

附件2

《国家重点节能低碳技术推广目录》
(2016 年本 节能部分)
技术报告

国家发展和改革委员会

2016 年 12 月

目 录

1 煤矿低浓度瓦斯发电技术.....	12
2 矸石电厂低真空供热技术.....	14
3 储运扬尘防治成套技术.....	15
4 矿井乏风和排水热能综合利用技术.....	18
5 新型高效煤粉工业锅炉系统技术.....	21
6 综采工作面高效机械化矸石充填技术.....	24
7 煤矿矿井水超磁分离井下处理技术.....	27
8 超低浓度煤矿乏风瓦斯氧化利用技术.....	30
9 皮带机变频能效系统技术.....	33
10 汽轮机通流部分现代化改造.....	36
11 汽轮机汽封改造.....	38
12 变频器调速节能技术.....	40
13 电除尘器节能提效控制技术.....	42
14 纯凝汽轮机组改造实现热电联产技术.....	45
15 回转式空气预热器接触式密封技术.....	48
16 电站锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统.....	51
17 电站锅炉用邻机蒸汽加热启动技术.....	55
18 脱硫岛烟气余热回收及风机运行优化技术.....	58
19 提高火电厂汽轮机组性能综合技术.....	60
20 火电厂烟气综合优化系统余热深度回收技术.....	63
21 火电厂凝汽器真空保持节能系统技术.....	66
22 高压变频调速技术.....	70
23 配电网全网无功优化及协调控制技术.....	73
24 新型节能导线应用技术.....	76
25 超临界及超超临界发电机组引风机小汽轮机驱动技术.....	80
26 可控自动调容调压配电变压器技术.....	83
27 全光纤电流/电压互感器技术.....	86

28 自然通风逆流湿式冷却塔风水匹配强化换热技术.....	90
29 冷却塔用离心式高效喷溅装置.....	92
30 大型供热机组双背压双转子互换循环水供热技术.....	95
31 回转式空气预热器密封节能技术.....	98
32 基于快速涡流驱动及短路识别的电网运行控制技术.....	102
33 基于架空地线绝缘接地方式的交流输电线路节能技术.....	106
34 大容量高参数褐煤煤粉锅炉技术.....	109
35 高效利用超低热值煤矸石的循环流化床锅炉技术.....	112
36 中小型汽轮机节能技术.....	115
37 基于凝结水调负荷的超超临界机组协调控制技术.....	118
38 富氧双强点火稳燃节油技术.....	121
39 准稳定直流除尘器供电电源节能技术.....	124
40 球磨机高效球磨综合节能技术.....	127
41 铜包铝芯电线电缆节能技术.....	130
42 大型高炉长周期高效运行的干式 TRT 装置.....	133
43 高温高压干熄焦装置.....	137
44 钢铁行业烧结余热发电技术.....	140
45 转炉煤气干法回收技术.....	141
46 蓄热式燃烧技术之一：蓄热式转底炉处理冶金粉尘回收铁锌技术.....	144
47 蓄热式燃烧技术之二：无旁通不成对换向蓄热燃烧节能技术.....	147
48 低热值高炉煤气燃气-蒸汽联合循环发电.....	151
49 炼焦煤调湿风选技术.....	153
50 钢铁行业能源管控技术.....	156
51 矿热炉节能技术.....	159
52 高炉鼓风除湿节能技术.....	163
53 螺杆膨胀动力驱动节能技术.....	165
54 电炉余热和加热炉余热联合发电技术.....	169
55 矿热炉烟气余热利用技术.....	172
56 非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术.....	174

57 加热炉黑体技术强化辐射节能技术.....	177
58 棒材多线切分与控轧控冷节能技术.....	180
59 钢水真空循环脱气工艺干式（机械）真空系统应用技术.....	183
60 炭素环式焙烧炉燃烧系统优化技术.....	187
61 环冷机液密封技术.....	190
62 旋切式高温顶燃热风炉节能技术.....	193
63 中低温太阳能工业热力应用系统技术.....	196
64 燃气轮机值班燃料替代技术.....	199
65 冶金余热余压能量回收同轴机组应用技术.....	203
66 全密闭矿热炉高温烟气干法净化回收利用技术.....	210
67 大型焦炉用新型高导热高致密硅砖节能技术.....	214
68 高炉冲渣水直接换热回收余热技术.....	218
69 焦炉炭化室荒气回收和压力自动调节技术.....	222
70 冷捣糊整体优化成型筑炉节能技术.....	225
71 烧结废气余热循环利用工艺技术.....	228
72 无引风机无换向阀蓄热燃烧节能技术.....	231
73 焦炉荒煤气显热回收利用技术.....	235
74 大型高效充气机械搅拌式浮选机.....	238
75 氧气底吹熔炼技术.....	241
76 铝电解槽新型阴极结构及焙烧启动与控制技术.....	244
77 流态化焙烧高效节能炉窑技术.....	249
78 精滤工艺全自动自清洁节能过滤技术.....	252
79 铅闪速熔炼炉蓄热式燃烧技术改造.....	255
80 氧气侧吹熔池熔炼技术.....	258
81 双侧吹竖炉熔池熔炼技术.....	261
82 有色冶金高效节能电液控制集成创新技术.....	265
83 铝酸钠溶液微扰动平推流晶种分解节能技术.....	268
84 低温低电压铝电解新技术.....	272
85 粗铜自氧化还原精炼技术.....	275

86 复式反应新型原镁冶炼技术.....	278
87 高电流密度锌电解节能技术.....	282
88 旋浮铜冶炼节能技术.....	286
89 大型高效无传动浮选技术.....	290
90 双炉粗铜连续吹炼节能技术.....	294
91 节能高效强化电解平行流技术.....	299
92 油田机械用放空天然气回收液化工程.....	302
93 变换气制碱及其清洗新工艺技术.....	303
94 矿或冶炼气制酸低温热回收技术.....	306
95 节能环保型密闭电石生产技术.....	309
96 合成氨节能改造综合技术.....	313
97 燃煤催化燃烧节能技术.....	315
98 先进煤气化节能技术.....	316
99 新型高效节能膜极距离子膜电解技术.....	324
100 大型高参数板壳式换热技术.....	326
101 炭黑生产过程余热利用和尾气发电（供热）技术.....	329
102 顶置多喷嘴粉煤加压气化炉技术.....	331
103 模块化梯级回热式清洁燃煤气化技术.....	335
104 玻璃板式换热器余热回收技术.....	339
105 封闭直线式长冲程抽油机节能技术.....	342
106 热超导陶瓷涂层节能技术.....	346
107 乏汽与凝结水闭式全热能回收技术.....	349
108 纳米陶瓷多空微粒绝热节能材料涂层技术.....	351
109 油田采油污水余热综合利用技术.....	353
110 换热设备超声在线防、除垢技术.....	355
111 氯化氢合成余热利用技术.....	358
112 节能型尿素生产技术.....	361
113 煤气化多联产燃气轮机发电技术.....	364
114 新型吸收式热变换器技术.....	366

115	高效复合型蒸发式冷却（凝）器技术.....	369
116	溶剂萃取法精制工业磷酸技术.....	372
117	工业冷却循环水系统节能优化技术.....	375
118	蒸汽系统运行优化与节能技术.....	379
119	高辐射覆层技术.....	382
120	石化企业能源平衡与优化调度技术.....	388
121	芳烃装置低温热回收发电技术.....	391
122	黄磷生产过程余热利用及尾气发电（供热）技术.....	395
123	高压高效缠绕管换热技术.....	400
124	基于相变移热的等温变换节能技术.....	403
125	硝酸生产反应余热余压利用技术.....	407
126	水平带式真空滤碱节能技术.....	411
127	车用燃油清洁增效技术.....	415
128	大型往复式压缩机流量无级调控技术.....	419
129	玻璃熔窑余热发电技术.....	422
130	全氧燃烧技术.....	424
131	辊压机粉磨系统.....	426
132	立式磨装备及技术.....	428
133	富氧燃烧技术.....	430
134	稳流行进式水泥熟料冷却技术.....	431
135	大推力多通道燃烧节能技术.....	433
136	高效节能选粉技术.....	436
137	Low-E 节能玻璃技术.....	438
138	烧结多孔砌块及填塞发泡聚苯乙烯烧结空心砌块技术.....	440
139	预混式二次燃烧节能技术.....	442
140	膨胀玻化微珠保温砂浆制备及应用技术.....	445
141	高固气比水泥悬浮预热分解技术.....	450
142	预应力高强混凝土管桩免蒸压技术.....	453
143	层烧蓄热式机械化石灰立窑煅烧节能技术.....	455

144	高效优化粉磨节能技术.....	459
145	钛纳硅超级绝热材料保温节能技术.....	463
146	烧结砖隧道窑辐射换热式余热利用技术.....	466
147	水泥企业用能管理优化技术之一.....	469
148	水泥企业用能管理优化技术之二：.....	472
149	新型水泥预粉磨系统节能技术.....	476
150	浮法玻璃炉窑全氧助燃装备技术.....	480
151	建筑陶瓷薄型化节能技术.....	484
152	无动力防卡筛及配套骨料前端砂石同产工艺技术.....	489
153	智能调节透反射率节能玻璃膜.....	492
154	水泥熟料烧成系统优化技术.....	495
155	建筑陶瓷制粉系统优化技术.....	499
156	保温技术之一：纳米梯度结构保温材料节能技术.....	503
157	保温技术之二：陶瓷纳米纤维毯及包裹技术.....	507
158	智能连续式干粉砂浆生产技术.....	511
159	大型回转窑组合炉衬节能技术.....	514
160	纳米阻燃隔热材料节能技术.....	517
161	用于高耗能行业的集成系统诊断与优化节能技术.....	520
162	塑料动态成型加工节能技术.....	524
163	高浓度糖醇废水沼气发电技术.....	527
164	锅炉烟道气饱充技术.....	528
165	管束干燥机废气回收综合利用技术.....	529
166	高效双盘磨浆机.....	531
167	谷氨酸生产过程中蒸汽余热梯度利用技术.....	533
168	机械式蒸汽再压缩技术.....	536
169	聚能燃烧技术.....	538
170	高强度气体放电灯用大功率电子镇流器新技术.....	541
171	新型生物反应器和高效节能生物发酵技术.....	543
172	铅蓄电池高效低能耗极板制造技术.....	547

173	高红外发射率多孔陶瓷节能燃烧器技术.....	550
174	高效放电回馈式电池化成技术.....	553
175	金属涂装前常温钝化处理节能技术.....	556
176	异麦芽酮糖发酵工艺优化技术.....	559
177	高效节能型锥形同向双螺杆挤出技术.....	562
178	双级高效永磁同步变频离心式冷水机技术.....	565
179	粮食干燥系统节能技术.....	568
180	全自动连续煮糖技术.....	571
181	热泵的双级增焓提效技术.....	574
182	玻璃瓶罐轻量化生产技术.....	578
183	基于感应耦合的无极荧光照明技术.....	581
184	金属纤维全预混强制鼓风商用燃气灶节能技术.....	584
185	LED 智能照明节能技术之一：道路照明技术.....	588
186	LED 智能照明节能技术之二：隧道照明技术.....	593
187	LED 智能照明节能技术之三：地铁照明技术.....	597
188	基于 LED 发光特性的广告灯箱节能技术.....	601
189	基于二级变频控制驱动的 XED 灯节能技术.....	605
190	高光快速注塑成型技术.....	608
191	基于翅片式换热结构的节能型炊具技术.....	612
192	陶瓷金卤灯高效照明系统.....	615
193	大功率氙气照明节能技术.....	619
194	造纸靴式压榨节能技术.....	623
195	塑料加工双效加热节能技术.....	626
196	基于双转子连续混炼造粒机的高效混炼节能技术.....	630
197	制糖热能集中优化控制节能技术.....	634
198	棉纺织企业智能空调系统节能技术.....	638
199	染整企业节能集热技术.....	641
200	高温高压气流染色技术.....	644
201	聚酯化纤酯化工艺余热回收制冷技术.....	648

202	合成纤维熔纺长丝环吹冷却技术.....	650
203	超低浴比高温高压纱线（拉链）染色机.....	653
204	高温低浴比 O 型染色机节能技术.....	657
205	液相增粘熔体直纺涤纶工业丝技术.....	661
206	基于智能化控制的蒸汽高效利用技术.....	664
207	频谱谐波时效技术.....	667
208	动态谐波抑制及无功补偿综合节能技术.....	671
209	控制气氛渗氮工艺节能技术.....	673
210	高效节能电动机用铸铜转子技术.....	676
211	稀土永磁盘式无铁芯电机节能技术.....	680
212	直燃式快速烘房技术.....	682
213	塑料注射成型伺服驱动与控制技术.....	684
214	电子膨胀阀在变频节能技术中的应用.....	686
215	工业冷却塔用混流式水轮机技术.....	689
216	曲叶型系列离心风机技术.....	692
217	自密封旋转式管道补偿节能技术.....	696
218	基于低压高频电解原理的循环水系统防垢提效节能技术.....	699
219	永磁涡流柔性传动节能技术.....	703
220	工业微波/电混合高温加热窑炉技术.....	706
221	数字化无模铸造精密成形技术.....	710
222	低压工业锅炉高温冷凝水除铁技术.....	714
223	新型桥式起重机轻量化设计节能技术.....	718
224	磁悬浮离心式鼓风机技术.....	721
225	两级喷油螺杆空气压缩机节能技术.....	724
226	变频优化控制系统节能技术.....	727
227	节能铜包铝管母线技术.....	730
228	智能真空渗碳淬火技术.....	735
229	锅炉燃烧温度测控及性能优化系统技术.....	739
230	三相工频感应电磁锅炉技术.....	743

231	热转印标识打印技术.....	746
232	板型叶片高效离心风机模型优化设计技术.....	749
233	自励三相异步电动机（制造）技术.....	752
234	基于微机控制的三相电动机节电器技术.....	755
235	基于电磁平衡调节的用户侧电压质量优化技术.....	758
236	绕组式永磁耦合调速器节能技术.....	762
237	基于低真空相变原理的工业废水余热回收技术.....	766
238	节能高效挖掘机势能回收技术.....	770
239	锅炉防腐阻垢及相平衡热回收节能技术.....	773
240	ORC 螺杆膨胀机低品位余热发电技术.....	776
241	热泵节能技术之一：地源热泵技术.....	779
242	热泵节能技术之二：水源热泵技术.....	781
243	热泵技术之三：空气源热泵冷、暖、热水三联供系统技术.....	783
244	热电协同集中供热技术.....	786
245	夹芯复合轻型建筑结构体系节能技术.....	790
246	节能型合成树脂幕墙装饰系统技术.....	793
247	水性高效隔热保温涂料节能技术.....	796
248	温湿度独立调节系统技术.....	799
249	中央空调全自动清洗节能系统.....	802
250	动态冰蓄冷技术.....	805
251	高效水蓄能中央空调技术.....	808
252	基于相变储热的多热源互补清洁供热技术.....	811
253	过程能耗管控系统技术.....	815
254	蒸汽节能输送技术.....	818
255	墙体用超薄绝热保温板技术.....	820
256	磁悬浮变频离心式中央空调机组技术.....	823
257	分布式能源冷热电联供技术集成.....	827
258	分布式水泵供热系统技术.....	831
259	基于冷却塔群变流量控制的模块化中央空调节能技术.....	834

260	低辐射玻璃隔热膜及隔热夹胶玻璃节能技术.....	838
261	溴化锂吸收式冷凝热回收技术.....	841
262	浅层地能利用之一：单井循环换热地能采集技术.....	844
263	浅层地能利用之二：浅层地（热）能同井回灌技术及装置.....	849
264	智能热网监控及运行优化技术.....	852
265	燃气锅炉烟气余热回收利用技术之一：宽通道双级换热燃气锅炉烟气余热回收技术.....	855
266	燃气锅炉烟气余热利用技术之二：烟气源热泵供热节能技术.....	859
267	燃气锅炉烟气余热回收利用技术之三：喷淋吸收式烟气余热回收利用技术.....	863
268	建筑节能智能控制技术之一：建筑(群落)能源动态管控优化系统技术.....	866
269	建筑节能智能控制技术之二：基于实际运行数据的冷热源设备智能优化控制技术.....	870
270	建筑节能智能控制技术之三：基于人体热源的室内智能控制节能技术.....	873
271	基于喷射式高效节能热交换装置的供热技术.....	876
272	基于全焊接高效换热器的撬装换热站技术.....	879
273	冷库围护结构一体化节能技术.....	883
274	胶条密封推拉窗技术.....	887
275	预制直埋保温管保温处理工艺技术.....	890
276	汽车混合动力技术.....	893
277	温拌沥青在道路建设与养护工程中的应用技术.....	895
278	沥青路面冷再生技术在路面大中修工程中的应用技术.....	898
279	轮胎式集装箱门式起重机“油改电”节能技术.....	902
280	新型轮胎式集装箱门式起重机节能技术.....	904
281	发动机智能冷却技术.....	907
282	高速公路电子不停车收费技术.....	910
283	高压变频数字化船用岸电系统技术.....	915
284	船舶轴带无刷双馈交流发电系统技术.....	918
285	混合动力交流传动调车机车技术.....	922
286	金属减摩修复技术.....	925
287	基于减小螺旋桨运动阻力的船舶推进系统节能改造技术.....	928
288	轨道车辆直流供电变频空调节能技术.....	932

289	城市轨道交通牵引供电系统制动能量回馈技术.....	936
290	热管/蒸气压缩复合制冷技术.....	941
291	通信用 240V 直流供电系统.....	945
292	基站载频设备智能节电技术.....	949
293	通信用耐高温型阀控式密封电池节能技术.....	953
294	数据中心机房供冷技术之一：分布式热管冷却技术.....	957
295	数据中心机房供冷技术之二：全密闭动态均衡送风供冷节能技术.....	963
296	节能型液体冷却服务器系统.....	967

1 煤矿低浓度瓦斯发电技术

一、技术名称：煤矿低浓度瓦斯发电技术

二、技术所属领域及适用范围：煤炭行业 矿井抽采瓦斯用于发电

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

瓦斯的主要成分为 CH₄、O₂、N₂ 以及少部分 CO₂，将这些瓦斯直接排放到大气中对环境的影响是非常大的。该技术主要是利用瓦斯中的 CH₄ 进行发电。目前应用该技术可实现节能量 150 万 tce/a，减排约 1500 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

一般瓦斯电站机组只能用 30% 浓度以上瓦斯发电，否则不易稳定燃烧。且低浓度瓦斯易发生爆炸，输送安全难以解决。

本技术通过多级阻火器和水雾输送系统保证输送安全，并在发电机组中，通过过氧燃烧达到利用瓦斯能量发电的目的。

2. 关键技术

- (1) 低浓度瓦斯的安全输送系统；
- (2) 低浓度瓦斯过氧燃烧的瓦斯发电机组。

3. 工艺流程

瓦斯气→抽采泵站→湿式放散阀→水位自控式水封阻火器→瓦斯管道专用阻火器→水雾输送系统→溢流式脱水水封阻火器→发电机组→发电。

五、主要技术指标

总装机容量 9000kW 可年发电 5.44×10⁷kWh，年耗瓦斯量 18144 万 m³。

表 1 与国外同类或相近产品主要技术参数对比

机型 项目	中国胜动 (12V190)	德国道依茨 (TGB620V16K)	美国卡特彼勒 (3520C)	奥地利颜巴赫 (TGC420)
标定功率 (kW)	700	1360	1800	1416
标定转速 (r/min)	1000	1500	1500	1500

缸径×行程 (mm)	190×210	170×195	170×190	145×185
燃气热耗率 (MJ/kWh)	9.6	9.0	9.2	8.5
点火方式	火花塞	火花塞	火花塞	火花塞
排气支管温度 (°C)	500	525	464	400
是否需要外置增压设备	不需要	需要	需要	需要
是否需要储气柜	不需要	需要	需要	需要
应用瓦斯浓度范围	大于 8%	大于 25%	大于 25%	大于 25%
排放指标	欧 II	欧 III	欧 III	欧 III

六、典型应用案例

技术提供单位：胜利油田胜利动力机械集团有限公司

峰峰大淑村矿 8 台 500GF1-3PW 发电机组，装机容量 4000kW，节煤 3000t/a，年创效益 447 万元，投资回收期 4.69 年。

羊渠河矿 5 台 500GF1-3PW 发电机组，装机容量 2500kW，节煤 2200t/a，年创效益 265 万元，投资回收期 4.69 年。

七、推广前景及节能减排潜力

我国煤矿瓦斯电站一般只能用浓度 30%以上煤矿瓦斯发电，低浓度煤矿瓦斯（甲烷含量 6%-30%）得不到应用，而直接排空造成浪费及污染环境。因此采用此项技术既节约能量又可减少环境污染，值得在煤矿推广。目前瓦斯发电行业整体处于加速上升期，且在“十二五”、“十三五”规划期内，伴随着煤层气的大力发展，瓦斯发电行业将持续加速发展。预计未来 5 年该技术的推广比例将达到 40%，节能能力 200 万 tce/a，减排量 2000 万 tCO₂/a。

2 矸石电厂低真空供热技术

一、**技术名称：**矸石电厂低真空供热技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业 矿山民用及办公建筑冬季采暖

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前该技术可实现节能量 7 万 tce/a，减排约 18 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

将汽轮发电机正常凝汽温度由 40℃ 提高至 80℃，通过热交换形成 55-60℃ 的循环水，从而实现低真空供热。

2. 关键技术

将汽轮发电机凝汽温度由正常的 40℃ 提高至 80℃ 后，凝汽器真空度提升为 0.08-0.09MPa，加大发电机轴向推力操作及管理难度增大；与 85℃ 出水温度，60℃ 回水温度的传统供热相比，低真空供热需加大暖气片的散热面积，其中旧建筑改造难度大。

五、**主要技术指标**

汽轮机凝汽温度 80℃，凝汽器真空度 0.08-0.09MPa，循环水出水温度 55-60℃，回水温度 40-45℃，汽轮机热效率可由 20% 左右提升至 70% 左右。

六、**典型应用案例**

河北金能集团井陘矿务局低真空供热面积 12.85 万 m²，现一期工程 5 万 m² 的改造已竣工运行。2 台 3MW 汽轮发电机组已正常运行，通过技改可实现最低 15 万 m² 的低真空供暖，投资额 1171 万元，节能量为每个采暖期（120 天）4226tce，经济效益为每个采暖期（120 天）338 万元，投资回收期 3.4 年。

七、**推广前景及节能减排潜力：**

适用于所有汽轮发电机凝汽余热对居民及办公的冬季采暖，节能潜力巨大。该技术目前在国内的推广比例为 20%，预计未来 5 年该技术的推广比例将达到 70%，节能能力 24 万 tce/a，减排量 63 万 tCO₂/a。

3 储运扬尘防治成套技术

一、技术名称：储运扬尘防治成套技术

二、技术所属领域及适用范围：煤炭等行业 粉料运输及露天堆放

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

铁路敞车运输的损失为：500-1000km时原煤损耗为 1.2%-2.5%；洗精煤的运输损耗为 2%-4%。煤炭铁路运输损失率平均为 1.2%，最小为 0.8%。

公路运输损耗一般为 80kg/100km 左右，以运距 300km、每车 25t 计算，煤炭损耗为 240kg，即煤炭汽车运输损耗为 0.96%以上（包括使用篷布）。

储煤场煤炭损失很难估算。一般海拔越高、风速越大的煤炭损失率也越高。

目前该技术可实现节能量 441 万 tce/a，减排约 1164 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

通过设备将减损抑尘剂喷洒到煤炭或粉状物料表面后，形成固化层，以达到降低损耗、防治扬尘的目的。

2.关键技术

减损抑尘剂无毒、无味、无腐蚀，喷洒于煤层表面后能形成具有一定强度和韧性的固化层，有效地防止扬尘。特点是成本低廉，使用方便，效果好。

3.工艺流程

具体工艺流程见图 1。

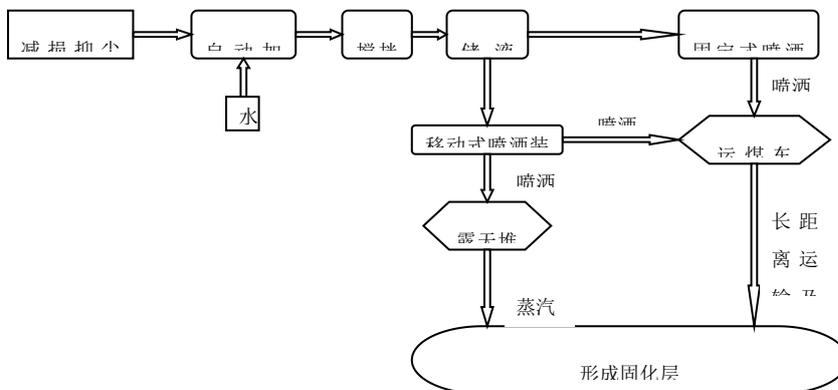


图 1 减损抑尘剂使用流程图

五、主要技术指标

1.减损抑尘剂溶液：透明-半透明液体，无机械杂质，密度 1.00-1.10g/cm³（20℃），粘度 ≥5 MPa·s（20℃），pH 值 6-8，在 10-40℃ 范围内使用。

2.减损抑尘效果：固化层厚度：10mm；风蚀率小于 1.0%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术经铁道部、山西省科学技术厅和甘肃省科技厅的鉴定，获甘肃省科技进步一等奖、兰州市科技进步一等奖、中国机械工业科技二等奖等 10 余奖励。已在神华集团神东分公司、沈阳铁路局、呼和浩特铁路局投入使用。

煤炭铁路运输抑尘技术最早于 2007 年开始应用，部分喷洒站已经工业化运行了两年多的时间，抑尘剂技术的应用已经较为成熟。从 2009 年开始，全国铁路范围内建设抑尘喷洒站的步伐明显加快，目前已建成喷洒站 32 个，在建或处于设计阶段的喷洒站 25 个，还有 12-15 台的移动式喷洒设备已经订货。全国已建成的固定式喷洒站可实现喷洒运量 2.0 亿-2.2 亿 t，占全国铁路煤炭运输量的 14% 左右；在建或处于设计阶段的固定式喷洒站可实现喷洒运量 1.7 亿-2.0 亿 t。

七、典型应用案例

典型案例 1：霍林河减损抑尘喷洒站

技术提供单位：兰州天际环境保护有限公司

建设规模：煤炭运量 4000 万 t/a，主要技改内容为：在霍林郭勒煤炭出运线路上建设抑尘剂喷洒站，对霍林郭勒煤矿外运煤炭进行抑尘剂喷洒。主要设备为对喷式喷洒设备，搅拌及储液设备，控制及监控设备。节能技改投资额 400 万元，建设期 4 个月。每年可节约 21.6 万 tce，年节能经济效益 17280 万元，投资回收期 0.5 年。

典型案例 2：榆家梁减损抑尘喷洒站

技术提供单位：兰州天际环境保护有限公司

建设规模：煤炭运量 1000 万 t/a，主要技改内容为：在煤矿筒仓装车点后建立喷洒点，主要设备包括龙门式喷洒设备、搅拌及储液设备、控制及监控设备，以及喷洒站建筑 100-150m²。节能技改投资额 300 万元，建设期 3 个月，每年可节约 5.4 万 tce，取得节能经济效益 4320 万元，投资回收期 0.75 年。

八、推广前景及节能减排潜力：

此技术可推广到煤矿、煤炭运输企业、热电厂、钢厂等。目前大约每 1000 万 t 运量需要

建设一个固定式喷洒站，每个喷洒站的投资在 250 万元左右，每个喷洒站建成之后可以实现每万吨煤炭运输量 70tce/a 的节能量，预计未来 5 年该技术的推广比例将达到 85%，节能能力可达约 500 万 tce/a，减排 1320 万 tCO₂/a。该技术亦可在煤炭公路运输及储煤场、散堆煤场使用。

4 矿井乏风和排水热能综合利用技术

一、**技术名称：**矿井乏风和排水热能综合利用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业 煤矿中央并列式通风系统

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前年产 150 万 t 的矿井，年供暖及工艺用热消耗近 1 万 t 原煤。应用该技术可实现更好的利用地热资源提供供热或制冷，降低煤耗。目前该技术可实现节能量 18 万 tce/a，减排约 48 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

为了充分利用地热，选用水源热泵机组取代传统的燃煤锅炉。冬季，利用水处理设施提供的20℃左右的矿井排水和乏风作为热能介质，通过热泵机组提取矿井水中蕴含的巨大热量，提供45-55℃的高温水为井口供暖。夏季，利用同样的水源通过热泵机组制冷，通过整体降低进风流温度来解决矿井高温热害问题。系统主要包括水处理、热量提取及换热系统、热泵系统和进口换热部分。

2.关键技术

热量提取及换热工艺，矿井供暖末端。

3.工艺流程

工艺流程和技术原理分别见图 1 和图 2。

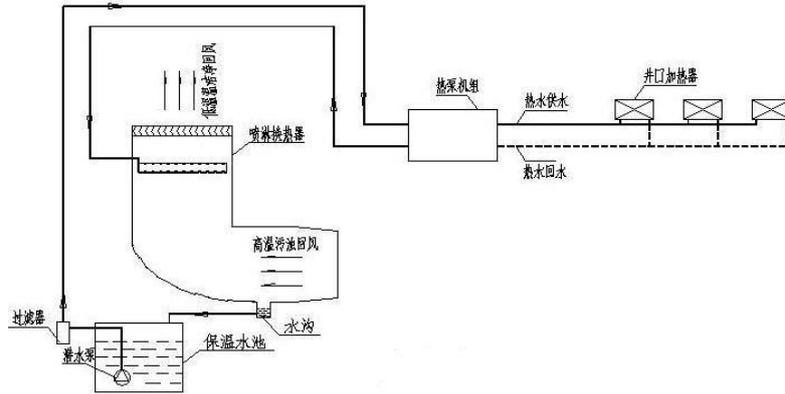


图 1 矿井乏风和排水热能综合利用系统流程图

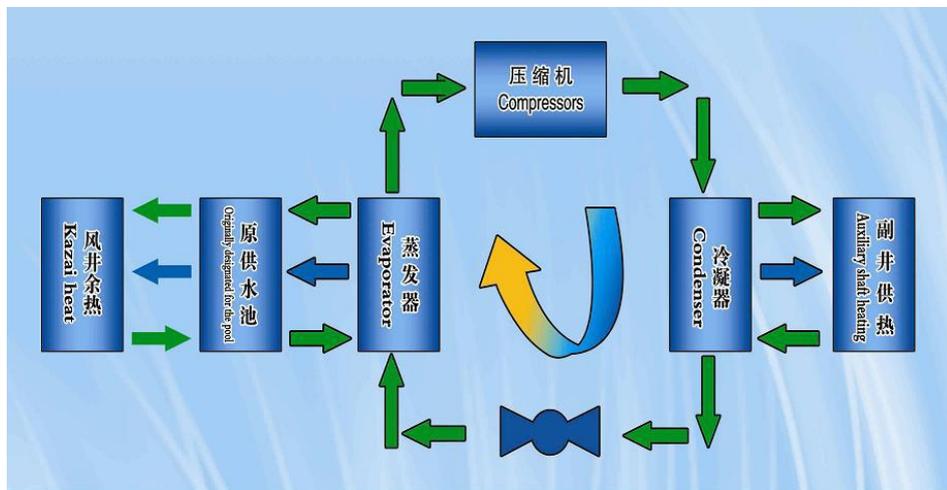


图 2 矿井乏风和排水热能综合利用原理图

五、主要技术指标

- 1.提取热源不低于15℃；
- 2.供暖温度为40℃-50℃。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术 2008 年已通过山东省经济信息化委员会技术鉴定。技术达到国内领先水平，并已应用于新矿集团。2009 年获中国煤炭工业科学技术奖、2010 年获山东省科学技术进步奖。

七、典型应用案例

典型案例 1：孙村煤矿

技术提供单位：山东新雪矿井降温科技有限公司

建设规模：4200kW 矿井乏风和排水系统。主要技改内容：3 台 10t 的热力锅炉改造为三台热泵机组，增加热量提取装置。减少燃料排放，净化乏风，处理排水。节能技改投资额 750

万元，建设期 1 年。每年可节能 1984 tce，年节能经济效益 321 万元，投资回收期 2 年。

典型案例 2：新巨龙公司

技术提供单位：山东新雪矿井降温科技有限公司

建设规模：2600kW 矿井乏风和排水系统。主要技改内容：1 台 20t 的热力锅炉改造为两台热泵机组，增加热量提取装置。减少燃料排放，净化乏风，处理排水。节能技改投资额 550 万元，建设期 1 年。每年可节能 1224 tce，年节能经济效益 200 万元，投资回收期 2.7 年。

典型案例 3：华恒公司

技术提供单位：山东新雪矿井降温科技有限公司

建设规模：4000kW 矿井乏风热能系统。主要建设内容：3 台热泵机组、井筒换热器及相应配套设备。与用燃煤锅炉相比减少燃料排放，净化乏风。建设投资额 926 万元，建设期 1 年。每年可节能 1855.1tce，年节能经济效益 310 万元，投资回收期 3 年。

八、推广前景及节能减排潜力：

全国煤矿 80%分布在北方地区，副井都需要供暖，否则影响安全生产。目前基本都采用锅炉供暖，直接消耗一次能源，采用该技术可有效利用矿井乏风和排水的热能，降低一次能源消耗。预计未来 5 年，该技术可推广到全国 30%的煤矿，建设约 540 个此类项目，实现年节能能力约 55 万 tce。减排量 145 万 tCO₂/a。

5 新型高效煤粉工业锅炉系统技术

一、**技术名称：**新型高效煤粉工业锅炉系统技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业 适用于工业和民用燃煤锅炉供暖或生产用蒸汽、民用供暖，及其它供暖、供汽锅炉。

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

我国燃煤工业锅炉中 85%以上为层燃炉。燃煤工业锅炉的平均热效率仅为 60%-65%，比国际先进水平低 20%-25%，且排放大量的 SO₂、NO_x、CO₂ 等，需要投入大量污染处理费用。此外，层燃锅炉运行中容易产生结焦、腐蚀等问题，设备损耗大，维修费用高；运行中需要投入大量的人力资源，人工成本高。目前该技术可实现节能量 73 万 tce/a，减排约 193 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

新型高效煤粉工业锅炉采用煤粉集中制备、精密供粉、空气分级燃烧、炉内脱硫、锅壳（或水管）式锅炉换热、高效布袋除尘、烟气脱硫脱硝和全过程自动控制等先进技术，实现了燃煤锅炉的高效运行和洁净排放。

2. 关键技术

- (1) 以煤粉燃烧为核心技术；
- (2) 供粉技术；
- (3) 快速点火技术；
- (4) 低氮燃烧技术；
- (5) 自动控制技术；
- (6) 多段组合污染物脱除技术。

3. 工艺流程

新型高效煤粉工业锅炉系统技术工艺流程主要为：煤粉接受和储备（或炉前在线制粉）→煤粉输送→煤粉点火及燃烧→锅炉换热→烟气净化→烟气排放→粉煤灰回收利用，以锅炉为核心的完整技术系统。

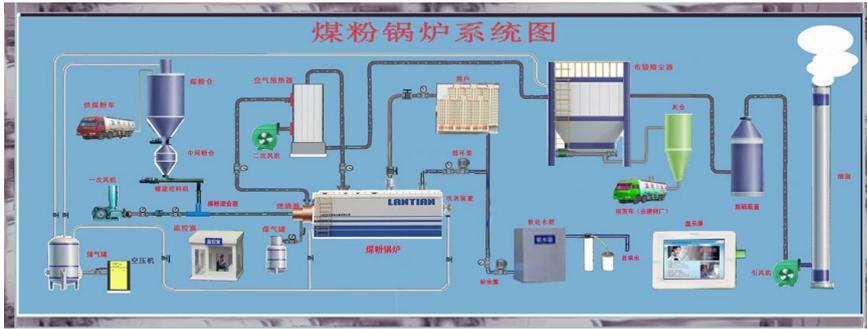


图1 新型高效煤粉工业锅炉系统技术流程图

图 1 煤粉锅炉系统图

五、主要技术指标

- 1.燃烧效率： $\geq 98\%$;
- 2.热效率： $\geq 88\%$;
- 3.烟气排放污染物浓度（ mg/m^3 ）烟尘： ≤ 30 ； SO_2 ： ≤ 100 ； NO_x ： ≤ 200 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2010年5月，“新型高效煤粉工业锅炉系统技术”通过山西省科学技术厅鉴定，鉴定结果为“该系统技术水平达到国内领先水平”。

至今已在山西、沈阳、新疆、山东、甘肃、云南、河北、天津、山东等全国十多个省份推广应用几千台套，长期以来运行稳定，应用效果良好，取得用户的一致好评。

七、典型应用案例

典型案例 1

典型案例应用单位：运城市凤源热力有限公司

技术提供单位：山西蓝天环保设备有限公司

节能改造情况：运城凤源热力有限公司锅炉房改造前采用的分散式供暖方式，均为家用小锅炉或窑炉，平均热效率仅为60%左右，能源浪费严重。改造方式是将分散式供暖方式改为集中供暖方式，采用2×58MW高效环保煤粉工业锅炉系统技术及成套装备。

节能效果：58MW高效环保煤粉工业锅炉运行热效率 $\geq 90\%$ ，取改造前锅炉运行平均热效率为65%，每个采暖季运行3000小时，标煤热量29306kJ/kg，则两台58MW锅炉可形成节能量约12350tce/a。

经济效益：两台 58MW 锅炉改造投资额为 4549 万元，每年运行成本约 3400 万元。相比改造前每年可节约运行成本万元约 1000 万元，投资回收期 3 年。

典型案例 2

典型案例应用单位：杭州百汇化工有限公司

项目名称：杭州聚能合同能源管理有限公司合同能源管理项目

技术提供单位：杭州燃油锅炉有限公司

建设规模：新建 10t/h 煤粉蒸汽锅炉热力供应系统。建设期 90 个天，投资额 300 万元，年节能量约 3556tce，年减少碳排放量约 9246tCO₂。每年节电可获经济效益 195.58 万元，投资回收期约 2 年。

