



# 敏捷灌溉白皮书

# 目录

---

## 第一章

### 灌溉现状剖析及定义重构

---

## 第二章

### 敏捷灌溉基础理论

---

## 第三章

### 如何设计并实现敏捷灌溉系统

---

## 第四章

### 从敏捷到智能的展望

---

## 第五章

### 引导型用户操作设计

---



图 (1)

通常灌溉是指为了农田、园林等植物生长而人为提供水分的行为，按照技术手段不同分为漫灌、喷灌、微灌（微喷、滴灌、涌泉灌）等。灌溉也被经典地定义为种植过程中对自然降水的补充。（见图 1）

但是，从灌溉行为的目的和效果出发，我们认为“灌溉”应更加准确的定义应该是：“向土壤或其它作物吸收水分和营养的可储水基质中，预存水分供植物未来取用的过程”。

新定义中，明确了两个基本事实。首先，灌溉是向土壤或其它基质提供水分，并不是向植物直接提供水分。想象一下，如果向植物直接提供水分就应该把水像打点滴一样输入植物体内，这显然与目前现实不符。其次，灌溉后土壤水分含量增加的部分，并没有立刻被植物全部吸收，而是通过一个相当长的物理、化学、生理过程被植物按需利用。

目前，灌溉领域存在以下几个问题。

#### ①过分注重输水效率的提升，缺少对作物需水量的研究

灌溉包含了输送水、储水、耗水的三个过程，其中与输送水相关的管路安全、管材选择及效率设计、灌水器出水均匀稳定性设计被行业高度重视强调，其理论基础是流体力学和材料学等，涉及的行业主要是塑料加工、橡胶管材、泵阀门等行业，归根结底是灌溉硬件的发展和提高。

与此同时，从土壤物理学角度出发的储水过程、跟作物光合作用相关的作物需水过程仅仅处于理论探索阶段，绝少有成果直接应用于生产实践。这种重硬件轻作物的灌溉认知，直接导致了灌溉行业对土壤储水能力和作物需水量以及用水效率缺乏有效的认识。

### ②市场上宣传的智能灌溉系统大多是“伪”智能灌溉

灌溉行业重视输送水，不了解土壤储水、作物需水、真实耗水的现状。在这种情况下产生的“智能灌溉控制系统”本质是一个电动开阀装置，自动灌溉过程就是一个电动打开“龙头”送水过程。被业界夸大的“智能灌溉系统”中的“智能”两字也只是来自气象、墒情数据输入，再加上智能手机终端操作而已。

不难看出，现有灌溉系统的价值主要集中在输送水效率的提高，并不在于如何在更加了解和适应作物需水和耗水的基础上，提高作物水利用率（单位输水量中被作物有效利用的比例），甚至水生产率（单位水量获得的产量）。

### ③计算土壤储水能力，常规使用的工具均不可靠

对于土壤储水能力，最接近可用的工具就是田间持水率。翻开教科书和各种论文，对应不同的土壤类型，田间持水率似乎有一些经验值可以使用。然而最近的研究用大量的实际数据揭示：不同土壤类型、不同容重、不同孔隙度及空气压力都会引起田间持水量的变化。所以所谓的经验值并不可靠。

另外，通常与田间持水率一起使用的还有缺水胁迫点的含水率。其实它也是随着不同土壤物理特征以及作物生理特征发生变化的。

在田间持水率与胁迫点含水率之间的空间，我们称之为“有效储水能力”，代表土壤中可被作物吸收的水分总量。灌溉的一个主要目标就是根据土壤有效储水能力为作物提供足够多的水分。

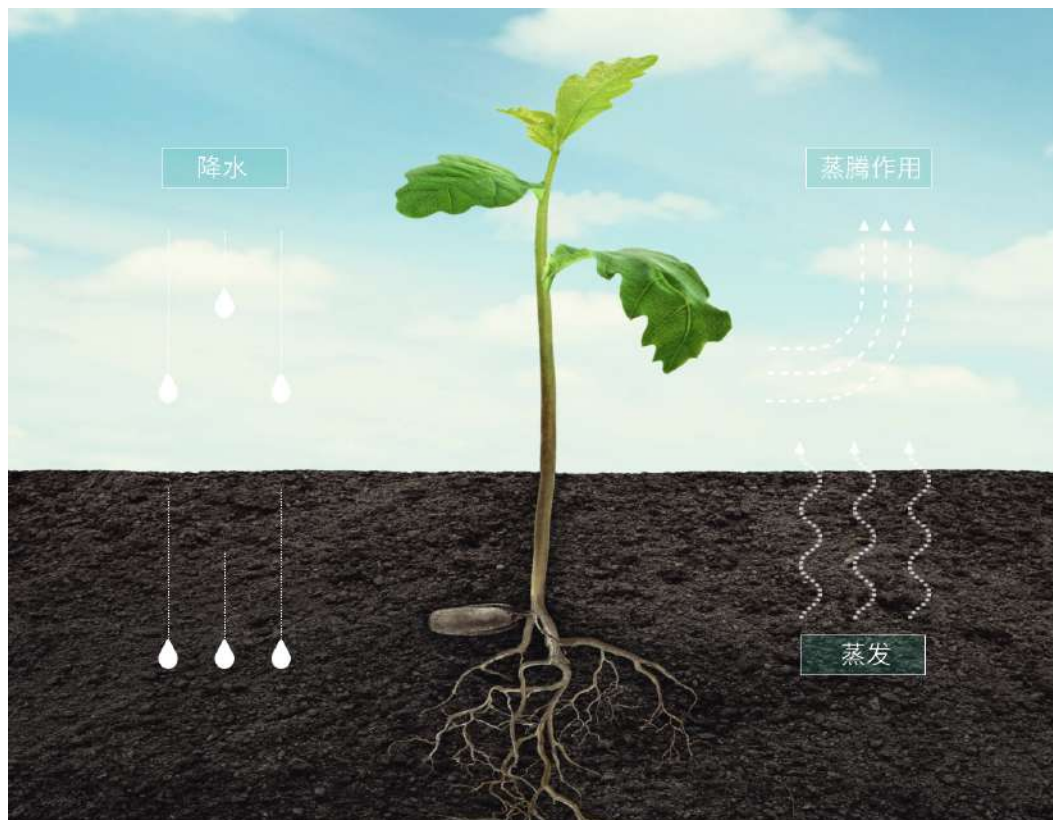


图 (2)

