

# 国家标准《球墨铸铁金相检验》解读

洪晓先<sup>1,2</sup>, 杨力<sup>3</sup>, 孙国雄<sup>4</sup>

(1. 东风汽车有限公司工艺研究所, 湖北十堰 442001; 2. 湖北汽车工业学院材料工程系, 湖北十堰 442001; 3. 上海材料研究所, 上海 200437; 4. 东南大学, 江苏南京 210096)

## 1 标准的历史概况

我国最早的球墨铸铁金相检验标准是 JB 1802—1976《稀土镁球墨铸铁金相检验》，1988 年在此基础上修订，形成国家标准 GB/T 9441—1988《球墨铸铁金相检验》。20 多年来，《球墨铸铁金相检验》标准在球墨铸铁金相检验中成为评定、对比的权威性规定和判据。随着我国对外交往业务加大，以及国外大量铸造企业进入我国，GB/T 9441—1988《球墨铸铁金相检验》国家标准与 ISO 标准及其他国外标准的差异日显突出，经常造成供需双方在金相检验结果判定上出现分歧，给中国企业带来诸多不利。

原国标的问题主要表现为：在球化率的判定上与国际和国外标准采用了不同的方法，判定结果也明显不同，经常出现同一个试样按 GB/T 9441—1988 判定的球化率比用国际标准判定的球化率偏低，容易出现误导、误判，对中国企业不利。基于多年应用中出现的情况和铸造专家、企业的意见，GB/T 9441—2009《球墨铸铁金相检验》等同采用 ISO 945-1: 2008，吸取 ASTM A247—2006 标准的精华，考虑到国内应用习惯，保留了 GB/T 9441—1988 中的评级对比图片，以达到简要、清晰、合理的效果，符合国内的表述、理解和应用习惯。

受全国铸造标准化技术委员会的委托，上海材料研究所负责本标准的起草。标准起草单位调研、查阅和收集国内外相关标准，研究确定了标准修订方案，提出《球墨铸铁金相检验》标准草案。标准起草工作组组成单位：东南大学、佛山中天创展球铁有限公司、无锡一汽铸造有限公司、沈阳铸造研究所、东风汽车有限公司工艺研究所、一汽铸造有限公司铸造研究所、安徽省机械科学研究所等对草案提出了诸多有益的修改意见和建议。在此基础上对国内更广泛的使用单位征求意见，对《灰铸铁金相检验》标准草案稿作进一步修改和补充，形成征求意见稿，再发至行业各相关单位及专家征集意见。经几个循环的征求意见、修改、汇总、讨论再修改，最后形成标准送审稿。

全国铸造标准化技术委员会铸铁分技术委员会于 2008 年 4 月 12—17 日在云南省昆明市召开《球墨铸铁金相检验》国家标准审查会，与会专家一致要求

对标准送审稿作进一步修改。根据审查会提出的修改意见，起草工作组对标准送审稿再次进行了修改。2008 年向行业内 20 多家企业及专家发函审查，根据各专家的函审意见和铸铁分技术委员会的会审，通过此项标准。2009 年 3 月报国家标准化管理委员会批准发布。

本标准为推荐性国家标准。

## 2 新标准主要修订内容

### 2.1 等同采用 ISO 945: 2008 标准，保留 GB/T 9441—1988 的基体评级图

国际及国外标准关于铸铁的金相检验所涵盖的内容是所有铸铁件，而这些标准中仅对石墨的形态和分布、石墨大小作了规定，没有基体组织的评级图。因铸铁标准是按类别划分，所以一直以来我国的铸铁金相检验标准也是按照铸铁的种类、工艺划分为不同铸铁金相检验标准，这种对应性划分的优点是方便、直观、内容全面，但与国际标准有所不同。鉴于此，考虑到原国标已使用 20 余年，且被广大用户熟悉，本次标准的修订中，以 ISO 945-1: 2008 标准及 GB/T 9441—1988 标准为基础进行修订。新版标准中既有和国际标准一致的石墨形态和分布、石墨大小尺寸外，也保留了 GB/T 9441—1988 中有中国特色的基体显微组织评级图，以方便应用。

### 2.2 改用计数法评定球化率分级

国际、国外标准采用计数法评定球墨铸铁中球状石墨的球化率，计数法简单、直观、方便，而原国标石墨球化率评级采用的是球状系数法，为了更精准、贴切地反映石墨圆整度，球状系数法采用的测定计算方法较为复杂麻烦，两种方法各有特点，但必须二选一，从采标角度看，与国际标准接轨应改用计数法。随着对外交往的增加，经常出现同一样品国内外球化率评定结果不一样的现象，球状系数法评定的球化率往往比计数法低 5%~10%，对中国企业不利，所以从实用性角度看也应该改用计数法。改用计数法评定球化率是新标准的最重大修改，并把球化率的计算方法内容从附录移到正文中。

