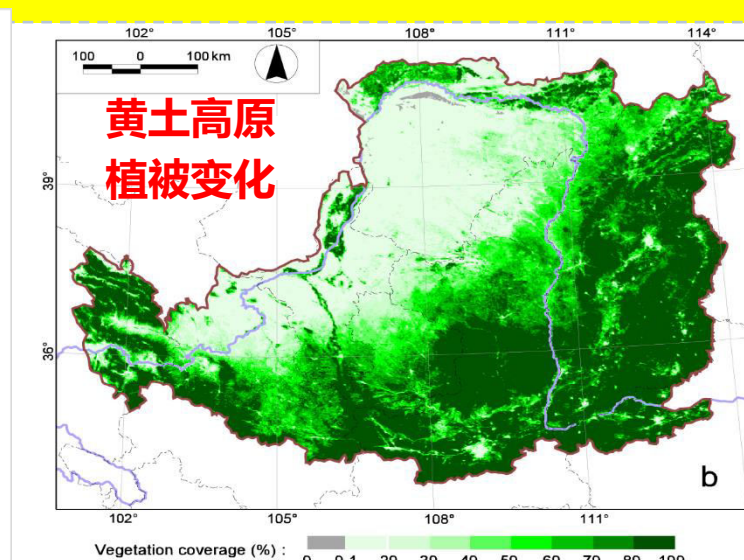
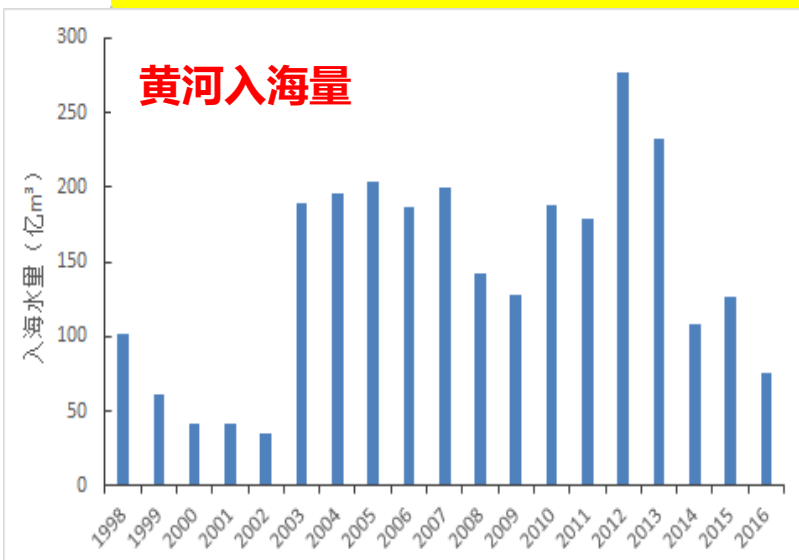


# 3 水资源开发利用率高，存在转嫁性、约束性和破坏性缺水 High development and utilization rate of water resources

2000年以来黄河干流再未出现断流，入海水量从2000-2003年平均40亿m<sup>3</sup>增加到2003年以来的平均174亿m<sup>3</sup>。与此同时，黄河流域植被盖度不断提高，黄土高原已经成为全球植被恢复最快的地区。

从外在表现看，黄河流域水资源供需矛盾似乎得到较大缓解

From an external perspective, the contradiction between supply and demand of water resources in the Yellow River Basin seems to have been greatly alleviated

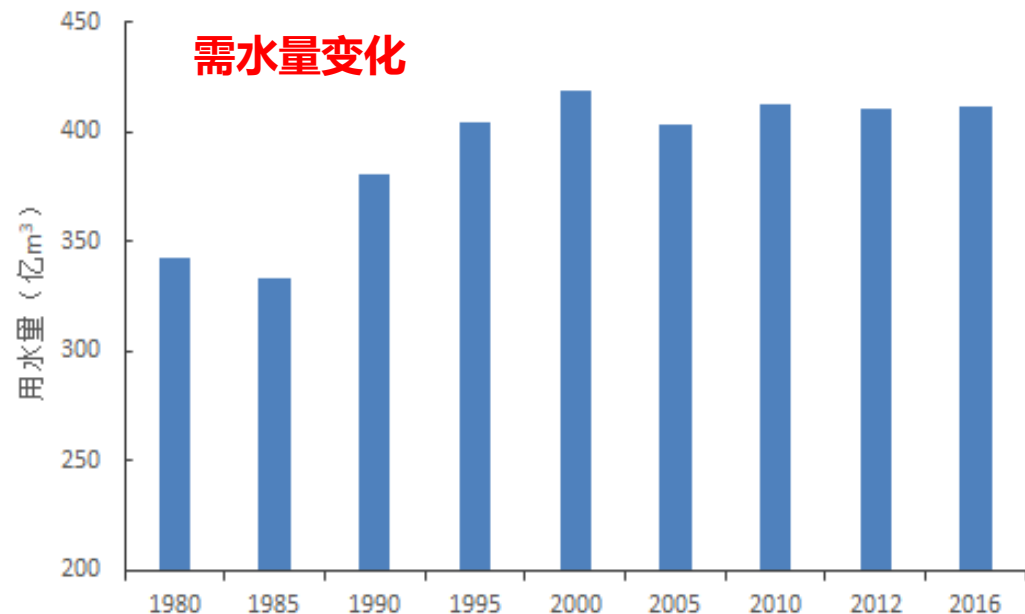


# 3 水资源开发利用率高，存在转嫁性、约束性和破坏性缺水 High development and utilization rate of water resources

- 黄河缺水从显性标志向隐形标志转化
- Transformation of Yellow River Water Shortage to Invisible Signs

通过实施严格的黄河干流统一调度管理，“黄河断流”这样标志性缺水现象得到根治，但从黄河径流衰减和供需关系来看，矛盾并未真正缓解，供需矛盾从显性向隐形转化。

From the perspective of runoff attenuation and supply-demand relationship in the Yellow River, the contradiction has not truly alleviated.

