

Discussion and research on the design of centralized air compressor station for large power plant

Jian Wang

China Energy Engineering Group Zhejiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310012, China

Abstract

In this article, the centralized air compressor station system design and equipment configuration of a large domestic power plant 2×660MW unit is introduced, and comprehensive analysis and comparison on the air usage of the power plant's compressed air system, the characteristics and configuration of the air compressor station equipment. The system is proposed to adopt centrifugal air compressors as the primary equipment to support the plant's base load, supplemented by screw-type air compressors as a means to adjust for load fluctuations. The post-treatment equipment utilized a compressed thermal regeneration adsorption dryer to fully leverage the heat from the compressed air for regeneration. The entire compressed air system operates stably and reliably, playing a significant role in energy conservation and consumption reduction for the power plant's operation. This is a key area of focus for future power plant optimization design.

Keywords

Centrifugal air compressor; Compression heat

国内大型电厂全厂集中空压机站设计探讨研究

王剑

中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司, 中国·浙江 杭州 310012

摘要

本文通过国内某大型电厂, 建设规模为2×660MW机组的全厂集中空压机站的系统设计和设备配置, 对电厂的压缩空气系统用气情况、空压站设备特点和配置进行综合分析比较, 提出以离心式空压机为主力机型带全厂的基础负荷配以螺杆式空压机做为负荷波动时的调节手段, 后处理设备采用压缩热再生吸附式干燥机充分利用压缩空气的热量进行再生。整个压缩空气系统运行稳定可靠, 且对电厂运行的节能降耗具有重大意义, 是今后电厂优化设计的重点关注领域。

关键词

离心式空气压缩机 压缩热

1 工程概况

国内某大型电厂位于中国西北地区宁夏回族自治区内, 项目建设2×660MW 高效超超临界燃煤空冷机组, 同步配套建设高效烟气脱硫装置和烟气脱硝装置, 场地地势较开阔, 标高在1315.50m至1325.0m。项目于2015年9月开工, 2017年7月和10月两台机组相继建成投产。

本项目2×660MW 机组锅炉由北京巴威供货, 汽轮发电机组采用上海电气生产的空冷机组, 全厂的压缩空气系统采用集中空压机站供气的方式。本文将就全厂空压机站系统的设计做一介绍和总结。

2 主要设计原则

火力发电厂压缩空气的主要用户有: 锅炉、汽机等各系统的仪用气, 物料输送用气以及全厂的检修杂用气等三大类, 其中的仪用气品质要求最高, 且用气过程中不可中断, 用气量较大也基本恒定; 物料输送用气气压气量波动较大, 短时的尖峰气量很大, 平均占比也较大; 而检修杂用气无固定用气规律, 为保证前两类用气的可靠性, 也可随时切断供应^[1]。

传统的压缩空气系统设计为确保仪用气的安全可靠, 通常会将供仪用气的空压机站和供物料输送用气的空压机房站分开独立设置, 检修杂用气则并入其中的一个系统。从统筹规划供给, 统一管理用户角度出发, 建立集中的空压机站方式, 不仅能将不同用户的峰谷差进行互补, 使得用气曲线更加平滑, 也更有利于选择效率高、容量大的设备, 对电厂的节能运行和设备管理都有益处, 因此本项目初步设计阶

【作者简介】王剑(1977-), 男, 中国浙江杭州人, 本科, 高级工程师, 从事物料输送设计研究。

段经过比选确定采用全厂集中空压机站的压缩空气系统，即全厂的仪用气、杂用气和物料输送用气等合并设计。设置系统集中的空压机站，相比以往常采用的仪用气和厂用气系统合并、气力输灰用气单独设置空压机站的系统，具有全厂空压机协同运行集中控制、集中管理，易选用大容量相同型号的设备，设备备用数量较少，节省占地面积等优点。

根据已投运的大中型电厂调研统计，仪用气系统的配置（包括杂用气）常规为：2×300MW级机组配置4台20m³/min级空压机，2×600MW级机组配置4台40m³/min级空压机，2×1000MW级机组需配置4台60m³/min或6台40m³/min级空压机^[2]。物料输送用气根据项目不同的用气情况和用气量计算按实际计列，不同地区不同项目的实际用气量差异较大，煤质较差灰分较高的项目物料输送用气

几乎会占到全厂用气重量的1/2~2/3。压缩空气系统不仅是电厂中非常重要的一个辅助系统，可靠性关系到机组安全运行，同时也是耗能较高的一个系统，因此电厂压缩空气系统的设计除考虑其稳定可靠性外，系统的节能降耗技术也越来越被重视，应统筹考虑系统的节能降耗措施，合理选择能效较高的空压机和净化设备，并尽量减少压缩空气成品的损耗。