### 2.3 删除了珠光体片间距内容

珠光体片间距测试对样品制备要求高、耗时长，片间距大小主要取决于铸件冷速和元素含量。因实际生产中使用极少，在同等情况下珠光体片间距变化不大，故本次修订中删除。

#### 2.4 规范检测操作要求

球状石墨评定是球墨铸铁金相检验的关键指标，新标准对受检视场直径、石墨大小与放大倍数调整、最少石墨个数和有效石墨等作了较详细的规定，减小操作误差。

#### 2.5 增加用图像分析软件评定的内容

应用图像分析软件检测球化率、石墨个数、尺寸大小等项目快捷、准确。图像分析技术和数码图片已被工程界广泛应用，金相检验方法也应该适应和利用信息技术的发展成果。

#### 2.6 增加石墨球数检测

单位面积中的石墨球个数，可以反映材质共晶团细化程度，对强度、韧性要求较高的球铁件显得尤为重要。近些年来，石墨球个数已经在高端球铁件订货要求中采用。新标准规定了石墨球个数的检测和计算方法。

#### 2.6 增加了检验结果的表示

(1) 强调球化率评定以三个球化率差的视场测量结果的平均值表示。

(2) 强调球化率评定不允许跨级评定。

(3) 对检验结果的表示符号和用法作了规定，使检验结果更清晰、规范。

#### 2.7 增加了检验报告内容的要求

规定检验报告应包括6个方面内容，即标准号、样品的名称及特征描述、测定方法、检验结果、检验报告编号和日期、试验员。规范检验报告格式，体现严肃性和严谨性。

### 3 新标准的应用

#### 3.1 计数法评定球化率

计数法是一种非常简单的百分比计算方法，具体做法是首先对评定对象作定义，对球铁中的石墨球化率，国际标准定义球状石墨和团状石墨算作球状石墨（即标准中的VI型、V型石墨）。然后在规定倍数的视场中检查总石墨个数是否满足最小统计数目要求，在满足要求的前提下，对球状和团状石墨计数，两者之和除以该视场中的总石墨个数，得到的百分比即为球化率。

#### 3.2 为什么用计数法

计数法计算球化率简单方便、一目了然，而计数法和球状系数法哪种方法更准确，更贴近于球化率的本意，属学术上的争议，而采标与国际标准接轨是大原则，况且球状系数法对中国企业不利，所以新国标

采用了计数法。随着球铁技术的进步和用户性能要求的提高，合格球铁件一般不允许有I、II型石墨，III型石墨也比较少，计数法使用起来更方便。此外，评级图不可能包罗万象，计数法能较好地解决视场中有畸变石墨、开花状石墨的评定等问题。

ISO 945-1: 2008国际标准定义的V型和VI型石墨如图1所示。

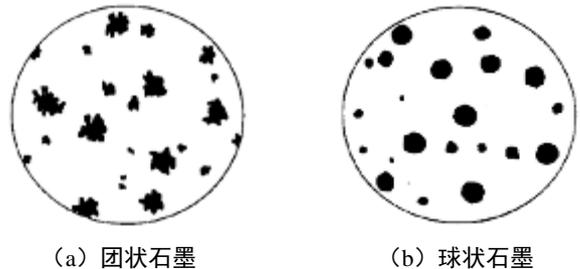


图1 ISO 945-1: 2008 国际标准定义的V型和VI型石墨

#### 3.3 更换了球化率分级图

因为两种计算方法的评定结果有差异，特别是球化率为3级和4级时的差异明显，而3级和4级又通常是材质验收的临界点，新标准以计数法结果为准，更换了原国标的球化率分级图，删除了原标准表1中的球化分级说明。

#### 3.4 基体组织的百分比评级

基体组织的百分比评级图是指去掉石墨、碳化物和磷共晶等其他相所占面积后的百分比，也就是按珠光体+铁素体=100%来评定的，珠光体量和铁素体量是指占这个总量的百分数。

#### 3.5 检验结果表示

(1) 强调球化率评定结果为三个球化率差的视场的平均值。

(2) 强调球化率评定结果不论用级别还是百分比(%)表示，都只能评为某个级别，不允许跨级。如球化级别：2-3级，或球化率：70%~80%，都属跨级评定，是不允许的。从这个意义上讲，球化级别是指检测样品最差视场的最差球化级别，不是指上下限范围。目前国内还是普遍习惯用跨级方式评定级别或球化率，这方面的宣传、贯彻还需加大力度。

