



第三章 简支梁（板）桥结构与施工

- 3.1 混凝土简支梁（板）结构与构造
- 3.2 钢—混凝土组合梁桥
- 3.3 简支梁（板）桥的桥墩和桥台
- 3.4 简支梁（板）桥施工



§ 3.1 混凝土简支梁（板）结构与构造

■ 3.1.1 截面主要类型

- 按承重结构的截面形式分类
 - 板桥
 - 肋板式梁桥（ Π 形截面、T形截面）
 - 箱形梁桥



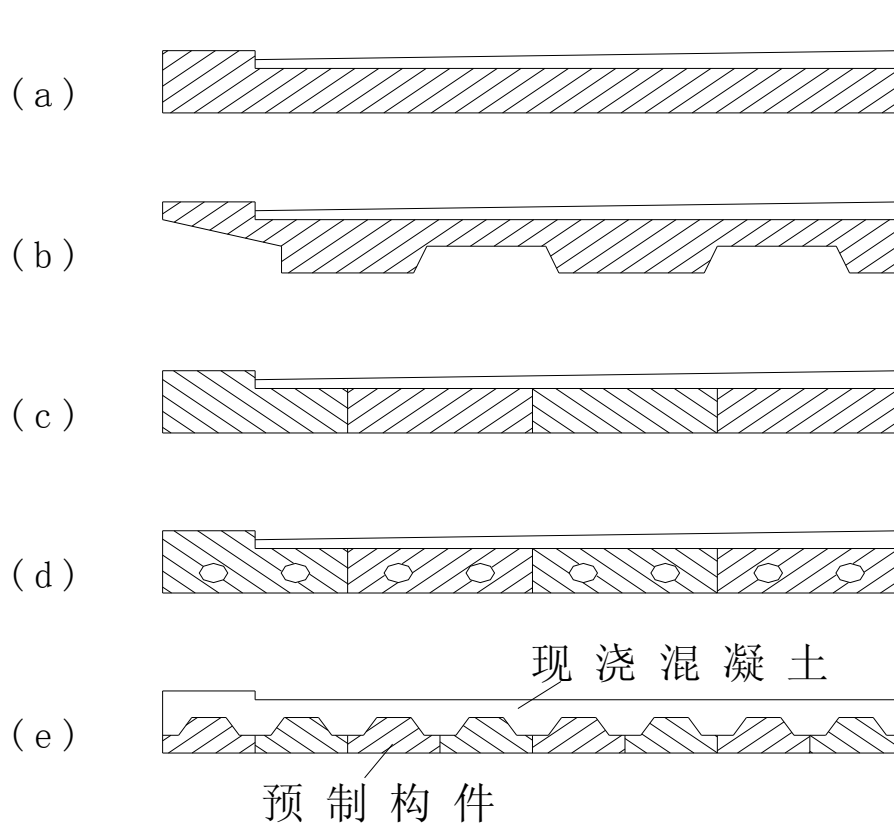
1、板桥

- 构造简单，施工方便，而建筑高度较小。
- 跨径较小，一般在10 m 左右

- 整体式板桥——矩形板、矮肋式板
- 装配式板桥——实心板、空心板
- 装配-整体组合式——先装配板、再整体式板



公路板桥横截面图



整体式：矩形截面

整体式：矮肋式

装配式：实心板

装配式：空心板

装配—整体组合式

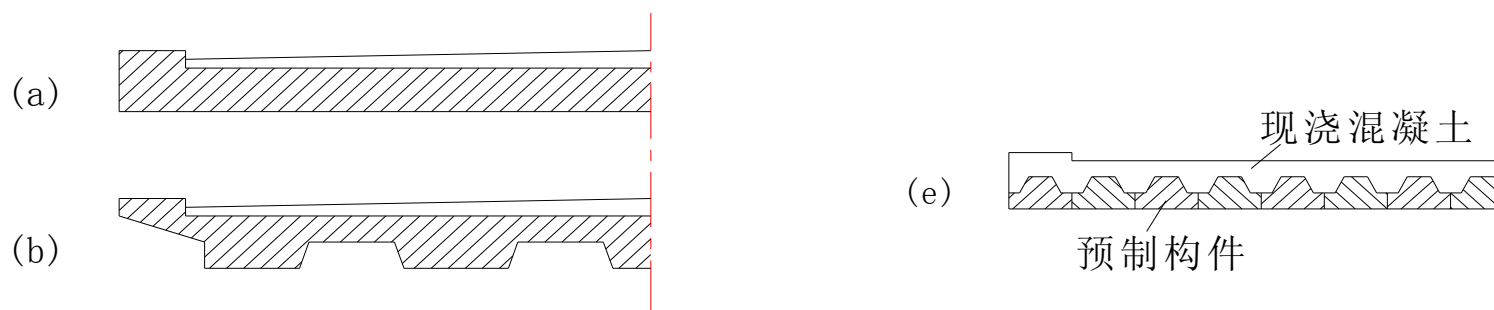


整体式板

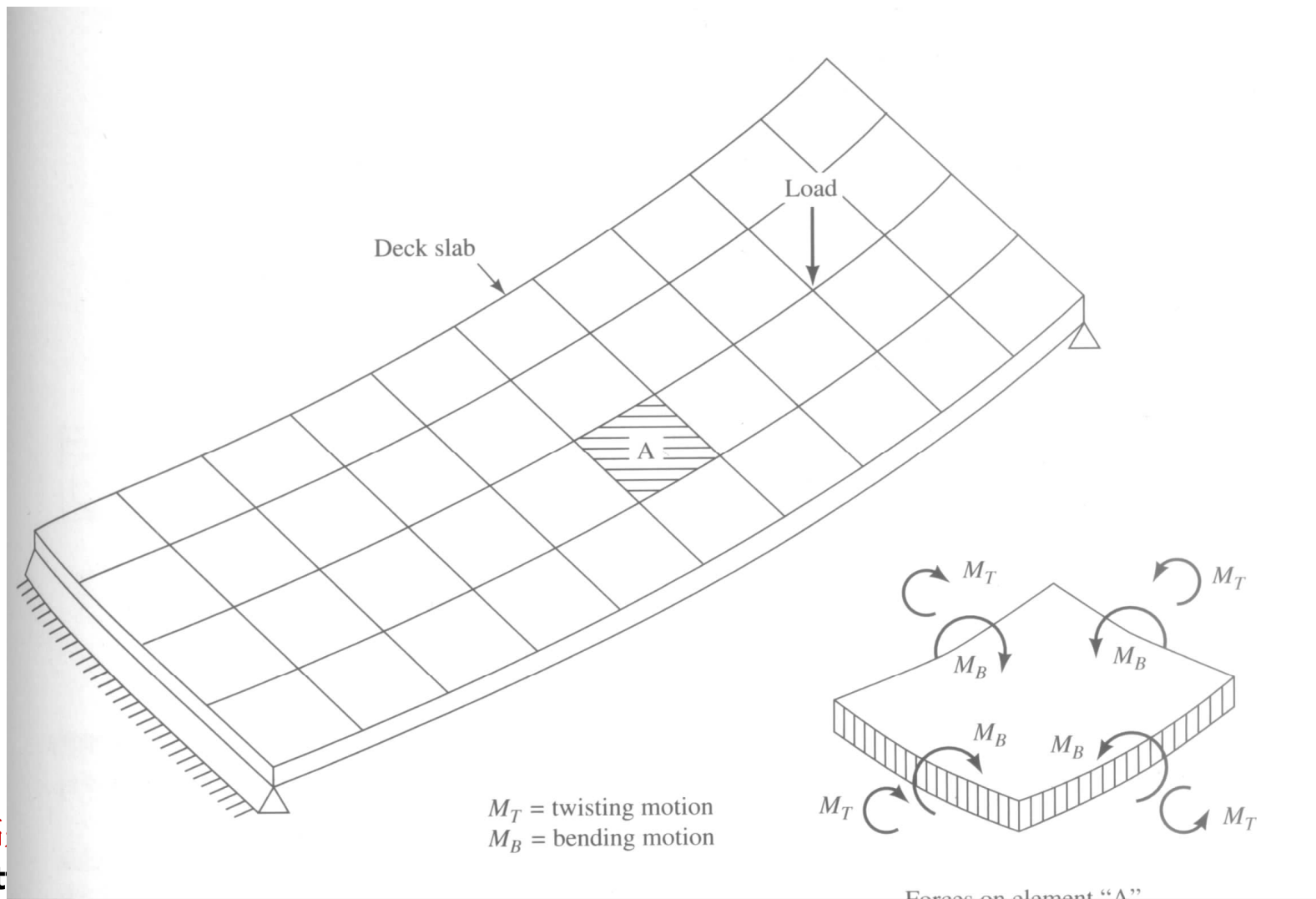
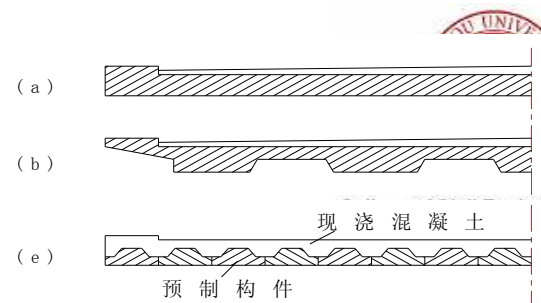
整体式板的横截面，一般为等厚度的矩形截面，采用支架现浇法施工。

