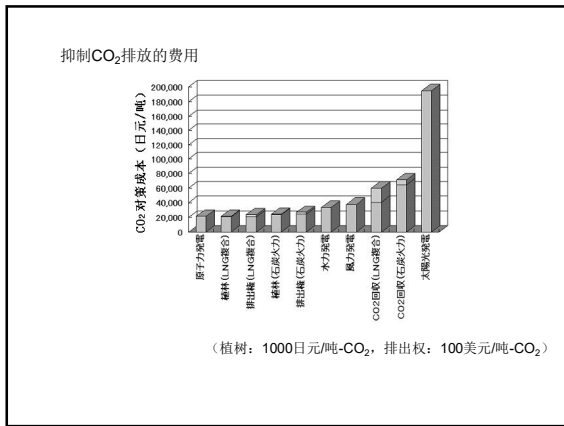
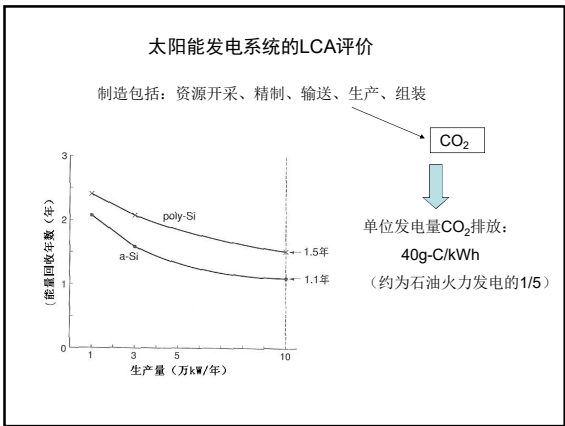
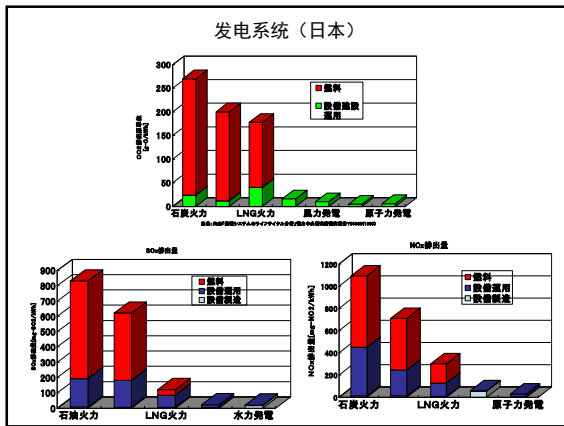
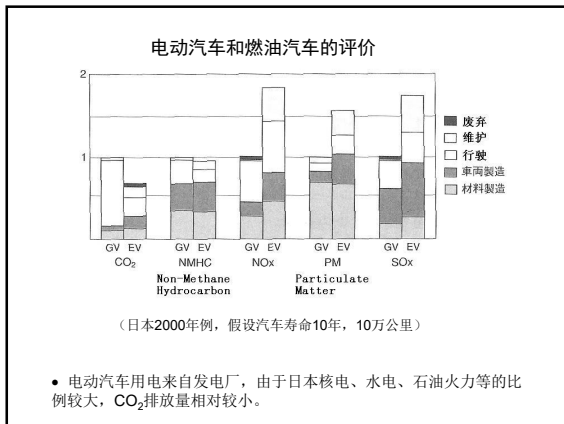


## 生命周期评价方法 Life Cycle Analysis (LCA)



### ISO-LCA

#### LCA方法的标准化

LCA分析时需要引入主观判断

- 材料使用的循环  
如：钢材生产—铁矿石—输送船—钢材
- 同一生产过程产生多种产品  
如：石油精炼可同时产生石油气、煤油、轻油、重油等

↓

国际标准化组织ISO (International Organization for Standardization)  
1993年开始制定相关规则, 1997年ISO14040颁布, 2006年ISO14044

#### 清单分析 -- 生命周期中投入的资源及环境排出物的定量

提高结果可靠度的方法:  
根据粗略评估结果选出作用最大的工序, 进行再次分析

ISO14040制定的LCA方法框图 (4个要素)

相关规定:

- 事件分析 ISO14041 (1998)
- 环境影响评价ISO14042 (1999a)
- 解释ISO14043 (1999b)

#### 环境影响评价

环境影响评价中应考虑的影响分类:

1. 非生物资源的枯竭	8. 光化学烟雾
2. 生物资源的枯竭	9. 酸雨
3. 土地的使用	10. 富营养化
4. 温室效应	11. 恶臭
5. 臭氧层破坏	12. 噪声
6. 对人体毒性	13. 放射线
7. 对生态系的毒性	14. 事故

主观的要素  
透明性的重要

#### 目标及调查范围的设定

- 明确委托方、报告对象、目标制品、目的
- 制品的机能、机能评价基准

多个制品比较时, 需以相同的机能单位为基准。  
比如: 洗衣机机能单位可定义为“洗衬衫一件”。40l的容量洗一次相当于40件。1日平均1.4次, 寿命9年, 生命周期4600次, 18万4千件。

- 确定与生命周期相关联的工艺过程的范畴

- 环境负荷的检讨范围 (如: CO<sub>2</sub>、全部温室气体、能耗等)

#### 解释 -- 分析过程评价, 结果的总结与报告

- 完全性检查 (数据遗漏?)
- 事件分析与环境影响评价方法中的统一性
- 使用数据的品质
- 结果的分散性、敏感度和不确定性
- 分析结果的表现、报告书做成
- 不同制品LCA比较评价时, 还需第三方评审

### LCA要点

**系统范畴** --LCA调查工艺范围, 对结果影响大及重要的项目

例1: 石油制品的LCA。输送过程中的油罐的建设是否应考虑? 石油精炼的生产设施?

