

全国农村水利管理信息系统技术研讨会

基于物联网的智慧灌溉平台开发与应用

武汉大学 罗玉峰

2017年9月27日，北京



提 纲

1.背景

2.智慧灌溉系统

3. 智慧灌溉平台开发

4.智慧灌溉平台应用

1. 背景

大型灌区在 1998 年开始的 “续建配套节水改造” 项目基础上，于 2002 年启动了信息化试点建设，至今已经历了 “十五”、“十一五” 两期试点建设，共有 51 座灌区参与（参与的程度不同而已）。

其中，第一期试点 30 座灌区，共投资 1.8564 亿元，第二期试点 36 座灌区（其中 15 座由一期延续下来），共投资 2.3162 亿元。

1. 背景

“十五”、“十一五”两期信息化试点建设的大型灌区

序号	灌区	现状灌溉面积 (万亩)	所在省区	序号	灌区	现状灌溉面积 (万亩)	所在省区	序号	灌区	现状灌溉面积 (万亩)	所在省区
01	石津	173.1	河北	18	花凉亭	65.8	安徽	35	都江堰	974.1	四川
02	冶河	39.9	河北	19	赣抚平原(一期)	91.8	江西	36	通济程	44.5	四川
03	滦下	95.8	河北	20	漳河	25.8	江西	37	紫开个	45.6	云南
04	夹马口	32.5	山西	21	位山	508.0	山东	38	元谋	19.1	云南
05	汾河	131.8	山西	22	王屋(一期)	32.0	山东	39	泾惠渠(一期)	135.5	陕西
06	大禹渡	21.2	山西	23	鸭河口(一期)	160.0	河南	40	石堡川	30.0	陕西
07	河套	860.0	内蒙	24	韩董庄	34.1	河南	41	交口抽灌	113.0	陕西
08	前郭(一期)	39.7	吉林	25	洧水	41.6	湖北	42	石头河	29.0	陕西
09	依马河	18.5	吉林	26	漳河	244.9	湖北	43	洪水河(一期)	29.8	甘肃
10	东港	57.5	辽宁	27	东风渠	96.4	湖北	44	兴电	25.7	甘肃
11	龙凤山(一期)	31.7	黑龙江	28	韶山(一期)	86.4	湖南	45	景电	97.4	甘肃
12	兴凯湖	36.6	黑龙江	29	双牌(一期)	29.3	湖南	46	鸳鸯河	36.4	甘肃
13	高邮(一期)	68.9	江苏	30	大圳	45.2	湖南	47	青雨峡	495.0	宁夏
14	淮安渠南(一期)	68.6	江苏	31	铁山	60.0	湖南	48	金沟河	46.5	新疆
15	钱塘江(一期)	58.0	浙江	32	青年运河(一期)	146.6	广东	49	三屯河	70.0	新疆
16	铜山源	23.1	浙江	33	龟石(一期)	24.1	广西	50	十八团渠	35.4	新疆生产建设兵团
17	淠史杭(一期)	1000.0	安徽	34	右江	23.4	广西	51	玛纳斯	215.48	新疆生产建设兵团

表示只做第一期信息化试点
 表示只做第二期信息化试点
 表示列入一期信息化试点但未实施
 表示做了两期信息化试点

1. 背景

大型灌区信息化两期试点的成效和收获是肯定的，特别是第二期试点在第一期试点 摸索 的基础上，无论是规划设计还是建设实施，直至维护管理都有了长足的进步：

- 1、《“十一五” 期间大型灌区信息化试点建设指导意见》编制；
- 2、《大型灌区信息化建设技术指南》出版；
- 3、《大型灌区 “十一五” 信息化试点建设总结》编制。

十二五，十三五？

1. 背景

现状：

大部分大型灌区灌溉管理与服务基本上采用传统方式，仅三分之一的大型灌区开展了不同程度信息化建设，配套完善了相应的通信设施，信息采集监测基本实现了数字化、远程化，但总体上信息化程度不高

- 用得不够好，智能化程度不高
- 与电子商务/互联网购物有较大差距

1. 背景

- 以传统灌区管理模式来做灌区信息化
- 借鉴电商？网约车？

将互联网思维深度融合于灌溉管理之中

2. 智慧灌溉系统

有效降雨

- 南方地区降雨充沛，充分利用降雨是节水灌溉的一种途径，可以降低灌溉用水量
- 有效降雨量与降雨前的田间水分状况相关
- 如何提高降雨利用率？
- 天气预报的应用
- 降雨不确定性

2. 智慧灌溉系统

- 风险问题

- 灌则灌水浪费

- 不灌则受旱减产

- 如何平衡风险？

- 不同风险偏好？

国家自然科学基金项目“南方湿润
区水稻灌溉风险调控理论研究”

(51179048)

