

某电子厂空压机余热回收系统选型与经济性分析

于涛¹ 肖红²

(1 信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司 四川 成都 610021;

2 四川城市职业学院 四川 成都 610101)

摘要: 本文通过对某电子厂进行考察研究,经初步分析得知由于离心空压机功率很大,在实际运行中如果不配套余热回收系统,一方面空压机运行过程中产生的余热得不到利用,另一方面纯水站的自来水加热以及空调机组新风预热又需要额外的热源。为了更合理地利用离心空压机的余热,本文对整个工厂所有车间用能、用热进行综合分析后,设计一套与所选空压机配套的热回收系统,既保证回收热量占空压机所耗电量85%以上,又使得回收的热源温度高于冷却水温度,且可同时满足纯水站的自来水加热(冬季进水温度5℃,加热后的出水温度25℃),以及空调新风机组的新风预热(进水温度40℃,加热后的出水温度45℃)。项目投资回收期控制在6个月之内。

关键词: 离心式空压机;余热回收;节能性分析;经济效益

0 引言

据全国能源基础与管理标准化技术委员会统计,空压机耗电量占全国发电量的6%~9%^[1]。特别是在厂矿企业,空压机的用电能耗经常占到了整厂用电能耗的1/2以上。根据相关统计,实际上用于空气势能的增加所消耗的电能,只占空压机总耗电量的15%,而85%的电能转化为热量^[2]。对流失的这部分热量如不加以利用,对环境来说是一个严重的热污染。经实践验证,对于这些被排放到大气或者冷却塔中而浪费的热量,若采用空压机热回收系统,至少能回收50%的热量。

经行业调查分析,空压机在没有进行余热回收时,五年的运行费用构成如下:系统的初始设备投资及维护费用约占总费用的28%,而运行费用(主要指电费)约占总费用的72%^[3]。但是如果配备余热回收系统后,余热回收节省费用可占总费用的40%。

1 离心式空压机余热回收方式

离心式空压机常采用多级压缩(2~3级),因此也就采用了多级冷却。原来经过每级冷却器热交换后的冷却水由于可利用品质不高都被直接排放掉,造成了资源的浪费。若在原来的基础上,增加全热交换器,在提高换热效率的同时,提高了热交换后冷却水的温度,达到回收使用要求,供厂区可利用热水点使用,从而可以省去原本需要购买蒸汽来获得所需热水的成本。

2 项目背景

该电子厂主要生产手机盖板玻璃及环保包装产品。整个园区共有五栋生产厂房(G01、G02、G03、G05、G06)和两栋空压站房(G11、G12)。厂区平面图见图1。五栋生产厂房的面积、产能以及压缩空气消耗量完全一样。其中G11空压站为G01和G02生产厂房提供一定压力的压缩空气,G12空压站为G03、G05和G06生产厂房提供一定压力的压缩空气。本文以G12空压站为设计依据。

3 热回收系统选型

3.1 空压机配套热回收机组原理

结合建设地点以及本身纯水、生活用热以及空调新风预热的负荷情况,采用纯水站的原水预热和空调机组的新风预热。实际案例中,采用最多的热回收方式是回收与空压机冷却水温度相同的热水,供水/回水温度为37/32℃,热能回收率可达到85%以上,这种温度的热量只能用于纯水站的自来水加热。还有一种方式是回收高温热水,如供水/回水温度为45/40℃,为第三级热回收系统,热能回收率为30%左右,这种温度的热量能用于纯水站加热、生活热水或者空调机组的新风预热。

