

基于调水河流自然和经济特点的南水北调西线工程 调水规模分析

张 玫¹, 魏洪涛¹, 张永永¹, 房 婧²

(1. 黄河勘测规划设计有限公司, 郑州 450003;
2. 中国矿业大学, 江苏徐州 221116)

摘 要: 预测跨流域调水工程的调水规模涉及受水区的用水需求、调出区的可调水量、调水工程的建设规模等多个因素, 这些因素也是对调水工程进行可行性论证的重要内容。在黄河流域及西北地区缺水形势严峻的情势下, 南水北调西线工程调水规模的确定主要取决于调水河流可调出的水量和调水工程本身的技术、经济条件, 其中, 针对调水河流特有的自然和经济特点而选择适宜的调水规模应是研究的核心。本文通过对调水河流的水资源特性、社会经济和生态环境特点、用水需求以及调水工程的建设规模等因素进行分析, 预测出了南水北调西线第一期工程的调水规模, 并将此调水规模与调水河流的水文情势、国民经济用水需求、生态环境用水需求和社会经济特点进行了协调性分析, 认为基于调水河流自然和经济特点的南水北调西线第一期工程的调水规模是适宜的。

关键词: 南水北调; 西线工程; 自然特性; 经济社会发展; 可调水量; 调水规模; 跨流域调水
中图分类号: TV68 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4969(2012)02-0140-10

调水规模分析是跨流域调水工程研究的重要课题之一, 需要统筹考虑受水区的用水需求、调出区的可调水量及调水工程的建设规模等因素, 经多方案比较, 综合确定。2002年以来我们在南水北调西线工程的前期工作中, 围绕调水规模开展了大量分析论证工作, 尤其是在针对调水河流的自然和经济特点分析论证西线第一期工程的调水规模方面取得了许多新的成果和认识。

1 调水河流的水资源特性及引水坝址径流量

1.1 调水河流的水资源特性

南水北调西线第一期工程的调水河流为雅砻江和大渡河。雅砻江的引水坝址分别位于雅砻江

的干流上游(甘孜以上河段)、鲜水河的上游(泥曲)及支流(达曲)上;大渡河的引水坝址分别位于其支流色曲、杜柯河、玛柯河和阿柯河上。

雅砻江是长江自宜宾以上的最大支流, 流域面积 12.84 万 km², 河口处的多年平均径流量为 593 亿 m³ [1]。雅砻江自甘孜县以上为上游, 甘孜至大河湾为中游, 大河湾以下为下游。鲜水河为雅砻江左岸的最大支流, 于雅江县注入雅砻江。鲜水河自炉霍县城以上的河段称为泥曲, 而达曲则为鲜水河右岸的支流, 于炉霍县城注入鲜水河。

大渡河是金沙江左岸岷江的最大支流, 流域面积 9.06 万 km², 河口处的多年平均径流量 495 亿 m³ [1]。大渡河自泸定县以上为上游(其中双江口

以上为河源区), 泸定到铜街子为中游, 铜街子以下为下游。大渡河自双江口镇以上分东、西两源, 东源为足木足河, 西源为绰斯加河, 且以东源为主流。绰斯加河自雄拉村以上分色曲和杜柯河两条支流, 两条支流在雄拉汇合后称为绰斯加河。足木足河自斜尔尕水库以上分为两支, 西支为玛柯河, 东支为阿柯河(详见图 1)。

雅砻江、大渡河流域的径流主要由降水形成, 并有季节性融冰和融雪补给。多年平均降水量在 700~800 mm, 降水量的总趋势是由北向南、从西向东递增, 上游地区的降水量为 600~800 mm,

中、下游地区一般为 1 000~1 300 mm, 部分山区的降水量可达 2 000 mm 左右^[2]。径流的地区分布、年内、年际变化及与降水的变化趋势、地区分布基本一致。从地区分布看, 调水区最西侧的雅砻江干流上游的径流模数、径流系数最小, 雅砻江下游及靠东侧的大渡河其径流模数、径流系数则逐渐增加; 从年内变化看, 径流主要集中在 6—10 月, 其径流量占年径流量的 72.4%~75.2%, 而 11 月—次年 3 月的径流量仅占年径流量的 10.1%~12.1%^[2]; 从年际变化看, 调水河流径流量的年际间变化相对不大, 最大与最小年径流的比值及变差系数自河源向下游沿程减小。

