

“多维立体排水”技术在渍水农田治理中的应用

高云华¹, 陈颖¹, 杨燕云³, 李沙¹, 郑宏刚^{1,2*}

(1. 云南农业大学 水利学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学 国土资源科学技术工程研究中心, 昆明 650201; 3. 云南农业大学 国有资产管理处, 昆明 650201)

摘要:【目的】解决地势低洼地区田间排水不畅的问题。【方法】提出了对低洼农田土体进行重构, 自下而上构建透水层、过滤层、客土层, 替换原来土质黏重的土体, 设置透水沟壁与客土层透水层相连的“多维立体排水”技术。基于渗透原理, 对重构前土体、重构后土体及排水沟透水沟壁的渗透性能进行了分析计算。【结果】应用“多维立体排水”技术后土层渗流量由原来的 $5.50 \times 10^{-8} \sim 1.60 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 提高到 $1.10 \times 10^{-5} \sim 3.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, 农沟侧壁渗透量为 $8.89 \times 10^{-3} \sim 3.56 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, 大于透水层渗透量 $1.10 \times 10^{-5} \sim 3.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 。【结论】“多维立体排水”技术通过重构土体提高土体的通透性, 田间地表水及地下水能够通过透水层及农沟侧壁透水通道快速排除。

关键词: 渍水农田; 渗流; 客土; 排涝沟

中图分类号: S276.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0548

高云华, 陈颖, 杨燕云, 等. “多维立体排水”技术在渍水农田治理中的应用[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5): 86-91.

0 引言

涝渍灾害对农作物产量影响较大, 严重影响农业生产效益, 农田排水已成为提高农业生产效益的关键技术之一。我国在农田涝渍防治方面的研究主要围绕传统明沟、暗管的布置设计及其调控效果等开展。王少丽等^[1]、柳先进等^[2]对我国农田排水进行综合分析, 总结出传统的农田排水方式主要有明沟、暗沟或暗管排水, 其目的均是排除田间积水和降低土壤中的地下水位。孙珍珍等^[3]从明沟、暗管及竖井排水3个方面分析了新疆节水灌区农田排水措施存在的问题。刘文龙等^[4-5]、于淑会等^[6]使用田间水文模型 DRAINMOD 模拟研究了黄河三角洲地区的暗管排水系统, 采用“浅密型”暗管布置对农田水分调控效果更佳。景卫华等^[7]综合考虑农田排水对作物产量、经济效益及节约耕地等目标影响。目前, 常用的田间排水沟多为土质或以浆砌石混凝土单层均质结构设计。衬砌后的排水沟在田块较低一侧布设出水口, 排出田面多余的水分。但此类型结构排水沟田面的出水口是沟体与农田的唯一相通处, 沟体内部与外界土壤完全被阻隔, 若田面积水增加和地下水位升高时, 排水沟仅将田面和土壤上层多余的水分排出, 农田土壤中、下层水分却无法排出, 造成土壤长期渍水, 土壤通气性、透水性变差。未衬砌的排水沟存在遇水侧壁易坍塌、堵塞等问题, 而暗沟或暗管需要较长的时间才将地表水及地下水排除。

针对地势低洼、土壤黏重、地下水位高的地区, 提出一种能够快速排除田间地表水和地下水的“多维立体排水”技术: 一是进行重构土体, 增强土体渗透性; 二是在排水沟中应用高透水结构, 在排水沟侧壁底部设置排水通道, 连接透水层将地表水及地下水快速排除。兹以“云南省昆明市寻甸县仁德镇土地整治项目”为例, 通过理论分析与实际观测相结合的研究方式, 将“多维立体排水”技术应用到项目区的排水工程中, 为“多维立体排水”配套技术在渍水农田治理提供必要的参考和科学依据。

收稿日期: 2017-09-07

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2015BAD06B04)

作者简介: 高云华(1992-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为农业水工建筑。E-mail: 2844857873@qq.com

通信作者: 郑宏刚(1971-), 男, 云南禄丰人。副教授, 主要从事国土资源利用与水土保持的研究。E-mail: ynhg61@126.com

作物组成、灌排规模、灌排方法和经济效益等实际情况,各结构设计如下:

