

201166

TM623.4-62

Q400

核电站设备制造质量监督 检查员手册

秦国安 朱成虎 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

我国实施设备监造的历史由来已久，尤其是在国防工业中。但是，我国实施的电站设备监造，一般是验收检查性质的，主要是出厂前质量验收和跟踪，这种做法与国际上核电站设备制造的质量监督是有差别的。虽然我国各个行业都各有自己的设备监造方法，但是均没有形成符合国际惯例的系统性和规范化的监督方法和实施文件。由于核电站建设的特殊性，国际或国家法规和标准均要求核电站建设单位（或委托代表）必须对设备制造质量进行系统性规范化的验证，以提供对设备制造质量的足够信心。从国际上来说，在核电站设备制造方面，质量监督多从核安全出发，着重放在核岛设备；而对于常规岛设备，多是与我国电站设备监造的方式一样实行出厂前质量验收和跟踪。

鉴于核电站工程建设周期长，投资巨大，世界各国的核电站建设单位，在严格执行核安全要求的同时，对电厂可用率也提出了较高的要求。所以，核电站建设的质量保证，也从核安全相关的设备扩展到与电厂可用率相关的设备。国际上许多核电站建设单位，在核电站工程建设中，委托专业化的工程管理公司或检验机构进行设备制造质量监督，这些工程公司或检验机构都有系统性规范化的监督方法。目前，我国核电站建设还处于起步不久的阶段，核电工业在我国还是一个新兴工业，系统性规范化的工程管理还没有完全形成，也尚未形成一套设备制造质量监督的体系。

我国自秦山和大亚湾两个核电站建成并投入运行以来，取得了巨大的经济效益和社会效益。正在建设中的岭澳核电站，按照国际标准和国际惯例，实施工程管理自主化、施工安装自主化、部分设计自主化、部分设备制造国产化，取得了许多成功的经验。从岭澳核电站工程建设管理的实践中，我们认识到，要全面实现核电站工程建设管理自主化和设备制造国产化，必须建立一个符合国际惯例的系统性和规范化的核电站设备制造质量监督体系。作为岭澳核电站工程建设管理自主化的一部分，设备制造质量监督管理自主化和设备制

造质量监督实施部分自主化的实施过程中，参照在大亚湾核电站设备制造中法国电力公司代表广东核电合营有限公司进行设备制造监督方法和经验，逐步形成了一套系统性规范化的设备制造质量管理体系，在实现岭澳核电站设备制造国产化和工程管理自主化目标的进程中，起到了积极的推动作用。

在岭澳核电站设备制造质量监督实施中，参照大亚湾核电站设备制造质量监督经验、岭澳核电站工程建设管理程序和我国设备制造质量检验方面的有关手册和培训教材，我们编写了《岭澳核电站设备制造质量监督检查员手册》，作为设备制造质量监督检查员的参考资料，普遍反映有很大的实用价值。核电设备制造国产化，是今后我国核电发展的战略方针。所以，为推动国内核电设备制造质量监督体系的建立，在《岭澳核电站设备制造质量监督检查员手册》的基础上，经过修改和补充，编写成这本《核电站设备制造质量监督检查员手册》，供国内参与核电站设备制造质量的人员参考。

由于编者的经验和水平有限，该手册中可能会有不少欠妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 7 月

目 录

前言

上篇 设备制造和检验基础

1 制造控制和检验概论	3
1.1 制造计划工作	3
1.2 制造控制	8
1.3 检验和试验	12
2 金属材料及检验	18
2.1 钢的组织及特性	18
2.2 热处理和化学处理	22
2.3 金属材料的工艺性能	30
2.4 金属材料检验	31
3 铸造检验	37
3.1 原材料的检验	37
3.2 工艺装备的检验	37
3.3 工艺过程检验	39
3.4 铸件的检验	43
3.5 铸件的缺陷	43
3.6 铸件外观质量的检验	46
3.7 铸件内在质量的检验	50
4 锻件质量	55
4.1 影响锻件组织和性能的因素	56
4.2 锻造过程中常见的缺陷	57
4.3 锻件质量检验	63

