

标准制修订编制说明(征集意见阶段)

1.任务来源、工作简要过程、主要参加单位和工作组成员等

1) 任务来源

本项目是依据中国铸造协会〔2024〕79号文“关于中国铸造协会铸钢工作委员会一项团体标准制修订的批复”，项目计划号为T/CFA 2024033，项目名称为“重型燃气轮机用铸钢件制造技术规范”。本项目是制订项目。主要起草单位：共享铸钢有限公司、共享装备股份有限公司，计划完成时间为2026年。

2)工作简要过程

(1)起草(草案、调研)阶段(应描述清楚起草组的成立情况以及开展的各项工作介绍，有专题调研报告时应将其扫描件作为附件附后)：

计划下达后，2024年10月中铸协铸钢工作委员会组织各起草单位成立了标准起草工作组，由共享铸钢有限公司为组长单位，负责主要起草工作。工作组对国内外燃气轮机发展情况进行全面调研，同时广泛搜集相关标准和国内外技术资料，进行了大量的研究分析、资料查证工作，结合实际应用经验，进行全面总结和归纳，在此基础上编制出《重型燃气轮机用铸钢件制造技术规范》标准草案初稿。

(2)草稿阶段(应描述清楚征求意见反馈情况)：

2025年3月至2025年5月，中铸协铸钢工作委员会以函审形式定向对标准草稿征求意见。收到反馈意见156条(含专家预审意见)，其中采纳63项，部分采纳46项，未采纳47项(意见汇总处理表)。

(3)征求意见阶段阶段(应描述清楚审查会的情况和必要时的函审情况)：

3) 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

本标准由共享铸钢有限公司、中国重型燃气轮机有限公司、……。

主要成员：陈婷婷、冯周荣、纳学洋、郭宁、郭小强、赵国伟、薛蕊莉、王鹏超。

陈婷婷为工作组组长，为本标准主要执笔人，负责本标准的具体起草与编制。冯周荣、纳学洋负责标准整体的人员安排及资源查找，统筹进度安排；郭宁负责标准焊接方面的相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证，对焊接技术进行总结和归纳；郭小强负责标准铸造工艺方面的相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证，对铸造工艺技术进行总结和归纳；赵国伟负责标准熔炼、浇注方面的相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证，对熔炼、浇注技术进行总结和归纳；薛蕊莉、王鹏超负责对标准

内容校对、对外沟通，并对各方面的意见及建议进行归纳、整理。

2.制修订标准的原则

1) 制修订标准的依据或理由

本标准在起草过程中主要按 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分:标准化文件的结构和起草规则》的要求编写。在确定本标准主要技术指标时，综合考虑生产企业的能力和用户的利益，寻求最大的经济、社会效益，充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

2) 制修订标准的原则及制修订标准的原则

本标准在制订过程中，遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，注重标准修订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，本着先进性、科学性、合理性和可操作性以及标准的目标、统一性、协调性、适用性、一致性和规范性的原则来进行本标准的制定工作。

3.标准化对象简要情况

（应分析目前行业现状、市场需求和存在问题：涉及产品的主要品种、产量、主要生产厂家、应用现状等，涉及试验方法的水平、行业内使用情况、目前试验设备及仪器等）

重型燃气轮机被誉为制造工业的“皇冠上的明珠”，其技术壁垒极高，是高效、清洁的能源转换设备。燃气轮机的基本组成包括压气机、燃烧室、涡轮以及相关的辅助系统，按结构形式和输出功率可分为微型、轻型和重型三类，其中重型燃气轮机功率在 50MW 以上。然而，全球燃气轮机市场呈现“双寡头”垄断竞争格局，美国通用电气和德国西门子 2022 年合计占据了全球 80% 的市场份额。在中国市场，虽然国内企业如哈尔滨电气、东方电气、上海电气等已具备一定的自主化设计与制造能力，但在重型燃气轮机领域，与国际先进水平相比仍有较大差距。国内重型燃气轮机仍主要依赖进口，核心技术被国际厂商垄断。

重型燃气轮机铸钢件的市场需求主要来自于电力、石油化工、航空航天、海洋工程等多个领域。随着全球经济的发展和能源需求的增长，燃气轮机作为高效、清洁的能源转换设备，其市场需求将持续增长。特别是在中国，随着清洁能源政策的推进和工业升级的需求，燃气轮机在多个领域的应用将更加广泛。此外，随着“西气东输”、“西电东送”等国家重点工程项目的实施，以及船舶制造业的快速发展，对燃气轮机的需求将进一步上升。

重型燃气轮机铸钢件的制造工艺较为复杂，各工序控制难度大。铸造工艺的选择和控制对铸件质量至关重要。如果工艺参数设置不当，如熔炼温度、浇注速度、冷却条件等，都可能导致铸件出

现缺陷，如缩松、缩孔、龟裂等；热处理工艺参数控制严格，如冷却速度、保温温度及时间设置不合理，都会造成铸件开裂或性能不合格；焊补对工人技术水平要求高，需要丰富的经验。同时，焊补过程中需要严格控制温度、时间等参数，以确保焊补质量。因此本标准对铸钢件生产各工序的重要参数进行规范，以获得合格的产品。

4.与国际、国外标准对比情况

1) 采用国际标准和国外先进标准的项目，应当详细地说明采用该标准的目的、意义，标准程度及理由。

无。

2) 与国际、国外同类标准的主要差异，或与测试的国外样品的有关数据对比情况等。

(应描述清楚对比情况，同时给出本标准的水平：国际先进、国际领先、国内先进、国内领先，同时应将查新报告扫描件作为附件附后)

无。

5.标准主要内容

1) 适用范围

本文件规定了重型燃气轮机用铸钢件生产的人员、铸造工艺、熔炼、浇注、落砂、冒口切割、热处理和焊接技术。

本文件适用于重型燃气轮机用铸钢件的生产应用。

2) 主要内容

(主要性能指标、技术要求、试验方法、检验规则等，应详细描述设定的理由，与现有国内外标准不一样的理由以及标准解决的主要问题等)

