

ICS 77.140.75

CCS H 48



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

高端油管用钢超低硫低硼控制规范

Specification for ultra-low sulfur and low boron control of high-grade oil
pipe steel

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 控制原则	1
4.1 总体原则	1
4.2 硫控制原则	2
4.3 硼控制原则	2
4.4 协同控制原则	2
5 控制指标	2
5.1 基本控制指标	2
5.2 分级控制指标	2
5.3 过程控制指标	2
6 冶金过程控制要求	3
6.1 原料控制	3
6.2 脱硫控制	3
6.3 炉外精炼控制	3
6.4 钙处理控制	3
6.5 真空处理控制	3
6.6 硼控制	3
6.7 连铸控制	4
7 控制效果检验	4
7.1 取样方法	4
7.2 硫含量检测	4
7.3 硼含量检测	4
7.4 全氧含量检测	4
7.5 夹杂物检测	4
8 过程质量判定	4
8.1 控制点设置	4
8.2 判定规则	5
8.3 异常处理	5

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

高端油管用钢超低硫低硼控制规范

1 范围

本文件规定了高端油管用钢超低硫低硼控制的控制原则、控制指标、冶金过程控制要求、控制效果检验及过程质量判定。

本文件适用于酸性油气环境（含 H_2S 、 CO_2 等）条件下的高端油管及套管用钢的冶炼与质量控制过程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 223. 6 钢铁及合金 硼含量的测定 中和滴定法和分光光度法
- GB/T 223. 72 钢铁及合金 硫含量的测定 重量法
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
- GB/T 11261 钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法
- GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法
- GB/T 20566 钢及合金术语

3 术语和定义

GB/T 20566界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超低硫 ultra-low sulfur

钢中硫含量控制在0.0020%及以下的水平。

3.2

低硼 low boron

钢中硼含量控制在0.0005%及以下的水平。

3.3

有效硼 effective boron

在钢中以固溶状态存在、可在晶界偏聚并对材料性能产生影响的硼含量。

4 控制原则

4.1 总体原则

高端油管用钢中硫和硼的控制应遵循以下原则：

- a) 应以满足酸性油气环境服役要求为导向，实施硫、硼的协同控制；
- b) 应将成分控制与冶金过程控制相结合，实现稳定、可重复的控制效果；
- c) 应同时控制元素含量及其存在形态，提升钢的洁净度水平；

d) 应通过全过程控制，降低不利组织和有害夹杂物的形成倾向。

4.2 硫控制原则

硫的控制应符合以下要求：

- 应采用超低硫控制策略，降低钢中硫的质量分数；
- 应控制硫化物夹杂的数量、尺寸及分布，抑制长条状硫化物形成；
- 应通过冶金工艺优化，实现硫化物夹杂的形态调控；
- 应减少硫化物在晶界的连续分布。

4.3 硼控制原则

硼的控制应符合以下要求：

- 应控制钢中总硼含量，并重点控制有效硼含量；
- 应抑制硼在晶界的偏聚行为；
- 应防止硼与氮、氧等元素形成稳定化合物；
- 应避免因硼含量或分布不当引起的性能劣化。

4.4 协同控制原则

硫、硼及相关元素的控制应符合以下要求：

- 应协调控制硫、氧、氮等元素含量，降低对硼有效性的影响；
- 应优化钙处理工艺，实现夹杂物改性与元素控制的协同；
- 应减少非金属夹杂物对元素偏聚行为的不利影响；
- 应通过工艺参数优化，实现多元素的综合控制。

5 控制指标

5.1 基本控制指标

高端油管用钢中关键控制元素的含量应符合表1的规定。

表1 基本控制指标

项目	指标要求（质量分数）
硫（S）	≤0.0020%
硼（B）	≤0.0005%
全氧（T[O]）	≤15ppm
氮（N）	≤80ppm

5.2 分级控制指标

根据使用环境及技术要求的不同，硫和硼的控制应分级实施，其指标应符合表2的规定。

表2 分级控制指标

控制等级	硫（S）（质量分数）	硼（B）（质量分数）	适用场景
一级	≤0.0010%	≤0.0003%	高含硫化氢环境或超深井
二级	≤0.0020%	≤0.0005%	常规高端油气井

