谢震方, 李斐. 供水用球墨铸铁管质量评价指标体系[J]. 净水技术, 2024, 43(4):202-208.
XIE Z F, LI F. Index system of quality assessment for water supply ductile iron pipes[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4):202-208.

供水用球墨铸铁管质量评价指标体系

谢震方[1,*],李　斐[2]
(1. 上海城市水资源开发利用国家工程中心有限公司,上海　200082;2. 上海城投水务<集团>有限公司,上海　200001)

摘　要　供水系统是城市重要的市政基础设施之一,供水管道质量直接影响供水系统安全运行。球墨铸铁管具有机械性能良好、耐腐蚀性能优异等优点,目前在市政供水系统中被广泛应用。但现行产品标准主要侧重于工厂质量控制,且部分指标的检测方法不适用于球墨铸铁成品管。文中针对供水用球墨铸铁管,基于产品特点和现行标准,遴选了关键质量指标及相应检测方法,并构建供水用球墨铸铁管质量评价指标体系,包括几何尺寸、外涂层与内衬、力学性能和金相组织,其中壁厚和锌层质量分别采用三坐标测量仪和金相显微镜。质量评价指标体系可为供水用球墨铸铁管的质量管控提供参考。

关键词　供水　球墨铸铁管　标准　质量　指标体系
中图分类号: TU991　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1009-0177(2024)04-0202-07
DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.04.024

Index System of Quality Assessment for Water Supply Ductile Iron Pipes

XIE Zhenfang[1,*], LI Fei[2]
(*1. Shanghai National Engineering Research Center of Urban Water Resources Co., Ltd., Shanghai　200082, China;*
2. Shanghai Chengtou Water <Group> Co., Ltd., Shanghai　200001, China)

Abstract　The water supply system is one of the important municipal infrastructures in the city. The quality of water supply pipeline directly affects the safe operation of water supply system. Ductile iron pipe is widely used in municipal water supply system due to the advantages of good mechanical properties and excellent corrosion resistance. However, the current product standards focus primarily on quality control in factory, and the detection methods of partial indexes are inapplicable to the finished ductile iron pipe. In this paper, the key quality indices and corresponding detection methods were selected based on product characteristics and current standards, including geometric dimensions, outer coating and inner lining, mechanical properties and metallographic structure. Three-coordinate measuring machine and metallographic microscope were applied to the measurement of wall-thickness and zinc coating quality. The quality assessment indices system of ductile iron pipes for water supply is constructed to provide reference for quality control of ductile iron pipes for water supply.

Keywords　water supply　ductile iron pipe　standard　quality　index system

城市供水系统是现代化城市重要的市政基础设施之一,承担自来水输送、分配、压力调节和水量调节的任务,在保证城市经济稳定发展、保障人民生活安定等方面不可或缺。市政供水管道作为供水系统的核心组成,分布于整个城市地下,系统庞大且隐蔽性强,材质的选择应按照"运行安全、耐久、漏损少、施工和维护方便、经济合理以及清水管道防止二次污染"的原则,通过技术、经济、安全等综合分析后确定。目前,我国市政供水管道的管材一般采用球墨铸铁管、钢管、聚乙烯管、硬质聚氯乙烯管等[1]。球墨铸铁管因机械性能良好、耐腐蚀性能优异、安装施工简便、使用寿命长久等优点[2],在市政供水系统中被广泛应用。

随着球墨铸铁管在供水领域应用规模持续扩大,球墨铸铁管质量性能也引起了供水企业的重点关注。《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》(GB/T 13295—2019)是目前球墨铸铁管主要依据

[收稿日期]　2023-03-30
[基金项目]　上海城投水务(集团)有限公司科研项目(KY.JT.22.004)
[通信作者]　谢震方(1989—　),男,硕士,主要从事供排水管网质量性能评估工作,E-mail:xiezhenfang_0523@hotmail.com。

的产品标准。虽然该标准对球墨铸铁管产品质量提出了明确要求,但该标准更侧重于制造商的工厂内质量控制,部分指标的检测方法并不适用于球墨铸铁成品管,导致供水企业无法对施工现场或物资仓库的球墨铸铁管开展质量抽检。

