# 张家口市历史遗留废弃矿山现状及地质环境修复对策研究*

田彦清[1,2]，李博[3,4]

（1.中国五矿集团有限公司， 北京 100010；
2.中国地质大学（北京）工程技术学院， 北京 100083；
3.中国地质矿业有限公司， 北京 100029；
4.北京化工大学 经济管理学院， 北京 100029）

**摘要**：废弃矿山地质环境修复是协调矿产资源开发与生态保护的重要途径，也是深化生态文明建设的重要举措，对推进美丽中国建设、改善人居环境具有重要意义。为科学推进张家口市历史遗留废弃矿山修复与利用，以遥感监测为基础，结合资料收集与实地勘查，统计分析废弃矿山现状特征，识别主要问题，并依据区域实际，提出修复对策。结果表明：(1)截至2023年底，查明张家口市各地区待治理历史遗留废弃矿山475座，总面积约11.29 $km^2$；(2)长期粗放式的开采活动导致地形地貌景观破坏面积约6.855 2 $km^2$，造成显著视觉污染和局部生态退化；(3)大规模的废弃矿山普遍存在地形损毁、地质灾害、土地压占、水生态破坏、土壤植被严重受损等5类问题，已对矿区及周边地质地貌、土地和水资源、居民生产生活安全和生物多样性等造成严重影响；(4)建议遵循“顺应自然、系统修复，突出重点、因地制宜，创新机制、政策驱动”的原则，构建以生态修复、产业修复和价值修复为框架的废弃矿山综合交互修复模式，探索将地质环境修复与产业、经济发展相结合，以实现修复经济效益、生态效益和社会效益的叠加，为废弃矿山地质环境修复和推动我国绿色矿山建设提供参考。

**关键词**：历史遗留废弃矿山；地质环境修复；对策建议；待治理区

**中图分类号**：TD88；X171.4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005-2763(2026)01-0195-09

**Research on Status and Geological Environment Restoration Countermeasures of Historical Abandoned Mines in Zhangjiakou City**

*TIAN Yanqing*[1,2], *LI Bo*[3,4]

(1.China Minmetals Corporation, Beijing 100010, China;
2.School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
3.China National Geological and Mining Corporation, Beijing 100029, China;
4.School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract**: The restoration of the geological environment in abandoned mines is an important approach to resolving the contradiction between mineral resource development and ecological protection, and it is also a significant measure to implement the deepening of the ecological civilization system reform. It plays a crucial role in building a beautiful China and improving the living and production environment and standards of the people. To better restore and utilize the historical abandoned mines in Zhangjiakou City, based on remote sensing monitoring, through methods such as data collection and on-site investigation, the current situation and characteristics of abandoned mines were statistically analyzed, common problems were summarized, and countermeasures and suggestions for geological environment restoration were proposed in combination with the local characteristics and conditions of the abandoned mines. The results are concluded as follows. Firstly, by the end of 2023, the identified un-restored historical abandoned mines is 475 in various regions of Zhangjiakou City, covering an area of approximately 11.29 square kilometers. Secondly, due to the long-term extensive mining activities, about 685.52 square kilometers of terrain and landscape have been damaged, causing severe visual pollution and local ecological environment damage. Thirdly, large-scale abandoned mine areas generally have five types of problems, including terrain damage, geological disasters, land occupation, water ecological destruction and serious damage to soil vegetation. These problems have caused

* **收稿日期**：2025-10-23
**作者简介**：田彦清(1985—)，男，陕西宝鸡人，博士研究生，高级工程师，研究方向为矿山生态修复及安全管理。E-mail：tianyanqing@hotmail.com

relatively serious impacts on the geological and geomorphological conditions, land and water resources, the safety of residents' production and life, and biodiversity in the mining areas and their surroundings. Finally, it is suggested to plan the work based on the working concept of "conforming to nature, systematic restoration, highlighting key points, adapting to local conditions, innovating mechanisms, and policy-driven", and an integrated interactive restoration model for abandoned mines with ecological restoration, industrial restoration, and value restoration as the framework has been proposed. The combination of geological environment restoration with industry and economic development will be explored to achieve the superimposed effects of economic, ecological, and social benefits, providing a reference for the restoration of the geological environment in abandoned mines and the promotion of green mine construction in China.

**Key words**: Historical abandoned mine, Geological environment restoration, Countermeasure and suggestion, Un-restored area

## 0 引言

历史遗留废弃矿山地质环境修复治理作为响应社会主义生态文明建设的关键措施,旨在解决矿产资源开发后遗留的环境问题,消除地质隐患,恢复受损的自然生态系统。近年来,国家自然资源部通过梳理废弃矿山分布、分析地质环境突出问题等方式核查全国历史遗留废弃矿山,为推动废弃矿山修复治理提供有效支撑和决策参考。摸清历史遗留废弃矿山底数,加快推进其生态修复已成为当前国土空间生态保护修复工作的热点和难点[1]。张进德等[2]以全国 14 座不同生态区域废弃矿山为研究对象,在分析废弃矿山对环境和生态系统产生相关影响的基础上,提出不同修复对策。杨金中等[3]运用遥感监测方法,统计分析了 2019 年我国在建矿山和废弃矿山损毁土地情况。李海兵等[4]基于湖南省矿山地质环境调查评价与历史遗留矿山核查成果,分析了矿山现状和特征,并探讨了修复障碍因子、思路和对策。赵晗旭等[5]系统探讨了废弃矿山修复技术的理论基础、分类特点、实践运用和存在的问题。文婷等[6]、卿艳彬等[7],梳理分析了湖南省湘乡市和郴州市矿山地质环境问题类型和分布特征,总结了修复措施和技术方法。乔雪园等[8]梳理总结了长江经济带各省市矿山生态治理的实施成效与问题。然而,现有研究大多侧重于区域具体地质环境问题与措施的总结[9],关于废弃矿山地质环境修复模式的选择与综合交互分析仍较为缺乏,且较少涉及地质环境修复与区域产业发展、修复价值融合的探讨与应用。

