

专题报告

## 大西线南水北调虚拟仿真方法论

李伯衡

(国土资源部, 北京 100034)

**[摘要]** 南水北调工程已正式列入“十五”计划, 近期南水北调工程主要是东线和中线开工建设。文章论述了大西线南水北调的必要性和研究路线; 论述了采用数字地球虚拟仿真技术研究西南诸外流主河的调水可行性, 包括调水量、地质基础、调水路线优化、环境效益的研究方法和研究路线。

**[关键词]** 西线调水; 虚拟; 方法论

**[中图分类号]** TV213.4; TP391.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)05-0019-05

我国人均水资源总量严重不足, 北方大面积缺水, 按1998年人口统计, 当年人均水资源总量为2 240 m<sup>3</sup>, 按照联合国制定的人均占有水资源标准, 我国已经被列为中度缺水国家; 预测到2030—2050年我国人口增至16亿, 人均水资源降至1 760 m<sup>3</sup>, 退变为用水紧张的国家。1998年北方15省区市人口为5.28亿, 水资源总量为5 010 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 人均水资源仅为950 m<sup>3</sup>, 为重度缺水地区。我国水资源短缺形势十分严峻, 已经成为制约经济发展的瓶颈。另一方面由于我国国土受东南季风控制, 降水分布严重不均, 洪涝旱灾频繁发生, 严重制约着国民经济建设的发展。为了解决北方各省, 尤其是西北各省经济建设中的缺水问题, 经研究对比认为从南方调水, 特别是从西南外流主河道调水是有可能的。

大西线南水北调是中华民族长治久安和可持续发展的需要, 是中华民族全面振兴有待研究的重要内容。大西线南水北调是西部大开发战略的发展需要, 水是西部大开发的重要制约因素, 尤其是西北内陆河流域, 降雨量少, 属于干旱区, 为了保证西部大开发的中长期战略的实现, 首先应根据水资源供给量的多少, 制定开发进度, 同时为了全面推进

西部大开发战略的需要, 必须深入研究大西线南水北调工程的可行性和不同时期调水量。

西线南水北调有两个途径: 一是从长江流域的上游储河调水; 二是从西南外流主河调水。应该指出, 南水北调的东线、中线都是调长江中下游的水, 而长江流域的汇水量是有限的, 如果调水太多势必影响长江中下游经济发达地区的用水。为了满足西部大开发的近期需要, 优先从长江上游调水做为西部南水北调一期工程是适宜的, 但是由于调水量太少, 远不能满足西部大开发中长期的要求, 为此必须抓紧研究从西南诸外流主河如: 怒江、澜沧江及雅鲁藏布江调水的可行性。据不完全统计, 怒江、澜沧江、雅鲁藏布江等外流水系, 每年约有4 000 × 10<sup>8</sup> ~ 5 000 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>的水资源, 经缅甸、泰国、老挝、柬埔寨、越南、印度和孟加拉国入海, 为了充分合理利用这些水资源, 从长远效益和子孙后代利益出发, 我国应按照国际公约尽早做好利用规划方案。

近20年来, 我国遥感、地理信息系统、全球定位技术在地球科学研究和应用中, 取得了大量的数据和科研成果。特别是近五年来, 虚拟现实、仿真、网络技术取得全新的进展, 为西线南水北调研

究提供了科学、精确的技术支持。由于西部地区高山峡谷、地质条件复杂,基础资料不足,交通困难,不适于大面积野外研究,为了保证大西线南水北调可行性研究的科学性,优选虚拟仿真技术,把数字地球建立在虚拟现实环境中,进而分析对比,不仅能保证数据的科学性,而且能提高数据精度、效率和可视化效果,把西线南水北调研究建立在高新技术基础上,通过采用全数字化虚拟仿真技术,建立调水环境,在构建优化模型的基础上,实现全数字仿真对比,解决调水量、优化路线、工程可行性、环境效益分析等,重大疑难问题,把研究成果建立在全数字化基础上。

