



# 第五章 预应力混凝土连续梁桥 与连续刚构桥

§ 5. 1 概 述

§ 5. 2 主要结构与构造

§ 5. 3 施工方法简介

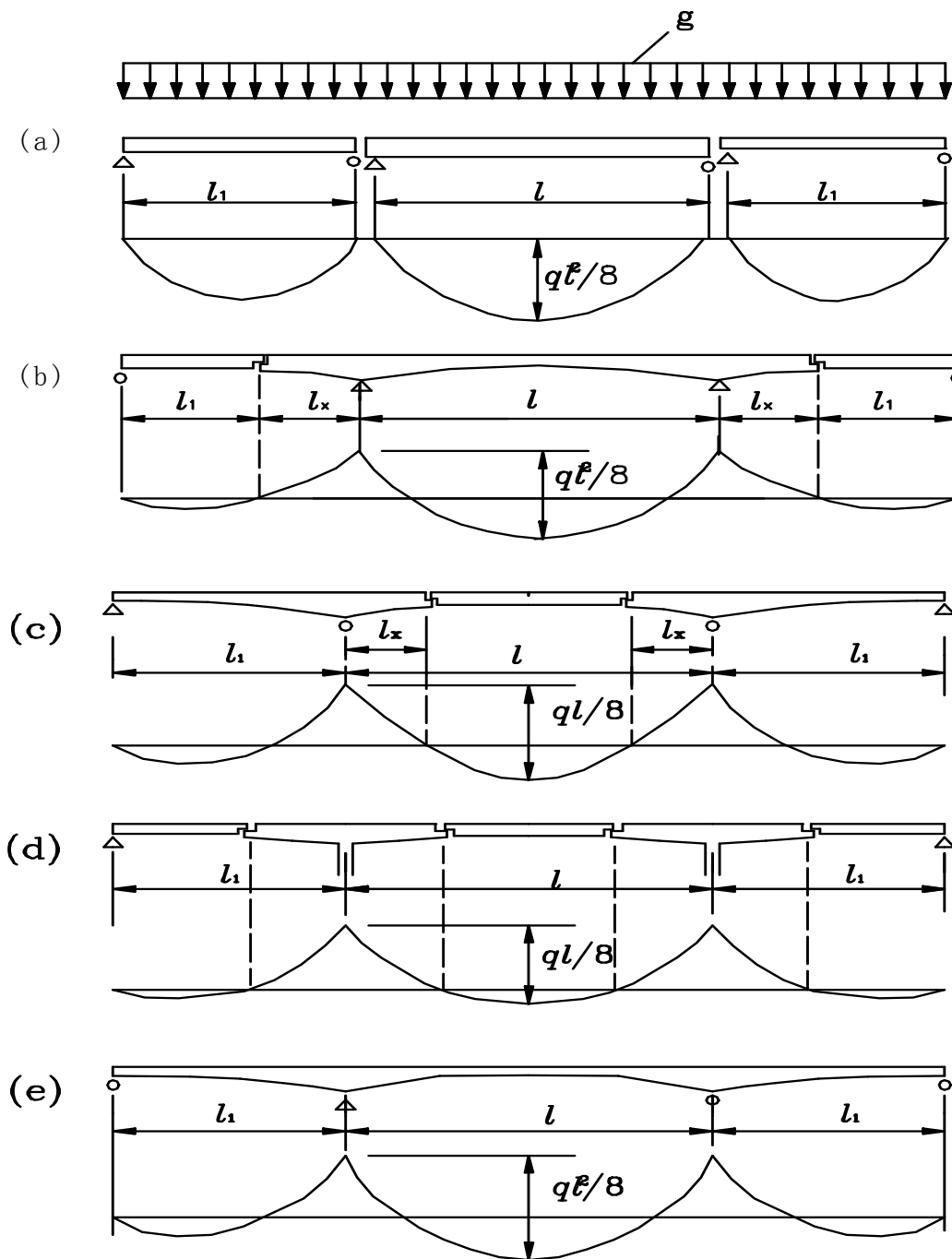
§ 5. 4 预应力混凝土连续梁桥设计计算要点



## 5.1 概述

- **简支梁桥**：  $L > 20 \sim 25\text{m}$ ，跨中弯矩迅速增大，截面尺寸和自重显著增加，材料用量大且不经济，安装重量给装配式施工造成困难。
- 较大跨径的梁式桥：降低材料用量，采用能减小跨中弯矩值的其他体系桥梁，如**悬臂体系**、**连续体系**的梁桥等。

# 梁式桥恒载弯矩比较图



(a) 简支梁      (b)、(c) 悬臂梁      (d) T型刚构      (e) 连续梁



- 与简支体系相比较，悬臂和连续体系可以减小跨内弯矩的绝对值、降低主梁的高度，从而减少材料用量和结构自重，而结构自重的降低又进一步减小了恒载的内力。
- 预应力混凝土连续梁桥具有整体性能好、结构刚度大、变形小、抗震性能好等优点，更突出的是在使用上，主梁变形挠曲线平缓、桥面伸缩缝少、行车舒适。

## 悬臂现浇施工



## 悬臂预制拼装施工



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

- 利用预应力作为一种施工手段的悬臂施工方法在预应力混凝土桥梁中开始应用，加速了预应力混凝土梁桥的发展步伐。由于结构的悬臂体系和悬臂施工方法相结合产生了T型刚构。



## T型刚构



## 厦门高集海峡大桥



## 乌龙江桥二桥

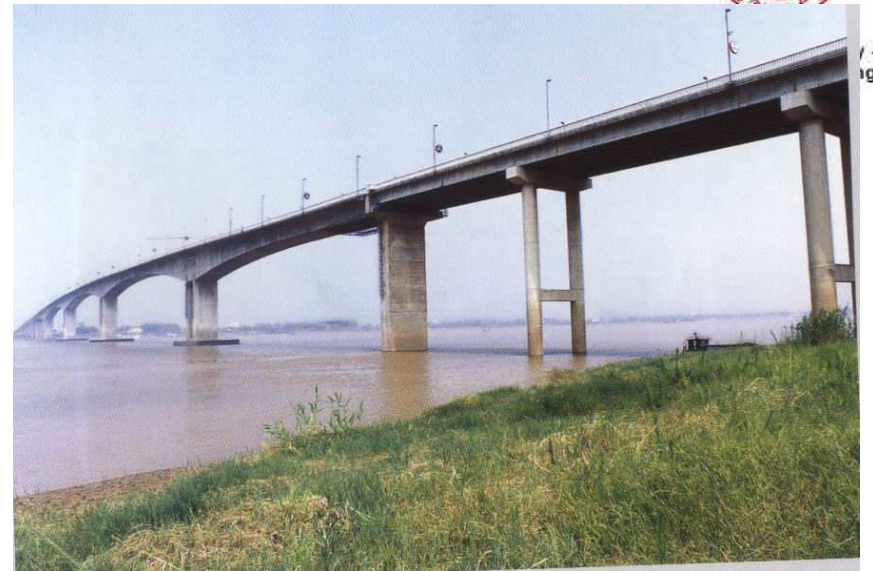


ersity -  
eering

- 预应力混凝土连续梁桥具有整体性能好、结构刚度大、变形小、抗震性能好等优点，更突出的是在使用上，主梁变形挠曲线平缓、桥面伸缩缝少、行车舒适。

预应力混凝土连续刚构桥可以看成是由T型刚构与连续梁组合而成。它数跨相连，跨中不设铰或挂梁，行车舒适。主梁与桥墩固结，不设支座，因此具有T型刚构桥和连续梁桥的优点，从而使其跨径适用范围从连续梁桥的150m左右，发展到300m以上。

## 黄石长江大桥



## 黄花园嘉陵江大桥





## 5. 2 主要结构与构造

### 一、立面布置

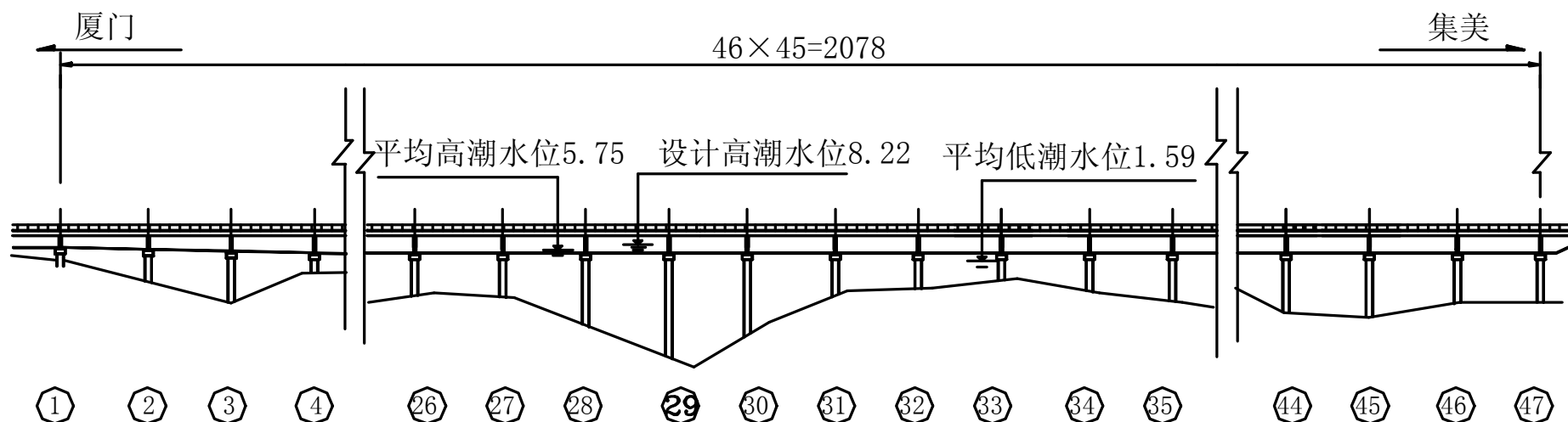
#### 1. 等截面连续梁

- 中等跨度（40~60m）、一联较长
- 梁段（跨）施工可采用预制装配法或就地灌注法。施工简单，所需设备规格少。
- 分跨：等跨（长桥）、不等跨（比值在**0.6~0.8**左右）。
- 不等跨中长跨，（**1**）梁高不变，截面加厚、预应力钢束增加。（**2**）梁高变。

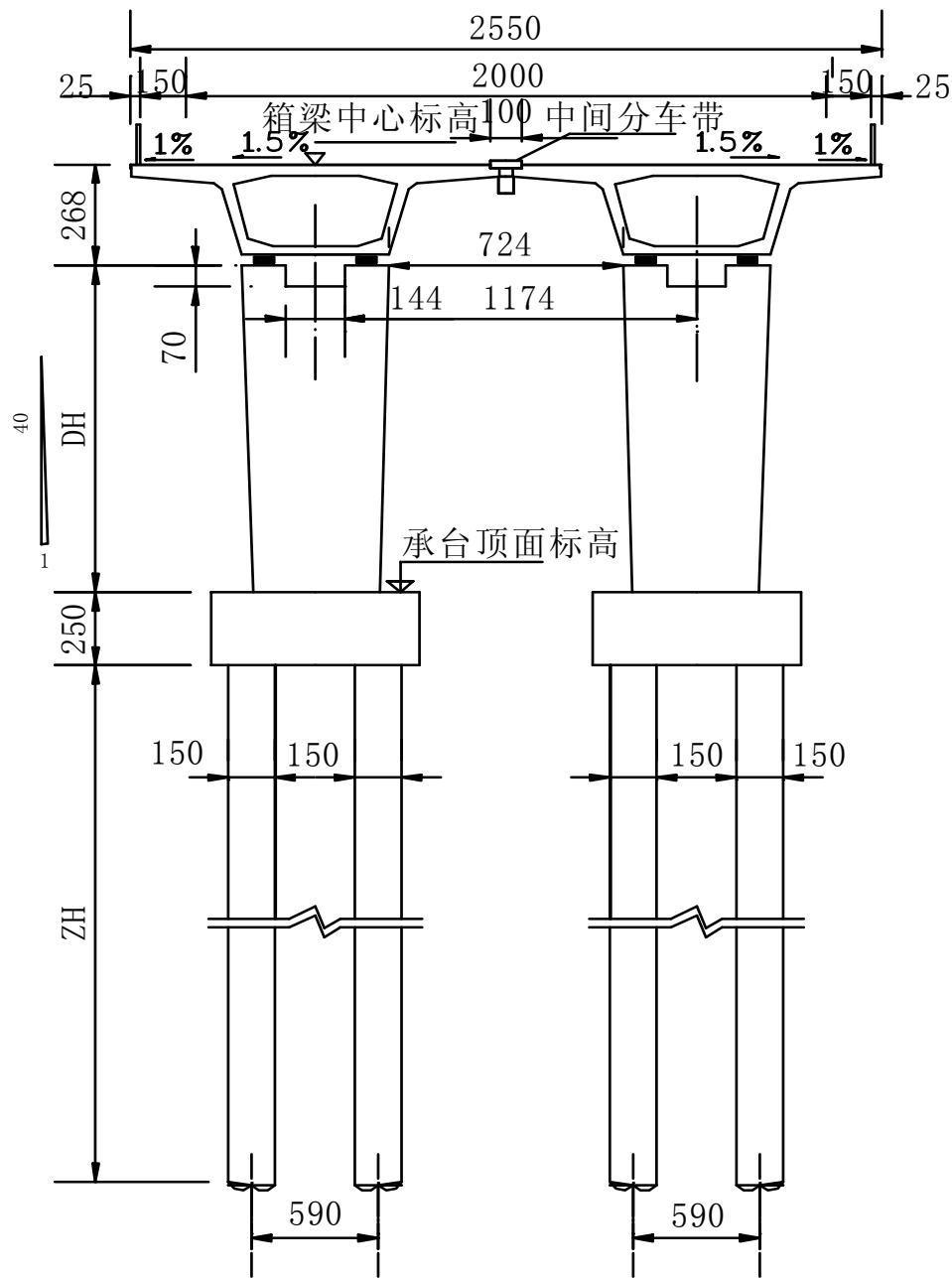




- ▶ 梁高的选择与跨度有关。
- ▶ 等截面公路连续梁桥的高（度）与跨（度）之比 $h/L$ 在 **$1/15 \sim 1/25$** 之间。当采用顶推法施工时，还需要考虑顶推施工时对结构的附加受力要求，此时高跨比 $h/L$ 选 **$1/12 \sim 1/15$** 为宜。
- ▶ 对铁路桥， $h/L$ 为 **$1/16 \sim 1/18$** 。



(a) 立面图 (单位: m)



(b) 横截面布置图

## 厦门高集海峡大桥

全长2070m

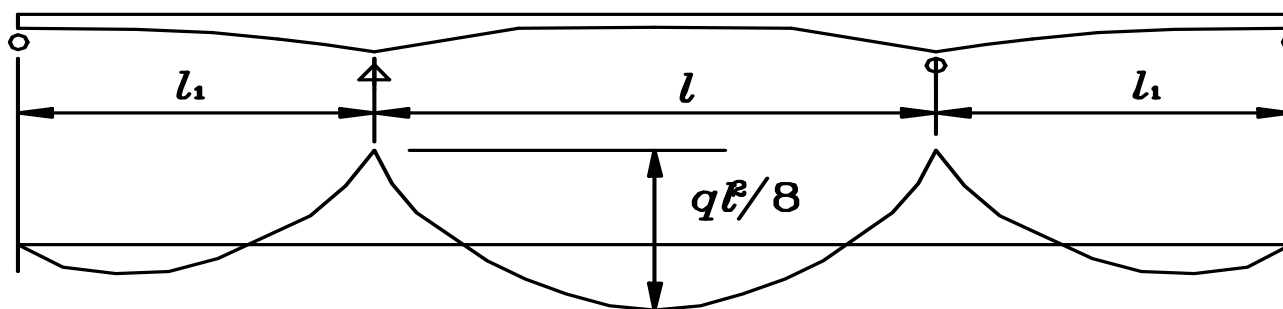
( $8 \times 45\text{m} + 8 \times 45\text{m} + 12 \times 45\text{m} + 10 \times 45\text{m} + 8 \times 45\text{m}$ ),  
 跨度4.5m, 箱形截面, 采用逐跨现浇的活动支架法施工





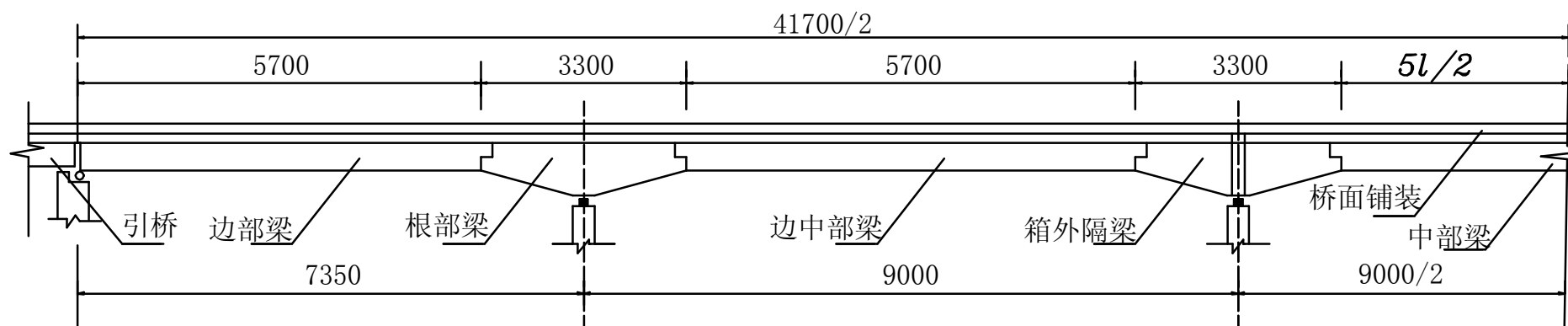
## 2. 变截面连续梁

- 连续梁桥的支点负弯矩远大于跨中正弯矩。
- 变截面梁（支点处梁高增大，跨中处梁高减小，其间按曲线或折线过渡）。适应结构的内力分布规律
- $L > 100\text{m}$ 公路混凝土连续梁桥



