

# 第 7 章

## 绪 论

## 1.1 什么是核心理学

要回答这个问题，需要先回答什么是心理学。心理学的英文为 Psychology，这个英文单词来源于希腊文，原本的意思是关于灵魂的科学。灵魂在希腊文中也有气体或呼吸的意思，因为古代人们认为生命依赖于呼吸，呼吸停止，生命就完结了。

在我国古代，《周易》是关于占卜的古籍，占卜其实质就是找一种无法反驳的方式帮助我们确定一些本来难以确定的事情。因此占卜不完全是迷信，是有一定的心理学基础的。

随着科学的发展，心理学的对象由灵魂改为心灵。目前被广泛接受的心理学的定义是：关于个体的行为及精神过程的科学研究。这里个体指人或动物，行为是个体适应环境的方式，科学性要求心理学结论要建立在依据科学方法原则收集到的证据的基础上。因此心理学是研究心理现象和心理规律的一门科学，由于心理现象是由大脑作用并产生的，因此心理学也研究大脑的工作机理。

心理学既研究动物的心理也研究人的心理，研究动物心理主要是为了深层次地了解 and 预测人的心理规律。在中国，自 1917 年陈大齐教授在北京大学建立第一个心理学实验室以来，虽几经起落，从 20 世纪 70 年代后期开始进入空前的繁荣时期。已形成从全国性到地方性的各级心理科学研究所、学会网络，每年有近十份心理学专业刊物、几百份教育类刊物和大学学报上发表的上千篇心理学文献。各种心理学书籍更如雨后春笋，不断涌现。不仅在所有师范大学和一些综合性大学开设各种心理学课程，在一些重点师范大学和一些重点综合性大学设立心理学系，培养本科生、硕士生和博士生，而且各种心理学培训班已

从学校扩散到社会,从课堂教学发展到电视教学。

国家教育部于1995年第一次成立中国高等学校(理科)心理学教学指导委员会,还在北京师范大学、杭州大学(现已合并到浙江大学)、华东师范大学建立了中国心理学理科基地,并决定在所有理工科和综合性大学开设面向全体大学生的公共课心理学。1999年,国家科技部将心理学确定为18个优先发展的基础学科之一。2000年,心理学被国务院学位委员会确定为国家一级学科。这表明心理学被正式列入我国主要学科建设体系,从而在点和面上都有力地提高了心理科学在我国的教育和研究水平,并促进了心理学在社会各界的迅速普及。

在此之后,中国的应用心理学逐渐拉开了帷幕。一些高校开始引入西方的心理治疗技术,政府推出了心理咨询师的执业资格认证,很多民营心理培训机构开始从西方引进心理学流派和技术。这些努力和行动,让心理学在中国这片土地上有了长足的发展。

心理学是一门涵盖多种专业领域的科学,但就其根本而言,是一种研究人类行为和心理过程的科学,包括理论心理学与应用心理学两大领域。心理学已经被广泛应用于各个领域,例如犯罪心理学、变态心理学、生理心理学、教育心理学、管理心理学、医学心理学、生活心理学、政治心理学、军事心理学、运动心理学、法律心理学、文艺心理学等。

本书将针对“核”这个敏感的领域,建立核心理学。核心理学将探讨人类认识原子能以后,在核能和核技术领域出现的种种心理现象。在能源困境面前,如何平衡局部利益和整体利益?在重大核灾难面前,如何实施心理救援?在“反核”和“拥核”之间,该如何理智地做出自己的判断?在核辐射面前,我们为什么会恐惧?在重大的核设施项目实施之前,应该如何与公众进行沟通?核知识的科普过程中,如何让受众能够接受?在个人与政府的博弈中,如何争取并维护自己的个人权利?通过什么途径或方式说服别人?政府在做出决策之前有什么样的考量?职业人员是怎么看待核辐射的?职业人员的家属是怎么看待核辐射的?在核领域存在着大量的疑问,很多都与个体的心理特征有关系,通过研究个体的心理规律,可以让读者拨开迷雾,看清本源。

本书作者在此声明,笔者虽多年从事核能领域的专业工作,但本人既不盲目“反核”也不盲目“拥核”。本书的最终目的是从心理学的角度,分析“核”问题

之所以成为一个敏感的问题的原因,并从理性兼感性的角度,探讨这些复杂的社会现象的背后原因。有人说核安全其实已经不是一个技术问题,而是一个政治问题。笔者认为,核安全既是一个技术问题,也是一个政治问题,更是一个心理学的问题。

因为心理学研究人的知觉、认知、情绪、人格、行为和人际关系等,也与日常生活的许多领域——家庭、教育、健康等发生关联。心理学一方面尝试用大脑运作来解释个人基本的行为与心理机能,同时,心理学也尝试解释个人心理在社会行为中的角色。

心理学的研究通常被分为五个子领域,即神经科学、发展心理学、认知心理学、社会心理学和临床心理学。简单来说,神经科学通过观察人类大脑的反应来研究心理;发展心理学研究人类是如何成长、发育和学习的;认知心理学将心理比喻成计算机,看人类如何游戏、辨别语言和辨认物体等;社会心理学研究人类的群体行为,怎样与他人交流;临床心理学研究心理健康和心理疾病。

