



CISDI 做首选能源环保工程技术服务商

制冷技术在高炉鼓风脱湿系统中的应用

2021年04月

报告人：刘旭

中冶赛迪工程技术股份有限公司



1

高炉鼓风脱湿系统

2

鼓风机参数简介

3

鼓风脱湿工艺

4

工程实践项目

5

经济效益分析

6

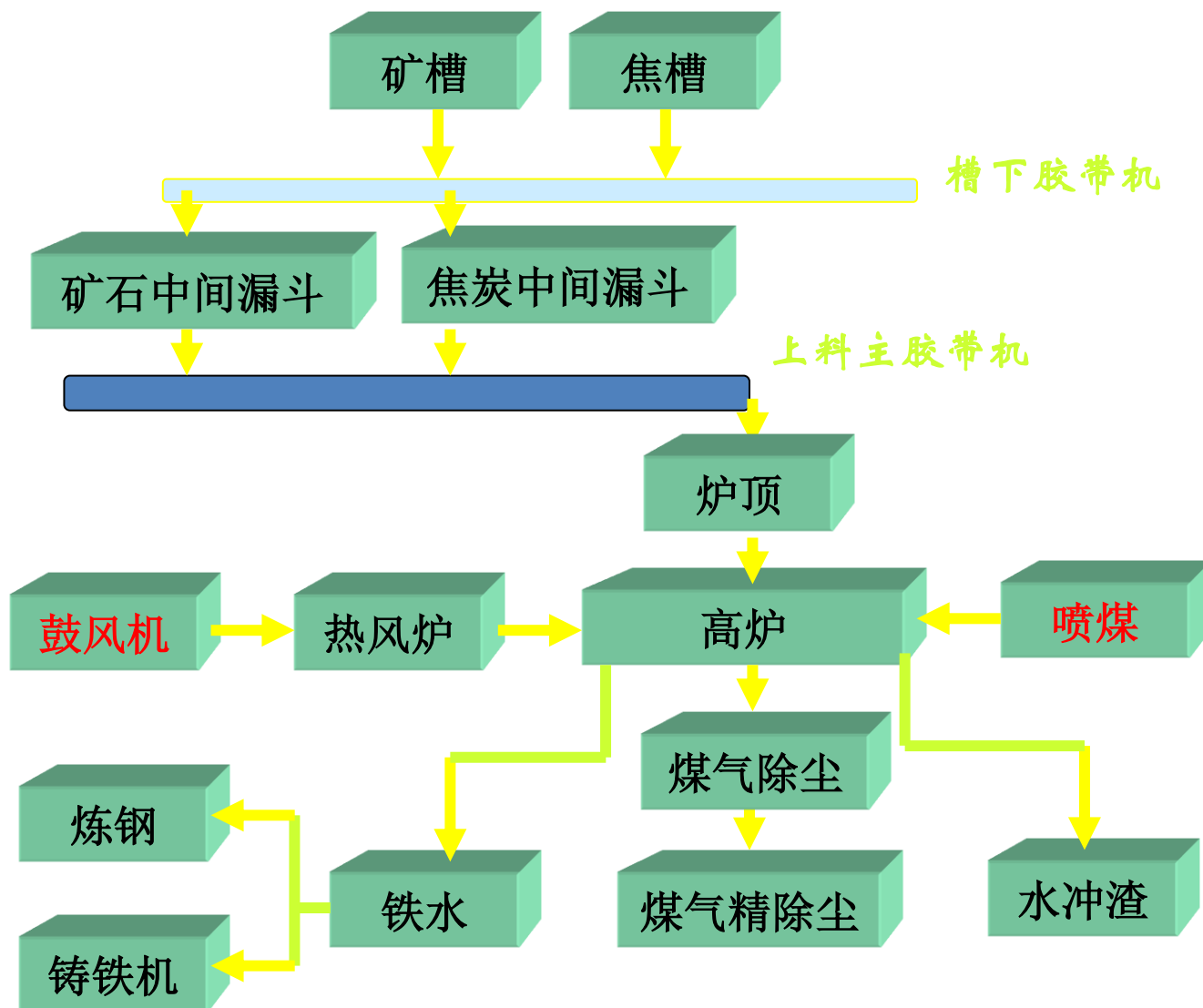
结论及问题



1 高炉鼓风脱湿系统



高炉炼铁生产流程





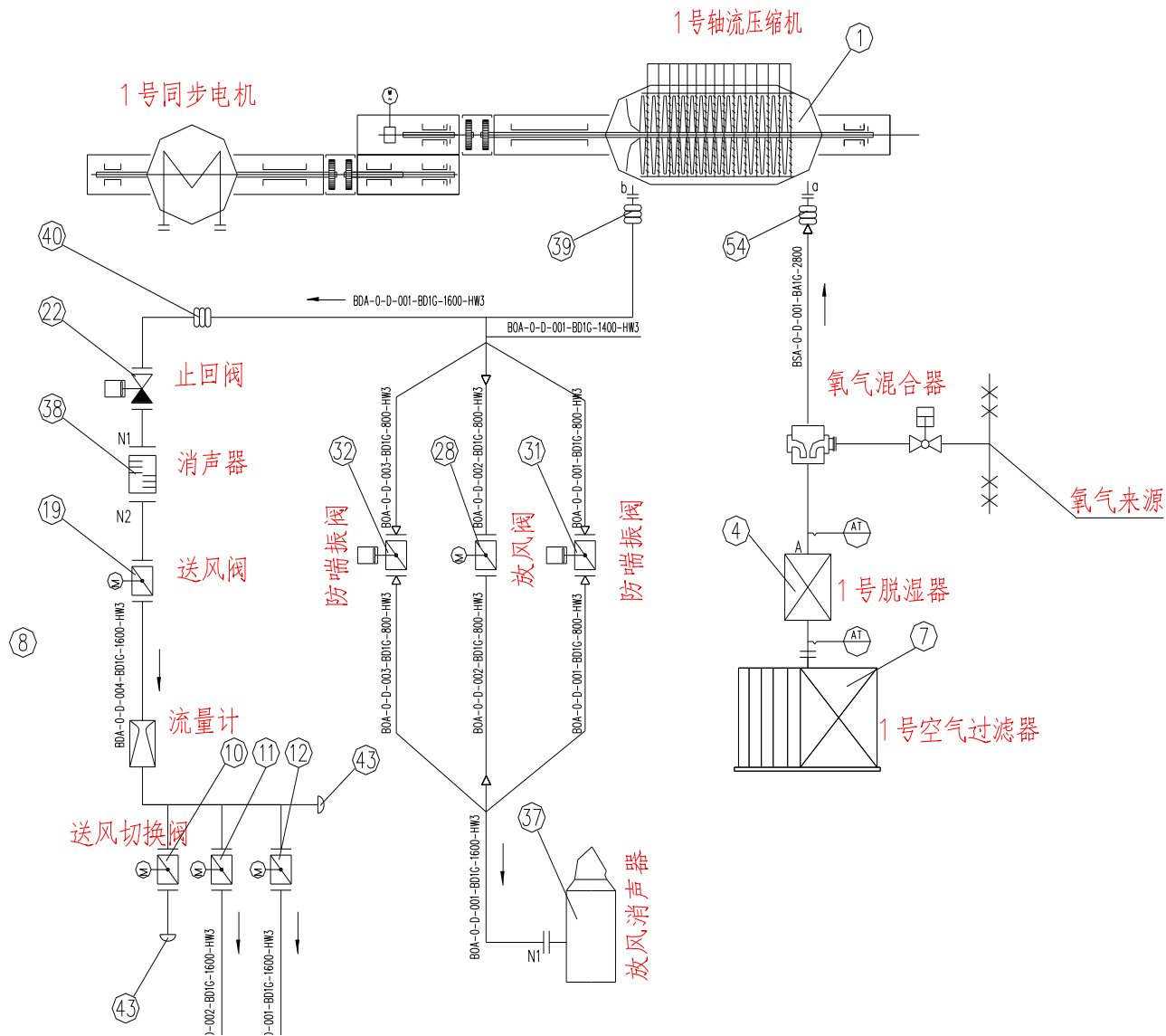
1 高炉鼓风脱湿系统



□ 高炉鼓风脱湿系统组成

高炉鼓风系统是由脱湿器、（富氧设备）、鼓风机、热风炉和冷、热风管等组成。鼓风通过冷风管进入热风炉预热，再经热风管送到高炉风口进入高炉，以保证高炉中燃烧的焦炭和喷吹的燃料所需的氧气。





