

印染工厂电气节能设计探讨

论述了印染工厂电气节能设计中值得关注的几个措施：变配电系统节能设计、照明系统节能设计、电气设备节能设计、可再生能源应用和能耗监测系统应用等，以上论述是笔者对印染工厂多年电气节能设计工作经验总结，供同行参考和借鉴。

陈波/浙江省省直建筑设计院



陈波/高级工程师

进入21世纪后，我国的印染行业在生产过程中带来的资源消耗大、污染物排放量多的矛盾日益显现，国家先后出台的一系列政策法规已经向印染行业频频发出警示。因此在印染工厂电气设计中，应根据印染厂房建筑特点、工艺设备特点做好电气节能设计。

印染工厂电气节能设计遵循的原则

印染工厂电气节能设计应把握“满足功能、经济合理和技术先进”的原则。具体说来，可将现代电气综合节能技术合理应用到实际工程中去，同时电气节能设计既不能以简单地降低设计标准和使用功能为代价，也不能盲目增加投资、为节能而节能。在系统产品选型时，不仅要考虑电气设备一次投资的成本，同时要考虑长期运营的成本，有些设备尽管一次投资较低，但由于其产品自身因素导致造成运营成本较高，从整体考虑所选产品不一定合理。因此，在进行系统设备选型时，虽然多设了一些系统和采用节能新产品，尽管一次性投入增加了，但是使管理使用成本的明显下降，从长期综合效益来看，还是合理的，值得投入的。

关键词/Keywords

负荷计算 ·
变压器损耗 ·
线路损耗 ·
照明节能 ·
功率因数 ·
可再生能源应用 ·
能耗监测系统 ·

变配电系统节能设计

1. 合理选择变压器的容量和型号

在多个印染工厂设计调研时，了解到有很多工厂提到设计方选择的变压器负载率偏低，长时间变压器负载率不足50%，说明设计人员在做负荷计算时不够细致，同时现有设计资料上工艺设备经验需要系数和同时系数取值有点偏大，这一点说明不合理的变压器容量选择不利于变压器自身节能。因此，在电气设计中，首先应该合理选取变压器负荷计算中需要系数和同时系数的取值，这对于印染工厂合理选择变压器容量非常关键。在项目设计过程中，电气设计人员需认真收集大功率成套工艺设备的实际工作电流数据、详细了解工艺设备的变频器配置情况和工艺生产过程，合理确定需要系数和同时系数取值，对负荷情况进行详细分析和严密计算，使负荷计算结果更匹配实际使用运行工况。

在电气设计中，有了合理的负荷计算结果就需要合理分配用电负荷、合理选择变压器容量和台数，使其工作在高效区内，可有效减小变压器总损耗。

变压器自身节能的实质就是：降低其有功功率损耗、提高其运行效率。

变压器的有功功率损耗计算公式为

$$\Delta P_b = P_o + P_k \beta_2$$

式中， ΔP_b 为变压器有功损耗，kW； P_o 为变压器的空载损耗，kW； P_k 为变压器的有载损耗，kW； β 为变压器的负载率； $\alpha = P_k/P_o$ 。

P_o 为空载损耗又称铁损，它由铁心

的涡流损耗及漏磁损耗组成,其值与硅钢片的性能及铁心制造工艺有关,而与负荷大小无关,是基本不变的部分。 P_k 即为变压器的铜损,变压器的负载率对其影响比较大,通常变压器最佳负荷率 β 是不同的,而且与损失比 α 有关。根据经验数据通常变压器运行效率最佳点负荷率一般在60%左右,考虑到在实际工程中,印染生产车间负荷是动态变化、设备投资性价比和供电局需收取基本电费的因素,综合上述因素印染工厂项目变压器的负载率 β 建议选择在75%~85%为宜。在变压器容量选择中,如能掌握好上述原则,则既可达到节能目的,又满足建设方投资合理经济的要求。

印染工厂一般以单层建筑为主,且大多数厂房属于丙类厂房,通常建设方会从性价比考虑选用节能全密封型油浸变压器,近期技术成熟的节能型油浸变压器产品有S9-M、S11-M和S13-M型节能型变压器,根据JB/T 3837—2010《变压器类产品型号编制方法》附录B提供的空载和短路损耗数据,S11系列与S9系列相比,其空载和负载损耗分别降低了20%和5%以上,S13系列与S11系列相比,其空载损耗降低了35%,考虑到投资综合性价比和变压器节能产生的效益,建议选用S13-M型全密封型油浸变压器,如选用干式变压器则选择SCB11或SCB12型干式变压器,SCBH15非合金干式变压器变压器的空载损耗比GB/T 10228规定值下降75%,但考虑到其一次性投资较大,有条件的建设方可优先选择该系列产品。