核心理学是一个全新的应用心理学领域。既涉及神经科学和发展心理学——人为什么会恐惧?也涉及社会心理学——个体与社会之间的关系,还涉及临床心理学——重大核事故以后的心理救援。

正如我国著名心理专家郝滨先生所言:“两百年前的人类尚未拥有科学心理学这一探索内在世界的途径,但是人类探知精神世界的旅程却早已扬帆起航!两百年后的人类将以何种形式继续这个旅途尚未可知,但是我无比地坚信,只要我们存在一天,这个脚步就绝不会停止。”人类发现核能和核技术已将近百年,研究与核相关的心理学,也将在这个时代开始起航。

## 1.2 核心理学的研究方法

心理学的研究对象就是心理现象,即我们非常熟悉,并随时会接触到、感受到的精神现象,又称心理活动。心理学研究方法是研究心理学问题所采用的各种具体途径和手段,包括仪器和工具的利用。心理学的研究方法很多,例如观察法、实验法、调查法、测验法、个案法等。在核心理学的研究中,我们会采用心

理学研究中采用的各种有效方法,进行科学的研究和分析,指导人们与核相关的实践活动。

**观察法**是研究者有目的、有计划地在自然条件下,通过感官或借助于一定的科学仪器,对社会生活中人们行为的各种资料的搜集过程。

从观察的时间上划分,可以分为长期观察和定期观察;从观察的内容上划分,可以分为全面观察和重点观察,前者是观察一定时期内全部的心理表现,后者是重点观察某一方面的心理表现。

从观察者身份上划分,可以分为参与性观察和非参与性观察。前者是观察者主动参与活动,以参与者身份进行观察;后者是观察者不参与活动,以旁观者身份进行观察。

从观察的场所上划分,可分为自然场所的现场观察和人为场所的情境观察。

观察法的优点是保持了人的心理活动的自然性和客观性,获得的资料比较真实。不足之处是观察法得到的结果有可能是一种表面现象,不能精确地确定心理活动产生和变化的原因。为了克服观察法的弱点,出现了有控制的观察,即实验法。

**实验法**指在控制条件下操纵某种变量来考察它对其他变量影响的研究方法。它是有目的地控制一定的条件或创设一定的情境,以引起被试者的某些心理活动而进行研究的一种方法。实验法根据实验的场地,可以分为实验室实验和自然实验两类方法。

实验室实验要在实验室内利用一定的设施,控制一定的条件,并借助专门的实验仪器进行研究,以便探索自变量和因变量之间的关系。实验室实验便于严格控制各种因素,并通过专门仪器进行测试和记录实验数据,一般具有较高的可信度,多用于研究心理过程和某些心理活动的生理机制等方面的问题。

自然实验法,是在日常生活等自然条件下,有目的、有计划地创设和控制一定的条件来进行研究的一种方法。自然实验法比较接近人的生活实际,易于实施,又兼有实验法和观察法的优点,所以这种方法被广泛用于研究教育心理学、儿童心理学和社会心理学。

**采访调查法**,通过书面或口头回答问题的方式,了解被调查者的心理活动。

调查法的主要特点是,以问题的方式要求被调查者针对问题进行陈述。根据研究的需要,可以向被调查者本人作调查,也可以向熟悉被调查者的人作调查。调查法可以分为书面调查和口头调查两种。

**心理测验法**,采用标准化的心理测验量表或精密的测验仪器,来测量被试者的心理活动。常用的心理测验有:能力测验、品格测验、智力测验、个体测验、团体测验等。在管理心理学的研究中,心理测验常常被作为人员考核、员工选拔、人事安置的一种工具。

**案例法**,就是对某一个体或群体组织在较长时间内连续进行调查、了解、收集全面的资料,从而研究其心理发展变化的全过程的方法。

**文献研究法**,对于社会科学类研究来说,阅读文献也是一种十分重要的研究方法。文献阅读只是手段而非目的,通过文献调研可以充分了解研究现状和目前的研究理论,但是不能替代思考。将别人的东西应用于自己的问题固然不错,但是能够在此基础上提出自己的观点才是最可贵的。因此在文献阅读中要始终保持自己的独立思考,借鉴别人的方法但不要迷信前人的结论。

心理学研究方法除了上述常用的几种外,还有**内省法(自我观察)**、**思维法**、**临床法**、**模拟法**、**日记法**等。

需要特别注意的是,对心理现象和过程的研究应当符合社会和生命伦理的要求。心理学是关于人的科学,因此,任何心理学研究都不得为了获得研究资料,而对被试者施加对其身心健康和以后发展有不利影响的处理,也不得在未经被试者允许的情况下,把被试者的任何档案资料公布或供给其他人使用。这是因为心理活动大部分会涉及个体的隐私,懂得保护其他人的隐私是十分重要的事情。