#### ④灌溉系统设计依托的作物蒸发蒸腾量历史平均值很难获得

在规范的灌溉系统设计中,首部工况(水泵参数相关)、流量(管径、管壁摩擦力、管道材质等相关)都是按照本地目标作物蒸发蒸腾量历史平均值的某个比例、土壤湿润层深度(假设的作物根系平均深度,我国水利上按照不同作物选择 30-100cm 不等来计算)、微灌土壤湿润比(根据灌水器流量以及布置方式计算)等计算出来的。这里可清晰地看出,灌溉系统设计的原始出发点是要满足作物耗水量的。(见图 2)

然而,实际工作中作物的蒸发蒸腾量历史平均值到底是如何计算出来的?在我国任何一个地方都能得到这个值吗?答案显然是模糊的。一般来说,作物实际发生的蒸发蒸腾量历史均值几乎不可获得。因为过去在现场无法大规模实时监测这个值,更无需提历史数据积累了;另一方面,即使碰巧目标区域附近有灌溉试验站等机构的试验监测,由于试验过程中无法保证土壤湿润度处于理想状态,也无法消除土壤盐分、病虫害等因素对作物生理的干扰,产生长期稳定可靠的试验数据几乎不可能。也就是说,即使他们提供了数据,其参考价值也会备受质疑。压倒骆驼的最后一根稻草是作物的多样性,是不是区域中每一种需要灌溉的作物都有相关的试验结果?综上,我们离目标之间相距无穷远的距离。

此时大部分情况下,人们采用参考蒸发蒸腾量替代实际蒸发蒸腾量,大量的研究表明这两个值之间存在比例关系,这个比例也叫做作物系数(通常以  $K_c$  表示)。

什么是参考蒸发蒸腾量(通常以  $ET_0$  表示)?它是利用气象数据以及彭曼公式(一种实验拟合曲线公式)计算而来,相当于一种参考作物,例如草,在土壤理想湿度下由气象因子引起的耗



水量动态变化，这里面的耗水量中既含有作物叶面“蒸腾”消耗的水分，也有同一时间同一地点发生的土壤表面“蒸发”的水分，由于这两部分伴随发生且具备强耦合性，所以一并计入耗水量。换个角度看，所有的水分从土壤和作物表面进入空气中的过程中都是太阳提供能量的，也就是说蒸发蒸腾量与当时太阳提供的实际能量有关。ET<sub>0</sub> 提供了很好的可获得性和稳定性，一般来说通过长期气象数据即可得出历史值，由于对象采用参考作物，所以数据本身就形成了作物无关性，使得结果十分稳定。

它的唯一缺点就是气象数据采集的稀疏性（地域上分布密度不够大）和不均匀性（分布密度不一致）。在实际运用中，往往采取就近原则（采用离目标地点近的值），或者按照相邻几个值插值出目标点的值，相邻距离从几百米到几十公里不等。我们把经过插值（位置插值、时间插值）后的覆盖整个区域的时间历史连续的参考蒸发蒸腾量定义为“模拟蒸发蒸腾量（简称 sET）”。

实际上，作物系数是将参考蒸发蒸腾量跟某一指定作物进行关联的因子，代表指定作物与参考作物，以及实际发生蒸发蒸腾的环境与参考蒸发蒸腾量实验过程中的特殊环境约束之间的相关关系。并且，根据指定作物的生育期特点，作物系数变化曲线往往可以用三个作物系数值定义的四段直线模拟出来。

（见图 3）



图 (3)

# 灌溉现状剖析及定义重构

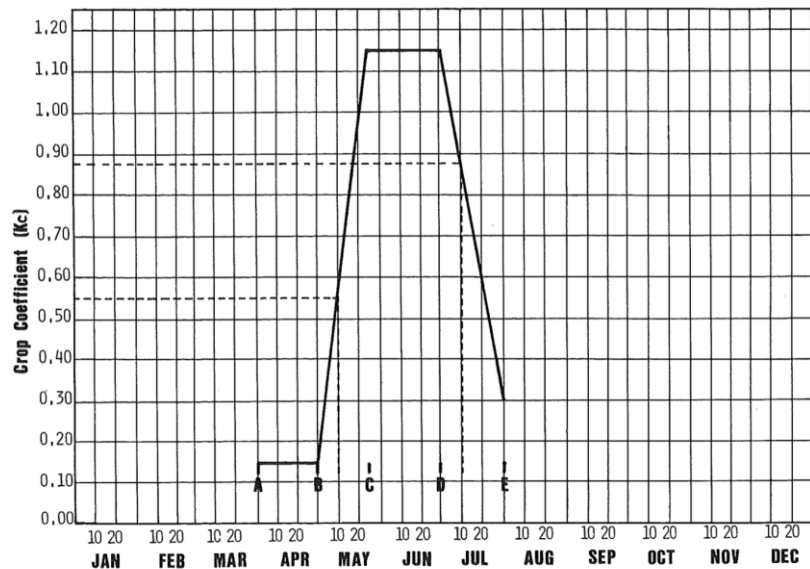


Fig. 2. Crop coefficient (Kc) curve for beans grown in the San Joaquin Valley with planting on April 1, 10 percent ground shading on April 30, 75 percent ground shading on May 25, and maturity on July 31.

Region	Crop	Crop Coefficient <sup>a</sup>			Growth dates				
		Kc1	Kc2	Kc3	A	B	C	E	Code <sup>b</sup>
Imperial Valley	Alfalfa	0.40	1.20	1.20	11/15	11/19	12/09	01/15	275
		0.40	1.20	1.20	01/15	01/20	02/17	03/15	275
		0.40	1.20	1.20	03/15	03/16	04/04	04/14	275
		0.40	1.20	1.20	04/15	04/16	05/20	05/15	275
		0.40	1.20	1.20	05/15	05/16	06/01	06/15	275
		0.40	1.20	1.20	06/15	06/16	07/01	07/15	275
		0.40	1.20	1.20	07/15	07/16	07/31	08/15	275
		0.40	1.20	1.20	08/15	08/16	08/31	09/15	275
		0.40	1.20	1.20	09/15	09/16	10/09	11/15	275
	Asparagus	0.25	0.95	0.25	01/01	03/30	05/01	12/31	286
	Barley	0.23	1.04	0.10	11/30	12/16	02/02	05/31	261
		0.30	1.11	0.10	12/31	01/02	03/06	05/31	273
	Cantaloupe	0.42	0.96	0.90	01/31	03/01	04/15	05/31	291
		0.15	0.97	0.30	07/31	08/08	10/02	11/30	272
	Carrots	0.43	1.06	0.75	09/30	10/27	12/21	04/30	269
	Cotton	0.40	0.86	0.40	03/31	04/30	08/28	10/31	282
	Lettuce	0.17	1.02	0.45	08/31	09/20	10/31	12/31	271
		0.30	0.83	0.45	10/31	11/20	01/15	03/31	264
	Onions	0.75	1.03	0.20	12/31	02/15	04/01	05/31	265
	Sorghum	0.14	1.01	0.15	03/31	04/25	05/21	08/31	256
	Sorghum (forage-cut 1)	0.57	1.20	0.30	07/30	08/11	09/07	11/30	243
	Sorghum (forage-cut 2)	0.10	1.15	0.10	02/28	03/15	04/02	07/31	233
	Sorghum (grain)	0.09	1.19	0.10	05/31	06/12	07/06	10/31	237
	Squash	0.19	0.85	0.80	08/31	09/15	10/27	12/31	296
		0.45	1.30	0.05	12/31	01/21	02/21	04/30	246
	Sugarbeets	0.18	1.14	0.70	06/30	07/15	09/27	04/30	262
		0.28	1.10	0.75	09/30	10/17	12/06	06/30	283

