

杜乐山, 刘海鸥, 马超, 等. 自然资源资产负债表编制研究: 以青海祁连山区为例 [J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(3): 1259-1268.

DU L S, LIU H O, MA C, et al. Compilation of natural resource assets sheet: a case study of Qilianshan Mountains in Qinghai Province [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2023, 13(3): 1259-1268.

## 自然资源资产负债表编制研究 ——以青海祁连山区为例

杜乐山<sup>1,2</sup>, 刘海鸥<sup>2</sup>, 马超<sup>3</sup>, 张颖<sup>1\*</sup>, 李俊生<sup>4\*</sup>

1. 北京林业大学经济管理学院

2. 中国环境科学研究院生态研究所

3. 国家环境保护青藏高原生态环境监测与评估重点实验室, 青海省生态环境监测中心

4. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心

**摘要** 祁连山区是我国重要的生态功能区、西北地区重要的生态安全屏障和水源涵养地, 开展该区自然资源资产负债表编制对摸清自然资源家底、指导地区绿色发展具有重要意义。综合考虑土地资源、林木资源、水资源和矿产资源等要素, 根据“先实物量后价值量、先存量后流量、先分类后综合”的编制原则, 构建“总表—分类表—扩展表—底表”的报表体系, 对祁连山区自然资源资产实物量和价值量进行综合评估并形成自然资源资产负债表。结果显示: 青海祁连山区自然资源资产自2011年以来稳中有增, 2011年、2015年和2017年总资产分别为91 672.31亿、91 674.95亿、91 698.19亿元, 其中, 土地资源资产占99%以上, 其次为矿产资源和水资源, 林木资源价值最小。所构建的报表体系及核算结果对青海祁连山区乃至青海省自然资源资产负债表编制工作具有重要参考价值。

**关键词** 祁连山区; 自然资源资产评估; 报表体系; 资产账户; 实物量; 价值量; 绿色发展

中图分类号: X32, F205 文章编号: 1674-991X(2023)03-1259-10 doi: 10.12153/j.issn.1674-991X.20220511

## Compilation of natural resource assets sheet: a case study of Qilianshan Mountains in Qinghai Province

DU Leshan<sup>1,2</sup>, LIU Haiou<sup>2</sup>, MA Chao<sup>3</sup>, ZHANG Ying<sup>1\*</sup>, LI Junsheng<sup>4\*</sup>

1. School of Economics & Management, Beijing Forestry University

2. Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences

3. State Environmental Protection Key Laboratory of Tibetan Plateau Eco-Environmental Monitoring and Assessment, Qinghai Eco-Environment Monitoring Center

4. Command Center for Comprehensive Survey of Natural Resources, China Geological Survey Bureau

**Abstract** Qilianshan Mountains is an important ecological function area in China; also, it is an important ecological safety barrier and water conservation area in northwest China. It is of great significance to carry out the balance sheet compilation of natural resources in this region to find out the natural resources background and guide the regional green development. Factors such as land resources, forest resources, water resources and mineral resources were comprehensively considered, and according to the compilation principle of "first physical quantity, then value quantity, first stock, then flow, first classification, then synthesis", the reporting system of General table - Classification table - Extended table - Basic table was built, to comprehensively assess the physical quantity and value quantity of natural resources in Qilianshan mountains and to form a natural resource balance sheet. The evaluation results showed that the natural resource assets of Qilianshan Mountains in Qinghai Province had been increasing steadily since 2011. The total assets in 2011, 2015 and 2017 were 9 167.231 billion yuan, 9 167.495 billion yuan and 9 169.819 billion yuan, respectively. Among them, land resource assets accounted for more than

收稿日期: 2022-05-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(72173011); 青海祁连山区自然资源资产核算调查与价值评估项目(52072018165)

作者简介: 杜乐山(1988—), 男, 博士研究生, 主要从事生物多样性保护与生态环境经济核算研究, duleshan@yeah.net

\* 责任作者: 1. 张颖(1964—), 男, 教授, 主要从事资源、生态环境价值评价与核算、区域经济学研究, zhangyin@bjfu.edu.cn

2. 李俊生(1968—), 男, 研究员, 主要从事生物多样性保护、自然保护区管理与生态经济学研究, lijunsheng001@mail.cgs.gov.cn

99%, followed by mineral resources and water resources, and forest resources value was the least. The reporting system and accounting results provided important technical support for the work of balance sheet compilation of natural resources in Qilianshan Mountains and even in Qinghai Province.

**Key words** Qilianshan Mountains; evaluation of natural resource assets; reporting system; asset account; physical quantity; value quantity; green development

自然资源是人类社会赖以生存和发展的物质基础,编制自然资源资产负债表是新时代中国生态文明建设的一项重要制度,对增强我国经济持续健康发展极为重要。党中央、国务院高度重视我国自然资源资产评估及负债表编制工作,先后出台了《编制自然资源资产负债表试点方案》(国办发〔2015〕82号)<sup>[1]</sup>、《自然资源资产负债表编制制度(试行)》<sup>[2]</sup>、《自然资源统一确权登记办法(试行)》<sup>[3]</sup>、《领导干部自然资源资产离任审计规定(试行)》<sup>[4]</sup>等一系列文件,积极推进自然资源资产负债表编制、实施领导干部自然资源离任审计工作,并组建自然资源部来进一步加强对自然资源的管理。我国学者借鉴国际公认的国民经济核算体系(SNA2008)<sup>[5]</sup>、环境经济综合核算体系中心框架(SEEA2012)<sup>[6]</sup>及其卫星账户试验性生态系统核算框架(SEEA EEA)<sup>[7]</sup>等权威核算框架与方法,从不同领域探索自然资源资产负债表编制工作,如封志明团队从资源科学的角度探讨了土地资源资产负债表编制,并从产权制度、表式结构、负债核算、生态损益等方面进行了研究<sup>[8-14]</sup>;耿建新团队从会计学的视角研究了土地资源、林木资源、水资源和矿产资源等资产负债表编制<sup>[15-19]</sup>;甘泓、张颖、姚霖等团队也分别从水资源、森林资源、矿产资源等方面探讨了自然资源资产负债表编制<sup>[20-23]</sup>,对推进我国自然资源资产负债表编制工作起到了关键作用。但从目前发表文献来看,我国的自然资源资产负债表编制研究还处于初级阶段,尚未形成统一的概念与内涵界定,框架结构和账户体系也未达成一致,核算结果缺乏空间的可比性和时间的连贯性,对地区自然资源管理未能形成有力支撑。因此,针对自然资源丰富地区,探索开展时间序列上的自然资源资产负债表案例研究,核算其自然资源的存量变化及消耗状况,对我国未来自然资源管理工作具有重要参考价值。

