

天津滨海盐碱土灌排改良工程技术参数估算方法

张金龙^{1,2}, 张清^{1*}, 王振宇^{1,2}

(1. 天津泰达园林建设有限公司, 天津 300457; 2. 天津市盐碱地生态绿化工程中心, 天津 300457)

摘要: 为了控制盐碱土灌排改良质量、节约水土资源和降低改良成本, 必须合理规划设计灌排改良工程技术参数。该文系统分析盐碱土灌溉冲洗与排水改良, 把暗管排水条件下盐碱土冲洗改良水分运动视为二维稳定流, 根据水盐运移特征, 运用 Vedernikov 入渗方程、Van der Molen 淋洗方程、水量平衡方程等推求盐碱土灌排工程改良暗管间距、淋洗定额等技术参数, 提出了适应滨海新区自然环境的灌排改良工程技术参数估算方法, 并通过算例进行了演算; 计算值与当前滨海新区盐碱土灌排工程改良采用的经验数据比较接近。研究结果为天津滨海新区盐碱土生态治理规划提供了参考依据。
关键词: 盐分, 淋洗, 暗管排水, 盐碱土, 技术参数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.08.009

中图分类号: S276

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-08-0052-04

张金龙, 张清, 王振宇. 天津滨海盐碱土灌排改良工程技术参数估算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 52-55.
Zhang Jinlong, Zhang Qing, Wang Zhenyu. Estimating method of irrigation and drainage engineering technical parameters for coastal saline-alkali soil reclamation in Tianjin[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 52-55. (in Chinese with English abstract)

0 引言

灌溉淋洗和排水改良措施是重盐碱土改良重要的手段^[1-3]。为了控制灌排改良质量、节约水和土地资源, 降低改良成本, 在实施灌排工程前应预先确定有关的工程技术参数, 如淋洗定额、排水暗管或明沟间距和深度等。一些学者对盐碱土冲洗改良技术指标进行了研究^[4-6]。瞿兴业等对暗管或明沟排水工程技术参数进行了研究^[7-8]。明沟或暗管的存在改变了灌溉淋洗土壤水力特性和水分运动, 从而影响土壤盐分淋洗^[9-10]。但把灌溉淋洗与排水工程作为整体, 考虑排水工程措施对灌溉淋洗的作用, 系统分析盐碱土灌排改良工程指标的研究较少。

天津滨海新区规划面积 2 270 km², 其中滨海盐碱地面积 1 958.9 km², 占土地总面积的 86.3%。为了实现把天津滨海新区建设成生态宜居的城区的目标, 必须对大面积的盐碱土进行改良与生态绿化。本文针对滨海新区自然环境和资源条件, 对盐碱土灌排改良相关工程技术参数计算方法进行了探讨, 为天津滨海新区盐碱土生态治理规划与设计提供参考。

1 灌排改良土壤水盐运移规律

1.1 灌排改良土壤水分运动

假设土壤为均匀、各向同性多孔介质, 漫灌水层厚

度比较小、并保持一致, 地表漫灌水垂直田面入渗。在暗管排水条件下, 漫灌过程土壤水分运动状态可视为二维稳定流(图 1)。田面各点离暗管水平距离越近, 水力梯度越大, 水分垂直入渗强度越大; 离暗管水平距离越远, 水力梯度越小, 水分垂直入渗强度越小^[11-12]。Vedernikov^[13]利用保角映射方法推求出了不同条件下田面各点入渗强度公式。天津滨海新区地下不透水层深度(M)一般较大, 而为了缩短盐碱土改良时间一般设置较小的暗管间距(L), 盐碱土灌排改良田面各点水分入渗特征可采用 $\frac{L}{2M} \leq 1$ 条件下的 Vedernikov 入渗公式描述^[13]。

公式如下

$$\varepsilon_x = \varepsilon_a \cdot \frac{\tan h \frac{\pi D}{L}}{\tan h^2 \frac{\pi D}{L} + (1 - \tan h^2 \frac{\pi D}{L}) \sin^2 \frac{\pi x}{L}} \quad (1)$$

式(1)中, x 为田面入渗点到暗管中心的水平距离, m; D 为暗管埋深, m; L 为暗管间距, m; ε_x 为距暗管中心 x 水平距离处的田面入渗强度, m/d; ε_a 为田面平均入渗强度, m/d。

