

圆形非等芯电缆成束直径计算

高科,闫静,李伟

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:线束设计过程中,电缆成束直径的计算是不可缺少的步骤之一。通过对常用的圆形非等芯电缆成束直径进行推导,得出了电缆直径与成束直径的公式关系,应用 MATLAB 软件的 GUI 模块做出人机交互平台。在该平台下用户可以通过输入电缆直径参数,得出电缆的排布以及成束直径的值,实现了用计算机快速、直观、准确地计算圆形非等芯电缆成束直径的方法,为线束设计人员提供了有力帮助。

关键词:圆形非等芯电缆;成束直径;MATLAB;人机交互平台

中图分类号:TP391.9 文献标志码:A 文章编号:1671-5276(2019)06-0043-04

Calculation of Bundle Diameter of Round Cable with Mixed Sizes

GAO Ke, YAN Jing, LI Wei

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Calculating cable bundle diameter is one of the indispensable steps in the process of wire harness design. Through the derivation of bundle diameter of round cable with mixed sizes, the formula relationship between the cable diameter and the bundle diameter is obtained. The human-computer interaction platform is made by using the MATLAB software's GUI module, where the cable arrangement and bundled diameter values can be obtained by inputting cable diameter parameters. A method for quickly, intuitively, and accurately calculating the bundle diameter of round cable with mixed sizes is achieved by the computer, which provides a powerful help for the wire harness designer.

Keywords: round cable with mixed sizes; bundle diameter; MATLAB; human-computer interaction platform

0 引言

在飞机线束设计的过程中,电缆成束的直径计算是不可缺少的步骤之一。线束敷设过程中用于固定线束的卡箍,其规格依据就是所固定线束的直径^[1-2]。若计算得到的线束直径大于线束直径的实际值,相应的卡箍规格也会偏大,在实际安装中,会出现卡箍无法紧固线束的情况,需更换同一系列规格较小的卡箍或在线束上缠绕规定的材料以增大直径;反之,则需更换同一系列规格较大的卡箍。

圆形非等芯电缆(“3+1”型、“3+2”型、“4+1”型)在我国使用非常普遍^[3],但它们的成束直径计算没有确定的公式。习有建、罗绍武^[4]通过电缆绝缘芯与成缆芯外径间的几何关系进行数学推导,求出若干特殊解,对这些特殊解进行数值拟合,得出经验公式。在《电线电缆》手册中也是以经验公式的方式给出^[5]。

鉴于此种情况,本文尝试推导出几种类型的圆形非等芯电缆的成束直径计算公式,应用 MATLAB 软件的 GUI 模块^[6-7]做出交互平台。在该平台下设计人员可以通过输入电缆直径参数,得出成束直径的准确数值和电缆的排布,避免了因线束直径计算不准确问题导致卡箍规格选配

的不合理。

1 成束直径公式推导

1.1 “3+1”型

圆形非等芯“3+1”型电缆的结构示意图如图 1 所示。

图 1 中大芯半径为 r_1 ,小芯半径为 r_2 ,成束半径为 R ,相邻大、小线芯圆心与成束包络圆圆心连线之间的夹角为 α ,相邻大线芯圆心与成束包络圆圆心连线夹角的一半为 β 。

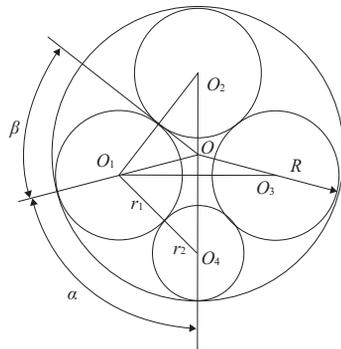


图 1 “3+1”型圆形非等芯电缆结构示意图

基金项目:国家商用飞机制造工程技术研究中心创新基金资助项目(SAMC13-JS-15-024)

作者简介:高科(1993—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要研究方向为飞机线束智能制造。