本标准由范围、规范性引用文件、术语和定义、人员、铸造工艺、熔炼和浇注、落砂和冒口切割、热处理、焊接 9 部分内容组成，主要内容如下：

人员：本部分规定了从事重型燃气轮机铸钢件生产技术和质量控制的人员的要求，尤其是焊工和无损检验人员；

铸造工艺：本部分规定了重型燃气轮机铸钢件铸造工艺设计时的补缩设计、冷铁、补贴、试块、工艺吊把、浇注系统以及其他等要求；

熔炼和浇注：本部分规定了重型燃气轮机铸钢件熔炼和浇注时的工艺技术要求；

落砂和冒口切割：本部分规定了重型燃气轮机铸钢件不同材质落砂和冒口切割的工艺技术要求；

热处理：本部分规定了重型燃气轮机铸钢件不同材质热处理工艺技术要求、加热设备要求、冷却设备要求、工艺材料要求、过程控制要求；

焊接：本部分规定了重型燃气轮机铸钢件焊接类型、焊接程序、补焊、铸件预热、焊接参数选择及控制、层间清理、焊后清理、去应力热处理、记录的要求。

6.主要试验（或验证）结果的分析报告、技术经济论证，预期达到的经济效果等

1) 铸造工艺：

重型燃气轮机铸件种类较多，本次选取压气缸解释说明。

① 补缩设计、冷铁设计

铸钢件补缩为顺序补缩，热节的补缩一般分为三种方式，热节处设计冒口补缩、设计冒口+补贴方式补缩热节、热节部位冷铁激冷三种方式。对于铸件太高或热节多层结构，需要设计多层冒口补缩，如图 1 所示工艺结构，多层热节补缩需要两层冒口进行补缩，上端几层通过明冒口+补贴方式进行补缩，底层热节通过暗冒口进行补缩，暗冒口补缩能力弱，尤其在暗冒口颈上端部分与补贴末端重合区域，一般由于重合区域无补缩或暗冒口过热导致缩松，铸造工艺需要明暗冒口分区补缩，尤其在重合区域减小模数形成补缩梯度，铸造工艺需要设计分区冷铁进行激冷，减小暗冒口颈上端部位热节模数，使明暗冒口分区补缩。

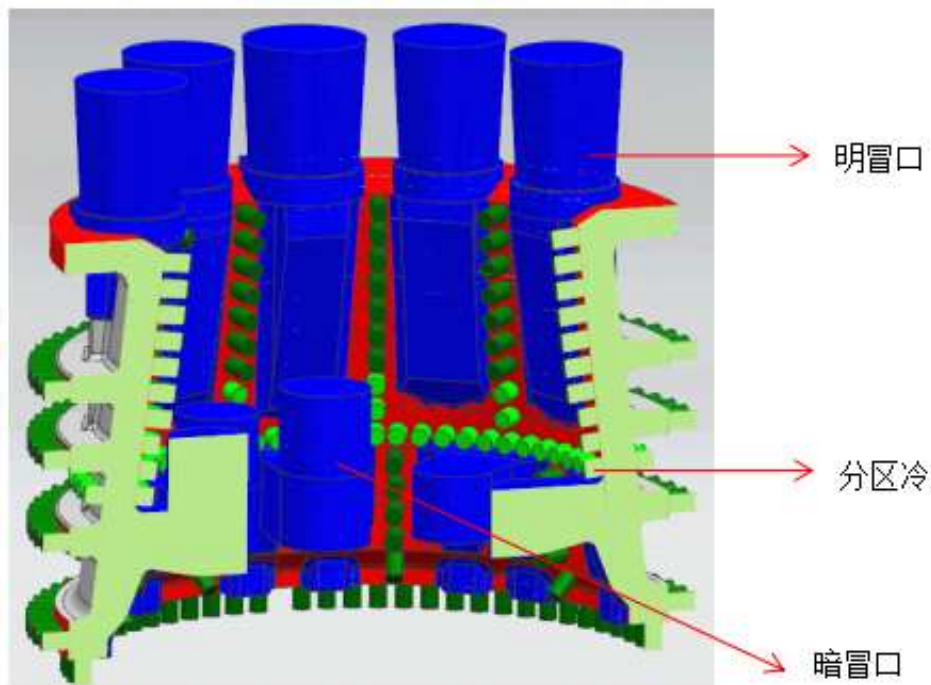


图 1 压气缸补缩工艺及分区冷铁设计

图 2 所示为一处热节脖子，在热节端面设计冷铁激冷，脖子在冷铁的激冷下会产生收缩应力，导致两个脖子中间连接 R 角部位受收缩应力拉扯产生裂纹，裂纹为表面 10mm 左右深度，在此部位设计随