典型案例 3

典型案例应用单位：福建达利食品集团有限公司

项目名称：福建达利食品集团有限公司-20t/h 锅炉节能减排改造

技术提供单位：福建永恒能源管理有限公司

建设规模：一台 20t/h 高效粉体工业锅炉替代原有的 2 台 6t/h、1 台 10t/h 燃煤蒸汽锅炉。建设期 5 个月，投资额 1100 万元，年节能量约 3102tce，年减少碳排放量约 8188tCO₂。每年节电可获经济效益 351 万元，投资回收期约 3 年。

八、推广前景及节能减排潜力：

预计未来 5 年，相比目前将继续推广煤粉工业锅炉 50 万蒸 t，约需投入 8625 万元。该技术在行业内的推广比例可达到 8%，预计未来节能能力 608 万 tce/a，碳减排能力 1581 万 tCO₂/a。

6 综采工作面高效机械化矸石充填技术

一、**技术名称：**综采工作面高效机械化矸石充填技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业 井工综采矿井

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，据不完全统计，我国国有骨干大中型矿井“三下”（指建筑物下、铁路下和水体下）压煤量达到 140 亿 t 以上，其中建筑物下压煤占整个“三下”压煤量的 60%以上，水体下（包括承压废岩水上）压煤占 28%左右，铁路下压煤占 12%左右。据不完全统计，全国国有重点煤矿仅村下压煤约 50 亿 t。如果采用传统的条带开采法，“三下”压煤的采出率仅为 30%左右。

另外，我国煤矿现有矸石山 1600 余座，堆积量约 45 亿 t，每年矸石产量约 1.5-2 亿 t。这些矸石不仅占用了大量耕地，也对环境造成了一定程度的污染。

目前该技术可实现节能量 70 万 tce/a，减排约 185 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

通过利用煤矸石充填巷道或采空区，使采空区顶底板得到有效控制，有效抑止地面塌陷，从而实现高回收率的煤炭资源开采和煤矸石的综合利用。

采空区的矸石充填依靠自压式矸石充填机自动完成。充填时，自压式矸石充填机的上刮板向下运输充填矸石；下刮板向上推平漏矸孔下漏的矸石，并使矸石充填密实、均匀。在矸石充填过程中，随着矸石充填高度的增加，自压式矸石充填机会随之上升，利用矸石充填运输机对矸石的反作用力来压实充填的矸石。

2.关键技术

- (1) 具有自主知识产权的液压支架；
- (2) 自压式矸石充填机；
- (3) 可缩桥式皮带。

3.工艺流程

利用综采工作面高效机械化矸石充填技术采煤的工艺流程见图1。

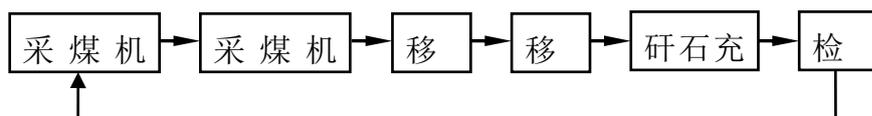


图 1 综采工作面高效机械化矸石充填技术采煤技术流程图

五、主要技术指标

- 1.煤矸石综合利用率 100%;
- 2.综采矸石充填工作面生产能力可达到每日 493t;
- 3.煤炭回收率提高 25%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2008 年获得国家科技进步二等奖、山东省重大节能成果等奖项并获多项国家专利。该技术已成功应用于翟镇煤矿 7201 和 7204 工作面，为我国煤矿“三下”压煤的规模性开采、井上下矸石的系统化井下处理提供了一条有效技术途径。该技术发展了新的高效机械化开采工艺方式，将煤矿“掘、采”二元开采技术体系提升为“掘、采、处”的三元开采模式，解决了“掘、采”二元开采技术体系忽视采动对环境和资源的影响及损害问题，将矿井矸石的处理、“三下”压煤的开采、保护地表纳入煤矿开采的总体设计，可实现煤矿资源与环境的协调发展。

七、典型应用案例

典型用户：新汶矿业集团有限责任公司

技术提供单位：新汶矿业集团有限责任公司

典型案例 1

建设规模：年生产原煤 150 万 t，7204 充填工作面以矸换煤量达 18 万 t。主要技改内容：将开采出的矸石运至充填面后，利用自主研发的新型实用专利液压支架和自压式矸石充填机来自动完成矸石充填和压实工作，主要设备包括矸石液压支架、自压式矸石充填机和运输皮带等。节能技改投资额 4076 万元，建设期 1 年。每年可节能 13 万 tce，年节能经济效益为 3257 万元，投资回收期 15 个月。

典型案例 2

建设规模：年生产原煤 150 万 t，7201 充填工作面以矸换煤量达 19 万 t。主要技改内容：将开采出的矸石运至充填面后，利用自主研发的新型实用专利液压支架和自压式矸石充填机来自动完成矸石充填和压实工作，主要设备包括矸石液压支架、自压式矸石充填机和运输皮

带等。节能技改投资额 4178 万元，建设期 1 年。每年可节能 14 万 tce，年节能经济效益 3439 万元，投资回收期 15 个月。

八、推广前景及节能减排潜力：

一级煤矿“三下”压煤开采已成为制约矿区发展的重大技术难题。该项技术革新了煤矿开采技术，开创了综采工作面高效机械化矸石充填技术的新局面，填补了相关领域的空白，可有效提高“三下”压煤的回采率，减少煤矿生产对地表及生态环境的破坏。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 30%，总投入 12.8 亿元，年节能能力 420 万 tce/a，二氧化碳减排能力 1109 万 tCO₂/a。

7 煤矿矿井水超磁分离井下处理技术

一、**技术名称：**煤矿矿井水超磁分离井下处理技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业煤矿井下矿井水

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

全国矿井水综合利用率仅为 59%，不仅使水中的煤泥资源大量浪费，而且对环境造成污染。我国矿井水处理普遍采用井下沉淀、提升污水上井二次处理工艺技术。矿井水在提升过程中需消耗电能，按照设计要求，吨水百米电耗一般约为 0.50kWh/(t·hm)，实际运行常高于此值。由于电耗与所提升矿井水的密度直接相关，因此降低矿井水的密度即可节约提升能耗。目前该技术可实现节能量 8 万 tce/a，减排约 21 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

该技术利用永磁技术实现快速分离。首先将不带磁性的含煤悬浮物赋予磁性，通过超磁分离机进行快速固液分离，净化矿井水；分离出来的煤泥渣，通过磁种回收循环系统产生低含水率煤泥，经压滤系统得到的煤泥饼直接升井。

2.关键技术

(1) 磁种材料选择。根据粒径、分散性、比重、比表面积、磁性能、絮凝性能、价格等选择合适的磁性材料作为磁种，用于非磁性悬浮物的分离；

(2) 混凝系统的工艺参数确定。通过投加混凝与絮凝药剂，使磁种能与非磁性悬浮物紧密结合，便于磁分离。在保证混凝效果的基础上，获得最短的混凝时间与絮凝时间，从而使设备小型化；

(3) 磁种制备投加回收装置的研制。该装置能将磁种定量地、高分散性地投加到混凝箱中，参与反应；同时，又能从超磁分离机中分离出的煤泥渣中提取磁种，将磁粉尽可能地回收重复使用；

(4) 超磁分离机设计。该分离机的分离性能优于冶金行业用的磁盘机，使分离后出水的悬浮物小于 25mg/l，以便达到高的水质要求，并能处理大流量污水，体积紧凑；

(5) 合理的井下处理成套工艺设计。包括磁絮凝系统、磁分离系统、药剂制备投加系统和污泥压滤系统，具有短流程、大流量泥水分离特点，可直接将污染后的矿井水处理成为洁

净的矿井水和煤泥饼。

3.工艺流程

该技术的工艺流程见图1。

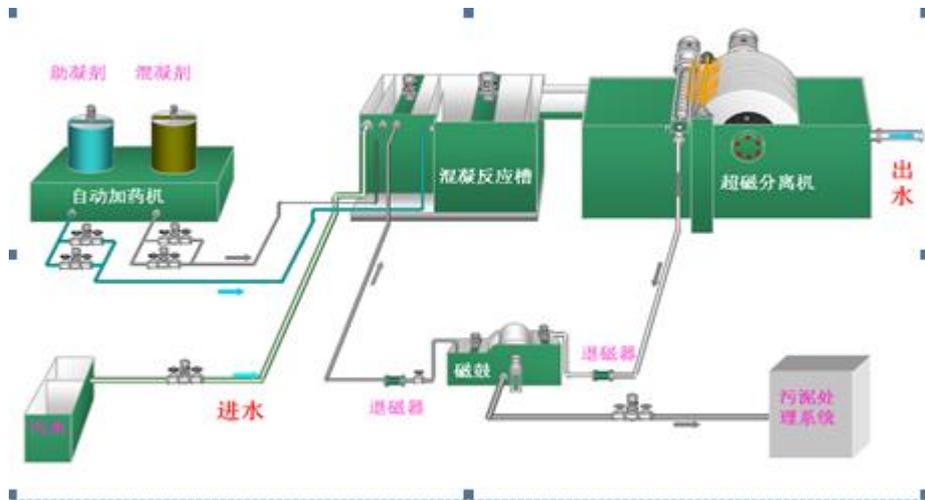


图 1 煤矿矿井水超磁分离井下处理技术工艺流程图

五、主要技术指标

主要适用于直径为 0.2-0.3mm 以下煤粉的提取和回收。

- 1.SS \leq 25mg/l;
- 2.COD \leq 50mg/l;
- 3.石油类油 \leq 5mg/l;
- 4.PH: 6-9;
- 5.煤泥含水率 \leq 30%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术 2010 年 7 月通过四川省科技厅组织的成果鉴定,综合技术水平达到国际先进。“超磁分离技术在矿井水井下处理中的应用”于 2012 年 10 月通过中国煤炭工业协会成果鉴定,并在山东新巨龙能源公司龙固煤矿 810m 矿井水处理工程、山东新汶矿业集团协庄煤矿 300m 矿井水处理工程、山东新汶矿业集团赵官煤矿 471m 矿井水处理工程等进行了实际应用。

七、典型应用案例

应用单位: 山东新汶矿业集团协庄煤矿

技术提供单位: 四川环能德美科技股份有限公司

节能改造情况: 节能改造前,分别由井下四个水仓向地面排放,漳村煤矿井下四个水仓,

每年至少清挖一次，每个水仓清挖需 45 天左右，人工清挖水仓效率低且存在一定安全隐患，同时需要大量人员、材料的投入。排水泵百米吨水电耗为 0.506kWh。节能改造内容：取消井下沉淀池，直接将矿井水引入超磁分离处理系统，实现泥水分离，清水上井，泥饼直接随原煤皮带输送系统升井。主要设备为超磁分离机、磁种循环回收设备、污泥脱水设备。

节能效果：工程运行后，矿井水抽出地面的吨水电耗明显降低，节约了电费；产生的洁净矿井水可直接回用，节约水资源开采费；减少了污水排放，节约了排污费；由于矿井水质提高，减少了对井下排水泵的腐蚀，节约了水泵维修、更换费用；煤泥水经处理后进入水仓，基本没有污泥沉淀，水质清澈；煤泥高效回收产生收入并节约了井下沉淀池清仓所需的人力物力。节能 2280tce/a。

经济效益：节能技改投资额 600 万元，建设期 1 年，年产生经济效益 401.21 万元。投资回收期 1.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力达到 12%，总投资额 12.54 亿元，年节能能力 48 万 tce/a，二氧化碳减排能力 126 万 tCO₂/a。

8 超低浓度煤矿乏风瓦斯氧化利用技术

一、**技术名称：**超低浓度煤矿乏风瓦斯氧化利用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业 乏风、超低浓度瓦斯以及垃圾填埋场等排出的低浓度甲烷或其它挥发性有机化合物

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

煤矿通风瓦斯俗称“乏风”，所含甲烷浓度在 0.75%以下。据统计，我国煤矿每年排放的甲烷中，矿井乏风占 80%左右，约为 150 亿 m^3 ，其产生的温室气体效应约为 2 亿 tCO_2 当量。乏风回收利用的技术问题一直没有得到很好的解决，大量乏风直接排放不仅浪费了能源，而且对环境也会产生不容忽视的影响。目前该技术可实现节能量 3 万 tce/a ，减排约 8 万 tCO_2/a 。

四、**技术内容**

1.技术原理

该技术采用逆流氧化反应技术（不添加催化剂）对煤矿乏风中的甲烷进行氧化反应处理，也可将低浓度抽排瓦斯兑入乏风中一并氧化处理，提高乏风的利用效率。氧化装置主要由固定式逆流氧化床和控制系统两部分构成。通过排气蓄热、进气预热、进排气交换逆循环，实现通风瓦斯周期性自热氧化反应。同时，通过采用适合在周期性双向逆流冷、热交变状态下稳定可靠提取氧化床内氧化热量的蒸汽锅炉系统，产生饱和蒸汽用于制热或产生过热蒸汽发电。

2.关键技术

- （1）蜂窝陶瓷组合式大尺度立式氧化床技术；
- （2）乏风流量分配技术；
- （3）加热启动技术；
- （4）大通径整体式角行程乏风气体换向技术；
- （5）瓦斯氧化热量提取技术；
- （6）乏风瓦斯浓度调节技术；
- （7）氧化床温度场准稳态控制技术。

3.工艺流程

工艺流程见图 1 所示。

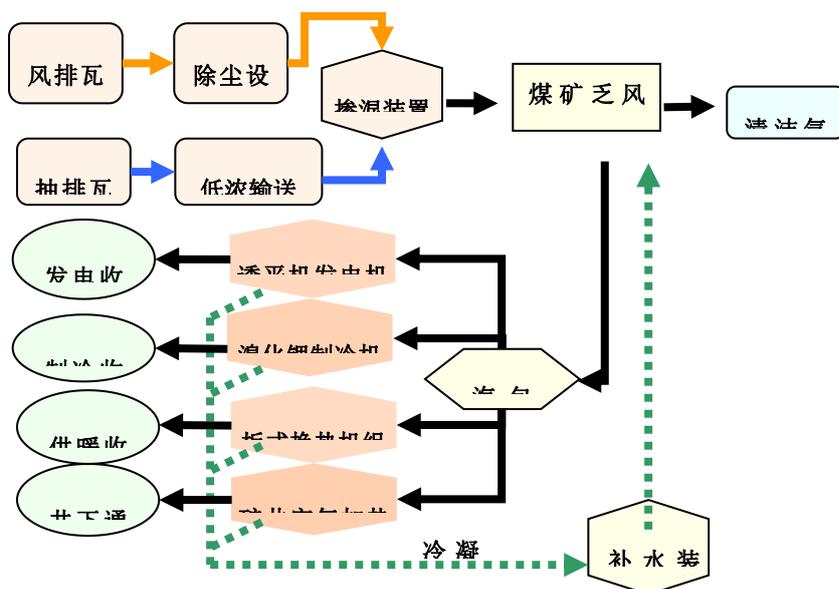


图 1 乏风氧化装置工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.持续功率：800kW；
- 2.稳定运行的最低瓦斯浓度 $\leq 0.3\%$ ；
- 3.甲烷氧化率 $\geq 97\%$ ；
- 4.进出口气体温差 $\leq 40^{\circ}\text{C}$ ；
- 5.进出口气体阻力损失 $\leq 4000\text{Pa}$ ；
- 6.换向阀切换耗时 ≤ 3 秒；连续工作 3 个月；故障低于 2 次。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术在研发过程中共获得发明专利 6 项，实用新型专利 13 项。2010 年 11 月 27 日，“40000m³/h 立式煤矿乏风瓦斯氧化装置”项目通过了由中国煤炭工业协会组织的技术鉴定会。2012 年，“煤矿乏风瓦斯氧化利用关键技术与设备开发”通过了国家“863 计划”课题验收。

2010 年，40000m³/h 乏风氧化装置在冀中能源集团邯郸矿业集团有限公司下属的陶二煤矿进行了长达 8 个月的工业示范性运行。2012 年上半年，60000m³/h 乏风氧化装置在邯矿集团下属煤矿进行了为期三个月的试运行，并成功制取了稳定的过热蒸汽，可以配套汽轮机发电。这些示范项目的成功运行，表明了目前国内乏风氧化装置的技术已经基本成熟，可以进行推广应用。

七、典型应用案例

应用单位：邯郸矿业集团有限公司聚隆煤矿

技术提供单位：淄博淄柴新能源有限公司

节能改造情况：项目建设以 1 台 40000m³/h 乏风氧化装置为核心设备的乏风瓦斯氧化利用示范工程，项目工程总占地面积约 1500m²，其中建设厂房 500m²。

节能效果：1 台 40000m³/h 乏风氧化装置实现每小时销毁乏风 4 万 m³，生产蒸汽 3t，发电 510kW，设备年运行 7200 小时，每年节约 812.7tce。

经济效益：项目投资约为 1100 万元，每年收益 150.9 万元，投资回收期约为 6.6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术推广比例可达到 5%，可形成的年节能能力为 14 万 tce，年碳减排能力为 37 万 tCO₂。

9 皮带机变频能效系统技术

一、**技术名称：**皮带机变频能效系统技术

二、**技术所属领域及适用范围：**煤炭行业 适用于煤矿地面及井下有瓦斯、煤尘爆炸危险环境，也适用于煤炭、冶金、化工、建材、粮食、运输等环境，作皮带机顺序控制、监控皮带各项保护用及多电机驱动功率平衡。

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

在大中型煤矿企业的生产中，需要大量使用皮带输送机（以下简称皮带机）来完成煤炭的输送。传统运输控制方法是以中央控制器PLC通过变频器控制各条皮带机的启停顺序，当皮带机达到额定带速后，变频器会失去对电动机的控制作用，皮带机将按照设计带速恒速运行，从而在空载、轻载等情况下造成电能的浪费。

目前国内大型矿业集团的吨煤生产综合耗电量约为40kWh（最高达80kWh），选煤耗电量约为8kWh/t，中小型矿业集团受资源条件和生产设备的限制，能耗更高。

目前该技术可实现节能量 8 万 tce/a，减排约 21 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

皮带变频能效系统在胶带输送机上安装料流传感器，通过PLC网络系统智能检测和计算胶带上运送煤炭的情况，并与变频器相配合，实现皮带机的节能运行，最大程度地降低皮带机的无功损耗，提高皮带输送机的整体运行效率。该能效系统是集保护与节能控制于一体的电控系统，将控制系统、保护系统、通讯系统和视频监控系统融合到一起，构成一个完整的操作、调度、保护及监视网络，通过多级驱动功率平衡技术，保证多台电机运行时出力一致，实现对整个运输系统的优化运行控制。

2.关键技术

- (1) PLC 网络系统智能检测和计算、整个运输系统的遥控、遥测、遥信、遥调；
- (2) 变频多机拖动功率平衡及多条皮带协同；
- (3) 地面到井下多条皮带及远距离协调连动实现“煤多快转，煤少慢转”、“顺煤流起车”、“有煤开车，无煤停车”。

3.工艺流程

工艺流程见图 1。

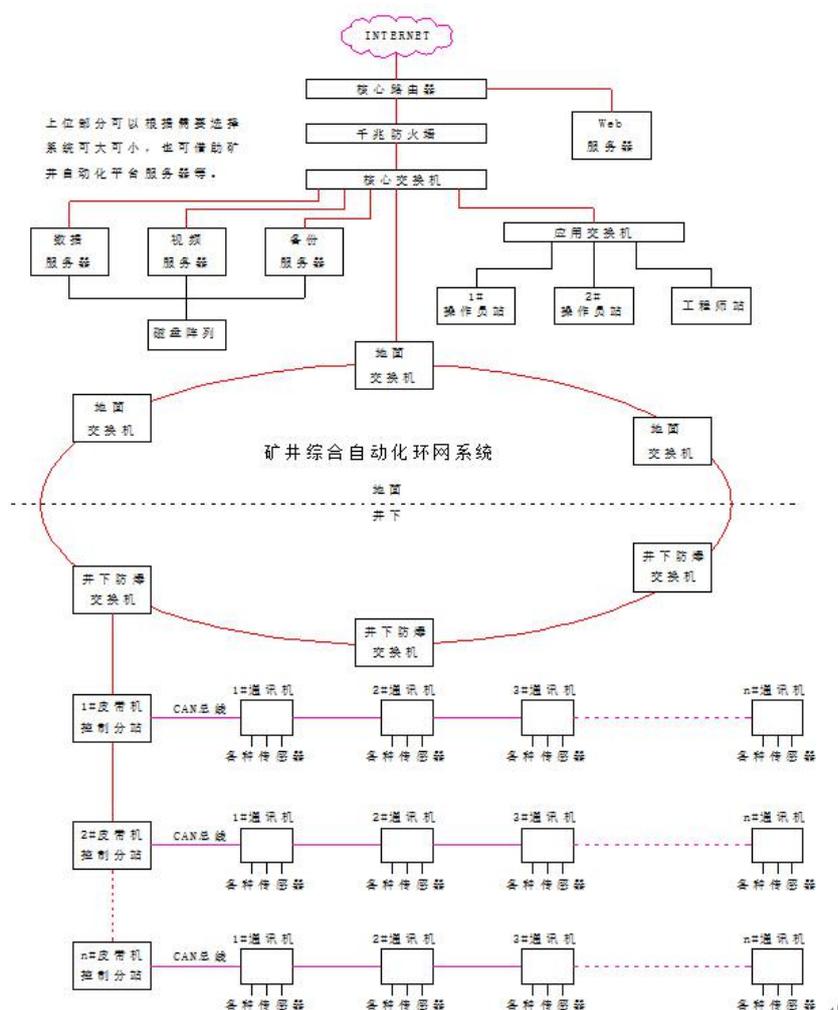


图 1 皮带机变频能效系统工艺流程图

五、主要技术指标

1. 具有过负载能力，能在 150%额定输出下维持 1 分钟；
2. 变频器零速运行时，变频的启动转矩大于 1.5 倍额定转矩；
3. 在 20%-100%的负载变化情况内达到或超过 0.95 的功率因数，并且电流谐波少，无需功率因数补偿/谐波抑制装置；
4. 内置功率平衡调节，可与各类变频器形成闭环控制系统；
5. 变频器可以采用就地起动、停止控制方式，也可以利用 PLC 或外部其他设备进行远程控制；通过通讯（RS485、Modbus、Profibus），可同时控制 32 台变频器主机，从机可更多。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

目前，变频器已经在煤矿行业中得到广泛的应用，尤其是在主扇风机、局扇风机、提升机、压风机、渣浆泵等负载，其节能效果显著。但在皮带机领域将变频调速、信息化技术、自动化技术相结合，最终实现皮带机的低能耗运行的技术，目前并未得到大范围应用。皮带机变频能效系统在借鉴国外先进技术的基础上，整合了相关领域的技术，开发出自动化程度高，安全可靠的皮带输送系统，可在煤炭、冶金、电力、化工、建材等众多领域广泛应用，具有较大的节能潜力。

七、典型应用案例

典型案例 1：陕西崔家沟煤矿项目

技术提供单位：中煤科创节能技术有限公司

建设规模：200 万 t 产能。主要技改内容：主运皮带(一条)能效优化。主要设备为皮带机变频系统等。技改投资额 300 万元，建设期 1 个月。年节能量 12000tce（设备寿命 20 年），年减排量 31680tCO₂。年节能经济效益为 150 万元，投资回收期 2 年。

典型案例 2：吉林通化八宝煤矿项目

技术提供单位：中煤科创节能技术有限公司

建设规模：300 万 t 产能。主要技改内容：主运皮带(一条)能效优化。主要设备为皮带机变频系统等。技改投资额 350 万元，建设期 1 个月。年节能量 13100tce，年减排量 34584tCO₂。年节能经济效益为 146 万元，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

皮带机变频能效系统具有提高生产效率、调速节能、降低事故率、减少故障处理时间、减少现场操作人员等优点，与CST相比，避免了油污染环境，降低起动冲击延长设备寿命，具有较好的节能经济效益。预计未来5年，该技术在矿山皮带机中可推广至40%，形成的年节能能力约为30万tce，年碳减排能力79万tCO₂。

10 汽轮机通流部分现代化改造

一、**技术名称：**汽轮机通流部分现代化改造

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 50-600MW 各种形式的汽轮机

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

与该节能技术相关生产环节的耗能现状为 200MW 及以下机组缸效率较差，300-600MW 机组比国外同类型机组供电煤耗高出 20-30g/kWh。目前应用该技术可实现节能量 13 万 tce/a，减排约 34 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

采用先进的汽轮机三维流场设计技术，结合四维精确设计，对汽轮机通流部分及汽封系统进行优化。

2.关键技术

- (1) 高压缸调节级，采用子午面收缩静叶栅；
- (2) 高压缸压力级隔板静叶，采用新型优化高效静叶叶型；
- (3) 中、低压缸隔板静叶，全部采用弯扭静叶片；
- (4) 采用新型动叶叶型，改善速度分布，减少动叶损失；
- (5) 增加各级动叶顶部汽封齿数，减少漏汽损失；
- (6) 采用子午面通道光顺技术；
- (7) 提高末级叶片的抗水蚀能力；
- (8) 提高末级根本反动度，改善末级气动性能。

3.工艺流程

现场对通流部分进行优化设计，大修将转子和隔板返厂加工，随后安装调整。

五、**主要技术指标**

通过技术改造，高压缸效率提高 4%-6%；中压缸效率提高 1%-2%；低压缸效率提高 7%-8%。

六、**典型应用案例**

上海石洞口第一电厂 1×300MW 机组投资节能改造资金 3843 万元，使供电煤耗下降了 20g/kWh，年取得经济效益 2846 万元。投资回收期 1.4 年。

对另一台 300MW 机组投资 6400 万元进行改造，可使供电煤耗下降 20g/kWh，年取得经济效益 4519 万元，投资回收期 1.4 年。

七、推广前景及节能减排潜力

300-600MW 机组在今后相当长的时期内仍是主力机组，由于效率偏低和供电煤耗偏高，通过部分改造以提高经济性，将是一种重要的节能手段。预计未来 5 年，该技术在行业内可推广至 80%，形成的年节能能力约为 17 万 tce，年碳减排能力 45 万 tCO₂。

11 汽轮机汽封改造

一、技术名称：汽轮机汽封改造

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 火电厂汽轮机

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

由于目前机组传统设计的汽封结构不合理，工艺对间隙要求太大，其结果漏汽损失大，这是造成汽轮机运行效率低的主要原因之一。近些年发电企业分别采取了相应技术改造，对提高机组效率取得了较好效果。目前该技术可实现节能量 6 万 tce/a，减排约 17 万 tCO₂/a。

四、技术内容

针对目前汽封设计上存在的问题，应根据叶顶、高中压缸汽封环结构和变形、磨损情况，经对比采用叶顶可退让汽封、蜂窝式汽封和接触式汽封等技术进行改造，均为推荐采用技术。本项目内容为弹性可调汽封改造，属以上改造技术之一。

1.技术原理

在启动和初始负荷阶段，汽封在弹簧作用之下，处于全开位置，此时间隙在最大值。随着机组并网带初始负荷后，主蒸汽压力达到某一定值时，克服汽封内的弹簧力，使汽封关闭，此时汽封间隙达到设计间隙，使运行中汽封漏汽量减少，提高了汽轮机的缸效率。

2.关键技术

弹簧的设计、材料、加工工艺，其中最主要的是安装工艺和水平。

五、主要技术指标

高压缸效率可提高 2%-3%，中压缸效率可提高 1%-2%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

1995 年 9 月在首阳山电厂 2 号 200MW 机组大修首次采用，1995 年 11 月 2 日该机组大修后一次启动并网成功。为检验使用效果，1997 年 1 月 11 日由原电力部安生司组织十六个单位对其进行现场揭缸检查，当时该机组大修后已运行 9618h，完成发电量 16.2 亿 kWh，共经历启、停 6 次，其中冷态 2 次，热态 4 次，没有发生汽封方面的故障和异常，汽轮机的振动、胀差、轴向位移等数据均正常。

七、典型应用案例

河南焦作电厂 6×200MW 机组，投资节能技改资金每台机组约 500 万元，年节约标煤 2 万

t, 节能综合效益年节约运行成本约 800 万元。投资回收期 5 年。

河南三门峡电厂 2×300MW 机组, 投资节能技改资金每台机组约 500 万元, 年节约标煤 1.2 万 t, 节能综合效益年节约运行成本 500 万元。投资回收期 5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年, 该技术在行业内可推广至 85%, 形成的年节能能力约为 9 万 tce, 年碳减排能力 24 万 tCO₂。

12 变频器调速节能技术

一、**技术名称：**变频器调速节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 主要用在起重机械、纺织化纤、油气钻采、冶金、石油石化、煤炭、电梯、建材、电力、市政、食品饮料和烟草、塑胶、机床、造纸印刷等领

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前国内带变动负载、具有节能潜力的电机至少还有 1.8 亿 kW。近年来，我国变频器市场需求正保持着 22%-30% 的增长率。目前该技术可实现节能量 90 万 tce/a，减排约 238 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

对电动机的控制方式有：V/f、SVC、VC、DTC 等；有滑模变结构，模型参考自适应技术；有模糊控制、神经网络，专家系统和各种各样的自优化、自诊断技术等。

- (1) 实现高水平的控制；
- (2) 开发清洁电能的变流器，网侧和负载侧有尽可能低的谐波分量；
- (3) 缩小装置的尺寸，功率和控制元件具有高的集成度；
- (4) 高速度的数字控制，数字控制模板有足够的实现各种控制算法；
- (5) 模拟与计算机辅助设计（CAD）技术。

2. 关键技术

基于转子磁场定向的真正无速度传感器矢量控制技术。

3. 工艺流程

在工业现场应用变频器重点考虑的是过载能力和精度控制，研发选取可以测试和校准输出电流与转矩的交流电力测功机系统，为产品性能提高提供保障。同时加强高温老化试验，加强散热处理，为产品的稳定可靠提供了保障。

五、**主要技术指标**

速度控制精度： $\pm 0.5\%$ （无速度传感器）、 $\pm 0.05\%$ （有速度传感器）；

转速波动： $\pm 0.5\%$ （无速度传感器）、 $\pm 0.2\%$ （有速度传感器）；

转矩响应时间：20ms（无速度传感器）、5ms（有速度传感器）；

调速范围：1: 200（无速度传感器）、1:1000（有速度传感器）。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

国内变频调速产品已达到国际同类产品先进水平。国内变频调速产品其性能良好，能保证本地化的长期服务；产品应用广泛，性价比高，节能减排效果显著，能尽快收回投资；国内品牌在不断成长，已从国产化走向国际化，随我国主机产品配套出口许多国家；并正在市场竞争中克服不足。国外产品在国内比重已降至 50%以下，国外产品如果没有完全本土化，就无法从根本上解决在成本和服务方面的问题，国内企业已获得长足发展的机会。

七、典型应用案例

案例应用单位：湖南资兴市高塘民生选矿厂

技术提供单位：北京阿启蒙技术有限公司

建设规模：在破碎机、球磨机、搅拌机、复选机环节做节能改造。主要技改内容：配置 1 台 315kW，2 台 220kW，2 台 110kW 变频器，根据负载的情况，自动做变频调速。年节能量 100tce。经济效益：节能改造一期投资 18.8 万元，购进 5 台变频器，改造前每个月电费 25 万元，节能率 12%，每个月节省费用 3 万元，投资回收期 7 个月。后续每年仅有大约 5% 的设备维护费用，约 0.94 万/年，设备使用寿命 5 年以上。

八、推广前景及节能减排潜力

未来 5 年，预计该技术可推广到 40%，节能能力可达 180 万 tce/a，减排能力达 475 万 tCO₂/a。

13 电除尘器节能提效控制技术

一、**技术名称：**电除尘器节能提效控制技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 电力、冶金、建材等行业 电除尘器改造

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

我国目前火电机组装机容量约 6 亿 kW，机组绝大多数配置电除尘器。目前，这些除尘器基本都采用工频除尘器电源，按电除尘器工频电源耗电功率占机组发电功率的 0.25% 计算，电除尘器耗电功率约 150 万 kW，年耗能约 75 亿 kWh。目前该技术可实现节能量 38 万 tce/a，减排约 100 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用电力电子技术，将工频交流电转换为电压 70kV 以上、电流峰值 4-6A、时间宽度为 20μs 以下的脉冲电流给电除尘器供电。通过对电流脉冲采取一定的控制模式，增加电除尘器内烟尘带电荷量，增加带电烟尘收集移动速度，并减少无效的能量供给，达到提高电除尘器除尘效率，大幅度减少供电电能的效果。

2. 关键技术

(1) 大功率高频高压电除尘器电源制造技术；

(2) 适合不同工况的提高电除尘器除尘效率、大幅度节约电能的运行控制技术。

3. 工艺流程

三相工频交流电整流滤波形成直流电→通过逆变电路形成高频电流脉冲→对电流脉冲的周期进行优化控制→电流脉冲通过高频变压器进行升压→对高压电流脉冲进行整流→送电除尘器电场。工艺流程见图 1。

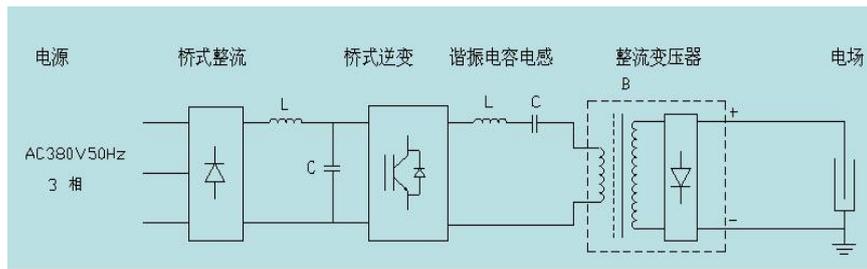


图 1 高频高压电除尘器电源技术原理图

五、主要技术指标

1. 高频电源设备额定输出电压：72kV以上，额定输出电流达到1.6A以上，额定输出功率达到115kW；
2. 减少烟尘排放：40%以上；
3. 节电率：70%以上。以 1 台 300MW 锅炉为例，年节约电能 360 万 kWh 以上。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

已通过中国电机工程学会组织的两项科技成果鉴定，技术达到国际先进水平。已在华电、大唐、华润、国电、神华等大型发电集团的 125-1000MW 机组上投运控制装置 3000 余套，在越南广宁电厂、泰国 JS 电厂等工程中出口控制装置 100 余套，取得了显著的经济和环保效益。该技术还在以中天钢铁股份有限公司为代表的冶金行业投入使用。

七、典型应用案例

典型用户：华电望亭电厂、国电安顺电厂、国电泰州电厂、华润常熟电厂

典型案例 1：国电安顺电厂

技术提供单位：国电南京自动化股份有限公司/国电环境保护研究院

建设规模：300MW 机组电除尘器电源及控制系统节能改造。主要技改内容为：将原有电除尘器电源控制系统更换为节能提效型电除尘器电源及控制系统。节能技改投资额 270 万元，建设期 14 天。年节约电能 4GWh，折合 1400tce，年节约运行电费 144 万元（电价按 0.36 元/度计），投资回收期 2 年。

典型案例 2：国电泰州电厂

技术提供单位：国电南京自动化股份有限公司/国电环境保护研究院

建设规模：1000MW 机组电除尘器电源及控制系统节能改造。主要技改内容：将原有电除尘器电源控制系统更换为节能提效型电除尘器电源及控制系统。节能技改投资额 480 万元，

建设期 20 天。年节约电能 5.74GWh，折合 2009tce，年节约运行电费 206 万元（电价按 0.36 元/度计），投资回收期 2.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

我国目前火电机组装机容量约 6 亿 kW，机组绝大多数配置电除尘器。如果全部改用高频电源，按节电 70% 计算，每年可节约 50 亿 kWh 的电能，折合 170 万 tce，产生 18 亿元的节能效益，改造总投入约 35 亿元。未来 5 年，预计推广到 80%，总投入 9 亿元，节能能力可达 50 万 tce/a，减排量 132 万 tCO₂/a。

14 纯凝汽轮机组改造实现热电联产技术

一、技术名称：纯凝汽轮机组改造实现热电联产技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 125-200MW 纯凝汽轮机组

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

200MW 三缸三排汽纯凝汽轮机组平均能耗约为 355g/kWh，集中锅炉房平均供热能耗约为 52kg/GJ。目前该技术可实现节能量 200 万 tce/a，减排约 528 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

对纯凝汽轮机组进行打孔抽汽，使纯凝汽轮机组具备纯凝发电和供热两用功能。

2. 关键技术

(1) 纯凝汽轮机本体不作改动，通过在两根中低压连通管打孔抽汽，同侧合并，利用调节阀和主调门控制抽汽参数，使纯凝发电机组具备热电联产和纯凝发电两用功能。

(2) 在两用功能中，纯凝方式运行保持原来运行方式不变；热电联产方式运行时，在安全性能不变的基础上，能实现供热流量 150t/h 及以上的供热能力，实现热电比>50%，热效率>45%的热电联产基本指标要求。

(3) 改造后采暖供热抽汽参数符合常规供热的要求。

3. 工艺流程

工艺流程见图 1。

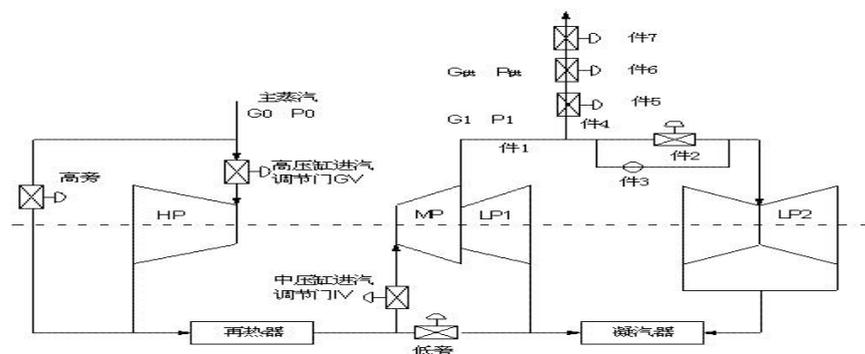


图 1 纯凝汽轮机组改造热电联产示意图

说明：

件 2 为 A 调节阀，件 7 为 B 调节阀；G0 和 P0 为主蒸汽的流量和压力；G1 和 P1 为 B 调节阀前的流量和压力；G 供和 P 供为 B 调节阀后的流量和压力； $P1 \geq P$ 供，而 $G1 > G$ 供；
供热抽汽热工控制方法如下：

