

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

工程设计指南 | VLT®AQUA 变频器 FC 200

供水厂和污水处理厂的设施 服务、设计和项目工程

4 步

完成安全安装。
Danfoss 利用我们日
积月累丰富经验
辅助您进行规划。

本指南封底可取下的设计检查清单引导您只需四步
便可获得最优设计效果。



目录

设计辅助工具	6
第 1 部分：基础知识.....	8
降低成本并提高便利性.....	8
速度控制节约能耗.....	9
提高成本效益	10
在实践中实现潜在节约.....	11
第 2 部分：四步实现优化系统.....	12
步骤 1：交流电源系统.....	12
识别实际电源配置	
电磁兼容性 (EMC)	13
电磁效应双向作用	
操作员职责	
两种可能的降低方式	
区分传导干扰和辐射干扰.....	14
电路之间的耦合机制	
电导耦合	
电容耦合	
辐射耦合	
主电源质量.....	15
低频率主电源干扰	
危险的供电网络	
通过法律规定保障的质量	
主电源干扰是如何产生的	
低频率主电源干扰	16
主电源干扰的影响	
欠压警告	
更大损耗	
是否存在抗干扰的变频器？	
分析主电源干扰	
降低主电源干扰	17
降低主电源干扰的选项	
进线电抗器或直流回路电抗器	
每周期为 12、18 或 24 个脉冲的整流器	
无源滤波器	
无源滤波器的优点	
无源滤波器的缺点	
有源滤波器.....	18
有源滤波器的优点	
有源滤波器的缺点	
满载时的电流和失真频谱	
Slim 直流回路.....	19
有源前端	
AFE 的优点.....	20
AFE 的缺点	
高频率干扰 (RFI)	21
射频干扰	
定义极限的标准和指令	
第 1 和第 2 种环境.....	22
工作场所是决定性因素	
环境 1 (B 类)：居住环境	
环境 2 (A 类)：工业环境	
特定环境	
无折中方案	
主电源保护措施	23
功率因数修正	
主电源瞬态	
运行变压器或备用发电机.....	24
最大限度提高变压器利用率	
变压器负载	
功率品质	
运行备用发电机	

目录

步骤 2: 周围环境条件.....	25
正确的安装位置:	
机柜安装与墙面安装	
IP 等级.....	26
IP 等级标准符合 IEC 60529	
冷却设计.....	27
符合环境温度规定	
冷却	
相对湿度	
特殊要求.....	28
腐蚀性环境或气体	
粉尘暴露.....	29
降低冷却	
冷却风扇	
过滤垫	
潜在爆炸性环境.....	30
潜在爆炸性环境	
步骤 3: 电机和接线.....	31
电机的最低能效等级	
必须满足的最低能效	
IE 和 Eff 类别: 详述重要差异	
受影响的三相电机	
IE 类电机.....	32
MEPS 实施计划	
符合 EN 50347 安装尺寸规范	
成本效益	
EC 和 PM 电机.....	33
同一技术的不同名称	
技术	
高效	
Danfoss EC+ 概念	
超同步运行.....	34
标准 IEC 机箱	
变频器操作下的电机适用性.....	35
选择标准	
绝缘强度	
支撑应力	
热应力	
输出滤波器.....	36
正弦波和 du/dt 滤波器	
正弦波滤波器的功能和用途	
何时使用正弦波滤波器?	
改造	
电机电缆.....	37
额定电压	
电缆尺寸选择	
电机电缆长度	
节能	
带适当屏蔽功能的电缆	
接地.....	38
接地的重要性	
导电材料	
星形配置的接地系统	
接触点	
导体表面积	

屏蔽	39
屏蔽的重要性	
屏蔽电缆和接线	
屏蔽连接	
屏蔽间隙	
接地	40
电机电源电缆	
信号电缆	
屏蔽类型	
步骤 4: 变频器选择	41
基本设计	
恒定转矩或可变转矩	
各种应用负载曲线	42
特性曲线和应用	
多电机运行 (特殊情况)	43
设计	
电缆布线	
EMC 措施	44
将理论应用到实践中	
射频干扰	
实践建议	
RFI 滤波器的两种安装方法	
主电源干扰	45
直流回路可影响主电源干扰	
降低措施	
主电源电抗器	
每周期为 12、18 或 24 个脉冲的整流器	46
无源滤波器	
有源滤波器、有源前端和低谐波变频器	
漏电流装置	47
AC/DC 漏电保护装置	
漏电电流水平	
接地和电机保护	48
实际接地措施	
电机保护和电机 PTC 热敏电阻	
操作员控制和数据显示屏	49
简单操作概念	
在本地控制下操作	50
清晰显示屏	
统一概念	
集成到柜门中	
利用 PC 进行控制和参数配置	51
扩展选件	
数据交换	52
总线系统	
改善报警管理	
改善设备管理	
降低安装成本	
简化调试	
其他选择因素	53
过程控制器	
维护	
存放	
VLT® AQUA 变频器	54
与变频器相关的指令	55
索引	56
缩略语	59
设计检查清单	60
注释	62

用于高级详尽设计的设计辅助工具 供水和污水处理工程设计指南

《Danfoss 供水和污水处理工程设计指南》专门针对积极参与供水和污水处理技术的工程公司、公共机构、协会组织、工厂工程师和电气工程师。它可作为负责利用变频器设计变速系统项目的设备维护设计人员 (ICA 和电气) 和项目工程师全面的辅助工具。

为此，我们的专家协同工业设备维护设计人员一起编撰了本设计手册的内容，以解决重要问题，并让所有者/开发者和/或承包管理机构从中获得最大受益。每个章节的内容都非常简练。

各章节不是为了详细阐释技术问题，而是为了说明工程设计过程中的相关问题和特定要求。这样，《供水和污水处理工程设计指南》可对变频器的项目工程和各变频器制造商的产品评估提供帮助。

设计变速变频器项目时，经常出现与变频器实际工作无直接关系的问题。相反，这些问题与将这些设备集成到变频器系统和整个工厂中相关。因此，不仅要考虑变频器，还必须考虑整个变频器系统。这个系统包括电机、变

频器、接线和环境状况的一般条件，还包括交流主电源和环境条件。

变速变频器系统的设计和布局是决定性因素。设备维护设计人员或项目工程师在此阶段作出的决策会对变频器系统的质量、运行和维护成本以及可靠和无故障运行产生重大影响。事先进行缜密的项目设计可避免变频器系统在后续运行中出现意外的负面问题。

涉及变频器工程设计的任何人员都应慎重考虑这些设备的通用技术条件。



本工程设计指南和随附的设计检查清单是实现最佳可靠性能设计的理想工具，能够提高整体系统的运行可靠性。

《供水和废水处理工程设计指南》分两个部分。第一部分提供了使用变频器的一般背景信息。本部分涵盖能源效率、降低使用寿命周期成本和延长使用寿命的主题。

此设计手册的第二部分指导您完成系统设计和项目工程的四个主要步

骤，并提供有关提高现有系统的速度控制能力的技巧。此部分说明了要实现系统可靠运行，必须注意的因素 - 主电源的选择和规格、周围环境条件、电机及其接线和变频器的选择和规格 - 并提供了应对这些方面所需要的全部信息。

本手册的背面还有检查清单，用来标记单个步骤。如果考虑了所有这些因素，您将收获始终能可靠运行的最佳系统设计。



第 1 部分：基础知识

降低成本并提高便利性

与机械速度控制系统相比，电子速度控制系统能节约大量能耗，并显著降低磨损。这两个因素均会显著降低运行成本。变频器系统（或必须）在部分负载情况下运行的频率越高，节约能耗和维护成本的可能性越大。由于节能潜力较大，几个月内便可收回电子速度控制系统的附加成本。此外，现代化系统能够大大改善系统工艺和整体系统可用性的许多方面。

节能潜力大

利用电子速度控制系统，能根据实际需求设置流量、压力或压差。在实际应用中，系统主要是在部分负载情况下运行，而不是满载运行。如果风扇、泵或压缩机具有可变转矩特性，则节能程度取决于部分负载运行和满载运行的差异。差异越大，投资回报时间越短。通常为 12 个月左右。

启动电流限制

启动连接至交流主电源的设备时，会生成高达六至八倍额定电流的峰值电流。变频器可将启动电流限制为电机额定电流。如此，变频器能够消除启动电流峰值，防止因供电网络瞬时重载导致电压骤降。消除这些电流峰值可降低电力供应商看到的泵系统连接的负载，进而降低供电成本，无需补充性 Emax 控制器。

降低系统磨损

变频器能够缓和顺畅地启动和停止电机。与直接由交流电源操作的电机不同，变频器驱动的电机会产生转矩或负载冲击。这能够降低整个变频器系统（电机、变速箱、离合器、泵/风扇/压缩机）和管道系统的压力，包括密封系统。如此，速度控制能够显著降低系统磨损，延长系统使用寿命。同时还会因运行周期延长和材料磨损降低而降低维护和维修成本。

最佳工作点调整

供水和污水处理系统的效率取决于最佳工作点。工作点取决于系统利用率。系统运行时越接近最佳工作点，系统运行效率越高。由于变频器能够连续变化速度，因此变频器能够以准确的最佳工作点驱动系统。

扩大控制范围

变频器允许电机在“超同步”范围内运行（输出频率大于 50 Hz）。这能够短时间内提高输出功率。超同步运行的程度取决于变频器的最大输出电流和过载容量。在实践中，泵运行的频率通常为 87 Hz。必须始终咨询电机制造商，了解电机超同步运行的适用性。

减少噪声生成

部分负载下运行的系统非常安静。变速运行能够显著降低生成的噪声。

延长使用寿命

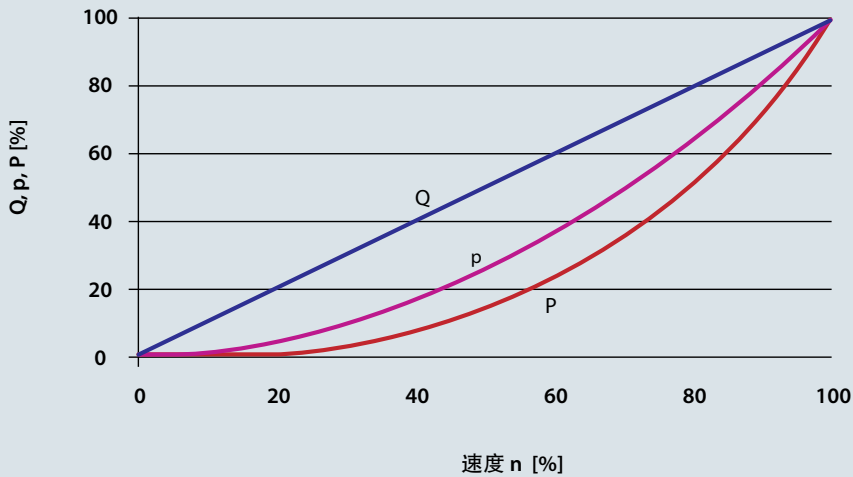
降低部分负载下运行的变频器系统的磨损，进而延长使用寿命。压力的降低和优化也会对管路产生积极影响。

改造

通常只需稍费工夫便可改造现有变频器系统中的变频器。



速度控制 节约能耗



流体设备的比例法则。由于物理关系，吞吐量 Q 、压力 p 和功率 P 直接取决于带有流体设备的设备速度。

变频器使用时的节能潜力取决于所驱动的负载类型，和泵效率的优化程度或变频器的驱动力，以及系统在部分负载情况下运行的时间。生活供水和污水处理系统极少出现峰值负载，因此通常在部分负载情况下运行。

离心泵和风扇具有最大的节能潜力。其属于带有可变转矩曲线的流体设备类别，受限于以下比例规则。

流量增加与速度增加 (rpm) 成线性关系，同时压力按二次方增长，功率消耗按三次方增长。

节能的决定性因素是 rpm 和功率能耗之间的三次方关系。例如，泵以二分之一的额定速度运行时，仅需

八分之一的功率便可以额定速度运行。即使略微降低速度也可显著降低能耗。例如，速度降低 20%，便可节能 50%。使用变频器的最大优点是速度控制不会浪费能耗（例如，不同于利用节流阀或阻尼器进行的调节），但却能实现电机功率调节，准确满足实际需求。

优化泵的效率或使用变频器驱动可实现额外节能。电压控制特性（V/f 曲线）能为处于不同频率（以及电机速度）的电机提供适当电压。如此，控制器能够避免因多余无功电流造成的电机损失。

注：Danfoss VLT® AQUA Drive 变频器可更进一步优化能源需求。自动能量优化 (AEO) 功能可以不断调节当前电机电压，因此电机能够以最大效率运行。通过这种方式，VLT® AQUA 变频器可始终根据其测量的实际负载条件调整电压。达到的额外节能量可增加 3 至 5%。



提高成本效益

生命周期成本 (LCC) 分析

几年前，设备工程师和操作员在选择泵系统时，仅考虑采购和安装成本。如今，全面分析所有成本已日渐普遍。名为“生命周期成本”（LCC）的此类分析涵盖了泵系统使用寿命过程中出现的所有成本。

生命周期成本分析不仅包括采购和安装成本，还包括能耗成本、运行成本、维护成本、停机成本、环境和处置成本。两个因素 - 能耗成本和维护成本 - 对生命周期成本起着决定性作用。操作员寻找创新性控制的泵驱动设备，以降低这些成本。

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

C_{ic} = 初始成本（采购成本）

C_{in} = 安装和调试成本

C_e = 能耗成本

C_s = 停机和损失生产成本

C_o = 运行成本

C_{env} = 环境成本

C_m = 维护成本

C_d = 停用和处置成本

生命周期成本计算

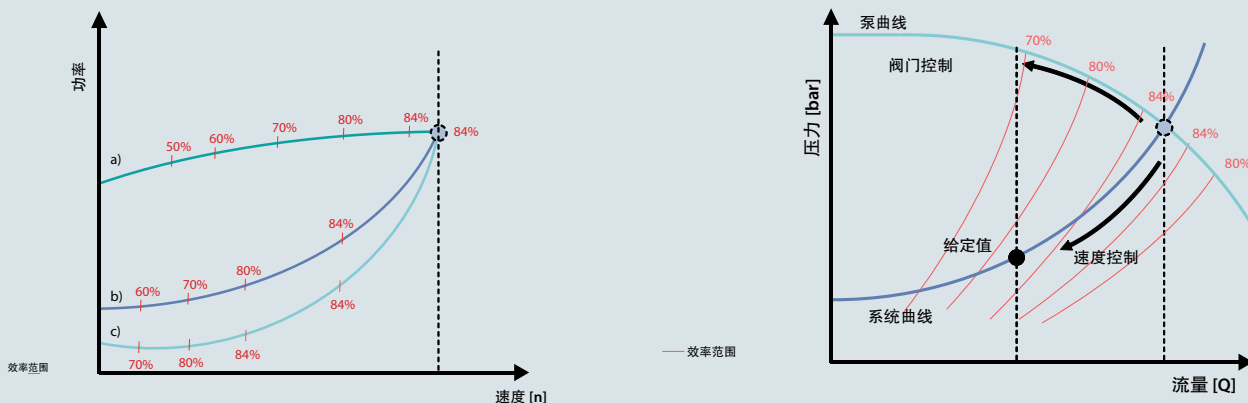
降低能耗成本

在生命周期成本公式中，其中最大的一个成本因素就是能耗成本。在泵系统每年运行超过 2000 小时的情况下尤其如此。

大多数现有的泵系统具有很大的节能潜力。这源于以下事实：大多数泵变频器专门针对最恶劣的条件而设计，因此容量超大。通常由节流阀调节体积流量。利用此种调节方式，泵总是满负荷运行，因此会消耗不必要的能量。

这就好比开车时，加足了马力，同时又用刹车来调节速度。

现代化的智能变频器能以理想方式降低能耗和维护成本。



- a) 阀门控制：η 降低
- b) 实际速度控制：η 曲线与系统曲线不符
- c) 最佳速度控制：η 曲线几乎匹配系统曲线

除泵和系统特性曲线外，此图还显示了一些效率水平。阀门控制和速度控制均会导致工作点移出最佳效率范围。

在实践中实现 潜在节约

本设计手册第一部分主要介绍供水和污水处理技术的基本原理和潜在节省。

此外，还阐释了生命周期成本、降低能耗、能耗成本以及维修和维护成本。现在的任务是实施缜密、智能的设计，实现这些潜在优势。

为此，本手册第二部分指导您通过四个步骤完成设计流程。

以下部分：

- 主电源系统
- 周围环境条件
- 电机和电缆
- 变频器为您提供选择组件和规格所需的所有特性和数据信息，以确保系统可靠运行。

为方便了解详细信息，除本手册的基本信息外，我们还提供了其他参考文档。

本手册末尾随附的检查清单（可折叠或撕下）可作为便捷辅助工具，用于标记单个步骤。检查清单可让您快速简便地大致了解所有相关设计因素。

通过综合考虑所有这些因素，您可以从一个理想的角度来设计可靠且节能的系统。



第 2 部分：四步实现优化系统

步骤 1：交流电源系统

识别实际电源配置

为电气设备供电的交流主电源类型各异。交流电压均会不同程度地影响系统 EMC 特性。五线 TN-S 系统最适用于此方面，而 IT 系统是最后的选择。

TN 主电源系统

此种电源配电系统有两种型号：TN-S 和 TN-C。

TN-S

这是一种带有独立中性线 (N) 和保护性接地 (PE) 导体的 5 线系统。因此，它能提供最佳的 EMC 属性，还可避免传输干扰。

TN-C

这是一种在整个系统中带有公用中性线和保护性接地导体的 4 线系统。由于结合了中性线和保护线接地导体，因此 TN-C 系统的 EMC 特性较差。

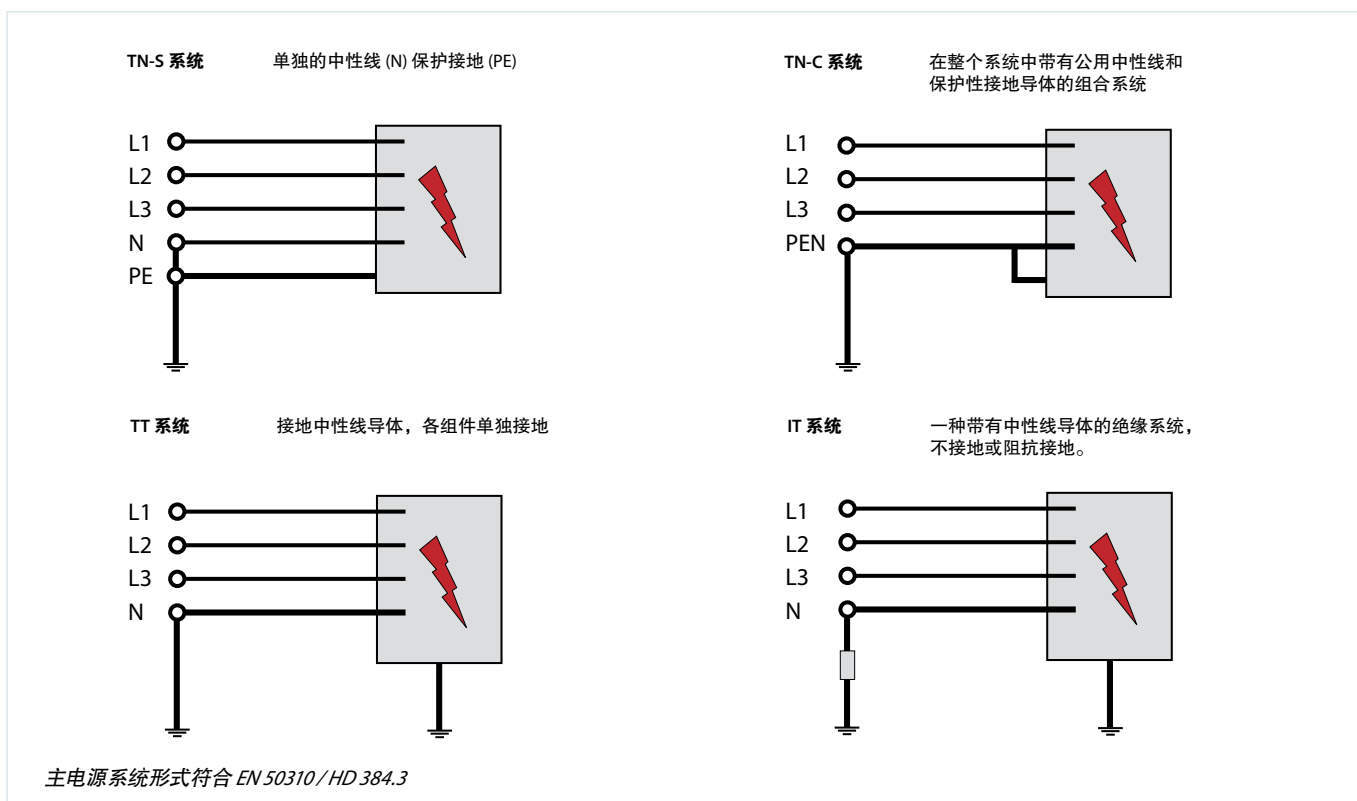
TT 主电源系统

这是一种带有接地中性线导体的四线系统，可单独接地变频器装置。如果适当接地，该系统具有良好的 EMC 特性。

IT 主电源系统

这是一种带有中性线通过阻抗接地或不接地的绝缘 4 线系统。

注意：在使用 IT 主电源系统时，变频器的所有 EMC 特性（滤波器 etc）均必须禁用。



电磁兼容性 (EMC)

