

ICS XXXXX

CCS X XX

团 体 标 准

T/DZJN XX—20XX

冶金工业变频节能选型设计规范

Selection and design specifications for energy-saving of frequency conversion in
metallurgical industry

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国电子节能技术协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设计选型 3

 4.1 冶金行业变频器工作环境概述 3

 4.2 性能要求 4

 4.3 可靠性保证及措施 6

 4.4 电磁兼容性 7

5 系统相关设备选择 8

 5.1 总体要求 8

 5.2 变压器 8

 5.3 开关设备 8

 5.4 避雷器 9

 5.5 热继电器 9

 5.6 电抗器和谐波滤波器 9

 5.7 负载回馈能量处理 10

 5.8 电缆 10

 5.9 电动机 10

6 设计文件的变更 11

附录 A （资料性）设计选型逻辑框图 12

附录 B （资料性）参考变频器的功耗及不同额定电压下的电流值 13

附录 C （规范性）变频器效率分界点和能效限定值 14

附录 D （资料性）负载转矩特性分类 15

 D.1 负载转矩特性分类 15

前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由苏州汇川技术有限公司提出。

本文件由中国电子节能技术协会归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

引 言

随着全球能源需求的日益增长，能源的可持续利用和高效利用成为关注的焦点。冶金工业作为国民经济的重要支柱产业，其能源消耗量巨大，因此，推广变频节能技术在冶金工业中的应用具有重要意义。

- 1、减少能源消耗：变频节能技术可以通过精准控制风机转速和排放流量，实现风量的精准调节和稳定控制，有效减少气流的波动，降低机械磨损和能耗。在冶金工业中应用变频节能技术，可以显著降低能源消耗，提高能源利用效率。
- 2、降低运行成本：通过应用变频节能技术，可以减少能源的浪费，从而降低运行成本。同时，变频节能技术还可以提高设备的可靠性和使用寿命，进一步降低维护和更换设备的成本。
- 3、提高企业竞争力：通过应用变频节能技术，可以提高冶金工业企业的生产效率和产品质量，降低成本，增强企业的市场竞争力。同时，变频节能技术的应用也可以为企业树立绿色、可持续发展的形象，提高企业的社会形象和市场信誉。
- 4、保护环境：变频节能技术的推广应用可以减少能源的浪费和污染物的排放，从而有助于保护环境。在冶金工业中，大量的能源消耗和污染物排放会对环境造成严重影响，因此推广变频节能技术对于环境保护具有重要意义。

当前变频器的标准均为通用安全标准和通用能效分级，缺少具体的应用指导，冶金工业中设备存量

大，可靠性要求，需结合具体场景给出不同场景下的选型建议。

因此，为认真贯彻落实党中央、国务院重大决策部署，推动节能减排，深入打好污染防治攻坚战，加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系，推进经济社会发展全面绿色转型，助力实现碳达峰、碳中和目标，本项目预期形成一套完整的冶金工业变频节能选型设计规范，为冶金工业提出明确的变频节能技术应用指导。

冶金工业变频节能选型设计规范

1 范围

本文件规定了冶金工业用变频器的术语和定义、设计选型、系统相关设备选择、设计文件的变更。本文件适用于冶金工业新建、扩建和改建工程中所使用变频器的选型。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 755 旋转电机 定额和性能

GB/T 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术

GB/T 3859 （所有部分） 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器

GB/T 4942 旋转电机整体结构的防护等级（IP代码）分级

GB/T 12668 （所有部分） 调速电气传动系统

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 18039.4 电磁兼容 环境 工厂低频传导强扰的兼容水平

GB/T 21209 用于电力传动系统的交流电机应用导则

GB/T 30844 （所有部分） 1 kV及以下通用变频调速设备

GB/T 32877-2016 变频器供电交流感应电动机确定损耗和效率的特定实验方法

GB/T 37009-2018 冶金用变频调速设备

GB 50052-2009 供配电系统设计规范

GB 50217 电力工程电缆设计标准

NB/T 10463-2020 变频调速设备的能效限定值和能效等级

HG/T 6191.1-2023 石油和化工用低压变频器技术应用导则 第1部分:基本要求

IEC 60073-2002 人机界面、标志和标识的基本原则和安全原则 指示器和操作器的编码原则

IEC 61800-9-1-2017 可调速电力驱动系统

IEC 61800-9-2-2017 变频器能效损失测试方法

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 2900.33、GB/T 3859（所有部分）、GB/T 12668（所有部分）界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

交流电气传动系统（PDS） a.c. power drive system

由电力设备（包括变流器部分、交流电动机和其他设备，但不限于馈电部分）和控制设备（包括开关控制——如通/断控制，电压、频率或电流控制，触发系统、保护、状态监控、通讯、测试、诊断、生产过程接口/端口等）组成的系统。

[来源: GB/T 12668.2-2002, 2.1.1]

3.2

整流器 **rectifier**

将单相或多相交流电转换为直流电的变换器。

[来源: GB/T 2900.83-2008, 151-13-45, 有修改]

3.3

有源整流器 (AIC) **active infeed converter**

各种能保持直流侧输出电压稳定, 能实现电功率双向流动(整流或回馈), 同时能控制交流侧无功功率或功率因数的自换相整流器。

[来源: IEC 61800-9-2:2017, 3.1.1, 有修改]

