

YKK 系列高效高压三相异步电动机的优化设计

孟大伟¹, 庞向东¹, 潘波², 赵勇²

(1. 哈尔滨理工大学 电气与电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;
2. 佳木斯电机股份有限公司技术部, 黑龙江 佳木斯 154002)

摘要:按多规格电机共冲片的设计原则,以追求各规格电机的有效材料成本最低和运行效率最高为混合目标,建立了适用于系列电机优化设计的数学模型。结合电机设计的工程实际,对模拟退火算法进行了适应性的改进。应用所建立的模型和改进算法,对新型 YKK 系列中型高效高压电机进行了整体优化。计算结果表明,整个系列内各规格电机的效率都提高了 1% 以上,达到或超过高效电机标准。同时新系列型谱中不仅电机的规格数和容量有所拓展,与原系列相比相同容量的电机被安置在更低的中心高内,电机有效材料的用量也平均减少 20% 以上。即使考虑到新设计采用了好的导电、导磁和绝缘材料,优化设计的效果还是显而易见的。优化设计结果已经用于实际生产。

关键词:高效电机; 优化设计; 模拟退火算法; 高压电机

中图分类号: TM302 文献标志码: A 文章编号: 1007-449X(2010)05-0031-05

Optimal design for the induction motors with high-efficiency and high-voltage of YKK series

MENG Da-wei¹, PANG Xiang-dong¹, PAN Bo², ZHAO Yong²

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China;
2. Jiamusi Electric Machinery Co. Ltd, Jiamusi 154002, China)

Abstract: The mathematic model was established which is suitable for the optimal design of series motors according to the design rule in which several motors are of same core stamping. The lowest effective material cost and the highest efficiency for the every motor were taken for the mix objective. The Simulated Annealing Algorithm was improved in light of the engineering practice of the electric machine design. The integral optimization was made for the new induction motors with high efficiency and high voltage of YKK series. The results show that the efficiencies of all motors in the new series are increased more than 1%, reach or excess the standards of the high-efficiency motors. On the other hand, the number and the rated powers of the motors in new series are expanded. The motor with same rated power is put into smaller frame in new series than old series. The effective materials used for the motors are reduced more than an average of 20%. Even if the better materials of conductor, core and insulation used in the new design are taken into consideration, the effect of the optimum design is obvious. The optimal design results have been applied in the practice engineering.

Key words: high efficiency motors; optimal design; Simulated Annealing Algorithm; high-voltage motors

收稿日期: 2010-02-01

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2008BAF34B04); 黑龙江省科技攻关项目(GC07A501)

作者简介: 孟大伟(1956—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为大型电机内物理场数值计算和特种电机设计及优化;

庞向东(1972—), 男, 博士研究生, 研究方向为特种电机设计及优化;

潘波(1968—), 男, 高级工程师, 研究方向为特种电机设计与制造;

赵勇(1975—), 男, 工程师, 研究方向为特种电机设计与制造。

0 引言

中型高压电动机是电工行业主导产品之一,被广泛应用在冶金、钢铁、化工、电力、水处理等行业,驱动风机、泵类、压缩机及各种大型机械。目前,我国生产的高压电机在效率上与发达国家还存在一定的差距。由于电动机的耗电量约占总电量的60%以上,电动机效率水平低,不仅多消耗能源,而且还会增大温室气体的排放量,导致环境污染。因此,挖掘电动机本身的节能潜力,提高能源的利用率十分重要^[1]。

本课题的目标就是研究开发额定电压6000 V,功率为185 kW~2500 kW高效高压三相异步电动机系列产品,并在现有高压异步电动机效率《JB/T7593-94“Y系列高压三相异步电动机技术条件(机座号:355-630)”和JB/T10315.2-2002“YKK、YKK-W系列高压三相异步电动机技术条件(机座号:355-630)”》基础上将总损耗减小20%,电机效率提高1%,使我国高压电机达到世界先进水平。

