

索恩格工业园二期工程通风空调系统设计

艾静宇¹, 孙晓阳², 陈 意²

(1. 中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410205; 2. 和天(湖南)国际工程管理有限公司, 湖南 长沙 410205)

摘要:在“双碳”目标背景下,工业不仅是国家经济的支柱,更是实现“双碳”目标的主战场。随着我国高端制造业的不断壮大,汽车工业已经成为我国经济支柱之一,在激烈的竞争环境及国家“双碳”战略目标的要求下,相关企业对汽车零部件厂房的暖通空调系统及工艺冷水的可靠性、节能性和韧性提出了更高的要求。文章对索恩格工业园二期工程所采用的高效节能冷热源系统、舒适性空调水系统,以及工艺冷水系统耦合、冷却塔免费供冷、排风热回收等节能技术措施进行详细介绍,实际运行数据表明:本工程利用多种节能措施取得了可观的经济、社会及环境效益,可为高端精密制造厂房暖通空调系统设计提供有益参考。

关键词:水系统耦合; 变水量; 冷却塔免费供冷; 高大空间; 变风量; 气流组织; 排风热回收

中图分类号: TU831.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2026)04-0068-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2026.04.044

Ventilation and air conditioning system design for phase II of SEG park

AI Jingyu¹, SUN Xiaoyang², CHEN Yi²

(1. Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China;

2. Hetian(Hunan) International Engineering Management Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China)

Abstract: Under the background of the “dual carbon” goals, industry serves not only as the backbone of the national economy but also as the primary arena for achieving these targets. As China’s advanced manufacturing sector continues to grow, the automotive industry has become one of the key economic pillars. Consequently, automotive component plants face increasingly stringent requirements for reliability, energy efficiency, and resilience in their HVAC and process cooling water systems, driven by both fierce market competition and the national “dual carbon” strategy. This paper introduces energy-saving measures implemented in phase II of the SEG Industrial Park project, including the design of a highly efficient central plant, the coupling of the air conditioning water system with the process cooling system, cooling tower free cooling, and exhaust air heat recovery. Practical results show that these measures have yielded considerable economic, social, and environmental benefits, providing valuable references for the design of HVAC systems in advanced precision manufacturing facilities.

Key words: water system coupling; variable water volume; cooling tower free cooling; high space; variable air volume; air distribution; exhaust air heat recovery

据统计,我国工业能源消费量约占全国总消费量的2/3,碳排放量占全国碳排放量70%以上。工业企业绿色低碳转型是我国社会发展的迫切要求,也是增强“中国制造”产品全球竞争力的必要途径。维

持生产流程的温湿度环境并兼顾操作人员的热舒适要求的通风空调系统能耗是工业领域能耗的重要组成部分,低碳、高效、节能的通风空调系统为工业企业绿色低碳转型提供了有力的技术措施保障。

收稿日期: 2025-11-15

作者简介: 艾静宇(1983—),男,高级工程师,从事暖通空调系统设计。

钱华梅^[1]介绍了磁悬浮冷水机组的发展应用, 阐述了磁悬浮机组良好的节能效果。刘乃瑞等^[2]对汽车产业暖通专业新技术应用进行了分析模拟, 得出结论: 合理的气流组织既能满足员工的舒适度, 又能最大限度地节能。李伟等^[3]对汽车工厂碳减排措施进行了评估, 得出水泵变频、空调机组热回收具有很大的节能减排潜力。本文以索恩格工业园二期工程通风空调系统设计为例, 详细介绍磁悬浮机组、水泵变频、排风回收机组等节能技术, 以及通过舒适性空调与工艺空调系统水系统耦合、电动温控混水三通阀取代传统板式换热器、冷却塔免费供冷等技术, 进一步为现代化精密制造工厂提供更安全、舒适、绿色的生产环境, 以期可为高端精密制造厂房通风空调系统设计提供参考。

