

长距离 输水工程

CHANGJULISHUSHUIGONGCHENG

刘子慧 主编

长江出版社

长距离 输水工程

CHANGJULISHUSHUIGONGCHENG

刘子慧 主编

长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

长距离输水工程/刘子慧主编.—武汉:长江出版社,2010.12

ISBN 978-7-80708-941-4

I.①长… II.①刘… III.①引水—水利工程 IV.①TV672

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 254749 号

长距离输水工程 刘子慧 主编

责任编辑:郭利娜

装帧设计:蔡丹

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉市首壹印务有限公司

规 格:787mm×1092mm 1/16

31 印张 860 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版

2010 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-80708-941-4/TV · 153

定 价:78.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

《长距离输水工程》编纂人员名单

主 编 刘子慧

编写人员（以姓氏笔画为序）

文 丹 毛文耀 王海峰 王超卫 石维新

史文彪 李雪松 肖万格 冷星火 吴换营

张菊红 杨进新 范 杰 唐景云 屠 本

黄会勇 黄 炜 黄福才 曹正浩 景金星

瞿霜菊

前 言

长距离输水工程是在大范围内实施水资源优化配置的战略基础设施。我国不仅是水资源贫乏的国家,而且是水资源分布极不均匀的国家。总体上看,北方地区拥有广大的土地和丰富的煤、石油等矿产资源,但降雨少。长江及其以南地区、西南地区却拥有丰富的水资源。就像中国的煤总体上由北向南运、粮食总体上由南向北运一样,预计未来中国的水将大量地由南向北输送、由西南向西北输送,长距离调水工程还将出现一个新的发展高潮。

世界上已经建成了许多长距离输水工程,它们对一个地区甚至一个国家的长远发展、社会的各个方面、国计民生都产生了深远的影响。我国在两千年前即建成了都江堰,从岷江引水灌溉整个成都平原,造就了“天府之国”;隋朝开通了京杭大运河,直到今天仍惠泽华夏子孙;目前正在建设的南水北调中线、东线工程,将会从根本上缓解华北平原水资源严重短缺的局面,在中国历史上产生深远的影响。

长距离调水工程的建设涉及水文、地质、水资源配置、水工设计、环境保护、移民、通信、供电、施工、经济评价、运行调度与管理等广泛的专业领域。为了总结在这方面的成果和经验,我们邀请了从事南水北调中线工程规划、设计的技术专家参与编写这方面的专著。

本书是一部学术专著。作者以南水北调中线工程输水总干渠设计为基本案例,在注重实用性的前提下,力争采用现代的理论方法、计算手段、设计工具,总结输水工程规划、布置、设计方面的经验。鉴于时间、篇幅的限制,本书仅重点论述了水工布置与设计方面的内容,有关规划、控制、运行调度方面的内容只好在以后适当机会编纂专门的文献来介绍相关的成果。

本书的书名为《长距离输水工程》,将涉及长距离输水工程的总体布置、纵断面的优化设计、各类建筑物的设计、输水渠道的设计、压力管道与压力箱涵的设计和倒虹吸的设计等,内容包括各类建筑物的水力学设计、调洪计算、过渡过程分析、稳定性计算、结构分析等,涉及面广,对同类工程的规划、设计具有较大的参考价值。

本书在跨河建筑物的设计中,阐述了如何处理与当地防洪排涝的关系;在输水工程轴线设计中,说明了如何利用最新的技术手段提高效率和精度,优化方案的方法;在结构分析中论述了如何采用可视化建模方法,采用最先进的技术手段计算结构的内力、变形。这些内容具有很强的实用价值和较高的应用水平。

