

推进技术

星际移民中心所使用的以及在研究中的相关的推进技术。

目录

推进技术	
目录	
简要介绍	
离子推进	
扩展阅读	
曲率推进	
扩展阅读	
Krasnikov 通道	
扩展阅读	
Heim 理论	
扩展阅读	
进阶知识	
曲率推进进阶	
推进器的重要参数 —— warp factor	
Alcubierre 度规	
缺陷	
注释和扩展阅读	

简要介绍

离子推进

离子推进技术最早是由 Konstantin E. Tsiolkovsky 提出的。后来经过多人的发展（Robert H. Goddard, Ernst Stuhlinger, et al），成为一种实用的技术。

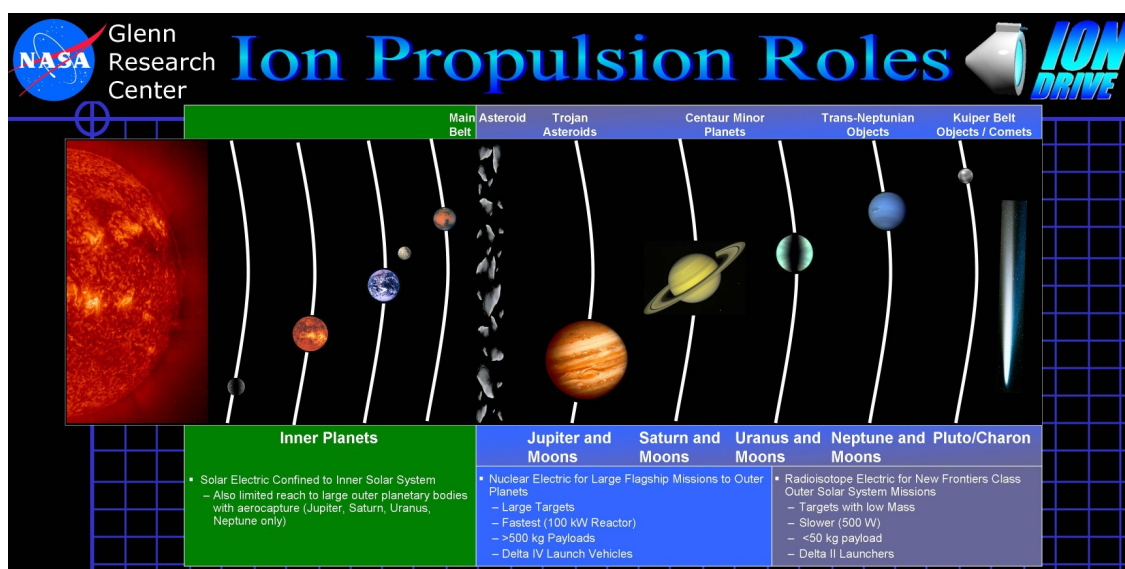
离子推进是利用被电磁场加速的带电粒子来产生推力的，而离子的最终速度对离子所带的电荷非常敏感。理论上讲，电推动的情况下，同样的电压下，两倍的电荷几乎可以产生两倍的最终速度，也就是两倍的最终推力。