5.3 过程控制指标

冶炼过程中关键阶段的控制指标应符合表3的规定。

表3 过程控制指标

项目	控制值（质量分数）	控制阶段
硫（S）	≤0.005%	转炉出钢

硫 (S)	≤0.003%	炉外精炼终点
Ca/S	1.5~3.0	钙处理阶段

6 冶金过程控制要求

6.1 原料控制

- 6.1.1 废钢中硫含量不应大于0.010%，不应使用含硼废钢及含硼合金废料，应优先选用自产坯头废钢。
- 6.1.2 铁水中硫含量不应大于0.015%，硼含量不应大于0.0001%，入炉前应进行检测，不符合要求的铁水不可入炉。
- 6.1.3 合金材料中硫含量不应大于0.005%，硼含量不应大于0.0001%，进场前应检测成分纯净度。
- 6.1.4 造渣材料中硫含量不应大于0.005%，且不应含硼化物。

6.2 脱硫控制

- 6.2.1 脱硫过程应采用铁水预处理、转炉造渣及炉外精炼相结合的工艺。
- 6.2.2 铁水预处理：宜采用镁基脱硫工艺，脱硫后铁水中硫含量不应大于0.003%，脱硫时间应为8min~12min，脱硫剂用量应为1.5~3.0kg/t铁水。
- 6.2.3 转炉造渣：应采用高碱度渣系，渣碱度R不应小于3.5，渣中CaO含量不应小于55%，转炉终点钢水中硫含量不应大于0.005%。
- 6.2.4 扒渣控制：铁水预处理及转炉出钢后应严格扒渣，钢液表面渣厚不应大于5mm。

6.3 炉外精炼控制

- 6.3.1 精炼总时间不应少于30min，其中脱硫、脱氧阶段时间不应小于20min，成分均匀化阶段不应少于10min。
- 6.3.2 氩气搅拌：搅拌强度宜为1.0m³/h~1.5m³/h，精炼后期应进行软吹氩处理，时间不应小于10min。
- 6.3.3 脱氧控制：应采用铝或铝-硅锰复合脱氧，精炼终点钢中全氧含量不应大于15ppm。
- 6.3.4 成分检测：精炼过程中应定期取样分析硫、硼含量，并进行过程调整。

6.4 钙处理控制

- 6.4.1 加入时机：钙处理应在真空处理前进行，精炼终点脱氧完成后加入。
- 6.4.2 Ca/S控制：钙处理后Ca/S应控制在1.5~3.0范围内。
- 6.4.3 操作控制：应采用喂线方式加钙，喂线速度为2m/min~3m/min，喂线后软吹氩处理不少于10min。
- 6.4.4 控制目标：应促进MnS夹杂物向球状CaS转变，抑制夹杂物对硼偏聚的影响。

6.5 真空处理控制

- 6.5.1 应采用VD（真空脱气）或RH（真空循环脱气）工艺进行真空脱气，进一步脱气、脱硫。
- 6.5.2 真空度：处理初期真空度不应大于100Pa，处理中期真空度不应大于67Pa，处理末期真空度不应大于30Pa。
- 6.5.3 真空处理时间不应少于15min。
- 6.5.4 真空处理后钢中硫含量应符合5.2的规定。

6.6 硼控制

- 6.6.1 应对硼的来源进行控制，不应无控制引入含硼物料。
- 6.6.2 本文件适用范围内的钢种不应为改善性能而主动加入硼元素。
- 6.6.3 钢中总硼含量应符合5.2的规定。
- 6.6.4 应控制钢中氮和氧含量，以减少硼形成稳定化合物。
- 6.6.5 有效硼含量应符合5.2的规定，计算方法见公式（1）：