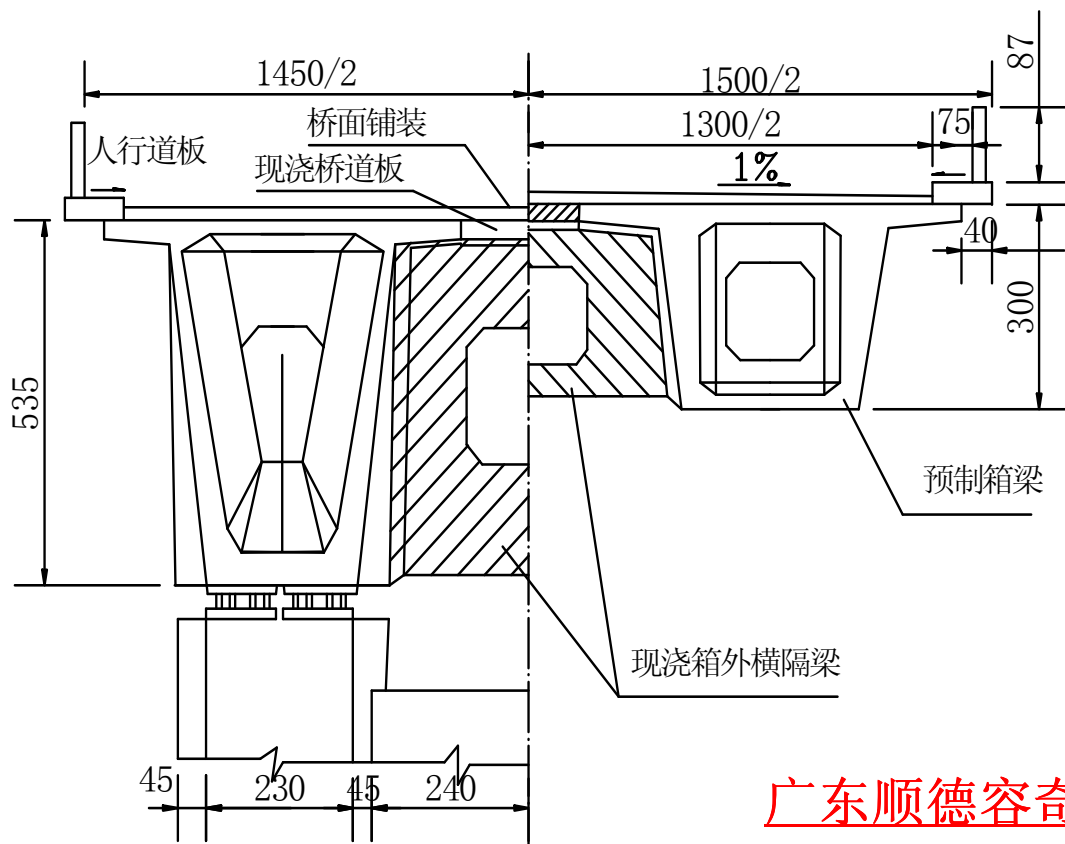


- 梁高变化规律：斜（直）线、圆弧线或二次抛物线
- 高跨比 $h/L$ ：跨中 $1/30\sim 1/50$ ，支点 $1/16\sim 1/25$
- 底板、腹板和顶板做成变厚度
- 支点与跨中高度之比： $2.0\sim 3.0$



(a) 总体布置图

## 广东容奇大桥



(b) 横断面布置

## 广东顺德容奇大桥

主梁分：根部梁、中部梁和边部梁三种；  
设临时支架，大型浮吊吊装施工。

两个中墩设置为固定支座，主桥与引桥之间留  
**100mm**的伸缩缝； 主墩为六角形双柱式墩，  
高**14~16m**。

高桩承台、钻孔灌注桩基础。



### 3. 连续刚构 (continuous rigid-frame)

- 墩梁固结无支座，利于悬臂施工，省去大型支座及其养护、维修费用；
- 一联内无缝，改善了行车条件；主梁常采用变截面箱型梁；
  - 上部结构：计入桥墩受力及混凝土收缩、徐变和温度变化引起的变形对上部结构的影响；
- 随着墩高的增加，连续刚构的墩顶以及跨中弯矩趋近连续梁者。



- **桥墩**：具有一定柔度，其根部所受弯矩很小，墩梁结合处有刚架受力特点；
- 桥墩多采用矩形和箱形截面的柱式墩或双薄壁墩；
- 墩的轴向力和墩底弯矩随墩高的增加急剧加大；
- 两墩之间的梁部所受到的轴向力随墩高的增加而急剧减少。
- 伸缩装置应能适应结构纵向位移的需要；桥台处需设置控制水平位移的挡块，以保证结构的水平稳定性。



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

## 广东虎门辅航道桥

**150m+270m+150m**一联。桥宽**31m**，**6**车道，由双箱组成。梁的下缘呈抛物线形，根部高**14.8m**，跨中高**5 m**。桥墩为双柱式空心墩，高**35m**，具有较大抗弯刚度。基础采用高桩承台，每墩有**32**根直径**2.0m**的桩嵌入岩石。主梁用挂篮法平衡悬臂灌注。桥墩用支架提升模板灌注混凝土。

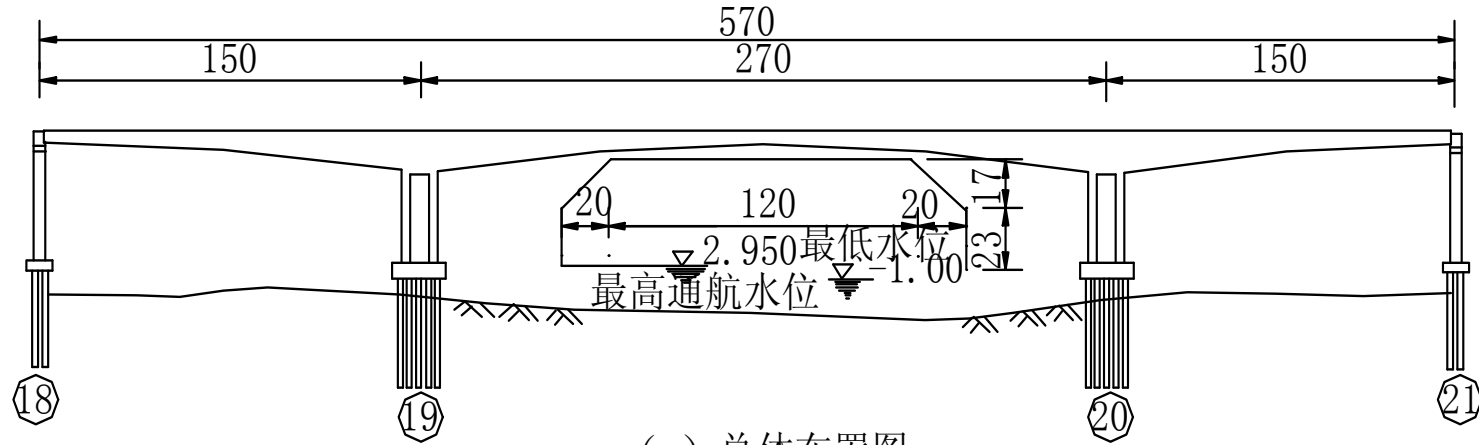




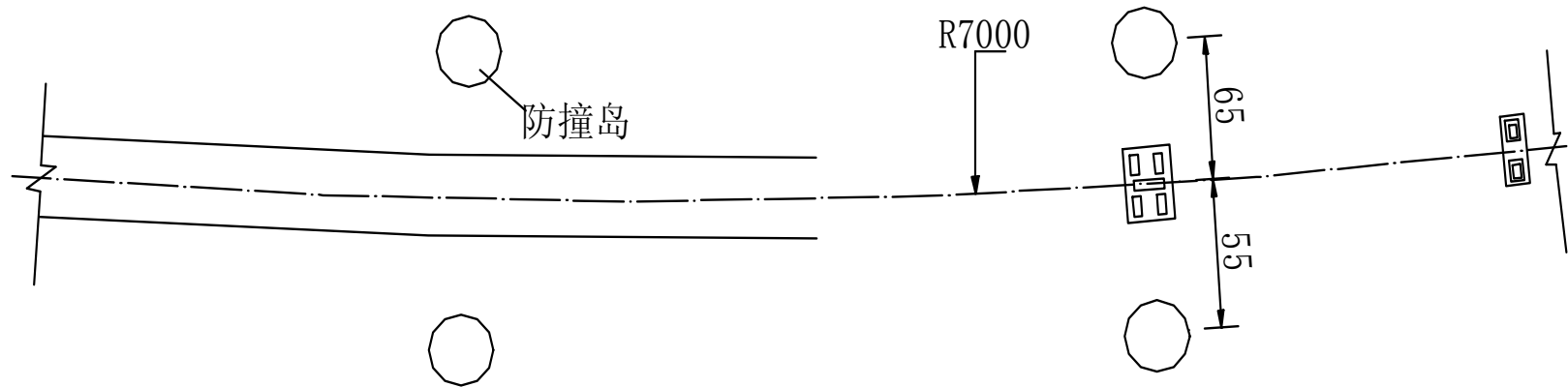
# 广东虎门珠江辅航道桥



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



(a) 总体布置图

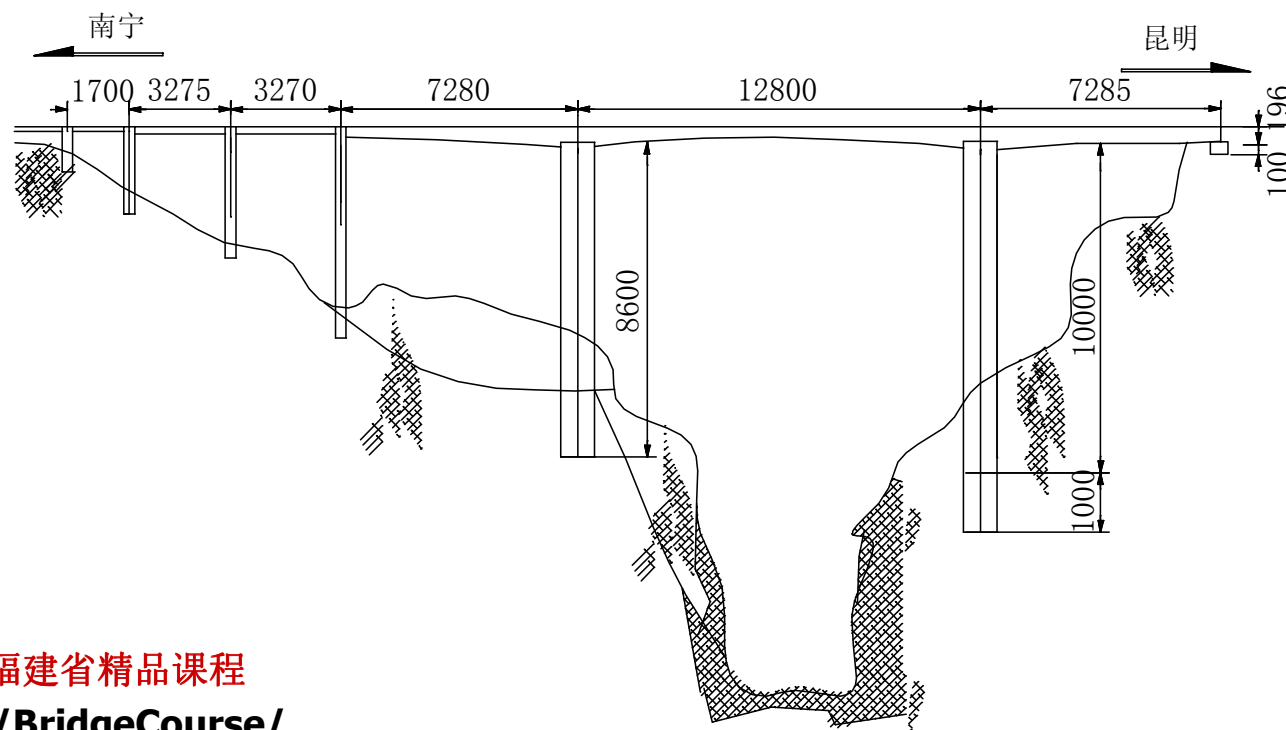


(b) 横截面图



## 南昆线清水大桥

三跨，主跨**128m**。单箱单室变截面，桥墩处梁高**8.8m**，跨中处梁高**4.4m**。箱梁顶板宽**8.1m**，箱宽**6.1m**；腹板厚度**0.4~0.7m**，底板厚度**0.4~0.9m**，顶板厚度**0.5m**。梁体**C50**混凝土，三向预应力，悬臂灌注法施工。



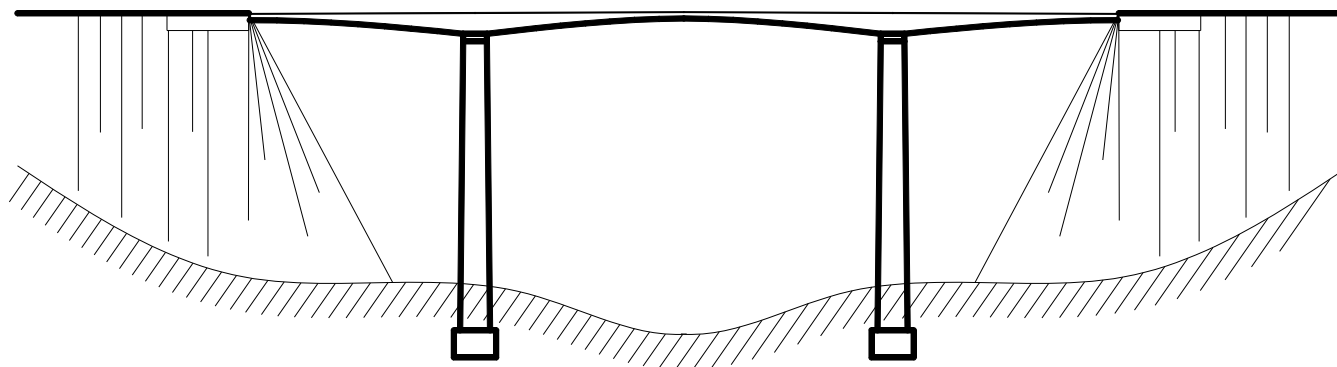


## 4. 悬臂梁

- ❖ 在桥头两端不设置桥台，而仅设置搭板与路堤相衔接，由于行车时，搭板容易损坏，故多用在跨干线的人行桥梁上。
- ❖ 受力方面：
  - 属于静定体系，它们的内力不受基础不均匀沉降等附加变形的影响。
  - 悬臂梁桥在施工阶段和成桥运营阶段两者受力状态是一致的，非常适宜于悬臂施工方法。



## 不带挂梁的单孔双悬臂梁桥



多跨悬臂梁桥的两个悬臂一般多做成相同的尺寸，其挂梁高度约为 $= (1 / 20—1 / 12)$ 。在特殊情况下必须进一步减小锚孔的跨径时，应考虑活载作用在中孔时锚孔边支点可能出现负反力的情况，为此应采取加设平衡重物或设置拉力支座等特殊措施。



