

T/HLJTDXH

黑龙江省土地学会团体标准

T/HLJTDXH 005—2025

黑土关键带观测指标体系

Observation indicator system for the black soil critical zone

2025-10-31 发布

2025-10-31 实施

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
4.1 目标任务	2
4.2 基本原则	3
5 观测指标体系框架	3
5.1 层级架构	3
5.2 指标编码	4
5.3 数据来源	5
5.4 适用场景	5
6 核心观测指标	5
6.1 要素状态层	5
6.2 驱动过程层	8
6.3 界面通量层	10
附录 A（资料性） 数据质量控制与元数据要求	12
A.1 元数据最小字段	12
A.2 传感器校准建议	14
A.3 数据完整性与有效性判定	14
A.4 异常/缺测的数据处理原则	14
A.5 数据留存与版本控制	14
参考文献	15

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黑龙江省土地学会提出并归口。

本文件起草单位：中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心、黑龙江省自然资源调查院、黑龙江省生态地质调查研究院、黑龙江省地质科学研究所、黑龙江省第五地质勘查院、黑龙江省第六地质勘查院、黑龙江省地矿投资集团有限公司。

本文件主要起草人：徐立明、孙汉骁、高晓琦、姜平、赵文志、窦宇航、刘涛、杨柯、周传芳、郑吉林、王久懿、裴赢政、岳湃、王权奇、杜兵盈、李冶平、孙毅、王新星、何心达、李哲、单旭滨、冯起才、郝士龙、梁坤。

引言

黑土地是保障国家粮食安全的核心战略资源，对其进行系统性观测是资源保护及可持续利用的前提。当前，黑土资源面临退化持续加剧、生态功能减弱、观测数据碎片化及标准化框架缺失等复合性挑战，传统单要素观测难以完整揭示“水-土-气-生-人”相互间的耦合作用过程。本文件基于关键带理论，构建“要素-过程-界面”多层级观测指标体系，重点关注数据可比性，统一指标的描述规范、层级体系和协同关系，为黑土关键带多要素一体化观测提供标准化支撑。

黑土关键带观测指标体系

1 范围

本文件规定了黑土关键带观测指标与方法，包括大气要素、土壤要素、水要素、生物要素、物理运移过程、化学转化过程、生物调控过程、水-土壤界面、大气-土壤界面、生物-土壤界面和大气-生物界面 11 类观测指标。

本文件适用于我国东北黑土区的关键带观测，其他类型关键带的观测参照使用。

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 14848 地下水质量标准
- GB/T 33696 陆-气和海-气通量观测规范
- GB/T 34048 紫外辐射表
- GB/T 34415 大气二氧化碳（CO₂）光腔衰荡光谱观测系统
- GB/T 35237 地面气象观测规范 自动观测
- GB/T 35377 森林生态系统长期定位观测指标体系
- GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程
- GB/T 39228 土壤微生物生物量的测定 熏蒸提取法
- GB/T 50027 供水水文地质勘察标准
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50324 冻土工程地质勘察规范
- HJ 198 水质 硝酸盐氮的测定 气相分子吸收光谱法
- HJ 506 水质 溶解氧的测定 电化学探头法
- HJ 536 水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法
- HJ/T 175 降雨自动监测仪技术要求及检测方法
- HJ/T 399 水质 化学需氧量的测定 快速消解分光光度法
- HJ 618 环境空气 PM₁₀和PM_{2.5}的测定 重量法
- HJ 632 土壤 总磷的测定 碱熔-钼锑抗分光光度法
- HJ 634 土壤 氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定 氯化钾溶液提取-分光光度法
- HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
- HJ 654 环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统技术要求及检测方法
- HJ 658 土壤 有机碳的测定 燃烧氧化-滴定法
- HJ 670 水质 磷酸盐和总磷的测定 连续流动-钼酸铵分光光度法
- HJ 704 土壤 有效磷的测定 碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法
- HJ 717 土壤质量 全氮的测定 凯氏法
- HJ 746 土壤 氧化还原电位的测定 电位法
- HJ 759 环境空气 65种挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法
- HJ 889 土壤 阳离子交换量的测定 三氯化六氨合钴浸提-分光光度法
- HJ 1147 水质 pH值的测定 电极法
- HJ 1172 全国生态状况调查评估技术规范-生态系统质量评估
- HJ 1221 环境空气 降尘的测定 重量法
- HJ 1394 环境空气气态污染物（氨、硫化氢）自动监测系统技术要求及检测方法
- HJ 1396 水质 水温的测定 传感器法
- QX/T 68 大气黑碳气溶胶观测-光学衰减方法

