

低中放核废物地质处置选场刍议

楼凤升

(核工业部北京三所)

一、国外低中放核废物地质处置概况^[1-4]

国外低中放核废物处置已有几十年的历史,所取得的经验,值得我们借鉴。

1. 处置方案

核废物处置方案是多种多样的。但有的已被淘汰,如原始土埋法。有的为国际公法所禁止,如海洋处置。当前为各国普遍采用的、最现实的、最有生命力的、也是最基本的方案是地质处置。

2. 地质处置意义

地质处置是用地质观点选择场地,利用地质体作屏障,采用槽井探或钻探法钻挖地下工程,因而又称地质定位法。

3. 地质处置选场因素

选场是地质处置的核心,而且要求先行。选场因素包括社会和自然两方面,前者如环保、经济、政治等,后者最主要的是地壳稳定性,还有地理、地质、可认识程度等。

4. 处置方式

主要有浅埋和废矿井两种。

(1) 浅埋法。即在地面挖若干大切口的浅沟,长30—240 m,宽6—12 m,深1至数米。将废物放入,再用土复盖,称简单沟埋法或常规浅埋法(SLB)。当盖土厚大于2 m或用混凝土代替,则称为改进型浅埋法,若埋深大于10 m称中深SLB。如果下部堆放中放,上部堆放低放并在地面构筑成土丘称古坟式。

美国的SLB始于四十年代,比较著名的商业处置场有贝蒂、里奇兰、巴维尔、西谷、谢菲尔德五个。芒什(Marche)是法国使用的第一个低中放短寿命固体废物处置中心,建于1969年,位于瑟堡(Cherbourg)西北25 km处,即阿格后处理厂东部。在10.5 km半径范围内仅有1500个居民,占地15公顷(32英亩),投资1.5亿法郎,容量40万m³,预计1988年将达到饱和。

浅埋法由于在地表或离地表很近,因而受大气和地形地貌的影响大,一般按所在地区自然条件将浅埋场分为干旱、潮湿和半干旱半潮湿地区三种类型。干旱是优选对象,潮湿地区必须强调介质的低渗透性。

(2) 废矿井处置^[6]。一些国家认为:废矿井深度大,人类活动和气候的干扰影响小,

成本低, 提倡积极利用废矿井处置核废物。如西德阿塞(Asse)盐矿、康拉德(Konrad)铁矿, 东德布拉腾斯莱布(Bratensleben)盐矿, 美国新墨西哥州盐矿, 西班牙利用铁矿山和铀矿山, 奥地利和瑞士用石膏矿, 捷克波希米亚用石灰石矿等。其中最著名的是阿塞盐矿, 该矿位西德下萨克森州哈尔茨(Harz)山脉北缘, 面积 4.2 km², 构造简单, 盐层稳定, 厚度大, 达 1500—3000 m。顶盖是粉砂岩和石膏, 几乎完全干燥, 下部是无地震记载的坚固岩石。岩盐热传导能力强, 能最大限度降低近场热效应, 可塑性好, 便于挖掘。已成功地处置了低中放废物。

5. 处置场岩石

岩石是地质处置的天然屏障, 受到各国重视。西德、西班牙、丹麦、荷兰选用岩盐, 英国、意大利、比利时对粘土感兴趣, 北欧一些国家考虑花岗岩等晶质岩石。选岩观点不同, 也受地质条件限制, 并与处置方式有关。

6. 时间和经费

一般选建场时间为 5 年左右, 经费 1.0—1.2 千万美元。

二、关于我国低中放核废物地质处置和选场条件

1. 在自力更生基础上积极对外开放

当代科学技术的发展, 国与国之间的关系越来越密切, 任何国家都不可能在封闭状态下求得发展。核废物处置工作尤为明显。由于要求高、课题新、技术难、周期长、费用大, 有核国家普遍提倡各种形式、多国之间的合作, 既节约资金, 又能促进技术迅速发展。即使是经验丰富的美国, 对此也持积极的态度。日本认为国际合作是它取得经济、技术高速发展的最重要原因之一。我国起步晚、底子薄, 更需要积极对外开放, 从国际技术交流和多国合作中, 吸取世界先进技术成果。建议科技司、安防局等有关部门制订具体规划, 优选和建立对外合作并利用外资战略, 为加快我国核废物地质处置技术进步和提高经济效益创造条件。做到起步晚, 起点不低; 底子薄, 发展快; 投资少, 效益高。

