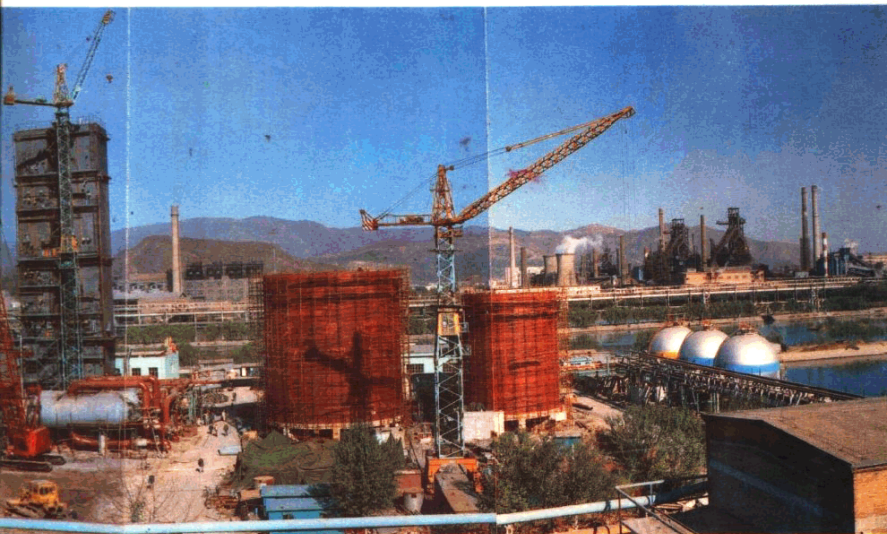


30000Nm³/h制氧

施工与管理



1 30000Nm³/h空分产品的规格和规模

项目	单位	空气量	氧 O ₂	液氧 LO ₂	氮气 N ₂	液氮 LN ₂	液氩 Ar	氖 Ne	氦 He	氪 Kr	氙 Xe
生产能力	Nm ³ /h	160000	30000	600	40000	200	1080	40 Nm ³ /d	11.5 Nm ³ /d	2.45 Nm ³ /d	0.195 Nm ³ /d
工作压力	bar (绝对)	6.5	31	1.9	11	1.03	25	200	200	150	50
成品温度	K	303	290.3	94.6	290.3	80	90	常温	常温	常温	常温
相对湿度	%	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
纯度	%		99.6 (O ₂)	99.6 LO ₂	杂质 <10 ppm	杂质 <10 ppm	杂质 <10 ppm	同左	同左	同左	同左
提取率											
连续工作	年				2 年						
电耗	kW				22228 ± 5 % 短路最小容量240MVA						
水耗	t/h				2950 (温升10℃) 0.830t/h (分子筛平均值, 最大2.6t/h) 氩蒸发量0.52t/h						
气耗					间断需要量: 液氮蒸发9.2t/h, 液氧蒸发7.5t/h						

(设计院 徐文瀛)

2 工艺简介

(1) 生产工艺流程简介

这套空分装置不同于以往的不可逆板式换热器自清除流程, 而是将空气净化采用分子筛吸附 CO₂、H₂O 和 C_nH_m 工艺, 这样一部分设备就变为常温设备, 移出了冷箱, 同时也取消了切换工艺, 而代之以分子筛再生交换。

冷箱内部以精馏为核心, 设置热交换系统, 取消了所有吸取器, 大大减少了低温设备。

透平膨胀机由于没有切换压力波动, 而改为增压机制动做功, 即用部分原料空气加压到 10kgf/cm², 再去膨胀, 所以, 增压机、膨胀机为同轴, 膨胀机所提供的冷量除补

偿冷损外，还为保证增产部分液体产品。

除增压机—膨胀机外，另一特点为增加一个液氧汽化器（空气冷凝器），主冷中部分液氧在此汽化作为产品氧气送出，依靠主冷的位能，使出冷箱的氧压达1.9巴（绝对压力），这样使氧压机省去一次压缩，从而省掉一个机壳（太钢、武钢都是串联两个机壳及两个转子）。

