



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

## 第七章 拱桥构造与施工

§ 7.1 概 述

§ 7.2 拱桥的分类

§ 7.3 拱桥结构与构造

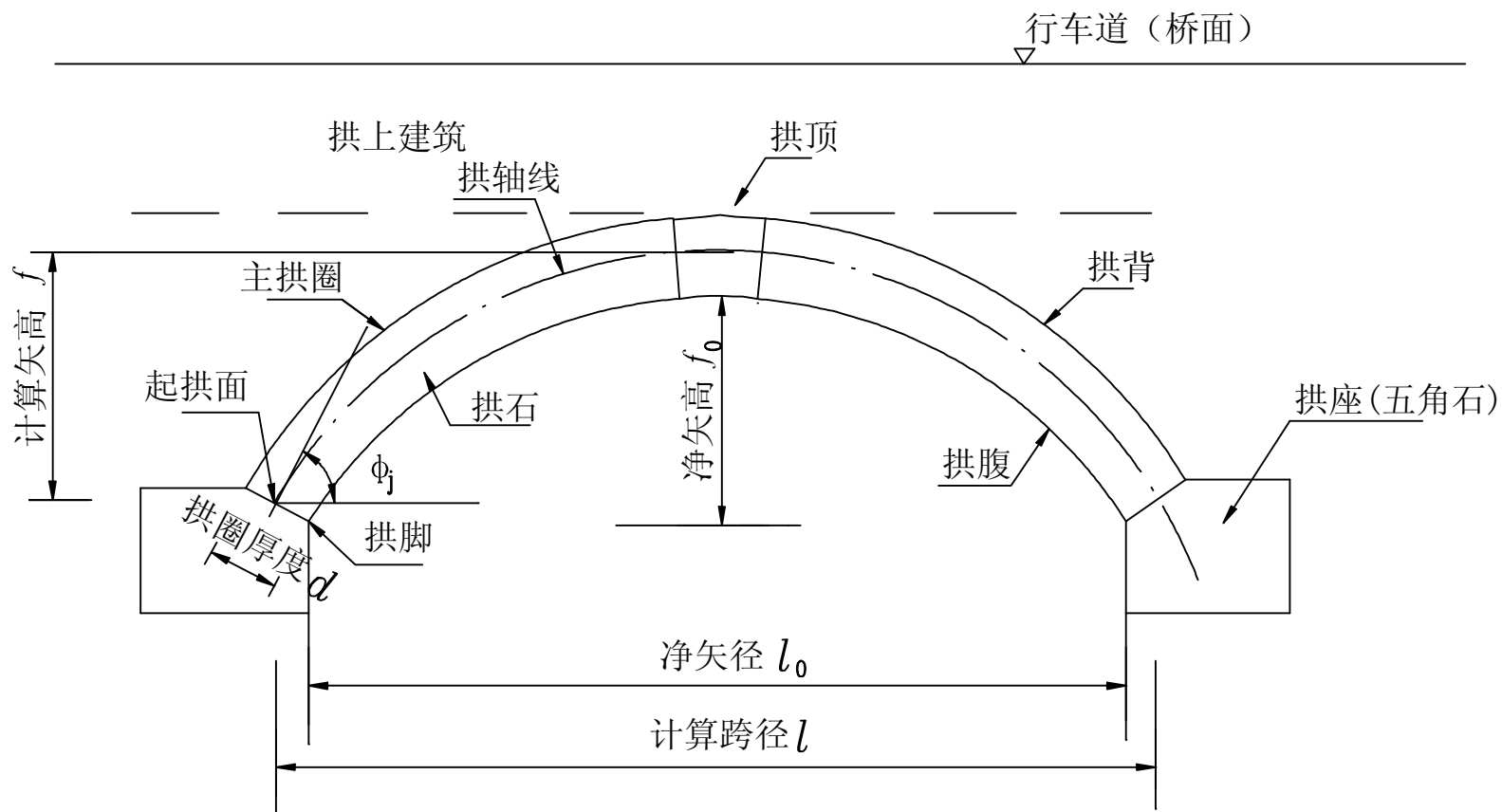
§ 7.4 拱桥施工

# § 7.1 概述



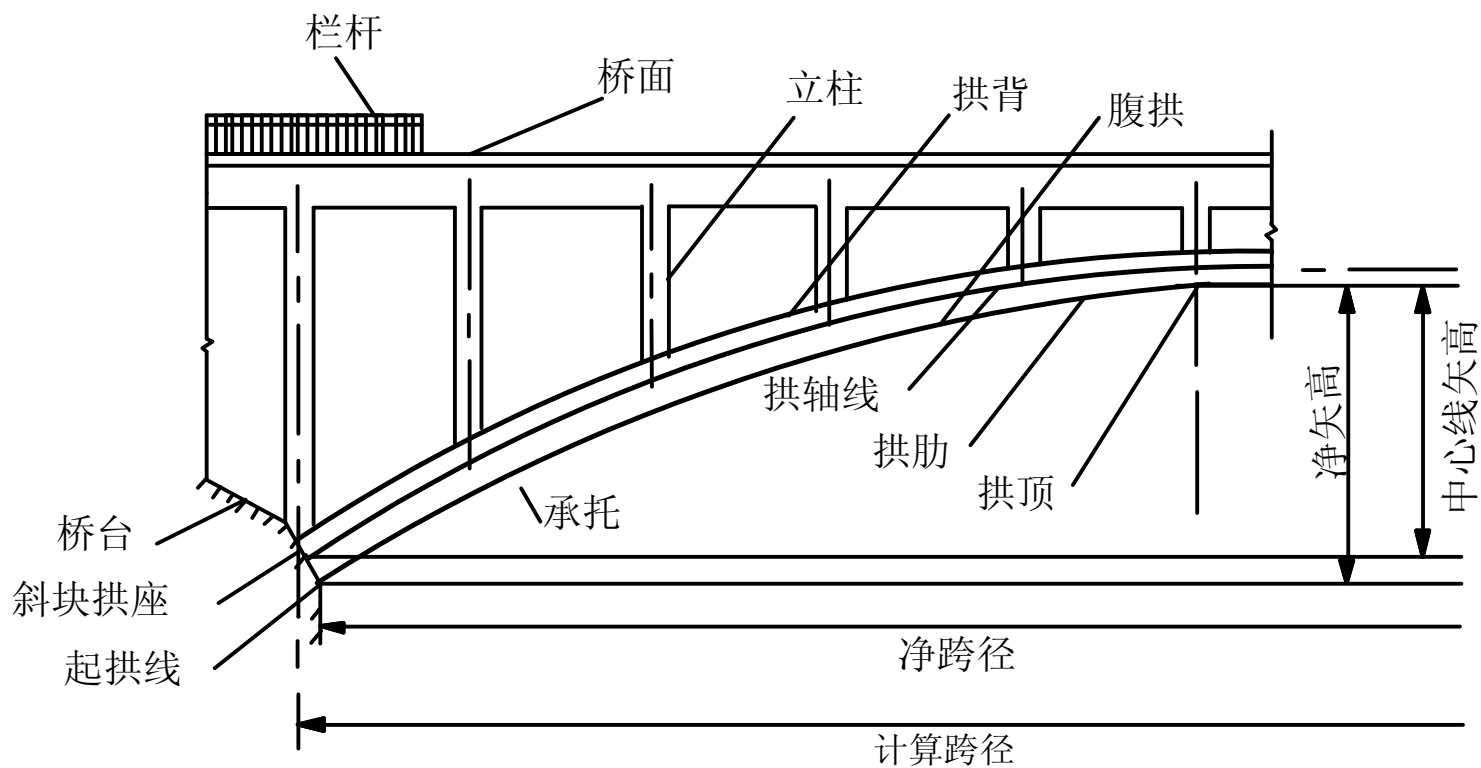
Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

## 实腹石拱桥的主要构造





## (空腹式) 钢筋混凝土拱桥的主要构造





## 拱桥的几何特点:

主拱圈（肋）是主要受力构件。它是曲线形，所以要有供行车的桥面系结构和联结拱圈（肋）与桥面系的构造。

拱桥的标准跨径：净跨径  $l_0$ 。净跨径是指每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离。

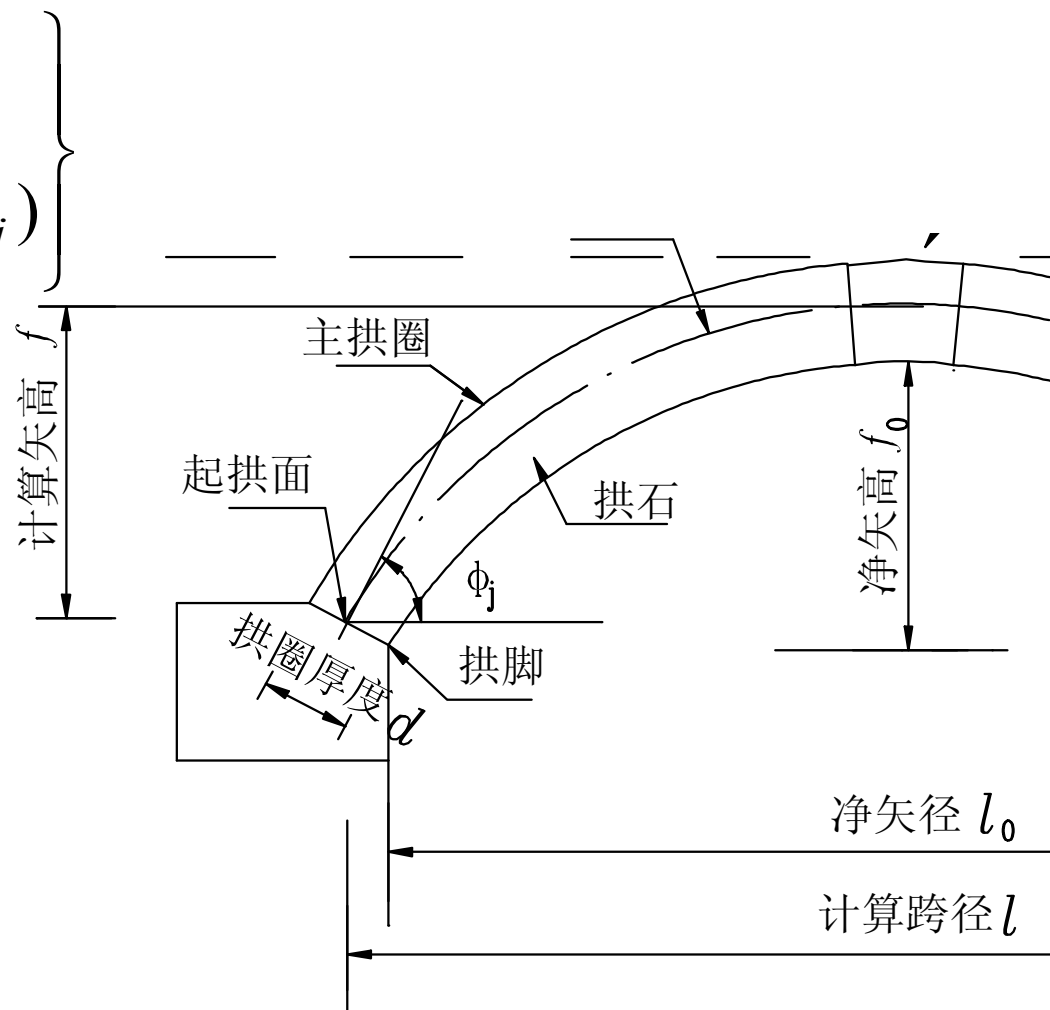
拱为曲线形，因此除跨径外，矢高（**rise**） $f$ 也是重要的技术指标之一。

矢跨比  $f_0/l_0$ （**ratio of rise to span**），是反映拱桥受力特性的一个重要指标。



## 主拱的计算跨径与计算矢高

$$\left. \begin{aligned} l &= l_0 + d \cdot \sin \varphi_j \\ f &= f_0 + \frac{d}{2} (1 - \cos \varphi_j) \end{aligned} \right\}$$



## 拱桥的力学特点:

$$Y_A = \frac{P(l-a)}{l} = Y_A^o$$

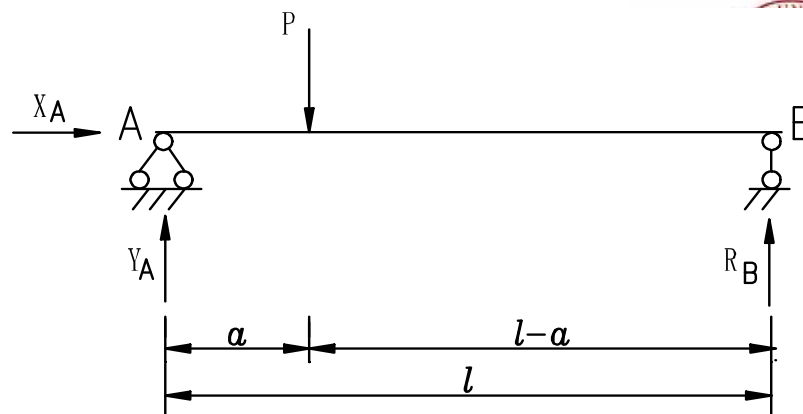
$$Y_B = P \cdot \frac{a}{l} = Y_B^o$$

$$X_A = X_B = \frac{Y_A \cdot \frac{l}{2} - P \cdot (\frac{l}{2} - a)}{f} = \frac{M_l^o}{f}$$

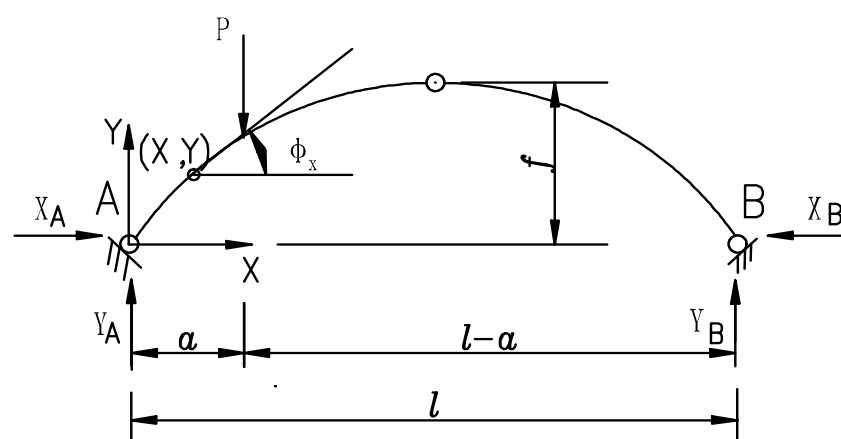
$$M_x = M_x^o - H \cdot y$$

$$N_x = Q^o \cdot \sin \varphi_x + H \cdot \cos \varphi_x$$

$$Q_x = Q^o \cdot \cos \varphi_x - H \cdot \sin \varphi_x$$



(a) 简支梁



(b) 三铰拱

## 三铰拱内力计算简图



## 拱桥与梁桥的区别:

几何上的不同: 跨径、矢高、矢跨比。

主拱与桥道系（拱上建筑）组成

力学上的不同:

反力: 在竖直荷载作用下, 三铰拱的竖向反力与简支梁相同, 三铰拱会产生水平反力。

内力: 水平反力引起拱内力中出现了轴力, 同时降低了弯矩与剪力。

建桥材料的不同:

由于拱以受压为主, 可以充分利用抗拉性能较差而抗压性能较好的圬工材料（石料、混凝土、砖等）来建造拱桥, 这种由圬工材料建造的拱桥, 称为圬工拱桥。



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

## 拱桥与梁桥本质上的不同：

在竖直荷载作用下，支座会产生水平反力，水平反力引起拱内力中出现了轴力，同时降低了弯矩与剪力。



福州洪山桥为预应力桁式T构桥。



Quebec桥是世界上跨度最大的钢悬臂梁桥，主跨为**1800**英尺。





Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

**思考题：**拱为什么在竖向荷载作用下会产生水平反力？

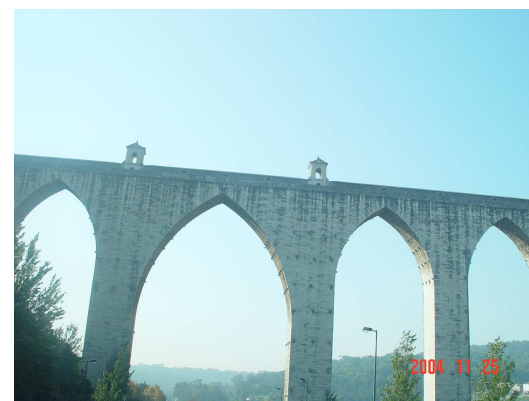
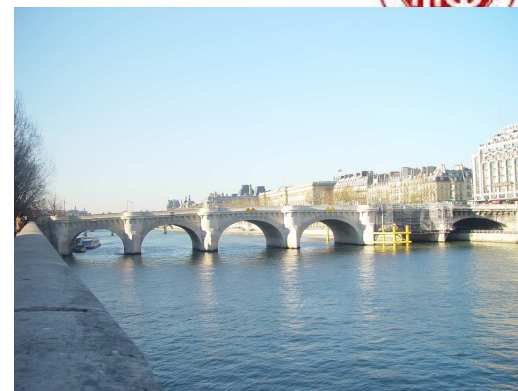




