

极低放射性废物地质处置中的几个问题

王永利, 张成江, 朵天惠, 黄志刚

WANG Yong-li, ZHANG Cheng-jiang, DUO Tian-hui, HUANG Zhi-gang

成都理工大学地球化学系/地学核技术四川省重点实验室, 四川 成都 610059

Department of Geochemistry, Chengdu University of Technology/Sichuan Province Key Laboratory of Nuclear Technology in Geosciences, Chengdu 610059, Sichuan, China

摘要: 极低放废物是国际上近年来新提出的一种放射性废物, 目前尚未形成公认的定义和处置方案。针对地质填埋中几个关键科学问题进行了初步探讨, 涉及到的内容主要包括区域地壳的稳定性、基础地质条件、水文地质条件、地球化学条件、地质灾害、安全评价等方面, 最后提出了今后几个重要的研究方向。

关键词: 极低放废物; 处置; 评价

中图分类号: P598; X837

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2012)01-0108-04

Wang Y L, Zhang C J, Duo T H, Huang Z G. Some problems about very low level radioactive waste disposal. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(1): 108-111

Abstract: Very low level waste (VLLW) is a new type of radioactive wastes proposed recently. No widely acceptable definition and disposal rules have been established for it. This paper makes a review of many problems about VLLW, which include regional crust stability, geology, hydrogeology, geochemistry, geological hazard and safety assessment. The future development of VLLW disposal research in China is also predicted in this paper.

Key words: very low level waste (VLLW); disposal; assessment

20 世纪 70 年代以来, 全世界核能事业开始迅速发展。核能作为一种清洁的能源越来越受到各国政府的青睐, 各国纷纷建立了大量的军用和民用核设施。众多核设施的运行和退役过程中产生了大量的放射性废物, 其中核设施退役产生的放射性废物是运行过程中产生数量的 10 倍左右^[1]。按放射性水平分类, 核废物可划分为低放废物、中放废物和高放废物^[2]。

低放废物为放射性活度极低、对人类危害很小的放射性废物^[3]。IAEA(国际原子能机构)定义极低放废物为放射性比活度大于 0(天然放射性除外), 小于低放废物比活度的放射性废物^[4-5]。各个国家具有不同的标准。

中国随着经济的快速发展, 核能被充分利用, 部分核设施的相继退役已产生了一定数量的低放固体废物。地质填埋被各国广泛采用, 就近地质填埋处置放射性废物已成为首选。因此合理地选择场址, 对于安全填埋起着非常重要的作用。

2003 年 6 月, 全国人民代表大会常务委员会通过了《中华人民共和国放射性污染防治法》, 将放射性废物的管理用法律的形式固定下来。国家环保总局已对放射性废物管理政策提出了初步草案, 并把极低放废物的处置政策作为今后研究的目标^[5], 极低放废物填埋越来越受到各级部门的重视。

目前, 国内外对极低放废物的管理与处置的研究还处于发展阶段, 尚未达成共识, 未建立完善的

收稿日期: 2011-06-07; 修订日期: 2011-11-14

资助项目: 国防科工委核设施退役专项课题基金项目《非均匀介质核素迁移转化与屏障研究》(编号: GC2004012)

作者简介: 王永利(1971-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为环境地质、地球化学等。E-mail: wangyl@cdu.edu.cn

管理体系和处置标准。本文从地质选址的角度出发,提出了在选址中应该考虑的一些重要问题,包括区域地壳稳定性、基础地质条件、水文地质条件、地球化学、地质灾害、安全评价等。这些问题对于选择适宜安全的填埋处置场址具有重要的理论意义。

1 区域地壳稳定性评估

国内外重大工程的建设,比如核电站、水电站等的选址问题都首先必须考虑区域地壳的稳定性问题。极低放射性废物场址选择没有上述条件要求严格,但应建在地壳相对稳定的地区。在构造比较复杂的地区选址,可以借鉴“安全岛”理论,选择不稳定地段的相对稳定区域。

1.1 区域地壳稳定性评价的内容

胡海涛^[6]认为,区域地壳稳定性是指工程建设地区在内、外动力(以内动力为主)的作用下,现今地壳及其表层的相对稳定程度,以及这种稳定程度与工程建筑之间的相互作用和影响。因此区域地壳的稳定性研究必须考虑2个方面:①影响区域稳定性的内、外动力地质作用;②所要研究地区现今的地壳及其表层的特征。其中构造活动和地震是区域地壳稳定性研究的主要内容。