- QX/T 434 雪深自动观测规范
 SL 364 土壤墒情监测规范
 SL 365 水资源水量监测技术导则
 SL 419 水土保持试验规程
 NY/T 889 土壤速效钾和缓效钾含量的测定
 NY/T 1377 土壤 pH 的测定
 NY/T 2017 植物中氮、磷、钾的测定
 ISO 12782-3 土壤质量 土壤和材料中成分浸出和形态形成的地球化学模拟参数 第3部分:用草酸铵/草酸萃取氧化铝和氢氧化物
 ISO 20130 土壤质量 用微孔板中的比色基质测量土壤样品中的酶活性模式

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

关键带 critical zone

从植被冠层顶端至地下未风化基岩之间的地表圈层系统，是大气、土壤、水、岩石和生物相互作用并支持生态功能与人类活动的复合体。

注：关键带是地球表层系统中物质循环与能量交换最为活跃的区域，其范围因地貌、气候、地质与生态条件不同而存在差异。

3.2

黑土关键带 black soil critical zone

以广义黑土作为主要地表土壤覆盖的关键带区域。

注：黑土关键带中，土壤圈是物质-能量存储与转换的核心载体，水文过程是驱动圈层间物质能量交换的关键纽带。

3.3

要素状态层 property state layer

记录关键带内大气、土壤、水及生物等介质在特定时间点的物理、化学及生物属性的观测维度。

3.4

驱动过程层 process activity layer

表征关键带内物质运移与能量转换等动态过程的观测维度，用于解析系统对内外驱动力的响应机制。

3.5

界面通量层 interface flux layer

量化关键带内不同圈层要素或介质界面处物质与能量交换速率的观测维度。

4 总则

4.1 目标任务

4.1.1 体系框架构建

建立“要素-过程-界面”的多层级观测指标体系，明确指标的层级结构与分类原则，形成覆盖大气、土壤、水和生物等多圈层要素的统一框架。

4.1.2 核心观测指标遴选

遴选黑土关键带的核心观测指标，并规范其指标编码、指标名称、输出频率、数据来源、参考标准、适用场景和计量单位。

4.3.3 标准化数据产出

通过规范化的观测方法与数据处理流程，为形成覆盖大气、土壤、水和生物等多圈层要素的标准化数据产品提供支撑。

4.2 基本原则

4.2.1 指标选取原则

核心观测指标的选取宜遵循以下原则：

- a) 科学性：指标宜能表征黑土关键带的结构、功能、过程及其演变的关键状态或驱动因子；
- b) 关键性：指标宜聚焦对黑土关键带服务功能、生态功能和退化风险具有重要影响的参数；
- c) 可测性：指标宜具备明确的观测或采样方法，并能在观测站点或样地内实际获取；
- d) 敏感性：指标宜对黑土关键带的主要环境变化或退化过程具有响应能力；
- e) 代表性：指标宜能有效代表特定空间尺度和时间尺度的关键带特征。

4.2.2 观测方法选取原则

核心观测指标的观测方法选取宜遵循以下原则：

- a) 规范性：宜优先选用国家标准、行业标准或国际通用标准；
- b) 准确性：方法宜满足观测指标所需的精度和准确度要求，并明确其误差范围；
- c) 一致性：相同指标的观测方法宜在不同观测站点和时期保持一致，确保数据的长期可比性；
- d) 先进性：在满足规范性、准确性和可操作性的前提下，宜采用自动化、高精度、无损或低扰动等先进技术手段；
- e) 可操作性：方法宜具备在观测站点或样地实施的可行性，考虑人力、设备、成本和环境限制。

4.2.3 数据标准化原则

观测数据的采集、处理、管理与共享宜遵循以下原则：

- a) 统一性：同一观测指标的数据采集规程、计量单位、数据格式、元数据规范宜统一；
- b) 完整性：宜记录完整的元数据信息，确保数据可追溯、可理解；
- c) 可比性：宜通过统一的观测方法、严格的质量控制程序和规范的元数据，确保不同来源、不同时期的观测数据具备可比较的基础；
- d) 可追溯性：原始数据、处理过程、质控记录及元数据宜完整保存并关联；
- e) 互操作性：数据格式、元数据及标识符宜采用国家标准、行业标准或国际通用标准，便于数据的交换、集成与共享。

