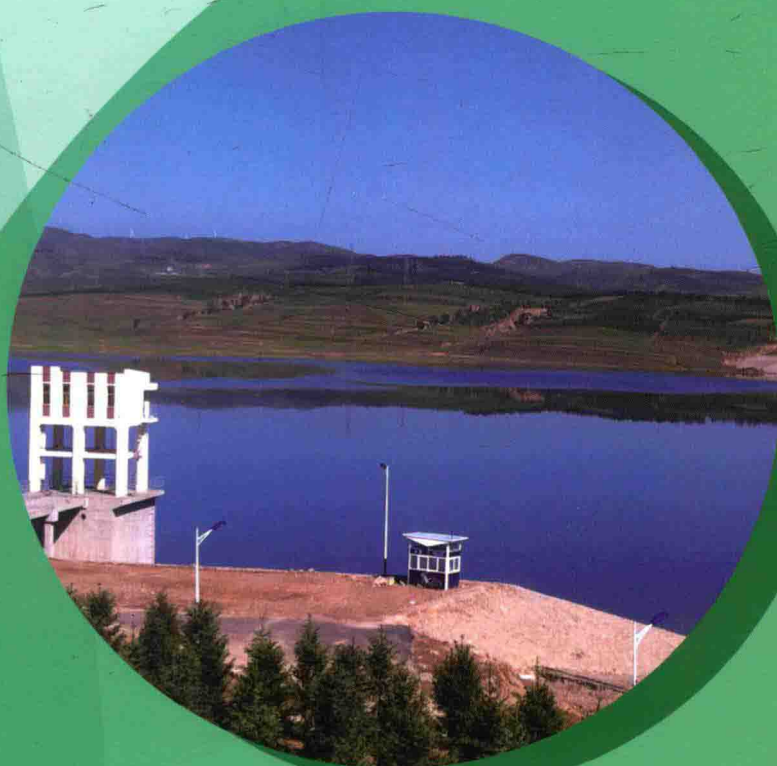


DALIANG SHUIKU SHEJI YU YANJIU

大梁水库设计与研究

隋世军 郭西方 王峰山 郑向晖 著



黄河水利出版社

大梁水库设计与研究

隋世军 郭西方 王峰山 郑向晖 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书主要介绍山西省万家寨引黄入晋工程大梁水库工程概况,并对水库设计及相关问题的研究进行了全面的总结。具体内容包括:大梁水库工程规模研究;大梁水库工程地质问题;大梁水库工程设计(坝型、筑坝材料、沉降湿陷变形分析、渗流稳定分析、基础处理等);黄土动力分析和地震液化研究;坝体反滤及裂缝自愈研究等。黄土地区修建水库工程面临的主要问题包括:黄土作为坝壳和心墙防渗材料的可行性;坝基深厚黄土湿陷和高压缩性造成坝基沉陷变形问题及过大变形带来的裂缝及裂缝自愈设计;坝基 Q₃ 黄土的抗震液化问题;黄土材料适应水位骤降能力等。本书通过对大梁水库工程的设计和研究成果的总结,希望对黄土地区修建类似水库工程的相关问题有参考意义。

本书可供工程领域内从事引调水设计管理的市政、水利、水电等行业的设计技术人员、施工人员、运行管理人员,以及高等院校的研究生及教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

大梁水库设计与研究/隋世军等著. —郑州:黄河水利出版社,2014. 10

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0950 - 2

I. ①大… II. ①隋… III. ①水库设计 - 研究 - 山西省 IV. ①TV632. 25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 237054 号

组稿编辑:简群 电话:0371 - 66026749 E-mail:W_jq001@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:9

字数:208 千字

版次:2014 年 10 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2014 年 10 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

前 言

山西省万家寨引黄入晋工程是从根本上解决山西水资源短缺的大型跨流域调水工程,工程从黄河万家寨水库取水,分别向太原、大同和朔州供水。工程由总干线、南干线、联接段和北干线4部分组成,设计年引水量为12亿 m^3 。引水线路总长441.8 km,其中,总干线44.35 km,南干线101.56 km,联接段139.35 km(其中利用汾河河道输水81.2 km),北干线156.54 km。

大梁水库的勘测设计工作自1984年万家寨引黄工程应急方案可行性研究阶段开始。工程经历立项、开工、暂缓、重新立项、重新开工至2011年10月完工等一系列曲折过程,历时近30年。

水库的运行方式为:10月至次年7月,将引黄水从1[#]隧洞扬入大梁水库,8、9两个月再从水库放入1[#]隧洞。扬水入大梁水库的扬程为142 m。水库大坝为黄土心墙砂砾料混合坝,总库容2 260万 m^3 ,调节库容1 748万 m^3 ,水库设计洪水位1 399.61 m,死水位1 385.00 m。最大坝高26 m,坝轴线长1 145 m。