来源：CIMIS 加州灌溉管理信息系统

图 (4.1)

图 (4.2)

美国加州水资源管理部门的 CIMIS (加州灌溉管理信息系统) 中列出了加州数十种典型植物的 Kc1, Kc2, Kc3 值, 作为灌溉参考绘出完整的作物生长周期中的 K 变化图。(见图 4.1, 4.2) 在我国实际情况中, 由于对作物系数按照作物种类、区域、灌溉方式等组合试验覆盖率极低, 所以提供的作物系数稀疏而缺乏实际可利用性。我们急需一种能够面向特定作物、特定区域、特定灌溉方式, 基于实测数据提取, 代表特定作物耗水量与当地气象之间关系的作物系数。我们把它定义为“真实作物系数 (rK)”。

分析到这里, 灌溉设计中作物需水部分的精确估计几乎被实践上的不可行彻底否定了。其实, 大部分灌溉系统并没有想象的那么糟糕, 通过设计的冗余度、作物的适应性、更多水分的供应、辅助设施 (例如减少蒸发量的地膜与滴灌结合), 作物产量也会有显著提高。然而, 下一阶段人们应该开始思考如何优化灌溉的时机和灌溉量, 通过更加精确地灌溉改善土壤的盐碱化和肥料的使用效率, 同时进一步提高水生产率。这些需求使我们必须重新审视现有的理论和技术框架, 通过创新的视角和设计, 寻求解决问题的新思路新方法。

灌溉现状分析告诉我们，当前灌溉系统的设计目标还是输送水，已经达到了一定的高度，对于储水和耗水却无从下手的。但新的灌溉定义指出了，水被存储在土壤或者其它基质中以备作物按需使用。出发点转移到储水和耗水。

**基于作业现场的实际情况出发，即根据土壤有效储水能力、作物耗水历史及预测设计、实现、控制一个灌溉系统。即假设我们可知道任意地点、任意土壤、任意作物的情况下，土壤有效储水能力及作物耗水动态值，根据耗水动态最大值的某个比例作为设计能力并实现灌溉系统，根据动态值来调整控制，从而达到设计优化、控制优化的目的。该灌溉理论我们称为“敏捷灌溉”理论。**

“敏捷”来源于英语“Agile”，指快速轻盈地运动；也是一种软件项目管理方式，用来快速、高频地更新需求、评估结果、调整计划。在灌溉上特指对不同土壤、不同作物、不同气候环境的动态适应性，以及在控制过程中可以不断评估效果、动态调整策略的理论方法。

**构成敏捷灌溉理论的基本要素定义如下：**

**灌溉：**向土壤或者其它作物吸收水分和营养的可储水的基质中，预存水分供植物未来取用的过程；

**敏捷灌溉：**基于任何地点的土壤和作物特征，通过优化、评估、调整的过程来达到适应土壤理化属性、作物需求、气象动态变化的灌溉方式；

**有效储水能力(eC)：**在特定时间、地点和作物的情况下，在土壤田间持水率与作物胁迫点含水率之间的空间；

**模拟蒸发蒸腾量(sET)：**经过插值(位置插值、时间插值)后的覆盖整个区域的时间历史连续的参考蒸发蒸腾量；



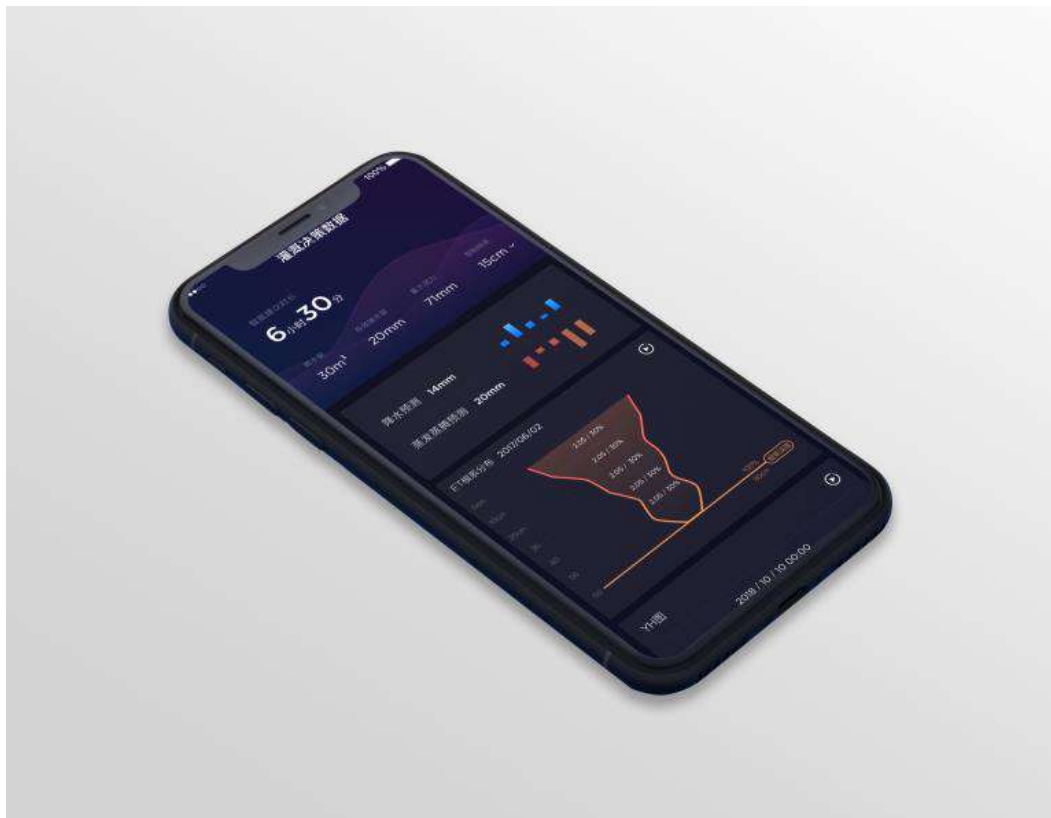


图 (5)