祁连山地处青藏、蒙新、黄土三大高原交汇地带,是我国重要的生态功能区、西北地区重要的生态安全屏障和黄河流域重要水源产流地,也是我国生物多样性保护优先区,涵盖森林、草原、冰川、荒漠等多种生态系统类型。祁连山国家公园被列入中国首批设立的 10 个国家公园体制试点之一,研究祁连

山区域自然资源资产在时间序列上的变化情况,将为国家公园自然资源管理和应用提供重要支撑。笔者基于《编制自然资源资产负债表试点方案》,结合《中国国民经济核算体系(2016)》(CSNA2016)以及 SEEA2012 资产账户模式<sup>[6,24]</sup>,探索构建“总表—分类表—扩展表—底表”的报表体系,并采用“期初存量+本期增加量—本期减少量=期末存量”范式开展实物量核算,采用基准地价修正法、市场价格法、影子价格法等经济学模型开展土地、林木、矿产及水资源的价值量核算,在此基础上形成自然资源资产负债表总表并以祁连山区为例进行实证研究,以期全面摸清祁连山区自然资源存量变化和消耗状况,为开展干部离任审计、自然资源有偿使用及生态补偿等生态文明制度建设提供本底数据,也为其他地区开展自然资源资产核算与负债表编制提供参考和示范。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

青海祁连山(96°49'E~103°04'E, 35°45'N~48°39'12"N)位于青海省东北部,东西长 870 km,南北宽 100~200 km,由西北东南走向的平行山脉和宽谷构成,以山地地形为主,山地平均海拔为 4 000~5 000 m,谷地平均海拔为 3 000 m 左右。西部与青海省海西州德令哈市毗连,东北部与甘肃省接壤,南部隔黄河与甘肃省相对。覆盖 3 个州(市)及下辖 8 个县(区),即海北藏族自治州(祁连县、门源回族自治县、刚察县、海晏县)、海西州(天峻县)、海东市(互助土族自治县、乐都区、民和县)。研究区范围与高程如图 1 所示。

### 1.2 研究框架与方法

#### 1.2.1 框架编制

结合 CSNA2016 以及 SEEA2012 体系模式,依据《编制自然资源资产负债表试点方案》中“期初存量+本期增加量—本期减少量=期末存量”范式构建实物量表,按照“先实物量后价值量、先存量后流量、先分类后综合”的编制原则<sup>[25]</sup>,采用数据资料结合实地调研的方法评估其实物量,采用基准地价修正法、市场价格法、影子价格法等经济学模型评估其价值量,在此基础上形成“总表—分类表—扩展表—底表”的

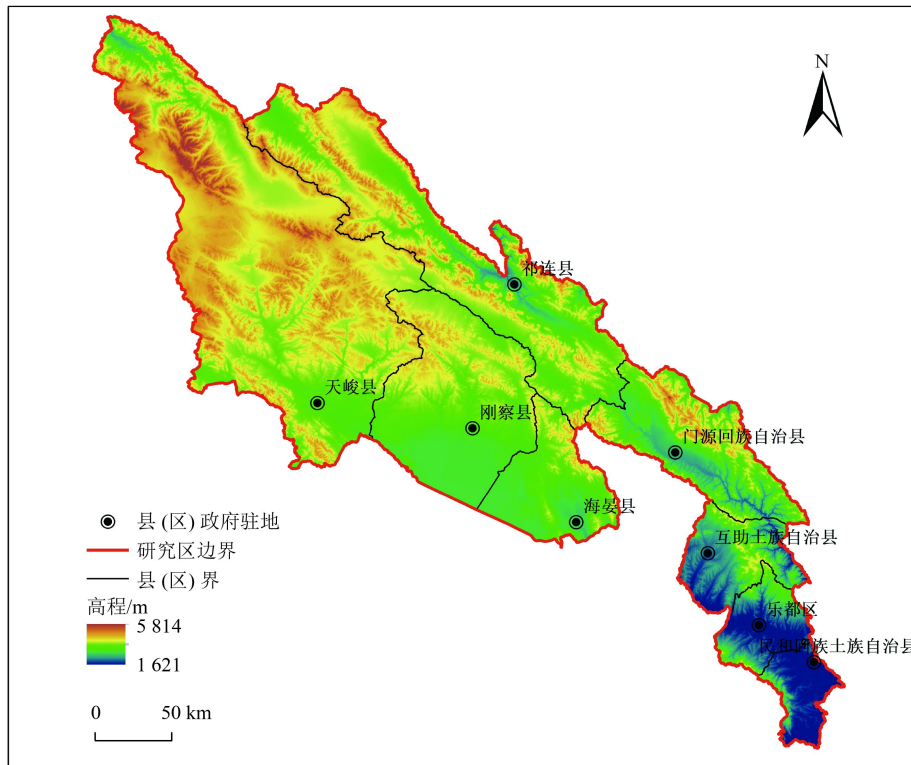


图1 研究区范围与高程

Fig.1 Range and elevation map of research area

自然资源资产负债表报表体系。其中,总表是指研究区自然资源资产负债表,全面反映区域某一时点的自然资源资产规模、构成以及变动情况,揭示人类活动对自然资源的总体影响;分类表是指土地资源、林木资源、水资源及矿产资源的实物量表和价值量表,综合体现某一时点各类资源资产实物量及价值量存量、体现一定时间内资源资产的变化量;扩展表是指研究区4类自然资源资产负债表的补充表格,也是各类自然资源本底数据的汇总表格;底表是指开展自然资源资产核算所需的各类本底数据收集表。

### 1.2.2 价值测算方法

#### (1) 土地资源资产价值

采用基准地价修正法评估土地资源资产价值。因土地价格与土地质量和所处的区位密切相关,以植被净初级生产力(NPP)作为土地质量评价因子,以城镇用地及其他建设用地面积占比作为区位评价因子,从而获得待估土地的地价。计算公式如下:

$$V_{land} = \sum_{i,j=1}^m P_{ij} \times S_{ij} \quad (1)$$

$$P_{ij} = P_i \times f_i \times g_j \quad (2)$$

$$f_i = L_i / \bar{L} \quad (3)$$

$$g_j = N_j / \bar{N} \quad (4)$$

式中:  $V_{land}$  为祁连山区土地资源资产价值,元;  $P_{ij}$  为  $i$  县(区)  $j$  类土地的单价,元;  $S_{ij}$  为  $i$  县(区)  $j$  类土地