型冷铁进行激冷，使 R 角表面瞬间激冷，防止表面应力拉扯导致裂纹。

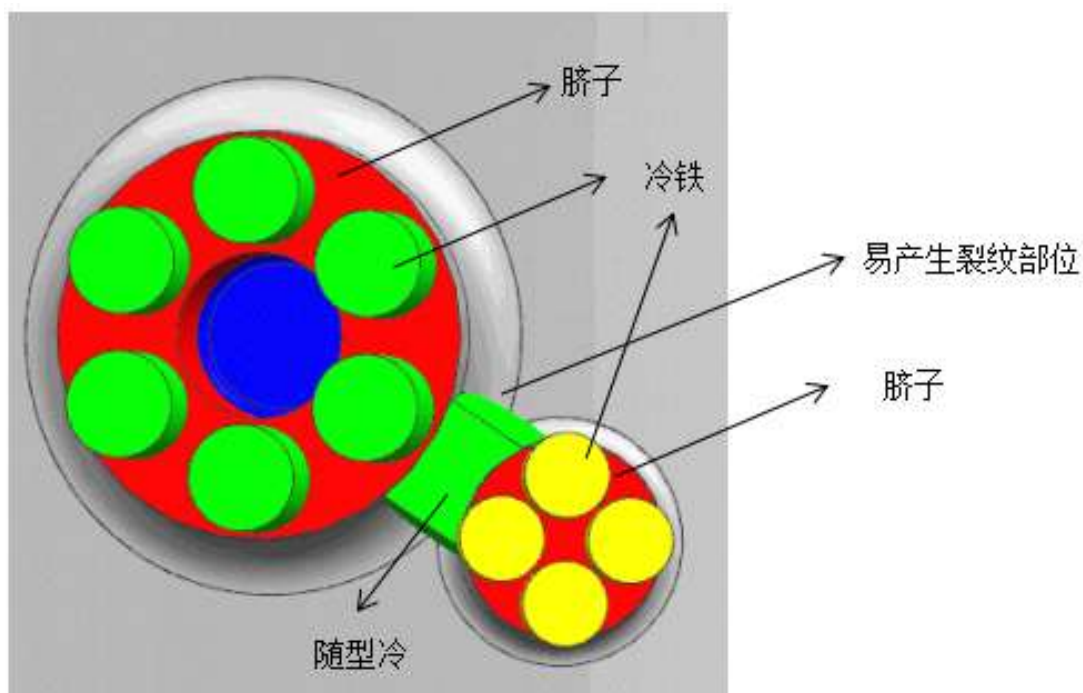


图2 压气缸热节部位冷铁设计

② 补贴设计：

热节与补缩冒口之间补缩通道要通畅并符合必要的梯度，一般按照模数计算法进行计算。补贴尽量设计在非加工面，避免将加工面设计在补贴中心部位导致组织不好，如满足不了，补贴厚度不宜过厚，如过厚易导致加工面处于补贴中心部位导致组织不好的问题。补贴尽量不要设计在铸件两面，这样切割、气刨工作量增大一倍。图3所示冒口补贴符合以上设计原则，铸件生产质量良好。

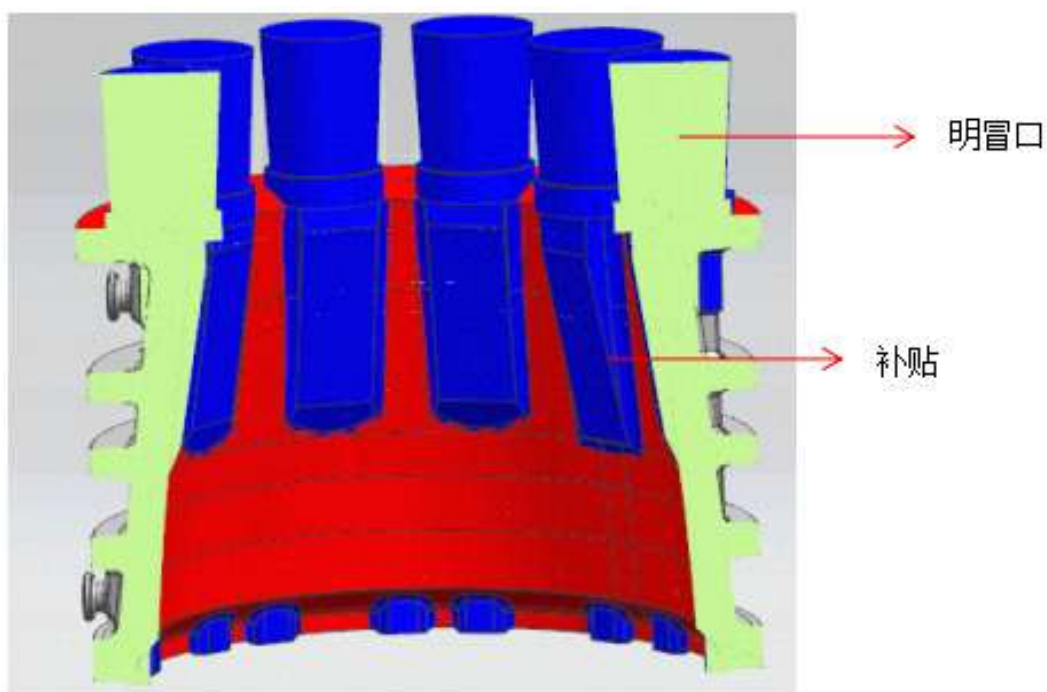


图3 压气缸补贴设计

③ 试块设计:

试块设计时, 应满足两个要求, 试块设计不会对铸件形成热结, 此外应确保试块检测部位自身无铸造缺陷且性能利于合格。基于此特点设定以下原则: 试块不要放在浮渣面上, 防止检测部位出现夹渣缺陷, 容易造成延伸率偏低和冲击不合格的现象, 更有甚者直接脆断, 无颈缩; 试块不放在加工面上或补贴面上, 防止切割和加工过程干涉, 正常试块要跟随铸件全过程, 加工面和补贴面上防止试块, 若提前切割有丢失试块的可能; 试块不要放在内腔, 风冷时, 内腔吹不上, 影响冷却; 试块长度方向或高度方向顺着液面上升方向, 这样试块部位集渣在拉伸或弯曲试样的夹持端, 而非检测部位; 试块不要放置到分型面、分芯面, 防止合箱错台影响试块尺寸外观, 并减少冲砂风险; 图 4 所示试块符合以上设计原则, 铸件生产质量良好。

