



| 古桥史话 |

许水如桥 广济桥 卢沟桥 潘

中国
古代
桥梁
博物馆

中国古代建筑的桥梁中，最古老的桥是赵州桥，最雄伟的桥是卢沟桥，最具艺术美的桥是五亭桥。

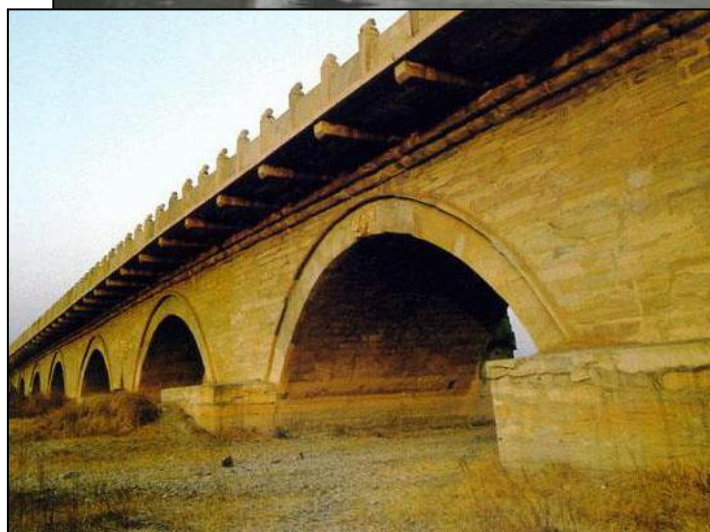
——茅以升



「初月出云，长虹饮涧。」

赵州桥（安济桥）

现存的建造最早、保存最完善的古代敞肩石拱桥



卢沟桥

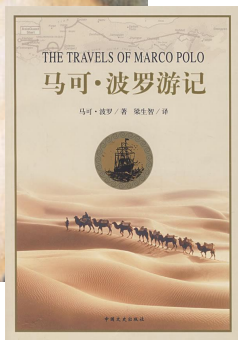




卢沟桥



卢沟桥



马可·波罗(Marco Polo)
[1254~1324]



西行十六公里来到一条河流，它名叫永定河……河上架有一座美丽的石桥，这是一座世界上独一无二的大石桥。……拱门用弧形的石头堆砌而成……上面镌刻着精巧的雕刻，使整座桥气贯如虹，蔚为壮观。

