

绕组线行业发展十年回顾和发展趋势

上海电缆研究所有限公司 李福 张兆

一、行业发展十年回顾

绕组线是电机、电器、家电、电子电信、交通、航空等领域主要配套原材料之一。近10年来，随着国民经济的持续高速发展，绕组线在产量、品种、质量等诸多方面都有了很大的发展，成了世界上第一大生产国，基本满足了国内市场的需求。现就近十年绕组线的发展作一对比分析，并就铝绕组线的状况、进出口量的变化等一并概述，供大家参考。

1.1 绕组线下游市场

2010~2019年绕组线下游市场的产量规模列于表1：

表1 绕组线下游市场规模

下游产品	单位	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
交流电机	万 KW	23212	25188	25691	27914	30134	28159.48	27764.8	27918.19	26459.3	28733.03
变压器	万 kVA	134630	142977	143132	152323	170076	162299.57	166476	159000	170000	175600
电动工具	万台	22149	23641	25316	23981.81	25597.45	24611.71	25404.6	25597.2	25554.8	20224.5
汽车	万辆	1800	1842	1927	2212	2372	2450.33	2800	2901.54	2780.9	2572.1
手机	亿部	10.0	11.4	11.8	14.6	18.0	18.2	22.61	19.22	17.98	17.01
电冰箱	万台	6366.76	8699	8427	9341	9267	8992.8	9238.3	8670.3	7876.8	7904.3
空调	万台	11219.86	13912	13281.08	14333	15716.93	15649.8	16049.3	18039.8	20486	21866.15
微波炉	万台	6175	6692	6999	7085	7750	8774.92	9266.67	7723.7	7977.52	8498.96
电风扇	万台	15083	17400	14813	13908	15115	15728.21	16339.7	17629.3	18013.95	20366.57
洗衣机	万台	5183	6671	6741	7202	7114	7274.5	7620.9	7500.9	7150.7	7433
吸尘器	万台	6132	8317	8066	8478	8799	8703.67	8765.79	9892.3	10316.11	11214.5

2010~2019年绕组线下游市场对绕组线的需求列于表2：

表2 绕组线下游市场对绕组线的需求

下游产品	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
交流电机	232129	251884	256913	279144	301344	281594.8	277648	279182	264593	287330
变压器	390000	428931	429397	456969	510229	486898.7	499428	477000	510000	526800
电动工具	80900	118207	126583	119909	127987	123058.6	127023	127986	127774	101122.5
汽车	90000	92094	96359	110584	118615	122516.5	140000	145077	139045	128605
手机	1497	1710	1770	2190	2646	2675	3323	2822	2640	2497
电冰箱	44567	60894	58989	65384	64873	62949	64668.1	60692	55137.6	55330.1
空调	190737	236513	225778	243661	267188	266046.6	272838.1	306677	348262	371724.6
微波炉	49401	53537	55996	56677	62001	70199	74133	61599	63623	67991.7
电风扇	37700	43491	37026	34771	37787	39321	40843	44073	45035	50916
洗衣机	22103	28452	28752	30716	30342	31026	32503	31990	30496.5	31700.5
吸尘器	30658	41585	40333	42390	43998	43518	43830	49461	51580.55	56072.5
以上共计	1169692	1357298	1357896	1442395	1567010	1529803	1576243.2	1586559	1638186.6	1680089.9
总需求 (万吨)	124.1	141.6	137.3	147.2	159.13	156.8	164.9	168.3	173.3	177

从表 1 的数据可以看出,绕组线用量最大的交流电机和变压器的产量在 2014~2019 年间波动较小。但随着我国国民经济的不断发展,人民生活水平和购买力的不断提高,家电产品开始从普及型消费向结构型消费转变,高端智能,健康节能,时尚的特点在家电产品上显现突出,促使了家电产量的增加,根据国家统计局数据,2019 年家电业完成主营业务收入 1.53 万亿元以上,比上年同期增长 4.31%。2019 年家电出口额 709.2 亿美元。目前,中国是全球最大白色家电的生产基地,约占全球白色家电产能的 60~70%,其中空调和微波炉占全球产量的 80%左右,冰箱和洗衣机占 50%左右。小家电产量占全球 80%左右。电动工具出口量达 80%以上。由于汽车行业与家电行业的持续增长,因此绕组线行业这 10 年总量还是逐年增长(见表 2),2019 年比 2010 年的总量增长了 42.6%。但是需求的增长比例是有所波动的。应该说,绕组线行业已过了高速增长期,步入成熟期,增速持续放缓。表 2 列出的总需求均以铜绕组线为基础计算。从表 2 的数据分析,近十年电机、变压器用绕组线的占比在 45~51%,电动工具用线占比约为 6.0~9.2%。汽车用线占比为 6.5~8.6%,家用电器用线占比为 30~35%,其它为 2~5.9%。总的说各领域的绕组线用量占比有所波动,但还算平稳。

