

国家标准《球墨铸铁件》解读

陈永成¹, 张寅²

(1.佛山市顺德区中天创展球墨铸铁有限公司, 广东佛山 528313;

2.沈阳铸造研研研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022)

1 标准的历史概况及修订的必要性

GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》标准的颁布是铸造行业的一件意义深远的大事。自原标准 GB/T 1348-1988 版推出以来, 经历了整整 20 个年头, 球墨铸铁无论在工艺技术或生产规模方面都发生了日新月异的变化, 各行各业对球铁件, 特别是高性能球铁件的需求量日益增长。本次修订主要源于: 其一, 原标准因其历史局限性已不能适应球铁件生产需要; 其二, 中国加入 WTO 后, 国际地位和国际贸易量迅速上升, 国家标准与国际标准接轨是大势所趋; 其三, 为适应市场经济要求, 技术标准应从以前的产品性标准向贸易性标准转变, 以提高标准的市场适应性。

国际标准化组织在 2004 年 7 月 15 日发布了 ISO 1083: 2004《球墨铸铁 分类》, 以适应世界范围内的球铁新材料应用的特点。为了与国际标准接轨, 需要修订 GB/T 1348—1988《球墨铸铁件》, 由全国铸造标准化技术委员会归口负责组织实施, 作为推荐性国家标准之中的铸造基础性标准之一。

我国从 1950 年起就开始生产球墨铸铁, 最初作为一种新型的工程结构材料得到快速发展, 但直到 1964 年才制定了机械工业部标准 JB/T 298—1964, 基本上是照搬前苏联的模式。1978 年发布了国家标准 GB/T 1348—1978, 1988 年修订为 GB/T 1348—1988, 该标准等同采用了国际标准 ISO 1093: 1985。随着 ISO 1083: 2004《球墨铸铁 分类》的出版发布, 对 GB/T 1348—1988《球墨铸铁件》的修订已势在必行。按照积极靠拢国际标准的指导思想, 在原标准 GB/T 1348—1988 的基础上, 本标准的结构、层次和内容等同采用 ISO 1083: 2004 标准, 但对在 GB/T 1348—1988 标准中有而在 ISO 1083: 2004 标准中没有的适用内容予以保留。

GB/T 1348—2008《球墨铸铁件》标准中规定的各项指标和要求能够适应和满足国内球铁行业当前的需要。从结构到内容上反映新颖、实用, 可操作性强。它不仅是产品质量验收的依据, 对铸件采购和对外贸易交流提供指导, 而且对工程技术人员在铸件设计、材质经济选用方面可作为参考依据。球铁生产企业要达到稳定生产本标准所列的各牌号球墨铸铁件,

满足力学、物理性能和有关技术指标要求, 必须要强化质量管理, 采用先进铸造工艺技术, 加强检验和试验, 从而提高球铁件的生产和应用水平。另外本标准的颁发, 对明晰以前一些含糊不清的概念, 解决生产实践中存在的问题以及供需双方由于对原标准理解不一而产生的纷争和冲突, 一致确定验收准则、试验方法和交付条件, 作用十分重要。因此, 学习、理解、实施新的 GB/T 1348—2008《球墨铸铁件》标准, 对我国这样一个球墨铸铁件生产大国来说, 所产生的积极意义和推动作用是不可低估的。

2 主要内容说明

2.1 适用范围

本标准适用于砂型或导热性与砂型相当的铸型中铸造的普通和低合金球墨铸铁件, 而对于用特种铸造方法生产的或有规定应用的球墨铸铁件可参照使用, 因此在适用范围方面有更大的灵活性。如球墨铸铁管及管件, 已另有国家标准 (GB/T 13295—2003); 应用广泛的某些高合金特种球墨铸铁件, 也有相应的国家标准, 例如硅系和铝系耐热球墨铸铁, 纳入耐热铸铁标准 (GB/T 9437—1988); 上述标准都不与本标准重叠, 但可参照使用本标准的若干条款。此外, 其他行业已制定或将制定其领域所应用的球墨铸铁件标准, 如汽车、机床、柴油机、电梯、泵阀、风电行业等, 在 GB/T 1348 标准的基础上进一步补充和完善球墨铸铁标准体系。对于国外早有应用的高合金化奥氏体球墨铸铁和近年发展很快的等温淬火球墨铸铁 (ADI), 其内容不包括在本标准内。因此, 本标准可以看作是球铁件的基础性标准, 特别是以力学性能作为主要验收依据的球铁件的基础性标准。

