GB/T 24733—2023《等温淬火球墨铸铁件》国家标准修订解读

崔　宇，赵竞翔，李增利，李克锐，陈　昭，杜瑞昌，王　拓
（郑州机械研究所有限公司，河南郑州 450001）

摘要：介绍了GB/T 24733—2023《等温淬火球墨铸铁件》修订过程，论述了标准的主要修订内容，解读了与原标准和ISO 17804：2020《铸造奥铁体球墨铸铁分类》的主要技术差异和修订缘由，指出了新标准的特点和应用范围。

关键词：等温淬火球墨铸铁；奥铁体球墨铸铁；标准解读

1　标准修订概况

等温淬火球墨铸铁（austempered ductile iron；ADI）是通过等温淬火热处理得到的以奥铁体为主要基体的球墨铸铁材料，也称为奥铁体球墨铸铁（以下简称ADI）。20世纪70年代，中国、美国和芬兰彼此独立又几乎同时宣布成功研制开发出ADI。随后，在世界各国，特别是工业发达国家，ADI得到了快速发展。ADI由一般代用转为根据ADI性能特点改变设计，轻量化效果显著，应用范围不断扩大，向矿山、农机、工程机械耐磨零件扩展[1-2]。

国家标准GB/T 24733—2009《等温淬火球墨铸铁件》于2009年首次制定，于2009年11月30日发布，2010年9月10日实施。标准发布实施以来，在ADI行业广为应用，在促进产品质量提升和企业转型升级等方面发挥了重要作用。随着国内生铁等原材料质量的稳定提高、球化孕育处理工艺的成熟稳定、等温淬火热处理装备的发展，ADI件生产工艺的稳定性得到大幅度提升，ADI件的质量有了很大提高[1-2]。由于原标准十几年未进行修订，在一定程度上已经无法满足行业发展的需要。近年来，美国、欧盟和国际标准化组织等相继完成了ADI相关标准的修订工作。

2021年5月全国铸造标准化技术委员会委托郑州机械研究所有限公司、河南欧迪艾铸造有限公司牵头修订该标准，修订工作组通过对GB/T 24733—2009和国外的相关标准进行分析对比，对标准在十几年执行过程中存在的问题进行了调查分析，在借鉴国内外ADI标准先进内容、依据国内主流ADI生产企业提供的数据分析基础上，于2021年10月形成《等温淬火球墨铸铁件》标准征求意见稿，2022年5月完成了标准送审稿。本标准参考ISO 17804：2020《铸造 奥铁体球墨铸铁 分类》，一致程度为非等效。

2022年7月全国铸造标准化委员会在江苏省常州市召开了标准审查会，由全体与会委员对标准送审稿进行了全面审查，并获得一致通过。GB/T 24733—2023《等温淬火球墨铸铁件》（第二版）已于2023年9月7日发布，2023年9月7日实施。

2　标准主要内容

本标准由分为10个章节的正文和8个附录组成，适用于砂型或导热性与砂型相当的铸型铸造并经等温淬火热处理的球墨铸铁件。

作者简介：
崔宇（1979–），高级工程师，主要从事球墨铸铁、不锈钢、耐热钢、耐磨材料等合金材料研究与产品研发工作。电话：13949098795，E-mail：13949098795@163.com
通讯作者：
赵竞翔，男，高级工程师。电话：18339292183，E-mail：271455579@qq.com

中图分类号：TG143.5
文献标识码：A
文章编号：1001-4977（2024）09-1336-06

收稿日期：
2023–11–15 收到初稿，
2024–02–01 收到修订稿。

2.1 规范性引用文件

本标准的规范性引用文件28项，比原标准增加了4个与ADI质量检验相关的规范性引用文件：GB/T 9443—2019《铸钢铸铁件渗透检测》、GB/T 15056—2017《铸造表面粗糙度 评定方法》、GB/T 24234—2009《铸铁 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）》、GB/T 34904—2017《球墨铸铁件 超声检测》。删除了3个相关性不强的规范性引用文件：GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》、GB/T 7233—1987《铸钢件超声探伤及质量评级方法》、GB/T 20123—2006《钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规方法）》。

