



2018年中国水利学会大禹奖

河流生态环境流量整体分析理论与流域综合调控关键技术

获奖等级： 二等奖

完成单位： 中国水利水电科学研究院 陕西省江河水库管理局 中国社科院数量经济与技术经济研究所 河海大学 郑州大学 中国科学院地理科学与资源研究所 环境保护部环境规划院

完成人员： 贾仰文 赵振武 王 芳 王 浩 刘铁龙 仇亚琴 李晓春 游进军 牛存稳 郝春洋 龚家国 汪雅梅

1、研究背景

河流生态环境流量的机理辨识、科学确定和有效保障，是河流生态系统修复和流域生态文明建设的重大需求。自然和社会综合影响下河流天然生态水文本底的辨识、河流生态环境修复目标和生态环境流量指标的确定、面向生态的流域和工程综合调控方案的构建等是河流生态环境流量研究和管理中亟待解决的问题。

渭河是黄河最大的支流，是半干旱半湿润地区人与生态用水竞争最激烈的代表，本研究选择渭河作为典型案例，针对河流生态环境流量研究和管理中亟待解决的科学问题和关键技术，研究其复杂影响机理、量化确定方法和综合调控技术，具有重要的理论意义和实践价值。

2、研究内容

- (1) 流域水-生态-经济动态互馈机理解析及耦合模型研究；
- (2) 高强度人类活动下河流天然生态水文本底辨识及多源扰动归因分析；
- (3) 基于生态水文分区的河流多层次生态环境流量整体分析；
- (4) 流域水资源复合嵌套优化调度及水-生态-经济综合调控研究。