3.4

变频器 (VFD) **converter; variable frequency drive**

用于改变频率的变流器。

[来源: GB/T 12668.2-2002, 2.2.5]

3.5

能效 **energy efficiency**

输出的绩效、服务、商品或能量与输入的能量之间的比值或其它定量关系。

注: 输入和输出均需要做出定性和定量的明确规定, 并且是可测量的。

[来源: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.4.1]

3.6

效率 **efficiency**

稳态运行工况下, 变频器输出的有功功率 P_{out} 与其所有输入有功功率总和 P_{in} 的比值。

注: 效率一般用 η 表示, $\eta = P_{out}/P_{in}$, 效率宜表示为百分数。

[来源: IEC 60050-113:2011, 113-03-56, 有修改]

3.7

变频器能效限定值 **minimum allowable values of energy efficiency of VFD**

变频器效率的最低允许值。

注: 之所以规定能效限定值, 是希望生产厂家通过技术手段尽量提高变频器的效率。

3.8

参考变频器 **reference VFD**

使用数学公式以及功耗定义的变频器, 用于给出变频器功耗的参考值。

[来源: IEC 61800-9-2:2017, 3.1.13, 有修改]

3.9

功耗 **power loss**

维持变频器在某工作点正常运行所必须消耗功率的总和。

注: 通常是以热的形式消耗, 包括功率回路损耗、控制回路损耗、通风机电源等的损耗。

3.10

参考功耗 **reference power loss**

参考变频器在90%额定输出频率、100%额定输出电流工作点的功率损耗。

注: 考虑维持变频器正常运行所需的所有功率功耗的总和, 例如包括冷却、控制回路损耗等。

3.11

公共直流母线 **common DC bus**

由一台或多台整流器并联, 构成公用直流母线电源, 给多个逆变单元供电的交流变频调速方式。

3.12

恒压频比控制(V/f) voltage/ frequency control

变频器、逆变器保持其输出电压与输出频率成正比的一种控制模式，使作为负载的异步电动机的磁通保持恒定。

注：压频比控制方式多用于驱动风机、水泵等平方转矩负载。

3.13

矢量控制(VC) vector control

将交流电机的定子电流作为矢量，经坐标变换分解成与直流电机的励磁电流和电枢电流相对应的独立控制电流分量，以实现电机转速 / 转矩控制的方式。

3.14

平均无故障时间(MTBF) mean time between failures

平均无故障时间即两次相邻故障间正常工作的平均时间，单位为小时(h)，是标志一批产品平均能工作多长时间的特征量，。

3.15

平均修复时间(MTTR) mean time to repair

可修复的产品在出现故障后迅速恢复正常工作所需的平均修复时间。

3.16

谐波分量 harmonic

非正弦周期波形中所含的频率为其基波整数倍的正弦分量。

[来源：GB/T 3859.2-2013，3.4.1，有修改]

3.17

谐波频率 harmonic frequency

基波频率或基准基波频率一倍以上的整数倍的频率。

[来源：GB/T 2900.33—2004，551-20-05]

3.18

总谐波畸变率(THD) total harmonic distortion

谐波含量的方均根值对交流量的基波分量或基准基波分量的方均根值之比。

注：总谐波畸变率与基波分量的选择有关，如果文中没有说明所用的是哪一个基波分量，则应予指定。

[来源：GB/T 2900.33—2004，551-20-13，有修改]

3.19

多传动系统 Multiple Drive Systems

多传动系统是指在一条生产线或一套设备上有两个或两个以上的电动机同时运行的系统。最简单的多传动系统可以是由多台独立变频器来完成各自电动机的控制要求。在某些配置中，系统中的多台变频器的直流电源并联连接，这种方式称为共直流母线。多传动系统还可以通过独立的整流装置提供直流电源，多台逆变装置共用此直流电源。

4 设计选型**4.1 冶金行业变频器工作环境概述****4.1.1 冶金工艺流程中的传动设备****4.1.1.1 铁前、炼铁工艺段**

主要包含焦化、烧结(球团)、高炉炼铁等工艺流程，这些生产环节采用变频驱动系统的机械设备主要有：

高炉：高炉鼓风机、热风炉风机、除尘风机、上料皮带(卷扬)以及其他风机、水泵等。

4.1.1.2 炼钢工艺段

主要包含转炉、精炼炉、连铸等工艺流程。其包含主要的变频驱动设备如下：

- a) 转炉：转炉倾动、氧枪提升、除尘风机以及其他风机、水泵等；
- b) 连铸：钢包车、大包回转、拉矫机、辊道以及风机、水泵等。

4.1.1.3 热轧工艺段

主要包含长材热轧、板材热轧、管材热轧等。其包含主要的变频驱动设备如下：

- a) 长材热连轧：粗轧机、减定径、飞剪、冷床、定尺剪、吐丝机、辊道以及风机、水泵等；
- b) 管材热连轧：穿孔机、精轧机、减定径、辊道以及风机、水泵等；
- c) 板带热连轧：粗轧机、精轧机、立辊轧机、卷取机、飞剪、辊道以及风机、水泵等；
- d) 宽厚板热轧：粗轧机、精轧机、热矫直机、冷矫直机、冷床、圆盘剪、定尺剪、辊道以及风机、水泵等。

