

基于“典型月”的变电站空调系统改造节能量验证

变电站控制室由于存在大量电力二次低压设备，发热量大而且集中，室内空调运行时间长、能耗高。对兰州地区某变电站控制室自然冷源空调系统改造项目进行节能量验证，考虑到节能量验证过程无法覆盖项目所有工况，以项目所在地室外干球温度、相对湿度及太阳辐射照度三个参数累年平均值以及对应的标准偏差为项目统计报告期的选择条件，选择代表项目典型工况的典型月作为项目统计报告期，通过节能措施的切换求出项目在测试日条件下的节能率，以统计报告期的能耗数据为基础计算出项目节能量。

郭艳飞 苗常海 成 岭/中国电力科学研究院
李晓军 李启明/国网冀北节能服务有限公司



郭艳飞/助理工程师

随着传统常规变电站向智能化方向的不断实践和发展，变电站的电气设计也随之发生不断的根本性改变，变电站的设计理念也逐步走向符合工业化、节能环保和低碳的现代工业建筑设计。2007年以来，国网公司基建战线贯彻落实科学发展观和公司党组关于深入开展标准化建设的要求，对于变电站，建筑的节能设计以及针对既有传统常规变电站的节能改造和能效评估也是贯彻国网公司“两型一化、两型三新”要求的重要举措。

兰州地区某220 kV常规变电站控制室进行了“自然冷源”的建筑节能改造，自然冷源的主要特点是当室外温度较低时，直接引入新风系统可以替代空调系统，将站外冷空气经过滤后引入室内；当室外温度较高，自然冷源不足以提供所需冷量时，需要运行空调系统降

温。直接引入新风系统和空调系统联动，可以大幅减少空调系统的运行时间，以达到节能的目的。

为检验项目节能效果，对项目的节能量进行了验证计算。节能量即能量的节约量，指一定时期内节约和少用能源的数量。节能量是一个相对比较量，对于节能改造前后能耗数据计量完整的项目，节能量可以通过计量数据通过直接比较法确定，对于能耗数据计量不完整的项目则只能加以理论模拟计算，对于无法覆盖所有工况条件的项目则必须选择具有代表性的典型工况进行项目节能量验证。

项目节能量计算边界

节能量计算的项目边界即实施节能措施所影响的用能单位、设备、系统的范围和地理位置界线^[3]。自然冷源技术原理是当室外空气温度低于室内温度一定程度时，通过相应的技术手段将室外冷源引入机房内，把机房的热量带走，达到降低机房温度的目的，从而减少机房空调系统的使用时间，节约电能。改造前室内空调系统主要由房间柜式机提供。该方式直接利用室外冷空气进行房间制冷，系统主要由送风机、排风机、过滤器、阀门及送风管道组成，系统运行时送排风机起动，冷空气通过封闭冷热通道直接送入机柜处。

根据分析，确定本项目的项目边界包括控制室围护结构范围内的办公区和设备区。

关键词/Keywords

自然冷源 ·
统计报告期 ·
节能量 ·
典型月 ·
测试日 ·

国家电网公司科技项目（智能变电站能效测评与能效提升关键技术研究及试点工程建设）。

项目统计报告期选取

项目节能量对应于项目的基期与报告期，基期即确定改造项目能耗基准的、节能措施实施前的时间段，统计报告期即确定改造项目节能量的节能措施实施后的时间段，统计报告期单元长度应与基期相同，项目基期、统计报告期应覆盖项目的典型工况，考虑到节能量验证过程无法覆盖项目所有工况，以项目所在地室外干球温度、相对湿度及太阳辐射照度三个参数累年平均值以及对应的标准偏差为项目统计报告期的选择条件，选择代表项目典型工况的典型月作为项目统计报告期，通过节能措施的切换求出项目在测试日条件下的节能率，以统计报告期的能耗数据为基础计算出项目节能量。

项目用能特点主要反映在有制冷需求的时间段，节能措施主要在室内有冷量需求的时间发挥作用，将项目统计报告期确定为月。

节能量的测量与验证的关键在于基期及统计报告期时间段的选取，选取的月份应能最大程度反映项目的用能特点，考虑到项目的能耗主要与室外气象条件有关，所以项目报告期的选取就演变为项目典型室外气象条件的“典型月”的选取。

在诸多气象参数中，对室内空调系统负荷影响较大的是室外干球温度、室外空气相对湿度和太阳辐射总量。该项目室内有制冷需求的月份为4~10月份，首先统计出近五年中每个月的平均干球温度、平均相对湿度和平均太阳辐射射总量，然后计算出每个月的五年平均值，计算公式为

$$\bar{t}_{w,y} = \frac{\sum_i t_{w,y,i}}{5} \quad (1)$$

$$\bar{d}_{w,y} = \frac{\sum_i d_{w,y,i}}{5} \quad (2)$$

$$\bar{W}_y = \frac{\sum_i W_{y,i}}{5} \quad (3)$$

式中， $t_{w,y,i}$ 为室外干球温度平均值，℃； $d_{w,y,i}$ 为室外空气相对湿度，%； $W_{y,i}$ 为太阳总辐射照度，W/m²。

室外气象参数平均值计算结构如表1所示。

表1 室外气象参数

月份	室外干球温度 平均值/℃	相对湿度 平均值 (%)	太阳辐射照度 平均值/ (W/m ²)
4月	15.4	30.30	14 718
5月	17.5	43.10	17 883
6月	21.7	54.70	20 643
7月	23.5	46.20	24 443
8月	24.1	40.60	25 987
9月	17.6	47.70	24 610
10月	11.8	51.20	19 932

