

中国年铸造协会《铸件缺陷检测-电镜分析法》团体标准

编制说明（征求意见阶段）

一、工作简况

1. 任务来源

本项目是依据中铸协标[2024]55号文下达的关于中国铸造协会质量检测实验工作委员会等一项团体标准制修订的批复，标准计划号为T/CFA 2024023《铸件缺陷检测-电镜分析法》。本项目是标准制订项目。主要起草单位：潍柴动力股份有限公司，计划完成时间为：2025年12月。

2. 标准化对象简要情况

内燃机缸盖、机体、框架、排气管等铸件在铸造过程中会产生各种缺陷，降低铸件本体的金属连续性，在使用期间甚至发生失效，极大影响铸件工作可靠性，引起经济损失，因而核查铸件缺陷，保证铸件质量是非常必要的。

目前国内铸件缺陷类检验方法尚没有相关标准，本项目通过对铸造企业的铸件需求及应用进行深入调研，瞄准铸件缺陷判定大多依靠人工目视检验，具有相似特征的铸件缺陷很容易产生混淆的痛点，统一采用电镜分析法对铸件缺陷表面形貌特征和微区能谱进行检测，形成检测规范和缺陷类型的综合判定依据，指导后续铸造工艺改进，可有效解决推动铸件质量提升，因此亟需制定铸件缺陷分析准确判定的检测方法。

基于以上目的和意义，建议制定“铸件缺陷检测-电镜分析法”团体标准，此标准的制定将有助于指导有效降低内燃机行业铸件废品率，减少资源浪费，提高经济效益，同时对调整铸造工艺，提高铸件质量和性能具有重要意义。

3. 工作简要过程

3.1 起草(草案、调研)阶段

2024年5月初，潍柴动力股份有限公司向中国铸造协会提交了《铸件缺陷检测-电镜分析法》标准的项目建议书，随后中国铸造协会对建议书组织了相关专家评议，于2024年7月24日对此标准进行了批复（中铸协标[2024]55号文）。

2024年6月，潍柴动力股份有限公司成立了标准编制工作小组。工作小组对国内铸造缺陷分析法技术现状以及发展情况进行全面调研，同时广泛搜集相关标准和国内外技术资料，进行了大量的

研究分析、资料查证工作。结合实际应用经验:计量理化检测规范 第 13 部分:铸件夹渣、缩松、气孔缺陷电镜分析与判定企业标准(2016 年);计量理化检测规范 第 63 部分 铸件砂眼、夹杂、冷隔、热裂纹、氮气孔缺陷电镜分析与判定企业标准(2023 年),进行全面总结和归纳,在此基础上编制出《铸件缺陷检测-电镜分析法》标准草案初稿。于 2024 年 7 月形成了标准草稿及其编制说明等相关附件,报中国铸造协会标准工作委员会。2024 年 8 月由中国铸造协会标准工作委员会秘书处组织有关专家视频研讨后,决定将本标准名称更改为《铸铁件缺陷检测-电镜分析法》,详见研讨纪要和意见汇总表。编制组根据研讨意见对标准草案初稿进行了认真的修改,于 2024 年 10 月形成了标准修改稿及其编制说明等相关附件,报中铸协标准工作委员会。

3.2 征求意见阶段

3.3 送审阶段

3.4 报批阶段

4. 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

所做的工作:潍柴动力股份有限公司为本标准主要起草单位,负责本标准的具体起草与编制。工作组成员单位负责国内外相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证,对铸件缺陷检测应用进行总结和归纳,以及负责对国内外技术的现状以及发展情况进行全面调研,主要起草单位负责对各方面的意见及建议进行归纳整理。

二、标准编制原则

本标准在制订过程中,遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则,注重标准制订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合,以先进性、科学性、合理性和可操作性为目标;本着统一性、协调性、适用性、一致性和规范性的原则来进行本标准的制订工作。

本标准在起草过程中,主要按 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分:标准的结构和编写规则》的要求编写。在确定本标准主要技术指标时,综合考虑生产企业的能力和用户的应用水平,寻求适用性和社会效益,充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

创新性:本文件提出了适应不同样品形貌与能谱分析的要点和技巧,规范了电镜分析铸件缺陷的操作流程,保证成像质量和化学分析结果准确性,形成了铸件夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂

物、冷隔、热裂、氮气孔等八种铸件缺陷的综合判定依据。

实用性：可准确判定铸件缺陷类型及产生的原因，指导调整铸造工艺，提高铸件成品率，有效降低内燃机行业铸件废品率，减少资源浪费，提高经济效益。

前瞻性：为内燃机行业铸件的技术进步和发展留有一定的空间，便于日后接轨，具有一定的前瞻性。

通过本次制订，为铸件缺陷检测-电镜分析法的推广应用提供了有力的技术支撑，为铸件缺陷检测提供了依据，对提升铸件质量、经济效益，全面核查铸件质量是非常必要的。

三. 主要内容说明

1. 主要内容

1.1 本标准适用范围

本文件规定了采用电镜法检测内燃机铸件缺陷的检验项目、操作规范和判定依据。

本文件适用于检测并准确判定内燃机缸盖、机体、框架、排气管等铸件夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂物、冷隔、热裂、氮气孔的缺陷类型。