图 1 南水北调西线第一期工程调水河流地区水文站、气象站分布图

图片来源:文献[3]。

1.2 引水坝址的径流量

调水河流在引水坝址的径流量是分析调水规模的基础参数。为保证坝址径流量推算的可靠性, 自 1992—2003 年, 在西线第一期工程的 7 座引水坝址附近先后设立了 6 个专用水文站, 分别委托

专业单位进行水文观测。目前, 专用水文站已经有了 9~20 年的观测资料, 为准确推算引水坝址的径流过程提供了重要保证。

我们在对调水河流汇流特性及其变化规律进行分析的基础上, 利用坝址附近参证站和专用水文站的观测资料, 并联合多家研究机构采用多种

方法分析了调水河流坝址的径流量及径流过程。在 1960—2005 年的 45 年系列指标中, 南水北调西线第一期工程 7 座引水坝址的多年平均径流总量为 117.9 亿 m^3 。该系列指标囊括了完整的丰、平、枯水时段, 具有较好的可靠性、代表性和一致性。而且, 通过对甘孜、道孚、绰斯甲、足木足等参证站在不同年代径流量的变化规律进行分析发现, 甘孜、足木足站的水量于 20 世纪 90 年代有所减少, 而道孚、绰斯甲站的水量则在 20 世纪 90 年代略有增加。但从调水河流总径流量的分析来看, 不同时期径流量的变化相对稳定, 还难以得出径流量趋势性减少的结论。

针对西线工程区的径流变化情况, 我们利用历史实测资料或工程区附近树木年轮的研究成果, 对工程区的径流过程及变化趋势进行了分析。分析认为: 参证站长系列的径流过程具有完整的丰、枯交替周期, 均值稳定, 代表性较好; 区域内气温有升高迹象, 但降水、径流、蒸发和气温周期性变化的对应关系紊乱, 降水、径流对气温的响应具有不确定性, 降水、径流并没有明显减少的趋势。

2 调水河流流域内的社会、经济发展特点及水资源开发利用需求

2.1 社会、经济发展特点

由于自然条件差异, 雅砻江、大渡河流域上、中、下游的社会经济状况差别较大。上游地区地貌以高原和山地为主, 地广人稀, 水、热条件较差, 属半农、半牧区, 生产方式以畜牧业为主; 中游到下游地区地貌由高山向低山和丘陵、宽谷地带过渡, 人口集中, 工、农业较发达。

2005 年雅砻江流域总人口 267.2 万人, 其中城镇人口占 24.4%, 上游人口密度 2.7 人/ km^2 , 中、下游人口密度分别为 8.2 人/ km^2 和 77.4 人/ km^2 , 下游地区人口占全流域人口的 75.3%; 国内生产总值为 153.5 亿元, 上、中、下游比例分别为 1.0%、10.5% 和 88.5%; 总耕地面积 474.1 万亩, 上、中、下游比例分别为 2.8%、27.9% 和 69.3%; 农林牧

业灌溉面积 863.2 万亩, 下游地区占 95%^[3]。

2005 年大渡河流域总人口 220.8 万人, 其中城镇人口占 28.9%, 上游人口密度 7.7 人/ km^2 , 中、下游人口渐多, 人口密度分别为 68.6 人/ km^2 、768.5 人/ km^2 , 中下游地区人口占全流域人口的 79.5%; 国内生产总值为 125.3 亿元, 上、中、下游比例分别为 14.6%、47.3% 和 38.1%; 总耕地面积 290.91 万亩, 上、中、下游比例分别为 25.2%、54.7% 和 20.1%; 农林牧灌溉面积 107.8 万亩, 中、下游地区占 66.4%^[3]。

雅砻江、大渡河上游地区为藏族等少数民族聚居区, 对藏传佛教的广泛信仰是该区的主要特征。

2.2 水资源利用现状

雅砻江、大渡河流域供水基础设施较为薄弱。2005 年, 雅砻江流域总用水量为 24.47 亿 m^3 , 其中生活、生产、生态用水量分别占总用水量的 3.0%、96.2%、0.8%, 流域上、中、下游地区用水量分别占总用水量的 1.0%、7.0%、92.0%; 大渡河流域总用水量为 8.94 亿 m^3 , 其中生活、生产、生态用水量分别占总用水量的 6.7%、91.2%、2.1%, 流域上、中、下游地区用水量分别占总用水量的 15.8%、49.5%、34.7%。雅砻江、大渡河流域 90% 左右的用水分布在中、下游地区^[3]。

