

岩溶地区垃圾填埋场的选址评价探讨

张 云¹ 刘长礼^{*1} 叶 浩¹ 董 华¹ 侯宏冰¹
姜建梅¹ 裴丽新¹ 宋 超¹ 史金江²

(1: 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 正定 050803;
2: 河北省交通建设监理咨询有限公司, 河北 石家庄 050800)

摘要:岩溶地区的垃圾填埋选址较为困难, 现行的垃圾填埋场选址评价方法又存在较大局限。笔者等依据垃圾填埋场的建设宗旨和选址基本原则, 结合岩溶地区的环境地质特点, 探讨提出一套适用于岩溶地区的垃圾填埋场选址评价方法。通过实例应用表明, 该方法可在现行较难选出垃圾填埋场的岩溶地区, 优选出适宜性较好的未来垃圾填埋场, 能够担当起解决岩溶地区的垃圾无害化、减量化填埋处置的难题和重任。

关键词:岩溶地区; 垃圾填埋场; 选址评价; 影响因子; 评价模型; 环境地质条件

中图分类号:X141 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)01-0163-09

岩溶地区在中国分布面积较广, 约有 90.7 万 km², 占国土面积的 9.45%, 在这些区域分布着大量的城镇, 其中地级以上城市约有 25 座。由于岩溶地区生态环境较差、土地资源稀少、交通相对落后, 经济发展也往往比较滞后。这使区内的城市垃圾处置产生了困难。采用焚烧法、堆肥法处置, 成本较高难以承受, 况且这样处置对垃圾种类的限制较大, 无法适应更广泛的垃圾处理。采用填埋形式处置虽是较适宜的方法, 但岩溶地区土地稀少, 环境地质条件又极为复杂, 尤其水污染防治条件方面更为复杂。区内岩溶作用强烈, 稍有不慎, 就会发生污染液渗漏危及地下水或地表水安全, 增大了拟选场地的环境风险, 加剧了垃圾填埋场的选址难度, 使岩溶地区的城市垃圾处置陷入了困境。因此, 亟待解决这一地区的垃圾填埋处置的选址困难问题。然而, 现行的垃圾填埋场选址评价方法^[1-5], 在环境地质条件复杂的岩溶地区还难以适用, 还有待改进和发展, 才能满足实际需要。笔者依据垃圾填埋场建设宗旨和选址基本原则, 结合岩溶地区的环境地质特点, 分析提出一套适用于岩溶地区的垃圾填埋场选址评价方法, 可为岩溶

地区的城市垃圾填埋处置选址提供服务。

1 岩溶地区垃圾填埋场的选址影响分析

垃圾填埋场建设的第一大宗旨就是要改善环境质量、保证人类的身体健康。垃圾填埋场的选址基本原则是, 以合理的技术、经济的方案和尽可能少的投资, 收到最理想的经济效益, 实现保护环境的目的。

在岩溶地区进行城市垃圾的填埋选址评价, 将受到水文地质、工程地质、地质构造、地形地貌、不良地质现象、土地价值及可利用性、环境影响、交通条件、社会影响、建场条件等因素的影响和制约。根据垃圾填埋场的基本选址原则和相关规范要求^[1], 结合岩溶地区的环境条件特点, 可将上述影响因素大致归类为环境地质、场地可利用性、环境保护、交通运输、建场条件及社会环境效应等 6 大类条件因子, 各大类因子及其所包含子因子见图 1 所示。它们对垃圾填埋场的选址影响如下。

1.1 环境地质条件影响

环境中相关的地质要素的集合与描述即为环境

收稿日期: 2007-05-28; 改回日期: 2007-09-17

基金项目: 中国地质调查局计划项目(1212010535501)资助。

作者简介: 张云, 男, 1963 年生, 助理研究员, 主要从事环境地质、环境工程、环境生物化学方面工作; E-mail: zhangyun9198@sohu.com。