- 如何实现：智慧灌溉系统

2. 智慧灌溉系统

- 智慧灌溉系统的发展

- 人工灌溉



2. 智慧灌溉系统

- 智慧灌溉系统的发展

- 人工灌溉

- 定时自动灌溉



2. 智慧灌溉系统

- 智慧灌溉系统的发展

- 人工灌溉

- 定时自动灌溉

- 基于ET的智能灌溉系统



2. 智慧灌溉系统

- 智慧灌溉系统的发展
 - 人工灌溉
 - 定时自动灌溉
 - 基于ET的智能灌溉系统
 - 基于土壤水分监测的智能灌溉系统



2. 智慧灌溉系统

- 智慧灌溉系统的发展

- 人工灌溉

- 定时自动灌溉

- 基于ET的智能灌溉系统

- 基于土壤水分监测的智能灌溉系统

- 基于土壤水分监测和降水传感器的智能灌溉系统



2. 智慧灌溉系统

- 智慧灌溉系统的发展

- 人工灌溉

- 定时自动灌溉

- 基于ET的智能灌溉系统

- 基于土壤水分监测的智能灌溉系统

- 基于土壤水分监测和降水传感器的智能灌溉系统

都未考虑未来的降雨，智能水平不够高

2. 智慧灌溉系统

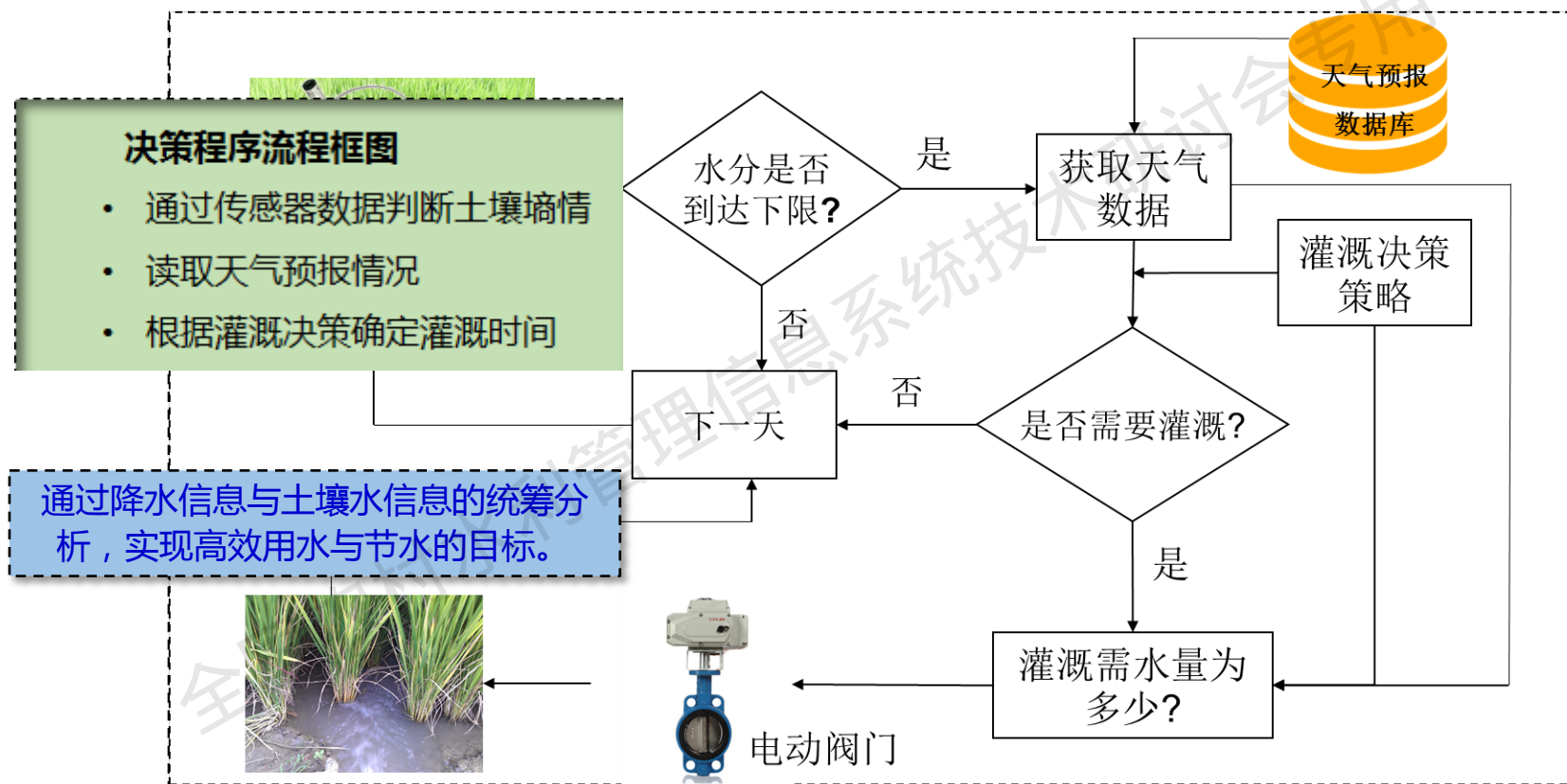
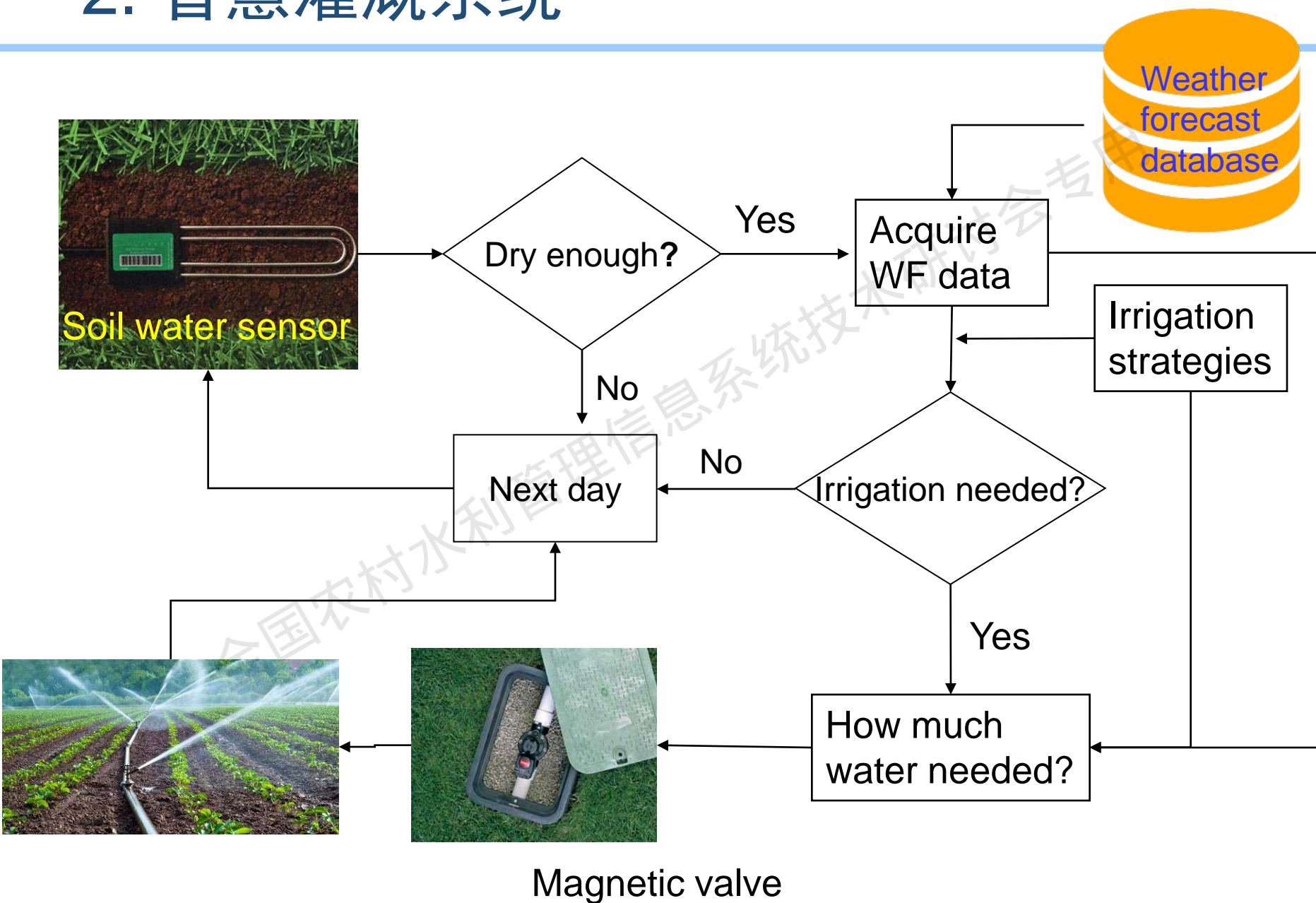
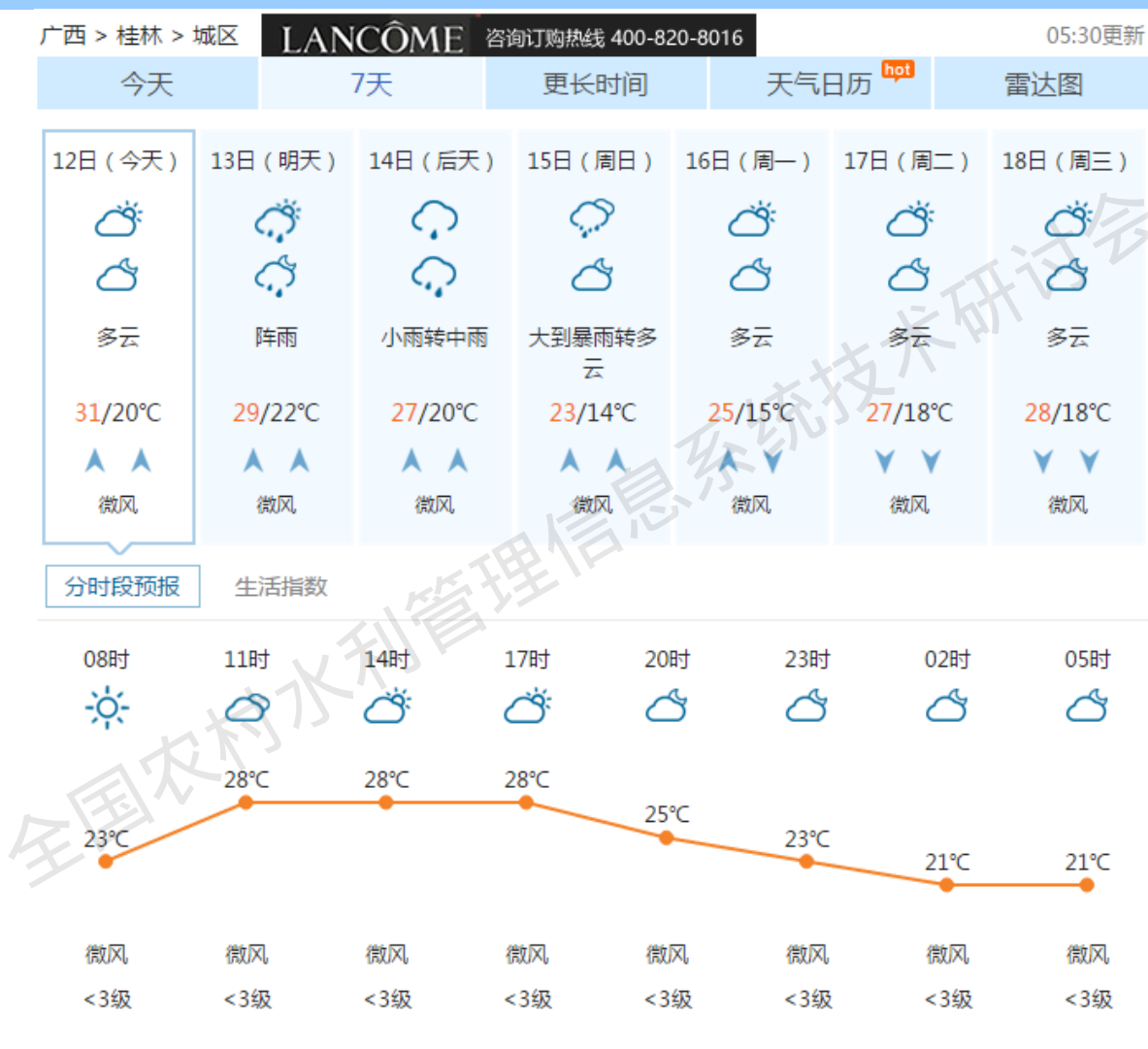