张家口市位于河北省西北部,紧邻北京,处于北方防沙带的关键区域,与首都属同一自然生态系统,肩负着为京津地区筑生态、防沙源、保水源的使命,在保障京津冀区域水资源和生态环境安全方面发挥着不可替代的作用。然而,早期粗放式的矿产资源开发遗留的地质环境问题,不仅严重影响了区域生态,也对区域经济发展和营商环境形成了一定制约。因此,加快梳理历史遗留废弃矿山现状,推动地质环境修复治理,既是以高品质生态环境支撑高质量发展的现实需要,也是不断增进人民群众生态环境福祉的重要保障。本文以废弃矿山地质环境修复治理为出发点,在资料收集和实地勘查的基础上,统计分析了张家口市历史遗留废弃矿山现状、特征及存在的突出共性问题,并结合当地实际情况,提出修复工作思路和对策建议。

## 1 历史遗留废弃矿山现状

### 1.1 矿山开采历史

张家口市矿产资源丰富,已探明资源储量的矿产有 33 种,矿产地 158 处,以小型矿山为主。据统计,截至 2015 年底,张家口市共有矿山 1 378 座,其中有责任主体矿山 606 座,责任主体灭失的矿山 772 座。这些责任主体灭失的矿山均为小型矿山,在 20 世纪 70 至 90 年代以露天方式开采,并于 2000 年后陆续关停。受当时矿山建设规划科学性不足、开采技术落后、法律法规不健全、环境保护管理机制不完善及环境保护意识淡薄等多重因素影响,上述矿山遗留了一系列地质环境问题。近年来,随着国家和河北省在生态环境保护、矿山复绿等领域一系列政策文件的出台和施行,张家口市通过取缔关停、引导退出、结构调整与转型、修复整治等多项举措,完成了一大批规模小、露天、对生态环境影响严重的废弃矿山地质环境修复治理工作,基本扭转了原有废弃矿山小而散、地质环境持续恶化的局面。截至 2023 年底,张家口市仍有 475 座历史遗留废弃矿山待修复治理,矿山地质环境修复任务依然艰巨。

### 1.2 废弃矿山分布和面积情况

基于遥感监测,并结合资料收集、实地勘查等多种核查方法,查明张家口市各县区待治理的历史遗留废弃矿山图斑面积约 11.57 $km^2$。同时发现部分图斑范围内存在自然复绿效果较好的区域或被林业部门纳入植树造林的地块,经与相关行政管理部门核实,剔除上述已自然或人工改善的区域后,实际待治理的历史遗留废弃矿山面积约 11.29 $km^2$,统计情况见表 1。由表 1 可知,待治理的废弃矿山主要集中在宣化区和阳原县。其中,宣化区的图斑数量最多,达 203 个;阳原县的图斑面积和待治理面积均较大,分别为 6.47 $km^2$ 和 6.44 $km^2$。

**表 1 张家口市各地区废弃矿山分布和面积统计**

**Table 1 Distribution and area statistics of abandoned mines in various regions of Zhangjiakou city**

| 区域 | 图斑数量/个 | 图斑面积/$km^2$ | 待治理面积/$km^2$ |
|---|---|---|---|
| 桥东区 | 2 | 0.09 | 0.09 |
| 宣化区 | 203 | 3.28 | 2.36 |
| 怀安区 | 20 | 0.35 | 1.05 |
| 赤城县 | 68 | 0.90 | 0.90 |
| 康保县 | 9 | 0.07 | 0.07 |
| 涿鹿县 | 7 | 0.13 | 0.12 |
| 蔚县 | 18 | 0.28 | 0.26 |
| 阳原县 | 148 | 6.47 | 6.44 |
| 合计 | 475 | 11.57 | 11.29 |

### 1.3 废弃矿山类型和矿种

根据开采历史和实地勘查的破坏情况,475 处历史遗留废弃矿山规模类型均为小型矿山。按规模划分,0.2 $km^2$ 以上的废弃矿山有 8 座、0.04～0.2 $km^2$ 之间的有 378 座、小于 0.04 $km^2$ 的有 89 座;其开采方式均为露天开采。矿种分布如图 1 所示,主要以铁矿、建筑用石料和膨润土矿为主,分别为 206 处、98 处和 75 处,约占总数的 80%。

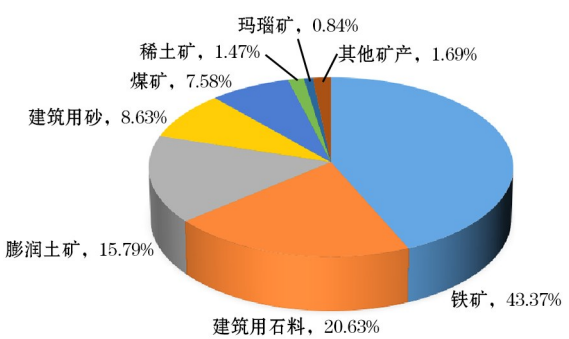



**图 1 历史遗留废弃矿山矿种统计**

**Fig.1 Statistics of mineral types in historical abandoned mines**

### 1.4 废弃矿山地质环境现状特征

张家口市历史遗留废弃矿山的地质环境现状主要表现为采场边坡、开采平台与工业场地、渣堆、残山及采坑等类型,具体特征如下。

(1) 采场边坡及危岩现状。采场边坡共 813 处,边坡破坏面积 2.401 8 $km^2$,以岩质边坡为主,长度在 3～554 m 之间,高差 2～105 m,坡度介于 23°～90°之间,坡面普遍存在危石危岩,形态以弧状居多,起伏较大,具体特征详见表 2。

