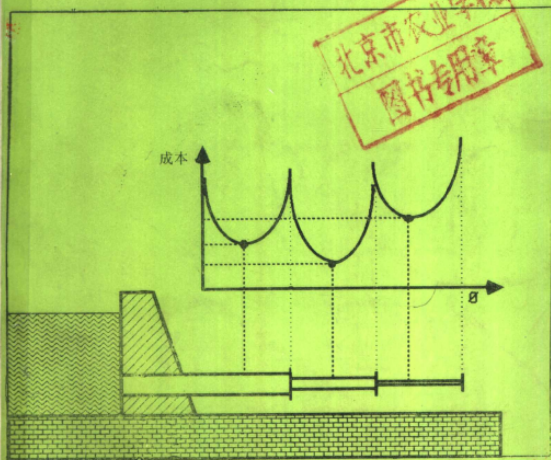


灌溉配水网的设计 和 最 优 化

粮农组织
灌溉和排水

文 集

44



中国农业科技
出版社
北京 1992



联 合 国
粮食及农业组织

灌溉配水网的设计和最优化

ISBN 7-80026-376-2/S-286



灌溉配水网的设计 和最优优化

作者: Y. Labye

顾问

CEMAGREF, 法国 安东尼

粮农组织
灌溉和排水
文集

44

中国农业科技
出版社
北京 1992



联合国
粮食及农业组织

(京)新登字061号

本书原版为联合国粮农组织灌溉和排水文集(44)《灌溉配水网的设计和最优优化》(FAO Design and optimization of irrigation distributron networks, M-56 ISBN 92-5-102666-1

本书中所用名称及材料的编写方式并不意味着联合国粮农组织对于任何国家、领地、城市或地区或其当局的法律地位或对其边界的划分表示任何意见。

CPP/91/21

版权所有。未经版权所有者优先许可,不得以电子、机械、照相复制等任何方法或其他程序全部或部分翻印本书,或将其存入检索体系,或发送他人。申请这种许可应写信给联合国粮农组织出版司司长(意大利罗马Via delle Terme di Caracaua, 00100),并说明希望翻印的目的和份数。

中国农业科学院科技文献信息中心
根据共同联合国粮农组织协议出版

灌溉配水网的设计和最优优化

译者:王振江 凌同才

校者:梁锦康

责任编辑:王振江

中国农业科技出版社出版(100081 北京海淀区白石桥路30号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国农业科学院科技文献信息中心印刷厂印刷

开本:1/16 印张:12.75 字数:274千字

1992年11月 第一版 1992年11月第一次印刷

印数:1—3000册 定价:8.20元

ISBN 7-80026-376-2/S·286

前 言

有关灌溉用水输水系统最优化的技术分析拥有大量资料和许多不同观点的学派。

联合国粮食及农业组织在优化设计技术方面与第一流的专家共同工作，以便评价这些方法，并将这些方法在一本实际用于灌溉的出版物中给予简要叙述。

近几十年研究的技术和自动化方法可能已作了修改和改进，可能已研究出新的技术和方法。因此，对设计方案的各个方面，本书既不是综合性论文，也不是权威性论文。然而，本书力图提供一种可供实际应用的方法和与输水系统的设计有关的专家和其他人员给予指导，这些专家和其他人员都需要有工程学学位，并在灌溉及其大田应用方面有若干年的经验。

本书前三章论及灌溉设计网的规划和设计标准以及水力学和经济原则，而第4章和第5章论述了配水管网和配水渠道系统最优化方法和数学方法。第6章专门讨论了对配水系统保护方面的问题。

