

100101011

1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1



自动控制和水力学仿真 在引黄工程中的 科研与实践

赵喜萍 编著 ◀

Z D K Z H S L X F Z Z Y H G C Z D K Y Y S J



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

自动控制和水力学仿真 在引黄工程中的 科研与实践

赵喜萍 编著 ◀



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

引黄工程自动化控制系统是融合计算机控制、通信网络、水力量测、水力学仿真和计算等技术,集水力和电力调度控制为一体的高科技项目,包括:“数据采集和控制(SCADA)、工业电视监测和控制部分、水力量测部分、水力学过渡过程计算及仿真、通信网络五大部分。本书主要介绍了自动控制和水力学仿真在引黄工程中的成功应用。

本书可作为国内大型引水发电工程自动化和仿真设计参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制和水力学仿真在引黄工程中的科研与实践 /
赵喜萍编著. —北京:中国水利水电出版社, 2006
ISBN 7-5084-3955-4

I. 自... II. 赵... III. ①水力发电—自动控制—
应用—黄河—引水—水利工程②水力学—仿真—应用—
黄河—引水—水利工程 IV. TV67

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 083842 号

书 名	自动控制和水力学仿真在引黄工程中的科研与实践
作 者	赵喜萍 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 12.75 印张 248 千字 4 插图
版 次	2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

山西省万家寨引黄工程是一项跨流域引水工程，是国家能源重化工基地可持续发展的生命工程，该工程所处地形非常复杂，沿线建筑物众多，流量大、管道长、扬程高、级间串联、梯级泵站与封闭式输水隧洞相连接、泵站内多台机组并联等。这种复杂系统在国内是唯一的，该项目也是目前国内已建成工程中最大的调水工程。引黄工程使用世行贷款，采用国际性招标，工程建设应用了许多国内外先进的技术和设备，如：TBM掘进、PCCP管输水、高扬程大流量泵组设备及淹没式套筒阀的应用等。尤其更为引人关注的技术亮点——引黄工程的自动控制和水力学仿真。

本书研究阐述的背景立足于引黄工程大型自动化控制和调度运行系统。由于引黄沿线的水工建筑物和机电设备的可调节能力有限，该工程输水要做到安全、可靠、经济运行，5座泵站梯级引水要实现等流量控制以达到流量平衡，对其自动化控制提出了很高的要求。引黄工程自动化系统在国内大型工程自动控制领域里是罕见的，它所具有的挑战性和艰巨性为世人尤其是业内人士所瞩目。它对6座大型水泵站、7座大型取水分水闸、3座大型调节阀站、70多座大型阀门和阀室设备进行监视、控制和调节，对4座水库、452km的隧洞、管道、渡槽等输水建筑物进行监测，并对以

上设备、设施进行有效统一的调度和运行管理。它的实现为保证工程设备和运行人员的安全可靠、减少弃水、经济调水提供有力的保证，为工程实现“无人值班、少人值守”提供了必要的条件。

引黄工程自动化项目从设计招标到实施完成历经7年之久。

本书作者参与并主持了项目全过程，在项目实施和本书编著过程中倾注了大量的心血和智慧，着重介绍了面对这项挑战引黄、挑战传统观念、挑战控制领域的高科技，同时介绍了引黄自动化项目组所攻克了许多国际领域内的技术难关以及项目成功的经验。作为直接参与和领导引黄工程建设的一员，当我得知该项目被国内外专家誉为“国际罕见、国内首创”；当我目睹引黄工程452km沿线的所有机电设备和水工建筑物只需在太原调度中心轻点鼠标，就可自动协调运行，我体会到了什么叫“运筹帷幄，决胜千里”；我深刻领悟到了“科技是第一生产力”的实践效应。

