

南水北调东线穿黄河 工程建设理论与实践

● 罗辉 傅题善 陈瑛 王有志 等 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

南水北调东线穿黄河 工程建设理论与实践

罗辉 傅题善 陈瑛 王有志 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是对南水北调东线穿黄河工程建设理论及实践的系统集成,共分工程设计与优化、建设管理模式与风险控制、关键施工技术与新材料、安全监测与运行管理技术四篇。本书系统介绍了穿黄河工程关键建筑物的设计方案、计算分析模型和基于多目标遗传算法的埋涵结构优化技术;穿黄河工程建设管理体制与风险管理体系;施工组织及大体积混凝土、隧洞、基坑开挖降水施工技术和工艺;机制砂高性能混凝土在穿黄河工程中的应用;穿黄河工程调度运行管理、运行管理信息化系统;主要建筑物的施工与运行安全监测系统。

本书可供水利工程设计、施工、检测、管理及其他人员使用,也可供大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

南水北调东线穿黄河工程建设理论与实践 / 罗辉等
编著. — 北京:中国水利水电出版社, 2017.1
ISBN 978-7-5170-5176-3

I. ①南… II. ①罗… III. ①南水北调—水利工程
IV. ①TV68

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第027120号

书 名	南水北调东线穿黄河工程建设理论与实践 NANSHUIBEIDIAO DONGXIAN CHUAN HUANG HE GONGCHENG JIANSHE LILUN YU SHIJIAN
作 者	罗辉 傅题善 陈瑛 王有志 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京九州迅驰传媒文化有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 39.5印张 937千字
版 次	2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷
定 价	128.00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

《南水北调东线穿黄河工程建设理论与实践》

编写人员名单

主 编 罗 辉 傅题善 陈 瑛 王有志

参加编写人员 赵 超 祝令德 陆经纬 顾红鹰

王淑澎 李光锋 孟繁义 张铭锋

余新启 蔚文涛 马 涛 陈 魁

孙婷婷 陈俊生 洒荣民 张海涛

徐 军 温定煜 崔玉静 王晓燕

南水北调工程是解决我国北方水资源严重短缺问题的重大战略举措，也是关系到我国经济社会可持续发展的特大型基础设施。从20世纪50年代初提出“南水北调”的设想，经过近半个世纪的前期工作，对东线、中线、西线的调水水源、调水线路和供水范围等进行了广泛深入的研究论证，形成了南水北调东线、中线、西线与长江、黄河、淮河和海河四大江河相互连接的“四横三纵”的工程总体布局。穿黄河工程是南水北调东线的关键控制性项目，也是长江水北调的咽喉工程。工程建设目标是打通东线穿黄河隧洞，连接东平湖和鲁北输水干线，调引长江水至鲁北地区，并达到向冀东、天津应急供水的条件。该工程技术难度大、施工条件复杂、施工工期较长、风险程度较高。穿黄河工程能否如期建成决定了东线工程的成败和能否按期通水。对此，水利部从1973年就开始组织对东线调水过黄河的方式、位置进行研究，提出在河床底部开挖一条穿黄探洞，以查明穿黄枢纽处河床的工程地质及水文地质条件。探洞建设由中水北方勘测设计研究有限公司负责设计，由中国水利水电第五工程局承包施工，勘探试验洞自1985年6月开工，1988年1月底完工。

2007年12月28日，东线穿黄河工程正式开工建设。为确保工程顺利实施，国务院南水北调工程建设委员会办公室和山东省政府高度重视，成立了山东省南水北调工程建设管理局，并组建了南水北调东线山东干线有限责任公司负责山东省工程的建设管理工作。穿黄河工程作为山东干线的关键节点，组建了专门建设管理机构，配备了强有力的管理人员，形成了以时任山东省南水北调局局长助理、总工程师罗辉为首的现场工作班子。他们面对穿黄河工程建设这一艰巨任务，积极主动作为，科学统筹谋划。通过深度优化工程设计、探索现场建设管理模式、引入风险控制等先进管理理念，研发并应用众多创新技术成果，包括人工机制砂高性能混凝土新材料、大型机械化渠道衬砌机等施工新设备、滩地埋管混凝土底拱钢模台车等施工工艺、穿黄隧洞施工技术，做到主体工程与通信工程、水土保持与环境景观、现地管理设