有时为了减轻自重，也可将受拉区稍加挖空成矮肋式整体板。

装配—整体组合式板桥，它利用一些小型预制构件安装就位后作为底模，在其上再浇筑混凝土结合成整体



- 整体式板桥、装配-整体组合式板均属于双向受力弹性薄板

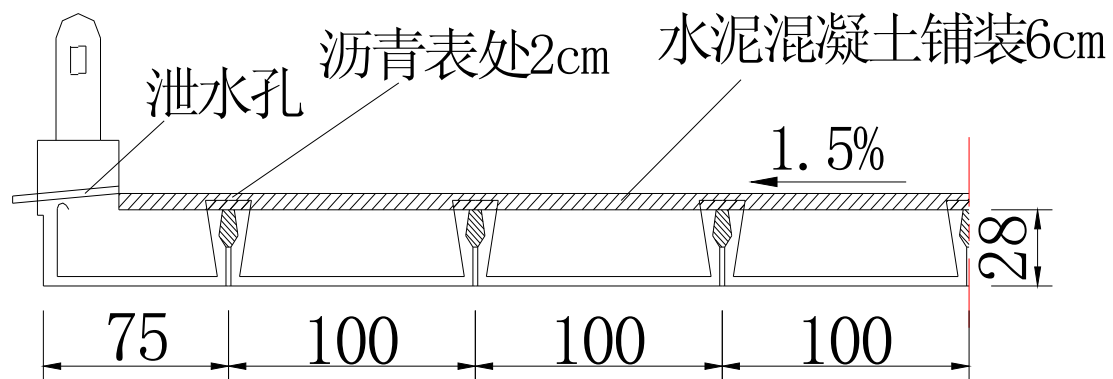




装配式板

装配式板桥的横截面形式主要有实心板（solid slab）和空心板（voided slab）两种。

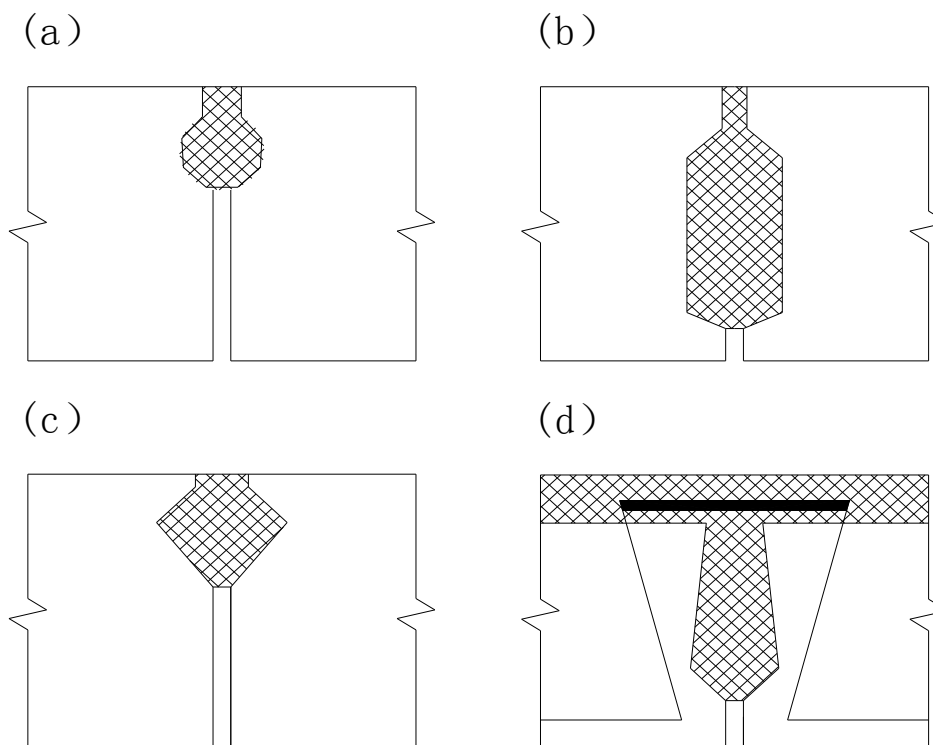
实心板广泛应用于小跨径板桥（一般不超过8m）中。



实心板



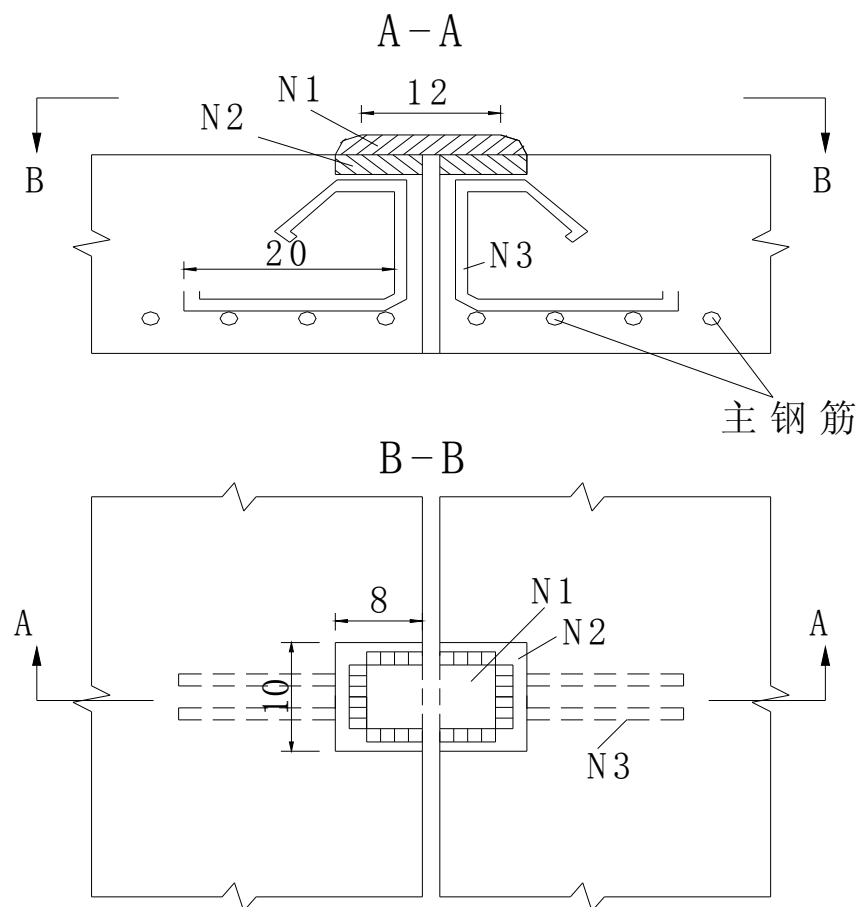
常用的联结方法有企口混凝土铰结和钢板焊接联结



企口式混凝土铰



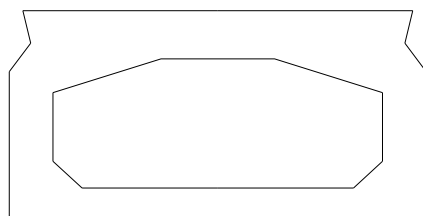
钢板联结构造



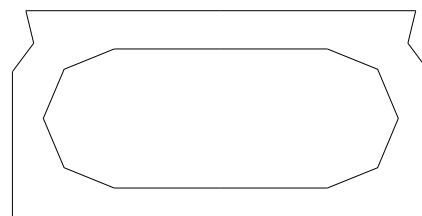


装配式空心板截面形式

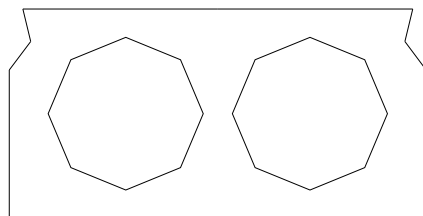
(a)



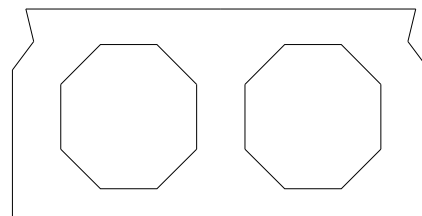
(b)



(c)



(d)

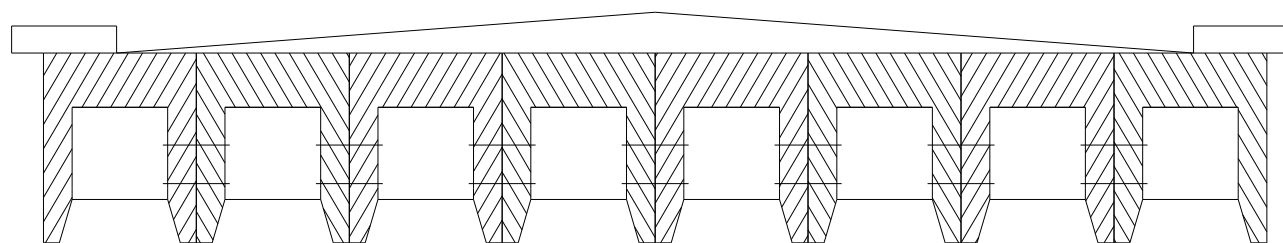


单孔折线形、单孔圆端形、双孔圆形、双孔多边形



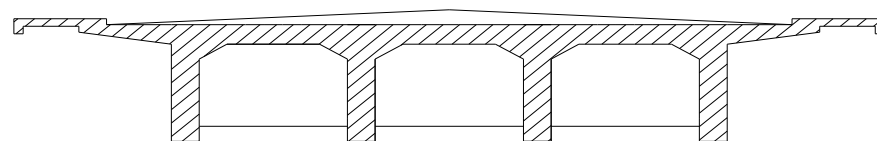
Fuzhou University -
College of Civil Engineering

