

CSF

团 体 标 准

T/CSF XXX - XXXX

沙（荒）漠生态修复效果评价技术
规范

Technical specifications for evaluation of ecological rehabilitation effects in desert

（公示稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国林学会 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体技术流程.....	2
5 评价指标体系.....	2
6 数据采集与处理.....	3
7 评价方法和结果.....	6
8 评价成果.....	8
附录 A（资料性）沙（荒）漠生态修复效果评价工作流程.....	10
附录 B（规范性）数据处理方法相关公式.....	11
附录 C（规范性）评价报告格式.....	14
参考文献.....	16

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020 《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。

本文件由中建一局集团第三建筑有限公司提出。

本文件由中国林学会归口。

本文件起草单位：中建一局集团第三建筑有限公司、北京林业大学、中国建筑一局（集团）有限公司、中国建筑股份有限公司。

本文件主要起草人：梅晓丽、张晓丽、薛刚、雷令婷、王冬、朱若柠、贾翔、张晓霞、杨建平、李彩霞、邓委、柴国奇、郝建兵、张振鹏、贾海元、张富成、姚宗琦、张秀平、牛东、陈孟禹、尉雨馨、李昊宸、龙林、陈龙、王嘉琦、黄文媛、李霓雯。

沙（荒）漠生态修复效果评价技术规范

1 范围

本文件确立了沙（荒）漠地区生态修复效果评价工作要求、工作流程，规定了评价指标选取、数据采集与处理、评价方法和结果、评价成果等。

本文件适用于的大、中型沙（荒）漠生态建设工程效果评价，小型生态建设工程效果评价可参考使用。

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（包含所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20524 农林小气候观测仪

GB/T 36197 土壤质量 土壤采样技术指南

GB/T 39738 国家公园监测规范

GB/T 41280 卫星遥感影像植被覆盖度产品规范

HJ 1168 全国生态状况调查评估技术规范——草地生态系统野外观测

NY/T 1121.6 土壤检测 第6部分：土壤有机质的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

植被覆盖度 vegetation coverage

指单位面积内植被冠层（包括叶、茎、枝）垂直投影面积所占的比例。

[来源：GB/T 41280，3.2]

3.2

植被净初级生产力 net primary productivity

绿色植物在单位时间、单位面积内所累积的有机物数量，通常用 $g \cdot (m^2 \cdot a)^{-1}$ 表示。

3.3

景观破碎度 landscape fragmentation

由于自然或人文一因素的干扰所导致的景观由单一、均质和连续的整体趋向复杂、异质和不连续的程度。

[来源：GB/T 39738，3.4]

3.4

遥感生态指数 remote sensing ecological index

通过主成分耦合绿度、干度、湿度、热度四个指标，并以第一主成分作为遥感生态指数，用来评价一个地区的生态环境。

3.5

温度植被干旱指数 temperature vegetation drought index

一种基于光学与热红外遥感通道数据进行植被覆盖区域表层土壤水分反演的指数。

4 总体技术流程

4.1 前期准备阶段

主要工作内容包括但不限于：收集修复区域和修复项目相关的资料，涵盖修复区域的自然和社会环境的时序资料、修复项目实施方案、环境影响报告和项目实施过程性资料等资料；修复项目方案详细分析，包括修复实施的时限和空间范围、措施、环境影响等。

