

第二讲 知己知彼说变频

一. 基本关系要牢记

(一) 能量守恒是根本

1. 拖动系统的最基本条件

$$P_{MN} \geq P_L$$

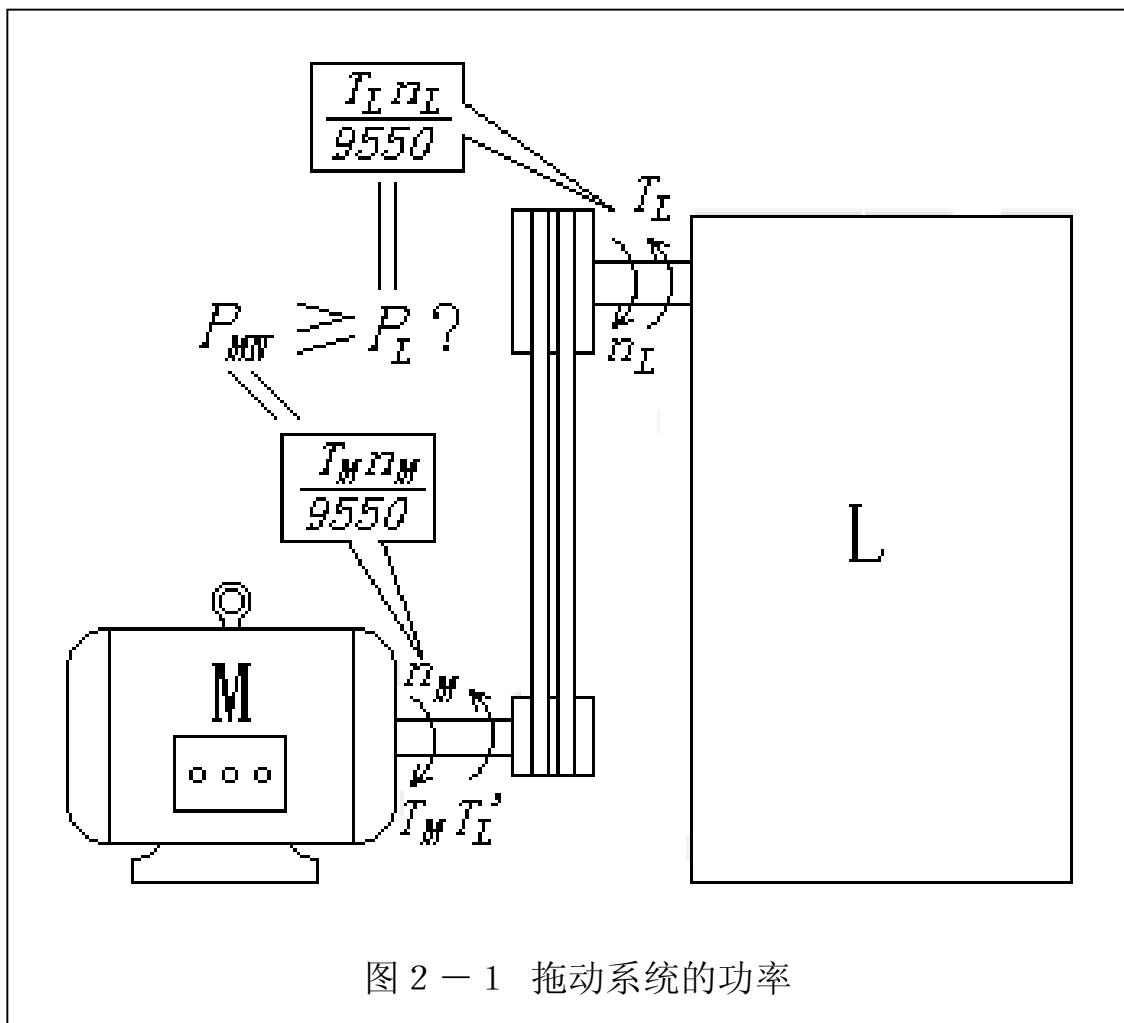


图 2 - 1 拖动系统的功率

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

2. 调速电动机的特点

(1) 电动机的输出转矩不能增大

$$\because T_M = K_T \cdot I_M \cdot \Phi \cdot \cos\varphi$$

电流大了要“发烧”，磁通大了要饱和。

$$\therefore T_M \nrightarrow T_{MN}$$

(2) 在额定转速以下，有效输出功率随转速而下降

如果 $n_{MX} \downarrow$

$$\text{必有 } P_{ME} = \frac{T_{MN} \cdot n_{MX}}{9550} \downarrow$$

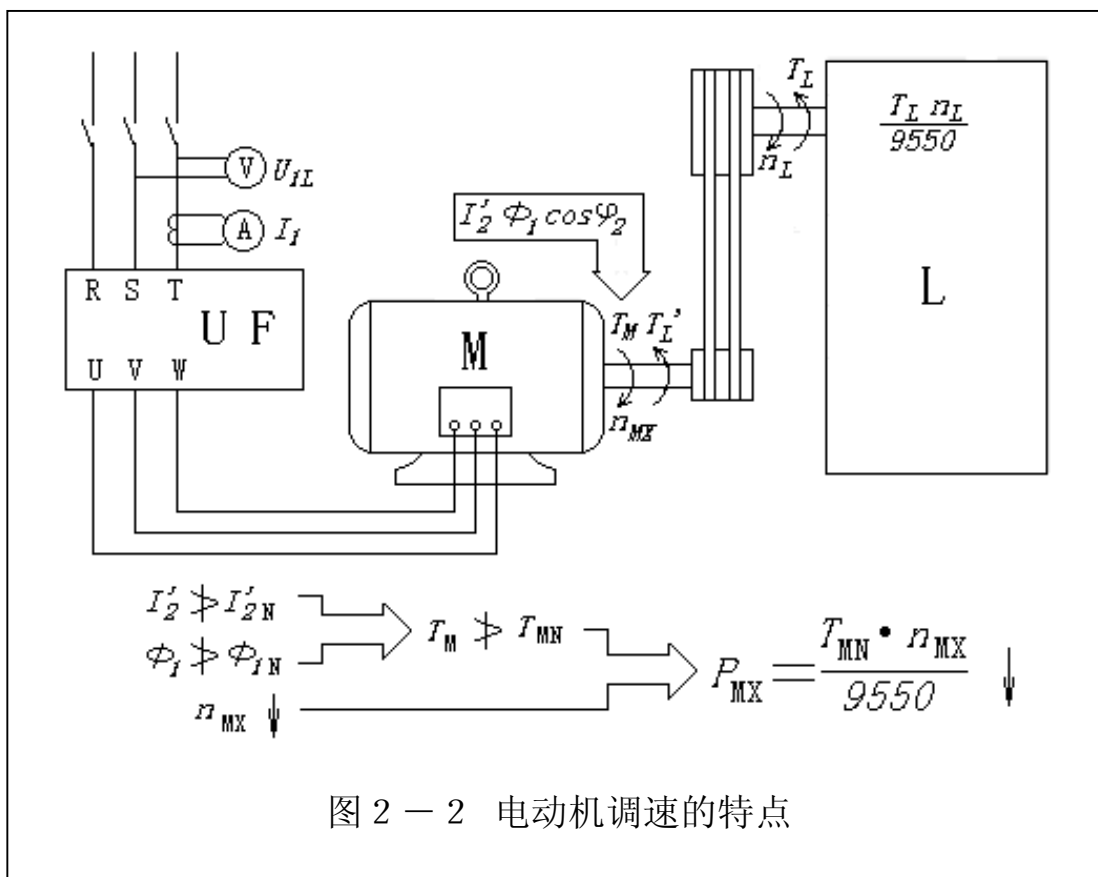


图 2-2 电动机调速的特点

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

3. 某些违反能量守恒的想法

(1) 能否不要减速器，直接通过变频器调速？

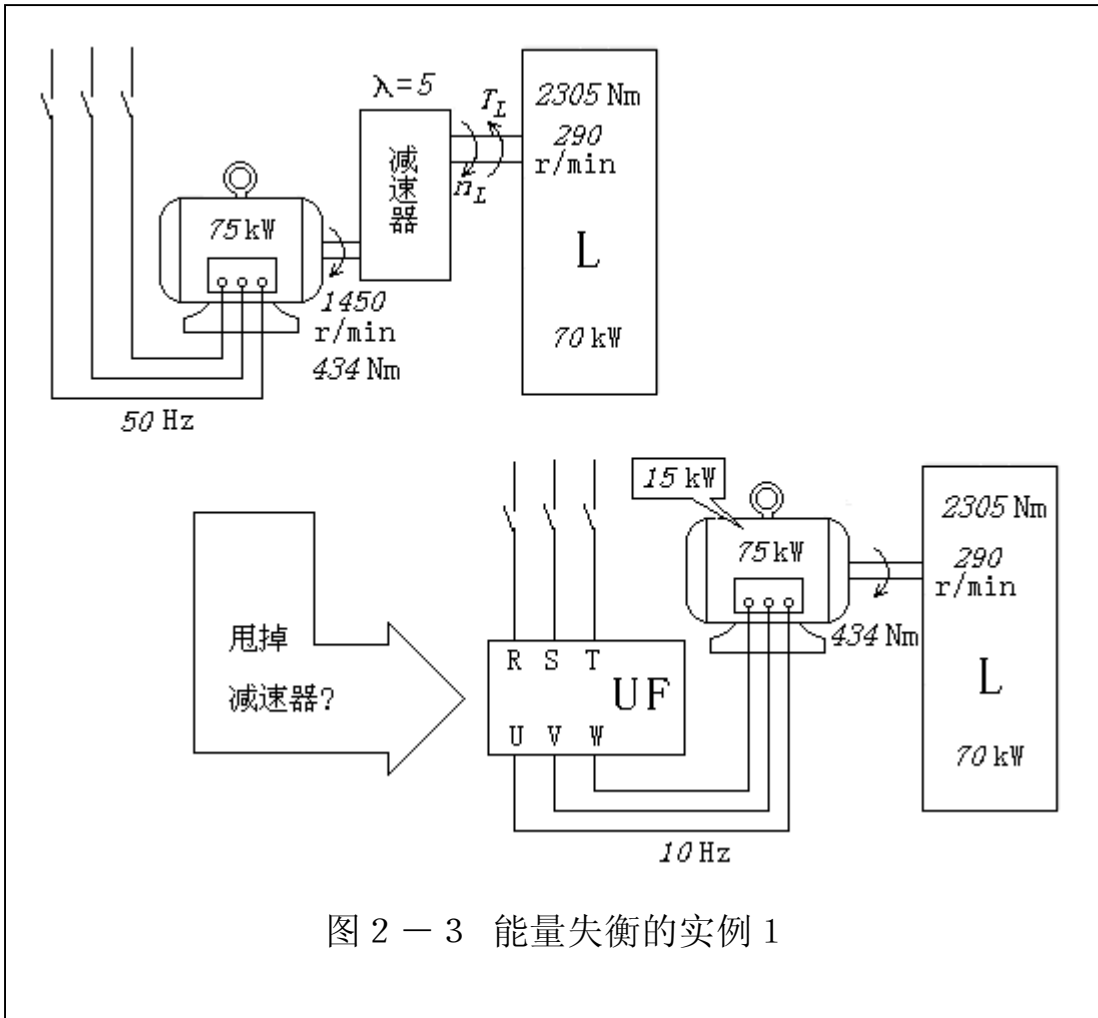


图 2 - 3 能量失衡的实例 1