——《马可·波罗游记》



五亭桥



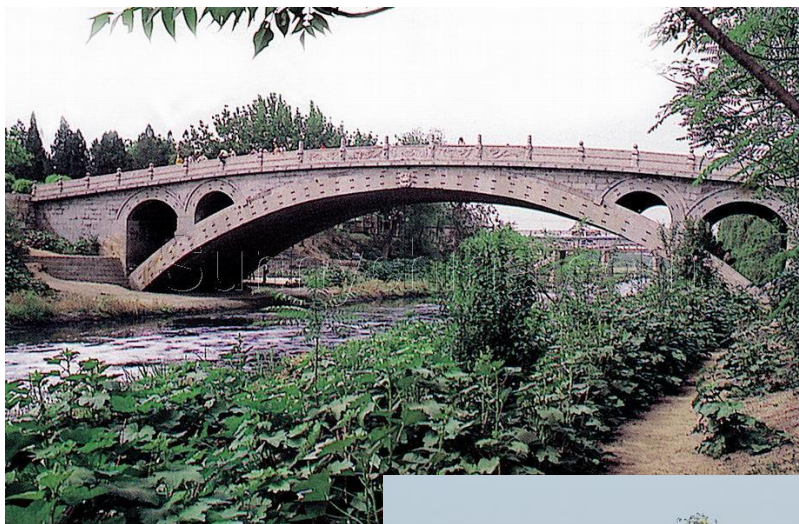
五 亭 桥



五亭桥

每当清风月满之时，每洞各衔一月。金色荡漾，众月争辉，莫可名状。

——《扬州画舫录》



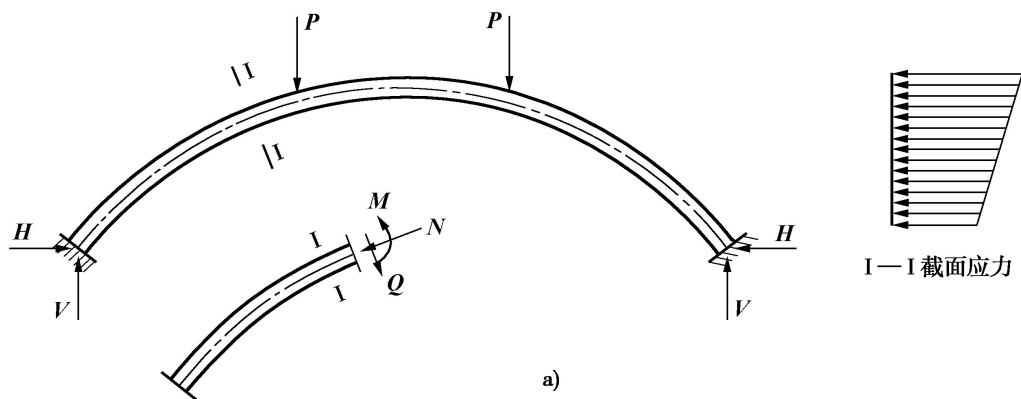


最具古典美的桥型

拱 桥

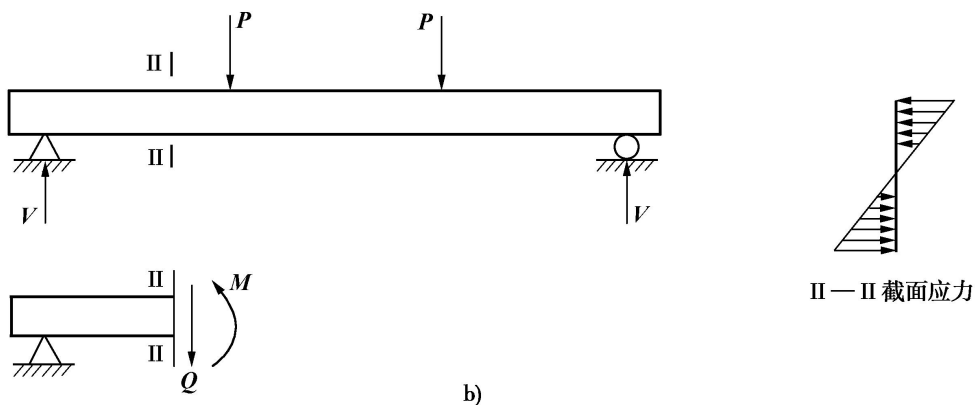
拱桥与梁桥的区别

在相同的竖向荷载作用下：



拱桥：

支座处有竖向反力及水平推力
内力以压力主
只有压应力



简支梁桥：

支座处只有竖向反力
内力以弯矩为主
拉应力和压应力

石拱桥



赵州桥能存在1300多年就足以说明一切。

——茅以升

石拱桥



加德桥（法国），公元前20年。

石拱桥



丹河大桥
2000, 主跨146m

钢 拱 桥



赛文河桥（英国）
1779年

钢 拱 桥



圣路易斯桥（美国）
1874年，主跨158m

钢 拱 桥



重庆朝天门大桥
——重庆的江上门户。

钢 拱 桥



朝天门大桥钢桁架拱桥形式，主跨达552米，成为目前“世界第一拱桥”。

钢 拱 桥



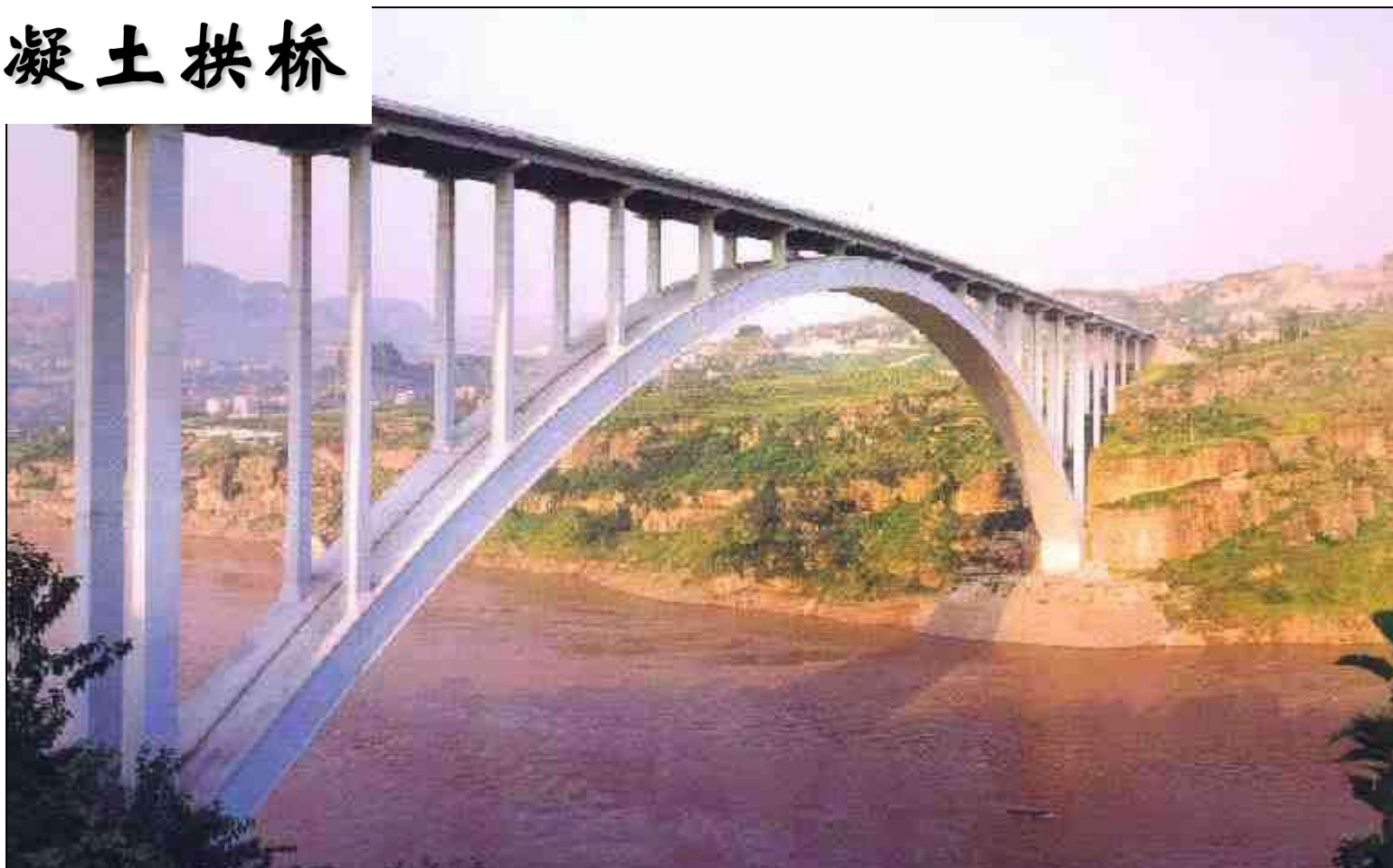
大桥分为上下两层。上层为双向六车道公路桥面；下层则是双向轻轨轨道。



钢 拱 桥



混凝土拱桥

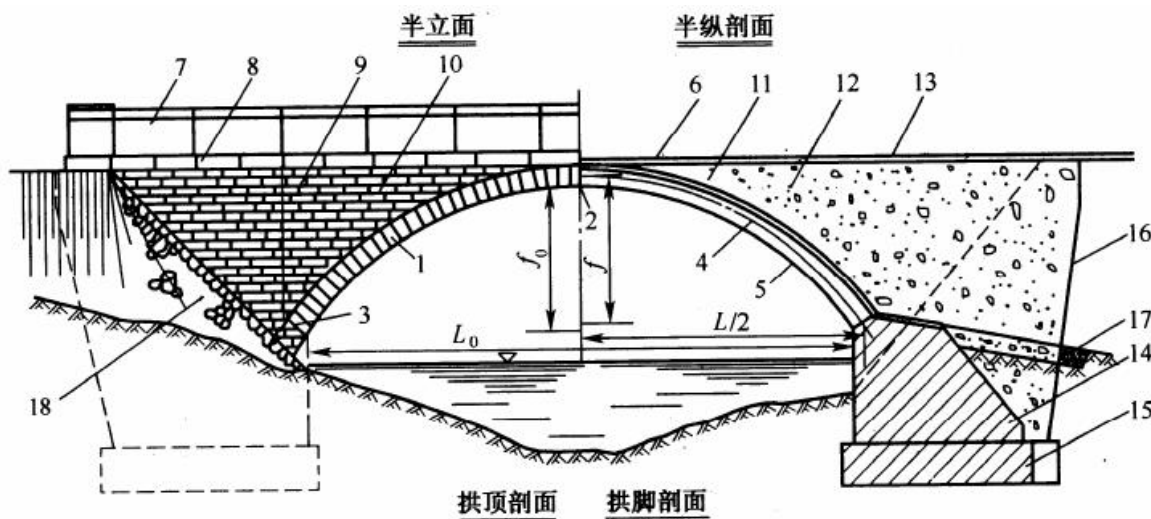


重庆万县长江大桥