本文在设计过程中,将上面两种热回收方案融合为一体,不仅让热回收系统的功能实现最大化,也能进一步节约能源,提高热效率。空压机配套热回收装置

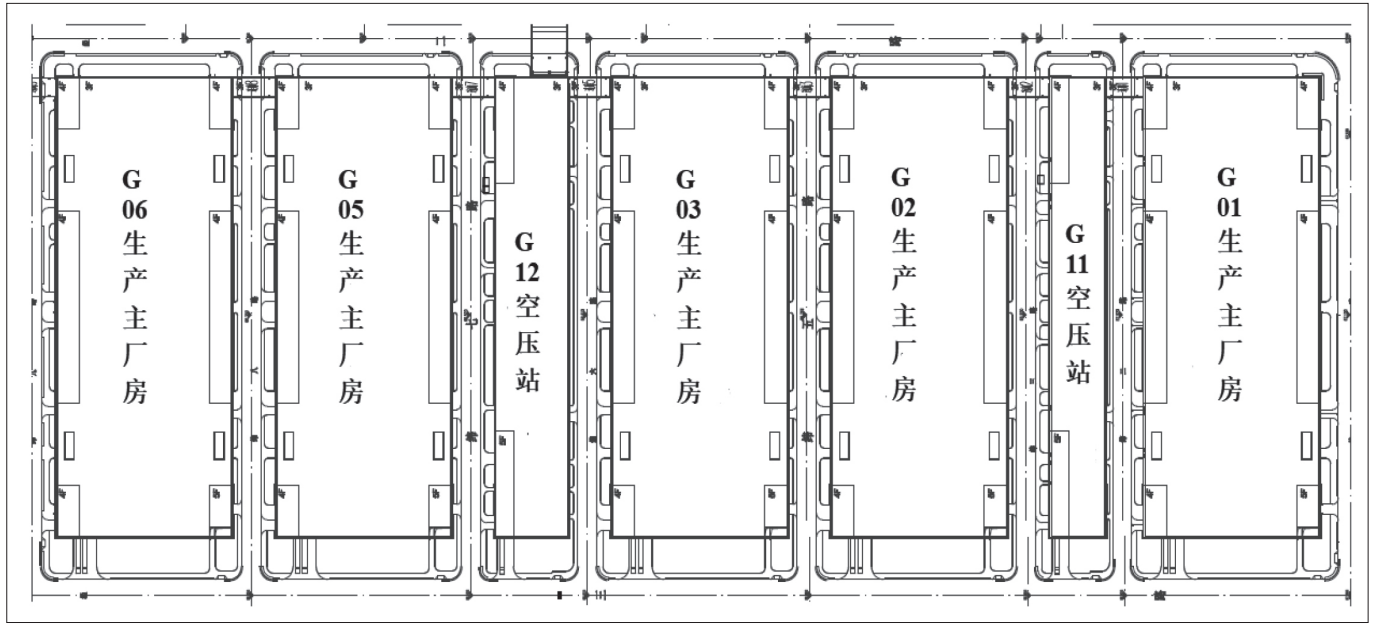


图1 某电子厂厂区总平面图

既要满足纯水站的自来水加热，又要满足空调机组新风的加热，因其品质不同，所需要的换热器的选型和设计也不相同。空压机配套热回收机组原理图见图2。

降温后的压缩空气温度约为 50℃，进入热回收机组的第二级管壳式换热器，与 32℃ 的空压站冷却水进行换热，压缩空气进一步降温至 40℃ 至零气耗鼓风式干燥机，空

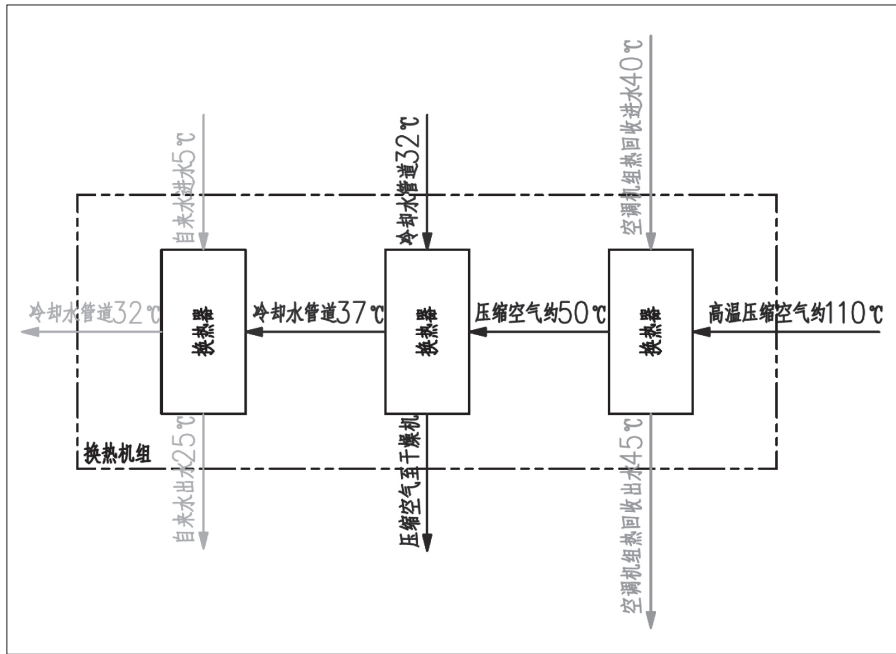


图2 空压机配套热回收机组原理图

3.2 热回收机组系统工作流程

空压机配套热回收机组的整体工作流程（共计 6 套热回收机组，取其中 1 套为例）如图 3 所示。

空压机出口的温度约为 110℃ 的高温压缩空气经过空压机出口高温压缩空气主管 1 进入热回收机组的第一级管壳式换热器，与 40℃ 的空调机组热回收的进水进行换热，空调机组热回收水加热至 45℃ 后供空调机组使用；

压站冷却水升温到 37℃；37℃ 的冷却水进入板式换热器，与 5℃ 的自来水进行换热，自来水加热至 25℃ 后供纯水站制备纯水使用，降温后的冷却水温度为 32℃ 接至冷却塔。

4 经济效益分析

4.1 余热回收设备初期投资及运行维护费用

为了满足纯水站原水余热的全部负荷以及空调机组新风预热的部分负荷，配套提供热回收机组以及相应的水泵、常压定压补水装置、阀门、管道、保温装置等设施，使整个系统的初投资增大。具体增加的设备 and 费用详见表 1。

因热回收换热机组是集成板式换热器、管壳式换热器、控制柜和阀门管道等附件设施，除了控制柜外并没有用电设备和部件，所以年运行费用和维护费用几乎可忽略不计。其余设备和设施的年维护费用可按照总费用的 10% 考虑。