2.2 规范性引用文件

本标准增加规范性引用文件, 列出 18 个文件的编号与名称, 主要是球墨铸铁的相关规定和检验试验方法, 均系国家标准, 使用者据此可查阅原文以加深理解和运用本标准。

2.3 术语和定义

本标准给出了两个重要术语和定义: “石墨球化处理”、“铸件的主要壁厚”, 其中“铸件的主要壁厚”在 GB/T 5611—1998《铸造术语》中没有, 它是指代

表铸件材料力学性能的铸件断面厚度，由供需双方共同确定。该术语和定义是引用了 ISO 1083: 2004 的表述方式。

2.4 球墨铸铁牌号

球墨铸铁牌号参照 ISO 1083: 2004，牌号表示方法符合 GB/T 5612 的规定，分别通过测定单铸试样或附铸试样的力学性能来确定。单铸试样牌号从原标准 8 个增加为 14 个，附铸试样牌号从原标准 5 个增加为 14 个，见表 1。

表 1 单铸试样牌号及附铸试样牌号新旧标准对比

原标准单铸 试样牌号	新增加单铸 试样牌号	原标准附铸 试样牌号	新增加附铸 试样牌号
QT400-18	QT350-22L	QT400-18A	QT350-22AL
QT400-15	QT350-22R	QT400-15A	QT350-22AR
QT450-10	QT350-22	QT500-7A	QT350-22A
QT500-7	QT400-18L	QT600-3A	QT400-18AL
QT600-3	QT400-18R	QT700-2A	QT400-18AR
QT700-2	QT550-5		QT450-10A
QT800-2			QT550-5A
QT900-2			QT800-2A
			QT900-2A

其中，单铸试样 V 型缺口冲击值中增加 QT350-22L、QT350-22R 两个牌号的冲击功，并增加 QT350-22L 在低温状态下（ -40 ± 2 ）℃时的最小冲击功。附铸试样 V 型缺口冲击值中也相应增加了 QT350-22AL、QT350-22AR 两个牌号的冲击功，并增加了 QT350-22AL 在低温状态下（ -40 ± 2 ）℃时的最小冲击功。

这是因为随着球墨铸铁应用领域的不断扩大以及需要在更恶劣严格的环境下服役，所以更多的可选择材料牌号、更高的延展性和抗低温冲击韧性能够尽量满足各种场合的使用条件。

同时本标准对单铸试样、附铸试样和本体试样进行了定义，增加了铸件材料牌号可以通过测定本体试样的力学性能而确定的内容。

2.5 订单信息

本标准参照 ISO 1083: 2004，增加了订单信息，要订购铸件的材料牌号、质量要求和验收条件等基本信息应由需方提供，特殊要求由供需双方商定。供方也应在接受合同或订单之前对与铸件有关的要求进行识别及评审。

2.6 生产方法和化学成分

本章的内容与原标准 3.1 大致相同，但特别强调化学成分不作为铸件验收的依据，所以需方在订购信息中提供的化学成分在没有特殊说明的情况下，只作为供方配料时的参考，供方提供给需方的化学成分报

告也是作为参考，不能作为判别铸件合格或不合格的依据。但如果有特殊要求时，经供需双方商定，化学成分也可以作为铸件验收依据之一。

如果需方有其他特殊要求，诸如铸件的热处理方式和工艺也需要明确，例如去应力退火、石墨化退火、正火、回火以及机加工后需调质或表面热处理要求等。

2.7 技术要求

球墨铸铁件的力学性能以抗拉强度和伸长率两个指标为验收指标。除特殊情况外，一般不做屈服强度试验。但当需方对屈服强度有要求时，经供需双方商定，屈服强度也可作为验收指标。