## 带挂梁的悬臂梁桥



旧南安大桥为**8**孔的悬臂梁桥，跨径为**32.8m**，全长为**288.23m**。桥面行车道净宽为**7.0m**，人行道**2×1.0m**。

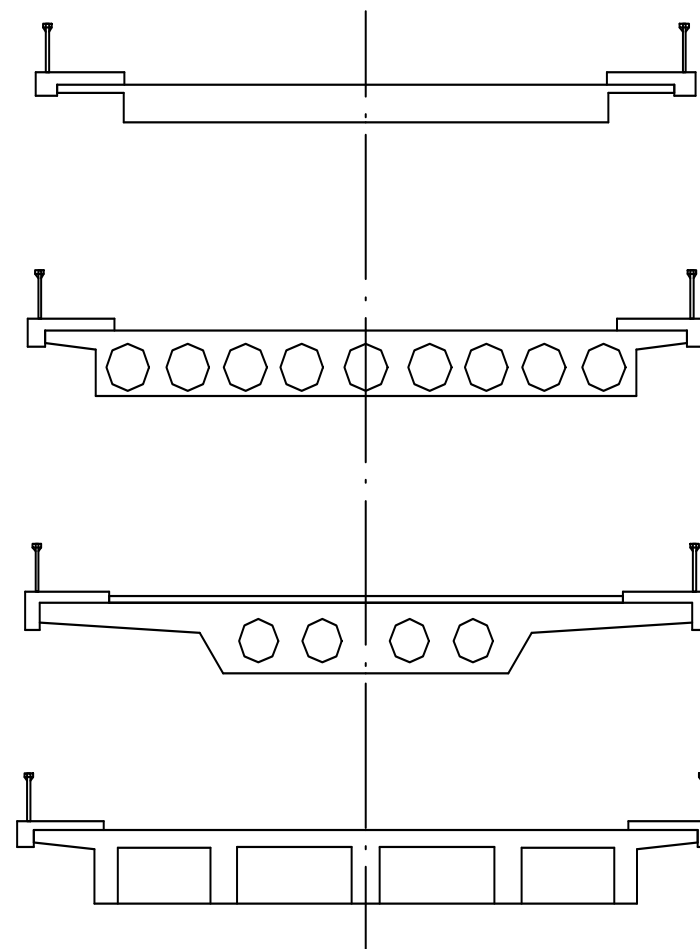


## 二、横截面布置

(1) 板、肋式截面

(2) 箱形截面

(3) 横隔板



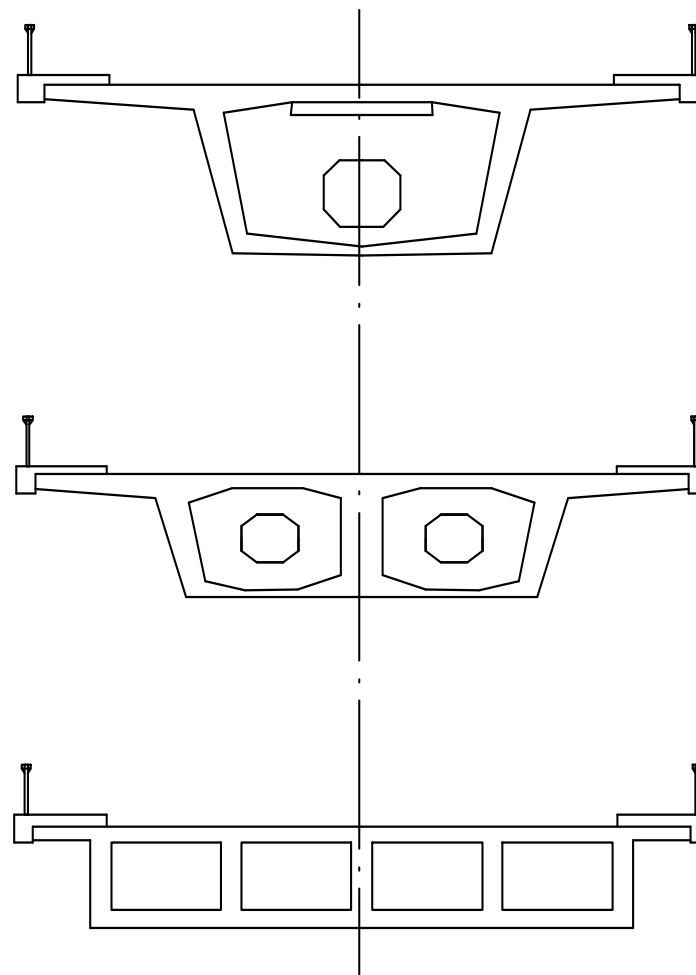
常用板、肋式截面形式



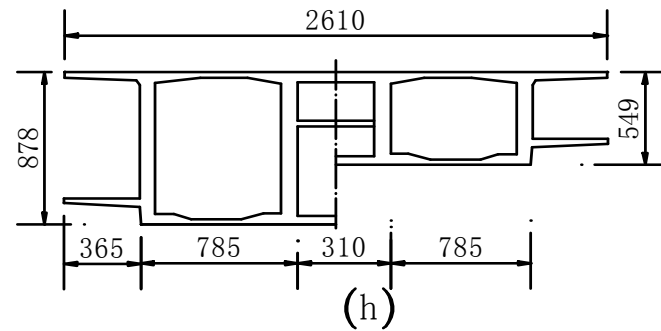
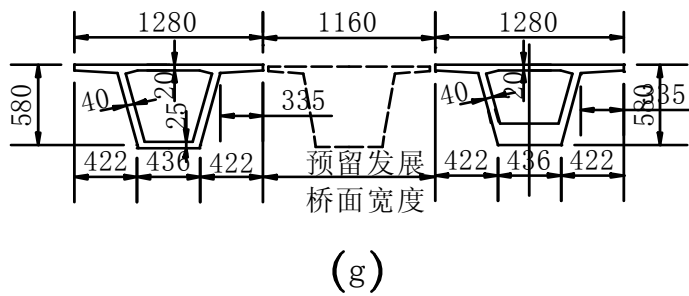
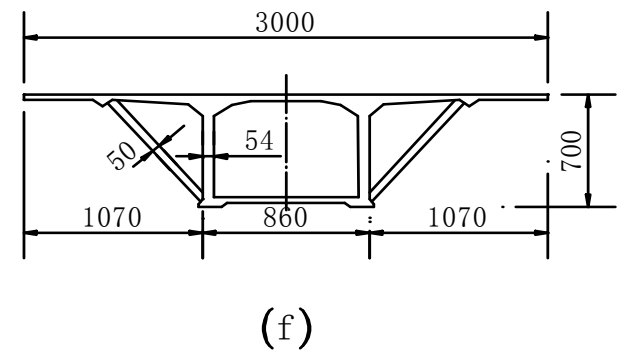
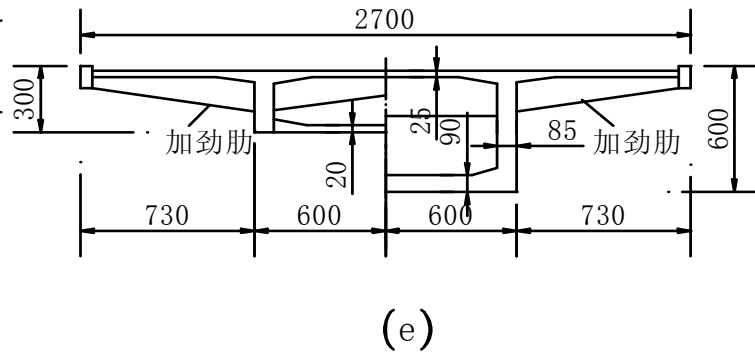
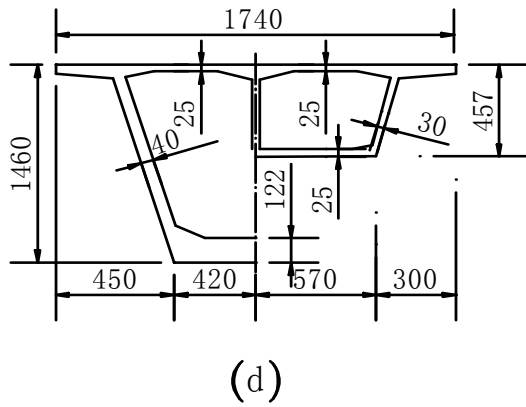
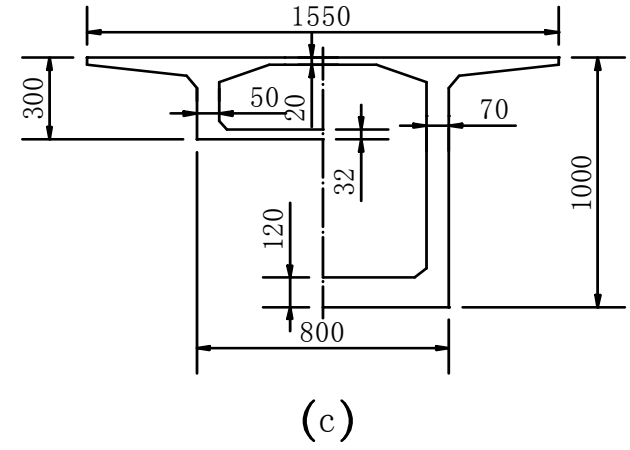
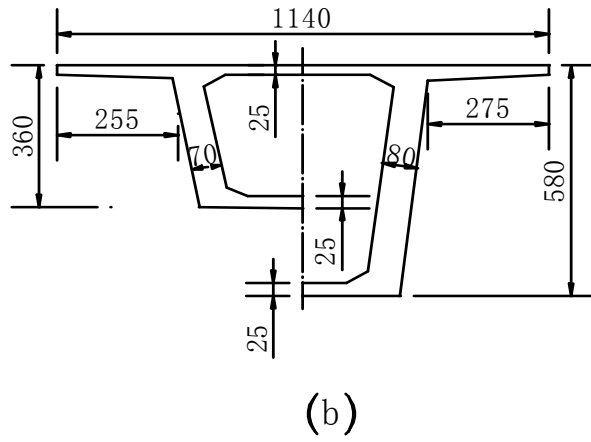
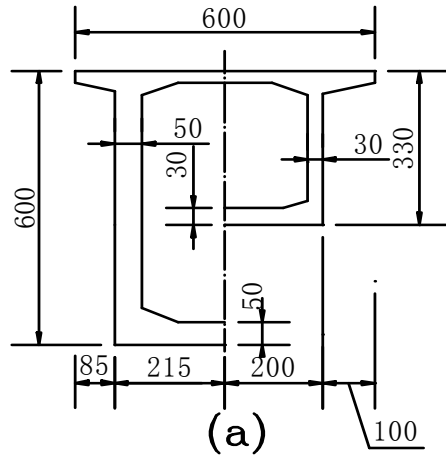
## 常用箱形截面形式

箱形截面特别适用于较大跨径的悬臂梁桥和连续梁桥。

常为变截面外，还变厚度。底板根部厚，通常取墩顶梁高的 $1/10 \sim 1/12$ ；跨中薄，一般在 $0.2 \sim 0.3\text{m}$ 。箱梁顶板厚度的取值要考虑两个因素：一是要满足桥面板横向抗弯的要求，二是要满足纵向力筋布置的要求。



