ICS 65.060.35
CCS B 90

NY

中 华 人 民 共 和 国 农 业 行 业 标 准

NY/T XXXXX—2025

果园智慧灌溉系统建设指南

Guidelines for the construction of smart irrigation systems in orchards

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2025 年 7 月 13 日）

××××－××－××发布　　××××－××－××实施

中华人民共和国农业农村部　发布

目　　次

前言 IV
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总体架构 2
5 果园智慧灌溉系统基础设施与配套设备 3
5.1 基础设施 3
5.2 配套设备 3
6 果园通信系统 4
6.1 总体原则 4
6.2 天线与中继器选型 4
6.3 无线通信系统技术要求 4
6.4 有线通信系统技术要求 4
7 果园数据存储系统 4
7.1 总体原则 4
7.2 数据存储类型与规范 4
7.3 数据存储容量与存储方式 5
7.4 数据管理 6
8 果园智慧灌溉决策 7
8.1 总体原则 7
8.2 数据处理 7
8.3 灌溉预报 7
8.4 智慧灌溉决策 7
9 果园智慧灌溉管理平台 8
9.1 总体原则 8
9.2 子模块构成及功能 8
9.3 果园智慧灌溉管理平台建设 9
10 其他配套措施 9
10.1 供电 9
10.2 农艺措施 10
10.3 安全防护设备 10
附　录　A （资料性附录） 无线通信协议及无线布设方案 11
附　录　B （资料性附录） 单种植季不同数据类别建议存储容量 12

附　录　C （资料性附录） 部分果树在不同生育期的灌溉上下限 13
附　录　D （资料性附录） 参考作物蒸发蒸腾量计算方法 14

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由农业农村部农业机械化管理司提出。

本文件由全国农业机械标准化技术委员会农业机械化分技术委员会（SAC/TC201/SC2）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

果园智慧灌溉系统建设指南

1 范围

本文件确立了果园智慧灌溉系统建设的总体原则，提供了其架构、设施设备、通信系统、数据存储系统、灌溉决策与管理平台等方面的指南。

本文件适用于指导果园智慧灌溉系统的建设。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20203 管道输水灌溉工程技术规范

GB/T 29765 信息安全技术 数据备份与恢复产品技术要求与测试评价方法

GB/T 30269.702 信息技术 传感器网络第702部分：传感器接口：数据接口

GB 31221 气象探测环境保护规范 地面气象观测站

GB/T 35237 地面气象观测规范 自动观测

GB/T 36344 数据质量评价指标

GB/T 42570 信息安全技术 区块链技术安全框架

GB/T 43156 地理信息矢量数据模型与存储规范

GB/T 43782 人工智能 机器学习系统技术要求

GB/T 44811 物联网 数据质量评价方法

GB/T 45079 人工智能 深度学习框架多硬件平台适配技术规范

GB 50288 灌溉与排水工程设计标准

GB/T 50363 节水灌溉工程技术规范

GB/T 50485 微灌工程技术标准

SL 364 土壤墒情监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

果园智慧灌溉系统 intelligent irrigation system of orchard

通过果园灌溉系统基础设施、智慧灌溉首部系统、智慧灌溉决策系统与智慧灌溉管理平台相结合，实现果园灌溉智慧化管理。

3.2

智慧灌溉首部系统 headquarters system of intelligent irrigation

由过滤设备、施肥设备、水力性能监测设备、灌溉控制设备组成，可根据智能灌溉决策系统下达的指令运行。

3.3

智能灌溉决策系统 intelligent irrigation decision-making system

以作物灌溉需水诊断和灌溉预报为基础，结合作物模型与多场景灌溉方案的综合灌溉效益评价，实现灌溉方案智能优化的果园高效化灌溉决策过程。

3.4

果园智慧灌溉管理平台 intelligent irrigation management platform of orchard

基于地理信息系统、物联网、大数据、云计算等技术，集成果园灌溉系统、信息采集系统、灌溉决策系统等，可实现果园灌溉信息采集分析、灌溉制度决策优选、灌溉控制自动化的果园智慧灌溉管理平台。

4 总体架构

果园智慧灌溉系统架构分为管理决策层、数据存储层、通信层及设备层。管理决策层通过智慧灌溉管理平台实现，其核心为智慧决策。数据存储与利用层包括智慧灌溉系统采集数据存储、数据管理和数据共享。通信层包括设备与管理平台之间数据传输所需要的有线通信、无线通信。设备层包括灌溉系统基础设备，如灌溉水源工程、灌溉首部系统、输配水工程、田间灌溉工程和灌溉系统监控设备，智慧灌溉系统需配套的设备，如气象站、土壤墒情监测及智慧灌溉管理平台运行的其他硬件。

