

南水北调西线工程主要问题研究

沈凤生,洪尚池,谈英武

(水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院,河南 郑州 450003)

摘要:南水北调西线工程是从长江上游干支流调水入黄河上游的跨流域调水工程.对该工程的研究始于1952年,调水规模约为160~170亿 m^3 ,基本能解决黄河流域2050年左右的缺水问题.通过对南水北调西线工程可调水量分析、方案总体布局、生态和社会影响分析等主要问题的研究,结合该工程建设难度巨大、涉及各方面关系复杂的特点,提出整个工程要分期建设,并建议将从大渡河和雅砻江支流自流调水40亿 m^3 入黄河作为第一期工程.

关键词:南水北调西线工程;跨流域调水;水资源管理;水利规划

1 南水北调西线工程的必要性和紧迫性

黄河是我国西北、华北地区的重要水源,它以其占全国2%的水资源,承担着占全国耕地面积15%和总人口12%的供水任务,同时还要向流域外部分地区远距离调水.黄河的供水范围和供水人口,已超过了黄河水资源的承载能力,近10多年来黄河下游及主要支流频繁断流,就是水资源供需失衡的突出表现.国民经济用水大量挤占生态环境用水,是导致一些地区生态环境恶化、土地荒漠化和沙尘暴危害加剧的重要原因.据初步分析,在现状用水条件下,若遇20世纪90年代的中等枯水年,黄河流域年均缺水量已达25~50亿 m^3 .为实现我国第三步发展的战略目标,到2050年黄河流域人口将增加近3000万人,灌溉面积将增加133.3万 hm^2 左右,工农业总产值将增加12万亿元,对水资源的需求还将大大增加,届时水资源供需矛盾将更加严重.即使在大力节水的条件下,通过供需平衡计算,预计黄河上中游地区在正常来水年份,到2010,2020,2030,2050年水平缺水量将分别达到40亿 m^3 、80亿 m^3 、110亿 m^3 、160亿 m^3 ,若遇中等枯水年,缺水量还将在此基础上再增加60亿 m^3 .与黄河临近的石羊河、黑河流域水资源供需矛盾也十分尖锐,仅黑河流域目前就缺水4.1亿 m^3 ,大片土地荒漠化,其下游额济纳旗已成为沙尘暴的重要来源地之一,也需从黄河调水解决其水资源的短缺问题.

水是人类赖以生存和发展,生态建设和环境保

护不可缺少的战略资源,面向21世纪,为实现黄河流域及相关地区水资源的可持续利用,促进经济社会的可持续发展,保障西部大开发战略和城市化战略的实施,必须尽快兴建从水量丰沛的长江上游干支流调水入黄河上游的南水北调西线工程(以下简称西线工程),该工程是西部大开发的重大基础设施,是一项生态建设和环境保护的重大工程,是实现西北、华北地区水资源合理配置的战略举措^[1].

洪水威胁严重、水资源供需失衡、生态环境恶化是目前黄河治理开发面临的三大问题,“水少沙多,水沙时空分布不均”是造成这三大问题的自然原因.西线工程调水入黄河后,不仅可以逐步解决水少的问题,而且可以为充分利用上中游支流的当地水资源开展生态环境建设创造条件,减少入黄泥沙,逐步解决沙多的问题;同时可以带动一大批水利基础设施的建设,增加对水沙的调蓄能力,逐步解决水沙时空分布不均的问题.因此西线工程的建设对促进黄河的治理开发,最终解决黄河面临的三大问题,也具有极为重要的作用.

西线工程也是我国南水北调东、中、西调水线路与长江、淮河、黄河、海河相互联结的“四横三纵”总体格局的重要组成部分.利用黄河贯穿东西的天然优势,通过黄河对水量重新配置,可协调东、中、西部经济社会发展对水资源的需求关系,达到我国水资源南北配置、东西互济的优化配置目标.因此,为适应西部大开发的要求,为促进黄河治理与开发,为实现北方地区水资源的优化配置和可持续利用,必须

尽快兴建南水北调西线工程。

2 调水区工程概况

调水工程区位于青藏高原东南部,东起松潘草地,西至楚玛尔河口;南临川西高原,北抵阿尼玛卿山,在北纬 $31^{\circ}30'$ ~ $35^{\circ}00'$ 、东经 $94^{\circ}50'$ ~ $102^{\circ}30'$ 的范围内,面积近30万 km^2 ,调水河流水量丰沛,人烟稀少,与黄河上游相距较近,可调水范围较大,区内海拔在3000m以上,属于寒冷、缺氧地区。巴颜喀拉山是黄河和长江源头区的分水岭,其南侧长江流域的大渡河、雅砻江、通天河的河床比北侧相应的黄河河床低80~550m。