参加本书编写的有:文丹(第一章),肖万格、冷星火、唐景云(第二章),黄炜、冷星火(第三章),石维新、杨进新、史文彪(第四章),吴换营、景金星、黄福才(第五章),冷星火、李雪松(第六章),瞿霜菊(第七章),张菊红、毛文耀(第八章),曹正浩、范杰(第九章),黄会勇(第十章),屠本、王海峰、王超卫(第十一章),全书由刘子慧主编。另外,冷星火在成书过程中,负责与出版社协商有关出版事宜,并协助责任编辑解决大量的专业技术问题。

总之,本书是作者工作经验的全面总结和理论上的提升。编写过程中,各位执笔者克服了重重困难,利用休息日和节假日查阅资料、绘图,倾注了大量的心血,在此向他们表示深切的敬意。

出版社的编辑们在促成本书出版的过程中,在文字体例方面做了大量的工作,在此也一并表示感谢。

编者

2010年11月

目 录

1 长距离输水工程设计概述

1.1 长距离(跨流域)输水工程的作用与意义	1
1.2 长距离(跨流域)调水工程总体规划	3
1.2.1 论证工程建设的必要性与可行性	4
1.2.2 确定工程任务与规模	4
1.2.3 长距离调水对水源区的影响分析及补偿措施	5
1.3 长距离输水工程设计的一般过程	6

2 长距离输水工程总体布置

2.1 平面布置	7
2.1.1 平面布置技术要点与原则	7
2.1.2 平面布置成果	10
2.2 纵断面布置	11
2.2.1 纵断面布置的主要工作内容	11
2.2.2 纵断面优化设计模型	13
2.3 场地工作软件在明渠布置方面的运用	14
2.3.1 选用场地工作软件的理由	14
2.3.2 工程实例	14
2.4 建筑物	24
2.4.1 各类建筑物的形式与特点	24
2.4.2 各类建筑物的适用条件与选择	24
2.5 渠道外洪水位确定	26
2.5.1 调洪演算目的	26
2.5.2 洪水演进形式分类	27
2.5.3 单河调洪的计算原理和方法	27
2.5.4 串流洪水调洪的计算原理和方法	28

2.6	总体布置的主要成果与形式	35
2.6.1	总体布置报告	35
2.6.2	总体布置附表集	36
2.6.3	总体布置附图册	39
3	输水渠道设计	
3.1	横断面设计	40
3.1.1	渠道边坡的渗流分析	40
3.1.2	渠道边坡的稳定分析	48
3.2	输水渠道结构设计	53
3.2.1	衬砌设计	53
3.2.2	地下水排泄设计	59
3.2.3	边坡加固设计	63
3.2.4	渠基稳定设计	69
3.2.5	运行维护道路设计	87
3.2.6	渠外防护带设计	88
4	压力管道工程设计	
4.1	压力管道总体布置	90
4.1.1	压力管道的平面布置	90
4.1.2	压力管道的纵断面布置	92
4.1.3	压力管道管材的选择	94
4.1.4	合理管径及管道根数的比选	95
4.1.5	管道横断面设计	96
4.1.6	压力管道的阀件设置	98
4.1.7	压力管道穿建筑物设计	101
4.1.8	压力管道的接口形式	101
4.1.9	压力管道镇支墩设置	102
4.1.10	PCCP 管道防腐设计	103
4.2	压力管道的水力设计	107
4.2.1	管道糙率的选择	107
4.2.2	压力管道水力计算	109
4.2.3	大宁调压池容积分析	111
4.2.4	压力管道水力过渡过程计算	112

