

水利部
科技出版社

低压管道 输水灌溉技术

水利部科技出版社

编写人员名单

编写组组长 陈炯新

编写组成员 (按姓氏笔画为序)

朱利贞 余 玲 吴高巍

李赞堂 张 华 张兰亭

张盛宏 周福国 赵竟成

黄林泉 黄松岩 焦恒民

萧嘉祐

工作人员 陶红美

前 言

低压管道输水灌溉是一项提高灌溉水利用率、节约灌溉水量的节水工程形式，同其他节水灌溉工程形式比较，更具有成本低、耗能少、技术简便易行等特点，这在我国研究与实践中已得到了充分的证明，也是当前世界许多发达国家发展灌溉，进行工程技术改造的一个方向性技术措施。

为使低压管道输水灌溉工程技术在我国推广应用，国家“七五”重点科技攻关计划中将此列为专题。通过攻关研究和试区建设，取得了从工程系统的规划设计到施工管理的成套技术成果；研究开发了一批技术先进、成本低廉、性能稳定的经济实用的管材、管件；建成了多种类型的面积较大的示范区。其节水、节地、增产效果普遍显著。目前这项技术已被列入国家重点科技推广项目，为适应这一需要，水利部科技教育司组织编写了《低压管道输水灌溉技术》一书。本书是在系统整理“七五”科技攻关成果的基础上，吸取了各地生产运用中的新经验，并参考了有关书籍编写而成的。全书图文并茂，阐述与实例结合，因而也是一本实用性较强的工具书。

本书由陈炯新、张华、萧嘉祐组织编写并统稿，陈炯新审定。参加执笔编写的有（按姓氏笔画为序）：朱利贞、余玲、吴高巍、李赞堂、张兰亭、张盛宏、周福国、赵竟成、黄林泉、黄松岩、焦恒民等。陶红美同志参加编务工作。

李纬质、郑泽民、邓尚诗、金永堂、薛克宗、谢安周、黄继汤等30多位专家、教授，曾对全书或部分章节的原稿审阅，并提出了许多建议，在此一并表示感谢。

本书难免有疏漏和错误之处，希广大读者批评指正。

水利部科技教育司

1991年1月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 低压管道输水灌溉的优点	2
第三节 低压管道输水灌溉技术的发展与展望	3
第二章 管道工程规划	6
第一节 基本资料与技术参数	6
第二节 水源分析与供需水量计算	9
第三节 管道系统布置	31
第三章 管道工程设计	38
第一节 管道设计流量的确定	38
第二节 管网优化设计与管径选择	43
第三节 管道水力计算	57
第四章 水泵及其动力机	118
第一节 水泵的分类及其工作参数	118
第二节 水泵的工作特性	125
第三节 水泵的选型	172
第四节 动力机的选型配套	175
第五章 管材	190
第一节 塑料管	190
第二节 水泥预制管	200
第三节 现场连续浇注管	215
第六章 管件与附属设备	226
第一节 管件	226
第二节 给水装置	228

第三节	管道安全装置·····	240
第四节	计量设备·····	243
第七章	经济效益分析·····	247
第一节	投资费用·····	247
第二节	年运行费·····	248
第三节	效益计算·····	250
第四节	经济效益分析·····	250
第八章	施工技术·····	259
第一节	管道施工安装·····	259
第二节	工程检验·····	268
第九章	运行管理·····	272
第一节	工程运行与维修·····	272
第二节	灌溉用水管理·····	277
附录	管灌工程设计举例·····	279

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、低压管道输水灌溉技术

低压管道输水灌溉简称管道输水灌溉，在田间灌水技术上，仍属于地面灌溉类，它是以管道代替明渠输水灌溉系统的一种工程形式。灌水时使用较低的压力，通过压力管道系统，把水输送到田间沟、畦，灌溉农田。