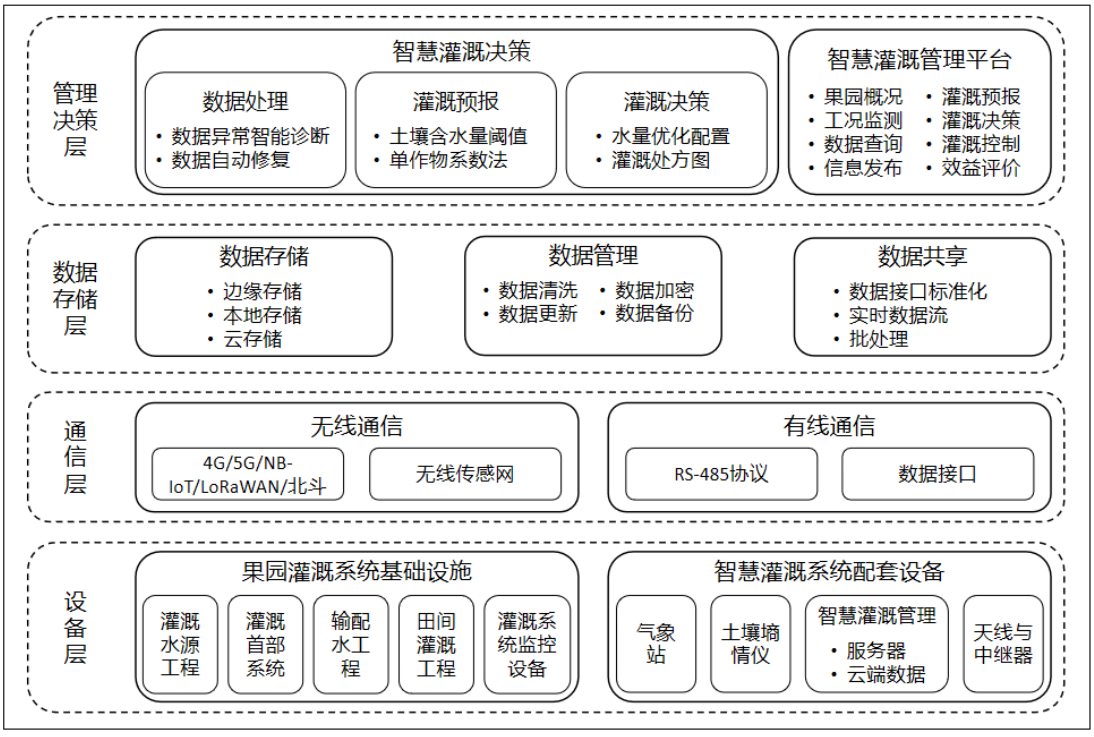


图1 果园智慧灌溉系统架构示意图

5 果园智慧灌溉系统基础设施与配套设备

5.1 基础设施

5.1.1 果园灌溉系统基础设施包括灌溉水源工程、灌溉首部系统、输配水工程和田间灌溉工程。

5.1.2 灌溉水源工程宜符合 GB 50288 的规定。

5.1.3 灌溉首部系统中的过滤设备、施肥设备、水力性能监测设备、灌溉控制设备宜符合 GB/T 50485 的规定。

5.1.4 输配水工程宜符合 GB/T 20203 的规定。

5.1.5 田间灌溉工程的灌水器宜符合 GB/T 50485 的规定。

5.1.6 智慧灌溉首部系统的过滤设备宜具备自动反冲洗功能。

5.1.7 智慧灌溉首部系统的施肥设备宜具备自动配肥、精量配水功能。

5.1.8 智慧灌溉首部系统的灌溉控制设备宜采用电磁（电动）阀。

5.1.9 智慧灌溉首部系统的水力性能监测设备宜包括压力和流量监测设备。

5.1.10 智慧灌溉首部系统宜具备设备运行状态和监测数据自动上报、安全监控、故障报警、远程控制等功能。

5.1.11 智慧灌溉首部系统宜根据智慧灌溉管理平台下达的指令运行。

5.2 配套设备

5.2.1 地面自动气象站

5.2.1.1 地面自动气象站监测指标宜包括果园温度、相对湿度、气压、风速、风向、降雨量、日照时数、辐射强度等。

5.2.1.2 气象站基本参数、技术条件、采样频率宜符合 GB/T 35237 的规定，数据上传频率宜为 1d/次。

5.2.1.3 气象站宜布设于开阔、无遮挡的位置，避开山梁、山谷等地形干扰区域，布设要求宜按照 GB 31221 的规定执行。对易发生自然灾害的区域，宜在特殊位置（如山谷、山顶、风口等）增设气象监测点。