1)排水沟。斗沟有2种断面形式:一种为矩形断面,断面尺寸为800 mm×1 000 mm和1 200 mm×1 500 mm;另一种为梯形断面,底宽1 000 mm,口宽3 000 mm,沟深2 000 mm,内、外边坡均为1:0.5。农沟均为矩形断面,其中,一般平整区农沟断面尺寸均为400×600 mm;渍水严重区域的农沟断面尺寸则加大至为400×700 mm。以断面尺寸400×700 mm农沟为例,农沟主体结构为混凝土结构,底板厚200 mm,沟侧墙顶宽300 mm。农沟侧壁则每隔2 000 mm在沟底处布置1 000 mm×200 mm的高透水型C20无砂混凝土作为田间侧向排水通道(图2)。

2)客土区。渍水较严重的地区对土体进行重构。先将原有耕作层剥离200 mm,集中堆放,在剥除耕作层的田面上层铺设100 mm的砂料层,在其上覆50 mm的压实稻草层,然后根据区域种植作物的需要用外运土及已剥离耕作层回填350 mm。

3)其他附属构筑物。排水沟末端设置田间土壤水分控制闸门。

2 结果与分析

2.1 重构前原状土层渗透性分析

项目区在进行排水工程施工前,原生土土质黏重,土壤通气、透水性差。一方面地表水及地下水很难在土体间产生渗流,农田中的水很难排入农沟中,排水周期长,原状土渗流情况如图3所示。另一方面农沟结构极不稳定,排水沟土体遇水易坍塌或堵塞,农沟也无法及时将水排走,易造成农田长期处于渍水状态。因此,排水技术有待改进。

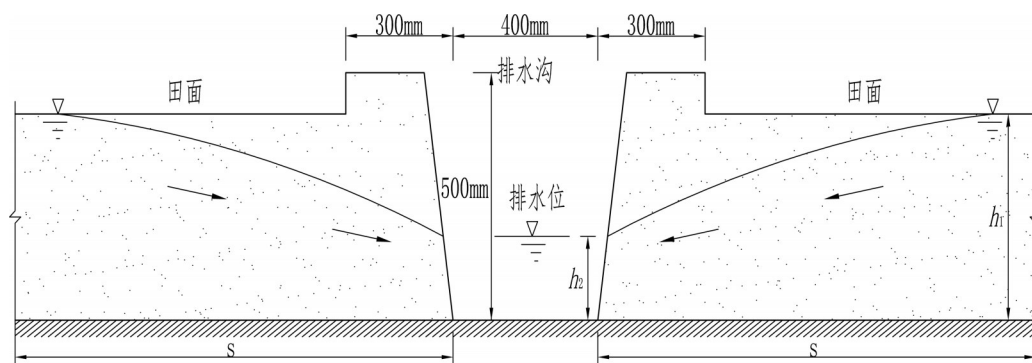


图3 重构前田面与农沟横断面剖面图及渗流情况

2.2 客土区层状土层渗透性分析

“多维立体排水”技术主要通过重构土体提高客土区渗透性能。客土区的土层由层厚不一且渗透性不同的3层土所组成,从上至下分别为客土层、过滤层、透水层,土层的总厚度为500 mm(图1)。客土区成层土的渗透性质除了与构成土层的各层土壤渗透性有关,也与渗流的方向有关。因此,“多维立体排水”能力的分析主要包括2个方面:一是土体重构后客土区层向的渗透性分析,二是土体重构后客土区垂直方向的渗透性分析。分析客土区成层土的渗透性时,通过各土层的渗透系数和土层厚度,推求出客土区整个土层的层向与垂直的平均渗透系数,以及客土层、过滤层、透水层的层向与垂直的渗透系数,为渗流计算提供依据。

2.2.1 客土区层向的渗流分析

客土区共有3层土组成,设在渗流场中截取长度为 L 的一段为研究对象,客土区从上至下各层的渗透系数分别为 k_1 、 k_2 、 k_3 ,水力梯度为 i_1 、 i_2 、 i_3 ,渗流量分别为 q_{1x} 、 q_{2x} 、 q_{3x} , k_x 为客土区层向的平均渗透系数, i_x 为客土区的平均水力梯度, q_x 为层向上的总渗流量。

