

# 机柜结构强度和刚度设计浅析

长征电气控制设备厂 吴伯成

## 摘 要

本文通过引用力学公式, 常规数据及其他行业的实践经验, 对三种典型的机柜结构形式和有关构件进行实例和效果分析。在机柜设计中, 选择合适的结构形式, 采用起伏成形等工艺, 对降低钢材的消耗, 创造直接经济效益及改善机柜的外观质量起着明显的作用。

## 一、综 述

由制造厂负责制造和组装的某种电控设备装置, 当已确认符合某一被控对象的要求与相应的标准时, 机柜的结构设计, 在保证整套装置可靠运行的情况下, 尽可能降低原材料消耗和构件的种类及数量, 简化构件的加工工艺(包括通用模具的选择)。这是提高装置经济效益的一条重要途径。

图1、图2、图3是三种典型的防护式机柜的结构形式。实例分析说明它们的防护

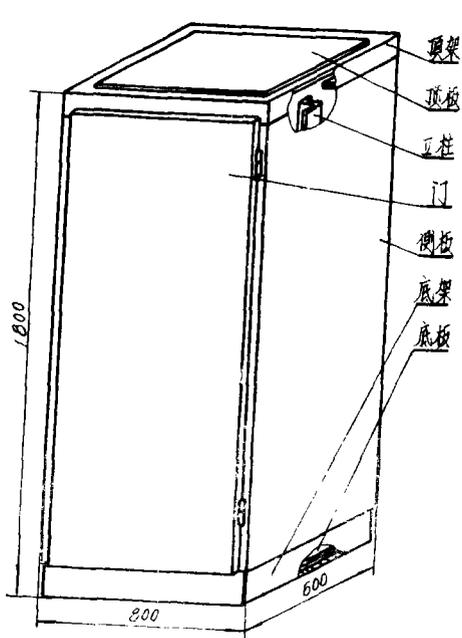


图1 电控柜

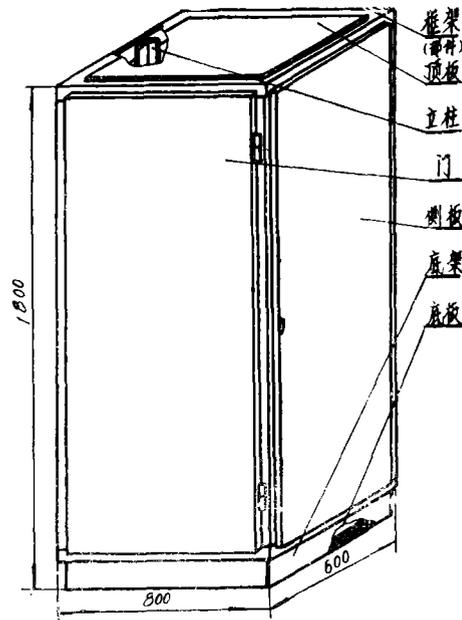


图2 电控柜

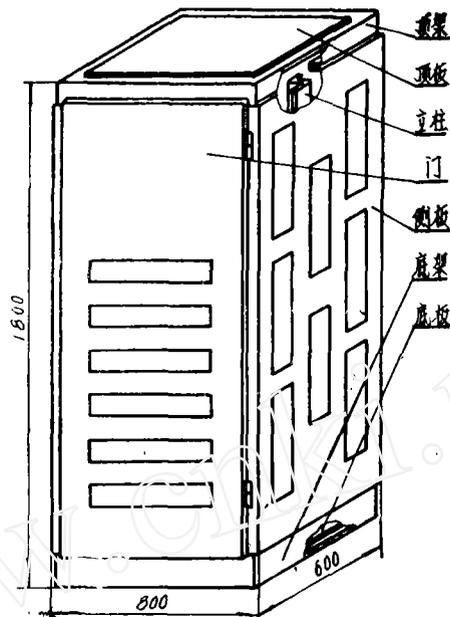


图 3 电控柜

等级和结构强度是基本一致的。如果整套装置对机柜的防护等级和结构强度的要求是等同的，那么通过材料消耗等指标的分析，可以发现它们之间的经济效益却有着一定的差别。就材料成本来比较，图 2 比图 1 下降了 17% 左右。图 3 由于采用了起伏成形工艺，在强度不降低的情况下，可选用较薄的板材，因此与图 2 相比又下降了 19% 左右。而且外观质量更加美观。

