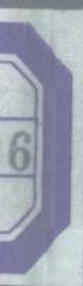


排水手册



郑州电力出版社

排水手册

美国内务部垦务局 著
水利水电科学研究院《排水手册》
翻译组译

水利电力出版社

Drainage Manual
U.S. DEPARTMENT OF THE
INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION
FIRST EDITION 1978

211.7/1

排 水 手 册
美国内务部垦务局 著
水利水电科学研究院《排水手册》
翻译组译

*

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 10.25印张 268千字
1985年12月第一版 1985年12月北京第一次印刷
印数0001—6220册 定价4.05元
书号 15143·5653

译校者的话

本手册是美国垦务局水资源技术出版物之一，是排水工程技术人员的工作参考书。手册中包括的排水系统规划、设计、施工及管理运用等方面的概念和方法，是该局自本世纪以来在美国西部十七州发展灌溉、排水所积累的大量观测资料和分析研究工作的基础上，吸取美国和其他国家排水理论与实践经验而写成的，目前在美国西部灌溉地区已广泛应用。手册在一定程度上反映了美国灌区排水科学技术的现状和成就。

手册内容简明扼要，图表及实例较多，方法及步骤具体明确，而且经过实际验证，所以有较大的实用价值。手册第一章阐述了排水的意义和重要性、排水效益、排水与灌溉农业的关系及排水对环境的影响，还介绍了本手册涉及的内容范围。第二章介绍了排水规划、设计所需要的基本资料，如地形、地质、土壤特性、盐碱化情况以及暴雨径流与入渗、田间灌溉与深层渗漏等估算方法及应用图表，并介绍了根据大量原状土试验资料而得出的导水度与给水度关系曲线，在排水计算中是非常有用而难得的资料。第三章比较全面的介绍了室内和野外测定导水度的方法，对每种方法的试验设备，操作步骤，计算方法和适用范围，都作了详细的说明，并举了许多实例。是垦务局多年室内外观测工作的经验总结，参照所推荐的方法、步骤和所附图表，可以准确而迅速地取得排水计算的基本参数。第四章介绍了排水调查研究的目的和内容，并阐述了引起排水问题的各种水源、地下水动态、地下水向排水管汇集以及排水经济分析等，对电模拟方法在排水问题中的应用作了较详细的介绍。第五章重点介绍了垦务局计算排水管间距的方法——瞬变流方法，并与美国西部常用的唐南方法——稳定流方法进行了比较。还介绍了确定从灌溉渠道中心到第

一道截渗排水管距离的方法。对于排水明沟断面水力要素和流量，排水暗管外包材料，和排水系统建筑物的设计方法等，也作了详细的介绍和规范性说明。第六章介绍了排水系统的管理运用和维修养护。第七章介绍了应用瞬变流概念分析灌区回归水流达到“动态平衡”的方法。

本手册由水利水电科学研究院《排水手册》翻译组译，黄荣翰、李纬质、瞿兴业同志校阅。

本手册可供灌溉、排水工程技术人员实际工作中应用，也可供农田水利专业的教学及科研人员参考。使用本手册时如与《农田排水》（中国工业出版社，1956年）、《农业排水》（水利出版社，1982年）等书互相参阅，彼此补充，可发挥更大的作用。

限于时间及业务水平，译文中某些不够满意或欠妥之处，敬请读者不吝指正。

1984年6月

序 言

人们这样称谓世界灌溉，“它是一门现代科学——（人类赖以）●生存的科学。”这门科学的主要组成部分是改善与保持作物根层具有适合于它生长的水分、空气和盐分平衡条件。排水是形成这种平衡所需的最重要活动之一。