5 观测指标体系框架

5.1 层级架构

为系统表征黑土关键带的结构、过程与功能，本观测指标体系采用“功能维度-观测对象-基础指标”三级层级架构：

- a) 功能维度：基于黑土关键带系统整体性，划分为要素状态层、驱动过程层及界面通量层；
- b) 观测对象：基于黑土关键带的多圈层耦合特征，识别并定义可具体观测的目标对象；
- c) 基础指标：在功能维度与观测对象的交叉约束下，依据观测需求选取基础指标。

观测指标体系层级结构具体见表 1。

表 1 观测指标体系层级结构

观测范围	功能维度	观测对象	基础指标及示例
黑土关键带	要素状态层	大气要素	降雨量、气温、气压、相对湿度等
		土壤要素	土壤温度、土壤含水率、土壤电导率等
		水要素	水体 pH、水体总磷、水体总氮等

表 1 (续)

观测范围	功能维度	观测对象	基础指标及示例
	驱动过程层	生物要素	植被类型、根系深度、根系生物量等
		物理运移过程	地下水补给速率、泥沙输出通量、地表连通性指数等
		化学转化过程	铁-有机碳结合比、有机碳矿化速率、CH ₄ 氧化速率等
		生物调控过程	β -葡萄糖苷酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性等
	界面通量层	水-土壤界面	地表径流量、降雨入渗量、地下水补给通量等
		大气-土壤界面	CO ₂ 通量、CH ₄ 通量、NO ₂ 通量等
		生物-土壤界面	氮吸收通量、磷吸收通量、钾吸收通量等
		大气-生物界面	总初级生产力、生态系统总呼吸、挥发性有机物通量等

5.2 指标编码

采用“要素-属性/过程. 序列号”三段式编码。分隔符规则为要素编码后采用连字符(-)，属性编码后采用句号(.)。指标编码字段规则说明具体见表 2。

表 2 指标编码字段规则说明

编码级别	编码字段	编码说明	编码范围及示例
一级编码	功能编码	标识指标所属要素、界面	ATM (大气要素) SOIL (土壤要素) WTR (水要素) BIO (生物要素) WS (水-土壤界面) AS (大气-土壤界面) BS (生物-土壤界面) AB (大气-生物界面)
		标识指标所属驱动过程	PTP (物理运移过程) CTP (化学转化过程) BRP (生物调控过程)
二级编码	属性编码	描述要素、界面的静态属性	P (物理属性) C (化学属性) B (生物属性) M (管理属性)

表 2 (续)

编码级别	编码字段	编码说明	编码范围及示例
	过程编码	描述对象发生的动态过程	CT (碳迁移过程) NT (氮迁移过程) PT (磷迁移过程) HYD (水文过程) SOL (溶质运移过程) DEP (沉降过程) MEC (机械形变过程)
三级编码	序列号编码	同层级下指标唯一标识	01, 02, ..., 99

5.3 数据来源

基于数据产生方式和输出特性分类：

- 直接观测值：通过仪器或人工测量直接获得的原始观测数值；
- 采样分析值：通过对现场采集的样品在实验室或使用便携设备进行分析获得的数据；
- 遥感反演值：通过处理遥感影像数据得到的空间化或时序化变量；
- 衍生计算值：通过计算或模拟得到的变量或参数；
- 统计管理值：来源于政府统计部门、管理机构发布或通过调查问卷收集的汇总统计数据。

5.4 适用场景

基于黑土退化主导因素及区域功能特征分类：

- 全域通用：适用于东北黑土区长期背景值观测的基础场景；
- 集约耕地农田区：高投入产出并常伴随深耕、重肥、化学投入的耕作单元；
- 侵蚀退化斜坡区：坡度较大且易受降雨侵蚀或风蚀的裸露斜坡；
- 沟道水体连通区：沟道、河段、排水系统强连通的低洼区或排水网络单元；
- 林草生态过渡区：林地与草地交错或过渡的边缘带；
- 湿地碳汇功能区：湿地或季节性积水地带；
- 冻融敏感界面区：季节性冻融过程活跃的地带；
- 其他适用：包括但不限于盐渍碱化区、矿区、污染点源等宜单独定义的特殊场景。

