

# 苏联的大规模调水

P. M. 凯利等

## 前 言

苏联的可用水一般从北向南减少,南方需要额外的水(图1)。除伏尔加河外,最大的河流都流经人口稀疏、不发达的北部与东部地区,这些地区的需水量则是不高的。流过这些地区的河流流量大约为4700立方公里,占年径流量的84%。西伯利亚、远东和苏联北欧与西北欧部分目前供水充足,其他地区目前或不久的将来由于人口稠密和工农业高度发展,将面临供水短缺问题。苏联大约75%的人口和80%的工农业生产集中在苏联欧洲部分南部,哈萨克和中亚,而这些地区的河流径流量却只占全国的16%。

苏联目前的主要目标是大力发展并维持较为稳定的农业生产。有必要大面积发展南方的灌溉事业,需要大量的水。尽管采取区域措施(如提高现有灌溉效率,更多的利用地下水)可以减轻供水问题,但若计划大幅度提高哈萨克和中亚的农业生产,则意味着今后十年到二十年需要大量的区域性引水。

作者在本文中介绍了拟议中的大型调水背景,迅速而又稳定发展农业生产的需要及现行灌溉措施,介绍了最近提出的两个主要调水方案即欧洲部分方案和西西伯利亚方案。最后考虑了调水的潜在生态与环境影响,特别是对北极冰盖与气候的可能影响。

---

市用水、牧场灌溉和灌溉。扩大地下水的利用尚有很大的潜力。依据多年研究资料,可对淡水和咸水地下水的资源进行区划,按地下水的矿化度和引水量分10级。这样就可以对共和国国民经济各部门的用水保证作出预测,并规划出最合理利用地下水的方案。预计到2000年,用地下水灌溉的面积从原有的5万公顷将增加到35万—40万公顷。

H. A. 阿尔曼和A. M. 舒特科(苏联科学院无线电技术和电子学研究所)的报告是介绍利用超频无线电测量仪器遥测(从飞机上)土壤水分和其它参数的定量方法。它的原理是基于土壤水分与其辐射能力之间的逆关系。多年研究和工业试验研究表明,在下列情况下利用该方法最为有效:为了规划灌溉日期和定额,确定播种和施肥日期、确定土壤湿度,探明地下水位不适宜高的地区;发现运河和水库渗透带,预测稻谷产量;依据矿化度评价水质是否适应灌溉等。从1976年起,有九个共和国使用了这个方法,在土库曼共和国完成了大量工作。测量的速度达1000公顷/小时。现在正在摩尔达维尔、萨拉托夫州、克拉斯诺达尔边区和外高加索使用遥测方法测量土壤水份。这个方法仍使用在国外是无与伦比的。

地情摘译自《Известия АН СССР, серия география》, 1984, №1.