* 通讯作者

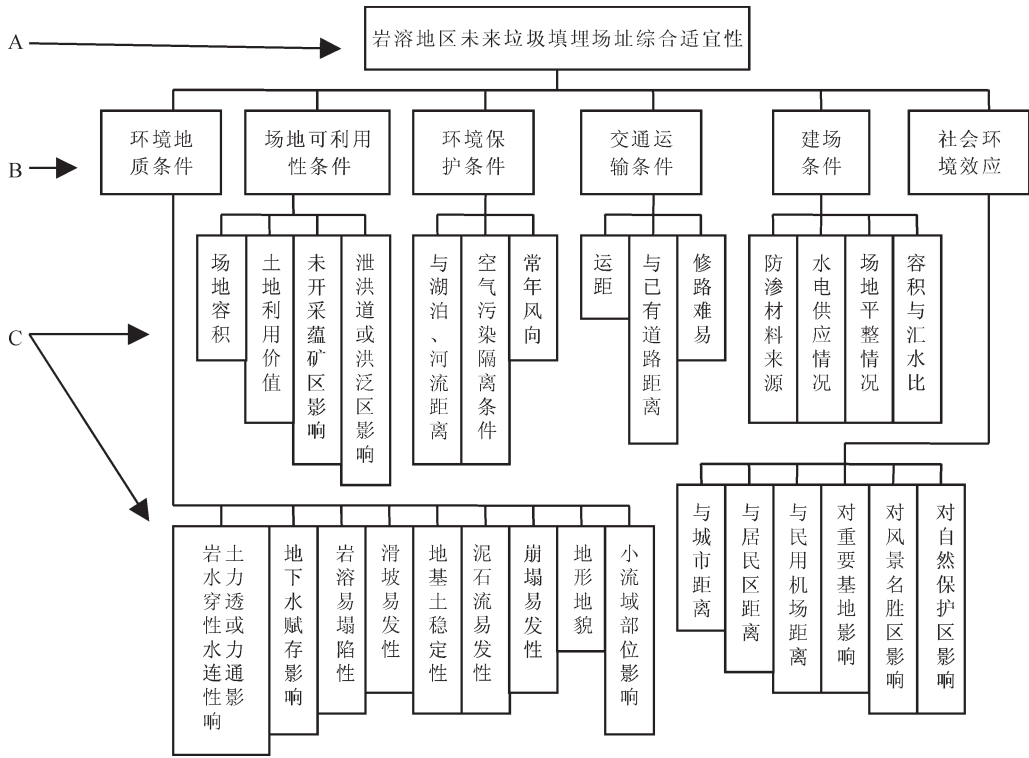


图 1 岩溶地区垃圾填埋场选址层次分析结构模型图

Fig.1 Structure model of the analytic hierarchy process of refuse landfill site selection in karst areas

地质条件,在岩溶地区,对垃圾填埋场选址产生影响的环境地质条件,主要包含岩土水力穿透性或水力连通性、地下水赋存形式、岩溶易塌陷性、滑坡易发性、地基土稳定性、泥石流易发性、崩塌易发性、地形地貌、小流域部位等要素集合,其中,可将岩土的水力穿透性或水力连通性和地下水赋存形式要素归属为水污染防治性影响因子;将岩溶易塌陷性、滑坡易发性、地基土稳定性、泥石流易发性及崩塌易发性等要素,归属为场地稳定性影响因子;将地形地貌和小流域部位要素归属为地形地貌影响因子。

1.1.1 水污染防治性因子影响

岩溶地区环境地质条件极其复杂,地表常见溶洞、岩溶泉、漏斗、落水洞、半掩埋石林、盲谷、岩溶湖、溶沟、洼地、小流域沟谷、山谷、斜坡、断裂破碎带、褶皱山体等地貌形态,这里既有岩溶地质作用现象,也有非岩溶地质作用现象存在。区内第四系松散土层分布稀少而厚薄不一,地表岩土结构复杂多变,地下水体垂直循环厚度较大,地下水多以岩溶管道泉、地下暗河、基岩裂隙水、构造裂隙水、松散介质孔隙水等形式赋存,并缘于岩溶作用的高程差异,地

下水又易与地表水之间发生转换。在这一地区进行城市垃圾的填埋处置,容易发生污染渗漏,稍有不慎,就会直接污染区内地下水或地表水。当进行垃圾填埋场的选址时,首要任务就是要对拟选场地的水污染防治性进行评价。这个评价首先宜重点考察岩土渗透性或水力连通性和岩土厚度对垃圾填埋场的影响。其中,对于单一包气带土层分布而言,可将土层渗透性和厚度的联合影响以岩土水力停留时间影响来代替。此水力停留时间越长,岩土阻滞污染液下渗和迫使其得以净化的能力就越强。另外,水力停留时间越长,可抗衡填埋垃圾较长的腐熟降解周期的能力也越强,待垃圾完全腐熟降解后,其渗滤液的污染能力也就随之散失。即使在这一水力停留时间内,还能进入或穿过岩土层一部分水量,但很有限。就此而言,岩土层阻滞或防护垃圾淋滤液的污染能力也越强。对于单一岩层分布来说,可将岩层的水力连通性和厚度的联合影响以岩溶发育、节理裂隙发育、断裂构造分布等的影响来代替,它们越发育,则越不利于垃圾填埋场的选址。而对于土层、岩层联合分布来说,可分别针对岩土水力停留时间、岩溶发育、节理