6 核心观测指标

6.1 要素状态层

6.1.1 大气要素

记录近地表大气的物理、化学属性，获取关键带能量与物质循环边界条件，为水文、生态及碳循环过程分析提供基础支撑。大气要素核心观测指标见表 3。

表 3 大气要素核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
ATM-P.01	降雨量	1/30 min	直接观测值	HJ/T 175	全域通用	mm
ATM-P.02	气温	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	°C

表 3 (续)

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
ATM-P. 03	气压	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	hpa
ATM-P. 04	相对湿度	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	%
ATM-P. 05	太阳总辐射	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	$W \cdot m^{-2}$
ATM-P. 06	风速	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	$m \cdot s^{-1}$
ATM-P. 07	风向	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	°
ATM-P. 08	雪深	1/h	直接观测值	QX/T 434	全域通用	cm
ATM-C. 01	CO ₂ 浓度	1/h	直接观测值	GB/T 34415	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	$\mu mol \cdot mol^{-1}$
ATM-C. 02	CH ₄ 浓度	1/h	直接观测值	GB/T 34415	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	$\mu mol \cdot mol^{-1}$
ATM-C. 03	PM _{2.5} 度	1/d	采样分析值	HJ 618	侵蚀退化斜坡区	$\mu g \cdot m^{-3}$
ATM-C. 04	PM ₁₀ 度	1/d	采样分析值	HJ 618	侵蚀退化斜坡区	$\mu g \cdot m^{-3}$
ATM-C. 05	TSP 浓度	1/d	采样分析值	HJ 1221	侵蚀退化斜坡区	$\mu g \cdot m^{-3}$
ATM-C. 06	NO ₂ 浓度	1/h	直接观测值	HJ 654	集约耕地农田区	$\mu g \cdot m^{-3}$
ATM-C. 07	SO ₂ 浓度	1/h	直接观测值	HJ 654	集约耕地农田区	$\mu g \cdot m^{-3}$
ATM-C. 08	NH ₃ 浓度	1/h	直接观测值	HJ 1394	集约耕地农田区	$\mu g \cdot m^{-3}$

6.1.2 土壤要素

记录土壤的物理、化学、生物和管理属性，反映土壤肥力、结构和健康状况，为黑土评估、诊断和管理提供依据。土壤要素核心观测指标见表 4。

表 4 土壤要素核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
SOIL-P. 01	土壤温度	1/30 min	直接观测值	SL 364	全域通用	°C
SOIL-P. 02	土壤含水率	1/30 min	直接观测值	SL 364	全域通用	$m^3 \cdot m^{-3}$
SOIL-P. 03	土壤电导率	1/30 min	直接观测值	SL 364	全域通用	$\mu S \cdot cm^{-1}$
SOIL-P. 04	土壤氧化还原电位	1/30 min	直接观测值	HJ 746	全域通用	mV
SOIL-P. 05	土壤质地	1/a	采样分析值	GB/T 50123	全域通用	%
SOIL-P. 06	土壤容重	1/a	采样分析值	GB/T 50123	集约耕地农田区	$g \cdot cm^{-3}$
SOIL-P. 07	腐殖层厚度	1/a	采样分析值	GB/T 38590	全域通用	cm
SOIL-C. 01	土壤 pH	1/sea	采样分析值	NY/T 1377	全域通用	-
SOIL-C. 02	土壤有机碳 (SOC)	1/sea	采样分析值	HJ 658	全域通用	$g \cdot kg^{-1}$
SOIL-C. 03	土壤硝酸盐氮	1/sea	采样分析值	HJ 634	集约耕地农田区	$mg \cdot kg^{-1}$
SOIL-C. 04	土壤氨氮	1/sea	采样分析值	HJ 634	集约耕地农田区	$mg \cdot kg^{-1}$

表 4 (续)