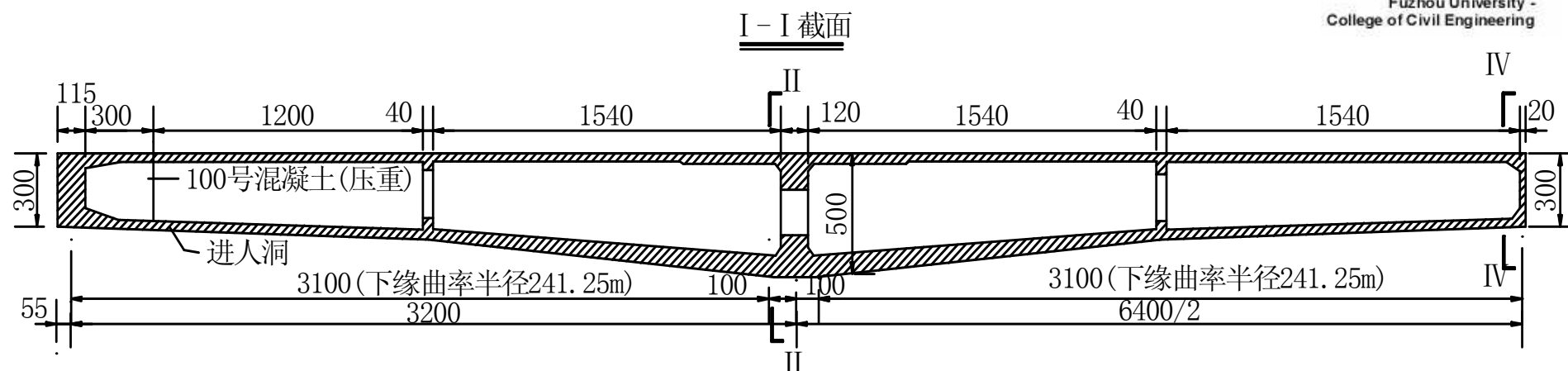
# 实桥箱梁截面举例



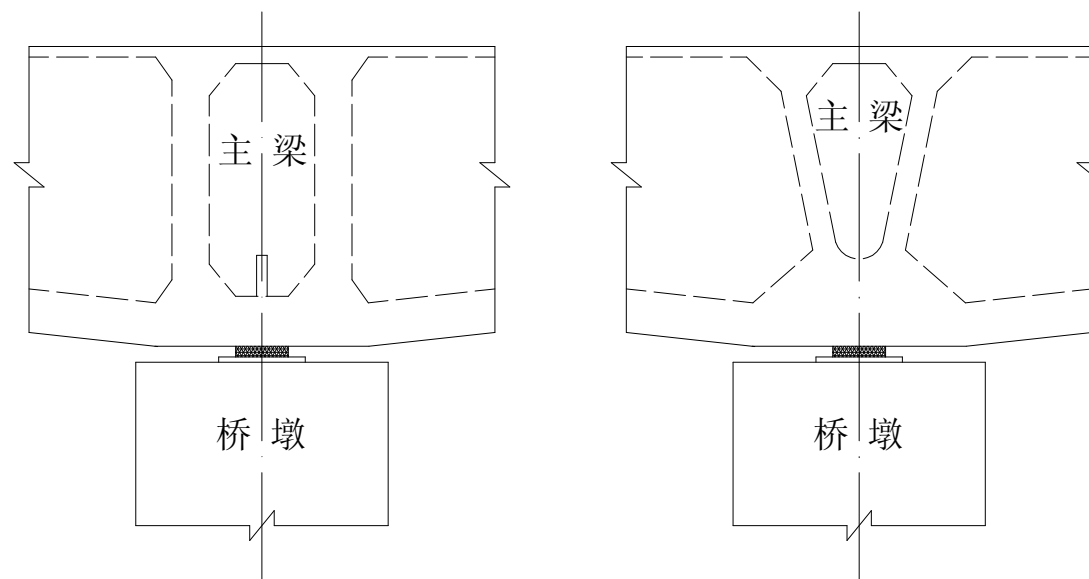




# 横隔板一般布置



## 主梁0号块





## 三、预应力钢筋的布置

### 1) 纵向力筋的布置

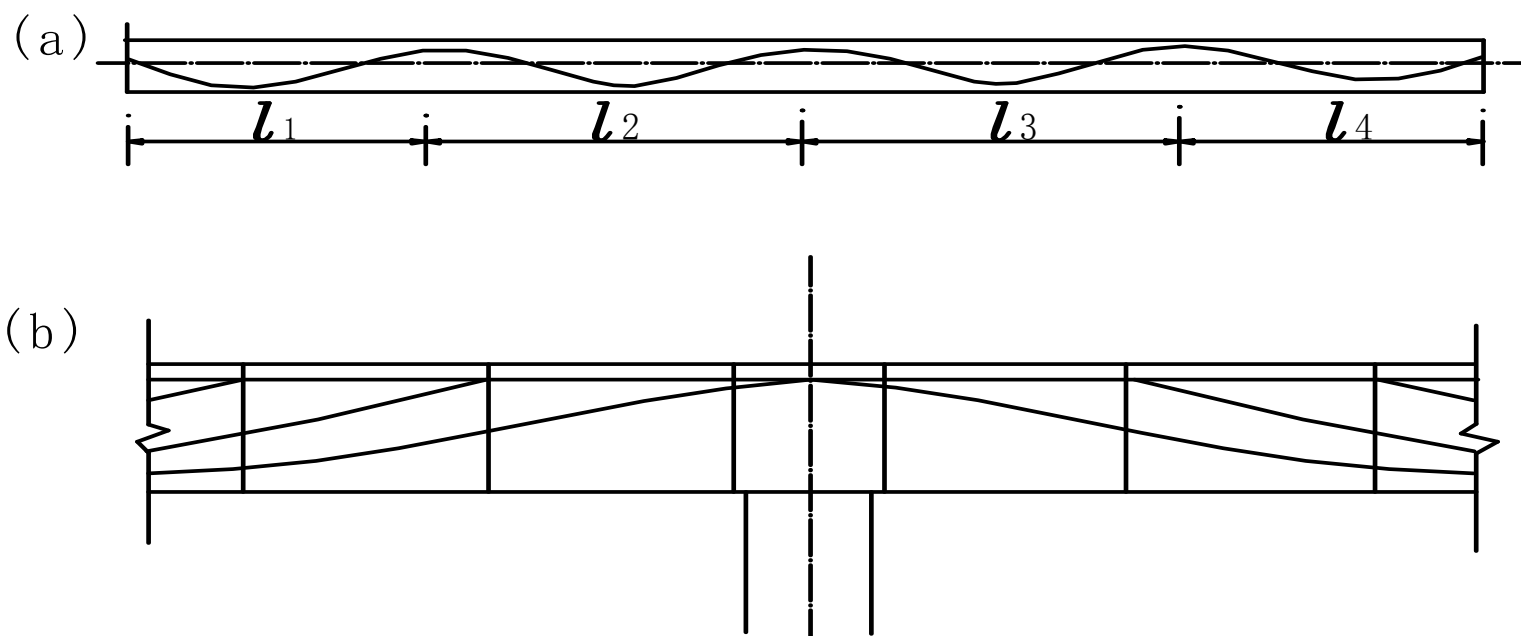
- 连续配筋
- 分段配筋
- 逐段加长力筋
- 体外布筋
- 后连续力筋

### 2) 横向和竖向布筋



## 连续配筋的力筋布置

小跨度的等截面连续梁桥，采用就地灌注施工的，其纵向力筋可按照结构各部位的受力要求进行连续配筋。二次抛物线。

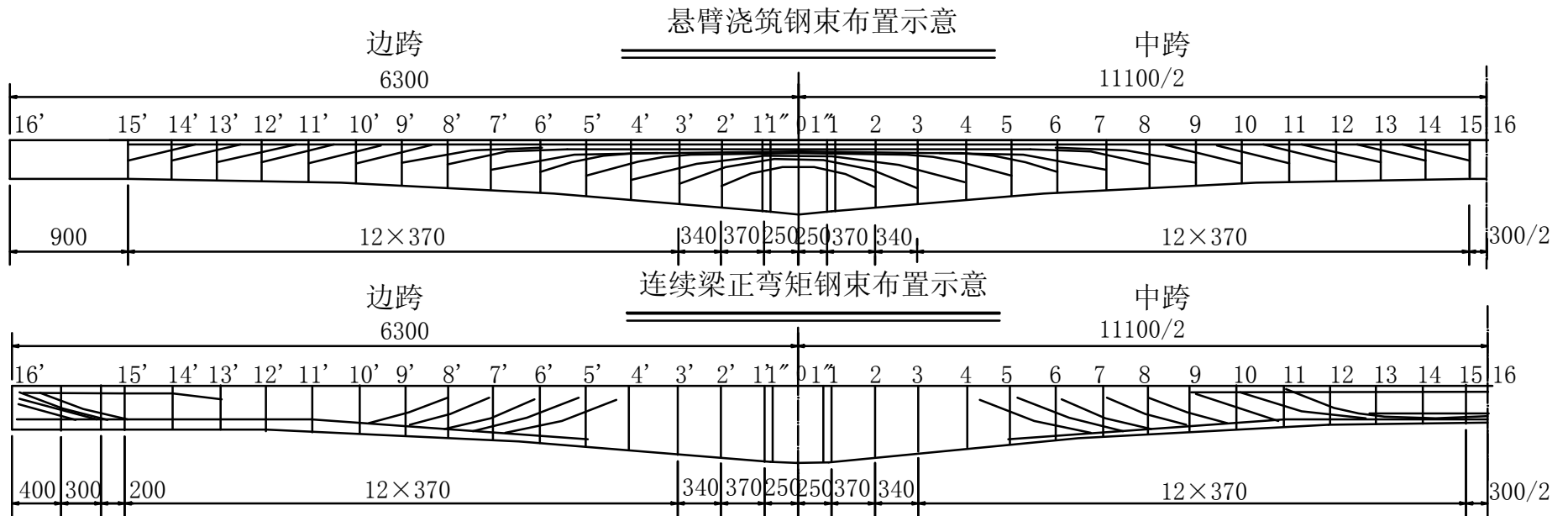


# 分段配筋

大跨度、变截面、悬臂施工法。

悬臂伸出施工时，对梁体施加负弯矩筋；在两梁段合龙后（称为体系转换），再张拉正弯矩筋和其它力筋。

力筋的布置原则：力矩大、锚固方便、施工简单。

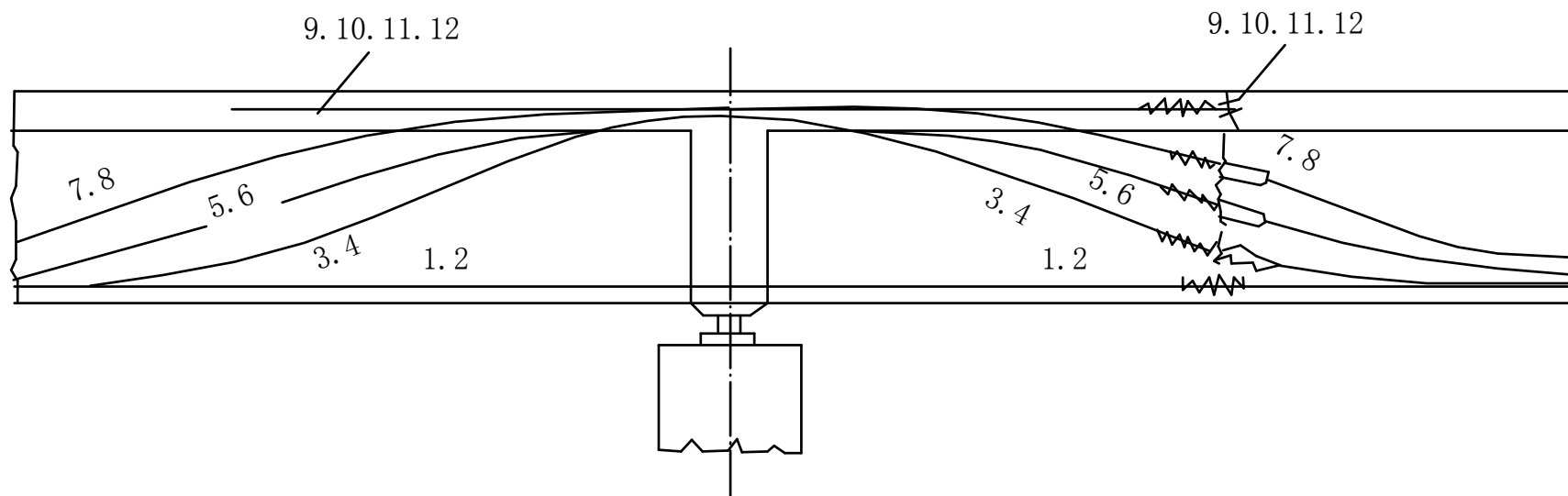




## 逐段加长力筋

用连接器把主筋对接或逐段加长。  
逐孔施工、顶推法施工的连续梁常用。

接头的位置通常设置在离支点约  
**1/5**跨度附近弯矩较小的部位。





## 体外布筋

力筋布置在主梁截面以外的箱内，配以横隔板、转向块等构造，对梁体施加预应力。

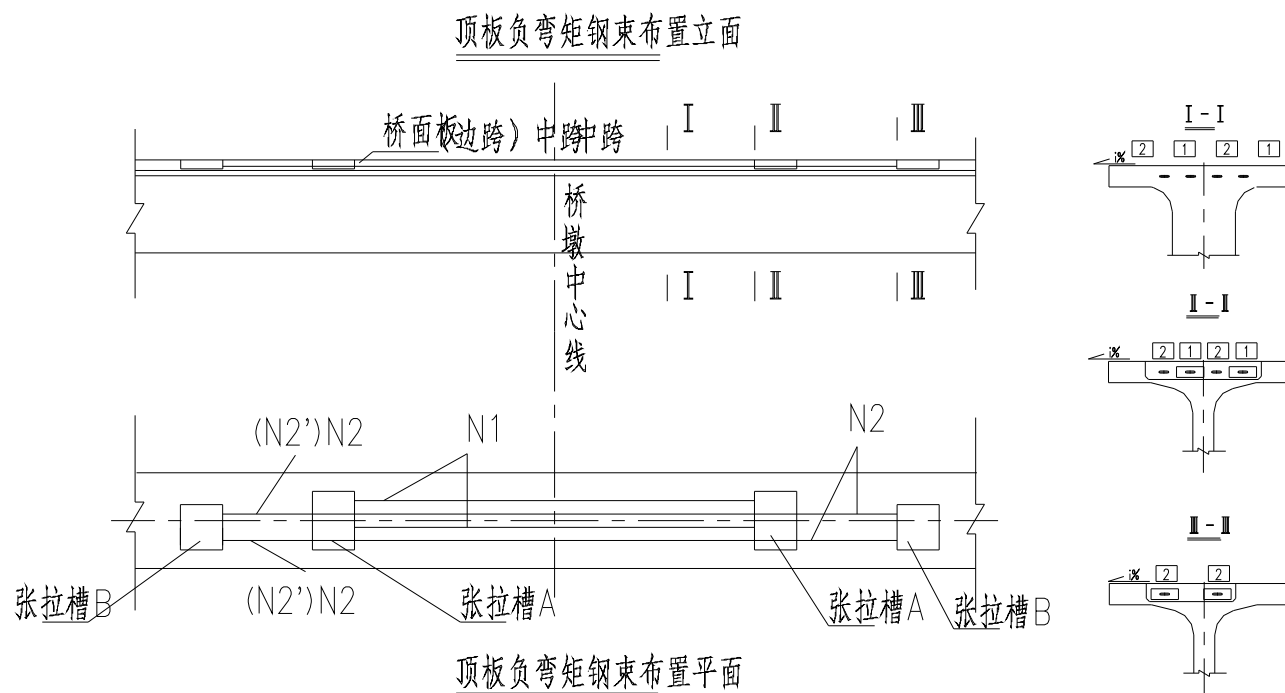
无预留孔道，孔道压浆等工序，施工方便迅速，且便于更换；对力筋防护和结构构造等的要求较高。





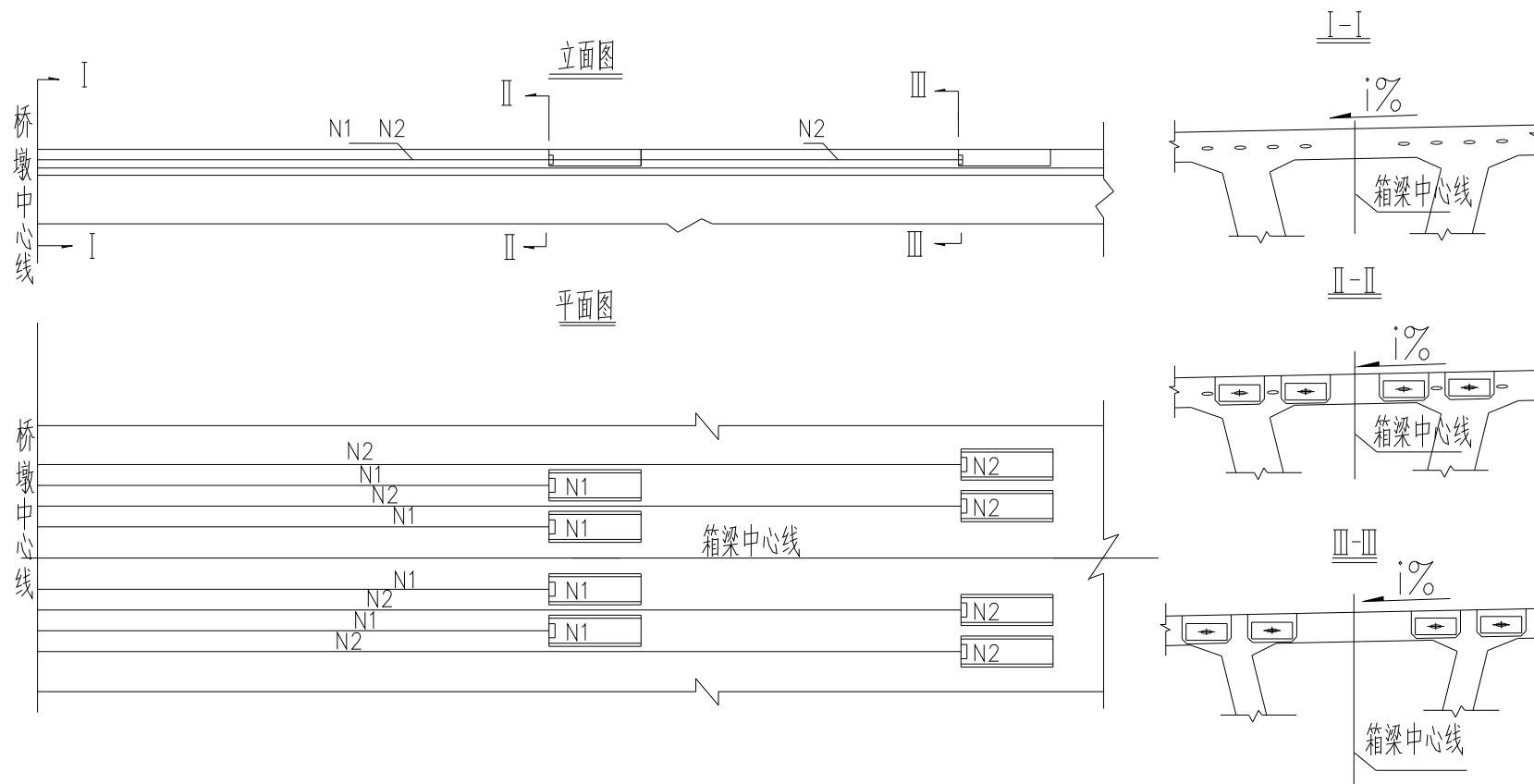
## 后连续筋

先简支后连续方法施工的预应力混凝土连续梁桥，后连续采用预应力筋布置，必须先预留张拉槽孔和预埋管道，待连续部分的混凝土浇筑完毕后，穿束张拉后连续的力筋，实现整体梁的连续。





# 矮箱梁简支后连续力筋布置

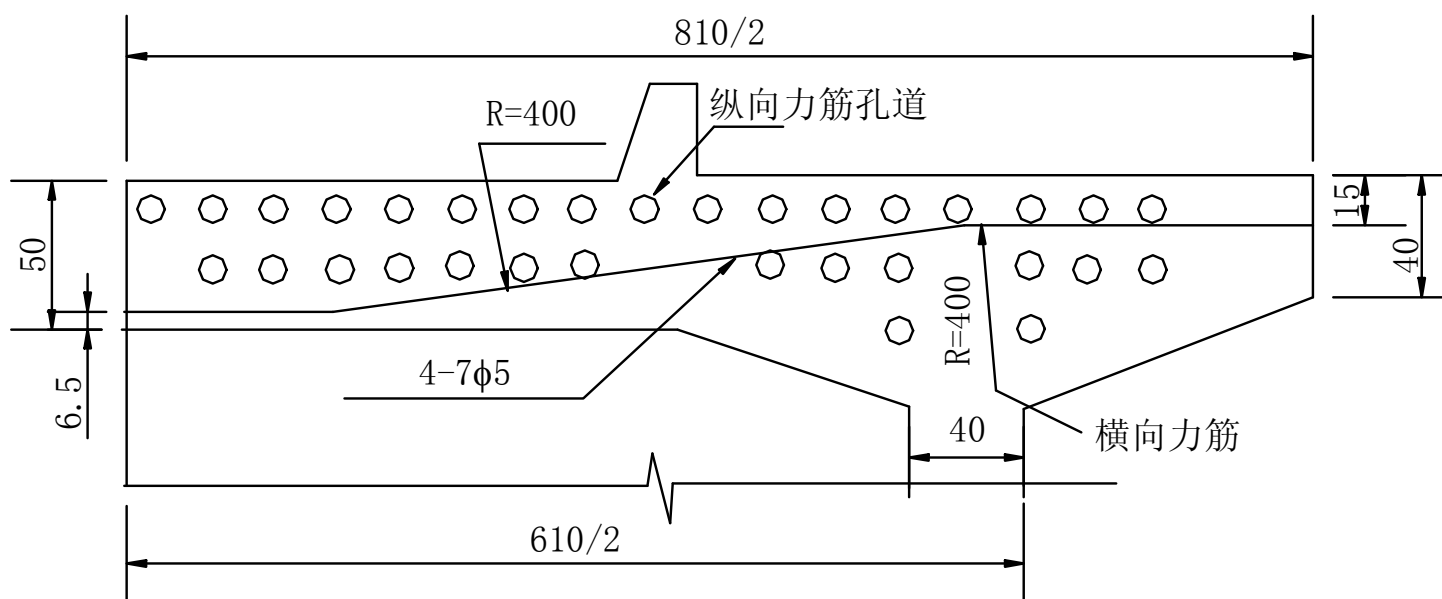






## 横向和竖向布筋

横向筋是桥面板横向受力的需要，多采用钢绞线



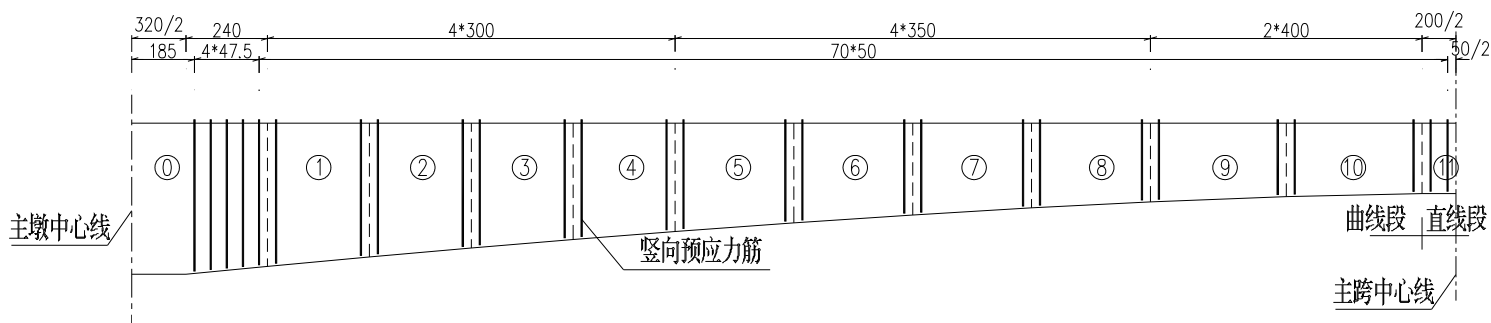
箱梁顶板的横向力筋（清水河桥）



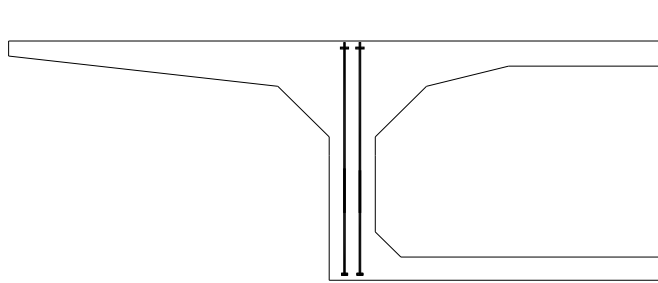
# 竖向预应力筋图

抗剪。还可作挂篮的后锚钢筋。

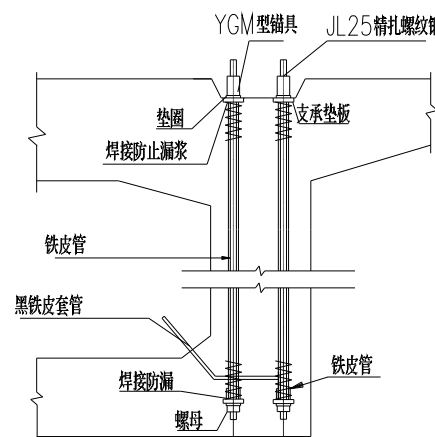
多采用高强度精轧螺纹钢，纵桥向一般每隔**50~80cm**间距设置，后张法施工。