公路 II 型梁桥横截面

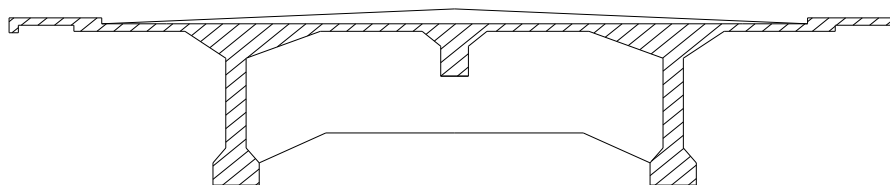




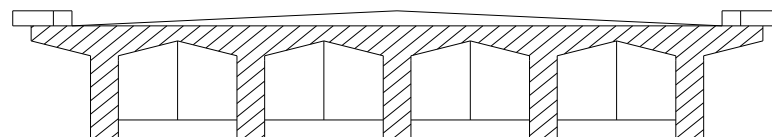
公路T形梁横截面



(a)



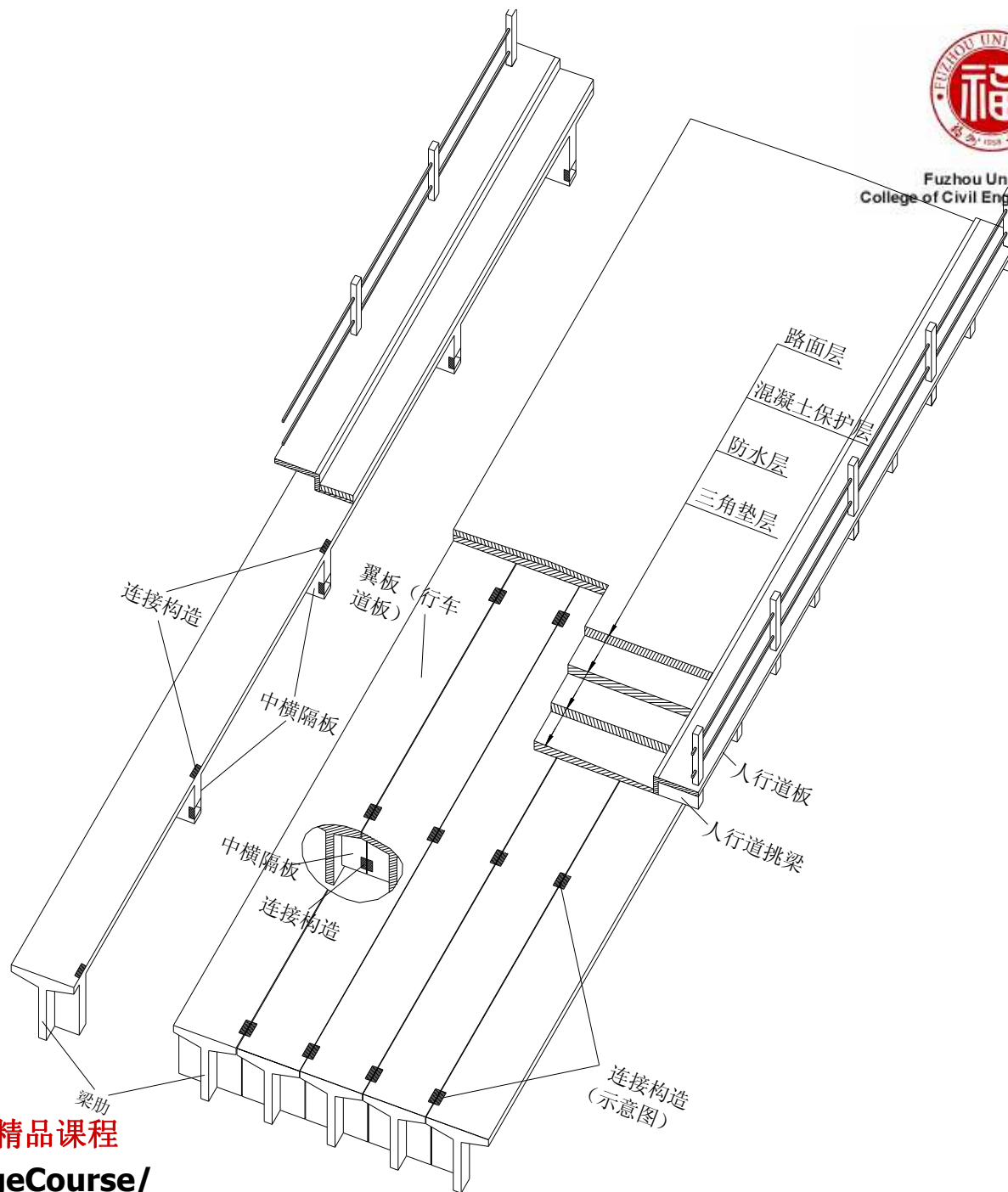
(b)



(c)



