

网络分析仪在数据电缆测试中若干问题的讨论

龚江疆, 江斌, 涂建坤, 尹莹

(上海电缆研究所, 上海 200093)

摘要:数据电缆的测试主要依靠网络分析仪。通过对网络分析仪原理、测试参数设置、校准方式和方法、校准时间和注意事项等问题的研究及讨论,以达到数据电缆的快速、高精度的测试。

关键词:对称数据通信电缆; 网络分析仪; 校准; 应用

中图分类号: TM206

文献标识码: A

文章编号: 1672-6901(2010)04-0012-04

Discussion of the Problems Concerning the Application of the Network Analyzer in the Testing of Data Cables

GONG Jiang-jiang, et al

(Shanghai Electric Cable Research Institute, Shanghai 200093, China)

Abstract: The testing of data cables depends mainly on the network analyzer. The problems concerning the principle of network analyzer, setting of the test parameters, calibration ways and means, calibration frequency and matters needing attention are investigated and discussed in a view to obtain a fast and high-precision testing of data cables.

Key words: symmetrical data cable; network analyzer; calibration; application

0 引言

随着因特网的日益发展,数据电缆的应用也越来越广泛,而数据电缆的电性能测试也变得越来越重要。目前数据电缆测试参数主要分为一次参数(电阻、电容等)和二次参数(传输性能及反射性能)两大类,而二次参数的测试,最常用的测试设备是矢量网络分析仪。对于许多厂家来说,由于配置了集成网络分析仪的自动测试设备,测试人员只需进行简单的计算机操作就能完成电缆的测试。但对于如何通过网络分析仪的配置及设置,以便达到更高精度和更快速度的测试目的,大多数测试人员就不甚了解。本文就针对这一情况进行简单的分析。

1 网络分析仪的测试原理

网络分析仪是一种通过正弦扫频测量获得线性网络的传递函数以及阻抗函数的仪器。线性网络指的是仅改变输入信号的幅度和(或)相位,不会产生新的频率信号的测试系统。网络分析仪可分为矢量网络分析仪和标量网络分析仪。矢量就是复数形式,标量是实数范围。体现在网络分析仪上,矢量多

了相角,有了实部和虚部,而标量只能测反射系数的模。数据电缆的测试一般应用矢量网络分析仪。矢量网络分析仪本身自带了一个信号发生器,可对一个频段进行频率扫描。如果是单端口测量,则将激励信号加在端口上,通过测量反射回来信号的幅度和相位,就可判断出阻抗或者反射情况。而对于双端口测量,则还可以测量传输参数。图1、图2分别为应用网络分析仪测试数据电缆传输性能(以衰减为例)和反射性能(以特性阻抗为例)的原理图。

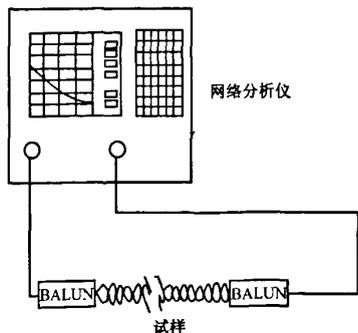


图1 衰减测量原理

如图1所示,矢量网络分析仪的扫频输出端接在平衡/非平衡转换器(BALUN)上。从输出端输出的非平衡信号经转换器转换成平衡信号。平衡信号加载在被测对称电缆的始端上,在末端又经转换器转换为非平衡信号,由矢量网络分析仪来接收非平衡信号。网络分析仪进行相应的处理后,就得到

收稿日期:2009-11-30

作者简介:龚江疆(1974-),男,工程师。

作者地址:上海市军工路1000号[200093]。

电缆的衰减。

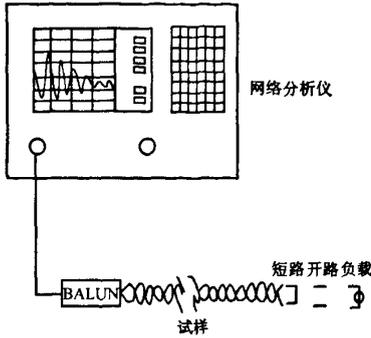


图2 特性阻抗测量原理

如图2所示,由矢量网络分析仪发出扫频信号,经平衡转换后,加载在被测电缆的一端。由于电缆的结构不均匀,将产生反射信号。反射信号经由矢量网络分析仪的定向耦合后,被矢量网络分析仪接收,并进行相应的处理,从而能够得到电缆的阻抗。