4.3 压力管道的结构设计	116
4.3.1 一般规定	116
4.3.2 PCCP 管道结构设计	116
4.3.3 管件及钢岔管	124
4.4 加压泵站设计	124
4.4.1 总体布置	124
4.4.2 厂房的布置与设计要点	125
4.4.3 进出水系统	130
4.4.4 水力机械	134
4.4.5 电气一次	135
4.4.6 电气二次	136
4.4.7 金属结构	137
5 输水箱涵设计	
5.1 概述	138
5.2 箱涵总体布置	139
5.2.1 输水方式	139
5.2.2 平面布置	145
5.2.3 纵断面布置	145
5.2.4 主要控制性建筑物布置	149
5.3 箱涵的水力设计	153
5.3.1 糙率的确定	153
5.3.2 水力计算	154
5.3.3 调度运行设计	172
5.3.4 调节堰井的设计	175
5.4 箱涵结构设计	180
5.4.1 荷载及组合	180
5.4.2 结构体系与计算断面选取	184
5.4.3 不同内力分析及地基反力模型对箱涵结构计算结果的影响	185
5.5 变形缝设计	187
5.5.1 变形缝的作用、分类与设置原则	187
5.5.2 缝距及缝宽的确定	188
5.5.3 变形缝的构成及材料要求	189
5.6 防腐设计	190
5.6.1 腐蚀性介质及腐蚀机理	190

5.6.2	防腐措施	191
5.6.3	防腐材料	192
6	渡槽设计	
6.1	梁式渡槽	193
6.1.1	基础资料及基本条件	193
6.1.2	设计原则	193
6.1.3	梁式渡槽布置	194
6.1.4	水力学设计	194
6.1.5	梁式渡槽上部结构设计	196
6.1.6	上部结构荷载及工况组合	197
6.1.7	结构分析	201
6.1.8	下部支撑	219
6.1.9	渡槽基础	225
6.1.10	梁式渡槽设计实例	232
6.2	涵洞式渡槽	245
6.2.1	布置	245
6.2.2	水力设计	246
6.2.3	调洪演算	249
6.2.4	消能防冲设计	250
6.2.5	防渗排水设计	252
6.2.6	地基土的抗渗稳定性分析	253
6.2.7	防渗排水措施设计	253
6.2.8	荷载与组合	253
6.2.9	稳定计算	257
6.2.10	地基液化、软弱地基判别及处理措施	257
6.2.11	结构计算	260
6.2.12	工程实例	264
7	倒虹吸设计	
7.1	概述	281
7.1.1	倒虹吸的适用条件	281
7.1.2	倒虹吸的分类	281
7.2	设计所需基本资料	284
7.2.1	工程等别及设计标准	284

7.2.2 总干渠设计要素	285
7.2.3 地形资料	285
7.2.4 地质资料	285
7.2.5 水文资料	286
7.2.6 对外交通运输条件	286
7.2.7 交叉建筑物附近居民、耕地防洪条件	286
7.2.8 科研及试验成果	286
7.3 倒虹吸布置	286
7.3.1 建筑物形式比选	286
7.3.2 总体布置原则	286
7.3.3 主要尺寸拟定	288
7.3.4 进出口段布置	288
7.3.5 管身段布置	291
7.3.6 渠道倒虹吸工程布置实例	292
7.3.7 河道倒虹吸工程布置实例	296
7.4 水力学计算	299
7.4.1 倒虹吸水力计算	299
7.4.2 调洪演算	303
7.4.3 河道倒虹吸水力学计算实例	305
7.4.4 调洪演算实例	307
7.5 稳定分析	308
7.5.1 计算工况	308
7.5.2 荷载计算	310
7.5.3 稳定计算	314
7.5.4 软弱地基及地基振动液化的判别及处理	317
7.6 结构计算	319
7.6.1 横向结构计算	319
7.6.2 纵向结构计算	322
7.6.3 有限单元法	322
7.7 配筋计算	322
7.8 河道冲刷及河道防护设计	322
7.8.1 基本要求	322
7.8.2 河道冲刷计算	323
7.8.3 河道及岸坡防护设计	324