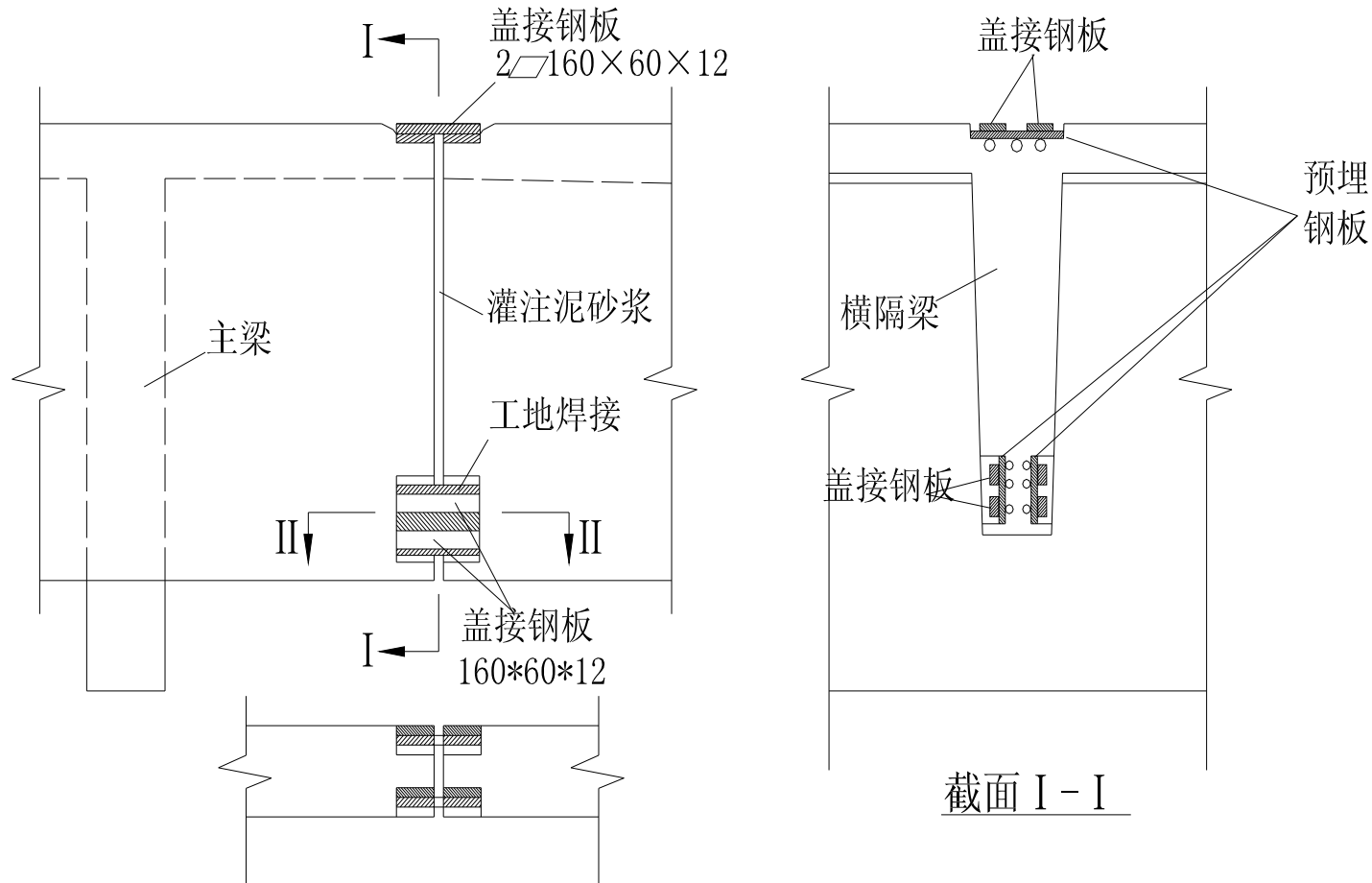
公路装配式 T 形梁桥 一般构造图



公路装配式T形梁桥横隔梁接头构造

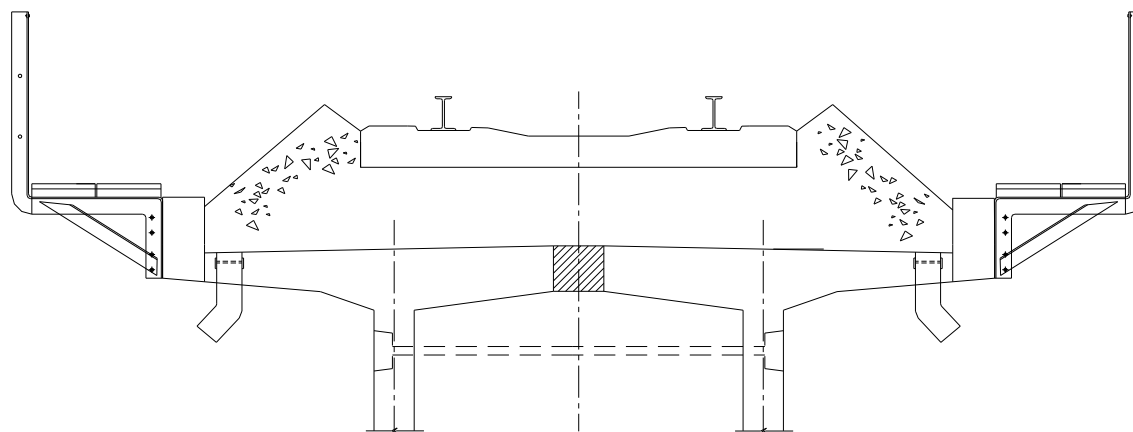


Fuzhou University -
College of Civil Engineering





铁路 T 形梁横截面



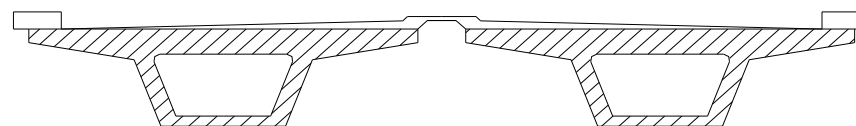


3、箱形梁桥

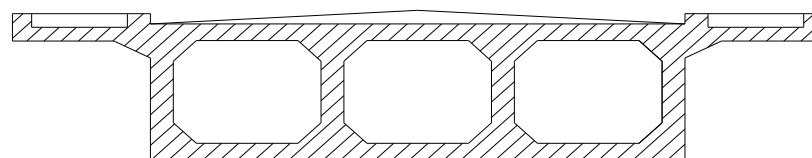
- 梁肋、翼缘板、底板——承受正负弯矩
- 箱形截面——抗弯惯矩大，抗扭刚度大
- 适用于跨径较大的悬臂梁、连续梁及刚构结构



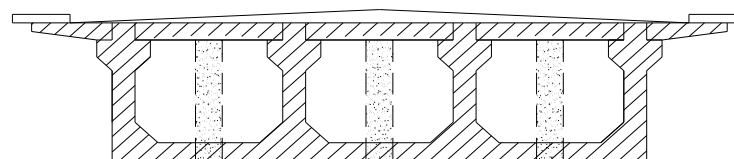
公路箱形梁截面



(a)