对通过提出建议和撰写稿件为编写这一版本给予帮助的所有个人和组织，粮农组织表示感谢。

特别要对比比利时X. Pitsaer先生的计算机程序设计工作和法国的高级编辑J. C. Henry先生表示感谢。

欢迎对本书的改进提出批评和建议，并请寄往：

意大利 罗马 00100

Via delle Terme di Caracalla

联合国粮农组织

土地及水利开发局

水资源开发管理处

处长收

目 录

1. 配水网的类型	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 配水网组成部分的定义	(1)
1.3 配水网参数的定义	(2)
1.4 灌溉网的分类	(8)
1.4.1 根据供水水源分类	(8)
1.4.2 根据输水类型分类	(8)
1.4.3 根据压力有效性分类	(4)
1.4.4 根据压力来源分类	(4)
1.4.5 根据配水方式分类	(4)
2. 基础水力学和经济学	(6)
A. 水力学	(6)
2.1 引言	(6)
2.2 水的特征	(6)
2.3 管道中水的流动	(6)
2.3.1 流态	(6)
2.3.2 流量关系	(7)
2.3.3 管道摩擦引起的水头损失	(8)
2.3.4 局部水头损失	(11)
2.4 明渠中水的流动	(11)
2.4.1 流动类型	(11)
2.4.2 流态	(13)
2.4.3 渠道几何条件	(14)
2.4.4 流速分布和流量测定	(14)
2.4.5 流动关系	(16)
2.4.6 水跃	(22)
2.4.7 摩擦造成的水流阻力	(24)
B. 经济学	(33)
2.5 工程评价研究阶段	(33)
2.6 一般方法: 多重标准分析	(36)
2.7 农业工程的经济和财务分析	(36)
2.7.1 成本计算	(36)
2.7.2 财务分析	(38)
2.7.3 经济分析	(39)

2.7.4 影子价格	(39)
2.7.5 经济分析的最后阶段: 内部盈利率的计算	(39)
2.7.6 折扣	(39)
2.7.7 内部盈利率的计算	(42)
3. 配水网规划和设计流量	(45)
3.1 引言	(45)
3.2 明渠系统的结构和规划	(45)
3.3 压力配水网的结构和规划	(48)
3.3.1 充分灌溉的配水网的设计	(48)
3.3.2 轮灌配水网的设计	(49)
3.3.3 分支管网规划的优化	(49)
3.4 轮流供水和流量测定	(53)
3.4.1 固定水流量轮流灌溉	(54)
3.4.2 减少与轮流配水有关的限制	(56)
3.4.3 轮流灌溉运行的压力配水网的情况	(58)
3.4.4 固定水流量轮灌的建立	(59)
3.5 按需水量运行的压力管网的流量	(61)
3.5.1 农场出水口的流量	(61)
3.5.2 需水量公式	(61)
3.5.3 按需供水灌溉网的应用范围	(64)
3.5.4 有限制的按需水量灌溉	(65)
3.6 连续水流系统的流量	(66)
4. 压力配水网的设计和最优技术	(70)
4.1 引言	(70)
4.2 管网描述—各组成部分编号	(70)
4.2.1 引言	(70)
4.2.2 合理编号的原理	(71)
4.2.3 管网编号范例	(72)
4.2.4 管网说明表的应用	(73)
4.3 适宜管道表的内容	(76)
4.3.1 流速的选择	(77)
4.3.2 适宜管道表的应用	(77)
4.3.3 适合于已知区段的管道表	(78)
4.4 一个区段的最低价格	(80)
4.4.1 引言	(80)
4.4.2 每个区段不超过两个管道	(80)
4.4.3 适合于已知区段的管道表的实际应用	(81)
4.4.4 特殊情况	(83)

4.5 最低成本配水管计算的基本步骤	(86)
4.5.1 引言	(86)
4.5.2 分支增加的区段	(87)
4.5.3 连续增加的区段	(91)
4.6 配水管最低成本的确定	(92)
4.6.1 第一步: 配水管上升	(92)
4.6.2 上游测压管水头的测定	(95)
4.6.3 第二步: 配水管下降	(96)
4.6.4 允许单一直径的情况	(97)
4.7 特殊性能	(101)
4.7.1 限制下部包络曲线部分的数量	(101)
4.7.2 安装增压泵	(102)
4.8 供压配水管泵站的调节	(103)
4.8.1 引言	(103)
4.8.2 人工调节	(104)
4.8.3 自动水泵调节	(105)
4.8.4 变速泵	(113)
4.8.5 结论	(114)
5. 明渠配水管的设计和優化技术	(118)
5.1 引言	(118)
5.2 输水渠道的设计和優化	(118)
5.2.1 明渠输水道	(118)
5.2.2 输水结构	(148)
5.3 配水管的设计和優化	(157)
5.3.1 明渠系统	(157)
5.4 渠网的调节	(162)
5.4.1 引言	(162)
5.4.2 小渠道的调节	(163)
5.4.3 向灌溉渠供水的泵站的调节	(167)
6. 特别应注意的问题—水锤现象、石膏土、腐蚀、材料和设备	(169)
6.1 水锤现象	(169)
6.1.1 引言	(169)
6.1.2 防止水锤影响	(170)
6.1.3 测定压力容器容量的公式	(173)
6.1.4 防止水锤影响的气压容器的说明和操作	(175)
6.1.5 辅助保护	(175)
6.2 石膏土	(176)
6.2.1 引言	(176)