机前鼓风脱湿系统图

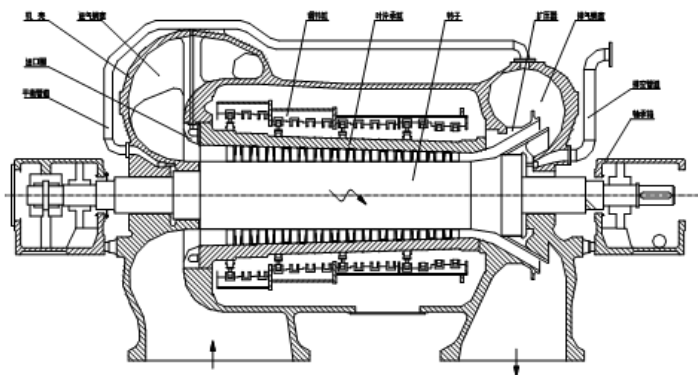


2 鼓风机参数

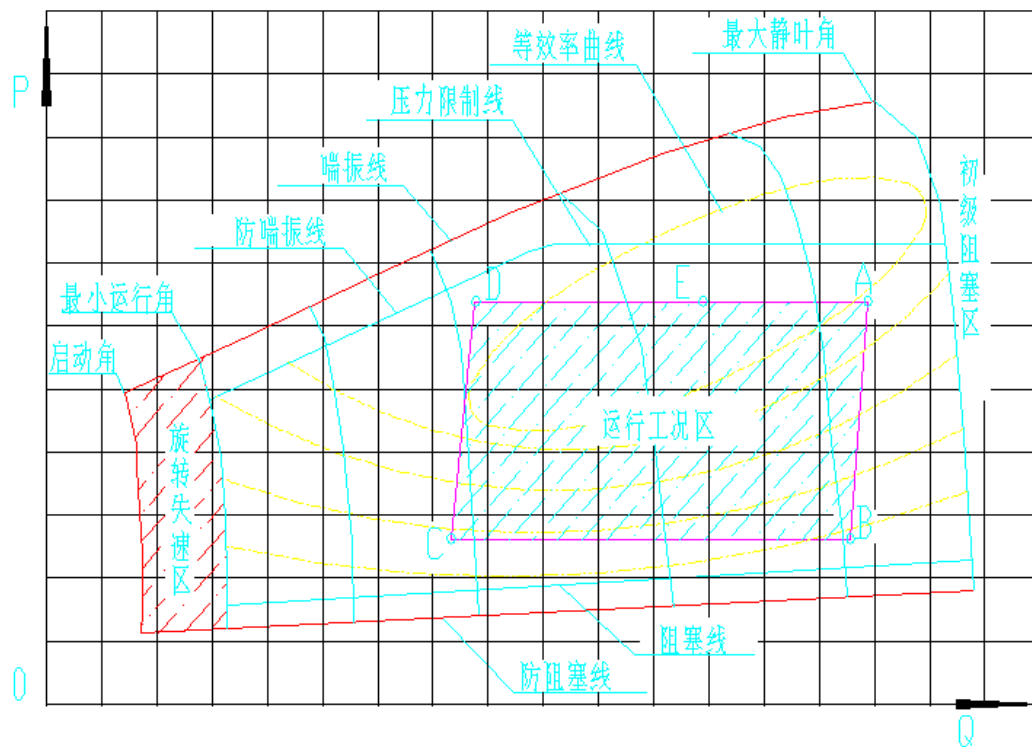
AV 系列轴流压缩机性能参数表（空气）

型号	级数	压比	吸入流量 $\times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{h}$	吸入流量 Nm^3/min	功率 $\times 10^3 \text{ kW}$	转数 r/min	高炉容量 m^3
AV40	9-18	2.7-7.2	70-85		34-80	8833	
AV45	9-18	2.7-7.2	85-110		40-100	7852	
AV50	9-18	2.7-7.3	110-135		50-130	7066	
AV56	9-18	2.7-7.3	135-165	2250-2750	62-160	6309	700-900
AV63	9-18	2.7-7.3	165-215	2750-3583	80-200	5608	1000-1500
AV71	9-18	2.7-7.3	215-275	3583-4853	100-270	4976	1500-1780
AV80	9-18	2.7-7.3	275-350	4853-5833	135-330	4417	2000-2500
AV90	9-18	2.7-7.3	350-425	5833-7083	170-410	3926	3000-4000
AV100	9-18	2.7-7.3	425-550	7083-9167	210-510	3533	4000-4500
AV112	9-18	2.7-7.3	550-680	9167-11333	270-650	3153	5000级
AV125	9-18	2.7-7.3	680-850		340-800	2827	
AV140	9-18	2.7-7.3	850-1050		400-900	2524	

2 鼓风机参数



轴流压缩机典型剖面示意图



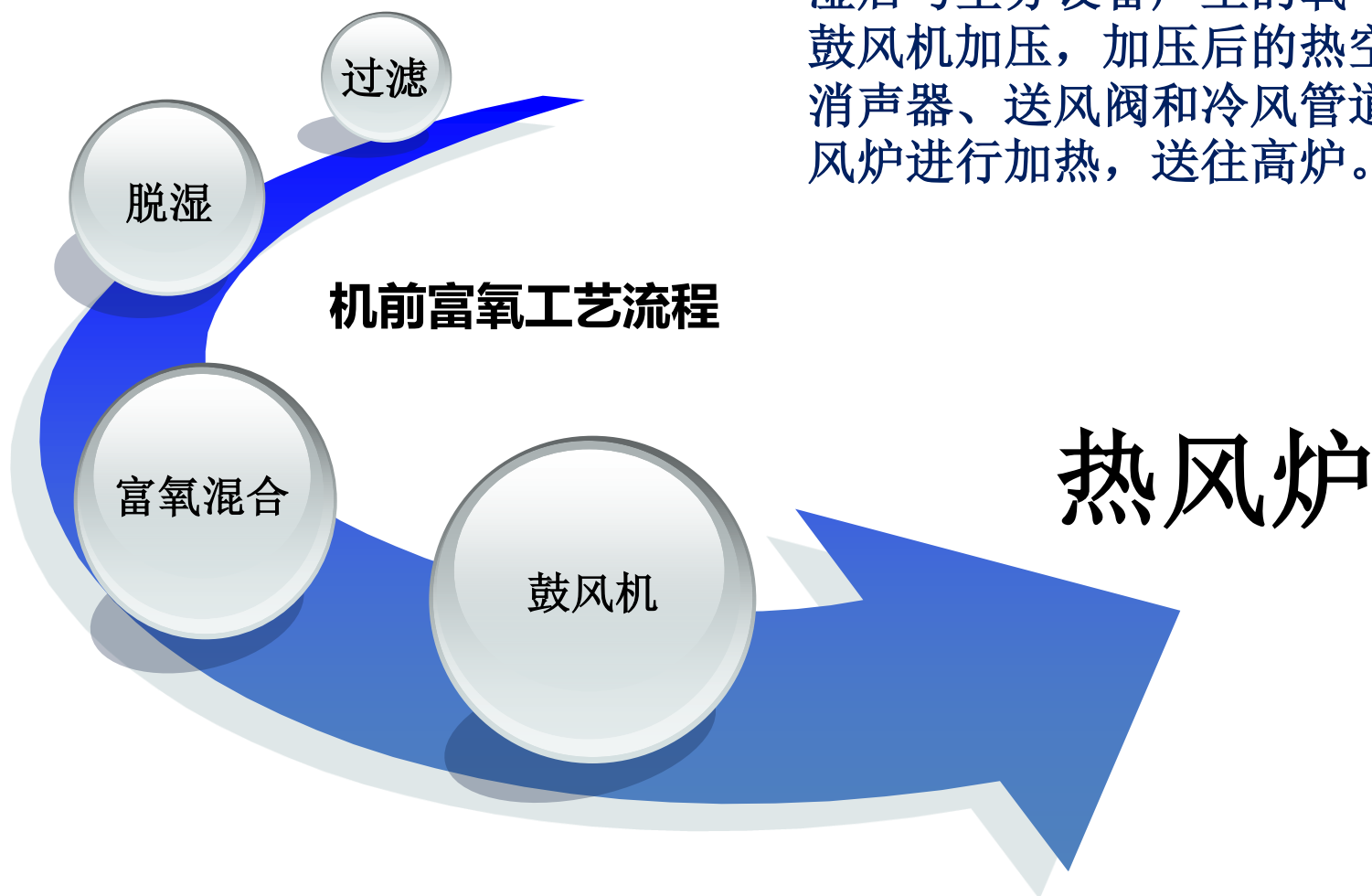


3 机前鼓风脱湿工艺

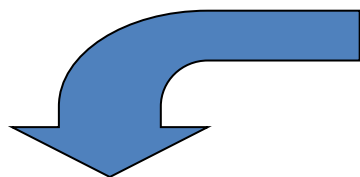
◆ 流程:

空气经过滤装置过滤、脱湿装置脱湿后与空分设备产生的氧气混合送入鼓风机加压，加压后的热空气经出口消声器、送风阀和冷风管道后送往热风炉进行加热，送往高炉。

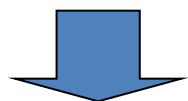
机前富氧工艺流程



除湿设备



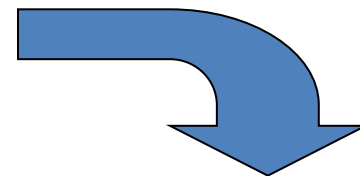
水分量的减少



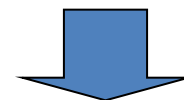
节约焦碳

去除水分 10 g /Nm³

可以节约焦碳 8~12kg/TP



稳定的水分量



稳定铁的品质

大气中水分的变化量

1年时间内 15~20 g /Nm³

1日内 最高 5~7 g /Nm³

最低 1~2 g /Nm³



3 鼓风脱湿工艺

□ 为什么采用脱湿技术

脱湿工艺

对高炉影响

- 一般而论降焦比 $0.8 \sim 1.0 \text{ Kg/t}(1 \text{ g/Nm}^3)$
- 提高炉温 $6 \sim 9 \text{ }^\circ\text{C} / (1 \text{ g/Nm}^3)$
- 湿度稳定有利高炉顺行而增产
- 鼓风含湿量下降使炉腹煤气量减少，高炉可多受风（质量流量）而增产
- 可多喷煤粉 $1.7 \text{ Kg} / (1 \text{ g} / \text{Nm}^3)$
- 高炉生产“四季如冬”

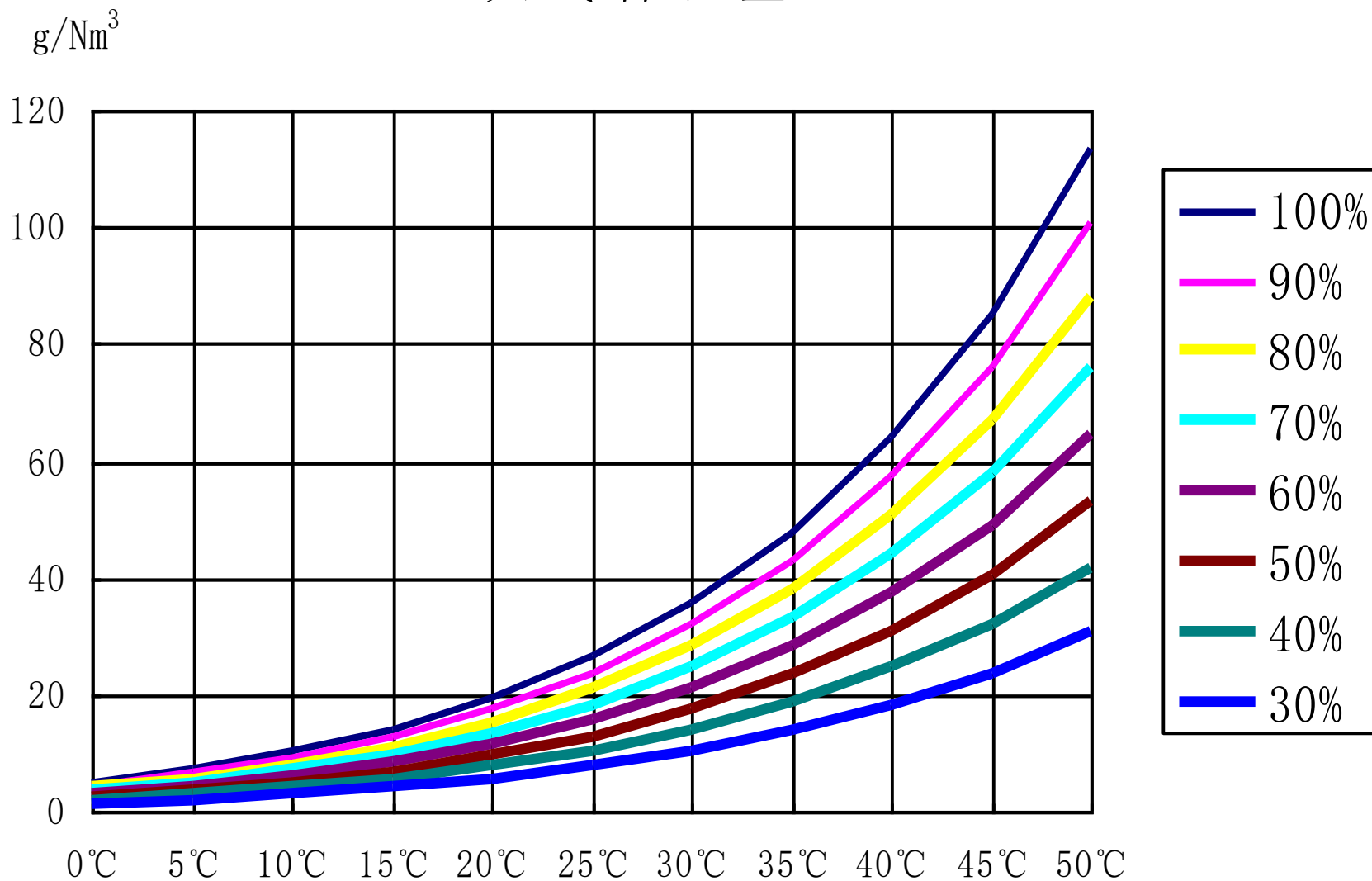
对鼓风机影响

- 若保持质量流量不变，轴功率减少 $5\% \sim 15\%$;
- 彻底解决叶片、叶轮磨损问题。
- 可以改变原有风机性能工况点，减少放风损失。



3 鼓风脱湿工艺

大气含湿量





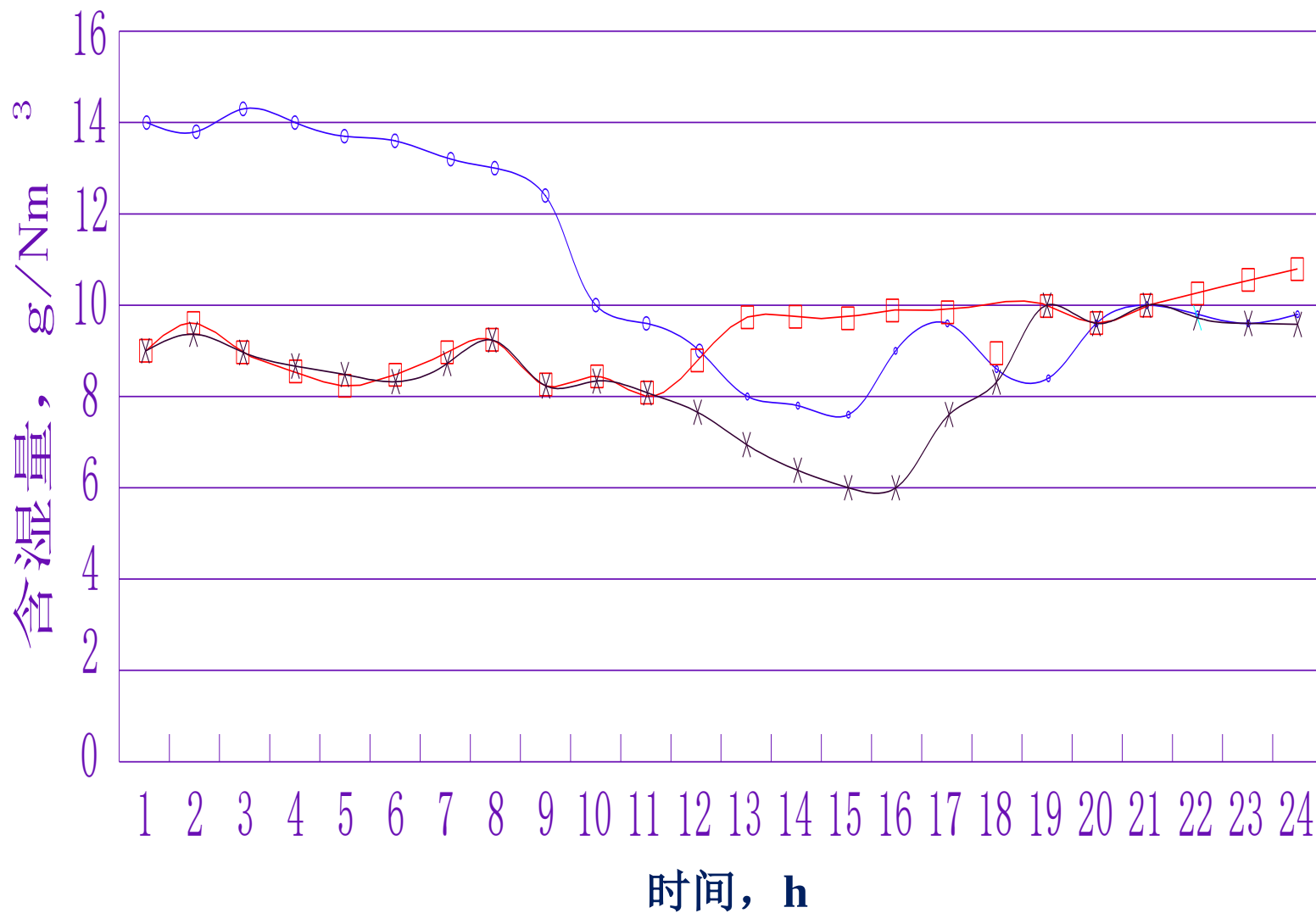
3 鼓风脱湿工艺

空气含湿量 (P=101.325 kp)