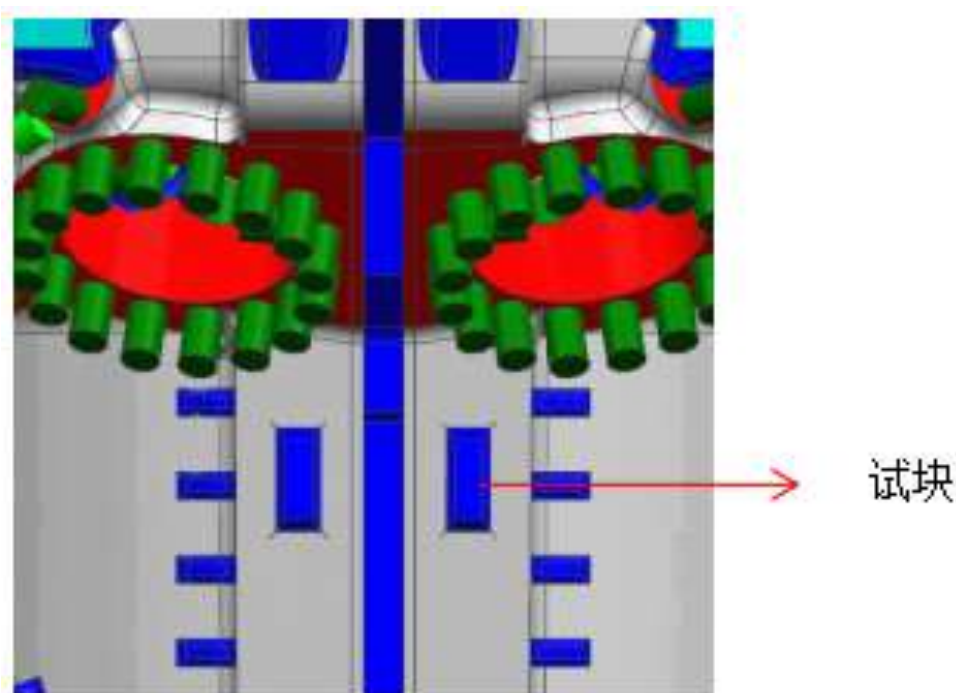


图 4 压气缸试块设计

④ 浇注系统设计

浇注系统的设计优良影响铸件浇注质量, 如紊流、卷气等问题, 所以浇注系统设计要考虑内浇口出流速度, 浇注时间, 内浇口的设置均匀性等问题, 一般内浇口进流速度应控制在 $0.35\text{m/s}\sim 0.5\text{m/s}$ 之间, 铸件壁厚在 120mm 以上时, 进流速度允许最高不超过 0.6m/s 。内浇口不允许从铸件本体侧向进流。图 5 所示浇注系统的设计满足以上要求, 铸件质量外观良好。

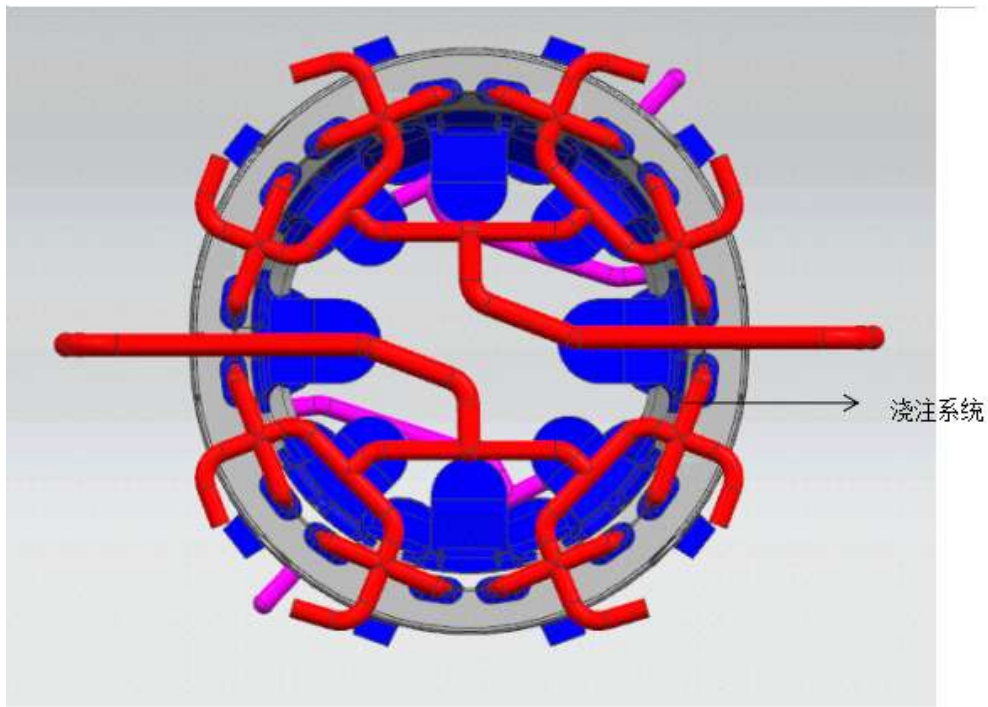


图 5 压气缸浇注系统设计

2) 熔炼、浇注

根据投炉料类型选择合适的冶炼工艺，本材料采用废钢以及回炉料作为原材料，其材料表面质量较差，含有一定的夹杂物，所以采用 EAF+LF 冶炼工艺。在 EAF 阶段，通过吹氧脱碳，控制脱碳量 $\geq 0.3\%$ ，脱碳量太高，吹氧量增加，钢水氧化加剧，同时延长吹氧时间，脱碳量低，去夹杂不够彻底，产生的 CO 气泡带动钢液中的夹杂物及有害气体，起到净化钢液的作用；同时吹氧阶段产生的氧化性氛围，可有效去除钢中有害元素 P；由于脱磷反应是可逆反应，条件改变会朝反方向进行，所以吹氧后期还需将炉内氧化渣去除，以免在还原阶段，钢渣中的 P 重新被还原回去导致 P 含量上升。EAF 还原阶段主要采用 Al、Si、Mn 进行脱氧，也是目前行业普遍采用的脱氧剂，这几种脱氧剂相对于 Ti、Ca、稀土等几种脱氧剂，更加经济、实惠。

表 1 EAF 炉脱碳量对夹杂物影响

脱碳量	夹杂物面积	夹杂物等级（粗系）	夹杂物等级（细系）
0.18%	0.16%	2.5	3.0
0.24%	0.15%	2.5	2.5
0.30%	0.08%	2	2
0.32%	0.07%	1.5	2
0.40%	0.09%	2	2
0.50%	0.1%	1.5	2.5

表 2 不同脱氧剂对比

脱氧剂类型	脱氧效率	价格
Al	高	适中
Si	中	低
Mn	中	低
Ca	中	高
Ti	高	高
稀土	高	高

LF 阶段主要是对钢液进行脱氧、脱硫同时进行合金化，加入的合金在钢包底吹氩的搅拌作用下快速熔化，同时均匀分布，防止偏析；同时吹氩还可以促进钢渣反应，加速脱氧、脱硫反应，同时可带动钢中夹杂物上浮，起到净化钢液的作用。LF 炉一般采用 Al 粒、CaSi 进行扩散脱氧，脱氧产物在钢渣中，对钢液质量影响较小，这也是行业普遍采用的脱氧方式。在加合金阶段，一般优先加入钼铁、钨铁、钴等高熔点合金，这样可以增加他们在钢液中的熔化时间，确保熔化效果；而低熔点、易氧化的合金如铌铁、硅铁等一般在最后加入，如加入过早，随着冶炼时间增加，合金元素会被氧化。合金调整完毕后，进行软吹，软吹的目的主要是为了确保夹杂物充分上浮，进一步净化钢液，软吹时间一般控制在 20min 左右为宜，时间太短，夹杂物上浮不充分，时间太长，夹杂物上浮效果逐渐不明显，而且延长冶炼时间，不利于成本节约，根据试验结果证明，软吹时间控制在 20min 较为合适。