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
SOIL-C.05	全氮	1/sea	采样分析值	HJ 717	全域通用	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-C.06	有效磷	1/sea	采样分析值	HJ 704	集约耕地农田区/ 沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-C.07	全磷	1/sea	采样分析值	HJ 632	集约耕地农田区/ 沟道水体连通区	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-C.08	速效钾	1/sea	采样分析值	NY/T 889	集约耕地农田区	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-C.09	阳离子交换量 (CEC)	1/sea	采样分析值	HJ 889	全域通用	$\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-B.01	土壤微生物碳	1/sea	采样分析值	GB/T 39228	集约耕地农田区/ 林草生态过渡区	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-B.02	土壤微生物氮	1/sea	采样分析值	GB/T 39228	集约耕地农田区/ 林草生态过渡区	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
SOIL-M.01	化肥施用量	1/event	统计管理值	-	集约耕地农田区	$\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$
SOIL-M.02	秸秆还田量	1/event	统计管理值	-	集约耕地农田区	$\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$

6.1.3 水要素

记录地表水和地下水的赋存状态与化学特征,揭示水文过程及其对物质循环和生态系统功能的调控机制。水要素核心观测指标见表 5。

表 5 水要素核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
WTR-P.01	水温	1/h	直接观测值	HJ 1396	全域通用	$^{\circ}\text{C}$
WTR-P.02	水体电导率	1/h	直接观测值	SL 365	全域通用	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
WTR-P.03	地下水埋深	1/h	直接观测值	SL 365	全域通用	m
WTR-C.01	水体 pH	1/h	直接观测值	HJ 1147	全域通用	-
WTR-C.02	水体总磷	1/mon	采样分析值	HJ 670	沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.03	水体总氮	1/mon	采样分析值	HJ 636	沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.04	溶解氧(DO)	1/h	直接观测值	HJ 506	湿地碳汇功能区/ 沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.05	化学需氧量 (COD)	1/mon	采样分析值	HJ/T 399	湿地碳汇功能区/ 沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.06	硝酸盐氮	1/mon	采样分析值	HJ 198	集约耕地农田区/ 沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.07	氨氮	1/mon	采样分析值	HJ 536	集约耕地农田区/ 沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.08	磷酸盐	1/mon	采样分析值	HJ 670	集约耕地农田区/ 沟道水体连通区	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
WTR-C.09	地下水钙离子	1/mon	采样分析值	GB/T 14848	全域通用	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
WTR-C.10	地下水矿化度	1/mon	采样分析值	GB/T 14848	全域通用	mg·L ⁻¹

6.1.4 生物要素

记录植被类型、生物量、物种多样性等指标，反映关键带生物群落的结构基础与生态服务功能潜力。生物要素核心观测指标见表6。

表6 生物要素核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
BIO-B.01	植被类型	1/a	采样分析值	GB/T 35377	林草生态过渡区	-
BIO-B.02	根系长度	1/sea	采样分析值	GB/T 35377	林草生态过渡区	m
BIO-B.03	根系生物量	1/sea	采样分析值	GB/T 35377	全域通用	g·m ⁻²
BIO-B.04	植被生物量	1/sea	采样分析值	HJ 1172	全域通用	t·hm ⁻²
BIO-C.01	植物全氮	1/sea	采样分析值	NY/T 2017	集约耕地农田区	g·kg ⁻¹
BIO-C.02	植物全磷	1/sea	采样分析值	NY/T 2017	集约耕地农田区	g·kg ⁻¹
BIO-C.03	植物全钾	1/sea	采样分析值	NY/T 2017	集约耕地农田区	g·kg ⁻¹
BIO-P.01	植物郁闭度	1/a	衍生计算值	GB/T 35377	林草生态过渡区	%
BIO-P.02	植被覆盖度	1/sea	衍生计算值	HJ 1172	林草生态过渡区	%
BIO-P.03	凋落物厚度	1/sea	采样分析值	GB/T 35377	林草生态过渡区	g·m ⁻²
BIO-P.04	叶面积指数 (LAI)	1/mon	遥感反演值	-	集约耕地农田区/ 林草生态过渡区	-
BIO-P.05	归一化差值植被指数 (NDVI)	1/mon	遥感反演值	-	全域通用	-

