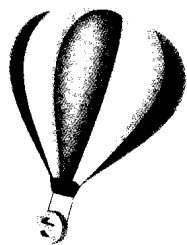


话说

HUASHUO
XINENGYUAN
CONGSHU

新能源丛书



氢能与氢能汽车

李代广 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《话说新能源丛书》之一，面向广大喜欢科普图书的读者朋友。

《氢能与氢能汽车》用通俗易懂的文字，从氢元素、氢的制取和净化、氢的核聚变、氢能及氢能的开发利用等方面介绍了氢能的知识，并介绍了氢能的主要利用技术之一的燃料电池和未来的氢能汽车等内容。

本书图文并茂，特别适合喜爱科普图书的读者和新能源行业人士阅读。

图书在版编目（CIP）数据

氢能与氢能汽车/李代广编. —北京：化学工业出版社，2009.5

（话说新能源丛书）

ISBN 978-7-122-05055-7

I. 氢… II. 李… III. ①氢能-普及读物②氢能-应用-汽车-普及读物 IV. TK91-49 U46-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第036829号

责任编辑：戴燕红 郑宇印

装帧设计：王晓宇

责任校对：王素芹

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印 装：北京市兴顺印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张7¹/₂ 字数96千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：25.00元

版权所有 违者必究

前言

氢是最轻的也是自然界最丰富的元素，大约占宇宙所有物质的75%。地球上的氢大量存在于水中，因此我们地球上氢资源极其丰富。

氢能由于其资源丰富、可储存、可再生以及来源多样性的特点成为人类未来取之不尽的能源，同时，氢能还是最清洁环保的能源。科学家们认定，在未来的能源舞台上，氢能将会成为一种举足轻重的能源。因此，化学工业出版社决定出版的《氢能与氢能汽车》，对于氢能知识的普及以及氢能的应用有极好的宣传作用。

本书用通俗易懂的文字，从氢元素、氢的制取和净化、氢的核聚变、氢能及氢能的开发利用等方面介绍了氢能的知识，并介绍了氢能的主要利用技术之一的燃料电池和未来的氢能汽车等内容。