(a) 纵桥向布置



(b) 横向布置



(c) 竖向预应力筋



## 5.3 施工方法简介

### 一、概述

立支架就地现浇

用滑模逐跨现浇施工

预制拼装（可以整孔、分段串联）

悬臂浇筑

顶推



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



## 立支架就地现浇

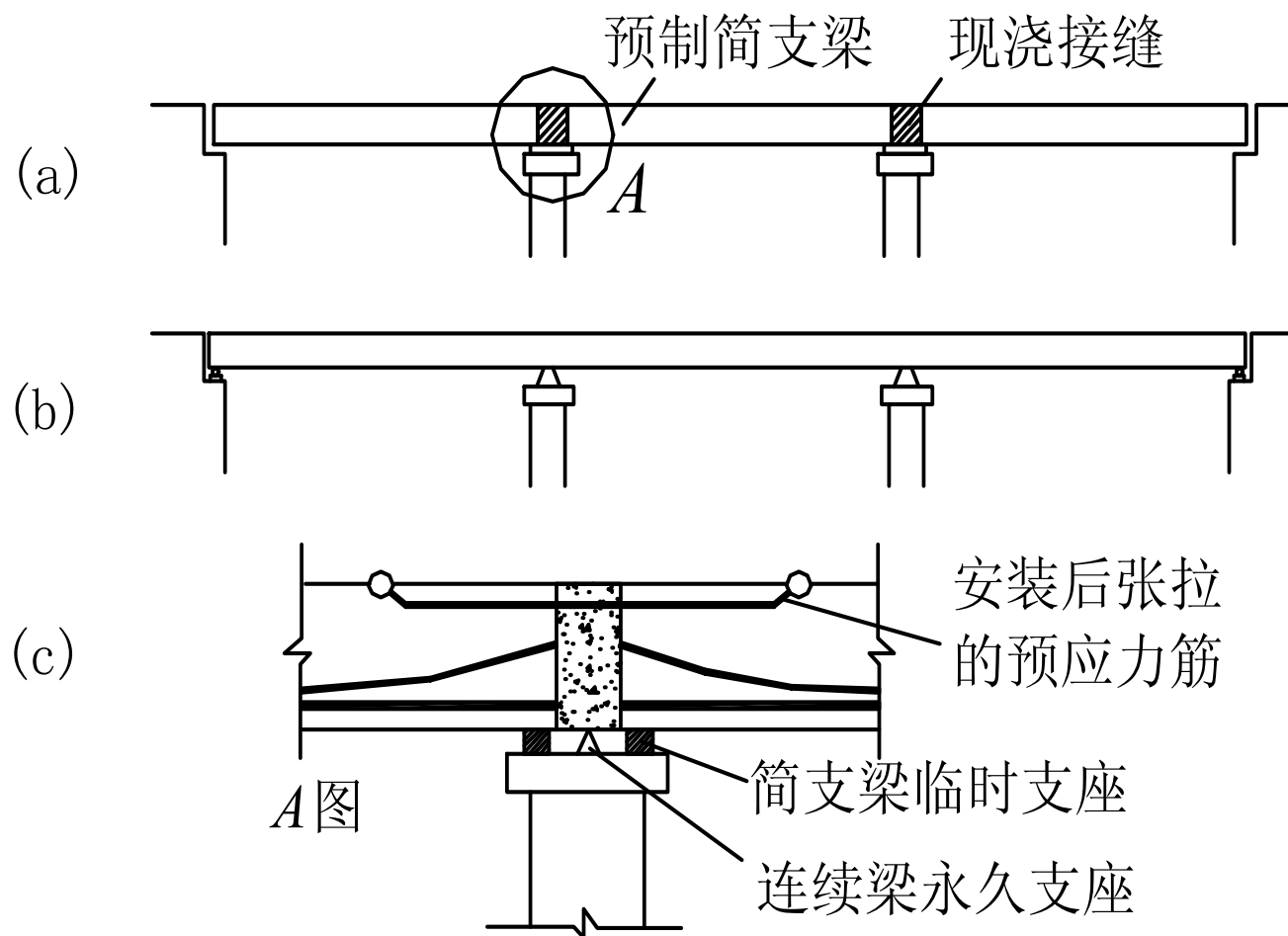


## 二、预制装配—整体施工法

- 三种分段施工方式
  - ❖ 简支—连续
  - ❖ 单悬臂—连续
  - ❖ 双悬臂—连续



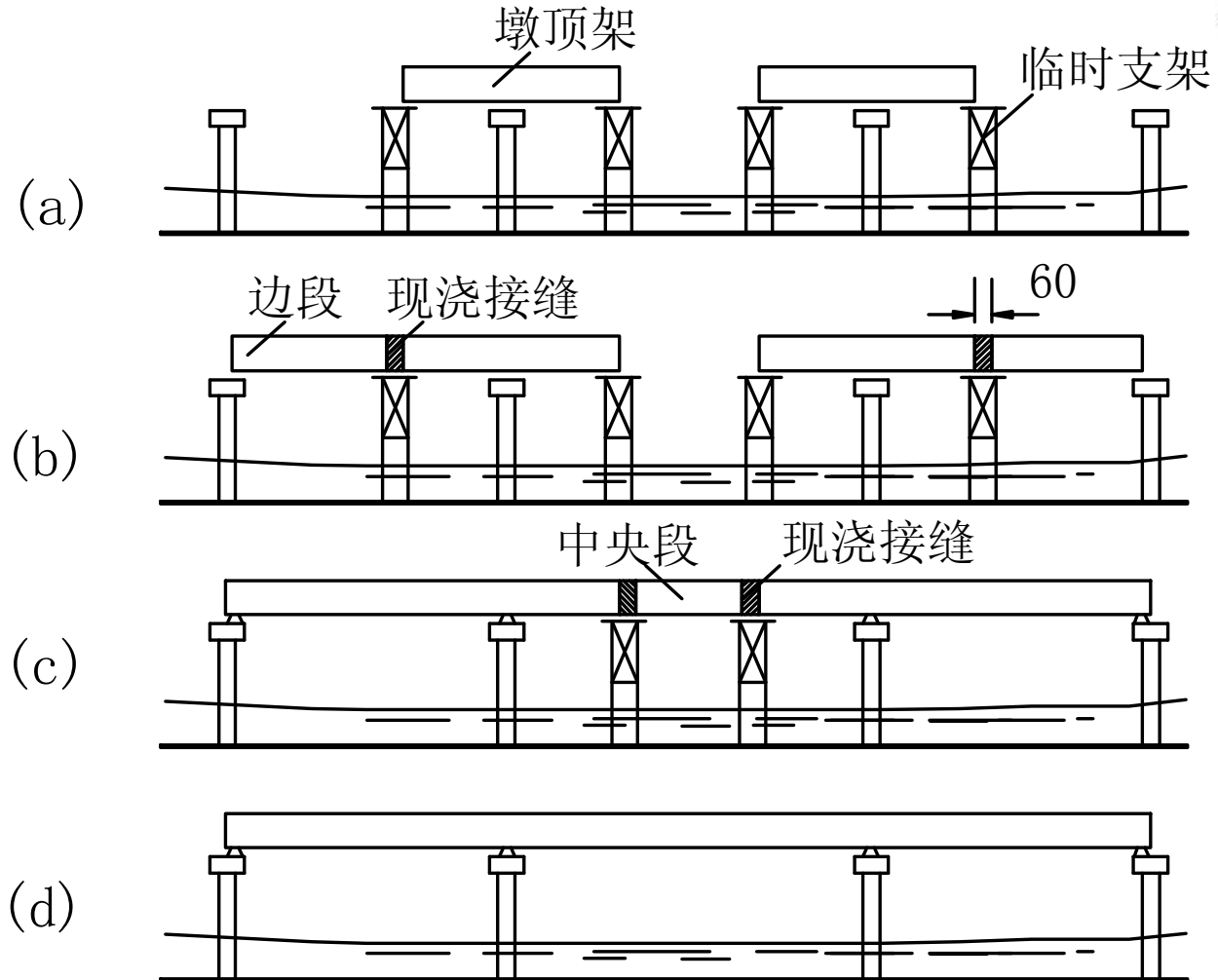
# 简支—连续施工法



# 简支—单悬臂—连续施工法



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering





### 三、悬臂施工法（**cantilever method**）

- (1) 悬臂施工的程序
- (2) 采用挂篮的悬臂浇注法
- (3) 采用吊机的悬臂拼装法

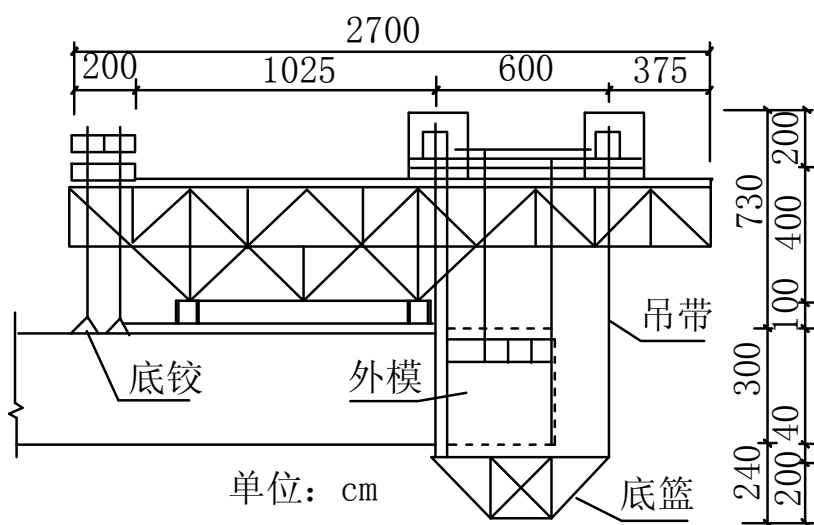




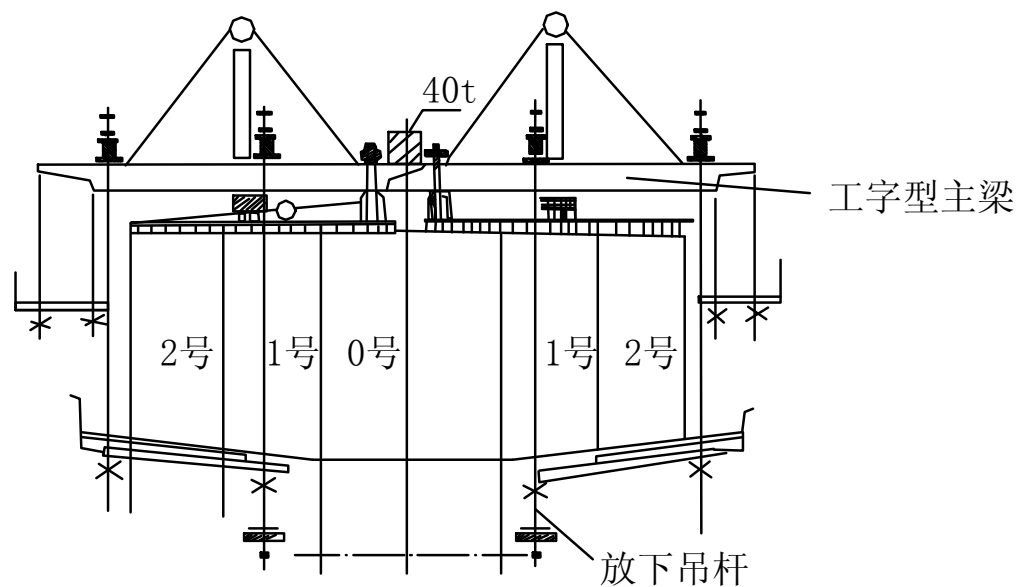


# 悬臂浇注法

## 几种常用挂篮示意-1



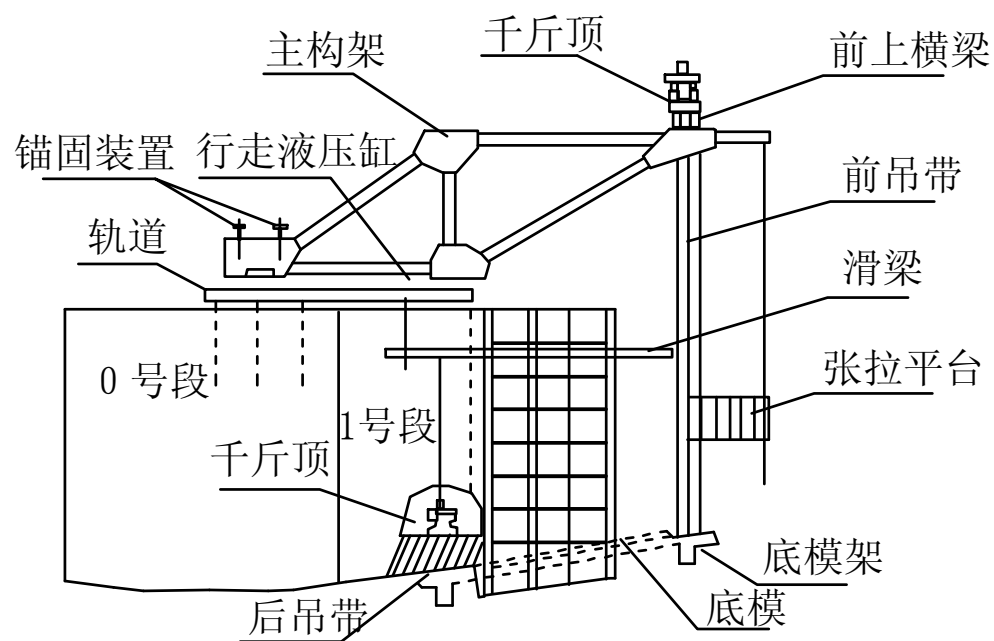
(a) 平行桁架式挂篮



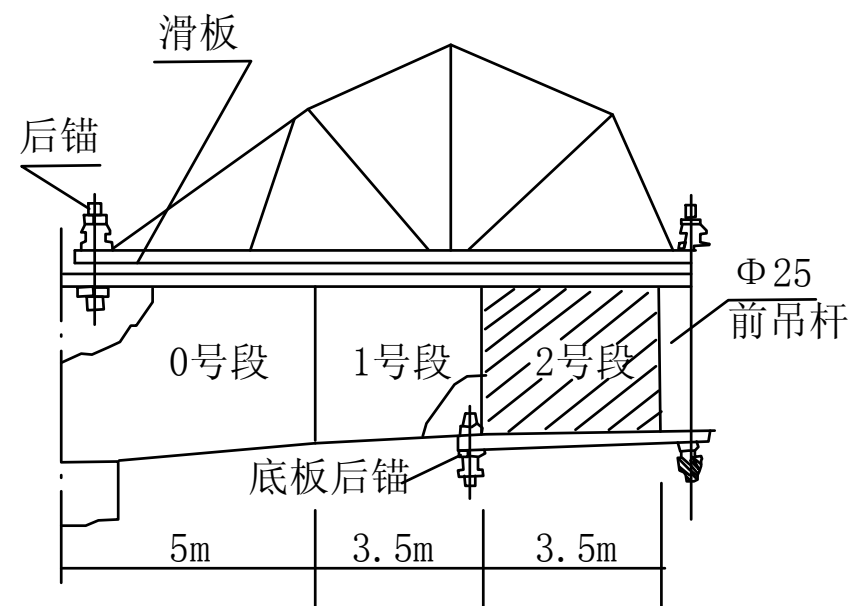
(b) 三角组合梁式挂篮



## 几种常用挂篮示意-2



(c) 菱形挂篮



(d) 弓弦式挂篮



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



采用挂篮的悬臂灌注法示意模型

福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程

<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



Fuzhou University -  
Civil Engineering



福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程 (日本日见桥)  
<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

## 湖北沙洋汉江桥，主跨**110m**，采用悬臂浇筑施工

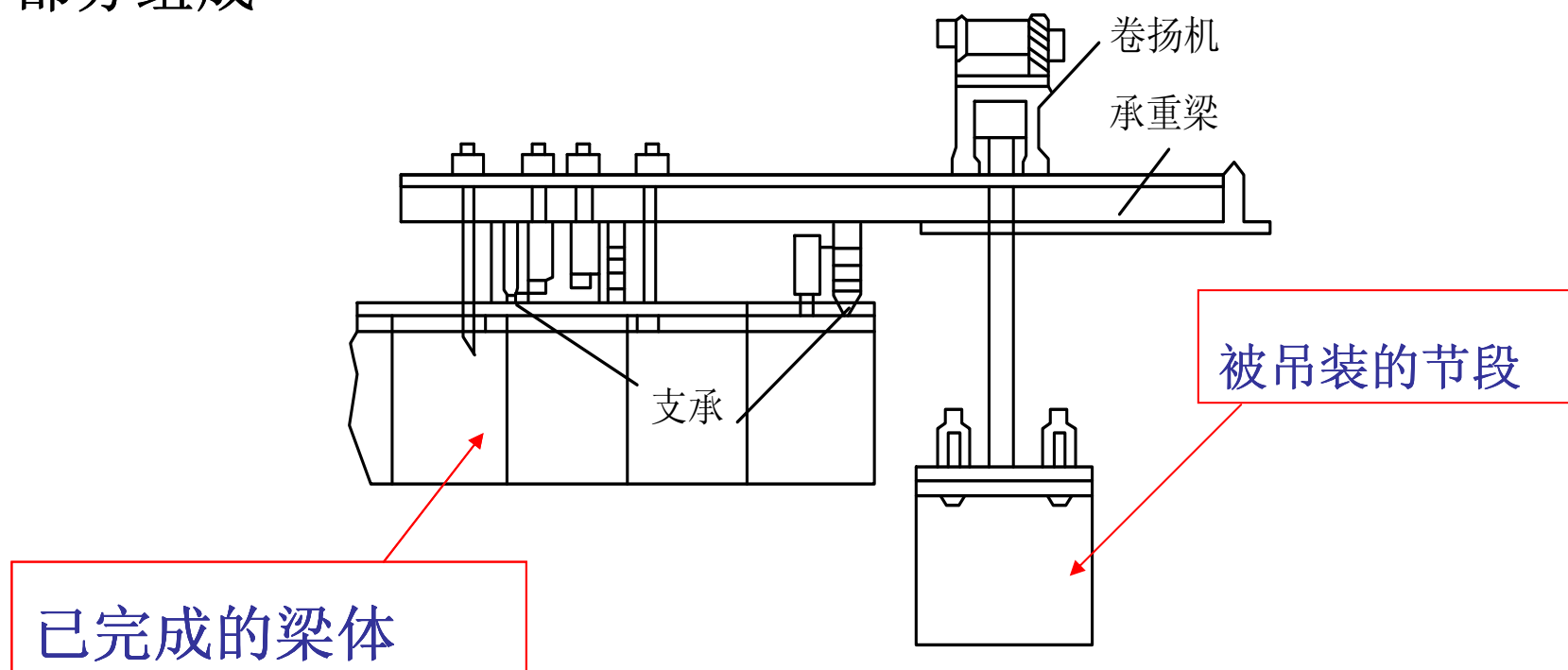


福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程  
<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



