

南水北调西线一期工程研究

吕学军<sup>1,2,3</sup>, 左登华<sup>3</sup>

( 1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 滨州学院, 山东 滨州 256600)

摘 要: 南水北调西线工程是一项非常宏大的水利工程, 工程建设对我国经济发展和社会进步具有十分重要意义。概述了南水北调西线一期工程从论证、超前期规划研究到工程实施的发展过程, 介绍了调水工程区地质条件、主要活动断裂及其组合特征, 分析了可用水量、存在的主要地质问题以及工程建设对环境和社会的影响, 并提出了今后研究应注意的几个问题。  
关键词: 西线一期工程; 研究现状; 地质问题; 可用水量; 影响分析  
中图分类号: TV212. 3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409( 2006) 02-0189-04

Research on the 1st-stage Project of West-line for  
Transferring Water from Southern to Northern China

LV Xue-jun<sup>1,2,3</sup>, ZU O Deng-hua<sup>3</sup>

( 1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;  
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;  
3. Binzhou College, Binzhou, Shandong 256600, China)

**Abstract:** The 1st-stage project of west-line for transferring water from southern to northern China is a huge project, and its construction will play an important role for our country's society and economy development. According to the monograph, papers and thesis, the overall advance of the project from the demonstration to construction, status quo of research on the geological problem, the analysis of the transferable water quantity and the effect of society and economy are reviewed and discussed. Finally, several issues such as debris flow, landslide are raised.  
**Key words:** the 1st-stage project of west-line; status quo of research; geological problem; transferable water quantity; effect analyses

1 引 言

南水北调西线工程的研究始于 1952 年, 黄委会曾于 1958 ~ 1961 年组织了 1 000 多人到西线调水河流地区进行查勘, 研究的调水河流有怒江、澜沧江、金沙江、通天河、大渡河、岷江、涪江、白龙江, 范围约 115 万 km<sup>2</sup>[1]。1987 年国家计委决定开展南水北调西线工程超前期规划研究工作, 黄委会于 1996 年上半年完成《南水北调西线工程规划研究综合报告》。  
1996 年 7 月~ 2001 年 6 月, 开展了 5 年规划阶段的工作, 以雅砻江、大渡河 5 条支流组成的达曲—贾曲联合自流线路先行实施, 后期再实施雅砻江、通天河调水的输水工程<sup>[2]</sup>。  
2000 年 12 月~ 2001 年 2 月初, 水利部南水北调规划设计管理局组织专家分别对《调水量分析》、《环境影响分析》、《调水工程方案》、《地质勘察》、《供水目标及范围分析》、《效益分析》等 6 个专题报告进行评审。  
2001 年 5 月 27 ~ 29 日, 水利部组织专家审查通过了规划报告, 并同意第一期工程及时转入项目建议书阶段的工作。工程规划在思路<sup>[3]</sup>, 体现了由低海拔到高海拔、由小到大、由近及远、由易到难、分期实施、技术可行的观点; 在技术措施上, 工程分三期实施, 第一期工程从雅砻江、大渡河间 5 条支流调水

40 亿 m<sup>3</sup>; , 第二期工程从雅砻江干流调水 50 亿 m<sup>3</sup>, 第三期工程从金沙江调水 80 亿 m<sup>3</sup>, 三期工程共调水 170 亿 m<sup>3</sup>。

2 调水工程区概况

2. 1 调水工程区范围

西线一期工程位于青藏高原东部边缘地带, 引水枢纽在海拔 3 500 m 左右, 由北至南分布于大渡河支流阿柯河、麻尔曲、杜柯河和雅砻江支流色曲、泥曲、达曲上; 输水线路穿过分水岭串连上述支流引水枢纽, 在黄河支流贾曲出流, 工程主要在四川省甘孜、色达、壤塘、阿坝县, 青海省的班玛县和甘肃省的玛曲县境内。