4.1.1.4 冷轧及深加工工艺段

主要包含单机架冷轧、冷连轧、酸连轧等冷轧产线；酸洗、彩涂、镀锌、连退、电镀等深加工带处理线。其包含主要的变频驱动设备如下：

- a) 冷轧：轧机、开卷机、卷取机、张力辊、活套及风机、水泵等；
- b) 处理线：开卷机、卷取机、张力辊、活套及风机、水泵等。

4.1.2 工作环境特点

钢铁冶金行业中大部分变频调速装置所处工作环境温度偏高、存在金属导电粉尘，电动机的负载大都是重载，对变频器的起动转矩、低速转矩以及过载能力都有一定的要求。

4.2 性能要求

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 变频器设计选型依据负载特性、调速范围、速度响应、控制精度、起动转矩和使用环境等要求，对其类型、控制方式以及电压、电流等进行选择。设计选型逻辑框图见附录 A。

4.2.1.2 设计选型应以变频调速系统整体的可靠性为基础，依据工程特点、负荷性质及企业供电条件以及对系统安全运行、电磁兼容及安装空间等方面的影响。

4.2.1.3 宜成套选用变频器以保证变频调速系统各组成单元的性能匹配及整体性能。

4.2.1.4 变频器的能效等级应不低于 NB/T 10463-2020 中规定的 2 级能效。

4.2.2 冶金行业传动设备变频器的类型及控制方式选择

4.2.2.1 重要风机、水泵类设备：包含冶炼除尘风机、高炉除尘风机、烧结余热风机、高压环水泵、锅炉给水泵等。此类负载低转速时负载转矩较小，运行稳定，调速范围不大，调速精度要求不高，宜选择采用带软起动的压频比（V/f）控制的调速设备。

4.2.2.2 起重类设备：包含提升机、堆取料机、冶炼转炉氧、副枪与倾动设备以及大型行车，起重类设备属于位能性恒转矩负载，对启动转矩、过载能力的要求都非常高，另外起重设备下降或减速过程中会产生大量的制动能量，宜选用带速度传感器矢量控制/直接转矩控制变频器，同时要求变频器具备能耗制动或再生（制动）功能。

4.2.2.3 关键生产设备：包含球磨机、转炉倾动、热轧机组、冷轧机组等。生产设备多为恒转矩类、恒功率类负载，启动转矩较大，需要低频带载能力强，选型时应考虑设备使用中的负载变化和转速调节问题，根据工艺对调速控制精度的要求选择压频比(V/f)控制、有/无测速传感器闭环矢量控制的调速设备。冶金生产线上，设备间需要精准的速度级联控制保证机架间的合理化、正常化运行，应采用共直流母线多机传动方案。

4.2.3 变频器能效等级要求

4.2.3.1 关于变频调速系统功耗的说明

基于变频器的调速电气传动系统，在充分考虑所带负载及负载的机械特性，以及整套系统所运行的负载时间曲线的情况下，可能会有更大的节能空间。例如，通过变频调速调节风机或泵的流量、将制动的机械能量回馈电网等，可节能降耗。变频器是调速电气传动系统中的基本传动模块，其效率主要与功率器件的选用、开关频率、调制算法及冷却系统功耗等因素相关。

4.2.3.2 参考变频器的能耗

IEC 61800-9-2: 2017给出了参考成套传动模块的参考功耗值，以及不同的额定输出电压下，参考成套传动模块的输出电流值。附录B中表B.1是据此给出的参考变频器的参考功耗及不同额定输出电压下的输出电流值。

注：表B.1参考IEC61800-9-2：2017的表18，数值部分根据我国的电压等级进行了修改。

4.2.3.3 变频器能效分级方法

变频器的能效分为3个等级，其中能效为1级表示效率最高。附录C中表C.1给出了三个能效等级的效率分界点（ η_1 和 η_2 ），图4.1给出能效等级分级方法。

注：为了与现有电动机、变压器等国家标准能效的分级习惯保持一致，本标准中规定的变频器能效等级与IEC 61800-9-2中的IE等级不同。两者对应关系为：本标准的1级对应IE2，2级对应IE1，3级对应IE0，参见图1。