1.2 铝绕组线的发展

从“十一五”期间开始全球铜价大幅上扬,一直居高不下,铜铝的价格差直接刺激到下游制造业“以铝节铜”的持续发展。

铝绕组线与铜绕组线的优势主要体现在以下方面:

(1) 铜和铝的价格存在着较大的差距,铝线在使用成本上有较大的优势,据估计,同样的电器,使用铝线比使用铜线的成本低 30%。

(2) 对绕组线的生产企业来说,铝线可以大大降低流动资金的占用量,降低财务成本。资金周转比铜线产品来得快。对整机企业而言,也是如此。

(3) 铝绕组线生产所需技术含量相对较高,产品利润率较高,能给生产企业带来较好的经济效益。

(4) 铝的比重只有铜的三分之一,因此铝绕组线可以实现电器产品轻量化,从而减少运输成本。

但由于铝绕组线导电性能、机械强度都比铜线差(见表 3),铝绕组线目前主要应用于那些间歇性运行和功率较低的电气设备中。

表 3 铜和铝特性比较

单位:万吨

参数	铝	铜
密度 g cm^{-3}	2.27	8.89
电阻率 $\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$	0.02740	0.01724
抗拉强度 MPa	68~107	215~265
伸长率 %	≥ 8	≥ 20
熔点 $^{\circ}\text{C}$	660	1084

从表 3 中可以看出虽然铝的密度比铜的小了 3.9 倍,但电阻率却大了 1.6 倍,加上抗拉强度、伸长率和熔点等均比铜差,因此在铝线的选用上、加工工艺的控制上均需考虑到铝线的特性,综合平衡,铝线对铜线的替代计算比率不会超过 2,故而在后续的计算中均以此为依据。

协会于 2013 年对业内主要的铝绕组线生产企业进行了专项调研,12 家有效数据企业的总产量 2010 年、2011 年、2012 年分别为 50648 吨、56109.7 吨、68210.0 吨。另据《中国漆包铝线的现状和发展》文章提出 2013 年为 7.5 万吨,2014 年预测为 8 万吨,2015~2019 年为预测数据(见表 5)。

1.3 进出口状况

我国是绕组线的生产大国，产量世界第一，近几年发展很快，不但满足了国内的需求，同时也有了一定的出口，到 2009 年我国绕组线产品的出口量首次超过进口量，近几年绕组线产品贸易顺差继续扩大，见表 4。

表 4 绕组线进出口量

单位：万吨

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
出口量	7.09	8.03	8.19	10.06	12.09	12.7486	12.96	14.23	15.55	14.36
铜制绕组线	5.26	5.13	5.36	6.49	7.6	7.1548	6.8	7.04	7.3	6.78
其他绕组线	1.83	2.9	2.83	3.57	4.49	5.5938	6.16	7.19	8.25	7.58
进口量	6.2	5.1	4.51	4.34	4.33	3.7072	3.46	3.73	3.39	2.617
铜制绕组线	6.09	4.97	4.42	4.25	4.21	3.5892	3.32	3.56	3.22	2.49
其他绕组线	0.11	0.13	0.09	0.09	0.12	0.118	0.14	0.17	0.17	0.127

1.4 铜、铝绕组线总的生产量

考虑到铜、铝绕组线下游产品的需求量，进出口量和铝线替代量，计算得出历年铜铝绕组线总的生产量。

表 5 行业历年铜、铝绕组线总的生产量

单位：万吨

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
铜绕组线总生产量(铜绕组线需求-铝线的需 量(不含出口)的 两倍+铜绕组线 的进出口差)	113.14	130.538	124.598	134.44	146.52	142.3556	149.38	151.78	155.38	157.29
铝绕组线总生 产量(铝线的需 量+铝线的进 出口差)	6.7848	8.381	10.561	11.98	12.37	14.4758	15.52	17.02	19.08	19.453

1.5 主要生产企业和区域分布情况

根据能收集到的绕组线生产企业 22 家（铜陵精达、冠城大通、长城电工等）和漆包线漆生产企业 13 家（上海晟然、艾伦塔斯、新赛特、四达等）的历年产量，可以看出绕组线历年的生产量的波动是客观存在的，是符合下游产品的需求，也符合国家经济的发展大气候。行业经过近十年的整合、重组和发展，年产量规模在 20 万吨以上的企业有 1 家，年产量 5~10 万吨的 7 家，2~5 万吨的企业数约 6 家。可以看出，行业的规模生产已经形成，而且有相对集中的趋势。另外，漆包线漆的生产企业也相对的集中，由于环保等原因，关停了几十家漆包线漆的生产企业（2002 年调查有 45 家企业）。