通信作者:闫静(1973—),女,副教授,研究方向为飞机线束数字化制造。

$$R = OO_1 + r_1 = OO_2 + r_2, OO_1 = r_1 / \sin\beta$$

则:
$$\sin\beta = \frac{r_1}{R - r_1} \quad (1)$$

对 ΔOO_1O_2 中应用余弦定理得:

$$\cos\alpha = \frac{(R - r_1)^2 + (R - r_2)^2 - (r_1 + r_2)^2}{2 \times (R - r_1) \times (R - r_2)} \quad (2)$$

$$\cos\alpha = \frac{R^2 - Rr_1 - Rr_2 - r_1r_2}{R^2 - Rr_1 - Rr_2 + r_1r_2} \quad (3)$$

$$\alpha + 2\beta = \pi \quad (4)$$

联立式(1)、式(2)得:

$$\frac{r_1}{R - r_1} = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (5)$$

联立式(3)、式(5)得:

$$\cos\alpha = 2 \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 = 2 \frac{r_1^2}{(R - r_1)^2} - 1 =$$

$$\frac{R^2 - Rr_1 - Rr_2 - r_1r_2}{R^2 - Rr_1 - Rr_2 + r_1r_2}$$

推出:
$$\frac{2r_1^2 - (R - r_1)^2}{(R - r_1)^2} = \frac{R^2 - Rr_1 - Rr_2 - r_1r_2}{(R - r_1)(R - r_2)}$$

$$\frac{r_1^2 - R^2 + 2Rr_1}{R - r_1} = \frac{R^2 - Rr_1 - Rr_2 - r_1r_2}{R - r_2}$$

$$R^3 - (2r_1 + r_2)R^2 + r_1r_2R + r_1^2r_2 = 0$$

1.2 “3+2”型

圆形非等芯“3+2”型电缆的结构示意图如图2所示。

图2中大芯半径为 r_1 ,小芯半径为 r_2 ,成束半径为 R ,相邻大、小线芯圆心与成束包络圆圆心连线之间的夹角为 α ,相邻大线芯圆心与成束包络圆圆心连线夹角的一半为 β ,相邻小线芯圆心与成束包络圆圆心连线夹角的一半为 γ 。

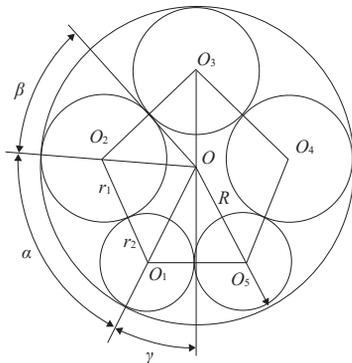


图2 “3+2”型圆形非等芯电缆结构示意图

$$R = OO_2 + r_1, OO_2 = r_1 / \sin\beta$$

则:
$$\sin\beta = \frac{r_1}{R - r_1} \quad (6)$$

$$R = OO_1 + r_2, OO_1 = r_2 / \sin\gamma$$

则:
$$\sin\gamma = \frac{r_2}{R - r_2} \quad (7)$$

对 ΔOO_1O_2 中应用余弦定理得到的公式如式(2)、式(3)所示。

$$\alpha = \pi - \gamma - 2\beta \quad (8)$$

$$\cos\alpha = -\cos\gamma\cos 2\beta + \sin\gamma\sin 2\beta \quad (9)$$

$$\cos 2\beta = \frac{R^2 - 2Rr_1 - r_1^2}{(R - r_1)^2} \quad (10)$$

$$\sin 2\beta = \frac{2r_1\sqrt{R^2 - 2Rr_1}}{(R - r_1)^2} \quad (11)$$

$$\cos\gamma = \frac{\sqrt{R^2 - 2Rr_2}}{R - r_2} \quad (12)$$

将式(7)、式(10)-式(12)代入式(9)得:

$$\cos\alpha =$$

$$\frac{2r_1r_2\sqrt{R^2 - 2Rr_1} - (R^2 - 2Rr_1 - r_1^2)\sqrt{R^2 - 2Rr_2}}{(R - r_1)^2(R - r_2)} \quad (13)$$

联立式(3)、式(13)得:

$$\frac{R^2 - Rr_1 - Rr_2 - r_1r_2}{(R - r_1)(R - r_2)} =$$

$$\frac{2r_1r_2\sqrt{R^2 - 2Rr_1} - (R^2 - 2Rr_1 - r_1^2)\sqrt{R^2 - 2Rr_2}}{(R - r_1)^2(R - r_2)}$$

