

浅谈高能加速器对环境的影响



邵 贝 贝

(一) 问题的提出

提起高能加速器有些同志总是有点顾虑,担心它产生的辐射会污染环境,损害人类健康。现在让我们来看看加速器究竟产生哪些放射性,强度多大,究竟对环境有什么影响。

随着科学的发展,加速器用途越来越广泛,数目越来越多,能量越来越大。目前,世界上已有成千台加速器在运行着。有的用于科学研究,有的用于医学治疗,有的用于工农业生产……,而高能加速器则主要用于基本粒子物理、核物理等基础科学研究。为了便于开展科学研究工作和国际交往,高能加速器往往建造在文化发达、交通便利的地区。例如,有的建在风景优美的游览胜地如瑞士日内瓦,有的建在世界上人口最多的大城市如美国纽约附近的长岛。这些高能加速器已经运行了二、三十年。至今,还从没有发现它们对周围环境和人民健康有什么不利影响。这个客观事实足以消除一些同志的顾虑。但需要指出,这正是由于世界各国环境保护与加速器防护科学工作者长期不懈努力的结果。

其实,人类生存在自然界中一直受着各种放射线照射。其中有的来自外层空间各种高能宇宙线,有的来自太阳和其他星系的辐射,有的来自地球上的各种天然放射性物质。甚至每个人自己身体里也都会有一定数量的天然放射性元素。例如,正常人体中含有⁴⁰钾放射性同位素,只是这一项每人每年就要受到约20毫雷姆剂量的照射。因此,我们要弄清加速器辐射对环境影响的大小,应该具体分析一下加速器辐射对周围环境产生的剂量究竟有多大。

“加速器对环境的影响”是环境科学与保健物理学工作者的重要研究课题,几十年来各国科学工作者在这方面进行过大量研究。我们来介绍一下研究的结果,看看加速器对环境到底有些什么影响。

(二) 放射性是怎样产生的

一台高能质子加速器,每年能把约 10^{19} 个质子加

速到几十乃至数百京电子伏。这些高能粒子能够与所遇到的物质产生各种相互作用。因为这些粒子能量很高,在它与物质作用时,会产生一种级联过程。这就是说一个高能粒子与物质作用时,能产生好几个能量仍然很高的次级粒子,这些次级粒子能够再次与物质作用而产生更多的第三级、第四级……粒子,在这过程中能量逐渐降下来,直到被吸收掉为止。这些次级粒子是中子, γ 射线, μ 子等等。

还有些物质受到高能粒子的“轰击”后,会变成带放射性的物质。例如,“氧被高能粒子“打掉”一个中子就变成了¹⁶氧,¹⁶氧就是氧的一种放射性同位素。还有不少其它原子也是这样。这是加速器产生放射性物质的主要原因。

(三) 影响环境的可能途径和防护

高能加速器影响环境的主要途径有:

- A. 加速器运行时产生的瞬发辐射场;
- B. 由加速器所在建筑物中排出的带放射性的气体;
- C. 加速器在屏蔽土层中产生的放射性物质转移到地下水中;
- D. 加速器停机以后,本身部件的剩余辐射以及有放射性的固体废物。

下面让我们分别谈谈它们对环境的影响和防护办法。

A. 瞬发辐射场 瞬发辐射场指的是加速器加速粒子时产生而停机后立即消失的辐射场。这是加速器影响环境的最主要因素。瞬发辐射场是怎样产生的呢?原来高能加速器在加速粒子过程中,不可避免地会“丢掉”一些粒子。这些逃逸出来的粒子,像战场附近的流弹似的形成了加速器周围的辐射场。而粒子束流打靶以后产生的次级粒子,则造成了靶区附近的辐射场。瞬发辐射场在加速器隧道内的分布是有规律的,但又是极不均匀的。有些地方辐射场非常强。局部区域的剂量水平可高达每小时数万雷姆(国家规定,放射性工作

人员每年最大容许剂量为 5 雷姆)。所以,加速器要用厚厚的屏蔽包起来。加速器运行时,严禁工作人员进入隧道。要把这样高的辐射水平降到对工作人员来说是安全的水平,大约需要 4—5 米厚的屏蔽层。