4.2 评价方案制定阶段

主要包括但不限于：制定沙（荒）漠生态修复效果评价方案，涵盖评价指标、方法、区域和时间；制定数据获取方案，包括数据获取内容、方法、地点和时间等。

4.3 评价实施阶段

主要包括但不限于：实施沙（荒）漠生态修复数据采集与处理和评价方法与结果；根据指标评价生态修复效果，编制沙（荒）漠生态修复效果评价报告。

4.4 专家评审阶段

项目单位委托专家对评价报告进行评审，得出评价结论，具体流程可参照附录 A。

5 评价指标体系

5.1 选取原则

评价指标的选取原则如下：

- a) 科学性和稳定性原则。指标体系要建立在科学的基础上，能够客观并且真实地反映沙（荒）漠的生态环境现状。根据对沙（荒）漠整体的认识，将指标进行分层，并且保证指标在一定时期内的稳定性，体系内的每个指标意义和获取方法均需明确；
- b) 独立性原则。所设指标之间要具有较强的独立性，相关性较高的指标一般只选择其中最重要的，以此来减少指标间的内部联系导致的相互干扰，保证评价工作的有序开展；
- c) 针对性和全面性原则。根据沙（荒）漠的实际修复情况，定性指标与定量指标相结合，选取全面反映修复效果的指标；
- d) 灵敏性和经济性原则。综合灵敏性和成本因素，宜选择成本较低且灵敏度高的评价指标；
- e) 实用性和可操作性原则。融入工程经验，考虑实际操作过程中的可行性及可能产生的问题，保证评价流程的可操作性。

5.2 评价指标

沙（荒）漠生态建设工程效果评价指标体系，包括 2 个一级指标、6 个二级指标和 10 个三级指标，具体见表 1。

表 1 沙（荒）漠生态修复效果综合评价指标体系及指标获取方案

一级指标	二级指标	三级指标	单位	备注
生态系统结构	植被状况	植被覆盖度	—	
		植被净初级生产力	$\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	
	景观格局	景观破碎度	—	
	生态系统质量	遥感生态指数	—	
	土壤肥力	土壤有机质含量	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	
		温度植被干旱指数	—	
生态系统功能	水土保持	土壤风蚀模数	—	
		土壤水蚀模数	—	
	固碳能力	植被地上生物量	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$	
		土壤地下生物量	kg	

6 数据采集与处理

6.1 一般规定

数据收集和处理时遵循以下规定：

- a) 在沙（荒）漠生态修复评价区域采集有效、完备的数据集。

- b) 在获取公开数据前,应进行民意调查。且获取的公开数据宜与实地调查等数据相结合,使用前检查、核实公开数据的可用性、准确性和完备性。
- c) 融合多源数据,实现数据之间优势互补,保证获取信息全面、完整。
- d) 选择通用性好、解释性强、准确性高的数据处理方法。
- e) 根据沙(荒)漠类型、生态修复工程周期、修复区域自然地理环境特征,确定评价节点和数据采集时间。选择沙(荒)漠生态修复前和修复后的相关数据和资料,以对比修复前后的环境状况。
- f) 多源数据经过预处理,统一得到栅格数据,格式为.tif,分辨率应统一且优于30 m,精度宜优于80%,坐标系统采用CGCS2000。
- g) 根据评价指标所需数据,因地制宜制定合理的数据采集方案。

6.2 数据采集方案

6.2.1 遥感影像

根据区域植被特点,选取植被生长季的遥感影像。宜选择含云量<5%、空间分辨率高、光谱信息与几何信息可靠的遥感影像,在使用前首先进行格式转换、辐射定标、大气校正、地形校正、正射校正、图像镶嵌等预处理,并根据需要提取土地利用分类数据。

6.2.2 气象数据

气象数据可通过以下方式获取:

- a) 从国家气象科学数据中心等网站下载气象站点气象数据(气温等)。
- b) 可对比美国航空航天局(NASA)、地理空间数据云、美国海洋及大气层管理署(NOAA)、国家气象科学数据中心等网站的产品分辨率和更新频率,择优下载气象栅格数据和气象再分析产品。

6.2.3 DEM数据

根据区域大小和影像分辨率选择不同DEM数据:

- a) 区域较大($\geq 10 \text{ km}^2$)且对分辨率要求不高时,可在公开数据网站获取。
- b) 区域较小($< 10 \text{ km}^2$)且对分辨率要求较高时,可在公开数据网站或有/无人机获取。
- c) 研究区为山区、丘陵等区域,数据宜采用精细DEM数据。

6.2.4 实测数据

6.2.4.1 植被地上生物量和地下生物量

植被地上生物量获取方式宜根据区域大小确定:

- a) 区域范围较小时,可在林地生态建设工程区域内均匀布设样地(25 m \times 25 m),根

据实地调查的每木检尺数据（树高和胸径等），利用异速生长方程计算实际森林地上生物量和地下生物量；按照 HJ 1168 规定监测获取草地地上生物量和地下生物量。

- b) 区域范围较大时，可在整个区域内均匀布设样地并利用异速生长方程计算样地的地上生物量和地下生物量，进而利用插值方法获得整个区域范围内的地上生物量和地下生物量的栅格数据。

6.2.4.2 土壤有机质含量

根据生态建设工程评价单元的地理位置、地块边界及地块使用状况，按照 GB/T 36197 的规定，确定有机质的采样范围、点位布设方法和样本数量。

6.2.5 气象数据

对于小气候数据，需按照 GB/T 20524 的规定进行测量。

6.2.6 其他数据

对于资料性数据，宜首先检查其准确性并整理归档，选取可靠且相关性高的数据。

6.3 数据处理方法

6.3.1 植被覆盖度

使用遥感影像数据计算归一化差值植被指数 NDVI，基于像元二分模型计算植被覆盖度，计算见公式 1，并制作评价区域植被覆盖度栅格数据。

6.3.2 植被净初级生产力

NPP 数据结合实测数据，通过遥感影像计算获得，计算见公式 2。对于宏观尺度可直接利用产品数据。

6.3.3 景观破碎度

以第三次全国国土调查为主，也可利用遥感影像提取的土地利用分类数据，计算单位面积的斑块数获取各年份评价区域景观破碎度栅格数据，计算方法见公式 3。

6.3.4 遥感生态指数

该指数获取主要分以下几个步骤：

- a) 利用遥感数据计算归一化植被指数（公式 4）、湿度指数（公式 5）、干度指数（公式 6）和 LST（公开网站获取）四个指数并进行标准化处理。
- b) 分别对四个指数进行其平均值，进行中心化处理。
- c) 耦合绿度、干度、湿度、热度四个指数，并以第一主成分构建 RSEI。

6.3.5 土壤有机质含量

结合中国土壤有机质数据网站产品，采用实测方法，土壤有机质分析测试按照 NY/T 1121.6 的规定执行。借助采样点测得土壤有机质含量数据，与遥感影像相关波段建立回归方程，反演评价区域当年土壤有机质含量分布栅格数据。

6.3.6 温度植被干旱指数

利用遥感数据计算干旱指数，具体计算见公式 7。

6.3.7 土壤风蚀模数

使用 RWEQ 模型计算土壤风蚀模数，见公式 8。

6.3.8 土壤水蚀模数

基于植被覆盖度、年平均降水量、土地利用分类图数据，计算方法见公式 9。

6.3.9 地上生物量和地下生物量

根据计算的实际上和地下生物量与获取的遥感影像信息（包括原始波段、纹理、植被指数等）建立模型，进而利用遥感影像信息分别反演林草生态建设工程区的森林地上和地下生物量与草地地上和地下生物量，制作工程区森林生物量和草地生物量栅格图。

7 评价方法和结果

7.1 评价方法

7.1.1 权重确定

采用熵值法计算贡献度、熵值、冗余度，从而确定每年各指标权重。

计算第 j 项指标下第 i 个样本点的贡献度（公式 10）：

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

式中：

P_{ij} ——第 j 项指标下第 i 个样本点的贡献度；

X_{ij} ——第 j 项指标下第 i 个样本点的值。

计算第 j 项指标的熵值（公式 11）：

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (11)$$

式中：

k ——常数， $k=1/\ln(n)$ 。

信息熵冗余度（公式 12）：

$$d_j = 1 - E_j \quad (12)$$

式中：

d_j ——第 j 项指标的差异系数。

计算各指标的权重（公式 13）：

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (13)$$

式中：

W_j ——第 j 项指标的权重值。

7.1.2 生态状况得分计算

评价方法主要分为以下几步：

- a) 对各项指标的专题图进行重采样，统一其空间分辨率。
- b) 针对正负指标用不同的算法对数据进行标准化处理，以消除量纲影响。
- c) 标准化后的各指标专题图数据与具体权重相乘并累加获得生态状况综合得（公式 14）。