拱桥按**材料**分为：（圬工）石拱桥、（金属）钢拱桥、混凝土（**RC**和**PC**）拱桥、钢管混凝土拱桥。

石拱桥：**a.**跨越能力大；**b.**能就地取材；**c.**能耐久，养护、维修费用少；**d.**外型美观；**e.**构造较简单。

但：**a.**自重大，水平推力大，对地基要求高；**b.**有支架施工时，施工耗时；**c.**连拱拱桥设置构造复杂的单向推力墩，增加了造价；**d.**上承式拱桥对标高要求高，城市少用。



钢材强度高、自重轻，应用它修建拱桥，施工方便，跨越能力更强。钢拱桥主要采用桁式或箱形拱肋。

但拱以受压为主，稳定问题突出，高强材料得不到充分发挥，需耗料在刚度上。

且施工难度大。近期，国外钢拱桥修建很少。

对于铁路桥来说，要求刚度大，当需要较大跨度时，拱梁组合结构比索结构有优势。

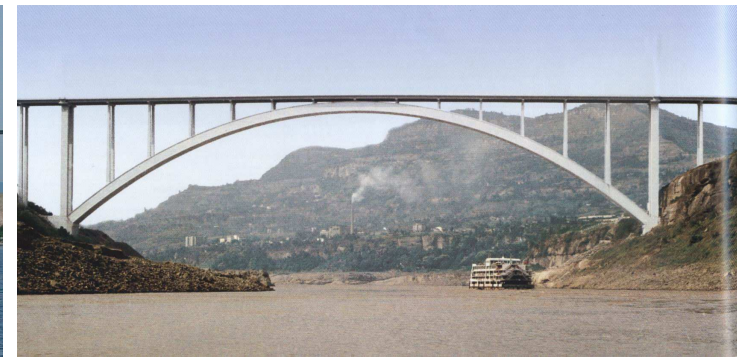
对于公路与市政桥梁来说，有时为了美观或其它因素而修建钢拱桥，但一般来说大跨度钢拱桥的经济竞争力比较弱。







- 钢筋混凝土拱以混凝土为主要材料来承压、配以少量的钢筋以承拉。因此，它是近现代最主要的拱桥结构，应用范围也最广。
- 比起钢拱桥自重大，施工难度较大，特别是跨径较大时。
- 现代预应力连续梁、连续刚度等桥型在100—200m的跨径范围内具有很强的竞争能力。
- 当跨径更大一些后，混凝土斜拉桥竞争能力也很强。
- 钢管混凝土拱桥的竞争能力也大。
- 降低结构自重、改进施工方法，是钢筋混凝土拱桥发展的主要方向。





Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

- 钢管混凝土（**concrete filled steel tube**，简称**CFST**）是一种组合材料，将其应用于拱桥，一方面提高了材料的强度与刚度，另一方面方便了施工。
- **1990**年以来钢管混凝土拱桥（**concrete filled steel tubular arch bridge**，简称**CFST arch bridge**）在我国的发展很快。已建成的桥梁有**200**多座。
- 钢管混凝土拱桥在应用过程中，发展出一些新的桥型，如刚架系杆拱，悬臂施工技术和转体施工技术等也有很明显的进步。
- 然而，其设计计算理论还不完善，有待今后的努力。





## § 7.2 拱桥的分类

- 按拱上建筑可分为：实腹拱与空腹拱。



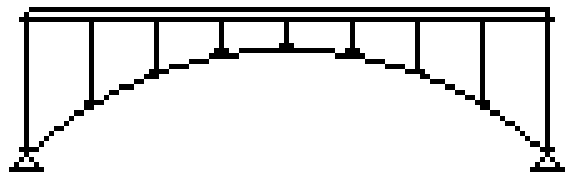
- 拱桥按材料分为：（圬工）石拱桥、（金属）钢拱桥、混凝土（**RC**和**PC**）拱桥、钢管混凝土拱桥。



## 一、按车承位置分类



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



**上承式**拱桥较为简单，其上部结构是由主拱圈及拱上建筑所组成。



拱上建筑可做成  
实腹式  
空腹式。

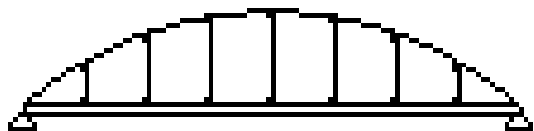


实腹拱桥构造简单、自重大，适用于中、小跨度；

空腹拱桥结构合理、自重较小、利于泄洪，是大、中跨拱桥常用的形式。



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



**下承式**拱桥的桥跨结构由拱肋、悬吊结构和横向联结系三部分组成。



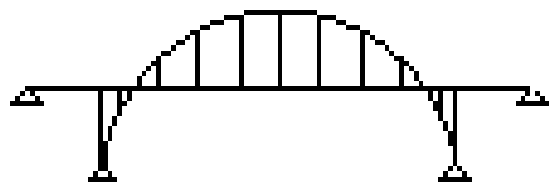
由于车辆在两片（有时为三片）拱肋之间行驶，所以需要用吊杆将桥面系悬挂在拱肋下。桥面系和这些传力构件称为悬吊结构。



下承式拱一般为无推力拱，主要应用于桥头标高受限制或基础较差的拱桥之中。

无推力的下承式拱宜采用自重较轻的主拱和桥道系，以减小系杆的受力。





**中承式**拱桥的行车平面位于肋拱矢高的中间部位，桥面系一部分用吊杆悬挂在拱肋下，一部分用立柱支撑在拱肋上。

中承式可以为单跨或多跨的无推力拱，也可以做成带悬臂半跨的无推力拱（又称自平衡拱）。

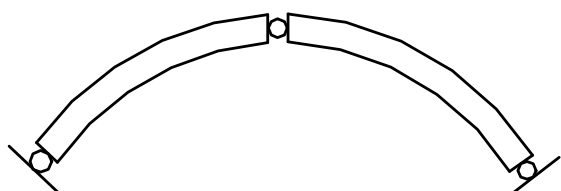
中承式一般也是在桥梁建筑高度受到限制时考虑，与下承式一样其拱圈也只能使用肋拱形式。采用有推力还是无推力主要视地基基础条件而定。



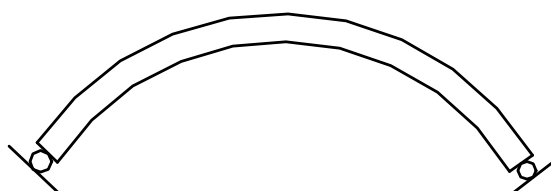
## 二、按结构体系分类

### (一) 简单体系的拱桥

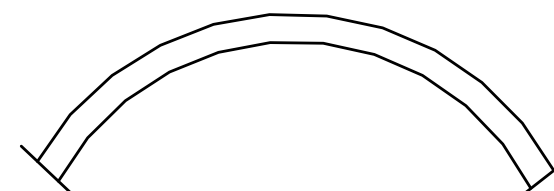
- 三铰拱 静定，无附加应力，铰构造复杂，少用
- 两铰拱 介于二者之间，钢拱采用较多
- 无铰拱 三次超静定，刚度大，构造简单，附加应力大，混凝土拱多采用无铰拱



(a) 三铰拱



(b) 双铰拱



(c) 无铰拱



Fuzhou University -  
of Civil Engineering

## (二) 拱梁组合桥

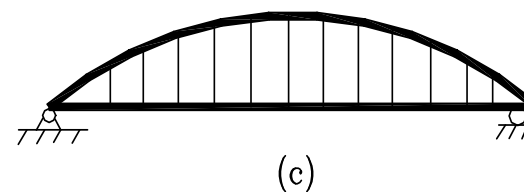
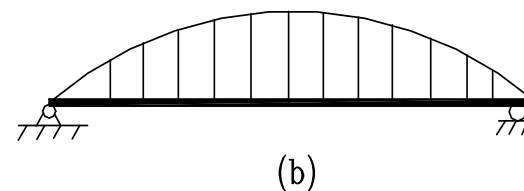
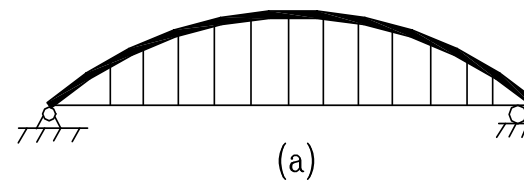
### 1、无推力的拱梁组合桥

柔性系杆刚性拱（系杆拱）

刚性系杆柔性拱（蓝格尔拱）

刚性系杆刚性拱（洛泽拱）

用斜吊杆时称为尼尔森拱



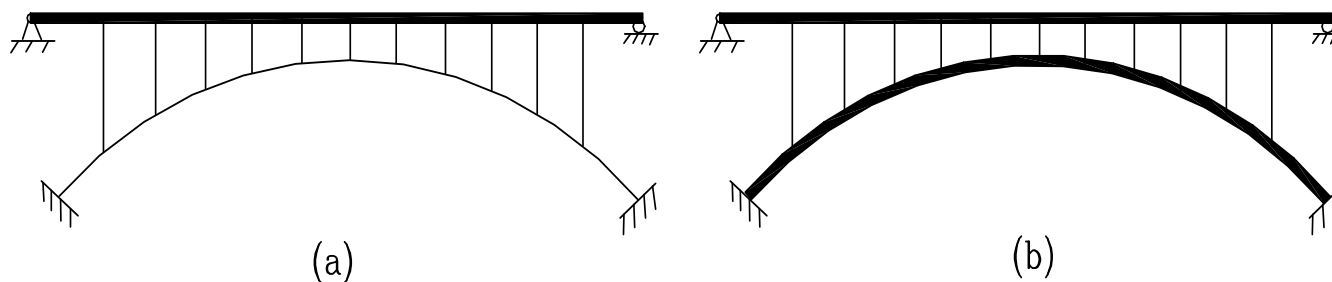
福州大学《桥梁工程》

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



## 2、有推力组合体系拱

无系杆，梁拱共同受力，推力由墩台承受。



刚梁柔拱（倒蓝格尔拱）

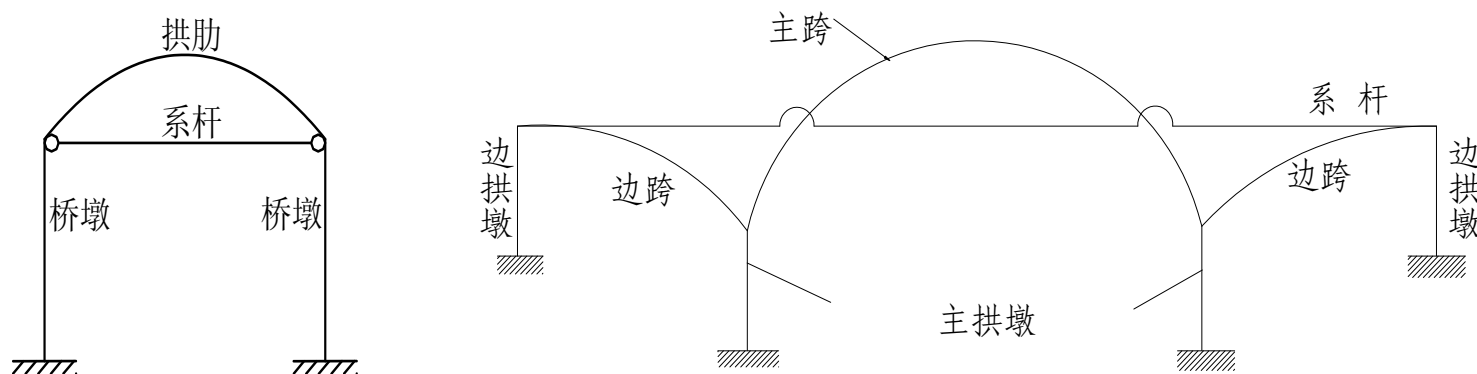
刚梁刚拱（倒洛泽拱）。



### (三) 刚架系杆拱

下承式刚架系杆拱以单跨为主，也有采用多跨的。在多跨的刚架系杆拱中，系杆是分跨锚固的。

中承式一般为三跨结构，主跨为中承式，两过边跨为上承式半拱，通过张拉锚固于两边跨端部的系杆来平衡拱的恒载水平推力，所以又称为自锚式；有时又根据其形状称之为飞鸟式或飞燕式。





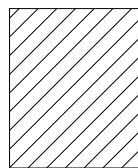
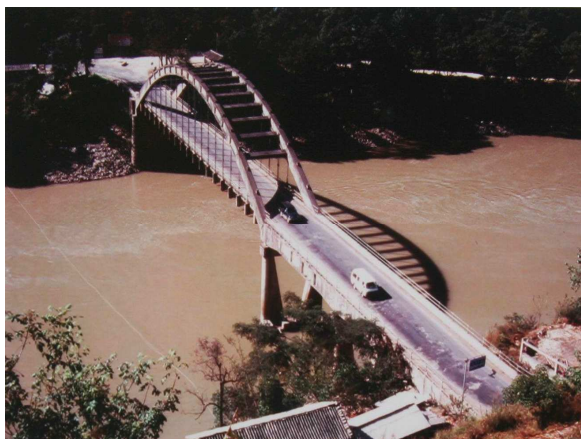
### 三、按截面形式分类

- 沿拱轴线  
等截面、变截面
- 圬工拱：板拱、肋拱
- 混凝土拱：板拱、肋拱、双曲拱与箱形拱
- 钢拱：工字形、圆管和箱形肋拱。
- 钢管混凝土拱：单管、哑铃形、多管桁式等。

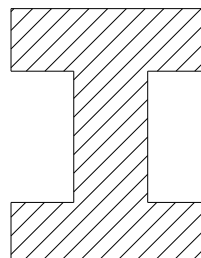




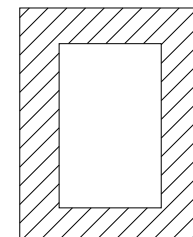
Fuzhou University -  
Engineering



(a) 矩形

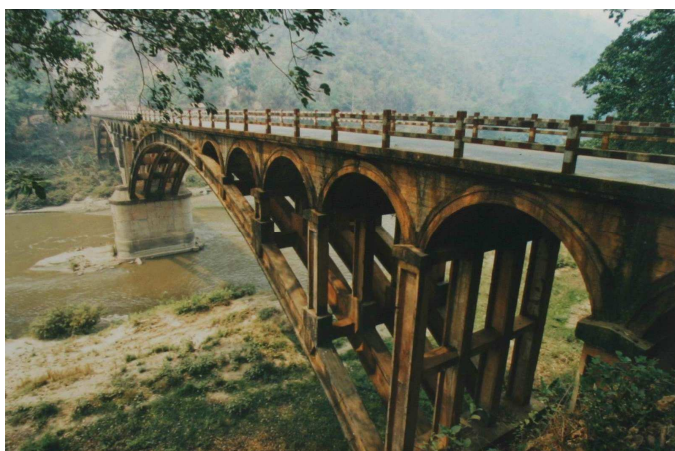


(b) 工字形



(c) 箱形

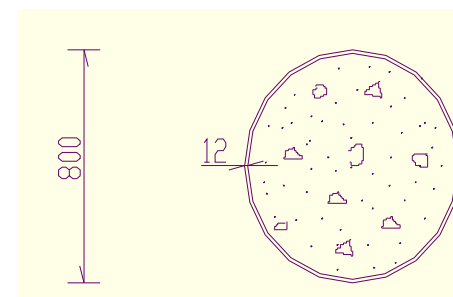
钢筋混凝土肋拱桥的拱肋截面形式



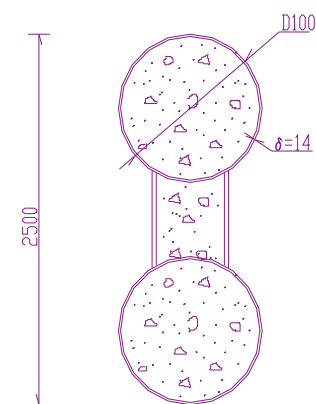
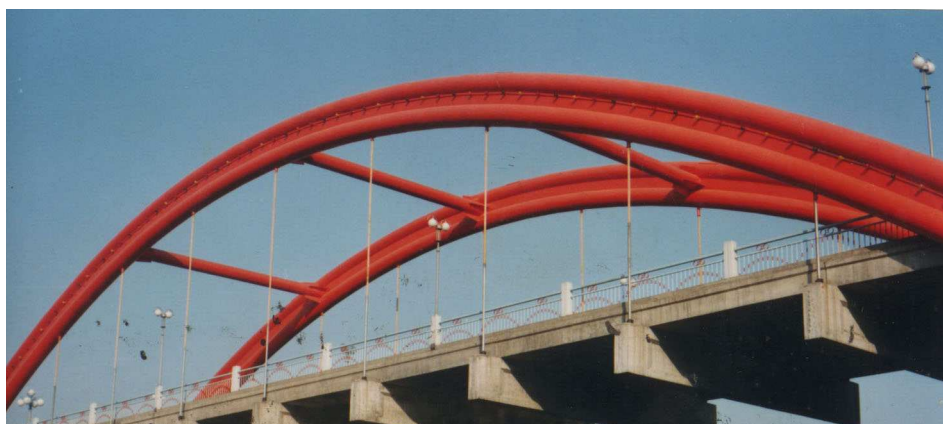


Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

# 钢管混凝土实肋拱的截面形式

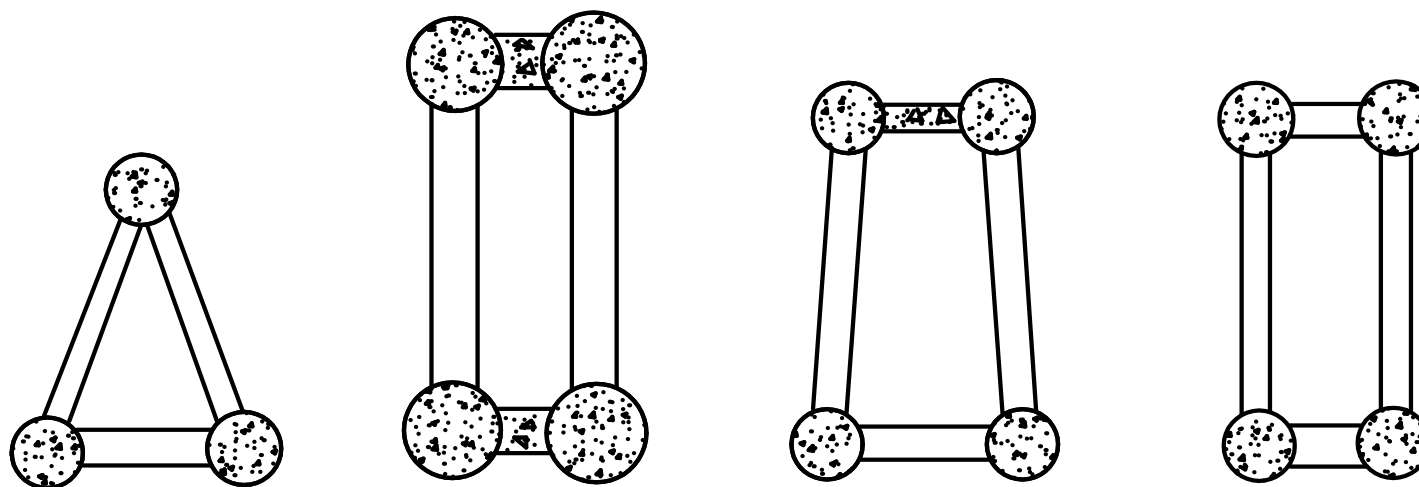


## 单圆管



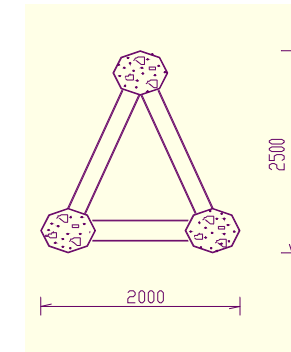
## 哑铃形



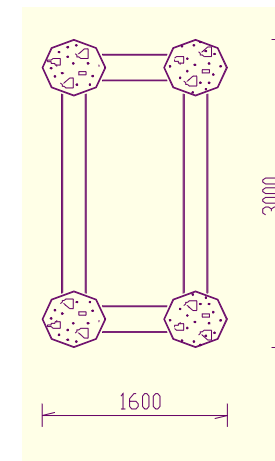


- (a) 三肢桁式 (b) 横哑铃形桁式 (c) 混合式 (d) 全桁式

### 钢管混凝土 桁拱 的截面形式



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



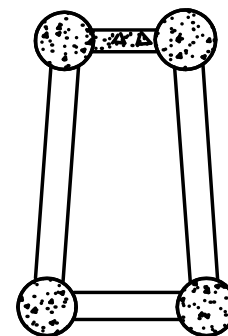
福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程  
<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



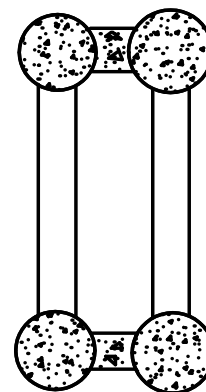
Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



河南安阳文峰路立交桥



广东南海三山西大桥





Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



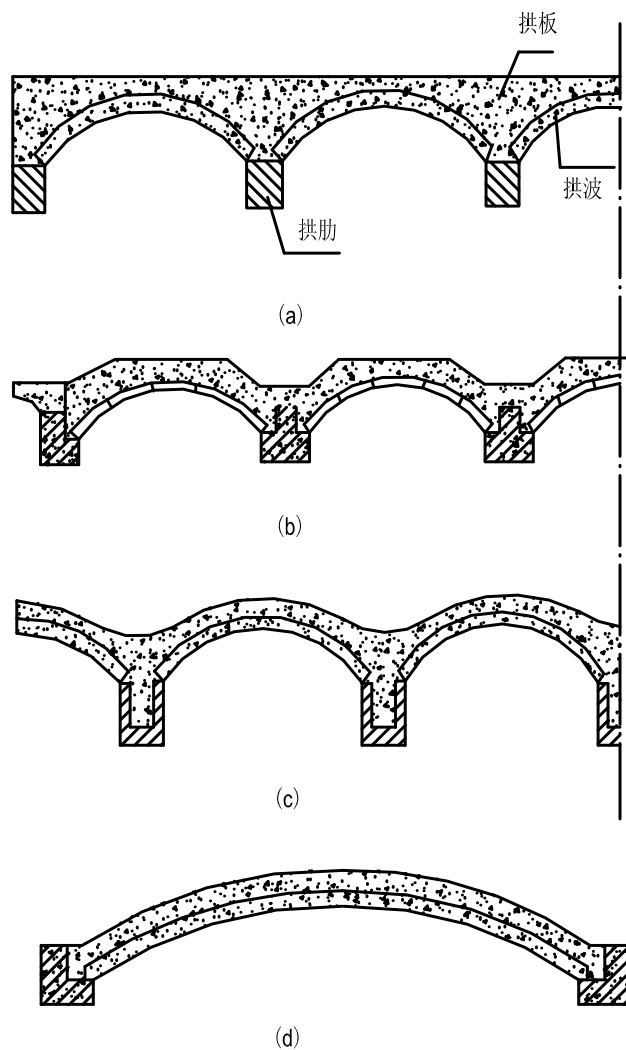
丫髻沙大桥

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





## 双曲拱桥主拱圈 的主要型式

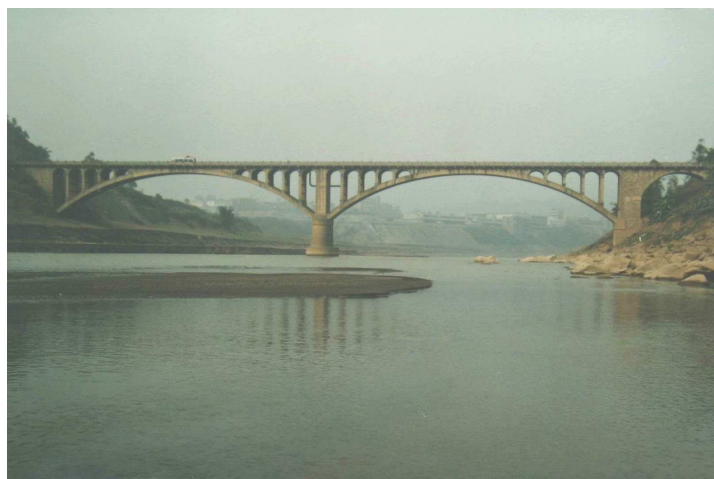
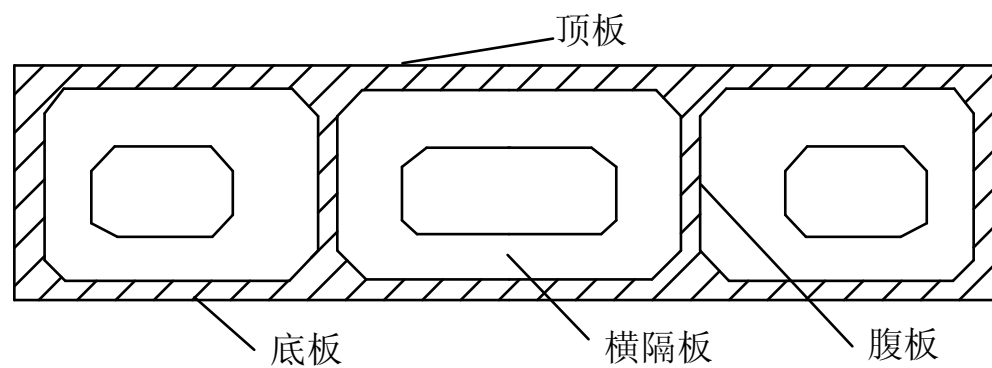






Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

## 钢筋混凝土箱形拱



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



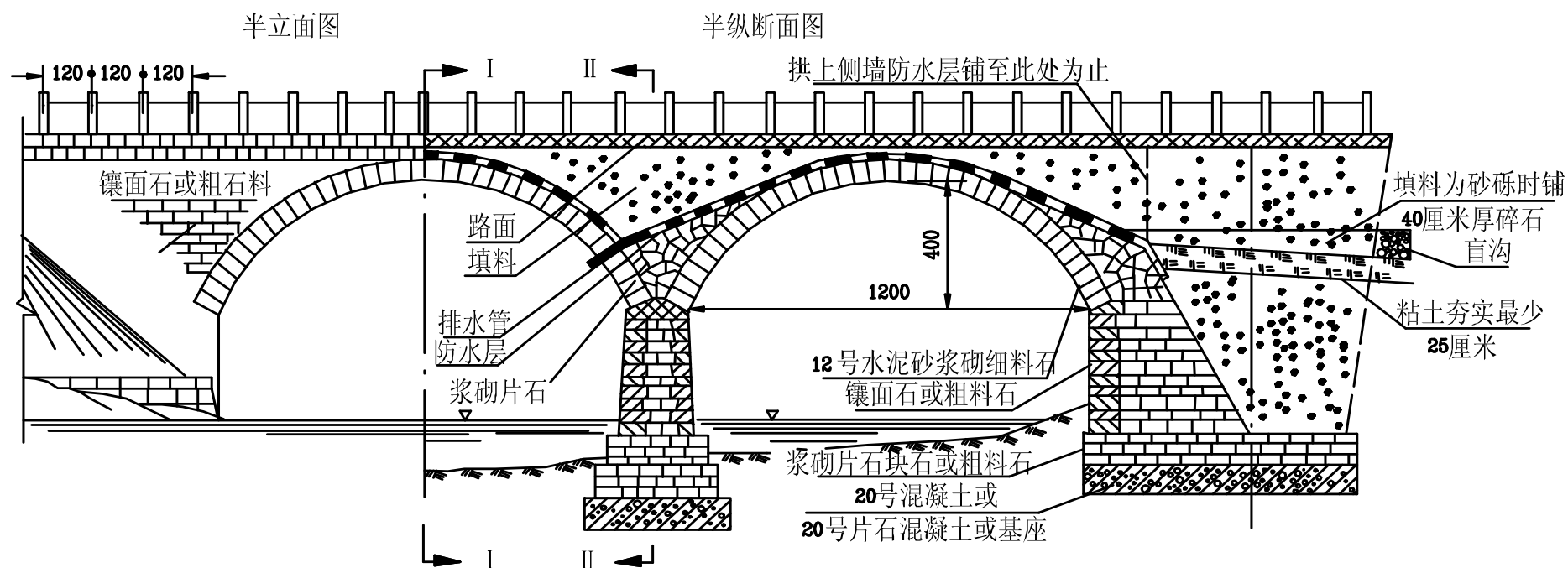
## 四、按照拱轴几何特征分类

- 矢跨比小于 $1/5$ 的称为坦拱（ **flat arch** ）
- 矢跨比大于或等于 $1/5$ 的称为陡拱（ **steep arch** ）
  
- 圆弧线（ **circle** ）
- 二次抛物线（ **parabolic** ）
- 悬链线（ **catenary** ）



## § 7.3 拱桥结构与构造

### 一、石板拱

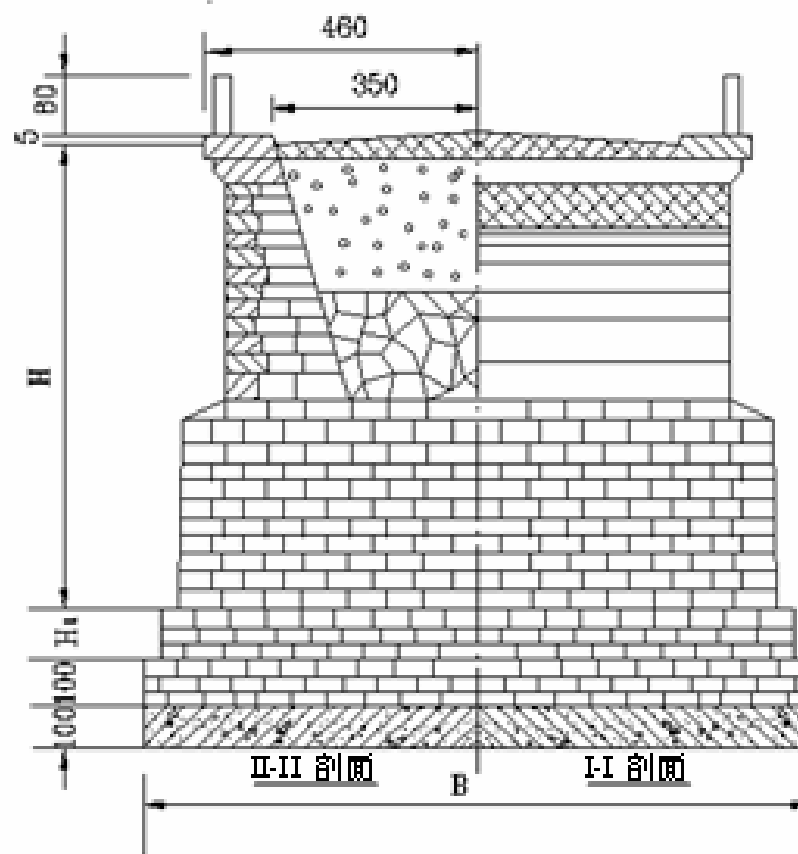


实腹式拱桥立面构造图

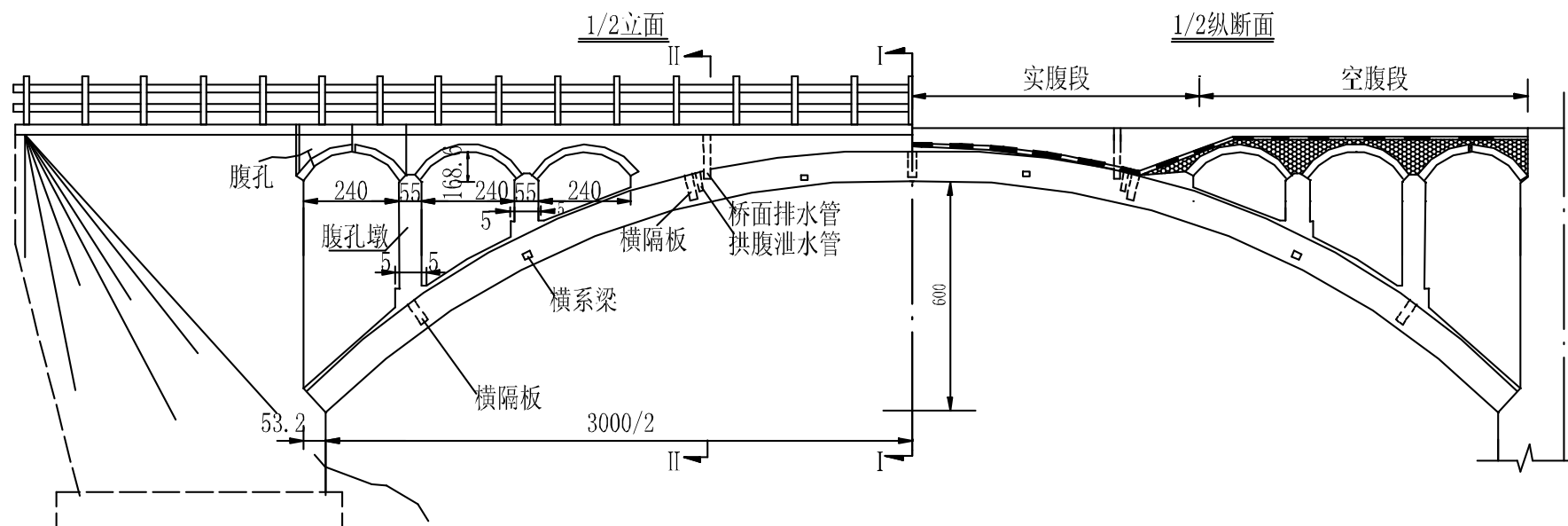




Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



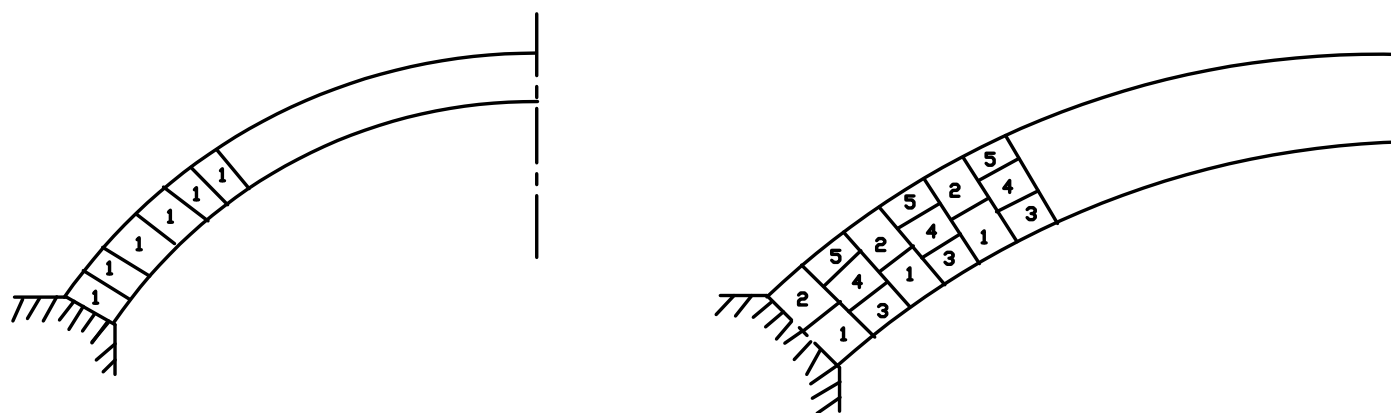
实腹式拱桥侧剖面构造图



空腹式拱桥构造图



- 在砌筑料石拱圈时，根据受力的需要，构造上应满足以下几点要求：
- （1）拱石受压面的砌缝应是辐射方向，即与拱轴线相垂直。这种辐向砌缝一般可做成通缝，不必错缝。
- （2）当拱圈厚度不大时，可采用单层拱石砌筑当拱厚较大时可采用多层拱石砌筑，对此要求垂直于受压面的顺桥向砌缝错开，其错缝间距不小于**0.10m**。
- （3）在拱圈的横截面内，拱石的竖向砌缝应当错开，其错开宽度至少**0.10m**，
- （4）砌缝的缝宽不应大于**0.02m**。
- （5）拱圈与墩台、空腹式拱上建筑的腹孔墩与拱圈相连接处，应采用特制的五角石，以改善连接处的受力状况。



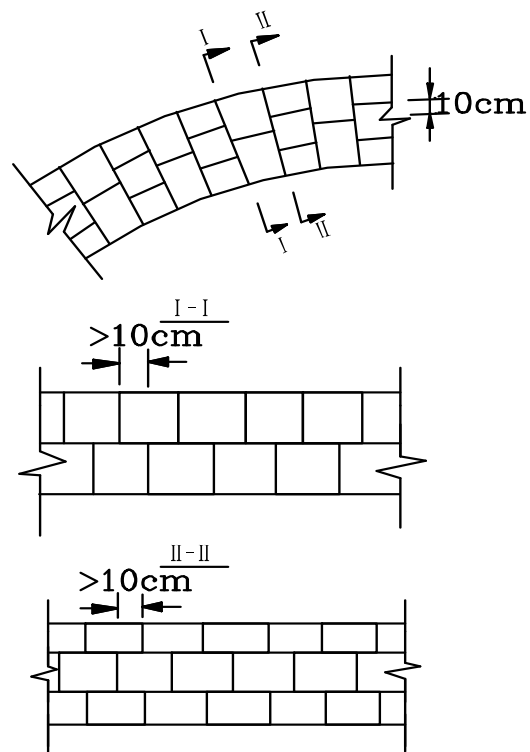
(注：图中数字为拱石编号)

(a) 单层拱石拱圈

(b) 多层拱石拱圈

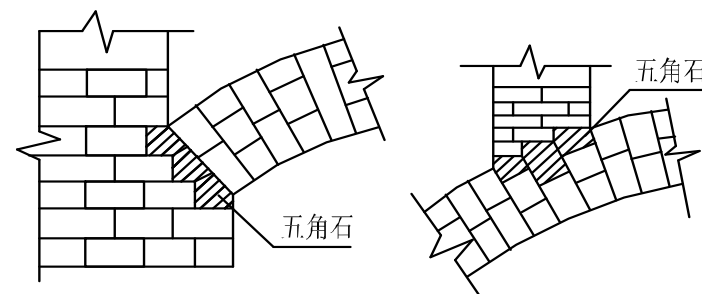
等截面圆弧拱的拱石编号



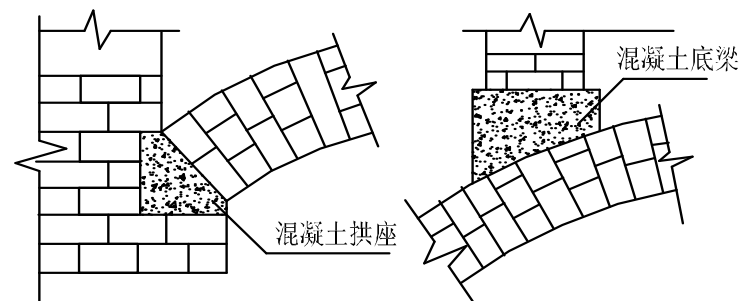


拱石的砌缝

(a)



(b)