装置还配备了大型液体氧、氮、氩储罐和气体球罐，采用电子计算机自动控制，以及液氧、液氮罐冷状态备用，1.5分钟内即可汽化送氧、氮，因此，即使空分有故障停车，两天内不致影响供气，起到了备用机组的作用。

精馏中氩沸点介于氧、氮之间，在上塔气氧含量约90%处抽取氩馏分进入粗氩塔，塔顶出95%以上含量的粗氩，至常温净化部分，用触媒加氢将氩中氧燃烧成水而除去，净化中含有过量氢，在返回冷箱的精馏塔中因不冷凝收回到粗氩中，精氩塔顶部放掉 N_2 气，底部放出99.999%的纯氩入200M³的液氩储罐，这样可以用多少蒸发多少，减少放空损失。

（2）稀有气体生产流程：

分氮、氦和氩、氙两部分

① 氮、氩因沸点高于液氧，而多存于液氧中，在冷箱中的液氧汽化器上，又有八层塔板进一步减少被氧气带走的氮氩损失至6%。

伴随氮、氩而来的杂质是在空气精馏中尚存的 CH_4 及 N_2O ，两者都具有爆炸的危险性。

氮、氩与氧的分离使通过第一、二、三蒸馏塔不断浓缩，每次蒸馏后，甲烷亦一次次被浓缩，因此，每次蒸馏后都要以铂铑为触媒，加氧燃烧成为 CO_2 和水，再以分子筛吸附除去，过去除 CO_2 都是用碱液及固体KOH处理后，然后用分子筛除水，这次是用分子筛一次除去，这是流程的一大改进。分子筛性能有较大改变。

在三氮塔将氮气提纯，但是，最后剩下的粗氩先以触媒除去 N_2O 、 CH_4 等，然后，在新添的氩精馏塔中间歇蒸馏获得。

由于稀有气体的宝贵，对于间歇蒸馏中馏份的返回再蒸，都做了返回的管线，对于已经很纯的馏份，如氩塔顶部的馏份则用冷冻瓶冻结贮存充瓶，并独立重蒸，以减少反复。

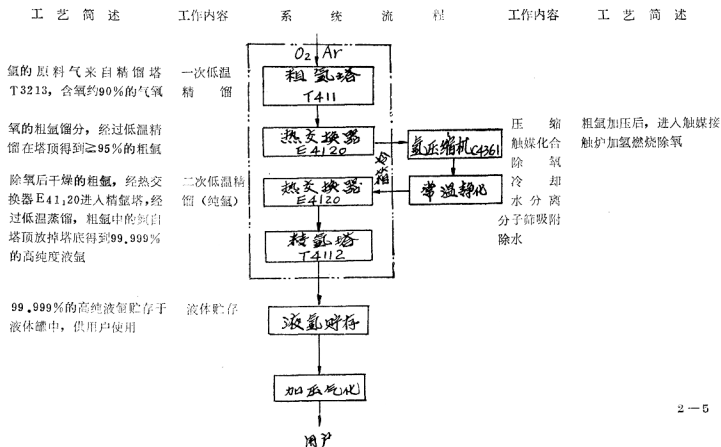
由于装置必需严密的重要性以及低水设备的技巧，这套装置进一步组装化，冠以各种代号，不仅操作更加方便，并且大大提高了提取率。