根据水量平衡原理, 田面入渗水量与暗管排水量相等, 可得

$$\varepsilon_a = \frac{q}{L} = \frac{KH}{AL} \quad (2)$$

式(2)中, q 为单位管长的排水流量, m²/d; K 为土壤渗透系数, m/d; H 为有效水头, 等于田面水头与暗管水头之差, m; A 为排水修正系数, 可由式(3)求得

$$A = \frac{1}{\pi} \operatorname{artanh} \sqrt{\frac{\tan h \frac{\pi(D-r)}{L}}{\tan h \frac{\pi(D+r)}{L}}} \quad (3)$$

式(3)中, r 为排水暗管半径, m。

收稿日期: 2010-12-30 修订日期: 2011-07-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC55B03); 天津市科技支撑计划重点项目(10ZCGYSH02300)

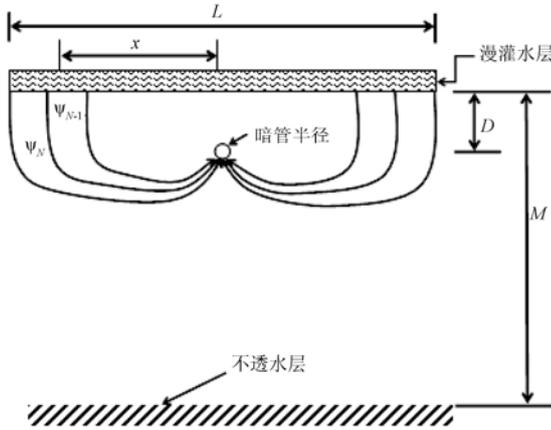
作者简介: 张金龙(1973-), 男, 湖北石首人, 高级工程师, 一级建造师, 造价工程师, 主要从事盐碱土生态治理研究与生态恢复工程建设与管理。天津 天津市盐碱地生态绿化工程中心, 300457。

Email: namezjl@yahoo.com.cn

*通信作者: 张清(1962-), 男, 内蒙古凉城人, 正高级工程师, 主要从事生态园林以及盐碱地绿化方面研究。天津 天津市泰达园林建设有限公司, 300457。Email: localplant@163.com

由式 (1)、(2) 可求得两暗管中间地段 ($x=L/2$) 田面入渗强度 $\varepsilon_{L/2}$, 如下

$$\varepsilon_{L/2} = \frac{KH}{AL} \cdot \tan h \frac{\pi D}{L} \quad (4)$$



注: M 为不透水层深度, m; L 为暗管间距, m; x 为田面入渗点到暗管中心的水平距离, m; D 为暗管埋深, m; ψ_N 、 ψ_{N-1} 为距暗管最远和次远的两根流管。

图 1 灌排改良土壤水运动示意图

Fig.1 Schematic diagram of soil water flow into drain

1.2 灌排改良土壤盐分运移

漫灌暗管排水条件下土壤盐分随水分而二维运动, 暗管附近水分渗流速度大, 运动距离短, 土壤盐分淋洗迁移快; 离暗管越远, 土壤水分渗流速度越慢, 运动距离更远, 土壤盐分淋洗迁移也越慢^[14-16]。将漫灌暗管排水条件下的渗流场划分为 N 个间距为 $\frac{L}{2N}$ 的流管 ψ_n

($n=1, 2, \dots, N$)。二维稳定流状态下, 各流管流量稳定, 并且各流管单位横截面积平均流量 q_n 等于平均入渗强度 ε_n ($n=1, 2, \dots, N$)。当 N 较大时, 土壤改良目标深度范围内的各流管区段类似于土柱, 灌溉淋洗土壤盐分的二维运动可近似为一维运动。这样把复杂的盐分二维运动简化为一维运动来研究。描述土壤一维淋洗脱盐的模型较多, 其中 Van der Molen 淋洗方程能较好描述流管区域土壤盐分脱盐规律^[17-18], 公式如下

$$C_t = C_i + (C_0 - C_i)e^{-fq_n t/w} \quad (5)$$

式 (5) 中, t 为灌溉淋洗改良时间, d; C_0 为改良土层初始平均盐分质量浓度, mg/L; C_t 为淋洗后改良土层平均盐分质量浓度, mg/L; C_i 为灌溉淋洗用水盐分质量浓度, mg/L; q_n 为通过流管上口单位横截面积的平均流量, m/d; w 为改良土层饱和水量, m; f 为淋洗效率系数, 一般中、细质地土壤为 0.85, 砂质土壤为 0.95~1.0。