本文针对球墨铸铁管产品特点,在现行国家标准和国际标准的基础上,确定球墨铸铁管的关键性能指标和相应检测方法,并建立供水用球墨铸铁管质量评价指标体系,以期为供水用球墨铸铁管质量管控提供参考。

1 球墨铸铁管产品特点

1.1 生产工艺

供水用球墨铸铁管主要指离心球墨铸铁管,基本生产工艺流程是熔炼后的铁液先经过球化和孕育处理,接着用专用浇包快速均匀倒入高速旋转的铸型内。铁液在铸型内急速冷却后凝固形成铸铁管,之后依次经过退火处理和铸铁管外壁喷锌处理。耐压试验通过后,对铸铁管内壁水泥离心喷涂和养生,最后喷涂或刷涂终饰涂层,检测合格后包装入库[3]。

1.2 产品组成

供水用球墨铸铁管一般从里到外依次为水泥砂浆内衬、铸铁层、金属锌层和终饰层,如图 1 所示。

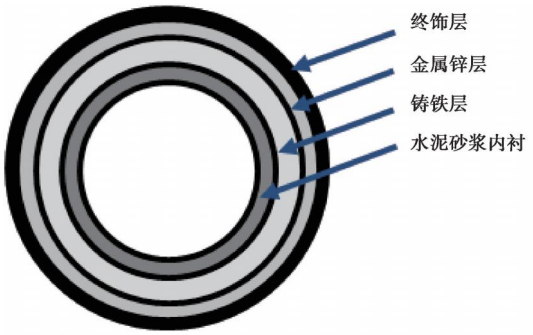


图 1 供水用球墨铸铁管剖面

Fig. 1 Ductile Iron Pipes for Water Supply

水泥砂浆内衬由水泥、砂子和水混合而成,目前常用的水泥有普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、铝酸盐水泥和抗硫酸盐硅酸盐水泥[4]。水泥砂浆内衬并不是完全致密的物理隔断层,水在浸润作用下通过水泥砂浆内衬渗透到铸铁层内表面,在水泥砂浆内衬和铸铁层内表面之间的高碱性环境(pH 值在 12.5 左右)下,经电化学反应在铸铁管内表面生成氧化铁水合物钝化膜[5]。该钝化膜与机械强度高、耐候性优良的水泥砂浆骨料共同组成的内防腐层,阻断水与铸铁层直接接触,抑制了铸铁氧化与腐蚀结垢,为铸铁管内壁提供优良保护。此外,水泥砂浆内衬自身还具有自修复功能,即使水泥养护硬化过程中出现了裂缝缺陷,水泥砂浆会在通水后,通过水化膨胀作用,自动愈合裂缝弥补缺陷。虽然近年来供水用球墨铸铁管也会采用水泥砂浆内衬密封涂层、聚氨酯涂层等其他新型防腐涂层,减少水泥砂浆与供水管道中水接触,同时提高输水能力,但考虑到价格因素,目前水泥砂浆内衬仍是供水用球墨铸铁管首选的防腐内衬。

铸铁层主要是由球墨铸铁组成,球墨铸铁是以铁、碳和硅为基本元素,碳元素主要以球状石墨形式析出的铸铁。球墨铸铁与灰铸铁相比,石墨呈球状,对基体的割裂作用较小,所以其抗拉强度、塑性和韧性均高于灰铸铁;与碳钢相比,球墨铸铁塑性较低,疲劳强度与一般中碳钢相当,但屈服强度几乎是一般碳钢的 2 倍以上[6]。

金属锌层和其上覆盖的终饰层共同组成球墨铸铁管材标准外防腐层,其中金属锌层的锌含量不低于 99.99%,终饰层为沥青涂料或与锌相容的合成树脂涂料。金属锌层一般采用热喷涂工艺,即管材生产加工中,借助喷枪将锌加热到熔融状态并以微滴状喷射到球墨铸铁管外表面上。由于锌具有较低氧化还原电位(-0.76 V,相对标准氢电极),在与土壤接触过程中,金属锌层会自发进行电化学反应,从而在土壤与铸铁层之间生成一层连续致密、不可溶解的隔断层,保护了铸铁管外壁[7]。一般性土壤环境选择“金属锌层+终饰层”的标准外防腐层即可,实际工程中需根据其埋设土壤环境选择球墨铸铁外防腐层。对于腐蚀性土壤环境,可以在标准外防腐层基础上增加聚乙烯套或直接选用聚氨酯涂层等其他涂层,提高管道抗腐蚀能力。

