

DIANLI BIANYAQI
ZHILIANG KONGZHI YU JIANZAO

徐春社 编著



电力变压器

质量控制与监造



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLI BIANYAQI
ZHILIANG KONGZHI YU JIANZAO

徐春社 编著

电力变压器 质量控制与监造



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要对电力变压器监造、电力变压器技术要求、电力变压器制造质量控制、电力变压器监造发展趋势等方面进行了系统的介绍,列举了电力变压器制造与监造过程中出现的故障案例并进行了分析。还在传统的电力变压器监造基础上引入了一种现代化管理方法:思维导图。

本书适合电力变压器质量控制与监造相关技术人员阅读,也可作为电力相关专业人员的辅助读物。

图书在版编目(CIP)数据

电力变压器质量控制与监造/徐春社编著. —北京:中国电力出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-5123-6494-3

I. ①电… II. ①徐… III. ①电力变压器-质量控制②电力变压器-制造 IV. ①TM41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 215823 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 11 月第一版 2014 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10 印张 210 千字

印数 0001—1000 册 定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序

电力工业是设备密集、技术密集、资金密集的工业。为适应电力生产、建设的迅速发展，提高设备的可靠性、经济性、维修性，发挥其最佳效益，达到获得设备寿命周期总费用最低的目的，必须对电力设备进行全过程管理。电力技术监督责无旁贷地行使这一职能。

电力技术监督，就是对电力系统内部的发供电设备及其运行状况进行监测和管理，掌握其运行性能和变化规律，进而指导生产，并反馈到设计、制造部门，以提高产品质量。电力设备监造是电力技术监督的重要环节及行之有效的手段之一。

设备监造是以国家和行业相关法规、规章、标准及设备供货合同为依据，按合同确定的设备质量见证项目，在制造过程中监督检查合同设备的生产制造过程是否符合相关要求，其目的是见证合同产品的符合性，协助和促进制造厂保证设备制造质量，严格把好质量关，努力消灭常见性、多发性、重复性质量问题，把产品缺陷消除在制造厂内，防止不合格品出厂。

作者结合电力管理工作中的实践经验，从电力变压器制造行业背景入手，回顾了从线圈到铁心、从装配到试验各环节的工艺现状，重申了监造管理体系与程序，给出了监造过程中各工艺环节的质量控制点与断面，列举了不同类型的变压器运行故障案例。值得一提的是，作者在传统的电力变压器监造基础上，引入了一种现代化管理方法：简单而有效的图像思考和笔记工具——思维导图。同时对未来智能电网的智能电力变压器监造也提出了建议。

人到中年，抹去浮夸、沉淀精华。作者作为一个电力工作者，把长期积累的工作经验，凝结成文字，为他人提供了前进的阶梯；当自己回首往事时，伏案展卷，这里曾经留下一片脚印。

西安交通大学教授、博士生导师 张冠军

2014.10

前言

电力变压器是电力系统的重要设备之一，因此电力变压器的产品质量对电力系统的安全可靠运行尤其重要。

电力变压器生产与监造的质量控制是变压器制造质量的重要保证。为提高电力变压器制造与监造的质量控制水平，提高电力变压器安全和可靠运行的能力，我们根据近几年关于电力变压器制造质量和监造过程中发现的一些问题和案例，进行了综合整理，并结合实际问题案例进行分类和分析。从电力变压器技术要求、电力变压器制造质量控制、电力变压器监造、电力变压器质量问题案例、电力变压器技术发展和新技术应用等方面入手，进行了系统的阐述，并结合电力变压器制造与监造过程中实际出现的一些质量问题案例，提出电力变压器生产管理环节中的质量控制与现场监造工作中的相关要求和管理体系的完善。同时，对大型主变压器、油浸配电变压器、干式电力变压器等事故和故障案例分类进行描述和分析，从普及性、实用性的要求出发，力求达到普及增强变压器生产领域质量控制意识和要求的目的。最后介绍了电力变压器技术发展和新技术应用前景，包括电力变压器的技术发展趋势和新技术的应用情况、电力变压器制造工艺的改进和提高、现代化管理在变压器监造中的应用等。电力变压器发展方向将向节能型、低噪声、防火防爆型、高可靠性方面发展。主要发展方向：一是向超高压、特高压方向发展，尤其是特高压 $\pm 800\text{kV}$ 、 1000kV ，主要应用在长距离的输变电线路上；二是向节能化、小型化方向发展，主要应用在城市输变电线路上。