电机定转子绕组的电损耗和铁心损耗在损耗中占有很大比例,因此通过电磁方案的优化设计降低这两部分损耗,对提高电机效率非常关键。

电机优化设计问题可归结为有约束的非线性规划形式:

求 \bar{X}^* ,使得 $f(\bar{X}^*) = \min. f(\bar{X}), \bar{X} \in \mathbf{R}^n$ 且满足 $g_j(\bar{X}^*) \geq 0, j=1, 2, \dots, m$ 。

结合电机设计的实际,正确地选择优化变量 \bar{X} 、确定出目标函数 $f(\bar{X})$ 和约束函数 $g_j(\bar{X})$,运用好优化算法就可以对电机进行优化设计。

1 YKK 系列电机优化设计的数学模型

现行的YKK系列电机中,共有H355~H630中心高、2极~12极的电机114个规格,最大功率2500 kW;新系列型谱安排了H315~H630中心高、2极~12极的电机共161个规格,最大功率5600 kW。相对而言,新系列的功率等级的范围有了较大拓展,同容量电机被置于更低的机座号下。

按照系列电机的设计原则,同一中心高内相同极数的若干规格电机采用相同的定转子冲片。因此数学模型的确定,需要求共冲片多规格电机的整体优化^[2]。

1.1 目标函数

选择电机的有效材料成本小和高效率作为混合目标,则每一规格电机的分目标

$$f_i(\bar{X}) = [c_{Cu}G_{Cu1}^i(\bar{X}) + c_{Cu}G_{Cu2}^i(\bar{X}) + c_{Fe}G_{Fe}^i(\bar{X})]/\eta^i(\bar{X}), \quad (1)$$

其中: c_{Cu} 、 c_{Fe} 为铜线、硅钢片的单价; G_{Cu1}^i 、 G_{Cu2}^i 、 G_{Fe}^i 为第*i*规格电机定子绕组、转子绕组及定转子铁心的重量; η^i 为第*i*规格电机效率。

按并行计算的思路,共冲片多规格电机整体优化设计的目标函数可写成如下形式^[3],即

$$f(\bar{X}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(\bar{X}). \quad (2)$$

其中: n 为共用冲片电机的规格数; α_i 为对第*i*规格电机的加权系数。

1.2 约束函数

选择各规格电机的效率、功率因数、最大转矩、起动电流、起动转矩、热负荷作为每个单机方案的约束条件;为便于算法对不同约束违反程度做出符合实际的判断,将约束函数写成标么值的形式,即

$$\begin{aligned} g_1^i(\bar{X}) &= [\eta^i(\bar{X}) - \eta_0^i]/\eta_0^i, \\ g_2^i(\bar{X}) &= [\cos\varphi^i(\bar{X}) - \cos\varphi_0^i]/\cos\varphi_0^i, \\ g_3^i(\bar{X}) &= [T_M^i(\bar{X}) - T_{M0}^i]/T_{M0}^i, \\ g_4^i(\bar{X}) &= [I_{a0}^i - I_{a0}^i(\bar{X})]/I_{a0}^i, \\ g_5^i(\bar{X}) &= [T_{s0}^i(\bar{X}) - T_{s0}^i]/T_{s0}^i, \\ g_6^i(\bar{X}) &= [AJ_0^i - AJ^i(\bar{X})]/AJ_0^i. \end{aligned}$$

其中,下标带0者为约束标准值; $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

1.3 优化变量

电机的三圆尺寸按经济适用原则已经确定,充分考虑了冲片套裁、模具通用等因素。选择定转子的槽型尺寸、单边气隙长度、铁心长度、槽内导体数作为优化变量。显然,定转子槽型尺寸及气隙的变化会引起共冲片的几个规格电机性能都发生变化,因而可视为共用变量;而各规格电机的铁心长度、槽内导体数变化只会引起自身性能发生变化,因而被视为非共用变量。可见,优化变量集 \bar{X} 是由共用变量子集 \bar{X}_c 和非共用变量子集 X_{uc}^i 构成,即

$$\bar{X} = [\bar{X}_c, \bar{X}_{uc}^1, \bar{X}_{uc}^2, \dots, \bar{X}_{uc}^n]. \quad (3)$$