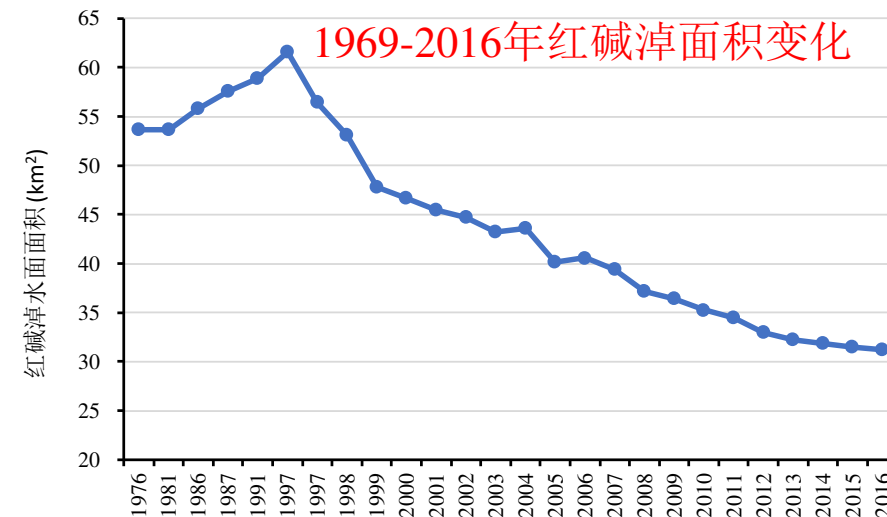
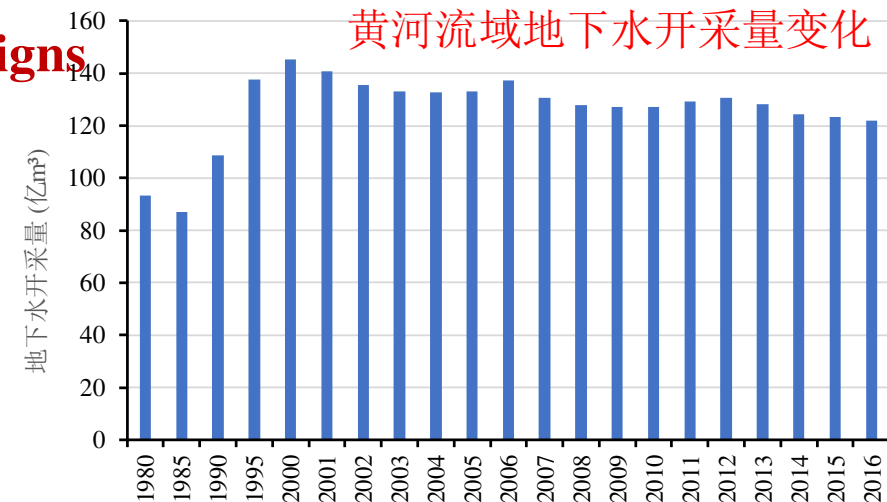
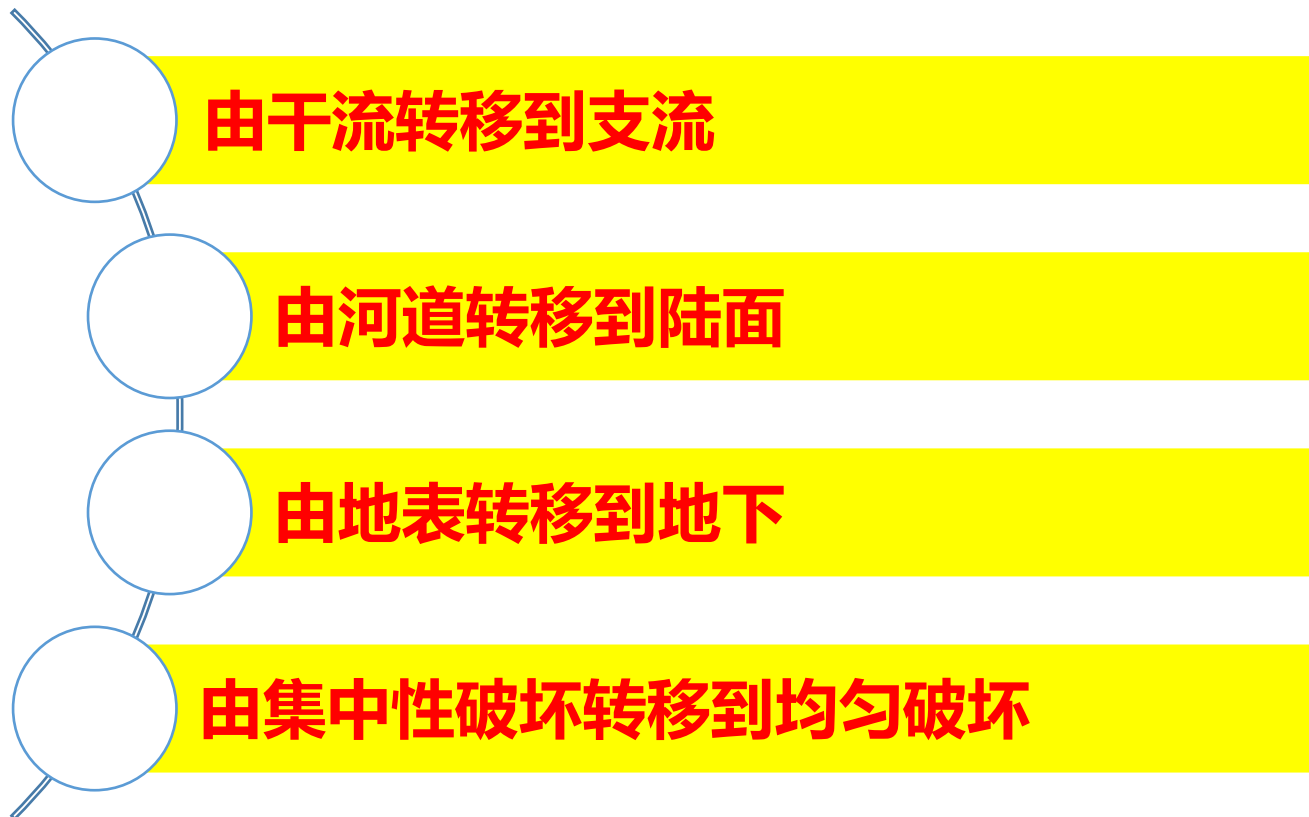