图2 决策程序流程框图

2. 智慧灌溉系统



2. 智慧灌溉系统



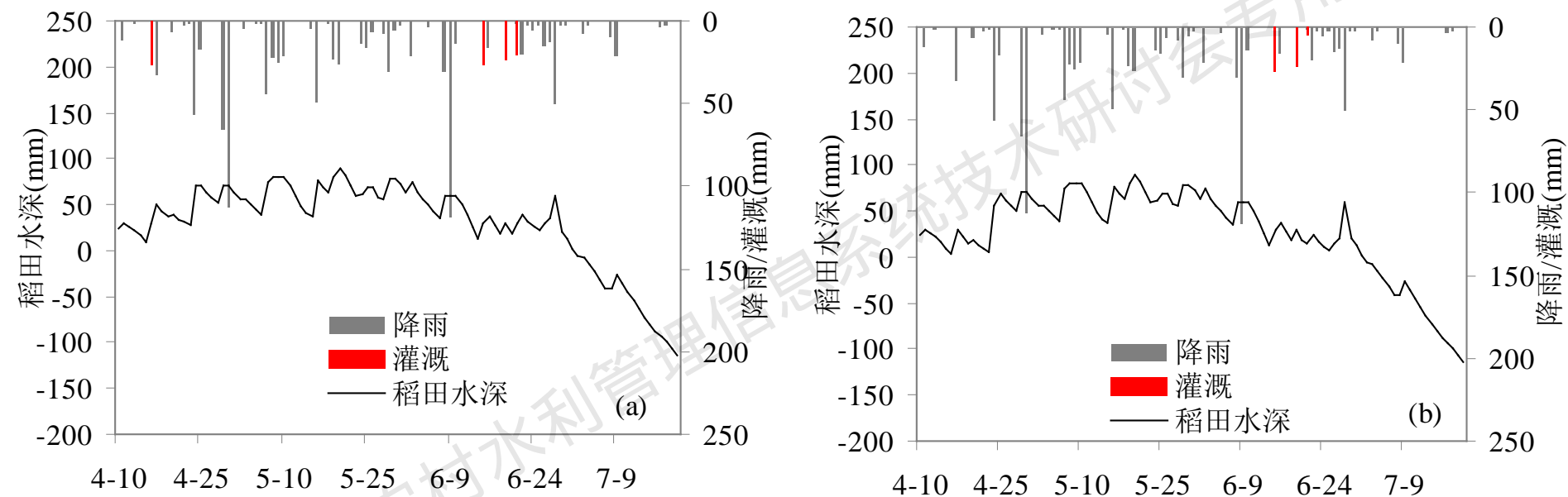
收集了2013-2014年桂林站水稻生育期逐日对未来7d的气象预报数据

2. 智慧灌溉系统

不同灌溉模式和决策策略下早稻灌溉用水量

年份	灌溉模式	灌溉策略	降雨量 (mm)	排水量 (mm)	有效降水 (mm)	灌水量 (mm)	灌水次数	节水量 (mm)	节水比例 (%)
2013	淹灌	常规灌溉	962.3	393.7	568.6	97.9	4	-	-
		智慧灌溉	962.3	351.5	610.8	55.7	3	42.1	43.1
	间歇灌溉	常规灌溉	962.3	367.5	594.8	81.6	1	-	-
		智慧灌溉	962.3	367.5	594.8	81.6	1	0	0
2014	淹灌	常规灌溉	1053.7	432.3	621.4	88.1	3	-	-
		智慧灌溉	1053.7	390.4	663.3	79.3	3	8.8	10.0
	间歇灌溉	常规灌溉	1053.7	377.2	676.5	43.1	1	-	-
		智慧灌溉	1053.7	334.2	719.5	0.0	0	43.1	100.0

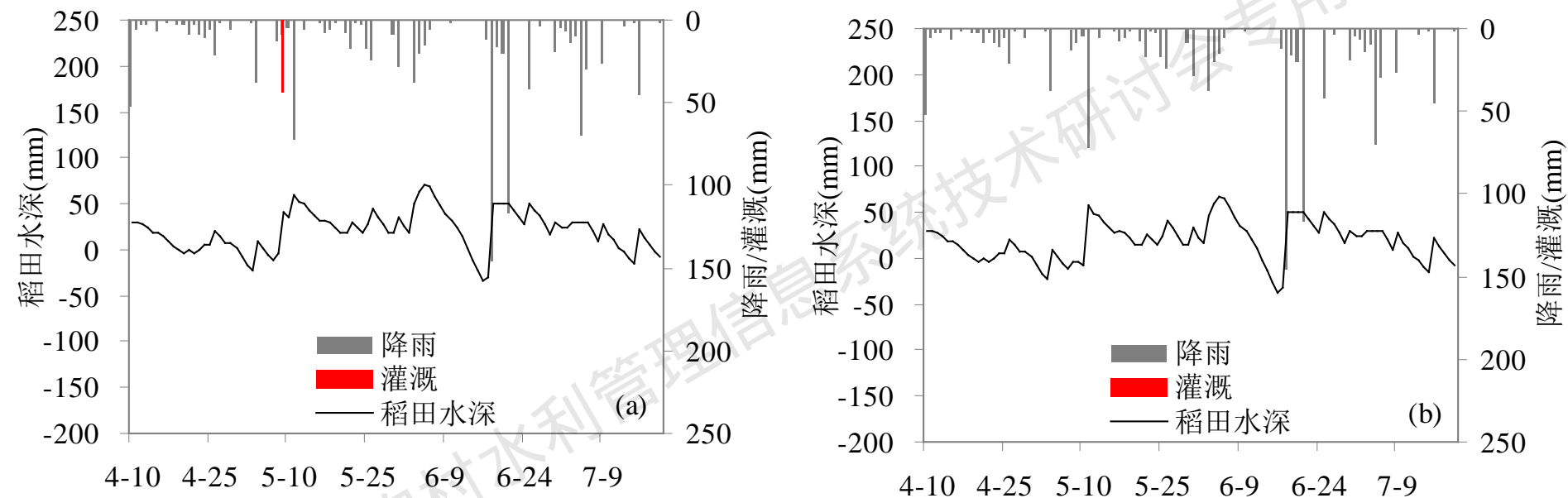
2. 智慧灌溉系统



2013年淹灌模式下不同决策策略的早稻稻田水深、降雨及灌溉过程

(a: 常规灌溉, b: 智慧灌溉)

