

雅鲁藏布江调水至新疆可行性初探

蒲升阳, 侍克斌, 王欣, 韩克武

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为缓解中国西部缺水现状,在对前人提出的调水方案分析和讨论的基础上,遵循调水线路最短、水源地水量充沛原则,提出从雅鲁藏布江中上游每年向新疆地区调水 $70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的设想。分配受水区各地区用水量,规划调水路线与工程规模,初步设计了水利枢纽中主要建筑物尺寸,估算了工程投资。此方案避开了其他调水线路途经国家自然保护区的矛盾,旨在恢复塔里木河下游生态,缓解新疆东南部缺水状况,是一个可行性较高的调水方案。

关键词: 水资源现状; 调水; 引水隧洞; 纵剖面; 横断面; 明渠设计; 可行性分析; 新疆; 雅鲁藏布江

中图分类号: TV68; TV212.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)06-0151-07

A preliminary discussion on the feasibility of transferring water from the Yarlung Zangbo River to Xinjiang

PU Shengyang, SHI Kebin, WANG Xin, HAN Kewu

(College of Civil and Hydraulic Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to alleviate the current situation of the water shortage in western China, on the basis of analysis and discussion of water diversion project proposed by the predecessors, following the principles of the shortest water diversion line and abundant water resource, the paper put forward that $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ of water should be transferred annually from upstream of the Brahmaputra river to Xinjiang. Water consumption of the receiving area was allocated, water diversion routes and the scale of the project were planned, the main building dimensions of the water conservancy hub were preliminary designed and the project investment was estimated. This program avoids other water transfer lines passing through the national nature reserve, and intends to restore the ecology of the downstream of Tarim River and alleviate the water shortage in the southeast of Xinjiang. It is a highly feasible water diversion project.

Key words: water resources situation; water transfer; diversion tunnel; longitudinal profile; cross section; open channel; feasibility analysis; Xinjiang; Yarlung Zangbo River

新疆地处亚欧大陆腹地,是远离海洋的封闭内陆地区,气候干旱。其面积 $166.49 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占中国面积六分之一,矿产种类全,储量大,前景广阔,可开发的后备土地面积也及其辽阔,但水资源量只有 $832.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ (占中国总水量的 3%), 境内产流 $788.7 \times 10^8 \text{ m}^3$, 流出水量 $233.1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水资源与土地资源、能源、矿产资源配置严重失衡。随着新疆地区的社会经济飞跃式发展,水资源供需问题日趋严重。近几十年来,在政府和人民群众的共同努力下,新疆的绿洲面积虽已扩大了两倍多,已达 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 但同时期沙漠面积也增加了 18.3×10^4

km^2 , 是同时期人造绿洲开发面积的 3 倍^[1]。新建的人工绿洲与自然绿洲正在共同抢夺着依稀可见的宝贵水源,天然胡杨林成片死亡,让人深感痛惜。地均水资源少是造成新疆大面积沙漠和土地极易沙化的原因,也是新疆地区河流一旦过度开发就会造成当地自然生态环境恶化的主要原因^[2]。对于新疆南部塔里木河流域的治理,虽说当地政府和水利工作者对流域水资源进行了合理配置,但和田河、叶尔羌河自身河道流程较长,河道渗漏、蒸发损失严重,并且还承担着本流域经济社会发展和生态环境保护的艰巨任务,根本无法实现水资源合理配置的下泄

收稿日期:2017-04-25; 修回日期:2017-07-20

基金项目:新疆农业大学校内前期项目(200933);新疆水利水电工程重点学科基金项目(xjzdxk-2010-02-12)

作者简介:蒲升阳(1991-),男,新疆奇台人,在读硕士研究生,主要从事水利水电工程专业的科研工作。

通讯作者:侍克斌(1957-),男,甘肃民勤人,教授,博士生导师,主要从事水利水电工程专业的教学、科研工作。

目标;在工程措施方面,塔里木河干流生态闸工程的建设,使得下游地区植被恢复的同时,也在一定程度上影响了上、中游地区的用水,导致上、中游生态闸两侧植被退化十分明显^[3]。不得不说新疆的生态环境正在陷入“局部改善,整体恶化”的窘境。虽说新疆北部伊犁河、额尔齐斯河流域水资源相对充沛,但其两大流域下游出现的湖泊干旱、土地盐渍化严重等问题,还需慎重解决,该两大流域在缓解本地区水资源紧张问题时尚且困难,何谈支援其他大面积干旱区缺水问题^[4]。从长远目标考虑,新疆北部的可调用水资源量,不足以满足新疆天山北坡经济带和新疆东部地区的经济发展用水需求。总而言之,新疆全区域地均水资源量十分贫乏,严重威胁着我国西部的经济发展,更是阻碍着“一带一路”的建设。为保障新型工业化和生态文明建设,发挥新疆在实施“一带一路”的国家战略中的作用,在实施合理利用水资源的同时,还应积极探索寻求新的水源,唯有找到大量的、稳定的水源,并达到生态水平衡,新疆才能在可持续发展的航道上前行。