**表 2 采场边坡特征统计**

**Table 2 Statistics on slope characteristics of the stopes**

| 区域 | 采场边坡数量/处 | 边坡面积/$km^2$ | 长度/m | 高差/m | 坡度/(°) |
|---|---|---|---|---|---|
| 桥东区 | 16 | 0.024 0 | 28～150 | 3～20 | 40～73 |
| 宣化区 | 397 | 0.799 0 | 3～236 | 4～86 | 33～85 |
| 怀安区 | 57 | 0.079 0 | 20～554 | 5～38 | 29～87 |
| 赤城县 | 76 | 0.216 8 | 11～395 | 2.5～100 | 23～90 |
| 康保县 | 11 | 0.009 1 | 21～123 | 2～21 | 25～85 |
| 涿鹿县 | 16 | 0.015 7 | 5～159 | 3～67 | 54～81 |
| 蔚县 | 8 | 0.002 1 | 58～167 | 4.8～36 | 44～63 |
| 阳原县 | 232 | 1.256 1 | 4～225 | 2～105 | 36～84 |
| 合计 | 813 | 2.401 8 | — | — | — |

(2) 开采平台及工业场地现状。开采平台和工业场地共 1 044 处,破坏面积 3.238 6 $km^2$。地形平缓,坡度普遍小于 15°,长度 3～348 m,宽度 1.5～146 m,具体特征见表 3。

**表 3 开采平台及工业场地特征统计**

**Table 3 Statistics on mining platform and industrial site characteristics**

| 区域 | 开采平台及工业场地数量/处 | 破坏面积/$km^2$ | 长度/m | 宽度/m |
|---|---|---|---|---|
| 桥东区 | 28 | 0.057 5 | 5.5～140 | 3～115 |
| 宣化区 | 283 | 1.087 3 | 3～315 | 2～94 |
| 怀安区 | 163 | 0.297 6 | 7～325 | 1.5～143 |
| 赤城县 | 102 | 0.177 6 | 12.17～348 | 4～146 |
| 康保县 | 17 | 0.026 9 | 10～168 | 8.2～47 |
| 涿鹿县 | 21 | 0.031 2 | 6～152 | 6.5～135 |
| 蔚县 | 48 | 0.182 1 | 13～198 | 7～83 |
| 阳原县 | 382 | 1.378 4 | 4.5～321 | 3～89 |
| 合计 | 1 044 | 3.238 6 | — | — |

(3) 渣堆现状。渣堆共 557 处,压占面积 2.640 3 $km^2$,堆积体积约 231.1 万$m^3$。渣堆长度 3～470 m,宽度 1.5～171 m,高度 0.3～126 m。渣堆均为弃渣石堆积而成,现状较为稳定,坡度普遍在 21°～35°,渣石粒径大小不一,分选性差。

表 4 渣堆特征统计

Table 4 Statistics on waste dump characteristics

| 区域 | 渣堆数量/处 | 渣堆面积/km² | 渣堆体积/m³ | 长度/m | 宽度/m | 高度/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 桥东区 | 5 | 0.003 6 | 3 426.50 | 5.5～140 | 3～115 | 1～6 |
| 宣化区 | 134 | 0.186 2 | 635 297.34 | 3～315 | 2～94 | 0.5～103 |
| 怀安区 | 144 | 0.172 3 | 574 378.80 | 7～325 | 1.5～143 | 0.3～126 |
| 赤城县 | 39 | 0.057 7 | 192 496.00 | 12.17～348 | 4～146 | 3～109 |
| 康保县 | 17 | 0.008 3 | 27 812.80 | 10～168 | 8.2～47 | 1.5～21 |
| 涿鹿县 | 21 | 0.021 0 | 8 423.54 | 6～152 | 6.5～135 | 2～35 |
| 蔚县 | 35 | 0.035 2 | 117 493.30 | 13～198 | 7～83 | 0.7～4.8 |
| 阳原县 | 162 | 2.156 0 | 751 685.69 | 4.5～321 | 3～89 | 1.2～114 |
| 合计 | 557 | 2.640 3 | 2 311 013.97 | — | — | — |

(4) 渣坡现状。渣坡共 803 处,压占面积 1.813 1 km³,长度 5～600 m,高差 1～94 m,坡度 14°～71°,具体特征见表 5。渣坡均位于矿区附近山坡上,由弃渣石沿山坡倾倒形成,表面无植被或有少量植被覆盖,现状稳定,规模不等。渣石粒径大小不一,通常呈现上部较大、下部较小的明显分选规律。