6.2.2 设计标准和处理方法.....	(177)
6.3 水和土对灌溉网的侵蚀.....	(178)
6.4 材料和设备.....	(178)
6.4.1 引言.....	(178)
6.4.2 管道.....	(178)
6.4.3 水泵保护设备.....	(182)
6.4.4 蓄水池阀.....	(182)
6.4.5 明渠.....	(183)
附录 程序的利用.....	(184)
参考文献.....	(194)

1. 配水网的类型

1.1 引言

经详尽规划、设计和建筑的灌溉配水网，应以适当的压力和在适当的时间以适当的水量和速率供水，而不会给供水管理局或用水户造成管理和运行问题。为此目的，就要求配水系统所有必要的结构和操作方面，如上述所要求的，以及在水源或配水系统其它部分的任何限制都要符合要求。

配水系统在规模和复杂性方面差异很大，从向毗连的地区分散洪水到向精耕细作农业开发区输送地表水或地下水。

1.2 配水网组成部分的定义

灌溉配水网可能由以下全部或若干部分组成：

- 渠首工程(进水口或导流建筑物)；
- 供水渠和主要输水渠；
- 调节和防护建筑物；
- 主要二级渠道和第三级渠道；
- 桥、沉沙池、测量和控制仪表及建筑物；
- 泵站；
- 平衡水库、蓄水库和水泵调节水库；
- 井；
- 保证配水系统达到配水目的所需要的任何其它有关设备或建筑物。

为了更好地理解，现将最重要的配水网组成部分的定义叙述如下：

——渠首工程(进水口或导流建筑物)：这种建筑物建在供水水源(河流、渠道或水库)，包括进水建筑物、引水堰或引水坝或为从水源提水而设计的任何其它工程。

——供水渠：这是一种输水管道或渠道，以渠首工程为出发点，直接向平衡水库或主要输水渠输水。这种输水管道通过死水区。

——主要输水渠：直接将水源(进水口或导流建筑物)或供水管道与配水系统相连。这种管道可以是自流的或泵送的。一般不提倡从这种管道向农场直接供水。

——配水系统：这是灌溉系统的一部分，将主要输水渠或供水渠或进水口建筑物与农场出水口连接起来。由干管、二级、三级渠道及所有辅助建筑物和设备组成。然而，应当指出的是，在现代灌溉系统中，干管，二级和三级建筑物之间可能没有明显的区别，这取决于配水网的规模和配水的方式等。

• 干渠：干渠将主要输水渠或供水渠，或者是水源与二级或三级渠道连接起来。一般避免从这一部分向农场直接供水。

- 二级渠道：将干渠与三级渠道连接起来，同样，建议不要从这一部分向农场直接提供灌溉水。

- 三级渠道：与二级渠道或干渠连接并向农场输水。

- 保护性建筑物和设备：这些建筑物或设备的目的是避免水从明渠溢出和封闭式管道超压。明渠中这种建筑物的实例是紧急溢洪道或自动虹吸管，而在管道中则是空气阀、逆止阀、减压阀等。