本书在编写过程中，系统整理了近些年电力变压器在制造和监造过程中的实际问题案例，查阅了大量的相关文献和资料，参考了许多变压器专业工作者和专家们提出的相关理论和经验，及公开发表的文献资料、正式出版的书籍和论文；引用了有关学者的研究成果和试验数据等，特别是一些地区值得借鉴的变压器典型案例与分析，在此表示衷心感谢。

本书由西安交通大学博士生、教授级高级工程师孙振权主审，董其国高级工程师在编写过程中给予了指导并提出了许多宝贵意见，很多专家、同仁在编写过程中给予了热情帮助和大力支持，一并致谢！

由于专业水平和能力所限，书中难免存在不妥之处，敬请指正，谢谢！

作者

2014. 10

目 录

序 前言

第 1 章 电力变压器相关知识	1
1.1 电力变压器的发展概况	3
1.2 电力变压器生产工艺技术状况	4
第 2 章 电力变压器监造	7
2.1 概述	9
2.2 相关术语及法规文件	11
2.3 电力设备监造的主要文件	14
2.4 电力变压器监造模式	16
2.5 监造单位的管理要求	19
2.6 驻厂监造作业	30
2.7 电力变压器抽检	46
第 3 章 电力变压器制造质量控制	59
3.1 电力变压器主要技术参数	61
3.2 电力变压器制造质量管理环节	63
3.3 电力变压器制造工艺质量控制	64
3.4 电力变压器组部件质量控制	83
3.5 电力变压器出厂试验	90
3.6 电力变压器质量控制中需要关注的一些问题	102
第 4 章 电力变压器质量问题分析	105
4.1 电力变压器故障情况统计	107
4.2 电力变压器故障案例	110
4.3 电力变压器监造中的质量问题	129
第 5 章 电力变压器监造的发展趋势	133
5.1 电力变压器的发展趋势和新技术的应用	135
5.2 电力变压器制造工艺的改进和提高	140
5.3 现代化管理在电力变压器监造中的应用	143
5.4 智能电力变压器监造	149
参考文献	151

电力变压器相关知识

第1章



1.1 电力变压器的发展概况

世界上第1台闭合铁心单相变压器是1884年9月16日匈牙利的岗茨工厂制造的,其铁心结构为卷铁心式,容量为1400VA,电压比为120/72V,频率为40Hz。1886年费兰里斯实验室制造了第1台用于交流照明系统的变压器,并得到实际应用;1890年原德国通用电气公司(AEG)发明了平面三相闭合磁路的三相变压器,并由瑞典ASEA公司首次试制成功。

自从1886年第1台用于交流照明系统的变压器得到实际使用以后,交流输电电压和容量增长很快。至今,国外变压器的最高电压为1000kV、最大容量为 $3\times 1000\text{MVA}$ (由日本东芝、三菱、日立公司各生产1台),安装在日本百万伏级新榛名变电站内(位于东京北140km,1996年曾空载带电运行)。

我国第1台电力变压器是在1922年由上海华生电器制造厂自行设计制造的(其额定容量仅为15kVA)。新中国成立以前,我国仅在上海、沈阳、昆明、湘潭和天津建有变压器厂,只能生产33kV、2000kVA及以下的配电变压器,全国装机容量不足200万kVA。变压器及能源工业处于十分低下的状况。新中国成立以后,特别是改革开放以来,我国电力变压器行业取得了突飞猛进的发展。据不完全统计,目前,国内有一定规模的变压器制造厂数千余家,其中能生产110kV(含66kV)及以上各类变压器企业数百余家,具有生产220kV及以上各类变压器的制造企业数十家,能生产500kV或750kV及以上电力变压器和并联电抗器的制造厂家有20余家。预计近几年,220kV及以上变压器年均需求量将维持在3.5亿kVA左右。