3、研究成果

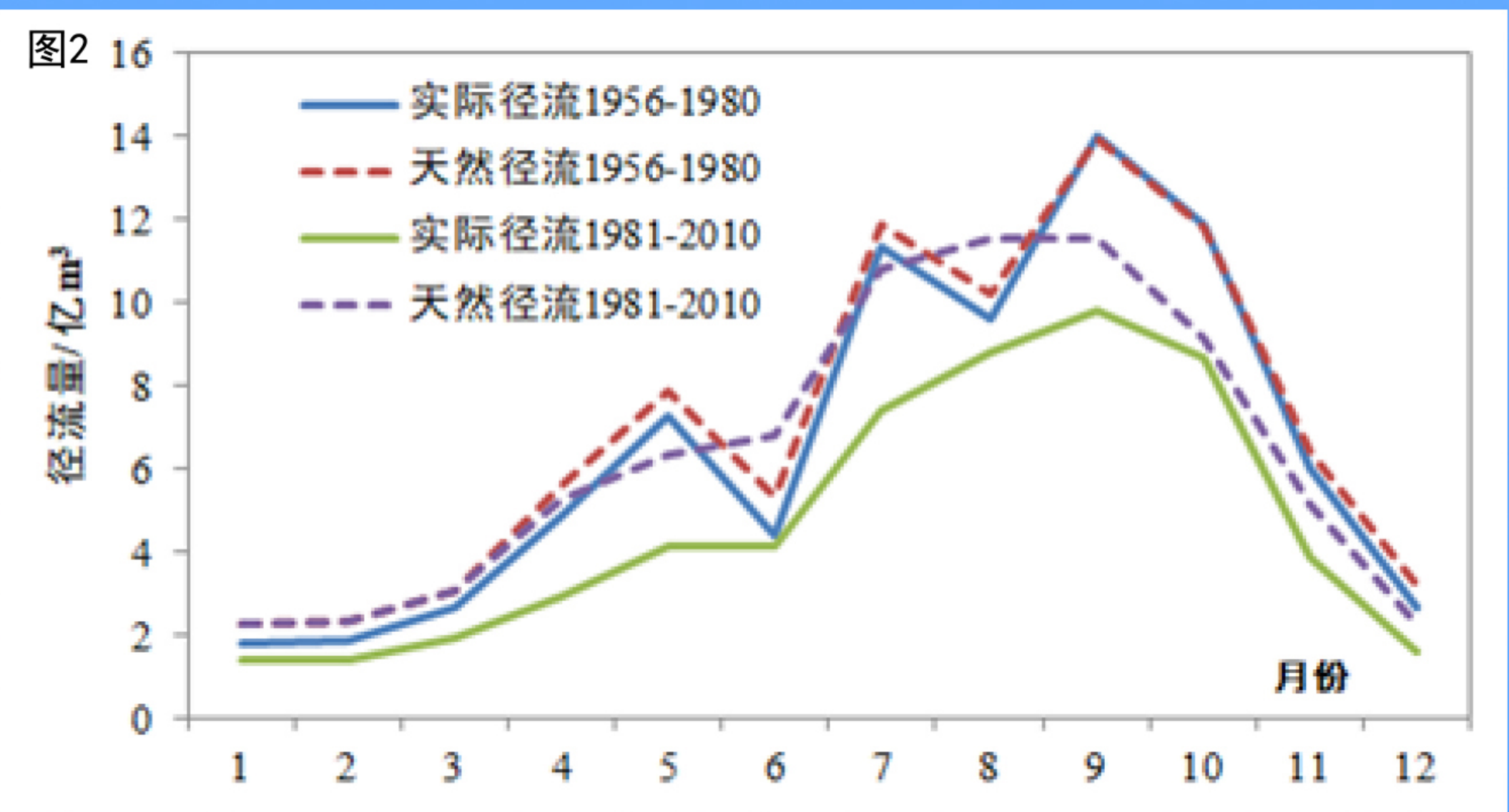
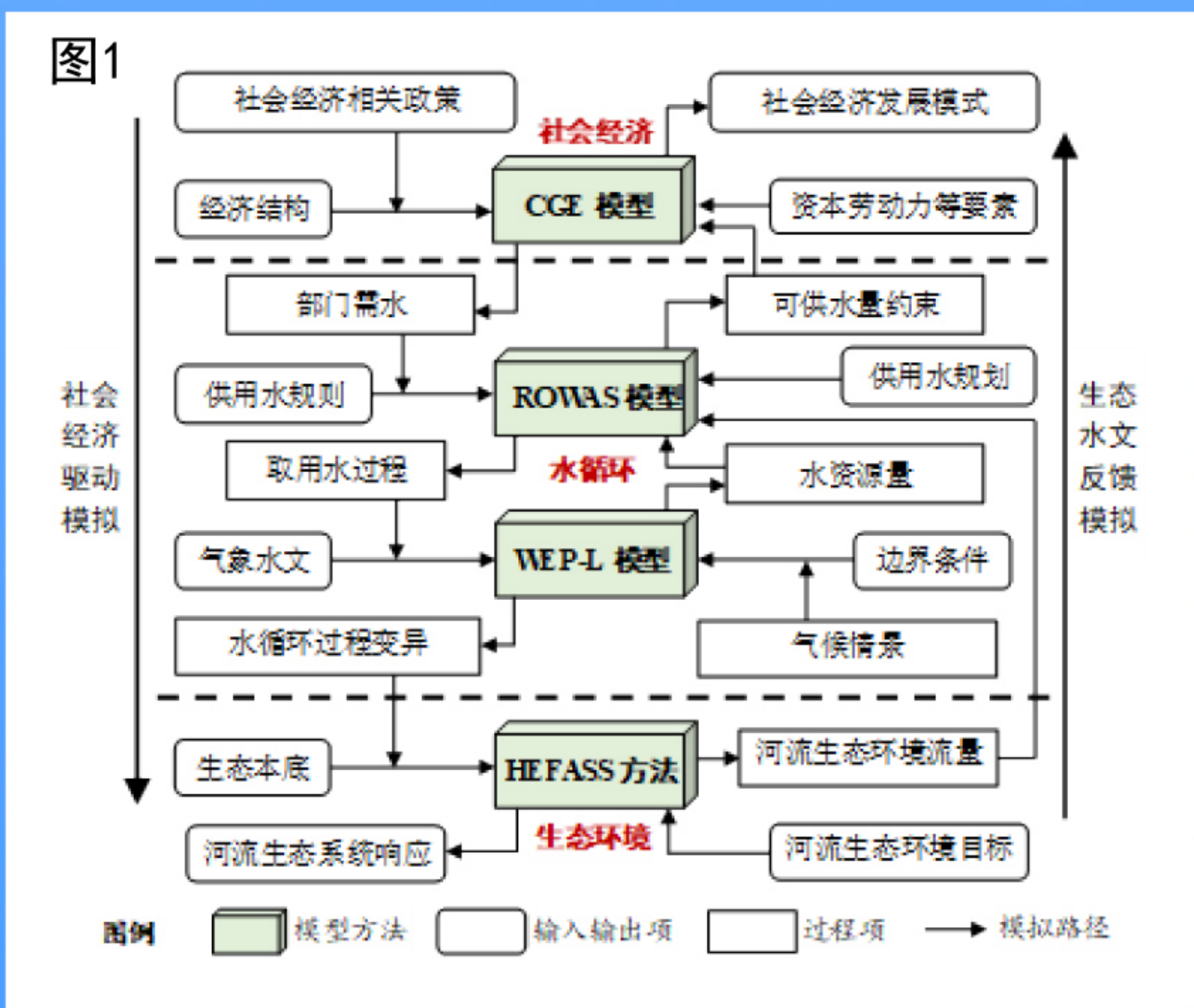
(1) 首次构建了具有物理、生物和经济复合机理的流域水-生态-经济耦合模型HOMEE，解决了流域复杂系统多过程模拟的定量工具问题。