1.2与国内相关标准间的关系

现行的扫描电镜方面的标准有：GB/T 19495-2004《微束分析 扫描电子显微镜 X射线能谱仪定量分析参数的测定方法》、JY/T 0584-2020《扫描电子显微镜分析方法通则》只规定了扫描电镜的分析方法原理和试验方法，没有涉及对铸件缺陷检验项目、操作要点与判定依据等方面内容。《铸件缺陷检测-电镜分析法》标准的制定适用于铸件夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂物、冷隔、热裂、氮气孔等八种铸件缺陷的电镜分析与判断依据，与现行标准不存在技术关联。

1.3 相关国际标准或国外先进标准情况

无。

1.4 对相关国际标准或国外先进标准采用程度的考虑

无。

2 技术要求

2.1 铸件缺陷分类

2.1.1

夹渣 entrapped slag;slag inclusion

因浇注金属液不纯净，或浇注方法和浇注系统不当，由裹在金属液中的熔渣、低熔点化合物及氧化物造成的铸件中夹杂类缺陷。

[来源：GB/T 5611-2017 9.8.5]

注：由于其熔点和密度通常都比金属液低，一般分布在铸件顶面或上部，以及型芯下表面和铸件死角处。断口无光泽呈暗灰色。

2.1.2

缩松 dispersed shrinkage

铸件断面上出现的分散而细小的缩孔。

[来源：GB/T 5611-2017 9.3.10]

2.1.3

气孔 blowhole

铸件内由气体形成的空洞类缺陷。

[来源：GB/T 5611-2017 9.3.2]

注：其表面一般比较光滑，主要呈梨形、圆形和椭圆形。一般不在铸件表面露出，大孔常孤立存在，小孔则成群出现。

2.1.4

砂眼 sand inclusion

铸件内部或表面带有砂粒的孔洞。

[来源：GB/T 5611-2017 9.8.11]

2.1.5

夹杂物 inclusion

铸件内部或表面存在的和基体金属成分不同的质点。

[来源：GB/T 5611-2017 9.8.2]

注：包括渣、砂、涂料层、氧化物、硫化物、硅酸盐等。

2.1.6

冷隔 cold lap; cold shut

在铸件上穿透或不穿透的，边缘呈圆角状的缝隙。

[来源：GB/T 5611-2017 9.4.8]

注：多出现在远离浇口的宽大上表面或薄壁处，金属流汇合处，以及冷铁、芯撑等激冷部位。

2.1.7

热裂 hot tearing

铸件在凝固后期或凝固后在较高温度下形成的裂纹。

[来源：GB/T 5611-2017 9.4.3]

注：其断面严重氧化，无金属光泽，裂口沿晶粒边界产生和发展，外形曲折而不规则。

2.1.8

氮气孔 nitrogen blow hole

铁液中含有过高的氮，在铸件凝固期间，氮的溶解度急剧下降，就会析出氮气，形成氮气孔。

2.2 铸件缺陷判定

依据 a) 形貌特征 b) 铸件缺陷部位的电镜能谱区域分析 c) 铸件缺陷部位的各元素面分布分析 d)

位置及分布综合判定铸件缺陷夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂物、冷隔、热裂、氮气孔类型。

四、主要试验（或验证）情况

4.1 技术验证情况

标准中的铸件缺陷分类及铸件缺陷判定都是通过大量材料成型中心及潍柴集团各铸件供方铸件缺陷分析的 20 多年不断的积累和生产验证，分析结果多次成功指导铸造工艺优化取得良好效果。

从验证的结果可以看出团体标准均符合铸造厂准确判定铸件缺陷类型的实际应用需求。

4.2 应用情况

成功指导潍柴材料成型中心解决国 IV 气缸盖侧壁漏水、WP10 缸盖方孔缺陷等问题，WP12 缸体漏水，确定球铁曲轴表面斑痕为石墨异常呈片状+蠕虫状等铸造工艺改进。

