

文章编号: 1003-7837(2004)01-0023-06

稀土在高新技术产业中的应用及 广东稀土材料产业状况

肖方明, 曹福康

(广州有色金属研究院稀土研究室, 广东 广州 510651)

摘 要: 论述了近年来稀土在我国高新技术产业中应用的情况, 以及稀土材料在广东省某些高新技术产业中的发展现状, 指出了我国稀土行业存在的问题。

关键词: 稀土材料; 稀土工业; 应用

中图分类号: TG146.45 **文献标识码:** A

稀土元素由于具有特殊的 4f 层电子结构及特殊的光学、电学和磁学特性, 所以在新材料领域中得到了广泛的应用。由于稀土与许多高新技术(能源、环境、信息等)的关系十分密切, 在当今高新技术领域中发挥着重要的作用, 对今后世界经济的发展起着不可估量的作用, 因此, 稀土的开发应用受到世界各国的普遍重视。稀土新材料主要包括永磁材料、发光材料、贮氢材料、催化材料、陶瓷材料、激光材料以及超磁致伸缩材料、磁光存储材料、巨磁阻材料、磁致冷材料等。

1 稀土的消费

我国有得天独厚的稀土资源, 随着稀土材料制备工艺的成熟、性能的提高及新产品的开发和推广应用, 稀土的用量逐年递增。“八五”期间, 稀土在新材料领域的用量只有 1130 t, 占稀土总消费量的 8.7%。2000 年我国稀土在新材料领域的用量已达 4620 t, 占总消费量的 24%, 2002 年达 6600 t, 接近总消费量的 30%, 居国内稀土应用领域消费的首位, 已接近世界平均水平(30%)。见表 1^[1]。

2 应用现状及发展趋势

2.1 稀土磁性材料

稀土磁性材料大体上分为永磁材料、磁致伸缩材料、巨磁材料、微波材料、磁光存储材料以及磁致冷材料等。目前已形成产业的主要是稀土永磁材料, 而其他几种材料, 由于工业生产技术未成熟, 或者应用开发未跟上等原因, 在我国尚未形成产业。

2.1.1 钕铁硼的生产和应用

稀土永磁材料经历了 SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 以及 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 三个发展阶段。烧结 NdFeB 的磁性能优异, 可实现装配设备的轻、薄和小型化, 良好的性价比(优于铁氧体磁体), 使其成为国内外高新技术产业的最佳配套产品, 如计算机工业、信息工业、通讯工业、汽车工业、CD-ROM、DVD 等影像工业以及国防军事、高新技术和尖端装置如鱼雷电推动、陀螺、激光制导、Alpha 磁谱仪等。近几年世界钕铁硼产量的年增长率高达 25%。我国的钕铁硼企业充分利用我国稀土资源的优势, 发展势头更为强劲, 年平均增长率高达 40% 以上^[2]。计算机的硬、软磁盘和光盘、打印头的驱动器是西方使用钕铁硼最多的一个领域。据美国市场调查, 2000 年全世界仅家用 PC 总销售量就达 4000 万台, 预计 2005 年将达 8000 万台。信息产业部磁性材料及器件专业情报网统计表明, 2000 年用于计算机驱动器的钕铁硼磁体约 4000 t, 占钕

收稿日期: 2003-08-11

作者简介: 肖方明(1963-), 男, 福建三明人, 高级工程师, 在职硕士研究生。

铁硼销售总额的 50%。

表 1 1990~2002 年我国稀土(REO)消费量及消费结构

Table 1 Rare earth's consumption and its consumption pattern in China during 1990-2002