1 工程概况

索恩格工业园二期建设工程由 1#检测车间、2#厂房及门卫等配套用房组成, 如图 1 所示。1#检测车间建筑面积为 21 634.98 m², 建筑高度为 29.5 m, 为丙类五层工业建筑, 建筑功能为厂房、实验室等。2#厂房建筑面积为 38 051 m², 建筑高度为

11.88 m, 为丙类单层工业建筑。地下一层建筑功能为生活及消防水泵房, 地上建筑功能为车间、仓库、办公及配套附属用房。



图 1 索恩格工业园二期工程

空调房间室内设计参数如表 1 所示, 室内主要房间设计通风换气次数如表 2 所示。

2 空调通风系统设计

2.1 空调系统设计

2.1.1 空调系统负荷

(1) 经过技术经济分析并满足业主要求, 本工程在 2#厂房一层制冷机房及一层锅炉房内设置集中冷热源。

表 1 空调房间室内设计参数

房间名称	夏季温度/℃	冬季温度/℃	夏季相对湿度/%	冬季相对湿度/%	新风量/ (m ³ ·h ⁻¹ ·人 ⁻¹)	噪声声级/ dB(A)
车间	28	18	60	—	≥50 且补偿排风 保持正压所需风量之和	≤70(精密加工)
仓库	30	18	60	—	≤60	≤60
办公	26	20	60	—	30	≤55(车间内)
实验室	26	18	60	15~75	50	≤55(车间内)
工作廊	25	20	60	—	30	≤55(车间内)

表 2 室内主要房间设计通风换气次数

房间名称	排风方式	换气次数/(次·h ⁻¹)	送风方式	补风量	备注
制冷机房	机械	6(平时排风)/ 12(事故排风)	自然	—	事故通风系统同制冷剂 气体浓度探测器联锁
锅炉房	机械	12(事故排风)	自然	—	事故通风系统同甲烷浓度 探测器联锁
水泵房	机械	6	机械	不小于排风的 80%	室内负压
变电所	机械	按设备发热量计算	自然	—	室内负压
空压机房	机械	按设备发热量计算	自然	—	室内负压
车间工艺排风	机械	总排风量 14.4 万 m ³ /h	机械	利用空调系统补风	室内正压
高负压系统	机械	总排风量 1.8 万 m ³ /h	机械	利用空调系统补风	室内负压

(2) 根据逐时负荷计算,索恩格工业园二期建设工程空调计算总冷负荷为 8 848 kW,冬季计算总热负荷为 3 532 kW。1#检测车间空调系统夏季计算冷负荷为 3 506 kW,冬季计算热负荷为 840 kW,工艺冷水负荷为 2 000 kW。2#厂房空调系统夏季计算冷负荷为 5 342 kW,冬季计算热负荷为 2 692 kW。

2.1.2 空调系统冷热源

(1) 近年来,磁悬浮离心式冷水机组以其超高的性能系数及节能率^[4]在工程中被广泛使用。本工程舒适性空调采用 3 台磁悬浮式冷水机组作为空调系统冷源,选用 3 台低氮承压燃气热水锅炉作为空调系统热源。其中:磁悬浮离心式冷水机组单台制冷量为 3 165.3 kW,总制冷量为 9 495.9 kW,冷冻水进/出口水温为 12℃/6℃,冷却水进/出口水温为 32℃/37℃;低氮承压燃气热水锅炉单台制热量为 2 100 kW,预留 1 台低氮承压燃气热水锅炉(额定制热量 1 400 kW),总制热量为 5 600 kW,热水进/出口水温 70℃/90℃。空调热水系统采用电动三通温控阀使供水与回水汇合得到空调系统及卫生热水,取代传统承压锅炉+板换形式,降低能耗。