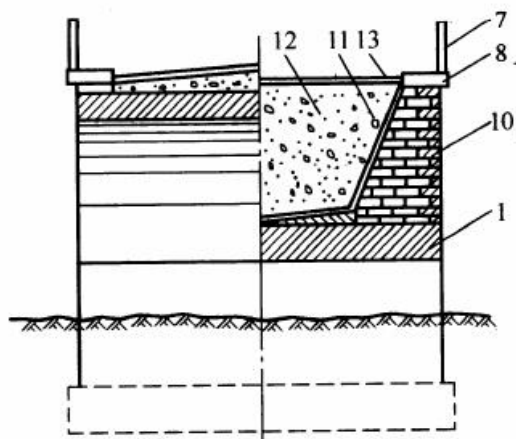
劲性骨架钢管混凝土拱桥，缆索吊装和悬臂扣挂法施工，主跨420米

二、拱桥的组成及分类

(一)、拱桥的基本组成



1拱圈； 2拱顶；
3拱脚； 4拱轴线；
5拱腹； 6拱背；
7栏杆； 8路缘石；
9变形缝；



10拱上侧墙； 11防水层；
12拱腔填料； 13桥面防水层；
14桥墩； 15基础； 16侧墙；
17盲沟； 18锥坡



拱桥桥跨结构是由主拱圈和拱上结构组成。

拱圈是拱桥的主要承重结构。由于拱圈是曲线形，一般情况下车辆无法直接在弧面上行驶，所以在桥面系与拱圈之间需要有传递荷载的构件和填充物，这些构件或填充物和桥面系统称拱上结构或**拱上建筑**。

拱桥的下部结构包括桥墩、桥台和基础，是用以支承桥跨结构，将桥跨结构的荷载传至地基，并与两岸路堤相联结。



(二)、拱桥的分类及其特点

拱桥

建桥材料： 圬工拱桥，钢筋混凝土拱桥，钢拱桥

结构体系分： { 简单体系拱桥：三铰拱，两铰拱，无铰拱
组合体系拱桥：无推力拱桥，有推力拱桥

主拱圈截面形式： 板拱桥，肋拱桥，双曲拱桥，箱形拱桥

拱轴线型式： 圆弧拱桥，抛物线拱桥，悬链线拱桥

桥面位置： 上承式拱桥，中承式拱桥，下承式拱桥

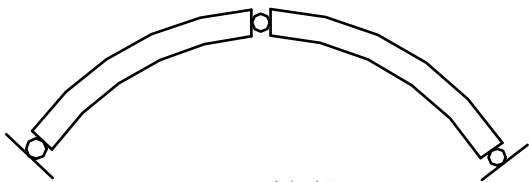
拱上建筑形式： 实腹式拱桥，空腹式拱桥

1、按照结构体系分类

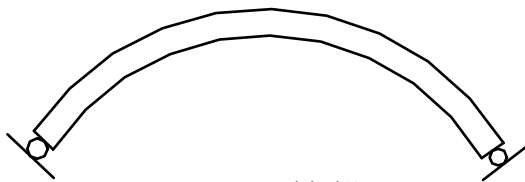
按照主拱圈与行车系（桥面系）之间的相互作用的性质及相互影响程度，可把拱桥分为简单体系拱桥和组合体系拱桥两类。

