

废物处置场地地质屏障的环境安全评价

孟 伟 赫英臣

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

提要:当前由于科技进步,经济快速发展,也需要对环境质量提出更高的要求,要求各种环境处理、处置工程能达到永久安全,一劳永逸的保护环境的效果。这种效果的实现唯一的要靠地质屏障发挥的效应,因此笔者就地质屏障的基本作用,对地质屏障的安全评价,如何利用地质屏障解决环境问题等,利用大量的实验数据和实践经验进行详细论证。提出中国具有各种各样有利的地质条件和许多可利用的优良地质屏障,依靠地质科学的基本理论来解决环境问题,促使环境状态和生态环境逐渐向良好方向发展。

关键词:地质屏障;废物处置;环境保护;生态平衡;运移;阻滞

中图分类号:P66 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)01-0166-07

当今世界由于科技的发展与进步,促使经济腾飞快速发展,与此同时对环境保护质量的要求也越来越高,致使环境科学也要向更高层次发展。所谓更高层次的环境保护要求,就是要使环境污染治理达到永久性、安全性,不再出现二次污染或重复污染。若要达到这种高标准的环境保护要求,就要得到地质科学的大力支持,同时也要和采矿业的密切结合。

当前环境污染治理更高的标准也要达到生态学的要求,这就是环境污染治理要有利于生态环境建设,有利于生态保护,促使生态平衡。废物处理要想达到生态效应,当然最理想的就是让废物处理、处置场地远离生物圈,至少要远离城区、远离人群。为此,当今欧洲各国致力于废物地下充填和填埋的研究和实践^[1];美国将废液向地下进行灌注达到安全处置已实施了几十年^[2]。无论是废物的地面或地下处置都要靠地质屏障的隔离和封闭作用,因此,对废物处置场地的地质屏障性质的研究和安全评价则应是废物处理与处置技术发展的最重要研究课题。

1 地质屏障的基本作用

地质屏障对有害物质污染的防护实质上是利用地质体(地层和岩性)对有害物质运移的阻滞性质和降解性质来体现。地质屏障基本可实现以下 3 种作用。

(1)能降低或阻滞有害物质的释出数量,使被填埋的废物可溶性和毒性降低,含水量减少。

(2)能长久地降低有害物质的释出速度或避免释出速度的出现。

(3)尽可能减少或避免有害物质释出。

若要使地质屏障能实现上述 3 种作用,就要认真地对地质屏障性质作出总评价,首先要对岩层的岩性、厚度、密度、均质性、渗透性,以及矿物成分提出高要求。另外也要考虑地质屏障地质构造的影响或其他自然和人为因素的影响。

对地质屏障防护能力的评价,更重要的要了解填埋场内有害物质的运移和含水特征,以及废物溶滤液对填埋场地质基础的侵蚀和腐蚀作用。

1.1 填埋场内废物的含水量和运移

由于受降雨的影响,不同气候带垃圾体的含水量变化很大。如降雨量大于 1 000 mm 以上地区,被填埋的垃圾体的含水量会达到 50%~80%,或更大。垃圾体的含水量再加上外部进入的各种水就促成了垃圾渗滤液的运移。有害物质运移速度受流场的渗透性、有效孔隙度和水力坡度等水文地质参数控制。因此若想了解有害物质运移规律,就要测定这些基本参数。除此之外,废物有害溶滤液形成的地下水流的运移机理,还要考虑渗滤液的化学成分中的弥散度和相关的溶蚀浓度和溶蚀率。有害物质在运移过程中因阻滞因素和衰变过程而得到降解,实际上是与地质体相互作用产生的结果。

经大量试验和实践表明,天然或人工加密的粘土层具有较好的阻滞有害物质运移的能力。结果(图 1)表明^[3],经 12 年

后垃圾填埋场有害物质运移(或扩散)只在粘土中运移了 3 m 多的距离;而对流运移则更小,只几厘米。由此可充分证实,好的地质屏障会对有害物质防护起到极好作用。

1.2 填埋场地质基础的浸蚀和腐蚀作用

填埋场的人工密封层和天然的地质基础在废物渗滤液的长期作用下,会出现严重的浸蚀和腐蚀作用,如果这种作用突破密封结构进入地下水含水层,就会使地下水产生严重污染。针对这种情况,人工制做的密封层和选择的天然地质基础,应具有足够的耐浸蚀和耐腐蚀的能力,应能达到长期保证废物渗滤液中有害物质对周围水域不能造成污染,这就是地质屏障要起到的安全作用。