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(2) 为了提高生产效率，能否通过提高频率来实现？

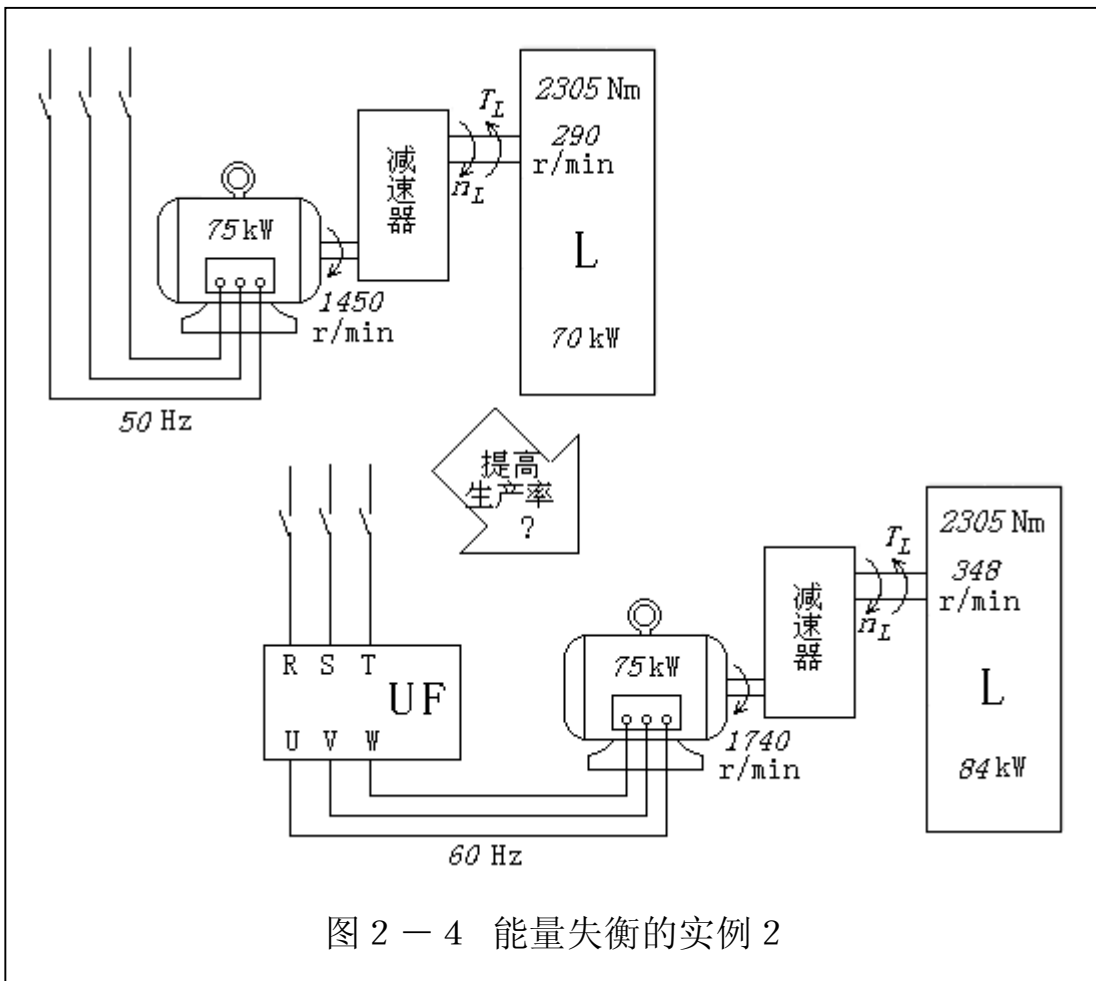


图 2 - 4 能量失衡的实例 2

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 能量守恒是基本

(二) 能否拖动转矩争

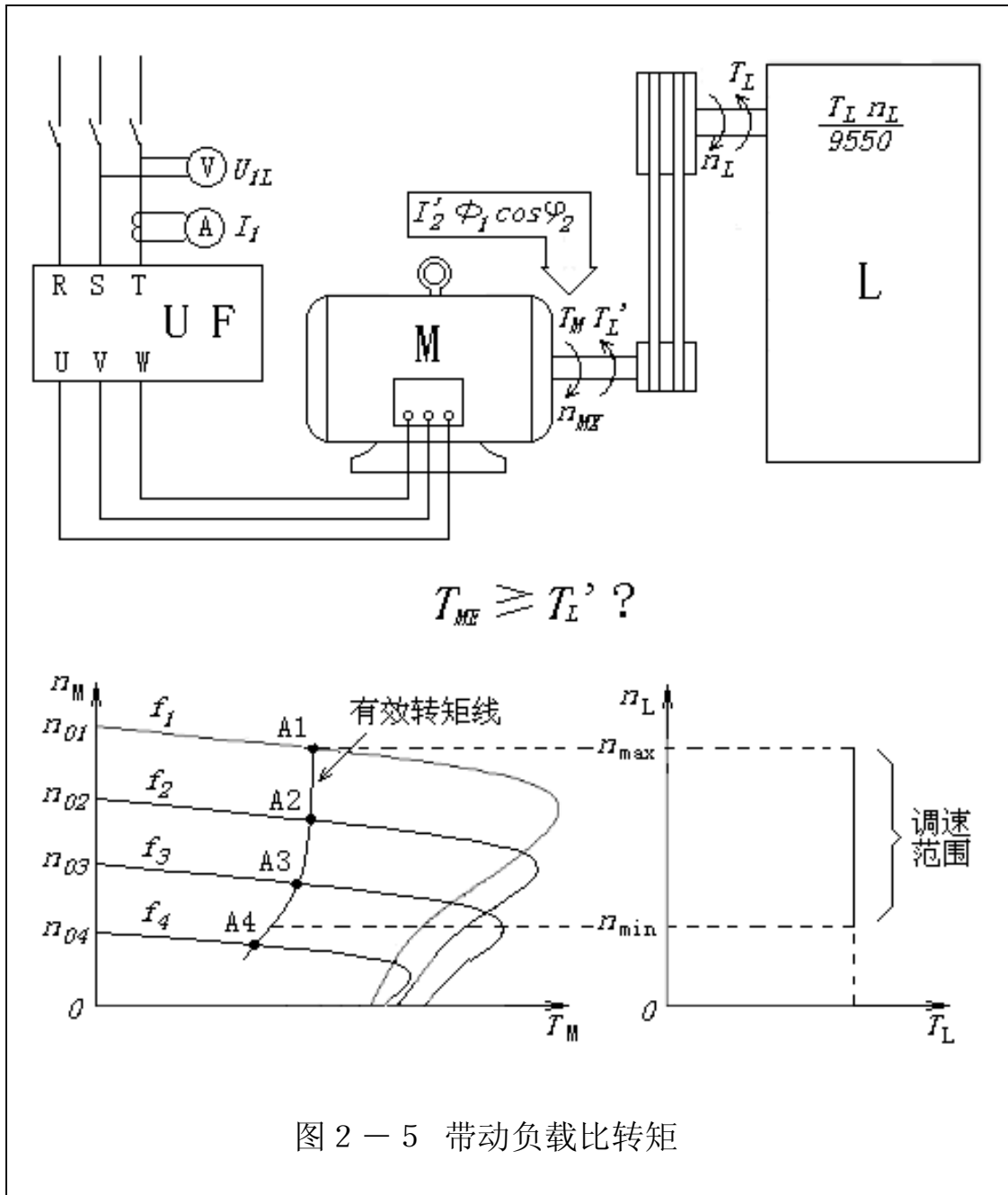


图 2 - 5 带动负载比转矩

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

- (一) 能量守恒是基本 (二) 能否拖动转矩争
- (三) 运行还要看温升

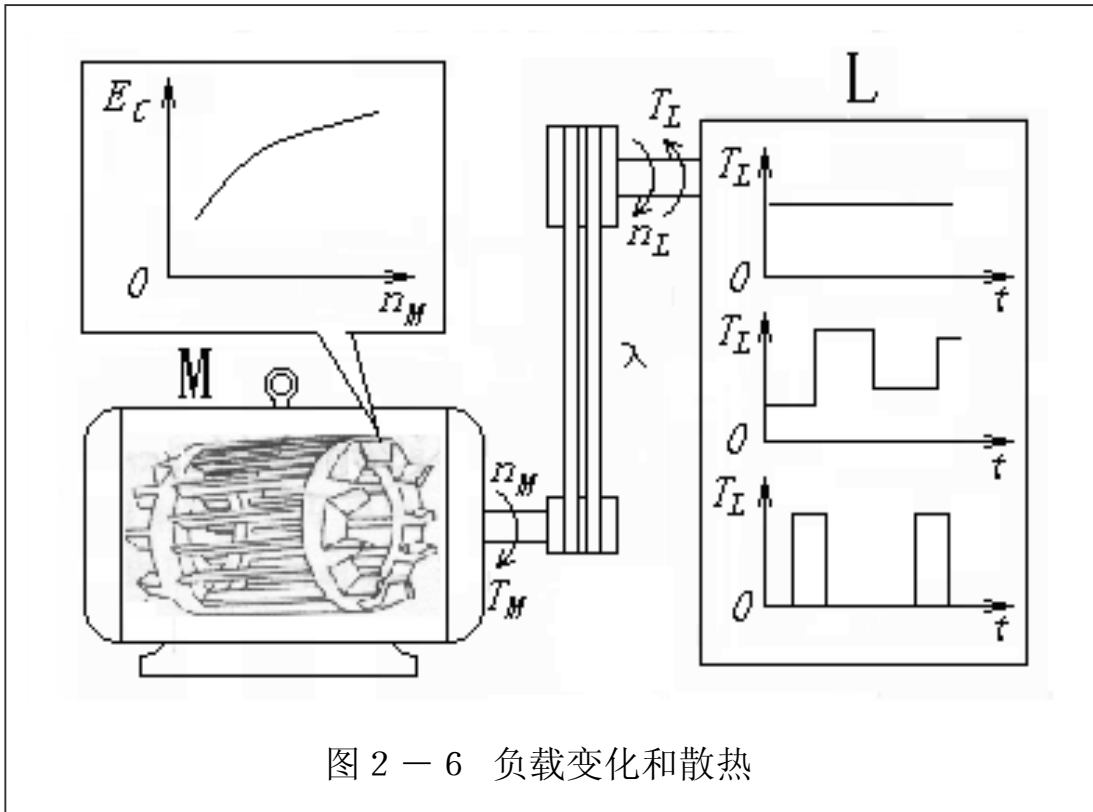


图 2 - 6 负载变化和散热

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

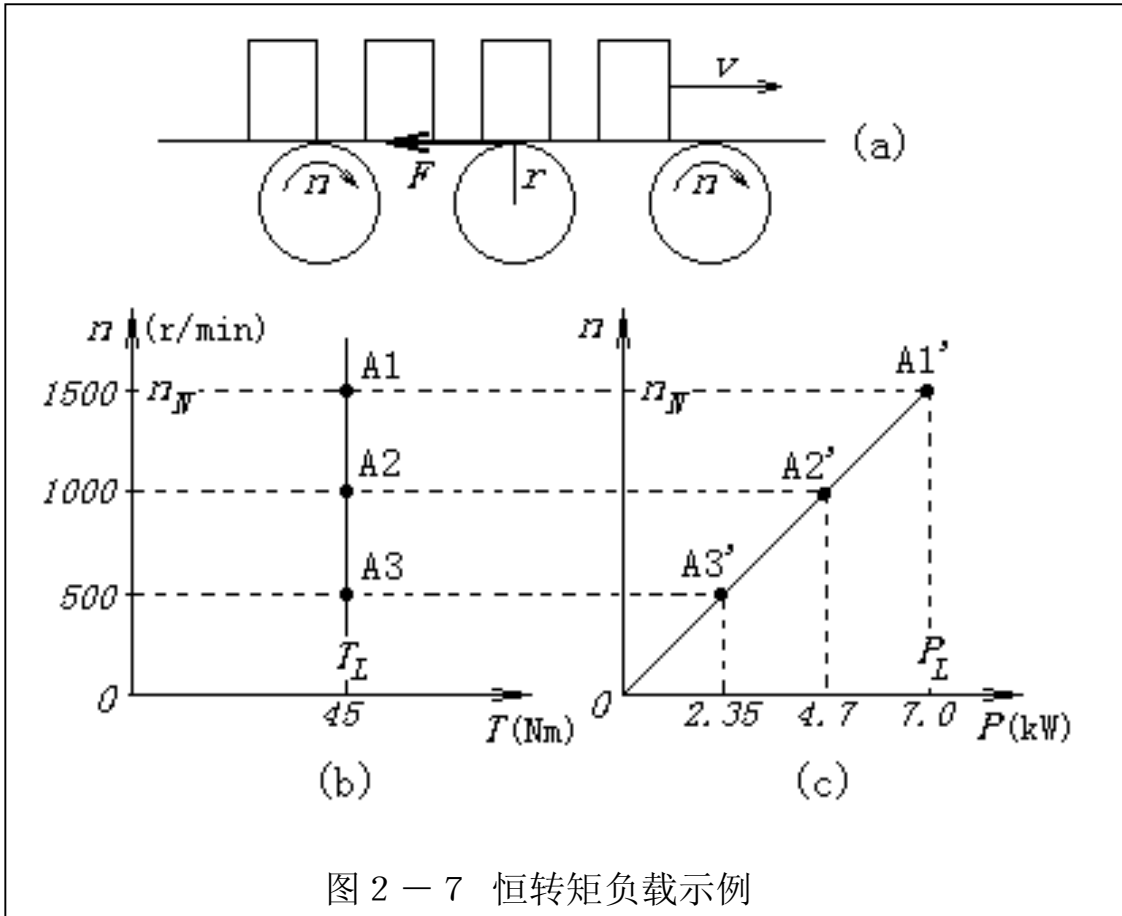
邮箱：powtran@powtran.com

一. 基本关系要牢记

二. 负载条件是上帝

(一) 转矩变化看特性

1. 恒转矩负载



$T_L = F \cdot r$
 F —— 磨
 擦力, r ——
 滚轮半径, 都
 和 n_L 无关。

$P_L = T_L$
 $n_L / 955$