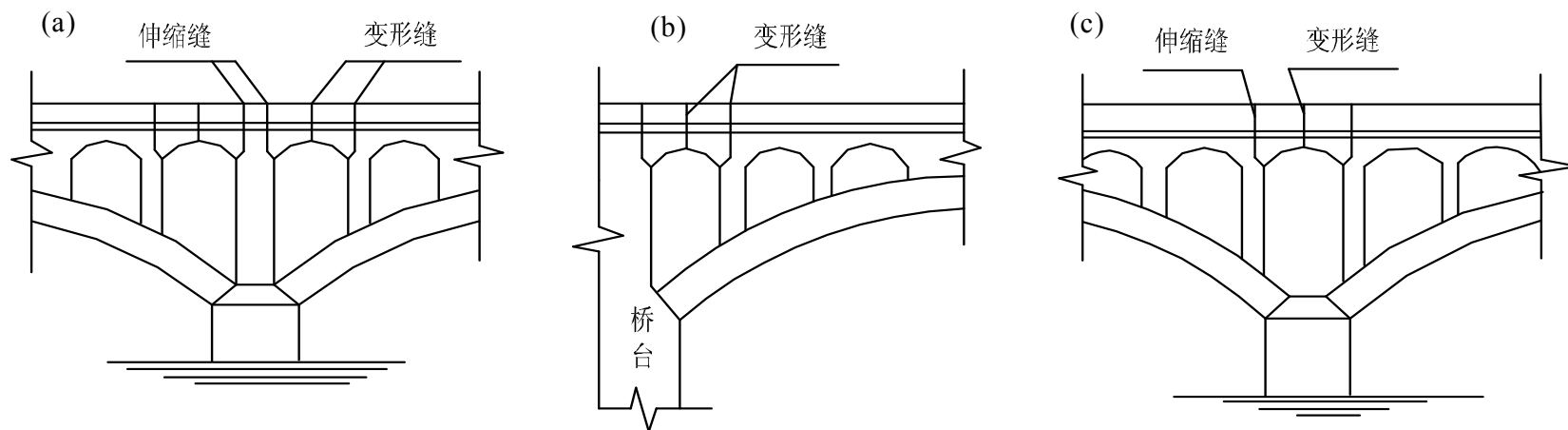
五角石及混凝土拱座、底梁





- 实腹式拱上建筑由侧墙、拱腹填料、护拱以及变形缝、防水层、泄水管和桥面等部分组成。
- 空腹式拱上建筑除具有实腹式拱上建筑相同的构造外，还具有腹孔和腹孔墩



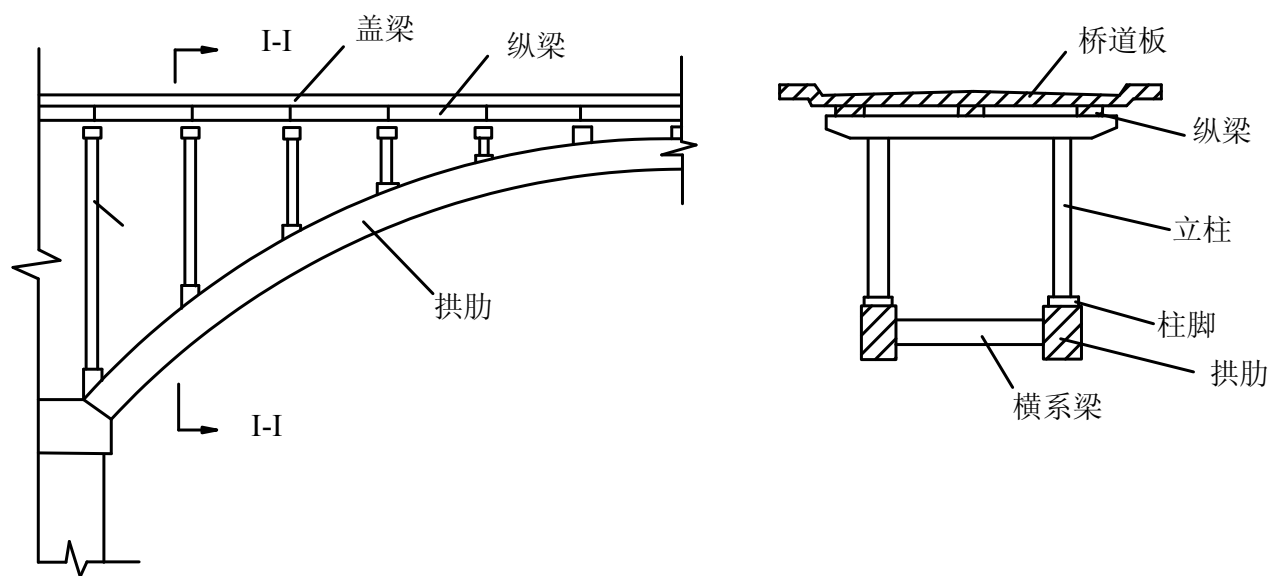


## 桥墩（台）上腹拱的布置方式

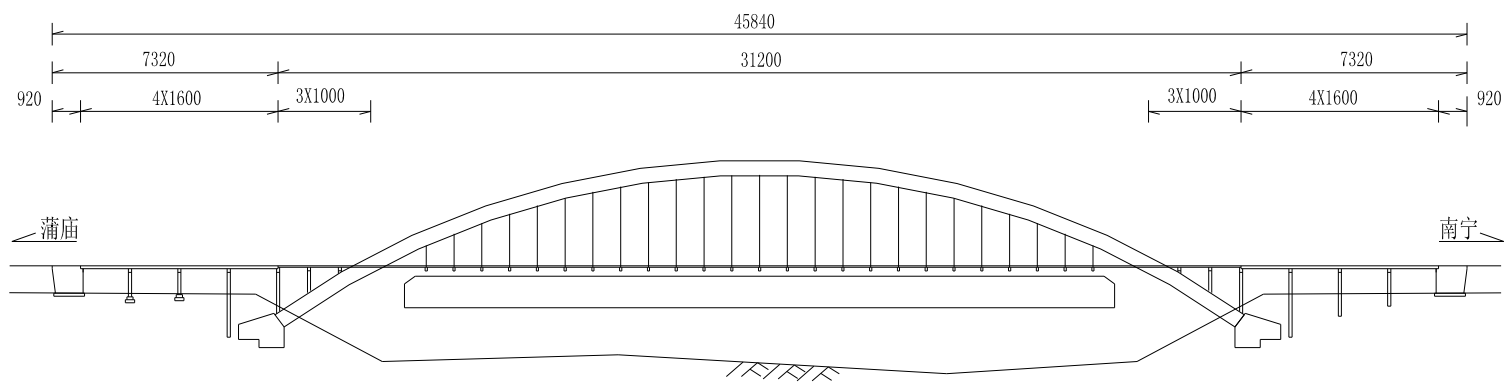


## 二、钢筋混凝土拱

### 1. 肋拱

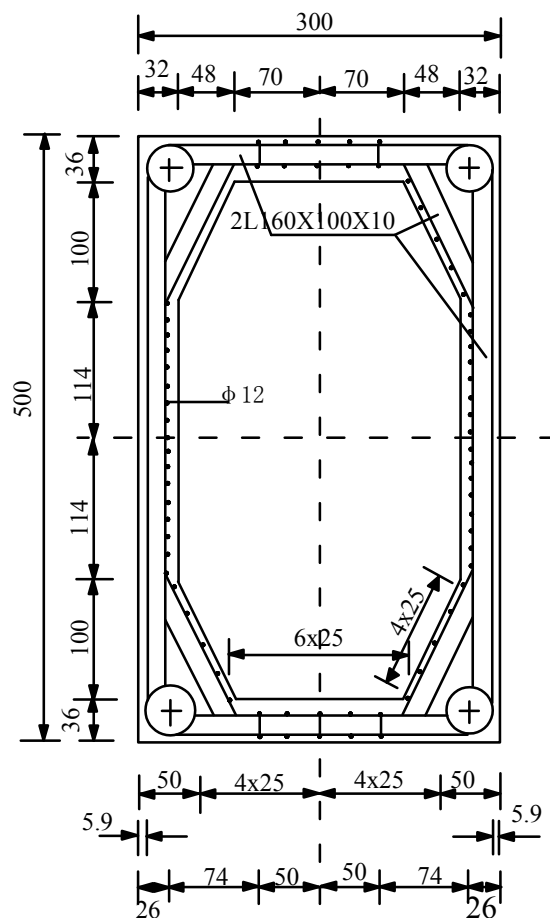


肋拱桥桥型图

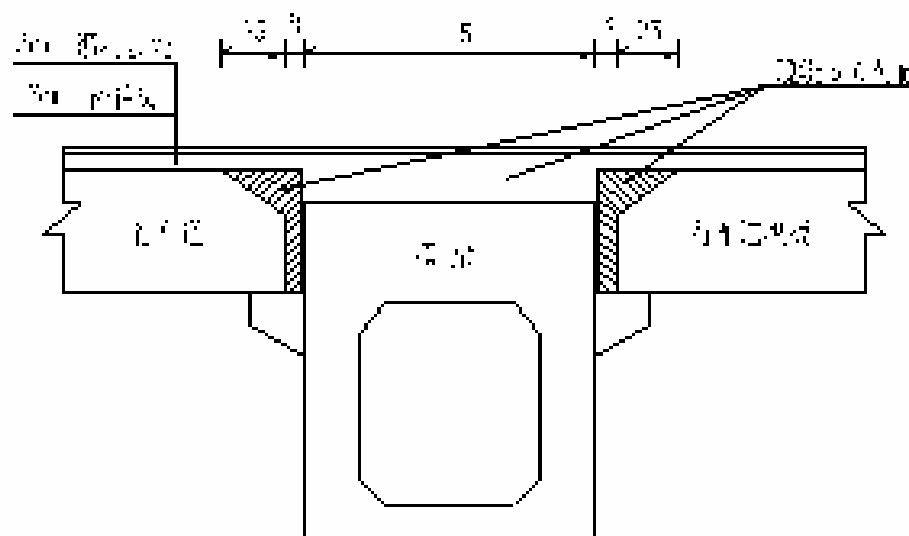


## 邕宁邕江大桥 总体布置图





甯甯甯江大桥拱肋截面图

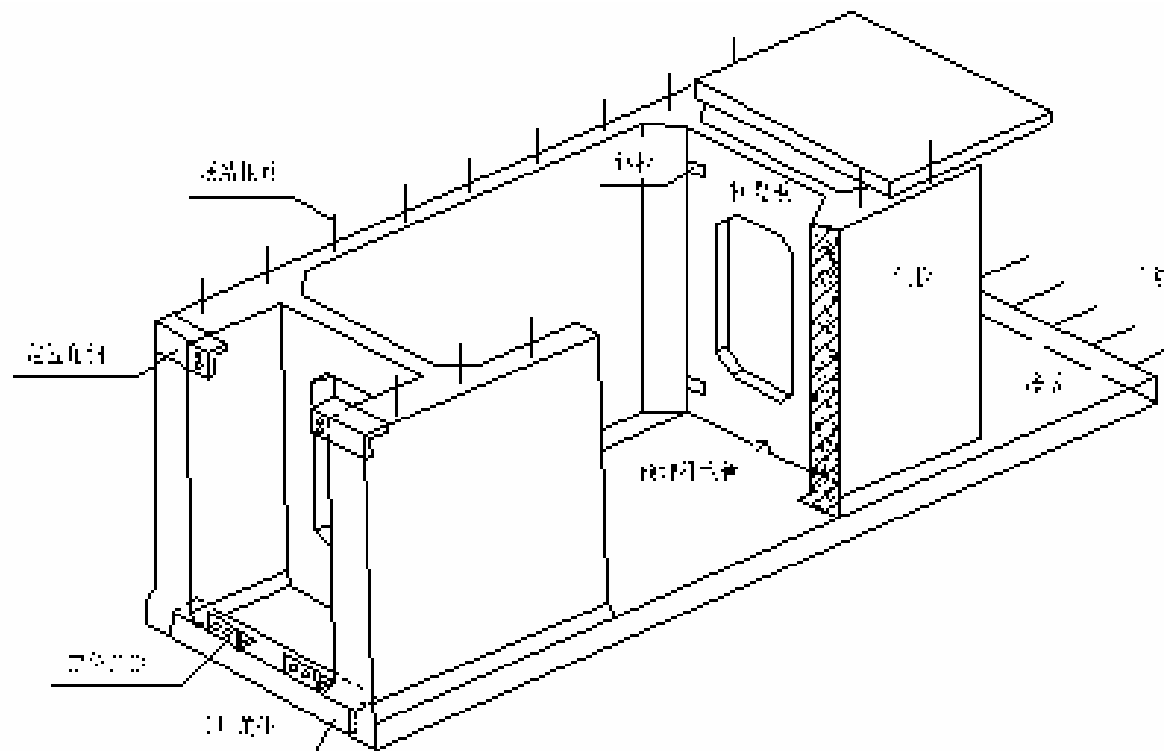


甯甯甯江大桥桥面系构造图

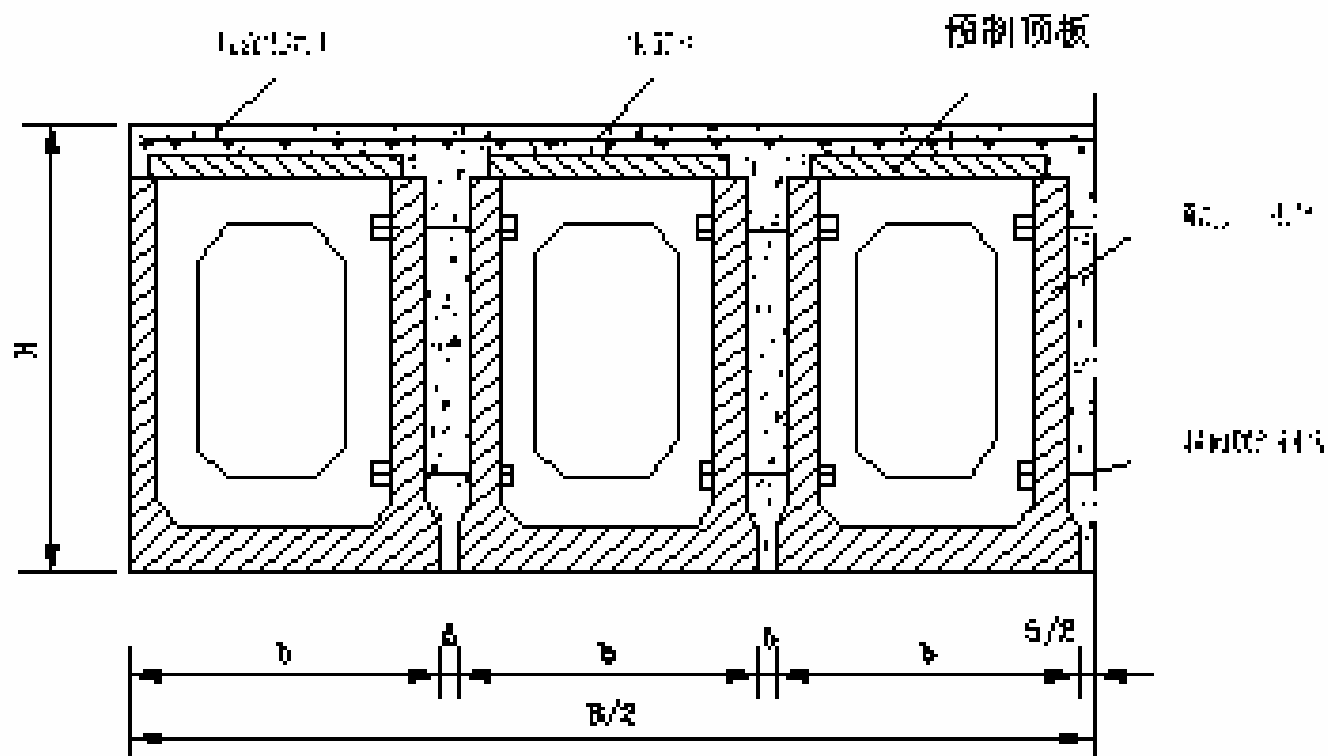




## 2. 箱拱



箱拱预制施工构造示意图

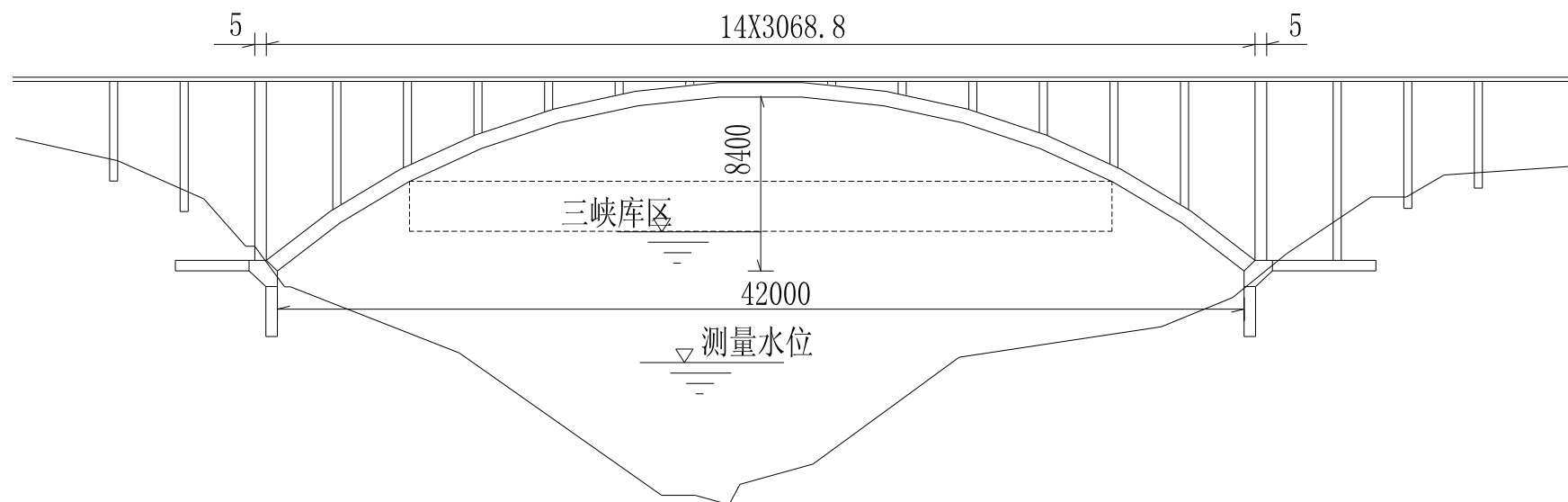


## 箱形拱闭合箱的构造



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

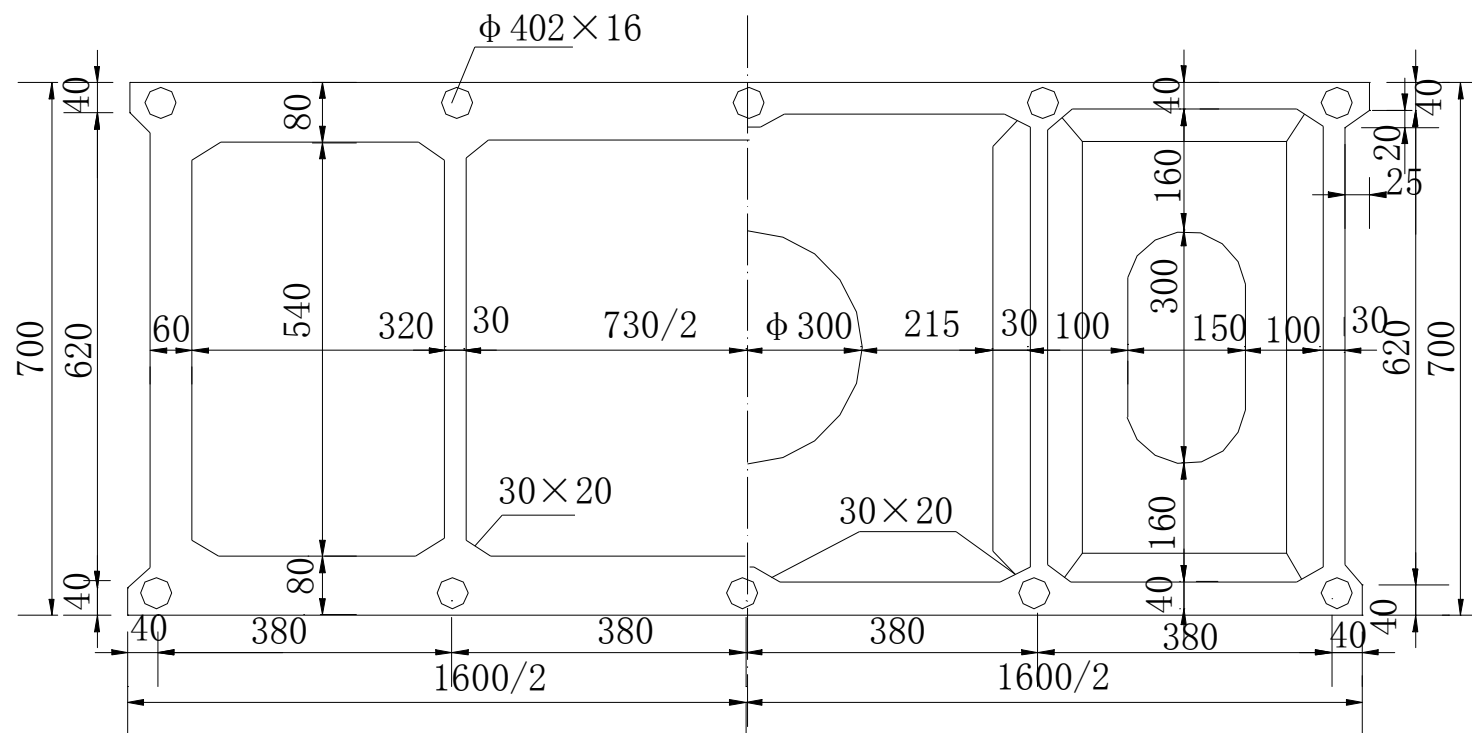
## 世界上跨径最大钢筋混凝土箱拱



重庆万州（县）长江大桥总体布置图

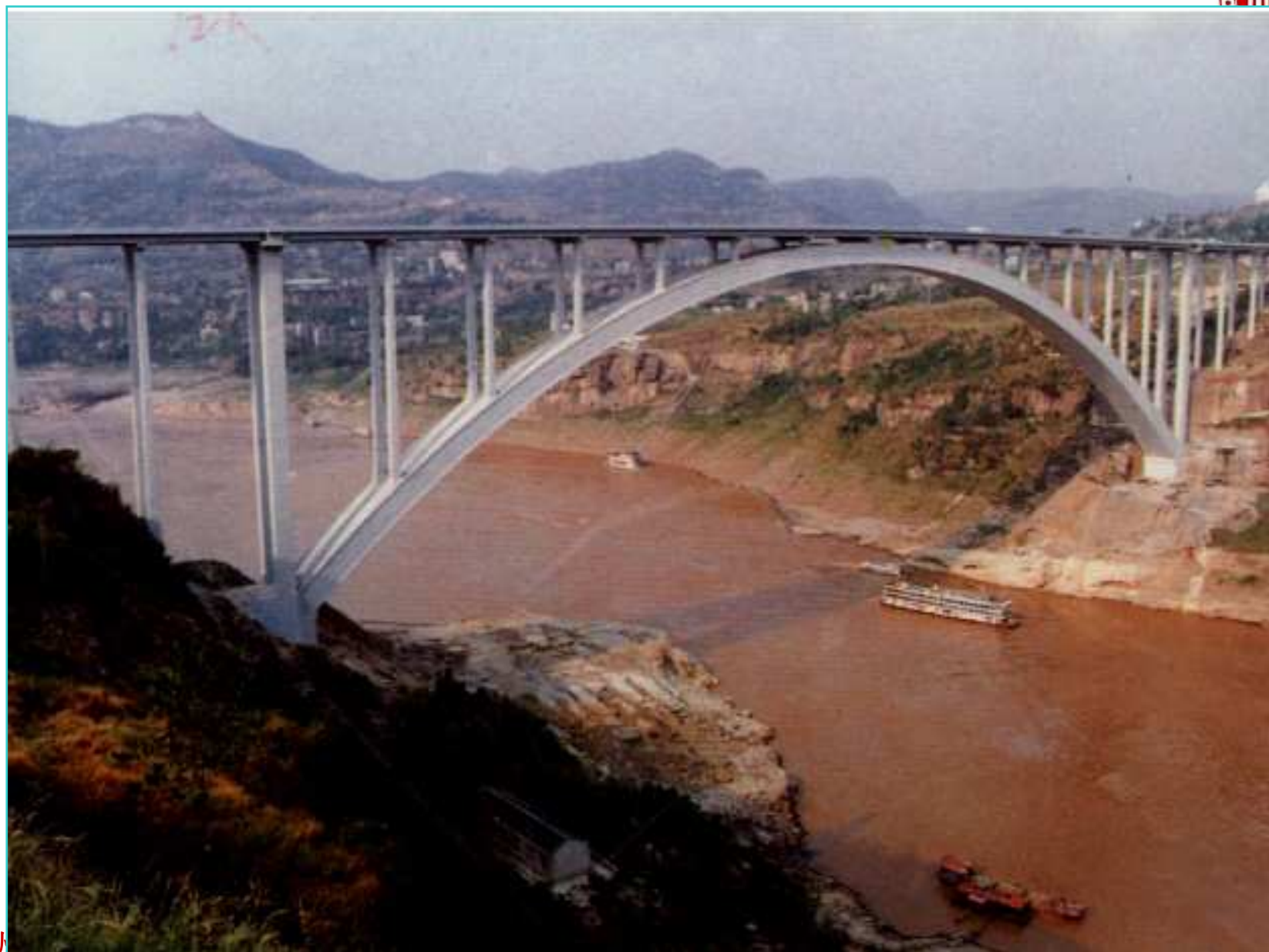


# 万州（县）长江大桥主拱圈截面构造图





University -  
Engineering



福州

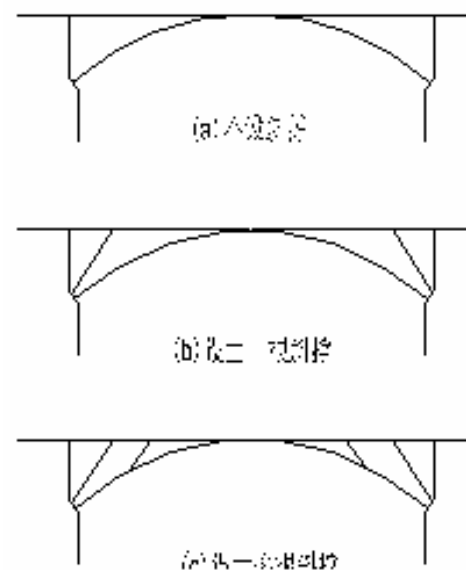
<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>