(2) 本工程工艺冷水需求温度为 18~23℃,理论和实验表明,当制冷机组冷水温度提高时,其能效指标与标准机组相比有大幅度提高^[5]。本工程选用两台高温型磁悬浮离心式冷水机组作为工艺冷水系统冷源。高温型磁悬浮离心式冷水机组制冷量为 1 055.1 kW,总制冷量为 2 110.2 kW,工艺冷冻水进/出口水温为 23℃/18℃,冷却水进/出口水温为 32℃/37℃。

(3) 本工程工艺冷水系统全年每日 24 h 运行,当冬季室外气温低时,冷却塔可以提供工艺冷水所需温度的冷水,由于工艺冷水系统制冷主机不开机,可以节约大量电力^[6]。

(4) 变配电房设置单元式空调器。

(5) 车间内办公及培训教室等设置多联式空调。

2.2 空调水系统设计

在集中空调系统中,冷冻水泵和冷却水泵能耗约占总能耗的 25%~30%^[7]。考虑系统作用半径较大、设计水阻较高、用户侧按需调节、室内湿度控制等因素,空调冷热水系统采用二级泵变流量系统^[8],四管制闭式强制循环。当 2#厂房当

工艺冷水负荷过低导致冷水机组无法开机或冬季室外湿球温度低于设定值时,将空调冷水系统、工艺冷水系统、冷却水系统耦合。通常情况下,开启工艺空调冷水机组服务于工艺冷水系统;当工艺冷却负荷较小致使冷水机组无法开机运行时,利用舒适性空调系统经板式换热器间接服务于工艺冷水系统。空调中央冷源水系统原理如图 2 所示。

2.2.1 空调冷水系统

舒适性空调冷水系统一级泵与制冷主机一一对应。为增强系统耦合性及安全性,二级泵不分区,四用一备。一级泵定流量运行,二级泵变流量运行。

2.2.2 工艺热水系统

(1) 工艺性空调冷水系统一级泵与制冷主机一一对应。二级泵不分区,两用一备。一级泵定流量运行,二级泵变流量运行。

(2) 由于冷水机组冷水流量低于机组最小流量限值时,会影响机组运行安全^[9]。故当工艺冷却负荷较小致使冷水机组无法开机运行时,设置两台空调冷水与工艺冷水耦合水泵。

2.2.3 空调热水系统

热水系统一级泵与锅炉一一对应,二级泵系统通过温控三通水阀将不同末端形式回水同锅炉供水混合后分别向风机盘管、组合式空调器提供不同温度热水。其中风机盘管区域供回水温度为 60℃/45℃,热水二级泵 2 用 1 备;组合式空调器区域供回水温度为 70℃/45℃,热水二级泵 2 用 1 备;卫生热水一次侧供回水温度为 90℃/45℃,热水二级泵 1 用 1 备。一级泵定流量运行,二级泵变流量运行。空调中央热源水系统原理如图 3 所示。