6.2 驱动过程层

6.2.1 物理运移过程

解析关键带中水分、热量与物质的运移通道和动力机制，揭示能量与物质在多圈层间的传输特征及界面响应规律。物理运移过程核心观测指标见表7。

表7 物理运移过程核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
PTP-DEP.01	泥沙输出通量	1/event	采样分析值	SL 419	侵蚀退化斜坡区	t·km ⁻²
PTP-DEP.02	土壤侵蚀模数	1/event	直接观测值	SL 419	侵蚀退化斜坡区	t·km ⁻²
PTP-DEP.03	气温垂直梯度	1/30min	衍生计算值	GB/T 35237	全域通用	K·m ⁻¹
PTP-DEP.04	风速垂直梯度	1/30min	衍生计算值	GB/T 35237	全域通用	s ⁻¹
PTP-HYD.01	地下水补给速率	1/mon	衍生计算值	SL 365	全域通用	mm·a ⁻¹
PTP-HYD.02	包气带水分运移深度	1/sea	衍生计算值	SL 419	全域通用	cm

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
PTP-HYD. 03	饱和导水率	1/sea	采样分析值	GB/T 50123	全域通用	cm·h ⁻¹
PTP-HYD. 04	优先流分数	1/event	衍生计算值	SL 419	全域通用	%
PTP-HYD. 05	地表连通性指数	1/event	遥感反演值	-	沟道水体连通区/ 侵蚀退化斜坡区	-

表 7 (续)

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
PTP-MEC. 01	冻胀应变速率	1/h	直接观测值	GB/T 50324	冻融敏感界面区	%·d ⁻¹
PTP-MEC. 02	冻融循环次数	1/event	直接观测值	GB/T 50324	冻融敏感界面区	-
PTP-MEC. 03	冻融剥蚀厚度	1/event	直接观测值	GB/T 50324	冻融敏感界面区	mm
PTP-SOL. 01	土壤渗透系数	1/sea	衍生计算值	GB/T 50123	冻融敏感界面区	cm·h ⁻¹
PTP-SOL. 02	土壤温度梯度	1/h	衍生计算值	GB/T 35237	全域通用	K·m ⁻¹

6.2.2 化学转化过程

量化关键带内矿物风化、元素迁移及氧化还原反应等地球化学过程，揭示物质形态转变对营养循环与环境质量的影响。化学转化过程核心观测指标见表 8。

表 8 化学转化过程核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
CTP-CT. 01	有机碳矿化速率	1/sea	衍生计算值	HJ 658	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	μg·g ⁻¹ ·d ⁻¹
CTP-CT. 02	CH ₄ 氧化速率	1/sea	衍生计算值	GB/T 34415	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	μg·g ⁻¹ ·d ⁻¹
CTP-CT. 03	铁-有机碳结合比	1/a	衍生计算值	HJ 658	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	mg·g ⁻¹
CTP-CT. 04	紫外辐射(UVR)	1/30 min	直接观测值	GB/T 34048	全域通用	W·m ⁻²
CTP-CT. 05	光合有效辐射 (PAR)	1/30 min	直接观测值	GB/T 35237	全域通用	μmol·m ⁻² ·s ⁻¹
CTP-NT. 01	潜在硝化速率	1/sea	衍生计算值	HJ 634	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹
CTP-PT. 01	铁铝氧化物	1/a	采样分析值	ISO 12782-3	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	g·kg ⁻¹

6.2.3 生物调控过程

明确生物活动对碳氮水循环和能量交换的调节机制，揭示生物过程在关键带物质转化与系统稳定性维系中的作用。生物调控过程核心观测指标见表 9。

表 9 生物调控过程核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
BRP-CT. 01	β-葡萄糖苷酶活性	1/sea	采样分析值	ISO 20130	集约耕地农田区	μmol·g ⁻¹ ·h ⁻¹

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
BRP-NT.01	脲酶活性	1/sea	采样分析值	ISO 20130	集约耕地农田区	$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
BRP-PT.01	碱性磷酸酶活性	1/sea	采样分析值	ISO 20130	集约耕地农田区	$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

6.3 界面通量层

6.3.1 水-土壤界面

量化水体与土壤间水分、溶质及能量的交换过程，揭示入渗、蒸发、溶质淋失等关键机制，为水文循环与物质迁移模型提供基础支撑。水-土壤界面核心观测指标见表 10。

表 10 水-土壤界面核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
WS-C.01	活性磷淋溶通量	1/event	采样分析值	HJ 704	全域通用	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$
WS-C.02	溶解性有机碳通量	1/event	采样分析值	HJ 658	全域通用	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$
WS-C.03	硝酸盐淋溶通量	1/event	采样分析值	HJ 634	全域通用	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$
WS-P.01	地表径流量	1/event	直接观测值	SL 419	侵蚀退化斜坡区/ 沟道水体连通区	$\text{L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$
WS-P.02	降雨入渗量	1/event	直接观测值	SL 419	全域通用	$\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$
WS-P.03	地下水补给量	1/a	衍生计算值	GB/T 50027	全域通用	$\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$