### 3. 刚架拱

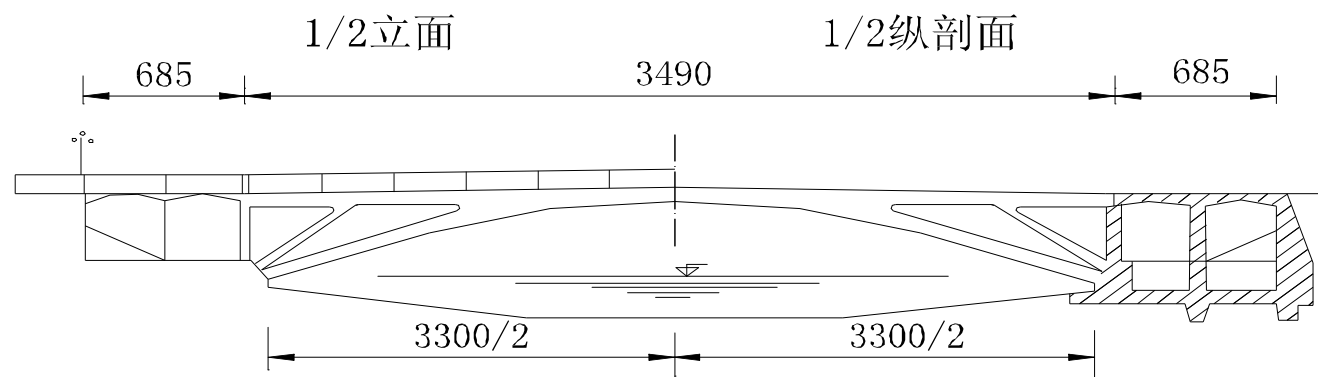
- 高次超静定结构
- 构件少
- 自重轻
- 整体性好
- 刚度大
- 施工方便
- 经济指标较好
- 造型美观



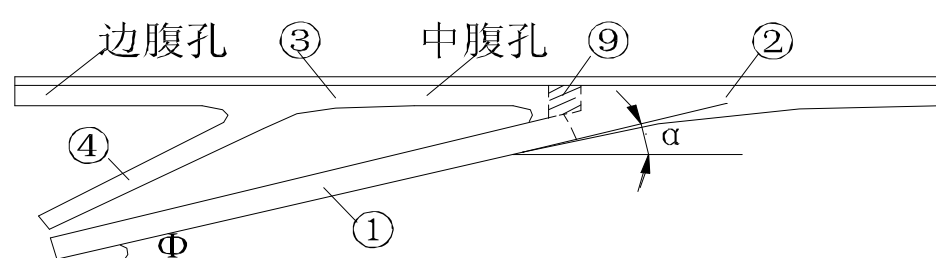
刚架拱桥的基本图式



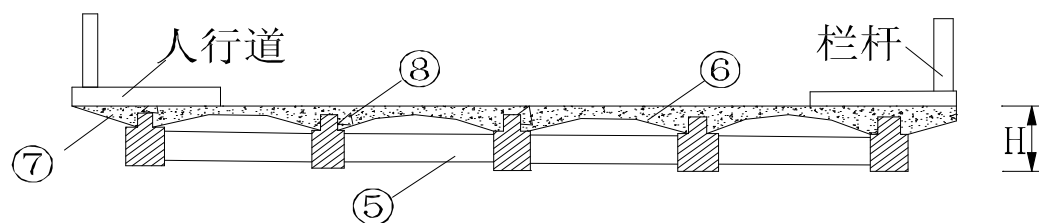
刚架拱桥的主要组成



(a) 总体布置图



(b) 立面图



(c) 拱顶横断面图



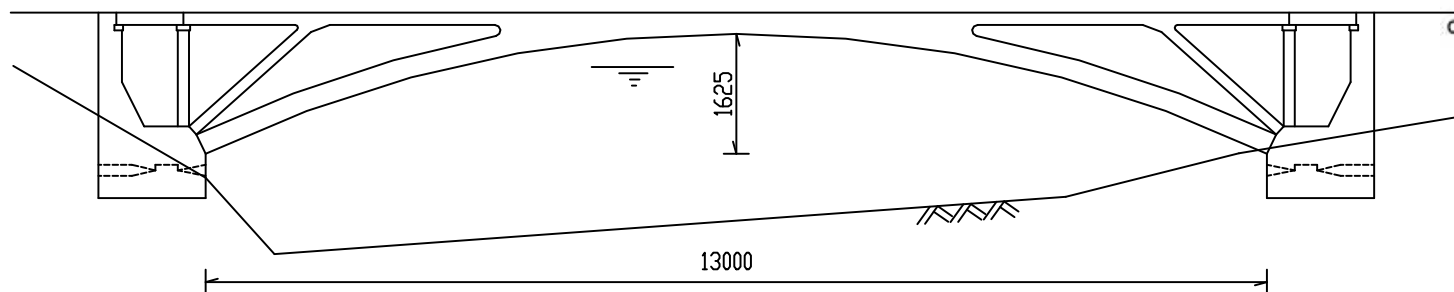
Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



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



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



江西德兴铜矿太白桥立面图



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



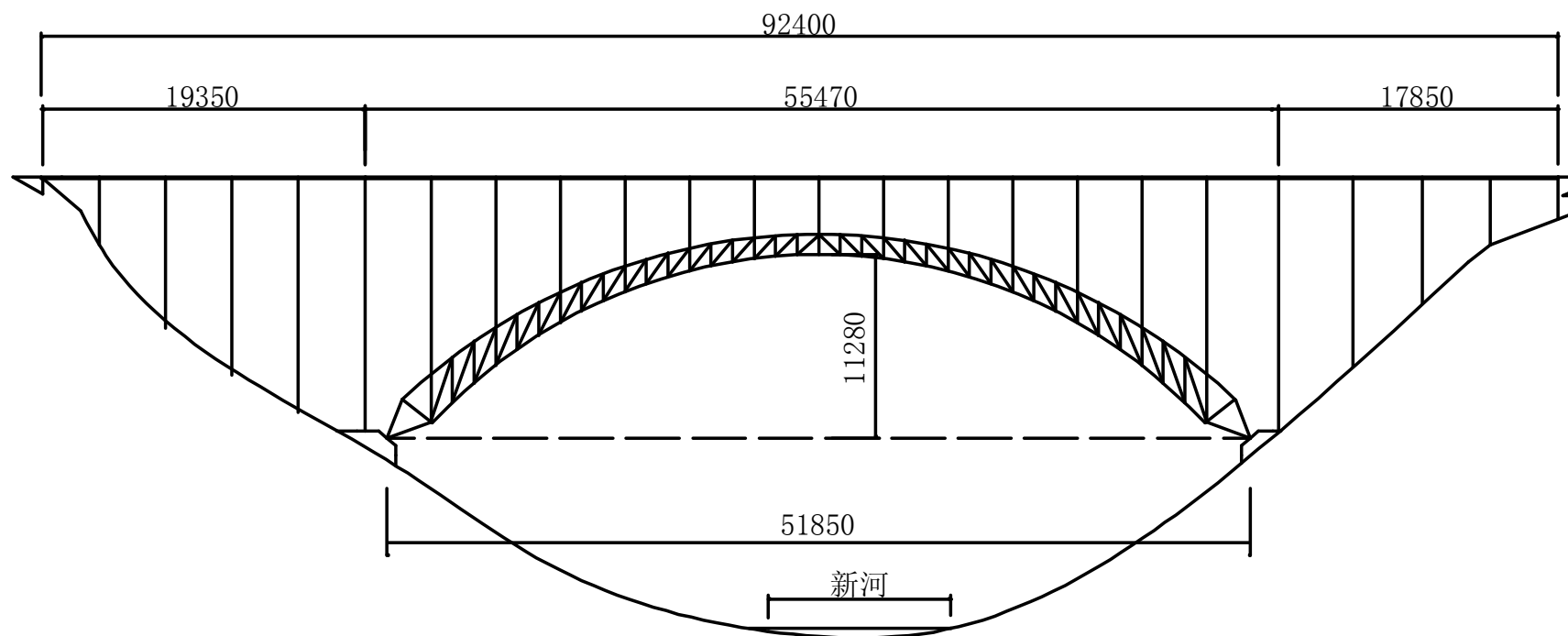
## 三、钢拱

- 钢拱桥可分为无铰拱（固定拱）、单铰拱、二铰拱和三铰拱
- 钢拱桥的拱肋断面可分为实肋拱（工字肋、管拱）、箱肋拱、桁肋拱等





在有推力钢拱桥中，拱上建筑由立柱和桥道系组成，并以钢结构为主，有时桥道系也采用钢—混凝土组合结构的。



## 跨径最大的有推力钢拱桥——美国的新河谷桥



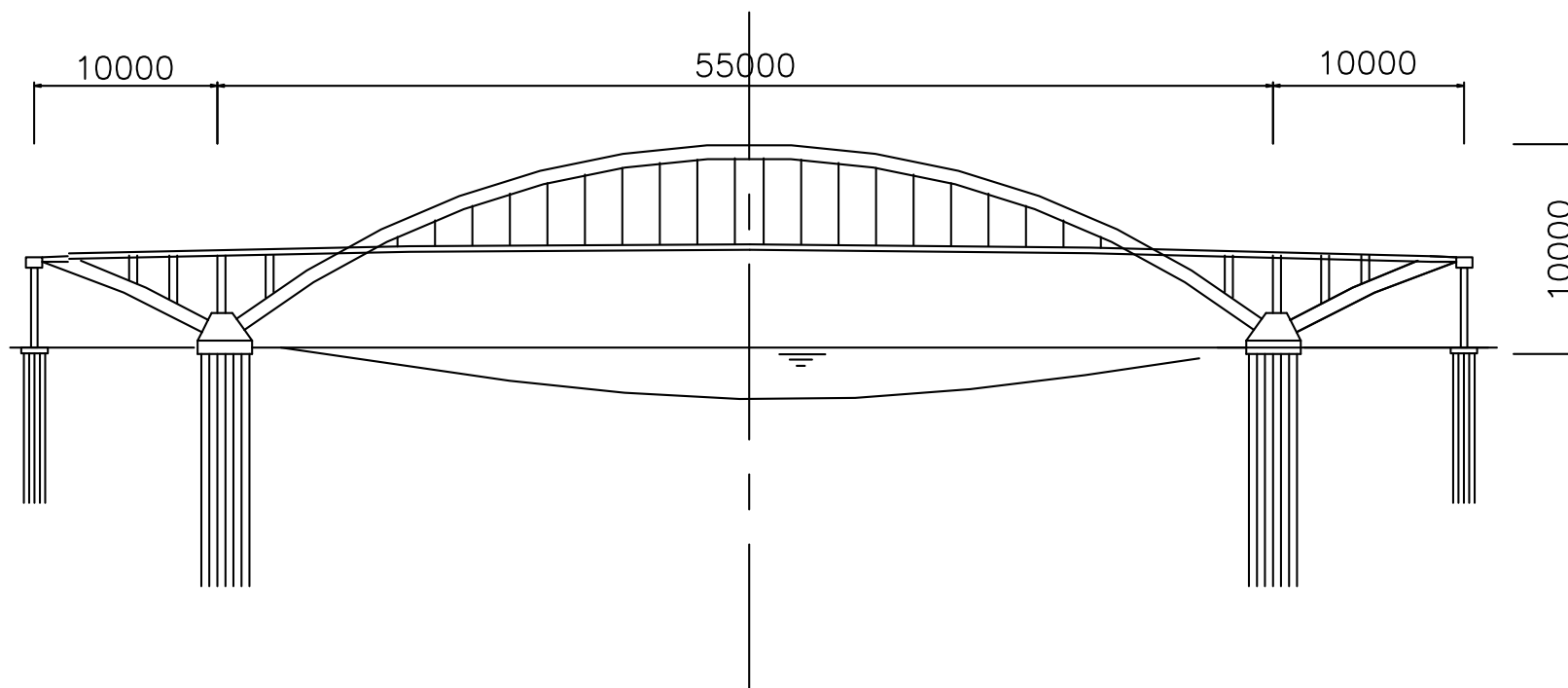
## 跨径最大的有推力钢拱桥——美国的新河谷桥

福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程

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



- 无推力拱主要应用于中下承式拱之中，主要由拱肋、悬吊结构和横向联结系三部分组成



上海卢浦大桥总体布置图





卢浦大桥

2004 10 14

补

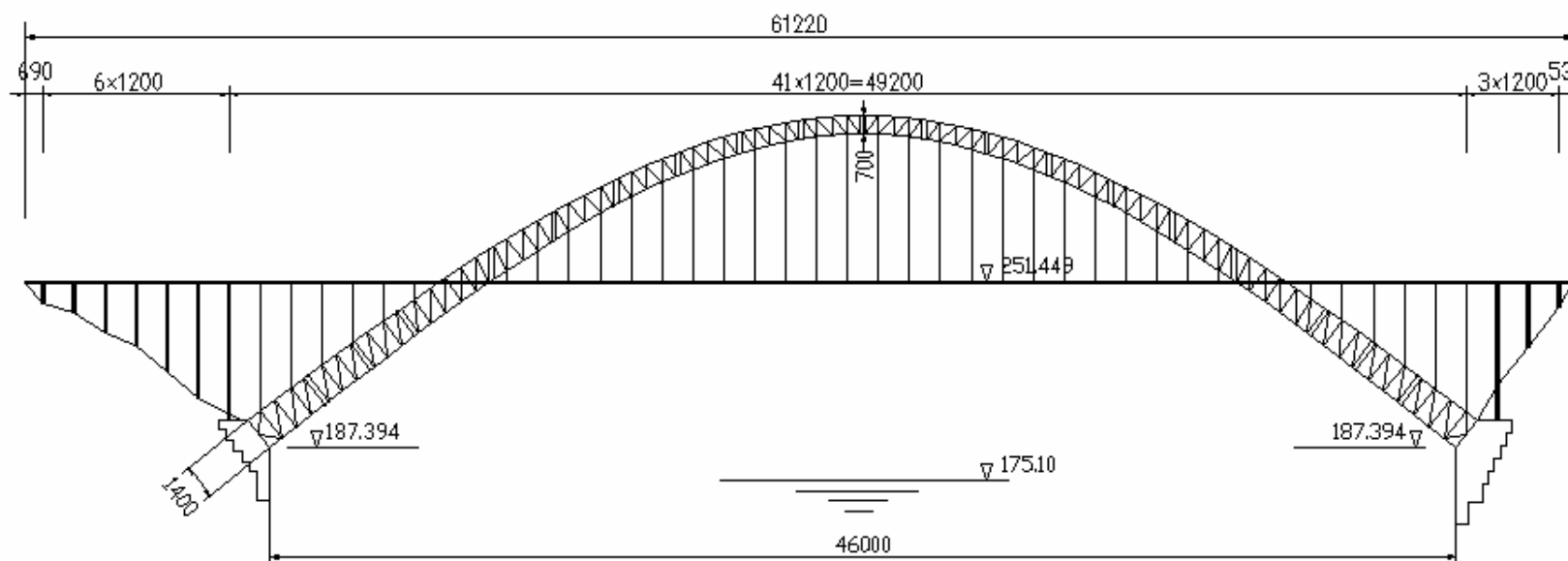


## 四、钢管混凝土拱桥

- 钢管混凝土桁式拱肋是由钢管混凝土弦杆与腹杆、平联（一般为空钢管）焊接而成的桁式结构。
- 设计的关键：管接头的焊接质量与抗疲劳性能
- 以车承形式划分，可分为上承式、中承式和下承式。
- 以拱肋的截面形式分，可分为单圆管、哑铃形和多管桁式。
- 按拱肋的横向构造可分为平行肋拱、提篮拱和无风撑拱。
- 按拱脚推力可分为有推力拱、无推力的刚架系杆拱和拱梁组合桥。



