

Software Human Factors Engineering Optimization Strategy for Power Plant Central Control Room in the Context of Industry 4.0—Taking the Shouguang Plant Central Control Room Retrofit Project as an Example

Meiqi Yin Jiaming Wang Lu Liu

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250013, China

Abstract

This paper aims to analyze the design of the power station centralized control room space under the background of Industry 4.0 from the of contemporary, starting from the perspective of soft ergonomics design, using soft ergonomics technology to improve the space of the dispatching center, enhancing the of the indoor space from the perspective of people-oriented, and promoting the optimization and upgrading of the power space. And based on practical project experience, a series optimization strategies combining the concept of soft ergonomics to meet the current design needs of the control room are summarized, which are conducive to improving the comfort and work of personnel, while the optimized design makes this space a smart technology business card, and creates a window for the company to showcase to the outside world.

Keywords

power plant; central control room; human factors design; soft ergonomics

工业 4.0 背景下电站集控室的软人因工程优化策略——以寿光电厂集控室改造项目为例

殷美琪 王佳铭 刘璐

山东电力工程咨询院有限公司, 中国 · 山东 济南 250013

摘 要

论文旨在基于当代视角, 分析工业4.0背景下的电站集控室空间设计, 从软人因工程设计的角度出发, 利用软人因技术改善调度中心空间, 以人为本的角度提升室内空间品质, 推动电力空间的优化升级。并结合实际项目经验总结出一系列结合软人因工程概念以满足当下集控室设计需求的优化策略, 有利于提高人员舒适性和工作效率, 同时优化设计使该空间成为智慧科技名片, 打造成为企业对外展示的窗口。

关键词

发电站; 集控室; 人因设计; 软人因

1 引言

“工业 4.0”是第四次工业革命的概念, 主要是指通过信息技术的广泛应用, 尤其是互联网、物联网、大数据和人工智能等技术, 促进制造业的自动化、智能化和互联化。这一理念最早由德国提出, 旨在通过智能工厂的建设, 实现生产效率、产品质量和灵活性的大幅提高。在此背景下的新一代电厂主控室控制系统也已由传统的模拟控制发展为数字控制。一方面提高了系统的信息化和自动化水平, 另一方面, 由于空间系统在人—机界面和人—机交互模式等方面发

生了很大变化, 由此引发了新的设计需求——“软人因工程优化设计”。

在工业 4.0 时代能源产业快速发展的背景下, 传统的集控室空间设计已经无法满足当前的需求。集控室不仅承担着基础的调度功能, 作为现代化数据中心, 它融合了科技与文化, 还肩负着企业对外展示形象的任务。集控室不仅是能源项目的核心中枢, 也是对内关怀、对外展示的重要窗口。

通过对一系列电力安全事故进行分析, 人的因素对电力工业系统安全运行所起到的重要作用愈发凸显。基于工业 4.0 背景下的电站空间建设, “软人因工程”关心的是人在技术系统中的心理和社会层面, 通过更好地理解与设计人机互动过程, 帮助提升用户体验、效率和安全性。它和“硬”

【作者简介】殷美琪, 女, 硕士, 从事建筑、室内、艺术设计研究。

人因工程一起,构成了更为完整的人因工程学,为电力空间设计出更为人性化和高效的系统。

2 集控室软人因工程概念

软人因工程(Soft Human Factors Engineering)的概念发展源于对人机交互和用户体验的重视和研究。“软人因工程”是一种专注于提高人与技术系统之间交互效率和体验的学科,重点关注人的心理、情感认知和社会因素。与传统的人因工程(也称为“硬人因工程”)主要考虑人体的物理特性和与设备的物理互动不同,软人因工程更多地关注人的思维方式、情感反应、团队协作等方面,旨在改善人机界面和团队工作环境中的沟通与合作。

3 工业 4.0 背景下电站集控室空间常见问题

3.1 空间布局不合理

由于一些电站建设年代较久,更新后的集控室空间布局可能没有充分考虑空间的展示功能和空间的人流动向,导致空间布局不够合理。操作人员工作时缺乏舒适性,尤其是在紧急情况下甚至可能影响工作效率。

3.2 设备配置不足

有些集控室在设备配置上不够统一齐全,可能缺少必要的辅助设备,影响对电站运行的使用需求。如电厂升级扩容后需改造或新上配电系统,调整厂用电配置接线,满足本工程用电需求。各负荷设备的电缆敷设,以满足优化改造后的空调、照明等设备投入使用。

3.3 人机界面设计不足

人机界面可能缺乏人性化设计,导致操作人员在操作过程中容易出现误操作或疲劳。操作界面设计不够直观,信息过于繁杂,导致操作人员在关键时刻难以快速获取所需信息,监控和控制过程中容易产生误操作或忽视重要信息。