1 研究区水资源现状

1.1 供水区水资源概况

素有“亚洲水塔”之称的喜马拉雅—青藏高原地区,拥有着除极地冰川以外的全球第二大冰川储

量。该地区大约有 $3.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的冰川面积,孕育了黄河、长江、恒河、湄公河、印度河、萨尔温江和伊洛瓦底江等七条亚洲的重要河流,其中雅鲁藏布江水资源极为丰富,具备向新疆调水的条件。

西藏自治区位于中国西南边疆,在东经 $78^\circ 25' \sim 99^\circ 06'$ 和北纬 $26^\circ 50' \sim 36^\circ 33'$ 之间,东西长约 1 900 km,南北宽约 1 000 km,总面积 $120 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均海拔 4 000 m 以上。

截止到 2014 年,西藏自治区总人口为 318×10^4 人,其中城镇人口为 81.88×10^4 人,农村人口为 236.12×10^4 人。并且西藏自治区多年平均降水总量达 $6\,875 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均年降水深为 571.8 mm;河流多年平均径流量为 $4\,440.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见表 1),多年平均地下水资源量为 $977.72 \times 10^8 \text{ m}^3$;全区冰川面积约为 $2.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,占中国冰川总面积的 46.7%,总水量约为 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$;其湖泊总面积达 $2.89 \times 10^4 \text{ km}^2$,占中国湖泊面积的 30%。可见供水区水资源量极为丰富,且地势较高,具备向外地区调水的能力。

1.2 受水区水资源概况

此调水工程的实施,是将水引至塔里木河下游、巴音郭楞蒙古自治州两县城(若羌县和且末县)、和田部分地区(和田市、洛浦县、策勒县、于田县、民丰县)、吐鲁番地区、哈密地区。

表 1 西藏主要江、河水资源量统计表(2000—2011 年)

统计量	雅鲁藏布江	怒江	澜沧江	金沙江	藏南诸河	羌塘内陆	其他	全区
水资源量/ 10^8 m^3	1683.17	451.45	110.22	84.85	1813.02	269.31	28.65	4440.67
占比/%	37.90	10.17	2.48	1.91	40.83	6.06	0.65	100.00

塔里木河流域,总面积 $102.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,年均径流量约 $410 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。塔里木河为环绕塔里木盆地的九大水系 144 条河流总称,干流自身不产流,目前仅有和田河、阿克苏河、叶尔羌河、开都—孔雀河四条源流对干流尚存在地表水联系。自 20 世纪 50 年代起,塔里木河流域被引用大面积的农业垦殖,上中游不断加大耗水量,极大地降低了下游补水量,和田河、阿克苏河、叶尔羌河每年汇入塔里木河的水量约为 $35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右,开都—孔雀河仅在丰水年补给塔里木河少许水量。自建成下游大西海子拦河水库后,20 世纪 70 年代初以来,下游近 300 km 的河道断流达 30 a^[5]。塔里木盆地面积约 $53 \times 10^4 \text{ km}^2$,其南有阿尔金山、西有昆仑山、北有天山,各个山系平均海拔为 4 000 m 以上,在远离海洋和高山环绕的

综合地理因素影响下,该盆地形成干旱少雨,蒸发强烈的气候特点。该流域多年平均降水量 116.8 mm,干流仅 17.4~42.8 mm;流域内水分蒸发强烈,山区蒸发为 800~1 200 mm,平原盆地蒸发为 1 600~2 200 mm,属干旱区;盆地内沙漠、戈壁面积占 90%,森林覆盖率在 3.5% 以下。位于塔里木盆地中央位置的是中国境内最大的沙漠—塔克拉玛干沙漠(世界第二大流动沙漠),其面积 $33 \times 10^4 \text{ km}^2$,东西长约 1 000 km,南北宽约 400 km,沙漠腹地的辽阔地域属极端干旱区。依靠人工灌溉形成的绿洲,其对生态环境和水资源禀赋条件的要求极高,加之自然绿洲系统的极度脆弱性,对水土资源开发反应及其强烈,反过来制约人工绿洲经济社会的发展。因为水资源的匮乏,此地区荒漠包围绿洲,植被种群