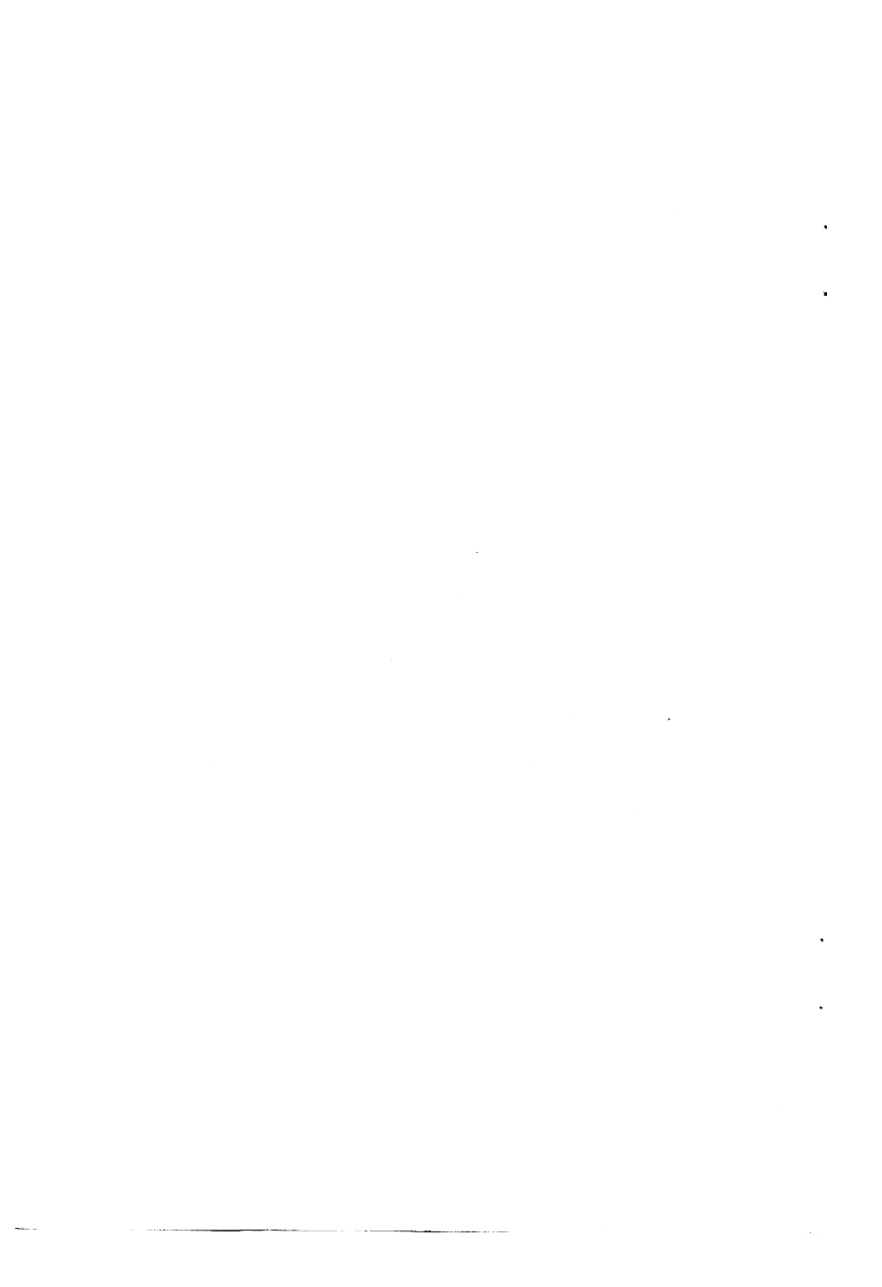
② 氮、氦部分：

氮、氦沸点都低于氮气，故它们都存在于主冷和下塔顶部作为不凝气，抽出此处的纯氮气通过一次精馏，可以浓缩到50%左右，此时，同样为不凝气体的氢气就成为突出矛盾，反其道利用触媒加氧除去，收集起来的氮、氦气用低温液化方式，将氮冷凝分离，然后再进一步用低温冷凝吸附的办法，将氮冷凝以制纯氮，最后氮气再以低温活性炭吸附的方式制出纯氮，各自压缩充瓶。

这套装置各种稀有气体都达到99.999%，这是以往引进装置所达不到的。

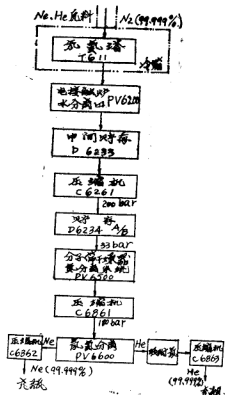
Ar 生产流程图





Ne-He 生产流程

流 程 工 作 内 容 工 艺 简 述



精 馏 氖、氦沸点低，以不凝气体状态存在于主冷凝器E3216和下塔T3211顶部氮气中
氮气经过低温精馏、浓缩氖、氦、氢塔得到粗氖、氦含氢的混合气
馏分：Ne~35%；He~11%；H₂~2.5%；N₂~49%