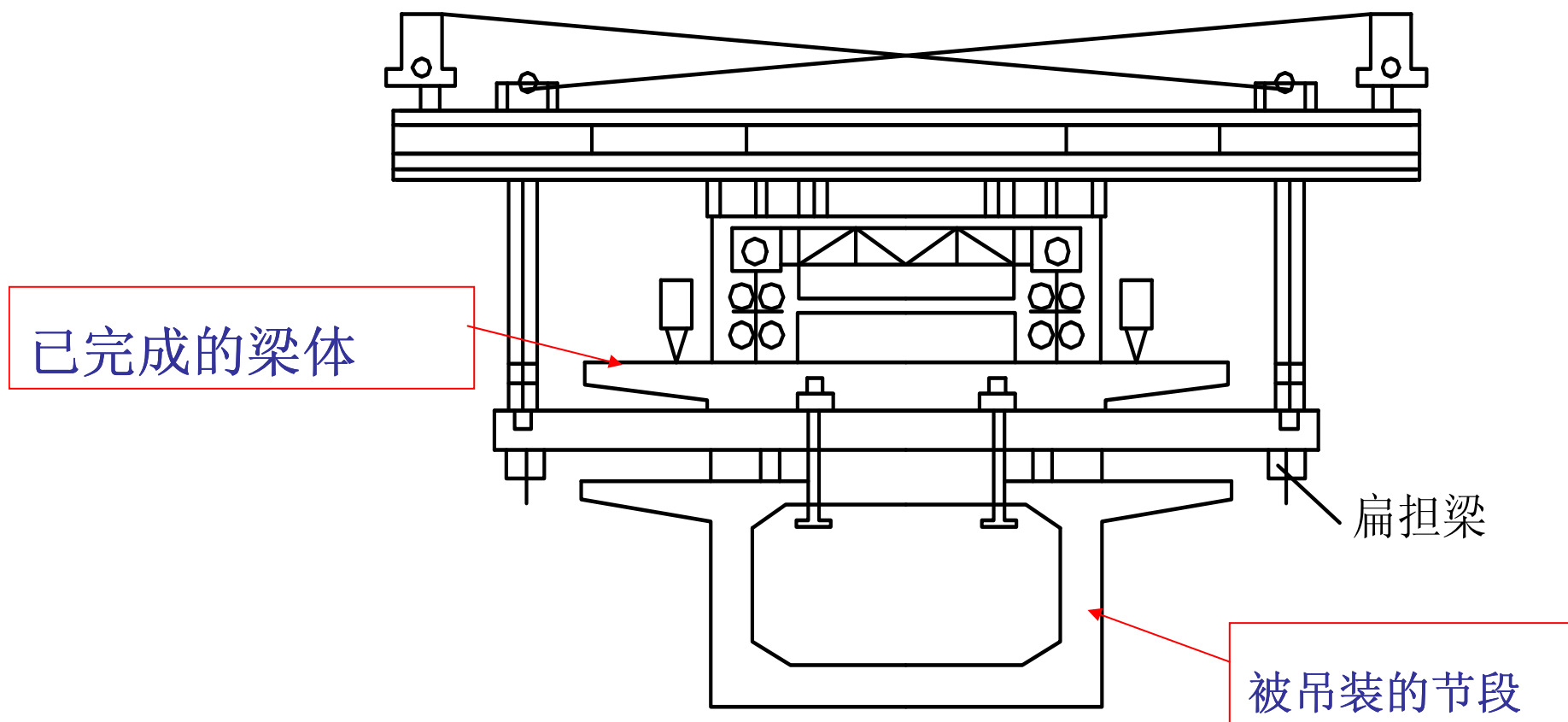
## 悬臂拼装法

- 移动式吊机、造桥机、桁式吊等。
- 常用的移动式吊机的外型与挂篮类似，由承重梁、横梁、锚固装置、起吊装置、行走系统、张拉平台等几部分组成





## 移动式吊机悬臂施工示意-2







Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



福

<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>

江门外海桥，为**55 + 7x110 + 55m**的连续梁，施工时主梁分为两箱，悬臂拼装，跨中合龙，两箱连为一体



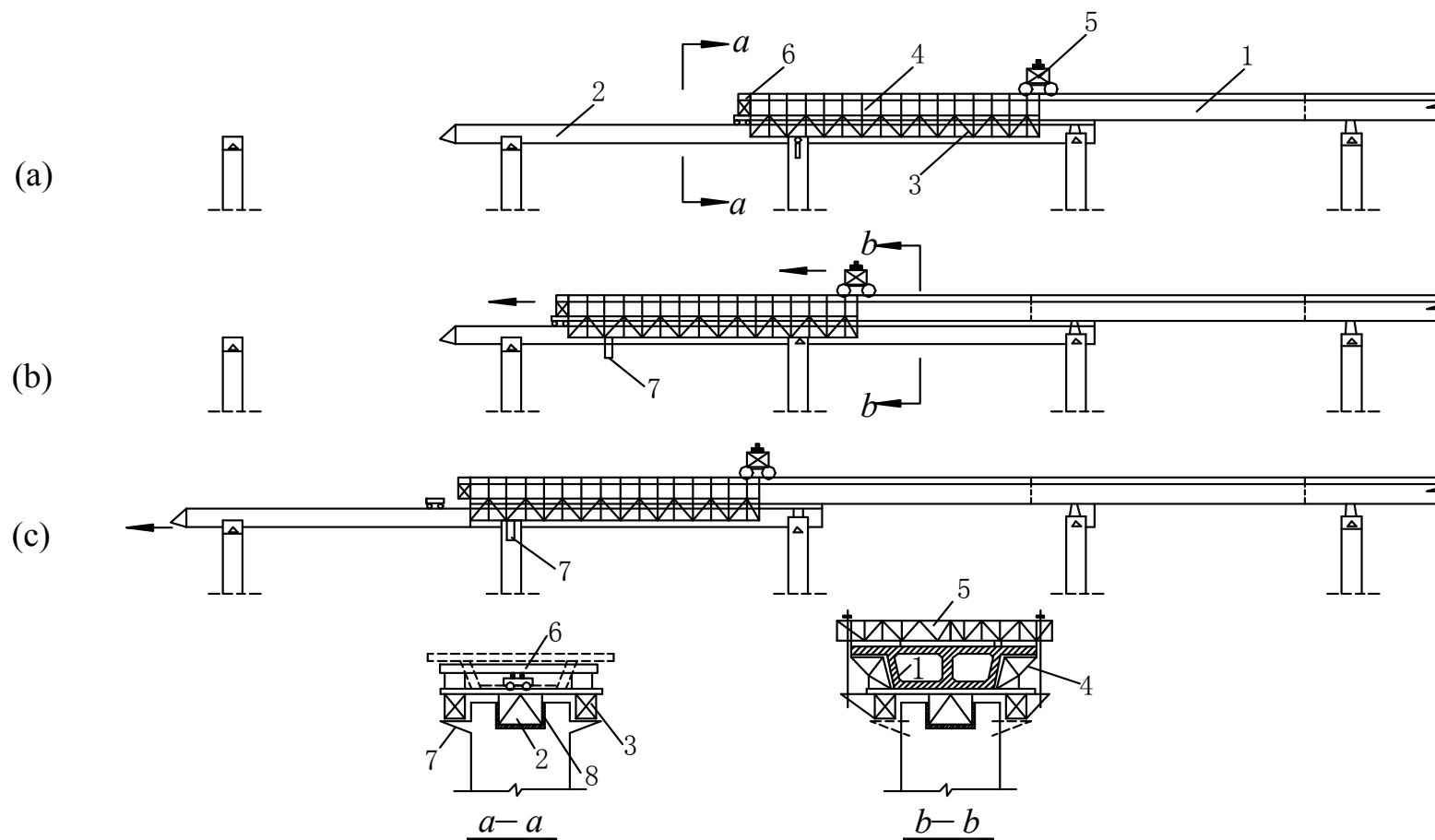
## 四、移动模架施工法

将机械化的支架和模板支承（或悬吊）在长度稍大于两跨、前端作导梁用的承载梁上，然后在桥跨内进行现浇施工，待混凝土达到一定强度后脱模，并将整孔模架沿导梁前移至下一浇筑桥孔，如此有节奏地逐孔推进直至全桥施工、完毕。

适用于跨径**20~50m**的等跨和等高度连续梁桥施工



# 移动式模架逐孔施工法





# 厦门高集海峡大桥



主桥箱梁钢束和钢筋布置

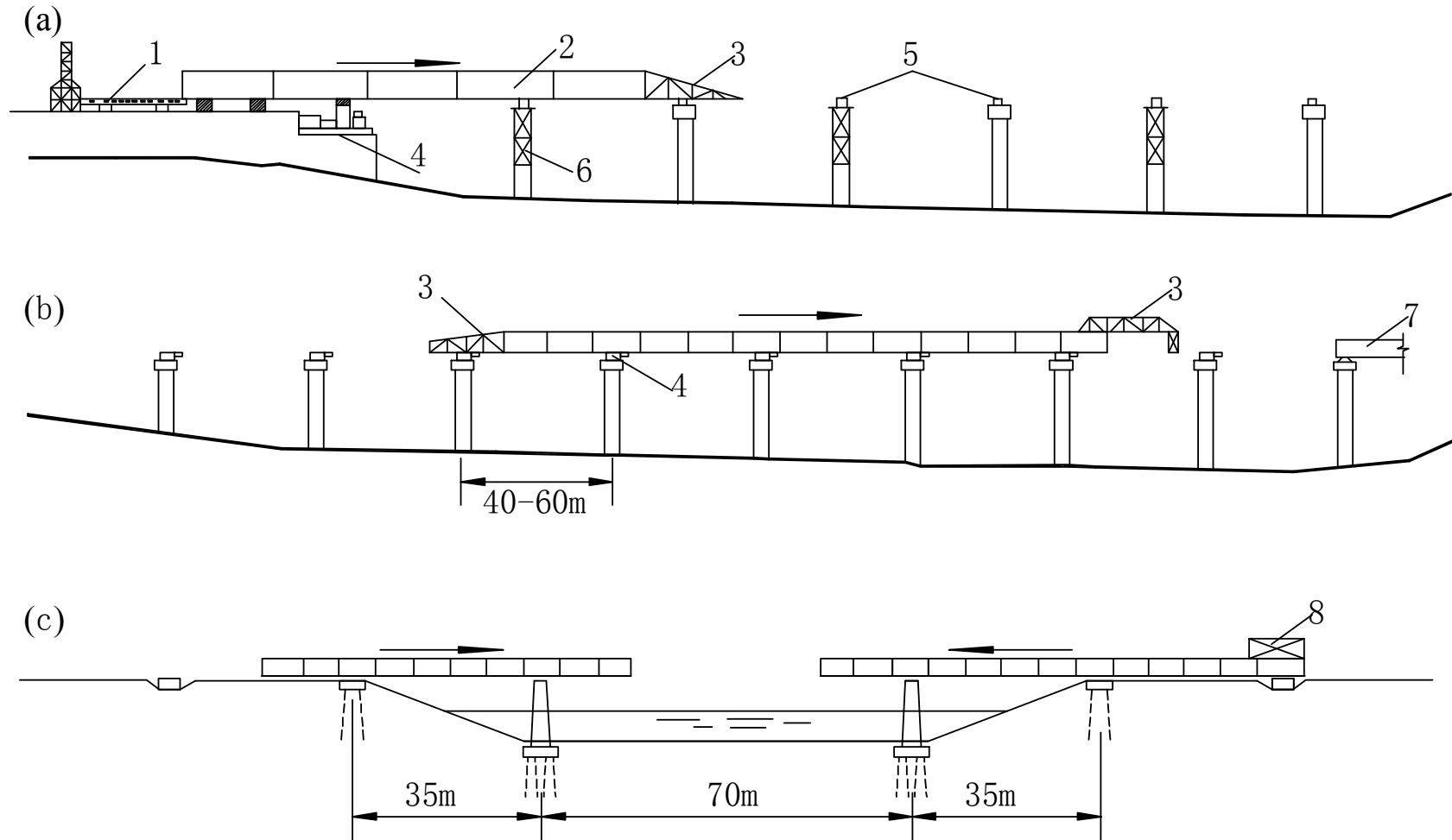
主桥移动支架（滑模）施工



## 五、顶推施工法

- 顶推法（**launching method**）的施工原理是沿桥纵轴方向的台后开辟预制场地，分节段浇筑或拼装混凝土梁身，并用纵向预应力筋连成整体，然后通过水平液压千斤顶施力，借助不锈钢板与四氟乙烯模压板特制的滑动装置，将梁逐段向对岸顶进，就位后落梁，更换正式支座，完成桥梁施工。
- 顶推法主要应用于等截面连续梁。
  - 每节段箱梁约10~30m长
  - 单向顶推、双向顶推、单点顶推、多点顶推
  - 主要设备：千斤顶、滑道