数量少,多为流动沙丘,土地沙漠化和盐碱化严重^[6]。并且塔里木河流域也是一个多民族、贫困人口集聚的地区,有维吾尔、汉、回、柯尔克孜、塔吉克、哈萨克、乌兹别克等18个民族,南疆三地州贫困人口达 197×10^4 人,占全疆贫困人口70%以上。

若羌县地处巴音郭楞蒙古自治州东南部,是中国最干旱的地区,此县位于中国塔里木盆地东部,塔克拉玛干沙漠东南缘,属暖温带极干旱气候区,多年平均降水量为23.1 mm,可多年平均蒸发量尽达2 994 mm,水分严重流失,其中罗布泊、台特玛湖就是因水流缺失而干涸的湖泊。若羌县也是矿产资源十分丰富的大县,已发现的矿种就有40多种,主要有石油、天然气、煤炭资源等;并且若羌县是中国面积第一大县,其面积有两个江苏省大小,总面积近 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$,但其总人口却近3万余人(2004年),其中维吾尔族10 130人,占37.7%,汉族16 189人,占60.3%。据统计,自20世纪80年代后,若羌县地下水开采量超过 $24 \times 10^6 \text{ m}^3$,预测2030年若羌县总需水量可达 $3.72 \times 10^8 \text{ m}^3$,但其可开发利用水资源却十分有限^[7]。

且末县位于昆仑山北麓、塔里木盆地东南缘,东邻若羌县、西连和田地区民丰县,其北部与塔克拉玛干沙漠相连,面积 $14.025 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。且末县境内有多条河流,但其受季节变化较大,多数河流已断流,其多年平均降水量17.8 mm,蒸发量1 977.3 mm,水土流失严重。截止2012年底,总人口达 10.3×10^4 ,人口自然增长率2.77%,区域内有维吾尔族、汉族、蒙古族等20个民族,少数民族占人口总数73.11%^[8]。

和田地区位于新疆南部,其东连巴音郭楞蒙古自治州,西与喀什地区毗邻,南邻昆仑山,北抵塔克拉玛干沙漠,是昆仑山北坡最大的绿洲。该地区干旱少雨,蒸发及其强烈,风沙多且大,多年平均降水量为38.7 mm,蒸发量竟达2 648 mm,属于大陆性暖温带干燥沙漠气候。第一产业(农业、林业、牧业、渔业等)年需水量为 $45.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,在保证产业需水量的同时,加之蒸散十分严重,导致和田地区生态环境十分脆弱,植被覆盖度降低,可见,该地区对水资源的需求及其强烈^[9]。

吐哈盆地是新疆三大含油气盆地之一,盆地东西长660 km,南北宽60~100 km,总面积约53 500 km^2 。据统计,中国目前西部地区已探明的煤炭资源达 $10 628 \times 10^8 \text{ t}$,约占中国已探明储量的81%。而位于西部地区的新疆煤炭资源最为丰富,位居中

国前列,煤炭资源预测远景储量约 $2.19 \times 10^{12} \text{ t}$,占中国40%以上。新疆地区将规划建成4个大型煤炭基地,其中已经将哈密地区煤炭基地定为能源开发的重点^[10]。位于哈密地区煤炭基地的大南湖矿区目前已探明煤炭资源储量达 $744 \times 10^8 \text{ t}$,其中在建矿井13座,千万吨级的矿井就达6座。相对应该地区的水资源量是,哈密地区地区水资源总量为 $16.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中,地表水资源量 $9.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源量 $7.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2011年,哈密地区水资源开发利用量为 $10.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中地表开发利用水资源量 $4.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下开发利用水资源量 $6.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。吐鲁番地区水资源总量为 $14 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中,地表水资源量 $6.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源量 $7.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2011年,吐鲁番地区水资源开发利用量为 $14.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水超采 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右^[11]。与该地区矿产资源丰富、开发潜力巨大不相适应的是,该地区生态环境极其脆弱、蒸发强烈、极度干旱缺水。可见,吐鲁番地区、哈密地区地区对水资源的需求十分强烈。