### 1.3 核心理学相关知识及研究的意义

我们知道,通过研究和学习心理学,可以加深对自身的了解。通过学习心理学,你可以知道自己为什么会做出某些行为,甚至提前预测到自己的一些行为,知道这些行为背后究竟隐藏着什么样的心理活动或动机,以及自己的个性、

脾气等特征又是如何形成的,等等。例如,学习了遗忘规律,你就可以知道自己以往的背单词方法存在哪些不足;了解了感觉的适应性,就可以解释为什么“入芝兰之室,久而不闻其香”了。因此在很大程度上,心理学是帮助你了解你自己心里的想法的学问,是学会独立思考的必要条件。

同样,你也可以把自己学到的心理活动规律运用到人际交往中,通过他人的行为推断其内在的心理活动,从而实现对外部世界更准确的认知。例如,作为教师,如果你了解了学生的知识基础和认知水平,以及吸引学生注意力的方法,你就可以更好地组织教学,收到良好的教学效果。作为风险沟通人员,可以帮助你了解沟通对象的心理特点,有针对性地说服对方接受并学会处理必要的风险。因此,心理学不但帮助你了解自己,而且还能更好地了解他人。从这个角度看,算命先生可以称得上不错的心理学家,因为路边的算命先生,可以通过和你的简短的几句谈话,以及你的言行举止,快速地把你归入某一类人并进行心理诱导,使你不得不叹服算得真准,然后乖乖地根据对方的暗示自觉自愿地付费。

心理学除有助于对心理现象和行为做出描述性解释外,它还向我们指出了心理活动产生和发展变化的规律。人的心理特征具有相当的稳定性,但同时也具有一定的可塑性。因此,我们可以在一定范围内对自身和他人的行为进行预测和调整,也可以通过改变内在外在的因素实现对行为的调控。也就是说,可以尽量消除不利因素,创设有利情境,引发自己和他人的积极行为。

例如,当我们发现某核电项目可能会遇到周围居民反对的时候,就可以运用心理活动规律,提前找到诱发这些行为的内外因素,积极地创造条件改变这些因素的影响,实现稳定和谐的发展。如果你想要否决某一个核电项目,也可以运用心理学规律,在法律允许的范围内,获得更多的支持,据理力争。

再如,奖励和惩罚是利用条件反射的原理,在培养儿童的良好习惯和改造儿童的不良行为与习惯方面发挥着重要的作用,而对于核电厂的工作人员,根据心理学的研究成果表明,需要更多地使用激励的办法确保核安全文化理念的贯彻。

学术研究范畴的心理学,可以分为理论研究与应用研究两大部分。理论心理学的知识大部分是以间接方式指导着我们的各项工作的,而应用研究的各个分支在实际工作中则可以直接起作用。教师可以利用教育心理学的规律来改进自己的教学实践,或者利用心理测量学的知识设计更合理的试卷等;商场的工作

人员利用消费和广告心理学的知识设计橱窗、陈设商品,以吸引更多的顾客;公司或企业的经理,会利用组织与管理心理学的知识激励员工、鼓舞士气;等等。

这里再举一个实际的例子,以便大家了解应用心理学的作用。在很多国家的商场里,都十分盛行“打折”。所谓打折就是以低于原先的价格进行销售。最开始的时候,打折是为了及时把滞销的产品销售出去以便回笼资金,有时候甚至真的是赔本甩卖。可是很快,聪明的商家发现消费者都有贪图便宜的心理。如一件商品的价格是 100 元钱,卖得并不好,若商家把原始价格修改为 150 元,然后八折销售,也就是卖 120 元,却发现反而卖得更好。于是情况越演越烈,经常能够看到一折、二折的情形。得了便宜的消费者还会向自己的朋友炫耀,自己花了 200 元钱买了价值 2000 元的一件衣服,而实际情况是可能这件衣服的成本可能连 100 元都不到。当然在这个过程中,消费者也很快学得聪明起来,但是在这个博弈中,吃亏的多半是消费者。因此欧盟的一些国家,为了打击这种市场欺诈行为,对商场打折做出了一些限制性的立法规定。例如商品在市场上出售必须先申报价格,申报价格获得批准后,若想打折促销,折扣低于多少就必须再进行申报等,这样可以更好地保护消费者的利益。于是你看到的就是这样一番景象,同一件商品在不同的商家卖的都是同样的价格,很像计划经济时代的价格。

从心理现象发生的主题上看,人是自然属性和社会属性的统一;从心理现象产生的器官上看,人脑固有的自然属性是在人的社会生活方式的影响下变化和发展的,其技能也是自然与社会的统一;从心理现象的内容上看,人所反映的客观现实是社会存在和自然现实的统一;从心理现象的形式上看,人的心理是社会的产物,也是自然的产物,“心理是脑对客观现实的反映”这一科学命题本身就蕴含了自然和社会的统一。

本书探讨的核心理学将以通俗易懂的方式讲述心理学的基础知识,如个体心理结构、决策、说服、学习、沟通、心理救援等,在此基础上,分析核专业人员的心理素质要求,决策者与公众沟通时的心理考量等。该书通俗易懂,中学以上学历的人群都可以阅读此书,尤其是大、中学在校学生、教师,核专业人员以及关注对核问题的非专业人员。

开卷有益,读一读又何妨?

