

高新技术科普丛书

新材料的宠儿： 稀土

XINCAILIAO DE CHONGER
XITU

莫尊理◎丛书总主编

郭瑞斌 莫尊理◎编著



出版集团

• 高新技术科普丛书 •

新材料的宠儿：稀土

郭瑞斌 莫尊理 编著



甘肃科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新材料的宠儿——稀土 / 郭瑞斌, 莫尊理编著.

—兰州: 甘肃科学技术出版社, 2012. 1

(高新技术科普丛书 / 莫尊理主编)

ISBN 978 - 7 - 5424 - 1608 - 7

I. ①新… II. ①郭…②莫… III. ①稀土金属—普及读物 IV. ①TG146.4 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 281134 号

责任编辑 毕 伟

装帧设计 林静文化

出 版 甘肃科学技术出版社 (兰州市读者大道 568 号 0931-8773237)

发 行 甘肃科学技术出版社 (联系电话: 010-61536005 010-61536213)

印 刷 北京飞达印刷有限责任公司

开 本 710mm × 1020mm 1/16

印 张 12

字 数 150 千

版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

印 数 1 ~ 10 000

书 号 ISBN 978 - 7 - 5424 - 1608 - 7

定 价 23.80 元

序

火和工具的发明开启了人类使用能源和材料的历史进程，推动了人类的进化，加速了人类文明的进步，促进了经济的发展。能源和材料，人类生存和精神发展的物质基础，决定着人类文明的发展方向。他们的发展给全球经济、政治以及精神文化带来了前所未有的变革，也使全球的生态环境伤痕累累。开发绿色能源，发明新型材料，建设资源节约型、环境友好型社会已迫在眉睫。在“十二五”规划的引领下，我国大力加快文化建设，努力建设社会主义文化强国。2012年，中国也将启动《国家能源发展战略》编制工作，提出我国能源发展的总体方略和战略图。但是，目前市场上还没有一套详细介绍新能源、新材料的科普系列丛书。为了引导读者，特别是广大青少年更好地认识和了解新能源和新材料，明确我国的能源现状和材料的发展成果，增强开发新能源、新材料的意识，激发他们为新能源和新材料事业奉献的信心和决心，培养他们的民族自信心和创新精神。普及新能源和新材料的相关知识和发展动态，必将吸引和鼓励更多青少年热爱科学，献身科学，积极投身能源和材料事业，发明更多低碳、绿色的新型材料，使我国能源结构合理，为创造我们可持续发展的绿色家园做出更大的贡献。

2011年品牌价值达到76.45亿元，名列“中国500最具价值品牌”总排行榜175位的读者出版传媒股份有限公司，依托高校及研究机构的学科和人才优势，倾力打造并推出这套“新材料、新能源系列科普丛书”。为了打造好“新材料、新能源系列科普丛书”，知名材料学专家、西北师范大学博士生导师莫尊理教授担任丛书总主编；西北师范大学等高校的教授、博士生导师担任编委；丛书各册的主编均为相关领域的专家、学者。他们是一批热爱科学、朝气蓬勃、学风严谨、勤奋探索的科技工作者，以真挚的情感和对人类社会持续发展的使命感，用朴实而又不失优美的文笔严肃认真地编撰了本丛书。



本套丛书作为新材料、新能源的科普读物，宗旨鲜明，风格独特，系统性强，认真探讨了人类与能源材料和谐的发展历程和方向。与一般科普读物相比，具有如下鲜明的特点：一是超大容量且时代感强的内容，本丛书共 18 个分册，紧扣当前能源、材料发展的困境，以新能源、新材料方面最新的研究成果及详实的资料为基础，通俗易懂的文字分别叙述了与人类生存、发展最密切的各种新能源和新材料，构成了一个完整的知识体系。从不同视角，多层次、全方位介绍了材料和能源领域的基础知识和发展动态，深入浅出，向读者朋友展示了材料和能源的发展脚步。《神通广大的第三金属》《新材料的宠儿：稀土》向你展示第三金属和稀土的魅力；《高新科技的特种钢》《取之不尽的光伏太阳能》《持续不断的风电新能源》《可再生能源：生物质能》《又爱又恨是核能》《待开发的地热能》《清洁能源：氢能》《未来无害新能源可燃冰》《无限丰富的海洋能》让你尽情领略能源的丰饶和开发前景；《异彩纷呈的功能膜》《节能减排的新动力电池》《无处不在的碳纤维》《遨游太空的航天材料》《改变世界的信息材料》《比人聪明的智能材料》《神奇的人体修复材料》向你呈现新型材料的发展动态以及带给我们的生活翻天覆地的变化。二是时尚流行的编创，本丛书语言流畅、深入浅出，配有大量精美的图片，图文并茂、通俗易懂，加上扩充知识面的小百科，使读者朋友全面了解新材料、新能源并享受着他们带来的无限魅力。