在此，向参与该项目建设、管理、设计、施工、监理的同志们表示崇高的敬意，对所有关心和支持引黄工程建设的各级领导和人民群众表示衷心的感谢！



2006年1月

作者在自动化国际承包商
Invensys 公司工厂验收时的留影



南水北调办公室主任张基
尧参观引黄自动化

与承包商进行商务谈判





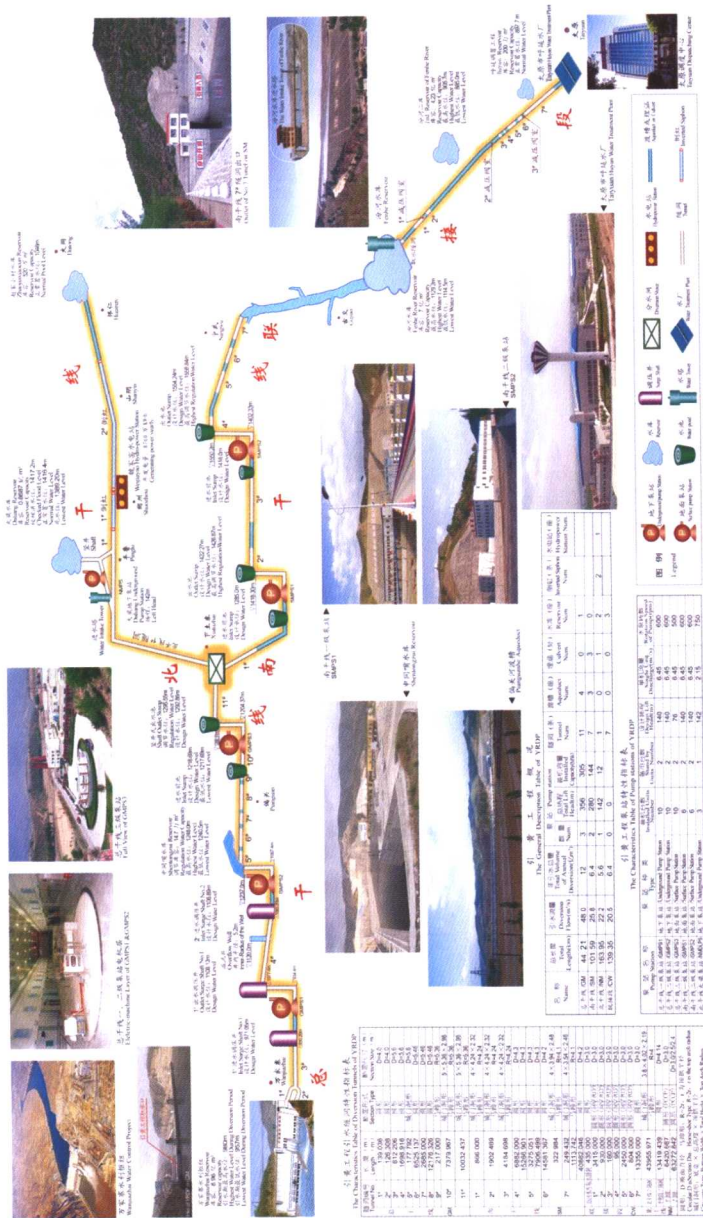
在澳大利亚 Rockwell 公司进行设备出厂验收时与同行在一起



引黄工程自动控制调度大厅

山西省万家寨引黄工程总布置示意图

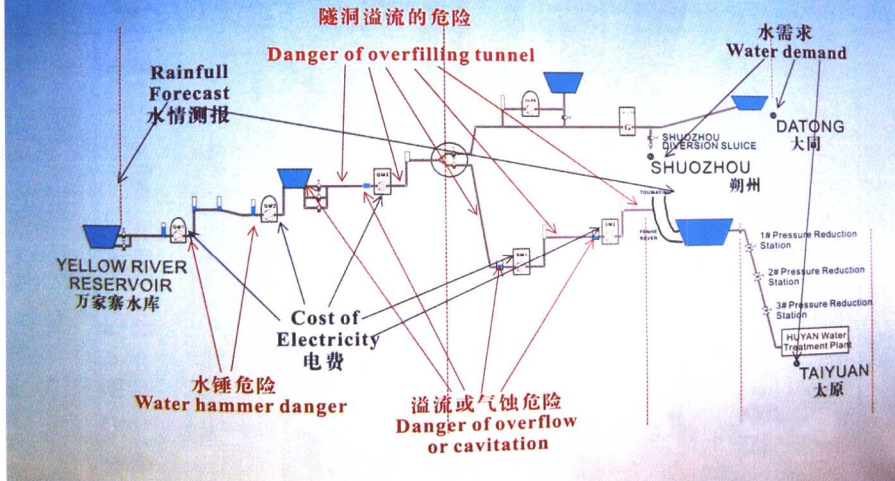
The General Layout Schematic Drawing of YRDP