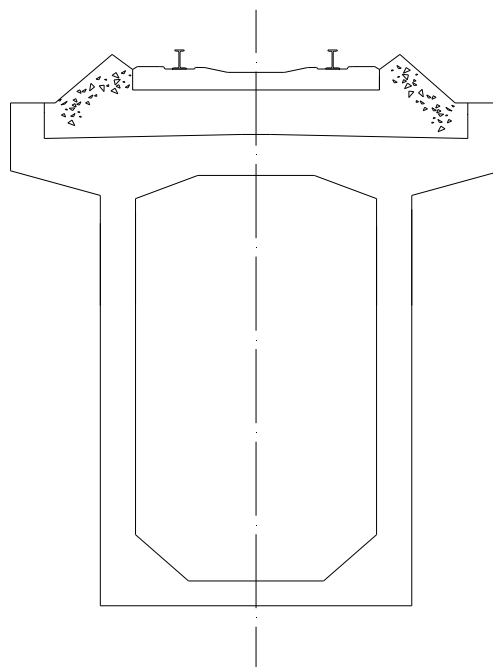
(b)



(c)



铁路箱形梁横截面





3.1.2 钢筋混凝土简支梁（板）桥的构造

■ 3.1.2.1 板梁构造

整体式板：双向受力状态；跨径较小，一般在**8 m**以下，板厚与跨径之比一般为**1 / 12—1 / 16**。

装配式板：标准跨径为**1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0**和**8.0m**；板高变化范围为**0.16~0.36m**；桥面净空为净-7和净-9两种



3.1.2.2 T梁构造

- 在确定了主梁分块方式和截面形式之后，就需要拟定梁的截面尺寸。
- 截面尺寸包括梁高、梁肋厚度、上翼缘尺寸、马蹄尺寸及钢筋构造等。



- 梁 高
 - 梁高取决于经济、梁重、建筑高度以及桥下净空等因素
 - 标准设计还要考虑梁的标准化，提高互换性。



■ 梁肋厚度

- 公路混凝土桥： 16~20 cm
- 铁路钢筋混凝土简支梁的梁肋厚度，一般可采用 20cm（跨中区段）~ 60cm（端部区段）。



■ 上翼缘板尺寸

- 满足强度和构造最小尺寸的要求
- 根据受力特点，翼板变厚度
- 为保证翼板与梁肋连结的整体性，翼板与梁肋衔接处的厚度应不小于主梁高度的 $1 / 12$
- 铁路桥梁，板与梗腋相交处的板厚不得小于梁高的 $1 / 10$