$$Q = \sum_1^j (D_i \times w) \quad (14)$$

式中：

Q ——生态状况综合得分；

w ——权重；

D ——标准化后各项指标专题图数据。

- d) 根据生态状况综合得分分级，分级标准见表 2。

表 2 生态状况综合得分（ Q ）等级划分标准

级别	评分等级	综合得分
1	极低	$Q \leq 25$
2	低	$25 < Q \leq 50$
3	中	$50 < Q \leq 70$
4	高	$70 < Q \leq 90$
5	极高	$90 < Q \leq 100$

7.2 评价结果

7.2.1 修复效果评级

评价单位可根据生态建设区域大小等，确定是否分生态建设工程评价单元进行评级。即以生态建设项目实施前为参照系，根据建设工程实施后的数据，进而计算评价区域内指标的

变化率，计算方法见公式 15。

$$P_t = (Q_t - Q) \times 100\% / Q \quad (15)$$

式中：

P_t —— 生态建设工程实施后第 t 年的生态建设工程率。

Q —— 生态建设工程实施前的综合得分。

Q_t —— 生态建设工程实施后第 t 年的综合得分。

根据变化率的大小，将生态建设效果分为 5 个等级，分级标准见表 3。

表 3 生态建设工程效果 (P_t) 等级划分标准

效果等级	I	II	III	IV	V
	显著改善	明显改善	一般改善	轻微改善	未改善
修复率	$P_t > 70\%$	$50\% < P_t \leq 70\%$	$30\% < P_t \leq 50\%$	$0 < P_t \leq 30\%$	$P_t \leq 0$

7.2.2 修复效果分析

根据上述沙(荒)漠生态修复效果评级结果，分析取得的成效并及时发现修复过程中新产生的生态问题及潜在风险，针对修复措施和技术的调整修正提出合理化建议。

8 评价成果

8.1 基本要求

对成果评价时遵循以下基本要求：

- 评价成果包括各项指标数据及效果评级。
- 评价成果宜按照规定进行质量检查与验收，主要依据现行国家技术标准及验收评定标准、项目委托书或合同书，以及项目委托方与实施方达成的其他文件、评价方案、项目实施方的质量管理文件等资料。
- 评价成果宜参照相关行业的档案管理规定进行归档。
- 评价成果可作为政府对修复效果监管、制定区域生态修复规划的重要参考依据。

8.2 评价成果类型

8.2.1 数据成果

数据成果宜包括原始数据和评价指标数据及图件等，且宜以数据库、数据文件等形式提供。

8.2.2 评价报告

根据政府、施工方等委托方要求，出具评价报告。评价报告根据评价数据进行综合分析评价，给出明确、可靠的评价结论。评价报告在林草生态建设工程效果评价结束后出具，

报告格式参照附录 C。

8.3 专家评审

组织相关领域专家对评价报告进行评审，出具专家评审报告。评审内容包括数据、文档图件和报告。数据以系统检查为主、人工复查为辅；文档图件宜分类整理，装订成册，做到清晰、规范。