表 3 软吹时间对夹杂物影响

软吹时间	夹杂物面积	夹杂物等级（粗系）	夹杂物等级（细系）
8min	0.25%	2.0	2.5
10min	0.21%	2.0	2.0
15min	0.12%	1.5	2.0
20min	0.07%	1.0	1.5
30min	0.06%	1.0	1.5

钢水进 VOD 前需扒掉 90%以上钢渣，主要原因是在真空条件下钢渣会阻止氧气与钢水接触，影响吹氧脱碳反应，同时钢渣密度较小，在抽真空过程中会引起喷溅。钢包自由空间需 $\geq 600\text{mm}$ ，由于吹氧脱碳反应是在钢包内进行，自由空间太小，钢水会从钢包内溢出，烧坏设备。VOD 脱碳量控制在 0.3% 左右，脱碳量太高，吹氧量也随之增加，钢水升温过高也可能导致设备事故，而脱碳量太低，去气、去夹杂不充分。吹氧结束后真空度提高至 67pa 以下，高真空保持 15min，使钢中残留 O 与 C 进一步反应，降低钢中碳的同时，进行脱氧，这也是目前行业 VOD 普遍控制手段。高真空结束后加入 Al、Si

等进行脱氧，然后取样分析调整化学成分，成分及温度全部合格后出钢浇注。

3) 落砂、冒口切割、热处理：

在 2020-2024 年，共享铸钢有限公司在如下材质产品按照此规范规定的落砂、冒口切割、热处理工艺要求进行验证，这些产品按照规范中的要求执行，最终全部合格交付。

① ZG230-450

选取近期生产的 3 件试验件，其过程中的工艺参数见表 4 及表 5。

表 4 ZG230-450 切割前预备热处理工艺参数

序号	切割温度	热处理工艺			
		升温速率 °C/h	保温温度 °C	保温时间 h	冷却方式及速率 °C/h
标准要求	≥100°C	≤110	200~350	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	炉内缓慢冷却，速率≤70
试验件 1	≥150°C	50	350	8	≤50
试验件 2	≥150°C	60	250	10	≤50
试验件 3	≥150°C	60	250	8	≤50

表 5 ZG230-450 质量热处理及焊后消应力工艺参数

序号	工序名称	热处理工艺			
		升温速率°C/h	保温温度°C	保温时间 h	冷却方式及冷却速率°C/h
标准要求	正火	≤110	880~910	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	强制空气冷却至最高 200°C
	回火	≤110	600~650	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min8h	空冷至室温
	去应力	≤75	580~650	按缺陷最大深度 mm*2min/mm+1h,min3h	炉内缓慢冷却，速率≤70
试验件 1	正火	53	910	6	风冷
	回火	47	637	8.7	空冷
	去应力	47	588	5	40
试验件 2	正火	60	910	10	风冷
	回火	60	615	10	空冷
	去应力	60	610	7	50
试验件 3	正火	50	905	8	风冷
	回火	40	610	8	空冷
	去应力	60	585	8	50

3 种试验件经过检测，机械性能全部满足规范要求见表 6，全序热处理工艺执行后没发现异常。

表 6 ZG230-450 试验件性能数据

	抗拉强度 Mpa	屈服强度 Mpa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	冲击 J
标准要求	≥450	≥230	≥22	≥32	-
试验件 1	566	361	33.2	66.5	73.6
试验件 2	500	274	26.3	55.2	61.1
试验件 3	645	484	22.5	65.4	32.6

② ZG17Cr1Mo

选取近期生产的 3 件试验件，其过程中的工艺参数见表 7 及表 8。

表 7 ZG17Cr1Mo 切割前预备热处理工艺参数

序号	切割温度	热处理工艺			
		升温速率 °C/h	保温温度 °C	保温时间 h	冷却方式及速率 °C/h
标准要求	≥150°C	≤110	250~450	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	≥150°C	50	440	9	40
试验件 2	≥150°C	50	450	12	40
试验件 3	≥150°C	40	450	14	35

表 8 ZG17Cr1Mo 质量热处理及焊后消应力工艺参数

序号	工序名称	热处理工艺			
		升温速率°C/h	保温温度°C	保温时间 h	冷却方式及冷却速率°C/h
标准要求	正火/淬火	≤110	920~960	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	液体冷却或强制空气冷却,1h 内至少冷到 650°C,然后继续 风冷到最高 200°C
	回火	≤110	675~730	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min8h	炉内缓慢冷却,速率≤75
	去应力 ^a	≤75	660~700	按缺陷最大深度 mm*2min/mm+1h,min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	正火	50	940	9	风
	回火	50	710	9	50
	去应力	40	680	9	40
试验件 2	正火	40	945	12	风
	回火	45	705	12	40
	去应力	40	685	12	40
试验件 3	正火	40	950	14	风
	回火	50	700	14	35
	去应力	50	680	14	30

3 种试验件经过检测，机械性能全部满足规范要求见表 9，全序热处理工艺执行后没发现异常。

表 9 ZG17Cr1Mo 试验件性能数据

	抗拉强度 Mpa	屈服强度 Mpa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	冲击 J
标准要求	490-690	≥315	≥20	-	≥27
试验件 1	591	428	23.3	-	78.1
试验件 2	563	381	26.4	-	34.3
试验件 3	552	394	24.6	-	119

③ ZG17Cr2Mo1

选取近期生产的 3 件试验件，其过程中的工艺参数见表 10 及表 11。

表 10 ZG17Cr2Mo1 切割前预备热处理工艺参数

序号	切割温度	热处理工艺			
		升温速率 °C/h	保温温度 °C	保温时间 h	冷却方式及速率 °C/h
标准要求	≥150°C	≤110	250~450	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	≥150°C	40	450	10	25
试验件 2	≥150°C	35	450	17	30
试验件 3	≥150°C	45	450	14	40