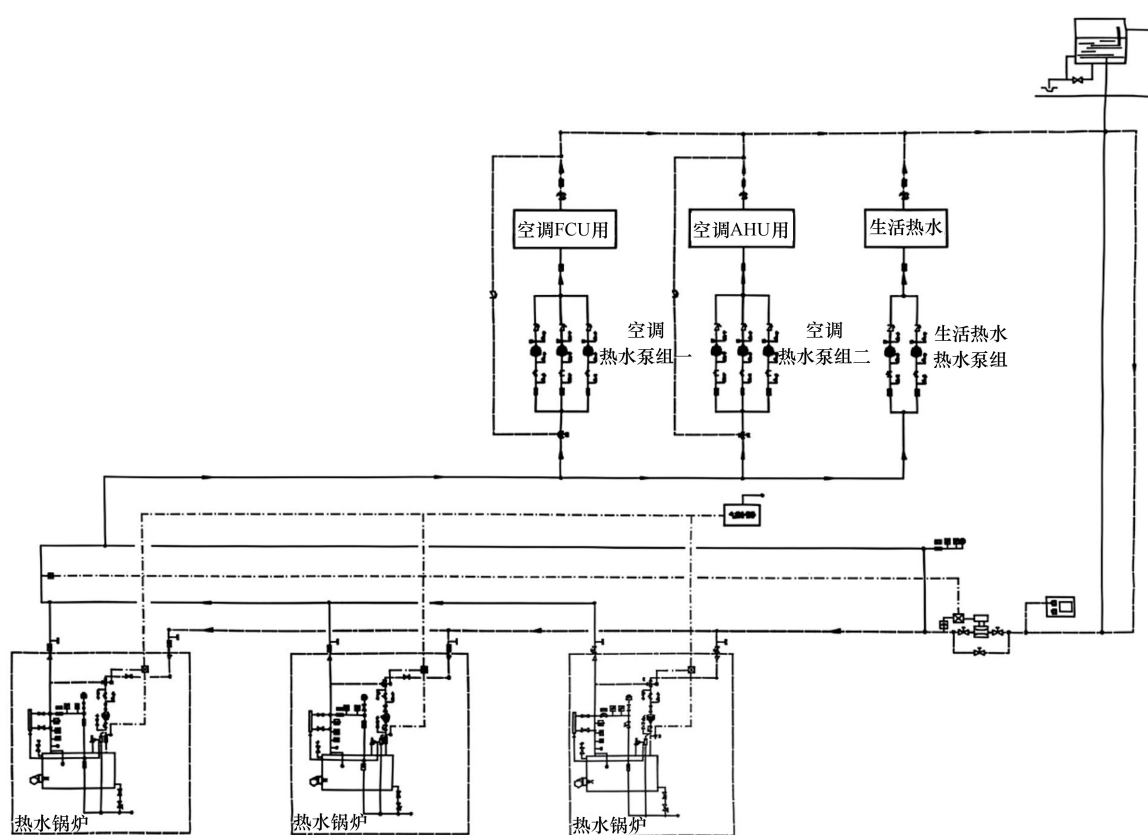
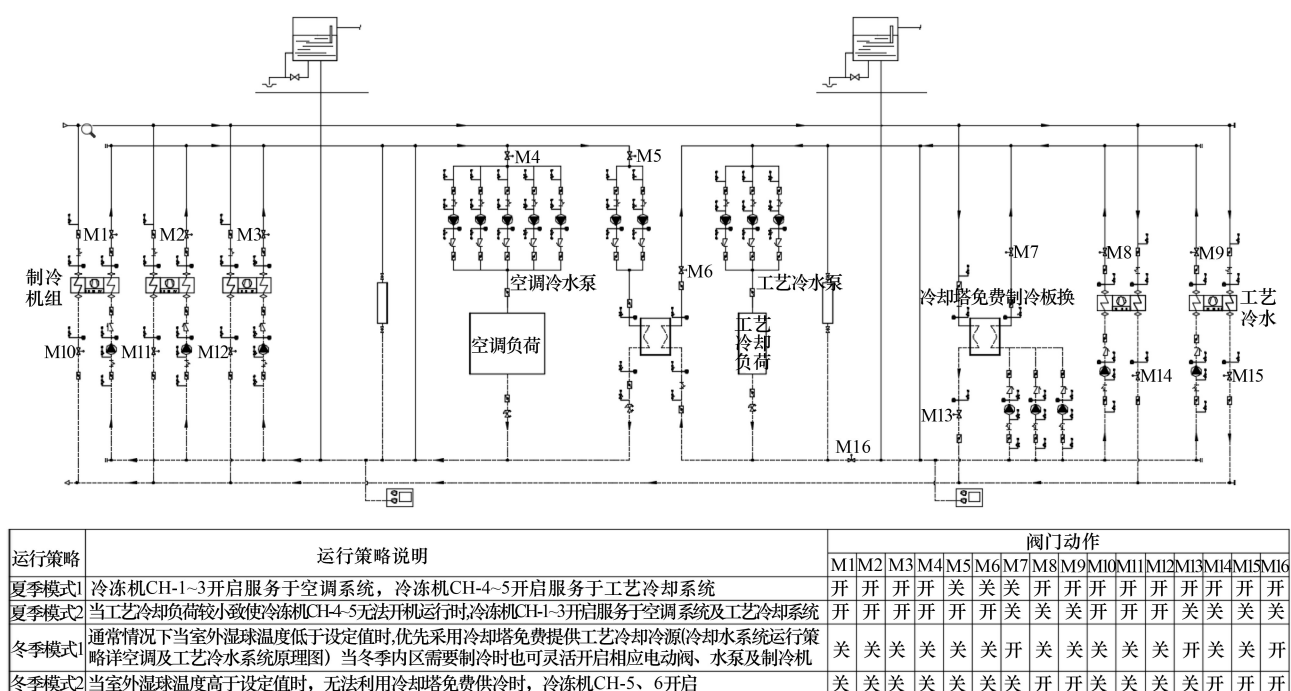
2.2.4 冷却塔免费供冷