2.2 术语和定义

本标准定义了等温淬火球墨铸铁、等温淬火热处理、奥铁体、铸件的主要壁厚和并排试块5条重要术语，比原标准增加了奥铁体和并排试块2条术语及其定义，举例说明如下。

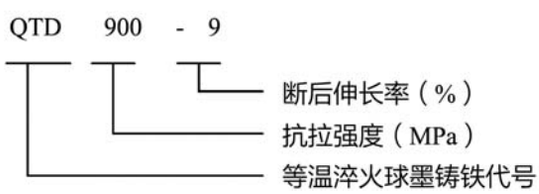
等温淬火热处理 austempering：将球墨铸铁件加热到一定温度（奥氏体开始形成温度以上）并保温足够时间，使碳扩散到奥氏体中，随后以避免产生珠光体的速度冷却至一定温度（马氏体开始转变温度以上），保温足够时间，使基体组织转变以得到期望的性能。ADI基体组织可能是奥铁体，也可能是奥铁体+先共析铁素体双相组织，CADI金相组织主要是奥铁体+碳化物。

奥铁体 ausferrite：主要由针状铁素体和高碳奥氏体组成的球墨铸铁显微组织。2009年制订原标准时，国内对等温淬火球墨铸铁组织名称存在争议，有些人认为叫“奥贝球铁”或“贝氏体球铁”比较合适，为了避免争议当时没有采纳奥铁体术语，直接称为等温淬火球墨铸铁组织，通过多年的宣贯，现在大家已经习惯称为奥铁体了。

2.3 材料牌号

ADI牌号的表示符合GB/T 5612—2008的规定[3]。

示例：



随着技术的进步，我国ADI的质量和性能指标尤其是强度和塑性大幅提升，根据铸造试样测得的最小抗拉强度值和最小断后伸长率，本标准将ADI分为6个牌号，比原标准增加一个牌号QTD 1600-1；QTD 800、QTD 900和QTD 1050的屈服强度增加了50 MPa；各牌号断后伸长率增加1%[3-4]。较好地反应了当前我国ADI科研与生产实际状况。

按硬度分级的2个CADI牌号QTD-HBW400和QTD-HBW450首次纳入标准正文，硬度为CADI的验收指标，其他性能仅供参考[4-5]。

ADI生产企业要达到稳定生产本标准所列的各牌号ADI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，提高ADI的生产和应用水平。

2.4 制造工艺

优质球墨铸铁件是ADI的基础，作为ADI的毛坯件，其要求比一般球墨铸铁要高，主要表现在对金相组织和化学成分上，化学成分是保证力学性能的重要依据，因此在铸造企业自己的技术标准中通常都明确规定不同ADI牌号的化学成分范围。合金元素对球铁力学性能有重要影响，加入合金元素的目的是提高淬透性，等温淬火的目的是用热处理技术改变铸铁的基体组织，提高力学性能[5]。

强调化学成分、铸造工艺和热处理工艺应由供方自行确定，在没有特殊说明的情况下，需方提供的化学成分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，不作为判别铸件合格或不合格的依据，力学性能才是铸件材料验收的指标。

2.5 技术要求

按力学性能分级的ADI材料，抗拉强度、屈服强度和断后伸长率是必验指标，如果需方要求硬度时，可参考附录F“布氏硬度指导值”，由供需双方商定。

铸造试样只能代表该牌号材质特定壁厚的力学性能和硬度，铸件本体试样才能代表本体性能。铸造的特点是适于制造形状不规则、结构复杂的零件，因此壁厚差异较大会导致不同部位的冷速不同，造成各部位力学性能和硬度有一定差异。铸件本体力学性能可能等于或小于铸造试样的力学性能。由供需双方商定，铸件本体试样的力学性能可以作为验收标准，指导值参见附录 E，取样部位和性能可由供需双方商定。无缺口试样的冲击性能指标，提供了一种通过无缺口冲击试验间接确定热处理后材料力学性能对应关系的方法，可以间接地了解铸件热处理后得到的显微组织情况。