电力变压器涵盖配电变压器和主变压器。

配电变压器方面,最初是以绝缘油为绝缘介质发展起来的。近年来,我国油浸式变压器采用了密封结构,使变压器油和周围空气完全隔绝,从而提高了变压器的可靠性。目前,主要密封形式有空气密封型、充氮密封型和全充油密封型,其中全充油密封型变压器的市场占有率越来越高,它在绝缘油体积发生变化时,由波纹油箱壁或膨胀式散热器的弹性变形做补偿。进入20世纪90年代,干式变压器在我国才有了很快的发展。箱式变压器由于具有占地少、能伸入负荷中心、减少线路损耗、提高供电质量、选位灵活、外形美观等特点,目前在10kV、35kV电网中大量应用。目前所使用的箱式变压器主要是欧式箱变和美式箱变,前者作为一个单独的部件,即高压受电部分、配电变压器、低压配电部分三位一体;后者结构分为前后两部分,前部分为接线柜,后部分为变压器油箱,绕组、铁心、高压负荷开关、插入式熔断器、后备限流熔断器等元器件均放置在油箱体内。目前已有卷铁心变压器移置到箱式变压器中,使箱式变压器体积和质量都有所减小,实现了高效、节能和低噪声级等功能。

主变压器方面,改革开放以来,我国已完全具备了110、220、330、500、750kV及 ± 800 、1000kV高压、超高压、特高压变压器的设计制造能力。超高压、特高压变

器的绝缘介质仍以绝缘油为主。根据电网发展的需要, 变压器的设计能力和生产生产工艺及产品质量水平正在不断提高。SF₆ 气体绝缘高压、超高压变压器目前尚在研制开发和完善中, 并取得了一定的成效。

我国 1000kV 示范工程特高压变压器如图 1-1 所示。



图 1-1 我国 1000kV 示范工程特高压变压器

1.2 电力变压器生产工艺技术状况

1.2.1 电力变压器生产能力

随着电力工业的发展, 国内电力变压器厂家按计划需求进行了建设和改造。据不完全统计, 全国电力变压器生产厂约有 3000 家, 2000 年共生产各种变压器 30 多万台, 容量约 1.8 亿 kVA (其中 10kV、35kV 电压级占总台数的 90% 以上), 相当于世界总产量的 1/5 以上。可以说, 中国是世界上电力变压器的生产大国, 也是应用电力变压器最多的大国。

1.2.2 电力变压器生产的工装设备

20 世纪 80 年代以前, 我国变压器专用设备技术水平, 整体上偏低, 除绕线设备有专业生产厂生产外, 其余绝大部分都是企业自制的比较简单的设备, 只有少数几家有简易的铁心加工纵剪线。20 世纪 80 年代变压器行业开始引进国外先进的专用关键设备, 如铁心纵剪线、低频电热燥系统等。到 20 世纪 90 年代, 由于干式变压器的大力推广, 引进了一批环氧浇注设备和箔式绕线机, 几个大型生产厂还引进了绝缘件加工中心, 使我国变压器生产工装装备水平大大提高。国内一些专用设备厂家经过消化吸收, 也开发了纵、横间生产线等专用设备, 这些国产专用设备, 其功能及主要技术参数基本达到或接近国际水平, 对保证我国变压器产品质量, 提高变压器的技术性能, 提高生产效率起到了至关重要的作用。