2. 智慧灌溉系统



2014年间歇灌溉模式下不同决策策略的早稻稻田水深、降雨及灌溉过程

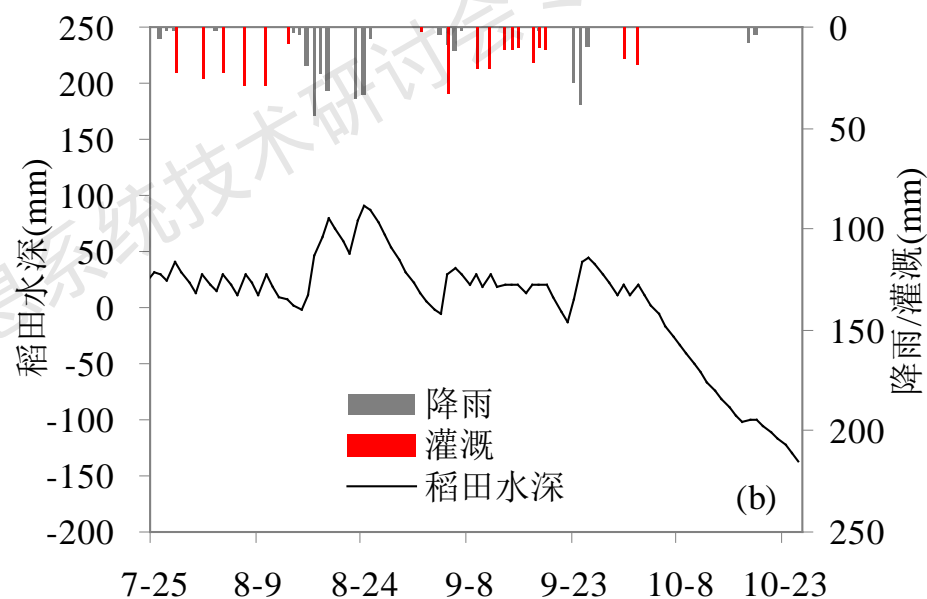
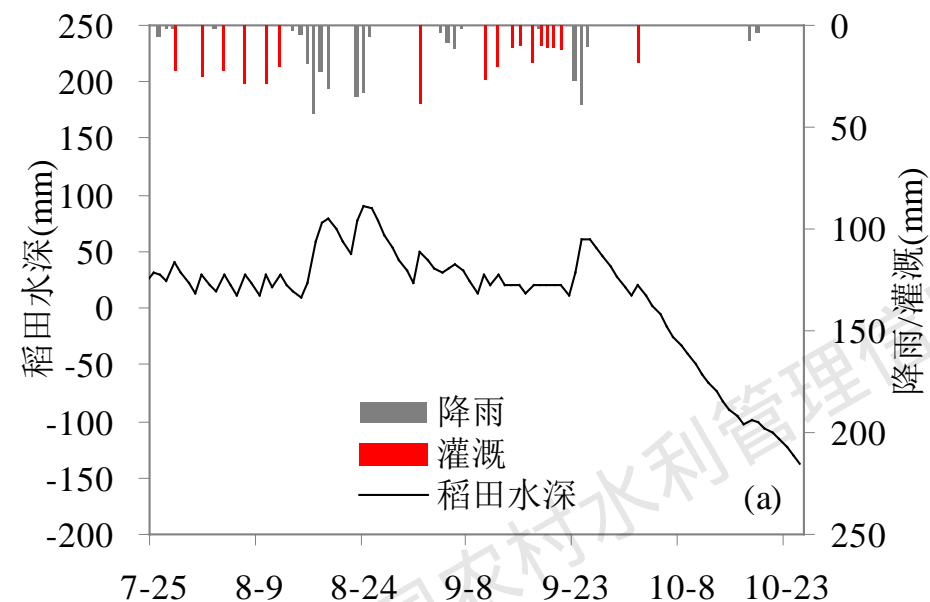
(a: 常规灌溉, b: 智慧灌溉)

2. 智慧灌溉系统

不同灌溉模式和灌溉决策策略晚稻灌溉用水量

年份	灌溉模式	决策策略	降雨量 (mm)	排水量 (mm)	有效降水 (mm)	灌水量 (mm)	灌水次数	节水量 (mm)	节水比例 (%)
2013	淹灌	灌溉策略	311.3	42.8	268.5	340.2	16	-	-
		常规灌溉	311.3	21.9	289.4	319.3	18	20.9	6.1
	间歇灌溉	智慧灌溉	311.3	59.3	252.0	328.1	5	-	-
		常规灌溉	311.3	32.3	279.0	283.8	4	44.3	13.5
2014	淹灌	智慧灌溉	433.0	153.7	279.3	319.8	15	-	-
		常规灌溉	433.0	145.1	287.9	311.2	15	8.6	2.7
	间歇灌溉	智慧灌溉	433.0	181.6	251.4	321.8	5	-	-
		常规灌溉	433.0	167.8	265.2	308.0	5	13.9	4.3

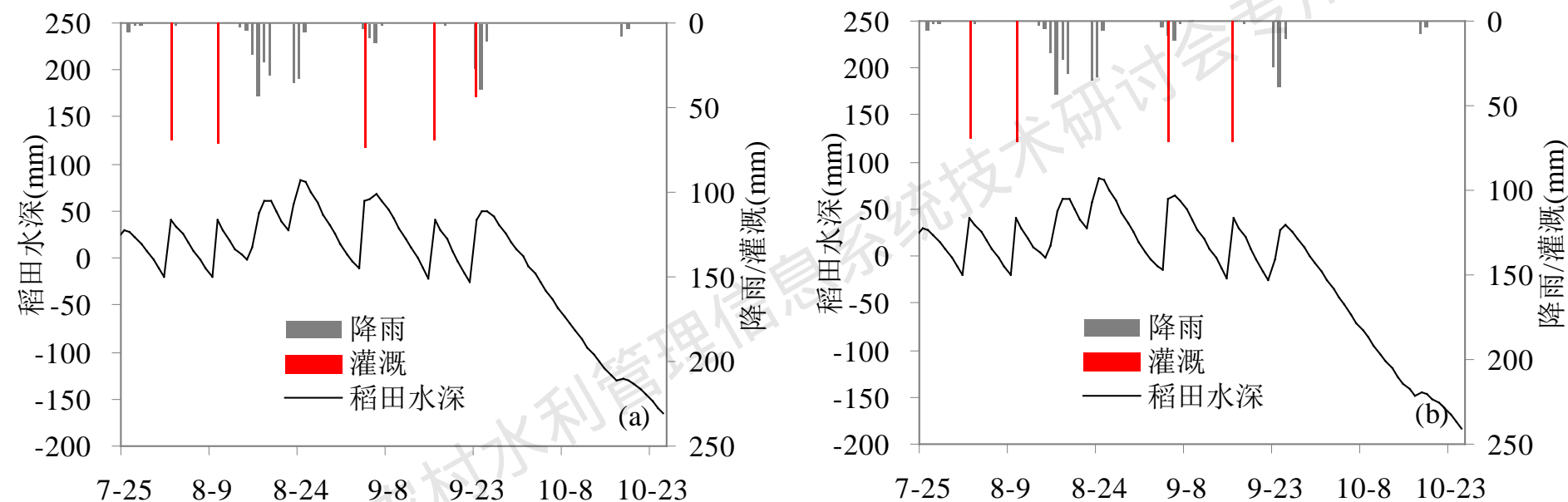
2. 智慧灌溉系统



2013年淹灌模式下不同决策策略的晚稻稻田水深、降雨及灌溉过程

(a: 常规灌溉, b: 智慧灌溉)

2. 智慧灌溉系统



2013年间歇灌溉模式下不同决策策略的晚稻稻田水深、降雨及灌溉过程

(a: 常规灌溉, b: 智慧灌溉)

2. 智慧灌溉系统

- 早稻和晚稻减少灌水量23.5mm和21.9mm，节水分别为38.3%和6.7%
- 采用智慧灌溉决策可以避免因灌后遇雨造成的灌水浪费，从而减少灌溉用水量、排水量以及灌水次数