(1) 简单体系的拱桥

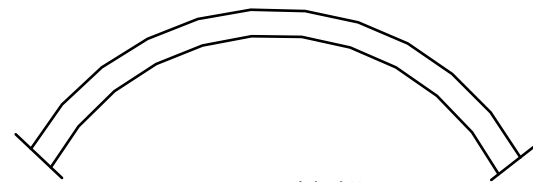
拱圈的静力图式



(a) 三铰拱



(b) 双铰拱



(c) 无铰拱



三铰拱： 静定结构，无附加应力，桥面系结构不参与主拱受力。适于地质条件不良情况（地基差的地区）。

铰的构造复杂，施工困难，维护费用高；桥面不连续，整体刚度小，主拱圈一般不采用。





无铰拱： 三次超静定，刚度大，构造简单，附加应力大。广泛用于石拱桥和钢筋混凝土拱桥之中，尤其是基础较好、跨径较大时。也叫固端拱。



多箱浇筑成板拱与桥台形成
无铰拱



两铰拱： 介于前述二者之间，属外部一次超静定结构。在墩台基础可能发生位移的情况下或坦拱中采用。附加内力较小。

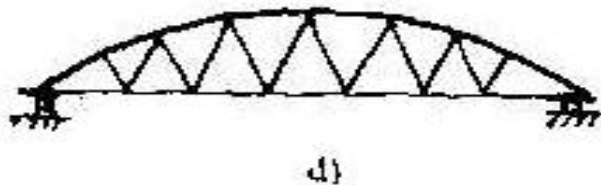
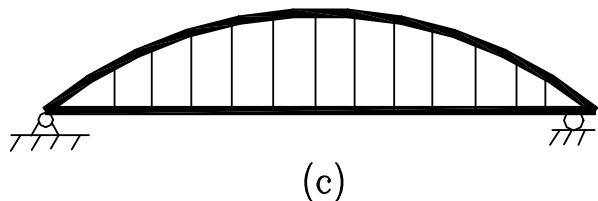
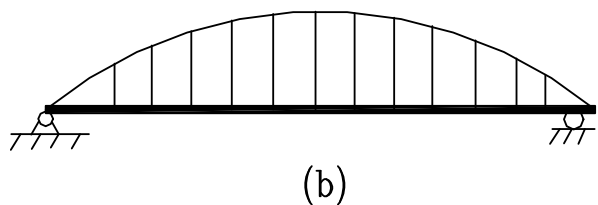
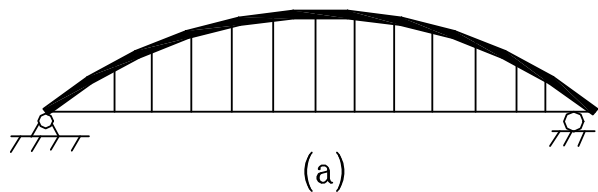


(2) 拱梁组合桥

无推力的拱梁组合桥——拱的推力由系杆承受，墩台不受水平推力



一般由拱肋、吊杆(或立柱)、系杆、行车道梁(板)及桥面系等组成。



柔性系杆刚性拱—系杆拱

刚性系杆柔性拱—朗格尔拱

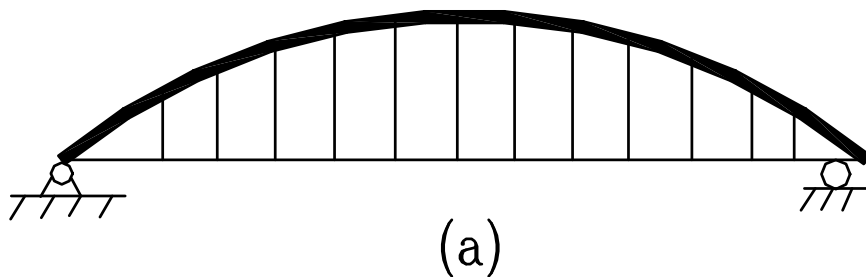
刚性系杆刚性拱—洛泽拱

用斜吊杆来代替竖直吊杆时

称为尼尔森拱。

柔性系杆刚性拱——系杆拱

柔性系杆刚性拱的特点是，系杆仅受拉、拱肋受压和弯，忽略系杆弯矩。

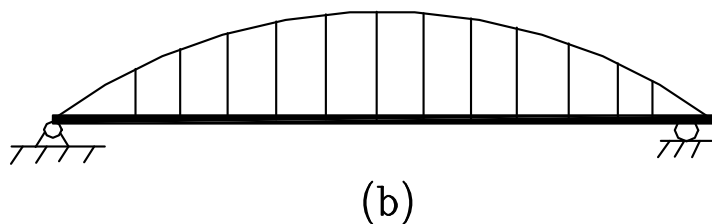


严格地讲是指： $(EI)_{\text{拱}} / (EI)_{\text{系}} > \infty$

实际中，一般要求： $(EI)_{\text{拱}} / (EI)_{\text{系}} > 80$

刚性系杆柔性拱—朗格尔拱

刚性系杆柔性拱的特点是，系杆受拉和弯、拱肋主要受压，系杆不仅承受拱的推力，也承受弯矩，为拉弯组合构件。（蓝格尔拱）



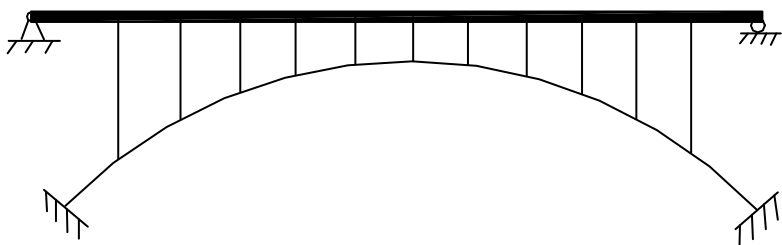
$$(EI)_{\text{拱}} / (EI)_{\text{系}} < 1/80$$