表 5 渣坡特征统计

Table 5 Statistics on waste slope characteristics

| 区域 | 渣坡数量/处 | 压占面积/km² | 长度/m | 高差/m | 坡度/(°) |
|---|---|---|---|---|---|
| 桥东区 | 21 | 0.043 8 | 13～230 | 1～26 | 20～35 |
| 宣化区 | 274 | 0.612 9 | 6～356 | 1.5～94 | 18～63 |
| 怀安区 | 84 | 0.203 3 | 7～429 | 3～56 | 14～57 |
| 赤城县 | 80 | 0.197 0 | 12.2～153 | 2～59 | 15～49 |
| 康保县 | 7 | 0.007 8 | 20～110 | 5.5～11.2 | 29～35 |
| 涿鹿县 | 13 | 0.011 5 | 11～75 | 4～67 | 15～44 |
| 蔚县 | 23 | 0.048 9 | 21～269 | 3.5～54 | 22～71 |
| 阳原县 | 301 | 0.687 9 | 5～600 | 3.5～84 | 16～68 |
| 合计 | 803 | 1.813 1 | — | — | — |

(5) 残山现状。残山共 69 处,压占面积 0.066 7 km²,长度 8～124 m,宽度 3～116 m,高度 3～40 m,具体特征见表 6。采掘形成的孤立独山,四周围绕着开采平台或采矿道路,侧壁和顶部没有或少量残留原始植被。

表 6 残山特征统计

Table 6 Statistics on residual mountain characteristics

| 区域 | 残山数量/处 | 压占面积/km² | 长度/m | 宽度/m | 高差/m |
|---|---|---|---|---|---|
| 桥东区 | 1 | 0.001 7 | 60 | 25 | 6 |
| 宣化区 | 16 | 0.012 6 | 8～121 | 8～68 | 3～26 |
| 怀安区 | 22 | 0.019 8 | 12～116 | 9～62 | 3～10 |
| 赤城县 | 5 | 0.009 2 | 23～124 | 17～54 | 5～40 |
| 涿鹿县 | 2 | 0.002 1 | 9～16 | 3～9 | 3～7 |
| 阳原县 | 23 | 0.021 3 | 12～124 | 7～116 | 3.5～29 |
| 合计 | 69 | 0.066 7 | — | — | — |

(6) 采坑现状。采坑共 310 处,破坏面积 1.123 5 km²,长度 5～541 m,宽度 2～303 m,高差 2～71 m,具体特征见表 7。由平地或者缓坡向下采掘形成的深坑,均有明显底部,三至四面侧壁陡立,坡度普遍在 60°～90°之间。

表 7 采坑特征统计

Table 7 Statistics on mining pit characteristics

| 区域 | 采坑数量/处 | 破坏面积/km² | 长度/m | 宽度/m | 高差/m |
|---|---|---|---|---|---|
| 桥东区 | 1 | 0.000 8 | 75 | 20 | 12 |
| 宣化区 | 106 | 0.452 1 | 5～361 | 2～261 | 3～62 |
| 怀安区 | 36 | 0.128 7 | 26～254 | 9～138 | 2～31 |
| 赤城县 | 26 | 0.040 4 | 21.8～541 | 8～303 | 2～71 |
| 安保县 | 2 | 0.000 8 | 21～41 | 8～15 | 3.5～11 |
| 涿鹿县 | 9 | 0.068 4 | 7～62 | 6～46 | 4～31 |
| 蔚县 | 12 | 0.086 6 | 24～270 | 14～128 | 7～22 |
| 阳原县 | 118 | 0.345 7 | 6～419 | 3～183 | 3～54 |
| 合计 | 310 | 1.123 5 | — | — | — |

## 2 历史遗留废弃矿山存在的地质环境问题

### 2.1 地形地貌景观破坏严重且不可逆

在二十世纪七八十年代“放开、搞活、管好”的矿产资源开发总方针指引下,国家、集体、个人全面开采,导致乱挖滥采现象普遍,不仅造成矿产资源破坏和浪费,还严重损坏了矿区的地质环境[1]。长期的矿山开采活动改变了原有地形地貌,使原本自然形成的浑圆山体变得岩壁裸露、残山林立,植被遭受破坏。这种损伤的恢复难度极大,甚至不可逆转,和周边的原始地貌形成强烈反差,同周边植被生长茂盛的山区绿色生态环境极不协调。开采活动共形成采场边坡 813 处、开采平台和工业场地 1 044 处、渣堆 557 处、渣坡 803 处、残山 69 处、采坑 310 处,破坏地形地貌景观面积共 6.855 2 km²,造成了严重的视觉污染和局部生态环境破坏。

### 2.2 地质灾害隐患普遍存在

813处采场边坡普遍存在危岩或危岩带(见图2),坡面节理裂隙发育,岩体呈中至强风化,岩体切割较为强烈,局部呈大块状或碎裂状,遇振动、降水等外力作用极易形成崩塌地质灾害。据统计,崩塌地质灾害隐患共145处,多为高陡边坡之上的危岩或危岩带,隐患规模介于0.6～260 $m^3$,风险较大,对附近村庄、公路等构成不稳定威胁,直接影响到当地居民生产生活安全。

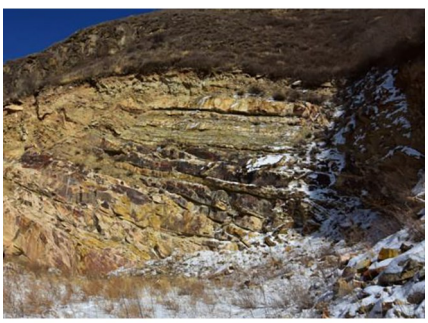


图2 开采造成的边坡危岩

Fig.2 Dangerous rocks on slopes caused by mining

### 2.3 土地资源挖损压占现象突出

矿山开采形成的采坑、渣堆和渣坡改变了原有地形地貌,挖损土壤,占压土地植被资源。根据调查数据核实,历史遗留废弃矿山主要挖损和占压的土地类型为林地、草地和其他地类(见表8),造成矿山土地资源严重浪费,并引发水土流失加剧,地表植被损毁等生态环境问题。