应注意的是,对于非平衡电缆的测试,可通过连接头将电缆直接接在网络分析仪的端口即可。

2 网络分析仪的参数设置和选择

要完成一次数据电缆的测试,必须对网络分析仪配置一系列参数,而合理的参数配置和选择是实现高精度测试目的的基本要求。以下分别对在测试过程中需要配置和选择的测试参数做详细的说明。

2.1 测试频率

设置网络分析仪扫描频率范围。按网络分析仪的型号,可分为频段设定和频点设定这两种方式。

频段设定方式,需要设置扫描的起始频率和终止频率,或者设置中心频率和频宽;

频点设定方式,可以设置多个扫描频率点。

注意:无论采用何种设定方式,必须保证设置的频率范围或频率点都在测试规范指定的频率范围。

2.2 扫描类型

常用的扫描类型可分为对数扫描和线性扫描两种。这两种扫描方式从频率的分布而言,对数扫描可以保证在低频段有足够的频率点数,从而保证低频数据的精确性;而线性扫描则是一种整频段按点数平均划分频率,如果要保证低频段数据的精度,必须设置足够多的点数,但是这将会导致测试速度变慢而影响测试效率。由于目前所测试的数据电缆基本上都在300 MHz以内,对于低频数据的测试精度要求比较高,因此,宜采用对数扫描的方式从而有效保证低频数据的测试精度。

式(1)和式(2)分别为线性扫描和对数扫描时

的测试频率计算公式:

$$f_i = \frac{f_{终} - f_{始}}{n} \times i + f_{始} \quad (1)$$

$$f_i = 10^{[\frac{\lg f_{终} - \lg f_{始}}{n} \times i + \lg f_{始}]} \quad (2)$$

式中, f_i 、 f_i' 分别为线性扫描和对数扫描方式下第 i 点的频率; $f_{始}$ 、 $f_{终}$ 分别为起始和终止的频率; n 为扫描点数。

以下举例说明这两种扫描方式的区别:

当设置测试频率范围为1~100 MHz。如果采用对数扫描时,选用点数401点,则在1~10 MHz范围内有200点频率分布点;而如果需要在线性扫描方式下且要保证1~10 MHz范围内有200点的频率分布点,则需要设置2 000点的扫描点数。这一设置条件对于某些网络分析仪是无法达到的,而且也增加了测试时间。

2.3 扫描点数

起始频率与终止频率间的插入点数(即扫描点数)。对于网络分析仪,须实时测试每个插入点的值;而对于两个插入点之间的值,则采用函数拟合。因此选择点数愈多,则每个离散频率点的值愈接近于测试值。但测试点数的增多会使测试速度变慢。因此该参数的设置需要根据用户的测试需求以及扫描方式的选择而定。

2.4 系统带宽

带宽的选择将影响测试精度及速度。带宽就像一扇带判定条件的“门”。带宽选择愈小,进入“门”内的信号愈接近于合格品,就能够提高测试精度,但判定条件的提高自然使测试速度变慢。带宽参数的变化,可以从网络分析仪上直观的观察到的系统的变化,当带宽变小时,系统的本地噪声会有一定程度的降低,扫描的抖动会变小,而扫描速度将变慢。在常规使用中,可以选择1 000 Hz左右的带宽,如果测试曲线不光滑或者抖动较大,可以适当下调带宽值。

2.5 扫描时间

网络分析仪在信号发送端发出信号后,会在指定的扫描时间之后,在接收端接收信号。通常网络分析仪在上述参数确定后,会自动生成一个最小扫描时间,如果被测电缆比较长,在系统设定的最小扫描时间内,信号无法到达接收端,这可以适当增加扫描时间,以保证能收到信号为止(因数据电缆的传输速度小于100 ns/100 m,且测试长度一般最大305 m,系统设置的扫描时间远大于传输时间,因此一般不用更改)。

3 网络分析仪的校准

由于网络分析仪的输出和待测数据电缆输入之

间必然存在中间过渡件/连接件,使得理想网络分析仪的测试平面和被测数据电缆的待测平面间出现了一个误差网络,所以网络分析仪使用之前必须进行校准,用以消除测试链路中存在的系统误差。在日常的网络分析仪校准中应注意校准方式、校准方法和校准时间等三个方面。

