

3 与 JB/T 4403 和 JB/T 3829 的差异

3.1 牌号设置

考虑到单铸试块、附铸试块的结晶及冷却条件对力学性能的影响，同时考虑到修改采用 ISO 16112: 2006, GB/T 26656—2011 将蠕墨铸铁的牌号分为单铸试块力学性能与附铸试块力学性能。对附铸试块尺寸与铸件壁厚的关系作了规定，同时对铸件壁厚与力学性能的关系作了规定。这样的变化更符合实际铸件的情况，更合理。

牌号的力学性能全部采用 ISO 16112: 2006, 即 RuT 300、RuT 350、RuT 400、RuT 450、RuT 500。

3.2 蠕化率的设置

包括 ISO 16112: 2006 在内的欧美国家标准中，大多数将蠕墨铸铁的蠕化率定在 80% 及以上。GB/T 26656—2011 也将蠕墨铸铁蠕化率定在 80% 及以上，且明确规定其余 20% 为球状石墨或团状石墨，不允许有片状石墨。在标准的调研过程中，大多数汽车零部件生产厂及科研单位都认为出现片状石墨，其铸件的力学性能明显下降。试验验证的结果也证明这一点。

80% 蠕化率是争议最大的指标。定 80% 的蠕化率是与国际接轨的要求，也是蠕墨铸铁在内燃机零部件上推广应用的需要。实践证明，随着近几年蠕墨铸铁生产技术的引进、开发，达到 80% 蠕化率是完全可以实现的。

但是，考虑到国际标准中所说的蠕化率是指蠕墨铸铁[Compacted/Vermicular graphite cast irons]的蠕化率，而 GB/T 26656—2011 所说的蠕化率是指蠕墨铸铁件[Compacted/Vermicular graphite iron castings]。具体到铸件，随着壁厚的差别及用途的不同，其蠕化率也是不同的。因此 GB/T 26656—2011 规定“由于铸件的复杂性，蠕墨铸铁件应根据工况、服役条件，由供需双方商定蠕化率（不小于 50%）”。

3.3 力学性能的提高

与 JB/T 4403—1999 比，GB/T 26656—2011 普遍将每个牌号的力学性能提高了 40~80 MPa，是否符合中国国情？为此，起草小组进行了充分的试验验证和广泛的调研。

试验结果为：在极端蠕化率（≥95%）条件下，合理设计化学成分与原材料质量，是完全可以达到力学性能的，而且重现性很好。

3.4 蠕化率的检验

JB/T 3829—1999 规定，蠕化率在显微镜下放大 100 倍，对照金相图片评定，分为 9 级（蠕 95、蠕 85、蠕 75、蠕 65、蠕 55、蠕 45、蠕 35、蠕 25、蠕 15）。

这种方法实用，但人为因素影响较大，如有争议或需要比较精确的评定蠕化率时，适用性就差了，也不利于计算机金相评定。

GB/T 26656—2011 规定用算法测定蠕化率，如公式（1）。

$$\text{蠕化率} = \frac{\sum A_{\text{蠕虫状石墨}} + 0.5 \sum A_{\text{团状、团絮状石墨}}}{\sum A_{\text{每个石墨}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $A_{\text{蠕虫状石墨}}$ 为蠕虫状石墨颗粒的面积（圆形系数 RSF 为 <0.525）， $A_{\text{团状、团絮状石墨}}$ 为团状、团絮状石墨颗粒的面积（圆形系数 RSF 为 0.525~0.625）， $A_{\text{每个石墨}}$ 为每个石墨颗粒（最大中心长度 ≥10 μm）的面积。

且规定了视场的选取和视场内石墨颗粒的选取规则，这样就可以用金相图像分析仪精确地检验铸件的蠕化率；同时也实现了与国际接轨。

在充分考虑标准的实用性后，将蠕化率级别图片由 JB/T 3829—1999 的 9 级，每级差蠕化率相差 10% 改为 GB/T 26656—2011 的 8 个级差，蠕化率 ≥80% 时蠕化率每级差相差 5%，及蠕化率 <80% ~ ≥40% 时蠕化率每级相差 10%，更适用于实际操作。