5.2.1.4 气象站的布点数量可根据灌溉面积、地形及经济条件等因素综合确定，一般选取满足监测精度要求的最小布点数量。

5.2.2 土壤墒情监测仪

5.2.2.1 土壤墒情监测宜采用固定埋设式自动监测设备，监测方法宜为介电法、张力计法等。

5.2.2.2 采用介电法的监测设备量程宜不小于 0~60%（m^3/m^3），分辨力为 0.1%（m^3/m^3），采用张力计法的监测设备量程宜为 1 kPa~80 kPa，分辨力为 1.0 kPa，监测设备宜符合 SL 364 的规定。

5.2.2.3 土壤墒情数据采集间隔宜为 0.5 h~6 h，数据上传频率宜为 0.5 d/次~1 d/次。

5.2.2.4 土壤墒情监测仪的布点数量可根据管理单元面积、土壤、果树品种及经济条件等因素综合确定，一般选取满足监测精度要求的最小布点数量。

5.2.2.5 每个土壤墒情监测点宜选取一株代表性果树，在树冠投影半径离树干约 1/3 和 2/3 位置各布设一套土壤墒情监测设备，监测位置宜避开低洼易积水区域。

5.2.2.6 当果树主要根系吸水层深度小于 60 cm 时，土壤墒情监测设备宜沿垂直剖面每隔 10 cm 布设一个传感器；当果树根系深度大于 60 cm 时，传感器垂向布设间距宜为 20 cm。

6 果园通信系统

6.1 总体原则

果园通信系统整体布置宜具备可扩展性、冗余设计和灵活的拓扑结构，信号覆盖良好的区域宜使用4G/5G协议，信号较弱区域可采用窄带物联网技术标准（NB-IoT），信号较差或远离基础设施的区域可选择LoRaWAN或北斗短报文通信。在信号覆盖受限或通信基础设施匮乏的区域中部署通信网络时，节点位的连接方式依据需求采用星型、网状或树状拓扑结构。宜根据地形地貌和果园面积选择天线类型和中继器。设备间（果园智慧灌溉系统设备、果园信息采集系统设备、通信传输设备）的有线通信宜采用RS-485通信协议。

6.2 天线与中继器选型

根据果园的地形、面积和信号条件，选择适合的天线和中继器类型。其中，地形分为平地、丘陵和山地，面积分为<150 hm^2、150 hm^2~350 hm^2、350 hm^2~700 hm^2和>700 hm^2，信号条件分为4G/5G全覆盖区域、信号弱区域、无信号区域。天线高度宜高出冠层顶部2~5 m。

6.3 无线通信系统技术要求

果园需要采用无线通信时，宜根据地形、面积和信号条件，对通信协议和布设组网方式进行优化选择。无线通信协议及无线布设方案见附表A.1。其中果园智慧灌溉系统、数据采集系统及通信传输设备各自支持不少于8个并发数据接收通道，总体不少于24个数据接收通道。

6.4 有线通信系统技术要求

果园智慧灌溉系统、自动检测设备、通信传输设备之间的数据对接宜采用标准化的数据接口和通信协议。有线通信宜采用 RS-485 协议；在数据处理中心和外部通信设备上宜安装光纤收发器连接光缆和网络设备。有线通信光缆宜符合ITU-T G.652或ITU-T G.657标准。在光缆端部安装光纤连接器（如SC、LC、ST等）。线路安装宜短且直。采集的数据经过处理后宜通过4G/5G传输至云服务器或以太网/WiFi传输至本地的果园智慧灌溉数据中心。

7 果园数据存储系统

7.1 总体原则

果园数据存储系统包括果园信息采集数据的存储和管理。依据果园规模、通信情况、数据时效性要求，采用边缘存储、本地存储、云存储等一种或多种存储方式。数据存储架构的设计宜综合考虑数据来源与服务需求，明确数据存储类型与规范、容量与处理能力要求，以及数据的管理机制。

7.2 数据存储类型与规范

7.2.1 存储类型

7.2.1.1 结构化数据

果园灌溉、施肥记录等格式固定、字段定义明确、可以用表格形式存储的数据宜存储为结构化数据。

7.2.1.2　半结构化数据

果树品种、地块信息等不完全遵循关系型数据模型，但包含可标识结构的标签的数据宜存储为JSON、XML、YAML等半结构化数据。

7.2.1.3　非结构化数据

病虫害图像、果园视频等没有固定格式或结构，难以直接用表格或数据库表示的数据，宜存储为非结构化数据。

7.2.2　存储规范

核心数据宜具有元数据信息，同一类型数据的元数据宜采用统一的编码规则，编码宜包含数据类型、来源、时间等关键信息。果园基础信息中地理信息数据的存储宜符合GB/T 43156的要求。

7.3　数据存储容量与存储方式

7.3.1　存储容量

数据存储容量宜根据果园布设设备数量、采集数据种类及采集频率综合确定。果园种植管理和环境等关键数据（如土壤养分、墒情数据、气象数据、果树生长数据、灌溉和施肥数据等）宜长期或永久存储，非关键数据（如视频监控影像等）可采用按种植季循环覆盖的方式进行存储。单种植季不同数据类别建议存储容量见附表B.1。

