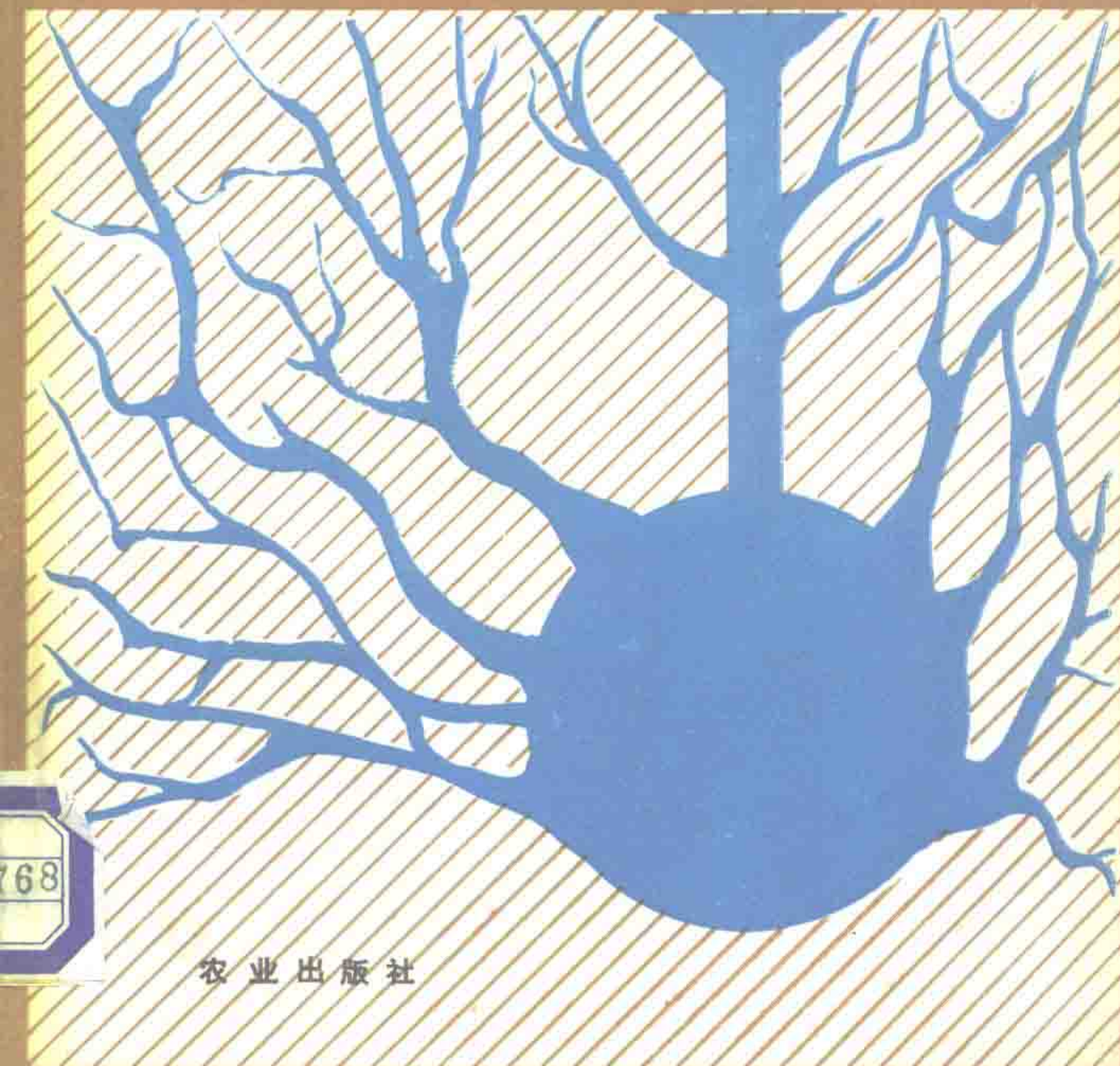


# 排水原理和应用

II

田间排水与流域径流的理论

国际土地开垦和改良研究所著



768

农业出版社

# 排水原理和应用

## II. 田间排水与流域径流的理论

国际土地开垦和改良研究所著

朱忠德译

(根据荷兰瓦赫宁根国际土地排水研究班讲义汇编)

农业出版社

2175/30

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR  
LAND RECLAMATION AND  
IMPROVEMENT  
DRAINAGE PRINCIPLES AND  
APPLICATIONS  
II. THEORIES OF FIELD DRAINAGE  
AND WATERSHED RUNOFF  
1973

排水原理和应用  
II. 田间排水与流域径流的理论  
国际土地开垦和改良研究所著  
朱忠德译

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)  
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 14.5印张 320千字  
1981年1月第1版 1981年1月北京第1次印刷  
印数 1—2,500册

统一书号 16144·2223 定价 1.50元

## 序

本书是在荷兰瓦赫宁根每年举办的国际土地排水研究班所编讲义的四卷丛书的第Ⅰ卷。在该研究班中，力图在3个月的时间内尽可能完整地讲授土地排水的基本原理及其应用。正如第Ⅰ卷的引言所指明的那样，作者们（所有其特定领域的专家们）并不声言要充分阐明其科目的全部内容；由于可利用的时间有限，讨论各科目的一切细节是不可能的。

