

基于SWOT-AHP的废弃地下空间综合利用价值评估

卢 魁, 屠义强, 劳大兵

中国人民解放军陆军工程大学野战工程学院, 江苏 南京

收稿日期: 2026年4月12日; 录用日期: 2026年5月5日; 发布日期: 2026年5月11日

摘 要

在城市更新策略深入推进及城市空间资源日益紧张的双重背景下, 废弃地下空间作为存量丰富、分布广泛的城市资源, 其综合利用既是破解城市土地资源短缺、完善城市功能布局的重要路径, 也是推动城市资源循环利用、提升民生保障水平的有效举措。本研究通过SWOT-AHP模型, 系统梳理了影响废弃地下空间综合利用的四大类17项因素, 量化分析各因素权重排序, 明确核心影响变量。根据模型评估结果, 提出针对关键因素的应对策略、废弃地下空间综合利用的WT防御性策略以及三级分类利用策略, 为地方政府与相关管理部门协同评估、高效利用废弃地下空间, 实现生态价值、民生价值与经济价值双向赋能, 提供基于定量分析的决策流程与可操作的行动指南。

关键词

废弃, 地下空间, 综合利用, SWOT分析, 层次分析法

Research on Value Evaluation of Comprehensive Utilization of Waste Underground Space Based on SWOT-AHP

Kui Lu, Yiqiang Tu, Dabing Lao

College of Field Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

Received: April 12, 2026; accepted: May 5, 2026; published: May 11, 2026

Abstract

Under the dual background of the in-depth advancement of the urban renewal strategy and the increasing scarcity of urban space resources, waste underground space, as a strategic urban resource

文章引用: 卢魁, 屠义强, 劳大兵. 基于SWOT-AHP的废弃地下空间综合利用价值评估[J]. 建模与仿真, 2026, 15(5): 1-11. DOI: 10.12677/mos.2026.155065

with abundant stock and wide distribution, its comprehensive utilization is not only an important path to solve the shortage of urban land resources and improve the urban functional layout, but also an effective measure to promote the recycling of urban resources and enhance the level of people's livelihood security. This study systematically sorts out 17 factors in four categories affecting the comprehensive utilization of waste underground space through the SWOT-AHP model, quantitatively analyzes the weight ranking of each factor, and clarifies the core influencing variables. Based on the model evaluation results, it puts forward response strategies for key factors, a WT defensive strategy for the comprehensive utilization of waste underground space, and a three-level classification utilization strategy. It provides a quantitatively analyzed decision-making process and actionable operational guidelines for local governments and relevant management departments to coordinate the evaluation and efficient utilization of waste underground space, so as to realize the two-way empowerment of ecological value, people's livelihood value and economic value.

Keywords

Waste, Underground Space, Comprehensive Utilization, SWOT Analysis, Analytic Hierarchy Process (AHP)

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

城市更新是新时代城市高质量发展的重要导向，废弃地下空间作为我国城市发展遗留的宝贵存量资源[1]-[3]，涵盖废弃矿洞、老旧人防工程、废弃地下交通设施、天然洞穴等多种类型[4]，兼具生态修复与民生服务的双重潜力。在城市土地资源日益紧张、民生服务需求不断提升的背景下，城市发展面临空间容量有限、基础设施压力大、应急保障能力不足等多重挑战，利用废弃地下空间实现仓储、应急避难、公共服务等民用功能，是破解城市发展困境、提升城市治理效能的可靠手段[5]-[7]。而在生态保护与城市更新协同推进的当下，将废弃地下空间改造为应急避难所、地下仓储、公共服务设施、生态修复载体等，可有效盘活存量资源，完善城市功能，实现资源循环与民生保障协同发展[8] [9]。

当前，废弃地下空间综合利用的决策异常复杂，需兼顾民生需求与利用效益、安全风险与生态保护，面临时间紧迫不允许详尽勘察、相关地质资料匮乏、民生需求与生态要求多元等问题。现有相关研究[10]-[13]，或聚焦民用仓储的长期建设与经济技术分析，或侧重地下空间的改造利用与生态修复，少数涉及综合利用的研究也多为原则性论述，缺乏定量与定性相结合的系统评估，难以指导实践中的高效利用。