 $0 \propto n_L$

特点:

图 2-7 恒转矩负载示例

$T_L = \text{const}$

$P_L = K_P n_L$

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址: 深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话: 0755-29666234 29666280

传真: 0755-29666485

邮箱: powtran@powtran.com

2. 恒功率负载

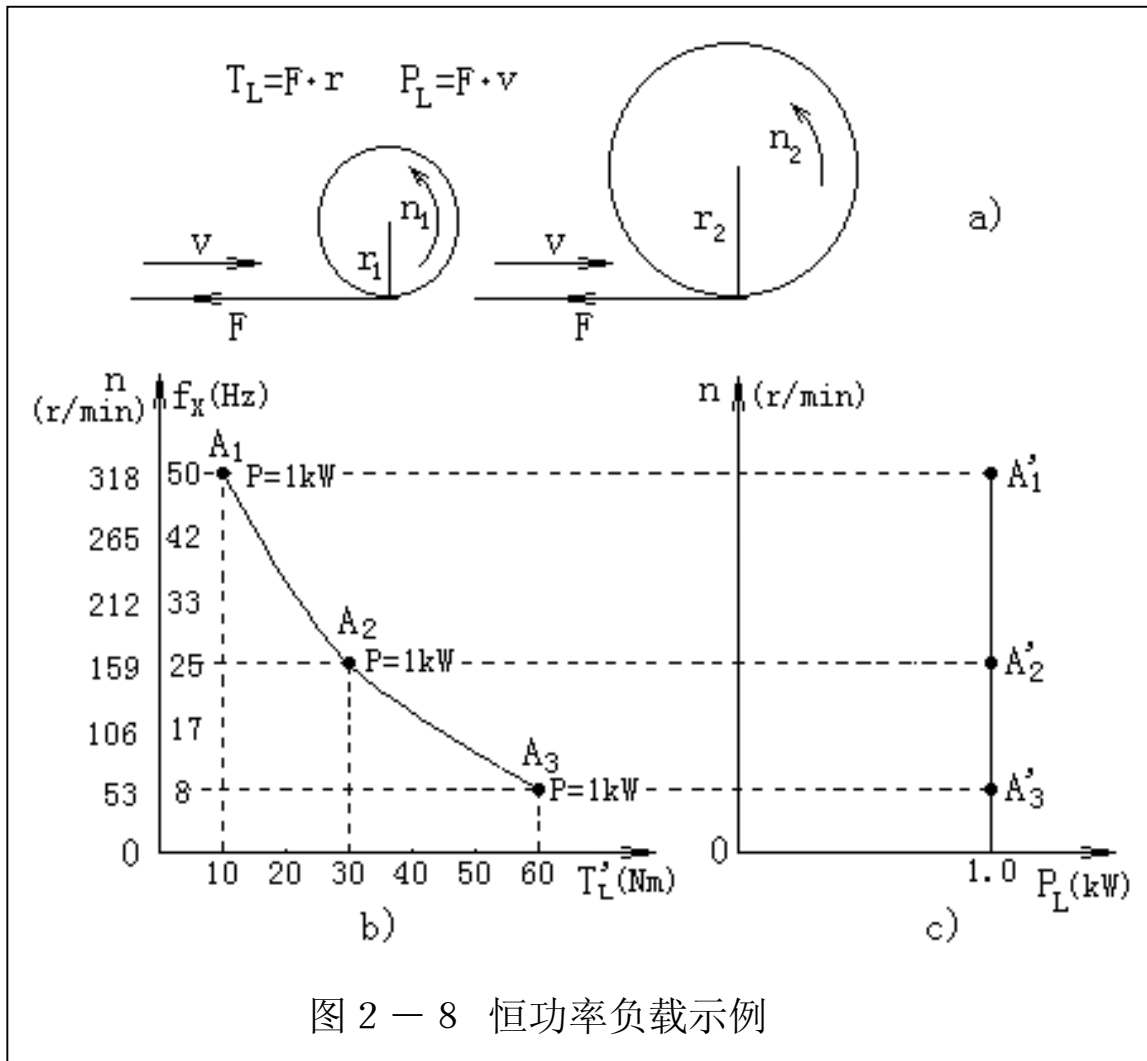


图 2-8 恒功率负载示例

$T_L = F \cdot r$
 F —— 薄膜张力，要求恒定；
 v —— 薄膜线速度，也要求恒定。
 r —— 卷取半径。随着 r 越卷越大：
 (1) ∴ F 恒定， ∴

T_L 增大；(2) ∴ v 恒定， ∴ n_L 必减小。

特点：

$$P_L = \text{const}$$

$$T_L = K_T (P_L / n_L) = K_T (1 / n_L)$$

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

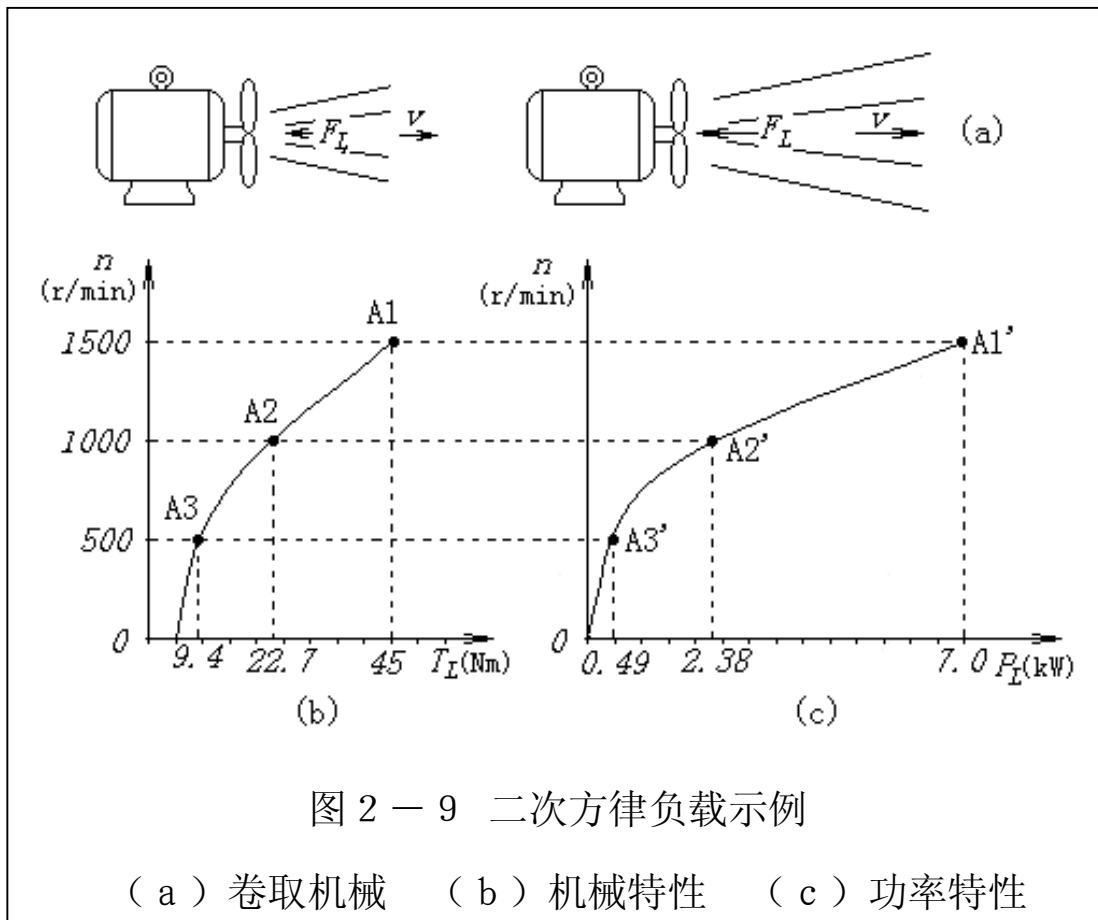
地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

