



团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

定量磁化率成像数据采集与 后处理技术规范

Specification for acquisition and post-processing of quantitative susceptibility
mapping

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国生物医学工程学会 发 布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 采集前准备	1
4.1 受检者准备	1
4.2 操作者准备	1
4.3 线圈准备	2
5 数据采集	2
5.1 扫描参数设置	2
5.2 数据格式与导出	2
6 图像后处理	2
6.1 后处理顺序	2
6.2 后处理输出文件	3
6.3 相位预处理	3
6.4 相位展开	3
6.5 脑掩膜生成	3
6.6 背景场去除	3
6.7 偶极子反演	3
6.8 磁化率值参考范围和数据导出	4
7 图像质量控制	4
7.1 原则	4
7.2 采集数据	4
7.3 后处理过程	4
7.4 定量分析	5
7.5 图像方向和显示	5
7.6 记录	5
附录 A（规范性） QSM 采集参数、后处理工具与质量控制要点	6
参考文献	7

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。

本文件由中国生物医学工程学会提出。

本文件由中国生物医学工程学会知识产权与标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：中日友好医院、山东省立医院、厦门大学附属第一医院、天津市第一中心医院、北京邮电大学、北京师范大学、首都医科大学附属北京宣武医院、首都医科大学附属北京同仁医院、南京鼓楼医院、海南省人民医院、电子科技大学、山东大学齐鲁医院、澳门大学、宁夏医科大学总医院、青海省人民医院、青海红十字医院、上海交通大学、中南大学、北京医院、中南大学湘雅二院、新疆医科大学第一附属医院、南京尖创科技有限公司、上海承蓝数据科技有限公司、北京万东医疗科技股份有限公司、赛诺威盛科技（北京）股份有限公司、睿联医疗科技（大连）有限公司、东软医疗系统股份有限公司。

本文件主要起草人：马国林、杨鼻偲、汪建华、夏爽、刘勇、舒妮、卢洁、鲜军舫、刘冰、张冰、陈峰、罗程、栾继昕、袁振、朱力、张永海、刘刚、魏红江、高杨、随滨滨、刘军、王云玲、张俊峰、姜意、汤伟男、马晓东、赵海兵、陈炳澍。

引 言

定量磁化率成像是基于磁共振相位数据的高分辨率组织磁化率图重建技术，已广泛应用于脑内铁沉积、出血、钙化和脱髓鞘等多种神经系统疾病的评估。相较于传统的相位成像和磁敏感加权成像，定量磁化率成像技术可测量单个体素内磁化率的空间分布，进一步增强组织对比度和疾病定量评估能力。但由于扫描方案及复杂后处理流程尚未统一，影响了定量磁化率图像质量、跨中心定量数据一致性分析及临床应用推广。为规范定量磁化率图像的采集参数和后处理步骤，制定本文件。

本文件依据当前国内外关于定量磁化率成像研究进展，结合我国定量磁化率成像技术应用现状，参考国际磁共振学会电磁组织特性研究组推荐意见，制定用于磁共振定量磁化率图像采集与后处理的统一技术流程。

定量磁化率成像数据采集与后处理技术规范

1 范围

本文件规定了脑部定量磁化率成像的数据采集参数设置、图像后处理流程及质量控制要求。
本文件适用于使用3.0 T超导磁共振设备开展脑部定量磁化率成像数据采集、后处理及质量控制。
注：1.5 T及7.0 T等其他场强设备可参照执行。

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

定量磁化率成像 Quantitative Susceptibility Mapping, QSM

基于MRI相位图像，通过“磁-场”反演获取组织磁化率空间分布的成像技术。

3.2

偶极子反演 Dipole Inversion

从局部场图反推磁化率图的数学反演过程。

3.3

背景场 Background Field

来自感兴趣区外磁源的磁场干扰。

3.4

多回波梯度回波序列 Multi-echo Gradient Echo Sequence, mGRE

多个回波时间的梯度回波序列。

注：梯度回波序列回波信号的产生完全依赖于磁场梯度的切换，射频脉冲激发后，利用散相梯度使质子快速散相。随后切换梯度方向，强制使散开的质子相位重新聚集，从而产生回波信号。