2 新疆跨区域调水的可行性方案

2.1 研究现状

杨力行等^[12-13]、何建新等^[14]最早在1995年就对南水西调工程提出设想,即将通天河 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水量,穿昆仑山至格尔木再沿明渠分别调入新疆($45 \times 10^8 \text{ m}^3$)、青海($10 \times 10^8 \text{ m}^3$)、甘肃($5 \times 10^8 \text{ m}^3$)。2012年1月,侍克斌等^[1]提出较详细的从通天河和雅鲁藏布江调水入疆方案,规划了调水线路和主要建筑物,估算了工程投资,分析了工程对调水区和受水区的影响及可行性。2016年3月,王欣等^[15]又设想从怒江调水的方案,即在怒江上游龙中卡附近调水 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$,穿过492 km的隧洞至格尔木,随后沿明渠自流引至新疆。

各调水方案的初衷是开发西北后备土地资源,恢复塔河流域下游生态环境。但就调水线路来说,大都经青海省格尔木等地,沿途长距离水工建筑物和大型水利枢纽的建设必定对“三江源国家自然保护区”和“可可西里国家自然保护区”的生态环境问题产生诸多不利影响,同时,对国家近期提出的新疆生产建设兵团今后的发展重点在新疆南部的战略决策考虑不足。本文遵循以下原则规划布置调水线路:第一,水工建筑物的修建与水利枢纽的布设避开国家生态自然保护区;第二,调水线路最短,尤其是引水隧洞的选择;第三,引水自流进入受水区。

2.2 从雅鲁藏布江调水至新疆

由拉萨河与雅鲁藏布江的羊村水文站多年平均径流量($299.43 \times 10^8 \text{ m}^3$)可以推算出,拉萨河与雅鲁藏布江交汇口上游约 240 km 处(谢通门县拉旺孜村附近)年径流量可达 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$,按原河流 20% 的水量调水,可每年向新疆调水 $70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

初步规划调水线路与水量分配:引水点的选取遵照水量大、易于修建调节水库和地势高 3 个原则,可将谢通门县拉旺孜村附近的雅鲁藏布江河段定为此次调水引水点,通过修建超长隧洞直接引水至新疆。隧洞出水口的选取可做以下 3 种方案考虑:方案 1,出水口设在民丰县以南 61 km 处,高程 3 350 m,则需设计隧洞长 891 km;方案 2,出水口设在且末县东南方 87 km 处车尔臣河上游段,高程 3 350 m,则需设计隧洞长 911 km;方案 3,出水口设在若羌县以南 76 km 处,高程 3 350 m,则需设计隧洞长 993 km。若按设计隧洞距离最短考虑,则方案 1 最优,但其继续引水至东北方向吐哈盆地,则还需修建大型水渠至车尔臣河,实为不经济,且此处地形不易修建大型调节水库,方案 3 中设计隧道距离长度远超方案 1 与方案 2,成本太高不足与之比较,唯有方案 2 中出水口地形易于修建大型蓄水水库,且可利用车尔臣河天然河道下泄大部分来水至塔里木河下游,综合考虑方案 2 较为经济可行。按方案 2 实施,即可在靠近雅鲁藏布江的谢通门县上游约 11 km 的拉旺孜村附近河段(河底高程为 3 930 m),修建一座坝高 75 m 的水库用于调配水量,然后在水库左岸打通一条连接新疆且末县东南方 87 km 处车尔臣河上游段(高程 3 350 m)的超长距离隧洞,其间穿越昆仑山自流引水至新疆,全长 911 km。在隧洞末端修建水电站,利用 1 000 m 水头发电,可装机 $275 \times 10^4 \text{ kW}$,并在附近车尔臣河上修建蓄水、引水水利枢纽,将发电站尾水引入水库,由水库调节分别向新疆东、西两个方向和车尔臣河输水。修建东干渠(渠首高程 2 300 m),沿昆仑山北麓 2 300 m 等高线将 $14 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水向东引至若羌县以南(高程 2 250 m),此处再修建水电站,利用 1 050 m 水头进行发电,可装机 $58 \times 10^4 \text{ kW}$,经消能后的尾水引至东干渠第二渠段(渠首高程 1 200 m),继续沿昆仑山北麓 1 200 m 等高线,将水引至哈密地区、吐鲁番地区,届时若羌县、哈密地区、吐鲁番地区依次获得水量为 4×10^8 、 5×10^8 、 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$;修建西干渠(渠首高程 2 300 m),沿昆仑山北麓 2 300 m 等高线将 $14 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水向西引至民丰县、于田县、策勒县、洛