由于来自填埋场渗滤液非控制性的长期浸蚀作用是必然要形成的,除了在排水层的功能下尽量使渗漏水被排出,同时也要在专业技术上(主要是密封措施)和场址选择上,以利于从法律上对有害物质的浸蚀和腐蚀有一个可承诺的值,

如果突破这个值就会造成环境污染(图 2),应该采用先进的警报系统或监测系统来预报密封层系统的功能,来随时判定它对填埋场的保护作用。

实际上填埋场的浸蚀和腐蚀作用在实践中可以从两方面来解决,一方面加强填埋场排水层的作用,使填埋场形成的渗滤液尽量通过排水层排出,进行净化处理;另一方面要加强填埋场基础的密封措施和选择具有好的地质屏障性质的场地。如图 2 所示,应该利用地质屏障性质将污染带和零度侵蚀边界线都控制在地质屏障之内,这样污染不突破地质屏障则环境确保长久安全。

2 对填埋场地质屏障的安全评价

几十年固体废物的地上和地下处置经验已充分证实,只有良好的地质屏障才能使环境保护达到长久安全。尽管当今世界科技已很发达,为地表填埋场基础密封发展多种密封体

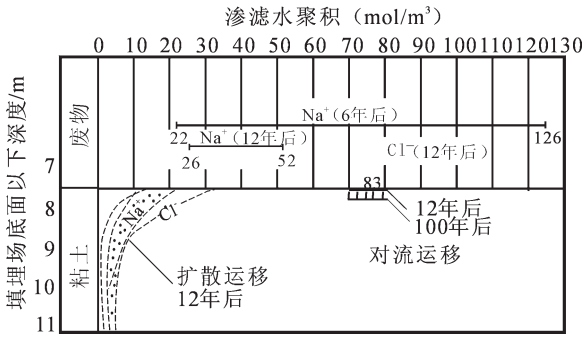


图 1 德国某生活垃圾填埋场下方有害物质在粘土密封层中的扩散和对流运移之间的对比^[3]

Fig.1 Comparison between diffusion and convection of harmful substances in a claypan below a domestic waste landfill site of Germany^[3]

表 1 不同岩性的渗透性和径流量^[3]

Table 1 Permeability and runoff in different rocks^[3]

岩性	渗透性K(m/s)	径流量Q(m ³ /a)	地质屏障等级
砾石	10 ^{-3~0}	38×10 ^{-5~8}	很差
砂(分选性好)	10 ^{-5~2}	38×10 ^{-2~6}	差
淤泥状砂	10 ^{-7~3}	38×10 ^{-1~5}	良
亚粘土	10 ^{-9~6}	38×10 ^{-1~3}	优
未风化的粘土	10 ^{-12~6}	38×10 ^{-4~3}	最优
碳酸岩(无孔)	10 ^{-9~2}	38×10 ^{-1~6}	良
砂岩	10 ^{-10~6}	38×10 ^{-2~3}	良
粘土岩	10 ^{-12~6}	38×10 ^{-2~2}	优
页岩	10 ^{-13~9}	38×10 ^{-5~1}	优
裂隙火成岩	10 ^{-8~2}	38×10 ^{0~6}	良
无裂隙火成岩	10 ^{-14~10}	38×10 ^{-6~2}	最优