根据达西定律,则 $q_x = k_x i_x H$, $q_x = q_{1x} + q_{2x} + q_{3x}$, $k_x i_x H = k_1 i_1 H + k_2 i_2 H + k_3 i_3 H$ 。

其中,由于客土区中通过各土层水平相同距离 L 的水头损失 Δh 均相等(如图4所示),则 $i_x = i_1 = i_2 = i_3$ 。

因此,可将2边 i 约去 $k_x H = k_1 H + k_2 H + k_3 H$,可以推求出平行于层向的平均渗流系数为:

$$k_x = \frac{\sum_{n=1}^3 k_n H_n}{H} \quad (1)$$

由式(1)可知,层向平均渗透系数 k_x 的大小主要受渗透系数最大的土层的渗透系数控制。客土区中渗透

系数最大为透水层(砂料层) $k=1\times 10^{-2}$ mm/s。对客土区进行土体重构,地表或地下水渗透到砂垫层后,砂垫层连接排水通道可将水快速排除,显著提高客土区土层水分的层向渗透能力。

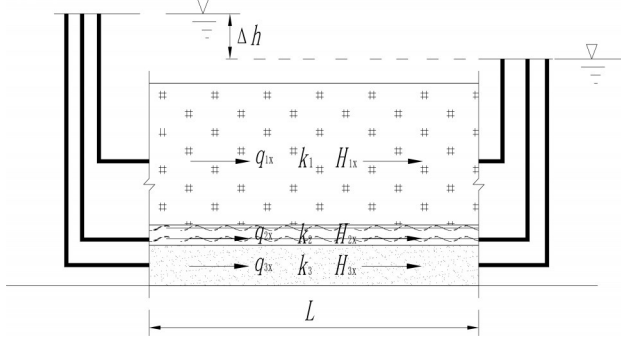


图4 客土区层向渗流情况

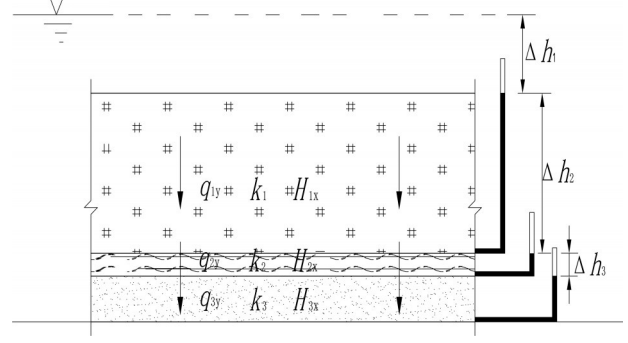


图5 客土区垂直方向渗流情况

2.2.2 客土区垂向的渗流分析

同理,设客土区从上至下各层的渗透系数分别为 k_1 、 k_2 、 k_3 ,层厚分别为 H_1 、 H_2 、 H_3 ,水力梯度为 i_1 、 i_2 、 i_3 ,渗流量分别为 q_{1y} 、 q_{2y} 、 q_{3y} , k_y 为客土区垂直层向的平均渗透系数, i_y 为客土区的平均水力梯度, q_y 客土区垂直方向的总流量。

根据达西定律,可知 $q_y=k_y i_y A$ 。

由于在垂直方向上总流量与流过各层的流量相等, $k_y i_y A=k_1 i_1 A=k_2 i_2 A=k_3 i_3 A$,可知 $i_n = \frac{K_y i_y}{K_n}$, $i_y = \frac{\Delta h}{H}$,于是

$$i_n = \frac{K_y \Delta h}{K_n H}。$$

由垂直于层向渗流时总水头损失 h 等于各层水头损失的和可知, $h=i_1 H_1+i_2 H_2+i_3 H_3$ (图5),于是可以推出垂直方向上平均渗透系数 k_y :

$$k_y = \frac{H}{\sum_{n=1}^3 \frac{H_n}{k_n}}。 \quad (2)$$

由式(2)可知,垂直方向上平均渗透系数 k_y 的大小主要受渗透性最小的土层的渗透系数控制。客土区中客土层渗透系数相对较小,对垂直方向影响较大。因此,对客土区进行土体重构,将渗透性小且黏重的土层替换后,土体透气透水性提高,地表或地下水能够快速渗透到透水层,最后通过透水层将水快速排除。