真正实用的离子推动有两大类：

1. 电场推动；
2. 电磁推动。

扩展阅读

1. 早在二十世纪初，NASA 曾经对整个离子推进做过评估

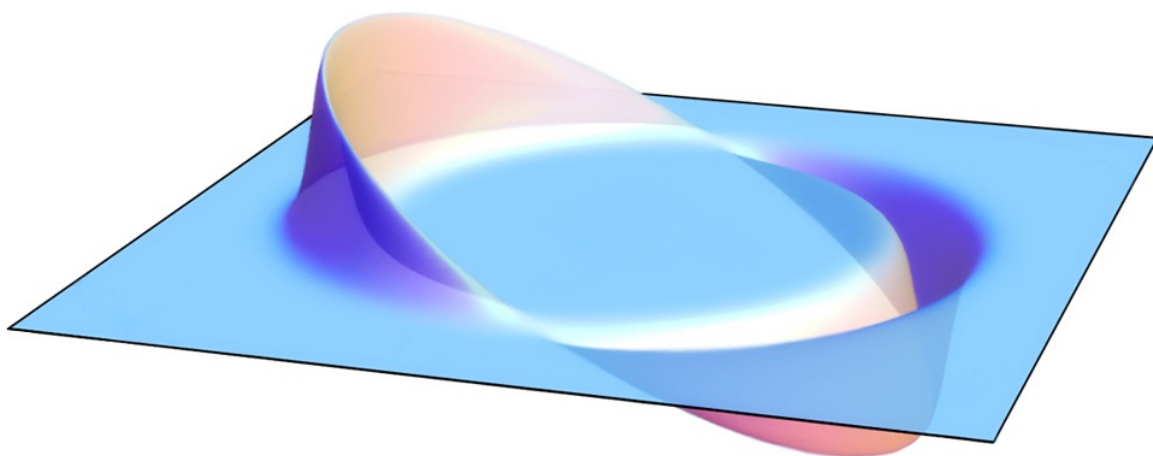


来源: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/ion/future/images/futureapps.jpg>

曲率推进

曲率推进的主要的理论依据是广义相对论。Alcubierre 在二十世纪末提出了相关的理论，但是由于当时技术的限制，并不能对这类引擎进行试验。

Alcubierre 类推进的主要原理是产生一个时空泡泡，然后通过移动这个时空泡泡来移动飞船。其实就是通过操控空间来从一个地方移动到另一个地方的推进技术。



来源：<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Alcubierre.png>

如果把空间看作是橡皮膜，那么 warp drive 实际上就是在通过压缩前方的空间，拉伸后方的空间来「移动」的。就是说，我们想从 A 点出发到达 B 点，实际上我们只需要把飞船前方的空间压缩一下，全部拿到飞船的后方来，不就可以到达 B 点了么。有点像是，「我不过去，山会过来」。如果我们仅仅操控空间，而不影响时间，那么就太好了，我们可以从 A 以任意速度到达 B 地点，但是总会花费一点时间，因为我们把空间这块橡皮膜压缩起来或者伸展开去总需要一定的时间吧。

这种推进有种很大的优势，那就是飞船里面的人不会察觉到飞船移动状况的改变，因为局域的来看，我们实际上根本没动。

扩展阅读

1. [The warp drive: hyper-fast travel within general relativity](#) By Miguel Alcubierre.

Krasnikov 通道

Krasnikov 通道是一种通过对时空进行修改从而达到一次修建多次使用的技术。

通过修改时空来缩短两点之间的距离，使得时空形成一条稳定的管道，从而达到在两点之间快速移动的目的。

Krasnikov 仔细分析了管道的修建和因果关系，所以这类通道叫做 Krasnikov 通道。

扩展阅读

1. [The quantum inequalities do not forbid spacetime shortcuts](#) By S. Krasnikov.

Heim 理论

在二十世纪 B. Heim 的几何化的场论为我们提供了描述两种不同于引力、电磁力、弱相互作用、强相互作用四种力的新的相互作用，并且提供了电磁相互作用和引力的更加紧密的联系描述。这使得我们可以通过电磁力来操控引力。

Heim 的理论中，通过在不同的能量之间相互转换，既可以将飞船移动，不消耗推进剂也可以推进飞船。

扩展阅读

1. [Physical principles of advanced space propulsion based on Heins' field theory](#)
-

进阶知识

曲率推进进阶

Warp drive 可以达到很多倍的光速，而且时间膨胀效应很小，所以 warp drive 就是我们理想的载人航行器！

Miguel Alcubierre 提出了一种神秘的度规，这种度规恰好可以帮我们实现曲率推进，该度规就被称为 Alcubierre metric.

