

《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》团体标准

征求意见稿 编制说明

一、任务来源

矿用防爆锂电池作为井下动力设备的核心能源载体，其隔爆壳体结构设计直接关系到矿井作业安全性与设备运行可靠性。近年来，随着矿山智能化转型与绿色开采理念的推进，相关技术领域呈现出多维度的发展趋势。

在材料科学领域，新型复合材料的应用显著提升了壳体性能。科研方向逐步向轻量化与高强度结合的目标倾斜，采用多层复合结构或特种合金材料，既满足隔爆要求又降低整体重量。部分研究通过仿生学原理模拟生物壳体结构，开发出蜂窝状或网状支撑体系，有效提升抗冲击能力。同时，耐腐蚀涂层的创新应用延长了壳体在井下潮湿、高腐蚀环境中的使用寿命。

结构优化方面，模块化设计理念得到深入应用。通过功能分区和独立腔室设计，实现电池组与保护系统的物理隔离，降低热失控风险。有研究采用非对称式缓冲结构，通过力学分散原理提升壳体抗爆能力。计算机辅助工程技术的深度介入，使得有限元分析、流体力学仿真成为优化壳体结构的重要手段，推动设计过程从经验驱动转向科学计算驱动。

制造工艺层面，精密成型技术的突破对壳体性能提升起到关键作用。高精度数控加工确保密封面的平整度，激光焊接技术实现壳体接缝的无缝连接，整体式铸造工艺的改进大幅降低结构薄弱点。针对极端工况下的密封需求，新型弹性体材料与动态密封结构的配合使用显著提升了壳体的长期密闭性。

安全防护机制呈现集成化发展特征。泄压通道与火焰阻断装置的协同设计形成多重防护屏障，内置式热管理系统通过相变材料与液冷管路的组合应用，有效控制电池组温度场分布。部分技术方案通过智能感知元件与壳体结构的融合设计，实现内部压力与温度的实时监测预警。

行业标准化进程加速推动技术创新。隔爆性能评价体系逐步完善，涵盖机械强度、抗爆能力、环境适应性等多个维度的验证方法得到统一规范。相关测试标准从单一静态检测向动态模拟实际工况的方向演进，为结构设计提供更精准的指导依据。技术发展正朝着智能化、自适应化方向深化，通过材料-结构-工艺的协同创新，构建更安全可靠的井下能源解决方案。

目前，矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计相关的标准有GB/T 3836.2-2021 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的设备和GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求。

本团体标准在防爆外壳的防爆型式、基本防爆性能要求等方面，遵循了GB 3836.1对爆炸性环境设备的通用规定，以及GB/T 3836.2-2021关于隔爆外壳“d”保护设备的核心原则，如隔爆外壳的耐爆性和不

传爆性等基础要求。区别在于，团体标准更具针对性和专业性，它围绕矿用防爆锂电池的特点，对隔爆壳体结构设计进行了专项规范。不仅涵盖了锂离子蓄电池的选型、串联连接方式等特定要求，还深入规定了电池管理系统的各项保护功能，如过充过放保护、温度监测等，以及电源在矿用环境下的电气安全性能、试验方法等。相较于通用标准，团体标准的优势在于其专业性和实用性，能够更精准地指导矿用防爆锂电池隔爆壳体的设计，确保其在复杂多变的矿用环境中安全应用。

针对矿用防爆锂电池隔爆壳体结构的环境条件、供电电源、基本要求（蓄电池要求、防爆要求）等，急需立项《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》该标准，旨在规范矿用防爆锂电池隔爆壳体设计，提升产品安全性与可靠性，促进矿用锂电池设备合规应用与高质量发展。

先进性与创新性：

1、一体化抗应力结构设计：突破传统壳体拼接式设计局限，采用一体化成型方案，明确要求避免尖锐棱角与应力集中点，过渡圆角半径不小于 3mm，同时通过内部压力计算确定壳体厚度，兼顾结构稳定性与材料利用率。相较于传统设计，该方案可有效分散电池热失控时的瞬时压力，降低壳体开裂风险，且规避了拼接处密封失效问题。

2、针对性热失控防护设计：聚焦矿用锂电池核心安全隐患，将“承受内部电池热失控压力”纳入核心设计规定，区别于通用防爆壳体仅考虑外部冲击的思路。通过强化机械强度设计，确保壳体既能抵御内部热失控产生的高压，又能隔绝高温气体与碎片穿透，填补了传统防爆壳体对锂电池特殊风险防护的空白。