2 球墨铸铁管现行标准

球墨铸铁标准是为了指导生产企业生产出适合供水行业需求的球墨铸铁管材,以及帮助供水企业选购球墨铸铁管材而制定的,其目的在于有效引导和规范行业的良性健康发展。目前供水用球墨铸铁管参照的现行国家标准为《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》(GB/T 13295—2019),标准从技术要求、试验方法、检测规则等方面对球墨铸铁管、管

件和附件做了明确规定。该标准从 1991 年第 1 次发布至今已经经历了 4 次修订,分别为 2003 年第 1 次修订、2008 年第 2 次修订、2013 年第 3 次修订和 2019 年第 4 次修订。从标准发展历程来看,GB/T 13295 系列标准与国际标准保持了同步发展。虽然我国球墨铸铁管生产起步较晚,从 20 世纪 90 年代初才开始大规模生产,但目前我国球墨铸铁管的质量性能与产量均已位居世界前列,说明标准制定的国际性对我国球墨铸铁管质量性能提升和国际市场竞争力提高起到了十分重要的推动作用。

表 1 罗列了现行的国际标准、欧洲标准和中国标准,经比对,指标数量和指标内容上,GB/T 13295—2019 与欧洲标准《水管用球墨铸管、配件及其接头 试验方法和要求》(EN 545: 2010)保持了一致,指标数量都为 21 项,指标范围包括了表面质量、卫生要求、几何尺寸、材料性能、外涂层与内衬、密封要求,而国际标准《输水用球墨铸铁管、管件、附件及其接头》(ISO 2531: 2009)指标数量为 16 项,其指标范围不涉及外涂层与内衬,且密封要求中没有循环压力下接口密封试验的相关技术要求。ISO 2531: 2009 虽然要求铸管的内外部都应有涂层,但内外涂层技术要求仅在资料性附录中列出,不做强制要求。而欧洲标准和中国标准不仅明确提出离心球墨铸铁管的基本外涂层应包括金属锌层和终饰层,内涂层为水泥砂浆内衬,并且对内外涂层均作了明确的技术要求。

表 1　现行的国际标准、欧洲标准和中国标准球墨铸铁管标准对照

Tab. 1　Comparison of Existing International Standard, European Standard and Chinese Standard for Water Supply Ductile Iron Pipes

类别	标准名称	标准号	指标数量	技术指标
国际标准	《输水用球墨铸铁管、管件、附件及其接头》	ISO 2531:2009	16 项	表面质量、安全性评价、外径、插口椭圆度、内径、壁厚、长度、直线度、抗拉强度、断后伸长率、规定塑性延伸强度、布氏硬度、工厂密封试验、内压下接口密封试验、外压下接口密封试验、负压下接口密封试验
欧洲标准	《水管用球墨铸管、配件及其接头 试验方法和要求》	EN 545: 2010	21 项	表面质量、安全性评价、外径、插口椭圆度、内径、壁厚、长度、直线度、抗拉强度、断后伸长率、规定塑性延伸强度、布氏硬度、锌层质量、终饰层厚度、水泥砂浆内衬厚度、水泥砂浆抗压强度、工厂密封试验、内压下接口密封试验、外压下接口密封试验、负压下接口密封试验、循环压力下接口密封试验
中国标准	《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》	GB/T 13295—2019	21 项	表面质量、安全性评价、外径、插口椭圆度、内径、壁厚、长度、直线度、抗拉强度、断后伸长率、规定塑性延伸强度、布氏硬度、锌层质量、终饰层厚度、水泥砂浆内衬厚度、水泥砂浆抗压强度、工厂密封试验、内压下接口密封试验、外压下接口密封试验、负压下接口密封试验、循环压力下接口密封试验