这一卷阐述了利用自流和竖井进行土地排水的基本原理。它也涉及到盐分平衡、冲洗定额、灌溉对排水的影响、田间排水标准，以及不同类型地下水流和流域径流的数学模型。本书的应用可独立于其他各卷，虽然为了避免重复，常常注明其章节。1972年8月出版的第Ⅰ卷阐明了土地排水过程中的基本环节、控制地下水流的物理定律，以及作物—土壤—水系统的概念。其后的第Ⅱ卷和第Ⅳ卷将讨论各种勘测和调查研究，以确定作物—土壤—水系统的参数，这些都是排水设计计算所需要的；并将阐明排水系统的设计和范围确定、某些主要工程特点，以及运用和管理方面的问题。研究班的讲义之所以要出版，其理由已在第Ⅰ卷的序和引言中说明。该序中曾指出，在原来由P·J·迪莱曼所领导的编委会中断以后，组织了工作组来完成这一项工作。由本研究所工作人员组成的该工作组，对于出版这些讲义的编委会所制订的工作计划和原则，没有什么实质性的改变。参加编辑第Ⅱ卷的工作组成员为：J.凯斯勒先生主编，N.A.德里德先生、M.G.波斯先生、R.H.梅塞梅克尔斯范德赫拉夫先生、T.贝克曼先生、J.斯特朗斯基先生、M.F.L.维尔斯马洛歇夫人。

我们深为遗憾，凯斯勒先生于1972年8月突然逝世。在他去世以前，得以完成不仅是第Ⅰ卷，而且还有第Ⅱ卷的大部分编辑工作。他对这一工作的最后贡献是写成了完整的第十一章的新手稿：田间排水标准。J.W.范霍恩先生、J.H.鲍曼斯先生和C.L.范索梅伦先生对该章作了编辑上的修改。

原来是凯斯勒的工作组组长的工作，改由N.A.德里德担任。我有充分信心认为，他有充分的能力来领导，使最后两卷的发行工作得以圆满地完成。

瓦赫宁根  
1973年4月

Ch. A. P. 塔凯斯

国际土地开垦和改良研究所代理所长（1971—1972年）

## Ⅱ 卷 主 要 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第八章 地下排水水流</b> .....    | 1   |
| 8.1 引言 .....               | 3   |
| 8.2 恒定流态排水方程式 .....        | 4   |
| 8.3 不恒定流态排水方程式 .....       | 19  |
| <b>第九章 盐分平衡和冲洗定额</b> ..... | 37  |
| 9.1 盐碱化和排水 .....           | 39  |
| 9.2 盐分平衡 .....             | 40  |
| 9.3 计算实例 .....             | 44  |
| 9.4 灌溉水中微溶盐的影响 .....       | 51  |
| 9.5 冲洗理论 .....             | 57  |
| <b>第十章 灌溉对排水的影响</b> .....  | 65  |
| 10.1 灌溉和排水的关系 .....        | 67  |
| 10.2 灌溉的控制 .....           | 68  |
| 10.3 输水损失 .....            | 69  |
| 10.4 灌溉水的施用 .....          | 71  |
| 10.5 田间灌水方法 .....          | 72  |
| 10.6 有益的过量灌水 .....         | 76  |
| 10.7 排出水的重复利用 .....        | 78  |
| 10.8 灌溉引起的排水流量 .....       | 79  |
| <b>第十一章 田间排水标准</b> .....   | 81  |
| 11.1 引言和排水标准的公式表达 .....    | 83  |
| 11.2 地下水位的要求深度 .....       | 84  |
| 11.3 多雨地区的排水标准 .....       | 87  |
| 11.4 灌区的排水标准 .....         | 93  |
| <b>第十二章 人井水流</b> .....     | 103 |
| 12.1 引言 .....              | 105 |
| 12.2 完全含水层的单井水流 .....      | 106 |
| 12.3 其他入井水流问题 .....        | 111 |
| <b>第十三章 渗漏</b> .....       | 119 |
| 13.1 引言 .....              | 121 |

|             |                         |            |
|-------------|-------------------------|------------|
| 13.2        | 从渠槽向半承压含水层的渗漏           | 121        |
| 13.3        | 潜水含水层中来自或流向沟渠的水流        | 127        |
| 13.4        | 波浪的传播                   | 133        |
| 13.5        | 从沟渠流向地下水面的水量损失          | 135        |
| <b>第十四章</b> | <b>竖井排水</b>             | <b>141</b> |
| 14.1        | 引言                      | 143        |
| 14.2        | 竖井排水的优点                 | 143        |
| 14.3        | 竖井排水的缺点                 | 144        |
| 14.4        | 地下水位和流量标准               | 144        |
| 14.5        | 井的干扰                    | 145        |
| 14.6        | 短期抽水时水头的发展              | 148        |
| 14.7        | 半承压含水层中的排水竖井            | 150        |
| <b>第十五章</b> | <b>降雨径流关系和计算模型</b>      | <b>155</b> |
| 15.1        | 引言                      | 157        |
| 15.2        | 排水流域                    | 158        |
| 15.3        | 水文学中的系统方法               | 163        |
| 15.4        | 降雨量和有效降雨, 损失的确定         | 170        |
| 15.5        | 单位过程线法                  | 178        |
| 15.6        | 模型综合                    | 185        |
| 15.7        | 荷兰的平行发展                 | 191        |
| <b>第十六章</b> | <b>地下径流为主地区的过程线分析</b>   | <b>199</b> |
| 16.1        | 地下径流模型                  | 201        |
| 16.2        | 有效降水量转变为(地下)径流的模型的数学表达式 | 203        |
| 16.3        | 分析                      | 206        |
| 16.4        | 过程线分析的数字实例              | 209        |
| 16.5        | 分析地区的实例                 | 217        |
| 16.6        | 结束语                     | 221        |
| <b>II</b>   | <b>卷采用的主要符号</b>         | <b>222</b> |
| <b>I—IV</b> | <b>卷总目录</b>             | <b>225</b> |

