



# 第十章 斜拉桥

内容:

**10.1 概述**

**10.2 斜拉桥总体布置与构造**

**10.3 斜拉桥的计算分析要点**





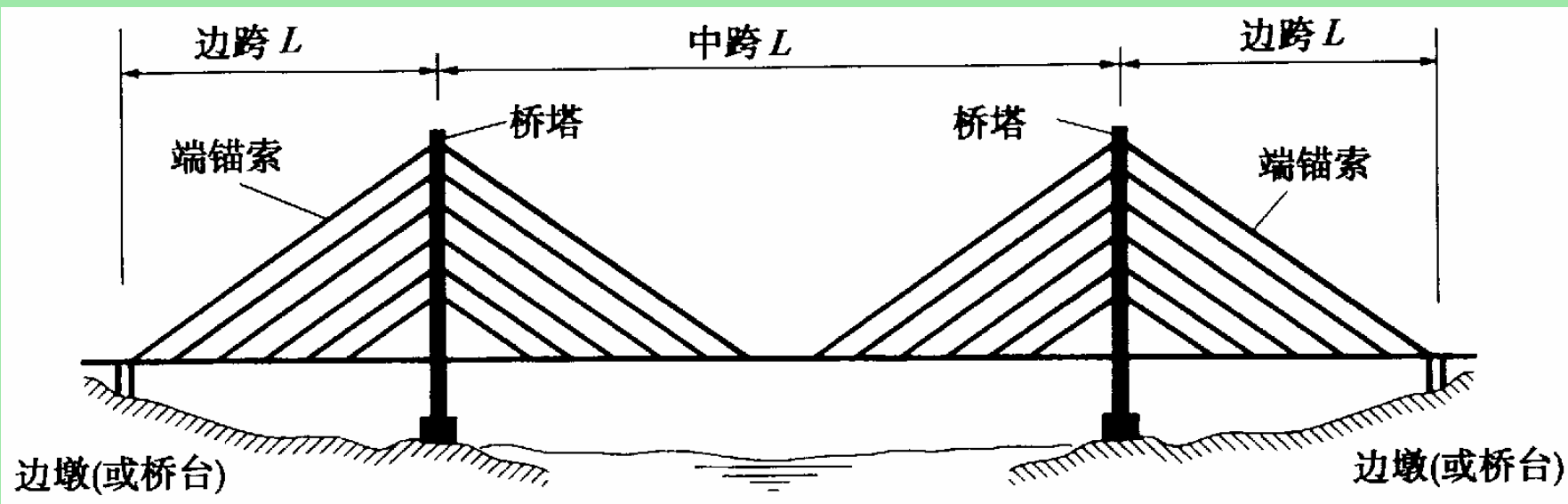
## 10.1 概述

### 一、组成

主 梁——承载

斜拉索——悬吊主梁

塔 柱——支承斜索





## 二、历史 (1)

- 斜索易松弛，高次超静定结构难计算 → 长期未能发展
- 1956年瑞典建成74.7+182.6+74.7m的斯特伦松德桥是第一座现代斜拉桥 → 发展

表1.4世界大跨度斜拉桥

排序号	桥名	主跨 (m)	桥址	建成年
1	多多罗大桥	890	日本	1998
2	诺曼底桥	856	法国	1994
3	南京二桥	628	中国南京	2000
4	武汉三桥	618	中国武汉	2000
5	青州闽江大桥	605	中国福州	2000
6	上海杨浦大桥	602	中国上海	1993



## 二、历史（2）

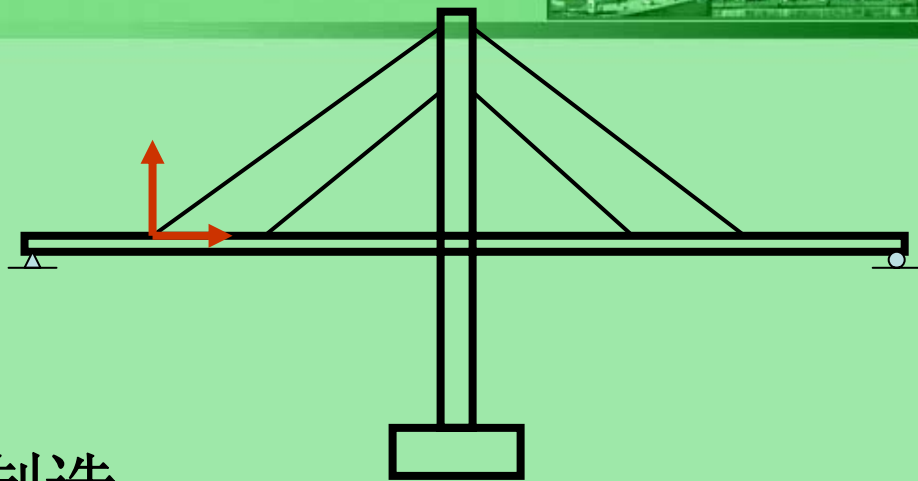
- 我国**1975**年在四川云阳建成第一座主跨为**76m**的斜拉桥
- **1991**年**南浦大桥(423m)**开创我国**400m**以上斜拉桥先河；
- 我国成为拥有斜拉桥最多的国家 (**150**多座) ；
- **2008**年前后建成的香港**昂船洲大桥(1018m)**、江苏**苏通长江大桥(1088m)**，标志着技术有新的突破。





### 三、优点

- 主梁  $M$   $\searrow$   $\rightarrow$  省材、大跨；
- 主梁内力均匀(调索)  $\rightarrow$  经济、等截面、易安装和制造；
- 主梁抗裂性能  $\nearrow$  (索力)；
- 适应不同地质、地形条件(索、梁、塔不同组合)；
- 主梁  $h$   $\searrow$   $\rightarrow$  引道标高  $\searrow$ ；
- 比悬索桥刚度大，抗裂性能好；
- 便于悬臂法施工。





## 四、缺点

- 高次超静定 →
  - ▼ 计算量大
  - ▼ 确定合理设计方案较困难（变量多）

- 需进行索力调整
  - ▼ 设计 → 内力均匀
  - ▼ 施工 → 实际与计算相符





## 五、分类

按材料分：

- 钢斜拉桥；
- 混凝土斜拉桥；
- 结合梁(叠合梁)斜拉桥；
- 混合梁(边跨混凝土、主跨钢)斜拉桥。

按使用分：

- 公路斜拉桥；
- 铁路斜拉桥（极少）。







## 10.2 斜拉桥总体布置与构造

内容:

**10.2.1 孔跨布置**

**10.2.2 结构体系**

**10.2.3 斜拉索**

**10.2.4 主梁**

**10.2.5 主塔**

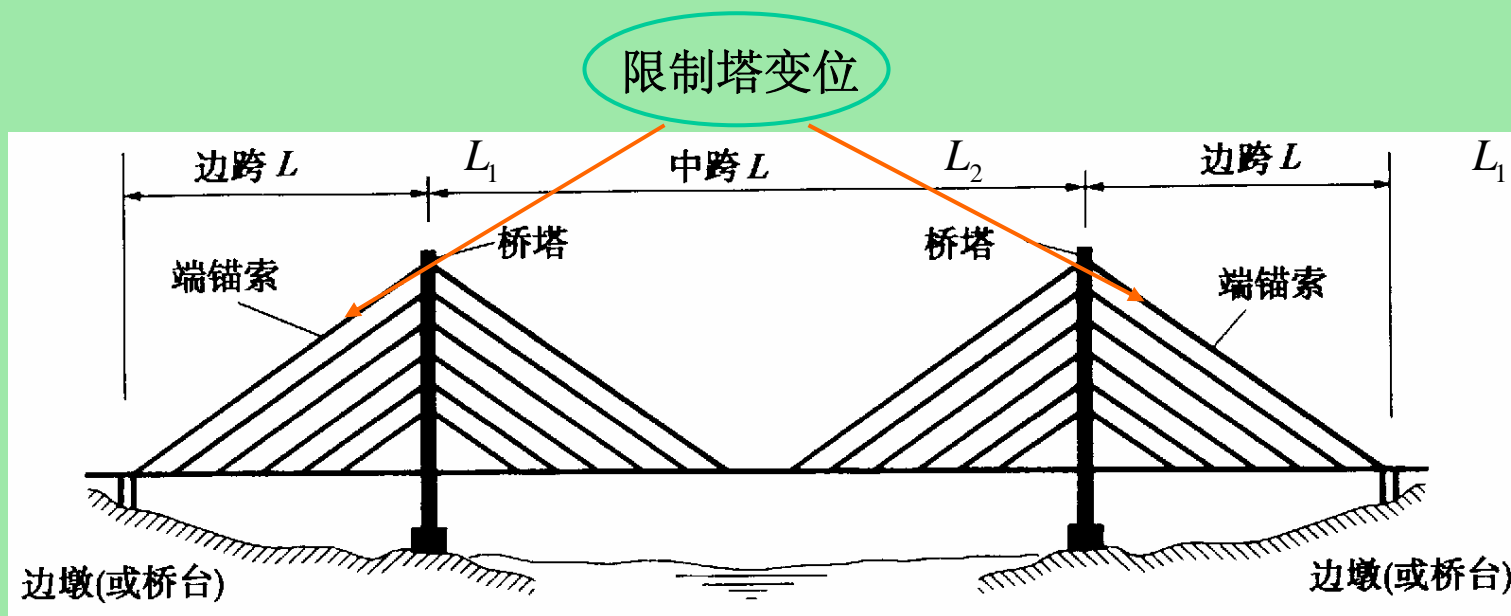






## 10.2.1 孔跨布置

### 一、双塔三跨式 (1)



使用：最常用，适于大跨桥；

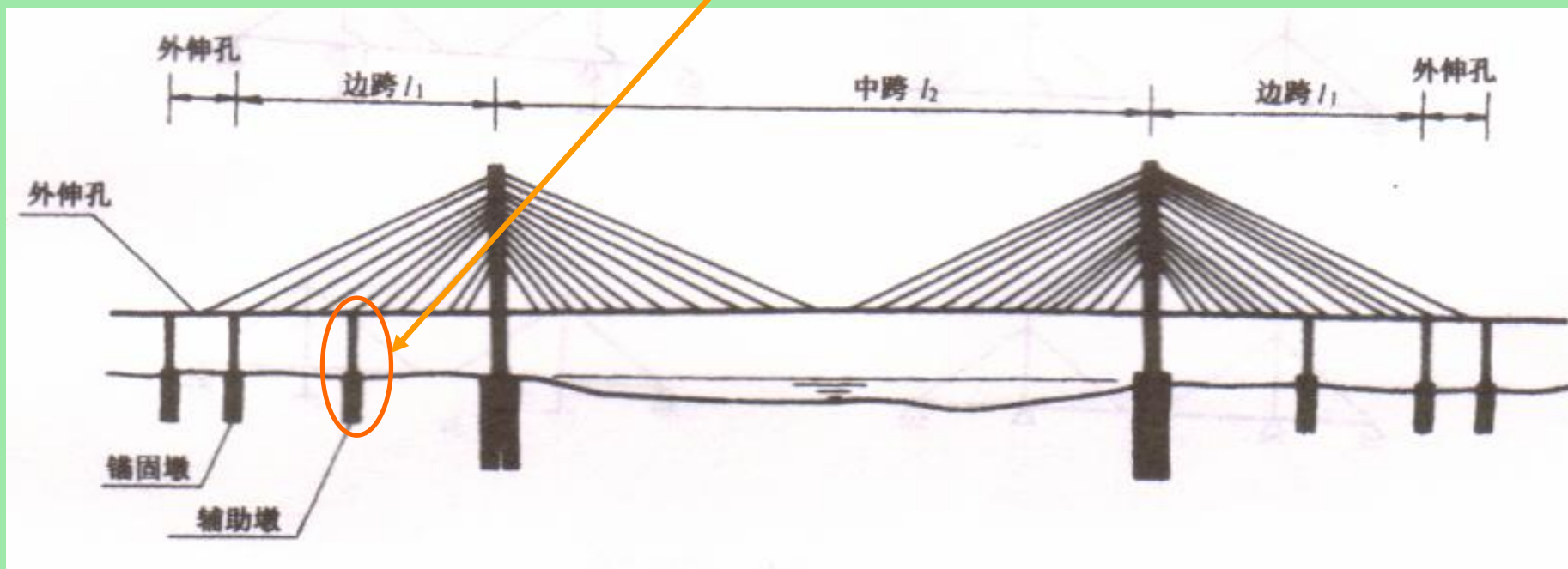




## 一、双塔三跨式 (2)

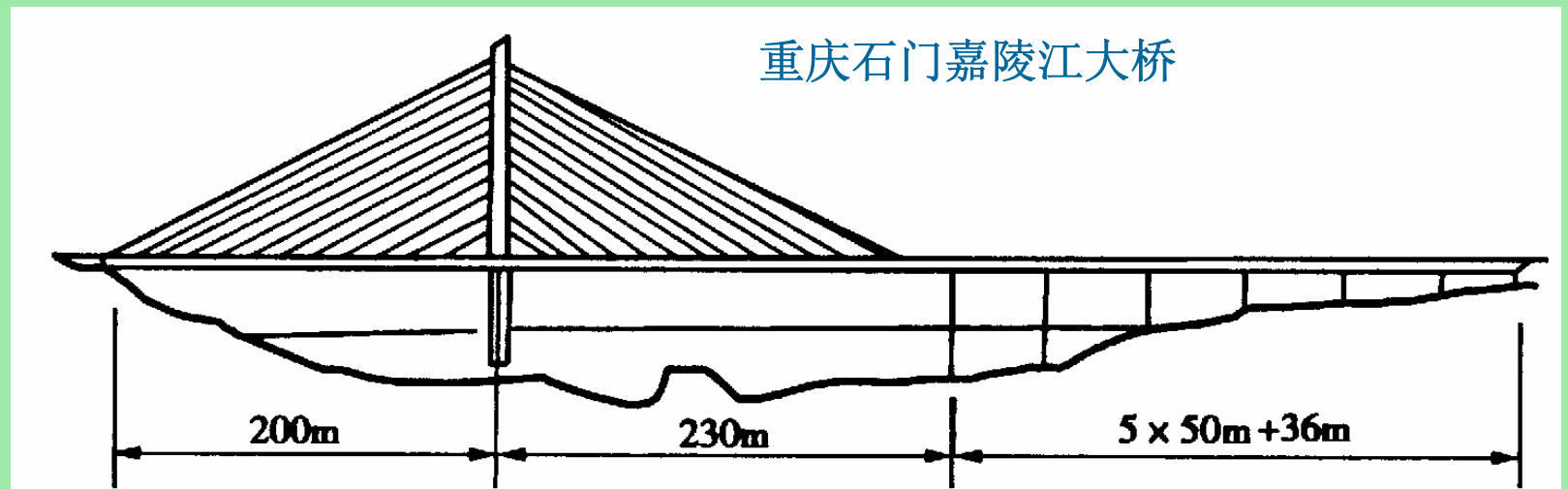
结构组成:

- 对称、不对称;
- 跨度比  $L_1/L_2 = 0.35 \sim 0.5$  ;
- 边跨可设1~2个辅助墩





## 二、独塔双跨式



使用：常用，适于中小跨桥

结构组成：

- 不对称居多，也可对称；
- 跨度比  $L_1/L_2=0.6\sim0.7$  ；





## 四、多塔多跨式

### 1、三塔斜拉桥

使用： 跨越宽阔水面，且通航孔较大时。

### 2、其他多塔斜拉桥

使用： 较少

### 3、多塔斜拉桥存在的问题（1）

中间塔顶没有端锚索（限制塔变位） $\rightarrow$ 结构刚度较低





### 3、多塔斜拉桥存在问题：

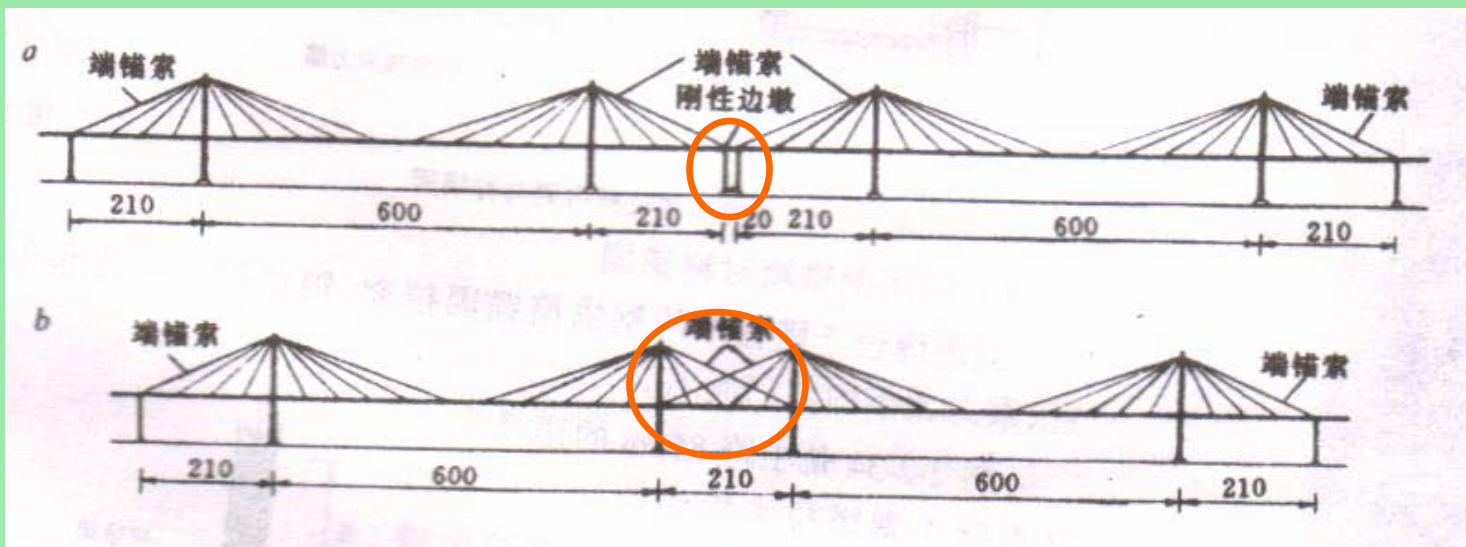
中间塔顶没有端锚索，结构刚度较低

### 4、改进的办法：

(1) 增大主梁刚度

(2) 设置刚性边墩

(3) 端索锚于中墩



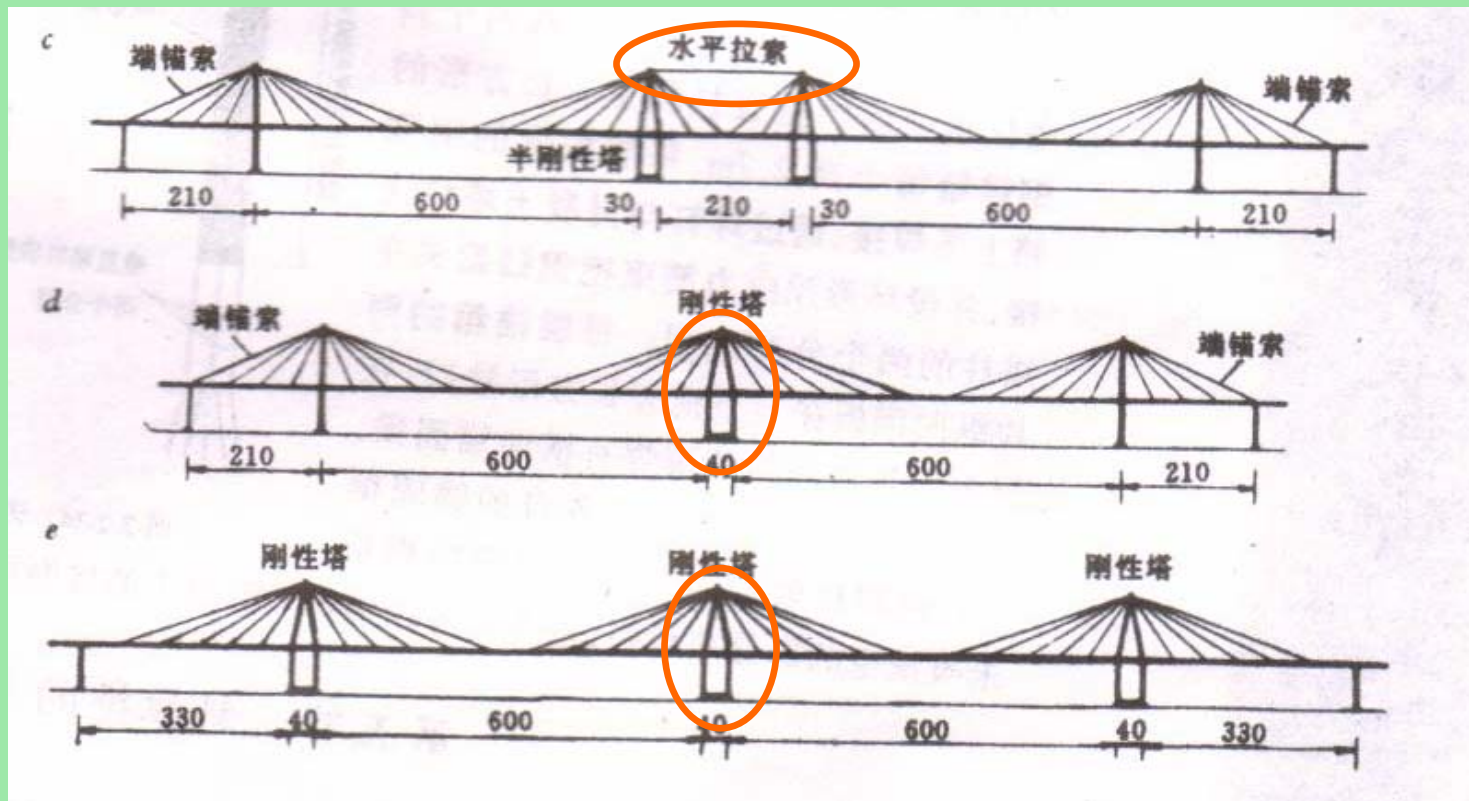




## 4、改进的办法：

(4) 中间塔设水平拉索

(5) 中间塔做成刚性





## 10.2.2 结构体系

### 一、塔、梁、墩相互结合方式：

- 飘浮体系
- 半飘浮体系
- 塔梁固结体系
- 刚构体系

- ### 二、主梁的连续方式
- 连续体系
  - T构体系



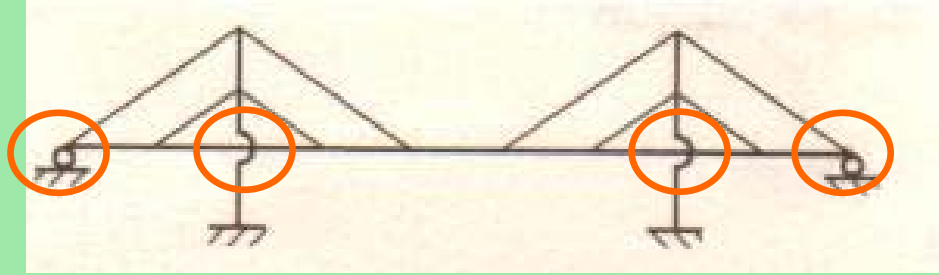




# 1、飘浮体系

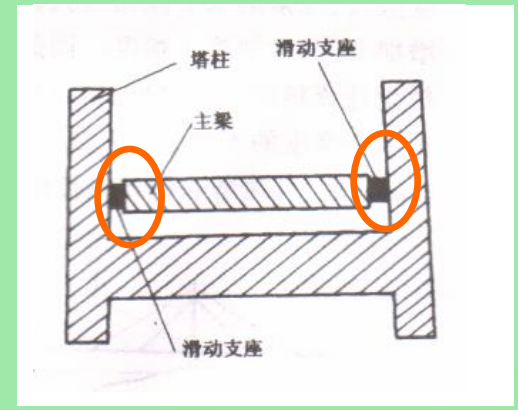
## 构造特点:

- 塔墩固结、塔梁分离;
- 主梁两端设有支座, 中间无支座;
- 塔、梁之间设置侧向限位支座。



## 优点:

- 塔柱处的主梁截面无负弯矩峰值;
- 温度、收缩和徐变内力均较小。



缺点: 悬臂法施工时, 塔柱处主梁需临时固结。

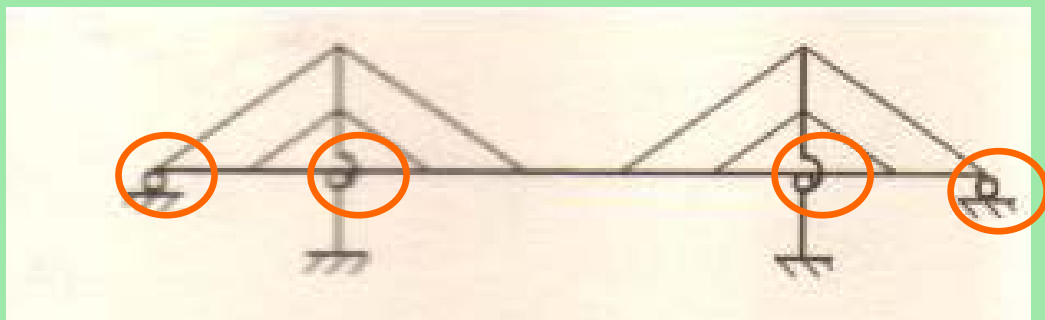
使用: 广泛使用 (受力好)





## 2、半飘浮体系（支承体系）（1）

构造特点：



- 塔墩固结；
- 塔墩上设置竖向支承（一般全设活动支座）；

优点：

在减小纵向漂移和经济方面有一定好处（优点不明显）





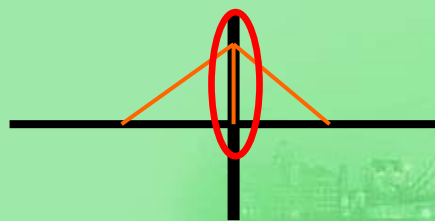
## 2、半飘浮体系（支承体系）（2）

缺点：

- 温度、收缩、徐变次内力仍较大。
- 塔柱处主梁**M**很大（塔徐变 → 吊点下垂 → 索卸载）；

措施：采用可调高度的支座或弹簧支承(替代“零号索”)，并在成桥时调整支座反力，以消除大部分收缩、徐变等的不利影响

使用：早期常用

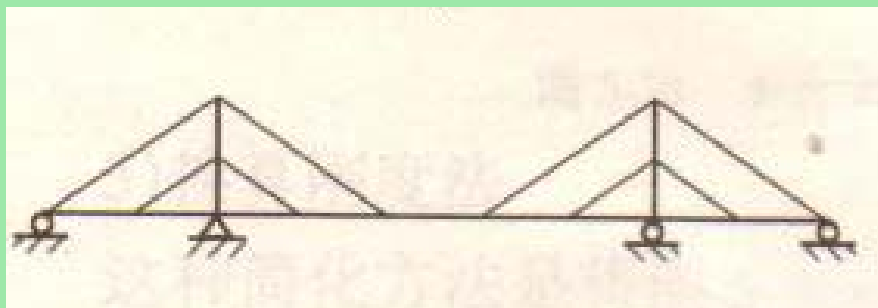




### 3、塔梁固结体系

#### 构造特点：

相当于斜索加强的连续梁。



#### 优点：

- 主梁中央段轴向拉力 ；
- 塔、梁温度力极小 ；
- 塔的内力、温度力均最小。

#### 缺点：

- 墩顶水平位移较大
- 需大吨位支座（可能为**万吨级**）

使用：少用





## 4、刚构体系

构造特点：塔、梁、墩固结

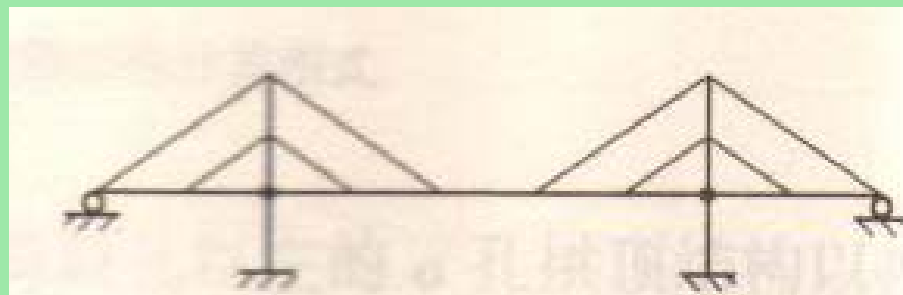
优点：

- 省大型支座；
- 主梁挠度小；
- 施工的稳定性好；

缺点：

- 主梁固结处  $M$  更大；
- 温度  $M$  大(固结点、墩脚处)；

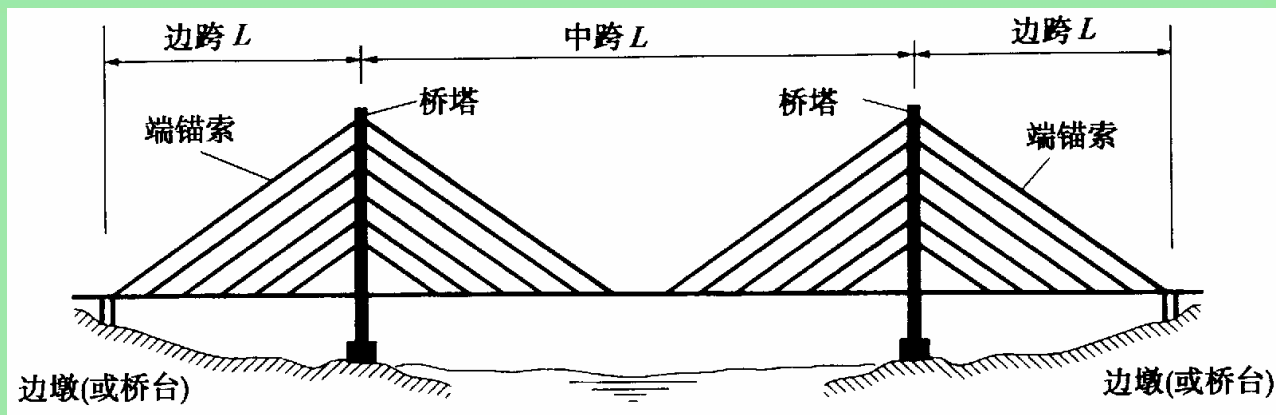
使用：独塔、地基好，高墩（附加内力小）





### 三、锚固体系

#### 1、自锚式



#### 构造:

所有索均锚固在主梁上，最外边的索(端锚索)锚固在主梁端支点上。

#### 受力:

也称边索  
或背索

- 拉索水平分力全由梁轴力平衡 → 混凝土桥最合适;
- 端锚索索力最大(截面最大)，对塔顶变位起着重要作用;