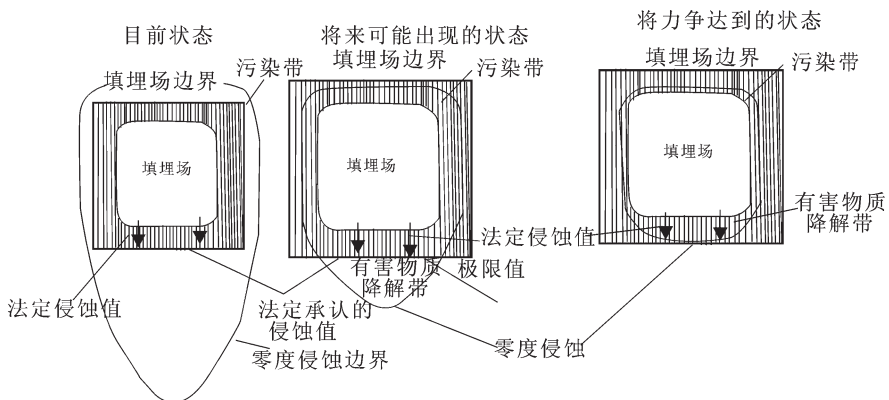


图 2 德国标准力争将填埋场有害物质释出尽量控制在场地地质屏障内的零度侵蚀边界^[3]

Fig.2 Germany DIN strives to limit harmful substances within the zero erosion boundary in geological barriers of waste landfill sites in Germany^[3]

系,应用优质材料,例 HEPD 塑料密封板,膨润土垫等,但是所有的人工合成材料都是有寿命限制的,只能在一定的时间段起作用,都不如地质体的寿命长,因此地质屏障才是永久安全的,能长久地担负起保护环境的作用。对它的安全评价主要考虑它所具有的屏障性质。

2.1 地质屏障对有害物质的防护性能

地质屏障对有害物质的防护能力主要表现在各种地质因素上,例如岩石性质、结构、密度、孔隙度、岩层厚度与分布特征,水文地质特征以及废物本身的物理化学特征等。

2.1.1 地层的渗透性与径流量

不同岩性的地层具有不同的渗透性和过水径流量,渗透性越小而径流量也越小。具有良好地质屏障性质的岩层,当然应是渗透系数越小,径流量越小的岩层,并且要有一定的厚度和分布的稳定性。

试验证明,假设某填埋场的地质屏障当水力坡度 $i=0.002$,过水断面 $F=6\ 000\ \text{m}^2$ 时,将各种岩性的渗透系数和所计算出的径流量列表 1。

从表 1 可以明显的表示出不同岩层的渗透性可增强或阻滞有害物质的释出,强渗透的松散岩石(砾石、砂、裂隙岩层)会促进有害物质的释出或增强地下水的流量和速度,会造成地下水的强烈污染;粘结性的松散岩石(亚粘土和粘土)和裂隙不发育的坚硬岩石会对有害物质的运移起到强烈的阻滞作用,可以成为最优的地质屏障。

2.1.2 地质屏障对有害物质运移的阻滞作用

不同岩层对废物渗滤液中有害物质运移的阻滞作用取决于一系列重要因素。例如每种有害物质的状况和浓度、渗

滤液的物理化学性质、岩石的孔隙度、岩石矿物的表面积、含水层岩性和层序、渗滤液和地下水的流速以及地下水的物理化学性质等。

地质屏障对有害物质的阻滞和释出特征,应将有害物质分为有机和无机两大类来研究。

(1)无机污染物

特别是针对阳性金属无机污染物,例如 Pb、Ca、Zn、Cu、Hg 和 Cr^{3+} 等,主要通过地质岩石颗粒活性表面吸附和沉淀来使污染物减少和降低。当 pH 值增高时,离子交换能力增强。对于阴离子金属,例如 Cr^{6+} 、As、Se 等其吸附要求较低的 pH 值。如果有害物质运移到地下水中,则受地下水的流速影响极大,高流速会减少吸附作用的产生。

(2)有机污染物

有机有害物质在填埋场地质屏障内会发生分解和沉淀(凝结作用),其中低分子的有机污染物的挥发作用会被岩石颗粒高沉积密度所阻碍,一些有机污染物可坚固地被岩石表面吸附,其中在沉积过程中有机碳含量会起很大作用;一般情况下有机物比无机物吸附程度低。降解过程主要发生在生物化学环境,它可由营养素(O、N、P、C)的使用和介质特性(T、pH、eH)来控制。在饱和带以厌氧分解为主;弱溶和疏水有机物一般比高溶亲水物质在地下水中运动缓慢;易于被含水层介质所吸附。