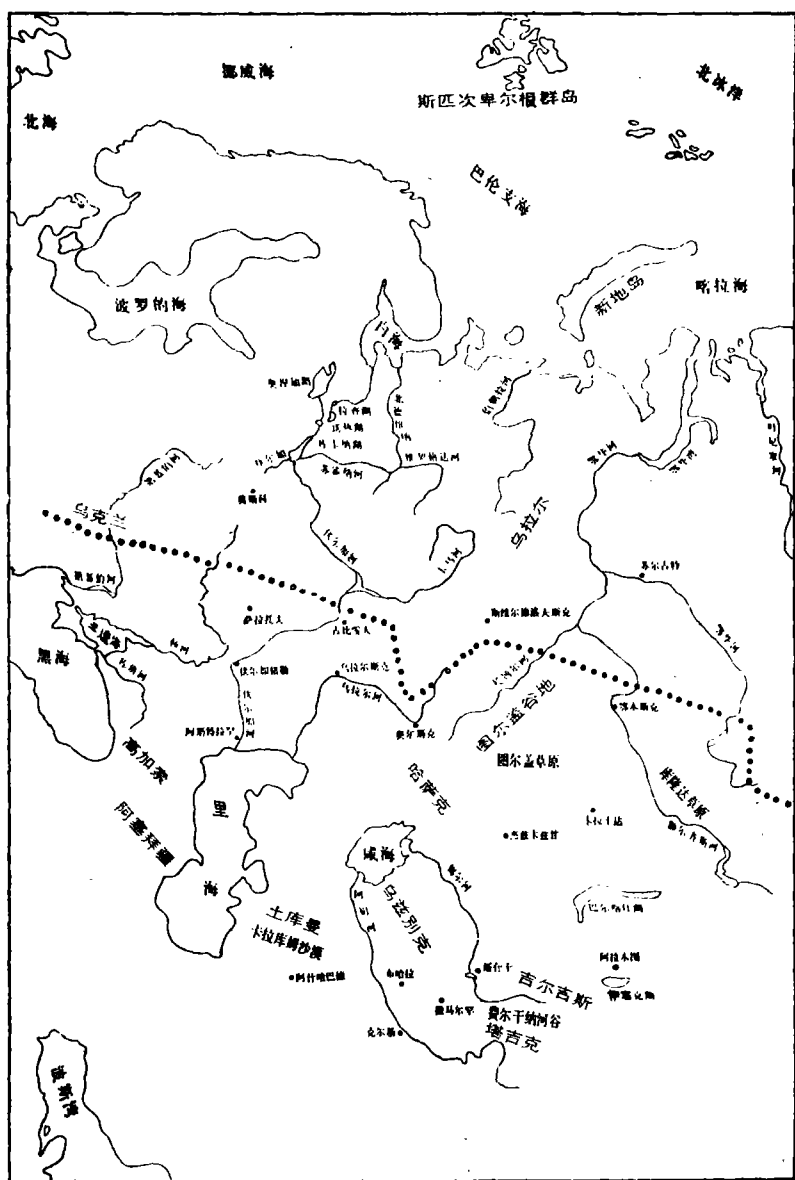


图1 地理方位图 图中的虚线表示余水区（北部）与缺水区的分界线。

## 调水方案

**调水的提出** 尽管过去50年已经制定了把水从北方输送到干旱和半干旱南方的各种大型调水的一般规划，只是近25年来人们才认真考虑这些方案。第十个五年计划期间（1976—1980），苏联花费了大量的精力来决定预期的调水规模，调水后产生的生态、自然和社会与经济影响，确定在执行过程中有可能遇到的技术与经济问题。尽管存在着调水规模、成本、技术困难和环境影响问题，并有人反对调水计划，苏联政府还是决定

执行调水方案。他们认为调水对经济的进一步发展，减少对西方粮食供应的依赖性，减轻南方诸海的生态问题，都是必不可少的。

目前考虑的方案主要有两个。每个又由若干部分所组成。第一个为欧洲方案，就是把北极和波罗的海流域的水通过伏尔加河和第涅伯河调到南方，调水量为每年95立方公里，分几个主要阶段进行，第一阶段于1990年动工。第二个为西伯利亚方案，就是把水从鄂毕河和额尔齐斯河通过图尔盖分水岭，往南调到南哈萨克和中亚，开始每年调水25立方公里。这个阶段的工程能够于2000年以前动工。以后各阶段将把调水量逐年增加到60, 100乃至200立方公里以上。

苏联有关人士对上述方案进行了调查，最近得出的结论是上述方案在经济上是行之有效的，并草拟了保护自然资源的建议。目前正在给这两个方案制定科学与技术规划，只是关于西伯利亚方案的实施与否，还未最后得到批准。欧洲调水方案的第一阶段目前已进入工程期，预计八十年代末工程将在实施过程中。

欧洲方案有两种可供选择的线路即东线和西线。西线计划初始阶段每年调水10立方公里，把奥涅加、拉查、沃热和库卡纳等湖和苏霍纳河的水调到伏尔加河流域。将修建9个抽水站（扬水高程97米以上），13套水利枢纽和7条渠道。该方案主要依靠现有设施，因此比较容易实施。东线自五十年代起就一直在考虑之中，最初提出的卡马—维切格达—伯朝拉河方案，由于遭到科学家和经济学家的尖锐批评而最后被否决。六十年代初，提出了一项比原计划按比例缩小的方案，把水从伯朝拉河上游一面积为3000平方公里的水库调出，重力输送到卡马拉河上游。第二阶段把伯朝拉河下游水库的水提到上游水库，总抽水量达每年30立方公里。最近的计划打算每年先调10立方公里的水，需建两座大坝，淹没2000平方公里土地，扬水高程29米，这样可使总调水量增加27立方公里。欧洲方案的费用为23亿卢布，西伯利亚方案则耗资140亿卢布，若使南方农田生产粮食还另外需要170亿卢布。这些数字可偏低百分之十。