如何科学、快速地评估废弃地下空间综合利用的价值，筛选适宜综合利用的空间资源，并制定行之有效的利用策略，是践行城市更新策略、提升城市治理效能与民生保障水平的一项重要内容。本文拟引入 SWOT-AHP 模型[14]-[16]，系统梳理废弃地下空间综合利用的影响因素，通过定量与定性相结合的方法进行价值评估，进而提出针对性的利用策略与决策建议，为地方政府与相关管理部门协同高效利用废弃地下空间提供理论参考与实践指导。

2. 模型构建与评估

针对废弃地下空间综合利用的民生属性与复杂场景，采用 SWOT 分析方法全面扫描工程、环境、民生、政策等多维因素[17]-[20]，通过 AHP 模型将相关领域专家的经验判断转化为定量分析，明确各因素影响权重，为综合利用策略研究提供科学依据。

2.1. 基于 SWOT 的影响因素体系构建

结合废弃地下空间综合利用的核心需求，从内部优势(Strengths)、内部劣势(Weaknesses)、外部机会(Opportunities)、外部威胁(Threats)四个维度，具体分析影响其综合利用价值的 17 项因素，确保因素体系的全面性与针对性。

2.1.1. 内部优势 S

S₁ 民生双向适配。废弃地下空间可实现“常态 - 应急”结合，平时用于民用仓储、应急避难、公共服务、生态修复等，应急状态下快速转化为应急物资储备、人员安置、应急指挥等功能，实现资源高效复用，兼顾民生保障与生态保护需求。

S₂ 天然防护优势。地下空间本身具备优异的抗冲击、抗灾害、隐蔽性能，可作为应急避难所，抵御地震、洪涝、台风等自然灾害，提升城市应急保障能力，同时可规避地面环境干扰，适合开展需要安静、避光的公共服务与物资存储。

S₃ 隐蔽利用特性。地下空间不易受地面环境影响，可规避城市地面空间紧张的压力，实现隐蔽式利用，降低对周边居民生活与城市景观的影响，同时可减少外界环境对内部功能的干扰，提升利用舒适度与安全性。

S₄ 结构现存可复用。相比新建地下工程，废弃地下空间已具备基本结构，仅需进行简易清理、安全排查与功能改造，即可满足综合利用需求，大幅缩短建设周期、降低改造与建设成本，提升资源利用效率。

2.1.2. 内部劣势 W

W₁ 基础信息不明。受历史遗留、勘察条件限制，难以对废弃地下空间的内部结构、地质条件、安全隐患等核心信息进行详细掌握，给综合改造、安全利用带来较大风险，影响民生功能的适配性与使用安全性。

W₂ 空间功能局限。地下空间的巷道宽度、高度及硐室承重能力等，可能无法满足大型民用运输车辆、公共服务设施的布置与使用要求。同时巷道分支复杂、转弯角度小等问题，限制物资存储、人员通行效率，影响综合利用效能。

W₃ 环境条件恶劣。多数废弃地下空间残留有害气体、水体，通风、排水、防潮等功能大多失效，既易造成民用物资损坏，也会影响人员作业与使用安全，增加改造投入，同时可能对周边环境造成潜在影响。

W₄ 安全风险突出。安全管理难度大，易发生坍塌、气体泄漏、火灾等安全事故，影响民用利用的安全性，尤其是作为应急避难场所时，安全隐患可能直接威胁人员生命安全。

W₅ 配套设施薄弱。多数废弃地下空间配套设施简陋，缺乏完善的水电、通信、消防、通风等配套，难以满足民用服务与应急保障需求，同时配套设施缺失也会增加改造难度与成本，影响综合利用的可行性。

2.1.3. 外部机会 O

O₁ 城市更新政策支持。国家大力推进城市更新与资源循环利用，出台多项政策支持存量地下空间民用改造，为废弃地下空间综合利用提供了政策保障与资金支持。

O₂ 可就便利用各类资源。可依托地方工程资源、建筑材料、施工设备，助力废弃地下空间的快速改造与启用，降低改造成本，提升改造效率，同时可借助地方专业技术力量，优化改造方案。