20 世纪 80 年代以来，人类认识到必须永续利用地球资源，改善地球的生态环境。可持续发展成为全球性的发展主题，我们应统一规划、合理开发能源，积极开发新能源、新材料，促进人类与自然界的和谐共处与协调发展。希望这套凝聚着策划者、组织者、编撰者、设计者、编辑者等工作者的辛勤汗水和心血的“新材料、新能源系列科普丛书”给那些热爱科学，倡导低碳、绿色、可持续发展的人们以惊喜和收获，希望对我国的能源和材料事业做出一点贡献。衷心祝愿应时代所需而出版的“新材料、新能源”科普读物能得到读者的青睐。

中国工程院院士

薛群基

2012. 3

目 录

第一章 十七个兄弟的大家庭

第一节 发现稀土元素	001
一、“钇”的破石而出	001
二、谷神星的纪念——“铈”的发现	002
三、其他兄弟的出现	005
第二节 脾性相投的伙伴们	011
一、活泼好动的好孩子	011
二、如何排座位——镧系收缩	012
第三节 都是好样的	013

第二章 稀土真的“稀”吗？

第一节 稀土不“稀”	021
一、中国稀土资源	021
二、世界稀土资源	023





第二节 稀土从何而来	026
一、孕育稀土的温床	026
二、独占鳌头的中国稀土	029
第三节 稀土是如何炼成的	031
一、难舍难分的兄弟情	031
二、捕捉稀土兄弟的踪影	033
三、磨刀不误砍柴工	034
四、以柔克刚	034
五、稀土金属的制备	040
第四节 各有神通的兄弟们	041
第五节 纯粹的无尽探索——高纯稀土	042
一、高纯稀土生产状况	042
二、高纯稀土的应用前景	043

第三章 稀土兄弟的性格

第一节 性格从何而来?	044
一、原子结构与电子排布	044
二、稀土元素在元素周期表中的位置	050
三、稀土元素的电子层结构特点与价态	050
第二节 刨根问底 show 强项	053
一、稀土元素的化学性质	056
二、稀土金属晶体的结构	058
三、优良电学表现	059

四、会发光的精灵 060

五、吸磁专家 062

第三节 稀土元素的材料学性能及应用 063

一、稀土金属的力学性能 064

二、稀土金属的工艺学性能 065

三、稀土元素特征的材料学应用 065

第四章 稀土与他的“拍档”

第一节 组成各异的氧化物 067

一、稀土氧化物的类型 067

二、稀土氧化物的结构 067

三、物理特性 070

四、化学特性 070

五、稀土氧化物的制备 070

六、几种常见有稀土氧化物 070

第二节 形式多样的氢氧化物 071

一、物理性质 072

二、化学性质 073

三、制备 073

第三节 使用方便的卤化物 073

一、类型 073

二、物理特性 073

三、制备 076



第四节 潜能无限的配合物	076
一、独特的配位本领	080
二、配合物的类型	081
三、爱发光的配合物	082
四、精干的“配合”别动队	084

第五章 Hold 不住的神奇发光本领

第一节 我能发光，你能吗？	087
一、不听话的 4f 电子	088
二、追根溯源——能级与光谱	088
三、神采各异的光	091
第二节 时代变迁话荧光	092
一、你家的电视机是彩色的吗？	093
二、白炽灯泡的终结者	099
三、梦幻般的夜晚美景	101
第三节 动感激光	102
一、激光哪里来	104
二、独步天下的激光武器	105
第四节 长余辉材料	108
一、长余辉原理	108
二、会发光的手表	110