# 3 水资源开发利用率高，存在转嫁性、约束性和破坏性缺水 High development and utilization rate of water resources

- 黄河缺水从显性标志向隐形标志转化
- Transformation of Yellow River Water Shortage to Invisible Signs

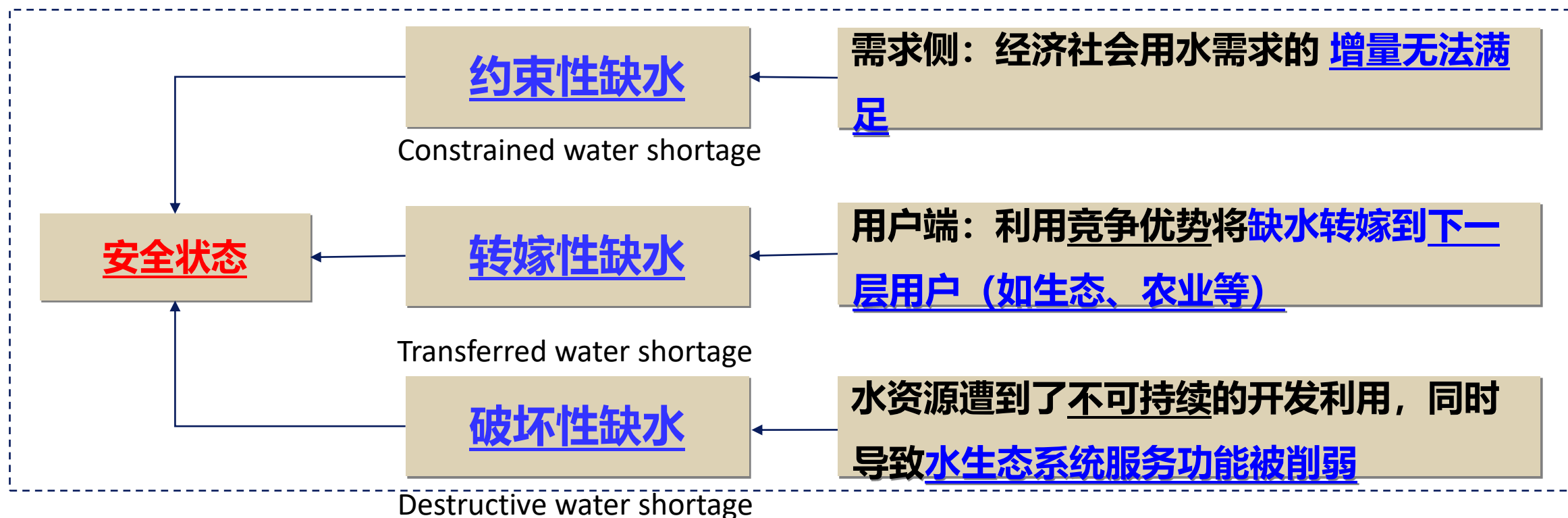
黄河流域缺水矛盾转化趋势表现在以下四个方面



### 3 水资源开发利用率高，存在转嫁性、约束性和破坏性缺水 High development and utilization rate of water resources

#### ➤ 缺水类型与识别方法 Types and identification methods of water scarcity

从表现上来看，缺水可以分为为转嫁性缺水、约束性缺水、破坏性缺水三种类型。识别缺水需要从供水主体、需水主体、平衡路径三方面进行全口径、全过程考虑



# 农业缺水识别 agricultural water shortage

平均灌溉定额从1980年542 m<sup>3</sup>/亩降到**368 m<sup>3</sup>/亩**，部分灌区远满足不了正常需求；现状有**936万亩**有效灌溉面积缺乏灌溉水源。灌溉缺水量为**28.3亿m<sup>3</sup>**。

Some irrigation areas are far from meeting normal needs.