为保证双流低缸的安全，应维持 A 调节阀后的低压缸一定的进汽量；A 阀的开度设有一定的上限和下限限值，正常调节时应在上下限值之间进行；机组在供热期间的考核方式为只对供热量（G 供和 P 供）进行考核，而不对发电功率进行考核，即以热定电。但在主汽流量不大于 670t/h 条件下，可根据电网调度要求，在以热定电基础上增加电负荷；

三排汽机组供热调节方式：

（1）提高 G 供保持 P 供不变，使系统达到新的稳态值 G 供'和 P 供

控制过程：在 A 阀未关至最小开度之前，关小 A 阀开度，增大 B 阀开度，通过二者之间的配合即可达到提高 G 供的目的。在 A 阀不断调节已到达最小开度后如果还想提高 G 供，则需适当增大 GV 开度并配合调节 A、B 阀开度，增加进入汽缸的进汽量而使系统达到新的稳定点 G 供'和 P 供；

（2）提高 P 供保持 G 供不变，使系统达到新的稳态值 G 供和 P 供'

控制过程：由于中压缸后连接有一个低压缸，此时关小 A 阀压力 G1 不会提高，而应适当增大 GV 开度，增加 P1 后再通过 A、B 阀间的配合调节达到新的稳定点 G 供和 P 供'。

五、主要技术指标

抽汽压力为 0.22-0.245MPa，能实现供热流量 150 t/h 及以上的供热能力，实现热电比 >50%，热效率 >45% 的热电联产基本指标要求。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2008 年通过由天津市科学技术委员会组织的专家评审，结论为：该项成果具有实用性强、节能环保效益好、投资小、见效快的特点，综合技术达到国际先进水平。已在天津军粮城发电有限公司、国电大同第二热电厂等企业改造完成。

七、典型应用案例

典型用户：天津军粮城发电有限公司

技术提供单位：天津市电力公司

建设规模：#7、#8 两台 200MW 三缸三排汽机组供热技术改造。主要技改内容：对 #7、#8 汽轮机本体采用连通管打孔抽汽加蝶阀的方式；在汽轮机高低压间连通管上与蝶阀并联设

置安全阀，以保证汽轮机组的安全；在汽轮机中低缸间连通管的抽汽供热管上设置抽汽逆止门、快关阀、调节阀，防止热网蒸汽回流，保证汽轮机组的安全。节能技改投资额 1600 万元，建设期 55 天(一个大修期)。改造后，每供 1GJ 热可节能 28kgce，2007 年采暖期供热 250000GJ，节约 7000tce，取得节能经济效益 371 万元。如果每个采暖期供热 500000GJ，则三年内投资可全部回收。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术对国内现存的 125-600MW 纯凝发电机组的节能改造具有重大意义。未来 5 年，预计推广到 10%，总投入 16 亿元，节能能力可达 400 万 tce/a，减排能力 1056 万 tCO₂/a。

15 回转式空气预热器接触式密封技术

一、**技术名称：**回转式空气预热器接触式密封技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 所有使用回转式空气预热器的发电机组

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

在发电行业，传统空气预热器是采用刚性有间隙密封技术，在动静间保持一个最小间隙，达到漏风最小。由于空气预热器存在蘑菇状变形问题，而且变形随负荷环境温度不断发生变化，很难达到最佳的动静之间的间隙值，漏风率一般在 10%左右。目前该技术可实现节能量 36 万 tce/a，减排约 95 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

回转式空气预热器是一种传动机构，泄漏无法避免。但过大的泄漏首先会影响锅炉运行的经济性，增加了风机的功率消耗，降低机组出力；其次漏风过大加快了空气预热器冷端腐蚀。统计表明，对于 300MW 的机组，空预器漏风率每增加 1%，将使机组的综合煤耗增加 0.2-0.6g/kWh。

改造后新型密封结构是对传统的非接触式密封的颠覆，它采用柔性金属密封簇直接与空预器的密封板进行接触，在各种运行工况下这种直接接触式的密封技术都可将密封间隙减小至零。

2.关键技术

新型的空预器密封结构，称为接触式全向柔性密封技术，它利用的是迷宫密封的原理，将运动部件和静止部件之间的间隙完全覆盖。新型的密封结构钢丝具有良好的弹性和柔性，可以根据不同负荷下密封间隙的变化改变变形量，并向四周散开，阻止空气向各个方向渗漏，实现了在轴向、径向和环向上的全方位密封，将空预器在各个方向的漏风降到最低。

3.工艺流程

这种全新的密封结构具有极大的灵活性和可行性，可适用于不同大小、不同结构的回转式空预器。可以根据现场的位置和漏风情况安装在空预器轴向、径向、环向任一方向，或者是在三个方向同时安装，安装后的空预器漏风率得到极大减小，且结构简单投资小。新型密封结构的安装可根据现场实际情况采用焊接、紧固螺丝、或用三角板加固等方法安装在空预

器的径向隔板、转子膜片或是环向密封面上。

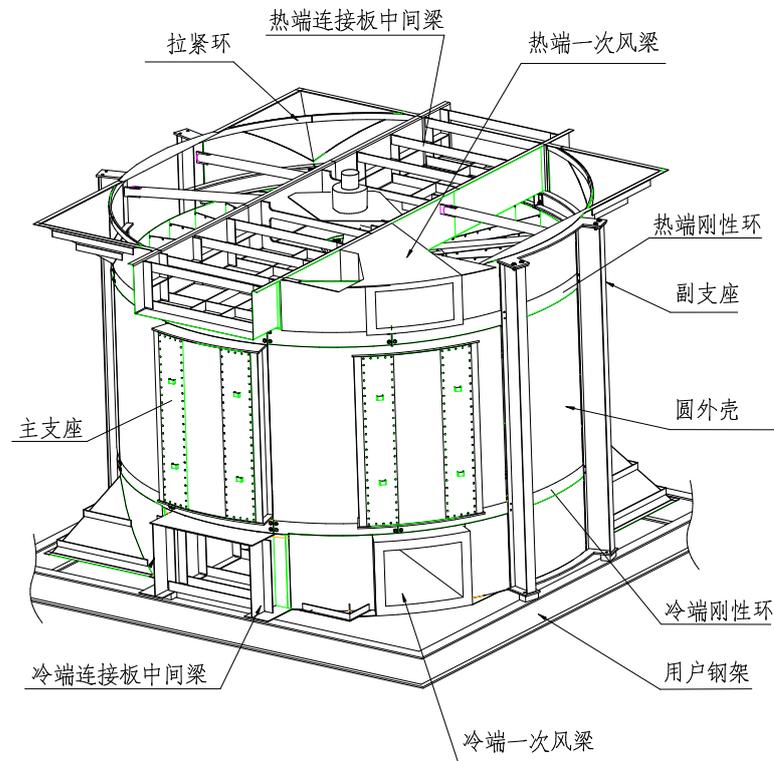


图 1 空气预热器立体图

五、主要技术指标

以一台 1000MW 机组为例，并根据上文中对节能减排能力的计算结果，该技术相关行业特性指标包括：

节煤量：7217.7t/a；

降低厂用电耗量：2248.5 万 kWh/a；

降低 CO₂ 排放量：19055t/a。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术达到国内领先水平，获得超超临界机组回转式空气预热器新型柔性密封技术成果。空气预热器漏风率 A、B 两侧均远低于保证值，漏风率约为 4.0%，厂用电率 3.01%（不带脱硫），达到我国目前投运锅炉之最高水平。在对空预器进行热端密封的改造后，厂用电率进一步大幅下降至 2.7%（不带脱硫）。

七、典型应用案例

典型案例 1

典型用户：上海高桥第三发电有限责任公司

建设规模：上海外高桥第三发电有限责任公司 2*1000MW 机组，4 台回转式空气预热器，在轴向、径向、环向全部进行密封改造。建设条件：投资额较小，属于企业技改项目。主要改造内容：根据空预器的密封结构和现场改造空间，在现有的密封结构上对其进行改进，在径向、横向和环向上增加新型的柔性接触式密封簇。主要设备：柔性金属密封簇。能耗监测情况：空预器密封改造取得的经济效益，不仅包括风机节省的厂用电率，还有漏风率下降将提高锅炉的进风温度，从而会进一步提高锅炉效率。空预器密封改造前实际运行供电煤耗 287g/kWh，空预器漏风率保证值为 6%。据相关文献表明，空预器漏风率每增加 1%，将使机组的综合煤耗增加 0.2-0.6g/kWh 以上。经济效益：年节省厂用电量为 4497 万 kWh，折合标煤量为 15694.6t/a，厂用电率大幅下降至 2.7%（不带脱硫）。项目投资 700 万元，年节能量 14435.4tce。项目投资回收期小于 6 个月。

典型案例 2

典型用户：大唐贵州发电有限公司发耳分公司

技术提供单位：北京华能达电力技术应用有限责任公司

机组概况：大唐贵州发电有限公司发耳分公司#2 机组（600MW）锅炉为上海锅炉厂有限公司设计和制造的亚临界、一次中间再热、控制循环汽包炉。锅炉采用摆动式燃烧器调温，四角布置、切向燃烧，正压直吹式制粉系统、单炉膛、Π型露天布置、固态排渣、全钢架结构、平衡通风。改造前漏风率：10%，改造后漏风率：3.16%，节约电量 725.62 万 kWh，节约供电煤耗 0.68g/kWh。锅炉效率可提高 0.49%，提高锅炉效率后节约煤耗 1.52g/kWh。年节约煤总量 7260t，CO₂ 减排量 19166.4t。年收益 399.30 万元，项目投资 380 万元，回收期 0.97。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术未来 5 年在行业内的推广比例可达到 60%，预计未来 5 年，总投资额可达到 3.6 亿元，节能能力可达到 58 万 tce/a，减排能力可达到 153 万 tCO₂/a。

16 电站锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统

一、**技术名称：**电站锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 电力、钢铁、石化、水泥等行业火力发电机组锅炉

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

在电站及工业锅炉运行中，锅炉结渣、积灰是个长期存在的问题。由于缺乏科学的监测方法指导锅炉水冷壁、再热器、过热器、省煤器“四管”及省煤器后部烟道空预器进行吹灰，导致吹灰频次不合理，“四管”局部污染和磨损严重及结焦，从而造成吹灰汽源浪费、锅炉效率降低，并给锅炉的安全和可靠运行带来很大隐患。锅炉结渣、积灰不但增加了锅炉受热面的传热阻力，使受热面传热恶化、煤耗增加，降低锅炉的热经济性，还可能造成烟气通道的堵塞，影响锅炉的安全运行，严重时会发生设备损坏、人身伤害事故，对锅炉运行危害严重。目前该技术可实现节能量 14 万 tce/a，减排约 37 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

电站锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统，是以能量守恒定律、传热学和工程热力学原理为基础，建立软测量模型、统计回归、模糊逻辑数学及人工神经网络等分析运算体系，将锅炉水冷壁、过热器、再热器、省煤器“四管”及省煤器后尾部烟道空预器污染程度进行量化处理和图像转换，显示实时参考画面和污染数据，使各受热面的污染率“可视化”，并根据临界污染因子及机组运行状况提出优化策略，从而实现“按需吹灰”和节能降耗、提高锅炉效率。

2.关键技术

建立炉膛、对流受热面和空预器的污染监测模型（包括灰污增长和衰减模型），建立软测量模型、统计回归、模糊逻辑数学及人工神经网络等分析运算体系，建立基于经济分析的吹灰指导模型和结焦预警模型。

3.工艺流程

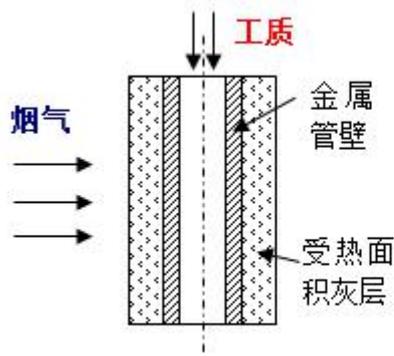


图1 受热面工作原理

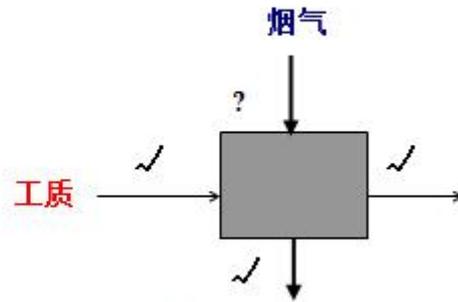


图2 计算原理图

锅炉内对流受热面的工作原理，如图1、2所示，工质在管内流动，烟气在管外流动。

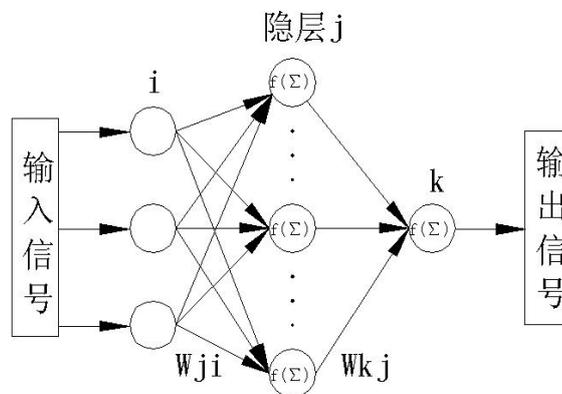


图3 前向型神经网络拓扑结构

神经网络已广泛地应用于各种复杂系统输入输出关系的建模过程，人工神经网络通过对样本集合的学习，提取出有效的知识和规则，通过对权值和阈值的修正，实现对复杂系统的模化。即使只有一个隐层，神经网络也能一致近似任何连续函数，从而为非线性系统的神经网络建模提供了理论依据。模型采用了一层隐层的神经网络，结构如图3所示。

单位时间段内，吹灰次数越多，总的吹灰收益越大，显示了吹灰收益与吹灰频率的关系，如图4所示。

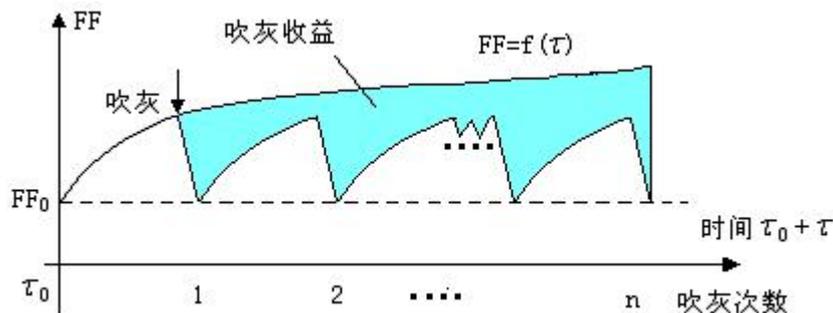


图 4 吹灰收益与吹灰频率的关系示意图

五、主要技术指标

主要是减少锅炉“四管”吹损及吹损泄漏造成的非正常停机几率。同时改善锅炉性能指标：平均降低锅炉排烟温度 2-6℃，减少吹灰次数 20%-60%。其中，135-200MW 机组锅炉一般降低 4-10℃，减少吹灰次数 40%-70%；200-300MW，一般降低 3-6℃，减少吹灰次数 30%-60%；600-1000MW 机组一般降低 1-4℃，减少吹灰次数 20%-40%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

通过山东省科学技术厅的科技成果鉴定，山东省科技进步三等奖，中国电子工业学会科技进步三等奖，山东省计算机应用优秀成果三等奖。截止到 2013 年底，该项目产品已在五大发电集团下属 20 多个电厂 50 多台机组投入使用，产品技术先进，运行可靠，性能稳定，节能效果明显，得到了电厂用户的认可和信赖。

七、典型应用案例

典型案例 1

应用单位：华电邹县发电有限公司

技术提供单位：山东泓奥电力科技有限公司

建设规模：1000MW 机组#7 锅炉“锅炉智能吹灰优化与结焦预警系统”节能技术改造。主要技改内容：增加部分烟温测点，增加一台上位机，与原有 SIS 系统连接，建立炉膛、对流受热面和空预器的污染监测模型（包括灰污增长和衰减模型），建立软测量模型、统计回归、模糊逻辑数学及人工神经网络等分析运算体系，建立基于经济分析的吹灰指导模型。节能技改投资额约 180 万元，建设期 8 个月。年综合节能量 1315tce，年综合经济效益直接收益（不考虑吹损爆管）182.3 万元，投资回收期 1 年。

典型案例 2

应用单位：华电邹县发电有限公司

技术提供单位：山东泓奥电力科技有限公司

建设规模：600MW 机组#6 锅炉“智能吹灰优化与在线结焦预警系统”节能技术改造。主要技改内容：新增 1 套采集器、1 台套服务器、1 台工控机和 1 套显示器，并建立数据采集和传输系统，建立吹灰优化和结焦预警系统。节能技改投资额 150 万元，建设期 9 个月。年综合节能量 7000tce，年综合经济效益 560 余万元，投资回收期 4 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年总投入 1500 万元，技术在行业内推广比例达到 20%，节能量达到 54 万 tce/a，减碳量达到 143 万 tCO₂/a。

17 电站锅炉用邻机蒸汽加热启动技术

一、**技术名称：**电站锅炉用邻机蒸汽加热启动技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

现有直流锅炉的启动方式一般有两种：疏水扩容式和带炉水循环泵式。疏水扩容式启动方式存在大量的工质和热量浪费，而带炉水循环泵的启动方式虽能节约部分工质和热量，但却存在系统复杂和初投资较高的缺点。从点火方式上来看，等离子点火技术和小油枪点火都属于冷炉冷风点火，在点火阶段有 50%左右的煤因为不能燃烬而浪费，且未燃烬的煤粉对锅炉来说是一种巨大隐患。目前该技术可实现节能 3 万 tce/a，减排约 8 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用这种启动方式后，锅炉在启动过程所需的燃油强度大为降低，燃油过程大大缩短，从而使总体耗油量下降一个数量级以上。目前，每次锅炉启动的点火用油仅为 20t；同时还可以大大减少厂用电及燃煤量，显著降低整个启动过程所消耗的能源总量和启动总成本。另外，该技术不仅将锅炉由原来的冷态启动转为热态启动，并且使烟风系统的运行条件更优于热态启动，极大改善了锅炉的点火和稳燃条件，显著提高了锅炉的启动安全性。

2. 关键技术

该技术的总体思路是采用蒸汽替代燃油和燃煤，对锅炉进行整体预加热，使锅炉在点火时已处于一个“热炉、热风”的热环境。

3. 工艺流程

锅炉上水完成后，启动锅炉给水泵，开始小流量向锅炉提供给水（给水流量维持在 500-600t/h 左右），同时打开加热蒸汽管道的电动阀门，利用邻炉冷再热蒸汽加热高压加热器给水（蒸汽参数 300℃，60bar），此时的给水可根据品质和清洗效果选择排入凝汽器或直接进入除氧器，小流量给水在锅炉内不断循环的过程中逐渐升温，直至达到给水加热极限，此时给水温度约为 250℃，启动风烟系统，锅炉开始点火。此时的炉膛已均匀受热，喷入炉膛内的柴油能充分燃烧，燃烧效率比冷炉膛时要高，由于给水在暖炉时加热了省煤器，拥有巨大表面积的省煤器成了巨大的“暖风机”，

炉膛内的冷风经过省煤器受热并通过空气预热器加热了一次风和二次风，在极短的时间内就能满足投粉条件，大大缩短了锅炉启动的投油时间，进一步减少了锅炉启动点火的燃油量，同时由于投油时间缩短，可以尽快投入电除尘器，更好地满足电厂环保要求。工艺流程图如下：

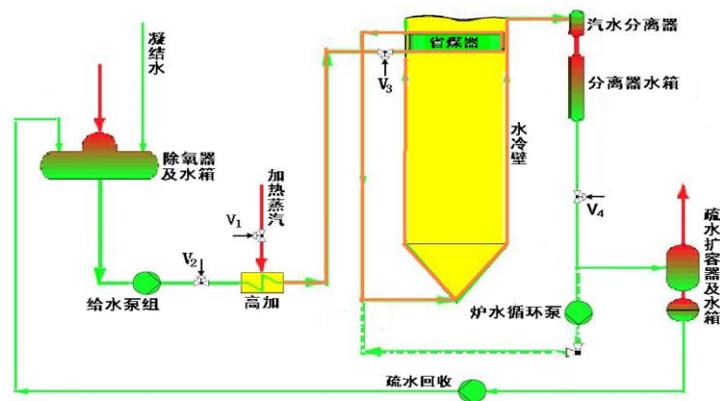


图 1 直流锅炉用邻机蒸汽加热启动技术流程图

五、主要技术指标

典型用户正常情况下的每次启动耗油约 20t，最低为 12t/次。

分两个阶段：

1.基建阶段：2×1000MW 超临界机组在整个调试期间共耗油 1030t，为常规调试期耗油量（21000t）的二十分之一。

基建阶段按计划每台机组平均启动 25 次，每次耗油 200t，两台机组计划耗油 10000t，采用该技术后可节油 8970t，折合 13070tce。

2.生产阶段：

典型用户每次机组启动耗油 20t，计划用油 200t，每次启动节油 180t。采用该技术后，每年每台按照 5 次机组启停，两台机组每年可节能 2622tce。

电站锅炉用邻机蒸汽加热给水启动技术使用的蒸汽来自邻机的冷再热蒸汽，蒸汽量与采用该方法机组启动时免启锅炉辅机的厂用电能耗平衡。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该项技术自 2007 年 11 月在上海外高桥第三发电有限责任公司两台 1000MW 机组上第一次应用，至 168 小时考核结束，共消耗燃油 1014t，仅为百万千瓦等级机组调试用油定额的 10%。系统简单，改造投资仅 200 万元，远低于小油枪点火或等离子点火方式的投资。

七、典型应用案例

典型用户：上海外高桥第三发电有限责任公司

建设规模：2×1000MW 超超临界火力发电机组。主要技改内容：安装邻机冷再热至本机的高压加热器蒸汽管道及阀门。节能技改投资额 200 万元，建设周期 3 个月。若不考虑新建机组基建阶段，仅考虑机组投运后的生产阶段，两台机组每年可节约 2622tce，年节能经济效益 210 万元，投资回收期为 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

本项目属于系统优化改造类项目，节能效果明显，投资低，简单易行且安全性高，推广潜力巨大。未来 5 年，预计推广到 30%，总投入 8 千万元，节能能力可达 10 万 tce/a，减排能力 26 万 tCO₂/a。

18 脱硫岛烟气余热回收及风机运行优化技术

一、**技术名称：**脱硫岛烟气余热回收及风机运行优化技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前成熟的脱硫技术如石灰石(石灰)-石膏湿法脱硫等虽取得了明显成效，但是投入成本高达亿元，成为目前制约火电厂配套脱硫设备的主要瓶颈。目前该技术可实现节能量 45 万 tce/a，减排约 119 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

取消脱硫系统传统的 GGH（气气换热系统），通过在吸收塔前加装烟气冷却器，其水侧与汽轮机的低压加热器系统连接，利用锅炉排烟余热加热部分或者全部凝结水，凝结水吸热升温后接入到下一级低压加热器，从而减少回热系统对低压缸的抽汽，在机组运行条件不变的情况下有更多的蒸汽进入低压缸做功，达到充分利用锅炉排烟余热的目的。同时，由于进入吸收塔的烟气温度降低，减少了吸收塔工业冷却水耗用量。

2. 关键技术

（1）排烟余热利用：取消脱硫系统传统的 GGH，通过在吸收塔前加装烟气冷却器，充分利用锅炉的排烟余热，提高汽轮机组的运行效率；同时，由于进入吸收塔的烟气温度降低，减少了吸收塔工业冷却水耗用量；

（2）风机运行优化：在两台并联的增压风机基础上增加一条增压风机旁路烟道，并适当提高引风机的压头，通过优化风机的运行方式，实现在 30%-60%BMCR 的低负荷工况下以单引风机运行代替双引风机+双增压风机运行，从而提高风机运行效率。

3. 工艺流程

在吸收塔前加装烟气冷却器，从 2 号低加进口引出部分或全部冷凝水，送往烟气冷却器。锅炉烟气进入烟气冷却器降温后，进入脱硫吸收塔中进行脱硫、排放，或直接排放。凝结水升温，汇集后进入到 3 号低加，见工艺流程图如下：

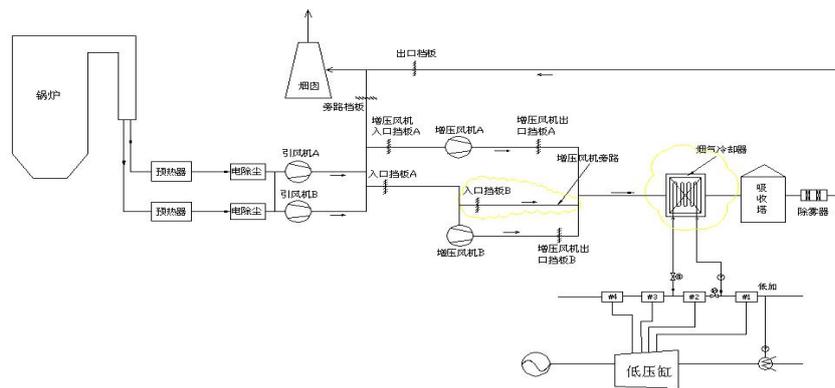


图1 脱硫系统优化后的工艺流程图

五、主要技术指标

以2×1000MW发电机组为例，采用本技术可使每台机组供电煤耗下降2.71g/kWh，年节电198万kWh，年节水26万t，取得综合经济效益2375万元。

六、典型应用案例

典型用户：上海外高桥第三发电有限责任公司

建设规模：2×1000MW机组。主要技改内容：烟气冷却器本体基础施工，烟气冷却器安装，凝结水管道和支吊架安装，烟道施工和风机改造（如有需要）。节能技改投资额4370万元，建设期12个月。按机组年利用5500h测算，每年可节能29810tce，取得经济效益2276万元，投资回收期2年。

七、推广前景及节能减排潜力

未来5年，预计该技术可推广到40%，总投入15亿元，节能能力可达90万tce/a，减排能力238万tCO₂/a。

19 提高火电厂汽轮机组性能综合技术

一、**技术名称：**提高火电厂汽轮机组性能综合技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 火电厂或核电厂汽轮机组

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，火力发电厂集中表现在实际运行中经济性偏离设计状态较高，存在很大的节能潜力。通过对不同类机组进行诊断分析、研究，发现火力发电厂普遍存在本体效率较低、热力系统冗余与泄漏、运行参数不合理等问题，可利用系列节能技术进行解决，从而提高汽轮机组性能。汽轮机组热力系统的状态是影响机组能耗和运行安全经济性的重要影响因素，目前很多机组存在热力系统运行损失大、维护成本高、检修后性能下降快等问题。目前该技术可实现节能量 70 万 tce/a，减排约 185 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

以理论为基础，实践为依据，重点改造汽轮机组两端，完善优化中间，综合治理，提高机组整体性能。在保证机组安全及满足各种运行要求的条件下，通过设备性能改进，优化热力系统，简化系统流程，以减少系统泄漏，简化运行操作，降低维护成本，达到节能降耗，提高机组安全经济性的目的，并有利于机组长期保持较高的经济性水平。

2. 关键技术

- (1) 汽轮机组性能诊断技术；
- (2) 提高汽轮机本体性能改进技术；
- (3) 热力系统及设备改进技术；
- (4) 设备检修工艺改进措施与方法；
- (5) 最佳运行与维护措施与方法。

3. 工艺流程

工艺流程见图 1。

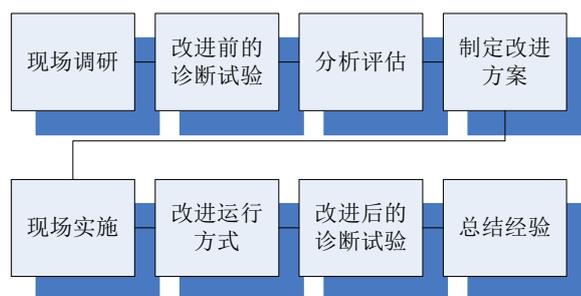


图 1 工艺流程

五、主要技术指标

- 1.改进后机组热耗率降低 80-150kJ/kWh（主要针对 300-600MW 级机组）；
- 2.改进后机组可在长时期保持较高的经济性水平；
- 3.降低维护成本；
- 4.降低单位发电量的污染排放。

六、典型应用案例

典型案例 1：国电钦州发电有限公司 1 号机组提高性能节能减排改造项目

技术提供单位：西安热工研究院有限公司

建设规模：5 台机组（4x300MW 机组、1x600MW 机组）。建设条件：已投产、未进行热力系统优化。主要技改内容：汽封系统改进；热力系统优化。主要设备：汽轮机本体、汽轮机组热力系统。节能技改投资额 1810 万元（4x360+1x370），建设期每台机组 60 天（结合机组大修实施）。年节能量：改进后机组额定工况下对应发电煤耗率分别下降：7.38g/kWh、5.10g/kWh、5.06g/kWh、5.55g/kWh 和 4.86g/kWh，按年利用小时 5500 计算，各机组每年可节约标准煤分别为：12177t、8415t、8349t、9158t、16038t，共计 54137t/a。节能经济效益：标煤价格 800 元/t 计算，改进机组每年可减少燃煤成本共约 4330 万元。投资回收期 6 个月。

典型案例 2：广东红海湾发电有限公司 1、2 号机组性能诊断试验及节能优化项目

技术提供单位：西安热工研究院有限公司

建设规模：2 台机组（2x300MW 机组）。建设条件：已投产、未进行热力系统优化。主要技改内容：更换调节级喷嘴；汽封系统改进；热力系统优化。主要设备：汽轮机本体、汽轮机组热力系统。节能技改投资额 1560 万（2x780），建设期每台机组 60 天（结合机组大修实施）。年节能量：额定工况下发电煤耗率下降：7.82g/kWh 和 7.00g/kWh 左右，按年利用小时 5500 计算，年节约标准煤分别为：12903t、11550t，

共计 24453t/a。节能经济效益：标煤价格 800 元/t 计算，每年可减少燃煤成本约 1956 万元。投资回收期 10 个月。

七、推广前景及节能减排潜力

目前，发电行业均非常重视节能减排、降低成本，提高企业经济效益。本技术表现出很强的市场吸引力，为各企业所积极采用，近年来得到快速的推广。未来 5 年，预计可为 30%的发电企业采用，总投入 10 亿元，节能能力可达 210 万 tce/a，减排能力 554 万 tCO₂/a。

20 火电厂烟气综合优化系统余热深度回收技术

一、技术名称：火电厂烟气综合优化系统余热深度回收技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 燃煤火电机组

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，火力发电厂集中表现在实际运行中经济性偏离设计状态较高，存在很大的节能潜力。通过对不同类机组进行诊断分析、研究，发现火力发电厂普遍存在本体效率较低、热力系统冗余与泄漏、运行参数不合理等问题，可利用系列节能技术进行解决，从而提高汽轮机组性能。汽轮机组热力系统的状态是影响机组能耗和运行安全经济性的重要影响因素，目前很多机组存在热力系统运行损失大、维护成本高、检修后性能下降快等问题。目前该技术可实现节能量 64 万 tce/a，减排约 169 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

基于火电厂烟气综合优化系统余热深度回收，是在电站锅炉空气预热器与电除尘器之间的尾部烟道加装烟气冷却器，将烟气温度降低到 90℃ 左右，回收的烟气热量可以将凝结水从 70℃ 加热到 110℃ 左右，从而排挤低压加热器抽汽，增加了汽轮机的做功。

余热回收装置安装在电除尘器之前，一方面可以将电除尘器入口烟气温度降低至酸露点以下，SO₃ 与 H₂O 结合形成 H₂SO₄ 蒸汽，凝结在飞灰表面，使得飞灰比电阻降低至 1010 (Ω·cm) 以下，进入最适合电除尘工作的范围内，大大提高了静电除尘器效率，同时也大大提高了 SO₃ 的脱除率。另一方面，烟气在进入除尘器前温度降低，流速也相应减小，在电除尘器内的停留时间就会增加，使得电除尘装置可更有效地对烟尘进行捕获，从而达到更高的除尘效率。因此本技术可以降低除尘器的改造费用。

传统尾部烟道中，SO₃ 只有在通过脱硫塔时才能被脱除，且脱除率仅有 20%-30%，剩余的 SO₃ 随着脱硫塔出口的饱和烟气进入烟囱，对脱硫塔后的烟道及烟囱产生极大的腐蚀。而本技术可以将 SO₃ 的脱除率提高至 90% 左右，大大减缓了烟气对后续设备的腐蚀。

脱硫塔入口烟温可降低到 90℃左右，使烟温达到最佳脱硫效率状态，大大减少脱硫塔的冷却水耗。

该系统在回收烟气余热的同时，不影响现有热力系统的长周期安全运行，不仅降低了排烟温度，提高了机组效率，而且提高了电除尘器效率，节约了脱硫塔的耗水量。

2. 关键技术

- (1) 烟气冷却器的设计；
- (2) 烟气冷却器低温腐蚀研究；
- (3) 烟气冷却器的防积灰、防磨损设计；
- (4) 热力系统优化设计和控制。

3. 工艺流程

工艺流程见图1，空预器出口的烟气经过烟气冷却器后温度降至90℃左右，烟气温度降低至酸露点以下， SO_3 与 H_2O 结合形成 H_2SO_4 蒸汽，凝结在飞灰表面，飞灰比电阻降低，且由于烟温降低，进入除尘器的烟气量减小，大大提高了除尘器的效率，同时也大大提高了 SO_3 的脱除率。经过除尘的低温烟气进入引风机后，可以节省引风机的功耗，继而进入脱硫塔后可以降低脱硫塔的水耗，最后进入烟囱时也可以降低对烟囱的腐蚀。

在凝结水方面，从N级低压加热器入口抽取一部分凝结水，进入烟气冷却器后被加热，返回至N+1级（按实际情况而定）低压加热器出口，从而节省低压加热器的抽汽，增加汽轮机的做功，节省煤耗。

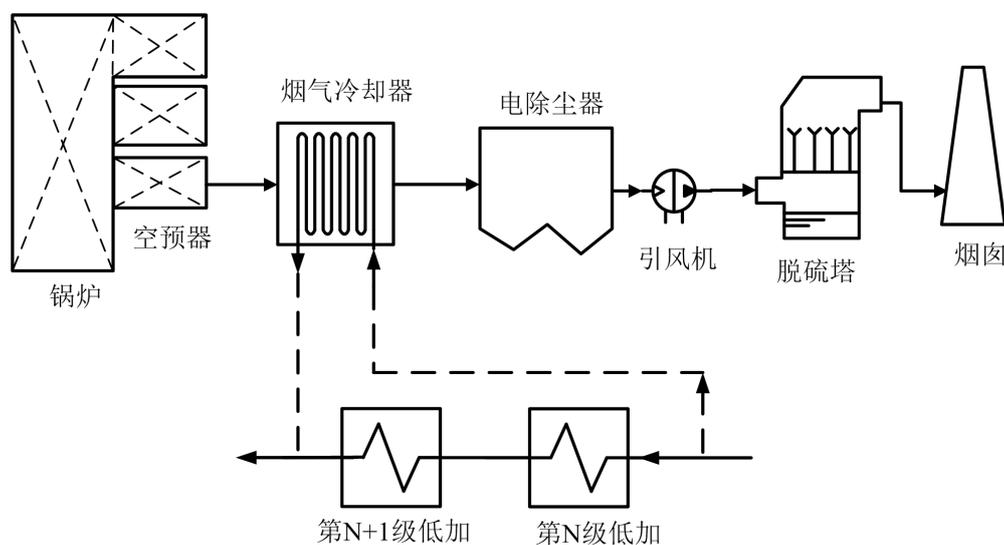


图1 基于火电厂烟气综合优化系统余热深度回收工艺流程图

五、主要技术指标

采用该烟气深度冷却节能减排技术后，发电煤耗可以降低 2-3g/kWh。与传统低温省煤器技术相比，由于深度冷却效果使节能量提高 30%以上，粉尘排放降低 50%以上。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术国内领先，至今已成功投运 5 台 300MW 机组（华能井冈山电厂#2、华能平凉电厂 1-4 号），华能伊敏电厂 1 号 500MW 机组，最长使用时间已超过 1 年。目前国内运行的烟气余热利用系统中，烟气冷却器在电除尘器之前，且烟温降低至 90℃左右的电厂很少，但该技术是未来烟气余热利用发展的趋势。

七、典型应用案例

案例应用单位：华能平凉发电有限责任公司

技术提供单位：西安热工研究院有限公司

建设规模：一期 4×300 MW，二期 2×600MW。主要技改内容：以 3#机组为例，在空气预热器与电除尘器之间的烟道内增加烟气冷却器，给水从 8#低加入口与 7#低加出口混合至 70℃后引入烟气冷却器，加热后回到 6#低压加热器入口，烟气冷却器串联入原回热系统，使排烟温度从 150℃降低到 95℃，低压给水从 70℃加热到 104.6℃，主要设备包括烟气冷却器、控制系统、吹灰系统、阀门和管道，建设期 45 天。节能技改投资额 965 万元。年节能量：3900tce，年节约费用 234 万元/年，投资回收期 4.12 年。

八、推广前景及节能减排潜力

截止到 2013 年 12 月，我国火电装机容量为 7.9 亿 kW。据此推测，预计未来 5 年，总投入 72 亿元，有 50%的火电厂进行烟气综合优化系统余热深度回收技术改造，年运行时数平均按照 5000 小时计算，节能 320 万 tce/a，减碳量 845 万 tCO₂/a，节能减碳潜力巨大。

21 火电厂凝汽器真空保持节能系统技术

一、**技术名称：**火电厂凝汽器真空保持节能系统技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 火力发电机组，以及冶金、水泥、化工、环保等行业余热发电机组

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

凝汽器承担了汽轮机排汽和冷却水（江水、河水、海水等）的热交换，凝汽器冷却管内形成的污垢不仅对换热效率产生影响进而降低汽轮机的效率，而且易使凝汽器产生腐蚀穿管、真空恶化等，严重影响汽轮机的经济安全运行。目前该技术可实现节能量 26 万 tce/a，减排约 67 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

汽轮机凝汽器真空保持节能系统（以下简称“VUES”）是利用胶球清洗。它能在不停机的情况下自动清除凝汽器污垢，长期保持 95% 以上的收球率。正常运行后凝汽器清洁度提升并长期保持在 0.85 以上，从而提高机组性能，降低汽轮机能耗。

