

《电动汽车司乘人员电磁曝露评估技术规范》 解读

1. 编制目的

电动汽车是当前汽车行业发展的热点，电动汽车由于使用电池为动力，其电子电气设备产生的电磁场一直受到公众关注，特别是司机等司乘人员，由于职业工作需要长时间曝露于电动汽车所产生的电磁场中，甚至有司机抗拒驾驶电动汽车，不利于电动汽车推广使用。当前车辆电磁辐射测量的标准，例如 GB/T 37130—2019，只对车辆在实验室或试车场进行标准场景下较短时间的测量，根据一次的瞬时测量值中的最大值来与限值进行比较评估。与电动汽车长期电磁曝露，电磁曝露随车辆运行工况而变化的情况不相符合，需要了解电动汽车长期电磁曝露的影响，首先需要明确电动汽车司乘人员电磁曝露的评估技术规范。

通过本文件的编制，规范深圳市行政区域内电动汽车司乘人员电磁曝露安全评估。乘客及其他车辆的司乘人员的电磁曝露测量及安全评估也可参照使用。

2. 本文件的意义

本文件是国内第一项电动汽车电磁曝露相关的地方标准，将填补电动汽车司乘人员电磁曝露的监测和评估领域的空白，也是第一个针对实际道路工况和工作场所的电磁曝露监测评估技术规范。

本文件的制定和实施，将规范深圳行政区域内的电动汽车司乘人员的电磁曝露的监测和评估，提供技术支撑，助力消除司乘人员对于电动汽车电磁曝露的顾虑，促进电动汽车在深圳的推广应用。

3. 本文件主要内容

本文件的内容包括范围，评估要求、评估流程、曝露监测、曝露评估方法、评估报告和质量保证等。

3.1 范围

本文件提供了电动汽车，包括混合动力汽车、氢燃料电池汽车、增程式新能源汽车，车内电磁曝露安全评估的指导。规定了评估要求、评估流程、曝露监测、曝露评估方法、评估报告、质量保证等方面的要求。

本文件适用于深圳市行政区域内电动汽车司乘人员电磁曝露安全评估。主要针对长期驾驶电动汽车的出租车司机、公交司机和班车司机。其他车辆，如家用电动汽车驾驶员、电动汽车乘客、非电动汽车驾驶员及乘客的电磁曝露测量及安全评估可参照本文件执行。

无线充电汽车在充电状态下电磁辐射频率范围超出了本文件的适用的频率范围，电场幅度不可忽略，需要测量电场，现有的 GB/T 38775.4 标准明确了无线充电汽车的磁场限值标准不同于本文件

所采用 GB 8702 的磁场限值标准。因此本文件不适用于无线充电汽车在无线充电状态下的电磁暴露安全评估。

3.2 评估要求

本文件的暴露评估限值采用 GB 8702 的磁场限值，主要基于以下几点：目前国内尚未有本文件频段范围的磁场职业控制限值，另外电动汽车司乘人员由于职业工作需要，暴露于汽车的低频磁场中，无法采取防护措施，且现实中大部分司乘人员掌握的电磁防护知识不足，不符合 ICNIRP 2020 对职业人群的定义，应视为普通公众。我国尚未制定低频磁场的职业暴露限值标准。

车辆电子电气设备还会产生低频电场，但是低频电场容易被屏蔽，由于电动汽车采用的电压也就几百伏，和我们生活中的家用电器的供电电压相当，远小于输变电工程的电压，因此不需要对电场进行特别的防护。电动汽车工作电流大，产生明显的低频磁场，应防护低频磁场的暴露，国内及国际的车辆电磁暴露测量评价标准 IEC TS 62764—1 和 GB/T 37130 均只测量和评估低频磁场。

由于司乘人员长期暴露于电动汽车内部电磁环境中，对其电磁暴露的评估需要考虑瞬时的暴露水平和长期的平均暴露水平，分别通过对瞬时采样数据计算 GB 8702 磁场限值加权来评估司乘人员瞬时的暴露水平和通过对长时间的采样数据按 8 小时磁场暴露加权平均来评估司乘人员的平均电磁暴露水平。