**真实作物系数 (rK):** 一种能够面向特定作物、特定区域、特定灌溉方式的, 基于实测数据提取的, 代表特定作物耗水量与当地气象之间关系的作物系数;

敏捷灌溉理论构成:(见图 5)

①在指定的时间长度内(例如 7 天), 同一地点每天的 sET 的预测值与 rK 的预测值乘积的和, 作为未来作物耗水量的预测值;

②根据作物实际生长情况, 其吸水根系深度内的 eC 总值(在缺乏降水或地下水补充, 并且历史上以人工灌溉为主的区域, 根据实际情况测出的历史同期最大含水率替代田间持水率算出), 作为动态 eC;

③敏捷灌溉的目标是优化利用动态 eC 来满足作物未来耗水的需求。

**敏捷灌溉理论突出特点:**

①过去灌溉系统倾向于将土壤储水能力、作物耗水作为静态量来考虑, 缺乏对作物适时的灌溉调整能力, 只在输水、送水上提高了效率。而敏捷灌溉将储水、耗水都按照自然规律动态观察, 优化调整输送水, 除了水在运输过程中减少了损失, 更重要的是在用水上进行了有效的优化, 真正做到适应动态变化, 适时调整优化。

②该理论强调了动态数据驱动的决策机制, 具有高度灵活和高度自适应性, 是对现有灌溉理论和实现装置的重大升级。

③敏捷灌溉理论不仅提供了灌溉的框架, 更重要的是对于农业及生态可持续发展提供长期可靠的数据支撑和认知提升。

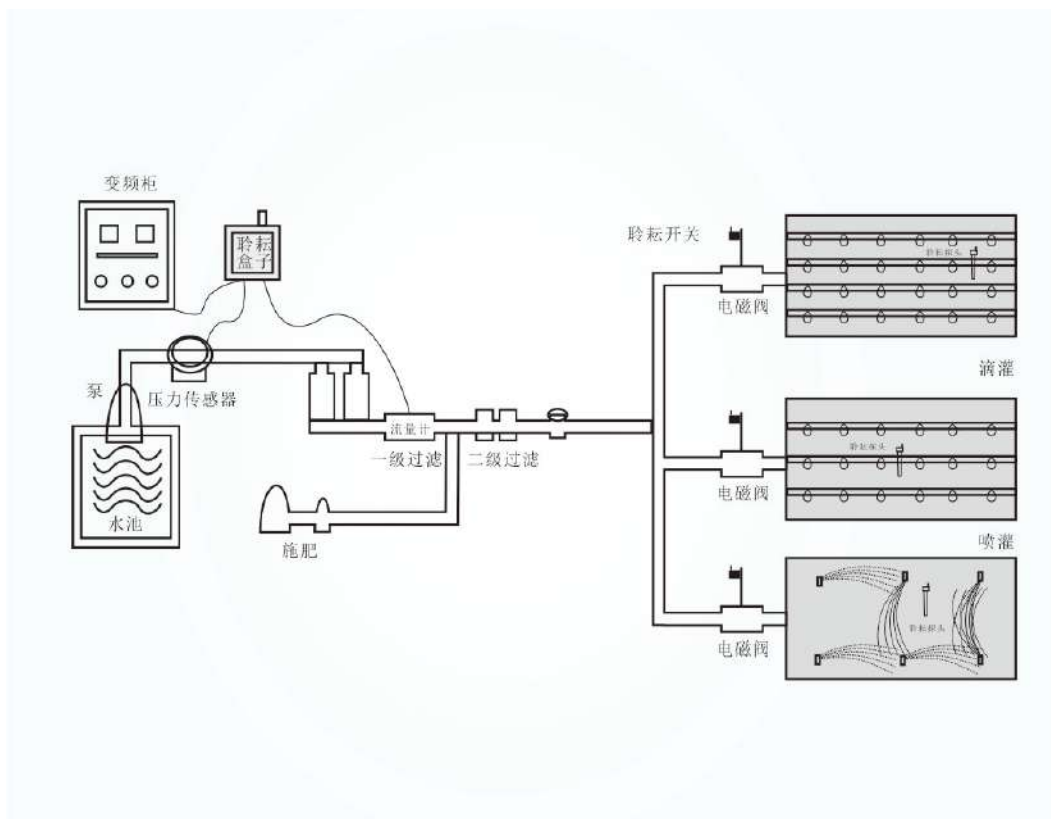


图 (6)

④此理论为精准水肥一体化提供了可能性。

#### 1、实现敏捷灌溉的基础条件

一个能够稳定可靠运行的灌溉系统是实现敏捷灌溉的基础条件。

有些灌溉系统存在灌溉设计不合理、首部运行不可靠、灌溉管网不稳定、灌水器出水不均匀等情况,这些都称不上是合格的灌溉系统。(见图 6)

在灌溉系统的规划设计中,需要搜集项目地资料,包括地形资料、土壤资料、作物资料、水源资料、气候资料;在技术设计阶段,要有准确的地形图,据此进行具体布置和设计计算。

灌溉方式的选择要兼顾作物需水、作物种植、土壤入渗强度以及当地自然和经济条件等。水量平衡计算中,对于作物耗水强度,一般依据降雨、 $ET_0$  等资料选取代表年进行计算,该过程要求有依据,不可随意估算。为提高设计质量和设计速率,灌溉图纸的设计应采用灌溉专用软件。