裂隙发育、断裂构造分布等的影响进行考察,取用它们中防渗性能较好者作为评价计算参数;其次,还要针对地下水的赋存形式影响进行量化评价。不同赋存形式的地下水,可能遭受到的污染机率、过程和程度不同。如对于地下暗河和岩溶管道泉而言,引起垃圾污染液进入的最大机率,大多发生在单条或多条地下暗河或岩溶管道泉的入口地带,该地带一般面积较小,容易回避与防范,在选择垃圾填埋场址时,可考虑适当离开一定距离即可。而对于松散介质中的地下水,由于松散孔隙遍布,水力连通性好,只要有水头存在,就易发生污染液入渗现象,而且污染液的侧、下渗范围影响较大,在选择垃圾填埋场址时,必需考虑远离。由此,在岩溶地区进行垃圾填埋场的选址评价时,还需要重点针对地下暗河、岩溶管道泉、基岩裂隙水、松散孔隙水等赋存地下水的水污染防治性影响进行考察。

1.1.2 地形地貌因子影响

地形地貌是影响垃圾填埋场选址的又一重要因素,在建设垃圾填埋场时,不同的地形地貌场地所需的工程投入不同,建场费用亦不同。在岩溶地区,山谷、洼地众多,这些地带一般侧护条件较好、容积与汇水面积比较大、污染不易传播,似一个聚宝盆,有利于污染防治的工程处理和减少场地的建设费用。而在台地、坡地地带,则既无侧护条件,又易传播污染,它们不利于垃圾填埋场的选址;此外,岩溶地区的局部山间小流域沟谷也较多,而且其长短、大小不一,在这些沟谷内往往有溪流、泉水和松散孔隙地下水分布,垃圾填埋场选择在它们的不同部位时,造成对下游水体、土体和其他生态环境的可能污染范围就不同。如选择在其下游部位,就要相对更适宜一些。

因此,在进行垃圾填埋场的选址时,同样需要对地形地貌影响进行考察评价。

1.1.3 场地稳定性因子影响

场地稳定性也是影响垃圾填埋场选址的重要因素之一,稳定的场址有利于垃圾填埋场的建设和使用。在岩溶地区,岩溶塌陷普遍,沟壑众多,地形切割显著,斜坡稳定性复杂多变,地基土变化较大,水土流失严重,区内容易发生岩溶塌陷、崩塌、滑坡、泥石流、地基土不稳定等地质灾害,给垃圾填埋场的建设和使用带来不利影响。因此,在进行垃圾填埋场的选址时,宜对它们的危害性给予量化评价。

1.2 场地可利用性因子影响

从需具有一定的自净化能力方面考虑,垃圾填埋场宜选择在有第四系土层分布的地带。但在石漠化严重的岩溶地区,土地稀少而珍贵。即便是这些很少的第四系土层,也大多分布在低洼、汇水地带,这些低洼地带又多是良田分布区,土地的利用价值很高,不便选为垃圾填埋场址。对于垃圾填埋场的选址而言,只适宜在土地利用价值不高的荒山、野岭和荒地或非良田地带来进行选择,而且还要考虑远离尚未开采的地下蕴矿区和洪泛区地带。可就在这些有限的可选地带内,场地的可利用容积和建场条件变化也较大,对垃圾填埋场的经济适宜性影响较大。因此,在进行垃圾填埋场的选址时,同样要对这类因素进行量化评价。

1.3 其他因素影响

除上述讨论因素外,在岩溶地区进行垃圾填埋场的选址评价时,还需要考察场地环境保护条件、交通运输条件、场地建设条件、社会环境效应等方面因素的影响。就这些因素对垃圾填埋场的选址影响而言,与在平原地区的垃圾填埋场选址^[9]影响类同,在此不赘述。笔者仅重点对在岩溶地区进行垃圾填埋场的选址评价中影响突出的空气污染隔离、修路难易、场地容积与汇水面积比等因素作补充分析。

1.3.1 空气污染隔离影响

在岩溶地区对垃圾填埋选址产生有利影响的负地形很多,如凹地、洼地、山谷、沟壑等。它们中的一些为三面或四面环山,环护条件较好,有利于对空气污染的隔离与选址;一些则环护条件较差,不利于对空气污染的隔离与选址。因此,在垃圾填埋场的选址评价中,宜考虑对此因素进行量化评价。

1.3.2 修路难易影响

岩溶地区地形起伏较大,陡崖、深壑、沟谷、河流纵横,修路的难易程度不同,这给选场未来交通条件或修路成本构成了较大影响,因此,也需要给与量化评价。

1.3.3 容积与汇水面积比影响

岩溶地区广泛分布的负地形大多深浅不一、容量悬殊。如两个相同面积的负地形地带,其汇水面积和容量的差异可能较大。但对垃圾填埋场的建设成本而言,场地容积与汇水面积比值越大,需投入的截流汇水的单位成本就越低,则越有利于垃圾填埋场