构造活动包括历史时期的构造活动和现今的构造活动^[7]。区域地壳稳定性涉及的构造活动主要是指构造现今的活动情况,以研究新生代以来的构造运动、断裂及其控制的断块的差异活动为主要内容,特别是能动断层的研究是重点。

地震是区域地壳稳定性研究中最主要的内容。要查明有历史记载以来研究区地震活动的时空分布^[8],主要地震的活跃期和平静期,同时查明地震的力学性质和影响范围。地震因素往往是选址中关键的因素,属于“一票否决制”。

1.2 地质构造区域“安全岛”理论的选址

在构造比较复杂的地区选址,可以借鉴“安全岛”理论。在重大工程选址的过程中,刘传正^[9]建立了重大工程选址的“安全岛”多级逼近与优选理论。“安全岛”多级逼近与优选理论的基本要点是,地球表层地块及其边界断裂可以划分成多级多段,大到全球板块,小到板内某工程所在的地块。通过由大到小的步骤,逐级研究并选出同级中相对稳定者。在构造活动比较强烈的地区的极低放废物选址时可以借鉴此理论。极低放废物量大,毒性相比高放废物要小,

往往就近填埋,其所处的地理位置大多是山区,构造比较复杂,“安全岛”方法是一种行之有效的方法。

例如,西南茶园沟某预选场址处在龙门山中央断裂区域^①,此区域整体来讲属于地壳极不稳定区。按照“一票否决制”的原则,此区域不适宜建立填埋处置场址,但可以运用“安全岛”理论,选择出“相对稳定”的填埋场址,大大节约处置成本。通过对5·12汶川地震前后预选场址的地质环境条件对比分析,并借助于遥感资料,可知预选场址破坏程度很小,地貌上几乎没有被破坏,证明此预选场址是相对安全的。因此,通过遥感、构造地质等手段,在地壳不稳定区域选择出“安全岛”,即地壳相对稳定区域,是一个有益的探索。

2 地质条件评估

预选场址的地质条件是指填埋场址的地貌、地层、岩土体条件、构造等内容。这是选址需考虑的核心内容,地质条件越简单越好越有利于填埋。

2.1 地貌

一般核设施都建在山区,按照“就近填埋”的原则,场址应首选在山区,这就给选择出适宜的场址带来了局限。地貌上应选择地形起伏不大、较为平坦的地形区,以第四纪形成的残积层、坡积层和冰碛层为适宜,并且应具有一定的厚度,以利于后期的开挖。对于由第四系冲积层和洪积层形成的地貌,在山区由于地表水的地质作用现在往往成为较平坦的地形,在作为预选处置场址时,应注意其富水性能。含水性能较差的地区在山区是较为适宜的场址;对含水丰富的冲积层和洪积层,要调查含水层的分布特征,查明地貌成因,在此基础上合理选择地貌单元。

2.2 地质特征

地质特征研究主要是开展区域、地段和场址3个尺度上的岩石、构造、地球化学等方面的研究,查明场址的地质条件,为安全填埋提供基础资料。

2.2.1 岩石特征研究

通过实测地质剖面测制和路线填图,查明研究区不同时代岩石地层单位的沉积序列、岩石组成、岩性、主要矿物成分、结构、构造、岩相、厚度、产状、构造特征、接触关系、时空分布变化等。第四纪地质体要查明第四纪沉积物的物质成分、厚度及时空分布。查清第四纪冲积物、残积物、坡积物、堆积物的分布范围和厚度。

根据高放地质填埋研究的成果,花岗岩、粘土岩等岩石有利于填埋。选址时应注意选择这类岩石作为围岩。

2.2.2 构造特征研究

进行地球物理和地面地质调查,查明各种构造变形形迹(褶皱、断裂等)的形态、规模、性质、产状、形成次序和组合特征,研究其运动学和动力学特征。系统收集与中、大型褶皱有成因联系的从属小构造的资料。观察分析褶皱的类型及其组合型式。查明中、大型断裂的空间展布特征及其两侧的地层序列、产状变化、断裂面产状、断裂带宽度、断裂带内各种面理线理类型、断裂的组合型式、运动学特征。

选择场址时地质构造原则上越简单越好,应选择构造活动较少、褶皱和断裂不发育的区域,应避开褶皱的核部、断层的破碎带、转折端等构造受力比较强烈的地区。场址区下伏基岩应当力学性质比较稳定,裂隙不发育,能对核素迁移起阻滞作用,同时应借鉴高放废物对围岩要求的一些资料。