O₃ 模块化技术适配。集装箱化、托盘化与模块化单元可直接适配既有地下空间，实现快速投入使用，

大幅提升综合利用的效率。同时可依托快速便携设施,改善空间结构稳定性与使用环境,降低改造难度。

O₄ 政企协同保障体系完善。随着城市治理水平提升,政府与企业协同机制逐步健全,可实现政府主导、企业参与的废弃地下空间普查、改造、管理、利用模式,提升利用效能与可持续性。

2.1.4. 外部威胁 T

T₁ 自然灾害冲击。地下空间进出通道等关键部位抗自然灾害能力有限,易受地震、洪涝、滑坡等自然灾害冲击,一旦遭到破坏将直接影响其民用功能发挥,甚至导致综合利用功能完全丧失。

T₂ 人为破坏风险。非法侵占、违规作业、恶意破坏等人为行为,可能损坏地下空间结构、污染内部环境,干扰民用服务与应急保障秩序,威胁人员安全,增加管理成本。

T₃ 结构损毁风险。长期闲置、地质变化等因素可能导致地下空间洞口封闭、内部坍塌,堵塞巷道、损毁物资,甚至造成人员被困,影响综合利用的持续性与安全性。

T₄ 供需匹配冲突。常态民用需求与应急需求存在差异,若缺乏科学的规划与转换机制,可能出现功能适配性不足、资源浪费等问题,影响综合利用的综合效益,难以兼顾常态使用与应急保障。

2.2. 基于 AHP 的因素影响评估

为量化上述影响因素对废弃地下空间综合利用价值的重要性,建立 AHP 指标体系,目标层为废弃地下空间综合利用策略,准则层包括 SWOT 的四个维度,子准则层为相应的 17 项影响因素。模型层次结构如图 1 所示。

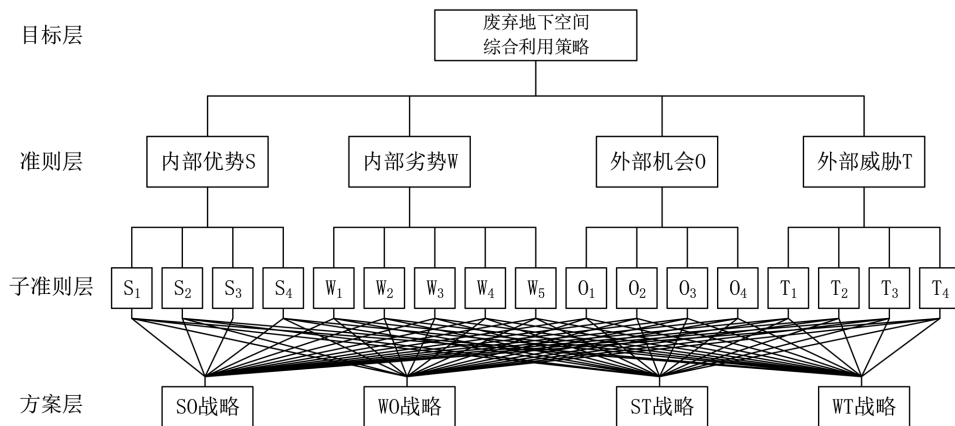


Figure 1. Evaluation index system for the comprehensive utilization of waste underground space
图 1. 废弃地下空间综合利用评价指标体系

评估专家共 12 人,专家领域分布:城市地下空间规划与管理 3 人、应急管理与防灾减灾 3 人、地质工程与岩土安全 2 人、市政工程与建筑结构 2 人、资源经济与政策研究 2 人。所有专家均具有副高级及以上职称或 10 年以上相关领域从业经验。判断方法为 1~9 标度法,如表 1 所示。

Table 1. 1~9 scale method

表 1. 1~9 标度法

相对重要程度 a _{ij}	定义	解释
1	同等重要	目标 i 和目标 j 同样重要
3	略微重要	目标 i 比目标 j 略微重要
5	相当重要	目标 i 比目标 j 重要

续表

7	明显重要	目标 i 比目标 j 明显重要
9	绝对重要	目标 i 比目标 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	介于两相邻重要程度间	

准则层比较，以废弃地下空间综合利用价值最大化为核心目标，结合常态 - 应急双重场景特性，聚焦安全风险、功能适配、效益最大化三大维度，融合各专家专业视角判定相对重要性。以政府与住建专家联合评估视角为例，优先考量外部威胁 $T >$ 内部劣势 $W >$ 内部优势 $S >$ 外部机会 O ，核心关注威胁对综合利用安全性的制约，其次关注劣势对功能适配性的影响，认为优势可通过改造充分发挥，机会可依托政策与技术逐步挖掘。