3 系统概述及特点

3.1 全厂用气量

本工程各系统的压缩空气用量统计基于，已确定的用气量按厂家提供的实际数据，未确定的参考以往同类型机组。全厂的仪用、检修用和输灰用气参数统计如下表1。

表1 各系统压缩空气用量及品质要求

用途	用气量 (Nm ³ /min)	品质要求	用气频率	备注
气力输灰	96 (平均) 110 (最大)	压力露点 2℃, 含油量 < 5 ppm, 压力 0.70MPa	连续	厂家数据
热控控制	40	压力露点 ≤ -40℃, 含尘量 ≤ 1 ppm, 含油量 ≤ 0.01ppm, 压力 0.5 ~ 0.8MPa	连续	参考同类型
脱硫控制	18	同上	连续	厂家数据
化水控制	8	同上	连续	厂家数据
脱硝控制	2	同上	连续	厂家数据
热控吹扫	7	同上	连续	参考同类型
热机检修	20	压力 0.7MPa, 其余无要求	间断	参考同类型
脱硝吹扫	2	同上	连续	厂家数据
炉管检漏	20	同上	连续	参考同类型
仪用气	75	压力露点 ≤ -40℃, 含尘量 ≤ 0.1 ppm, 含油量 ≤ 0.01ppm, 压力 0.5 ~ 0.8MPa		
厂用气	20 (间断) 22 (连续)	压力 0.7MPa, 其余无要求		
气力输灰	96 (平均) 110 (最大)	压力露点 2℃, 含油量 < 5 ppm, 压力 0.70MPa		

根据本工程的各系统用气量统计，全厂的压缩空气总量为 193 ~ 227 Nm³/min，其中连续稳定的用量约 193 Nm³/min，在总用气量中占比较大，选择空压机容量时，以此做为设计和选型的基准可以确保空压机尽可能稳定工作在最佳工况点附近。

3.2 空压机形式的选择

空压机主要有三种形式，活塞式、螺杆式和离心式。活塞式空压机由活塞往复运动，机械效率较低，且可靠性差，运动部件磨损较快，检修维护工作量大，气流输出存在脉动，运行压力波动较大，不易调节，国内大型电厂已很少使用，普遍被螺杆式和离心式所替代，因此本文仅将螺杆式和离心式进行比较。离心式空压机与螺杆式空压机由于压缩原理及结构的不同，具有各自的优缺点。

在连续稳定大流量的供气场景中，离心式空压机具有自身的优势，不仅可提供较大的设计流量，且在对应的参数范围内，运行效率较高，一般离心式空压机在单台流量 80m³/min 以上时相对螺杆式空压机具有明显优势，同时离

心式空压机还可根据用户所需参数进行精确加工设计。在设计点附近运行时，离心式空压机比功率较螺杆机低，能耗较螺杆机低。离心式空压机的有效调节范围在额定气量的 70 ~ 100%，此时可通过进气叶片调节进气量，对空压机的效率影响较小，在低于额定气量 70% 以下则需通过放空阀放空调节，导致做功用能利用率下降，能耗损失较大，有时甚至设备会有“喘震”现象发生。

螺杆式空压机适用于用气量波动较大、变化频繁的情况，理论上，通过加/卸载、进气节流、变容、变频等调节手段可实现流量 0 ~ 100% 的可调范围，具有调节手段灵活、启停迅速的特点，适用于气量波动时调峰用。

离心式空压机和无油螺杆空压机可配套压缩热再生吸附式干燥机使用^[3]，节能效果较为显著，喷油螺杆空压机则无法利用压缩热。

3.3 系统配置

根据本工程的用气量统计，连续稳定的用气量占比较大，经过经济性能综合比较后，确定全厂集中空压机站系统

采用离心式空压机做主力机型，以发挥离心机连续大气量供气的性能优势，同时利用无油螺杆机调节灵活的特点，配置无油螺杆式空压机作为调节及备用手段。因离心机和无油螺杆机出口的空气因不含油，后处理净化设备选用压缩热再生吸附式干燥机，利用压缩空气的压缩热对干燥剂进行再生处理，有效节省能耗。该方案可保证离心式空压机连续稳定工作在设计工况附近，有利于发挥离心式空压机配套压缩热再生吸附式干燥机节能的优点。