3、精细化隔爆接合面管控：对隔爆接合面参数进行精准界定，如非螺纹接合面宽度 $\geq 6\text{mm}$ 、间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ 、粗糙度 $Ra \leq 6.3\ \mu\text{m}$ ，锯齿形接合面需至少 5 个完整啮合齿且包角 $60^\circ \pm 5^\circ$ ，螺纹接合面明确螺距、啮合长度与扣数要求。该设计较 GB/T 3836.2 通用标准更细化，通过参数量化确保隔爆性能稳定，避免因接合面参数模糊导致的防爆失效。

4、材料性能多维度匹配：优选 Q235A 碳素结构钢作为壳体材料，明确其抗拉强度（375-500MPa）、延伸率（ $\geq 26\%$ ）、导热系数（43-48W/(m·K)）指标，实现“强度 - 耐腐 - 导热”三维平衡。相较于单一追求强度的传统材料选择，该方案兼顾电池散热需求，可缓解锂电池长期运行中的温升问题，延长设备使用寿命。

5、多功能集成防护设计：整合呼吸、排液装置与防尘防水功能，要求透气元件既能承受内部爆炸压力、阻止传爆，又能通过冲击试验；同时明确开口封堵与紧固件防护要求，如禁用塑料紧固件、双头螺栓需永久固定。该设计打破“单一防爆”思维，实现“防爆 + 散热 + 防护 + 维护便利”一体化，适配煤矿复杂潮湿、多粉尘的恶劣环境。

《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》团体标准的制定，具有以下几方面的意义：

1、保障井下作业人员生命安全

煤矿、金属矿等地下作业环境存在瓦斯、粉尘等易燃易爆风险，防爆锂电池隔爆壳体结构设计的标准化能够有效防止电池内部故障引发的爆炸、燃烧等危险，降低因电池问题导致的安全事故发生率，为井下工作人员创造更可靠的生命安全保障环境。

2、统一行业技术规范，填补标准空白

当前矿用锂电池隔爆壳体设计缺乏统一的技术标准，不同企业设计理念和工艺水平参差不齐，容易引发安全隐患。制定团体标准可明确设计原则、材料选择、结构强度等关键要求，为行业提供权威参考依据，推动设计流程规范化，减少技术争议。

3、促进防爆技术持续创新

通过标准制定，能够引导企业和科研机构聚焦隔爆壳体轻量化、散热效率、抗冲击性等核心问题开展技术攻关。标准中前瞻性的设计要求有助于推动新型材料、智能监测等技术的应用，提升矿用锂电池整体技术水平和产品竞争力。

4、强化企业安全生产责任意识

标准制定过程可推动企业从被动合规转向主动参与安全设计，明确设计、生产、检测等环节的责任边界。通过标准宣贯和技术培训，增强企业对防爆锂电池全生命周期管理的重视，促进产业链上下游协同合作，形成安全生产共识。

5、支撑矿山智能化与绿色转型

锂电池是矿山机械电动化、无人化作业的核心动力来源。规范的隔爆壳体设计可提升电池在复杂工况下的稳定性，延长设备连续作业时间，助力矿山减少柴油设备污染排放，推动行业向低碳化、智能化方向转型升级，符合国家能源战略与可持续发展要求。

二、起草单位所作工作

1、起草单位

本标准由XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX单位等共同起草。

2、主要起草单位及其所作工作

本文件主要起草单位及工作职责见表1。

表1 主要起草单位及工作职责

起草单位	工作职责
XXXX、XXXX、XXXX	项目主编单位，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了行业资深专业人员，行业管理人员。
XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、	实际生产单位、负责汇报实际生产数据、试验方法，参

XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX	与标准编制。
--------------------------	--------

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，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》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

4.1 调研阶段

1 技术现状调研

调研发现，当前矿用防爆锂电池隔爆壳体存在三大技术短板：一是多数产品沿用传统防爆设备设计思路，未针对锂电池热失控特性优化机械强度；二是隔爆接合面参数不统一，部分企业简化接合面宽度、忽略粗糙度管控，导致防爆性能波动；三是壳体散热与防护设计脱节，部分产品为追求防爆牺牲散热效率，引发电池高温故障。同时，行业内一体化成型工艺应用率低，密封失效风险较高。

2 市场需求分析

随着煤矿智能化转型加速，矿用锂电池设备（如锂电铲运机、巡检机器人）市场需求日益增长，安全事故中部分与隔爆壳体失效相关。调研显示，煤矿企业将“壳体防爆稳定性”列为设备采购核心指标，且要求壳体兼顾维护便利性（如电池更换效率）与散热性能，现有产品已无法满足需求，亟需统一设计规范引导市场供给。