的选址。因此,在垃圾填埋场的选址评价中,同样需对这一因素给予量化评价。

2 评价方法确立

2.1 选址评价因素及层次分析构建

根据以上分析,借鉴现行适用于平原地区的垃圾填埋场选址评价方法及其层次评价体系的构建特点^[2],构建适用于岩溶地区的垃圾填埋场选址评价方法和相应的层次分析模型。新构建的评价方法共设 6 大类评价因子层面和 29 小类评价因子(图 1),

并按影响因子的不同特点,构架为 A、B、C 3 层分析模型(图 1)。

2.2 层次分析模型中影响因子的重要性排序

采用上述构建评价方法在岩溶地区进行垃圾填埋场的选址评价,可基本解决现行评价方法对复杂环境地质情况适应不足的问题,使评价内容和方法具有更强的针对性和稳定性。根据这一评价思想,结合岩溶地区的环境地质特点,确定在岩溶地区进行垃圾填埋场的选址评价时,对各影响因子间的分类、重要性差异和排序等的构建,可与平原地区的垃圾

表 1 应用分析提出层次分析法的评价结果

Table 1 Assessment by using the improved analytic hierarchy process

评 价 因 子				各候选场址适宜性评价的评价因子实际贡献权值,代号 K_{ijls}			
A 层评价因子		B 层评价因子		麦积塘 西 北	次 沟 西 南	石林上 蒲 草 西 北	石林碳 化 厂
因子	代号及 理论权值	因子	代号及 理论权值				
环境地质条件影响	$k_{100}=0.5364$	地形地貌影响	$k_{110}=0.03679$	1.0	1.0	1.0	1.0
		小流域部位影响	$k_{120}=0.03679$ 、	0	1.0	1.0	1.0
		地下水赋存影响	$k_{130}=0.2059$	0	0	0.5	0
		岩土厚度与渗透性条件	$k_{140}=0.3862$	0.85	0.65	1.0	0.775
		地基土稳定性影响	$k_{150}=0.06155$	0.6	1.0	0.9	1.0
		泥石流易发性影响	$k_{160}=0.03679$	0.6	0.5	0.9	0.8
		崩塌易发性影响	$k_{170}=0.03679$	0.3	0.4	0.9	0.8
		滑坡易发性影响	$k_{180}=0.09954$	0.2	0.3	0.9	0.8
		岩溶易塌陷性影响	$k_{190}=0.09954$	0.8	0.5	0.7	0.3
环境地质条件影响得分				28.68	26.76	33.35	32.30
场地可利用性影响	$k_{200}=0.1800$	未开采蕴矿区影响	$k_{210}=0.07565$	1.0	1.0	1.0	1.0
		泄洪道或洪泛区影响	$k_{220}=0.07565$	1.0	0.8	1.0	1.0
		土地利用价值	$k_{230}=0.33292$	0.4	0.4	0.4	0.8
		场地容积	$k_{240}=0.51576$	0.53	1.0	1.0	0.667
场地可利用性影响得分				10.04	12.8	14.40	13.71
环境保护条件影响	$k_{300}=0.1177$	常年风向	$k_{310}=0.08522$	0.5	0.5	0.5	0.5
		空气污染传播隔离条件	$k_{320}=0.3705$	1.0	0.5	0.5	0.5
		与湖泊河流距离	$k_{330}=0.5440$	0.4	0.4	1.0	1.0
环境保护条件影响得分				6.72	5.11	9.67	6.89
交通条件影响	$k_{400}=0.0743$	运距	$k_{310}=0.70494$	0.667	0.83	1.0	1.0
		修路难易	$k_{320}=0.08414$	0	0.8	0.7	0.8
		与已有道路距离	$k_{330}=0.21092$	0.7	0.45	0.5	0.7
交通条件影响得分				4.59	5.55	6.46	6.83
建场条件影响	$k_{500}=0.04579$	场地平整情况	$k_{410}=0.10636$	0.5	0.8	0.5	0.5
		防渗材料来源	$k_{420}=0.59813$	0.5	1.0	1.0	0.5
		水电供应情况	$k_{430}=0.18914$	0.5	0.5	0	0.5
		容积与汇水比	$k_{440}=0.10636$	0.5	0.5	0.47	0.3
建场条件影响得分				2.09	3.47	2.93	2.00
社会环境效应	$k_{600}=0.04579$	与城市距离	$k_{610}=0.32868$	1.0	1.0	0.5	0.5
		与居民区距离	$k_{620}=0.32868$	0.6	1.0	1.0	0.6
		与民用机场距离	$k_{630}=0.14259$	1.0	1.0	1.0	1.0
		对重要基地影响	$k_{640}=0.0892$	1.0	1.0	1.0	1.0
		对风景名胜影响	$k_{650}=0.05511$	1.0	1.0	1.0	1.0
		对自然保护区影响	$k_{660}=0.05511$	1.0	1.0	1.0	1.0
社会环境效应得分				3.63	4.18	3.50	2.94
各候选场址总得分				55.75	57.91	82.21	64.67