调水工程区地质条件比较复杂,该区及外围地带第四纪以来活动断裂较为发育,活断裂对工程的影响主要表现为震动破坏和错动破坏,也影响着调水工程的区域稳定性。本区处于可可西里—金沙江强地震带的外围,地震烈度主要为7度,地震活动性相对较弱。

本区冻土发育,季节冻土主要表现为冻胀危害;多年冻土主要表现为融沉危害,冻土对深埋长隧洞影响甚微,对地面建筑物的影响可以通过防冻工程措施予以处理。

自流引水需采用长隧洞穿越分水岭,隧洞埋深大、线路长,穿越不同的地质单元,且无法避开活断层的影响,高地温、高压涌水、高地应力及岩爆等地质问题均可能出现,加之工程为自流引水,还需修建高坝以抬高水位和调蓄径流,因此还存在产生构造型水库地震的可能,水库岸坡变形也有可能对工程造成危害。

3 可调水量分析

在现有实测资料的基础上,对调水河流产流汇流特性进行全面深入分析,采用了不同的方法计算各引水枢纽的设计年径流量及代表系列的年月径流过程。

为维持引水枢纽下游的生态和环境需水的要求,结合当地人烟稀少,经济落后,且坝下10km范围内就有较多水量加入的实际情况,现阶段考虑坝址下泄流量不小于调水前最小月平均流量。经计算,通天河侧仿坝址下泄 $70\text{m}^3/\text{s}$,雅砻江阿达坝址下泄 $40\text{m}^3/\text{s}$,雅砻江和大渡河其它支流引水枢纽除克柯坝址下泄 $2\text{m}^3/\text{s}$ 外,均下泄 $5\text{m}^3/\text{s}$ 。将引水枢纽处水量扣除枢纽上游各行业用水量、蒸发渗漏损失水量和坝下要求的下泄水量后,剩余的水量均作为坝址可供调水量。在此基础上,再通过对引水水库进行长系列的调蓄计算,得出多年平均调水量,即可调水

量。分析结果表明,通天河不同引水枢纽可调水量为75~80亿 m^3 ,雅砻江不同引水枢纽可调水量为45~50亿 m^3 ,雅砻江、大渡河5个引水枢纽可调水40亿 m^3 ,总可调水量为160~170亿 m^3 ,可调水量占引水枢纽多年平均径流量的48%~71%。

4 工程总体布局

调水有自流和抽水两种方式,它们各有优缺点。自流方式一次性投资大,但易于管理,运行费用低;抽水方式一次性投资小,但管理难度大、运行费用高。根据目前的认识,西线工程各种工程方案均采用自流方式。随着工程的进展,不排除后期工程再考虑进行抽水方式比选。

通过对3条河引水河段上的20多座引水枢纽和工程区内30多条输水线路的分析比较,提出了西线工程自流方式的两种总体布局方案(见图1)。第一种方案是从通天河上的同加引水枢纽引水75亿 m^3 ,经过158.3km的引水建筑物进入雅砻江,再通过雅砻江上的仁青里引水枢纽抬高水位,连同雅砻江上的45亿 m^3 水量(共计120亿 m^3 水量),经过248.7km的引水建筑物进入黄河支流章安曲入黄;另从雅砻江两条支流和大渡河3条支流上的5个引水枢纽引水40亿 m^3 ,经260.3km的引水建筑物进入黄河支流贾曲入黄;3条河共引水160亿 m^3 。第二种方案是从通天河侧仿引水枢纽引水80亿 m^3 ,经过204km的引水建筑物入雅砻江,再通过雅砻江上的阿达引水枢纽抬高水位,连同雅砻江上的50亿 m^3 水量(共计130亿 m^3 水量),经由304km的引水建筑物进入黄河支流贾曲入黄;雅砻江、大渡河5条支流引水40亿 m^3 的布局与第一种方案相同;3条河共引水170亿 m^3 。