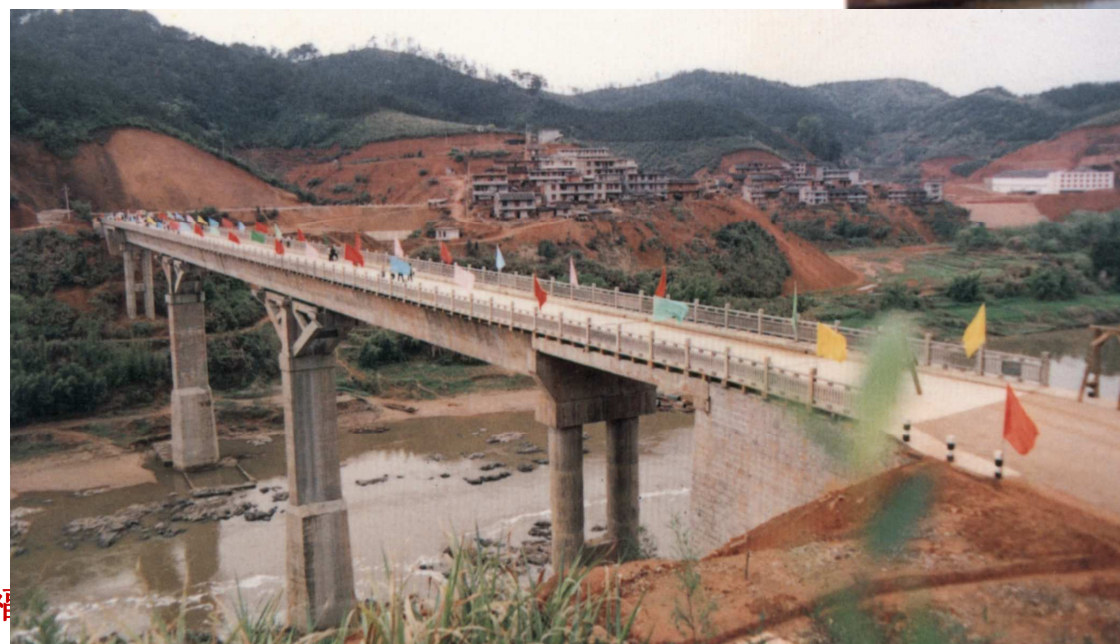
# 连续梁顶推法施工示意图



(a)单向单点顶推；(b)按每联多点顶推；(c)双向顶推

1. 制梁场；2. 梁段；3. 导梁；4. 千斤顶装置；5. 滑道支承；6. 临时墩；7. 已架完的梁；8. 平衡重

福建尤溪丘墩桥，为**60+76+60m**  
的连续梁，采用顶推法施工



福

<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



## 5.4 预应力混凝土连续梁桥计算要点

### 一、连续梁恒载、活载内力计算

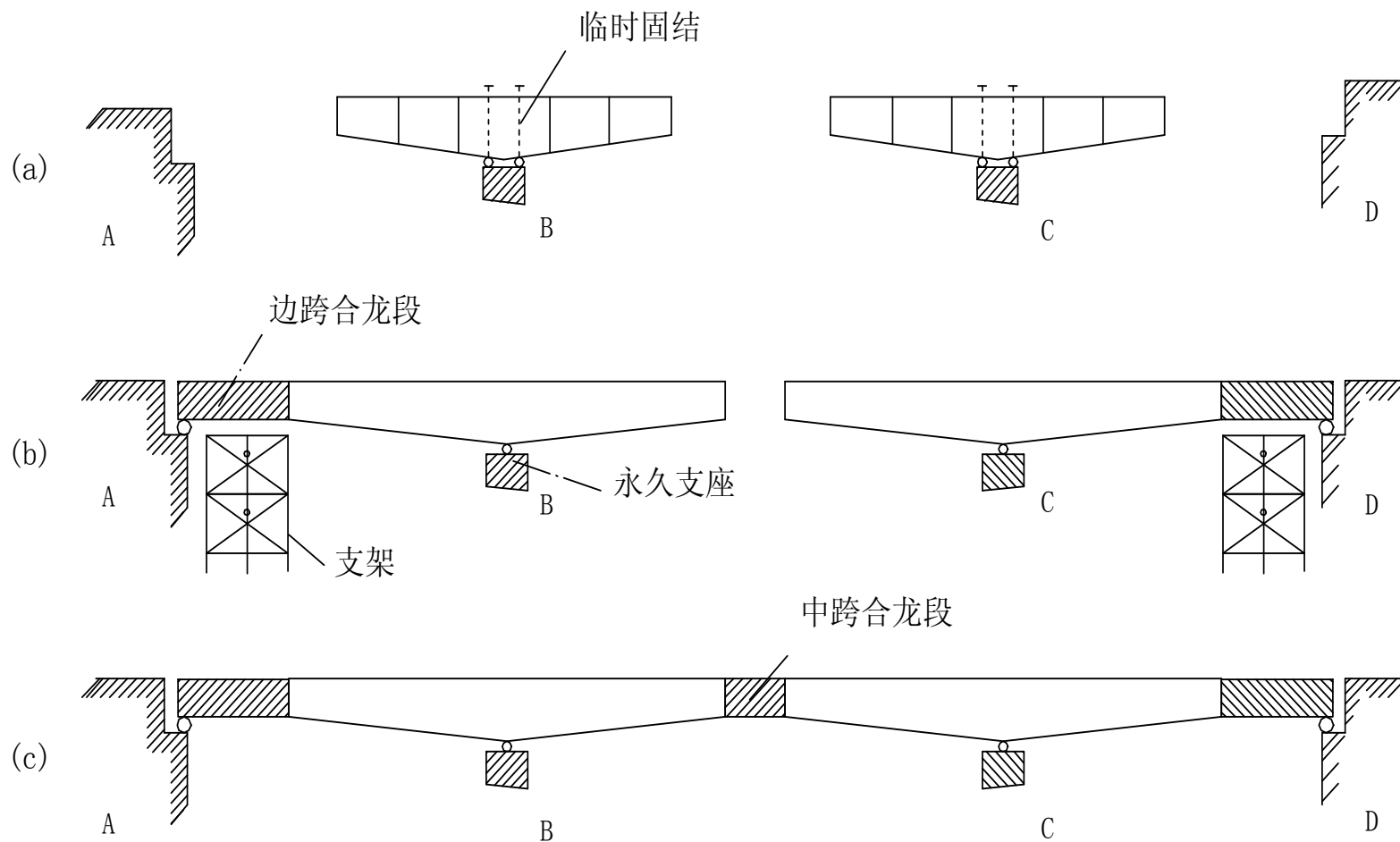
#### (1) 恒载内力计算

- 与**施工方法**有密切关系。
- **体系转换**的桥梁，最终恒载内力是各个施工阶段的恒载内力之和。

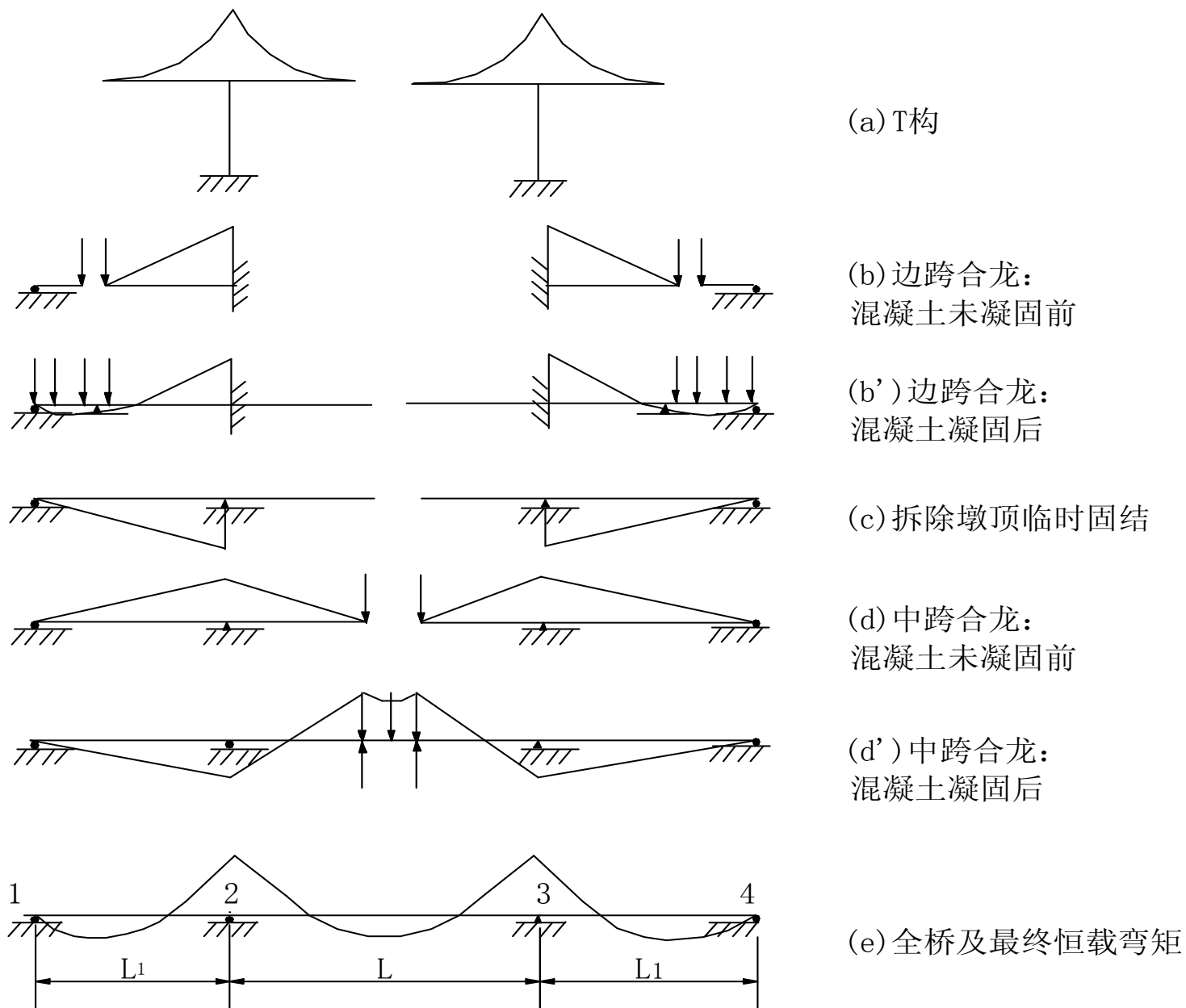




# 三跨连续梁施工程序



# 三跨连续梁施工的恒载弯矩计算



❖ 具有体系转换的恒载内力计算说明：

1) 结构恒载不重复计算；

2) 计算步骤，可按力学等效原则合并简化；

3) 梁端剪力，也可照此计算；

4) 连续刚构体系，不存在墩梁临时固结和拆除工序，计算时应同时考虑梁部轴力和桥墩的内力。

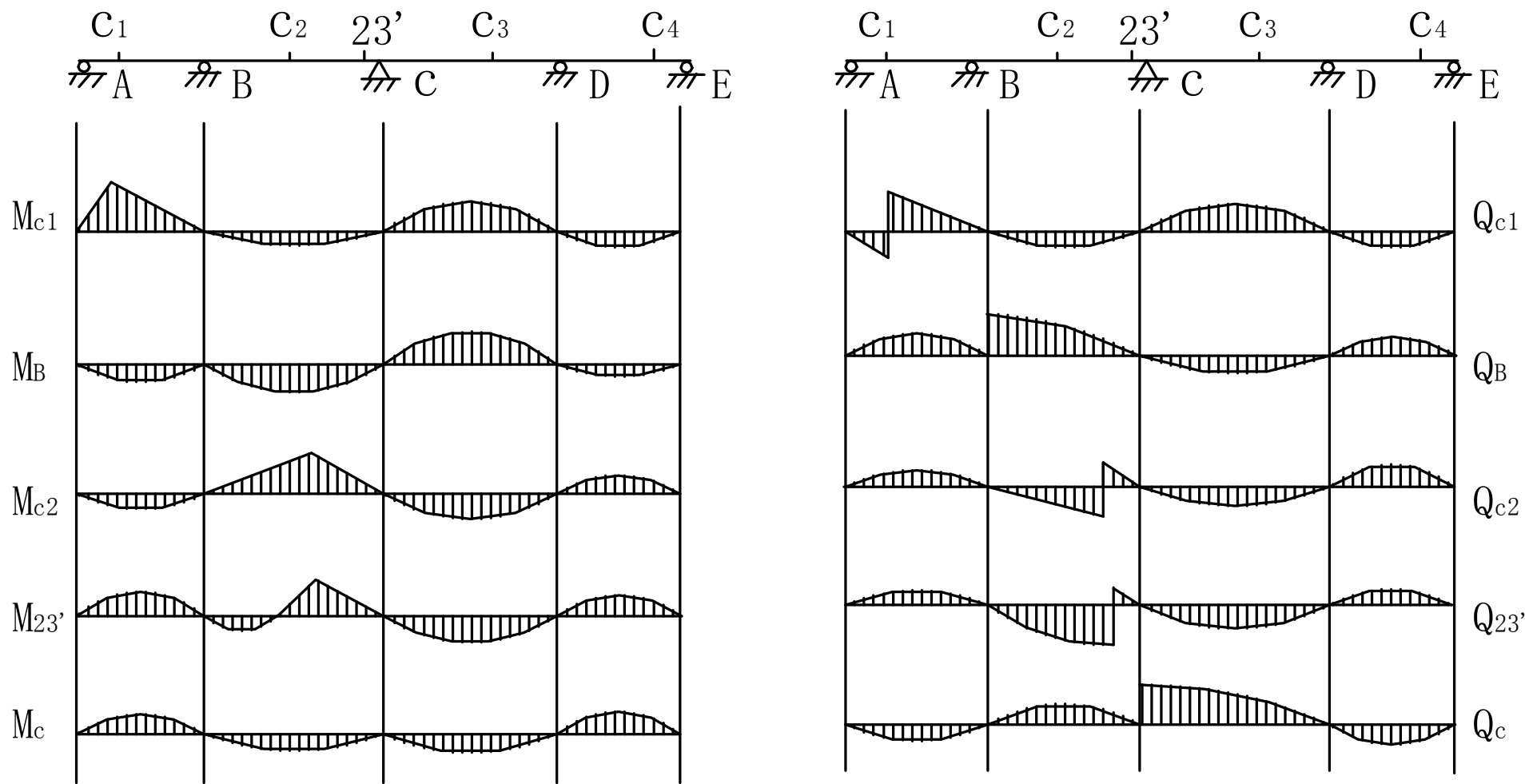
❖ 桥面构造：（附加恒载、二期恒载）内力，最终结构的内力影响线加载求得。



## (2) 活载内力计算

- 与简支梁基本相同：绘制内力影响线，活载加载，求得各截面最大活载内力。
- 等截面连续梁：手算简单，可查阅有关计算手册中公式、图表确定；
- 变截面连续梁：内力影响线与截面刚度有关，桥梁电算程序计算。