在人类成功地实施灌溉农业的地方，人们正不断地把自己的土地扩大，以使不断增长的人口生活得更加健康，并使文化事业阔步前进。在排水被忽略或不受重视的地方，人类的发展和文明进化就会停滞不前。导致世界上许多灌溉工程失败的一个最主要原因大概就是缺乏足够的排水。历史一再表明，必须从土壤中排除过多的水分和盐分，才能使灌溉获得永久性的成功。如果说灌溉是人类赖以生存的科学，那么，可以再加上一句：排水提供了灌溉存在的条件。灌溉本身所取得的利益，就是排水重要性的基本评价。

1904年通过垦务法以后不久，垦务局就开始进行灌溉土地的排水，然而，直到20世纪40年代末50年代初，垦务局的工程师们才开始努力作出尝试，将灌溉土地的排水技术发展成为现代工程科学。

已经证明这本手册中包括的工程方法和概念对于为获得长期效益的灌溉工程的排水系统规划、施工和管理有实用意义。本手册不是一本教科书。一般不包括有关工程方法的数学推演和实验过程。实际上，甚至使用这些方法的新途径也没有包括进去。本手册为排水工程师们提供一种简便的参考资料，同时也是进行正确估算排水标准的指南。如果合理地遵循其设计和施工准则，将

● 括号内的文字是译者根据后文所加。

使灌溉地区具有可靠的排水系统。

本手册中所有的方法与技术，通过世界许多灌溉地区的野外观察，证明是令人满意的。其中某些方法有独到的发展和科学基础，并且都是为解决野外实际问题而提出的。

本手册中包括近25年来经垦务局全体工作人员发展起来的技术。诸如R.J.小温格、L.D.杜姆、J.N.克里斯托弗、W.F.瑞安和G.P.布隆斯基尔等各位先生，他们是对这些新概念曾经作出主要贡献的人。

这些概念的数学推导和计算机处理，主要由R.E.格洛弗、W.T.穆迪和R.W.里本斯等人所提出。有价值的研究成果是由E.J.卡尔森和E.R.齐格勒等人提供的。

野外评价及其应用是垦务局野外工作队和管理机构的主要任务。如果没有他们的献身和努力，许多概念几乎只能停留在理论假定上。我们特别感谢指导这些评价的人：D.A.巴克、K.G.贝特曼、M.D.J.巴蒂斯塔、W.C.贝尔、基思·坎贝耳、C.L.克利斯坦森、D.A.德布鲁因、R.J.爱弗茨、R.R.弗罗格、J.E.富勒、H.T.哈德曼、P.J.肯尼迪、W.A.李兹特、R.O.伦德、C.R.梅基、A.E.马西森、约翰·蒙太什第三、P.M.迈尔斯、G.E.内夫、H.R.纳尔逊、C.A.纽曼、N.E.诺伊斯、P.J.皮尔逊、J.A.帕格斯利、G.D.桑德、J.M.沙克、H.A.沙威尔斯、W.O.沃森、R.H.韦默和约翰·威利福德。

排水与土地分类和工程经济的关系，是由于J.T.马雷蒂克、W.B.彼得斯、埃德蒙·巴伯和有关工作人员的努力而得到发展。C.R.迈耶霍弗尔、W.H.亚格尔、R.J.温格、J.N.克利斯托弗和R.D.摩尔，对本手册的全部编写作出了主要的贡献。

目 录

序 言	译者 瞿兴业
第一章 绪论	译者 张友义 1
1-1. 概述	1
1-2. 本手册范围	2
1-3. 排水的历史	3
1-4. 排水的重要性	3
1-5. 排水的效益	3
1-6. 排水与环境	5
1-7. 排水术语	6
第二章 基本资料	译者 苏敏珍 周福国 10
2-1. 概述	10
2-2. 地形	10
2-3. 地质	12
2-4. 土壤特性	15
2-5. 盐化和碱化	26
2-6. 地表径流	35
参考文献	55
第三章 田间与室内试验方法	译者 石凤霞 56
A. 地下水面以下导水度的现场试验	56
3-1. 目的	56
3-2. 确定导水度的钻孔试验	56
3-3. 确定导水度的测压管试验	69
3-4. 确定导水度的单井水位下降试验	76
B. 地下水面以上导水度的现场试验	76
3-5. 目的	76
3-6. 测定导水度的浅井注水试验	78
3-7. 圆环形渗透计试验	90