第六章 全能“套磁”王

第一节 被传染的磁“铁”	111
一、天生的磁力王	111
二、不忽悠的磁悬浮	119
第二节 迷雾重重的超导现象	122
一、超导超的是什么？	122
二、最大的高温超导家族	124
第三节 长个子的金属棒——稀土超磁致伸缩材料	126
第四节 生活少不了彼“磁”	127
一、能治病的金属	127
二、高保真的声载体	128
三、抗癌新星	129
四、能看穿人体的眼睛	130

第七章 价格波动的背后——稀土战略

第一节 剧烈震荡为哪般	134
第二节 稀土兄弟价值几何	137
一、不可再生的矿石	138
二、高精尖科技的排头兵	142
第三节 充满挑战的稀土贸易	144
一、最大的稀土出口国	146
二、争夺话语权	148
第四节 不可忽视的回收再利用	151



第八章 给力的稀土家庭发展规划

第一节 推动新能源	153
一、稀土在低碳烷烃利用中的研究与应用	153
二、稀土在燃料电池中的研究与应用	154
三、稀土催化在焦化污水净化中的应用	157
四、稀土催化在烟气脱硫中的应用	157
第二节 催化剂新时代	159
一、稀土催化在汽车尾气净化中的研究与应用	159
二、稀土催化在工业废气、人居环境净化中的研究与应用	164
三、稀土在催化燃烧中的研究与应用	165
第三节 健康护卫员	166
一、稀土在药物上的应用	167
二、稀土在医疗器械中的应用	168
第四节 增收好帮手	170
一、稀土对农作物的主要作用	170
二、稀土在畜牧养殖业中的作用	171
三、稀土的毒理研究	171
四、应用和开发研究现状	172
五、稀土农用实现产业化情况	172
六、大面积应用时期	174

参考文献	176
------------	-----

第一章 十七个兄弟的大家庭

第一节 发现稀土元素

稀土指元素周期表中镧系元素及与之化学行为密切相关的两个元素——钪和钇，共 17 种元素，又称稀土金属，其名称分别是镧（La）、铈（Ce）、镨（Pr）、钕（Nd）、钷（Pm）、钐（Sm）、铕（Eu）、钆（Gd）、铽（Tb）、镝（Dy）、钬（Ho）、铒（Er）、铥（Tm）、镱（Yb）、镱（Lu）、钇（Y）、钪（Sc）。

17 种稀土元素从初次出现踪迹到完全被发现困惑了化学家 100 多年，它们像幽灵一样在实验室中时隐时现。有时像是近在咫尺的花环，吸引着众人奋力争夺；有时又像一望无边的沙漠中的海市蜃楼，令人望而兴叹。从 18 世纪末到 20 世纪中叶的漫长岁月里，化学家们不断摸索，经历了千辛万苦，从无数的现象和矿物中分离、提纯，往往在宣布发现新的稀土元素不久就被更新的成果否定，前后被命名过的“稀土元素”将近 100 种，正因为如此，人类的智慧在发现稀土元素的征途中体现出了无比的珍贵和重要。

一、“钇”的破石而出

早期的化学家把任何不溶于水而且不受加热影响的物质都称为“土”。1794 年，34 岁的芬兰化学家兼矿物学家加多林（J. Gadolin）从瑞典斯德哥尔摩附近的小镇“意忒耳比”（Ytterby）的一个采石场所产的黑色矿物（硅铈钇矿）中，采用分级结晶法分离该矿时发现里面含有 38% 的“新土”（即“钇土”，实际上是钇的一种氧化物），后来经过其他人重复分析，证实了该矿石里的确存在一种新元素。到 1843 年，才首次从中提取获得了高纯度的钇，并将该元素命名为 Yttria（意为“意忒耳比”村镇发现的），汉译名称“钇”。同时还把首先发现含有钇的矿石命名为加多林（Gadotinite）矿，以纪念它的发现者加多林，尽管加多林当时得到的钇元素还不纯，但至今认为他是首先发现稀土元素的学者。