每种电气设备都会生产电磁场，不同程度地影响其所处的直接环境。

影响程度和后果取决于设备的功率和设计。在电机和电气系统中，电气或电子组件之间的交互作用可能会破坏或妨碍无故障可靠运行。因此，操作员、设计人员和设备工程师必须了解这些交互作用的机制原理。只有如此，才能在设计阶段采取适当、经济高效的应对措施。

这是因为适当措施的成本会随设计过程的每个阶段而增加。

电磁效应双向作用

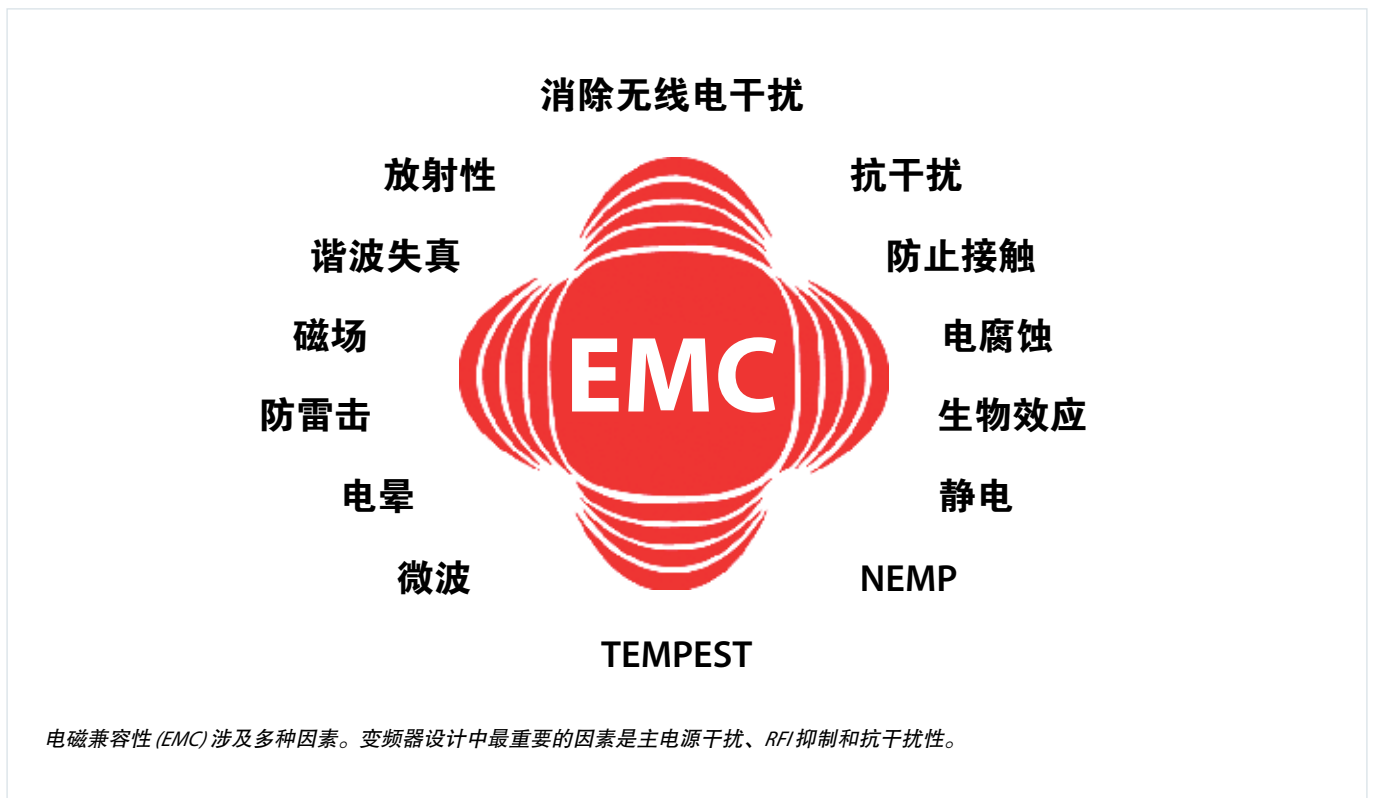
系统组件会相互影响：每个设备都会产生干扰并受到干扰的影响。除设备产生干扰的类型和程度外，还具有抗周围设备干扰的特点。

操作员职责

先前，电气设备或组件制造商必须采用应对措施，以满足法定标准。出台变速驱动系统的 EN 61800-3 标准后，这成为了系统最终用户或操作员的职责。如今，制造商只需提供满足标准的运行解决方案。由操作员负责消除可能出现的干扰（换句话说，使用这些解决方案）以及承担产生的费用。

两种可能的降低方式

用户和设备工程师有两种选择来确保电磁兼容性。其中一个选择是通过最大限度降低或消除产生的干扰，从根本上解决干扰问题。另一个选择是通过妨碍和持续降低接收的干扰来提高受干扰影响设备或系统的抗干扰性。



电磁兼容性 (EMC)

区分传导干扰和辐射干扰

同时存在几个系统时，总是存在相互干扰。专家可区分干扰源和受干扰设备，通常在实践中表示产生干扰的设备和受干扰的设备。所有类型的电磁量都可能产生干扰。例如，干扰的形式可能为主电源谐波、静电放电、电压快速波动、高频干扰或干扰场。在实践中，主电源谐波通常被称为主电源干扰、和谐泛音或简单谐波。

电路之间的耦合机制

现在，您可能想了解干扰是如何传播的。通常通过导体、电场或电磁波以电磁辐射的方式来传播。从专业技术方面来说，这些被称为电导、电容和/或电感耦合和辐射耦合，表示不同电路之间的相互作用，电磁能从一个电路传输到另一个电路。

电导耦合

当用相同导体（例如电势相等的电缆）相互连接两个或多个电路时，就会出现电导耦合。

电容耦合

两个电路之间存在电压差时会产生电容耦合。

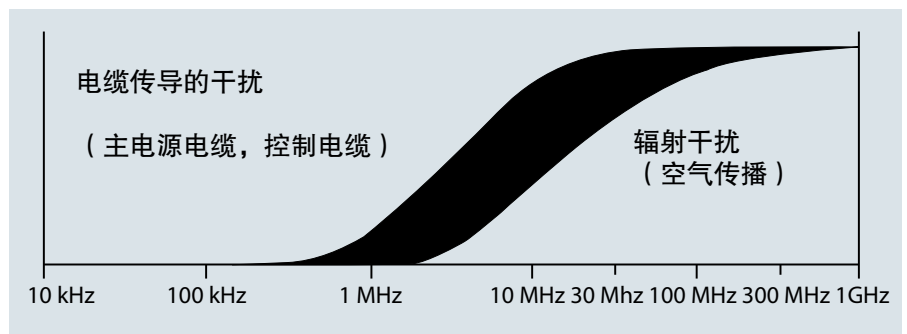
两个带电导体之间会产生电感耦合。

辐射耦合

受干扰设备位于干扰源产生的电磁场的远场区域时就会产生辐射耦合。为方便电磁分析，该标准指定 30 MHz 为电导耦合和辐射耦合的分界线。该

分界线对应 10 米的波长。低于该频率，电磁干扰主要通过导体传播或电场或磁场耦合。超过 30 MHz，线缆和电缆可作为天线发射电磁波。

干扰传播途径



可在所有频率范围内产生电磁干扰，但传播路径和形式不同。



电磁干扰耦合途径概览和典型示例

变频器和 EMC

低频效应 (电导) → 主电源干扰/谐波
高频效应 (辐射) → 射频干扰 (发射电磁场)

主电源质量

低频率主电源干扰

危险的供电网络

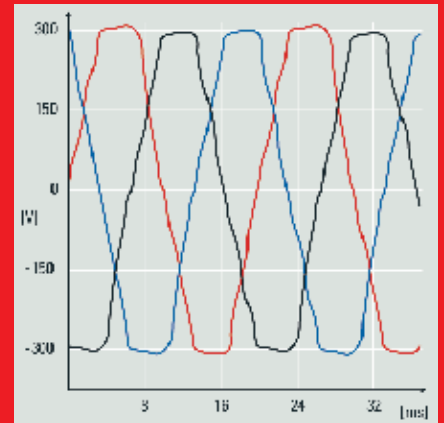
电力公司向居民、企业和行业输送的主电源电压应是具有恒定幅值和频率的均衡正弦电压。公共电网不可能存在这种理想状况。造成此情况的部分原因是吸收主电源非正弦电流或具有非线性特定的负载，例如 PC、电视机、开关电源、节能灯以及变频器。因为欧洲能源网络，未来主电源质量还会受到更大的影响，提高电网利用率，降低投资。因此偏离理想正弦波形是无法避免的，但能保持在一定范围内。

设备维护设计人员和操作员有责任将主电源干扰维持在最低水平。但极限是多少，由谁确定极限范围呢？

通过法律规定保障的质量

标准、指令和法规有助于商讨清洁、优质的主电源。在欧洲大部分地区，客观评价主电源质量的依据是设备电磁兼容性法令。欧洲标准 EN 61000-2-2、EN 61000-2-4 和 EN 50160 确定了公共和工业供电网络必须满足的主电源电压极限。

EN 61000-3-2 和 61000-3-12 标准是管理由连接设备产生的主电源干扰的法规。设备操作员在执行所有分析时，必须考虑 EN 50178 标准和电力公司的连接情况。基本假定是符合这些条件限制，确保连接至配电系统的所有设备和系统都满足其预期目的，且不会产生问题。

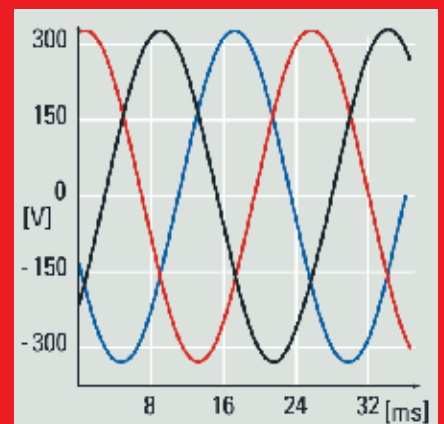


测量值显示由于非线性负载的干扰，主电源电压波形出现明显失真。

主电源干扰是如何产生的

专家将由连接负载的脉冲输入电流引发的主电源正弦波失真称为“主电源干扰”或“谐波”。专家也将根据傅里叶分析得到的结果称为主电源谐波量，傅里叶分析可处理高达 2.5 kHz 的频率，其对应主电源频率的第 50 个谐波。

变频器的输入整流器可在主电源上生成典型的正弦谐波干扰。当变频器连接至 50Hz 的主电源时，三次谐波 (150 Hz)、五次谐波 (250 Hz) 或七次谐波 (350 Hz) 造成的影响最大。这是影响最大的区域。整体谐波量也被称为总体谐波失真 (THD)。



如今，主电源电网中很少具有理想的正弦主电源电压。

低频率主电源干扰

分析主电源干扰

为避免对主电源质量造成较大影响，生成谐波的系统或设备可采用多种降低、避免和补偿方式。可在设计阶段尽早使用主电源分析程序，例如 VLT® MCT 31 Harmonic Calculation 软件。如此，操作员可提前考虑和测试具体应对措施，确保后续系统的可用性。

注： Danfoss 拥有精湛的 EMC 专业技术和在该领域多年的经验。我们通过培训课程、专题研讨会和研习会方式来向客户传授这些经验，在每天实践中提供带有详细评估或主电源计算的 EMC 分析。

注意： 谐波量过大会增加功率因素修正设备的负载，甚至导致其损坏。因此，变频器必须装配电抗器。



VLT® MCT 31 可估算您应用的谐波量和电压失真度，并确定是否需要谐波滤波器。此外，该软件可计算添加的抑制设备的效果，并确定您的系统是否符合各种标准。

主电源干扰的影响

谐波和电压波动为两种形式的低频率主电源干扰。连接负载时，其主电源系统的任何其他点的形式与其在源头的形式不同。

因此，评估主电源时，必须综合考虑主电源供电、主电源结构和负载。下文将描述谐波水平增加的影响。

欠压警告

- 由正弦主电源电压失真导致的电压测量有误。
- 降低主电源容量。

更大损耗

- 谐波占有了有功功率、视在功率和无功功率的额外份额。
- 例如共振导致的额外加热效应可缩减设备和组件的使用寿命。

- 电气或电子负载故障或损坏（例如其他设备发出的嗡嗡声）。最严重的情况下，甚至会出现破损。
- 仅因为实际 RMS 仪器和测量系统考虑了谐波量，因此导致测量值不准确。

是否存在抗干扰的变频器？

每个变频器都会产生主电源干扰。但是，现有标准仅考虑了高达 2 kHz 的频率。因此，有些制造商将主电源干扰转移为超出标准范畴的 2 kHz 以上的频率范围内，并标榜为“抗干扰”变频器。当前正在研究此区域的极限。

降低主电源干扰

降低主电源干扰的选项

通常来说，可通过限制脉冲电流幅值来降低电动控制器的主电源干扰。这可增加功率因数 λ (lambda)。为避免对主电源质量造成重大影响，生成谐波的系统和设备可采用多种降低、避免或补偿方式。

- 变频器进线电抗器或直流回路电抗器
- Slim 直流线路
- 每周期为 12、18 或 24 个脉冲的整流器
- 无源滤波器
- 有源滤波器
- 有源前端和 VLT® 低谐波变频器

进线电抗器或直流回路电抗器

即使简单的电抗器也可有效降低通过整流电路以主电源干扰形式反馈到主电源系统中的谐波量。变频器制造商经常将电抗器作为附加选件或改造版。

可将电抗器连接至变频器的前端（进线端）或整流器后面的直流回路。因为两个位置的电缆效应相同，因此无论电抗器安装在何处，都不会影响主电源干扰衰减量。

每个选项都有优缺点。进线电抗器价格更高，规格较大，且衰减量大于直流电抗器。优点是它能够同时保护整流器，免受主电源瞬态影响。直流电抗器位于直流回路上。价格较便宜，但通常不能被改装。装有这些电抗器时，B6 整流器的总谐波失真度可从无电抗器时的 80% 的 THD 降低到 40% 左右。已证实在变频器中使用带有 4% 的 U_k 的电抗

器非常有效。只能利用经过特殊调节的滤波器来进一步降低失真度。

每周期为 12、18 或 24 个脉冲的整流器

每周期脉冲数（12、18 或 24）较多的整流电路生成的谐波量较低。过去经常将其用于大功率应用。

但是，必须用有多个相位偏移的次级绕组的特定变压器为整流器供电，为整流级提供必需的功率。除特定变压器的复杂性和规格外，此项技术的缺点还包括购买变压器和变频器需要较高投资成本。

无源滤波器

在谐波失真极限要求特别严格时，可将无源主电源干扰滤波器作为选件。无源滤波器包含电感和电容器等无源组件。

LC 系列电路特别适用于单个谐波频率，可与负载并联，将主电源输入端的总谐波失真 (THD) 降低为 10% 或 5%。滤波器模块可与单个变频器或一组变频器配合使用。为利用谐波滤波器获得最佳效果，滤波器必须匹配变频器实际获得的输入电流。

在电路设计方面，可将无源谐波滤波器安装在单个变频器或一组变频器的前端。

无源滤波器的优点

此类滤波器的性价比较高。操作员以相对低的成本获得的谐波减少量，可与 12 或 18 个脉冲/周期的整流器获得的减少量相媲美。总谐波失真 (THD) 可降低为 5%。

无源滤波器不会在 2 kHz 以上的频率范围内生成干扰。由于滤波器包含的均为无源组件，因此不存在磨损且具有抗电磁干扰性和抗机械应力性能。

无源滤波器的缺点

由于其设计，无源滤波器尺寸相对较大，重量较重。此类过滤器在 80–100% 的负载范围内的效率非常高。但是，电容式无功功率会随负载的减少而增加，因此建议在空载运行时，断开滤波电容器。

注：Danfoss VLT 变频器标配直流回路电抗器。其可将主电源干扰降低为 THDi 的 40%。



降低主电源干扰

有源滤波器

当主电源干扰要求更加严格时，可使用有源电子滤波器。当有源滤波器与谐波发生器并联时，有源滤波器为电子吸收电路。滤波器可分析非线性负载生成的谐波电流，并提供补偿电流进行抵销。此电流能够完全中和连接点处相应的谐波电流。

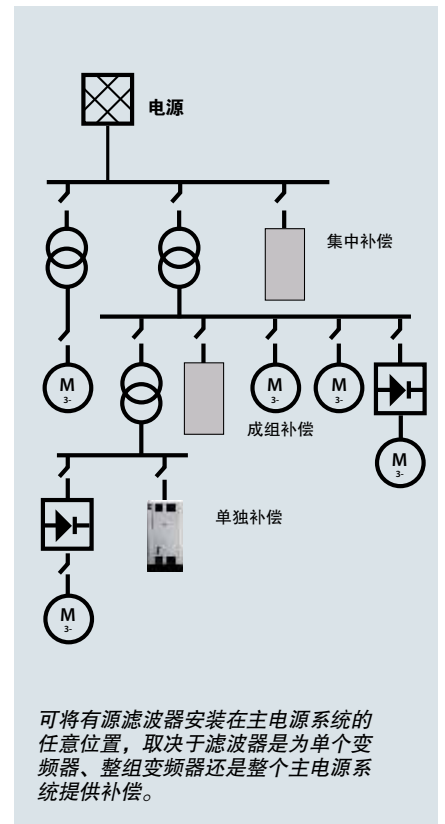
可调节补偿大小。如此，可根据需要完全补偿谐波，或（可能处于经济考虑）补偿程度仅让系统满足法定极限。在此再次强调，如果在存在时钟频率时操作这些滤波器，将生成 4-18 kHz 范围的主电源干扰。

有源滤波器的优点

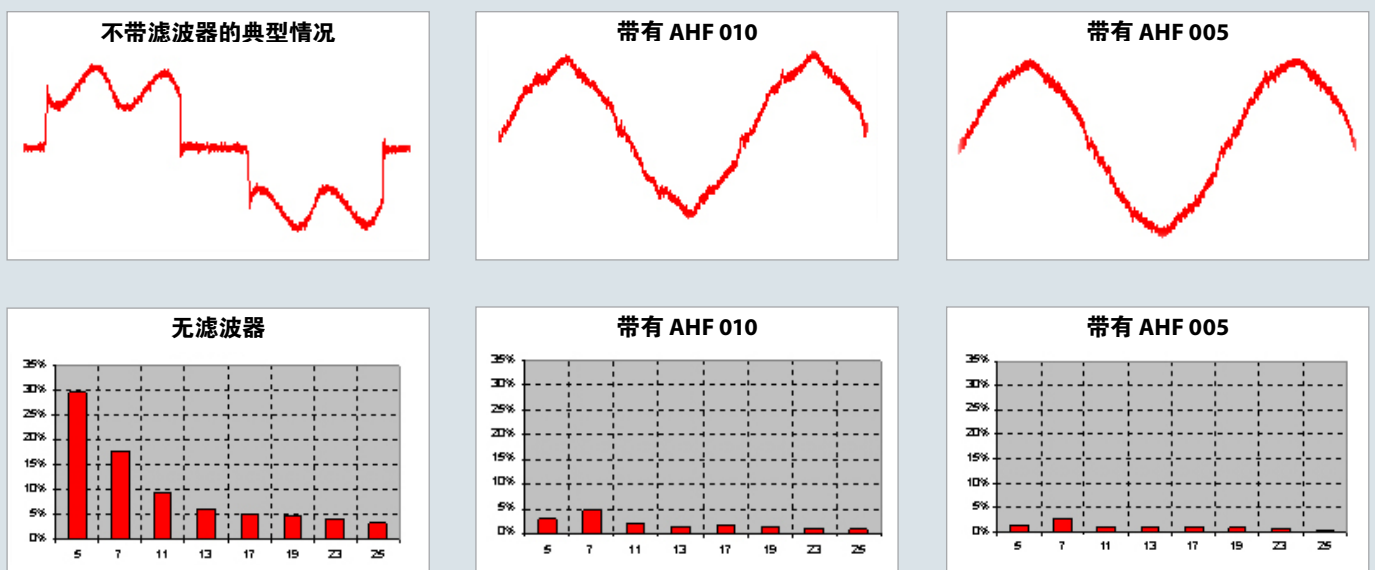
操作员可将有源滤波器集成在主电源系统的任意位置作为主要措施，这取决于其是想补偿单个变频器、整组变频器还是整个配电系统。无需为每个变频器安装独立滤波器。总谐波失真可降低到 $\leq 4\%$ 的 THD 量。

有源滤波器的缺点

缺点是投资成本相对较高。此外，这些滤波器在超过第 25 个谐波水平时使用，效果不佳。使用有源滤波器技术时，必须考虑滤波器本身生成的 2 kHz 以上的频率影响。这些滤波器可能需要进一步的措施来保持主电源系统清洁。



