

宁夏水与环境野外科学观测研究站的建设

——场地尺度原位观测站

张勃 方磊 朱薇 黄小琴 庞思远

宁夏回族自治区水文地质调查院（宁夏水与环境野外科学观测研究站） 宁夏 银川 750021

摘要：宁夏北部沿黄地区生态环境脆弱，地下水作为水资源的重要组成部分，在保障水资源安全、维系绿洲生态环境平衡、支撑经济社会可持续发展等方面发挥着重要作用。宁夏回族自治区水文地质调查院立足黄河流域宁夏段水资源短缺以及水环境问题的特殊性、复杂性，针对水资源开发调控及生态环境保护的迫切需求，于2021年建设了宁夏水与环境野外科学观测研究站（以下简称“观测站”），搭建地表水、地下水与生态环境关系原位试验观测平台和高层次人才培养基地，长期开展水资源安全、水生态与水环境演变、流域水土污染控制与生态修复等方向的基础研究与示范推广，为宁夏回族自治区水资源可持续利用、水环境改善、水生态治理等领域提供地质技术支撑。观测站由野外尺度、场地尺度、关键点位三部分构成。其中场地尺度原位观测站位于银川平原腹地的贺兰县洪广镇，占地面积27.75亩，拥有良好的科研办公环境，是观测站主站所在地，建有均质介质水分传输试验区、非均质介质水分传输试验区、灌溉样方试验区、全自动气象要素观测区和水面蒸发试验区5个试验区。该站总投资1100余万元，拥有1300余套各类专业仪器设备，每年可获得多要素、多过程、多界面观测数据8000余万条。

关键词：水面蒸发试验；均质介质水分传输试验；非均质介质水分传输试验；试验土柱；包气带岩性；自动补水系统；数据采集系统；传感器

场地尺度原位观测站的建设

1 全自动气象要素观测区

该试验区块建成规模25m×35m，配置了3米和10米风塔各一座。气象仪器自2019年开始陆续采购安装，至2023年气象要素观测区共配置：风速风向传感器、净辐

射传感器、空气温湿度传感器、雨量筒、蒸发皿、雨雪量计、地温计通风干湿表等主要仪器设备15套，能够完成风速、风向、气温、空气湿度、降雨雪量、大气压、蒸发量、温度、净辐射、地温等气象要素的实时观测、数据集成与自动传输，见表1。

表1 气象要素观测区仪器、设备配置及运行情况一览表

试验区	仪器、设备名称	型号	产地	数量	单位	监测频率	运行情况
蒸发量观测区	蒸发皿	255-100	国产	1	套	10分钟/条	良好
	蒸发皿	E601	国产	1	套	10分钟/条	良好
	蒸发皿	QY-ZEF	美国	2	套	10分钟/条	良好
气象十米塔	四分量净辐射	CNR4	荷兰	1	套	10分钟/条	良好
	风速风向传感器	5103	美国	1	套	10分钟/条	良好
气象三米塔	净辐射传感器及安装附件	NR Lite2	美国	1	套	10分钟/条	良好
	风速风向传感器及安装附件	05108-45	美国	1	套	10分钟/条	良好
	空气温湿度传感器、防辐射罩及安装附件	HMP155	美国	1	套	10分钟/条	良好
	气压传感器及安装附件	CS106	美国	1	套	10分钟/条	良好
	称重式雨雪量计	T-200B	挪威	1	套	10分钟/条	良好
	翻斗式雨量计	Y52203	美国	1	套	10分钟/条	良好
	雨量计	TE525	国产	1	套	10分钟/条	良好
	地温计	-	国产	4	套	10分钟/条	良好