表 2 环境地质条件影响-水污染防治因子实际贡献权值的量化标准
Table 2 Weight confirmation of factor-water pollution vulnerability affected by geo-environmental conditions

评价因子分类	影响状况		影响权值	说 明																	
	距离 (L)	>50 m 或无岩溶管道水 <50 m >400 m 或无基岩裂隙水 <400 m >800 m 或无水源地或潜水 <800 m																			
地下水赋存影响	地下暗河、岩溶管道泉		1	CJJ17-2001 标准规定,场地距与水源地的距离应大于 800 m; 将岩溶管道水流场视为管道地表水体,相距应大于 50 m; 基岩裂隙水流场,介于它们之间,取它俩相差倍数的中间值 s 与最小、50 m 远的乘积为最小、400 m 远																	
	基岩裂隙水		L/50 1 L/400 1																		
	松散介质水源地,一般潜水、承压水地带		L/800																		
分类	子因素	权重(\hat{O}_j)	权值计算:包气带土层用 $F=F_i$ 计算。单一岩层用 $F=(\sum_{i=1}^n \hat{O}_i \times X_j) / 100$ 计算																		
	单一包气带上层影响	水力停留时间(年)	1.0	<table border="1"> <tr> <td>状况</td> <td>>50</td> <td>45~50</td> <td>35~40</td> <td>40~45</td> <td>25~30</td> <td>30~35</td> <td>20~25</td> <td><20</td> </tr> <tr> <td>分值(F_i)</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.6</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>0</td> </tr> </table>	状况	>50	45~50	35~40	40~45	25~30	30~35	20~25	<20	分值(F_i)	1.0	0.9	0.7	0.8	0.6	0.5	0.4
状况	>50	45~50	35~40	40~45	25~30	30~35	20~25	<20													
分值(F_i)	1.0	0.9	0.7	0.8	0.6	0.5	0.4	0													
岩土厚度与渗透性或水力连通性影响	岩溶洞漏斗暗河大泉等发育影响	状况	无	有,但可避开影响。	有,人工工程可消除或避开影响	有,无法消除或避开影响															
		分值(X_j)	100	50—100	0—50	0															
	节理、裂隙发育影响	状况	不发育	微发育	中发育	高发育															
		分值(X_j)	100	50—100	0—50	0															
	单一岩层影响	断裂、构造影响	状况	无断裂构造分布	褶皱带	有浅层断裂分布	有深大断裂分布														
分值(X_j)			100	70 60 20	0 15 0	60 50 0	40 10 50														
土层、岩层联合影响				取用包气带土层和岩层二者中防渗性能最好者作为岩土厚度与渗透性或水力连通性的综合影响权值																	

表 3 环境地质条件影响—地形地貌因子实际贡献权值的量化标准
Table 3 Weight confirmation of factor—geomorphological type affected by geo-environmental conditions

评价因子	状况		权值或权值计算			说 明
	状况	小类	状况权重 (∂_i)	小类得分 (x_i)	状况权值 计算公式	
地貌类型影响	山谷及洼地			1.0		不同地形地貌对垃圾场选址的适宜性不同
	平地			0.9		
	台地			0.6		
	坡地			0.3		
小流域部位影响	小流域部位	整个流域	0.45	100	$\left(\sum_{i=1}^n \partial_i \times x_i \right) / 100$	在山区小流域里,垃圾场位于流域的不同部位,产生对下游土体、水体的可能污染范围不同(上游大、下游小)
		下游		100		
中游	50					
上游	0					
	相对于地表水体、泉点等的流向位置	无	0.55	100		在小流域里,垃圾场位于地表水体的不同流向位置,可能产生污染的程度及防护造价不同

表 4 环境地质条件影响—场地稳定性因子实际贡献权值的量化标准

Table 4 Weight confirmation of factor—site stabilization degree affected by geo-environmental conditions