## 第八章 地下排水水流

---

作者 J. 韦塞林

瓦赫宁根水土管理研究所水文室主任

土地排水研究班讲授人

J. 韦塞林 (1962—1970 年、1972 年)

水土管理研究所

J. 凯斯勒 (1971 年)

国际土地开垦和改良研究所

## 目的和范围

讨论了恒定和不恒定流态下进入平行明沟和暗管系统的某些通用的地下水流方程式的原理和应用。

## 目 录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 8.1 引言 .....                   | 3  |
| 8.2 恒定流态排水方程式 .....            | 4  |
| 8.2.1 进入到达不透水层的明沟的水平水流 .....   | 4  |
| 8.2.2 霍赫浩特方程式的原理 .....         | 5  |
| 8.2.3 霍赫浩特方程式的应用 .....         | 8  |
| 8.2.4 柯卡姆方程式的原理 .....          | 10 |
| 8.2.5 柯卡姆方程式的应用 .....          | 11 |
| 8.2.6 达干方程式的原理和应用 .....        | 11 |
| 8.2.7 恩斯特方程式的原理 .....          | 12 |
| 8.2.8 恩斯特方程式的应用 .....          | 15 |
| 8.2.9 概化诺模图 .....              | 18 |
| 8.3 不恒定流态排水方程式 .....           | 19 |
| 8.3.1 引言 .....                 | 19 |
| 8.3.2 格洛弗—达姆方程式的原理 .....       | 20 |
| 8.3.3 格洛弗—达姆方程式的应用 .....       | 21 |
| 8.3.4 格洛弗—达姆方程式的讨论 .....       | 22 |
| 8.3.5 克莱因霍夫范德勒—马斯兰方程式的原理 ..... | 24 |
| 8.3.6 克莱因霍夫范德勒—马斯兰方程式的应用 ..... | 25 |
| 8.3.7 克莱因霍夫范德勒—马斯兰方程式的讨论 ..... | 33 |
| 参考文献 .....                     | 34 |

## 8.1 引言

直至最近，整个世界上控制地下水位唯一通用的做法是采用明沟系统。在现代农业中，许多这类系统已经或正在被排水暗管所代替（Ⅳ卷第二十七章）。

在任何排水系统中，可以清楚地区分：

- 田间排水道，通常为平行排水道，其作用为控制地下水深。
- 集水排水道，其作用为收集田间排水道的来水，并将其输送至主干排水道。
- 主干排水道，其作用为将水输送至地区以外。

排水道的作用并不是始终可以明确地加以区分的。例如所有的田间和集水排水道都具有输水作用。而所有集水和主干排水道也在一定程度上可以控制地下水深。

本章所讨论的内容仅限于平行田间排水沟。图 8.2 表示图 8.1 中田间排水沟的横断面。地下水面通常呈曲线形，其高程在排水沟间的中点为最高。影响地下水面高度的因素有：降水量和其他补给水源；蒸发量和其他出流部分；土壤性质；排水沟深度和间距；排水沟的横断面积；排水沟中的水位。

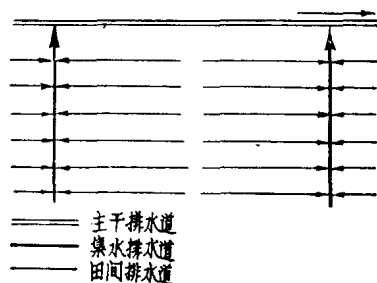


图 8.1 排水道的作用

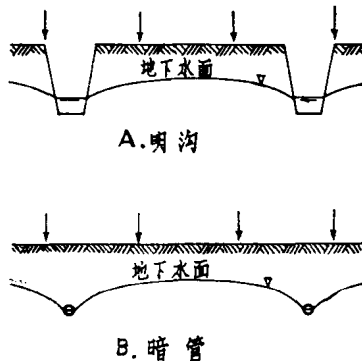


图 8.2 表示降水量影响下，地下水面的田间排水沟横断面

在本章中，通过排水方程式，将这些因素互相联系起来，方程式依据的假定有两个，即：

- 二维水流，即在垂直于排水沟的任何横断面中，水流是相同的。
- 在排水沟间的面积上，恒定或不恒定的补给量是均匀分布的。

本章所讨论的大多数方程式以裘布依—福希哈默的假定为依据（Ⅰ卷第六章）。因此它们必须仅仅考虑为近似解。但是，这种近似解一般可认为具有相当高的精度，它们在实际中的应用是完全合理的。

在恒定流态和不恒定流态的排水公式之间有所不同。导出恒定流态公式（本章 8.2）的假定是：补给强度等于排水沟的排水流量，因此地下水面的位置保持不变。不恒定流态的排水方程式（本章 8.3）考虑到在不恒定补给的影响下地下水位随时间的变化。

## 8.2 恒定流态排水方程式

### 8.2.1 进入到达不透水层的明沟的水平水流

回忆 I 卷第六章可知，在一维水平水流的假定条件下，意味着平行和水平的流线时，进入到达不透水层的垂直墙排水沟的水流，可以用所谓唐南方程式〔5〕来表示：

$$R = q = \frac{4K(H^2 - D^2)}{L^2} \quad (1)$$

式中， $R$  = 单位表面积的补给量（米/天）； $q$  = 单位表面积的排水流量（米/天）； $K$  = 土壤水力传导度（米/天）； $H$  = 两排水沟间中点地下水位离不透水层的高度（米）； $D$  = 排水沟中水位离不透水层的高度，即排水沟水位以下的含水层高度（米）； $L$  = 排水间距（米）。