为保证寻优过程中,每组优化变量所对应设计方案的合理性,需要对与优化变量相关的设计参数做以强制性约束。

1) 对定子绕组所用线规的约束

定子绕组线规必须在所限定的标准线规表内选取,同时线规、绝缘与定子槽型尺寸应满足限制为

$$N_a \times a \times Z_1 + tmi \times 4 + si + sj \leq h_{z2},$$

$$N_b \times b + tmi \times 2 + si \leq b_{\mu 1}.$$

其中: N_a 为导体纵向并排个数; a 为导体绝缘后高度; si 为公差与间隙; Z_1 为槽内导体数; tmi 为主绝缘厚度; sj 为层间垫条厚度; h_{z2} 为定子槽有效高度; N_b 为导体横向并排个数; b 为导体绝缘后宽度; $b_{\mu 1}$ 为定

子槽宽度。

2) 对槽楔的约束: 当定子槽宽 $b_{s1} \geq 14$ mm 时, 槽楔厚度为 5 mm, 否则为 4 mm。

3) 铁心每段长 50 mm, 中间隔 10 mm 径向通风道, 剩余不足 50 mm 的分解到其他段中。

4) 从可靠性的角度, 单边气隙长度设有最小值限制; 槽宽与齿距之比应小于 56%; 槽高与轭高之比应小于 2/3。

1.4 增广目标函数

采用 SUMT 外罚函数法将上述有约束最优化问题变成一系列无约束极值问题, 则增广目标函数可写成

$$F_k(\bar{X}) = f_k(\bar{X}) + r_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^6 \beta_j^i \{ \min[g_j^i(\bar{X}), 0] \}^2 \quad (4)$$

其中: β_j^i 是对第 i 规格电机的第 j 个约束的加权系数 ($j = 1, 2, \dots, 6; i = 1, 2, \dots, n$); r_k 为罚因子, $0 < r_1 < r_2 < \dots < r_k < r_{k+1} < \dots$ 。

因此, 可以采用无约束最优化方法进行 YKK 系列中型高压电机优化设计。

2 改进模拟退火算法在系列电机优化设计中的应用

中型高压电机定子绕组线规组合的变化规律异常复杂, 且可以选用的组合有限, 线规选取不当会对电机性能产生很大的影响。相对于小型电机而言, 中型高压电机的优化更加困难。因此, 要保证优化设计的成功选用一个成熟而简便易行的优化算法很重要。然而, 更为重要的是要调整好数学优化算法与电机设计工程之间的适应性。

模拟退火算法的原理很简单, 是一种随机优化的方法, 只对常规的迭代改善算法作了一点修改^[4]。在寻优过程中, 探测点能否从 P_1 点移动到 P_2 点, 取决于下式取值的概率, 即

$$p = e^{-\frac{F_2 - F_1}{T}} = e^{-\frac{\Delta F}{T}} \quad (5)$$

其中: F_1, F_2 分别为 P_1, P_2 点对应的目标函数值; T 为模拟退火过程的控制参数; p 为玻尔兹曼概率。

若 $F_2 < F_1$, 则 $p > 1$, 探测点将从 P_1 移至 P_2 ; 若 $F_2 > F_1$, 则另产生一个 $[0, 1]$ 区间上均匀分布的伪随机数 r , 若 $p > r$, 探测点从 P_1 移至 P_2 。

在寻优搜索过程中, 控制系数 T 逐渐减小, 最终将搜索限制在一个小区域内。由于可将退火过程控制得足够慢, 会使系统跳出晶体局部能量极小点, 以概率 1 收敛到全局最优解。