子准则层比较，以各准则层核心目标为导向，结合各专家专业领域对指标影响权重的判定，明确比较优先级。以住建与应急管理专家联合视角为例， S_1 民生双向适配比 S_4 结构现存明显重要(标度 5)，比 S_2 天然防护稍重要(标度 3)； W_4 安全风险突出比 W_5 配套设施薄弱绝对重要(标度 9)，比 W_3 环境条件恶劣相当重要(标度 5)。

数据获取采用德尔菲法结合问卷调研的方式进行，共发放问卷 12 份，回收有效问卷 12 份，有效回收率 100%。

本研究示例计算不针对特定场景，采用等权重几何平均法综合各专家判断矩阵，确保评估结果的客观性与通用性。准则层判断矩阵如表 2 所示。

Table 2. Criteria layer judgment matrix

表 2. 准则层判断矩阵

	S	W	O	T
S	1	0.85	1.6	0.45
W	1.18	1	1.88	0.53
O	0.62	0.53	1	0.28
T	2.22	1.89	3.57	1

使用特征向量法，近似计算得权重向量：

$$W = [0.19, 0.24, 0.11, 0.46]^T$$

特征值：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{(AW)_i}{W_i} = 4.09$$

其中， A 表示判断矩阵。

一致性指标：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.09 - 4}{3} = 0.03$$

查询 RI 值为 0.89，计算一致性比率：

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.03}{0.89} \approx 0.034 < 0.10$$

通过一致性检验。
子准则层以内部优势为例，判断矩阵如表 3 所示。

Table 3. Judgment matrix for internal strengths (S)
表 3. 内部优势 S 判断矩阵

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
S ₁	1.00	1.20	1.75	2.70
S ₂	0.83	1.00	1.46	2.25
S ₃	0.57	0.68	1.00	1.54
S ₄	0.37	0.44	0.65	1.00

权重向量：

$$W_S = [0.38, 0.30, 0.18, 0.14]^T$$

一致性比率：

$$CR^{(S)} = 0.02 < 0.10$$

通过一致性检验。
内部劣势、外部机会、外部威胁的计算过程省略，权重向量分别为：

$$W_W = [0.17, 0.09, 0.25, 0.41, 0.08]^T$$

$$W_O = [0.27, 0.11, 0.47, 0.15]^T$$

$$W_T = [0.46, 0.17, 0.29, 0.08]^T$$

2.3. 评估结果及分析

基于准则层权重和子准则层权重，计算各因素的全局权重：
全局权重 = 准则层权重 × 子准则层权重
全局权重排序如表 4 所示。

Table 4. Global weights ranking table
表 4. 全局权重排序表

因素代码	准则层权重	子准则层权重	全局权重	排序
T ₁	0.46	0.48	0.221	1
T ₃	0.46	0.29	0.133	2
W ₄	0.24	0.41	0.098	3
S ₁	0.19	0.38	0.072	4
W ₃	0.24	0.25	0.060	5
T ₂	0.46	0.14	0.064	6
S ₂	0.19	0.30	0.057	7
O ₃	0.11	0.50	0.055	8
T ₄	0.46	0.09	0.041	9

续表

W ₁	0.24	0.17	0.041	10
S ₃	0.19	0.18	0.034	11
O ₁	0.11	0.26	0.029	12
W ₂	0.24	0.09	0.022	13
S ₄	0.19	0.14	0.027	14
O ₄	0.11	0.15	0.017	15
W ₅	0.24	0.08	0.019	16
O ₂	0.11	0.09	0.010	17

在准则层，权重分布清晰揭示了废弃地下空间综合利用的核心关切。外部威胁 T 以 0.46 的全局总权重占据绝对主导地位，说明无论是常态利用还是应急状态，安全风险都是综合利用的首要前提，任何民生价值与经济价值的发挥，均建立在抵御外部威胁、保障空间安全的基础之上。内部劣势 W 与内部优势 S 权重相近，表明在实际利用中，必须通过工程技术、管理手段对冲内部劣势，才能安全、有效地释放其民生双向适配的优势潜能。外部机会 O 权重最低，说明政策、技术等外部有利条件具有较强的不确定性与时效性，对提升废弃地下空间综合利用价值的支撑作用有限，策略制定不能过度依赖外部机会。