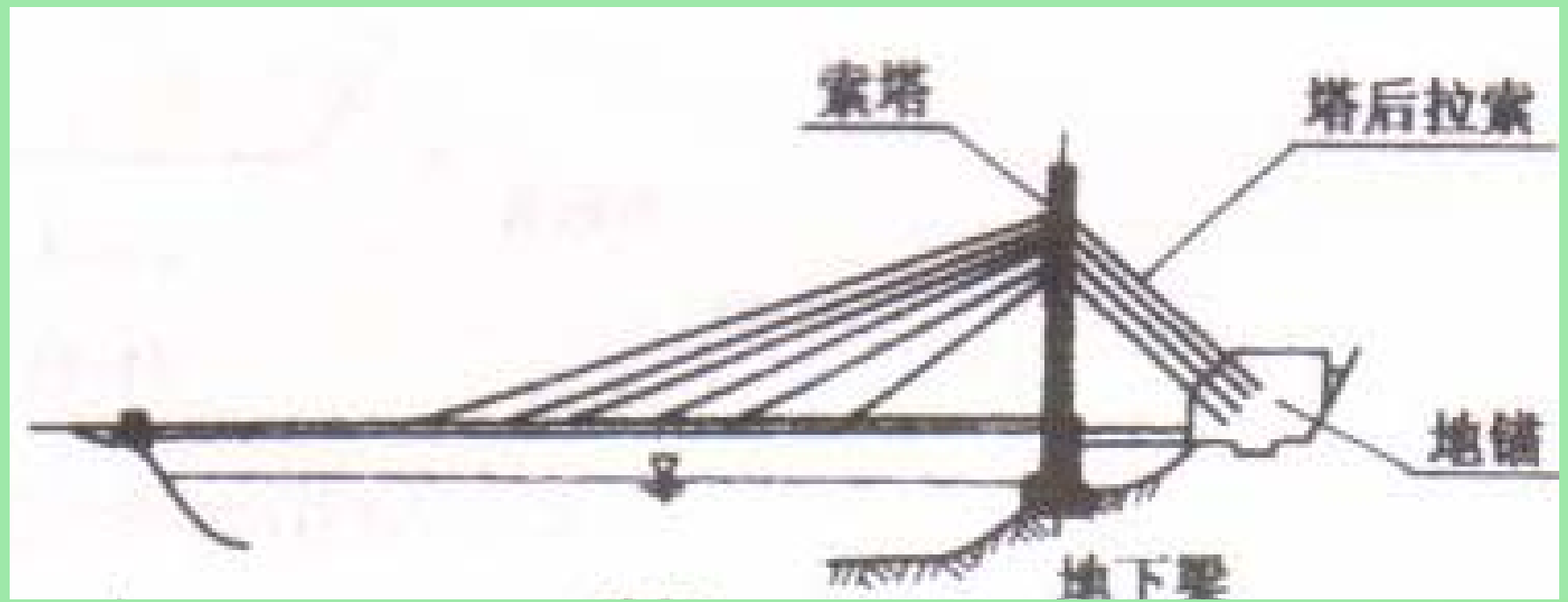
使用: 目前混凝土斜拉桥绝大多数均用此类体系。







## 2、地锚式



**构造：** 塔后拉索采用地锚。

**使用：**

单跨式一般采用地锚式，适合钢主梁，不适合混凝土主梁。







### 3、半地锚式

#### 构造：

部分拉索锚在主梁，还有部分锚在山体（较省材）。

#### 使用：

主跨很大边跨很小才采用。





## 10.2.3斜拉索

### 一、斜拉索的布置

#### 1、横向布置

##### ◆ 单索面

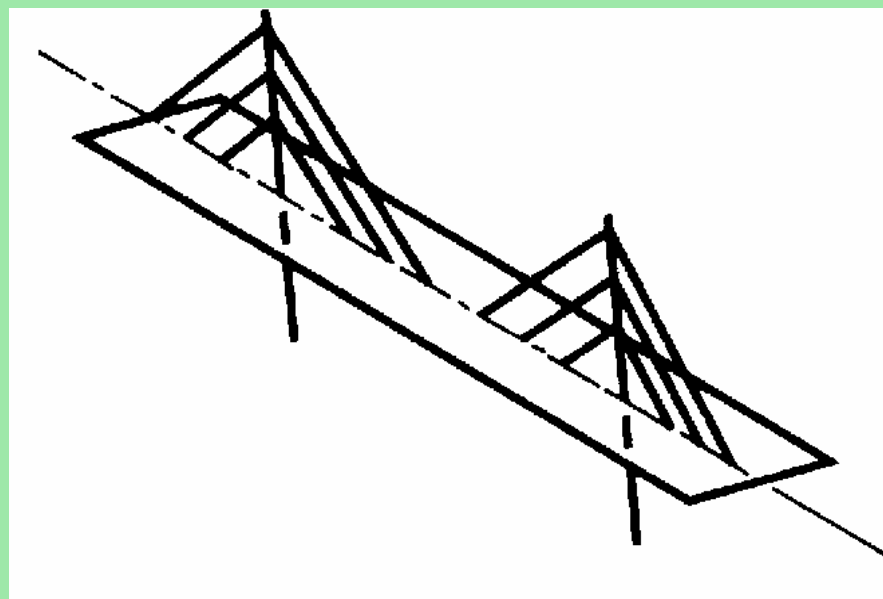
**构造：**布置在桥纵轴线上。

**优点：**

- 视觉效果最佳；
- 用于设中央分隔带的桥梁，墩尺寸最小；

**缺点：**拉索对主梁抗扭不起作用 → 主梁采用箱型截面

**使用：**城市桥、窄桥。





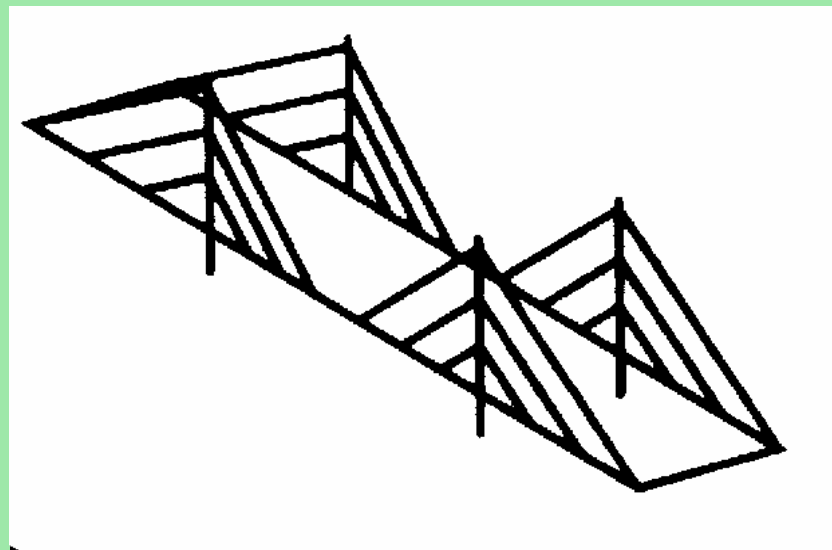
## ◆ 平行双索面

### 优点:

索的轴力可抵抗作用于桥梁上的扭矩，抗扭能力

缺点：视觉效果无单索面好。

使用：最常用





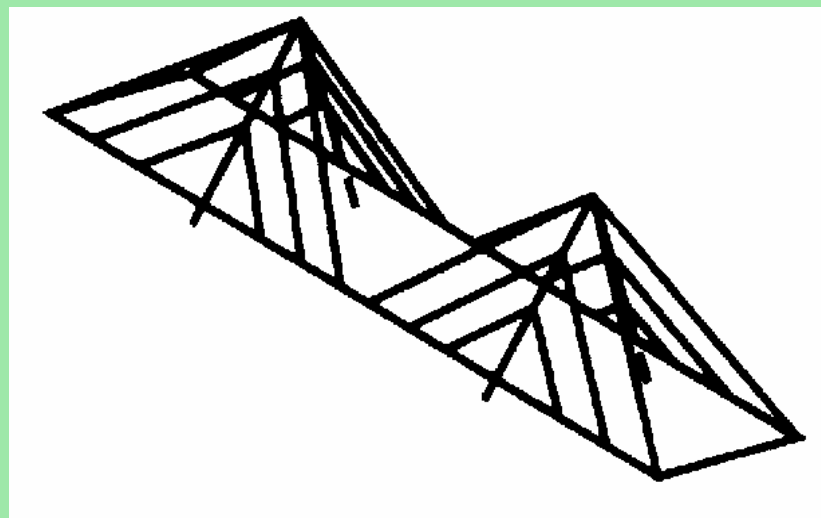
## ◆ 空间双索面

### 优点:

抗风力扭振特别有利(斜向双索面限制了主梁的横向摆动)

缺点: 视觉效果最不好。

使用: 跨海大桥 (风力大)



## ◆ 多索面

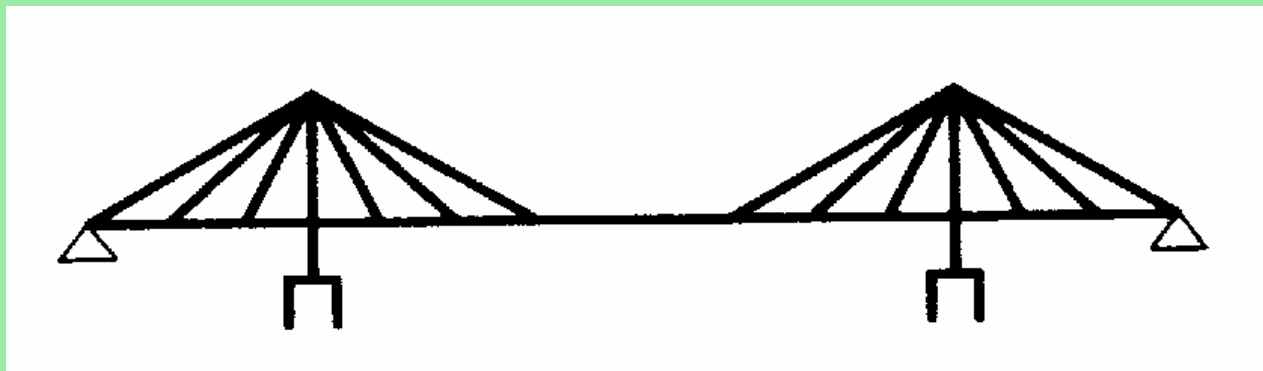
使用: 超宽桥面 ( $B > 40m$ ), 少用。





## 2、立面布置

### ◆ 辐射型



### 优点：

- 索倾角最大  $\rightarrow$  垂直分力  $\uparrow$   $\rightarrow$  索用量最省(索力由垂直力定)
- 结构成几何不变体  $\rightarrow$  变形、内力有利。

### 缺点：

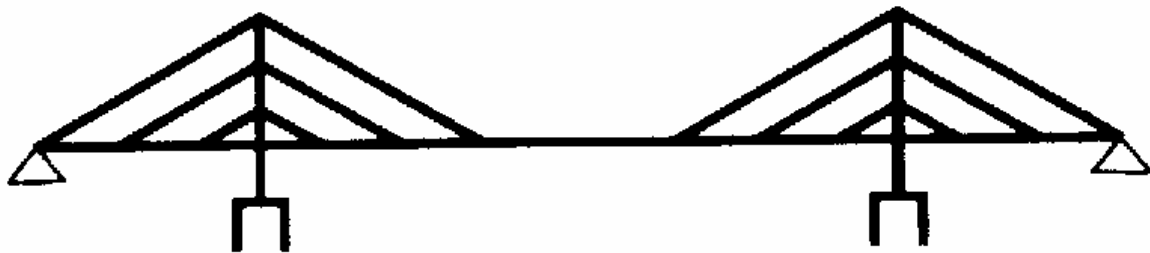
- 塔顶构造处理较困难；
  - 塔从顶到底都受到最大压力；
  - 塔自由长度较大；
  - 索倾角不同，锚具、垫板的制作和安装复杂。
- } 塔身刚度要保证压曲稳定

使用：已日趋减少





## ◆ 竖琴形



### 优点:

- 索倾角相同 → 锚具、垫板不复杂（构造相同）；
- 外形最美观（无视觉交叉感）；
- 塔中压力逐段向下加大； → 稳定性 ↑
- 索塔连接易处理。

### 缺点:

- 塔身 **M** 较大（∵ 水平分力大，两侧索力不等）
- 索倾角小 → 索用量大；
- 结构成几何可变体 → 变形、内力不利；
- 无法形成飘浮体系（∵ 竖向分力小）。

使用：中、小跨斜拉桥

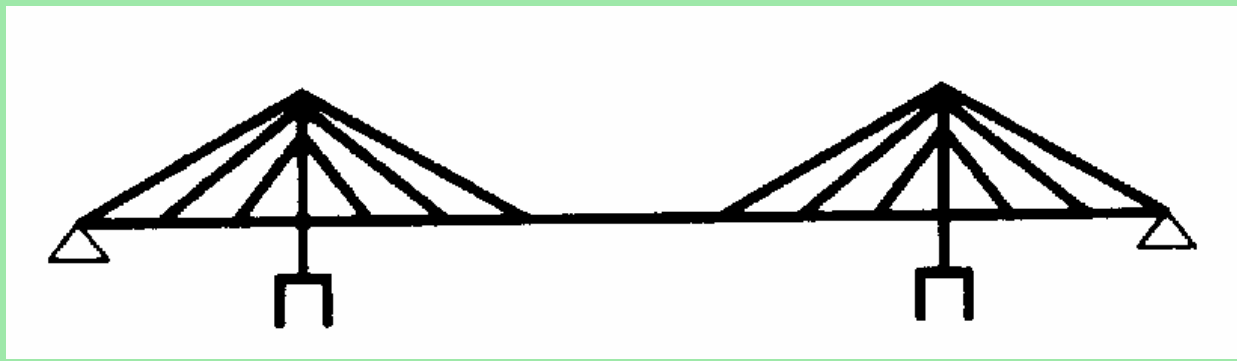




## ◆ 扇形

### 优点:

- 具有以上两种的优点;
- 可灵活布置。



### 使用:

- 采用最多的，特别是大跨斜拉桥;
- 采用扇形空间倾斜双索面是大跨、特大跨斜拉桥的理想选择 (抗扭刚度 ↑, 抗风稳定性 ↑, 抗地震稳定性 ↑ )。







### 3、斜索在主梁上的间距

#### ◆ 稀索体系

$$\text{间距} = \begin{cases} 30\sim 60\text{m} & \text{钢梁} \\ 15\sim 30\text{m} & \text{混凝土梁} \end{cases}$$