- 灌溉水栓：这是一种组合阀，包括一个减压阀、流量限制装置、隔离阀和水表，水栓安装在三级输水管道的最前面或农场闸门。可能装有多达四个独立的出口。

- 农场出口：这是配水系统上适用于一个农场的出口。农场出口装有隔离阀，通常都装有水表。

- 平衡水库：在需水量少的时期用于蓄积过量供水，贮蓄的水在用水需要量高时放出。它还可以降低供水渠或主要输水渠的设计容量。

- 夜间蓄水库：这是一种特殊类型平衡水库，设计成能在夜间贮蓄供水渠的水流，以便在白天能和进来的水一起放出。通过这种方法，可降低供水管道设计流量，使其费用减到最少，并避免了夜间灌溉。夜间蓄水库的容量应相当于连续八小时供水量。

- 调节水池：这是一种高架蓄水池或地面高度蓄水池，其目的主要是保证配水系统的各个部分都有适当的压力并由此调节水泵的运行。蓄水池的蓄水量随提供的调节类型而变化。

- 减压池：这是一种小型蓄水池，通常用混凝土制成，位于地面，其目的是降低具有很大大差异的长管道的两端压力差，从而降低管道较低一端的压力。坝的出口也建有这样的蓄水池，以维持下游稳定的压力。自动操作减压池通常安装有浮球阀，其尺寸根据管道的过水能力、浮球阀运行特征和管道压力波极限而定。