这一公式也曾由霍赫浩特〔10〕所导出。

方程式（1）可改写为：

$$q = \frac{4K(H + D)(H - D)}{L^2} \quad (2)$$

令（图 8.3A） $h = H - D$  和  $H + D = 2D + h$ ，式中  $h$  为中点地下水面离排水沟水位的高度，即地下水流进入排水沟的水头（米），因此方程式（2）可变为：

$$q = \frac{8K(D + \frac{1}{2}h)h}{L^2} \quad (3)$$

方程式（3）中的因式  $D + \frac{1}{2}h$  可看作是地下水流的土层（含水层）的平均厚度，以  $\bar{D}$  来表示。将  $\bar{D}$  导入方程式（3）后得出：

$$q = \frac{8K\bar{D}h}{L^2} \quad (4)$$

式中， $K\bar{D}$  = 含水层的透水系数（米<sup>2</sup>/天）。

方程式（3）可写成下式：

$$q = \frac{8KDh + 4Kh^2}{L^2} \quad (5)$$

令  $D = 0$ ，得出：

$$q = \frac{4Kh^2}{L^2} \quad (6)$$

方程式（6）显然表示排水水位以上的水平水流。这一方程式称之为洛特方程式。看

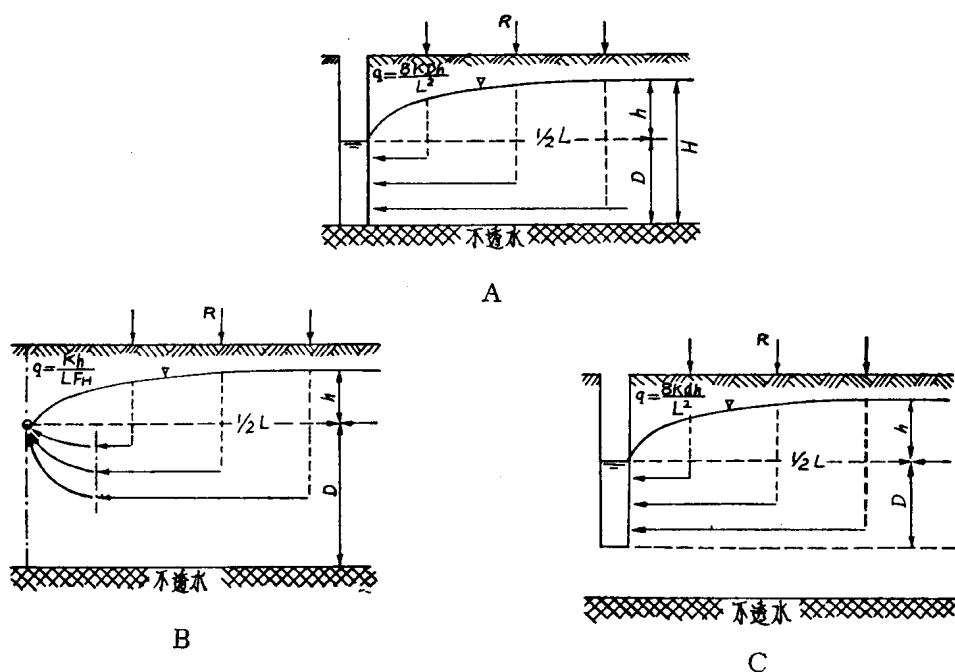


图 8.3 将水平和幅向水流的组合转变成等效水平水流等效深度的概念

来它早在 1879 年由丹麦的考丁所导出。

如果与  $h$  相比  $D$  很大，方程式 (5) 右端分子中的第二项与第一项相比可略去不计，就得出：

$$q = \frac{8KDh}{L^2} \quad (7)$$

方程式 (7) 和方程式 (5) 的第一项显然表示排水沟水位以下的水平水流。

上述考虑得出排水沟水位处具有交接面的两层土壤概念。因此方程式 (5) 可改写为：

$$q = \frac{8K_bDh + 4K_a h^2}{L^2} \quad (8)$$

式中， $K_a$  = 排水沟水位以上土层的水力传导度； $K_b$  = 排水沟水位以下土层的水力传导度。

### 8.2.2 霍赫浩特方程式的原理

如果明沟达不到不透水层，流线将不是平行和水平的，而将向排水沟集中（幅向水流）。在这样的水域内，如果不允许有较大的误差，就不能将水流简化成具有平行和水平流线的水流场。

幅向水流将使流线伸长。这样的伸长将产生较按比例损失更大的水头，因为排水沟附近的流速较水域内任何地区为大。因此，当垂直墙明沟被暗管代替时，地下水面的升高将

较大,排水沟水位则保持不变。

霍赫浩特<sup>[11]</sup>推导了图 8.3b 所示水流的方程式,图中水域被分成具有水平水流的部分和具有幅向水流的部分。

如果排水沟水位以上的水平水流忽略不计,均匀土壤的水流方程式应为:

$$h = \frac{\alpha L}{K} F_H \quad (9)$$

和 
$$F_H = \frac{(L - D\sqrt{2})^2}{8DL} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{r_0\sqrt{2}} + f(D, L) \quad (10)$$

式中,  $r_0$  = 排水暗管半径;  $f(D, L)$  =  $D$  和  $L$  的函数,与方程式的其他各项相比一般较小,因此通常可忽略不计<sup>[15]</sup>。

方程式 (10) 右端的第一项属于水平水流,而第二项和第三项属于幅向水流。

代替用方程式 (9) 和 (10) 来计算,霍赫浩特设法使之更为实用,而具有与前节给出方程式类似的公式。为了计算幅向水流引起的超额阻力,他把深度  $D$  减小为较小的等效深度  $d$ 。通过这样的做法,流态就仅用水平水流的模型来代替 (图 8.3C)。如果我们仅考虑排水沟水位以下的水流,使方程式 (7) 成为:

$$q = \frac{8K_d h}{L^2} \quad (11)$$

式中,  $d < D$ 。这一方程式必须与方程式 (9) 等效,方程式中的等效深度为:

$$d = \frac{L}{8r_H} \quad (12)$$

因素  $d$  和  $F_H$  一样,是  $L$ 、 $D$  和  $r_0$  的函数,如同从方程式 (10) 和 (12) 可看到的那样。在  $r_0 = 0.1$  米和不同的  $L$  和  $D$  值情况下,  $d$  值表示在表 8.1 中。对于其他排水管直径,可采用图 8.14,这将在本章 8.2.9 中说明。