表 11 ZG17Cr2Mo1 质量热处理及焊后消应力工艺参数

序号	工序名称	热处理工艺			
		升温速率°C/h	保温温度°C	保温时间 h	冷却方式及冷却速率°C/h
标准要求	正火/淬火	≤110	920~960	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	液体冷却或强制空气冷却,1h 内至少冷到 650°C,然后继续 风冷到最高 200°C
	回火	≤110	690~730	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min8h	炉内缓慢冷却,速率≤75
	去应力 ^a	≤75	660~700	按缺陷最大深度 mm*2min/mm+1h,min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	正火	40	940	12	PAG 淬火
	回火	40	700	11	20
	去应力	35	680	10	25
试验件 2	正火	45	935	17	风冷
	回火	45	700	17	40
	去应力	45	660	9	40
试验件 3	正火	45	940	17	风冷
	回火	40	700	17	30
	去应力	40	680	17	25

3 种试验件经过检测，机械性能全部满足规范要求见表 12，全序热处理工艺执行后没发现异常。

表 12 ZG17Cr2Mo1 试验件性能数据

	抗拉强度 Mpa	屈服强度 Mpa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	冲击 J
标准要求	590-740	≥400	≥18	≥40	-
试验件 1	634	454	25.6	61.4	75.8
试验件 2	639	472	24.9	64.6	54.1
试验件 3	644	483	23.2	62.2	70.8

④ ZG17Cr1Mo1V

选取近期生产的 3 件试验件，其过程中的工艺参数见表 13 及表 14。

表 13 ZG17Cr1Mo1V 切割前预备热处理工艺参数

序号	切割温度	热处理工艺			
		升温速率 °C/h	保温温度 °C	保温时间 h	冷却方式及速率 °C/h
标准要求	≥250°C	≤110	250~610	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	≥250°C	50	600	9	40
试验件 2	≥250°C	40	610	14	35
试验件 3	≥250°C	45	610	12	35

表 14 ZG17Cr1Mo1V 质量热处理及焊后消应力工艺参数

序号	工序名称	热处理工艺			
		升温速率°C/h	保温温度°C	保温时间 h	冷却方式及冷却速率°C/h
标准要求	正火/淬火 ^b	≤110	920~960	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	液体冷却或强制空气冷却,1h 内至少冷到 650°C,然后继续 风冷到最高 200°C
	回火	≤110	700~740	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min8h	炉内缓慢冷却,速率≤75
	去应力 ^a	≤75	680~720	按缺陷最大深度 mm*2min/mm+1h,min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	正火	50	960	8	风
	回火	50	735	10	40
	去应力	50	710	18.5	40
试验件 2	正火	45	950	12	风
	回火	50	710	14	40
	去应力	50	705	12	40
试验件 3	正火	50	950	12	风
	回火	50	710	12	30
	去应力	50	690	12	25

3 种试验件经过检测，机械性能全部满足规范要求见表 15，全序热处理工艺执行后没发现异常。

表 15 ZG17Cr1Mo1V 试验件性能数据

	抗拉强度 Mpa	屈服强度 Mpa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	冲击 J
标准要求	590-780	≥440	≥15	-	≥27
试验件 1	603	461	25.7	70.9	91.7
试验件 2	647	611	20.9	66.0	48.6
试验件 3	619	459	22.7	72.2	59.6

⑤ ZG12Cr9Mo1VNbN

选取近期生产的 3 件试验件，其过程中的工艺参数见下表 16 及表 17。

表 16 ZG12Cr9Mo1VNbN 切割前退火热处理工艺参数

序号	切割温度	热处理工艺			
		升温速率 °C/h	保温温度 °C	保温时间 h	冷却方式及速率 °C/h
标准要求	≥150°C	≤50	760~1050	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	≥150°C	40	760	14	30
试验件 2	≥150°C	30	1000	10	30
试验件 3	≥150°C	40	1000	8	30

表 17 ZG12Cr9Mo1VNbN 质量热处理及焊后消应力工艺参数

序号	工序名称	热处理工艺			
		升温速率°C/h	保温温度°C	保温时间 h	冷却方式及冷却速率°C/h
标准要求	正火	≤50	1040~1070	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	强制空气冷却,1h 内至少冷到 650°C, 然后继续风冷到最高 200°C
	回火	≤50	730~750	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min8h	炉内缓慢冷却,速率≤40
	去应力	≤50	730~750	按缺陷最大深度 mm*2min/mm+1h,min3h	炉内缓慢冷却,速率≤40
试验件 1	正火	30	1050	14	风
	回火	30	733	14	25
	去应力	30	733	14	25
试验件 2	正火	40	1050	8	风
	回火	30	735	9	30
	去应力	40	733	9	30
试验件 3	正火	40	1050	8	风
	回火	40	733	8	30
	去应力	40	733	8	30

3 种试验件经过检测，机械性能全部满足规范要求见表 18，全序热处理工艺执行后没发现异常。

表 18 ZG12Cr9Mo1VNbN 试验件性能数据

	抗拉强度 Mpa	屈服强度 Mpa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	冲击 J
标准要求	630-750	≥450	≥16	-	≥35
试验件 1	637	470	24.8	66.3	90.6
试验件 2	701	554	22.2	61.0	65.2
试验件 3	647	495	24.5	67.7	114.3

⑥ ZG23Cr12MoV

选取近期生产的 3 件试验件，其过程中的工艺参数见表 19 及表 20。

表 19 ZG23Cr12MoV 切割前退火热处理工艺参数

序号	切割温度	热处理工艺			
		升温速率 °C/h	保温温度 °C	保温时间 h	冷却方式及速率 °C/h
标准要求	≥150°C	≤50	760~1050	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	炉内缓慢冷却,速率≤70
试验件 1	≥150°C	30	1020	10	30
试验件 2	≥150°C	40	1000	14	30
试验件 3	≥150°C	30	1000	12	30