浦县、和田市,届时各地区依次获得水量为 2.5×10^8 、 2.5×10^8 、 2.5×10^8 、 2.5×10^8 、 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$;其余 $42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水量由水库调节后下泄至车尔臣河,途经且末县引出水量 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,剩余 $39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水量沿车尔臣河下泄至塔里木河下游,用于补给萎缩的台特玛湖与消失的“绿色走廊”(如图 1)。



图 1 从雅鲁藏布江调水入疆示意图

此调水工程主要建筑物及结构尺寸:在谢通门上游的拉旺孜村附近河道上拟修建一座坝高 75 m 的沥青混凝土心墙堆石坝,坝顶长 800 m 左右。坝顶高程为 4 005 m,上游坝坡坡比为 1: 2.5,下游坝坡坡比为 1: 1.8,坝顶宽度 10m,坝顶采用混凝土路面,坝基覆盖层采用混凝土防渗墙防渗,防渗墙深度取 40m,在防渗墙下部的岩基布设灌浆帷幕,帷幕灌浆深度取 80m(如图 2)。在大坝坝肩布置开敞式溢洪道,导流隧洞布置在岩体较为完整的山体一侧,由现场勘测后再予确认。

由于此引水隧洞洞长与隧洞进出口高程已初步确定,因此可不考虑隧洞坡降变化,在此基础上对隧洞开挖直径提出以下 3 种设计方案:方案 1,隧洞开挖直径为 11.2 m,洞内设计流量为 $270 \text{ m}^3/\text{s}$;方案 2,隧洞开挖直径为 12.4 m,洞内设计流量为 $350 \text{ m}^3/\text{s}$;方案 3,隧洞开挖直径为 13.6 m,洞内设计流量为 $470 \text{ m}^3/\text{s}$ 。若按调水量每年 $70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 计算,则方案 1 每年需引水时间约 10 个月,方案 2 每年需引水时间约 8

个月,方案3每年需引水时间约6个月。此工程地处高寒区域,引水隧洞后接长距离输水明渠,冬季无法满足自流引水,为充分利用非冰冻期自流引水入疆,故决定采取方案2。引水隧洞位于雅鲁藏布江左岸,

隧洞设计为无压洞,采用60cm厚混凝土衬砌,洞内流速为4.1m/s,进口底部高程为3950mm,出口底部高程为3350m,隧洞全长约911km,平均埋深918m,最大埋深1350m(如图3)。

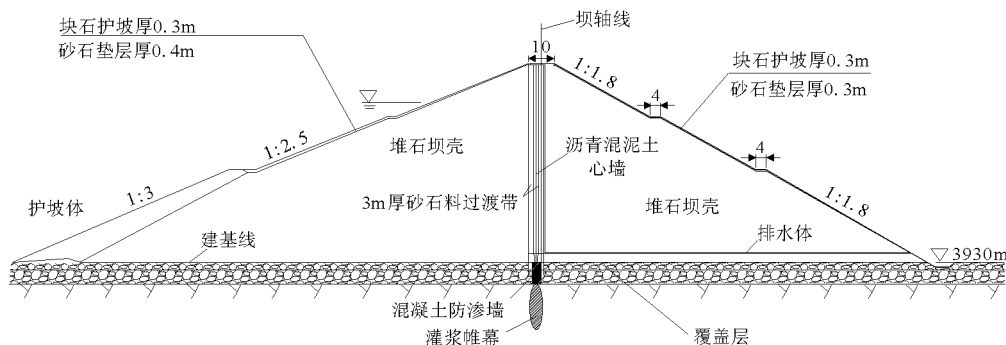


图2 水库沥青混凝土心墙堆石坝横断面图

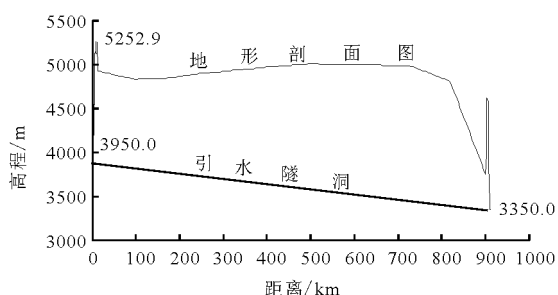


图3 从雅鲁藏布江调水入疆工程引水隧洞纵剖面图

对于圆形无压引水隧洞的水力计算,其过水断面计算简图(如图4),隧洞半径 R 和水深 h 满足:

$$\theta = \sin\theta + 2k\pi \quad (1)$$

$$R = \left[\frac{Q \cdot n \cdot (2\pi - \theta)^{\frac{2}{3}}}{i^{\frac{1}{2}} (\pi(1-k))^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}} \quad (2)$$

$$h = 2R \cos^2 \frac{\theta}{4} \quad (3)$$

式中: Q 为设计流量, m^3/s , Q 取值为 $350 \text{ m}^3/\text{s}$; i 为隧洞坡降, i 取值为 $1/1500$; n 为糙率,按一般施工水平, n 取值为 0.014 ; k 为余幅参数,按照水工隧洞设计规范取值 0.15 ; θ 为水面所对圆心角,rad; R 为引水隧洞半径,m; h 为引水隧洞内水深,m。