## 1 研究内容

大西线南水北调是一项科学技术难度很大的系统工程,涉及面宽,问题复杂。虽然西线南水北调对实现西部大开发具有重要的战略意义,是十分必要的研究课题,但由于自然地理环境客观存在的复杂性,还需要全面、系统的深入研究,方可进一步优选出最佳方案,其中包括:科学问题、技术问题及工程问题等。为了寻求科学调水的理想方案,在可行性研究阶段,拟把研究内容尽可能安排的全面一些,把各种可能产生的困难和问题,想的多一些,对研究工作深化是有益的,因此对调水有影响的正负面因素均应做为研究内容,通过系统研究做出正确的科学分析和解决方案。

现提出以下5个研究领域,30个研究重点:

### 1.1 调水量研究

1) 首先应掌握西南诸河不同流域每条径流的实际水量究竟有多少,如:西南诸河的水源类型、汇水面积、径流量、季节水量变化规律、最大和最小年径流量、自然因素和人类活动影响等因素,在充分掌握大量科学数据基础上,在数字平台支持下,建立调水模型,进行调水量优化虚拟仿真研究,进行多种调水方案的对比分析后方可提出每条径流不同季节的可能调水量;

2) 调水区气候特征、地理环境、水资源类型、水文水资源时空变化规律研究;

3) 调区内不同流域水资源时空分布的相似性和变异性,不同时空尺度水循环模式耦合规律研究;

4) 调水区不同流域年内和多年丰、平、枯不同频率水资源量的制约规律研究;

5) 调水区不同流域和径流在基础流量研究前提下,进行调水量规划分布分析,规划制定科学调水量方案;

6) 调水量和受水区不同调水路线水文循环过程耦合,不同流域和不同调水路线水资源中长期需求耦合以及人类活动影响下的可调水量耦合;

7) 调水区和受水区水资源演变规律和西部大开发经济发展中的用水需求以及外水和内水的置换方式研究等。

### 1.2 地质基础研究

1) 大西线南水北调大部分地区属于第三纪以来新构造运动隆起的高山峡谷和高原,地质灾害频繁发生,断裂、崩塌、滑坡、泥石流、地震以及放射性地质灾害广泛分布,对影响优选调水路线的地区,均应广泛收集地质资料和数据,并根据需要充分外业地质调查和勘测,全面掌握地质灾害信息;

2) 根据西线南水北调的选线需要,在原有地质数据库的基础上,应用数字地球技术,对重要的地质信息及新收集的地质灾害信息全面数字化,构建西线南水北调地区数字化地质基础平台,为选线和规划进行多方案对比提供数字化地质基础信息;

3) 在数字化地质基础平台上,以优选调水路线为目标,对地层分布、岩体、褶皱、断裂等地质构造因子进行评估,制订量化指标和保证体系;

4) 在数字化地质基础平台上,根据不同类型地层和岩石分布,对不同地区的水文地质和工程地质进行优化分析和评估,为优选输水路线提供工程地质和水文地质保障;

5) 在数字化地质基础平台上,对不同地区的断裂活动、地震裂度、崩塌、滑坡、泥石流以及放射性影响范围和程度进行虚拟仿真研究和评估;

6) 利用虚拟仿真技术进行调水前后区域地质环境效应研究。在地质基础信息支持下,研究调水过程中水流对地质构造、水文地质、工程地质、地质灾害等可能产生的影响,对调水区和受水区根据不同调水量进行地质环境的虚拟仿真研究,对动态水流可能诱发的地质灾害进行仿真、评估和预防措施研究。

### 1.3 调水路线优化和战略水资源调蓄研究

1) 在不同流域和调水河流优选可调水量的前提下,综合考虑地质基础数据的影响,对多种调水路线进行逐个落实和评估,提出调水路线优化评估;

2) 对调水专家从地图上模拟选定的调水路线进行分析对比, 将调水路线全部数字化, 在数字地球技术支持下, 利用路线评估模型, 对多种路线进行优化评估, 进一步对调水路线进行修正;

3) 根据初步研究中发现的各种问题, 按照优化路线的需要, 对路线中的重要工程点和线进行GPS精密高程测量、水文地质、工程地质勘测和灾害地质调查, 取得精确的工程数据, 为优选路线提供科学依据;