## 跨径最大的有推力中承式钢管混凝土拱桥



## 重庆巫山巫峡长江大桥



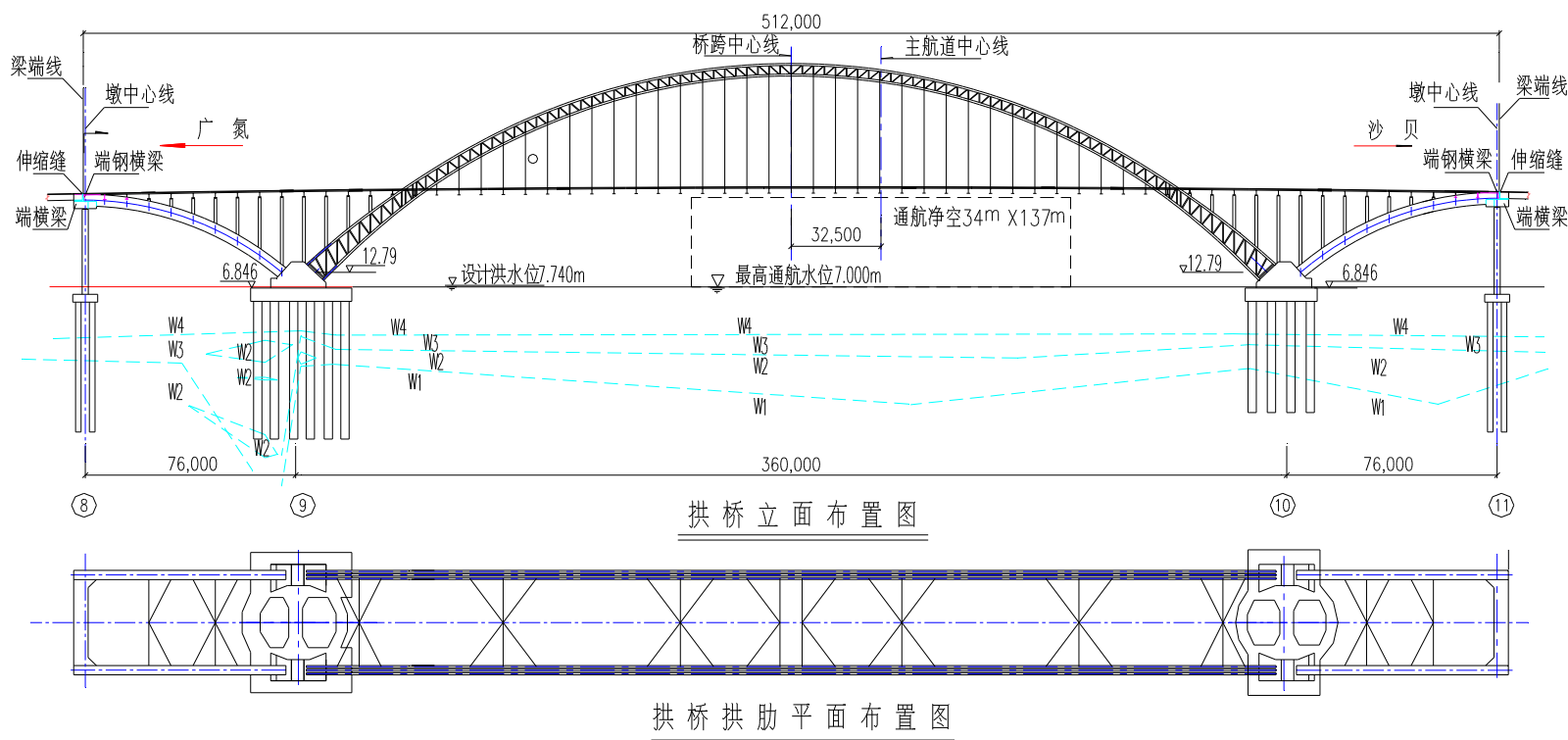




- 刚架系杆拱有下承式和中承式两种
- 中承式 刚架系杆拱，即飞鸟式也称飞燕式，它是指两边跨为半跨悬臂上承式拱、主跨为中承式钢管混凝土拱，通过锚固于两边跨端部的拉索来平衡主跨大部分水平推力的桥梁结构，也有称自平衡式或自锚式的



# 中承式刚架系杆拱



广州丫髻沙大桥主桥拱桥平、立面布置图



## 建成后的广州丫髻沙大桥照片

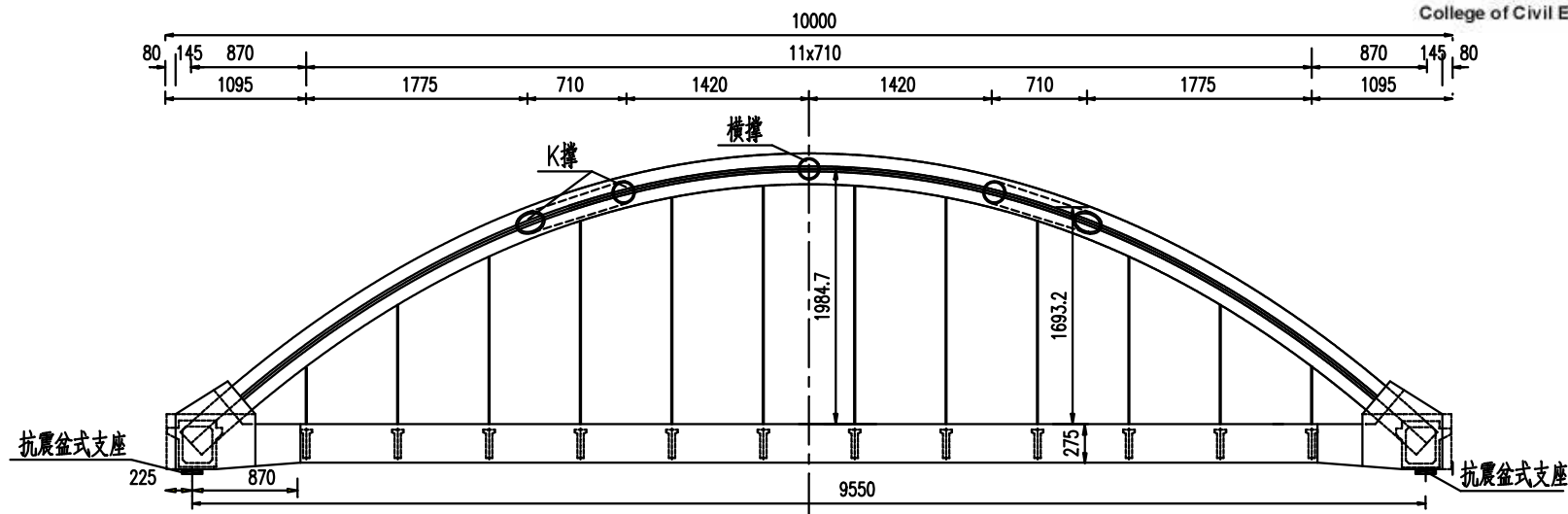
福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程

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

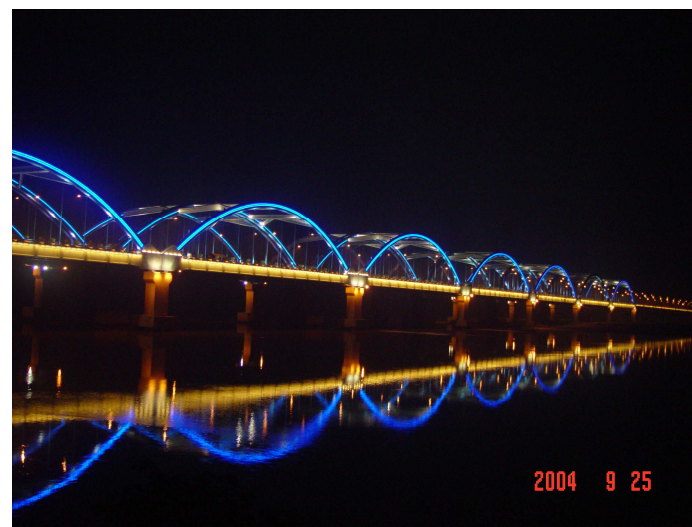


## 钢管混凝土在拱梁组合体系拱桥

- 充分发挥了钢管混凝土抗压性能好的优点
- 减轻了桥梁上部结构的自重
- 提高了拱梁组合体系拱桥的跨越能力
- 钢管混凝土拱梁组合体系桥梁上部结构的施工主要可分为“先梁后拱”和“先拱后梁”两种方法。



## 郑州黄河公路二桥









## 五、拱桥墩台

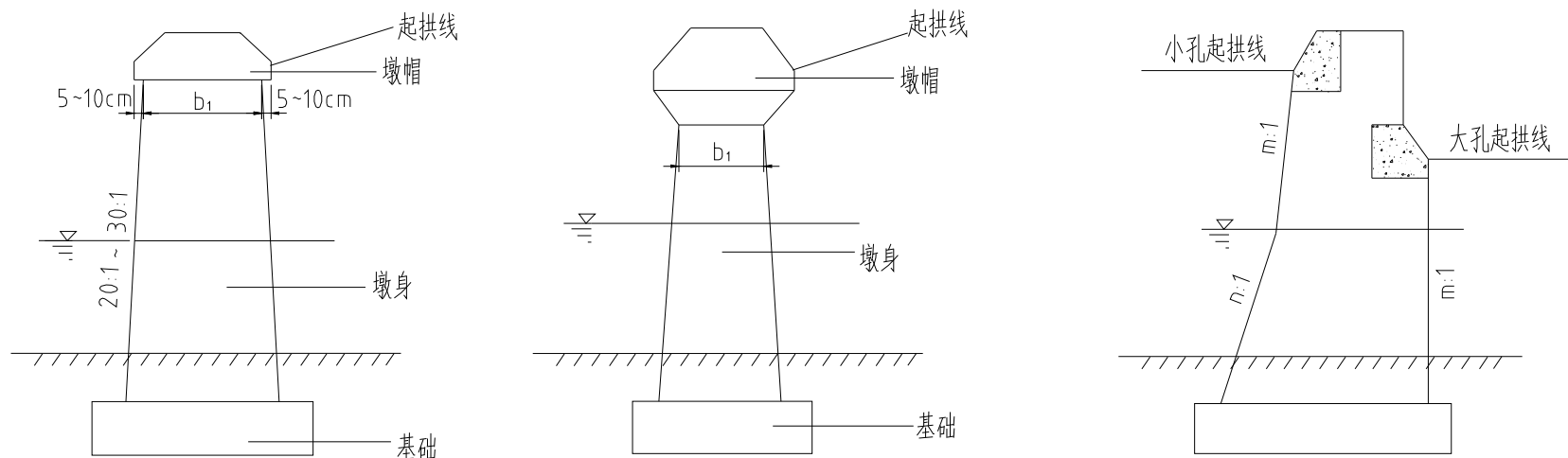
### 1. 桥墩

- 从抵御恒载水平力的能力来看，拱桥桥墩可以分为普通墩和单向推力墩两种。
- 普通墩除了承受相邻两跨结构传来的垂直反力外，一般不承受恒载水平推力，或者当相邻孔不相同只承受经过互相抵消后消除的不平衡推力。
- 单向推力墩又称制动墩它的主要作用是在它的一侧的桥孔因某种原因遭到毁坏时，能承受住单向的恒载水平推力，以保证另一侧的拱桥不致遭到倾坍。

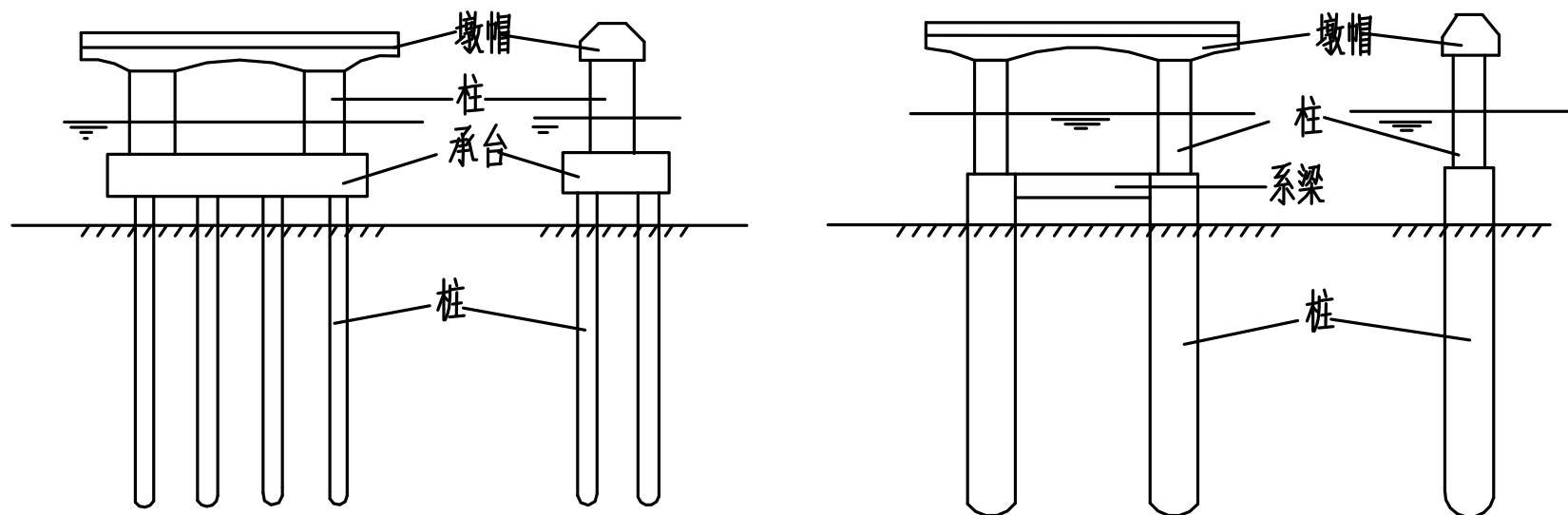




- **重力式桥墩**也称**实体式桥墩**，它主要靠自身的重量来平衡外力而保持其稳定，由墩帽、墩身和基础三部分组成。







## 柱式桥墩



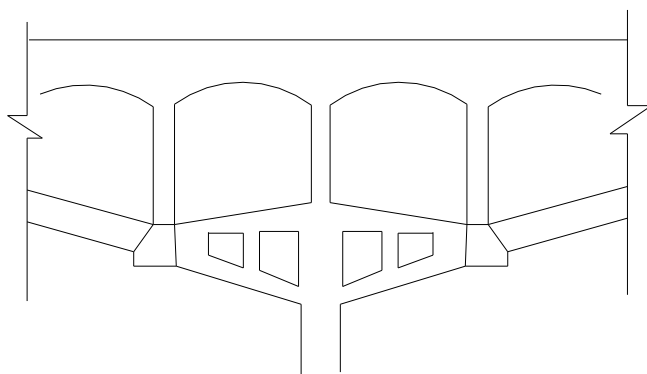




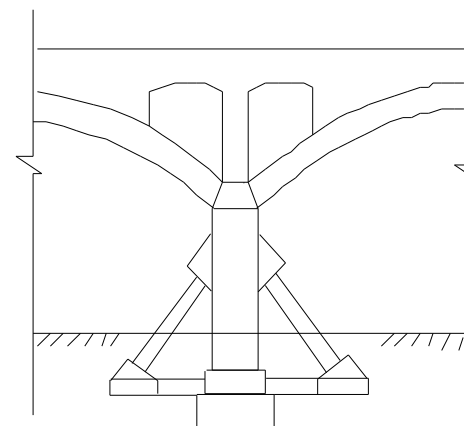


## 单向推力墩的形式：

- (1) 悬臂墩
- (2) 斜撑墩
- (3) 重力式单向推力墩



悬臂墩



斜撑墩



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering

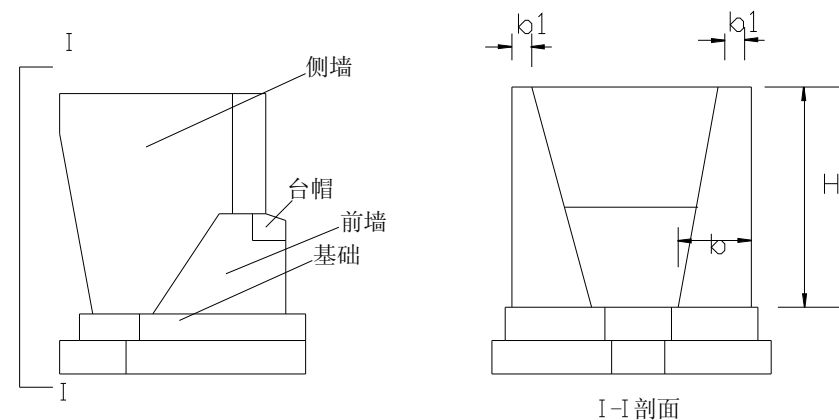


单向推力墩

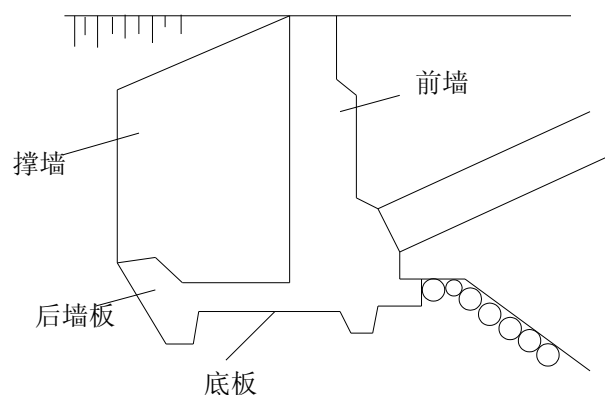
福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程  
<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