七十年代初制定的第一个西伯利亚方案，也要淹地数千公顷，从环境角度考虑被否定。经过修改的即众所周知的“倒流”额尔齐斯河线路于1978年得到政府批准。在额尔齐斯河与托博尔河汇流处，额尔齐斯河、鄂毕河与额尔齐斯河汇流处附近将修建五套水利枢纽。一年中的部分时期，额尔齐斯河的水将出现倒流，通过抽取，从一个小水库流向另一个水库。托博尔水库的水将被提到一大水渠中，向上扬六级到图尔盖分水岭，再向南流入到哈萨克和中亚。该水渠将有2300公里长，120—170米宽，12米深（可通航），能够延伸到阿姆河。该渠最初每年调水25立方公里，渠道加宽后可增加到60立方公里。若再增加调水量（达每年100立方公里，可能的话达每年200立方公里），就要从叶尼塞河抽水。也有人建议把水从鄂毕河穿过乌拉尔河调到伯朝拉河，再穿过哈萨克西北到哈萨克南部和中亚。这个方案十分抽象。90年代以前任何西伯利亚方案看来都是不可实施的。不过从鄂毕河西部到库隆达草原的182公里长的渠道已开始动工，这可为后来的大型调水打下基础。

第十一个五年计划提出，“要做好把北方部分外流河水调到伏尔加河流域，同时就西伯利亚的水调到中亚和哈萨克要继续进行科学与设计研究。”

工程建设准备在伏尔加河与顿河之间的一条65公里长、年输水量为5.5立方公里的

渠道开始。计划到2000年，每年从北方河流往伏尔加河调19—20立方公里水。这将与从伏尔加河抽调的灌溉水量平衡。预计欧洲东线方案初始阶段每年将从奥涅加和苏霍纳河抽取6立方公里水，从奥涅加湖抽取3.5立方公里水，从伯朝拉河流域抽取10立方公里水。

这个决定标志着可能成为欧洲和西伯利亚地区一系列大型北水南调计划的实施的第一步。从经济、社会和环境后果看，苏联政府很有可能以缓慢的步调执行该计划。调水工程将投入大量经济与劳力资源，可能的回收必须根据其他投资的回收予以推测。

## 生态与环境影 响

**局部影响与苏联政策** 在大型调水工程实施的过程中，建设许多小型工程如大坝、水库和渠道面临的各种问题肯定会出现，结果就会产生更多更为严重的环境影响。这些一直是苏联140个科研机构广泛研究的一个课题。涉及到的学科范围很广，有地理、水文、气候、生物、农业、经济、地质、极地科学和海洋学及其他学科等。最近发表的若干总结提供了第十个五年计划的研究细节。得出的一般结论是，第一阶段每年往欧洲和西伯利亚地区调水25立方公里左右将不会使环境条件普遍发生变化，但是对局部条件将产生重要影响。

局部潜在影响很多，此处只列举几个实例：

- 引水点上下的阶地和泛滥平原地带土壤与植被的变化；
- 农业、矿产及其他资源被水库淹没；
- 由水热平衡变化引起的局部气候变化；
- 引水渠下游产生的水文与生物有害影响；
- 排水（溃水）与泛滥的变化；
- 泛滥平原上多年冻土特征和河水与港湾融冻型式的变化；
- 由流量增加和不同地区水的汇入对南方河流造成的影响。

尽管大多数研究（如以上列出的）认为输水区的纯效应是不利的，但是有些环境变化还是有益的。

有关人士详细阐述了以环境为主要基础的调水政策的指导方针。这些方针给调水的时限和范围以主要的制约。得出的结论是，任何调水系统都必须灵活，能够在独立阶段予以执行；必须考虑输出区和输入区的利益；调水系统必须在生态、环境和经济上可行；必须避免大片土地受淹；调水的时限与范围必须依输入区采取的措施而定，以便增加供水量，提高用水效率。

最后一个指导方针强调提高现有灌溉方案的效率。正如人们希望的，将使大型调水的需要延迟至90年代。在各个阶段已对现行方案作了规划，以避免大片土地受淹。天气、水文和需水量预测是必要的，将利用自动化计算机系统控制调水。灵活性和中心控制将使水通过调水系统从“余水区”调到“缺水”，同时还考虑各种流量与用途。近年来灵活性一直是调水政策的主要特点，部分原因可能是由于对调水方案实施的具体日期一直没有明确确定下来而引起的。根据前期阶段执行过程中得出的经验，实施过程中

还将做重大修改。调水影响的监测将始终严密进行。一些专家认为,受调水影响的河流流量不能下降到多年平均流量的10—12%以下。如果实施的话,北水南调的总平均年调水量上限为150立方公里左右,远远低于下个世纪上叶苏联南方缺水的估算量。