山西省万家寨引黄工程总布置图

Control and Management Issues

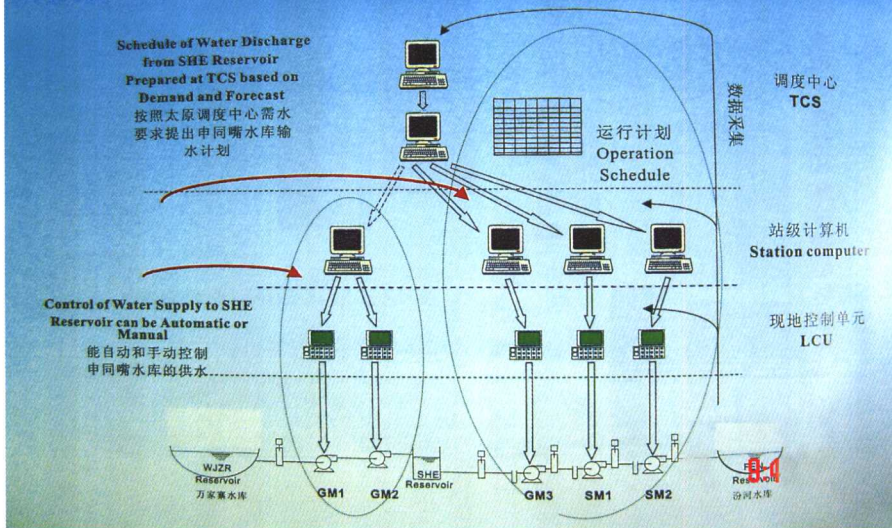
引水系统控制和管理问题



引黄工程控制和管理框图

Modes of Control and Management Functions

控制模式和管理功能



自动化控制模式和管理功能框图

编者的话

引黄工程全线自动化系统是保证系统安全、可靠和经济运行的一种重要手段,是将计算机监视控制技术、网络技术、水力量测技术、计算机仿真技术应用于水利工程的监视、控制和管理,大大提高了水利工程的现代化管理水平,提高了工程运行的可靠性,取得了一定的社会效益和经济效益,具有重要的现实意义。

山西省万家寨引黄工程(YRDP)计算机监控系统是一个复杂的系统,包括多个子系统,这些子系统分布在沿线,主要有:数据采集和控制(SCADA)子系统、水力量测(HMS)子系统、工业电视(ITVS)子系统、通信子系统(CS)、水力学过渡过程计算及仿真(HSS)子系统等。该系统还包括遍布引黄沿线的数据采集设备、控制器、用户操作界面、输入输出(IO)服务器、系统软件及应用软件等。

本书着重阐述了山西省万家寨引黄工程计算机监控系统中自动控制和水力学仿真系统以及其应用,该系统通过预测和控制技术确保了452km的引黄沿线的输水设备安全、可靠、经济运行,同时要保持全线等流量运行,达到流量平衡。太原调度中心(TCS)、泵站级控制单元、现地控制单元(LCU)及联接段这些具有开放的网络环境构成了整个系统的三级控制。整个系统采用UNIX和WINDOWS NT操作系统,保证了系统具备良好的安全性、冗余性和可扩展性,具有一定的推广应用价值。

编者

2006年1月1日

PREFACE

The Computer Supervision and Control System of Shanxi Wanjiashai Yellow River Diversion Project

Computer Supervision and Control System (CSCS) is an important technique to guarantee the safety, reliable and economy of a system. It has important realistic meanings to use the computer control and network techniques which can supervise, control and manage hydraulic projects. It takes various advantages of improving the level of management in hydraulic projects.

CSCS is a complicated system which including several subsystems. These subsystems distribute in a large geography region. The CSCS of Shanxi Wanjiashai Yellow River Diversion Project (YRDP) consists of Supervision Control and Data Acquisition (SCADA), Hydraulic Measurement System (HMS), Industrial Television System (ITVS), Hydraulic Simulation System (HMS), Communication System (CS), Hydraulic simulation and coculation System (HSS) etc. The system also includes the data collect equipment that distribute along the water conveyance line, controller, user interface, IO server etc, system software and application software.