2 灌排改良工程技术参数计算

2.1 暗管埋深

暗管埋深一般按如下公式计算^[13]

$$D = h_p + \Delta h + h_0 \quad (6)$$

式 (6) 中, h_p 为植物要求的土壤改良深度或地下水位埋深, m; Δh 为两排水暗管中间点地下水位与暗管中水位

之差, m。该值大小与土壤质地和暗管间距相关, 一般取 0.2 m; h_0 为排水暗管中水深, 通常取管径的一半。

绿化乔灌木根系一般主要分布在 0~1 m 土层范围内, 草坪、地被植物根系一般主要分布在 0~0.4 m 土层范围内。根据式 (6), 滨海新区盐碱地绿化栽植乔灌木时暗管埋深应不小于 1.2 m, 栽植草坪、地被植物时暗管埋深应不小于 0.6 m。

2.2 暗管间距

根据式 (5) 可得

$$q_n = -\frac{w}{ft} \ln \frac{C_t - C_i}{C_0 - C_i} \quad (7)$$

盐碱土灌排淋洗改良土壤脱盐不均匀, 离暗管最远的流管 ψ_N 流量最小, 淋洗脱盐也最慢。当该流管区域土壤达到脱盐目标时, 其它流管区域土壤早已达到脱盐目标。以该流管区域土壤为研究对象。

离暗管最远的流管 ψ_N 的单位面积平均流量为 q_N , 等于该流管平均入渗强度 ε_N 。当 $N \rightarrow \infty$, 也就是把渗流场划分为无数个流管, 这时各流管由非常接近的两根流线组成, 可以视为一根流线, 这样各流管平均流量近等于流线所在位置的田面入渗强度。因而离暗管最远的流管 ψ_N 的单位面积平均流量 q_N 近等于离暗管水平距离最远处 ($x=L/2$) 流线所在位置的田面入渗强度 $\varepsilon_{L/2}$, 根据式 (4)、(7) 可得

$$q_N = \varepsilon_{L/2} = -\frac{w}{ft} \ln \frac{C_t - C_i}{C_0 - C_i} = \frac{KH}{AL} \cdot \tan h \frac{\pi D}{L} \quad (8)$$

当了解土壤基本性状, 确定改良目标后, 就可以根据式 (8) 计算所需暗管间距 L 。

2.3 淋洗定额

$$I = \varepsilon_a t = \frac{\varepsilon_{L/2}}{\tan h \frac{\pi D}{L}} \cdot t \quad (9)$$

上式中, I 为灌溉淋洗定额, m。

2.4 暗管内径

根据公式 (2), 在知道暗管长度 l 后, 可计算暗管排水流量, 具体如下

$$Q_s = ql = \varepsilon_a l L = \frac{\varepsilon_{L/2}}{\tan h \frac{\pi D}{L}} \cdot l L \quad (10)$$

式 (10) 中, Q_s 为暗管排水流量, m³/d; l 为暗管长度, m; 其它同上。当暗管埋设方式采用中间高, 向两端排水时, l 取暗管实际长度的一半; 当暗管埋设坡向一致, 并向一端排水时, l 取暗管的实际长度。

暗管内径与排水流量、设计坡降和管材等因素相关, 可根据 Manning 公式^[18]求得

$$d = 1.548(nQ_s)^{0.375} i^{-0.188} \quad (11)$$

上式中, d 为暗管内径, m; n 为曼宁糙率系数, 波纹管通常取 0.016; i 为暗管设计坡降, 一般为 0.001~0.003。

将计算所得的暗管内径值 d 与设计值 $2r$ 比较, 合理调整设计值。

3 算例分析

已知天津滨海新区盐碱土初始平均含盐质量分数为 1.53% (饱和溶液盐分质量浓度 C_1 46.8 g/L), 饱和体积含水率 42.6%, 渗透系数 K 为 0.082 m/d, 体积质量为 1.46 g/cm³, 质地粉质黏壤土, 地下水位埋深 1.6 m, 土壤含水层厚 M 为 20 m。采用灌溉冲洗与暗管排水改良土壤, 为了在较短的时间内改良土壤, 并满足园林植物正常生长要求, 改良目标设计为冲洗改良土壤深度 h_p 1 m, 土壤改良目标含盐质量分数为 0.3% (饱和溶液盐分质量浓度 C_2 9.2 g/L), 冲洗改良时间 t 分别为 30、45、60 d, 试分别求灌溉冲洗定额 I 和暗管埋深 D 、间距 L 与内径 d 等参数。

求解

1) 暗管设计内径较小 (0.09 m), 暗管中水深 h_0 可以忽略不计, 根据式 (6) 求得 $D=1+0.2=1.2$ m。

2) 假设暗管排水不承压, 田面水层厚度和暗管内水层厚度较小, 忽略不计, 则田面与暗管水头差 H 就是暗管埋深 D , 根据式 (8), 当 $t=30$ d 时, $\varepsilon_{L/2}=0.0272$ m/d, $L=3.78$ m; 当 $t=45$ d 时, $\varepsilon_{L/2}=0.0181$ m/d, $L=5.01$ m; 当 $t=60$ d 时, $\varepsilon_{L/2}=0.0136$ m/d, $L=5.99$ m。