5	机械加工和装配	68
5.1	机械加工工艺	68
5.2	金属的特种加工	72
5.3	装配工艺	75
6	焊接工艺和检验	87
6.1	焊接方法概述	87
6.2	焊接材料	91
6.3	焊接接头	95
6.4	焊接缺陷	97
6.5	焊接残余应力及变形	105
6.6	焊后热处理	108
6.7	焊接质量控制和检验	110
6.8	焊接工艺评定	111
7	无损检验	115
7.1	无损检验概述	115
7.2	渗透检验	116
7.3	磁粉检验	118
7.4	射线探伤	120
7.5	超声波探伤	123
7.6	涡流探伤	126
7.7	焊缝外观检查	127
7.8	影响无损检验灵敏度的因素	128
8	低压电器质量检验	131
8.1	低压电器概述	131
8.2	继电器	132
8.3	接触器	135
8.4	断路器	138
8.5	熔断器	140
8.6	低压开关柜	142
8.7	直流传动和交流串级调速装置的质量检验	144
8.8	电力电容器的质量检验	148
8.9	变压器和互感器质量检验	152
9	热处理和表面处理检验	158
9.1	热处理检验	158

9.2 表面处理检验	165
9.3 涂覆检验	169

下篇 核电站设备制造和质量监督

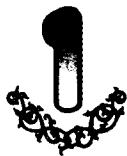
1 核岛主要系统设备制造和检验	175
1.1 反应堆压力容器	175
1.2 堆内构件	177
1.3 控制棒驱动机构	178
1.4 蒸汽发生器	179
1.5 反应堆冷却剂泵	180
1.6 稳压器	181
1.7 反应堆冷却剂管道	182
1.8 管道和贯穿件	182
1.9 阀门	183
1.10 泵	185
1.11 罐、过滤器和除盐器	186
1.12 热交换器	187
本章附录 RCC-M 介绍	189
2 核燃料组件质量检验	192
2.1 核燃料组件	192
2.2 燃料棒	193
2.3 燃料组件制造工艺流程	194
2.4 二氧化铀芯块	194
2.5 燃料组件制造工序质量控制	198
3 核岛系统通用设备制造和检验	200
3.1 泵	200
3.2 热交换器	202
3.3 罐	203
3.4 管道	205
3.5 阀门	207
3.6 保温	209
3.7 电动机	210
3.8 电缆	212
3.9 仪表和控制柜	215
3.10 清洁和涂漆	215
3.11 噪音和振动	217

4	核岛设备制造质量监督	218
4.1	供应商的责任和义务	218
4.2	业主的权力和责任	222
4.3	质量计划的审查、批准和执行	223
4.4	不符合项处理	225
4.5	核岛设备分级	226
5	常规岛主要系统设备制造和检验	234
5.1	汽轮机及辅机	234
5.2	汽轮机速度和功率控制系统	238
5.3	汽水分离再热器	238
5.4	凝汽系统	241
5.5	凝结水抽取系统	244
5.6	给水泵	245
5.7	给水泵汽轮机	249
5.8	给水加热系统	252
5.9	给水除氧器	255
5.10	蒸汽变换器	257
5.11	发电机	258
5.12	主变压器及降压变压器	261
6	常规岛通用系统设备制造和检验	263
6.1	制造基本原则	263
6.2	压力容器焊接检验基本原则	263
6.3	噪音和振动	264
6.4	清洁、涂漆和涂层	265
6.5	中压和低压开关柜	266
6.6	泵	267
6.7	热交换器	269
6.8	罐和压力容器	271
6.9	管道	272
6.10	阀门	275
6.11	保温	277
6.12	电动机	279
6.13	电缆	280
6.14	仪表和控制柜	284
7	常规岛设备制造中工厂进行的检验和试验	286
7.1	汽轮机及其辅助设备	286

7.2	发电机及其辅助设备	288
7.3	汽水分离器/再热器	292
7.4	凝汽系统及辅助设备	292
7.5	给水加热系统及辅助设备	293
7.6	主给水泵系统	294
7.7	主给水系统—化学加药系统	296
7.8	机械服务系统	296
7.9	电力变压器	296
7.10	发电机出口母线	297
7.11	辅助交流配电系统	298
7.12	直流系统	299
7.13	电动机	299
7.14	电缆	300
7.15	控制和仪表	301
8	常规岛设备制造质量监督	303
8.1	供应商的责任和义务	303
8.2	业主的权力和责任	306
8.3	不符合项控制	307
8.4	设备质量分级	307
	缩略语表	312
	主要参考资料	314