3-8. 试坑法试验	98
3-9. 确定入渗率的试验	99
C. 确定导水度的室内试验	103
3-10. 测定非扰动土样的导水度	103
3-11. 测定扰动土样的导水度	103
D. 观测孔与测压管	104
3-12. 概述	104
3-13. 观测孔的位置	104
3-14. 观测孔的装置	105
3-15. 观测孔的套管	105
3-16. 测压管	106
3-17. 测压管的装置	107
3-18. 观测孔的记录	108
3-19. 观测孔的编号系统	108
3-20. 水位埋深的量测工具	112
3-21. 观测孔的堵塞	115
参考文献	116
第四章 排水调查研究	译者 苏敏珍 吴允芳 张友义 117
4-1. 排水调查和研究的范围	117
4-2. 调查中的各种因素	117
4-3. 审阅现有资料	118
4-4. 野外踏勘	118
4-5. 地下踏勘	121
4-6. 等效隔水层	121
4-7. 地质影响	121
4-8. 水资源研究	123
4-9. 地下水研究	124
4-10. 地下水向排水沟(管)汇集	129
4-11. 排水出流条件	129
4-12. 排水沟(管)的位置	132
4-13. 排水线路编号	133
4-14. 现有的建筑物	133

4-15. 有关排水问题经济方面的考虑	134
4-16. 用于喷灌的排水	138
4-17. 用以估计喷灌所引起深层渗漏量的试验	139
4-18. 电拟模型在研究排水问题中的应用	141
参考文献	149

第五章 设计与施工.....译者 杨碧茹 余玲150

A. 排水管的间距.....150

5-1. 概述	150
5-2. 方法的背景	151
5-3. 需要的资料	153
5-4. 收缩度	156
5-5. 深层渗漏与地下水位壅高	157
5-6. 资料的应用	163
5-7. 高于隔水层的排水管	163
5-8. 在隔水层上的排水管	166
5-9. 瞬态(非稳定)流曲线的其他用途	166
5-10. 应用稳定流公式确定排水管间距	170
5-11. 确定已知间距的排水管流量	172
5-12. 确定管道尺寸的设计流量	175

B. 截渗排水暗管

5-13. 截渗排水暗管	176
5-14. 在未衬砌干渠或支渠以下第一道排水管的位置	177
5-15. 倾斜灌溉土地上第一道排水管的位置	181

C. 排水明沟

5-16. 概述	191
5-17. 明渠水流	191
5-18. 排水沟中的流速	194
5-19. 排水沟的深度	195
5-20. 排水沟的断面	196
5-21. 排水沟的边坡	196
5-22. 排水支沟的交会点	196
5-23. 地面水进口	196

5-24. 渐变段	197
5-25. 设计流量	197
5-26. 建筑物	201
5-27. 天然河渠	202
5-28. 分期施工	203
D. 暗管排水	203
5-29. 概述	203
5-30. 排水用管道	203
5-31. 暗管规范	206
5-32. 集水沟	208
5-33. 排水暗管的埋深	208
5-34. 坡度与定线	214
5-35. 外包材料(包裹料)	214
5-36. 确定外包材料的导水度	217
5-37. 缝隙宽度、管段长度和外包材料的导水度	218
5-38. 排水暗管基础的稳定性	224
5-39. 排水暗管的铺设	225
5-40. 排水暗管的检查与试验	228
5-41. 排水暗管沟槽的回填	228
5-42. 人孔(检查井)	229
5-43. 地面水进口	230
5-44. 出流建筑物	232
5-45. 排水管的强度	232
5-46. 管子的尺寸	239
5-47. 排水暗管的过水能力	239
5-48. 排水集水井和抽水站的设计	243
E. 特殊排水类型	246
5-49. 概述	246
5-50. 减压井	246
5-51. 抽水井	246
5-52. 倒流井或回灌井	247
F. 排水管的勘测与设计	247