4) 在地理信息系统评估模型支持下, 对多种调水路线进行反复对比分析, 探讨不同的输水参数、输水规模、地质条件、可能出现的水文地质、工程地质问题, 地质灾害的风险程度以及输水前后可能出现的工程问题, 进一步对工程可行性做出评估;

5) 在进行调水量、区域地质、调水路线研究的基础上, 根据调水量的年际和年内变化及用水要求, 研究战略水资源的调蓄形式、规模、布局以及对调水区和受水区的影响和对策;

6) 对高山、高寒地区施工可行性进行分析和评估, 从不同区位的工程地质和水文地质条件出发, 对施工条件、施工要求、工程结构、管理模式、运行周期等进行可行性设计; 充分评估工程的风险性和复杂性。

#### 1.4 环境效益研究

1) 第四纪青藏高原形成以来, 已经完全控制了西部高山高原区和西北干旱区水圈的季节性循环规律, 每年实际降水量和外流量已经处于平衡状态。当我们采用工程手段将部分水资源从西南部山区调往北部干旱区时, 势必打破固有的水循环模式, 那么调水区和受水区由于水量的变化, 究竟对生态环境和效益有什么影响, 影响有多大, 需要充分评估。从长远发展分析究竟利大于弊还是弊大于利?

2) 调水区根据不同流域、不同汇水盆地、不同径流中不同的调水量, 结合植物土质的蒸散和渗透模型, 研究对调水区自然环境的影响力度, 对中下游地区生态环境的影响大小, 对调水区地下水位的制约关系, 对植物群落可能产生的影响, 对不同区位做出定量评估;

3) 根据不同受水区的用处和自然生态特征, 结合西部大开发经济建设中多种项目的规划布局, 从调水量的实际需求出发, 研究不同区位、不同用

途的供水量以及可能产生的经济和社会效益;

4) 根据调水沿线土质植被的类型和分布, 研究不同区位、不同调水量对沿线生态环境的影响程度、对农牧业可能产生的影响, 对不同类型农业、种植业、经济作物的生长、产量、产值、综合效益以及可能产生旱情的影响, 对土壤盐渍化的影响, 对灌木、乔木生态影响, 根据定量评估提出多种改进方案 and 对策;

5) 由于调水和受水沿线动态水流对基础地质产生作用各不相同, 根据不同区位的地质条件、岩石性质、研究水流对基岩和沉积物作用的性质和程度, 在某些区位产生地质灾害的可能性, 做出科学评估;

6) 从西部大开发经济发展布局和土地利用总体规划目标出发, 根据不同调水路线的调水量, 研究受水区的生活用水、工矿用水、城市建设用水、农牧业用水的最佳分配方案, 用水指标和节水对策;

#### 1.5 虚拟仿真应用研究

1) 在已有地理空间数据库的基础上, 构建西线南水北调地区的环境和工程数据库。其中包括:  $1:10^6$ ;  $1:25 \times 10^4$ ;  $1:5 \times 10^4$ , 重点地段  $1:10^4$  或  $1:5000$  比例尺的多元空间数据库, 作为调水区和受水区综合研究的基础数据。根据调水工程需要, 利用高分辨率遥感影像(如封面图)数据、精密GPS高程、精密DEM数据构建虚拟仿真基础数据库, 为工程方案研究提供基础数据保障、为满足环境效益综合研究, 在原有数据库的基础上, 进一步收集区域内的自然、人文、社会经济数据建立综合基础数据库, 其中元信息应涵盖与环效益有关的多种信息——如地质基础、地质灾害、工程地质、水文地质、气温、地温、风、降水、蒸发、辐射、地表植被以及其他人文、自然、社会、经济信息;

2) 大空间、多尺度、多数据源的数据库管理系统研究。在已有数据基础上, 为了实现信息共享和综合利用, 拟开发和优化空间数据库管理系统, 使不同类型的图形数据、图像数据、三维工程数据以及多种属性数据实现融合分析, 发展基于不同数据源、不同数据格式和精度的多尺度数据的匹配、转换和融合;