满载时的电流和失真频谱



Advanced Harmonic Filters (AHF) 可将总谐波失真降低为 5% 或 10%。

Slim 直流回路

近年来，带有“slim”直流回路的变频器的使用不断增加。通过这种方式，制造商能显著降低直流回路电容器的电容量。即使没有电抗器，也能将电流的第五个谐波降低到40%的THD水平以下。

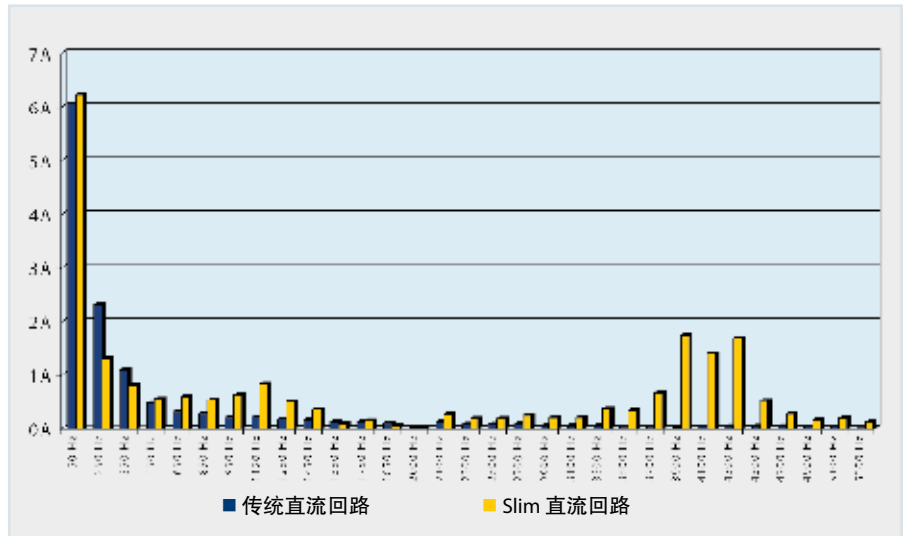
但是，其会导致原本不会出现的高频范围的主电源干扰。

由于带有 slim 直流回路的设备的频谱范围较广，因此与连接至主电源的其他组件（例如荧光灯或变压器）产生共振的风险也较大。构想适当措施相对耗时且比较困难。

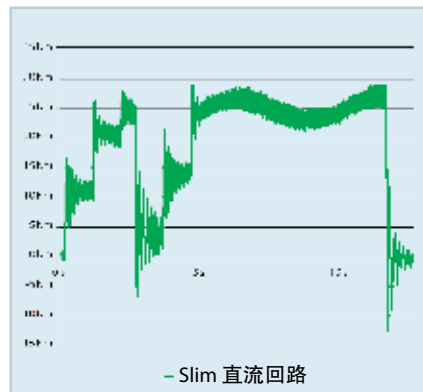
此外，带有 slim 直流回路的变频器的负载端存在缺点。使用此类变频器时，负载变化可导致电压较大变化。因此，电机主轴回应负载变化时产生振荡的可能性较大。也会增加卸载的难度。卸载期间，电机如同可生成峰值电压的发电机。为应对此问题，相对于传统设备，带有精益直流回路的设备能够实现快速关闭，避免因过载或过电压导致破损。

由于电容较小或零电容，带有 slim 直流回路的变频器不适合在突然断开主电源时运行。一般而言，slim 直流回路大概有传统直流回路 10% 的电容。

除输入电流引发的主电源干扰外，在开关电机侧逆变器时，带有 slim 直流回路的变频器会损坏主电源。因为直流回路的电容较低或为零，可在主电源侧明显观察到此现象。



带有 slim 直流回路的变频器可生成的谐波水平较高，尤其是在高频范围内。



有快速开关特性的半导体设备，可将输入电流强制为近正弦状，并且能够有效衰减低频主电源干扰。与带有 slim 直流回路的变频器类似，其可生成高频范围的主电源干扰。

有源前端是降低主电源干扰最昂贵的方式，因为其相当于经过补充后成为完全的变频器，同时可将功率反馈给主电源系统。低谐波变频器选件不具有此功能，因此价格也相对便宜。

有源前端

描述有源前端 (AFE) 变频器时，经常会用到“低谐波变频器” (LHD)。但是，这里存在一点误导，因为低谐波变频器可能包含多种不同的技术，其中包括无源和有源抑制。有源前端变频器的输入电路上具有替代传统整流器的 IGBT 开关。这些电路采用了具

降低主电源干扰

AFE 的优点

在第三个至第五十个谐波范围内，总谐波失真可降低到 <4% 的 THD 水平。AFE 设备可实现四象限运行，这意味着电机的制动功率可反馈到主电源系统中。

AFE 的缺点

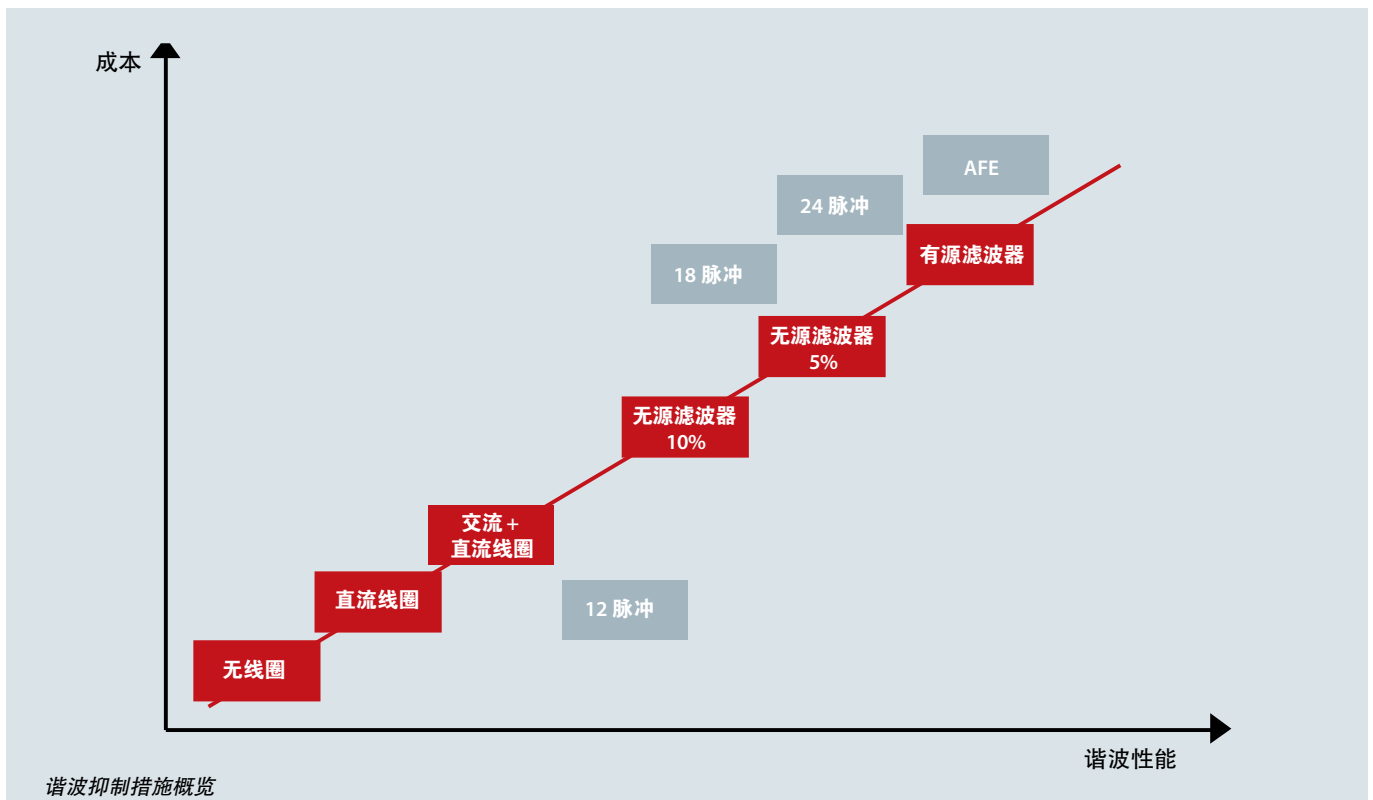
设备的技术复杂性较高，因此投资成本也较高。一般而言，包含两个变频器的 AFE 设备，其中一个变频器给电机供电，另一个变频器给主电源系统供电。由于增加了回路复杂度，因此电机运行时，变频器效率较低。功率损耗会比带有不受控整流器的变频器高出 40 至 50% 以上。

AFE 始终需要较高的直流回路电压，以实现正确操作运行。许多情况下，较高的电压会转移到电机上，进而增加电机绝缘压力。如果 AFE 设备的直流回路不是独立的，则滤波器故障会导致整个设备故障。

另一个缺点是设备使用时钟频率来纠正输入电流。频率范围为 3 至 6 kHz。优质（和相对复杂）的设备会在给主电源系统供电前，过滤掉此时钟频率。当前适用标准和法规未包含此频率范围。当前适用主电源分析仪通常不采集此频率范围内的数据，因此也不能测量影响。

但是，可在受影响主电源系统上操作的所有设备中看出这些现象，例如供电时输入电流的增加。只有在未来几年内此影响才会引起注意。因此，操作员应专门咨询制造商辐射水平和应对措施，以便系统实现可靠运行。

注意：并没有规定该变频器系列必须满足 EN 61000-3-12 中指定的极限。只有在变频器带有补偿性滤波器时，才能满足这些极限。



高频率干扰 (RFI)

射频干扰

变频器可因其宽度各异的电流脉冲在相应的电机电压上生成不同旋转磁场频率。陡峭脉冲边缘包含高频组分。电机电缆和变频器会辐射这些成份，并通过电缆将其传导到主电源系统中。

制造商使用射频干扰 (RFI) 滤波器 (又称为主电源滤波器或 EMC 滤波器) 来降低主电源上此类干扰的水平。

此类滤波器可保护设备，防止受到高频传导干扰 (抗扰性)，并降低在主电源电缆上的设备发射或主电源电缆辐射产生的高频干扰量。

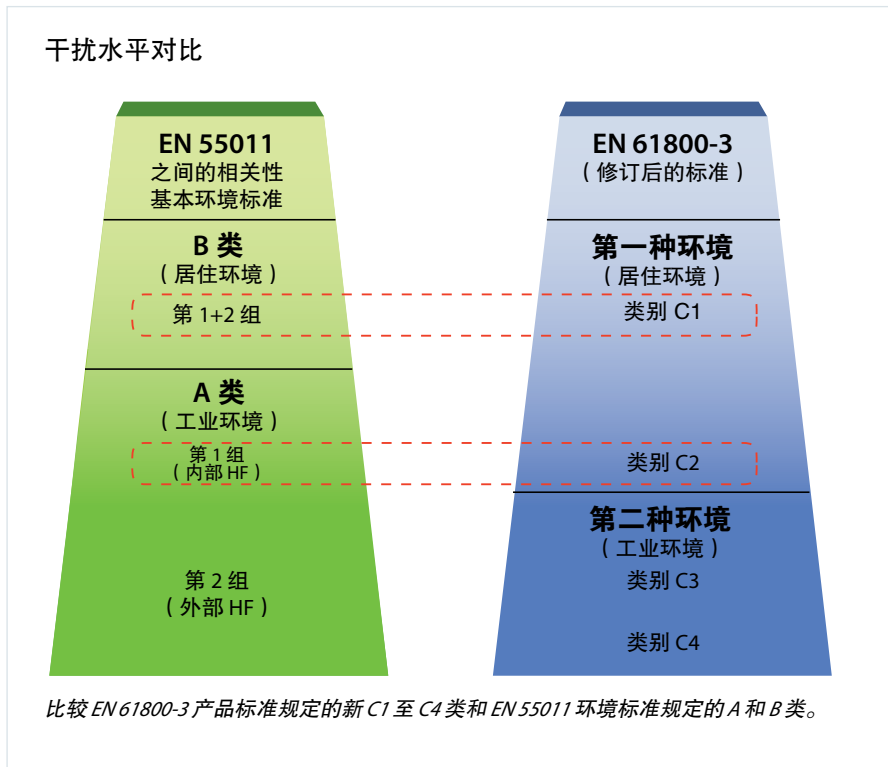
滤波器旨在将这些干扰辐射量降低到指定法定范围内，这意味着尽可能将滤波器作为设备标配组件。如同主电源电抗器一样，利用 RFI 滤波器时，必须明确使用的滤波器质量。

EN 61800-3 产品标准和 EN 55011 通用标准中规定了具体干扰水平极限。

定义极限的标准和指令

必须遵守两个标准，以便综合评估射频干扰。第一个标准是 EN 55011 环境标准，根据基本环境规定了极限：工业 (A1 和 A2 类) 或居住 (B 类)。此外，电气变频器系统的 EN-61800-3 产品标准 (于 2007 年 6 月生效) 规定了设备应用领域的新类别 (C1 至 C4)。

尽管就极限范围而言，其可与先前类别类似，但其扩大了产品标准范围内的应用领域。



电气变频器系统的 EN 61800-3 产品标准 (2005-07)

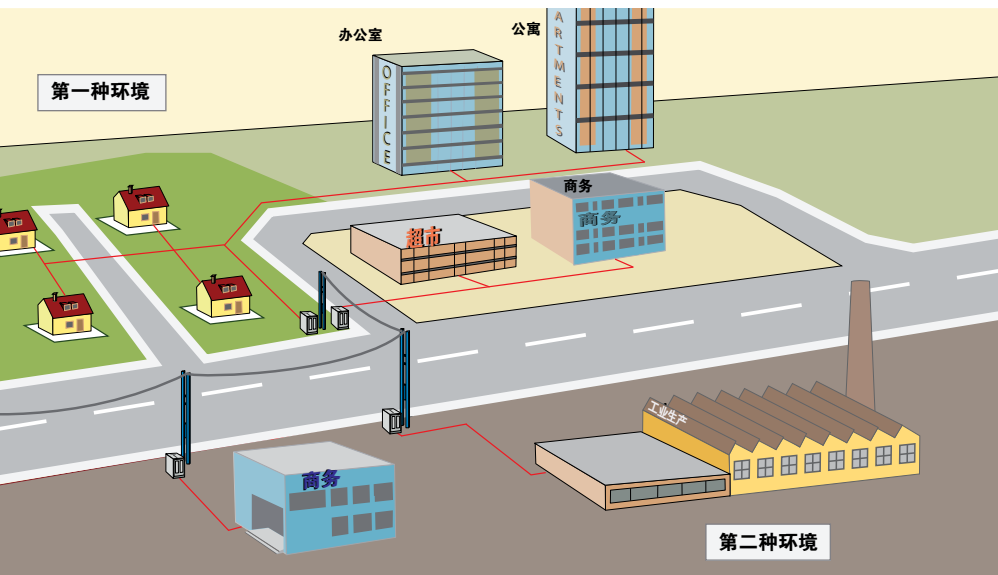
按类别分类	C1	C2	C3	C4
环境	第一种环境	第一种或第二种环境 (由操作员决定)	第二种环境	第二种环境
电压/电流	< 1000 V			> 1000 V In > 400 A 连接 IT 网络
EMC 专业技术 根据 EN 55011 确定的极限	无要求 B 类	由 EMC 专家安装和调试 A1 类 (附加警告通知)		需要 EMC 计划 超出 A2 类的数值 (附加警告通知)

EN 61800-3 产品标准 C1 至 C4 类别的分类

注意：

如果出现，设备操作员必须遵守 EN 55011 要求。变频器制造商必须遵守 EN 61800-3 要求。

第 1 种环境和第 2 种环境



操作员可选择的第一种和第二种操作环境和特定环境的分类。

- 存在科学、医疗或工业设备；
- 切换大型感应式和电容性负载。
- 产生强大的磁场（例如因大电流产生的）。

环境分类适用于内部和外部建筑物。

特定环境

在这里，用户决定根据哪种环境类型来分类其设备。前提是该区域拥有自己的中压变压器，可明确界定其他区域。在此区域内，用户自己负责确保满足必要的电磁兼容性，以便特定环境中的所有设备都能实现无故障操作。特定环境的某些示例为运输中心、超市、加油站、办公楼和仓库。

无折中方案

如果使用符合类别 C1 的变频器时，设备上必须张贴警告通知。用户或操作员负责完成此项工作。

如果出现干扰，专家始终根据工作环境，确定 EN 55011 通用标准规定的 A1/A2 类和 B 类极限抑制干扰。由操作员承担纠正 EMC 问题的成本。最终用户负责根据这两个标准正确分类设备。

工作场所是决定性因素

相应标准规定了每种环境的极限，但如何调节设备适应不同环境类型呢？EN 55011 和 EN 61800-3 标准再次提供了电气变频器系统和组件的信息。

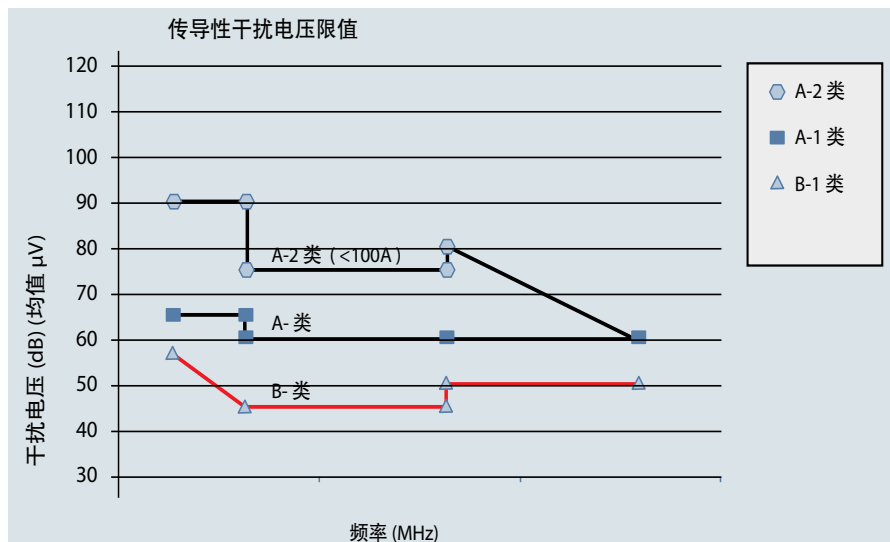
第一种环境/B 类： 居住环境

直接连接到公共低电压电网的所有工作场地，包括轻工业区域，被分类为居住环境或业务和商业环境。这些用户没有自己独立主电源系统的高压或中压配电变压器。

环境分类适用于内部和外部建筑物。某些示例为业务区域、住宅和居住区域、饭店和休闲企业、停车场以及娱乐设施和运动设施。

第二种环境/A 类： 工业环境

工业环境为未直接连接到公共低电压电网的工作场地，但其拥有自己的高压或中压配电变压器。在土地登记册中，将其定义为工业环境，并具有特定电磁条件特性：



主电源保护措施

功率因数修正

功率因素修正设备有助于降低电压和电流之间的相移 (φ)，以便让功率因数接近1 ($\cos \varphi$)。这是配电系统中使用大量感应负载（例如电动机或荧光灯镇流器）时所必需的。根据直流回路的设计，变频器不会吸收主电源系统的任何无功功率或生成任何相移。其具有的 $\cos \varphi$ 约为1。因此，使用速度控制电机的用户在确定功率因数补偿装置需要的容量时，无需考虑这些因素。然而，相位修正设备会因变频器产生的谐波而增加吸收电流。电容器负载会随谐波产生者数量的增加而增加，进而产生更多热量。因此，操作员必须在功率因数修正设备中安装电抗器。这些电抗器还可防止负载电感和功率因数修正设备的电容之间产生共振现象。

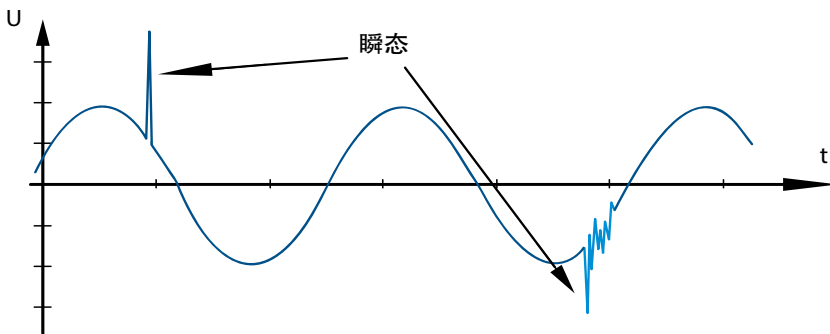
$\cos \varphi < 1$ 的变频器也需要在功率因数修正设备中安装电抗器。选择电缆尺寸时，用户必须考虑较高的无功功率水平。

主电源瞬态

瞬态是几千伏范围的短暂电压峰值。它们可以以所有配电系统形式出现，包括工业和住宅环境。

雷击是发生瞬态的最常见原因。然而，引发的其他原因还有线路上大型负载的切入和断开或者其他设备的切换，例如功率因素修正设备。还会因配电系统中的短路，断路器跳闸以及并联线路之间的电感耦合而引发瞬态变化。

EN 61000-4-1 标准说明了这些瞬态的形式以及其所包含的能量。限制其有害影响的方法有很多。可使用充气避雷针和电花隙为防止出现高能瞬态提供一级保护。对于二级保护，多数电气设备使用压敏电阻器（压敏电阻）来减少瞬态现象。变频器也可使用此方法。