(1) 采用离心空压机三级热回收系统所增加的全部费用为 403 万元。

(2) 其余设备和设施的年维护费用：

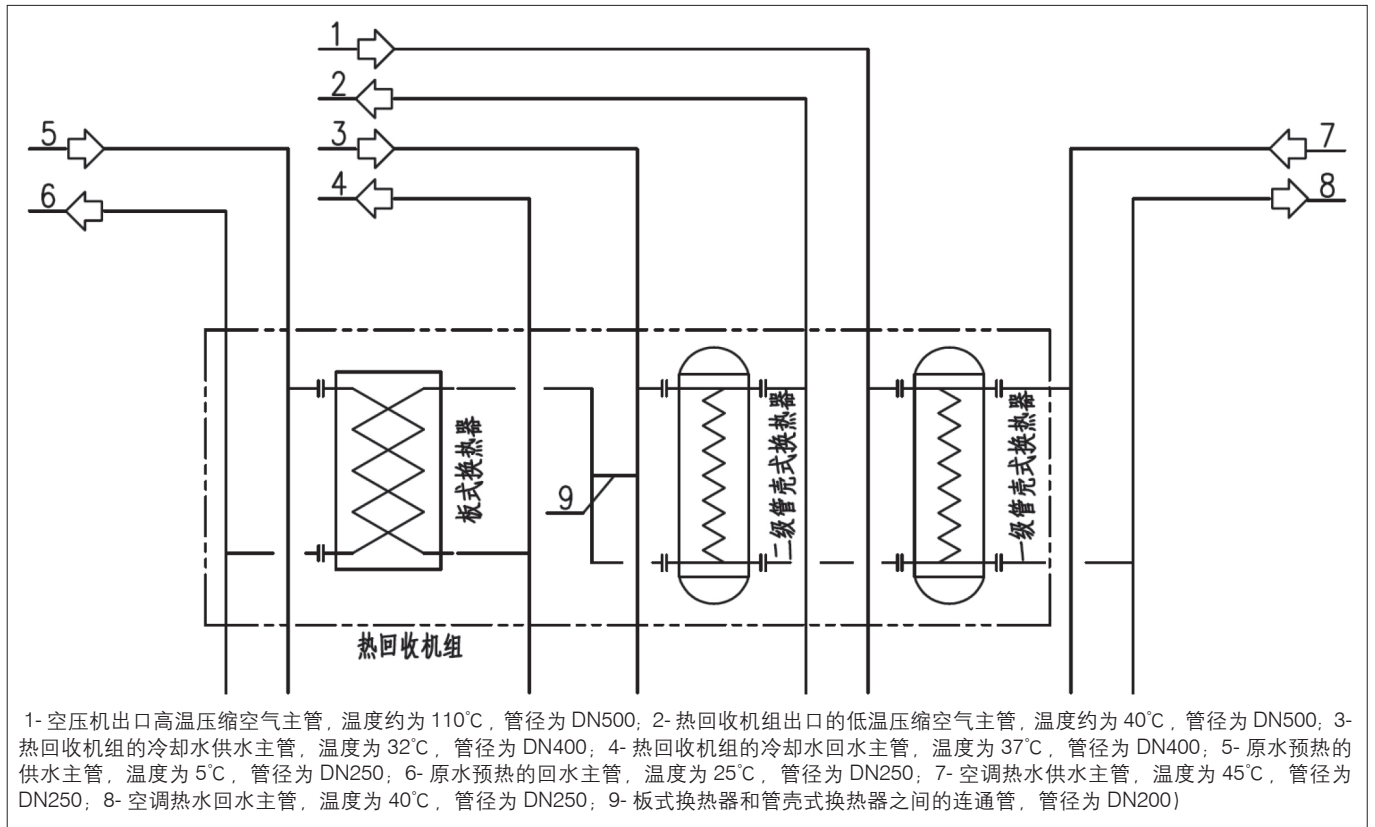


图3 空压机配套热回收机组的整体工作流程

表1 空压机热回收系统所增加的设备种类和费用 / 万元

名称	热回收机组	循环水泵	定压补水装置	蝶阀	管道	保温材料	其他附件
单位	台	台	台	项	项	项	项
数量	6	6	1	1	1	1	1
单价	50	6	15	5	25	2	20
总价	300	36	15	5	25	2	20
共计 403 万元							

$$(403-300) \times 10\% = 10.3 \text{ (万元)}.$$

(3) 年运行费用只有水泵耗电费, 按照电价 1 元 / 度为依据计算, 每台水泵的电机功率为 45kW, 一共 6 台, 水泵同时使用系数为 2/3, 年运行费用:

$$45 \times 6 \times \frac{2}{3} \times 24 \times 365 \approx 157.7 \text{ (万元)}$$

综上所述, 采用热回收机组的初投资为 403 万元, 年运行费用和维护费用合计约为 168 万元。

4.2 余热设备年节省费用

热回收机组板式换热器回收的热量, 供纯水站原水加热使用, 总热量为 4640kW, 运行时间为冬季自来水温度较低时使用, 年运行时间为 120 天。热回收机组管壳式换热器回收的热量, 供空调机组新风预热使用, 总热量为 2160kW, 运行时间为全年使用, 共计 365 天。若没有空压机三级热回收机组回收这两部分热量, 则

需要增大锅炉房的锅炉负荷以满足此部分热能。共计增加锅炉房热负荷为:

$$4640+2160=6800 \text{ (kW)}$$

假设增设 1 台热功率为 6800kW 的燃气热水锅炉, 供水 / 回水温度为 70/50℃, 以及相匹配的 2 台热水循环泵、相应的管道、阀门、保温材料和附件等设施, 具体选型和参数如表 2 所示。

