



沙漠明渠

工程设计施工

关键技术研究与实践

主 编 张立德

副主编 王远超 周小兵 石泉

主 审 司志明

672
30



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

沙漠明渠

工程设计施工

关键技术研究与实践

主 编 张立德

副主编 王远超 周小兵 石泉

主 审 司志明



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面系统地总结了我国沙漠明渠设计、科研、施工及建设管理等方面的经验。全书共有 8 章, 内容包括: 沙漠明渠输水方案及线路比选, 沙漠明渠条带布置方案及施工, 风积沙填筑渠堤干碾压施工工艺, 渠床稳定及加固技术, 防风固沙防护技术, 沙漠明渠建设及生态与环境保护, 沙漠明渠施工质量控制等。

本书内容翔实、资料准确, 可供从事水利设计、科研、施工、管理的工程技术人员使用, 也可作为水利专业院校师生的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

沙漠明渠工程设计施工关键技术研究与实践/张立德

主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-3413-7

I. 沙... II. 张... III. ①沙漠—明渠—工程设计
②沙漠—明渠—工程施工 IV. U449.81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 135890 号

书 名	沙漠明渠工程设计施工关键技术研究与实践
作 者	主编 张立德 副主编 王远超 周小兵 石 泉 主审 司志明
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 10.5 印张 249 千字 4 插图
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	28.00 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