本书特别适合喜欢科普图书的读者和青少年朋友阅读，希望本书可以开阔他们的视野，引导、推荐他们进行氢能的开发研究和利用。

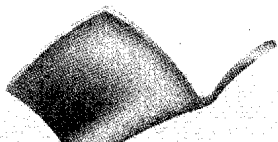
书中参考引用了一些文献资料，在此向文献作者致以诚挚的谢意！

氢能是一个内容丰富、不断更新的话题，由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2009年3月

话说  新能源丛书
HUASHUO XINENGYUAN CONGSHU



目录

第一章 神秘的氢

谁发现了氢气	2
氢的同位素	5
什么是氢键	6
氢的特性	8
氢气的储存	15
氢在储运和使用中的安全问题	19

第二章 氢能——希望之能

高效零污染的能源	24
氢能用之不竭	26

第三章 氢的开发与利用

依靠氢能可上天	30
氢是清洁的车用燃料	33
燃烧氢气发电	35
氢能在日常生产生活中的应用	36
氢弹	37

第四章 氢的制取和纯化

实验室制取氢气	42
---------------	----

制氢技术	44
发展中的制氢技术	51
氢气的纯化	58

第五章 氢与燃料电池

燃料电池的历史追溯	64
燃料电池的家族成员	66
燃料电池的特点	71
燃料电池大展英姿	74
作为便携式电子产品的电源	78

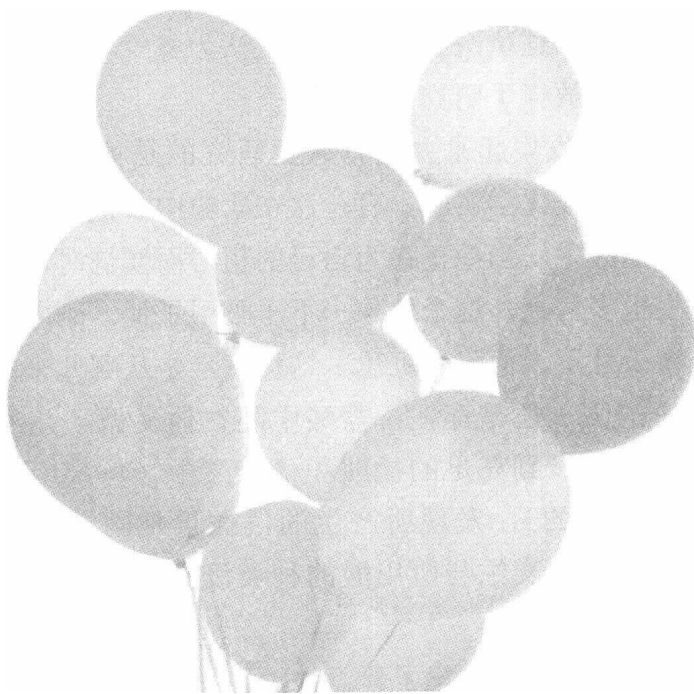
第六章 不同寻常的氢能汽车

预言成真	82
“喝氢气，吐纯水”	84
燃料电池汽车	85
氢内燃车	87
氢能汽车加氢站	90
氢能汽车很安全	93
国外氢能汽车研发状况	95
我国氢能汽车研发状况	104
氢能汽车应用还需等待	110

参考文献	113
-------------------	------------

第一章

神秘的氢



谁发现了氢气

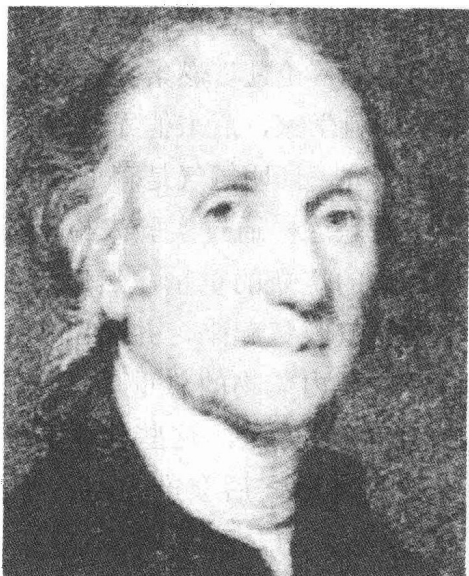
在18世纪末以前，曾经有不少人做过制取氢气的实验，所以实际上很难说是谁发现了氢，即使公认对氢的发现和研究的有过很大贡献的卡文迪许本人也认为氢的发现不只是他的功劳。

其实，早在16世纪，瑞士著名医生帕拉塞斯就描述过铁屑与酸接触时有一种气体产生。他说：“把铁屑投到硫酸里，就会产生气泡，像旋风一样腾空而起。”他还发现，这种气体可以燃烧。然而他是一位著名的医生，当时病人很多，他根本没有时间去做进一步的研究。就这样，一个世纪过去了，无独有偶，比利时著名的医疗化学派学者海尔蒙特发现了氢气。那时人们的智慧被一种虚假的理论所蒙蔽，都认为无论什么气体都不能单独存在，既不能收集，也不能进行测量。这位医生也不例外，认为氢气与空气没有什么不同，于是很快就放弃了研究。

最先将氢气收集起来并进行认真研究的是英国化学家卡文迪许。卡文迪许酷爱化学实验，有一次在实验中，他一不小心把一个铁片掉进了盐酸中，当他正在为自己的粗心而懊恼时，却发现盐酸溶液中产生很多气泡，这个现象一下子吸引了他，刚才的气恼心情全跑到九霄云外了。他陷入沉思：这种气泡是从哪儿来的呢？它原本是铁片中的呢，还是存在于盐酸中呢？他又做了几次实验，把一定量的锌和铁投到充足的盐酸和稀硫酸中（每次用的硫酸和盐酸的质量是不同的），发现所产生的气体量是固定不变的。这说明这种新的气体的产生与所用酸的种类没有关系，与酸的浓度也没有关系。

卡文迪许用排水法收集了新气体，他发现这种气体不能帮助蜡

烛的燃烧，也不能帮助动物的呼吸，如果把它和空气混合在一起，一遇到火星就会爆炸。卡文迪许是一位非常认真的化学家，他经过多次实验终于发现了这种新气体与普遍空气混合后发生爆炸的极限。他在论文中写道：如果这种可燃性气体的含量在9.5%以下或65%以上，点火时虽然会燃烧，但不会发出震耳的爆炸声。