2.2.3 地球化学特征研究

查明预选场址区的土壤、岩石、水的化学组成及其分布转化规律,尤其应研究与极低放废物填埋有关的放射性核素在场址内不同介质条件下的迁移转化,为场址安全评价提供基础技术资料。

当前对核素研究较多的有 ^{60}Co 、 ^{85}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 ^{235}U 、 ^{238}Pu ,对于超铀元素 U 、 Pu 、 Np 、 Am 的研究近年来也有所加强。研究的方法也较多,主要有室内的实验方法和计算机模拟方法,近年来用多种水文地球化学计算机软件模拟不同介质中核素的迁移转化有所进展,主要有 phreeqc、modflow 等软件。

3 水文地质条件评估

水文地质条件研究内容包括开展场址区地下水流场、水文地球化学特征、地下水长期动态监测、地下水流场数值模拟研究等。

场址应具备地下水流量小、流程长等水文地质特征,以限制放射性核素的输运。应该优先考虑地质构造简单、易于描述水文地质特征和建立模型的场址。对水文地质系统的弥散度、平均流速、主要流向和主要水文地质单元的补给、排泄特征应予以评价。应该预测放射性核素从处置设施沿可能的水流途径到达生物圈的时间。

预选场址一般要求地下水不丰富,地下水水位

埋藏深,开挖区最好没有统一的地下水水位,地下水类型为裂隙水的区域,岩溶水和孔隙水一般水量丰富,易于核素迁移,最好不予选择。预选场址应距地表水体较远,以防止季节性的改变造成地表水水位的改变,从而引起越流补给,造成地下水水动力场的改变。还应注意大气降雨对预选场址地表径流的影响。例如,西南夹江某极低放废物填埋处置场址^②出露地层为灌口组砂泥岩,包气带为粘土,其厚度为5~6m,透水性极弱,地下水类型为裂隙水,开挖槽探6m,未见统一的地下水水位,显示其水位埋藏较深,并且地表水距离场址较远,地表水的沟谷切割较深,杜绝了越流补给的条件。总体来讲,该场址水文地质条件简单,适宜于填埋。

4 地质灾害调查与评估

中国的大部分核设施地处西南地区,西南地区属于地质灾害高易发区域^[10],尤其5·12汶川地震后龙门山地区地质灾害频繁,且危险性程度极高,清平、映秀、龙池等地的泥石流灾害给预选场址提出了新的要求,因此在预选场址区域开展地质灾害调查与评价尤其重要。应开展研究区地质灾害的调查与评估,在此基础上,进行易发性与危险性评价,尤其针对预选场址区域作出地质灾害危险性评价,场址应避开地质灾害易发生区域和地质灾害高危险区域。例如西南茶园沟某极低放废物预选场址,茶园沟泥石流对其影响较大,2009—2010年连续2年发生泥石流灾害^③,且危害性极大,应当做好泥石流对预选场址的危险性评价,以杜绝或者减少泥石流对场址的危害。

山区土地“寸土寸金”,平坦的地形较少,选址时应注意对其地貌成因作出正确的评价,避免把预选场址放在老滑坡体、泥石流堆积体、崩塌体等潜在的地质灾害的影响范围以内。如果填埋场址处于较高的位置,应当对边坡稳定性进行评估,以防止边坡失稳影响填埋场的稳定性。

5 地质稳定性安全评价

高放废物地质处置选址中场址评价是一个难题,IAEA和许多国家建立了选址标准与导则,建立了比较系统的场址评价方法,在现场测试、数据采集、分析方法、系统的不确定性和不均一性描述技术等方面取得了显著的进展^[11]。

关于极低放废物地质处置的选址评价,国内外还没有统一的标准,相比高放废物填埋要简单得多,目前还没有形成共识性的安全评价方法和安全评价模式。目前公布的模型有:日本的 DOSWASTE 模型,法国和比利时的 CERISE、GEOLE、ABRICOT 模型,美国的 INVERSE 模型。日本开发的 DOSWASTE 模型分控制期和控制结束期 2 个阶段,从集体剂量估计方面对处置场进行安全评价^[4,12]。

在极低放废物填埋中,从地质安全角度出发,评价过程应当包括区域地壳稳定性、基础地质条件、水文地质条件、地球化学条件、地质灾害等因素。评价场址一般有 2 个预选场址,便于作出对比研究,以选择出地质条件最佳的一个场址。评价的方法可以借助传统的各种数学模型,比如层次分析方法、模糊数学方法等进行有益的尝试。