3.3 评估流程

a) 根据被评估电动汽车的工况来制定评估的磁场暴露数据采集方案，包括电动汽车工况，采集时长，采集评估的点位。要在车辆正常工况下进行。在电动汽车营运状态下，包括充电，加速，减速，驻车，空载及搭载乘客等。不宜在车辆发生故障状态下进行。

b) 评估点位应包含所有司机及乘客的位置，监测时长建议应包括车辆一天完整的工作时间，应不少于 1 小时。

c) 可以采用内置 GB 8702 限值加权滤波器的磁场探头，也可以采用基于频谱分析的磁场探头，再对各频点测量值对照限值加权处理。

d) 实际测量时长可能是大于 8 小时，这时取辐射水平最大的 8 小时，有可能是小于 8 小时，最终要折算到 8 小时的加权平均的磁场暴露。

e) 对每个点位的 GB 8702 磁场限值加权值和 8 小时磁场暴露加权平均值，按照第 6 节的暴露安全评估方法进行评估。

3.4 监测环境及工况

对于数据采集时的温湿度环境条件提出了要求，首先是在监测仪器所标称的环境条件下进行，温度和湿度范围考虑到了深圳市正常的温湿度范围，仪器应当满足的测量条件。这里的温湿度是指电动汽车内的温湿度，并非环境温湿度。对于数据采集过程中出现不满足仪器使用监测环境或者本文件中所给定的温湿度条件时，所采集数据仅供参考，在进行评估时应把这部分数据剔除。

数据采集覆盖车辆所有正常的工况且司乘人员在电动汽车里停留的时间。

3.5 测试仪器

采用低频磁场测量仪采集汽车的低频磁场，这里要求采用线圈探头、采用三轴各向同性设计、磁场传感器的面积 $\leq 100\text{ cm}^2$ 等遵循了 IEC62764—1 和 IEC 61786—1 的要求；结果取方均根值遵循了 GB8702 的要求。

实测电动汽车产生的主要磁场频率位于 30 Hz ~ 3 kHz 范围。另外，长时间连续采集，进行完整 1 Hz ~ 400 kHz 的采集数据量太大，且更宽的频段频谱分辨率会降低，进行频谱分析测量设备的成本高，降低频率范围的要求集中到主要辐射频率范围，可以提高效率降低成本。故测量频率范围应不小于 30 Hz ~ 3 kHz，可以更宽。

量程要求 $\geq 0.01\ \mu\text{T}$ -100 μT 主要是考虑覆盖车内的磁场的幅度范围；由于测量通常为自动测

量，要求动态范围 ≥ 60 dB（对应于量程范围 $0.01 \mu\text{T} - 10 \mu\text{T}$ ），也就是在一个量程档位内进行测量。

10%-100%量程范围内，测量误差 5%，在 $<10\%$ 小场强的环境下，受环境场波动较大的影响，测量误差要求降低为 10%，遵循了 HJ24 的要求。

各向同性偏差 3%，遵循了 IEC 61786—1 的要求。

电动汽车产生多频率的磁场，且磁场频率不是固定的，主要受车辆电机等工况的影响而变动，对于不同频率 GB 8702 磁场限值差别很大，按照 GB 8702 的 $1 \text{ Hz} \sim 100 \text{ kHz}$ 多频率磁场的评价方法，市场上尚未有满足 GB 8702 限值曲线要求的宽带加权探头，目前主要采用具有频谱分析功能的磁场测量仪进行数据采集。频率分辨率越小测量信号的分辨越好，但频率分辨率越小要处理和存储的数据量就越大，会降低速度，为了平衡采集速度和处理的数据量，经试验，分辨率为 8 Hz 可以满足车辆磁场的采集速率和准确性要求，最终确定取 $\leq 8 \text{ Hz}$ 。

3.6 测量位置及布点

测量位置和布点基本遵循 GB/T37130 的要求，只考虑司机点位和乘务人员的点位，分为头部、胸部、座位和脚部四个位置，但在脚部的布点考虑到驾驶安全只布设 1 个监测点位即可。为了驾驶安全，数据采集点位可以偏离人员的实际位置，放置在座椅的一侧。IEC TS 62764-1 中要求磁场传感器的中心应距离车内所有物体的表面距离为 0.2 米。本文件遵循了这一要求。

3.7 监测方法

在电动汽车司机正常工作的状态下长时间连续监测，仪器应当具备自动监测模式，可以自动采集监测数据并保存。

数据采集可以多个点位同步进行，也可以逐点的数据采集。

监测时间应与司乘人员的工作时间一致，在司乘人员上车，启动车辆后开始测量，在司乘人员下车后停止测量。为了保证测量时间的足够覆盖车辆的各种工况体现职业人群的电磁曝露状况，一次完整的电动汽车电磁曝露测量典型为 8 小时，可以根据司乘人员实际工作时间调整，但应不少于 1 小时。