表8 废弃矿山土地类型统计

Table 8 Statistics on land types of abandoned mines

| 土地类型 | | 面积/$km^2$ |
|---|---|---|
| 林地 | 乔木林地 | 0.332 7 |
| | 灌木林地 | 1.192 3 |
| | 其他林地 | 3.371 1 |
| 草地 | 其他草地 | 5.481 1 |
| 其他地类 | 裸土地 | 0.064 0 |
| | 旱地 | 0.490 2 |
| | 其他 | 0.360 6 |
| 合计 | | 11.292 0 |

### 2.4 水资源水生态破坏显著

矿山开采对水资源的破坏主要表现为:采矿作业和废渣堆积破坏河道,降低地表产水能力;采矿活动揭穿含水层,破坏地下水系统,对区域水资源安全保障能力造成严重影响。同时,矿山开采破坏地表植被,使土地保水能力显著下降,坡面冲刷加剧,水土流失进一步恶化(见图3),直接影响了区域水源涵养能力。此外,矿山开采导致水资源量衰减,威胁供水安全,给当地居民的生产生活带来不利影响。



图3 开采造成的地表水流失

Fig.3 Surface water loss caused by mining

### 2.5 土壤植被严重受损

采矿过程中大范围的土石剥离、搬运及矿渣堆积物等,加速或扩大了自然因素引发的土体侵蚀和流失,破坏原有土壤结构,加剧土壤退化。矿山还开采大幅改变原有地形地貌,破坏地表植被,致使区域内植被覆盖度明显降低,阻断了自然生态演替过程,加之生态条件脆弱,植被恢复困难。废弃矿山约有11.284 $km^2$ 土地基岩裸露,缺乏植被覆盖,形成了潜在风沙源,严重影响当地的空气质量。这些活动还破坏了动植物栖息环境,导致生物多样性下降,进一步加剧了张家口地区生态环境的脆弱性,对其作为首都"两区"生态安全屏障的功能发挥产生不利影响。

## 3 地质环境修复对策建议

### 3.1 修复工作思路

(1)顺应自然、系统修复。针对历史遗留废弃矿山生态环境破坏问题,坚持尊重自然、顺应自然、保护自然的原则,遵循"生态优先、统筹兼顾、分区治理、一矿一策"的修复理念,并充分考虑区域生态特征和条件,合理确定生态修复目标,制定符合自然规律的地质环境修复措施[10]。坚持问题和目标导向相结合,以彻底消除地质灾害风险隐患为首要任务,以全面恢复生态系统功能为核心目标,兼顾整合地形地貌、区域环境特征等要素,划定并构建"坝上西北部生态屏障区—洋河生态廊道—桑干河和白河水源涵养区"的生态修复工程分区体系。坚持生态修复与环境保护相结合,发挥综合修复效应,推动生态系统自我调节能力的恢复;注重地质环境修复的整体性、系统性、协同性、关联性,因势利导实施修复与保护。

(2) 突出重点、因地制宜。按照生态功能重要性,科学规划修复区域布局,并统筹推进拓展区域的协同治理。针对区域地质环境存在的突出问题,因地制宜、因矿施策,有计划、有重点、分阶段、分层次推进。以加快建设首都水源涵养功能区和生态环境支撑区为核心目标,以废弃矿山连片集中区、地质安全隐患突出区、生态功能脆弱区为整治重点区域,统筹人工修复与自然修复,实施差异化地貌整理与形态重塑、景观融合与空间重构、生态保护与功能重建,有效推进张家口首都"两区"生态环境质量,提升水源涵养区关键节点的生态功能,筑牢生态屏障,保障水资源和生态环境安全[11]。

(3) 创新机制、政策驱动。建立废弃矿山地质环境系统修复的策划组织、工程实施、管理考核、效益评估、奖惩问责等全周期业务管理体系,构建权责明确、系统推进、运行高效的工作机制,切实提升废弃矿山修复实施效率。注重废弃矿山修复产业链延伸,通过固废资源化利用、培育生态产品并推动品牌化、联动开发旅游资源等方式,助力属地向绿色经济转型,实现生态效益、经济效益和社会效益协同提升。倡导由政府牵头,整合财政相关资金向治理区域倾斜,出台和推动落实相关政策鼓励社会资源和资本积极参与,形成"政府主导、政策扶持、社会参与"的多元化筹资机制,确保治理区域地质环境修复工作有序推进[1,12]。

### 3.2 修复模式建议

随着国家生态保护修复治理不断深入,矿山修复相关政策要求持续完善和强化(见表 9),推动历史遗留废弃矿山地质环境修复模式日趋多样化、系统化。截至 2023 年底,我国累计完成修复治理历史遗留废弃矿山面积超过 3 200 $km^2$,湖北、宁夏、安徽等 23 个省(自治区、直辖市)出台相关治理意见,探索资源导向型可持续发展模式;江西望仙谷废弃矿区、湖北灵山矿区等将生态修复与旅游相结合,宁夏镇北堡废弃矿山区实施矿业转型发展与矿坑生态修复、农林产业开发协同发展,湖南湘江新区在废弃矿山上空建设悬浮主题乐园等,多种废弃矿山修复治理新模式在实践中持续探索和改进创新[13]。统筹考虑张家口市历史遗留废弃矿山现状和相关政策要求,可采取废弃矿山综合交互修复模式,如图 4 所示,将地质环境修复与产业、经济发展相结合,在植被覆盖率、土地复垦率、水土保持、净化环境、碳固存、物种群落维持和气候调节等方面取得了显著生态效益;在土地合理利用、农林产品生产、碳排放交易等方面实现了经济效益;同时通过产业联动和地质环境修复与改善,在群众满意度、增加就业率、人才培养、人口流入等方面体现了社会效益。该模式还能带动上下游产业联动收益、提升环境美学价值、增强公众环保意识,形成协同增效、循环经济的可持续发展路径,最大程度提升资源利用价值,构建良性发展循环[14-16]。