西线第一期工程的 7 条调水河流中, 各引水坝址以上河段 2005 年的总用水量为 105 万~1 539 万 m^3 , 占雅砻江、大渡河流域总用水量的 0.1%~0.6%^[3]。

2.3 水资源需求预测

本研究在参考《长江流域水资源综合规划》、各地区发展规划等成果的基础上, 通过细化水资源分区, 进行了调水河流流域内的社会、经济发展水平和用水需求预测。

根据预测, 2030 年水平, 雅砻江流域的总需水量为 30.6 亿 m^3 , 其中生活、生产、生态需水量分别为 1.3 亿 m^3 、24.9 亿 m^3 、4.4 亿 m^3 , 分别约

占流域总需水量的 4.2%、81.5%、14.3%。流域上、中、下游地区需水量分别占流域总需水量的 3.6%、15.7%、80.7%。

2030 年水平,大渡河流域的总需水量为 11.69 亿 m^3 ,其中生活、生产、生态需水量分别为 1.0 亿 m^3 、8.99 亿 m^3 、1.7 亿 m^3 ,分别约占流域总需水量的 8.6%、77.0%、14.4%。流域上、中、下游地区需水量分别占流域总需水量的 28.4%、43.4%、28.2%。

西线调水后,距离坝址以下较近河段的水量将减少较多,为此,本文重点对各调水河流坝下临近河段的用水需求进行分析。在河段的选取上,我们选择引水坝址以下的、有较大支流汇入之前的、有较大用水区域的河段为临近河段,且需距离引水坝址 40~100 km 左右。

引水坝址坝下临近河段的人口密度为 1.9~11.4 人/ km^2 ,由于河谷切割较深,人口多居住于地势相对平坦的支流两岸。该区域是以牧业为主的单一自然经济方式,农田很少。2005 年河段的总用水量为 1 871 万 m^3 ,预测 2030 年水平的总需水量为 7 028 万 m^3 ,其中各引水坝坝址下临近河段的需水量分别为 224 万~3 150 万 m^3 。

3 调水河流河道内的生态环境特点及用水需求

3.1 生态环境用水特点

雅砻江、大渡河流域地处青藏高原东南与四川盆地的过渡地带,上、下游地区地形地貌、气候特征、社会经济条件差异显著,河流生态系统的差别也很大。上游地区为高原和高山、高原地貌,寒冷缺氧、人烟稀少、植被单一,社会、经济发展相对落后,生产方式以草地畜牧业为主;中游地区主要为山地地貌,气候、水热条件多样,自然条件变化大,生产方式以林业、牧业和重工业为主;下游地区主要为河谷平原,气候温暖,光热条件较好,生产方式主要为农业、轻工业和第三产业。

雅砻江、大渡河上、中、下游河道内生态环境所面临的问题及生态用水特点也有很大区别。中、下游河段水量丰沛,调水后水量减少有限,且水电梯级众多,基本形成了库区河道,河流的生态环境本底发生了很大变化;上游地区人类活动对河道内的生态环境影响较小,河流内生物多样性的保存也较为完好,但调水后水量减少较多,因此是河道内生态环境用水分析的重点。

为准确掌握调水河段生态环境的现状及其特性,我们在工程区的周边进行了大范围的生物本底调查。由于引水坝址位于高山峡谷地区,两岸地下水位高于河水水位,植被的生长基本靠天然降水,且调水工程主要为深埋长隧洞,故调水对工程周边陆生动植物的影响不大。在调水坝址的下游,因支流汇入很快,河道内的水量能迅速得到补充,同时,坝址下游已建有多座水电站,其生态环境的天然状况已发生很大变化。因此,在分析调水河流河道内的生态环境需水量时,应重点选取坝址下游临近、水量减少较多、基本维持了天然状况的河段,重点分析用以维持水生生物栖息条件、维持河道稀释和自净能力、维持生态景观等的用水需求。

3.2 生态环境保护对象和保护目标

西线第一期工程调水河段河道内的生态环境保护对象主要有三类:一是河道内的水生生物,主要是该区特有的鱼类;二是傍水生长的植物,主要是河滩地和湿地的植物;三是河道的水环境,主要位于坝址下游的县城附近。