7.3.2　存储方式

7.3.2.1　边缘存储

在无4G/5G通信信号的果园，监测数据宜选择边缘存储；在通信信号正常的果园，当数据传输异常时也可选用边缘存储。近距离处理传感器收集到的实时数据（如土壤湿度、气象数据、视频监控数据等）宜采用边缘存储和边缘计算，便于及时发出故障警报或进行自动修复。边缘存储数据宜每天转存至本地存储或云存储。

7.3.2.2　本地存储

智慧灌溉管理平台建在本地的果园中所采集的数据，以及与果园生产、管理、销售等相关的涉密数据，宜采用本地存储。建议存储在本地计算机、服务器、或者硬盘中，并根据需要将数据传输至云端进行存储备份。

7.3.2.3　云存储

由4G、5G以及北斗卫星传输的监测数据，或通过以太网上传的数据，宜采用云存储方式。对于历史数据，宜在每个种植季结束后对数据进行归档。

7.3.2.4　存储方式选择

数据存储方式宜根据果园智慧灌溉管理平台安装在云服务器或本地的条件下进行选择，同时兼顾数据的安全性和稳定性。气象站、墒情仪等数据宜采用边缘存储和云存储结合的方式；摄像头数据宜采用边缘存储；果园栽培管理等记录数据宜采用本地存储，也可根据需要上传云存储；系统管理平台宜采用云存储。

7.3.3　数据存储

7.3.3.1 数据写入与读取

存储系统宜支持高并发数据写入和读取。存储系统宜具备不少于2000次/s数据写入能力；读取响应速度宜控制在100 ms内，读取请求的处理能力不宜低于500 次/s。

7.3.3.2 存储容量动态扩展

本地存储容量宜根据果园设备类型与规模，结合当季数据采集总量进行计算；本地存储容量宜至少超过当季数据容量的10%~20%；宜实施存储容量动态监测，容量使用情况及时扩容。采用云存储时，系统宜具备自动扩展能力，实际存储量接近容量总量时触发自动扩容，扩容比例宜设置为 15%~20%。

7.3.3.3 数据查询响应时间

数据存储系统的查询响应时间宜低于2 s。

7.4 数据管理

7.4.1 数据质量

果园自动监测设备采集数据和人工调查采集数据，宜对数据准确性、完整性、时效性等指标进行评价，评价指标的设计宜符合GB/T 36344的规定。数据质量评价计算方法宜符合GB/T 44811的规定。

7.4.2 数据安全

7.4.2.1 数据存储安全

数据存储宜采用数据加密策略；数据访问宜建立基于角色的访问控制（RBAC）机制，限制用户和宜用程序的访问权限。

7.4.2.2 数据管理安全

数据安全管理包括数据备份与恢复，相关技术要求宜符合GB/T 29765的规定。建议选择的数据管理系统具备数据自动对比和自动恢复功能。

7.4.2.3 区块链安全认证

数据安全管理宜引入区块链技术，通过加密算法实现数据安全认证，防止数据篡改，相关技术要求宜符合GB/T 42570的规定。

7.4.3 数据共享

7.4.3.1 数据共享架构

数据共享架构宜设计灵活，支持不同系统、平台与设备间的数据共享与交互。宜提供标准化接口，支持外部系统访问存储数据，并发访问能力宜不低于1000 次/s。

7.4.3.2 数据接口标准化

数据存储系统与外部宜用系统宜采用统一的数据接口标准（如JSON、XML），传感器接口宜符合GB/T 30269.702的规定，接口响应时间宜不超过200 ms。

7.4.3.3 实时数据流与批处理

数据共享架构宜支持实时数据流（如传感器采集数据）与批量数据处理。实时数据流的传输延迟宜控制在1 s以内，批处理数据共享能力宜支持每小时不少于100 GB的数据导入与导出。

8 果园智慧灌溉决策

8.1 总体原则

宜依据果树根区计划湿润层深度土壤体积含水量或单作物系数法进行灌溉决策，输出灌水定额及灌水时间；依据果树根区土壤体积含水量进行灌溉决策时，宜在果园布设土壤墒情监测设备；依据单作物系数法进行灌溉决策时，宜具备可靠的气象数据。

8.2 数据处理

8.2.1 采用机器学习等人工智能算法对气象数据、土壤体积含水量及灌溉系统运行参数进行数据清洗，订正缺失值或异常值。人工智能方法宜符合 GB/T 43782 和 GB/T 45079 的要求。

8.2.2 气象数据缺失或异常值筛选宜依据多年平均历史气象数据；订正宜参考多年平均历史气象数据进行插补。

8.2.3 土壤体积含水量缺失或异常值筛选宜参考田间持水量、凋萎系数及历史土壤体积含水量。土壤体积含水量缺失或异常值订正宜参考 7 天内土壤体积含水量减少值进行插补。

