

我国放射性废物处置库场址预选的远景评价

王志雄* 齐同军 金 敞 高永良

(核工业部第三研究所, 北京)

一、概 述

随着我国核能的开发, 与之相配套的放射性废物处置技术也进入了研究开发的阶段。在核工业部科技司的领导下, 我们自1986年6月至1987年7月进行了“我国放射性废物处置库场址预选的远景评价”的研究。工作重点是对处置库场址的区域筛选, 为今后进一步完成场址筛选、工程地质、水文地质、核素迁移、安全评价等工作打下基础。

按照处置库场址选择的要求和条件, 在全国区域地质资料的综合分析、对比的基础上, 通过对各地区的岩石类型、地质构造、地震条件、水文地质、自然地理、经济地理及核工业的战略布署等因素的进一步分析、对比, 选择了甘肃西北部、浙江西部、内蒙古中部、陕西西南部、广东中部五个地区(其中, 甘肃西北部、浙江西部是重点工作地区)作为首批选址预选区进行可行性研究。

我国是一个地域辽阔、具有各种地质现象的国家。为了能在有限的人力、财力、时间的条件下尽快地确定我国的首批放射性废物处置库场址的预选区, 我们选择了花岗岩类岩石作为我国高放废物处置库场址的主选岩石。

目前, 作为放射性废物处置库场址的岩石类型, 各国一般选择蒸发岩(岩盐)、沉积岩(泥岩)、岩浆岩(花岗岩、辉长岩、玄武岩、凝灰岩)、变质岩(片麻岩、石英岩)等各类岩石。

对于岩浆岩和变质岩, 虽然它们在浅地表处易遭风化, 产生裂隙, 有时给水文地质模拟带来困难, 但是, 它们具有长期性质稳定、强度高、孔隙度低、裂隙中充填有能吸附核素的蚀变矿物等优点。因此, 近年来一些国家多倾向于考虑其中的花岗岩类岩石为选址的主要岩石类型的一种。

花岗岩类岩石是地壳上分布最广的一类深成岩, 花岗岩体常构成地壳上许多大山系的核心。并且, 钻探、地球物理、地质填图等资料表明, 花岗岩类岩石常形成地壳的各种基底。从地质构造位置讲, 花岗岩类岩石主要分布在褶皱区及地台结晶基底上。从地质时讲, 伴随每期构造运动都有花岗岩类岩石的侵入, 其中以前震旦纪及燕山期最为广泛(尤其燕山期)。在我国, 花岗岩类岩石的分布面积很广。我国的面积约960万 km^2 , 其中花岗岩类岩石就占85万 km^2 。

花岗岩常构成大的岩基和岩株。岩基是规模极大的侵入体, 其横截面积在100 km^2 以上, 常达数百至数千平方公里。近年的勘探及地球物理资料证明, 岩基是有底的, 其底面最大深度约10—30 km 。在我国, 花岗岩岩基的分布是很普遍的。

花岗岩的结构均一, 一般为半自形粒状结构, 即花岗结构。岩石中矿物的自形程度一般为暗色矿物较好, 其次为长石。石英为他形晶充填于不规则的空隙中。花岗岩的构造多

* 现地址: 国家海洋发展战略研究所, 北京。

为块状构造,其特点是组成岩石的矿物在整块岩石中的分布是均匀的,岩石各部分在成分上或结构上是一致的。

随着岩体深度的加大,花岗岩的抗压强度也加大,塑性形变增大。一般,浅部的花岗岩易发生断裂,而深部的花岗岩不易发生断裂。由于岩体压力作用,花岗岩体的裂隙随着深度的增加,也有下降的趋势,并且其渗透系数也趋于下降。

由于花岗岩类岩石分布广泛,结构均一,物理性质良好(例如,容重大、线性膨胀系数变化小、电阻率高、渗透系数低、单轴饱和抗压强度大、抗拉强度和抗剪强度大等),因此花岗岩类岩石常成为选址时考虑的主选岩石。