作为国际标准 ISO 2531:2009 的修改采用版,GB/T 13295—2019 有 14 项技术指标的技术要求与国际标准 ISO 2531:2009 基本保持一致,在技术内容上等效采用 ISO 2531:2009 的相应内容,包括表面质量、安全性评价、几何尺寸 4 项(包括外径、插口椭圆度、长度和直线度)、材料性能 4 项(抗拉强度、断后伸长率、规定塑性延伸强度和布氏硬度)和密封要求 4 项(工厂密封试验、内压下接口密封试验、外压下接口密封试验和负压下接口密封试验)。内径的技术要求上参照欧洲标准 EN 545: 2010,增加了内径偏差的技术要求。

GB/T 13295—2019 与现行国际标准 ISO 2531: 2009 和欧洲标准 EN 545: 2010 在壁厚技术要求上存在明显的技术差异。ISO 2531: 2009 与 EN 545: 2010 均依据允许工作压力(PFA)对管道分级,由 10 倍的 PFA 前面加上字母 C 表示,即 C 级管,通过 PFA 与公称外径(De)的函数确定管公称壁厚和最小壁厚限值,压力分级离心球墨铸铁管最小壁厚不小于 3 mm。而 GB/T 13295—2019 可依据 PFA 或壁厚系数(K)进行分级,即 C 级管或 K 级管,其中 C 级管壁厚的技术要求与 ISO 2531:2009 保持一致;K 级管通过 K 与公称直径(DN)的函数确定公称壁厚和最小壁厚限值,壁厚分级离心球墨铸铁管最小壁厚不小于 4.7 mm。经比对,ISO 2531 和 EN 545 旧版标准按照壁厚等级分类,而现行标准修改为了依据 PFA 对管道分级,其目的是在不降低材料性能的

前提下,减少铸铁消耗量,且 C 级管以管道工作压力直接定义球墨铸铁管,便于用户直观理解。与 K 级管相比,C 级管的锌层厚度高于 K 级管(C 级管的锌层质量单位面积平均值不低于 200 g/m^2,局部最小值不低于 180 g/m^2;K 级管的锌层质量单位面积平均值不低于 130 g/m^2,局部最小值不低于 110 g/m^2),即 C 级管外防腐性能优于 K 级管,但考虑到同等规格情况下,C 级管的公称壁厚和公称压力均低于 K 级管,且 C 级管对生产工艺、土壤环境、施工规范要求相对严苛。因此,为了适应我国市场需求和制造现状,GB/T 13295—2019 在采纳 ISO 2531: 2009 新增的压力分级的同时,仍旧保留了壁厚分级。由此可见,GB/T 13295—2019 在与国际标准保持接轨的同时,也根据我国的发展阶段和行业特点制定符合我国国情的球墨铸铁国家标准,这有助于我国球墨铸铁管行业整体制造水平快速提升。

3 指标体系的构建

GB/T 13295—2019 的技术指标依据的检测方法如表 2 所示。经分析发现,GB/T 13295—2019 侧重于制造商的工厂质量控制,部分指标的检测方法不适用于球墨铸铁成品管。此外,标准中规定的 21 项技术指标若全面检测,检测周期较长,不能满足施工现场或物资仓库的检测需求,因此,有必要筛选关键指标,建立供水用球墨铸铁管性能指标评价体系。

表 2 GB/T 13295—2019 的技术指标与检测方法

Tab. 2 Technical Indices and Detection Methods of GB/T 13295—2019

指标类别	技术指标	检测方法
表面质量	表面质量	GB/T 13295—2019
卫生要求	安全性评价	GB/T 17219—1998
几何尺寸	外径	GB/T 13295—2019
	插口椭圆度	
	内径	
	壁厚	
	长度	
	直线度	
力学性能	抗拉强度	GB/T 228.1—2021
	断后伸长率	
	规定塑性延伸强度	
	布氏硬度	GB/T 231.1—2018
外涂层与内衬	锌层质量	GB/T 17456.1—2009
	终饰层厚度	GB/T 13295—2019
	水泥砂浆内衬厚度	GB/T 17457—2019
	水泥砂浆抗压强度	
密封要求	工厂密封试验	GB/T 13295—2019
	内压下接口密封试验	
	外压下接口密封试验	
	负压下接口密封试验	
	循环压力下接口密封试验	

