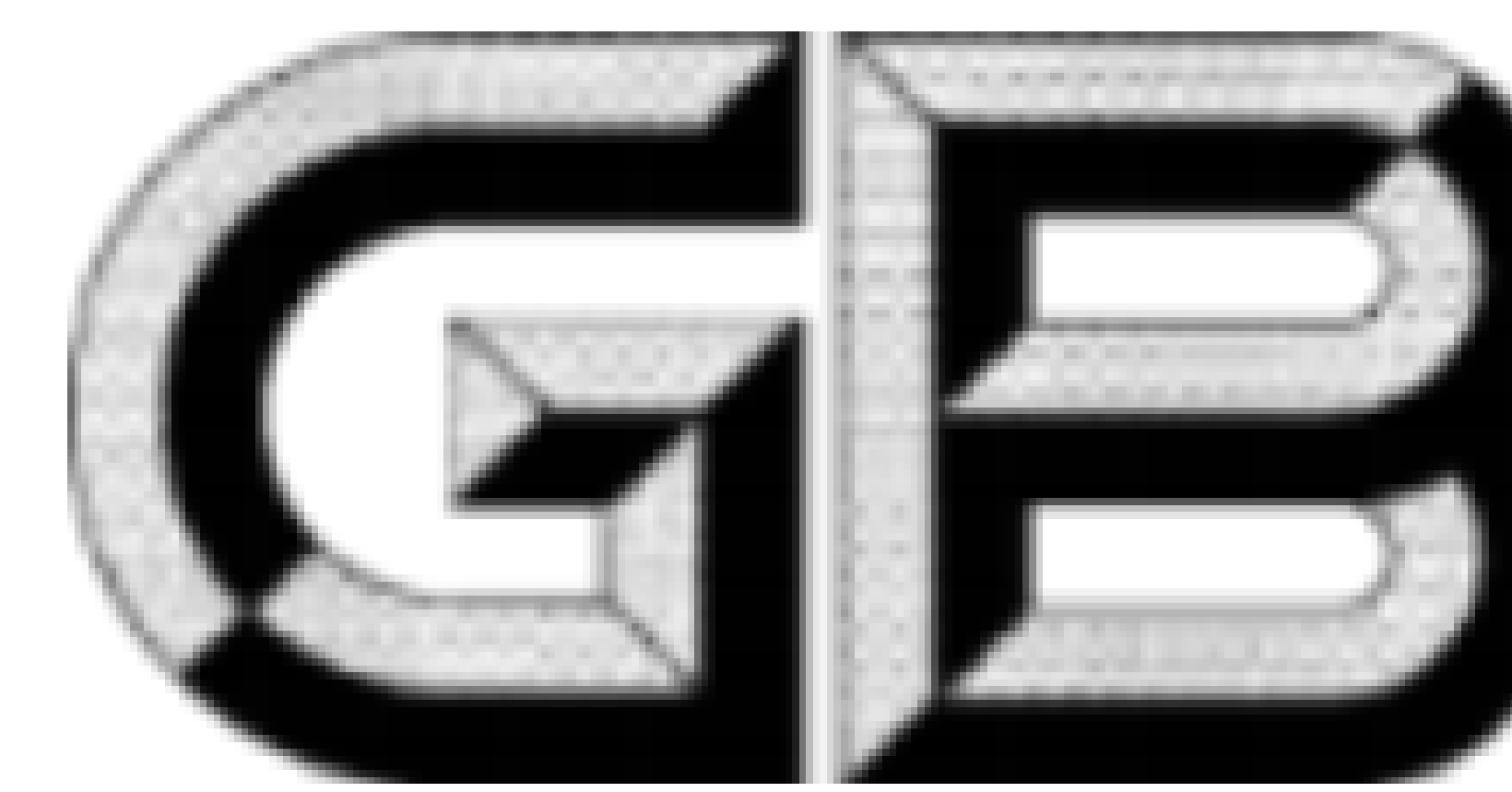




中华人民共和国国家标准

GB/T 43688—2024

磁共振成像/波谱仪质量控制方法

The quality control method of magnetic resonance
imaging or spectrometer

2024-03-15发布

2024-10-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 2

5 测量条件 3

6 测量仪器 3

 6.1 标准模体 3

 6.2 标准线圈 3

7 控制流程 3

 7.1 概述 3

 7.2 人员控制流程 4

 7.3 通用控制流程 4

8 数据处理 7

 8.1 数值数据的处理 7

 8.2 图像数据的处理 7

附录 A (资料性) 一种用于磁共振成像仪质量控制的标准模体 8

附录 B (资料性) 线圈均匀性测试方法 12

附录 C (资料性) 模体定值 13

附录 D (资料性) 质控检测频度 17

附录 E (资料性) 标准模体不同功能区测量序列的选择方法 18

附录 F (资料性) 测量结果的图像处理方法 19

参考文献 21

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分 :标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国光电测量标准化技术委员会(SAC/TC487)归口。

本文件起草单位 :中国计量科学研究院、北京大学第三医院、上海联影医疗科技股份有限公司、中国科学院空天信息创新研究院、广东省中量检测有限公司、北京大学、北京航空航天大学、北京万东医疗科技股份有限公司、重庆大学、中国计量大学、美的集团(上海)有限公司、北京印刷学院、广东省建筑设计研究院有限公司、广州计量检测技术研究院、山东第一医科大学。

本文件主要起草人 :刘子龙、韩鸿宾、李雨霄、李进、廉玉生、徐征、何清源、刘文丽、蔡喆、卢永红、万蕴杰、李卓然、王璞、张淑琴、邢晓聪、王志博、王学政、傅瑜、袁兰、王欢、汪立文、王洪、邱建峰。

磁共振成像/波谱仪质量控制方法

1 范围

本文件确立了基于磁共振原理的成像仪和波谱仪的质量控制(以下简称“质控”)方法的原理,描述了磁共振成像/波谱仪质控方法的测量条件、测量设备、控制流程、数据处理等内容。

本文件适用于磁共振成像/波谱仪在医学和生命科学等领域中使用环节的质控,设计、生产、型批实验等环节的质控参照使用。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁共振成像仪 magneticresonance imaging; MRI

利用原子核自旋运动的特点,在外加磁场内,经射频脉冲激发后产生信号,用探测器检测并经过处理转换后显示图像的一种测量仪器。

3.2

磁共振波谱仪 magneticresonancespectrometer; MRS

核磁共振波谱仪

采用原子核磁共振(NMR)技术的一种物质波谱测量仪器。

注 1: 在强磁场中,原子核发生能级分裂,当吸收外来电磁辐射时,将发生核能级的跃迁,捕捉此信号可获得相应原子的波谱。

注 2: 本文件涉及的是与核磁共振成像仪相关联的可成像核磁共振波谱仪,利用其对弛豫时间的高精度测量,实现对核磁共振成像仪的定标。

3.3

质子密度 proton density

单位体积中某种元素质子的物质的量。

注: 在其他参数不变的条件下,磁共振信号强度与质子密度成正比。

3.4

纵向弛豫时间 longitudinalrelaxation time

原子核的自旋在磁场中所产生的合成磁化矢量,受到射频信号的激励,形成拉莫尔进动,在射频信号撤销之后,合成磁化矢量在其自旋轴(Z轴)的分量变化到初始状态(施加射频信号之前)的时间。