评价因子	状况	权 值	说 明
场地地基土稳定程度影响	基 岩	1	这几种类型岩土的工程地质特性差异较大,对垃圾填埋场的稳定性会产生不同的影响作用
	其他土	0.8~1.0	
	膨胀土	0.5~0.8	
	软土	0~0.3	
泥石流易发程度影响	不易发	0.8~1.0	执行标准为参照中国地质调查局编制“城市环境地质问题调查评价规范”附录 I ^①
	低易发	0.25~0.8	
	中易发	0~0.25	
	高易发	0	
崩塌易发程度影响	不易发	0.8~1.0	执行标准为参照中国地质调查局编制“城市环境地质问题调查评价规范”附录 II ^①
	低易发	0.5~0.8	
	中易发	0.2~0.5	
	高易发	0~0.2	
滑坡易发程度影响	不易发	0.6~1.0	执行标准为参照中国地质调查局编制“城市环境地质问题调查评价规范”附录 III ^①
	低易发	0.3~0.6	
	中易发	0.1~0.3	
	高易发	0~0.1	
岩溶塌陷易发程度影响	不易发	1.0	执行标准为参照中国地质调查局编制“城市环境地质问题调查评价规范”附录 IV ^①

填埋场选址评价方法^[2]类同。依据此构建特点,采用 9 标度心理判断值,构造各影响因子间的相对重要

性判断矩阵,并由此计算得到各层次影响因子的相应理论权值(表 1)。

2.3 层次分析模型中评价因子的实际权值标准构建

在垃圾填埋场的选址评价中,各评价因子的实际贡献权值取决于其对拟选场地能否安全使用的底线条件。根据垃圾填埋场的建设宗旨和安全使用原则,以岩溶地区的城市建设规划、经济发展、土地资源、环境保护、环境地质条件等要求为参考或分类参考,并结合填埋垃圾的类型、成分、数量等基本情况,可构建在岩溶地区进行垃圾填埋场的选址评价时,各评价因子的实际贡献权值的标准量化法或标准值。其中,环境地质条件层面中的水污染防治因子、地形地貌因子、场地稳定性因子等的实际贡献权值的标准量化法或标准值见表 2~4,场地可利用性因子和其他补充因子的实际贡献权值的标准量化法或标准值见表 5,对于环境保护条件、交通运输条件、场地建设条件、对社会环境影响等层面中的其余评价因子,其实际贡献权值的标准量化法或标准值可与平原地区的垃圾填埋场选址评价方法^[2]相同。这些数据将为岩溶地区的垃圾填埋场选址评价,提供各评价因子的实际权值标准。

2.4 模型计算及评价标准

2.4.1 评价模型计算

对于评价模型的计算方式采用下列广义目标函数式(1)来执行,这个目标函数可将垃圾填埋场适宜

①引自中国地质调查局,城市环境地质问题调查评价规范,2005.

表 5 其他影响因子的实际贡献权值量化标准

Table 5 Weight confirmation of other impact factors

评价因	状 况	权 值	说 明
尚未开 采的地 下蕴矿 区影响	在区外	1.0	CJJ17-2004 标准 ^① 规定, 填埋场不应设在尚未开 采的地下运矿区
	在区内	0	
泛洪区 和泄洪 道影响	在区外	1.0	CJJ17-2004 标准 ^① 规 定,填埋场不应设在 泛洪区和泄洪道内
	在区内	0	
土 地 利 用 价 值	废 地	1.0	耕地和林地是土地资源的重要 保护对象。岩溶地区多见林地、 肥沃耕地、一般耕地、贫瘠耕 地以及荒地、废地等,它们的 土地价值不同,对选择垃圾场 的征地费用也将不同
	荒 地	0.9	
	贫瘠地	0.8	
	一般地	0.4	
	肥沃耕地 或林地	0	
场 地 容 积	$V_i > 2V_0$	1.0	V_0 为一个具 5 万人口的城镇, 以 1.5 kg/人·天产生垃圾量, 按 0.6t/m ³ 的压实密度压实填 埋 10 年,所需的场地容积 (为 45 万 m ³)
	$0.8V_0 < V_i$	$V_i/(2V_0)$	
	$V_i < 0.8V_0$ 或平地	0.0	
空气污 染传播 隔离条 件影响	能有效隔离	1	有山体阻挡,可有效 隔离空气污染
	较有效隔离	0.5	有山体阻挡,但不能 完全隔离空气污染
	无有效隔离	0	没有山体阻隔
修 路 难 易	不需要修	1.0	道路直通
	容易	0.7	有筒便路、地形平缓
	较困难	0.35	无筒便路、地形复杂 起伏较大
	困难	0.0	有河流、陡崖阻断
场地容 积与 汇水比 情况	$i=h$	1.0	$i=VS, V$ -场地可填埋容积; S -场地汇水面积; h -场地可填埋深度

性评价的大系统中各子系统(大因素下的子因素)有机地结合起来,目标函数表述如下:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i = 100 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{k_i} K_{j00} \cdot K_{j0} \cdot K_{jL} \cdot K_{jLS}$$