**表 9 矿山修复治理相关政策和制度**

**Table 9 Policies and regulations related to mine restoration and management**

| 时间 | 发布机构 | 政策/制度 | 相关要求 |
|---|---|---|---|
| 2016 年 7 月 | 国土资源部、工业和信息化部、财政部、环境保护部、国家能源局 | 《关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见》 | 创新尾矿残留矿再开发、矿山废弃地复垦利用、集体土地流转利用等政策,探索矿山治理与地产开发、旅游、养老疗养、养殖、种植等产业的融合发展。 |
| 2019 年 12 月 | 自然资源部 | 《关于探索利用市场化方式推进矿山生态修复的意见》 | 地方政府组织实施的历史遗留露天开采类矿山的修复,因削坡减荷、消除地质灾害隐患等修复工程新产生的土石料及原地遗留的土石料,可以无偿用于本修复工程;确有剩余的,可对外进行销售。 |
| 2021 年 10 月 | 国务院办公厅 | 《关于鼓励和支持社会资本参与生态保护修复的意见》 | 进一步拓展了社会资本参与生态修复类项目的范畴,由"矿山生态修复专项"拓展至整个生态建设领域,探索发展生态产业。 |
| 2024 年 3 月 | 自然资源部办公厅 | 《关于严守土石料利用政策底线进一步完善矿山生态修复激励措施的通知》 | 对矿山生态修复项目性质进行了明确界定,对生态修复与开发建设管理项目的边界进行明确的划分,进一步将矿山生态修复过程中土石料利用及土地利用结构调整等要求进行了明确。 |
| 2024 年 7 月 | 中共中央、国务院 | 《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》 | 加快经济社会发展全面绿色转型,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,全面推进美丽中国建设,加快推进人与自然和谐共生的现代化。 |
| 2024 年 8 月 | 自然资源部、国家发展改革委、财政部、国家林业和草原局 | 《关于学习运用习近平生态文明思想"厦门实践"经验 深入推进新时期生态保护修复工作的意见》 | 提出建立健全源头保护和全过程修复治理相结合的工作机制,全方位、全地域、全过程、全要素统筹推进生态保护修复,提升生态系统多样性、稳定性、持续性;积极倡导"生态修复+生态产业"融合发展,建立健全生态产品价值实现机制;持续提升自然资源生态产品供给能力,形成一系列可复制、可推广的典型模式。 |

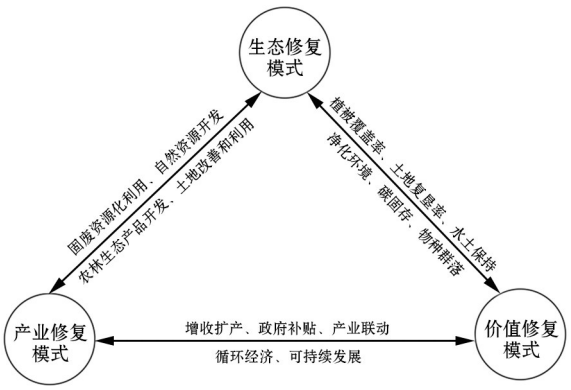



**图 4 废弃矿山综合交互修复模式**

**Fig.4 Comprehensive interactive restoration model for abandoned mines**

3.2.1 生态修复模式

(1) 修复技术。在优化传统废弃矿山地质环境修复技术的基础上,坚持“对症施策”,采用危岩清理、削坡减荷、场地平整等方式对不稳定的采场边坡、平台、渣堆等区域开展治理,同时根据边坡角度、岩体完整度系数、边坡朝向与结构面密度等因素,选取客土覆土、土壤改良、边坡和平台绿化、截排水、后期管护等适宜的技术手段进行复绿治理,并通过挂网喷播、生态袋等新技术、新方法、新措施,配套水土保持工程,优化集成示范地质环境修复技术体系,恢复生态植被和景观,达到改善和恢复矿区及周边生态环境,实现区域“绿水青山”和“金山银山”协调发展[17-18]。

(2) 区域策略。在坝上高原生态修复区,立足北方防沙带,以防风固沙与林草湖湿系统修复为导向,重点提高林草覆盖率和强化风沙源治理,既实施矿山环境治理修复,又改善区域自然生态环境,还恢复了区域内生态绿色空间;在盆地生态修复区,立足核心城区生态屏障,以水土保持和水生态修复为导向,大力实施水土流失治理工程,探索水源涵养与水土流失综合防治措施,提高河湖水系的连通性,推进矿山地质环境保护与修复,改善矿山生态环境质量,增强生物多样性的保护保育,提升区域水源涵养和生态环境支撑功能,保障核心城区水源安全。

