

基于节能降耗目标的变电站建筑设计方案研究

李红琳

特变电工沈阳电力勘测设计有限公司天津分公司 天津 301700

【摘要】：变电站建筑作为电力系统的重要组成部分，其节能设计直接影响电网运行成本，通过分析建筑布局、围护结构、空间规划及附属设施的设计路径，提出系统化的技术优化方案，重点探讨降低围护结构传热系数、提升自然通风与采光效能、优化给排水系统布局等具体手段，方案旨在减少建筑全寿命周期内的能源损耗，提升变电站建筑的热工性能与环境适应性，为实现绿色变电站建设提供技术支撑。

【关键词】：变电站建筑；节能设计；围护结构；空间规划

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.074

电力需求增长推动了变电站建设规模扩大，传统变电站建筑因功能单一且侧重于工艺需求，往往忽视了建筑本身的节能潜力，在当前能源结构转型背景下，建筑能效提升成为降低电网运维损耗的关键环节，针对变电站高发热、无人值守或少人值守的特性，从建筑设计源头融入节能策略，利用被动式技术改善室内热环境，减少人工环境调节的依赖，是提升建筑方案科学性的重要手段。

1 变电站建筑选址与总体布局节地优化

选址阶段需考虑地形地貌对微气候的影响，优先利用自然坡度减少土石方工程量，降低施工期的能源投入，总体布局应结合当地主导风向，将主控楼与配电装置室按风压分布规律排列，通过合理设置建筑朝向，使其长向立面尽量避开夏季强辐射方位，例如保持与南向偏东或偏西 15° 以内的夹角，站内道路采用环形布置以缩短电缆沟与管线长度，减少传输过程中的损耗^[1]。建筑体量应保持紧凑，通过减小体型系数降低热交换面积，绿化带的设置不仅起到隔离作用更通过植物蒸腾作用改善站区局部热岛效应，为建筑提供天然的防风屏障和降温缓冲带，通过精细化测算场地的容积率与建筑密度，实现土地资源的高效利用从而降低由于选址不当造成的后期运维能耗增加，奠定全局节能的基础。

2 建筑围护结构保温隔热与材料选用方案

2.1 复合墙体热工性能优化设计

变电站墙体应采用高热阻材料以减少室内外热交换，选用蒸压粉煤灰砖或加气混凝土砌块作为承重结构，其200mm厚度的基材热导率较低。外层复合夹心保温系统，填充挤塑聚苯板或岩棉板，确保外墙整体传热系数 U 值控制在 $0.6\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 以下，施工过程中严禁产生热桥，在结构柱与梁等部位增加局部保温补强，这种复合构造不仅提升了墙体的热惰性，使其在室外温度波动时能有效延缓室内温度变化速度，显著降低夏季空调负荷与冬季采暖需求，且材料的耐久性满足变电站长

期稳定运行的要求。

2.2 屋面构造隔热与通风复合体系

屋面是受太阳辐射时间最长的部位，设计采用倒置式屋面体系，保温层位于防水层之上，选用闭孔率高、吸水率低的挤塑聚苯板，厚度设定为100mm以上^[2]。为进一步提升散热效果，可在保温层上方设置架空隔热层，架空高度不低于200mm，利用流体密度差形成的空气间层带走多余热量，顶层铺设浅色高反射屋面砖，利用其高发射率特性减少屋面吸热，这种多层次组合构造能有效阻断热量由顶层向室内空间的传导，降低设备运行产生的叠加热效应对顶层房间造成的温度压力。

2.3 高性能门窗系统密封构造应用

门窗在变电站中主要起采光与通风作用，其热损耗通常占围护结构总损耗的较大比例，方案采用断桥铝合金窗框，填充隔热条以阻断金属传热路径。玻璃选用中空透明类型，玻璃厚度采取6+12+6的配置形式，外窗气密性等级不应低于国家标准的6级，采用多道橡胶条密封，对于不需采光的配电室，尽量减少窗墙比，大尺寸门洞应设置密闭性能良好的防火隔声门并在门缝处安装自紧式密封胶条，防止冷热空气渗透，这种配置能有效控制建筑室内外压差造成的渗透耗能，提高室内热工环境的稳定性。

2.4 外饰面辐射特性对热负荷影响

建筑外立面色彩与材质的选择直接影响吸收的热量，设计选用全波段反射率不低于0.85的浅色系建筑涂料，如淡灰色或白色弹性漆。这种饰面材料能将大部分可见光与近红外线反射回大气环境，降低墙面受热后的表面温度，在南方炎热地区，立面还可结合垂直绿化或构件遮阳，通过物理遮挡减少太阳直射，饰面层材料还须具备良好的自洁性与抗老化性，确保长期运行过程中反射性能不发生显著衰减，通过这种被动式的色彩调节策略，可以在不增加机械能耗的前提下，通过光学特性优