根据一些土工试验得到的新认识,土壤中大量有机有害物质的化学氧化作用、酸碱中和作用、还原脱氢作用和水解作用受压力和温度差的催化控制。该发现对于把粘结性岩系作为废物填埋场地的地质屏障会起到突出好的安全效果。

表 2 有害物质在填埋场地质基础中运移过程的各种反应对比评价^[3]
Table 2 Evaluation of comparison of various reactions harmful materials during their migration in bedrock geological barriers of a waste landfill site in Germany^[3]

反应过程	填埋场地质基础	
	含水层(砂层)	隔水层(粘土层)
弥散: 稀释条件与间隔速度和均质性直接相关 与有效孔隙间接相关	- +	+ -
渗透:(或过滤)胶体和较大颗粒的阻滞	-	+
络合形成和离子化合:随离子数量和浓度增加(与渗滤液和地下水比例相关)	-	+
酸碱反应:当pH值小时,大多数物质具有高的可溶性和活性(特别是重金属和有机碳)	-	+
氧化还原:有害物质在非饱和带经常处于氧化环境,局部处于还原环境;在饱和带处于还原环境(与元素的活性相关,在氧化条件下,Cr具活性;在还原条件下,F、Fe、Mn具有活性)	(+)	+
沉淀和溶解:阴离子大量供应,如碳酸盐、磷酸盐、硅酸盐、氢氧化物和硫化物有利于沉淀,优于阳离子 稀释与氧化有利于溶解	+ +	(+) (+)
吸附与解吸:通过在粘土矿物表面的离子交换出现阳离子阻滞 随pH值增高金属吸附增加 在稀释中解吸(地下水流量增大时)	- - -	+ + +
生物化学过程:分解和吸附——有机物的分解(当O ₂ 充足时有利)细胞组合—— 如N、P、K(在细胞膜上元素组合)条件下	+ +	(+) (+)

注: +表示反应过程增强, -表示反应过程降低。

针对埋填场地地质基础有害物质在含水层(砂层)和隔水层(粘土)出现的各种反应过程对比的试验成果,以及对有害物质降解过程的效应作出对比评价(表 2)。

试验成果可以证实(表 2),所有粘结性岩石(粘土、亚粘土、泥岩、页岩)都起到对环境保护的最好的地质屏障效应,主要原因是它的极小的渗透性可阻滞有害物质释出量最小,又由于粘土矿物表面带很强的负电荷,可吸附大量的有害物质。

2.2 对地质屏障性质的综合评价

地质屏障性质受一系列综合地质条件的影响,特别是弱透水岩层(隔水层)区域分布稳定性,厚度的均质性,在一定范围内地层(在埋填场周围至少 1 km² 范围内)不受地质构造的破坏,场地下方地下水埋深较大(至少 20 m 以上),或地下水含水层不存在。埋填场所在地具有封闭的地质构造(例如向斜盆地),或存在着不利的地质构造影响(例如区域型大的地质

断裂构造)。上述提到的综合地质因素,在埋填场选址中的地质勘查阶段应作详细调查,并对调查成果要作认真评价。

2.2.1 地质屏障内具有不同渗透性的岩层结构

在图 3 中,埋填场下方具有不同渗透性的亚砂土、亚粘土、砾石层和粘土层,如果埋填场废物渗滤液突出密封层进入含水层中,因各含水层岩性的渗透性不同,致使污染浑有不同的运移速度和范围,在图 3 中很明显的看出在砾石层,由于渗透系数大,使污染浑运移得更远。像这种地层结构,并具有渗透性很大的含水层的地质屏障,对环境保护不具有可靠的安全性,因此在埋填场选址时尽量不要选择这种地质条件作为埋填场基础的地质屏障。

2.2.2 地质屏障内具有不利的岩层产状和地质构造

地质构造和岩层的产状对埋填场基础地质屏障存在很不利的影响,地下水会沿急倾斜的层理裂隙,以及导水断层带将有害物质运移很远,而使污染范围扩大。从图 4 也很明显的看出,地下水会将有害物质沿急倾斜的砂岩层理,石灰岩溶蚀裂隙和导水断层迁移,并且会无控制运移很远,导致地下水的污染范围扩大。从这个实例可以证实,埋填场的地质基础不应有裂隙发育(层理发育)急倾斜产状的岩层,以及导水断层。位于这种地质条件下的地质屏障不具有可靠的安全性,在埋填场选址时不应选择这种不利的地质条件。