水库布置方式经历2003年前主要以大梁水库总调和2003年后各分水分区设调节水库方案的充分论证。水库的布置和规模是影响引黄北干线规模及大梁水库决策的关键问题。水库规模从最早的1.02亿 m^3 最终调整为近期的2 260万 m^3 。

水库位于黄土丘陵区,坝基土层为湿陷性黄土,厚度约100 m,坝基表层17 m以下 Q_3 土层土质疏松,孔隙比大,干容重小,具有中等压缩性和中等湿陷性黄土,间夹有高压缩、高湿陷性黄土,建库条件复杂。黄土地区修建水库工程面临的主要问题包括:黄土作为坝壳和心墙防渗材料的可行性;坝基深厚黄土湿陷和高压缩性造成的坝基沉陷变形问题,以及过大变形带来的裂缝和裂缝自愈设计;工程地处Ⅶ度地震区,坝基 Q_3 黄土的抗震液化问题;水库运行存在骤降,黄土材料适应水位骤降能力等。

作者自1999年主持大梁水库设计工作,先后参与完成了水库

规模论证、水库土料、水库防渗、水库大坝湿陷沉降变形、水库地震液化、坝体反滤排水及裂缝自愈等若干问题的设计研究。本书中所收集水库设计及研究过程中的成果仅供参考,希望对黄土地区修建水库工程有参考意义。

另外,由于作者水平有限,书中肯定有不少缺陷。作者提出的一些意见建议只是初步的探索和思考,有待今后完善。本书存在的一些不足之处或错误之处还望读者指正。

作 者

2014 年 5 月

目 录

前 言

第一章 概 述	(1)
第一节 万家寨引黄入晋工程概述	(1)
第二节 大梁水库工程概况	(6)
第二章 工程规模研究	(10)
第一节 水库设置的必要性	(10)
第二节 调节水库比选	(19)
第三章 工程地质及地质问题	(31)
第一节 区域地质概况	(31)
第二节 库区地质	(34)
第三节 坝址工程地质	(41)
第四章 工程设计	(58)
第一节 工程总体布置及设计标准	(58)
第二节 坝型比选	(67)
第三节 坝体设计	(73)
第四节 主坝及坝基沉降变形分析	(86)
第五节 坝基防渗及基础处理	(93)
第五章 黄土动力分析及地震液化研究	(102)
第一节 坝基地震液化问题	(102)
第二节 土层液化的规范判别	(104)
第三节 黄土动力分析及抗震性能研究	(109)
第六章 坝体反滤及裂缝自愈研究	(119)
第一节 概 述	(119)
第二节 反滤试验	(122)
第三节 反滤设计	(131)
第四节 方案选择	(138)

第一章 概述

第一节 万家寨引黄入晋工程概述

一、引黄入晋工程的沿革

山西省地处黄土高原的东部，是我国重要的煤电基地，该区属于“十年九旱”和水土流失严重的地区。全省人均水资源量仅为全国人均占有量的 1/5，是我国严重的缺水地区之一。引黄入晋是从根本上解决山西水资源短缺的大型跨流域调水工程，是促进山西经济社会转型、实现跨越发展、改善生态环境和提高人民群众生活水平的重大战略工程，它寄托着山西人民千百年的夙愿，凝聚了几代人不息的奋斗与追求。

据《汉书·沟洫志》记载，早在汉武帝时期即有引黄入晋的设想。中华民国时期，山西诸多水利专家亦曾三赴现场踏勘“引黄入汾”的线路，并于 1917 年 10 月（中华民国六年）提交了《山西黄水入汾预测报告》。

1958 年，中共中央在成都召开了为期半个月的会议。时任山西省委第一书记的陶鲁笏和北京市委书记刘仁共同向毛泽东主席汇报了引黄入晋济京的设想。毛主席纵论古今，高瞻远瞩地指出：“现在汾河水干了，我们愧对晋民呀。山西出煤，开煤矿发电也都得用水。山西现在缺水，黄河流经山西 1 000 多公里，应该对山西有所贡献，引黄济汾是理所当然的。”也就是从这一年，引黄入晋开始了最初的前期工作，踏上充满艰辛的历程。