1.3 配水网参数的定义

虽然划分灌溉工程没有严格的和统一的规则，各个国家的灌溉技术也不尽相同，但可以将划分灌溉工程的一种方法作为一个例子叙述如下。

一个灌溉工程可以划分为区域，区域再分为地区，地区再分为分区，分区再分为区段，区段再分为区组。区组由单个小区或农场组成。一套灌溉工程的各个组成部分可给予下述定义。

——灌溉工程周边：这是围绕工程区最大的边界线。在这一周边内可能有湖泊、河流、村庄等。

——灌溉区域周边：这是灌溉工程周边内的土地，拥有单独的输水渠，输水渠可能由一个或多个水源供水。

——灌溉地区周边：这是表示围绕在一个地区内的面积的界线。

——灌溉分区周边：这是表示围绕在一个分区内的面积的界线。两个或更多的区段形成一个分区，区段再分为区组。

——灌溉区段周边：这是表示围绕在一个区段内的面积的界线。两个或多个区段组成一个分区，区段再分为区组。

——灌溉区组周边：这是表示围绕在一个区组内的面积的界线。两个或多个区组组成一个区段。一个区组包括一个或多个农场或小区。

根据其适宜性或位置，一项灌溉工程内所包括的面积定义如下：

——死水区或外部区：可灌溉工程周边外部的非灌溉区，处于供水水源和灌溉工程周边之间。

——工程总面积：工程周边最大极限内的全部面积。

——可灌溉总面积：工程总面积中包括的总面积减去因土壤的性质或者因地面太高而无法通过抽水自流灌溉这些不适宜于灌溉从规划中被排除的面积。

——自流灌溉总面积：可灌溉总面积中可以自流灌溉的部分。在某些国家，自流灌溉总面积包括提水灌溉土地。在本文中，除另有说明外，可灌溉总面积即自流灌溉面积。

——提水灌溉总面积：可灌溉总面积中只有通过水泵或其它装置提水才能灌溉的部分。提水灌溉总面积加自流灌溉总面积等于可灌溉总面积。

——净灌溉面积：可灌溉总面积减去因取消农业耕作而不灌溉的面积，如建村庄、道路、修梯田、土地排水、筑围篱、在农场建仓库、道路等失去的土地。

1.4 灌溉网的分类

将水输送到农场的配水系统有各种不同类型，这取决于水源的特征，采用的主要输水管道和配水的类型，以及配水系统是通过重力还是通过抽水供水。下面叙述一种分类类型。

1.4.1 根据供水水源分类

向配水网提供的水可能来源于地表径流、地下水、或者来自废水再循环系统，或者来自以上两种或两种以上水源。

——地表水系统：从表面水源，例如蓄水库、河流或湖泊，提供天然干净水的系统。

——地下水系统：水源是下伏的或附近的含水层。

——双水源联合利用系统：这是一种既使用地表水，又使用地下水供水水源的系统。

——再循环系统：这是一种使用处理过的废水的系统。

——混合系统：这是一种使用地表水或地下水与处理过的废水混合的系统。

1.4.2 根据输水系统的类型分类

——明渠系统：在这些系统中，主要输水渠几乎与等高线平行，坡度非常小，而二级渠道则沿着地面的主要坡度布置。三级渠道也沿着等高线，但坡度非常小。

为了保证完全控制供水，主要输水渠和二级输水渠的交叉点以及三级分水建筑物交叉点应安装调节闸门。

该系统还布置有其它附属建筑物，例如涵洞、虹吸管、桥，以便于在此区从事农业活动。

——加压系统：这些系统包括加压管道。它们根据管道的设计和相互连接分类：

• 分支管网：这种系统用在有很大高差的地方和经济作为首先追求的目标的地方。它非常适宜于三级输水管道轮灌操作和农场需水量固定的系统。也可以考虑连续配水网。分支管网有时用于现代灌溉系统，按需水量提供灌溉水，但在这种情况下，应经常防止三级渠网的溢流，所以，压力应保持在高于最低需要水平。

• 环状管网：大部分用于家庭供水，但也可用于灌溉网。它们最适宜于按需配水和地形便

于安装等压环形管路的地方。

环形管网具有较大供水安全性,因为输水管道中流向某一点的水流有可能来自两个方向,在一个方向供水发生故障的情况下,来自环形管另一端减弱的供水是有把握的。

• 混合型管网:由渠道或管道组成的主管线和二级输水系统可以是枝状管网,而三级输水系统可以是环形管。渠道和输水管道的任意组合都可形成一个灌溉网。其型式的选择主要取决于地形。然而,在这种系统中,渠道常位于管道的上游。

1.4.3 根据压力有效性分类

灌溉配水系统可以在加压的农场灌溉系统运行所需的足够压力条件下向农场出口输水,或在低压下通过灌水沟或漫灌进行灌溉。按照压力,灌溉系统可以分为加压的和不加压的系统:

——加压配水系统:这些系统是在压力适合农场应用的条件下,用封闭式管道将水输向农场出口。

这些系统是封闭型管网,安装有一切必要的附属设备,例如流限装置、压力调节装置、水表等,以保持压力在规定的范围内。

——无压力配水系统:是指将水输送到农场闸门的那些系统,输水是在这种压力下,即只有通过表面方法才能进行灌溉。通过加压的农场灌溉系统进行灌溉需要增压。

1.4.4 根据压力来源分类

加压配水网的压力可能由水源和供水点之间的高程差产生,或者通过机械方法产生。根据压力的来源,配水系统分为自流供水系统、抽水系统和混合系统:

——自流供水系统:这些系统的特点是供水水源比灌区高,即,所有的灌溉面积都由配水系统灌溉。这些系统可能是加压的,或不加压的系统,或是混合系统,

——抽水系统:水泵或增压泵确保水从水源流向农场出口。

所有的地下水工程(非自流水)以及灌区高于水源或需要额外水头的许多地表配水系统和双水源联合利用系统都是这种类型。

——自流和抽水混合系统:这些是一个或更多区域通过抽水灌溉的系统。

1.4.5 根据配水方式分类

从水源到农场的灌溉供水量需要人工控制。这一点通过系统的机械装置(硬件)和操作管理活动(软件)之间的相互作用实现。然而,配水系统应能够向每个农场出口输送大量水,这样才能满足灌溉的需要。

一般来讲,向农场配水的方式有三种:

——连续供水系统:在这些系统中,向农场或地块提供灌溉水是连续的。这种供水方式提供最小的可能设计流量,但需在农场蓄水。向每个农场的供水量与其面积和作物需要的单位流量成正比。

——轮流供水:如术语所指,每个农场、每个区组或地区所需要的水轮流供给。轮流供水在配水上有许多变化。

• 按固定顺序轮流:在固定时期按农田的大小或农田的用水权向各个农场输送水,这样就在固定日、时按固定时间向每个农场相继轮流输送水。

当按比例占有水或由于废除传统法权或灌水员之间另外的商定按照一些明确的方式将水

输送到农场时，这种系统是合适的。它的优点是每个灌水员都确切地知道什么时候可以用水和他能使多长时间。另一方面，这一系统的缺点是不灵活和不适宜于具有不同需水量或灌溉次数的栽培方式的变化。