答: 严格意义上, 应该考虑。但实际上,

油罐和石油设施的环境负荷  
油罐和石油设施的生命周期中所运输或生产的石油量 ~ 0

- 电子制品中, 生产设施复杂。“多品种少量”的制品, 生产周期短, 设施的交换、废弃频繁。
- 若生产设施数据收集困难, 难以考虑, 则应明确标记。

### 开环回收

两种处理方法:

- 扩大系统范畴, 将相关产品均包括 (难点: 原定对象的评价?)
- 回收材料 = 原材料 (回收材料杂质较多, 不能完全等同)

例2: 铁路、互联网等社会基础设施建设

- 基本设施的生产、使用、废弃  
车辆、轨道、桥、隧道、车站  
互联网设备、光纤、调制-解调器
- 辅助系统  
地铁、车站中空调系统消耗的能源  
互联网设备的空调用能

### 机能的统一

不同制品比较时, 机能单位应相同

例1: 煤油和城市天然气

机能单位: 1MJ热量供给

油0.0269l, 气0.0217m<sup>3</sup>

CO<sub>2</sub>排放: 油72.2g, 气60.8g

例2: 复印机

机能单位: A4一页复印?

多功能化 → 机能定义困难

例3: 产品回收

### 闭环回收

- LCA解析较容易

例3: 火车与汽车

机能单位: 1人·km

铁路的环境负荷最小

但是, 机能并不完全相同。火车只能到站, 且有规定发车时间

例4: 信息技术

机能单位: 一定量的信息传送

信息技术优点: 减少人流物流  
缺点: 临场感、感情传达

LCA算例

例1 煤炭的LCA (日本)

相关数据

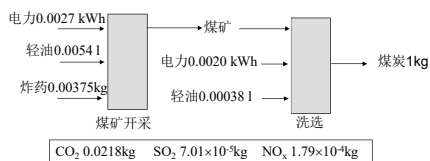
	单位消耗量	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
电力 (澳)	1kWh	1.01kg	0.011kg	0.0049kg
轻油 (澳)	1l	2.84	0.0031	0.027
重油	1l	3.14	0.057	0.078
炸药	1kg	0.174	0.00012	0
煤炭	1kg	2.352	0.004	0.015

日本煤炭燃烧

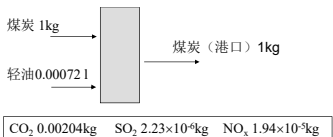
CO<sub>2</sub> 2.352kg SO<sub>2</sub> 4.72×10<sup>-3</sup>kg NO<sub>x</sub> 1.61×10<sup>-2</sup>kg

共计 CO<sub>2</sub> 2.41kg SO<sub>2</sub> 4.72×10<sup>-3</sup>kg NO<sub>x</sub> 1.61×10<sup>-2</sup>kg

煤矿开采及选炭过程



煤炭陆运

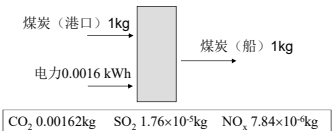


例2 洗衣机 (日本)

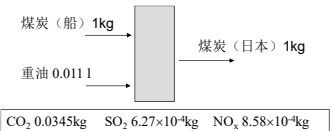
相关数据

	单位消耗量	CO <sub>2</sub> (kg)		单位消耗量	CO <sub>2</sub> (kg)
重油	1kg	3.34	镀锌钢板	1kg	2.05
轻油	1kg (0.83kg/l)	3.30	不锈钢板	1kg	4.14
LPG	1kg	3.34	铝板	1kg	11.7
LNG	1kg	2.86	铜板	1kg	1.36
城市天然气	1kg	2.44	PP	1kg	0.77
电力	1kWh	0.45	PS	1kg	2.25
冷压延钢板	1kg	1.98	PVC	1kg	0.95
包装材料	1kg	1.41	水	1m <sup>3</sup>	0.113
洗涤剂	1kg	0.769			

煤炭装船



煤炭海运



(1) 制造过程

1台洗衣机的耗材重量 (kg)

	旧型号	节水型
冷压延钢板	0.82	0.0
镀锌钢板	14.9	17.7
不锈钢板	0.25	3.37
铝板	0.68	0.57
铜板	0.62	0.70
PP	8.80	6.40
PS	1.51	1.58
PVC	0.28	0.41
包装材料	2.93	2.93
重量	30.8	33.7

1台洗衣机的制造能耗:

电力 8.87kWh  
重油 0.46kg  
城市天然气 0.27m<sup>3</sup>

CO<sub>2</sub>排放: 旧型号 62.8kg, 节水型 77.0kg

(2) 运输  
1辆卡车运100台, 行使500km, 轻油消耗0.256l/km。  
CO<sub>2</sub>:  $0.256 \times 500 \times 0.83 \times 3.3 / 100 = 3.51 \text{kg}$

(3) 使用

- 寿命9年, 每日1.4次, 共4600次。
- 使用一次能源、资源消费及BOD排出量

	旧型号	节水型
水 (m <sup>3</sup> )	0.15	0.107
洗剂 (g)	36	33.3
电力 (Wh)	131	131
BOD (g)	17.8	16.5

9年中的CO<sub>2</sub>: 旧型号 539kg, 节水型 502kg

**例3 建筑供能系统** *Ref: A. Osman and R. Ries, Int.J.LCA 12 (5) 308 – 316 (2007)*

比较对象: 燃料电池(SOFC, solid oxide fuel cell)  
微型燃气轮机(MT, microturbine)  
内燃机(ICE, internal combustion engine)

假定条件: 以发电1kWh为评价基准, 不考虑供热或热损失

- 部分负荷特性

**Table 1: Operating characteristics of the SOFC cogeneration system**

Percent Load	Net Electric Output (kW <sub>e</sub> )	Electric Efficiency (%)	Thermal Efficiency (%)	Overall Efficiency (%)	Power to Heat Ratio
62%	78	51	21	72	2.43
68%	85	50	24	74	2.08
78%	98	50	28	78	1.79
86%	106	49	30	79	1.63
93%	116	48	32	80	1.50
100%	125	45	35	80	1.29
104%	130	44	37	81	1.19