1.2.3 电力变压器的工艺设计

近 20 年来, 我国对 110kV 及以下电压等级的油浸变压器进行了不少优化设计, 形

成了节能变压器的新系列,使各种损耗进一步降低,替代了高能耗产品的生产。1998~2001年的城乡电网建设改造中大力推行的S9型配电变压器,在两网建设改造中还使用了卷铁心变压器。GB 1094—2003《电力变压器》系列国家标准的制定,进一步提高了变压器的节能降耗和技术可靠性水平。目前S11、S13型节能变压器已得到广泛应用,技术更先进,节能效果更好。

干式变压器在自主开发的基础上,引进了德国、瑞士、意大利、葡萄牙等国多家公司的有关10、35kV干式变压器系列的设计、制造等多种技术,并已批量生产10kV、35kV干式变压器,目前可生产最高电压等级为110kV、单相容量为1.05万kVA的干式变压器,产品质量已达到引进的国外同类产品的技术水平。近年来,干式变压器得到了迅猛发展,特别是在配电变压器中,干式变压器所占比例越来越大,发达国家已占50%以上;我国起步晚,但发展很快,近年大中城市中占20%~30%,像北京、上海、广州、深圳等城市已达50%以上。

在高压、超高压设计方面,除开展了科技攻关、自主开发外,进入20世纪80年代以后还先后引进了日立、东芝、ABB、三菱、西门子等公司的制造技术。目前在超高压500kV变压器制造中,从最初的大部分依赖进口,发展到如今可与进口产品具有相当竞争能力。

1.2.4 铁心材料

20世纪70年代,武汉钢铁公司在引进消化吸收日本冷轧硅钢片制造技术生产冷轧硅钢片的基础上,于20世纪90年代又引进了日本高导磁晶粒向冷轧硅钢片(HiB)制造技术,制造出了节能效果更好的电力变压器铁心材料。但是由于产品数量不能满足需求及生产工艺两方面的问题,仍然要从日本、俄罗斯以及西欧等国进口部分冷轧硅钢片。在研制配电变压器铁心用非晶合金材料方面,我国于20世纪90年代初对非晶合金铁心材料和非晶合金铁心变压器的设计和制造工艺开展了深入研究,研制的非晶合金铁心材料基本达到原计划指标的要求,并于1994年试制出电压10kV、容量160~500kVA的配电变压器,经电力用户试用表明,基本达到实用化的要求。

1998年,上海置信公司引进了美国GE公司的制造技术,用美国非晶合金材料生产了非晶合金铁心变压器,目前已能生产电压10kV、容量50~2500kVA、空载损耗34~700W、负载损耗在870~21500W之间的非晶合金铁心变压器,而且已将此种材料应用于环氧树脂干式变压器上,进一步促进了我国非晶合金铁心变压器制造水平的提高。我国已有一些应用引进非晶合金材料铁心制造出的变压器投入电网运行。

1.2.5 线圈导线材料

电力变压器线圈绕制的漆包自粘两复合导线已在大型变压器线圈制作中得到广泛的应用,采用高强度缩醛漆包扁线为线芯,宽面相叠,并且在两缩醛漆包扁线之间加一层进口NOMEX纸作为衬纸,在导体外包三层及三层以上750kV高密度匝间绝缘纸作为