主要输水管道的设计输水能力与连续供水系统多少有点相似，但第三级管道设计成能输送较高流量(系数)的水。

- 持续轮换系统：持续轮换系统(按计划轮换)的配水是基于这样的条件，即要灌溉的面积分成区组，根据单位流量及其表面面积，每个区组规定一种固定的供水速率(系数)。在固定时期预定时间内，水流按固定速率连续输入每个区组，区组内不同农场轮流用全部流量供水。灌溉时间的安排和需要输送的水量(恒定供水条件下输水时期)决取于农场的面积和栽培方式。

这种系统的运行，显然需要非常好的规划，但当轮流供水以三级管为基础时，制定灌溉方案的工作可能会大大减少。在这种情况下，干线、二级和三级管道的水流是连续的，但对每个农场的供水是通过三级管道轮流供水达到的。

这种供水系统非常灵活，只需要农民制定最低限度灌溉规划。然而，这种系统的布局应该是每个区组是相互独立的。另外，三级管道的设计输水能力常常大于正常轮流灌溉的设计输水能力。

- 按需供水：按需配水是当配水系统在轮流期间，在不需要预先固定时间和输水长短的情况下，允许灌水员得到超过他的需水量的灌溉水量。这种供水系统适宜于拥有小农场的地区以及作物和土壤非常不同的地区，轮灌系统对这些作物和土壤是不实用的。

与轮流供水的配网相比，这种系统多少有些超负荷运行。

- 按改变的需要量供水：这种系统按需水量向区组供水，农民需同意象轮灌方法那样一种灵活的灌溉方案。在这种情况下，供水系统的设计以象按需供水的方法进行，但区组作为单独的农场来处理。这种系统比按需供水系统更经济、更适宜于非常小的农场。

2. 基础水力学和经济学

A. 水力学

2.1 引言

本章叙述灌溉网的设计中运用的基础水力学、水力学方程式以及工程经济学的要素。

2.2 水的特征

实际上, 可以认为灌溉水比重为 1, 因为在 $0-30^{\circ}\text{C}$ 的范围内, 相对偏离只有万分之四。

根据溶解的矿物质的特性及其浓度, 水可能具有腐蚀性或有结垢倾向, 这种情况将在第 6 章进行讨论。农业用水的质量在粮农组织已作过详细讨论 (1985)。

灌溉网中水的温度随其水源和环境条件而变化。除了植物生理方面的问题外, 水温的变化之所以重要是因为它们决定水的运动粘滞系数 (表 1)。

表1. 水的运动粘滞系数 (ν)

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	($\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	($\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$)
0	1.787	25	0.893
5	1.519	30	0.801
10	1.307	35	0.724
15	1.140	40	0.658
20	1.004	45	0.602

用于管网中水头损失计算可以采用上述公式以确定水的运动粘滞系数:

$$\text{从 } 0^{\circ}\text{C 到 } 20^{\circ}\text{C} \quad \log \nu = 14.106 - 8.152 \log T \quad (1a)$$

$$\text{从 } 20^{\circ}\text{C 到 } 50^{\circ}\text{C} \quad \log \nu = 9.053 - 6.104 \log T \quad (1b)$$

式中: ν = 运动粘滞系数 (m^2/s)

T = 绝对温度 ($t^{\circ}\text{C} + 273$)

2.3 管道中的水流

2.3.1 流态

根据雷诺数 (Re) 值, 管道中的流态可以是层流或紊流。雷诺数是一种无量纲量, 规定如下:

$$Re = VD/\nu \quad (2)$$

式中: V = 水流平均速度 (m/s)

D = 管道的内径 (m)

ν = 液体的运动粘滞系数 (m^2/s)