注: 按合成磁化矢量在其自旋轴(Z轴)的分量恢复到 $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$ 时确定纵向弛豫时间值。

3.5

横向弛豫时间 transverserelaxation time

原子核的自旋在磁场中所产生的合成磁化矢量,受到射频信号的激励,形成拉莫尔进动,在射频信

号撤销之后,合成磁化矢量在 XY 平面(与 Z 轴垂直的平面)的变化过程所对应的时间。

注:按合成磁化矢量在 XY 平面(与 Z 轴垂直的平面)的分量下降到 $\left(\frac{1}{e}\right)$ 时确定横向弛豫时间值。

3.6

表观扩散系数 apparent diffusion coefficient; ADC
衡量扩散大小的数值。

注 1:磁共振信号所检测的分子中原子核的自旋会受到扩散运动的影响。

注 2:一个分子单位时间内自由随机扩散运动的平均范围,单位为平方毫米每秒(mm^2/s)。表观扩散系数值越大,分子弥散运动越强。

注 3:扩散指分子的随机不规则运动,又称布朗运动(brownian motion)。扩散系数可取测量区域内的平均值。

3.7

中心频率 center frequency

射频线圈发射的频率标称值,用 $\omega = \gamma B$ 计算得到, γ 为进动角频率, B 为主磁场强度。

注:中心频率的准确性和稳定性决定了图像信号的准确性和图像空间定位的准确性。

3.8

磁场均匀性 magnetic uniform

在测量区域中(一般是磁体中被测量对象所在的区域)各空间位置的磁场强度的一致程度。

注:一般采用沿 Z 轴选不同的 XY 层面进行评估,某一 XY 平面内选五点进行评估,五点包括中心点 O 和 XY 轴线等距各两点。按其他四点和中心点值的最大偏差作为磁场均匀性。

3.9

图像相位稳定性 image phase stability

从轴位、矢状位和冠状位三个不同平面获得的磁共振相位图像相位值的变化。

注:变化值用于标识磁共振成像仪是否正常工作。

3.10

影像灰度 image grey scale

影像的某一区域像素所对应的灰度计算值,满足灰度标准显示函数。

注 1:影像灰度用单色调颜色(一般是黑白色或三原色)的明度表示。影像灰度绝对量值的测量与具体显示影像的媒介相关。

注 2:影像包括了图像。某一区域可能是单像素,也可能是多像素。计算值指该区域灰度值的处理,例如取平均值。

4 原理

按照磁共振成像原理将确定对图像结果有影响的底层物理参数作为质控参数,对于磁共振成像仪包括弛豫时间、表观扩散系数、中心频率、磁场均匀性、图像相位稳定性、影像灰度等。对于磁共振波谱仪,则只规定弛豫时间作为质控参数。

该原理对应的关系见式(1):

$$S \propto \rho \left[1 - e\left(-\frac{T_R}{T_1}\right) \right] e\left(-\frac{T_R}{T_2}\right) e^{-bD} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

S — 磁共振信号强度;

ρ — 质子密度,按归一化表示;

T_R — 相同脉冲序列重复激发的间隔时间,单位为毫秒(ms);

T_1 — 纵向弛豫时间,单位为毫秒(ms);

- T_E —— 磁共振信号的回波时间,单位为毫秒(ms) ;
- T_2 —— 横向弛豫时间,单位为毫秒(ms) ;
- b —— D 的系数(常量),单位为秒每平方毫米(s/mm^2) ;
- D —— 表观扩散系数,单位为平方毫米每秒(mm^2/s) 。

ρ 、 T_1 、 T_2 和 D 是形成磁共振图像信号的关键参数,通过这四个物理参数的测量可实现对磁共振成像/波谱仪的质控。

在实际操作中,部分磁共振成像/波谱仪不能直接给出上述全部测量值,而是以某一方式体现在最终测量结果中。对于具有成像功能的磁共振成像/波谱仪,以灰度体现在磁共振图像中,可通过磁共振图像的灰度变化对上述参数进行质控测量。

5 测量条件

测量条件如下：

- a) 温度： $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：25% ~ 35%。

6 测量仪器

6.1 标准模体

测量磁共振成像/波谱仪物理参数 ρ 、 T_1 、 T_2 和 D 应使用标准模体作为标准器。标准模体应具备提供磁共振成像/波谱仪四个物理参数标准值(即经过计量给出的量值)的功能。标准值用 $xS=[xS_1,xS_2,xS_3,xS_4]$ 表示。则可设定 x_{s1} 为标准模体质子密度测量区域的标准值 ρ , x_{s2} 为标准模体纵向弛豫时间 T_1 测量区域的标准值 T_1 , x_{s3} 为标准模体横向弛豫时间 T_2 测量区域的标准值 T_2 , x_{s4} 为标准模体表观扩散系数 D 测量区域的标准值 D 。对于每个物理参数,标准模体至少应提供四个不同值的测量区域,满足对磁共振成像/波谱仪测量结果的评估。即 $xSi=[xSi_1,\dots,xSi_j]$, $j \geq 4$, i 表示某一标准模体序号, j 表示某一测量区域所表征的量值序号。

用于磁共振成像仪质控的标准模体见附录 A,该模体使用体线圈(或头线圈)测量,可提供四个物理参数的标准值。该模体主要用于磁共振成像仪的物理参数测量。

线圈均匀性测试方法见附录 B,该方法主要配合标准模体用于磁共振成像仪主磁场均匀性的测量。

磁共振波谱仪的质控测量可使用专用核磁管装配附录 A 或附录 C 推荐的溶液作为标准模体进行相应物理参数的测量。

标准模体应在校准(检定)期内,模体定值方法见附录 C。

6.2 标准线圈

磁共振成像/波谱仪的四个物理参数的测量受限于仪器线圈的种类。线圈的大小决定了能够使用的标准器规格。对于具有不同线圈附件的磁共振成像/波谱仪,宜使用尺寸适宜(信噪比性能优良)的典型线圈,并选用相应的标准器进行测量。

注：未满足上述测量要求的,必要时做出详细说明。

7 控制流程

7.1 概述

本文件所述质控方法是以磁共振成像/波谱仪的质控为目的的测量方法。

该测量方法以磁共振原理为基础,选择与其测量结果相关的基本物理参数作为测量对象,以计量数据为测量结果判定的标准,通过结果判定实现质控。所有参数的测量都通过图像信号实现。同时从人员的角度制定不同的测量流程(包括测量参数和测量周期两方面不同)。通过人员流程的控制和测量流程的控制实现质控的目的。

