

《粒子束武器》

对话(三)

——克服粒子束扩散，自有锦囊妙计——

魏开煜

浪费了二百五十万倍

张：老李！您好。上次我们约好的，今天跟您讨论粒子束在空间传输的问题，您还记得吗？

李：记得！上次我说过：粒子束在外层空间飞行时，横截面扩散得很厉害，要是找不到很好的办法把它聚小的话，就会要求加速器在每次射击中发射的粒子炮弹大大增加。我还举了一个例子，你忘了吗？

张：没忘！譬如，用能量为 200 兆电子伏的质子束去截击敌人的核弹头，要是能够使粒子束的横截面在飞行中保持一平方厘米的大小，那么，大约只要二百万亿 (2×10^{14}) 个质子就可以点燃引爆炸药，把核弹头摧毁。但很可惜的是粒子束在飞行中要扩散……。

李：而且是差之毫厘，失之千里！

张：按照您上次举的例子：要是质子束从加速器出来时有千分之一的微小张角，在飞行 100 公里之后，它的横截面就会扩大到二万五千 (2.5×10^4) 平方厘米。这样一来，在截击 100 公里外的核弹头时，为了保证每平方厘米的面积上仍然有二百万亿个质子炮弹，就需要加速器在每次射击中发射的质子数目增加二万五千倍。这就大大地增加了研制粒子束武器的困难。

李：是的！你说得很对。如果作战射程不是 100 公里，而是 1000 公里呢？

张：飞行距离增加 10 倍，粒子束的横截面还要再扩大 100 倍，那就是二百五十万 (2.5×10^6) 平方厘米。需要加速器发射的粒子数就是 5 万亿亿 (5×10^{20}) 个，比点燃引爆炸药所必须的粒子数多了二百五十万倍。

李：这就是说，粒子炮弹的利用率只有二百五十万分之一，浪费了二百五十万倍！

张：啊？！这是一个很严重的问题！

李：所以说：粒子束在传输中的扩散问题，是研制空间粒子束武器的一条拦路虎。我们必须研究克服它的办法，找到了克服扩散的办法，对加速器束流强度的要求就可以大大降低，研制粒子束武器就



容易啦。

张：是这个道理！不过，我想：除了初始张角会使粒子束扩散之外，恐怕还有别的原因会使粒子束扩散吧？

更严重的是“空间电荷效应”

李：是的！更严重的是粒子束本身的空间电荷效应。

张：什么叫“空间电荷效应”？

李：那就是加速器加速出来的粒子束都是由带电粒子构成的，譬如说：质子束，氦核束， α 粒子束等是由带正电荷的粒子构成的；电子束，负氢离子束等是由带负电荷的粒子构成的。同种电荷之间有一种彼此把对方朝开推的力(如图 1a)，叫做“静电排斥力”。因为这种力在里边捣鬼，粒子束在外层空间飞行时走不了多远就会散掉。而且，粒子束越强，单位体积中的电荷数目就越多，这种排斥力就越大，粒子束也就散掉得越快。这个现象就叫做“空间电荷

效应……。

张：唉，老李！两个带同种电荷的粒子肩并肩比翼双飞时就好像两根电流方向相同的平行导线一样，在它们之间还会产生相互吸引的磁力啊(如图 1b)！那么这种磁力能不能把静电排斥力抵消呢？

李：只能抵消一部分，不能完全抵消。

张：是不是粒子束的能量越高，飞行速度越快，就抵消得越多？

李：是这样！

张：那就用超高能粒子束做炮弹好了！

李：超高能粒子束在外层空间飞行时，空间电荷效应是要弱一些，但不能完全避免。另一方面

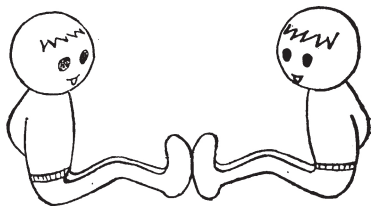


图 1a

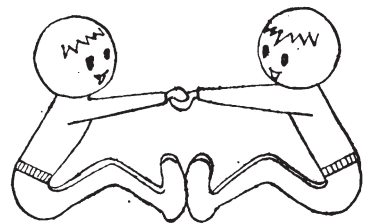


图 1b

面，制造超高能强流加速器要比制造中能强流加速器昂贵和困难得多。因此，目前粒子束武器专家们把希望寄托在研制能量为 100 兆电子伏到 1000 兆电子伏的中能强流加速器上。可是，对于这个能量范围的粒子束来说，空间电荷的排斥力还是很厉害的。粒子束在外层空间飞不了多远就会散掉（如图 1c）。