近十年来绕组线行业的发展，有部分企业独立上市，也有部分企业通过兼并、重组、整合抱团上市，现将已收集到的若干上市公司的绕组线（漆包线）近几年的营业收入摘录列于表 6。由于铜价的波动，因此很难对营业收入评论，但总的来说，14 家企业的数据总体都是上涨的。

表 6 上市公司年报摘录电磁线（漆包线）营业收入

单位：亿元

NO	公司	2015	2016	2017	2018	2019
1	冠城大通	26.48	26.18	33.5	35.41	34.43
2	百利电气-苏州贯龙	4.74	4.38	5.69	6.37	7.3
3	精达股份	51.96	58.44	84.41	87.66	86.66
4	格力电工	19.45	27.5	77.84	198.60	374.87
5	盈峰环境：	20.81	21.66	27.82	28.57	34.34
	安徽威奇	/	/	4.91	5.38	4.47
	广东威奇	9.76	9.66	12.37	12.54	12.51
	辽宁东港	/	/	10.54	11.06	10.69
6	贤丰控股（微细线）	8.19	8.74	11.64	9.69	9.50
7	中超控股（电磁线）	8.42	9.98	12.16	13.65	9.08
8	金杯电工（电磁线）	7.5	5.57	7.18	8.66	9.79
9	露笑科技（漆包线）	10.9	11.82	16.12	16.65	15.29
10	经纬电材（电磁线）	5.02	4.94	5.16	5.23	5.32
11	长城科技	28.9	32.29	45.84	49.79	48.89
12	统力电工	8.95	8.57	10.26	11.23	12.93
13	金田铜业	22.47	22.11	33.27	38.24	38.58
14	赛特电工	/	/	/	/	3.91
	合计	223.79	242.18	370.89	538.73	690.89

我国绕组线行业经过下游产业发展需求的推动，技术发展的需要，行业通过技术引进、消化吸收和自主研发，已经形成了地区性的产业规模优势。浙江、广东和江苏三省绕组线产量分列全国前三位，三省产量合计约占全国产量的近七成。见表 7。

表 7 各省份主要生产企业及占比

省份	主要生产企业	占比约
浙江省	长城、金田、露笑、洪波、先登、益利素勒、三利、华尔达、郎立、应利成、畅达、五谷铜业、技鸣、中磁、三行、天洋、华高、诚峰、舜江、迪贝、洪磊、三星等	25~27
广东省	格力、威奇、益达、新隆、蓉胜、台一、太平洋、大亚、莱欣、格兰仕、奥维、华冶、天顺、松田、昌发、恒业、万宝、金雁	19~20
安徽省	精达、铜陵有色、天威、兢强	11~12
河南省	华洋、华宇、汇丰、双环、黄洋、云波、辉县、环球、永兴	5~6
江苏省	巨丰、统力、锡州、迅达、盛宝、新的、神舟、双宇、华氏、埃塞克斯、巨峰、华电、苏云、柯尹儿、友方	17~18
福建省	冠城大通	4
上海市	裕生、杨行、申茂、崇明特种、敏桦、友拓、鼎强、亚洋	3
辽宁省	宏远、东港、万兴达	2
江西省	博能上饶线材、江西铜业、圣达威	1~2
四川省	西南电工、君典、金瑞	0.5
山东省	蓬泰、汇龙、赛特、迪赛电机	2
其它		5~6

近十年来绕组线行业的市场形势较好，在产量上得到了持续的增长。行业近年来所面临的刚性的节能与环保压力越来越大，同时，劳动力成本上升，人员流动大、用工难，生产过程的精确控制和产品品质的严格管控等问题日益凸显。近几年来，行业重点在节能，环保方面做了大量工作，企业进行了大量投入和改造，节能减排与环保取得的效果十分显著。低能耗、低排放漆包机的开发成功，给行业的发展带来了福音。但要建立和保持高效的环保措施，满足绿色制造的发展需要，还必须要做到由点到面的发展与推广工作，必须使经营者们在长效与成本方面继续寻求合理、有效的平衡。行业中要继续加强制线厂、制漆厂与设备厂间的合作与协调，把节能与环保方面的工作做得更好。近几年，绕组线行业在智能制造、自动化生产和设备改进方面也有所发展，漆包机的收线采用机械手操作技术已日趋成熟，漆包线的智能化包装和输送也已进入了推广应用期。这将有利于行业降低用工成本，一定程度上解决用工难的问题。但绕组线设备制造厂在提高智能制造方面仍需要继续加大运用信息技术、网络技术以及大数据分析技术，不断提高生产过程自动化、智能化和精确控制，确保产品质量严格管控，以促使成品质量的提高和稳定性飞跃发展，使我国绕组线行业不仅是产量大国，也是产品高质量强国。