3.4 环境舒适度欠缺

集控室的噪音控制、温度调节等环境因素可能未能达到最佳状态。未能充分考虑光照、温度、湿度、噪声等因素,影响操作人员的工作舒适度和效率。

4 电站集控室设计中的软人因工程应用

集控室在电厂中扮演着至关重要的角色,是电厂高效、安全运行的神经中枢。在集控室设计中融入“软人因”概念,主要是通过关注操作者的认知、情感、协作需求,优化其与系统的交互体验。这些方法提升了系统的效率和安全性,减少操作失误和工作压力。软人因工程的设计应用主要从空间美学、情感化表达、感官环境这三个方向着手进行分析。

4.1 电站集控室软人因设计——空间美学设计

依据环境心理学与室内空间的具体要求,对空间的布局特点、比例尺度、色彩调和、明暗对比等进一步刻画,为有限的集控室空间塑造出更多层次与形式变化,演绎不同节奏的空间组合方式。通过材料与色彩的组合应用,在总体追求稳定平衡的趋势中打造更加多元的节奏变化。

4.2 电站集控室软人因设计——情感化设计

人的情感来自内心需求。就集控室空间内工作人员而言,心理感受的获得往往来自不同的时间与周边环境产生的情感交流。

人类工效学和室内设计与美学(ISO11064-6)要求,控制室室内设计应有助于主要操作活动。集控室软人因工程中的情感化设计,是将抽象性的情感需求转化为可感知的空间形式。通过对装修形态、文化环境、灯光、字体所传达出的不同感受根据项目需求进行呈现,表达空间的品质内涵或文化精神,使进入该空间的“人”获得定向情感体验。

4.3 电站集控室软人因设计——感官环境设计

感官环境设计作为软人因设计中重要的一环,能够直接影响集控室空间的使用质量,影响运行人员的工作和生活。包括视觉环境中的光环境设计、色彩环境设计;听觉环境设计中的噪声控制设计;触觉环境设计中的振动觉设计;温度觉与室内热环境设计;人体生物节律设计等。

光照是人体生理节律的主要触发因子,人类日出而作,日落而息的习惯虽然被工业社会的到来所打破,但长期进化所形成的人的生理节律终究是源于自然、适于自然。多项研究表明,人的生物节律会影响人的心理和操作能力,因此,重大工业事故常常发生在黎明前工作人员最困倦之时。三哩岛与切尔诺贝利核电厂事故,都是发生在这个时段。控制室环境设计应减轻轮班工作的不利影响(ISO11064-6)。操作人员应该能够在凌晨将控制室温度增加 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$,以弥补昼夜节律。

5 寿光电厂集控室空间优化策略

通过对项目实地考察,项目定位为以人为本的集控室“软人因工程”设计,结合国家能源集团企业文化、人因工程设计以及软人因设计的内容,从以人为本的角度对集控室区域进行统筹设计。

集控室室内设计从学科设计驱动、强调以人为中心、遵循系统工程方法、目标协调的人因工程设计,到结合人体生物节律、情感化设计并实行包括光环境、热环境、声环境、色彩环境等设计在内的一系列感觉环境设计,打造基于工业4.0背景下的电站集控室软人因设计。同时对汽机房与集控室之间的墙体进行艺术化的创意设计,打造结合降噪功能的企业文化的展示墙。

5.1 空间形态设计

以视觉环境为例,应控制室功能特点与美学(ISO11064-6)要求,控制室内设计应提供美化设置或其他视觉放松形式,通过将纹理和颜色的变化赋予工作位置、椅子、显示器,以及使用带有网格等几何结构的天花板形态,实现空间带给使用者的视觉放松感受(表1)。

5.2 区域界面设计

数字化人一机界面是多元化的信息显示系统,人一机界面不受限于界面的物理空间,通过相关的指令就可以查看相关的信息、调用相关的画面,信息集中显示也有利于操纵员获取

相关的信息，报警方式更具灵活性和多样性，相比传统主控室的人-机界面在信息的完整性和安全性方面也都得到了很大的提高。但信息获取的直观性下降，操纵员认知负荷上升。

因此，操作界面是否简捷有效，直接影响到操作人员的信息识别及工作效率。数字化的控制室界面显示无需固定连续可见的硬件设备空间，重点需要将配置、导航、画面调整、查询、快捷方式等大量的软件设备界面显示进行统一管理。

在寿光电站集控室优化改造设计中，重点改造集控室区域的火灾报警及消防控制系统，同时将新增加空调机组的控制纳入空调自控DCS系统。优化操作界面及设计流程，进而提高操作人员的使用效率。

表 1 装饰表面反射系数推荐值

表面位置	色彩	反射系数 ρ (%)	构件
上部	白色	$\rho \geq 80$	天花
中部	冷灰色	$50 < \rho < 60$	墙面
中部	冷灰色	$20 < \rho < 60$	工作面
下部	深暖灰色	$20 < \rho < 30$	地板