表2 增加锅炉房负荷的设备种类和费用 / 万元

名称	燃气热水锅炉	循环水泵	管道	保温材料	其他附件
单位	台	台	项	项	项
数量	1	2	1	1	1
单价	100	10	15	1	4
总价	100	20	15	1	4
共计 140 万元					

为了满足纯水站和空调机组新风预热的热量, 新增 1 台 6800kW 的燃气型热水锅炉, 天然气耗量为 700m³/h, 天然气单价按照 2.5 元 / m³ 考虑。锅炉耗电量为 22kW。配套的循环水泵的电机功率为 55kW, 共计 2 台, 一用一备。新增锅炉的年维护费用按照总投资的 10% 考虑。

新增锅炉年运行费用分两种情况, 为了满足纯水站原水预热的热负荷, 冬季 (按照 120 天考虑) 锅炉 100% 负荷运行; 其余季节, 锅炉只供空调机组新风预

热使用,运行负荷32%,则相应的天然气耗量和电量均按照比例减少。

(1) 增加设备的全部费用为140万元。

(2) 新增锅炉的年维护费用14万元。

(3) 年运行总运行费用为:

$$(700 \times 2.5 \times 24 \times 120) + (22+55) \times 24 \times 120 + (700 \times 32\% \times 2.5 \times 24 \times 245) + (22+55) \times 32\% \times 24 \times 245 \approx 870 \text{ (万元)}$$

4.3 经济性分析

综上所述,若不采用热回收机组,采用锅炉供热,初投资为140万元,年运行费用和维护费用合计884万元。

采用空压机第三级热回收换热机组的初投资增加了 $(403-140) = 263$ 万元。年运行费用节省了 $(870-168) = 702$ (万元)。

投资回收期限为 $263/702 \approx 0.37$ 年,即4~5个月。由此可见,采用空压机热回收系统,仅4~5个月即可回收增加的成本,值得在本项目中实施。

5 结语

(1) 针对实际电子厂项目用热情况和使用特点,确定空压机热回收系统应用于厂区纯水站和空调机组新风预热。

(2) 对热回收系统进行了计算研究,实现了能源的合理利用,为企业带来了良好的经济效益。热回收系统的实际回收期为4~5个月,在创新研究的同时,是完全合乎经济效益的投资。

参考文献:

- [1] 于涛. 电子厂空压机热回收系统设计研究[D]. 成都:西南交通大学,2020.
- [2] 邓泽民. 无油螺杆式空压机热回收系统在纺织厂的设计与研究[D]. 西安:西安工程大学,2016.
- [3] 宗琦. 无油螺杆空压机余热回收系统在纺织厂应用研究[D]. 西安:西安工程大学,2015.

征 稿 启 事

◆ 栏目设置 ◆

本刊特稿:发表有较高价值的应用研究论文,理论上有一定深度或前瞻性的研究论文,以及技术创新、政策解读和市场调研等方面的热点综述文章。

机械制造与智能化:发表机械制造技术、工艺、智能及自动化等科技论文。

工业设计:发表机械设计、产品设计、造型设计、环境设计、建筑设计、传播设计和设计管理等科技论文。

工业互联网:工业系统与高级计算、分析、感应技术以及互联网连接融合、软件和大数据分析,数字设计等科技论文。

先进材料技术:发表高性能结构材料、功能材料、关键原材料与先进制造业结合相关科技论文。

先进动力与能源技术:先进及新型动力系统相关技术研究论文。

现代交通技术:立足综合交通运输技术,主要刊发道路工程机械、桥隧工程机械、交通工程机械、港航工程机械、轨道交通装备等领域的科研文章。

可持续环境工程:发表环保机械、环保工程相关科技论文。

机械工业:发表农业机械、工程机械、内燃机、仪器仪表、石油化学通用机械、机床工具、汽车、重型矿山机械、文化办公设备、电工电器、食品包装机械、其他民用机械,以及增材制造等行业领域的科技应用论文。

