

1、项目名称：黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控关键技术

主要完成人：白涛，黄强，贾晓鹏，郑艳爽，杜鹤强，丰青，李建国，金文婷，武连洲

主要完成单位：西安理工大学

中国科学院西北生态环境资源研究院

黄河水利委员会黄河水利科学研究院

中国水利学会

任务来源：国家科技部、国家自然科学基金委员会

(1) 国家重点基础研究发展计划(973计划)专题,《黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群调水潜力研究》(编号:2011CB403306-03、2011CB403302-02)

(2) 国家重点基础研究发展计划(973计划)专题,《沙丘沟谷系统粗砂风洪传输过程观测与模拟》(编号:2011CB403302-03)

(3) 国家重点基础研究发展计划(973计划)专题,《沙漠宽谷河道维持冲淤平衡及适宜过流能力的洪峰阈值》(编号:2011CB403305-03)

(4) 国家自然科学基金青年科学基金项目,《低水温条件下多泥沙河流水库群水沙调控》(编号:51409210)

(5) 国家自然科学基金青年科学基金项目,《黄河乌兰布和沙漠河道粗沙重矿富集特征及其源解析》(编号:41101005)

2、提名者：陕西省教育厅

提名意见：以世界上含沙量最大的多泥沙河流黄河为例,具有典型性和特色。项目探明了泥沙来源为“沙漠沙”,厘清了泥沙和颗粒特征及成因,揭示了河道冲淤演变和河道适宜过流能力对洪水过程的响应规律,明确了调控的时机、流量区间等关键阈值;时空耦合水库群供水-发电-调沙-防凌-防洪的多目标调度模型、流量演进模型和输沙率模型,揭示了水沙调控与供水、发电、防洪防凌等目标的效能转化规律;引入水温因子改进了传统输沙率模型,揭示了低水温的输沙效应,量化了水沙调控效果;提出了以固为主、调为辅的未来治沙的综合策略。研究成果选题准确,研究起点高,理论、技术上有创新,发表了大量的相关的论文著作,同时,研究成果相继被生产单位学习、应用,对于黄河上游的水沙调控研究具有重要的理论意义和实践意义。成果材料齐全、规范,无知识产权纠纷,人员排序无争议,符合陕西省科学技术奖提名条件。特提名为陕西省科学技术奖。

3、项目简介：

水少沙多、水沙关系不协调,是黄河复杂难治的症结所在。治黄之根本是治沙。泥沙治理的根本措施是增水、减沙与调水调沙。2003年至今17次的小浪底调水调沙举措已经验证了“调”作为黄河水沙治理的巨大作用。目前,针对黄河水沙调控的研究主要集中在库区泥沙冲淤规律、小浪底水库对黄河中下游调水调沙以及下游河道治理的研究成果,且主要是针对下游花园口至利津区间。而对于黄河上游,特别是沙漠宽谷河段的调水调沙,以及上游梯级水库群水沙调控的研究成果,却鲜有报道。受气候变化和人类活动的双重影响,黄河上游沙漠宽谷河

段的泥沙淤积日益严峻，已形成长达 268km 的“新悬河”，严重影响河道行洪、行凌安全，威胁沿黄人民群众的人身财产安全，却鲜有针对于黄河上游沙漠宽谷河段的水沙调控的研究。因此，亟待开展黄河上游梯级水库群水沙联合调控研究，厘清泥沙的主要来源和分布特征，攻克水沙调控关键阈值界定困难的技术瓶颈，利用充分发挥龙羊峡水库的多年调节性能和龙、刘梯级水库群的联合调控能力，建立梯级水库群多目标水沙调控模型、河道输沙率模型，塑造可控的人造洪水减轻河道泥沙淤积甚至冲刷下游河槽，改善沙漠宽谷河段不和谐的水沙关系，维持河道冲淤的相对平衡，降低洪凌灾害，让黄河成为造福人民的幸福河。