英国化学家卡文迪许

1766年，卡文迪许向英国皇家学会提交了一篇名为《人造空气实验》的研究报告，他在报告中讲述了他用铁、锌等与稀硫酸、稀盐酸作用制得“易燃空气”（即氢气），并用普利斯特里发明的排水集气法把它收集起来进行研究。

卡文迪许发现，一定量的某种金属分别与足量的各种酸发生反应，所产生的这种气体的量是固定的，与酸的种类、浓度都无关。他还发现，氢气与空气混合后点燃会发生爆炸；又发现氢气与氧气化合生成水，从而认识到这种气体和其他已知的各种气体都不同。但是，由于他非常相信燃素说，按照他的理解：这种气体燃烧起来这么猛烈，一定富含燃素；硫黄燃烧后成为硫酸，那么硫酸中是没有燃素的；而按照燃素说，金属也是含燃素的。所以他认为这种气体是从金属中分解出来的，而不是来自酸中。他设想金属在酸中溶解时，“它们所含的燃素便释放出来，形成了这种可燃空气”。他甚至曾一度设想氢气就是燃素，没想到这种推测很快就得到当时的一些杰出化学家舍勒、基尔万等的赞同。

当时很多信奉燃素学说的学者认为，燃素是有“负重量”的。那时的气球是用猪的膀胱做成的，把氢气充到这种膀胱气球中，气

球便会徐徐上升，这种现象当时曾被一些燃素学说的信奉者们用来作为他们“论证”燃素具有负重量的根据。但卡文迪许究竟是一位非凡的科学家，后来他弄清楚了气球在空气中所受浮力问题，通过精确研究，证明氢气是有重量的，只是比空气轻很多。

他是这样通过实验来检验氢气重量的：先用天平称出金属和装有酸的烧瓶的重量，然后将金属投入酸中，用排水集气法把产生的氢气收集起来，并测出体积。接下来再称量发生反应后烧瓶以及烧瓶内装物的总重量。这样他确定了氢气的相对密度只是空气的9%。可是，这些化学家仍固执己见，不肯轻易放弃旧说，鉴于氢气燃烧后会产生水，于是他们改说氢气是燃素和水的化合物。

卡文迪许已经测出了这种气体的相对密度，接着又发现这种气体燃烧后的产物是水。无疑，这种气体就是氢气了。卡文迪许的研究已经比较细致，他只需对外界宣布他发现了一种氢元素并给它起一个名称就行了，但卡文迪许受了虚假的“燃素说”的欺骗，固执地认为水是一种元素，不承认自己无意中发现了一种新元素，实在是可惜。



法国化学家拉瓦锡

后来，法国化学家拉瓦锡听到了这件事，他重复了卡文迪许的实验，并用红热的枪筒分解了水蒸气，才明确提出正确的结论：水不是元素而是氢和氧的化合物，从此纠正了两千多年来一直把水当作元素的错误概念。1787年，他正式提出“氢”是一种元素，因为氢燃烧后的产物是水，便用拉丁文把它命名为“水的生成者”。

氢的同位素

我们首先来看一看什么是同位素。具有相同质子数，不同中子数（或不同质量数）同一元素的不同核素互为同位素。自然界中许多元素都有同位素。同位素有的是天然存在的，有的是人工制造的，有的有放射性，有的没有放射性。同一元素的同位素虽然质量数不同，但它们的化学性质基本相同，物理性质有差异，主要表现在质量上。氢在自然界中的同位素有氕（音撇）、氘（音刀）、氚（音川）三种。其中氕相对丰度为99.985%；氘（重氢）相对丰度为0.016%，这两种氢是自然界中非常稳定的同位素。从核反应中还找到质量数为3的同位素氚（超重氢），它在自然界中含量极少。