生态环境保护的目的是维持调水河段目前的自然特性而不受到大的影响,保持功能区的生物多样性以及生态功能的基本稳定。根据调水河流生态环境及保护对象的特点,其河道内的保护目标主要包括:①以枯水期水量为重点,维持河流基本的水文情势;②以水生生物的栖息环境为主,维持河道内生态系统的基本功能;③以通河湿地、滩地为主,维持河道岸边生态系统的基本功能;④以主要县城为重点,维持河道的水环境及景观

等功能。

3.3 生态环境需水量及需水过程

目前,国际上对河道内生态环境需水的分析还没有形成统一的方法。对西线调水河流生态环境需水量的分析,既要反映一般生态环境保护对象的用水需求,又要反映特殊生态环境保护对象的用水需求。为全面分析生态环境保护对象对水量的需求,本文对鲜水河干流龙孜坝湿地和中仁达河谷湿地、调水河流的主要鱼类的生长繁殖环境、主要县城的排污量及水质目标等要素做了典型分析,确定了调水河段生态环境需水量的构成和选取方法,分别分析了岸边植被、河道内水生生物、水环境维持等生态功能的需水量及需水过程。

根据典型分析,为满足不同生态功能对水量的要求,将调水河段生态环境的需水量分为两部分:一是河段基本的生态环境需水量,即按照目前国内外常用的分析方法,分析一般规律下调水河段生态环境需要的水量;二是重点保护对象(以鱼类为代表)的需水量,满足河道内水生生物生长对水量的需求。按照最大值原则,取基本生态环

境需水量和重点保护对象需水量两者的外包线作为西线调水河段的生态环境需水量。

(1) 基本生态环境需水量

基本生态环境需水量既是保证全河段水流连续性的基本条件,也是多种保护对象对河道内水量的最基本需求。在对其进行定量分析时可选择 Tennant 法、防治水质污染法、环保总局 11 号文、湿周法、水力半径法等^[3-5]。

(2) 重点保护对象生态需水量

鱼类是该生态系统中对水的变化最为敏感的主要生态保护对象。根据对河段内 19 种鱼类产卵、索饵、越冬以及洄游期等生境条件的分析,鱼类生长期内繁殖期对水量的变化最敏感。为此,可将鱼类生长过程中对水量的需求按正常生长期和繁殖期两部分进行计算,其中正常生长期为 7 月—次年 2 月,繁殖期 3 月—6 月。

根据生态环境需水的不同要求,调水河段生态环境需水量应采用各月生态环境需水量的外包线。根据前述分析中提出的各引水坝址的基本生态环境和重点保护对象生态环境水量需求,各调水河段河道内年最小生态水量见表 1。

表 1 2030 年水平各坝址断面的水资源供需平衡表

河流	坝址	来水/亿 m ³	需水量/亿 m ³		余缺/亿 m ³	需水量占来水比例/%
			河道内	河道外		
雅砻江干流	热巴	60.72	12.61	0.8013	47.31	22.1
	达曲	10.00	1.89	0.1367	7.97	20.3
	泥曲	11.49	1.89	0.1687	9.43	17.9
	色曲	4.12	0.84	0.0547	3.23	21.7
	杜柯河	14.45	1.89	0.1445	12.42	14.1
	玛柯河	11.08	1.89	0.1067	9.08	18.0
	阿柯河	6.06	0.84	0.0452	5.17	14.6
	合计	117.92	21.85	1.4578	94.61	19.8

数据来源:文献[3]。

4 调水规模

4.1 可调水量

可调水量,即充分考虑调水河流所在地区经济社会发展、生态环境维护对水资源需求的引水

坝址可能调出的最大水量^[3]。

本文根据各坝址断面河道内的生态环境用水需求和坝址以上河道外的国民经济用水需求,进行了 2030 年水平的水资源供需平衡分析,详见表 1。

从表 1 可见,多年平均情况下,各坝址断面

河道内、外的需水量仅占来水的 14.1%~22.1%，说明雅砻江、大渡河流域水资源丰富，在满足调水流域经济、社会和生态环境的用水需求后，剩余水量仍占坝址径流量的 75% 以上，调水断面的调水量是有保证的。

2030 年水平，雅砻江引水坝址下游的各河段中，除洼里—河口段的需水量占区间径流量的比例为 10.7% 外，其余河段均在 0.8%~2.9%；大渡河坝址下游河段，除下游铜街子—河口段需水量占河段区间径流量的 32.2% 外，其余各河段比例均在 0.5%~2.7%^[3]。可见，引水坝址下游各河段仅区间的径流即可满足经济、社会发展的用水需求，工程调水对坝址下游河道的用水不会造成影响。