2. 2 调水工程区特点

工程区特点可概括为, 大多处于海拔 3 000 m 以上, 气候寒冷, 含氧量不足, 气压低; 人烟稀少, 每 1 km<sup>2</sup> 2. 4 人, 交通不便, 经济文化处于落后状态, 水资源开发程度较低; 少数民族聚居区, 有其独特的宗教信仰和习俗; 地形上北高南低, 黄河上游河床比相应调水河流河床高 80 ~ 500 m; 地质条件比较复杂<sup>[4]</sup>。

2. 3 供水范围

第一期工程调水 4 亿 m<sup>3</sup>, 主要供给黄河兰州—河口镇

<sup>1</sup> 收稿日期: 2005-03-23  
基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3- SW - 323)  
作者简介: 吕学军 (1967- ), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 现从事泥石流灾害与环境的学习和研究。  
© 1994-2018 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

河段的甘肃、宁夏、内蒙古、陕西北部地区,供水 2 亿 m<sup>3</sup>(其中工业 0.8 亿 m<sup>3</sup>、城镇生活 0.5 亿 m<sup>3</sup>、生态环境 0.7 亿 m<sup>3</sup>);龙门~三门峡河段的关中地区和汾滦河地区,供水 1.0 亿 m<sup>3</sup>; (其中工业 0.6 亿 m<sup>3</sup>、城镇生活 0.4 亿 m<sup>3</sup>);向黄河干流补水 1.0 亿 m<sup>3</sup>;向黄河上中游地区供水。

3 工程区地质条件

3.1 引水枢纽建坝工程地质条件

引水枢纽坝段谷坡中不存在大型贯通性结构面,岸坡整体稳定性好;河床中未发现古河道,不存在深厚覆盖层问题;

表 1 主要引水枢纽建坝工程地质条件

坝址	地层岩性	地质构造及产状	地震烈度	岸坡	河谷形态及宽度/m	河床覆盖层厚度/m	基岩带厚度/m
阿安坝址	T <sub>2g</sub>	背斜 轴向近南北,南西翼 240~260° 20~35° 北东翼 65~85° 18~50°		两岸坡度 30~34° 逆向坡	38~90 “V”形谷	6.11~17.42	
仁达坝址	T <sub>2g</sub>	背斜 轴向约 330°,北东翼 倾向 60~70°; 南西翼 倾向 230~240°,倾角 40~70°		两岸坡度 25~45° 逆向坡	170~350 纵向谷“V”形谷	1.03~5.78	1.5~2.5
上杜柯坝址	T <sub>3by</sub>	褶皱 断层走向 40~50°; 280~290°		坡度小于 岩层倾角	斜向谷	4~17	6.49~15.5
亚尔堂坝址	T <sub>2g</sub>	褶皱 小断层 节理 走向 20~40°;300~330°		逆向坡 岩层倾角大	斜、横向谷“V” 或浅“U”形谷	9.55~20.19	6.53~14.12
克柯坝址	T <sub>2g</sub>	倒转复式背斜 节理		地层倾角 大于坡角	斜向谷 或纵向谷	23	6~10

表 2 调水区主要断裂活动特征

断层编号	断层名称	断层位置	地质地貌待征	最新活动时代	滑动速率/(mm·a <sup>-1</sup> )	现代地震活动
F <sub>2</sub>	玉树断裂	工程区南部外围	谷地、盆地、错断水系、错断 Q <sub>4</sub> 地层	Q <sub>4</sub>	3.3~17(左旋)	M7.0(1896 年) M7.0(1866 年)
F <sub>8</sub>	桑日麻断裂	工程区	内宽 10~20 km 的地震形变带	Q <sub>4</sub>	14.2(左旋)	M7.7(1947 年)
F <sub>9</sub>	鄂陵湖南断裂	工程区北部外围	错断山脊、水系、断层破碎带	Q <sub>4</sub>		
F <sub>10</sub>	甘德南断裂 (白玉断裂)	工程区北部外围	谷地、错断水系、错断 Q <sub>3</sub> 地层	Q <sub>4</sub>	8.1(左旋)	M5.3(1969 年)
F <sub>14</sub>	鲜水河断裂	工程区东南部外围	谷地、错断水系、错断 Q <sub>4</sub> 地层	Q <sub>4</sub>	14.5±2(左旋)	M7.7(1811 年)M7.6(1973 年)