通过耦合经济学领域的动态水资源一般均衡模型CGE（Computable General Equilibrium）、基于规则的水资源配置模型ROWAS（Rule-based Objected-Oriented Water Resources System Simulation Model）、分布式水循环模型WEP-L（Water and Energy Transfer Processes in Large Basin）以及整体法HEFASS（Holistic Eco-environmental Flow Assessment in Semi-arid and Semi-humid Region），构建了具有物理、生物和经济复合机理的流域水-生态-经济耦合模型HOMEE（Holistic Model of Economic System and Eco-hydrological Processes），实现了社会经济系统、生态环境系统和水循环系统的耦合模拟。研究提出了统计方法和模型方法集合的梯次尺度转换机制，解决了经济过程、供用水过程、水文过程以及生态过程之间时空尺度不匹配的问题。

在此基础上，完成了渭河干支流生态水文本底模拟、扰动归因及情景分析，为渭河生态环境修复提供了天然基准，为与利益相关方协商确定生态环境流量指标及流域水-生态-经济综合调控方案提供了依据。

图1 流域水-生态-经济耦合模型HOMEE框架

图2 渭河华县断面天然及实测流量过程对比



中国水利学会



2018年中国水利学会大禹奖

河流生态环境流量整体分析理论与流域综合调控关键技术



图3 基于河道及坡面水、土、生物综合特性的生态水文分区方法

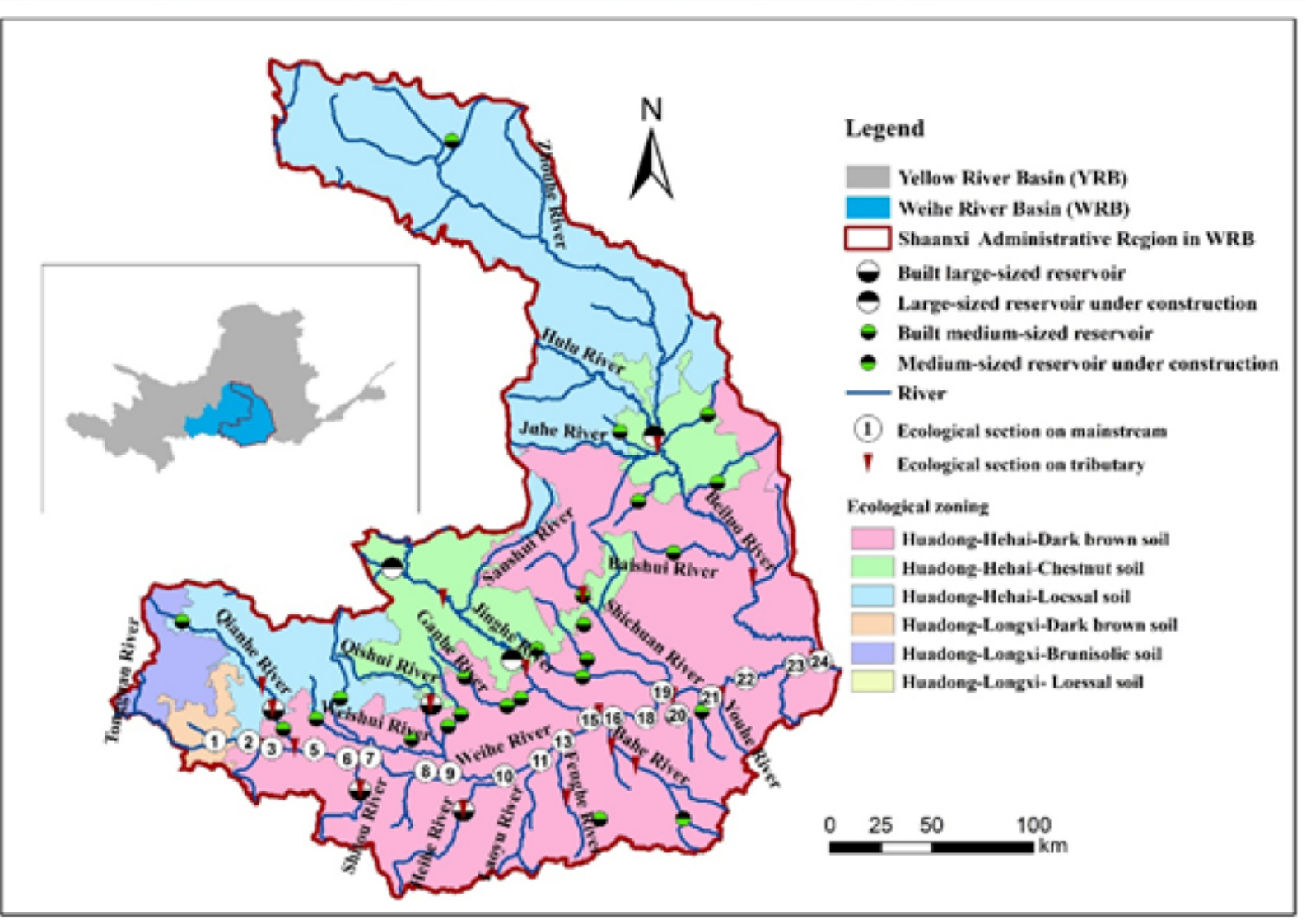


图4 渭河干支流生态环境控制断面

表1 渭河干流生态环境控制断面功能目标

序号	生态环境断面	水资源三级区	行政区	经纬度	基础生态				水生生物生态				环境水质	综合生态	水量平衡
					水质	水量	生物多样性	生态服务功能	鱼类	水生植物	水生动物	生物多样性			
1	宝鸡农业、渔业用水区控制断面（陈仓断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	106.85 34.39	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	宝鸡市景观用水区控制断面（金台断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	107.05 34.38	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	宝鸡市景观用水区控制断面（金台断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	107.17 34.35	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	107.31 34.35	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	107.4 34.34	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	107.65 34.35	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	107.75 34.35	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
8	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.00 34.23	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
9	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.13 34.22	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
10	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.42 34.20	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
11	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.62 34.26	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
12	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.72 34.33	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
13	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.75 34.34	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
14	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.78 34.36	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
15	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	108.97 34.43	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
16	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.03 34.44	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
17	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.08 34.47	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
18	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.20 34.43	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
19	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.30 34.54	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
20	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.38 34.53	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
21	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.56 34.51	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
22	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	109.76 34.58	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
23	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	110.03 34.65	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
24	宝鸡市景观用水区控制断面（千河入渭断面）	渭河宝鸡以上	宝鸡	110.17 34.68	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

（3）提出了半干旱半湿润地区河流多层次生态环境流量整体确定方法HEFASS，全面考虑河流关键断面、关键时段、关键目标和利益相关方，构建了以河流生态系统基本需水为保障红线、弹性需水为调控核心、适宜需水为理想目标的河流生态环境流量三级指标体系。

HEFASS方法（Holistic Eco-environmental Flow Assessment in Semi-arid and Semi-humid Region）采用自下而上和自上而下结合的研究思路进行河流生态环境流量分析。综合考虑地理分异、鱼类分异、生源要素分异及河流保护与利用差异，完成河流生态水文四级分区，支撑不同河段生态环境控制断面布局和功能目标定位；在传统方法重点考虑对河流生态环境目标对应的各流量组分进行理论计算和整合分析的基础上，强化了对河流各利益相关方权责和损益的量化评估，通过利益相关方圆桌会议对河流生态环境流量理论分析结果进行协调和修正，综合确定河流从基本到适宜的多层级生态环境流量指标，使其兼具科学性、综合性和可行性。