年份	消费结构										总计 /t
	冶金,机械		石油,化工		玻璃,陶瓷		新材料 ¹⁾		农业,轻工,纺织		
	消费量	占比例	消费量	占比例	消费量	占比例	消费量	占比例	消费量	占比例	
	/t	/%	/t	/%	/t	/%	/t	/%	/t	/%	
1990	3600	49.6	2200	30.3	410	5.6	95	1.3	951	13.2	7256
1991	3786	45.7	2500	30.2	740	8.9	120	1.4	1140	13.8	8286
1992	4100	44.4	2600	28.0	900	9.7	240	2.6	1410	15.3	9270
1993	4300	43.5	2700	27.3	950	9.6	400	4.0	1540	15.6	9890
1994	4380	39.8	2940	26.7	1100	10.0	700	6.4	1880	17.1	11000
1995	4450	34.2	3200	24.6	1300	10.0	1130	8.7	2920	22.5	13000
1996	4950	34.1	3500	24.1	1400	9.6	1600	11.0	2680	21.2	14530
1997	4960	32.9	3710	24.6	1540	10.2	1850	12.3	3010	20.1	15070
1998	5050	30.6	4000	24.2	1650	10.0	2830	17.1	3010	18.1	16500
1999	5100	28.8	4200	23.7	1800	10.2	3520	19.8	3100	17.5	17720
2000	5200	27.0	4300	22.3	2000	10.4	4620	24.0	3150	16.3	19270
2001	5500	24.3	4500	20.0	2900	12.8	6300	27.9	3400	15.0	22600
2002	5324	24.2	4400	20.0	2596	11.8	6600	30.0	3080	14.0	22000

注: 1)仅包括永磁、荧光粉与贮氢三种新材料。

2000 年全球烧结钕铁硼磁体的产量约为 15090 t,我国的产量约为 5550 t(占世界总产量的 36.8%,较上年增长 35%),日本的产量约为 7000 t(占 46.4%),美国和欧洲分别约为 1020 t(占 6.8%)和 820 t(占 5.4%)。2001 年我国烧结钕铁硼的产量和销售量已超过日本,达 6400 t(日本为 6200 t),占全球的 44.25%左右。根据行业统计,2002 年,我国烧结钕铁硼磁体产量为 9000 t,粘结钕铁硼磁体产量为 1000 t,产值 30 多亿,出口创汇 2 亿多美元,消费

稀土(REO)2740 t^[1]。

我国拥有丰富的稀土资源,较低的人工成本和广阔的应用市场,未来 10 年国外的钕铁硼制造业将会逐步向我国转移,使我国成为世界的钕铁硼永磁体的制造中心。预计 2010 年,我国烧结钕铁硼磁体的产量将达到 70000 t,占全球产量的 75%,年产值将达到 260 亿元(人民币)。表 2 列出了我国 1990~2002 年钕铁硼磁体的生产情况^[1]。

表 2 1990~2002 年我国烧结钕铁硼磁体的生产发展情况

Table 2 Production of sintered NdFeB magnet in China during 1990-2002

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
产量/t	216	340	490	740	1230	1820	2100	2550	3260	4200	5550	6400	9000
增长率/%	62	57	44	51	66	48	15	21	28	29	32	15	41
生产能力/t	700	900	1200	1600	2300	3200	4000	5500	7000	10000	12000	15000	18000

2.1.2 存在问题

我们应该看到,虽然自 2001 年以来,我国的钕铁硼产量超过了日本,但产品的档次低、附加值低,主要用于音响器材、磁化器、磁选机等中低档领域(图 1)。而日本等工业发达国家生产的产品主要应用于新型电机、音圈电机(VCM)、核磁共振成像仪

(MRI)等高科技领域,尤其是用于计算机硬盘、软盘驱动器方面(图 2)。据统计,2001 年我国烧结钕铁硼产值约为 2.8 亿美元,而日本 2001 年的产值约 5.5 亿美元,也就是说我国烧结钕铁硼的产量较日本高约 2%,但产品的平均售价和产值仅为日本的 50%,见表 3。

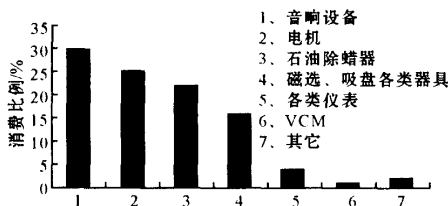


图 1 钕铁硼磁体在中国的应用情况

Fig.1 NdFeB magnet application in China

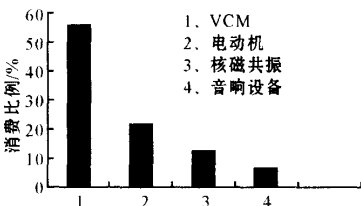


图 2 钕铁硼磁体在西方国家的应用情况

Fig.2 NdFeB magnet application in western countries

表 3 一些国家烧结 NdFeB 磁体的产量、产值和价格¹⁾

Table 3 Output, product value and price of the sintered NdFeB magnet in some countries

