



中国航空发动机集团
AERO ENGINE CORPORATION OF CHINA

变压器的选型及应用

青岛云路

2022年11月11日

目录

CONTENTS

1

新能效标准解读

2

认识非晶合金

3

非晶合金产业发展现状

4

非晶合金产业发展趋势

5

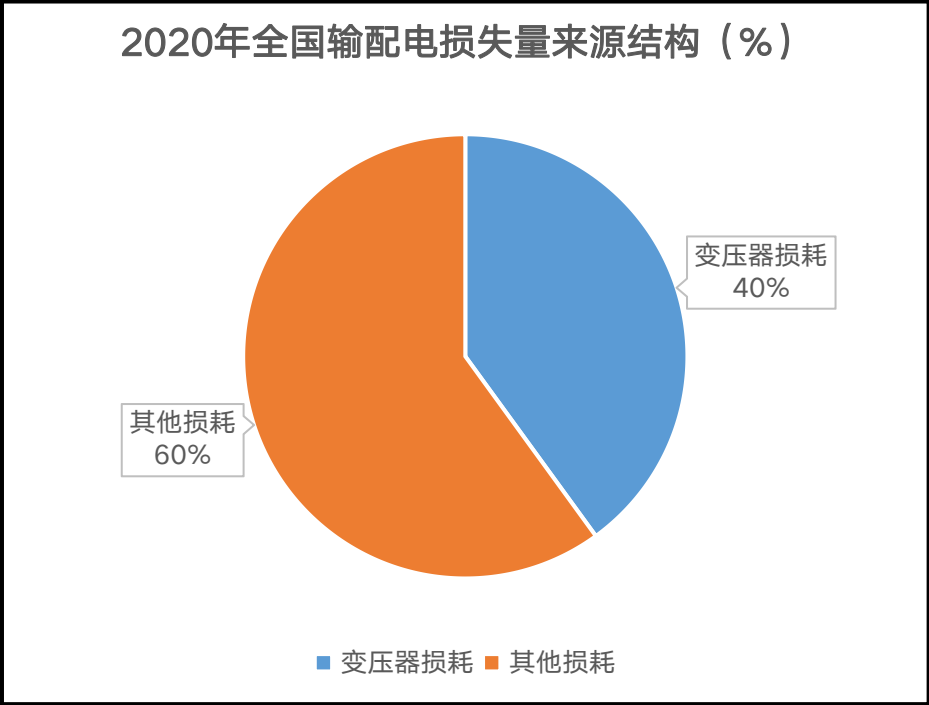
青岛云路简介



PART 1

新能效标准解读

- 1.1 变压器损耗
- 1.2 新能效标准变更历史
- 1.3 新标准下变压器型号标注
- 1.4 新老标准对比
- 1.5 新能效下非晶和硅钢标准分析



资料来源：工信部、市场监管总局、国家能源局

表3 2021年主要工业产品产量及其增长速度^[23]

产品名称	单位	产量	比上年增长（%）
纱	万吨	2873.7	9.8
布	亿米	502.0	9.3
化学纤维	万吨	6708.5	9.5
成品糖	万吨	1482.3	3.6
卷烟	亿支	24182.4	1.3
彩色电视机	万台	18496.5	-5.8
其中：液晶电视机	万台	17424.3	-9.5
家用电冰箱	万台	8992.1	-0.3
房间空气调节器	万台	21835.7	3.8
一次能源生产总量	亿吨标准煤	43.3	6.2
原煤	亿吨	41.3	5.7
原油	万吨	19888.1	2.1
天然气	亿立方米	2075.8	7.8
发电量	亿千瓦时	85342.5	9.7
其中：火电 ^[24]	亿千瓦时	58058.7	8.9
水电	亿千瓦时	13390.0	-1.2
核电	亿千瓦时	4075.2	11.3

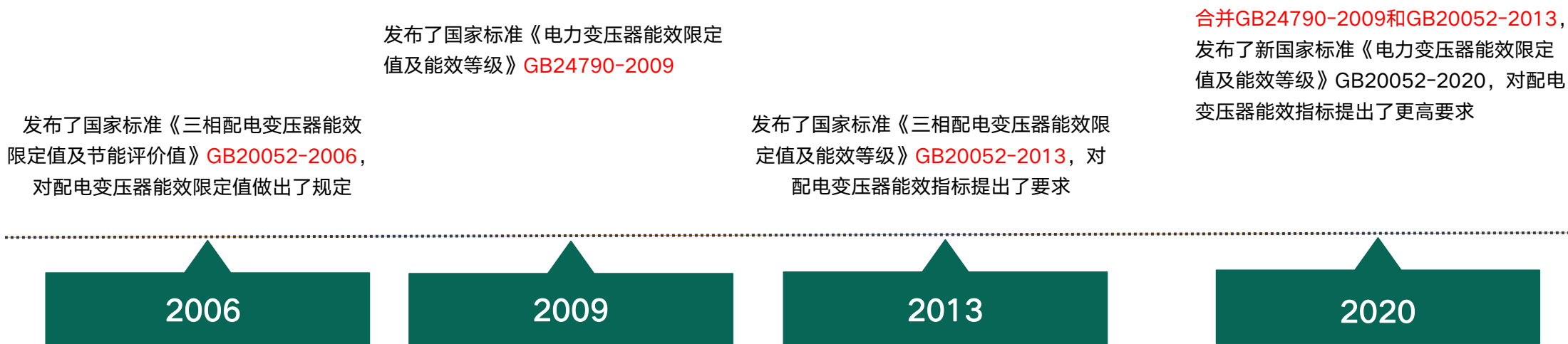
资料来源：国家统计局

⇨ 根据工信部资料显示，我国输配电损耗占全国发电量的6.6%左右，其中配电变压器损耗占到输配电损耗的40%。

⇨ 2021年我国总发电量为85342.5亿kWh，所以配电变压器损耗为2253.0亿kWh，相当于2.2个三峡电站全年的发电量（三峡电站2021年累计发电1036.5亿千瓦时）。由此会多消耗标准煤901.2万吨，增加二氧化碳排放2246.2亿吨。

“30碳达峰、60碳中和”：新政策 新机遇 新发展

国家高度重视配电变压器节能降耗，基本上能效等级**标准每7年一修编**，新版《电力变压器能效限定值及能效等级》GB20052-2020对变压器能效提出了更高的要求。



国家及地方各级“绿建标准”都要求应选择满足**GB20052能效标准的变压器**，既至少应选用符合**3级能效及以上标准的变压器**。按《变压器能效提升计划（2021-2023年）》通知，新增变压器中**75%以上应选择符合1、2级能效标准的高能效变压器**。

➤ 全国变压器标准化技术委员会2020年11月召开标委会会议，对**过渡期变压器编号**拟定了管理办法，现阶段可按此办法选择变压器（**管理办法试用期截止到 JB/T 3837-2016 修订版正式发布实施之日，估计今年修编**）。

2020 年标委会年会纪要

时间：2020.11.26~2020.11.29

地点：成都

b) GB 20052-2020《**电力变压器能效限定值及能效等级**》已经发布，但 JB/T 3837《变压器类产品型号编制方法》还未修订，为解决两个标准之间的矛盾问题，初步拟了《电力变压器损耗水平代号确定办法》（本办法试用期截止到 JB/T 3837-2016 修订版正式发布实施之日），具体内容见以下表 1~表 5：

表 1 10kV 级三相油浸式电工钢铁心无励磁调压配电变压器损耗水平代号

损耗水 平代号	系统标称电压 kV	空载损耗	负载损耗
13	10	符合 GB 20052-2020 表 1 中 3 级能效的规定	
20		符合 GB 20052-2020 表 1 中 2 级能效的规定	
22		符合 GB 20052-2020 表 1 中 1 级能效的规定	
注：表中范围以外的产品，其损耗水平代号按 JB/T 3837-2016 的规定。			

表 2 10kV 级三相油浸式非晶合金铁心无励磁调压配电变压器损耗水平代号

损耗水平代号	系统标称电压 kV	空载损耗	负载损耗
15	10	符合 GB 20052-2020 表 1 中 3 级能效的规定	
21		符合 GB 20052-2020 表 1 中 2 级能效的规定	
25		符合 GB 20052-2020 表 1 中 1 级能效的规定	
注：表中范围以外的产品，其损耗水平代号按 JB/T 3837-2016 的规定。			