比较两种总体布局方案,第一种方案的优点是输水隧洞总长小,但是最大的缺点是大部分引水枢纽和输水隧洞都位于海拔4000m左右的高寒山区,施工条件极其艰苦,而且要穿过8度地震区,活动断裂也相对较为发育,勘测、施工、运行和管理都将遇到很大困难,同时输水线路较为分散,这也大大增加了勘测、设计的工作量。第二种方案虽然工程量规模较大,但大部分工程都位于海拔3500m左右的地区,地质条件相对较好,施工区相对适宜于人类活动。附近有玉树、甘孜、班玛、阿坝等县城作为后勤基地,这对勘测、设计、施工、运行和管理都较为有利。由于工程较为集中,在一期工程实施后,后期工程可充分利用一期工程的地质资料和施工经验,可以节省大量的勘测、设计费用。同时这一总体布局方案也能与远景后续水源(从澜沧江、怒江调水160~200亿 m^3)的调水线路较好地衔接。经综合比较,第

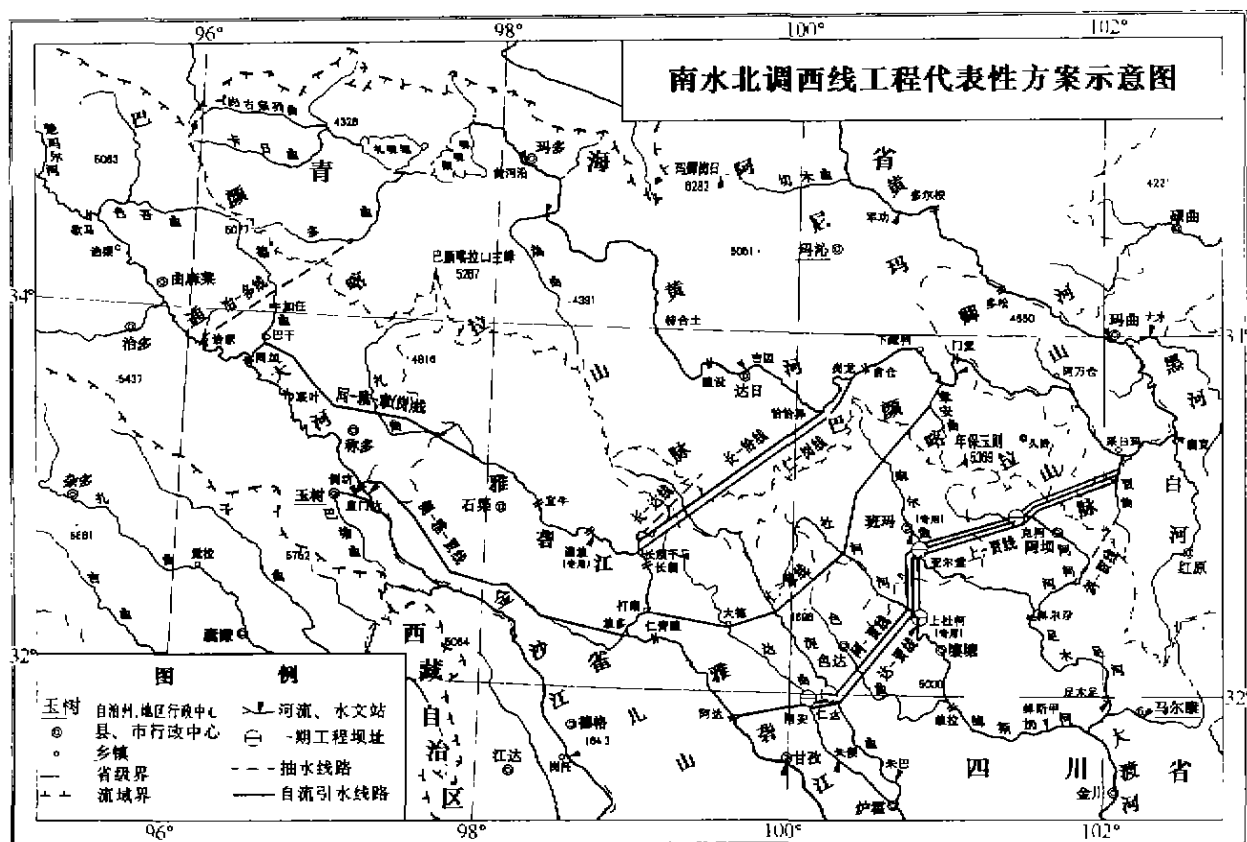


图1 西线工程代表性方案示意图

二种总体布局方案较好地体现了“下移、集中”的原则,整个工程建设能够做到由小到大、由易到难、由近及远、分步实施,因此推荐第二种总体布局方案,总调水 170 亿 m^3 。