备注:据参考文献[7]修改。

3.2.2 断裂带结构和断裂系统的组合特征

根据卫星影像特征分析和现场考察验证,区内断裂系统具有如下组合特征:(1)区内较大规模断裂的总体延伸方向为 300°~310°;断裂密度最大部位在色达地区附近,向北有减小的趋势;自西南部向东北部,呈现以断裂构造活动为主向以褶皱运动为主的变化趋势,断裂构造的运动强度也存在减弱的趋势。(2)存在一系列 NWW 向延伸的不对称盆地。一般盆地 SW 侧地形不规则,且地势高陡,向 NE 侧地势缓慢抬高;盆地 SW 侧边缘存在倾向 NE 且向 SW 方向逆冲的隐伏断裂,断裂走向与区域构造线方向一致。(3)区内横向沟谷发育,一般呈 SN 向或 NNE 向平行延伸,并与盆地长轴或区域性构造线垂直;在左旋走滑扭动较强的地区,如色达地区,横向沟谷表现出反“S”形扭动弯曲;长度一般在数千米到数十千米<sup>[8]</sup>。这些横向断层可能具有相对破碎而较低法向压力的特点,对未来引水隧洞的围岩稳定性及水文地质条件具有重要影响,需要引起高度重视。

4 主要地质问题

4.1 活动断裂对工程的影响

活动断裂对库区的影响主要表现为水库渗漏和水库诱发地震等问题,调水区断层多为顺河向压扭性,出现顺层和顺断层向坝下游渗漏及绕坝渗漏的问题不十分突出。由水库蓄水引起的地下水水力增量在 0.6~1.2 MPa 之间,且区内

地层岩性均为砂岩夹板岩,出露厚度均在 300 m 以上;岩性属于中等坚硬—坚硬岩类;坝段内均不存在区域性断裂,节理裂隙总体上均不发育,坝段地震烈度除阿安枢纽、仁达枢纽处于度区外,其他为度区。通过对有关文献<sup>[5,6]</sup>的研究和实地考察,得到主要引水枢纽建坝工程地质条件(见表 1)。

3.2 调水区主要活动断裂及其组合特征

3.2.1 主要活动断裂

调水区主要有 15 条区域性活动断裂,其中玉树断裂(F<sub>2</sub>)、桑日麻断裂(F<sub>8</sub>)、鄂陵湖南断裂(F<sub>9</sub>)、甘德南断裂(F<sub>10</sub>)、鲜水河断裂(F<sub>4</sub>)等活动性较强,对工程影响较大<sup>[6]</sup>。

断裂多为岩性软弱的走向蠕滑断层,从此角度看调水区发生水库诱发地震的可能性不大。

活动断裂对隧洞的影响主要表现在由岩体震动引起的破坏(即抗震问题)和由断层活动造成的错动破坏(即抗断问题)。一期工程引水线路区没有傍山洞段,浅埋洞段也很少,大于 300 m 埋深的洞段占 82%,因此隧洞抗震问题影响不大<sup>[9]</sup>。区内断裂近期活动的主要方式是左旋走滑兼有逆冲,这对与断层以较大角度斜交的隧洞(如泥曲—杜柯河段、杜柯河—麻尔曲段)来说可能产生与断层活动强度相当的错动变形,并破坏隧洞的支护,导致隧洞工程失效。另外,在杜柯河—麻尔曲段,洞向与主压应力方向交角较大,可能引起较大围岩应力集中,导致软弱围岩以及宽大断层带的大变形和长期流变;在雅砻江调水区还发育近南北向的甘孜—色达—德昂横向构造<sup>[10]</sup>,它是一种典型的叠加性构造,具有明显的弥散性。