## 二、实例分析

### 1. 外壳的防护等级

图 1 机柜的外壳由顶板、框架、侧板、门、底架、底板等构件组成。图 2 和图 3 机柜的外壳是由顶板、顶架、侧板、门、底架、底板等构件组成。因此，三种外壳防护部分的结构形式是基本一致的。如果加工质量是相同的，那么外壳的防护等级也应该是相同的，可不低于 IP30 [1]。简易试验方法：可用一根  $\phi 2.5$  钢丝，在有间隙的部位进行“阻挡”试验来得到证实。

### 2. 底架的强度

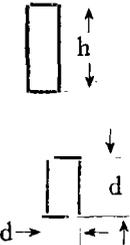
由于装置的总载荷全部集中在底架上，因此底架是一个承重构件。底架的强度，按照外力作用的不同，可分为抗压强度，抗弯强度及抗扭强度。因为底架的结构（见图 4）及安装的形式（固定式）相同，所以考核底架的强度，主要为局部抗压强度（ $P_{lc}$ ）。为了方便起见，把局部受压图形简化为矩形截面立柱（见表 1）来分析。按常规用经验计算公式如下：

$$P_{bc} = \sigma_s \cdot A \cdot \sigma_w$$

式中： $\sigma_s$ ——屈服强度； $A$ ——截面积； $\sigma_w$ ——稳定系数。

四种不同情况的计算结果见表1。

表1 抗压强度

矩形立柱	高度h mm	宽度b mm	厚度d mm	截面积A mm <sup>2</sup> ②	稳定系数 $\sigma_w$ ①	屈服强度 $\sigma_s$ ③	抗压强度 $P_{bc}$
	110	40	4	80	0.2	25kgf/mm <sup>2</sup>	400kgf
			5	100	0.22		550kgf
	110		4	80+70	0.24		900kgf
			6	120	0.26		780kgf

注：（1）稳定系数 $\sigma_w$ 是按实际经验求得的， $\sigma_w$ 与 $h/d$ 的值成反比。

（2）计算截面积 $A$ 时，厚度 $d$ 取材料的厚度之半，即 $t/2$ 。其中

$A = 80 + 70 = 150\text{mm}^2$ 是包括加强板（见图4）的截面积。

（3）取 $A_s$ 碱性平炉钢实测数据的下限值。

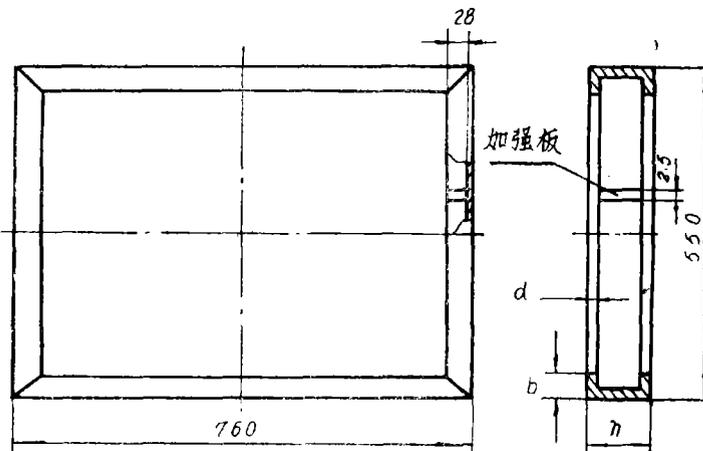


图4 底架

根据以上较保守的计算结果来分析，当装置的总载荷小于或等于800kgf情况下，选用2mm钢板，底架的强度已能满足使用要求了。当底架需要重载时，在设计中也不宜增加材料厚度，而应采用增设加强板或加强筋的方法，以及合理地选取截面尺寸，来提

高构件的抗压强度。

### 3. 外壳的刚度

外壳的刚度，可分为扭转刚度和弯曲刚度。在结构形式基本一致的情况下，影响外壳刚度的主要因素是构件的轮廓尺寸（即弯边尺寸），而不是材料的厚度。从下面的力学公式可以清楚地说明，轮廓尺寸（见表2），特别是变形量（ $f_p$ ）与弯边高度（ $h$ ）的立方成反比，因而增加 $h$ 尺寸对减少变形起着有效的作用。公式如下：

$$f_p = \frac{p \cdot L^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot h^3} \quad [2]$$