3.5

脑掩模 Brain mask

在整个视野范围内选择一个感兴趣区域，且仅在该感兴趣区内进行后续计算与统计。

4 采集前准备

4.1 受检者准备

受检者准备应符合下列要求：

- 受检者应采取仰卧位，头部置于头线圈中心，头部位置保持正中，并采用海绵垫、固定带或其他适宜固定装置减少头部运动。
- 扫描前应告知受检者保持头部静止，避免吞咽、咬牙等动作，告知扫描噪声及持续时间，以及紧急呼叫装置的使用方法。
- 应确认受检者理解并愿意配合扫描要求。

4.2 操作者准备

操作者准备应符合下列要求：

a) 扫描前应对受检者进行安全核查，核查内容包括：

- 有无铁磁性植入物、非兼容性心脏起搏器、人工耳蜗、动脉瘤夹、体内电子装置、金属异物等禁忌情况；

- 2) 有无幽闭恐惧症史，必要时采取相应措施；
 - 3) 如需使用钆对比剂，有无钆对比剂过敏史及肾功能异常（eGFR 值）；
 - 4) 是否已签署知情同意书（如适用）。
- d) 应指导受检者移除随身携带及佩戴的金属物品，包括但不限于首饰、眼镜、假牙、助听器、发夹、钥匙、手机、磁卡等。

4.3 线圈准备

宜使用8通道及以上头线圈或头颈联合线圈。

5 数据采集

5.1 扫描参数设置

定量磁化率成像数据采集的扫描参数应符合下列要求：

- a) 应使用三维多回波梯度回波序列（3D-mGRE），具备射频扰相、单极回波读取能力；
- b) 首个回波时间应在 5 ms～8 ms，且连续回波之间的间隔在整个回波链中保持一致；最后一个回波时间在 3.0 T 磁共振设备下宜为 30 ms～45 ms，可根据回波链长度及设备场强进行适度调整；
- c) 重复时间应设置为能够覆盖全部回波并满足采集效率要求的最小值。对于 3.0 T 磁共振设备，重复时间宜为 25 ms～40 ms；
- d) 翻转角宜设置为 10° ～ 20° ，回波链长度宜为 5～10 个单极回波；
- e) 带宽宜采用可接受失真程度的最小读取带宽，宜使用 220 Hz/像素；体素应使用各向同性体素，边长不应超过 1 mm；
- f) 应采用 3D 全脑采集方式，读取方向应沿前连合-后连合（斜轴方向）设置；宜使用压缩感知和并行成像减少采集时间，加速因子宜为 3～5 倍；对于血管相关研究，应在第一个回波使用流动补偿。

注：QSM采集扫描参数见附表A.1。

5.2 数据格式与导出

数据格式与导出应符合下列要求：

- a) 原始数据应以 DICOM 格式导出，并完整保存原始 DICOM 数据；
- b) 宜使用 dcm2nii 等工具将 DICOM 格式数据转换为 NIfTI 格式；
- c) 格式转换后应核查 NIfTI 头信息中的体素大小、空间方向和回波时间信息；
- d) 转换结果应满足下列要求：
 - 1) 幅度图与相位图空间位置一致；
 - 2) 各回波间无明显错位；
 - 3) 左右方向与原始图像一致；
 - 4) 后处理软件可正确读取回波时间（TE）信息。
- e) 应记录格式转换所使用的软件名称、版本及主要参数。

注：原始DICOM数据是数据溯源和质量控制的基础，应妥善保存并建立备份机制。

6 图像后处理

6.1 后处理顺序

所有受检者应采用相同的软件版本和参数设置；如因采集协议、场强或研究目的不同需要调整参数，应在典型病例上完成参数验证后固定用于同一批数据。后处理顺序一般包括如下：

- a) 相位预处理；
- b) 相位展开；
- c) 脑掩膜生成；
- d) 背景场去除；

- e) 偶极子反演;
- f) 磁化率参考校正;
- g) 结果导出与记录。

6.2 后处理输出文件

后处理输出文件包括:

- a) GRE 序列的幅度图和相位图;
- b) 相位展开图;
- c) 脑掩膜图;
- d) 背景场去除后的局部场图;
- e) 最终 QSM 图;
- f) 处理日志或参数记录表。

注: 最终QSM图的单位为ppm或ppb, 并注明参考区域。QSM后处理步骤与工具见附表A. 2。

6.3 相位预处理

相位数据应转换为浮点型, 并按软件要求统一到 $-\pi$ 至 π 范围内。不同设备的相位符号不同, 应在处理前通过已知解剖结构进行符号核查。若出现相位数值范围异常, 使用MATLAB软件将相位图的数值范围重设为 $-\pi \sim \pi$ 。