上 篇

设备制造和检验基础



制造控制和检验概论

绝大多数的工业制造过程，都不外是独立生产部门形式、装配“树”形式和序列形式这三种基本形式中的一种。

(1) 独立生产部门形式。在这种制造过程的形式下，一个单独的自给部门（车间）接受各种基本材料，然后制成成品。

(2) 装配“树”形式。这是人们所熟知的制造过程，广泛地用于制造机动车辆、家用电器、电子设备等产品的大型机械工业和电子工业。装配“树”形式的树根是为数众多的供应者和制造厂生产零件和部件的各生产部门，然后由其他一些部门把零件和部件装配起来制成成品。

(3) 序列形式。在这种形式下，也有为数众多的制造厂内各生产部门（车间），偶然还有供应者的生产部门。一切产品都循序向前通过所有各个生产部门（车间），每个生产部门（车间）进行一些加工操作，对形成最后产品起一部分作用。

1.1 制造计划工作

1.1.1 制造过程的设计

制造过程的设计，由两种完全不同的设计组成：

(1) 系统设计，它设想的乃是怎样从基本材料把产品制造成功。这是一种跨部门的设计，可以在总体规模上进行。

(2) 工作地设计，目的是使每一道工序在总体设计中发挥其作用。

1.1.2 预生产试验和预生产运行

由于制造计划是从思想概念出发的，所以如果要投入大规模的生产，就要按比例扩大量级许多倍。直接从概念性计划投入生产，可能质量不过关，那是很危险的。为了减少这种危险，许多公司采用了试生产批的做法，以找出计划中的不足之处，并在全面投产前加以纠正。生产的扩大，实际上是把产品设计概念扩大到样品或模型构造和试验的继续。全面制造计划是否适用，不能根据模型车间的模型记录来判断。模型车间的目的，在于证明工艺是否可行；而生产车间的目的不同，要达到质量、成本和交货期的要求。模型车间和生产车间情况相比，无论机器、工具、人员、管理、促进工作等等，都大不相同。

(1) 工具试验。在工作地，新工具一经制成，就要投入试验，要用新工具生产出足量

的产品，以证明它在车间生产的条件下能够达到质量标准。

(2) 小批试制。除了在个别工作地点的试验外，还需要有集合的试验，这主要是为了在制造过程中加以证明而安排的试验性成批生产。试制的这一批，一般都在正规的生产车间生产，并且广泛地预先检查那些在大规模生产中将会遇到的问题。

(3) 实验批。主要目的之一就是取得可观的产量。

(4) 预生产运行。“预生产”可能只是正规生产的开头，不过特别规定了要迅速反馈，要及时纠正所发现的误差；或者“预生产”可能只限于产品和工艺设计中的那些新的特色，对它们没有可以信赖而不冒相当风险的前期经验可资利用。是否通过小批试生产，取决于以下三点：

- 1) 产品具有新的或未经试验的质量特征的程度；
- 2) 制造过程设计中涉及新的或未经试验的机器、工具等等的程度；
- 3) 在确证工艺、产品和使用上的问题等以前，将会送达现场的产品数量和价值。

1.1.3 支配的概念

在一切制造过程中，都有许多最后质量的变量。这些变量并非同等重要，有极其重要的少数和无关紧要的多数之别。往往一种变量起到决定全局的作用，因而它是“支配”一切的。这就是说，它比其他一切变量加在一起都还重要。在制造过程中，最普遍的支配形式有（不同因素的支配作用见表 1-1）：

表 1-1 支 配

装置定位起支配作用	机器起支配作用	操作人员起支配作用	部件起支配作用
典 型 的 各 种 操 作			
冲孔	包装	电弧焊接	表的装配
钻孔	打标桩	手工焊接	汽车装配
长度切削	螺旋机加工	布兰查得研磨 (Blanchard grinding)	其他机械装配
扩孔	自动切割	轧钢	
模切	容积充填	六角车床运用	塑料制品装配
模拉	重量充填	喷漆	电子设备装配
造型	造纸	电子调谐	管子制造
绕线圈	线上釉	手工包装	食品配方制造
加贴标记	刷羊毛	修理	蔬菜包装
金属薄板弯折	电阻焊接	校正	
火焰切割		检验	
热封口		卡片穿孔	
印刷		存档	

续表

装置定位起支配作用	机器起支配作用	操作人员起支配作用	部件起支配作用
制造中的典型控制系统			
首件检验	定期检验 X 图	接收检验	供应者评级收货检验
检验批作图法	中线图	P 图	操作前控制
预控	X 和 R 图	C 图	
精密极限测定属性的 视觉检验	预控	操作工记分	接收检验
	精密限制测定		
	P 图		
	加工变量检查		
	自动记录		