5-53. 概述	247
5-54. 调查研究步骤	247
5-55. 根层(土壤)的持水能力	251
5-56. 年灌溉制度	252
5-57. 灌溉输水和灌溉引起的深层渗漏	253
5-58. 形成高地下水位条件的其他水源	254
5-59. 隔水层的确定	257
5-60. 排水管的深度	257
5-61. 排水管间距的确定和排水管的位置	259
参考文献	261
第六章 排水系统的管理与养护	译者 张友义 263
6-1. 概述	263
6-2. 地下暗管排水系统	263
6-3. 明沟排水系统	265
6-4. 废水处理池	267
6-5. 排水观测井	267
6-6. 排水政策与基本要求	267
第七章 特殊排水问题	译者 吴允芳 268
7-1. 应用瞬态流概念分析回归水	268
参考文献	285
附录 国际单位与美国通用单位换算表	译者 瞿兴业 286
索引	译者 瞿兴业 293

第一章 绪 论

1-1. 概述——使灌溉农业获得成功的一个基本要求，就是建立和保持有利于作物生长的水分、氧气、盐分平衡的土层。作物生长既需要水分，又需要氧气。当含盐的地下水位升高并在根层内停留时间达48小时以上时，将造成一种不正常的高度含盐的水分状况，农业生产往往受到严重影响。

在根层内，土壤[●]孔隙中氧气的存在，对种子发芽和作物生长来说，就象水分那样是必需的。土壤的含氧量，取决于氧气通过土壤孔隙的扩散速度，而且还明显地受土壤湿度的影响。土壤初始湿度低时，土壤颗粒之间一般相对地存在着自由孔隙结构，可使氧气通过孔隙自由渗透。当土壤湿度增高时，孔隙内的空气被水置换，于是强迫空气上升并随之将其排到大气中。然而，一旦氧气被排出，土壤再从潮湿状态转变到比较干燥状态的过程中，含氧量的恢复速度是非常缓慢的。这是因为通过土壤孔隙的气体扩散速度本来就缓慢，而且当水分尚未完全充满土壤孔隙时，土壤内产生的毛细管应力现象也会影响气体扩散速度。通过适当的排水，可以在一定程度上保持土壤水分和氧气之间的平衡。

适当排水的简明而又综合的定义是：为保证作物正常的生长速度，而从土壤中及时排除过量的水分和盐分。对适当排水也可以这样来下定义：有效地和持久地保持农业生产所需要的排水总量。尽管如此，这并不意味着要实现完全的和理想的排水。一般说来，这是难以实现的。因为，防止作物偶然性损失的成本大