寿命: 70,100 hours (8 years, if operated 8,760 hours/year)

(4) 废弃

粉碎机耗能: 0.016kWh/kg  
掩埋耗能: 电力0.002kWh/kg, 轻油0.00078kg/kg

废弃一台能耗:

	旧型号	节水型
粉碎耗电 (kWh)	0.446	0.491
掩埋耗电 (kWh)	0.027	0.023
掩埋耗轻油 (kg)	0.0105	0.0088

CO<sub>2</sub>: 旧型号 0.248kg, 节水型 0.260kg

**Table 2: Operating characteristics of the MT cogeneration system**

Percent Load	Net Electric Output (kW <sub>e</sub> )	Electric Efficiency (%)	Thermal Efficiency (%)	Overall Efficiency (%)	Power to Heat Ratio
100%	54.9	26	52	78	0.50
75%	39.9	24	56	81	0.43
50%	24.8	20	57	77	0.35
25%	9.8	13	58	71	0.22

寿命: 40,300 hours (4.6 years, if operated 8,760 hours/year)

**Table 3: Operating characteristics of the ICE cogeneration system**

Percent Load	Net Electric Output (kW <sub>e</sub> )	Electric Efficiency (%)	Thermal Efficiency (%)	Overall Efficiency (%)	Power to Heat Ratio
100%	172	33.4	54.8	88.3	0.61
75%	129	30.4	57.8	88.2	0.53
50%	87	26.6	60.8	87.4	0.44

寿命: 45,000 hours (5.1 years, if operated 8,760 hours/year)

(5) 合计

CO<sub>2</sub>: 旧型号 605kg, 节水型 583kg

- 若仅每周使用一次, 则  
旧型号 122kg-CO<sub>2</sub>, 节水型 132kg-CO<sub>2</sub>

- 电力系统  
USA consists: 53% coal, 17% natural gas, 17% nuclear, 9% hydro, 2% oil, 2% waste, 0.4% geothermal and 0.15% wind  
Average grid loss: 6.5%  
Average conversion efficiency: 32%  
Gas-fired combined-cycle power plant (NGCC): 49% electric conversion efficiency  
寿命: 262,800 hours (30 years, if operated 8,760 hours/year)
- 燃气锅炉  
寿命: 20 years, if operated 4,000 hours/year  
Thermal conversion efficiency: 88.7%

• 评估指标

Global warming potential (GWP)  
Acidification potential (AP)  
Tropospheric ozone precursor potential (TOPP)

Table 4: Equivalent Factors for GWP, AP and TOPP

GWP (kg of CO <sub>2</sub> equivalents)					
CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Perfluoromethane	Perfluoroethane	
1	21	316	6500	9200	
AP (kg of SO <sub>2</sub> equivalents)					
NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	HCL	HF	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>
0.696	1.0	0.878	1.601	0.983	3.762
TOPP (kg of TOPP equivalents)					
CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOOC	CO		
0.014	1.22	1.0	0.11		

(NMVOC: non-methane volatile organic carbons)

• 评价结果

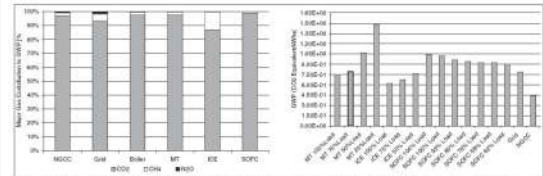


Fig. 1: Illustration of the GWP indicator values and the major gas contribution for the GWP factors resulting from the energy systems when used to produce the functional unit of electrical energy

SOFC的GWP值较高 (原因: 天然气催化生成氢气)

• Primary energy consumption (PE)

Table 5: Life cycle PE consumption factors of the energy systems

System	PE Consumption (kWh/kWh <sub>e</sub> )
MT	MT 100% Load: 3.99E+00
	MT 75% Load: 4.32E+00
	MT 50% Load: 5.22E+00
	MT 25% Load: 7.07E+00
ICE	ICE 100% Load: 3.13E+00
	ICE 75% Load: 3.44E+00
	ICE 50% Load: 3.93E+00
SOFC	SOFC 104% Load: 3.0E+00
	SOFC 100% Load: 2.93E+00
	SOFC 93% Load: 2.75E+00
	SOFC 85% Load: 2.69E+00
	SOFC 78% Load: 2.64E+00
	SOFC 68% Load: 2.64E+00
	SOFC 62% Load: 2.56E+00
US Average Electric: 3.09E+00	
NGCC: 2.27E+00	

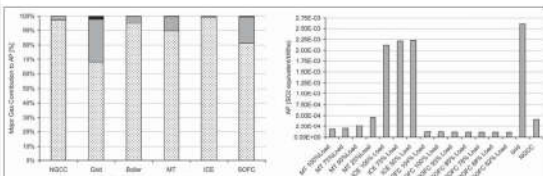


Fig. 2: Illustration of the AP indicator factors and the major contributors to AP from the energy systems for 1 kWh of energy with the cogeneration systems operating at 100% load

ICE的AP值较高 (原因: NO<sub>x</sub>产生量较大)

Table 6: Life cycle environmental factors for the gas boiler

PE (kWh/kWh <sub>e</sub> )	PE Consumption Usage Factor				
	1.11E+00				
GWP (kg/kWh <sub>e</sub> )	GWP Factor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
	2.34E-01	2.30E-01	2.24E-04	1.35E-08	
AP (kg/kWh <sub>e</sub> )	AP Factor	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>		
	9.93E-05	4.63E-06	1.35E-04		
TOPP (kg/kWh <sub>e</sub> )	TOPP Factor	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOOC	CH <sub>4</sub>
	2.01E-04	1.30E-04	1.74E-04	2.35E-05	2.24E-04