针对具体问题, 对模拟退火算法的改进主要有两点:

a) 充分考虑电机设计变量的离散性, 实现在整个搜索进程中优化空间内的每个探测点都相对一个符合工程实际的设计方案。为此, 除了对与优化变量相关的设计参数做以强制性约束限制外, 同时构造数学优化空间与实际设计空间两者的映射。为每个变量规定各自的变化步长, 以使数学优化算法便于处理实际工程问题。优化空间与设计空间的相互转化过程如图 1 所示。

b) 充分考虑电机优化设计中函数的复杂性与高度非线性、目标多极值性、目标函数以及约束函数间的相悖性, 协调好全局寻优与收敛速度的关系。对于模拟退火算法, 恰如其分地协调好它的“上山与下山特性”之间的关系是保证搜索过程能以尽可能少的计算时间跳出局部极值点达到全局最优的关键。通过对算法分析不难发现, 决定“上山”还是“下山”的因素取决于控制参数 T 变化规律。

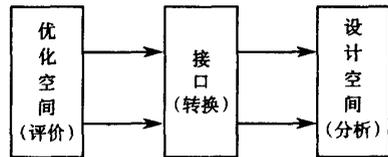


图1 优化空间与设计空间的相互转化

Fig. 1 Conversion between the optimum space and design space

设控制参数 T 的初始值和终止值为 T_0 和 T_n , 第 i 次迭代中所随机产生的探测点列

$$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m,$$

对应的目标函数值为 F_1, F_1, \dots, F_m 。其中 $F_{j+1} > F_j$ ($j = 1, 2, \dots, m - 1$) 的次数为 $N1$ ($N1 \neq 0$), 在 $F_{j+1} > F_j$ 的 $N1$ 次中, $r < p$ 的次数为 $N2$, 即 $N1$ 次“上山过程”中有 $N2$ 次被接受。在本文具体优化问题中, 控制参数 T 按如下的变化规律取得良好效果,

$$T_i = T_0 - \frac{T_0 - T_n}{9} i, \quad i = 1, 2, \dots, 10. \quad (6)$$

如果在 T_i 下, $N2/N1 > 0.8$, 则说明 T_i 偏大, 令 $T_{i+1} = T_{i+2}$ 来加快 T 的下降速度; 如果 $N2/N1 < 0.2$, 则说明 T_i 偏小, 令 $T_{i+1} = 0.5(T_i + T_{i+1})$ 来减慢 T 的下降速度。以使在尽可能多的 T 下搜索过程同时具有“上山性”和“下山性”, 算法可以在获全局最优的前提下具有较高的收敛速度。

3 设计结果及对比分析

按所建立的数学模型, 应用改进的模拟退火算

法对 YKK 系列新型谱中的 161 个规格电机进行优化计算。计算符合约定:①按经济适用原则已确定的电机三圆尺寸以及定、转子槽的形状和槽配合不改动;②同一机座号下相同极数若干规格电机共用定、转子冲片的原则不容变动;③铁心材料为 W400 硅钢片;④定子采用磁性槽楔,相对磁导率 $\mu = 4\mu_0$;槽口高度为 1 mm;⑤定子绕组导体单边绝缘厚度为 0.2 mm,主绝缘单边厚度为 1.1 mm;⑥转子槽采用平行槽的梨形槽,转子导条为铜排,导条与槽的双边间隙为 0.3 mm;⑦风摩耗值仍以统一设计值为

依据。

优化设计计算获得了令人满意的结果,表 1 列出了新系列(带 * 标识者)400 中心高 2 ~ 10 极 27 个规格电机的力能指标、定子绕组用铜量和电机所用硅钢片重量。为对比分析,同时列出了在原统一设计基础上已经改进设计的相应规格电机(相同容量和极数)的对应结果。事实上,新系列电机效率保证值的确定已经考虑了课题的要求,即效率设计值只要达到保证值,就达到了总损耗减小 20%、电机效率提高 1% 的目标。