6.3.2 大气-土壤界面

记录大气与土壤之间的物质交换特征，揭示能量平衡与温室气体通量的动态变化。大气-土壤界面核心观测指标见表 11。

表 11 大气-土壤界面核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
AS-C.01	CO ₂ 通量	1/h	直接观测值	GB/T 34415	全域通用	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
AS-C.02	CH ₄ 通量	1/h	直接观测值	GB/T 34415	全域通用	$\text{nmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
AS-C.03	NO ₂ 通量	1/d	衍生计算值	HJ 654	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	$\text{nmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
AS-C.04	NH ₃ 通量	1/d	衍生计算值	HJ 1394	集约耕地农田区/ 湿地碳汇功能区	$\text{ng}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
AS-C.05	黑碳沉降量	1/mon	采样分析值	QX/T 68	其他适用	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$
AS-C.06	总氮沉降量	1/mon	采样分析值	HJ 636	全域通用	$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$

6.3.3 生物-土壤界面

揭示生物与土壤间养分再循环过程，量化生物活动对土壤呼吸和物质循环的调节作用。生物-土壤界面核心观测指标见表 12。

表 12 生物-土壤界面核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
BS-C. 01	氮吸收通量	1/mon	采样分析值	NY/T 2017	集约耕地农田区	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$
BS-C. 02	磷吸收通量	1/mon	采样分析值	NY/T 2017	集约耕地农田区	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$
BS-C. 03	钾吸收通量	1/mon	采样分析值	NY/T 2017	集约耕地农田区	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

6.3.4 大气-生物界面

记录大气与植被间气体交换与能量传递，揭示光合作用、呼吸作用与水热过程的耦合机制，为生态系统生产力评估和陆气反馈研究提供基础支撑。大气-生物界面核心观测指标见表 13。

表 13 大气-生物界面核心观测指标

指标编码	指标名称	输出频率	数据来源	参考标准	适用场景	单位
AB-B. 01	总初级生产力 (GPP)	1/d	衍生计算值	GB/T 35237	全域通用	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
AB-B. 02	生态系统总呼吸 (Reco)	1/d	衍生计算值	GB/T 35237	全域通用	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
AB-B. 03	挥发性有机物通量 (BVOC)	1/d	衍生计算值	HJ 759	林草生态过渡区	$\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
AB-P. 01	植物蒸腾量	1/d	直接观测值	GB/T 35377	林草生态过渡区	$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
AB-P. 02	冠层截留量	1/event	直接观测值	GB/T 35377	林草生态过渡区	%
AB-P. 03	潜热通量	1/30 min	衍生计算值	GB/T 33696	全域通用	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
AB-P. 04	感热通量	1/30 min	衍生计算值	GB/T 33696	全域通用	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
AB-P. 05	穿透雨量	1/event	直接观测值	GB/T 35377	林草生态过渡区	mm
AB-P. 06	树干茎流量	1/event	直接观测值	GB/T 35377	林草生态过渡区	mm

附 录 A
(资料性)
数据质量控制与元数据要求

A.1 元数据最小字段

建议观测数据宜包含观测站点信息和采样分析记录。观测站点信息记录方法见表 A.1。

表 A.1 观测站点/样地信息表

观测站点/样地		信息
地理位置		地理坐标：北纬 $xx^{\circ}xx' \sim xx^{\circ}xx'$ ，东经 $xx^{\circ}xx' \sim xx^{\circ}xx'$ ；行政区划：xx 省 xx 市 xx 县（区）xx 乡（镇）；距离最近河流/公路：xx 河（xx km）/xx 公路（XX km）
自然地理信息	气候条件	
	地形地貌	
	土壤类型	
	水分条件	
土地利用/覆盖类型		当前利用：xx 连作田/xx-xx 轮作田； 历史利用：xx 年前为 xx，xx 年后转为 xx； 周边景观：xx（80%）、xx（15%）、xx（5%）
观测时间		
观测目的		
观测指标	大气	
	土壤	
	水文	
	生物	
具体项目与配置	项目内容	
	基础设施	
	数据管理信息	原始文件名称/路径、处理脚本/版本说明、缺测/插补方法说明
平面位置图		照片
样地代表性		位于东北黑土区核心带，兼具侵蚀沟发育区和保护性耕作示范区特征
特殊事件记录		xx 年 xx 极端降水数据
合作网络		纳入 xx 研究网络观测计划