3) 根据式 (9) 可得, 当 $t=30$ d 时, $I=1.07$ m; 当 $t=45$ d 时, $I=1.28$ m; 当 $t=60$ d 时, $I=1.46$ m。

4) 采用波纹塑料管, 假定暗管长度 $l=50$ m, 坡降 $i=0.002$ 。根据式 (10)、(11) 可得: 当 $t=30$ d 时, $Q_s=6.76$ m³/d, $d=3.05$ cm; 当 $t=45$ d 时, $Q_s=7.13$ m³/d, $d=3.11$ cm; 当 $t=60$ d 时, $Q_s=7.30$ m³/d, $d=3.14$ cm。计算所得的暗管内径小于设计的暗管内径 (9 cm), 设计暗管内径能满足排水要求, 并能保证排水时不承压。

4 讨论

把暗管排水条件下盐碱土漫灌冲洗改良水分运动视为二维稳定流, 根据水盐运移特征和水量平衡原理, 运用 Vedernikov 入渗方程、Van der Molen 淋洗方程等推求盐碱地灌排改良工程技术参数, 提出了适应滨海新区自然环境的灌排改良工程暗管埋深、暗管间距、暗管管径、淋洗定额等技术参数估算方法。当前滨海新区盐碱土灌排工程改良技术参数主要采用经验数据, 暗管埋深设计一般为 1.2 m, 暗管间距在 3~8 m 之间, 暗管管径 6.3~11 cm, 与本文估算方法计算结果比较接近。下一步将通过具体试验来验证。

按照以上方法计算的灌溉淋洗定额是淋洗净需水量, 在确定实际需水量时应考虑降雨量和地表、地下水蒸发量等。淋洗定额根据保证两暗管中间地段土壤达到脱盐标准而计算, 由于灌溉淋洗水分不均匀入渗, 当该地段土壤脱盐达到改良目标时, 其它地段土壤早已达到改良目标, 因而造成水资源浪费, 该淋洗定额为最大净淋洗定额。本算例不同暗管间距下, 漫灌淋洗水资源浪费量分别是 0.26、0.47、0.65 m。可见暗管间距越大, 全区域漫灌淋洗水资源浪费量越大。为了减少盐碱土灌排改良淋洗用水量, 一些学者研究提出了分区淋洗模式^[14-16],

即将两暗管或明沟间的盐碱土沿平行于暗管或明沟方向区划为若干个小区, 首先淋洗中间小区, 然后逐步向两暗管或明沟方向扩大淋洗面积, 最后淋洗整个区域土壤。分区淋洗方式既能节约水资源, 又能缩短盐碱土改良时间, 比较适合暗管或明沟间距较大的盐碱土灌排改良工程。

本文算例计算所得的暗管间距较小, 这是为了在较短的时间内改良盐碱土, 满足滨海新区城市绿化建设对工程工期的要求, 但工程实施成本较高。农业上可以通过合理规划盐碱土灌排改良时间和脱盐目标、结合盐生植物等改良措施, 按照以上方法推求出合理的暗管间距, 降低综合改良成本。

[参考文献]

- [1] Idris B, Suat- Nacar A. Subsurface drainage and salt leaching in irrigated land in south-east Turkey[J]. Irrigation and drainage, 2009, 58(3): 346—356.
- [2] Abdel-Dayem S, Rycroft D W, Ramadan F, et al. Reclamation of saline clay soils in the Tina plain, Egypt[J]. ICDC Journal, 2000, 49(1): 17—28.
- [3] 周明耀, 陈朝如, 毛春生, 等. 滨海盐土地区稻田暗管排水效果试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 54—57. Zhou Mingyao, Chen Chaoru, Mao Chunsheng, et al. Experiment and research on seepage effect by underground pipe drainage system of Paddy field in saline soil coastland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(2): 54—57. (in Chinese with English abstract)
- [4] 马德海. 疏勒河灌区新垦盐碱地洗盐定额试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2007(7): 22—25. Ma Dehai. Experiment of salt leaching ration of newly reclaimed salinity land in the Shule river irrigation district[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(7): 22—25. (in Chinese with English abstract)
- [5] 胡顺军, 顾桂梅, 李岳坦, 等. 塔里木河干流流域防治耕地盐碱化的生态需水量[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 145—149. Hu Shunjun, Gu Guimei, Li Yuetan, et al. Ecological water demand for prevention of tilth salinization in the main stream basin of Tarim river[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(1): 145—149. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘虎, 魏占民, 黄明勇, 等. 稳定流条件下曹妃甸地区吹填土脱盐过程[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 62—68. Liu Hu, Wei Zhanmin, Huang Mingyong, et al. Desalination process by dredger fill under steady flow in Caofeidian area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(9): 104—110. (in Chinese with English abstract)
- [7] 瞿兴业, 张友义. 考虑蒸发影响和脱盐要求的田间排水沟(管)间距计算[J]. 水利学报, 1981, 12(5): 1—11. Qu Xingye, Zhang Youyi. Calculation of field drain spacing in consideration of the influence of evaporation and desalination requirement[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1981, 12(5): 1—11. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王少丽, 瞿兴业. 盐渍兼治的动态控制排水新理念与排水沟管间距计算方法探讨[J]. 水利学报, 2008, 39(11): 1204—1210.