3. 二次方律负载



特点:

$$T_L = K_T \cdot n_L^2$$

$$P_L = T$$

$$L \cdot n_L / 955$$

0

$$= K_T \cdot n$$

$$L^2 \cdot n_L / 95$$

50

$$= K_P \cdot n_L^3$$

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址: 深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话: 0755-29666234 29666280

传真: 0755-29666485

邮箱: powtran@powtran.com

4. 混合特性负载

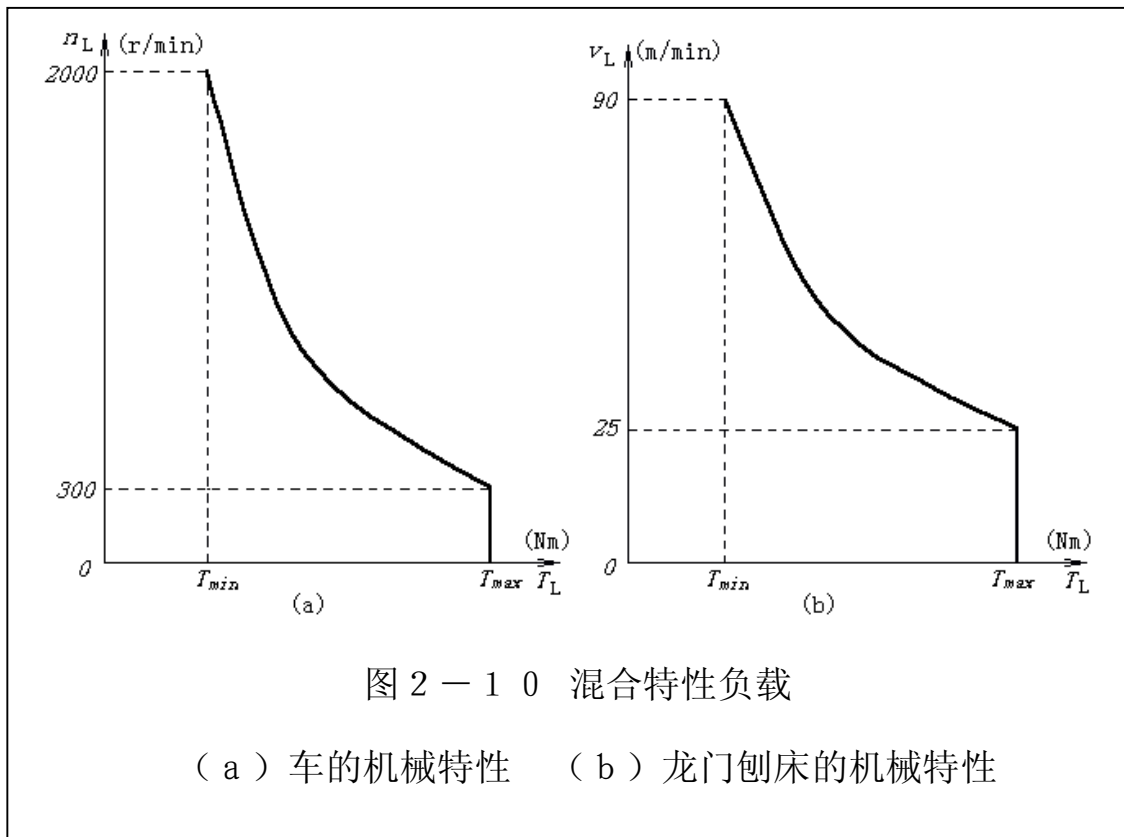


图 2-10 混合特性负载

(a) 车的机械特性 (b) 龙门刨床的机械特性

混合型机械特性主要见于各类金属切削机床中。

特点：

(1) 低速段：阻转矩由切削力构成，具有恒转矩特性；

(2) 高速

段：受床身机械强度的限制，只能恒功率调速。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 转矩变化看特性

(二) 发热要由工况定

电动机的温升曲线

图中：

θ_N ——额定状态下的稳

τ ——发热时间常数。

曲线①——实际温升曲

曲线②——不散热情况下

根据负载工况的不同，电

点也不相同，一般说来，可分

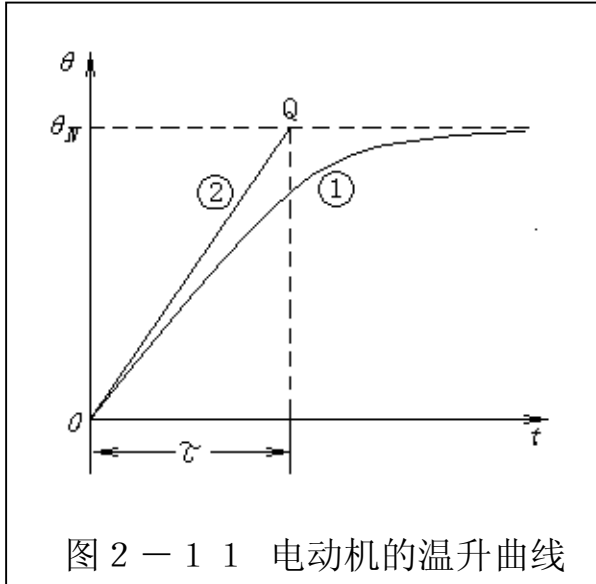


图 2 - 1 1 电动机的温升曲线

定温升；

线；

的温升曲线。

动机的温升特

为：

1. 连续负载 如图 2 - 9 所示

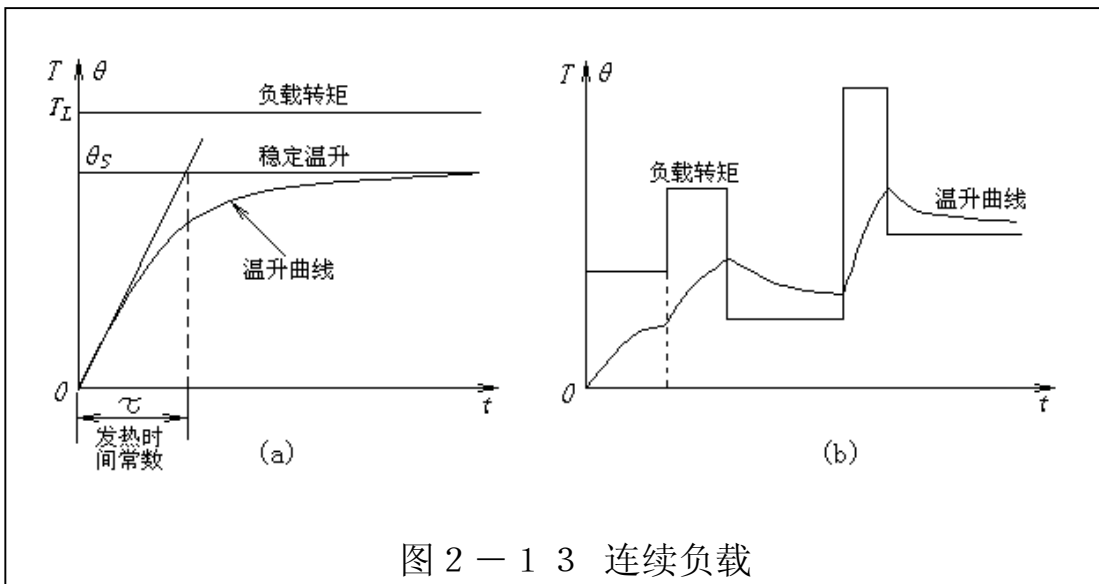


图 2 - 1 3 连续负载

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

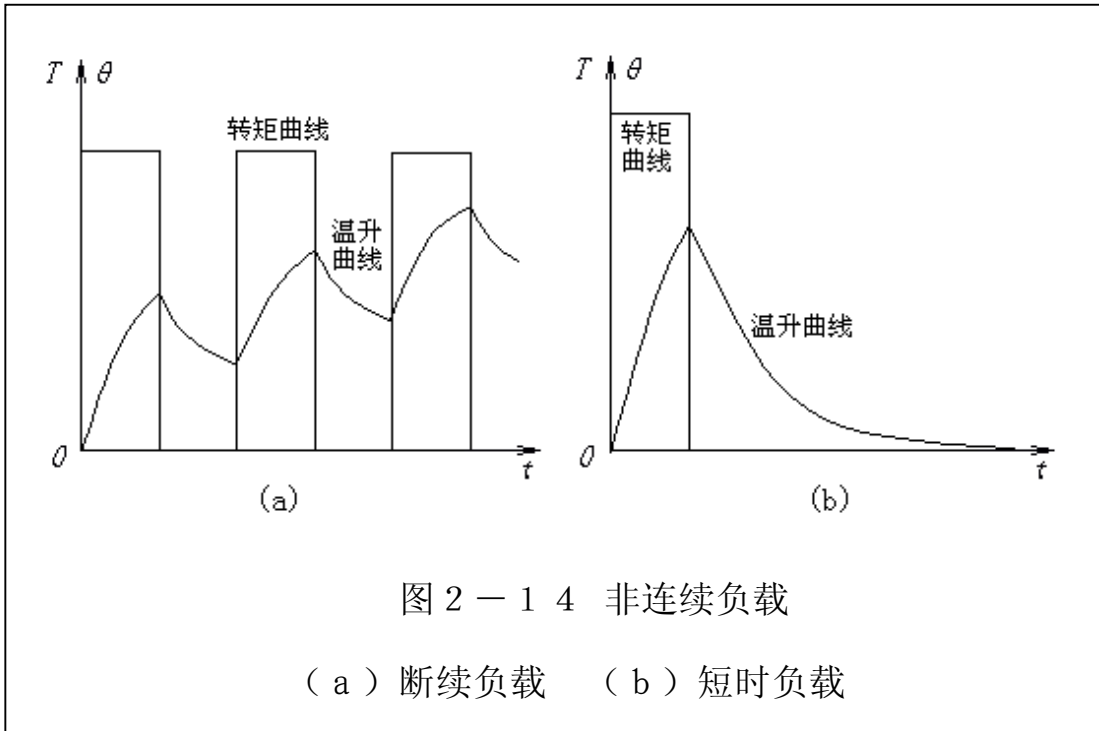
地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