设置 3 台冷却塔免费供冷水泵。

2.3 空调风系统设计

空调风系统的划分原则以建筑平面布置、使用功能及防火分区为基础。

(1) 1#检测中心一层门厅采用一次回风定风量低风速全空气系统。新风与回风进行冷热处理后送入室内。气流组织为下送下回。送、回风总管均设消声静压箱。送风口采用球形喷口,回风口采用单层百叶。



(2) 1[#]检测中心三、四层实验室空调系统内外分区,外区设置风机盘管消除外围护结构负荷,内区设置一次回风变风量低风速全空气系统。内

区转轮式热回收空调机组设置于屋面机房，新风与排风经过转轮式热回收装置进行能量交换同回风混合经冷热处理后送入室内。

(3) 1#检测中心五层综合厂房空调系统内外分区,外区设置风机盘管消除外围护结构负荷,内区设置一次回风变风量低风速全空气系统。内区转轮式热回收空调机组(双风机)设置于屋面机房,新风与排风经过转轮式热回收装置进行能量交换同回风混合经冷热处理后送入室内。气流组织为上送上回。送、回风总管均设消声静压箱。转轮式空气处理机组主要功能段包括新风段过滤段、混风段、转轮式全热交换器、新风调节段、中效过滤段、表冷段、加热段、送风机段、均流段、消声段、过滤段、送风段、回风段、回风机段。

(4) 1#检测中心一层整车半噪声实验室、汽车在环实验室、动力总成噪声实验室、高转速噪声实验室、振动实验室采用一次回风定风量双风机低风速全空气系统。

(5) 2#厂房为高大空间且工艺排风量达 $1.44 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。通常空间高度大于 5 m、体积大于 1 万 m^3 的建筑被称为大空间建筑^[10]。由于浮力的原因,高大空间容易产生垂直温度梯度,为了实现良好的气流组织,减少处理后空气与高空热空气进行无效热交换造成能量浪费,将转轮式热回收空调机组设置于屋面技术层,新风与排风经过转轮式热回收装置进行能量交换后同回风混合经冷热处理送入室内,空调送风经“鱼骨”型送风母管由高位送至距地 3.0 m 处。置换风口采用外部带矩形开孔形式,通过手动链条调节导流盘位置切换送风方向,实现冷热工况切换。转轮式空气处理机组主要功能段包括新风段过滤段、混风段、转轮式全热交换器、新风调节段、中效过滤段、表冷段、加热段、送风机段、均流段、消声段、过滤段预留加湿段、送风段、回风段和回风机段。新风调节段电动风阀同工艺排风系统同步控制,保证室内微正压。