2.2.3 地质屏障内不透水岩层厚度不稳定

前面已提到优良的埋填场地地质屏障应具有渗透性小,

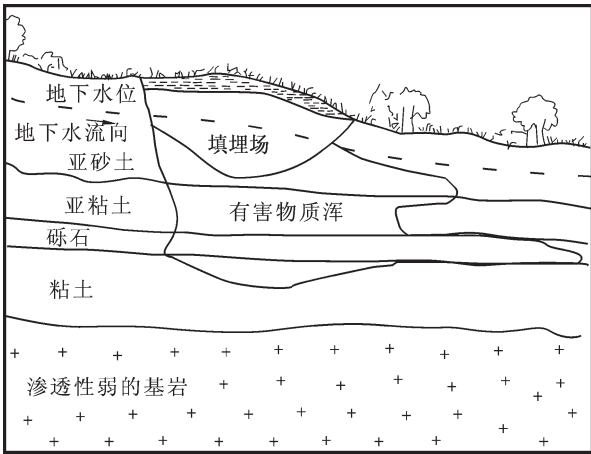


图 3 德国某埋填场基础地质屏障内具有强渗透性的含水层示意图^[3]

Fig.3 Aquifer with strong permeability in bedrock geological barriers of a waste landfill site in Germany^[3]

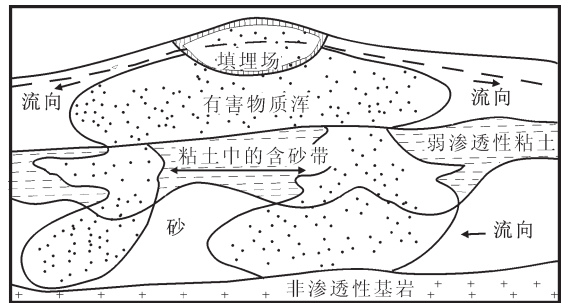


图 5 德国某埋填场地质屏障内存在不透水岩层的厚度不稳定示意图^[3]

Fig.5 Diagram showing the unstable thickness of an aquifer in a geological barrier of a waste landfill site of Germany^[3]

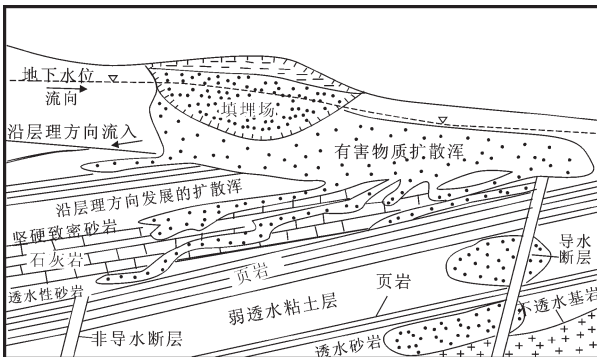


图 4 德国某埋填场地质基础内存在层理、裂隙发育的急倾斜产状的岩层和导水断层示意图^[3]

Fig.4 Steeply dipping strata with bedding and fissures and water-conducting fault in bedrocks of a waste landfill site in Germany^[3]

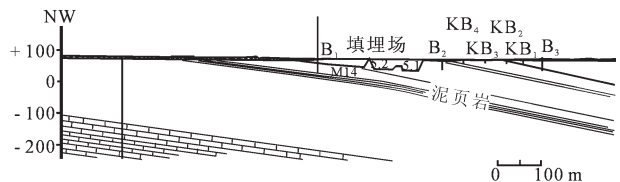


图 6 德国一个危险废物埋填场选址在巨厚的白垩泥页岩层上^[3]

Fig.6 A hazardous waste landfill site selected on very thick Cretaceous mudstone-shale in Germany^[3]

厚度大而分布稳定的岩层。在图 5 中,填埋场基础虽然存在有粘土层,但厚度不稳定,而且还有砂层侵入,局部有天窗存在,因此地下水的污染浑或废物溶滤液可以直接在这些部位运移,所以这种地质屏障也不具有安全性。因此在填埋场选址地质勘查中,一定要在足够大的范围内查清不透水岩层的厚度、均质性和稳定性,要特别注意查清厚度变薄处或尖灭处(天窗),以便对地质屏障作出可靠评价。