3.2.2 产业修复模式

(1) 固废资源化利用。结合实际情况,在项目治理过程中会产生大量废弃土石料,可优先用于项目自身的地质环境治理,也可用于属地其他废弃矿山的地质环境修复。比如,废弃土石料可用于路基铺设、边坡固定用料等,既节约项目建造成本,也便于运输和资源再利用。同时,富余的废弃土石料可经政府公共资源交易平台进行销售,增加产业收入,形成一定的经济效益。

(2) 土地改善和利用。通过地质环境修复,项目治理后将产生一定量的新增耕地和新增建设用地,通过土地利用将全面带动相关产业链共同协调发展。

(3) 旅游产业开发。项目治理区域位于首都主要水源上游,与京张体育文化旅游带紧密链接,部分修复矿山位于京津冀间主要航线、高速铁路、公路、旅游路线,可借助京张体育文化旅游带建设的重要契机,挖掘冬奥潜在价值,打造高品质旅游风景带、京津冀户外旅游胜地,持续提升后冬奥时期绿色发展能力。同时,推动区域文化旅游与周边农林产业互促共融,通过京张体育文化旅游、农家果蔬采摘、复垦土地果树“云认养”等方式,高效带动旅游产业发展和美丽乡村建设。

3.2.3 价值修复模式

(1) 安全价值。修复治理可有效消除矿山内崩塌、危岩等地质灾害隐患,使得受损山体得到全面治理和面貌改善,既消除安全隐患,又提升自然景观形象。

(2) 生态价值。通过重建矿山植被,有效增加绿化面积,减少岩石裸露,从根源上控制空气污染,增加地下水涵养,改善区域土壤环境,从而促进区域环境良性发展,具有良好的、长远的环境生态效益[19-21]。同时,项目位于坝上高原生态修复区,兼顾防沙带防风固沙、水土保持及冀西北间山盆地与水源涵养功能,有助于提升生物多样性保护能力,保障首都水源安全。

(3) 实践价值。积累行之有效的废弃矿山地质环境修复理念和方案,探索应用 EPC(工程总承包)、PPP(政府和社会资本合作)、EOD(生态环境导向的开发)等模式开展修复工程、优化项目管理,提高实施效率和质量。通过整治矿容矿貌,加大防尘、降噪、治污力度,实施扬尘、噪声、废水动态监测,有效防范矿山修复区域环境风险。将矿山地质环境修复与国土空间规划、乡村振兴规划等相衔接,统筹推进矿山地质灾害防治、环境调查与治理、工矿废弃地生态复垦与开发利用,为生态文明建设提供可复制的治理经验与实践模板。

## 4 结论

(1) 张家口市现存待治理历史遗留废弃矿山

475处,面积约11.29 $km^2$,遍布全市8个区县。其中,宣化区图斑数量最多,达203个;阳原县图斑面积和待治理面积较大,分别为6.47 $km^2$和6.44 $km^2$;废弃矿山规模类型均为小型露天开采矿山;废弃矿山矿种主要以铁矿、建筑用石料和膨润土矿为主,约占总矿种数量的80%。

(2)由于多矿种、多期开采活动在时空上高度叠加、复杂交错,形成了目前历史遗留废弃矿山地质环境的复合性问题,主要包括地形地貌景观破坏严重且不可逆、地质灾害隐患普遍存在、土地资源挖损压占现象突出、水资源水生态破坏显著、土壤植被严重受损5类问题。其中,地形地貌景观破坏严重且不可逆、地质灾害隐患和土地资源挖损压占3类问题最为普遍和突出。

(3)在充分考虑待治理区域生态特征和条件的基础上,遵循"生态优先、统筹兼顾、分区治理、一矿一策"的修复理念,在收集资料、现场调研、生态问题识别的基础上,建议从"顺应自然、系统修复,突出重点、因地制宜,创新机制、政策驱动"的角度考虑,科学制定地质环境修复方案,并提出废弃矿山综合交互修复模式,可实现经济效益、生态效益、社会效益的叠加,既符合国家生态文明建设中矿山循环发展要求,也能从根本上实现矿山地质环境的保护与修复。

**参考文献**(References):


[1] 杨金中,姚维岭,陈栋,等.历史遗留矿山核查方法研究[J].自然资源遥感,2022,34(3):10-16.
YANG Jinzhong, YAO Weiling, CHEN Dong, et al. A method for determining historically abandoned mines[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2022,34(3):10-16.

[2] 张进德,郗富瑞.我国废弃矿山生态修复研究[J].生态学报,2020,40(21):7921-7930.
ZHANG Jinde, XI Furui. Study on ecological restoration of abandoned mines in China[J]. Acta Ecologica Sinica,2020,40(21):7921-7930.

[3] 杨金中,许文佳,姚维岭,等.全国采矿损毁土地分布与治理状况及存在问题[J].地学前缘,2021,28(4):83-89.
YANG Jinzhong, XU Wenjia, YAO Weiling, et al. Land destroyed by mining in China: damage distribution, rehabilitation status and existing problems[J]. Earth Science Frontiers,2021,28(4):83-89.

[4] 李海兵,张永忠,梅金华,等.湖南省历史遗留矿山现状及生态修复对策[J].矿业研究与开发,2023,43(12):144-151.
LI Haibing, ZHANG Yongzhong, MEI Jinhua, et al. The status and ecological restoration countermeasures of historical mines in Hunan province[J]. Mining Research and Development,2023,43(12):144-151.