8.3 灌溉预报

8.3.1 基于土壤体积含水量灌溉预报

当果树根区计划湿润层范围内平均土壤体积含水量接近或达到灌溉下限值时，宜输出灌水时间及灌水量，计算公式如下：

$$\mathrm{M}=667\left(\theta_{上}-\theta_{实}\right)H/\eta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

式中：

M——单次灌水定额（m^3/亩）；

$\theta_{上}$——灌溉土壤体积含水量上限（%）；

$\theta_{实}$——平均土壤体积含水量（%）；

H——计划湿润层深度（m）；微灌条件下苹果、柑橘、猕猴桃、葡萄等果树宜为0.6~0.8 m。

η——灌溉水利用效率；微喷灌不低于0.85，滴灌不低于0.9。

葡萄、苹果、猕猴桃和柑橘等主要果树各生育期的灌溉上下限见附录C。

8.3.2 基于单作物系数法灌溉预报

一般灌水计划宜采用单作物系数法计算作物需水量，计算公式如下：

$$ET=K_cET_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

式中：

ET——阶段日平均需水量（mm/d）；

ET_0——阶段日平均参考作物需水量（mm/d），计算方法见附录D；

K_c——作物系数；

灌溉决策可依据农田水量平衡公式，采用ET计算当前含水量，比较当前生育期含水量下限。依据公式(1)输出灌水时间及灌水量。

8.4 智慧灌溉决策

8.4.1 果园智慧灌溉决策宜结合有限灌溉水量优化配置原则进行。单一品种的果园宜考虑果树全生育期可供灌溉水量约束，优先确保果树需水关键期灌溉用水；同一果园有多个果树品种时，宜优先确保处于需水关键期果树的灌溉用水。

8.4.2 各灌溉分区之间水量优化配置宜依据果园土壤水分亏缺指数进行。单一品种果园优先考虑土壤亏缺指数大的分区；同一果园有多个果树品种均处于需水关键期时，宜优先考虑土壤水分亏缺指数大的品种。土壤水分亏缺指数计算如下：

$$K=\frac{\theta_{实}-\theta_{下}}{\theta_{上}-\theta_{下}} \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

K——为土壤水分亏缺指数；

$\theta_{下}$——灌溉土壤体积含水量上限（%）；

8.4.3 结合灌溉预报、土壤水分亏缺指数及优先灌溉水量优化配置原则输出灌溉处方图。

8.4.4 灌溉处方图宜结合施肥时间、灌溉系统特性及未来降水预报进行调整，动态输出实时灌溉处方图。

9 果园智慧灌溉管理平台

9.1 总体原则

果园智慧灌溉管理平台包括果园基本信息模块、数据采集模块、通信模块、数据传输与存储模块、灌溉决策模块、灌溉控制模块和灌溉效益评价模块。

9.2 子模块构成及功能

9.2.1 果园基本信息模块

9.2.1.1 包括果园立地条件、水源条件、土壤条件、果树生产状况等，宜采用地理信息系统（GIS）技术形成果园智慧灌溉底图。

9.2.1.2 果树品种、定植时间、灌溉需求等可通过数据表格或图形化显示。

9.2.1.3 果园基本信息宜集中存储在系统数据库中，支持动态更新和查询。

9.2.2 果园数据采集模块

9.2.2.1 包括气象、土壤、灌溉系统运行状态等通过监测设备采集获取的动态更新数据。

9.2.2.2 宜显示监测设备的实时状态，包括传感器状态、运行能耗、通信状态、故障信息等。

9.2.3 果园通信模块

9.2.3.1 包括气象、土壤、灌溉系统运行状态等数据监测设备和灌溉决策系统、灌溉控制系统与数据存储系统之间的数据传输。

9.2.3.2　可通过通信网络拓扑图展示果园内各监测设备间的通信连接与数据流向。

9.2.3.3　宜显示监测设备的通信状态，包括信号强度、传输延迟等。

9.2.4　数据传输与存储模块

9.2.4.1　包括果园基本信息、监测设备采集的数据、灌溉决策系统计算的数据、灌溉控制系统响应的数据等的传输与存储状态。

9.2.4.2　宜显示数据传输性能（包括传输速率、延迟、传输稳定性等）和数据安全性能（包括数据加密、身份验证、数据保护等）。

9.2.4.3　宜显示存储容量、数据管理、数据完整性和安全性、存储设备性能、数据分类存储状态、存储系统报警与预警等信息。采用云存储功能时，宜显示上传/下载速率、云存储剩余容量、同步状态等。