触媒化合 含氢的粗氖、氦混合气进入触媒接触炉加氧除氢
水 分 离 脱水，水份<1 PPM

贮 存 除氢后的粗氖、氦混合气送入无压气囊D6233贮存；

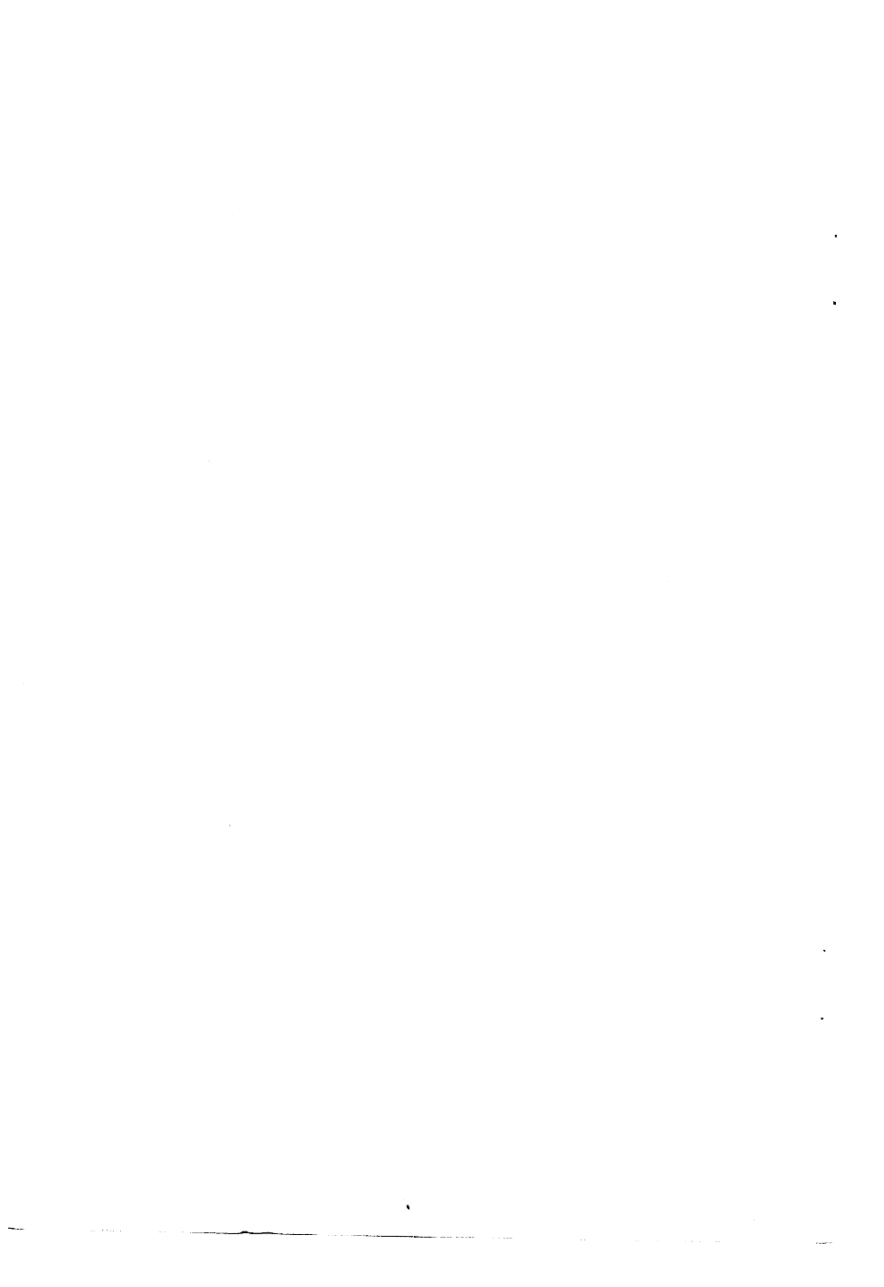
压 缩 压缩机加压至200bar

高压罐内贮存

低温分离氮 由200bar减压至33bar进入PV6500在深冷65°K~30bar氮气低温吸附、冷凝为液氮。分离除氮后氖、氦混合气；Ne~76% He~24%

压 缩

冷凝吸附氮 冷凝氖与氮分离，得到纯氖（99.999%）
含有少量氖的氮，再利用低温活性炭吸附除去氮，得纯氖（99.999%）



这套装置所有压缩机都改用膜式压缩机，亦可说是一大改进。

(设计院 徐文瀚)