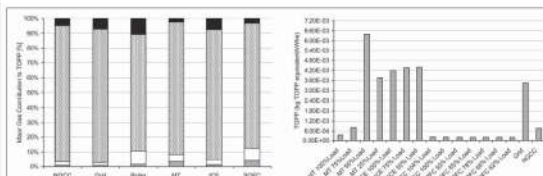


Fig. 3: Illustration of the TOPP indicator factors and the major gas contribution to the TOPP factors resulting from the energy systems when used to produce unit output of electrical energy

ICE的TOPP值较高 (原因: NO<sub>x</sub>产生量较大)

MT部分负荷低于50%时, NMVOC增多

例4 空调的生命周期成本 Ref: J. Lin and G. Rosenquist, Energy Policy 36 1090-1095 (2008)

生命周期成本LCC = 产品购买价格PC + 运行维护费用OC × 贴现系数PWF

$$PWF = \frac{1}{r} [1 - 1/(1+r)^N] \quad (r: \text{贴现率})$$

• 基本系统参数

Baseline characteristics of a 3500 W split-system room air conditioner

Rated cooling capacity, CC (W)	3500	Compressor	
Rated EER (W/W)	2.57	Manufacturer	Panasonic Wanbao
Refrigerant	R-22	Model number	2K23S225BUA
Flow control device	Short tube (assumed)	Type	Rotary
Evaporator		Cooling capacity (W)	4000
Face area (m <sup>2</sup> )	0.296	Displacement (cm <sup>3</sup> )	21.4
Fin type	Hydrophilic slit fin	Efficiency (W/W)	2.81
Tube type	Grooved	Fan	
Condenser		Evaporator side	
Face area (m <sup>2</sup> )	0.381	Air volume (m <sup>3</sup> /h)	463
Fin type	Hydrophilic slit fin	Power input (W)	50
Tube type	Grooved	Type	PSC
		Condenser side	
		Air volume (m <sup>3</sup> /h)	1400 (assumed)
		Power input (W)	75 (assumed)
		Type	PSC

例5 电动汽车的环境影响评价

电能传输效率=发电效率×(1-网损率)×充电效率

发电效率=35%  
网损率β=6.97%  
电池充电效率γ=85%  
⇒ 电动汽车的电能传输效率: 27.68%

电动汽车的节能及环保效果?

• 不同系统参数LCC

Cost-efficiency and LCC results for a 3500 W split-system room air conditioner

No. Design option	Manufacturer cost (Yuan)		Retail price (Yuan)	Cooling capacity (W)	EER (W/W)	AEC* (kWh/yr)	OC* (Yuan/yr)	Payback period (years)	LCC (Yuan)
	Incr.	Total							
0 Baseline	-	-	2600	3299	2.57	1027	616	-	7910
1 0+3.0 EER compressor	40	40	2600	3307	2.75	960	576	1.5	7624
2 1+3.16 EER compressor	61	101	2751	3313	2.90	910	546	2.1	7456
3 2+0.43m <sup>2</sup> condenser	56	157	2834	3325	2.96	891	535	2.3	7400
4 3+Cond <sup>†</sup> fan motor +10%	20	177	2864	3325	2.98	887	532	2.9	7427
5 4+Evap <sup>†</sup> fan motor +10%	20	197	2894	3329	2.99	882	529	3.1	7432
6 5+Cond <sup>†</sup> fan motor +20%	20	217	2923	3329	3.02	874	524	3.3	7423
7 6+Evap <sup>†</sup> fan motor +20%	20	237	2953	3333	3.03	870	522	3.5	7431

\*AEC based on 800 annual operating hours.  
\*OC based on electricity price of 0.63yuan/kWh.  
\*Cond = condenser; Evap = evaporator.

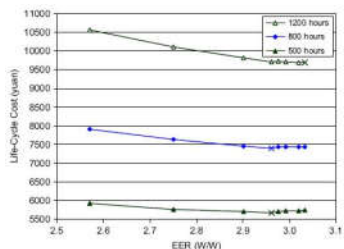
• 汽车制造生命周期评价

寿命: 行驶30万km

一辆汽车的材料组成和重量分布情况 单位: kg

材料	电动汽车	传统燃油汽车
铁	546	605.5
铜	11	9
锌	5	5
铝	5	10
铅	200.5	211.5
镁	20	15
玻璃	35	35
液态物质	19.5	45
橡胶	50	52
塑料	88	100
其他	162	78
总计	1142	1166

只考虑铁和铝的生产能耗



新的节能标准EER=3.2并非经济最佳点

材料回收的影响

三种原材料生产方式下的单位重量能耗情况 单位: kJ/kg

材料	100%纯净材料	100%可回收材料	60%纯净和 40%可回收材料
铁	40,000	30,000	36,000
铜	100,000	45,000	78,000
锌	50,000	16,000	36,400
铝	40,000	8,000	27,200
镁	280,000	27,000	178,000
玻璃	30,000	15,000	24,000
液态物质	62,733	62,733	68,733
橡胶	70,000	43,600	59,440
塑料	90,000	45,000	72,000
其他	138,163	124,425	132,668

分析计算利用

汽车生命周期评价中各部分的能耗与碳排放

	能耗 (GJ)		碳排放 (吨)	
	电动汽车	燃油汽车	电动汽车	燃油汽车
材料生产	87.06	81.51	1.91	2.04
汽车装配	22.55	23.03	0.87	0.89
销售配送	0.83	0.84	0	0
报废处理	0.42	0.43	0	0
总计	110.86	105.81	2.78	2.93