- 2. 桥台的类型和构造
- 重力式U形桥台
- 齿槛式桥台
- 空腹式(L)桥台
- 组合式桥台
- 轻型桥台



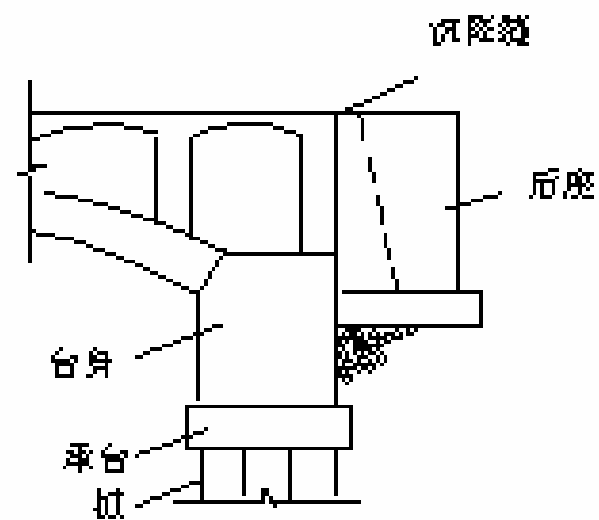
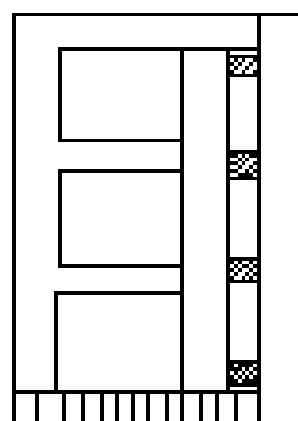
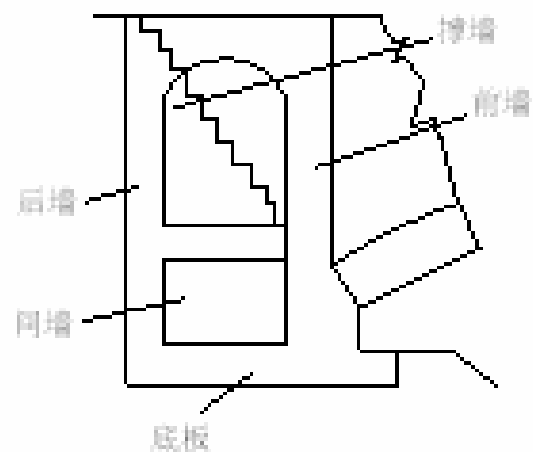
重力式U形桥台



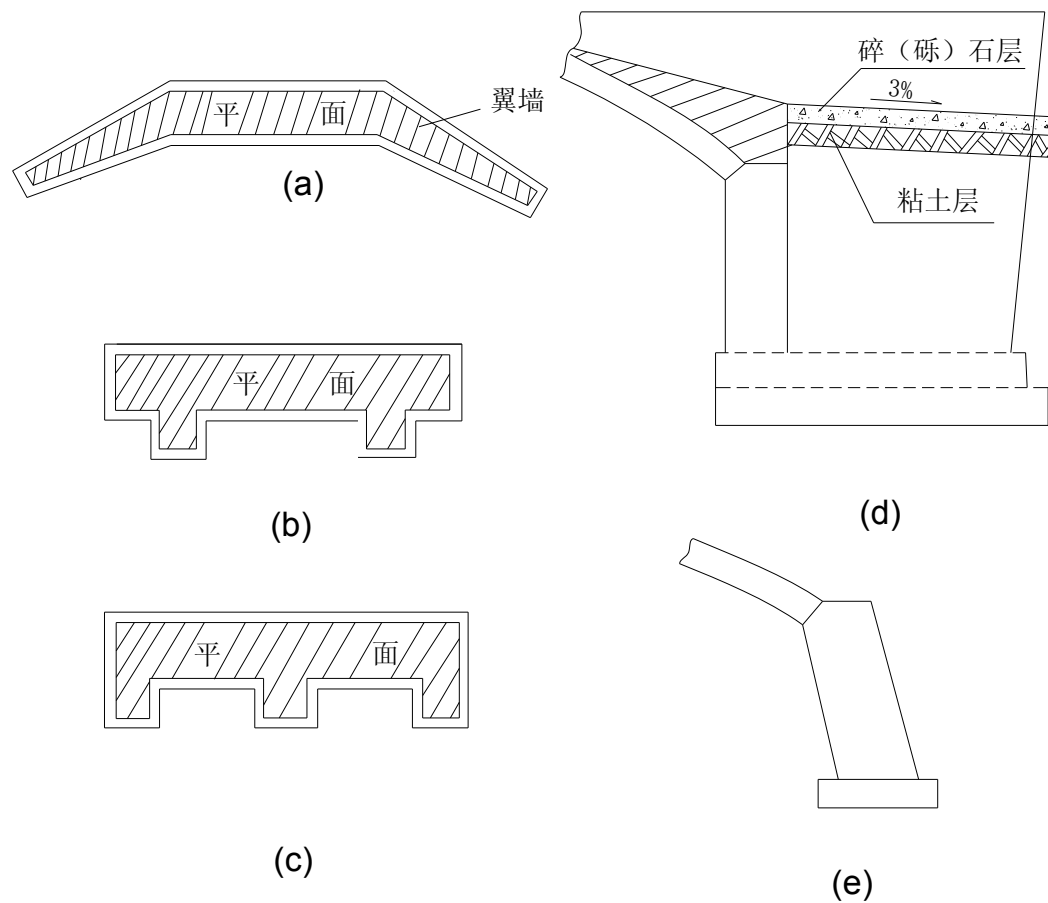
齿槛式桥台



Fuzhou University -  
College of Civil Engineering



## 空腹式 (L) 桥台 组合式桥台



## 轻型桥台



## § 7.4 拱桥施工

- § 7.4.1 支架法
- § 7.4.2 劲性骨架施工法
- § 7.4.3 转体施工法
- § 7.4.4 悬臂施工法
- § 7.4.5 缆索吊装设备

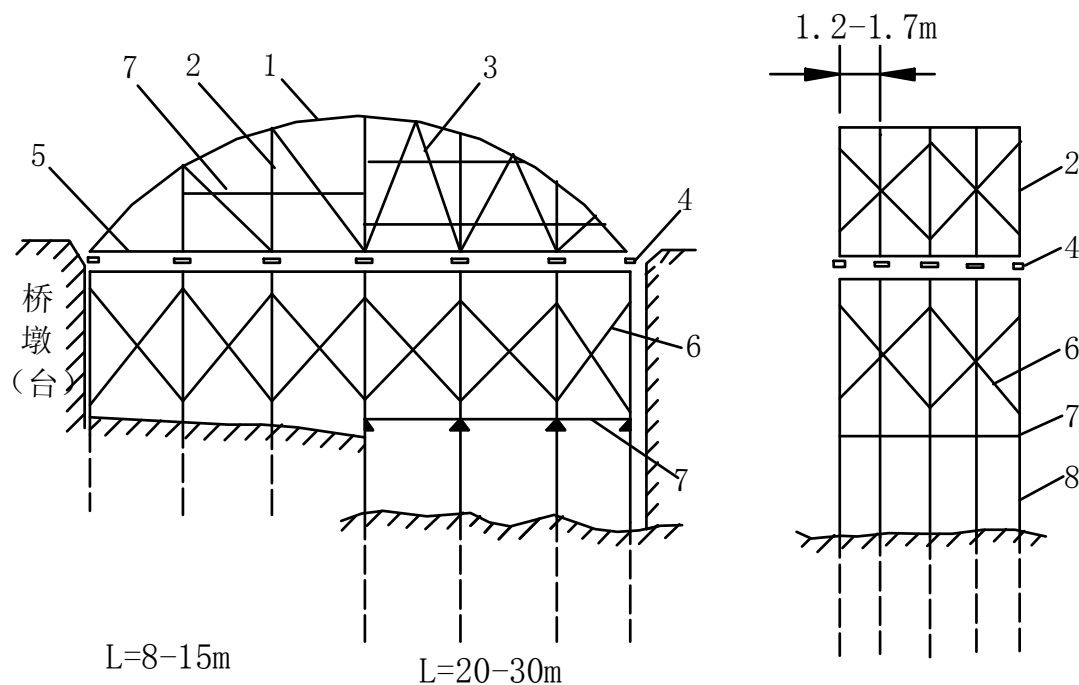




## § 7.4.1 支架法

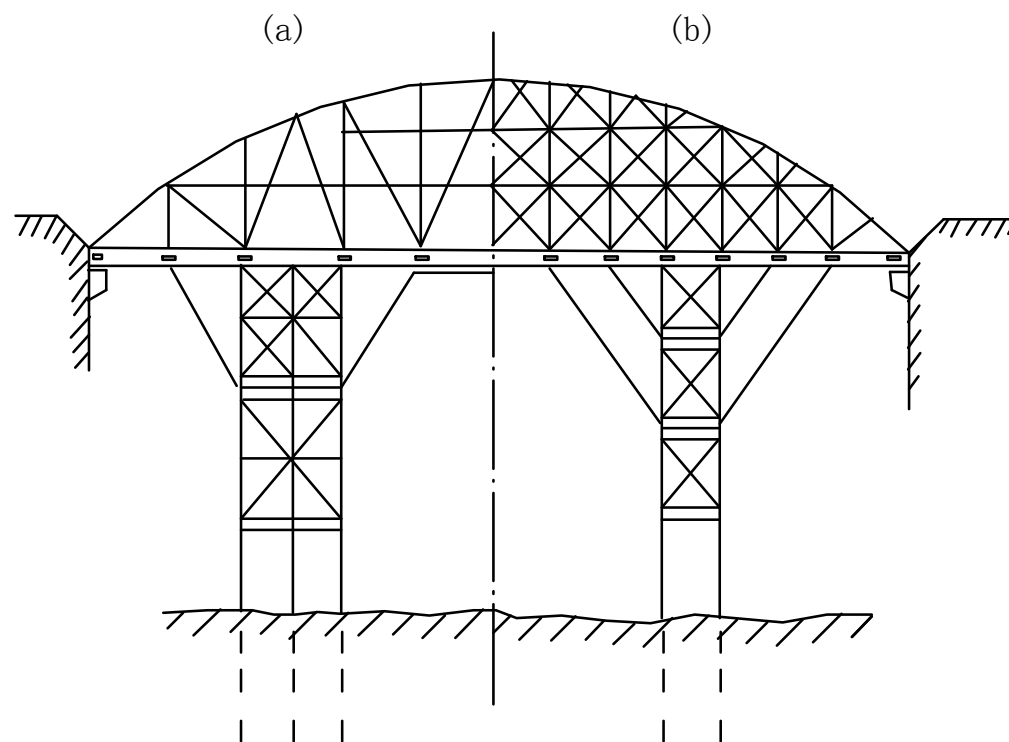
- 木拱架
- 钢拱架
- 竹拱架
- 竹木拱架
- “土牛拱胎”

立柱式拱架的型式及其组成



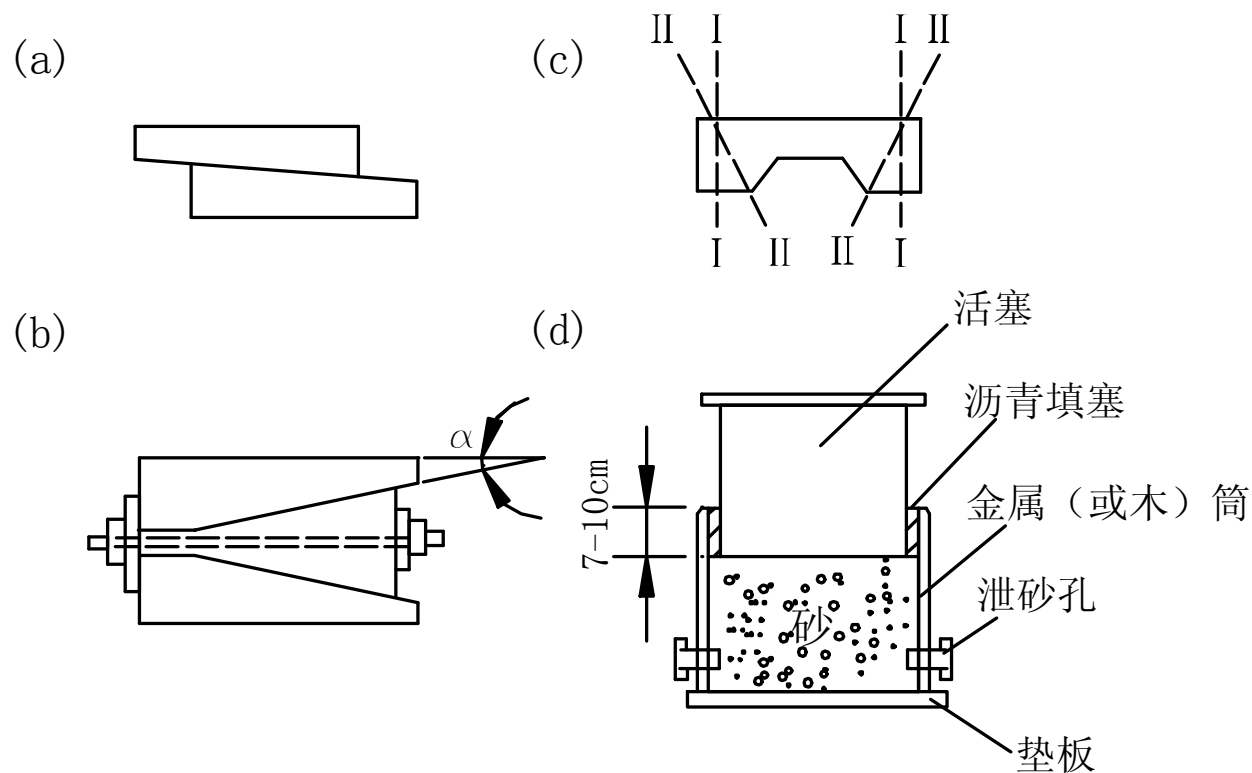


## 撑架式拱架的型式





## 卸架设备的几种型式





- **卸架的程序**：对于满布式拱架的中小跨径拱桥，可从拱顶开始，逐次向拱脚对称卸落；对于大跨径的悬链线拱圈，为了避免拱圈发生“M”形的变形，也有从两边**1/4**处逐次对称地向拱脚和拱顶均衡地卸落。卸架的时间宜在白天气温较高时进行，这样能够便于卸落拱架。