自力更生是我国经济建设的基本方针, 地质处置技术有共性, 可以互相借鉴, 但处置场不能照搬, 必须立足国内, 按照自己的国情和客观地质条件, 从实际出发, 在实践中探索 and 优选有中国特色的核废物处置场。

2. 地质处置方案和可供选择的处置方式

实践及奥克洛天然反应堆都证明: 一定的地质条件具备安全处置核废物的非常能力。我国幅员辽阔, 地质条件多种多样, 更有条件采用地质处置法。现提出以下一些方式, 供不同地区有针对性的进行优选。

(1) 浅埋处置(SLB) 包括各种改进型浅埋法。

(2) 废矿山处置 我国废矿山较多, 有必要进行调研、优选出条件较适合的废矿山。

(3) 洞穴处置 洞穴相当于天然地下工程, 我国南北方都有分布。

(4) 废地下工程处置 包括隧道、废军事工程以及山、散、洞时期所挖的大批地下工

程。

(5) **钻孔处置** 包括已报废或将报废钻孔。

(6) **岩石熔化处置** 利用投入地下核废物自身产生的热熔化围岩并形成岩石固化体。

(7) **岛屿处置** 选择沿海荒无人烟、地质条件许可的小岛作处置场,其优点是除岩石外,增加一层海水屏障。

(8) **就地暂存(地面工程贮存)** 可降低放射性,增强处置安全度,并为最终处置选、建场赢得时间。

(9) **深井灌注** 在控压条件下,将废液灌注到深部岩石中。

(10) **水力压裂法** 利用石油工业的压裂技术,在渗透率极低的厚层页岩中,通过钻孔,在预定层位先作水力喷砂旋转切开一条约 30 cm 的环形水平裂隙,然后注入含放射性废液灰浆。美国橡树岭(ORNL)已用此法处置了 18900 m³ 中放废液^[6]。

3. 选场原则:安全、就近、区域处置。

(1) **安全** 地质处置的目的,就是要使核废物与人类生产、生活环境隔绝,控制现在,保证将来,不影响身体健康和生态平衡。因而,围绕核废物处置的所有活动自始至终都要以安全为首要原则。但有两点应加注意: a. 安全要恰到好处,要考虑成本的有效性。b 安全应建立在可靠的科学基础上,不凭主观意断,亦不以群众舆论为转移。既要虚心听取各方面的意见,完善设计方案;又要善于宣传,争取有关人士的理解和支持。

(2) **就近** 在安全前提下,处置场应尽量靠近废物产生地。这是世界各国普遍采用的原则。因为这样可以减少运输,不但成本低,而且是保证安全的一个重要因素。况且,核工业基地和处置场要求的条件相似,因而基地往往具备选场条件。

(3) **区域处置** 我国核工业基地,具有相对集中的特点,采取相应的区域处置是有针对性的,从安全和经济角度考虑,也都有好处。结合核工业历史和今后发展趋势,拟提出我国第一批低中放核废物地质处置场三个:(i) 西北处置场,属干旱类型;(ii) 西南处置场,属潮湿类型;(iii) 东南处置场,也属潮湿类型。其中西北处置场核废物相对集中,社会自然条件也比较简单,拟先行。

4. 选场地质条件分析

(1) **地壳稳定性** 地壳稳定性是地质处置选场中最重要的自然因素,它取决于地壳构造和应力状态。如果应力不大,发生弹性或塑性形变。若应力在一个长时期内积累很大,就会发生破裂,能量突然释放,即形成地震。因而地震是地壳稳定性最明显的标帜,也是选场首先要查明的问题。