按硬度分级的CADI材料，硬度为验收指标，如要求其他性能，由供需双方商定。

对 QTD 800-11（QTD 800-11R）牌号，30~40的HBW硬度差范围，通常可被供需双方接受。随着材料

抗拉强度和硬度提高，硬度差范围会较宽。当对加工性能有要求时，供需双方可商定在铸件特定部位上检测硬度，这样可以采用较窄硬度差范围。

力学性能试棒取自铸造试块还是铸件本体，必须在订货协议或需方技术要求中明确规定。当铸件采用本体试样时，因铸件的形状、壁厚不同，力学性能验收指标应根据具体铸件确定。

球铁件铸态质量是决定ADI件能否成功生产的重要前提，球化率、石墨颗粒数对ADI冲击、疲劳等动态力学性能影响很大，强度愈高，影响愈显著，因此对球化率及石墨颗粒数的要求比普通球铁要高，规定其石墨形态以Ⅵ型为主，球化率≥85%，石墨颗粒数不低于100个/mm^2。

基体组织主要为奥铁体，铸件某些断面的冷却速度可能不足以完全避免珠光体或其他组织的形成，在不影响使用性能和符合力学性能前提下，允许极少量其他组织（如珠光体、马氏体、碳化物）存在。

不完全奥氏体化热处理可以用于生产QTD 800-11和QTD 800-11R，其基体组织是先共析铁素体和奥铁体的混合组织。CADI金相组织主要是奥铁体+碳化物。

ADI的金相组织参考附录A.5“等温淬火球墨铸铁的典型组织图谱”。如果需方没有要求，则金相组织一般不作为验收项目。如果要求检测金相组织，则应规定铸件本体的检测部位。特别是铸件非正常损坏失效或铸件残体碎片，检测金相组织是判断铸件性能的一种常用方法。目前，国内外还没有ADI金相检验标准，可以通过无缺口试样的冲击试验，间接地了解铸件热处理后得到的显微组织情况。

与ISO 17804：2020相比，本章增加了一些对铸件质量要求的具体内容，补充了铸件几何形状及尺寸公差、重量公差、表面质量及特殊要求，应该说本标准比国际标准更全面，有更广的适用范围，技术内容更充分翔实，增强了本标准的适用性。

2.6 试样制备

与国际标准接轨，按照ISO 17804：2020对铸造试块重新进行了分类和定义，增加了并排试块，以及从试块上加工试样步骤（附录G）。规定了根据铸件的重量和壁厚来选择试块的类型和尺寸（单铸、并排、附铸或本体试块），除非另有约定，试块的类型应由供方决定；当铸件重量等于或超过2 000 kg，且主要壁厚超过60 mm时，应优先采用附铸试块或并排试块，附铸试块位置的设置应避免对铸件的形状和浇注系统及相邻部位的性能产生不利影响。

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，强调了试块应后期浇注或最后一箱浇注，铸件需要热处理时，试块也进行同炉热处理，所有的试块都应有明显的标记，以保证铸件质量的可追溯性。

标准给出了优先采用的试样直径，如果由于技术的原因或从铸件上切取试样等因素，允许采用其他直径的试样。试样直径与铸件主要壁厚、试验机吨位、牌号强度高低等因素都有关系，试样直径可由供需双方商定。

2.7 试验方法

标准对拉伸试验、冲击试验、硬度试验、金相检验、化学成分分析，几何尺寸与尺寸公差、重量公差、表面质量和内部质量检测作了详细的规定。

拉伸试样和冲击试样应采用经等温淬火热处理后的试块加工而成。如试样需在试块热处理前加工，应由供需双方商定。等温淬火后，拉伸试样的机加工可能有困难，尤其是对于较高强度牌号。因此，一些供方倾向于在等温淬火之前将试棒加工至最终尺寸或接近最终尺寸（仅留少许磨削余量）。在预加工试棒的较小横截面中获得了所需的力学性能和ADI微观组织，不能确保在实际零件的较厚截面中获得同样组织。如果协商采用预加工试棒，则需要进行验证试验。