低压管道输水是在低压条件下运用的。目前主要用于输配水系统层次少（一级或二级）的小型灌区（特别是井灌区），也可用于输配水系统层次多的大型灌区的田间配水系统。

喷灌、微喷灌及大型灌区管道化灌溉，其工作压力较高，不属于本书所指的低压管道输水灌溉范畴。

二、压力范围

根据低压管道输水灌溉的运用条件，通过研究和实践，其管道系统的压力一般不超过 0.2MPa （ 2 kg/cm^2 ），在克服管道的输水压力损失之后，管道最远处出口压力应控制在 $0.002 \sim 0.003\text{MPa}$ 。有时受管材承压能力的限制，管道的输水压力还得相应地降低。

三、管道系统组成

低压管道输水灌溉系统，根据各部分承担的功能由：水源（机井）、输水管道、给配水装置（出水口、给水栓）、安全保护设施（安全阀、排气阀）、田间灌水设施等部分组成，见图1-1所示。

（一）水源

低压管道输水灌溉的水源有井、河、渠、水库、塘等，配套

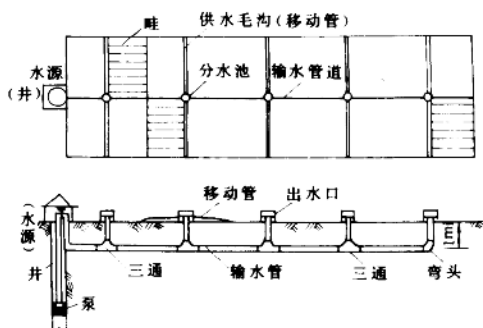


图 1-1 管道系统组成图

的提水动力多为机泵（有自压条件的除外）。

（二）输水系统

输水系统是由输水管道、管件（三通、四通、弯头、变径接头等）连接成的输水通道。按管道材料可分为混凝土管、水泥砂土管、缸瓦管、石棉水泥管、内衬塑料薄膜外护圬工料管、塑料管等。

（三）给配水装置

由地下输水管道向田间沟、畦配水的给水装置，一般称出水口，如能连接下一级田面移动管道的，则称给水栓。

（四）保护设备

为防止水泵突然关闭或其它事故等产生的水锤，致使管道变形、弯曲、破裂、吸扁等现象，在管道系统首部或适当位置安置调压或进排气阀等保护设置，以保证管道系统安全运行。

（五）田间灌水设施

田间灌水设施一般是指与出水口相连接的闸管系统。

第二节 低压管道输水灌溉的优点

一、节水

管道输水系统可以减少渗漏和蒸发损失，提高水的有效利用

率。各地井灌区低压管道输水灌溉的实践表明，一般可比土渠输水节约水量30%左右，是一项有效的节水灌溉工程措施。

二、输水快和省时、省力

管道输水灌溉是在一定压力下进行的，一般比土渠输水流速大、输水快，供水及时，有利于提高灌水效率，适时供水，节约灌水劳力。

三、减少土渠占地

以管代渠在井灌区一般可比土渠减少占地2%左右。对于我国土地资源紧缺，人均占有耕地不足1.5亩的现实来说，这是一个很大的社会和经济效益，其意义极为深远。

四、节能

用管道输水灌溉，水通过低压管道输送到田间，比土渠输水多消耗一定能耗，但通过节水，提高水的有效利用率所减少的能耗，远远大于因采用管道输水所增加的能耗。一般可节省能耗20%~25%。

五、灌水及时促进增产增收

管道输水灌溉，减少水量损失，不但体现在扩大灌溉面积或增加灌水次数方面，而且由于同时改善了田间灌水条件，缩短了轮灌周期，故有利于适时适量灌溉，从而有效地满足了作物生长的需水，可收到单位水量的产量产值提高及增产增收的效果。

另外，采用管道输水，还便于管理，便于机耕。

第三节 低压管道输水灌溉技术的发展与展望

一、国外发展概况

近年来，一些国家应用管道输水灌溉技术已比较广泛，甚至有逐步用低压管道输水代替田间地面渠道灌溉系统的趋势。

美国：早在20年代就在加利福尼亚州的图尔洛克灌区应用低压管道输水灌溉技术，其形式是地面闸管系统和地下管道阀门系统。到1984年已发展到9.648万亩，占总灌溉面积47.5%。管网系统