(6) 2#厂房内仓库采用吊顶式空气处理机组。新风与回风进行冷热处理后送入室内。送风口采用球形喷口,回风口采用单层百叶。

2.4 通风系统设计

2.4.1 一般通风系统

(1) 制冷机房设置平时排风系统兼事故排风系统,利用外墙百叶自然补风。平时排风量 6 次/h,事故通风量 12 次/h。分设上排下排风口,上排风口排

除热气,下排风口排除事故时散发的制冷剂气体。

(2) 一层锅炉房设置机械排风兼事故排风系统,利用外墙百叶自然补风。平时排风及事故通风量 12 次/h。锅炉房通过上排风口排除热气及可燃气体(甲烷)。

(3) 空压机房设置机械排风系统,利用外墙百叶自然补风。

(4) 仓库设置空调季节机械排风及过渡季节排风系统,利用组合式空调器进风。

2.4.2 工艺排风系统

在生产过程中部分工序会产生含有害物质的废气,根据污染物种类、废气量采取对应的处理措施,使废气经处理后达到环保排放标准。2#厂房车间内设置工艺排风系统,工艺排风中油雾经活性炭过滤器处理后达标后集中排放,排风口设 VOCs 在线监控系统。单台设备进出口设电动风阀,利用组合式空调器补风。工艺排风系统风管每 12 m 设置集油口,距地 1.5 m 处设闸阀,油污定期排放,工艺排风管内给排水专业设喷头,喷头处设 DN300 检查口,与喷头位置一一对应。工艺排风喷淋、放油管、排风支管安装方式如图 4 所示。

2.4.3 高负压系统

机械制造行业孔加工约占总机械加工的 1/3,孔加工所有难题中排屑是关键中的关键,高负压系统是解决排屑问题的有效途径^[11]。

(1) 2#厂房车间内设置集中式高负压系统,利用组合式空气器补风,高负压系统主机两用一备,除尘器不备用。

(2) 集中式高负压系统具体要求:风管、主机、除尘器、导静电软管静电接地,法兰跨接。主管管末端设置管道反吹阀门,确保管道内无积尘。除尘器进出机房干管设隔爆阀。高负压系统主管管设计风速不小于 25 m/s。要求主机电机保护等级 IP55,绝缘等级 F 级。风量在 -22 kPa 时需达到 4 000 m^3/h ,高负压过滤器耐压 -40 kPa,满足 8/24 h 工作要求。整套系统控制由单台中央控制单元来控制,通过管道内的压力来自动调节高负压主机启停。高负压除尘系统对 0.5 μm 颗粒过滤效率需大于 99.9%,需满足国家环保排放要求。