大量农田无法得到有效灌溉



灌溉水量难以满足作物正常需求



农业干旱频发重发

省（区）	灌溉水源不足导致的缺水（亿m <sup>3</sup> ）	灌溉定额偏低导致的缺水（亿m <sup>3</sup> ）	农业总缺水（亿m <sup>3</sup> ）
甘肃	5.2	0.0	5.2
宁夏	2.2	1.0	3.2
内蒙古	8.1	3.5	11.6
陕西	7.3	3.1	10.5
山西	5.5	2.7	8.1
<b>黄上中游 河流域</b>	<b>28.3</b>	<b>10.3</b>	<b>38.6</b>



# 工业缺水识别 Industrial water shortage

工业缺水主要表现为约束型和转嫁性的隐性缺水。根据各省区调研情况统计，现状年黄河上中游**工业缺水量**为**7.74亿m<sup>3</sup>**，其中**内蒙古、陕西、宁夏**等省缺口较大。

Industrial water shortage mainly refers to implicit water shortage caused by constraints and transfer.

**约束型：**工业用水无法满足或必须通过存量节约和水权转换获取

**转嫁型：**工业水资源开发加剧了流域水环境，水生态问题

省(区)	需水量 (亿m <sup>3</sup> )	供水量 (亿m <sup>3</sup> )	缺水量 (亿m <sup>3</sup> )
甘肃	7.3	6.35	0.95
宁夏	6.25	5.13	1.12
内蒙古	8.96	7.36	2.6
陕西	14.13	11.42	2.71
山西	9.43	9.07	0.36
<b>黄上中游 河流域</b>	<b>46.07</b>	<b>39.33</b>	<b>7.74</b>

# 生活缺水识别 water shortage in urban

按照《城市给水工程规划规范》和《村镇供水工程设计规范》，如果提高居民生活标准(城镇106L/人·日；农村67L/人·日)，黄河上中游地区**现状生活缺水量**达到**2.8亿m<sup>3</sup>**

流域内居民平均生活用水量偏低

部分农村地区饮用水水质不达标，地方病现象突出

省(区)	城镇生活缺水(亿m <sup>3</sup> )	农村生活缺水(亿m <sup>3</sup> )	缺水量(亿m <sup>3</sup> )
甘肃	0.7	1.2	1.9
宁夏	0	0.3	0.3
内蒙古	0	0	0
陕西	0	0	0
山西	0.3	0.3	0.6
<b>黄上中游河流域</b>	<b>1</b>	<b>1.8</b>	<b>2.8</b>

# 生态缺水识别 Ecological water shortage

现状年黄河上中游生态缺水量为43.61亿m<sup>3</sup>，其中河道外缺水9.6亿m<sup>3</sup>，主要缺水原因是地下水超采；河道内缺水34亿m<sup>3</sup>，主要缺水原因是干流非汛期生态流量不足。

现状年河道外缺水量计算

省区	地下水超采(亿m <sup>3</sup> )	河湖湿地补给缺水(亿m <sup>3</sup> )	防护林灌溉缺水(亿m <sup>3</sup> )	城镇绿化缺水(亿m <sup>3</sup> )	缺水量合计(亿m <sup>3</sup> )
甘肃	0.36	0	0.44	0.08	0.54
宁夏	0.13	0.63	0.14	0.06	0.63
内蒙古	3.32	0.18	0.13	0.09	3.72
陕西	1.61	0	0	0.17	1.97
山西	2.02	0.8	0	0.15	2.74
<b>黄上中游流域</b>	<b>7.44</b>	<b>1.61</b>	<b>0.71</b>	<b>0.55</b>	<b>9.6</b>

现状年河道内缺水量计算

河流名称	重要断面	非汛期生态流量理论值(m <sup>3</sup> /s)	敏感期生态流量理论值(m <sup>3</sup> /s)	缺水量合计(亿m <sup>3</sup> )
黄河	利津	75	4-6月: 250	34.01
湟水河	民和	10	5-6月: 18 7-10月: 50	0
大通河	享堂	10	5-6月: 39	0
洮河	红旗	32	5-6月: 70 7-10月: 140	2.44
无定河	白家川	4	—	0
汾河	河津	5	—	0.23
渭河	华县	20	4-6月: 80	0
北洛河	桩头	3	—	0.09
伊洛河	黑石关	14	4-6月: 28	0.12
合计	—	—	—	34.01