2. 关键技术

（1）凝汽器真空保持节能 VUES 技术。VUES 的原理为依靠压缩空气作为动力，在微电脑控制程序的控制下，间歇地将清洁球瞬间同时一次性发射入凝汽器的入口，对凝汽器所有的冷却管进行擦拭清洗，清洗后的胶球由回收装置收回；

（2）高效自动反冲过滤器 HEAF。能有效的解决发电厂凝汽器冷却管补充水杂物造成污垢等问题，并能长期保持清洁，具有显著的节能减排效果；

（3）冷端优化节能监控系统 COS-8000。结合冷却塔节能改造，循环水泵节能改造，凝汽器节能改造等于专业节能诊断后组合方案，在确保机组安全运行的前提下，通过计算机、通讯、智能控制等先进技术实现对冷端系统的运行状况及能效进行实时监测及节能统计分析，根据汽机运行的不同工况，对冷端系统的运行数据进行分析的基础上，对冷端系统的运行进行优化，使机组达到并保持最佳真空的同时，降低冷端系统的能耗，从而实现机组综合能耗最低和节能量的长期保持；

（4）冷端优化系统。汽机冷端系统节能整体解决方案是以优化汽机冷端系统的运行、提升真空、降低汽机煤耗和冷端设备用电率为目标，以前述的核心技术为

基础，针对目前汽机冷端系统存在的问题进行勘察分析，提出的综合解决方案。

3. 工艺流程

凝汽器及真空系统凝汽器传热性能真空严密性凝结水系统诊断循环水系统凝汽器清洁度凝汽器汽阻(水阻)凝汽器过冷度真空泵运行状态循环水泵性能凝结水泵性能循环水系统阻力特性凝结水系统阻力特性凝结水杂用水分配冷端性能诊断

凝汽器真空保持系统与凝汽器冷却水系统一同工作。其工艺流程为每隔30-60min清洗运行一次，每次的清洗流程包括：压缩空气储气罐加压，压力释放，发球装置瞬间将胶球发射入凝汽器入口，众多数量(等同于凝汽器单侧入水室冷却管数量)的胶球对凝汽器冷却管进行清洗，清洗过后，胶球通过回收装置被收集回主体柜中的集球器，启动主体柜内的胶球清洁程序，对胶球进行清洗去污，随后一次清洗流程结束。其工艺流程见图1。

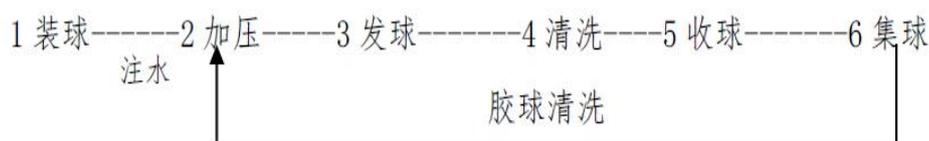


图1凝汽器真空保持系统工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.收球率长期保持 95%以上；
- 2.长期保持凝汽器所有冷却管清洁；
- 3.彻底免除停机人工清洗；
- 4.凝汽器端差显著下降，有望保持在 3-5℃以内（设计水温下）；
- 5.凝汽器真空度明显提升并保持在理想真空值；
- 6.平均降低汽轮机煤耗 2-4g/kWh。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术为行业内“蓝海”项目，具有“四唯一体支撑”体系，即创新的节能技术体系，强大的资金支持体系，市场化的运作体系，可靠的项目运营体系。在国内具领先水平。已获得国家 10 项专利，并已在 4.5MW、6MW、9MW、15MW、60MW、150MW、300MW、600MW 等各种规模，数十台机组上得到成功应用，设备安装简便，系统运行可靠，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型案例 1：大唐华银株洲发电有限公司 3#、4#机组凝汽器真空保持节能项目
技术提供单位：深圳市世能科泰能源管理技术有限公司

项目背景：该企业 3#、4#机组（2×310MW）的循环冷却水系统采用是开式系统，冷却水取自江水，水质较差，主要杂物为污泥、水草、藻类、鱼虾、贝类，机组原先安装有传统胶球清洗装置，基本能正常投运，收球率能维持在 90%以上，凝汽器装有二次滤网，但效果很差，无法有效清除杂物，尤其是夏季洪水季节，二次滤网网面严重堵塞，压差甚至达到 10kPa 以上，需多次半边隔离人工清杂和清洗，端差 4-6℃。经过改造，拆除原有胶球清洗装置和二次滤网，安装 VUES 和 HEAF。建设规模：3#、4#机组（2×310MW。主要技改内容：3、4 号机组凝汽器胶球清洗系统改造及冷端系统优化。节能技改投资额 800 万元。年节能量：6000tce，降低二氧化碳排放约 1.58 万 t/a，年节约费用 480 万元/年，投资回收期 2 年。

典型案例 2：华润江苏南热发电有限责任公司#2 机组凝汽器真空保持节能项目
技术提供单位：深圳市世能科泰能源管理技术有限公司

项目背景：该企业#2（600MW）的凝汽器冷却水系统采用闭式系统，抽取河水沉降后进行直接冷却，水中杂质多为污泥、纤维、塑料布、填料碎片等，极大影响了机组运行。凝汽器系统原来安装有胶球清洗装置，但装置收球率低，凝汽器冷却管污垢得不到正常清洗，每次打开人孔门可以明显观察到污垢，每年小修或者零检，均要对凝汽器进行人工高压水冲洗，冲洗过程中可见大量污泥。经过改造，拆除原有胶球清洗装置，安装凝汽器真空保持节能系统（VUES）和高效自动反冲二次滤网。建设规模：1×600MW 机组。主要技改内容：2 号机组凝汽器胶球清洗系统改造及冷端系统优化。经济效益：收球率全年长期保持 90%以上，凝汽器清洁系数从 0.581 提升并保持到 0.85 以上，在额定工况与负荷下，发电热耗率下降 50.698kJ/kWh，发电煤耗下降 1.875g/kWh，供电煤耗下降 1.968g/kWh，凝汽器和二次滤网彻底免除了停机人工清杂和清洗，系统水阻降低了 6.543kPa。在汽轮机组每年节省耗煤超过 6000t，年降低排放约 1.58 万 tCO₂。直接经济效益 480 万元/年。技改总投资 600 万元，回收期 2 年内。

八、推广前景及节能减排潜力

根据国家电监会数据统计，全国电力装机容量达到 10.6 亿 kW，成为世界第一电力装机大国。其中火电装机容量超过 8 亿 kW。单机容量 0.6 万 kW 及以上的机组约 7000 台，且约 90%容量机组采用水冷却。水冷机组采用开式冷却系统的约为 20%，

而另外 80%为闭式循环冷却。除火电机组外，水泥余热发电、冶金、化工等行业均有管式冷却系统，同样需要保持冷却水管内壁的清洁，因此均可以采用该技术。预计未来 5 年，国内推广份额达 20%左右，预计可形成节能 170 万 tce/a，二氧化碳减排能力达 449 万 t/a，直接经济效益约 13.6 亿元/年。

22 高压变频调速技术

一、技术名称：高压变频调速技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 电力、轧钢、造纸、化工、水泥、煤炭、纺织、铁路、食品、船舶、机床等工业 1kV 以上的高压交流电机。

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

全国电动机装机总容量已达 4 亿多 kW，年耗电量达 12000 亿 kWh，占全国总用电量的 60%，占工业用电量的 80%；其中风机、水泵、压缩机的装机总容量已超过 1.8 亿 kW，年耗电量达 8000 亿 kWh，占全国总用电量的 40%左右。目前，仅有约 15%左右变频调速运行。目前该技术可实现节能量 90 万 tce/a，减排约 238 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

高压变频调速技术采用单元串联多电平技术或者 IGBT 元件直接串联高压变频器等技术，实现变频调速系统的高输出功率（功率因数>0.9），同时消除对电网谐波的污染。对中高压、大功率风机、水泵的节电降耗作用明显，平均节电率在 30%以上。

2.关键技术

单元串联多电平技术采用功率单元串联电压相加回路，采取变压器多绕组别组分压整流单元均压，单元电平叠加，通过 IGBT 逆变桥进行正弦（PWM）控制，可得到单项交流输出，每个功率模块结构及电气性能上完全一致，可以互换。

3.工艺流程

具体工艺流程及原理图见图 1，图 2。

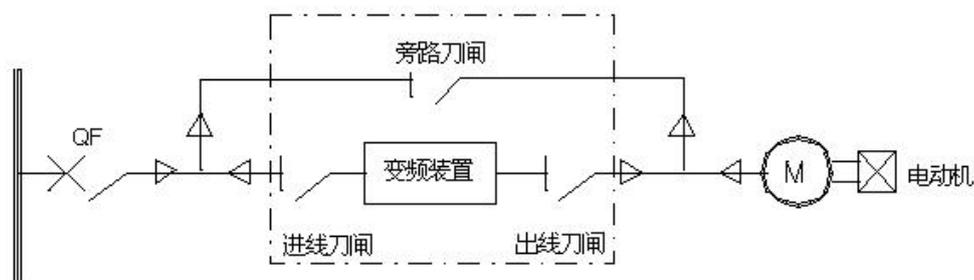


图 1 主回路工作原理简图

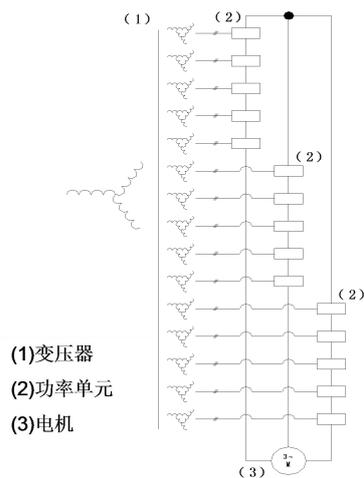


图 2 单元串联多电平高压变频器原理示意图

五、主要技术指标

- 1.效率： $\geq 96\%$ ；
- 2.输出电压范围：3-11kV；
- 3.输入电流谐波总含量： $\leq 4\%$ ；
- 4.输入功率因数： ≥ 0.95 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术 1997 年通过了国家机械工业局组织的技术鉴定，并在部分电力，冶金推广应用，技术成熟可靠，节能经济效益好。

七、典型应用案例

典型案例 1：北京大唐发电公司陡河发电厂

建设规模：1000kW/6kV 风机高压变频器改造。主要技改内容：125MW 调峰机组风机变频调节，主要设备为 1000kW/6kV 风机变频器。节能技改投资 280 万元，建设期 18 个月。每年可节能 1160tce，年节能经济效益 100 万元，投资回收期 24 个月。

典型案例 2：大冶特钢第四炼钢厂

建设规模：1600kW/6kV 除尘风机高压变频器改造。主要技改内容：70t 交流电弧炉除尘风机变频调节，主要设备为 1600kW/6kV 除尘风机变频器。节能技改投资 280 万元，建设期 12 个月。每年可节能 2362tce，年节能经济效益 276 万元，投资回收期 12 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

目前，我国大功率的风机、水泵等设备约有 30000 万台，其中只有约 4000 台设备进行了变频改造，未来 5 年，预计推广到 50%，总投入 38 亿元，节能能力可达

300 万 tce/a, 減排能力 792 万 tCO₂/a。

23 配电网全网无功优化及协调控制技术

一、**技术名称：**配电网全网无功优化及协调控制技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 县级供电企业（110kV 及以下电网无功协调控制）

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

国外主要提出了基于大电网的电压三级控制，没有涉及 110kV 及以下的配电网电压无功协调控制，与我国电网尤其是农网方式相差甚远，没有太大可比性和借鉴性。该技术在设计过程中贯穿的主题思想是首先通过对电网运行数据采集，然后经过优化计算，生成并执行协调控制策略或分析出电压不合格主要原因，最终确保优化对象即关键节点电压合格。配电网全网电压无功优化协调控制系统主要通过采集终端用户运行数据、配变运行数据、10kV 线路无功补偿设备运行数据、10kV 馈线调压器运行数据、变电站运行数据，从全局角度出发，经过优化分析计算，生成并执行对主变档位调整、变电站无功补偿设备投切、10kV 馈线调压器档位调整、10kV 线路无功补偿设备投切、配变无功补偿设备投切、配变档位调整综合协调控制策略，完成对变电站、线路、配变电压无功设备的集中管理、分级监视和协调控制，实现配网全网电压无功闭环控制，最大程度改善关键节点电压、关口无功功率因数。目前，仅有约 15%左右变频调速运行。目前该技术可实现节能量 2 万 tce/a，减排约 5 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

通过用户用电信息采集系统、10kV 配变无功补偿设备运行监控主站系统（基于 GPRS 无线通讯通道）10kV 线路调压器运行监控主站系统（基于 GPRS 无线通讯通道）、10kV 线路无功补偿设备运行监控主站系统（基于 GPRS 无线通讯通道）、县调度自动化系统（SCADA）系统采集县网各节点遥测遥信量等实时数据，进行无功优化计算，并根据计算结果形成对有载调压变压器分接开关的调节、无功补偿设备投切等控制指令，各台配变分级头控制器、线路无功补偿设备控制器、线路调压器控制器、主变电压无功综合控制器接收主站发来的“遥控”指令，实现相应的动作，从而实现对配网内各公配变、无功补偿设备、主变的集中管理、分级监视和分布式控

制，实现配电网电压无功的优化运行和闭环控制。

2.关键技术

(1) 以电压调整为主，同时实现节能降损

降损的前提是电网安全稳定运行及满足用户对电能质量的需求，在具体实施过程中，一个周期的控制命令可能既包含分接头调整，又包括补偿装置动作，如果分接头及补偿装置同属一个设备，则先调整分接头，下一周期再动作补偿装置。

(2) 电压自下而上判断，自上而下调整

这一要求需要两种措施来保证：一是通过短期、超短期负荷预测，合理分配开关在各时段的动作次数；二是如果低电压现象在一个区域内比较普遍，则优先调整该区域上级调压设备。

(3) 无功自上而下判断，自下而上调整

无功自上而下判断，如果上级电网有无功补偿的需求，应首先向下级电网申请补偿，在下级电网无法满足补偿要求的情况下，再形成本地补偿的控制命令。而控制命令的执行应自下而上逐级进行。如此，既能满足本地无功需求，又能减少无功在电网中的流动，最大限度降低网损。

3.工艺流程

变电站、线路、配变电压三级联调：基于配电网全网电压无功综合分析，自动生成变电站、线路、配变的电压无功协调控制策略并准确下发控制命令；具有闭环控制和开环控制两种运行方式。

五、主要技术指标

- 1.变电站、线路、配变电压无功三级联调；
- 2.电压无功监测范围可覆盖变电站、线路、配变、客户端；
- 3.可实现闭环控制，开环建议，提高电压无功控制水平。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于 2010 年 11 月份在安徽歙县供电公司挂网运行，通过了国家电网公司“低电压”综合治理现场会的检查，在国家电网公司办公厅 2010 年 12 月 31 印发的关于印发《农村“低电压”治理典型方法》的通知中，将该技术列为“低电压”治理典型方法之一，在 2011 年 3 月，作为国家电网公司科技部的重大科技项目“低电压综合治理技术研究”的子项目，选择在江西、辽宁、陕西应用建设，本系统是电压三级联调应用建设中的主站系统。在 2011 年 7 月，国家电网 2008 年版《农网重点发展应用

技术》将该技术列入了农网发展重点应用技术目录。2012年在江西高安县供电公司的低电压治理中得到推广应用。2013年在新疆阿克苏沙雅县供电公司，塔城和丰县供电公司的农网改造示范工程中得到推广应用。

七、典型应用案例

案例应用单位：安徽歙县供电公司

技术提供单位：北京电研华源电力技术有限公司

建设规模:选择安徽歙县供电公司 35kV 杞梓里变电站及梓里 196 线、198 线，确定三级联调试点范围。

建设条件：现安装的电压无功调控设备的调控判据仅依据安装点的测量值进行“各自为政”式的独立控制，电网各级调压与补偿设备的全网协调性不够，往往出现上级电网电压处于合格区间范围、下级电网调节手段已用尽而用户电压仍超限的情况，此时需依赖上级电网充分挖掘调节能力，实施上级电网与下级电网的自动协助调整，通过全网调节使末端电网；调压能力得到有力的补充与提升，由此提出实施三级电压协调控制来研究与探索进一步挖掘电网运行控制潜力的手段。

主要改造内容：（1）35kV 杞梓里站 10kV 母线电压调控及变电站无功补偿调节。（2）10kV 梓里 196 线路电容器控制、梓二配变分接头自动调节及低压电容器自动控制、梓二配变台区首末段电压监测。（3）10kV 梓里 198 线路电容器自动控制、小岫配变台区首末段电压监测。主要投入设备：配电网全网电压无功协调控制技术、电压无功调控设备。

节能技改投资额：50 万，建设期：3 个月，节能量折标准煤：年供电量 2 亿余 kWh 电，线损率降低 1.2 个百分点，每年节约 25 万 kWh 电，约 84tce。

节能经济效益：年节能 25 万 kWh 电，按 1kWh 电 0.5 元计算，折合人民币 12 万余元，投资回收期：4 年左右。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，技术在行业内推广比例达到 16%，总投入 5 亿元人民币，年节能能力 24 万 tce，年减排能力 63 万 tCO₂。

24 新型节能导线应用技术

一、技术名称：新型节能导线应用技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 110kV 及以上架空输电线路

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，架空导线的导体材料都采用电工铝。因铝线材料的基本特性，我国架空导线铝导电率为 61%IACS（以电工退火铜的体积电阻率 $\rho=0.017241\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 为 100%IACS）。根据中国电力企业联合会统计数据，2010 年我国输配电线损电量达 1710 亿 kWh，全国输配电线损率为 5.98%，折合 5985 万 tce。目前该技术可实现节能量 5 万 tce/a，减排约 13 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

节能导线是指在等外径（等总截面）条件下，直流电阻比普通钢芯铝绞线更小的导线。目前，适合进行大规模推广应用的节能导线主要包括钢芯高导电率铝绞线、铝合金芯高导电率铝绞线和中强度铝合金绞线。

钢芯高导电率铝绞线以多根镀锌钢线为芯，外部同心螺旋绞多层高导电率硬铝圆线。与普通钢芯铝绞线相比，钢芯不变，有效降低了绞线整体的直流电阻。

铝合金芯高导电率铝绞线是以多根同心绞铝合金线为芯，外层同心绞合一层或多层高导电率铝线构成。与普通钢芯铝绞线相比，具有损耗小、耐腐蚀、年费用低等优点。

中强度铝合金绞线全部采用 58.5%IACS 中强度铝合金线，与普通钢芯铝绞线相比，导线整体直流电阻降低，降低了输电线路的损耗。

2. 关键技术

（1）钢芯高导电率铝绞线：考虑导线材料中各元素对导电率的影响，控制各元素的比例，运用 TiC 等专用细化剂对晶粒进行细化及强化，合理设计模具和压缩率，减少拉拔工艺增加的残余应力，同时采用型线的拉拔及绞制工艺的控制，确保生产过程中型线不翻转、不翘边；

（2）铝合金芯高导电率铝绞线和中强度铝合金绞线：通过铝基体的合金化的配方组合，及加工工艺及热处理的控制，使其导电率、强度、延伸率上得到明显提高。

3.工艺流程

三种节能导线工艺流程分别见图 1、图 2 和图 3。

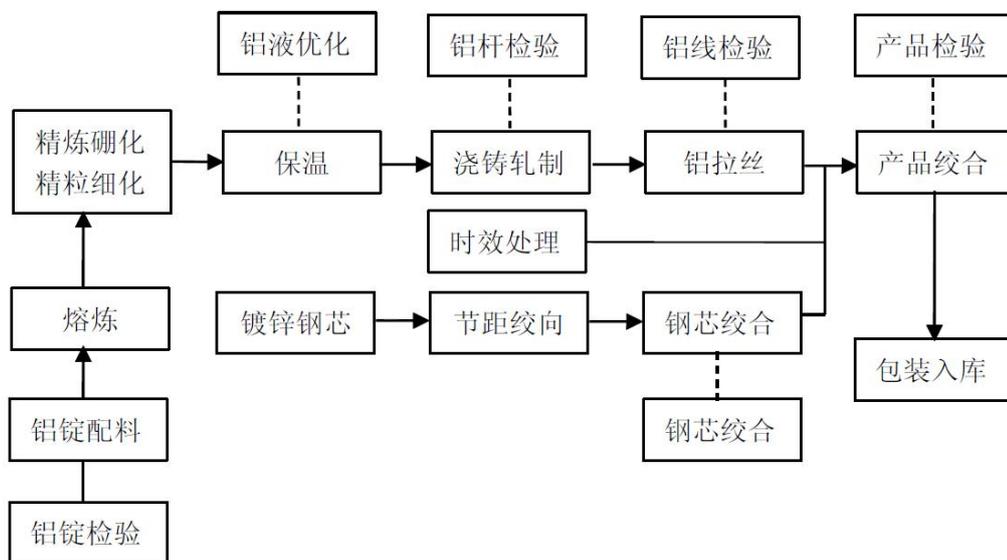


图 1 钢芯高导电率铝绞线主要工艺流程图

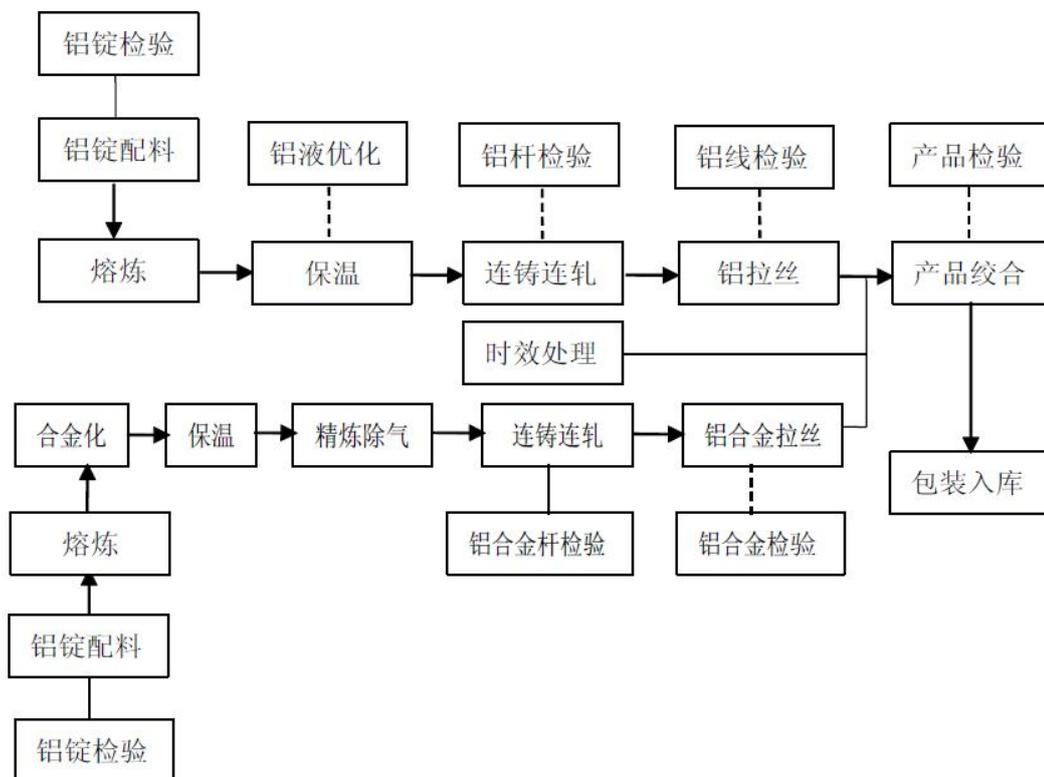


图 2 铝合金芯高导电率铝绞线主要工艺流程图

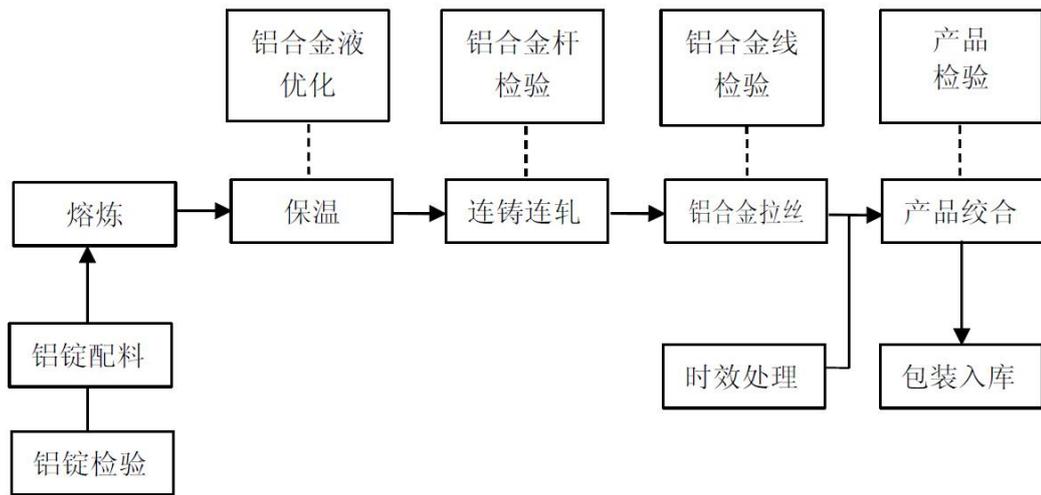


图 3 中强度铝合金绞线主要工艺流程图

五、主要技术指标

在等外径条件下，与普通钢芯铝绞线相比，三种节能导线的弧垂特性、电磁环境、表面电场强度、可听噪声和无线电干扰水平基本相同，但在电能损耗方面有降低幅度较大。

钢芯高导电率铝绞线与普通钢芯铝绞线相比，电能损耗降低约 3%。以导线单位长度计算，钢芯高导电率铝绞线价格比普通钢芯铝绞线高 6%-14%。

铝合金芯高导电率铝绞线与普通钢芯铝绞线相比，电阻降低约 5%左右；以导线单位长度计算，铝合金芯高导电率铝绞线价格比普通钢芯铝绞线高 4%-10%。

中强度铝合金绞线与普通钢芯铝绞线相比，导线截面小于等于 400/50 时，电能损耗低约 7%左右，导线截面大于 400/50 时，电能损耗约低 5%。以导线单位长度计算，中强度铝合金绞线价格比普通钢芯铝绞线高 8%-15%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

通过中国电机工程学会鉴定，居国际先进水平，并获得中国电科院科技进步奖二等奖，线型气动特性分析居国际领先水平。国家电网公司先后三批次选取 980 项工程开展试点应用，目前已有 30 项工程投运。我国于 2012 年开始应用三种节能导线替代普通钢芯铝绞线。节能导线可提高导电能力，减少输电损耗，达到节能效果。

七、典型应用案例

案例应用单位：句容-茅山 500kV 改造线路工程

技术提供单位：中国电力科学研究院

建设规模:选择安徽歙县供电公司 35kV 杞梓里变电站及梓里 196 线、198 线，确定三级联调试点范围。

主要技改内容：线路全长约 65.358km，导线截面为 $4\times 630\text{ mm}^2$ 。全线杆塔采用通用设计 5E1（直线塔）和 5E3（耐张塔）模块，其中耐张塔比例为 27.9%。线路路径经过镇江的句容、丹徒、丹阳和常州的金坛市。沿线的地形为：平地 70%、泥沼地 20%、河网 10%。系统额定电压 500kV，最高运行电压 550 kV，功率因数 0.95，最大负荷利用小时数 5500 小时。系统单回正常输送功率 2000MW，极限输送功率 3325MW。主要设备：工程设计初期经评审推荐采用 JL3/G1A-630/45 高导电率钢芯铝绞线。节能技改投资额：线路选用节能导线型号为 JL3/G1A-630/45 高导电率钢芯铝绞线，2014 年 JL3/G1A-630/45 高导电率钢芯铝绞线平均中标单价较普通钢芯铝绞线高 0.3 万元/公里，线路按照单回路 4 分裂计算，则投资增加 235.3 万元，建设期：13 个月，采用节能导线后，线路的电能损耗降低约 2.2%，年节约电能 221.48 万 kWh。按照上网电价 0.455 元/度计，产生直接经济效益约为 100.78 万元，年节约燃烧标准煤约 885.93t，减少 CO₂ 排放量约 2208.18t。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，新型节能导线工程投运数量预计达到 2000 项左右，则每年节约电量约为 128262.24 万 kWh，产生直接经济效益约为 49764.18 万元，节约燃烧标准煤约 51 万 t，减少 CO₂ 排放量约 135 万 t，需增加投资额 46 亿元。

25 超临界及超超临界发电机组引风机小汽轮机驱动技术

一、**技术名称：**超临界及超超临界发电机组引风机小汽轮机驱动技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 火电厂

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

当前，我国电力行业节能环保标准日趋提高，要求电厂的脱硫系统与机组同时建设同时投产，引风机与脱硫增压风机合并将成为必然的发展趋势。对于超临界及超超临界燃煤发电厂机组，引风机与脱硫增压风机合并后驱动功率将达到8000-10000kW。若采用常规的电动机驱动，电机容量增大后将带来厂用电的增加、启动电流过大导致厂用电电压短时过低等问题。目前该技术可实现节能量6万tce/a，减排约16万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

采用小汽轮机代替电动机驱动引风机方案，通过对汽轮机驱动引风机方案的可行性、可靠性、工艺方案、控制方案、节能效益的研究，结合引风机的转速和功率要求，对凝汽式汽轮机配套技术特点进行研究，经过技术经济的分析比较，确定最佳替代电机驱动的方案。

2.关键技术

- (1) 小汽轮机代替电机驱动引风机；
- (2) 引风机与增压风机合并的联合风机节能优化方案；
- (3) 采用国产二级变速齿轮型，变传动比为7.3；联轴器“柔性连结”及两级变速；
- (4) 轴系振动研究；
- (5) 小汽轮机驱动引风机的全程自动化过程控制。

3.工艺流程

该技术的系统原理见图1。

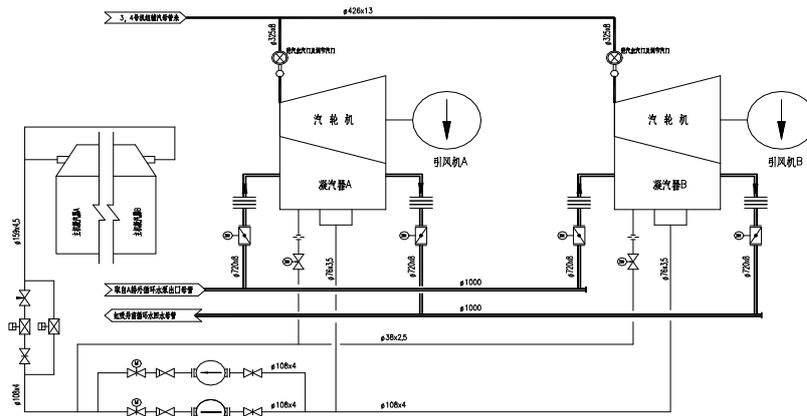


图1 超临界及超超临界发电机组引风机小汽轮机驱动技术系统简图

五、主要技术指标

- 1.厂用电率由联合风机前的4.22%降低至3.10%；
- 2.减少烟风道30m以上，烟道阻力明显降低，综合供电标煤耗降低0.47-0.90g/kWh。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已于2010年12月在华能海门电厂3号机组投运，设备运行稳定可靠，运行参数达到设计要求，节能效果明显。目前，国内电力行业引风机汽轮机驱动技术已开始大量采用，北仑电厂7#机组（1000MW）于2011年5月改造后（电机驱动改为汽轮机驱动，背压）投运，6#机组计划于2012年1月进行改造；华能沁北电厂二期两台1000MW机组引风机汽轮机目前已安装完成，计划2011年底投运。

引风机采用小汽轮机驱动，可以大幅降低厂用电率，提高电厂的运行指标，增加发电量，节能效益显著；同时，能有效提高引风机在半负荷工况下运行的效率，使综合供电标煤耗降低0.47-0.90g/kWh，并彻底消除大电机启动时启动电流对厂用电系统的影响。

七、典型应用案例

典型用户：华能海门电厂#3 机组

建设规模：火电 1000MW 机组。主要技改内容：引风机采用小汽轮机驱动，在系统上需要设置开式循环冷却水、凝汽器抽真空系统、小汽轮机进汽系统、凝结水回收系统、小汽轮机轴封系统、小汽轮机润滑油系统。相对应的设备有小汽轮机、凝汽器、凝结水泵、真空泵、汽封冷却器、润滑油供油装置等。节能技改投资额 3350

万元，建设期 1 年。每年可节能 4829tce，节能经济效益年增加利润 935 万元，投资回收期 3.6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

引风机和增压风机合并后采用汽轮机驱动引风机可以大幅降低厂用电率，有效降低供电煤耗，提高电厂的运行经济指标，降低机组能耗指标。小汽轮机可以经济可靠地实现转速调节，使风机在不同负荷下保持高效率开度运行，明显提高风机的运行效率。同时，可以避免大电机启动时启动电流对厂用电系统的影响。未来 5 年，预计推广到 20%，总投入 45 亿元，节能能力可达 24 万 tce/a，减排能力 63 万 tCO₂/a。

26 可控自动调容调压配电变压器技术

一、**技术名称：**可控自动调容调压配电变压器技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 10kV 配电台区

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

变压器是电力工业的主要设备之一，它在输送电能的同时也消耗电能。尽管变压器的效率已高达 96.0%-99.7%，但由于使用量大，应用范围广，而且目前我国仍有相当数量的高耗能变压器在电网中运行，消耗的电能十分惊人。在电网损耗中，变压器损耗占 60%以上。而所有变压器的自身损耗约占全国发电量的 4%以上，其中配电变压器损耗占变压器总损耗的 30%左右。因此，降低变压器能耗已日益成为电力系统节能工作的重点之一。

由于季节性、人员的流动性，以及居民用户昼夜时段性差异，我国配电网电网负荷波动较大，配电变压器容量和用电需求不匹配，一般企业专用变压器 70%以上时间空载或轻载运行，居民用公用变压器 80%以上时间空载和轻载运行，造成配变损耗较高。目前该技术可实现节能量 13 万 tce/a，减排约 35 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

综合监测控制器通过参数监测，主动发出相关指令，控制组合式调压调容开关改变变压器线圈各抽头的接法和负荷开关状态，实现10kV配电变压器的自动调容调压和远程停送电功能，具有集成保护、36级精细无功补偿、有功三相不平衡调节和防盗计量等功能。

2.关键技术

(1) 将永磁技术应用至调压开关、调容开关和负控开关，并进行扁平化一体式设计，研究出组合式永磁机构调压调容开关；

(2) 自动调容调压控制策略的研究；

(3) 研究36级级差2kvar的补偿单元，实现分相分级无功补偿和三相有功不平衡调节。

3.工艺流程

自动调容调压组合式变压器的原理及内部结构示意图 1、图 2。

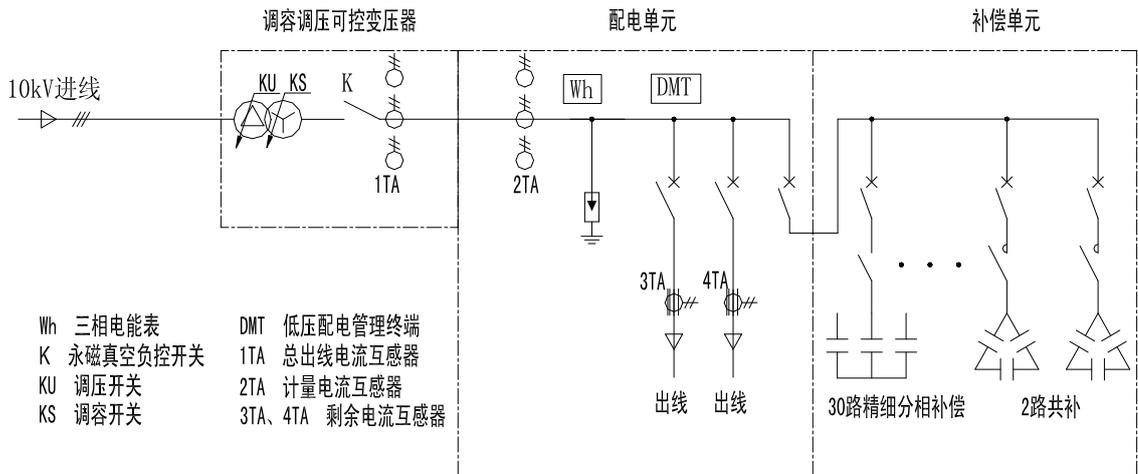


图 1 自动调容调压组合式变压器一次原理图

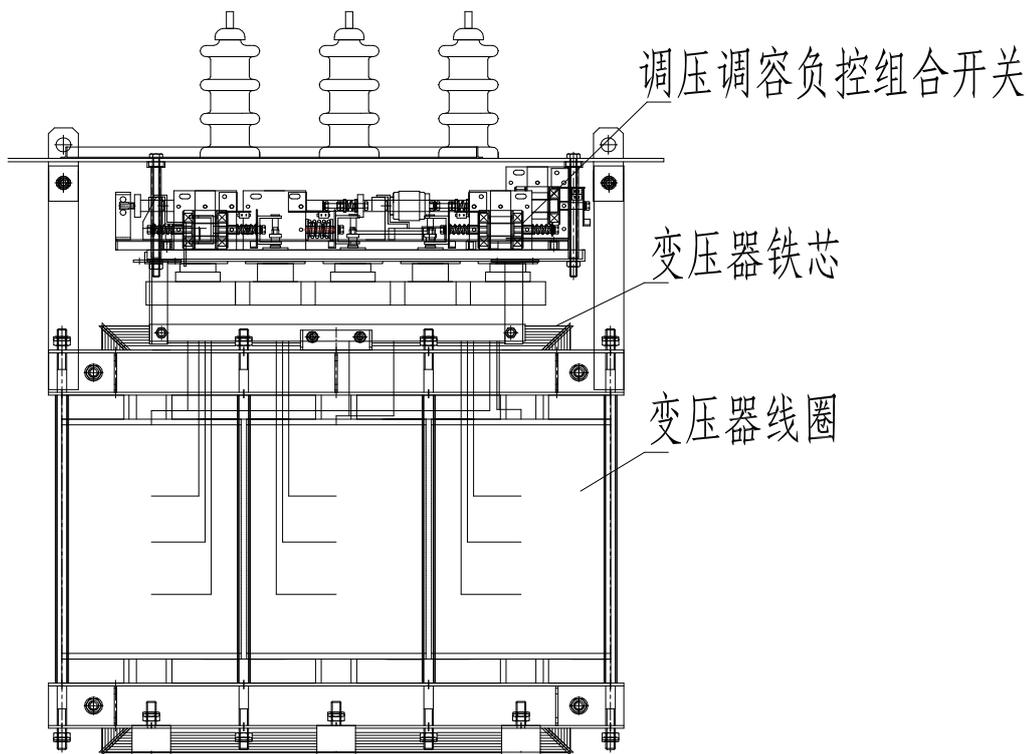


图 2 调压调容负控组合变压器内部示意图

五、主要技术指标

- 1.与 S11 型变压器相比，运行总损耗降低 48%；
- 2.与 S9 型变压器相比，运行总损耗降低 53%；

3.36 级精细补偿年补偿节约电量 10000kWh。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术 2012 年 3 月通过河南省科技厅组织的科技成果鉴定，并获得多项国家专利。已在河南、黑龙江等省市的配电网系统进行了推广应用。