（当梗腋斜坡不大于 $1: 3$ 时）

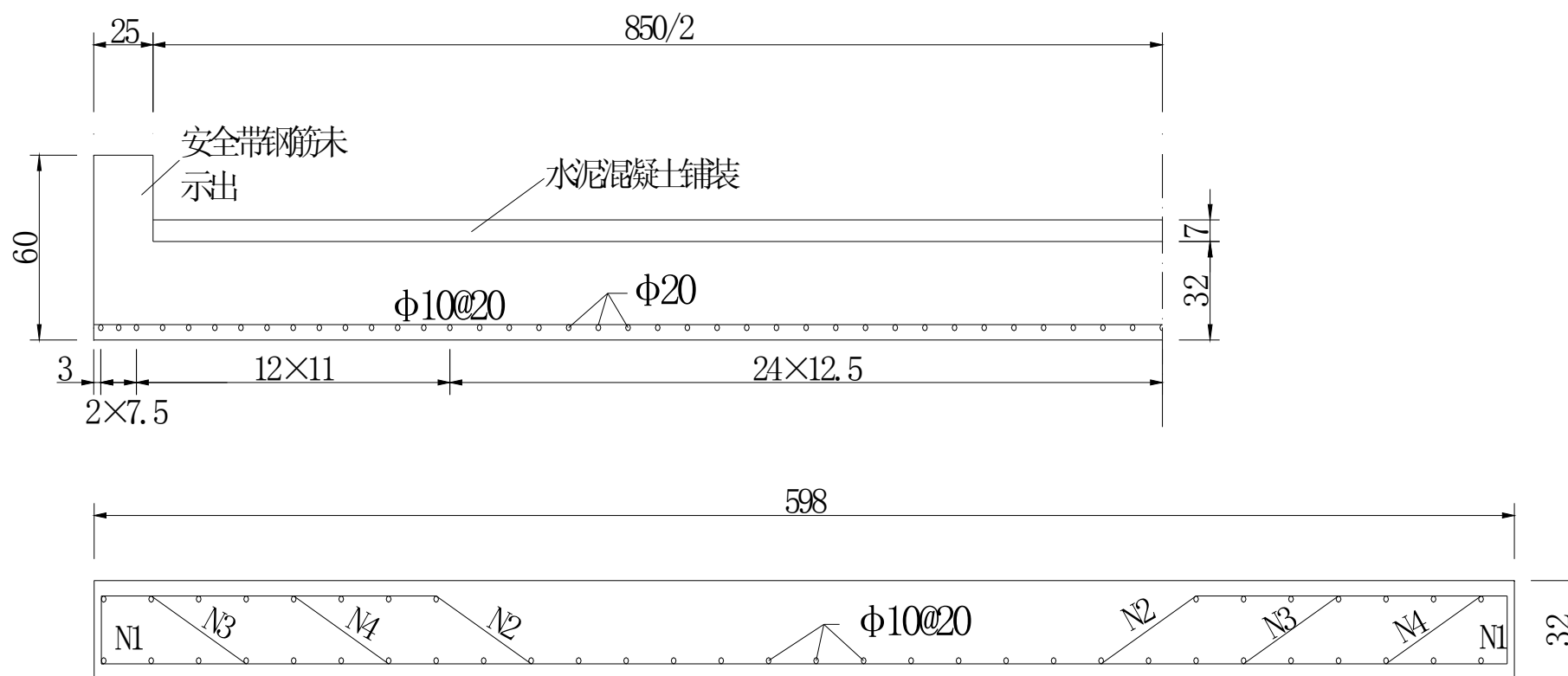


- 马蹄尺寸
 - 根据主筋数量、类型、排列、规定的钢筋净距、混凝土保护层厚度确定
- 钢筋构造
 - 受力钢筋：通过计算确定
 - 构造钢筋：根据构造要求布置



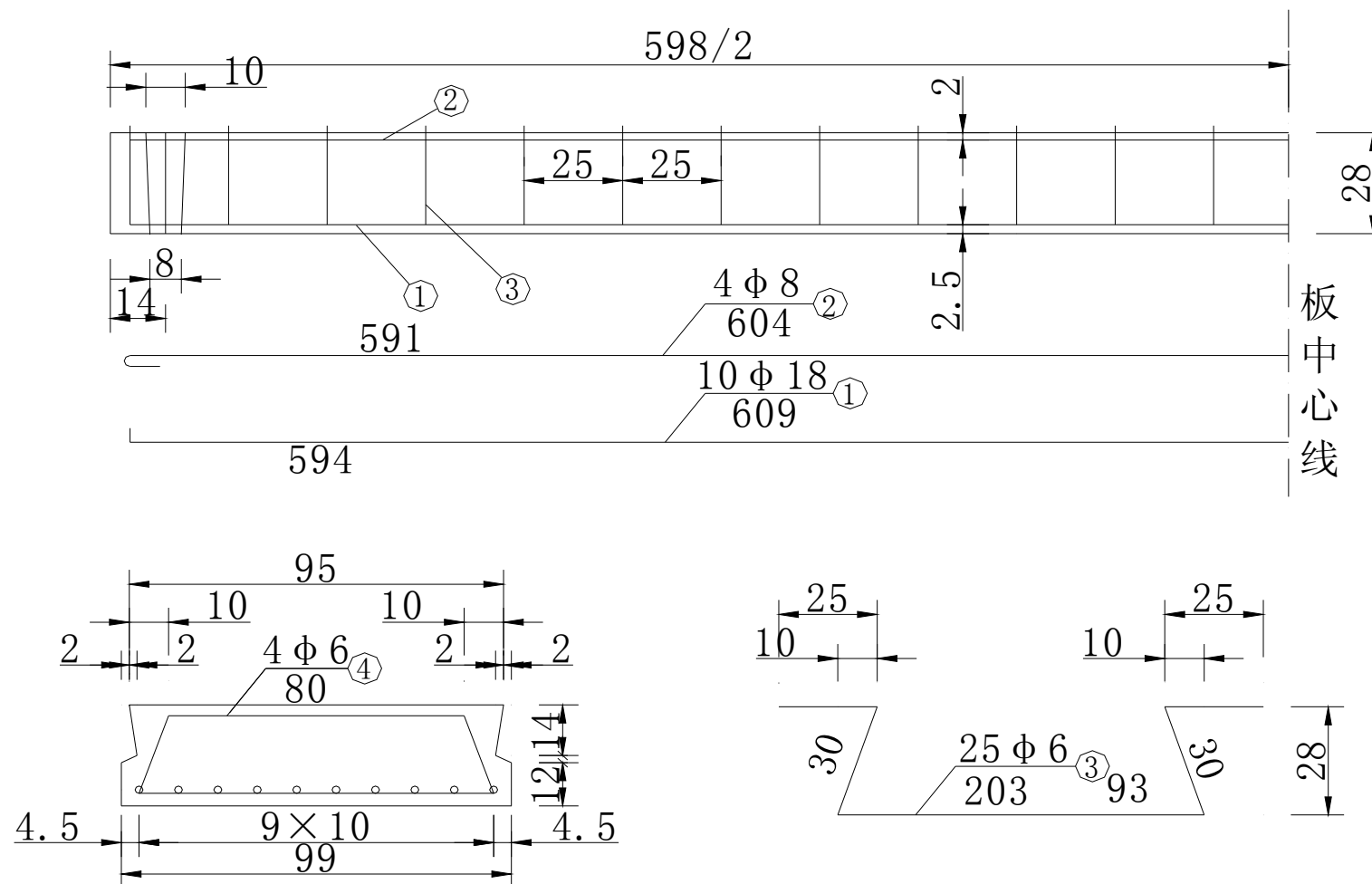
3.1.2.3 构造举例

■ 整体式板桥钢筋构造





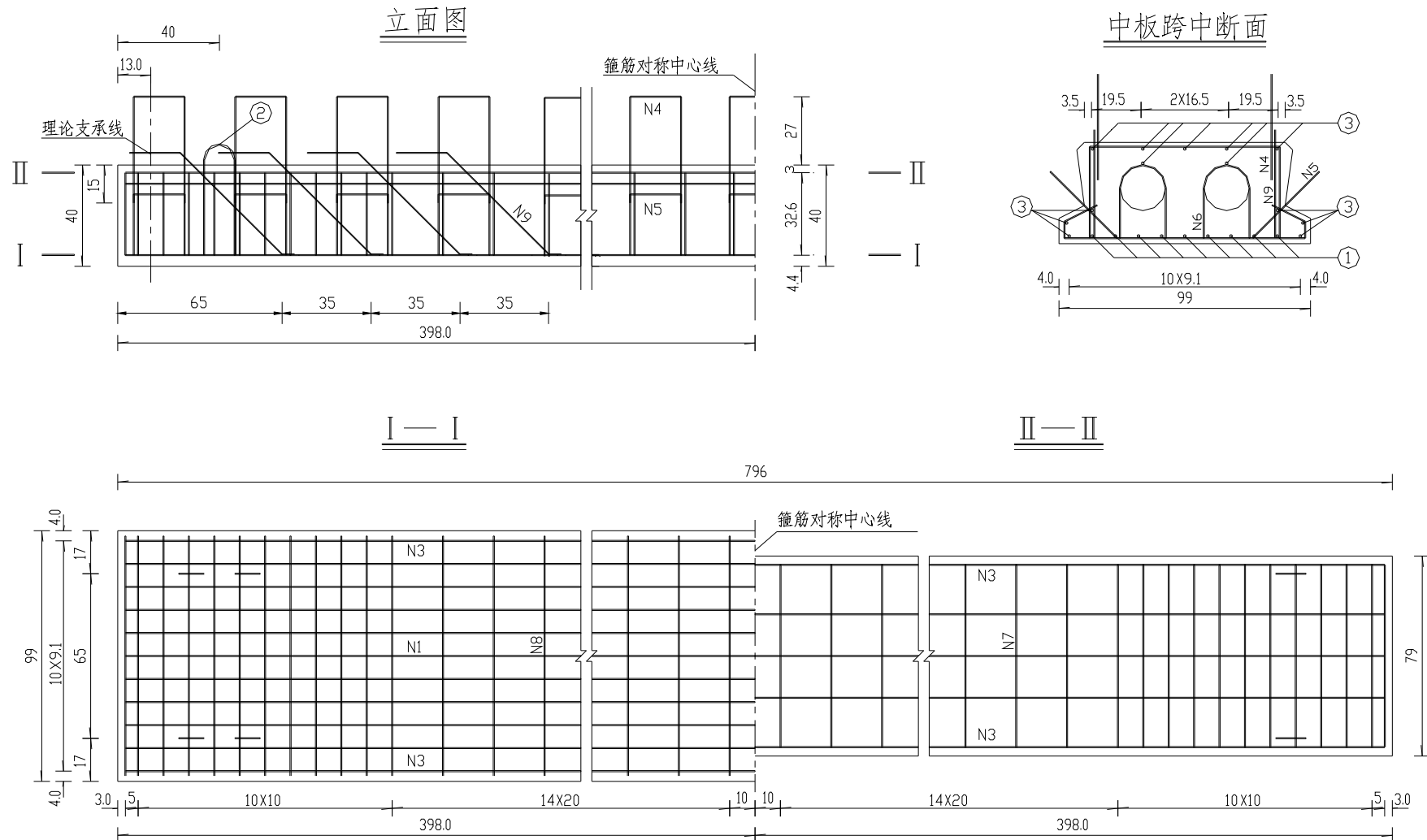
装配式矩形板桥钢筋构造



装配式钢筋混凝土空心板钢筋构造图