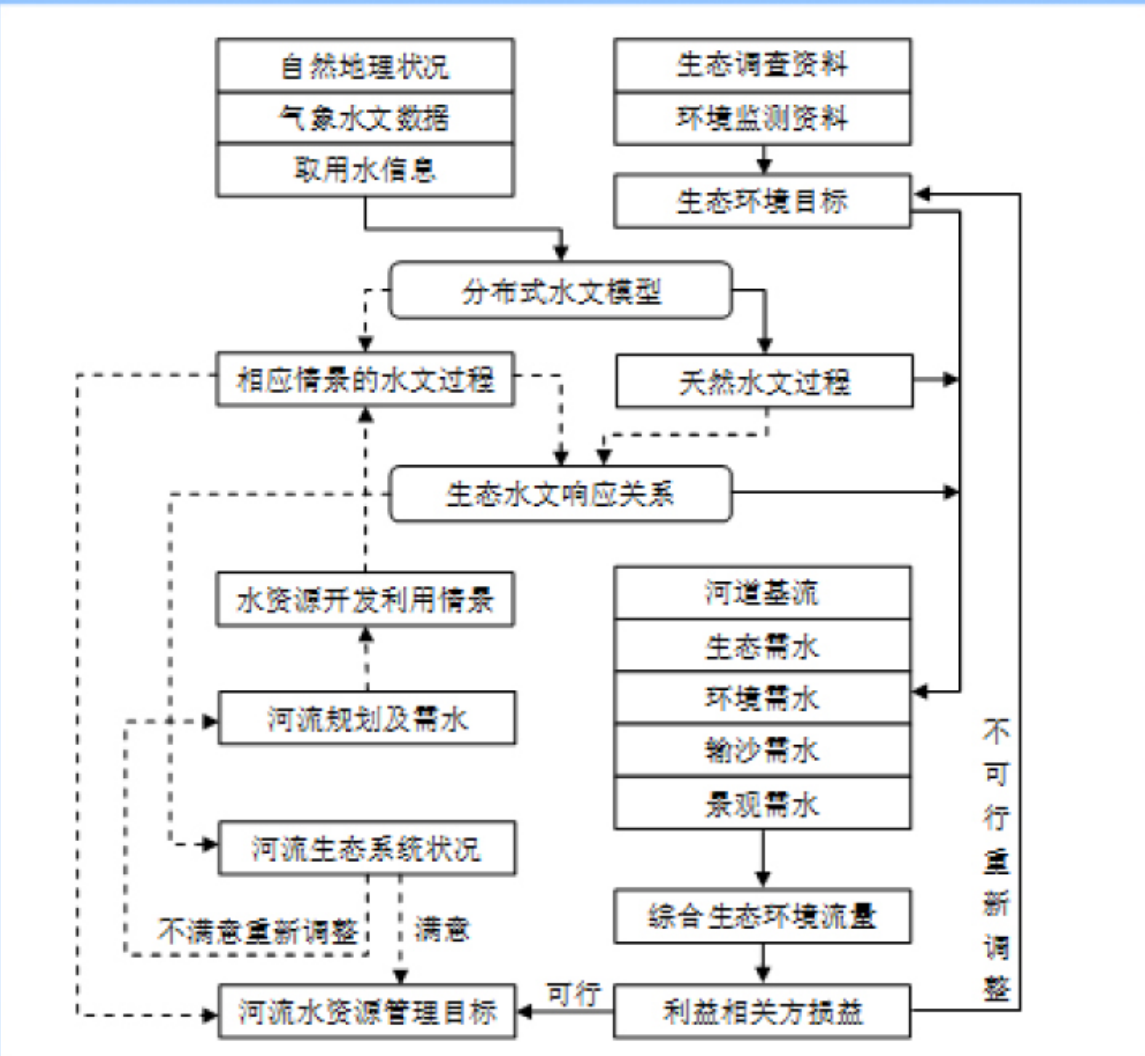


图5 HEFASS整体法分析流程

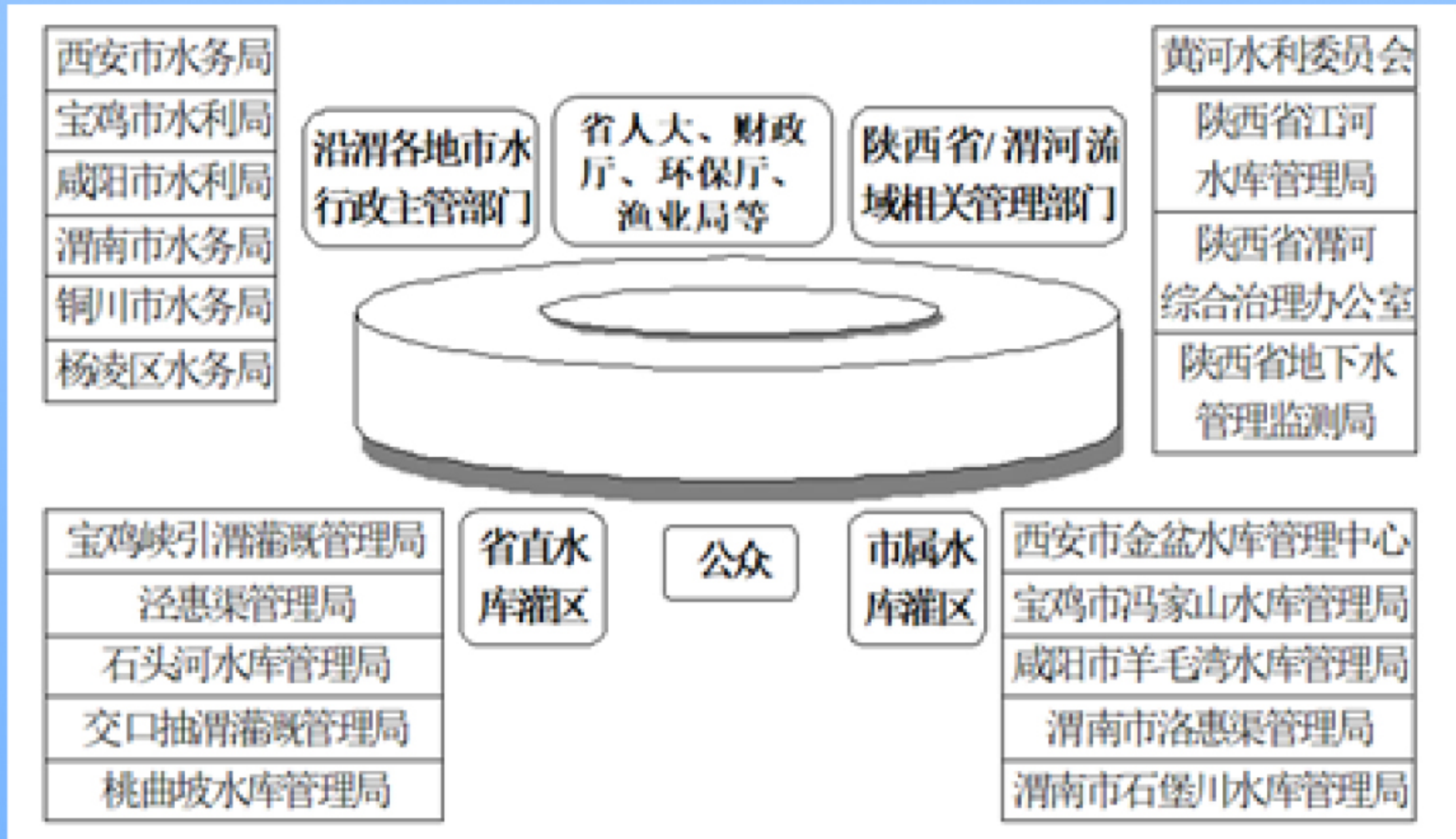


图6 渭河利益相关方圆桌会议

（4）提出了面向生态的流域水资源复合嵌套优化调度及综合调控技术、方案和补偿机制，提高了流域生态调度的科学性和可操作性。

针对缺水地区各方用水高度竞争的现状，基于HOMEE模型宏观模拟和各部门用水特性分析，提出了国民经济层次化用水的理念，对不同行业、不同时段、不同区域的用水进行优先级划分，并与生态环境需水的基本、弹性、适宜三级目标结合，形成充分考虑人与自然竞争-协调的水资源调配方案，在此基础上实现了流域水-生态-经济综合调控。