[5] 赵晗旭,张冉,韩天为,等.废弃矿山边坡修复技术概述[J].矿业工程,2025,23(1):55-59.
ZHAO Hanxu, ZHANG Ran, HAN Tianwei, et al. Overview of slope restoration technology for abandoned mines[J]. Mining Engineering,2025,23(1):55-59.

[6] 文婷,李胜,李眉.湖南省湘乡市矿山生态环境现状及修复措施研究[J].南方金属,2022(2):27-31.
WEN Ting, LI Sheng, LI Mei. Study on the ecological environment status and rehabilitation measures of the mines in Xiangxiang city[J].Southern Metals,2022(2):27-31.

[7] 卿艳彬,卿国屏,易菲霆,等.郴州鲁塘矿区矿山地质环境问题及生态修复方案探讨[J].中国矿业,2021,30(增刊1):80-85.
QING Yanbin, QING Guoping, YI Feiting, et al. Discussion on mine geological environment problems and ecological restoration scheme in Lutang mining area of Chenzhou[J]. China Mining Magazine,2021,30(Suppl.1):80-85.

[8] 乔雪园,吴海斌,王殿常,等.长江经济带矿山生态治理的实施成效、问题与对策[J].中国矿业,2022,31(8):36-43.
QIAO Xueyuan, WU Haibin, WANG Dianchang, et al. Achievements, problems and suggestions of mine ecological governance in the Yangtze River Economic Belt[J]. China Mining Magazine,2022,31(8):36-43.

[9] 田彦清,李博.安全作业许可在大型主题公园建设中的应用[J].工程建设,2024,56(10):43-49.
TIAN Yanqing, LI Bo. Application of safe work permit in large theme park construction [J]. Engineering Construction,2024,56(10):43-49.

[10] 梅振然,赵中秋,杨侨,等.我国金属矿山废弃地生态修复研究进展及趋势分析[J].中国矿业,2024,33(10):102-118.
MEI Zhenran, ZHAO Zhongqiu, YANG Qiao, et al. Research progress and trend analysis of ecological restoration of metal mine wasteland in China[J]. China Mining Magazine,2024,33(10):102-118.

[11] 和娟.汾河上游国土空间生态问题诊断与修复策略研究[D].北京:中国地质大学(北京),2023.
HE Juan. Diagnosis of territory space ecological problems and restoration strategies in the upper Fenhe river[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing),2023.

[12] 田彦清.新形势下政府购买第三方施工质量安全巡查监管模式探讨[J].安全与健康,2024(9):64-67.
TIAN Yanqing. Discussion on the government's purchase of third-party construction quality and safety inspection and supervision mode under the new situation[J]. Safety and Health,2024(9):64-67.

[13] 中华人民共和国自然资源部.国家生态保护修复公报2024[EB/OL].(2024-11-06)[2025-09-20].https://gi.mnr.gov.cn/202411/P020241106674232719694.pdf.

[14] 马跃.废弃矿山资源化生态修复模式构建与效益评价[D].大连:大连理工大学,2021.
MA Yue. Construction and benefit evaluation of resource-based ecological restoration mode of abandoned mine[D]. Dalian: Dalian University of Technology,2021.

[15] 胡官兵,何思璇,廖志坚,等.滇西北地区历史遗留废弃矿山生态修复遥感调查与监测[J].矿业研究与开发,2025,45(4):189-195.
HU Guanbing, HE Sixuan, LIAO Zhijian, et al. Remote sensing investigation and monitoring of ecological restoration of historical abandoned mines in northwest Yunnan[J]. Mining Research and Development,2025,45(4):189-195.

[16] 贾梦旋,王金满,李禹凝,等.基于自然解决方案的矿山生态修复研究进展[J].煤炭科学技术,2024,52(8):209-221.
JIA Mengxuan, WANG Jinman, LI Yuning, et al. Ecological restoration of mines based on Nature-based Solution: a review[J]. Coal Science and Technology,2024,52(8):209-221.

[17] 姜杉钰,谭丽萍,冯聪,等.系统观下的矿山生态修复关键技术体系构建[J].环境科学,2025,46(1):489-497.
JIANG Shanyu, TAN Liping, FENG Cong, et al. Construction of key technology system for mine ecological restoration under system perspective[J]. Enviroment Science,2025,46(1):489-497.

[18] 张进德,杨利亚,田磊,等.矿山生态修复技术方法研究与展望[J].水文地质工程地质,2025,52(4):16-25.
ZHANG Jinde, YANG Liya, TIAN Lei, et al. Exploring methods and technical measures for mine ecological restoration[J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2025,52(4):16-25.

[19] 周静.市场化方式推进矿山生态修复的实施路径与思考[J].中国矿业,2022,31(7):61-64.
ZHOU Jing. Thinking and implementation approach of using market-oriented ways to promote the ecological restoration of mines[J].China Mining Magazine,2022,31(7):61-64.

[20] 高艳妮,王世曦,杨春艳,等.基于矿山生态修复的生态产品价值实现主要模式与路径[J].环境科学研究,2022,35(12):2777-2784.
GAO Yanni, WANG Shixi, YANG Chunyan, et al. Main models and paths for realizing the value of ecological products based on mine ecosystem restoration[J]. Research of Enviromental Sciences,2022,35(12):2777-2784.

[21] 赵振华,韩琳,徐扬,等.露天石灰岩矿山生态脆弱性评价及修复策略探讨[J].矿业研究与开发,2025,45(7):242-248.
ZHAO Zhenhua, HAN Lin, XU Yang, et al. Ecological vulnerability assessment and restoration strategy of open-pit limestone mine[J]. Mining Research and Development,2025,45(7):242-248.