6.4 相位展开

多回波数据采用STISuite和MEDI软件内置的算法进行相位展开, 包括区域生长、路径依赖或其他精确相位展开方法, 例如ROMEO、PRELUDE和Laplacian等经验证的非线性复数拟合流程。完成后应获得单位为Hz、rad/s或ppm单位的总场图。保存相位质量图或权重图。

6.5 脑掩膜生成

脑掩膜生成应符合下列要求:

- a) 基于首个回波幅度图或多回波幅度平方和图生成初始脑掩膜;
- b) 使用脑提取工具(如FSL-BET)进行剥脑处理, BET 阈值宜从 0.2~0.3 开始调整, 最终应以保留皮层、深部灰质、小脑和脑干为准, 不应机械固定阈值;
- c) 在初始脑掩膜基础上, 应结合相位图和幅度图进行人工检查, 修正异常体素;
- d) 应使用相位质量图阈值法去除脑外噪声和严重低信噪比的边界体素, 并对脑掩膜内部孔洞进行填补;
- e) 最终脑掩膜应去除颅骨、头皮、空气和眼眶等脑外结构, 同时完整覆盖脑实质; 掩膜边界不应明显侵入皮层或小脑, 不应包含大面积脑外空气, 内部不应存在非预期孔洞。

6.6 背景场去除

背景场去除应符合以下要求:

- a) 以相位展开后的总场图和经修正的脑掩膜为输入, 去除来自脑外空气、颅骨、鼻窦和其他脑外磁化率源产生的背景场, 获得脑内组织局部场图;
- b) 使用 STISuite 和 MEDI 软件包内置的基于谐波场性质的背景场去除方法重建局部场图, 例如 V-SHARP、RESHARP、PDF 或 LBV。
- c) 全脑研究优先采用 V-SHARP 或 RESHARP 等稳健方法; 静脉、皮层或靠近脑表面区域的研究宜采用 PDF 法。
- d) 局部场图应在脑实质内呈解剖合理分布, 。若局部场图出现大面积阴影、强/低频漂移或脑边界附近异常信号, 应重新检查脑掩膜、相位展开质量、回波链输入顺序和背景场去除参数。

6.7 偶极子反演

偶极子反演应符合下列要求:

- a) 将局部场图作为输入，使用偶极子反演算法完成由场到磁的反向计算，并引入正则化技术稳定求解过程；
- b) 采用带稀疏性约束的优化算法进行求解，如 MEDI、iLSQR 或 STAR-QSM；
- c) 使用软件默认的稀疏性类型、正则化强度和迭代次数；如显著改变了推荐的数据采集方案，应对至少一个典型案例进行 L 曲线优化，微调正则化强度和迭代次数，然后将这些参数固定用于相同的数据采集方案；
- d) 最终 QSM 图应显示清晰的解剖结构和合理的组织对比，不应存在严重条纹伪影、全脑低频漂移、明显噪声放大或左右翻转；
- e) 若伪影主要来自脑边界，应优化脑掩膜和背景场去除；若伪影来自脑内强磁化率源，应考虑降低不可信体素权重、病灶区域特殊处理或调整反演参数。

6.8 磁化率值参考范围和数据导出

磁化率参考校正与数据导出应符合下列要求：

- a) QSM 值应明确参考区域，全脑掩膜参考宜作为常规全脑研究的默认参考；
- b) 采用全脑参考时，应从 QSM 图中减去实际有效脑掩膜内平均磁化率值，使参考区域平均值为 0；
- c) 最终 QSM 图应以 NIfTI 格式导出并保存，单位应为 ppm，并注明参考区域；
- d) 导出文件应保留正确空间方向和体素大小；
- e) 每批数据应建立后处理记录表，内容至少包括：软件名称和版本、相位展开方法、多回波合并方法、掩膜生成和修正方式、背景场去除算法及参数、偶极子反演算法及参数、参考区域及单位。

7 图像质量控制

7.1 原则

QSM 图像质量控制应贯穿数据采集、数据导出、格式转换、相位展开、脑掩膜生成、背景场去除、偶极子反演、定量分析和结果报告全过程。对于同一研究或临床项目，应固定采集方案、重建软件版本、算法和关键参数，并保存可追溯的质量控制记录。