↓

忽略销售和报废处理的碳排放

EV、GV制造阶段碳排放差异不大

中国电网结构:  
煤电78.6  
天然气1.6%  
水风核19.8%

不同车型的电动汽车与燃油汽车生命周期评价

	传统汽车			电动汽车(中国电网)		
	8L/100km	9.4L/100km	9.8kWh/100km	15kWh/100km	20kWh/100km	24kWh/100km
总能耗 [kJ/km]	WTP	731	731	1,536	1,536	1,536
	PTW	2,563	3,022	889	1,267	1,817
	WTW	3,294	3,753	2,425	2,907	3,353
化石能源 [kJ/km]	WTP	656	656	1,523	1,523	1,523
	PTW	2,481	2,940	712	1,097	1,459
	WTW	3,137	3,597	2,235	2,620	2,982
煤 [kJ/km]	WTP	45	45	1,481	1,481	1,481
	PTW	0	0	487	1,062	1,416
	WTW	45	45	2,168	2,543	2,897
天然气 [kJ/km]	WTP	394	394	22	22	22
	PTW	0	0	16	25	33
	WTW	394	394	38	47	55
石油 [kJ/km]	WTP	217	217	20	20	20
	PTW	2,481	2,940	10	10	10
	WTW	2,698	3,157	30	30	30
其他能源 [kJ/km]	WTP	75	75	13	13	13
	PTW	82	82	177	270	358
	WTW	157	156	190	287	371
二氧化碳 [g/km]	WTP	56	56	219	255	289
	PTW	188	223	0	0	0
	WTW	244	279	219	255	289

● 燃料生命周期评价

2012年12月, 美国阿肯实验室评估报告

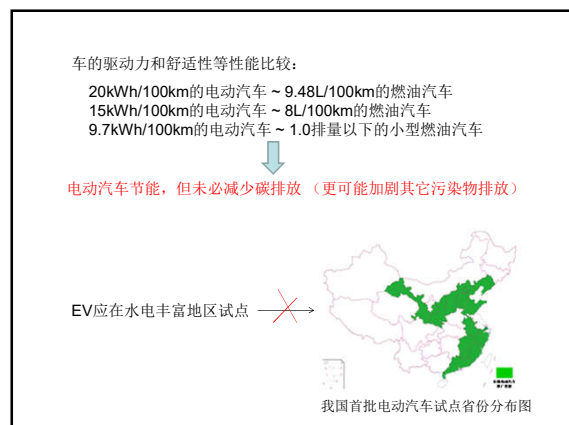
假定: EV耗电特性9.7kWh/100km, GV油耗特性为9.48L/100km

WTP: well to pump 上游生产环节

PTW: pump to wheel 下游使用环节

WTW: well to wheel 生命周期

	电动汽车与燃油汽车的生命周期评价比较						
	传统汽车			电动汽车			
	传统燃油	美国电网	煤炭	天然气	生物质能	可再生能源	
总能耗 [kJ/km]	WTP	731	1,165	1,916	1,119	3,872	62
	PTW	3,022	889	889	889	889	889
	WTW	3,753	2,054	2,805	2,008	4,760	951
化石能源 [kJ/km]	WTP	656	977	1,915	1,118	173	0
	PTW	2,940	745	888	889	40	0
	WTW	3,597	1,722	2,803	2,007	213	0
煤 [kJ/km]	WTP	45	631	1,884	2	2	0
	PTW	0	481	874	1	0	0
	WTW	45	1,112	2,758	3	2	0
天然气 [kJ/km]	WTP	394	327	5	1,112	18	0
	PTW	0	250	2	884	4	0
	WTW	394	577	7	1,996	22	0
石油 [kJ/km]	WTP	217	18	26	4	154	0
	PTW	2,940	14	12	3	35	0
	WTW	3,157	32	38	7	189	0
其他能源 [kJ/km]	WTP	75	188	1	1	3,699	62
	PTW	82	144	1	0	849	889
	WTW	156	332	2	1	4,547	951
二氧化碳 [g/km]	WTP	56	151	276	133	25	0
	PTW	223	0	0	0	0	0
	WTW	279	151	276	133	25	0



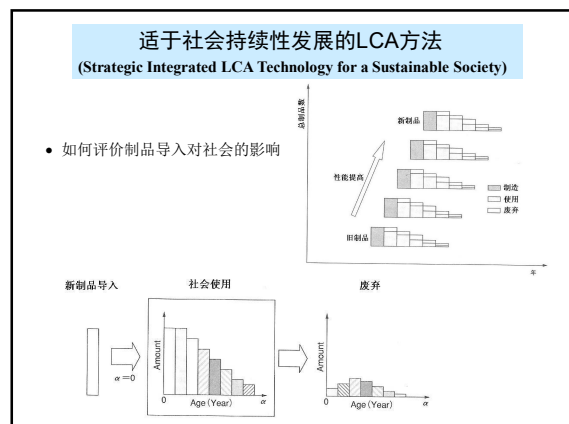
燃油汽车PTW阶段的能耗和碳排放, 分别占生命周期总能耗的80.5%和碳排放的79.9%

电动汽车的PTW阶段能耗都是889kJ/km而且基本无碳排放, WTP阶段的能耗和碳与电网结构密切相关

美国电网结构:  
煤电37.4%  
天然气发电30.4%  
可再生能源发电12.2%  
核电19%  
石油发电0.5%

→

EV的能耗和碳排放为GV的54.7和54%





**LCA方法**

第t年制品的数量变化:

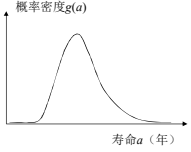
$$\Delta N_{use}(t) = N_{in}(t) - N_{out}(t)$$

↑ 导入量    ↓ 废弃量

$$\Delta N_{use}(t) = N_{use}(t) - N_{use}(t-1)$$

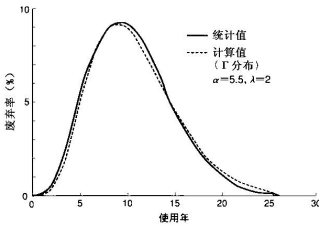
假设制品的寿命分布为g(a) (a为年数), 则

$$N_{out}(t) = \sum_{a=0}^{t-1} N_{in}(t-a)g(a)$$

$$N_{use}(t) = N_{use}(t_0-1) + \sum_{x=t_0}^t \left[ N_{in}(x) - \sum_{a=0}^{x-1} N_{in}(x-a)g(a) \right]$$


• 寿命分布

Γ函数  $g(x) = \int_0^{\infty} \frac{\lambda^a x^{a-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(a)} dx$