抗拉强度和硬度是相互关联的，当需方认为硬度性能对使用很重要时，硬度指标也可作为检验项目。

硬度的检验按附录C的规定执行。

按 ISO 1083: 2004 的规定，单铸试样和附铸试样的各牌号分别对应各自的抗拉强度、屈服强度、伸长率、布氏硬度值和主要基体组织，与原标准不同，硬度不再是“供参考”，“主要金相组织”改为“主要基体组织”更为确切，这是因为金相组织包括石墨形态和基体组织，另外在单铸试样和附铸试样的力学性能表下方增加了附注说明。附录A给出了未列入材料牌号表的球铁QT500-10资料，这种球铁通常比普通球铁含有较高的硅含量（ $\approx 3.7\%$ ）。

本章试样性能总则对力学性能的说明与原标准 3.2 力学性能的内容大同小异，但增加了 QT350-22 牌号各项性能，特别是低温 -40 ℃ 下的冲击功。基于屈服强度和硬度与抗拉强度之间有一定的关系，强调一般情况下球墨铸铁件只以抗拉强度和伸长率作为验收指标，但特殊情况下屈服强度、硬度以及冲击功经供需双方商定也可以作为验收指标或验收条件之一。

本体试样可更准确反映铸件的实际性能值，但由于铸件形状结构的复杂程度不同，壁厚的变化，使各部分冷却速度、凝固结晶过程出现差异，导致石墨球形状与数量、基体组织不一样。换言之，同一件铸件在不同的位置切取本体试块，测出的力学性能指标是不相同的。因此，本体试块的取样部位及要达到的性能指标由供需双方商定。本标准的附录E给出不同壁厚下切取试样的屈服强度指导值作参考。

当铸件硬度需要作为重要验收指标时，例如齿轮和电梯引绳轮等，如供需双方同意，硬度的分类与检验按附录E的规定。与原标准附录A“球墨铸铁硬度”有很大不同，附录E实际按照 ISO 1083: 2004，比原来增加了 HB130 和 HB215 两个硬度牌号。值得注意的是，如牌号要选择较低的硬度范围，一般可以接受的范围为 30~40 个硬度差，以及同一测试表面不同位置的硬度所允许的偏差值，需要供需双方商定。附录E

没有要求检验硬度值的同时必须要进行金相组织检验, 以及有争议时应用金相检验法裁决, 但规定硬度试验必须按GB/T 231.1—231.3执行。

本标准中7.5金相组织分为石墨形态和基体组织两部分, 与原标准3.3不同。不少需方对石墨形态有更多的要求, 除了球化级别外, 还有石墨大小、数量等。对于基体组织, 也有需方对渗碳体含量有限定, 对珠光体含量有要求, 例如曲轴、柱塞等承受循环接触冲击的铸件。金相组织的要求应由供需双方商定, 检验方法按GB/T9441的规定执行。附录F和附录G中的表G1给出球化率及各牌号基体组织的资料, 源于ISO 1083: 2004标准。

本标准保留了ISO 1083: 2004标准没有, 但原标准有的球铁件几何形状及其尺寸公差、表面质量、缺陷及修补条款, 补充了对铸件等离子切割后应去除热影响区的规定, 因为此区域金相组织已发生了改变, 以及补充了铸件交付时要符合需方防锈要求的内容。增加了重量偏差条款, 因为铸件毛坯额定重量是供需双方商定的重要交货条件之一, 涉及到成本, 并可间接反应加工余量、壁厚、形状等参数的变化。增加了特殊要求条款, 因为很多需方对重要关键铸件有无损伤要求, 供方应按要求进行检验并向需方提供无裂纹、无疏松和夹杂物等内部缺陷的完好铸件。

2.8 取样

本章内容与原标准“试验方法”接近, 但作了一些修改。在8.1总则中强调试样应尽可能代表铸件, 即应与它所代表的铸件同一批铁液浇注以及冷却条件大致相同。

单铸试块中有三种不同的形状与原标准相同, 但对标准中表5和表6中的附注2作了修改, 说明对于薄壁铸件或金属型铸件, 只要供需双方同意, 可以从试块端部厚度尺寸小于12.5 mm中加工出拉伸试样。并把原标准中敲落型试块的形式更改为ISO 1083: 2004相同的形式, 以利于试块的铸造。