20 世纪 60 年代，由于初期的三年困难和不久后开始的“文化大革命”，致使刚刚启动的引黄入晋工程不得不暂时停了下来。

20 世纪 70 年代末，伴随着党的十一届三中全会的召开，引黄工程步入了实质性准备阶段。在充分酝酿、勘测、规划的基础上，1982 年，山西省政府和水电部联合召开山西省水资源评价会。面对山西的缺水状况，与会的 152 名专家、教授深受震动。会议得出了“引黄入晋势在必行”的结论。1984 年，山西省政府和水电部再次共同召开山西省水资源紧缺综合对策讨论会，我国水利权威张光斗教授应邀参加。会议得出了“引黄入晋刻不容缓”的结论。

水利部原部长、全国政协原副主席钱正英在谈到引黄入晋的必要性时指出：“如不解决水的问题，太原市将面临搬迁。”在山西，黄河是水量最大，也是最为稳定可靠的水资源。水利部原部长汪恕诚在考察引黄工程时指出：“从山西来讲，调水的出路就是黄河，没有别的地方可以调水。从战略上讲，随着经济的发展，从黄河调水是山西经济发展的必然出路。”

引黄入晋工程自 1958 年得到毛泽东主席的首肯, 1959 年 1 月中共山西省委成立引黄入晋领导小组并着手谋划, 历经初期酝酿、规划选线、方案论证、评估立项、资金筹措、建设与运营等阶段, 几经曲折, 充满艰辛。历届山西省委、省政府始终高度重视, 截至 2010 年先后有 9 位省级领导担任领导小组组长 (或总指挥), 分别是王谦、王庭栋、贾冲之、白清才、郭裕怀、范堆相、梁滨、胡苏平和刘维佳。

二、引黄工程总体情况

引黄入晋工程由万家寨水利枢纽和引水工程两大部分组成。万家寨水利枢纽作为引黄入晋的龙头水源工程, 主要任务是供水, 兼有发电、防洪、防凌等作用。水库总库容 8.96 亿 m^3 , 年均发电量 27.5 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。1993 年经国家批准立项, 由水利部、山西省、内蒙古 3 方投资兴建, 1998 年首台机组发电。2000 年 6 台机组全部投产发电。

引黄工程从黄河万家寨水库取水, 分别向太原、大同和朔州供水。工程由总干线、南干线、联接段和北干线 4 部分组成, 设计年引水量为 12 亿 m^3 。引水线路总长 441.8 km, 其中, 总干线 44.35 km, 南干线 101.56 km, 联接段 139.35 km (其中利用汾河河道输水 81.2 km), 北干线 156.54 km。

引黄工程原定分两期实施: 一期工程经总干线、南干线及联接段实现向太原年引水 3.2 亿 m^3 ; 二期工程经总干线、北干线, 向朔州、大同年引水 5.6 亿 m^3 和最终实现向太原年引水 6.4 亿 m^3 。

引黄工程总干线、北干线以及万家寨水利枢纽于 1993 年 2 月经国家批准立项。1994 年, 由于太原缺水问题更加紧迫, 由山西省提出并经国家同意, 一期工程向太原供水, 二期工程北干线暂缓建设。1997 年 1 月, 南干线、联接段经国家批准立项。时隔 15 年后, 引黄工程北干线于 2008 年 9 月经国家发改委批准立项。

引黄工程的主要特点: 一是远距离、长隧洞, 隧洞占线路总长的 46%; 二是高扬程, 采用 5 级提水, 累计提水扬程 636 m; 三是利用 TBM 掘进、PCCP 管道输水、自动化控制; 四是引进世界银行贷款, 面向国际招标, 建设管理与国际惯例接轨。

山西省万家寨引黄入晋工程特性表见表 1-1。

三、一期工程概况

一期工程万家寨水利枢纽于 1993 年 5 月 22 日奠基, 1997 年 9 月 1 日引黄总干线、南干线等主体工程开工建设, 2003 年 10 月 26 日投入试运行实现向太原供水, 2005 年 8 月通过了水利部黄河水利委员会和山西省引黄入晋工程领导小组共同组织的初步验收。截至 2011 年 8 月底, 累计向太原市供水 5.85 亿 m^3 , 向汾河输送生态水 2 亿 m^3 , 为促进省城经济社会发展、改善汾河流域生态环境发挥了重要作用。

一期工程主要包括总干线、南干线、联接段的输水线路工程、泵站和输变电系统、全线自动化系统及相应的配套项目。引水线路全长 285.26 km, 主要建筑物包括: 25 条输水隧洞, 共 153 km; 5 座大型泵站 (总扬程 636 m); 1 座调节水库; 11 座渡槽、埋