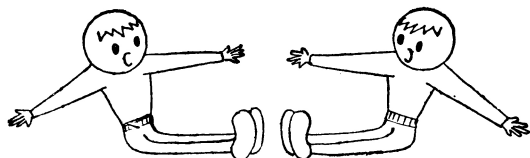


图 1c

张：唉，老李！我听说苏联人和美国人好像在研制一种什么……“中性粒子束武器”，这是不是为了克服粒子束在外层空间的扩散？

李：是的！

一种蹩脚的解决办法

张：那么，您能不能说说看这中性粒子束武器是咋回事啊？

李：可以！“中性粒子束武器”也叫“亚原子束武器”。就是用加速器去加速一种负氢离子，它的化学符号是 H^- ，这种负氢离子是由一个氢原子和一个多余的电子组成的比较松的结合体。虽说结合得不够紧，但是只要不使劲拉或使劲碰撞，电子是不会掉的。把这种负氢离子束加速到所需要的能量后，使它们穿过一个稀薄的气体剥离器，通过与气体分子的适当碰撞把多余的电子碰掉（如图 2），这样，穿过剥离器之后出来的粒子束，就变成了不带电的中性氢原子束。

张：啊！真妙！

李：这种中性氢原子束在外层空间飞行时，就不会因为空间电荷的排斥力而扩散了。

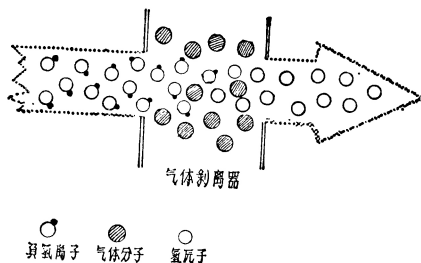


图 2

张：老李！您一定也觉得这个方法很妙吧？

李：不，我认为：这只是一个比较蹩脚的解决办法。

张：啊？！为什么？

李：道理很简单，因为粒子束同剥离器中的气体分子碰撞后不但不能使张角减小，反而会使张角增大。所以，这个方法虽然克服了空间电荷引起的扩散，但却增加了张角引起的扩散。有人计算过，即使粒子束从加速器中出来时初始张角为零，光是剥离器造成的附加张角就会在 1000 公里的距离上使粒子束的截面扩大到三百万 (3×10^6) 平方厘米。

张：三百万平方厘米？！太厉害啦！再说，要使粒子束从加速器出来时张角为零是办不到的，这样一来，截面的扩散不就更大了吗？看来，这方法确实比较蹩脚！

李：不过，话又说转回来，这还是要比有空间电荷排斥力时好得多，起码粒子束不会在很短的距离上就完全散掉。

张：那么，还有没有更妙的解决办法呢？譬如说，能够同时克服张角引起的扩散和空间电荷效应。

自有锦囊妙计

李：解决这个问题，自有锦囊妙计。这要靠你们有志钻研科学的年青人去找到打开锦囊的钥匙。

张：您是搞过多年加速器的，能不能给我提点线索？

李：可以！你要注意科学的各个领域总是可以相互启发和借鉴的。譬如，最近几年人们在粒子加速器中采用电子冷却的方法使质子束聚细已经获得了显著的成效。那么，类似的方法可不可以用到外层空间呢？