3.8 数据记录

采集的数据分为两种，一种是频谱数据，一种数据是采集频段范围内的总磁感应强度值或者按照 GB8702 磁场限值计算的加权值。采集速率方面，可以 15s 采集一次数据，也可以采用更快的速率，比如 3s 采集一次，此时在市区均速 36km/h ，3s 行驶 20 米。建议保存频谱数据，以确认产生磁场辐射的频率，保存的速率应不大于 6min 每次。

应记录与监测相关的被测试车辆和司机的信息，记录开始采集和结束采集的时间，监测点位和布置图，并记录经纬度、速度、加速度等有助于后续分析数据。

当测量值明显大于其他相同工况下的测量值（ $>10\text{dB}$ ）时可认为是异常数据，对于异常数据处理，车辆在实际环境中受车外部电磁场和车内部电磁场共同影响，本文件只适用于车内电磁场的曝露评估，不包括车外环境的影响，特别是车外环境低频磁场水平达到或者大于车内磁场水平时，要注意甄别。特别注意高压输变电工程，当车外环境磁场与车内电子电气设备产生的磁场相当时或者车外环境磁场更高时，可补充采集车外低频磁场，以确认磁场的贡献主要是由车辆自身产生还是由车外环境所致。如果车外环境产生的磁场大于等于车内的磁场，应剔除该数据，不纳入电磁曝露评估中。

3.9 曝露评估方法

电动汽车是多频率磁场曝露，频率磁场限值加权值，依照 GB 8702—2014《电磁环境控制限值》的 4.2 节评价方法中 $1 \text{ Hz} - 100 \text{ kHz}$ 多个频率磁场评价方法进行，由于如果对所有频点都进行这样的计算，由于频点非常多，且很多是背景本底信号，不是真实的信号，会导致很多本底信号导致累积的场强误差，所以只筛选了相对于限值占比较大的频点来进行计算，以磁感应强度占限值百分

比为1%以上频点的磁场进行累积,其他频点的影响可以忽略不计,这种处理方法和 GB/T 32577—2016 要求是一致的。该标准不考虑磁场强度低于限值 10%以下的频点,但 10%过于粗略,实际测试中大部分情况的磁场都达不到限值的 10%,本文件放宽到 1%。

8 小时磁场曝露加权平均值计算方法遵循参照 GBZ/T189.3 中电场 8 小时平均值计算的方法,曝露平均的时长为 8 小时,监测时长大于等于 8 小时,取 8 小时,按公式(2)计算,监测时长小于 8 小时,应按照公式(4)~公式(6)折算到 8 小时平均磁场曝露。当 8 小时磁场曝露加权平均值大于 100%时,也就是超过了 GB8702 的限值。对所有监测点位均计算 8 小时磁场曝露加权平均值。

所有测量点位的 8 小时磁场曝露加权平均值 \leq 50%,或所有测量点位的 GB 8702 磁场限值加权值 \leq 100%,则电动汽车电磁曝露不超标。如果有一个及以上测量点位的 8 小时磁场曝露加权平均值 $>$ 50%,且有一个及以上测量点位的最大 GB 8702 磁场限值加权值 $>$ 100%,则电动汽车电磁曝露超标。

从 8 小时磁场曝露加权平均值和 GB8702 磁场限值加权(瞬时曝露加权值)两个维度来进行曝露安全评估,取所有点位中 8 小时曝露加权平均值最大点位以及最大瞬时曝露值进行评估。当有一个点位的最大 GB8702 磁场限值加权值超标,即瞬时加权值大于 100%,且有一个点位的 8 小时曝露加权平均值大于 50%,也就是平均值达到了 GB 8702 限值的 50%时,认定为超限值。

如果仅是瞬时曝露加权值大于 100%,而 8 小时曝露加权平均值小于 50%,或者 8 小时曝露加权平均值大于 50%,而最大瞬时曝露加权值小于 100%,可认为不超限值。

8 小时磁场曝露加权平均值取 50%,电动汽车磁场曝露水平随工况波动的,假设其满足正态分布,取扩展因子 $k=2$,则其有 95%的概率为小于 100%,即不大于限值。