This book is about CSCS of Shanxi Wanjiashai YRDP. The CSCS uses safety, reliable and economy as its basic principia when it works. The main purpose is supervise and control all the equipments to keep flow equilibrium along the 452km water conveyance lines. The Taiyuan Dispatch Center (TCS), Station Computer, Local Control Unit (LCU) and Connection Works, each system has opening environment, makes up the whole CSCS. It uses Unix and Windows NT as its operating system. For high reliability, the system employs redundancy.

Leaderette
Xiping Zhao
January 1, 2006

目 录

序

编者的话

第一章 工程概况	1
第一节 工程背景和概况	1
第二节 工程运行和调度要解决的问题	3
第二章 引黄工程自动化控制系统概况	11
第一节 自动化项目研究的背景和概况	11
第二节 引黄工程自动化控制系统的难点和创新点	13
第三节 自动控制系统的主要任务	15
第四节 自动控制系统的工作内容	16
第三章 系统组成和主要功能	18
第一节 系统的组成和配置	18
第二节 系统主要功能	23
第四章 项目总体设计	27
第一节 监视控制和数据采集系统 (SCADA)	27
第二节 分布式数据采集和处理	28
第三节 工业电视系统	29
第四节 水力量测系统	31
第五节 水力学仿真系统	34
第五章 难点和创新点的解决方案	35
第一节 大型地下串联泵站流量平衡解决方案	35
第二节 非恒定流的控制	41
第三节 多种复杂工况转换的实现	50
第四节 带变速水泵的泵站 GM3、SM1、SM2 控制	52
第五节 联接段高压淹没式套筒阀的控制	66
第六章 水泵的优化和建模	72
第一节 水泵的优化	72
第二节 水泵的建模	76
第三节 水泵优化软件实施	77

第七章 控制预测及水力学仿真	79
第一节 控制预测及水力学仿真的组成及功能	79
第二节 控制预测仿真的调度原则和设计方案	80
第三节 人机界面	85
第八章 系统内各控制模型的设计	88
第一节 总体控制功能模型	88
第二节 GM1 的控制功能模型	89
第三节 GM2 的控制功能模型	90
第四节 GM3 的控制功能模型	91
第五节 SM1 的控制功能模型	92
第六节 SM2 的控制功能模块	93
第七节 输水运行培训工具(仿真器)	93
第九章 工程运用与系统研究成果推广应用	98
第一节 工程运用	98
第二节 工程运用基本原则	109
第三节 经济运行原则	117
第四节 全线充水程序	118
第五节 泵站运行	119
第六节 联接段运行	125
第七节 供电系统基本运行的原则	127
第八节 系统研究的推广应用	129
附录	133
附录 A GM3 水力模型网络	135
附录 B GM3 流量带	135
附录 C GM1/GM2 水泵 HQ 特性	136
附录 D 在 GM3 泵站不投切水泵时申同嘴水库动态平衡流量带	137
附录 E GM3、SM1 和 SM2 泵站流量控制器模块	137
附录 F 申同嘴水库下泄流量控制器模块	138
附录 G 申同嘴水库水量控制放水方式控制器模块	138
附录 H 申同嘴水库下泄流量的仿真逻辑	139
附录 I GM1 和 GM2 流量仿真逻辑	143
附录 J GM3、SM1 和 SM2 流量仿真逻辑	146
附录 K 对 SM1 和 SM2 的 R 比值的估算	149
附录 L 自动控制和水力学仿真功能框图	153

Contents

FOREWORD

PREFACE

CHAPTER 1 PROJECT INTRODUCTION	1
Section 1 Project Background and Overview	1
Section 2 Issues Needed To Be Solved In Project Operation And Dispatching	3
CHAPTER 2 GENERAL OF YELLOW RIVER DIVERSION PROJECT (YRDP)	
AUTOMATION CONTROL SYSTEM	11
Section 1 Background And Overview Of Automation Project Research	11
Section 2 Difficulty And Innovation Of YRDP Automation System	13
Section 3 Main Task Of Automation Control System	15
Section 4 Automation Control System Work Scope	16
CHAPTER 3 SYSTEM COMPOSITION AND MAIN FUNCTION	18
Section 1 System Composition And Configuration	18
Section 2 System Main Function	23
CHAPTER 4 PROJECT GENERAL DESIGN	27
Section 1 Supervisory Control And Data Acquisition System (SCADA)	27
Section 2 Distributed Data Acquisition And Processing	28
Section 3 Industry Television System	29
Section 4 Hydraulics Measuring System	31
Section 5 hydraulics Simulation System	34
CHAPTER 5 RESOLUTION FOR DIFFICULTY AND INNOVATION	35
Section 1 Flow Equilibrium Resolution For Large - Scale	
Unground Multilevel Pump Station	35
Section 2 Turbulence Flow Control	41
Section 3 Complicated Condition Changeover Implementation	50
Section 4 Control Of Pump Station GM3, SM1, SM2 With Velocity - Variable Pump	52
Section 5 Control Of Connection Works High - Pressure Submerge Sleeve Valve	66
CHAPTER 6 PUMP OPTIMIZATION AND MODELING	72
Section 1 Pump Optimization	72
Section 2 Pump Modeling	76
Section 3 Implementation Of Pump Optimization Software	77