二、放射性废物地质处置的目的和处置库选址的要求

目前,放射性废物的处置已成为各国注意的急待解决的一个问题。许多国家自1978—1980年也相继开始放射性废物处置的可行性研究工作。根据计划,约于1990,2000和2006年付诸实施。

放射性废物处置是一项技术难度较大、研究周期长的综合性工作,一般需要进行二十多年的先期可行性研究。

放射性废物的管理(处理、处置)包括以下6个程序:(1)放射性废物的固化处理及容器、运输条件的研究;(2)处置库的地质选址;(3)核素迁移的地球化学研究及安全评价;(4)初步工程施工及预埋藏;(5)观测及监测试验;(6)正式埋藏处置。

放射性废物地质处置的目的,就是将放射性废物与生物环境永久地隔绝,避免对人类、生物产生放射性危害,保证人类环境的安全。

一个放射性废物处置库的选址及确立,需要符合以下几点要求:(1)考虑场地的长期地质稳定性,合适的地质、地球化学、水文地质等各方面的条件,使之符合放射性废物长期埋藏的要求。(2)正确考虑处置场的潜在变化及估计对人类的潜在影响,使之达到符合人类接受的辐射剂量标准。(3)要求场址的特性、废物的形式、工程屏蔽等条件均能起到保证安全的作用。(4)要求事先估计场址的矿产资源及土地开发利用的远景。

三、放射性废物处置库场址选择的条件

概括起来,场址选择的条件主要有两条,一是社会条件,二是自然条件。

根据我们此次进行选址工作的经验,社会条件往往起着首位的主导的作用,而自然条件仅是第二位的,具体条件如前文所述。

四、处置库场址选择的研究手段和工作阶段

1. 场址选择的研究手段

放射性废物处置库的选址工作是一项复杂的、涉及多学科的综合研究工作。在放射性废物处置库的地质选址研究中,需要利用遥感地质(航空照片、雷达影像、红外扫描影像)、区域地质(野外地质调查、地质填图等)、地球化学、岩石学、矿物学、构造地质学、水文地质学、地球物理(航空物探、电法、磁法、地震法)、钻探(电测井、中子测井、声波测井、电视编录)、室内分析试验等手段,进行经济、地理(人口、交通、气候等)条件,地形地貌条件,地质体及岩石、矿物性质,地质构造及地震,水文地质条件,工程

地质条件等综合性地质研究。

2. 场址选择的工作阶段

到目前为止,我国还没有制定出完整的放射性废物处置库的选址规范。因而,我们的工作仅是初步的探索性工作。

作为场址选择研究,主要包含以下几个工作阶段:

(1) 技术准备阶段。 a. 全国普查工作阶段; b. 区域筛选工作阶段; c. 地区筛选工作阶段; d. 候选区确定工作阶段。

(2) 地质研究阶段。 a. 地点筛选工作阶段; b. 候选场址工作阶段; c. 场址详细工作阶段; d. 最终场址工作阶段。

严格说来,我们此次工作相当于技术准备阶段中的全国性普查工作阶段。

但是,在此次研究工作中,我们相应地进行了区域筛选和地点的筛选工作。在区域地质研究方面,主要以 1:50 万的精度为准(极个别部分为 1:100 万的精度)。在预选区地质研究、地区性筛选方面,主要以 1:20 万的精度为主(部分为 1:5 万,极个别为 1:2 千)。下一阶段的工作,拟以 1:5 万至 1:2 千的精度为主进行工作。

五、甘肃西北部预选区

自前元古代以来,甘肃及毗邻地区经受了多次复杂的构造变动,不同方向、不同规模、不同性质和不同时期的构造形迹广泛发育,形成了巨型纬向构造体系、经向构造体系、山字型构造体系、多字型构造体系、旋扭构造体系及未划归属的区域东西向构造带、南北向构造带、古北西向构造带、弧形构造和北东东向构造等构造体系近 30 个。它们彼此相互穿插、改造,构成一幅相当复杂的构造应变图象。