为使读者更好地了解新、老国标的差异，本文将新、老标准两种评定方法的差异细节归纳于附录，供读者参考。

### 4 球化率评定中球状系数法与计数法的差异

#### 4.1 球状系数定义

$$\text{单颗石墨的面积率} = \frac{\text{石墨的实际面积}}{\text{石墨的最小外接圆面积}}$$

将视场中每颗石墨的面积率对照表1换算成每颗石墨的球状修正系数。

单颗石墨的面积率属于理论计算值，人工无法操作。通常是对照图1赋值。

球状系数为根据单颗石墨的面积率大小，赋予其修正系数。

球状石墨面积	≥0.81	0.08~0.61	0.60~0.41	0.40~0.21	≤0.20
球状修正系数	1.0	0.8	0.6	0.3	0
石墨分类	球状	团状	絮状	蠕虫状	片状

#### 4.2 球状系数法的球化率定义

球化率计算公式如下。

表1 球状石墨面积与球状修正系数的换算关系

$$\text{球化率} = \frac{1 \times n_{1.0} + 0.8 \times n_{0.8} + 0.6 \times n_{0.6} + 0.3 \times n_{0.3} + 0 \times n_0}{n_{1.0} + n_{0.8} + n_{0.6} + n_{0.3} + n_0} \times 100\%$$

式中： $n_{1.0}$ 、 $n_{0.8}$ 、 $n_{0.6}$ 、 $n_{0.3}$ 、 $n_0$  分别表示 5 种球状修正系数的石墨颗数。

球状石墨										
面积率	0.98	0.96	0.94	0.90	0.88	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81
团状石墨										
面积率	0.80	0.78	0.75	0.73	0.71	0.68	0.67	0.65	0.63	0.61
团絮状石墨										
面积率	0.60	0.58	0.55	0.53	0.50	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41
蠕虫状石墨										
面积率	0.40	0.38	0.37	0.35	0.33	0.32	0.28	0.26	0.25	0.21
蠕虫状和片状石墨										
面积率	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.10	0.08	0.07	0.05

图1 石墨面积率对照图

球化率，即观察视场中5种不同形状的石墨颗数分别乘以对应的球状修正系数，求和后除以五种球状修正系数的石墨颗数之和。

#### 4.3 球状系数法和计数法对球化率在定义上的差异

由上述分析可知，球状系数法定义的球化率是“给定视场中石墨的平均圆度”。计数法定义的球化率

是“给定视场中球状+团状石墨所占的百分比”。这就是说，因定义上的差异导致评定结果的不同。

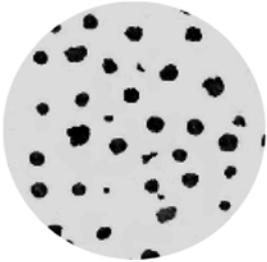
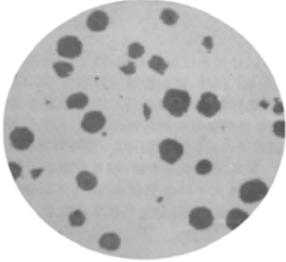
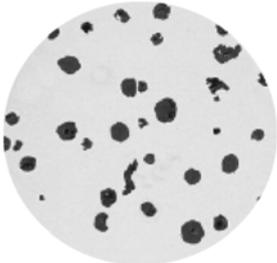
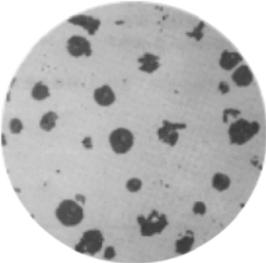
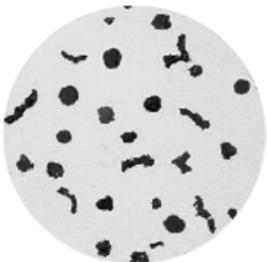
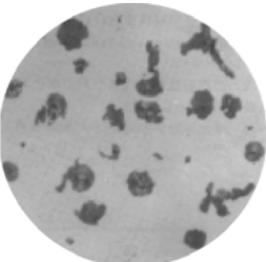
#### 4.4 两种计算方法评定结果对比

新、老标准球化率评级图对比如表2所示。

从图2中可以看出，球化级别为3级和4级时两者出现明显差异，这正好处于通常验收的临界点。

附表2 新、老标准球化率评级图的对比

GB/T 9441—2009 标准评级图	计数法	GB/T 9441—1988 标准评级图	球状系数法
	球化率 1级 ≥95%		球化率 1级 ≥95%

	球化率 2级 90%		球化率 2级 90%
	球化率 3级 80%		球化率 3级 80%
	球化率 4级 70%		球化率 4级 70%