注：图像质量控制检查要点见附表 A.3。

7.2 采集数据

采集完成后，应检查多回波幅度图和相位图，并符合以下要求：

- a) 幅度图应覆盖全脑，脑组织边界完整，无明显截断、严重运动伪影、金属伪影、射频不均匀或异常信号缺失；
- b) 相位图应可见连续相位变化，避免相位缩放错误、回波顺序错误或左右方向翻转导致后续重建失败。

注：对于运动伪影明显、扫描范围覆盖不足、严重信号丢失或关键解剖区域缺失的数据，重新采集或标记为不合格。

7.3 后处理过程

后处理过程质量控制应符合下列要求：

- a) 相位展开后应检查是否存在条纹伪影、局部相位跳变和不连续边界；
- b) 脑掩膜应尽可能覆盖具有可靠信号的全脑实质，尤其应保留皮层、脑干和深部灰质，并结合幅度图和相位质量图进行修正；用于背景场去除的脑掩膜内部孔洞应填充，以避免将脑内出血、钙化或其他强磁化率源错误地当作背景场去除；用于偶极子反演时，可根据相位质量图排除低可靠性体素以减少条纹伪影；
- c) 背景场去除后应检查局部场图是否存在脑表面残余背景场、低频伪影、边界过度侵蚀或局部信号缺失；若研究目标包括皮层或浅表静脉，应重点检查脑表面和气-组织交界区的局部场质量；
- d) 偶极子反演后应检查最终 QSM 图是否存在条纹伪影、边界伪影、异常零值区域和非解剖性高低信号。

7.4 定量分析

定量分析质量控制应符合下列要求：

- a) 进行感兴趣区或体素水平分析前，应确认 QSM 图已按规定参考至内部参考区域，并在报告中注明参考区域；
- b) 感兴趣区统计不应纳入位于有效背景场去除掩膜之外、被侵蚀掉或被设为零值的体素；当感兴趣区受伪影影响时，应采用离群值检测或人工目视复核排除异常体素或异常区域；
- c) 对于广泛性病变或多中心研究，宜同时采用全脑和脑脊液两个参考区域进行敏感性分析，以评估参考区域选择对结果的影响。

7.5 图像方向和显示

图像方向与显示质量控制应符合下列要求：

- a) 使用自定义处理流程或多个软件包联合处理时，应将最终 QSM 图与原始 GRE 幅度图逐层对照，确认左右和前后方向一致，不应发生左右翻转或空间方向错误；
- b) 图像显示宜采用线性灰阶，不宜使用彩虹色、jet 等非线性色图；显示窗宽窗位应避免目标脑区过饱和，并在图注中注明。健康成人脑 QSM 常用显示范围宜设为 $-0.2 \text{ ppm} \sim 0.2 \text{ ppm}$ 。

7.6 记录

每例数据应形成质量控制记录，内容至少包括：

- a) 扫描日期、设备场强、设备型号及线圈；
- b) 序列及主要参数；
- c) 原始 DICOM 完整性及相位导出情况；
- d) 格式转换工具及版本；
- e) 相位展开方法；
- f) 脑掩膜生成与修正方式；
- g) 背景场去除算法及参数；
- h) 偶极子反演算法及参数；
- i) 参考区域；
- j) 主要伪影类型。

附录 A

(规范性)

QSM 采集参数、后处理工具与质量控制要点

A.1 不同场强下 QSM 采集的推荐扫描参数见表 A.1。

表 A.1 不同场强下推荐 QSM 采集扫描参数

扫描参数	1.5T	3T	7T
重复时间	50 ms	33 ms	25 ms
首个回波时间	5 ms	5 ms	4 ms
回波间隔	10 ms	6 ms	4 ms
回波数量	5	5	5
翻转角	23°	15°	10°
矩阵大小	140×176×114	176×256×144	234×296×190
图像分辨率	各向同性 1.2mm	各向同性 1mm	各向同性 0.75mm
加速/并行成像因子	2	2	3
采集时间	6.6min	6.9min	6.2min

A.2 QSM 后处理各步骤的推荐工具箱、方法或算法及输出格式见表 A.2。

表 A.2 QSM 后处理步骤与工具

步骤	工具箱	方法或算法	输出格式
相位解缠	ROMEO, PRELUDE, Laplacian	区域或路径依赖解缠算法	NIfTI (.nii)
脑掩膜生成	FSL BET	图像边缘提取及阈值调整	脑掩膜.nii.gz
背景场去除	V-SHARP, PDF	球形滤波及空间场建模	Hz 单位, 局部场图
偶极子反演	MEDI, iLSQR 和 STAR-QSM	带 TV 正则优化模型	ppm 单位, QSM 图