$$B_{eff} = B_{total} - B_N - B_O \quad (1)$$

式中：

B_{eff} ——有效硼含量，单位为%；

B_{total} ——钢中总硼含量，单位为%；

B_N ——钢中氮化硼形式存在的硼含量，单位为%；

B_O ——钢中氧化硼形式存在的硼含量，单位为%；

6.7 连铸控制

6.7.1 保护浇注：应采用全程保护浇注，结晶器内采用氩气保护，防止钢液与空气接触发生二次氧化，避免硼的氧化和硫的二次污染；

6.7.2 偏析控制：应控制连铸拉速为1.0m/min~1.5m/min，宜配合电磁搅拌，减少钢液成分偏析，防止硫、硼在晶界聚集。

6.7.3 夹杂物控制：连铸过程中应控制结晶器液面稳定，避免卷渣，减少夹杂物进入铸坯，铸坯中非金属夹杂物符合应GB/T 10561中1级要求；

6.7.4 铸坯检测：每炉铸坯应取样3点分析硫、硼含量，铸坯硫、硼含量应符合成品控制指标，不合格铸坯不可进入下一工序。

7 控制效果检验

7.1 取样方法

应按照GB/T 20066的规定进行取样，具体要求如下：

a) 取样部位：铁水预处理后、转炉出钢后、精炼终点、真空处理后、连铸铸坯及成品钢材，均需在钢液或钢材代表性部位取样；

b) 取样数量：每炉次每个控制节点取样不应少于2个；

c) 样品处理：取样后应及时加工，去除表面氧化皮、夹杂物，样品应纯净，避免污染影响检测结果，样品加工后应立即送检。

7.2 硫含量检测

应按照GB/T 223.72的规定进行，具体要求如下：

a) 检测精度：硫含量不大于0.0010%时，检测误差不应大于±0.0001%；硫含量为0.0010%~0.0020%时，检测误差不应大于±0.0002%；

b) 平行检测：每个样品进行2次平行检测，两次检测结果偏差不应大于0.0002%，取平均值作为最终检测结果。

7.3 硼含量检测

应按照GB/T 223.6的规定进行，具体要求如下：

a) 检测精度：硼含量不大于0.0003%时，检测误差不应大于±0.00005%；硼含量为0.0003%~0.0005%时，检测误差不应大于±0.0001%；

b) 干扰消除：检测过程应消除钢中其他元素（如铝、钛）的干扰。

7.4 全氧含量检测

应按照GB/T 11261的规定进行，每个样品进行2次平行检测，两次检测结果偏差不应大于2ppm，取平均值作为最终检测结果。

7.5 夹杂物检测

应按照GB/T 10561的规定，采用显微检验法检测钢中非金属夹杂物，重点检测硫化物夹杂物的含量、形态及分布。

8 过程质量判定

8.1 控制点设置

应在高端油管用钢冶炼过程中设置关键控制点，主要控制点包括：

- a) 出钢阶段：转炉出钢、炉外精炼前钢液指标；
- b) 精炼阶段：炉外精炼终点、钙处理及真空处理阶段钢液指标；
- c) 连铸阶段：铸坯浇注、结晶器液面及铸坯取样检测阶段。

8.2 判定规则

- 8.2.1 过程质量判定应依据第5章的规定进行。
- 8.2.2 当任一关键控制指标在指定控制点超出第5章规定范围时，应判定该炉次过程质量不符合要求。
- 8.2.3 本判定仅用于过程质量评价和工艺监督，不作为产品最终合格与否的判定依据。
- 8.2.4 判定结果应形成过程质量记录，并用于分析工艺波动、操作偏差及原料问题。

8.3 异常处理

8.3.1 硫含量异常

处理措施如下：

- a) 当钢液或铸坯硫含量超出第5章规定时，应立即分析脱硫环节工艺参数，包括铁水预处理、转炉造渣及炉外精炼操作情况；
- b) 必要时可采取再脱硫或炉外精炼调整措施。

8.3.2 硼含量异常

处理措施如下：

- a) 当钢液或铸坯硼含量偏高或偏低时，应分析硼来源，包括原料、废钢、合金及造渣材料，排查无控制硼引入；
- b) 根据分析结果调整原料采购策略或工艺参数。

8.3.3 全氧或氮含量异常

当炉外精炼或真空处理后钢液全氧（T[O]）或氮（N）含量超标时，应分析脱氧、氩气搅拌和真空处理工艺，采取调整措施，包括延长精炼时间、增加软吹氩或优化脱氧合金添加。

8.3.4 夹杂物等级异常

当铸坯非金属夹杂物等级高于GB/T 10561中的1级时，应分析钙处理、精炼搅拌及连铸拉速，采取工艺调整或重铸措施，降低夹杂物偏聚风险。

8.3.5 处理记录

所有异常处理措施应记录在案，形成过程质量追溯资料，用于持续改进和工艺优化。