若t<sub>0</sub>年开始导入, 则

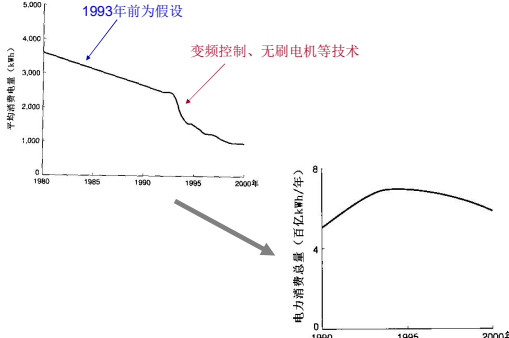
$$N_{use}(t) = \sum_{x=t_0}^t N_{in}(x) - \sum_{x=t_0}^t \left[ \sum_{a=0}^{x-1} N_{in}(x-a)g(a) \right]$$

$$= \sum_{x=t_0}^t N_{in}(x) \left[ 1 - \sum_{a=0}^{x-1} g(a) \right]$$

↓

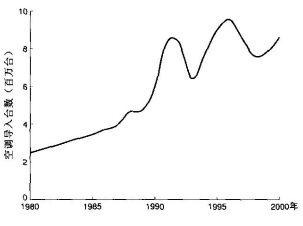
利用Excel等数据库完成统计、计算

• 空调性能的改进

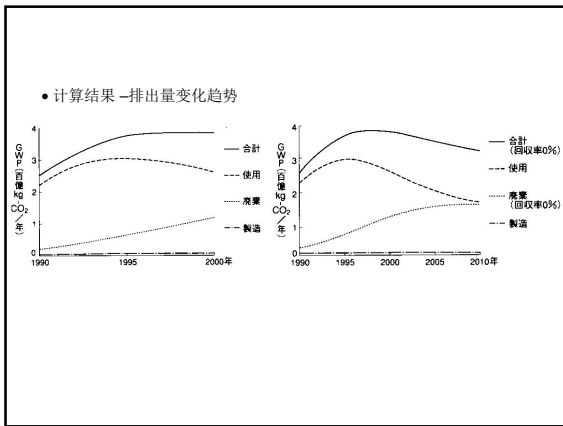


例: 日本房间空调的环境负荷

- 导入量 (1980年以前假设为200万台)



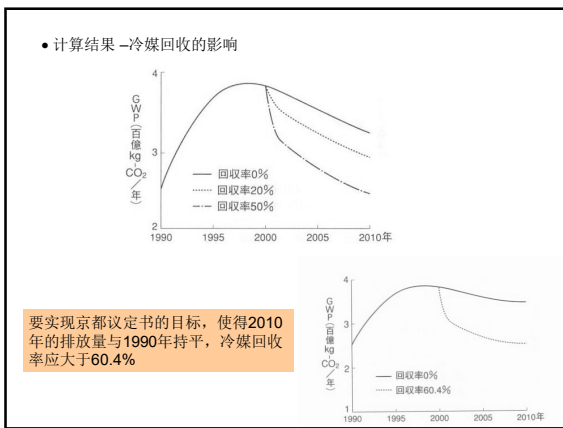
- 电力的CO<sub>2</sub>排放 = 0.45kg/kWh (定值, 1997年)
- 冷媒
  - 1998年前, HCFC-R22, 约0.8kg, GWP=1700
  - 1999年后, HFC-R410A, 约1.2kg, GWP=1730
- 冷媒废弃:
  - 2001年, 《家电回收法》
  - 2000年以前, 释放到大气(假设)



性能评价指标

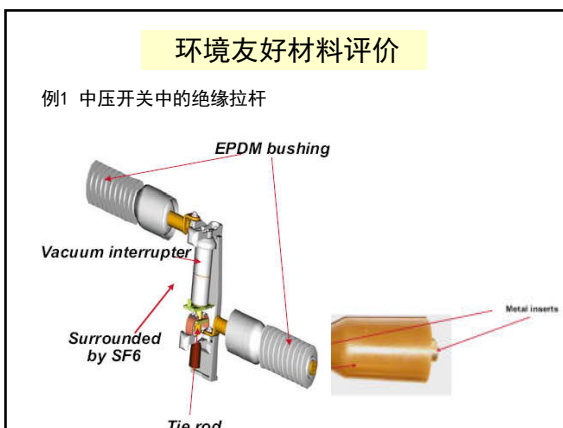
Properties	Unit	Benchmark Mark	Boundary Value	Principle of Ranking	
				Distribution curve	Relative Function Formula (R)
<b>Mechanical</b>					
Tensile Strength	MPa	75	50	Ln 0	$R=7.5 \times \text{Ln}(0.036 \times x) - 4.5$
Tensile Modulus	GPa	9.5	3	Ln 0	$R=2.6 \times \text{Ln}(2.718 \times x^{0.5}) + 0.4$
Torsion Strength	MPa	110	80	Ln 0	$R=3 \times \text{Ln}(2.71828 \times 110 \times 2)$
Compressive Strength	MPa	135	70	Ln 0	$R=8.1 \times \text{Ln}(2.71828 \times 135) - 1.61$
Impact Strength notch	KJ/m <sup>2</sup>	7	4	Ln 0	$R=5.34 \times \text{Ln}(2.71828 \times 7) - 2.34$
<b>Thermal</b>					
Glass Transition Tg	°C	100	80	Linear	$R=0.15x - 12$
Thermal Conductivity	W/mK	0.8	0.2	Linear	$R=0x - 1$
Linear Expansion	10 <sup>-6</sup> /K	3.5	10	Linear	$R=0.46x + 6.6$
Heat Deflect. Temp 1.8 MPa	°C	120	100	Linear	$R=0.15x - 15$
<b>Electrical</b>					
Insulation Resistance	Ohm.cm	1 x 10 <sup>14</sup>	1 x 10 <sup>9</sup>	Lg 0	$R=0.8 \log(x) + 5.4$
Loss Tangent 100z		0.01	0.1	Lg 0	$R=3 \times \text{Log}(1/x) - 3$
Permittivity 1kHz		3.5	5.5	Linear	$R=3 \times x + 15.5$
Dielectric Strength	kV/mm	18	10	Lg 0	$R=6 \text{Ln}(2.718 \times 18) - 2$
<b>Physical</b>					
Density	kg/cm <sup>3</sup>	1.75	3	Linear	$R=2.4x + 2$
Water Absorption	%	0.1	0.4	Linear	$R=10x + 4$