2 水面蒸发试验区

该试验区主要开展不同条件下的水面蒸发试验，研究蒸发强度规律，重新建立符合银川平原真实条件下的

水面蒸发计算公式。水面蒸发试验区设计了两组共计11个不同规格的蒸发池，蒸发池主体置于地下，平面上沿地下控制室呈“U”型布局。其中，方形蒸发池组水深设

计均为1.25m，蒸发池面积依次为1.0m²、3.0m²、5.0m²、10.0m²和20.0m²；圆形蒸发池组蒸发池截面积均为1.0m²，水深设计依次为0.80m、1.30m、1.75m、2.25m、2.75m和3.25m。蒸发池基础、地下控制室采用筏板基础一体浇筑，确保所有蒸发池不会发生不均匀沉降或倾斜，蒸发池采用玻璃钢材料加工制作。



气象要素观测区全貌



主体工程施工



蒸发池自动监测及补水控制系统



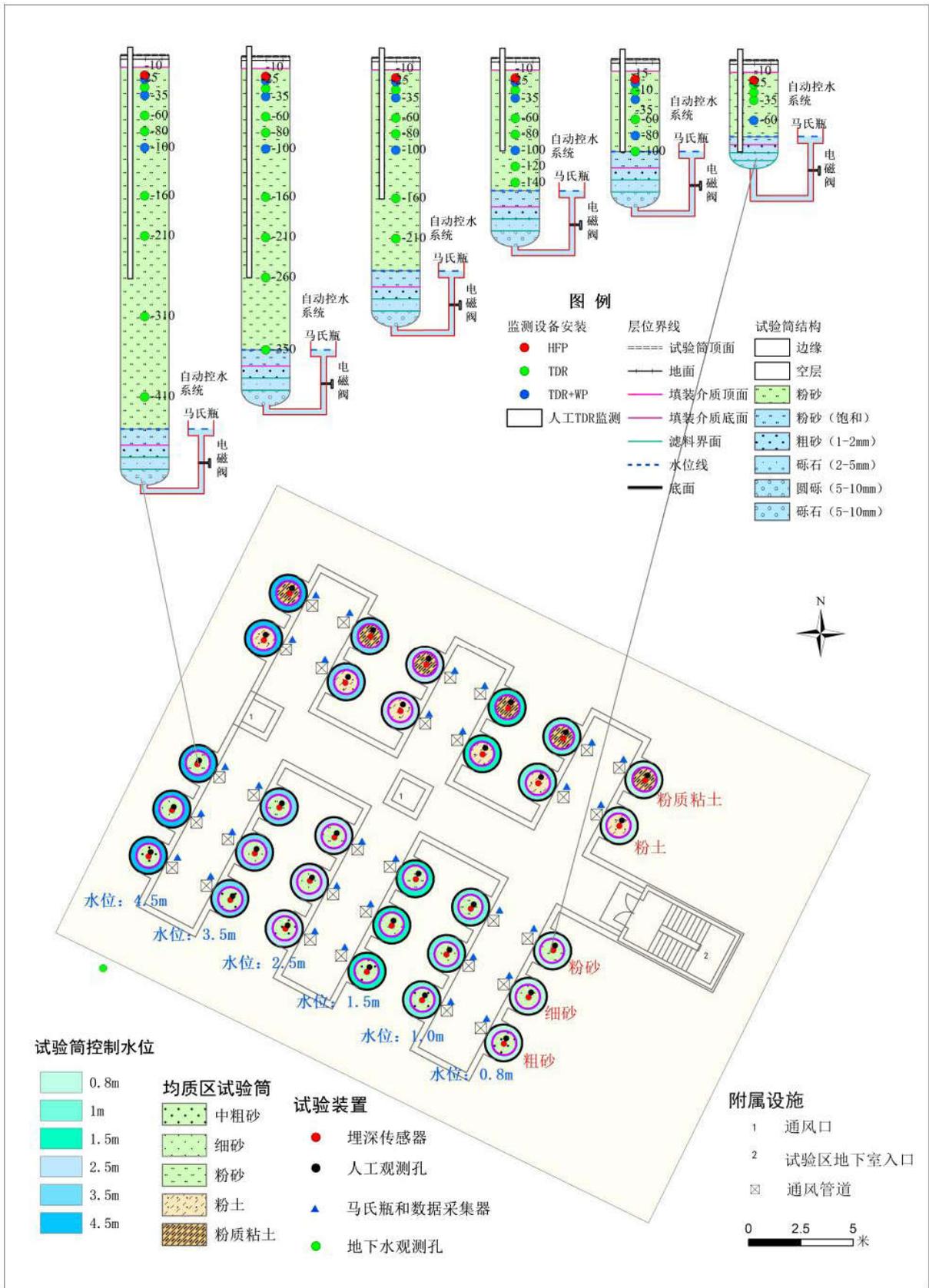
水面蒸发试验区全貌

水面蒸发试验区观测项目包括温度和水面蒸发深度。温度由设在各蒸发池内的温度传感器观测，观测频率30分钟一次，观测数据集成至地下控制室数据采集箱。水面蒸发深度由设置在各蒸发池外侧的测压管人工读取，频率为2次/天，观测时间为上午8时和下午18时，或由供水控制系统根据供水流量自动监测，通过线上平台远程下载，数据采集频率每小时1次。