## 第 2 章

### 核安全目标

到底什么是核辐射？什么是核安全？什么是核安全目标？什么是……涉及“核”的很多问题随之而来。让我们先来了解一下什么是核辐射。

## 2.1 什么是核辐射

国际原子能机构给出的核安全的总目标是：在核设施内建立并维持一套有效的防护措施，以保证工作人员、公众和环境免遭过度的放射性风险。在这里，“风险”是指事件的频率与其所产生的危害的乘积，这是学术意义上的风险的定义。也就是不考虑风险承受者主观感受的意义上的风险。因为给出这样定义的人，想要采用尽可能客观的方式来量化风险。而实际上，后文我们会提到，不考虑客体的主观感受的风险是不完整的。安全总目标里面讲的放射性危害是指辐射对核电厂工作人员和公众健康的不利影响，以及对土壤、空气、水或食物的放射性污染。

可见，与核相关的实践活动中最主要的特征就是放射性风险，那么到底什么是放射性或者核辐射呢？

### 核辐射与烤火炉

自然科学研究者告诉我们，物质是由原子组成的，而原子又是由原子核和核外电子组成的。核辐射是原子核从一种结构或一种能量状态转变为另一种结构或另一种能量状态过程中所释放出来的微观能量流。这种能量有时候以具有一定静止质量的微观粒子的形式释放出来，有时候以电磁波（无静止质量）

的形式释放出来,这取决于能量状态发生改变的具体过程。因此所谓的放射性,就是以波或粒子形式发射出的一种能量流而已。

这个关于核辐射的科学解释,对于一般的读者也许比较难以理解,那么我们可以举一个通俗一点的例子来理解一下。冬天天冷的时候,如果生一个火炉,马上就会觉得暖和起来,为什么呢?因为能量通过辐射的方式传递到了你的体内。那么能量是怎么通过辐射的方式传到你的体内并且让你觉得暖和起来的呢?如果你是用木炭生的火炉,那么是空气中的氧气和木炭里面的碳发生了化学燃烧反应,微观粒子的能量状态发生变化,辐射就以电磁波的形式释放出来了,其中的红外线波长部分的辐射是最容易被我们的身体所接受的,身体里面的细胞获得了能量后,你就觉得暖和了。辐射其实就是这么简单的东西,并伴随在我们生活中的每一个角落。

当然,把核辐射说成是烤火炉,只是打了一个通俗的比方。如果说核辐射就是烤火炉,那恐怕是谁也不会相信的鬼话。要不然原子弹的杀伤力怎么那么大呢?切尔诺贝利核事故和福岛核事故的后果怎么会这么严重呢?其实这和辐射出来的粒子或者电磁波的数量和能量有关系。如果你把火炉的火搞得太大了,就不是取暖而是火灾了。因此任何事情的后果,都会和度有关系,在一定的度的范围里,是烤火取暖,如果超出了一定的度,那恐怕就变成“烤乳猪”了。

那么,怎么来理解和掌握核辐射的这个度呢?我们知道核辐射主要有 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 三种射线(名字叫做 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 并没有什么特别的含义,希腊文里 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 就像英文里面的a、b、c,类似于汉语中的“甲、乙、丙”一样给个编号而已): $\alpha$ 射线个头最大,穿透力却最弱,只要用一张薄薄的纸就能挡住; $\beta$ 射线其实就是电子流,穿透力也不大,影响距离比较近,只要辐射源不进入体内,影响不会太大; $\gamma$ 射线的穿透力最强,其实质是一种电磁波,能穿透人体和建筑物。这三种射线都带有不同的能量,并对人体产生伤害,并且能量越大对身体内细胞的伤害也会越大。

在烤火炉时,由于火炉发射出的红外线电磁波能量比较小,对于身体里面的细胞基本没有伤害,反而会因为获得能量而感到暖和。当你晒太阳的时候,也会觉得暖和,但其中的有些能量稍微高一点的紫外线就可能会对皮肤造成一定的伤害,所以很多人都会涂一下防晒霜,用来阻挡紫外线对皮肤的伤害。防晒霜,其实是一种能阻隔或吸收紫外线的防晒剂,其原理就好比打伞戴帽子,可

以将照射到人体的紫外线吸收或者反射出去。因此对于能量较高的辐射,我们是可以采用不同的防护手段进行有效防护的,例如可以把固态的放射性物质泡在水中,水对于三种射线都有很好的阻挡作用。