4.2 深埋长隧洞工程地质问题

(1)高地应力及岩爆问题。西线一期调水工程洞体深埋于山体基岩内,上覆岩体厚度大,水压致裂测量和 Kaiser 测量结果表明<sup>[11]</sup>,σ<sub>1</sub> 为 6.0~11.7 MPa,σ<sub>2</sub> 变化在 1.0~6.0 MPa 之间,σ<sub>3</sub> 变化于 0.3~4.3 MPa 之间。应力形变场的线弹性有限元计算表明<sup>[12]</sup>,巴颜喀拉山北坡断裂带上的西玛利多、桑日麻、赛尔根、茶谷寺地段为一构造应力集中区。三个主应力关系表明水平主应力占主导地位,属于构造影响强烈地区。

隧洞的围岩主要为三叠系浅变层砂岩、板岩,为坚硬岩—中等坚硬岩,弱—微风化砂岩抗压强度 60~100 MPa,弱~微风化板岩抗压强度 50~70 MPa,洞线以 III 类围岩为主,断层破碎带和褶皱核部为 IV 类。因此,西线工程的深埋隧洞具备了发生岩爆的工程地质条件。

(2) 高地温问题。据有关资料<sup>[6]</sup>,西线调水区内地温梯度在 18~26 ℃/km,深埋隧洞高程处的地温可达 20~25 ℃,局部地温异常区的洞室围岩温度可达 53~68 ℃。地温梯度的高值区主要分布于清水河、达日—久治、玉树以及甘孜附近的马尼干戈—温拖 4 地区,其平均地温梯度达到 24~26 ℃/km,是调水区中内中高温地下热水的主要泄出区。线路区上杜柯—亚尔堂段、亚尔堂—克柯段就穿越达日—久治高地温梯度区。

(3) 地下水及高压涌水问题。引水洞线区赋存的松散岩类孔隙水、冻结层上水、风化带网状基岩裂隙水等因洞室埋藏深,对围岩稳定影响甚微,影响较大者主要为构造裂隙水<sup>[13]</sup>。断裂带物质往往具有松散和未胶结的特点,断裂带内水量丰富,易于集中渗流,尤其是引水线路地区的某些顺河发育断层,既无法避开,又与地表水有密切的水力联系,地下水源补给充沛。因此,洞室的开挖必将形成地下水富集廊道。

值得注意的是,一期工程引水隧洞高程高于主要河流的河底,隧洞出口附近部分洞段埋深不大,地表为河流源区的沼泽地貌,地表水丰富,在静、动水压作用下,可能出现涌水甚至爆发突水,严重的突涌水可能迫使工程改线甚至使工程无法实施。

(4) 深埋长隧洞技术研究。西线工程深埋长隧洞高寒缺氧,不适合重体力劳动,应尽力减少空气污染,适宜采用 TBM 法施工。一期工程采用双护盾掘进机开挖,通过对施工支洞与通风竖井、施工通风量与通风方式、洞内缺氧问题的研究,工程区需进行分段施工;涌水处理采取排、堵、排堵结合三种措施,对破碎带通常进行超前固结灌浆<sup>[14]</sup>。

从目前研究表明,第一期工程输水线路可能穿越强活断层,活动方式及参数尚待进一步研究。对此初步提出了三种可能的穿越活断层的结构方式,即钢筋混凝土复合衬砌结构、钢管与波纹补偿器复合衬砌和扩大的园形隧洞+U 型输水管槽。

对隧洞施工中发生的高压涌水问题,应视具体情况采取不同的措施。在涌水量不大时,采取排水措施;掘进机逆坡开挖,遇到断层破碎带内水压较高时,可从洞内打排水钻孔,降低洞前方的地下水压;在超前钻探的基础上,如发现有大的涌水地段,可以采用超前纵向灌浆,降低涌水流量,局部少量渗水通过集水井排到洞外。

#### 4.3 库岸稳定问题

根据中国地震震中、地震带分布和震害分区图<sup>[8]</sup>,大渡河与雅砻江中游之间的地区属于青藏高原地震带中的康定—甘孜地震带,玉树—甘孜—炉霍为高地应力区,在玉树附近曾有过 7.5 级的地震(1937-01-07),阿坝附近曾发生过 7.8 级的地震(1947-03-17)。