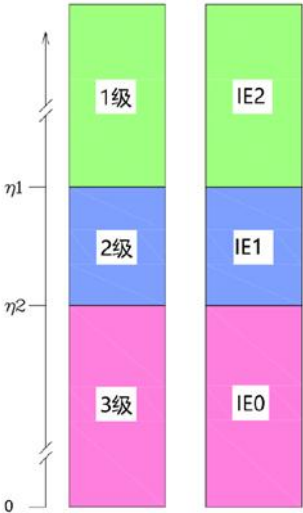


图 4.1 变频器的效率分级及其与 IE 等级的关系

根据变频器实际效率值，按照表C.1和图4.1，实现变频器能效分级。

4.2.3.4 能效限定值

变频器效率应不低于附录C中表C.1中最后一列给出的能效限定值，此值是2级效率点 η_2 的值减去：

- 3%（输出功率小于1.5 kW）或；
- 2%（输出功率大于等于1.5 kW 到小子30 kW）或；
- 1%（输出功率大于等于30 kW）。

4.2.3.5 目标能效限定值

变频器的目标能效限定值应不低于2级。变频器产品宜在5年内，达到此目标能效限定值。随着技术的进步，在修订本标准时，再升级相关指标。

4.2.4 额定输出电流选择

4.2.4.1 变频器产品说明书应给出额定输出电流，以及适配电动机的额定功率和额定容量，并给出额定输出电流随海拔和环境温度的降额数据。

- 4.2.4.2 变频器的额定输出电流应不小于被驱动电动机额定电流。
- 4.2.4.3 当电源电压在正常波动范围时，变频器的额定输出电流应在允许的范围之内保持稳定。
- 4.2.4.4 非常用标准规格附近的电动机，应以电动机最大电流确定变频器的额定输出电流和过载能力。
- 4.2.4.5 变频调速所驱动的电动机的实际运行电流应不低于变频器额定输出电流的 1/8。
- 4.2.4.6 当一台变频器驱动多台电动机，且多台电机同时起动、同步调速、同时停止，应依据多台电动机额定电流的求和值选择变频器的额定输出电流。
- 4.2.4.7 驱动高速电动机的变频器，其额定输出电流应大于驱动相同等级普通电动机变频器的额定电流。
- 4.2.4.8 当变频器输出电缆较长时，应采取抑制电缆对地耦合电容过大而导致变频器出力不足的措施，否则宜适当增大变频器的额定输出电流。

注：当变频器的输出电缆较长时（ $L>50\text{m}$ ），电机端会出现较高的冲击电压，电压变化率 dv/dt 增加，会破坏电机的绝缘特性，从而影响电机寿命，此时宜在变频器输出端安装电抗器。当输出电缆长度过长时（ $L>300\text{m}$ ），宜在变频器输出端安装 dv/dt 滤波器或正弦波滤波器。

4.2.5 额定电压选择

变频器的额定电压应与被驱动电动机的电压等级相匹配。

4.2.6 过载能力

依据负载实际加/减速转矩，选择过载能力符合规定的变频器。对于惯量较大，或要求快速起、制动的机械负载，变频器选择时应核算起动转矩是否符合规定，否则，应适当加大变频器的容量。对于转动惯量较大的负载（如风机、水泵等），变频器的加减速时间需要与负载的加速、减速特性匹配。

4.2.7 控制装置

- 4.2.7.1 变频器控制装置应便于安装、操作、调试和维护。
- 4.2.7.2 控制装置应配置正常操作程序及防止误操作和保障人身安全的操作电路。
- 4.2.7.3 依据工程实际需求，变频器控制装置的配置可选择本地和远程两地控制方式。
- 4.2.7.4 装有变频器的柜门上应设置紧急停车按钮。

4.2.8 通讯及输入输出端口

- 4.2.8.1 变频器可具备信息上传、远程控制等功能，满足无人值守的要求。
- 4.2.8.2 远程控制功能可包括远程开机、停机、调速等功能及高精度参数（包括转速、频率、运行曲线、加减速时间、运行模式、过电流等）的远程设定。
- 4.2.8.3 变频器的输入输出（数字输入（DI）和输出（DO）端口，模拟输入（AI）和模拟输出（AO））端口数量应满足系统对变频器的检测和控制需求。

4.3 可靠性保证及措施

- 4.3.1 变频器应具备耐受电源及其内部短路电流冲击的能力，并在短路故障消除后能重新可靠地投入运行。设计选型时，应向变频器制造商提交供电电源系统的短路参数。
- 4.3.2 变频器应具备保护变频器、电动机及其配电电缆的系统继电保护功能，继电保护性能应符合 HG/T 6190.1-2023 5.6 节的规定，且应具有下列主要保护功能：

- a) 应有防止误操作的功能；
- b) 应有电力电子器件过热及冷却系统故障、变压器或电感过温、过流、过载、过欠压、短路、缺相、不平衡、接地故障保护功能；
- c) 应可以依据系统运行要求配置超频（超速）、失速、等保护；

d) 能自动记录各种保护的動作类型、動作时间, 具备故障诊断、事故记录及(或)故障录波功能;

e) 各种保护能输出干节点, 与外部报警或者跳闸回路连接。

4.3.3 当电源暂降时, 应有辅助供电方案使变频器跨越电源电压瞬时跌落故障, 维持正常运行。

注: 电源电压暂降的相关指标应符合GB/T 30137-2013的规定。

4.3.4 变频器的平均无故障时间(MTBF)应不小于 30000 h。

4.3.5 变频器平均修复时间(MTTR)应不大于 0.5 h。

注: 平均修复时间是可修复系统在出现故障后迅速恢复正常工作所需的平均时间。

依据工程实际需求, 变频器控制盘面板上应有信号灯来指示运行方式和配置等, 所有信号灯应便于观察, 其颜色应符合 IEC 60073-2002 的规定。

4.3.6 散热及防潮

4.3.6.1 当变频器单独成柜且采用强制风冷时, 应合理设计其风扇及其风道, 并应采取防震以及进风口的防尘措施。

4.3.6.2 当变频器采用水冷/油冷散热方式时, 应按照变频器说明书的要求配备所需的冷却媒质。

注: 冷却媒质是指设备或热交换器中把热量带走的液体(例如水)或气体(例如空气)。

4.3.6.3 安装在潮湿环境中的变频器, 应采取相应的防潮除湿措施, 如配置加热除湿装置等。

4.4 电磁兼容性

4.4.1 抗扰度和发射

抗扰度和发射应符合并高于GB/T 12668.3-2012的规定。

4.4.2 变频器对电源的干扰

应考虑变频器对电源产生的下列干扰因素:

- a) 谐波电压造成电源电压波形畸变, 供电质量下降; 谐波电流引起无功功率增加, 降低功率因数;
- b) 使接入同一电源系统中的电气设备(如变压器、电动机等)的损耗增加, 输出功率减少, 绝缘老化加速, 噪声和振动增大;
- c) 电源网络谐振频率接近于变频器谐波源的某个谐波频率时, 其公共耦合点上可能产生很高的谐波电压, 危及电源电网系统的安全;
- d) 造成公共耦合点交流电压的波动, 使连接在该点的继电保护、测量仪器、通讯设备及计算机受到干扰, 严重时使其不能正常工作。

4.4.3 变频器对电动机的影响

4.4.3.1 变频器输出所含的高次谐波分量在电动机定子和转子中产生附加铜损、铁损和杂散损耗, 通常使其温升增加 10%~20%。

4.4.3.2 变频器输出电压的变化量 dv/dt 及叠加在电动机反电势上的矩形斩波冲击电压, 使电动机定子绕组匝间绝缘承受的电压应力增大, 威胁电动机的对地绝缘。

4.4.3.3 变频器输出所含各次谐波与电动机电磁部分的固有空间谐波相互干预而形成各种电磁激振力, 当电磁力波的频率和电动机机体的固有振动频率一致或接近时, 会产生共振, 加大谐波电磁器声与震动。

4.4.3.4 容量超过 160kW 的电动机, 因共模电压和磁路不对称而产生的轴电流不能忽视, 同时容性耦合高频电压会加大轴承电流, 降低轴承寿命, 严重时将烧毁轴承。

4.4.4 变频器输出中的高次谐波使电缆的损耗增加，会降低电缆的载流能力，损害电缆的绝缘，降低电缆的使用寿命。

4.4.5 谐波限值

变频器既是噪声发射源也是噪声接收器，应减小变频器通过耦合点注入电源电网的谐波电流，接入变频器的电源电网的总谐波畸变率（THD）应符合GB/T 14549的规定。谐波含量的计算应符合GB/T 12668.4-2006中3.1.13的规定。

4.4.6 抑制措施

4.4.6.1 变频调速系统的抗扰度和发射限值应符合 4.4.1 的规定，可根据实际应用场景合理配置滤波器。

4.4.6.2 宜采用电源进线电抗器抑制变频器非正弦电流而引起的电网电压畸变。

4.4.6.3 宜在电源接入端设置无线电干扰抑制滤波器，抑制变频器产生的射频干扰。

4.4.6.4 变频器宜安装在可靠接地，且应设置在符合 HG/T 6169.1-2023 5.13 规定的防护等级的金属柜体中。

4.4.6.5 对于频繁起停的电动机，其动力电缆宜采用变频电缆，对电机起到良好的保护作用。

4.4.6.6 变频器输出信号宜采用屏蔽电缆，屏蔽层应在变频器侧可靠接地。

4.4.6.7 应保证系统电缆线路（包括电缆接头、中间接头、终端接头及各种端接材料及导电垫衬材料）屏蔽的连续性。

4.4.6.8 应对输入输出动力电缆和控制信号电缆进行分层敷设。

5 系统相关设备选择

5.1 总体要求

5.1.1 变频系统中的电气设备应设置在正常使用环境中。

5.1.2 当变频器单独成柜时，其系统相关设备除供电、动力缆和电动机外，其他设备应安装在柜内。

5.1.3 变频系统相关辅助设备包括但不限于：变压器、开关设备、避雷器、交流输入电抗器、输入电磁干扰（EMI）滤波器、直流电抗器、输出侧电磁干扰（EMI）滤波器、交流输出电抗器及制动单元等。

5.2 变压器

为满足某些变频调速系统的电压匹配/移相和抑制谐波的需求，必要时在输入侧配置变压器。

5.3 开关设备

5.3.1 开关设备功能及配置原则应符合下列规定：

5.3.1.1 电源开关：宜采用接触器或断路器：它应能在额定电流下可靠运行，且应安全可靠地切断额定电流或短路电流（仅断路器）；

5.3.1.2 输出开关：宜采用接触器或断路器：它应能在额定电流下可靠运行，且应可靠地切断工作电流、过载电流或短路电流（仅断路器）；

5.3.1.3 旁路电源开关：在变频器需要提供旁路电源时，应设置旁路电源开关。旁路电源开关应采用接触器或断路器，它应能在额定电流下可靠运行，且应可靠地地切断额定电流或短路电流（仅断路器），其配置原则与电源开关一致。

