

doi: 10.7690/bgzdh.2014.05.006

新型航空拖缆制作与检测方法

李红泉

(中国人民解放军 92419 部队, 辽宁 兴城 125106)

摘要: 为提高可靠性, 研制一种同时具备大长度、小直径、高强度和高柔韧性的新型航空拖缆。在以往研究的基础上, 开展空气动力仿真分析, 介绍新型拖缆的材料选取、加工工艺工程, 并进行地面模拟测试和实际飞行验证, 给出 2 种拖缆抗拉强度指标对比表和放出长度与张力关系图。结果表明: 新型航空拖缆的技术性能达到规定要求, 满足用户使用条件, 其设计、生产和测试过程合理、可行。

关键词: 航空拖缆; 动力学分析; 加工工艺; 测试验证

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A

Manufacture and Test Method for a New Towing Cable

Li Hongquan

(No. 92419 Unit of PLA, Xingcheng 125106, China)

Abstract: In order to enhance the reliability, a new type at the same time with large length, small diameter, high strength and high toughness towing cable is manufactured. On the basis of previous studies, to carry out air dynamic simulation analysis, introduces the material selection, process engineering, test in ground and validation in aviation, gives 2 kinds of towing cable tensile strength comparison table and the diagram between length and tension. The results show that its technical performance requirement satisfies the user operation conditions, and the design, production and testing process is reasonable and feasible.

Keywords: towing cable; dynamic analysis; processing technique; test and validation

0 引言

拖靶系统是由拖带飞机、缆绳和拖靶组成的拖曳系统^[1], 供部队训练、射击、校飞使用, 也可用来测试武备系统的性能。工作过程是: 由拖带飞机挂载航空绞车及目标拖靶上升到一定高度后, 飞行员控制绞车放出拖靶, 拖缆放到预定长度刹车停止, 转入拖航状态, 这时目标拖靶可以在恒定高度逼真模拟不同飞行器的红外、雷达、光学等目标特性^[2], 最后飞行员再控制绞车收回拖靶, 返航着陆。

拖靶飞行时, 由拖缆与拖带飞机柔性连接, 拖缆缠绕在航空绞车内, 长度视绞车容绳量不一, 如 A/A47U 系列螺旋桨式航空绞车可缠绕 13 000 m 标准航空钢缆, RMK 系列气动涡轮式绞车也可缠绕约 7 000 m 航空拖缆。拖缆在空中承受的载荷比较复杂、特殊的使用方式, 决定了拖缆必须具备大长度、小直径、高强度和高柔韧性的技术特性; 因此, 笔者研制一种新型的等强度组合式航空拖缆。

1 动力学分析

拖靶放出的起始阶段, 拖缆只受到拖靶的重力和空气阻力, 此 2 项数值在拖带飞机速度恒定时基

本保持不变。随着拖缆的逐渐增长, 拖缆自身的重力和气动阻力对拖缆张力的影响越来越大, 当放靶完成时, 拖缆长度达到五六千米(如图 1), 其张力主要由拖缆决定。

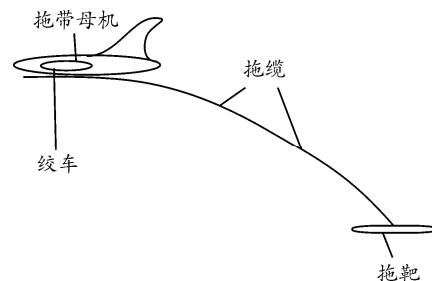


图 1 拖靶飞行示意

通过分析拖缆微元受力情况(如图 2 所示), 可建立拖缆的动力学模型, 求解出拖缆任意点上张力、迎角与拖带母机的位置关系。早期的拖靶系统使用过程中, 人们开展过类似受力研究^[3], 但当时飞行速度慢, 载荷相对简单, 新型拖靶速度快、飞得低、载荷大, 需对此进行新的方法研究。

如前述, 拖缆的内部张力逐渐增大, 拖带母机根部的拖缆受力始终是最大值; 因此, 在拖缆总体结构上采取了“等强度设计原则”, 即将整体拖缆划

收稿日期: 2013-12-22; 修回日期: 2014-01-23

作者简介: 李红泉(1969—), 男, 河北人, 硕士, 高级工程师, 从事空中飞行器的使用研究。

分成几个直径段，从拖带母机至拖靶逐段变细，各段再技术接合。这样可有效减小拖缆自重和空气中气动阻力，最大限度地降低飞行中拖缆各段的承受载荷，同时，有限的航空绞车内能容纳更长的拖缆，提高射击打靶的飞机安全性。