人员分为诊断医师、技师和医学物理专家(工程技术人员)三种角色。针对诊断医师、技师和医学物理专家(工程技术人员)建立三个层级不同的工作流程,每个层级对应的测量参数和测量周期不同,但质控测量流程相同。三个层级的人员共同配合实现质控目的。

7.2 人员控制流程

7.2.1 诊断医师工作流程

诊断医师是被质控的磁共振成像/波谱仪的日常使用者,是从测量结果发现异常的第一人,是落实质控的第一责任人。应能够从日常使用中判断磁共振成像仪/波谱仪是否出现异常。判断对象主要是测量结果(即磁共振图像或信号),判断的依据是预先制定的规则。该规则的制定可参考技师和医学物理专家(工程技术人员)部分的要求,以及质控检测周期,见附录 D,判断指标至少应包括影像灰度显示。

7.2.2 技师工作流程

技师是磁共振成像/波谱仪的质控专业从业者,应能够从诊断医师反映的现象或者测量结果中发现和定位质控问题,主要通过对磁共振图像或信号进行判断完成。判断指标包括:

- a) 中心频率(通过图像信号检测);
- b) 影像灰度显示;
- c) 图形几何参数;
- d) 空间分辨率检测;
- e) 低对比度;
- f) 图像伪影;
- g) 机械运行(例如床定位精度)。

7.2.3 医学物理专家(工程技术人员) 工作流程

医学物理专家(工程技术人员) 是磁共振成像/波谱仪的物理和工程学家,应从物理原理和制造技术角度评估和解决质控问题,并指导制定诊断医师判断规则和技师判断指标,以及定期进行评估和修正。医学物理专家(工程技术人员) 应关注的质控指标包括:

- a) 磁场均匀性(通过图像信号检测);
- b) 基本物理参数(见 3.3~3.10);
- c) 射频线圈信噪比;
- d) 层间射频信号干扰;
- e) MRI图像相位稳定性。

7.3 通用控制流程

将标准模体(即经计量赋值的模体)作为测量对象放置于磁共振成像/波谱仪的测量位置,选用相应的测量序列进行测量,将测量结果与标准模体的相应标准值进行比较,评估被测量磁共振成像/波谱仪的性能,分为以下步骤:

- a) 磁共振成像/波谱仪开机至正常工作状态;
- b) 选择被测量仪器配置的适宜尺寸的线圈作为测量使用线圈;

- c) 将相应规格的标准模体放置到所选线圈的标准测量位置；
- d) 设置轴位图像(正交于主磁体方向)预扫描参数(宜使用自旋回波或快速自旋回波序列)；
- e) 使用 d) 选定的序列获取标准模体的整体图像用以定位；
- f) 在定位图像中选取标准模体的中心,对不同物理参数功能区及层厚成像；
- g) 根据所选标准模体功能区选择相应的测量序列进行测量(标准模体不同功能区测量序列的选择方法见附录 E)；
- h) 按照 6.1 所述方式表示测量结果。对于能够直接给出物理参数测量结果的,可直接将测量结果 x 与标准模体的标准值 x_s 进行比较分析；对于只能以图像显示测量结果的,需要对图像进行处理并提取影像灰度值作为测量结果与标准模体的标准值进行比较分析。测量结果的图像处理方法见附录 F。

不同角色的质控检测周期见附录 D。

质控测量流程图见图 1。

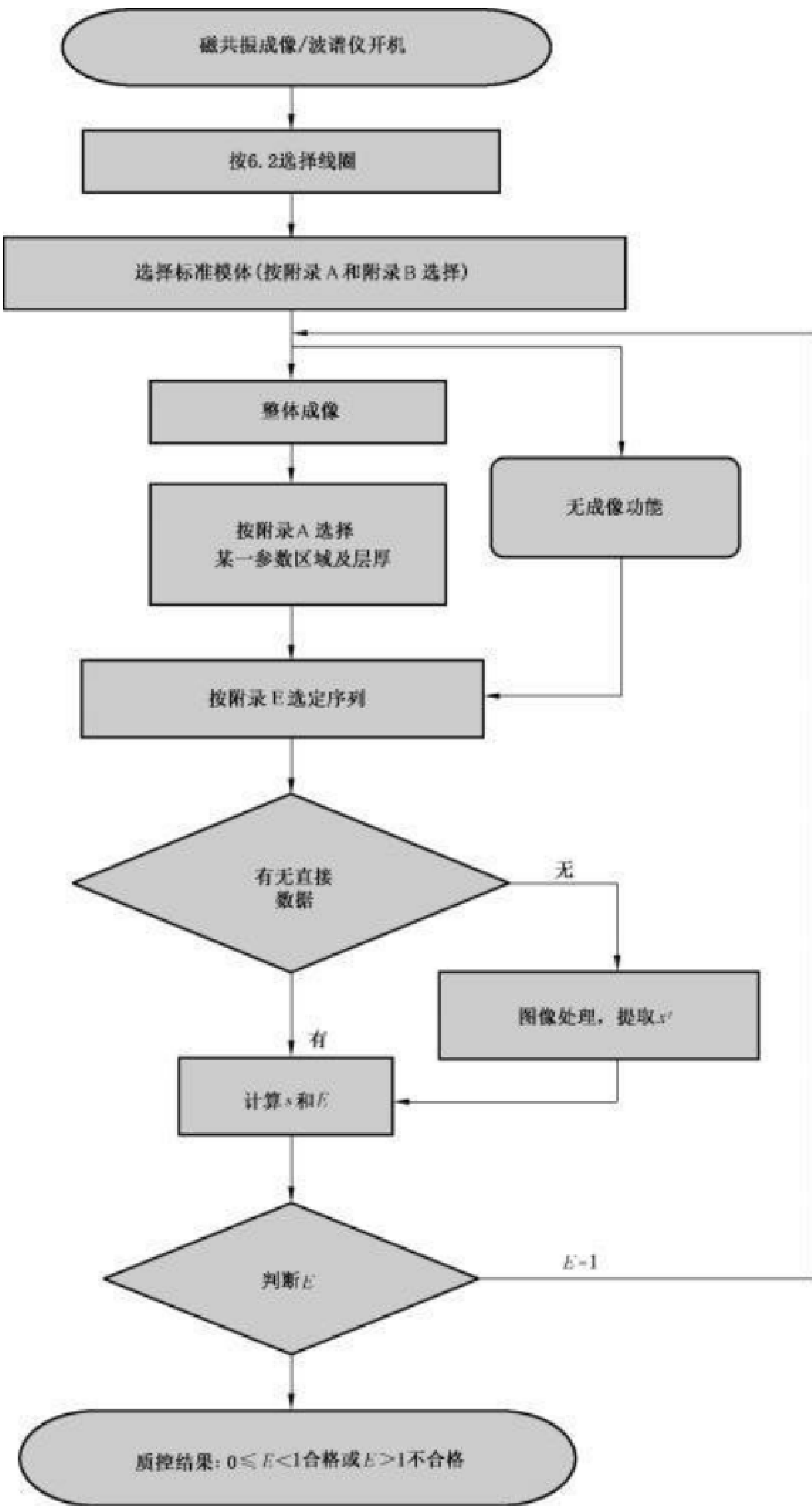


图 1 质控测量流程图

8 数据处理

8.1 数值数据的处理

对于可以直接得到 s 数据的磁共振成像/波谱仪,按照式(2)评估测量结果:

$$s = \sqrt{\frac{(x - x_s)(x - x_s)^T}{4}}$$

.....(2)