尽管有厚厚的屏蔽层,总还会有少量粒子透过屏蔽层跑到环境中去。跑出来的粒子主要成分是 γ 射线

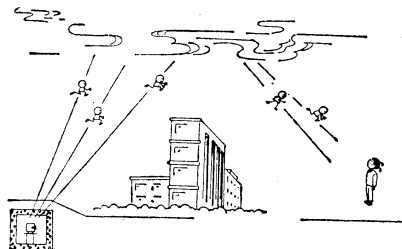


图 1 天空反照

和中子,就对环境影响而论,中子比 γ 射线更为重要。因为中子随距离的减弱比 γ 射线要慢。

从加速器顶部跑出来的中子,将会通过大气散射影响环境。这种散射现象称为天空反照。这种现象是很有趣的。如果你站在离加速器几百米以外的地方,当加速器运行时你用很灵敏的仪器,可以测到少量中子。这时即使在你与加速器之间砌了一道很厚的高墙,你这里的中子却并不因此而明显减少。天空像是镜子,把少量中子反照到几百米以外的地方。

天空反照现象是瞬发辐射场影响环境的主要原因。然而尽管如此,中子的衰减仍比按距离平方成反比的规律还要减弱得快些。加速器的屏蔽厚度一般是按照国家有关标准设计的,可以保证在屏蔽外工作的人员,一年中的累积剂量不超过国家规定的标准——

每年 5 雷姆。在离开加速器 300 米的地方,瞬发辐射场的贡献就可减弱到小于 50 毫雷姆/年。这是我国

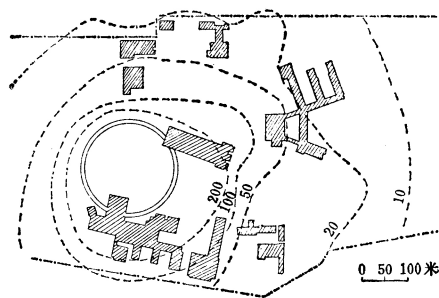


图 2

规定的所谓广大居民标准。大约在距离加速器一公里的地方,中子减弱到小于宇宙线造成的天然本底水平。这时, γ 射线的贡献只相当于中子的十分之一左右。

由此可以看出,在 1 公里以外,瞬发辐射场对环境几乎不再有任何影响。

图 2 是西欧 28 京电子伏质子加速器周围环境中子剂量分布示意图。环形的是加速器隧道,其他为实验区主要建筑物。图中单位为毫雷姆/年。

B. 放射性气体的影响 高能加速器是庞大而精

密的设备,需要经常保持建筑物内空气清洁,满足一定的温度、湿度要求;而且,灰尘进入加速器隧道,还可能受照射变成带放射性的灰尘。所以,加速器的空气调节系统往往做的非常讲究。送入加速器隧道的空气是经过处理的,比我们平常室内的空气要干净的多。

但是,由于加速器的运行,总会使隧道里的空气带有放射性。大型质子加速器每小时大约在空气中产生 0.1 居里的放射性气体。一年中,一台高能加速器在空气中产生的放射性大约有 500 居里。初看起来,这个数字确实大的使人吃惊。这些气体如果释放到环境中去,对环境影响究竟如何呢?

我们首先看一下气体的成分,加速器在空气中形成的放射性气体主要成分是 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{14}C ,以及少量 ^{41}Ar 。这些元素的寿命很短。例如 ^{15}O 半衰期是 2 分钟, ^{13}N 是 10 分钟,半衰期为 1.8 小时的情性气体 ^{41}Ar 仅占 1% 左右。每排出 1 居里这种气体,在下风向 300 米处,可造成大约 0.02 毫雷姆的剂量。我们不妨做一个估算,假如一年中风总朝一个方向吹,有 500 居里气体从加速器的某一出口陆续跑出来,在下风向 300 米处就得到 10 毫雷姆的剂量 而实际上气体的扩散情况是与气象条件密切相关的,任何方向上 300 米处气体放射性对环境的影响都会远远小于这个数。对更远的地方,如一公里以外,由于空气的扩散和放射性元素很快的衰变,放射性气体不再对环境有什么影响。

C. 对地下水的影响 大型高能加速器往往建在地下或半地下,通常采用一定厚度的混凝土和相当厚的土层做成屏蔽。由于土层中含有水分,在屏蔽层内侧 2 米范围内会有少量氚产生。对世界上最大的加速器做出的估算表明,多年的累积,能使加速器周围的屏蔽层中产生大约 10 居里的氚。或许会由于雨水渗入地下,将氚带入地下水,再流入水源,造成环境污染(图 3)。