2. 断续负载和短时负载



短时负载举例

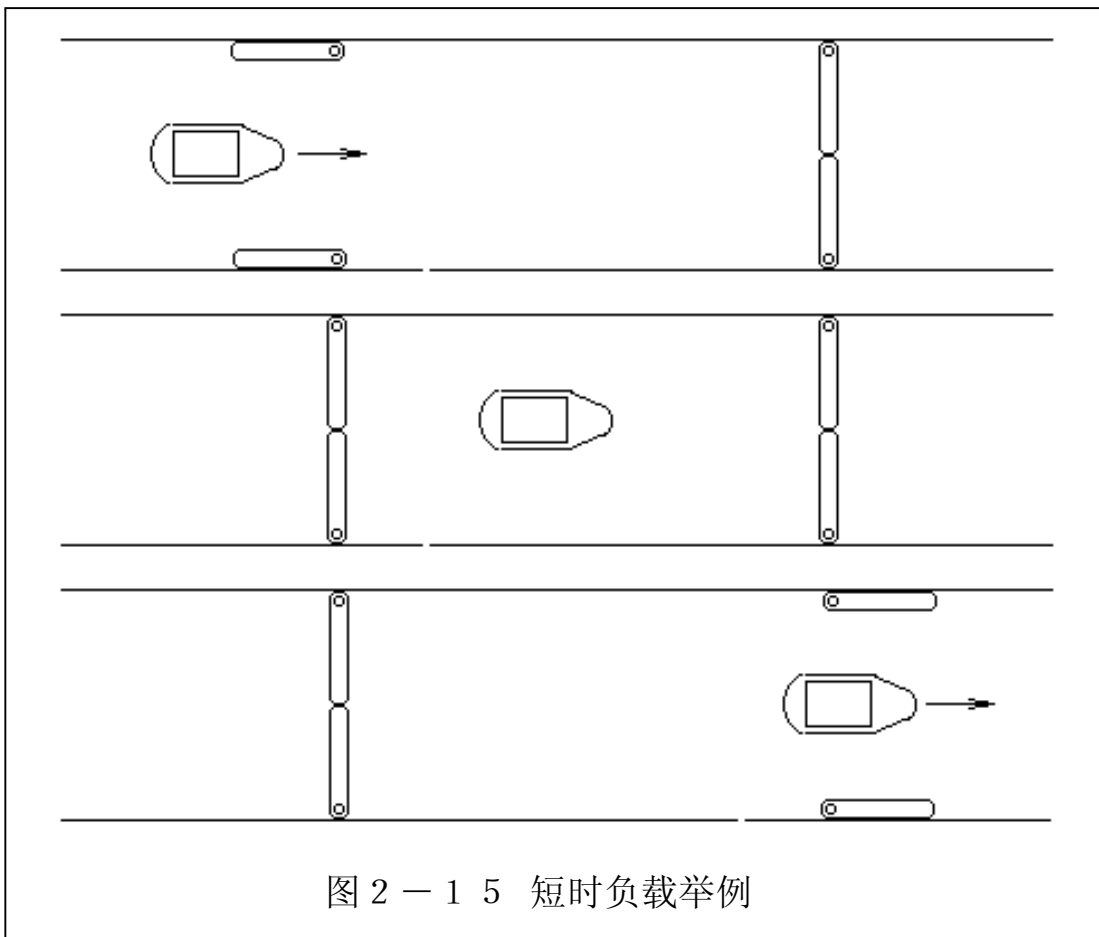
例

一. 基本关系要牢记

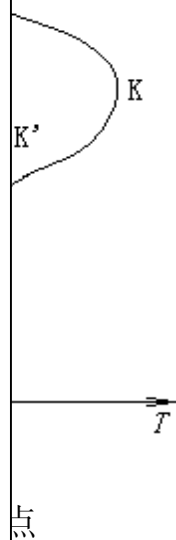
二. 负载条件是上帝

三. 变频本领须有底

(一) 能力须瞧有效线



1. 有效转



矩线的定义

把不同频率下的有效工作点联接起来，便得到异步电动机在变频调速时的有效转矩线，如图 2-16 所示。

有效转矩线只表明拖动系统能够正常运行的工作范围，拖动系统的工作点通常不在有效转矩线上，如图 2-18 所示。

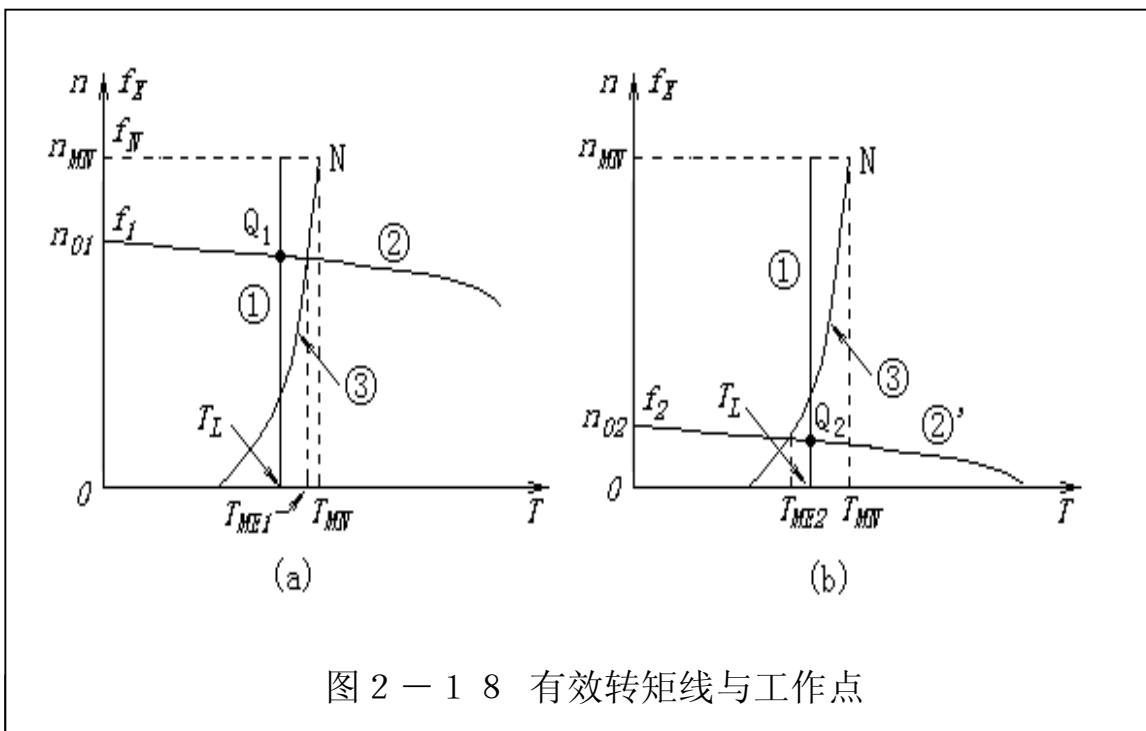


图 2-18 有效转矩线与工作点

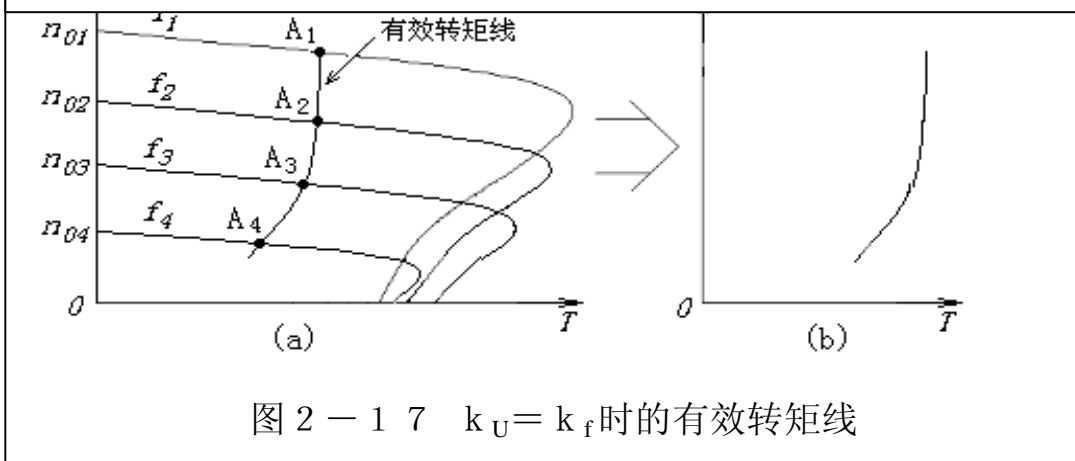


图 2-17 $k_U = k_f$ 时的有效转矩线

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 能力须瞧有效线

(二) 低频散热是关键

1. 完全补偿的有效转矩线

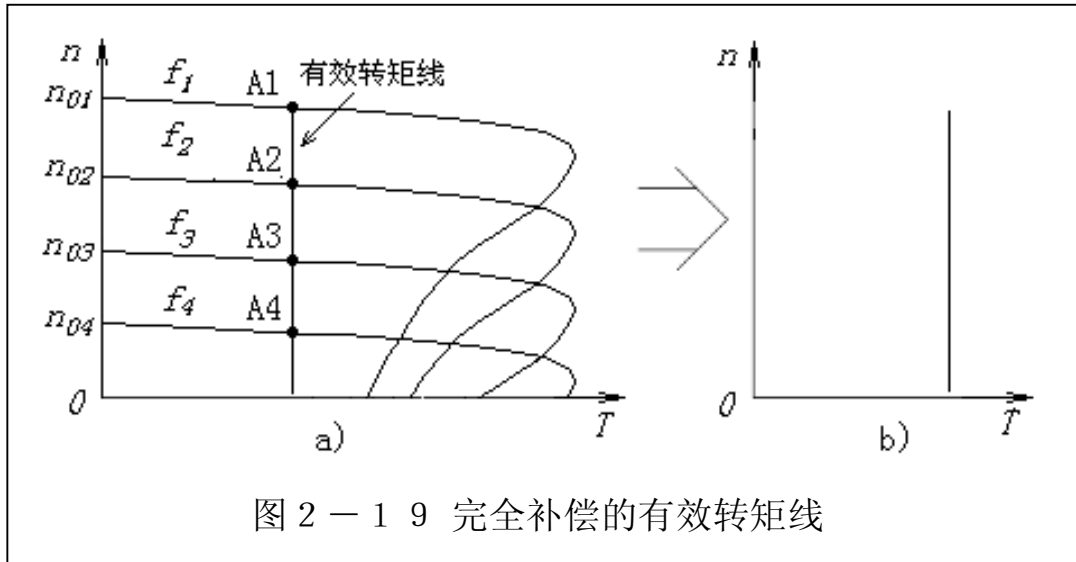


图 2 - 1 9 完全补偿的有效转矩线

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

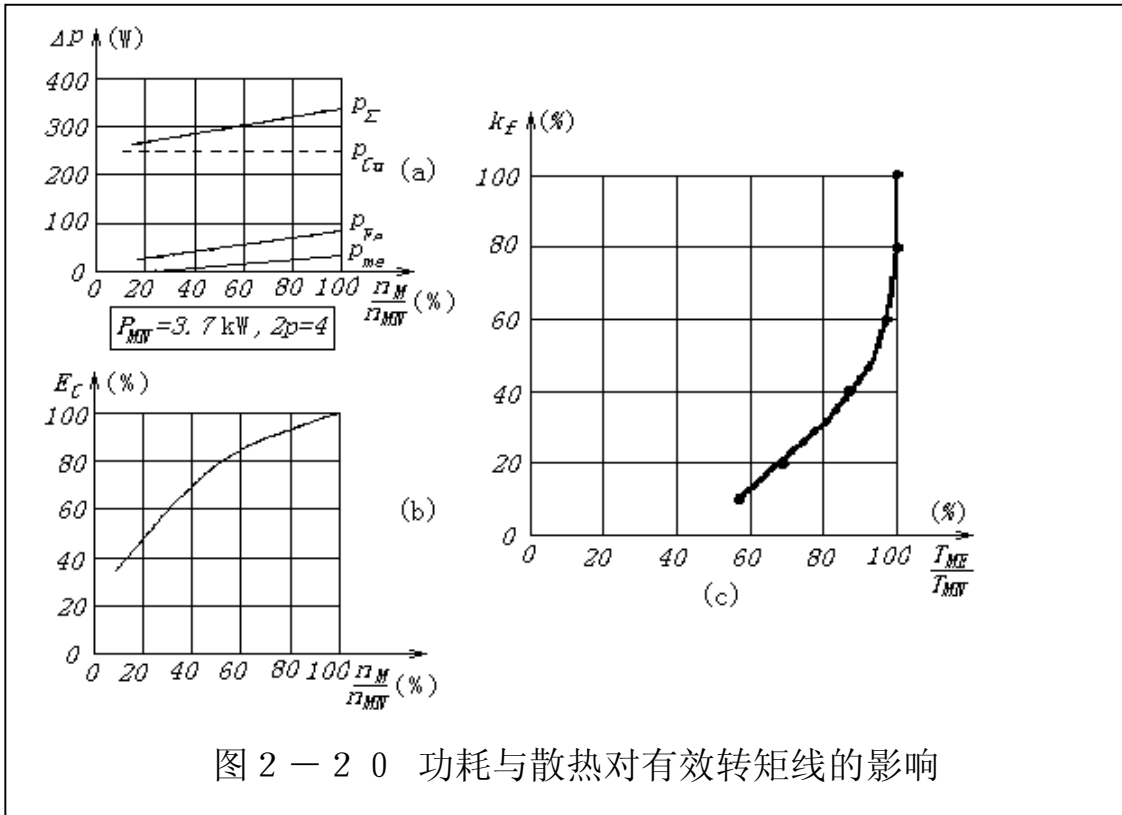
地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

2. 功耗与散热



3. 实际有效转矩线

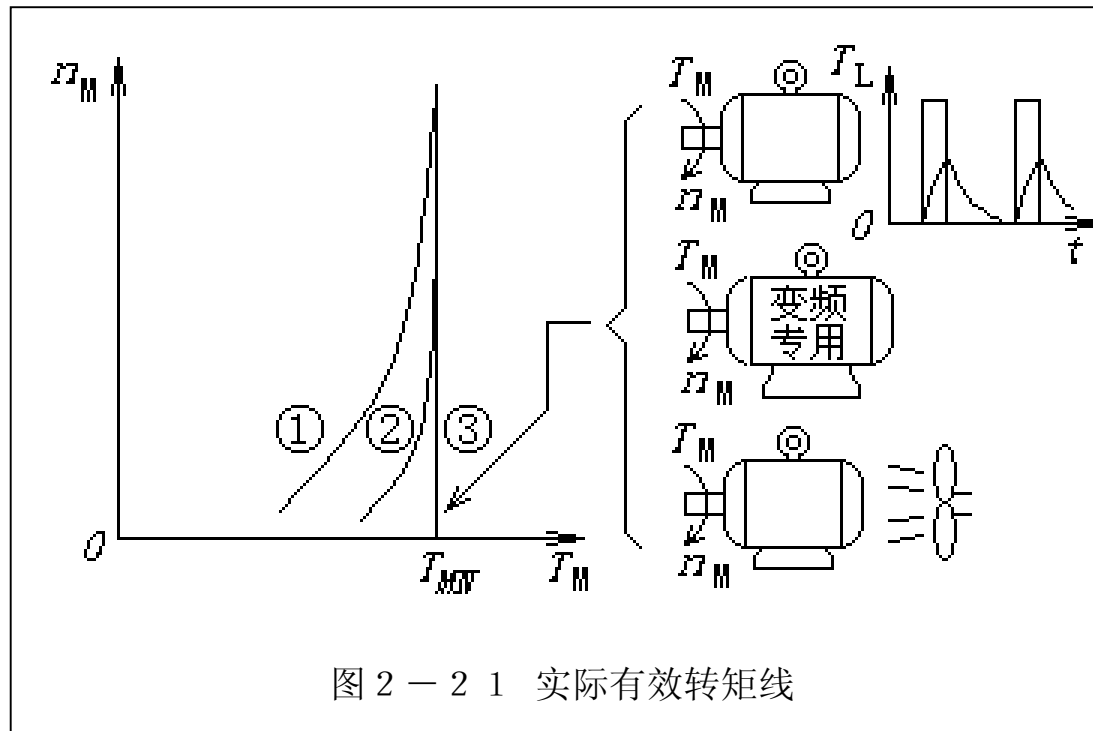


图 2-21 实际有效转矩线