式中:

- s —测量结果 ρ 、 T_1 、 T_2 或 D 的计算值;
 - x —测量结果 ρ 、 T_1 、 T_2 或 D ;
 - x_s —标准模体 ρ 、 T_1 、 T_2 或 D 的标准值。
- 按照式(3) 决定质控的有效性:

$$E = \frac{s}{d}$$

.....(3)

式中:

- E —计算结果;
- d —设定的 ρ 、 T_1 、 T_2 或 D 的阈值。

注: d 值根据磁共振成像/波谱仪的具体使用情况及经验设定,或根据测量结果不确定度设定。

结果分析:

- a) 当 $E = 1$ 时,需重新测量;
- b) 当 $0 \leq E < 1$ 或 $E > 1$ 时,可做结果判断。

8.2 图像数据的处理

当磁共振成像/波谱仪不能给出数值结果而只能以图像表示结果时,应首先对图像进行算法处理,以提取标准模体某一物理参数区域所对应的像素的灰度值。测量结果的图像处理方法见附录 F。该参数共有四个以上不同的值区域,所以以灰度值表征的参数值可表示为 x_i' 。由影像灰度值表征的所有四个物理参数的结果表示为 $x' = [x_1', \dots, x_i']$, $i = 4$ 。

结果分析:

- a) $x = x'$;按照式(2)评估图像测量结果;
- b) 按照式(3)进行质控的结果分析。

附录 A
(资料性)
一种用于磁共振成像仪质量控制的标准模体

A.1 通则

标准模体使用头线圈进行测量,可提供质子密度 ρ 、纵向弛豫时间 T_1 、横向弛豫时间 T_2 和表观扩散系数 D 四个物理参数的测量。

标准模体构成的容积(例如聚丙烯坛或珀斯佩有机玻璃坛),其形状和大小适宜放置于测试用的接收线圈中,充满产生磁共振信号的物质(例如水或硅油),并控制其介电常数和电导率以减少驻波现象。

标准模体容器使用不产生任何磁共振信号的材料制成,并具有良好的化学稳定性和热稳定性。产生磁共振信号的材料特性(ρ 、 T_1 和 T_2)典型值: $T_1 < 1\,200\text{ ms}$, $T_2 > 50\text{ ms}$, $(1 \pm 20\%) \rho = \rho(\text{H}_2\text{O})$ 。宜使用类似患者身体的参数,避免极端的数值。模体材料宜使用有机玻璃,模体形状可为正方体、长方体、圆柱体或球体等。

模体成像的截面可为圆形或矩形等,温度满足 $22\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

A.2 模体结构

该标准模体具有包括四个物理参数在内的五个测量区域,分别是 ρ 、 T_1 、 T_2 和 D 四个物理参数和长度类参数,标准模体剖面示意图见图 A.1。标准模体整体外观及内部立体示意图见图 A.2。