二、谷神星的纪念——“铈”的发现

铈是从另一块出产在瑞典小城瓦斯特拉斯的红色重石中发现的，德国化学家克拉普罗特（M. H. Klaproth）与瑞典化学家贝齐利乌斯（J. J. Berzelius）、希辛格（W. Hisinger）分别发现了它。1803年，克拉普罗特在分析这种红色重石时，确定有一种新元素的氧化物存在，因为它在灼烧时出现赭色，把它称为 ochra（赭色）土，元素就被命名为 ochroium，矿石被称为 ochroite。同时贝齐利乌斯和希辛格在该矿石中也发现了同一元素的氧化物，称为 ceria（铈土），元素称为 cerium（铈），元素符号定为 Ce，矿石称为 cerite，以纪念当时发现的一颗小行星——谷神星 Ceres。Ochroium 和 cerium 经过一系列的研究证明是同一元素，但随着历史的发展后者的名称被采用并固定下来了。钇和铈的氧化物以及其他稀土元素氧化物和“土族”元素的氧化物一样很难还原，直到 1875 年才通过电解熔融的铈氧化物的方法获得金属铈，这是目前取得稀土元素金属的一种普遍的方法。

钇和铈的发现不仅仅是它们本身，它们的发现仅仅是打开了发现稀土元素的第一道大门，是发现稀土元素的第一阶段。



小百科

谷神星

谷神星（1Ceres）是火星与木星之间的小行星带中，人们最早发现的第一颗小行星，由意大利人皮亚齐于 1801 年 1 月 1 日发现。其平均直径为 952 公里，等于月球直径的 $\frac{1}{4}$ ，质量约为月球的 $\frac{1}{50}$ ，和青海省的面积相当，又被称为 1 号小行星。谷神星是太阳系中已知体积最大的小行星，也是第一颗被发现的小行星。现在它又是太阳系中最小的、也是唯一的一颗位于小行星带的矮行星。

1766 年，德国有一位名叫提丢斯的中学数学教师，把下面的数列：

3, 6, 12, 24, 48, 96, 192……

的前面加上 0，即：

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192……

然后再把每个数字都加上 4，就得到了下面的数列：

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196……



再把每个数都除以 10，最后得到：

0.4, 0.7, 1, 1.6, 2.8, 5.2, 10, 19.6……

令提丢斯惊奇的是，他发现这个数列的每一项与当时已知的六大行星（即水星、金星、地球、火星、木星、土星）到太阳的距离比例（地球到太阳的距离定为 1 个单位）有着一定的联系。

提丢斯的朋友，天文学家波得深知这一发现的重要意义，就于 1772 年公布了提丢斯的这一发现，这串数从此引起了科学家的极大重视；并被称为提丢斯—波得定则即太阳系行星与太阳的平均距离。

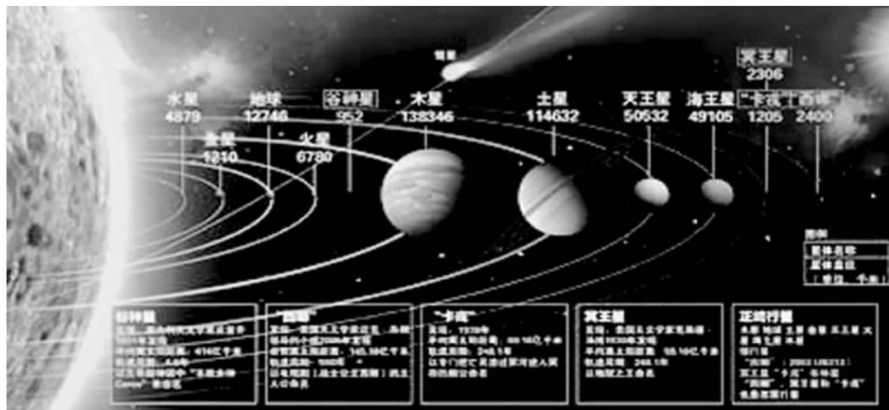
当时，人们还没有发现天王星、海王星，以为土星就是距太阳最远的行星。

1781 年，英籍德国人赫歇尔在接近 19.6 的位置上（即数列中的第八项）发现了天王星，从此，人们就对这一定则深信不疑了。根据这一定则，在数列的第五项即 2.8 的位置上也应该对应一颗行星，只是现在还没有被发现。于是，许多天文学家和天文爱好者便以极大的热情，踏上了寻找这颗新行星的征程。