表 1 相应规格电机力能指标与有效材料用量对比

Table 1 The comparisons for the performances and the material weights of the corresponding motors

电机型号	P_2/kW	η_0	η	$\Delta\eta/\%$	$\cos\phi_0$	$\cos\phi$	G_{Cu1}/kg	G_{Fe}/kg	$\Delta G/\text{kg}$
YKK450 - 2	710	0.947 0	0.956 6	0.54	0.870 0	0.917 2	236.2	2353.5	-56.2(Cu)
* YKK400 - 2	710	0.957 6	0.962 0	0.54	0.870 0	0.905 9	180.0	1680.9	-672.6(Fe)
YKK450 - 2	800	0.948 0	0.956 5	0.49	0.870 0	0.915 0	237.5	2434.6	-57.5(Cu)
* YKK400 - 2	800	0.958 4	0.961 4	0.49	0.870 0	0.909 9	180.0	1680.9	-753.7(Fe)
YKK500 - 2	900	0.950 0	0.957 8	0.51	0.870 0	0.908 8	350.0	2409.2	-153.8(Cu)
* YKK400 - 2	900	0.960 0	0.962 9	0.51	0.870 0	0.910 3	196.2	1905.0	-504.2(Fe)
YKK500 - 2	1000	0.951 0	0.958 3	0.4	0.870 0	0.910 3	355.7	2676.9	-159.5(Cu)
* YKK400 - 2	1000	0.960 8	0.962 3	0.4	0.870 0	0.912 6	196.2	1905.0	-771.9(Fe)
YKK450 - 4	630	0.944 0	0.950 4	0.84	0.860 0	0.861 0	278.2	2150.6	-82.9(Cu)
* YKK400 - 4	630	0.955 2	0.958 8	0.84	0.860 0	0.863 4	195.3	1680.9	-469.7(Fe)
YKK450 - 4	710	0.946 0	0.951 0	0.85	0.860 0	0.852 7	286.6	2353.5	-73.4(Cu)
* YKK400 - 4	710	0.956 8	0.959 5	0.85	0.860 0	0.866 6	213.2	1793.0	-560.5(Fe)
YKK500 - 4	800	0.948 0	0.954 2	0.63	0.870 0	0.866 7	315.8	2837.5	-89.7(Cu)
* YKK400 - 4	800	0.958 4	0.960 5	0.63	0.870 0	0.870 5	226.1	2054.5	-783.0(Fe)
YKK500 - 4	900	0.949 0	0.955 2	0.59	0.870 0	0.872 5	349.2	3105.2	-104.4(Cu)
* YKK400 - 4	900	0.959 2	0.961 1	0.59	0.870 0	0.871 4	244.8	2203.9	-901.3(Fe)
YKK500 - 4	1000	0.950 0	0.956 0	0.65	0.870 0	0.875 0	375.7	3372.8	-117.4(Cu)
* YKK400 - 4	1000	0.960 0	0.962 5	0.65	0.870 0	0.870 2	258.3	2502.7	-870.1(Fe)
YKK500 - 4	1120	0.951 0	0.956 6	0.64	0.870 0	0.875 9	401.9	3640.5	-126.9(Cu)
* YKK400 - 4	1120	0.960 8	0.963 0	0.64	0.870 0	0.871 6	275	2726.8	-913.7(Fe)
YKK450 - 6	500	0.943 0	0.946 0	1.13	0.830 0	0.830 8	257.3	2353.5	-58.1(Cu)
* YKK400 - 6	500	0.954 4	0.957 3	1.13	0.830 0	0.832 9	199.2	1905.0	-448.5(Fe)
YKK500 - 6	560	0.944 0	0.949 3	0.87	0.840 0	0.851 7	310.1	2837.5	-88.9(Cu)
* YKK400 - 6	560	0.955 2	0.958 0	0.87	0.840 0	0.840 1	221.2	2054.5	-783.0(Fe)
YKK500 - 6	630	0.945 0	0.950 4	0.85	0.840 0	0.856 9	344.5	3105.2	-111.5(Cu)
* YKK400 - 6	630	0.956 0	0.958 9	0.85	0.840 0	0.840 2	233	2315.9	-789.3(Fe)
YKK500 - 6	710	0.948 0	0.951 1	0.84	0.840 0	0.853 7	361.3	3372.8	-107.0(Cu)
* YKK400 - 6	710	0.958 4	0.959 5	0.84	0.840 0	0.841 7	254.3	2465.4	-907.4(Fe)
YKK500 - 6	800	0.949 0	0.951 7	0.85	0.840 0	0.856 5	388.3	3640.5	-106.9(Cu)
* YKK400 - 6	800	0.959 2	0.960 2	0.85	0.840 0	0.840 3	281.4	2614.8	-1025.7(Fe)
YKK560 - 6	900	0.950 0	0.955 3	0.5	0.850 0	0.868 6	451.9	3994.4	-133.8(Cu)