本预选区位于祁连山北西向构造带与北山东西向构造带及阿拉善弧形构造带的过渡地区,即位于河西走廊的西部,从地质构造分析,该区是一个相对不稳定地区。(1) 敦煌—阿拉善东西断裂带影响第四纪,反映出明显的地貌特征,说明晚近仍有活动。(2) 在甘肃境内,祁吕贺山字型构造仅是祁吕弧形褶皱带的西翼的一部分,两翼褶皱带晚近活动强烈,导致地震发生。(3) 河西构造系是选区中的主要构造体系,晚近活动显著。河西系大约在第三纪以前,至少中生代后期形成雏型,新生代时期活动十分活跃,与近代地震的分布有着密切的关系。(4) 据航空磁测和卫星相片揭示,阿拉善弧形构造带的两侧,均存在着展布与隆起带形象相协调的隐伏断裂。其前弧两翼的南界的断裂带挤压现象明显,现今活动强烈,是重要控震构造之一。

甘肃省是我国一个多地震的省份。其地震活动的频繁性和高强度,在全国是屈指可数的。从全国各省、区强地震统计得出,甘肃省发生 6 级以上地震的数目,仅次于台湾、云南、西藏、新疆、四川,名列第 6 位。因此,在本区进行选址工作时,要加强地震活动的研究,分析应力积聚的趋势,并进行地震强度的小区域划分,这些都是不容忽视的重要因素。

甘肃的一些地震的发生与祁吕贺山字型构造体系西翼的晚近活动有关。研究晚近活动规律、分析活动构造带与地震活动的关系,也是一个重要的课题。在研究中,需进行地(土)应力测量,跨断层位移测量,研究地震活动带的特征,探讨现今构造应力场与地震危

险区段。

甘肃的一些地震主要发生在晚近活动构造带与河西系晚近活动构造带呈反接复合的部位，这些地方均是选址时需要加以避开的地方。

甘肃省的晚近构造活动较为强烈。晚近以来，在区域应力场的作用下，构造体系均不同程度地复活，形成晚近活动构造带。这些活动构造带又往往主要是继承和发展原有各体系的断裂组成，并且同时也产生一些新的构造形迹。

晚近活动构造的主要活动方式和表现形式有地层间的不整合、上第三纪地层褶皱、第四纪地层呈倾斜产出、老断裂复活、新断裂产生、断陷盆地形成、新第三纪岩浆活动、长期上升和夷平、河谷发育多级阶地。

根据地质构造、地震活动、地貌特征等分析，如果以北西向的兰新铁路为大致分界线，甘肃预选区今后选址以向该线的北东方向扩展为宜。该线西南方向较不适宜，因为其西南方向为祁连山，并且发育有一系列断裂，而且该地区是甘肃省的地震活动带。

甘肃西北部预选区是一个不稳定的地区。但是，在不稳定地区中，仍有可能找到相对稳定的地区。我们在此次工作中，就圈出了几个相对较为稳定的地区。

对于甘肃西北部预选区的今后工作，建议如下：(1) 在区域上，注意和研究晚近构造活动的分布和发展，加强地震活动规律的研究，分析应力积聚的趋势，进行地震烈度的小区域划分，进行地(土)应力测量，跨断层位移测量，探讨现今构造应力场及地震危险区段。晚近构造带与河西系晚近活动带反接复合的部位，是选址时需要加以避开的地方。(2) 对于个别需要重点研究的断层，今后可进行空中红外扫描，浅地震勘探(如使用 mini-sosieder-2400 型浅层高分辨数字地震仪，开展浅地震纵波和横波反射法调查)，以及进行测视雷达和空中摄影及工程学上的动弹参数研究。