在子准则层，各因素的重要性在各自维度内部存在明显差异。在优势 S 维度中，S₁ 民生双向适配和 S₂ 天然防护优势权重之和为 0.68，是综合利用的核心价值所在，凸显了“常态 - 应急结合、双向赋能”的核心导向。在劣势 W 维度中，W₄ 安全风险突出和 W₃ 环境条件恶劣权重之和为 0.66，是制约综合利用的主要短板，需重点破解。在机会 O 维度中，O₃ 模块化技术适配权重最高，是最可依托的外部支撑条件，可有效提升综合利用的效率。在威胁 T 维度中，T₁ 自然灾害冲击和 T₃ 结构损毁风险权重之和高达 0.77，是最致命的外部威胁，需优先防范。

在全局层面，各因素对总目标的绝对影响力呈现显著梯度。排名前四的因素 T₁ 自然灾害冲击、T₃ 结构损毁风险、W₄ 安全风险突出、S₁ 民生双向适配，全局权重之和超过 0.5，构成了废弃地下空间综合利用决策中必须优先应对的主要矛盾。而排名靠后的 O₄ 政企协同保障、W₅ 配套设施薄弱、O₂ 就便利用资源等因素，全局权重均低于 0.02，属于次要矛盾，在资源与精力有限的情况下，其处理优先级可相对靠后。

3. 基于模型评估结果的策略分析

通过 SWOT-AHP 模型的系统评估，明确了废弃地下空间综合利用的核心优势、劣势、机会与威胁，结合量化评估结果，针对关键影响因素和不同场景，动态制定相应的综合利用策略，实现民生价值、经济价值与生态价值最大化、安全风险最小化。

3.1. 关键因素应对策略

针对全局排名前四的关键影响因素，聚焦“防范威胁、破解劣势、发挥优势”，制定针对性应对策略，解决废弃地下空间综合利用的主要矛盾，为后续整体策略制定奠定基础。

针对核心威胁 T₁ 自然灾害冲击、T₃ 结构损毁风险，这是综合利用的最大安全隐患，应急状态下直接威胁民生保障功能发挥，常态下可能导致民用利用中断。应对时需实施被动防护、主动防范相结合的策略，对所有出入口及关键通道实施抗灾加固与防护设计，部署应急监测与预警设备，对洞体关键承重结构进行常态化加固，预先规划并标识应急撤离通道。同时，加强地质灾害监测预警，定期开展结构安全排查与维护，及时处理围岩松动、墙体开裂等隐患，防范坍塌、渗漏等事故，提升抗灾能力。

针对关键劣势 W₄ 安全风险突出，无论是常态安全管理，还是应急状态下的人员保障，均需将安全

管控置于核心位置。建立政企联合安全管理体系，明确管理责任主体，配备专业安全管理人员与应急救援设备，定期开展安全演练，防范气体泄漏、火灾、坍塌等安全事故，保障民用利用与应急使用安全。同时，建立安全隐患台账，实行闭环管理，及时整改各类安全隐患，确保空间利用的安全性。

针对核心优势 S1 民生双向适配，这是废弃地下空间综合利用的核心价值，需通过科学规划与常态 - 应急转换机制，充分发挥其“常态 - 应急结合”的优势。平时，重点改造适配民用需求，用于应急避难所、地下仓储、公共服务设施、生态修复载体等。应急状态下，快速启动应急转换预案，完成功能调整与物资调配，转化为应急物资储备、人员安置、应急指挥等功能，实现资源高效复用，兼顾民生保障与应急需求。