导体绝缘。

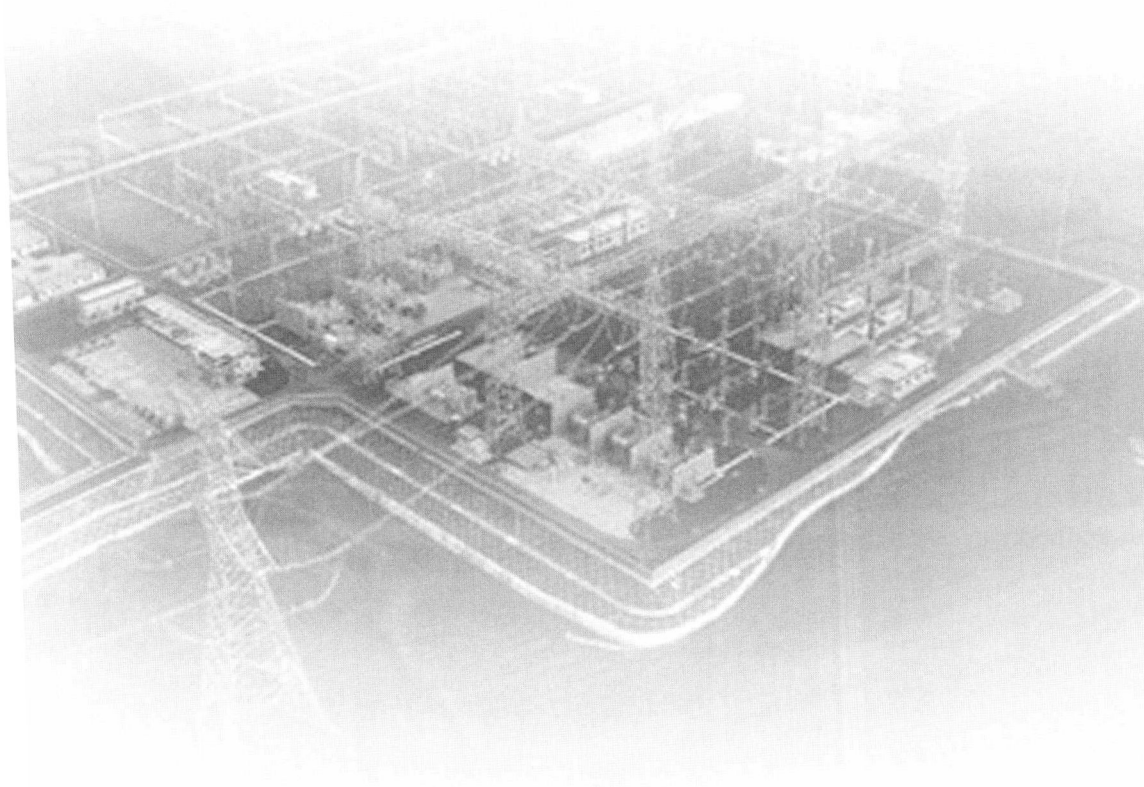
漆包自黏两复合导线是制造高电压等级变压器的理想材料；尤其是半硬漆包自黏两复合导线，可显著提高变压器绕组的机械性能、电气性能和抗突发性短路能力，同时也减小变压器的体积，因此，广泛应用在高压、超电压和特高压等级的大中型变压器绕组上。漆包自黏两复合导线技术参数见表 1-1。

表 1-1 漆包自黏两复合导线技术参数表

导体尺寸 (mm)	a : 0.8~4.0 b : 2~24	绝缘厚度 (mm)	0.45~根据具体要求		
击穿电压 (kV)	2.0	伸长率	半硬度	>25%	
电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	$\leq 0.017\,241$ (软态) $\leq 0.017\,391$ (硬态)		软度	$0.8 \leq \alpha \leq 2.00$	>30%
				>34%	
同批量产品 屈服强度公差	$\pm 4\%$			$2.00 < \alpha \leq 4.00$	
半硬线屈服强度 (MPa)	$\sigma_{0.2}$: 100~280	执行标准	GB/T 7673.1~4—2008《纸包绕组线》 GB/T 7095.1~7—2008《漆包铜扁绕组线》 Q/B686.045《纸包绕组线技术要求》 Q/TX02.05—2002《纸包绕组线》 Q/TX02.04—2002《壳式变压器（电抗器）用纸包绕组》		

电力变压器监造

第2章



2.1 概 述

2.1.1 电力变压器监造标准情况简介

1995 年 12 月，原电力部颁布了电力行业第一部关于电力设备质量监造的技术性指导文件 DL/T 586—1995《电力设备用户监造技术导则》，导则中内容齐全、项目多、增加了 H 点见证和跟踪监造的内容。2008 年 6 月 4 日，DL/T 586—2008《电力设备监造技术导则》正式颁布，该导则实施后替代了 DL/T 586—1995，取消了一级和二级见证方式的分类，明确了委托人、监造单位及制造单位的职责和权限，并在设备制造质量见证项目附录中增加了部分设备。2011 年 7 月 1 日，GB/T 26429—2010《设备工程监理规范》正式实施，电力变压器开始进入规范监造的轨道。