沙漠渠道开挖



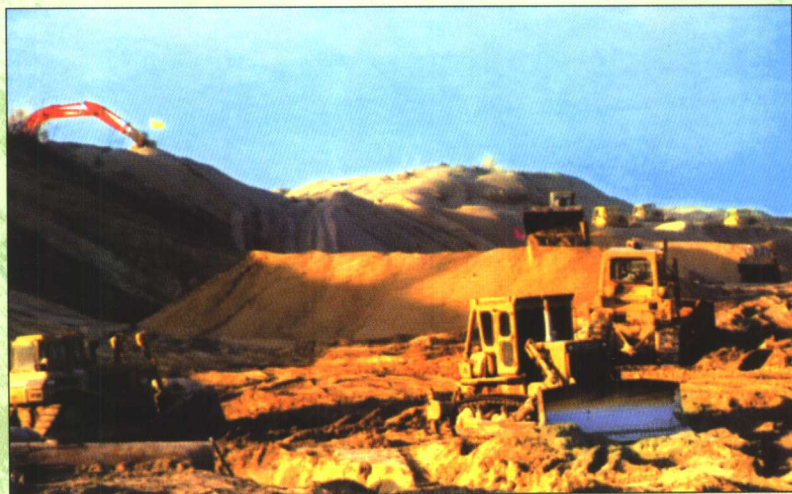
伴渠公路草方格护坡技术



沙漠渠道开挖沙垄草方格防护



沙漠渠道治沙生态示范区



沙漠明渠挖方段施工



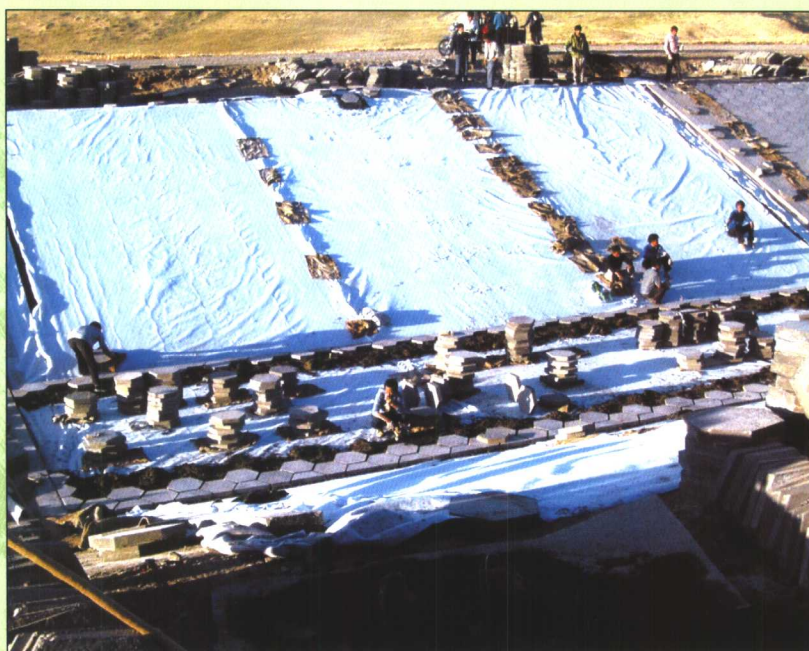
已建成的沙漠渠道工程



沙漠明渠填方段施工



沙漠明渠高填方段施工



沙漠明渠混凝土衬砌施工



沙漠明渠倒虹吸工程玻璃钢夹砂管道铺设施工



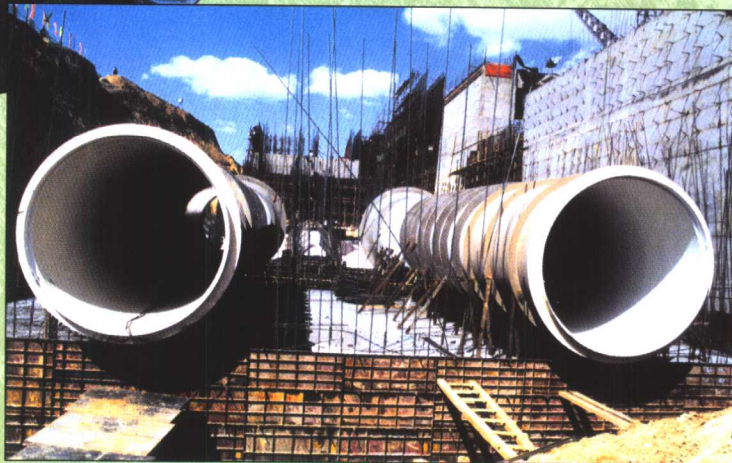
沙漠明渠倒虹吸工程钢管施工

沙漠明渠倒虹吸工程预应力钢筒混凝土管道施工



倒虹吸进水闸安装就位尚未浇筑混凝土的玻璃钢夹砂管道 (FRP)

倒虹吸水平段安装就位尚未覆土的预应力钢管混凝土管道 (PCCP)



我国幅员辽阔，东西南北中地形地貌条件差异很大。北部和西北部分布有著名的塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、毛乌素沙漠、腾格里沙漠等大沙漠，总面积为 63.7 万 km^2 。

中华民族在五千年发展的历史长河中，为了生存和发展，在抗御水旱灾害的长期斗争中，积累了在平原区和丘陵山区建设灌溉、发电、供水、航运等输水明渠及其水工建筑物的丰富经验，并已为专著、工程设计和施工规范及教科书所吸纳。近些年来，随着经济和社会发展对水资源的需求和区域水资源优化配置的需要，在沙漠地区先后建设了一些大中型长距离输水明渠及混凝土箱涵、新型管道（PCCP、FRP）等，但对其设计、施工经验尚缺乏总结，也未见于专著和工程设计、施工规范及大中专教材。

在沙漠修建大型长距离防渗输水明渠，我国是第一次。自 20 世纪 90 年代初以来，我国有关单位对此开展了一系列的科研、试验，成功地解决了在沙漠中修建大型防渗输水明渠的一些关键技术问题，主要如下。

（1）沙漠明渠的选线研究。在已有研究资料的基础上，深入研究了沙漠的风沙运动规律。对大型暗管输水和大型明渠输水，结合国内外调研所取得的资料进行了长期的论证。通过施工试验研究了风沙流的活动规律，并以此为依据对设计初选线路进行复核验证，对关键部位反复精选，并从环保的角度注意结合挖填平衡，使选定的渠线最为合理，其研究进度适应了施工部署的要求。此外，还在拟通过的沙漠中建立了气象观测站，配合风沙研究工作的进行，并为适应明渠长期安全运行提供科学依据。

（2）沙漠明渠的防沙治沙研究。按照风沙运动规律和固定、半

固定沙漠特征,以及“重害重防”和“轻害轻防”的原则,进行了防风治沙研究,提出了防风治沙以固沙为主和固沙阻沙相结合的措施。利用自然降水和渠道输水,研究了草灌林种植的生物固沙防护技术。

(3) 沙漠明渠的沙基稳定性研究。在沙漠物理力学性质试验研究的基础上,对各种稳定性进行了分析研究:重点研究了挖方渠床和填方自然沙基的变形及稳定性;填方渠堤渗透稳定性和压实密度;渠道建筑物自然沙基稳定和渗透稳定;道路路基稳定分析;并研究了具体的稳定处理措施和技术质量标准。