3 均质介质水分传输试验区

均质介质水分传输试验区的建设目的是为定量解析银川平原地区包气带水分物质运移机理提供实验基础。该试验区主要开展水分在中粗砂、细砂、粉砂、粉土、粉质黏土5种不同岩性和6种不同水位埋深影响下的蒸发入渗规律研究。试验区由30个置于地下的人工土柱、地下廊道、传感器、数据采集系统和补水系统构成。人工土柱筒采用玻璃钢加工制作，截面积为1m²，高度依次为1.35m、1.85m、2.35m、3.35m、4.35m、5.35m。人工土柱筒基础工程、地下廊道采用筏板基础一体浇筑成型，以确保土柱筒不会发生不均匀沉降或者倾倒。

本区试验观测项目包括土壤含水率、温度、电导率、土壤负压和热通量。30个土柱内在不同深度共埋置土壤三参数传感器（观测土壤体积含水量、温度、电导率）230个，土壤水势传感器（观测土壤负压和温度）80个，土壤热通量板30个（每个土柱试验筒各一个）。各类参数观测频率为10分钟一次，观测数据集成至地下控制室数据采集箱，或通过系统平台远程下载。此外，各土柱试验筒中均安装了TRIME测管，可通过RIME-BT便携式土壤剖面水分测量仪人工测量土壤水分含量，人工观测频率为5天一次。试验水位和补（排）水量由马氏瓶水位控制系统控制计量，土柱内水位也可通过安装在土柱外侧的测压管人工读取。