灌溉产品的采购,从灌水器、管道到首部的水泵系统、过滤系统等,均需选择符合设计要求且质量可靠的产品,均匀度、壁厚、承压、过流量等参数要满足标准。

施工阶段决定了一个科学的灌溉系统能否落地,是灌溉系统可以稳定运行的关键,除施工步骤要严格按照规范操作外,管道埋深、管道镇墩、冲洗打压等隐蔽工程也务必到位。

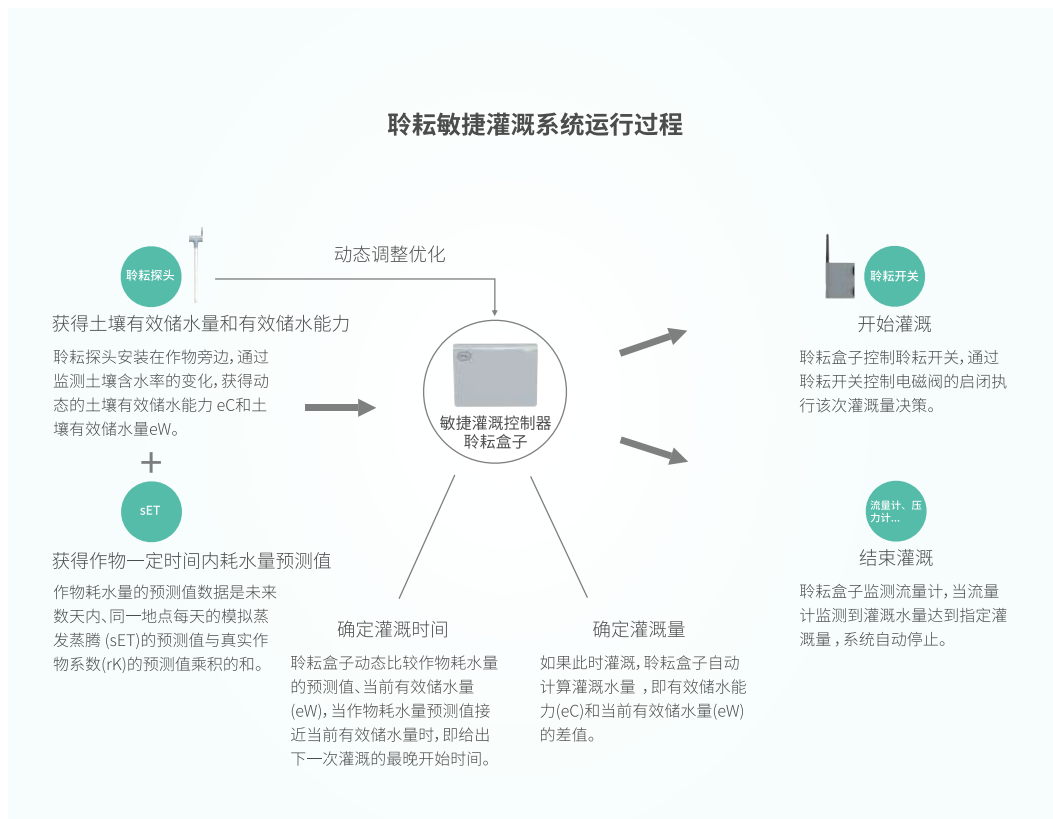


图 (7)

## 2、敏捷灌溉的实现 (见图 7)

**第一步,通过现场传感器(例如:聆耘探头)获得与目标时间、地点和目标作物有关的动态有效储水能力 (eC) 和有效储水量 (eW) 数据。**

有效储水能力 (eC) 反映了土壤“胃”容量的大小,是在土壤田间持水率与作物胁迫点含水率之间的储水空间,是一个和土壤质地结构、植物根系生长动态深度及根系 / 土壤水势平衡均相关的值,是一个需要通过传感器现场真实获得的值。

有效储水量 (eW) 是当前土壤含水量高于作物胁迫点含水率之间的储水空间。有效储水量 (eW) 决定了当前土壤中可被植物利用的水分是多少。

安装部署聆耘探头可以自动获得有效储水能力 (eC) 数据以及有效储水量数据 (eW)。聆耘探头监测布署的代表性应根据作物种植、地形地貌、土壤、灌溉方式等因素综合考量确定:

### ①确定作物的种类

不同作物品种均需要不同的聆耘探头进行监测。

### ②确定聆耘探头安装位置与农作物主干、根系的距离

确定距离之前,需了解被监测作物的根系分布方式,选择离作物根系吸水较近的位置安装聆耘探头。

### ③确定代表性土壤位置

选择每个轮灌组内能代表大多数土壤特性的区域,要求地块平整无低洼积水,同水坑、水池等保持 10m 以上的距离,避免水侧渗对土壤含水量产生影响。

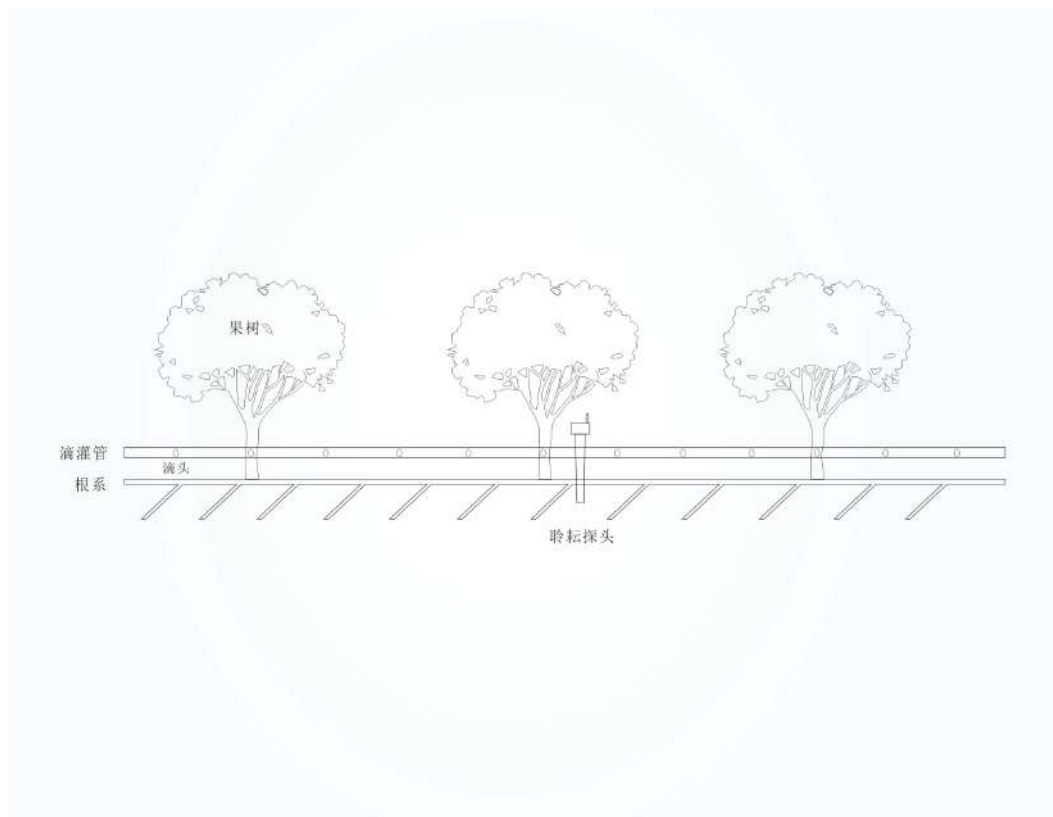


图 (8)