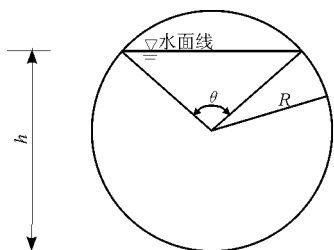


图4 圆形无压引水隧洞过水断面计算简图

由式(1)可求得 $\theta = 1.8915 \text{ rad}$
将 $\theta = 1.8915 \text{ rad}$, $k = 0.15$, $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0.014$ 代入(2)式可得: $R = 5.6 \text{ m}$

将 R 和 θ 代入(3)式可得: $h = 2 \times 5.6 \times 0.7926 \approx 8.88 \text{ m}$

因此,可得出圆形无压引水隧洞过水断面尺寸(如图5)。

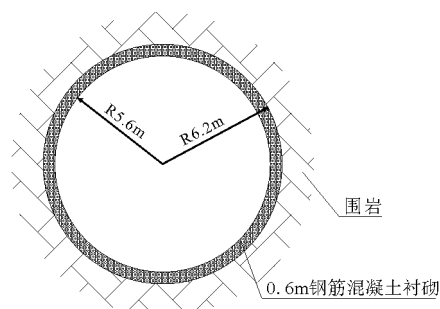


图5 从雅鲁藏布江调水入疆引水隧洞横断面图

明渠横断面的尺寸,按典型引水明渠梯形断面设计。由于明渠的地基多为山前冲洪积扇堆积物,渠底和边坡均采用复合土工膜防渗,并采用100mm厚素混凝土衬砌(如图6)。

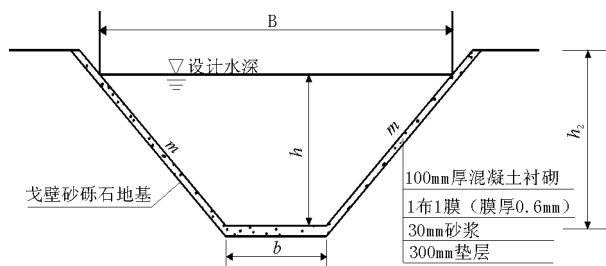


图6 典型引水明渠横断面图

规定自车尔臣河水库引水至若羌县段明渠记为 le_1 , 自若羌县引水闸至哈密地区地区段明渠记为 le_2 , 自哈密地区地区引水闸至吐鲁番地区段明渠记为 le_3 ; 自车尔臣河水库引水至民丰县段明渠记为 lw_1 , 自民丰县引水闸至于田县段明渠记为 lw_2 , 自于田县引水闸至策勒县段明渠记为 lw_3 , 自策勒县引水闸至洛浦县段明渠记为 lw_4 , 自洛浦县引水闸至和田市段明渠记为 lw_5 。

引水明渠的水力计算按明渠均匀流计算, 那么明渠过水断面主要参数如图 6 所示。

明渠底宽 b 与水深 h 满足下式:

$$A = Q/v \tag{4}$$

$$v = C \sqrt{Ri} \tag{5}$$

$$C = \frac{1}{n} \sqrt[6]{R} \tag{6}$$

$$A = (b + mh)h \tag{7}$$

$$\frac{A}{R} = X = b + 2h \sqrt{1 + m^2} \tag{8}$$

式中: Q 为设计流量, m^3/s ; A 为过水断面面积, m^2 ; v 为流速, m/s ; b 为明渠底宽, m ; m 为边坡系数, 取值 2; h 为明渠设计水深, m ; C 为谢才系数, $m^{1/2}/s$; R 为水力半径, m ; i 为明渠底坡坡降, 取值 $1/6500$; X 为湿周, m 。