表 20 ZG23Cr12MoV 质量热处理及焊后消应力工艺参数

序号	工序名称	热处理工艺			
		升温速率°C/h	保温温度°C	保温时间 h	冷却方式及冷却速率°C/h
标准要求	正火	≤50	1030~1080	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min3h	强制空气冷却,1h 内至少冷到 650°C, 然后继续风冷到最高 200°C
	回火	≤50	700~750	按最大壁厚 mm*2min/mm,Min8h	炉内缓慢冷却,速率≤40
	去应力 ^a	≤50	680~730	按缺陷最大深度 mm*2min/mm+1h,min3h	炉内缓慢冷却,速率≤40
试验件 1	正火	30	1050	10	风
	回火	30	733	10	30
	去应力	30	725	10	25
试验件 2	正火	35	1060	14	风
	回火	35	730	14	30
	去应力	30	720	10	25
试验件 3	正火	30	1050	12	风
	回火	30	735	12	30
	去应力	30	725	10	30

3 种试验件经过检测，机械性能全部满足规范要求见表 21，全序热处理工艺执行后没发现异常。

表 21 ZG23Cr12MoV 试验件性能数据

	抗拉强度 Mpa	屈服强度 Mpa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	冲击 J
标准要求	740-880	≥540	≥15	-	≥27
试验件 1	794	591	19.0	39.6	55.3
试验件 2	800	600	59.6	38.4	56.7
试验件 3	782	567	17.8	45.2	46.7

4) 焊接:

在 2020-2024 年，共享铸钢有限公司在如下材质产品按照此规范规定的焊接材料上进行焊接验证，这些产品均满足规范中要求的技术要求和检验要求，最终合格交付。

① ZG230-450

所执行的焊补工艺规范如图 6 所示，主要是根据对应规范，在规范可覆盖基础上建立工艺参数范围；焊接工艺评定记录如图 7 所示，主要包括焊接工艺参数记录、无损检测及力学性能检测记录等实验过程记录等。

KOCCEL 科诚		焊接工艺规范 (Welding Procedure Specification)		编号(Serial No.)	WPS-K0F-009																										
				版本(Rev.)	0																										
焊接工艺(Welding Process)	名称(Title)	PQR: 9(PQR No.)	实施标准(Accord Standard)																												
GBAW	手工焊(Stem-oxidate)	PQR: 888 Rev. 0	ASME SEC. IX, 2023.																												
焊接接头(JOINTS) QW 402: 接头形式(Joint Design): As showed in the right picture 坡口形式(Bevel): n.s. 根部间隙(Root opening): As showed in the right picture 垫板(Backing): n.s.																															
母材(BASE METAL) QW 403: 材料牌号(Material Spec / Type/Grade) ZG230-450 (I)																															
焊后热处理(PWHT) QW 407: 焊后温度(Holding Temperature) 610±15℃ 保温时间(Holding Time) min. 3 hr.																															
气体(GAS) QW 408: 保护气体(Shielding Gas) Ar+CO ₂ 成分(Percentage Composition) Ar(90%)+CO ₂ (10%) 气体流量(Gas Flow Rate) 10-25L/min.																															
电特性(ELECTRICAL CHARACTER) QW 409: 转移特性(Transfer Mode) Spray / Hotstart 焊接速度(Travel Speed) min. 10 cm/min 电流(Current / Polarity) DCEP 电压范围(Voltage / Voltage) 100 - 250 A / 15 - 20 V																															
修整技巧(TECHNIQUE) QW 418: 运条方法(Style of Weave / Stroke) Both 焊丝直径(Wire Diameter) 2.5mm 打磨(Grinding / Bevel & Interpass Cleaning) Cleaning 焊后处理(Method of Back Chipping) n.s. 脉冲(Pulsation) n.s. 脉冲频率(Multiple or Single Pass) Multiple 脉冲宽度(Multiple or Single Electrode) Single 电极间距(Welding spacing) n.s. 是否预热(Preheating) n.s. 是否后热(Post-heat Treatment) n.s.																															
填充材料(FILLER METAL) QW 404: 填充材料(Filler Metal F-No.) E 填充材料(Weld Metal Analysis A-No.) 1 SMA-规范号(SMA-Specification) E 16 AWS-规范号(AWS-Classification) ER70S-6 焊丝直径(Diameter of Electrode) 1.2mm 焊丝规格(Supplemental) No 合金元素(Alloy elements) Unchanged 填充材料形式(Filler metal product form) Gas-shielded 厂家名称(Trade Name) n.s. 焊后厚度(Thickness of Weld Deposit (E)) max. 200mm																															
焊接位置(POSITION) QW 415: 位置(Position of Groove) 1G/2G/3G 焊接方向(Weld Progression) 30-45°																															
预热(PREHEAT) QW 416: 预热温度(Preheat Temperature) min. 150 °C 回火温度(Interpass Temperature) max. 350 °C 是否预热(Preheating) No																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">层数(Layer)</th> <th rowspan="2">位置(Position)</th> <th rowspan="2">焊丝直径(Wire Diameter)</th> <th colspan="2">电流(A)</th> <th colspan="2">电压(V)</th> <th colspan="2">速度(cm/min)</th> <th rowspan="2">其他输入项(Heat Input)</th> </tr> <tr> <th>min.</th> <th>max.</th> <th>min.</th> <th>max.</th> <th>min.</th> <th>max.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-6</td> <td>GBAW</td> <td>1.2/2.5</td> <td>100</td> <td>250</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>48720</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						层数(Layer)	位置(Position)	焊丝直径(Wire Diameter)	电流(A)		电压(V)		速度(cm/min)		其他输入项(Heat Input)	min.	max.	min.	max.	min.	max.	1-6	GBAW	1.2/2.5	100	250	15	20	10	48720	
层数(Layer)	位置(Position)	焊丝直径(Wire Diameter)	电流(A)		电压(V)				速度(cm/min)		其他输入项(Heat Input)																				
			min.	max.	min.	max.	min.	max.																							
1-6	GBAW	1.2/2.5	100	250	15	20	10	48720																							
编制(Prepared by): 高伟毅 日期(Date): 2024.04.7 审核(Checked by): 胡松 日期(Date): 2024.04.07 批准(Approved by): 李松林 日期(Date): 2024.04.26																															