综上，在考虑了坝址上、下游的用水需求后，西线第一期工程 7 个引水坝址的多年平均可调水量总计为 94.61 亿 m^3 。

4.2 适宜调水量

适宜调水量，即在各调水河流可调水量的范围内，考虑了受水区的用水需求、调水区的影响以及输水工程本身的技术经济条件等因素后的调水量^[3]。如果西线工程受水区的用水需求大于调出区的可调水量，适宜的调水量应控制在可调水量的范围内，通过多方案比较，选择工程规模适宜的、淹没影响较小的调水量方案。

西线工程由多座水源水库和多段输水隧洞组成，在进行工程规模分析时要将水库和隧洞作为一个整体进行分析。在各坝址的可调水量范围内，拟定不同的调水量方案进行输水线路库坝、隧洞的联合调度，通过分析各方案的库容条件、淹没影响、工程规模及技术经济情况，选择出各水库适宜的调水量。以雅砻江干流热巴水库为例，在可调水量范围内，我们分析了 25 亿~46 亿 m^3 不同的年调水量与水库的调节库容、隧洞的设计调水流量的变化关系，见图 2。

根据热巴水库调水量与调节库容、隧洞设计调水流量的关系，结合不同调水量的库区淹没情

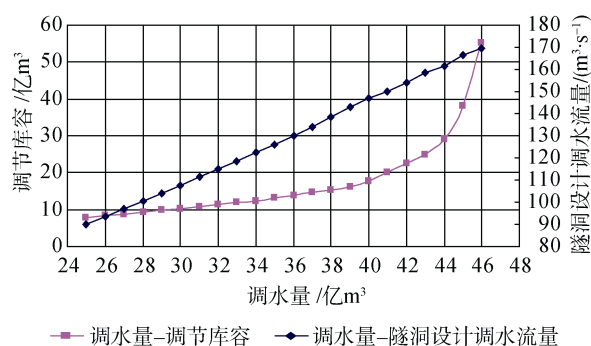


图 2 热巴水库调水量与调节库容、隧洞设计调水流量关系
数据来源:文献[3]。

况，并考虑工程的技术、经济条件和淹没损失情况等因素，我们得出，热巴坝址的年适宜调水量应为 40 亿~45 亿 m^3 。

同理，通过对各水源水库的综合分析，初步确定了热巴、阿安、仁达、洛若、珠安达、霍那、克柯等水源水库的年适宜调水量范围，列于表 2。由表 2 可知，7 个水源水库的年适宜调水量总计为 76 亿~84.0 亿 m^3 。

4.3 调水规模

西线第一期工程的调水规模为各水源水库调水量的总和。调水规模的确定应以比选水源水库的适宜调水量为前提，结合对工程总体布置方案的研究以及各调水河流的特点，进行干、支流多种调水规模组合方案的比较。

根据工程的总体布置形式，我们将雅砻江和大渡河 6 条支流的调水方案与雅砻江干流的调水方案进行组合，从而形成了西线第一期工程的多个调水规模方案。其中，我们对 70 亿 m^3 、75 亿 m^3 、80 亿 m^3 、85 亿 m^3 、90 亿 m^3 五种规模的调水方案进行了重点比较。通过对各方案的输水线路布置、调水量及调水过程、淹没损失、调水影响、主要建筑物的布置、工程规模、工程投资、工程施工、经济指标等因素的分析，经过综合比选，并按照技术可行、经济合理、环境适宜的原则，我们推荐，西线第一期工程年调水规模应在 80 亿 m^3 ，具体数据详见表 2。

表 2 80 亿 m³ 调水方案的主要指标表

调水 河流	水源水库	年入库径流量 /亿 m ³	年可调水量 /亿 m ³	年适宜调水量 /亿 m ³	多年平均调水量 /亿 m ³
雅砻江干流	热巴	59.91	47.31	40.0~45.0	42.0
达曲	阿安	9.87	7.97	6.5~7.0	7.0
泥曲	仁达	11.32	9.43	7.5~8.0	7.5
色曲	洛若	4.06	3.23	2.0~2.5	2.5
杜柯河	珠安达	14.33	12.42	9.5~10	10.0
玛柯河	霍那	10.97	9.08	7.0~7.5	7.5
阿柯河	克柯	6.01	5.17	3.5~4.0	3.5
合计		116.47	94.61	76.0~84.0	80.0