二、绕组线行业现状

从普通绕组线的总体量上来说，不管是漆包线还是纸包、组合导线、换位导线都是供大于求，尤其体现在中国市场上。或者说，即使全世界其他国家全部都不生产，仅仅中国的产能就可以满足整个世界的需求。对于高端的、特殊应用的产品，如特高压直流输电、新能源汽车电机等，在一定程度上又体现出供不应求的状况，需要进口。

国内漆包绕组线的生产厂家中，产能超过 20 万吨的企业有 1 家，产能超过 5 万吨的企业已有 10 余家左右。绕包线产能主要集中于几家专业绕包线厂家，产能约有 8 万吨左右。设备主要来源于国内制造或自制，近些年来欧洲制造的高精度绕包机和铜线精轧机也有引进。

中国是绕组线产品加工的主力军，由于积极的进行设备引进和改善，积极研发加工工艺，产品质量水平进步飞快。尤其是目前中国已经不仅仅是绕组线加工大国，不管是产量还是质量都有引领绕组导线产业的趋势。当然，这里面也不乏有因为产品加工利润微薄，且对环境有一定污染的原因，欧美其实是有选择性的剥离这样的产业。

作为新兴市场国家——印度，进步是巨大的，在很多市场领域有和中国分庭抗礼的趋势。这主要得益于印度本国强大的电力市场需求的催生和刺激。

从长远来看，中国和印度会占领绝大部分的绕组导线市场需求，尤其是世界新增的市场需求，但是由于绕组线产品的运输费用高，交货周期短要求的柔性生产，美欧的导线也将以各自所在地的区域供应为主。国内企业也纷纷到国外市场使用所在地建立工厂，近距离或者零距离直入市场。

2.1 产品现状

目前中国已经不仅仅是绕组线加工大国，不管是产量还是质量都有引领绕组线产业的趋势。但在特种产品、特殊规格方面与国际先进水平仍有差距，在产品技术研发方面缺乏动力。

我国的漆包圆线在产品性能技术上，除特殊品种、规格外，基本上与国际先进水平同步，可以满足国内所有行业装备制造的需要，而且这些装备产品大量出口到欧美发达国家也不存在问题，作为装备产业链的一环，完全满足配套需要。

2.1.1 产品水平及国际地位的比较

与国际先进技术水平比，我国绕组线行业在有些方面还存在着一些差距，其表现为：

(1) 在产品品种上，虽然所有的漆包圆线品种我们都可以制造，但我们热级分布面散、低热级的产品占多数，高热级的比例较低。欧美国家已经完全淘汰了 130 级产品，155 级大约只占 10%，180 和 200 级约占 85%，220 级以上约占 5%。而我国仍然大量生产 130 级聚

酯和聚氨酯产品，约占总量的 30%；155 级约占 25%，两者合计达到 55%。而 180 级及以上热级的约占 45%，其中 220 和 240 级的占比不到 0.5%。

(2) 在规格上，导体标称直径小于 0.03mm 的漆包铜圆线高速绕线性能与国际先进水平有比较大的差距，小于 0.012mm 的产品我们不能批量生产，还需要依赖进口。而大于 3.50mm 的漆包铜线和漆包铝线，我们的抗机械损伤能力，绝缘稳定性上也存在一定的差距。

(3) 核电、水电、风力发电机和轨道交通电机早期大多是国外引进的技术，绕包线的技术要求接近国际水平。比如国内外核电发电机都采用漆包涤纶玻璃丝烧接线，国内外轨道交通牵引电机大都采用耐电晕聚酰亚胺薄膜烧接线等。这些产品国内外技术要求和水平几乎没有区别。

大型工业电机国内大多采用比较传统的绝缘厚度较厚的玻璃丝云母带或玻璃丝亚胺薄膜复合绕包线，而国外则采用薄绝缘系统，主要使用纯云母绕包线。

(4) 在漆包小扁线方面，日系企业较早介入漆包小扁线的研发及生产，对原材料及生产工艺的研究有很深的技术沉淀。国内在近年介入新能源汽车用小扁线的研发及生产，和国际知名企业的最大差距在于基础原材料的研究，特别是绝缘漆的研究。根据小扁线的高要求，绝不是单一绝缘漆可以满足，需要将几种材料的特性进行组合，获得更好的效果。在耐电晕特性及 PDIV 特性上，这是行业需联合原材料厂商共同研发的项目。

(5) 超导卢瑟福绕组线是以若干根数的超导圆线按照一定的节距绞合形成的双排扁平电缆。具有载流能力强、机械强度高、绕线结构紧凑、线圈环流损耗低等优势，是制造超导磁体的关键材料，用于高能物理研究粒子对撞机等大科学工程装置及其它领域高端装备的磁体。美国牛津和德国布鲁克较早介入超导卢瑟福电缆的研发。目前，我国超导卢瑟福电缆的性能指标已达到了较高的水准，NbTi、Nb₃Sn 产品的临界电流衰减率与 RRR 值等都已跨入世界先进行列。预计超导卢瑟福电缆将有先百吨级后千吨级的需求量。由于该产品使用面窄，后续需求小幅上升。