8 排水建筑物

8.1 河沟归并	326
8.2 排水建筑物分类	326
8.3 排水建筑物设计常用规范	326
8.4 排水建筑物设计的基本资料	327
8.5 排水建筑物布置	327
8.6 排水倒虹吸设计	327
8.6.1 主要设计条件和标准	328
8.6.2 工程布置	330
8.6.3 水力设计	333
8.6.4 建筑物结构设计	336
8.6.5 地基处理	351
8.6.6 河沟控导工程与防护设计	353
8.7 排水涵洞	353
8.7.1 分类	353
8.7.2 排水涵洞工程布置	354
8.7.3 涵洞的水力设计	354
8.7.4 其他设计	356
8.8 排水渡槽	356

9 渠渠交叉建筑物设计

9.1 渠渠交叉建筑物布置	357
9.1.1 定义	357
9.1.2 交叉建筑物的确定	357
9.1.3 建筑物设计标准	357
9.1.4 建筑物形式和一般布置	357
9.2 渠渠交叉建筑物水力计算	360
9.2.1 倒虹吸水力计算	361
9.2.2 渡槽水力计算	363
9.3 渠渠交叉建筑物结构计算	365
9.3.1 渠渠交叉倒虹吸结构计算	365
9.3.2 渠渠交叉渡槽结构计算	372
9.4 渠渠交叉渡槽设计举例	379
9.4.1 基本情况	379

9.4.2	建筑物布置	380
9.4.3	水力计算	381
9.4.4	结构计算	382
9.5	渠渠交叉倒虹吸设计举例	384
9.5.1	工程概况	384
9.5.2	设计依据	385
9.5.3	建筑物总体布置	386
9.5.4	水力设计	386
9.5.5	建筑物结构设计	387
9.5.6	基础处理设计	391
10	控制建筑物设计	
10.1	节制闸设计	393
10.1.1	节制闸等级划分及洪水标准	393
10.1.2	节制闸的总体布置	394
10.1.3	节制闸水力设计	396
10.1.4	节制闸的防渗排水设计	399
10.1.5	节制闸闸室的布置和稳定计算	400
10.1.6	地基计算及处理设计	408
10.1.7	节制闸结构设计	415
10.1.8	节制闸计算实例	417
10.2	退水闸设计	424
10.2.1	退水闸等级划分及洪水标准	424
10.2.2	退水闸的总体布置	425
10.2.3	退水闸水力设计	427
10.2.4	退水闸的防渗排水设计	431
10.2.5	退水闸的布置和稳定计算	431
10.2.6	地基计算及处理设计	434
10.2.7	退水闸结构设计	434
10.2.8	退水闸计算实例	435
10.3	分水口门设计	442
10.3.1	分水口门设计标准	442
10.3.2	分水口门的总体布置	443
10.3.3	分水口门水力设计	444
10.3.4	分水口门的防渗排水设计	448

10.3.5	分水口门闸室布置和稳定计算	448
10.3.6	地基计算及处理设计	448
10.3.7	分水口门结构设计	448
10.3.8	分水口门计算实例	449
11	隧洞设计	
11.1	概述	456
11.1.1	我国长距离调水工程应用输水隧洞概况	456
11.1.2	南水北调中线工程输水隧洞基本情况	456
11.1.3	输水隧洞设计与施工的主要技术问题	457
11.2	输水隧洞设计所需基本资料	458
11.2.1	一般资料	458
11.2.2	各阶段对基本资料的要求	458
11.3	输水隧洞工程选线及总体布置	458
11.3.1	输水隧洞选线的一般规定	458
11.3.2	输水隧洞进口与出口布置	460
11.3.3	无压输水隧洞的选线原则和总体布置	460
11.3.4	有压输水隧洞选线原则和总体布置	462
11.4	输水隧洞水力设计	462
11.4.1	无压输水隧洞水力设计	462
11.4.2	有压输水隧洞水力设计	463
11.5	输水隧洞结构设计及支护、衬砌计算	463
11.5.1	一般规定	463
11.5.2	荷载及荷载组合	465
11.5.3	混凝土及钢筋混凝土衬砌设计	467
11.5.4	预应力钢筋混凝土衬砌设计	469
11.5.5	临时支护及永久支护设计	470
11.5.6	不衬砌隧洞设计	471
11.5.7	隧洞衬砌分缝	472
11.5.8	封堵设计	472
11.6	输水隧洞灌浆、防渗和排水设计	473
11.6.1	隧洞回填灌浆及固结灌浆设计	473
11.6.2	隧洞防渗及排水设计	474
11.7	土洞及穿越不良地质段隧洞设计	475
11.7.1	土洞设计	475