单位为毫米

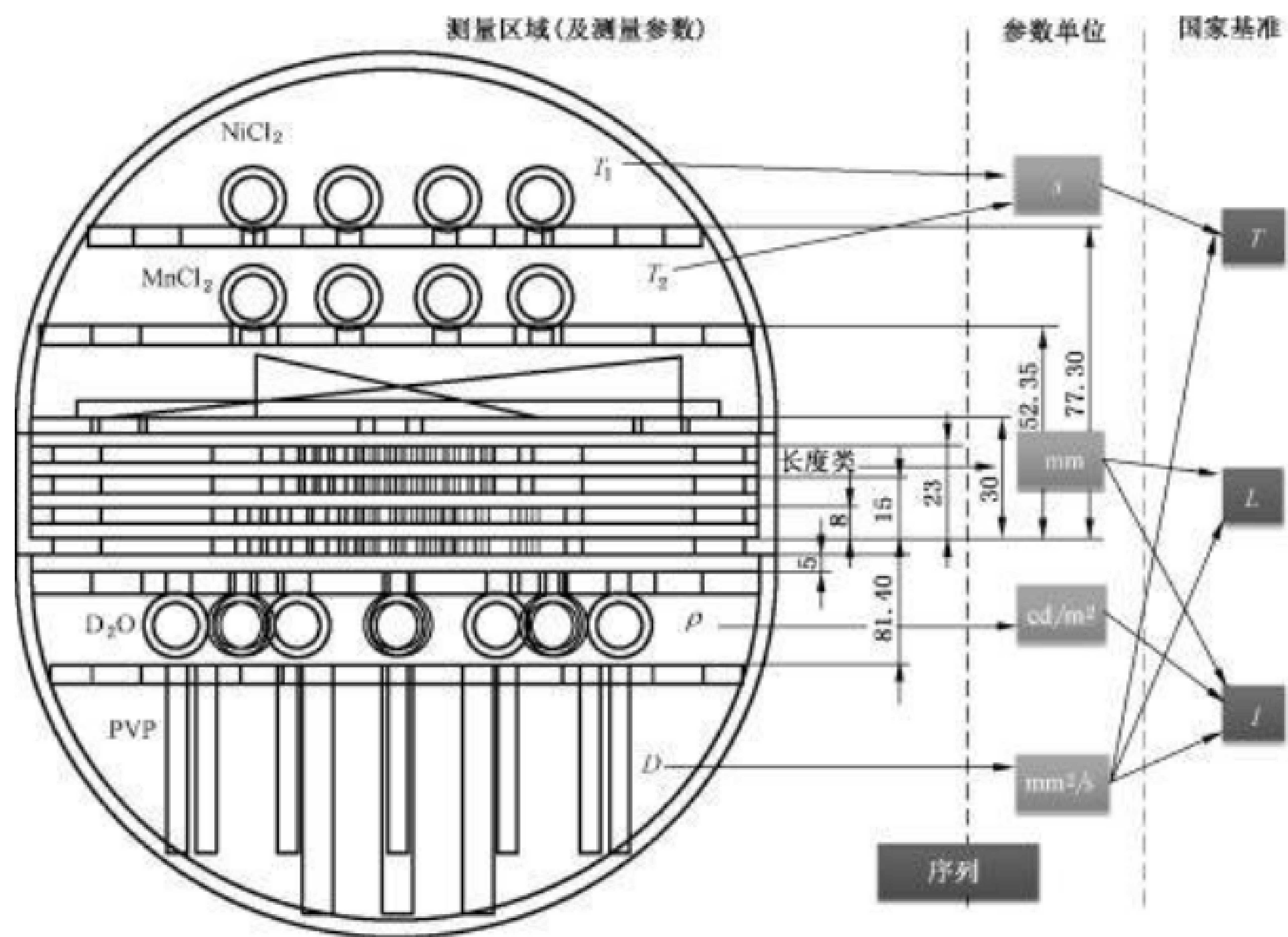


图 A.1 标准模体剖面示意图

单位为毫米

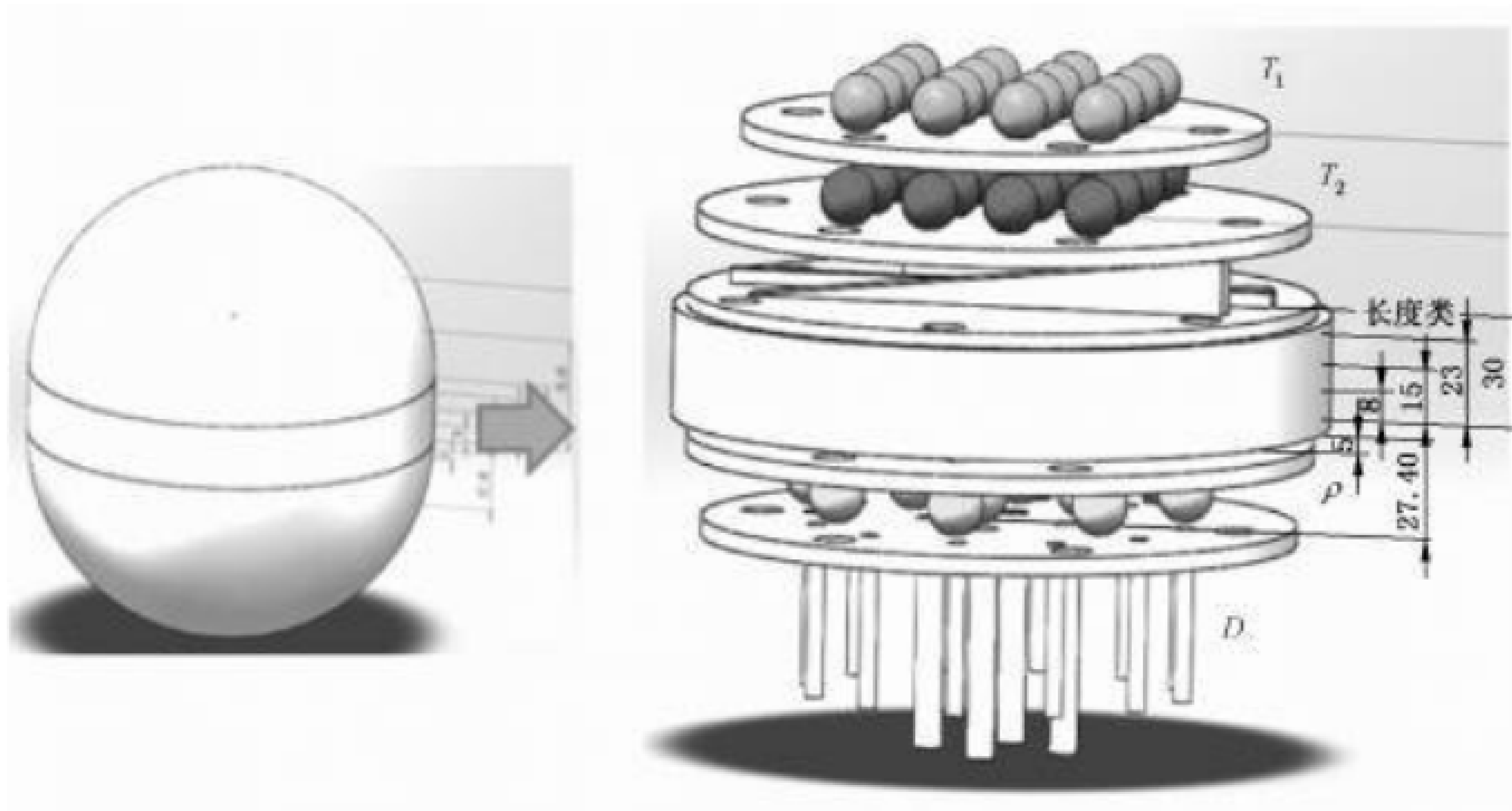


图 A.2 标准模体整体外观及内部立体示意图

A.3 模体提供的参数

T_1 测量区域可提供 14种弛豫时间 T_1 的标准值 ,典型标准值(场强为 1.5 T)见表 A. 1。

表 A. 1 标准模体提供的弛豫时间 T_1 的典型标准值

单位为毫秒

序号	标准值	序号	标准值
1	1 916.0	8	1 119.3
2	1 881.1	9	806.72
3	1 832.2	10	418.73
4	1 763.8	11	364.82
5	1 668.8	12	284.98
6	1 537.7	13	242.81
7	1 358.9	14	17.552

T_2 测量区域可提供 14种弛豫时间 T_2 的标准值 ,典型标准值(场强为 1.5 T)见表 A. 2。

表 A.2 标准模体提供的弛豫时间 T_2 的典型标准值

单位为毫秒

序号	标准值	序号	标准值
1	3.700	8	442.12
2	14.28	9	521.40
3	21.77	10	579.64
4	27.06	11	621.96
5	30.80	12	652.81
6	199.40	13	674.27
7	336.39	14	689.96

ρ 测量区域可提供七种质子密度 ρ 的标准值,以归一化(除以 100)相对值表示。典型标准值(场强为 1.5 T)见表 A.3。

表 A.3 标准模体提供的质子密度 ρ 的典型标准值(归一化相对值)

序号	标准值	序号	标准值
1	100	5	40
2	85	6	25
3	70	7	10
4	55	—	—

表观扩散系数 D 测量区域可提供 14种表观扩散系数 D 的标准值,典型标准值(场强为 1.5 T)见表 A.4。

表 A.4 标准模体提供的表观扩散系数 D 的典型标准值

单位为平方毫米每秒

序号	标准值	序号	标准值
1	0.157 9	8	0.453 3
2	0.175 2	9	0.537 3
3	0.207 0	10	0.606 9
4	0.237 4	11	0.708 5
5	0.286 6	12	0.791 1
6	0.330 1	13	0.910 1
7	1.057	14	1.005 8

A.4 层厚部分

层厚部分(图 A.1 长度类测量区域)一般由两个薄板构成。薄板为能产生磁共振信号的材料构成,并用无磁共振激活材料封闭。两个板的斜面与图像的一个轴形成一个角度 α (范围为 $8^{\circ}\sim 12^{\circ}$),斜板产生一个梯形信号强度剖面。因板厚 p 越大对应实测剖面的高宽的梯形的腰 m 也越大,为确保梯形半高宽 FWHM 满足式(A.1),板厚 p 满足 $p\leq \text{FWHM}/5$ 。

$$\frac{\text{FWHM}}{\tan(\alpha/m)} \leq 5 \qquad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- FWHM — 梯形半高宽,单位为毫米(mm)；
- α — 两个板的斜面与图像的一个轴形成一个角度(范围为 $8^{\circ}\sim 12^{\circ}$),单位为度($^{\circ}$)；
- m — 梯形的腰,单位为毫米(mm)。