氢的同位素氘（音刀）质量数为2，原子核中有一质子和一中子。常温下为气体，分子式为 D_2 ，分子量（相对分子质量，下同）为4。沸点为 $-249.7^{\circ}C$ ，熔点为 $-254.6^{\circ}C$ ，都高于氢气。氘的化学性质跟氕相似，但活动性较氢差，跟氧化合生成重水（ D_2O ），与氮化合生成重氨（ ND_3 ）。重氢主要存在于重水中，氢气中含重氢约0.02%。怎样能够得到重氢呢？通常通过电解重水，或者通过重水跟锌、铁、钙等反应可以制得重氢。将液态氢加热，氕先蒸馏出来，剩下氘。人工加速的重氢原子核，也就是由一个质子和一个中子组成的原子核——氘核能参与许多核反应。氘和氚在极高温（如1亿K，K是开氏温标的意思，度量标准和 $^{\circ}C$ 一样，只是 $0\text{ K}=-273.15^{\circ}C$ 而已，将开氏温标数值加上273.15就是 $^{\circ}C$ 的数值）可发生核聚变反应生成氦，同时释放出巨大能量。核聚变反应也叫热核反应。重氢是制造氢弹的核材料，也是可控热核反应的核燃料。

因为氘比氕重，所以氘的许多反应比氕要慢得多。氘能发射 β 粒子衰变成质量数为3的氦核，在衰变过程中不发射 γ 射线，半衰期为12.26年。氘和氕可发生热核反应，放出巨大能量。因为氘有放射性，因此可用作研究化学反应过程和生物体中物质变化过程时的示踪原子。那么，怎样才能得到氘呢？用高能氘核轰击氕化合物可得到氘。锂的同位素 ${}^6_3\text{Li}$ 吸收慢中子也可以产生氘。

什么是氢键

什么叫做氢键呢？在了解氢键的概念之前，我们来看一看什么是元素的电负性。电负性是指元素周期表中各元素的原子吸引电子能力的一种相对标度，又称负电性。元素的电负性愈大，吸引电子的倾向愈大，非金属性也愈强。与电负性大的原子X（比如氟、氧、氯、氮等）共价结合的氢，如果与负电性大的原子Y（与X相同的也可以）接近，在X与Y之间以氢为媒介，生成X—H \cdots Y形的键，这种键称为氢键。氢键的结合能是2~8千卡（1千卡=4.1840千焦，下同），结合能指两个或几个自由状态的粒子结合在一起时释放的能量。因为多数氢键的共同作用，所以氢的状态非常稳定。

1. 氢键的形成

（1）同种分子之间形成氢键

下面以氟化氢为例说明氢键的形成。在氟化氢分子中，由于F的电负性（4.0）很大，共用电子对强烈偏向F原子一边，而H原子核外只有一个电子，其电子云向F原子偏移的结果使得它几乎要呈质子状态。这个半径很小、无内层电子的带部分正电荷的氢原子，使附近另一个氟化氢分子中含有孤电子对并带部分负电荷的F原子

有可能向它充分靠近，从而产生静电吸引作用。这个静电吸引作用力就是所谓氢键，即 $F - H \cdots F$ 。

(2) 不同种分子之间形成氢键

不仅在同种分子之间可以存在氢键，而且在某些不同种分子之间也可能形成氢键。例如在氨（ NH_3 ）与水（ H_2O ）之间，所以这就导致了氨气在水中的惊人溶解度：1单位体积的水中可溶解700单位体积的氨气。

2. 氢键形成的条件

① 与电负性很大的原子A 形成强极性键的氢原子。

② 较小半径、较大电负性、含孤电子对、带有部分负电荷的原子B（F、O、N）。

如果把氢键结合的情况写成通式，可用 $X - H \cdots Y$ 表示。通式中X和Y代表F、O、N等电负性大而原子半径较小的非金属原子。X和Y既可以是两种相同的元素，也可以是两种不同的元素。

由于H的体积小，1个H只能形成一个氢键。由于H的两侧电负性极大的原子的负电排斥，使两个原子在H两侧呈直线排列。只有受其他外力的较大影响，才可能改变方向。

3. 氢键的强度

氢键的强度和电负性有关，介于化学键和分子间作用力之间。氢键的键能比较小，通常只有 $17 \sim 25 \text{kJ/mol}$ 。

4. 氢键的形成对物质性质的影响

氢键的形成对物质的性质有显著的影响，例如，使物质的熔点和沸点升高；溶质与溶剂之间形成氢键，使溶解度增大；如果某种液体的分子间存在氢键，这种液体一般黏度较大，因为分子间可形成众多的氢键。液体分子间若形成氢键，有可能发生缔合现象，分子缔合的直接结果是影响到液体的密度，使液体的密度增大。在核