铸件本体硬度检测简单、方便，可以不损坏铸件，甚至可100%在线检测。对大批量生产的铸件，越来越多地用本体硬度来代替抗拉试棒检测，特别是汽车等温淬火球墨铸铁件。以检测本体硬度为主时，应在本企业生产条件下事先做出该铸件本体硬度和单铸试棒、本体试棒之间的函数关系，以此确定本体硬度的上下限范围，并经需方同意及确定检验频次。

从热处理后铸件上切割试块，加工本体试样的中心线应位于铸件壁厚的表面到中心的中间，尽量避开铸件壁厚中心位置，中心位置的冷却速度相对慢一些，对力学性能会有影响；供需双方可对铸件指定部位的力学性能、试样尺寸进行商定，若需方无倾向性意见时，供方可自行确定在铸件上切取试样的部位，并确定试样的直径。

经供需双方同意，还可以选择运用等效的方法测定抗拉强度、布氏硬度、石墨组织等。

铸造缺陷经常是供需双方分歧、争议较大的条款。允许存在的铸造缺陷和缺陷修补方法等应该在订货时明确。不同用途、不同类别铸件的缺陷不应一刀切。

2.8 检验规则

更改了等温淬火热处理前的ADI件的批次划分办法，受热处理炉容量和铸件淬透性等限制，ADI件一般

都不是很大，由此规定一个铸件的质量大于200 kg时，单独构成一个取样批次，这是与GB/T 1348—2009批次划分的不同之处。

每个取样批次都要进行拉伸试验；如需方有冲击试验要求时，由供需双方商定取样方法和试验次数；除需方在订货时另有规定外，布氏硬度试验的频率和数量应与供方采用的质量保证程序相一致。

规定了试验数量、复验的条件、试验的有效性、试验结果判断以及复验时试块和铸件的热处理要求。

2.9 标志、质量证明书、防锈、包装和贮运

质量证明书增加了批次号，如需方没有提出铸件标识，而供方要在铸件非加工面上铸出永久性代码、商标、日期、批次号等标识时，标识的位置、尺寸（字号、字高、凹凸）等应事先征得需方同意，避免可能对后续加工定位、装配等影响，或被其他部件遮挡。

2.10 附录

增加了规范性附录“切取试样的步骤”和资料性附录“相近的等温淬火球墨铸铁牌号对照表”，删除了原标准资料性附录“等温淬火球墨铸铁的机加工性能”和“球化率”。

资料性附录A 等温淬火球墨铸铁件制造工艺建议。从对球墨铸铁毛坯铸件的质量要求、化学成分的控制、热处理前的金相组织 、等温淬火工艺过程、等温淬火球墨铸铁的金相组织几方面给出了等温淬火球墨铸铁件制造工艺建议。

资料性附录B 无缺口冲击试验。提供了一种通过无缺口冲击试验间接确定热处理后材料力学性能对应关系的方法，间接地了解铸件热处理后得到的显微组织情况。

规范性附录C 关于材料力学和物理性能的补充资料。提供了各牌号ADI的重要力学性能值、物理性能数据，为使用者提供科学合理的选材依据。增加了五种不同测试方法的疲劳性能数据，修改了用于齿轮设计的ADI（加工后以及机加工并喷丸强化后）的弯曲疲劳极限应力和ADI的接触疲劳极限应力性能数据，有助于ADI齿轮的推广应用。

规范性附录D 等温淬火球墨铸铁的性能特点及应用示例[1-2，5]。列出了国内外ADI应用示例，供设计人员参考，针对不同工况选用合适的ADI材料。

资料性附录E 铸件本体试样抗拉强度和断后伸长率的指导值。具体取样部位、力学性能数值、试样尺寸应由供需双方商定。

资料性附录F 布氏硬度指导值。随着材料抗拉强度和硬度提高，硬度差范围变宽。当对加工性能有要求时，供需双方可商定在铸件特定部位要求达到较窄的硬度差范围。

资料性附录G 切取试样的步骤。规定了Y型试块和附铸试块切取试样的规则。

资料性附录H 相近的等温淬火球墨铸铁牌号对照表。列出了GB/T 24733—2003、ISO 17804-2020、ASTM A897/M-2016、EN 1564-2011 、 SAE J2477-2018和JIS G5503-1995相近ADI牌号的性能指标。