3.10 质量保证

质量保证部分规范了监测机构、监测人员和监测仪器,要求监测机构具备相应的检测能力和条件,监测人员的需要经过培训具备监测布点、设备安装使用和数据采集处理的能力,监测仪器应经过计量校准满足标准的要求并在计量校准有效期内使用。

对于监测过程中,要求对监测仪器在使用前后都进行检查,确保监测设备满足监测工作要求。

测量过程中,司乘人员应避免使用产生低频磁场干扰的设备以免影响测试结果。另外,监测过程中,监测仪器探头架设位置宜相对固定,变换位置会导致监测数值的相对变化。

对监测应做好监测记录,建立完整的监测文件档案。附录 A 给出了监测记录表供参考。

任何存档或上报的监测和评估结果应经过复审。附录 B 给出了评估报告单供参考。

4. 关键技术条款说明

4.1 电磁曝露评估方法

本标准的关键条款,本标准针对实际道路,实际运营车辆在实际道路运营过程中的电磁环境监测,参照工作场所物理因素监测的方法,由于车辆的电磁环境是受车辆工况、道路状况、搭载乘客等持续动态变化,需要在连续长时间的连续监测车辆司乘位置处的低频磁场。

本文件是针对司机、乘务人员等由于工作需要长期曝露于电动汽车的电磁环境中的人员,在工作场所物理因素监测和评价中较多采用平均曝露作为评价参量,而需要考虑平均的电磁曝露,评价参量是 8 小时磁场曝露加权平均值,环保等领域的测试评价关注对于低频磁场多采用瞬时磁场曝露。因此本标准结合了瞬时磁场曝露和平均磁场曝露,瞬时磁场曝露超标且平均磁场曝露达到限值的 50%以后,确定为车辆低频磁场曝露超标。如果要求平均磁场曝露超过限值,这个就代表司乘人员大概有一半的时间曝露于超标环境中,明显不利于司乘人员的健康。如果仅以最大瞬时磁场曝露来评价,则由于车辆工况波动等原因,很可能只是短时的曝露超标了,不代表司乘人员持续曝露于超标的环

境中。选择平均限值的 50%，是基于假设磁场分布满足正态分布，当中位数为限值的 50%时，按照 k=2 的扩展系数，则其 95%的置信区间内磁场不大于限值。

相对现有标准，本文件降低了测试环境的要求，降低了仪器性能方面的要求，提出了对自动监测，数据处理，电磁曝露安全评估方面的要求。更贴合实际电动汽车司乘人员电磁曝露监测和评估的要求。

本标准基于深圳市科研课题《基于长期累积剂量的电动汽车电磁环境污染状况及对策研究项目》对电动汽车电磁环境的研究成果编制，确定本标准主要内容的依据为现场试验和数据统计分析，总结实测经验使得标准具有更好的可实施性，可操作性。

提出了结合瞬时曝露值（GB8702—2014 磁场限值加权）和 8 小时磁场曝露加权平均值的评估方法，平衡了工作场所评估方法和环保评估方法，应用本评估技术规范对科研课题中测试的几辆公交车、出租车评估均满足 GB8702 限值的要求。

4.2 曝露监测

本文件提出的曝露监测方法是针对深圳市实际运营的电动公交车及电动出租车的状况提出的针对性的监测方法。对于本文件中采用的曝露监测方法相对于其他标准有着差异性，解释说明见表 1。

表 1 电磁曝露监测方法差异解释说明

项目	本文件	GB/T37130、IEC TS 62764—1	解释说明
适用车型	电动汽车，包括混合动力汽车、氢燃料电池汽车、增程式新能源汽车	L、M、N 类车辆，含电动、混合动力和摩托车、内燃机汽车	本文件专注于电动汽车，其他车辆可以参考。
测试场所	实际道路、实际工况、有乘客	车辆试验场、实验室、模拟工况、无乘客、	本文件适合环境监测单位实施，进行现场监测。
测量时长	司乘一天工作时长，不小于 1 小时	一次静止、（匀速、加速、减速）行驶、充电状态测量	本文件参照 GBZ/T189.3，按司乘人员实际工作时长
测量数据及处理	频谱、GB8702 磁场限值加权、8 小时平均磁场曝露	频域测量为频谱（GB8702），时域测量为时域加权值（国际标准）	本文件考虑 8h 平均值和实时值，考虑 GB8702 加权，工作场所测试
频率分辨率	$\leq 8\text{Hz}@ \leq 3\text{kHz}$	1Hz@ $< 5\text{kHz}$ ；10Hz@ $< 50\text{kHz}$ ；100Hz@ $< 400\text{kHz}$	本文件的频率分辨率要求降低，分辨率对精细分辨信号才有意义，降低成本，使现场监测可实施性
监测点位	司机及乘务员座位，头部、背部、座位、脚部四个点位	所有座位，头部、背部、座位、脚部七个，其中脚部四个	本文件需要在司机和乘客运营时监测，脚部布点不宜过多带来不安全因素和影响正常运营
自动监测	长时间连续监测，自动数据记录、自动数据处理	没有要求，一般需要专业人员操作	本文件适合按照在运营车辆上自动监测，监测过程无需人为介入