张：嗯！有启发！要是能想办法把一个细的电子束掺到粗的质子束里面去，让它们一同飞行（如图 3），那又会怎么样呢？

李：这是一个很有趣的问题，里面有许多蹊跷，也不一定用电子。

张：那么，您能不能跟我详细说说呢？

李：不能！打个比方：就好像卤浆点豆腐，点老了吃起来就没有味道了。还是留给你自己去思考比较好。我相信，只要你肯钻研，一定能够找到开锦囊取妙计的钥匙。有道是：妙计锁在锦囊中，钥匙属于有心人。好啦！小张！我们换个话题好不

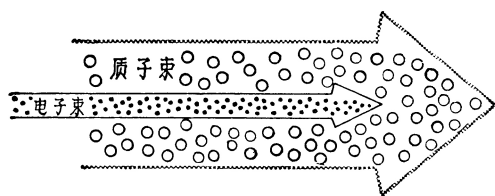


图 3

好啊?

张: 好! 那就请您说说粒子束在大气中的传输吧! 唉, 老李! 粒子束在大气中飞行时也扩散得那么厉害吗?

前赴后继辟通道

李: 不! 粒子束在大气中飞行时, 横截面的扩散要比在外层空间小得多。但是, 粒子束的沿途损失却比较严重。

张: 这是为什么?

李: 因为大气中的空气分子很密, 粒子束中的粒子在飞行中要不断地同气体分子发生碰撞, 因而会不断地损失能量, 当它碰得精疲力尽时, 就会被大气中的离子俘获, 结合成别的原子啦 (如图 4)。

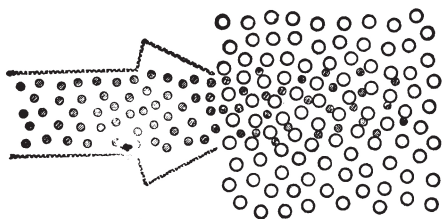


图 4

张: 那岂不是无法穿透大气去摧毁目标了吗?

李: 别着急! 粒子束自有穿透大气的高招, 而且, 穿透机制是很有趣的。

张: 您说说看, 是咋样有趣?

李: 譬如说, 我们用一连串的高能粒子束脉冲沿同一条路线射入大气, 就会发生一场短兵相接的肉搏战, 粒子束要在重重包围的大气中杀出一条血路冲过去! 首先, 第一个脉冲的粒子束同空气分子相拼搏: 通过碰撞产生电离和核作用, 很快地损失能量, 束中的粒子也逐渐牺牲; 由于受空气分子的多次散射, 束流截面也逐渐扩散, 在撕杀了一段

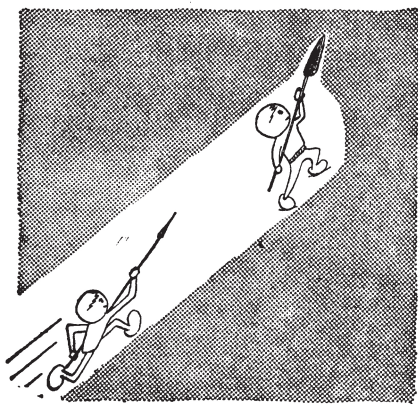


图 5

距离之后, 这个脉冲的粒子束能量耗尽, 便全军覆没了。

张: 啊! 这种牺牲精神真是可歌可泣!

李: 但是, 它们的“血”不是白流的。它们所损失的能量使征途中的空气电离并且加热, 这些被加热了的气体离子和电子很快向外扩散, 而外面的冷空气分子, 因为热运动速度较低, 来不及跑进来填充, 这样, 就形成了一段温度很高, 但只残留着稀薄电离气体的通道, 叫做“大气通道”(如图 5)。

张: 这就为下一个脉冲的粒子束开辟了前进的道路, 是吗?

李: 是的。第二个脉冲的粒子束在这段通道中飞行时损失很小, 几乎可以用全部能量去接着向前开辟通道。……就这样, 粒子束脉冲一个接一个地前赴后继向前冲, 直到打通一条直达目标的大气通道, 供最后一个脉冲的粒子束去摧毁目标。

张: 这种传输机制很有意思! 可是, 要知道目标并不是静止的, 它在以音速甚至于比音速快几倍的速度飞行。会不会当你把通道打开后, 目标物已经飞走了?