均质介质水分传输试验区平面布置图



基坑开挖降水及主体施工



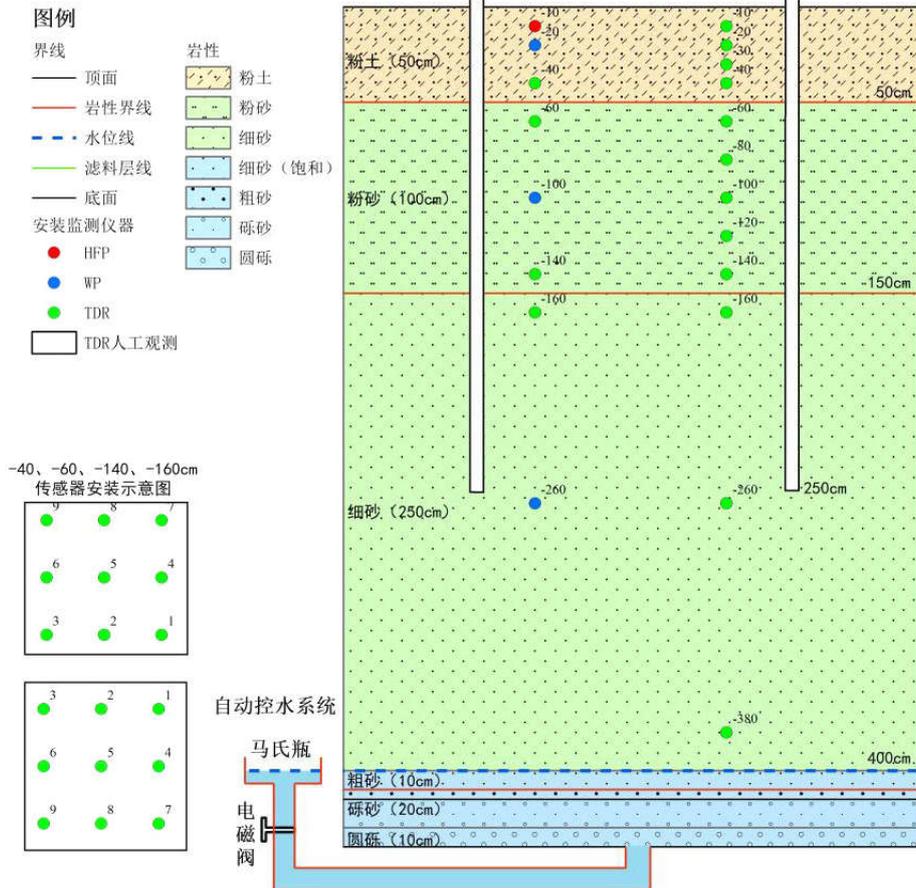
均质介质水分传输试验区地上和地下样貌图



传感器安装

4 非均质介质水分传输试验区

非均质介质水分传输试验区的建设目的是研究灌溉入渗条件下银川平原不同岩性结构的包气带水盐运移规律。试验区由4个置于地下的人工土柱、地下室、传感器、数据采集系统和补水系统构成。人工土柱规格由边长3m×3m, 高4.5m的钢制土柱筒填装, 1#、2#土柱构建为粉土-粉砂-细砂(1#土柱表层种植银川平原具有代表性的植物, 2#土柱为裸地, 研究在相同岩性结构不同种植结构条件下水分的蒸发入渗规律), 3#土柱构建为细砂-粉土-细砂, 4#土柱构建为粉土-细砂, 土柱底部填装厚度30cm的滤料。考虑到人工土柱体量较大土柱筒采用10mm厚的钢板制作。



非均质介质水分传输试验区土柱结构及传感器埋置图



基坑开挖、降水



地下室主体施工



土柱筒吊装



非均质介质水分传输试验区地上地下全貌图

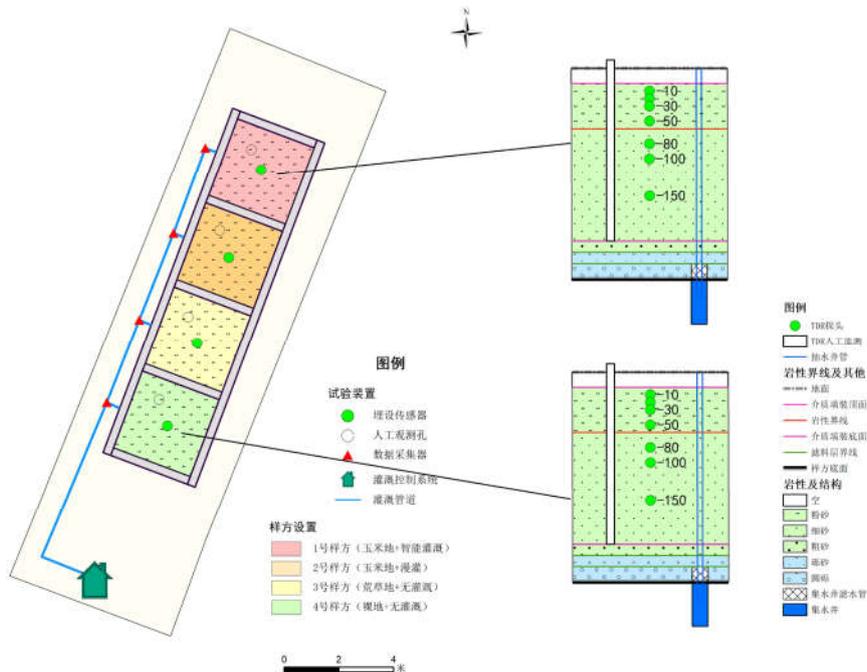
本试验区观测项目包括土壤含水率、温度、电导率、土壤负压和热通量。4个试验土柱在不同深度共埋置的仪器主要有土壤三参数传感器（观测土壤体积含水量、温度、电导率）160个，土壤水势传感器（观测土壤负压和温度）12个，土壤热通量板4个（每个土柱试验筒各一个）。各类参数观测频率为10分钟一次，观测数据集成至地下控制室数据采集箱，或通过系统平台远程下载。此外，各土柱试验筒中均安装了TRIME测管，可通过TRIME-BT便携式土壤剖面水分测量仪人工测量土壤水分含量，人工观测频率为5天一次。试验水位和补（排）