的面积,  $hm^2$ ;  $P_i$  为  $i$  县(区)基准地价,元;  $f_i$  为  $i$  县(区)土地区位因子修正系数;  $g_j$  为  $j$  类土地质量因子修正系数;  $L_i$  为  $i$  县(区)城镇用地及其他建设用地面积占比;  $\bar{L}$  为祁连山区城镇用地及其他建设用地面积占比;  $N_j$  为  $j$  类土地植被 NPP 均值;  $\bar{N}$  为祁连山区植被 NPP 均值。

#### (2) 林木资源资产价值

采用市场价格法评估林木资源资产价值 ( $V_{forest}$ ), 计算公式如下:

$$V_{forest} = \sum_{i,x=1}^m Q_{ix} \times P_x \quad (5)$$

式中:  $Q_{ix}$  为  $i$  县(区)  $x$  类林木资源(包括乔木林、灌木林、竹林等)蓄积量,  $m^3$ ;  $P_x$  为  $x$  类林木资源单位蓄积的交易价格, 元/ $m^3$ 。

#### (3) 水资源资产价值

采用影子价格法计算水资源资产价值 ( $V_{water}$ ), 计算公式如下:

$$V_{water} = \sum_{i,y=1}^m Q_{iy} \times P_y \quad (6)$$

式中:  $Q_{iy}$  为  $i$  县(区)  $y$  类水体水资源资产存量,  $m^3$ ;  $P_y$  为  $y$  类水体水资源价格, 元/ $m^3$ 。

#### (4) 矿产资源资产价值

采用市场价格法评估矿产资源资产价值 ( $V_{mineral}$ ), 计算公式如下:

$$V_{\text{mineral}} = \sum_{i,z=1}^m Q_{iz} \times P_z \quad (7)$$

式中： $Q_{iz}$  为  $i$  县（区） $z$  类矿产的实物量，t 或  $\text{m}^3$ ； $P_z$  为  $z$  类矿产的市场价，元/t。

### 1.3 数据来源

2011 年、2015 年、2017 年的县级尺度生态遥感监测土地利用与土地覆盖数据、植被 NPP 数据均由青海省生态环境监测中心解译并提供，遥感数据源为高分 1 号、资源 3 号卫星影像，分辨率为 2 m。土地基准地价表来自青海省自然资源厅，农业统计数据来自青海省统计局；林木资源县级尺度数据主要来源于青海省林业和草原局提供的全国森林资源清查、林业统计等数据；水资源存量及变化数据主要来源于各级水文水资源部门以及水资源公报；矿产资源实物量数据来自青海省自然资源厅，价值量数据来自《青海省矿业权出让收益市场基准价（采矿权）》。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地资源资产账户

#### 2.1.1 实物量账户

青海祁连山土地资源资产账户如表 1 所示。由表 1 可知，青海祁连山区 2011—2017 年土地资源资产存量保持平稳，各土地利用类型面积依次为草地>未利用土地>林地>水域及水利设施用地>耕地>城镇村及工矿用地。从各地类资源变动情况来看，耕地面积 2015 年较 2011 年减少 8 088.7  $\text{hm}^2$ ，减少比例为 2.8%；2017 年较 2015 年减少 1 013.3  $\text{hm}^2$ ，减少比例为 0.4%。水域面积 2015 年较 2011 年增加 4 284.3  $\text{hm}^2$ ，增加比例为 1.1%；2017 年较 2015 年增加 3 050.4  $\text{hm}^2$ ，增加比例为 0.8%。城镇村及工矿用地面积 2015 年较 2011 年有大幅增加，增加 15 119.7  $\text{hm}^2$ ，增加比例为 20.8%；2017 年较 2015 年增加 598.4  $\text{hm}^2$ ，增加比例为 0.7%。林地、草地及未利用

土地面积研究时段内变化不大。但草地面积 2015 年较 2011 年减少 7 760.2  $\text{hm}^2$ ，2017 年较 2015 年再减少 2 966.1  $\text{hm}^2$ ，一方面可能是受气候因素的影响<sup>[26]</sup>，另一方面是城镇村及工矿用地面积增加所致，这也与我国社会经济发展及城镇化战略相吻合。

#### 2.1.2 价值量账户

青海祁连山区土地资源总价值变化不大，2011 年、2015 年和 2017 年土地资源价值分别为 90 949.9 亿、90 880.4 亿和 90 822.6 亿元（表 1）。其中，草地资源资产价值占比最高，2011 年、2015 年和 2017 年价值分别为 50 096.8 亿、49 978.2 亿、49 915.7 亿元，价值占比均超过 55%；水域及水利设施用地占比较低，资产价值分别为 1 150.0 亿、1 164.1 亿和 1 171.9 亿元。各地类价值量从大到小依次为草地>林地>耕地>未利用土地>城镇村及工矿用地>水域及水利设施用地。

#### 2.1.3 核算结果可信度

数据来源一直是土地资源资产核算的限制因素，全国层面开展了第一次全国土地调查（1987 年）、第二次全国土地调查（2009 年）、第三次全国国土调查（2020 年），但包括祁连山在内的全国很多地方无法提供逐年数据，不同地区、不同时间节点往往采用不同的数据源，从而导致数据缺乏时间上的可比性。另外，学术界对土地资源价值也存在较大分歧，如钟骁勇<sup>[27]</sup>认为耕地资源包括经济价值和生态价值，姜微<sup>[28]</sup>认为森林和湿地资源资产分为存量资产和流量资产 2 个部分，但将生态价值纳入核算增加了结果的不确定性，限制后期核算结果在管理中的应用。因此，更多学者从实用的角度出发，按照国家统计局分类体系，仅对土地资源本身的经济价值进行核算，核算方法包括市场比较法、收益还原法、假设开发法、成本逼近法、基准地价修正法等。本研究按照 GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》，

表 1 青海祁连山区土地资源资产账户

Table 1 Stock and value of the land resource assets in Qilianshan Mountains of Qinghai Province