施与备用调度中心设施等有机结合，取得了丰硕成果和良好的经济效益，较好地实现了穿黄河工程建设的进度、质量、安全、投资控制目标。我作为时任山东省南水北调负责人，对这项工程取得的显著成效由衷高兴，并对为记录穿黄河工程建设历史的本书顺利出版表示祝贺！



2016年9月12日

南水北调东线穿黄河工程是南水北调东线工程从东平湖至黄河以北输水干渠的重要枢纽工程，全长 7.87km，是南水北调东线的关键控制性项目。

穿黄河工程建筑物类型多，主要包括穿黄隧洞、滩地埋管（涵）、水闸（出湖闸、滩地埋管进口检修闸、隧洞出口闸、埋涵出口闸）、渠道（出湖闸前疏挖段、南干渠）等，工程先后穿过东平湖大堤、黄河南北大堤、黄河主槽和位山引黄东西渠道。工程投资较大、建设周期较长，对安全性及经济性要求高，一旦出现问题，将给国家财产和人民群众生命安全带来巨大的损失。

穿黄河工程地质和施工条件复杂，技术难度高，工程建设涉及南干渠渠道防渗、防冻、防扬压以及衬砌混凝土面板施工质量控制；滩地埋管深层降水、施工开挖边坡稳定、大体积混凝土施工与防裂；隧洞施工中堵水、排水、防坍塌及大堤安全。这些关键因素和控制环节如处理不当将直接决定工程的成败。在工程建成后，如何实现有效运行管理，最大限度地发挥工程效益，也是摆在工程建设管理者面前的一个重要课题。

鉴于此，建设者们在穿黄河工程设计与优化、建设管理模式与风险控制、施工技术与新材料、安全监测与运行管理技术等方面展开了探索，同时进行了深入研究和工程实践，取得了许多重要成果：一是对穿黄河工程闸前疏浚段、出湖闸、南干渠、滩地埋管进行了深度设计优化，从而减少了征地和工程造价，使建筑物结构更加科学合理；二是针对工程施工复杂、安全风险隐患多的特点，开展了综合风险科学化管理，通过对投资、规划、设计、施工和运行阶段进行风险识别、风险评价、风险管理，并制定科学合理的风险防范措施，使穿黄河工程建设风险事故的发生概率大大降低；三是发明了多种新的施工技术、工艺和设备，在水利工程领域开创性地成功使用了机制砂高性能混凝土材料，克服了施工中遇到的技术难题；四是对各项建筑物的施工、运行进行了全过程安全监测，从而为施工提供及时准确的反馈信息和工作参数、跟踪修改施工开挖方案、调整隧洞支护参数提供依据，并为工程调度运行管理提供可靠的有用信息。

本书的主要目的是总结在穿黄河工程建设理论和工程实践方面的成功经验。全书系统介绍了工程建设在设计、管理、施工和安全监测的四大环节所用的关键技术和主要方法，分工程设计与优化、建设管理模式与风险控制、关键施工技术与新材料、安全监测与运行管理技术四篇。

第一篇介绍了穿黄河工程关键建筑物的结构设计和结构优化理论与实践。除了介绍必要的基本理论外，重点阐述了基于比选方案的穿黄河工程初步设计；穿黄河工程典型建筑物（干渠、隧洞、水闸）的型式选择、设计计算方法、计算公式、各种设计参数的采用、结构构造做法；基于多目标遗传算法和有限元分析的埋涵结构优化；基于实际应力状态的土质边坡稳定分析和优化；穿黄隧洞的有限元计算模型；穿黄河工程地基液化的判别和处理方法。穿黄河工程结构优化设计利用先进的优化软件平台，为建筑物结构设计提供了一条新的设计途径，值得推广。