雷击是引发供水和污水处理厂主电源瞬态变化最常见的原因



运行变压器或备用发电机

最大限度提高变压器利用率

在低压系统（400V、500V和690V）中，操作员可使用额定值高达1MW左右的速度控制器。变压器将中压电网电压转换为所需电压。在公用电网（环境1：居住环境）中，这是电力公司的职责。

在工业环境（环境2：工业环境；通常为500V或690V）中，变压器位于最终用户场地内，因此由最终用户负责为用户设备供电。

变压器负载

如果是变压器为变频器供电，则必须谨记使用变频器和其他整流器负载可产生谐波，进而增加变压器的无功负载。

这将导致损耗和热量增加。最严重的情况下，还可导致变压器损坏。智能矢量组（将几个变频器连接在一起）在某些情况下也会产生谐波。

功率品质

为确保主电源功率的质量符合适用标准，您必须了解变压器能承受多大的变频器负载。

主电源分析程序（如VLT® MCT 31 Harmonic Calculation 软件）可准确确定特定系统中变压器可承受的变频器负载。

注：所有VLT® AQUA Drive系列的变频器标配集成主电源干扰电抗器。

运行备用发电机

主电源供电设备必须持续运行的情况下，必须配备备用供电系统，以防万一主电源故障时可马上切入。还可在可用主电源连接不能提供足够电量时，使用备用供电系统。还能与公用电网并联使用，以便提供更高的供电电压。这是需要热量时的通用方法，例如结合使用热和功率设备。其可充分利用通过此种能量转换形式实现的高效率。

当发电机提供备用电时，主电源阻抗通常会高于公共电网供电时的阻抗。这是因为增加了总谐波失真。利用适当设计，可在包含产生谐波设备的系统中运行发动机。

在实践中，这意味着当系统从主电源操作切换为发电机供电时，通常会增加谐波负载。

设备维护设计人员和操作员应计算或测量谐波负载的增量，确保供电质量符合法规要求，进而防止出现问题和设备故障。

必须避免发电机负载不对称，因为如此将导致损耗增加，并可能增加总谐波失真。

发电机5/6节距比的绕组分布会降低5次和7次谐波，但其允许3次谐波增加。2/3节距比会降低第3个谐波。

如果可能，操作员应断开功率因数修正设备，因为其可导致系统产生共振现象。

电抗器或有源吸收滤波器可降低谐波。并联运行的电阻负载也可降低谐波，而并联运行的电容负载可引起意外共振效应产生额外负载。

如果考虑这些现象，发电机供电的主电源系统可为一定数量的变频器供电，同时保持指定功率质量。使用主电源分析软件（例如VLT® MCT 31 Harmonic Calculation 软件）可执行更加精确的分析。

如果操作谐波发生器，则按如下步骤设置极限：

B2和B6整流器	→	最大为额定发电机负载的20%
带有电抗器的B6整流器	→	最大为额定发电机负载的20–35%
受控的B6整流器	→	取决于组成部件 最大为额定发电机负载的10%

上述最大负载值为建议的参考值，是根据无故障设备操作经验得出的。

步骤 2: 周围环境条件

正确的安装位置

只有使用适当的冷却和清洁空气，才能最大限度增加变频器的运行时间和延长使用寿命。

因此，安装位置和安装条件的选择对变频器使用寿命起着决定性作用。

机柜安装与墙面安装

变频器应安装在机柜上还是墙面上不是一个一概而论的问题。两个选项都有其优缺点。

机柜安装的优点是所有电子和电气组件安装位置都相距较近，并受机箱（机柜）保护。

同时交付时，机柜是完全组装好的，可作为整套装置安装在设备中。

缺点是由于机柜中各个组件安装位置距离较近，因此可能会产生相互影响，需要特别注意 EMC 兼容机柜布局。此外，屏蔽电机电缆的投资成本较高，因为相对于本地安装，变频器和电机的距离较远。

墙面安装易于控制 EMC，因为变频器和电机的距离极为接近。

可减少屏蔽电机电缆长度，进而大幅缩减成本。缩减的接线和安装成本可轻松抵消带有 IP54 机箱的变频器略高的成本。但是，在实际应用中，约 70% 的设备都安装在机柜中。

注：

Danfoss 变频器配有三种不同的保护等级：

- 用于机柜安装的 IP00 或 IP20
- 本地安装的 IP54 或 IP55；
- 关键环境条件的 IP66，例如极高的（空气）湿度或灰尘或侵蚀性气体密度较高。



可集中（机柜中）或本地（接近电机）安装变频器。两个选项都有优缺点。

IP 等级

防护等级为 IP20 或 IP21 的防触电变频器（右）专用于机柜安装。防护等级为 IP54 或 IP55 的防溅变频器（左）专用于机架安装。



根据 IEC 60529 确定 IP 标准结构

	防止固体异物侵蚀	防止接触危险部件的方式
首位数	0 (无保护)	(无保护)
	1 ≥ 50 mm 的直径	手背
	2 直径 12.5 mm	手指
	3 直径 2.5 mm	工具
	4 ≥ 1.0 mm 的直径	电线
	5 防尘	电线
	6 防尘	电线
	防止有害影响的渗水现象	
第二位数	0 (无保护)	
	1 垂直下落	
	2 下落角度为 15°	
	3 波水	
	4 溅水	
	5 喷水	
	6 强效喷水	
	7 短暂浸水	
	8 长期浸水	
	指定的其他信息	
首位数	A	手背
	B	手指
	C	工具
	D	电线
	指定的其他信息	
附加字母	H 高压设备	
	M 水测试期间移动的设备	
	S 水测试期间静止的设备	
	W 天气条件	

用“x”表示缺失数字。

冷却设计

符合环境温度要求

外部天气条件和周围条件会对控制室或机柜中所有电子电气组件的冷却情况产生不同影响。

为所有变频器指定最低和最高的环境温度限制。通常由使用的电子组件确定这些极限。例如，安装在直流回路中的电解电容器的环境温度必须维持在一定范围内，因为温度与其电容量有关。尽管变频器可以在低至 -10°C 的温度下工作，但制造商只有在 0°C 或更高温度时才能确保以额定负载正常工作。这意味着应避免在易受霜冻影响区域使用变频器，例如未保温房。

不得超过最高温度限制。电子组件对热都非常敏感。

根据阿仑尼乌斯方程，当电子元件超出其设计温度工作时，温度每升高 10°C ，使用寿命缩短 50%。这不仅限于安装在机柜中的设备。即使防护等级为 IP54、IP55 或 IP66 的设备，也只能用于本手册规定的环境温度范围内。有时还要求安装房或机柜安装空调。避免极端环境温度可延长设备寿命，进而提高整个系统可靠性。

冷却

变频器可以热的形式消耗电能。变频器技术数据中说明了功率消耗量 (W)。操作员应采取适当措施，消除机柜中变频器消耗的热量，例如通过机柜风扇。制造商文档中指明了所需气流量。安装变频器时，必须确保冷却空气能顺畅通过设备的冷却片。

尤其是机柜中防护等级为 IP20 的设备，由于机柜组件安装间距较小，可能形成热窝，进而导致空气流动不充分。请参阅本手册了解必须满足的正确安装间距。

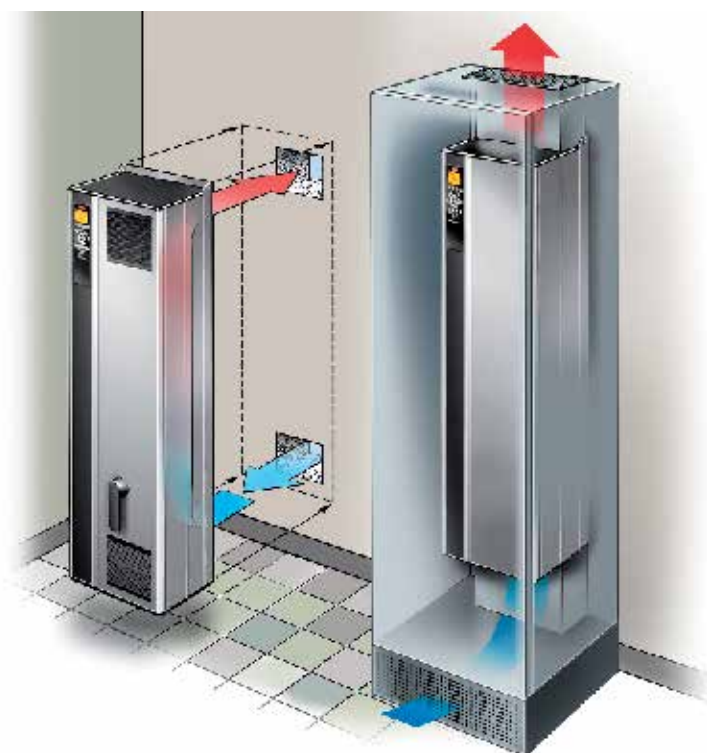
相对湿度

尽管某些变频器可以在相对较高的湿度 (Danfoss 设备适用于相对湿度高达 95% 的环境) 下正常工作，但必须始终避免冷凝。当变频器或其中某些组件温度比潮湿的环境空气温度更低时就有一定的冷凝风险。在这种情况下，空气中的水分会凝结在电子元件上。

当再次开启设备时，水滴可导致设备短路。通常仅在变频器断开主电源时，会发生此种现象。因此，当由于环境条件可能会出现冷凝时，建议安装机柜加热器。此外，将变频器调到待机模式 (设备始终连接到主电源上) 也有助于降低冷凝的风险。但是，应检查确保有足够的功耗来保持变频器电路干燥。

注意：某些制造商会指定最小侧面间距和最小顶部和底部间距。遵循这些规定。

VLT® 变频器的智能冷却设计可通过冷却管道消散高达 85% 的设备散发的热量。



特殊要求

环境参数	设备	类别				
		3C1	3C2		3C3	
			平均值	最大值	平均值	最大值
海盐	mg/m ³	编号	盐雾		盐雾	
硫氧化物	mg/ m ³	0.1	0.3	1.0	5.0	10
硫化氢	mg/ m ³	0.01	0.1	0.5	3.0	10
氯气	mg/ m ³	0.01	0.1	0.03	0.3	1.0
氯化氢	mg/ m ³	0.01	0.1	0.5	1.0	5.0
氟化氢	mg/ m ³	0.003	0.01	0.03	0.1	3.0
氨气	mg/ m ³	0.3	1.0	3.0	10	35
臭氧	mg/ m ³	0.01	0.05	0.1	0.1	0.3
氮气	mg/ m ³	0.1	0.5	1.0	3.0	9.0

根据 IEC 60721-3-3 分类；根据长期数值预测平均值。
最大值是出现时间不超过每天 30 分钟的瞬时峰值。

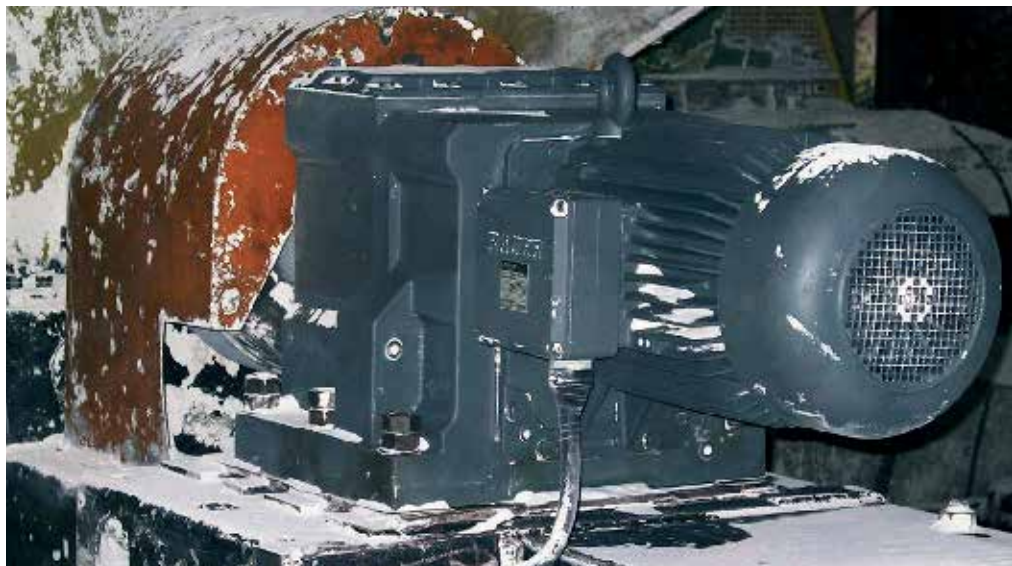
腐蚀性环境或气体

污水处理厂或游泳池中经常存在腐蚀性气体，例如硫化氢、氯气或氨气。冷却空气污染可导致变频器中的电子组件和 PCB 轨道逐渐分解。电气系统或机柜中的电子设备对此尤为敏感。如果环境空气中含有此类污染物，操作员或设备工程师应将变频器安装在可有效排除污染的位置（带有换热器的其他建筑物或密封机柜等），或订购电路板上涂有可抵抗腐蚀性气体的特殊防护漆的设备。

腐蚀性环境的一个明显现象是铜腐蚀。如果铜快速变黑，形成气泡，甚至分解，则应使用涂有补充涂层的电路板或设备。国际标准 IEC 60721-3-3 中说明了涂层可抵御的特定媒介和媒介浓度。

注意：您应在设计和工程设计阶段考虑电气设备冷却空气的来源。例如，在污水处理厂，您应避免空气从进口区域流入，在游泳池中，应避免从水处理区域方向吸收空气。

注：VLT® AQUA Drive 装置标配有 3C2 类涂层。
可根据要求提供 3C3 类涂层。



粉尘暴露

实际应用中，在高粉尘暴露的环境中安装变频器往往是不可避免的。这些灰尘会随处沉积，甚至能渗入最小的裂缝中。灰尘不仅会影响防护等级为 IP55 或 IP66 的本地安装变频器，还会影响防护等级为 IP21 或 IP20 的机柜安装变频器。在此类环境中安装变频器时，必须考虑下述三个方面。

降低冷却

粉尘会在设备表面以及设备内部的电路板和电子元件上积垢。这些积垢充当绝缘层，阻碍热量从组件上传递到周围空气中。进而降低冷却效果。这些组件会变得更热。这将

造成电子组件加速老化，并且缩短受影响变频器的使用寿命。变频器背面散热片上有沉积粉尘时，也会降低使用寿命。

冷却风扇

冷却风扇可生成冷却变频器的气流，风扇通常位于设备背部。粉尘可能渗透进风扇转子的小轴承中，并引起摩擦。这会导致风扇因轴承损坏而出现故障。

过滤垫

在实际应用中，大功率变频器都配有冷却风扇，将热空气从设备内部排出。当超出一定尺寸时，这些风

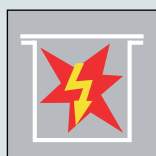
扇都配有过滤垫，防止灰尘进入设备。如果将这些过滤垫用于灰尘较多的环境中，则这些过滤垫会迅速堵塞，进而导致风扇无法充分冷却变频器内部组件。

注意：在上述条件下，建议在定期维护时清洁变频器。吹去散热片和风扇上的灰尘并清洁过滤垫。

潜在爆炸性环境

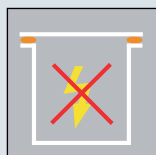
潜在爆炸性环境

Ex d: 防火保护



当点火防护等级为“d”时，如果受保护区域（例如机箱内部）出现火花，设备能确保火花不会飞溅到受保护区域以外。

Ex e: 安全性更高



点火防护等级为“e”时，保护措施包含防止出现引发火花的足够能量。

注意：切勿在潜在爆炸性环境中直接安装变频器。必须将其安装在此区域以外的机柜中。建议在变频器输出端安装正弦滤波器，以衰减 du/dt 电压上升和峰值电压 U_{peak} 。由于电缆会导致电压降，因此应尽可能缩短连接电机电缆。

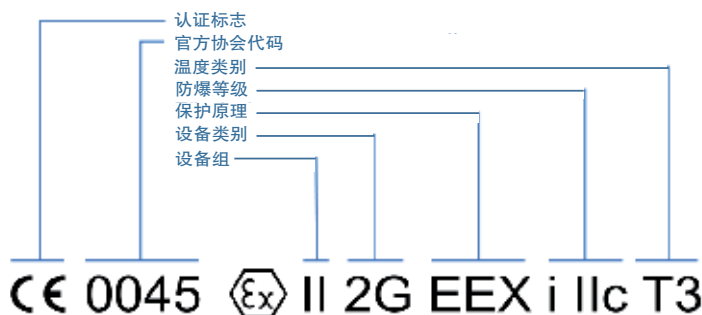
注：带 MCB 112 选件的 Danfoss VLT® AQUA Drive 变频器有针对潜在爆炸性环境的 PTB 认证电动机热敏电阻传感器监测功能。当利用正弦波输出滤波器操作 VLT® 变频器时，无需使用屏蔽电机电缆。

经常在潜在爆炸性环境中使用的变频器系统。其中一个示例就是污水处理厂入口区域。如果在此种区域中，用变频器进行速度控制，则设备必须满足特定条件。EU 指令 94/9/EC（被称为 ATEX 指令）规定了基本条件。该指令说明了设备在潜在爆炸性环境中的使用和操作以及防护装置。该指令合理调节了 EU 对潜在爆炸性环境中使用电子和电气设备的要求和法规，例如由灰尘或气体导致的问题。

如果用变频器控制潜在爆炸性环境中的电机，则这些电机必须采用 PTC 温度传感器监测温度。可使用点火防护等级为“d”或“e”的电机。这些点火防护等级取决于防止爆炸介质点火的方式。在实践中，变频器很少使用“e”类电机。必须将这一组合作为设备批准，其中涉及昂贵和复杂的类型测试。但是，Braunschweig（德国）PTB 已制定一种新审批程序，在

未来使用“e”类电机的速度控制器更具吸引力。新理念只需接受电机本身，同时在 EC 类型测试认证流程中另外定义监测温度的特定要求。例如，除通用认证的 PTC 热敏电阻监测外，还需要不受速度影响的电流极限，以应对自通风电机在不同速度控制时冷却效果降低的情况。

尽管无需单独批准“d”类电机，但在“d”区域内的接线是非常复杂的。使用最广泛的是防护等级为“de”类的电机。在这种情况下，电机本身具有“d”点火防护等级，而实施的连接空间符合“e”点火防护等级。对“e”连接空间的限制包括向该空间供应的最大电压。由于输出电压的脉冲宽度调制，大多数变频器输出电压都具有超出“e”类点火防护许可极限的峰值电压。在实践中，对变频器输出使用正弦滤波器已被证明是一种有效衰减高电压的方式。



根据 ATEX 产品指令(94/9/EC)对在潜在爆炸性环境中运行的设备贴上标签。

步骤 3: 电机和接线

最大限度降低电机能效等级

必须满足的最低能效

自 1998 年，电机和电力制造商欧盟委员会 (CEMEP) 达成自愿承诺后，便出现了能效分类。

自 2011 年夏季开始，EU 区域内的三相异步电机必须满足最低能效标准 (MEPS)。EU 法规不断阶段性地提高电机能效要求，时间延期至 2017 年。

最低能效分类 (又称为最低能效标准 (MEPS)) 的基础是 IEC 60034-30 规定的并得到全球认可的国际能效 (IE) 类别。这些类别的极限某种程度上类似于欧洲广泛使用的 eff 类别。

IE 和 Eff 类别：详述重要差异

尽管这两个标准的极限具有可比性，但它们确定能效的根本方法不同。确定 eff 类型效率的基础是确定单一损失 (IEC 60034-2:1996)，此方法可追溯到 100 年前。相比之下，IE 类别效率是利用更加精准的方法确定的。

当功率级别高达 10 kW 时，利用 IE 类别接受方法获得的测量结果通常比老方式测得结果低 2 至 3%，如果功率级别为 100 kW 或更大时，比古老方式测得结果大约低 1%。该标准将考虑这些差异，以协调 IE 和 eff 类别。

除 IEC 60034-30 标准确定的 IE1 至 IE3 类别外，IEC 60034-31 草拟版本还定义了新类别：IE4。IE1 至 IE3 类别主要针对主电源操作电机，而 IE4 也考虑了变速电机方面。当前 IE4 不是强制性要求；当前只使用它来对比其他能效等级。

IEC 60034-30	Eff 类别
IE1 (标准效率)	与 Eff2 类似
IE2 (高效)	与 Eff1 类似
IE3 (超高效率)	大约比 IE2 优越 15-20%

国际标准 IEC 60034-30 规定了能效等级 IE1-IE3。Eff 类别基于 1998 年 EU 和 CEMEP 达成的自愿协议。

受影响的三相电机

以下三相电机类型必须符合 MEPS:

- 工作周期 S1 (持续工作) 或工作周期大于 80% 的 S3 (断续周期工作)
- 极点数为 2 至 6，额定功率为 0.75 至 375 kW
- 额定电压高达 1000 V。

引入 MEPS 旨在降低能耗。但是，少数情况下，此方法可导致能耗增加。因此，EU 条例 640/2009 在技术上合理的描述了各种应用领域的例外情况。

它们包括:

- 在潜在爆炸性环境 (如指令 94/9/EC 所述) 中工作的电机和制动电机
- 用于以下任一操作环境中的特殊电机:
 - 环境温度高于 40 °C;
 - 环境温度低于 15 °C (空冷电机为 0 °C); 工作温度高于 400 °C; 冷却水温度低于 5 °C 或高于 25 °C;
 - 海拔高度高于 1000 m;

- 完全集成到产品中的电机，例如齿轮电机、泵或风扇，或工作时周围均是流体介质的电机 (例如潜水泵)。

在欧洲区域内，齿轮电机的电机不是组成部件，可单独测量。使用的方法与特殊电机的类似。测量基础电机，将效率等级传输给电机变体型号。

IE 类电机

MEPS 实施计划

EU 条例计划阶段性增加电机效率要求。计划日期过后，如果在欧洲区域内销售三相电机，则该条例范畴内的所有三相电机都必须满足指定效率等级要求。

由变频器供电的 IE2 电机也将作为 MEPS 或预期的 IE3 类进行认证。工作场所中的变频器必须符合 IE3 类或备选的 IE2。

	功率	MEPS	MEPS 备选
从 2011 年 6 月 16 日开始	0.75 – 375 kW	IE2	-
从 2015 年 1 月 1 日开始	0.75 – 7.5 kW	IE2	-
	7.5 – 375 kW	IE3	带有变频器的 IE2
从 2017 年 1 月 1 日开始	0.75 – 375 kW	IE3	带有变频器的 IE2

MEPS 实施计划

符合 EN 50347 安装尺寸规范

符合 IE2 和 IE3 类的同步三相电机通常比效率较低的电机大。因此，更换较旧的电机时会出现问题。

大多数 IE2 电机都符合 EN 50347 规定的轴高和安装尺寸，但结构通常较长。在许多情况下，小型 50-Hz IE3 超高等级的电机不符合 EN 50347

规定的安装尺寸。设备操作员在其电机更换方案中应注意此问题。替代 IE3：带有变频器的 IE2。

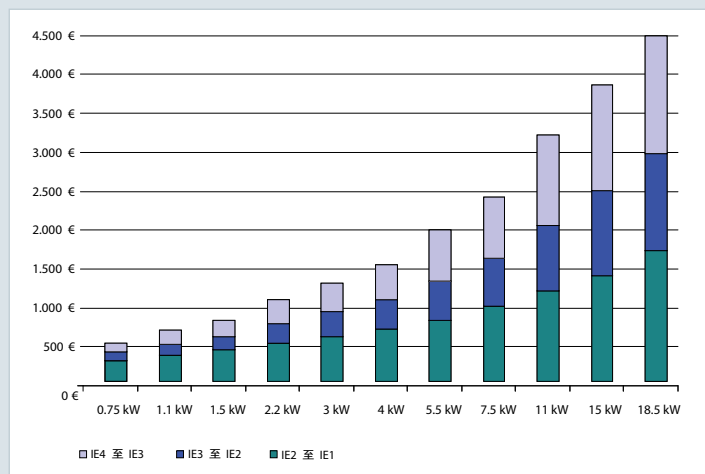
	电机		
	IE1	IE2	IE3
轴高 (EN 50347)	是	是	较大
安装尺寸 (EN 50347)	是	是	较大
电机长度	是	较长	较大

当前预计 IE2 和 IE3 类同步三相电机无法满足 EN 50347 规定的安装尺寸。

成本效益

因此引进 IE 电机时提出了一个合理的问题：它们的成本效益怎么样？通过在电机中应用高比例的活性材料，某种程度上提高了效率。根据电机尺寸，您可假设效率等级较高的电机成本大约高出 10 - 20% 或更高。

在实践中，很快便能收回附加的成本。图表显示了 IE 电机相对于 IE 等级较低的电机的节能优势。这是一项简单的分析，以额定负载连续运作 60,000 小时，每度电的价格为 8 欧元。



IE 电机相对于 IE 等级较低的电机的节能优势

注意：可访问 www.eur-lex.europa.eu 网站免费下载 EU 指令 640/2009 全文。

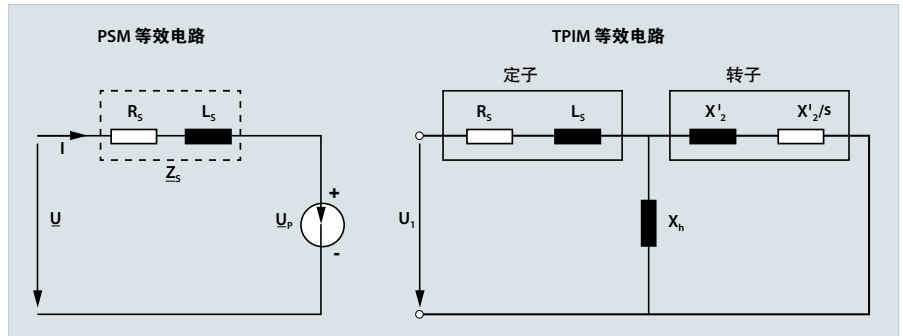
EC 和 PM 电机

同一技术的不同名称

需要执行大量工作才能增加三相感应电机 (TPIM) 的效率。这促使永磁同步电机成为了理想之选。与效率较低的感应电机相比 (例如 IE 3), 其结构更加紧凑。

在实践中, 用户会碰到各种不同名称的电机子分类。工业中常使用缩略语“PM”(永磁)和“PMSM”(永磁同步电机), 而在建筑自动化中, 标识“EC”(电子整流)和“BLDC”(无刷直流)更为常见。

以 EC 电机为例, 解释永磁电机名称的多样性和不同。EC 电机通常用作工业应用中的伺服电机或步进电机。由于紧凑精致的机架尺寸, 其覆盖的功率范围约为 300 w 左右。最常用的供电电压为 24 V。而在建筑自动化的风扇系统中的情况则不同。单相和三相 EC 电机在紧凑型风扇系统中运作, 用于功率范围为几千瓦的应用。



与简化的等效电路相比, PM/EC 电机没有任何转子损失。与三相电机相比, 如此能提高效率。

技术

由于内置永磁, 因此持续运行的电机无需独立的励磁绕组。但是, 其需要可生成旋转磁场的电子控制器。通常无法实现主电源直接供电操作, 或许多情况下, 只能以较低效率运作。为驱动电机, 控制器 (例如变频器) 必须能够持续确定转子的当前位置。有两种方式可实现该目的, 由传感器或编码器反馈或不反馈当前转子位置。

高效

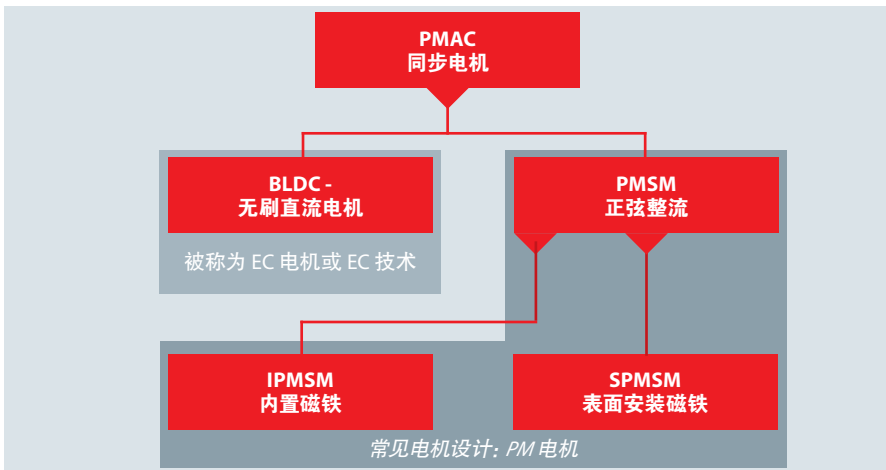
利用转子中的永磁几乎可完全消除电机转子损耗。进而提高效率。

Danfoss EC+ 理念

允许 IEC 标准尺寸的 PM 电机与 Danfoss VLT® 变频器配合使用。Danfoss 已在现有 VLT® 变频器系列中集成了必需的控制算法。这意味着操作员无需更换。输入相关电机数据后, 用户便可从采用 EC 技术的电机的高效率中受益。

EC+ 概念的优点

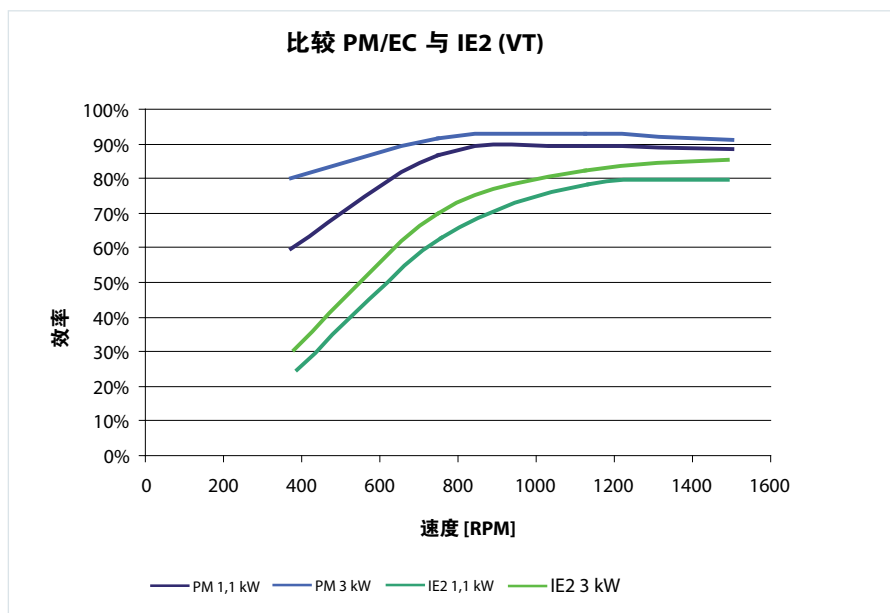
- 自由选择电机技术: PM 或带异步电动机配有相同的变频器
- 设备安装和运行保持不变
- 选择所有组件时不受制造商限制
- 通过结合最高效的独立组件来提高系统效率
- 可改造现有系统
- 标准电机和 PM 电机的额定功率范围较大



PMAC = 永磁交流; BLDC = 无刷直流; PMSM = 永磁同步电机; IPMSM = 内部 PMSM (内置磁铁); SPMSM = 表面 PMSM (转子表面装有磁铁)



EC 和 PM 电机



该图显示的是独立大学测量的数值。本图包含控制元件的必要损耗。

超同步运行

理论上，只要制造商允许，EC 或 PM 电机便可以超额定频率或额定速度运行。使用 TPIM 时，这被称为超同步运行或磁场削弱运行。磁场削弱允许电机以较高速度运行，但输出轴转矩会降低。与 TPIM 不同，只有利用适当变频器信号才能实现 EC 或 PM 电机磁场削弱。由于使用 TPIM 时，会降低输出轴转矩。必须咨询电机制造商确定特定电机是否适用于超同步运行。

对于变频器，进行此类运行时不会出现问题，除非 EC 或 PM 电机因永磁体旋转出现的反电动势 (Electro-Motive Force) 超出了变频器允许的直流回路电压。

例如，运行速度为 1,000 rpm 时，可生成 200V 的 BEMF 的电机，在带有允许直流回路电压为 900V 的变频器时，可以高达 3,192 rpm 的速度运行。尽管电机可以更高速度运行，但如果因电压高于 900V 而出现故障，则会引发变频器电气故障的风险。例如，如果主电源下降，则会出现此问题。

标准 IEC 机箱

许多应用都使用安装尺寸和机架尺寸符合 IEC EN 50487 或 IEC 72 规格的三相感应电机。

然而，目前为止，大多数 PM 电机都使用其他结构类型。伺服电机为典型示例。由于其紧凑的结构和较长的转子，其最适用于高动态工艺。

为在现在工业应用中使用高效率的永磁电机，如今 PM 电机有标准 IEC 电机机箱。这允许用效率较高的电机替换现有系统的旧款三相感应电机 (TPIM)。还能让机械工程和设备工程公司在不更改现有设备的设计的情况下使用较高效率的电机。

出于兼容性考虑，PM 电机两种型号均可用于商业应用。

选件 1：相同的机架规格

PM/EC 电机和 TPIM 有相同的机架规格。

示例：可用相同规格的 EC/PM 电机更换 3 kW 的 TPIM。

选件 2：相同的额定功率

PM/EC 电机和 TPIM 有相同的额定功率。理论上，额定功率相同时，制造的 PMSM 尺寸可小于 TPIM。根据机架规格，PM/EC 电机的功率密度约为 TPIM 的 1.5 至 2 倍。

例 1：可用机架规格与 1.5 kW 的电机相同的 EC/PM 电机更换 3 kW 的 TPIM。

例 2：可用相同机架规格且额定功率为 6 kW 的 EC/PM 电机更换 3 kW 的 TPIM。

但是，驱动 PM/EC 电机始终需要控制器。

变频器操作下的电机适用性

选择标准

连接变频器控制的电机时，必须考虑以下方面：

- 绝缘强度
- 磨损应力
- 热应力

绝缘强度

与直接主电源操作相比，操作带有变频器的电机可增加电机绕组的负载。这主要是因为电缆长度、类型、布线等因素决定的陡峭脉冲边缘 (du/dt) 和电机电缆。

陡峭脉冲边缘是因变频器逆变单元中半导体器件快速开关引起的。操作时，在 2 至 20 kHz 范围内高开关频率操作，开关时间非常短，以再现正弦波形。

再加上电机电缆，这些陡峭脉冲边缘将对电机产生以下影响：

- 电机终端上的高脉冲电压 U_{LL} 会增加绕组间绝缘的负载
- 线圈和铁芯之间较高的脉冲电压 \dot{U}_{LE} 增加了缝隙绝缘负载
- 线圈之间较高的电压 \dot{U}_{wdg} 显著增加了线圈中线缆绝缘的负载。

支撑应力

在条件不适宜时，变频电机可因轴承电流引发的轴承损坏而出现故障。当轴承润滑间隙中的电压足以穿过润滑油形成的绝缘层时，电流就会流入轴承。如果出现此问题，轴承将立即出现故障，并发出越来越大的轴承噪声。此类轴承电流包括高频涡流、接地电流和 EMD 电流（电火花腐蚀）。

这些电流是否会损坏轴承，取决于以下因素：

- 变频器输入端的主电源电压
- 脉冲边缘的倾斜度 (du/dt)
- 电机电缆类型
- 电气屏蔽层
- 系统接地
- 电机尺寸
- 电机外壳和电机主轴的接地系统。

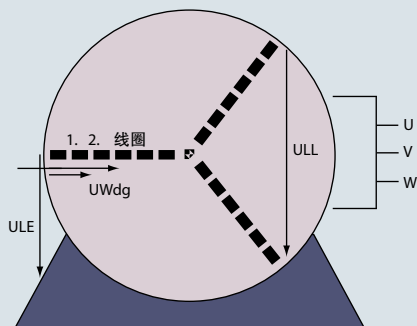
可利用以下措施降低轴承电流：

- 安装输出滤波器（输出电抗器、 du/dt 滤波器或正弦波滤波器）
- 安装电气绝缘轴承
- 系统金属组件进行良好接地。组件用低阻抗接线
- 屏蔽电机电缆
- 安装直流抑制滤波器。

热应力

操作变频器会增加电机功耗。附加的谐波量会导致铁损以及定子和转子的电流热损耗。损耗程度取决于变频器谐波的幅值和频率。转子电流热损耗的增加取决于线槽形状。电机的铁损和电流热损耗不受负载影响。电机损耗增加会增加绕组绝缘层的热应力。但是，对于现代变频器而言，由于主电源公差，标准电机（外形尺寸长达 315）增加的热量相当于变暖的作用，因此可忽略不计。有时制造商会指定超标准电机的降容因数（外形尺寸为 355 及以上）。

如果变频器在额定主电源频率时无法达到全主电源电压，则建议选择带有 F 级绝缘的电机。如果以低于直接主电源操作的电压操作电机，则会增加电机温度，最大为 10 K。



脉冲电压会出现在电机的电机端子上 (U_{LL}) 和线圈和叠片组之间 (U_{LE})。线圈 (U_{wdg}) 之间还存在电压应力。

注意：请求电机制造商确认电机是否可与变频器配合使用，并确认允许的运行速度范围（最小速度和最大速度 rpm ）。

注意：由操作整个系统，其中包括变频器、电机、电缆和接地，产生的轴承电流。IEC 60034-17 建议当轴承高度为 315 mm（大约为 132 kW）和更高时采取防护措施。

输出滤波器



正弦波和 du/dt 滤波器

输出滤波器选件包括正弦波和 du/dt 滤波器。与正弦波滤波器不同，du/dt 滤波器的唯一任务就是降低脉冲边缘倾斜度。该滤波器的设计比正弦波滤波器（电感和电容较小）简单，因此价格也较低。

正弦波滤波器，也被称为电机滤波器或 LC 滤波器，可选择性地安装在变频器输出端。其可削弱输出端的矩形电压脉冲，将其转换为类似正弦输出电压。

正弦波滤波器的功能和用途

- 降低电机端子处出现的电压率 (du/dt)
- 降低峰值电压 \hat{U}_L

- 降低电机噪音
- 允许使用较长电机电缆。
- 提高 EMC 特性
- 当使用 Danfoss 变频器时，正弦波滤波器可与符合 EN 61800-3 RFI 类别 C2 的未屏蔽电机电缆配合使用。

何时使用正弦波滤波器？

- 带有液体泵
- 带有非常长的电机电缆（包括并联操作所必需的情况）
- 带有井泵
- 当电机缺少良好内部绕组绝缘时
- 未使用标准电机时（请咨询电机制造商）

改造

如果设备操作人员将先前由主电源直接供电的老款电机转换为变速操作，并改装添加变频器，则始终建议使用正弦波滤波器，除非电机数据表表明线圈能与变频器配合使用。实施改装时，将老款低效率电机更换为全新的高效率电机是合算的。此种情况下，则无需补充性正弦波滤波器。由于降低了能耗成本，通常新电机很快便能得到投资回报。

	dU/dt 滤波器	正弦波滤波器	共模滤波器
电机绝缘强度	降低 - 可使用较长的电机电缆	降低 - 可使用较长的电机电缆	无降低
电机轴承应力	略微降低	降低循环电流，但未降低同步电流	降低同步电流
电磁兼容性	消除电机电缆谐波。 EMC 等级无变化	消除电机电缆谐波。 EMC 等级无变化	降低高频辐射（1 MHz 以上）。 EMC 等级无变化
最大限度增加电机电缆长度、EMC 兼容性	取决于制造商 FC 202: 最长 150 m 屏蔽	取决于制造商 FC 202: 最长 150 m 屏蔽或最长 300 m 未屏蔽	取决于制造商 FC 202: 最长 150 m 屏蔽
最大限度增加电机电缆长度，未改变 EMC 兼容性	取决于制造商 FC 202: 最长 150 m 未屏蔽	取决于制造商 FC 202: 最长 500 m 未屏蔽	取决于制造商 FC 202: 最长 300 m 未屏蔽
开关频率时的电机噪音	无影响	降低	无影响
相对尺寸（与变频器相比）	15-50%（取决于功率）	100%	5-15%
电压降	0.5%	4-10%	无

电机电缆

额定电压

电机电缆中出现的峰值电压是变频器直流回路电压的三倍。峰值电压会显著增加电机电缆和电机绝缘压力。如果变频器输出端没有 du/dt 滤波器或正弦波滤波器，增加的应力会更大。

因此，电机电缆的额定电压规格至少为 $U_0/U = 0.6/1$ kV。利用此规范执行电缆高压绝缘测试的测试电压至少为 3,500V 的交流电，通常为 4,000V 的交流电，在实践中已证实其具有良好的耐绝缘击穿性。

电缆尺寸选择

电机电缆所需的横截面积取决于变频器的输出电流、周围环境和电缆安装类型。允许谐波通过的导线横截面积无需过大。

为选择和确定电缆和导体尺寸，EN 60204-1 和 VDE 0113-1 提供了导线横截面积高达 120 mm² 的电流容量数据。如果需要更大的导线横截面积，可在 VDE 0298-4 中了解有用信息。

电机电缆长度

供水和污水处理厂中经常使用长电机电缆。变频器和泵的安装距离通常会超出 100 米。在此种情况下，选择电缆尺寸时，必需考虑电缆电压降。

设计系统时，确保能为电机供应最大输出电压，即使电机电缆较长。可连接到标准变频器的电机电缆长度通常为 50 至 100 米。即使使用如此长的电缆，某些制造商的产品仍无法为电机提供最大输出电压。

如果用户需要的电缆长度大于 100m，则仅有几个制造商的标准产品能够满足此要求。否则，必须提供补充性电机电抗器或输出滤波器。

节能

电机电缆导致的电压降以及因此导致的热损耗几乎与电缆长度成正比，同时还取决于频率。

因此，应尽量缩短使用的电缆长度，且导线的横截面积不要大于电气所必需的横截面积。

适当屏蔽的电缆

屏蔽电缆的屏蔽覆盖率至少为 80%。一些适用电缆类型示例：

- Lapp Ölflex 100-CY
- Helu Y-CY-JB
- Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