数据来源：文献[3]。

5 调水规模与调水河流自然、经济特性的协调性

确定跨流域调水工程的调水规模，必须充分考虑调水河流的自然、经济现状及发展特点，结合调水规模与调水河流的水文情势、水资源开发利用情况及生态环境保护的需要等方面的适宜性。

5.1 与河流水文情势的协调性

雅砻江、大渡河流域的径流主要来源于降水，并有季节性融雪补给。径流深的地区分布从河源向下游呈递增变化，雅砻江流域的径流量主要来自雅江县以下，大渡河流域的径流量主要来自双江口以下，其径流量均占流域径流总量的 65% 以上。径流量的年内变化较明显，主要集中在 6 月—10 月，其径流量占年径流量的 72.4%~75.2%，而 11 月—次年 3 月的径流量仅占年径流量的 10.1%~12.1%。径流量的年际间变化不大，且随着集水面积的增加，年径流量趋于稳定均匀。

进行调水规模分析，需充分考虑调水河流径流的分配特性。西线第一期工程的 7 座引水水库中 6 座为多年调节水库，可以充分发挥其多年调节的性能，实现丰水多调、枯水少调、极枯水不调。调水河流遇特别干旱年份时，可减少或停止调水，为坝址下游河道生产、生活和生态环境补充水量。利用多年调节水库的性能，增加汛期调水量，汛期调水比例为 59%~78%，非汛期为

38%~54%，调水后新的年内分配比例与调水前相比，丰水期占年径流的比例有所降低，枯水期比例略有增大。在水库调度运用中，首先保证了河道内生态环境需水的要求，调水后年内各月中，非汛期 12 月—次年 3 月河道的水量基本维持调水前的多年平均水量。以热巴水库为例，将调水前多年平均和调水后的多年平均下泄水量比较可见，调水后汛期水量减少较多，枯水期的下泄水量减少很少，基本能维持在调水前的多年平均状态，说明调水对枯水期的水量影响不大。

调水河流水系发达、支流众多，径流深由河源向下游逐渐递增，其径流量主要来自中、下游地区。本研究推荐的调水规模 80 亿 m³，在考虑调水河流经济、社会发展和生态环境用水需求后，各调水断面调水量占来水量的比例在 58%~70%，且随着支流的汇入，调水比例迅速降低，在距离坝址 40~100 km 处，调水比例下降到 40% 左右(如图 3)，到雅砻江、大渡河河口处调水量占径流量的比例分别仅为 9.4%、4.9%。说明西线第一期工程调水断面下游河段水系发达，随着支流的汇入，调水量占径流量的比例迅速降低。

5.2 与流域国民经济用水需求的协调性

雅砻江、大渡河流域多年平均径流量为 1 075.9 亿 m³，为黄河流域多年平均年径流量的 2 倍；人均河川径流量分别为 22 471 m³/人、21 539 m³/人，为黄河流域人均河川径流量的近 50 倍；

图3 各调水河流调水比例分析

数据来源:文献[3]。

耕地亩均河川径流量分别为 12 664 m³/亩、16 346 m³/亩,为黄河流域耕地亩均河川径流量的 58 倍和 74 倍^[3]。可见,与缺水形势严峻的黄河流域相比,雅砻江、大渡河流域水量非常丰沛。

在进行调水规模分析时,本文对各调水河流不同河段各行业的 2030 年水平用水需求均进行了预测,并对坝址下游临近河段的需水量进行了专项分析。雅砻江、大渡河流域经济、社会发展水平地域间的差异较大,中、下游地区集中了全流域约 80%的人口、耕地和工业总产值,而各流域内约 70%的牲畜集中在上游地区。预测 2030 年水平,雅砻江、大渡河流域河道外用水量分别为 30.5 亿 m³、11.7 亿 m³,分别占河流总来水量的 5.1%和 2.5%,其中 71%~96%的水量集中在中、下游地区。2030 年水平,各引水坝址断面上游的国民经济用水和河段生态环境用水总量仅占来水的 14.1%~22.2%,引水坝址下游各河段中,需水量占区间径流量比例超过 10%的河段均集中在中、下游河口河段,而其余河段需水量占区间径流量的比例不超过 3%。这说明:一方面雅砻江、大渡河流域水资源丰富,调水断面的水量在满足调水河流经济、社会和生态环境的用水需求后,剩余的水量仍超过 75%,调水断面的调水量是有保证的;另一方面,坝址下游各河段的需水量有限,即使不考虑引水坝址的下泄水量,下游各河段仅