- Wang Shaoli, Qu Xingye. Dynamic control of drainage and calculation method of drainage spacing based on the idea of combining the control of salinization with subsurface waterlogging[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(11): 1204—1210. (in Chinese with English abstract)
- [9] 瞿兴业. 均匀入渗情况下均质土层内地下水向排水沟流动的分析[J]. *水利学报*, 1962, 6(6): 1—20.
Qu Xingye. Analysis of water flow through homogeneous soil into drains under the condition of even infiltration[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1962, 6(6): 1—20. (in Chinese with Russian abstract)
- [10] Omer A, Ustun S, Taskin O, et al. Defining effective salt leaching regions between drains[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2001, 25(1): 51—56
- [11] 瞿兴业. 排水明沟和暗管渗流量与不完整性校正系数的计算[J]. *水利学报*, 1982, 13(4): 11—21.
Qu Xingye. Calculation of discharge and correction factor on the partial penetration of open drains and pipe drains[J]. *Journal of Hydrology*, 1982, 13(4): 11—21. (in Chinese with English abstract)
- [12] Chahar B R, Vadodaria G P. Steady subsurface drainage of homogeneous soils by ditches[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2008, 161(6): 303—311.
- [13] 郭元裕. 农田水利学(第三版) [M]. 北京: 中国水利水电出版社. 1997: 195—208.
- [14] Youngs E G, Leeds-Harrison P B. Improving efficiency of desalinization with subsurface drainage[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2000, 126(6): 375—380.
- [15] Mirjat M S, Rose D A, Adey M A. Desalinization by zone leaching: laboratory investigations in a model sand-tank[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2008, 46(2): 91—100.
- [16] Siyal A A, Skaggs T H. Reclamation of saline soils by partial ponding: simulations for different soils[J]. *Vadose Zone Journal*, 2010, 9(2): 486—495.
- [17] Rao K V G K, Leeds-Harrison P B. Desalinization with subsurface drainage[J]. *Agricultural Water Management*, 1991, 19(4): 303—311.
- [18] Ritzema H P. *Drainage Principles and Applications* (third edition)[M]. Wageningen: ILRI publication. 2006: 589—597.

Estimating method of irrigation and drainage engineering technical parameters for coastal saline-alkali soil reclamation in Tianjin

Zhang Jinlong^{1,2}, Zhang Qing^{1*}, Wang Zhenyu^{1,2}

(1. *Tianjin TEDA Landscape Construction Limited Company, Tianjin 300457, China;*

2. *Tianjin Engineering Center of Saline-alkali Soil Eco-landscaping, Tianjin 300457, China)*

Abstract: In order to control the quality of irrigation and drainage, save water and land resources and reduce the cost of saline-alkali soil reclamation, it was necessary to design rationally irrigation and drainage engineering technical parameters. The paper proposed a new method to estimate technical parameters of irrigation and drainage engineering for coastal saline-alkali soil reclamation in Tianjin. It was assumed that soil was a homogeneous and isotropic porous medium, and the depth of flooded water on the surface of the land was very small. Under the condition of flooded leaching and draining, the water flow state can be considered two-dimensional steady. Based on Vedernikov infiltration equation, Van der Molen leaching equation and water balance equation, the solution for technical parameters was established. The proposed method was demonstrates through a case on reclamation of coastal saline-alkali soil by leaching and draining, and the results were more consistent with experience values in practical engineering. The research provided guidance for planning and design of saline-alkali soil improvement in Tianjin.

Key words: salts, leaching, drainage, saline-alkali soil, technical parameters