表 4 10kV 级三相干式电工钢铁心无励磁调压配电变压器损耗水平代号

损耗水平代号	系统标称电压 kV	空载损耗	负载损耗
12	10	符合 GB 20052-2020 表 2 中 3 级能效的规定	
14		符合 GB 20052-2020 表 2 中 2 级能效的规定	
18		符合 GB 20052-2020 表 2 中 1 级能效的规定	
注：表中范围以外的产品，其损耗水平代号按 JB/T 3837-2016 的规定。			

表 5 10kV 级三相干式非晶合金铁心无励磁调压配电变压器损耗水平代号

损耗水平代号	系统标称电压 kV	空载损耗	负载损耗
15	10	符合 GB 20052-2020 表 2 中 3 级能效的规定	
17		符合 GB 20052-2020 表 2 中 2 级能效的规定	
19		符合 GB 20052-2020 表 2 中 1 级能效的规定	
注：表中范围以外的产品，其损耗水平代号按 JB/T 3837-2016 的规定。			

- 对比GB20052-2020和2013版，有几点应注意：
- 新标准变压器节能降耗**空载损耗降幅更大**，以**1250kVA**干变为例，变压器空载损耗**降低了约20%（硅钢带）和30%（非晶合金）**。
- 负载损耗方面对于硅钢1级能效变压器，新旧能效标准负载损耗要求相同、
 - 对于2级能效，新标准负载损耗降低了约10%，与1级能效相同；
- 1、2级能效的非晶合金，已要求与硅钢相同，1级的降低了约5%，2级的同样降了10%)。

GB20052-2020

額定容量 kVA	1 級							
	电工鋼帶				非晶合金			
	空載損耗 W	負載損耗 W			空載損耗 W	負載損耗 W		
		B	F	H		B	F	H
		(100℃)	(120℃)	(145℃)		(100℃)	(120℃)	(145℃)
1 250	1 205	8 190	8 720	9 335	455	8 190	8 720	9 335

GB20052-2013

額定容量/ kV·A	1 級							
	电工鋼帶				非晶合金			
	空載損耗 W	負載損耗/W			空載損耗 W	負載損耗/W		
		B(100℃)	F(120℃)	H(145℃)		B(100℃)	F(120℃)	H(145℃)
		1 250	1 505	8 190		8 720	9 335	650

額定容量 kVA	2 級							
	电工鋼帶				非晶合金			
	空載損耗 W	負載損耗 W			空載損耗 W	負載損耗 W		
		B	F	H		B	F	H
		(100℃)	(120℃)	(145℃)		(100℃)	(120℃)	(145℃)
1 250	1 420	8 190	8 720	9 335	550	8 190	8 720	9 335

額定容量/ kV·A	2 級					
	空載損耗/W		負載損耗/W			
	电工鋼帶	非晶合金	B(100℃)	F(120℃)	H(145℃)	
			1 250	1 670	650	9 100



新能效下（20052-2020）
10kV干式非晶合金变压器与硅钢变压器对比

	空载损耗	负载损耗
1级能效	低 62%	相同
2级能效	低 61%	相同
3级能效	低 61%	相同

➤ 按照标准，非晶变压器和硅钢变压器的负载损耗相同，非晶空载损耗远低于硅钢，按照测算在任何负载率下非晶都具有节能优势。

以1600KVA干式变压器为例，新标准规定标注方式如下：

能效等级	非晶变压器	硅钢变压器
三级能效	SCBH15-1600/10-NX3	SCB12-1600/10-NX3
二级能效	SCBH17-1600/10-NX2	SCB14-1600/10-NX2
一级能效	SCBH19-1600/10-NX1	SCB18-1600/10-NX1

新能效国标《GB20052-2020》下 10kV干式 2500kVA非晶合金变压器和普通型变压器损耗对比

能效等级	硅钢变压器			非晶合金变压器		
	空载损耗 W	负载损耗 W	一年总损耗 kWh	空载损耗 W	负载损耗 W	一年总损耗 kWh
一级能效	2080	15445	52195	840	15445	41245
二级能效	2450	15445	55480	1020	15445	42705
三级能效	2880	17170	62050	1200	17170	48180

全生命周期变压器运行电费计算公式

$$B = C \cdot t_h \cdot t_y (P_o + P_k L^2)$$

式中

B——变压器全生命周期损耗的电费，元；

C——电价，0.8元/kWh；

t_h ——全年运行小时数，8760h；

t_y ——运行年限，30年；

P_o ——空载损耗（忽略温度变化的影响），kW

P_k ——负载损耗（忽略温度变化的影响），kW

L——变压器负载率，50%

⇒按照国家标准非晶合金变压器的负载损耗和硅钢变压器相同，而空载损耗远低于硅钢。按照变压器的损耗计算方法，在任何负载率下，非晶合金变压器相对于同容量、同能效等级的硅钢变压器，都具有较大节能优势。

