



IEEE Std 1720™-2012

**IEEE Recommended Practice  
for Near-Field Antenna Measurements**

**IEEE 天线近场测量  
推荐实施标准**

IEEE 天线与电磁辐射协会 编  
李志平 武建华 王正鹏 译

Sponsored by the  
Antenna Standards Committee  
天线标准化委员会资助

IEEE  
3 Park Avenue  
New York, NY 10016-5997  
USA

5 December 2012



国防工业出版社  
National Defense Industry Press



IEEE Std 1720™-2012

**IEEE Recommended Practice  
for Near-Field Antenna Measurements**

**IEEE 天线近场测量  
推荐实施标准**

IEEE天线与电磁辐射协会 编

李志平 武建华 王正鹏 译

Sponsored by the  
Antenna Standards Committee  
天线标准化委员会资助

IEEE  
3 Park Avenue  
New York, NY 10016-5997  
USA

5 December 2012



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 著作权合同登记 图字:军-2015-009号

## 图书在版编目(CIP)数据

IEEE 天线近场测量推荐实施标准/IEEE 天线与电磁辐射协会编;李志平,武建华,王正鹏译. —北京:国防工业出版社,2016.5

书名原文:IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements

ISBN 978-7-118-10859-0

I. ①I… II. ①I… ②李… ③武… ④王… III. ①无线电通信-标准 IV. ①TN92-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 141134 号

根据 IEEE 许可,国防工业出版社将此 IEEE 标准翻译为中文。未经 IEEE 书面同意,不得对本标准的任何部分进行任何形式的复制。此标准已经翻译为简体中文,帮助读者理解 IEEE 标准的英文原版。对于翻译过程中难以避免的语法和意思改变可能导致的冲突,IEEE 不负任何责任,亦不做出明示的或暗示的保证。任何情况下,IEEE 的英文版应为官方文件。IEEE 是位于美国纽约的美国电气与电子工程师协会(IEEE)的商标,此处获许使用。

National Defense Industry Press has translated this IEEE Standards publication into Simplified Chinese from the English version under license from the IEEE. No part of this publication may be reproduced, in any form, without prior written consent of the IEEE. This standards publication has been translated into Simplified Chinese to aid in the understanding of the original IEEE English text version. The IEEE does not take responsibility, nor does it provide any warranty whatsoever neither expressed nor implied, for any conflicts which may occur due to changes in the syntax and meaning that are inherent to the translation process. In all cases, the IEEE version, published in English, shall serve as the official document. IEEE is a trademark of The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporated (IEEE), New York, New York, USA, used under license.

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710 × 1000 1/16 印张 7 字数 89 千字

2016年5月第1版第1次印刷 印数 1—800册 定价 128.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

**关于使用 IEEE 文件的公告和免责声明:** IEEE 标准文件由 IEEE 协会与 IEEE - SA 标准委员会标准协调委员会编制。IEEE 标准通过共识达成程序制定,并由美国国家标准协会批准,该标准代表了有不同观点与利益的志愿者的意见。志愿者不一定是协会的成员,其服务为无偿服务。尽管 IEEE 管理着该程序,并建立了规则以促进共识达成程序的公平,但标准中所包含的任何信息的准确性以及判断的可靠性并非由 IEEE 独家评估、测试或验证。

IEEE 标准的使用是完全自愿的。IEEE 将不承担由于出版、使用或采信任何 IEEE 标准文件而直接或间接导致的任何性质的人身伤害、财产或其他损害的赔偿责任,无论其是特殊的、间接的、继发性的还是补偿性的。

IEEE 并未对本标准中所包含材料的准确性与内容做出保证或表示。IEEE 明确否认任何明示或暗示的保证,包括对任何特殊用途的适销性或适用性的暗示保证,或使用本标准的内容不会导致专利侵权。IEEE 标准文件以“原样”形式提供。