使用：早期使用（超静定次数低）

#### ◆ 密索

$$\text{间距} = \begin{cases} 4\sim 8\text{m} (\leq 10\text{m}) & \text{混凝土梁} \\ 12\sim 20\text{m} & \text{钢梁} \\ 9\sim 18\text{m} & \text{钢-混凝土组合主梁} \end{cases}$$

使用：目前主要采用类型

优点：

• 主梁M小、均匀；

• 锚固构造简单（索力小）；

• 易于架设、换索；

• 美(索纤细)。



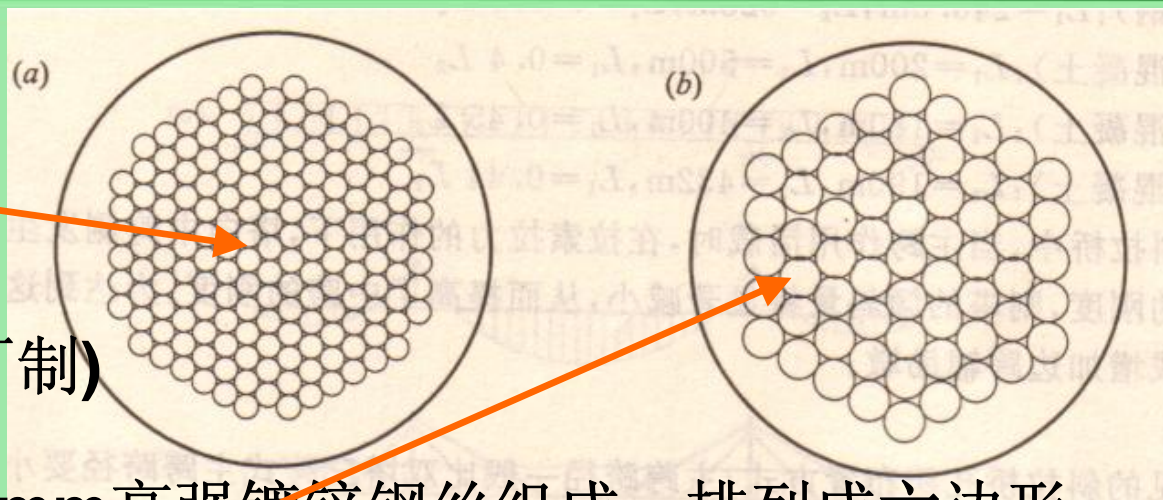


## 二、斜拉索的类型

### ◆ 平行钢丝索

施工：整体安装(厂制)

构造：索由  $\phi 5 \sim 7\text{mm}$  高强镀锌钢丝组成，排列成六边形



### ◆ 平行钢绞线索

施工：钢绞线成盘运至工地 → 截长 → 逐根安装、张拉。

使用：大跨、大索。

索的防护：钢丝束上包一PE套管(聚氯乙烯套管，热挤法)





## 10.2.4 主梁

### 一、主梁横截面

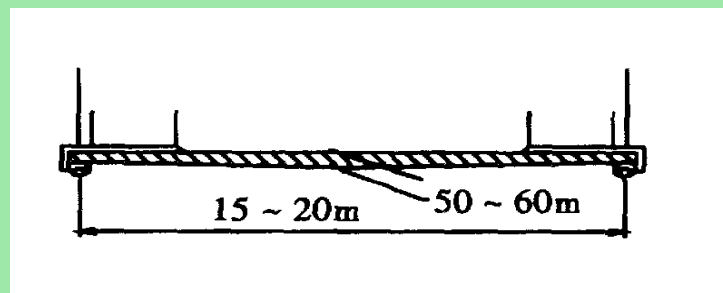
考虑：抗风稳定性、抗扭、索力传递、拉索张拉与锚固

→ 不用T形截面。

常用横截面：

$L \leq 200\text{m}, B = 15 \sim 20\text{m}$

梁高  $h \approx 50 \sim 60\text{m}$



### 1、板式截面

优点：梁高小(最纤细)、施工方便、抗风好；

缺点：主梁抗扭差

使用：双索面密索体系(抗扭)，且桥宽不大(扭转不大)。  
是近年来发展的新动态之一。





## 2、半封闭箱形截面

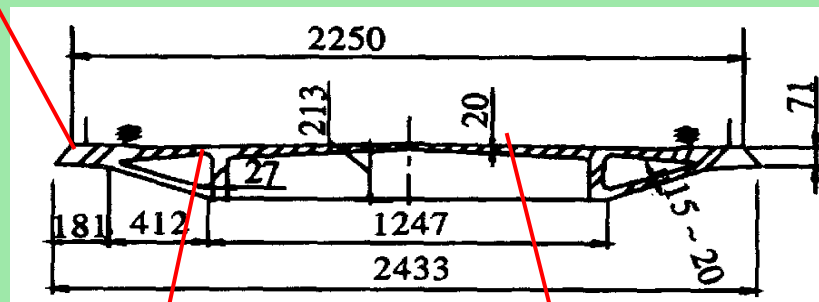
### 优点:

- 有良好的抗风动力性能；
- 采用悬臂法施工较方便；

### 使用:

风载较大的双索面密索体系宽桥（天津永河桥）。

加厚以锚固索



三角形箱

整体桥面板



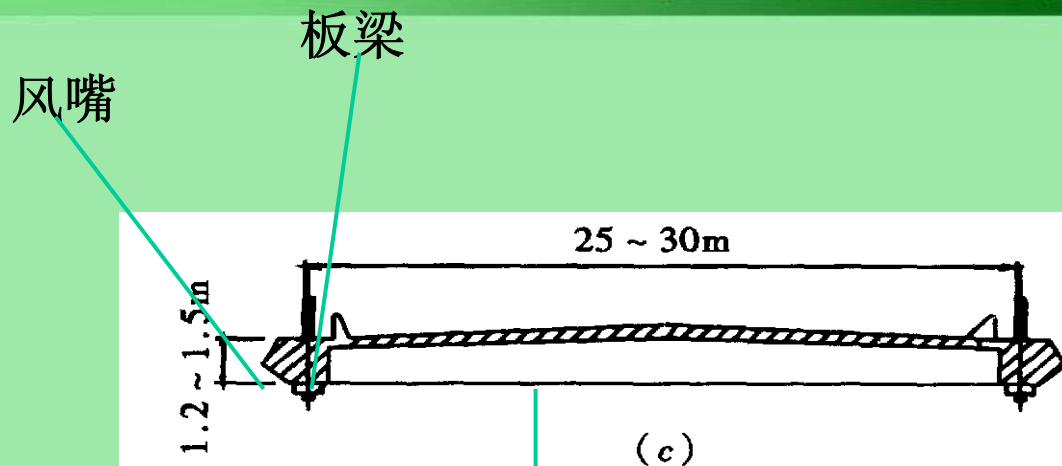
### 3、板式双主梁截面

优点:

- 较简单；
- 风嘴抗风性能好；

使用:

近年来双主梁截面用得较多，板式是其中一种。



横梁 (可设或不  
设, 混凝土或钢)







## 4、 闭合箱形截面

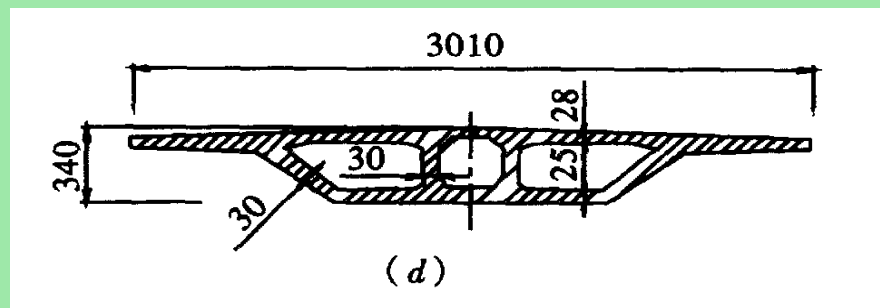
### 优点:

- 有较大的抗弯、抗扭刚度；
- 外侧腹板倾斜改善风动力性能，也减小墩台宽度；

### 缺点: 节段重量较大

### 使用:

- 使用在单索面时，应将中间两个竖腹板尽量靠近，便于拉索锚固在较窄的中室内；
- 使用在双索面时，应将中间两个竖腹板尽量拉开，使中室大于边室，以获得较大的截面横向惯性矩。





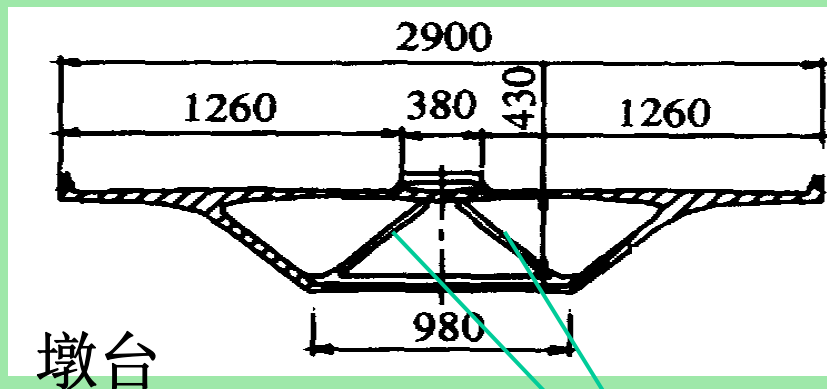
## 6、单室箱形截面

### 优点：

- 中间腹板改为斜撑，重量 ↓；
- 外侧腹板倾斜美、抗风性能好，宽度 ↓；

### 使用：

为单索面混凝土斜拉桥标准截面形式之一。



预应力加劲斜杆，  
间距  $\approx$  索距/2



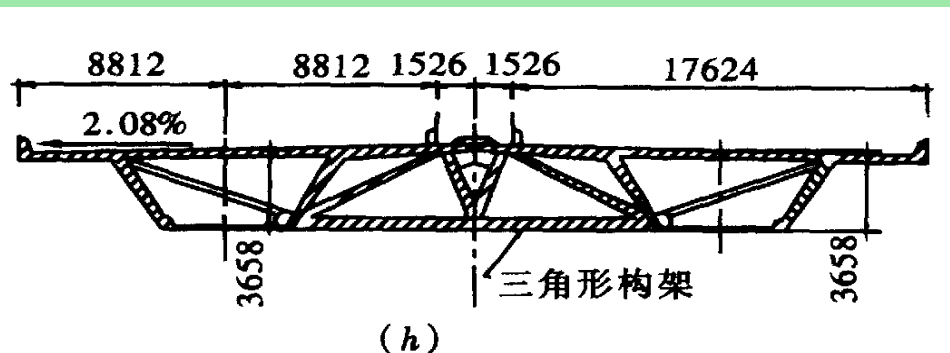
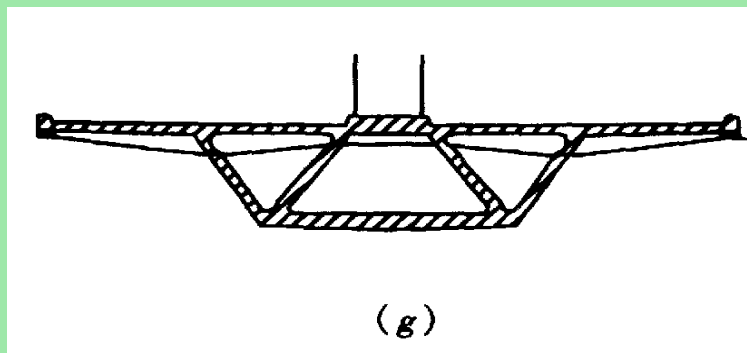
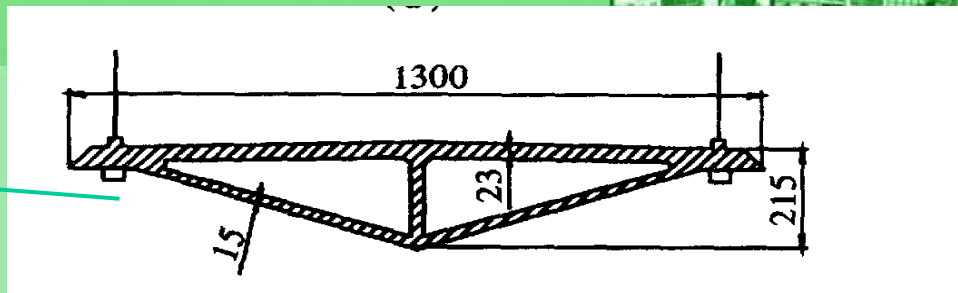