Alcubierre 度规是像是一个可以将飞船包裹起来的时空泡泡，泡泡内部还是正常的闵氏时空，然而这个时空泡泡却有一个时空剧烈变动的外壳。

Einstein 的场方程的两端可以分别是物质和时空，现在要做的只是设计一个合理的度规，然后按照上面的方程解出所需要的物质的分布和特性。

推进器的重要参数 —— warp factor

在 Star Trek 中，速度一直是使用 warp N 来表示的，warp 1 表示一倍光速，其他的按照

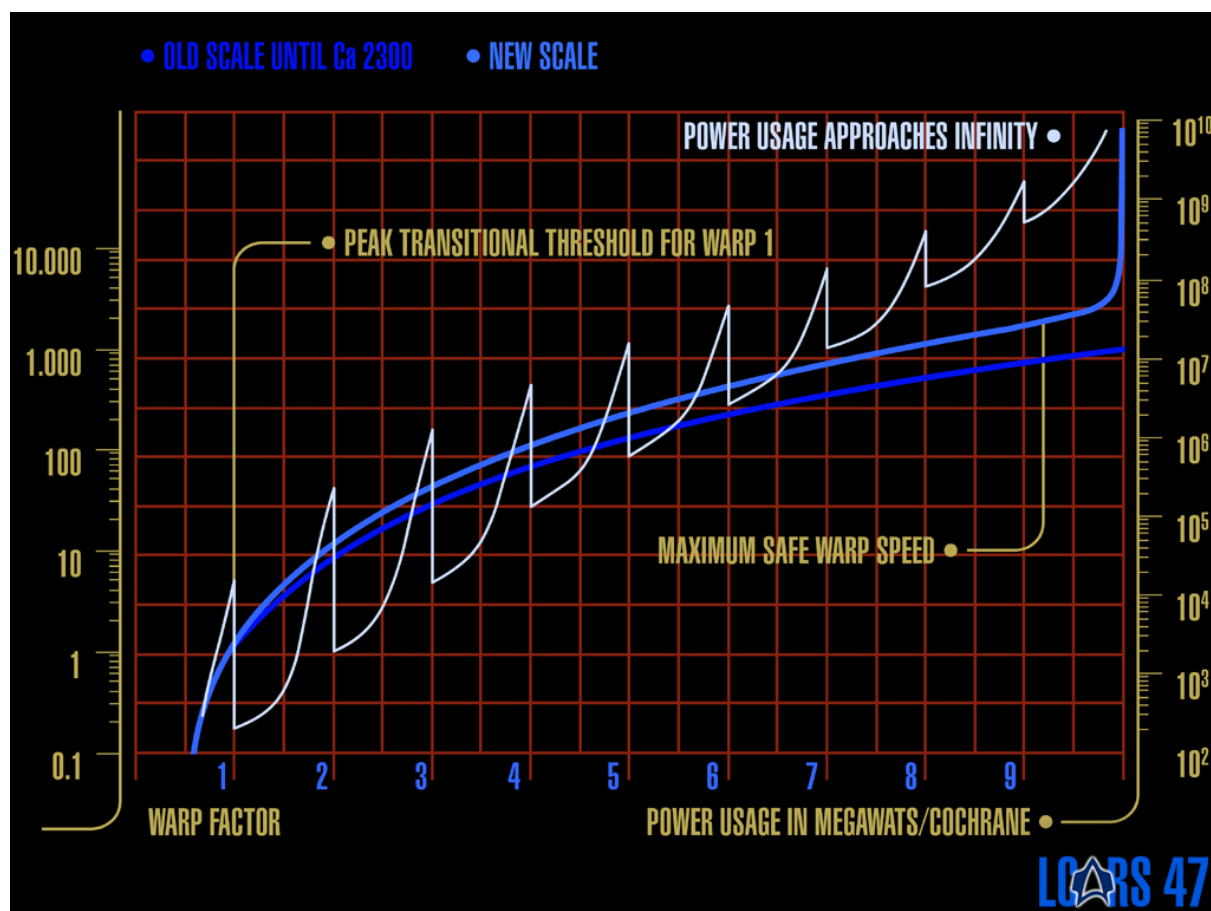
$$v = w^3 c$$

来计算，其中 v 是闵氏时空中的测量速度， c 是光速， w 便是 warp factor（扭曲因子，wikipedia 上翻译为「曲率层级」，我觉得不够直观）。一开始的时候，开到 warp 5 就已经不得了了呢。

后来的剧集中，Okuda 更改了 warp factor 的定义，新的定义为 warp factor 为 1-9 时

$$v = w^{10/3} c$$

而超过 9 就直接手绘了一条趋向无穷的曲线。到了 1995 年，有人给出了一个解析公式。下图是 wikipedia 中的新旧 warp factor 的对照表以及其能量需求等等量直接的关系。