国家 或地区	1999 年			2000 年			2001 年		
	产量 ²⁾	价格	产值 ³⁾	产量 ²⁾	价格 ⁴⁾	产值 ³⁾	产量 ²⁾	价格 ⁴⁾	产值 ³⁾
	/t	/(美元·kg ⁻¹)	/百万美元	/t	/(美元·kg ⁻¹)	/百万美元	/t	/(美元·kg ⁻¹)	/百万美元
日本	6100 (51)	125	762.5 (63.5)	7700 (51.0)	110 (-13.6)	847 (63.0)	6200 (42.9)	88 (-25)	545.6 (55.1)
美国	880 (7.4)	120	105.6 (8.7)	1020 (6.8)	110 (-9.1)	112.2 (8.3)	1030 (7.1)	90 (-22)	92.7 (9.4)
欧洲	780 (6.5)	115	89.7 (7.5)	820 (5.4)	105 (-9.5)	86.1 (6.4)	835 (5.8)	85 (-24)	71 (7.2)
中国	4200 (35.1)	58	243.6 (20.3)	5550 (36.8)	54 (-7.4)	299.7 (22.3)	6400 (44.2)	44 (-23)	281.6 (28.4)
全球	11960	100.5	1202.0	15090	89.1 (-12.8)	1345	14465	68.5 (-30)	990.9

注：1) 资料引自《四川稀土》2002 年第 4 期；2) 括号内数字为占世界总产量比例，%；3) 括号内数字为占世界总产值比例，%；4) 括号内数字为与上年度价格相比增减率，%。

据统计,广东省东莞市生产的 IT 行业零配件占世界总量的 20% ~ 70%,其中硬、软盘驱动器占 40% 以上.但我国的钕铁硼磁体在 VCM 市场的使用几乎为零.所以如何提高烧结钕铁硼磁体性能以及表面处理质量是今后研究的重点.

2.1.3 广东省钕铁硼的生产现状

上世纪 80 年代末,广东省引进了具有国际先进水平的钕铁硼生产设备,是国内两大生产基地之一.在深圳引进美国设备生产钕铁硼磁体的公司有金东、瑞信、金星、万历等,肇庆的京粤磁厂等引进中科院技术生产钕铁硼磁体.但从 90 年代中开始,由于生产成本太高和经营不善,深圳的生产厂家基本上将生产设备变卖或转移到山西生产,在国内形成了京津、宁波和山西三个钕铁硼生产基地.目前广东省生产钕铁硼磁体在国内较有名气的只有肇庆三环磁材有限公司(原京粤磁厂)、梅州磁性材料厂等几家.2002 年合计生产约 280 t,与广东省庞大的应用市场

不太相应.

2.2 稀土发光材料

稀土发光材料是稀土新材料系列中的一个重大应用领域,它不仅消耗稀土的总量大,而且其所需单一稀土的品种之多居各种新材料之首.目前,稀土荧光、发光材料已经进入千家万户,在照明、显示、信息等方面获得重要应用,成为社会生活、人类文明不可缺少的组成部分.根据激发的种类不同,稀土荧光材料可分为光致发光(以紫外光或可见光激发)、阴极射线致发光(以电子束激发)、X 射线致发光(以 X 射线激发)以及电致发光(以电场激发).

2.2.1 稀土荧光粉的生产和应用

由于稀土荧光材料的发光效率及光色等性能都优于相应的非稀土荧光材料,因此近几年稀土荧光材料的用途越来越广泛,年需求量增长较快.至今世界上已开发的稀土荧光粉达 300 多种,其中以“屏幕显示”与“照明”两类材料最为突出.2002 年世界稀

土荧光粉的产量为 3300~3500 t,其中灯用三基色荧光粉的用量占总用量的 55%,阴极射线管(CRT)的用量占 42%,液晶显示器(LCD)背光灯占 1.6%,等离子显示屏(PDP)占 1.4%。预计 2005 年稀土荧光粉的产量将达 4300~4500 t,稀土荧光粉在三基色荧光灯的用量将上升到 58%,在 CRT 的用量将下降为 38%,而在 LCD 背光灯、PDP 等领域的用量,将从 2002 年的 3% 增长到 4%。表 4 列出了我国 1990~2002 年稀土荧光粉的生产发展情况^[1]。