CHAPTER 7	CONTROL FORECAST AND HADRAULICS SIMULATION	79
Section 1	Composition And Function Of Control Forecast And Hadraulics Simulation	79
Section 2	Dispatching Principle And Design Resolution Of Control Forecast Simulation	80
Section 3	Human Machine Interface	85
CHAPTER 8	CONTROL MODEL DESIGN INSIDE OF SYSTEM	88
Section 1	Gernal Control Function Model	88
Section 2	GM1 Control Function Model	89
Section 3	GM2 Control Function Model	90
section 4	GM3 Control Function Model	91
Section 5	SM1 Control Function Model	92
Section 6	SM2 Control Function Model	93
Section 7	Water Conveyance Opreation Training Tool (Simulator)	93
CHAPTER 9	GENERALIZATION APPLICATION OF PROJECT APPLICA- TION AND SYSTEM RESEARCH PRODUCTION	98
Section 1	Project Applicaiton	98
Section 2	Foundational Principle For Project Operation	109
Section 3	Principle Of Econormical Operation	117
Section 4	Water Filling Procedure Of Conveyance System	118
Section 5	Pump Station Operation	119
Section 6	Connection Works Operation	125
Section 7	Foundatinal Principle For Power - Supply System Operation	127
Section 8	Generalization Application Of System Research	129
APPENDIXS		133
Appendix A	GM3 Hydralic Model Network	135
Appendix B	GM3 Flowrate Band	135
Appendix C	GM1 /GM2 Pump HQ Feature Curve	136
Appendix D	SHE Reservoir Dynamic Balance Flowrate Band When No Pump Running in GM3	137
Appendix E	GM3, SM1 And SM2 Pump Station Flowrate Controller Module	137
Appendix F	SHE Reservoir Discharge Flowrate Controller Module	138
Appendix G	SHE Reservoir Water Volume Control And Discharge Mode Controller Module	138
Appendix H	SHE Reservoir Discharge Flowrate Simulation Logic	139
Appendix I	GM1 & GM2 Flowrate Simulation Logic	143
Appendix J	GM3, SM1 And SM2 Flowrate Simulation Logic	146
Appendix K	Estimation Of Ratio R In SM1 And SM2	149
Appendix L	Frame Of Automation Control And Hydraulics Simulation Function	153

第一章 工程概况

第一节 工程背景和概况

随着人口的骤增,工业化的发展以及全球气候的变化,水荒成为一个国际化的问题,中国也不例外。尤其在中国的中北部、西北部,这一问题更为严重。山西省地处中国中北部与西北部的过渡地带,是中国水资源最缺少的省份之一。

山西省是中国重要的能源重化工基地,煤炭、电力、化工产品、钢铁产量占全国重要地位。山西省水资源相对贫乏,人均水资源拥有量为黄河流域最低的省份。山西省中北部的太原、大同、朔州三地区缺水更为严重。严重缺水造成地下水严重超采、居民生活用水紧张、标准降低、生活质量差,这些都严重制约着当地的煤炭、电力等能源和化工工业的发展,由此而制约着该地区以致全国的国民经济的发展。