七、典型应用案例

典型用户：河南开封供电公司配网智能化系统工程、黑龙江绥化市农电局配网智能化系统工程

典型案例 1

技术提供单位：北京博瑞莱智能科技有限公司

建设规模：10kV 配网线路 35 条，昼夜负荷变化较大的 10kV 变电台区。主要技改内容：10kV 配网新建及改造智能化配电台区 215 台，主要设备为可控自动调容调压配电变压器。节能技改投资额 1397 万元，建设期 2 年。年节能 1800tce，年节能经济效益为 270 万元，投资回收期 6 年。

典型案例 2

技术提供单位：北京博瑞莱智能科技有限公司

建设规模：10kV 配网线路 31 条，昼夜负荷变化较大的 10kV 变电台区。主要技改内容：10kV 配网新建及改造智能化配电台区 195 台，主要设备为可控自动调容调压配电变压器。节能技改投资额 1267 万元，建设期 2 年。年节能 1640tce，年节能经济效益 246 万元，投资回收期 6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

在我国，变压器的总损耗约占系统总发电量的 10%左右，如果损耗每降低 1%，每年可节约上百亿 kWh 电，因此降低变压器损耗是势在必行的节能措施。

通过该技术的推广应用，不仅可以解决配电网用户中普遍存在的电压不稳定问题，以及农村配电台区功率因数低、空载损耗大和配变三相负荷不平衡等问题，还可以进行智能可控操作，保证配电网台区的经济可靠运行，自动化控制和全面用电监控管理。未来 5 年，预计推广到 5%，总投入 52 亿元，节能能力可达 67 万 tce/a，减排能力 177 万 tCO₂/a。

27 全光纤电流/电压互感器技术

一、**技术名称：**全光纤电流/电压互感器技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 智能电网、数字化变电站建设

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

智能电网是国家“十二五”规划重点培育的七大战略性新兴产业之一，而电流互感器和电压互感器是智能电网的基础核心设备之一。目前，我国互感器的需求量以每年 12% 的速度增长。传统的电磁式电流互感器不仅需要消耗大量的铜、铝等有色金属材料，而且运行过程中能耗量巨大。

与传统互感器相比，全光纤电流互感器技术不需要消耗大量的铜、铝等有色金属，也不会对大气、水等造成污染，是节能环保的高科技产品，将成为未来传统互感器的替代产品。目前该技术可实现节能量 2 万 tce/a，减排约 5 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

光纤电流互感器利用磁光法拉第效应，通电后，在通电导体周围的磁场作用下，两束光波的传播速度发生相对变化，即出现相位差，最终表现为探测器处叠加的光强发生变化。通过测量光强的大小，即可测出对应的电流大小；光纤电压互感器利用泡克尔斯效应，当光波通过晶体时，在两个轴上光波之间的相位差会随着电压或电场改变，通过监测光强的变化即可测出对应电压的大小。

2. 关键技术

- (1) 相位置零与调制波复位双闭环控制（负反馈）技术；
- (2) 全光纤电流互感器误差及抑制技术；
- (3) 共光路、差动信号解调技术。

3. 工艺流程

全光纤电流互感器应用于电气系统，需要与电气设备一体化集成，并满足电气设备复杂环境条件要求，同时需解决一系列系统级关键工艺技术问题。主要关键工艺技术如下：

- (1) 光纤测量装置气密工艺；
- (2) 光纤复合绝缘子真空浇注常温固化工艺；

(3) 特种光纤光路制造工艺。

具体见图 1、图 2、图 3、图 4、图 5。

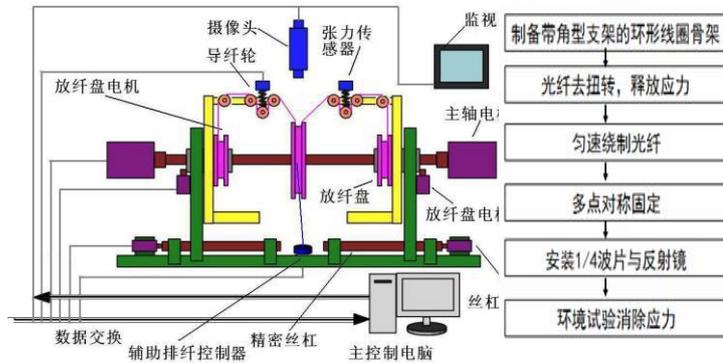


图 1 光纤绕环机工艺组成示意图

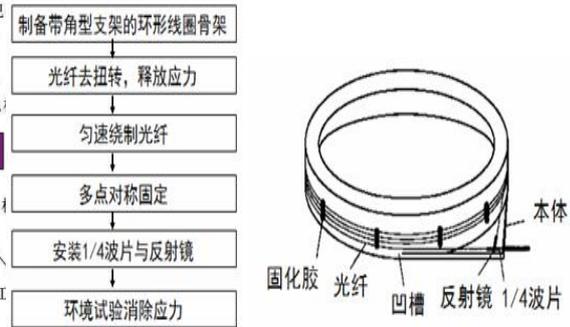


图 2 敏感环结构及绕制工艺流程

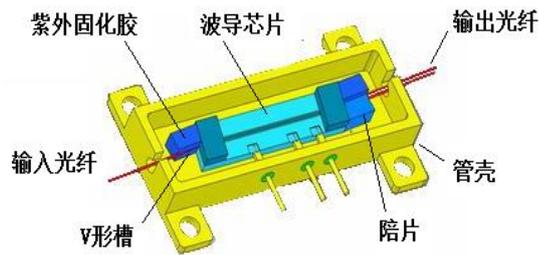


图 3 专用光电子器件结构

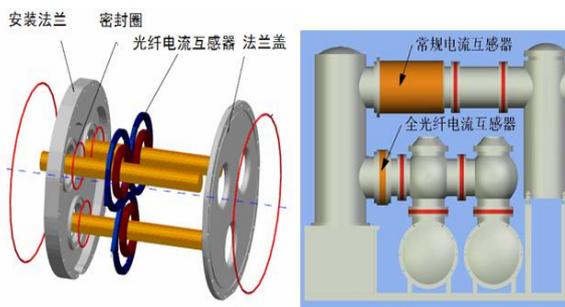


图 4 光纤电流互感器结构简图

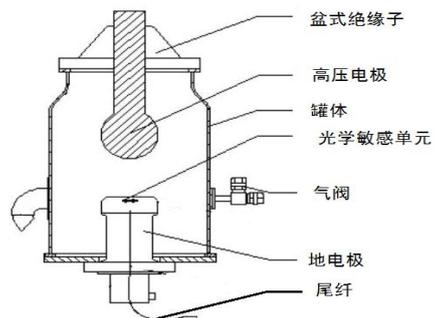


图 5 光纤电压互感器等势腔结构简图

五、主要技术指标

1. 光纤电流测量装置主要技术指标

- (1) 工作电压等级：10-1000 kV；
- (2) 测量范围：>170kA；
- (3) 准确级：IEC 0.2S；
- (4) 暂态性能：63kA，5TPE；
- (5) 工作温度范围：-40℃-+65℃。

2. 光学电压测量装置主要技术指标

- (1) 工作电压等级：10 kV-500 kV；
- (2) 准确级：IEC 0.2；
- (3) 保护准确级：3P；
- (4) 工作温度范围：-40℃-+65℃。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得 8 项国家专利。2009 年 6 月，该技术通过江苏省信息产业厅组织的“NAE-GL 系列全光纤电子式电流互感器”科技成果鉴定；2011 年 12 月通过了中国航天科技集团公司组织的技术成果鉴定；2012 年 4 月“电气系统电学参量宽频域光纤精密测量及技术应用”通过了中国机械联合会组织的技术鉴定，其综合技术水平居国内领先、国际先进。

2008 年 4 月，该技术首次在安徽淮北大唐电厂成功应用，截止到目前，产品最长运行时间达 4 年，该技术已覆盖 10kV 至 750kV 电压等级，共计 49 个工程项目，数量超过 1650 相，并实现产品向发达国家出口。在高压电力领域，光纤电流互感器已应用于 48 个智能变电站，光纤电压测量装置应用于 6 个智能变电站工程项目，其中包含多个国家电网重大示范工程。

七、典型应用案例

典型案例 1：延安 750kV 智能变电站、何桥 110kV 智能变电站

建设规模：1×2100 MVA 延安 750kV 智能变电站。主要技改内容：高压设备智能化，主要设备为全光纤电流/电压互感器。节能技改投资额 200 万元，建设期 1 年。每年可节能 1000tce，年节能经济效益为 68 万元，投资回收期 3 年。

典型案例 2：何桥 110kV 智能变电站

建设规模：2×50 MVA 何桥 110kV 智能变电站。主要技改内容：智能一次设备，主要设备包括全光纤电流/电压互感器。节能技改投资额 1200 万元，建设期约 1.5 年。每年可节能 459tce，年节能经济效益 240 万元，投资回收期 5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

光纤电流/电压互感器主要应用在 110（66）kV 及以上电压等级的智能化变电站领域。根据国家电网公司《国家电网公司“十二五”智能化规划》，“十二五”期间，国家电网公司将新建 110（66）kV 及以上电压等级智能变电站 5100 座、变电站智能化改造约 1000 座。预计到 2015 年，国家电网公司经营区域 110（66）kV 及以上电压等级智能变电站将占变电站总座数的 30%左右。该技术的推广率可达 50%，形成的年节能能力约 100 万 tce，减排量达 264 万 t。

28 自然通风逆流湿式冷却塔风水匹配强化换热技术

一、**技术名称：**自然通风逆流湿式冷却塔风水匹配强化换热技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业（火电、核电）、冶金、石化等行业 大型自然通风逆流湿式冷却塔强化换热改造

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

自然通风逆流湿式冷却塔是火电厂冷端系统最重要的辅助设备，循环水温度对发电机组的发电煤耗有较大影响，以 300MW 机组为例：循环水温每升高 1℃将使机组煤耗增加 0.798g/kWh。目前在运冷却塔的配水方式设计均采用一维、均风的方式，其设计参数与实际运行参数相差较大。根据目前国内冷却塔的情况估计，循环水的温度仍有不低于 2℃的下降空间，节能潜力巨大。目前该技术可实现节能量 1 万 tce/a，减排约 3 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

根据冷却塔换热能力决定于塔内进风与配水的“风水匹配”程度的原则，结合现场实测，采用 CFD（计算流体动力学）技术对冷却塔进风在塔内的分布（速度场、温度场及含湿量场等）进行全三维精确计算，根据进风的分布通过重新设计配水系统使塔内各处的布水与进风做到尽可能匹配。一方面，可以充分利用进塔空气的换热能力；另一方面，因出塔空气的温度升高产生塔内湿空气与塔外空气的密度差（冷却塔的抽吸动力）增大，使进塔空气量增加；最后，由于进塔空气流速增加，增强了其对快速蒸发导致的空气过饱和形成的小液滴的携带能力，进而又增强了进塔空气的换热能力。基于上述三种途径，最终达到强化换热的效果。

2. 关键技术

- (1) 冷却塔内空气各参数精确分布的冷却塔全三维 CFD 高网格建模计算技术
- (2) 基于“风水匹配”原则的冷却塔入塔水量分区不等量配水技术
- (3) 基于“风水匹配”原则的冷却塔填料分区不等高布置技术

3. 工艺流程

在采用冷却塔全三维 CFD 高网格建模计算技术弄清塔内进风各参数场分布的前提下，重新设计布水系统，使其与进风相匹配，再根据布水情况重新设计调整填料

的布置厚度，使其适应蒸发换热的要求。具体实施效果见图 1。

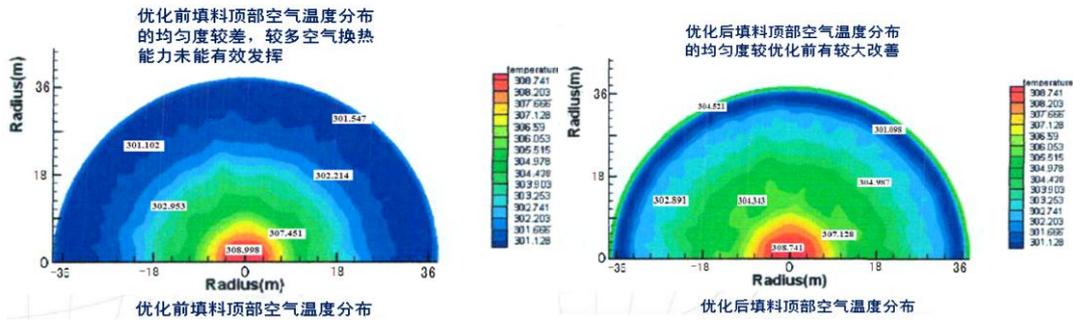


图 1 自然通风逆流湿式冷却塔风水匹配强化换热技术实施效果对比图

五、主要技术指标

1. 换热效率与设计值相比提升不小于 20%
2. 降低冷却塔出水温度不低于 1.5℃

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术通过中国华电集团公司科技项目鉴定并获得中国华电集团公司科技进步二等奖。该技术已先后在华电、国电集团公司内多家电厂成功运用，8 座 300MW 机组冷却塔已完成技改并投入运行，换热能力提升均超过 130%，技术成熟可靠。

七、典型应用案例

典型用户：华电昆明二电厂（2×300MW 机组）、华电巡检司电厂（2×300MW 机组）、国电小龙潭电厂（2×300MW 机组）、国电阳宗海电厂（2×300MW 机组）

典型案例 1

建设规模：300MW 机组冷却塔（4000m²）。主要技改内容：#2 自然通风逆流湿式冷却塔“风水匹配”强化换热节能改造。节能技改投资额 230 万元，建设期 20 天。每年可节能 2977tce，年节能经济效益为 232 万元，投资回收期 1 年。

典型案例 2

建设规模：300MW 机组冷却塔（4500m²）。主要技改内容：#7 自然通风逆流湿式冷却塔“风水匹配”强化换热节能改造。节能技改投资额 250 万元，建设期 20 天。每年可节能 1981tce，年节能经济效益 155 万元，投资回收期 1.6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

未来 5 年，预计该技术可推广到 10%，总投入 2 亿元，节能能力可达 11 万 tce/a，减排能力 29 万 tCO₂/a。

29 冷却塔用离心式高效喷溅装置

一、**技术名称：**冷却塔用离心式高效喷溅装置技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 自然通风冷却塔

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

冷却塔是当前火力发电厂汽轮机凝汽器循环冷却水系统不可缺少的重要设备，在设计工况许可范围内，凝汽器进口水温降低 1℃，发电机组的发电煤耗就可降低 1g 左右，而凝汽器进口水温的高低取决于冷却塔的冷却效率。其中，喷溅装置的喷溅效果直接影响冷却塔的冷却效率。传统的喷头装置在水的扩散方面存在着不细、不均匀等问题，冷却效果不理想，循环水温偏高 1.5℃左右。据统计，目前大部分火电厂冷却塔的冷却能力都只能达到设计要求的 95%左右，其节能降耗潜力很大。目前该技术可实现节能量 4 万 tce/a，减排约 11 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

该技术适用于工业循环水的冷却塔配水系统，尤其适用于火力发电厂循环水系统的逆流式双曲线自然通风冷却塔，它的作用主要是将来自凝汽器的热态循环水均匀地喷洒到淋水散热装置中去，所喷洒出的水滴其粒径的大小、喷洒半径和喷洒的均匀性直接影响冷却塔的效率和凝汽器的真空度，继而影响发电效率和发电煤耗等经济技术指标。GX型离心式高效喷溅装置的技术原理就是利用离心力作用使得喷溅效果大大改善，喷洒出的水滴较常用喷溅装置进一步细化、喷溅半径更大，改变了常用喷溅装置仅通过反射作抛物线运动的一维运动，实现了在完成旋转运动的同时还作抛物线运动的二维运动，增加了水、气在空中进行热交换的时间，同时由于提高了喷洒的均匀性，使得淋水填料的冷却作用更为充分。

2. 关键技术

在不加外力的条件下，利用配水管内的工作水头（压力）和喷溅装置结构设计的独到之处，使水流在结构的导向作用下冲击设置在喷嘴外围的转轮，转轮旋转产生离心力，使水滴沿一定的轨迹在空间完成二维运动的同时达到均匀细化，提高水气交换率，高效率地提高换热效果，降低循环水温度。要保证实现这一目

标，其关键技术是在旋转的摩擦部位采用了免润滑的高分子进口轴承，使其在冷却塔内长期的连续运转中能够抵御高温高湿的侵袭，使用寿命确保不低于10年。

3.工艺流程

冷态循环水进入发电机组汽轮机的凝汽器，通过凝汽器的传热作用使已做过功的乏气中的一部分热量传导至循环水中，使其成为凝结水，在设计允许范围内，循环水带走的热量越多则凝汽器内的真空度越高，发电机的效率也越高，发电煤耗越低；吸收了热量的循环水再送至冷却塔进行冷却，而冷却的幅度越高，进入凝汽器的循环水温度越低（在设计范围内），带走凝汽器内热量的效率越高，因此可以提高发电效率，实现降低发电煤耗的目标。工艺流程见图1所示。

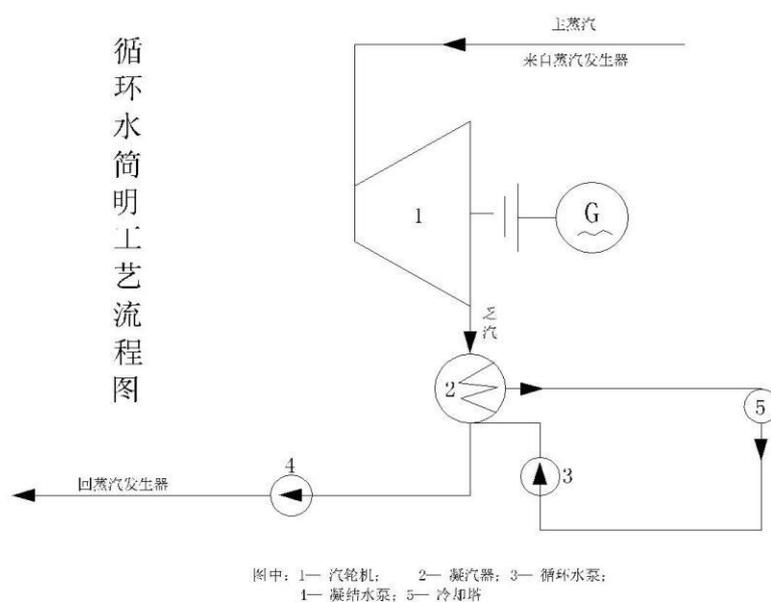


图 1 工艺流程图

五、主要技术指标

冷却塔喷溅装置的主要技术参数分为两个部分，一是反映其喷溅效果的参数，主要是由水力特性决定的，如喷溅半径和喷溅均布系数即不均匀系数。喷溅半径是反映喷洒面积的，喷洒面积越大则循环水与空气的接触程度越高，热交换

越充分；不均匀系数是反映喷溅装置的喷溅均匀性程度的，不均匀系数越大，均匀性越差，冷却效果也越差。GX 型离心式高效喷溅装置的喷溅半径在常规工作水头下（0.8-1.2m 时）为 1.5-2.9m，而被替代的常用喷溅装置其喷溅半径只有 0.5-0.8m；GX 型离心式高效喷溅装置的平均喷溅不均匀系数为 0.243，而被替代的常用喷溅装置其平均喷溅不均匀系数为 0.324。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得 1 项专利。离心式高效喷溅装置已在数十个火力发电厂的逆流式自然通风冷却塔中应用实践，其中最早的陕西华能秦岭电厂使用至今已有 5 年多时间，目前运行情况良好；中电投江西贵溪电厂於 2011 年改造的#3 冷却塔运行至今也已有 3 年多时间，运行稳定，旋转自如，冷却效果良好。其他如贵州纳雍电厂的 4 台 300MW 机组的冷却塔自 2010 年开始都陆续改造了喷溅装置，用上了离心式高效喷溅装置，节能效果明显。

七、典型应用案例

案例应用单位：中电投江西贵溪发电有限责任公司

技术提供单位：中国电力投资集团有限公司

建设规模：中电投江西贵溪发电有限责任公司#3、#4 机均为 300MW 燃煤发电机组，循环水系统各配置一台 5500m² 的逆流式自然通风冷却塔，管式直配式配水，原装喷溅装置为多层流型喷头，该喷头特别容易堵塞，因此而失去多层流的意义，喷溅效果较差，循环水温度升高，尤其在夏季比较突出，经常超过 33℃，发电煤耗增高。主要技改内容：全部拆除原有冷却塔喷溅装置，更新改造全部更换为 GX 型式离心式高效喷溅装置。改造前发电煤耗指标是标准煤 326g/kWh，改造后发电煤耗指标是标准煤 324.9g/kWh。节能技改投资额 82.8 万元，建设期 20 天。每年可节能 1906tce，年节能经济效益为 213.36 万元，投资回收期约 4 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

目前全国火力发电机组采用自然通风冷却塔的总装机容量约 6 亿 kW，约拥有 900 万 m² 自然通风冷却塔。未来 5 年，预计该技术可推广到 30%，总投入 3 亿元，节能能力可达 60 万 tce/a，减排能力 158 万 tCO₂/a。

30 大型供热机组双背压双转子互换循环水供热技术

一、**技术名称：**大型供热机组双背压双转子互换循环水供热技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 供热机组

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

低真空供热是我国城镇一种效率较高的供热方式。目前，国内低真空循环水供热改造工作基本停留在对低压转子和对应的隔板进行一次性改造上，没有改变供热季效益非常好而非供热季效益非常差的两极分化的局面。而通过对低压缸进行高背压改造实现机组低真空运行、循环水供热的技术，虽然在供热期内低真空循环水供热工况汽轮机排汽余热全部被利用，冷源损失降低为零，能够获得最大节能经济效益，但在非采暖期，纯凝运行工况下机组热耗率要高于纯凝工况，且机组出力不足，从而造成机组改造后全年综合经济效益指标没有明显改善。目前该技术可实现节能量 5 万 tce/a，减排约 13 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

利用双背压双转子互换循环水供热技术，汽轮机在供热工况运行时，使用新设计的动静叶片级数相对减少的高背压低压转子，使凝汽器运行于高背压（30-45kPa）条件下，对应排汽温度可提高至 80℃左右，利用循环水供热；而在非采暖期，再复装原低压转子，排汽背压恢复至 4.9kPa，机组完全恢复至原纯凝正常背压运行工况。机组全年综合经济效益指标得到明显改善。

2. 关键技术

（1）低压缸通流部分进行优化设计改造，主要包括：新低压转子采用的先进设计技术，低压整锻转子，全部 2×4 级隔板设计，三维扭叶片设计的低压转子动叶片，新型低压转子轴封设计等；

（2）中低压缸联轴器、低压缸和发电机联轴器液压螺栓改造；

（3）中低压缸连通管供热抽汽改造；

（4）低压转子轴封优化设计；

（5）中低、低发联轴器液压螺栓改造；

(6) 凝汽器部分优化改造，主要包括：新型蜗壳形状水室，凝汽器热补偿设计等。

3.工艺流程

在采暖供热期间，机组高背压工况运行，机组纯凝工况下所需要的冷水塔及循环水泵退出运行，将凝汽器的循环水系统切换至热网循环泵建立起来的热水管网循环水回路，形成新的“热-水”交换系统。循环水回路切换完成后，进入凝汽器的水流量降至 6000-9000t/h，凝汽器背压由 5-7kPa 左右升至 30-45kPa，低压缸排汽温度由 30-40℃ 升至 69-78℃（背压对应的饱和温度）。经过凝汽器的第一次加热，热网循环水回水温度由 60℃ 提升至 66-75℃（凝汽器端差 3℃），然后经热网循环泵升压后送入首站热网加热器，将热网供水温度进一步加热至 85-90℃ 后供向一次热网。具体工艺流程见图 1，设备简图见图 2。

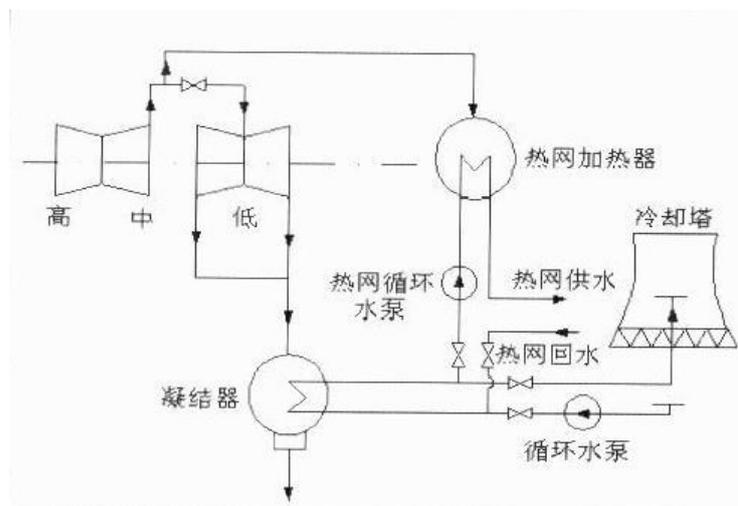


图 1 双背压双转子互换循环水供热工艺流程图



图 2 双转子示意图

五、主要技术指标

135MW 热电联产机组，综合全年供热、纯凝加权平均发电煤耗可达 266.3g/kWh。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2012 年，华电国际十里泉发电厂#5 汽轮机高背压供热改造项目通过了山东电力研究院的性能考核试验，该技术目前已经在华电国际十里泉电厂 5 号机组、华电章丘发电有限公司 2 号机组、华电青岛发电有限公司 2 号机组等进行了应用，具有较好的节能减排效益。

七、典型应用案例

典型案例 1：华电国际十里泉电厂#5 机组双背压双转子互换供热改造

建设规模：135MW 机组。建设条件：年供热量不小于 160 万 GJ，循环水流量不低于 6000t/h。主要技改内容：低压通流部分改造、联通管打孔抽汽供热改造和凝汽器改造等。主要设备为低压缸 2×4 转子和隔板部件、加强型凝汽器、两台 1100m² 换热器等。技改投资额 5875 万元，建设期 2 个月。年节能量 48659 tce，减排二氧化碳 128460tCO₂/a。投资回收期约 2 年。

典型案例 2：华电章丘发电有限责任公司 135MW 机组双背压双转子互换循环水供热技术改造

建设规模：135MW 机组。建设条件：年供热量不小于 160 万 GJ，循环水流量不低于 6000t/h，主要技改内容：低压通流部分改造、联通管打孔抽汽供热改造和凝汽器改造等。主要设备为低压缸 2×4 转子和隔板部件、加强型凝汽器、两台 1100m² 换热器等。技改投资额 4217 万元，建设期 2 个月。年节能量 4.5 万 tce，减排二氧化碳约 22.44 万 t。投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术主要适合供热热负荷稳定且供热规模较大的 100-300MW 热电联产机组。预计未来 5 年，在热电联产行业的推广比例可达 80%，累计投入约 3 亿元，形成的年节能能力约为 25 万 tce，年减排能力约 66 万 tCO₂。

31 回转式空气预热器密封节能技术

一、技术名称：回转式空气预热器密封节能技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 300MW 以上锅炉机组的回转式空气预热器

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，我国 300MW 及以上的火力发电机组共计 1000 多台，总装机容量约为 147030MW，空气预热器的平均漏风率在 6%-10%，且使用寿命相对较短。如果频繁更换密封装置，会降低电厂年利用小时数，影响发电厂的总体效率。目前该技术可实现节能量 5 万 tce/a，减排约 13 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

(1) 改进“堵”的方式：由于空气预热器转子蘑菇状热变形，造成热端变形密封间隙增大。采用自补偿径向密封片的方式，可以达到密封间隙趋于零，实现扇形板与密封片的非接触式密封，是可靠、稳定的自密封新技术。

(2) 采用回收系统：空气预热器设备同时串联在锅炉的烟、风系统中，在空气侧与烟气侧压差的作用下，空气向烟气侧泄漏。空气预热器密封回收系统技术在预热器内部建立立体密封机构，泄漏风被设备外回收装置全部回收，进入烟道的泄漏空气几乎为零。

(3) 自动化控制：密封回收自动控制系统通过对进、出口烟气压力的检测，经过控制逻辑处理，通过各入口风门开度的调整，自动调整各部位的漏风回收量。因此，密封回收系统能够做到无论锅炉负荷如何变化，其设备漏风率始终控制在设定范围内。

2.关键技术

(1) 转子热端径向自补偿间隙密封片；

(2) 泄漏风回收系统；

(3) 对回转式空气预热器泄漏风的密封与疏导区域进行一体化设计，形成独特、完整的控制系统。

3.工艺流程

回转式空气预热器密封节能技术工艺流程见图 1，关键设备简图见图 2 和图 3。

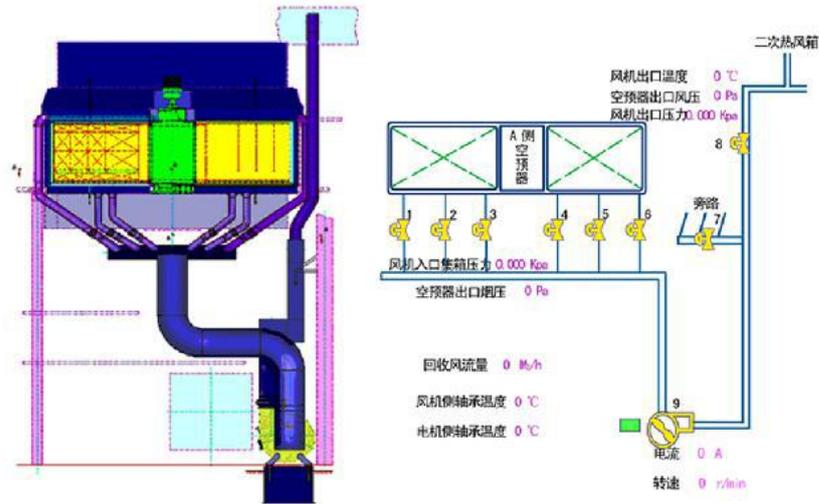


图 1 回转式空气预热器密封节能技术工艺流程

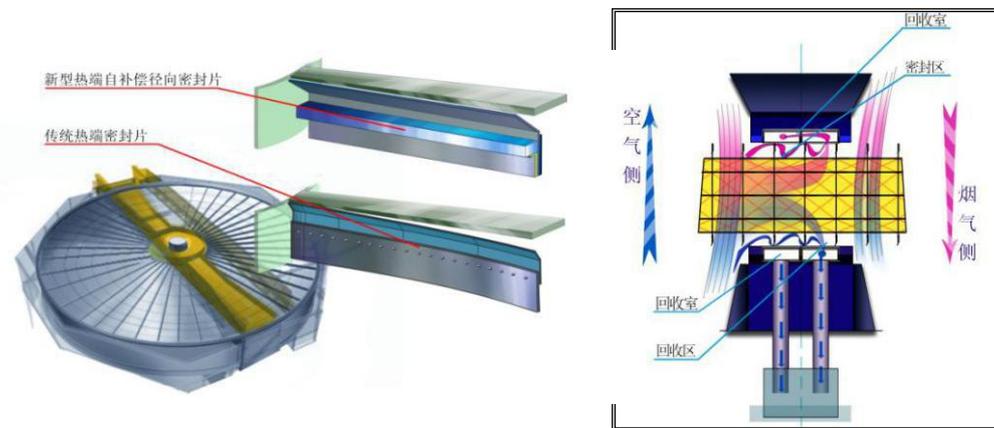


图2内部径向补偿间隙密封片示意图

图3漏风回收系统简图

五、主要技术指标

- 1.无论锅炉负荷如何变化，回转式空预器漏风率始终保持在 1.5%-3.5% 范围内；
- 2.产品设计寿命不低于 15 年，其可靠性和稳定性能满足锅炉长期运行的要求；
- 3.自动化投用率 100%，且在不停炉条件下能够维修、更换元件。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得 2 项国家发明专利和 1 项实用新型专利，并于 2013 年 1 月通过了中国电机工程学会组织的科学技术成果鉴定。鉴定委员会认为：“项目研究成果有效解决了回转式空气预热器漏风率偏大的难题，降低了锅炉排烟损失，减少了风机的电耗，具有明显的节能减排效果和经济、社会效益，整体技术处于国际领先水平。目前，该系统已在全国 19 家大型火电厂推广应用 21 台（套），节能效果明显，具有很好的社会经济效益。”

七、典型应用案例

典型用户：阜阳华润电力有限公司、华润电力（菏泽）有限公司、中电投河南电力有限公司开封发电分公司等。

典型案例 1

案例名称：阜阳华润电力有限公司 640MW 锅炉机组空气预热器密封回收系统技术改造项目

技术提供单位：浙江开尔新材料股份有限公司

建设规模：阜阳华润电力有限公司#2 机组进行空气预热器密封回收系统技术改造，主要治理空气预热器热风泄漏技术，主要设备为扇形板、自补偿径向密封片、变频风机及控制柜、压力变送器、流量测量仪。技改投资额 500 万元，建设期 4 个月（其中安装周期 45 天）。年节能量 5150tce，年碳减排量 13596tCO₂。投资回收期约 2 年。

典型案例 2

案例名称：中电投河南电力有限公司开封发电分公司#1600MW 锅炉烟气脱硝工程配套空气预热器回收式密封系统改造。

技术提供单位：浙江开尔新材料股份有限公司

建设规模：中电投河南电力有限公司开封发电分公司 1#机组进行空气预热器密封回收系统技术改造，主要治理空气预热器热风泄漏技术，主要设备为扇形板、自补偿径向密封片、变频风机及控制柜、压力变送器、流量测量仪、动力及计算机电缆。技改投资额 650 万元，建设期 5 个月（其中安装周期 60 天）。年节能量 6180tce，年碳减排量 16315tCO₂，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，在全行业推广比例可达 10%，形成年节能能力约 10 万 tce，

碳减排能力约为 26 万 tCO₂。

32 基于快速涡流驱动及短路识别的电网运行控制技术

一、**技术名称：**基于快速涡流驱动及短路识别的电网运行控制技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 电网输变电线路

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，我国高低压输电线路常采用限流电抗器和串补电容器来防止短路冲击，降低线路损耗，改善电压的质量。近年来，随着我国电网规模不断扩大，电力系统的短路容量不断增加，限流电抗器应用比例逐年增加。在电网系统发生短路故障时，限流电抗器可起到减少冲击电网设备的作用，但由于其串接在电网中会产生大量热损耗，导致线损增加，造成电能损失。经测算，一组限流电抗器年损耗电能就可达几十万到数百万千瓦时。串联电容器可以解决输电线路末端电压质量不合格及网损过大问题，但由于串补电容技术具有造价高、占地大、维护不便等局限性，使串补电容器装置难以大范围推广应用。该技术可实现限流电抗器在线路运行时的零损耗，并可在发生短路电流时实现快速动作切换，让限流电抗器串接到回路电网中以减少短路电流对设备的电网冲击。同时，可避免短路时大电流和高电压冲击电流对串补电容的冲击，降低串补电容的容量积及成本，缩小体积，方便维护，为大范围推广应用串补电容技术创造条件。目前该技术可实现节能量 5 万 tce/a，减排约 13 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

基于快速涡流驱动及短路识别的电网运行控制技术的核心是快速开关与快速判断控制技术的结合。快速开关技术可以在绕路短路后20ms内将电抗器串入，限制短路电流，减少短路电流对电网设备的冲击；而正常运行时快速开关将限流电抗器短接，避免电能损耗，使电网运行更高效。快速判断控制技术可在出现短路故障后将串补电容器快速短接，可降低电容器的安装容量，大幅度降低串补电容器的成本，进而提高串补电容技术的应用比例。该技术具有低成本、小型化、免维护等优点，便于推广应用。

2. 关键技术

(1) 快速涡流驱动技术

涡流驱动机主要由灭弧室、分合闸线圈以及位于分合闸线圈之间的涡流盘等组成。送电后充电电源向分（合）闸储能电容充电，分（合）闸时可控硅接通储能电容与分（合）闸线圈的放电回路产生脉冲电流，脉冲磁场在涡流盘中感应涡流，通过对涡流磁场产生的排斥力驱动涡流盘，并通过连杆带动灭弧室动触头完成分（合）闸动作。

(2) 短路故障快速识别技术

当短路故障发生时，控制器可在 2ms 内通过专用算法快速检测到短路电流超过设定值，分别控制各相开关在每相短路电流过零前分闸，将限流电抗器串入，短路电流被限制到较低的水平。

3. 工艺流程

快速控制技术对串补电容器和限流电抗器的快速投切原理分别见图 1 和图 2，图中 K₁ 接电源侧，K₂ 接负荷侧。

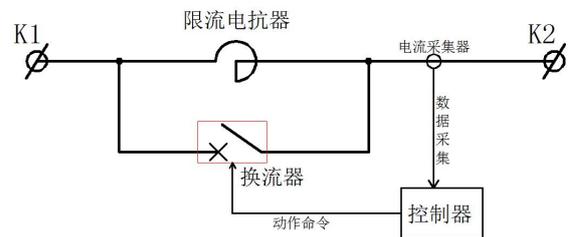
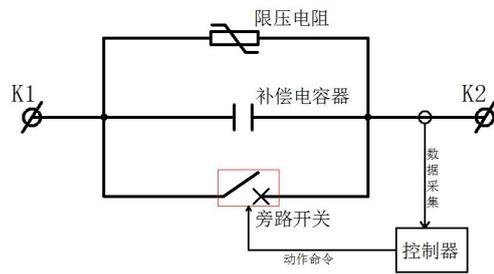