利用天气预报信息，提高灌溉水利用效率

2. 智慧灌溉系统

南方湿润区水稻灌溉风险决策调控理论研究

- 不同风险偏好（冒险、中庸、保守）
- 风险评价模型

风险综合值 $A_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij}$

$$r_{ij} = (y_{ij} - y_j^{\min}) / (y_j^{\max} - y_j^{\min})$$

2. 智慧灌溉系统

- 南方水稻生育期降雨预报准确度？
- 早稻和晚稻生育期是否不同？

全国农村水利管理信息系统技术研讨会专用

2. 智慧灌溉系统

- 江西省赣抚平原灌区典型站点南昌站
- 2013-2015年的三季早稻和2012-2014年的三季晚稻的逐日观测气象数据
- 从中国天气网（<http://www.weather.com.cn>），南昌地区相应的逐日降雨预报的数据

2. 智慧灌溉系统

评价指标

表 2 预测降雨与否的列联表
Tab. 2 Contingency of occurrence/non – occurrence of rainfall

观测	预报	
	有	无
有	<i>A</i>	<i>B</i>
无	<i>C</i>	<i>D</i>

正确率(percentage correct, PC)

$$PC = \frac{A + D}{A + B + C + D}$$

TS评分(threat score)

$$TS = \frac{A}{A + B + C}$$

空报率(false alarm rate, FAR)

$$FAR = \frac{C}{A + C}$$

漏报率(missing alarm rare, MAR)

$$MAR = \frac{B}{B + D}$$

2. 智慧灌溉系统

评价指标

表 2 预测降雨与否的列联表

Tab. 2 Contingency of occurrence/non – occurrence of rainfall

观测	预报	
	有	无
有	A	B
无	C	D

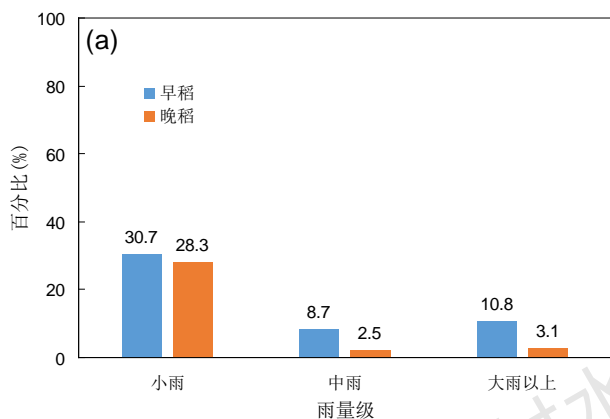
命中率 (true positive rate, TPrate)

$$\text{TPrate} = \frac{A}{A + B}$$

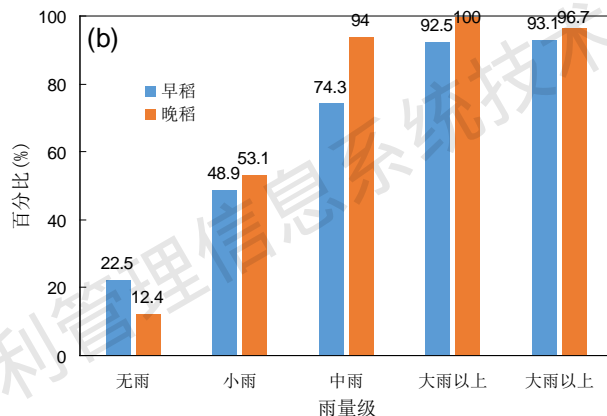
虚警率 (false positive rate, FPrate)