计算出室外干球温度、室外空气含湿量和太阳日射总量三个参数五年平均值之后，分别计算其标准偏差，计算公式为

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_i (t_{w,y,i} - \bar{t}_{w,y})^2}{5}} \quad (4)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_i (d_{w,y,i} - \bar{d}_{w,y})^2}{5}} \quad (5)$$

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{\sum_i (W_{y,i} - \bar{W}_y)^2}{5}} \quad (6)$$

式中， σ_t 为室外干球温度标准偏差； σ_d 为室外含湿量标准偏差； σ_W 为太阳日射总量标准偏差。

室外气象参数标准偏差计算结果如表2所示。

表2 室外气象参数标准偏差

月份	室外干球温度 标准差	相对湿度 标准差 (%)	太阳辐射照度 标准差
4月	1.42	2.64	683.3
5月	0.73	3.55	702.5
6月	0.67	4.91	889.1
7月	1	4.13	579.3
8月	1.35	3.41	688.2
9月	1	5.04	599.7
10月	0.91	3.16	742.8

对于月份 y ，统计报告期的选择条件为 $\bar{t}_{w,y} \pm \sigma_{t,y}$ ； $\bar{d}_{w,y} \pm \sigma_{d,y}$ ； $\bar{W}_y \pm \sigma_{W,y}$ 。

某月满足上述条件即认为该月有条件作为“代表月”，项目室外气象参数按有关规范及气象局数据确定。根据以上结果及实际统计气象参数选定9月为该项目的统计报告期。

项目节能量计算

项目节能量计算基本公式为

$$E_s = E_r - E_a \quad (7)$$

式中, E_s 为项目节能量; E_r 为项目统计报告期能耗; E_a 为项目基期能耗。

基期—报告期示意图如下图所示。

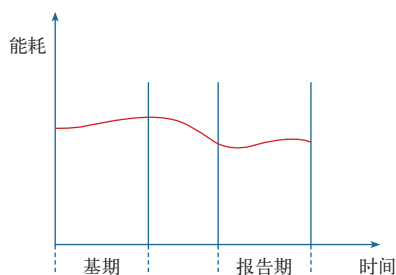


图 基期—报告期示意图

当节能措施可关闭且不影响项目运行时,在统计报告期内,测量各典型工况下节能措施关闭时项目的能耗以及节能措施开启时项目的能耗,将所测得的能耗数据作为输入数据计算项目节能量(引用节能量测量与验证技术通则)。

由于项目基期的能耗数据无法完整获取,所以根据项目在节能措施开启与关闭状态相互切换下的节能率计算项目节能量。在测试月内,考虑到在节能量测试时无法实现将节能措施开启与关闭的长时间切换,所以选择测试月的四个典型工况日作为测试日。其中两天关闭节能措施并测试该时间段内的项目能耗,将测试数据作为项目改造前状态下的运行能耗参数;另外两天开启节能措施并测试项目能耗,将测试数据作为项目改造后状态下运行能耗参数;算出节能措施切换前后的项目节能率,然后根据项目统计报告期能耗算出项目节能量。

测试日测试数据如表3所示。

表3 测试日数据表

测试日	节能措施	项目能耗/kW·h
1	开启	2 823
2	开启	2 769
3	关闭	3 274
4	关闭	3 288

节能措施关闭状态下测试日的累计能耗为

$$S_b = \sum_{i=1}^k e'_{b,i} = 6\,562 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (8)$$

式中, $e'_{b,i}$ 为节能措施关闭状态下测试日能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$; $i=1, \dots, k$, k 为节能措施关闭状态下测试日天数。

节能措施开启状态下测试日的累计能耗为

$$S_r = \sum_{i=1}^k e'_{r,i} = 5\,592 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (9)$$

式中, $e'_{r,i}$ 为节能措施开启状态下测试日能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$; $i=1, \dots, k$, k 为节能措施开启状态下测试日天数。

节能措施切换前后的节能率为

$$\eta_s = \frac{S_r - S_b}{S_b} \times 100\% = -15\% \quad (10)$$

经统计2014年该月项目总能耗78 733 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 从中扣除节能措施关闭状态下两个测试日的能耗即为项目统计报告期能耗, 所以项目统计报告期能耗为

$$E'_r = E_r - S_b = 72\,171 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (11)$$

项目节能量为

$$E_s = E'_r \left(\frac{\eta_s}{1 - |\eta_s|} \right) = 14\,434 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (12)$$

项目节能量折合吨标煤: 根据电力折标系数当量值0.122 9 $\text{kgce/kW} \cdot \text{h}$, 统计报告期项目节能量为1 774 kgce 。

结束语

考虑到无法对项目节能量进行全工况验证计算, 选择具有代表性的典型工况, 针对项目室内空调系统能耗特点, 以项目所在地气象参数特点为项目统计报告期选择条件, 确定项目典型工况的典型月, 通过若干测试日的数据计算出项目节能量。计算的结果一方面表明该类节能改造项目在变电站建筑节能中具有节能效益; 另一方面表明对于无法进行全工况节能量验证计算的节能项目, 合理选取典型工况的重要性, 对今后类似项目节能量的计算有重要的借鉴意义。

(收稿日期: 2015-05-06) EA