土地资源分类	实物量/ $\text{hm}^2$			价值量/亿元		
	2011年	2015年	2017年	2011年	2015年	2017年
耕地	289 663.9	281 575.2	280 561.9	10 700.0	10 415.8	10 369.0
林地	833 744.2	833 741.7	833 604.4	20 042.3	20 037.1	20 038.4
草地	4 173 144.4	4 165 384.2	4 162 418.1	50 096.8	49 978.2	49 915.7
水域及水利设施用地	401 569.7	405 854.0	408 904.4	1 150.0	1 164.1	1 171.9
城镇村及工矿用地	72 838.5	87 958.2	88 556.6	2 149.0	2 517.9	2 550.0
未利用土地	1 003 161.6	999 609.0	1 000 076.9	6 811.8	6 767.3	6 777.6
合计	6 774 122.3	6 774 122.3	6 774 122.3	90 949.9	90 880.4	90 822.6

结合青海省生态环境监测中心提供的遥感监测数据(高分1号、资源3号卫星影像),将土地利用与土地覆盖中地类归并为6类,即耕地、林地、草地、城镇村及工矿用地、水域及水利设施用地、未利用土地,数据来源固定且具有时间上的可比性;同时,采用土地基准地价修正法来核算土地资源价值,充分考虑了土地生产力和土地区位因素的影响,结果具有较高的可信度<sup>[29]</sup>。

## 2.2 林木资源资产账户

### 2.2.1 实物量账户

青海祁连山区林木资源资产账户如表2所示。青海祁连山区林木资源蓄积量来源主要为乔木林。由表2可知,2011年林木蓄积量为1 639.25万m<sup>3</sup>,其中,天然林占比90.24%,人工林占比9.76%;2015年林木蓄积量为1 418.01万m<sup>3</sup>,其中,天然林占比87.57%,人工林占比12.43%;2017年林木蓄积量为1 675.04万m<sup>3</sup>;其中,天然林占比84.48%,人工林占比15.52%。青海祁连山区人工林蓄积量从2011年以来逐年增加,这与我国近年来实施的“三北”防护林工程及加大生态保护力度密切相关。

表2 青海祁连山区林木资源资产账户

Table 2 Stock and value of the forest resource assets in Qilianshan Mountains of Qinghai Province

林木资源分类	实物量/万m <sup>3</sup>			价值量/亿元		
	2011年	2015年	2017年	2011年	2015年	2017年
天然林蓄积量	1 479.34	1 241.71	1 415.00	87.17	73.17	83.38
人工林蓄积量	159.91	176.30	260.04	7.57	8.35	12.31
合计	1 639.25	1 418.01	1 675.04	94.74	81.52	95.69

### 2.2.2 价值量账户

青海祁连山区林木资源价值变化较大,2011年、2015年和2017年分别为94.74亿、81.52亿和95.69亿元(表2)。从乔木资源价值构成来看,2011年、2015年和2017年天然林价值占比分别为92.00%、89.76%、87.13%;人工林价值占比逐年上涨,从2011年的8.00%增长到2017年的12.87%。

### 2.2.3 核算结果可信度

在森林资源资产方面,国家层面发布了《中华人民共和国森林法实施条例》《国家森林资源连续清查技术规定》(2014年)和GB/T 26424—2010《森林资源规划设计调查技术规程》,各地定期组织全国森林资源清查(一类调查)、规划设计调查(二类调查)、作业设计调查(三类调查),但同样面临森林资源动态更新数据与国家要求的编制指南存在较大差异的问题;同时,国家层面要求的林木资源资产账户需要按

一级分类(天然林、人工林、其他林木)、二级分类(天然林和人工林再分为公益林、商品林,其他林木再分为疏林、散生木和四旁树)进行划分,对数据的精细化程度要求较高,现有数据存在统计口径不一致、精细化程度不高的问题。学术界对价值量核算也存在不同理解,如丁娜娜<sup>[30]</sup>将祁连山区森林资源资产分为经济价值存在形式(如林地资源、林木资源、景观资源、牧草资源等)和生态价值存在形式(如水源涵养、土壤保持、调整气候等);张颖等<sup>[31]</sup>将森林资源分为林地资源和林木资源2个部分;范小杉等<sup>[32]</sup>则将森林资源分为林地资源、林木资源和林内生物资源,从数量、质量及变化3个方面进行核算。为有效衔接国家自然资源资产核算工作,本研究将林地资源价值并入土地资源部分,在林木资源资产账户仅统计林木资源蓄积量,针对2017年林木蓄积量数据缺失的问题,利用林地面积变化进行填补;另外,因青海祁连山区各县林木市场并不成熟,故采用全国林木市场价格构建祁连山区林木价格基础信息表,对青海祁连山区林木资源价值进行评估,其结果具有较高参考性。

## 2.3 水资源资产账户

### 2.3.1 实物量账户

青海祁连山区水资源资产账户如表3所示。由表3可知,青海祁连山区2011年水资源资产量为91.61亿m<sup>3</sup>,其中,降水量为96.08亿m<sup>3</sup>,用水量为6.15亿m<sup>3</sup>,经济社会用水回归量为1.68亿m<sup>3</sup>。2015年水资源资产量为89.73亿m<sup>3</sup>,其中,降水量为93.52亿m<sup>3</sup>,用水量为5.14亿m<sup>3</sup>,经济社会用水回归量为1.35亿m<sup>3</sup>。2017年水资源资产量为112.63亿m<sup>3</sup>,其中,降水量为116.33亿m<sup>3</sup>,用水量为4.95亿m<sup>3</sup>,经济社会用水回归量为1.25亿m<sup>3</sup>。从年际变化来看,2015年水资源资产较2011年减少了1.88亿m<sup>3</sup>,减少比例为2.06%,主要是受到降水减少的影响;2017年较2015年水资源资产量增加了22.90亿m<sup>3</sup>,增加比例为25.52%,主要是由降水量的增加和用水量的减少导致的。

### 2.3.2 价值量账户

青海祁连山区的水资源价值波动较大,2011年、2015年和2017年分别为242.78亿、237.78亿、298.46亿元(表3)。从价值构成来看,降水量占绝大部分,是价值波动的主要原因;同时,用水量逐年减少以及经济社会用水回归量逐年增加,使得2017年水资源价值为历年最高。

### 2.3.3 核算结果可信度

在水资源资产核算方面,杨艳昭等<sup>[33]</sup>将水资源

表 3 青海祁连山区水资源资产账户

Table 3 Stock and value of the water resource assets in Qilianshan Mountains of Qinghai Province