1801 年新年的晚上，意大利天文学家皮亚齐还在聚精会神地观察着星空。突然，他从望远镜里发现了一颗非常小的星星，正好在提丢斯—波得定则中 2.8 的位置上。可是，当皮亚齐再想进一步观察这颗小行星时，他却病倒了。等到他恢复健康，再想寻找这颗小行星时，它却不知去向了。皮亚齐没有放弃这一偶然的发现，他认为这可能就是人们一直没有发现的那颗行星，并把它命名为“谷神星”。



谷神星





天文学家对皮亚齐的这一发现持有不同的看法。有人认为皮亚齐是正确的；也有人认为这可能是一颗彗星，不然的话，为什么它只露了一面就不见了呢？

几个月过去了，人们的争论也没见分晓。可是，这场争论却引起了德国数学家高斯的注意。高斯想，既然天文学家通过观察找不到谷神星，那么，是否可以通过数学方法找到它呢？许多天文学家对高斯的这一提法不以为然。天文学家都找不到谷神星，难道高斯还能把它算出来吗？朋友们也劝他不要把自己的时间和才智浪费在这一毫无希望的问题上。

年轻的高斯却有自己的看法。他认为，天文学是离不开数学的。如果没有雄厚的数学知识，是不可能成为一个出色的天文学家的。在天文学发展史上，情况也正是如此。开普勒正是凭借着自己的数学才能，才发现了行星运动的三大定律。牛顿也是凭着渊博的数学知识，才发现了万有引力定律。

在高斯之前，著名数学家欧拉曾经研究出了一种计算行星轨道的方法。可是，这个方法太麻烦。高斯决心去寻找一种简便易行的方法。在前人的基础上，高斯经过艰苦的运算，以其卓越的数学才能创立了一种崭新的行星轨道计算理论。他根据皮亚齐的观测资料，利用这种方法，只用了一个小时就算出了谷神星的轨道形状，并指出它将于何时出现在哪一片天空里。

1801年12月31日夜，德国天文爱好者奥伯斯，在高斯预言的时间里，用望远镜对准了这片天空。果然不出所料，谷神星出现了！

高斯的计算方法成功了。高斯从笔尖上寻找到的这颗行星，在隐藏了整整一年后，却又成为人类的最好的新年礼物。这一礼物向人们显示了数学在科学研究中的巨大作用。

在发现小行星之前，皮亚齐原是找寻 Francis Wollaston 的恒星列表中所记载的 Mayer 87 星，但他在表中所述的位置找不到该星。之后他找到一颗会移动的星，最初他认为这是颗彗星。

皮亚齐持续观测至2月11日，但他的发现却未受注意，之后该小行星已公转至太阳背面而无法观测。之后德国数学家高斯凭着皮亚齐的三次观测结果去估计其轨道，并于翌年由 Franz Xaver, Baron von Zach 和奥伯斯成功寻回该天体。另一位天文学家波得认为火星与木星轨道之间的位置理应有行星，而谷神星正是该颗他认为的未知行星，但它的体积比起其他大行星要小得多，因此威廉·赫歇尔后来把这类天体称为“小行星”（asteroid）。并由此延伸出一个标准，即要确定一个天体是否为行星，这个行星的体积必须比谷神星要大。

三、其他兄弟的出现

“铈土”和“铈土”具体组成的发现过程耗去了几十年的时间，直到1839年才由瑞典化学家莫桑德尔最先证明了它们的复杂性。莫桑德尔将当时得到的硝酸铈加热，用稀硝酸处理，出乎意外的得到了两种氧化物。一种是不溶于稀硝酸的氧化物，仍叫铈土；另一种是溶解于稀硝酸的氧化物，叫做“镧土”（元素符号 La，指隐藏之意）。

1843年，莫桑德尔又用同样的方法仔细研究了“铈土”，得到了三种不同颜色的土性氧化物：无色的氧化物沿用旧名，仍称之为“铈土”、黄色的氧化物称之为“铈土”、玫瑰色的氧化物称之为“铈土”。通过莫桑德尔的发现，化学家们意识到铈土和铈土并不是纯净的氧化物，而是稀土元素的化合物组成的混合体。