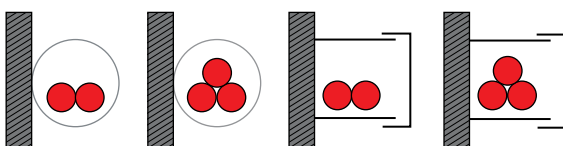
注意：咨询制造商了解可连接至变频器的电缆长度和预期电压降。

使用标准 VLT® AQUA Drive 变频器时，您可连接长达 150m 的屏蔽电缆或长达 300m 的未屏蔽电缆，且电机仍能获得全电压。

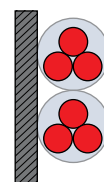
环境温度为 40° C 时，PVC 电缆的电流额定值 [A]

mm ²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

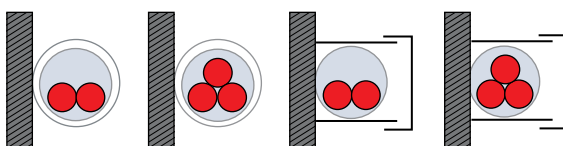
导线横截面积 EN 60204-1 电流额定值概览



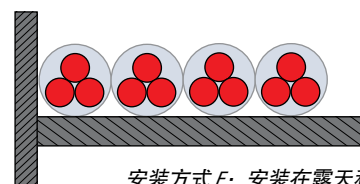
安装方式 B1：线管或封闭式配电槽中的电缆



安装方式 C：直接安装在墙面上或墙面内和/或天花板或电缆桥架上



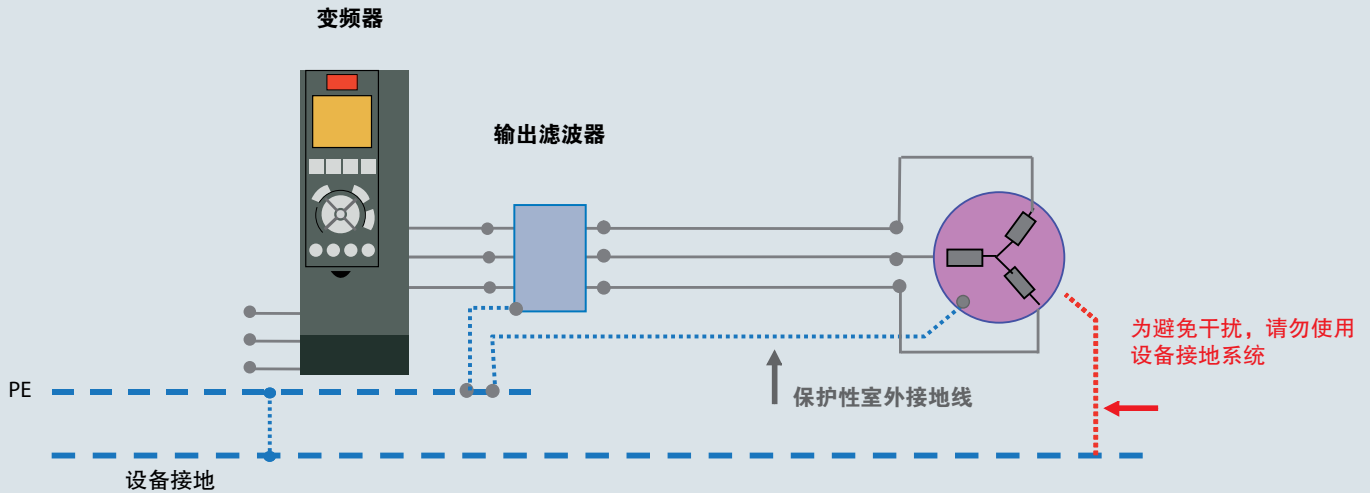
安装方式 B2：线管或封闭式配电槽中的多芯电缆或多芯屏蔽电缆



安装方式 E：安装在露天和电缆线架上

接地

接地的重要性



每个系统或设备都应有接地计划。

接地措施通常是满足 EMC 和低压规范所必需的条件。接地措施是有效利用其它措施的先决条件，例如屏蔽层和滤波器。如果没有进行正确接地，则其它措施也不会奏效。因此，在改装屏蔽层或滤波器前，必需先检查和验证接地布局是否符合适当实施的 EMC，也是排除故障的第一步。

导电材料

操作员必需确保低阻抗连接的金属表面进行了接地。从 EMC 角度而言，决定性因素不是导体横截面积，而是其表面积，因为流经表面的高频电流会产生集肤效应。最小表面积的导体可限制耗尽泄漏电流的能力。接地表面具有屏蔽作用，降低环境电磁场的振幅。

星形配置的接地系统

所有接地点和组件必须尽可能地直接连接到中央接地点，例如通过电势均衡导轨。如此，接地系统中的所有连接点都能快速连接到接地点。必须明确此接地点。

接触点

清除喷漆和锈蚀物质后，必须以大表面积连接到接触点。为此，锯齿状垫圈比平垫圈更适宜。最好使用镀锡、镀锌或镀铬组件，而不是喷漆组件。连接器中必须提供多个用于屏蔽连接的触点。

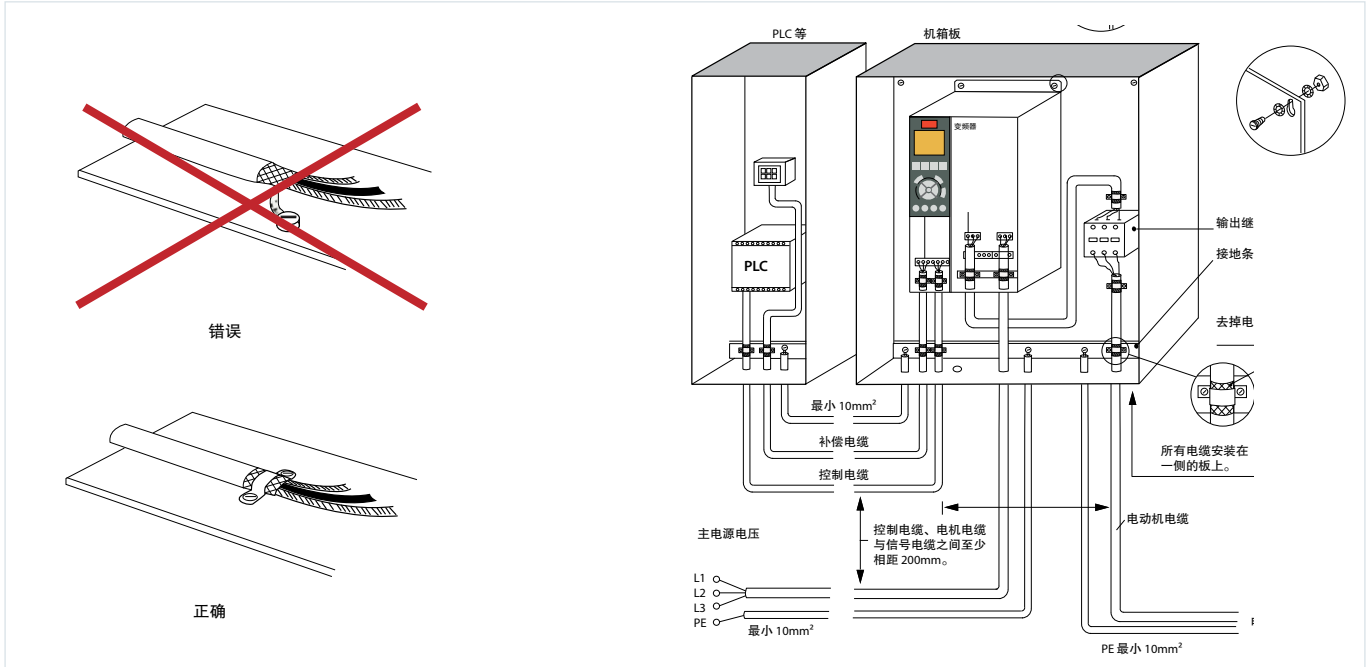
导体表面积

利用高标准电缆可获得能够吸收高频电流的横截面积较大的导线，例如高柔性的仪器电缆或特殊接地带或电缆。如今，实际应用中经常使用接地编织带；取代了过去使用的硬导线。在横截面积相等时，这些编织带拥有较大的表面积。

注意：系统接地能有效促进设备顺畅无故障运行。务必避免形成接地回路。必须满足良好的电位均衡。在设计和项目规划阶段尽早制定合适的接地计划。

屏蔽

屏蔽的重要性



屏蔽的目的是为了降低辐射干扰程度（可能会影响附近的系统或组件）和提高单个设备的抗干扰性（抵抗外源干扰）。

在现有系统中实施屏蔽措施（例如更换电缆或增加附件）需要花费较大成本。通常，变频器制造商会提供满足强制极限要求的适用信息，其中还包括必需的其他措施信息，例如屏蔽电缆。

变频器可在其输出端生成峰值脉冲。这些脉冲包含高频组件（扩展到千兆兹范围），其可导致电动机电缆产生不良辐射。这就是必需使用屏蔽电机电缆的原因。屏蔽层可“捕捉”高频组分，并将其传回到干扰源，此实例中的干扰源为变频器。

屏蔽电缆和接线

即使是符合极限的优良屏蔽层也无法完全消除辐射。在近场区域内，可找到此环境中组件和系统模块能够抵抗的电磁场，且不会影响其运行。此处的标准要求特定距离极限的统一性（例如距离为 10 m 时，为 30 dB，B 类）。考虑允许的极限范围时，该标准区分了第一种环境（居住环境）和第二种环境（工业环境）。有关详情，请参阅本手册第 22 页“操作地点是决定性因素”部分。

屏蔽连接

必须始终连接电缆屏蔽层，实现有效电缆屏蔽。为此，可使用 EMC（接地）电缆密封管或接地电缆夹。可完全覆盖屏蔽层，并将其大面积接地。屏蔽层应直接连接到接地点，并通过

较大面积进行紧固，尽可能缩减电缆两端的接地线。

所有其他连接方式都会降低屏蔽的有效性。用户通常会将屏蔽层拧成辫子，用夹子端将其连接到地面。此种连接方式会对高频信号组件产生高转移阻抗，导致屏蔽层辐射干扰，而不是反馈到干扰源。因此，屏蔽效果最多可降低 90%。

屏蔽间隙

例如端子、开关或连接器等屏蔽间隙必须用阻抗尽可能小且表面积尽可能大的连接线进行桥接。

屏蔽

接地

屏蔽层接地对其效率影响十分大。因此，机箱安装螺丝下方必须安装锯齿状垫圈或开口垫圈，并清洁喷漆表面，以获得最低阻抗连接点。例如，如果紧固螺丝下方使用平垫圈，则氧化铝机箱不能提供良好接地。接地线缆应是横截面积较大的线缆或最好是多芯接线。如果低功率电机使用的导线横截面积小于 10 mm^2 ，则在变频器和电机之间必须单独连接横截面积至少为 10 mm^2 的 PE 线缆。

电机电源电缆

为满足辐射干扰极限，变频器和电机之间的电缆必须为带有连接到设备两端的屏蔽层的屏蔽电缆。

信号电缆

电机电缆和信号电缆之间的距离至少为 20 cm ，尽可能增加主电源电缆和电机电缆布线距离。增加距离可显著降低干扰效应。分开距离较小时，必须采取其他措施（例如变频器束带）。否则会耦合或转移干扰。必须在两端以与电动机电缆屏蔽层相同的方式连接控制电缆屏蔽层。在实践中，只有特殊情况下才考虑单端接地。但是，不建议如此。

屏蔽类型

变频器制造商建议使用屏蔽电缆屏蔽变频器和电机之间的连线。选择时要考虑两个主要因素：屏蔽覆盖率和屏蔽类型。

屏蔽覆盖率是指屏蔽层覆盖的电缆面积，应至少为 80% 。

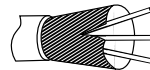
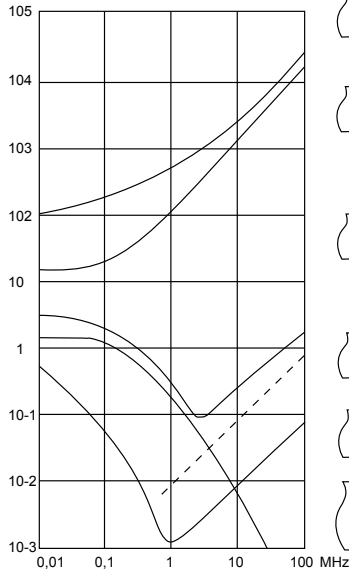
对于屏蔽类型，已证实实际应用中单层铜丝编织屏蔽层非常奏效。请注意是编织屏蔽层非常重要。相反，散绕铜线屏蔽层（例如类型 NYCWY）不能覆盖裂缝状区域，HF 组分能轻松穿过这些缝隙。也会显著缩小漏电表面积。

屏蔽方面需要改善的地方还很多。可从电缆中获得理想屏蔽效应。对于短距离连接，可使用金属软管或管路作为备选方案。只有在某些情况下，电缆导管可更换屏蔽层（带有良好覆盖连接的防辐射导管和导管组件和地面之间连接合理）。

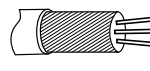
双屏蔽电缆能进一步衰减发射和辐射的干扰。内部屏蔽是一端连接的，而外部屏蔽是两端连接的。双绞线可削减磁场。

带有双绞线的屏蔽电缆可用于信号线缆。磁场衰减可从单屏蔽层的 30 dB 左右增加至带有双屏蔽层的 60 dB ，如果线缆为双绞线，还可增加至约 70 dB 。

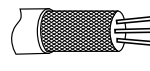
传输阻抗 Z_t
 $\text{m}\Omega/\text{m}$



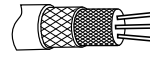
镀铝铜线



螺旋铜线或钢芯电缆



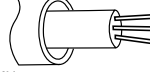
单层交织铜线，覆盖百分比不等的屏蔽丝网



双层交织铜线



双层交织铜线，带有磁性屏蔽中间层



铜芯或钢芯电缆

存在多种类型的屏蔽电缆。只有其中某些适用于和变频器配合使用。

步骤 4: 变频器选择

基本设计

在实践中，设计人员和操作员经常只根据变频器的额定功率 (kw) 来选择变频器。但是，必须始终根据最大系统负载下的实际额定电机电流 I_{nom} 来选择变频器。此种选择标准更可靠，因为电机输出功率取决于机械轴负载，而不是输入功率。

也不考虑电机效率。相反，变频器额定功率 (kw) 是根据四极电机的额定功率 P_{nom} 确定的。

此外，相同功率等级的电机可能有不同的额定电流，这取决于电机制造商和效率等级。例如，

注：11 kW 的 VLT® AQUA Drive 变频器的额定电流为 24 A。这能为驱动额定功率为 11 kW 的电机提供充足的备用功率。

11-kW 电机的额定电流范围为 19.8 A 至 22.5 A。但是，仅凭额定电流不足以确定相应地输入功率。同时变频器必须能够提供足够高的电机电压。对于 400 V 的主电源系统，这意味着电机端子为 50 Hz 时可达到的最大的 400 V。但目前市场上仍有无法达到此结果的变频器。由于滤波器、电抗器和电机电缆中出现了电压降，因此输出电压也会降低。例如，如果输出电压降低到 390 V，则电机需要更大的电流来

生成所需功率。由于损耗增加与电流是二次方的关系，因此电机会产生更多热量，进而缩减使用寿命。当前，用户在设计时还要考虑增加的电流需求。

注：VLT® AQUA Drive 设备采用了特殊调制方法以提供全额电机电压。即使主电源欠压 10%，仍能维持电机额定电压和电机额定转矩。

恒定转矩或可变转矩

电机驱动的负载是选择正确变频器的关键因素。必须区分转矩特性增加与速度增加（例如离心泵和风扇）成二次方关系的负载和在电机整个工作范围内都是高转矩的负载，即使是低速运行（例如罗茨鼓风机）。

供水和污水处理厂中的大多数变频器系统的负载曲线中的转矩增加与速度成二次方关系，直到达到额定转矩。为在这些负载条件下实现最佳效率操作，变频器提供的电机电压的增加与电机旋转磁场频率成二次方关系。

对于具有恒定高转矩的应用而言，多数情况下也需要考虑重载下的加速和启动要求。在这种情况下，例如为启动内部沉积了淤泥的泵，克服产生的静摩擦，除额定电机转矩外，变频器还必须能提供短时的附加驱动功率。此种瞬时可用的最大转矩被称为过载转矩。

对于无需明显大于电机额定转矩的启动转矩的应用，通常而言，使用相对低的过载功率便可以（例如空载启动的罗茨鼓风机所需转矩仅是电机额定转矩的 110%）。

注意：容积式泵、罗茨鼓风机和压缩机不属于流体设备范畴。由于其工作原理，与此类设备配合使用的变频器应设计为恒定转矩。

各种应用负载曲线

特性曲线和应用

恒定转矩应用

标准启动转矩 (100% 过载)

计量泵
罗茨鼓风机
表面通风机
循环泵
横向通道压缩机

高启动转矩 [150% 过载]

轴向活塞压缩机
旋转活塞压缩机
偏心螺杆泵 (观察启动转矩)
活塞泵
搅拌器和混合器
污泥脱水机
压缩机 (除涡轮压缩机)
容积式泵
齿轮泵
齿轮旋转阀门

可变转矩应用

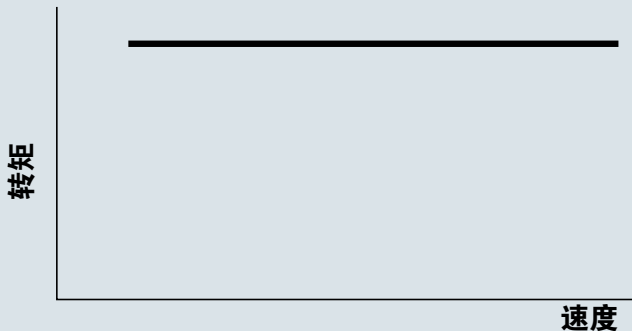
离心泵
井泵¹
增压泵
过滤进料泵
地下水泵¹
热水泵
加热泵 (初级和次级电路)
管道式叶轮泵 (固体)
冷却水泵 (初级和次级电路)
蓄水泵
污泥循环泵
排水泵¹
涡轮压缩机
潜水泵¹
剩余污泥泵
风扇

¹推荐使用正弦波滤波器。

注意：咨询泵或电机制造商了解转矩特性曲线。

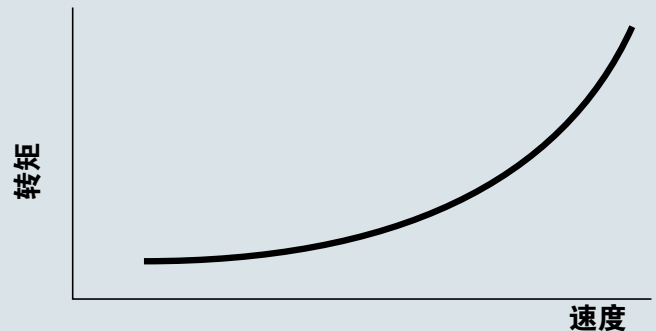
恒定转矩

不受速度影响的负载特性



可变转矩

受速度影响的负载特性



多电机运行 (特殊情况)

设计

如果操作员打算用同一变频器同时运行几个并联的电机，则设计过程中必须考虑以下因素：

必须将几个电机额定电流和功率相加。

根据功率和电流总和选择适用的变频器。

为保护电机，操作员必须串联连接电机的 PTC 热敏电阻，然后变频器将监测此串联信号。

相连电机以相同额定速度运行。这意味着变频器要以相同频率和相同电压驱动这些电机。

注意：由于将串联 PTC 热敏电阻的电阻相加，如果并联运行两个以上电机，则使用热敏电阻监测变频器保护电机的性能毫无意义。



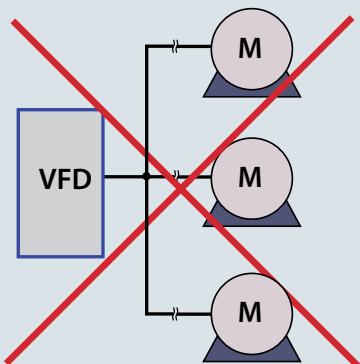
电缆布线

为避免多个电机同时运行：并联导线可产生额外电容。因此，用户应避免使用此类连接。

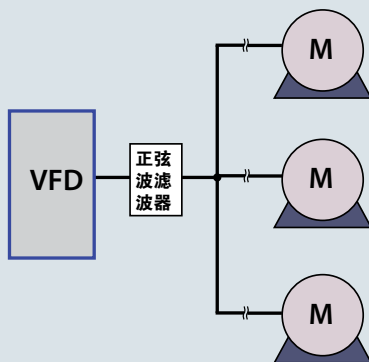
由于 LC 滤波器阻碍了时钟频率，因此工作电流会降低。此时，可并联连接电机。必要时，还可长距离布线电机电缆。

多电机运行的建议：连接各个电机的电缆要使用菊花链式。

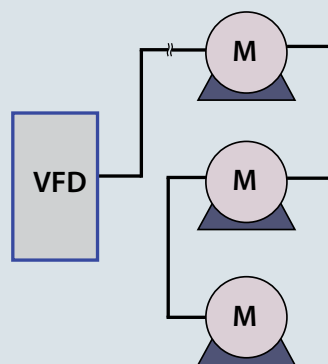
要避免



建议的



建议的



EMC 措施

将理论应用到实践中

所有变频器都是宽频干扰源，这表示其可辐射干扰的频率范围较广。设备操作员可采取适当措施来降低变频器辐射的干扰量。例如，可通过使用 RFI 滤波器和主电源电抗器来确保设备无故障运行。在某些产品中，已将这些组件安装在变频器中。在其