## 7、倒三角形截面

**优点：**抗风特别有利，抗弯、抗扭刚度大。

**使用：**单、双索面均可。



## 8、两索面靠中央，有较长悬臂肋板的箱形截面

**优点：**墩台宽度 ↓

## 9、三角形构架将两个箱梁连接在一起的截面

**使用：**截面较宽时



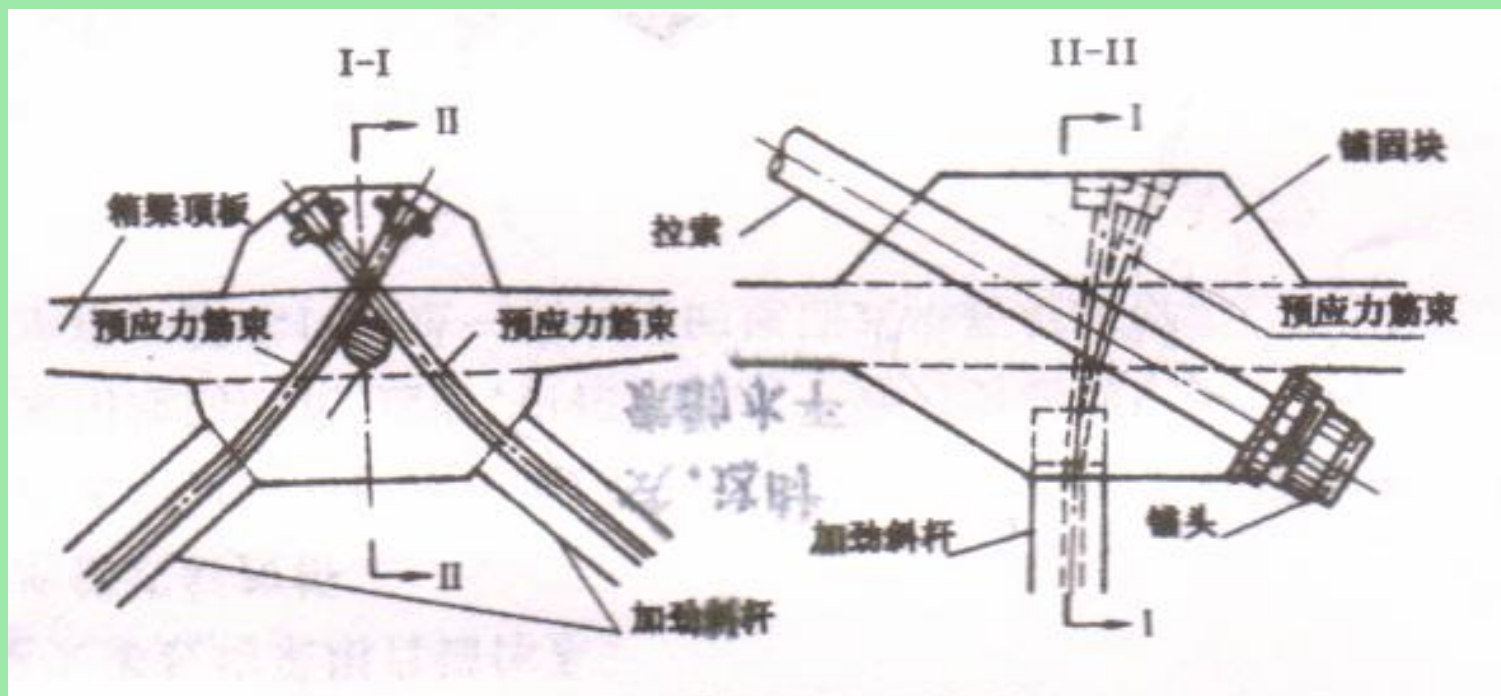


## 二、主梁高度

一般 $L/100 \sim L/300$ ，等高。

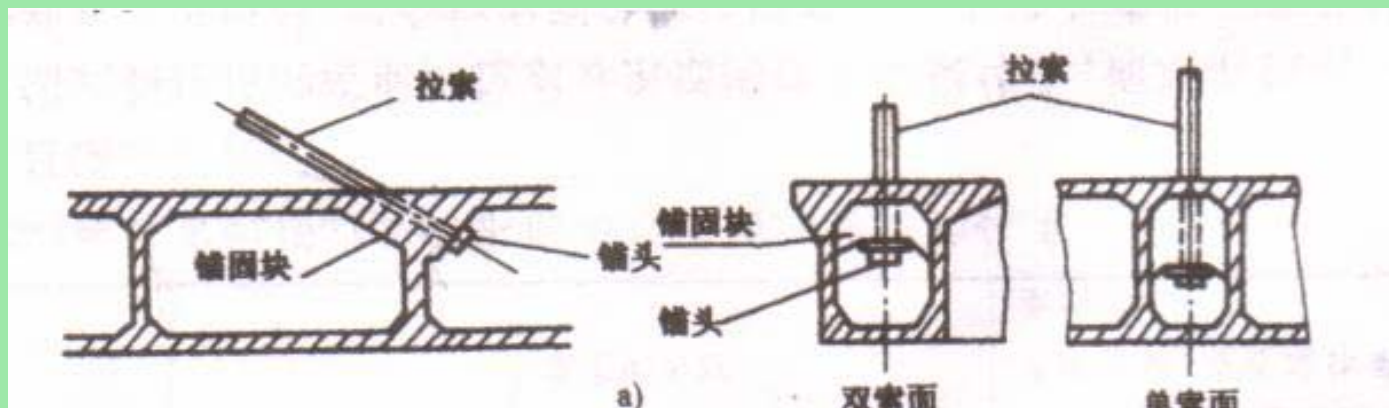
## 三、拉索与混凝土主梁的锚固构造

### 1、在主梁顶板设锚固块





## 2、在箱梁内设锚固块



## 3、在箱内设斜隔板锚固

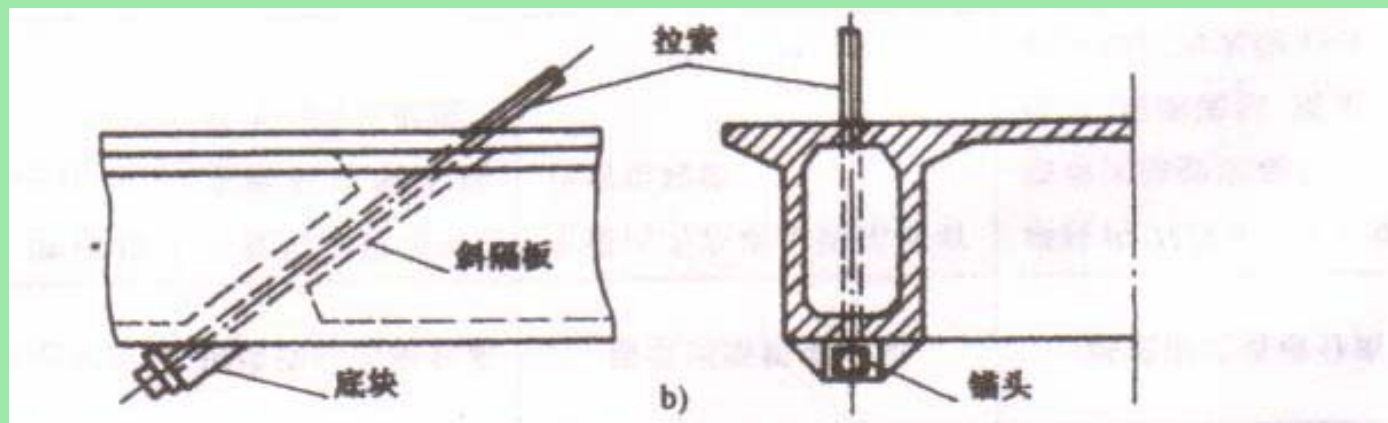


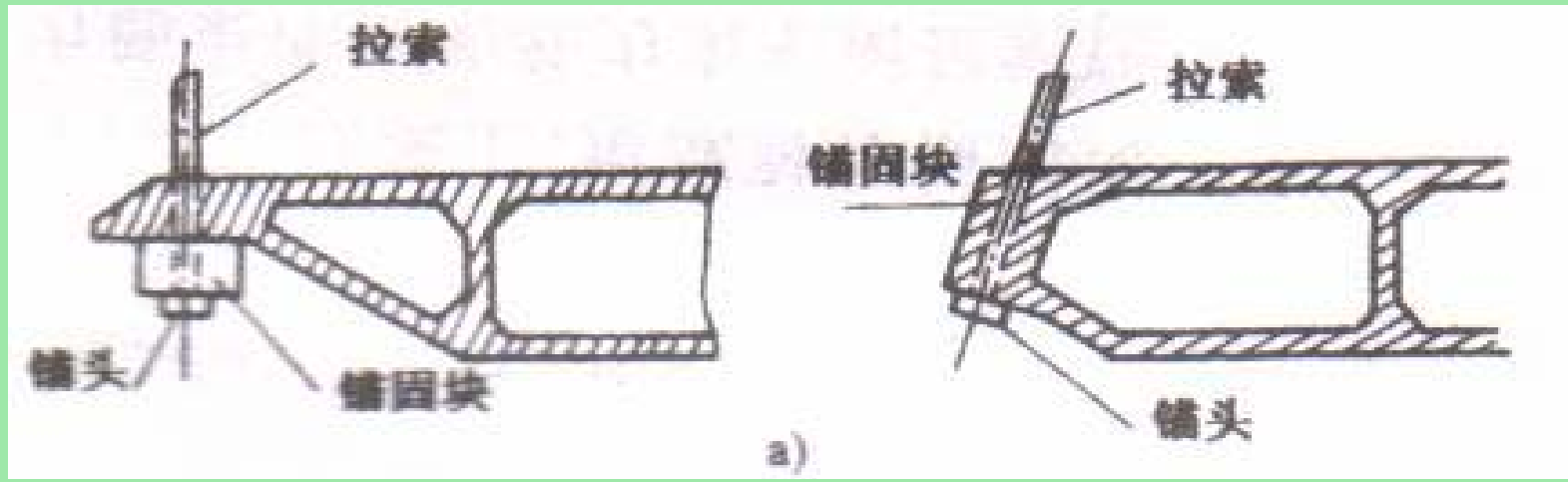
图 2-2-29 箱梁锚固构造

a)箱内设锚固块;b)箱内斜隔板锚固

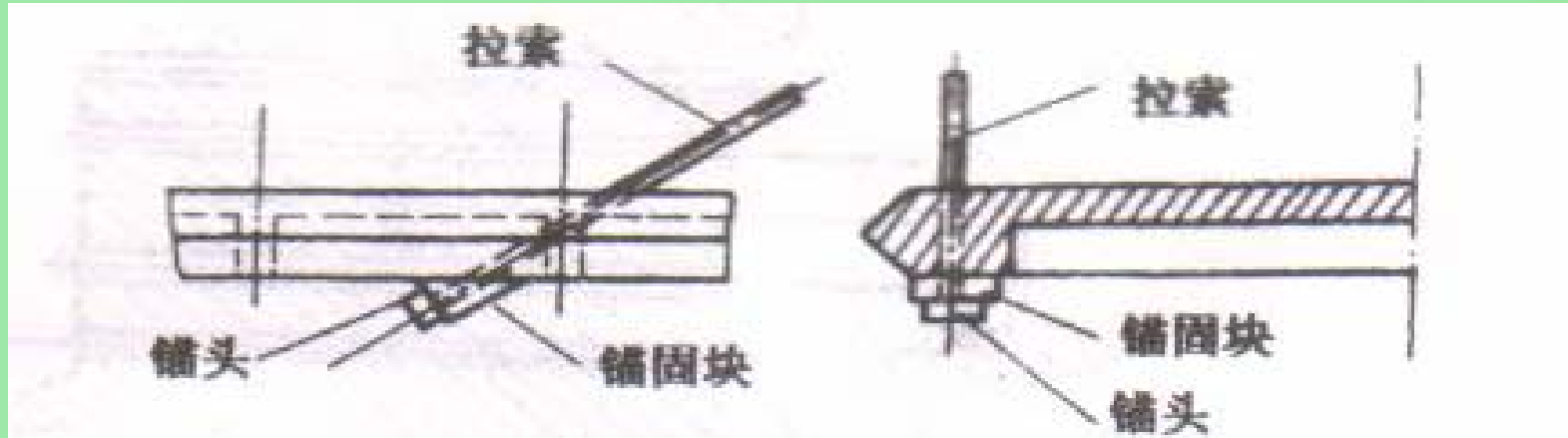




### 4、在梁体两侧设锚固块



### 5、在梁底两侧设锚固块





## 10.2.5 主塔

### 一、主塔的形式与布置

受力：**N**（主要）、**M** → **RC**压弯构件