来源：<http://www.lcars47.com/search/label/Scale>

Alcubierre 度规

Alcubierre 度规可以从 ADM 形式中猜出来，但是这个 Alcubierre 前辈已经写出来了，所以只需要把前辈的那个抄过来，

$$ds^2 = -dt^2 + (dx - v_s f(r_s) dt)^2 + dy^2 + dz^2$$

其中，

$$v_s = dx_s/dt$$

$$r_s = ((x - x_s)^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

$$f(r_s) = \frac{\tanh(\sigma(r_s + R)) - \tanh(\sigma(r_s - R))}{2 \tanh(\sigma R)}$$

并且 $\sigma > 0, R > 0$ 。

怎么看这个度规呢，其实我们可以把飞船看做一个点，放在 x_s 并让飞船的轨迹沿着 x 轴，然后 r_s 可以看做是离开飞船的距离。然后我们看一下 $f(r_s)$ 这个函数的渐进行为。这个函数里面的 σ 这个参数是用来调节 \tanh 函数的陡峭程度的，同时也可以调节 $f(r_s)$ 这个函数的陡峭程度。下面我们看一个极端情况

$$\lim_{\sigma \rightarrow \infty} f(r_s) = \begin{cases} 1 & r_s \in [-R, R] \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

也就是说，这是一个帽子函数。 σ 越大，这个帽子就越陡，而且中心越平坦。实际上这保证了离飞船比较远的地方依然是闵氏时空。

有了 metric，你就可以依据这个 metric 来计算所需要的物质了，然后就是如何得到这种物质并且给出特定的分布。在这之前，你需要检验一下这个度规是否真的满足我们的需求，对不对？

首先，检查一下飞船远处的时空状况。此时 r_s 很大，度规退化成

$$ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

恰是闵氏度规。

这样形象的来看，飞船就是被包裹在一个「时空蛋壳」里了。那么这个飞船可以行进多快呢？答案是想多快就多快。

因为飞船的移动完全依赖于 v_s 的大小，我们通过调节这个参数的大小，就可以调节飞船在无穷远的人看来的「移动速度」。而且，Alcubierre 证明，这种移动没有时间上的膨胀效应，也就是说，在无穷远的人看来，如果飞船花了一天从 A 地点到达了 B 地点，那么飞船上的人也是同样这么认为的。

缺陷

但是，此推进技术有很多的问题。暂且不管它对一些不是那么确凿的物理定律的违背，在实践上，有个很大的问题是：

该引擎需要消耗难以想象的能量。

最初别人估算的是即使消耗掉了整个可观测宇宙，我们都没法移动一个足够大的距离。但是后来的一些估算显示，如果要推动一艘 1000m^3 的飞船会消耗掉整个木星。

另外，如果有 QFT 的限制，这种驱动是有个速度上限的。诸如此类。

注释和扩展阅读

1. SETI, [Search for extraterrestrial intelligence](#)
2. Gliese 581 d, 是一颗围绕红矮星 Gliese 581 公转的行星。该星系位于 Libra 星座内。我们于 2008 年向该行星发射无线电波, 预计2029年到达。顺便提一句, 该行星并不是一直位于此星系的 Habitable zone 之内, 而是有一大半的时间不在 Habitable zone。关于此行星的更多资料请看: [Exoplanets.org:GJ 581 d](#)
3. 星际移民局, Interplanetary Immigration Agency, 简称 [IIA](#). 是一个虚构的非营利性组织。该组织倡导自由的星际移民。
4. 见中文维基百科词条: [曲率引擎](#)
5. 出自「Hitchhiker's Guide to The Galaxies」, 详细内容参见 wikipedia 词条: [Technology in The Hitchhiker's Guide to the Galaxy](#)
6. Krasnikov Tube, wikipedia 词条: [Krasnikov Tube](#), 这个 wikipedia 词条提供了一个[更加科普性的链接](#); Krasnikov 的论文: [arXiv:gr-qc/9511068v6](#)
7. Alcubierre drive, wikipedia 词条: [Alcubierre Drive](#)