当 Q 、 i 、 n 、 m 确定后, 按明渠设计流速不冲不淤原则, 用试算法求出各段渠道设计水深 h 和渠底底宽 b , 各渠道水力学要素如表 2。

表 2 各渠道水力学要素

渠段	设计水深 h/m	底宽 b/m	边坡 m	过水面积 A/m^2	湿周 X/m	水力半径 R/m	糙率 n	谢才系数 C	纵坡 i	流量 Q	流速 v	安全超高 h_1/m	渠深 h_2/m
le_1	3.80	7.00	2.00	55.48	23.99	2.31	0.017	67.64	$1/6500$	70.78	1.28	0.70	4.50
le_2	3.80	4.00	2.00	44.08	20.99	2.10	0.017	66.56	$1/6500$	52.73	1.20	0.70	4.50
le_3	2.80	4.00	2.00	26.88	16.52	1.63	0.017	63.79	$1/6500$	27.13	1.01	0.70	3.50
lw_1	3.80	7.00	2.00	55.48	23.99	2.31	0.017	67.64	$1/6500$	70.78	1.28	0.70	4.50
lw_2	3.80	5.00	2.00	47.88	21.99	2.18	0.017	66.97	$1/6500$	58.68	1.26	0.70	4.50
lw_3	3.30	5.50	2.00	39.93	20.26	1.97	0.017	65.87	$1/6500$	45.80	1.15	0.70	4.00
lw_4	2.80	5.50	2.00	31.08	18.02	1.72	0.017	64.42	$1/6500$	32.61	1.05	0.70	3.50
lw_5	2.30	5.00	2.00	22.08	15.29	1.44	0.017	62.54	$1/6500$	20.59	0.93	0.70	3.00

根据以上主要工程建筑物及结构尺寸, 并且参考同行业已建工程的投资与估算单价。本工程拟修建坝高 75 m 的拦河坝工程投资额约 15×10^8 元。引水隧洞工程的单位投资约 0.95×10^8 元/km, 长 911 km 的引水隧洞工程所需工程投资约 865.5×10^8 元。修建 le_1 段明渠单位投资约 1400×10^4 元/km, 渠长 255 km; 修建 le_2 段明渠单位投资约 1200×10^4 元/km, 渠长 1300 km; 修建 le_3 段明渠单位投资约 880×10^4 元/km, 渠长 380 km; 修建 lw_1 段明渠单位投资约 1400×10^4 元/km, 渠长 313 km; 修建 lw_2 段明渠单位投资约 1250×10^4 元/km, 渠长 120 km; 修建 lw_3 段明渠单位投资约 1100×10^4 元/km, 渠长 73 km; 修建 lw_4 段明渠单位投资约 950×10^4 元/km, 渠长 82 km; 修建 lw_5 段明渠单位投资约 800×10^4 元/km, 渠长 31 km, 估算修建明渠总金额约 302.3×10^8 元。建设水电站的单位投资约 1.2×10^4 元/kW, 装机 333×10^4 kW 所需的工程投资约 399.6×10^8 元; 其他工程及不可预见费初估 $67.6 \times$

10^8 元。那么, 可以初步估算此次调水工程总投资约 1650×10^8 元。

3 结 论

(1) 此规划方案拟从雅鲁藏布江调水 $70 \times 10^8 m^3$ 至新疆, 规划隧洞长约 911km, 输水渠道总长约 2554 km。

(2) 除输水隧洞外, 其他工程在技术难度上属常规工程, 根据当前国内外 TBM 机施工技术的发展, 结合施工现场的水文、地质条件和现有施工技术, 只要做好相应重大问题的研究与攻关, 修建一条洞径 12.4 m、长 911 km 的超长隧洞在技术上也是可行的。

(3) 调水线路不穿越“三江源自然保护区”和“可可西里自然保护区”等国家级自然保护区, 对流域生态系统影响较小。

(4) 此方案调水水量所占比重小, 并预留有合理的水量给下游。

所以,此方案是一新型的可行性较高的调水方案。

参考文献:

- [1] 侍克斌,岳春芳,何春梅,等. 西部南水西调前期研究——疆外跨流域调水可行性初探[J]. 新疆农业大学学报,2012,35(1):1-6.
- [2] 李波. 新形势下新疆水资源开发利用应对策略研究[J]. 水利规划与设计,2015(9):35-39.
- [3] 罗敏,古丽·加帕尔,郭浩,等. 2000-2013年塔里木河流域生长季NDVI时空变化特征及其影响因素分析[J]. 自然资源学报,2017,32(1):50-63.
- [4] 岳春芳,侍克斌,曹伟. 新疆水资源开发方式的利弊分析[J]. 节水灌溉,2014(7):60-62.
- [5] 邓铭江,周海鹰,徐海量,等. 塔里木河下游生态输水与生态调度研究[J]. 中国科学(技术科学),2016,46(8):864-876.
- [6] 葛晓音. 如何实现塔里木盆地水资源的高效利用[J]. 黑龙江水利科技,2017,45(4):123-124.
- [7] 艾萨江·麦麦提,谢葆. 若羌县水资源合理利用分析[J]. 地下水,2015,37(4):51-52.
- [8] 阿布都热合曼·哈力克,卞正富,瓦哈甫·哈力克. 且末绿洲生态安全及其维护[J]. 干旱区资源与环境,2009,

23(8):14-20.