注:GB/T 17219—1998 为《生活饮用水输配水设备及防护材料的安全评价标准》;GB/T 228.1—2021 为《金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》;GB/T 231.1—2018 为《金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》;GB/T 17456.1—2009 为《球墨铸铁管外表面锌涂层 第 1 部分:带终饰层的金属锌涂层》;GB/T 17457—2019 为《球墨铸铁管和管件 水泥砂浆内衬》。

如表 3 所示,供水用球墨铸铁管性能指标评价体系由 4 个指标类别组成,分别是几何尺寸、外涂层与内衬、力学性能和金相组织。其中几何尺寸包括了外径、内径、壁厚、插口椭圆度 4 项指标,外涂层与内衬包括了锌层质量、终饰层厚度、水泥砂浆内衬厚度 3 项指标,力学性能包括了抗拉强度、断后伸长率、规定塑性延伸强度 3 项指标,金相组织包括球化等级和石墨颗粒大小 2 项指标。

表 3 供水用球墨铸铁管质量评价指标体系

Tab. 3 Indices System of Quality Assessment for Water Supply Ductile Iron Pipe

指标类别	技术指标	测量标准
几何尺寸	外径	GB/T 13295—2019
	插口椭圆度	
	内径	
	壁厚	GB/T 3177—2009
外涂层与内衬	锌层质量	GB/T 6462—2005
	终饰层厚度	GB/T 4956—2003
	水泥砂浆内衬厚度	GB/T 4956—2003
力学性能	抗拉强度	GB/T 13295—2019
	断后伸长率	GB/T 228.1—2021
	规定塑性延伸强度	
金相组织	球化等级	GB/T 9441—2021
	石墨颗粒大小	

注:GB/T 3177—2009 为《产品几何技术规范(GPS)光滑工件尺寸的检验》;GB/T 6462—2005 为《金属和氧化物覆盖层厚度测量显微镜法》;GB/T 4956—2003 为《磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法》;GB/T 9441—2021 为《球墨铸铁金相检验》。

3.1　几何尺寸

球墨铸铁管插口的几何尺寸直接影响接口密封性能,进而影响管网系统运行效果。供水用球墨铸铁管质量评价指标体系中几何尺寸选择了外径、插口椭圆度、内径、壁厚这 4 项性能指标。4 项性能指标限值与 GB/T 13295—2019 相应技术要求保持一致。

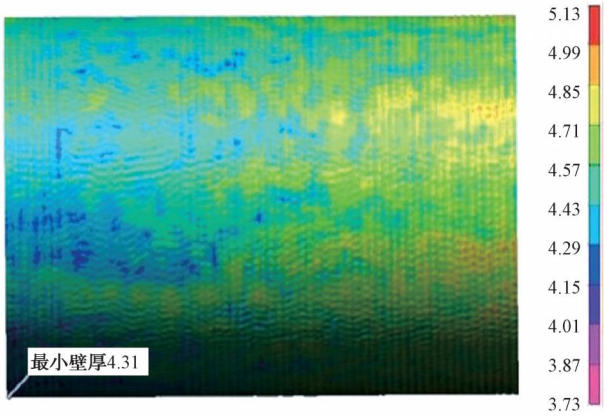
外径、插口椭圆度、内径均按照 GB/T 13295—2019 的相关要求开展检测,采用合适的工具在球墨铸铁管上直接测量,插口外径在插口端用环形尺等测量,插口椭圆度在插口端通过测量最大直径和最小直径计算得到,内径可用样板尺进行测量,在距端面 200 mm 或 200 mm 以上处横截面上互成直角测量,也可用千分尺直接测量。