其实在自然界和宇宙射线中,始终存在一定量的辐射,人体经过千百年的进化,已经基本适应了自然界中的这些放射性。如果用一把专业的尺子来度量一下这个已经被人体适应的放射性,大约是几毫希沃特(mSv)。在历史上,希、希沃特、希弗、希弗特都是放射性剂量曾经用过的单位,因为它们都来源于其英文名字 Sievert 的音译,所以不同年代的大学毕业生学到的名称也有所不同。这里就不去纠结哪个名字更贴切了,至于把哪个名字收入国家计量标准,就让专家们去操心吧。在此后我们就简称为“希”好了。我们常用毫希来度量放射性有效剂量(有效剂量也是一个十分复杂的专业术语,如果觉得太复杂,可以暂时把它通俗地理解为剂量)。就好比用毫米度量手指甲的长度,用毫克度量药片的剂量一样,我们是用毫希来度量放射性对人体的伤害程度的。生活在地球上的每一个人,每年接受到的有效剂量大约是几毫希,不同的地区还会有一些差别。例如某地方的辐射检测站检测到的辐射强度为  $0.2\mu\text{Sv}$  每小时( $1\text{mSv}$  等于  $1000\mu\text{Sv}$ ),那么这个地方的人接受到的年有效剂量为  $0.2$  乘以  $24$  小时再乘以  $365$  天,结果是  $1752\mu\text{Sv}$ ,也就是每年  $1.752\text{mSv}$  的有效剂量,有时候也把这个剂量称为本底剂量。日常生活中的一些典型的辐射有效剂量如图 2-1 所示。

因此,每一个生活在地球上的人,无时无刻不受到自然界中始终存在的天然放射性辐射的照射。来自天然辐射的个人年有效剂量全球平均约为  $2.4\text{mSv}$ ,其中,宇宙射线大约  $0.4\text{mSv}$ ,地面  $\gamma$  射线大约  $0.5\text{mSv}$ ,吸入(主要是室内的氡)大约  $1.2\text{mSv}$ ,食入大约  $0.3\text{mSv}$ 。可以看出,其中大约一半是由于室内的氡气吸入体内引起的内照射。

不同的地区,天然辐射剂量是不同的,因此引起的个人剂量的变化范围较大。全球各地天然照射的水平可相差 3 倍左右,甚至有一些地方高出平均水平 10 倍以上。例如在我国,广东和福建的天然辐射剂量较高,而北京则较低。

本底剂量可怕吗?有人说完全不必担忧本底剂量,因为千百年来人类都是这样过来的。有人说也不见得完全不担忧,例如肺癌的发病率就和氡气的吸入

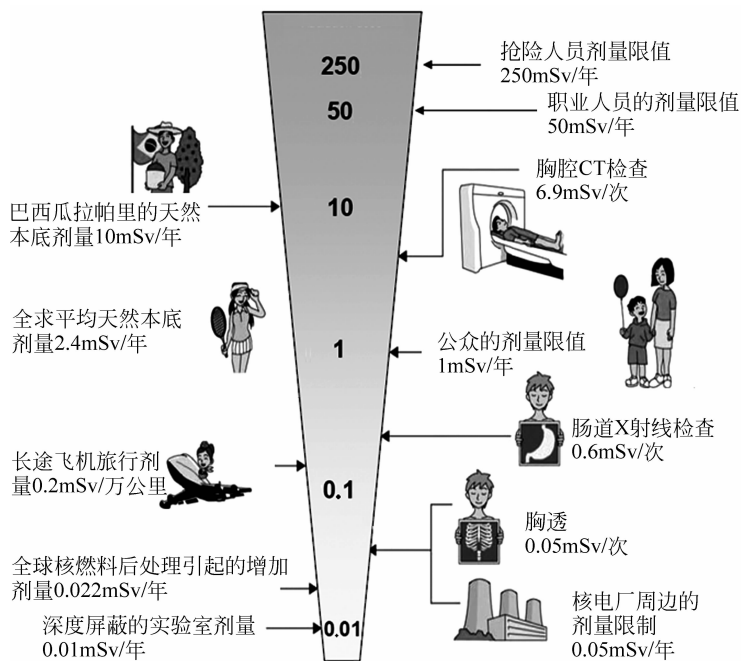


图 2-1 日常生活中的辐射剂量当量

密切相关,如果能够有效降低室内氡气的浓度,对于健康无疑是有意义的。因此,通过科学地认识天然辐射,对于如何防护无疑是有积极意义的。一个小小的建议是,通风不畅的地下室的氡气浓度明显高于通风良好的地面建筑,因此尽量不要在地下室长时间停留。

虽然本底剂量是否需要担忧,可以仁者见仁,智者见智,但理解了本底剂量以后,就可以用本底剂量作为一个可以参照的度了。因为我们人体已经适应了这个本底剂量,因此本底剂量是我们不得不接受的剂量,而且还是人类得以进化的外在关键因素之一。

但是,如果放射性超出了这个度很多,我们就有理由感到害怕甚至恐惧了。那么什么时候会超出这个度很多呢?我们可以先来分析一下日常生活中放射线剂量的一些主要来源——医疗、飞机旅行、香烟、汽车尾气等。这几个里面其实只有医疗是会超过几毫希的。生病了,去医院看病,医生会先让你接受各种检查,如要求你做胸透、CT 或者核磁共振等。更有甚者,还要进行放疗和化疗。当然放疗和化疗都是到了迫不得已才会采用的手段,因此多受点放射线剂量病