2.1.2 电力设备监造工作目标及主要内容

2.1.2.1 电力设备监造在电力工程建设监理系统中的范围如图 2-1 所示。

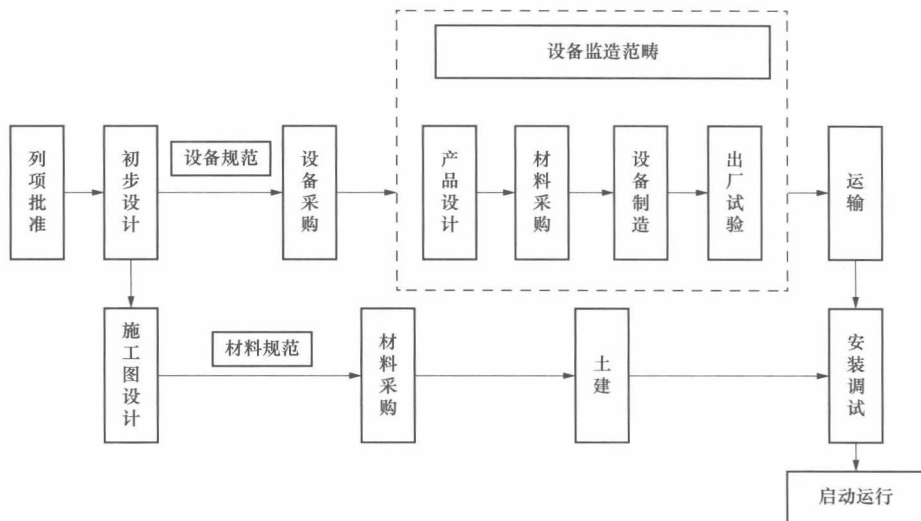


图 2-1 电力设备监造在电力工程建设监理系统中的范围

2.1.2.2 电力设备监造的关键。电力设备监造的关键是围绕三控、两管、一协调，其内容如图 2-2 所示。

2.1.2.3 设备监造工作目标：

(1) 监督被监造单位按照设备采购合同进行生产。

(2) 监督保证设备技术性能参数达到技术协议要求。

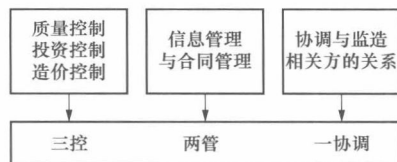


图 2-2 三控、两管、一协调内容图

- (3) 监督履行设备的制造质量责任。
- (4) 监督设备制造进度满足采购合同要求。
- (5) 保证监造工作满足监造服务合同要求。

2.1.2.4 设备监造中质量管理的依据：

- (1) 设备供货合同、设计合同、安装调试合同及有关的技术协议和质量条款。
- (2) 设备监造合同。
- (3) 设计图纸和文件、工艺方案和文件、工艺标准。
- (4) 产品技术标准。
- (5) 制造商质量体系文件。
- (6) 监造大纲、监造规划与监造实施细则。
- (7) 国家和地方有关法律、法规。
- (8) 委托人、被监造单位、监造单位所签各种补充协议。

2.1.2.5 设备监造主要内容。

(1) 对设备制造质量的监督。监造组根据设备采购合同、相关技术资料以及监造大纲等文件编制《监造实施细则》，与被监造单位议定，提交委托人批准后实施。质量监督流程如下：