GB/T 13295—2019 中提到壁厚可直接测量或用合适的工具测量,如采用机械或超声波设备。本评价体系中壁厚推荐使用三坐标测量仪测量,依据的检测方法为 GB/T 3177—2009。三坐标测量仪基于三坐标测量原理,是一种三维尺寸的精密测量仪器,即将被测物体置于三坐标测量仪的测量空间,获得被测物体上各测点的坐标位置,根据这些点的空间坐标值,经过数学运算,求出被测物体的几何尺寸、形状和位置。目前,三坐标测量仪已被广泛应用于机械制造业、汽车工业、电子工业、航空航天业和国防工业等,成为现代工业检测和质量控制不可缺少的测量设备[8]。通用的三坐标测量仪能够实现微米级的测量精度,误差范围高于 GB/T 13295—2019 关于壁厚的检测技术要求(壁厚应使用误差范围为±0.1 mm 的合适设备测量)。采用数显千分尺和三坐标扫描仪分别对不同口径、长度为 70 cm 的球墨铸铁管样品开展检测,检测结果如表 4 所示。三坐标测量仪最小壁厚的检测结果均低于数显千分尺的检测结果,且三坐标测量仪测量范围可覆盖样品全长度,而数显千分尺仅能在样品端口处往里 10 cm 范围内测量。与游标卡尺、壁厚千分尺等测量工具相比,三坐标测量仪具有测量范围广、测量精度高、测量点位多等优点,因此,将其应用于球墨铸铁管材壁厚检测,可较为全面反映出球墨铸铁管材壁厚分布情况,提高检测结果的准确度。此外,如图 2 所示,三坐标测量仪还可基于点位数据通过软件可构建壁厚分布图,并通过不同颜色代表不同的壁厚数值来直观反映球墨铸铁管的壁厚分布情况。

表 4　数显千分尺与三坐标测量仪壁厚检测结果比对

Tab. 4　Thickness Test Results of Digimatic Micrometer and Coordinate Measuring Machine

DN	壁厚最小值/mm		标准限值/mm
	数显千分尺	三坐标测量仪	
100	4.1	4.00	≥4.7
150	4.6	4.53	≥4.7
200	6.6	5.25	≥4.8
300	6.6	5.90	≥5.6
500	8.3	7.75	≥7.2
700	10.0	9.62	≥8.8
800	11.0	10.10	≥9.6
900	12.3	11.53	≥10.4
1 000	13.2	13.20	≥11.2
1 200	13.4	13.00	≥12.8



注:图中单位为 mm。

图 2　球墨铸铁管壁厚分布

Fig. 2　Thickness Distribution of Ductile Iron Pipes

3.2　外涂层与内衬

由于内外环境的复杂性(各种土壤环境及水质),球墨铸铁管的内外表面防腐蚀效果直接影响到管道的长期使用性和安全性,成为衡量管道质量的重要指标。考虑到供水用球墨铸铁管正常情况下首选“金属锌层+终饰层”为外防腐层,水泥砂浆为内防腐层,因此,供水用球墨铸铁管质量评价指标体系中外涂层与内衬选择了锌层重量、终饰层厚度和水泥内衬这 3 项性能指标。3 项性能指标限值与 GB/T 13295—2019 相应技术要求保持一致,即锌层重量和终饰层厚度符合 GB/T 17456.1—2009 相关限值要求,水泥砂浆内衬厚度符合 GB/17457—2019 相关限值要求。

终饰层厚度和水泥砂浆内衬厚度均采用磁性测厚仪直接测量,检测方法为 GB/T 4956—2003,即使用磁性测厚仪无损测量基体金属上非磁性覆盖层厚度的方法。

GB/T 17456.1—2009 中锌层质量采用重量法检测,即在工厂喷锌层前,先沿轴向贴一矩形试片于球墨铸铁管外表面上,根据试片喷锌前后质量差计算得到锌涂层平均质量和局部最小值。该方法可以比较真实反映球墨铸铁管锌层质量,但仅限于工厂内生产线上开展检测,并不适用于球墨铸铁成品管检测。本研究经比较,GB/T 6462—2005 适用于球墨铸铁成品管,可作为锌层质量的间接测量方法。先从待测样品上切割一块试样,镶嵌后,采用适当的技术对横断面进行研磨、抛光和侵蚀,最后运用光学显微镜测量覆盖层横断面的厚度。如图 3 所示,光学显微镜下铸铁层、金属锌层和终饰层有比较明显的界面分隔,从左到右的区域依次为铸铁层、金属锌层、终饰层和镶嵌层。可通过测微计测量视野范围内金属锌层的厚度,将金属锌层厚度检测值与纯锌密度(7.2 g/m^2)的乘积即可得到锌层重量的检测值。