一般地下部分采用素混凝土管阀门系统，地面采用柔性聚乙烯软管或铝管的闸管系统，并采用快速接头与固定管道出水口连接，流动使用。闸管一侧开有与灌水沟相对应的孔口，装有可控制流量的小阀门。混凝土管道一般采用现场浇筑，先浇筑下半管，用滑模和振捣器振捣而成，浇筑上半管时用铝或钢制成撑开或收缩的内模和带振捣器的钢外模，内模4~6 h后拆除。用于地面闸管系统的铝管，直径有127mm、152mm、203mm和254mm，壁厚1.295mm，每节长9m或6m。

苏联：典型的（相当于农渠一级的）低压管网系统采用地下固定式石棉管或塑料硬管，从架空的“U”型槽的斗渠通过虹吸管或管式放水口引水。毛渠利用移动式的薄壁钢管、铝合金管或尼龙布涂橡胶的软管作为输水管道；灌水沟则采用尼龙布涂橡胶的软管代替，软管上按沟距设置放水孔，用橡胶活塞开关控制用水。

埋地管道管材主要有钢筋混凝土管、石棉水泥管、塑料管及涂塑薄壁钢管等。发展趋势是尽量采用地下固定式管道代替移动式软管；尽量采用耐久性能好的石棉水泥管、混凝土管和金属管（铝合金或薄壁钢）代替寿命较短的管。

日本：灌溉输水系统已由部分管道输水向多级组合的完整的管道输水系统发展。目前，全国已有30%左右的农田实现地下管道灌排，且管网的自动、半自动给水控制设备较完善，自动化程度较高。

以色列：以色列为干旱半干旱地区，有300万亩灌溉土地，90%以上实现了管道化，水的有效利用系数很高。全国主要水系已连结成统一水网。全国输水系统是1953年开工，1964年完工的。每年从北部太巴列湖抽水3.2亿 m^3 ，通过2.7m的大直径压力管道，以20 m^3/s 的流量输送到以色列的南部。把各种地表水、地下水 and 回收水互相连通，实现了综合调节用水。1979年，以色列灌溉用水量为13.27亿 m^3 ，灌溉面积为348万亩，每亩灌溉用水量仅381 m^3 ，是灌溉用水量最省的国家之一。

其他如罗马尼亚、保加利亚等国家，管道输水灌溉发展也都比较快。

二、我国发展概况

我国低压管道输水灌溉技术的运用为时已很早，但集中连片的使用，是在50年代以后。如江苏无锡的三暗工程（暗灌、暗降、暗排）；河南温县在70年代，全县有10多万亩的井灌区实现了输水管道化。1979年我国从国外引进软管输水灌溉技术（俗称“小白龙”），在黑龙江和山东等地先后试验应用，这种地面移动式软管，在一些地区的临时抗旱中曾得到较大面积的推广应用。

进入80年代以来，我国北方一些地区连年干旱，地面与地下水资源日益紧张，使得低压管道输水灌溉这项节水技术得到飞速发展。据不完全统计，到1989年年底，全国利用各种类型的低压管道输水灌溉的农田已发展到3500万亩。主要分布在冀、鲁、豫、京、津等省市井灌区。近年来，山西、内蒙、甘肃、新疆也有一定的发展。

为了推动我国低压管道输水灌溉技术的发展，1979年将这项技术列为水利部科技重点项目，并开始组织研究；1986年又作为重点专题列入“七五”国家科技攻关计划。通过应用与实践，特别是“七五”的攻关研究，我国井灌区的低压管道输水灌溉技术，已臻于系统配套、成熟。目前已研制出多种材料的管道，如薄壁塑料管、内光外纹双壁塑料管、整体连续浇筑混凝土管等。并在管件安全保护装置、优化设计、施工技术等方面都取得了系统成果。