3 标准的特色

3.1 体现了与国际标准接轨

与国际标准接轨是编制新标准的基本原则，修订过程中采用了国际标准的最新文本，依照国际标准ISO 17804：2020《铸造 奥铁体球墨铸铁 分类》，增加了并排试块，保证取样、试样制备和试验方法，检测材料力学性能的技术标准与国际标准保持一致，解决了原标准指标与生产实际不一致问题，解决了标龄老化问题，体现我国ADI行业的真实水平。

3.2 体现了标准的先进性

为了更好地促进对外贸易和交流，国家标准应不低于国际标准已成为不言而喻的共识。

本标准技术指标高于国际标准，属于国际领先水平。与ISO 17804-2020、ASTM A897/M-2016、SAE J2477 2004-05、EN 1564-2011和JIS G5503-1995相比，牌号相当的情况下，屈服强度与美国标准相当，部分高于国际标准、欧洲标准和日本标准。断后伸长率指标高于国际、国外标准。仅从标准所列的各牌号力学性能指标看，断后伸长率与美国标准相当，但我们注意到，美国标准ASTM 897M-2016采用L_0=4d的拉伸试样，而国家标准GB/T 24733—2023和国际标准ISO 17804-2020采用L_0=5d的拉伸试样，两者之间有差别，实际高于美国标准。

表1为给出了 GB/T 24733—2023规定的等温淬火球墨铸铁各牌号与现行的ISO、ASTM、EN、JIS和SAE标准相近牌号的对照表[6-10]。

3.3 提高标准的实用性，体现从产品型标准向贸易型标准的转变

本标准增加了铸件几何形状及其公差、重量公差、表面质量和内在质量方面的技术要求，增加了铸件标志和质量保证书、防锈、包装和贮运要求，增加附录A“等温淬火球墨铸铁件制造工艺”和附录D“等温淬火球墨铸铁的性能特点及应用示例” 。比国际标准更全面，有更广的适用范围，技术内容更充分翔

表1 ADI相近牌号（级别）对照表
Table 1 Cross-references of similar grades of ADI

GB/T 24733—2023	ISO 17804：2020	ASTM A897/ A897M-2016	EN1564：2011	JIS G5503-1995	SAE J2477-2018
—	—	750/500/11	—	—	AD750
QTD 800-11	JS/800-10	—	EN-GJS-800-10	—	—
QTD 800-11R	JS/800-10RT	—	—	—	—
QTD 900-9	JS/900-8	900/650/9	EN-GJS-900-8	FCAD 900-8	AD900
—	—	—		FCAD 1000-5	—
QTD 1050-7	JS/1050-6	1050/750/7	EN-GJS-1050/6	—	AD1050
QTD 1200-4	JS/1200-3	1200/850/4	EN-GJS-1200-3	FCAD 1200-2	AD1200
QTD 1400-2	JS/1400-1	1400/1100/2	EN-GJS-1400-1	FCAD 1400-1	AD1400
QTD 1600-1	—	1600/1300/1	—	—	AD1600
QTD HBW400	JS/HBW400	1400/1100/1	EN-GJS-HB400	FCAD 1400-1	AD1400
QTD HBW450	JS/HBW450	1600/1300/-	EN-GJS-HB450	—	AD1600

实，增强了本标准的适用性，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、材质经济选用方面也可作为参考依据。

本标准以用户（需方）需求为上的理念来阐述标准的规定，突出用户要求，强调供需双方协商准则，重要环节和细节都列出了相应条款和具体要求，体现了由产品型标准向贸易型标准转变。

4 标准的应用

ADI强度高、塑性好、质量轻、弯曲疲劳强度和接触疲劳强度等动载性能高、吸振性好、极好的耐磨抗磨性、表面强化效果显著，可100%回用，轻量化优势明显，具有经济效益高、节能、节材、减轻环境污染、社会效益好等特点，已广泛应用于农业机械、建筑机械、工程机械、冶金机械、汽车、铁路和军工等领域。就材料来说，ADI可以取代锻钢、铸钢、球铁、灰铸铁，甚至铝合金，在材料领域具有极强的竞争优势。

