

## 暗洞在粘质淤土中的排水效益\*

王浩清 杜国华 周正度 顾国安 蔡茂德 戴昌达

(中国科学院南京土壤研究所)

安徽霍邱县城西湖农场,是1966年围湖造田建成的一座大型机械化农场。该场地势低湿,土壤粘重,种植作物以旱作三麦为主。场内建有完整的排灌渠系,日降雨100毫米所形成的地面径流可在一昼夜之内排除。但因土壤内排水性能甚差,田块又大,根层内饱和水长久不得消失,因而造成土壤湿害,既影响作物正常生长,又给田间机械化作业造成许多困难。同时,烂耕烂耙导致土壤压实板结,湿害又复加剧,如此循环发展,成了生产中一大问题。

为了解决土壤湿害问题,于1973年春我们与城西湖农场共同开展土壤暗洞排水试验,连续进行了四年多。实践证明,暗洞排水对解决土壤湿害有明显效果。目前,这项措施已在生产中全面应用,1975—1976年冬春,该场打暗洞的土地面积达10万余亩。

### 一、打洞机和暗洞施工

土壤暗洞是用动力牵引特制的打洞器(又称炮弹型、鼠道型、暗排型等),在耕层下一定深度穿行,挤开土体而成。



照片1 城西湖农场东方红75油压  
悬挂式打洞机全貌

打洞部件由A钻洞弹头; B切土刀片;  
C悬挂架三部分组成。

最初,我们用江苏省常熟农机所制造的东风12型绳索牵引打洞机,它用12马力的手扶拖拉机输送动力,配套绞盘钢索,曳引打洞部件,一般至少要2—3人操作,作业效果尚好,但工效不高(行速6—8米/分),不能满足城西湖农场面广量大的打洞需要。1973年夏秋,在常熟农机所帮助下,我们与农场修配厂协作,共同研制成东方红75油压悬挂式打洞机(照片1)。由于改进了牵引装置(变绳索牵引为直接悬挂牵引)和加大了牵引动力,新机工效比原来提高约10倍。

城西湖农场条田一般长1000米,宽70米,每丘百亩左右,排灌沟渠分置两侧。打洞机横向作业,暗洞均开口于排沟,尾部与灌沟不通,40秒钟可打一洞,加上拖拉机移位空耗,这样平均每洞要耗时2分钟左右。全场12个机耕队,每队配备

\* 本项试验是在城西湖农场大力协作下进行的。

2 台打洞机,于秋播后冬、春作业,全场每年均可普打一遍。

## 二、暗洞排水原理及打洞机具的合理设计

暗洞所以能排水,通常认为是暗洞洞壁四周渗水,汇流而出,其实不完全如此。我们曾多次解剖暗洞并反复进行观察,发现打洞器切土刀裁切土壤所留下的刀缝,对暗洞排水具有重要作用,尤其是新打的暗洞,刀缝有决定的意义。新打的暗洞因钻洞弹头过分挤压周围土壤,而使暗洞洞壁光滑密实,不能透水,这时暗洞仅起导水管道作用,所排之水全由刀缝汇注而来。同时,经刀缝切割而把土体中无数的裂隙孔洞联络成一个四通八达的集水网系,将存在于裂隙孔洞中的土壤重力水(暗洞只能排除这种自由水)汇集起来,改变其原来漫无方向的渗移状态,而沿刀缝定向地导入暗洞排出(图 1、照片 2)。在暗洞有效排水期间,刀缝以“汇”为主,暗洞以“排”为主,洞缝似乎有着天然的分工,又有明显的配合。这种配合如有所破坏,则将不可避免地要影响暗洞排水。例如打洞后耕耙,仅仅破坏耕层一段刀缝,暗洞的排水量即有明显下降(表 1)。