本工程全厂集中空压机站共配置3台容积流量100Nm³/min，排气压力0.80MPa，电机功率800HP的离心式空压机，和2台容积流量43Nm³/min，排气压力0.80MPa，电机功率250kW的无油螺杆空压机，正常工况下离心式空压机2台运行，1台备用，无油螺杆式空压机1台运行，1台备用。为充分利用空气压缩后产生的热量，有效降低系统运行的能耗，离心机和无油螺杆机均不设置后冷却器，保证干燥机充分利用压缩热进行干燥塔的加热再生。吸附式干燥机处理后的空气压力露点为-40℃。集中空压机站共设置6台吸附式干燥机，其中4台运行，2台备用，干燥机的处理能力为70Nm³/min，每台吸附式干燥机出口配置有后置过滤器。

全厂集中空压机站布置在#1炉后引风机室内，出口通过母管制连接并经各自的后处理设备处理后供给用户。全厂仪用气用户端前配置2台有效容积70m³的仪用储气罐，每台炉的输灰用气端前配置1台有效容积60m³的输灰储气罐，全厂检修用气端前配置1台有效容积60m³的检修用储气罐。检修用储气罐入口前设有电动关闭阀，当供气母管上的压力低于设定值时，关闭检修用气的供气，优先保证全厂仪用气和输灰用气供应。初设阶段检修用储气罐前设有空气冷却器，检修用气自空压机出口母管后经过空气冷却器冷却处理后，不经干燥机处理供用户。施工图阶段考虑到本工程的冬季气温较低，检修用气室外管道易发生冷凝水冻裂现象，因此全厂所有压缩空气都经干燥处理后供气。

4 设计小结

4.1 用气量的统计

集中空压机站系统设计的数据基础是各系统用户的用气量和用气品质的统计，数据统计的越准确越有利于设计的科学合理，因此用气量的统计工作非常重要应重视。电厂各系统的用气情况非常复杂，不利于统计准确。需借鉴和参考已投产机组空压机的实际运行情况，根据各工程的特殊性做修正。

4.2 空压机出口母管的保温

本工程的吸附式干燥机再生过程利用了空压机的压缩热，空压机出口的排气温度达到≥120℃，在设备及管路布置时，尽量减少空压机与干燥机间的管路长度，同时这部分

管路需按要求做保温设计，有利于减少压缩热的损失同时避免发生人员烫伤的情况。管道上的管件和阀门的设计温度都应考虑适用温度。

4.3 离心空压机辅助油泵保护电源

离心式空压机因其运行时转速高，对润滑油系统要求严格，在事故断电后，叶轮自高转速降至静止需要一个过程，因此离心式空压机的润滑油泵应设计保安电源，防止事故断电对空压机设备造成损坏。

4.4 压缩热的利用

本工程因气源设备采用了离心式空压机和无油螺杆空压机，因此首选压缩热再生吸附式干燥机，虽然设备的初投资费用较组合式高50%左右，但节能效果明显，经下表测算，一般3~4年内可收回初投资成本。

表2 压缩热再生与组合式干燥机比较表

项目	类型	压缩热再生	组合式
处理量 (Nm ³ /min)		~ 227Nm ³ /min	~ 227Nm ³ /min
干燥机配置		6台(4用2备)	6台(4用2备)
干燥机运行总功率		无	~ 40kW
再生气耗		1.5% (有气耗)	5%
气耗折算成电耗		~ 18kW	~ 60kW
年运行能耗		99000kWh (有气耗)	550000kWh
年运行成本差值		基础	+ 14.883 万元
设备初投资		~ 150 万元	~ 100 万元

注：表中年运行小时数按5500h计算。年运行成本中未考虑维护费用。

5 结语

空压机站做为电厂的一个动力中心及耗能大户，非常值得设计人员去挖掘节能的潜力，也是今后电厂优化设计的重点关注领域。本项目的集中空压机站系统采用离心式空压机和无油螺杆式空压机组，以离心式空压机为助力机型带全厂的基础负荷配以螺杆式空压机做为负荷波动时的调节手段，后处理设备采用压缩热再生吸附式干燥机充分利用压缩空气的热量进行再生。经项目投产后的实际运行情况反馈，整个压缩空气系统的运行非常稳定，基本达到了以离心式空压机运行为主，螺杆式空压机进行调节的设计预期，其节能成效因本项目为新建机组，无绝对相同条件的对比数据，因此节能情况有待进一步验证。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部《压缩空气站设计规范》GB 50029-2014
- [2] 中国电力工程顾问集团西北电力设计院《压缩空气系统调研专题报告》2010
- [3] 天津城建大学《工业企业空压机余热回收利用》2021 李何蓓