● 本技术手册内“土壤”一词，用以泛指基岩以上地球覆盖物那一部分，包括土壤学家称为土壤、底土和底层的物质

小，不可能只由排水总量大小来证明是否合理，还必须从经济上来论证。主要目标应该是设计和建造一个具有土壤、作物、灌溉和排水最优组合的排水系统。

排水可以是天然的或者人工的，大多数土地具有某种程度的天然地面排水或地下排水。当天然排水不足以排除土地上由于自然或人为来水时，就需要采取人为措施，即所谓“人工”排水。这样，人工排水是用来弥补在天然排水能力与需要的排水标准之间存在的差距。这项任务通常由改善现有的天然排水系统来完成。例如，加深天然排水河道，或在没有天然排水河道的地方建设新的排水河道。土地的每种自然条件和人们对土地的农业利用潜力，几乎都将对最终的排水需要产生影响。在湿润地区，由于不存在盐分进入根层运动的问题，因此浅而密的排水沟就可以保证迅速降低春季的地下水位，从而可以较早的备耕整地和进行种植。在干旱的灌溉地区内，地下水位在春季一般最低，但由于融雪、春雨和早期灌溉的结果，地下水位开始升高，由于升高的地下水内可能含有盐分，如果允许其侵入根层，必将影响种子发芽和作物生长。所以，在干旱地区设计的排水沟必须有足够的深度和较小的间距，在两条排水沟之间产生足够的水头，使地下水能及时流入排水沟，并保证在作物生长季节的任何时候，地下水位不能上升至根层。在良好的灌水技术下，含盐的地下水在作物生长季节通过毛管升高而进入根层的现象通常是不会发生的。控制性灌溉及其所形成的深层渗漏，足以保持根层土壤盐分得到淋洗，而且也提供了充分的湿度来防止显著的毛管水上升运动。

1-2. 本手册范围——本技术手册评价解决各种排水问题的方法和技术，建议需要的有关资料，并说明从何处和如何获得这些资料，以及如何记录、表示、分析和应用这些资料。手册讨论了预测排水需要的问题，并对排水设计标准和施工标准提出了建议。本手册不打算用作排水理论教课书，而是致力于排水工程知识的田间运用。它不提供解决每一排水问题的详细方法，因为良好的判断以及适宜的步骤一定要在解决排水问题时应用。本手册

就是为了用于实践而提供指导。

1-3. 排水的历史——据考古发现，在人类有历史记载很久以前，已经建立了排水沟并有了排水工程的实践。古代的排水系统有些是简单的，有些是比较精心作成的，但完全成功的很少，而且实际上没有一个能完整地保存到现在。人类在排水实践中出现的问题，部分归之于对排水系统的疏忽，部分是由于对所包括的物理的和技术的问题缺乏了解。现在，人类的基本知识和对土壤物理学与水力学的了解正被应用于排水问题，而且排水工程也从“修建在这里，再看它如何工作”的初始阶段迅速地发展起来。但是，排水工程毕竟不是一门严格的科学，或许永远不会成为严格的科学，因为它在很大程度上仍然是用经验和常识来判断问题。

1-4. 排水的重要性——排水对于一个工程和一个地区或国家的灌溉经济的重要性常常被低估了。从美国和世界其他国家的灌溉历史得出一个普遍的无法避免的结论，即要使灌溉获得成功，必须进行排水。仅仅在同时具有充分的天然地面排水和地下排水的少数灌区内，才能将过多的地面水和灌溉的深层渗漏水从土地内迅速地、自然地排走，以防止地下水上升到临界水位。在天然排水不足和人工排水不能经济有效实行的地方，土地不能长期进行灌溉。有些灌区，原来地下水位埋深达20至100英尺，而且表面上具有良好的天然排水条件，但是最终发展成过高的地下水位，导致了土地积水或盐渍化，或两者兼有。

人们的认识和愿望往往是自相矛盾的。没有人否认排水的必要性，但是仍有许多人热切地希望没有排水也能过得去。渠道和配水系统也是重要的，但在这一点上看法也是类似的。当然，没有渠道和配水系统就不可能有灌溉农业，但是，没有排水却可能有灌溉农业——名不副实的和暂时的灌溉农业。在开始灌溉以后的一段时间内，高地下水位和高盐分含量的征兆可能不会发生，但是，在认识到需要排水以前，土壤恶化的现象却会出现。

1-5. 排水的效益——判断人为活动所起的效益往往带有很

大的主观性。因此，我们在本节中列举的各项排水效益，会被那些持有不同价值概念的人们所轻视。在本手册内，将根据建立和保持持久农业的观点来探讨排水的效益。直接促使作物茁壮成长和增进从事种植这些作物的人们的福利的各种条件，都将被认为是有效益的。但是，在另一些方面，有些效益明显地被我们的生态学家视为不利因素来解释，这是排水专家们应该时常记住的。