图 1 快速控制补偿电容器投切原理图

图 2 快速控制限流电抗器投切原理图

如图 1 所示，正常运行时旁路开关处于分闸位置，补偿电容器 C 串联在线路中，线路末端电压提高，线路损耗减小，起到节能降耗的效果。但当补偿电容器投入状态下出线端 K₂ 发生短路时，旁路开关闭合起到保护补偿电容器的作用。

如图 2 所示，正常运行时限流电抗器被换流器短接，避免限流电抗器产生电能损耗。K₂ 端发生短路时，换流器在 5ms 左右分闸，将限流电抗器串入实现限流。

五、主要技术指标

1. 额定工作电压：6-500kV；
2. 额定工作电流：限制短路电流 1000-5000A，串补电流 100-2000A；

3. 额定短路开断能力： $\geq 40\text{kA}$ ；

4. 短路故障识别时间： $< 2\text{ms}$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

应用快速控制技术开发的“110kV 新型串补装置”获得 3 项实用新型专利，受理 3 项发明专利。“110kV 新型串联电压补偿装置的研制与应用”项目于 2013 年 8 月通过宁夏自治区科技厅组织的科技成果鉴定。目前该技术已在宁夏电力公司、重庆电力公司、马钢集团、九江石化、珠海粤裕丰钢铁等多家企业中应用，运行安全可靠，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：宁夏电力公司、马钢集团、珠海粤裕丰钢铁集团、中石化九江分公司

典型案例 1

案例名称：宁夏海原县 110kV 变电站项目

技术提供单位：国网宁夏电力公司、上海合凯电力保护设备有限公司

建设规模：110kV 主变压器 1 套。建设条件：用户侧母线电压不合格，主要技改内容：加装快速开关型串联补偿装置，主要设备为 1 套智能型 110kV 串联电容补偿系统。节能技改投资额 300 万元，建设期 5 个月。每年可节能 3810tce，减排 10058tCO₂，年节能经济效益为 171.45 万元，投资回收期约 2 年。

典型案例 2

案例名称：珠海粤裕丰钢铁集团 4#高炉 TRT 余热发电项目

技术提供单位：国网宁夏电力公司、上海合凯电力保护设备有限公司

建设规模：15MW 余热发电机组 1 套。建设条件：发电机出口限流电抗器长期运行，参数为 10kV/1200A/12%，主要技改内容：对限流电抗器实施快速控制；主要设备包括 10kV 无损耗深度限流装置一套。节能技改投资额 75 万元，建设期 2 个月。每年可节能 502.5tce，减排 1326tCO₂，年节能经济效益 22.6 万元，投资回收期约 4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前，我国有近 300 个供电局，出口安装电抗器的变压器超过 5000 台，需要安装串补电容器的线路达 2000 多条，该技术具有较大的节能潜力。预计未来

5 年，该技术的推广比例将达到 40%，累计投资 5 亿元，可形成的年节能能力为 194 万 tce，年碳减排能力为 512 万 tCO₂。

33 基于架空地线绝缘接地方式的交流输电线路节能技术

一、 **技术名称：**基于架空地线绝缘接地方式的交流输电线路节能技术

二、 **技术所属领域及适用范围：**电力行业 架空地线逐塔接地的交流输电线路

三、 **与该技术相关的能耗及碳排放现状**

架空地线(避雷线)是输电线路中保障安全的重要导线，但输电导线将对其产生电磁感应，会在地线与地线、地线与大地之间形成感应电流。按照我国现有设计标准推算，在 110kV、220kV、500kV 三类输电系统中，单位长度架空地线能量损耗分别为 0.37 万 kWh/km·a、1.44 万 kWh/km·a 和 2.84 万 kWh/km·a。以南方电网线路规模，每年因架空地线的电能损耗大约为 16.7 亿 kWh，约合消耗 54 万 tce。该技术的应用可以避免架空地线上感应电流的产生，进而减少感应电流产生的损耗。目前我国尚无同类技术，具有较大的推广潜力。目前该技术可实现节能量 3 万 tce/a，减排约 8 万 tCO₂/a。

四、 **技术内容**

1. **技术原理**

该技术对架空地线进行绝缘化改造，将普通地线和光纤复合架空地线(OPGW)的接地方式均由逐塔接地改为绝缘单点接地，切断了地线与大地之间的电流通路，消除了架空地线上的电能损耗。正常运行情况下，地线与杆塔绝缘，避免感应电流的产生；当雷电过电压发生或线路故障时，地线绝缘子的放电间隙自动击穿，保证雷电流和故障工频电流的有效泄放。放电间隙被击穿后又可自动恢复，起到绝缘作用，减少人工的维护。

2. **关键技术**

- (1) 地线绝缘子及保护间隙选配技术（包括冰区架空线路）；
- (2) 绝缘架空地线感应电压限制技术；
- (3) OPGW终端接地残流防护技术（配套相应保护装置）。

3. **工艺流程**

为限制绝缘架空地线的感应电压，采取的技术措施包括架空地线分段、地线

换位等方法，各方案的工作原理如图 1-图 3 所示：

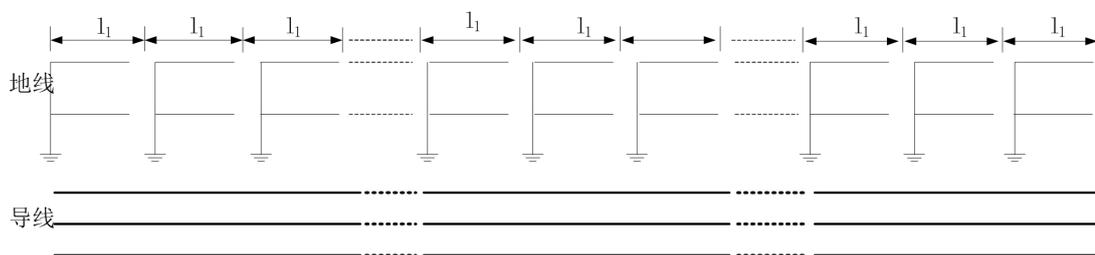


图 1 地线分段，接地点在各分段地线节距端部

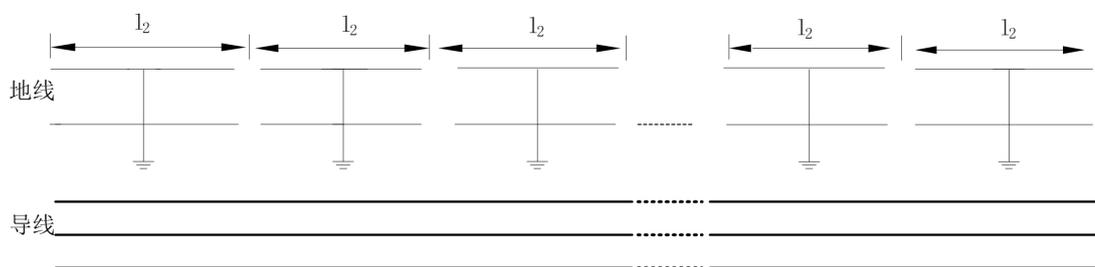


图 2 地线分段，接地点在各分段地线节距中部

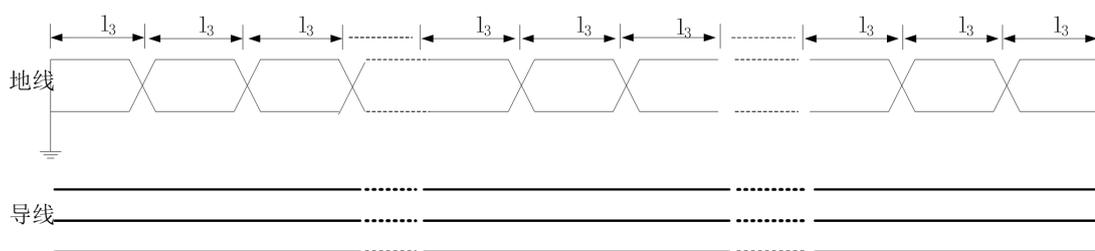


图 3 地线换位，接地点在换位地线节距端部

五、主要技术指标

1. 架空地线损耗为零；
2. 架空地线感应电压不高于 1000V（线路正常运行时）；
3. 架空地线绝缘子保护间隙距离整定，区分了融冰线路和非融冰线路。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于 2013 年通过南方电网公司组织的成果鉴定，达到国际先进水平。

获得国家发明专利 3 项、实用新型专利 5 项，参与制定电力行业标准 1 项。目前，该技术已在广东电网 20 回线路得到了应用。

七、典型应用案例

典型用户：广东电网清远供电局、惠州供电局等

典型案例 1

案例名称：惠州供电局冰区架空地线改造项目

技术提供单位：广东电网公司电力科学研究院

建设规模：对冰区的 110kV 保水线、保吉甲线、贵水线、安慧线、保吉乙线和 220kV 山安线、连安线、山保线、阳燕甲乙线共 10 回线路进行了规划和节能降损改造。主要技改内容：110kV 保水线全长 31.9km，改造前地线感应电流达 22A，每年电能损耗 46 万 kWh。采用地线绝缘改造，全线共用 218 片地线绝缘子。技改投资额 2.18 万元，每年可节能 148tce，减排 390tCO₂，年节能经济效益 23 万元，投资回收期 2 个月。

典型案例 2

案例名称：惠州供电局非冰区架空地线改造项目

技术提供单位：广东电网公司电力科学研究院

建设规模：对惠州供电局非冰区 110kV 沙迳至官厅线路进行架空地线节能降损规划设计及改造。主要技改内容：线路全长 21.3km，架空地线一根为普通地线，一根为 OPGW。改造前地线感应电流达 30A，每年电能损耗 16.8 万 kWh。采用地线绝缘改造，使用 OPGW 绝缘接续盒 1 个，地线绝缘子 104 片。技改投资额 1.2 万元，每年可节能 54tce，减排二氧化碳 142t。年节能经济效益 8.4 万元，投资回收期 2 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

本技术已在广东电网 5 个供电局 20 条输电线路成功应用，节能效果良好，仅在已应用线路上每年节约电能损耗可达 616 万 kWh，相应节能 1977tce。预计未来 5 年，该技术可在电力行业推广比例达 30%，项目总投资 2.5 亿元，可形成年节能能力 81 万 tce，年碳减排能力 214 万 tCO₂。

34 大容量高参数褐煤煤粉锅炉技术

一、**技术名称：**大容量高参数褐煤煤粉锅炉技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 燃用褐煤的电站锅炉机组

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

高参数褐煤锅炉是燃煤发电的主设备之一，但由于褐煤的煤化度低、含水率高、低位热值较低，其发电效率远低于普通燃用燃煤的火力发电厂。据统计我国褐煤平均上网标煤耗为 335g/kWh，高于我国 2013 年发电行业平均上网标煤耗 321g/kWh 水平。大容量高参数褐煤锅炉的研制和应用能够解决我国褐煤在火电领域利用的难题，大量节省优质的烟煤资源，使我国煤炭资源利用结构更加合理。此外，高性能高参数褐煤锅炉的开发应用可进一步提高火电机组效率，降低煤耗和污染物排放，对于优化调整我国火电结构、实现节能减排发挥重要作用。目前该技术可实现节能量 133 万 tce/a，减排约 351 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

该技术采用Π型或塔式布置，切圆或前后墙对冲燃烧方式，配中速磨煤机或风扇磨煤机制粉系统的低 NO_x 燃烧技术，利用先进的控制技术根据褐煤锅炉燃料特点实现不同燃料情况下锅炉的稳燃及传热特性。该锅炉技术指标先进，运行安全可靠，能有效降低煤耗和污染物排放，有良好的经济和社会效益。

2. 关键技术

(1) 炉膛定制设计技术。根据不同种类褐煤煤质特性，制定褐煤燃烧特性判别标准及不同参数褐煤锅炉炉膛选型导则；

(2) 与褐煤煤质相适应的锅炉性能监控技术。对进煤特性进行检测，并根据煤质特性调整送风、配风及引风机流量，实现燃烧处于最佳工作点；

(3) 大容量褐煤锅炉防结渣、高燃烧效率、低污染物排放设计技术。通过炉膛结构优化设计和温度控制实现炉膛的高效率燃烧，避免炉膛结渣；通过改进配风系统减少局部高温，降低污染物的生成。

3. 工艺流程

风扇磨制粉系统Π型布置褐煤锅炉和风扇磨制粉系统塔式布置褐煤锅炉示意图分别见图1和图2。两类炉型可根据建设场条件进行选择，在地质条件较好的场地可以选择塔式布置锅炉，其造价成本低、节约用地，但设备布置高度较高；在地质条件不满足塔式布置要求的情况下可以选择Π型布置锅炉。

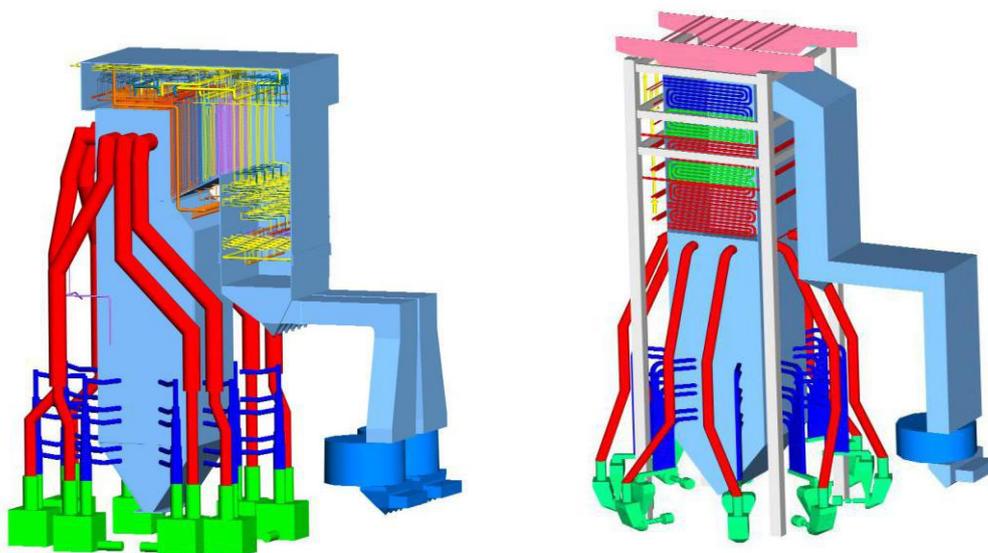


图1 风扇磨制粉系统Π型布置褐煤锅炉 图2 风扇磨制粉系统塔式布置褐煤锅炉

五、主要技术指标

670MW 超临界塔式褐煤锅炉：

1. 锅炉热效率：91.8%；
2. 过热器出口蒸汽压力：25.4MPa.g；
3. 过热器出口温度：571℃；
4. NO_x 排放量：<400mg/Nm。

六、技术应用情况

该技术已获得国家发明专利 5 项，实用新型专利 23 项，软件著作权 2 项。目前已累计完成和正在设计的大容量高参数褐煤锅炉共计 151 台，已在国内市场推广应用 10 余台套，出口印度、菲律宾、老挝等国共计 20 台套。

七、典型应用案例

典型用户：华能电力、大唐电力等

典型案例 1

案例名称：吉林九台 670MW 超临界塔式褐煤锅炉

技术提供单位：哈尔滨锅炉厂有限责任公司

建设规模：2 台 670MW 超临界塔式褐煤锅炉。建设条件：项目周边拥有丰富的褐煤资源。主要技改内容：新建超临界褐煤锅炉系统。项目投资额约 2.2 亿元(仅锅炉)，建设期限为 2 年。2 台机组每年节约标准煤 29.5 万 t，年减排 78 万 tCO₂。年节能效益达 1.47 亿元，投资回收期约为 1.5 年。

典型案例 2

案例名称：内蒙古伊敏 600MW 超临界褐煤锅炉

技术提供单位：哈尔滨锅炉厂有限责任公司

建设规模：2 台 600MW 超临界褐煤锅炉。建设条件：项目周边拥有丰富的褐煤资源。建设期限为 2 年。项目投资额约 2 亿元(仅锅炉)。2 台机组每年可实现节能 21.6 万 tce，年碳减排量 57 万 tCO₂。2 台机组每年可实现经济效益 1.1 亿元，投资回收期约为 1.8 年。

八、推广前景及节能减排潜力

我国拥有丰富的褐煤资源，约为全国煤炭储备的 50%。褐煤的高效利用将是我国提高能源利用效率的重要手段。目前大容量褐煤锅炉市场需求旺盛，具有非常广阔的应用前景。预计到未来 5 年，该技术的推广比例可达到 30%，项目总投资约 30 亿元，推广应用 30 台套，可形成年节能能力达 400 万 tce，实现年碳减排能力 1050 万 tCO₂。

35 高效利用超低热值煤矸石的循环流化床锅炉技术

一、**技术名称：**高效利用超低热值煤矸石的循环流化床锅炉技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 民用及商用集中供热或供暖系统 煤矸石发电厂

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

我国是煤炭生产和消费大国，煤炭生产和洗选过程中产生了大量煤矸石、煤泥、洗中煤等低热值煤资源。近年，我国低热值煤发电取得积极进展，总装机已达 2600 万 kW 以上，但规模普遍偏小，机组效率不高，且目前设计和制造单位都把燃煤矸石等劣质燃料发热值下限定在 1600kcal/kg 以上，在锅炉运行中存在床温难以维持、燃料难稳定、磨损大、锅炉出力不足等问题。该技术可以燃烧 800-1600kcal/kg 超低热值煤矸石，可有效解决劣质燃料能源利用率低的问题。同时，如果燃烧较高热值的煤矸石、无烟煤等燃料(1600kcal/kg 以上)，锅炉热效率也有较大提高。目前该技术可实现节能量 25 万 tce/a，减排约 66 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

该技术根据煤矸石的不同发热量，采用混合流速循环流化床和多元内循环流化床相结合的形式，可将热值在800kcal/kg以上的煤矸石锅炉效率提高到75%以上，并可将燃用热值超过1600kcal/kg燃料时锅炉的热效率提高到88%以上，实现煤矸石的高效能源化利用

2. 关键技术

(1) 高效循环燃烧技术

采用高、低混合流速循环流化床的燃烧方式实现超低发热值煤矸石(800-1600kcal/kg)的高效利用。

(2) 多元内循环流化床技术

对于发热值大于1600kcal/kg的煤矸石、无烟煤或其他劣质燃料，采用较大床内面积、蝶形布风板、三回程、两级分离、两级回送、一级U型分离、二级带内置式旋风上排气高温分离等技术，实现炉膛高效运行，并降低污染物的生成。

3. 工艺流程

超低热值煤矸石流化床锅炉和高热值煤矸石及其他劣质燃料流化床锅炉示意图分别见图 1 和图 2。

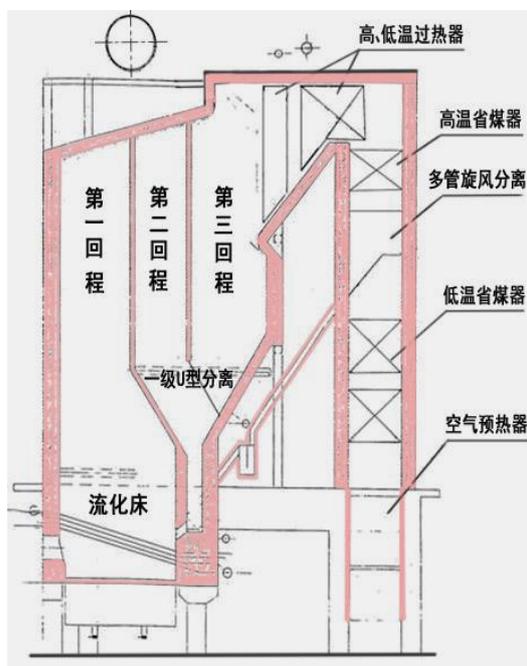


图 1 超低热值煤矸石流化床石锅炉示意图

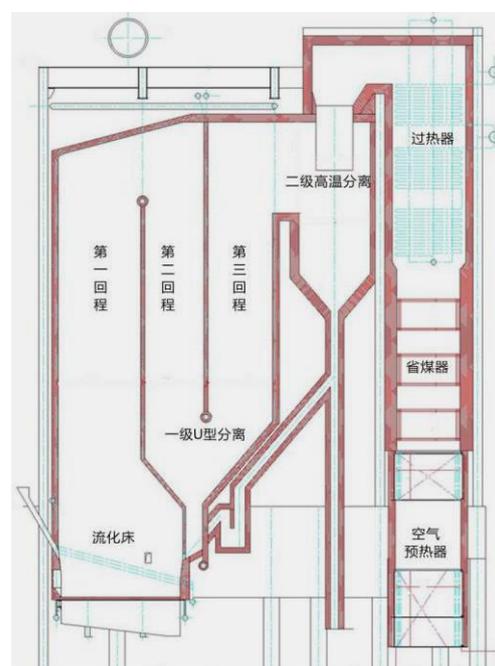


图 2 高热值煤矸石流化床锅炉示意图

五、主要技术指标

1. 燃超低热值煤矸石锅炉出力最佳范围： $\leq 75\text{t/h}$ ；
2. 可燃煤矸石发热值范围：800-1600kcal/kg；
3. 超低热值煤矸石锅炉热效率：75%-80%；
4. 无烟煤及其他劣质燃料锅炉热效率（含热值 1600kcal/kg 以上煤矸石）： $> 88\%$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于 2005 年通过湖南省经委组织的新产品鉴定，典型产品 35t/h 锅炉获国家火炬计划支持；35t/h 锅炉、40t/h 锅炉分别于 2013 年和 2014 年列入了工信部“节能机电（设备）产品推荐目录”第四批和第五批。该技术获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 2 项。目前，已在在全国实施运行 18 台套，具有良好的经济和社会效益。

七、典型应用案例

典型用户：福建沙县侨丹实业有限公司、福建青松股份有限公司、福建元成豆业、临澧华润热电有限公司等。

典型案例 1

案例名称：福建省沙县侨丹实业有限公司 35t/h 燃煤自发电项目

技术提供单位：湘潭锅炉有限责任公司

建设规模：35t 自发电锅炉系统。适用条件：周边拥有丰富的煤矸石资源，且符合国家相应建设条件。主要技改内容：替换原有发电锅炉系统。主要设备：流化床锅炉及配套系统。项目技改投资额 600 万元，建设期 9 个月。年节能 3509tce，碳减排 9264tCO₂，年节能经济效益 350 万元，投资回收期约 1.7 年。

典型案例 2

案例名称：临澧华润热电有限公司 35t 自发电锅炉系统项目

技术提供单位：湘潭锅炉有限责任公司

建设规模：35t 自发电锅炉系统。适用条件：周边拥有丰富的煤矸石资源，且符合国家相应建设条件。主要技改内容：替换原有发电锅炉系统。主要设备：流化床锅炉锅炉及配套系统。项目技改投资额 700 万元，建设期 7 个月。年节能 6000tce，碳减排 15840tCO₂，年节能经济效益 350 万元，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

我国煤矸石、煤泥、洗中煤等低热值煤资源丰富，每年产生 3 亿 t 以上，合理高效地利用这些资源对我国节能减排具有重要意义。预计未来 5 年，该技术推广比例可达到 10%，投资建设约 100 个 35t/h 低热值煤发电锅炉系统，项目总投资 7 亿元，形成的年节能能力达到 50 万 tce，年碳减排能力 132 万 tCO₂。

36 中小型汽轮机节能技术

一、技术名称：中小型汽轮机节能技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 余热余压发电及工业拖动装置

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

据统计，目前我国中小型汽轮机的保有量约 2 万台，并以每年 2000 台的数量逐年递增。这些汽轮机大部分用于农林生物质、垃圾焚烧、沼气等生物质能发电及余热余压利用等领域，也在石油、化工、电力、冶金、制药、建材、纺织印染等行业热电联产及工业拖动领域有广泛应用。现在还有数百台在运的 50MW 以下小型汽轮机需要改造或关停。与热电联产主流的 300MW 以上机组相比，国内中小型汽轮机的内效率相对较低，具有一定节能改造的潜力。

四、技术内容

1. 技术原理

针对中小型汽轮机体积流量小的特点，采用基于精准数学模型的系列叶片设计、小根径叶轮结构优化、整锻转子等技术，优化汽轮机通流结构，减少级间的漏汽和汽流流动损失，使各个压力段综合损失最小、效率最佳，并采用独特的高转速模块化技术进行优化设计，减少机械损失，提高汽轮机的整体内效率。

2. 关键技术

- (1) 高转速模块化汽轮机新型本体结构；
- (2) 高效系列叶片设计；
- (3) 小根径叶轮结构优化；
- (4) 整锻转子等厚度叶轮设计；
- (5) 多齿蜂窝状汽封技术。

3. 工艺流程

该技术主要装备的结构简图如图 1、图 2、图 3、图 4 所示。

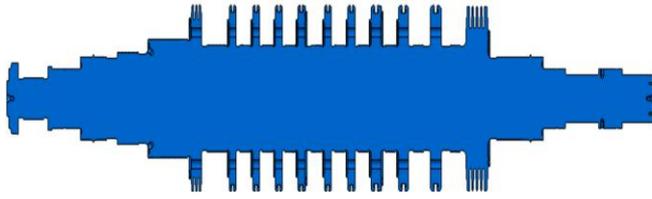


图1 小根径叶轮结构简图

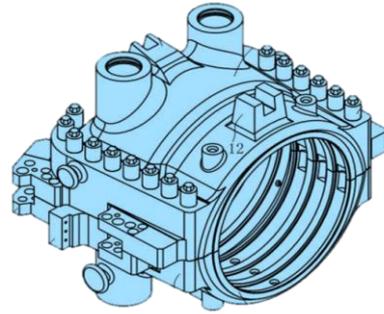


图2 高转速汽轮机内汽缸结构简图



图3 整锻转子等厚度叶轮设计图

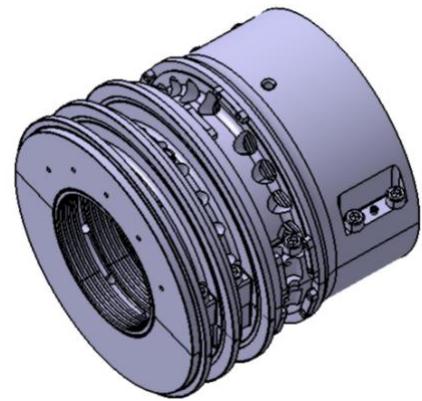


图4 多齿蜂窝状汽封技术图

五、主要技术指标

1. 与同类型背压机组相比，内效率可提高 18%，发电量提高 25%以上；
2. 与同类型抽凝机组相比，内效率可提高 12%，发电量提高 12%以上。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 11 项。2011 年 12 月通过山东省科技成果鉴定，汽轮机性能通过了山东省电力研究院热力性能试验。目前该技术已经在潍坊特钢集团、中粮生化能源有限公司等数十家企业的发电或工业拖动领域实施应用，节能效果良好。

七、典型应用案例

典型用户：沙钢集团、中粮生化能源有限公司、潍坊特钢集团、桓台县唐山热电有限公司、山东宏信化工股份有限公司、东方希望（三门峡）铝业有限公司、龙口矿业有限公司等。

典型案例 1

案例名称：中粮集团 12MW 抽凝发电机组改造项目

技术提供单位：山东潍坊雷诺特动力设备有限公司

建设规模：1×12MW 抽凝机组，建设条件：额定进汽压力：4.9MPa；额定进汽温度：435℃；额定抽汽压力 0.981MPa；额定抽汽温度：255.61℃；额定/最大抽汽量：30/50t/h；排汽压力：0.0056MPa；排汽温度：34.98℃。主要技改内容：对原抽凝机组进行节能改造。更换为 C12-4.90/0.981 型 12MW 抽汽冷凝式高效节能汽轮机。主要设备为 C12-4.90/0.981/型 12MW 抽凝发电机组。节能技改投资额 750 万元，建设期 4 个月。每年可节能 8268tce，年减排 21663tCO₂，年节能经济效益为 463 万元，投资回收期约 2 年。

典型案例 2

案例名称：潍坊特钢集团 3#烧结余热发电 12MW 凝汽式汽轮机节能改造项目

技术提供单位：山东潍坊雷诺特动力设备有限公司

建设规模：1×12MW 凝汽式机组，建设条件额定进汽压力：3.15MPa；额定进汽温度：437℃；额定进汽量：48.05t/h；额定排汽压力：0.0073MPa；额定排汽温度：39.83℃。主要技改内容：对原凝气机组进行节能改造，更换为 N12-3.15 型 12MW 凝气式高效节能汽轮机。主要设备包括 N12-3.15 型 12MW 凝气式发电机组。节能技改投资额 400 万元，建设期 8 个月。每年可节能 9428tce，年减排 24701tCO₂，年节能经济效益 528 万元，投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，全国高效中小型汽轮机的总装机容量可达 6000MW，可形成的年节能能力约 370 万 tce，年碳减排能力约 976 万 tCO₂。

37 基于凝结水调负荷的超超临界机组协调控制技术

一、**技术名称：**基于凝结水调负荷的超超临界机组协调控制技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 超超临界发电机组

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，在我国电力行业中，600/1000MW 超(超)临界发电机组已成为电网的主力机组，机组运行的经济性与电网快速变化负荷需求的矛盾越来越突出。常规负荷调整需要通过高压调节门调整流量，节流带来的能量损失约占总蒸汽焓值的 5%。

四、**技术内容**

1.技术原理

该技术针对不同的机组配置特点，设计了相应的控制功能，通过改变凝结水流量来加快变负荷初期的负荷响应速度；通过优化锅炉燃烧率控制提高机组整体负荷响应能力；采用汽机调门阀限控制参与一次调频。在满足电网调度对机组AGC变负荷性能和一次调频功能要求的前提下，可实现汽轮机高压调门全开滑压运行，提高机组运行的经济性，降低机组供电煤耗率。

2.关键技术

- (1) 机组负荷指令直接作用于凝结水节流子回路控制技术；
- (2) 凝结水系统中水位调节回路的优化设计；
- (3) 锅炉侧控制智能化功能设计；
- (4) 针对汽机调门全开，实施机组一次调频的控制方法。

3.工艺流程

该技术改变了传动的控制方式，实现汽轮机调门全开滑压运行，提高机组运行的经济性；修改控制逻辑，增加凝结水节流调负荷功能，弥补高压调门全开后负荷响应的迟延；优化锅炉煤水控制，增加智能超调，整体提高机组变负荷能力，满足电网对机组 AGC 变负荷及一次调频功能要求。该技术的协调控制系统示意图见图 1。

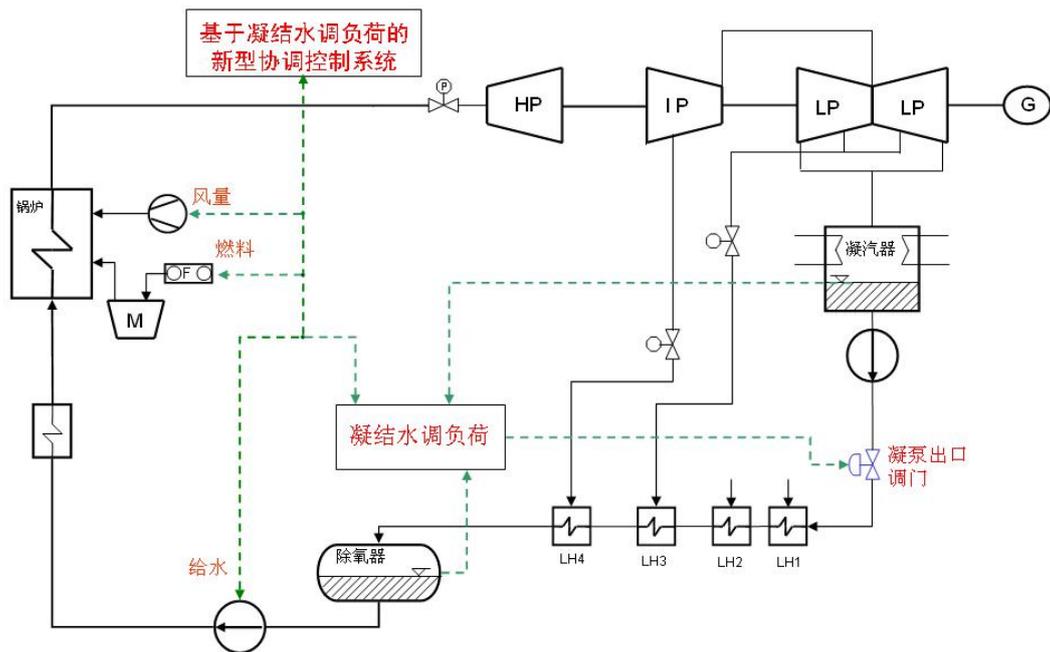


图 1 基于凝结水调负荷的协调控制系统示意图

五、主要技术指标

在满足电网 AGC 变负荷的要求前提下，实现对超（超）临界机组的高效节能协调控制，平均发电煤耗降低 1.28g/kWh。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获得国家发明专利 3 项。2013 年获得中国电力科技进步二等奖，2014 年获得中国电力投资集团公司科技进步一等奖。目前已经在凝结水系统配置 2×100%容量工频凝泵、2×100%容量变频凝泵、3×50%容量凝泵的不同类型机组上进行了应用，对超过 10 台 660MW/1000MW 超超临界机组进行了改造或实施，节能效果良好。

七、典型应用案例

典型用户：上海外高桥第二发电责任有限公司、上海上电漕泾发电有限责任公司。

典型案例 1

案例名称：上海外高桥第二发电责任有限公司 2 台超临界燃煤机组节能改造

技术提供单位：上海明华电力技术工程有限公司

建设规模：2 台 900MW 超临界燃煤机组。建设条件：锅炉由德国阿尔斯通公司制造，汽轮机由德国西门子公司制造，分别于 2004 年 4 月和 9 月投产。汽轮机高压缸采用全周进汽方式，配置两个高压进汽调门，机组自投产以来采用高压调门节流约 5% 的进汽方式。主要技改内容：进行凝结水节流相关的特性试验研究，结合机组设备布

置特点，对控制方案再次进行优化改进，在 2 台 900MW 超临界机组上实现高效节能的协调控制控制系统。主要设备：基于凝结水调负荷的协调控制系统调试。节能技改投资额：400 万元，建设期 24 个月。每年可节能 13424 tce，减排 35439tCO₂。年节能经济效益为 1188 万元，投资回收期约 4 个月。

典型案例 2

案例名称：上海上电漕泾发电有限责任公司 2 台超超临界燃煤机组节能改造

技术提供单位：上海明华电力技术工程有限公司

建设规模：2 台 1000MW 超超临界燃煤机组。建设条件：锅炉由上海锅炉厂有限公司制造，汽轮机由上海汽轮机有限公司制造，分别于 2010 年 1 月和 4 月投产。机组在调试期间以及生产初期一直采用汽机高压调门节流的 CFB 协调控制方式。主要技改内容：实施基于基于凝结水调负荷的新型超超临界机组高效节能协调控制技术。主要设备：基于凝结水调负荷的协调控制系统调试。节能技改投资额：400 万元，建设期 24 个月。每年可节能 12600tce，减排 32760tCO₂。年节能经济效益 1115 万元，投资回收期约 5 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术可在全国火力发电行业超超临界机组中推广 30%，可形成的年节能能力约 20 万 tce，年碳减排能力为 52 万 tCO₂。

38 富氧双强点火稳燃节油技术

一、**技术名称：**富氧双强点火稳燃节油技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 适用于火力发电行业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

1. 降低燃煤锅炉点火稳燃油耗，节约耗油 95%以上；
2. 提高煤炭燃烧效率，降低发电煤耗；
3. 降低二氧化碳排放。

四、**技术内容**

1. 技术原理

富氧双强点火稳燃节油技术系利用纯氧强化燃油燃烧，强化煤粉燃烧，降低煤粉着火温度，采用分级燃烧的方式，引燃整个煤粉流，实现微油点燃全部一次风煤粉流，达到锅炉启停、稳燃、机组调试运行时节能的目的。

2. 关键技术

- (1) 自动供氧总成——保证技术实施中氧气的供应；
- (2) 燃油预处理装置——保证技术实施中燃油供应及安全；
- (3) 富氧点火及稳燃燃烧器——保证技术实施中锅炉煤粉安全、有效燃烧，从而达到锅炉节能减排的装置；
- (4) 点火及稳燃系统控制软件包——保证技术实施中各设备（装置）安全运行的控制软件系统；
- (5) 自动化硬件集成系统设备——保证技术实施中各设备（装置）安全运行的控制电气仪表等硬件系统。

3. 工艺流程

- (1) 通过自动供氧总成将氧气引入富氧点火及稳燃燃烧器中；
- (2) 燃油经过燃油预处理装置后引入富氧点火及稳燃燃烧器中；
- (3) 在富氧点火及稳燃燃烧器中，利用氧气降低燃料着火温度，提高燃料燃烧温度，加快燃料反应速度，以高温油火焰引燃部分一次风煤粉，进而引燃整个一次风粉气流，实现以煤代油、以氧助燃，大幅降低点火、稳燃、机组调试过程耗油量；
- (4) 通过自动化硬件集成系统设备和点火及稳燃系统控制软件包，对整个工艺过

程实施控制。

五、主要技术指标

1. 大幅降低锅炉点火稳燃油耗，节油率达到 95%以上；
2. 该技术能用于烟煤、贫煤、无烟煤等煤粉气流的点火，煤种适应性较强；
3. 确保环保装置在取消烟气旁路后全程安全、高效地投运，提高燃煤锅炉环保设备利用率 5%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

1. 技术鉴定及获奖情况

2011 年 7 月，“富氧微油点火稳燃装置”通过中电联鉴定，获评“具有自主知识产权，技术先进，安全可靠，为国际首创”；2014 年 11 月，发明专利“富氧微油点火稳燃装置”获评中国专利优秀奖。

