

电磁吸力的数值计算方法

郑晓芳

许 飞

(电气工程系)

(电教中心)

摘 要 介绍和讨论了用数值计算方法,计算电磁机构吸力特性的原理和方法.该方法与传统的解析法相比,具有一般性和精度高.作为实际应用的例子,对CZ0-150A型接触器的吸力特性进行了计算,与实测值相比非常吻合.

关键词 电磁机构;电磁吸力;数值计算

分类号 TM5

0 引 言

磁路是电磁式电器的重要组成部分,在各种电磁机构的设计中,合理地选择磁路的结构参数,将直接影响其工作特性和技术经济指标.但由于电磁系统的磁场大都是三维场,因此按解析法计算是困难的,近年来尽管三维场的数值计算已有新突破,但用于工程电磁系统的设计计算仍有不少困难.本文将以“路”的方法计算电磁系统,以往工程上采用此法,常出现较大的误差,但这并非“路”方法本身问题,而是“路”未能准确等效“场”所致.在本文中,将采用“路”的方法进行电磁机构磁路的数值计算,在已知磁势的情况下求解气隙磁通,进而求得作用在衔铁上的电磁吸力并和实测曲线相比较.

1 气隙磁场计算

1.1 工作气隙磁场计算

在图1.2所示的拍合式机构中,其工作气隙磁场可分为1—与极靴同直径的圆柱体;2—1/4圆的旋转体;3—1/4圆环的旋转体;其工作气隙的总磁导为:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = \frac{2\pi\mu_0(R_0 + R_1)}{\theta} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{D^2}{4(R_0 + R_1)}}\right) + 1.92\mu_0 \frac{D}{2} + 2\pi\mu_0 \frac{D}{2} * \left(\frac{1}{0.69 \frac{\delta}{C} + 0.3}\right),$$

收稿日期:1995-04-20.

郑晓芳,女,1963年生,讲师.

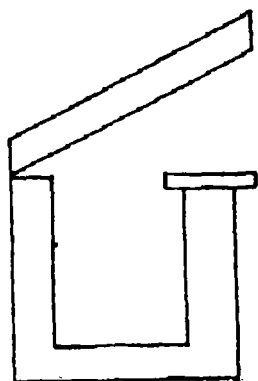


图 1

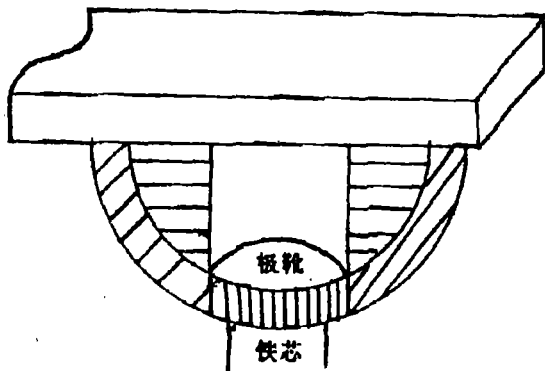


图 2

其中 R_0 ——铁芯中线与转动棱角的距离;
 D ——极靴直径;
 θ ——衔铁绕棱角转动角度;
 C ——极靴厚度;
 δ ——工作气隙平均长度;

$$R_1 = \frac{\Delta}{\tan \theta}$$

Δ ——考虑到衔铁及轭铁表面镀层及接触不良造成的气隙使衔铁分离的距离。

1.2 棱角气隙磁导的计算

$$G_1 = \frac{\mu_0 a \ln \frac{R_2}{R_1}}{\theta}$$

其中 $R_2 = R_1 + b$;
 b ——轭铁厚度;
 a ——轭铁宽度。

1.3 装配气隙磁导的计算

装配气隙共分为三部分,它们分别为底铁与铁芯间的气隙磁导,底铁与螺钉间的气隙磁导,螺钉与铁芯间的气隙磁导。这三部分磁导的计算可直接应用基本公式 $G = \mu_0 \frac{S}{l}$ 算出。

2 磁路数学模型的建立

当把磁场的问题转化成“路”来计算时,求解方法有二种,一种是不考虑漏磁通或将漏磁通进行等效,此法在文献[2]中已有介绍。本文采用的另一种方法,它考虑漏磁通,由于磁路的非线性和具有分布函数的特征,使磁路计算变得十分复杂,但借助于计算机和合适的软件,使得此法变得简单易行,且精度高,足以满足实际工程的需要。如图3所示,任取一段 dx ,并令 $F =$

$\frac{IW}{l}$, 所设参数如图3所示.