2019 年 9 月 18 日，习总书记在主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上提出：“要保障黄河长久安澜，必须紧紧抓住水沙关系调节这个‘牛鼻子’，要完善水沙调控机制”。习总书记的重要讲话和科学论断，已将黄河的水沙调控上升为国家战略。黄河上游沙漠宽谷河段的水沙调控是黄河全流域水沙调控体系中不可或缺的一部分，是实现黄河上游泥沙“冲沙入海”目标的排头兵和重要技术支撑，且与中下游小浪底调水调沙衔接紧密，为实现黄河全流域水沙调控总体目标奠定了坚实的理论与技术基础。本项目成果切实服务黄河上游水沙调控的国家战略需求，具有深远的战略意义和重要的理论应用价值。

项目研究承担了国家重大科研计划，是国家重点基础研究发展计划项目和国家自然科学基金项目研究成果的高度总结与系统凝练。项目依托国家重点基础研究发展计划（973 计划）专题：《黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群调水潜力研究》（编号：2011CB403306-03、2011CB403302-02）、《沙丘沟谷系统粗砂风洪传输过程观测与模拟》（编号：2011CB403302-03）、《沙漠宽谷河道维持冲淤平衡及适宜过流能力的洪峰阈值》（编号：2011CB403305-3）和国家自然科学基金项目：《黄河乌兰布和沙漠河道粗沙重矿富集特征及其源解析》（编号：41101005）、《低水温条件下多泥沙河流水库群水沙调控》（编号：51409210）。项目研究跨度历时 8 年，由西安理工大学牵头，中国科学院西北生态环境资源研究院和黄河水利委员会黄河水利科学研究院共同参与。项目研究以黄河上游不和谐的水沙关系、干支流悬河和河道淤积为问题导向，研究成果着重解决了黄河沙漠宽谷段粗泥沙“沙漠源”与“黄土源”的长期争论，重新界定了黄河上游沙漠宽谷河段粗泥沙的划分；构建了维持下游河道冲淤相对平衡的梯级水库群水沙调控理论框架和多目标水沙调控模型，揭示了水沙调控与发电、供水的效能转化机理，填补了长距离、大规模、多目标水沙调控的理论和技术的空白；创新性引入水温因子改进了传统输沙率模型，揭示了低水温条件下的河道输沙效应；面对未来黄河水资源供需矛盾日益紧张，提出了“以‘固’为主、‘调’为辅的‘固-拦-调-放-挖’”黄河上游沙漠宽谷河段治沙的综合对策，为黄河上游沙漠宽谷河段河道水沙调控科学对策的提出提供技术支撑，促进了系统工程学与河流泥沙动力学的交叉与融合。

研究领域涉及水库群优化调度、河道动力学、人工智能等多个研究方向，属多学科交叉范畴。研究取得的主要成果如下：

（1）厘清了现代黄河上游沙漠宽谷河段的泥沙淤积特征，探明了黄河上游

沙漠宽谷河道粗泥沙来源为“沙漠沙”；建立了辨识粗泥沙来源的物化指标体系，揭示了泥沙重矿物和泥沙物化指标的沿程分布特征，辨识了不同源区对沙漠宽谷河段淤积粗泥沙的贡献度，为水沙调控关键阈值的确定提供技术支撑。

(2) 探明了黄河上游沙漠宽谷河段场次洪水输沙规律及洪水期河道冲淤时空分布特性，揭示了沙漠宽谷河段河道冲淤演变和河道适宜过流能力对洪水过程的响应规律，明确了调控时机、流量区间等沙漠宽谷河段水沙调控的关键阈值。

(3) 阐明了梯级水库群多目标水沙调控的合理库容释义，建立了梯级水库群水沙调控合理库容优化模型，集成了基于水沙调控的水库群合理库容优选技术，确定了不同情境下调水调沙合理库容及调沙水量，为沙漠宽谷河段水沙调控的可持续性提供理论支撑。

(4) 提出了水库群多目标水沙调控的理论体系，建立了供水-发电-调沙-防凌-防洪的水库群多目标联合调度模型、流量演进模型；基于可行搜索空间改进了优化算法 FSS-PSO，揭示了水沙调控与供水、发电、防洪防凌等目标的效能转化规律，攻克了高维、非线性、多目标模型求解的难题。