2. 目前技术应用现状及产业化发展情况

该技术大幅降低了电厂锅炉点火、稳燃、机组调试油耗，提高煤粉燃烧效率，降低发电煤耗，从而节约电厂发电运行成本，成为全国唯一的在燃煤发电锅炉三种燃烧方式（四角切圆、对冲燃烧、W 火焰）均实施成功节能改造的技术；已成功应用于中电投重庆九龙电厂 200MW 机组四角切圆燃烧锅炉、国电成都金堂电厂 600MW 机组对冲燃烧锅炉、大唐山西阳城电厂 350MW 机组 W 燃烧锅炉、国电重庆万盛恒泰电厂 300MW 机组四角切圆燃烧锅炉、国电达州电厂 300MW 机组四角切圆燃烧锅炉，取得了显著的效果。

本技术是由多项非标产品（设备）的集成应用，各项产品（设备）均面向社会采购，定制生产；本技术应用的非标产品（设备）属完全的社会化生产，生产能力巨大，完全满足市场对本技术的需求。

七、典型应用案例

典型案例 1

典型案例应用单位：国电成都金堂电厂

项目名称：国电成都金堂电厂富氧双强点火稳燃节油技术改造项目

技术提供单位：重庆富燃科技股份有限公司

建设规模：600MW 机组对冲燃烧锅炉。主要技改内容：锅炉采用两级点火，即：高能点火器点燃轻油油枪，轻油油枪点燃煤粉。每个燃烧器配一支油枪，油枪及组合式高能点火器配有气动推动器，布置在燃烧器中心风风管内。油枪的设计总容量为 30%

BMCRC 的锅炉热输入量，用于点火、暖炉及低负荷助燃的要求。单支油枪出力为 1350kg/h。该项目总投资 470 万元。改造后冷态启动一次耗油量 3-4t，节油率达到 95.6%；年节能能力可达约 1.16 万 tce，年减排 3.06 万 tCO₂，投资回收期 1 年。

典型案例 2

典型案例应用单位：中电投重庆九龙电厂

项目名称：中电投重庆九龙电厂富氧双强点火稳燃节油技术改造项目

技术提供单位：重庆富燃科技股份有限公司

建设规模：电厂 200MW 机组四角切圆燃烧锅炉。主要技改内容：将锅炉第二层四只原燃烧器更换为富氧点火及稳燃燃烧器，配套安装燃烧器系统、供氧系统、燃油系统、压缩空气系统、冷却风系统、控制系统等。项目总投资 300 万元，改造后冷态点火一次耗油：2-3t，耗氧：10m³，节油率达 96.8%。锅炉一次点火产生经济效益 35-40 万元，每年可节约煤耗费用约 300 万元。预计投资回收期 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

燃煤锅炉富氧双强点火稳燃节油技术作为全新技术，在国内现处于技术推广应用阶段，推广比例<1%。现已在中电投重庆九龙电厂、国电成都金堂电厂、大唐山西阳城电厂、国电重庆恒泰电厂、国电达州电厂上得到成功应用，涵盖了所有炉型及煤种。在应用中表现出了比等离子点火节油技术、小油枪点火节油技术更加卓越的先进性和更加显著的经济性，是以上技术的替代技术。

富氧双强点火稳燃节油技术可实现锅炉点火稳燃过程节油率达 95%以上，全部完成改造可节省大量燃油资源，同时降低电厂发电标煤耗（约 1%）。未来 5 年，该技术的推广比例将达到 6%，预计总投入约 37000 万元，年节能可达约 91 万 tce，年减排量约 240 万 tCO₂。

39 准稳定直流除尘器供电电源节能技术

一、**技术名称：**准稳定直流除尘器供电电源节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**电力行业 电力、水泥、化工等行业生产过程产生的烟气粉尘捕集

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，我国火电机组装机容量超过6亿kW，机组绝大多数配置电除尘器。按电除尘器工频电源耗电功率占机组发电功率的0.25%计算，电除尘器耗电功率约150万kW，年耗能约75亿kWh。采用准稳定直流除尘器供电电源替代常规电源可提高除尘器的除尘效果，降低除尘器的电耗，实现节能。

四、**技术内容**

1.技术原理

该采用三相四线制380V交流系统电源作为装置输入电源，当除尘器电场无火花放电时，电源正常运行，其输出内阻表现为低阻抗特性；当除尘器电场发生火花放电现象时，控制器检测到闪络电流特征，在10us内将电源的输出内阻放大至数千倍，形成一个高输出阻抗特性，装置输出负高压电压立即下降至一个阶梯值，阻止除尘器电场火花放电现象的发生。

该技术可为电场提供始终处于火花临界处的输出电压，减少火花电压造成的能量损失及无法连续供电的问题，大幅提高输入电压的除尘效率，降低电除尘器的电耗。

2.关键技术

- (1) 采用纳米晶磁材磁控软功率模块使频率响应速度更快；
- (2) 采用自适应电源内阻自动根据负载变化调节电压。

3.工艺流程

准稳定直流除尘器供电电源原理简图见图1。

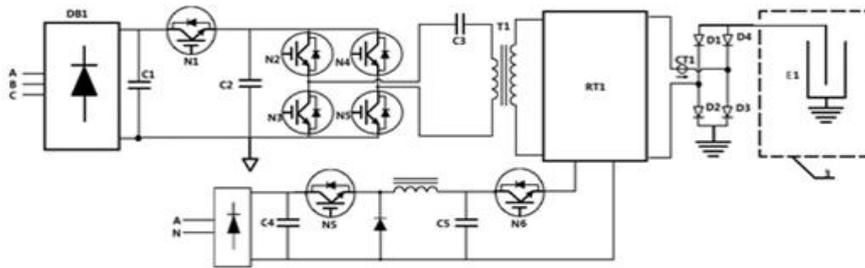


图 1 准稳定直流除尘器供电电源原理简图

五、主要技术指标

与工频电源相比，节能50%左右。

六、技术应用情况

该技术已获得6项国家实用新型专利，2013年8月通过中国环境科学学会组织的科技成果鉴定，并通过了华电电力科学研究院、内蒙古电力科学研究院、陕西电力科学研究所和华北电力科学研究所等多家单位的性能试验。2012年，该技术首次在600MW机组除尘器上投入使用，至今已在超过16台300MW及600MW机组除尘器上推广应用，节能减排效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：内蒙古京隆电厂、大唐陕西发电有限公司渭河热电厂

典型案例1

案例名称：内蒙古京隆发电有限责任公司除尘器技改项目

技术提供单位：北京市中环博业环境工程技术有限公司

建设规模：600MW机组电除尘技术改造工程。建设条件为：电除尘双室5电场，电源为常规整流脉动电源，烟气处理量495m³/s，设备进口粉尘浓度40g/Nm³以上，出口粉尘浓度为36.77mg/Nm³，运行电耗835.5kWh。主要技改内容：以软稳电源代替原常规整流脉动电源，主要设备为40台软稳电源。改造后设备出口粉尘浓度为16.73 mg/Nm³，运行电耗为467.38kWh。节能技改投资额1440万，建设期3个月。年节电184万kWh（按年等效运行小时5000h计算），折合589tce，年减排1283tCO₂。年节能经济效益约748万，投资回收期约2年。

典型案例2

案例名称：大唐陕西发电有限公司渭河热电厂除尘器技改项目

技术提供单位：北京市中环博业环境信息技术有限公司

建设规模：2×300MW燃煤机组除尘器电源系统改造。建设条件为：电除尘双室4电场，使用常规工频电源，除尘器出口粉尘浓度为36.77mg/g/Nm³。运行电耗为746 kWh。主要技改内容：以软稳电源代替原常规整流脉动电源，主要设备为32台软稳电源。改造后出口浓度为19 mg/Nm³。运行电耗为322 kWh。节能技改投资额1216万，建设期2个月。年节电212万kWh（按年等效运行小时5000h计算），折合678tce，减排1477tCO₂。年节能经济效益约400万，投资回收期约1.5年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来5年，该技术在电力行业的推广比例将达到20%，形成的年节能能力为67万tce，年碳减排能力146万tCO₂。

40 球磨机高效球磨综合节能技术

一、技术名称：球磨机高效球磨综合节能技术

二、技术所属领域及适用范围：电力行业 电力、钢铁、有色金属、石油石化等行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，我国火电厂钢球磨煤机制粉电耗平均为 7kWh/t 煤粉；磨制铁矿的球磨机电耗平均在 28kWh/t 原矿；磨制铝土矿的球磨机的电耗平均约 20kWh/t 原矿；石油石化自备电厂的钢球磨煤机制粉电耗 27kWh/t 煤粉；水泥回转窑供煤球磨机的制粉电耗平均在 30kWh/t 煤粉。全国在运的球磨机，年耗电量约 800 亿 kWh，约占全国发电总量的 2%。

四、技术内容

1.技术原理

根据物料特性、球磨机参数、制粉参数（磨矿细度参数），设计球磨机衬板的台阶个数、台阶宽度、台阶角度，控制球磨机钢球的提升数量、提升高度、钢球落点、抛落与泻落的钢球数量的比例，大幅度提高球磨机的破碎和研磨效率，大幅度降低球磨机电耗的效果；根据物料特性、球磨机衬板参数、制粉参数（磨矿细度参数）、物料的粒度分布，把不同直径的钢球按其作用划分为粗碎、细碎、粗磨、细磨四个组群，合理设计各组群钢球的平均直径及重量比例，大幅减少非关键直径钢球的数量（从而大幅度减少低功效钢球的数量），进一步提高球磨机的破碎和研磨效率，降低球磨机电耗。采用铬锰钨复合碳化物细化材料的碳化物晶粒，使材料磨损的均匀性及耐磨性得到显著改善，从而降低钢球的失圆率、稳定钢球级配、提高小直径钢球的利用率。

2.关键技术

- (1) 球磨机节能衬板优化设计技术；
- (2) 球磨机钢球级配优化设计技术。

3.工艺流程

球磨机参数收集和物料检测——→衬板优化设计——→钢球级配优化设计——→球

磨机衬板安——→钢球装机——→球磨机节能数据收集

节能衬板结构简图见图 1。新型铬锰钨系抗磨铸铁磨球见图 2。

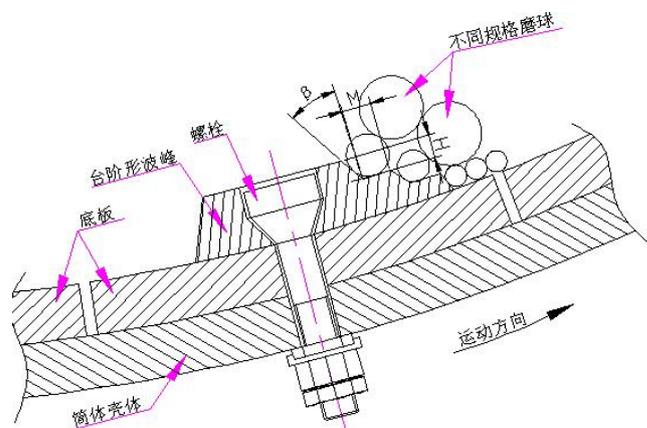


图 1 球磨机节能衬板结构简图



图 2 新型铬锰钨系抗磨铸铁磨球外观图

五、主要技术指标

火电厂钢球磨煤机节电 20%-40%，矿山的球磨机节电 10%-20%，水泥厂磨煤机节电 10%-20%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 2 项。2011 年通过湖南省科技厅组织的科技成果鉴定。在火电行业，国家五大发电集团均已采用球磨机高效球磨节能技术，华能岳阳电厂、滇东电厂全部磨煤机均已推广应用，取得了良好的节能效果。此外，该技术在大型矿山、水泥行业等也都有推广应用。

七、典型应用案例

典型用户：华能集团、大唐集团、中电投、华电集团、国电集团、华新水泥、冀东水泥、海螺水泥、天宝矿业、远通矿业、焦家金矿、信发集团等。

典型案例 1：

案例名称：华能岳阳电厂 1 号机组磨煤机节能改造

技术提供单位：湖南红宇耐磨新材料股份有限公司

建设规模：60t/h 磨煤机建设条件：旧有球磨机改造。主要技改内容：将球磨机的衬板和钢球更换，采用优化设计的台阶形衬板和新的钢球级配。主要设备为：节能型衬板、耐磨磨球等。节能技改投资额 145 万元（其中钢球费用 100 万元），建设期 10 天。每年可节能 1260tce，减排 2746tCO₂，年节能经济效益 165.4 万元，投资回收期约 6 个月。

典型案例 2：

案例名称：云南滇东电厂 3 号发电机组磨煤机节能改造

技术提供单位：湖南红宇耐磨新材料股份有限公司

建设规模：6 台总产能 260t/h 的磨煤机建设条件：旧有球磨机改造。主要技改内容：将球磨机的衬板和钢球更换，采用优化设计的台阶形衬板和新的钢球级配。主要设备：节能型衬板、耐磨磨球等。节能技改投资额 858 万元（其中钢球费用 540 万），建设期 50 天。每年可节能 4048tce，减排 9486.75tCO₂。年节能经济效益 531 万元，投资回收期约 1.6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

球磨机高效球磨综合节能技术在火电行业、大型矿山、水泥行业的推广前景广泛，预计未来 5 年，形成的年节能能力约为 250 万 tce，碳减排能力 550 万 tCO₂。

41 铜包铝芯电线电缆节能技术

一、**技术名称：**铜包铝芯电线电缆节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**通用机械行业 35KV 及以下等级电线电缆

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

电缆是电力系统的重要导体材料，起着传送电能的作用，主要用于发电机、变压器、电动机等的电能传输。目前变电所高低压配电、电动机装置等电气设备和相应配电装置的连接大都采用纯铜电缆。由于“集肤效应”，导致纯铜电缆在传输电能过程中电流主要集中在电缆外表面，这会导致电缆产生较多的热量，限制电缆的载电量，同时导致电缆内部铜材利用率降低，铜材浪费严重。铜包铝芯电线电缆作为一种复合型导体材料，不仅可以节省大量铜材，而且相比纯铜电缆载流量更大、线损更小、温升更低。根据实际运行案例，铜包铝芯电线电缆相比纯铜电缆可降低电损5%-10%。同时，铜包铝芯电线电缆更柔韧、更易于成型，且重量轻，运输及施工方便。

四、**技术内容**

1. 技术原理

利用“集肤效应”原理，综合生产工艺、复合材料新型热处理技术、铜铝包覆拉拔原子冶金技术、新型材料绞合技术等生产要素和创新技术，将铜层均匀包覆在铝芯上，使铜、铝界面上的原子实现冶金结合，并拉伸绞合，形成具有强度高、轻质、柔性及环保等特性的新型导电材料。与传统的铜芯电缆对比，可有效降低导线温度，节省铜材，并降低线损。由于电线电缆温升降低，使绝缘材料不产生碳化，保证铜包铝芯电线电缆的绝缘寿命可满足30年免维护的要求。

2. 关键技术

(1) 铜铝配比算法技术。该技术保证铜包铝芯电线满足载电量要求的同时大幅降低铜材使用量、降低导线成本、提高导线性能和降低导线温升。

(2) 铜铝包覆焊接技术。该技术是铜包铝芯电线电缆制造的基础和前提，焊缝的均匀性是后续拉拔工艺的保障。

(3) 铜铝拉拔退火冶金融合技术。该技术可实现铜铝界面原则实现均匀的冶金结合，保障复合材料的导电性能和导电稳定性。

3. 工艺流程

铜包铝芯电线电缆相关结构及工艺流程图见图 1、2。

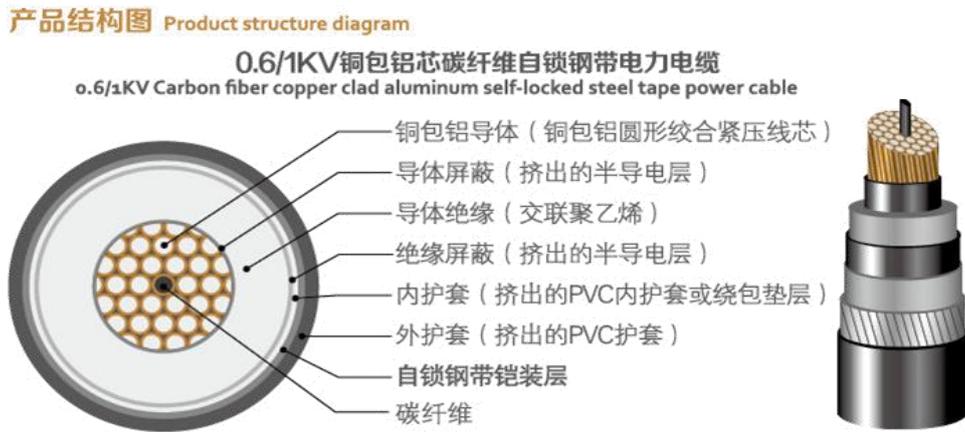


图 1 铜包铝芯碳纤维自锁钢带节能电线电缆结构示意图

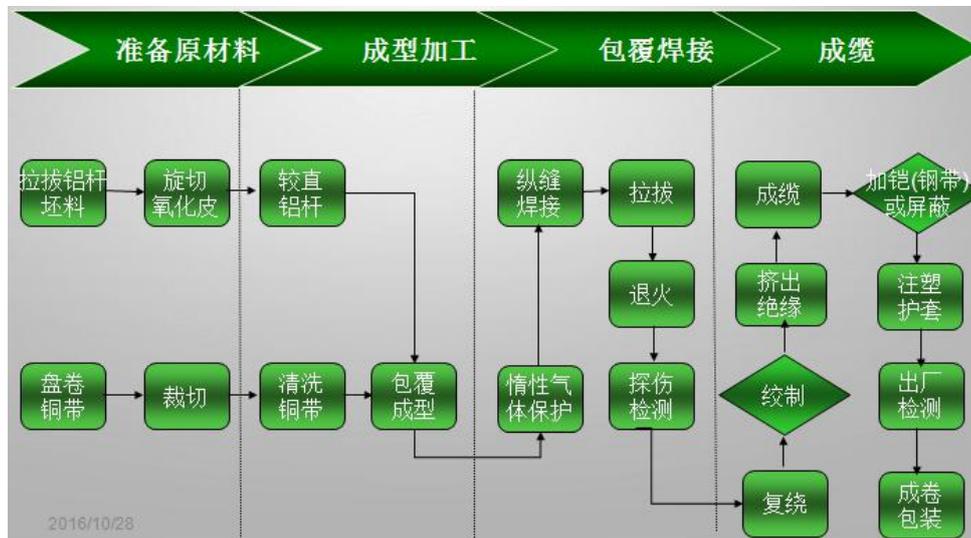


图 2 铜包铝芯节能电线电缆生产工艺流程图

五、主要技术指标

1. 导体温升较铜芯电缆降低 10%-20%；
2. 电压等级规格：产品电压等级规格为 1kV-35kV；
3. 各规格载流量（额定电流的导体温升 $\leq 30\text{K}$ ）：300A-1000A；
4. 绝缘水平：完全符合 GB12706.1-2002 国家标准
5. 节能指标（相比传统纯铜电缆）
 - (1) 节铜率：60%；
 - (2) 节能率：5%-10%；

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家发明专利22项，实用新型专利30项，并于2015年通过中国电力

企业联合会组织的科技成果鉴定，2013年获得辽宁省科技成果三等奖。目前，该产品已广泛应用于电力、冶金、石化、城市建筑等多个领域，节能效果良好。

七、典型应用案例

典型案例 1

案例名称：中国建材集团北方水泥有限公司

技术提供单位：大连沈特电缆有限公司

建设规模：中国建材集团北方水泥有限公司旗下159家水泥生产企业节能技术改造。项目建设条件：原有电线电缆老化，电线电缆载流损耗大。主要技改内容：使用铜包铝芯节能电线电缆替换铜芯电缆。主要设备为铜包铝芯电线电缆、电线电缆安装工具等。技改投资额5亿元，建设期5年。项目年节电约9375万kWh，折合标煤3万tce，年节能经济效益为7500万元，项目投资回收期7年。

典型案例 2

案例名称：大连市主城区配电自动化项目

技术提供单位：大连沈特电缆有限公司

建设规模：铜包铝芯节能电线电缆37km。项目建设条件：原有电线电缆老化，电线电缆载流损耗大。主要技改内容：使用铜包铝芯节能电线电缆敷设。主要设备为铜包铝芯电线电缆。技改投资额8600万元，建设期24个月。项目年节电3010万kWh，折合9635tce，年节能经济效益为1656万元，项目投资回收期5年。

八、推广前景和节能减排潜力

目前，在欧美、日本等发达国家，铜包铝芯电线电缆已经进入普遍应用阶段，广泛应用于电力、电子、通讯等高频信号传输领域。我国在这一领域的技术发展迅速，铜包铝复合材料已经逐步被人们所接受，具有广阔的应用前景。预计到2020年，该技术的推广比例将达到5%，累计项目投资200亿元，可形成的年节能能力约150万tce，年碳减排潜力约350万tCO₂。

42 大型高炉长周期高效运行的干式 TRT 装置

一、**技术名称：**大型高炉长周期高效运行的干式 TRT 装置

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 高炉煤气余压余热发电

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

冶金工业的持续发展需要采用高效、节能、环保的 TRT 装置，以节约能源，减少浪费，降低成本，提高效益。干式 TRT 是为了适应冶金高炉干式除尘系统而研制的新一代产品，是钢铁产业发展的必然选择。

干式 TRT 发电功率比湿式高 30%以上，吨铁回收电量约 50kWh；提高煤气热值 40-90℃；可使炉顶压力波动稳定在±2kPa 以下；可实现全自动远程一键式自动控制模式。目前该技术可实现节能量 46 万 tce/a，减排约 123 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

能量回收透平装置(简称TRT)是世界公认的钢铁企业重大能量回收装置。它是利用高炉炉顶煤气的余压余热，把煤气导入透平膨胀机，使压力能和热能转化为机械能，驱动发电机发电的一种能量回收装置。

干式煤气透平，是为了适应高炉干式除尘系统而研制开发的新一代余压透平，它能充分利用高炉煤气原有的热能，最大限度地利用煤气压力能来进行发电，在高炉炉容相同的条件下，干法比湿法的回收功率可提高30%-40% 以上。这主要是进透平机前的气态参数发生了变化，煤气湿式净化后的温度，一般在50℃左右，而煤气干式净化后的温度一般在120-230℃之间，两者之差为70-180℃左右，且压力损失小，阻损一般为5kPa，甚至更低。由于干式TRT的煤气温度提高，阻损降低，煤气热焓提高，透平做功的能力也相对提高。

2.关键技术

(1) TRT专用气动、强度计算程序

TRT专用气动计算程序充分考虑到高炉煤气大流量、低压力、频繁波动及含尘等工况特性，提高透平效率；采用不平衡响应法等先进的强度设计理论，整个转子系统的计算结果能够真实模拟转子在各种条件下振幅的变化情况，确保安全可靠运行。

(2) 干式TRT专用叶型

解决TRT通道积灰和磨蚀是叶型设计成败的关键，积灰往往发生在容易产生附面层分离及旋涡的部位，采用干式TRT专用叶型，可防止积灰又可增加气流膨胀通道长度，提高叶片强度，改善变工况特性。

（3）系统成套技术

成套机组多，产品范围广，配置型式多样，机组成套技术先进、可靠，具有丰富的系统解决问题的经验和能力；陕鼓依托TRT系统为核心，以成套技术为纽带，运用现代项目管理方法，将主导产品与配套设备有机结合，形成以用户单项工程为核心，整体成套设计供货、安装调试的优势，向用户提供完善的整体服务。

（4）高精度顶压稳定控制技术

3H-TRT系统是陕鼓集团公司拥有自主知识产权的新一代高炉煤气压差能量回收系统，系统通过采用具有国际领先水平的STPC技术对高炉顶压进行高精度智能控制，可使炉顶压力稳定在 $\pm 2\text{kPa}$ 以下，大大低于以往控制顶压 $\pm 5\text{kPa}$ 的范围；当顶压高精度稳定控制时，可升高高炉顶压的设定值（可提高3%-8%），增大高炉送风的质量流量，从而提高高炉的利用系数，降低焦比。

（5）粉尘在线监测装置

通过对布袋除尘效果的控制及在线检测除尘效果，实时检测机组的运行条件和运行状况，预测、预防、预报高炉煤气含尘量浓度大小并对机组的运行提出合理化建议，确保机组长周期安全运行。

（6）静叶可调技术

高炉煤气透平装置采用静叶可调，不仅能够扩大工况范围、提高效率和回收功率，而且可以更好的控制炉顶压力，减少压力波动。陕鼓不仅拥有一级静叶可调技术，并且研究开发出了全静叶可调的技术并获国家专利，进一步提高了透平的变工况效率，拓宽了装置的工作范围，同时，透平的第一级静叶可实现全关闭，冲动转速较小。在入口蝶阀、紧急切断阀全开时，利用静叶可使透平平稳启动和停机，并完成自动升速、自动并网、自动升功率和自动控制炉顶压力。

（7）自动控制技术

全自动控制，远程一键式自动控制模式，全部过程实现自动升速、自动投励磁、自动升电压、自动并网、自动升功率和自动控制炉顶压力一键操作，可实现无人操作、无人执守。

3.工艺流程

高炉煤气经重力除尘器、干式除尘器（一般为布袋除尘器）两次除尘后，在减压阀组前经过入口蝶阀、入口插板阀、快速切断阀进入透平膨胀机膨胀做功驱动发电机发电，膨胀后的高炉煤气压力约为10kPa，经过出口插板阀、出口蝶阀进入减压阀组后的煤气总管道去工艺。高炉炉顶压力通过改变透平静叶的工作角度来控制，满足机组变工况的要求。工艺流程见图1。

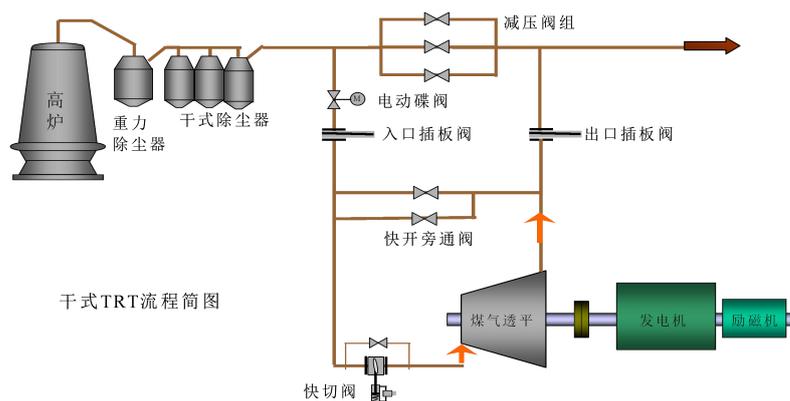


图 1 工艺流程图

五、主要技术指标

干式 TRT 用于采用干法除尘工艺中高炉煤气的能量回收，经干法除尘后的高炉煤气一般为 150-250℃左右，压力损失约 5kPa 左右，含尘量 5mg/m³ 左右。

1.大幅提升 TRT 回收功率：干式除尘器的出口煤气温度高、压力损失小，因此发电功率比湿式高 30%以上，吨铁回收电量约 50kWh。

2.除尘效率高：干式除尘系统除尘阻力损失小（湿式阻损约 15-45kPa，干式阻损约 2-5kPa），并在运行中通过脉冲反吹布袋除尘技术，实现除尘连续性；干的粉尘还可以再利用。

3.节水节电：干式除尘与湿式除尘相比，生产每吨铁可节水约 9t、节电约 60%-70%。

4.提高煤气热值：干式 TRT 系统排出的煤气温度高，所含热量多、水分低，煤气的理论燃烧温度高，可有效提高理论燃烧温度及热效率。如用于烧热风炉，高炉热风温度可提高 40-90℃，相应降低炼铁焦比 8-16kg/t。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2003 年 4 月，国产首套干式 TRT 在杭钢 420m³ 高炉上率先通过试车考核后正式投运，机组运行良好，干式 TRT 应用取得重大突破。并已经在宝钢、莱钢、安钢等 4000m³ 以上大高炉得到应用，效果显著。

七、典型应用案例

典型用户及应用案例（应用单位、节能改造情况、节能效果和经济效益概述）

应用单位：上海宝钢

技术提供单位：西安陕鼓动力股份有限公司

应用节能技术情况：上海宝钢 1#（5046m³）高炉，采用干式 TRT，回收高炉煤气余压余热，透平回收功率达 25000kW 左右。目前机组运行情况良好，节能效果显著。

节能效果分析：采用干式 TRT 后，回收功率达到 25000kW，每年按 8000 小时计算，年回收电能 25000×8000=20000 万 kWh，按节能效益果计算（每度电按 0.5 元计），预计可为用户节约费用 1 亿元；按照电力折算标准煤等价系数计算，节能量可达到 6.4 万 tce/a，二氧化碳减排量可达到 16.8 万 tCO₂/a。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 70%，总投入 12 亿元，年节能能力 65 万 tce/a，减排能力 172 万 tCO₂/a。

43 高温高压干熄焦装置

一、技术名称： 高温高压干熄焦装置

二、技术所属领域及适用范围： 钢铁行业 适用于年产焦炭 190 万 t 及以上的焦化厂

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

超大型已经成功地运行了 5 年多，在节省投资、降低运行费用(含维修及年修)、节能减排效果、能源回收、减少占地等方面都具有非常明显的优势。目前该技术可实现节能量 33 万 tce/a，减排约 87 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

装满红焦的焦罐台车由电机车牵引至焦罐提升井架下，经焦罐提升机将焦罐提升并送到干熄炉顶，通过干熄槽顶部的装入装置将焦炭装入干熄槽；在干熄槽中焦炭与循环气体进行热交换，将红焦冷却至 200℃ 以下，冷却后的焦炭经排焦装置卸至胶带上，送到焦炉的运焦系统。

冷却焦炭的循环气体由循环风机通过干熄槽底部的鼓风装置鼓入干熄槽，与红焦炭进行换热将循环气体加热到约为 900℃；热的循环气体经一次除尘器除尘后进入余热锅炉换热，锅炉产生蒸汽，循环气体的温度降至约 170℃。

循环气体由锅炉出来，再经二次除尘后再由循环风机加压后，经给水预热器冷却至≤130℃进入干熄槽循环使用。

2.关键技术

- (1) 焦炭在干熄槽内下降的均匀性；
- (2) 循环气体在干熄槽内气流分布的均匀性；
- (3) 提高斜烟道立墙耐火砖的寿命；
- (4) 合理控制斜烟道气流分布及临界速度。

3.工艺流程

工艺流程见图 1 所示。

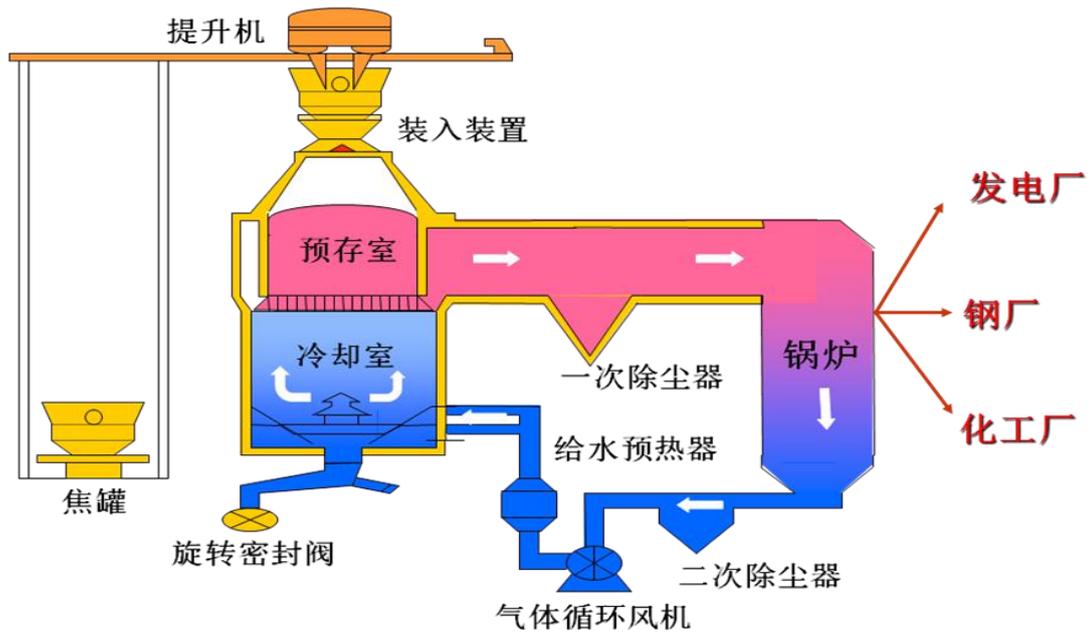


图 1 工艺流程图

五、主要技术指标

主要技术指标见表 1。

表 1 主要技术指标

项目	序号	指标名称	单位	指标
装置能力	1	额定处理能力	t/h	260
	2	实际处理能力	t/h	240
产品产量	3	干熄焦焦炭	万 t/a	192.83
	4	焦粉	万 t/a	3.97
	5	蒸汽	万 t/a	110.95
原材料消耗	6	焦炭烧损	万 t/a	1.79
整个工程动力消耗	7	生产循环水给水量	m ³ /h	264
	8	除盐水用量	m ³ /h	160
	9	低压蒸汽	t/h	20.94
	10	99.9%氮气（常用）	m ³ /h	346
	11	普通压缩空气	m ³ /min	27.63
	12	耗电有功功率	kW	3390

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

首钢京唐 1#, 260t/h CDQ 项目于 2009 年 5 月 19 日投产, 2012 年 11 月荣获中国

炼焦行业协会颁发的焦化行业技术创新成果一等奖。

采用超大型干熄焦的新技术，每年回收能源折合标煤 101956t，平均吨焦回收能源折合标煤 51.338kg，基准情景的干熄焦为 48.108kg，高温高压干熄焦高出 6.7%。使用干熄焦装置处理后的焦炭，高炉焦比每吨铁降低至少 20kg。

七、典型应用案例

典型案例

技术提供单位：北京中日联节能环保工程技术有限公司

建设规模：每小时冷却焦炭的能力最高可达 280t。

建设条件：本技术适用于顶装式或捣固式焦炉炉组年焦炭产量在 190 万 t 及以上的干熄焦，同时在海拔较高的地区年焦炭产量在 170 万 t 及以上的干熄焦。使用 1 套超大型的干熄焦装置取代 2 套 140t/h 处理能力的干熄焦装置。

主要技改内容：(1)焦炭在干熄槽内下降的均匀性(2)循环气体在干熄槽内气流分布的均匀性(3)提高斜烟道立墙耐火砖的寿命(4)合理控制斜烟道气流分布及临界速度。

主要设备：焦罐及焦罐台车、提升机、超大型干熄槽、特殊的鼓风装置、超、超大型一次除尘器、超大型干熄焦锅炉、超大型干熄焦二次除尘器、超大型干熄焦风机。

干熄焦及主要附属设施投资 20100 万元，建设期 16-18 个月，采用超大型干熄焦的新技术，每年回收能源折合标煤 101956t，平均吨焦回收能源折合标煤 51.338kg。基准情景的干熄焦为 48.108kg，超大型(220-260t/h)干熄焦高出 6.7%。单位节能量投资额为 0.1971 万元，基准情景的单位节能量投资额 0.2630 万元，超大型干熄焦单位节能量投资额减少 25%。采用超大型干熄焦技术静态投资回收期税前 3.8 年、税后 4.52 年。基准情景的静态投资回收期税前 4.75 年、税后 5.63 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 20%，预计总投入 100500 万元，预计节能能力 51 万 tce/a，减排能力 125 万 tCO₂/a。

44 钢铁行业烧结余热发电技术

一、**技术名称：**钢铁行业烧结余热发电技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

与该节能技术相关生产环节的能耗现状为 200-400℃ 的低温余热废气，基本没有得到利用。目前应用该技术可实现节能量 8 万 tce/a，减排约 21 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

钢铁行业烧结、热风炉、炼钢、加热炉等设备产生的废烟气，通过高效低温余热锅炉产生蒸汽，带动汽轮发电机组进行发电。

2. 关键技术

通过分级利用余热，使得余热锅炉能最大限度的利用 200-400℃ 的低温余热。

3. 工艺流程

烟气收集→余热锅炉→汽轮发电机。

五、**主要技术指标**

可利用烟气温度为 200-400℃。

六、**典型应用案例**

典型用户马钢

某钢铁投资 1.7 亿元人民币，安装了低温余热锅炉及汽轮发电机组，年发电量达 1.4 亿 kWh，年取得经济效益 7000 万元人民币，投资回收期 2.5 年。

七、**推广前景及节能减排潜力**

钢铁企业的烧结、冶炼、加热等设备产生大量的低温废气，基本没有得到合理利用，所以其推广前景广阔，节能潜力巨大。

在钢铁生产过程中，都会产生大量低温烟气，若将其低温余热充分合理利用，将会产生很大的节能效益。建议政府应积极支持、鼓励，制定特殊政策，激励企业利用低温余热的积极性，节约大量一次能源，创造更多社会效益。未来 5 年，预计推广到 40%，总投入 17 亿元，节能能力可达 15 万 tce/a，减排能力 41 万 tCO₂/a。

45 转炉煤气干法回收技术

一、技术名称：转炉煤气干法回收技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 转炉一次烟气

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前大部分采用的湿法系统吨钢耗能：6-15kWh；0.3-0.5m³水，另外湿法系统回收煤气量小；存在污水处理；排放烟气含尘浓度高达 100mg/Nm³；运行费用高。目前刚刚推广开来的干法系统吨钢耗能：2-3.8kWh；0.1-0.2m³水，另外干法系统无污水处理；排放烟气含尘浓度小于等于 15mg/Nm³；比湿法多回收约 10m³煤气；运行费用吨钢节约约 2.5 元人民币。目前该技术可实现节能量 8 万 tce/a，减排约 21 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

通过蒸发冷却把约1000℃的烟气降温到约250℃并对烟气进行粗除尘，然后通过防爆型静电除尘器对烟气进行精除尘，然后烟气通过风机切换站进入烟囱排放或进入煤气冷却器对烟气进一步降温后回收利用。

2.关键技术

烟气喷雾降温技术、静电除尘及防爆技术

3.工艺流程

通过蒸发冷却把约1000℃的烟气降温到约250℃并对烟气进行粗除尘，然后通过防爆型静电除尘器对烟气进行精除尘，然后烟气通过风机切换站进入烟囱排放或进入煤气冷却器对烟气进一步降温后回收利用。工艺流程见图1所示。

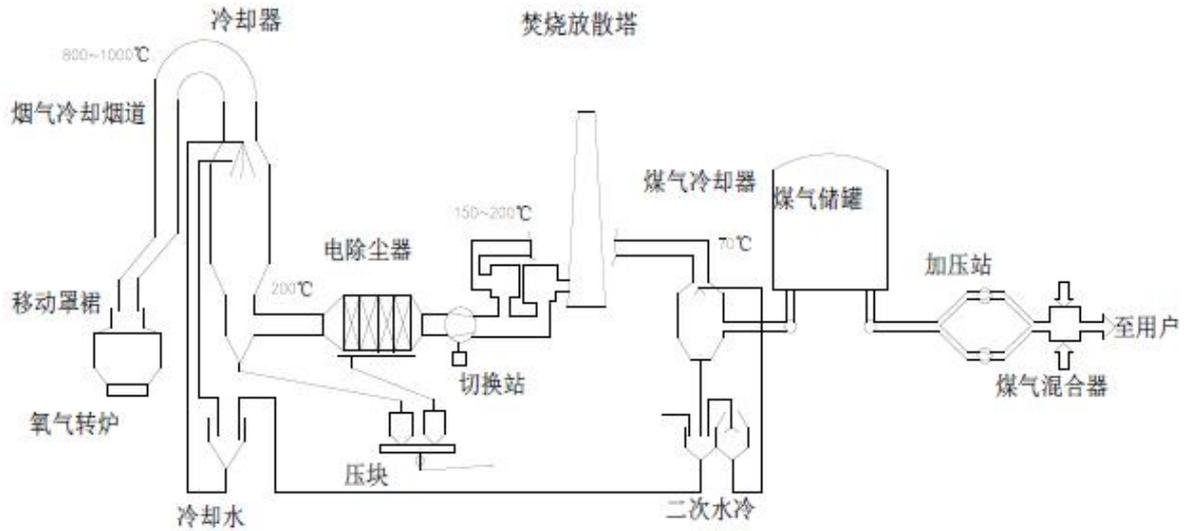


图 1 工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.放散烟气含尘量小于 $15\text{mg}/\text{Nm}^3$;
- 2.回收煤气含尘量小于 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术与传统湿法技术相比即节能又环保，被认定为转炉一次烟气处理的发展方向，目前已得到了广泛应用，共计约 100 多套。

七、典型应用案例

典型案例 1：信钢

技术提供单位：中国重型机械研究院股份公司

建设规模：3 台 65t 转炉，技改内容：信钢为新建 3 套 65t 转炉配套 3 套转炉一次烟气干法净化回收系统，主要设备：蒸发冷却器、静电除尘器、风机、切换站煤气冷却器及烟囱等。节能技改投资额约 5300 万，建设期约 24 个月，节能量：与传统湿法相比吨钢节能约 5kgce 。年节能经济效益不低于 1200 万元，投资回收期不到 5 年。

典型案例 2：攀钢

技术提供单位：中国重型机械研究院股份公司

建设规模：3 台 220t 转炉，技改内容：攀钢西昌为新建 3 套 220t 炼钢转炉配套 3 套转炉一次烟气干法净化回收系统，主要设备：蒸发冷却器、静电除尘器、风机、切换站煤气冷却器及烟囱等。节能技改投资额约 1.6 亿元，建设期约 21 个月，节能量：与传统湿法相比吨钢节能约 5kgce 。年节能经济效益不低于 4250 万元，投资回收期不

到 4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 60%，预计投资总额 20 亿元，年节能能力 25 万 tce/a，减排能力 66 万 tCO₂/a。

46 蓄热式燃烧技术之一：蓄热式转底炉处理冶金粉尘回收铁锌技术

一、技术名称：蓄热式燃烧技术-蓄热式转底炉处理冶金粉尘回收铁锌技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 钢铁冶金行业企业生产过程中所产生的含铁、锌粉尘、除尘灰和污泥等固废的综合利用

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

蓄热式燃烧技术是一种全新的燃烧技术，它把回收烟气余热与高效燃烧及 NO_x 减排等技术有机地结合起来，从而达到节能减排的目的。目前该技术可实现节能量 16 万 tce/a，减排约 42 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

蓄热式转底炉处理冶金粉尘回收铁锌技术，即将蓄热式燃烧技术应用于转底炉直接还原工艺，并对该工艺进行优化改进，达到对冶金粉尘中的锌、铁资源回收利用，同时实现节能降耗的目的。冶金粉尘等固废被制成含碳球团，在转底炉内 1200-1300℃ 的还原区被还原为金属化球团，球团中被还原的 Zn 高温下挥发进入烟气被脱除，Zn 蒸气在烟气中再氧化成 ZnO，通过对烟尘的收集得到富含 ZnO 的二次粉尘。

2.关键技术

- (1) 蓄热式燃烧技术；
- (2) 转底炉直接还原技术。

3. 工艺流程

蓄热式燃烧技术及蓄热式转底炉处理含锌粉尘工艺流程图见图 1、图 2.