有推力的组合体系拱桥

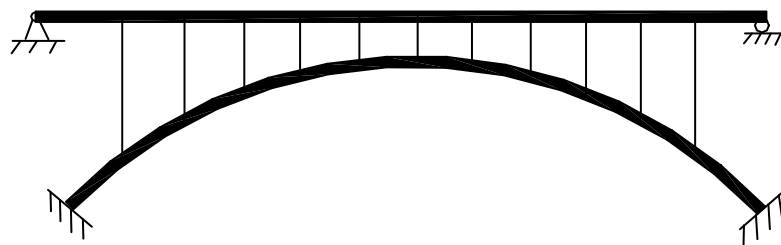
此种组合体系拱没有系杆，有单独的梁和拱共同受力，拱的水平推力由墩台承受。

刚性梁柔性拱（倒朗格尔拱）

刚性梁刚性拱（倒洛泽拱）



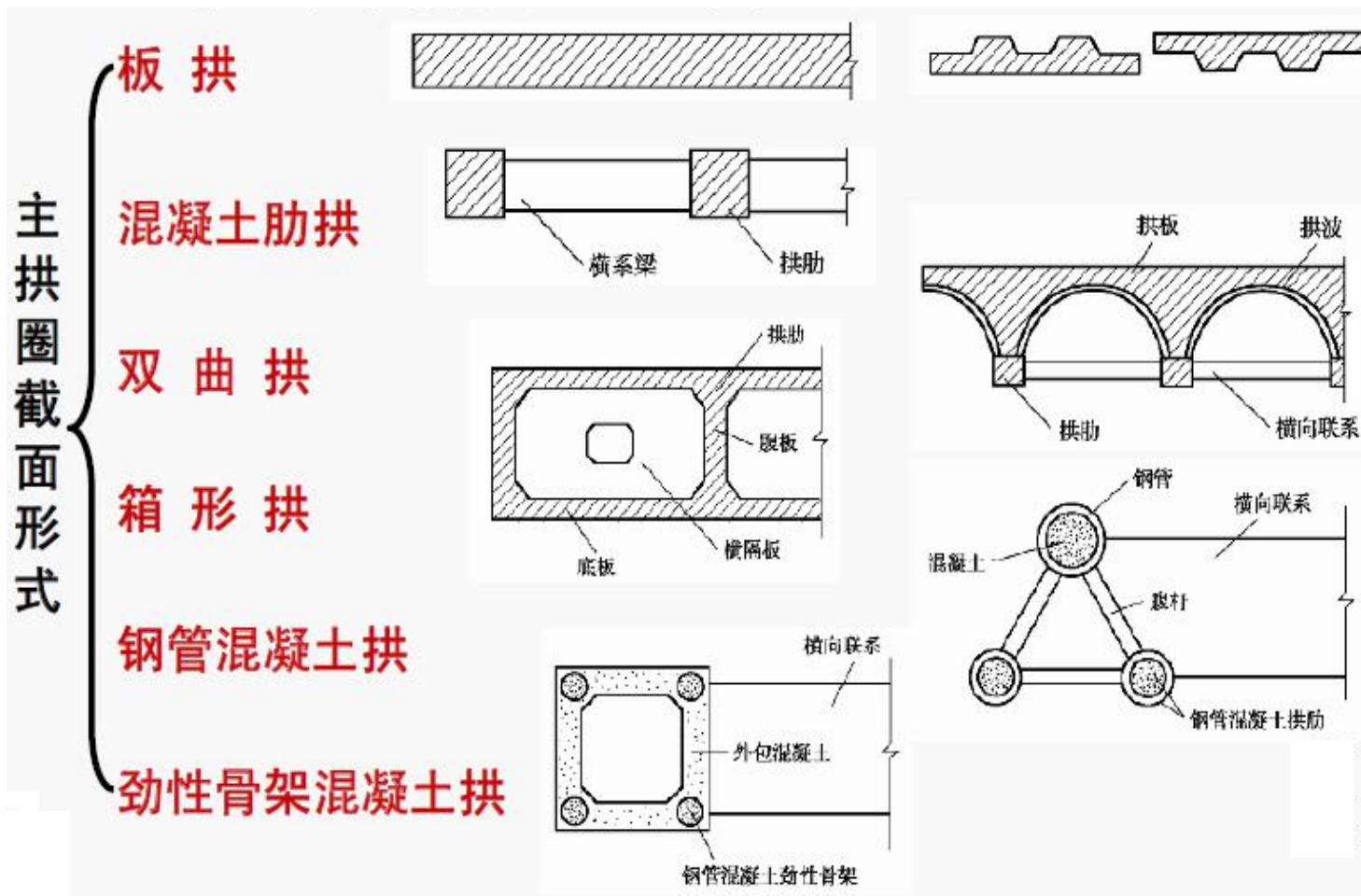
(a)



(b)