根据世界地震震中分布,沿太平洋密集成带。我国正处在这个密集带上,地壳稳定性差,不像北美、澳大利亚、北欧及非洲一些国家,有稳定的古老地盾可供选择。因而在活动带中找相对的稳定区,是我国选场的一大特点。

(2) **东亚大陆今后五十年内地震活动趋势**。由于科学技术水平的限制,现在还难以预测未来几百年的地震活动,但根据地球自转速率变化引起的地块构造应力所产生的地震活动规律,可作短期预测。

东亚大陆,自公元前 780 年以来,6 级以上地震活动可分五期。从 1785 年至 2105 年

为第五活动期，活动水平时高时低，有三个较高水平段(达7级)和两个较低水平段(6级)，总趋势是增强，并于2010年后可达到或超过1969—1980年的活动水平，其方向不断变化。2105—2115年为10年的间歇期^[7]。

根据这一预测，大陆上选场应有对6—7级地震活动的应变能力。

(3) 我国主要活动断裂及其现代运动。活动断裂带往往是地震频繁地带，我国活动断裂分环太平洋和特提斯-喜马拉雅两大断裂体系，后者指南北地震带以西广大地区，南部以弧形断裂带为特征，北部为西北和东北向断裂^[9]。

(4) 我国现代构造应力场分析。应力场不仅是地球表层的物质运动，更重要的是地幔物质运动的反映，其物理化学变化过程相当复杂，并随地质历史的发展而不断发展变化。全球应力场既有统一性，又有区域性，不同地区的作用方式、过程、大小等各不相同。我国地震活动的两大断裂体系就属于两个不同的构造应力场。它们各自又可分为级次不同的应力场区域带。总的是东部以近东西向的挤压应力为主；西部主压应力轴主要为北东-南西向；喜马拉雅的压应力轴近南北向。现代构造应力场制约着地震断层的发生和发展，与地震活动有着密切的联系^[9]。

(5) 围岩介质。当今世界各国普遍采用的三大岩类：岩盐、粘土、花岗岩，在我国都有广泛分布。

岩盐 与国外比较，我国盐矿层少、厚度不大，稳定性差、纯度低，对选场缺乏优势。

粘土 我国粘土分布广，储量占世界首位。在沿海、西南、西北都有分布，值得重视。冯遗兴、任宪文等还对西北的黄土及其下部红色粘土进行了调查研究，认为气候干燥、地下水面低、人口密度小、经济不发达，岩石对放射性核素有极强的吸附能力，建议作为预选场进行研究。

花岗岩 我国花岗岩分布广泛，在华南尤为集中，靠近沿海往往形成巨大岩基。从岩性上具备优先预选场的条件。

(6) 气候。众所周知，气候决定于地理位置。这里要强调一下地质条件和人为因素的影响，因为这在选择时是必须要考虑的。如1383年喀拉喀托火山爆发，北半球出现一次长达数年之久的寒冷期。我国西北是典型的干旱地区，地理位置和气候是基本的背景因素，可是五千年前，似同江南，是我国古老文化的发源地，楼兰城事件（新疆罗布泊附近大沙漠中发现2千年前的古城）的研究表明，楼兰城的消失固然与自然条件变化有关，但当时被遗弃、不再经营改造的人为因素显然加快了其衰落速度。

(7) 地质学特点和综合研究^[10]。地质学是以人类生存的地球为对象，研究其历史及演化规律的一门科学。除了与数理化共有的一些特点外，还具有以下一些特点：

(i) 客观性 地球是自然界存在的客观实体，与数理化要研究的大多是经过简化成模型化建造的物体不同，其过程要复杂得多，很难进行有效的抽象，因而决不能停留在实验室作模拟，而应强调实地研究、现场试验。

(ii) 相似性 地质现象发生的频度是很低的，它们是不能重复的，是唯一的，如同粘土岩、花岗岩，不同地区可大不相同，它们只存在相似性，因而照搬就会出错。

(iii) 系统开放性 地质现象具有运率平衡状态的耗散结构，具有多层次、多序列、多系统(有人称大系统)的特征。任何单一因素的分析、孤立、封闭、静止的观点都是不适宜

