

ON THE OPTIMAL DESIGN OF COMPRESSED AIR SUPPLY SYSTEM IN SHOUGANG
JINGTANG IRON & STEEL PLANT

首钢京唐钢铁厂压缩空气供气系统的优化设计

周玉磊

首钢国际工程公司

【摘要】通过首钢京唐钢铁厂的压缩空气供气系统的设计，探讨了在设计中所采用的优化及余热再生等节能技术，和所能达到的良好的经济效益。

【关键词】压缩空气；余热再生；系统优化

【Abstract】 Through the design of compressed air supply system in Shougang Jingtang iron & steel plant, the optimization and some energy efficient technology such as waste heat regeneration are discussing .

【Key words】 Compressed air; Waste heat regeneration; System optimization

引言

压缩空气是工业领域中应用最广泛的动力源之一，由于其具有安全、无公害、调节性能好、输送方便等诸多优点，使其在冶金领域应用越来越广。但是普通的压缩空气中含有油、水、尘等污染物。这些污染物进入压缩空气管道系统后，将会锈蚀管道并导致仪表、气动工具失灵，因此，对于仪表等用压缩空气必须进行净化。

在冶金领域的设计中，所采用的压缩空气一般均分为普通压缩空气及净化压缩空气两类。在常规的设计中，采用分类统计，然后按需净化，因此厂区的压缩空气管道一般均分为两类：普通压缩空气管道和净化压缩空气管道。压缩空气的供气方式也可为集中供气和分散供气，也可以是两种方式的组合。在一些老企业，由于企业规模是逐步发展起来的，因此压缩空气设施也多为相对集中或分散的方式，而新建的钢厂，则较多采用

相对集中的方案，全厂建两到三个集中空压机站。

1 压缩空气系统采用的技术及特点

在首钢京唐钢铁厂压缩空气系统的规划及方案制定上，为了达到先进、节能、高效的目标，采取了多种优化措施及先进技术，下面对其中的主要措施进行简要的介绍。

1.1 空压机站的相对集中设置

压缩空气系统采用集中供气，可以减少设备的装机容量和备用机的数量，同时可以减少设备的维护检修人员及费用。此外，集中后可以采用大型设备，设备的效率也可以相应的提高，从而降低运行费用。其不足是增加了输送管网，在改造及扩建时不够灵活，而分散方式则正好相反。

但是对于一个大型的钢铁厂来说，如首钢京唐钢铁厂，占地约10平方公里，如果采用绝对集中供气，不

但需要很大的管径，平均输送距离也会很远，必然大大增加管网的投资；同时对远端用户，也难以保证用气压力和用气品质，因此采用相对集中的方式应该是更加合理的。在京唐钢铁厂，根据全厂压缩空气负荷的分布情况，分别在炼铁区、炼钢区及轧钢区各建一座集中空压机站来向全厂供气，共配置了13台 $250\text{m}^3/\text{min}$ 的离心式无油空压机。即满足了设备集中化、大型化的优势，同时也相对减少了管网的管径和输送距离。

1.2 分压力级别供气

由于冶金企业中压缩空气的用户的使用压力一般为0.4~0.6MPa，考虑到管网的阻力损失，空压机的设计压力一般为0.8MPa。然而也有一部分压力较低的用户，比如连铸车间的气雾冷却用气，使用压力一般为0.3MPa左右，但是用气量很大，尤其是板坯车间，例如，京唐钢铁厂的四条连铸机的气雾冷却平均用气量达 $1380\text{m}^3/\text{min}$ ，最大用气量达 $1690\text{m}^3/\text{min}$ 。按常规设计，采用0.8MPa的空压机供气，以四台 $400\text{m}^3/\text{min}$ ，出口压力0.8MPa计算，单台电机功率约为2560kW。在本工程的设计中采用出口压力为0.45MPa的空压机，其电机功率为1940kW。按每年8000小时，0.5元/kWh计算，则每年可节省电费248万元。以0.8MPa的压缩空气管网作为备用及补充，进一步减少了备用机组的数量，也降低了投资。