IEEE 标准的存在并不意味着没有其他方式可以生产、测试、测量、采购、销售或提供与 IEEE 标准所述范围相关的产品和服务。此外,在标准批准和发布时所表达的观点可能会随着新技术的发展以及来自标准使用者的意见而更新。每份 IEEE 标准至少每十年修订一次。如果一份文件已经超过十年未修订,则应合理的认为,尽管该内容还有一定价值,但已经不能完全反映最新的技术水平。提醒使用者检查并确定其使用的 IEEE 标准的最新版本。

IEEE 在出版或提供本标准时,并未向任何个人或实体或任何个人或实体的名义推荐或提供专业服务或其他服务,也未承诺履行任何个人或实体对其他个人或实体的任何责任。任何人在使用 IEEE 标准文件时,应根据情况合理谨慎地独立判断,或在适当的情况下,征求有资质的专业人士的意见,以确定特定 IEEE 标准的适当性。

**翻译:** IEEE 文档共识形成过程的评阅是通过英语完成的。若 IEEE 标准译成其他语种,也仅以 IEEE 发布的英文版为正式批准的标准。

**官方声明:**非根据《IEEE - SA 标准委员会操作手册》做出的声明,无论是书面的或口头的,均不应视为 IEEE 或其任何委员会的官方立场,也不应被视为或

采信为 IEEE 的正式立场。个人如在讲座、座谈会、讨论会或教程中发表关于 IEEE 标准的意见,应明确其为个人观点,而非 IEEE 的正式立场。

**标准评议:**欢迎任何单位或个人就 IEEE 标准文档提出修改评阅意见,不论是否是 IEEE 会员。然而 IEEE 不就 IEEE 标准文档提供相关咨询信息或意见。修改建议应以文本变更的形式提出。由于 IEEE 标准代表了相关利益各方的共识,因此重要的是确保对任何意见和质疑的响应也需得到利益各方的平衡竞合。基于这样的原因,IEEE 和其会员以及标准化委员会不能就评阅意见和质疑立即响应,除非相关议题已被提前处理。欢迎任何个人若有意参与 IEEE 标准的评阅或修改的评估,请加入相关工作组 <http://standards.ieee.org/develop/wg/>。标准的评阅意见应提交到以下地址:Secretary, IEEE - SA Standards Board, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854, USA。

**影音复制:**任何用于个人或内部用途的各标准影音复制均由 IEEE 授权许可,需向版权结算中心支付适度费用。关于费用的支付,请联系版权结算中心客服:222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA; +1 978 750 8400。用于课堂教学的各标准影音复制许可也能通过版权结算中心获取。

## 用户须知

**法规:**使用 IEEE 标准文件时应当查阅所有适用的法律法规。遵守任何 IEEE 标准文件的规定并不意味着符合相关法规的要求。本标准的使用者有责任遵守或查阅适用法规的要求。IEEE 在出版标准时无意鼓励不符合适用法律的行为,出版的标准也无意于此。

**版权:**本标准的版权归 IEEE 所有。本标准文件可用于各种公共和私人用途。包括在法律法规中引用,以及将其用于私人自律、标准化和工程实践及方法的推广。允许公共机构及个人用户使用本标准并不代表 IEEE 放弃本标准的任何版权。

**文档更新:**IEEE 标准文件使用者应注意:此文档可能会由新发行的版本取代,或通过发行修订、勘误或勘误表来修订。正式的 IEEE 文档由文档的当前版本和修订、更正或勘误表组成。关于文档是否为当前最新版本或是否是正式的修改、更正或勘误,请访问网站 <http://standards.ieee.org/index.html> 或联系上文列出的 IEEE 地址。了解更多关于 IEEE 标准化委员会或 IEEE 标准起草过程,请访问 IEEE 标准化委员会网站 <http://standards.ieee.org/index.html>。