中国水利学会



2018年中国水利学会大禹奖

河流生态环境流量整体分析理论与流域综合调控关键技术

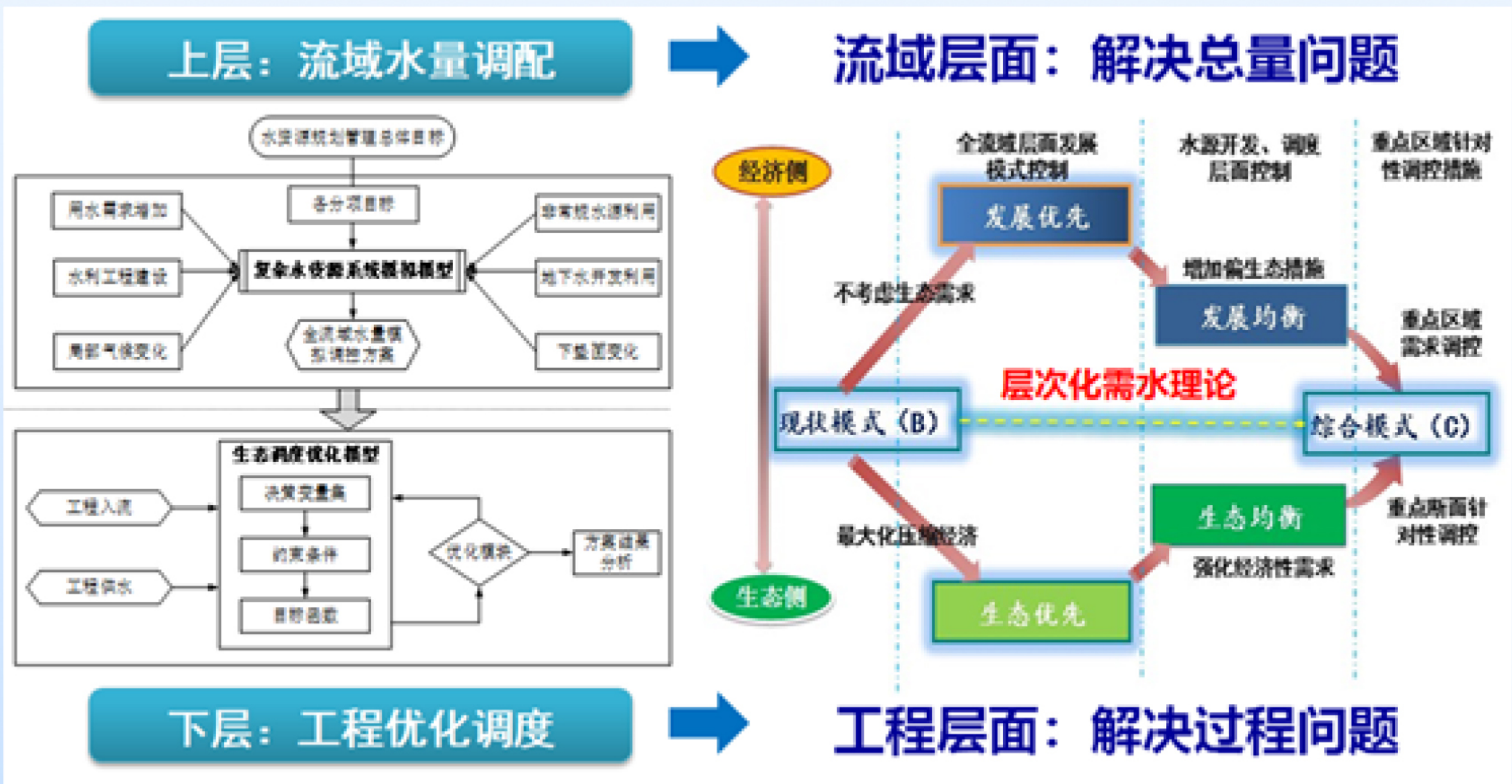


图7 流域水资源复合嵌套两层调控模型

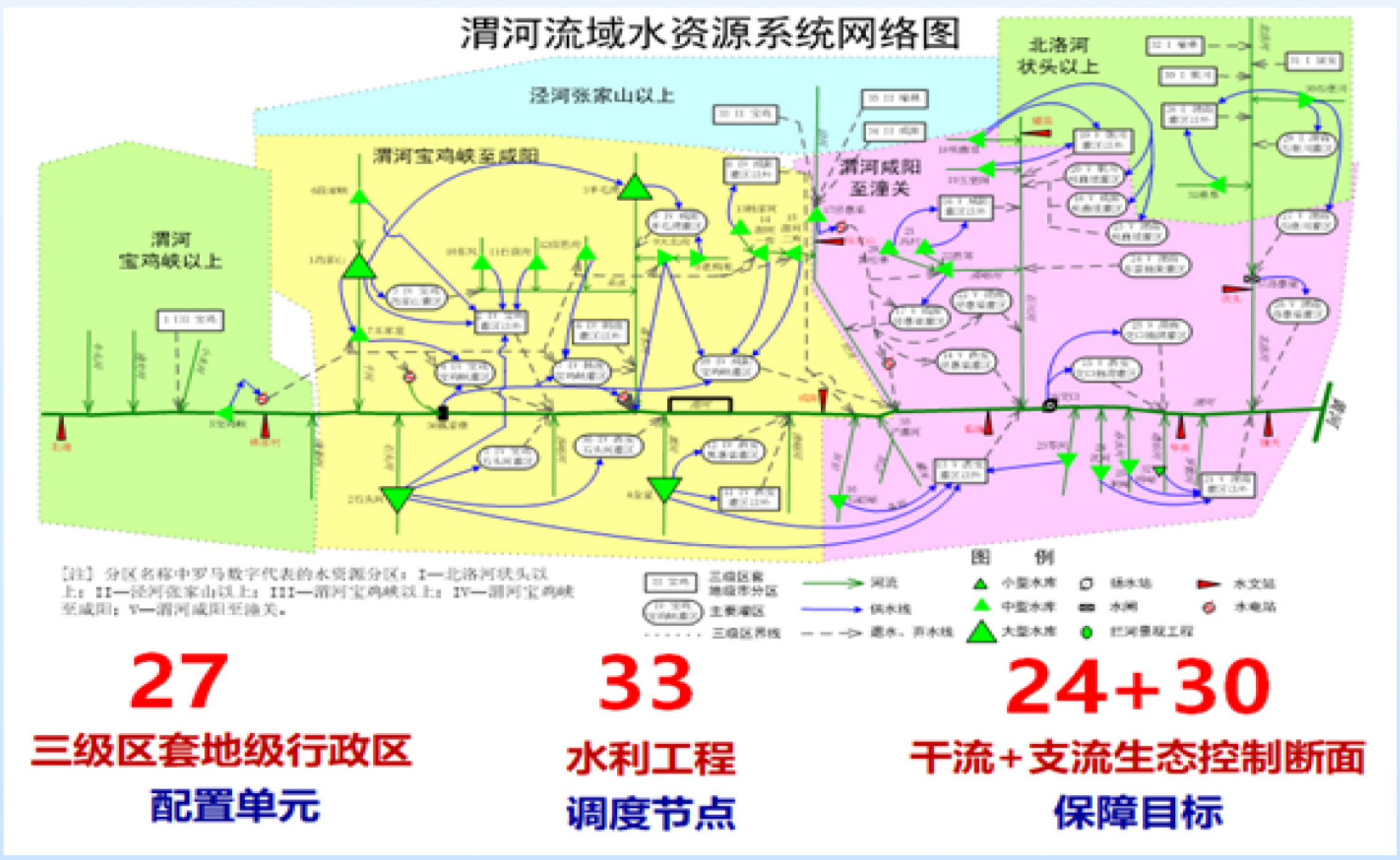


图8 渭河流域水资源系统网络图

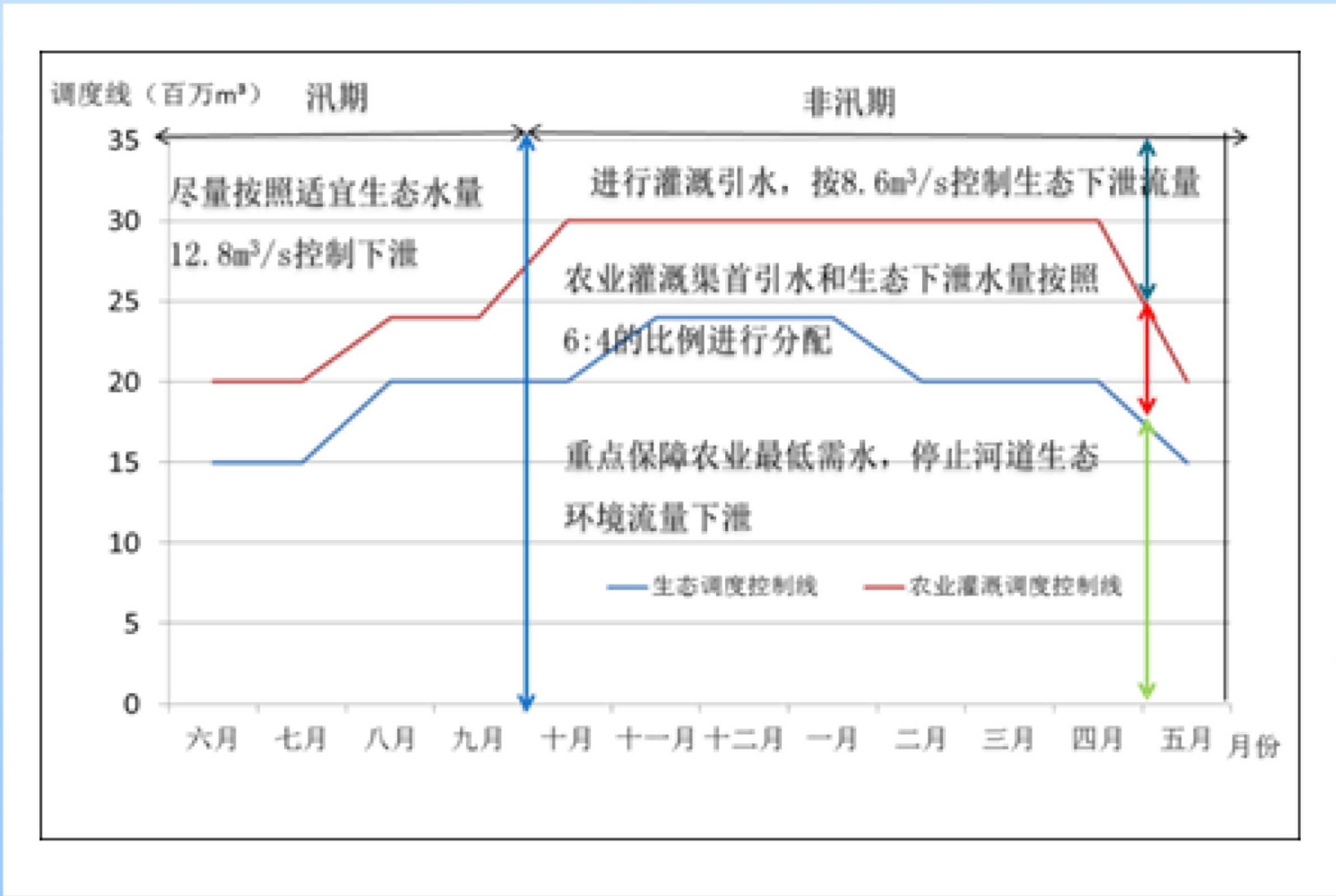


图9 宝鸡峡水库生态调度控制线



图10 渭河生态环境流量试运行现场