涵；43 km PCCP 管道。

表 1-1 山西省万家寨引黄入晋工程特性表

工程	序号	项目		单位	数量	工程	序号	项目		单位	数量		
总干线	线路总长			km	441.8	联接段	一	线路总长		km	139.35		
	引水流量			m ³ /s	48		二	引水流量		m ³ /s	20.5		
	年引水量			亿 m ³	12		三	年引水量		亿 m ³	6.4		
	一	线路总长		km	44.35		四	线路	天然河道	km	81.2		
		引水流量		m ³ /s	48				隧洞总长	km	13.52		
		年引水量		亿 m ³	12				PCCP 管线总长	km	42.97		
	二	隧洞总长		km	42.05		五	水库	呼延调蓄水库				
		渡槽总长		km	0.59				总库容	万 m ³	200		
		分水闸		座	1				调蓄库容	万 m ³	200		
					最大坝高				m	34			
	三	四	线路	泵站	座	3	一	线路总长		km	156.54		
				设计总扬程	m	356		二	引水流量（近期/远期）	m ³ /s	11.8/22.2		
				单机流量	m ³ /s	6.45		三	年引水量（近期/远期）	亿 m ³	2.96/5.6		
				总装机台数	台	30		四	线路	隧洞总长	km	43.67	
				总装机容量	MW	305				PCCP 管线总长	km	112.87	
	四	五	泵站	申同嘴水库			五	泵站	平鲁地下泵站	座	1		
				总库容	万 m ³	20.24			设计扬程	m	137		
调蓄库容				万 m ³	14.7	单机流量			m ³ /s	0.88			
南干线	一	线路总长		km	101.56	六			水库	大梁水库	总库容	万 m ³	2 260
		引水流量		m ³ /s	25.8						调蓄库容	万 m ³	1 748
		年引水量		亿 m ³	6.4		最大坝高	m			26		
	二	四	线路	隧洞总长	km		97.42	耿庄水库		总库容	万 m ³	236	
				渡槽总长	km		1.12			调蓄库容	万 m ³	210	
				埋涵总长	km		1.31			最大坝高	m	10.5	
				明渠总长	km		0.44			总库容	万 m ³	1 120	
	三	五	泵站	泵站	座		2	金沙滩水库		调蓄库容	万 m ³	1 005	
				设计总扬程	m		280			最大坝高	m	17.6	
				单机流量	m ³ /s		6.45			墙框堡水库	总库容	万 m ³	218.4
总装机台数	台	12	调蓄库容	万 m ³	195								
总装机容量	MW	144	最大坝高	m	12								

1999 年 5 月，水利部批复引黄一期工程初设概算 124.78 亿元。2001 年 6 月，国家计委将一期工程总投资调整为 103.54 亿元，实际投资可控制在 100 亿元内。资金主要来源为销售煤、电所收取的水资源补偿费以及国债资金（12.9 亿元）、世界银行贷款（3.02 亿美元）。

一期工程 2003 年底投入运行以来，太原市实际年用引黄水量：2004 年为 4 691 万 m³（包括 2003 年 2 个月的水量），2005 年为 6 830 万 m³，2006 年为 7 439 万 m³，2007

年为7 430万 m³，2008 年为7 893 万 m³，2009 年为9 000 万 m³。2010 年，供水运营总体呈向好态势，全年向太原供水 17 354 万 m³，达到已形成供水能力的 54.2%。其中，向工业和城市生活供水 9 142 万 m³，向汾河中下游补充生态水 8 212 万 m³。整个生产运行规范有序，安全稳定。

一期工程因引水距离远、提水扬程高、投入的资金量大，其固定资产折旧与世行贷款还本付息、提水用电电价高等因素的综合作用，导致供水成本较高（单方水成本 2004 年为 8.16 元，2005 年为 6.10 元，2006 年为 5.83 元，2007 年为 4.27 元）。2007 年第 4 季度以来，在山西省委、省政府的高度重视和省、市有关部门的有力支持下，随着一期工程的供水水量增加、供水成本持续下降、供水结构得到调整优化。2007 年 8 月 3 日，山西省政府第 108 次常务会议审议通过了《关于引黄一期工程扩大供水量降低供水成本的意见与建议》，通过采取调整折旧提取方法、降低泵站提水电价、提前偿还世行贷款等 3 项措施，2007 年至 2010 年南干线供水成本逐年下降，其中单方水成本 2007 年为 4.27 元，2010 年为 2.88 元。与此同时，积极推动太原市关井压采，2009 年 7 月 1 日以来，日供水量提高到 25 万 m³。2008 年和 2010 年，2 次向汾河输送生态水，打破了供水结构单一的局面，实现了工程效益与生态效益、社会效益的统筹兼顾、有机结合。