**勘误表:**标准的勘误表(若有)均可通过以下地址访问:<http://standards.ieee.org/findstds/errata/index.html>。鼓励用户单击该地址定期访问勘误表。

**专利权:**应当注意,本标准的实施可能需要使用受专利权保护的客体。IEEE 在发行本标准时,对于任何相关专利权的存在或有效性不持任何立场。若专利持有人或专利申请人以《专利权保证书》的形式提交保证声明,则该声明将发布在 IEEE - SA 网站:<http://standards.ieee.org/about/sasb/patcom/patents.html>。《专利权保证书》中应当说明提交人是否愿意在公平无歧视的基础上以合理的条款和条件,无偿或合理收费,向期望获得专利许可的申请人授予专利权许可。

在未提交《专利权保证书》时,也可能授予了《必要专利权要求书》。IEEE 不负责确定哪些《必要专利权要求书》需要许可证或探究《专利要求书》的法律效力与范围,也不负责确定与提交的《专利权保证书》(如有)相关的或任何许可证协议中的许可条款或条件是否合理或无歧视。现明确告知本标准的使用者,任何专利权有效性的判定以及侵犯这些权利的风险完全由使用者负责。详细信息可从 IEEE 标准协会获取。

## 编写人员

参与此次 IEEE 推荐标准编写的天线近场测量标准编写工作组成员如下:

Michael H. Francis, *Chair*

Lars Jacob Foged, *Secretary*

Donald Bodnar	Daniel Janse van Rensburg	Carlo Rizzo
Martin Boettcher	Frank Jensen	Luis Rolo
John Cable	Edward Joy	Luca Salghetti-Drioli
Francesco D'Agostino	Gerard Matyas	Manuel Sierra-Castañer
Justin Dobbins	Scott McBride	Leli Shafai
Jeffrey Fordham	Josef Migl	Hans Steiner
Dayel Gameski	Zachary Newbold	Ivan Stonich
Claudio Gennarelli	Allen Newell	Hulean Tyler
Jeffrey Guerrieri	Sergey Pivnenko	Jeffrey Way
Doren Hess	Yahya Rahmat-Samii	Mark Winebrand
Kevin Higgins		Ronald Wittmann

在此推荐标准的准备过程中,下面各位作出了重要贡献:

Aksel Frandsen

Shantnu Mishra

Giovanni Riccio

投票委员会成员如下:

William Byrd	Doren Hess	R. K. Rannow
Keith Chow	Werner Hoelzl	Robert Robinson
Justin Dobbins	Efthymios Karabetos	Bartien Sayogo
Carlo Donati	Greg Luri	Gil Shultz
Lars Foged	Ahmad Mahinfallah	Thomas Starai
Jeffrey Fordham	Wayne Manges	Walter Struppler
Michael Francis	Edward McCall	John Vergis
Avraham Freedman	Michael S. Newman	Jeffrey Way
Randall Groves	Nick S. A. Nikjoo	Mark Winebrand
Timothy Harrington	Satoshi Oyama	Ronald Wittmann

2012年8月20日, IEEE-SA 标准化委员会通过本推荐标准, 该组织成员如下:



Richard H. Hulett, *Chair*

John Kulick, *Vice Chair*

Robert M. Grow, *Past Chair*

Konstantinos Karachalios, *Secretary*

Satish Aggarwal

Alex Gelman

Oleg Logvinov

Masayuki Ariyoshi

Paul Houzé

Ted Olsen

Peter Balma

Jim Hughes

Gary Robinson

William Bartley

Young Kyun Kim

Jon Rosdahl

Ted Burse

Joseph L. Koepfinger \*

Mike Seavey

Clint Chaplin

David J. Law

Yatin Trivedi

Wael Diab

Thomas Lee

Phil Winston

Jean - Philippe Faure

Hung Ling

Yu Yuan

\* 为名誉委员。

以下为 IEEE - SA 标准化委员会联系人：

Richard DeBlasio, *DOE Representative*

Michael Janezic, *NIST Representative*

Patrick Gibbons

*IEEE Standards Program Manager, Document Development*

Michael Kipness

*IEEE Standards Program Manager, Technical Program Development*

## 译者序

电磁辐射(天线)与散射(雷达与隐身)领域的近场研究,具有很高的理论意义和工程价值。国际上天线近场测量技术研究最早可溯源到 20 世纪 50 年代,以满足相控阵雷达及天线罩等军用装备的发展需要。历经近 60 多年的技术进步,发展出了平面、柱面和球面等近场扫描形式,以满足各种电磁辐射测试与调试的工程需求。1988 年美国国家标准局的 Barird 和佐治亚工学院的 Joy 在 *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 专刊上分别回顾了天线近场测量技术的发展史,标志着近场测量技术的成熟。之后又经 20 余年的完善,2012 年天线测量技术协会(Antenna Measurement Techniques Association, AMTA)组织并发布了 IEEE Recommended Practice for Near - Field Antenna Measurements(IEEE 天线近场测量推荐实施标准),译者有幸在 AMTA 2012 年会现场见证了来自美国国家标准局(NIST)的 Michael Francis 宣布 IEEE Std 1720<sup>TM</sup> - 2012 的发布。

辐射测量是散射测量的基础,而电磁散射近场测量具有更为重大的潜在应用价值。译者长期从事紧缩场研究,有着电磁辐射与散射测量一线工作的经历,对近场问题的关注也源于紧缩场应用、检测与误差校正等的研究。为了进一步推动我国电磁测量基础技术与应用的发展,更好地服务于我国军事和民用装备的研制,译者引进与翻译了本书,书中涵盖了平面、柱面和球面近场测量基本理论与工程应用、扫描探头以及不确定度分析等内容,对我国新一代雷达天线、射频隐身和无线通信等领域的天线测量研究人员有一定的参考价值。

由于译者水平有限,书中难免会有错误与不妥之处,敬请读者指正。

# 前 言

(本部分内容不属于 IEEE 标准 1720<sup>TM</sup> - 2012 天线近场测量实施推荐实施标准。)

IEEE 149<sup>TM</sup> - 1979(IEEE 标准天线测试规程)首次发布时,近场天线测量还处于发展的初期。20 世纪 80 年代中期,采用近场方法测量天线开始变得日益普遍,特别是通信卫星天线的测量。如今,采用近场方法测量天线参数的设施在世界范围内超过 200 套,业内普遍认为为天线近场测量制定推荐实施标准的时机已经到来。

本书列举了三种基本形式的近场测量推荐方案:柱面、平面和球面,还描述了在近场中作为参考天线的探头校正推荐测量方案。

# 目 录

1	概述	1
1.1	范围	1
1.2	目的	1
2	引用标准	1
3	背景	2
3.1	天线方向图	2
3.2	近场测量基本理论	4
3.3	远场与近场测量比较	5
3.4	内容提要	6
4	测量系统	7
4.1	机械扫描子系统	7
4.1.1	平面近场扫描	8
4.1.2	柱面近场扫描	9
4.1.3	球面近场扫描	9
4.2	典型射频子系统	10
4.3	典型数据采集子系统	12
4.4	数据处理	13
4.5	测量精度	13

4.5.1	测量环境	13
4.5.2	近场方案的选择和使用	14
4.5.3	探头天线的选择	14
4.5.4	机械子系统的精度	14
4.5.5	射频子系统的精度	15
4.6	校正方案	16
4.6.1	热漂移校正	16
4.6.2	阻抗失配校正	17
4.6.3	探头位置校正	18
4.6.4	电缆形变校正	18
5	平面近场扫描	20
5.1	引言	20
5.1.1	平面矩形法	21
5.1.2	平面极坐标和双极坐标法	21
5.2	理论概要	22
5.2.1	平面波展开	22
5.2.2	发射和接收函数	22
5.2.3	Kerns 传输方程	22
5.2.4	探头校正	23
5.2.5	离散化与采样准则	23
5.2.6	数据处理	23
5.3	实施	24
5.3.1	测量配置	24
5.3.2	探头校正	29
5.3.3	归一化	31
5.3.4	增益测定	32