西线工程是特大型跨流域调水工程,也是一个庞大的工程体系,鉴于工程所处的地理位置和建设条件、调水河流地区与受水区的关系、工程建设的投资等因素,决定了工程的复杂性、艰巨性和长期性,因此必须分期实施。本着由低海拔到高海拔,由小到大,由近及远,由易到难的思路,推荐由雅砻江、大渡河上的 5 条支流引水 40 亿 m^3 到黄河支流贾曲入黄的达曲—贾曲自流线路为第一期工程,一期工程可以根据实际情况分步实施、分步见效。推荐由雅砻江干流引水 50 亿 m^3 的阿达—贾曲自流线路为第二期工程。推荐侧仿一雅砻江—黄河自流线路调水 80 亿 m^3 为第三期工程。

第一期工程从大渡河的阿柯河、麻尔曲、杜柯河,雅砻江支流泥曲、达曲调水,由“五坝七洞一渠”串联而成,坝高 63~123 m,输水线路总长 260.3 km,其中隧洞长 244.1 km,明渠 16.1 km,渡槽 0.12 km。“五坝”即引水河流上的 5 座引水枢纽,沿该期工程引水源头到出水口方向,依次为达曲的阿安、泥曲的仁达、杜柯河的上杜柯、麻尔曲的亚尔堂、阿柯河上的克柯引水枢纽,水库坝高分别为 115 m, 108 m,

104 m, 123 m, 63 m, 调水量分别为 7 亿 m^3 、8 亿 m^3 、11.5 亿 m^3 、11.5 亿 m^3 、2 亿 m^3 。“七洞”即利用线路通过的支流,使隧洞自然分为 7 段,顺流而下,7 段长度分别为 13.6 km, 73 km, 33.2 km, 3 km, 55.4 km, 15.5 km, 50.4 km, 最长洞段穿越雅砻江和大渡河的分水岭,长达 73 km。“一渠”即隧洞出口后进入黄河流域贾曲的 16.1 km 的明渠。

5 施工技术研究

第一期工程的 5 座引水枢纽大坝坝高为 63~123 m,为当地材料坝,除由于高海拔、缺氧而要求采用特殊的施工机具,或常规施工机具机械效率降低外,属常规施工。

西线工程施工的难点在于长隧洞施工,据不完全统计,国外已建成 10 km 以上的长隧洞不少于 95 条,瑞典建成 80 km 长的输水隧洞;芬兰赫尔辛基供水隧洞长 120 km;秘鲁在海拔 4000 m 的地区建成长 95 km 的马赫斯输水隧洞;瑞士穿过阿尔卑斯山的交通隧洞长 57 km,是当今最长的单洞施工洞段。国内已建成引大入秦输水隧洞总长 75 km,正在建设的万家寨供水工程隧洞总长有 200 多 km。根据已有的隧洞施工经验,一期工程的施工共安排 15 个工作面,采用掘进机同时掘进,设计最长施工洞段长为 19.3 km 左右,平均开挖进尺按 400 m/月计,244.1 km

隧洞开挖时间为49个月。

西线工程长隧洞最大埋深达1300 m,施工中会遇到断层、涌水、高地温和岩爆等情况,如不采取预防措施,可能造成掘进机损坏、隧洞塌方、埋机等事故的发生,因此除选择合适的掘进机外,还要进行不良地质条件预报,在遇不良地质条件时,需根据具体情况,进行预处理,如遇断层带,需要进行超前支护和预固结处理;遇涌水时,除设置充足的备用水泵外,要根据现场情况采用堵水、排水和排堵结合等方法处理;遇岩爆时,采用超前钻孔法、注水法、超前应力解除法等;遇高地温时,要采取综合降温措施。

根据气象资料分析并结合寒冷地区其它工程的施工经验,露天施工时间按每年8个月考虑,洞内施工受气候条件影响较小,按全年施工考虑,在尽量采用先进的施工工艺、根据工程的特殊施工条件合理考虑寒冷地区对人体健康和劳动能力以及施工机械效率的影响的前提下,拟定一期工程总工期为7a,其中施工准备期为42个月,主体工程施工期为43个月。