推出:

$$R^3 - (2r_1 + r_2)R^2 + r_1^2R + r_1^2r_2 =$$

$$2r_1r_2\sqrt{R^2 - 2Rr_1} - (R^2 - 2Rr_1 - r_1^2)\sqrt{R^2 - 2Rr_2}$$

1.3 “4+1”型

圆形非等芯“4+1”型电缆的结构示意图如图3所示。

图3中大芯半径为 r_1 ,小芯半径为 r_2 ,成束半径为 R ,相邻大、小线芯圆心与成束包络圆圆心连线之间的夹角为 α ,相邻大线芯圆心与成束包络圆圆心连线夹角的一半为 β 。

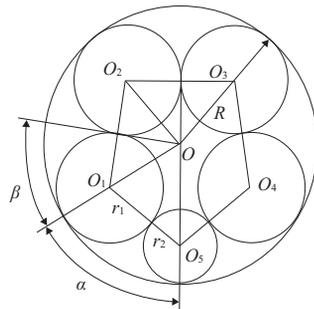


图3 “4+1”型圆形非等芯电缆结构示意图

$$R = OO_1 + r_1 = OO_5 + r_2, OO_1 = r_1 / \sin\beta$$

则:
$$\sin\beta = \frac{r_1}{R - r_1}$$

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{r_1^2}{(R - r_1)^2}} \quad (14)$$

对 ΔOO_1O_5 中应用余弦定理得到的公式如式(2)、式(3)所示。

$$\alpha + 3\beta = \pi$$

$$\cos\alpha = 3\cos\beta - 4\cos^3\beta \quad (15)$$

将式(14)代入式(15)得:

$$\cos\alpha = \frac{(-R^2 + 2Rr_1 + 3r_1^2)\sqrt{R^2 - 2Rr_1}}{(R - r_1)^3} \quad (16)$$

联立式(3)、式(16)得:

$$\frac{R^2 - Rr_1 - Rr_2 - r_1r_2}{R - r_2} = \frac{(-R^2 + 2Rr_1 + 3r_1^2)\sqrt{R^2 - 2Rr_1}}{(R - r_1)^2}$$

推出:

$$R^4 - (3r_1 + r_2)R^3 + (3r_1^2 + r_1r_2)R^2 + (r_1^2r_2 - r_1^3)R - r_1^3r_2 = [-R^3 + (r_2 + 2r_1)R^2 + (3r_1^2 - 2r_1r_2)R - 3r_1^2r_2]\sqrt{R^2 - 2Rr_1}$$

2 应用 MATLAB 编制 GUI 平台

3 种类型的成束直径计算公式,需要借助计算机求解,本文利用 MATLAB 软件编程求解。在 MATLAB 的 GUI 界面中,绘制 3 种圆形非等芯电缆成束的计算模块,每一个模块中有相关控件,在计算控件的回调函数中编写求解程序^[8-9]。在最终运行时,用户只需输入电缆的半径,点击计算即可出现电缆的排布以及成束直径。