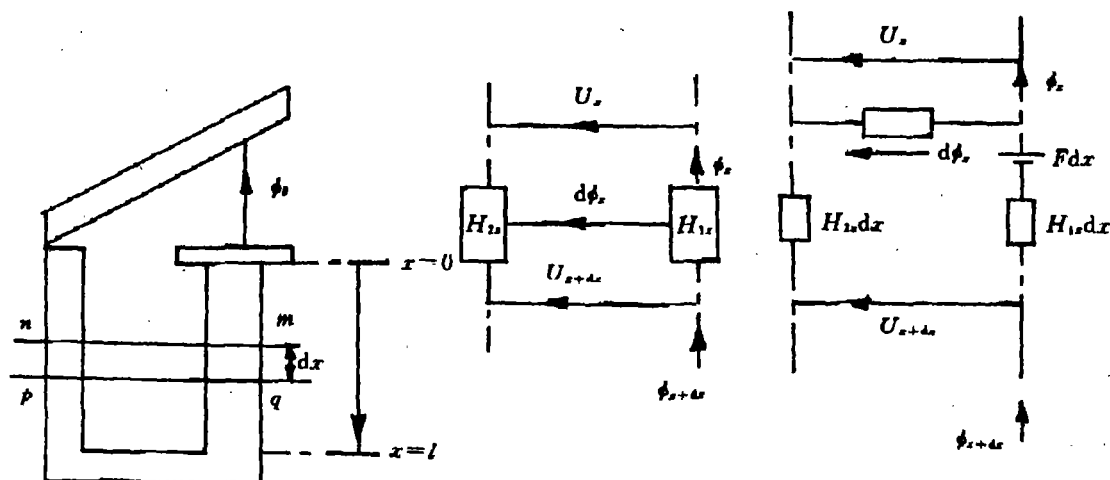


图3

根据全电流定对封闭回路 mnpq 可列出方程

$$\frac{dU_x}{dX} = H_{1x} + H_{2x} - F. \quad (1)$$

又根据磁通连续定律得方程

$$d\Phi_x = U_x \cdot g \cdot dX. \quad (2)$$

其中 U_x ——铁芯到轭铁的磁压降;

H_{1x} ——铁芯中 dx 段的磁场强度;

H_{2x} ——轭铁中 dx 段的磁场强度;

Φ_x ——通过铁芯截面的磁通;

g ——单位长度漏磁导.

从图3可以看出,当 $x=0$ 时,这时磁通由铁芯出来进入气隙,由此可得边界条件

$$\Phi_x|_{x=0} = \Phi_s, \quad (3)$$

当 $x=0$ 时,磁通一部分经主气隙到衔铁后,回到轭铁,另一部分直接由气隙到轭铁,由此可得另一边条件

$$U_x|_{x=0} = U_s + U_m. \quad (4)$$

$$\text{其中 } U_s = \frac{\Phi_s}{G} + \frac{\Phi_s}{G_s}$$

U_m ——衔铁,极靴与极靴等高的轭铁的磁压降之和.

3 应用四阶龙格—库塔法求解方程

对于以上所推导的微分方程,可以有多种解法,在此采用四阶龙格—库塔法解微分方程用龙格—库塔法解方程组的公式为(由 $K-1$ 点值求 K 点值)

$$(a) \begin{cases} y_{iK} = y_{iK-1} + \frac{h}{6} * (K_{i1} + 2K_{i2} + 2K_{i3} + K_{i4}), \\ K_{i1} = f_i(y_{1k-1}, y_{2k-1}, y_{3k-1}), \\ K_{i2} = f_i(y_{1k-1} + \frac{h}{2}K_{11}, y_{2k-1} + \frac{h}{2}K_{21}, y_{3k-1} + \frac{h}{2}K_{31}), \\ K_{i3} = f_i(y_{1k-1} + \frac{h}{2}K_{12}, y_{2k-1} + \frac{h}{2}K_{22}, y_{3k-1} + \frac{h}{2}K_{32}), \\ K_{i4} = f_i(y_{1k-1} + hK_{13}, y_{2k-1} + hK_{23}, y_{3k-1} + hK_{33}). \end{cases}$$

将方程(1)(2)再化成如下通解形式

$$(b) \begin{cases} \frac{dy_i}{dy_1} = f_i(y_1, y_1, \dots, y_n), \\ y_i(y_{10}) = y_{i0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases}$$

对照(a)(b)两组方程,并将磁路数代入即可得到求解磁路方程的表达式。(由于篇幅有限,略去中间推导过程)

4 程序框图

利用上述介绍的方法,编制了磁路计算程序.整个程序采用 FORTRAN 语言编制,并在 IBM-PC/XT 机上调试通过.整个程序框图如图 4 所示.