9.2.5　灌溉决策模块

9.2.5.1　包括灌溉决策模型库与对应的参数库、建模数据集、人工智能算法库、率定参数集、水肥施用制度等。

9.2.5.2　采集数据可通过特征工程形成建模数据集；基于机器学习等手段进行智慧决策模型训练，结合当地果树施肥经验，形成水肥施用制度。

9.2.5.3　水肥施用制度宜结合果园硬件条件、气象条件及生产目标（产量和品质）确定。

9.2.6　灌溉控制模块

9.2.6.1　包括灌溉设备运行状态、灌溉控制方法和灌溉控制手段，可根据智能灌溉决策系统下发的指令通过本地化或移动客户端实现灌溉控制。

9.2.6.2　灌溉设备运行状态包括灌溉水源工程、灌溉首部系统、输配水工程和田间灌溉工程中水泵、电磁（电动）阀、过滤设备、施肥设备的运行状况、能耗、通信状态、故障信息等。

9.2.6.3　灌溉控制方法宜包括基于水量、流量、时间等进行控制的方法。

9.2.7　灌溉效益评价模块

9.2.7.1　宜根据各管理区的土壤墒情、灌水均匀度、灌溉水利用效率、肥料利用率、灌溉设备与监测设备能耗、果树产量与品质等计算果园综合灌溉效益，计算方法宜符合 GB/T 50363 的要求。

9.2.7.2　可基于灌溉效益计算结果对灌溉决策模型进行修正与优化。

9.3　果园智慧灌溉管理平台建设

9.3.1　果园智慧灌溉管理平台可包括工况监测、数据查询、信息发布、灌溉预报、灌溉决策、灌溉控制、灌溉效益评价等功能，宜建立在云服务器端。对于无 4G/5G 通信信号区域，可选择通过北斗卫星通信，或将平台建立在果园本地。

9.3.2　云服务器配置宜不低于 2 个虚拟 CPU 核心和 4GB 内存，支持机器学习框架，具有分布式存储架构（如 HDFS），兼容 MQTT 等物联网协议。

9.3.3　本地服务器宜采用不低于 32GB 内存、1TB SSD 和 4TB HDD 的组合，系统宜配备高带宽网络接口、GPU 和虚拟专用网络（VPN）。操作系统宜配备硬件防火墙和不间断电源（UPS）。

10　其他配套措施

10.1 供电

10.1.1 水肥一体机等首部智能设备宜采用电源适配器。

10.1.2 数据采集设备或无电力供宜果园可采用太阳能供电，宜依据能耗需求配备相宜功率的太阳能电池。

10.2 农艺措施

10.2.1 果园追肥宜选用水溶肥。

10.2.2 果园降温及施药等配套系统可选用雾化喷头，喷洒时间及水量依据施药种类、气象条件及生育期确定。

10.2.3 应对极端天气灌水宜采用手动输入。

10.3 安全防护设备

10.3.1 所有电器设备宜有接地保护装置，接地装置上宜设置符合要求的接地标志。

10.3.2 室外控制器外壳宜具备可靠的防水、防雷电性能。

附 录 A
（资料性附录）
无线通信协议及无线布设方案

表A.1 无线通信协议及无线布设方案

地形	面积（hm^2）	通信信号	数据类型	通信协议	布设结构	布设距离（km）
平地	0-150	4G/5G	文本、图像、视频	WLAN/4G/5G	星型/网状	0.1-0.5
	150-350			窄带物联网技术标准+5G（NB-IoT）/5G		0.5-1
	350-700			NB-IoT+5G/5G	网状/树状	1-1.5
	＞700			NB-IoT+5G /LoRaWAN		2-3
	0-150	无		LoRaWAN		0.5-1
	150-350					1-1.5
	350-700				星型/网状	1.5-2
	＞700		文本	LoRaWAN+北斗短报文通信		2-3
丘陵	0-150	4G/5G	文本、图像、视频	WLAN/4G/5G	星型/网状	0.1-0.5
	150-350			NB-IoT+5G/5G		0.5-1
	350-700			NB-IoT+5G/LoRaWAN	网状/树状	1-1.5
	＞700			NB-IoT/LoRaWAN		2-3
	0-150	无		LoRaWAN		0.5-1
	150-350					1-1.5
	350-700				星型/网状	1.5-2
	＞700		文本	LoRaWAN+北斗短报文通信		2-3
山地	0-150	4G/5G	文本、图像、视频	4G/5G	星型/网状	0.1-0.5
	150-350			NB-IoT+5G/LoRaWAN		0.5-1
	350-700				网状/树状	1-1.5
	＞700			NB-IoT+5G/LoRaWAN		2-3
	0-150	无		LoRaWAN		0.5-1
	150-350					1-1.5
	350-700				星型/网状	1.5-2
	＞700		文本	LoRaWAN+北斗短报文通信		2-3