1) 审查被监造单位的质量管理体系及运行情况，提出意见，要求或建议被监造单位澄清或纠正。

2) 查验主要生产工序的生产工艺设备、操作规程、检测手段、测量试验设备和有关人员的上岗资格、设备制造和装配场所的环境。

3) 查验外购主要原材料、组部件的质量证明文件、试验、检验报告和外协加工件、委托加工件的质量证明及被监造单位提交的进厂检验资料，并与实物相核对。

4) 在制造现场对主要及关键组部件的制造工艺、工序和制造质量进行检查与确认。

5) 查验在技术协议中约定的设备制造过程中拟采用的新技术、新材料、新工艺的鉴定资料和试验报告。

6) 确认被监造单位各制造阶段检验、试验的时间、内容、方法、标准以及检测手段。

7) 监督设备的装配和整体试验等过程。

8) 处理设备制造的质量问题。

(2) 对制造质量问题的处理。

1) 发现一般质量问题的处理：①要及时查明情况；②向被监造单位发出工作联系单并上报监造服务机构或监造单位；③要求被监造单位分析原因并提出处理方案，监造组审核后监督被监造单位实施，直至符合要求。

2) 发现重大质量问题的处理：①必须向被监造单位发出工作联系单并上报监造服务机构（或监造单位）和委托人；②按照委托人反馈的意见，决定是否停工处理；③要求被监造单位分析原因并提出解决方案；④监造组审核方案并报委托人确认后，依据确认后的方案监督、跟踪处理结果直至符合要求。

(3) 对设备制造进度的监督：①监造组应及时审核被监造单位生产计划，掌握设备排产、加工、装配和试验的实际进展情况，督促被监造单位按合同要求如期履约；②出现进度偏差或预见可能出现延误时，上报监造服务机构（或监造单位）和委托人。

2.1.2.6 监造类别。

1) 驻厂监造。适用于单台设备庞大而复杂，价格比较昂贵，或是生产有一定数量的设备。如：国家电网公司规定对 220kV 及以上电压等级的变压器、电抗器、组合电器、断路器等重要设备，要求实施驻厂监造。

2) 见证点监造。适用于生产数量少、对技术有一定要求的重要设备，或重要程度一般，但批量大的设备，也是目前常用的监造单位式。监造人员审核被监造单位的加工工艺文件，将生产过程分解细化，确定质量监造控制点，并根据控制点的重要程度和特点将其分成文件见证点（R）、现场见证点（W）、停工见证点（H）、日常巡检点（P）和抽检见证点（S）。

质量监造见证点要以书面形式送达委托人，由委托人发送被监造单位配合执行，采取相应的质量监造单位式进行工序质量监督。由于不同设备的重要性或其质量后果影响程度有所不同，所以实施监造的程序和要求也有区别。

2.2 相关术语及法规文件

2.2.1 相关术语

(1) 设备工程：以设备为主要建设内容的工程，包括规划、计划、采购、制造、安装、调试等过程。设备工程也包括设备系统的大修、技术改造等，实际应用中，设备工程又称为设备工程项目。

(2) 委托人：委托设备监造服务的组织，一般指业主，也称为项目单位。

(3) 设备监造单位：具有企业法人资格、取得设备监造单位资质、从事设备监造服务的组织。GB/T 26429—2010《设备工程监理规范》中所称的设备工程监理指设备监造单位接收委托人委托，按照合同约定对设备工程进行专业化监督和管理的服务。标准中的设备监造与设备工程监理含义相同。

(4) 被监造单位：按合同约定，设备监造单位受委托人委托所监造的承包人。承包人是指除设备监造单位以外，委托人就设备工程项目有关事宜与之签订合同的当事人，可能是设备工程项目的设计承包人、工程承包人、设备供应人、承揽人等。有的也称被监造单位，如国家电网公司集中招标采购中中标的设备制造单位就称为被监造单位。

(5) 设备监造工程师：取得设备监造工程师执业资格证书并经注册的设备监造人员，即注册设备监造工程师。

(6) 项目监造机构：设备监造单位委派负责履行监造合同的组织机构，如：国家电网公司的相关文件是指受委托人委托的具体实施监造工作的单位。