3.2. SWOT 策略定位

根据 AHP 准则层权重向量

$$W = [0.19, 0.24, 0.11, 0.46]^T$$

将四个因素映射至平面直角坐标系，映射规则为：

S 点置于 X 轴正半轴，坐标为：

$$(0.19, 0.0)$$

W 点置于 X 轴负半轴，坐标为：

$$(-0.24, 0.0)$$

O 点置于 Y 轴正半轴，坐标为：

$$(0.0, 0.11)$$

T 点置于 Y 轴负半轴，坐标为：

$$(0.0, -0.46)$$

四顶点坐标的算术平均计算得出重心 P 的坐标，即：

$$(-0.012, -0.088)$$

绘制 SWOT 策略四边形如图 2 所示。

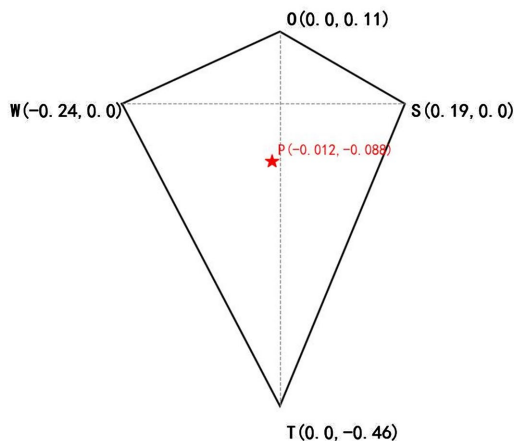


Figure 2. SWOT strategic quadrilateral for the comprehensive utilization of waste underground space

图 2. 废弃地下空间综合利用 SWOT 策略四边形

策略四边形重心 P 位于第三象限劣势 - 威胁区,表明废弃地下空间综合利用应采用 WT 防御性策略。核心是,在规避外部威胁的基础上,化解内部劣势,稳步发挥优势,适度把握机会,兼顾安全保障与利用效益,实现综合利用可持续发展。具体举措包括三个方面:

一是构建以安全为核心的综合防护体系,主动化解核心威胁。重点强化抗灾防护与安全防护,对出入口、通风孔等关键部位实施抗灾加固与防护设计,设置应急预警设备,建立可靠的安全预警体系;同时加强洞体结构加固与地质监测,预设应急撤离通道,配套完善的应急处置预案。聚焦地质灾害与安全事故防范,建立常态化安全排查与维护机制,完善消防、通风、排水等配套设施,降低安全风险,保障民用利用与应急使用安全。

二是实施政企协同管控,系统性规避与缓解关键劣势。建立政企联合评估与管理机制,由政府主导、企业参与,开展废弃地下空间的勘察、改造与利用。在启用前,政企联合开展地质勘察、安全评估与功能适配性分析,最大限度掌握核心信息,规避信息不明、环境恶劣等劣势;启用后,配属模块化环境控制单元、安全监测设备,将环境劣势、安全风险控制在可接受范围内,避免人员伤亡、物资损毁,提升利用的安全性与可靠性。

三是立足常态 - 应急结合,有计划发挥优势、把握机会。在确保安全底线的基础上,充分发挥废弃地下空间的民生双向适配、天然防护等优势,常态下重点挖掘其民用价值,用于应急避难、地下仓储、公共服务、生态修复等,实现资源循环利用;应急状态下,快速启动应急转换,发挥其应急保障功能,提升城市应急处置能力。同时,密切关注城市更新政策导向,灵活利用政策支持、模块化技术、就便资源等外部机会,优化改造方案,降低改造成本,提升综合利用的综合效益,但绝不因追求效率而降低安全防护要求。

3.3. 地下空间三级利用策略

依据常态、应急场景差异、SWOT 因素影响程度及资源条件,结合模型评估结果,将废弃地下空间综合利用策略区分为三级,实现分类施策、动态适配,确保民生价值、经济价值与生态价值双向赋能,同时最大化降低安全风险。三级利用策略如图 3 所示。