土壤是一种包括液体、气体和固体物质的多孔介质，它供给作物所必需的水分、氧气和养料。除非能保证水分和氧的供应，否则将减少作物对养分的吸收。排水对保证氧的供应有重要的意义。与排水及作物生长有关的其他要素还有土壤温度、抗病性、根系生长以及有利于作物生长的化学和生物学条件。

在所有上述各要素中，排水是十分重要的。饱和土壤直接阻碍作物对水和养分的吸收，并抑制根系生长。排水不良的土地妨碍好气性细菌的繁殖，而作物需要由好气性细菌提供它所需要的氮。在饱和土壤中，由于氧的不足，妨碍了可利用形式的氮和硫的形成。此外，在饱和土内还会形成有毒的有机化合物和无机化合物。

地下排水能为保持土壤结构和适耕性创造有利条件，这对含有膨胀性粘土的重质地土壤更是如此。排水良好的土壤有利于提高整个季节的农田耕作效率；排水不良的土壤不利于整地、播种、耕作、灌溉和收割等田间操作。

与排水良好的土壤相比较，饱和土壤温度每提高 1°F 需要其3倍的热量，而且通常比排水良好的类似土壤温度低 $7\sim 14^{\circ}\text{F}$ 。排水能使春天土壤早日变暖，从而促进土壤内生物的和化学的活动，这对种子发芽和作物生长是很重要的。排水良好的土壤比类似的饱和土壤能使播种提前2至3个星期，这对于生长季节短和早收割高售价的地区尤为重要。

多数植物的根系不能深入到地下水位以下。在高地下水位地区，根系较浅，而且对病害更敏感。冷而湿的土壤，可能加强许多病害有机物侵袭弱苗的活动。在排水的土壤内，作物的根能

扎得更深，于是扩大了作物的营养物质的供应，从而使作物生长健壮和旺盛。

只有在良好排水的土壤条件下，才能实现对于盐渍化和碱化的适当控制。冲洗水必须能够通过整个土壤剖面，把过多的盐分排除到根层以外，如果没有充分的排水条件，是难以完成的。与此相反，在排水不良、地下水位高的情况下，毛细管作用将使盐分运移到根层里面并积聚起来。

良好的排水引起的某些不太明显的效益是：减少或消除蚊子和其他昆虫的繁殖地；控制肉毒杆菌；消除沼泽化和杂草丛生以改良耕地；消除公路的松软部位，从而降低养路费用，并为收割机械提供坚硬、干燥的地面。

总之，适当排水的效益是：农作物有一个较长的生长季节；增加了土壤耕作层；作物生长期提前和生长旺盛，产量较高；易于选择种植何种作物；降低生产成本；防治病菌和杂草；以及提供干燥、坚实的地面。

1-6. 排水与环境——对于多目标的工程，应当分析除农业以外的各个方面因素的效益和成本。可惜的是，有关环境因素的许多得失，还未曾以任何常用的单位进行定量表示。美元和美分似乎常用于经济分析，因为应用这些单位能够估算出建设一个排水系统的实际成本。但是，为了消除和改善环境某一方面，并用其他方面来代替它的纯价值，目前仅以人们所涉及的私有价值为基础。某些灌溉工作者倾向于把他们土地上的野生动物的栖息地视为一种讨厌的杂草丛生地，但是，作为生态学的一部分评价时，野生动物专家会把不长植物的农场看作不毛的荒地。因此，排水工程技术人员必须越来越多地重视设计、施工和工程管理运用等各方面的价值。在鉴定他们的工作对环境的影响时，应与其他有关学科分工负责。

虽然某些效益不能以货币为单位来定量表示，但它们往往可以少花钱或者不花钱而得以实现。例如，养鱼业可以很自然地在大型排水系统中自行建立起来。只要具备有关建立鱼类适宜繁殖场