四、北干线工程概况

北干线是引黄入晋工程的重要组成部分，面向大同、朔州两市供水，是为晋北能源基地转型跨越发展提供支撑和保障的重大基础设施。

北干线前期工作于 2003 年 8 月 22 日山西省政府第 9 次常务会议之后重新启动。2003 年底北干线可行性研究报告上报国家发改委和水利部。水利部和中国国际工程咨询公司分别于 2005 年 7 月和 11 月相继提出了审查、评估意见。随着可研审批程序的推进，与之相关的环境影响报告、水土保持方案、建设用地预申请等相继经国家环保总局、水利部、国土资源部等有关部门审查批准。

为使北干线工程更加科学合理，2007 年上半年，山西省政府责成省发改委组织省内外科研设计单位和数十名知名专家，就北干线引水规模、输水方式作了深入研究论证。依据专家论证意见，山西省政府 8 月 3 日第 108 次常务会议议定，北干线在最终引水规模 5.6 亿 m³不变的前提下，工程分两期实施。近期年引水规模为 2.96 亿 m³，其中向大同供水 1.56 亿 m³，向朔州供水 1.4 亿 m³。

按照省政府 108 次常务会议议定的引水规模，在设计单位编制完成《山西省万家寨引黄入晋工程北干线可研补充报告（近期工程实施方案）》的基础上，2007 年 9 月，山西省发改委和水利厅分别将北干线可研补充报告上报国家发改委、水利部。2007 年 11 月，2008 年 3、4 月，可研补充报告相继通过水规总院、水利部、中国国际工程咨询公司审查评估。2008 年 9 月 23 日，国家发改委以发改农经〔2008〕2531 号文正式批准北干线工程立项。

根据国家发改委对北干线可行性研究报告的批复意见，2008 年 10 月 15 ~ 18 日，

山西省发改委组织 17 名国家和省内知名专家对初步设计进行了审查，并于 10 月 22 日以晋发改设计发〔2008〕1131 号文对初步设计作出批复。

北干线近期工程初步设计方案为：在最终年引水总规模 5.6 亿 m^3 不变的前提下，分期实施。近期工程年引水规模为 2.96 亿 m^3 （各供水区供水量为：大同市 17 032 万 m^3 ，怀仁县 3 826 万 m^3 、山阴县 1 823 万 m^3 、朔城区 4 244 万 m^3 、平鲁区 2 651 万 m^3 ）。引水线路全长 156.54 km。主要建筑物有：输水隧洞 1 座，长 43.7 km；PCCP 压力管道 2 段，长 113 km；调节水库 4 座（大梁水库、耿庄水库、金沙滩水库和墙框堡水库），总库容 3 834 万 m^3 ；平鲁地下泵站 1 座，总装机容量 8 500 kW。工程概算投资为 49.65 亿元，工期 4 年。

北干线近期工程 2009 年 2 月 27 日全线全面开工，已于 2011 年 9 月 16 日建成通水。

第二节 大梁水库工程概况

一、水库工程沿革

大梁水库的勘测设计工作随同万家寨引黄入晋工程各阶段相应进行,大量的勘测设计工作自1984年万家寨引黄工程应急方案可行性研究阶段开始。工程经历立项、开工、暂缓、重新立项、重新开工至2011年10月完工等一系列曲折过程,历时27年。

1993年2月经国家批准引黄工程总干线、北干线以及万家寨水利枢纽立项。同年10月20日大梁水库开工,主要进行了坝基基槽开挖、冲沟开挖与回填以及施工临建等工作。1994年,由于太原缺水问题更加紧迫,由山西省提出并经国家同意,将一期工程由原来向大同、朔州供水改为向太原供水,北干线暂缓建设。大梁水库改为先进行主坝坝基基础处理。

1995年7月,水利部天津水利水电勘测设计研究院(以下简称天津院)完成了大梁水库主坝坝基基础处理的标书编制,见《山西省万家寨引黄入晋工程北干线大梁水库主坝坝基基础处理工程北9-1标》(以下简称《大梁水库主坝基础处理标书》),此标书主要包括主坝坝基1375.00 m高程以下深17 m,桩号0+236~1+113.00之间基础开挖与回填、冲沟开挖与回填以及桩号0+298.00~1+023.00间高压喷射灌浆防渗墙等工程。截至1999年9月主要完成包括主坝坝基1375.00 m高程以下深17 m,桩号0+205~1+113.00之间基础开挖与回填、冲沟开挖与回填以及桩号0+298.00~1+023.00间高压喷射灌浆防渗墙等工程。右坝肩混凝土防渗墙及帷幕灌浆留作二期施工。