2、按照主拱的截面型式分类

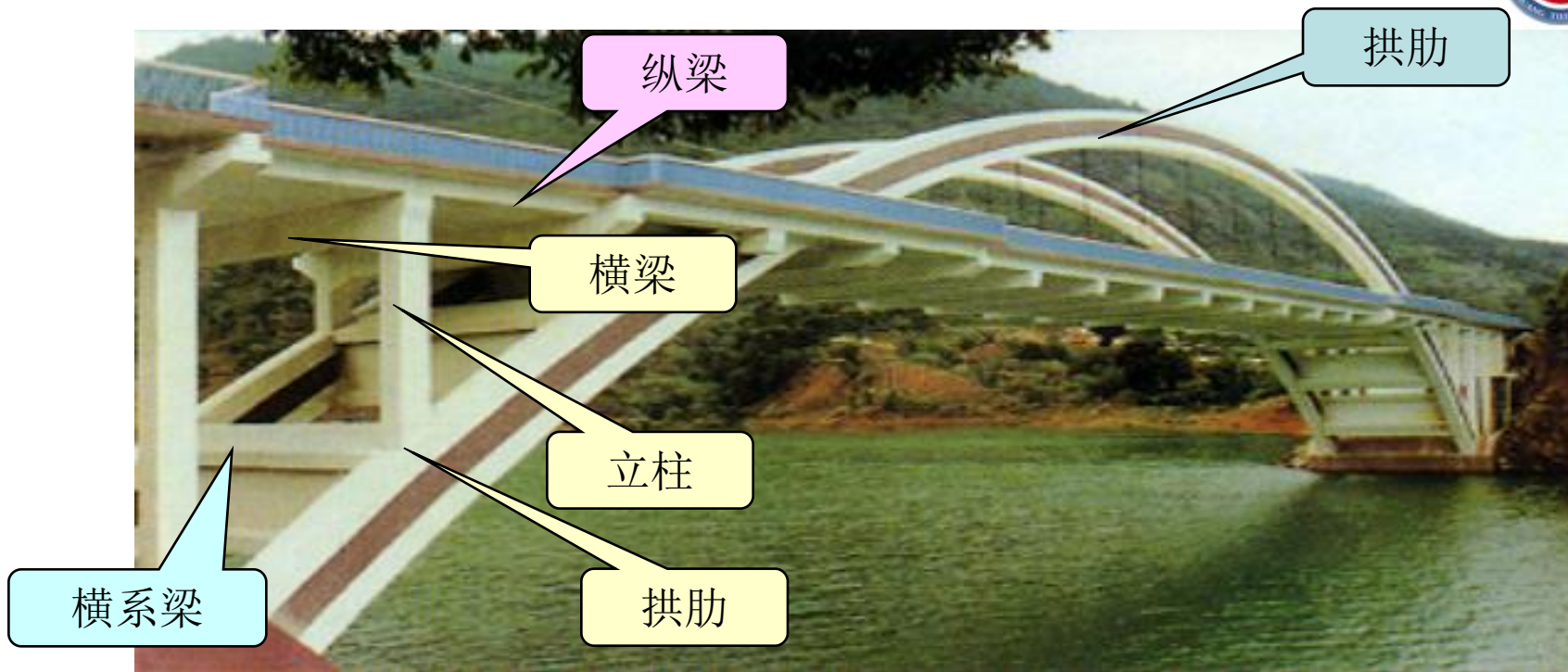




(1)、板拱桥:

主拱圈采用矩形实体截面。构造简单、施工方便，使用广泛。自重较大，不经济，通常在地基较好的中小跨径圬工拱桥中采用。





(2)、肋拱桥：

肋拱桥由两条或两条以上分离式拱肋组成承重结构的拱桥，拱肋之间靠横向联系梁连接成整体而共同受力。这种桥横截面面积较小，节省材料，自重轻，跨越能力大，多用于较大跨径的拱桥。可以用圬工、钢筋混凝土、钢材建造。



拱肋截面

(1) 矩形：构造简单、施工方便

(2) 工字形：

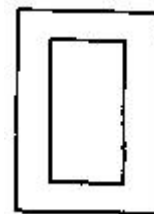
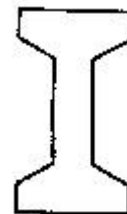
适用：大、中跨径