## 二、黄河流域水资源配置

Allocation of Water Resources in the YRB

# 黄河流域水资源配置

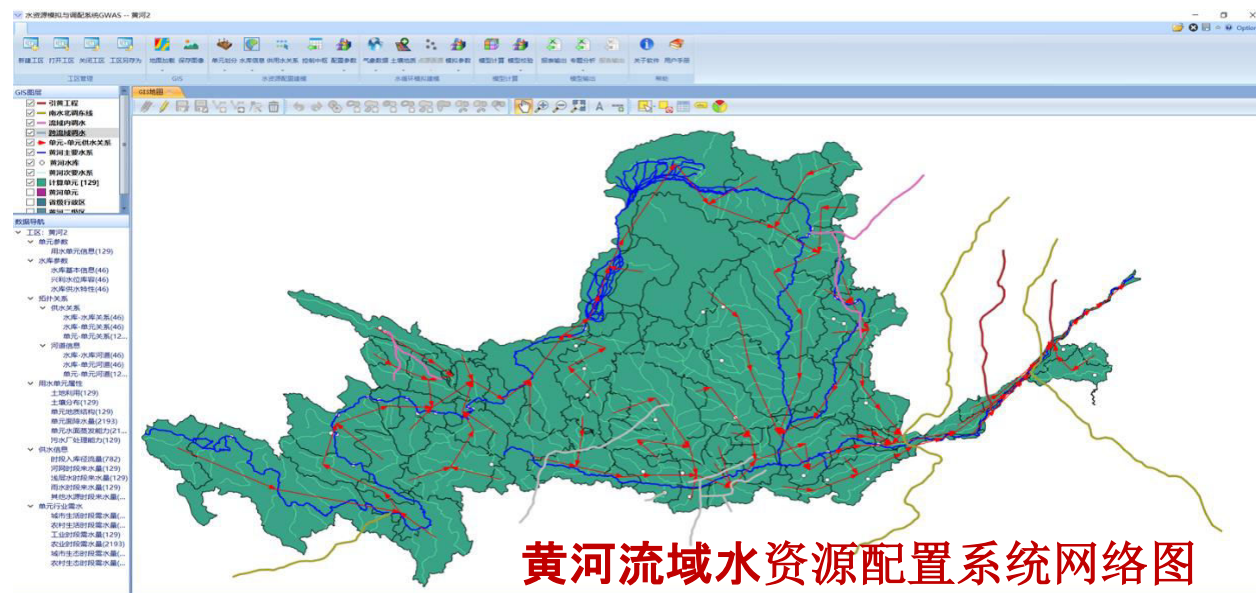
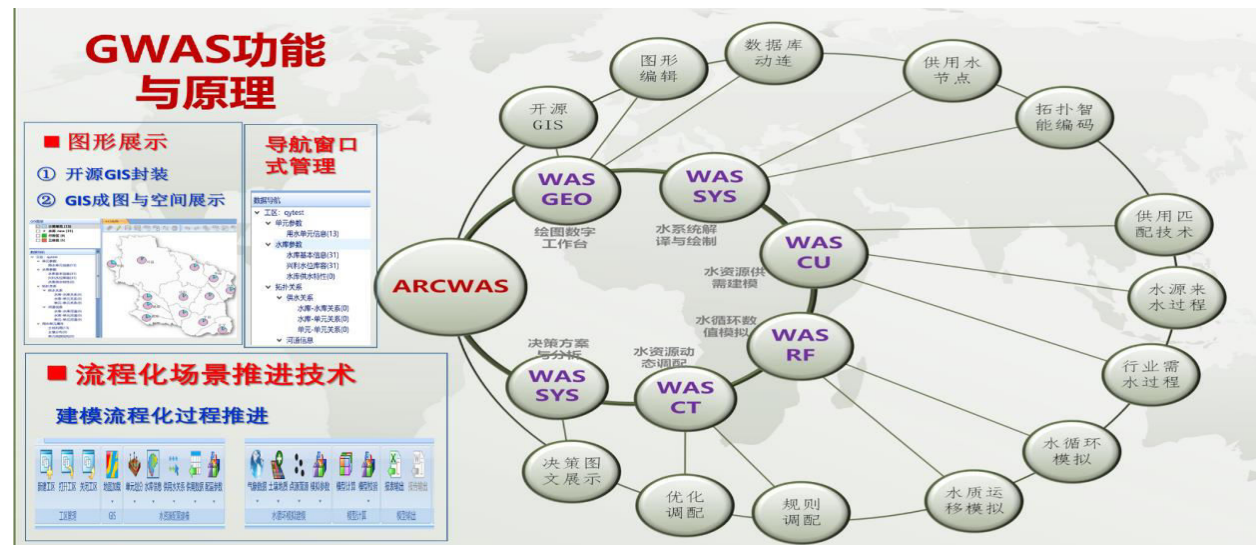
## Allocation of Water Resources in the YRB

➤ 采用中国水科院水资源所自主研发水资源动态配置与模拟模型GWAS进行黄河流域水资源配置研究。

➤ Research on Water Resource Allocation in the Yellow River Basin Using the Dynamic Allocation and Simulation Model GWAS