3 相关标准研究

系统梳理 GB/T 3836.1、GB/T 3836.2、MT/T 1200 等现行标准，发现存在“通用要求多、专项细节少”问题：GB/T 3836.2 仅规定 d 类隔爆外壳通用参数，未明确锂电池壳体的热失控压力应对要求；MT/T 1200 侧重电源安全，对隔爆壳体结构设计的指导不足。现有标准缺乏对隔爆接合面、密封接合面、呼吸装置的细化规定，需补充专项规范。

4 产业链调研

上游端，Q235A 碳素结构钢供应稳定，国内产能可满足行业需求，但部分中小企业存在材料性能检测缺失问题；中游壳体制造环节，具备一体化成型能力的企业较少，多数企业依赖传统焊接工艺，精度控制能力不足；下游煤矿设备厂商普遍反映，壳体供应商技术水平参差不齐，需通过标准统一采购验收标准。此外，检测机构对锂电池壳体专项检测能力待提升，需同步配套试验方法。

5 行业问题与挑战

调研指出行业三大核心挑战：一是设计不统一导致兼容性差，不同厂商壳体无法互换，增加煤矿维护成本；二是部分企业为降本简化工艺，如减小壳体厚度、使用劣质紧固件，引发安全隐患；三是隔爆与散热协同设计难度大，传统壳体难以平衡两者需求。同时，行业缺乏针对壳体的全生命周期质量管控要求，服役后维护标准缺失。

4.2 立项阶段

2025年7月14日，中国技术市场协会正式批准《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》立项。

4.3 起草阶段

4.3.1 成立标准制定工作组，根据《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》编制需要，XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX等机构相关专家成立标准制定工作组。

4.3.2 形成标准草案：根据工作计划及分工安排，在系统参考、学习已有标准及研究的基础上，标准制定工作组完成《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》各部分内容，并于2025年7月20日汇总形成标准草案。

4.3.3 2025年8月19日，通过腾讯会议线上召开了《矿用防爆锂电池隔爆壳体结构设计规范》团体标准讨论会，与会代表30余人参加会议。会上，标准编制组就该标准立项背景和标准框架分别进行了介绍。与会专家和代表就标准名称、框架结构、定义、范围、技术指标等内容进行了深入讨论。明确了该标准编制工作方向，并提出了一系列标准内容的完善措施和修改意见、建议。在讨论会结束后标准编制工作组根据与会专家及参会代表的意见和建议，对标准稿进行了修改完善，形成了标准征求意见稿和编制说明。

4.4 征求意见阶段

2025年8月30日，本标准由中国技术市场协会在全国团体标准信息平台面向社会进行公开征求意见，同时由编制工作组向相关单位进行定向征求意见，具体见《征求意见汇总表》。

五、标准主要内容

根据生产企业XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX等单位的产品数据得到以下主要技术内容：

1、隔爆接合面（非螺纹）核心参数：该指标基于“隔爆间隙灭火原理”设计，宽度 $\geq 6\text{mm}$ 可确保火焰在接合面内充分冷却，间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ 能阻止高温火焰穿透（火焰传播临界间隙通常为 $0.5\text{--}0.6\text{mm}$ ）；粗糙度 $R_a \leq 6.3\ \mu\text{m}$ 可减少间隙内气体湍流，避免局部高温引燃外部爆炸性气体；锯齿形接合面的齿形与数量设计，可延长火焰传播路径，进一步提升隔爆可靠性，适配煤矿甲烷-空气爆炸性环境。

2、壳体材料抗拉强度：该强度范围需同时满足“抗内压”与“抗冲击”双重需求：下限 375MPa 可确保壳体承受锂电池热失控时的瞬时高压（通常不超过 300MPa ），避免壳体塑性变形；上限 500MPa 可

平衡材料韧性与加工性，若强度过高（如超过 500MPa），材料延伸率会下降，易在外部冲击（如煤矿设备碰撞）下脆性断裂。同时，该范围与 Q235A 钢的材料特性匹配，兼顾经济性与安全性。