2.2.4 具有巨厚而稳定的不透水岩层的优良地质屏障

在各个地质时代都赋存有巨厚的,稳定的弱透水和不透水的岩层。在第四纪地层中,当沉积厚度较大时,会出现多层大于 20 m 厚的粘土层和亚粘土层,如果直接出露于地表,则可成为优良的填埋场地质屏障。在新近纪和古近纪地层中大部分由粘土层组成,厚度大而稳定。中国成都市的长安填埋场就位于厚度大于 70 m 的新近纪和古近纪泥岩层上,成为良好的填埋场的地质屏障。

中生代的白垩纪地层,古生代的泥盆纪地层,以及古生代其他地层都赋存有巨厚的泥岩层和页岩层,还有大面积侵入的火成岩(如花岗岩)地层都是优良的填埋场的地质屏障,填埋场的选址可以优先考虑选择这些地层。

在图 6 中,是德国一个危险废物填埋场将场址选在下白垩统的巨厚(大于 200 m)的泥页岩层上,经监测和对地下水

水质的微量分析证明,废物填埋作业后多年没有出现对周围环境的任何影响。因此,优良的地质屏障性质是填埋场保护环境的可靠保证。

3 中国废物处置可利用的优良地质屏障

当前固体废物处理、处置技术发展很快,随着环境保护力度的增强,对废物的处理和处置也要达到高标准要求。为了使废物处置能脱离生物圈的物质循环,欧洲各国仍继续开展将废物进行地下处置研究和实践。由于中国当前经济实力有限,环境、地质、采矿各行业的协调不利,致使废物的地下处置在中国暂没有起步。虽然当前废物的各种处置设施,特别是填埋场仍建设在地表上,仍处于生物圈内,但笔者认为如能充分利用有利的地质屏障性质,也可能达到确保环境安全的目标。

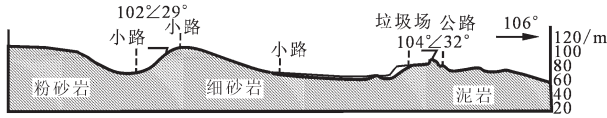
3.1 中国具有优良地质屏障条件

中国地域广大,具有各种各样的地质条件。同时中国矿产资源丰富,在矿产普查找矿方面作了大量地质勘查工作,因此中国各地都具有充分的和较详细的地质勘查资料。在固体废物处理和填埋场选址时应该充分利用现有的地质资料,优选出具有优良地质屏障的填埋场场地,使环境和生态保护能达到永久安全。

表 3 深圳市地层与地质屏障等级评价^[4]

Table 3 Grade evaluation of strata and geological barriers in Shenzhen City^[4]

界	系	统	阶	地层名称	地层代号	地层厚度(m)	岩性特征	主要分布区	地质屏障等级
新生代	第四系				Q _{b+c+d}	2-25	砂质粘土,中、粗砂,砾石等	沟谷区	差
	古近系			丹露群	E _{dn} ^{a+b}	>192	上部为紫红色砂质、灰质和铁质胶结的砂砾岩,下部为紫红色砾石	山间盆地	良
中生界	白垩系	下统	塘厦群	上亚群	K ₁ ^c ln	>800	粘土质页岩、中粘石英砂岩、绢云母页岩	平湖和横岗一带	良
				中亚群	K ₁ ^b ln	>1400	灰黑色凝灰质、粉砂质页岩、凝灰质石英砂岩		
				下亚群	K ₁ ^a ln	>1080	凝灰质页岩、砂页岩互层		
	侏罗系	上统	高基坪群	上亚群	J ₃ ^g jj	>1000	酸性中酸性喷发岩、流纹岩、溶岩、碎屑岩等	下坪山谷、大鹏等地广泛出露	良
				下亚群	J ₃ ^g jj	>423	酸性火山喷发岩、流纹质凝灰岩,火山角砾岩等		
		下统	兰塘群	上亚群	J ₁ ^c ln	>472	陆相含火山碎屑岩、紫红色凝灰质页岩、粉砂岩等		良
中亚群	J ₁ ^b ln	>135	不等粒长石砂岩、泥质页岩等						
下亚群	J ₁ ^a ln	>153	底砾岩、石英砂岩、页岩等						
上古生界	石炭系		测水段		C ₂ C ₁	>1200	灰岩、泥质粉砂岩、大理岩、钙质页岩等	龙岗区	差、良
	泥盆系		桂头群		D ₃ D ₂	>2800	粉砂岩、页岩、含砾中粗粒石英砂岩、厚层状石英砾石	宝安、坪山、葵涌、大鹏等地	良、优
其他岩体				侵入岩		>100	区内有大面积各期花岗岩侵入岩体出露,有岩株、岩基、岩脉等	全区各地均有分布	优
				火山岩		>200	以火山碎屑沉积岩为主		良