经观察表明, 雷诺数小于2000时, 管道中的水流为层流, 从层流过渡到紊流雷诺数在2000—4000之间, 完全紊流的值大大高于4000。总的来说, 灌溉网中发生在过渡区的水流, 其流态是不定的。当管道中的水流是层流时, 最大流速等于平均流速的2倍, 而当水流是紊流时, 最大流速等于平均流速的1.25倍, 这是由于中间和周边流之间的动量交换的缘故。

一般认为, 就时间而言, 当流量是恒定的时候, 水流是稳定的。如果水流随时间而变化, 如放空一个蓄水池期间或调整了阀的位置, 一般认为水流是不稳定的。如果沿管道长度的流量不同, 多孔管就是这种情况, 那么可以认为流态是沿程变化的。如果一个管道的横断面面积保持不变, 可以认为水流是均匀的, 当管道的横断面面积改变时, 如文丘里管或管孔, 可以认为水流是不均匀的, 或是变化的。

2.3.2 流量关系

流体力学的三个基本概念是连续性、动量和能量。管道中稳定的不可压缩的非旋转水流, 其连续方程式为:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_n V_n \quad (3)$$

式中: Q = 流量 (m^3/s)

A = 横截面面积 (m^2)

V = 平均速度 (m/s)

如果流量是沿程变化的, 那么连续方程式为:

$$A_1 V_1 \pm q \Delta x = A_2 V_2 \quad (4)$$

式中: q = 单位管道长度的进水量或流出量

Δx = 断面1和2之间管道长度 (m)

对于管道中的稳流, 动量方程的概念是指两个断面之间的动量通量的变化与导致变化的施加在流体上的力和相等。可用于确定管道弯头和管嘴上的力的动量方程为

$$\Delta F_x = \rho Q \Delta V_x \quad (5)$$

式中: F = 力 (N)

ρ = 流体质量密度 (kg/m^3)

x = 指方向 'x'

水力学中最经常运用的基本原理是能量守恒定律。能量方程是通过将重力和压力对流体要素所做的功与能量的变化作成等式而导出的。得到的能量方程, 即伯努里公式, 可以写成(用于水):

$$V_1^2/2g + P_1 + Z_1 = V_2^2/2g + P_2 + Z_2 + h_f \quad (6)$$

式中: $V^2/2g$ = 流速水头 (m)

P = 压力 (m = 水柱米数)

g = 重力加速度 (m/s^2)

Z = 高于任意基准点的高程 (m)

h_f = 因断面 1 和 2 之间的摩擦或紊流导致的水头损失 (m)

在方程 (6) 中, 压力和高于基准点的高程总和被认为是测管水头, 测管水头和流速水头的总和是总水头。在集流网灌溉中, 与其它水头相比, 流速水头一般较小, 可能常被忽视。

沿管道系统的测管水头和总水头的变化在图 1 中说明。摩擦损失和局部损失分别在 2.2.3 节和 2.3.4 节讨论。

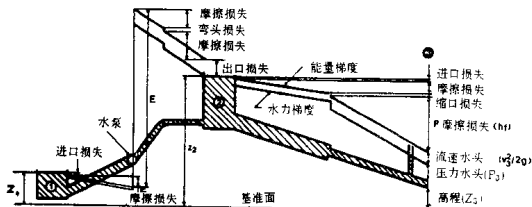


图1 管道系统中水头损失

将两个水库非常小的趋近流速忽略不计, 系统的能量方程为:

——从水库 1 到水库 2

$$Z_1 + E = Z_2 + h_f + h_m$$

式中: E = 水泵输入的能量

h_f = 从 1 到 2 管道摩擦损失

h_m = 进口、弯头和出口的局部损失

(压力项为零, 因为两个蓄水池都在大气压下)

——从水库 2 到管道断面 3

$$Z_2 = Z_3 + P_3 + V_3^2/2g + h_f + h_m$$

式中: V_3 = 断面 3 的流速

P_3 = 压力水头

h_f = 从 2 到 3 的管道摩擦损失

h_m = 进口处和管道直径变化时的局部损失

任何一点的流速都可用连续方程式 (方程 3) 确定。

2.3.3 管道摩擦导致的水头损失

自从利用管道输送液体以来人们就认识到, 沿管道长度所发生的能量或水头损失已由沿