3 种类型的 GUI 模块如图 4、图 6、图 8 所示,模块中输入 r_1 、 r_2 的值,点击计算可得到图 5、图 7、图 9。

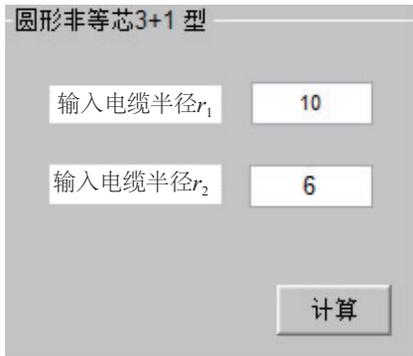


图 4 “3+1”型电缆成束 GUI 模块

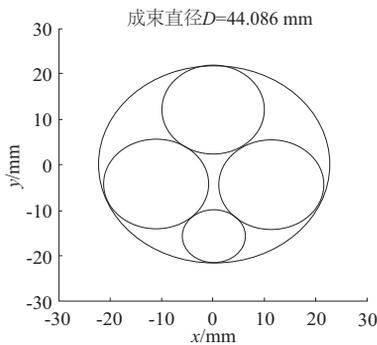


图 5 “3+1”型电缆排布及成束直径

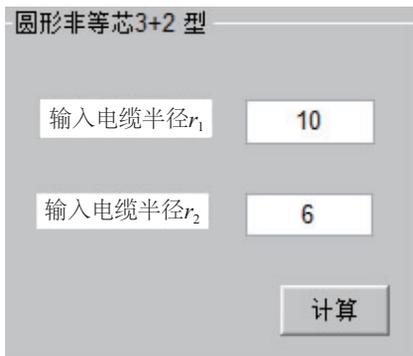


图 6 “3+2”型电缆成束 GUI 模块

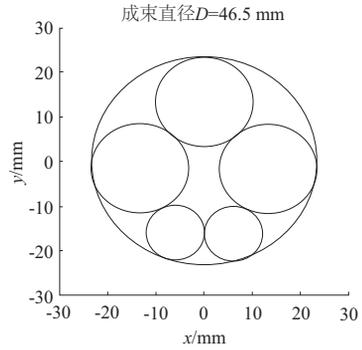


图 7 “3+2”型电缆排布及成束直径

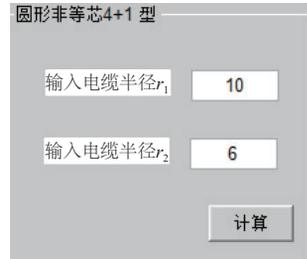


图 8 “4+1”型电缆成束 GUI 模块

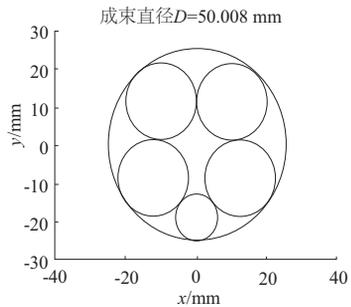


图 9 “4+1”型电缆排布及成束直径

3 实际验证

选取“3+1”型,“3+2”型,“4+1”型相关实例,用游标卡尺实际测量成束直径和在该 GUI 平台下进行成束直径计算的结果进行对比,结果见表 1。

表 1 实测成束直径与 GUI 平台下计算

电缆排列 芯数	绝缘芯半径		成束直径		绝对误差
	大芯	小芯	实际测量 量均值	GUI 计算 结果	
3+1	4.42	3.02	9.98	9.91	-0.07
3+1	5.18	3.95	11.73	11.74	0.01
3+2	4.42	3.02	10.68	10.58	-0.10
3+2	5.18	3.95	12.67	12.61	-0.06
4+1	4.42	3.02	11.37	11.23	-0.14
4+1	5.18	3.95	13.45	13.27	-0.18

从表 1 可以看出,由公式推导,经过编程求解的计算

结果与实际测量的结果误差 $<0.2\text{ mm}$,完全可以满足精度要求。由此可以判断经过公式推导编程求解的方法是正确的。

4 结语

本文介绍了一种计算圆形非等芯电缆成束直径的新方法,通过分析电缆成束中电缆之间的几何关系,推导出成束半径与其组成电缆半径的公式关系。利用 MATLAB 软件编程求解并编制出相应的 GUI 计算平台。设计人员可以更加快速、直观、准确地得出电缆排布和成束直径,该平台不仅有助于线束设计人员匹配合理规格的卡箍,也适用于电缆行业。

参考文献:

- [1] 吕明,丁洋,刘洪洋.民用飞机线束直径计算方法比较分析[J].军民两用技术与产品,2017(2):28-29.

- [2] 航空制造工程手册总编委会.航空制造工程手册 飞机装配[M].第2版.北京:航空工业出版社,2010:677-719.
 [3] 冷静.圆形非等芯橡胶套电缆结构设计[J].电线电缆,2004(2):20-22.
 [4] 习有建,罗绍武.圆形非等芯电缆成束外径快速计算方法[J].科学中国人,2016(15):14-15.
 [5] 王春江.电线电缆手册[M].北京:机械工业出版社,2001.
 [6] 罗华飞.MATLAB GUI设计学习手册[M].第3版.北京:北京航空航天大学出版社,2014.
 [7] 谢中华.MATLAB 统计分析与应用 40个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.
 [8] 施晓红.精通 GUI 图形界面编程[M].北京:北京大学出版社,2003.
 [9] 徐俊文,王强,金珩.MATLAB 环境下的 GUI 编程[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2006,21(6):640-641.