2.3 农沟排水分析

2.3.1 原排水沟渗透量计算

项目实施前,渗流区液面均为自由液面,因此项目区原排水沟地下水排出量采用无压渗流公式^[8-12]计算:

$$Q=L \times K \times \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2S}, \quad (3)$$

式中: Q 为渗流量; K 为渗透系数; S 为渗径; L 为过水断面长度; h_1 为农田地下水位; h_2 为排水沟内水位。

2.3.2 新排水沟渗透量计算

“多维立体排水”技术排水沟侧壁设置无砂混凝土作为农沟侧向排水通道,渗流区液面均为自由液面,

结合渗透系数计算公式 $k = \frac{Q \times L}{A \times \Delta h}$,可知农沟侧壁的渗透量为:

$$Q = \frac{A \times \Delta h \times k}{L}, \quad (4)$$

式中: Q 为渗流量; K 为渗透系数; L 为农沟侧壁透水厚度; Δh 为农沟内外水位差。

2.3.3 对比分析

项目区原土层渗透系数 5×10^{-5} mm/s;相邻农沟间距200 m,渗径 S 为100 m;以1条农沟长度为1 000 m为例,二侧排水 L 则为2 000 m; h_1 农田地下水位(0.6 m); h_2 排水沟内水位(0.2~0.5 m),将数据带入式(3),计算结果如表1所示。项目区施工后农沟侧壁透水层厚度 L 为0.3 m;渗透系数 K 为 2×10^{-1} mm/s;以1条长度为1 000 m的农沟为例,农沟侧壁则每隔2 000 mm在沟底处布置1 000 mm $\times$ 200 mm的高透水型C20无砂混凝土作为田间侧向排水通道,侧壁总透水断面 A 取133.33 m²; h_1 农田地下水位0.6 m, h_2 排水沟内水位0.2~0.5 m,因

此 Δh 农沟内外水位差为0.1~0.4 m。将数据带入式(4),计算结果如表1所示。土体重构前后各参数计算结果如表1所示。

表1 土体重构前后参数

参数	施工前		施工后	
	原土层	原排水沟	客土区透水层	新排水沟侧壁
渗透层厚/mm	500	500	500	200
渗透系数/(mm·s ⁻¹)	5×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁵	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
渗流量/(m ³ ·s ⁻¹)	5.50×10 ⁻⁸ ~1.60×10 ⁻⁷	5.50×10 ⁻⁸ ~1.60×10 ⁻⁷	1.10×10 ⁻⁵ ~3.20×10 ⁻⁵	8.89×10 ⁻³ ~3.56×10 ⁻²

注 本表渗透系数资料引自中国建筑工业出版社1975年版的《工程地质手册》,计算时渗透系数取范围值的小值。

由表1可知,项目实施后,“多维立体排水”技术的应用对渍水农田的治理效果显著:土层渗流量由原来的 $5.50\times10^{-8}\sim1.60\times10^{-7}\text{m}^3/\text{s}$ 提高到 $1.10\times10^{-5}\sim3.20\times10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$,排水能力显著提高;农沟侧壁渗透量为 $8.89\times10^{-3}\sim3.56\times10^{-2}\text{m}^3/\text{s}$,大于透水层渗透量 $1.10\times10^{-5}\sim3.20\times10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$,透水层中的水能快速地透过农沟侧壁排走。

3 结论与讨论

兹介绍的渍水农田“多维立体排水”配套技术已经在云南省多个项目中成功实施应用,排水效果较好。在地势低洼,地下水位高的地区,通过项目建设,完善田间灌溉、排水设施,可将渍水农田改造成高产农田。“多维立体排水”配套技术在渍水农田治理中具有较高的应用和推广价值,可为其他地区解决类似问题提供借鉴和参考。

1)“多维立体排水”技术首先通过对土体进行重构,自下而上分别构建了透水层、过滤层、客土层,替换了原来土质黏重的土体,提高了土体垂直方向与水平层向的渗透性,实现了农田地表水及地下水能够快速渗透到透水层。其次,在农沟侧壁设置排水通道并且与客土区的透水层相连接,能将透水层中的水快速排出。