附 录 B
（资料性附录）
单种植季不同数据类别建议存储容量

表B.1 单种植季不同数据类别建议存储容量

数据种类	采样频次	建议容量
土壤墒情数据	10 min-60 min	50 MB-100 MB/种植季
气象站数据	10 min-60 min	50 MB-100 MB/种植季
病虫害监测数据	6 h	10 GB-20 GB/种植季
遥感数据	5 d	5 GB-10 GB/千亩/种植季
监控数据	实时	2 T-5 T
果园基础数据	按农事管理	10 GB-200 GB

附 录 C
（资料性附录）
部分果树在不同生育期的灌溉上下限

表C.1 部分果树在不同生育期的灌溉上下限

品种	灌溉上下限				
渭北旱塬苹果	生育期	萌芽展叶期	开花坐果期	果实膨大期	果实成熟期
	时间	3月中旬~4月上旬	4月中旬~5月上旬	5月中旬~6月中旬	6月下旬~7月中旬
	灌溉上限值	90%θw[a]	95%θw	95%θw	90%θw
	灌溉下限值	55%θw	60%θw	65%θw	55%θw
四川盆地猕猴桃	生育期	开花坐果期	抽梢展叶期	果实膨大期	果实成熟期
	时间	3月下旬~4月中旬	4月下旬~5月上旬	5月中旬~6月下旬	7月上旬~10月下旬
	灌溉上限值	80%θw	87%θw	95%θw	90%θw
	灌溉下限值	65%θw	70%θw	70%θw	70%θw
四川盆地柑橘	生育期	抽梢开花期	幼果期	果实膨大期	果实成熟期
	时间	4月上旬~4月下旬	5月上旬~6月下旬	7月上旬~10月下旬	11月上旬~2月下旬
	灌溉上限值	80%θw	85%θw	90%θw	80%θw
	灌溉下限值	55%θw	60%θw	60%θw	60%θw
华北平原葡萄	生育期	新梢萌芽期	开花期坐果期	果实膨大期	转色成熟期
	时间	4月上旬~4月下旬	5月上旬~5月下旬	6月上旬~8月上旬	8月中旬~10月下旬
	灌溉上限值	90%θw	90%θw	95%θw	90%θw
	灌溉下限值	60%θw	60%θw	70%θw	60%θw
[a] θw为田间持水量，不同质地土壤耕层田间持水量不同，砂土田间持水量范围为8.45%~11.30%，壤土田间持水量范围为11.49%~26.90%，黏土田间持水量范围为24.83%~32.53%。					

附 录 D
（资料性附录）
参考作物蒸发蒸腾量计算方法

D.1 参考作物需水量ET_0计算方法

D.1.1 利用Penman-Monteith模型计算ET_0

D.1.1.1 Penman-Monteith模型

当具备气温、湿度、风速、日照时数等完整气象观测数据时，应优先采用Penman-Monteith模型计算ET_0：

$$ET_0=\frac{0.408\Delta\left(R_n-G\right)+\gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (D.1)$$

式中：

R_n——作物表面上的太阳净辐射（MJ/m^2·d）；

G——土壤热通量（MJ/m^2·d）；

T——2m高处日平均气温（℃）；

u_2——2m高处的风速（m/s）；

e_s——饱和水汽压（kPa）；

e_a——实际水汽压（kPa）；

△——饱和水汽压与温度关系曲线在某处的斜率（kPa/℃）；

γ——湿度计常数（kPa/℃）。

D.1.1.2 太阳净辐射计算方法

1) 理论太阳辐射 R_a（大气顶层接受的太阳辐射，也叫天顶辐射）按下式计算：

$$R_a=\frac{24\times60}{\pi}G_{sc}d_r\left[\omega_s\sin(\phi)\sin(\delta)+\cos(\phi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (D.2)$$

式中：

R_a——天顶辐射（MJ/m^2·day）；

G_{sc}——太阳常数 =0.0820（MJ/m^2·min）；

d_r——日地间相对距离的倒数，按公式（D.3）计算；

ω_s——太阳时角，按公式（D.4）计算；

φ——地理纬度（rad）；

δ——太阳偏磁角（rad），按公式（D.5）计算。

日地间相对距离的倒数d_r、太阳时角ω_s、太阳偏磁角δ计算公式如下：

$$d_r=1+0.033\cos(\frac{2\pi}{365}J) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (D.3)$$

$$\omega_s=\arccos\left[-\tan(\phi)\tan(\delta)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (D.4)$$

$$\delta = 0.409\sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right) \quad \text{(D.5)}$$