11.7.2 不良地质段隧洞处理设计	476
11.8 隧洞进、出口连接建筑物及弃渣场设计	478
11.8.1 隧洞进、出口连接建筑物布置	478
11.8.2 隧洞进、出口深挖方段边坡处理	479
11.8.3 隧洞进、出口挡土墙设计	479
11.8.4 隧洞进、出口闸室段设计	479
11.8.5 隧洞弃渣场设计	479
参考文献	480

1 长距离输水工程设计概述

1.1 长距离(跨流域)输水工程的作用与意义

水是人类社会赖以生存的物质基础。地球上的淡水资源是有限的,随着人口的增长、经济的发展和人类物质文化水平的提高,水资源在某些区域或流域出现短缺的现象逐渐突现出来。特别是降水量偏少而经济发展较快的半湿润半干旱地区,水资源严重不足,阻碍了社会经济的发展。我国水资源丰富,然而时空分布不均。华北平原年均降雨量一般在 500~800mm,属半湿润地带,由于地势平坦,光热资源充足,矿产资源丰富,经济与社会快速发展,人口密集,在我国政治、经济、文化、工农业生产等方面都占有重要地位,成为我国水资源承载力与经济社会发展极不相适应的地区,形成了严重的资源性缺水局面。华北平原对水资源的需求逐年快速增长,超越了当地的供水能力,恶化了水环境,必须从外流域引进新的水资源才能解决可持续发展的问题。

另据有关资料统计,我国 669 座城市中,400 座城市供水不足,110 座城市严重缺水,其中北京、天津、青岛、大连等缺水最为严重,45 座重点城市中近一半水质较差。农业缺水现象则更为严重。水资源的不足又导致自然生态环境日趋恶化。实施长距离、跨流域调水,以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发展,是当前我国迫切需要解决的重大问题,也将是未来我国水利建设的一大特点。

长距离输水一般涉及跨流域调水。跨流域调水是指修建跨越两个或数个流域的引水(调水)工程,将水资源较丰富流域的水调到水资源紧缺的流域,以改变缺水地区生活、生产条件和生态环境。跨流域调水是改变区域间水资源分配不均、实施大范围内水资源优化配置的战略举措。

世界各国对长距离、跨流域调水都十分重视。据统计,目前世界上调水工程有 100 余项。国外著名的调水工程有:美国的中央河谷、加州调水、科罗拉多水道和洛杉矶水道等远距离调水工程,澳大利亚的雪山工程,巴基斯坦的西水东调工程等。俄罗斯的调水工程更是世界著名。

我国已建、在建及规划的长距离输(调)水工程有:南水北调、引滦入津、引黄济青、引黄入晋、东深供水、引大入秦、东北北水南调、引江济淮、滇中调水等。

南水北调:在我国,南水北调特指从长江流域上、中、下游三条线路引水的工程,即通常所称的西线、中线和东线工程。西线向黄河上游供水,中线和东线共同向华北平原供水。通过三条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河的联系,构成以“四横三纵”为主体的总体布局,以利于实现我国水资源南北调配、东西互济的合理配置格局。南水北调是跨流域、跨省市的调水工程,是缓解中国北方水资源严重短缺、优化配置水资源的重大战略性基础设施,关系到经济社会可持续发展和子孙后代的长远利益。规划的东线、中线和西线工程到 2050 年调水总规模为 448 亿 m^3 ,其中东线 148 亿 m^3 ,中线 130 亿 m^3 ,