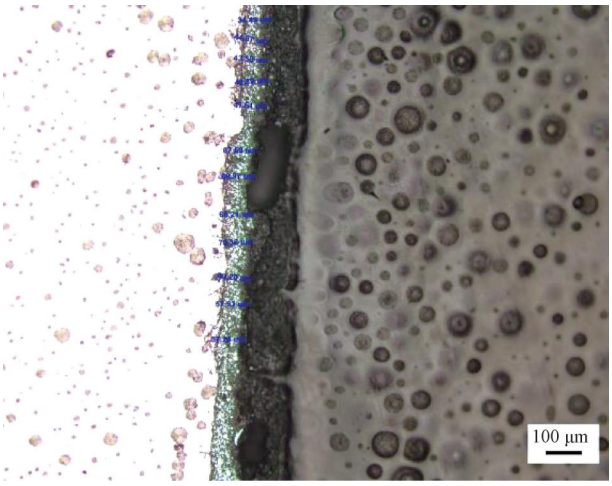


图 3 光学显微镜下球墨铸铁管外表面照片

Fig. 3 Photo of Exterior Surface of Ductile Iron Pipe under Light Microscope

3.3 力学性能

供水管道在使用过程中,地形和供水的需要将承受一定的压力,另外使用中的一些突发情况将产生瞬间的高压,因此,管道的抗压性能直接关系到管网能否安全使用并提供长期稳定的供水。球墨铸铁是通过球化和孕育处理得到球状石墨,有效地提高了铸铁的机械性能,特别是提高了塑性和韧性,从而得到比碳钢还高的强度。因此,力学性能直接反映了球墨铸铁管质量性能优劣。

供水用球墨铸铁管质量评价指标体系中力学性能选择了抗拉强度、断后伸长率、规定塑性延伸强度。抗拉强度是金属在静拉伸条件下的最大承载能力,即金属材料在拉力作用下抵抗破坏的最大能力,反映了球墨铸铁管抵抗拉伸破坏的能力;断后伸长率是指金属材料受外力作用断裂时,试棒伸长的长度与原来长度的百分比,反映了球墨铸铁管的延展性能;规定塑性延伸强度指的是规定塑性延伸率为 0.2%时对应的应力,由于球墨铸铁在拉伸过程中不会发生明显的屈服现象,一般以规定塑性延伸率反映球墨铸铁管的屈服强度,即球墨铸铁管抵抗变形的能力。这 3 项性能指标限值与检测方法均与 GB/T 13295—2019 相应技术要求保持一致,先依据 GB/T 13295—2019 制备力学试棒,然后按照 GB/T 228.1—2021 开展拉伸试验。

3.4 金相组织

球墨铸铁的力学性能主要取决于基体组织及石墨的数量、形状、大小和分布等[9]。供水用球墨铸铁管质量评价指标体系中金相组织选择了球化等级和石墨颗粒大小。这 2 项指标均采用金相显微镜检测,检测方法为 GB/T 9441—2021。

球墨铸铁中的石墨形态主要是球状石墨(石墨颗粒圆整度大于等于 0.6 的石墨颗粒),还包括少量的非球状石墨如团状、团絮状、蠕虫状等。球化等级是以球化率来划分,即铸铁中球形石墨颗粒面积占石墨颗粒总面积的百分比,反映石墨颗粒中球状石墨的数量。GB/T 9441—2021 将球化等级分为 6 级,通过比较评级图,球化率大于 80%时石墨主要以球状和团状为主,球化率低于 80%时石墨中球状石墨已不是主要形态。石墨颗粒大小反映的是石墨颗粒的尺寸,GB/T 9441—2021 将石墨颗粒大小分为 6 级,研究发现,球状石墨数越多,石墨球越圆整且球径越小,球墨铸铁管的力学性能越好。目前,我国规模较大的球墨铸铁制造企业均以球化等级 1~3 级、石墨颗粒大小 6~8 级作为内控指标。因此,供水用球墨铸铁管性能指标评价体系中球化等级和石墨颗粒大小的技术要求为球化等级应在 1~3 级,石墨颗粒大小应在 6~8 级。