(4) 沙漠明渠的断面结构研究。在结合沙基稳定性研究工作的基础上,进一步论证了渠、林、路结合布置的合理性;渠道防渗结构(混凝土预制板、膜、砂浆)的性能及规格;防渗结构以下垫层材料的经济技术方案比较;道路基层和面层的结构形式;防范野生动物包括鼠害和畜群过境侵害渠道的工程措施等,从而使渠道各部位的结构在技术上更为可靠,经济上更为合理。

(5) 沙漠明渠施工工艺及施工设备优选配套的工地试验研究。沙漠明渠的设计断面大,深挖高填,其配套的施工工艺及机械设备没有成熟的经验。施工工艺主要是对施工方法和施工程序的研究,而机械选配重点是对沙漠工程的适用性、选型和经济合理性的研究,使配套规模适应施工进度要求。对填方断面振动干压实施施工工艺及施工机械选择,挖方断面施工工艺及施工机械选择,各种自然沙基稳定处理的施工工艺及施工机械选择,沙基稳定处理后对表层松散的稳固措施,渠道防渗结构及其垫层结构的施工工艺和施工机械选择,各种防风固沙措施等,都进行了专门的研究。

(6) 沙漠明渠的工程地质研究。通过室内外试验深入研究了沙漠风积沙的物理力学性质和承载力,通过施工阶段对工程地质条件的研究,提出了对工程地质处理的建议。

值得指出的是,长距离大型沙漠明渠输水工程的成功建设,填补了我国水利工程建设史上的空白,积累了宝贵的经验。今天,我

们对工程建设中的经验和教训进行了初步的总结，诚望有识之士能共同在沙漠输水明渠建设的科学技术发展上群策群力，交流提高。

本书编写依据的基本资料充分，内容翔实，论述严谨、科学，工程实例准确，旨在填补我国在这一领域的空白，为进一步发展水利科学技术事业添砖加瓦。本书由张立德同志任主编，王远超、周小兵、石泉同志任副主编。司志明同志对书稿进行了补充、修改。本书的主要编撰者为李江（第1章至第5章）、万金平（第8章）、蒋进（第7章）、马淑红（第6章）；参加工作的还有罗伟林、张岩、刘晓鹏、阮新民、张继华、陈明、袁高军、杭苏成、崔东等。

由于水平所限，书中难免有疏漏或不当之处，敬请同行专家和读者不吝批评指正。

张立德 司志明

2005年9月于北京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 国外已建沙漠明渠工程情况	1
1.2 国内已建沙漠明渠工程情况	6
1.3 沙漠明渠工程建设需要解决的关键技术问题	14
第 2 章 沙漠明渠输水方案及线路比选	16
2.1 明渠与暗管输水方案比较	16
2.2 明渠线路比选	19
2.3 明渠输水断面设计	21
第 3 章 沙漠明渠条带布置方案及施工	33
3.1 沙漠明渠的布置方案	33
3.2 沙漠明渠条带布置方案的实施	36
第 4 章 沙漠风积沙填筑渠堤干碾施工工艺	49
4.1 沙漠风积沙的物理力学性能	49
4.2 渠堤稳定性分析	71
4.3 干碾压实技术研究	74
第 5 章 沙漠明渠渠床稳定及加固技术	87
5.1 渠床加固方案的试验研究	87
5.2 渠床加固水平同起碾压的施工工艺	96
第 6 章 防沙固沙防护技术	101
6.1 沙漠风沙危害	101
6.2 防沙固沙体系建设	105
6.3 机械固沙防护技术	105
6.4 生物防沙防护技术	107
第 7 章 工程建设及生态与环境保护	119
7.1 沙漠生态与环境	119

7.2	沙漠明渠工程建设对生态与环境的影响	123
7.3	生态与环境保护措施	128
第8章	沙漠明渠施工质量控制	133
8.1	质量管理体系	133
8.2	质量控制内容	140
8.3	质量控制标准	143
8.4	质量控制与评定	156

第 1 章 绪 论

1.1 国外已建沙漠明渠工程情况

1.1.1 概述

国外已建的沙漠渠道工程主要有：土库曼斯坦卡拉库姆运河，采用明渠输水通过新月形流动沙漠；埃及尼罗河向西奈半岛引水工程，采用明渠输水通过西奈半岛沙漠；美国科罗拉多引水干渠和加利福尼亚南部引水干渠，采用明渠通过沙漠。我国已建的沙漠输水工程有两项：一个是采用明渠通过沙漠的大型输水工程；另一个是采用暗渠（钢筋混凝土箱涵）通过沙漠的中型输水工程。