第二篇介绍了穿黄河工程建设管理模式与风险控制理论与实践。系统介绍了穿黄河工程建设管理体制；风险管理体系与组织；工程风险管理的种类、目标、原则和评估方法，设计、施工、运行阶段风险管理的一般要求；分别给出了几个风险控制对象（投资、招投标和合同、穿黄隧洞、埋涵、南干渠、穿黄河工程运行）的风险控制技术，提出了层次分析法评价模型以及整个穿黄河工程总风险的模糊综合评价模型；穿黄河工程风险分配与转移，建立了风险分配模型，并采用风险规避策略，通过工程保险和保证书等方式分配和转移风险。

第三篇介绍了穿黄河工程主要建筑物的关键施工技术与新材料。内容包括穿黄河工程施工总布置和要求、施工组织技术管理、机制砂高性能混凝土在穿黄河工程中的应用、滩地埋管、隧洞大体积混凝土工程、穿黄隧洞施工关键技术、滩地埋管开挖降水、温度应力、隧洞施工的仿真分析。

第四篇介绍了穿黄河工程安全监测与运行管理技术。重点介绍了穿黄河工程调度运行管理；运行管理信息化系统；穿黄河工程主要建筑物（隧洞、水闸、管涵、南干渠）的施工与运行安全监测系统，包括监测仪器选型与埋设方法、监测频率、安全监测警戒值的确定、数据处理方法；调度运用管理，包括试通水方式、试运行通水管理组织机构、闸门运用方案、突发事件及应急调度预案；建筑物和设备的管理与维护方法，包括设备运行管理、运行期应急抢修方案。

穿黄河工程在设计、施工、管理各阶段始终体现了精心组织、精细管理、科学统筹的管理理念，采用的相关新技术、新材料、新工艺、新方法力求先

进和实用，并注重环境生态和社会经济效益。实践表明，工程建设实现了进度、质量、投资、安全的预定目标；工程初期运行安全稳定。穿黄河工程的有关做法和经验可为其他类似工程提供必要借鉴和参考。

本书反映了当前水利工程建设的新理念、新技术、新进展，为水利工程技术人员提供了一本实用的参考书。希望通过阅读本书，使读者感受到穿黄河工程的巨大魅力和潜力，体验到穿黄河工程的技术难度，看到南水北调工程建设者攻坚克难、无私奉献的风采。

由于成书时间短、作者水平所限，本书内容难免有不足甚至错误之处，敬请读者提出宝贵意见。

作者

2016年8月8日

目录

MULU

序
前言

第一篇 工程设计与优化

第1章 绪论	3
1.1 南水北调东线穿黄河工程概况	3
1.2 工程等别与设计标准	4
1.3 工程规模	4
1.4 工程总体布置	4
1.5 工程特性	6
1.6 水文、气象及工程地质	7
1.7 穿黄工程建设组织实施概况	8
第2章 穿黄工程设计要素	13
2.1 工程设计优化的意义	13
2.2 穿黄工程设计优化缘由	13
2.3 穿黄工程设计解决的难题	14
第3章 穿黄工程基于方案比选法的初步设计	17
3.1 基于方案比选法的初步设计	17
3.2 工程规模的确定	18
3.3 水头优化分配和工程投资比较	19
3.4 主要建筑物型式选择	24
3.5 总结	30
第4章 基于多目标遗传算法的埋涵结构优化	31
4.1 埋涵结构优化目的	31
4.2 钢筋混凝土埋涵结构优化概述	31
4.3 滩地埋管工程地质条件和主要地质问题	33
4.4 滩地埋管结构布置	35
4.5 初步设计阶段的滩地埋管荷载-结构法力学分析	38
4.6 基于流固耦合分析的滩地埋管参数化模型	41
4.7 基于多目标遗传算法的滩地埋管优化设计	55