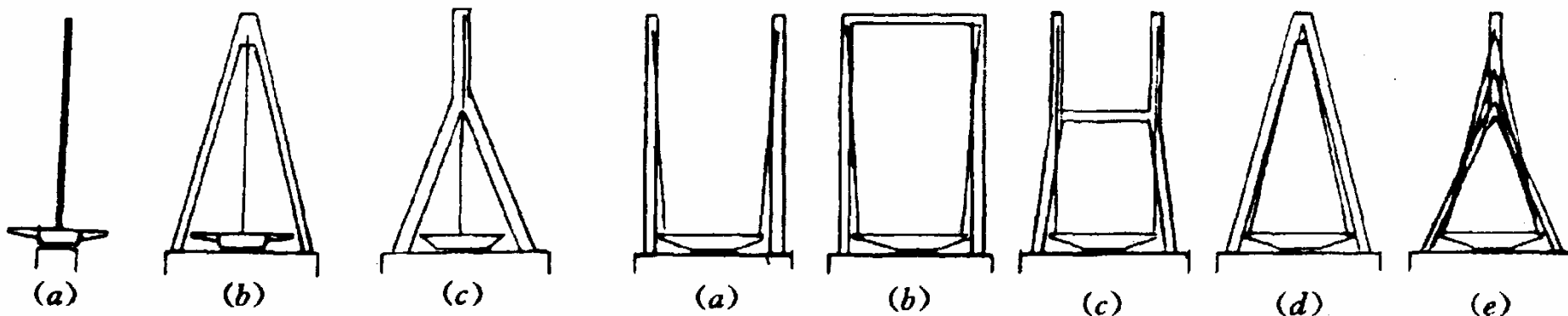
#### 1、纵向布置形式：



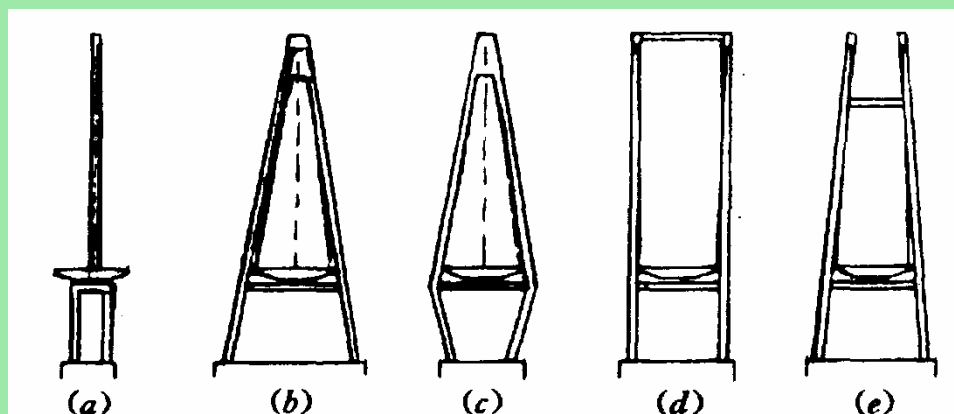




## 2、横向布置形式



桥面较高时索塔的横向布置形式（增加横梁）







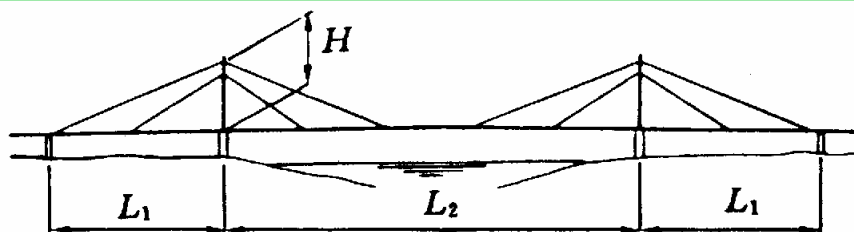
## 二、塔高

塔高：桥面以上算起

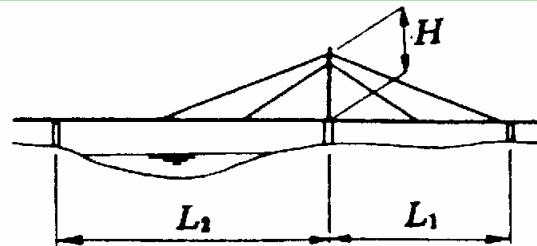
塔高  $\nearrow$   $\rightarrow$  塔、斜索材料用量  $\nearrow$   
 塔高  $\searrow$   $\rightarrow$  索倾角小，索垂直分力  $\searrow$

}  $\rightarrow$  经济比较

常用：



$$H/L_2 = 1/4 \sim 1/7$$

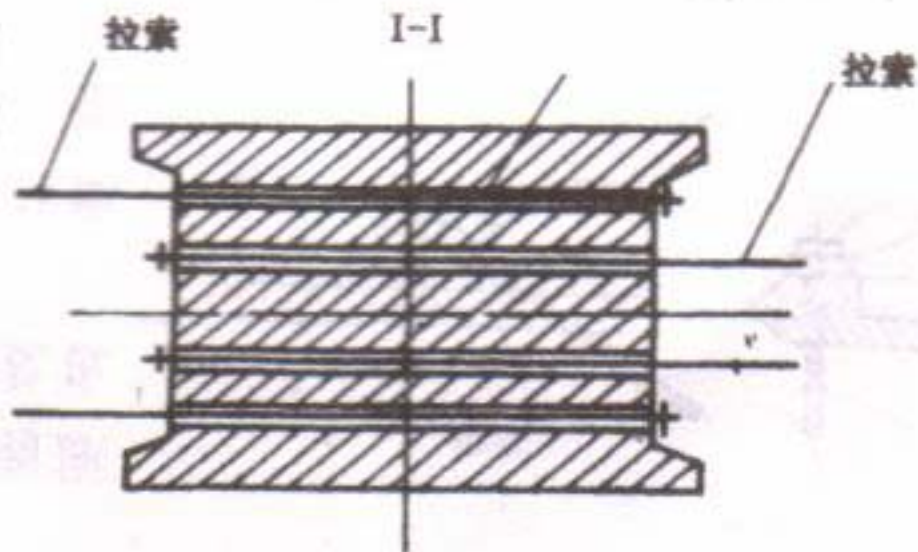
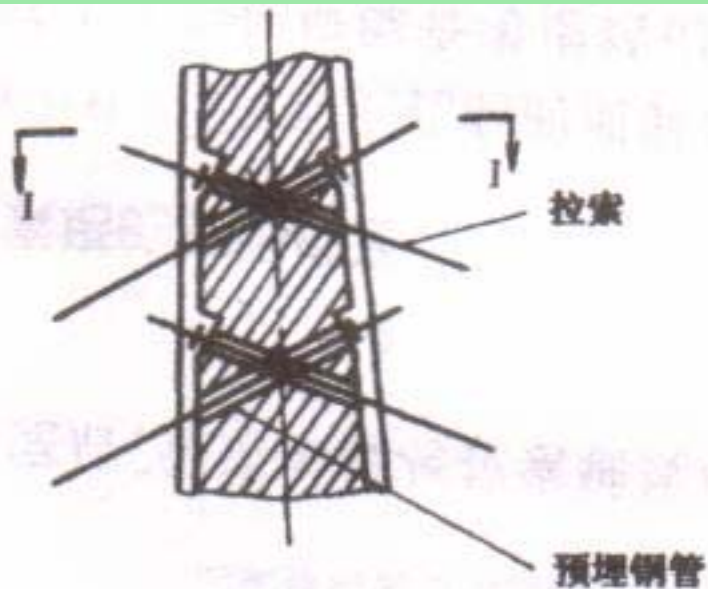