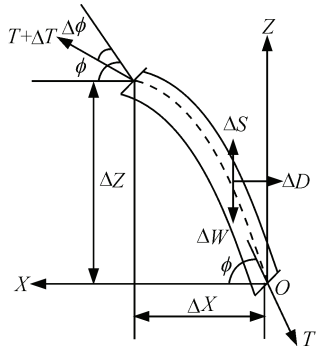


图 2 拖缆微元受力分析

2 拖缆的加工工艺

拖缆是一种特殊要求的钢丝绳，对于钢丝绳的研制，国家和行业有执行标准^[4-5]，规定了过程中的拔丝工艺、捻制方法、抗破断测试、单丝扭转、反复弯曲、缠绕或打结等基本方法，这些可以作为拖缆研制的借鉴。但航空拖缆主要技术难点是抗拉强度要求很高，比国家航空用钢丝绳标准强度(1 770 N/mm²)高 4 个强度级。虽然有一些研制成果^[6-7]，但若按原方法选用的盘条钢号、冷拔模和胶接速度，还是无法生产出满足高速飞行下大张力的拖缆。

2.1 材料选择

综合考虑拖缆在海上和陆地高速飞行的使用环境，由温湿度、高低温及盐雾腐蚀造成的影响，材料选择必须是含碳量相对低的高碳钢。这是因为氢脆现象会造成含碳量越高耐腐蚀性越差，脱碳的倾向越大，降低钢丝表层的强度和硬度，影响耐磨性，尤其会影响钢丝的疲劳性能。在保证使用寿命与抗拉强度的情况下，结合原钢材制造水平，新型拖缆确定采用含碳量 0.8% 的精轧盘条，较以往提高 0.1 个百分点^[8]。

2.2 拉丝与捻制

拖缆使用的从盘条经冷拉出来的单丝有以下要求：直径公差为 1.9%~2.5%，伸长率为 0.9%，拉丝之后单丝带预应力的反弯曲次数(180°弯曲次数或打结)大于 13，单丝长度不小于 2 000 m。这些条件使得加工的速度、温度、工艺一致性受到严格限制，否则会降低成品率。

合缆的捻制方法与普通右捻钢绞线相同，采用 1×7 形式，即 6 根外单丝缠绕在一根中心单丝上。捻制过程要控制实现 2 m 缆段长在 20% 最小破断拉力下，旋转弧度不超过 16 的不旋转性指标，松紧度适宜，其他没有特殊要求。

2.3 缩径工艺

缩径工艺的原理是将捻制成绳的拖缆经过特制的硬质模具挤压成型，达到拖缆直径变小、密度增大、强度增高和表面圆滑的目的，属面接触成型工艺。模具采用碳化钨硬质合金，其耐磨性高、抛光性能和导热性能好等特点，模具硬度 HRA 不小于 89，抗弯强度不小于 1 470 MPa，模孔镜面光洁度 9 级以上。

缩径工艺的速度达到一个冷拔模 6 h 拉出一根 2 000 m 长的缆段。经冷拔模挤压处理后的拖缆减面率可达 10% 以上，对拖缆直径公差控制的精度较高，表面光滑度也较高，图 3 显示了缩径前后拖缆截面变化情况。

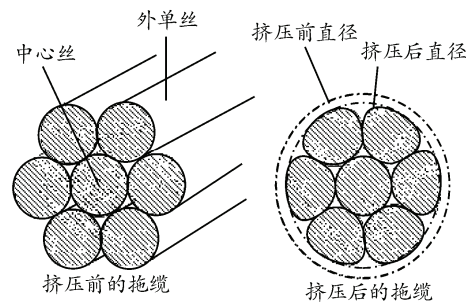


图 3 挤压前后截面对比

2.4 绞接技术

整根等强度拖缆按特定的顺序逐段变细，各直径段的连接方法是拖缆制作的关键点之一，不同于普通钢丝绳的插接编织技术，其接头处直径不能超过 6 mm，否则会跳出绞车过线槽。绞接的过程为：打开拖缆外单丝，相差 5 cm 依次剪短并分组(保证等捻距插接)，然后剪短中心单丝，去除单丝毛刺，再将 2 个成型缆外单丝捻在一起；随后用 1×12 的套缆外单丝把接头包住，将套缆端部剪成锥形；拉直拖缆，用胶粘剂浸过的玻璃纤维条将锥形包住，最后用浸过胶粘剂的尼龙线将锥形的两端和中部缠绕包好，胶干后检查。接头方法见图 4 所示。