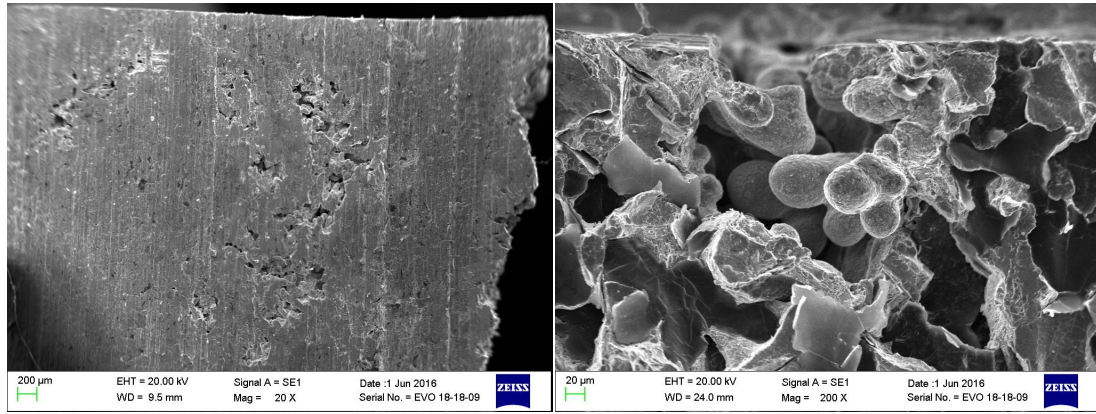
4.2.1 应用案例一：

中件车间生产国 IV 气缸盖侧壁漏水问题严重，包括气道端方孔位置在内，两位置合计漏水率达到 0.8%以上。以下为方孔漏水位置。



国 IV 气缸盖侧壁漏水

电镜分析：送检国IV缸盖方孔漏水缺陷部位，经超声波清洗后放入电镜观察和分析，缺陷处为缩松。



微观形貌

经过分析，导致方孔漏水的原因主要有以下几点：

- 1、某一批次比例较高可能和熔炼铁水成分波动有关。
- 2、浇注系统内浇道的影响。通过对方孔漏水跟踪分析，由于漏水位置离内浇口较近，容易造成局部过热导致缩松
- 3、对方孔缺陷位置进行电镜扫描，经分析为缩松。