5.3.2 开关设备的额定值应符合下列规定：

5.3.2.1 额定电压：电源开关与旁路开关的额定电压应不小于供电电源的最高工作电压，输出开关应与负载电动机的电压等级相同；

5.3.2.2 额定电流：所有开关设备的额定电流应不小于变频器最大允许过载电流；

5.3.2.3 额定短路开断电流（仅适用于断路器）：

- a) 电源开关和旁路电源开关：可开断供电系统的最大短路电流；
- b) 输出开关：可开断变频器输出电源的最大短路电流。

注：当变频柜输入输出端配置有 EMC 或 EML 滤波器时，不建议选择带有漏电保护的断路器。

5.4 避雷器

为避免变频器和电机遭受电源侧的过电压和相邻回路的操作过电压的侵害，应在变频器输入端设置避雷器。

5.5 热继电器

5.5.1 热继电器用于防止电动机过载（过热）的保护。对于重要的电动机，还应采取检测电动机绕组温度的措施。

5.5.2 当采用一台变频器驱动一台电动机的变频调速方案时，可取消热继电器，但下列场合应设置热继电器：

- a) 一台变频器控制多台电动机；
- b) 工频电源和变频器交替供电或带旁路的变频调速系统。

5.5.3 变频器（与电动机间的）动力电缆过长时，应采取抑制谐波的措施，以防热继电器误动。

5.5.4 普通型热继电器用于变频调速系统时，其动作电流较非变频调速电动机增大 10% 进行整定。

5.6 电抗器和谐波滤波器

5.6.1 一般要求

电抗器和谐波滤波器可与变频器成套配置，可将系统相关（如电缆长度等）参数提交变频器制造商，由变频器制造商依据系统相关参数选型并成套供货。

5.6.2 输入电抗器

5.6.2.1 出现下列情况之一时，在变频器电源侧应设置输入交流电抗器：

- a) 三相电源不平衡度大于 3%；
- b) 包含集中分散控制（DCS）、计算机控制系统、数字仪表的应用场景；
- c) 电源变压器容量大于 500kV·A 以上，且变频器安装位置距其 10m 以内时；
- d) 与其他变流设备或变频器共用一个进线电源；
- e) 供电电源侧安装了功率因数自动补偿装置。

5.6.2.2 交流输入电抗器的基本参数选择按下列原则：

- a) 交流输入电抗器的额定电流应大于或等于变频器的额定电流；
- b) 交流输入电抗器的电抗值通常以其电压降不大于 3% 为宜。

当设置输入电抗器以后，电压或电流总谐波畸变率（THD）仍不满足相关技术要求时，则需增设谐波滤波器。

5.6.3 输出电抗器

为减小变频器输出 dv/dt 对电动机及外界的干扰，下列情况之一时宜在变频器输出侧设置交流输出电抗器：

- a) 变频器至电动机之间的电缆长度（宜由制造商提供）超过规定值；
- b) 抑制变频器输出侧的高频噪声。

5.6.4 谐波滤波器

5.6.4.1 抑制来自电源侧的高频干扰，可在变频器输入侧设置电磁干扰（EMI）滤波器。

5.6.4.2 抑制变频器产生的电磁和射频干扰，可在变频器输出侧设置电磁干扰（EMI）滤波器。

注：当变频器的输出电缆较长时（ $L > 50\text{m}$ ），电机端会出现较高的冲击电压，电压变化率 dv/dt 增加，会破坏电机的绝缘特性，从而影响电机寿命，此时宜在变频器输出端安装电抗器。当输出电缆长度过长时（ $L > 300\text{m}$ ），宜在变频器输出端安装 dv/dt 滤波器或正弦波滤波器。

5.7 负载回馈能量处理

5.7.1 变频器-电机系统制动或带位能负载下放时，负载的能量将回馈至直流环节，对使用二极管整流器的变频器来说，这将导致直流环节的电压升高。为限制电压过高损害变频器，应设置制动单元。

5.7.2 能耗制动：利用电阻消耗反馈电能，此种方式简易行、成本低，但系统的运行效率低。

5.7.3 再生制动：采用有源逆变技术将反馈电能馈送回供电系统。其优点是变频器可驱动负载四象限运行且提高系统的运行效率，但实现能量再生制动需要电压同频同相控制、回馈电流控制等条件，其技术复杂，成本较高。

5.8 电缆

5.8.1 通用要求

系统所采用的电力及控制电缆的选择除应符合GB 50217-2018的规定外，同时应符合5.8.2、5.8.3的规定。

5.8.2 电力电缆

5.8.2.1 变频器电源电缆宜采用常规型号电力电缆。

5.8.2.2 变频器到电动机的动力电缆如果有用户特殊要求可采用带屏蔽的变频专用电缆。

5.8.2.3 动力电缆和电源电缆的额定电压不得低于所接回路的工作电压。

5.8.2.4 变频器动力电缆对地分布寄生电容是传送电磁干扰的耦合途径，考虑系统的电磁兼容，选择时应考虑其电压等级、敷设方式、载流量、电磁干扰、分布电容、波阻抗等因素。