3.5 资料性附录

GB/T 26656—2011 增加了两个资料性附录，附录 A 石墨分类与附录 C 蠕墨铸铁蠕化率的测定。将 JB/T 3829—1999 标准中 2.2 条“蠕虫状石墨的三维状态”变为资料性附录 B 石墨形态。

4 单铸试块与附铸试块力学性能

标准充分考虑了铸件的壁厚对附铸试块的力学性能的影响，更符合生产实际。

当蠕化率 ≥90% 时，RuT450 与 RuT500 铸态不添加促进珠光体合金元素条件下达到所规定的力学性能有一定的困难。建议添加促进珠光体合金元素或正火、回火热处理。特别是 RuT500 既添加合金，同时又进行正火、回火及热处理。

表 3 单铸试样力学性能

牌号	R_m /MPa (min)	$R_{p0.2}$ /MPa (min)	A / % (min)	典型布氏硬度 HBW	主要基体组织
RuT300	300	210	2.0	140~210	铁素体
RuT350	350	245	1.5	160~220	铁素体+珠光体
RuT400	400	280	1.0	180~240	珠光体+铁素体
RuT450	450	315	1.0	200~250	珠光体
RuT500	500	350	0.5	220~260	珠光体

布氏硬度（指导值）仅供参考。

表4 附铸试样的力学性能

牌号	主要壁厚 t/mm	R_m/MPa (min)	$R_{p0.2}/MPa$ (min)	$A/\%$ (min)	典型布氏硬度 HBW	主要基体组织
RuT300A	$t \leq 12.5$	300	210	2.0	140~210	铁素体
	$12.5 < t \leq 30$	300	210	2.0	140~210	
	$30 < t \leq 60$	275	195	2.0	140~210	
	$60 < t \leq 120$	250	175	2.0	140~210	
RuT350A	$t \leq 12.5$	350	245	1.5	160~220	铁素体+珠光体
	$12.5 < t \leq 30$	350	245	1.5	160~220	
	$30 < t \leq 60$	325	230	1.5	160~220	
	$60 < t \leq 120$	300	210	1.5	160~220	
RuT400A	$t \leq 12.5$	400	280	1.0	180~240	珠光体+铁素体
	$12.5 < t \leq 30$	400	280	1.0	180~240	
	$30 < t \leq 60$	375	260	1.0	180~240	
	$60 < t \leq 120$	325	230	1.0	180~240	
RuT450A	$t \leq 12.5$	450	315	1.0	200~250	珠光体
	$12.5 < t \leq 30$	450	315	1.0	200~250	
	$30 < t \leq 60$	400	280	1.0	200~250	
	$60 < t \leq 120$	375	260	1.0	200~250	
RuT500A	$t \leq 12.5$	500	350	0.5	220~260	珠光体
	$12.5 < t \leq 30$	500	350	0.5	220~260	
	$30 < t \leq 60$	450	315	0.5	220~260	
	$60 < t \leq 120$	400	280	0.5	220~260	

采用附铸试块时，牌号后加字母“A”。

从附铸试样测得的力学性能并不能准确地反映铸件本体的力学性能，但与单铸试棒上测得的值相比更接近于铸件的实际性能值。

力学性能随铸件结构（形状）和冷却条件而变化，随铸件断面厚度增加而相应降低。

布氏硬度值仅供参考。

5 GB/T 26655—2011 的资料性附录

附录 A《蠕墨铸铁力学和物理性能》较详细列举了蠕墨铸铁的物理性能和力学性能，同时列出了温度对这些性能的影响，给机械设计人员提供了设计参考依据。

随着工业的发展，对蠕墨铸铁机加工性能的要求越来越严格。主要包括：切削速度、刀具寿命、机加

工的尺寸及形位公差精度。因此，增加附录 B《工艺因素对蠕墨铸铁机加工性能的影响》，以引起铸造工程技术人员注意。

6 推广应用

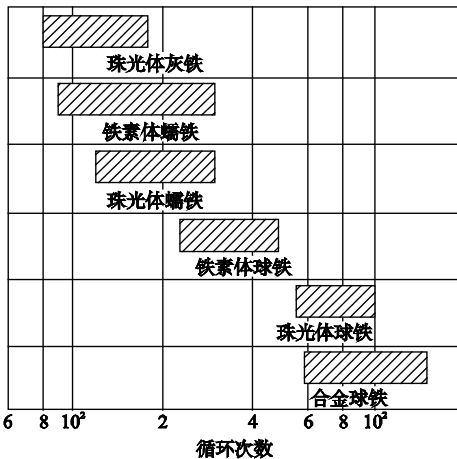
由于蠕墨铸铁力学性能独特，在汽车、内燃机、焦炉护炉铁件、钢锭模、铝锭模、玻璃模具等方面有很大的推广应用空间，如表 5 所示。