➤ 在需求端，设置现状实灌面积和规划灌溉面积两种需水方案

➤ 在供给端，设置地下水采补平衡和恢复到上世纪90年代初开采水平

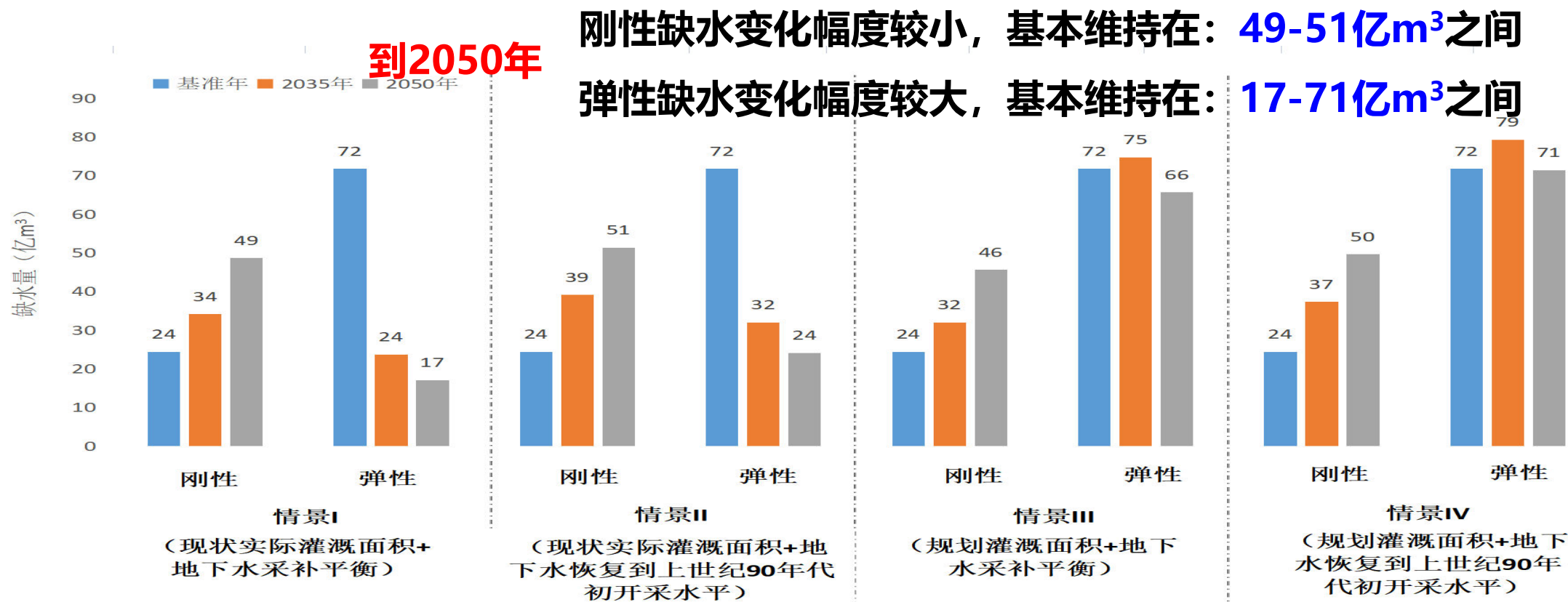


黄河流域水资源配置系统网络图



# 黄河流域水资源配置

## Allocation of Water Resources in the YRB



在水资源衰减和未来用水需求扩大的双重影响下，即使充分考虑充分节水，黄河上中游水资源缺口仍会呈扩大趋势，尤其是生活、工业和河道外生态等刚性缺水量将有较大增长。

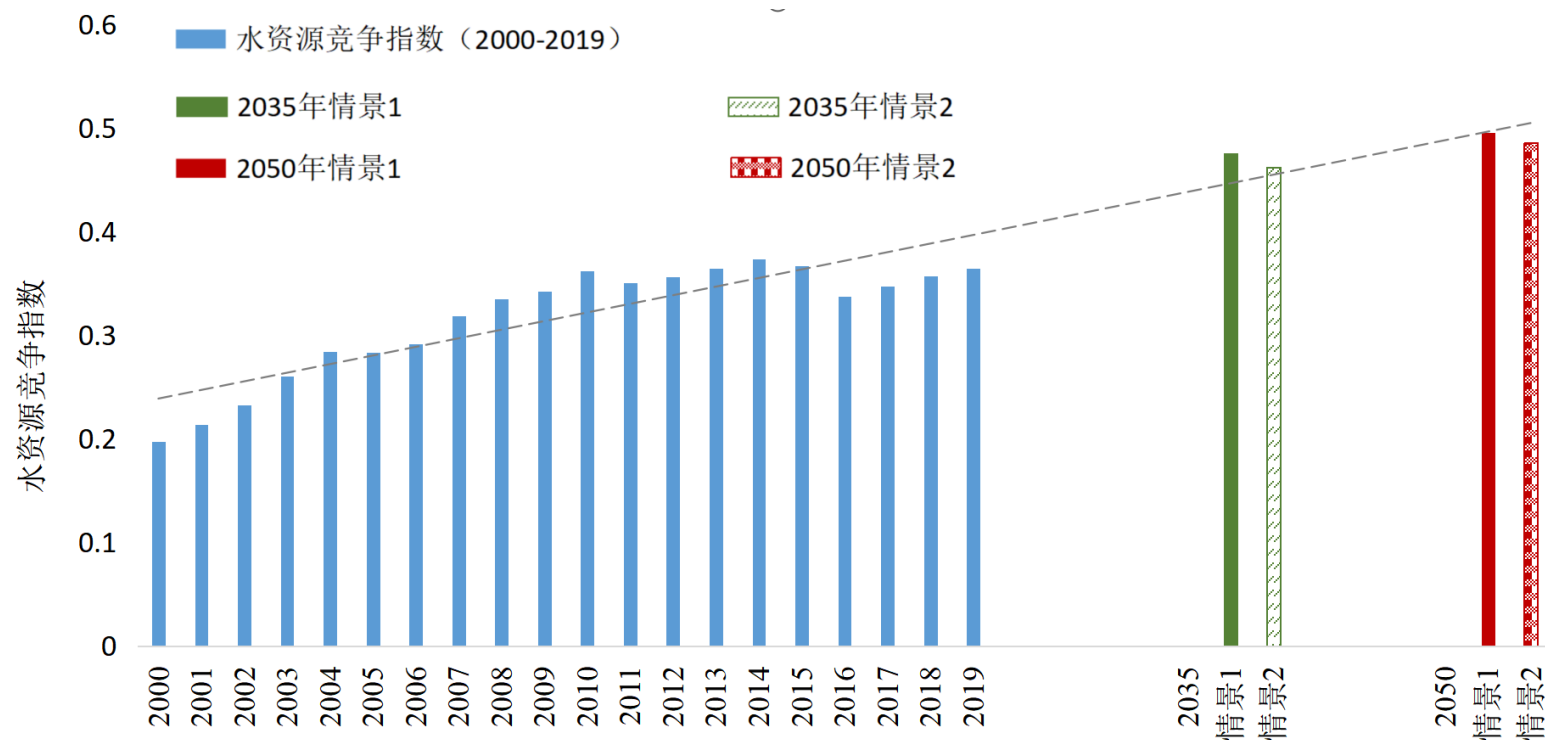
Under the dual impact of water resource decline and future water demand expansion, the water resource gap in the upper and middle reaches of the Yellow River will still show an expanding trend.