$$\text{TPrate} = \frac{C}{C + D}$$

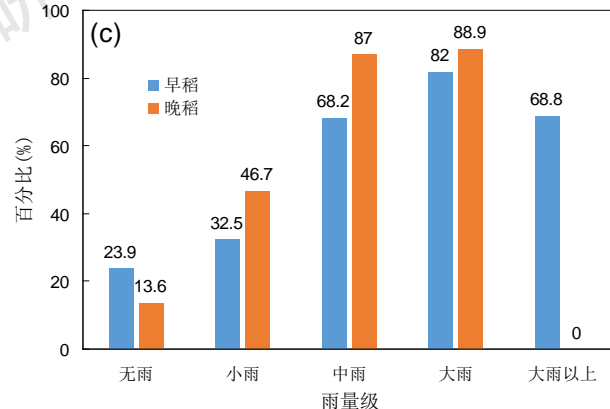
2. 智慧灌溉系统



(a) TS评分



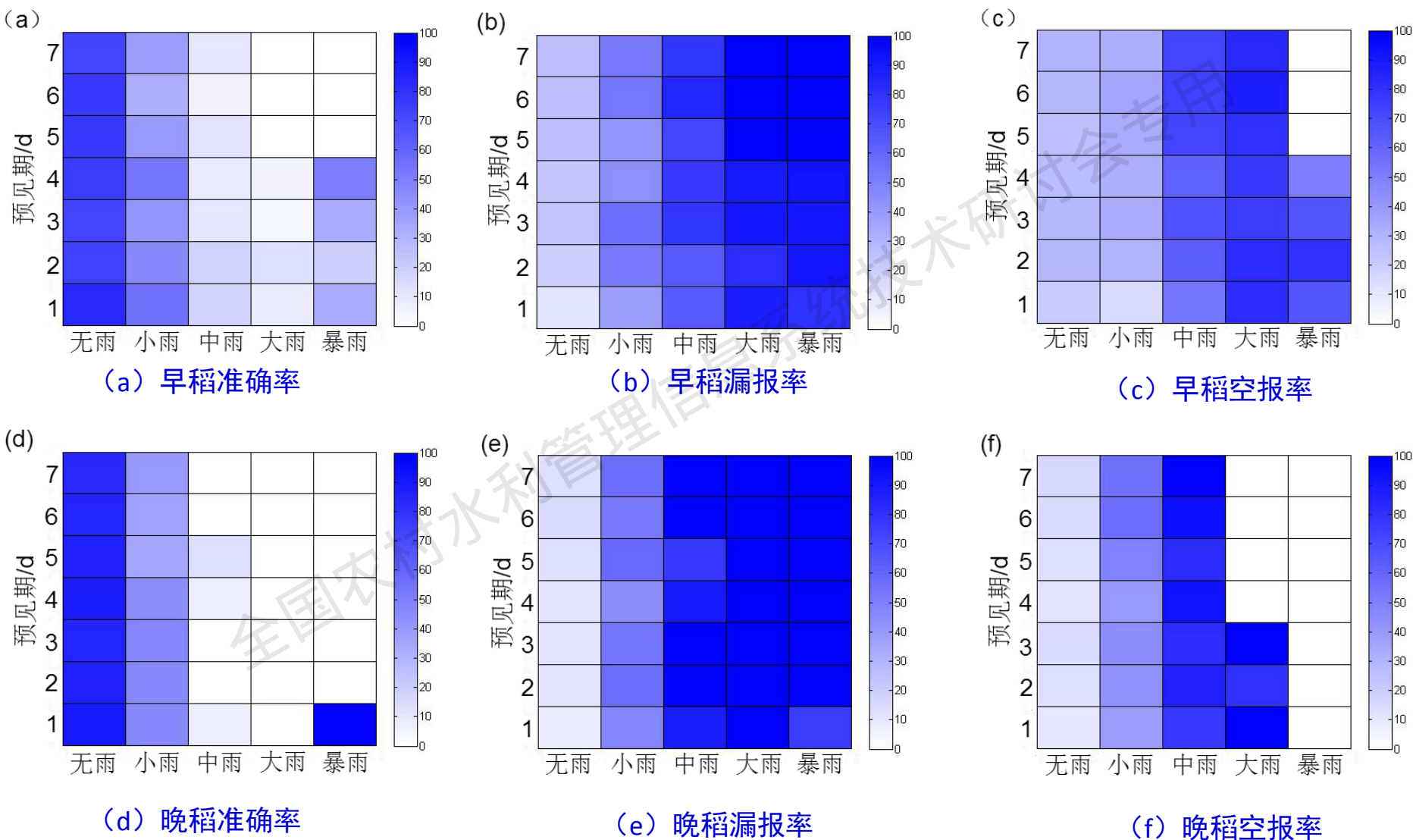
(b) 漏报率



(c) 空报率

降雨预报检验评价结果

2. 智慧灌溉系统



2. 智慧灌溉系统

早稻各生育期降雨预报正确率、空报率以及漏报率

生育期	PC/%	FAR/%				MAR/%			
		无雨	小雨	中雨	大雨	无雨	小雨	中雨	大雨
返青期	82.1	18.3	28.3	46.7	90.0	16.3	30.5	77.8	100.0
分蘖前期	73.3	24.7	29.6	100.0	100.0	15.3	34.6	100.0	100.0
分蘖后期	71.2	41.4	22.5	75.0	92.3	26.1	53.8	78.3	90.5
拔节孕穗期	67.0	31.5	34.4	72.9	97.2	31.2	51.7	75.0	100.0
抽穗开花期	64.9	36.9	37.5	51.4	66.7	25.2	78.8	83.3	85.7
乳熟期	81.1	19.4	31.1	74.6	54.5	26.5	43.3	50.0	100.0
黄熟期	80.1	21.3	26.2	42.5	69.2	8.1	64.1	76.9	84.2

2. 智慧灌溉系统

晚稻各生育期的正确率、空报率以及漏报率

生育期	PC/%	FAR/%				MAR/%			
		无雨	小雨	中雨	大雨	无雨	小雨	中雨	大雨
返青期	81.3	16.4	46.7	92.3	50.0	12.7	70.0	100.0	0.0
分蘖前期	77.2	4.9	55.6	80.0	100.0	21.7	0.0	76.9	0.0
分蘖后期	73.4	20.9	46.3	93.3	0.0	20.1	0.0	76.9	0.0
拔节孕穗期	73.2	20.1	51.1	92.3	0.0	15.6	56.1	100.0	100.0
抽穗开花期	82.7	14.8	26.1	50.0	0.0	18.8	44.9	100.0	100.0
乳熟期	88.4	5.2	76.5	0.0	0.0	7.4	50.0	100.0	0.0
黄熟期	88.6	8.5	47.6	100.0	0.0	3.8	68.8	100.0	0.0

2. 智慧灌溉系统

- 水稻生育期晴雨预报正确率达76.3%，早稻的漏报率总体低于晚稻，空报率高于晚稻
- 命中率大于虚警率，都有正的预报价值，可用于灌溉用水管理
- 早稻与晚稻相比虽然预报的准确度较低，但降雨预报次数和实际降雨次数更多

3. 智慧灌溉平台开发

平台架构

- 通过GPRS网络传输信号与数据
- 收集大范围的土壤水分数据
 - 管理平台归类、统一数据
- 抓取各地天气数据，构成数据库
- 注册用户通过平台管理调试系统
 - 通过平台管理多个系统



图1 管理平台架构示意图

3. 智慧灌溉平台开发

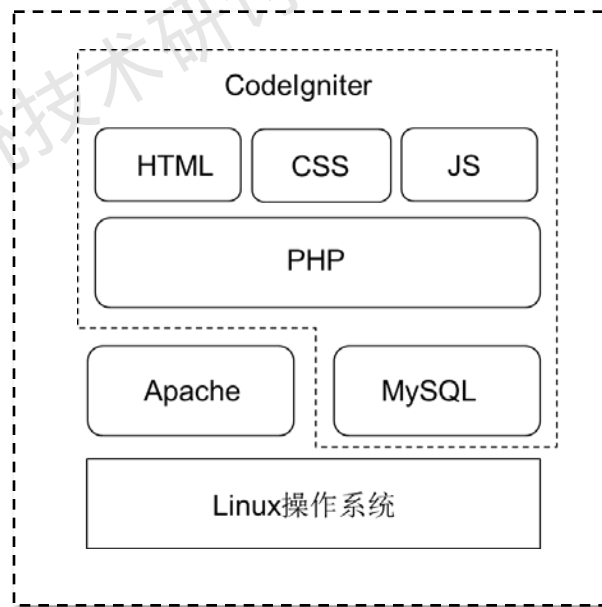


图3 平台技术结构图

3. 智慧灌溉平台开发

功能实现步骤：

- I. 建立各类数据库，保存水分信息、天气预报信息、设备信息、用户信息及其对应关系；
- II. 通过爬虫程序与Python通信程序实现自动抓取气象数据、收集水分信息，并存入数据库；
- III. 用户可通过用户界面（网页）决定是否使用灌溉策略，灌溉决策程序将每日定时结合水分数据对土壤墒情进行判断，并做出判断，输出结果，发送给终端设备；
- IV. 终端设备根据信号定时开关阀门，并将完成情况反馈给管理平台

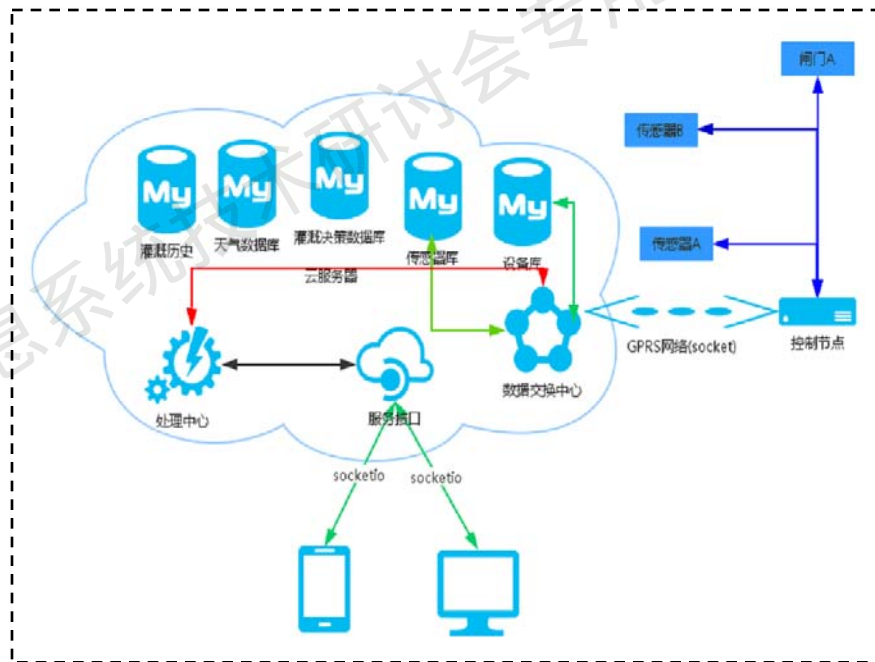
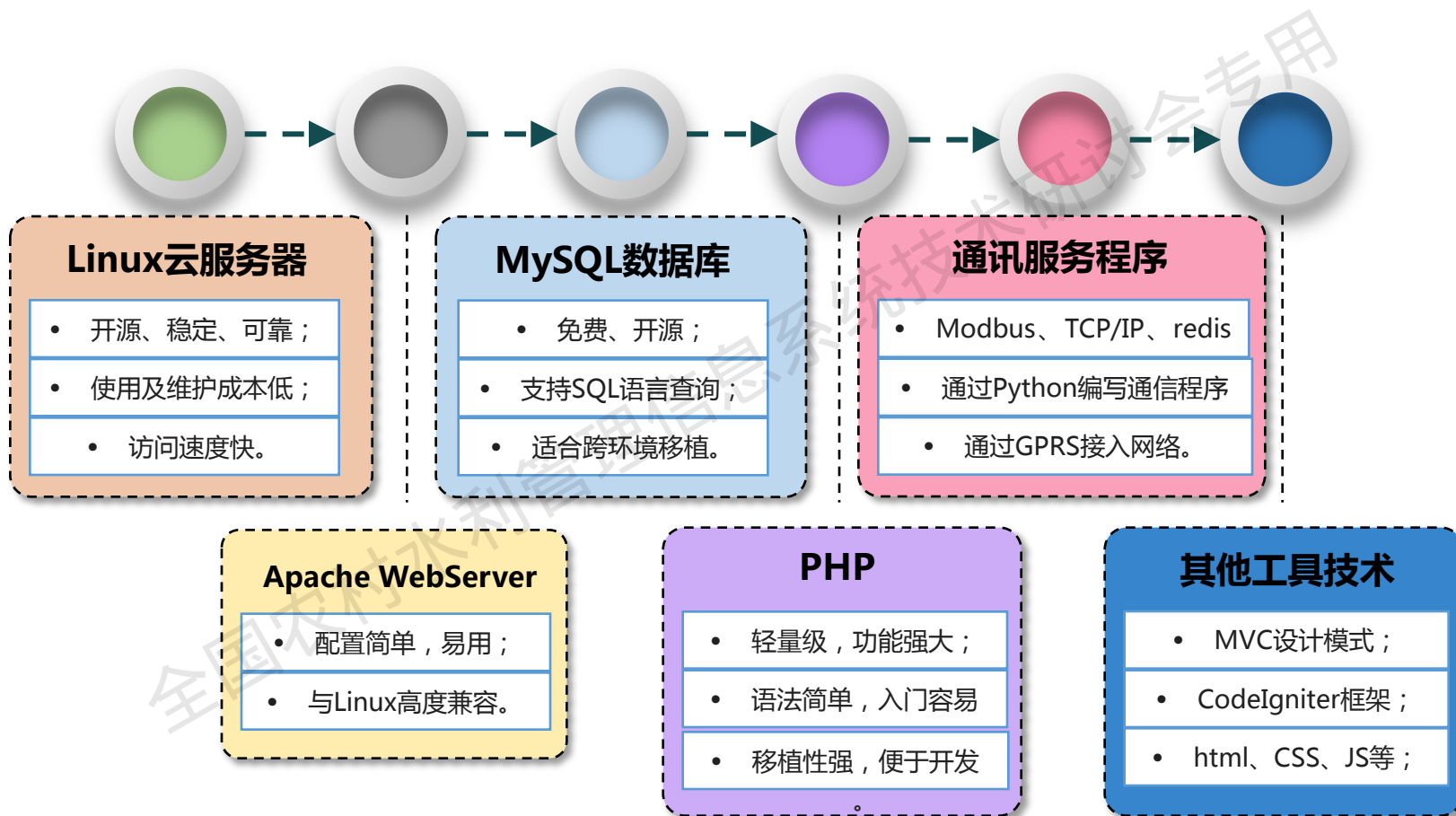