磁共振谱中，氢键使有关质子的化学位移向低场；在红外光谱中，氢键 $X-H\cdots Y$ 的形成使 $X-H$ 的特征振动频率变小并伴有带的加宽和强度的增加；氢键的形成决定蛋白质分子的构象（分子的构象是指分子因单键旋转改变了其原子或原子团在空间的相对位置而呈现的不同立体形象），在生物体中起重要的作用。

氢的特性

1. 世界上最轻的气体

氢是一种化学元素，尽管氢的原子是所有原子中最小的，但是它在化学元素周期表中位于第一位。氢的化学符号为H，原子序数是1。氢通常的单质形态是氢气，氢气在通常条件下为无色、无味的气体，氢的气体分子由双原子组成。氢是宇宙中含量最高的物质。氢在不同的压力和温度下，会呈现不同的状态，比如，在101kPa压强下，温度为 -252.87°C 时，氢气可转变成无色的液体；温度继续下降，达到 -259.1°C 时，液态的氢会变成雪状固体。氢原子藏在水中，它的导热能力特别强。氢与氧化合就会生成水。氢是世界上最轻的气体，在 0°C 和1个大气压下，每升氢气只有0.09克重——仅相当于同体积空气质量的14.5分之一。

氢的这种特点很早就引起了人们的兴趣。在1780年时，法国化学家布拉克便把氢气充入猪的膀胱中，制成了世界上第一个、也是最原始的氢气球，放开手之后，它冉冉地飞向了高空。现在，人们是在橡胶薄膜中充入氢气，大量制造氢气球。

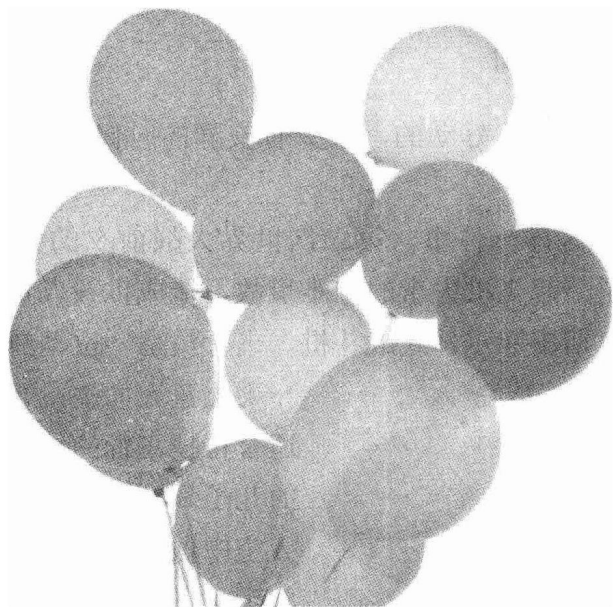
每到十月一日国庆节，我国人民举国欢庆。首都北京天安门前，五颜六色、大大小小的氢气球高高地浮在空中，迎风飘扬，翩

翩起舞，为节日的首都增添了喜庆的气氛。

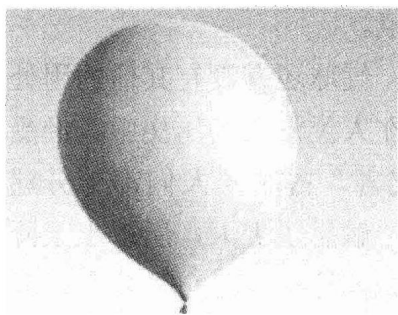
除了欢度节日，增加欢乐气氛之外，气球还有没有其他的用处呢？科学家很早就给我们做出了回答。在人类漫长的历史中，经受了无数次的洪水、干旱、地震等自然灾害。古时候人们都十分迷信，认为这些灾害都是因为自己有过错，触怒了上天，所以上天降下灾祸。随着科学的发展，人们逐渐认识到这些都是自然现象，而且可以对它们进行预测。

很久以来，人们对洪水无可奈何。凶猛的洪水一来就要淹没村庄，毁坏农田，有时甚至会危及生命。怎么才能对付洪水呢？科学家研究发现，形成洪水的原因，是因为长时间倾泻暴雨造成的，暴雨又是从雨云中降下的。如果能观测到云层的厚度和水分，就可以预报天气，人们在听到暴雨来临的消息后就会做好预防措施。这样就减轻了洪水带来的危害。