(6) 在产品研发技术水平上，我们存在的差距更大，研发的技术人才严重缺乏，研发资金投入不足导致我们开创性、引领性产品极少，仍然处在跟进产品技术的研究。

2.1.2 产品质量状况、质量水平和国际地位

我国的漆包铜圆线在市场质量表现上，已能够满足绝大部分的用户需要，并已有一定量的出口。但与国际先进水平的差距主要集中表现在质量稳定性和批次间的性能一致性上，具体表现为：

(1) 低热级（155 及以下级）质量稳定性不高，高热级的产品虽与国际先进水平有差距，但差距很小。

(2) 规格在 0.05mm 以下和大于 2.00mm 的质量稳定性差距大，在 0.10~2.00mm 之间的差距比较小。

(3) 复合绝缘绕组线导体尺寸精度和表面质量劣于国外。欧美的绕包设备机械精度和电气控制都高于国内，薄膜绕包的叠包率控制精度和绕包张力控制都好于国内。综上所述原因，国内的绕包线虽然能够满足 IEC 等国际标准，但在质量稳定性方面与欧美国家有一定差距。

(4) 因不同的行业产品制造和运行特点不同，对漆包圆线的性能要求存在差异。国际先进企业对客户需求识别能力强，分类制造和管理能力强，客户适配程度高。而我们绝大多数企业没有这个能力，总是以一个产品包天下的制造经营，客户适配度比较低。

(5) 过度的成本竞争，导致材料变更随意，装配功能不全，工艺流程简化和随意变更，过程管理资源投入不足，人力资源培训不足等等，由此导致产品质量稳定性差。

2.1.3 国内绕组线用材料与国际水平比较

绕组线用原材料主要有铜/铝导体、绝缘漆、绝缘纸、聚酯网带、聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜、耐电晕薄膜等。国产材料基本能满足其技术要求，根据产品特性需要而选择的进口材

料有芳纶纸、明士克绝缘纸、魏德曼耐热纸、杜邦 410 型纸、杜邦耐电晕薄膜等，以满足客户不同的耐高温、高机械强度、耐电晕等要求。

(1) 导体

长期以来，绕组线导体以铜、铝为主。虽然做过石墨烯、纳米材料的改革工艺尝试，但是步履艰难，没有突破，都改变不了铜导体的使用特性和导电率的提高。在铜领域，中国的铜坯料产品质量是基本可以满足实际需求的。

铜导体方面，国内只生产 8mm 连铸连轧杆，没有 10mm 及以上的产品。导致大截面铜线只能使用上引铜杆通过连续挤压工艺生产，效率低、损耗大。此外，欧美主要使用自动化程度高的精轧机生产裸铜线，导体致密性好，尺寸波动小。国内主要采用连续挤压或传统拉丝机，需要使用模具控制尺寸，导体尺寸精度和表面质量劣于国外。

(2) 绝缘漆

中国目前已经是生产大国，绝缘漆生产的量很大，但是国内企业比较分散，研发能力很有限或者几乎没有。满足常规漆包线的生产没有问题，但是在特种绝缘漆领域，虽是在国内生产的，但是部分核心的绝缘树脂和助剂是外资提供的，这也是一个不可忽视的风险。

更重要的是，国内的环保风暴，将让国内的绝缘漆生产企业愈发生存困难，整体来说，绝缘漆行业的供应链是非常脆弱的。

(3) 绝缘纸

特种绝缘纸，由于行业比较小，在国内的供应链比较薄弱。主要纸浆基本来自于北欧，主要的绝缘纸类型基本来自于日本、欧洲和美国，属于中国人自己品牌的特种纸几乎没有。更可怕的是，由于行业领域很狭窄，大家对该产业不是很重视，行业资金流入也很有限。根据产品特性需要选择进口材料有芳纶纸和耐热纸等，以满足客户不同的耐高温、高机械强度等各种要求。

(4) 云母带

国外多数使用煅烧的云母带作为绕包线材料，而国内绕包线用云母带主要是非煅烧云母，相比煅烧云母，杂质多，弯曲性能差。

(5) 聚酰亚胺薄膜

国内聚酰亚胺薄膜产量不低，但主要是流延工艺生产的单向拉伸聚酰亚胺薄膜，和国外的双向拉伸薄膜相比，在厚度均匀性、机械性能、电气性能都有不少差距。带耐电晕功能的特种薄膜国内也有生产，但综合性能和杜邦公司同类产品尚有差距。