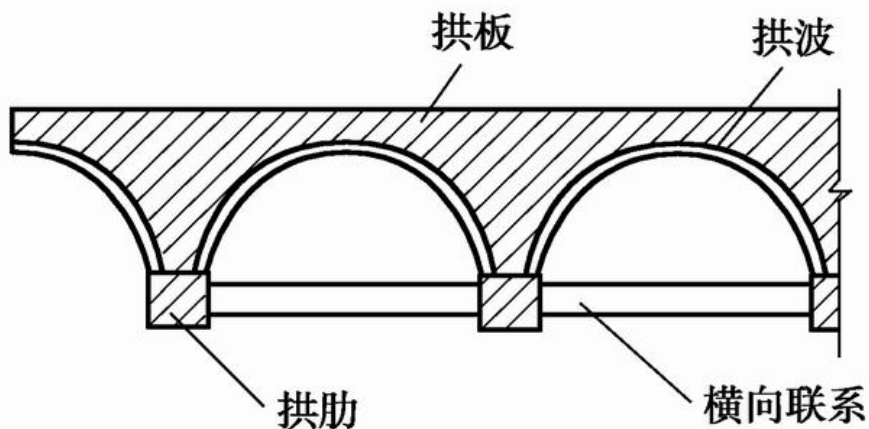
(3) 箱型：

适用：跨径大，桥面宽

(4) 管形：

适用：钢管混凝土拱桥





卫东桥，无锡

主拱圈横截面由一个或数个横向小拱单元组成，由于主拱圈的纵向及横向均呈曲线形，故称之为双曲拱桥。

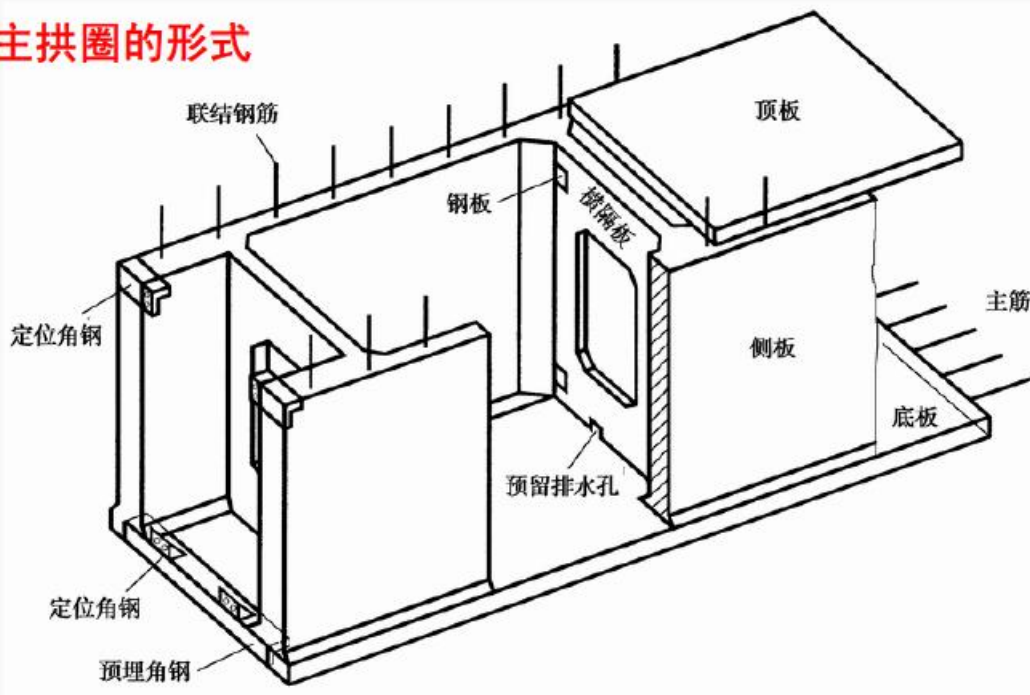
缺点：施工工序多、组合截面整体性较差和易开裂等。过时的技术

湘江一桥（橘子州桥）
国内最长双曲拱桥



(4)、箱形拱桥:

主拱圈的形式



箱形拱闭合箱的构造

箱形拱桥拱圈横截面由几个箱室组成。截面挖空率大，可达全截面的50%-70%，较实体板拱桥可减少圻工用料与自重，适用于大跨度拱桥。截面抗扭刚度大，横向整体性和稳定性好，特别适用于无支架施工。



(三)、拱桥实例介绍

(1) 圬工拱桥 (石拱桥以及拱圈不配钢筋的混凝土拱桥, 跨越能力较小)

我国公路桥中70%为拱桥。我国多山, 石料资源丰富, 拱桥取材以石料为主。



主拱圈为等截面悬链线, 拱矢度为 $1/5$, 拱圈厚 1.7m , 拱上建筑对称布置5个空腹拱, 两边设岸孔 37m , 拱圈厚 1.1m 。下部结构为重力式石砌墩台。该桥施工在主孔范围内设3个临时墩, 上立钢支架、拱架等, 其上砌筑主拱圈。

世界上跨径最大的石拱桥。桥宽 8m , 双肋石拱桥, 腹拱为9孔 13m , 南岸引桥3孔 13m , 北岸引桥1孔 15m 。主拱圈由两条分离式矩形石肋和8条钢筋混凝土横系梁组成。拱轴线为悬链线 ($m=1.543$), 拱矢度 $1/5$, 拱肋为等高变宽度。

(2) 双曲拱桥 (中国首创的一种拱桥型式)



构思独特，充分发挥双曲拱桥构造特点，组合拼装成三叉形的双曲拱桥。

1968河南嵩县黄河桥 (L=150m)

上承式无铰空腹拱，是当时我国跨径最大的双曲拱桥。拱矢度 $1/10$ ，拱轴线设计为悬链线。为提高横断面刚度、增强双曲拱在组合过程中裸肋的稳定性，断面设计成高低拱肋，全桥29道横隔板组成整体性好的拱肋格排，合拢后上面砌筑双层拱波。



(3) 肋拱桥



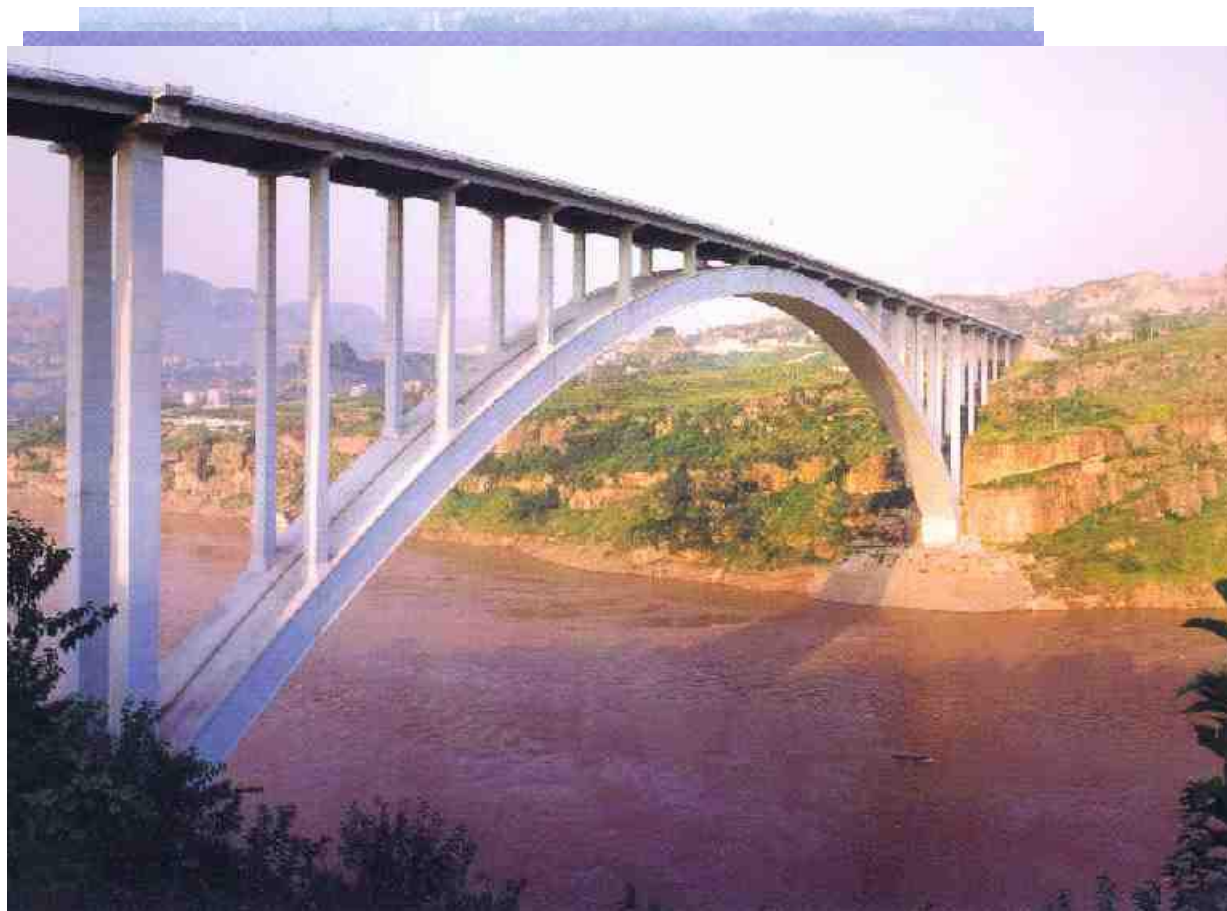
1990
四川宜宾小南门桥
(=240m)