⇒且存在跨能效等级的节能优势，即在任何同容量、同负载率的情况下，非晶合金变压器的三级能效比硅钢变压器的一级能效更加节能、省电。

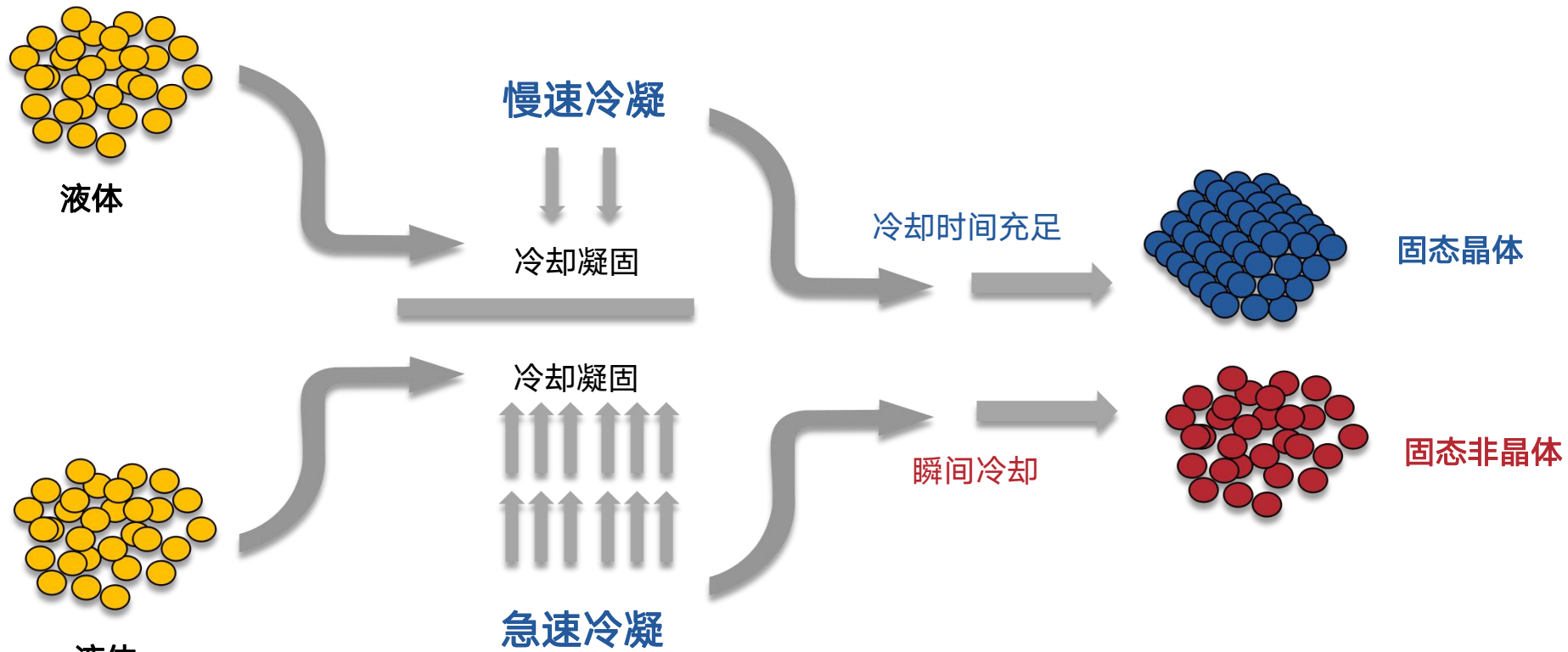


PART 2

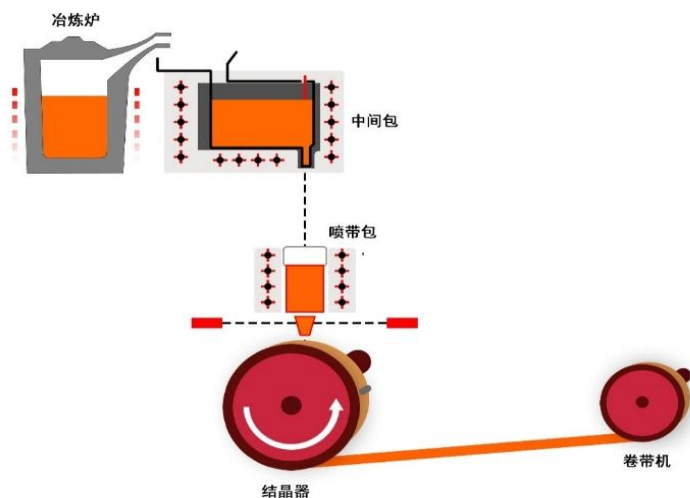
认识非晶合金

- 2.1 非晶合金如何形成的
- 2.2 非晶合金带材生产流程
- 2.3 非晶合金铁心制作流程
- 2.4 非晶合金变压器制作流程
- 2.5 非晶合金是节能环保材料