化实现建筑本体的降温减负。

高反射率涂料的应用需结合材料的长波发射率进行综合考量,确保发射率大于0.9,在夏季强辐射条件下,墙体表面温度与环境气温的差值可缩小至 5°C 以内^[3]。通过对外立面进行微纳结构处理,可以提升饰面层的疏水性,防止灰尘积聚导致的反射率下降,在不同朝向的立面上,根据日照时数分布调整饰面厚度,利用涂料的热物理特性形成一层连续的热反射屏障,这种策略不仅能减少热量向室内的传导量,还能缓解建筑外表面由于温差剧烈变化产生的热应力,提升围护结构的结构稳定性,从物理源头降低空调系统的瞬时冷负荷峰值。

2.5 地面基础防潮散热一体化构造

底层地面直接与土壤接触,变电站底层多为电缆层或储油坑,设计在地面层下部铺设厚度为500mm的干铺毛石或碎石层,利用碎石间的空隙切断毛细管作用产生的地下湿气。上方铺设防潮薄膜与高密度聚乙烯板,并增加一层厚度为50mm的聚苯乙烯泡沫板作为保温层,这种构造有效防止了地面冷凝水的产生,保护了底层电缆不受潮,同时利用大地常温特性,在夏季通过地面导热起到辅助散热作用,通过对地面构造的精细化处理,能够实现室内温湿度的自平衡,减少除湿机与温控设备的启停频次。

地面构造的性能提升依赖于级配碎石的密实度控制,通过空隙率的精准调节实现热阻与透湿量的平衡,防潮层选用抗穿刺性能强的聚乙烯复合膜,连接处采用双面丁基胶条密封,形成严密的水平阻潮体系。保温层材料的热导率需稳定在 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 左右,以隔绝冬季地表低温对室内热环境的侵蚀,对于高发热设备基础区域,可局部取消保温层,直接利用地下恒温层作为天然散热井,通过这种差异化的地面构造设计,能够有效利用深层土壤在夏季约 18°C 的低温资源,显著增强建筑地面的被动式散热能力。

3 站内空间规划与自然能源利用策略

3.1 功能模块化布局与气流组织

变电站内部空间按发热量大小进行功能分区。将高热的主变压器(如布置在户内)及电抗器等设备置于主导风向的下风侧,而将控制室、通信室等对温度敏感且发热量较小的房间置于上风侧,各功能房间之间设置热缓冲区,利用走廊或楼梯间阻断高发热区向办公区的热传递,室内气流组织设计应确保进风口位于房间下部,排风口位于对角线上部,形成顺畅的贯穿式自然风路径,这种空间排布利用物理隔离与自然流体力学原理,降低了空调系统的负荷,提升了能量利用的空间效率。

功能房间的纵向分布需充分考虑热压通风的动力学特性,将大体量的配电装置室布置在底层,利用较高的净空高度形成

稳定的热分层现象,使高温空气聚集在上方非工作区^[4]。进风口面积与出风口面积的比例应控制在1:1.2左右以增强拔风效应,在建筑中心位置设置贯通顶层的垂直风道,利用温差产生的压力梯度引导室内余热向上排出,这种模块化布局策略通过合理配置热源位置与通风路径,使建筑内部形成多个独立的气流循环单元,在无人值守期间,仅依靠自然对流即可维持设备所需的运行环境温度,最大化降低了机械通风装置的运行频率。

3.2 天然采光引导与透光界面控制

主控室及长期有人值守区域应最大化利用天然采光。设计通过在屋顶设置导光管系统或采光天窗,将自然光引导至建筑深处,采光罩具备滤除紫外线与隔热功能,外墙窗户开口高度应接近吊顶标高以增加反射深度,提高室内亮度分布的均匀性,采光系数控制在2%以上,对于配电室等无人区域,采用带磨砂处理的透光板,既满足巡视照明需求,又避免直射阳光造成的设备局部过热,这种方案显著缩短了白天的人工照明时长从而减少了照明系统的电力消耗。

3.3 被动式自然通风系统路径优化

变电站建筑通常层高较高,设计利用这一特点构建烟囱效应,在楼梯间顶端设置自动感应天窗,利用建筑内外温差产生的热压驱动气流向上运动,带走设备室内集聚的热量,进风口选用低阻力的铝合金百叶,进风速度控制在 $0.5\text{m}/\text{s}$ 左右。在夏季夜间,利用室外低温空气进行强制通风蓄冷,降低白天围护结构的初始温度,通过这种无动力或低动力的通风策略,不仅改善了室内空气品质更在很大程度上取代了机械排风系统,节约了风机运行电耗,通风路径的组织需确保空气流经发热设备的核心部位,通过在设备室低位设置多个分布式进风口,引导冷空气从设备底部升腾,形成包络状的高效热对流流场。

