

秘鲁马赫斯—西瓜斯调水工程

☆ 魏昌林

秘鲁是个多山国家，著名的马赫斯—西瓜斯调水工程建在安第斯山区，是迄今为止世界上已建的海拔最高的调水工程，工程艰巨宏伟，开创了高山地区调水之先河。

一、水资源状况与应对措施

秘鲁位于南美洲西北部，国土面积128万km²，1996年人口2 400万，地理上分为三个区域。

西部太平洋沿岸沙漠区，宽约30~130km，为一狭长干旱地带，有断续平原分布，面积占全国的11.2%，气候宜人，属热带沙漠草原气候，年均气温12~32℃，作物可以常年生长，降水不足50mm，是世界上最干旱的地区之一。发源于安第斯山的河流短促，均属季节性，河流两岸形成众多绿洲，结合人工灌溉成为全国农业最发达地区，但粮食不能自给，每年都需进口粮食，全国人口和经济多集中于此。交通运输以公路为主，泛美公路是秘鲁公路的轴心，从海岸带通过。首都利马也位于海岸带，是建立在沙漠中的城市，为全国政治、经济、文化和交通中心，人口800万，集中了全国2/3的工业。这一地区严重缺水，成为制约经济发展的主要因素。

中部为高原区，安第斯山纵贯南北，平

环球瞭望

均海拔4 000m，属热带山岳气候，年降水不足250mm，约占全国面积的21.2%。

东部为亚马孙河上游地区，属热带雨林气候，年均降水2 000mm以上，年均气温24~35℃，面积占全国的

62.7%。

对于太平洋沿岸地带严重缺水制约经济发展问题，秘鲁政府极为重视，采取立法和宏观规划措施对水资源的开发利用和保护实施有效管理，以充分利用地表水和地下水资源，管好用好现有工程，提高用水效率，同时由国家负责对水资源进行统筹规划，有计划地改善水资源配置，其建设的重点是把东部丰富的水资源调到西部干旱缺水的太平洋沿岸地区，即东水西调。

二、马赫斯—西瓜斯调水工程

20世纪60年代后半期，秘鲁政府采取一系列措施致力于发展经济，使国民生产总值年均增长达7%。在此背景下为解决南方阿雷基帕省严重缺水，开发马赫斯和西瓜斯两片平原荒漠，发展农业灌溉，于1971年开工建设酝酿多年的马赫斯调水工程。

调水工程规划在安第斯山区建两座水库做为调水水源。一是在科尔卡河上建孔多罗马水库，大坝高100m，坝顶高程4 185m，库

容2.85亿 m^3 ，用于调节科尔卡河径流；二是在亚马孙河水系上游的阿布里克河上修建安戈斯图拉水库，坝高105m，坝顶高程4 180m，库容10亿 m^3 ，通过17km长的隧洞和明渠将大西洋水系阿布里克河水西调入太平洋水系的科尔卡河。

马赫斯—西瓜斯调水工程是将两水库汇入科尔卡河水经89km隧洞和12km明渠，共计101km的输水工程调水入西瓜斯河。输水工程设计流量34 m^3/s （加大流量39 m^3/s ），输水隧洞起始水位3 740m，终端水位3 369m。而后利用约2 000m落差建两座水电站，装机65万kW，年发电22.6亿kW·h，为阿雷帕省等地供电，发电尾水进入西瓜斯河，用于发展灌溉。

马赫斯和西瓜斯灌区规划灌溉面积5.7万 hm^2 ，远景规划7万 hm^2 ，均在西瓜斯河皮塔伊

水闸引水，水位1 600m。马赫斯灌区，引水流量20 m^3/s ，灌溉面积3.5万 hm^2 ，经11km隧洞，4km明渠送水到马赫斯灌区，再经沉沙池和渠道，最后将清水导入压力钢管，利用地形高差在管道内形成压力，实行喷灌，灌水定额为1.5万~1.8万 m^3/hm^2 ，喷头压力3.5kg/cm 2 。西瓜斯灌区引水流量为12 m^3/s ，灌溉面积2.2万 hm^2 ，经17km隧洞和明渠引水到灌区，灌溉方式同马赫斯灌区。马赫斯—西瓜斯调水工程规划如图1所示。