➤ 2-1 非晶合金是如何形成的？



非晶带材工艺流程图



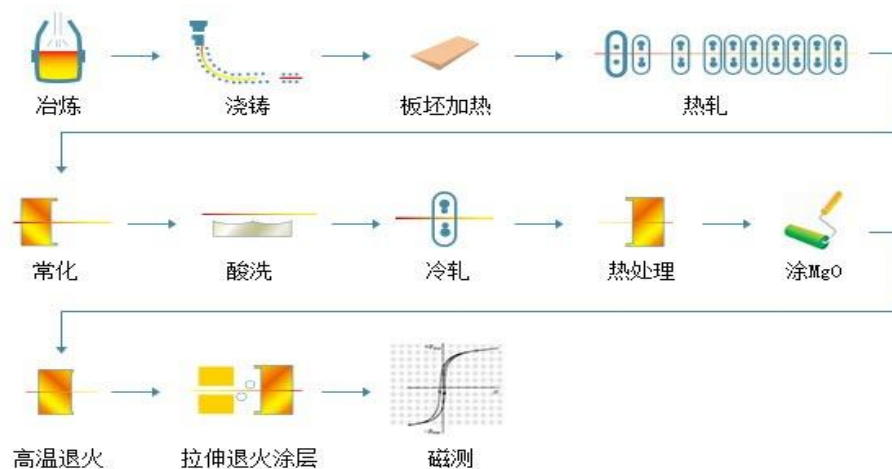
~10米

非晶带材制备工艺流程

采用的是一种快速凝固技术，
将熔融钢水以每秒百万度急速
冷却，一次成型为厚度仅有

0.03mm的薄带。

硅钢工艺流程图

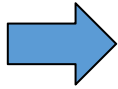


~1000米

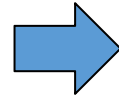
非晶合金铁心制作流程



上料



剪切



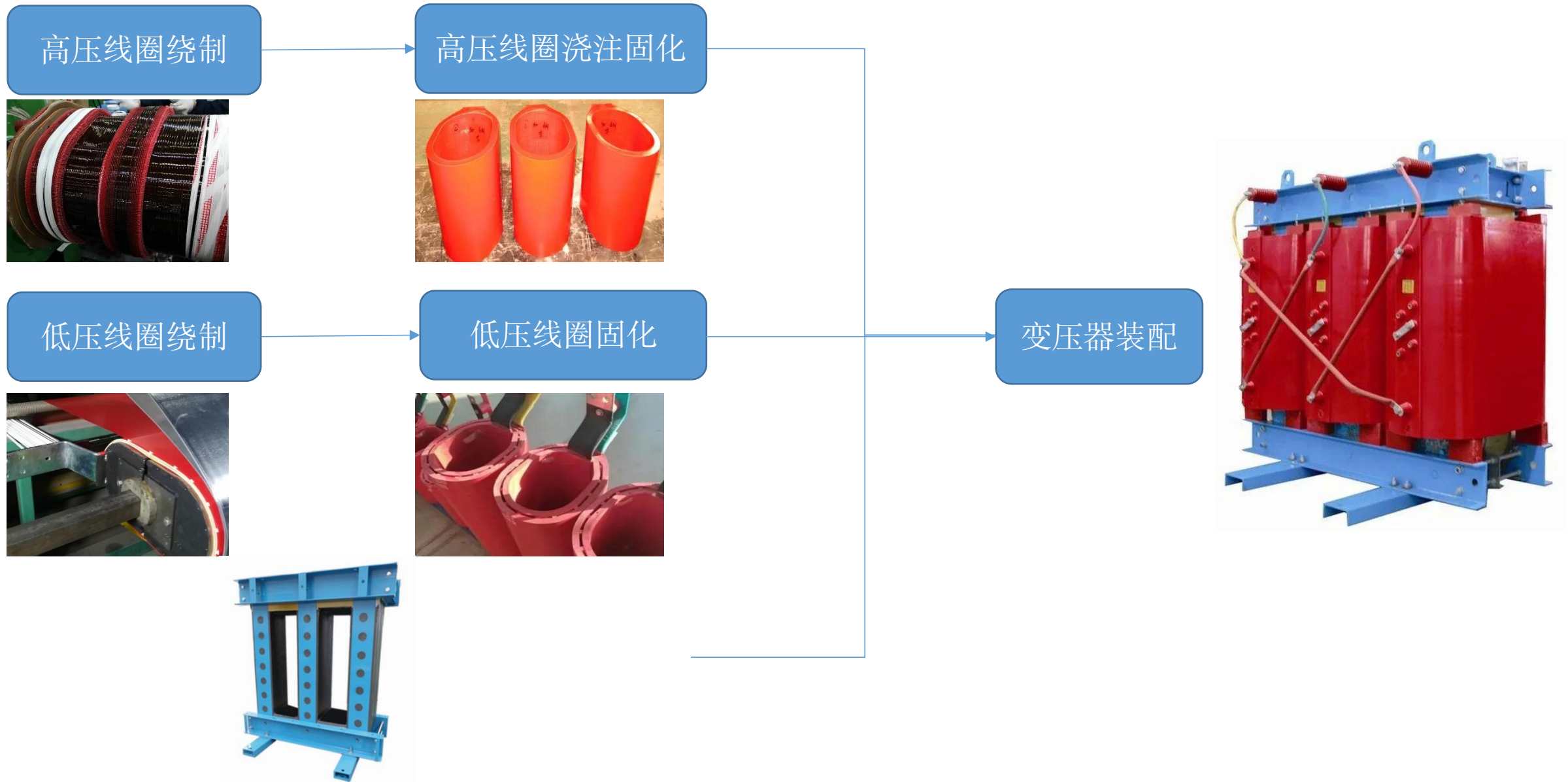
退火



拼装、涂胶



粘制拉板





非晶合金带材

非晶合金——全生命周期绿色环保材料



非晶干式变压器铁心



非晶干式变压器

应用
领域



生产节能（碳足迹认证）

据统计，生产1kg非晶带材比生产1kg硅钢可节省一升石油。

每生产一吨非晶材料较硅钢少排放二氧化碳
730kg

回收节能

废旧非晶铁心重熔后，**硅、硼元素**基本可以实现回收利用。

使用节能

使用非晶合金制作铁心而成的变压器，比硅钢片作铁心的变压器的空载损耗下降

60%-80%

是目前节能效果较理想的配电变压器，特别适用于农村电网和发展中地区等负载率较低的地方。



平面铁心



非晶油浸式变压器

应用
领域



立体卷铁心：引领行业发展



国家电网



中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID

南方电网



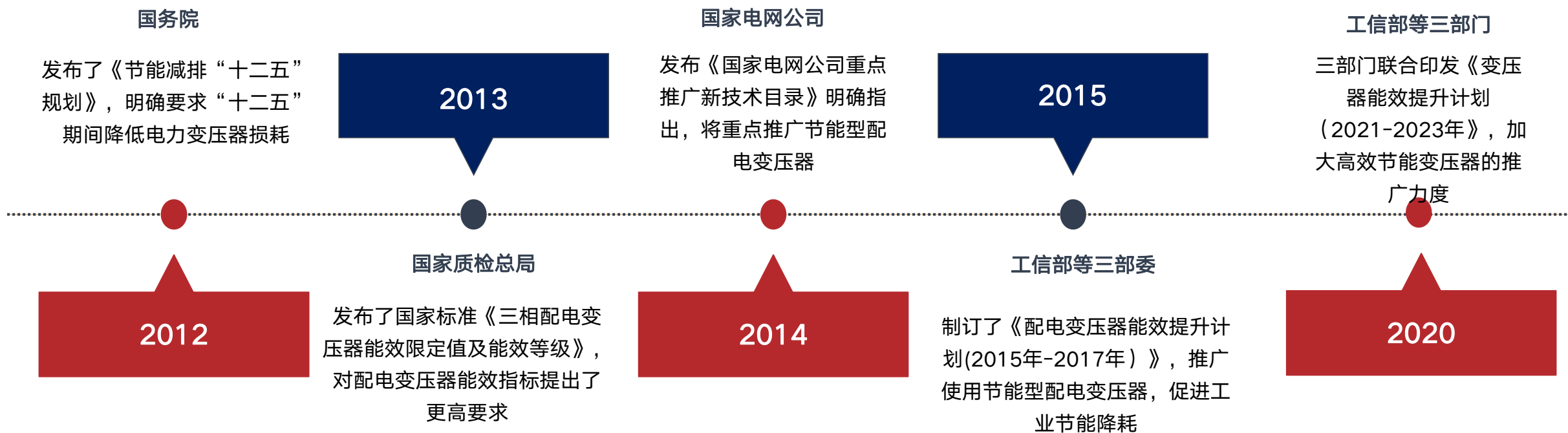
PART 3

非晶合金产业发展现状

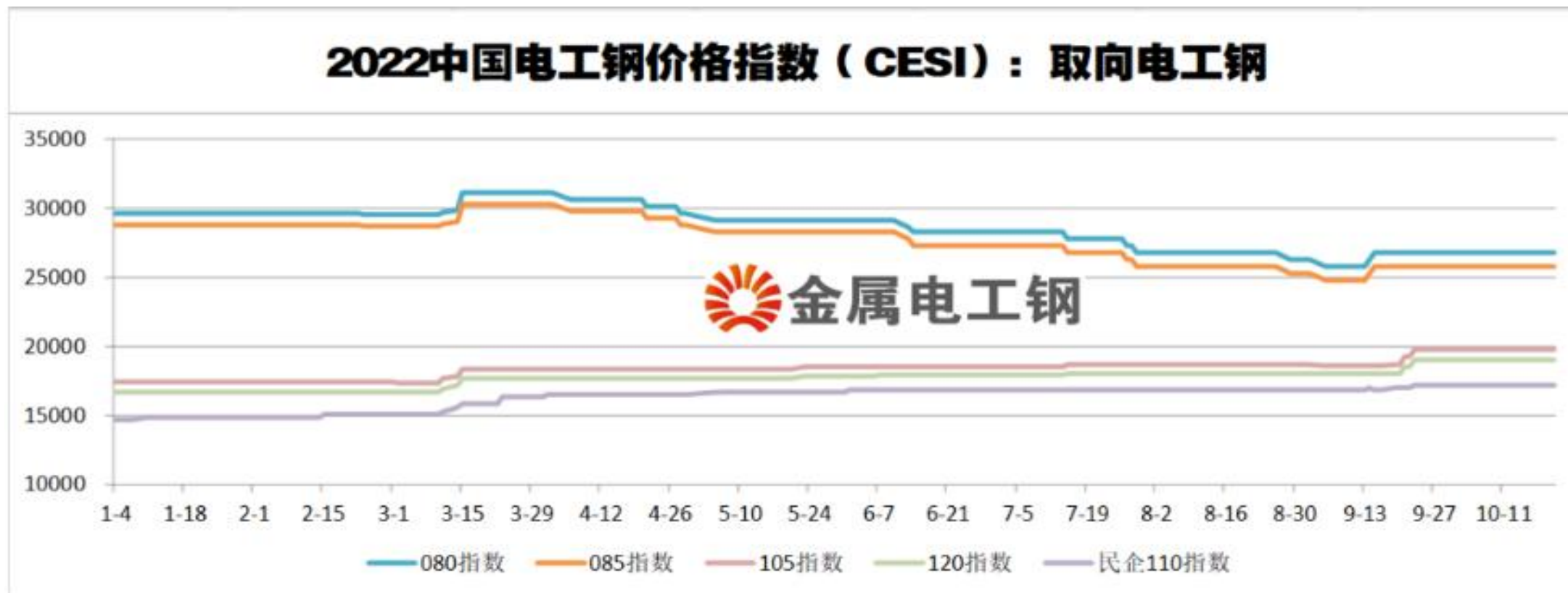
3.1 政策支持

3.2 非晶合金带材价格发展路线

3.3 部分地区的非晶变压器占比

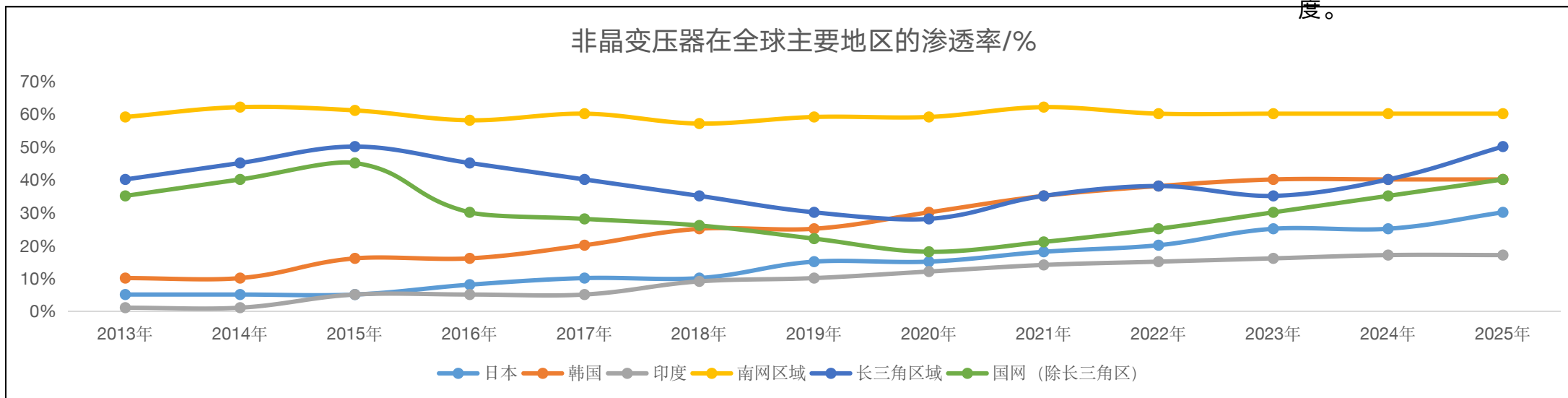
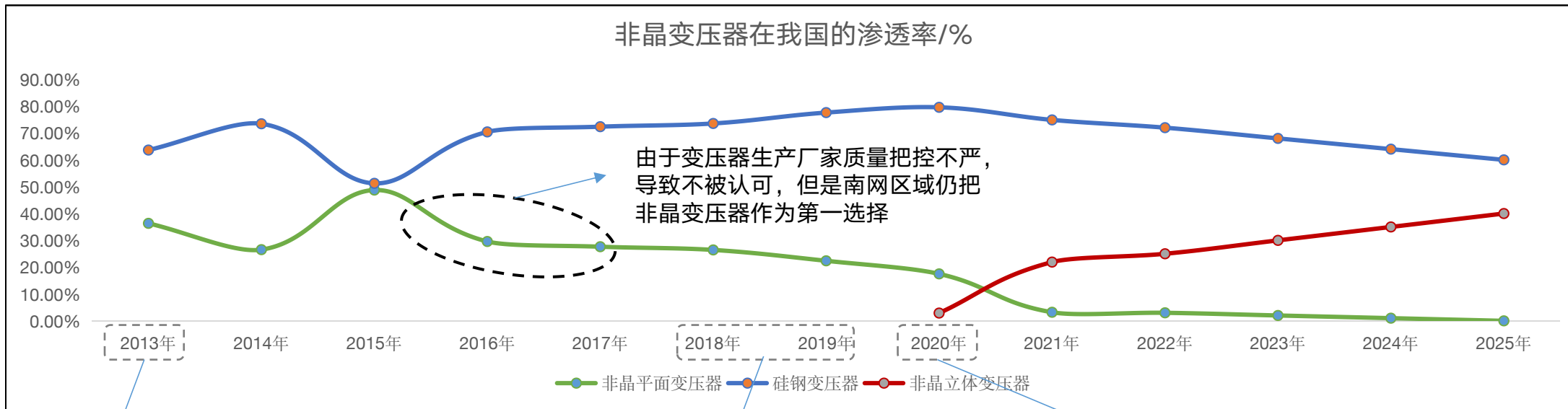