水库诱发地震问题不容忽视,但是调水区岩性条件和渗透条件等属于非有利因子。综合考虑各种因素并结合工程类比认为,工程区有产生构造型水库地震的可能,地震强度可能达中等强度( $M_s=4.5\sim6.0$ 级)<sup>[6]</sup>有关研究表明<sup>[15]</sup>,库水对岸坡的影响主要表现 3 个方面:(1)水库蓄水,地下水位升高,使不稳定岩土体底部的潜在滑动面浸水软化或泥化,孔隙水压力增大,抗剪强度降低;(2)库水位壅高,原来为阻滑的前缘部位,受库水浮托,降低了阻滑力;(3)库水位迅速回落对库岸岩土体产生拖曳下滑力。

#### 4.4 特殊土问题

调水线路涉及到的特殊土主要为区域性的冻土,具代表性的有东南山地零星岛状冻土带、巴颜喀拉片状冻土带和阿尼玛卿山片状冻土带。明渠引水构筑物主要是衬砌体,遭受冻胀破坏,砌块隆起,错牙滑动,造成整体板块出现裂隙;除常见的冻胀、融沉破坏形式外,不均匀变形将导致建筑物断裂、弯曲、舞龙等现象发生,冰椎、冻胀丘、冰塞和冰墙的出现都将影响工程的正常使用;处于季节或多年冻土区的隧洞进出口,由于工程施工和运行,毁坏植被,改变了冻土的水热平衡条件,将导致洞口部分地段融化深度加大,在含水量变化的情况下,冻胀、热融作用势必增强,可能造成挡墙断裂、墙体外倾、边坡大面积向源滑塌和溯源侵蚀<sup>[6]</sup>。

### 5 可用水量分析

#### 5.1 引水河流水资源特性及引水坝址径流量

##### 5.1.1 引水河流水资源量及其特性

一期工程规划从长江上游的雅砻江、大渡河调水入黄河,受降水特性与流域产汇流条件的影响,两条河径流深从上游向下游呈递增变化,调水工程所在地区单位面积的产水量小于下游。两条河流年际径流变化较小,最大、最小年径流之比为 1.51~3.39。40 年左右径流系列中,出现过 5~8 年连续枯水段。两条河流域径流主要集中在汛期,6~10 月径流量占全年径流量的 74%~82%<sup>[16]</sup>。

##### 5.1.2 引水坝址径流量

雅砻江干流长须坝址上游设立了温坡专用水文站,自 1992 年开始观测;大渡河支流上杜柯坝址和亚尔堂坝址附近分别设立了上杜柯和斑玛两个专用水文站,自 1999 年开始观测。主要引水坝址多年平均径流量见表 3。

表 3 主要引水坝址可调水量		亿 m <sup>3</sup>						
河流	坝址	多年平均	上游	损失	下泄	可供调	可调	可调水量占坝址
		径流量	用水	水量	水量	水量	水量	径流量的比例/%
雅砻江	阿安	11.4	0.2	0.1	1.6	9.5	7	61.4
	仁达	12.7	0.2	0.1	1.6	10.8	8	63.0
大渡河	上杜柯	16.3	0.2	0.1	1.6	14.2	11.5	71.4
	亚尔堂	16.1	0.2	0.2	1.6	14.3	11.5	70.6
	克柯	4.2	0.00	0.0	0.6	3.5	2	47.6

备注:根据参考文献[17]修改。

#### 5.2 坝址上下游用水和引水坝址下泄水量

由于下游河道需要的生态流量量化和时程分布难以确定,考虑到调水对生态环境的影响,并保持坝址下游河段不致断流,在可调水量分析中引水坝址需维持一定的下泄流量,所以生态用水量的确定成为调水的关键问题。吴险峰等针对所研究区域的不同,用河道枯水流量法和 Tennant 法作为参考和验证,并进行了风险分析<sup>[18]</sup>。结果显示用枯水流量法计算调水区下游河道生态环境用水量,更符合调水区的实际情况。研究表明,调水方案风险小,可靠性高,实施多库联合调度后可进一步减少风险,并提出 60% 多年系列的最小月径流量可满足下游河道生态环境用水量的要求。