根据农作物对土壤水分的干旱、水涝敏感性差异,也可以选择地块中最容易发生干旱、水涝的位置作为监测位置。

#### ④确定灌溉湿润区分布

全面灌溉: 如漫灌、喷灌系统中,选取作物主要吸水根系附近的点即可。

局部灌溉: 微灌系统中,除了要选取靠近作物主要吸水根系的位置,还要求安装在湿润区,建议在同一支管两相邻微喷头或滴头间距正中间的位置。

#### ⑤确定作物长势分布

聆耘探头安装需要选取长势均衡并可代表绝大多数作物长势的位置。

通过聆耘探头探索田间持水量及作物凋萎系数数据:

田间持水量是指在地下水较深和排水良好的土地上充分灌水或降水后,允许水分充分下渗,并防止其水分蒸发,经过一定时间(一般为砂土类、壤土类在灌水后 24 小时取样,粘土类必须在 48 小时或更长时间),土壤剖面所能维持的较稳定的土壤水含量,是大多数植物可利用的土壤水上限。

安装聆耘探头后若有可预见的充分灌水或降水发生,则等待充分灌水或降水的发生,以获得田间持水量数据;或安装聆耘探头后人为地在聆耘探头周围进行局部的充分灌水,获得田间持水量数据。在农作物的农艺要求不允许进行充分灌水时,可以把聆耘探头安装在相同土质条件但无农作物的位置进行充分灌溉后获得田间持水量数据,再将聆耘探头安装在前述 1.1 条确定的长期监测安装位置。(见图 8)



图 (9)

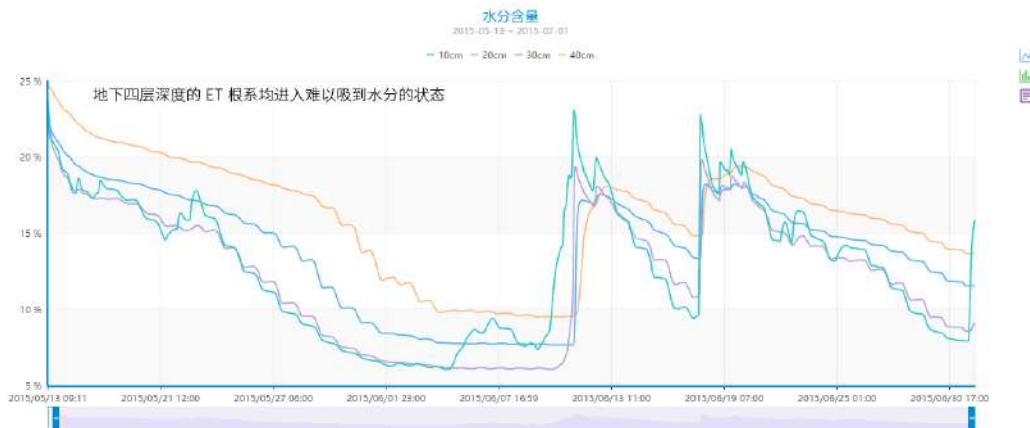


图 (10)

如图(9),通过聆耘探头测得田持为 29.7%。

作物凋萎系数是植物开始发生永久凋萎时的土壤含水率。在实际农业生产中,不太可能刻意地做干旱测试以获得植物在不同生育期不同土质下的凋萎系数,但通过聆耘探头的动态监测,可以找出农作物根系从土壤中吸收水分逐渐减少直到很难再从土壤中吸收水分时每个土层的土壤含水量状态。(见图 10)

基于 YH 图的土壤有效储水能力(eC)动态计算:

在 YH 图中,横坐标为体积含水率,纵坐标为地表到地下的深度。左侧红颜色的土壤含水量线为实测到的各深度土层在农作物种植后的历史最低含水量,右侧蓝色土壤含水量线为实测到的各深度土层在农作物种植后的历史最高含水量。根据前述内容,可判定左侧红色及右侧蓝色的水分含量是否可以视为植物凋萎系数及田间持水量数据。

根据智能识别到的植物主要耗水根系深度数据后,有效储水能力(eC)为在监测时间段内,植物主要耗水根系深度以上的土壤中,土壤田间持水量高于作物凋萎系数的那部分土壤储水空间。下图中示例为主要耗水根系深度为 40 厘米深,当前的有效储水量为 57 毫米,土壤蓄水潜力为 39 毫米,土壤的有效储水能力(eC)为  $57+39=96$  毫米水,即在当前从地表到农作物最大根系深度范围的土壤中,土壤最多能够存储 96 毫米的水分。

**第二步,获得目标地点的作物在未来一定时间内的逐日耗水量预测值 (fdET)。**

作物耗水量逐日预测值用 fdET 表示, f 是 future 的首字母, d 是 day 的首字母, f1ET=6mm 表示该作物明天的耗水量预测值为 6mm, f2ET=4mm 表示该作物后天的耗水量预



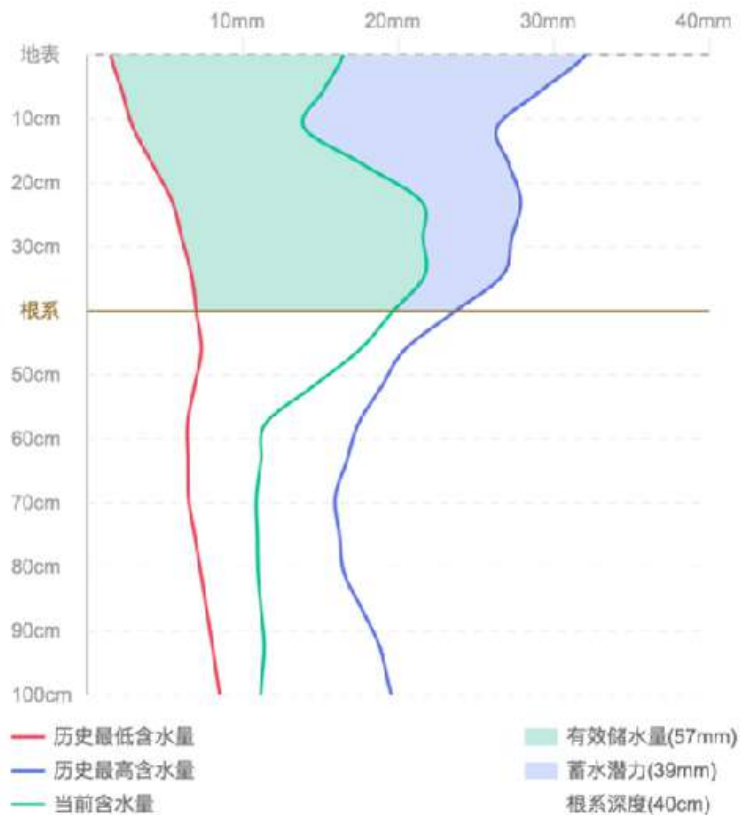


图 (11)