为了解决太原、大同和朔州严重缺水的问题,中国有关部门从 20 世纪 50 年代就开始进行黄河调水的研究和筹划。该项目包括黄河万家寨水库、引水工程、泵站机电设备、调度及控制系统、通信设施等,总投资约 103 亿元人民币,拟每年向上述三地区输水 12 亿 m^3 。世界银行对该项目的评估报告中指出:“没有本工程,经济增长肯定是缓慢的,项目区的综合经济下降的可能性是很大的。由于当前项目区缺水量占估计需水的 40%,缺水增加迅速,加之地下水和地面水供水下降,不修建该工程将会造成经济、社会和环境灾难。”如果发生这样的情况,影响的不仅是供水区和山西省,还由于影响煤炭、电力的能源输出将对全国产生影响。由此可以看出修建该工程的重大意义。工程位置如图 1-1 所示。

山西省万家寨引黄工程是目前国内已建工程中最大的大型封闭式输水工程,位于山西省西北部,从黄河万家寨水库取水,分别向太原、大同和朔州三个能源基地供水以解决其缺水危机,该工程引水线路总长约 452km,其中包括总干线、南干线、联接段和北干线四个部分。工程分为两期建设,第一期工程完成总干线、南干线和联接段,把水引到太原;第二期工程将完成北干线土建工程及所有余下机电设备的安装。

一、总干线 (GM)

总干线从万家寨水库取水,主要通过隧道引至位于下土寨村的分水点,长

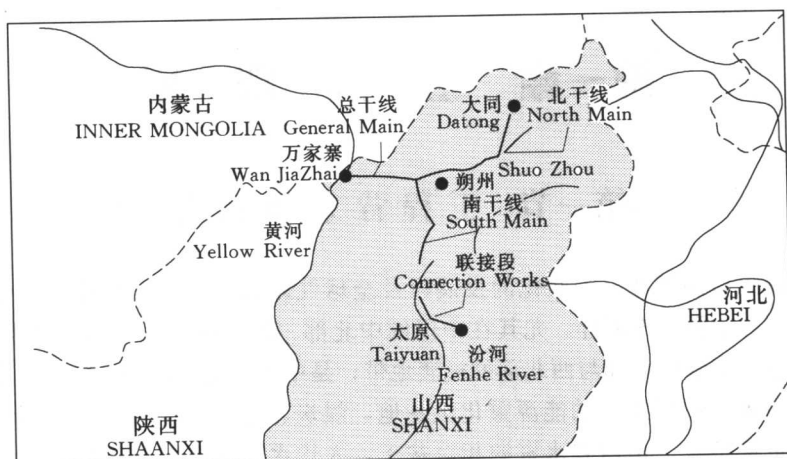


图 1-1 工程位置图

约 44km, 包括 3 个泵站 (GM1, GM2, GM3) 以及申同嘴水库, 引水流量为 $48 \text{ m}^3/\text{s}$, 规划每年引水量为 12 亿 m^3 。

总干线一级泵站 (GM1) 为地下厂房, 第一期工程将安装 3 台定速机组, 到第二期将增至 10 台定速机组, 其中 8 台运行, 2 台备用。GM1 设计扬程 140m 时, 单机流量约 $6.45 \text{ m}^3/\text{s}$, 单机容量 12MW。

总干线二级泵站 (GM2) 也为地下厂房, 其装机台数、机型和设计扬程同一级泵站。总干线二级泵站出水调压井直接入申同嘴日调节水库, 水库运行水位 1240.5~1248m, 水库调蓄库容 15 万 m^3 。申同嘴水库的出口设有 3 个弧形闸门和 2 个流量调节阀。

总干线三级泵站 (GM3) 为地面厂房, 第一期工程安装 3 台变速机组, 到第二期将装机 10 台, 其中 4 台变速机组、6 台定速机组, 8 台运行、2 台备用。4 台变频器用于变速机组的转速调节, 变速运行频率为 45~50Hz。设计扬程 76m 时, 单机流量 $6.45 \text{ m}^3/\text{s}$, 单机容量 6.5MW。

二、南干线 (SM)

南干线自分水点向南, 经偏关、平鲁、朔州、神池到头马营进入位于宁武县的汾河, 长约 102km。南干线包括 2 个泵站 (SM1, SM2), 引水流量为 $25.8 \text{ m}^3/\text{s}$, 规划每年引水量为 6.4 亿 m^3 。引水经头马营流出后, 将进入汾河天然河段。

南干线一级泵站 (SM1) 为地面厂房, 第一期工程安装 1 台定速机组, 2 台变速机组, 其中 1 台备用; 到第二期工程, 水泵将增至 6 台, 其中 4 台定速