第二期工程除枢纽的施工难度要增加外,隧洞的施工难度与第一期工程相当;第三期工程有高坝大库和施工难度更大的超长隧洞施工,需要继续在工程实践中不断摸索研究。

6 供水范围及水量配置

西线工程主要解决西北地区缺水问题,基本满足黄河上中游六省(区)和邻近地区未来50年的用水需求,同时促进黄河的治理开发,在必要时相机向黄河下游供水,缓解下游断流等生态和环境问题,根据需水预测,供水以工业、生活和生态环境用水为主,兼顾农业灌溉用水。

西线工程总调水170亿 m^3 ,估计于2050年前生效,届时黄河干流骨干水利枢纽已全部生效,对黄河水量和西线调水量有足够的调节能力,供水的配套工程已建成或完善,黄河流域的缺水将主要表现为资源性缺水,根据研究,预计向龙羊峡—兰州河段、兰州—河口镇河段、河口镇—龙门河段、龙门—三门峡河段的两岸地区分别供水25亿 m^3 、35亿 m^3 、10亿 m^3 、50亿 m^3 ;向黄河干流补水30亿 m^3 ;向流域外的黑河、石羊河等地补水20亿 m^3 。

第一期工程可增加调水量40亿 m^3 ,生效时间约为2020年,由于2020年水平缺水量达80亿 m^3 ,增加的供水量不能满足需水要求,因此优先供给生活、工业和生态需水,增供水量的配置以各河段缺水情况和供水工程情况为主要依据,向兰州—河口镇区间的甘肃、宁夏、内蒙古和陕西北部地区供水

20亿 m^3 ,并向龙门—三门峡河段的关中地区和汾涑河地区供水10亿 m^3 ,向黄河干流供水10亿 m^3 。

7 效益及生态环境影响分析

7.1 效益分析

西线工程将于2050年以前向黄河调水170亿 m^3 ,可基本满足黄河流域上中游及相邻内陆河广大地区生活、生产和生态用水的需求,必要时还可相机向下游供水,受水区大都地处我国北方生态环境脆弱的地区,在长期人类活动的影响下,生态和环境遭到了严重的破坏,荒漠化加剧,水土流失严重,沙尘暴频繁,环境污染就是突出的表现,有些地方已丧失了人类生存的基本条件,严重制约了当地经济的发展,西线工程完成后,为西北地区的生态建设和环境保护,拓展人类的生存空间开辟新的水源,为水资源的合理配置和可持续利用创造条件,为西部大开发的宏观规划提供水资源保障,有巨大的生态和环境效益,同时西线调水入黄河后,可保障受水区城市化进程的生活和工业用水,并兼顾农业用水,对调整生产力布局和经济结构,对保障粮食安全,对缩小东西部差距,对促进区域经济的可持续发展,都有十分重要的作用,也有很大的经济效益。

7.2 对自然生态的影响分析

3条河调水170亿 m^3 ,占所在河流河川径流量的5%~14%,占引水枢纽处河川径流量的48%~71%,为减少调水对生态环境的影响,设计引水枢纽下泄流量不小于或接近调水前最小月平均流量,3条河调水地区河流纵横,水系发育,两岸支流汇入较多,年径流量沿程增加较快,雅鲁江、通天河下流调水后的径流量、水量减少较大的仅为引水枢纽以下的邻近河段,在距离引水枢纽4~10 km即开始有支流汇入,年径流量增加2~4亿 m^3 ,在距离引水枢纽14~50 km河段,年径流量增加14~16亿 m^3 ,调水后,能维持河川径流量在自然生态可承受的变化范围内,枢纽下游河道水量的减少不会导致下游生态环境的恶化。

调水后,会引起调水枢纽以下局部河段河道水位下降,由于这些河段两侧为陡峻的石质边坡,河谷为地下水径流最终汇集地带,因此调水后河道水位的下降不会改变地下水向河水补给的格局,不会引起引水枢纽近距离河段地下水位的明显变化。

引水枢纽下游河段水量的减少,将使水体对污染物的稀释能力下降,从而对水质造成一定程度的影响,但由于枢纽以下河道10~50 km以内两岸人烟稀少,区间内无城镇点源污染的汇入,因此枢纽以下邻近河段水质级别不会因径流量的大幅度减少而

受到明显的影响.经研究,远离枢纽河段的局部河段,在枯水期的水质有从Ⅰ类降到Ⅱ类,但大多数河段的水质没有变化.