(5) 引入水温因子改进传统输沙率模型，揭示了低水温条件下沙漠宽谷河段的水沙关系和泥沙输移规律，明晰了水温变化对河道输沙率的影响，量化了低水温水沙调控的输沙效果；阐明了未来跨流域调水和水资源需求变化对水沙调控的影响，提出了以固为主、调为辅的未来黄河上游沙漠宽谷河段治沙的综合策略。

以项目成果为依托，课题组成员已发表论文 57 篇，其中，SCI、EI 收录 36 篇，出版专著 1 部，研制团体标准 3 项，申请公开国家发明专利 4 项，获厅局级科技进步一等奖 1 项。课题组先后培养优青教师 2 人、副教授/副研究员 5 人等一批青年科技骨干和领军人才，培养硕博士 23 人，参加国内外学术会议 150 余人次；同时，为生产单位开展技术培训 300 余人次，确保前沿的科研成果被生产单位应用，形成“产-学-研-用”相结合的成果体系。此外，项目相关的研究理论与方法也陆续应用到其它课题的相关内容研究，如国家自然科学基金《基于水库群多目标调度的黑河流域复杂水资源系统配置研究子题：黑河水库群多目标调度研究》(编号：91325201)、水利部公益性专项经费项目《引汉济渭跨流域复杂水库群联合调度研究》(编号：201501058) 等。同时，黄河上游水电开发有限责任公司、黄河上中游水量调度委员会办公室、黄河勘测规划设计有限公司、黄河水文水资源科学研究院、陕西省水利电力勘测设计研究院等生产单位先后将项目部分研究成果应用至实际生产中，解决了工程实际存在的问题。

4、客观评价：

在气候变化和人类活动的双重影响下，黄河上游沙漠宽谷河段河槽萎缩，河道淤积严重，形成了长达 268km 的“新悬河”，河床高程比沿黄城市地面高 3~5m，在“十大孔兑”处甚至形成 4m 左右高度的“支流悬河”，导致河道过流能力下降、宁蒙河段“小水致大灾”、洪凌灾害频发的严峻局面，严重影响重大水利工程的布局和实施以及全流域水资源的开发利用，危及黄河下游河道及群众人身安全。鉴于此，本研究以黄河上游不和谐的水沙关系、干支流悬河和河道淤积

为问题导向，厘清了黄河上游沙漠宽谷段泥沙来源，是乌兰布和沙漠的大颗粒风沙；提出了构建维持下游河道冲淤相对平衡的梯级水库群水沙调控的理论框架，建立了复杂梯级水库群多目标水沙调控模型，揭示了水沙调控与供水、发电、防洪防凌等目标的效能转化规律；阐明了低水温条件下沙漠宽谷河段的输沙效应，量化了水沙调控效果；面对未来黄河水资源供需矛盾日益紧张的客观事实，在 2013 年提出了“以‘固’为主、‘调’为辅的‘固-拦-调-放-挖’”的黄河上游沙漠宽谷河段治沙的综合对策，即要从风沙入黄的源头上固沙为主，以黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群塑造人工可控洪水进行水沙调控为辅的“固-拦-调-放-挖”综合治沙策略，有助于改善黄河上游沙漠宽谷河段水沙关系、维持河道冲淤相对平衡、保障宁蒙河段和下游河段的凌汛安全、维护黄河上游河道的生命健康。项目集成的长距离、大规模、多目标水沙调控的技术，多目标调度的建模和求解关键技术已在黑河流域、黄河上游、汉江上游、引汉济渭跨流域调水工程、额尔齐斯河“七库一干”多目标生态调度和西江流域生态压咸调度中推广应用，取得了显著的技术转化成效。

根据 2014-2018 年《中国河流泥沙公报》，过去 5 年黄河流域的多年平均来沙量仅为 1.47 亿 t，较 1919-1959 年黄河流域多年平均来沙量 16 亿 t 减少了 91.8%；较 1986-2012 年黄河流域多年平均来沙量 5.42 亿 t 减少了 72.9%，较 2005-2014 年黄河流域多年平均来沙量 2.01 亿 t 减少了 26.9%。由此可见：在“以‘固’为主、‘调’为辅的‘固-拦-调-放-挖’”的黄河上游沙漠宽谷河段治沙的综合策略的大力推广和技术转化下，通过沙垄，格栅，沙棘、梭梭、红柳等大面积种植等水土保持、防风固沙措施，重点对乌兰布和沙漠等四大沙漠进行综合治理，在流域水资源持续减少、可调水量持续减少、“调”的空间被压缩的不利局面下，通过“固-拦-放-挖”大大降低了风沙入黄量，黄河流域的输沙量在近 5 年持续、显著减少，黄河水“清”了，说明本研究提出的黄河上游治沙综合策略的效果显著，验证了治沙策略的科学性、合理性和先进性。