测值为 4mm。

作物耗水量的预测值数据是未来数天内、同一地点每天的模拟蒸发蒸腾量 (sET) 的预测值与真实作物系数 (rK) 的预测值乘积的和。

模拟蒸发蒸腾量 (sET) 是经过插值 (位置插值、时间插值) 后的覆盖整个区域的时间历史连续的参考蒸发蒸腾量, 可以从北京东方润泽生态科技股份有限公司公开发布的 E 生态大数据平台上获取。

真实作物系数 (rK) 是面向特定作物、特定区域、特定灌溉方式, 基于实测数据提取的, 代表特定作物耗水量与当地气象之间关系的作物系数。通过第一步中监测到的每一天的作物实际耗水量数据, 剔除那些土壤含水量太高或过低 (通常为灌溉结束日及次日、下次灌溉日的前一日) 以及阴天、降雨导致的未能够充分进行土壤蒸发、农作物蒸腾消耗土壤水分的数据, 获得作物的日真实耗水量  $ET_c$ , 则真实作物系数  $rK = ET_c / sET$ 。作物系数 (rK) 是一个缓慢变化相对稳定的数据, 敏捷灌溉采用相临近的前一时期测量到的真实作物系数作为下一次作物耗水量预测值的计算依据。(见图 11)

**第三步, 敏捷灌溉控制器 (聆耘盒子) 动态比较作物耗水量的预测值、当前有效储水量 (eW), 给出下一次灌溉的最晚开始时间。**

聆耘盒子将土壤有效储水能力 (eC)、日耗水量预测 (fdET)、下一次灌水的时间 t 都作为动态数值实时更新, 使灌溉决策变得敏捷、自动、科学。

**第四步, 如果用户决定此时灌溉, 聆耘盒子自动计算灌溉水量, 即有效储水能力 (eC) 和当前**

### 有效储水量(eW)的差值。

用户启动“一键灌溉”的时候，聆耘盒子自动计算有效储水能力减去当前有效储水量的差值，即土壤中还能储存多少水，并通过 LoRa 解码器(聆耘开关)控制电磁阀的启闭来执行该灌溉量决策，当流量计监测到灌溉水量达到该值，系统自动停止。受灌水方式、系统本身效率等因素的影响，灌溉量决策是随着灌溉系统的运行逐渐优化的。

传统灌溉系统中，只能凭借人工经验对各轮灌组、各农作物的灌溉进行先后排序，对灌溉时间进行估计。在自控系统中，电磁阀数量和作物种类都较多时，靠人工决定灌溉先后顺序及灌溉时间的决策结果通常不科学，敏捷灌溉完美的解决了这个问题。

例如：某目标地块最小灌溉控制单元(如一个滴灌电磁阀区域)未来 1-7 天的作物逐日耗水量的预测值为  $f_1ET=6mm$ ,  $f_2ET=5mm$ ,  $f_3ET=8mm$ ,  $f_4ET=4mm$ ,  $f_5ET=9mm$ ,  $f_6ET=3mm$ ,  $f_7ET=9mm$ 。

该控制单元当前的有效储水能力  $eC=39mm$ ，有效储水量  $eW=20mm$ ，则：

当前有效储水量可满足作物未来 3 天的耗水(19mm)，但不能满足未来 4 天的耗水(23mm)，因此下一次灌溉时间要早于第 4 天；

而此时若灌溉的话，建议灌溉量不超过  $eC-eW=39mm-20mm=19mm$ 。

敏捷灌溉的决策能够根据耗水量的预测值( $fdET$ )、有效储水能力( $eC$ )和当前有效储水量( $eW$ )三个动态数据对每个电磁阀的开启和运行时间进行自动优化。

总结：通过聆耘探头的监测与分析，为敏捷灌溉提供有效储水能力( $eC$ )和有效储水量( $eW$ )。

通过聆耘探头的监测与分析，结合 E 生态大数据平台的  $sET$ ，获得真实作物系数( $rK$ )，乘以 E 生态大数据平台的模拟蒸发蒸腾量( $sET$ )预测数据，获得目标地点的作物在未来一定时间内的逐日耗水量预测值( $fdET$ )。

聆耘盒子动态比较作物耗水量的预测值( $fdET$ )、有效储水能力( $eC$ )和当前有效储水量( $eW$ )，确定当前最小灌溉控制单元适宜的灌溉时间和灌溉量，并通过聆耘开关执行。



图 (12)

正如在灌溉的现状描述中所分析的一样，现有市场上所谓的“智能灌溉”大多都是“智能手机”灌溉。而真正的智能灌溉应该是什么样子呢？还是回到灌溉的本质，灌溉一定是一个人类行为，自然的灌溉就是降水以及各种自然漫水。那智能的灌溉需不需要人呢？答案当然是需要。这个阶段人的灌溉行为从挑水 / 浇水、拦坝修渠、铺管送水、电动启停，演进到用水策略调整、适时生长干预。

敏捷灌溉可以完成对土壤有效储水能力和作物未来耗水的分析，决定下一次灌溉的时间和量，智能灌溉则是需要从整个种植季规划、优化实施水的灌溉频率和量。优化的目标通常有水生产率、水肥配合效应、作物生理调节等。在敏捷灌溉的基础上，我们需要实时分析长势、实时分析作物生理特征，进一步了解作物生长规律，更长周期的预测气象变化，才有可能达到智能灌溉。