3条河引水枢纽下游10~50 km以内河道径流明显减少,水深变浅,但水面宽度变化较小,水面面积无明显变化,因此蒸发量变化不显著,对枢纽下游临近地区的气温、湿度和内源水气变化的影响也不显著;由于水面较少引起地面气流糙率增大和水面吹程缩短不显著,即对风向和风速也不会有大的影响.可以预测,调水对引水枢纽下游临近地区的局地气候不会产生明显的影响,也不会加剧对下游干旱河谷的危害.而3条河上兴建的大型水库,库水面的蒸发水汽可被主导气流输送到数十千米的下风地区形成一定的降雨.因此调水对陆生动植物的影响甚微,但对局部河段的水生生物有影响.采取适当的措施(如修建滚水坝等)可以将产生的不利影响降低到最小的程度.

7.3 对社会环境的影响分析

3条河两岸居民点稀少,农业以畜牧业为主,干流引提水工程很少,工农业用水仅占各断面的0.9%~8.2%.调水后,3条河仍有足够的河川径流量满足下游经济社会发展对水资源的需求.通过对有航运要求的河段水深和水量的分析表明,对航运也基本上没有影响.对有漂木要求的河段有局部影响,按禁伐前的运量分析,通天河调水80亿 m^3 ,仅对石鼓河段在枯水期漂木有所影响;雅砻江调水65亿 m^3 ,仅对沙堆至雅江河段在枯水期漂木有所影响;大渡河调水25亿 m^3 ,对下游漂木没有影响.

由于从3条河上游调水,对已建成的长江干、支流梯级电站将造成一定的损失,但同时也增加了黄

河干流梯级电站的发电量,而且后者大于前者.至于对长江干、支流规划梯级电站的影响,应该在相应规划中予以统筹考虑.对三江源头自然保护区的影响主要发生在通天河调水工程施工期,需制定切实可行的保护措施.

综上所述,西线工程建成后,有巨大的生态效益和环境效益,也有很大的经济效益.对调水区自然生态和社会环境仅产生某些局部的不利影响,在采取相应的措施后,这些局部不利影响可以得到缓解.西线工程的修建不存在制约工程兴建的重大生态和环境因素.

8 结 语

西线工程是我国南水北调“四横三纵”总体格局的组成部分,直接关系到西部大开发的战略部署,是西部大开发的重大基础设施之一,应尽快创造条件开工建设.研究分析表明,总调水规模170亿 m^3 水量的总体布局是有保证的,不存在重大的生态和环境制约因素.由于西线工程位于青藏高原,寒冷缺氧,地质条件复杂,工程建设非常困难,需分步实施.本着由低海拔到高海拔,由小到大,由近及远,由易到难兴建调水工程的思路,推荐调水40亿 m^3 的达曲—贾曲自流线路为第一期工程,一期工程所处位置的海拔高程相对较低,施工条件和地质条件相对较好,并且不影响现规划的二、三期工程与其它方案的进一步比选.

参考文献:

- [1] 魏昌林、郭学恩、陈雪英.中国南水北调[M].北京:中国农业出版社,2000.

(收稿日期:2001-06-13 编辑:马敏峰)

·简讯·

中国水利学会勘测专业委员会 2001 年年会在宁召开

由中国水利学会勘测专业委员会主办,河海大学、南京大学和江苏省工程勘察研究院共同承办的中国水利学会勘测专业委员会 2001 年年会暨工程勘测学术研讨会,于 2001 年 11 月 19~22 日在河海大学召开.这是一次全国水利水电地质工程、测量工程、工程勘探及计算机技术应用的综合性学术研讨会.本次学术研讨会是近几年来勘测专业委员会学术研讨会中规模最大的一次,来自全国近 80 家生产、科研单位及高等院校的 150 多名代表参加了这次会议.南京大学王德滋院士,河海大学、水利水电规划设计总院勘测处的有关领导,以及中国水利学会勘测专业委员会、江苏省水利学会的有关领导出席了大会开幕式,并作了重要讲话.中国水利学会勘测专业委员会创始人金德濂院士向会议发来了热情洋溢的贺信.会议共安排了 11 个大会学术报告,并进行了分组交流.本次会议共收到学术论文 120 多篇,这些论文内容丰富,反映了我国水利水电工程勘测研究的最新成就和水平.经本次会议论文评审组评审,共有 95 篇论文被收入本次会议论文集,并已由《水利水电科技进展》编辑部以专辑形式正式结集出版.

(张 勤、郭 莹供稿)