本研究通过创建HOMEE模型、HEFASS方法并在渭河应用，推动了水文水资源、流域生态等学科发展及交叉融合。研究成果还被国家防汛抗旱总指挥部办公室、黄河水利委员会等采纳应用。成果可为缺水地区河流生态环境修复、区域社会经济与资源环境协调发展等提供理论和技术支撑，具有广阔的推广应用前景。

图11 渭河林家村断面枯水期生态调度前（上）后（下）对比



4、推广应用情况

研究提出的技术方法及渭河干流24个断面、18条重点支流30个断面的生态环境流量三级指标和综合调控方案，被陕西省水利厅、渭河综合治理办公室、陕西省江河水库管理局及沿渭地市采纳应用，直接支撑了渭河生态流量指标的科学确定和有效保障。依据本研究成果，陕西省水利厅2014年以“壮士断腕”的决心，在非汛期关停魏家堡、杨凌、绛帐等水电站，并于2016年向全省各级涉水行政主管部门印发了《陕西省基于生态流量保障的水量调度方案》（陕水资发【2016】51号）。2014年起渭河林家村下游100余公里功能性断流河道生态环境流量提高到8-20m³/s；2016年1月以来持续泄水948天，累计下泄18.77亿m³，取得了重大的生态环境和社会经济综合效益，且潜在效益巨大。渭河长达20余年的生态环境问题得到显著改善，受到了媒体、沿渭相关单位和公众的广泛关注和高度认可，社会反响热烈。



中国水利学会