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址: 深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话: 0755-29666234 29666280

传真: 0755-29666485

邮箱: powtran@powtran.com

(一) 能力须瞧有效线

(二) 低频散热是关键

(三) 高频功率不能变

∴ 当 $f_X > f_N$ 时, $U_X = U_N = \text{const}$

∴ $P_{IX} = 3 U_N I_N \cos \phi_1 \approx P_N = \text{const}$

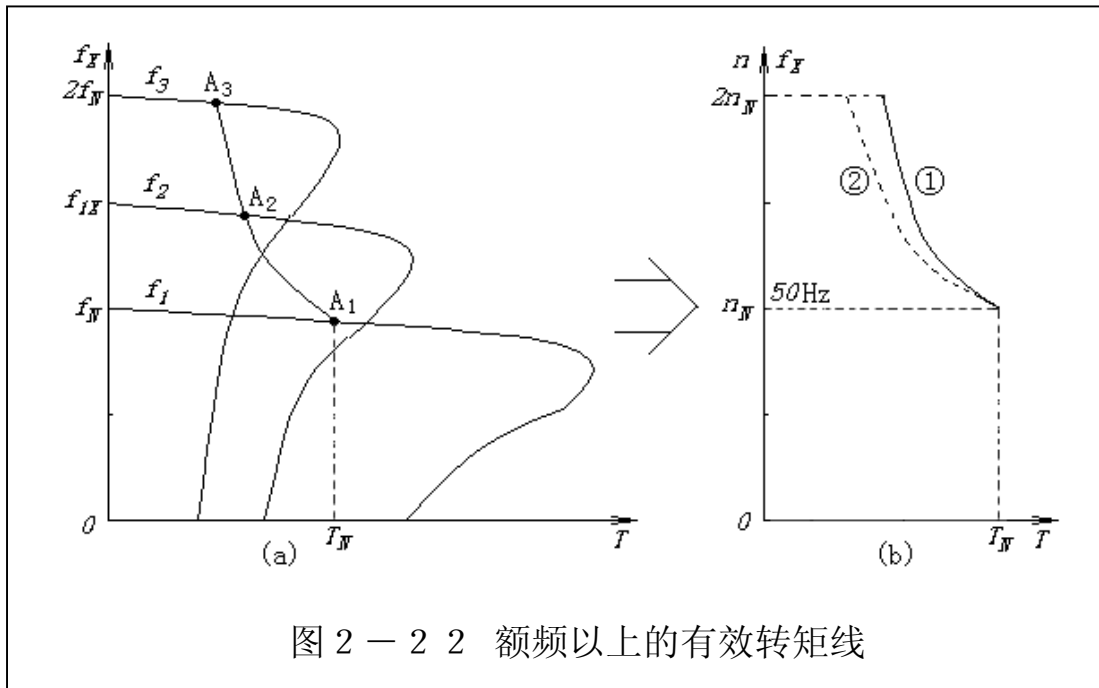


图 2 - 2 2 额频以上的有效转矩线

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址: 深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话: 0755-29666234 29666280

传真: 0755-29666485

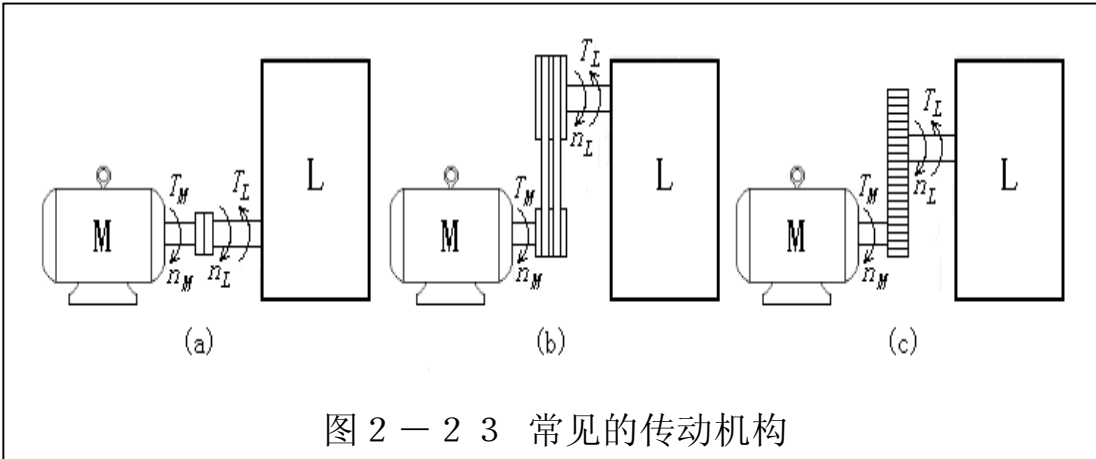
邮箱: powtran@powtran.com

一. 基本关系要牢记 二. 负载条件是上帝

三. 变频本领须有底

四. 传动机构细算计

(一) 机械功率要传递



传动比:

$$\lambda = n_M / n_L$$

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址: 深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话: 0755-29666234 29666280