2)结构新颖,稳定安全。项目区排水农沟主体结构采用混凝土进行浇筑,农沟侧壁沟底处间隔设高透水型无砂混凝土排水通道,排水沟结构稳定。

3)“多维立体排水”技术不仅能有效解决雨季农田渍水问题,在与水位调控装置协同后还能在旱季对农田进行回灌,实现排水沟与农田之间水分的立体双向调控。兹主要对“多维立体排水”技术的排水效果进行了分析,回灌效果如回灌均匀度等未涉及,后期还需对此开展进一步研究,形成渍水农田水分立体双向调控技术。

参考文献:

[1] 王少丽,王修贵,丁昆仑,等. 中国的农田排水技术进展与研究展望[J]. 灌溉排水学报,2008,27(1):108-111.

[2] 柳先进. 利用暗管排水治理山区渍害田探讨[J]. 中国农村水利水电,2011(12):58-60,63.

[3] 孙珍珍,岳春芳,侍克斌. 新疆节水灌区农田排水措施分析[J]. 节水灌溉,2015(5):20-22,25.

[4] 刘文龙,罗纨,杨玉珍,等. 黄河三角洲暗管排水系统排水效果模拟研究[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(1):30-34.

[5] 刘文龙,罗纨,贾忠华,等. 黄河三角洲暗管排水的综合效果评价[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(2):122-126.

[6] 于淑会,刘金铜,刘慧涛,等. 暗管控制排水技术在近滨海盐碱地治理中的应用研究[J]. 灌溉排水学报,2014,33(3):42-46.

[7] 景卫华,罗纨,贾忠华,等. 砂姜黑土区多目标农田排水系统优化布置研究[J]. 水利学报,2012,43(7):842-851.

[8] 付贵海,张林洪,王苏达,等. 无砂混凝土作反滤层的试验研究[J]. 中南公路工程,2005,30(2):1-4,19.

[9] 左文奎,魏勇,范建峰,等. 再生骨料制备C20无砂混凝土的试验研究[J]. 混凝土,2014(7):152-155.

[10] 余建新,郑宏刚. 小流域水土流失治理中取水方法探讨[J]. 水土保持研究,2001,8(1):116-119.

[11] 张平,郑宏刚,余建新. 高原地区冷浸田治理技术研究[J]. 云南农业大学学报,2005,20(5):665-670.

[12] 灌溉与排水工程设计规范:GB50288—1999[S]. 北京:中国计划出版社,1999.

A “Multi Dimensional Drainage” System and Its Application in Management of Waterlogging in Lowland Farmlands

GAO Yunhua¹, CHEN Ying¹, YANG Yanyun³, LI Sha¹, ZHENG Honggang^{1,2*}

(1.College of Hydraulic Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Engineering Research Center of Science and Technology of Land and Resources, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3.Owned Assets Management Office of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract:【Objective】Waterlogging is a challenge facing lowland farmlands and the purpose of this paper is to present an alternative method to tackle this problem. 【Method】We proposed to reconstruct the lowland farmland by replacing its top sticky soil by a new composite consisting of a permeable layer, a filter layer and a guest soil, counted from the bottom to the surface. In the meantime, drainage channels were constructed on the wall of the drainage ditch connected to the permeable layer. Based on the permeability of all materials and the soil, we calculated the performance of the drainage system before and after the top soil-replacement. 【Result】The seepage flow from the soil layer after the replacement increased from $5.50 \times 10^{-8} \sim 1.60 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ to $1.10 \times 10^{-5} \sim 3.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, and the draining rate from the channel increased to $8.89 \times 10^{-3} \sim 3.56 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, higher than the percolating rate of $1.10 \times 10^{-5} \sim 3.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ at the permeable soil. 【Conclusion】The “Multi-dimensional Drainage” system can improve soil permeability and drainage efficacy, thereby offering a potential technology to alleviate waterlogging in lowland farmlands.

Key words: waterlogging farmland; seepage; soil dressing; drainage ditch

责任编辑:赵宇龙