我国是一个水资源缺乏的国家，北方尤为突出，节水是水利事业发展的战略重点。低压管道输水灌溉是一项适应性强的重要节水措施，具有广阔的发展前途。以北方井灌区为例，现有井灌面积约1.7亿亩，目前管灌面积还不到1/5，发展潜力很大。根据国外的实践，自流、提水等各类灌区，都可以发展管道输水以逐步代替明渠输水方式，提高水的利用率。为适应这种形势，还需要进一步研究自流、提水灌区管道输水灌溉等方面技术问题，以促进管道技术的更大发展。

第二章 管道工程规划

第一节 基本资料与技术参数

基本资料的收集及有关技术参数的选用，是搞好工程系统规划的前提，要求做到准确可靠，必要时应对有关数据进行观测、试验和分析论证。

一、地形地貌

地形地貌可应用已有的航测图、乡村农田基本建设图作为规划参考。在灌区规划阶段应有 $1/5000 \sim 1/10000$ 地形图；灌区管网布置应有 $1/2000 \sim 1/5000$ 地形图。

在地形图上应标出行政区划、灌区位置及控制范围边界线、耕地、村庄、沟渠、道路、林带、池塘、井、河流、泵站、高(低)压输电线路等。

二、农业气象

低压管道输水灌溉工程规划中需要的农业气象资料有：

- (1) 温度 年、月、旬平均气温、平均最低和最高气温。
- (2) 风速 2 m高处月或旬平均风速和夜晚平均风速（可将气象站一般风速资料数据乘以0.75，即得2 m高处的风速）。
- (3) 湿度 月、旬平均相对湿度或平均水汽压。
- (4) 日照 按月或旬统计日照小时数（取月或甸天数平均值）。
- (5) 气压 月或旬平均气压。
- (6) 无霜期始终日期。
- (7) 降水 年、月平均降水量、旱、涝灾情特点。
- (8) 蒸发 年、月平均蒸发量，最大蒸发量出现时间。

(9) 地温 土壤冻结时间及开始解冻时间, 冻土层深度。

三、灌溉水源

灌溉水源为地下水时, 应收集补给区内含水层厚度及埋藏深度、地下水位变幅、流速、给水度、渗透系数、影响半径和水力梯度、单位降深、涌水量等有关资料。

灌溉水源为地表水时, 应收集当地或相关水文测站中平水年、中等干旱年、丰水年的水量及年内分配, 即上述各典型年的流量过程线、水位过程线、水位流量关系曲线, 及年内含砂量的分配等资料。

灌溉水源为小型水库时, 应收集典型年的逐月逐旬径流量、水位库容曲线、设计年的洪水流量过程线等。

四、土壤及土壤特性

为编制作物灌溉制度, 在规划区土壤普查资料的基础上, 主要核实如下几项内容。

1. 土壤质地

在野外可用指测法鉴定土壤质地, 参见表2-1; 也可取样进

表 2-1 指测法鉴定土壤质地指标

质地类型	在手掌中研磨时的感觉	用放大镜或肉眼观察	干燥时状态	湿润时状态	揉成细条时的状态
砂土	砂粒感觉	几乎完全由砂粒组成	土粒分散不成团	流砂不成团	不能揉成细条
砂壤土	不均质, 主要是砂粒的感觉, 也有细土粒的感觉	主要是砂粒, 也有较细的土粒	用手指轻压或稍用力, 能碎裂成干土块	无可塑性	揉成细条易裂成小段或小结
壤土	感觉到砂质和粘质土粒大致相同	还能见到砂粒	用手指难于破坏干土块	可塑	能揉成完整的细条, 将其弯曲成圆环时裂开成小结
壤粘土	感到有少量砂粒	主要有粉砂或粘粒, 砂粒几乎没有	不能用手指压碎成干土块	可塑性良好	易揉成曲条, 但在卷成圆环时有裂痕

续表

质地类型	在手掌中研 磨时的感觉	用放大镜或 肉眼观察	干燥时状态	湿润时状态	揉成细条时的状态
粘土	很细的均质 土，难于碎成 粉末	均质的细粉 末，没有砂粒	形成坚硬的 土块，用锤击 难于使其粉 碎	可塑性良好， 呈粘糊体	揉成的细条卷成圆环 不产生裂纹