湿度 温度	单位	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%
0 °C	g/ kg	3.81	3.43	3.05	2.67	2.28	1.90	1.52	1.14
	g/ Nm ³	4.93	4.44	3.94	3.45	2.95	2.46	1.97	1.47
5 °C	g/ kg	5.46	4.91	4.36	3.81	3.26	2.72	2.17	1.63
	g/ Nm ³	7.06	6.35	5.64	4.93	4.22	3.52	2.81	2.11
10 °C	g/ kg	7.71	6.93	6.16	5.38	4.61	3.83	3.06	2.29
	g/ Nm ³	9.97	8.96	7.97	6.96	5.96	4.95	3.96	2.96
15 °C	g/ kg	10.77	9.67	8.58	7.50	6.42	5.34	4.26	3.19
	g/ Nm ³	13.93	12.50	11.09	9.70	8.30	6.91	5.51	4.13
20 °C	g/ kg	14.86	13.35	11.83	10.33	8.83	7.34	5.86	4.39
	g/ Nm ³	19.21	17.26	15.30	13.36	11.42	9.50	7.58	5.68
25 °C	g/ kg	20.32	18.23	16.15	14.08	12.03	10.00	7.97	5.96
	g/ Nm ³	26.27	23.57	20.88	18.21	15.56	12.93	10.31	7.71
30 °C	g/ kg	27.53	24.67	21.83	19.02	16.23	13.47	10.73	8.01
	g/ Nm ³	35.60	31.90	28.23	24.60	20.99	17.42	13.87	10.36
35 °C	g/ kg	37.03	33.13	29.28	25.47	21.70	17.98	14.30	10.67
	g/ Nm ³	47.88	42.84	37.86	32.93	28.06	23.25	18.49	13.80
40 °C	g/ kg	49.52	44.21	38.99	33.85	28.79	23.81	18.90	14.07
	g/ Nm ³	64.03	57.16	50.41	43.77	37.23	30.79	24.44	18.19
45 °C	g/ kg	65.92	58.71	51.64	44.72	37.94	31.30	24.79	18.41
	g/ Nm ³	85.23	75.91	66.77	57.82	49.06	40.47	32.05	23.80



3 鼓风脱湿工艺



某钢小时大气湿分的变化



3 鼓风脱湿工艺

脱湿方式比较

- ◆ **化学脱湿** 化学脱湿气体中残余湿量可达2-5 g/Nm³，但化学脱湿系统复杂能耗较大，腐蚀性较高，并且需要有再生热源。
- ◆ **物理脱湿** 物理脱湿（冷冻脱湿法）气体中残余含湿量只能达到相应压力和温度下的饱和含湿量，但流程简单，运行维护方便。



3 鼓风脱湿工艺

冷冻法脱湿 类型

溴化锂蒸汽制冷

- ✓ 蒸汽制冷，耗电低，调节性能好
- ✓ 无运动部件，振动噪音小
- ✓ 有冷水系统，系统较复杂
- ✓ 机组体积庞大
- ✓ 真空泵的真空度要求较高

脱湿器型式：

间接水冷却脱湿器：宝钢、梅山、湛江、台塑等。采用铜翅片管换热器和板翅式换热器。

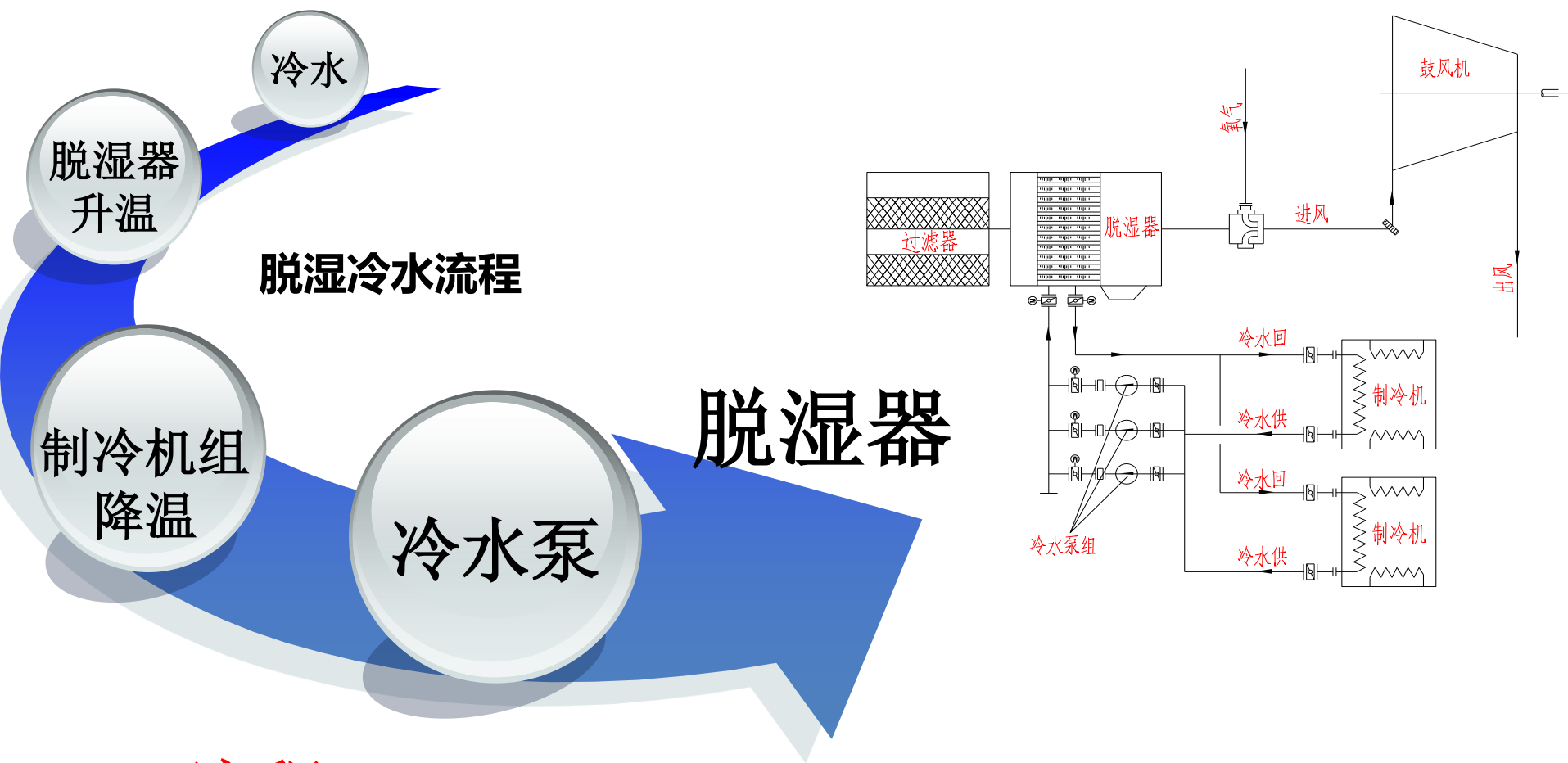
直接蒸发冷却器：曹妃甸、沙钢等，采用板翅式换热器。

电制冷

- ✓ 系统简单、制冷能力大
- ✓ 一定范围内调节性能好
- ✓ 无冷水系统，效率高
- ✓ 结构紧凑、占地面积小
- ✓ 维护管理方便
- ✓ 间接水冷却脱湿器和直接蒸发冷却器