2. 抑制谐波的措施

近年来印染工厂由于大量使用非线性负载,如变频器、节能灯和不间断电源系统(UPS)装置等设备,使供电系统中存在大量的谐波,增加了电力系统的无功损耗。由于谐波分布的多变性和谐波工程计算的复杂性,要在设计阶段完全解决谐波问题非常困难。因此对供电系统进行谐波监测是很有必要的,它可以为谐波抑制措施的制定提供很多基础数据。当系统谐波或设备谐波超出谐波限值规定时,应对谐波源的性质、谐波参数等进行分析,有针对性地采取谐波抑制及谐波治理措施。通过合理采用高次谐波抑制和治理的

措施可以减少电源污染和电力系统的无功损耗,并可提高电能使用效率。印染工厂谐波抑制可采取以下处理措施:

1) 关注设备的选择,要求选择的电气设备尽量满足国家有关规范要求谐波限值设备。如灯具镇流器谐波含量应满足国家标准GB 17625.1—2003《电磁兼容限值谐波电流发射限值》的规定。

2) 在变电所低压侧设置带谐波监测功能的测量仪表。

3) 采用无源吸收谐波装置,通过电容器串接电抗器来实现。考虑到印染工厂的变频设备较多,无功补偿电容串接7%的电抗器较为合适,可防止谐波放大。

4) 采用有源吸收滤波装置,通过合理选用并联有源滤波器来完成谐波抑制。

5) 变压器选用Dyn11型接线,有利于抑制三次谐波电流。

6) 供电系统中具有较大谐波干扰的地点设备建议自带滤波装置。

3. 合理设计供电系统及电缆选择

根据负荷容量及分布、供电距离和用电设备特点等因素,合理设计供电系统和选择供电电压,可达到节能目的。供电系统应尽量简单可靠,同一电压供电系统变配电级数不宜多于两级。

电力电缆截面积的正确选择应从技术和经济两个方面来考虑,但在实际工程设计时,设计人员一般只单纯按技术条件选择电缆截面积且只计算初始投资。建议在印染工厂电气节能设计时,采用经济电流法选择电缆,除计算初始投资外,还要考虑经济寿命其内导体损耗费用,二者之和应最小。当减少电缆截面积时,初始投资会减少,但线路损耗增大;反之增大线芯截面积时,线路损耗减少,但初始投资增加,某一截面区间内,两者之和(总费用TOC最少)即为经济截面积。按经济电流密度合理选择导线截面积,一般按年综合运行费用最小原则确定单位面积经济电流密度,在按上述方法选型时印染工厂年最大负荷损耗小时数按三班制来计算。

考虑到印染工厂车面积一般都比较大,为

其供电的电力干线、支线等线路总长度动辄数千米，线路上的总有功损耗相当可观，所以，减少线路上的损耗必须引起设计人员足够重视。

另外建议采用大干线方式供电，充分利用供电线路，大干线的电缆截面积大，相对于小截面回路来说相对线损小，设计中需尽量将多台工艺设备，供电系统集中在一起，采用同一干线供电，从而减小了线路损耗。

从节约铜材角度上来说，近年来随着合金电缆技术的成熟，相比同等载流量的铜电缆，合金电缆重量更轻、更易弯曲，具有较高的性能价格比优势。

减小导线长度主要措施有：

- 1) 合理确定变配电所位置，让变配电所尽量靠近负荷中心，以缩短线路供电距离，减少线路损失。
- 2) 线路敷设尽可能沿最短路径敷设，以减少导线长度。
- 3) 低压线路应不走或少走回头路径，以减少来回线路上的电能损失。

4. 提高系统的功率因数

减少供用电设备无功消耗，提高自然功率因素，主要措施有：

- 1) 供配电系统设计应通过正确选择电动机、变压器的容量和照明灯具镇流器，降低线路感抗等措施。
- 2) 高压电气设备的无功功率宜采用高压电容器补偿，低压电器设备的无功功率补偿宜由低压电容器补偿。
- 3) 低压无功自动补偿设计原则为固定与自动补偿相结合，分散与集中补偿相结合，对无功容量较大、负荷较平稳和距供电点较远的用电设备分散补偿，其他设备的无功补偿则在变电所内集中补偿。