区间汇流即可满足河道外国民经济的用水需求。因此,工程调水对断面下游的用水基本没有影响。

坝址下游临近河段的人口密度为 2~11.4 人/km²,生产方式以牧业为主,经济结构单一,且山高谷深,干流引水条件较差,县城用水和牧民生产、生活用水均依靠两岸支流的小溪或泉水。即使考虑到干流两岸未来的生产、生活用水需求全部由干流取水,2030 年水平各调水河流坝下临近河段的用水量也仅为 224 万~3 150 万 m³,占河段汇入径流量的 0.7%~2.6%。由此说明,坝址下游河道外的需水不会对西线调水形成制约。

5.3 与河道内生态用水需求的协调性

由于自然和经济条件的不同,雅砻江、大渡河上、中、下游河道内生态环境用水需求的特点有很大差别。中、下游地区水量丰沛,调水后水量减少有限,且分布着大量的水电梯级,河道已演变为库区型河道,故调水对河道内的生态用水影响很小。雅砻江、大渡河的上游地区人烟稀少,人类活动对生态环境的影响小,河流的生物多样性保存较为完好,同时,由于上游河段调水后水量减少较多,因此成为生态环境保护的重点。为此,本文对雅砻江、大渡河的上游调水河段进行了大范围的生物本底调查,分析了研究区生态环

境用水的特点。

雅砻江、大渡河的上游河段, 尤其是距引水坝址附近的河段, 位于高山峡谷区, 两岸的地下水位高于河水位, 因此河道内水位的降低对两岸地下水水位的影响有限。河道内的生态环境用水主要是用以维持水生生物栖息、水环境、岸边植被及生态景观等用水需求。本文通过对主要保护对象的用水需求及其用水过程的典型分析, 考虑到调水河段生态环境保护对象的生长特性及用水特征, 将河道内的生态环境需水量分为基本生态环境的需水量和重点保护对象的需水量两部分, 并进行了多种方法的分析计算。各水源水库均考虑了下游河段维持至少 $2.7\sim 40\text{ m}^3/\text{s}$ 的生态水量, 在实际水库调度中, 各水库的多年平均下泄水量占调水前水量的 $27.9\%\sim 40.9\%$, 非汛期 12 月至次年 3 月河道的水量基本维持在调水前的多年平均水量。而且, 最小下泄水量也是按照生态需水进行控制, 使得调水后有调节能力的水库在 45 年计算系列中, 分别有 7~34 年的最小下泄流量, 较调水前该年枯水月份的流量有所增加。

5.4 与调水河段社会、经济特点的协调性

南水北调西线第一期工程位于青藏高原东南部, 调水坝址的河谷形态(除洛若坝址)外, 均为“V”型或“U”型, 建库条件较好。调水工程涉及的区域为少数民族聚居区, 且以藏族为主, 人口密度小, 生产结构单一, 属纯牧区或半农、半牧区, 居民生产、生活用水主要取自支流来水和山泉水, 区域内无干流河道引水工程, 且多数调水坝址的下游已建有小型水电站。调水区牧民信奉藏传佛教, 民族宗教特色浓郁, 宗教派别多, 建有众多寺院设施。水源水库库区淹没除草场和少量耕地外, 主要涉及村寨、乡镇、寺院(庙)以及班玛县城, 后者是调水规模研究的重点。

我们在进行调水规模的分析过程中, 充分考虑了调水河段的社会、经济特点, 进行了大范围的淹没占地实物指标调查, 尽可能避免造成大的

淹没和影响。本文推荐的 80 亿 m^3 调水方案, 涉及淹没耕地 3.6 万亩、草场 11.7 万亩、林地 2.3 万亩, 淹没所影响的人口为 1.19 万人, 此外淹没寺庙 8 座。与原规划的调水 90 亿 m^3 相比, 调水量减少了 10 亿 m^3 , 同时库区减少淹没移民 1.08 万, 减少淹没寺院 10 座, 其中包括在当地有重要影响的 2 座寺院, 此外, 还避免了淹没班玛县城。