A.3 QSM 图像质量检查的环节、对象、主要内容及需调整或修正的情形见表 A.3。

表 A.3 QSM 图像质量检查表

质量控制环节	检查对象	主要检查内容	如有以下情况其中之一, 需进行调整和修正
采集后检查	多回波幅度图、相位图	扫描视野、运动伪影、信号缺失、相位导出格式及回波顺序	扫描范围不足、严重运动或金属伪影、相位缺失或缩放错误
相位展开	展开后相位图	开放性条纹、相位跳变和低信噪比区域	明显相位不连续、局部场计算失败
脑掩膜	BET 脑掩膜图	皮层、脑干、深部灰质保留情况; 内部空洞填充	误删目标组织、脑内空洞未处理、包含大量颅骨和空气
背景场去除	局部场图	残余背景场、边界伪影、低频伪影	目标区域受残余背景场或过度侵蚀影响
偶极子反演	QSM 图	条纹伪影、异常零值、非解剖性高/低信号	伪影影响目标感兴趣区或全脑统计
定量分析	感兴趣区或体素水平统计、参考区域	内部参考值、异常值检测。(参考感兴趣区: 苍白球 QSM 值范围: 0.15-0.25 ppm)	纳入无效零值体素、参考区域受病变或伪影影响。
方向与显示	QSM 图与 GRE 幅值图	左右方向、空间配准、显示色图和窗宽窗位	左右翻转或镜像翻转、上下倒置

参 考 文 献

1. QSM Consensus Organization Committee; Bilgic B, Costagli M, Chan KS, Duyn J, Langkammer C, Lee J, Li X, Liu C, Marques JP, Milovic C, Robinson SD, Schweser F, Shmueli K, Spincemaille P, Straub S, van Zijl P, Wang Y; ISMRM Electro-Magnetic Tissue Properties Study Group. Recommended implementation of quantitative susceptibility mapping for clinical research in the brain: A consensus of the ISMRM electro-magnetic tissue properties study group. *Magn Reson Med*. 2024 May;91(5):1834-1862.
2. Harada T, Kudo K, Fujima N, Yoshikawa M, Ikebe Y, Sato R, Shirai T, Bito Y, Uwano I, Miyata M. Quantitative Susceptibility Mapping: Basic Methods and Clinical Applications. *Radiographics*. 2022 Jul-Aug;42(4):1161-1176.
3. Liu T, Liu J, de Rochefort L, Spincemaille P, Khalidov I, Ledoux JR, Wang Y. Morphology enabled dipole inversion (MEDI) from a single-angle acquisition: comparison with COSMOS in human brain imaging. *Magn Reson Med*. 2011 Sep;66(3):777-83.
4. Kee Y, Liu Z, Zhou L, Dimov A, Cho J, de Rochefort L, Seo JK, Wang Y. Quantitative Susceptibility Mapping (QSM) Algorithms: Mathematical Rationale and Computational Implementations. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2017 Nov;64(11):2531-2545.
5. Robinson SD, Bredies K, Khabipova D, Dymerska B, Marques JP, Schweser F. An illustrated comparison of processing methods for MR phase imaging and QSM: combining array coil signals and phase unwrapping. *NMR Biomed*. 2017 Apr;30(4).
6. Wei H, Dibb R, Zhou Y, Sun Y, Xu J, Wang N, Liu C. Streaking artifact reduction for quantitative susceptibility mapping of sources with large dynamic range. *NMR Biomed*. 2015 Oct;28(10):1294-303.
7. Gao Y, Xiong Z, Fazlollahi A, Nestor PJ, Vegh V, Nasrallah F, Winter C, Pike GB, Crozier S, Liu F, Sun H. Instant tissue field and magnetic susceptibility mapping from MRI raw phase using Laplacian enhanced deep neural networks. *Neuroimage*. 2022 Oct 1;259:119410.
8. Yang A, Zhuang H, Du L, Liu B, Lv K, Luan J, Hu P, Chen F, Wu K, Shu N, Shmuel A, Ma G, Wang Y. Evaluation of whole-brain oxygen metabolism in Alzheimer's disease using QSM and quantitative BOLD. *Neuroimage*. 2023 Nov 15;282:120381.
9. 马国林, 杨昇偲, 李海梅, 刘冰, 韩小伟, 杜雷. 全脑定量磁敏感磁共振成像的数据处理方法及装置: CN116934662B [P]. 2025-12-16.