- 国网公司按照通知要求，2014~2016年新增变压器中，S13型及非晶节能型配电变压器**不低于60%**。
- 新一级能效提升计划也明确提出，开展**非晶合金**等高效节能变压器用材料创新和技术升级。到2023年，高效节能变压器【符合《电力变压器能效限定值及能效等级》（GB 20052-2020）中**1级、2级能效标准**的电力变压器】**在网运行比例提高10%，当年新增高效节能变压器占比达到75%以上。**



目前国内取向硅钢年产能达**180**万吨，而全球非晶带材产能**27**万吨，硅钢片的价格在25元/KG，非晶材料的价格在17元/KG，非晶合金带材已低于高牌号取向硅钢，将来随着产业化程度增加，非晶使用量会越来越大，**非晶价格优势将会越来越明显。**

3-3 部分地区的非晶变压器占比





PART 4

非晶合金应用优势

4.1 充电桩领域应用

4.2 新能源领域应用-风电

4.3 新能源领域应用-光伏

4.4 非晶合金变压器劣势

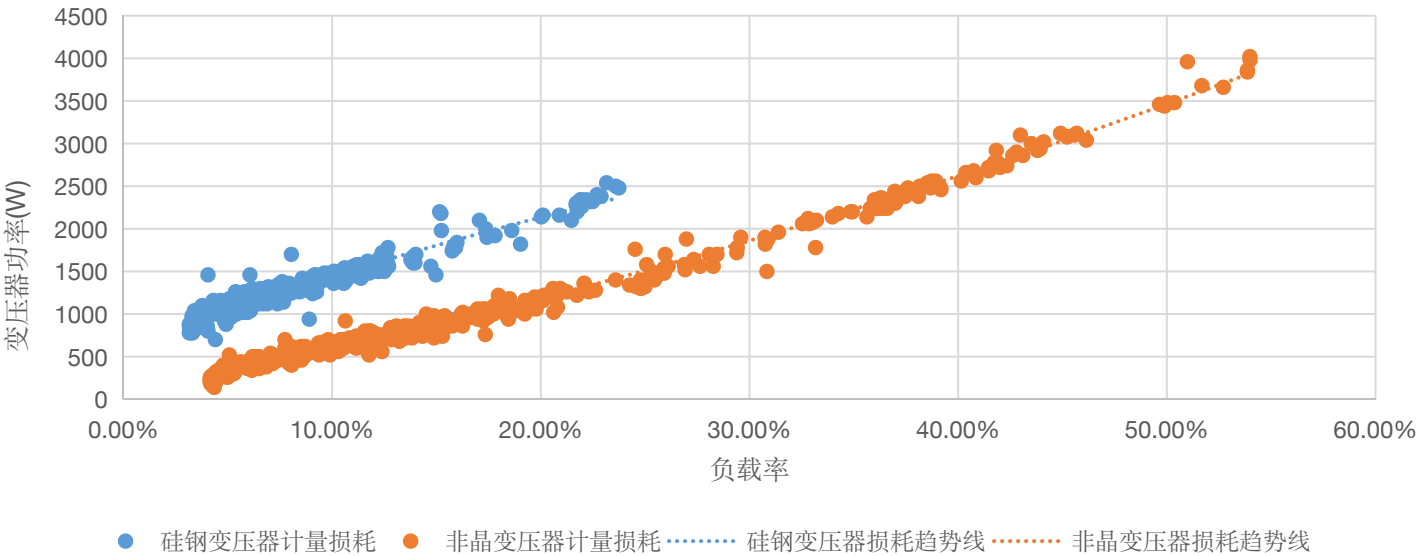
4.5 非晶与硅钢损耗对比

4.6 非晶合金变压器优势

4.7 回收年限计算

4.8 非晶变压器业绩展示

硅钢变压器和非晶变压器随负载变化对比曲线

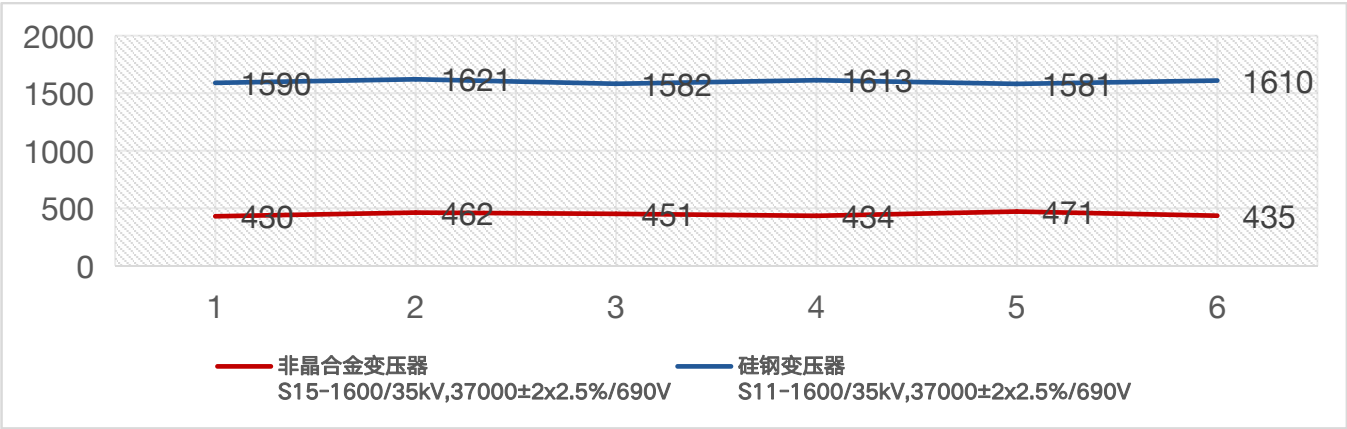


硅钢变压器		非晶变压器	
负载率	计量值	负载率	计量值
3.14%	780	4.14%	220
8.05%	1240	8.00%	500
13.88%	1600	13.88%	800
20.02%	2140	20.05%	1180
23.74%	2480	23.58%	1400

根据图中硅钢变压器和非晶变压器两个损耗与负载率的曲线图来看，两条曲线基本近似于平行线，而且硅钢变压器损耗曲线是高于非晶变压器损耗曲线，说明在相同负载率的情况下，硅钢变压器的运行功率大于非晶变压器的运行功率，体现了非晶变压器的节能效果。并且在负载率接近于零的情况下硅钢变压器和非晶变压器的损耗都接近于测量空载损耗值。两条曲线平行，说明硅钢变压器运行功率与非晶变压器运行功率保持着近似空载损耗之间的差异，充分体现了非晶变压器在运行时的损耗优势。从以上分析可以看出，非晶变压器在实际运行时损耗比硅钢变压器低至少560W，按全年8760小时计算，一台630kVA非晶变压器每年能节约用电4853度电，在全生命周期内节约用电14.7万度电，减少二氧化碳排放146吨。

瓜州某风场案例

6台S15非晶 & 6台S11台硅钢变压器风电损耗对比/ P_0 (W)



- 非晶变压器相对硅钢变压器可节能**70%以上**！
- 基于以上数据保守计算，以5MW风力发电场为例，箱变容量为5500kVA。非晶变较硅钢箱变**每年多发电达2.2万度**。30年全生命周期运行期**累计多发电量达66万度电**，**可减少二氧化碳排放超650吨**。



达坂城某风场案例

一期25台2200kVA硅钢箱变 & 二期25台2200kVA非晶箱变对比（万kW·h/年）

	发电量	上网电量	综合场用电量	实测多发电	理论计算多发电
一期硅钢变压器	12643	12304	339	64	40
二期非晶变压器	14079	13824	275		