图6 焊接工艺规范

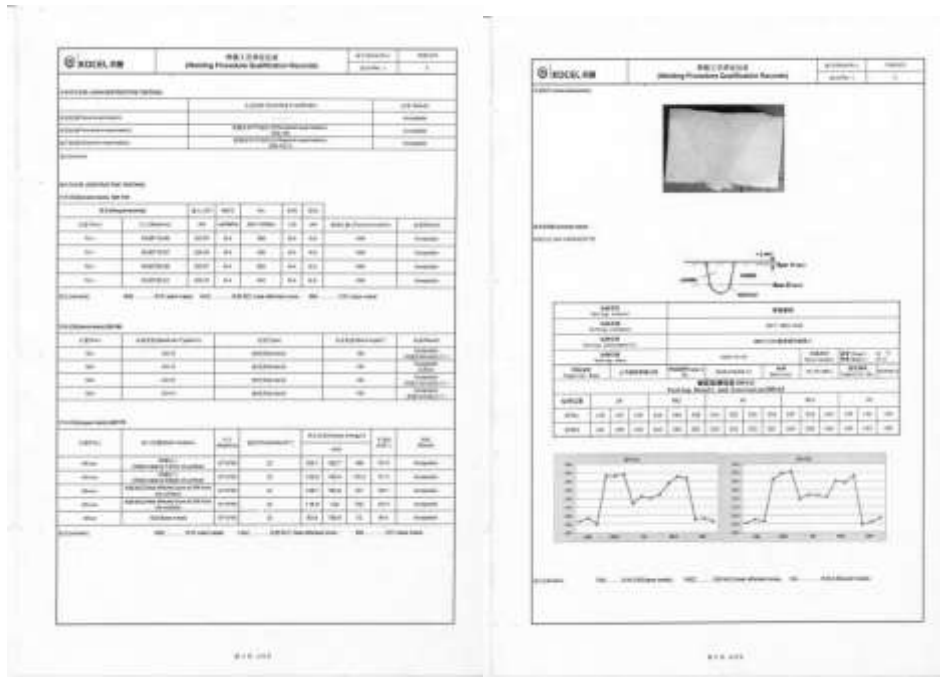


图11 焊接工艺参数记录

④ ZG17Cr1Mo1V

所执行的焊补工艺规范如图 12 所示，主要是根据对应规范，在规范可覆盖基础上建立工艺参数范围；焊接工艺评定记录如图 13 所示，主要包括焊接工艺参数记录、无损检测及力学性能检测记录等实验过程记录等。



图12 焊接工艺规范

KOCCEL 焊接工艺评定记录		评定日期	评定人
(Welding Procedure Qualification Record)		评定日期	评定人
<p>评定对象: 06Cr19Ni10 (304) 钢板</p> <p>评定位置: 对接接头</p> <p>评定方法: 手工电弧焊</p>			
<p>评定标准: GB/T 985.1-2008</p>			
<p>评定结果: 合格</p>			
<p>评定日期: 2016.5.27</p>			
<p>评定人: [Signature]</p>			

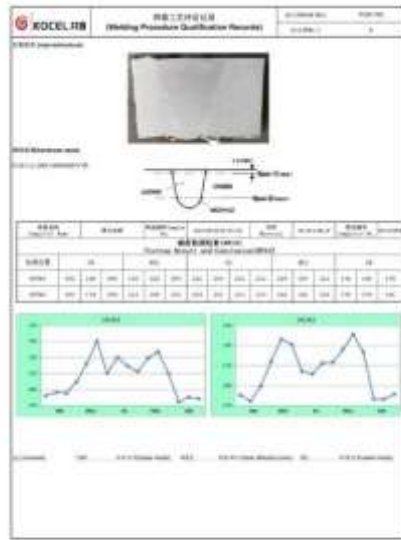


图13 焊接工艺参数记录

⑤ ZG12Cr9Mo1VNbN

所执行的焊补工艺规范如图 14 所示，主要是根据对应规范，在规范可覆盖基础上建立工艺参数范围；焊接工艺评定记录如图 15 所示，主要包括焊接工艺参数记录、无损检测及力学性能检测记录等实验过程记录等。

KOCCEL 焊接工艺规范		规范编号	规范日期
(Welding Procedure Specifications)		规范编号	规范日期
<p>规范对象: 06Cr19Ni10 (304) 钢板</p> <p>规范位置: 对接接头</p> <p>规范方法: 手工电弧焊</p>			
<p>规范标准: GB/T 985.1-2008</p>			
<p>规范结果: 合格</p>			
<p>规范日期: 2016.5.27</p>			
<p>规范人: [Signature]</p>			

图14 焊接工艺规范

7.与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准等无冲突。根据《中华人民共和国标准化法》的要求，本标准科学、合理、先进、适用，有利于提高生产企业的技术水平和经济效益，有利于保护消费者的利益，有利于保护环境，有利于合理利用国家资源，推广科学技术成果，有利于促进对外经济技术合作和对外贸易，并符合技术上先进，经济上合理的要求，具有合法性、实用性、规范性、协调性。

8.对重大分歧意见的处理经过和依据（如有书面处理报告等，应将其扫描件作为附件附后）

无。

9.贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容），根据国家经济、技术政策需要和该标准涉及的产品的技术改造难度等因素提出标准的实施日期的建议

1) 贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）

本标准制定过程中综合了顾客、设备厂家的共同建议，实现了标准的协调一致。此外，在本标准发布后，将通过标准宣贯、案例演示、技术交流等方式，实现本标准的贯彻实施。

2) 标准的实施日期的建议（根据国家经济、技术政策需要和该标准涉及的产品的技术改造难度等综合因素提出）

建议本标准批准发布 6 个月后实施。

10.废止有关标准的建议

无。

11.标准涉及专利情况说明（包括 1、专利发布日期、专利编号、专利权人；2、专利处置情况；3、专利使用许可申明和披露申明。详细请按照 GB/T 20003.1《标准制定的特殊程序 第 1 部分：涉及专利的标准》执行）

本标准不涉及专利问题。

12.重要内容的解释和其它应予说明的事项（如存在其他必要的论述报告等，应将其扫描件作为附件附后）

无。