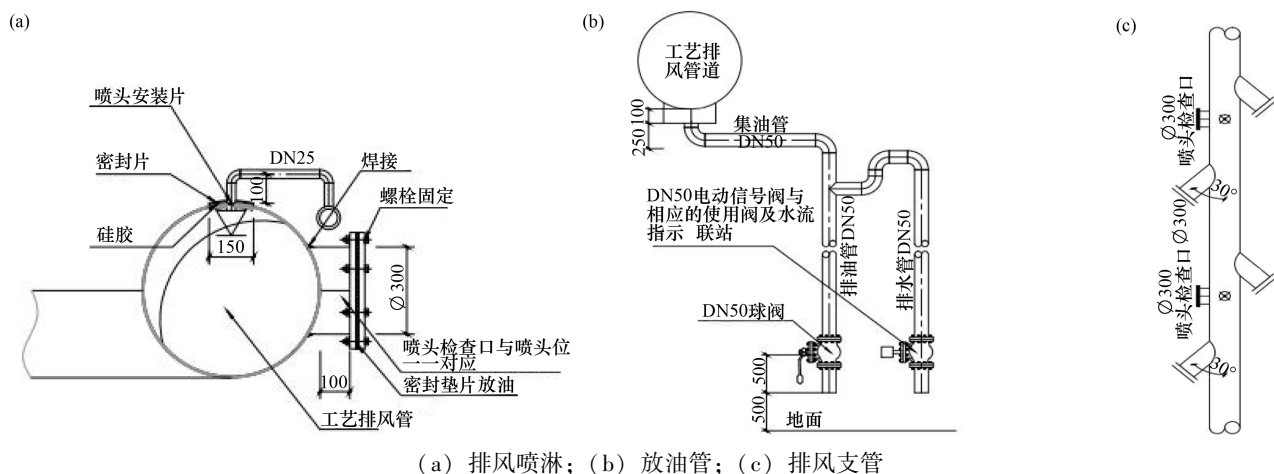


图 4 工艺安装示意

mm

3 通风空调系统自动控制

本工程设置数字化的空调自动控制系统来统一协调空调、通风系统及设备的运行, 以实现高效、节能、便捷的运行效果, 空调自动控制系统可以纳入 BA 系统, 实现在 BA 系统平台上的综合运行管理。

(1) 冷水机组台数控制策略。冷水系统负荷侧设流量和温差传感器以计算即时负荷, 当即时冷负荷大于一台机组的额定负荷且持续 10 ~ 15 min, 增加一台冷水机组运行; 反之停止一台主机运行。

(2) 锅炉台数控制策略。当实际供水温度 < 设定供水温度且持续 10 ~ 15 min, 则增加一台锅炉运行。当实际供水温度 > 设定供水温度且持续 10 ~ 15 min, 则停止一台锅炉运行。

(3) 冷热水二级变频泵系统控制策略。系统供回水压差控制压差信号取自最不利环路供回水支管、中间环节的供回水管共两个点(1#检测车间内), 以此来调节变频水泵运行转速。

(4) 当工艺冷水系统负荷过小以致无法开机时, 通过切换水路阀门由空调系统冷水机组通过板换间接供冷。

(5) 冷却塔免费供冷系统控制策略。拟定室外空气湿球温度 7 °C 为设计工况切换点, 通过切换水路阀门由冷却水系统通过板换间接供冷。冷却塔免费供冷时, 同时开启 3 台冷却塔模块运行, 承担额定工况 50% 的散热量, 以提高冷却塔供冷效率。冷却塔运行模式通过电动水阀切换。

4 问题与不足

本工程于 2021 年竣工, 已投产 4 a, 通风空调系统运行良好, 符合设计要求, 获得业主好评, 但也存在一些问题与不足, 简述如下。

(1) BIM 技术在控制净高、减少设计“错漏碰”等方面发挥了重要作用, 但也使设计人员形成了一定的路径依赖, 导致交付成果不能满足施工安装及后期全生命周期运行维护要求。本工程机电管线涉及给排水、电气、暖通、智能化、气体等众多专业, 在设计过程中未完全对所有机电管线进行详细的二维管网综合导致部分气体管线与其他专业管线出现冲突。

(2) 根据《固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法》(HJ 1013—2018) 规定: VOCs 在线监测系统原则上要求一个排气筒安装一套系统。若一个固定污染源排气先通过多个烟道或管道后进入该固定污染源的总排气管时, 应将监测系统安装在总排气管道上; 否则每个烟道或管道上都要分别安装监测系统。当地环保部门对于本工程废气排放数量有要求, 由于本工程未合并设置排气管, 导致 VOCs 在线监测系统数量增加。

(3) VOCs 在线监测系统数据机房对房间温湿度有相应要求, 设计时该房间未设置空调系统。

(4) 根据 HJ 1013—2018 规定: VOCs 在线监测系统要求监测点需设置于直管段且直管段长度大于 6 倍当量直径。由于受机房场地限制, 直管段长度未满足大于 6 倍当量直径要求。