续表

电机型号	P_2/kW	η_0	η	$\Delta\eta/\%$	$\cos\phi_0$	$\cos\phi$	G_{Cu1}/kg	G_{Fe}/kg	$\Delta C/\text{kg}$
* YKK400-6	900	0.960 0	0.960 3	0.5	0.850 0	0.850 6	318.1	3025.7	-968.7(Fe)
YKK500-8	400	0.937 0	0.944 1	1.09	0.800 0	0.823 2	294.8	2569.8	-81.7(Cu)
* YKK400-8	400	0.949 6	0.955 0	1.09	0.800 0	0.810 5	213.1	1755.6	-814.2(Fe)
YKK500-8	450	0.938 0	0.945 1	1.05	0.800 0	0.826 0	319.8	2837.5	-91.1(Cu)
* YKK400-8	450	0.950 4	0.955 6	1.05	0.800 0	0.811 5	228.7	1905.0	-932.5(Fe)
YKK500-8	500	0.942 0	0.945 9	1.06	0.800 0	0.827 9	335.3	3105.2	-88.3(Cu)
* YKK400-8	500	0.953 6	0.956 5	1.06	0.800 0	0.812 3	247	2091.8	-1013.4(Fe)
YKK500-8	560	0.944 0	0.946 7	1.01	0.800 0	0.828 3	357.3	3372.8	-90.9(Cu)
* YKK400-8	560	0.955 2	0.956 8	1.01	0.800 0	0.817 2	266.4	2390.6	-982.2(Fe)
YKK560-8	630	0.945 0	0.949 0	0.82	0.820 0	0.841 6	323.1	3994.4	-30.3(Cu)
* YKK400-8	630	0.956 0	0.957 2	0.82	0.820 0	0.820 5	292.8	2764.2	-1230.2(Fe)
YKK500-10	315	0.928 0	0.938 8	1.19	0.760 0	0.799 4	255.6	2569.8	-48.7(Cu)
* YKK400-10	315	0.942 4	0.950 7	1.19	0.760 0	0.765 7	206.9	1793.0	-776.8(Fe)
YKK500-10	355	0.930 0	0.939 7	1.19	0.760 0	0.803 8	270.5	2837.5	-48.1(Cu)
* YKK400-10	355	0.944 0	0.951 6	1.19	0.760 0	0.764 2	222.4	1942.4	-895.1(Fe)
YKK500-10	400	0.933 0	0.940 7	1.15	0.760 0	0.803 8	289.1	3105.2	-52.5(Cu)
* YKK400-10	400	0.946 4	0.952 2	1.15	0.760 0	0.766 4	236.6	2166.5	-938.7(Fe)
YKK500-10	450	0.934 0	0.941 4	1.15	0.760 0	0.798 2	306.9	3372.8	-48.7(Cu)
* YKK400-10	450	0.947 2	0.952 9	1.15	0.760 0	0.769 6	258.2	2465.4	-907.4(Fe)
YKK560-10	500	0.936 0	0.942 0	0.73	0.780 0	0.780 3	291.0	3631.3	-12.9(Cu)
* YKK400-10	500	0.948 8	0.949 3	0.73	0.780 0	0.779 9	278.1	2726.8	-904.5(Fe)
YKK560-10	560	0.937 0	0.948 5	0.31	0.780 0	0.794 3	323.2	3994.4	-33.5(Cu)
* YKK400-10	560	0.949 6	0.951 6	0.31	0.780 0	0.780 1	289.7	2951.0	-1043.4(Fe)