4.8	滩地埋管设计	65
4.9	总结	67
第5章	穿黄工程南干渠设计	68
5.1	南干渠设计概况	68
5.2	南干渠工程地质条件和主要地质问题	68
5.3	渠道堤防设计	69
5.4	南干渠边坡稳定分析	70
5.5	防扬压设计	108
5.6	防冻胀设计研究	114
5.7	渠道防渗衬砌设计	118
5.8	闸前疏浚段优化设计	122
5.9	总结	126
第6章	穿黄隧洞结构设计	128
6.1	隧洞概况	128
6.2	工程地质条件	130
6.3	隧洞结构设计依据	131
6.4	穿黄隧洞衬砌结构三维有限元计算模型	131
6.5	隧洞结构设计	138
6.6	隧洞进、出口埋管	140
6.7	总结	141
第7章	穿黄工程水闸结构设计	142
7.1	水闸设计步骤	142
7.2	水闸抗震分析	143
7.3	出湖闸设计	148
7.4	进口检修闸设计	162
7.5	总结	166
第8章	穿黄工程地基液化判别与处理	167
8.1	工程液化判别与处理的原因	167
8.2	液化判别方法	167
8.3	液化地基处理技术	171
8.4	地基土地震液化判别	178
8.5	穿黄工程地基处理	184

第二篇 建设管理模式与风险控制

第9章	穿黄工程风险管理概论	189
9.1	穿黄工程建设管理风险控制存在的问题	189
9.2	穿黄工程建设管理风险评估的意义	190

第 10 章	穿黄工程建设管理模式	192
10.1	我国南水北调工程建设项目管理体制现状及存在问题	192
10.2	山东省南水北调工程建设项目管理现状与存在问题	193
10.3	引入代建制建设管理模式	194
第 11 章	穿黄工程风险管理组织体系架构	197
11.1	工程风险管理过程	197
11.2	穿黄工程风险种类	198
11.3	穿黄工程风险管理的目标和原则	198
11.4	穿黄工程风险管理阶段划分	199
11.5	风险评估理论方法	200
11.6	工程安全等级的确定	201
11.7	风险评估一般要求	204
11.8	工程规划阶段风险控制一般要求	209
11.9	设计阶段风险控制一般要求	211
11.10	施工阶段风险控制一般要求	213
11.11	运行阶段风险控制一般要求	221
11.12	穿黄工程风险管理组织机构及工作程序	221
第 12 章	穿黄工程业主成本控制与合同风险管理	225
12.1	业主成本风险特点	225
12.2	穿黄工程投资来源	226
12.3	成本风险源与风险事件	226
12.4	风险概率判断	227
12.5	风险层次总排序	227
12.6	风险评价	228
12.7	成本风险控制	228
12.8	穿黄工程价款结算与工程概算执行情况	231
第 13 章	穿黄工程招标和合同中业主风险管理	232
13.1	招标中的业主风险辨识	232
13.2	施工合同中的业主风险	234
13.3	项目招标业主风险控制	235
13.4	合同风险控制	243
13.5	评估流程	247
13.6	各阶段风险分析	247
13.7	风险评价	251
13.8	风险处理措施和对策	256
第 14 章	穿黄工程控制性建筑物风险管理	259
14.1	隧洞风险管理	259
14.2	埋涵风险管理	271

14.3	南干渠风险管理	279
第 15 章	穿黄工程运行风险管理	287
15.1	风险源	287
15.2	风险评价	288
15.3	风险分析	290
15.4	风险控制	290
第 16 章	穿黄工程风险分配与转移	293
16.1	风险规避策略	293
16.2	穿黄工程风险分配模型	297
16.3	穿黄工程保险	297
16.4	通过保证书转移风险	303

第三篇 关键施工技术与新材料

第 17 章	穿黄工程施工总布置和要求	307
17.1	工程施工外界条件	307
17.2	工程施工要素和控制要求	308
17.3	施工总布置	308
17.4	施工总进度	313
17.5	目标实现情况	319
第 18 章	穿黄工程施工组织技术管理	321
18.1	穿黄工程施工组织管理特点	321
18.2	原材料组织管理	322
18.3	其他施工组织管理工作	329
第 19 章	机制砂高性能混凝土在穿黄工程中的应用	331
19.1	穿黄工程采用机制砂高性能混凝土的必要性	331
19.2	机制砂生产工艺和技术指标控制	331
19.3	滩地埋管高性能机制砂混凝土配合比	335
19.4	渠道衬砌用高性能混凝土配合比试验	336
19.5	效益	340
第 20 章	黄河滩地深基坑工程	341
20.1	施工期主要工程开挖降水问题	341
20.2	基坑开挖降水对边坡稳定性的影响	344
20.3	施工期地下水控制标准和降水方法选择	347
20.4	管井井点的布置方法	349
20.5	南干渠施工降排水及导流	350
20.6	滩地埋管施工降排水设计	352