3.1 校准方式

网络分析仪有几种方法来测量和补偿测试系统误差。利用不同误差模型,消除其中的一项或多项系统误差。通常是通过对高质量的已知标准件(例如:短路器、开路器、负载和直通件)的测量,从而可使网络分析仪求解误差模型中的诸项误差。

目前我们测试的二次参数,可分为传输性能测试和反射性能测试,根据不同测试参数,对网络分析仪的校准要求也不相同。在数字电缆测试中常用到两类校准方式:单端口反射校准和双端口全校准。

3.1.1 单端口校准

当只对被测件的反射性能感兴趣,而且要求的测试精度相对较低时,可以使用单端口校准。对于单端口误差模型,有三个误差项(端口的方向性误差、源匹配误差和频率误差)。为了求解三个误差项,由线性矩阵理论可知,需要建立三个不相关的方程来求解。校准的原理就是建立这三个方程。通过在测试面加入三个已知特性的校准件,例如开路件,反射系数理论上为1;短路件,反射系数理论上为-1;负载件,反射系数理论上为0。通过网络分析仪测量这三个校准件,得到实际测量结果,也就得到包含三个误差模型的线性方程,并通过求解就能得到三个误差项。在后续的测量中,在直接获得的测试结果中,先通过数学运算,消除三个误差项带来的影响,显示给用户的就是校准后待测数据的特性。图3是单端口误差模型。

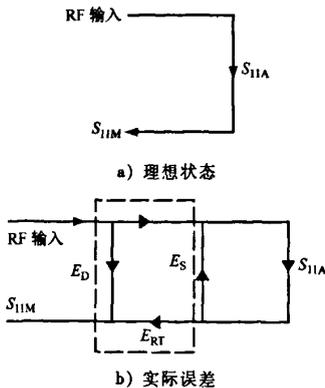


图3 单端口误差模型

RF输入-射频输入 S11M-反射测量值 S11A-反射实际值
ED-方向性误差 ERT-反向跟踪误差 ES-源匹配误差

3.1.2 双端口全校准

在数字电缆测试中,如果要求同时测试传输性能与反射性能,而且要求测试精度高时,就必须采用双端口全校准。双端口校准能够消除正向和反向的方向性误差、源匹配误差、负载匹配误差、隔离误差和频响误差。图4为双端口模式模型。

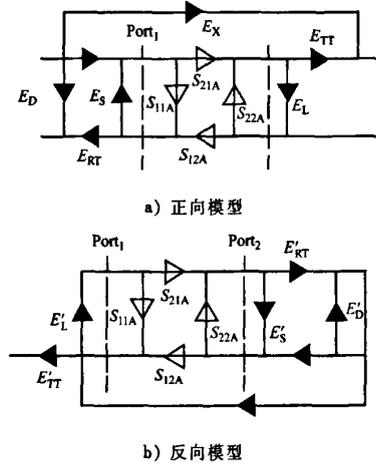


图4 双端口误差模型

Port₁ - 网络分析仪端口1 Port₂ - 网络分析仪端口2 S_{11A} - 正向反射实际值 S_{22A} - 反向反射实际值 S_{21A} - 正向传输实际值 S_{12A} - 反向传输实际值 E_x - 正向隔离度误差 E_D、E_{D'} - 分别为正、反向方向性误差 E_s、E_{s'} - 分别为正、反向源匹配误差 E_{RT} - 正向发射跟踪误差 E_L、E_{L'} - 分别为正、反向负载匹配误差 E_{TT}、E_{TT'} - 分别为正、反向传输跟踪误差

和单端口校准一样,双端口的校准也是对已知数值的标准件进行精确的测试,求出12项误差项,形成误差系数数组(误差矩阵)。在以后的测试中,利用这些数据进行误差修正。

3.2 校准方法

对于数据电缆的测试,测试夹具是必不可少的。随着测试频率的提高,测试夹具对测试结果的影响也越加明显。这种影响只能通过精心校准来消除。

采用测试夹具时,网络分析仪的校准可分为两类。从理论上讲,这两类校准没有本质的区别,校准精度主要取决于所采用的校准标准和运算方法。

一类是将夹具视为网络分析仪的一部分,直接采用与夹具测试端口相应的校准标准和网络分析仪内部的校准程序做校准,其优点是简单易行,但所采用的校准方法只能是网络分析仪内部仅有的几种。

另一类是在网络分析仪已经校准到仪器的同轴端口条件下,测试已经嵌入相应标准的夹具,而得到夹具的网络参数,这一过程被称为测试夹具的校准。

(下转第24页)