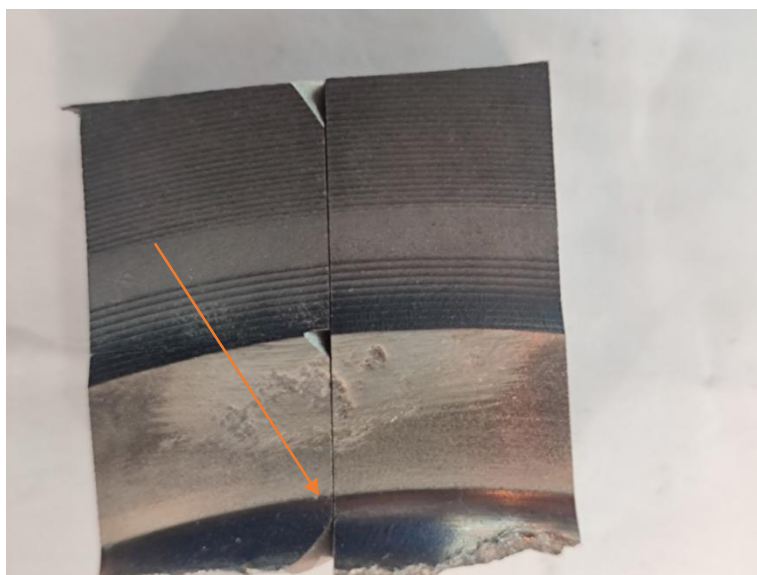
改进措施：

目前已经优化浇注系统，去掉中注内浇口。目前已更改 3 套工装进行验证，6 月 1 日生产，目前已投料生产 1000 件。

5 月份侧壁漏水率为 0.84%；主要为方孔位置漏水；6 月优化工艺后。生产批次 1000 件已经投料加工完毕，未发现出现方孔位置漏水，该批次改善效果明显。

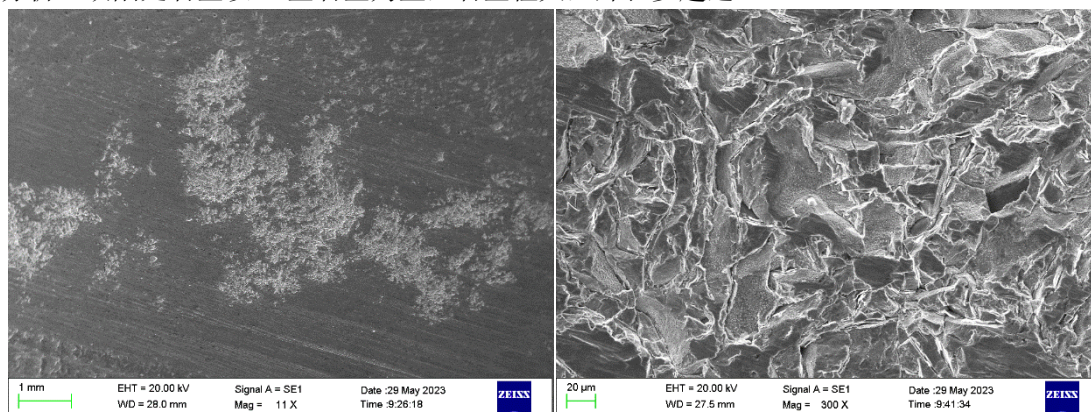
4.2.2 应用案例二：

6170 曲轴加工后在一主轴凸台部位出现肉眼无法分辨的夹杂物缺陷，宏观形貌如下图所示，现需对缺陷处进行全面分析，确定缺陷性质及尺寸，以利后期质量改进。



缺陷处宏观形貌

电镜分析：缺陷处石墨以 A 型石墨为主，石墨粗大，片长多超过 100 μ m。



微观形貌

经分析，6170 曲轴加工后在一主轴凸台部位出现肉眼无法分辨的缺陷，缺陷处经电镜观察和电镜能谱分析、金相石墨检验，缺陷处石墨以 A 型为主，近表面片长 1 级，最深处约 2.7mm。

建议排查缺陷附近相关原料质量及铁水孕育等情况，不限于树脂、涂料硫含量等。

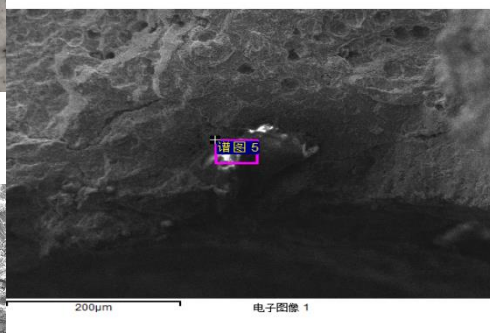
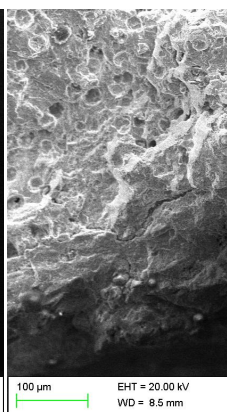
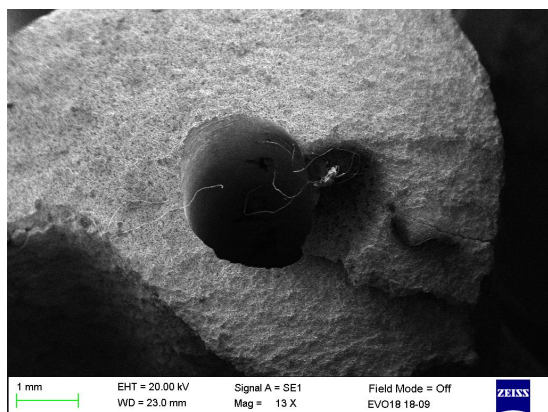
4.2.3 应用案例三：

摇臂断裂。如下图所示。



宏观形貌

电镜分析：断口为弯曲疲劳断裂，疲劳源存在夹砂缺陷。



断口及疲劳源区形貌

谱图处理：

可能被忽略的峰：0.268 keV

处理选项：所有经过分析的元素 (已归一化)

重复次数 = 4

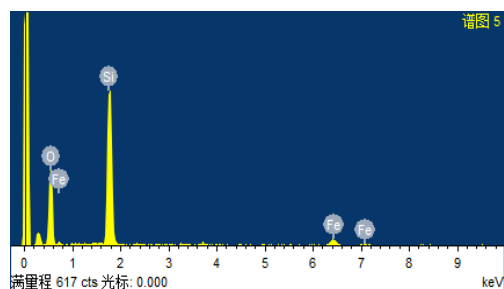
标准样品：

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

元素	重量百分比	原子百分比
O K	55.95	70.62
Si K	37.64	27.06
Fe K	6.41	2.32
总量	100.00	



砂眼处电镜能谱分析结果

经分析，摇臂断裂断口为弯曲疲劳断裂，疲劳源处存在夹砂缺陷，建议提高摇臂铸造质量。

五. 标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

六. 预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

《铸件缺陷检测-电镜分析法》标准的制定，对规范内燃机铸件夹渣、缩松、气孔、砂眼、夹杂物、冷隔、热裂、氮气孔缺陷分析及判定，调整铸造工艺，有效降低内燃机行业铸件废品率。

七. 与国际、国外对比情况

本文件水平为国内先进水平。

八. 在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

九. 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十. 标准性质的建议说明

团体标准。

十一. 贯彻标准的要求和措施建议

一般情况下，建议本标准批准发布 6 个月后实施。

十二. 废止或代替现行相关标准的建议

无。

十三. 其他应予说明的事项

无。

《铸件缺陷检测-电镜分析法》团体标准编制工作组

2024 年 10 月 21 日