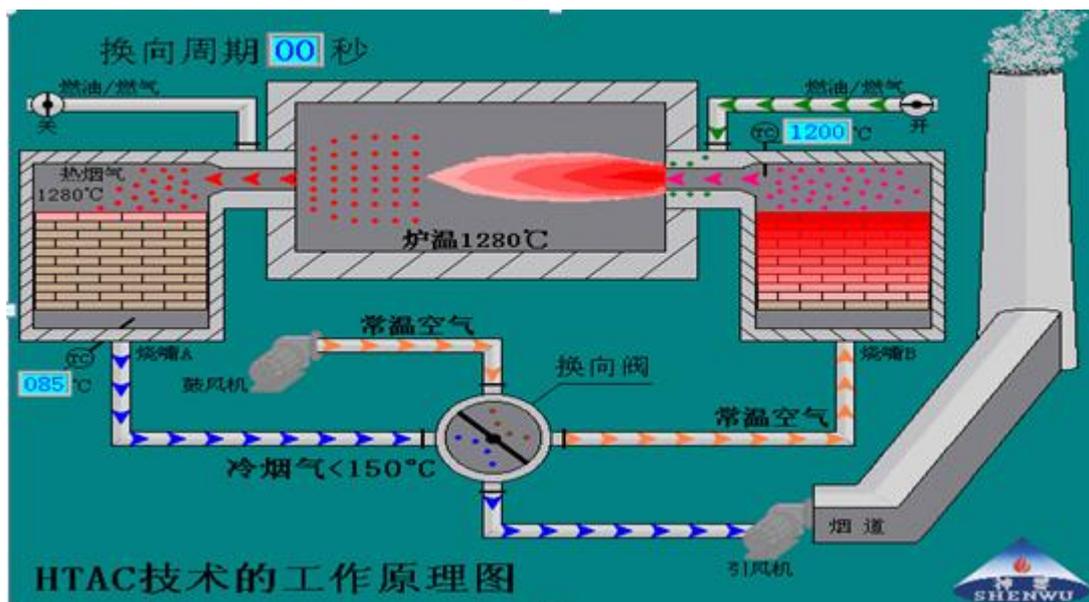


图1 蓄热式燃烧器的工作原理图

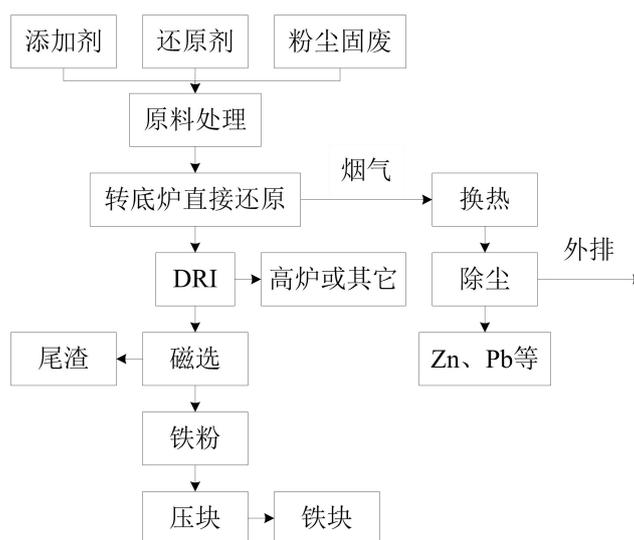


图2 蓄热式转底炉处理含锌粉尘工艺流程图

五、主要技术指标

蓄热式转底炉直接还原工艺可以替代的工艺有回转窑工艺和普通转底炉工艺，其主要技术参数结果见表1。

表1 蓄热式转底炉工艺与其他工艺技术参数对比

项目	DRI 金属化率	脱锌率	作业率	规模	单位产品能耗

蓄热式转底炉工艺	72%-96%	94%-97%	> 90%	30 万 t/a	209.3kgce
回转窑工艺	-85%	75%-90%	< 85%	<10 万 t/a	-279.8kgce
普通转底炉工艺	60%-86%	91.35 (max)	-80%	20 万 t/a	-250.0 kgce

依据表 1 中数据计算得出，蓄热式转底炉工艺比回转窑工艺节能约 70kgce/t 产品，节能约 25%；比普通转底炉工艺节能约 40kgce/t 产品，节能约 16%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

蓄热式转底炉直接还原技术创新性地将蓄热式燃烧技术与转底炉直接还原炼铁技术相结合，在燃烧技术、转底炉炉体结构、蓄热体材料等方面进行创新，拥有多项自主知识产权专利。依赖于燃烧技术和转底炉直接还原技术的科技创新，不仅实现了炉内温度场和气氛的控制，同时实现了低热值燃料的应用，实现了能量的最高效利用，达到节能降耗的目的。沙钢年处理 30 万 t 粉尘转底炉的工序能耗 209.3kgce/t 金属化球团，比回转窑和普通转底炉节能 16%-25%，综合指标先进。该技术先后通过了中国机械工业联合会、中国金属学会的鉴定，一致认为该技术综合水平已达到国际领先水平。

七、典型应用案例

典型案例：沙钢集团

技术提供单位：北京神雾环境能源科技集团股份有限公司

沙钢集团年处理 30 万 t 钢铁厂含锌粉尘示范工程采用技术为蓄热式转底炉直接还原技术，该生产线为新建项目，主要采用了蓄热式燃烧技术和转底炉直接还原技术。基于蓄热式燃烧技术，提高了入炉空气温度，降低排烟温度，进而提高能量的利用率，真正起到了节能效果。该技术工序能耗为 209.3kgce/t 金属化球团，与回转窑工艺能耗（279.8 kgce/t 金属化球团）相比，每吨产品约节约 70kgce，折算成每吨产品成本下降约 42 元，且每年可减少 CO₂ 排放 3.7 万 t，减少 SO₂ 排放 238t。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 80%，预计投资总额 50 亿元，年节能能力 22 万 tce/a，减排能力 59 万 tCO₂/a。

47 蓄热式燃烧技术之二：无旁通不成对换向蓄热燃烧节能技术

一、**技术名称：**无旁通不成对换向蓄热燃烧节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 有色金属、钢铁、建材等行业 工业炉窑

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，我国各类工业炉窑数量超过 13 万台，主要分布在冶金、建材、机械和化工等行业领域，其总量约占我国炉窑总数的 85%以上，总耗能约占我国能源 消费总量的 1/4 左右。我国工业炉窑的平均热效率在 30%-40%，而先进国家的工业炉窑热效率在 50% 以上，工业炉窑领域具有较大的节能潜力。

四、**技术内容**

1.技术原理

该技术是在传统成对蓄热燃烧节能技术的基础上，采用 3 台以上蓄热式燃烧器作为一组，各燃烧器周期轮流切换燃烧或排烟状态，且排烟的台数多于燃烧的台数，加大了排烟通道面积，取消辅助烟道，高温烟气全部经蓄热室蓄热后再排出，可有效提高了烟气余热的利用率，降低排烟阻力，减少风机电耗。同时，减少点火与保护冷风量，降低因冷风鼓入的降温，实现综合节能。

2.关键技术

(1) 燃烧器不成对配置技术

采用燃烧器不成对配置方式，少烧多排，加大了排烟通道面积，取消辅助烟道，高温烟气全部经蓄热室蓄热后再排出，可有效提高烟气余热的利用率；

(2) 递进式换向技术

逐个递进式换向，换向时至少有一台在正常排烟。5 台以上时，换向时至少有一台正常燃烧，减少换向时炉压波动，防止爆鸣爆炉；

(3) 上置式蓄热体技术

上置式蓄热体燃烧器向上排烟，灰尘在集结部下部，在下部配置积灰室与清灰口同，可有效减少蓄热体体积灰与板结，清灰周期延长一倍；

(4) 周期间隙点火技术

智能控制点火枪周期间歇点火，可解决传统蓄热燃烧技术长明灯点火方式在排烟状态燃烧器点火枪的耗能浪费；

(5) 减少保护冷风量的技术

保护风机采用小风量、高风压与变频控制，减小运行时的冷风量；停火时，保护风机以满足部件保护的最小风量低频运行，减少因冷风鼓入的降温，降低能耗。

3.工艺流程

该技术的工作原理如图 1 所示。

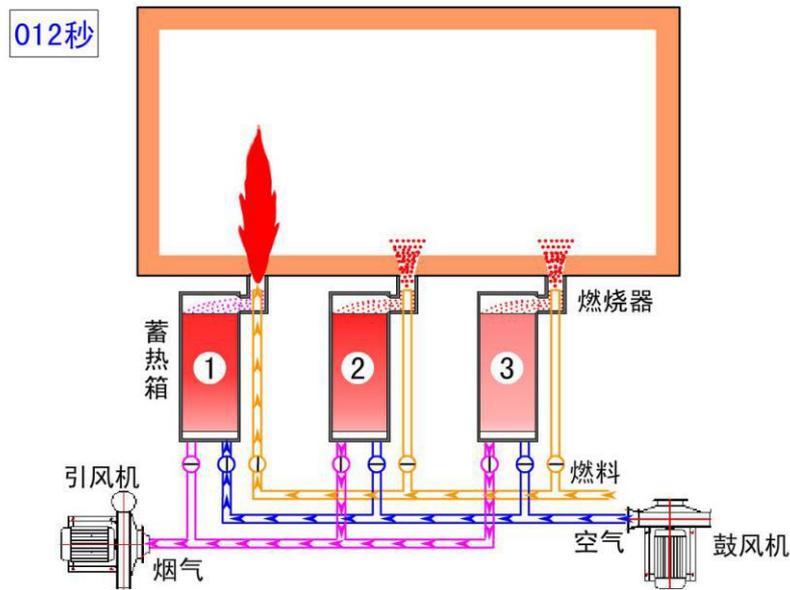


图 1 无旁通不成对换向蓄热燃烧节能技术的工作原理图

在传统成对蓄热式燃烧技术的基础上，采用 3 台以上蓄热式燃烧器为一组，各燃烧器周期轮流切换燃烧或排烟状态，且排烟的台数多于燃烧的台数。从鼓风机出来的常温空气由换向阀切换进入蓄热式燃烧器 1 后，在经过蓄热式燃烧器 1(陶瓷球或蜂窝体)时被加热，在极短时间内常温空气被加热到接近炉膛温度（一般比炉温低 100-150℃），被加热的高温空气进入炉膛后，卷吸周围炉内的烟气形成一股含氧量大大低于 21%的稀薄贫氧高温气流，同时往稀薄高温空气中心注入燃料（燃油或燃气），燃料在贫氧（2%-20%）状态下实现燃烧；与此同时，炉膛内燃烧后的热烟气经过另两个蓄热式燃烧器 2、3 排入大气，炉膛内高温热烟气通过蓄热式燃烧器 2、3 时，将显热储存在蓄热式燃烧器 2、3 内，然后以低于 150-200℃的低温烟气经过换向阀排出。经过一个周期后（30-200 秒）后，再切换到燃烧器 2 燃烧，燃烧器 1、3 排烟。再经过一个周期后（30-200 秒）后，再切换到燃烧器 3 燃烧，燃烧器 1、2 排烟，如此循环工作。工作温度不高的换向阀以一定的频率进行切换，使蓄热式燃烧器处于蓄热与放热交替工作状态，从而降低能源消耗，并减少 NO_x 排放。

五、主要技术指标

1. 温度效率： $\geq 92\%$ ；
2. 总烟气余热回收率： $\geq 90\%$ ；
3. 相比无节能装置炉窑的节能率：40%-60%；
4. 相比传统成对蓄热式燃烧技术的节能率： $\geq 20\%$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家实用新型专利 6 项。于 2013 年通过湖南省科技厅的科技成果鉴定，2015 年获得湖南省科学技术进步奖二等奖。自 2013 年投入市场以来，已在再生铝熔炼行业和电线电缆生产行业逐步推广，安装数量达 86 台套，并正在向钢铁、建材、石化、机械、陶瓷等行业进行推广，应用前景广阔。

七、典型应用案例

典型用户：南山铝业、栋梁新材、鲁能泰山、宁波爱柯迪、闽发铝业、南平铝业、隆达铝业、立中集团、汨罗联创、江西万泰等用户

典型案例 1

案例名称：汨罗市联创铝业 30t 圆形反射熔炼炉燃烧系统改造项目

技术提供单位：湖南巴陵炉窑节能股份有限公司

建设规模：年产 3.6 万 t 合金锭，容量 30t 圆形反射熔炼炉。建设条件：反射炉新建、大修或停炉检修时应用。主要技改内容：用一套 300 型无旁通不成对换向型蓄热式燃烧系统对一台 30t 圆形反射炉的燃烧系统进行节能改造。主要设备为：30t 圆形反射炉、300 型高温燃烧器燃烧器（3 台/套）、300 型蓄热箱（3 台/套）、助燃鼓风机、高温引风机、保护风机、大小火燃气阀组、烟气/空气换向阀组、智能控制系统。节能技改投资额 26 万元，建设期 1 个月。每年可节能 2470tce，年碳减排量 6520tCO₂。年节能经济效益为 705 万元，投资回收期约 1 个月。

典型案例 2

案例名称：湖州世纪栋梁铝业 3#20t 熔炼炉燃烧系统改造项目

技术提供单位：湖南巴陵炉窑节能股份有限公司

建设规模：年产 1.8 万 t 合金锭，容量 20t 顶开盖圆形反射炉。建设条件：反射炉新建、大修或停炉检修时应用。主要技改内容：用一套 300 型无旁通不成对换向型蓄热式燃烧系统对 3#20t 顶开盖圆形反射炉的成对切换蓄热式燃烧系统进行节能改造，并以原配置的成对切换蓄热式燃烧系统为对比能耗。主要设备包括：20t 顶开盖圆形反射炉、300 型高温燃烧器燃烧器（3 台/套）、300 型蓄热箱（3 台/套）、助燃鼓风机、高温引风

机、保护风机、大小火燃气阀组、烟气/空气换向阀组、智能控制系统。节能技改投资额 58 万元，建设期 1 个月。每年可节能约 670tce，年碳减排量 1770tCO₂。年节能经济效益 190 万元，投资回收期约 4 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术可广泛应用于有色金属、钢铁、建材、机械、石化等领域的工业炉窑，全国适合实施技术改造的工业炉约 10 万台。预计未来 5 年，该技术推广比例可达到 2%，项目总投资约 10 亿元，可形成的年节能能力为 140 万 tce，年碳减排能力 370 万 tCO₂。

48 低热值高炉煤气燃气-蒸汽联合循环发电

一、**技术名称：**低热值高炉煤气燃气-蒸汽联合循环发电

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 钢铁企业自发电

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

我国不少钢铁企业高炉煤气放散率在10%以上。目前该技术可实现节能量6万tce/a，减排约16万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

燃气蒸汽联合循环发电装置是燃气循环机组与蒸汽循环机组的联合体，燃气轮机燃烧做功，排出的烟气再通过余热锅炉产生蒸汽而做功发电。

2.关键技术

(1) 高炉煤气的预处理：除尘和精脱苯、脱硫燃气配比技术；

(2) 煤气两级压缩（低压和高压）技术；

(3) 高效燃气轮机技术。

3.工艺流程

从总管来的高炉煤气先经湿式电除尘器除尘，再经煤气加热器加热，后经低、高压空气压缩机压缩，进入燃气轮机燃烧做功，排出的烟气经过余热锅炉产生蒸汽，蒸汽带动汽轮机驱动压缩机做功，多余功带动发电机发电。

五、**主要技术指标**

CCPP装置的高炉煤气量一般都较大，折算到压缩机进口状态，流量基本都大于1700m³/min。

六、**典型应用案例**

宝钢、鞍钢、邯钢、济钢等。

典型案例1：某钢铁企业15万kW低热值高炉煤气-蒸汽联合循环发电装置，节能技改投资额56198万元，年可发电9.4亿kWh，取得经济效益7015万元，投资回收期为8.3年。

典型案例2：某钢铁企业300MWCCPP发电机组，节能技改投资额9亿元左右，年可发电20亿kWh以上，取得经济效益1.5亿元，投资回收期7年左右。

七、推广前景及节能减排潜力

采用 CCPP 技术目前在国内只有少数几家，该技术可以有效解决煤气放散问题，且发电效益大大提高，对于目前钢铁企业节能降耗起到很大的技术推动作用，推广潜力巨大。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 40%，预计投资总额 25 亿元，年节能能力 12 万 tce/a，减排能力 33 万 tCO₂/a。

49 炼焦煤调湿风选技术

一、技术名称：炼焦煤调湿风选技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 焦化行业及煤化工行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前该技术可实现节能量 20 万 tce/a，减排约 53 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

为充分利用焦炉烟道气及一般工业窑炉的废烟气所携带的热量，本技术通过改变传统流化床结构，使煤料在设备内处于流化状态并呈螺旋线前进，尽最大可能延长煤料在设备内与热风接触的时间，从而完成粒度分级及适度干燥处理的工艺过程，并保持处理后的煤料水分基本恒定（本技术也可对煤料只进行适度干燥处理，具体由业主选择确定）。设备排出的气体经由保温管道送入除尘地面站进行粉尘捕集处理，净化后的气体达标排放。本工艺技术即可与工厂同步建设，也可老厂增建。

2.关键技术

本技术关键设备--全沸腾旋流流化床风选调湿机

关键技术特点：

（1）该设备独特的旋流气体带动并强制物料进行热交换，能够充分利用热气体所携带的热量，其热效率可达60%-67.7%。

（2）设计了独特的大颗粒物料排出装置，能将粒度≥25mm不能流化的物料及时排出，确保流化床长期稳定运行。

（3）采用风动原理，结构形式独特，内部无机械传动，维护工作量小，能够长期稳定运行。

（4）设备阻力较小约3000Pa，有效降低热风输送系统的电力消耗。

（5）设备上部气体流速较小，排出气体携带灰尘量仅为湿煤量的3%-5%。

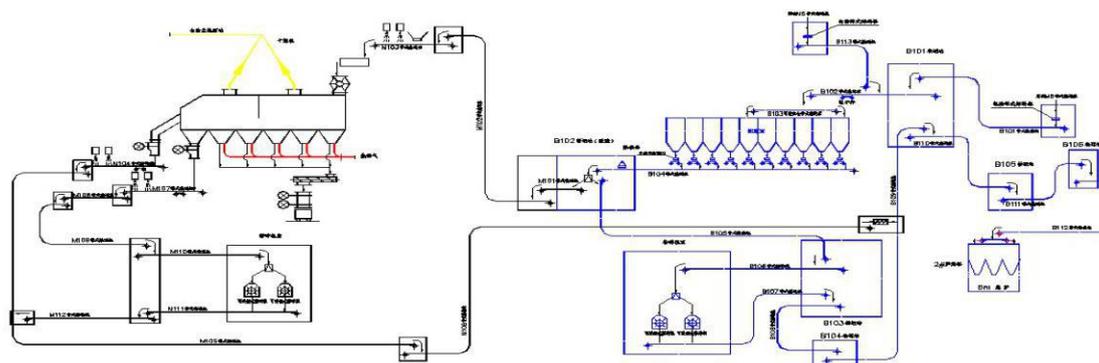
3.工艺流程

煤料输送系统将水分含量为-12%的炼焦配合煤送至煤调湿风选装置，煤料在气体分布板上与下部风室送入的焦炉烟道气直接接触并处于沸腾状态。煤料在从入料端向出料端移动的过程中同时完成分级及调湿处理，使煤料水分降至7.5%-8.0%，并保持基

本恒定。分级处理后 $<3\text{mm}$ 合格的煤料经螺旋输送机排出干燥机；分级后 $>3\text{mm}$ 大颗粒煤料进入粉碎机进行粉碎处理；上述2种煤料混合后运至煤塔供焦炉炼焦生产。

从焦炉烟囱根部抽取焦炉烟道气并将其送至风选调湿机入口处并保持一定的流量、压力、温度等。

风选调湿机出口含细煤粉的低温烟气进入除尘地面站回收细煤粉；净化后的气体经烟囱达标排放。



五、主要技术指标

主要技术指标见表 1。

表 1 主要技术指标

序号	项 目	焦炉烟道废气为热源煤调湿技术
1	干燥机处理能力 (t/h)	195
2	去湿能力	11.0%→6.5%
3	小时蒸发水量 (t/h)	8.775
4	340d 蒸发水量 (t)	71604
5	蒸汽消耗量 (t/h)	0
6	340d 蒸汽消耗量 (t)	0
7	主装置用电负荷	1582.6kWh
8	340d 耗电量 (kwh)	12.914×10 ⁶
9	用电折算标准煤 (t/a)	5217
10	蒸汽折算标准煤 (t/a)	0
11	蒸发 1t 水耗能 (标准煤)	72.9kg

六、典型应用案例

应用单位：邯宝集团股份有限公司焦化厂

技术提供单位：中冶焦耐工程技术有限公司

节能改造前用能情况：改造前炼焦入炉煤年平均水分：10.5%-13.5%，这些水分通过燃烧焦炉加热煤气提供的热量在炭化室内干燥蒸发，随荒煤气在上升管、集气管内通过喷洒大量的氨水进行冷凝、送废水处理工序进行处理，因此耗能较多。煤料水分每蒸发1个百分点，炼焦耗热量相应增加62.0MJ/t（干煤）。节能改造内容：为满足4座7.0m焦炉（年焦炭产能220万t）生产用煤需要，建设2系以焦炉烟道气为热源的炼焦煤调湿装置（每系设备处理能力195t/h）。采用煤调湿风选技术后，每年可节省能源36116tce。节能改造投资额：13000万元，每年可创效益5016万元，静态投资回收期：6.38年

七、推广前景及节能减排潜力

预计未来5年，该技术在行业内的推广潜力可达到50%，节能能力200万tce/a，减排能力528万tCO₂/a。

50 钢铁行业能源管控技术

一、**技术名称：**钢铁行业能源管控技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 冶金、化工等流程工业企业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

能源管理中心作为系统节能技术，在企业一定条件下，采用信息化技术，以全局理念，实现了宏观的综合管控。其核心是以全局平衡为主线，以集中扁平化调度管理为基本模式，以基于数据的客观评价为基础，实现了在既有装备及运行条件下的优化管控，可以显著改善企业能源系统的管控水平，达到节能减排的目的。目前该技术可实现节能量180万tce/a，减排约475万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

能源管理中心借助于完善的数据采集网络获取管控需要的过程数据，经过处理、分析、预测和结合生产工艺过程的评价，在线提供能源系统平衡信息或调整决策方案，使平衡调整过程建立在科学的数据基础上，保证了能源系统平衡调整的及时性和合理性，使钢铁联合企业生产工序用能实现优化分配及供应，从而保证生产及动力工艺系统的稳定和经济、提高二次能源利用水平，并最终实现提高整体能源效率的目的。

能源需求侧管理是在公司能源管理体系下，通过能源生产方、供应方、输配方及终端用户的协同，提高使用环节的能源使用效率，改善公司的能源成本的一种管理方式。本质上是通过一系列的技术和管理措施，减少终端装置或系统对能源供应的需求，在满足生产要求前提下节约能源。

2.关键技术

系统集成和应用集成技术、现代计算机和网络技术、数据库和实时数据库技术、数据分析和预测技术等。能效评价技术，优化调度技术，单体设备与主体工艺生产过程节能技术。

3.工艺流程

能源需求侧管理图如图 1 所示。

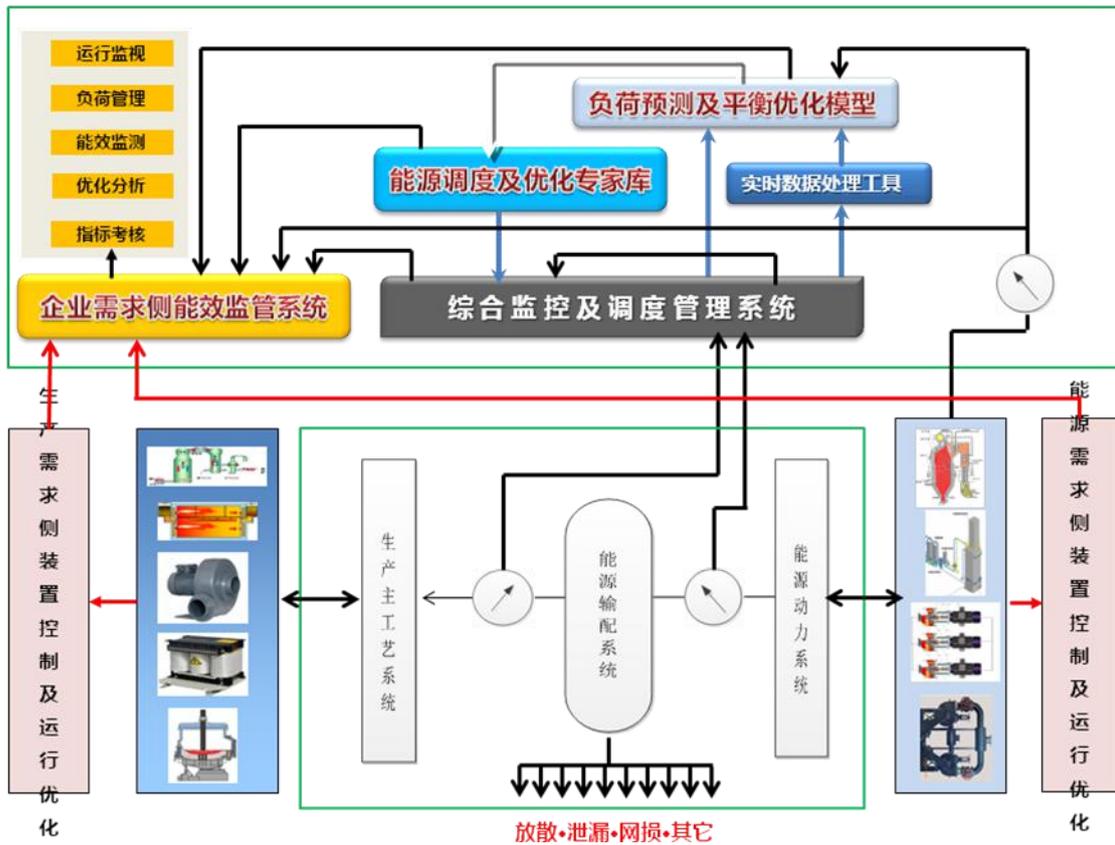


图 1 能源需求侧管理结构图

五、主要技术指标

技术类别	技术名称	主要技术参数
能源管理中心	系统节能技术	冶金节能指标：煤气（高炉、焦炉）放散率（%）、转炉煤气回收率（Nm ³ /t.s）、氧气放散率（%）、蒸汽放散率（%）、等。
需求侧管理技术	制氧优化决策支持系统	优化制定氧气的生产计划，如果已有的空分设备允许在线调节负荷则可以实现在线动态调整，可实现减少 1-5% 的氧气放散。
	烧结风机智能节能电系统	在风机变频运转的基础上进一步提高节电率，系统投用后提高节电率 2%。
	高压水除磷智能节能控制系统	在原设备纯工频运行情况下，通过变频改造，可实现 30% 以上的综合节电率。
	加热炉自动燃烧控制系统	坯料预测温度与实际温度偏差 15℃ 以内；坯料出炉温度与目标温度偏差在现有基础上减低 5℃ 以上；在正常生产及同等工况情况下，预计吨钢热耗折算成标煤后可减

		低 5%-10%；在正常生产及同等工况情况下，预计可降低氧化烧损 0.15%以上。
	热风炉自动优化烧炉专家系统	在保持煤气用量不增加情况下，可提高平均风温 15-20℃以上；在维持原有平均风温情况上，可节省煤气用量 5%以上。

六、典型应用案例

应用单位：邯郸钢铁集团有限责任公司

技术提供单位：上海宝信软件股份有限公司

节能改造前用能情况：定位于建设集东、西区生产管控、物流管控、能源管控多调合一的高度集成管理模式。搭建公司能源管控信息化平台，实现公司能源、生产、物流管理的可视化、集成化、操控智能化、能效最大化。在公司工序能耗降低、提高自发电比例、CO₂减排优化等方面发挥重要的作用。节能改造内容：数据采集、实时调控、实时数据平台的建立、实时数据再现、历史数据的分析、报表生成、WEB 服务、能源数据分类查询、能源量参数分类统计、优化分析、平衡预测等功能，最终通过与 ERP 及 MES 接口网络实现与 ERP 及 MES 的数据信息交换。邯钢管控中心系统研发与应用，立足于结合邯钢现有技术和信息化平台，在技术提供单位软件框架基础上自主创新，开发和应用了河北省首家集物流、信息流和能源流“三流合一”的管控系统平台。采用该技术后，每年可节约 10000-50000tce。节能改造投资额：3000 万-8000 万元，项目实施后，累积取得经济效益 4708.4 万元/年，该项目按设计方案的总投资为 9000 万元，投资回收期为 2.5 年。

七、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 60%，预计投资总额 10 亿元，节能能力 270 万 tce/a，减排能力 713 万 tCO₂/a。

51 矿热炉节能技术

矿热炉节能技术之一：低压动态无功补偿技术

一、技术名称：矿热炉节能技术之一低压动态无功补偿技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 铁合金及化工行业电石、铁合金等高耗能行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前该技术可实现节能量 100 万 tce/a，减排约 264 万 tCO₂/a。

四、技术内容

该技术根据电炉冶炼系统无功功率和谐波电流的实际问题和特点，提出科学、先进的技术解决方案，使得电炉冶炼系统在冶炼过程中交流母排、电炉装置等部分需要的无功功率，不需要经过低压交流侧通过交流母排、变压器、供电网络流转后和一次侧电网或高压侧的无功补偿装置交换；通过动态实时综合控制，使无功功率大部分的交换发生在电炉低压交流侧无功功率补偿装置中，达到动态实时补偿无功功率的目的，减小无功电流和总电流，能有效动态地控制电炉冶炼系统的无功功率，减小无功消耗。同时，电炉冶炼装置等产生的 5 次、7 次、11 次、13 次、17 次等谐波电流，通过静止无功功率发生器（SVG），利用可控的大功率半导体器件向交流母排注入与谐波电流幅值相等、相位相反的电流，使交流母排上的总谐波电流为零并使无功功率趋于无限小。电炉变压器产生的谐波电流不经过交流母排和电炉变压器流转，大幅度缩短了流转路径、减小了谐波电流幅值和总电流，能有效动态地控制冶炼系统的谐波电流，使得谐波产生的消耗大幅度减小。

总之，通过连接在低压交流侧无功补偿和静止无功功率发生器（SVG）的作用，有效降低了无功功率和谐波电流的流转路径和交换幅值，并通过减小三相功率不平衡，解决企业电耗高、效率低的问题。

五、主要技术指标

- 1.补偿系统进入自动投切模式后，功率因数最高可达到 0.98；
- 2.补偿系统投入前后三相有功功率的偏差小于单项平均功率的 5%，即系统三相功率不平衡≤5%；
- 3.超标谐波电压与谐波电流均不超过国家标准；

4.补偿系统进入自动投切模式后功率有功功率增加 16%以上;

5.补偿系统进入自动投切模式后无功功率减小 40%以上。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

目前已经推广应用的矿热电炉 130 台以上，占总数的 10%左右。

七、典型项目投资额及效益:

25000kVA 矿热电炉投资额 350 万元，12500kVA 矿热电炉投资额 150 万元。项目节电量按 25000kVA 矿热电炉冶炼 75 硅铁计算 540 万-1440 万 kWh/a。

八、推广前景及节能减排潜力

我国现有大中小型铁合金矿热电炉 3000 多台，今后随着淘汰小电炉和新上电炉大型化，基本上大中型矿热电炉都可应用该项技术，总的节能潜力 50 亿 kWh 左右。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 30%，节能能力 150 万 tce/a，减排能力 396 万 tCO₂/a。

矿热炉节能技术之二：组合式电极系统

一、技术名称：矿热炉节能技术之二组合式电极系统

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 铁合金及化工行业电石、铁合金等高耗能行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前该技术可实现节能量 100 万 tce/a，减排约 264 万 tCO₂/a。

四、主要技术内容：

1.结构特点

(1) 导电元件与电极的接触是平面接触，改变了铜瓦与电极的弧面接触，改变了导电方式；

(2) 电极压放系统采用了液压卡钳，直接卡在电极的筋片上，结构简单，体积小。

2.技术效果

(1) 改善了导电性能，提高了导电率；

(2) 电极压放时不用减负荷，提高了矿热炉的有效运行率；

(3) 由于导电的筋片伸入电极糊内，电极烧结好，基本不发生电极软断；

(4) 电极压放准确，运行稳定、可靠；

(5) 由于导电元件与电极的接触是平面接触，基本没有打电现象。

由于以上原因，电极事故明显减少，设备有效利用率明显提高。

五、技术条件

1.电极壳制作安装精度要求高；

2.导电元件的制作安装精度高，要保证导电元件与电极壳筋片之间紧密接触并能滑动；

3.电极烧结高度掌握准确，不发生过烧。

六、典型项目投资额及效益：

6300kVA 矿热炉 160 万元；12500kVA 矿热炉 250 万元；25000kVA 矿热炉 310 万元。单位节能量按冶炼 75 硅铁计算 400-800kWh/t。项目节能量按 25000kVA 矿热炉计算 800 万-1600 万 kWh。

七、推广前景及节能减排潜力

我国现有大中小型铁合金矿热电炉 3000 多台，今后随着淘汰小电炉和新上电炉大型化，基本上大中型矿热电炉都可应用该项技术，总的节能潜力 50 亿 kWh 左右。预计

未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 30%，节能能力 150 万 tce/a，减排能力 396 万 tCO₂/a。