为了把轴向水流考虑进去,  $d$  值可以导入本章 8.2.1 中所有方程式。当导入方程式 (8) 时,就得出:

$$q = \frac{8K_0 d h + 4K_a h^2}{L^2} \quad (13)$$

方程式 (13) 被称为霍赫浩特方程式。

**讨论** 在方程式 (10) 中,右端第一项属于水平流区。与方程式 (7) 的比较证明,水平流所取的距离不是  $L$ ,而是  $L - D\sqrt{2}$ ,因而幅向水流所取的距离,排水沟两边各为  $\frac{1}{2}D\sqrt{2}$ 。

如果方程式 (10) 中我们忽略  $f(D, L)$ ,并令:

$$F_h = \frac{(L - D\sqrt{2})^2}{8DL} \quad (14)$$

表 8.1 霍赫浩特的等效深度值 ( $r_0=0.1$  米, D、L 以米计)

| L (米)    | 5    | 7.5  | 10   | 15   | 20   | 25    | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | L        | 50   | 75   | 80   | 85   | 90   | 100  | 150  | 200  | 250  |
|----------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D 米      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      | D        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.5      | 0.47 | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.50  | 0.50 | 0.50 |      |      | 0.76 | 0.5      | 0.50 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 0.75     | 0.60 | 0.65 | 0.69 | 0.71 | 0.73 | 0.74  | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.76 | 0.96 | 1        | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 1.82 | 1.83 | 1.85 | 1.88 | 1.92 | 1.94 |
| 1.00     | 0.67 | 0.75 | 0.80 | 0.86 | 0.89 | 0.91  | 0.93 | 0.94 | 0.96 | 0.96 | 1.15 | 2        | 1.72 | 1.80 | 1.82 | 2.54 | 2.56 | 2.60 | 2.72 | 2.70 | 2.83 |
| 1.25     | 0.70 | 0.82 | 0.89 | 1.00 | 1.05 | 1.09  | 1.12 | 1.13 | 1.14 | 1.14 | 1.36 | 3        | 2.29 | 2.49 | 2.52 | 3.12 | 3.16 | 3.24 | 3.46 | 3.58 | 3.66 |
| 1.50     |      | 0.88 | 0.97 | 1.11 | 1.19 | 1.25  | 1.28 | 1.31 | 1.34 | 1.35 | 1.57 | 4        | 2.71 | 3.04 | 3.08 | 3.61 | 3.67 | 3.78 | 4.12 | 4.31 | 4.43 |
| 1.75     |      | 0.91 | 1.02 | 1.20 | 1.30 | 1.39  | 1.45 | 1.49 | 1.52 | 1.55 | 1.72 | 5        | 3.02 | 3.49 | 3.55 | 4.00 | 4.08 | 4.23 | 4.70 | 4.97 | 5.15 |
| 2.00     |      |      | 1.08 | 1.28 | 1.41 | 1.5   | 1.57 | 1.62 | 1.66 | 1.70 | 1.86 | 6        | 3.23 | 3.85 | 3.93 | 4.33 | 4.42 | 4.62 | 5.22 | 5.57 | 5.81 |
| 2.25     |      |      | 1.13 | 1.34 | 1.50 | 1.60* | 1.69 | 1.76 | 1.81 | 1.84 | 2.02 | 7        | 3.43 | 4.14 | 4.23 | 4.61 | 4.72 | 4.95 | 5.68 | 6.13 | 6.43 |
| 2.50     |      |      |      | 1.38 | 1.57 | 1.69  | 1.79 | 1.87 | 1.94 | 1.99 | 2.18 | 8        | 3.56 | 4.38 | 4.49 | 4.82 | 4.95 | 5.23 | 6.09 | 6.63 | 7.00 |
| 2.75     |      |      |      | 1.42 | 1.63 | 1.76  | 1.88 | 1.98 | 2.05 | 2.12 | 2.29 | 9        | 3.66 | 4.57 | 4.70 | 5.04 | 5.18 | 5.47 | 6.45 | 7.09 | 7.53 |
| 3.00     |      |      |      | 1.45 | 1.67 | 1.83  | 1.97 | 2.08 | 2.16 | 2.23 | 2.42 | 10       | 3.74 | 4.74 | 4.89 | 5.38 | 5.56 | 5.92 | 7.20 | 8.06 | 8.68 |
| 3.25     |      |      |      | 1.48 | 1.71 | 1.88  | 2.04 | 2.16 | 2.26 | 2.35 | 2.54 | 12.5     |      | 5.02 | 5.20 | 5.60 | 5.80 | 6.25 | 7.77 | 8.84 | 9.64 |
| 3.50     |      |      |      | 1.50 | 1.75 | 1.93  | 2.11 | 2.24 | 2.35 | 2.45 | 2.64 | 15       |      | 5.20 | 5.40 | 5.76 | 5.99 | 6.44 | 8.20 | 9.47 | 10.4 |
| 3.75     |      |      |      | 1.52 | 1.78 | 1.97  | 2.17 | 2.31 | 2.44 | 2.54 | 2.71 | 17.5     |      | 5.30 | 5.53 | 5.87 | 6.12 | 6.60 | 8.54 | 9.97 | 11.1 |
| 4.00     |      |      |      |      | 1.81 | 2.02  | 2.22 | 2.37 | 2.51 | 2.62 | 2.87 | 20       |      |      | 5.62 | 5.96 | 6.20 | 6.79 | 8.99 | 10.7 | 12.1 |
| 4.50     |      |      |      |      | 1.85 | 2.08  | 2.31 | 2.50 | 2.63 | 2.76 | 3.02 | 25       |      |      | 5.74 |      |      |      | 9.27 | 11.3 | 12.9 |
| 5.00     |      |      |      |      | 1.88 | 2.15  | 2.38 | 2.58 | 2.75 | 2.89 | 3.15 | 30       |      |      |      |      |      |      | 9.44 | 11.6 | 13.4 |
| 5.50     |      |      |      |      |      | 2.20  | 2.43 | 2.65 | 2.84 | 3.00 | 3.26 | 35       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6.00     |      |      |      |      |      |       | 2.48 | 2.70 | 2.92 | 3.09 | 3.36 | 40       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7.00     |      |      |      |      |      |       | 2.54 | 2.81 | 3.03 | 3.24 | 3.43 | 45       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8.00     |      |      |      |      |      |       | 2.57 | 2.85 | 3.13 | 3.35 | 3.56 | 50       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9.00     |      |      |      |      |      |       |      | 2.89 | 3.18 | 3.43 | 3.66 | 60       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10.00    |      |      |      |      |      |       |      |      | 3.23 | 3.48 | 3.74 | $\infty$ | 3.88 | 5.38 | 5.76 | 6.00 | 6.26 | 6.82 | 9.55 | 12.2 | 14.7 |
| $\infty$ | 0.71 | 0.93 | 1.14 | 1.53 | 1.89 | 2.24  | 2.58 | 2.91 | 3.24 | 3.56 | 3.88 |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