稀土“屏幕显示”荧光粉主要用于电视机、示波器、雷达和计算机等各类仪器设备的荧光屏,多属于阴极射线荧光粉和电致发光荧光粉。它随着电子、信息与通信产业的发展而发展。40 年前,稀土荧光材料首次用于 CRT 彩电,用于 PC 也有 20 余年。此类荧光粉中稀土红色荧光粉($Y_2O_3:Eu$ 和 $Y_2O_2S:Eu$)用于彩色电视机荧光屏,使屏幕的亮度和色度达到了更高的水平。根据资料统计,2002 年世界彩色 CRT 产量约 2.3 亿支,其中电视机用 1.5 亿支,计算机显示器用 8000 万支。我国生产彩电 3500 万台,显示器 4500 万台,合计 8000 万台,占世界总产量的 35%^[3]。此外,大屏幕彩色投影电视机、PDP 电视机及 LCD 电视机具有很强的逼真感,不仅对提高生活质量具有积极意义,而且对军事指挥系统也有重要意义。在这些领域中使用的荧光粉不仅要承受更大的电流密度及阴极电压,而且还要避免温度淬灭效应,目前只有稀土荧光粉能满足这种苛刻要求。因此,不仅红色荧光粉,而且蓝、绿色荧光粉亦要使用稀土荧光粉,这是稀土工业最有希望的应用领域增

长点。计算机用显示器不管是 CRT 还是 LCD 都将是稀土荧光粉的重要市场。据报道,2002 年日本国内 LCD 背光灯产量为 2.6 亿支,较 2001 年增长 60%~70%,预计 2005 年 LCD 用荧光粉增长为 2002 年的 1.5~2.5 倍;而 PDP 市场消费量将从 2000 年的 20 万台(约需 20 t 粉),上升到 2005 年的 480 万台^[4](约需 480 t 粉)。

节能灯具是绿色照明工程的重要部分,是节约能源、保护环境的有效措施。用稀土三基色荧光粉制成的节能灯,由于其光效高于白炽灯 2 倍以上,且光色好,故受到各国的重视,发展很快。我国稀土三基色荧光粉,从 20 世纪 80 年代初经历了从无到有的发展阶段,目前已形成稀土荧光粉的第二大产业,2002 年产量达 800 t,而且红色和绿色荧光粉每年还有几十吨出口。近两年,由稀土三基色荧光粉制作的环形灯获得了迅猛发展,这将给灯用荧光粉的产业带来一个新的局面。2001 年全国 162 家荧光灯生产企业,共生产稀土节能灯超过 13 亿只,比 2000 年增长 34.35%。但是,目前我国三基色荧光粉的产量仅占稀土荧光粉的 27%,而日本占 62%,说明稀土荧光粉在我国节能灯市场的潜力很大。预计 2010 年我国稀土节能灯的产量将达 20 亿只^[5]。

另外值得一提的是,稀土长余辉发光材料近几年发展迅速。长余辉发光材料的用途十分广泛,市场前景广阔,国内已建立了多家生产绿色、绿黄色荧光粉生产厂,并陆续开发出下游应用产品,如蓄光自发光型安全疏散指示标志、门牌等,已成为消防、民政等部门首选的节能、环保新产品。

表 4 1990~2002 年我国稀土荧光粉生产情况

Table 4 Production of RE phosphor in China during 1990~2002

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
彩电粉	60	120	140	150	175	260	360	520	650	900	1200	1300	1350
灯粉	23	41	50	70	95	150	180	200	200	220	300	700	800
稀土消费量	31	60	72	82	106	162	210	270	320	410	550	750	825
年增长率/%	29	94	20	14	29	53	30	29	18	28	34	36	10

2.2.2 存在的差距

经过多年的努力,我国的稀土三基色荧光粉和稀土节能灯的质量已接近世界一流水平。低端产品如 CRT 彩电和显示器用荧光粉,形成了规模生产,并成为世界最大的生产地,但在其他具有高附加值的应用领域如 PDP,LED,OLED 等使用的稀土荧光材料^[6,7],目前主要在长春物理所、长春应化所、北