主桥系中承式钢筋混凝土肋拱桥，矢度1/5，是当时国内跨径最大的钢筋混凝土拱桥。该桥采用劲性钢骨架施工法，缆索吊装。

1/4.5，全桥采用喷塑
拱肋重要抛物线采用二次抛物线，拱
梁、道、墩在拱架上由下而上分层施工，
拱架共同受力。在拱顶进行应力调整，
桥面系相交处的一段拱肋在工地现浇。

1
桥面
中承式
肋为箱形
安装拱
改善了拱

(4) 箱拱桥



1997四川万县长江大桥 L=420m)

劲性骨架钢筋混凝土箱形拱桥

(5) 刚架拱桥



1989江苏无锡100米下旬桥

变截面，四分点附近截面高度最大，分别向拱脚、跨中减小。拱上建筑采用23m预应力混凝土筒支梁以过渡。



1993江西德兴130米太白桥

采用转体施工。

(6) 桁架拱桥



1976浙江宁海75米越溪桥

主孔为净跨75m的预应力混凝土桁架拱，拱矢度 $1/9$ ；
边孔为净孔40m的双曲拱，

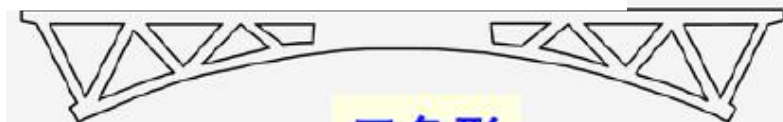


1971浙江余杭50米里仁桥

钢筋混凝土斜拉杆式桁架拱桥。拱圈矢跨比为 $1/8$ 。
全桥布置4片拱片，在上弦杆覆盖微弯板混凝土桥面。
预制拱片卧置叠浇，分段用浮吊起吊、翻身和
吊装，在三分点处设临时支托，浇筑湿接头混凝土。

桁架拱片是主要承重结构，由上、下弦杆、腹杆和实腹段组成

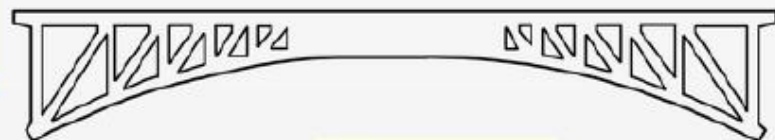




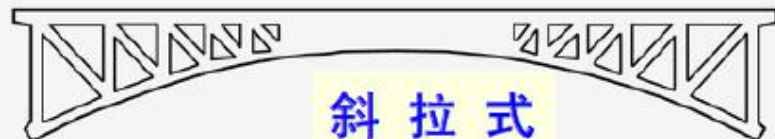
三角形



带竖杆三角形



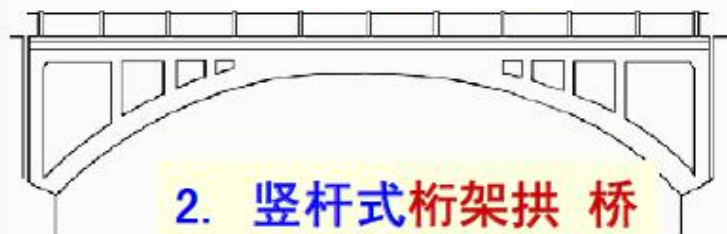
斜压式



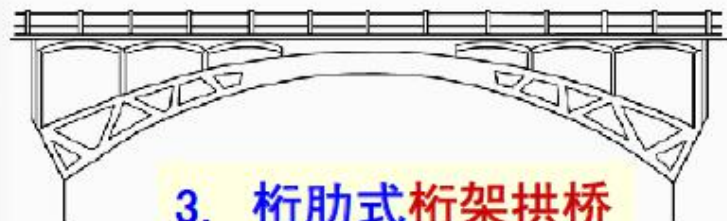
斜拉式



1. 斜杆式桁架拱桥



2. 竖杆式桁架拱桥



3. 桁肋式桁架拱桥

(8) 钢管混凝土拱桥



1990四川雅安大马河单肋钢管混凝土系杆拱桥，中跨矢跨比1/5，拱脚推力1.8万kN

下承式钢管混凝土预应力系杆拱桥，中跨矢跨比1/5，拱脚推力1.8万kN。拱肋采用管径800mm横撑连接以保持其稳定性。活载作用下拱肋的水平推力由系杆及桥墩共同承担。钢管拱肋实际上是一种复合材料，在破坏荷载作用下，钢管不仅起纵筋的作用，而且对混凝土起螺旋箍筋的作用，以提高构件的承载能力。在施工阶段，钢管起着劲性骨架的作用。







钢管混凝土拱肋的x横撑



桁式K撑（浙江铜瓦门大桥）



钢管混凝土拱肋的双层x横撑（南宁永和大桥）

(9) 钢拱桥



澳大利亚悉尼海港桥



1977美国518.2m New River桥