- 实测监测多发电量约为理论计算的**1.6倍**。非晶不仅空载损耗低，谐波损耗也低。

光伏运行特性



图：光伏场景

- 光伏发电在夜间处于空载运行状态，**日平均空载运行时间为11个小时以上**，非晶空载损耗低，优势突出

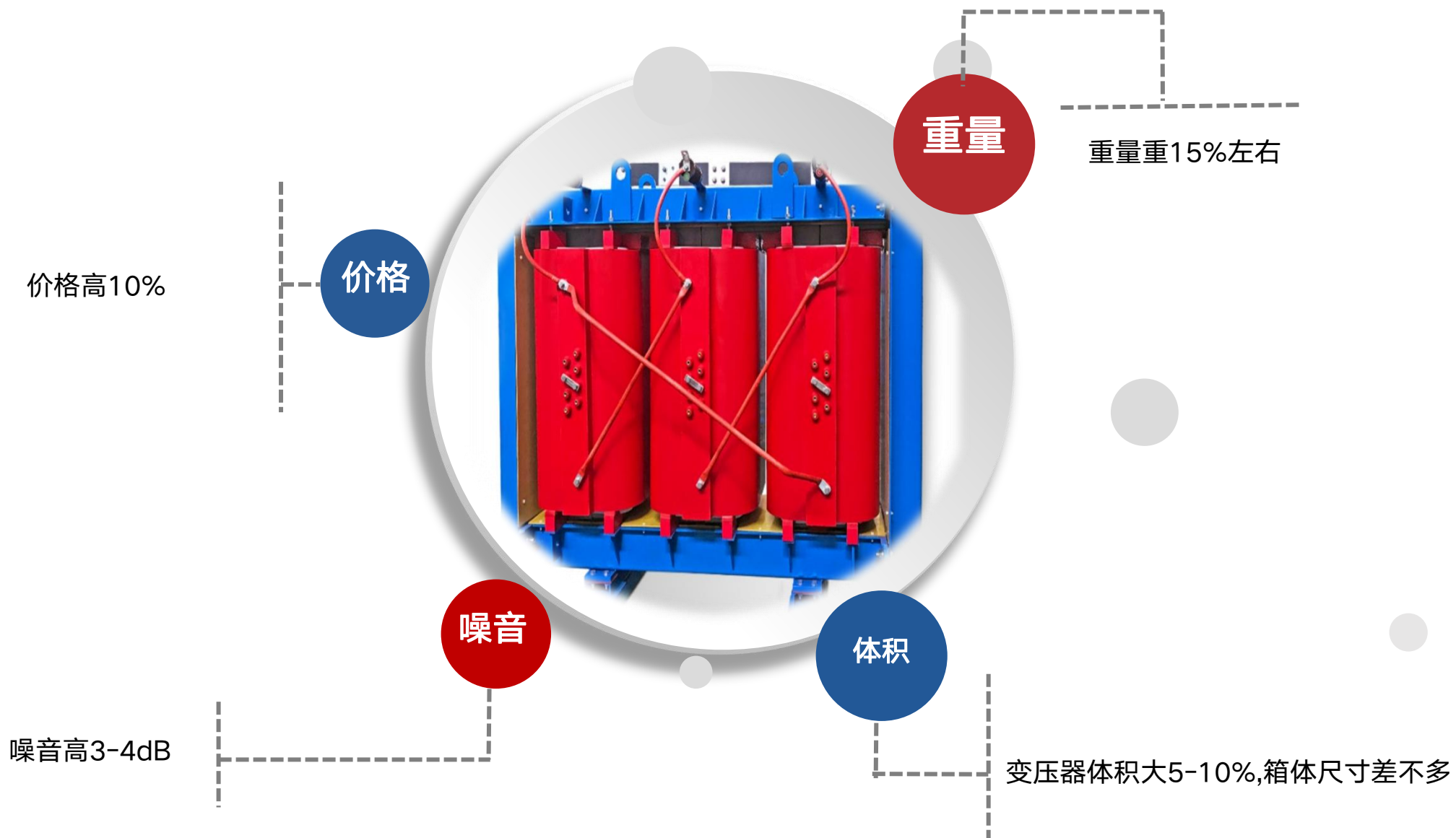
非晶箱变可极大降低光伏领域损耗



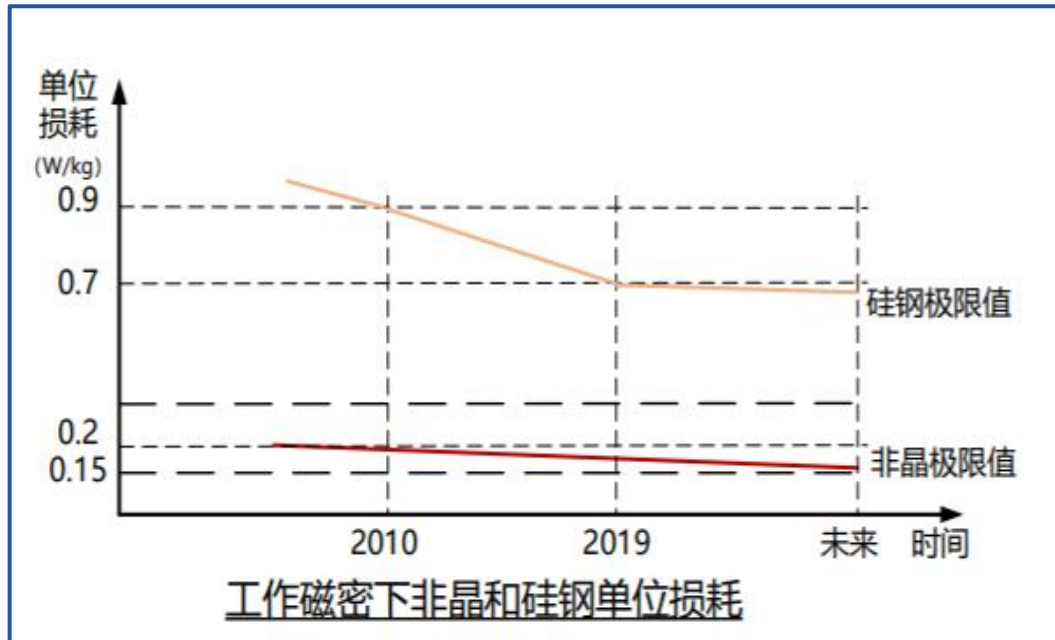
图：云路自主研发3150kVA非晶箱变光伏发电用组合式变压器

已在吉木萨尔成功挂网运行

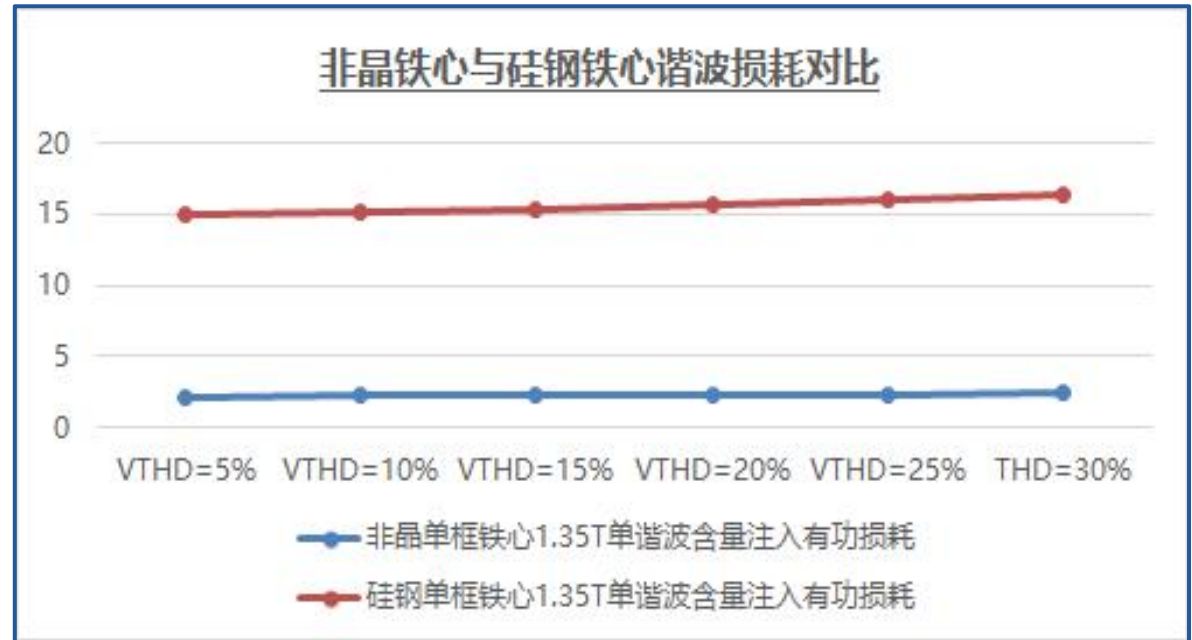
- 通过近1个多月的实时监测，非晶箱变每天比硅钢箱变多发电**74.4度**，一年可**多发电达2.7万度电**，30年全生命周期累计**多发电量达81.5万度电**，可**减少二氧化碳排放超730吨**