此外，项目研究成果为中国科学院向国务院提交的《关于黄河黑山峡段开发问题的建议》报告提供了重要技术支撑。第一完成人的博士论文“黄河上游沙漠宽谷段水沙调控”获得了校级优秀博士学位论文，在中国水利水电出版社出版“黄河上游沙漠宽谷段水沙调控”专著 1 部，相关成果发表在 *Journal of Hydrology*、*Applied Soft Computing*、*Water Resources Management*、*水科学进展* 等国内外 TOP 期刊上，研制团体标准 3 项，新增与水库多目标调度建模和求解的国家发明专利 4 项，研究成果“黄河上游沙漠宽谷段水沙调控关键技术”获得了 2019 年陕西高等学校科学技术一等奖，已培养硕士、博士研究生 23 人，培养了优青教师 2 人、副教授/副研究员 5 人等一批青年科技骨干和领军人才，已在黄河勘测规划设计有限公司、黄河上中游水量调度委员会办公室、黄河水文水资源科学研究院、黄河上游水电开发有限责任公司、甘肃省电力投资集团有限责任公司、陕西省水利电力勘测设计研究院和陕西省引汉济渭工程建设有限公司等 7 家单位进行了成果的应用与推广，极大推动了水库调度学科的发展和与河道泥沙动力学的交叉。

综上所述，研究成果推动了向国务院提交的《关于黄河黑山峡段开发问题的建议》的报告，形成了在国内外 TOP 期刊上发表高水平论文、在国家级出版社出版专著、研制团体标准、获批国家发明专利、获得厅级科技进步奖、培养一批硕博士青年科技骨干、在 7 家单位推广应用、拓展学科方向和交叉的系统化转化成果，呈现出多元、丰富、综合等特征，在国内外水沙调控领域具有一定的综合影响力，在水沙调控领域建模、求解、水沙综合治理策略等关键技术研发转化中成效显著。

5、应用情况：

本项目的研究属于基础性研究，研究成果主要包括基于长距离冲沙输沙的黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控框架、河段淤积特征和粗泥沙来源与分布、场次洪水输沙规律、河道冲淤演变和适宜过流能力对洪水过程的响应规律；水库群调水调沙合理库容优选、水库群多目标水沙调控、低水温高效输沙三大技术；黄河上游沙漠宽谷河段多目标效能转化规律及低水温条件下泥沙沿程输移规律，以及未来跨流域调水和流域水资源需求演变下的水沙综合治理策略。目前，项目的成果已多被推广至与黄河流域相关的生产单位和管理部门，均取得了很好的应用效果，主要应用单位情况如下表所示。

表 1 主要应用单位情况表

| 序号 | 单位名称 | 应用的技术 | 应用对象及规模 | 应用起止时间 | 单位联系人/电话 |
|----|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------|---------------------|
| 1 | 黄河勘测规划设计有限公司 | 基于长距离冲沙输沙的梯级水库群水沙调控理论等 | 《黄河流域水资源综合规划》、《南水北调西线一期工程若干重要专题补充研究》 | 2015 年至今 | |
| 2 | 黄河上游水电开发有限责任公司 | 考虑供水-发电-调沙-防洪防凌的水库群多目标调度模型的构建和求解技术 | 黄河上游水电与光电等新能源的联合运行 | 2015 年至今 | 白钰 /09716322989 |
| 3 | 黄河上中游水量调度委员会办公室 | 黄河上游水库群多目标调度模型及其求解技术 | 黄河上游水量调度规程 | 2015 年至今 | 万筱钟 /02987506610 |
| 4 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 基于长距离冲沙输沙的梯级水库群水沙调控理论 | 陕北地区南门沟水库等高泥沙流域的工程设计 | 2015 年至今 | |