2003年8月,山西省政府第9次常务会议之后北干线重新启动,大梁水库随之重新启动。2003年底,北干线可行性研究报告上报国家发改委和水利部。

2007年上半年,山西省政府责成省发改委组织省内外科研设计单位和数十名知名专家,就北干线引水规模、输水方式作了深入研究论证。依据专家论证意见,北干线在最终引水规模5.6亿 m^3 不变的前提下,工程分两期实施。近期年引水规模为3亿 m^3 ,其中向大同供水1.6亿 m^3 ,向朔州供水1.4亿 m^3 ,调节水库由大梁独自承担改为由大梁水库、耿庄水库、金沙滩水库和墙框堡水库4座水库承担,总调节库容3834万 m^3 ,其中大梁水库调节库容1748万 m^3 ,总库容2260万 m^3 。

2008年9月,时隔15年后,引黄工程北干线经国家发改委批准立项。

大梁工程于2009年5月开工,合同总工期38个月,大梁水库主要工程量为:土石方开挖155万 m^3 ,土石方回填279万 m^3 。总投资额21500万元。工程已于2011年9月16日建成通水。

二、工程任务和规模

(一) 地理位置

大梁水库是山西省万家寨引黄入晋工程北干线上最重要的一座年调节水库。水库位于山西省朔州市平鲁区井坪镇西北约 3 km 的下称沟谷地内,地处东经 $112^{\circ}14' \sim 112^{\circ}16'$, 北纬 $39^{\circ}31' \sim 39^{\circ}33'$, 坝址距朔州市约 33 km。

(二) 工程任务和规模

由于万家寨水库采用“蓄清排浑”的运行调度方式,为满足水库泥沙冲淤要求,每年 8 月和 9 月排沙期内库水位在 952 ~ 957 m 进行日调节运行,此时库水含沙量较大。为减少引水中含沙水流对水泵机组的磨损,每年 8、9 两个月引黄工程停止从万家寨水库引水,为保证大同、平朔工业及城市生活的用水需求,必须在北干线上修建一座年调节水库。大梁水库的工程任务:保证每年 8、9 两个月停止从万家寨水库引水期间向朔州、山阴、怀仁及大同供水区不间断供水。水库来水由两部分组成,小部分为区域来洪、大部分为北干线每年 10 月至次年 7 月从北干线 1[#]输水隧洞扬水入水库组成。水库大坝为黄土心墙砂砾料混合坝,总库容 2 260 万 m^3 ,调节库容 1 748 万 m^3 ,水库设计洪水位 1 399.61 m,死水位 1 385.00 m。最大坝高 26 m,坝轴线长 1 145 m。工程永久占地 520.7 hm^2 (7 811 亩)。

三、主要建筑物

(一) 工程等级

山西省万家寨引黄工程北干线是解决山西省朔州市和大同市工业及城市生活用水的大型引水工程,是万家寨引黄工程的重要组成部分。根据本工程的任务、规模和《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2000)的规定,确定本工程为二等工程。

大梁水库是北干线的调节水库,依据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2000),水库工程等级为二等,主坝、放水及放空系统等主要建筑物按 2 级建筑物设计。

(二) 主要建筑物

水库主要建筑物由主坝、进水塔、放空洞、库岸护坡及交通桥等建筑物组成。

主坝为黄土心墙砂砾料混合坝,坝轴线采取直线形布置,横跨下称沟谷地,水库设计洪水位 1 399.61 m,主坝坝顶高程 1 401.00 m,防浪墙顶高程 1 402.2 m,最大坝高 26.0 m,坝顶长 1 145 m。

在主坝右岸布置水库放空洞,洞轴线绕主坝右坝头呈 U 形布置。放空洞由进口引渠、进水塔、压力隧洞、出口闸室、消力池、出口放水渠及交通桥组成。进口引渠距主坝上游坝脚约 250 m,出口消能设施位于坝脚下游约 300 m。放空洞最大泄量为 37.46 m^3/s ,水流经消能后沿出口放水渠放至下游洼地。

进口引渠长 236 m,采用复式梯形断面,渠底宽 8.8 m,高程 1 382.00 m。渠道边

坡在 1 402.00 m 以下为 1:6, 以上为 1:3。渠底和边坡均采用 0.4 m 厚浆砌石护砌, 下设 0.2 m 厚砾石垫层。

进水塔: 进水塔位于放空洞和放水洞首部, 钢筋混凝土结构, 进水塔后为埋涵段, 然后接隧洞, 上部由交通桥与岸边连接。

放空洞: 隧洞段长 712.324 m, 由进口埋涵段、洞身段、出口埋涵段组成。进口埋涵段长 23.0 m; 洞身段长 689.324 m, 内径 2.5 m, 纵坡 $i=0.008\ 45$, 包括钢筋混凝土护砌段和钢衬段两部分。其中, 钢筋混凝土砌护段长 578.891 m, 钢衬段长 110.433 m。