行颗粒分析鉴定土壤质地，见表2-2。

表 2-2 土壤质地分类表

土 壤 质 地		颗 粒 组 成 (粒 径: mm、%)		
类 别	名 称	砂 粒 1 ~ 0.05	粗 粉 粒 0.05 ~ 0.01	粘 粒 <0.001
砂 土	粗 砂 土	>70		
	细 砂 土	60 ~ 70		
	面 砂 土	50 ~ 60		
壤 土	砂 粉 土	>20	>40	<30
	粉 土	<20	<40	
	粉 壤 土	>20		
	粘 壤 土	<20		
	砂 壤 土	>50	>30	
粘 土	粉 粘 土			30 ~ 35
	壤 粘 土			35 ~ 40
	粘 土			>40

2. 土壤主要物理性能

(1) 土壤干容重 (γ) 自然状态下单位体积干土重。在无实测资料时，参见表2-3。

(2) 土壤田间持水量 ($\beta_{田}$) 是土壤中作物有效水分含量的上限，也就是灌溉后土壤含水量的上限。一般作物的适宜含

水量应保持田间持水量的60%~100%。不同土壤作物耕作层田间持水量见表2-3。

表 2-3

耕作层土壤主要情况

土壤质地名称	干容重 γ (g/cm ³)	田间持水量 $\beta_{田}$	
		重 量 %	体 积 %
砂 土	1.45~1.6	16~22	26~32
砂 壤 土	1.36~1.54	22~30	32~40
轻 壤 土	1.40~1.52	22~28	30~36
中 壤 土	1.40~1.55	22~28	30~35
重 壤 土	1.38~1.54	22~28	32~42
轻 粘 土	1.35~1.44	28~32	40~45
中 粘 土	1.30~1.45	25~35	35~45
重 粘 土	1.32~1.40	30~35	40~50

五、土地利用现状

1) 规划区耕地面积、林果面积、滩涂和盐碱地面积、荒地面积、池塘水面面积及其他用地等项数量与分布。

2) 作物种类、播种面积、种植比例。

六、水利工程设施状况

规划区内的灌排工程及设备。

七、社会经济

重点收集规划区内人口、劳力、人均占有耕地，粮棉等作物产量，农、林、牧、副产值、分配与积累，乡镇企业规划所需水量，能源状况，主要建筑材料的来源、价格及运输状况。

第二节 水源分析与供需水量计算

一、水源分析

管道输水灌溉工程规划中进行水源分析的目的，是为准确的掌握不同设计保证率年份水源可供开采的水量、水位变化、水

质等情况，为工程设计提供依据。

(一) 管道输水灌溉对水源水质的要求

农田灌溉水质标准见表2-4。

表 2-4

农田灌溉水质标准值

项 目	标 准 值
水温 (°C)	<35
pH值	5.5~8.5
含盐量 (mg/L)	<1500 (非盐碱地区), 2000 (盐碱地区) 有条件地区可适量放宽
氯化物 (Cl) (mg/L)	<300 (非盐碱地)
硫化物 (S) (mg/L)	<1
汞及其他化合物 (Hg) (mg/L)	<0.001
镉及其他化合物 (Cd) (mg/L)	<0.005, 0.003 (轻度污水灌溉)
砷及其他化合物 (As) (mg/L)	<0.1 (水田), 0.5 (旱田)
六价铬化合物 (Cr ⁶⁺) (mg/L)	<0.1
铅及其他化合物 (Pb) (mg/L)	<0.1
铜及其他化合物 (Cu) (mg/L)	土壤pH<6.5时, 含量<1; pH>6.5时, <3
锌及其他化合物 (Zn) (mg/L)	土壤pH<6.5时, 含量<3; pH>6.5时, <5
硒及其他化合物 (Se) (mg/L)	<0.02
氟化物 (F) (mg/L)	<3 (高氟区), 4 (一般地区)
氟化物 (按游离氟根计) (mg/L)	<0.5
石油类 (mg/L)	<10
挥发性酚 (mg/L)	<1 (土层<1m地区), 3 (一般地区)
苯 (mg/L)	<2.5 (土层<1m地区), 5 (一般地区)
三氯乙烯 (mg/L)	<0.5 (小麦), 1.0 (水稻、玉米、大豆)
丙烯醛 (mg/L)	<0.5
磷 (mg/L)	<2 (小麦、玉米、茄子、青椒、葱、白菜), 4 (水稻、萝卜、油菜、甘兰)
大肠杆菌 (mg/L)	<10000