3 鼓风脱湿工艺

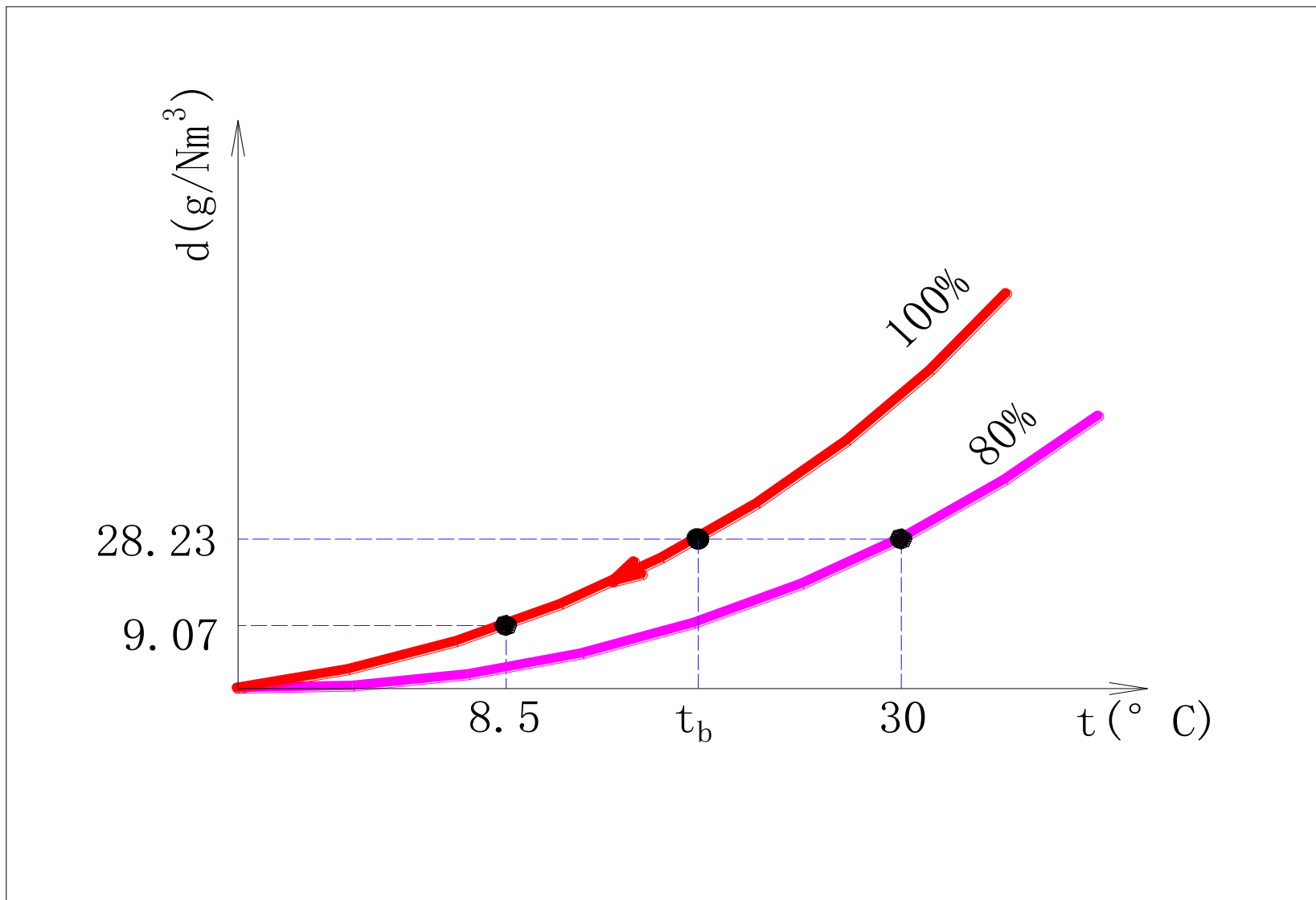


◆ 流程:

制冷机制出的冷冻水由冷水泵送至脱湿器，在脱湿器内吸热升温后又返回制冷机组进行降温。冷冻水系统为闭式循环系统，系统的补水通过膨胀水箱补入系统内。



3 鼓风脱湿工艺



冷冻脱湿原理示意图



3 鼓风脱湿工艺

湛江 5700 m³ 高炉脱湿鼓风装置方案比较表

序号	方案项目	方案一	方案二	方案三	备注
1.	方案特点	电制冷直接冷却，组合式。	电制冷间接冷却，分体式。	蒸汽溴化锂制冷间接冷却，分体式。	
2.	系统特点	制冷剂 R134a 直接在蒸发器中冷却空气除湿，无冷水系统，效率高，系统简单。	电制冷机组制冷出冷水，冷水再送至表面换热器中冷却空气除湿，效率较高，系统较复杂。	蒸汽型溴化锂制冷机组制冷出冷水，冷水再送至表面换热器中冷却空气除湿，效率较高，系统较复杂。	
3.	制冷机组	每套脱湿鼓风装置配 3×400 万 Kcal/h 离心压缩冷机组。	每套脱湿鼓风装置配 3×400 万 Kcal/h 离心冷水机组。	每套脱湿鼓风装置配 2×600 万 Kcal/h 蒸汽型溴化锂冷水机组。	
4.	制冷机组电功率 (1 套)	3×957 KW。	3×957 KW。	2×15。	
5.	蒸汽耗量 (1 套)	0。	0。	2×7.52 t/h。	蒸汽压力 0.6Mpa。
6.	冷水泵 (1 套)	无。	3×135 KW。	2×180 KW。	
7.	每套脱湿鼓风装置机电容量 (1 套)	2871 KW。	3276 KW。	390 KW。	
8.	电容量比较 (1 套)	100%。	114%。	/。	
9.	制冷剂	R134a。	R134a。	H ₂ O。	无氟 新型环保制冷剂。
10.	换热器	铝合金板翅式。	铜合金板翅式 或 铜管连续绕片式。	铜合金板翅式 或 铜管连续绕片式。	铝合金板翅式换热器传热系数大，体积小，是目前世界上最先进的换热器。
11.	循环冷却水 (1 套)	3×965-2895 m ³ /h。	3×965-2895 m ³ /h。	2×1716-3432 m ³ /h。	
12.	循环冷却水比较	100 %。	100%。	119%。	
13.	冷冻机房	空气过滤器 除湿机 冷冻机组，三合一组合布置。	另外集中布置，占地约 18×24-432m ² 。	另外集中布置，占地约 18×24-432 m ² 。	
14.	冷水母管管沟	无。	约 2.5×90-225m ² 。	约 2.5×90-225m ² 。	
15.	占地面积 (3 套)	3×(18×12)-648m ² 。	648+432+225-1305 m ² 。	同左。	
16.	占地面积比较	100%。	200%。	同左。	
17.	制冷负荷调节	机组能量调节。	机组能量调节，+流量调节。	机组能量调节，+流量调节。	

18.	冬季防冻。	冬季不必防冻。	冬季应防冻。	冬季应防冻。	宝钢唐山曾发生冻坏换热器事故。
19.	概略建设投资。	100%。	~110%。	~120%。	
20.	技术比较。	技术先进，设计合理。	技术较先进，设计合理。	在有余热蒸汽可利用的场合下，能源利用合理，运行费用省。	
21.	组合式实例。	宝钢 2500 m ³ 高炉，首钢曹妃甸 5500 m ³ ，武钢 8# 高炉 3800 m ³ ，沙钢 5500 m ³ 高炉，莱钢 4000 m ³ 高炉。	宝钢 4000 m ³ 高炉，台塑 4350 m ³ 高炉。	马钢 2500 高炉。	

直接蒸发冷却优点是价格比间接冷却便宜一些，占地小，但存在冷量分布不均匀，铝合金板翅式换热器寿命小于铜翅片管换热器。



4 应用项目 之一

◆ 梅山钢铁1、3号高炉易地大修技术改造工程

◆ 风量及功率

鼓风站内设置静叶可调轴流鼓风机2台，1运1备。鼓风机A点风量为 $7310 \text{ m}^3/\text{min}$ （标态），出口压力 0.58 MPa （A），压比5.99，汽机最大功率 43000 kW 。

◆ 机前富氧脱湿

采取机前富氧方式，富氧率为3%。采用机前脱湿鼓风工艺，夏季脱湿器出口空气湿度 $\leq 12 \text{ g/m}^3$ （标）；制冷方式为溴化锂吸收式制冷。