图7 山塘埔场址 I-I'地质剖面示意图^[4]Fig.7 Diagrammatic geological section I-I' of the site of Shantangpu^[4]

基于以上理念,笔者在开展北京市生态市规划时,建议将固体废物综合处置场地选址在西南山区,因那里有面积和巨厚的花岗岩侵入体和其他不透水岩体,是良好的填埋场地质屏障。在作深圳市生态规划时,笔者建议固体废物综合处置场地应布置西部的老虎坑和东部的纪子沟,因这两个地方都是由泥盆纪地层组成,泥盆纪地层60%以上是由致密泥页岩组成,故可称谓良好的地质屏障。在作珠海市生态市规划时,鉴于其境内海域有上百个岛屿,并且这些岛屿都是由花岗岩体组成,是良好填埋场选址条件,所以提出一个口号称为“垃圾出城上岛”,如果能实现这个目标,环境安全就会有可靠的保证。

3.2 以深圳为例对地质屏障的优选^[4-6]

深圳市在中国建设各种废物处理设施起步最早,上世纪80年代建设了清水河垃圾焚烧厂,90年代曾组织开展了多个垃圾焚烧厂、填埋场的选址工作。在各种废物处置工程选址时特别注意了对地质屏障的优选^[7]。

深圳市地处基岩山区,第四纪地层不发育,基岩地层多由致密弱透水岩石组成,因此在中生代和古生代地层中均能优选出良好的地质屏障的场地(表3)。

由表3可看出,在深圳市各地质时代的地层内部可以优选出具有好的地质屏障性质的固体废物处置场址。例如白鸽湖垃圾焚烧厂场址是选在白垩系塘夏群的中亚群(K_{1m}^b)地层上,岩性主要由泥质页岩、凝灰质粉砂质页岩组成(表3),厚度较大(>1400 m),并且场址的主要工程部分位于大面积的花岗岩侵入体($\gamma_5^{(1)}$)上。龙岗区东部五镇垃圾填埋场选址时,也特别强调了对地质屏障性质的考虑。例如,山塘埔场址位于石炭纪地层上(图7),岩性主要由红色泥岩、致密粉砂岩组成,厚度较大(>1200 m)而无地质构造破坏。大鹏镇的水头村场址是位于大面积的花岗岩侵入体上;纪子沟场址是位于泥盆纪地层的大面积出露的泥页岩上。按这样的理论原则进行填埋场址选择,垃圾焚烧厂、垃圾填埋场都可以具有优良的地质屏障性质,是实现垃圾处置工程达到环境永久安全标准的可靠保证。

4 小结

综上所述,解决环境问题,应得到地质科学的支持,地质科学知识也要为环境保护服务。不仅如此,环境保护问题也要和采矿业合作和配合,地下开采空间可以作为废物的处置

场地,既处理了废物,又解决了因采矿造成的地表沉陷和生态环境的破坏。

总之,解决环境问题,需要许多基础理论和各学科的支持,特别是地质学科与许多废物处理工程密切相关,尤其是废物填埋场设施,不管是地上或地下处置其保护环境的永久性和安全性完成取决于地质屏障性质^[8]。因此,相关重大环境问题的解决必然要利用地质科学的基本理论,要研究应用良好的地质介质、地质体、封闭的地质构造来阻滞有害物质在自然界的运移和循环,从而使环境达到永久安全和完好的生态环境。良好的地质屏障性质可以达到如下环境保护效应:

(1)具有优良地质屏障性质的地上或地下固体废物处置场地无论从理论上或实践应用证明都是确保环境永久安全的可靠保证;

(2)只有优良的地质屏障才能有效的阻滞有害废物在生物圈的运移和循环;

(3)自然界存在各种各样的具有优良地质屏障的地质条件,应利用现有的地质资料,再经先进技术手段勘察与数据量化分析,可以有效指导固体废物处置场地,如垃圾沷肥厂、焚烧厂和填埋场都能处于优良地质屏障的有利地质条件上,固体废物处理才能无后顾之忧,实现一劳永逸的保护环境安全的效果^[9]。

参考文献(References):

- [1] 赫英臣. 煤矿废弃井巷可作为废物处理的安全场地[J]. 煤炭学报, 1999,24(4):429-433.
He Yingchen. Mine abandoned workings for safety disposal of wastes [J]. Journal of China Coal Society, 1999,24 (4):429-433(in Chinese with English abstract).
- [2] 孟伟, 赫英臣. 废物资源化与安全处置技术概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社,2005.
Meng Wei, He Yingchen. Introduction of the Technique of Utilization and Safety Disposal for Wastes [M]. Beijing:China Environmental Sciences Press, 2005(in Chinese with English abstract).
- [3] 赫英臣. 固体废物安全排放技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1995.
He Ying-chen. The Techniques of Safety Discharge for Solid Waste[M]. Beijing:China Coal Industry Press,1995(in Chinese with English abstract).
- [4] 范俊君, 孟伟. 固体废物环境管理技术应用与实践 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
Fan Junjun, Meng Wei. The Application and Practice of Environmental Management Techniques for Solid Waste [M]. Beijing:China Environmental Sciences Press, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赫英臣. 固体废物安全填埋场选址技术方法研究 [J]. 水文地质与工程地质, 1997,3:25-27.
He Yingchen. The technical methods for site selection of safety landfill for solid wastes [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1997,3:25-27(in Chinese with English abstract).

- [6] 孟伟, 赫英臣. 固体废物安全填埋场环境影响评价技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
Meng Wei, He Yingchen. Environmental Impact Assessment Technique of the Safety Landfill Site for Solid Waste [M]. Beijing: China Ocean Press, 2002(in Chinese with English abstract).
- [7] 赫英臣, 孟伟. 固体废物填埋场选址与勘察技术[M]. 北京: 海洋出版社, 1998.
He Yingchen, MengWei. The Techniques for Site Selection and Surveying of Landfill Site for Solid Waste[M]. Beijing: China Ocean Press, 2002(in Chinese with English abstract).
- [8] Zusammengestellt und bearbeitet von Ruth Henselde-Ludwig. TA Siedlungs Abfall[M]. Bundesanzeiger Verleges, 1993.
- [9] Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau. Arbeitskreis Geotechnik der Deponie und Altlasten Empfehlungen des Arbeitskreis-GDA[M]. Ernst und Sohn, 1993.

Environmental safety assessments of geological barriers for the solid waste disposal site

MENG Wei, HE Ying-chen

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The rapid scientific and technological and economic development makes higher demands on the environmental quality. The high level of environment quality requires that various kinds of environmental engineering can achieve the effect of protecting the environmental from pollution forever. The unique way to achieve this effect depends on geological barriers. Therefore, this paper makes a detailed argumentation of the basic function of geological barriers, safety assessments of geological barriers and how to use them to solve environmental problems by using a mass of experimental data and practical experience. The authors also propose that as China is provided with various advantageous geological conditions and many excellent useable geological barriers we should make full use of the basic theories of geosciences to deal with environmental problems and promote the environmental state and eco-environment to be better gradually.

Key words: geological barrier; waste disposal; environmental protection; ecological balance; transport; retarding effect

About the first Author: MENG Wei, male, born in 1956, doctor director and senior researcher, mainly engages in studies of environmental protection in coastal zones and safety evaluation and waste landfill site selection; E-mail: mengwei@craes.org.cn.