式中： $f_p$ —变形量； $P$ —外压力， $L$ —构件的长度（支承间距）；  
 $b$ —构件的宽度； $h$ —构件的高度（弯边尺寸）； $E$ —弹性模量。

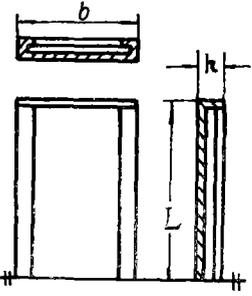
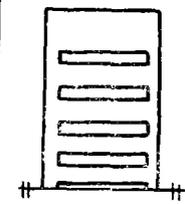
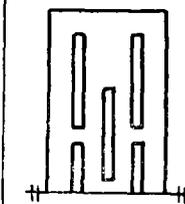
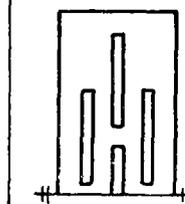
但对于外形尺寸较大的构件（如侧板、门等），虽然这些构件不存在“失稳”现象，当变薄材料的厚度时，也将影响中心平面部分的抗变形能力。如出现这种情况时，也不宜增加弯边尺寸，而应采用起伏成形工艺，即在平面部分压制加强筋。这对提高构件的强度，特别是提高加强筋周围抗变形强度（ $\sigma_e$ ），有较好的效果。对于这方面的问题，可以从下面公式得到证实：

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot b^2 (1 - \mu^2)} = (1324 \frac{t}{b})^2 \text{ kgf/cm}^2 \quad [3]$$

式中： $E$ —弹性模量取  $2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ （A3钢）；  
 $\mu$ —泊松比取0.25（A3钢）；  
 $t$ —平板厚度（或起伏成形高度，一般为3t，即实际拉深2t）；  
 $b$ —平板宽度。

当然，根据构件的用途，正确选择加强筋在平面上的位置，对提高构件的刚度也起着一定的作用。几种加强筋布置图形及有关的判据见表2。较理想的加工大型薄板件中的超长起伏图形的工艺手段是在弯边机上进行的。〔4〕

表2 加强筋布置图形及相对刚度的比值

相对弯曲刚度 $a_1 = 1$	$a_1 = 1.15$	$a_1 = 1.20$	$a_1 = 1.15$
相对扭转刚度 $a_2 = 1$	$a_2 = 1.25$	$a_2 = 1.20$	$a_2 = 1.15$
			

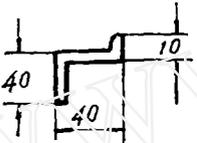
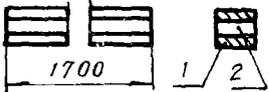
根据以上分析的结果及成熟的经验可以说明,在材料厚度相同的情况下,外壳的整体刚度主要取决于以下三个因素:

- (1) 整体的结构形式;
- (2) 立柱及安装板的支撑形式(如图2);
- (3) 构件轮廓尺寸及加强筋的正确设置。

#### 4. 立柱的强度

立柱的支撑强度主要是依据底架的抗压强度。因此当装置的总载荷小于或等于800kgf情况下,那么立柱有400kgf的支撑强度,就足以满足使用要求了。表3是三种长度为1700mm,不同形式立柱的材料消耗比较。

表3 3种形式立柱的材料消耗情况

立柱形式	材料规格	材料重量
	2.5 钢板 A3	2.686 kg
	40 × 40 × 3 角钢 A3	4.114 kg
	1.6 × 30 A3 扁钢 2 φ10 A3 圆钢	4.804 kg