4 应用项目之一

◆ 梅山钢铁1、3号高炉易地大修技术改造工程

□ 鼓风机

鼓风机的最大风量为7310m³/min，最大压比为5.986。鼓风机选用静叶可调轴流式汽动鼓风机，型号AV90-16，额定转速为3700r/min。

□ 脱湿器

脱湿器换热器采用铜管连续翅片式，夏季时脱湿器出口的空气湿度<12 g/m³（标），脱出水分~10t/h。

□ 制冷机组

制冷机采用溴化锂吸收式冷水机组，数量2台，单台最大制冷量为600×104kcal/h，所需饱和蒸汽压力为0.8MPa，温度~175℃。

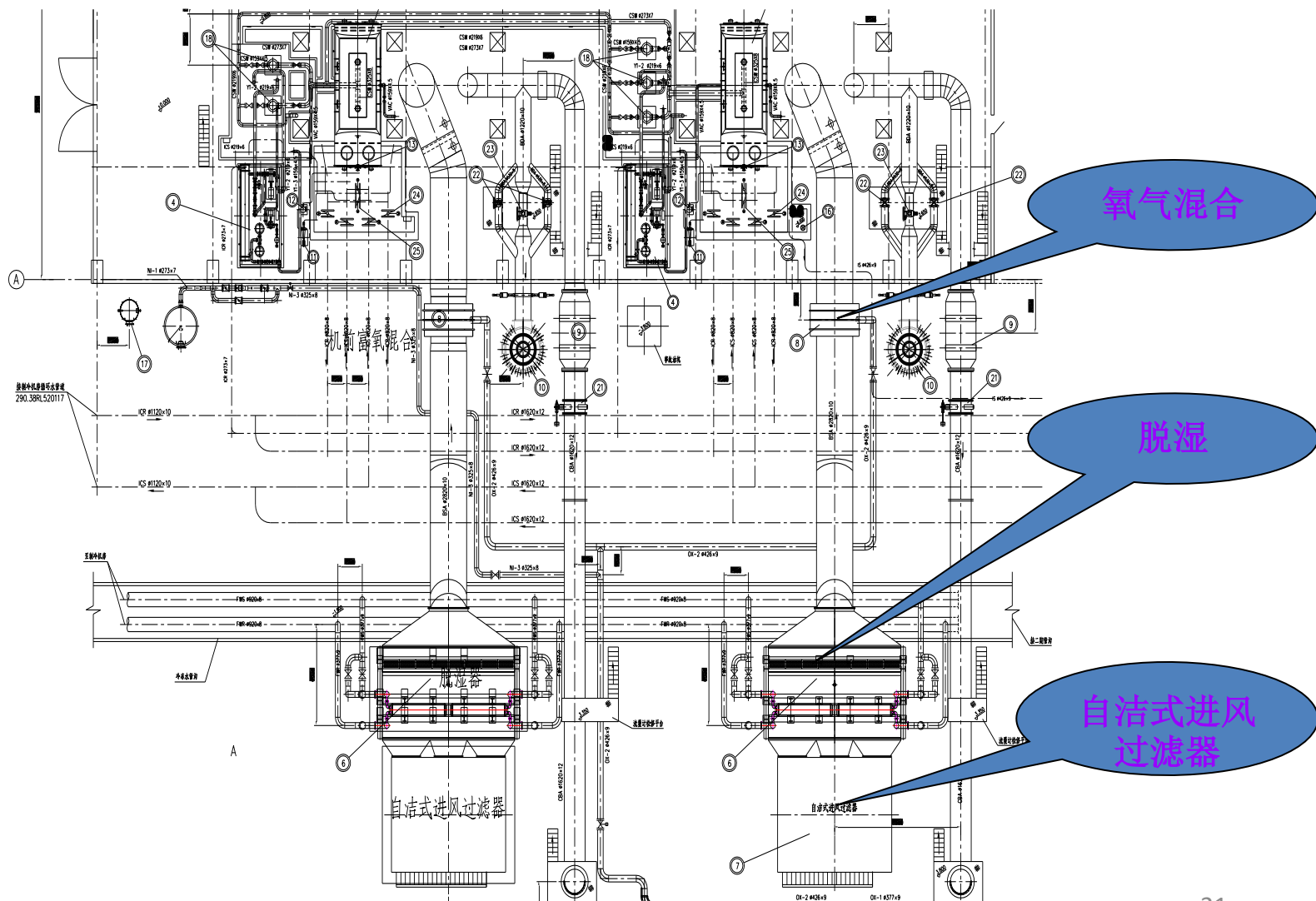
设计温度：：夏季空调温度35℃，相对湿度：81%

运行工况点	夏季		冬季		年平均
	A	B	C	D	E
冶炼强度	1.19	1.05	0.74	0.85	1.05
炉顶压力 MPa	0.25	0.03	0.03	0.25	0.25
所需风机风量 m ³ /min(标态)	7310	6521	4173	5073	5921
所需风机风量 m ³ /min	8692	7754	4198	5104	6464
风机入口压力 MPa(A)	0.096 97	0.096 97	0.099 09	0.099 09	0.098 11
风机出口压力 MPa(A)	0.580 47	0.360 47	0.362 59	0.582 59	0.581 61
风机压比	5.986	3.717	3.659	5.879	5.928
机前富氧量 m ³ /min(标态)	242.9	216.7	138.7	168.6	196.7
考虑富氧后风机风量 m ³ /min(标态)	6396	5706	3651	4439	5181