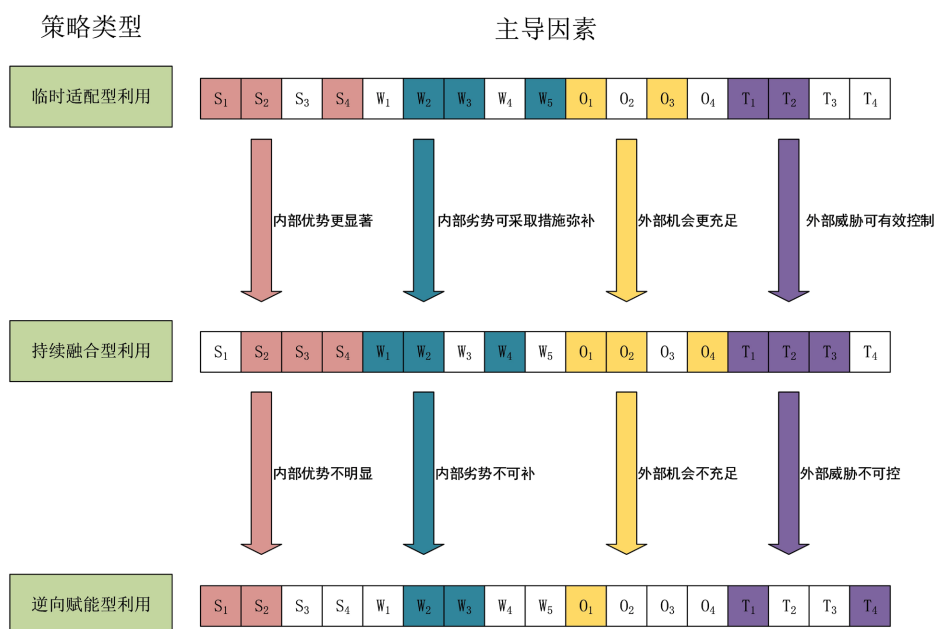


Figure 3. Three-level strategy for the comprehensive utilization of waste underground space
图 3. 废弃地下空间综合利用三级策略

策略一，临时适配型利用。应急阶段或城市临时需求阶段，在外部威胁较低、具备快速启用条件的情况下，对废弃地下空间实施最低限度改造，建设临时保障载体。应急状态下可作为临时应急避难所、物资中转站，依托其天然防护优势，快速形成应急保障能力。常态下可作为临时仓储、临时公共服务点，应对城市临时需求。此类型利用完全依托现有结构，暂不进行大规模环境、配套改造，重点保障基本安全与功能适配，兼顾应急需求与成本控制。

策略二，持续融合型利用。当城市发展进入常态化阶段，获得持续作业窗口与充足政企资源，可通过系统改造与规范管控，将废弃地下空间转化为综合利用持续节点。常态下重点开发民用功能，用于地下仓储、公共服务、文旅配套、生态修复等，完善配套设施，提升利用效益；同时保留应急改造潜力，建立完善的常态-应急转换机制，确保应急状态下可快速投入使用。此类型利用的前提是空间结构稳定、安全风险可控，核心是实现民生价值、经济价值与生态价值协同发挥。

策略三，逆向赋能型利用。当废弃地下空间存在无法克服的安全隐患、改造难度大，或外部威胁极高，不适于直接开展综合利用时，可将其逆向转化为辅助支撑资源。应急状态下可作为应急物资储备备用点、地质灾害监测点，为应急处置提供辅助支撑。常态下可进行生态修复后作为绿色空间，或作为城市地质科普基地，实现劣势资源逆向赋能，提升综合利用的整体效能，推动城市生态与文化建设协同发展。

4. 结论与展望

本研究聚焦废弃地下空间综合利用的价值评估与策略优化核心问题，立足常态 - 应急双重场景，构建了涵盖内部优势、内部劣势、外部机会、外部威胁四大维度 17 项具体因素的 SWOT-AHP 评估体系，通过定量与定性相结合的方法，明确了各影响因素的权重排序及核心影响变量，揭示了废弃地下空间综合利用的核心矛盾与关键关切。研究表明，外部威胁是制约其综合利用的首要因素，安全风险突出、环境条件恶劣是主要内部劣势，而民生双向适配、天然防护优势是其核心价值所在。基于评估结果，提出的 WT 防御性策略、关键因素应对策略及三级分类利用策略，为高效利用废弃地下空间提供了科学的理论框架与可操作的实践指引。

同时，本研究仍存在一定局限性。模型评估过程中，各因素的权重判定主要依赖专家经验判断，虽采用等权重几何平均法保障了结果的客观性与通用性，但难以完全适配复杂多变的城市场景与区域差异。此外，研究主要构建了静态评估框架，未充分考虑城市发展需求变化、政策调整、技术迭代等动态因素对评估结果及策略适配性的影响。未来研究可引入动态调整机制，提升模型对城市复杂场景的适配性，实现废弃地下空间综合利用的实时评估、动态调度与精准管控，进一步推动城市更新与资源循环利用策略在地下空间资源利用领域的落地见效。