水资源分类	实物量/亿m <sup>3</sup>			价值量/亿元		
	2011年	2015年	2017年	2011年	2015年	2017年
降水量	96.08	93.52	116.33	254.61	247.84	308.26
用水量	生活	0.40	0.42	0.52		
	工业	0.36	0.37	0.31		
	农业	5.33	4.20	3.83		
	人工生态环境补水	0.05	0.14	0.37		
	小计	6.15	5.14	5.02	16.29	13.62
经济社会用水回归量	1.68	1.35	1.25	4.46	3.57	3.31
合计	91.61	89.73	112.55	242.78	237.78	298.46

注: 水资源资产量=降水量-用水量+经济社会用水回归量。

资产分为水量资产、水域资产,并计算了水环境损害价值;王欣<sup>[34]</sup>将水资源资产负债表分为资产类和负债类 2 个部分,资产类仅核算水资源部分,并采用影子价格模型、承载力水价模型、供求定价模型、模糊数学模型、可计算一般均衡模型(CGE 模型)等方法测算水资源价值。本研究依据国家《自然资源资产负债表编制制度(试行)》,采用《全国水资源调查评价技术细则》中规定的水量平衡分析技术方法进行核算。但祁连山区各县非用水消耗量全口径数据缺乏监测统计,水资源存量、地表水出入境量等很难提供准确数据,部分收集到的数据也难以确定数据来源、数据测算方式等问题,多数县(区)没有建立地表水与地下水监测体系,地下水调查基本为空白。考虑到青海省有“中华水塔”之称,祁连山区是石羊河、黑河、疏勒河三大内陆河的水源地,水资源极为丰富,根据国家《自然资源资产负债表编制制度(试行)》建议——“水资源丰富地区的非用水消耗量可简化计算”,因此本研究采用“水资源资产量=降水量-用水量+经济社会用水回归量”进行简化处理,并采用各级水资源公报确保数据来源可靠性与连续性;同时,考虑到在完全市场条件下商品的影子价格等于市场价格,因此,本研究以青海省公布的水资源价格进行计算。

## 2.4 矿产资源资产账户

### 2.4.1 实物量账户

青海祁连山区矿产资源资产账户如表 4 所示。由表 4 可知,青海祁连山区能源矿产资产主要为煤矿,资源储量超 30 亿 t,且每年已探明储量还在不断增加。2011 年、2015 年和 2017 年煤矿资源资产分别为 34.29 亿、45.16 亿、45.98 亿 t。金属矿产主要为铁矿,2011 年、2015 年和 2017 年铁矿资源储量分

别为 4 500.12 万、21 065.08 万和 21 202.83 万 t。其次为硫铁矿,2011 年、2015 年和 2017 年硫铁矿资源储量分别为 1 494.80 万、1 038.07 万和 1 038.07 万 t。祁连山区铜矿、铅矿、锌矿 3 种金属矿产储量相对丰富,并有少量的钨矿、银矿和金矿(表 4)。非金属矿产资源资产中,化肥用蛇纹岩储量最多,约为 77.49 亿 t;其次为芒硝矿资源,约为 17.15 亿 t;电石用灰岩约为 12.94 亿 t;石膏矿资源 8.29 亿 t,水泥用石灰岩 3.93 亿 t,冶金用石英岩 0.78 亿 t,水泥用大理岩 0.42 亿 t,玻璃用石英岩 0.22 亿 t 等。

### 2.4.2 价值量账户

青海祁连山区的矿产资源价值变化较大,2011 年、2015 年和 2017 年分别为 384.99 亿、475.35 亿和 481.64 亿元,其中能源矿产(主要是煤矿)占比最高,2011—2015 年上升幅度达 31.72%,2015—2017 年上升幅度为 1.80%,这主要是因为煤炭已探明储量的不断增加导致的(表 4)。金属矿产资源中,2011—2015 年,铁矿资源资产价值从 2.34 亿元升至 10.95 亿元,上升幅度高达 367.95%;铜矿资源资产从 1.63 亿元升至 2.54 亿元,上升幅度为 55.83%;金矿资源资产从 3.06 亿元升至 3.63 亿元,上升幅度为 18.63%;银矿资源资产从 0.17 亿元升至 0.29 亿元,上升幅度为 70.58%。但硫铁矿资源资产价值从 0.36 亿元降至 0.25 亿元,下降幅度为 30.56%。2015—2017 年金属矿产资源资产变化幅度不大。非金属矿产资源中,2011—2015 年,冶金用石英岩、玻璃用石英岩均有不同程度上升;其中,冶金用石英岩增长幅度为 223.83%,玻璃用石英岩增长幅度为 178.33%。但水泥用石灰岩、水泥用大理岩、玉石等略有下降,下降幅度分别为 2.94%、15.58% 和 25.35%。2015—2017 年,玉石资源资产价值有明显提升,上涨幅度

表4 青海祁连山区矿产资源资产账户

Table 4 Stock and value of mineral resource assets in Qilianshan Mountains of Qinghai Province

矿产资源分类		实物量/亿t			价值量/亿元		
		2011年	2015年	2017年	2011年	2015年	2017年
能源矿产	煤矿	34.29	45.16	45.98	248.93	327.88	333.83
	铁矿	4 500.12 <sup>2)</sup>	21 065.08 <sup>2)</sup>	21 202.83 <sup>2)</sup>	2.34	10.95	11.03
金属矿产	铜矿	21.27 <sup>2)</sup>	33.01 <sup>2)</sup>	35.45 <sup>2)</sup>	1.63	2.54	2.72
	铅矿	13.65 <sup>2)</sup>	15.20 <sup>2)</sup>	17.51 <sup>2)</sup>	0.26	0.29	0.33
	锌矿	10.59 <sup>2)</sup>	11.32 <sup>2)</sup>	11.88 <sup>2)</sup>	0.22	0.24	0.25
	金矿	25.49 <sup>1)</sup>	30.25 <sup>1)</sup>	30.33 <sup>1)</sup>	3.06	3.63	3.64
	银矿	133.88 <sup>1)</sup>	231.58 <sup>1)</sup>	243.90 <sup>1)</sup>	0.17	0.29	0.31
	硫铁矿	1 494.80 <sup>2)</sup>	1 038.07 <sup>2)</sup>	1 038.07 <sup>2)</sup>	0.36	0.25	0.25
	非金属矿产	水泥用石灰岩	4.05	3.93	3.93	3.24	3.15
冶金用石英岩		0.24	0.78	0.78	0.45	1.47	1.47
建筑用砂		1 704.20 <sup>2)</sup>	1 704.20 <sup>2)</sup>	1 704.20 <sup>2)</sup>	0.19	0.19	0.19
芒硝矿资源		17.15	17.15	17.15	38.59	38.59	38.59
石膏矿资源		8.29	8.29	8.29	21.56	21.56	21.56
玻璃用石英岩		775.00	2 157.04	2 156.04	0.23	0.65	0.65
水泥用大理岩		0.53	0.43	0.42	0.42	0.34	0.33
化肥用蛇纹岩		77.49	77.49	77.49	46.49	46.49	46.49
玉石		1.12 <sup>2)</sup>	0.83 <sup>2)</sup>	1.29 <sup>2)</sup>	0.03	0.02	0.03
电石用灰岩		12.94	12.94	12.94	16.82	16.82	16.82
合计					384.99	475.35	481.64