(1) 装置定位的支配作用。这里, 工序的设计已经达到了这样高的复制性程度, 因而为在整批生产过程中会生产出基本上一致的产品。在这种情况下, 如果原来的装置定位是正确的, 那么整批产品就将符合标准。

(2) 机器的支配作用。这里, 工序虽然是复制性的, 却会持续地发生时间到时间之间的变化, 变化的程度是如此之大, 以致在一批的生产中, 不可避免地会产生不符合规格的产品。要对付这种变化, 必须规定定期的检查和校正。

(3) 操作人员的支配作用。属于这一类的, 有很庞大的一系列操作还没有完全设计好, 而未加设计的部分, 则正是产生缺陷的主要来源。就这些操作来说, 操作人员的谨慎和技能是关键性的。

(4) 部件的支配作用。属于这一类的乃是外购材料、零件等等, 它们的质量合在一起是如此重要, 以致它们成了决定最终产品质量的主要因素。

1.1.4 预测工序的适当性

预测工序能否生产出适合使用的产品的方法有: 根据对工序的直接测定来预测, 根据产品的使用数据来预测, 根据产品规格符合性来预测, 根据工序能力的测定来预测。这些方法, 每一种都有其优点和缺点 (见表 1-2)。

表 1-2 预测工序适当性的各种方法

预测方法	优点	缺点
对工序本身的直接测定	无需等待可供加工的产品就能预测	工序没有负荷, 不反映实际进行操作的条件
	能检查出加工设施中的误差, 并指出某些原因	
根据产品使用良好的情况	在重实务者的心目中最终的证明	拿不出工序能力的数量化资料
	对非技术经理人员有说服力	这种判断不能转用到尚未制造出来的新产品上
根据产品的规格符合性	是传统的方法, 早就为机器制造者和机器使用者所认可	不能用数量表示出相对于各种变量的工序能力。预测性有限制
测定工序能力	提得出数量化资料, 可为将来的设计预测适当性	收集和分析各种资料, 需要另作努力

1.1.5 工序能力分析及分析

工序能力是指工序所制产品的测定的、固有的可复制性。计算工序能力的公式，应用最广的是：工序能力 = 6σ ，其中， σ 为处于统计控制状态，即处于无偏移和无突然变化状态的工序的标准差。

现在已经研究了许多测量工序能力的方法，控制图法就是其中之一，而且是极为精确的一种。其余的各种方法，例如频率分布法和检验批作图法，所得的都是近似值。

用数量表示工序能力的一个主要原因，是为了计算工序符合产品公差要求的能力。对处于统计控制状态之下的工序来说，如将 6σ 的变差与差限做一比较，就能用常规的统计原理计算出次品百分率。

工序能力指数（见表 1-3）规定为

$$\text{指数} = \frac{\text{公差宽度}}{\text{工序能力}}$$

表 1-3 工 序 能 力 指 数

工序能力指数	所产生的工序等级	决 定
高于 1.33	1	优于适当程度，机器还可加速
低于 1.33 但高于 1	2	适合于加工任务，但需严格控制
低于 1 但高于 0.67	3	不适于加工任务
低于 0.67	4	不适于加工任务

工序能力的度量值是使用工序能力概念的数量化的和预报的方式，求得这种度量值，无需了解产品的公差。表示固有能力的 6σ 这一数值，也和公差无关。使用了计量的能力，主要是为了两个目的，这两个目的则都确实和公差有关：

- (1) 用于预报——“这一工序能够符合规定的产品公差要求吗？”
- (2) 用于分析——“为什么这一工序不能符合规定的产品公差要求？”

工序能力分析最基本的形式，是固有的工序可复制性与产品公差的比较。图 1-1 绘示了这样一种关系，它清楚地表明，工序能够符合这些公差的要求。相反，图 1-2 的工序虽和图 1-1 一样，但是因为公差限的狭小，因而不可避免要出次品，这道工序显然符合不了公差的要求。