式中: Z_i 为第一层制约因素第 i 因素之总分; i 为第一层制约因素个数; j 为第一层制约因素第 i 项

影响因素的第二层子因素第 j 子因素 $j=0, 1, 2, \dots, L$ 为第二层制约因素第三层子因素的第 L 子因素 $L=0, 1, 2, \dots, n$; K_{i0} 为第一层制约因素第 i 项影响因素之个数, $K_{i0}=1, 2, \dots, n$; K_{i00} 为第一层制约因素第 i 子因素权重; K_{j0} 为第二层制约因素第 j 子因素权重; K_{jL} 为第三层制约因素第 L 因素权重; K_{jLS} 为第三层制约因素第 L 因素实际贡献权重。

2.4.2 评价标准

根据有关研究成果和成功的实践经验,适宜性评价标准可采用百分制标准执行。

2.5 方法应用流程

(1)首先依据地形地貌条件、场地容量条件及交通条件等进行初选,选出候选靶区。

(2)再根据场地可利用性条件、环境地质条件、交通运输条件、环境保护条件因子、场地建设条件、社会环境效应等情况,结合建设部《城市生活垃圾卫生填埋技术标准》、中华人民共和国《生活垃圾填埋污染控制标准》和中华人民共和国环境保护行业标准及城市发展规划情况等,按照构架的层次结构(图 1),将影响垃圾填埋选址的各评价因子及其递阶归属子因子,进行同层或同一归属下的重要性排序,并依据 9 标度心理判断值构造判断矩阵,对各层次影响因素的理论权值进行量化计算,再会同各子因子影响的实际权值一起纳入上述(1)式中计算,得到各候选目标场地的适宜性分值。

(3)最后,根据各目标场地的适宜性分值大小进行优劣排序,优选出评价分值在 60 分以上的场地作为垃圾填埋场地,实现对拟选场地的优选评价。

3 应用

就上述分析提出的选址评价方法,在垃圾填埋选址较困难的昆明岩溶地区进行实例应用分析。

昆明市位于滇池东北部,滇池水域约 500 km²,水源来自四周河流与地表流水的向心状汇入。滇池流域以流水侵蚀—堆积地貌和岩溶地貌为主,主要由浅切割中低山地貌及较深切割中山地貌组成。地势北东、北西向南倾斜。地表出露岩类主要是碳酸盐岩、火山岩、碎屑岩,尤其碳酸盐岩分布较广,岩溶地貌发育。

根据昆明市的环境地质概况及其他相关资料分

①CJJ17-2004 代为建设部《城市生活垃圾卫生填埋技术标准》。

表6 昆明市岩溶山区几个拟选垃圾填埋场的环境概况

Table 6 Environments of several proposed refuse landfill sites in karst areas of Kunming

场地	麦积塘	次沟西南	石林上蒲	石林碳	场地名称	麦积塘	次沟西南	石林上蒲	石林碳
行政归属	昆明市盘龙区	昆明市西山区	昆明市石林县	昆明市石林县	土层渗透性	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	10^{-8}	$10^{-6} \sim 10^{-7}$
相对城市方位、距离	东北、 >15 km	西北、 $10 \sim 15$ km	东、6 km	东、5 km	节理裂隙发育情况	岩石节理裂隙较发育	岩石节理裂隙发育	岩石节理裂隙微发育	岩石节理裂隙微发育
地形地貌	山谷小流域, 小山沟	山谷中等流域, 大山沟	山中凹陷洼地、山地斜	山脚洼地, 溶蚀漏斗	岩溶发育	不明显	较发育, 有岩溶泉分布	发育, 有石牙、落水洞分布	发育, 有石牙、落水洞分布
坡度	整体 $<10^\circ$	$<2^\circ$	$<5^\circ$	整体 $<6^\circ$	场地稳定性	存在山坡失稳隐患, 其他无	存在山坡失稳隐患, 其他无	较稳定, 无不稳定因素	较稳定, 无不稳定因素
平坦度	缓台阶状起伏	平坦	较平坦	锅底状起伏	植被情况	松林发育	作物	作物	作物
场地形状	弯曲、喇叭状、	长条状	不规则状	不规则状	地下水形式	基岩裂隙水出露, 山谷潜水	基岩裂隙水、岩溶水、山谷潜水	岩溶水、洼地潜水	岩溶水、洼地潜水
容量估计 (m^3)	480000	3600000	3600000	600000	地表水体	山谷下游20 m 远有水库	南部上游20 m 为水库	无	无
小流域部位	上游	整个流域	无	无	交通条件	山坡阻挡, 距已有道路300 m 远	有1 km 长简易路通向公路	有简易路	有简易公路
场地周围环境	山体或山坡分隔	山体或山坡分隔	山体或山坡分隔	山体或山坡分隔	居民点距离	300 m	>500 m	>500 m	300 m
土地利用性	部分为耕地	耕地	一般耕地	一般耕地	水电供应情况	设法供应	供应方便	设法供应	供应方便
围岩分布	碎屑岩, 表土厚3~5 m	碳酸盐岩、碎屑岩交替, 表土厚5~6 m	碳酸盐岩, 表土厚4~6 m	碳酸盐岩, 表土厚4~6 m	防渗材料来源	好, 但需短距离运输	好, 就地取材	好, 就地取材	好, 就地取材