出口段: 总长 292.010 m, 包括出水岔管段、渐变段、闸室及消力池段。出水岔管段 9.53 m, 渐变段 6.87 m, 闸室包括闸孔和放水阀室两部分, 底板高程 1 375.00 m, 闸孔尺寸(宽×高)为 2.0 m×2.0 m, 弧形钢闸门, 启闭机室平台高程 1 381.80 m。闸室后接长 50.0 m 的消力池, 消力池为整体 U 形槽钢筋混凝土结构。

明渠段: 全长 574.889 m, 放空埋涵后接浆砌石扭面段 18.990 m, 渠首底高程 1 372.532 m, 标准梯形断面明渠段 555.899 m, 底宽 5.0 m, 底坡 $i=7/1\ 000$, 边坡为 1:2.0。高程 1 378.60 m 以下用 0.4 m 厚浆砌石护砌, 高程 1 378.60 m 以上为 0.3 m 厚浆砌石护坡。1 378.60 m 高程处设 4.5 m 宽的对外交通道路, 沥青路面。

(三) 基础处理

大梁水库主坝建在湿陷性黄土地基上, 坝基地层为深厚黄土, 厚度约 100 m, 浅层 25 m 为非自重湿陷性黄土, 湿陷沉降大; 坝基埋深 25 m 以下 Q_2 土层中的两层砂砾石在库坝区沟谷中均有分布, 属中等—强透水层, 构成库水向下游渗透的主要透水层。坝址区位于Ⅶ度地震区, 坝基黄土存在地震液化问题。主坝左坝肩为一走向近东西的黄土梁崩, 均为黄土覆盖, 山体单薄, 坝体高度变化大, 存在不均匀沉降和绕坝渗漏问题。主坝右坝肩至右岸山体段, 山后为井西煤矿采空区, 坝肩地段地层属不均质多层结构, 缺失 N_2 红黏土隔水层, 库水经 Q_3 、 Q_2 与砂岩、页岩(C_3t)产生绕坝渗漏, 汇入主坝下游或井坪煤矿采空区, 存在不均匀沉降和绕坝及向采空区渗漏问题。

基础处理包括坝基截渗槽开挖回填、高喷墙防渗处理, 左、右坝肩的塑性混凝土防渗墙及右坝肩灌浆帷幕基础处理, 右岸山体帷幕灌浆处理等。

四、主要技术特性

大梁水库主要技术特性见表 1-2。

表 1-2 大梁水库主要技术特性表

	项目	单位	数量
库容	总库容	万 m^3	2 260
	防洪库容	万 m^3	272
	调节库容	万 m^3	1 748
	死库容	万 m^3	240

续表 1-2

	项目	单位	数量
水位	校核洪水位	m	1 399.61
	设计洪水位	m	1 398.45
	正常水位	m	1 398.26
	死水位	m	1 385.00
主坝	坝顶高程	m	1 401.00
	最大坝高	m	26
	坝顶长度	m	1 145.0
放空洞	进口底板顶高程	m	1 382.00
	进口明渠长	m	236
	进口闸长×宽	m×m	12.4×10.0
	进口闸竖井顶高程	m	1 405.50
	进口闸启闭机房底高程	m	1 412.30
	最大放空流量	m ³ /s	37.46
	隧洞段长	m	728.724
	隧洞直径	m	2.5
	出口闸断面	m×m	15.6×17.4
	出口闸底板顶高程	m	1 375.00
	进口埋涵/出口埋涵长	m	23/16.4
	消力池段长	m	50
	出口埋涵段长	m	210
	放空明渠长	m	594
供水管道	供水管道长	m	411
	供水管直径	m	0.8 (钢管壁厚 14 mm)
	预留管道长	m	296

第二章 工程规模研究

大梁水库是引黄北干线上的一座年调节水库，水库的设计历经近 30 年，期间经历若干次技术咨询、论证，规模从最早的 1.02 亿 m^3 最终调整为近期的 2 260 万 m^3 。水库设置的必要性、规模及水库本身存在的问题是影响引黄北干线规模及大梁水库决策的关键问题。

第一节 水库设置的必要性

一、引黄北干线供水区及社会经济概况

(一) 供水区

万家寨引黄入晋工程位于山西省西北部，从黄河万家寨水利枢纽取水，由取水首部总干线、南干线、北干线和联接段等 4 部分组成。引黄工程北干线的工程任务是向平朔、大同能源基地供水，以缓解地区工业和城市生活严重缺水局面。