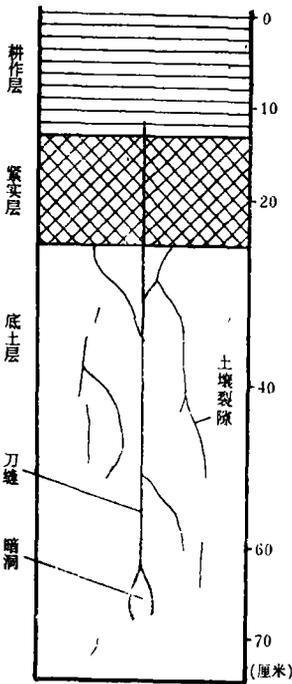
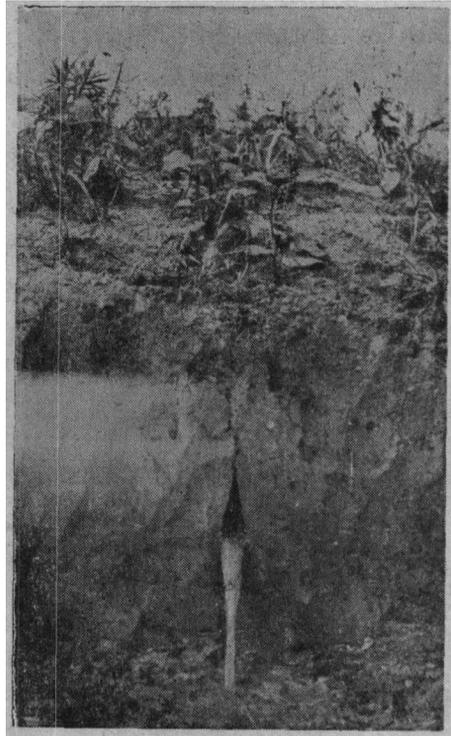


图1 暗洞剖面



照片 2 暗洞排水情景

缝汇、洞排相互配合,是暗洞排水的主要方式,但不是说洞壁没有渗水汇水作用。暗洞打后日久,洞壁逐渐松动、裂开以至于坍塌,土壤中的水分也随之先从个别裂缝而后扩及周壁向暗洞渗流。洞壁的这种渗汇作用,随着洞壁开裂和坍塌的加剧而加强。但在加强洞壁渗水的同时,却使暗洞排水因受到坍塌土块的阻碍而不流畅,即又加速暗洞失效。

为了进一步证实缝汇、洞排的密切配合确为暗洞正常排水所不可缺少,我们曾采用两

表1 破坏耕层刀缝对暗洞排水量的影响(毫升/分)

处 理	测 量 次 数					
	1	2	3	4	5	6
刀缝上下贯通 (耕耙后打洞)	762	444	255	151	95	63
破坏耕层刀缝 (打洞后耕耙)	352	271	160	114	93	62

注: 1. 观测时间为1973年7月一次降雨后; 2. 试验地点在28区北23条田田菁幼苗地; 3. 暗洞出水量为9个暗洞的平均值。

种不同形状的打洞器作了对比试验。第一种用常熟农机所制造的打洞机弹头(图2a), 弹头的入土前端呈斜面向上的楔状, 刀片连接于倾坡上, 弹头后半截为扩孔弹身。这种弹头楔入土壤时, 弹头上部的土壤被“铲起”和抬升, 并向暗洞顶部挤压, 使与暗洞相通的刀缝的下部被填实粘闭, 因而阻止刀缝汇集的水流向下注入暗洞。据常熟农水试验站和农机所于1975年在该县常青大队所做的试验, 用这种弹头在乌山土中打的暗洞, 当年竟不见有水排出。这种暗洞, 需几经干缩开裂, 使刀缝与暗洞重新贯通, 才能正常排水。当地群众也反映说, 老洞比新洞排水效果好, 就是这个原因。第二种打洞机弹头(图2b), 是我们自行设计的, 弹头前端是向左右两边等斜的楔刀, 切土刀片安装于扩孔弹身的背脊。弹头楔入土壤时, 土向两侧均匀分开而不上挤, 同时, 由于刀片位于弹身背脊, 弹头楔入土壤和定形暗洞时, 洞缝始终上下贯通, 刀缝汇水下注, 不受阻滞。所以, 新打的暗洞只要其上土层渍水, 暗洞排水顷刻奏效。1975年6月, 我们用这种弹头布置的试验, 在一次日降雨100毫米的暴雨中观测5个暗洞, 其高峰流量竟达102—120立升/分。解剖暗洞, 洞壁也是一样光滑紧实并不透水, 而缝洞相通则清楚可见。