3 工艺流程中的先进技术、新设施及新设备

当前空分流程有了很大的改进，常温净化空气的分子筛为新工艺的代表，就此套30000 N m³/h空分装置而言，其较以往设备改进的优点和先进技术、设备简述如下：

(1) 分子筛降低能耗及其他优点

①蓄冷器的空分设备其切换损失为4%，可逆板式为0.5%，而分子筛为0.3~0.4%。

②加工空气量分子筛比可逆板式小2%，但由于使用分子筛，空气压缩机出口压力提高150 mbar，终压高100 mbar，压缩功增加~1%，两项折算，分子筛能耗却是小0.5%。

③由于分子筛工作压力平稳，使增压后的空气进入膨胀机的空气膨胀量相对缩小，(可逆板式膨胀量为15.8%，分子筛为8.8%)空气进入精馏塔的量增加，使精馏塔效率提高，增加产量，氧气为2%，氩气为13.5%，氮气为30~35%。因此分子筛纵然再生需外加低压蒸汽和电热，与可逆板式相比仍然使能耗降低2%。

④由于分子筛是常温净化，可独立于冷箱外，导致冷箱内设备减少，相应也减少冷损，消除冷箱频繁切换、放空噪声及设备振动，延长冷箱内设备使用寿命，而且分子筛操作简便无需象可逆板式要严格控制冷端温差与气流分配。

⑤空分工艺如增产液体而附加再循环时，可逆板式要附加氮再循环，而分子筛可用空气再循环，比氮循环可增产氧3.7%，并可制造干燥净空气吹扫和加热冷箱。

如在冷箱内用液氧泵压缩液氧到6.5 bar，可逆板式要比在冷箱外压缩氧气多耗能量6~8%，而分子筛只是多1~3%。

(2) 与透平膨胀机同轴的增压机，既回收膨胀能量又直接用于增压空气，提高了精馏塔效率，减少了以往同轴发电机以电能再转为机械能在能量转换中的能量损失。

(3) 用塔板式冷却器代替以往所用的喷淋冷却器或拉西环冷却器，提高了空气的预冷效果，同时采用氮气蒸发冷却器回收氮气的冷量。经氮气蒸发冷却的18.6℃的冷却回水，用泵压送经氟里昂冷冻机降温至12℃送入空气预冷塔的第二段进一步冷却空气，其第一段是用30℃的冷却水。

(4) 冷箱内增设液氧蒸发器(空气液化器)，对冷箱内流程作了较大改变，使出冷箱的氧气压力达到1.9 bar，从而使氧压机可减少一级。此蒸发器实质上也是一氮、氩的预精馏塔(八层塔板)，可使随氧逸出的氮、氩气由16%降至6%。

(5) 一氮塔有所改进，提高氮塔位置，用液氧泵输入液氧。

(6) 五种稀有气体全提取，是世界上最高的提取率。

①氮、氩：

除主塔加空气液化器外，还采用膜式压缩机，一氮塔顶部气体不放空，全返回空气液化器，增加一氮塔、二氮塔塔板、三氮塔底部为电加热，顶部为管式，改进中间馏分

充瓶返回重蒸,增加中间气囊,取消全部碱洗,改为分子筛吸附 CO_2 、 H_2O 。

氩的纯化改为精馏为主的流程。

氮、氩除甲烷的装置是集装化。

②氮、氩:

设备合并了除氮和氩、氩分离的吸附部分,加大氮、氩分离前的中间贮存罐。

③氩:

氩的充瓶装置设有抽真空管路,可将氩气瓶中余压抽成真空,保证瓶装氩气质量(国内现有的装瓶工艺为红外线加热再抽真空)。

(7)冷备用液体系统:

为适应炼钢和煤制气严格要求供氧的连续性,一旦空分设备因故障停车,能在1.5分钟内将氧、氮、氩送出。分别建 3000m^3 的液氧储罐、 1000m^3 的液氮储罐和 200m^3 的液氩储罐(这些储罐容积是当前国内最大者)。液氧泵、液氮泵、液氩泵和蒸发器都处于冷备用状态,当空分设备停止作业,冷备用液体系统立即投入连续供氧、氮、氩。

以往供氩都是液氩泵加压后蒸发,输送压力随罐压波动,此次在 200m^3 液氩储罐后增设1座 12m^3 液氩真空绝热储罐,罐内压力 2.5MPa ,罐后有调节阀,可恒定压力 1.6MPa ,当用户用量增大可增大蒸发量。

(8)重要的新设备

①ARI六级轴流加三级离心式空压机,是Sulzer公司闻名于世的优质产品,此次在压缩机内新加喷水清洗装置又是新的成就,空压机经一段时间运转后,空气虽经过滤、其剩余的尘埃油污透平叶片使电机负荷增大,在不停机的情况下喷水清洗使电机负荷恢复原状。

②RZ单轴六级离心式氧压机,是国内引进第一台,氧压机在Hima计算机控制下其程序先输入氮及氮密封气运转正常后,氧才能进入。

③RIK单轴五级离心式氮压机,也是苏而寿公司中压型 $14\sim 16\text{bar}$ 的压缩机。

④氩压缩机为ATLAS整机产品,螺杆式带隔音罩,氢气站水电解装置为西德KREBSKOSMO公司产品,氩压缩机为水环式。仪表空压机附有再生系统。可调的膨胀机与增压机同轴等等。

其他设备略

(9)工艺操作自动化,其详情请见“生产自动化情况”。

(10)当前净化空气已发展为铝胶—分子筛的双层床吸附,由铝胶吸水然后分子筛吸附 CO_2 和 C_2H_6 。铝胶吸附水份的吸附热比分子筛小,吸附时导致空气温度上升幅度小,对后面分子筛吸附 CO_2 温度也下降,热量小,所以,双层床能有效地减少再生能耗。再生温度可降到 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 。林德公司尚未能解决双层床结构因热膨胀的对策仍为卧式单床,落后于立式双层床。

再空压机后空气高温的热能,林德也未利用于再生,也是不足之一面。

(设计院 徐文藻)

4 国内配套设计

国内配套设计涉及全部土建、供水、供电、供汽、输气及总图布置等方面，简述如下：

(1) 地基：

厂房建筑、设备基础都是建在回填土层上，平均有7 M深，而且下层是淤泥层，为简化施工，缩短工期，采用了人工挖孔的灌注桩基，在压缩机、冷箱、贮罐、主厂房等基础下都设计有直径为1.2 M，扩底直径为2.0 M的灌注桩基，其持力层在砂卵石层上。

(2) 供循环冷却水的联合泵站：

设计联合泵房是以节约用地为原则，将五种功能合在一处（简称五合一），是将凉水塔设在上层，储水池设在中层，下层则是泵房、变电室、水处理间（加药与过滤）。在工艺上、在结构上都有所创新，投产后证明，各方面都很正常，这在制氧工程循环水方面是一项新的构思。

①水循环工艺设计利用回水余压，原林德要求冷却水的供水压力为0.35 MPa，冷却后压力最大损失为0.12 MPa，回水余压为0.15 MPa，为实现五合一，提高供水压力为0.4 MPa，使回水能直接上凉水塔，此举既可省建一回水泵房，又可将凉水塔架设在供水泵房上，节省用地。

②冷却水自凉水池直接正压供给水泵，取消了地下吸水井，使管线布置紧凑整齐。

③选用 L47 型凉水塔，该塔型在天津等地实践可处理650~700 t/h，其凉水温度可较露点高1~3℃，北京地区平均露点为26.8℃，因此能使40℃的回水降温至30℃之下。