照明节能设计

中、大型印染工厂的主车间面积一般都比较 大，同时层高比较高，为6~12 m，照明光源的应用总量较大，同时印染工厂的工作时间一般较

长，故印染工厂照明节能的潜力很大。照明节能设计需在满足照度、照明功率密度值、色温和显色指数等相关技术参数要求的前提下，从以下几方面着手。

1. 合理选择光源和灯具

按工作场所的建筑空间条件，选用不同种类的高效光源和灯具，以降低电能消耗节约能源。具体光源选择如下：在室内高度小于4 m的场所，推荐采用T8或T5高效荧光灯和高光效节能灯；在车间高度超过6 m的高大空间场所和室外场所的一般照明、道路照明，光源应选择金属卤化物灯、高压钠灯、无极灯、LED光源和第三代氙气灯等高光效的光源。5种光源的特性参数对比如下表所示。笔者通过以上5种光源的特性参数对比分析后，建议使用第三代氙气灯和金属卤化物灯。第三代氙气灯可以实现高达149 lm/W的光效，是其他电光源产品难于企及的，又是显色指数最高的产品。第三代氙气灯不仅最节能，而且产品成本和售后维护成本同金属卤化物灯和高压钠灯相当，比无极灯和LED造价低很多。

表 金属卤化物灯、高压钠灯、无极灯、LED灯和氙气灯对照表

光源方案	显色性 R_a	平均流明/(lm/W)	快速启动	使用寿命/h	投资性价比
陶瓷金卤灯	>70	65~90	不可以	1~2万	较高
高压钠灯	25	80~140	不可以	2.4~3.2万	高
LED光源	60~90	60~100	可以	4~5万	差
无极灯	<60	65~85	可以	5万	较差
第三代氙气灯	75~90	110~149	可以	1~3万	较高

注：以上数据各企业产品会有差异。

灯具的效率也是照明设计节能很重要的部分，照明节能设计中应选用优先高效灯具，应选用直射光通比例高、控光性能合理、反射或透射系数高及配光特性稳定的高效灯具。考虑部分湿加工印染车间高温、高湿的环境特征，需要选用防腐蚀材料和防尘的结构制成的灯具，以减少光能衰减率。

在灯具镇流器选择方面，荧光灯、金属卤化物灯和第三代氙气灯等采用就地补偿方式，选择电子镇流器或节能型高功率因数电感镇流器，荧

光灯单灯功率因数不小于0.95;气体放电单灯功率因数不小于0.9,所有镇流器应符合该产品的国家能效标准。

2. 合理选择照明形式和灯具布置方式

根据印染工厂工艺设备照明要求,印染工厂一般车间采用混合照明,并应重视机台上的局部照明,尤其在练漂及染色的进、出口布面处,印花机机头处及正装车间,照度要求很高,故应重视机台上的局部照明。同时,印染工厂的生产车间通常层高较高,在灯具布置与安装方式选择时,应充分考虑灯具安装安全性及维护便利性,车间一般照明灯具安装高度要合理确定,尽量提高灯具的利用系数,应避免灯具直接安装在高大设备的正上方。

3. 照明控制和管理

1) 印染厂房可通过设置屋顶采光窗等方式既解决车间通风又充分利用自然光,根据自然光的照度变化,沿窗方向采用分组分片控制灯具开关。

2) 照明设计时宜适当增加照明开关控制点,即每个开关控制灯的数量不要过多,以便照明控制管理和有利于节能。对大面积车间场所的照明设计,采取分区间隔控制方式,这样可增加照明分支回路控制的灵活性,使不需照明的地方不开灯,有利节电。

3) 车间公共场所走廊照明和楼梯,可采用感应延时自熄控制开关。

4) 室外照明系统,可采用光、时控控制器代替常规照明开关,以利于节电。

电气设备节能设计

设计时应选用具有节电效果的新系列低压电器,以取代功耗大的老产品。例如:大中容量交流接触器加装节电装置后,接触器的电磁操作线圈的电流由原来的交流改变为直流吸持,既可省去铁心和短路环中绝大部分的损耗功率,又可降低线圈的温升及噪声,从而取得较高的节电效益,一般节电率高达85%以上。

提高电动机的效率和功率因素,是减少电动机的电能损耗的主要途径。与普通电动机相

比,高效电动机的效率要高3%,总损耗减少20%~30%,因而具有较好的节电效果。所以在设计和技术改造中,应选用YZ、YZR、YX和YX2等新系列高效率电动机,以节省电能。