的。如砂岩不宜作处置场围岩，但当其上有足够厚的不透水岩层时，情况就不同，有人认为这正是处置场的好剖面。

地质学的发展已不限于找矿，而涉及当代科学难题、经济建设和人类生存发展各个领域。因此既要充分利用现代技术进行深入分析，更要有综合观点和与此相适应的思维水平。核废物地质处置可说是这种综合观点和分析技术的很好应用。

5. 选场方法和程序

选场方法很多，凡地质上的各种方法和程序都可运用。这里不再赘述。下面只强调两点：

(1) 充分利用已有的资料和已取得的成果，避免重复。如我国已对 560 幅陆地卫星影像全部进行了光学合成、放大、判读分析；利用卫星资料和航空遥感技术先后开展了地震地质解释和应用研究，编制了各种比例尺的全国性和区域性地质、地貌、地球物理、构造、地震、活动构造、不同岩石分布、气候、水文、工程、环境等专门地图。通过基础研究和成果分析，得出了一些重要的认识，如我国气候、降水量与地震、地壳的波浪状镶嵌构造关系；气候灾害和地震具有群发性；利用天文观测时边残差与大地震相关性可以对未来进行中长期预测。这些资料和成果的利用，不但可以节约资金，争取时间，更重要的可使我们的选场工作建立在历史和现实的科学基础之上，以便能经受住长期的严峻考验。

至于五十年代的一些老成果，虽然方法落后，但当时工作踏实、治学严谨，数据可靠，有的是现在无法弥补的、宝贵的历史资料，同样要充分加以运用。

(2) 自觉应用现代科学成就和有针对性的利用现代新技术。当代科学技术和实验以及各学科之间的互相渗透是前所未有的，板块学说的产生就是地质学应用现代科学技术的典型。优选处置场要求准确无误，涉及范围广，更需要我们自觉应用现代科学成就和有针对性的利用现代新技术。

总之，要求全面、有针对性，避免片面极端，以低成本、高水平开拓环境新领域，实现更深入的微观分析和更高序次的区域综合。

6. 全面规划、治理和开拓相结合

当代面临的世界性科学问题是人类、资源、能源和环境及交叉影响。基础科学强调观测，经济学强调资源开发和充分利用。但所有科学都强调整体协调、资源再循环、废物资源化的综合观点，以确保人类安全，为提高社会生产和生活水平作出贡献。

从实际出发，我国一些核工业基地往往远离城市与农村，从生产到生活基本上自成一个独立系统。可是，核设施到一定时候要退役，而我们的职工和家属恐怕一时又离不开，也许一辈子或几辈子都要在原地生活，因而核废物处置必须要全面规划，治理和开拓相结合。

参 考 文 献

- [1] IAEA, Disposal of low and intermediate level waste, Vienna, 1984, p. 474.
- [2] IAEA, Safety series, No. 53, Vienna, 1981.
- [3] Brookins, D. G., Geochemical aspects of radioactive waste disposal, p. 1-9, 39-140, (1984).
- [4] IAEA, Site investigation for repositotion for solid radioactive wastes shallow ground technical reports series, No. 216, Vienna, (1982).
- [5] Smailos, E. et al., KFK, 2329 (1976).
- [6] Weeren, H. O. et al., Study and sludge at Oak Ridge National Laboratory, ORNL-PM-5208, to be published.
- [7] 安 欧等, 全国第二届天地生会议论文摘要, 北京, 1986年, p. 263.
- [8] 雅各布斯, J. A., 地球学教程, 地震出版社, 北京, 1979年, p. 4-13.
- [9] 虞震东, 本世纪中国大地震、新星和宇宙线环境十九届国际宇宙会议文件选, 1986年.
- [10] 楼凤升, 放射性简讯, 原子能出版社, 北京, 1986年.

(编辑部收到日期: 1988年6月1日)

SOME OPINIONS ON GEOLOGICAL DISPOSAL SITES-SELECTION FOR LOW-LEVEL AND INTERMEDIATE-LEVEL RADICACTIVE WASTE

LOU FENGSHENG

(Beijing Institute of Uranium Geology)