传真: 0755-29666485

邮箱: powtran@powtran.com

(一) 机械功率要传递

(二) 能量守恒须牢记

$$P_M = T_M n_M / 9550; P_L = T_L n_L / 9550$$

$$P_M \approx P_L$$

$$n_L = n_M / \lambda$$

$$T_L = T_M \cdot \lambda$$

可见，经传动机构减速后：

- (1) 负载侧的转速下降，
- (2) 但转矩增大。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 机械功率要传递

(二) 能量守恒须牢记

(三) 折算为了坐标系

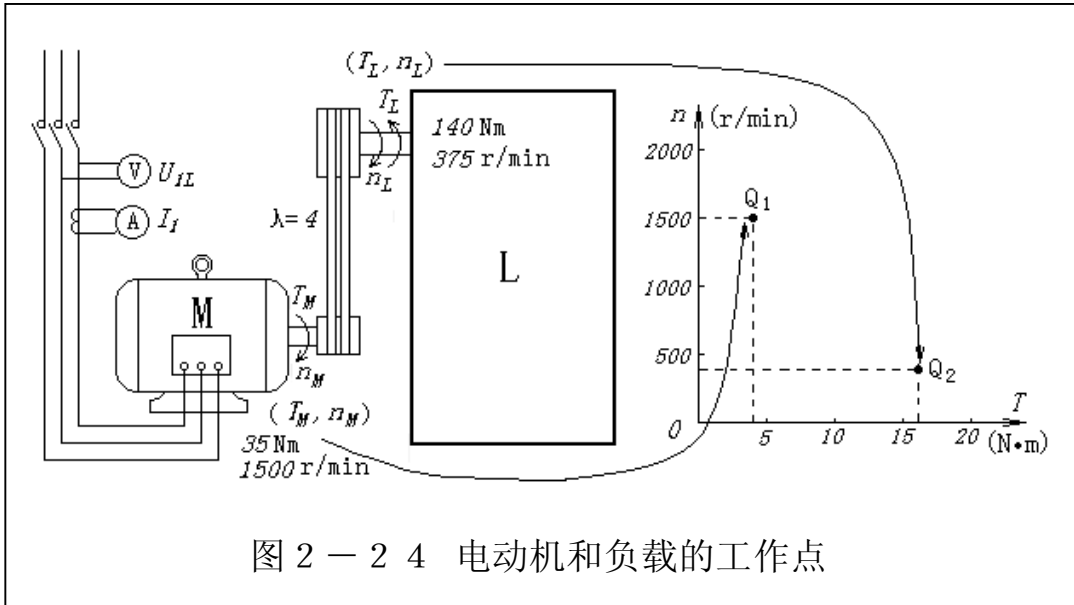


图 2-24 电动机和负载的工作点

图中，电动机的工作点 Q_1 ：
(3.5, 1500)

负载的工作点 Q_2 ：
(14, 375)

折算公式：

$$n_L' = n_L \cdot \lambda = n_M$$

$$T_L' = T_L / \lambda$$

$$(GD^2)' = (GD^2) / \lambda^2$$

物理意义

经传动机构减速后：

- (1) 电动机轴上的负载减轻；
- (2) 电动机轴上的飞轮力矩大为减小。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 机械功率要传递

(二) 能量守恒须牢记

(三) 折算为了坐标系

(四) 遇事常想传动比

1. 传动比与电动机的容量

实例：某负载： $T_L = 89 \text{ N} \cdot \text{m}$ ； $n_L = 375$

r / min ； $P_L = 3.5 \text{ kW}$ 。

电动机： $2p = 4$ ； $n_{MN} \approx n_{M0} = 1500 \text{ r} / \text{min}$ ， $s \approx 0$ 。

$\lambda = 1$

(1) 电动机的转速 因为 $\lambda = 1$ ，所以：

$$n_{MX} = n_L = 375 \text{ r} / \text{min}$$

因 $p = 2$ 、 $s \approx 0$ ，故工作频率：

$$f_x = \frac{pn_{MX}}{60} = 12.5 \text{ Hz}$$

(2) 电动机的转矩

因为 $\lambda = 1$ ，所以： $T_{MN} = T_L = 89 \text{ N} \cdot \text{m}$

(3) 电动机的容量

$$P_{MN} = \frac{89 \times 1500}{9550} = 13.98 \text{ kW}$$

选用 $P_{MN} =$

15 kW 的电动机。

(4) 说明：

15 kW 的电动机运行在 12 .

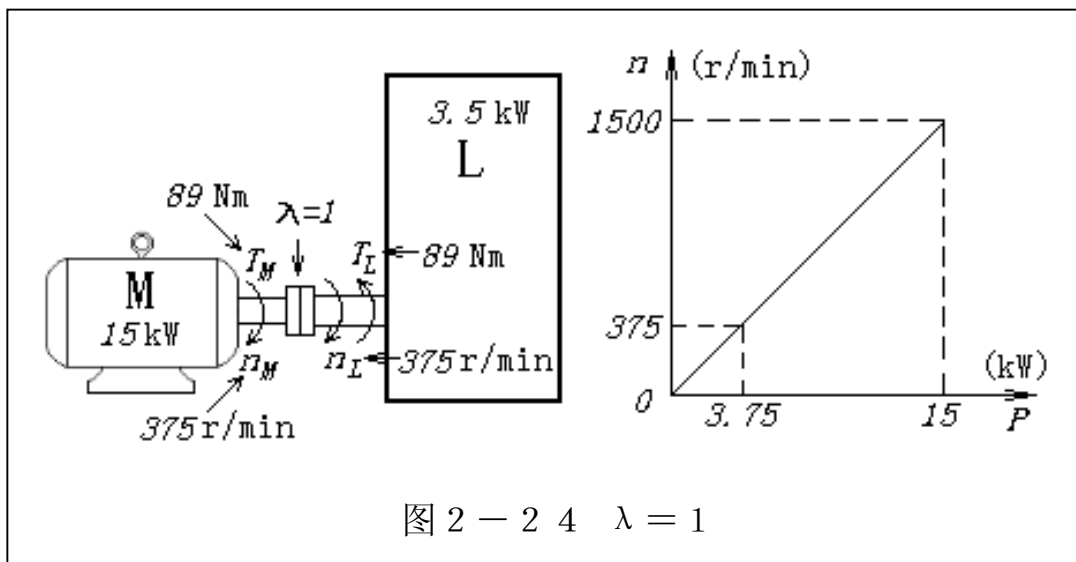


图 2-24 $\lambda = 1$

5 H z 时，其输出功率只有 3 . 7 5 k W。

$$\lambda = 2$$

(1) 电动机的转速 因为 $\lambda = 2$ ，所以：

$$n_{MX} = n_L' = 375 \times 2 = 750 \text{ r/min}$$

工作频率 因为

$p = 2$ 、 $s \approx 0$ ，所以：

$$f_X = \frac{pn_{MX}}{60} = 25 \text{ H z}$$

(2) 电动机的转矩 因为 $\lambda = 2$ ，所以：

$$T_{MN} = T_L' = 89 / 2 = 44.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 电动机的容量

$$P_{MN} = \frac{44.5 \times 1500}{9550} = 7.0 \text{ kW}$$

选用 $P_{MN} = 7.5 \text{ kW}$ 的电动机。

(4) 说明：

7.5 kW

的电动机运行

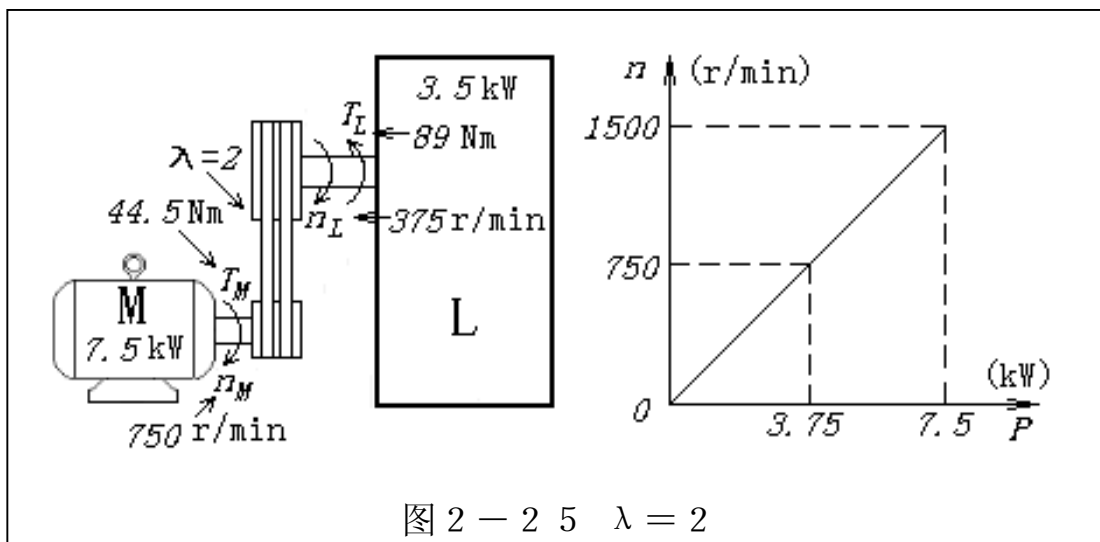
在 25 H z 时，

其输出功率只

有 3.75 k

W。

$\lambda = 4$



(1) 电动机的转速

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

因为 $\lambda = 4$ ，所以：

$$n_{MX} = n_L' = 375 \times 4 = 1500 \text{ r/min} = n_{MN}$$

明显的是，因为电动机的转速等于额定转速，所以，其工作频率也必等于额定频率：

$$f_X = f_N = 50 \text{ Hz}$$

(2) 电动机的转矩 因为 $\lambda = 4$ ，所以：

$$T_{MN} = T_L' = 89 / 4 = 22.25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 电动机的容量