从表中可以看出,最后一种立柱形式,除了给安装板的设计带来一些方便以外,在其它方面显然是不可取的。

#### 5. 结构工艺性

图5、图6、图7、图8(大型门除外)是四种外形尺寸相同、不同弯边形式的构件。单从构件之间的相对刚度来讲,前面比后面依次强一些(其中图5、图6相同)。

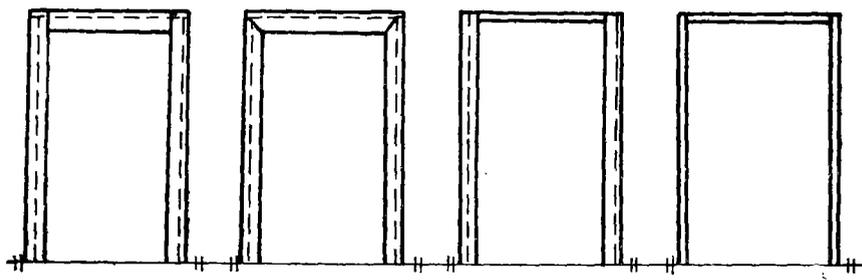


图5

图6

图7

图8

但在装配时与框架等构件相紧固，由于构件之间互相结合和依靠，所承受的应力会互相传递和渗透。因此，实践证明四种构件的实际使用效果是非常相近的。然而从结构工艺性和材料消耗等情况来分析，后面比前面依次要优越。特别是弯边工序减少，加工的积累偏差小，构件的图形尺寸容易保证。因此，合理考虑构件的结构工艺性，对提高工效和节省材料是一个很重要的因素。

### 三、效果分析

仍以图1、图2、图3三种结构形式的机柜为比较依据。采用普遍使用的常规设计数据，按材料消耗定额来计算的有关数值见表4。

表4 三种电控柜的有关性能比较情况

机柜	构件与使用的钢材规格	钢材毛重 (kg)	消耗 比值	成本 比值	构件 品种	构件 件数
图1	1. 3 A3钢板—底架； 2. 2 A3钢板—侧板、门 3. 1 A3钢板—顶板、底板 4. 40×40×4角钢A3—框架、立柱。	1. 钢板： 90.125 2. 角钢： 37.365 合计： 127.58	1	1	8	21
图2	1. 2.5 A3钢板—立柱 2. 2 A3钢板—底架、顶架、侧板、 门。 3. 1 A3钢板—顶板、底板。	98.732	0.78	0.83	6	10
图3	1. 2.5 A3钢板—立柱 2. 2 A3钢板—底架、顶架。 3. 1.5 A3钢板—侧板门。 4. 1 A3钢板—顶板、底板。	79.652	0.63	0.67		

注：对于结构形式中通用件标准件（如铰链、吊环等），因影响甚微，没有纳入比较范围内。

# 关于机柜结构的垂直度问题

天水长城控制电器厂 李彦士

## 一、在做机柜结构设计时，经常遇到的一个问题

机柜结构设计中，在结构的整体外形和面积较大的零件（如门、面板、侧板和盖板）外形垂直偏差的标注上，现有两种方法：

一种是在JB862—66“电力传动控制装置分等规定”（电质分等035）中，对结构的整体外形，规定采用竖直面对地面的垂直度偏差。

另一种是在低压配电装置产品制造质量定等规定中，规定采用壳体立体座标平面的对角线之差的绝对值。

究竟哪种标注方法好？哪种标注方法对结构要求严？哪种标注方法有利于提高产品质量？这两种偏差值之间有什么样的数量关系？

这个问题，以前没有深入探讨过。为了使结构设计更加合理，提高设计质量，有必要对两种标注方法作一分析、比较。

由于条件的限制，以上分析是相当肤浅和保守的。当然，提高经济效益在其它方面的措施还不少，如在元器件安装板上套冲有关小的构件等。但从表4中的数据可以说明，在机柜的结构设计中，根据装置的实际使用情况，选择合适的结构形式，对直接降低原材料消耗，提高经济效益效果是十分明显的，以每万元产值消耗0.5吨钢材（1000元/吨）的经验数据计算，只要在设计中降低0.1吨钢材消耗，那么年产值1000万元的企业，单设计一项就可以创造直接的经济效益10万元。全国有几百家类似企业，如果稍加重视的话，可以预想，其经济效果是很可观的。

## 参考文献

1. IEC出版物529，1976第一版IEC标准，电气控制设备（专辑），机械部天津电气传动设计研究所，1980。
2. 《机械工程手册》机械电机工程手册编辑委员会，机械工业出版社，1982，3。
3. 机械技术手册，日本机械学会编，机械工业出版社，1984。
4. 在弯板机上加工薄板件起伏图形，吴伯成，《机械制造》1986，6。
5. 《英国工厂物料贮存与搬运设备》机械部第二设计研究院编，1980，6。