析,笔者重点针对东北、西北及东南方向出露碳酸盐岩的地区进行了实地踏勘与调查,根据地形地貌、交通、容量等条件初步选出了麦积塘、次沟、石林上蒲草、石林碳化厂等4个候选垃圾填埋场地,场地的环境概况见表6,采用本文提出的层次分析法,通过构建类似图1的层次分析结构图及构造各层影响因素间相对重要性的9标度心理判断值矩阵,进行各影响因素的理论权值计算,之后再利用前述广义目标函数式进行综合量化评价,评价结果及过程关键值见表4。结合表3~4看出,采用笔者提出的层次分析法评价,可在兼顾考虑其他条件适宜情况下,将环境地质条件明显较好的石林上蒲草西北场地和石林碳化厂东侧场地从上述4个候选场地中选出,选出场地得到

了环境地质条件的有力支撑。表明,笔者提出的层次分析法,既突出了环境地质作用的重要性,使场地的环境地质风险最小化。又可对其他方面的条件作出合理的评价,是一个科学且有较强针对性的方法。

4 结论

通过实例应用表明,笔者提出的垃圾填埋选址评价方法,适宜作为岩溶地区城市固体垃圾无害化、减量化填埋处置的选用方法。它有较强的针对性、可操作性和实用性。在岩溶地区只要垃圾填埋处置的防护措施得当,此法完全能够实现垃圾的无害化、资源化和减容化。在今后相当长的时期内,垃圾的填埋处置仍将是岩溶地区解决城市垃圾问题的主要方

法之一, 本方法将为岩溶地区的垃圾填埋处置提供科学的选址评价思路。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国建设部. 中华人民共和国行业标准“生活垃圾卫生填埋技术规范”[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004:1-35.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Technical Code for Sanitary Landfill of Municipal Domestic Refuse [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004:1-35 (in Chinese).
- [2] 刘长礼, 张云, 殷密英, 等. 城市垃圾地质环境影响调查评价方法 [M]. 北京: 地质出版社, 2006:195-229.
Liu Changli, Zhang Yun, Yin Miying, et al. Survey and assessment on Geological Environmental Effect of Urban Refuse [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006:195-229(in Chinese).
- [3] 高辉, 李惠民. 工程质量风险的模糊层次分析 [J]. 西北建筑工程学院学报(自然科学版), 2002, 19(1):1-4.
Gao Hui, Li Huimin. The fuzzy AHP analysis of engineering project quality risk [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2002, 19(1):1-4(in Chinese with English abstract).
- [4] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型 [J]. 水利学报, 2004, 3:65-70.
Jin Juliang, Wei Yiming, Ding Jing. Fuzzy comprehensive evaluation model based on improved analytic hierarchy process [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 3:65-70 (in Chinese with English abstract).
- [5] 朱宝宏. 灰色理论在环保垃圾填埋场选址中的应用 [J]. 云南地质, 2005, 24(3):345-350.
Zhu Baohong. The application of gray theory to the selection of rubbish filling & burying field for environmental protection [J]. Yunnan Geology, 2005, 24(3):345-350(in Chinese with English abstract).

Assessments of refuse landfill site selection in karst areas

ZHANG Yun¹, LIU Chang-li¹, YE Hao¹, DONG Hua¹, HOU Hong-bing¹,
JIANG JIAN-mei¹, PEI Li-xin¹, SONG Chao¹, SHI Jin-jiang²

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Zhengding 050803, Hebei, China;
2. Hebei Communication Engineering Consulting Co. Ltd. Shijiazhuang 050800, Hebei, China)

Abstract: It is difficult to select refuse landfill sites in karst areas and the present assessment method of refuse landfill site selection has many limitations. Therefore an improved assessment method of refuse landfill site selection is presented by the authors according to the construction purpose and basic principle of refuse landfill site selection, combined with the geo-environmental characteristics in karst areas. Its applications indicate that more suitable refuse landfill sites can be selected by this method in karst areas where refuse landfill sites are difficult to select by using the present method, and that the method is capable of solving the difficult problems of refuse harmlessness and reduction in karst areas.

Key words: karst area; refuse landfill site; site assessment; impact factor; assessment model; environmental geological condition

About the first author: ZHANG Yun, male, born in 1963, assistant researcher, mainly engages in studies of environmental geology, environmental engineering and environmental biochemistry; E-mail: zhangyun9198@sohu.com.