

# 建造太空天梯“卡”在哪儿

□ 魏飞

部分:下半部分是真正意义上的太空天梯,轿厢沿缆绳从地表向上移动,途中经过补给站,最终抵达位于3.6万千米高度的地球同步轨道站(方舟空间站);地球同步轨道站以上的缆绳则扮演配重角色,从3.6万千米一直延伸至9万千米。

## 建造太空天梯难在哪

现实中建造太空天梯,难点在哪里?

太空天梯的缆绳是一条数万千米长的绳子,它不是静止的,而是随着同步轨道站一起高速转动。在向心力和离心力的双重作用下,整体拉力很可能超过材料的抗拉极限,导致缆绳断裂。因此,这条绳子必须足够轻盈、结实,还要能经受大气腐蚀以及陨石、太空碎片的撞击。

可见,最重要也最难的,就是找到合适的缆绳材料。科学家计算过,若采用钢铁材质,缆绳在不到20千米处就会被自重拉断——而太空天梯需要的长度接近9万千米。因此,寻找强度高、密度轻的新型材料成了首要任务。

目前最有可能满足要求的材料是碳纳米管——由碳原子组成的管状结构纳米材料。这种超强纤维的拉伸强度是钢铁的100倍,密度仅为钢的1/6,理论上可以担此重任。

## 实现太空天梯梦还有多远

近年来,碳纳米管材料的强度不断取得突破。例如,我国自主研发的SYT80(T1200级)超高强度碳纤维,其拉伸强度约为普通钢材的



这是运行中的太空天梯概念艺术图。它以阿瑟·克拉克在科幻小说中所描述的概念为基础建造。选自罗杰·劳厄斯著《太空探索通史》一书,上海科技教育出版社授权使用。

10倍,密度仅为钢材的1/4。根据美国国家航空航天局提出的标准,制备太空天梯缆绳所需的材料比强度(强度与密度之比)至少要达到约 $7.5 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{kg}$ ,即 $7.5 \text{ GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ ,而T1200级碳纤维的比强度与之大约差了2倍。

此外,在长度方面,目前制备出的最长碳纳米管单根长度仅为“米级”,离数万千米的要求相差甚远,需要通过碳纳米管“焊接”等方法制成连续纤维。

清华大学制备出的强度高达80GPa的碳纳米管管束纤维已接近理论值,但离制备出上万千米长且结构一致的纤维,仍有相当长的路要走。

除材料外,建造太空天梯还面临诸多巨大挑战:升降舱到达顶点需要数天,能量从何而来?缆绳在轨道上的动力学稳定、空间碎片撞击、原子氧侵蚀……无一不是世界级难题。

(本文摘编自《触手可及的未来科技》一书,经山东科学技术出版社及本文作者授权。作者系清华大学化学工程系教授)

他感叹道:“假如我不是那么保守,或者对问题考虑得更为认真,那么,除了阿尔楚丹诺夫本人之外,我很可能会比所有人走得更远。”

就这样,人类“直抵天穹”的梦想正一步步从神话、艺术和文学走向工程与科学的案头。而梦想的引力,从未减弱。科学家和工程师意识到,建造一部实用的太空电梯,至少需要在五个关键技术领域取得突破:超强轻质材料(如碳纳米管)的制备与应用、超长缆绳的太空部署技术、超高层建筑的结构控制、电磁推进技术,以及地球同步轨道的太空基础设施建设。这些领域环环相扣,任何一项滞后,都会让天梯停留在图纸上。

然而,这并不妨碍科幻作家继续畅想它的模样。在《天堂的喷泉》结尾,有这样一段描述:升降机建成1000多年后,一个外星人混在人类中考察地球。他看到,大部分人类已经通过升降机移居太空,大地上则保留着一座座升降机——直径500米的巨筒。高峰时,每个巨筒每天可运送100万名乘客上下。升降机上,每隔100多公里就建有一个庞大的太空城。

曾有人问克拉克:“需要多长时间才能实现‘太空梯’这个梦想?”

他回答:“在人们停止嘲笑之后的50年。”

## 科幻照进现实

近期,清华大学在碳纳米管管束纤维上取得新进展,这是否为建造太空天梯提供了现实可能?

1895年,受埃菲尔铁塔的启示,苏联航天科学家康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基首次提出了太空天梯的概念:在地面上建设一座超高的铁塔,一直建到地球同步轨道,塔内架设天梯,人们便可搭乘天梯进入外太空。此后100多年里,太空天梯的设想不断被科学家和科幻作家丰富完善。

## 科幻作品里的太空天梯

1978年,英国科幻作家阿瑟·克拉克在《天堂的喷泉》里描绘了太空天梯的技术细节——

运载旅客、货物和燃料的“宇宙密封舱”,将以每小时数百千米的速度沿着管道上升和下降。90%的动力可以在系统中回收,因此运送一名乘客的成本仅需几美元。这是因为当密封舱向地球降落时,其电动机在起到磁力制动作用的同时,还会作为发电机产生电能……

到了科幻电影《流浪地球》中,中国科幻作家刘慈欣对太空天梯的详细设计和宏大展现,给了我们更直观的感受。

这其实是空间站加天梯的综合体。整个天梯从地表向上延伸至9万千米高空,主体部分由几十根特殊材质的缆绳组成,每隔一段有一个环状结构加以固定。

电影画面中,这部太空天梯可分为上下两

# 直抵天穹

□ 尹传红



建一道扶梯,直抵天穹,这亦是人类古老的梦想之一。宗教经典与艺术杰作中,早已留下它的印记。

《圣经·创世记》中,人类曾试图建造一座“通天塔”以传扬名声,终因语言混乱而功败垂成。相比之下,西班牙画家何塞·德·里贝拉于1639年创作的布面油画《雅各之梦》,则呈现出另一种“登天”意象。画面中,沉睡的雅各布以蜷缩姿态侧卧于岩石,一道由木质结构渐变为虚幻光带的天梯呈对角线贯穿画面,天使的形象随阶梯升高逐渐虚化,连接着大地与天国。

这幅杰作将现实场景与梦境巧妙融合,生动地描绘了经文中那通往天堂的阶梯,也定格了人类对于“向上攀登”最本真的向往。

超越神话与宗教的执着,最终在理性时代演变成了科学构想。1960年,苏联工程师尤里·阿尔楚丹诺夫撰写了最早一篇有关现代太空天梯的文章,文中他提出:构建一条无需火箭推进的太空运输通道。这个想法如此大胆

而超前,以至于后来许多独立产生类似设想的人惊讶地发现,自己终究还是晚了一步。

这其中就包括英国著名科幻作家阿瑟·克拉克。1968年,在维也纳举行的“和平开发宇宙”大会上,苏联航天员阿列克谢·列昂诺夫把一本他与别人合作编纂的画集《等着我们,星星!》送给了克拉克。画集中有一幅图的附文写道:“卫星仿佛一动不动地悬在空中,而且永远是在一个定点上。如果从卫星上放下一条缆索直到地面,那么,在地球与天空之间就有了一条索道。那时,人们将可以建造客货两用的‘地球-卫星-地球’升降机——它完全不需要用火箭发动机来推进。”

这位列昂诺夫曾在1965年成为世界上第一位在太空行走的人。画集中介绍的那种“太空升降机”所处位置,恰好位于克拉克居住的斯里兰卡上空。但他当时并没有把这一构思当回事,甚至认为列昂诺夫的画纯粹是“游戏之作”。10年过后,1978年,克拉克推出科幻小说《天堂的喷泉》,倒是详尽描绘了太空升降机的技术细节,这让“天梯”蓝图广为人知。后来