在上述工程中，土库曼斯坦卡拉库姆沙漠明渠主要为非衬砌的大型输水渠道；埃及西奈半岛引水工程沙漠明渠为现浇混凝土板衬砌；美国科罗拉多引水工程和加利福尼亚南部引水工程沙漠明渠均采用现浇混凝土板衬砌；我国的沙漠明渠采用土工防渗膜和预制混凝土板块衬砌。这种防渗结构设计的耐久性和防渗效果好，其设计、施工、建设管理理念有所创新。

我国的沙漠输水工程中，中小型引水工程多采用钢筋混凝土箱涵或预应力混凝土管道，大型输水工程多采用明渠输水，其中倒虹吸工程分别采用预应力钢筒混凝土管道（PCCP）、玻璃钢夹砂管道（FRP）、钢管等。从已建工程实例来看，采用明渠、暗管（涵）方案通过沙漠均属可行。

1.1.2 国外已建成的沙漠渠道工程

1. 卡拉库姆运河调水工程

卡拉库姆调水工程在土库曼斯坦东部阿姆河左岸凯尔基附近引水，将阿姆河水西调，输水工程横贯土库曼斯坦经济发达地区，依次通过穆尔加布河、捷詹河、科佩特诸河，直到乌兹别伊河，调水渠道全长 1400km，供水范围涵盖主要绿洲、城市，包括首都阿什哈巴德等，为农业灌溉、工业生产和城市生活提供水资源。设计年均调水量为 $78 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，发展灌溉面积 $50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，工业供水 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，并为城市提供水资源。卡拉库姆调水工程浩大，设计采取分期分段施工办法，各段施工期重叠，依次发挥效益。工程于 20 世纪 60 年代后期投入运行，在灌溉、供水和航运等方面相继发挥效益。工程布置如图 1-1 所示。

第一期建设从阿姆河到穆尔加布河的引水输水工程，全长 397km。渠首引水流量 $510\text{m}^3/\text{s}$ ，调水使穆尔加布河流域新增灌溉面积 $8.8 \times 10^4\text{hm}^2$ 。

第二期调水工程继续向西延伸至捷詹河。从阿姆河引水口至捷詹河全长 535km，对首期工程进行了拓宽，增加过水断面。该期工程调水为捷詹河流域增加灌溉面积 $7.2 \times 10^4\text{hm}^2$ ，并提高 $2.7 \times 10^4\text{hm}^2$ 灌溉面积的供水保证率。此外，为提高供水的可靠性，在输水渠道 460km 处修建了库容 $4.6 \times 10^8\text{m}^3$ 的豪兹汉水库。

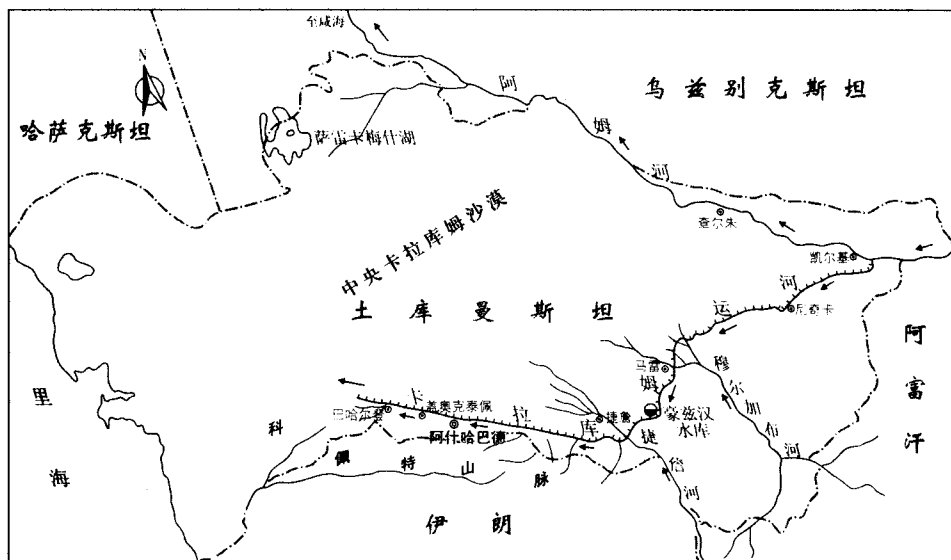


图 1-1 卡拉库姆调水工程示意图

第三期输水渠道继续向西延伸，经过首都阿什哈巴德，达到盖奥克泰佩，从阿姆河引水口计算。调水工程全长达 837km，新增灌溉面积 $5 \times 10^4\text{hm}^2$ ，同时向土库曼斯坦的工业区供水 $7 \times 10^8\text{m}^3$ 。嗣后，又对盖奥克泰佩段 250km 输水渠道进行技术改造，新增灌溉面积 $3.6 \times 10^4\text{hm}^2$ 。