1)数据单位为t; 2)数据单位为万吨; 3)数据单位为万m<sup>3</sup>。

为 54.99%; 水泥用石灰岩、冶金用石英岩、玻璃用石英岩、水泥用大理岩略有下降, 下降幅度不大(表 4)。

#### 2.4.3 核算结果可信用度

在矿产资源资产方面, 根据《中华人民共和国矿产资源法实施细则》所附《矿产资源分类细目》, 结合青海省矿产资源资产统计情况, 选取能源矿产(主要为煤矿)、金属矿产(包括铁、铜、铅、锌、银、金等重要金属)以及非金属矿产(包括水泥用石灰岩、冶金用石英岩、建筑用砂、芒硝矿资源、石膏矿资源、玻璃用石英岩、水泥用大理岩、化肥用蛇纹岩、玉石、电石用灰岩等)3类矿产资源进行统计与价值核算。学术界普遍认为, 矿产资源资产核算主要有净现值法、基准价核算2种方法<sup>[35]</sup>, 并在露天煤矿矿区采用直接法和间接法探索生态资产负债表编制研究<sup>[36]</sup>。借鉴已有研究, 仅对已探明矿产资源储量进行统计, 并采用青海省矿业权出让收益市场基准价(采矿权)对价值量进行测算, 所得结果对地方自然资源管理具有指导意义。但矿产资源作为全球性战略资源, 其价格受到资源进出口市场和供需格局影响, 具有空间差异性和时间波动性, 基于国家战略视角有待

深入研究。

#### 2.5 自然资源资产负债表总表

自然资源资产核算和资产负债表编制等概念提出较早, 但我国首次将自然资源资产和资源资产负债表作为一个整体提出, 这既是我国对自然资源有效管理的创新, 也是推动生态文明建设的重要实践<sup>[37]</sup>。笔者对土地资源、林木资源、水资源和矿产资源4个账户进行价值测算, 综合形成自然资源资产负债表(表 5)。从表 5 可看出, 2011年、2015年、2017年青海祁连山区自然资源资产总量分别为 91 672.31 亿、91 674.95 亿、91 698.19 亿元, 3个年度自然资源资产总量保持平稳。

本研究基于“总表—分类表—扩展表—底表”的编制逻辑, 形成了青海祁连山区 2011年、2015年、2017年自然资源资产负债表以及土地资源、林木资源、水资源、矿产资源资产账户, 受篇幅限制, 未展示扩展表、底表等相关表格。自 2015 年以来, 国内学者对自然资源资产负债表做了较多有益探索, 但在自然资源资产、自然资本、环境资产、生态资产以及存量与流量等表述上尚未达成一致<sup>[36,38]</sup>。对负债的界

表 5 青海祁连山区自然资源资产负债表

Table 5 Balance sheet of natural resources in Qilianshan Mountains of Qinghai Province

科目编码	资产类	2011年	2015年	2017年
101	土地资源资产	90 949.8	90 880.3	90 822.4
102	林木资源资产	94.74	81.52	95.69
103	水资源	242.78	237.78	298.46
104	矿产资源资产	384.99	475.35	481.64
合计		91 672.31	91 674.95	91 698.19

注:借鉴会计科目代码表,将资产类编码为“1”,后边两位数字代表行号。

定则争议更大,有学者认为自然资源只能作为一种资产进行提现,而不存在负债的部分<sup>[39]</sup>,然而多数学者认为负债是存在的,但对负债内涵和外延存在争议。本研究从减少分歧,为地方提供相对准确数据的角度出发,未编制资产负债项并计算净资产;但从资源资产负债表整体性考虑,在负债类、负债项等方面有待深入探讨,这也是该领域未来的重点研究方向。

在自然资源资产评估过程中,部分自然资源资产具有空间流动性、时间差异性和效应可变性等特点,导致其产权边界难以准确界定。如水具有流动性,产权界定和让渡难度极大<sup>[40]</sup>;水资源资产有时会伴生山洪、水污染等“负资产”,给水资源资产的确权带来一定的困难和挑战。本研究考虑到祁连山区水资源丰富及流动性的特征,在利用水量平衡计算水资源量的过程中,未计算河流的流入、流出问题;同时受限于现有数据的匮乏,未探讨水资源的负资产问题,未来应结合国家自然资源资产确权登记工作开展深入研究。另外,生态系统服务是否纳入自然资源资产负债表编制也是学术界争议的焦点,有学者主张宽口径核算,将生态价值纳入自然资源资产负债表编制体系<sup>[26-27,30-32]</sup>;也有学者建议窄口径核算,在核算过程中只考虑自然资源的经济价值,将生态系统服务等难以变现的价值排除在外。笔者认为生态系统服务是自然资源固有收益,是评估自然资源质量及负债的重要依据,也是开展自然资源有偿使用和生态保护补偿等制度制定的重要参考<sup>[41]</sup>。但生态系统服务具有较大的空间流动性,由此带来的产权主体及产权边界更加难以界定,这也是未来亟待解决的关键问题。

### 3 结论与建议

(1)按照“先实物量后价值量、先存量后流量、先分类后综合”的编制原则,采用数据资料结合遥感

解译的方法评估实物量,采用基准地价修正法、市场价格法、影子价格法经济学模型评估价值量。在此基础上,形成青海祁连山区“总表—分类表—扩展表—底表”的自然资源资产负债表报表体系,对摸清祁连山区自然资源资产本底、推动自然资源有效管理具有一定参考价值,也为我国自然资源资产负债表编制提供了案例。