(6) 玻璃丝包线浸渍漆

国内生产的玻璃丝包线与国外同类型玻璃丝包线相比，在技术指标上如：柔韧性、击穿电压等有较大差距，主要由浸渍漆导致。

2.2 制造技术

漆包生产设备方面，低能耗低排放高速拉丝漆包机的开发成功和应用，已使我国在这一领域走在国际前列。但量大面广的还应用着多头的中、低速漆包机，还待业内管理者不断进行技术改造。以提高漆包线整体制造技术。另随着环保的要求的漆包线行业的 VOCs 的排放已引起了环保部门的高度重视，在 VOCs 的有组织排放方面漆包机技术改造上做了大量工作，已能基本达标，但无组织排放问题现在较为突出，应引起高度关注。

绕包生产设备方面，传统低价绕包设备数量依然很多，但有些电磁线制造厂商利用自己的技术优势和产量优势已经开始自制绕包设备，而且这些自制设备在很大程度上推进了绕包线的发展和提升。国内外绕包设备技术水平对比如下：

2.2.1 国外绕包设备的现状

通过近十年对德国 LUKAS、意大利 WTM、意大利 GLOSER、英国 RIDGWAY 公司的公开资料和所见到的绕包设备分析，基本情况如下：

受绕包工艺和操作方式以及设备成本的约束，设备的整体进步并不是很大，绕包极限转速依然为同心绕包 2000~2500 转/分钟左右、偏心绕包 1000~1200 转/分钟左右；设备的自动化程度进步不大，就设备本身而言，传动部分现在基本为伺服电机驱动，大量同心绕包头的张力部分为伺服电机控制，绕包精度和设备的可靠性进步明显。设备的故障率有所下降；视觉系统的引入，对绕包质量的监控已经实现全程监控，并实现闭环控制、自动调节；各种高精度的传感器（如激光测距仪）的使用，使得操作更加人性化，特别体现在绕包张力控制和收排线方面；随着互联网的进步，设备主要参数已经可以上传到工厂的控制终端，并实时监控生产情况；对于设备故障的处理已经可以实现远程判断，并对设备的控制程序进行修改。

2.2.2 国内绕包设备的现状

大量成熟电控的使用，特别是伺服电机的使用，使得设备的调节范围更宽，精度更好，速度更快；偏心（半切式）绕包头实际工作转速为 500~800 转/分钟；各种机械机构（绕包头、收放线、牵引）目前还是仿制为主，很少能看见独立设计的，仿制水平也参差不齐；在线监测部件（视觉系统等）已经开始使用，但未发现有能够实现闭环控制的；使用互联网实时通讯的设备已经出现。总体来说，绕组线生产设备基本可以满足目前各类型导线的加工制作需求。

2.3 检测水平

我国漆包线行业的试验方法以及产品性能标准等效采用 IEC 系列标准，试验用的仪器及装置基本都是国内制造，并与国际先进水平同步发展。

国内绕组导线的试验方法已达到国际水平，完全能满足西门子、ABB、东芝、GE 公司等世界 500 强企业的应用要求。特别是国内的在线监测被行业所重视，已逐步作为生产必备环节来对待，其形式和方法均在企业中广泛的推广应用，利于提高产品质量和稳定性。

2.3.1 产品标准水平

我国漆包圆线全面采用 IEC 标准，由于装备产品出口的需要，大部分产品需要做 UL 认证，采用美国的 NEMA 标准也是普遍的。同时，国际先进的制造业所需要的漆包圆线绝大多数实行本地化采购，先进的技术标准和技术指标的先进性促进了国内配套企业标准技术水平的整体提升；制定对应的内控标准满足需要。所以，我国在漆包圆线的标准采用和执行的水平都达到了国际先进水平。

国内的通用绕包线国家标准主要参照和等同于 IEC 标准，与国外差距不大。复合绕包线由于材料组合灵活，产品种类繁多，多数产品没有统一标准，国内外电机企业多自行定制标准，技术水平因企业能力而参差不齐。

2.4 当前主要存在的问题

2.4.1 环境及环保问题

(1) 废气问题

长期以来漆包线行业在环保排放上压力很大，在日益刚性化的绿色环保要求的大背景下，漆包线生产如何满足环保排放的要求成了行业亟待解决的痛点，特别是在废气异味的处理上已是行业中久攻不下的问题。

在废气进一步处理上还存在：

- ①氮氧化物处理技术及使用上没有普及，远落后于欧美国家；
- ②油漆溶剂的质量差常常导致催化剂失效而使催化燃烧不完全，排放不达标。

(2) 废液问题

废液处理包括拉丝乳油、废油漆溶剂和废水。规模大的公司采取自备的蒸馏分离装置，将油脂分离（约 5%）交由专业公司处理，分离的中水可以循环再利用。规模小的公司委托环保指定的专业公司处理。废油漆溶剂，绝大多数企业采取专业的蒸馏分离技术，分离的有机溶剂再利用，少量的残渣通过焚烧处理。漆包圆线生产产生的废水均为冷却水，没有污染，