8.4 成果归档

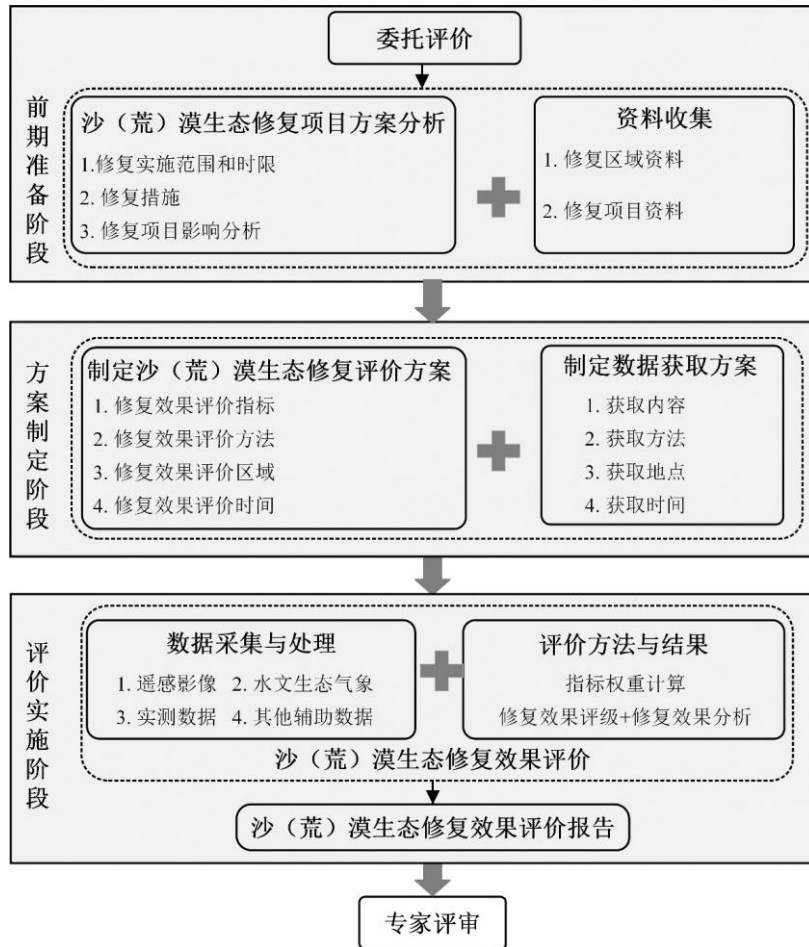
数据资料包括各个指标的原始数据和处理后数据。

文档和图件资料包括但不限于技术服务合同、评价过程资料（包括但不限于评价方案、评价工作计划等）、评价报告及验收报告、图件资料。

附录 A

(资料性附录)

沙(荒)漠生态修复效果评价工作流程



附录 B

(规范性附录)

数据处理方法相关公式

B.1 植被覆盖度

$$VFC = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} + NDVI_{soil})} \quad (1)$$

式中:

VFC —— 植被覆盖度;

$NDVI_{soil}$ —— 裸土或没有植被覆盖的像元值;

$NDVI_{veg}$ —— 完全被植被覆盖的像元值。

B.2 植被净初级生产力

$$NPP(x,t) = SOL(x,t) \times FPAR(x,t) \times 0.5 \times \varepsilon(x,t) \quad (2)$$

式中:

$NPP(x,t)$ —— 像元 x 在 t 时间内植被所吸收的光合有效辐射;

$SOL(x,t)$ —— 时间 t 像元 x 处的太阳辐射能量;

$FPAR(x,t)$ —— 植被吸收光合有效辐射的吸收比例;

0.5 —— 植被利用的太阳辐射与总辐射的比例;

$\varepsilon(x,t)$ —— 植被的实际光能利用率。

B.3 景观破碎度

$$LFI = \frac{NP}{S} \quad (3)$$

式中:

LFI —— 景观破碎度;

NP —— 统计单元内的斑块数;

S —— 统计单元面积。

B.4 归一化植被指数

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (4)$$

式中:

$NDVI$ —— 归一化植被指数;

ρ_3, ρ_4 —— 分别为遥感影像中红色、近红外波段的反射率;

B.5 湿度指数

$$WET = (0.1511\rho_1 + 0.1973\rho_2 + 0.3283\rho_3 + 0.3407\rho_4 - 0.7117\rho_5 - 0.4559\rho_7) / 10000 \quad (5)$$

式中：

WET —— 湿度指数；

$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_7$ —— 分别为遥感影像中蓝色、绿色、红色、近红外、中红外 1 和中红外 2 对应波段的反射率。