(2)青海祁连山区自然资源资产稳中有增,2011年、2015年和2017年分别为91 672.31亿、91 674.95亿、91 698.19亿元,约为祁连山区生产总值总量(2017年为385.14亿元)的238倍。其中,土地资源资产占比99%以上,其次为矿产资源和水资源,林木资源资产占比最小。

自然资源资产核算是自然资源资产负债表编制、生态保护补偿、自然资源有偿使用制度的基础,但作为一项理论性强、技术性高的工作,自然资源资产核算在国内的研究和实践仍存在很大挑战。建议未来应加强经济学、生态学和资源学等多学科联合研究,进一步理顺自然资源资产负债表概念及内涵,推进研究框架与方法统一;运用现代网络技术、遥感技术、数据建模技术、大数据平台等先进技术,规范和统一自然资源资产核算数据来源;开展多层次、多角度、多方法的对比研究,并与国际研究接轨;加强科研与政策的结合,推动结果在地方政策决策中的应用。

### 参考文献

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发编制自然资源资产负债表试点方案的通知:国办发〔2015〕82号[A/OL]. (2015-11-08)[2022-05-01]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-11/17/content\\_10313.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-11/17/content_10313.htm).
- [2] 国家统计局. 自然资源资产负债表编制制度(试行)[A/OL]. [2022-05-01]. <https://www.baoshan.gov.cn/info/egovinfo/1001/zfxgkpt/zfxgkptzn-content/01525516-1-/2021-0303004.htm>.
- [3] 国土资源部,中央编办,财政部,等. 自然资源统一确权登记办法(试行)[A/OL]. (2016-12-24)[2022-05-01]. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/24/content\\_5152458.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/24/content_5152458.htm).
- [4] 新华社. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《领导干部自然资源资产离任审计规定(试行)》[J]. 交通财会, 2017(12): 61. Xinhua News Agency. The general office of the state council city issued the “regulations on auditing the outgoing of natural resources assets of leading cadres (trial)” [J]. Finance & Accounting for Communications, 2017(12): 61.
- [5] European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Cooperation and Development, et al. System of national accounts 2008[R/OL]. [2022-05-01]. <https://www.doc88.com/p-435722627246.html>.
- [6] European Commission, Food and Agriculture and Agriculture



- Organization, International Monetary Fund, et al. System of environmental-economic accounting central framework[R/OL]. [2022-11-01]. <https://www.doc88.com/p-6631747230117.html>.
- [ 7 ] NATIONS U. System of environmental-economic accounting 2012: experimental ecosystem accounting[M]. New York: United Nations, 2014.
- [ 8 ] 薛智超, 闫慧敏, 杨艳昭, 等. 自然资源资产负债表编制中土地资源核算体系设计与实证[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1725-1731.
- XUE Z C, YAN H M, YANG Y Z, et al. Design and empirical study of a land resource accounting system for natural resources asset balance-sheet compilation[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1725-1731.
- [ 9 ] 杨海龙, 杨艳昭, 封志明. 自然资源资产产权制度与自然资源资产负债表编制[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1732-1739.
- YANG H L, YANG Y Z, FENG Z M. The property rights system of natural resources assets and balance sheet of natural resources asset compilation[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1732-1739.
- [ 10 ] 宋晓谕, 陈玥, 闫慧敏, 等. 水资源资产负债表表式结构初探[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 899-907.
- SONG X Y, CHEN Y, YAN H M, et al. Initial research into an accounting framework for a water resource balance sheet[J]. Resources Science, 2018, 40(5): 899-907.
- [ 11 ] 闫慧敏, 杜文鹏, 封志明, 等. 自然资源资产负债的界定及其核算思路[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 888-898.
- YAN H M, DU W P, FENG Z M, et al. The definition and accounting approaches towards natural resource liabilities[J]. Resources Science, 2018, 40(5): 888-898.
- [ 12 ] 潘韬, 封志明, 刘玉洁, 等. 自然资源资产负债表编制中的负债核算方法与案例[J]. 国土资源科技管理, 2019, 36(2): 74-84.
- PAN T, FENG Z M, LIU Y J, et al. Liability accounting method and case in the preparation of natural resources balance sheet[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2019, 36(2): 74-84.
- [ 13 ] 封志明, 杨艳昭, 江东, 等. 自然资源资产负债表编制与资源环境承载力评价[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7140-7145.
- FENG Z M, YANG Y Z, JIANG D, et al. The compilation of natural resources balance sheets (NRBS) and the evaluation of resources and environment carrying capacity (RECC)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): 7140-7145.
- [ 14 ] 张婕, 刘玉洁, 潘韬, 等. 自然资源资产负债表编制中生态损益核算[J]. 自然资源学报, 2020, 35(4): 755-766.
- ZHANG J, LIU Y J, PAN T, et al. Ecological profit and loss accounting in the preparation of natural resources balance sheet[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(4): 755-766.
- [ 15 ] 刘尚睿, 耿建新, 吕晓敏. 自然资源资产核算与管理: 以A县土地资源核算实践为例[J]. 复旦学报(社会科学版), 2020, 62(6): 165-173.
- LIU S R, GENG J X, LÜ X M. Research on natural resources asset accounting and management: taking practice on land resource in County A as an example[J]. Fudan Journal (Social Sciences Edition), 2020, 62(6): 165-173.
- [ 16 ] 耿建新, 刘尚睿, 吕晓敏. 土地自然资源资产负债表与自然资源资产离任审计: 基于土地资源承载能力[J]. 财会月刊, 2018(18): 113-123.
- GENG J X, LIU S R, LÜ X M. Balance sheet of land resources and audit of natural resources assets leaving office: based on the carrying capacity of land resources[J]. Finance and Accounting Monthly, 2018(18): 113-123.
- [ 17 ] 耿建新, 吕晓敏, 刘尚睿. 基于资源环境承载能力的自然资源资产离任审计研究: 以我国林木资源为例[J]. 会计之友, 2019(24): 104-112.
- GENG J X, LÜ X M, LIU S R. Research on outgoing audit of resources and assets based on carrying capacity of resources and environment: taking China's forest resources as an example[J]. Friends of Accounting, 2019(24): 104-112.
- [ 18 ] 李志坚, 耿建新. 基于水供给视角的水资源资产负债表编制理论研究[J]. 北方民族大学学报(哲学社会科学版), 2018(5): 172-176.
- LI Z J, GENG J X. The theoretical research of the preparation of water resources balance sheet from the perspective of water supplies[J]. Journal of North Minzu University (Philosophy and Social Science), 2018(5): 172-176.
- [ 19 ] 耿建新, 吕晓敏, 石吉金, 等. 能源和矿产资源资产负债表编制及应用探讨[J]. 中国国土资源经济, 2019, 32(2): 4-14.
- GENG J X, LÜ X M, SHI J J, et al. Discussion on the compilation and application of energy and mineral resources balance sheet[J]. Natural Resource Economics of China, 2019, 32(2): 4-14.
- [ 20 ] 秦长海, 甘泓, 汪林, 等. 实物型水资源资产负债表表式设计[J]. 自然资源学报, 2017, 32(11): 1819-1831.
- QIN C H, GAN H, WANG L, et al. Designing the statement form of physical balance sheet of water resources[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(11): 1819-1831.
- [ 21 ] 刘彬, 甘泓, 贾玲, 等. 基于生态系统服务的水生态资产负债表研究[J]. 环境保护, 2018, 46(14): 18-23.
- LIU B, GAN H, JIA L, et al. Design of water ecological balance sheet framework based on ecosystem services[J]. Environmental Protection, 2018, 46(14): 18-23.
- [ 22 ] 王智晨, 张颖. 自然资源资产负债表编制研究: 以云南省景东县森林资源资产为例[J]. 中国国土资源经济, 2020, 33(3): 32-39.
- WANG Z C, ZHANG Y. Research on the compilation of balance sheet of natural resources: a case study of the forest resources assets of Jingdong County in Yunnan Province[J]. Natural Resource Economics of China, 2020, 33(3): 32-39.
- [ 23 ] 姚霖, 余振国. 矿产资源资产负债表中资产确认的多维理论思考[J]. 财会通讯, 2019(7): 11-14.
- YAO L, YU Z G. Multidimensional theoretical thinking on asset confirmation in mineral resources balance sheet[J]. Communication of Finance and Accounting, 2019(7): 11-14.
- [ 24 ] 国家统计局. 国家统计局关于印发《中国国民经济核算体系(2016)》的通知[A/OL]. (2017-08-23)[2022-06-20]. <http://www.>