附铸试样比单铸试样更接近于铸件的实际情况, 在一定重量和壁厚条件下应优先采用, 但受安放位置、铸造条件的影响波动范围较大, 稳定性差, 故选用附铸试样时应考虑到可能对铸件造成的不良影响, 诸如疏松、不利于切削加工等, 故须由供需双方商定试块的安放位置。图4是国际标准的附铸试块, 本标准在表7中增加了两种薄壁铸件的附铸试块尺寸规格。

由于本体试样在铸件首批验证或铸件失效验证时作用很大, 因此增加了从铸件上切取本体试样的规定, 本体试样直径可以在1/5壁厚至1/3壁厚之间。

本标准8.5规定了拉伸试样与冲击试样的形状和尺寸, 除常用的拉伸试样原始直径 d_{14} 外, 增加了4种

直径尺寸, 以便视不同铸件结构和壁厚, 选用合理的试样大小。

8.6取样批次的构成和检验数量确定了取样检验的规则, 对检验力学性能, 化学成分, 金相组织要取样的批量、次数、频率进行更清楚的说明, 指出当生产工艺状况发生变化时, 在此期间浇注的铸件, 无论时间间隔有多短都应作为一个取样批次。此外, 炉前取样快速分析法对迅速检验球铁质量是简便又行之有效的办法, 例如目前广泛应用的三角试片断口分析法、热分析法、快速金相和快速光谱分析法等, 应坚持每包铁液取样测量。

具体取样检验批量次数所涉及的包次、重量间隔、时间间隔, 即多少包铁液、每隔几吨或相隔多长时间取几次样及取样数多少, 则取决于需方的要求和符合供方的质量控制体系。

本章还说明了经热处理的铸件以及采用型内球化处理工艺时如何确定取样批次。

2.9 试验方法

在各种力学性能试验方法中, 原标准所引用的试验标准许多已作修订, 本标准采用修订后的新标准。除常规的拉伸、冲击和硬度试验外, 增加了金相检验。

2.10 复验

本标准在原标准5.2试验次数、试验结果的评定和复验及5.3试验的有效性基础上作了较大的修改, 充分说明了复验的条件、试验的有效性、试验结果的评定与复验, 试块和铸件的热处理, 更切合实际, 更为合理。

2.11 铸件的其他检验

本标准对表面质量检查、几何尺寸与尺寸公差测量、化学成分分析、无损检测、铸造缺陷检验规定了更为详细的说明, 规定经供需双方同意, 还可以选择运用等效的测定力学性能和金相组织的其他方法。

2.12 附录

本标准增加了多个规范性和资料性附录, 均引自ISO 1083: 2004, 作为实施某些规范的指导性文件, 并帮助广大使用者加深对标准理论性内容的理解, 更准确地掌握标准并运用到实际生产中。

(1) 附录A: 球墨铸铁QT500—10, 可选材料牌号, 比QT500—7有更好的伸长率, 硬度均匀性好, 适用于要求具有良好切削性能、较高韧性和强度适中的铸件。在ISO 1083: 2004标准中称之为“高硅含量球铁”。由于高硅会导致材料的低温冲击韧性下降, 故不适合在低温下使用。

(2) 附录B: $L_0=5d$ 和 $L_0=4d$ 时测得的伸长率的差别, 从单铸试样测得值的回归统计计算结果见表B1, 表明 $L_0=4d$ 测得的伸长率比 $L_0=5d$ 高0.5%~1%。

(3) 附录C: 按硬度分类, 表C1列出材料硬度等级的10个牌号, 当硬度作为验收指标时, 抗拉强度和屈服强度供参考。并说明了确定满足抗拉强度性能要求的球墨铸铁的硬度范围、取样要求、测试方法、测试的频次和数量及金相组织要求。

(4) 附录D: 韧性, 说明确定铁素体球墨铸铁韧性的方法, 可以用所吸收的冲击功(冲击韧性)和断裂力学的原理解释。图D1和D2中QT400-18L与铸钢ZG250-430分别在冲击强度和断裂韧性方面作了比较, 表明铁素体球墨铸铁有较高的断裂力学性能值。