$$P_{MN} = \frac{22.25 \times 1500}{9550} = 3.5 \text{ kW}$$

选用 $P_{MN} = 3.7 \text{ kW}$ 的电动机。

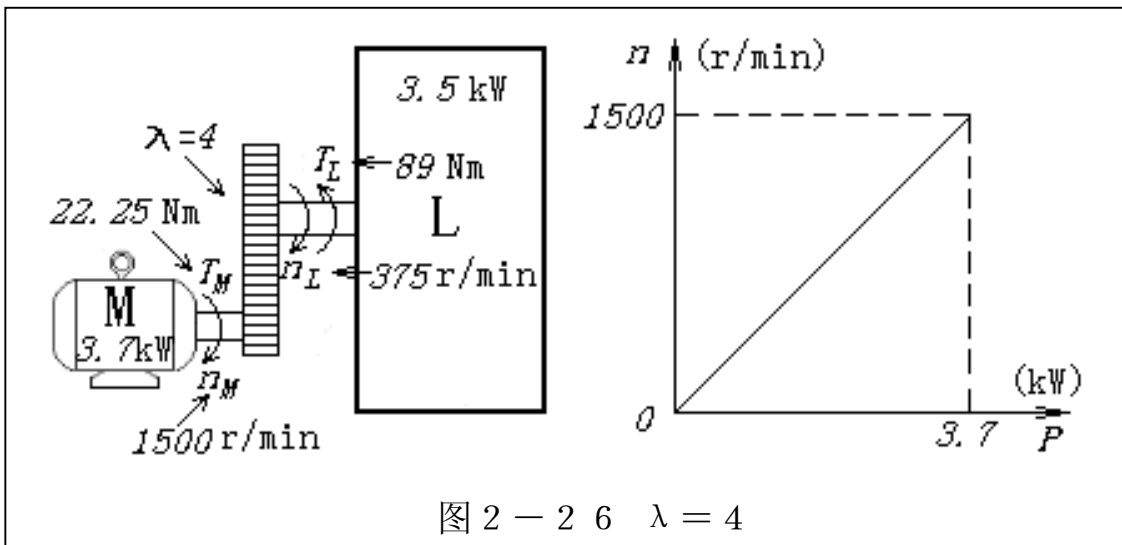


图 2-26 $\lambda = 4$

2. 传动比与电动机的启动

某锯片磨床，卡盘直径

达 2 m。

传动比为 $\lambda = 5$ ，
电动机的容量为 3.7 kW。

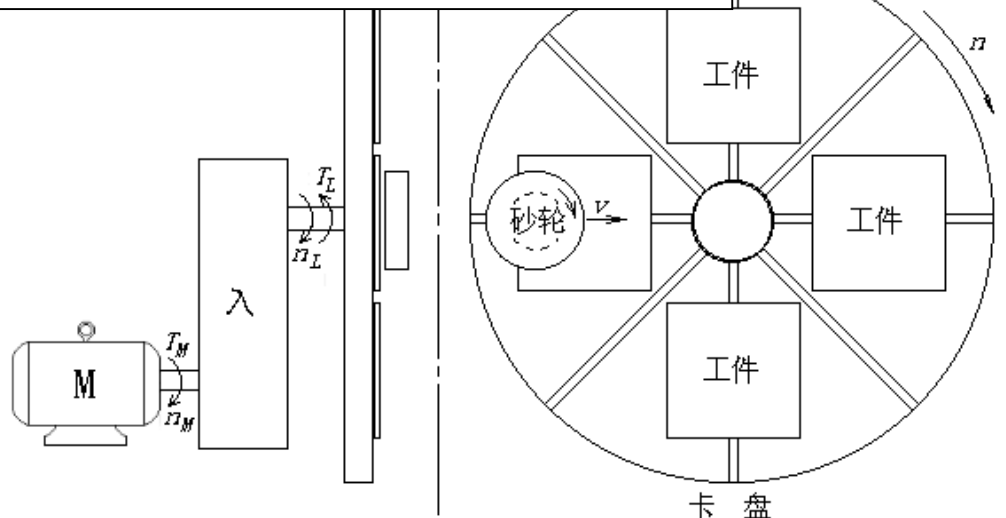


图 2-27 锯片磨床示意图

存在问题：

起动较困难。

起动困难的原因：卡盘的飞轮力矩（ $G D^2$ ）太大。

解决办法：将传动比增大为 $\lambda = 7.5$ 。

将传动比增大后，卡盘可以在 5 s 内起动起来。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

- 一. 基本关系要牢记
- 二. 负载条件是上帝
- 三. 变频本领须有底
- 四. 传动机构细算计

五. 选用变频要仔细

(一) 变频影响应有数

1. 对电流的影响

有关资料表明, 同为 50 Hz、输出额定转矩时, 变频时的电流约增大 (5 ~ 10) %。

2. 对磁路的影响

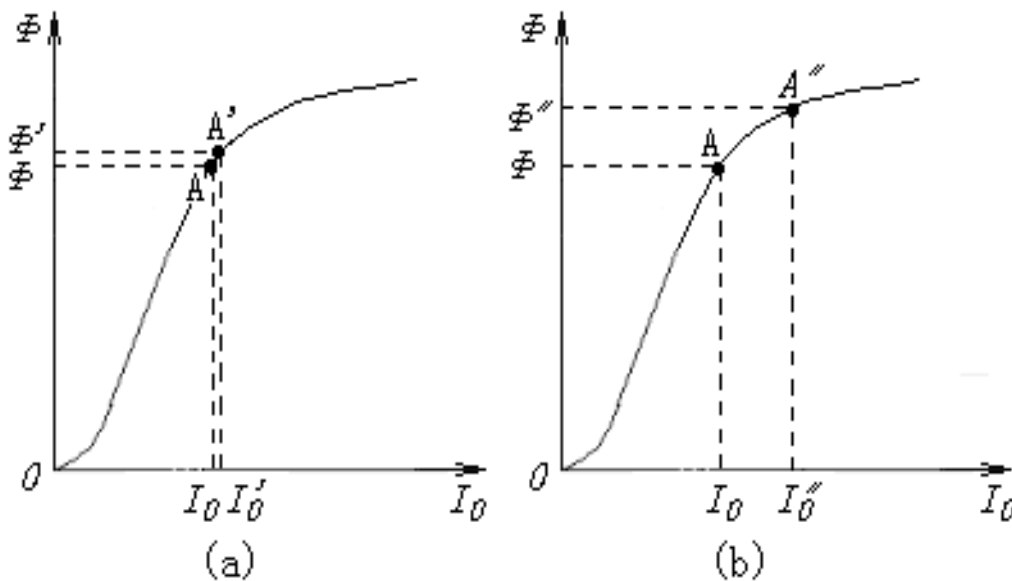


图 2 - 2 8 变频对磁路的影响

(a) 工频运行 (b) 运行在 10 Hz

3. 对发热的影响

4. 对效率和功率因数的影响

(1) 对效率的影响

与工频运

行相比, 同样

工作在 50 Hz

z 下, 变频时电动机的效率略低。

(2) 对功率因数的影响

电动机的功率因数也略有下降。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址: 深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话: 0755-29666234 29666280

传真: 0755-29666485

邮箱: powtran@powtran.com

5. 对电机绝缘的影响

普通电动机在进行变频调速时，绝缘较易击穿。

(一) 变频影响应有数

(二) 专用电机有建树

1. 加强散热

风扇设置在电动机外部，并直接与 380 V 相接。

2. 加强槽绝缘

使槽绝缘能足够抵御电压脉冲的冲击。

3. 增大了电磁负荷

使磁路不易饱和。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 变频影响应有数

(二) 专用电机有建树

(三) 品牌繁多要有谱

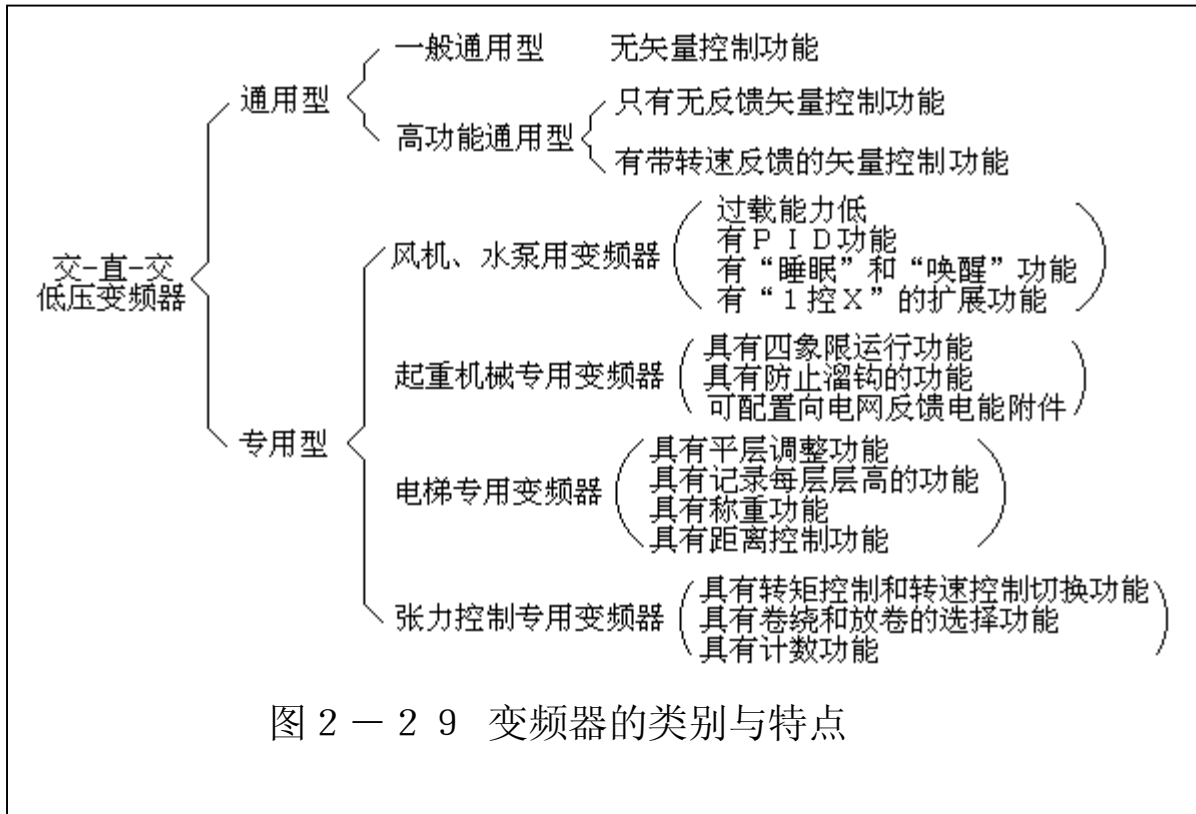


图 2 - 2 9 变频器的类别与特点

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO.,LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com

(一) 变频影响应有数 (二) 专用电机有建树

(三) 品牌繁多要有谱

(四) 选择原则须评估

1. 容量选择

(1) 风机、水泵：按说明书的配用电动机容量选择。

(2) 恒转矩与恒功率负载：如运行中经常过载者，应考虑加大变频器的容量。

2. 型号选择（专用者除外）

(1) 对机械特性及调速范围要求不高者，尽量采用一般通用系列。

(2) 对机械特性及调速范围要求较高者，应选用具有矢量控制功能的变频器，一般情况下，尽量采用无反馈矢量控制即可。

(3) 对动态响应有较高要求者，选用有反馈矢量控制模式。

3. 品牌选择

(1) 一般情况下，尽量选用国产变频器，有利于维修。

(2) 对于一旦发生故障，造成重大损失甚至可能对人身安全构成威胁者，则应选择高品牌变频器。

深圳市普传科技有限公司

SHENZHEN POWTRAN TECHNOLOGY CO., LTD

地址：深圳市宝安区西乡街道宝民二路 75 号兴鑫源商务大厦 A 座 普传科技大楼

电话：0755-29666234 29666280

传真：0755-29666485

邮箱：powtran@powtran.com