适用于高效变压器的铁心材料主要有**高磁感取向硅钢**和**非晶合金**，铁心材料直接决定了节能配电变压器的应用及推广。



在单位损耗方面，非晶合金比最好牌号的取向硅钢低 **30%-50%**，且仍有下降空间。



在相同质量、均为额定磁密的情况下，两种铁心损耗值有较大差异，硅钢在各频率、THD下对应单位损耗约为非晶的**5.27倍**。

➤ 常用的1600kVA容量变压器为例，在10kV新能效国标的二级能效下：进行节能核算

项目	空载损耗 (W)	负载损耗 (W)
硅钢变压器	1665	10555
非晶变压器	516	10555
每年节约电量 (kW·h)	10220	
30年节约电量 (kW·h)	306600	
30年节约电费 (元)	245280	电费按0.8元/kW·h

非晶变压器在30年全生命周期运行期间可少排放CO₂约为

122.64t

节能

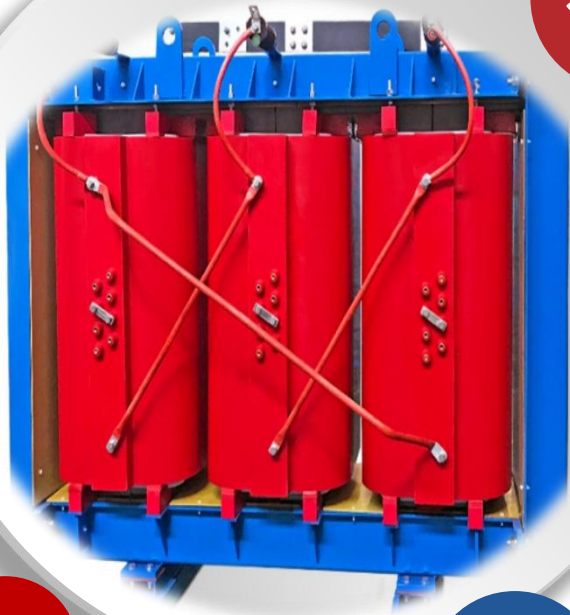
减排

寿命

谐波抑制

铁芯运行温度低**20度**
绕组运行温度低**10度**
过载能力提升**10%**
负载损耗降低**10%**
变压器寿命增长**5年**

非晶以其高磁导率及高频损耗低的特性，给设备带来**抑制谐波、降低谐波损耗**的优势。



电价 (元/kW)	0.8											
分类	变压器损耗			变压器负载率:			电费 (元) / 天	年电费 (元)	电量KWh	年差值 (元)	30年节约成本 (元)	标准煤 (kg)
	负载 (W)	空载(W)	总损耗(W)	负载 (kW/天)	空载 (kW/天)	总损耗 (kW/天)						
SCB14-1600/10-NX2	10555	1665	12220	63	40	103	82	30076		--	--	4088
SCBH17-1600/10-NX2	10555	516	11071	63	12	75	60	21900	10220	8176	245280	

硅钢变压器价格 25万

非晶变压器价格 27.3万

差价 2.3万

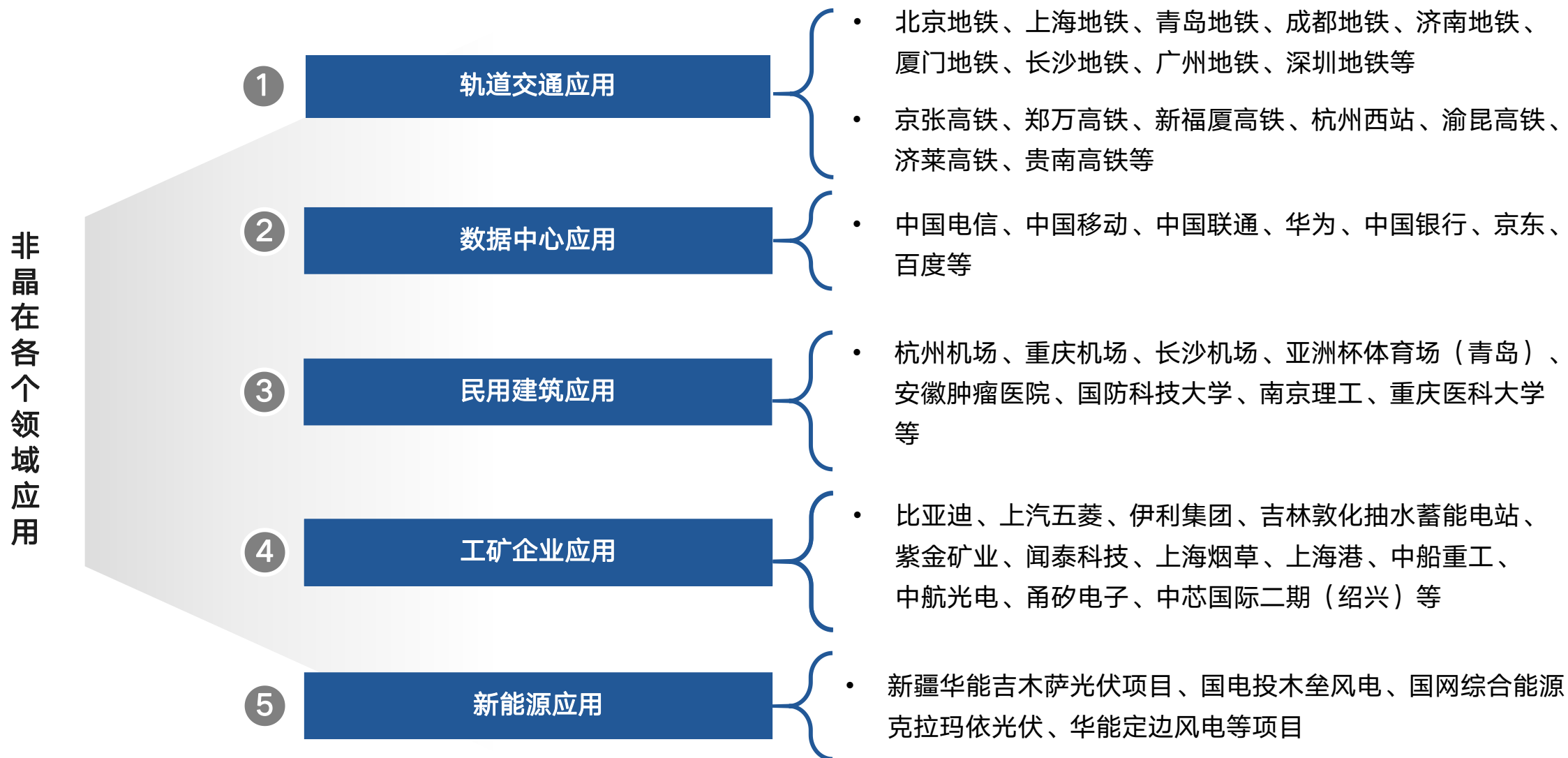
回收年限 2.81年

备注:

- 1、以上价格为某变压器厂的概算价格
- 2、以上价格是基于目前铜价处于高位的状态下，如果铜价下滑，差价将进一步缩小，回收年限也同比例缩小
- 3、随着非晶变压器需求量的提升，非晶变压器的价格将进一步下滑
- 4、非晶变压器的回收成本要高于硅钢变压器，差价约3000元/台，其回收年限会进一步缩短
- 5、非晶变压器温升低，运行时负载损耗也会相应低10%左右，本次没有计算
- 6、硅钢变压器的谐波损耗是非晶变压器的5.27倍