# 生产规模增加，粮食与能源发展用水竞争加剧

Intensified competition in water for future food and energy development

采用能源-粮食生产水资源竞争指数（EFCI），分析粮食-能源生产对水资源的竞争态势，近20年能源与粮食生产EFCI呈增长趋势，从**0.19**上升到**0.36**，高于同期全国平均竞争水平（2019年为0.27）；若区域需水量可以得到满足，粮食和能源用水竞争指数将上升到**0.49**。





### 三、新发展理念下的水-粮食-能源 协同安全总体战略

Strategy for Collaborative Security  
under the New Development Concept

# 1.新发展理念下的水-粮食-能源协同安全总体战略

## Strategy for Collaborative Security under the New Development Concept

### ✓ 基于水-粮食-能源纽带关系的“四化一创”协同安全保障战略

### Collaborative Security Guarantee Strategy Based on the Water-Food-Energy nexus

- (1) 水资源对粮食和能源产业支撑**最大化**
- (2) 粮食安全保障**最大化**
- (3) 能源生产效益**最大化**
- (4) 粮食和能源产业对水与生态扰动**最小化**
- (5) 水-粮食-能源安全保障技术与机制**创新**



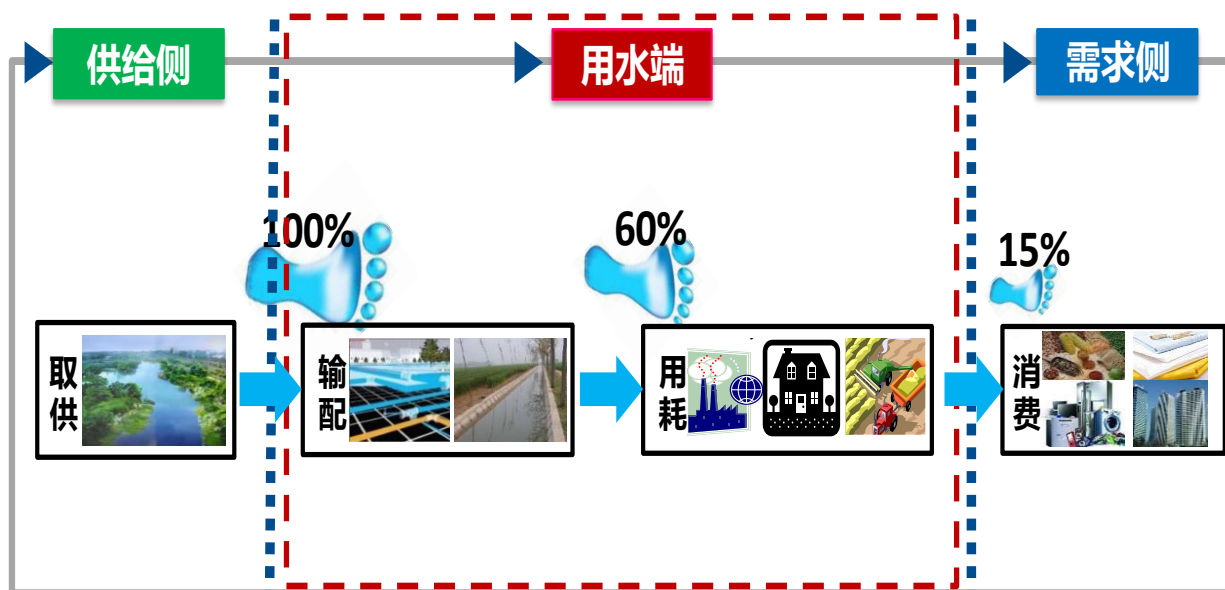


## 2.水-粮食-能源协同安全保障措施建议 Collaborative security measures

### 建议1：确定能源主导产业定位，优化生产力布局

Determine the positioning of the energy leading industry and optimize the layout of productivity

- ✓ 立足能源资源禀赋，优化能源产业布局，开展黄河上中游地区集约绿色能源示范区建设规划
- ✓ 充分考虑能源与环境协同效应，优化调整能源结构，加强传统能源清洁开发
- ✓ 创新产业模式与技术管理





## 2.水-粮食-能源协同安全保障措施建议 Collaborative security measures

### 建议2：优化水资源配置政策、完善水利基础设施，提高多源供水能力

Optimizing water resource allocation policies and improving water infrastructure to enhance multi-source water supply capacity

- ✓ 适时调整“八七”分水方案，适度向黄河上中游倾斜；
- ✓ 完善非常规水源利用政策，促进非常规水源利用；
- ✓ 统筹近远期新水源工程建设，保障能源基地发展供水；
- ✓ 建立健全水权交易制度、规则及其技术支撑体系，鼓励能源企业出资进行灌区节水技术改造。