水量由马氏瓶水位控制系统控制计量，土柱内水位也可通过安装在土柱外侧的测压管人工读取。

5 灌溉样方试验区

该试验区主要开展不同种植条件和不同灌溉方式下包气带水分运移规律以及对地下水的补给程度，解析出灌溉行为对地下水的影响。主要研究不同灌溉方式对农作物（植被）的生长影响；不同农田灌溉制度对地下水有效补给的研究；

不同灌溉制度下包气带水分运移机制；获取或者更新、校核灌溉入渗系数、植被耗水率等水文地质参数。该试验区主要由4个并列建成的样方池和灌溉控制室等构成，样方池规格为3m×3m×2.6m，样方土壤结构为上部50cm粉砂，下部150cm细砂，底部填装50cm滤料。种植条件为当地主要经济作物以及荒草和裸地，灌溉方式为漫灌、智能灌溉以及自然降水。智能灌溉系统通过土壤水分阈值实现自动化灌溉功能。灌溉样方池为混凝土砖砌结构，开挖后，于基坑内部砌筑4个样方池，做内部防水后，装填种植土壤。



灌溉样方土壤剖面结构和传感器埋置图



灌溉样方试验区全貌及灌溉控制室抽水设备装置

灌溉样方试验区土壤水分观测系统由埋置在样方内的土壤三参数传感器和TRIME-BT便携式土壤剖面水分测量仪构成。各样方剖面在不同深度埋置土壤三参数传感器7个,观测频率为10分钟一次,观测数据通过系统平台远程下载。人工观测通过安装在样方内的TRIME测管进行,人工观测频率按照当年灌溉试验方案制定。本试验区的常规观测项目还包括灌溉量和入渗补给量,均可通过灌溉控制室的水表自动计量。灌溉样方水位变化通过水位监测计全程监测记录,每小时记录一次水位数据。

参考文献

[1]周金龙,张建文.地矿部地下水均衡试验研究现状与展望[J].地下水,1993,15(3):125-127.
[2]李俊亭,王文科.包气带负压传感器:中国,ZL006

35487[P].2012-02-26.

[3]谢森传,沈言珺.马利奥特(Mariotte)瓶装置的改进及应用[J].水文地质工程地质,1985,12(2):22-23.

[4]新疆农业大学.新疆平原区大气降水、灌溉水、土壤水与地下水水量转化关系实验研究[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2002.

[5]雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988:321-341.

[6]李俊亭,王帅,宋高举,等.郑州地下水均衡试验场的改建工程——总体思路与应用展望[J].水文地质工程地质,2019,46(4):58-63.

[7]宋高举,王帅,李俊亭,等.郑州地下水均衡试验场的改建工程——试验介质的选择与试验土柱建造[J].水文地质工程地质,2019,46(6):19-25.

[8]李俊亭,张彦辉,申圆圆,等.郑州地下水均衡试验场的改建工程——主要测试设施与数据自动化采集[J].水文地质工程地质,2019,46(5):39-42.

[9]王文科,官程程,张在勇,等.旱区地下水文与生态效应研究现状与展望[J].地球科学进展,2018,33(7):702-718.