为得到可靠结果,片层剖面的信噪比应大于 10(例如用平台顶部的平均信号除以远离平台顶部的标准偏差)。单次测量信噪比太低,采用多次测量及增加测量时间可改善信噪比,或如果测试模具不旋转,平均片层剖面的垂直于表面倾斜方向的相邻列可改善信噪比。

测试模具设计时,不必考虑射频线圈的影响。

A.5 几何畸变部分

几何畸变部分设计成测量几何畸变时,其测量区域能覆盖成像区域面的 85%以上。

测量区域的边界对一个球形规范区域体是一个圆,对一个椭圆形规范区域体是一个椭圆。测试模具可能是圆柱体,也可能是球体,其液体/壁的边界作为测量点的位置。测试模具也可用一串等空间分布的洞、钉、小瓶或其他能很好地在边界上给出规则图案的物体,其最大角度间隔为 22.5° 。一个钉或其他结构宜安置在测试模具的几何中心。钉的直径宜是 $1\text{ mm}\sim 2\text{ mm}$,从而使确定所有半径测量的参考中心误差降到最小。若没有安置中心钉,测试模具的中心可用图像内的几何中心替代。对一个椭圆规范区域体,至少有两个钉,各自定位在椭圆的焦点上。

为最大限度减少片层弯曲的影响,该部分的厚度至少是用作测量层厚的两倍。

几何畸变部分设计时,不必考虑射频线圈的加载。

几何畸变部分可由一个球形规范区域体组成,由聚丙烯坛(珀斯佩有机玻璃坛)圆柱体制作,瓶内壁作为测量区域边界或在测量区域边界上分布 6个~12个小瓶。

A.6 空间分辨率

空间分辨率部分包含一个周期型样,可由 $n\geq 10$ 个并列的周期为 L 的板组成。相邻板之间的间隙为 d_p ,板的厚度为 $(L-d_p)$, d_p/L 的比值在 $0.61\sim 0.70$,板不能产生任何磁共振信号。用能产生磁共振信号的材料将其包围。板的宽度至少是层厚的两倍,板的长度至少 10倍于 L ,将产生 n 个线对,每个线对宽度即为 L/n 。

空间分辨率部分设计时,不必考虑射频线圈的加载。

附 录 B
(资料性)
线圈均匀性测试方法

B.1 概述

均匀性指标适用于所有磁共振线圈。其结果以低空间频率的非均匀性表征磁共振图像,所做的测量覆盖典型临床研究的具有代表性的常用区域。

B.2 测试模具

为表征线圈均匀性宜采用同质测试模具。各线圈类型可不同。
测试模具的大小和形状至少覆盖线圈的规范区域面。
测试模具设计时,不考虑射频线圈的加载。

B.3 扫描参数

宜采用下列序列:

- a) 二维单自旋回波单层序列;
- b) 中心定位在等中心的 $\pm 30\text{ mm}$;
- c) 扫描层面:依次为横断面、矢状面和冠状面;
- d) $T_R=1\ 000\text{ ms}$ 或信号产生材料的 $3T_1$,取二者大者;
- e) $T_E=30\text{ ms}$ 或信号产生材料的 $T_2/3$,取二者小者;
- f) 像素带宽 $1\ 00\text{ Hz} \pm 3\text{ Hz}$;
- g) 头线圈视野 250 mm ;
- h) 体线圈视野 440 mm (或设备允许的最大视野);
- i) 头线圈视野 250 mm 、体线圈视野 440 mm (或设备允许的最大视野)和其他线圈的视野在成像平面内应不超过最大射频线圈围尺寸的 110% ;
- j) 矩阵 256×256 ;
- k) 层厚 5 mm ;
- l) 允许取信号平均值。

B.4 测量步骤

在合适的射频线圈中放置测试模具时,模拟典型的诊断步骤。

测试模具定位后,为防止旋涡伪影,扫描之前等待适当时间(例如大的测试模具等待 15 min)。影像平面通过参考位置设置成能给出最大的规范区域面,沿着或垂直线圈的对称轴最佳。

附 录 C
(资料性)
模体定值

C.1 顺磁离子溶液的温度依赖性

一个理想的自回波脉冲序列,回波时间为 T_R ,重复时间为 T_E ,在一个旋度为 N ,磁共振弛豫时间为 T_1 的测试模具上产生信号 S ,可表达为式(C.1)。

信号随 T_1 和 T_2 变化的灵敏度可表达为公式(C.2)：

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T_1} \right) dT_1 + \left(\frac{\partial S}{\partial T_2} \right) dT_2 = \left(\frac{-N T_R e^{-T_R/T_1} e^{-T_R/T_2}}{T_1^2} \right) dT_1 + \left[\frac{N(1 - e^{-T_R/T_1}) T_E e^{-T_E/T_2}}{T_2^2} \right] dT_2 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- S — 磁共振信号强度；
- T_1 — 纵向弛豫时间,单位为毫秒(ms)；
- T_2 — 横向弛豫时间,单位为毫秒(ms)；
- N — 离子数与容积的比值(旋度),其值为 6.022×10^{23} mol/L；
- T_R — 相同脉冲序列重复激发的间隔时间,单位为毫秒(ms)；
- T_E — 磁共振信号的回波时间,单位为毫秒(ms)。

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{(-N T_R e^{-T_R/T_1} e^{-T_E/T_2} / T_2) \Delta T_1 + [N T_E (1 - e^{-T_R/T_1}) e^{-T_E/T_2} / T_2^2] \Delta T_2}{N(1 - e^{-T_R/T_1}) e^{-T_E/T_2}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

- ΔS — 磁共振信号强度 S 的变化量；
- ΔT_1 — 纵向弛豫时间 T_1 的变化量,单位为毫秒(ms)；
- ΔT_2 — 横向弛豫时间 T_2 的变化量,单位为毫秒(ms)。

对于掺顺磁离子的水溶液,当拉莫尔频率大于 1 MHz时, T_2 近似独立于频率,则顺磁离子溶液的弛豫可用式(C.3)和式(C.4)估算。

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_{10} e^{[E_a(1/T_0 - 1/RT)]}} + \frac{N}{C_1 T} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

- T_{10} — 温度为 $T_0 = 25$ °C时水的 T_1 ,其值为 3.56 s；
- E_a — 系数,其值为 3.088×10^{20} J；
- k — 玻尔兹曼常量,其值为 1.38×10^{23} J/K；
- T_0 — 温度的比较点值,一般取 25 °C；
- T — 顺磁离子溶液的温度,单位为摄氏度(°C)；
- C_1 — 给定离子种类的常量,单位为秒每升(s/L)。

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{T_{20} e^{[E_a(1/T_0 - 1/RT)]}} + \frac{N}{C_2 T} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