表 5 蠕墨铸铁的性能特点和典型应用举例

材料牌号	性能特点	应用举例
RuT300	强度低，塑性高；高的热导率和低的弹性模量；热应力积聚小；铁素体基体为主，长时间置于高温之中引起的生长小。	排气歧管；大功率船用、机车、汽车和固定式内燃机缸盖；增压器壳体；纺织机、农机零件。
RuT350	与合金灰铸铁比较，有较高强度并有一定的塑性；与球铁比较，有较好的铸造、机加工性能和较高工艺出品率。	机床底座；托架和联轴器；大功率船用、机车、汽车和固定式内燃机缸盖；钢锭模、铝锭模；焦化炉炉门、门框、保护板、桥管阀体、装煤孔盖座；变速箱体；液压件。
RuT400	有综合的强度、刚性和热导率性能；较好的耐磨性。	内燃机的缸体和缸盖；机床底座，托架和联轴器；载重卡车制动鼓、机车车辆制动盘；泵壳和液压件；钢锭模、铝锭模、玻璃模具。

RuT450	比 RuT400 有更高的强度、刚性和耐磨性，不过切削性稍差。	汽车内燃机缸体和缸盖；气缸套；载重卡车制动盘；泵壳和液压件；玻璃模具；活塞环。
RuT500	强度高，塑性低；耐磨性最好，切削性差。	高负荷内燃机缸体；气缸套。

(1) 在焦炉护炉铁件（炉门、炉框、保护板）上的应用。由于蠕墨铸铁的导热性优于球铁，在冷热交变应力条件下体积稳定性优于球铁，抗热疲劳强度大大优于灰铸铁（见图 1）。用蠕铁制作焦炉的护炉铁件是最佳选择。



铸铁在 650 °C 和 20 °C 之间产生裂纹的循环次数

图1 各种铸铁产生热疲劳裂纹的热循环次数^[2]

实践证明，用蠕墨铸铁制造焦炉的护炉铁件，其寿命比耐热灰铸铁提高 1~2 倍，比球铁提高 50%。

(2) 在钢锭模上的应用。随着钢铁行业连铸连轧短流程的普及，钢锭模的需求量急剧减少。目前，只有特钢及锻造厂需要钢锭，钢锭模的用量可想而知。

根据冷却方式（水冷、风冷）不同，国外及国内大多数大型钢铁企业选用球铁材质的钢锭模，以及用高炉铁液直接浇注的灰铸铁钢锭模，也有部分企业用蠕墨铸铁钢锭模。

铝锭模、玻璃模具。由于这两种模具要求导热性以及抗热疲劳性能要好。因此应采用蠕墨铸铁材质，其模具寿命较灰铸铁可提高近 1 倍。但其化学成分要适当调整，严格控制组织偏析。

(3) 在铁路机车、风电、汽车等制动系统上的应用。制动系统对铸铁材质的要求是：导热性要好，具备一定的力学性能，尤其是抗热疲劳性能与耐磨性要好。如表 6、图 2、图 3 所示^[3-4]。由于蠕墨铸铁在这些方面性能优良，在制动系统上的推广应用正在迅速增加。

(4) 在内燃机上的应用。主要是缸体、缸盖、排气管、活塞、活塞环、增压器壳体。由于蠕墨铸铁具有冷热交变应力时体积稳定性及导热性比球铁好，抗热疲劳性能、力学性能及铸造性能比高强度灰铸铁