从表1可以看出,与原统一设计的改进方案相比,新方案的效率平均又提高了近1.0%,而定子绕组的用铜量和硅钢片重量平均减少了25%以上。即使考虑到定子绕组主绝缘厚度的减小、定子磁性槽楔的使用、转子导条和铁心采用了好的导电与导磁材料等因素,优化设计的效果还是显而易见的。

4 结 语

本文按系列设计的原则,建立了共冲片多规格电机整体优化的数学模型;结合电机设计的工程实际对模拟退火算法做了适应性的改进,优化计算结果表明了所建模型的正确和对算法改进的有效性。

由此所获得的设计方案完全满足项目的预期目标,已经用于生产实际。

参 考 文 献:

- [1] 秦和. 关于发展我国超高效率电机的一些考虑[J]. 电机与控制应用, 2006, 33(1): 3-6.
QIN He. Some consideration for developing super energy efficiency motor in China [J]. *Electric Machines and Control Application*, 2006, 33(1): 3-6.
- [2] 孟大伟, 周美兰. 模拟退火算法在电机设计中应用[J]. 电机与控制学报, 2001, 5(3): 154-158.
MENG Dawei, ZHOU Meilan. The application of simulated annealing algorithm to electric machine design [J]. *Electric Machines and Control*, 2001, 5(3): 154-158.
- [3] 孟大伟. 系列电机优化设计的初步探讨[J]. 哈尔滨电工学院学报, 1986, 9(1): 1-6.
MENG Dawei. To probe into the optimum design of motor series [J]. *HIET Journal*, 1986, 9(1): 1-6.
- [4] SZU H, HARTLAY R. *Fast Simulated Annealing* [M]. *Physics Letters*, 1987: 31-44.

(编辑: 刘素菊)

YKK系列高效高压三相异步电动机的优化设计

作者: [孟大伟](#), [庞向东](#), [潘波](#), [赵勇](#), [MENG Da-wei](#), [PANG Xiang-dong](#), [PAN Bo](#), [ZHAO Yong](#)

作者单位: [孟大伟, 庞向东, MENG Da-wei, PANG Xiang-dong \(哈尔滨理工大学, 电气与工程学院, 黑龙江, 哈尔滨, 150040\)](#), [潘波, 赵勇, PAN Bo, ZHAO Yong \(佳木斯电机股份有限公司技术部, 黑龙江, 佳木斯, 154002\)](#)

刊名: [电机与控制学报](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [ELECTRIC MACHINES AND CONTROL](#)

年, 卷(期): 2010, 14(4)

参考文献(4条)

1. [SZU H;HARTLAY R](#) [Fast Simulated Annealing](#)[外文期刊] 1987
2. [孟大伟](#) [系列电机优化设计的初步探讨](#) 1986(01)
3. [孟大伟;周美兰](#) [模拟退火算法在电机设计中应用](#)[期刊论文]-[电机与控制学报](#) 2001(03)
4. [秦和](#) [关于发展我国超高效率电机的一些考虑](#)[期刊论文]-[电机与控制应用](#) 2006(01)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_djykb201004006.aspx