综合上述因素，非晶变压器的实际回收年限比理论更加短

- 非晶在如轨道交通、数据中心、民用建筑、工矿企业、新能源等领域，都有相应业绩





PART 5

青岛云路简介

- 5.1 全球可持续能源材料及综合方案提供商
- 5.2 坚持自主研发创新的发展历程
- 5.3 国际化布局，强大的客户基础

2015年12月成立

中国航空发动机集团控股的混合所有制企业
国家“科改示范行动”企业
上交所科创板上市企业

先进磁性材料

设计、研发、生产和销售
研发人员占比16.59%

应用范围

产品广泛应用于电力配送、新基建、轨道交通、消费电子、新能源汽车、家电、粒子加速器等领域



全球可持续发展能源新材料
及综合方案提供商

非晶合金

市场份额为**全球第一**，是非晶合金材料行业的
龙头企业

纳米晶合金

国内领先，性能优异，解决国家大科学工程
“卡脖子”难题

粉末及磁芯产品的综合供应商

国内新星，家电、消费电子、新能源汽车等
应用领域空间广阔

5-2 坚持自主研发创新的历程



小流量精密连铸技术

核心技术、三大产品的技术母基和原点

在产一代、在研一代、预研一代
技术、产品储备充足

打赢337、力证自主知识产权

近十年国内首例原告无条件撤诉

助推云路产品走向海外市场

解决国家大科学工程材料难题

离子加速器用大尺寸纳米晶磁环

2008

非晶研发计划和事业开端的确立

In 2008, the amorphous R&D plan and start of business were established.



2012

第一代非晶产业化制备技术攻关成功
非晶粉末研发计划和事业开端的确定

In 2012, the first generation of amorphous material preparation technology was successfully R&D and development under 500 yuan per ton of business was established.



2013

非晶宽带实现量产
破碎粉末实现规模化生产

In 2013, the amorphous wide ribbon achieved mass production. The amorphous powder achieved mass production.



2014

建成国内首条实际产量达万吨级的非晶薄带生产线

In 2014, the first domestic amorphous ribbon production line with an actual output of 10,000 tons was completed.



2015

云路材料注册成立
雾化软磁粉末研发计划确立

In 2015, Yunlu Advanced Materials Technology Co., Ltd. was registered and established. The research and development plan for amorphous soft magnetic powder was established.



2016

建成4条超万吨级非晶薄带生产线
气雾化粉末实现规模化生产
纳米晶研发计划和事业开端的确定

In 2016, four production lines for amorphous ribbons exceeding 10,000 tons were built. The mass production of gas atomized powder was realized. The nanocrystalline R&D plan and the start of the business were established.



2017

全面应诉美国337调查商业秘密案

In 2017, fully responded to the United States 337 investigation of trade secrets case.



2018

确立了第二代非晶产业化技术路线
建成单吨2万吨级气雾化粉末生产线
美国337调查以原告无条件撤诉告终

In 2018, the second-generation amorphous industrialization technology was established. A single ton 2 tons of gas atomized powder production line was built. The US 337 investigation was won with the plaintiff's unconditional withdrawal of the case.



2019

完成新一代非晶立体磁核心的技术论证
研制出国内最薄、最宽的纳米晶超薄带，并实现吨量级产业化
参与大科学工程重离子加速器核心部件的研发

In 2019, completed the technical argument of a new generation of amorphous three-dimensional magnetic core. Developed the thinnest and widest nanocrystalline ultra-thin ribbon in China, achieved the industrialization of ton-scale production. Participated in the research and development of core components of the heavy ion accelerator for large scientific projects.



2020

自主研发非晶合金材料的高透磁悬浮零磁化关键技术设备研制
打造了国内首条非晶立体磁核心自动化产线
解决了大科学工程重离子加速器核心部件卡脖子工程

In 2020, independently developed the high-permeability magnetic suspension zero-magnetization key technology equipment. Built the first domestic amorphous three-dimensional magnetic core automated production line. Solved the bottleneck problem of heavy ion accelerator core components.

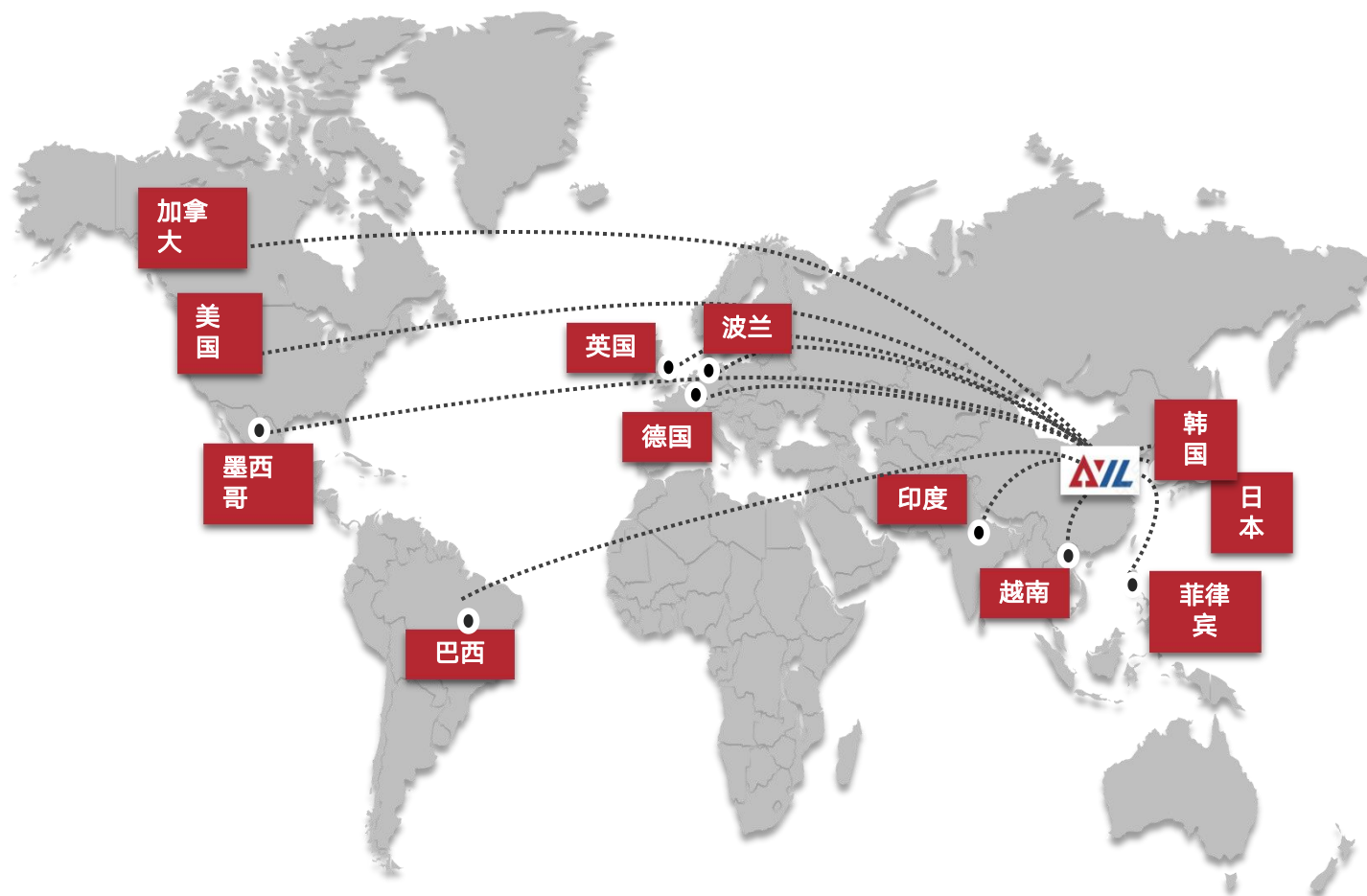


2021

云路股份成功登陆上海证券交易所科创板，为中国航发首家科创板上市企业。同年，公司首次实现球形非晶粉末公斤级制备技术，为该材料的国产化进程迈出关键一步。



公司销售网络遍布全球十三个国家和地区



广泛强大的客户基础



让非晶更好的服务于人类社会，为节能减排贡献力量。

 青岛云路先进材料技术股份有限公司