##### 5.3 引水水库工程规模

在充分发挥输水隧洞作用的情况下,通过计算各水库不同调水量方案相应的引水枢纽调节库容和输水隧洞洞径,根据可调水量与调节库容、洞径关系分析,随着可调水量的增加,各引水水库调节库容和输水隧洞洞径均相应增大,但变化幅度不同,其中隧洞洞径随可调水量的增加增幅较为均匀;而调节库容随可调水量的增加增幅逐渐增大,当可调水量接近可供调水量时,需要的调节库容增大。经综合分析,通过大量方案比较,并考虑尽可能多地下泄水量,提出各引水坝址可调水量占坝址

径流量的比例在 70% 左右比较合适,在此基础上选择达曲—贾曲联合自流方案为西线调水的第一期工程。

综合以上分析,一期工程调水量在 40 亿  $\text{m}^3$  较为合适。

## 6 环境和社会影响分析

### 6.1 对自然生态系统的影响

根据外源性水汽输送建坝后导致的降水量与内源性水汽蒸发导致的降水量之间的关系,筑坝建库后水汽蒸发量增加对局地降水的贡献率约为 0.004 ~ 0.008  $1^{[19]}$ 。建坝后,广阔的水面将使风速加强,预计库区风速将有所增高。由于水库水体具有巨大的热容量,能够对热量起到调节作用,使库区的气温日变幅和年变幅减小。对生物的影响,主要表现在对鱼类区系组成、种群结构等方面。水库蓄水将造成动植物资源的减少;水土流失将更加严重;可能受到影响的珍稀动物有藏羚羊、白唇鹿、盘羊、喜马拉雅旱獭、血雉、白马鸡、蓝马鸡和斑尾榛鸡等。水库蓄水初期,库区或库周的 N、P 等元素进入水体,有可能产生水体富营养化现象。受地表水位大幅度抬升及渗漏影响,库周 1 ~ 20 m 范围内的地下水位升高,从而可能导致库周局部岸段出现沼泽化。对水的污染主要是以有机物为主的面源污染,且不严重。此外,大量施工机械、车辆在运行维修中可能溢漏油料,以及生产废水和生活污水的大量排放,固体废弃物的排放等可能对引水河流造成污染,枯水期影响更大。

### 6.2 对社会环境影响分析

关于淹没指标,第一期工程 5 座水库正常蓄水位的水面面积 54  $\text{km}^2$ ,涉及人口 186 人,淹没草场 12  $\text{km}^2$ ,林地 1  $\text{km}^2$ ,房屋 328 间,简易公路 27 km,寺院 2 座。关于移民,工程区为少数民族聚居区,又多系牧民,信仰宗教、禁忌较多,文化落后,给迁移工作带来一定困难,淹没地区主要涉及阿坝州的色达、壤塘、阿坝等县。关于人群健康,工程施工期间,大量人口流动,尤其是一些“外来人口”将成为急性传染病易感者。

水库建成后,可能造成更多的溪、洼、沼泽等库区水地和参考文献:

丛草地,从而有利于蚊虫孳生和繁殖,扩大蚊虫孳生范围。若调水坝址下游附近有浅切河谷,则可能造成大面积的草地生境旱化,草地趋于逆向演替,产草量下降,使鼠害面积增大。一期工程调水将对大渡河上游段的足木足河及绰斯加河的漂木产生影响<sup>[19]</sup>。

### 6.3 社会效益和经济分析

对受水区而言,通过西线工程调水,可增加灌溉面积,提高土地承载能力,增加粮食产量;促进西北地区矿产资源开发;改善生活环境,提高人民健康水平;缩小东西部差距,将为西北地区的开发建立良好的基础条件。对于调水区而言,随着西线工程的兴建,公路、铁路将联系在一起形成有效的交通运输网络;当地矿产、林木、旅游资源得以开发,增强东西部地区的互补关系;畜牧业、工业、旅游、餐饮业都将有较大的发展;可形成新兴城镇,巩固和促进民族团结,促进少数民族地区文化教育和科技事业的发展<sup>[20]</sup>。根据第一期工程经济效益、损失和费用计算,国民经济主要评价指标为经济净产值 61 亿元,经济效益费用比 1.1,经济内部收益率 13%。第一期工程经济内部收益率大于国家规定的社会折现率 12%,经济净现值大于零,经济效重费用比大于 1<sup>[4]</sup>。