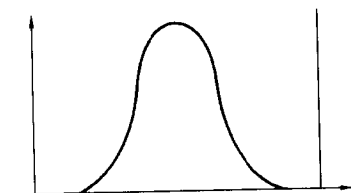


图 1-1 固有的可复制性足以符合公差的要求

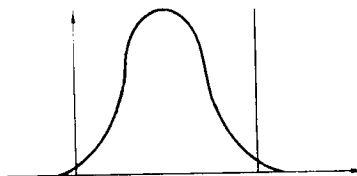


图 1-2 相同的固有可复制性符合不了较狭窄的公差要求

在实践中，尽管工序的固有可复制性足以符合公差的要求，但还存在着许多达不到公差要求的情况。主要原因有：

(1) 工序指导上错误。图 1-3 上工序把“中心点”掌握在边缘上，因此有产生次品的危险。图 1-4，同样一道工序，其中心点的位置实在太偏，以致产生了次品。

(2) 仪表配置不足。“生产”部门没有足够的仪表可以实施对工序的指导。过去那种规定用极限量规的做法，很适合于在接收产品时迅速作出通过或不通过的决定，但是用于完善的工序管理却成为严重的障碍。

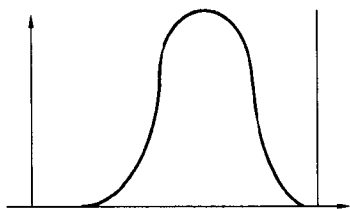


图 1-3 工序中心处在边缘位置

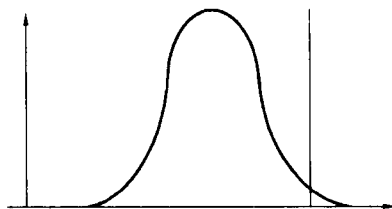


图 1-4 中心太偏，产生了次品

(3) 工序偏移。对小批量产品来说，偏移是无关紧要的，无论是有偏移的工序（见图 1-6）还是无偏移的工序（见图 1-5），都能在一个单独的、定向正确的装置上生产出小批量的合格产品。大批量生产时，偏移的影响就变得非常重要了，到一定时候，偏移会使产品 100% 都有缺陷。

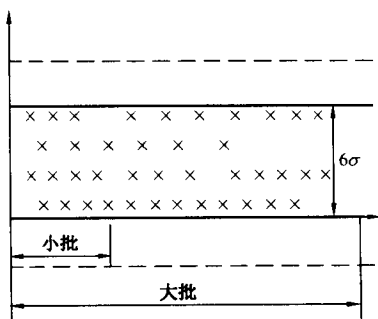


图 1-5 无偏移的工序与公差

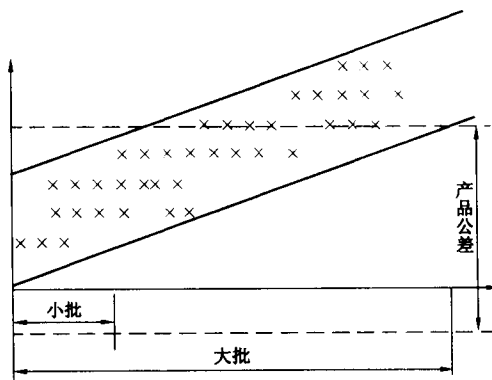


图 1-6 有偏移的工序与公差

(4) 工序不稳定。

(5) 产品混合。对利用工序固有能力的普遍障碍是，出于保持生产率的原因，往往把几道工序上的产品混合在一起制造，例如多槽塑料成型、电子元件的多元薄膜沉淀、多轴金属切削、多模胶乳浸泡、容器多头灌装等等。这些工序的共同点，是一个机座上装有多种“器械”。多源性的生产，在任何一条流线的固有变化之上，又加上了流线到流线的变化。这种流线到流线的变化，大大地影响了工序符合规格的能力。

如果工序的可复制性不足以符合生产公差要求的话，有下述几种方法可供选择：

(1) “改变”工序。这种改变可以做各种各样的修改，只是不包括同一道不同的、更精确的工序来替代。基本的工序可以不变，而所用工具可以修改，操作的程序可以修正，

也可能在工序里增加附加条件,以提高关键变量的一致性。进料的周期可以修改,以减少加入新添材料的影响。也可以添加几道作业,以减少一个产品特征或更多产品特征上的变化。改变工序的另一种形式,是把工作转到同级工序的其他机器上去加工。

(2) 修改公差。在相当大的程度上,为改变公差而进行的探讨,与设计审查的活动是平行的。改变公差同样有几种方法可供选择:① 如果问题是互换性的,修改配套部件的公差可能更经济;② 实验可能证明即使用了较宽的公差,对使用并无妨碍。

(3) “忍受与拣选”。拣选产品最多不过是一个临时性的解决办法。

1.1.6 确保工序不出差错

制造计划对产品质量的最大贡献,就是把工序设计得不会出什么差错。如果这样的设计在经济上是有利的话,那么它就是一种值得欢迎的办法,可以解决下列这些十分困难的问题:

- (1) 消除那些易出差错的、人们因为疏忽大意而造成的产品缺陷;
- (2) 推广“诀窍”,使其开花结果,而不用对许多工人重施培训;
- (3) 确保不会因为不注意、不关心或工人们其他形式的任意行事而造成的产品缺陷;
- (4) 避免对缺陷原因进行复杂的分析,以寻求解决办法,纵然缺陷原因始终捉摸不透。

通常,确保不出差错的方法有:

(1) 保险措施,其中有:连锁程序设计、报警和截断装置、解除报警信号、确保安全的装置;

(2) 感官的扩大,例如:① 安放指示物和固定装置,以便精确定位;② 光度放大,以增强可见度;③ 实行遥控观察,不受距离、热度、烟幕等影响;④ 利用多种信号以增强识别和反应的可能性。

(3) 重复,包括纯粹为了保障质量而进行的额外工作。例如:① 利用复式识别代号,以防止产品混淆;② 多重批准;③ 审核和检查程序;④ 供验证用的设计;⑤ 多重试验站。

(4) 用倒数方式计算。这项系统是把感觉和情报程序安排得和操作进程相平行,从而可以按感觉和情报的需要,查核操作步骤。

1.2 制造控制

1.2.1 金属工业制造控制

制造控制涉及原料控制、工序控制和产品控制三个基本控制部分。

1.2.1.1 原材料控制

金属工业有某些与原材料质量控制有关的独特问题,矿石加工质量特性的变差对金属质量和加工效率有很大的影响。

1.2.1.2 工序控制

用于金属工业的工序控制方案,数量多内容也复杂。基本的操作有矿石的熔炼、金属

液的制造和金属制作三种。

在金属的熔炼阶段，输入工序的主要是原料，所以工序控制方案应致力于原材料控制。控制方案应包括对控制原料质量的均匀性或检测质量变动，以及变更工序以适应这些变动的各项规定，必须处理一些重要的工艺变量如原料进给速率、能源输入和反应次数，也必须着重于金属产品的质量要求的收集试样和化验的制度。

金属产品的许多质量特征是在金属液铸成适用于后续加工的形状时形成的，金属或合金的成分取决于工艺过程的这个阶段。熔炼出来的金属必须进一步加以精炼或加合金元素使之改变特性，以达到对化学成分所要求的水平。为了实施对金属液制造的控制，必须对合金成分的各项要求进行精确计算。金属铸造工序控制方案的一个重要要素是监督熔炼和浇铸工作的手段。

金属制作过程的工序控制方案着重于对使用关系重要的那些产品特性，其中包括：冶金特性、厚度、外观、平直度。

1.2.1.3 产品控制

在金属工业中，保证产品质量的控制方法一般可归纳为：

(1) 金属成分的控制。金属成分的控制开始于熔炼操作，那时已达到一定的金属纯度水平。随后在铸造时的控制，则针对金属合金的化学成分或金属品级以及非金属物质（如氧化物、碳化物和溶解气体）的质量。

(2) 机械性能的控制。金属的机械性能包括抗张强度、屈服强度、延伸率、导电率、耐应力腐蚀、成形能力和硬度。

(3) 尺寸和可见特性的控制。尺寸和外观决定于加工制作的各项操作，制作过程上的控制工作是由实施操作的操作人员执行的。尺寸和可见特性的保证控制工作在末道操作时进行，或者在一个检验区施行检验。

(4) 辅助性控制。一般由操作人员在铸锭轧制以前检验，目的是检出有明显缺陷如裂纹和其他表面缺陷的铸锭。

1.2.2 铸造控制

随着铸造生产的复杂化和对精度要求的不断增长，需要相应地增加正规控制系统的使用，以弥补传统的控制方法，包括建立：

- (1) 适应工件和适应工序的加工规范；
- (2) 外购原材料和工艺装备质量的控制；
- (3) 生产过程各阶段的控制；
- (4) 机械、工艺装备和量具的定期维修和校验；
- (5) 鉴定产品是否符合规格的检验与试验。

1.2.2.1 外购材料的控制

对铸件质量有重要影响的外购材料包括：

- (1) 炉料。基本炉料、废料、合金、燃料、熔剂。
- (2) 造型材料。砂、粘结剂。
- (3) 工艺装备。模型、芯盒、砂箱。