| | | | | | |
|---|-----------------|--|---------------------------|-------------|-------------------------|
| 5 | 黄河水文水资源科学研究院 | 宁蒙河道洪水期河道冲淤临界判别指标体系 | 黄河上游河道防洪、防凌、减淤问题的方案参考 | 2015年 至今 | 张萍 /03716602 8229 |
| 6 | 陕西省引汉济渭工程建设有限公司 | 黄河上游梯级水库群水沙调控合理库容优选及可调水量优化技术 | 引汉济渭工程调水潜力评估、运行方案制定 | 2015年 至今 | |
| 7 | 甘肃省电力投资集团有限责任公司 | 基于调水调沙的黄河上游梯级水库群合理库容理论和最大调水调沙极限下合理库容优选技术 | 刘家峡水库运行管理、黑山峡水电梯级开发的投资与评估 | 2015年 至今 | |

项目的整体应用概述如下，详见附件：

黄河勘测规划设计有限公司：研究提出的基于长距离冲沙输沙的梯级水库群水沙调控理论和黄河上游沙漠宽谷河段调水调沙机制，被公司主持完成的《黄河流域水资源综合规划》采用；研究提出的跨流域调水和流域水资源需求变化对水沙调控运行的影响，被公司主持完成的《南水北调西线一期工程若干重要专题补充研究》采用。

黄河上游水电开发有限责任公司：我公司学习并借鉴 973 专题项目的研究成果，进一步丰富黄河上游梯级水电站的调控体系，为黄河上游水电与光电等新能源的联合运行提供了很大的参考价值。

黄河上中游水量调度委员会办公室：黄河上游水沙调控技术的研究成果进一步丰富黄河上游水沙调控的调控体系，为黄河上游水沙治理提供了很大的参考价值。

陕西省水利电力勘测设计研究院：我院深入学习 973 专题项目的研究成果，将研究中水沙调控的思想和经验对策应用至陕北地区南沟门水库等高泥沙流域的工程设计，取得了重要的实践效果。

黄河水文水资源科学研究院：研究成果已在近几年开展的汛期黄河流域水沙情势跟踪研究中得到应用，为完善黄河水沙调控及黄河上游河道防洪防凌减淤等重大技术问题提供了参考依据，具有显著的经济效益和社会效益。

陕西省引汉济渭工程建设有限公司：研究成果对于引汉济渭工程的调水潜力评估和初期运行方案的制定，以及充分挖掘引汉济渭跨流域调水工程的调水潜力、发挥引汉济渭跨流域调水工程的调水效益具有重要的实际指导意义。

甘肃省电力投资集团有限责任公司：我公司将 973 专题研究成果应用于黄河上游刘家峡水库运行管理和黑山峡水电梯级开发的投资与评估，对于公司的水电工程投资方向具有重要的参考价值。

6、主要知识产权和标准规范等目录：

- (1) 白涛, 黄强. 黄河上游沙漠宽谷段水沙调控[M]. 北京: 中国水利水电出版社, ISBN: 978-7-5170-5129-9, 2017.
- (2) 白涛, 阚艳彬, 畅建霞, 袁梦. 水库群水沙调控的单-多目标调度模型及其应用[J]. 水科学进展. 2016, 27 (1): 141-152 (EI) .
- (3) Tao Bai, Yan-bin Kan, Jian-xia Chang, Qiang Huang, Fi-John Chang. Fusing feasible search space into PSO for multi-objective cascade reservoir optimization [J]. Applied Soft Computing, 2017, 51: 328-340 (SCI 一区) .
- (4) Tao Bai, Lian-zhou Wu, Jian-xia Chang, Qiang Huang. Multi-objective optimal operation model of cascade reservoirs and its application on water and sediment regulation. Water Resources Management, 2015, 29 (8): 2751-2770 (SCI 二区) .
- (5) Jia X, Li Y, Wang H. Bed sediment particle size characteristics and its sources implication in the desert reach of the Yellow River [J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75 (11): 950.
- (6) Yan-shuang Zheng, Yong Li, Xiao-hua Zhang, Hong-xia Shang. Discussion on the Mechanism of the Differences of Sediment Transport Capability of the Different Alluvial Reaches in the Yellow River [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10 (B): 1425-1430.
- (7) He-qiang Du, Shen-tang Dou, Xiao-hong Deng, Xian Xue, Tao Wang. Assessment of wind and water erosion risk in the watershed of the Ningxia-Inner Mongolia Reach of the Yellow River, China [J]. Ecological Indicators, 2016, 67:117-131.
- (8) 中国水利学会.T/CHES19-2018 模型试验水沙测量仪器数据交互通用规约[S]
- (9) 中国水利学会.T/CHES28-2019, 中国工程建设标准化协会 T/CECS 582-2019 预制混凝土板桩式挡土墙技术规程[S]
- (10) 中国水利学会. T/CHES31-2019 电波(雷达)流速仪[S]