<b>6</b>	<b>柱面近场扫描</b>	34
6.1	引言	34
6.2	基本理论概要	34
6.2.1	柱面波展开	34
6.2.2	近远场变换的经典探头补偿	36
6.2.3	近远场变换的其他方法	37
6.3	实施	37
6.3.1	测量配置	37
<b>7</b>	<b>球面近场扫描</b>	41
7.1	引言	41
7.2	球面近场理论汇总	41
7.2.1	基本理论	41
7.3	实施	45
7.3.1	探头	46
7.3.2	测量配置	46
7.3.3	采样准则	48
7.3.4	探头校正	49
7.3.5	对准要求	50
7.3.6	扫描截断	51
<b>8</b>	<b>探头</b>	51
8.1	探头特性	52
8.2	探头天线分类与描述	55
8.2.1	小振子与小环天线	56
8.2.2	开口波导探头	56
8.2.3	圆锥和角锥喇叭	57

8.2.4	对数周期天线	57
8.3	探头参数	58
8.4	探头特性	58
8.4.1	增益	58
8.4.2	极化	58
8.4.3	端口间的幅度和相位比	58
8.4.4	方向图	59
8.4.5	反射系数与端口间隔离	59
8.5	探头阵列	59
8.5.1	阵列实现	60
8.5.2	探头阵列表征	61
<b>9</b>	<b>不确定度分析</b>	<b>62</b>
9.1	引言	62
9.2	系统初始调整与测试	65
9.3	各项不确定度的估计与表达方法	66
9.4	平面、柱面和球面近场测量的各项不确定度评估方法	67
9.4.1	探头相对方向图	67
9.4.2	探头极化比率	68
9.4.3	增益标准	69
9.4.4	探头对准	69
9.4.5	归一化常数或增益标准远场峰值	69
9.4.6	阻抗失配系数	70
9.4.7	待测天线对准	70
9.4.8	数据点间隔	70
9.4.9	测量区域截断	72
9.4.10	探头位置误差	73
9.4.11	待测天线与探头间的多次反射	74

9.4.12	接收机幅度线性度	75
9.4.13	系统相位误差	76
9.4.14	噪声与接收机动态范围	77
9.4.15	环境散射	77
9.4.16	串扰与泄漏	78
9.4.17	随机误差	79
9.5	合成不确定度	79
<b>10</b>	<b>专题</b>	<b>80</b>
10.1	等效全向辐射功率	80
10.2	饱和能流密度	81
10.3	脉冲测量技术	81
10.4	相位恢复方法	82
10.5	反投影	82
10.5.1	平面	83
10.5.2	非平面	83
10.6	探头位置校正	83
10.7	截断抑制	84
10.8	近场天线测量的时域门	85
<b>11</b>	<b>总结</b>	<b>85</b>
<b>12</b>	<b>参考文献</b>	<b>85</b>



# 1 概述

## 1.1 范围

本书阐述了天线特性的近场测量实施方法,包含自 IEEE 149<sup>TM</sup> - 1979(IEEE 天线测试标准)发布以来近场测量技术的研究成果。本书推荐了三种基本几何形式的近场测量实施方法,包括柱面、平面和球面,还推荐了近场测量中作为参考天线的探头的校准实施方法。

## 1.2 目的

本推荐实施标准的目的是为计划从事近场测量工作的人员提供实用指导,还详细说明了近场测量系统所需要的条件和能力。

# 2 引用标准

下列参考文献对于本推荐标准的应用必不可少(换言之,必须能够正确理解和使用参考文献,因此,书中引用了各参考文献并解释了其与本书的关系)。凡注日期的引用文献是指其当时的版本。凡不注日期的引用文件,是指其最新版本(包括任何修订或更正)。