参考文献

- [1] 石峰旭. 城市地下空间开发与利用规划关键技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2026(3): 16-18.
- [2] 完颜祺琪, 胥洪成, 李康, 等. 深层地下空间综合利用现状与发展方向[J]. 石油学报, 2026, 47(1): 257-267+310.
- [3] 亓增刚, 王磊, 蔺国华, 等. 废弃煤矿地下空间资源应用研究现状与展望[J]. 矿产保护与利用, 2025, 45(5): 124-138.
- [4] 赵文智, 刘合, 郑得文. 废弃矿井地下空间开发利用战略与工程实践[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [5] 浦海, 薛康生, 刘德俊. “双碳”目标下关闭/废弃煤炭矿井资源再利用研究进展[J]. 河南科学, 2026, 44(1): 1-19.
- [6] 吕鑫, 杨科, 袁亮, 等. 废弃矿井协同开发利用技术框架与关键问题思考[J]. 中国矿业大学学报, 2026, 55(1): 43-60.
- [7] 王磊, 宋洪柱, 亓增刚, 等. 废弃煤矿地下空间资源评估指标体系及模型[J]. 矿产与地质, 2025, 39(5): 1067-1073.

- [8] 李丽绒. 废弃矿山遗留资源及地下空间开发利用关键技术研究[Z]. 太原: 山西焦煤集团有限责任公司. <https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=ZMT4ddBD2nzLNbpgPQ5sMPIDM4MEaSjfrYGOrmdENZRsgXzWLF-DFqvospmcY46B1i8FaivW6FoEX0MXcDPJ32unLrhd8sJJun6oJQVph27Sp9G4icilZW9NIm-deirGPaQy28UhYXcd2VLJC1Ted29ALiRhc8aNZsLYrlycwDo=&uniplatform=NZKPT&language=CHS>, 2024-11-11.
- [9] 霍超, 王蕾, 谢志清, 等. 新时期我国煤矿地下空间综合利用现状及展望[J]. 地质论评, 2024, 70(4): 1455-1468.
- [10] 刘士奇, 王环玲, 周勇, 等. 废弃矿井压气储能地下空间利用可行性分析[J]. 金属矿山, 2025(8): 193-200.
- [11] 任乐馨, 夏晨, 高玉茹, 等. 废弃煤矿改扩建为石油储库方法[J]. 北京建筑大学学报, 2025, 41(6): 98-108.
- [12] 刘钦节, 郭少波, 修雅馨, 等. 关闭/废弃矿井资源分类、分级开发利用评价指标体系研究[J]. 矿业安全与环保, 2025, 52(6): 121-132.
- [13] 袁亮, 杨科. 再论废弃矿井利用面临的科学问题与对策[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 16-24.
- [14] 王茁, 王亚彬, 王帅. 数字孪生应用于装备质量管理的 AHP-SWOT 分析[J]. 兵工自动化, 2024, 43(3): 16-20, 25.
- [15] Bošnjaković, M., Veljić, N., Božić, J.T. and Muhić, S. (2025) SWOT-AHP Analysis of the Importance and Adoption of Pumped-Storage Hydropower. *Technologies*, **13**, Article 305. <https://doi.org/10.3390/technologies13070305>
- [16] Javaherikhah, A., Lopez, M.V. and Sarvari, H. (2025) Assessing the Efficiency of Integrating BIM and Blockchain to Improve Information Management for Mars Buildings: A SWOT-AHP Analysis. *Buildings*, **15**, Article 494. <https://doi.org/10.3390/buildings15030494>
- [17] 翟小洁, 翟璐璐, 巴燕. 城市地下空间开发利用地质安全风险评估——以郑州市为例[J]. 地质与勘探, 2025, 61(5): 1083-1093.
- [18] 李宏伟. 城市地下空间利用适宜性和地质环境承载力评价研究[J]. 资源导刊, 2024(20): 12-13.
- [19] 游尹琛, 姜颖萱. 以地质因素为核心的城市地下空间开发价值特征及评估方法[J]. 价值工程, 2025, 44(21): 63-65.
- [20] 乔永康, 彭芳乐, 栾勇鹏, 等. 面向可持续发展的城市地下空间开发外部性价值评估及应用[J]. 中国土地科学, 2022, 36(5): 91-101.