④新建一口深井补充新水，此外利用旧制氧<30℃的回水，连接厂区新水管网、确保夏季水温小于30℃。

⑤水处理考虑为综合加药措施，是由天津化工研究院专项承包提出加药方案。

⑥土建在水池结构上为防止漏水特别是在伸缩缝处都采取了措施，取得良好效果。

(3) 供电：

采用五总降、自备电站两路供电方案，遮断容量确保在240 MVA以上，建立110 kV配电站一座，并预留第二、三台的位置，以便今后扩建。

(4) 总图布置：

从一开始就与林德商讨规划3台30000 N m³/h并建议部份公路和管廊合并，使管架骑在路上，节约用地。充分利用东、北两侧大水池的优美环境，相应布置绿化用地，使新制氧区形成公园化工厂。

厂房建筑的色彩，选用可水洗不褪色的绿色涂料，使建筑群（主控室、稀有气体间充瓶间等）与绿化的周围环境相衬托。新制氧区围墙改用薄壁方型钢管格栅，增加公园气氛。

大型设备（冷箱、分子筛、液氧及液氮的贮罐、氧及氮的球罐）及所有的工艺管道，

为显示整洁,统一涂银白色,在管道上按一定距离、在大型设备的显著位置,涂以色环或色标,表示其内部介质,有利于操作及维护。

(5) 输送成品氧气、氮气:

贯彻新旧制氧互相独立,新区能补充旧区不足的原则,进行输送成品氧气及氮气的工艺设计。

①根据新建炼钢(2×210 T转炉)能力以及炼铁等要求,新建2台 400M^3 球罐(压力为 3MPa);1台 400M^3 氮气球罐。

球罐首次用16Mn RQ钢板;原设计为15MnVR,因无现货,考虑我国冶金系统具体情况和国内钢材屈服强度比小的情况,对16MnRQ的选用了理论与计算分析,经市劳动局批准使用了16Mn RQ,实践证明安全可靠。

②氧气、氮气按用户用量分配,各设计三个支线分送炼钢与炼铁,达到集中调配目的。

③在新旧相联的管路上设逆止阀,使新区能向旧区补氧,旧区不能向新区倒流。

④以往氧压机后压力,始终和球罐压力一致,为节能起见,在球罐前加一逆止阀,当炼钢吹氧时,氧压机后氧气即以 1.6MPa 直接送出,不是部份由球罐经减压阀送管网。球罐压力虽然高于 1.6MPa ,因有逆止阀不会迫使氧压机升压,在吹氧阶段氧压机压力为 1.6MPa ,不必克服球罐压力将氧气压入球罐,这样每年氧压机节能为300万度电。

在投产过程中,林德设将球罐调节阀的开启点定在 $40000\text{Nm}^3/\text{h}$,经我方发现改为 $25000\text{Nm}^3/\text{h}$ 时调节阀开启球罐供氧,防止过多抽空上塔,破坏氧气纯度,改正后投产顺利。

(设计院 徐文源)

5 计算机自动控制系统

(一) 控制设备介绍

1 概述

$30000\text{Nm}^3/\text{h}$ 制氧设备是采用分布式计算机系统控制(主要指连续生产部份)。

这种系统的结构大致可分为两级:过程级和监控级。

过程级的主要设备有:MICON过程控制站、MICON数据采集器和HIMA可编程序控制器(PLC)。这些设备的主要作用是采集工艺设备的状态参数和进行过程控制,包括:自动调节、顺序控制、联锁控制等。

监控级的主要设备有:MICON通讯控制器、MICON通讯适配器、CRT、操作键盘、视频控制器、打印机和多笔记录仪等。这些设备的主要作用是监视工艺过程,并通过键盘修改控制参数和状态,这些修改是经过过程级完成的。