马赫斯调水工程由农业部下属的马赫斯工程管理局负责建设管理，工程分两期实施。第一期工程的建设内容有3部分：即孔多罗马水库、按最终调水规模建设输水工程和马赫斯灌区工程，以及一些小水电工程。按1970年物价水平，工程投资为9.8亿美元，由秘鲁政府出资20%，国外贷款80%。全部工程于

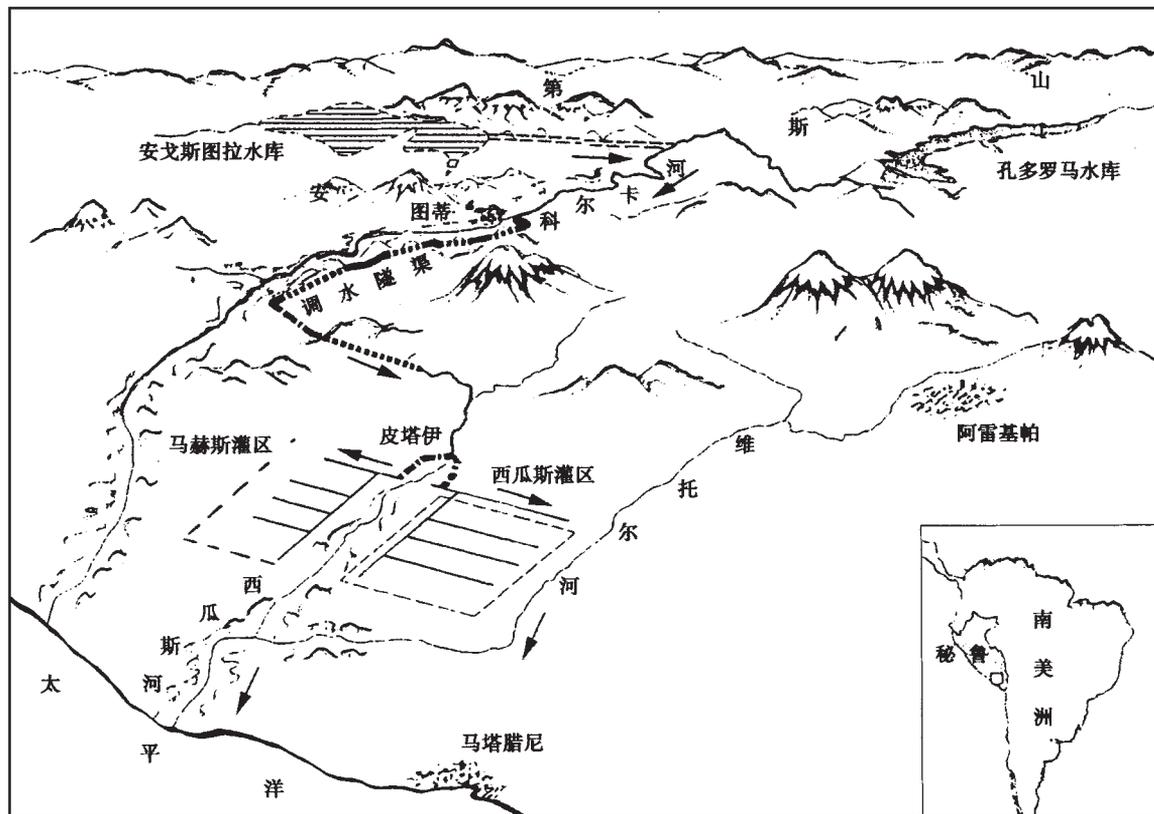


图1 马赫斯—西瓜斯调水工程示意

1985年完成,工程效益主要是灌溉效益,平均每公顷可直接间接解决5人就业,现在以种植牧草和发展畜牧业为主,计划发展水果蔬菜及农产品加工。第二期工程建安戈斯图拉水库及调水到科尔卡河工程、西瓜斯灌溉工程,投资1.8亿美元,由美国公司完成设计,于1999年开工。两座水电站工程投资6.0亿美元,拟采用BOT方式进行建设。