他产品中，设备工程师必须在机柜中预留安装这些组件的空间（会产生额外费用）。有关 EMC、低频主电源干扰和射频干扰的一般信息，请参阅本手册第 13 页。

注意：优质变频器标配优质的 RFI 保护和降低主电源干扰的组件。这些组件大约为变频器价格的 15 至 20%。

射频干扰

实践建议

请参阅本手册第 21 页了解射频干扰的详情。实践的主要目的是获得能稳定运行的系统，且组件之间无干扰。但是，经常会在改装和/或引入新组件后出现问题，再也不能在无干扰和/或仪器信号不受影响的情况下进行准确测量。这些正是必须避免的缺陷。

为达到较高的抗干扰性能，建议使用带有优质 RFI 滤波器的变频器。其应满足 EN 61800-3 产品标准中规定的类别 C1 要求，以及 EN 55011 通用标准的 B 级限制。

此外，如果 RFI 滤波器不符合类别 C1，而是仅符合类别 C2 或更低类别，则必须在变频器上贴上警告标识。操作员负责完成此项工作。正如第 22 页所述的一样，如果出现问题，检查机构应始终遵循 EN 55011 通用标准中规定的消除工作环境中 A1/A2 和 B 级限制干扰的建议。由操作员承担解决 EMC 问题的费用。最

终操作员负责根据这两个标准适当分类设备。

使用电缆传输信号和能量时，如果未采取适当措施，则传导干扰很容易传播到系统或设备的其他组件中。相反，设备或电缆直接辐射的干扰受空间限制。每远离干扰源一厘米，其强度就会有所减弱。因此，在符合 EMC 规定的适用机柜中安装变频器通常足以限制射频干扰。但是，系统操作员应始终提供适当滤波器来限制传导干扰。

RFI 滤波器的两种安装方法

在实践中，RFI 滤波器有 2 种安装方法。某些制造商将 RFI 滤波器作为设备的标配组件，而其他制造商则将其作为选件。内置滤波器不仅节省大量空间，而且还可以避免装配、布线和材料产生的额外成本。然而，最重要的优点在于完美的 EMC 符合性以及集成滤波器的布线。安装在变频器前端的外部 RFI 滤波

器选件还可引发压降。在实践中，这意味着变频器输入不能达到全主电源电压，可能需要规格更大的变频器。装配、布线和材料将产生额外成本，也未测试 EMC 合规性。

另一个重要因素是可最大限度增加连接电机电缆长度，且变频器仍能满足 EMC 极限。在实践中，长度范围在 1 米至 50 米之间。更优质的 RFI 滤波器需要较长的电缆。

注意：为确保变频器系统不受干扰地运行，应始终使用类别为 C1 的 RFI 滤波器。

VLT® AQUA Drive 装置标配有符合类别 C1 (EN 61800-3) 的内置 RFI 滤波器，可与电压为 400 V 系统配合使用，功率额定值可高达 90 kW，或功率额定值为 110 至 630 kW 的类别 C2。带有长达 50 m 屏蔽电缆的 VLT® AQUA Drive 装置符合 C1，带有长达 150 m 屏蔽电缆的装置符合 C2。



主电源干扰

直流回路可影响主电源干扰

请参阅第 15 页了解低频主电源干扰的基础知识以及降低干扰的措施。整流器负载使用的不断增加加重了主电源干扰问题。整流器可吸收主电源的非正弦电流。变频器产生的主电源干扰主要来自直流回路充电电流的电容器。电流始终以接近主电源电压峰值的瞬时脉冲流动。由于电流较大，主电源电压会在瞬间所有下降，且主电源电压不再是正弦状。为保证主电源质量，当前必须将电流的第五个谐波限制到 THD 的 40% 左右。EN 61000-3-12 标准规定了该要求。

在操作员必须将主电源干扰降低到 THD 水平的 10% 或 5% 以下时，可采用滤波器选件和有效措施来完全衰减设备的主电源干扰。

降低措施

设备操作员可采用多种选件来限制主电源干扰。可将这些选件分为无源和有源措施，其设计方面大为不同。

主电源电抗器

降低主电源干扰的通用和成本最低的方法就是在直流回路上或变频器输入端安装电抗器。

在变频器上安装主电源电抗器会增加直流回路电容器充电电流流动时间，降低电流振幅，以及显著降低主电源电压失真（降低主电源干扰）。主电源电压失真取决于主电源系统的质量（变压器阻抗和线路阻抗）。下表中的数值可作为以供电变压器额定功率的百分比表示的连接变频器负载（或其他三相整流器负载）的参考。如果超出最大值，则应咨询变频器制造商。

除降低主电源干扰外，由于主电源电抗器限制了电流峰值，因此使直流回路电容器充电更加缓和，进而延长电容器使用寿命。主电源电抗器还能增加变频器承受主电源瞬态的能力。由于输入电流较小，可降低导线横截面积和主电源保险丝或断路器额定值。但是，电抗器会增加成本和占据空间。

注：所有 VLT® AQUA Drive 变频器都标配有内置直流回路电抗器形式的主电源电抗器。如此可将 THD 从 80% 降低到 40%，进而满足 EN 61000-3-12 要求。因此，此效果可与三相主电源电抗器相媲美 ($U_K 4\%$)。不存在变频器必须补偿的电压降；电机可获得全电压 (400 V)。

变压器上最多有变频器负载的 20%

如果 FC 无降低主电源干扰措施，这意味着没有堵塞或仅存在轻度

→ 堵塞（例如 $U_K 2\%$ ）

变压器上最多有变频器负载的 40%

→ 如果 FC 有降低主电源干扰的措施，这意味 U_K 堵塞至少为 4%

上述最大负载值为建议的参考值，是根据无故障设备操作经验得出的。

EMC 措施



低谐波变频器是指带有作用于主电源的内置有源滤波器的变频器。

每周期为 12、18 或 24 个脉冲的整流器

在实践中，主要在较大功率范围内发现带有整流器的变频器的每周期具有大量脉冲数。

为实现正常运行，其需要特殊变压器。

无源滤波器

包含 LC 回路的无源谐波滤波器适用于所有情况。无源滤波器的效率较高，通常在 98.5% 左右或更高。这种设备非常坚固耐用，通常无需维护，除冷却风扇外（如果存在）。使用无源滤波器时必须谨记以下内容。如果空载运行无源滤波器，则其相当于电容式无功功率源，因为滤波器内部有循环电流。根据特定应用，最好使用一组滤波器，选择性连接和断开。

有源滤波器、有源前端和低谐波变频器

基于半导体设备的改善和现代化微处理器技术，可用创新性方法使用有源电子滤波器系统。其能连续测量主电源质量，利用有功电流源将特殊波形输送到主电源系统中。最终结果就是产生正弦电流。

与先前说明的滤波器选件相比，新一代滤波器的结构比较复杂，因为其需要快速采集高分辨率数据并具有优质计算性能。

无法为提及的降低主电源干扰措施提供任何基本建议。重要的是在设计和工程设计阶段做出正确决策，获得可用性高、主电源干扰和射频干扰低的变频器系统。在任何情况下，在决定使用降低措施前，必须先慎重分析以下因素：

- 主电源分析
- 准确了解主电源拓扑结构
- 电气设备可用空间的空间限制
- 主电源配电或子配电系统的选项

注意：使用复杂有效措施时，存在无法实现目标的风险，因为这些措施具有严重缺点，即其可产生 2 kHz 以上的频率干扰（请查阅第 18 页）。

漏电流装置

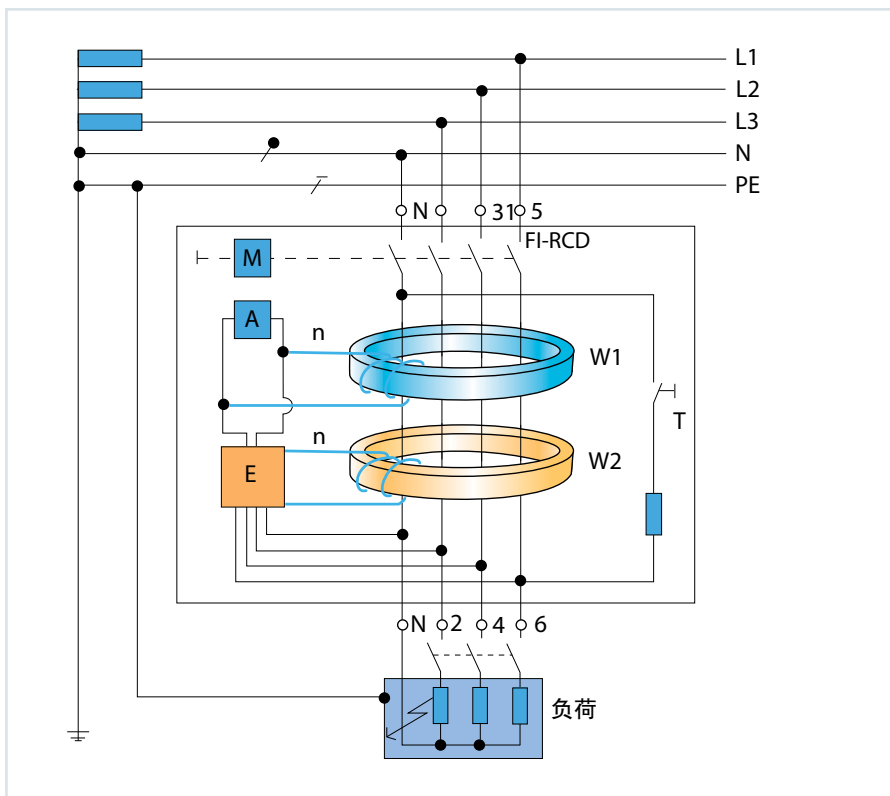
AC/DC 漏电保护装置

在德国，以前用不同术语来表示仅对交流敏感或对交流和直流都敏感的漏电保护设备。这些设备在国际上被称为漏电断路器 (RCCB)。EN 61008-1 中规定的更专业的术语为“剩余电流装置” (RCD)。

如果您在受保护区域操作故障时可生成直流电流的设备，则必须使用对直流和交流电流敏感 RCD。这适用于连接至三相主电源带有 B6 整流级的所有电气设备（例如变频器）。根据 IEC 60755，此类 RCD 被称为 B 类 RCD。由于其工作原理，变频器会生成漏电流，因此设备工程师和/或操作员在选择故障电流额定值时应考虑此问题。咨询变频器制造商了解推荐您的应用使用的 RCD 类型。RCD 必须直接安装在主电源和整流器之间。不得与其他 RCD 集成分层结构。

漏电流水平

漏电流大小取决于几个因素。通常来说，功率越高的变频器和电机，漏电流越大。功率范围为 1.5 kW 且没有射频干扰抑制措施且电机电缆较短（2 m 左右）的变频器的漏电流为 4 mA 左右。如果需要采用 B 级射频干扰抑制，相同配置的漏电流可增加至 22 mA 左右。带有 B 级射频干扰抑制和较短的屏蔽电机电缆的 20 kW 的变频器可产生约 70 mA 的漏电流。对于电机电缆，用户可假设每米电机电缆可产生 0.5 至 2 mA 的电流。双线连接产生的电流低于单线连接。



B 类 RCD 有两条独立监测电路：一条电路用于监测纯直流，另一条电路用于监测交流组件的故障电流。

接地和电机保护

实际接地措施

在步骤 3 (第 31 页) 的“电机和接线”部分详细说明了接地措施。

如果应用需要外部滤波器，则安装位置应尽量接近变频器。滤波器和设备之间要采用屏蔽电缆，且滤波器的主电源端和设备端应连接接地导线。还建议将滤波器安装在与表面齐平的位置，以便降低滤波器外壳和接地之间的阻抗。

如果出现故障（相位缺失或不对称负载），滤波器生成的漏电电流会远远大于额定值。为避免出现危险

电压，必须在接通电源前，将滤波器接地。当漏电电流为 3.5 mA 和更大时，根据 EN 50178 或 EN 60335：
-接地保护导线的横截面积必须为 10 mm^2 或更大；
-或必须监测接地保护导线有无开路；
-或必须额外安装第二个接地保护导线。

此处的漏电电流为高频干扰的信号。这要求使用有较大表面积且用最短的线路连接到接地电势的低阻抗线路进行接地。

注意：如果安装过程中执行的措施不符合良好的 EMC 实践性，即使使用应对主电源干扰和射频干扰的最好措施也是无用。此种情况下无法避免干扰。

电机保护和电机 PTC 热敏电阻

变频器可保护电机免受过大电流的影响。电机绕组中的热敏电阻传感器或熔断器可为电机提供最佳保护。通过变频器上的适当输入端子来监测该信号。

符合 DIN 44081 或 DIN 44082 的热敏电阻旨在额定响应温度 (RRT) 的一定范围内提供电阻 ($RRT - 5^\circ\text{C} < 550 \Omega$; $RRT + 5^\circ\text{C} > 1330 \Omega$)。许多变频器都有适用于监测此类热敏电阻的功能。如果在爆炸危险区域内操作电机，则只有经过认证的设备可监测热敏电阻（请参阅第 30 页）。电机保护开关的保护功能受限于直接主电源操作。对于使用变频器的

电气系统，变频器可通过适当线路旁路，仅能在紧急情况下提供电机保护。电机开关保护功能对变频器操作无效。但是，如果规格选择正确，在与变频器驱动电机配合使用时可发挥良好作用，作为仅保护接线的三线断路器。

注：许多变频器都有称作“电机热图像”的辅助功能。根据电机数据和传输给电机的功率大小计算电机温度。通常使用该功能时要十分小心，其会比绝对需要时提前跳闸。通常不考虑计算开始时的实际环境温度。但是，如果没有其他可用的电机保护措施，此功能可提供基本保护措施。

注意：使用 VLT[®] HVAC Drive 时，通常使用端子 50 和 54 连接热敏电阻。此端口适用于利用三个到六个 PTC 珠状热敏电阻来监测电机温度（标准配置：每个电机使用三个）。

操作员控制和数据显示屏

简单操作概念

所有变频器的基本技术都是一样的，因此简化使用是决定性因素。许多功能和设备或系统集成功能都需要简化操作的概念。必须满足简化和可靠配置和安装的所有要求。选项从简单便宜的数字显示屏到可以文本显示数据的便捷控制面板。简单的控制面板足以满足观察操作参数的基本任务，例如电流或电压。

相比之下，具有便捷功能的控制面板可让显示屏显示其他参数或同时显示所有参数。还可明确分类功能和简化手动操作，以及通过软件、现场总线访问的选项或甚至是利用调节器或网络进行远程维护。

现代化变频器应在一个设备中结合下述的所有操作理念或实现这些理念，并且至少允许随时切换手动和远程控制。



design award winner

此控制面板凭借用户友好性，在 2004 年赢得了国际“iF 设计奖”。凭借这一优点，34 个国家的 1000 个公司在“人机和通信接口”类别中选择了 LCP 102。



图形控制面板易于使用，可以纯文本格式显示信息。



易于调试
如 Danfoss 智能启动等功能大大简化了变频器调试过程。其可指导用户完成基本变频器设置。



操作员控制和数据显示屏

在本地控制下操作

基本要求是支持利用本地控制面板进行本地操作。即使是联网通信时代，许多任务仍需要直接控制设备的功能 - 例如调试、测试、工艺优化和现场设备维护活动。

在这些情况中，操作员或技术人员要能够更改本地数值，在系统中直接保存更改并执行相关任务，例如故障诊断。为此，控制面板应能提供简单直观的人机界面。

清晰显示屏

理想解决方案是图形显示，因为其允许用户选择用户界面的首选语言，且基本显示模式可显示实际应用的重要参数。

为保持清晰度，此状态信息必须限制为重要参数，且必须能够随时应用或更改参数。还能根据操作员的知识水平禁用或隐藏某些功能，限制参数显示，且能修改工艺调节和控制实际需要的参数。

利用现代化变频器提供的多种功能，通常有几百个参数可用于优化调节，如此能减少操作员错误，进而减少成本昂贵的停机和工厂停产问题。同样，该显示屏中的每个功能都具有集成的帮助功能，以便随时帮助调试技术人员或维护技术人员，尤其是很少使用的参数，进而尽量减少操作员错误。

为优化集成诊断功能的使用，除字母数字数据外，能显示图表（“作用域范围”）这一功能十分有用。在许多情况下，显示此种数据可简化故障排除，例如斜坡形状和/或转矩曲线。

统一概念

在供水和污水处理工厂，可在多种应用中使用大量的变频器。通常来自相同制造商的大多数变频器主要是其功率额定值以及规格和外观不同。变频器的操作界面统一且在整个功率范围内控制面板都相同能为设备工程师和设备操作员提供优势。

基本原理是简化操作界面，提高调试和排除故障（如果需要）的速度和效率。因此，基于即插即用控制面板的理念已在实践中证实其价值。

集成到柜门中

对于变频器安装在机柜中的许多设备而言，设备工程师应将控制面板集成到机柜门上，实现过程可视化。只有具有可拆卸式控制面板的变频器才能实现可视化。使用利用安装架集成在机柜门中的控制面板时，无需打开机柜门便可控制变频器及其操作状态和读取工艺数据。

注意：确保计划集成到系统的变频器具有正确的操作理念。如今变频器功能已不是唯一的重要因素，能够最大限度简化操作配置和编程的设计也成为了一种优势。快速、方便用户操作、明了直观也非常重要。这是减少工作量的唯一方式，进而降低负责操作变频器的员工熟悉和后续互动时间。

而且还能在机柜门关闭时配置和读取变频器参数。



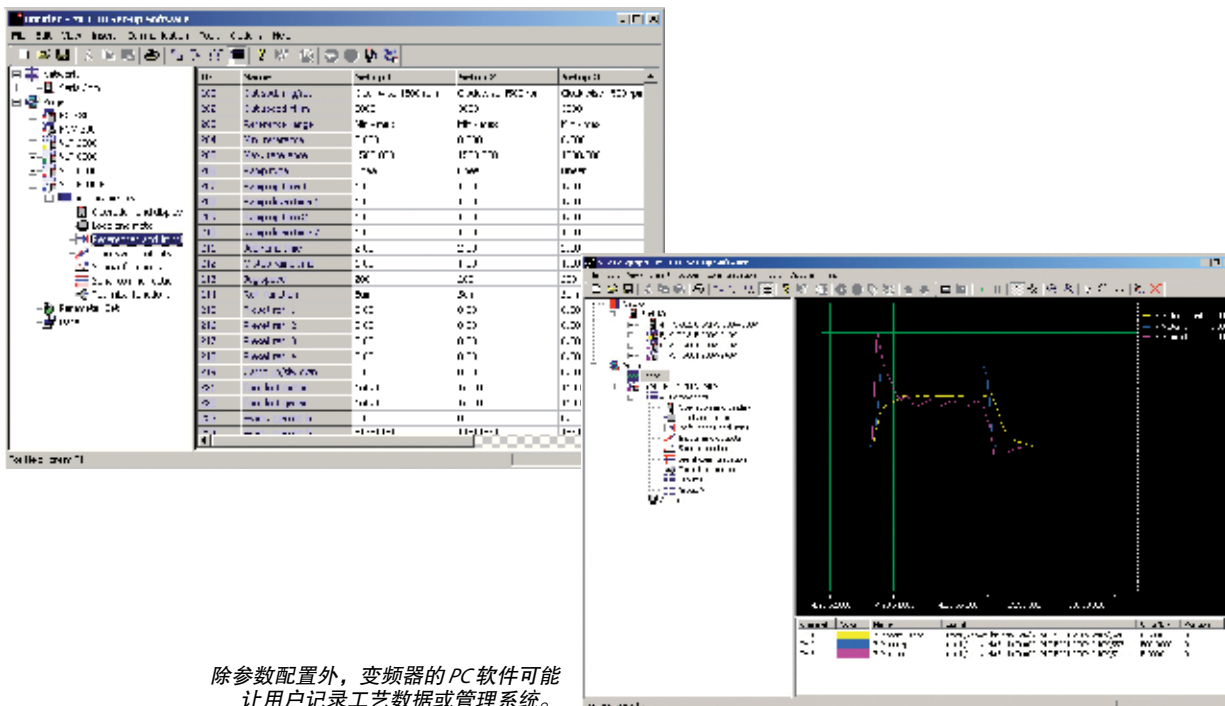
利用 PC 进行控制和参数配置

扩展选件

除用控制面板进行操作外，现代化变频器通常还支持利用 PC 程序配置参数和读取数据。该软件通常在 Windows 下运行，支持几种通信接口。其能够通过传统的 RS 485 接口、现场总线（Profibus DPV1、以太网等）或 USB 接口进行数据交换。

利用结构清晰的用户界面能快速了解系统中所有变频器的概况。优质的程序还能让用户管理带有多个变频器的大型系统。可在线或离线进行参数配置。理想情况是，程序还允许将文档集成到系统中。此外，还能通过该程序访问系统电气图或操作手册。