Benchmark - optimum value  
Boundary condition - minimum value acceptable



评价权重

Functional Requirements of The Rod in Circuit Breaker (F)	Relative Importance by Weighting (W)	Materials Property Dependent Upon Function F
<b>Mechanical</b>		
Tension Dynamic Shock	W <sub>1</sub> 5	Tensile Strength Tensile Modulus
Compression Dynamic Shock	W <sub>2</sub> 5	Comp. Strength Comp. Modulus
Torsion	W <sub>3</sub> 5	Flexural Strength
Compressive creep behaviour at elevated temperatures	W <sub>4</sub> 5	Creep Behaviour at elevated temperatures
Contact operations	W <sub>5</sub> 5	Notched Impact Strength
<b>Electrical</b>		
Voltage Withstand	W <sub>6</sub> 5	Loss Tangent
Lightning Impulse	W <sub>7</sub> 5	Dielectric Strength Permittivity Vol. resistivity
<b>Geometry</b>		
Insulation dimensions	W <sub>8</sub> 3	CTI Arc resistance
<b>Thermal</b>		
Thermal Cycling	W <sub>9</sub> 5	Continuous Service Temperature
	W <sub>10</sub> 3	Glass Transition Temperature
	W <sub>11</sub> 3	Thermal Conductivity
	W <sub>12</sub> 3	Linear Expansion
<b>Physical &amp; Chemical</b>		
	W <sub>13</sub> 3	Density
	W <sub>14</sub> 3	Moisture Absorption



环境影响评价指标

Hazardous Waste Production	5
Ozone Depletion	5
Global Warming	5
Energy Depletion	5
Water Depletion	3
Raw Material Depletion	3
Water Toxicity	3
Air Toxicity	1
Acidification	1
Photochemical Ozone Creation	1
Water Eutrophication	1

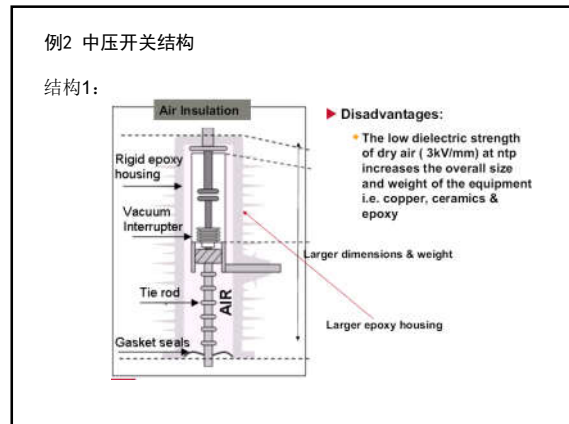
### 评价权重

Environmental Burdens	Weighting (W <sub>i</sub> )	Environ. Impact value (E <sub>i</sub> )	Impact Assessment Value (W <sub>i</sub> × E <sub>i</sub> )
Hazardous Waste Production (HWP)	5	3	15
Ozone Depletion (OD)	5	3	15
Global Warming (GW)	5	3	15
Energy Depletion (ED)	5	3	15
Water Depletion (WD)	3	3	9
Raw Material Depletion (RMD)	3	3	9
Water Toxicity (WT)	3	3	9
Air Toxicity (AT)	1	3	3
Air Acidification (AA)	1	3	3
Photochemical Ozone Creation (POC)	1	3	3
Water Eutrophication (WE)	1	3	3
<b>Total impact assessment value</b>			<b>= 99</b>

方法1 (环氧取中间值3)

Environmental Burdens	Weighting (W <sub>i</sub> )	Log A-Log B (E)	Impact Assessment Value (W <sub>i</sub> × E)
Hazardous Waste Production (HWP)	5	-0.14	-0.70
Ozone Depletion (OD)	5	-4.80	-24.0
Global Warming (GW)	5	-0.18	-0.90
Energy Depletion (ED)	5	-0.08	-0.40
Water Depletion (WD)	3	-0.17	-0.51
Raw Material Depletion (RMD)	3	-0.10	-0.30
Water Toxicity (WT)	3	-0.66	-1.98
Air Toxicity (AT)	1	-0.30	-0.30
Air Acidification (AA)	1	-0.32	-0.32
Photochemical Ozone Creation (POC)	1	-0.08	-0.08
Water Eutrophication (WE)	1	-0.64	-0.64
<b>Total impact assessment value</b>			<b>= -29.1</b>