**气候影响** 国际上十分关心已提出的调水方案,因为研究结果表明北方河流的流量在决定北极的海洋与冰雪特征及气候(间接)上,起了重要的作用。可以想象鄂毕河与叶尼塞河流量的大大减少,能够影响它们所注入的北冰洋东部附近海域的喀拉海,这样就影响了幅员辽阔地区的气候。新灌区陆表特征的变化也会影响气候。上述问题要冒多大的风险还有待于确定。这个问题目前正在研究,还未得出明确结论。鄂毕河和叶尼塞河的平均流量占注入喀拉海的总流量的85%,占流入北冰洋的欧亚大陆流量的35%,占注入到北冰洋的总流量的20%。鄂毕河流量的年际变化尤其显著,丰水年的流量几乎是枯水年的两倍。在估算抽调多少水量才保险时,也必须考虑流量的季节性变化。鄂毕河的季节性循环显示了春季和初夏雪消融对流量的典型峰值型式(图2)。大约占鄂毕河全年40%的流量出现在两个月。突然注入淡水会明显影响北极边缘诸海的水流与水体。关于在春汛期间(水量最多但对北极的影响可能最大)抽调大部分水好,还是在此之外的其他月份(天然低流量的略微减少不可能产生多大影响)抽水好,目前仍有争议。

河流流量通过若干途径影响喀拉海内的冰面积。流量的热效应与对流效应有利于港湾固定冰的春季消融,增加滨岸水体夏季温度。淡水河流加剧了盐分结层,特别是夏末秋季,这样就加速了秋季新冰的形成,使固定冰冬季迅速形成扩展。河流流量的减少对喀拉海影响的加剧是难以估计的。春末夏初,减小的流量将导致海冰覆盖面积的增加,这样秋冬季的海冰覆盖面积就有可能减少,推迟了开阔水域的季节(图3)。

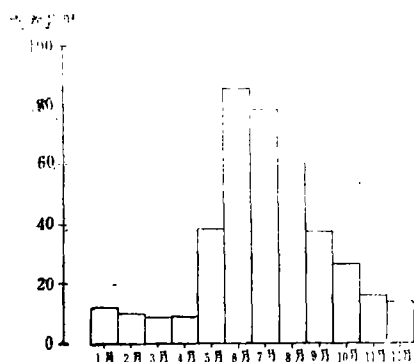


图2 鄂毕河流量的季节性循环

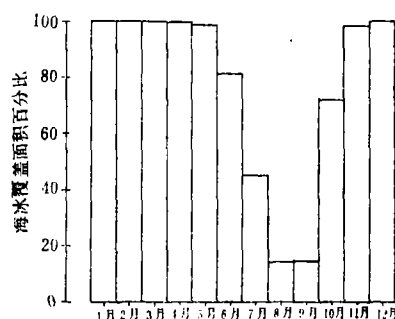


图3 喀拉海海冰水覆盖面积的季节性循环

就开阔的北冰洋水域而言,淡水流量的重要作用在于保持海洋上层坚固的盐层。其总流量相当于整个北冰洋0.4米厚的淡水层。坚固的盐层抑制了上层的对流,妨碍了温暖的层下水热量的释放。安东诺夫(1963, 1978)提出,淡水流量通过对北冰洋洋面环流的影响,还影响了注入到北极的温暖的大西洋水补偿流量的强度。尽管淡水流量在确定北极的稳态海洋与冰雪特性所起的一般作用是比较明确的,但是改变流量的效果并不明确。此点在喀拉海区表现最强烈,如果进行大型调水的话,这里的大陆径流可减少

20%。

如果河流流量的减少使喀拉海及其附近北冰洋的积水层发生重大变化,那么就有可能在较大的空间范围内产生气候结果。喀拉海区的气候特别敏感。北半球和北极表面气温的长期趋势在这里体现最明显,尤其是秋冬季。按照扎哈罗夫的论点,大约1940年与六十年代之间的半球冷却,使冰盖增加了23%。该区海冰面积在各个时段变化都显著,北极气温的年际变化在白令海周围最明显。据信,大气中二氧化碳含量的持续增加(化石燃料的燃烧,森林砍伐和土地利用变化所致)对该地区的气候影响最大。

目前对每年从喀拉海流域抽调大量的水,计达200立方公里,产生的潜在冰雪和气候影响的程度,乃至对冰雪和气候一般特性的影响还未产生明确的看法。产生这种不明确性的原因很多。

- 直到最近对各种方案所要调的总水量的绝对规模仍不清楚;
- 由于对有关河流的平均流量和流量的天然变化幅度不确定,所以与天然变率有关的调水规模仍不清楚;
- 对受河流流量减少潜在影响的自然过程涉及到的水文、海洋、冰雪和气候系统等方面掌握的情况有限;
- 用于发展和验证假说的环境数据库(特别是用于高纬度地区的)有限。