可以循环使用，也可以直接排放。由于废液处理成本比较高，规模较小的企业难以承担，可能存在处理监控的漏洞。

(3) 固体废物

漆包线产生的主要固体废物有废铜（铝）、成品包装物、油漆包装桶和浸漆毛毡等。对于废铜（铝）和成品包装物都是可以回收使用的物资。为了降低成本，各个企业都实施了回收再利用处理。而油漆包装，我国仍然大量采用桶包装周转使用，但破损处理仍然没有有效的处理措施，造成一定的污染。若积极采用槽车转运和集中供漆，可以大幅度减少桶包装的使用。

浸漆毛毡只能采取集中焚烧处理，国际上，积极采用模具涂漆，微细线采用泰富龙毡延长使用寿命。如此大幅度减少毛毡的使用量，但我国漆包圆线模具涂漆的使用量不到 60%，在这个方面需要推进。

2.4.2 两化融合短板问题

绕组线生产过程的信息化近几年已经得到很大发展应用：企业管理的数字化系统如 ERP、MES、OA、HR 等管理平台得到了广泛的应用。拉丝和漆包设备也大量采用数字控制操作系统平台，并通过预留接口与企业内部管理系统连接，可以实时采集，存贮生产运行信息。也可以通过互联网异地查阅生产运行状况，下达作业指令。可以采用的信息技术已经和国际先进水平同步，但我们还存在以下不足：

(1) 信息化大量应用的只是在少数规模大的企业，中小企业使用的很少。

(2) 信息数据采取查阅，记录使用的很好，但在数据归纳分析，指导管理不断提升上还存在严重的不足。

(3) 只注重于生产运营的信息化，在能源管理，决策管理，研发管理等方面的信息化还存在很大的差距。

国内绕组线生产在智能化上还远远不足。两化融合大家都在做，但对这项工作的潜在认识不足。这不是一个独立的事件，是新的手段应用方式，这是一个系统管理工程，没有现成的软件照搬，只有结合行业的特点与企业实际运营情况，脚踏实地的探索出企业独一无二的两化融合之路。

2.4.3 员工技能问题

(1) 因生产三班运转和环境温度高，拉丝漆包岗位技能作业人员的流动量大，年龄老化导致整体素质不高。企业因人力成本压力普遍不愿加大培训投入，导致这个行业已经开始出现用工荒，未来这个行业的用工形势更加严峻。此外，企业的两化融合的发展，数字控制及管理技术的应用，更需要高素质高技能的作业工的加入。

(2) 绕组线作为比较小而专的行业，全国没有专门的院校培养高层次人才，导致全行业能独立开展研发的技术人员屈指可数。而大多数企业的工艺技术人员以经验师傅代替，导致整个行业新品开发和新技术应用能力不足。

(3) 高素质的管理人员比较缺乏。现代企业职能专业化管理只在少数规模大的企业实现，其它的企业都是生产队长派工和监工模式。企业管理能力严重阻碍了这个行业追赶国际先进水平的步伐，也影响了这个行业发展的前景。

三、绕组线行业的技术发展趋势

3.1 绕组线产品国际发展趋势

国际绕组线产业发展趋势主要有产品的细分和材料技术的进步。欧美、日本企业逐渐不做传统意义上的单一绕组线产品，而转为专做新能源、光伏绕组导线等产品。

导体加工方面，由传统的拉丝为主，逐渐转为挤出、精轧工艺，这点在扁线的生产上尤为突出。

虽然漆包线漆的技术没有全新的突破，但在已有品种的改良与提升方面一直没有停歇。

一些改良品种不断取代老品种，使漆包线性能得到提升。部分产品实际形成了一种新趋势，如耐电晕漆和自润滑漆的广泛应用，提高了漆包线的适用性。全新的漆包线漆与其应用方法的探索也一直没有止步。总有那些执着的公司与投资人，以及技术人员，坚持不懈地追求创新。

有一些改良纯粹因漆包线的技术进步而引起，例如随着小扁线技术的研究深入，漆包线漆向高柔性方面改良，一些老产品又焕发新机，如近些年聚酰胺亚胺重新得到重视，向提高固体含量与室温稳定型产品发展。

3.2 绕组线产品国内发展趋势

3.2.1 155 及以下的低热级产品消耗量逐渐减少直至被淘汰，180 及以上的高热级产品消耗量显著增加

聚氨酯将被淘汰 130 级，155 级产量已达高峰，180 级已经广泛使用并显著增量，200 级产品已经在进行应用验证。另外直焊性聚酯亚胺开始代替聚氨酯，以此满足严格的环保要求。