注：电缆载流量是指一条电缆线路在输送电能时所通过的电流流量。在热稳定条件下，当电缆导体达到长期允许工作温度时的电缆载流量称为电缆长期允许载流量。

5.8.2.5 变频器至电动机之间的动力电缆长度应不超过变频器制造商提出的临界值，否则，应采取相应的措施。

5.8.2.6 当变频器至电动机之间的距离较远时，应校验低频运行工况时的线路电压损失。

5.8.3 控制电缆

5.8.3.1 用于变频器的控制电缆的额定电压不得低于所接回路的工作电压。

5.8.3.2 用于传输模拟信号的电缆，宜选用对绞线芯分屏蔽复合总屏蔽控制电缆。

5.8.3.3 用于传输数字信号的电缆，可选用总屏蔽控制电缆。

5.8.3.4 为避免干扰，可采用光纤电缆代替屏蔽电缆。

5.8.3.5 为避免交流干扰，模拟信号不应与交流信号共用一根控制电缆。

5.9 电动机

5.9.1.1 冶金行业用于变频调速系统的交流电动机的选型应符合 GB/T 21972-2023(全部部分)、GB/T 21209-2017 的规定。

5.9.1.2 防止电动机高频轴承电流的解决方法应按 GB/T 21209-2017 8.6 节的规定进行。

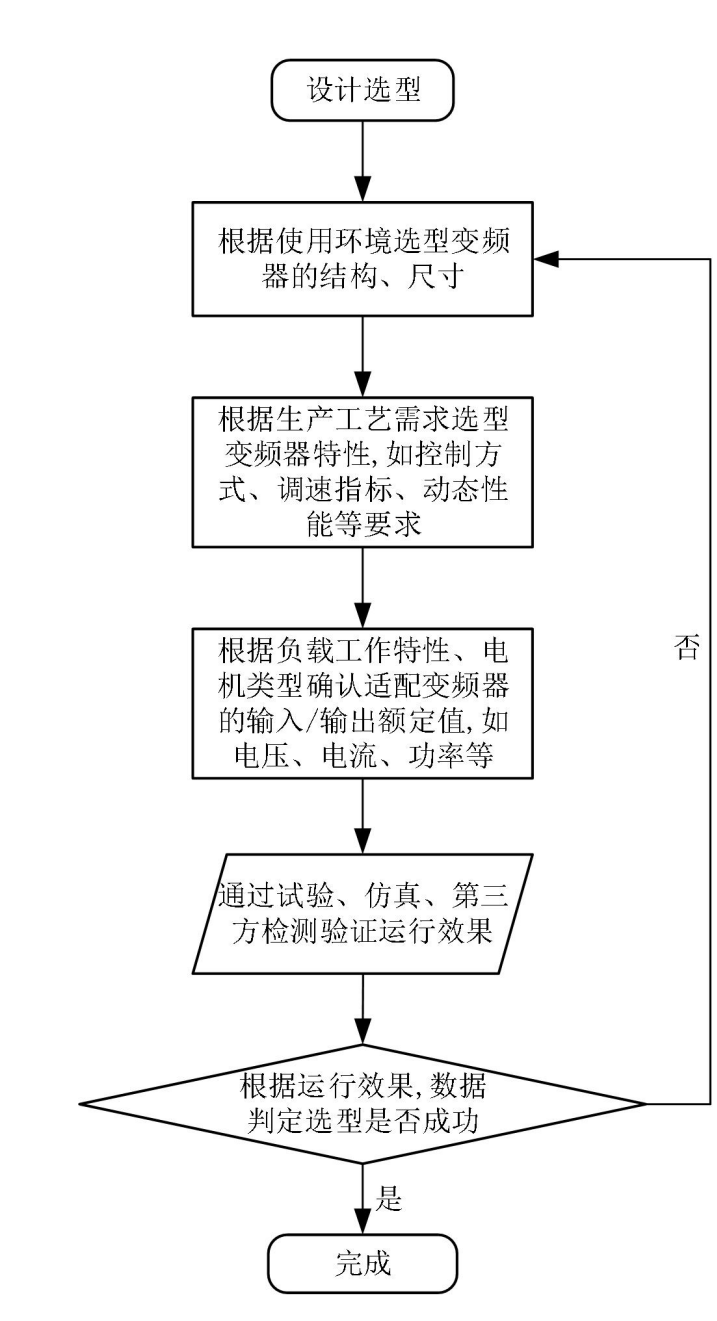
5.9.1.3 除非另有规定，电动机的外壳防护等级应不低于 GB/T 4942 中规定的 IP54。

6 设计文件的变更

变频器在安装、调试、验收、检修过程中，当发现设计文件不符合实际情况时，应由设计单位进行设计变更，并提供设计变更技术文件或变更后的设计技术文件。

附录 A
(资料性)
设计选型逻辑框图

设计选型逻辑框图见图A.1。



图A.1 设计选型逻辑框图

附 录 B

(资料性)

参考变频器的功耗及不同额定电压下的电流值

表B. 1 参考变频器的功耗及不同额定电压下的电流值

额定功率 kW	额定容量 kVA	参考功耗 kW	380 V 电压时的电流 A	690 V 电压时的电流 A
0.37	0.697	0.117	1.06	0.58
0.55	0.977	0.129	1.48	0.82
0.75	1.29	0.142	1.96	1.08
1.1	1.71	0.163	2.6	1.43
1.5	2.29	0.188	3.48	1.92
2.2	3.3	0.237	5.01	2.76
3	4.44	0.299	6.75	3.72
4	5.85	0.374	8.89	4.90
5.5	7.94	0.477	12.06	6.64
7.5	9.95	0.581	15.12	8.33
11	14.4	0.781	21.88	12.05
15	19.5	1.01	29.63	16.32
18.5	23.9	1.21	36.31	20.00
22	28.3	1.41	43	23.68
30	38.2	1.86	58.04	31.96
37	47	2.25	71.41	39.33
45	56.9	2.7	86.45	47.61
55	68.4	3.24	103.9	57.22
75	92.8	4.35	141	77.65
90	111	5.17	168.6	92.85
110	135	5.55	205.1	112.95
132	162	6.65	246.1	135.53
160	196	8.02	297.8	164.01
200	245	10	372.2	204.98
250	302	12.4	458.8	252.67
315	381	15.6	578.9	318.81
355	429	17.5	651.8	358.96
400	483	19.8	733.9	404.18
500	604	24.7	917.7	505.40
560	677	27.6	1 029	566.70
630	761	31.1	1 156	636.64
710	858	35	1 304	718.14
800	967	39.4	1 469	809.01
900	1 088	44.3	1 653	910.35
1000	1209	49.3	1837	1011.68