根据工艺设备运行特征合理选用交流变频调速装置,使电动机在负载变化下降时,自动调节转速,从而与负载的变化相适应,即提高了电动机在轻载时的效率,达到节能的目的。大部分印染机械都是多单元联合工作设备,工艺上要求各单元以相同的线速度同步运行并保持张力恒定,否则会产生断布、缠布、色度不均、色彩度不够和缩水率过大等质量问题。以往的印染机械无论是共电源方式或分电源方式都是采用直流调速系统。因为直流电动机存在固有的缺点,现代印染行业已全面采用交流变频技术。

近年来国内很多专业控制公司根据印染工厂工艺流程的控制要求,将自动控制技术合理应用在印染工程上,研发出了很多专用的控制系统和成套设备(如筒子纱数字化自动染色成套技术与装备、新型智能环保高速退煮漂联合机、全自动计算机调浆系统、pH值在线检测、控制系统和准确耗水在线测控系统等),通过上述控制系统和自动控制设备的应用实现了工艺过程的节能自动控制。

可再生能源的应用

太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源。其中太阳能光伏发电是近些年来发展最快,也是最具经济潜力的能源开发领域。但由于目前太阳能光伏发电系统制造成本相对较高,也阻碍了太阳能光伏的发展利用。通常印染工厂的单体屋顶面积较大,具有较好的太阳能辐射条件,在利用太阳能方面有很好的先天条件。浙江和广东省已有部分印染工厂的屋顶尝试了太阳能光伏发电系统的应用,目前太阳能光伏系统在计入国家和地方补贴后投资回收期在6~8年,已具备应用的可行性。当采用太阳能光伏发电时,光伏电站一般采用并网运行和离网运行两种模式,考虑光伏发电储能系统的维护成本和投资成本较大,故

建议采用并网型系统即发即用,这样可以无须装设大量的储能装置,从而可以降低投资成本,也提高了供电的可靠性和稳定性。还有部分印染工厂将太阳能应用于制备热水和蒸汽,通过上述的太阳能应用也减少工厂的电能消耗。

能耗监测系统在印染工厂的应用

建设能耗监测系统,对及时准确地掌握工厂用能单位能耗情况、追踪节能措施的实施效果及增强工厂对电能消耗管理的针对性和主动性具有重要意义。能耗监测系统建设是一个系统工程,需要印染工厂各有关部门密切配合,协调推进。

为了强化生产过程中的能源管理,许多印染工厂已经实施了能耗监测系统,用于能源审计制度。通过对生产工艺实行全面梳理,改进工艺,提高了合格品率,减少了浪费,注意从源头控制能源消耗,减少污染物的产生。在能耗监测系统设计中,电能监测系统一般要求实施三级计量管理,具体要求为全厂高配为一级计量点,车间总柜为二级计量点,用电末端设备为三级计量点。电能监测系统的设计需要根据工艺设备运行的实际情况,合理确定计量点,选择满足计量准确度要求且带通信RS 485接口的数字电能表,通过联网通信设备组成电能监测硬件系统,并通过后台能耗管理分析软件,来提出电能优化的管理措施。

结束语

增强印染工厂电气节能意识,加强环境保护是企业生存的必要措施和根本保证。综上所述,印染工厂电气的节能潜力很大,电气设计人员应根据印染厂房建筑特点、工艺设备特点因地制宜做好电气节能设计,并应在设计中精心考虑各种

可行的节能技术措施。同时,在选用节能新设备和新技术时,应详细了解其原理、性能和效果,从技术、经济上进行比较后,再合理选定节能设备,以真正达到有效节能的目的。以上是笔者在印染厂房多年设计和国内多个项目的现场调研过程中积累的一些工作经验,供大家共同探讨,若有不妥之处或不同意见,请指正。

参考文献

- [1] 中国联合工程有限公司. GB 50052—2009 供配电系统设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 中国建筑科学研究院. GB 50034—2013 建筑照明设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [3] 中国建筑科学研究院, 深圳市建筑科学研究院有限公司. JGJ/T 209—2010 民用建筑绿色设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [4] 北京照明学会设计专业委员会. 照明设计手册 [M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [5] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册 [M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [6] 建设部工程质量安全监督与行业发展司, 中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施技术措施节能专篇 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [7] 全国变压器标准化委员会. JB/T 3837—2010 变压器类产品型号编制方法 [S]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [8] 浙江省轻纺建筑设计院. GB 50426—2007 印染工厂设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.

(收稿日期: 2015-04-02) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告