7、主要完成人情况：

(1) 白涛, 排名 1, 副教授, 工作单位与完成单位均为西安理工大学。对本项目的贡献为: 项目负责人, 确定研究内容、研究方案及技术路线, 重点提出了基于长距离冲沙输沙的梯级水库群水沙调控理论; 揭示了黄河上游沙漠宽谷河段调水调沙机制, 量化了跨流域调水和流域水资源需求变化对水沙调控运行的影响, 制定了黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控对策。

(2) 黄强, 排名 2, 教授, 工作单位与完成单位均为西安理工大学。对本项目的贡献为: 负责对项目总体理论框架、技术集成、机制对策研究思路的科学性与正确性引导与把关; 负责凝练黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控的“理论框架-技术集成-机制对策”体系。

(3) 贾晓鹏, 排名 3, 副研究员, 工作单位与完成单位均为中国科学院西北生态环境资源研究院。对本项目的贡献为: 分析了黄河沙漠宽谷段河道淤积泥沙粒度的特征及成因; 总结了泥沙重矿物和黄河上游泥沙物化指标的沿程分布特征,

为水沙调控奠定了前期基础。

(4) 郑艳爽, 排名 4, 高级工程师, 工作单位与完成单位均为黄河水利委员会黄河水利科学研究院。对本项目的贡献为: 分析了河道冲淤演变和河道适宜过流能力对洪水过程的响应关系; 揭示了沙漠宽谷河段维持适宜过流能力的洪峰流量阈值, 确定了适合调沙的流量区间, 为水沙调控奠定了坚实的基础。

(5) 杜鹤强, 排名 5, 副研究员, 工作单位与完成单位均为中国科学院西北生态环境资源研究院。对本项目的贡献为: 构建了风蚀与风沙输移模型, 模拟和预测了黄河宁蒙河段风沙入黄过程; 首次得到了黄河宁蒙河段日值分辨率的风沙入黄过程, 以及风沙入黄过程对流域内气候变化与土地利用变化的响应。

(6) 丰青, 排名 6, 工程师, 工作单位与完成单位均为黄河水利委员会黄河水利科学研究院。对本项目的贡献为: 作为技术骨干, 在国家重点基础研究发展计划(973 计划)专题“沙漠宽谷河道维持冲淤平衡及适宜过流能力阈值”中, 建立表征河道边界条件差异及河道水沙条件对输沙强度影响的定量表达式, 揭示了沙漠宽谷河段洪水期泥沙输运规律, 为水沙调控提供科学依据。

(7) 李建国, 排名 7, 标准化部主任, 高级工程师, 工作单位与完成单位均为中国水利学会。对本项目的贡献为: 承担了国家首批团体标准研制工作, 构建了中国水利学会团体标准编制和实施机制; 开展了包括泥沙测量、水土保持等多项团体标准的选题工作, 并在上述领域首次发布实施 3 项团体标准, 填补了国内标准空白。

(8) 金文婷, 排名 8, 博士研究生, 工作单位与完成单位均为西安理工大学。对本项目的贡献为: 阐明了梯级水库群水沙调控的合理库容定义; 建立了梯级水库群水沙调控合理库容优选模型, 确定了不同情境下梯级水库调水调沙所需的合理库容及调沙水量。

(9) 武连洲, 排名 9, 博士研究生, 工作单位与完成单位均为西安理工大学。对本项目的贡献为: 建立了水库群多目标水沙调控模型; 基于可行搜索空间提出了求解模型的多目标优化算法, 提出了沙漠宽谷河段水沙调控的解算技术。