李: 要考虑到这个问题。在发射粒子束时, 要瞄准在目标物的前方, 并根据它的飞行速度和打开通道所需要的时间算准前置角; 另外, 用来摧毁目标的粒子束脉冲时间长度也要有严格的要求……

要损失多少粒子束?

张: 好, 关于怎样跟踪瞄准目标和对粒子束脉冲长度的要求等问题, 下次我还要专门向您请教。现在请您说说开辟大气通道要损失多少粒子束?

李: 拿能量为 1000 兆电子伏的电子束来说, 要是脉冲长度为 0.1 微秒 (即 10^{-7} 秒), 每个脉冲中的电子数目为三千万亿 (3×10^{15}) 个, 束流的初始截面为 3 平方厘米, 这样的电子束在大气中每走一厘米, 每个电子就要损失大约 2 万电子伏的能量……

张: 这就是说, 第一个脉冲的电子束, 在大气中顶多撕杀 500 米就会全军覆没, 是吗?

李: 是的! 要打通一条长 1 公里, 直径为两厘米, 气压为十分之一大气压的通道, 大约要损失两三个脉冲的电子束。

张: 要是截击巡航导弹, 那么, 最后一个脉冲的电子束在大气通道中飞完一公里的路程时, 能量要损失多少?

李: 可能不超过 20%。

张: 粒子束横截面的扩散呢?

李: 大约 4 倍左右。

张: 要是用质子束, 情况会怎么样?

李: 当质子束的能量也是 1000 兆电子伏时, 如果脉冲

长度是 30 微秒，每个脉冲中有 18 亿亿 (1.8×10^{17}) 个质子，束流的初始截面为 0.3 平方厘米，那么，一个脉冲可以开辟大约 0.6 到 0.7 公里长的大气通道，八个脉冲可以穿透 4 公里。

张：那么，最后一个脉冲的质子束飞完 4 公里的通道时截面扩大多少呢？

李：大约扩大到 3 平方厘米左右。

张：就是说：扩大 10 倍的样子。

李：差不多。

张：这些是理论计算还是实验结果呢？

李：是理论计算。

张：那，实验结果呢？

李：也许正在做，但不一定会公布。

张：看来，要是这些理论能够被实验证实是正确的话，研制舰载粒子束武器并不是特别困难的。但是，研制保卫导弹基地和保卫城市的地面粒子束武器，恐怕就要困难得多吧？

李：是的！特别是保卫城市，必须在几十公里甚至上百公里以外把敌人的核弹头摧毁。这就要求开辟长达几十公里或者上百公里的大气通道。要是用 1000 兆电子伏左右的粒子束，那就要损失几十个到几百个粒子束脉冲。

张：那么，是否可以把激光武器和粒子束武器联合起来作战？譬如说，用激光束去开辟大气通道，粒子束去摧毁目标（如图 6）。

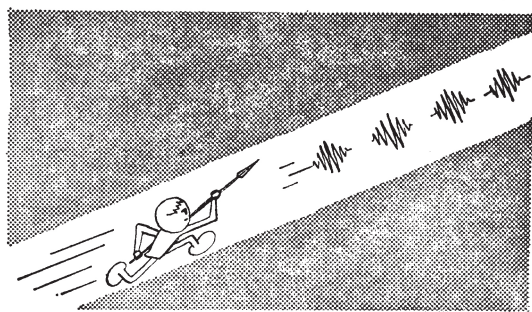


图 6

李：这个想法很好！国外也有人提出这种建议。但困难在于需要有很准确的协调与控制系统。

张：那么，是否还有别的办法能减少粒子束损失呢？

李：有！那就是提高粒子束的能量，使它具有更强的穿透力。

张：好，谢谢！今天就讨论到这里，下次来向您请教怎样对目标进行跟踪瞄准，以及对粒子束的脉冲长度有什么要求等问题。再见！

李：再见！

（待续）