京有色金属研究总院等科研单位的实验室或中试线进行试制和小批量的生产,还未形成工业规模生产。2002 年我国生产了约 1 万台 PDP 显示器,所用的粉全部是进口的。

2.2.3 广东省的产业现状

广东省的稀土发光材料和节能电光源工业有较好的技术基础和产业规模,产量和能力均占全国的

50%以上。在彩电粉方面,广州珠江光电新材料有限公司是我国四大彩电粉专业生产厂家之一,产品供给广东福地显像管厂和深圳日立赛格显像管厂等使用。在灯粉方面,江门科恒实业有限责任公司,深圳企荣五矿发展有限公司和广州有色金属研究院生产的荧光粉都达到国内先进水平。2002 年江门科恒生产三基色荧光粉约 150 t,名列全国第二;广州有色金属研究院生产的长余辉荧光粉,其性能达国内领先,2002 年销售近 30 t,在国内名列第三。

2.3 贮氢材料

用贮氢材料作负极生产的 Ni-MH(镍氢)电池以其无记忆效应、无公害、可大电流充放电、安全、容量高和寿命长等特点,特别是性价比高受到人们的普遍关注,在通讯、动力两大领域发展迅速,并被世界各国认定为首选的动力电池。世界电源研究所(EPRI)估计,平均 200 万辆电动车每年可减少市区废气排放量 160000 t,每天节约 60000 桶汽油,是解决环境污染和能源问题的有效途径。

2.3.1 Ni-MH 电池在通讯和动力工业上的应用

目前,世界年产 Ni-MH 电池约 9 亿 A·h,其中日本为 7 亿 A·h,欧美为 1 亿 A·h,中国为 0.5 亿 A·h,年消耗稀土贮氢材料约 9000 t。预计 2005 年,用于通

讯、动力车和电动工具等的镍氢电池的年消耗量可达 23 亿 A·h。美国能源部调查结果表明,混合型电动汽车(HEV)将成为市场的主流产品。而据日本野村综合研究所分析,今后 5 年内,Ni-MH 电池将占 HEV 所用电池的 95%。美国 USABC(先进电池联合体)和日本公司对各种电动车用电池的性能以及发展潜力进行了比较论证,在综合考虑电池的可靠性和安全性、电池材料的资源与环境问题以及电池性能的发展趋势之后,确定 Ni-MH 电池是近期和中期电动车用首选动力电池。此外,目前电动工具市场对电池的年需求量约 5 亿只。这些都将极大地带动镍氢动力电池市场规模的迅速扩展。保守估计,2005 年世界对贮氢材料的需求将达 2 万多吨。

2.3.2 我国的 Ni-MH 电池的产能及产量

我国的 Ni-MH 电池研究水平是以国家“863”计划中,新材料领域 Ni-MH 电池专题的研究成果为代表的。在国家重点攻关计划的推动下,我国的 Ni-MH 电池产业已初具规模。2002 年我国生产 Ni-MH 电池 3.3 亿只,比 1995 年的 0.18 亿只增长了 19 倍,居世界第二位(日本为首位,5.3 亿只),消费贮氢材料约 3000 t。据不完全统计,1995~2002 年我国 Ni-MH 电池的产能和产量的变化情况见表 5^[1]。

表 5 1995~2002 年我国 Ni-MH 电池生产能力及产量的变化情况
Table 5 Production capacity and output of Ni-MH battery in China during 1995~2002

年份	Ni-MH 电池			贮氢合金	
	生产能力/亿只	产量/亿只	年增长率/%	生产能力/t	用量/t
1995	0.5	0.18	50	2000	150
1996	1	0.3	67	3000	300
1997	1.3	0.9	200	4500	900
1998	2.7	1.5	67	5300	1500
1999	3.3	2.5	67	6000	2000
2000	3.7	2.7	8	6600	2500
2001	4.5	3.0	11	7600	3000
2002	5.4	3.3	10	9100	3000

2.3.3 与国外的差距

我国目前生产的贮氢材料性能较国外尚有一定的差距。我国的普通型电池用贮氢材料的电化学容量只有 280~320 mA·h/g,充放电寿命只有 300 次。动力型电池的大电流放电(7C)寿命不到 100 次。而日本目前贮氢材料的电化学容量达 320 mA·h/g 以上,充放电寿命大于 500 次,动力型电池大电流放电(7C)寿命大于 1000 次。所以我国目前生产的 Ni-MH 电池大部分是 AA 型和 AAA 型小型电池,主要用于