图4 平台功能流程图

3. 智慧灌溉平台开发



3. 智慧灌溉平台开发

页面设计应当简约、易于操作，方便用户对管理平台的使用和操作

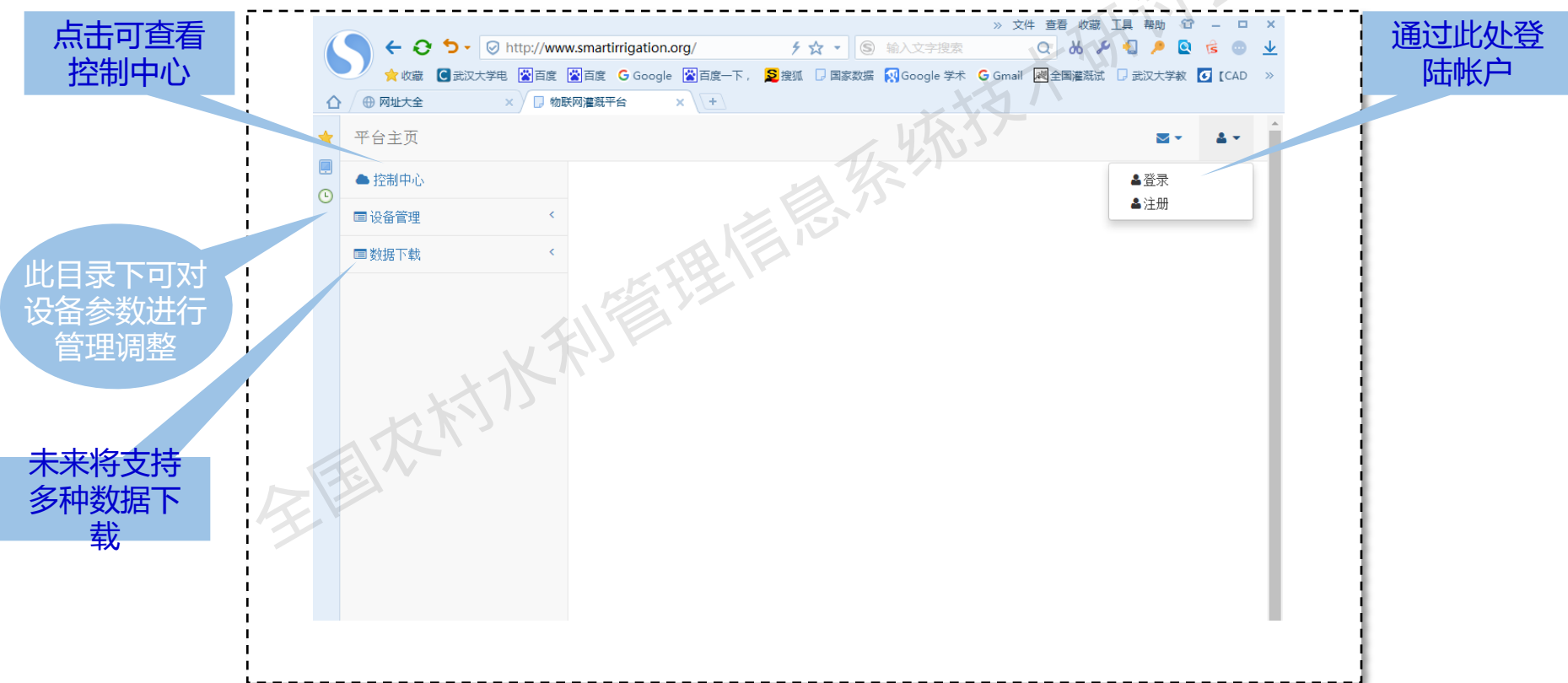


图5 管理平台首页

3. 智慧灌溉平台开发

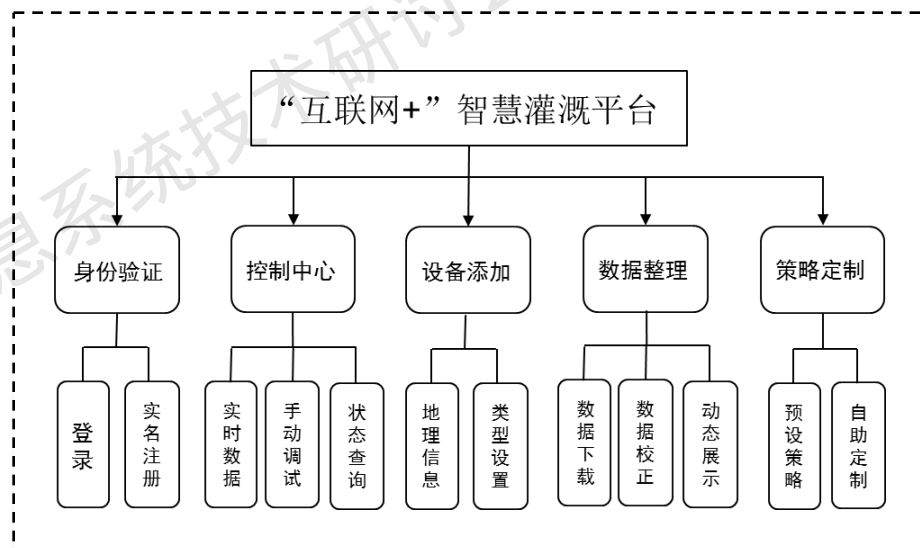
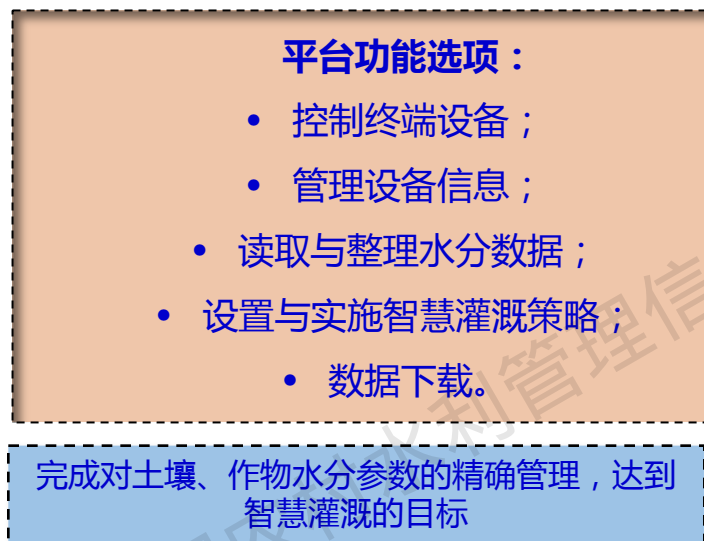