聚酯 130 级产量大幅度减少，最终将被淘汰。155 级的产量已经占主导。但 180 级油漆材料成本的降低，取代 155 级已成必然，特别是在 0.8mm 以上的大规格，国内已经用 180 级取代 155 级材料。200 级的聚酯已经作为复合结构的底层广泛使用。

180 级聚酯亚胺漆的使用量已经是漆包圆线的主导产品，而且将代替 155 级聚酯，占据漆包圆线最大量的地位。直焊性聚酯亚胺产量也将增加。

200 级的聚酯或聚酯亚胺复合聚酰胺酰亚胺作为全能型漆包线，应用面更加广泛。欧美约 60% 的产量为这个产品，而我国只有 30% 的比例。随着油漆材料成本的降低，产品可靠性要求的提高，绝大部分的聚酯和聚酯亚胺产品都将被这个产品取代。

随着我国汽车、轨道交通、能源、采掘和智能制造业的快速发展，更高可靠性和安全性的要求提出，220 级的聚酰胺酰亚胺、240 级聚酰胺亚胺产品的产量将大幅度增加。目前产量比例不到千分之五。

3.2.2 单层绝缘结构大幅减少，多层复合绝缘结构占主导地位

由于单层绝缘材料的性能很难满足漆包线的加工和运行多样性需要，需要多种材料复合，发挥各种材料的优点。两种、三种及四种材料的复合构成绝缘结构是必然的发展趋势。如聚酰胺作外层复合聚酯、聚氨酯或聚酯亚胺；聚酰胺酰亚胺做外层复合聚酯、聚酯亚胺；聚酰胺酰亚胺打底，复合聚酯或聚酯亚胺，外再复合聚酰胺酰亚胺的三涂层等等都已经是广泛使用的结构。工艺装备技术的发展已经完全保证多种材料的复合。

3.2.3 相同的绝缘结构因应用行业差异而细分化

不同的行业因结构设计、制造工艺和运行的环境不同，对漆包线的性能有不同的要求。但用同样的绝缘材料组合，经过适当的结构调整和材料改性可以实现这样的要求。如对于 200 级聚酰胺酰亚胺复合聚酯或聚酯亚胺绝缘结构，用在空调和冰箱的压缩机行业，需要耐制冷剂的侵蚀和发泡；用在汽车行业则需要过度的整形，需要承受反复的过载和长久的高温老化；用在电动工具上需要高槽满率设计，需要承受高频次的堵转过载；用在大功率工业电机上需要多股并绕，手嵌整形，运行载荷频繁变化。这就需要调整漆膜的各个方面的性能来满足。这就形成了相同的绝缘结构的系列化来满足不同行业的需求。国际欧美企业对客户需求的识别能力强，在漆包线设计开始就进行系列化。而我国目前是一个结构通吃，性能匹配性差。国内具备漆包线设计能力的企业已经开始走这样的路线。这也是产品发展的趋势。

国内趋向于新能源电机、机器人用线圈；耐高温、高机械强度漆包扁线；半硬、耐热自粘绕组导线；超导卢瑟福系列产品及卢瑟福覆铝电缆。

3.3 绕组线检测和试验方面的技术要求

在绕组线的检测和试验方法方面，国内外提出了耐电晕测试、在线针孔检测以及耐冷冻

剂 R22 替代等新的要求。

耐电晕绕组线从发明到工业应用已有近二十年的时间,但作为耐电晕绕组线的核心技术要求耐电晕试验方法一直没有完整、统一的标准要求。2018 年国内发布了第一个绕组线试验方法 GB/T 4074.21《绕组线试验方法 第 21 部分 耐高频脉冲性能》。国际上,由中国提出,上海电缆研究所有限公司承接的 IEC 63263《耐高频脉冲试验方法》目前正处于制订阶段。

随着绕组线下游行业的技术进步,以及对产品品质的不断提升,对绕组线的针孔(标准允许的缺陷)性能提出了极高的要求,如零针孔的要求。在日本、美国等国家的推动下,IEC TC55 WG1 工作组开展零缺陷漆包绕组线标准研究,制订了部分产品标准。新的要求在于改变目前漆包绕组线针孔检测采取抽样试验的方法,改为在线检测,相关的试验方法、设备参数等技术仍在研究中。

全球范围内对环保的重视,推动了制冷机用绕组线在耐冷冻剂试验时所采用的 R22 试剂的替代研究。R22 作为制冷剂使用已有很多年的历史,但 R22 对大气中臭氧层的破坏,越来越引起各国的关注。找到合适的制冷剂,替代现有的试验方法是绕组线标准化研究的重点工作之一。