强化农业节水



能源高效用水

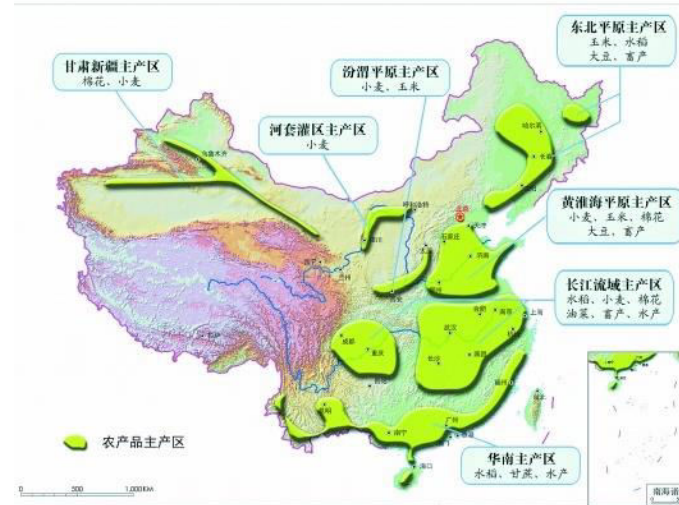
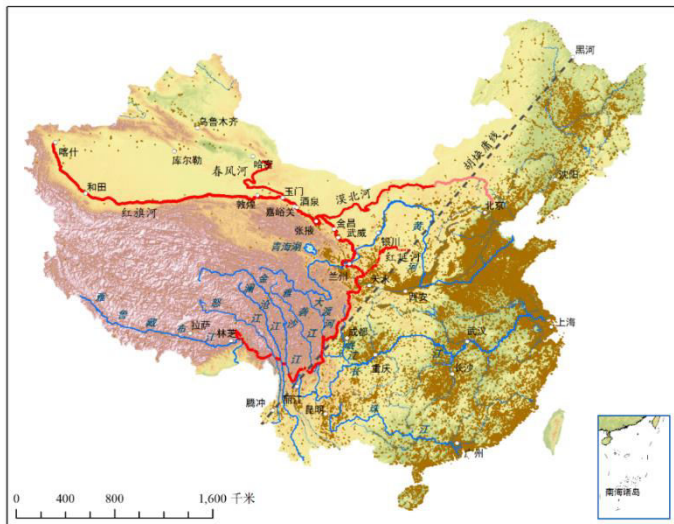


## 2.水-粮食-能源协同安全保障措施建议 Collaborative security measures

### 建议3：强化农业用水支撑，实现粮食安全保障最大化

Strengthen support for agricultural water use and achieve maximum food security guarantee

- ✓ 以农业供给侧改革为契机，优化农业布局，调整种植结构；
- ✓ 以水定地、以水定产，控制灌溉和耗水产业规模，推进西部调水工程；
- ✓ 拓展我国西部国土空间，积极培育西北干旱半干旱地区粮食生产新动能，打造我国粮食增产新引擎。



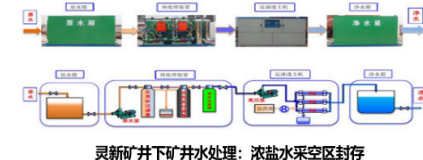
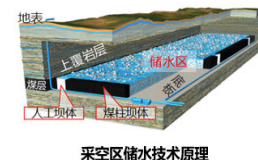
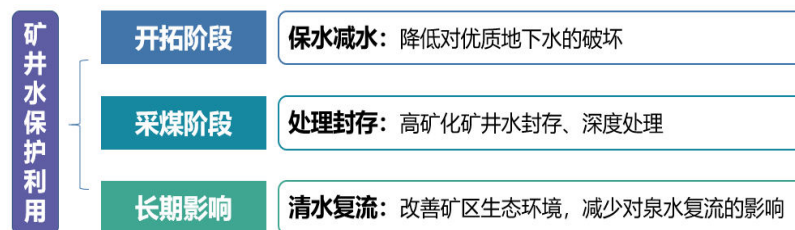
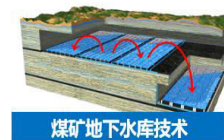
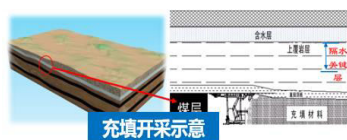
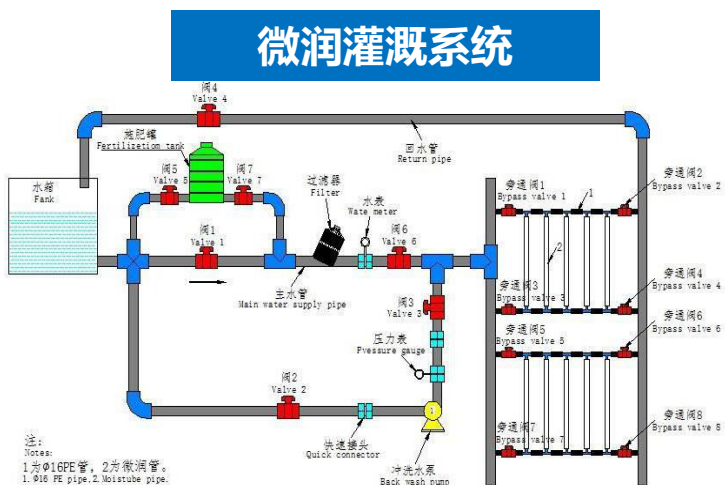
# 2.水-粮食-能源协同安全保障措施建议

## Collaborative security measures

### 建议4：加大低影响技术创新与集成应用，进一步推进节水减排

Increase innovation and integrated application of low impact technologies to further promote water conservation and emission reduction.

- ✓ 大力发展无水压裂与增能技术，支撑油气资源绿色高效开发；
- ✓ 优化采出水和返排液污水处理技术，加大用水循环力度；
- ✓ 农业方面要重点研发旱作种植、咸水种植等技术；能源方面要积极研发保水采煤、无水冷却、无水压裂、污水中能源回收利用等技术。







**汇报结束， 敬请批评指正！**

**Thank you for listening!**