进行全面定性评价,需要一个海洋-冰-一大气系统的复杂相互作用数值模式公式。该模式必须能够模拟河流流量长期不同程度减少的影响,不过此种模式远远超出了目前的模拟能力,要等二十年以后才能建立。已经建立了相对不复杂的喀拉海海洋模式,也许有价值。另一种可供选择的方法是利用长期流量、积水层和气候数据的统计分析,估计调水的潜在影响。

## 结 论

尽管对苏联大型调水计划还存在许多不确定之处和推测,但还是了解到不少方面的情况的。苏联政府确信调水势在必行。为了提高粮食产量从而增加牲畜头数和肉类产量,必须提高收获量的稳定性,必须停止依赖进口。目前国家已制定了一项旨在实现自力更生的官方十年计划。农业开支将从1983年占国民收入的27%增加到33%,各种饲料的生产费用将增加15%。为了提高生产,减少变化,扩大灌溉面积是必不可少的。任何形式的灌溉面积的扩大,都需要大规模调水。根据制定西伯利亚方案的总工程师的看法,第一阶段的调水将使粮食每年增产2500—3000万吨,中亚发展的延迟将导致每年损失200亿卢布。向南方提供的每一立方公里水,将保证每年生产价值5亿卢布的粮食。

即使能够提高现有灌溉和浇地设施的效率,提高建设中的新设施和其他供水措施的效率,苏联水管理专家计划十年后一些地区的需水量将超过供水量,大多数灌区要到90年代以后出现这种情况。此外,南方地区由于河流流量减少造成的不利生态影响也日益严重。苏联欧洲部分大型调水第一阶段即西线方案的工作,看来目前正从规划阶段向执行阶段迈进。可为后来扩大灌溉打下基础的小规模调水系统目前正在西伯利亚建设之中。尽管90年代欧洲部分每年总共可调水几十立方公里,在本世纪末之前,大量调水看

# 水资源在粮食和能源生产中的应用

D. 别门坦尔等

人类生存每天必须消费2—3升水。而美国为维持高标准生活水平，每人大约要消耗7200升/天，其中部分直接用于个人生活和工业需要，72%的水用于粮食和能源生产。

美国的西部地区水资源贫乏，奥加尔水库水位下降，柯洛莱达河流域水分亏缺，以及圣·约翰谷地水资源不足是这一威胁的征兆。水源不足还在美国东部少数地区出现。

由于农业和能源生产过程需要消耗大量的水，特别是到2000年，美国计划粮食生产增加约30%，生物能源生产系统增加5—20倍，从煤和油岩中提炼混合燃料量增加2—5倍。水将成为未来能源生产的限制因素之一。

本文拟将水资源短缺对未来粮食和能源生产的影响因素作一分析。

## 水的利用率

据估计美国每天要蒸发约1520000亿升水，其中约十分之一的会重新降落下来。而三分之二的水通过植物和其他物体表面变成水蒸气被蒸发掉，大约有50000亿升水形成地表径流。

美国水力资源委员会(USWRC, 1979)估计，年平均有26000亿升/天流水可利用。在枯水年份全国只有13500亿升/天水可利用。有限的地表水主要储存在湖泊和水库中，而靠降雨增加地表水的供应是困难的。现阶段再建水库也不实际，因为少数大型水库的分布在经济和水利资源上已被充分利用。

美国地下淡水的储量约为地表水的十倍。估计有 $2.30 \times 10^{17}$ 升，而其中约 $58 \times 10^{12}$ 升为可利用水。

通过降雨来补充地下水相当缓慢，平均只能补充2300亿升/天，即小于地下贮水量的1%。积蓄了近百万年的地下水如今开始开发利用，以缓和人口增长，能源和农业生产增加而引起的地表水不足。因此，地下水的减少远远超出了自然水源的补充和再循环

---

是不可实施的。21世纪的前十几年调水量可接近100立方公里，到2050年可达200立方公里。在适当的监测情况下，将分阶段缓慢实施调水方案。

一方面是一再强调缓慢实施，另一方面又考虑所产生的政治、经济与环境的影响，这是苏联调水政策重要而又令人钦佩的一个方面。如果在苏联境内外进行充分监测，就有可能探测到初始阶段的不利环境影响，提出采取补救措施或者避免进一步调水的问题。人们已从已往的错误中吸取了教训，从环境角度考虑，现行(调水)政策是可以改变的。与大多数西方政府的放纵政策相比，苏联政府鉴于政治理论、科学研究和以往经验，确实制定了有关环境问题的积极政策。

张莉节译自《GeoJournal》，1983，V.7，№.3