附 录 C

(规范性)

变频器效率分界点和能效限定值

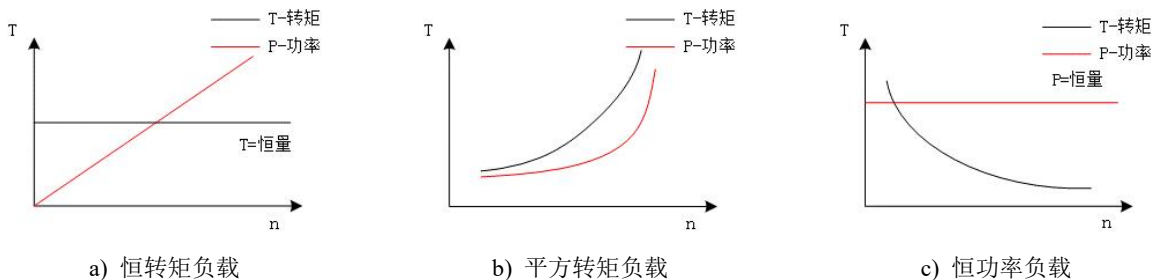
表C. 1变频器效率分界点和能效限定值

额定功率 kW	额定容量 kVA	参考功耗 kW	参考变频器效率	1 级效率点 η_1	2 级效率点 η_2	能效限定值
0.37	0.697	0.117	76.00%	80.80%	71.70%	68.70%
0.55	0.977	0.129	81.00%	85.00%	77.30%	74.30%
0.75	1.29	0.142	84.10%	87.60%	80.90%	77.90%
1.1	1.71	0.163	87.10%	90.00%	84.40%	81.40%
1.5	2.29	0.188	88.90%	91.40%	86.50%	83.50%
2.2	3.3	0.237	90.30%	92.50%	88.10%	86.10%
3	4.44	0.299	90.90%	93.00%	88.90%	86.90%
4	5.85	0.374	91.40%	93.40%	89.50%	87.50%
5.5	7.94	0.477	92.00%	93.90%	90.20%	88.20%
7.5	9.95	0.581	92.80%	94.50%	91.20%	89.20%
11	14.4	0.781	93.40%	94.90%	91.80%	89.80%
15	19.5	1.01	93.70%	95.20%	92.20%	90.20%
18.5	23.9	1.21	93.90%	95.30%	92.50%	90.50%
22	28.3	1.41	94.00%	95.40%	92.60%	90.60%
30	38.2	1.86	94.20%	95.60%	92.80%	91.80%
37	47	2.25	94.30%	95.60%	92.90%	91.90%
45	56.9	2.7	94.30%	95.70%	93.00%	92.00%
55	68.4	3.24	94.40%	95.80%	93.10%	92.10%
75	92.8	4.35	94.50%	95.80%	93.20%	92.20%
90	111	5.17	94.60%	95.90%	93.30%	92.30%
110	135	5.55	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
132	162	6.65	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
160	196	8.02	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
200	245	10	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
250	302	12.4	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
315	381	15.6	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
355	429	17.5	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
400	483	19.8	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
500	604	24.7	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
560	677	27.6	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
630	761	31.1	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
710	858	35	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
800	967	39.4	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
900	1088	44.3	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
1000	1209	49.3	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%

附录 D
(资料性)
负载转矩特性分类

D.1 负载转矩特性分类

依据冶金行业生产机械的转矩特性，负载转矩可分为恒转矩负载、平方转矩负载及恒功率负载三大类，各类负载的机械特性见图 D.1。



标引符号说明：
n——转速；
P——功率；
T——转矩。

图 D.1 各类负载的机械特性

D.1.1 恒转矩负载

恒转矩负载的特性是其负载转矩的大小与转速无关，不同转速下转矩始终保持恒定或基本恒定。
冶金行业中的搅拌机、挤压机、传送带等摩擦类负载以及起重机、卷扬机、提升机等重力负载均属恒转矩负载。
变频器拖动恒转矩性质的负载时，低速下的转矩要足够大，并且有足够的过载能力。如果需要在低速下稳速运行，应该考虑标准异步电动机的散热能力，避免电动机的温升过高。

D.1.2 恒功率负载

负载的转矩与转速大体成反比，负载惯性大，负荷变化小，其功率为转矩与转速的乘积并近似保持不变。负载的恒功率性质是相对一定的转速范围而言，当转速很低时，受机械强度的限制，转矩不可能无限增大，在低速下则转变为恒转矩性质。
机床、轧机、造纸机、塑料薄膜生产线中的卷取机、开卷机等要求的转矩，大体与转速成反比，属于恒功率负载。

D.1.3 平方转矩负载

负载随着叶轮的转动，空气或液体在一定的速度范围内所产生的阻力大致与转速的 2 次方成正比。随着转速的减小，转矩按转速的 2 次方减小。此类负载所需的功率与转速的 3 次方成正比。当所需风量、流量减小时，利用变频器通过调速的方式来调节风量、流量，可以大幅度地节约电能。
除罗茨风机和柱塞泵以外的各种离心风机、水泵、油泵类等均属于平方转矩负载。