$$H/L_2 = 1/2.7 \sim 1/4.7$$



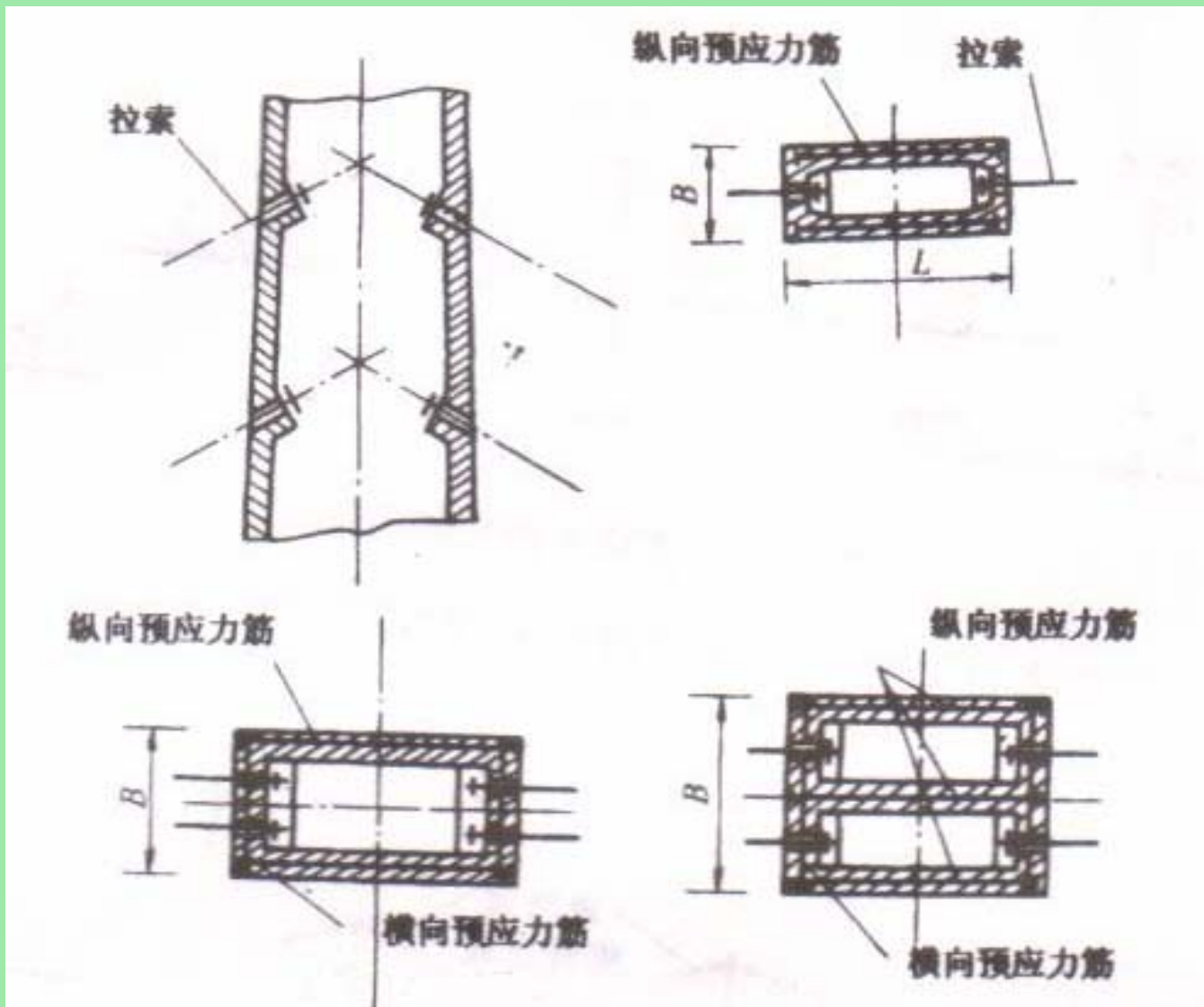
## 三、索与塔锚固构造

### 1、交叉锚固



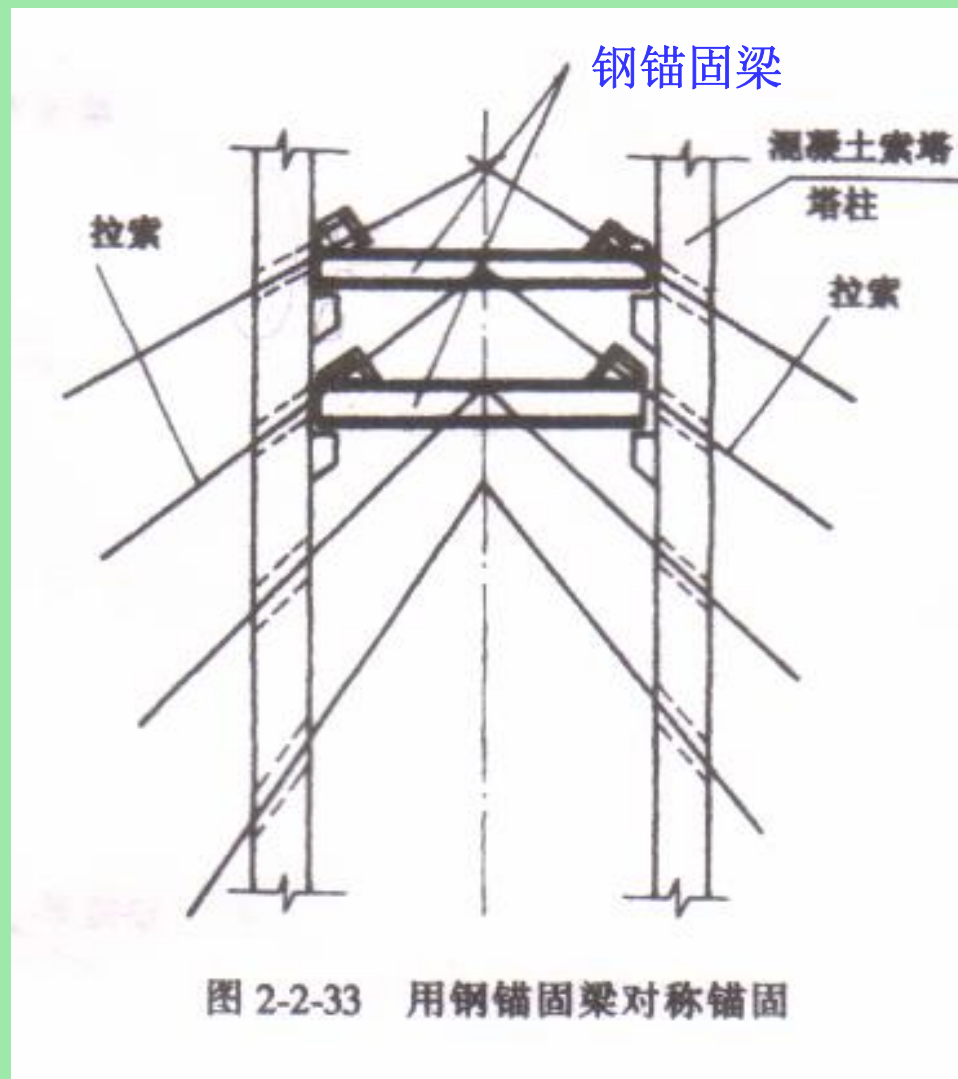


## 2、空心塔对称锚固





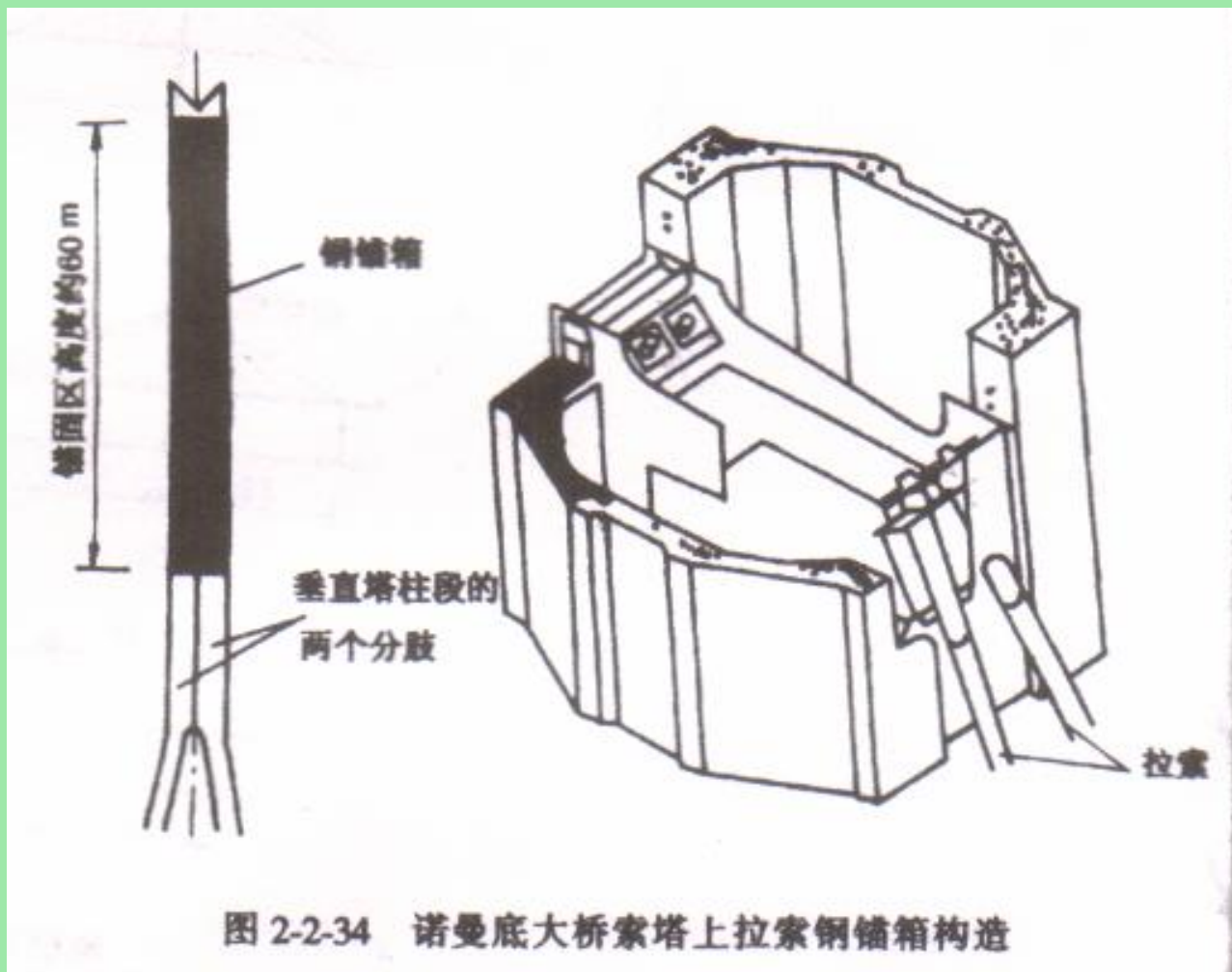
### 3、用钢锚固梁对称锚固







## 4、利用埋设于塔中的钢锚箱对称锚固





## 10.3 斜拉桥的计算分析要点

### 一、计算手段

高次超静定 → 采用有限元法 → 计算机计算

### 二、计算图式

实际结构：空间结构

计算图式：

1、空间结构；(商用软件)







## 2、平面杆系结构

双索面斜拉桥 → 两片平面结构，考虑荷载横向分布系数

使用：

▼ 单索面单箱梁体系

▼ 初步设计

单元：

▼ 索——拉杆单元

▼ 梁、塔——梁单元





## 三、考虑非线性

### 1、结构非线性

原因:

结构刚度较小, 变形较大; (变形后与原结构轴线不重合)

注意: 计算活载内力时可不考虑斜索的非线性影响,

原因:

- 活载内力占总内力较小;
- 活载作用时斜索已有相当大的拉力, 斜索的非线性小。

### 2、材料非线性





本章完！