• 原书误为1.69——译者注。

和

$$F_r = \frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{r_0 \sqrt{2}} \quad (15)$$

方程式 (10) 就可以写成:

$$F_H = F_h + F_r$$

因此方程式 (9) 变成:

$$h = \frac{qL}{K} F_h + \frac{qL}{K} F_r = h_h + h_r \quad (16)$$

那么总水头即为水平和幅向水流各自需要的水头  $h_h$  和  $h_r$  之和。

如同可以从表 8.1 所看到的那样,  $d$  值随着  $D$  而增大, 直至  $D \simeq L/4$ 。对于更大的  $D$  值, 等效深度  $d$  接近于常值。那么显然流态不受不透水层深度的影响 (图 8.4)。

### 8.2.3 霍赫浩特方程式的应用

霍赫浩特方程式一般用于计算排水间距, 这时已知因素  $q$ 、 $h$ 、 $K$ 、 $D$  和  $r_0$ 。如果已知  $q$ 、 $h$ 、 $L$  和  $r_0$ , 这一公式也可用于计算土壤的常数  $K$  和  $D$  (Ⅱ卷第二十六章)。因为排水间距  $L$  与等效深度  $d$  有关, 而这一深度又是  $L$  的函数, 因此这一公式不能直接得出  $L$ 。因此其应用为排水间距公式时, 有一个反复试算的过程。为了避免反复试算的过程, 要采用诺模图, 其实例示于图 8.6、8.7。

**实例 1** 对于灌溉地区的排水, 采用的排水管径为 0.1 米。它们设置在土壤表面以下 1.8 米。一层相对地不透水的土壤处在土壤表面以下 6.8 米。根据钻孔试验, 这一土壤以上的水力传导度测得为 0.8 米/天 (图 8.5)。

假定灌水一次约需 20 天。补给已抬高的地下水位的平均灌溉水损失量为 40 毫米, 故排水系统的平均流量为 2 毫米/日。

当平均地下水深维持在土壤表面以下 1.20 米时, 应采用多大的排水间距?

从上述资料我们有:  $r_0 = 0.1$  米;  $q = 0.002$  米/天;  $K_s = K_v = 0.8$  米/天;  $D = 5$  米;  $h = 0.6$  米。

将上列数值代入方程式 (13) 得出:

$$L^2 = \frac{8K_s d h + 4K_v h^2}{q} = \frac{8 \times 0.8 \times 0.6 d + 4 \times 0.8 \times 0.6^2}{0.002}$$

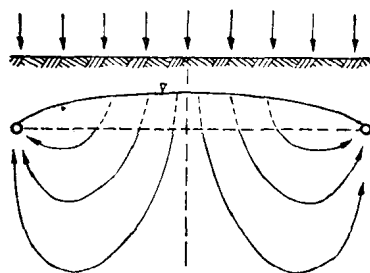


图 8.4 均质土壤较深情况下的流态

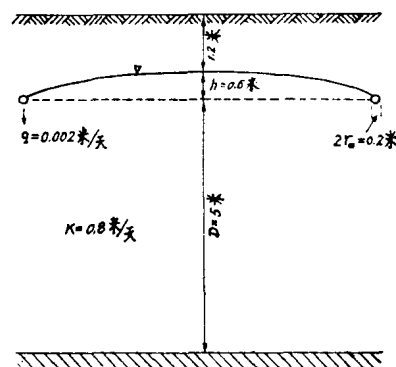


图 8.5 实例 1 的排水条件

$$L^2 = 1920d + 576$$

试算 1:

取  $L = 80$  米, 并从表 8.1 得出:  $d = 3.55$  米。  $L^2 = 1920d + 576 = 1920 \times 3.55 + 576 = 7392$  米<sup>2</sup>。这与  $L^2 = 80^2 = 6400$  米<sup>2</sup> 不符。因此,  $L = 80$  米显然太小。

试算 2:

取  $L = 87$  米, 并从表 1 读出:  $d = 3.63$  米。  $L^2 = 1920d + 576 = 1920 \times 3.63 + 576 = 7546$  米<sup>2</sup>。这与  $L^2 = 87^2 = 7569$  米<sup>2</sup> 颇为接近。