西线 170 亿 m^3 。工程将根据实际情况分期实施。

东线工程——从长江下游扬州抽引长江水,利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送,沟通起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖。出东平湖后分两路输水:一路向北,在位山附近经隧洞穿过黄河;另一路向东,通过胶东地区输水干线经济南输水到烟台、威海,输水主干线长约 1156km。东线工程分三期实施,逐步扩大调水规模并延长输水线路,第一期工程抽江水量 87 亿 m^3 ,已于 2002 年 12 月开工。

中线工程——中线工程分为两期,一期工程多年平均调水量 95 亿 m^3 ,后期工程(2030 年)调水量 130 亿 m^3 。一期工程从加坝扩容后的汉江丹江口水库陶岔渠首闸引水,沿唐白河流域西侧,过长江流域与淮河流域的分水岭方城垭口后,经黄淮海平原西部边缘,在郑州以西穿过黄河,沿京广铁路西侧北上,可基本自流到北京、天津,供水目标主要为北京、天津、河北、河南等主要城市生活和工业用水,兼顾农业和生态用水。一期工程主要由水源工程、输水总干渠工程和汉江中下游治理工程三大部分组成,其中输水工程全长 1432km。中线工程已于 2003 年 12 月开工。

西线工程——在长江上游通天河、支流雅砻江和大渡河上游筑坝建库,开凿穿过长江与黄河的分水岭巴颜喀拉山的输水隧洞,调长江水入黄河上游。主要供水目标为解决青、甘、宁、内蒙古、陕、晋等 6 省(自治区)黄河上中游地区和渭河关中平原的缺水问题。结合兴建黄河干流上的骨干水利枢纽工程,还可以向邻近黄河流域的甘肃河西走廊地区供水,必要时也可向黄河下游补水,目前仍在进行前期工作。

引滦入津:20 世纪 50 年代后,河北省和北京市的工农业迅速发展,各支流汇入海河水量日趋减少,不能满足天津市的工农业及居民生活用水之需,春季水荒尤为严重,必须从外流域引水缓解缺水矛盾。引滦入津是跨流域的大型供水工程,由河北省迁西县滦河流域的大黑汀水库引水,穿燕山余脉,经于桥水库入天津市,线路全长 234km。工程于 1983 年建成通水,每年向天津供水 7 亿 m^3 。

引黄济青:是一项将黄河水引向青岛的跨流域、远距离输水工程。该工程从黄河下游利津附近的打渔张引黄闸引水,用明渠将黄河水向南输送到青岛,解决青岛市及工程沿线地区缺水问题。线路全长 290km,于 1992 年竣工。该工程投入运行以来,缓解了青岛工农业生产和人们生活用水的紧张局面,同时,因减少了沿海地区地下水开采量,扼制了海水入侵和地面沉降趋势,环境效益与生态效益明显。

引黄入晋:位于山西西北部,从黄河干流的万家寨水库取水,分别向太原、大同和朔州 3 个能源基地供水,设计年引水量 12 亿 m^3 ,引水线路总长约 450km。一期工程向太原年供水量 3.2 亿 m^3 ;二期工程向朔州、大同年供水量 5.6 亿 m^3 ;最终向太原年供水量 6.4 亿 m^3 。一期工程已于 2003 年 10 月建成通水。

东深供水:1963 年,香港遭遇历史罕见的特大旱灾。为解决香港水荒的问题,中国政府拨专款于 1964 年开始兴建东深供水工程,1965 年 3 月建成并正式向香港供水。为了满足香港、深圳和东莞等地不断增长的用水需求,并从根本上解决供水水质问题,20 世纪 70 年代以来,本工程进行了 4 次扩建与改造。东深供水工程北端从东莞桥头镇的东江河畔引水,向南输水至深圳市深圳水库,全长 83km。对港供水量占香港 75% 的供水份额,