B.6 干度指数

$$NDBISI = \frac{1}{2} \left(\frac{[(\rho_5 + \rho_3) - (\rho_4 + \rho_1)]}{[(\rho_5 + \rho_3) + (\rho_4 + \rho_1)]} + \frac{\{2\rho_5 / (\rho_4 + \rho_3) - [\rho_4 / (\rho_4 + \rho_3) + \rho_2 / (\rho_2 + \rho_5)]\}}{\{2\rho_5 / (\rho_4 + \rho_3) + [\rho_4 / (\rho_4 + \rho_3) + \rho_2 / (\rho_2 + \rho_5)]\}} \right) \quad (6)$$

式中：

$NDBISI$ —— 干度指数；

$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_7$ —— 分别为遥感影像中蓝色、绿色、红色、近红外、中红外 1 和中红外 2 对应波段的反射率。

B.7 温度植被干旱指数

$$TVDI = \frac{(\gamma[\varepsilon^{-1}(\varphi_1 L + \varphi_2) + \varphi_3] + \delta) - (a_1 + b_1 NDVI)}{(a_2 \mp b_2 NDVI) - (a_1 + b_1 NDVI)} \quad (7)$$

式中：

$TVDI$ —— 温度植被干旱指数；

a_1, b_1, a_2, b_2 —— 干边、湿边拟合系数；

γ 和 δ —— 根据普朗克函数求得的常数；

L —— 大气顶部辐射；

ε —— 地表比辐射率；

ψ_1, ψ_2 和 ψ_3 —— 大气参数；

$\psi_1 = 1/\tau$ ；

$\psi_2 = -L \downarrow - L \uparrow / \tau$ ；

$\psi_3 = L \downarrow$ ；

τ —— 大气透过率；

$L \uparrow$ 和 $L \downarrow$ —— 大气上行和下行辐射强度；

$\tau, L \uparrow$ 和 $L \downarrow$ 均从美国航空航天局的网站 (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>) 获得。

B.8 土壤风蚀模数

$$S_L = \frac{109.8 \times (WF \times EF \times SCF \times K' \times C)}{[150.71 \times (WF \times SF \times SCF \times K' \times C)^{-0.3711}]^2} \times [109.8 \times (WF \times EF \times SCF \times K' \times C)] e^{-\left(\frac{x}{S}\right)^2} \quad (8)$$

式中：

- S —— 关键地块长度(m)；
 S_L —— 土壤损失量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)；
 x —— 距上风向距离(m)；
 WF —— 表示气象因子($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)；
 EF —— 土壤可侵蚀程度(无量纲)；
 SCF —— 土壤结皮因子(无量纲)；
 K' —— 土壤粗糙度因子(无量纲)；
 C —— 植被覆盖因子(无量纲)。

B.9 土壤水蚀模数

$$A = R \times K \times L \times S \times B \times E \times T \quad (9)$$

式中：

- A —— 土壤水蚀模数；
 R —— 降雨侵蚀力因子；
 K —— 土壤可蚀性因子；
 L —— 坡长因子；
 S —— 坡度因子；
 B —— 生物措施因子；
 E —— 工程措施因子；
 T —— 耕作措施因子。

附录 C

(资料性附录)

评价报告格式

C.1 评价报告封面格式

评价报告封面包括：评价报告名称、评价报告编制单位和编制时间等内容。

C.2 评价报告扉页格式

评价报告扉页包括：业主单位、编制单位、编制人员、审核人员和法人代表等内容。

C.3 评价报告编制大纲

评价报告包括但不限于以下内容：

C.3.1 项目背景

C.3.1.1 项目名称

C.3.1.2 项目地址

C.3.1.3 业主单位

C.3.1.4 修复单位

C.3.1.5 监理单位

C.3.1.6 修复效果评价单位

C.3.1.7 项目批复情况

C.3.1.8 参考依据

C.3.2 项目概况

C.3.2.1 项目区基本信息

C.3.2.2 沙（荒）漠生态修复目标及相关要求

C.3.2.3 沙（荒）漠生态修复技术方案

C.3.2.4 项目技术方案调整情况

C.3.3 沙（荒）漠生态修复工程建设及实施概况

C.3.3.1 沙（荒）漠生态修复工程建设与实施情况

- C. 3. 3. 2 实际修复工程建设与实施偏差及原因
- C. 3. 3. 3 沙（荒）漠生态修复工程的主要工作总结
- C. 3. 3. 4 沙（荒）漠生态修复过程的重要时间节点或里程碑