对于有利的筛选地区，如有必要，可进行 1:5 万的地质填图，研究岩体的岩性、断裂构造、裂隙及深部情况等，以作出进一步评价。

六、内蒙古中部预选区

通过对内蒙古地区区域地质的综合分析，地质构造、岩石建造、自然经济地理的对比研究，初步认为内蒙古中部地区属于区域地质稳定、工程地质条件相对优越的地区。

(1) 该预选区区域地质稳定，地震烈度低，虽有零星弱震，但危害性小，深部隐伏构造蠕变速率极低。

(2) 该区中生界陆源碎屑沉积岩工程地质性质为(深部)较坚硬~(浅部和地表附近)软弱的层状砂岩-泥岩组。岩石胶结物由泥质和钙泥质组成，透水性偏低，硬度变化大，但抗压强度一般较高。

(3) 据钻孔资料，中生界地层由泥岩、粉砂岩、砂岩层构成，互层及韵律性较明显。三迭系地层形成时，因受基底古地形的控制，部分地区地层厚度达 800—1200 m。

上三迭统中段的粉砂岩或细砂岩渗透率较低，具备适宜的机械性质。下伏的中、下三迭统泥岩层可充当处置库底部隔水层和吸附缓冲保护层，上伏的侏罗系红色泥岩层也能够将三迭系内部的地下水与浅部居民民用水-白垩系中的层间水有效地隔离开来。

(4) 预选区濒临无际的沙漠，年蒸发量远大于年降雨量，气候绝对干燥度高达 3.0，特别是深部有好几层泥岩隔水层，基本上可以排除浅部地下水和大气降水渗透、溶解的可

能。该区地下水的分布、变化具有规律性,生活用水的水质较好。并且预选区中部和南部河流归属于鄂尔多斯内流水系,建立核废物处置工程决无污染黄河流域的可能。

(5) 预选区所在地为我国人口密度最小、经济不发达、文化教育相对落后的地区,国民经济产值较低。工商旅游等经济项目亦无大的发展前景,在今后较长的时间内不会成为国民经济重点开发区。

(6) 本区交通较便利,90%以上的公路路段无需增派专人维修。但所处地理位置与核废物主要来源地相距较远,运输成本较高。

(7) 内蒙古中部地区除煤炭资源丰富之外,电力及石油产品供应较紧张,且气候干燥。

七、陕西西南部预选区

本区中的305杂岩体是一个成分复杂(从超基性至基性)、产状复杂(从浅成至深成),并多次活动的岩体群。其主体为第2次侵入的斜长花岗岩,出露面积约1453平方公里。

通过地质、地震、遥感等方面的综合研究,初步认为,作为核废物地质处置库的预选区,该地区具有如下几点有利条件:(1) 预选区距铁路近,本区又为低山丘陵,修筑铁路、公路方便。(2) 刘家峡电站有丰富的电力资源。(3) 通过地质、地震、遥感等方面的综合分析,初步认定本预选区为一长期稳定的地块。而且本预选区为一巨大的岩基,裂隙不发育,故完全可以满足进行地下深部工程的要求。(4) 具有从事地质填图、水文地质、物化探等地质方面工作的技术队伍。(5) 人口稀、耕地少,可减少因工程占用耕地、人口搬迁的麻烦。(6) 岩体形成后,地质作用轻微,至今尚未发现有远景储量的矿床。

对于该预选区,如果有进一步工作的必要,建议做下列工作:进行1:5万的地质填图,观察研究本区断裂活动的规律性,统计岩体裂隙发育的情况,进行部分地区的物化探工作,了解深部地质情况。

八、广东中部预选区

广东中部预选区的特点如下:(1) 从地质发展来说,该预选区处于一个长期相对稳定的隆起带中,地表可见断裂较广东其他地区少,活动性差;(2) 该区处于粤北地震安全区和粤中地震构造区的安全段;(3) 居民相对较少;(4) 从已有的工程资料看,愈往深部,裂隙紧闭,裂隙水不发育,水文地质条件较为有利;(5) 花岗岩的完整性好,抗压抗剪强度大,对处置库施工和防止库房内塌有利。