3、转轴最小径向间隙（ $\geq 0.05\text{mm}$ ）：该指标针对转轴动态隔爆场景设计：一方面， $\geq 0.05\text{mm}$ 的间隙可避免转轴与壳体因热胀冷缩发生卡滞，确保电机正常运转；另一方面，间隙需控制在临界值内（远小于火焰传播间隙），防止内部爆炸火焰通过间隙外泄。同时，配合“无火花金属材料气隙补偿”要求，可平衡“运转灵活性”与“隔爆安全性”，避免因间隙磨损导致的防爆失效。

4、粘结接合面宽度（按容积分级）：该分级设计基于“容积 - 爆炸能量正相关”原理：容积越大，内部爆炸产生的压力与火焰能量越高，需更宽的粘结面延长火焰冷却路径，同时增强粘结结构的抗爆强度。宽度设计需确保粘结面能承受对应容积的爆炸冲击力，避免粘结层剥离；此外，明确“机械强度不依赖粘结材料”，可防止粘结老化后壳体失效，适配煤矿设备长期服役需求（通常 5-8 年）。

5、呼吸装置抗爆与阻火要求：呼吸装置是壳体“压力平衡”关键部件，需同时满足“透气”与“防爆”：抗爆要求确保元件在爆炸瞬时压力下不破裂，避免成为火焰外泄通道；阻火要求通过材料（如烧结金属）的微孔结构，实现“允许气体流通、阻止火焰传播”；冲击试验则验证装置在煤矿颠簸、碰撞环境下的结构稳定性，防止因冲击导致元件移位或损坏，确保长期防护效果。

六、主要试验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

6.1、主要试验（验证）分析

项目需通过多维度试验验证设计规范的可行性与安全性，核心试验方向包括：

一是隔爆性能验证试验，模拟煤矿甲烷爆炸性环境，通过内部点燃试验检测壳体是否阻止火焰穿透，同时监测接合面间隙、壳体变形量，验证隔爆接合面参数与壳体强度设计的合理性；二是热失控压力承受试验，通过加热模拟锂电池热失控过程，测试壳体在瞬时高压下的完整性，确保无开裂、泄漏；三是材料性能试验，对 Q235A 钢进行抗拉、延伸率、导热系数检测，验证材料是否匹配设计指标，避免因材料不达标导致安全隐患；四是动态部件可靠性试验，针对转轴、操纵杆等运动部件，进行长期磨损试验，监测间隙变化与隔爆性能衰减，验证“易恢复结构”的有效性；五是环境适应性试验，包括防尘、防水、冲击试验，模拟煤矿潮湿、多粉尘、多冲击场景，验证呼吸装置、密封接合面的防护效果。上述试验可覆盖壳体设计全维度，确保标准落地后产品安全可靠。

6.2、技术经济论证

技术层面，该标准填补了矿用防爆锂电池隔爆壳体专项设计规范的空白：相较于依赖通用标准的传统模式，规范明确了针对性设计要求（如热失控防护、精细化接合面参数），可统一行业技术路线，减少因

设计差异导致的技术壁垒，推动行业技术升级；同时，规范整合“防爆 + 散热 + 维护”多功能设计，可引导企业避免“单一性能优化”的误区，提升产品综合竞争力。经济层面，规范的实施可降低行业整体成本：一是统一设计标准后，企业无需重复研发，减少研发投入；二是明确材料选用（如 Q235A 钢）与工艺要求（如一体化成型），避免因材料错选、工艺冗余导致的成本浪费；三是规范检测要求，可减少企业因产品不合格导致的返工、退货损失，提升生产效率。此外，规范可降低煤矿企业的使用成本，通过统一壳体设计，提升部件兼容性，减少维护时的适配成本。

6.3、预期的经济效果

从行业维度看，规范实施可推动矿用锂电池设备产业链高质量发展：对壳体制造企业，标准化设计可提升产品合格率，增强市场认可度，带动企业营收增长；对上游材料供应商，Q235A 钢等材料需求的稳定增长，可促进产能优化与成本下降；对下游煤矿企业，安全可靠的壳体可降低设备故障与安全事故发生率，减少因停机、事故导致的经济损失，同时延长设备使用寿命，降低更换成本。从宏观维度看，规范可助力煤矿智能化与绿色化转型：矿用锂电池设备的安全推广，可替代传统燃油设备，减少碳排放，而壳体作为核心安全部件，其标准化可加速锂电池设备的市场渗透，间接推动煤矿行业降本增效。长期来看，规范可提升我国矿用防爆设备的国际竞争力，为相关产品出口奠定技术基础，形成“标准引领产业、产业带动经济”的良性循环。

七、标准水平分析

7.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。

7.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

7.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

7.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

八、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十二、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2025年8月