图6 管理平台功能模块示意

4. 智慧灌溉平台应用

<http://www.smartirrigation.org>



控制中心

设备添加

传感器数据整理

注册作物需水信息

4. 智慧灌溉平台应用

武大灌排试验场

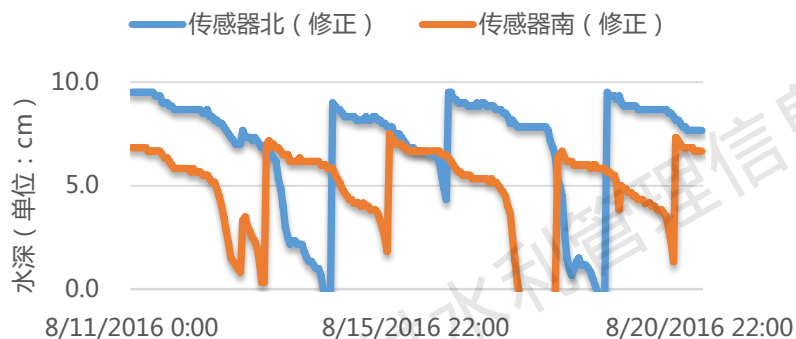
江西省灌溉试验中心站



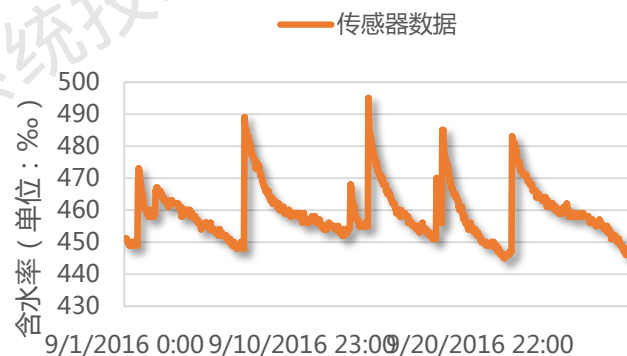
左：土壤水分传感器 中：控制器 右：水位传感器

4. 智慧灌溉平台应用

水田收集数据 (2001控制器)



旱地收集数据 (1002控制器)



4. 智慧灌溉平台应用

灌区全田块在线实时模拟模型

- 明确南方水稻灌区水循环与转化机制
- 分析不同地形条件下水稻田块之间的水力关系
- 海量数据及数据同化、大数据方法
- 构建基于网络的南方水稻灌区全田块水分状况在线实时模拟模型

4. 智慧灌溉平台应用

灌区水流精准“快递”技术

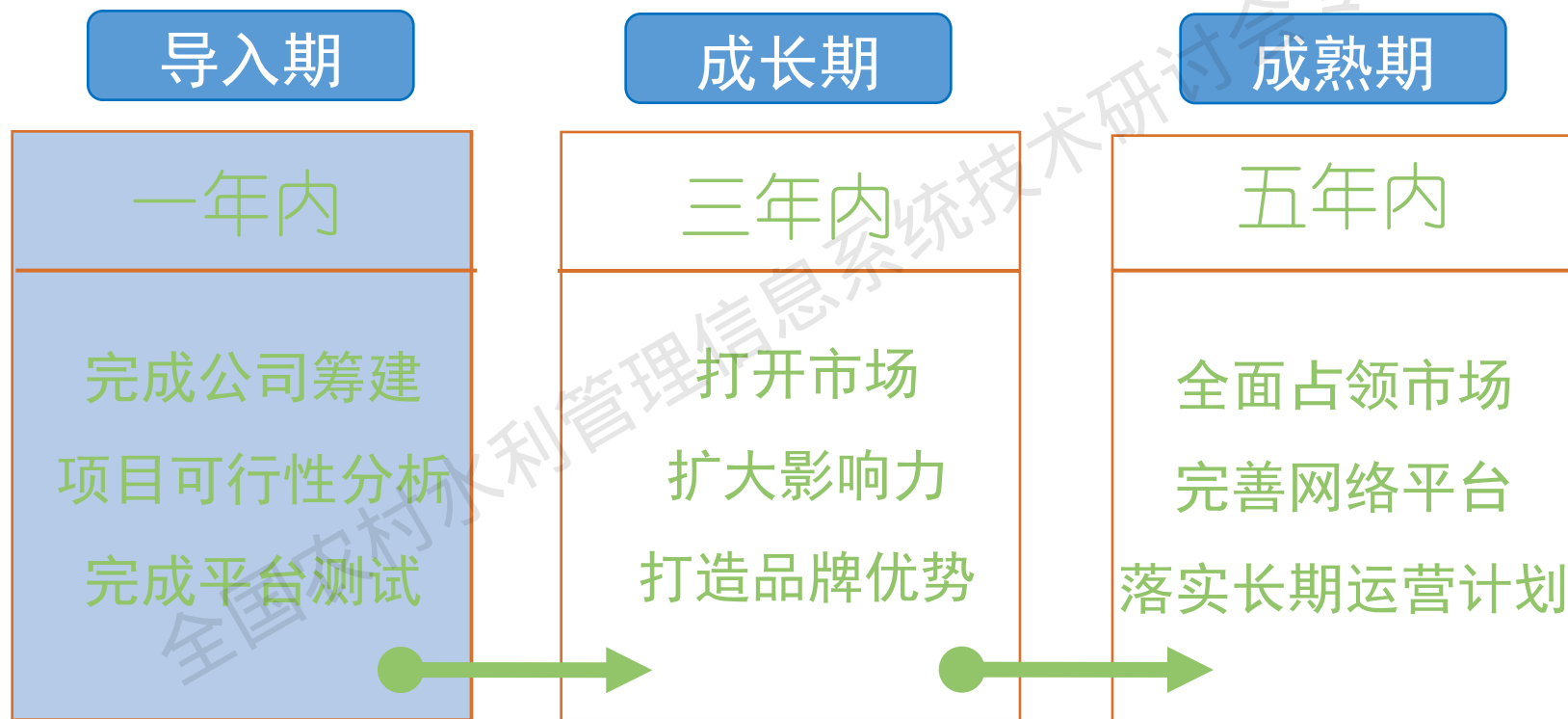
- 基于南方水稻灌区全田块水肥实时模拟模型
- 结合基于云端的灌溉用水管理，实现灌区的分布式灌溉智能化决策
- 结合现代物流与物联网技术实现灌溉水流快递
- 构建灌区灌溉用水控制系统，结形成互联网+灌区灌溉用水管理平台

4. 智慧灌溉平台应用



4. 智慧灌溉平台应用

发展规划



4. 智慧灌溉平台应用

- 2030年的灌区是什么样子？
- 互联网灌区？
- 五年？十年？

全国农村水利管理信息系统技术研讨会专用

谢谢， 敬请批评指正

智慧灌溉平台



罗玉峰
武汉大学水利水电学院
QQ: 10541113
手机: 158-2723-5966
微信: yu20150630



<http://www.smartirrigation.org>