综上所述,就广东地区来讲,该预选区是较好的核废物处置库址,可作为一个预选地段与其他4个预选区的有利地段进行比较。

但是,从综合因素考虑,该区有下列不利因素:a. 该区邻近广州市,是一个经济发展远景规划区。b. 该区降水量多,迳流量大,主要汇入珠江水系,而珠江是广州的主要水源之一,因而对珠江水系的污染是需要加以考虑的一个重要因素。c. 目前,大亚湾核电站的运输设计是通过海路,如果该区作为预选区,则陆路运输的成本费用是比较大的。

九、浙江西部预选区

浙西(含皖南一部分)是有利预选区之一。此次工作选择了两个预选地段。

(1) 浙西预选区的确定,除考虑浙江省经济发展状况、人口密度和秦山核电站的核废物就近处置等因素外,主要依据浙江省的地质构造、地震活动、晚近构造活动规律等条件加以考虑。其主要依据有: a. 江山—绍兴大断裂以北的地区属浙西大复向斜。印支运动时期产生强烈的褶皱,同时伴随生成一些压(扭)性断裂,自西向东有吴兴—顺溪断裂带、临安—马金断裂带等。其中,最西端的吴兴—顺溪断裂带也不在选定的浙西预选区中。 b. 在浙东南地区,由于燕山运动强烈,大规模的火山喷发和构造活动,使华夏系构造遇受覆盖和改造。据航磁、重力及火山构造分析,在火山岩之下,存在着一轴向北东 50° 的基底构造。而在浙西,航磁异常区为负磁场区。航磁特点反映出,该区是较为稳定的地质构造环境。 c. 中三迭世末期以来产生的新华夏系构造,其强度自东向西逐渐减弱,它主要在浙东南形成了龙游—遂昌、上虞—庆元等断裂带。在浙东,喜山期活动十分强烈,有基性、超基性岩侵入,新构造运动继承老构造发展表现为间歇性抬升、山地阶地形成和河谷阶地发育。 d. 区域性东西向构造都距浙西预选区有一定的距离。 e. 在浙西北地区,华夏系是主干构造。但它主要在古生界地层中保留完整。 f. 据资料综合分析,浙西北地区新华夏系构造不发育,存在的断裂构造均远离预选区。 g. 浙西北地区的东西向构造生成于前震旦纪,发育成熟于雪峰运动,中生代以来有多次强烈活动,喜山期达到高潮。但它们均远离预选区。 h. 浙江省的地震活动具有分期、分带性。地震活动主要集中于浙北平原区与浙东临海—温州、嵊县—庆元地带。 i. 从浙江省地震活动的迁移性看,浙西北的地震迁移方向主要为北东向。 j. 从活动性构造应力场分析,浙江省主要的导震断裂带为东部的晚近构造,肖山—球川断裂带、上虞—丽水断裂带、镇海—温州断裂带。 k. 从地震带的划分及地震危险区的分布看,浙江省主要有嘉兴—常山、丽水—庆元、定海—温州 3 个地震带,杭嘉湖、镇海—定海、鹤溪—庆元、乐清—温州 4 个地震危险区。它们均集中在浙江东部。