3) 地球空间信息虚拟现实平台研究。根据调水需要, 在数据库基础上研发三维地球空间信息的虚拟现实系统, 实现基础信息和多种专题信息的融

合分析,进一步实现三维空间的精确量算——高度、距离、方位、面积、体积等,实现多尺度信息的无级调用和电子导航;

4) 调水仿真技术研究。根据调水研究需要,为提高动态分析水平,在数据库、库管理系统、数据仓库和虚拟现实基础上,研究多尺度三维信息、多元要素的叠加分析、缓冲分析、最优路线、工程优化、仿真算法等,为实现调水工程的动态仿真提供技术保障;

5) 模型库和智能库研究。针对西线南水北调研究的需要,由软件开发人员和各方专家相结合,开发多种实用模型,如:调水量优化模型、地质基础评估模型、调水路线优化模型、调水效益分析模型、受水效益评估模型。

## 2 研究路线

大西线南水北调研究是以遥感-信息技术为支撑密切为党中央、国务院的西部大开发战略服务的,是数字地球为经济建设和社会发展服务的最佳切入点之一,是高新技术和西部大开发战略任务的有机结合,具有典型的创新性。

大西线南水北调的调水区和受水区面积辽阔,涉及三分之一以上的国土面积近  $400 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,人烟稀疏、高山峡谷、高原高寒、地质和水文因素复杂、自然环境恶劣,原有的外业考查资料较东部经济发达区的资料种类、精度、质量相差较大,内容陈旧,研究中涉及的科学问题多,技术难度大,工程条件复杂,为了更好地完成研究任务,需要制订严密的研究路线。

1) 研究任务应密切从西部大开发经济建设的需要出发,为西部大开发的战略目标服务。大西线南水北调研究应立足于国家的长远利益,从中华民族的可持续发展着想,决不是单一的理论研究,也不是技术方法开发研究,而是为实现大西线南水北调宏伟目标的前期可行性研究。如果研究方向选择不当,则在制订研究任务时,或者在掌握研究内容或组织工作中就会出现偏差,影响工作的深入进行;

2) 发挥多专业人才的技术优势,优化组合,群策群力,多方组织与研究内容有密切关系的专业人才参加,力争营造一个高技术人才融合的良好环境,取得高水准的创新成果。

地球系统是一个耗能动衡状态的运动系统,第

四纪以来逐渐形成西部调水区和受水区的自然环境,在这块地球局部构成中,地球各子系统形成互相制约和依存的动衡关系,各圈层子系统的运动具有一定规律,互相制约,是全球变化不可分割的重要组成部分。为了系统研究大西线南水北调的可行性,需要在正确掌握区域地球子系统的特性、构成和运动规律的前提下,方能制订科学调水方案,为了保证研究内容的全面性和系统性,研究方法的科学性、先进性,需要由多专业科技人才团结合作,方能解决调水中遇到的理论、技术和工程问题,方有望取得高水平的创新研究成果;

3) 立足创新,敢于创新。在可能情况下,在不同研究内容中尽可能采用高新技术,如:多时相、多分辨率的遥感技术、多尺度地理信息系统、高精度 GPS 定位、卫星激光测高以及模型库、方法库、数据库、虚拟现实、空间动态仿真、电子导航、数字地球技术等。

研究工作中,为保证地球空间信息的科学性、精确性、现实性,需要研究多层面和多尺度空间信息的精确融合,快速转换、数据挖掘,为了保证地球空间信息的可视化、动态性、三维立体效果,需要研究地球空间信息各子系统的定性信息和数字高程模型的精确融合,进而完成地球空间信息的立体虚拟现实和多尺度、多空间、多方向可视变换,为了提高大西线南水北调的综合效益研究,需要在研究水文、地质、气候、植被等自然要素的基础上,根据西部大开发经济建设的规划和布局,广泛研究社会经济、人文等要素特征及调水前后,不同调水量的受水方向、目标和效益、研究调水区不同河流、不同流域调水量的多少,对居民生活、生产及各流域自然生态环境可能产生的影响,提出评估指标及对策;