人也不会有太大的意见。

由于宇宙辐射随海拔高度的增加而增加,据科学测量和统计,在 12000m 高空飞行的飞机机舱内,有效计量平均约为  $0.008\text{mSv/h}$ , 15000m 的时候是  $0.01\text{mSv/h}$ 。如果空勤人员的年平均飞行时间是 800h,估计的年平均有效剂量为  $5\text{mSv}$  左右。 $5\text{mSv}$  是明显高于天然本底的  $2.4\text{mSv}$  的,可怕吗?对健康有影响吗?需要为此担忧吗?联合国原子辐射效应科学委员会根据  $5\text{mSv}$  这个数据,规定了民用航空空勤人员在执行任务期间所受的宇宙辐射照射为职业照射,言下之意就是应该享受辐射补贴,应该享受额外的休假时间等。

随之而来的担忧,那就是孕妇能不能坐飞机?已怀孕的妇女偶尔坐一次飞机而接受的宇宙辐射剂量不会对孕妇本身以及胎儿造成不良影响。但是空姐在怀孕或预备怀孕期间不能做空乘服务确是有明文规定的,空姐在计划怀孕之前先休息几个月的时间也是必要的。

那有人会说,核电厂也可能是核辐射的一个重要来源吧?这句话要从两个方面来理解。一方面,核电厂正常运行时,向环境释放的放射性强度是微乎其微的,这可以从核电厂周围辐射检测站的日常监测数据看出来,微小到在仪器分辨率的精度下几乎可以忽略不计。另一方面,核电厂确实又是一个强放射源,一旦控制不好,会造成巨大的辐射污染。片面强调任何一方面,都不是科学的态度。从公众关心的核安全的角度出发,大家更关注的其实是后一种情况。

那么核电厂里面由于核裂变反应而产生的放射性强度到底有多大呢?在核裂变过程中,除了释放出巨大的能量以外,还伴随着大量放射性物质的生成。粗略的估算,核电厂每  $1\text{W}$  的热功率,在核电厂的整个运转周期内积累的放射性活度大约为 1 居里(居里是一个放射性强度的单位,用以纪念发现放射性镭的居里夫人。若把一个强度为 1 居里的没有防护的  $\gamma$  放射源放在身边,不用几个小时就会发生呕吐,甚至有生命危险)。一个百万千瓦电功率的核电厂,热功率约为三百万千瓦,裂变产物的放射性总强度将是一个天文数字!因此,只需要粗略的计算,就可得知:如果将一座百万千瓦级的核电厂整个运转周期内产生的总放射性物质全部均匀地稀释到海水里,就可使全球的海水的放射性活度增加标准的约 10%。

当然,实际上的饮用水放射性标准十分复杂,实际检测的时候主要控制水中的总 $\alpha$ 放射性和总 $\beta$ 放射性,这里就不仔细去研究了。(总 $\alpha$ 放射性的控制值为 $0.5\text{Bq/L}$ ,总 $\beta$ 放射性控制值为 $1.0\text{Bq/L}$ ,若超过以上控制值,则需要进行核素分析和评价,判定能否饮用。)

我们需要了解的是,一个核电厂的裂变产物的放射性总强度是很强的!就放射性总量而言,比原子弹要大得多。所幸的是即使发生了福岛事故这样严重的核电厂事故,也只有不到千分之一的放射性物质释放到大气和海水里,而且也都局限在局部区域而没有均匀稀释到全球的海水里。但不管怎样,核电厂最大的风险,是向环境释放大量放射性物质的风险。

### 白酒和啤酒

有人说,核电厂比原子弹威力要大多了,一个核电厂就可以毁掉好几座城市。也有人说,核电厂不是原子弹,不会发生核爆炸。还有人说,人们对于核电厂的恐惧主要来自对原子弹的恐惧。似乎每个人说得都很有道理,并且每一种说法都有很多支持者。也曾经听到一位核电老专家在谈到核电厂不会像原子弹那样发生核爆炸时打了一个比方,说原子弹就好比白酒,核电厂就好比啤酒,白酒由于酒精浓度较高,可以用火柴点燃,而啤酒却无法点燃。因此结论是核电厂由于采用低浓缩铀,不会像原子弹那样发生核爆炸,意思就是说对待核电厂不必像对待原子弹那样感到恐惧(图 2-2)。这个比方,很多核专业的人士是颇为欣赏的,并且在很多不同场合被作为科普案例引用。



图 2-2 核电厂不等于原子弹示意图

但是对一般公众而言,原子弹和核电厂真的就是白酒和啤酒的关系吗?如

果真的就是白酒和啤酒的关系的话,那每个喝过酒的人都知道,啤酒也是会喝醉的,而且谁也不会拿白酒点火玩。如果说因为核电厂是啤酒,因此是安全的,谁信啊?交通警察会因为你喝的是啤酒而不是白酒,就因此放过酒(醉)驾吗?因此我们对于核电厂到底是啤酒还是白酒,恐怕还需要再仔细分析一下。