(2) 根据初步的资料分析,866 预选区可作为一个低中放废物处置场预选区加以筛选。有利条件如下: a. 岩性有利。该区地层主要为侏罗系广德组第二层(J₃g)玻屑凝灰岩和凝灰岩。玻璃凝灰岩是经水解脱玻后形成的膨润土矿。膨润土具有很强的吸附核素的能力,是核废物处置中广泛应用的回填屏蔽材料。该区膨润土面积较广,如作为低中放废物处置场,膨润土矿体既是处置核废物的地质体,又是很好的回填屏蔽材料。尤其是在膨润土矿区外围,石英含量较高,不符合开采标准的地段实为核废物处置的有利地区。因为作为回填材料,通常需在膨润土中加进一定比例的石英砂。 b. 地质构造简单,无地震活动。 c. 水文地质条件简单。地下水是核素迁移的一个主要因素。但该区没有河流,常年泉极少,水文地质条件简单。 d. 由于水源问题无法解决,长期没有形成较大的村落,人口稀少。 e. 多为荒山丘陵,地形有利。 f. 距秦山核电厂近,有公路可通,交通方便。 g. 有配套工业设施。距选区数公里外,有水泥厂、砖瓦厂、煤矿、火力发电厂等。 h. 经济效益显著。该选区距秦山核电厂近。如果中低放废物经水泥固化后一次性直接处置,可免除目前的库房建设及库房暂贮,节省大量资金。

(3) 根据资料的初步综合分析,皖南的67花岗闪长岩体可作为一个高放核废物处置场预选区加以研究和筛选。有利条件如下: a. 地处山区,人口稀少,交通方便。 b. 岩性有利。据国外资料,花岗岩是目前大多数国家高放废物处置场的主选岩石。而该岩体出露面积达300多平方公里,是一个较大的岩基。 c. 岩体中心裂隙和断裂构造简单,横裂隙、纵裂隙不太发育。这样,不利于核素的迁移。从环境安全角度分析,这是一个较为有利的条件。从

上述地质条件分析来看, 866地区作为低中放废物处置场址预选区, 67花岗闪长岩体作为高放废物处置库址预选区均是有利地区。

十、小 结

放射性废物处置的研究工作是一项内容复杂的工作, 它主要包括以下几个方面: 处置库场址选择; 屏蔽和回填材料的研究; 地下实验室的建立和实验; 核素迁移的研究; 环境安全评价; 处置库设计与建筑; 最终处置的实施与管理。

上述这些研究工作都是受处置库场址的地质条件约束, 所以, 在放射性废物处置工作中, 场址的选择是一项首要工作。选址工作是一项研究周期较长的工作。为选择和确定一个处置库场址所进行的研究、实验和现场勘探, 以及筛选、论证、批准等, 需要10—20年的时间。此外, 在进行选址时, 也往往需要选择一批场址(通常15个以上场址为一批), 以供对比、筛选。因此, 我们进行的工作仅是初步的工作。除此次在华东的浙西、西北的甘肃、陕西西南部, 内蒙古中部, 广东北部所做的工作外, 今后还可在东北、新疆、青海、江西、安徽、福建、广西等地区进行选址工作。

放射性废物处置库的选址工作, 除美国进行得较早以外, 世界各国约在1980年前后相继开展了该项工作。此次选址工作在我国也属第1次。目前为止, 我国还没有完整的选址规范, 因而可供借鉴的经验较少, 主要是靠摸索进行, 实为一次探索性的尝试。

参 考 文 献

- [1] 地质科学院地质力学研究所, 中国分省构造体系研究文集, 地质出版社, 1985年。
- [2] 甘肃省地质局, 1:50万甘肃省地质图及其说明书, 1973年。
- [3] 内蒙古自治区地质研究所, 1:50万内蒙古自治区中部构造体系图及其说明书, 1979年。
- [4] 陕西省地质局区域地质测量队, 1:50万陕西省地质图, 1980年。
- [5] 广东省地质局区域地质调查队, 1:50万广东省地质图及其说明书, 1977年3月。
- [6] 浙江省地质矿产局, 1:50万浙江省地质图及其说明书, 1985年12月。

(编辑部收到日期: 1988年6月1日)

PROSPECTIVE ASSESSMENT OF PRE-SELECTING SITE OF THE DISPOSAL REPOSITORIES OF CHINA FOR NUCLEAR WASTE

WANG ZHIXIONG* QI TONGJUN JIN CHANG GAO YOUNLIANG

(Third Research Institute of MNI, Beijing)

* Now address: China Institute for Marine Development, Beijing.