C. 3. 4 评价过程

- C. 3. 4. 1 评价指导思想
- C. 3. 4. 2 评价目标
- C. 3. 4. 3 评价原则
- C. 3. 4. 4 评价标准
- C. 3. 4. 5 评价工作方案
- C. 3. 4. 6 资料和数据获取及处理
- C. 3. 4. 7 评价指标体系
- C. 3. 4. 8 评价单元划分
- C. 3. 4. 9 评价方法
- C. 3. 4. 10 评价结果与分析

C. 3. 5 结论与建议

- C. 3. 5. 1 结论
- C. 3. 5. 2 建议

C. 3. 6 附图

- 附图 1 项目区位置图
- 附图 2 项目区生态修复设计图
- 附图 3 项目区生态修复前遥感影像图
- 附图 4 项目区生态修复后遥感影像图
- 附图 5 项目区生态修复效果评价图

C. 3. 7 附件

- 调查实测数据一览表

参考文献

- [1] GB 3838 地表水环境质量标准
- [2] GB/T 19608.2 特殊环境条件分级 第2部分:干热沙漠
- [3] HJ/T 192 生态环境状况评价技术规范
- [4] HJ 613 土壤干物质和水分的测定重量法
- [5] HJ 1140 生态保护红线监管技术规范 基础调查(试行)
- [6] HJ 1141 生态保护红线监管技术规范 生态状况监测(试行)
- [7] HJ 1142 生态保护红线监管技术规范 生态功能评价(试行)
- [8] HJ 1143 生态保护红线监管技术规范 保护成效评估(试行)
- [9] HJ 1144 生态保护红线监管技术规范 台账数据库建设(试行)
- [10] Gao Z , Wei G , Chang N B . Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2011, 13(3):495-503.
- [11] Potter C S , Randerson J T , Field C B , et al. Terrestrial Ecosystem Production: A Process Model Based on Global Satellite and Surface Data[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7(4):811-841.
- [12] Qingfu Liu, Qing Zhang, Yongzhi Yan, Xuefeng Zhang, Jianming Niu, Jens-Christian Svenning, Ecological restoration is the dominant driver of the recent reversal of desertification in the Mu Us Desert (China), Journal of Cleaner Production, Volume 268, 2020, 122241.
- [13] 常俊杰. 生态脆弱区生态修复综合效益评价思考——以陕西省为例[J]. 中国土地, 2020(09):36-38.
- [14] 李小炜, 田丽, 白春梅, 贺林. 毛乌素沙漠东南边缘典型草本植物资源调查及生态适应性分析[J]. 陕西农业科学, 2017, 63(5):47-54.
- [15] 刘国亮. 十一种沙生植物在科尔沁沙区的水分生理与抗旱性研究[D]. 北京林业大学, 2007.
- [16] 赵瑞. 沙漠修复植物生态适应性评价及系统研发[D]. 山东农业大学, 2018.
- [17] 梁音, 刘宪春, 曹龙熹, 郑粉莉, 张平仓, 史明昌, 曹全意, 袁久芹. 中国水蚀区土壤可蚀性 K 值计算与宏观分布[J]. 中国水土保持, 2013(10):35-40+79.
- [18] 尹云鹤, 吴绍洪, 赵东升, 戴尔阜. 过去 30 年气候变化对黄河源区水源涵养量的影响[J]. 地理研究, 2016, 35(1):49-57.
- [19] 张建国, 徐新文, 雷加强, 李生字. 塔克拉玛干沙漠腹地引种植物适应性评价指标体系的构建与应用[J]. 自然资源学报, 2009, 24(5):849-858.