首先核电厂比原子弹的威力大多了,这样的说法不是没有科学根据的。人类在发现原子能以后,在“二战”期间,美国在日本投了两颗原子弹,毁灭了两座城市,震惊了全世界,原子弹的威力从此扬名立万。不过可能很少有人知道,到目前为止,全世界已经进行了两千多次不同当量的原子弹或者氢弹的核试验了,这些核试验由于都没有公开报道,因此大家所知甚少。最近朝鲜做了几次核试验,倒是全世界都知道了。核武器的威力就在于其核威慑作用,因此发展核武器就是要让对方觉得恐惧,觉得很可怕,才有威慑作用。记住,全世界范围内已经发生了两千多次核试验了!其实一颗原子弹爆炸所释放出来的放射性物质,并没有多少,比一个百万千瓦核电厂运行所产生的放射性物质总量要少多了。因此说核电厂比原子弹的威力大多了,从产生的放射性总量来看是有一定道理的。

再看核电厂不是原子弹,不会发生核爆炸这种说法,在严谨的科学意义上当然是正确的。因为核电厂采用的是低富集度的铀燃料,达不到原子弹的起爆条件,因此即使发生爆炸也不会是核爆炸。可是,如果引起了放射性物质向环境的大量释放,那么纠结于是核爆炸还是氢气爆炸或者水蒸气爆炸还有什么意义吗?

当然也有人说:“核电厂比核武器都厉害,你吓唬小孩子啊!”这也是有一定道理的。因为一方面核电的风险还是小的并且是相对可控的。核心理学强调,独立思考和批判精神是十分重要的,你是什么观点?和你周围的小伙伴们讨论一下吧。

### 管理员与怪物

有一位核电厂的资深操纵员在回答公众对核安全的顾虑时回答说:“核电厂的操纵员其实比公众更加关注核安全,因为是他们负责看守这个怪物的。所以大家不用担心,因为我们比你们更加担心。”你看,即使是在这位资深操纵员

心里,核电厂无疑也是一个“怪物”级的东西。绝大部分公众所关心的核安全,其实不是核电厂正常运行时的辐射安全问题。因此不要拿核电厂的正常运行来和燃煤电厂向环境释放的放射性来比较,也不要拿寿命缩短的数据说事,即使发布这样数据的是美国核管会的专家,或者联合国相关组织的权威,读者也不会轻易地就相信的。

拿这样的统计数字来证明核电厂是很安全的,显然是不够的。制作表 2-1 并发表的 Cohen 是一个物理学家,他也许并没有撒谎,他的数据也许是可靠的,统计的方法也是经得起检验的。但是有些人用他的数据来证明核电厂是十分安全的,那是徒劳并且适得其反的。因为公众关注的是管理员没有看守住怪物的情况下怎么办? 三哩岛、切尔诺贝利、福岛一系列的事故,不是很好地证明了管理员是完全可能看不住这只怪物的吗?

表 2-1 外在因素造成的寿命缩短的统计值<sup>[1]</sup>

外在因素	寿命缩短天数	外在因素	寿命缩短天数
每天抽一包烟	1600	每天喝一杯无糖饮料	2
生活贫困	700	民航飞机失事	1
意外事故	435	一辈子生活在核电厂附近	0.4

另一方面,全世界每年的汽车事故伤亡人数远大于飞机事故伤亡人数,但有些人还是会认为飞机比汽车更不安全。为什么? 请读者自己试着分析一下原因。

### 谈谈半衰期

放射性元素的原子核有半数发生衰变时所需要的时间,叫半衰期。随着放射的不断进行,放射强度将按指数曲线下降。放射性元素的半衰期长短差别很大,短的远小于一秒,长的可达数万年。

打个比方,假如你口袋里有一万块钱,半衰期是一天,也就是说每一天你都花掉一半的钱,那么 5 天后你口袋里还有多少钱呢? 答案是 312 块五毛。

如果有一个放射性核素的半衰期是一万年,我们基本可以认为它的放射性是永久性的,因为一万年已经到达了人类有文字记录历史的极限了。

记住: 核电厂所生产出来的放射性物质的半衰期有的比较长,例如碘-131

是 8.02 天, 铯-137 是 30.07 年, 钚-239 是 24110 年!

## 2.2 核安全目标的由来

前面讲过,核安全的总目标是在核设施内建立并维持一套有效的防护措施,以保证工作人员、公众和环境免遭过度的放射性风险。

如果这样的一个安全目标真的实现了,那么公众对核设施还有什么可顾虑的呢? 三哩岛、切尔诺贝利、福岛等事故一次又一次地表明,核安全的总目标也许并没有实现,因此我们完全有理由担心在运行的所有的核电厂以及核设施是否能够守住这样的一个安全目标。