方法2



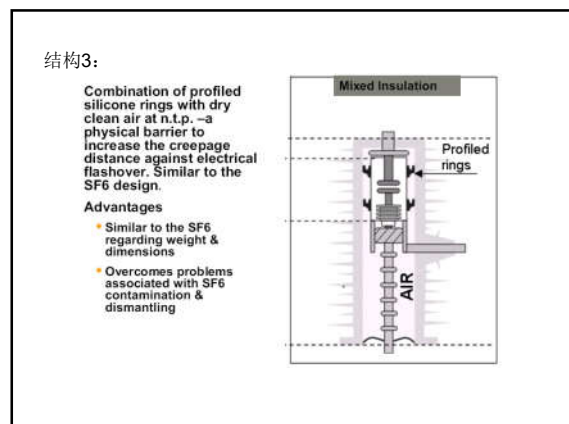
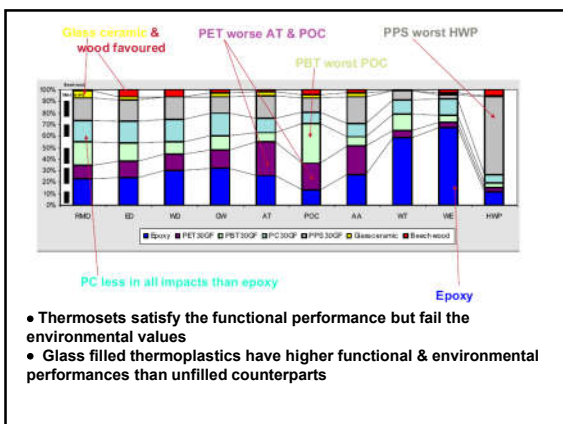
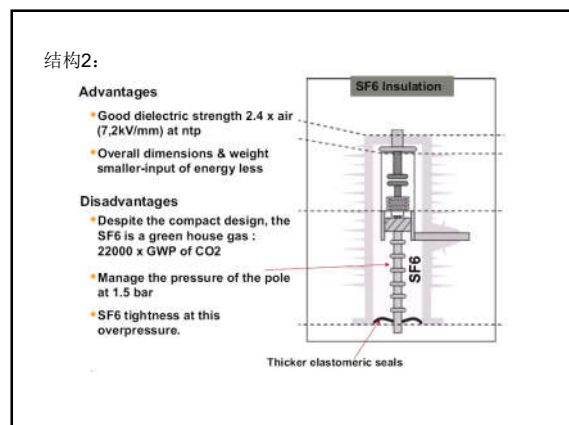
### 评价结果

Preferential order for materials:

- Functional performance >1
- Environ. performance <1 (Method 1)
- Negative value (Method 2)

Generic type	Normalised Functional performance (Weighted average)	Environmental Performance #	
		Method 1	Method 2
PC/EP 20%	1.35	0.54	-29
PET	-0.35	0.28	-5
PET-GF 30%	-1.22	0.62	-33
PBT-GF 30%	-1.25	0.58	-26
TPB-GF 30%	-1.25	0.75	-24
PA66-GF 30%	1.38	1.50	7
BPO-GF 30%	1.09	1.02	-17
PEI-GF 30%	1.28	1.46	-9
PEI	0.94	1.5	-5
PBT	0.58	0.58	-27
PA66	-1.22	1.24	-11
PI	0.70	1.50	4
Glass ceramic	1.19	0.54	-52
Wood*	0.81	0.54	-46
SMC	-1.33	1.30	-12
Epoxy lin rod	1.00	1.00	0

PC 聚碳酸酯, PBT聚对苯二甲酸乙二酯, PPS聚苯硫醚



**Comparison of materials for each design (kg)**

Material	Mixed	SF6	Air
Metals	9.6	9.6	10.7
Thermoplastics	0.4	0.4	0.4
Thermosets	6.1	6.1	7.0
Elastomers	0.45	0.26	5 x10 <sup>-2</sup>
Ceramics	1.3	1.3	2.6
SF6	0	6x10 <sup>-2</sup>	0
Others	5 x10 <sup>-3</sup>	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>17.87</b>	<b>17.74</b>	<b>20.8</b>

评价结果：（使用）

- ♦ electricity consumption
- ♦ SF6 leakage

	Air	SF6	Mixed
Rank	1st	3rd	1st

评价结果：（制造）

♦ 1: best, 3: worst

Environmental Indicators	Units	Air Insulation			SF6 Insulation			Mixed Insulation			
		Weighting (W)	Impact	Rank	Impact	Rank	Impact	Rank	Impact	Rank	
Energy Depletion	MJ	5	1.36E+04	3	15	2.03E+03	1	5	2.36E+03	2	10
Hazardous Waste Production	kg	5	6.39E-01	3	15	7.00E-01	2	10	7.59E-01	1	5
Global Warming	g-CO2	5	1.03E+05	3	15	2.17E+05	2	10	1.89E+05	1	5
Ozone Depletion	g-CFC-11	5	4.69E-01	3	15	3.03E-01	2	10	3.11E-01	2	5
Non-Metallic Acid Production	kg	5	2.32E+02	3	15	2.88E+02	1	5	2.52E+02	2	5
Water Depletion	m3	3	1.83E+04	3	9	1.92E+03	1	3	1.44E+03	2	6
Water Toxicity	mg3	3	2.32E+05	3	9	6.01E+04	1	3	6.96E+04	2	6
Air Toxicity	mg3	1	7.61E+03	3	3	6.75E+02	1	1	7.36E+02	2	2
Photochemical Ozone Creation	g-CO2e	1	4.01E+02	3	3	5.43E+01	1	1	5.64E+01	2	2
Air Acidification	g-SO2	1	6.89E+02	3	3	6.89E+01	2	2	5.26E+01	1	1
Water Eutrophication	g-PO4	1	6.30E+01	3	3	1.44E+01	2	2	1.36E+01	1	1
<b>TOTAL IMPACT</b>	<b>3 We. center</b>				<b>99</b>			<b>50</b>			<b>49</b>

评价结果：（回收和废弃）

duration time for decontamination, dismantling and material sorting

Previous company experience

End of life -disposal	Air		SF6		Mixed	
	rank	rank	rank	rank	rank	rank
Dismantle (minutes)	20	1	50	3	20	1
Recycle and reuse (%)	77	3	83	1	84	1
Landfill (%)	19	3	12	1	12	1
Incineration (%)	4	1	5	1	4	1
Total	8		6		4	
Overall Rank	3rd		2nd		1st	

评价结果：（安装）

Product + Packaging	Air	SF6	Mixed
Mass of Product (kg)	20.1	17.72	17.85
Mass of packaging (kg)	7	5	5
Volume of packed product	1.5X	X	X
Rank	3rd	1st	1st

X = Unit volume of SF6 unit

综合评价：

	Air Rank	SF6 Rank	Mixed Rank
Manufacturing	3	1	1
Distribution	3	1	1
Use	1	3	1
End of Life	3	2	1
Global impact	10	7	4
Rank	3rd	2nd	1st