1.3 净化方式的选择及特点

对于净化方式，分散供气的只能是分散净化。但对于集中供气的，则可以采用集中净化后送至各用户，秦皇岛首秦公司采用的就是这种方式；另外，也可以采用在用户处就近处理的方式，首钢迁安钢铁厂就是采用这种供气及净化方式。

按常规设计，如果采用集中供气，然后根据所需的净化压缩空气量进行部份净化后，分两路送至全厂。对于未进行净化的管道，需要考虑管道的放水，在北方地区还要考虑管道的防冻措施。

在压缩空气干燥净化领域，多采用冷冻式压缩空气干燥机和吸附式压缩空气干燥装置进行除水干燥。冷冻式压缩空气干燥机具有能耗省、体积小、重量轻、安装简单、运行稳定等特点，但由于其除水原理的局限，冷冻式压缩空气干燥机所能达到的最经济、最稳定的压

力露点温度为2~10℃，所以常被用在压缩空气品质要求不高的场合，有时也做为吸附式压缩空气干燥装置的预处理。

按照GB/T13277-91《一般用压缩空气质量等级》及压缩空气质量等级国际标准ISO8573.1的规定，对气动仪表的空气质量等级为2、3、3，对应的最大含尘量为 $1\text{mg}/\text{m}^3$ ，最大水蒸气含量为压力露点-20℃，最大含油量为 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。冶金企业的净化压缩空气一般按此标准进行处理。

由于在以往的设计中，要达到上述压缩空气的标准，一般采用吸附式干燥装置，具体有无热再生吸附式、微热再生吸附式及加热再生吸附式。而无热再生吸附式干燥装置需12%~15%的自耗气，而微热再生吸附式干燥装置需-7%的自耗气和约 $0.5\text{kW}/\text{m}^3$ 的加热功率，其折算总自耗气量也是15%左右。而电加热再生的能耗也不低于此数。因此，如果将全部压缩空气净化，则会增加自耗气和耗电量。按普通压缩空气和净化压缩空气各占50%计算，如果仅对50%的压缩空气净化，则其自耗气约为总用气量的7.5%，而全部净化其自耗气约为总用气量的15%，压缩空气系统的运行能耗将增加7.5%，因此很少采用全部净化处理。

随着压缩空气净化技术的发展及对余热利用的重视，近几年国内已开发出了采用余热进行干燥的技术和装置，并逐步得到了推广和应用。这种技术采用离心压缩机的末级压缩热来干燥吸附剂，可将能耗降至2%以下。因此，为了简化全厂压缩空气管网的种类，提高全厂压缩空气品质，决定将全部压缩空气采用余热再生干燥装置集中处理后供至全厂各用户。

余热再生干燥装置的主要工作原理，是利用气体被压缩时所产生的热量，加热干燥塔里的吸附剂，使其解附。我们知道，无论是活塞压缩机，还是离心压缩机，一般排气温度都在100℃以上。按常规的空压站设计规范，压缩空气必须冷却至40℃以下，再送入后级设备进行干燥处理，大量的热能被白白浪费。而余热再生干燥装置的创新之处就是利用了这部分能量，实现了吸附剂升温解附，再生过程大大减少了干燥装置的运行费用，解决了能耗较高的难题。

余热再生干燥装置与微热再生干燥装置做个简单

的比较。以 $200\text{Nm}^3/\text{min}$ 压缩空气干燥净化设备为例：工作压力为 0.7MPa(G) ，年工作日为365天，每天24小时运行。电价以 $0.5\text{元}/\text{度}$ 计价，空压机电机功率为 1400kW ，空压机排气温度为 $\geq 110^\circ\text{C}$ ，自热电辅助加热使用时间约为四分之一，微热电加热使用时间为二分之一。