第四期对已建的第三期工程，即输水渠道进行扩建并继续向西延伸，工程完成后可为调水工程沿线 $50 \times 10^4\text{hm}^2$ 土地提供灌溉水源，并为城市和工业供水，从而促进整个土库曼斯坦的经济发展。

2. 埃及西水东调工程

埃及西水东调工程主要由苏伊士运河以西渠道、穿苏伊士运河输水隧洞、西奈北部输水工程等三部分组成。设计开发耕地 $25.2 \times 10^4\text{hm}^2$ ，其中：苏伊士运河西侧非洲部分开发面积为 $8.4 \times 10^4\text{hm}^2$ ；苏伊士运河以东亚洲部分西奈半岛北部开发面积 $17.36 \times 10^4\text{hm}^2$ ，总用水 $44.5 \times 10^8\text{m}^3$ ，其中引用尼罗河淡

水 $21.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，利用三角洲灌溉回归水 $23.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，大体按 1:1 混合进行灌溉，部分采用喷滴灌。根据不同土壤条件，分别种植谷物、水果、蔬菜、牧草和油料等作物，发展工农业生产，提供就业机会，减少粮食进口，增加水果、蔬菜出口。

西水东调工程从尼罗河三角洲地区起始建萨拉姆引水明渠，将尼罗河（杜米亚特河）水东调，萨拉姆引水明渠到苏伊士运河段长约 87km，从苏伊士运河底部采用隧洞立交穿过，继续东调 175km 直达阿里什干河谷，连同运河西段，西水东调工程主干线全长 262km。西奈北部开发工程基本是在沙漠地区进行，建设条件艰苦，但工程设计标准高，输水工程为减少渗漏损失，采取混凝土全断面衬砌，引进成套渠道衬砌设备进行施工，从渠道削坡、混凝土浇筑、振捣、切割分缝等全部机械化作业。尼罗河三角洲地势低平，穿过苏伊士运河工程两端又有水位控制，因此东水西调工程为顺畅输水，设有 9 处抽水泵站，其中在输水干线上设有 7 级泵站，逐级提水东调，在最后一段即第四开发区到阿里什河谷的第五开发区。由于地形复杂采用压力管道输水，水泵加压 75.5m，扬水流量 $52.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。为预防干旱地区因灌溉产生土壤盐碱化问题，在灌溉工程建设的同时建设了排水系统，以控制开发区的地下水位。

穿苏伊士运河工程是埃及西水东调工程中技术难度最大的一项工程。苏伊士运河为沟通地中海与红海的齐洋面运河，水位为 0.0m，现运河底为 -19.5m，计划将来浚深拓宽，河底深至 -27.0m，设计输水隧洞顶部高程为 -39.0m，距运河设计河底有 12m 距离，砂黏土地层，运河西侧有公路、铁路、供水渠道等设施，全部以隧洞形式与这些设施立交，设计输水隧洞长 770m，最大输水流量 $160 \text{ m}^3/\text{s}$ ，设 4 条圆形隧洞，内径 5.1m。隧洞由英国豪克公司设计，意大利公司施工，使用德国海伦克奈特公司盾构机开挖衬砌，隧洞外衬用预制 30cm 厚混凝土拱片，中置 2mm 厚 PVC 薄膜，内衬混凝土厚度 32cm，隧洞两端进出口设有控制建筑物。

西水东调开发西奈北部沙漠是埃及最大的土地开发项目，建设内容包括：基础设施工程，主要有灌溉排水系统、输变电系统、道路工程及开发区和新村建设，主要有农场内部的灌排水网、住房、公共服务设施、内部供电和交通等两大部分。工程于 20 世纪 90 年代中期建成。

3. 美国加利福尼亚州中央河谷调水工程

20 世纪初，美国垦务局为解决加州水利问题开始了水利工程建设。1935 年美国联邦政府批准垦务局提出的“中央河谷工程”计划，其目的是调蓄北部山区萨克拉门多河水到三角洲地区和圣华金河下游地区，使三角洲多余水量