结论: 满足上述条件所需要的排水间距为  $L = 87$  米。

注意: 在方程式  $L^2 = 1920d + 576$  中, 表示排水水位以上水流的 576 这一项比较小。把它忽略可得:

$$L = \sqrt{1920d} = \sqrt{1920 \times 3.58} = 83 \text{ 米}$$

**实例 2** 为了说明图 8.6 和 8.7 的诺模图的应用, 再次考虑前面的实例。

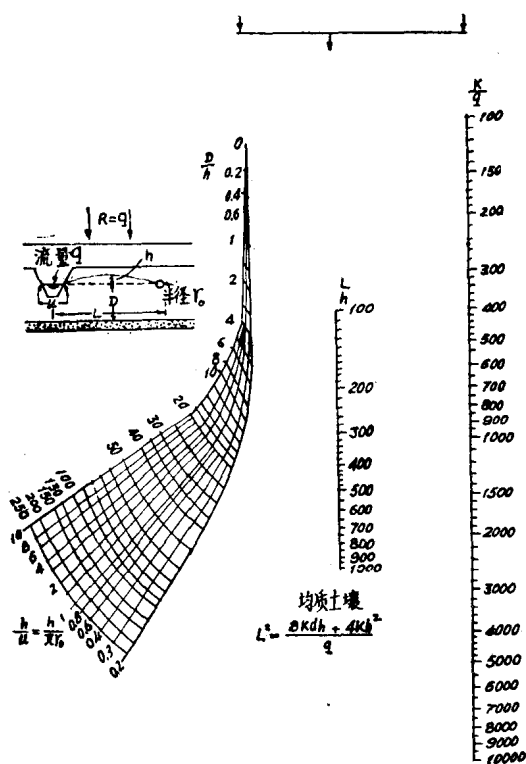


图 8.6 确定  $\frac{L}{h} > 100$  时的排水间距的诺模图(1)

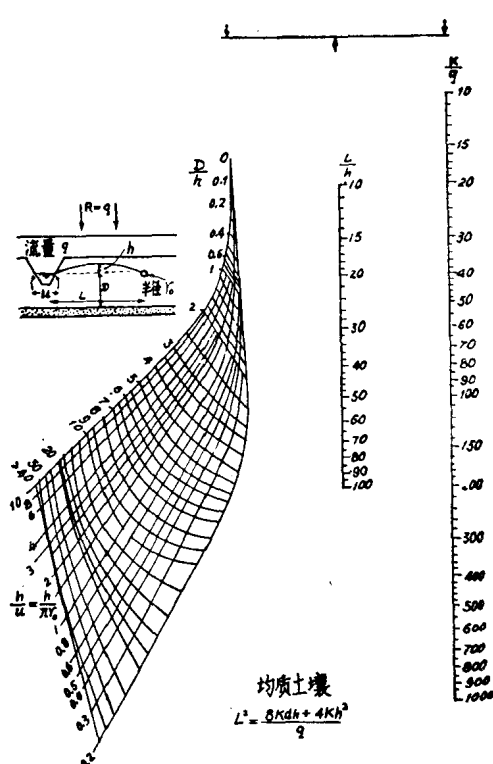


图 8.7 确定  $\frac{L}{h} < 100^*$  时的排水间距的诺模图

$$\text{计算 } \frac{D}{h} = \frac{5}{0.6} = 8.3 \text{ 和 } \frac{h}{\pi r_0} = \frac{0.6}{\pi \times 0.1} = 1.9$$

\* 原书误为  $\frac{L}{h} > 100$ ——译者注。

找出图 8.6 左边相应曲线的交点。计算出  $\frac{K}{q} = \frac{0.8}{0.002} = 400$ 。定出右边比尺的这一点，

并用直线将它与上列交点连结起来。读出这一直线与中间比尺的交点为  $\frac{L}{h} = 140$ 。最后计

算出  $L = 140h = 140 \times 0.6 = 84$  米。

同样的图表可用于明沟，这时令  $u = \pi r_0$ ，式中  $u$  是排水沟的湿周（本章 8.2.7）。

#### 8.2.4 柯卡姆方程式的原理

柯卡姆<sup>[12]</sup>对类似于霍赫浩特的问题得出了分析解，即二维水类，面积上的降水量均匀分布，且排水沟达不到不透水层。如果忽略排水沟以上的水流，柯卡姆的解可写成与方程式（9）类似的形式：

$$h = \frac{qL}{K} F_K \quad (17)$$

和 
$$F_K = \frac{1}{\pi} \left[ \ln \frac{L}{\pi r_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left( \cos \frac{2n\pi r_0}{L} - \cos n\pi \right) \left( \coth \frac{2n\pi D}{L} - 1 \right) \right] \quad (18)$$

$F_K$  值列于表 8.2。由于柯卡姆的  $F_K$  值与霍赫浩特的  $F_H$  值极为接近，故霍赫浩特和柯卡姆方程式几乎得出相同的结果<sup>[20]</sup>。