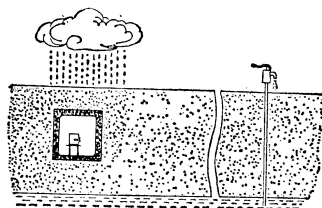


图 3

乍看起来,这似乎是一个影响环境的因素。但在当前具有世界上最大加速器的美国费米实验室做的实测和研究证明,氚的含量微不足道,氚对环境的影响,小到实际上检验不出来的程度。倘若这种污染地下水的

可能性真的存在的话,人们自然会想到在屏蔽外加一道防水层来解决。而实际上,一般并不需要这样做。

以上是高能加速器影响环境的三个主要方面。就影响大小而言,瞬发辐射场、放射性气体、对地下水的影响三者的比例关系大致为: 100:10:1。

D. 剩余辐射场 加速器的剩余辐射场,指的是由于加速器部件材料被辐射激活,在加速器停机以后

仍然存在的辐射场.这个辐射场比瞬发辐射场小得多,只有瞬发辐射场强度的万分之一左右.虽然加速器工作人员受到的照射 90% 是由这个辐射场引起的,但这个辐射场并不影响外界环境.

有些因辐射损伤报废的加速器零部件修复以后可以再重新使用,但有些则会成为固体废物.这些放射性废物虽然数量是是有限的,但是绝不能随便抛弃.在这方面一般核研究单位及高能中心一直都有非常严格的管理制度.绝不会让它们污染环境.

(四) 影响还能减小吗?

从上面所谈的可以看出,采取了一定的防护安全措施之后,高能加速器对周围几百米内的环境虽然仍会有一些影响,但在一公里以外,对于环境的影响实际上已经小的微不足道.对环境影响的大小,主要取决于防护措施.有没有办法把加速器对环境的影响再减小一些呢?就目前技术水平来说,这是完全可以办到的.例如,把屏蔽土层再加厚 70 厘米,就可以使瞬发辐射场再减弱一半.设想,把加速器密闭在隧道里,在调节空气时,把空气压入高压空气瓶,让其中放射性的灰尘衰变一个短时期,再排放掉,排出的空气中绝大部分放射性元素就死光了…….这些手段在技术上是完全可以实现的(但要付出很大的经济代价),问题是有没有这个必要.

(五) 和反应堆做比较

一台大型高能加速器,每年大约产生 5000 居里放射性,而一座 100 万千瓦的核电站则每年产生 50 亿居里放射性.虽然当代的防护技术可以使核反应堆对环境的影响也变的很小,完全限制在各国法定的标准之下,但是,在环境影响问题上,核反应堆比高能加速器还多一种潜在的危险性:人们也许不知道,在建造反应堆时,科学家和工程师往往对所谓最大可信事故争论不

休,原因就在于,一旦发生重大事故,反应堆由于本身的放射性,有严重污染环境的可能.但加速器则不然,无论发生什么事故,最多不过加速器停止运转,不再加速粒子.这样,对环境的影响反倒是立即消失了.所以说加速器并没有象反应堆那样潜在的危险性.随着加速器日益广泛的使用,这一点已经越来越清楚了.

(六) 正确看待环境影响问题

人类选择自己的活动,总是根据一种隐含着的代价与利益之间的权衡.例如,微波也是一种辐射,强大的微波发射也有个环境影响的问题,但是,微波给人类带来了巨大的好处,例如通讯,传达电视节目等等.如今,微波不是影响了环境,而是深深地影响着每个人的生活.火,可以为人们工作,但也有酿成火灾的危险.人们在长期使用火的同时,也采取着各种防护措施防止火灾,并不因为有火灾的危险就不使用火了.所以,我们既要保护环境、保护个人以及我们的子孙后代乃至全体人类,也要允许进行那些能给人类带来利益但又可能产生辐射的必要活动.对产生的辐射当然应该有良好可靠的防护措施.虽然国家规定了放射性工作人员的最大容许剂量,但这并不意味着任何人随便接受这种剂量的照射都是安全的.必须对利益和危害作认真的权衡分析,作出正确的判断,以求做到“在考虑到经济和社会因素之后,一切照射应当保持在可以合理做到的最低水平.”这就是我们看待高能加速器环境影响问题的正确观点.还必须指出,三十多年来,高能加速器的能量和流强已提高了好几个数量级,但对环境的影响却总是能够限制在非常有限的数量和范围之内.这是科技人员不懈努力和防护技术不断发展的结果.这个历史事实正好说明,高能加速器的环境污染在技术上完全可以克服,但决不能掉以轻心.在设计 and 建造加速器时,一定要把加速器的防护放在一个十分重要的位置上. (题头,插图设计:蒋德舜)