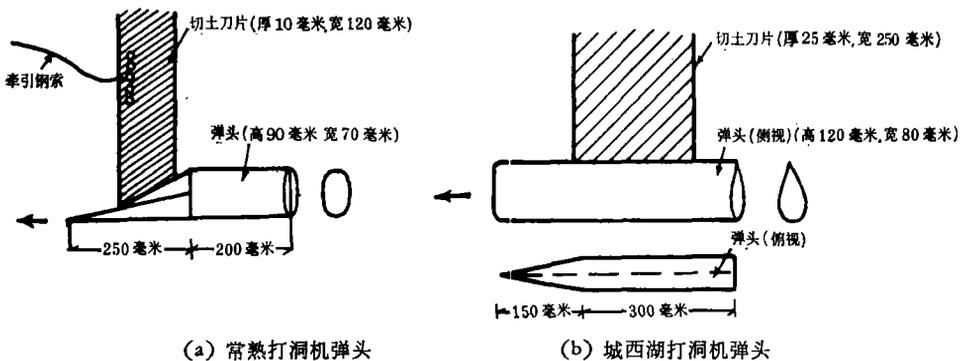


图2 打洞机弹头示意图

上述试验证明: 刀缝在暗洞排水中具有重要作用; 打洞机部件结构是否合理, 对暗洞的排水效果有很大影响。

### 三、暗洞的排水能力

影响暗洞排水能力的因素是多方面的。暗洞质量、规格和土壤透水性能等, 是影响暗

表 2 一次中强度灾害性降雨后的暗洞排水量

暗洞编号	不同时段的暗洞排水量(方)												总排水量(方)	折合降雨(毫米)	总排水量占降雨量的%	暗洞间距(米)	排水面积(亩)				
	3日		4日		5日		6日		7日		8日							9日		14日	
	8.00—16.30	16.30—19.30	12.30—19.30	19.30—19.30	7.30—19.30	19.30—19.30	7.30—19.30	19.30—19.30	7.30—19.30	19.30—19.30	7.30—19.30	19.30—19.30						7.30—19.30	19.30—19.30	7.30—19.30	19.30—19.30
5	估计	13.50	1.46	0.51	0.29	0.21	0.13	0.18	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	16.39	49.2	50	5.0	0.5
4	暗洞开始出水	13.28	1.66	1.08	0.54	0.33	0.22	0.12	少	少	少	少	少	少	少	少	17.23	34.8	35	7.5	0.75
2	未测	15.66	2.03	1.51	0.73	0.48	0.32	0.39	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	21.36	25.8	26	12.5	1.25
8	测	19.44	3.60	2.94	1.48	1.01	0.57	0.63	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	30.53	28.1	28	16.5	1.65

注：1975年6月3日—4日的降雨过程：3—8时22毫米，8—15时60毫米，15—24时15.6毫米，0—8时1.2毫米，共降雨98.8毫米。暗洞试验地在28区。6月3日上午8时暗洞开始排水，16时30分首次测定，以后每隔一定时间测定排水量一次，连续测定至6月14日上午6时，即暗洞终止出水。

洞排水能力的内在因素；若这些因素大致相近，则降雨情况便成为考验暗洞排水能力的主要外在条件。

我们拟通过观测降雨后暗洞的排水量、土壤临时滞水层的变化和土壤含水率的变化，来衡量暗洞的排水能力。但是，自然降雨情况几乎没有相同的重复，所测结果也次次相异。所以，我们选取试验期间最大一次灾害性降雨过程中所测得的有关数据，来分析暗洞的排水能力。1975年6月3日，城西湖一天降雨98.8毫米，一亩面积承受降雨约66吨，对生产造成较大危害。我们对1974年11月在28区布置的暗洞试验作了系统连续观测，直至暗洞停止出水，前后历时6—7天，所得资料分别列于表2、表3和图3。

试验结果表明，城西湖暗洞在抗御较集中的中强度灾害性降雨，具有良好的排水作用。在大雨时，打洞地段的地面不产生迳流和积水，雨止地爽；而未打洞地段却积水汪汪，二者形成明显的对照。我们在试验区曾测过20多个暗洞，各个暗洞的排水量都相当可观。例如，间距5