收稿日期:2018-08-27

(上接第13页)

3 结语

本文研究了纳秒激光输出功率、扫描间距和扫描速度对材料表面形貌、表面润湿性和表面能的影响。研究表明:激光输出功率对材料的性能影响最大,当功率小于材料相爆阈值时,激光织构效果、润湿性较差,表面能较低;当大于该阈值时,材料润湿性及表面能有较大提升。扫描间距和扫描速度对材料表面性能的影响类似,过低的扫描间距和扫描速度会抑制表面织构的效果,影响表面润湿性和表面能,同时会诱发大量微裂纹;过高的扫描间距和速度会降低织构密度,减小材料的表面润湿性能。

参考文献:

- [1] 刘明明,黄仲佳.激光表面织构在摩擦学中的应用[J].材料保护,2012,45(5):48-50.
 [2] BASNYAT P, LUSTER B, MURATORE C, et al. Surface texturing for adaptive solid lubrication[J]. Surface & Coatings Technology, 2008, 203(1/2):73-79.
 [3] LI Y, DENG J, CHAI Y, et al. Surface textures on cemented carbide cutting tools by micro EDM assisted with high-frequency vibration[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 82(9/10/11/12):2157-2165.
 [4] XIE J, LI Y H, YANG L F. Study on 5-axial milling on micro-structured freeform surface using the macro-ballcutter patterned with micro-cutting-edge array[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2015, 64(1):101-104.
 [5] LIAN Y, DENG J, XING Y, et al. Periodic and uniform nanogratings formed on cemented carbide by femtosecond laser scanning[J]. Applied Surface Science, 2013, 282(10):518-524.
 [6] 汤丽萍,刘莹.表面微结构对重载齿轮传动摩擦性能的影响[J].清华大学学报(自然科学版),2010(7):1009-1012.
 [7] GEIGER M, POPP U, ENGEL U. Excimer laser micro texturing of cold forging tool surfaces-influence on tool life[J]. CIRP An-

nals-Manufacturing Technology, 2002, 51(1):231-234.

- [8] HE D, ZHENG S, PU J, et al. Improving tribological properties of titanium alloys by combining laser surface texturing and diamond-like carbon film[J]. Tribology International, 2015, 82: 20-27.
 [9] HAUBNER R, KALSS W. Diamond deposition on hardmetal substrates-Comparison of substrate pre-treatments and industrial applications[J]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2010, 28(4):475-483.
 [10] 徐俊华,徐锋,刘召志,等.基于离子渗镀过渡层的金刚石刀具涂层结合性能研究[J].人工晶体学报,2014,43(10):2522-2527.
 [11] LI T, LOU Q, DONG J, et al. Improved adhesion of diamond coating on cobalt-cemented tungsten carbide hardmetal by using pulsed-UV-laser substrate surface pretreatment[J]. Applied Surface Science, 2002, 193(1):102-119.
 [12] 刘少军.纳秒激光诱导铝板表面微纳复合结构及浸润性研究[D].武汉:湖北工业大学,2017.
 [13] SOBOLEWSKI S, LODES M A, ROSIWAL S M, et al. Surface energy of growth and seeding side of free standing nanocrystalline diamond foils[J]. Surface & Coatings Technology, 2013, 232(10):640-644.
 [14] WU J, WEI W, LI X, et al. Infrared nanosecond laser-metal ablation in atmosphere: Initial plasma during laser pulse and further expansion[J]. Applied Physics Letters, 2013, 102(16):101-105.
 [15] SIZYUK T, HASSANEIN A. Sealing mechanisms of vapour/plasma shielding from laser-produced plasmas to magnetic fusion regimes[J]. Nuclear Fusion, 2014, 54(2):23004-23012.
 [16] BOGAERTS A, CHEN Z, GIBBELS R, et al. Laser ablation for analytical sampling: what can we learn from modeling? [J]. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy, 2003, 58(11):1867-1893.

收稿日期:2018-10-10