4 应用项目 之一

◆ 梅山钢铁1、3号高炉易地大修技术改造工程

鼓风站平面布置图

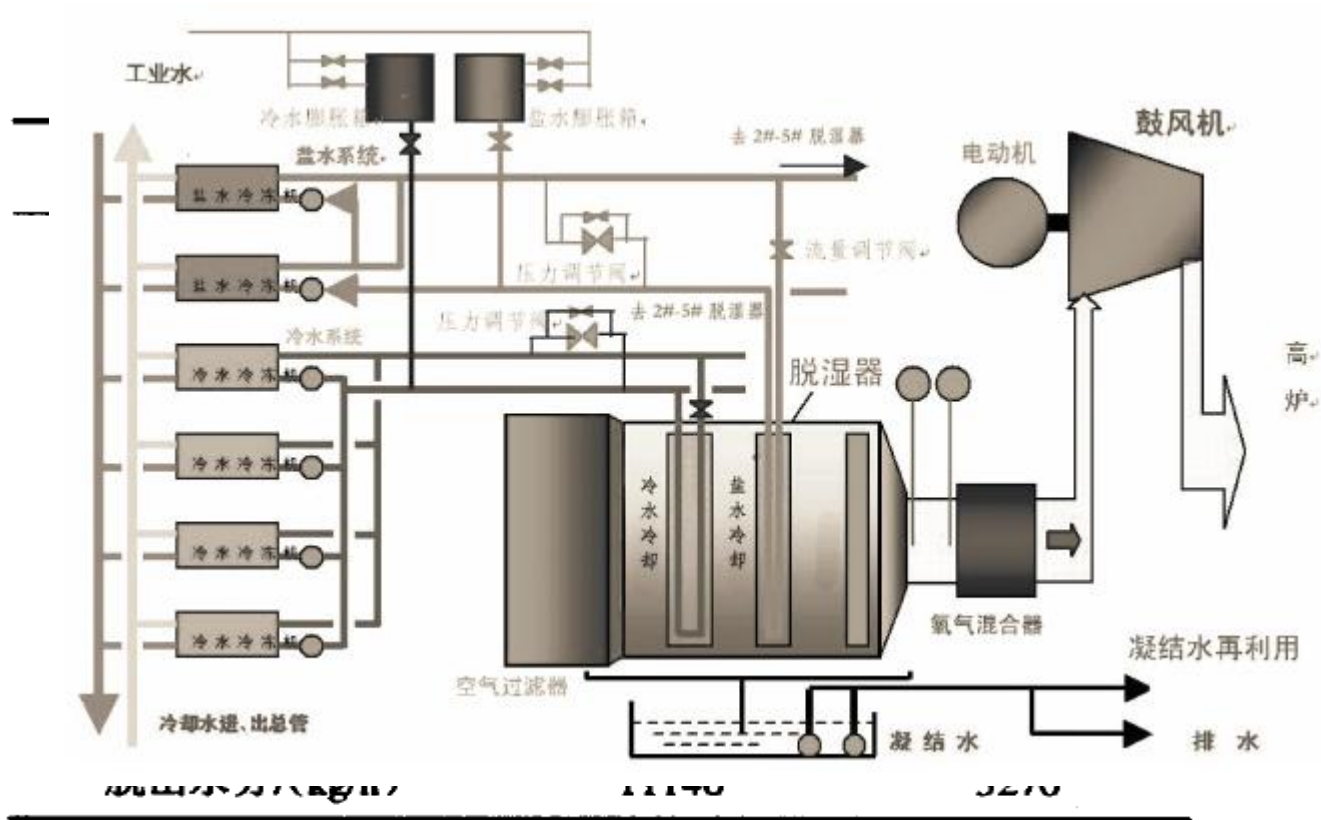


◆ 梅山钢铁1、3号高炉易地大修技术改造工程



4 应用项目 之二

◆ 宝钢股份高炉鼓风机站改造工程（5号电鼓）



- 这是宝钢一期、二期时的脱湿系统，采用两级冷却，一级为14/9℃。二级为7/3℃，一级为常规冷水机组，二级为盐水机组。



4 应用项目

◆ 宝钢股份高炉鼓风机站改造工程（5号电鼓）

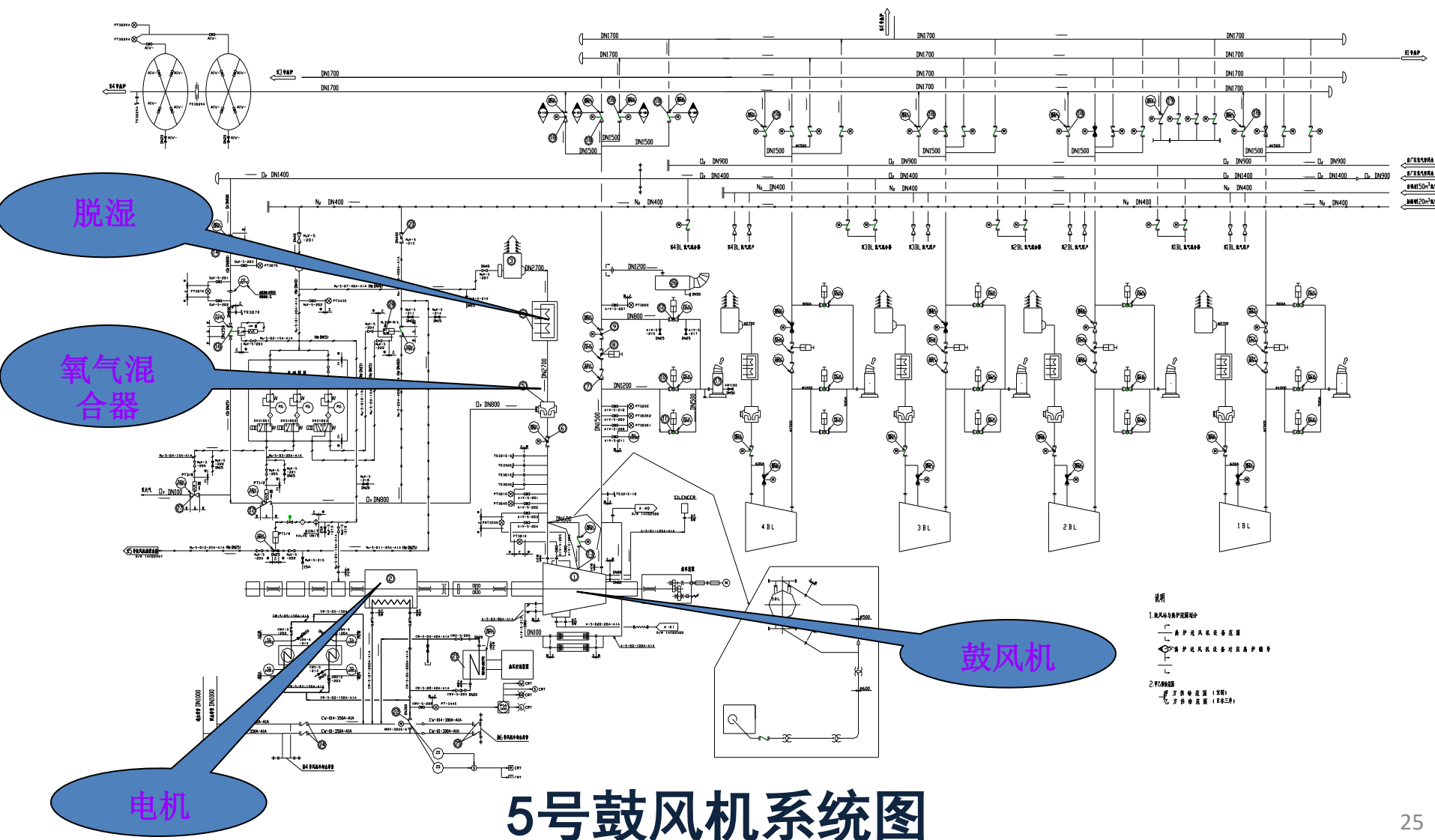
表 1 宝钢脱湿装置主要参数

参数	夏季月平均最高 (设计条件)	脱湿期平均
空气量/(m ³ /min)	7900	7900
入口温度/℃	32.0	16.0
入口相对湿度/%	83	80
入口含湿量/(g/m ³)	32.5	17.4
出口温度/℃	8.5	2.5
出口含湿量/(g/m ³)	9.0	6.0
需要冷量/(kcal/h)	10290000	3972000
脱出水分/(kg/h)	11140	3270

- 每年3月至11月运行，年运行时间约为9个月，可根据气候适当调整。
- **设计温度：**：夏季空调温度34℃，相对湿度：83%

4 应用项目之二

◆ 宝钢股份高炉鼓风机站改造工程（5号电鼓）





◆ 宝钢股份高炉鼓风机站改造工程（5号电鼓）





◆ 宝钢股份高炉鼓风机站改造工程（5号电鼓）





4 应用项目之二

◆ 宝钢股份高炉鼓风机站改造工程（5号电鼓）





4 应用项目之三

◆ 台塑1号2号高炉工程总承包

风机脱湿参数表

◆ 概况

在电动鼓风站内设有3台静叶可调轴流式电动鼓风机，2运1备每台鼓风机设有1台脱湿器，3台脱湿器由鼓风站外的集中制冷机房提供冷冻水。

项 目		工 况		
		夏季最高(设计条件)	年平均最高	年平均
空气量 (Nm ³ /min)		7635	7635	6746
入 口	温度 (°C)	33.9	24.6	24.6
	相对湿度 (%)	68	84.8	84.8
	含湿量 (g/Nm ³)	26.3	19.63	19.63
出 口	温度 (°C)	17.59	10.98	10.98
	含湿量 (g/Nm ³)	15	10	10
需要制冷量 (kJ/h)/(kcal/h)		24.926×10 ⁶ /595 ×10 ⁴	20.37×10 ⁶ /487 ×10 ⁴	17.97×10 ⁶ /430 ×10 ⁴
脱除水分 (kg/h)		约6000	约4854	约4289

◆ 脱湿系统

脱湿系统采用两级间接冷却脱湿系统，其能力按二座高炉脱湿鼓风要求设计。脱湿系统使鼓风机在年平均工况和最大风量条件下吸入空气含湿量≤10g/m³，以满足高炉生产要求。

设计温度：：年平均含湿量

高炉鼓风站-脱湿系统主要设备

空气脱湿器:

冷却器型式: 铝合金板翅式

最大处理风量: $7635\text{Nm}^3/\text{min}$

出口湿度: $10\text{g}/\text{m}^3$ (年平均)

除雾器材质: 不锈钢

数量: 3台

制冷机:

型式: 离心式、水冷机组

单台制冷量: 约 $335 \times 10^4\text{kcal}/\text{h}$

冷冻水温度: $7^\circ\text{C}/12^\circ\text{C}$

电机功率: 约 650kW

数量: 4台

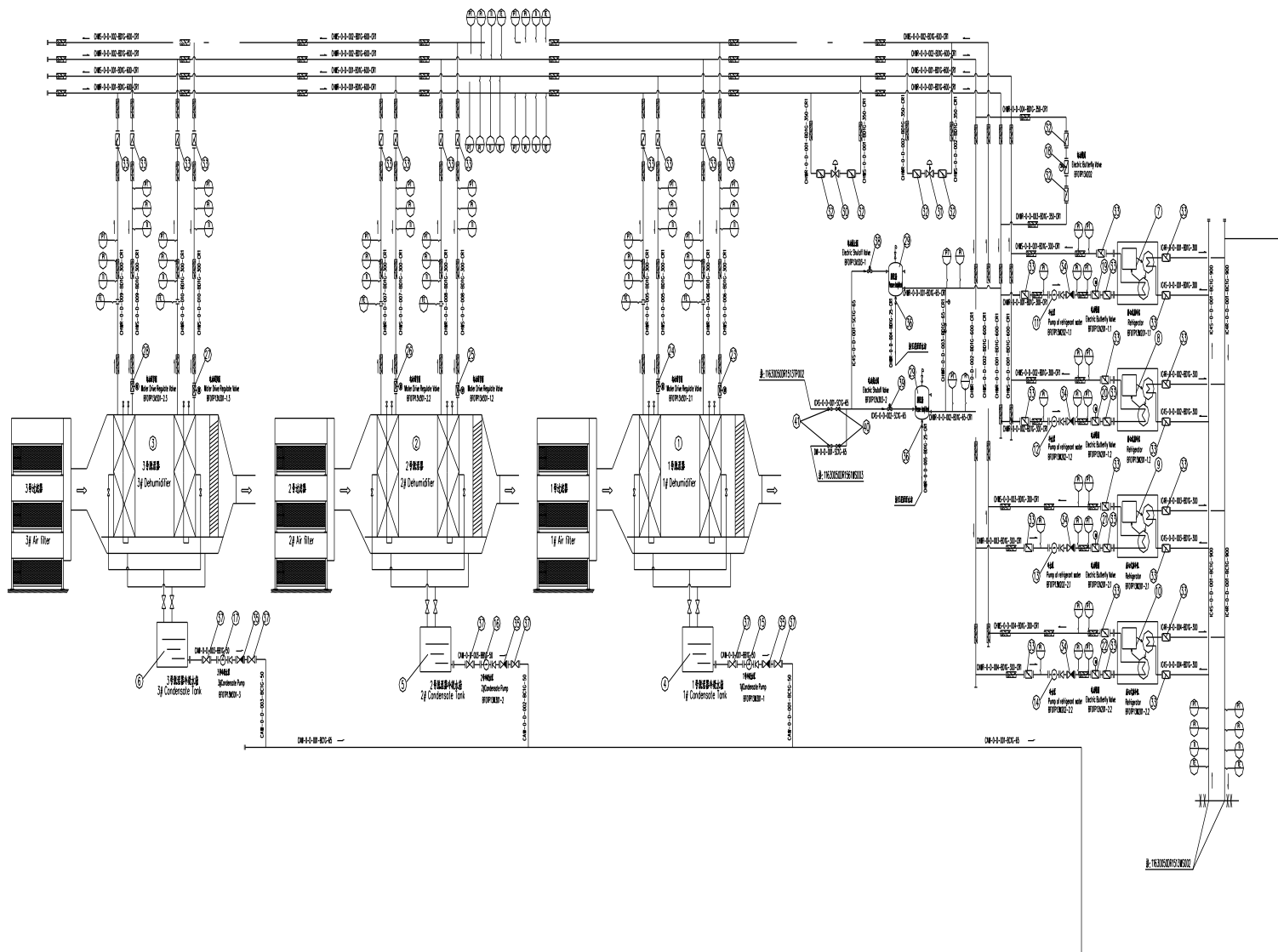




4 应用项目之三

◆ 台塑1号2号高炉工程总承包

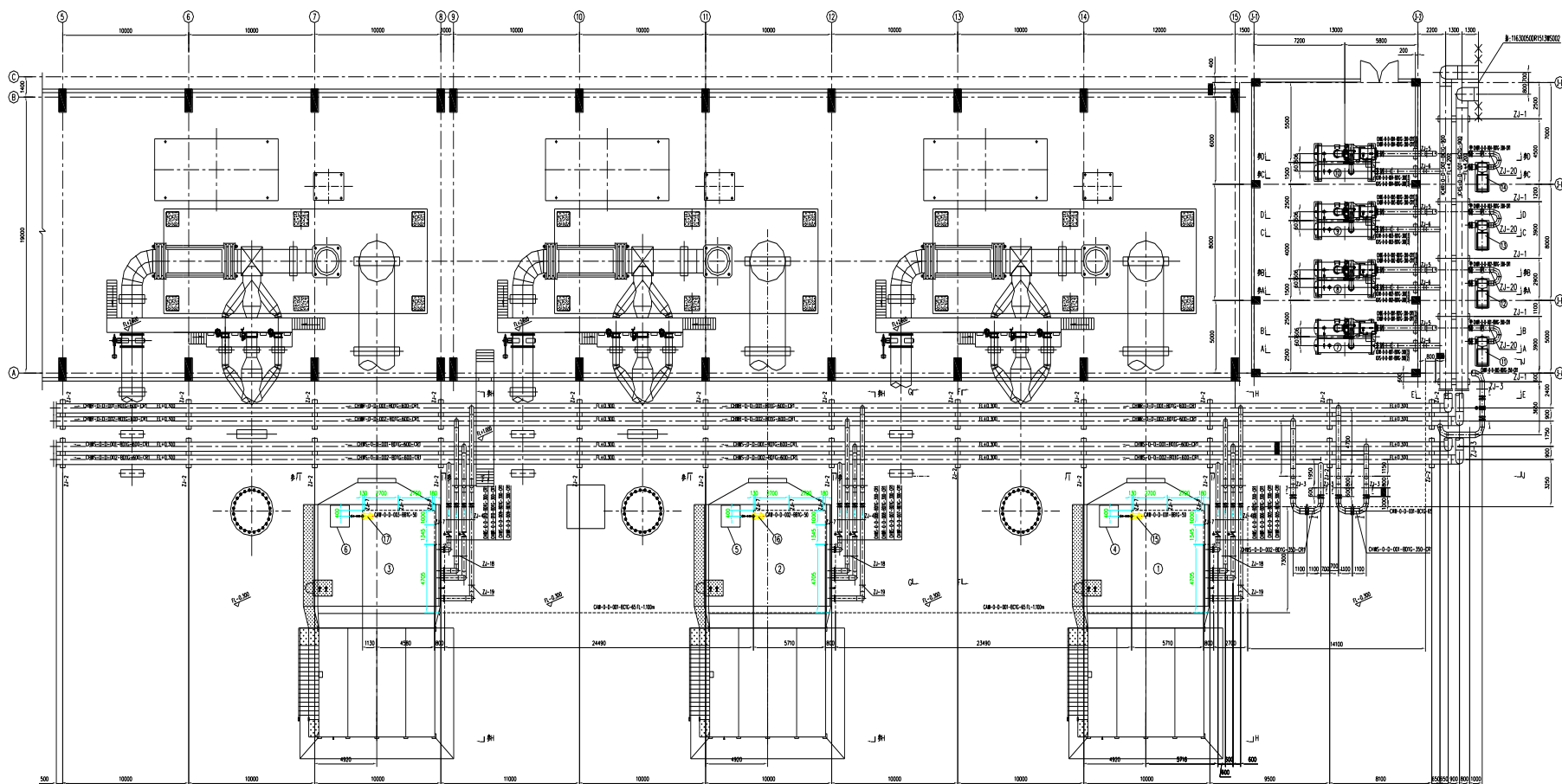
鼓风脱湿系统工艺流程图





4 应用项目之三

◆ 台塑1号2号高炉工程总承包



脱湿系统水管道总布置图



4 应用项目之四

◆ 湛江1号2号高炉工程

◆ 概况

在电动鼓风站内设有3台静叶可调轴流式电动鼓风机，2运1备每台鼓风机设有1台脱湿器，3台脱湿器由鼓风站外的集中制冷机房提供冷冻水。

风机脱湿参数表

表 2.1-1 脱湿器主要技术参数表

项 目		工 况		工 况	工 况
		夏季平均 7 月 (设计条件)	8 月 (校核条件)	4 月 (校核条件)	年平均
空气量 (Nm ³ /min)		8660	8660	8660	8660
入口	温度 °C	35.3	34.9	32.6	23.1
	相对湿度 %	82	85	88	83
	含湿量 g/Nm ³	34.5	34.9	31.9	17.6
出口	温度 °C	13.9	13.9	13.9	13.9
	含湿量 g/Nm ³	12	12	12	12
需要制冷量 MJ/h/kcal/h		54.38×10 ⁶ / 12.99×10 ⁶	54.69×10 ⁶ / 13.06×10 ⁶	47.48×10 ⁶ / 11.34×10 ⁶	16.44×10 ⁶ / 3.93×10 ⁶
脱除水分 (kg/h)		~14356	~14598	~12533	~3392

◆ 脱湿系统

脱湿系统采用两级间接冷却脱湿系统，其能力按二座高炉脱湿鼓风要求设计。脱湿系统使鼓风机在年平均工况和最大风量条件下吸入空气含湿量≤12g/m³，以满足高炉生产要求。

设计温度：：夏季空调设计35.3℃，82%。



4 应用项目之四

◆ 湛江1号2号高炉工程

表 2.1-2 换热器工况参数表

项 目		工 况	
		第一级换热器	第二级换热器
空气量 (Nm ³ /min)		8660	8660
入 口	温度 (°C)	35.3	24
	相对湿度 (%)	82	100
	含湿量 (g/Nm ³)	34.5	21.8
出 口	温度 (°C)	24	13.9
	含湿量 (g/Nm ³)	21.8	12
冷水进/出温度 (°C)		9/15	6/12
需要冷量 (KW/万 Kcal/h)		8567/736	6193/532
脱出湿分 (t/h)		~8.1	~5.9

制冷机台数7台，每台制冷400万卡/H,分为两个系统。两级换热比例约为6:4.

5、经济效益分析

经济效益我们可以通过某钢厂1580m³高炉4800m³/min(标) 风机使用脱湿鼓风新技术项目综合经济效益列表来分析：

序号	项目	单位	数值	备注
1	节焦效益	万元/年	1024	1280×8×1000
2	增产效益	万元/年	512	1280000×4%×100
3	多喷煤粉效益	万元/年	435.2	1280000×0.017×(0.8×1000-600)
	合计	万元/年	1971.2	
4	项目投资估算	万元/年	1500	
5	水电消耗等	万元/年	849.9	未考虑鼓风机的节能效果
6	净效益	万元/年	1121.3	1024+512+435.2-849.9
7	投资回收期	年	<2	

此数据计算的假设条件：

- 1、年产生铁180万吨，其中脱湿期产生铁128万吨，炼铁效益100元/t
- 2、脱湿期平均脱湿量8g/Nm³。3、焦碳价1000元/t,煤粉价600元/t，置换比0.8。



6 结论及问题

- ◆高炉鼓风机机前脱湿对高炉冶炼可以起到稳定炉况的作用，节约焦炭，增加喷煤量，降低冶炼成本。
- ◆可以降低鼓风机的轴功率，对原有的鼓风机性能可以改善，减少放散量。
- ◆鼓风机轴功率减少的能耗远大于脱湿系统制冷机组及循环水系统耗能，因此脱湿鼓风是节能环保的。
- ◆室外设计温度和湿度的选择是脱湿系统能力大小的关键，按夏季空调设计温度和相对湿度进行设计时，脱湿系统的能力往往偏大，现在我们有的工程项目采用当地年平均绝对湿度进行设计时，就比较合适，富余量在5-8%左右。这个问题也是今后在设计中值得探讨的。



感谢您的聆听！