4 结论

(1)从几何尺寸、外涂层与内衬、力学性能和金

相组织 4 个方面建立供水用球墨铸铁管质量评价指标体系,该指标体系对施工现场或物资仓库的球墨铸铁管质量管控具有实际指导意义。

(2)基于球墨铸铁管产品特点,指标体系提出球墨铸铁成品管壁厚可采用三坐标测量仪,锌层质量可采用金相显微镜。

(3)后续还可根据供水用球墨铸铁管新生产工艺和新检测技术的研究与应用现状,进一步深化完善质量评价指标体系。

参考文献

[1] 王曦. 市政室外给水管道设计要点分析[J]. 工程建设与设计, 2018, 397(23): 159-160, 164.
WANG X. Analysis on the design points of outdoor municipal water supply pipeline [J]. Construction & Design for Engineering, 2018, 397(23): 159-160, 164.

[2] 李相宜, 赵蓓, 游晓旭, 等. 供水管道管材的特性及应用综述[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 52-59.
LI X Y, ZHAO B, YOU X X, et al. General review of characteristics and application for water supply pipeline materials [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 52-59.

[3] 陈建波, 申发田, 李志杰, 等. 热模涂料法球墨铸铁管离心铸造工艺[J]. 铸造, 2019, 68(3): 287-290.
CHEN J B, SHEN F T, LI Z J, et al. Centrifugal casting process of hot-mold ductile iron pipes [J]. Foundry, 2019, 68(3): 287-290.

[4] 申发田, 杜波, 孙聚杰, 等. 球墨铸铁管内外表面防腐技术[J]. 铸造设备与工艺, 2019(2): 36-38.
SHEN F T, DU B, SUN J J, et al. Anticorrosion technology for inner and outer surface of ductile iron pipe [J]. Foundry Equipment and Technology, 2019(2): 36-38.

[5] 宫景文. 球墨铸铁管离心内衬工艺装备[J]. 铸造工程, 2023, 47(1): 81-85.
GONG J W. Centrifugal lining process equipment of ductile cast iron pipe[J]. Foundry Equipment, 2023, 47(1): 81-85.

[6] 王峰. 球墨铸铁的应用及技术发展[J]. 湖北理工学院学报, 2021, 37(6): 54-58.
WANG F. Application and technical development of ductile iron [J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2021, 37(6): 54-58.

[7] 张鸿鹏. 给水管道腐蚀原因及防护措施探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(3): 110-111, 122.
ZHANG H P. Discussion on corrosion causes and protective measures of water supply pipelines[J]. Total Corrosion Control, 2021, 35(3): 110-111, 122.

[8] 张涛. 三坐标测量机建立坐标系方法及应用[J]. 湖南工业职业技术学院学报, 2023, 23(1): 24-27.
ZHANG T. The methods and applications of establishing coordinate system with CMM [J]. Journal of Hunan Industry Polytechnic, 2023, 23(1): 24-27.

[9] 王泽华, 徐飞龙, 张欣, 等. 关于球墨铸铁球化率评定方法的初步探讨[J]. 铸造, 2017, 66(4): 348-354.
WANG Z H, XU F L, ZHANG X, et al. Discussion on test methods for evaluating the ductile iron[J]. Foundry, 2017, 66(4): 348-354.

勘　误

刊登于《净水技术》2024 年 43 卷 03 期第 143 页的《降雨间隔和填料组合对生物滞留设施净化效果的影响》(作者为王琦,颉亚玮,王永,谢宇菲,刘宏远)一文中,原基金项目为“杭州市住宅小区海绵城市建设评估研究(KYY-HX-20200606);杭州市老城区污水提质增效方案研究(KYY-HX-20210838)”,现需更改为“国家自然科学基金项目(52070111,52170093);浙江省自然科学基金资助项目(LY22E080010)”,特此更正,并对读者造成的不便致以深切歉意。