表 8.2 托克索斯和柯卡姆的  $F_K$  值

| $L/D$    | 100   | 50   | 25   | 12.5 | 6.25 | 3.125 | 1.5625 | 0.78125 |
|----------|-------|------|------|------|------|-------|--------|---------|
| $D/2r_0$ |       |      |      |      |      |       |        |         |
| 8192     | —     | —    | —    | —    | —    | —     | —      | 2.654   |
| 4096     | —     | —    | —    | —    | —    | —     | 2.65   | 2.43    |
| 2048     | —     | —    | —    | —    | —    | 2.66  | 2.43   | 2.21    |
| 1024     | —     | —    | —    | —    | 2.84 | 2.45  | 2.21   | 1.99    |
| 512      | —     | —    | —    | 3.40 | 2.63 | 2.23  | 1.99   | 1.76    |
| 256      | —     | —    | 4.76 | 3.19 | 2.40 | 2.01  | 1.76   | 1.54    |
| 128      | —     | 7.64 | 4.53 | 2.96 | 2.19 | 1.78  | 1.54   | 1.32    |
| 64       | 13.67 | 7.43 | 4.31 | 2.74 | 1.96 | 1.57  | 1.32   | 1.10    |
| 32       | 13.47 | 7.21 | 4.09 | 2.52 | 1.74 | 1.35  | 1.10   | 0.88    |
| 16       | 13.27 | 6.99 | 3.86 | 2.30 | 1.52 | 1.13  | 0.88   | 0.66    |
| 8        | 13.02 | 6.76 | 3.64 | 2.08 | 1.30 | 0.90  | 0.66   | 0.44    |
| 4        | 12.79 | 6.54 | 3.42 | 1.86 | 1.08 | 0.68  | 0.44   | —       |
| 2        | 12.57 | 6.32 | 3.20 | 1.63 | 0.85 | 0.46  | —      | —       |
| 1        | 12.33 | 6.08 | 2.95 | 1.40 | 0.62 | —     | —      | —       |
| 0.5      | 12.03 | 5.77 | 2.66 | 1.11 | —    | —     | —      | —       |
| 0.25     | 11.25 | 5.29 | 2.20 | —    | —    | —     | —      | —       |

在方程（17）表示的解中，上层区域的水流略去不计（图 8.8）。柯卡姆的论文<sup>[13]</sup>指出，如果假定这一区域内为垂直水流，水头应乘以  $(1 - q/K)^{-1}$ 。因为这一项与排水沟水

位以上土层内的水流有关, 两层问题的一般方程式为<sup>[20]</sup>:

$$h = \frac{qL}{K_b} \frac{1}{1 - q/K_a} F_K \quad (19)$$

式中,  $K_a$  = 排水沟水位以上的水力传导度; 而  $K_b$  = 排水沟以下的水力传导度。两层之间的边界, 如同在霍赫浩特解中一样, 应与排水沟水位相一致 (图 8.8)。

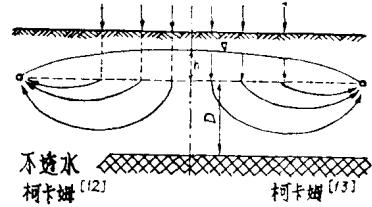


图 8.8 根据柯卡姆分析解得出的二维水流<sup>[12, 13]</sup>

### 8.2.5 柯卡姆方程式的应用

柯卡姆方程式的图解表示于图 8.9 (按<sup>[17]</sup>修改)。图解的应用将给出如下。

**实例 3** 采用图 8.1 的数据 (本章 8.2.3)。我们有:  $r_s = 0.10$  米;  $D = 5$  米;  $q = 0.002$  米/天;  $h = 0.6$  米;  $K_a = K_b = 0.8$  米/天。

在图 8.9 的垂直轴上取值:

$$\begin{aligned} & \frac{h}{D} \left( \frac{K_b}{q} - \frac{K_b}{K_a} \right) \\ &= \frac{0.6}{5} \left( \frac{0.8}{0.002} - \frac{0.8}{0.8} \right) = 48 \end{aligned}$$

从这一点以水平方向出发, 直至表示  $D/(2r_s) = 5/(2 \times 0.1) = 25$  的曲线, 它通过标志 16 和 32 的两条曲线内插求得。从这一点垂直向下, 至  $L/D$  轴读出 17, 这时  $D = 5$  米, 故  $L = 5 \times 17 = 85$  米。

### 8.2.6 达干方程式的原理和应用

与霍赫浩特的方法相类似, 达干<sup>[3]</sup>认为水流是由两部分组成的: 排水沟与距排水沟  $\frac{1}{2} D \sqrt{2}$  处之地域内的幅向水流, 以及在  $\frac{1}{2} D \sqrt{2}$

平面处和排水沟间中部平面之间的地域中中间的水流, 但主要是水平的水流。

与霍赫浩特和柯卡姆方程式相类似的达干方程式可表示为:

$$h = \frac{qL}{K} F_D \quad (20)$$

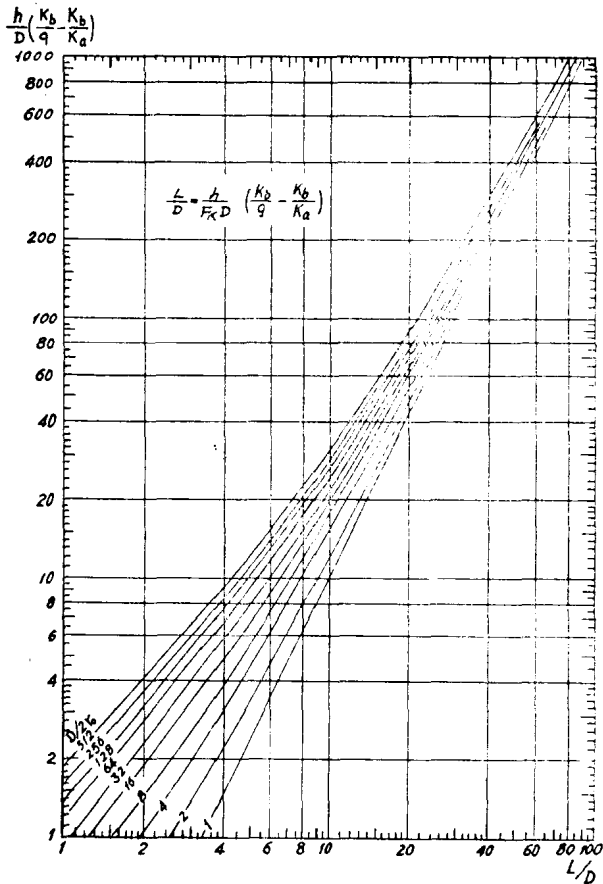


图 8.9 确定排水间距的诺模图 (按<sup>[17]</sup>修改)