瑞士化学家马里格纳克早在1840年，当他只有23岁的时候，就开始对稀土族进行了研究，他致力于元素原子量的精密测定，为稀土元素的发现作出了重大的贡献。1878年，马里格纳克将从硅铈矿中得到的少许硝酸铈加热至分解，然后用水萃取，从沉渣中得到了两种氧化物，一种红色物仍保留旧名“铈土”，另一种为无色物，称为“铈土”。

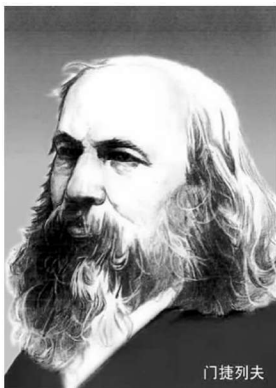
1871年，俄国化学家门捷列夫根据他的元素周期表上的位置，预言有一种新元素，其原子量在40（碳）和48（钛）之间，总有被发现的一天。当时，他称这种新元素为“类硼”。时隔8年，这种元素果然被瑞典化学家尼尔松发现。尼尔松从硅铈矿和黑稀土矿中提取了氧化铈并把它制成硝酸盐。他又将这种盐加热分解，得到了极纯净的氧化铈，与此同时他还意外地获得了一些含有一种新元素的“土质”。这种新元素的一切特性，几乎同门捷列夫所预言的“类硼”完全符合，尼尔松为纪念他的祖国瑞典（Sweden），将它称之为钪（Sc）。



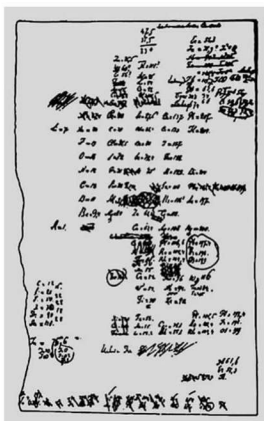
门捷列夫与元素周期表

门捷列夫

德米特里·门捷列夫，19世纪俄国化学家，1848年进入彼得堡专科学校，1850年进入彼得堡师范学院学习化学，1855年取得教师资格，并获金质奖章，毕业后任教德萨中学教师。1856年获化学高等学位，1857



(Dmitri Mendeleev 1834-1907 俄国化学家)



年首次取得大学职位，任彼得堡大学副教授。1859年他到德国海德堡大学深造。1860年参加了在卡尔斯鲁厄召开的国际化学家代表大会。1861年回彼得堡从事科学著述工作。1863年任工艺学院教授，1864年，门捷列夫任技术专科学校化学教授，1865年获化学博士学位。1866年任彼得堡大学普通化学教授，1867年任化学教研室主任。1893年起，任度量衡局局长。1890年当选为英国皇家学会外国会员。1907年2月2日，这位享有世界盛誉的俄国化学家因心肌梗塞在彼得堡（今列宁格勒）与世长辞，享年73岁。

门捷列夫对化学这一学科发展的最大贡献在于发现了化学元素周期律。他在批判地继承前人工作的基础上，对大量实验事实进行了订正、分析和概括，总结出这样一条规律：元素（以及由它所形成的单质和化合物）的性质随着原子量（现根据国家标准称为相对原子质量）的递增而呈周期性的变化，既元素周期律。他根据元素周期律编制了第一个元素周期表，把已经发现的63种元素全部列入表里，从而初步完成了使元素系统化的任务。他还在表中留下空位，预言了类似硼、铝、硅的未知元素（门捷列夫叫它类硼、类

铝和类硅，即以后发现的钪、镓、锗）的性质，并指出当时测定的某些元素原子量的数值有错误。而他在周期表中也没有机械地完全按照原子量数值的顺序排列。若干年后，他的预言都得到了证实。门捷列夫工作的成功，引起了科学界的震动。人们为了纪念他的功绩，就把元素周期律和周期表称为门捷列夫元素周期律和门捷列夫元素周期表。他的名著、伴随着元素周期律而诞生的《化学原理》，在十九世纪后期和二十世纪初，被国际化学界公认为标准著作，前后共出了八版，影响了一代又一代的化学家。

元素周期表的发现

攀登科学高峰的路，是一条艰苦而又曲折的路。门捷列夫在这条路上，也是吃尽了苦头。当他担任化学副教授以后，负责讲授《化学基础》课。在理论化学里应该指出自然界到底有多少元素？元素之间有什么