小型移动通讯设备、便携式摄像机及数码相机等。

动力型电池对电池的均一性、稳定性的要求很高,一个动力电池组中如果有一只电池出现问题,将引起整个电池组报废。这就要求电池生产厂家提高自动化程度,减少人为因素,提高产品的质量。对生产贮氢材料的厂家来说,还存在着单炉产能问题。我国生产贮氢材料的设备单炉产量太小,国内最大炉产能为 200 kg,而日本现在使用的设备单炉产量达 3000 kg。如果我们要开发应用动力型电池,那么,提

高每批贮氢材料性能的一致性就是一个迫切需要解决的问题。另外,由于 Ni-MH 电池的能量密度比锂离子电池的小,价格又比镍镉电池高,所以降低材料成本、提高产品性能是 Ni-MH 电池可持续发展的重要保障。

2.3.4 广东省 Ni-MH 电池生产的现状

广东省是电池生产的大省,有很强的科研和生产力量,拥有国内外知名的电池生产企业,如深圳比亚迪股份有限公司、江门三捷电池实业有限公司等, Ni-MH 电池的生产量居全国第一,年需要贮氢材料约 2000 t。普通型电池用贮氢材料目前主要由北京京峰航、厦门钨业、宁波申佳以及广东中山天骄、四会达博文等公司提供,动力型电池用贮氢材料目前基本从日本进口。广州有色金属研究院在广东省科技厅的大力支持下,已开发出低成本、高性能的贮氢材料。普通型电池的比容量达 $330 \text{ mA}\cdot\text{h/g}$ 以上,动力型电池 7C 放电 361 次比容量仍有 $216 \text{ mA}\cdot\text{h/g}$,基本达到了日本产品的水平。

3 结 语

我国虽然是稀土大国,但还不是稀土强国。无论是在装备水平、产品质量和品种方面,还是在专利拥有量、高附加值产品以及高新技术领域应用等方面都与国外先进水平有一定的差距。我国稀土行业的整体经济效益还很低,其重要原因是没有真正把技术创新作为发展稀土产业的原动力,表现为技术创

新不够,创新力度不大。

虽然,近二十年来,我国稀土在高新技术领域的研究开发和产业化方面做了大量工作,并取得了很大成绩,一些产品的主要性能达到或接近世界先进水平,但仍然存在一些问题,主要是在高新技术材料研究方面仿制多,自主创新少,缺乏具有自主知识产权的项目。因此,我们现在发展稀土业的重点是加强稀土在高新技术应用方面的研究与开发,加强基础理论研究,产、学、研相结合,开发具有自主知识产权的技术和产品并尽快产业化,促进国民经济和高新技术的发展,把资源优势转化为经济优势。

参考文献:

- [1] 张宏江. 电子信息产业与稀土产业的关联[J]. 稀土信息, 2003, (6): 4-12.
- [2] 罗阳. NdFeB 磁体市场的大趋势[J]. 磁性材料及器件, 2002, 33(1): 10-17.
- [3] 国家计委稀土专家组. 对我国稀土产业可持续发展的建议[J]. 稀土信息, 2003, (2): 2-7.
- [4] 熊家齐. 稀土发光材料的发展变化[J]. 稀土信息, 2003, (5): 6-12.
- [5] 梁贞. 2001 年全国荧光灯畅销市场调研报告[J]. 中国照明电器, 2003, (3): 6-11.
- [6] 刘行仁. 我国稀土发光材料科学技术的发展与展望[J]. 稀土信息, 2002, (12): 2-5.
- [7] 陈占恒. 稀土新材料及其在高新技术领域的应用[J]. 稀土, 2000, 21(1): 53-57.

Application of rare earth in the new and high industry and current situation of RE material production in Guangdong province

XIAO Fang-ming, CAO Fu-kang

(Rare Earth Metallurgy Research Department, Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: The paper discusses the application of rare earth in the new and high industry in China and development situation of RE material production in Guangdong in recent years. Some problems existed in Chinese RE industry are pointed out.

Key words: rare earth materials; rare earth industry; application