市场与管理:发表机械工业相关的市场分析、管理提升等学术论文。

质量与标准:发表机械工业相关企业的质量管理、体系建设及相关产品标准、故障诊断等科技论文。

安全与生产:发表机械装备制造、施工及使用过程中安全与生产等科技论文。

职业教育:发表机械行业职业院校职业教育、学生就业、创业等相关文章。

首台套:发布首台套重大工业技术装备有关技术突破、功能创新、用户反馈等相关文章。

◆ 征稿要求 ◆

1、本着尊重原创、严禁抄袭的原则。

2、文章格式采用GB7713-87,科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式。

3、稿件的结构组成,按次序排列为:题名、作者署名、作者工作单位名称、第一作者工作单位所在省、市及邮编;摘要、关键词;引言、正文、结语;基金项目(可选)、参考文献(必选)及作者简介(可选)。

(1) 题名:符合学术期刊论文标题要求,简单明了概括文章主题,一般不超过15个字。

(2) 作者署名及工作单位:所有文章须2版起发,2版论文的作者数量不应超过3位;4位作者的论文起发版面数为3版;5位作者的论文起发版面数为4版,依此类推。多位作者分属不同工作单位的,须明确标记。

(3) 摘要:摘要应具有独立性和自含性,即不阅读论文的全文,就能获得必要的信息。摘要一般应说明研究工作的目的、实验方法、结果和结论等,重点是结果和结论。以200~300字为宜,用第三人称写,尽量不重复题名中已有信息。不出现图表、表格、公式及参考文献序号等。

(4) 关键词:每篇论文选取3~6个单词或术语作为关键词。

(5) 正文:撰写论文时,不同级别标题可采用阿拉伯数字1, 1.1,1.2,1.3.....2, 2.1,2.2,2.3.....标示。结语部分不能重复正文内容,如果层次分明,可以编号(1)、(2)等分条来撰写。

(6) 参考文献:参考文献须按照GB-T7714-2005标准编写。所引用的文献及对应的刊物需具有较高的学术质量。作者一律姓前名后(外文作者名应缩写),多位作者间用“, ”间隔。凡参考过本刊论文的,请切记标注在参考文献中。

(7) 作者简介:须按照统一格式编写:姓名(出生年.月-), 性别, 民族, 籍贯, 最高学历, 职称, 研究方向:具体专业(不超过10个字为宜)。

注:

1、作者所投论文是否满足要求,以《中国机械》编辑部审核意见为准,编辑部拥有稿件的惟一最终审核权。

2、文章一旦被录用,除特殊原因不允许无故撤稿。同时,不允许再行增减作者或变更原作者顺序,否则一律视为作者主动撤稿,该稿将不再录用。

3、作者在收到稿件录用通知后,如主动撤稿并更名再投,一经发现,将被纳入本刊敏感作者名单,相关稿件均不再录用。

4、对于未通过本刊初审,二次投稿依然不能通过审核的稿件,一律做退稿处理,不再录用。

5、针对每一篇论文,编辑部将免费赠送一本发表该论文的期刊,如需更多请联系编辑部预定。

◆ 权利和责任约定 ◆

1. 作者在投稿时视同同意向《中国机械》编辑部授予论文著作权专有许可使用和独家代理授权书,包括授权以电子出版形式出版发布。

2. 编辑部收到稿件后,将按照工作流程对稿件进行处理。

3. 稿件需经本刊编辑和审稿专家审核,一经录用则依照编辑部出版流程依序刊登出版。如果作者想撤稿或改投其他刊物,需向本刊提出申请,已定稿、进入了出版流程的稿件,作者需承担相应的责任和费用。

4. 本刊只接收作者原创、未公开发表过的论文,对存在抄袭剽窃、一稿多投等学术不端现象的论文,编辑部将严肃处理。