表1 余热再生与微热再生对比表

名称	余热再生	微热再生
再生耗气率	2%	7%
再生耗气量 (Nm^3/min)	4	14
折合损耗功率 (kW)	28	98
电加热器功率 (kW)	80	90
电加热平均功率 (kW)	20	45
折合费用 ($\text{万元}/\text{年}$)	21.02	62.63
成品气压力露点 ($^\circ\text{C}$)	≤ -25	≤ -40

由上表可以看出微热再生干燥器年运行费用比余热再生干燥器高出40多万元。按京唐钢铁厂平均耗气量 $2600\text{Nm}^3/\text{min}$ 计算，则仅电耗每年可节约500万元以上。因此，只要气体露点品质能够满足工艺要求，使用余热再生干燥器作为压缩空气后处理设备，一年就可以将余热再生干燥装置的投资全部收回，其经济效益显著。

使用余热再生干燥装置与自热再生干燥装置相比还有以下优点：

(1) 节约冷却水。因干燥剂再生吸收了压缩机排气的大量热量，在经过干燥装置本身的冷却器时，气体温度已大大降低，可显著降低冷却水耗量。

(2) 提高阀门的使用寿命。因切换周期延长至4小时，相应阀门的动作次数也减少，阀门的使用寿命可延长数十倍。

(3) 提高吸附剂的使用寿命。同样因切换周期的延长和次数的减少，对吸附剂的冲击也减少，吸附剂不易破碎。

由于采用余热干燥装置在离心压缩机排气温度 $>110^\circ\text{C}$ 时，可基本满足压力露 -20°C 的要求，如果进一步降低压缩露点，则需要用电加热来实现，因此在满足绝大多数用户用气要求的前提下，不再做进一步的处理。

对于个别用户如要求高于此标准，可单独进行进一步处理，不必要将所有用户等级提高。

1.4 供气系统的完善与优化

由于采用了余热再生的干燥方式，全部压缩空气

均进行干燥处理的总自耗气仅比处理50%的自耗气多出约 $26\text{m}^3/\text{min}$ ，但是对整个系统带来的益处是非常巨大的。

首先，由于采用了全净化的处理方式，全厂的供气管网由常规的两种管道简化为一种，从而简化了系统。对于全厂性的主干管网，由于流量较大，全厂压缩空气主干管网均需要两根DN500的无缝钢管，采用单一气源后，两根管道可具有一定的互备性，使全厂主干管网的安全性大大提高。对于各车间及各区域管网，将原有的两种气源的压缩空气管道均简化为一种，压缩空气管网的投资至少可节约30%以上。

其次，在常规的设计中，在北方地区，普通压缩空气管道均需进行保温以防冻，有时甚至需采用伴热措施，并且需设置大量的疏放水点。由于采用了全干燥的压缩空气，管道不需要防冻措施，并减少了很多疏水点，因此节约了很大投资。仅以京唐厂区主干管网为例，按常规设计，主干管网分为普通压缩空气和净化压缩空气，平均管径为DN400，管线长度为7000m，普通压缩空气管道保温厚度50mm，保温材料采用岩棉，每100m设置一处疏放水点，则仅保温及疏水一项就可节约投资约50万元。

此外，由于全厂均采用了净化的压缩空气，对于压缩空气的用户来说，可减少用气设备的磨损及腐蚀，延长设备的使用寿命，减少设备的维护量，所带来的效益更是无法估量的。因此，本系统的规划和设计是先进合理的。

2 结论

首钢京唐钢铁厂的压缩空气供气系统，在设计中分别采用了相对集中供气、分级供气、余热再生干燥、系统全净化供气等先进技术及优化措施，使全厂的供气系统达到了安全可靠、节能高效、技术先进的目标。

作者简介

周玉磊（1970—），男，汉族，教授级高级工程师，工程硕士，中国石油和化工勘察设计协会热工设计专业委员会常委委员，主要从事冶金热能动力工程方面的设计及研究工作。