- [9] 胡雪瑛,武胜利,刘强吉,等. 54年来和田地区潜在蒸散量的变化特征及影响因素[J]. 水土保持研究,2017,24(1):145-150.
- [10] 徐智敏,高尚,崔思源,等. 哈密地区煤田生态脆弱区保水采煤的水文地质基础与实践[J]. 煤炭学报,2017,42(1):80-87.
- [11] 石司宇,田继军,王长江,等. 新疆吐哈盆地页岩气富集条件与有利区预测[J]. 中国地质,2016,43(2):564-574.
- [12] 杨力行,郑祖国,姜卉芳,等. 南水西调初步设想——兼论水资源的高效利用与合理调配[J]. 八一农学院学报,1995,18(1):36-41.
- [13] 杨力行. 新疆可持续大开发中水利建设的战略构想[J]. 新疆社会经济,2000(2):9-13.
- [14] 何建新,刘亮,岳春芳,等. 南水西调——保护青藏高原气候及生态环境的利器[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(4):136-139.
- [15] 王欣,侍克斌,岳春芳,等. 新疆跨区域调水可行性前期研究——怒江调水入疆可行性初探[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(3):138-142+147.

(上接第150页)

- [4] 沈晓娟,陈梅. 洪泽湖防洪决策支持系统的构建[C]//2012中国水文学学术讨论会,2012:661-665.
- [5] 姜腾腾. 面向减灾预案的城市内涝灾害情景模拟与辅助决策支持系统研究[D]. 天津:天津理工大学,2016.
- [6] 叶青. 城市暴雨内涝气象监测预警系统的设计与实现[D]. 西安:电子科技大学,2012.
- [7] 刘恒. 中小型水库防洪减灾预报预警关键技术研究[J]. 人民黄河,2015,37(7):37-40.
- [8] 陈吉江,宋立松,毛洪翔. 基于WebGIS的水域保护监视预警系统[J]. 水电能源科学,2011,29(2):136-139.
- [9] 殷坤龙,张桂荣,龚日祥,等. 基于Web-GIS的浙江省地质灾害实时预警预报系统设计[J]. 水文地质工程地质,2003,30(3):19-23.
- [10] 徐帮树,贾超,王育奎,等. 城市防汛预警决策支持系统研究及应用[J]. 山东大学学报(工学版),2011,41(2):167-172.
- [11] 贾超,徐帮树,韩永军,等. 济南城市防汛预警决策支持系统研究[J]. 中国水利,2010(5):42-44.
- [12] 蒙正杰. 钦江流域洪水预报预警系统研究[D]. 南宁:广西大学,2012.
- [13] 宋阁庆. 基于ArcGIS Server的洪水预报与预警系统设

计研究[D]. 兰州:西北师范大学,2009.

- [14] 王召贤. 山洪灾害监测预报系统的研究与实现[D]. 西安:电子科技大学,2013.
- [15] 王丽君. 基于RIA技术的县级山洪预警WEBGIS发布系统[D]. 长春:吉林大学,2014.
- [16] 衣秀勇,关春曼,果有娜,等. DHI MIKE FLOOD洪水模拟技术应用与研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014.
- [17] 虞邦义,倪晋,杨兴菊,等. 淮河干流浮山至洪泽湖出口段水动力数学模型研究[J]. 水利水电技术,2011,42(8):38-42.
- [18] Smagorinsky J. General Circulation Experiment with Primitive Equations[J]. Monthly Weather Review, 1963, 91(3):99-164.
- [19] 刘光,曾敬文,曾庆丰. WebGIS从基础到开发实践[M]. 北京:清华大学出版社,2015.
- [20] 陈志泊. 数据库原理及应用教程(第3版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.
- [21] 杨丹,宋英华,洪志坤,等. 洪涝灾害数据可视化预警系统研究[J]. 中国安全科学学报,2016,26(5):158-163.