以上问题在施工过程中被发现, 并分别采用

深化管综设计、增设空调系统、修改管线路由等方式进行解决。

5 结 语

本文以索恩格工业园二期工程为研究对象,对复杂精密制造厂房通风空调系统设计进行了系统梳理与总结。工程采用磁悬浮离心式冷水机组、二级泵变流量水系统、转轮式热回收、高大空间分层送风、冷却塔免费供冷及智能化自动控制等技术措施,在满足车间、实验室、办公等不同功能区域使用要求的前提下,实现了节能高效、运行可靠、环境舒适的设计目标。

通过工程实践表明,工业建筑暖通空调设计应在满足工艺生产、消防安全及环保规范的基础上,统筹冷热源配置、气流组织、系统控制与管网综合,注重全生命周期节能与运维便利性。本项目的设计思路、系统选型可为同类厂房的通风空调系统设计提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 钱华梅. 磁悬浮离心式冷水机组的发展及应用[J].

价值工程,2015,34(28):139-140.

- [2] 刘乃瑞,钟澍,况欣. 新能源汽车整车厂暖通专业新技术的应用[J]. 世界汽车,2015(12):44-45.
- [3] 李伟,侯川. 汽车工厂暖通空调碳减排措施潜力评估[J]. 制冷,2024,43(6):70-73.
- [4] 殷平. 磁悬浮离心式冷水机组和国家标准[J]. 暖通空调,2013,43(9):53.
- [5] 田旭东,刘华,张治平,等. 高温离心式冷水机组及其特性研究[J]. 流体机械,2009,37(10):55.
- [6] 王翔. 冷却塔供冷系统设计方法[J]. 暖通空调,2009,39(7):99.
- [7] 董宝春. 刘传聚,刘东,等. 一次泵/二次泵变流量系统能耗分析[J]. 暖通空调,2005,35(7):82-85.
- [8] 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范:GB 50019—2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
- [9] 汪训昌. 空调冷水系统的沿革与变流量一次泵水系统的实践[J]. 暖通空调,2006,36(7):32-40.
- [10] 范存养. 大空间建筑空调设计及工程实录[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001:22-23.
- [11] 李建,王彪,刘永姜,等. 深孔加工负压系统优化设计[J]. 机械设计与研究,2012,28(6):99.

(上接第 50 页)

(2) 隔离桩是控制基础沉降的核心措施。数值模拟显示,隔离桩缺失时,地基土侧向流动与沉降直接传递至基础,导致沉降显著增大,充分说明隔离桩对切断沉降来源的作用不可替代。

(3) 钢拱架抗沉槽钢与袖阀管注浆均能减少沉降,二者缺失时沉降增幅相近,具有等效互补性。

(4) 基于各措施的作用差异,工程设计需根据基础沉降敏感性与地基条件优化协同体系的设计:对沉降高敏感区优先强化隔离桩,切断深层变形传递;基础刚度不足处增配抗沉槽钢,增强抗变形能力;松散地层补充袖阀管注浆,改良持力层性能。这种针对性的组合措施兼顾安全性与经济性。

参考文献:

- [1] 轩俊杰,赵天明. 浅埋铁路隧道下穿高压输电铁塔的工

法研究[J]. 城市道桥与防洪,2016(11):150-153.

- [2] 阳军生,杨元洪,晏莉,等. 大断面隧道下穿既有高压输电铁塔施工方案比选及其应用[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(6):1184-1191.
- [3] 田鲁鲁,郭永发,刘正初. 单线浅埋隧道下穿高压铁塔施工方案研究[J]. 铁道勘察,2019,45(3):47-52.
- [4] 杨元洪. 李家冲大跨度隧道施工与上覆高压输电铁塔相互影响分析[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [5] 余德强,贺思悦,侯航,等. 浅埋隧道下穿高压铁塔注浆加固效果的数值分析[J]. 公路,2018,63(3):247-252.
- [6] 张瑞金,胡奇凡. 摩尔库伦和修正摩尔库伦本构有限元模拟结果对比分析[J]. 中国房地产业,2015(8):256-258.