8、主要完成单位及创新推广贡献:

(1) 西安理工大学

西安理工大学作为本项目的牵头单位, 主持并完成了国家重点基础研究发展计划(973 计划)专题《黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群调水潜力研究》(编号: 2011CB403306-03、2011CB403302-02)和国家自然科学基金项目《低水温条件下多泥沙河流水库群水沙调控》(编号: 51409210)。西安理工大学课题组构建了维持下游河道冲淤相对平衡的梯级水库群水沙调控理论框架和水库群多目标水沙调控模型, 揭示了水沙调控与供水、发电等目标的效能转化规律, 填补了长距离、大规模、多目标水沙调控的理论和技術空白; 创新性地引入水温因子改进了传统输沙率模型, 阐明了低水温条件下的河道输沙效应; 前瞻性地提出了未来水资源供需矛盾加剧下的黄河上游沙漠宽谷河段治沙的综合策略。西安理工大学为项目组提供了优越的科研环境, 合理控制项目预算与支出, 在项目申报、

审查和验收的过程中帮助课题组解决了诸多行政事务难题。同时，学校积极鼓励、支持项目研究的推广，成效显著。在对“以‘固’为主、‘调’为辅的‘固-拦-调-放-挖’”的黄河上游沙漠宽谷河段治沙综合策略的大力推广和技术转化下，通过水土保持、防风固沙措施重点对乌兰布和沙漠等四大沙漠进行综合治理，使得近5年来黄河流域的多年平均来沙量及输沙量持续、显著减少，验证了项目组所提出的黄河上游治沙综合策略的科学性、合理性和先进性。此外，研究成果为中国科学院向国务院提交的《关于黄河黑山峡段开发问题的建议》报告提供了重要技术支撑，并出版专著1部。以西安理工大学作为第一完成单位，“黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控”研究成果获得了2019年陕西省教育厅高等学校科学技术奖一等奖，相关成果发表在Journal of Hydrology、Applied Soft Computing、Water Resources Management、水科学进展等国内外TOP期刊上；新增公开国家发明专利4项；培养硕士、博士研究生12人，培养副教授1人。相关研究成果被黄河勘测规划设计有限公司、黄河上游水电开发有限责任公司、黄河上中游水量调度委员会办公室、陕西省水利电力勘测设计研究院、陕西省引汉济渭工程建设有限公司及甘肃省电力投资集团有限责任公司等6家单位应用参考。

（2）中国科学院西北生态环境资源研究院

中国科学院西北生态环境资源研究院作为本项目的合作单位，主持并完成了国家重点基础研究发展计划（973计划）专题《沙丘沟谷系统粗砂风洪传输过程观测与模拟》（编号：2011CB403302-03）和国家自然科学基金项目《黄河乌兰布和沙漠河道粗沙重矿富集特征及其源解析》（编号：41101005）。作为973项目的主持单位，中国科学院西北生态环境资源研究院对黄河上游沙漠宽谷河段的泥沙来源和成因开展了大量的研究，着重解决了黄河沙漠宽谷段粗泥沙“沙漠源”与“黄土源”的长期争论，首次探明了沙漠宽谷河道粗泥沙来源为“沙漠源”，重新界定了黄河上游沙漠宽谷河段粗泥沙的划分，为水沙调控关键阈值确定等项目后续深入研究提供了技术支撑。此外，中国科学院西北生态环境资源研究院多次组织专家对项目成果进行审查，确保了研究成果的科学性与合理性；并积极支持成果推广及人才培养，相关成果发表在Geosciences Journal、Environmental Earth Sciences、中国沙漠等国内外期刊上，依托项目培养了副研究员2名，硕士、博士研究生4名；作为第二完成单位，合作获得了陕西省教育厅高等学校科学技术奖一等奖。

（3）黄河水利委员会黄河水利科学研究院

黄河水利委员会黄河水利科学研究院作为本项目的合作单位，主持并完成了国家重点基础研究发展计划（973计划）课题专题《沙漠宽谷河道维持冲淤平衡及适宜过流能力的洪峰阈值》（编号：2011CB403305-3）。黄河水利科学研究院课题组通过现场查勘及大量实测资料分析，率先揭示了沙漠宽谷河段河道冲淤演变和河道适宜过流能力对洪水过程的响应规律，促进了河流泥沙动力学的发展；为黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控确定了冲沙流量、调控时机等关键阈值，攻克了