我国ADI（包括CADI）年产量约20万t，工程结构件和抗磨、耐磨件（包括CADI磨球和奥贝磨球等）大约各占一半，其中工程结构件包括汽车悬挂件、支架、控制臂、转向节、铁路机械、农机和工程机械零件以及齿轮、曲轴等[11-14]。

5 结语

本标准修订获得业界广泛支持，并在一汽铸造有限公司、河南欧迪艾铸造有限公司等生产应用厂家进行了全面的试验和验证工作，保证了标准的先进性和可行性。本标准全面、系统地规定技术指标和检验检测方法，客观地反映了我国ADI科研、生产和应用的现实水平。首次把CADI纳入标准，统一了基础规范，为产品的设计、生产、试验认证等方面提供技术支撑，有利于促进对外贸易和交流，为ADI产业的快速高效发展提供有力的技术支撑和引领作用。

参考文献：

[1] 李克锐，李增利，崔宇，等. 我国铸铁生产技术现状与发展趋势 [J]. 铸造，2022，71（2）：123–135.

[2] 曾艺成，李克锐，张忠仇，等. 等温淬火球墨铸铁研发工作的进展与发展趋势 [J]. 铸造，2017，66（9）：940–947.

[3] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 等温淬火球墨铸铁件：GB/T 24733—2023 [S]. 北京：中国标准出版社，2023.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 等温淬火球墨铸铁件：GB/T 24733—2009 [S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[5] 曾艺成. 等温淬火球墨铸铁生产技术的新进展 [J]. 现代铸铁，2015（5）：19–25.

[6] ISO. Founding-ausferritic spheroidal graphite cast irons-specification-classification：ISO 17804：2020 [S]. Switzerland：2020.

[7] ASTM International. Standard specification for austempered ductile iron castings：ASTMA897/M-2016 [S]. United States：2016.

[8] CEN. Founding ausferritic spheroidal graphite cast irons：EN 1564：2011 [S]. Europe：2011.

[9] JIS. Austempered spheroidal graphite iron castings：JIS G5503-1995 [S]. Japan：1995.
[10] SAE International. Automative austempered ductile（noduler）iron castings（ADI）：SAE J2477-2018 [S]. United States：2018.
[11] AGMA. Austempered ductile iron for gears：AGMA 939-A07 [S]. United States：2007.
[12] 陈灿光，姚永茂，陈全心，等. 水-空交替等温淬火CADI磨球的工业实践及应用 [J]. 铸造，2022，71（8）：1071–1020.
[13] 刘海明，祖方遒，余瑾，等. 等温淬火球墨铸铁表面热处理工艺的研究 [J]. 铸造，2006，55（2）：128–131.
[14] 王成刚. 球墨铸铁曲轴的铸造与发展 [C]//中国机械工程协会. 东北三省四市第十七届铸造年会暨哈尔滨市第十七届铸造年会论文集. 2006：223–226.

Interpretation of Changes in Revised Chinese National Standard GB/T 24733—2023 “Austempered Ductile Iron(ADI)Castings ”

CUI Yu, ZHAO Jing-xiang, LI Zeng-li, LI Ke-rui, CHEN Zhao, DU Rui-chang, WANG Tuo
(Zhengzhou Research Institute of Mechanical Engineering Co., Ltd., Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract:
The revision of GB/T 24733—2023 “ Austempered Ductile Iron(ADI)Castings ” is reviewed, and the main changes is described. The reasons of revision and differences between the revised standard and its previous version together with ISO 17804: 2020 “Founding-Ausferritic Spheroidal Graphite Cast Irons-Classification” are interpreted. The characteristics and application scope of the present standard are discussed.

Key words:
austempered ductile iron; ausferritic spheroidal graphite cast iron; standard interpretation

（编辑：潘继勇，pjy@foundryworld.com）