## 7 建议

独特的地质背景条件、陡峻的地形地貌、较强烈的新构造差异性抬升运动和地震活动以及特定的水文气候植被土壤条件,造就了工程区建设的特殊性。因此,仍存在大量问题需要深入研究。例如,水库蓄水必然会因为热容量的增大而改变当地的小气候环境,两岸原来冻结的残坡积层将融化,形成热融滑塌和冻融泥石流而堕入库内,增加了库内淤积,特别是当地下冰被库水冲刷暴露于地表后,其溯源滑塌的危害性更大。建议尽快开展调水区各类地质灾害的普查工作,全面查清调水区内地震灾害的类型、分布特征、危害现状和程度及其对调水工程和引水方案的影响,加强对地震、泥石流、滑坡、冻土等主要地质灾害的预警预报。

- [1] 沈风生,谈英武.南水北调西线工程规划纲要[J].人民黄河,2001,23(10):4-22.
- [2] 谈英武.南水北调西线工程工作的基本思路[J].人民黄河,2001,23(10):6-7.
- [3] 谈英武.抓紧南水北调西线一期工程的前期工作[J].专家论坛,2003,(4):40-41.
- [4] 谈英武.南水北调西线工程进展简况[J].华北水利水电学院学报,2001,22(3):8-11.
- [5] 李金都,陈书涛,张辉,等.南水北调西线第一期工程引水枢纽建坝工程地质条件评价[J].人民黄河,2001,23(10):27-28.
- [6] 黄志全,漆家福,伍法权,等.南水北调西线一期工程的主要工程地质问题[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(3):1-8.
- [7] 李金都,陈书涛.南水北调西线调水区地质条件与关键工程地质问题分析[J].人民黄河,1999,21(2):22-24.
- [8] 吴法权.南水北调西线一期工程区活动断裂及其对工程的影响[J].岩土工程界,2002,5(9):12-13.
- [9] 王学潮,张辉,陈书涛,等.南水北调西线第一期工程地质条件分析[J].人民黄河,2001,23(10):25-26.
- [10] 王学潮,张辉,刘振红,等.南水北调西线工程雅砻江调水区横向构造的地质特征及成因机制[J].水利水电学院学报,1999,20(2):30-35.
- [11] 赵自强,王学潮,随裕红.南水北调西线工程深埋隧洞岩爆与地应力研究[J].水利水电学院学报,2002,23(1):48-50.
- [12] 姜彤,黄志全,赵彦彦.动态权重灰色归类模型在南水北调西线工程岩爆风险评估中的应用[J].岩土力学与工程学报,2004,23(7):1104-1108.
- [13] 王学期,张辉,刘振红,等.西线工程地质灾害初步研究[J].地球科学,中国地质大学学报,2001,26(3):297-303.
- [14] 沈风生,刘新.南水北调西线一期工程深埋长隧洞技术研究[J].建筑机械,2002,(5):39-40.
- [15] 陈书涛,石守亮,秦建甫.南水北调西线工程环境地质问题分析[J].人民黄河,1999,21(10):29-41.
- [16] 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,2001,23(10):11-12.
- [17] 张玫,张玮.南水北调西线工程可调水量分析中几个主要问题的探讨[J].水文,2002,22(4):32-36.
- [18] 吴险峰,刘昌明,杨志峰,等.黄河上游南水北调西线工程可调水量及风险分析[J].自然资源学报,2002,17(1):9-15.
- [19] 丁自鲜,尚宇鸣.南水北调西线工程水环境影响分析[J].人民黄河,2001,23(10):17-18.
- [20] 李庆中.南水北调西线工程对西部开发的社会效益浅析[J].水利经济,2001,(4):39-41.