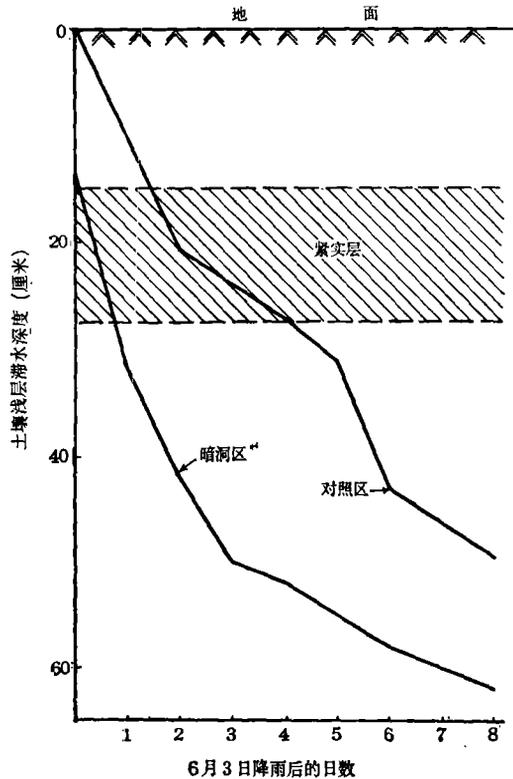


图 3 暗洞对降低土壤浅层滞水的作用

\* 暗洞间距5米，观测井距暗洞2.5米

米的5号暗洞,在试验区担负着半亩面积的土壤排水,一个暗洞就排走了滞积于土中的饱和水达16.39吨,折合降雨量达49.2毫米。实际上这个数值还偏低,因为开头约8个小时的排水量未测,没有计算在内。

从表2还可看出,暗洞的排水总量随其间距加大而增加,而折合降雨,则示相反趋势。从总排水量占降雨量的百分数来看,洞距越密,排水效率越高。为了合理地进行暗洞施工,不同地区应经过试验找出适宜洞距。

暗洞不仅能大量地排除土壤中的过剩水分,而且排水速度甚快。有暗洞的地段,土壤临时滞水层雨后一天即降至地面下30厘米,很快脱离了根系密集层,而对照区5天才降至同样深度(图3)。同样,暗洞地段土壤含水率也相应地很快减少,而对照地段土壤渍水却迟迟不得消退,这种差异在紧实层(亚耕层)之上的耕层内尤为明显(表3)。

表3 暗洞排水对土壤水分的影响(%)

(1975年6月)

地 点	深 度 (厘米)	6月3日降雨后的日数					
		1	2	3	4	5	6
暗 洞 区 (28区北4条田)	0—5	31.3	23.3	23.1	20.4	20.9	19.9
	5—10	31.7	30.2	31.9	29.8	29.7	27.5
	10—20	30.6	30.6	30.2	31.0	30.1	30.0
	20—30		33.9	35.2	32.4	29.8	32.1
	30—40			32.2	35.5	31.6	34.7
	40—50			38.1	32.2	39.0	36.6
对 照 区 (28区北3条田)	0—5	35.1	32.7	27.0	27.3	25.0	21.3
	5—10	35.6	36.7	33.0	31.6	30.9	29.5
	10—20	34.5	35.8	36.2	32.8	34.6	32.7
	20—30		35.5	32.6	33.9	32.0	31.6
	30—40			32.4	40.0	36.1	34.7
	40—50			38.2	34.5	42.4	39.4

注:取土时间均为下午7时。暗洞间距为5米,取土总距暗洞2.5米。表中少数数据出现倒差现象,主要原因:  
①土壤的不均匀性;②雨后土壤水分激烈的不均匀运动。

上例是暗洞在日降雨100毫米情况下的排水效果,当然,并不是它的最大排水能力。要在自然降雨条件下测定暗洞的最大排水能力是困难的,因此,我们采用人工灌水的方法作了试验。于1976年6月,在23区和6区,借水稻旱直播整地后灌水的机会,先灌水至地面积水,然后分别测定11个于1975年11月打的暗洞,其排水流量都在30—60立升/分以上。在灌水尚未完全到达的地段,暗洞流量也有15—30立升/分。在这些田区,每个间距10米的暗洞要负担一亩面积的土壤排水,若其最大流量以30立升/分计,一个暗洞每昼夜即能排除土中多余水分约40多吨,即相当于60多毫米的降雨量。当然,这是在土壤水分达到全层饱和状况下测定的,在自然降雨过程中,这些暗洞一般不会有这样大的排水流量。但试验结果可供我们大致估量暗洞控制土壤过剩水分的能力。

上述试验结果,为城西湖农场解决田间土壤排水问题,提供了重要依据。目前,该场除小面积的沙质土壤,因暗洞容易酥塌而需要解决一些技术问题外,占全场面积80%以

上的粘质千层状淤土和马肝淤土，都已采用暗洞排水措施。实践证明，间距 10 米、深度 60—70 厘米的暗洞，配合用机器每隔 50—100 米开挖浅小明沟而形成明暗结合的土壤排水体系，效果很好。