好得多。因此，其在内燃机上的应用突飞猛进。特别是 Sinter Cast 等公司控制蠕化率技术推广以来，在西方工业发达国家内燃机上的应用，已经得到长足的发展。国内除了原无锡柴油机厂、二七机床车辆厂、大连柴油机厂、资阳机车厂、山东汶上精良机械厂等生产蠕墨铸铁缸盖外，一些企业也开始进行蠕墨铸铁在发动机缸体上的应用研究，天津伟祥工业有限公司几年前引进了国外 Sinter Cast“二步法”处理技术与装备，开发生产蠕墨铸铁件。一汽铸造有限公司、山东潍柴动力股份有限公司等，最近也在发动机铸件上进行蠕墨铸铁的相关试验研究^[1]。蠕墨铸铁在内燃机上的应用，可以有效降低内燃机的单位功率重量，提高其刚度，减少其尺寸，在一定程度上可实现行业节能减排。

表6 各种铸铁的导热系数

	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	700 °C	900 °C
HT25-47	0.131	0.121	0.113	0.105	0.098	0.086	0.089
蠕铁（球10%）	0.096	0.098	0.097	0.094	0.086	0.065	0.059
球铁	0.068	0.069	0.070	0.068	0.065	0.066	0.042

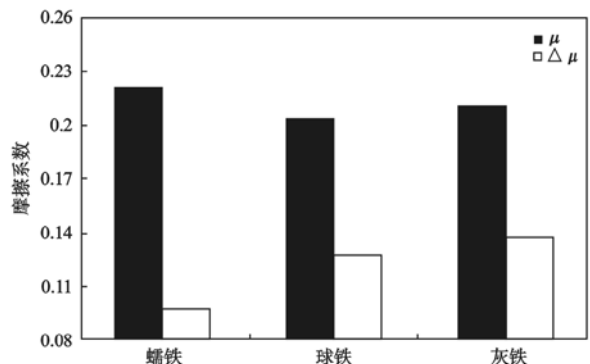


图2 不同形态石墨铸铁销试样的平均摩擦系数与摩擦系数衰减量

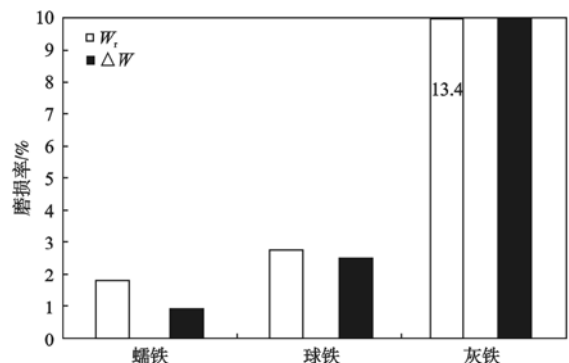


图3 不同形态石墨铸铁销试样的平均磨损率与磨损率增加量

(5) 在机床特别是大型精密机床的应用。过去多少年来，阻碍蠕墨铸铁在机床上应用的理由：蠕墨

铸铁的减振性比灰口铸铁差。近年来，国外工业发达国家在减振性对机床精度的影响方面有了新的认识，开始采用焊接件制作机床部件。如日本三菱重工机床事业部、新日本工机等生产的大型精密五轴联动数控加工中心的床身、工作台、立柱、滑枕等大都用焊接件，主要原因是高强度灰口铸铁铸造性能较差，成本相对高。

用蠕墨铸铁生产机床部件具有优良的铸造性能，比灰铸铁力学性能稳定，比焊接件减振性优良，能够减少机床重量，降低机床的生产成本。因此，具有广泛的推广应用前景。

(6) 在其他领域的应用。蠕墨铸铁在液压件、纺织机件、机器机座、变速器壳体等领域具有广阔的

推广应用空间。

蠕墨铸铁两项国家标准的发布实施，必将极大地促进我国蠕墨铸铁生产应用的发展。

参考文献：

- [1] 张忠仇, 吴现龙, 王拓. 蠕墨铸铁新国家标准介绍[J]. 现代铸铁, 2012(1): 15-18.
- [2] Walton C F, Opar T J. 铸铁件手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987: 243.
- [3] 何祚芝. 蠕墨铸铁的导热性能[J]. 稀土蠕墨铸铁, 1988.
- [4] 陈跃, 张永振. 蠕墨铸铁的干滑动摩擦学特性[J]. 现代铸铁, 2006(1): 42-49.