(5) 附录E: 从铸件本体上切取试样的屈服强度指导值, 根据铸件取样位置壁厚大小有不同的值, 较薄铸件比厚铸件高些。

(6) 附录F: 球化率(或球状石墨比率), 给出球化率的一般定义, 但更为精确的计算可参考GB/T 9441《球墨铸铁金相》附录A 球化率计算方法; 论述了影响球化率的某些工艺因素, 指出80%~85%或更高的球化率能保证本标准规定的最小拉伸性能值, 铸件要承受多种载荷特别是要抗疲劳时应有较高的球化率。

(7) 附录G: 球墨铸铁的力学及物理性能, 表G1给出了各牌号球墨铸铁的重要力学性能值、物理性能数据和主要基体组织, 为使用者提供科学合理地选材的依据; 图G1为球墨铸铁件的硬度和抗拉强度关系曲线, 表明两者之间存在一定的函数关系。

3 标准的特点

本标准结构与基本内容按照ISO 1083: 2004《球墨铸铁 分类》编写, 体现贴近国际先进水平和与国际标准的一致性, 但又增加了一些具体内容, 在第7章补充了铸件几何形状及尺寸公差、重量偏差、表面质量要求、缺陷及修补条件以及无损探伤要求, 应该说更为全面。

本标准既保留了原GB/T 1348-1988标准的部分内容, 又对这些内容作了更符合实际的修订。

(1) 在单铸试样和附铸试样的力学性能表上保留了布氏硬度和主要基体组织的内容, 更直观地与抗拉强度、屈服强度和伸长率相对应。

(2) 按照ISO 1083: 2004标准, 新增了QT350-22及其常温和低温冲击值牌号, 以及QT550-5牌号, 并在附录A中对含硅量较高的QT500-10牌号作了详细介绍, 对按硬度分类的牌号新增了QT-HBW130和QT-HBW215。

(3) 保留了“标志和质量证明书”、“包装和储存”章节内容。所以说比原标准适合更广泛的应用范围, 技术内容更充分翔实。

(4) 本标准对照参考了欧洲标准EN 1563: 1997、德国 DIN 1693-1997、美国 ASTM A536-1999、日本JIS G5502-2001、英国 BS 2789-1985、法国NF A32-201-1987等国外标准。这些标准都与ISO 1083: 1987相近, 而本标准在材料牌号上更齐全, 内容上涵盖了国际标准, 具有先进性而且符合我国国情。所以对于出口铸件, 既可以采用外国标准又可以采用基本对应等同的本标准。

(5) 本标准强调供需双方协商一致的原则, 确定铸件生产技术要求 and 验收条件, 解决在供货合同、生产过程、检验和试验以及产品交付后所发生的问题。标准是共同要遵守的准则, 但由于受生产工艺条件、检测手段等限制, 对材质性能指标的要求应以满足铸件使用的实际需求为主。例如当铸件的硬度或屈服强度不是很重要时, 就不应以硬度或屈服强度作为合格与否的验收指标, 或千篇一律地强调要做本体试样或无损探伤等。铸件各种各样的使用场合和外形结构等差别很大, 需要根据给定的使用条件由供需双方协商一致, 灵活运用本标准。

4 标准的应用

4.1 适用范围

球墨铸铁问世以来发展到今天, 其应用领域在不断扩大, 可以取代锻件、铸钢件、铸铁件, 以及灰铸铁因其力学性能不足易被损坏的场合, 都可以考虑按本标准选用球墨铸铁件牌号。本标准牌号不适合于高温、强腐蚀、高抗磨苛刻条件下工作的场合。如要选择球铁材料, 可按其他标准选用高合金耐热、耐蚀、抗磨球铁件。本标准可有条件地用于以抗拉强度为主要验收依据的其他类别球铁件, 如高合金特种球墨铸铁、球墨铸铁管件、等温淬火球墨铸铁等, 以及用特种铸造方法, 如金属型、离心铸造和连续铸造生产的球铁产品。

球墨铸铁作为一种独立的结构材料已越来越多地应用于各行各业, 如汽车、机床、能源、冶金、石油化学、建筑、电力、海洋工程及核能工业等行业。在工程机械、轻工机械、塑料机械、液压机械、汽车模具、数控精密机床、泵阀、风力发电设备、柴油机、机车车辆、船舶、冷冻机等行业也不断有拓展应用。

本标准的球铁牌号按主要基体组织划分为:

(1) 铁素体型, 有QT350-22、QT400-18、QT400-15、QT450-10, 伸长率越高, 铁素体含量也越高, 抗拉强度下降。

QT350-22的力学性能与普通碳素钢Q235-A相当, 其铁素体含量大于98%以上, 具有极高的延展性、冲击韧性及良好的低温性能, 但对原材料要求很高。

QT350-22、QT350-22R、QT350-22AR可应用于经受冲击和振动但不能承受重负载的零件，如机器箱体、风机外壳、密封盖、止回阀阀体、阀盖环等；QT350-22L、QT350-22AL可应用于低温工作的冷冻机零件和严寒环境工作的风力发电机轴承壳、前盖、高速电力机车抱轴箱、高速列车车厢用铸件、船用机械部件等。

QT400-15、QT400-15A、QT450-10、QT450-10A具有一定冲击韧性、伸展性和柔性，只要工艺控制得当，铸态基本可以达到力学性能，经退火后可稳定生产。广泛应用于汽车减速器壳、过桥箱、中低压阀门、液压千斤顶底座、万向节轴叉、曲轴箱体、泵壳、汽轮机导叶持环、电机机壳、飞轮壳等铸件。

QT400-18、QT400-18R、QT400-18AR具有更好的伸长率和冲击韧性，应用于各种承受振动和一定冲击负荷的机器机架、底座、汽车驱动桥壳体、变速箱支架、发电机定子法兰、差速器壳、内齿轮泵盖、齿轮箱等；QT400-18L、QT400-18AL则在近来发展很快的风力发电机底座、轮毂铸件、磁悬浮列车铸件、大型核燃料储运容器，低温寒冷地区工作的工程机械部件、汽车底盘件、空调设备零件上得到应用。这类牌号在铸态下不易达到性能指标，采用热处理工艺可以达到。

(2) 铁素体和珠光体混合型，有QT500-7和QT550-5两种牌号，综合力学性能好，是应用最广泛的球铁材料。应用于汽车前轮毂、钢锭模、船用柴油机机身、注塑机压铸机框板、液压缸体、液压机滑块、泵体及空压机前后桥、轴承座、飞轮、电动机架、车辆轴瓦等铸件。

(3) 珠光体加铁素体型，QT600-3基体组织大部分为珠光体（大于70%），此牌号铸态基本可以达到，但正火处理可稳定生产，具有较高的强度和耐磨性。广泛应用在电梯引绳轮、立车工作台、桥式起重机大小滚轮、油马达缸体、机床主轴、柴油机、汽油机曲轴、平衡轴和凸轮轴上。

(4) 珠光体型，QT700-2有的工厂通过微量合金化可以铸态达到，有的要通过热处理达到，以其高强度和较好的耐磨性主要用于汽车、拖拉机、柴油机上的曲轴，凸轮轴、连杆、齿轮、挤压机柱塞、活塞、汽车覆盖件模具等。

(5) 珠光体或索氏体型，QT800-2，基体为细片状珠光体或索氏体组织，应用于大型船用柴油机曲轴，高速大马力发动机曲轴，大功率柴油机活塞、缸套，机床蜗杆、蜗轮、拉伸冲压冲裁模。一般加入铜钼合金后正火处理达到，也有工厂微量合金化后结合采用铁型覆砂、壳型填丸等铸造工艺来铸态实现。

(6) 回火马氏体加索氏体或屈氏体型，QT900-2

在本标准牌号系列中具有最高的强度性能，对大型铸件也可能是珠光体组织。通常经合金化后进行特殊热处理工艺获得，应用在高速柴油机、内燃机曲轴、凸轮轴、汽车后桥螺旋伞齿轮、大减速器齿轮、轧钢机轧辊、热挤压模具等要求强度和耐磨性非常高的场合。

4.2 生产控制

(1) 对普通球墨铸铁而言，如QT400-15、QT450-10、QT500-7、QT550-5、QT600-3，大部分生产厂家通过选用优质生铁和废钢、合理设计成分、控制有害元素含量、铁液除硫净化、保证铁液温度并通过加强球化孕育处理来获得。