我们有必要来看看核能监管部门、核电厂营运单位以及设计院、公众之间关于核能的安全性与经济性的博弈关系。

如果用成本来度量经济性,核电的经济性和安全性之间的定性关系可以通过图 2-3 表示出来。

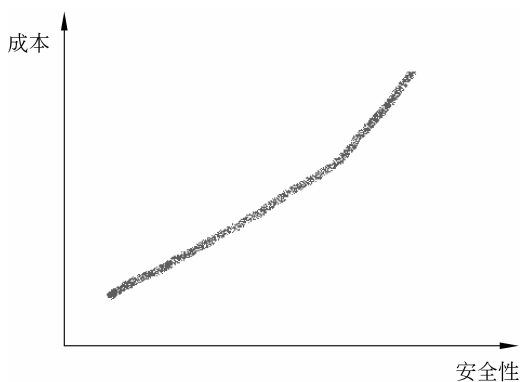


图 2-3 核电的经济性和安全性的关系曲线

图 2-3 的意思是说,提高核电厂的安全性必然会引起成本的增加。那么为了达到核安全的总目标,多大的安全性是可以接受的呢? 这需要制定一个安全标准,例如图 2-4 所示,定了一个安全标准的底线。

那么核电厂的设计单位和核电厂的营运单位就会尽量去找图 2-4 中两条线的交点,也就是满足安全底线要求的成本最小点。核监管部门也会按照安全底

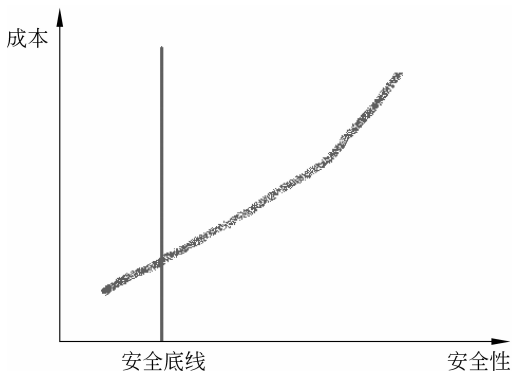


图 2-4 核电的经济性和安全底线

线来审查和监管核电厂。但是历史上发生的几次核电厂事故表明这样的安全管理是有问题的，要么安全底线划得太低了，要么监管没有起到应有的作用。那么怎么才能提高核电厂的安全性呢？

显然，一方面是提高安全标准，另一方面是要合理控制核电营运单位的利润空间。如图 2-5 所示，我们要通过公众的舆论，政府的管理，让核电厂运营在图 2-5 所示的 C 点，在合理的成本内达到安全性的最大化，而且随着技术的发展会不断提高安全性，而不是不断提高经济性。

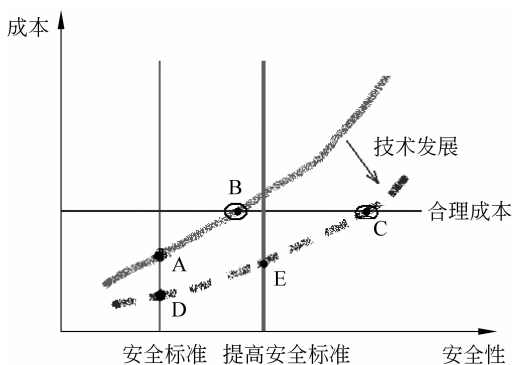


图 2-5 提高核电厂的安全性示意图

那么目前在运行的核电厂都运行在图 2-5 的哪一点上呢？毫不客气地说，大部分都在 A 点附近。安全性得到提高的第三代核电厂，有可能运行在 E 点，这离我们的目标 C 点还有很大的距离。那么谁能够推动核电厂运行到 C 点去？

核电厂营运单位不会,监管部门也没有办法,只有靠公众。

为什么监管部门会没有办法呢?因为监管部门是根据法定的安全标准执行其权力的。历史上由于核安全的总目标不太好实施于核电项目的审批,对于核电厂的审批和监管,以美国核管会(NRC)为首的监管部门,制定了所谓两个千分之一的具体安全目标来进行核电项目的审批。我们来看一下这两个千分之一到底是什么。

美国核管会在其安全目标的政策声明中提出:由于核电厂运行导致周围居民立即死亡的风险不超过所有可能导致其死亡的社会风险的千分之一;由于核电厂运行导致其周围居民患癌症的风险不超过所有可能导致其患癌症的社会风险的千分之一。现在正在运行的绝大部分核电厂是在这样的两个千分之一的安全目标的标准下建造起来的。具有讽刺意义的是,福岛核电厂发生了那么大的事故,居然依然满足这两个千分之一的安全目标!

既然如此,那么我们就有必要再追溯一下安全目标的由来并讨论其合理性了。

### 社会风险

人是生活在社会中的,每天都有各种事务需要处理。生活在社会中的一个人,意外死亡的社会风险有多大呢?我们来看一下20世纪60年代美国科学家给出的一些历史统计数据<sup>[2]</sup>。

表 2-2 1967—1970 年美国意外死亡人数统计

事故类型	1967 年	1968 年	1969 年	1970 年
交通事故	53100	55200	56400	54800
跌倒	19800	19900	19000	17500
火灾	7700	7500	7100	6700
水淹	6800	7400	7300	7300
枪杀	2800	2600	2600	2300
中毒	2400	2400	2500	3000
自然灾害	155	129	无	无
雷击	110	162	无	无

当时美国的总人口数量大约是2亿,因此得到每个人每年的意外死亡概率大约是万分之五。也就是说在美国社会中生活的每一个人,活不过当年的概率