绞接后的拖缆要使用专门的绕缆机重新施加预张力缠在缆轴上，并根据使用要求确定各缆段的长度分配，但总体积不超过绞车的容绳量，以盘卷状

态密封保存。

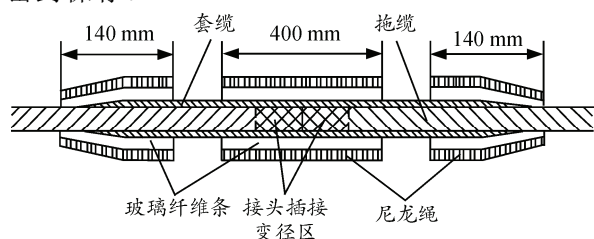


图4 绞接工艺方法

3 测试检验

不同生产厂家或同一生产厂家不同生产批号的盘条原材料在微量元素含量上会有少许差异，这可能影响到最终产品的机械性能，批检和抽检就成为拖缆飞行使用前的必备程序。

3.1 静态测试

静态测试主要是解决外观质量和单丝的强度问题。由于拖缆的长度超过 6 000 m，靠目视察看效率太低，一般结合 X 射线探伤仪进行。这样，表面光滑度、断丝、均匀度、端头松散度和锈蚀等不满足要求的缺陷可被发现。然后截取缆段，使用专门的设备^[9]测试抗拉强度，视情抽样检测使用寿命。表 1 利用某次测试结果对比了新拖缆与原拖缆性能提升情况。

表 1 2 种拖缆抗拉强度指标对比

缆段直径/mm	原拖缆指标/N	新拖缆指标/N	提高率/%
1.83	≥ 4 704	≥ 5 400	14.8
2.08	≥ 6 272	≥ 7 200	14.8
2.46	≥ 8 232	≥ 9 700	17.8
2.69	≥ 9 702	≥ 10 800	11.3

3.2 飞行检测

飞行检测既是使用又是检查，由于空中随机冲击载荷在地面无法模拟，因此只有飞行一次后才能确定拖缆是否合格。

根据使用经验，拖缆的安全系数(缆段的最小断裂强度比上该段在空中的实际张力)大于 1.8，可应对飞行过载带来的拉力突变，保证拖靶系统使用安全性，图 5 是新型拖缆飞行中拉力随缆长的关系曲线。最大放缆量 4 800 m，放缆开始至结束，张力从 80 kg 增加到 470 kg；飞行过程中由于拖靶姿态改变引起张力变化，但最大没超过 530 kg。各段安全余量均在 2 左右，高于预期指标。

飞行结果显示，新型拖缆的技术性能达到规定要求，状态良好，满足用户使用条件，表明新型拖

缆设计、生产和测试过程是合理、可行的。

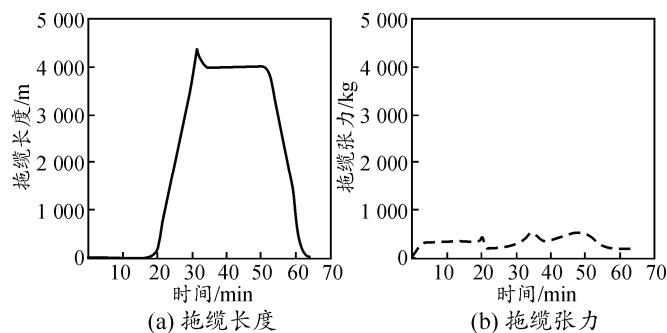


图5 拖缆放出长度与张力关系

4 结束语

航空设备的安全可靠性比地面设备要求更高，笔者只介绍了该拖缆主要的工艺生产过程，此外，在三防和运输存储要求等方面还有特定措施，以免遭意外损伤，最大限度保持拖缆的机械性能。

等强度组合式航空拖缆的成功研制，使国内有了拖靶专用的同时具备小直径、大长度、高强度和高柔韧性的特种航空拖缆。新型航空拖缆使用了更高标号的原材料，优化了以前的工艺方法，使整体性能得到提升，通过理论计算和科研试验，证明其可以满足大速度拖靶的拉力要求；同时也为其他行业增添了钢丝绳的选择型号。

参考文献：

- [1] 张登成, 唐硕. 拖曳系统飞行过程仿真研究[J]. 计算机仿真, 2004, 21(5): 24-27.
- [2] 杨榜林, 岳全发, 金振中, 等. 军事装备学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 150-189.
- [3] 王一飞. TW-1 拖靶缆绳张力与形状参数的计算[J]. 南航学报, 1992(1): 88-95.
- [4] 谷华, 冯春玲, 张庆华, 等. YB/T5197—2005. 航空用钢丝绳[S]. 北京: 中国钢铁工业协会, 2005-12-01.
- [5] 聂瑞华, 董莉, 夏木阳, 等. GB/T8358—2006. 钢丝绳破断拉力试验方法[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2006-03-01.
- [6] 宋学明, 冯春玲, 郑华. 新型航空拖靶钢丝绳的开发研制[J]. 天津冶金, 1995(5): 1-4.
- [7] 冯春玲, 张庆华, 贾宝楠, 等. 面接触多阶变径组合航空拖靶拖缆的研制[J]. 金属制品, 2006(1): 4-6.
- [8] 丁红岩, 董晓明. 水面舰艇编队使用拖曳线列阵声纳对潜搜索问题研究[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(8): 6-8.
- [9] Li Hongquan. The Development of a Natural Life Testing Apparatus for Small-Diameter Towing Cable[J]. ISTM/2007 7th International Symposium on Test and Measurement, (Volume 1): 130-133.