式中：J——年内某天的日序数。

2） 太阳短波辐射 R_s 按下式计算：

$$R_s = (a_s + b_s\frac{n}{N})R_a \quad \text{(D.6)}$$

式中：

R_s——太阳短波辐射（MJ/m^2·day）；

n——实际日照持续时间（hour）；

N——最大可能的日照持续时间或日照时数，N=24ω_s/π；

a_s——回归常数，在多云的天气天顶辐射到达地面那部分（n=0）；

a_s+b_s——在晴天天顶辐射到达地面那部分（n=N），a_s和b_s的值随不同气象条件和太阳偏磁角而变化，在没有实测的太阳辐射资料可利用和没有提高a_s和b_s参数的精度矫正时，建议取a_s=0.25,b_s=0.50。

3） 净短波辐射 R_{ns} 按下式计算：

$$R_{ns} = (1-\alpha)R_s \quad \text{(D.7)}$$

式中：

R_{ns}——净短波辐射（MJ/m^2·day）；

α——反射率或冠层反射系数，取0.23。

4） 净长波辐射 R_{nl} 按下式计算：

$$R_{nl} = \sigma\left[\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2}\right](0.34 - 0.14\sqrt{e_a})\left[1.35\frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right] \quad \text{(D.8)}$$

式中：

R_{nl}——净长波辐射（MJ/m^2·day）；

σ——玻尔兹曼常数，4.903×10^{-9}MJ/K^4·m^2·day；

$T_{max,k}$——24小时内最高绝对温度值（K=℃+273.6）；

$T_{min,k}$——24小时内最低绝对温度值（K=℃+273.6）；

R_{so}——晴空辐射（MJ/m^2·day），R_{so}=(a_s+b_s)R_a 。

5） 净太阳辐射 R_n 按下式计算：

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad \text{(D.9)}$$

D.1.1.3 其他参数计算方法

1） 饱和水汽压 e_s 按下式计算：

$$e_s = \frac{1}{2}\times 0.6108\left[\exp\left(\frac{17.27T_{\max}}{T_{\max}+237.3}\right) + \exp\left(\frac{17.27T_{\min}}{T_{\min}+237.3}\right)\right] \quad \text{(D.10)}$$

式中：

T_{max}——计算时段的日最高气温（℃）；

T_{min}——计算时段的日最低气温（℃）。

2） 实际水汽压e_a按下式计算：

$$e_a = \frac{e^0(T_{\min})\frac{RH_{\max}}{100} + e^0(T_{\max})\frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad \text{(D.11)}$$

式中：

$e^0(T_{max})$——日最高温度时的饱和水汽压（kPa）；

$e^0(T_{min})$——日最低温度时的饱和水汽压（kPa）；

RH_{max}——最大相对湿度（%）；

RH_{min}——最小相对湿度（%）。

3） 饱和水汽压与温度关系曲线在某处的斜率Δ按下式计算：

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108\exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2} \quad \text{(D.12)}$$

4）湿度计常数γ按下式计算：

$$\gamma = \frac{C_p P}{\varepsilon\lambda} \quad \text{(D.13)}$$

式中：

P——大气压（kPa）；

λ——汽化潜热，2.45（MJ/kg）；

C_p——常压下的比热，1.013×10^{-3}（MJ/kg·℃）；

ε——水蒸气分子量与干燥空气分子量的比，其值为0.662。

D.1.2 利用简化模型计算ET_0

当不具备气温、湿度、风速、日照时数等完整气象观测数据时，可采用简化计算模型计算ET_0。在不同区域使用时，可根据Penman-Monteith公式的计算结果或实验结果进行参数的校正。

表 D.1 ET_0 简化计算模型

模型	计算公式
Irmark-Allen （IA 法）	$ET_0 = 0.489 + 0.289R_n + 0.023T$
Hargreaves and Samani（HS 法）	$ET_0 = 0.000938(T_{\max} - T_{\min})^{0.5}(T + 17.8)R_a$
Turc （Tur 法）	$ET_0 = \frac{1}{\lambda}0.013\frac{T}{T+15}(R_s + 50)$
McCloud（MC 法）	$ET_0 = KW^{1.8T}$
Schende（Sch 法）	$ET_0 = \frac{16T}{RH}$
Trajkovic （Tra 法）	$ET_0 = 0.000938(T + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.424}R_a$
Droogres and Allen-1（DA-1 法）	$ET_0 = 0.00122(T + 20)(T_{\max} - T_{\min})^{0.4}R_a$
Droogres and Allen-2 （DA-2 法）	$ET_0 = 0.00102(T + 16.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.5}R_a$
注：ET_0 为参考作物需水量；R_n 为作物表面上的太阳净辐射（mm）；R_a 为天顶辐射（MJ/m²·d）；R_s 为太阳短波辐射（MJ/m²·d）；T_{max} 为计算时段的日最高气温（℃）；T_{min} 为计算时段的日最低气温（℃）；λ 为汽化潜热（缺省值取 2.45 MJ/kg）；T 为日平均气温（℃）；K 为 0.254；W 为 1.07；RH 为相对湿度（%）。	