采样分析记录方法见表 A.2。

表 A.2 采样分析记录表

统一编号		坐标	N:		高程 H (m)		
天气			X:				
			E:				
			Y:				
地理位置							
土壤	土壤类型		土地利用类型				
	样品编号	取样深度 (cm)	颜色	质地	紧实度	分层 (cm)	
		备注					
植被	样品编号		采样时间				
	植被类型		植物名称				
	采集部位		人工/天然				
	发育状况		地形部位				
		备注					
水样	水点类型		水点名称		采样深度(m)		
	样品类型		质控样		质控样类型		
	质控样编号		以往取样		样品性质		
	现场测试	气温(°C)		EC(μS/cm)		Eh(mV)	
		水温(°C)		DO(mg/L)		pH	
		浊度 (NTU)	色		嗅		味
平面位置图			照片				
样品处理信息	分析方法或标准编号、实验室名称、分析人、方法版本/试剂批号						
采样人		记录人		审核人		日期	

A.2 传感器校准建议

建议所有现场传感器保留出厂校准证书。安装后进行现场校准并记录校准日期、校准人员、校准方法及参考标准。校准周期推荐为每 6 个月，设备启用及定期校准时，宜进行测试并记录结果。对于连续数据流，宜保留原始数据文件。

A.3 数据完整性与有效性判定

数据完整性与有效性：若用于计算的原始观测时段中有效记录比例 $< 75\%$ ，则该数据宜被标注为“低置信度”。

异常值检测：若超出同站历史同期均值 $\pm 3 \times$ 标准差或瞬时跳变超过相邻 10 个数据点（或依据采样频率确定合理数量）标准差的 5 倍，满足以上任一条件的观测值，宜进行人工复核。

A.4 异常/缺测的数据处理原则

数据缺失不宜以任意方式填补替代原始值。若需对缺失数据进行插补，宜明确记录插补方法，并在数据集中同时保留原始值（标记为缺失）和插补值字段，且插补后的数据值宜标注为“插补值”类型。

对于连续缺失不超过 3 个基本时间单位的情况，可考虑采用线性插补等方法，建议连续时段缺测小于 3 个基本时间单位的，可采用线性插补；长缺测与事件缺测宜保留为缺测并在元数据中说明。对于用于累积量的数据，若原始有效率不足阈值则该累积量宜标注为“不可用”。

A.5 数据留存与版本控制

建议保存原始未经处理数据至少 5 年。数据处理过程中使用的脚本、软件版本及其参数设置宜一并归档。处理后数据集宜包含标识其处理过程的元数据字段，如处理版本号、处理人员、处理日期时间等。发布或共享数据时，宜同时提供数据字典与基本元数据。

参 考 文 献

- [1] GB/T 27648-2011 重要湿地监测指标体系
- [2] DZ/T 0505-2025 自然资源要素综合观测技术要求
- [3] 付宇佳, 谭昌海, 刘晓煌, 等. 自然资源定义、分类, 观测监测及其在国土规划治理中的应用[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1048-1063.
- [4] Jia X, Zhu P, Wei X, et al. Bringing ancient loess critical zones into a new era of sustainable development goals[J]. *Earth-Science Reviews*, 2024, 255: 104852.
- [5] Banwart S, Chorver J, Gaillardet J, et al. Sustaining Earth's Critical Zone: Basic Science and Interdisciplinary Solutions for Global Challenges[R]. 2013.
- [6] Guo L, Lin H. Critical Zone Research and Observatories: Current Status and Future Perspectives[J]. *Vadose Zone Journal*, 2016, 15(11): 1-14.
- [7] Lee R M, Shoshitaishvili B, Wood R L, et al. The meanings of the Critical Zone[J]. *Anthropocene*, 2023, 42: 100377.
- [8] Lin H. Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2010, 14(1): 25-45.
- [9] Kumar P, Anders A, Bauer E, et al. Emergent role of critical interfaces in the dynamics of intensively managed landscapes[J]. *Earth-Science Reviews*, 2023, 244: 104543.
-