#### 四、暗洞排水的增产效果

城西湖农场由于广泛采用暗洞排水措施，使严重的土壤湿害问题获得了显著改善，从而促进了作物增产。在 1973 年的首次试验中，暗洞对三麦，甚至对其后作大豆，均表现了明显的增产趋势。1975 年 7 月霪雨致灾，全场三万亩大豆，渍水危害最甚者，多属未打暗洞的田区。对受害中等的 23 区大豆测产结果，暗洞地段增产 18.5% (表 4)。受害较重的 28 区，未打洞地段的大豆渍水萎黄，烂根枯死者甚多；在打洞地段，由于很快排除积水，大豆植株几无受害，长势旺健 (考种结果见表 5)。就是耐湿的夏绿肥田菁，也是以打暗洞的生长好，鲜草产量高。

表 4 暗洞对大豆的增产效果

(1975 年 10 月)

地 点	处 理	样方面积(平方米)	产 量 (斤)	增 产 (%)
23 区南 3 条田	暗 洞	10×62.9	192.5	18.5
	对 照		162.4	—

表 5 大豆考种(20 株平均值)

(1975 年 10 月)

地 点		处 理	株高(厘米)	分枝(个)	荚数(个)	瘪粒(个)	百粒重(克)	总重量(克)
28 区	北 4 条田	暗洞	89.1	4.1	54.9	2.1	22.5	386.8
	北 3 条田	对照	79.5	3.1	34.5	1.6	19.3	230.2

另一方面，由于暗洞排水有效地调节了土壤水分，对田间机械化作业带来很多好处，例如加长了土壤适耕期，提高了作业质量等等，从而为作物增产奠定基础。1975 年，城西湖农场原定的三麦秋播计划，因秋雨连绵，被迫推迟近一个月，并因土壤潮湿，播种质量也无法保证。而事先打了暗洞的田块，如试验站 9 区几个条田，不仅未误季节，而且播种质量较好。1976 年夏收测产，二者差别甚大，打洞田块增产 32.7% (表 6)。

表 6 暗洞排水改善土壤适耕条件而促进小麦增产

(1976 年 6 月)

地 点		处 理	作 物	播 种 期	成 熟 期	面 积 (亩)	总 产 (斤)	单 产 (斤/亩)	增 产 (%)
9 区	西 4—6 条田	暗 洞	矮秆早	10月22—23日	5月29日	278	102557	368.9	32.7
	西 7 条田	对 照	矮秆早	11月6日	6月4日	94	26139	278.1	—

由此可见,暗洞排水的增产效果是肯定的。但并不是说,凡打了暗洞必定增产;也不是说,一见到暗洞有水排出,就会产生增产效果。任何一项增产措施发挥增产作用都是有条件的,暗洞也是如此。只有在丰水年份多雨季节,因降雨造成的土壤湿害超过了作物正常生长所能容忍的程度,暗洞才因其有效的排水作用,及时减轻或消除了灾害,而对作物表现增产效果,且其增产幅度是随当年湿害的严重程度而变化的。

## EFFECT OF THE MOLE CHANNEL ON THE DRAINAGE IN THE HEAVY CLAY SOIL

Wang Hao-ching, Tu Kuo-hua, Chou Cheng-tu,  
Ku Kuo-an Chai Mao-te and Tai Chang-ta  
(*Nanking Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

### Summary

Cheng-si-hu Farm At Huochiou County in Anhwei Province is located in a low-land with soils clayey, heavy and moist in nature. The crops (mainly wheat, barley or naked barley) in this area are injured seriously by waterlogging due to the ill-drainage of the soil in rainy season. This condition has been greatly improved by means of the wide application of the mole channel drainage.

The experiment in a disastrous rainfall of approximately 100 mm per day showed that the drainage of mole channel laid in an interval of 10 m, 60—70 cm in depth and combined with surface drainage of shallow ditches in an interval of 50—100 m could resist the concentrated rainfall of moderate intensity.

The beneficial effect of the underground drainage of the heavy clay soil on the crop growth, operation of farm machines and crop yield was also shown in the experiments on soybean and wheat fields. However, the increase rate of the crop yield varies with the intensity of disastrous rainfall in the growing season of the year.