秘鲁是发展中国家,在二三十年前决定建设马赫调水工程是史无前例的,充分表明了秘鲁政府在解决水资源短缺问题上的决心。当时秘鲁在资金和技术上都有困难,而马赫斯工程建设难度又非常之大,工程大都建在3 500~4 200m的安第斯山区,地形、地质条件复杂,加以高山缺氧,仅隧洞就有100km,其中最长的一条为14.9km,在南美名列第一。为建好马赫斯调水工程,秘鲁采取了开放性政策,工程设计由意大利公司完成,工程承包商为英国、瑞典、西班牙、加拿大和南非的联营体,工程监理为意大利和秘鲁两家公司的联营体负责。这样马赫斯工程集中了当时世界上很多著名的工程公司和优秀工程师,为高标准地建好马赫斯调水工程奠定了坚实基础。

三、调水工程的规划和建设

为促进经济发展,解决制约经济发展的缺水瓶颈,秘鲁政府在宏观经济规划中把东水西调置于战略高度予以考虑,为此,有计划地从北到南先后建设了一批东水西调重大水利基础设施项目,为城市生活、工矿企业和农业发展提供了水资源保障,从而改善了太平洋沿岸缺水地区生产要素的优化组合,促进了经济、社会发展和环境改善,不少沙漠地变成了绿洲。

1. 统筹规划,精选方案

本着当前与长远结合,合理匹配水土资源,并与生态环境相协调,做到在水资源开

发上力戒短期行为和急功近利,搞好总体规划和分步实施。调水工程总体规划是把开发马赫斯和西瓜斯两平原统筹考虑在内,并留有适当发展余地,在实施上一、二期工程前后相距二三十年,虽然输水工程耗资巨大,但在实施中还是按最终规模一次建成,从眼前看似乎是积压投资,但从长远看总体上是经济合理的,其原则是调水工程的规划建设要高瞻远瞩,从长计议,为将来的发展留有适当余地。再是精选方案,马赫斯—西瓜斯调水工程建在安第斯高山地区,山高谷深,地形破碎,地质复杂,工程十分艰巨。为了建好调水工程,仅输水工程就提出7条线路方案,进行综合研究比选,本着安全输水第一的原则,在技术经济上进行多方案比较,最后选择了迂回曲折,避开了复杂地质条件和埋深大高地应力的长隧洞方案,创造出隧渠相间,长洞短打的施工条件,实践证明是成功的。

2. 工程的设计施工和管理

马赫斯调水工程,包括水源工程、输水工程和用水工程,为安全可靠运行,发挥工程最大效益,工程的设计标准高,施工质量好。以输水隧洞和渠道为例,全部采用现浇钢筋混凝土衬砌,隧洞为马蹄形断面,渠道为矩形断面,钢筋混凝土衬砌厚度达35cm,在靠山渠道,可能有土石滑落处,则全部采用钢筋混凝土盖板,明渠变为暗渠。连接隧洞的渡槽采用钢结构,槽身做成和隧洞断面相同的马蹄形,其原则是宁肯多花投资也要把工程做好。现在工程虽运行多年,但外观整齐,混凝土表面光洁,尽管工程穿行于人烟稀少的荒原,施工非常困难,由于工程质量好运行正常。1998年厄尔尼诺气候异常,多年不见的暴雨袭击秘鲁,带来很大灾害,但马赫斯调水工程经受住了考验,巍然屹立在安第斯山的丛山峻岭中,灌溉供水效益照常发挥。