位。其次不紧实的填充所留下的局部空隙更是为缆芯位移提供了结构上的条件。所以成缆时,原则上应采用精细填充的方式,即精确计算结构空隙的空间,然后根据结构空间选配尺寸精确的填充材料。填充材料有锦纶丝加强型橡皮填充条或尼龙填充芯等。

港口起重机电缆一般都采用内外双层护套,护套的挤出必须紧实,尤其是内护套。在内护套挤出时应加大模具的向心压力,以保证挤出紧密、结实。

4 高柔性电缆的安装敷设

高柔性电缆的使用寿命在很大程度上还同电缆的安装操作和敷设状态有密切的关系。在这里不详细讨论港口起重机电缆安装的操作规程,但作为这类电缆的制造商或供应商,必须对柔性电缆的安装作出告诫性说明,如电缆安装前的下料过程和预退扭过程。在一般情况下成品电缆都是以盘装交付使用的,那么为了在下料过程中不使电缆产生内应力,则必须使用盘具专用支架进行转动式下料,而不是静止的无退扭的拖拽式下料作业,后者必然会使电缆扭曲而产生内应力。其次,安装敷设前的预退扭处理也极为重要。所谓退扭就是将电缆的一端静止悬挂超过8 h,使其在自然垂体状态下纠正自身可能存在的由外力造成的扭曲变形。

综上所述,无论是支架转动下料还是退扭预处理,其目的只有一个.那就是尽可能地保证在安装和使用前让柔性电缆消除内应力,使电缆在日后的使用中不留下造成变形的隐患。

5 结束语

上述已介绍了港口起重机电缆的特性及这类电缆在港机中所处的重要地位。由于这类电缆的需求正随着港口机械的发展而日益扩大,国产化自主开发已成为必然的趋势。经过对电缆材料和制造工艺的分析探究,高柔性移动电缆的完全国产化是可以实现的。从电缆材料国产化程度到对照目前我国现有的电缆制造设备和工艺手段,无一不说明当前的客观条件都为港口起重机电缆国产化这一课题的实现提供了基础。随着电缆制造业工程技术人员的大胆实践,完全有理由相信,国产化电缆全面替代进口电缆的日子已经不远了。

参考文献:

- [1] 陈慧平. 柔性电缆——移动电缆[EB/OL]. <http://dxdl.tede.cn/2009/08/1250737379149846.h/2009-08-20/2010-01-20>.
- [2] 陆伟. 拖链电缆[EB/OL]. http://www.newmaker.com/art_32737.html/2009-03-02/2010-01-20.

(上接第14页)

在校准了测试夹具后,就能够对嵌入测试夹具的待测线缆进行测试,这一过程也就是通常所说的去嵌技术。去嵌的本质是得到误差网络的 S 参数,通过转换到 T 参数,运用级联运算进行消除。

对于普通数据电缆的测试,第一类方法运用的较多,此时必须遵循校准到端口的原则。即所有的校准过程(开路、短路、负载、直通)都必须在最终的电缆测试端口进行,否则不可避免地会带入测试误差。而对于微波段数据电缆的测试,去嵌技术的应用对于实际测试系统的设计会取到事半功倍的效果。

3.3 校准时间

最理想的校准时间是每次测试前均进行校准,但考虑到实际测试情况,在周围环境变化不大、测试要求相同的情况下,测试人员可以调用以前的校准进行测试,而不需要重新校准,但期限以不超过半个月为限。此外,不建议频繁校准的目的还在于:校准

件也是有使用寿命的,多次的校准,会使得校准件多次和校准端口接触,可能污染校准件及端口,使得校准特性发生改变,影响下一次校准。

4 结束语

有了正确的设置和合理的校准,网络分析仪的应用才有了基本保证。在实际应用中还还必须注意网络分析仪的静电保护、使用环境及端口扩展所用的器件,以及安装及防尘保护等因素,才能合理的应用网络分析仪,达到快速、高精度的测试目的。

参考文献:

- [1] IEC 61156-2002 Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications[S].
- [2] YD/T 1019-2001 数字通信用实心聚烯烃绝缘水平对绞电缆[S].
- [3] 祝宁华,王幼林,陈振宇. 微波网络分析仪的校准[J]. 中国科学E辑技术科学,2004,34(3):329-336.

微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



微波射频测量仪器操作培训课程合集

搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>