- T_{20} — 温度为 $T_0 = 25$ °C时水的 T_2 ,其值为 2.20 s；
- C_2 — 另一个给定离子种类的常量,单位为秒每升(s/L)。

对于 $(T_1/T_{10}) < 10$ 和 $(T_2/T_{20}) < 10$ 的顺磁离子水溶液,水的温度依赖性相对弛豫的贡献可忽略

不计。例如,使用铜(Cu^{2+})离子作为弛豫修正剂,可将 T_2 和 T_1 的温度敏感性表达为式(C.5):

$$\frac{\Delta T_1}{T_1} \approx \frac{\Delta T_2}{T_2} \approx \frac{\Delta T}{T} \dots\dots\dots(\text{C.5})$$

假设 $\Delta T=8\text{ K}$ 和 $T=295\text{K}$,那么 T_1 和 T_2 在特定的温度范围上,变化不超过 2.7%。根据特定的 T_1 、 T_2 、 T_E 、 T_R 和温度值,则得到式(C.6):

$$\frac{\Delta S}{S} \approx 0.002\,29 \dots\dots\dots(\text{C.6})$$

在特定的温度范围内,信号强度的变化为 0.2%,因此当满足以上规定时,温度对测试模具信噪比的影响可忽略。

C.2 水溶液弛豫时间的修正

可使用顺磁离子作为弛豫修正剂实现在水溶液中获得某一确定的弛豫时间 T_1 和 T_2 。对于一个特定顺磁离子种类, T_1 和 T_2 对离子浓度的依赖,表达为式(C.7)和式(C.8):

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_{10} e^{[E_a(1/RT_0-1/RT)]}} + \frac{N}{C_{1N}} \dots\dots\dots(\text{C.7})$$

式中:
 C_{1N} — 与离子种类有关的常量,单位为秒每升(s/L)。

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{T_{20} e^{[E_a(1/RT_0-1/RT)]}} + \frac{N}{C_{2N}} \dots\dots\dots(\text{C.8})$$

式中:
 C_{2N} — 与离子种类有关的常量,单位为秒每升(s/L)。

对于铜离子,常量 C_{1N} 和 C_{2N} 取值为 $C_{1N}=8.67\times10^{20}\text{ s/L}$, $C_{2N}=8.07\times10^{20}\text{ s/L}$ 。使用质量浓度为 1.25g/L的五水硫酸铜($\text{CuSO}_4\cdot5\text{H}_2\text{O}$)溶液,将得出弛豫时间大约为 $T_1\approx270\text{ ms}$ 和 $T_2\approx240\text{ ms}$ 。

C.3 加载作为长度、半径和环状厚度的函数

考虑一个圆柱测试模具的半径 r (最大 $r=a$)、长度 L 、传导率 σ 和密度 ρ 。在均方根磁感应强度为 $B_{1\text{rms}}$ 和射频发射线圈角频率为 ω ,以及在一阶近似条件下,该线圈中的平均特定吸收率(SAR_{ave})表达为式(C.9):

$$\text{SAR}_{\text{ave}} = \frac{\int_0^a \sigma \omega^2 B_{1\text{rms}}^2 r^2 (2\pi r L) / 2\rho dr}{\pi a^2 L} = \frac{\sigma \omega^2 B_{1\text{rms}}^2 a^2}{4\rho} \dots\dots\dots(\text{C.9})$$

式中:
 SAR_{ave} — 线圈中的平均特定吸收率;
 σ — 测试模具的传导率;
 ω — 射频发射线圈角频率,单位为赫兹(Hz);
 $B_{1\text{rms}}$ — 某一位置的磁感应强度,单位为特斯拉(T);
 r — 测试模具的半径,单位为米(m);
 L — 测试模具的长度,单位为米(m);
 ρ — 质子密度,按归一化表示;
 a — 测试模具半径的最大值,单位为米(m);
 $B_{1\text{rms}}$ — 均方根磁感应强度,单位为特斯拉(T)。

平均吸收功率 P_{ave} 在固定的 $B_{1\text{rms}}$ 下,与测试模具损耗成正比,等于平均特定吸收率乘以质量($\rho\pi a^2L$),表达为式(C.10):

$$P_{ave} = SAR_{ave} \rho \pi a^2 L = \frac{\sigma \omega^2 B_{1,ms}^2 a^4 \pi L}{4} \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：
P_{ave}—平均吸收功率，单位为瓦(W)。

在射频发射线圈其体部的半径为 0.2 m 或其头部的半径为 0.1 m 的条件下，把一个圆柱体测试模具当作患者负载，则放入传导率为 σ₂、半径为 a 和长度为 βL(β≤1) 的圆柱体的平均功率与放入类似于患者的圆柱体的平均功率的比值 R，表达为式(C.11)：

$$R = \frac{\sigma_2 a^4 \beta L}{\sigma} \dots\dots\dots (C.11)$$

式中：
R —平均功率的比值；
σ₂ —测试模具的传导率；
βL —测试模具的长度，单位为米(m)。

当σ₂=σ/ (α⁴ β) 时，则该测试模具也宜作为患者负载(例如R=1)。

对于内径为 α 和长度为 βL (β≤1)的环状测试模具吸收功率与模拟患者的测试模具吸收功率的比值 R₂，表达为式(C.12)：

$$R_2 = \frac{\sigma_2 (1 - \alpha^4) \beta L}{\sigma} \dots\dots\dots (C.12)$$

式中：
R₂—吸收功率的比值；
α —测试模具的内径，单位为米(m)。
当σ₂=σ/ [(1 - α⁴) β] 时，则该环状测试模具也宜作为患者负载(例如R₂ = 1)。

典型测试模具的质量浓度 c(%) [每 100 g 水 (H₂O) 中氯化钠的质量 (以 g 为单位)]，表达为式(C.13)：

$$c = \eta \sigma_{\phi} \times 100\% \dots\dots\dots (C.13)$$

式中：
c —典型测试模具的质量浓度；
η —0.493% m/Siemens；
φ —1.015。

C.4 高场强(≥1.5 T) 驻波的消除

高场强(≥1.5 T) 下，尤其场强 ≥3 T 时，填充了高介电常数物质(例如水) 的测试模具将支持驻波(介电现象)，这些驻波可能干扰图像信噪比或均匀性的测试。硅油的低介电常数可减少驻波现象。某些硅油的磁共振弛豫特性(聚二甲基矽氧烷，例如 GE Silicones SF96-50) 可通过添加不同浓度的钆(Gd) 得到曲线拟合公式。在质量浓度达到 4‰时，可精确预测实验的弛豫值。