4) 充分利用和优选国务院各有关部委和有关省市资源调查中汇存的多种基础资料,充分利用各有关单位 20 年来已经取得的有关科研成果。由于西部调水区和受水区人烟稀少、交通困难,各有关单位在几十年工作中从自身业务的需要出发,组织大量人力、物力、财力取得了大量的基础资料和数据,千辛万苦、来之不易这是国家的宝贵财富,是国土资源的科学记录,在从事西部调水研究工作中应尽力收集,对比优选,充分利用,把研究工作建立在科学资料和精密数据基础上。另外在收集资料和数据时,应打破门户和行业界线,力争多占有资



料和数据，便于对比优选。不同产业和部门，由于工作任务、时间、性质、方法不同，同一地区可能保存有多种资料，收集资料时拟多方对比优选不要把资料 and 精确数据漏掉。20年来，各有关科研单位从不同需求和目标出发完成了大量科研课题，内容丰富，科技含量高，有许多成果可以参考和借鉴，在西线南水北调研究工作中，在某些重要难点上，当不同学科嫁接恰当，就完全可能产生超水平的创新成果，所以在研究工作中充分利用原有资料，正确选择嫁接和接力的切入点，对提升研究水平，解决疑难问题是有益的；

5) 根据研究工作需要，对典型地区和重点工作点、线，需要进一步充实外业资料，补充外业考查、测量、勘测、钻探工作，直接获得实地第一手精确数据，为研究内容的科学性和精确性提供保证。如：某河流的水流流速、流量数据、某调水河流的水文地质、工程地质数据、某工程点线的精密高程数据以及其他有关的自然环境数据和社会经济、人文信息等。由于调水区和受水区自然环境恶劣、高山峡谷、人烟稀少、交通不便，在外业补充考查前，拟做好充分准备，对外业内容进行严密设计、规划和组织，力争一次完成。外业调查测量等工作拟在可能条件下，选择最先进的仪器和设备，选用最快捷适用的交通工具，保证精确、省时、安全。外业补充考查是整个研究工作不可缺少的组成部分，外业工作中拟多专业会商，争取把问题带到

实地研究解决，在点线考查中同时进行定位、定时、定量综合分析，把数据获取建立在科学、精确基础上；

6) 创新管理体制，密切为大西线南水北调的国家任务服务。大西线南水北调前期科学研究不是工程性研究，也不是基础理论研究，而是以高新技术为支撑进行前期可行性研究。首先是以调水为中心研究多种方案的可能性，由于调水区交通十分困难，基础数据不足，制约因素复杂多样，研究工作中需要组织多专业科技人员参加，需要充分利用不同产业部门的资料和数据，需要利用各单位的科研成果，所以拟改变过去攻关项目中单一技术负责制，拟建立领导协调组和技术组双重负责制，其中，凡研究方向的确立、科研经费筹措、有关研究资料数据成果的互相利用，仪器设备的使用以及人才去留问题，原则上均由领导协调组协调解决。技术组主要负责研究任务的界定、分工，研究方法论证实施，研究计划和人员的组织、安排等。领导协调组由主办单位和参加单位的主要领导组成。技术组由科研院所的主要技术专家组成。领导协调组统筹研究解决一些非技术性的重大关键问题，为技术研究提供保障。技术组集中精力、明确分工深入研究解决各种科学技术工程问题。领导协调组和技术组的密切配合对研究工作的实施，必将发挥保障作用。为了高质量完成高难度的研究任务，需要密切合作，团结一致，方能取得高水准的创新成果。

## Methodological Approach on Virtual Simulation for Water Diversion from South to North in Western China

Li Boheng

(Ministry of Land & Resources, Beijing 100034, China)

[Abstract] The south-north water project have been listed in the Tenth Five-Year Plan. Recently the east line and middle line in this project have been ready to start working. In order to change the status of lacking water in north of China, this paper discusses the necessity and the feasibility of diverting water from the southwest trunk rivers with the digital earth virtual technique, including the amount of water diverted, the geologic bedrock, the optimum line of diverting water and the impact on environment.

[Key words] water diversion; virtual; methodology; Western China