5.3 色彩空间优化设计

主控室作为电厂的控制核心，其色彩设计应既符合空间的功能特性，又能满足使用者的心理需求和视觉舒适感。

主控室的设计应着重为员工营造高效、专注的工作氛围，因此整体色调通常以沉稳的冷色系为主，避免大面积使用安全警示色和暖色系等令人亢奋的颜色。这些色彩容易带来兴奋或燥热的感觉，使长期处于该环境中的操作人员感到疲劳，从而降低专注度，影响工作效率。主控室的室内墙面应优先选用浅色，而非鲜艳的颜色，避免因色彩选择对心理产生不良影响。选色不当可能会给人压迫感。

控制室内设计与美学（ISO11064-6）要求，主控室室内墙壁饰面色彩选择应优选淡色而不是亮色，避免产生心理压迫感从而影响员工身心健康和工作效率。深色的椅子面料使用“斑点”而不是素色装饰，从长远来看更为实用。

如国能寿光项目在设计的过程中不可避免地需要使用到集团品牌色能源红与党徽金等暖色调，可在吊顶墙、面或值长台等局部空间作点缀使用。现场调研过程中发现值长台显示器由于入场批次不同而存在大小不一的问题，影响空间界面的优化效果，故进行统一更换。

5.4 噪声控制优化设计

《火力发电厂建筑设计规程》第 4.3.2 条规定，集中控制室、主控制室、通信室、计算机房、其他控制室（室内背景噪声级）应 $\leq 60\text{dB}(\text{A})$ 。噪声干扰在很大程度上会影响集控室人员的工作质量。控制室内的噪声是集中控制室环境设计中的一个重要环节。

主控室的听觉设计主要关注噪声控制和声学特征的优化。声学特征的设计与室内布局、主控室的尺寸以及设备和家具配置有关。此外还需考虑振动觉，除汽轮机、发电机外，还有室内其他生产设备和空调设备所产生的振动，以及振动噪声的辐射和固体声沿结构的传播。

对于寿光电厂集控室区域空间的噪声控制优化方案，主要从控制声源、控制声音传递过程和隔声处理三个方面进行设计。为控制声源，对集控室与汽机房之间隔墙进行降噪改造。对集控室 5 个防火门进行更换则为控制声音传递的手段。改造后集控室及其东南角储藏室内噪声值均低于 60dB。符合《火力发电厂建筑设计规程》中对集控室空间噪声环境标准。

5.5 热环境优化设计

寿光电站项目的热环境设计优化主要是对集控室区域吊顶内空调风管、风口的升级改造。结合软人因设计理念，通过智能温湿度空气系统控制，改善集控室内热环境，调节操作员昼夜节律。结合人体生物节律与工作交接班规律，重新设定集控室的室内温湿度，以抵抗大自然“时间分配器”的影响，找到适合工作人员自己的工作节奏。

主控室使用人工光源时，考虑工作界面的色温对运行人员舒适度和清晰度的影响，并根据上班、作息时间的变化，自动调节色温。通过人工智能控制改善室内设备运行的视觉条件，保护使用者视力，减轻疲劳感，提高工作效率，从人因工程设计的角度避免或减少事故的发生。

5.6 光环境优化设计

由于工作的特殊性，发电厂主控室夜间必须有人监盘值班，长期的“逆时而动”，会影响值班员身心健康。通过软人因设计理念中照度恒定色温时间变化规律对光源系统进行智能控制，进而改善运行视觉条件，减轻疲劳感。人工光源考虑工作面的色温对工作人员的舒适度和清晰度的影响，根据上班作息时间变化自动进行调节色温。

休息区及临时洽谈区域建议设计人工日光光源，照明色温控制在 4000~6000K，采用三基色荧光灯，0.75 水平面照度 500Lx。吊顶引入无电照明设计为工作人员提供模拟户外日照条件。

6 结论

①论文总结了工业 4.0 背景下电站集中控制室空间设计存在的一些常见问题，进而提出了研究软人因工程设计的必要性。②从以人为本的角度出发，对美学设计、情感化设计、感官环境设计等三大设计策略方向进行论述。通过结合实际问题经验，总结出一系列满足当下需求的优化设计方法论，有利于提高人员舒适性和工作效率，可供设计人员参考。

参考文献

[1] 韩维生.设计与工程中的人因学[M].北京:中国林业出版社,2015.
[2] 陈海华.“文化创意+”电力工业融合发展[M].北京:知识产权出版社,2019.
[3] GB T 13631—2023核电厂辅助控制室设计准则[S].
[4] 光照对人的生理节律的影响[J].灯与照明,2005(29):32-33.
[5] 武晓东.面向健康照明的光生物机理及应用研究.江苏省.中国科学院苏州生物医学工程技术研究所,2022-02-17.
[6] 李岩.空调房间污染物的分布特性研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.