据渠灌区研究资料认为，用含有平均粒径为0.028mm (其中粒径0.025mm占47%，小于0.01mm的占9%)，含量大于6% (重量比) 的水灌溉农田，对玉米、棉花等作物生长不利。从低压管道输水防淤角度要求，粒径大于0.15mm的泥沙不允许进入管道。泥沙含量不得大于10kg/m³。

(二) 供水量的计算

供水量的计算, 通常是根据规划区的供水资料进行频率计算, 选择与灌溉设计标准相应的年份为设计代表年。灌溉设计保证率见表2-5。

表 2-5 灌溉设计保证率

地 区 类 型	作 物 种 类	灌溉设计保证率 (%)
缺 水 地 区	以旱作物为主	50 ~ 75
	以水稻为主	70 ~ 80
丰 水 地 区	以旱作物为主	70 ~ 80
	以水稻为主	75 ~ 95

1. 地下水可开采量

地下水可开采量根据水文地质资料分析计算, 单井出水量应根据抽水试验资料确定。在平原井灌区内发展“管灌”, 以开采浅层地下水为主, 其地下水的来源主要有三部分。可根据当地水文地质资料分析计算地下水量。

(1) 降雨入渗量

$$W_1 = 0.001 a P A$$

式中 0.001 ——换算系数;

a ——入渗系数, 从当地水文地质资料中查选;

P ——设计年降水量 (mm);

A ——补给地下水面积 (m^2)。

(2) 侧向补给量

$$W_2 = 365 K h_{\text{含}} L J \quad (m^3/a)$$

式中 K ——含水层内渗透系数 (m/d);

$h_{\text{含}}$ ——补给区中地下水含水层厚度 (m);

L ——补给区周边长度 (m) ;

J ——补给区内地下水坡度。

换算365日即年侧向补给量, K 、 $h_{\text{含}}$ 、 L 、 J 均由当地水文地质资料中查选。

(3) 灌溉回归水量

$$W_3 = \beta M A$$

式中 β ——灌溉回归系数, 从当地水文地质资料中查选;

M ——灌溉定额 ($\text{m}^3/\text{亩}$), 由灌溉试验资料提供;

A ——灌溉面积 (m^2)。

2. 河(渠)水供给量

首先根据河流水文测站提供的水文资料, 进行频率分析与计算后, 求出设计年的河流来水量, 结合流域规划确定“管灌”引水流量和引水时段。

3. 水库、塘坝引水量

根据设计年降水量 P 及库(塘坝)坝址以上的集雨面积 A_r , 可供“管灌”引用的库容调蓄的水量 W , 按(2-1)式计算。

$$W = 1000 \eta_{\text{蓄}} f P A_r \quad (2-1)$$

式中 W ——调蓄水量 (m^3);

$\eta_{\text{蓄}}$ ——考虑蒸发和渗漏后的蓄水有效利用系数, $\eta_{\text{蓄}} = 0.6 \sim 0.7$;

f ——径流系数;

P ——设计年降水量 (mm) ;

A_r ——水库、塘坝、坝址以上集雨面积 (km^2)。

对于较大水库灌溉区, 应根据总体规划分级核实水量。

二、灌溉用水量分析与计算

(一) 作物需水量的计算

农作物生长发育过程中, 从播种至收获消耗于植株叶面蒸腾和株间蒸发的水分的总和, 称为作物需水量, 也叫作物耗水量或腾发量, 它是农田灌溉工程的一项基本参数。

作物需水量是通过田间灌溉试验中用于作物生长过程的灌水