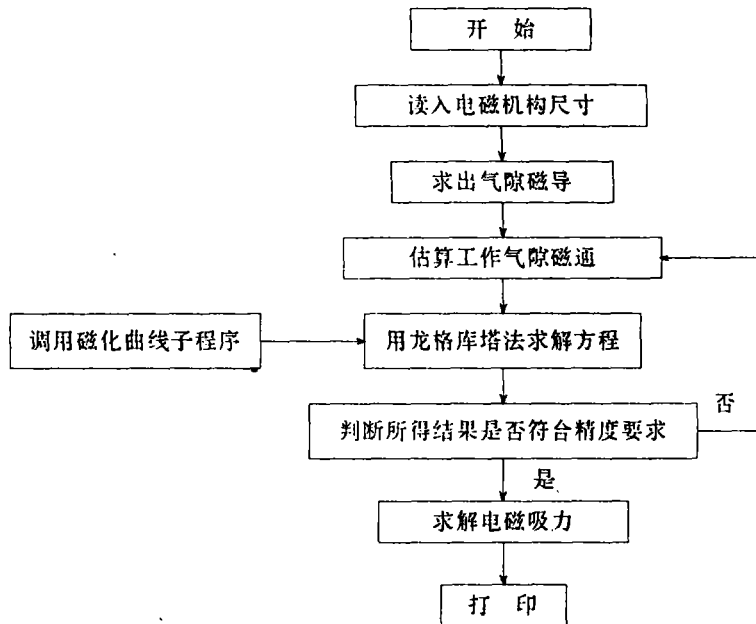


图 4

5 算 例

取 CZ0-150A 型直流拍合式电磁接触器,其尺寸为: $\delta_{\max}=1.05\text{cm}$,铁芯直径 2.6cm,铁芯高度 9.4cm,极靴直径 3.3cm,极靴厚度 0.45cm,轭铁厚度 0.6cm,轭铁宽度 7.5cm,底铁长度 4.8cm,衔铁厚 0.6cm. 由此产品实测参数如表 1 所示,通过计算机算出的参数如表 2 所示. 将表 1 中参数画成曲线为图 5 中的曲线 1,表 2 中参数画成曲线为图 5 中的曲线 2.

表 1 CZ0-150A 接触器吸力特性实测值

$\delta(\text{mm})$	1.6	2.64	3.6	4.7	5.62	6.68
$F(\text{kg})$	16	8.5	5.5	2.7	2.25	1.7

表 2 CZ0-150A 接触器吸力特性计算值

$\delta(\text{mm})$	1	2	3	4	5	6
$F(\text{kg})$	20.7	12.9	8.58	5.05	3.5	3.34

从图 5 中可以看出,在小气隙时,两曲线基本接近,而当气隙较大时出现一些误差.这是因为在气隙较大时,降落在其上的磁压降比重非常大.在本例中,当 $\delta=10.5\text{cm}$ 时工作气隙磁压降为 1250.37 占整个磁势 1700 的 73.55%,而在进行气隙磁导计算时,作了一定的近似,故导致了此误差,但完全按实际分布进行磁导计算会使计算变得非常繁琐和复杂,使一般工程技术人员感到使用不便.

6 结束语

从上述计算中可以看出,本文介绍的方法精度较高,该方法现已程序化,并可在一般微机上计算.对于一般的工程技术人员只要按要求输入初始数据,即可得到所求结果.它给设计者在进行设计及方案比较时带来极大的方便.由于此方法是以拍合式结构进行分析推导的,故适合于所有具有拍合式结构的电磁机构产品的分析计算.

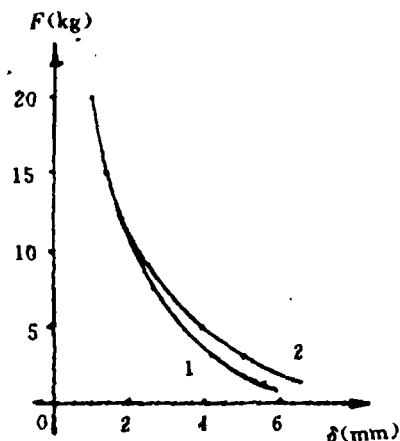


图 5

参 考 文 献

- 1 张冠生. 电器学. 北京:机械工业出版社,1980
- 2 刘韵云. 牵引电器. 北京:铁道出版社,1992
- 3 徐辛薇. 计算方法. 北京:铁道出版社,1990

(下转第 75 页)

参 考 文 献

- 1 柯召,魏万迪.组合论(上册).北京:科学出版社,1981

The Counting of an Order Partition

Zhou Xuesong

Abstract The counting problem of an order partition which has the limiting conditions: $A_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{is}\} (1 \leq i \leq k, s \leq +\infty)$ where $p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{is}$ is a equal difference sequence for its K parts is discussed in this paper. Through the method which is different to that used in document [1], some results are unified and many formulas are extended.

Key words Partition; Independent point set; Digraph; Net work

(上接第 61 页)

Computation of Electromagnetic Force with Numerical Method

Xheng Xiaofang Xu Fei

Abstract A computational principle and numerical method about electromagnetic force of electromagnetic component by numerical computation are discussed in this paper. As an example of application, electromagnetic force of CZ0-150A electromagnetic contactor is analyzed. The good agreement is obtained between calculated results and experiment date.

Key words Electromagnetic component; Electromagnetic force; Numerical computation