水沙调控关键阈值界定困难的技术瓶颈。同时，黄河水利科学研究院也积极推动成果的推广与应用，相关研究成果发表在 *Procedia Environmental Sciences*、*人民黄河* 等国内外期刊上，培养了高级工程师 7 名、工程师 1 名；作为第三完成单位，合作获得了陕西省教育厅高等学校科学技术奖一等奖；研究成果被黄河水文水资源科学研究院应用于汛期黄河流域水沙情势跟踪研究，为完善黄河水沙调控及黄河上游河道防洪防凌减淤等重大技术问题提供参考依据。

（4）中国水利学会

中国水利学会作为本项目的合作单位，主要负责技术标准研制与推广实施工作。主持并完成了水利部财政专项项目《水利主要术语标准关系研究》、中国科协团体标准试点项目、中国科协学会公共服务能力提升项目等，围绕水沙调控，研制了《模型试验水沙测量仪器数据交互通用规约》、《预制混凝土板桩式挡土墙技术规程》和《电波（雷达）流速仪》三项团体标准，对黄河上游沙漠宽谷河段水沙调控的应用具有重要的实际意义，成果的标准化和规范化为研究成果的多尺度推广奠定了坚实的基础。

9、完成人合作关系说明：

项目第一完成人白涛及第二完成人黄强（西安理工大学）、第三完成人贾晓鹏及第五完成人杜鹤强（中国科学院西北生态环境资源研究院）、第四完成人郑艳爽及第六完成人丰青（黄河水利委员会黄河水利科学研究院），从 2011 年开始，同属于国家重点基础研究发展计划（973 计划）课题。西安理工大学先后参与项目第六课题（合作单位：中国科学院西北生态环境资源研究院、黄河水利委员会黄河水利科学研究院）、第二课题以及出口课题（合作单位：中国科学院西北生态环境资源研究院），西安理工大学负责水库群多目标水沙调控部分，中国科学院西北生态环境资源研究院负责泥沙来源与成因分析部分，黄河水利委员会黄河水利科学研究院负责冲沙流量阈值分析部分。项目第七完成人李建国（中国水利学会）负责技术标准研制与推广实施工作。

第一完成人白涛是国家自然科学基金项目《低水温条件下多泥沙河流水库群水沙调控》的项目负责人和国家重点基础研究发展计划（973 计划）专题《黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群调水潜力研究》（编号：2011CB403306-3、2011CB403302-2）的主要完成人；第二完成人黄强是国家重点基础研究发展计划（973 计划）专题《黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群调水潜力研究》的课题负责人。第二完成人黄强是第八完成人金文婷的硕士生导师。第八完成人金文婷是 973 专题《黄河上游龙羊峡、刘家峡梯级水库群调水潜力研究》的主要参与者，硕士论文题目“基于调水调沙的黄河上流梯级水库群合理库容研究”。第一完成人白涛是第八完成人金文婷的硕士生指导老师和第九完成人武连洲的硕士生第二导师。

第三完成人贾晓鹏是国家自然科学基金项目《黄河乌兰布和沙漠河道粗沙重矿富集特征及其源解析》（编号：41101005）的项目负责人，是国家重点基础研究发展计划（973 计划）第二课题的主要完成人。第五完成人杜鹤强是国家

重点基础研究发展计划（973 计划）第六课题的主要完成人。

第四完成人郑艳爽及第六完成人丰青是国家重点基础研究发展计划（973 计划）第五课题第三专题《沙漠宽谷河道维持冲淤平衡及适宜过流能力的洪峰阈值》（编号：2011CB403305-3）的主要完成人。

第七完成人李建国是中国水利学会标准化部负责人，具体负责团体标准研制和实施推广，是水利部财政专项项目《水利主要术语标准关系研究》、中国科协团体标准试点项目、中国科协学会公共服务能力提升项目的项目负责人。在本项目中负责研究成果的应用推广与标准的制定工作。