C.5 成像溶液

使用含顺磁离子的试剂配制磁共振成像溶液填充模体，通常使用硫酸铜(CuSO₄) 和蒸馏水配制成像溶液，其浓度及近似弛豫时间要求见表 C.1。

表 C.1 磁共振成像液的浓度要求

试剂	浓度 mmol/L	弛豫时间 T ₁ ms	弛豫时间 T ₂ ms
CuSO ₄	1~25	860~40	625~38

成像溶液的配比宜为 :1 L蒸馏水、2 g 五水硫酸铜(CuSO₄ · 5H₂ O) 和 3.6 g氯化钠(NaCl) 。

附 录 D
(资料性)
质控检测频度

D.1 诊断医师

检测频度宜为每天或者使用前。

D.2 技师

技师检测项频度见表 D.1。

表 D.1 技师检测项频度

项 目	频 度	可能用时 min
中心频率	每天	1
图形几何参数	每天/每周	2
空间分辨率检测	每天/每周	1
低对比度	每天/每周	2
图像伪影	每天/每周	1
影像灰度显示	每周	10
机械运行	每周	5

D.3 医学物理专家(工程技术人员)

质控检测周期建议如下：

- a) 设备安装完成后 ,至少每年一次；
- b) 每次设备大修或升级系统后；
- c) 每次修改诊断医师或者技师的规则后。

附录 E
(资料性)

标准模体不同功能区测量序列的选择方法

标准模体不同功能区测量序列的选择方法见表 E. 1。

表 E. 1 标准模体不同功能区测量序列的选择方法

序号	标准模体功能区	可选测量序列
1	标准模体整体成像(供选择测量区域使用)	梯度回波序列、自旋回波序列
2	标准模体弛豫时间 T_1 区域成像	自旋回波序列(加权)、自旋反转恢复序列 (IR) , 见参考文献[1]
3	标准模体弛豫时间 T_2 区域成像	自旋回波序列(加权) ,见参考文献[1]
4	标准模体质子密度 ρ 区域成像	质子密度加权序列(PDW) ,见参考文献[1]
5	标准模体表观扩散系数 D 区域成像	扩散加权成像(DWI) ,见参考文献[1]

附录 F
(资料性)
测量结果的图像处理方法

F.1 处理方法

不同的图像处理方法如下：

- a) 图像增强和去噪，宜采用 Sobel算法、Roberts算法或者 Prewitt算法；
- b) 确定测量参数对应的图像区域的边沿，宜采用 Canny双阈值或者 Log算子；
- c) 在边沿内匀化，得到匀化后的均值作为参数测量值，宜采用高斯平滑算法、牛顿法算法或者 L-M 算法。

F.2 图像重建

所有图像按磁共振设备的典型临床重建算法处理。关闭所有能由操作者选择的滤波器，比如包括失真矫正、光滑和边缘增强的滤波器(临床有规定的除外)。若不能关闭，则在结果中指明所有未关闭的滤波器。用来分析的图像应充分清除图像伪影。

注：未满足上述测量要求的，必要时做出详细说明。

F.3 扫描

除非另行规定，所有获取的图像先进行典型临床的预扫描校准。

F.4 信噪比处理

F.4.1 目的和原理

图像信噪比关系到磁共振成像的临床有效性，也是对硬件性能敏感的参数。经验证明，当系统校准、增益、线圈调谐、射频屏蔽或其他类似参数变化时，通常图像信噪比有相应变化。

用同样的序列和参数，但不包括平均次数，对信噪比进行测试是为了进一步控制测试结果之间的紧密关系。

F.4.2 测试模具的要求

为接近临床上典型情形下的图像噪声性能，测量用接收线圈应电子加载大约为 50 kg~ 90 kg的负载(接近人体)。加载可用测试模具或其他可再用装置实现。若下列电参数在陈述的误差内，则负载被看作是等价的。

- a) 线圈 3 dB带宽： $\pm 15\%$ 。
- b) 线圈阻抗： $\pm 20\%$ 幅度， $\pm 20\%$ 相位。
- c) 线圈中心频率偏差： $\pm 1\%$ 中心频率。

体测试模具含有信号产生材料可是圆柱体的、球体的或椭圆体的，最小的横截面是 200 mm 直径的圆。

头测试模具含有信号产生材料可是圆柱体的、球体的或椭圆体的，最小的横截面是 150 mm 直径的圆。

肢体测试模具含有信号产生材料可是任意形状的，最小的横截面是规范区域面的 85%。

F.4.3 扫描参数

宜采用下列序列：

- a) 二维单自旋回波单层序列；
- b) 中心定位在等中心的 $\pm 30\text{ mm}$ ；
- c) 扫描层面：依次为横断面、矢状面和冠状面；
- d) $TR = 1\,000\text{ ms}$ 或 $TR \geq$ 信号产生材料的 $3T_1$ ，取二者大者；
- e) $TE = 30\text{ ms}$ 或 $TE \leq$ 信号产生材料的 $T_2/3$ ，取二者小者；
- f) 像素带宽 $100\text{ Hz} \pm 3\text{ Hz}$ ；
- g) 头线圈视野 250 mm ；
- h) 体线圈视野 440 mm (或设备允许的最大视野)；
- i) 头线圈视野 250 mm 、体线圈视野 440 mm (或设备允许的最大视野)和其他线圈的视野在成像平面内应不超过最大射频线圈尺寸的 110% ；
- j) 矩阵 256×256 ；
- k) 层厚 5 mm ；
- l) 不准许取信号平均值。

对层厚和空间分辨力的测量，使用同样的序列和重建参数，允许取信号平均值。

F.4.4 测量步骤

在射频线圈中测试模具的放置，模拟典型诊断位置。

测试模具定位后，为防止旋涡伪影，在扫描之前等待适当时间(例如对大的测试模具等待 15 min)，扫描的层通过参考位置设置成能给出最大的规范区域面，沿着或垂直线圈的对称轴最佳。

对同一层面连续扫描两次(图像 1 和图像 2)，第一次扫描结束到第二次扫描开始之间的时间小于 5 min 。两次扫描期间不调整或校准。按照 7.3 中描述的方法，使用测定信噪比的序列验证空间分辨力和层厚。

注：本试验仅确认标称的空间分辨力和层厚。

F.4.5 数据分析和容差

感兴趣区域(ROI)应当是对中的和规则的几何区域。其围成的区域至少是测试模具的信号产生体的图像区域的 85% 。

- a) 图像 1 中在感兴趣区域内测得平均像素值。其结果数(减去任何基线像素偏离值)称作图像信号 g 。
- b) 计算像素对像素的差得图像 3，图像 3 = 图像 1 - 图像 2。减法处理应避免错误结果，即像素值超出磁共振设备所允许的最小(或最大)的像素值(例如负值)。
- c) 按 a) 中测量 g 所用的感兴趣区域到图像 3 的相同位置，并计算感兴趣区域标准方差(SD)，按照式(F. 1)计算信噪比：

$$SNR = \frac{g}{SD/\sqrt{2}} \dots\dots\dots (F. 1)$$

式中：

SNR — 信噪比；

g — 图像信号；

SD — 感兴趣区域标准方差。

参 考 文 献

- [1] 韩鸿宾. 磁共振成像设备技术学(第一版)[M]. 北京:北京大学医学出版社, 2016.
-

www.bzxz.net

免费标准下载网