第 21 章 滩地埋管大体积混凝土施工	361
21.1 滩地埋管工程施工概况	361
21.2 滩地埋管模板组装	361
21.3 混凝土浇筑与运输	366
21.4 混凝土温度应力控制	370
21.5 滩地埋管质量缺陷处理	372
21.6 总结	372
第 22 章 穿黄隧洞施工关键技术	374
22.1 穿黄隧洞施工概况	374
22.2 隧洞施工涌水预测与控制	379
22.3 隧洞开挖	387
22.4 隧洞支护	395
22.5 隧洞衬砌混凝土施工	398
22.6 土方回填	407
22.7 回填固结灌浆	408
22.8 施工现场质量控制	409
22.9 穿黄隧洞施工技术成果总结	411
第 23 章 工程施工有限元分析	413
23.1 滩地埋管开挖降水施工仿真分析	413
23.2 滩地埋管混凝土温度应力仿真分析	422
23.3 穿黄隧洞施工有限元分析	433
23.4 总结	436

第四篇 安全监测与运行管理技术

第 24 章 运行管理体制和机构设置	441
24.1 南水北调东线工程运行管理体制	441
24.2 南水北调东线工程山东段运行管理体制和机构设置	441
24.3 穿黄工程管理机构	443
24.4 穿黄工程调度运行管理	444
第 25 章 调度运行管理信息化系统	447
25.1 南水北调东线一期山东段工程运行管理信息化系统	447
25.2 运行期水情监测系统	451
25.3 水质监测	454
第 26 章 工程安全监测系统	457
26.1 穿黄工程安全监测目的	457
26.2 安全监测项目	458
26.3 监测设备选型	465
26.4 仪器安装埋设方法	473

26.5	监测仪器保护措施和手段	486
26.6	监测频率	486
26.7	监测仪器基准值确定	490
26.8	监测数据分析和评价	490
26.9	安全监测报警值的确定	495
第 27 章	穿黄隧洞施工与运行安全监测	498
27.1	穿黄隧洞施工监测的重要性	498
27.2	围岩稳定判据	499
27.3	周边位移变形管理等级和支护时机	500
27.4	穿黄隧洞施工稳定性监测	501
27.5	穿黄大堤安全监测	517
27.6	隧洞运行中的监测	524
第 28 章	水闸、管涵施工和运行安全监测	527
28.1	闸涵施工和运行安全监测关键部位	527
28.2	安全监测方案	528
28.3	扬压力分析	537
28.4	接缝开合度分析	541
28.5	沉降变形	546
28.6	滩地埋管混凝土应力和温度监测	548
第 29 章	南干渠施工和运行安全监测	550
29.1	渠道安全监测断面和监测点布置要求	550
29.2	南干渠安全监测方案	551
29.3	深层水平位移分析	556
29.4	分层回弹、地表沉降分析	559
29.5	地下水位变化分析	560
29.6	地温监测数据分析	560
29.7	冻胀位移监测数据分析	561
29.8	衬砌板切缝前后混凝土应变监测数据整理分析	564
第 30 章	调度运行管理	565
30.1	穿黄工程供水调度管理	565
30.2	穿黄工程调蓄水源	567
30.3	穿黄工程试通水	567
30.4	闸门运用方案	574
30.5	突发事件及应急调度预案	582
第 31 章	建筑物和设备管理与维护	586
31.1	管理维护项目分类	586
31.2	管理维护的主要内容	586
31.3	穿黄工程设备运行管理	592

31.4 运行期应急抢修方案 599

第 32 章 穿黄工程建设经验与成效 601

32.1 工程设计与优化 601

32.2 穿黄工程建设管理模式与风险控制 603

32.3 穿黄工程关键施工技术与新材料 604

32.4 安全监测与运行管理 606

32.5 结论 608

参考文献..... 609

第一篇

工程设计与优化