在场址的地质评价中,还可以借助其它新型的评价方法,如类比评价方法、环境容量方法等。类比评价方法已经广泛运用于高放废物填埋中。倪师军等^①在西南地区某极低放废物的地质选址中,运用类比评价方法和环境容量法,在场址非均匀介质的情况下给予了评价,选择的天然类比评价物为场址区域出露的含 U 的炭质板岩。这 2 种方法偏重于场址中核素迁移方面的评价。

6 今后的研究方向

目前中国工程物理研究院正联合国内的相关研究机构对场址进行安全评价,现已初步选定四川某地区的茶园沟作为国内首个极低放废物处置场的场址,用来就近处置泉水坪厂区核设施退役工程中产生的极低放废物,西南还有其它 2 处场址正在进行最后的选址工作。因此,极低放废物填埋中的地质问题是当前研究的热点,应注意下面几个方面的研究。

(1)对地球化学屏障的研究。地质填埋中,在处置库的底部一般加粘土作为地球化学屏障,以阻滞核素的进一步迁移。因此针对不同的核素,运用地球化学工程学的原理和方法,选择出物美价廉、能够就近取材且针对不同核素的屏障材料,是填埋中的一个重要研究方向。

(2)对核素在场址中迁移的研究。预选场址往往地质环境条件复杂,在复杂的地质条件下,要厘定出对核素迁移起重要作用的因素,最后概化出数学模

型。运用数学方法模拟核素在场址中的迁移转化是目前研究的难点,也是热点。尤其是对非均匀介质条件下,核素在地球化学场的输运(扩散、渗流、对流等)—化学反应(溶解、沉淀、蚀变、结晶、氧化还原等)等复杂条件下的模拟,能够真实地反映场址的特性,是今后重要的研究方向。

(3)对浅埋处置库顶盖的研究。顶盖是处置库最上面的第一道屏障,其主要功能是防止降雨入渗、生物侵入等。设计一个既就近取材又具有上述功能的顶盖是研究的热点。

致谢:成都理工大学李宽良教授对本文提出了许多修改建议,参加野外工作的人员还有成都理工大学唐光洁副教授、黄继军教授等,在此一并表示真诚的感谢。

参考文献

- [1]Anisimova L, Soukhanov L. Practical Problems of Very Low Level Radioactive Materials Management in the Russian Federation [C]// Specialists Meeting on Experience in the Application of Exemption Principles. Vienna (Austria), 1993:2-4.
- [2]陈式.中低水平放射性废物安全处置[M].北京:原子能出版社,1997:10-13.
- [3][EB/OL].<http://www.llrc.org/regulation/subtopic/defraconresp.pdf>.
- [4]Linsley G. The Radwaste Programme and the Management of Very Low Level Waste[C]//Proceedings of an International Symposium. Vienna (Austria): IAEA, 1997.
- [5]王金生,郭敏丽,田浩.极低放废物处置研究进展[J].辐射防护, 2005, 25(3):171-176.
- [6]胡海涛,殷跃平.区域地壳稳定性评价的“安全岛”理论及方法[J].地质力学学报, 2001, 7(2): 97-103.
- [7]丁准泰.广州市区域地壳稳定性评价[J].中山大学研究生学刊(自然科学·医学版), 2009, (4):83-85.
- [8]杜建军.京津地区区域地壳稳定性评价[J].地球学报, 29(4):502-509.
- [9]刘传正.区域地壳稳定性评价和核电站选址核废料处置的工程地质及环境地质问题[J].水文地质工程地质, 1997, (2): 32-34.
- [10]丁俊,倪师军,魏伦武,等.西南地区城市地质环境风险性分区评价方法[M].成都:四川科技出版社, 2006:101-130.
- [11]朱立,王秀娟,曾志.高放射性核废物地质处置库场址预选和矿产资源勘查的关系[J].地质通报, 2009, 30(2/3):354-358.
- [12]Andre-Claude Lacoste. The French Approach to the Safe Management of Very Low Level Radioactive Waste Nuclear Installations[J]. Nuclear Engineering and Design, 1997, 176(1/2):151.
- ①倪师军,李宽良,王永利,等.非均匀介质中核素迁移屏障及场址特性.成都理工大学.2006.
- ②倪师军,王永利.西南某极低放废物处置场的选址.成都理工大学.2010.
- ③倪师军,张成江,王永利,等.茶园沟厂区次生地质灾害调查与评估.2010.