可是，云层飘浮在高高的天空，人类又没有翅膀，飞不到那样的高度，怎么办呢？



节日里五彩缤纷的氢气球



用来观测气象的氢气球

在化学家发现了氢气后，这个问题一下子迎刃而解了。科技工作者准备了许多氢气球，让它们带上观测仪器，然后放飞氢气球，氢气球把这些观测仪器带进高空的云层，这样，人们不用上天，就可以知道天空中云层的变化，从而做出准确的天气预报。

后来，氢气球又有了一种新的用途，利用它携带干冰、碘化银等药剂升上天空，在云层中喷撒，可以进行人工降雨，缓解旱情。

氢的原子是109个元素中最小的一个，由于它又轻又小，所以跑得最快，如果人们让每种元素的原子进行一场别开生面的赛跑运动，那么冠军非氢原子莫属。我们可能遇到过这样的事情：灌好的氢气球，往往过一夜，第二天就飞不起来了。这是因为氢气能钻过橡胶上肉眼看不见的小细孔，偷偷地溜走了。不仅如此，在高温、高压下，氢气甚至可以穿过很厚的钢板。

2. 氢原子活泼好动

氢原子是最活泼好动的，很少有安静的时候，它的“多动症”有时候会闯祸。

曾经发生这样一件事。第二次世界大战前夕的1938年，在英国突然发生了一起飞机失事的空难事故，造成机毁人亡。失事的是一架英国的“斯皮菲尔”式战斗机，飞行员是一位勋爵的儿子。那



飞艇形状的氢气球

一天，蓝天如洗，碧空万里，是适合特技飞行的绝好天气。勋爵的儿子驾驶飞机升空，在碧蓝的天空中做着各种飞行动作，地面上观看的人们目不转睛地看着。忽然，飞机像断了线的风筝，一

个倒栽葱就向地面坠落，随着一声巨响，整架飞机爆炸起火，化成一堆废墟，勋爵的儿子当即死于这场空难。勋爵的儿子驾驶技术是过硬的，好好的一架飞机为什么会突然失事，很令人疑惑。于是，英国空军下令立即调查飞机失事的原因。

结果发现，这起事故并非人为的破坏，而是飞机发动机的主轴断成了两截。经过进一步检查，发现在主轴内部有大量像人的头发丝那么细的裂纹，冶金学中称这种裂纹为“发裂”。为什么在发动机轴里会出现大量的“发裂”呢？要怎样才能防止这种裂纹造成的断裂现象呢？后来发现，钢中的“发裂”是由钢在冶炼过程中混进的氢原子引起的。氢原子混进钢中后就像潜伏在人体中的病毒一样，刚开始并不“兴风作浪”，但一旦“气候”变化，它就跑出来变成小的“氢气泡”，像“定时炸弹”一样，在外力作用下就会一触即发，使钢脆裂。这种脆裂就叫“氢脆”。

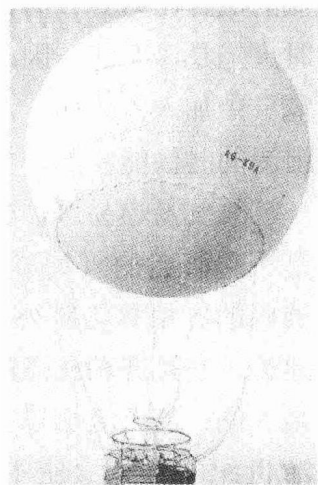
3. 氢气易燃易爆

能够像鸟一样飞上高高的天空，是人类长久以来的梦想。在18世纪80年代初，欧洲出现了热气球，人们很想乘坐热气球上天，可是又担心有生命危险，于是先用动物做实验，尽管已经把鸡、鸭、羊等动物送上了天空，可是，人们对上天还是心存疑虑，没有人愿意冒这个风险。

1783年，法国国王在科学界的一致要求下批准了用气球送人上天的计划，但要送的却是两个死刑犯。

一个勇敢的青年知道这个消息后，很想参加这次计划，于是他找了一个跟他一样不怕死的青年，向国王请求让他们替下死刑犯，国王被他们的勇敢打动了，准许了他们的要求。

1783年11月21日，这两个青年乘上热



可以载人的氢气球