注：MCT10 程序是基于 Windows 的设计工具，能简化 VLT® AQUA Drive 装置系统的设计、参数配置和编程。



除参数配置外，变频器的 PC 软件可能让用户记录工艺数据或管理系统。



数据交换

总线系统

现代化变频器是一款智能设备，能够处理变频器系统中的多项任务。不过即使现在，许多设备仅能与控制系统中的四个数据点或 PLC 控制配合使用，仅能充当速度控制器。这意味着操作员无法充分利用许多有用的功能，无法访问存储的系统数据。但是，通过将现场总线链接，例如 Profibus，集成到控制系统中，用户能轻松地充分发掘变频器的潜能。仅利用一个硬件数据点，用户便可充分访问安装变频器的所有对象。可简化接线和调试，进而节约安装阶段的成本。可利用大量数据实现设备有效管理。通过分析采集的故障信息诊断故障，即使利用远程控制也可采取正确的故障纠正措施。

改善报警管理

详尽的报警信息能简化可能故障原因的精确预测，进而为远程设备监

测提供有效支持。利用调制器或网络进行的远程维护可快速显示状态和/或故障信息，即使采用的是远程系统或系统组件。

改善设备管理

控制室操作员可远程监测和调节所有变频器设置。可随时读取和处理状态数据，例如输出频率或功率消耗。无需其他组件，便可管理其他有效能量和峰值负载数据。

降低安装成本

无需为每个变频器配置显示屏。用户或操作员可通过控制系统访问所有相关变频器数据。

利用两线连接简化接线。

未使用的变频器输入和输出端可作为 I/O 端口，将其他组件（例如传感器、滤波器和限位开关）集成到控制系统中。

无需输入和输出组件，因为单个硬件数据点便足以控制变频器。

无需其他组件便具有监测功能（例如电机热敏电阻监测、空转泵保护等）以及输出和工作时间计数器。

简化调试

可在控制室中进行参数配置。所有设置能快速和轻松地从一个变频器复制到另一变频器中。设置的持续备份可存储在显示存储器中。设计人员和调试员工可在按下按钮时记录设置。

注： RGO 100 远程监护选项设立了监测、维护和处理一个或多个设备中变频器报警的新标准。其支持多种典型任务，例如远程操作、远程维护、报警处理和记录系统配置和系统监测数据。



其他选择因素

过程控制器

现代化变频器是智能变频器控制器。其可执行传统上由 PLC 处理的任务和功能。还可使用实施的过程控制器构建独立的高精密控制回路。

此设备尤其适用于 PLC 容量不足或无 PLC 的系统的改装。如果其有足够的功率容量，则变频器 24 V 的直流控制电压可给激活的

工艺参数传感器（传感器流量、压力或电平的实际值）供电。

维护

实际上，大多数变频器都无需维护。高功率变频器有内置过滤垫，操作员必须根据粉尘暴露情况不时进行清洁。

但是，必须注意的是变频器制造商规定了设备中冷却风扇（约 3 年）和电容器（约 5 年）的维护间隔。

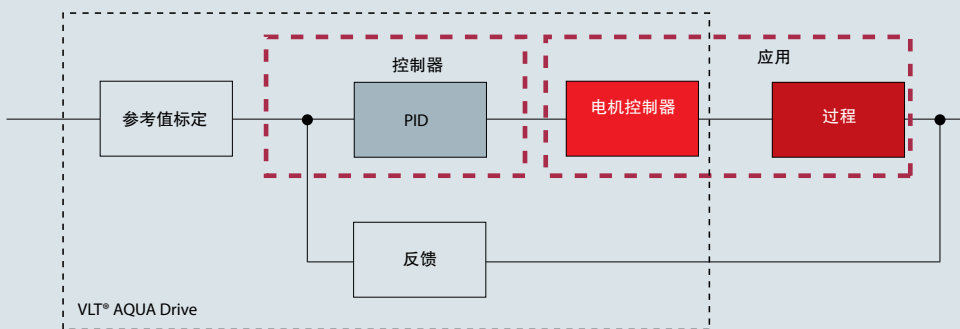
注：无需维护功率不超过 90 kW 的 Danfoss VLT® 变频器型号。额定值为 110 kW 或更高的型号的冷却风扇中有过滤垫。必须定期检查过滤垫，必要时进行更换。

存放

同所有的电子设备一样，变频器必须存放在干燥的地方。必须遵守制造商对此方面规定的技术参数。某些制造商规定必须定期运行该设备。为此，用户必须将设备连接到

规定的电压上，持续一定时间。运行可有效防止设备直流回路中电容器的老化。老化速率取决于设备中所用电容器的质量。运行可阻碍老化过程。

注：由于采用了优质的电容器和专门定制的灵活制造理念，因此 VLT® AQUA Drive 变频器无需该程序。



PID 过程控制器框图



VLT® AQUA Drive

VLT® AQUA Drive 装置供应类型的额定功率范围为 0.37 kW 至 1.4 MW，额定电压为 400 或 690 V。具有降低主电源干扰的 VLT® Low Harmonic Drive 型号。



Danfoss® AQUA Drives 专为供水和污水处理应用研制。不同于许多其他产品，标准型号集成了所有重要组件和功能。

- 输出全主电源电压
- 可能连接长电机电缆（150 m 的屏蔽电缆或 300 m 的非屏蔽电缆）
- 使用寿命较长的规格尺寸
- 内置符合 EN 61800-3 类别 C1 的 RFI 滤波器（EN 55011 规定的 B 级限制）
- 内置主电源干扰电抗器（UK 4%）
- PTC 热敏电阻监测
- 可节约大量能耗的 AEO 功能
- 电机热图像作为软件集成到变频器中，也考虑了低速时的电机内部低效的通风情况（带电机保护开关时无法实现）
- RS 485 串行接口
- USB 接口
- 实时时钟
- 空泵保护
- 输出流量监测
- 泵轮换控制的运行时间
- 降低磨损泵启动
- 管路填充功能可避免形成水锤现象
- 集成 Profibus 端口选件（同时带有外部 24 V 直流电压）
- 用于三个泵的集成多泵控制器
- 基本或高级多泵控制器选件
- 无传感器泵控制选件
- 可降低谐波的有源和无源主电源滤波器选件
- 适用于所有额定功率的正弦波滤波器和 du/dt 滤波器
- 低谐波 VLT® AQUA Drive 型号

可通过联系 Danfoss 人员或访问网页了解详情。可在网站上下载大量信息。

www.danfoss.com/vlt

与变频器相关的指令

CE 标志

CE (Communauté européenne) 标志旨在消除 EC 和 EFTA 成员国之间自由贸易的技术壁垒 (ECU 范畴内)。

CE 标志表示该产品制造商遵守已具国家法律效力的所有适用的 EC 指令。CE 标志与产品质量无关。从 CE

标志中无法获得技术规格信息。适用变频器时必须遵守该指令，包括机械指令、EMC 指令和低电压指令。

机械指令

机械指令 2006/42/EC 应用已于 2009 年 11 月 29 日成为强制性要求。由此废除机械指令 98/37/EC。该指令的主要内容为：制造的包含集成互连组件或至少有一个可移动组件的

机械设备，只要正确安装、适当维护以及按预期方式使用，该设备就不会危及人、家畜的健康安全或产品安全。变频器被归类为电子元件，因此不受机械指令的约束。当

设备工程公司在设备中使用变频器时，则表明制造商声明该设备符合所有相关法规和安全措施。

EMC 指令

EMC 指令 2004/108/EC 自 2007 年 7 月 20 日生效。该指令的主要内容为：制造可产生电磁干扰或其运行可能受电磁干扰影响的设备时，必须限制电磁干扰的产生，并且在按

预期使用方式时，广播和电信设备以及其他设备具有适度的抗电磁干扰等级，进而实现预期操作。由于变频器是不能独立运行和生成干扰的设备，因此无需通过 CE 标志或 EC

合规性声明来证实 EMC 指令合规性。但是，Danfoss 变频器具有 CE 标志，可证实 EMC 指令合规性，并具有合规性声明。

低电压指令

低电压指令 73/23/EEC 于 1979 年 6 月 11 日生效；于 1996 年 12 月 31 日结束过渡期。该指令的主要内容为：制造的用于交流额定电压为 50 至 1000 V 或直流额定电压为 75 至 1600 V 的设备，在正确安装、维护和按预期方

式使用情况下不会危及人员和家畜的安全和健康并保护财产。由于变频器是在指定电压范围运作的电气设备，因此其受到低压指令的限制，自 1997 年 1 月 1 日起生产的所有设备必须标有 CE 标志。

注意：设备或系统制造商应确保其使用的变频器带有 CE 标志。可根据要求提供 EC 合规性声明。

索引

A			
ATEX	30	电缆管接头 (常规和 EMC)	39
安装成本	10	电流频谱	15
安装间隙	27	电流消耗	14
安装条件	25	电容耦合	17
氦气	28	电容器	36, 37, 41
		电压降	8
B		电压骤降	24
保护性接地线	12	短距绕组	21
备用电力系统	24	短路	41
泵系统	10	多电机运行	
比例规定	9	E	
变频器系统	8	EC 电机	33, 34
变压器 (负载、利用率)	24, 45	Emax 控制	8
并联操作	41	EMC	12, 13, 14, 21, 25, 38, 44
并联负载操作	8, 9	EMC 电缆管接头	37
波长	14	EMC 特性	12
补偿电流	18	EMC 指令	55
不对称负载	24	二级保护	21
不对称负载	24		
		F	
C		发电机	24
CE 标志	55	阀门控制	10
cos φ	23	防爆 (ATEX)	30
材料磨损	8	防护等级	25, 26
操作成本	8, 10	非线性特性	42
产品标准	21	非正弦电流	15
超同步范围	8	粉尘暴露	29
成本因素	10	峰值电流	8
成组补偿	18	氟化氢	28
臭氧	28	幅度	15
初始成本	10	辐射	39
处置成本	10	辐射耦合	14
磁场	14	腐蚀	28
		腐蚀性空气/气体	28
D		负载冲击	8
dU/dt 滤波器	20, 35, 36, 37	负载特性	42
带涂层 PCB	28	傅里叶分析	15
单独补偿	18		
单独接地	12	G	
氦气	28	改造	8, 36
导体	37, 38, 43	感应耦合	14
低电压指令	55	干扰传播	12
低谐波变频器 (LHD)	17, 19, 46	干扰等级	21
低压电网	24	干扰区域	14
点火保护等级	30	干扰源	14
电磁波	14	工业环境	22, 24
电导耦合	14	工业主电源	15
电动机电缆	35, 36, 37, 39, 40	工作地点 (EMC)	21, 22, 25
电动机效率	31	工作点	8
电机额定电流	8, 41	公用电网	15
电机绝缘	36, 37	功率消耗	9
电机轴承	33, 36	功率因数	17, 19, 23
电抗器	17, 23, 24, 37, 45		

共模滤波器	36	冷却	27, 29
共振	24	连接条件	15
供货	8, 16	流量	8
管路系统	8	流体设备	9, 41
规定成本	8	硫化氢	28
柜式供暖	27	漏电电流	47, 48
过程控制器	53	漏电断路器	47
过滤垫	29	氯气	28
过载容量	41		
H		M	
恒定特性曲线	41, 42	满载	8
环境 (1 或 2)	21, 22, 23, 24, 39	面板安装套件	50
环境成本	10	N	
环境温度	27	能耗成本	10
环境状况	7, 25	能效	7
回收期	8	能源网络	15
I		O	
IE 类别	31	耦合器	14
IEC 机箱	32	P	
IP 额定值	26	PLC	53
IT 主电源系统	12	PTB 认证	30
J		PTC 热敏电阻	30, 43, 48, 54
机柜安装 (集中安装)	25	配置	51
机械指令	55	屏蔽层	39
集中补偿	18	Q	
检查措施	39	启动电流极限	8
降低/削减	13, 42	气流量	27, 29
降低干扰	13	欠压损耗	16
接触点	38	墙面安装 (本地)	25
接地	38, 48	R	
接地	38	RCD	47
接地的中性线	12	RFI	21, 36, 44
接地回路	38	RMS 值	16
节流阀	9, 10	热损耗/消耗	27, 35
节能	8	热应力	35
节能潜力	8, 9	容量增加	8
居住环境	22, 24	S	
绝缘强度	33	三相感应电机 (TPIM)	33
K		散热片	29
抗干扰性	13, 2	设备操作员	15
空调	27	设备接地	38
控制范围	8	设备维护设计人员	7
控制环	53	设计检查清单	6, 62
控制面板	49, 50	射频干扰	21, 22, 44
控制室	27	射频干扰滤波器	21, 42
L		失真	15
LC 滤波器、电路	34, 46	失真频谱	18
雷击	3	使用寿命	8, 27, 29, 42
冷凝	27		

索引

使用周期成本 (LCC)	7, 10	谐波计算	16, 24
视在功率	16	谐波滤波器	16, 17, 42, 43
受干扰设备	14	谐波失真	15, 17, 18
输出滤波器	36, 37, 38	Y	
输入整流器	15	压力	8
数据交换	51	压敏电阻	23
数据显示屏	49, 50	一般标准	21
瞬态	18, 23, 24, 41	已连接负载	8
T		永磁电机 (PM/ PMSM)	33, 34
THD (总谐波失真)	15, 17, 18, 20, 45	有源滤波器	17, 18, 20, 46
TN 主电源系统	12	有源前端	17, 19, 20, 46
TT 主电源系统	12	运行时间、泵	10
特定环境	22	Z	
特性曲线	15	整流器	15, 17, 24, 46
体积流量	10	整体系统	8
天气条件	27	正弦波滤波器	30, 36
调试成本	10	正弦波失真	15
停机成本	10	正弦电压	15
停机成本	10	支撑应力	35
V		直流电压	17, 20
V/f 特性	9	直流回路	17, 19, 23, 27, 45
W		直流回路电压	34, 37
维护	53	指令	15, 55
维护成本	7, 10	质量	7
维修成本	8	中性线, 独立/结合	12
污垢	28	轴承电流	35
无功电流	9, 35	主电源保险丝/断路器	44
无功功率	24	主电源电抗器	44, 45
无源滤波器	17, 20, 46	主电源分析	16, 24
X		主电源干扰	15, 16-20, 44
线圈	35	主电源计算	16, 46
线性特征	41, 42	主电源类型	12
相对湿度	27	主电源滤波器	21
相移	23	主电源瞬态	17, 23, 24
项目设计	7	主电源系统	8, 12, 15, 23
效率等级	31, 41	主电源质量	15, 16, 17
谐波	14	主电源阻抗	24
谐波电流	16, 18	转矩特性	8, 41, 42
谐波负载	24	自动能量优化 (AEO)	9, 54
		总线系统	52
		最低效率标准 (MEPS)	31, 32

缩略语

AFE	有源前端
AHF	高级谐波滤波器
ATEX	爆炸性环境
CE	Communauté Européenne
CEMPEP	电气设备和功率电子元件制造商欧盟委员会
Eff	效率等级（电机）
EMD	电磁放电
EMC	电磁兼容性
EN	欧洲标准（标准）
FC	变频器
IE	国际效率（电机）
IEC	国际电工委员会
IP 额定值	防侵入等级
LCC	使用周期成本
LHD	低谐波变频器
MEPS	最低效率性能标准
PCB	印刷电路板
PFC	功率因数修正
PLC	可编程逻辑控制器
PTB	联邦物理技术研究院
PTC	正温度系数
RCCB	漏电断路器
RCD	漏电断路器
RFI	射频干扰
THD	总谐波失真
直流	工作周期



变频器设计检查清单

基本变频器设计的四步可实现水处理或污水处理厂的无故障运行

决定变频器任务和转矩特性后，
如果您已验证本检查清单中的所有项目，则能够实现设备无故障运行。



主电源系统

<input type="checkbox"/>	主电源类型： TN-C、TN-S、TT、IT	TN-S 是 EMC 方面的首选。使用 IT 主电源系统时需采取特殊措施。
<input type="checkbox"/>	EMC	遵守 EMC 标准及其限制。
<input type="checkbox"/>	主电源干扰（低频）	主电源干扰等级是多少？谐波电流最大值 (THD) 是多少？
<input type="checkbox"/>	射频干扰（高频）	设备的环境类别（1 或 2）是哪种？
<input type="checkbox"/>	功率因数修正设备	安装带有电抗器的功率因数修正设备。
<input type="checkbox"/>	主电源瞬态	FC 足以抵抗主电源瞬态吗？
<input type="checkbox"/>	最大限度提高变压器利用率	变压器负载的经验法则：约为 40% 的 FC 负载（带有电抗器）。
<input type="checkbox"/>	运行备用发电机	适用于本 FC 的其他条件都是在主电源操作的情况下。



环境条件

<input type="checkbox"/>	安装位置	是在机柜 (IP20) 中集中安装或本地墙面 (IP54 或 IP66) 安装 FC？
<input type="checkbox"/>	冷却理念	机柜和 FC 的冷却；高温可损坏所有类型的电子组件。
<input type="checkbox"/>	腐蚀性空气/气体	带有涂层的 PCB 可防护腐蚀性气体：硫化氢 (H ₂ S)、氯气 (Cl ₂) 和氨气 (NH ₃)。
<input type="checkbox"/>	粉尘暴露	FC 内部或表面的灰尘会降低冷却效率。
<input type="checkbox"/>	潜在爆炸性环境	本 FC 受限于限制条件。





电机和接线

<input type="checkbox"/>	电机效率等级	选择节能电机
<input type="checkbox"/>	适用于 FC 操作的电机	咨询电机供应商确认 FC 操作适用性。
<input type="checkbox"/>	输出滤波器： 正弦波或 du/dt	特殊应用的补偿性滤波器。
<input type="checkbox"/>	电动机电缆	使用适当屏蔽电缆。 遵循 FC 规定的最长连接电缆长度规格。
<input type="checkbox"/>	接地措施	确保正确电位均衡。是否具有接地计划？
<input type="checkbox"/>	屏蔽措施	利用 EMC 电缆管接头，正确进行屏蔽。



变频器

<input type="checkbox"/>	规格尺寸和选择	根据电机电流选择规格。考虑电压降。
<input type="checkbox"/>	特殊情况 多电机运行	仅适用于特殊条件。
<input type="checkbox"/>	射频干扰（高频）	指定适用于实际 EMC 环境的 RFI 滤波器。
<input type="checkbox"/>	主电源干扰（低频）	利用主电源干扰电抗器降低谐波电流。
<input type="checkbox"/>	接地措施	采取应对漏电的措施了吗？
<input type="checkbox"/>	RCD	仅适用于 B 类 RCD。
<input type="checkbox"/>	电机保护和电机 PTC 热敏电阻	FC 监测电机 PTC 热敏电阻。 (EX 区域 PTB 认证)
<input type="checkbox"/>	操作员控制和数据显示屏	操作员利用文本显示屏进行控制和数据显示（安装机柜门上）。
<input type="checkbox"/>	数据交换（总线系统）	通过端子之间的总线系统（例如 Profibus）或传统接线。
<input type="checkbox"/>	过程控制器	FC 可执行 PLC 任务或建立同步控制环。
<input type="checkbox"/>	维护	变频器是免维护的吗？

什么是 VLT®

Danfoss VLT 变频器是全球领先的专用变频器供应商之一——并且正获得更大的市场份额。

环境责任

在生产 VLT® 产品的同时，注重环保以及人员的安全和健康。

所有活动的计划和执行均考虑到每个员工、工作环境以及外部环境。最大限度地降低产品生产时的噪音、烟雾或其它污染，并且会提前对产品进行环保的安全处理。

联合国全球契约

Danfoss 已签署了有关社会和环境责任的联合国全球契约，并且我们公司本着对当地社区负责的态度行事。

EU 指令

所有设备都已通过 ISO 14001 标准认证。所有产品均符合一般产品安全的 EU 指令和机械指令。Danfoss VLT Drives 所有产品系列均符合 EU 指令对电气和电子设备 (RoHS) 危害物质的规定，并根据废弃电气和电子设备 (WEEE) 的 EU 指令进行所有新产品系列的设计。

对节能的影响

我们每年生产 VLT® 变频器节省的能源相当于一个主要发电厂产生的电量。它能够更好地控制过程，同时提高产品的质量，并且减少设备的浪费和磨损。

致力于变频器生产

自1968年以来，“敬业奉献”已成为一个关键词，Danfoss 当时引进了世界上第一批大规模生产的交流电机变速变频器——并将其命名为 VLT®。

2500 名员工在 100 多个国家和地区开发、生产、销售和维修变频器和软启动器，将所有精力放在变频器和软启动器上。

智能和创新

Danfoss VLT 变频器的开发人员在开发和设计、生产以及配置方面已经完全采用了模块原理。

使用专用技术平台平行开发未来的功能。这样可以平行开发所有的元件，同时缩短上市的时间，并且确保客户始终享受到最新功能的益处。

依靠专家

我们对产品的每个元件负责。我们开发和生产自己的功能、硬件、软件、功率模块、印刷电路板以及附件，为您的产品提供可靠的保障。

本地支持 — 全球

VLT® 电机控制器正应用于世界各地，并且在 100 多个国家和地区工作的 Danfoss VLT 变频器专家随时随地为我们的客户提供应用建议和服务支持。

Danfoss VLT Drives 专家在解决客户的变频器难题之前绝不会轻言放弃。