项目	本文件	GB/T37130、IEC TS 62764—1	解释说明
测试环境	当测量值相对相同车辆工况下的其他测量值大 10dB 的可认为是异常数据，对于异常测量数据，通过频谱分析是由车辆自身产生还是车外环境产生。当车外环境磁场大于等于车内电子电气设备产生的磁场时，应剔除该数据，不纳入电磁暴露评估	环境磁场应小于 GB8702-2014 限值的 10%	无法控制车外环境状况，对于有异常数据，需要通过频谱分析或补充分析确定是否受车外环境影响时，剔除异常数据。环境磁场影响
数据采集存储速度	15s 应至少采集 1 次，6min 要存储一次频谱	没具体要求，一般 ≥ 1 次/s 采集和存储	本文件长时间连续监测，数据量太大，降低对数据采集频次要求
探头中心与车内物体距离	应距离车内物体的距离不小于 0.2m	GB/T37130 没有要求，IEC62764 要求距离所有物体的距离不小于 0.2m	人体中心部位与车内物体的距离通常大于等于 0.2m，探头中心距离物体 0.2m 更贴合实际
各向同性	各向同性探头， $\leq 3\%$	各向同性探头，没有指标要求	本文件明确各向同性的指标
检出上下限	探头下检出限应当优于 0.01 μT 且上检出限应优于 100 μT	没给出具体要求	本文件明确检出上下限的要求
动态范围	$\geq 60\text{dB}$	没给出具体要求	本文件明确了动态范围的要求，自动测试需要有高动态

可见，本文件适用于实际运营的电动汽车司乘人员的电磁暴露监测和评估。

4.3 评估方法引用的限值采用 GB 8702

国际标准 ICNIRP2010 导则的时变磁场职业暴露限值，国家标准 GB8702 为公众暴露限值，ICNIRP 2010 导则的职业暴露限值要比 GB 8702 的限值要宽松，满足 ICNIRP 2010 导则的限值要求未必能满足 GB 8702 的限值要求。本文件采用 GB 8702 的磁场限值，主要基于以下几点：

1) ICNIRP 2020 给出的职业电磁暴露人员定义为由于其职业职责暴露在受控制条件下的成人，职业人员为受过训练，知晓潜在的电磁辐射风险，并且采用了合适的措施缓解伤害，以及对缓解伤害响应具有感知和行为能力的人。而本文件涉及的司乘人员，大多数未受到适当的培训，没有知晓电磁辐射的风险和未能采取防护措施，应将其视为普通公众，使用公众限值；

2) GB 8702 是国家限值标准，在国内所有电磁限值标准中得到最广泛认可和适用，本文件为深圳市地方标准，应优先采用国家标准；

3) 国内尚未有覆盖本文件频段范围的磁场职业限值标准。

4.4 设备测量频率范围 30 Hz ~ 3 kHz

标准 GB/T 37130 频率范围 10 Hz~400 kHz，GB/T 38775.4 的频率范围为 20 Hz ~ 400 KHz。GB/T 32577 的轨道交通频率范围为 5 Hz ~ 20 kHz。实测电动汽车产生的主要磁场频率位于 30 Hz ~ 3 kHz 范围。另外，长时间连续采集，进行完整 1 Hz ~ 400 kHz 的采集数据量太大，且更宽的频段频谱分辨率会降低，进行频谱分析测量设备的成本高，降低频率范围的要求，集中到电动汽车主要辐射频

率范围，可以提高效率，降低成本。测量频率范围为不小于 30 Hz ~ 3 kHz，可以更宽。
设备测量频率范围确定为 30 Hz ~ 3 kHz，设备的频率范围可以比这个更宽。