(2) 对于高延展性和冲击韧性的QT350-22、QT400-18，以及高强度和硬度的QT700-2、QT800-2、QT900-2，要稳定地生产达到性能指标有很高难度，一定要具备必要的工艺装备、检测手段以及对铸造关键和特殊过程的严格控制。

采用中频感应电炉或冲天炉—电炉双联熔炼，铁液化学成分易于调整和均匀，温度易于控制，方便应用净化剂和预处理剂处理而最终得到高温低硫的铁液，大大提高了铸件内在质量，尤其是力学性能方面，球铁伸长率可提高近50%，而单一冲天炉工艺很难稳定获得的QT400-18铸态高韧性铁素体球铁。

应用“废钢增碳”合成球铁技术，以纯净废钢为主要金属炉料，通过在电炉加入增碳剂和增硅的方法使铁液达到适宜的碳当量，避免了由于生铁产地不同带入的干扰元素或杂质元素。对于QT350-22这一新列入本标准的牌号，过去由于对原材料要求太高，很难生产。现在可以通过控制足够低的含锰量，极低的有害元素含量，加强球化孕育处理，可以铸态或经后续高温石墨化退火获得。

应用微量合金化技术，特别是在生产铸态珠光体球墨铸铁时，如QT600-3、QT700-2，常用添加的合金元素有铜、锡、铋以及钼、镍、铬等，但要经过工艺试验以确定最佳添加量和添加方法。对于QT800-2、QT900-2球墨铸铁，一般在微量合金化的基础上通过正火或淬火处理工艺获得。

采用先进的球化处理 and 孕育技术，球化处理工艺在我国多数工厂是应用稀土镁球化剂冲入法、压力加镁法、型内球化法等，而合金包芯线喂丝法因为可以精确地控制加入量，是最具前景的球化处理工艺。无论何种方法，关键是控制铸件的残余镁量和稀土量，只要能保证球化，其残留量应尽可能低，以减少脆性和白口倾向。孕育技术推动了高性能球墨铸铁的发展，孕育处理具有石墨细化、延缓衰退、促进石墨球圆整、抑制渗碳体析出、组织均匀和壁厚敏感性小的效果。各种含有钙、钡、锆、铈、铋元素的高效长效

孕育剂或复合孕育剂的应用,使孕育效果达到最佳水平;根据后孕育原理采用的浇包随流孕育、浇口杯硅块孕育、型内孕育,以及包芯线喂丝孕育等,使铸态生产铁素体球铁QT400-15、QT450-10,珠光体球铁QT700-2等成为可能。

大断面球铁控制技术,厚大断面球铁件由于浇注后冷却速度缓慢,凝固时间长,容易造成铸件厚壁中心或热节石墨畸变,球数减少,组织粗大和石墨飘浮等球化孕育衰退问题,导致铸件的力学性能显著下降,给大断面铸件的生产带来困难。通过使用已商品化的钇基重稀土复合球化剂、轻稀土加铈球化剂,微量合金复合长效孕育剂进行球化孕育处理,是提高厚大断面球铁性能本体达到牌号要求的有效措施之一。

4.3 检验和试验

加强对铁液质量的实时检测是控制熔化过程的关键,炉前快速分析法是非常有效的控制方法。浸入式快速热电偶测温,是获得合适出铁温度、浇注温度

的保证;炉前三角试片断面观察是常规的简易铁液质量判定方法,快速金相分析可确定刚浇注铸件球化质量。根据热分析法结合计算机技术而研制成功的铁液质量管理仪、快速微分热分析仪等,实践证明是极有推广价值的先进即时检测仪器。

大多数工厂常规性进行球铁件的抗拉强度、伸长率、冲击值和硬度试验,对化学成分控制也日益加强,近代精准的直读光谱分析仪可即时测出十几乃至几十个元素含量,对保证达到球铁牌号的性能要求起到了至关重要的作用。随着科学技术的发展,对铸件质量的要求也在不断提高,铸件内在缺陷的无损检验也越来越受到重视,特别是很多出口铸件要求首件验证及初次批量验证,都包括要进行诸如渗透探伤、磁粉探伤、超声波探伤和射线探伤等无损检验项目。所以,要高质量地生产出符合本标准规定的球墨铸铁件,具备必要的检验和试验设备与检测方法也是不可忽视的。