系统的结构图见图1

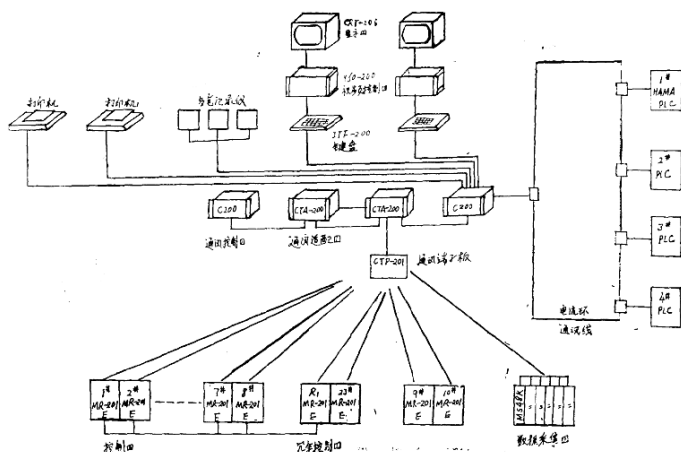


图1 控制系统结构框图

下面分别介绍各设备的功能和作用：

2. MICON控制器

是带有微处理器的智能控制器，它可以看成是一个8回路控制器，它是MICON控制系统的核心。它的主要技术指标如下：

模拟量输入：16路，电流 $4 \sim 20 \text{ mA}$

或电压 $0/1 \sim 5 \text{ V}$ 式 $0.25 \sim 1 \text{ V}$

模拟量输出：8路，电流 $4 \sim 20 \text{ mA}$

开关量输入：16路，内部供电

开关量输出：8路，外部供电 24 VDC

每一台MICON控制器是由6块插件板组成（可以扩展），它的型号为MR-201E。6块板装在一个标准的19"框架上，一个框架可以装2台MR-201E。一台MR-201E配有一块模拟量端子板和一块开关量端子板，端子板与控制器之间用专用电缆联接。端子板的作用是与外部信号相连，这些信号包括现场信号和通讯信号。

MR-201E本身没有操作手段，它的操作可以通过CRT、键盘，也可以配上前操作面板，由前面板来操作它。前面板可以显示MICON控制器的各种参数，以及修改它的状态和参数。这样它就成了一个独立的控制器。

MR-201的编程(又称组态)即可以通过CRT及键盘,也可以通过侧面板进行。

MICON系统在控制器一级可以加冗余,一个冗余的控制器可以在主MICON控制器故障时,及时将这个MICON的内存内容装入自己的内存,然后接替这个有故障的MICON工作,由于这个切换过程十分短,所以不会对过程控制产生影响。冗余的MICON控制器与主MICON控制器在结构上是完全一致的,只是它不用配端子板。为了接冗余MICON,必须加端子板适配器,它也是带微处理器的智能设备,它的功能是用来切换MICON控制器和传送内存内容。适配器有两种,一种是模拟量适配器,一种是开关量适配器,在冗余系统中,这两种适配器都是不能缺少的。一台冗余的控制器可以为8台在线的控制作备用,任何一台故障时,它都可以代替。

MICON控制器即可以作为一台独立的控制器,也可以与其它设备相连,组成联机系统。这种联系是通过横向和纵向通讯完成的。

横向通讯是指MICON控制器之间的通讯,它采用RS-232接口。相互通讯的MICON控制器最多可达8台。这8台控制器之间可以交换信息,组成各种复杂系统。

纵向通讯是指控制器与上级系统中的C-200通讯。它的通讯距离最大可达4.8公里,因此,MICON控制器可以放在远离控制室而接近现场的地方,这样可以节约大量的电缆。带有冗余系统的MICON控制器结构图见图2。

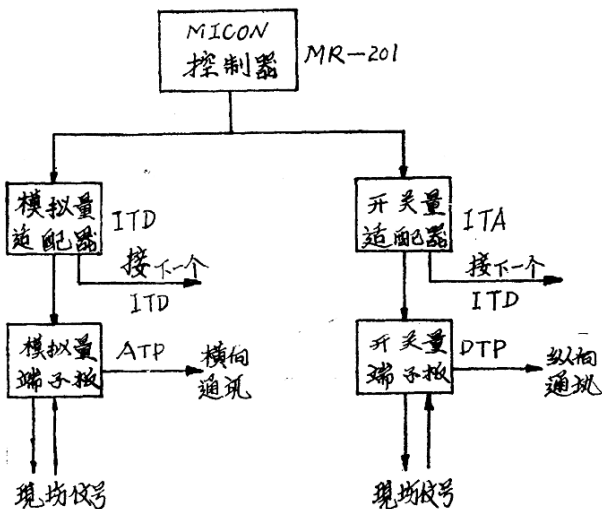


图2 带有冗余的MICON控制器结构图