3.4 层高设计对温度梯度分布影响

变电站设备对安装空间有严格要求,设计在满足带电距离的前提下,适当增加设备室净空高度。例如将主控室层高设定在 4.5m 至 5.2m 之间,形成明显的温度梯度分布层,热空气受热上升汇聚于吊顶上部的非工作区空间,而地面上部 2.5m 的工作区及设备布置区则保持相对较低温度,通过在吊顶层设置热回收装置或排气孔,高效排出聚集的热量,这种高度方向上的优化布局,利用重力分层效应实现了对核心运行环境的有效保护,减少了室内全空间制冷带来的能源浪费。

3.5 遮阳构件几何参数与立面整合

针对不同朝向的外窗,设计固定式或可调式遮阳装置,南向窗口采用水平遮阳挑檐,根据夏至日太阳高度角确定挑出长度,确保夏季遮挡直射阳光,冬季允许斜射光线进入。西向窗

口则采用垂直百叶遮阳,百叶片倾斜角度与墙面成45°分布以阻挡午后西晒辐射,遮阳构件应与建筑立面造型统一设计,采用轻质铝板或穿孔金属板材料,不仅起到节能作用更增强了建筑的立面层次感,通过精确计算遮阳系数,使其控制在0.5以下,有效遏制了太阳得热对空调冷负荷的贡献。

4 排水系统与附属设施节能降耗设计

4.1 站区雨水径流调蓄与利用系统

变电站占地面积较大,设计建立完善的雨水收集与回用系统。站区地坪采用透水砖或透水混凝土,透水率不低于45%,使雨水能迅速下渗补充地下水,设置容积为20m见方的地下蓄水池,收集屋面及道路雨水,经过物理沉淀与多级过滤处理,回收的雨水通过变频泵供站内绿化灌溉及地面冲洗使用,这种闭路循环模式减少了对市政自来水的依赖,同时,雨水收集池在夏季能起到降温作用,降低周边局部环境温度,间接优化了建筑物的外部微气候。

4.2 管道布置降阻与节水器具选用

给排水管网设计遵循路径最短原则。采用新型高密度聚乙烯管材,管径选择依据流速进行精细化计算,例如干管选用DN100以上规格以降低沿程阻力,减少泵组输送功耗,卫生间选用具备一级水效等级的节水型器具,如感应式水龙头与

3L/6L两档式冲水水箱,站内生活热水采用屋顶太阳能热水系统,配以热泵辅助加热装置,利用当地丰富的太阳辐射资源,通过对给排水末端的严格控制与热能辅助,降低了建筑运行期间的综合水资源消耗与相关联的电能开支。

4.3 附属建筑负荷预测与节能配套

站内附属建筑如传达室、车库等应单独进行热负荷预测,这些小体量建筑采用装配式轻钢结构,墙体填充高效保温材料,实现快速建造与绿色运行^[5]。照明系统选用发光效率大于120lm/W的灯具,并按功能分区设置感应控制,对于大面积电缆夹层,设置温感联动的轴流风机,所有机电设备的能效比均需达到国家一级标准,通过对附属设施的精细化集成方案,避免了因小尺度空间能效低下而累加形成的整体能耗过大,确保变电站建筑在各功能节点均能实现节能目标。

5 结语

变电站建筑节能方案研究是一个涵盖选址布局、结构构造、空间流场及附属系统的综合体系。通过采用高热阻复合围护结构、优化被动式通风路径、结合自然光引导技术,可以显著提升建筑本身的能效水平,技术数据表明,合理的传热系数控制与遮阳设计是降低冷负荷的核心,未来在变电站建筑方案设计中,应持续深化对建筑物理环境的模拟分析,将节能措施与工艺需求有机结合,实现建筑性能与功能需求的动态平衡。

参考文献:

- [1] 顾辰,黄业胜,吴培红,等.基于动态负荷特性的变电站建筑通风空调系统节能设计方法研究[J].建筑科学,2024,40(10):70-75.
- [2] 左涛,刘建涛,李敏,等.基于建筑设计的非金属模块化预制舱式变电站节能[J].电气时代,2024,(02):76-80.
- [3] 张振,聂建春,萨仁高娃,等.基于内蒙古区域气候特征的110kV变电站建筑节能分析[J].内蒙古电力技术,2021,39(06):33-39.
- [4] 丁斌,刘敬文,滑亚娟,等.户内变电站建筑用能调研与模拟研究[J].建筑节能(中英文),2021,49(12):85-90.
- [5] 李百根.特高压变电站建设中安全节能方案探讨——评《特高压变电站绿色低碳建筑》[J].中国安全生产科学技术,2020,16(05):189.