另外, 由于调水河流水能资源丰富, 目前, 西线第一期工程各引水坝址的下游均建有多座小型水电站, 如阿安坝址下游 100 km 的炉霍城区电站、仁达坝址下游 10 km 的日格电站、洛若坝址下游 10 km 的霍西电站、珠安达坝址下游 55 km 的章光电站、霍那坝址下游 2 km 的大团电站和 45 km 的仁青果电站、克柯坝址下游 20 km 的上安斗电站和 80 km 的安羌电站等。此外, 各引水支流的梯级规划和工程前期工作也在抓紧进行。随着水电梯级的建设, 雅砻江、大渡河的干流和一些主要支流将逐渐形成库区型河道, 河流形态将发生巨大改变, 生态环境下垫面也将发生很大变化。因此, 西线调水对河流的影响在一定程度上就转化为对水库运行的影响, 而这种影响比对河道的直接影响要弱很多。

6 结语

雅砻江、大渡河流域位于青藏高原的东南部, 源远流长、水量丰沛, 主要产水区位于中、下游河段。根据参证站及西线专用水文站的实测资料, 结合调水河流产汇流特性的分析, 本文提出的调水断面径流过程具有较好的可靠性和代表性。雅砻江、大渡河流域的上游地区, 寒冷缺氧、地广人稀, 生产方式以畜牧业为主, 生态环境受人类影响较小; 中、下游地区水、热条件较好, 人口较多, 工、农业相对发达, 生态环境本底发生了较大变化。调水河流的现状用水和未来国民经济用水主要集中在中、下游地区, 水资源开发利用水平较低, 对工程调水量基本不构成制约。本文通过考虑河道内的生态环境特点以及水电梯级建

设, 以上游河段为重点, 分析了河道内的生态环境保护对象和保护目标, 提出由基本生态环境需水量和重点保护对象需水量两部分构成的河道内生态环境需水量, 可维持调水河段河道内的基本生态环境需求。本文通过考虑调水河流的来水特点及各行业的用水需求, 结合调水工程的建设规模及调水影响, 分析提出了西线第一期工程的调水规模。通过对推荐的调水规模与调水河流的水文情势、国民经济用水、生态环境用水和社会特点进行协调性分析后发现, 南水北调西线第一期工程的调水规模充分考虑了调水河流特殊的自然和经济特点, 并与调水河流的水文情势、经济社会发展特点和用水水平是协调的, 因此, 推

荐的调水规模是适宜的。

参考文献

- [1] 水利部长江水利委员会. 长江流域综合规划简要报告[R]. 2009.
- [2] 全国水力资源复查工作组. 中华人民共和国水力资源复查成果: 2003年[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 172-175, 445-447.
- [3] 黄河勘测规划设计有限公司. 南水北调西线第一期工程项目建议书[R]. 2008.
- [4] 张玫, 贾新平, 魏洪涛. 南水北调西线第一期工程调水地区河道内生态环境需水的分析与计量[J]. 资源科学, 2005, 27(4), 180-184.
- [5] 张玫, 王军良, 韩侠, 等. 南水北调西线工程可调水量分析[J]. 人民黄河, 2001(10): 11-12.

Analysis on the West-Route Project's Scale of South-to-North Water Diversion Based on the River's Natural and Economical Features

Zhang Mei¹, Wei Hongtao¹, Zhang¹ Yongyong, Fang Jing²

(1. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China;

2. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

Abstract: The forecasting of the scale of water diversion project refers to the water demand of reception basin, quantity of water transferred from water diversion area, and construction scale of water diversion project. All these factors are important parts in the feasibility argumentation of water diversion project. Based on the serious water shortage condition in the Yellow River basin and Northwest China, the scale of the West-Route Project of South-to-North Water Diversion mainly depends on the quantity of water transferred from the water diversion area and the technical and economic condition of the transfer project. Among all the pertinent factors, selecting the appropriate scale based on the special natural and economic features of the water diversion area is the key in the research. Based on the analysis of the nature of water resources, social economics and ecological environment features, as well as the construction scale of transfer project, this thesis proposes the first-stage project scale of the West-Route Project. What's more, coordination analysis is made between the transfer project scale, hydrological regime, national economic water need, ecological environment water need, and social economic features. Then, the paper comes to the conclusion that the West-Route Project's scale of South-to-North Water Diversion is appropriate while taking the river's natural and economic features into consideration.

Key words: South-to-North Water Diversion; West-Route Project; natural features; social and economic development; transferred water quantity; scale of the diversion project; inter-basin water diversion