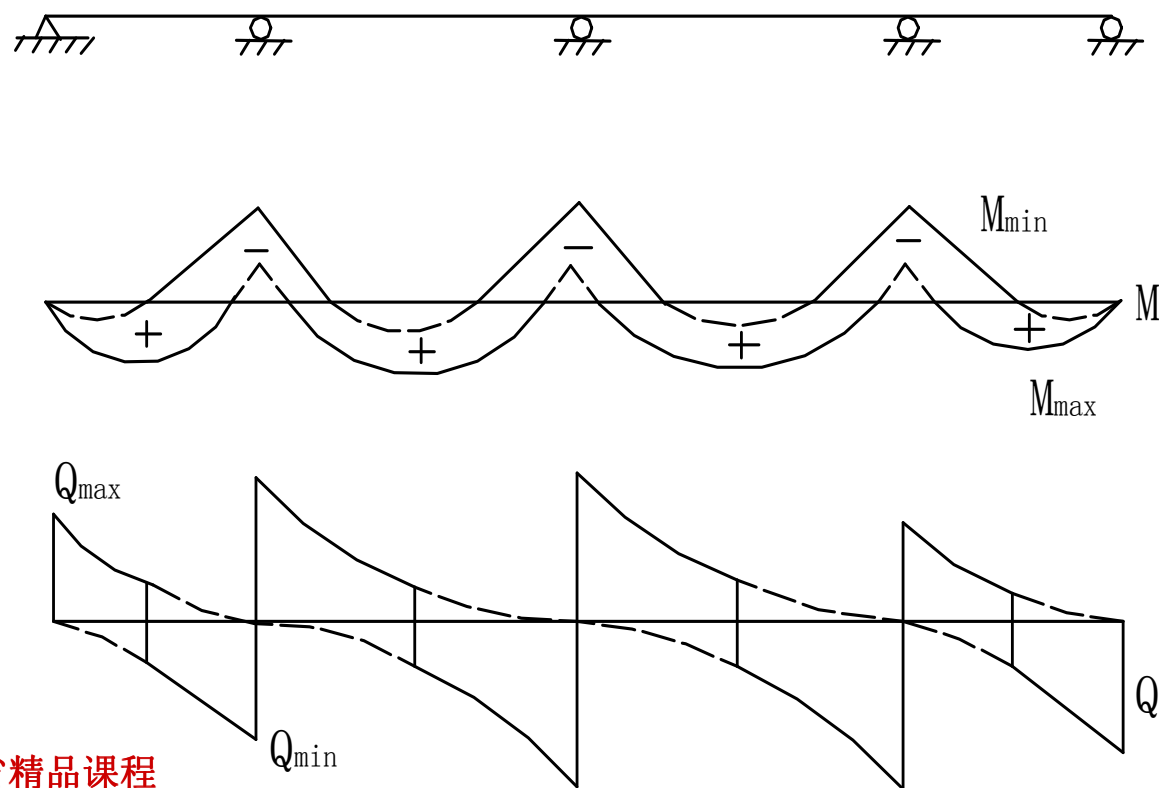
# 连续梁的内力影响线





### (3) 全梁的内力包络图

- 将连续梁的最大、最小活载内力与恒载内力按荷载组合规定进行叠加，就可以得到全梁的内力包络图（包括各项次内力）。

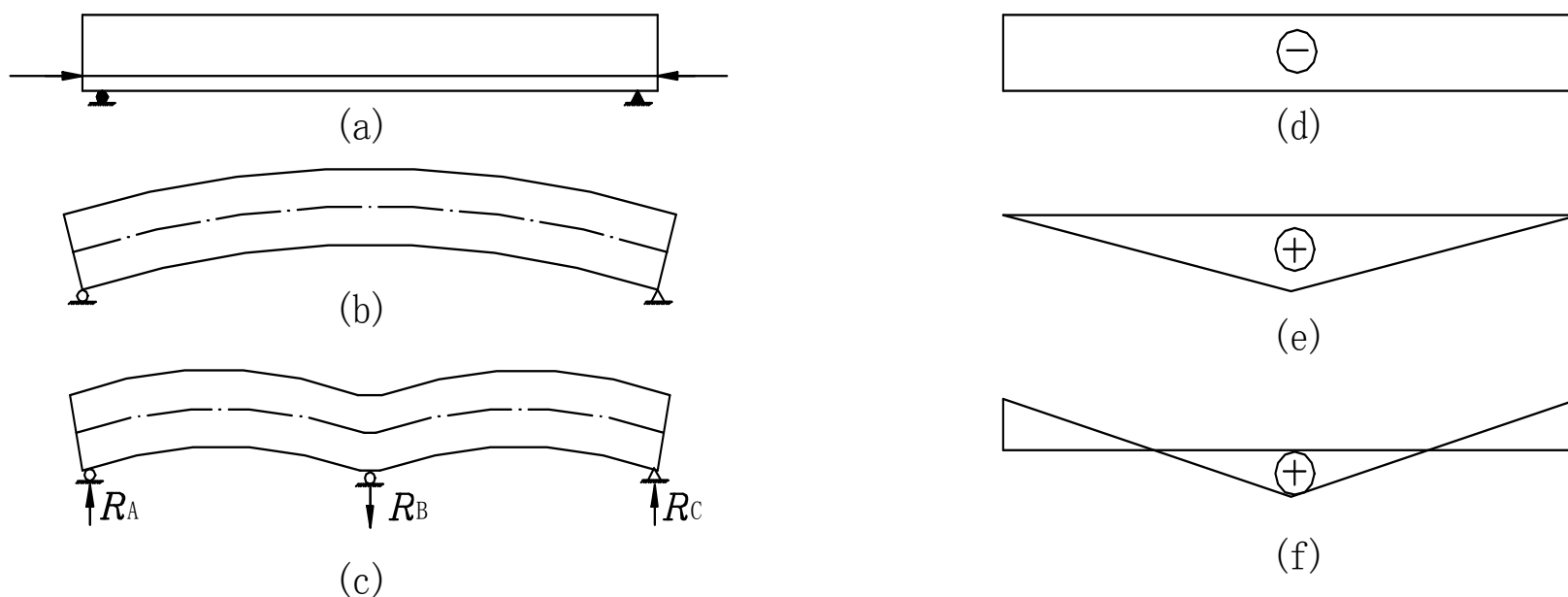




## 二、预应力混凝土连续梁的次内力

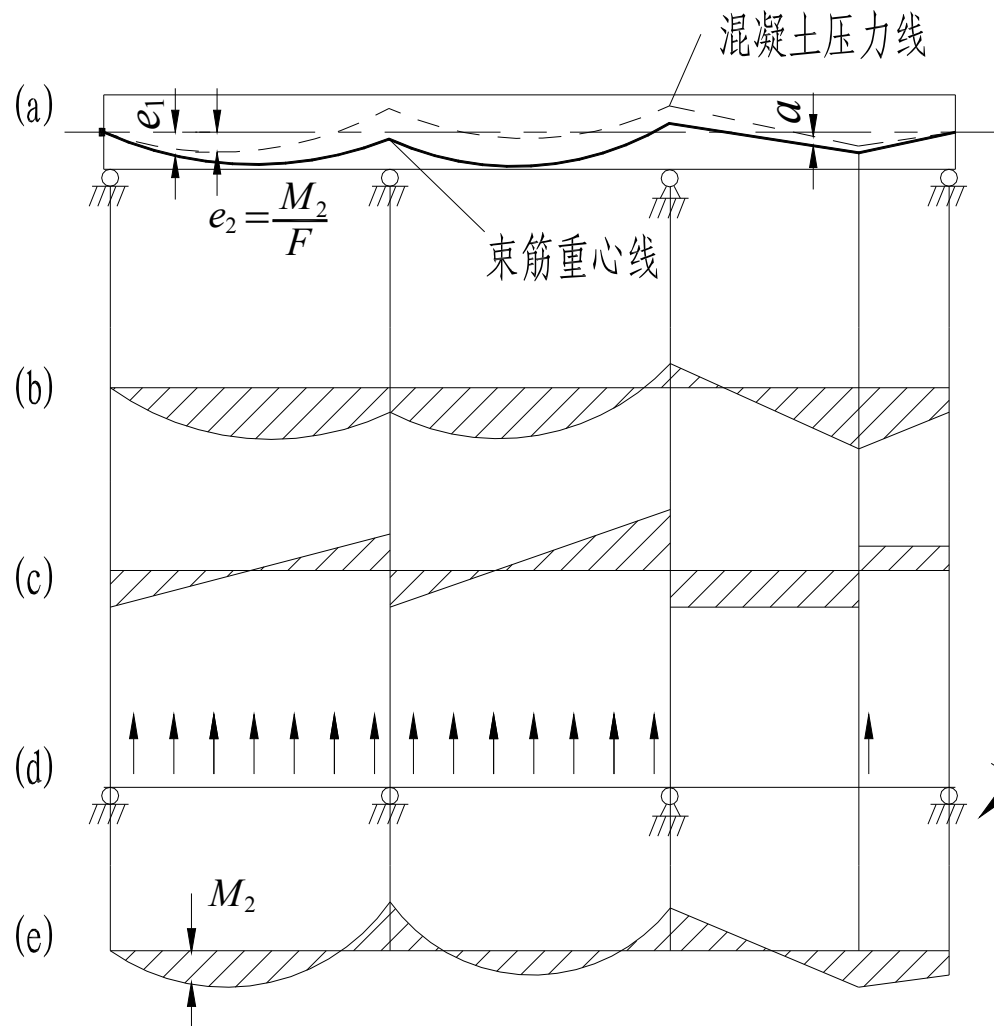
### (1) 预加力引起的次内力

- 等效荷载法：求解预加力的总预矩
- 预加力对混凝土的作用以外加荷载的形式等效替代。





# 连续梁的等效荷载与总预矩







## (2) 混凝土收缩徐变引起的次内力

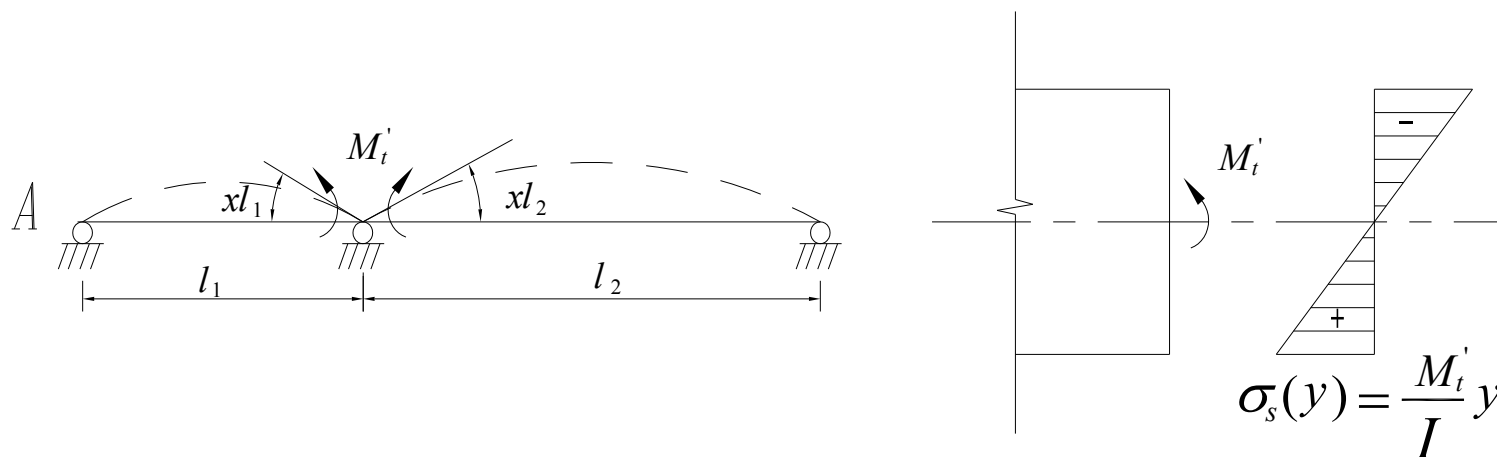
- 《公路桥规》的公式：

$$M_{g1} = M_{1g} + (M_{2g} - M_{1g})(1 - e^{\varphi(t, \tau)})$$



### 3. 温度变化引起的次内力和温差自应力

#### (1) 年温差温度次内力



年温差影响指气温随季节发生周期性变化对结构所起的作用，一般假定温度沿结构的截面高度方向均匀变化。

温度次应力为：

$$\sigma_s' = \frac{M_t' y}{I}$$

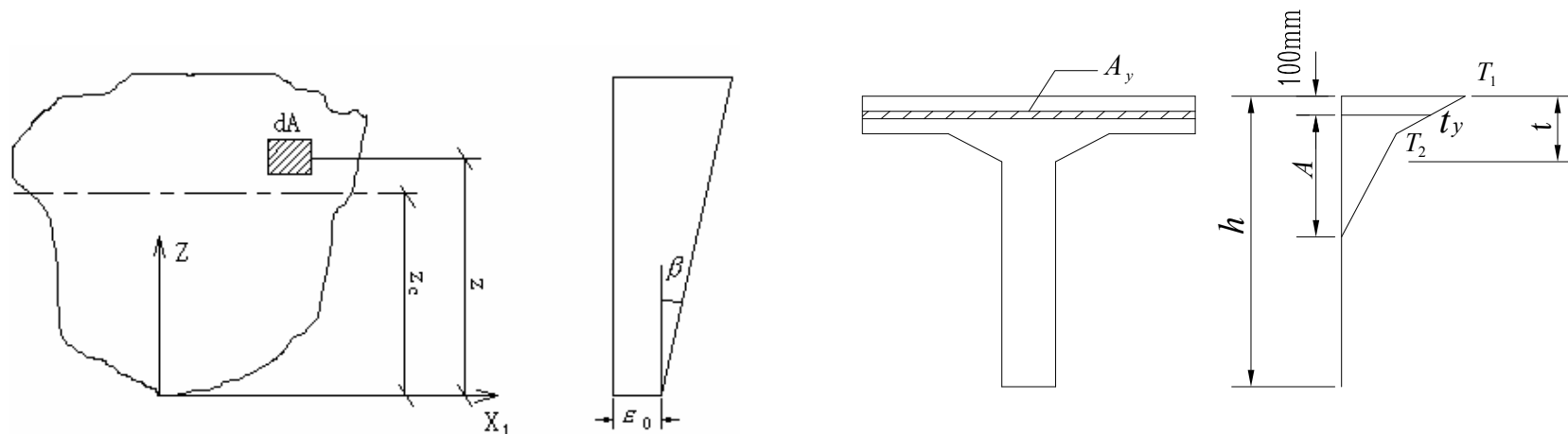


## (2) 局部（截面）温差自应力

局部（截面）温差一般指日照温差，日照因辐射强度、桥梁方位、日照时间、地理位置、地形地貌等因素影响，使桥面与内部因对流和热传导形成不均匀分布，即在截面上产生非均匀的温度场。

温差应力：

$$\sigma_t = \frac{-N_t}{A_0} + \frac{M_t^0}{I_0} y + t_y \alpha_c E_c$$



T梁截面温差温度场



## 4. 墩台沉降引起的次内力

- 次内力的力法方程：

$$\delta_{11}^{\oplus} X_{1t} + \delta_{11}^d X_{1d} + \Delta_{dp} + X_{10} \Delta_{1p}^{\oplus} = 0$$

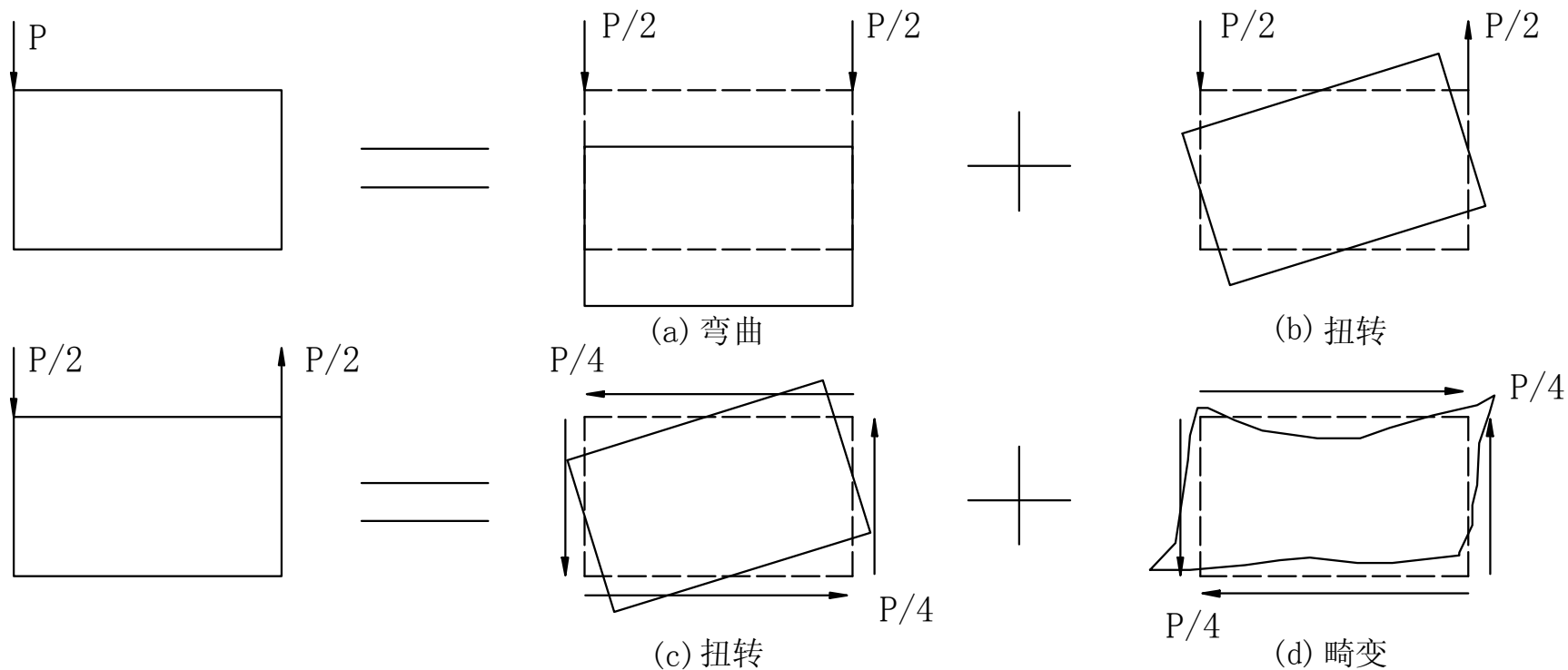


### 三、箱梁截面的受力特点与简化计算

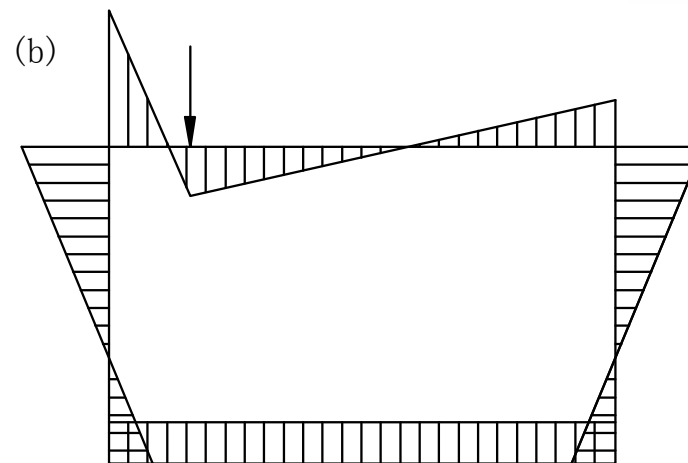
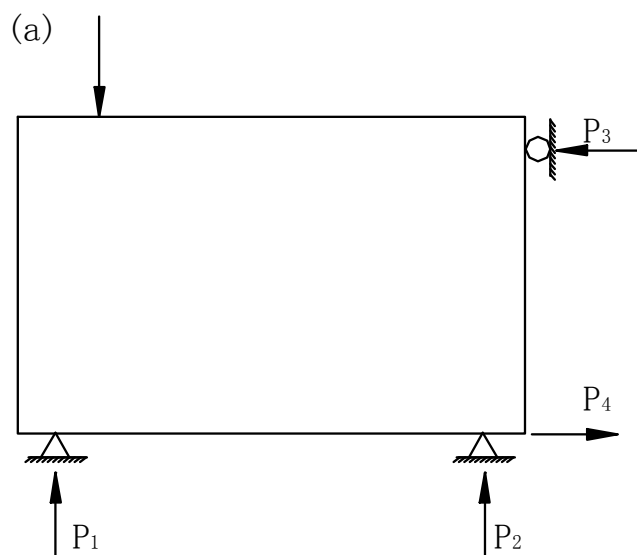
- 箱形截面内力及应力分析：
  - 分析法（如约束扭转理论）
  - 或数值法（如有限元理论）
- 实际设计中采用简化方法。



## 2.3.3 箱梁截面的受力特点与简化计算



## 偏心荷载作用下箱形截面的受力分解



相梁横向弯曲的计算图式与内力图

在横截面上：

$$\left. \begin{aligned} \text{纵向正应力 } \sigma_{(Z)} &= \sigma_M + \sigma_W + \sigma_{dW} \\ \text{剪应力 } \tau &= \tau_M + \tau_K + \tau_W + \tau_{dW} \end{aligned} \right\}$$

在箱梁各板内  $\sigma_{(S)} = \sigma_{0t} + \sigma_{dt}$  纵向弯曲应力



## (1) 经验估值法

$$\left. \begin{aligned} \text{弯矩 } M &= M_g + 1.15M_p \\ \text{剪力 } Q &= Q_g + 1.05Q_p \end{aligned} \right\}$$

- $M_g$ 、 $Q_g$ ——恒载引起的弯矩和剪力；
- $M_p$ 、 $Q_p$ ——全部活载对称于桥中线作用时引起的弯矩和剪力





## (2) 用修正偏心压力法求活载内力增大系数

$$\eta_{\max} = \frac{1}{n} + \beta \frac{e_{\max} \alpha_1}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2}$$

- $n$ ——箱梁的腹板总数
- $\beta$ ——抗扭修正系数

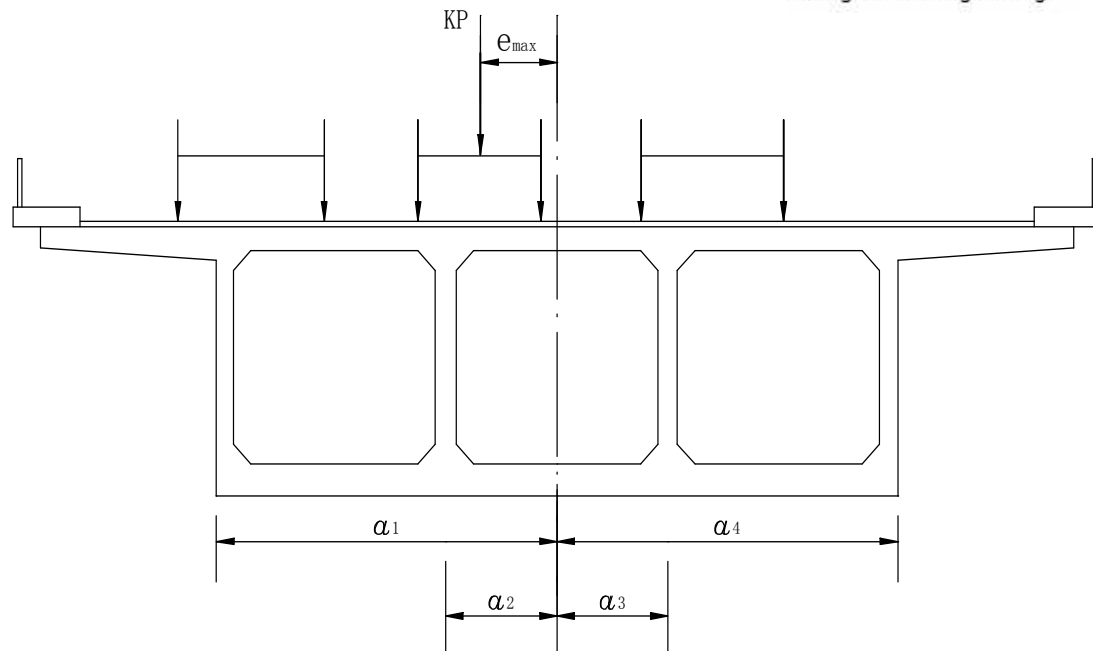


## 内力增大系数计算图式

### (3) 活载内力增大系数

$\zeta$

$$\zeta = n \eta_{\max}$$



### (4) 计及活载偏心扭转作用的箱梁截面总内力为:

$$\left. \begin{aligned} \text{弯矩 } M &= M_g + \zeta M_p \\ \text{剪力 } Q &= Q_g + \zeta Q_p \end{aligned} \right\}$$



## 四、预应力钢束估算与设计验算要点

- **1. 预应力钢束估算**
- 依据应力或强度验算公式，推算梁部各截面所需要的预应力钢筋数量。
- **2. 承载力验算：**正截面承载力验算和斜截面承载力验算
- **3. 应力验算**
- **4. 挠度验算**
- **5. 其它验算：**桥面板验算、锚下及支座处局部承压验算、部分预应力裂缝验算等内容。