根据晋北地区流域、水系、水文地质单元等特点以及水资源的自然特性，同时考虑地区经济发展的不均衡性和用水系统的分布、特点，确定大同、平朔煤电基地和怀仁、山阴县城为万家寨引黄工程北干线的供水区，总面积为 5 273 km^2 。

大同供水区的范围包括大同市所辖的城区、矿区、南郊区和新荣区，总面积 2 080 km^2 。

平朔供水区的范围包括朔城区、平鲁区的大部分和山阴县、右玉县的小部分及大同市左云县的小部分，是煤、电工业基地，总面积 3 082 km^2 。

怀仁供水区和山阴供水区的范围均限于已经批复的县城规划区，面积分别为 63 km^2 和 48 km^2 。

(二) 供水区社会经济概况

大同、平朔供水区在山西省经济生活中占有重要地位，该区是重要的煤、电生产基地。煤炭储量丰、煤质优，是优质动力煤、配焦煤和化工原料煤的著名产区。大同二电厂，神头一、二电厂等重点电力生产企业担负着向华北京、津、唐地区的供电任务。其他工业如机械、化工、建材也已发展成门类齐全的生产体系，具有相当规模，已成为仅次于太原的山西省重要的经济中心。但供水区的供水能力远不能满足用水需求，本流域水资源开发利用的程度已经很高，大同供水区的开发利用程度高达 94.2%，平朔供水区也达 61.8%，均为高开发区。

据统计资料分析，2006 年引黄北干线供水区共有城镇人口 165.31 万人，地区生产总值（GDP）达 518.3 亿元，工业总产值 629.2 亿元，工业增加值为 253.2 亿元。

供水区煤炭资源极为丰富，煤炭储量约占全省煤炭储量的 1/5，储量大、煤层浅、煤质优良，是优质的动力煤、配焦煤和化工原料煤，是全省重要的产煤区。2006 年供水区原煤产量达 1.15 亿 t，约占全省原煤产量的 19%，煤炭工业产值占全省煤炭工业产值的 17.9%，区内一批重点煤矿企业生产技术水平已达到国内或国际先进水平，如平朔煤炭工业公司、同煤集团等。

各供水区社会经济情况详见表 2-1。

表 2-1 万家寨引黄北干线供水区 2006 年国民经济指标表

项目	平朔区	大同区	山阴区	怀仁区	合计
城镇人口 (万人)	29.51	116.92	7.22	11.66	165.31
地区生产总值 (亿元)	110.1	335.2	27.8	45.2	518.3
煤炭产量 (万 t)	5 301	6 196	980	403	12 880
电力装机容量 (万 kW)	340.6	364.0	—	—	704.6
工业总产值 (亿元)	203.6	324.8	37.3	63.5	629.2
工业增加值 (亿元)	86.7	138.3	9.5	18.7	253.2

供水区又是华北地区重要的电力生产基地，担负着向京、津、唐地区的供电任务，对首都和全国经济建设具有重要的作用。2005 年电力装机容量达到 704.6 万 kW。重点电力生产企业有神头一电厂、神头二电厂和大同第一、二发电厂等。

除煤、电能源工业外，供水区的其他工业如机械、化工、建材也具有相当规模，已成为山西北部重要的经济中心，对推动山西经济发展具有重要的作用，同时在全国经济建设中具有重要的地位。

根据山西省《全面实施整合战略构建大运经济带》的战略构思，供水区将建设成为全国重要的清洁能源和重型加工产业基地，具有北魏文化特色的旅游经济区和全省重要的乳制品、陶瓷、建材生产基地，并以“城市职能提升和资源型经济转型”为战略发展方向，供水区的经济发展将面临前所未有的发展机遇。

根据供水区内有关市县的国民经济和社会发展“十一五”规划及 2020 年远景规划，在未来，大同、平朔的国民经济将保持快速的增长。工业方面将加强能源工业整体创新，重点实施清洁能源工程，构建多元化支柱产业，大力发展煤炭深加工，形成选煤、型煤、动力配煤的规模化生产，改变以原煤为主的能源输出模式；发展节水型机组和空冷机组为主的电力工业，并开展煤矸石综合利用，大力发展煤矸石电厂。安家岭露天煤矿、平朔三矿、神头二电厂、神头三电厂、大同二电厂二期扩建、神华电厂、大唐发电公司等一大批煤电工业项目将逐步建成并发挥效益。怀仁县将构筑以煤炭、化工、陶瓷和建材工业为主的比较合理的多元支柱产业体系，重点发展洗精煤、陶瓷。山阴县将稳步发展煤炭工业，加快发展以乳制品为主食品工业，大力发展化工和建筑材料工业。总之，北干线供水区将依托利用其自身的优势，在 21 世纪初期社会经济将保持稳定、高速的增长。