- [stats.gov.cn/tjgz/tzgb/201708/t20170823\\_1527059.html](http://stats.gov.cn/tjgz/tzgb/201708/t20170823_1527059.html).
- [25] 闫慧敏, 封志明, 杨艳昭, 等. 湖州/安吉: 全国首张市/县自然资源资产负债表编制[J]. 资源科学, 2017, 39(9): 1634-1645.  
YAN H M, FENG Z M, YANG Y Z, et al. First report of the national natural resources balance sheet for Huzhou City and Anji County[J]. Resources Science, 2017, 39(9): 1634-1645.
- [26] 张玉红. 1986—2017年祁连山区草地退化及其驱动力分析[D]. 兰州: 西北师范大学, 2020.
- [27] 钟骁勇. 基于网格尺度的耕地资源资产价值核算及其时空变异规律研究: 以江西省为例[D]. 南昌: 江西财经大学, 2022.
- [28] 姜微. 森林资源和湿地资源资产负债表编制及应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [29] 闫慧敏, 封志明, 杨艳昭. 自然资源资产负债表编制案例研究[M]. 北京: 气象出版社, 2018.
- [30] 丁娜娜. 祁连山自然保护区森林资源资产价值评估研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [31] 张颖, 潘静, 杜乐山, 等. 县域自然资源资产负债表编制研究: 以景东彝族自治县为例[J]. 环境保护, 2017, 45(19): 49-55.  
ZHANG Y, PAN J, DU L S, et al. The natural resource balance sheet on Jingdong Yi Autonomous County as an example[J]. Environmental Protection, 2017, 45(19): 49-55.
- [32] 范小杉, 刘娇妹. 2000—2010年北京市森林资源资产存量变化评估与分析[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(5): 629-635.  
FAN X S, LIU J M. Accounting and analysis of stock assets change of forest resource in Beijing from 2000 to 2010[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2017, 7(5): 629-635.
- [33] 杨艳昭, 陈玥, 宋晓谕, 等. 湖州市水资源资产负债表编制实践[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 908-918.  
YANG Y Z, CHEN Y, SONG X Y, et al. Compilation of a water resource balance sheet for Huzhou City[J]. Resources Science, 2018, 40(5): 908-918.
- [34] 王欣. 我国水资源资产负债表的编制研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2019.
- [35] 李小慧, 刘国印, 郑玉慧, 等. 矿产资源资产价值核算方法研究[J]. 中国矿业, 2021, 30(11): 18-22.  
LI X H, LIU G Y, ZHENG Y H, et al. Research on accounting method of mineral resources assets value[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(11): 18-22.
- [36] 范小杉, 邢铁朋, 魏金发, 等. 露天煤矿矿区生态资产负债核算技术方案[J]. 环境科学研究, 2019, 32(5): 742-748.  
FAN X S, XING T P, WEI J F, et al. Technical solutions for eco-assets liabilities accounting in opencast coal mining area[J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(5): 742-748.
- [37] 智静, 乔琦, 张玥. 生态工业园区自然资源资产负债表编制的问题与思考[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(3): 295-300.  
ZHI J, QIAO Q, ZHANG Y. Problems and considerations on natural resources asset balance sheet of eco-industrial parks in China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2016, 6(3): 295-300.
- [38] 郭韦杉, 李国平, 王文涛. 自然资源资产核算: 概念辨析及核算框架设计[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 11-19.  
GUO W S, LI G P, WANG W T. Accounting for natural resource assets: concepts and accounting framework design[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(11): 11-19.
- [39] 耿建新, 胡天雨, 刘祝君. 我国国家资产负债表与自然资源资产负债表的编制与运用初探: 以SNA 2008和SEEA 2012为线索的分析[J]. 会计研究, 2015(1): 15-24.  
GENG J X, HU T Y, LIU Z J. The research on preparation and application of China's national balance sheet and natural resources balance sheet: an analysis based on SNA 2008 and SEEA 2012[J]. Accounting Research, 2015(1): 15-24.
- [40] 赖炼. 贵州省水资源产权交易存在问题及对策的探索研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [41] 秦昌波, 苏洁琼, 王倩, 等. “绿水青山就是金山银山”理论实践政策机制研究[J]. 环境科学研究, 2018, 31(6): 985-990.  
QIN C B, SU J Q, WANG Q, et al. Practice mechanism analysis of the theory of "lucid waters and lush mountains are invaluable assets"[J]. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(6): 985-990. ⊗