根据当前的技术发展速度，我们预计在敏捷灌溉规模化应用后的 1-2 年时间，用户即可过渡到智能灌溉。（见图 12）

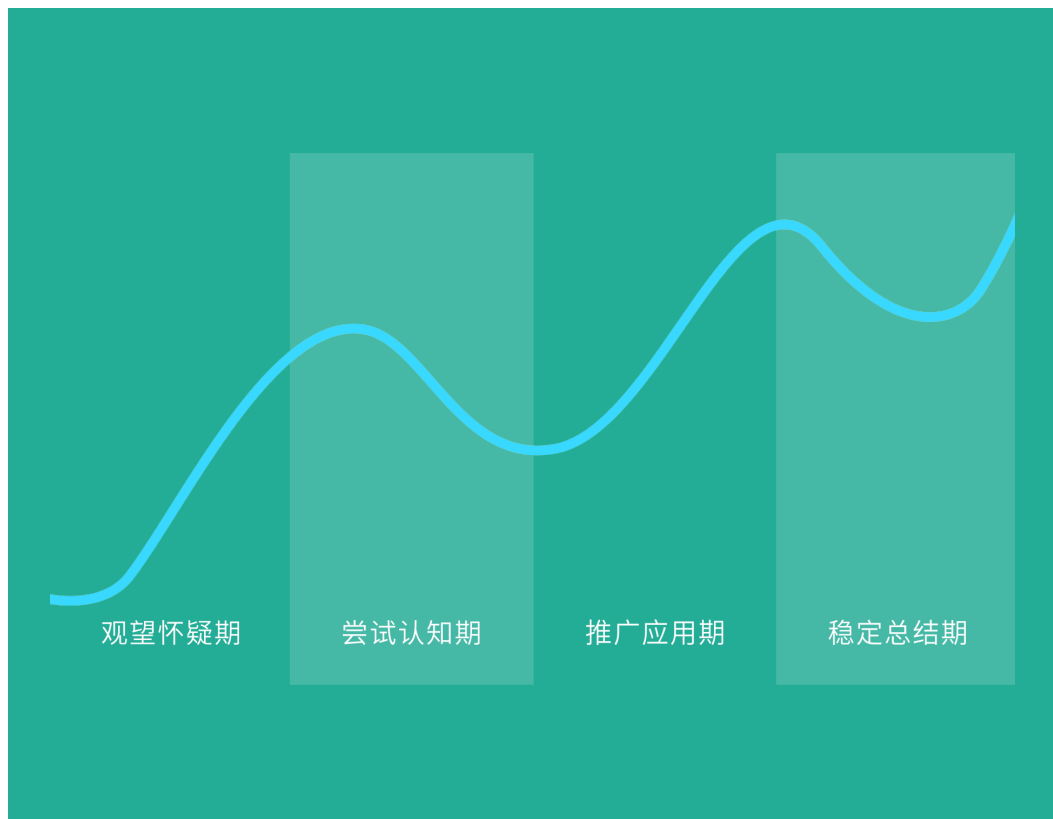


图 (13)

任何用户在接触完全由机器来替代人类的某项工作的时候,都会担心不确定性,从而引发拒绝、焦虑、过度敏感等负面的心理效应,这成为了此类系统推广的障碍。

敏捷灌溉系统也是一样,输水和送水型的灌溉系统因为效果的直观性,比较容易得到用户的认同和接受,而由感知器产生的结果往往是与用户的直觉或者所谓经验相背离的,例如作物根系的分布情况,并不都是倒锥形,滴灌系统中有可能是纺锤形,特殊情况下还有可能是正的锥形。此外,用户受过不同程度种植方面的培训和教育,教科书上的案例很多时候也缺乏现实的多样性,更常见的情况是未把近 10 年的研究成果放进去,导致用户要么偏执于书本上的描述,要么把基本原理连同案例和过时的知识一起否定掉。

任何新的理论和方法在用户群体的适应曲线都基本符合下面的规律(见图 13):

①观望怀疑期: 这个时期用户因为无法理解或者不相信效果而产生了被动的受影响阶段,往往时间很长,也是技术发明人和用户最感到煎熬的时期。

②尝试认知期: 各种原因下(政府推广,厂商鼓励等)用户带着疑问试用产品,并产生了各种认知上的冲撞。这个时期工作量巨大,效果并不确切。

③推广应用期: 一部分关键的用户开始接受后,市场进入了规模推广期,这时候大批用户是受市场影响盲从的。

④稳定总结期: 当用户增长趋于稳定以后,积累了大量的使用数据,用户开始重新审视具体的细节和逻辑,以及应用效果,为新的技术或者改进埋下伏笔。

这时候用户个体的适应曲线是怎样的呢? 用户个体通常对于掌握复杂的、反直觉的系统





图 (14)

很难接受，原因就是逻辑思维的过程很难有巨大改变。通常的结果就是用户中途放弃，例如一种难学的乐器、各种以数学为基础的学科等。但是，我们发现有一种复杂的系统，用户通常都能够掌握，那就是游戏，尤其是电子游戏。深入分析，我们发现游戏中各种操作技能是渐进的、即学即用教会用户的，最终闯到最后一关的用户必然是熟练掌握各项设定技能的。

由此我们为灌溉操作系统设计了用户引导型的“一键三段”方法，以确保用户能够最终放心地将控制权利交给基于大数据和云平台的人工智能程序。(见图14)

这个系统的设计构成如下：

所谓“一键”，就是始终如一的操作过程，在灌溉系统中就是一个启动/停止键。无论是手动，自动，敏捷，智能灌溉都使用一种操作方式；

所谓“三段”，指的是三个渐进的阶段，用户必须在实践过上一个阶段，对系统的操作产生足够的认识和信任后才能进入下一步，这是由于“一键”的操作是不需要学习的，而人对系统的认识是逐渐提高的。

“三段”包括：

“手动”：通过按“一键”，实现灌溉系统启停，用户必须能够反复使用三次以后才能解锁下面的功能。在这个过程中，一方面检查了灌溉系统正常工作能力，另一方面建立了用户使用电控的信任感；

“自动/敏捷”：通过按“一键”发送一次灌溉指令，灌溉系统可以按照预先设定的时



间或者其它条件自动启动 / 停止, 这就是所谓自动控制; 在敏捷灌溉情况下, 用户按“一键”启动系统, 系统会按照作物未来耗水需求和土壤有效储水能力来决定系统运行时间。用户需要能够持续如此操作一个种植季, 才能解锁使用下一个级别。

“智能”: 通过按“一键”启动灌溉系统, 在整个种植季, 系统会按照时间、气候、作物、土壤、用水策略等因素, 全面自适应地决定什么时候灌溉、灌多少? 这时候, 用户的作用更多的是观察、动态调整策略、紧急干预等。

应用“一键三段”用户引导型设计的系统, 可想而知近 80% 的用户最终都能被引导到智能灌溉系统。当然, 就看智能灌溉什么时候能够实现了。