Fuzhou University





3.1.3 预应力混凝土简支梁的构造

- 预应力的作用
- 可以使用高强材料
- 更适合于装配式桥梁
- 施工方法
 - 整体式
 - 节段式——纵向、横向分缝



一般构造特点：

- 截面形式：板式、Ⅱ形、T形和箱形。
- 板桥的截面主要形式：装配式空心板；预应力采用先张法施工；常用跨径范围为8~16m，板厚为0.4~0.7m。
- T梁的梁肋厚度一般不得小于14cm；并且当腹板内有竖向预应力钢筋时，腹板厚度不小于上、下翼缘梗腋之间腹板高度的 $1/20$ ；当无竖向预应力钢筋时，则不得小于 $1/15$ 。



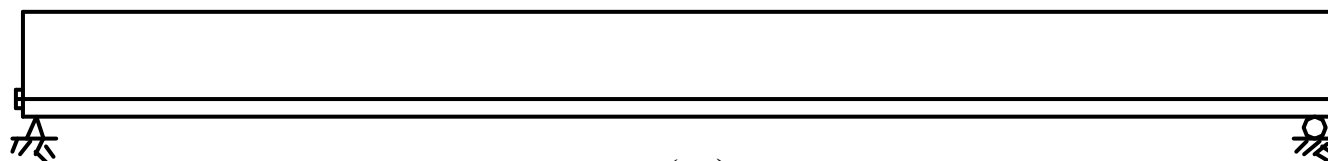
预应力筋布置

预应力筋的纵向布置

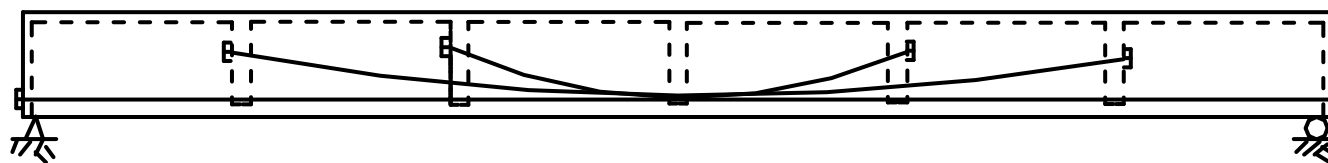
- 主筋在跨中区段均靠近梁的下缘布置，以对混凝土梁下缘施加压应力来抵消荷载引起的拉应力。
- 预应力筋弯起的曲线形状常见的有三种，既圆弧形、抛物线和悬链线。



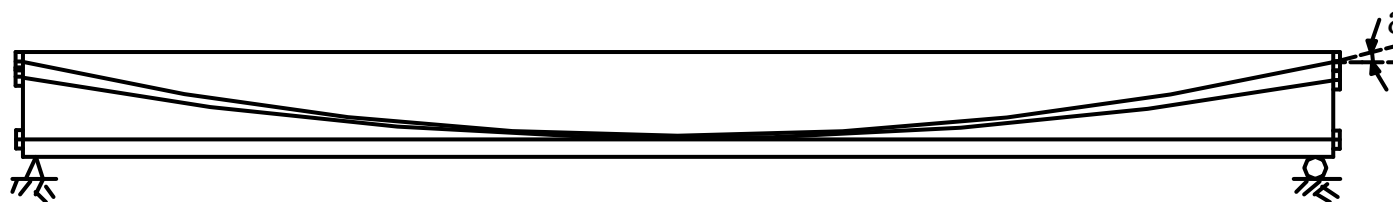
预应力混凝土梁中预应力筋布置方式



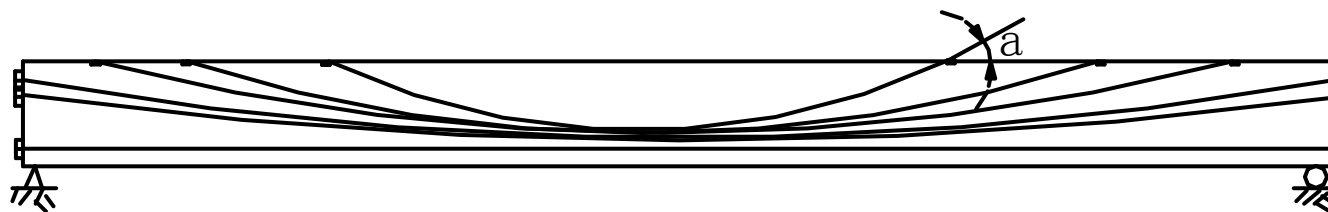
(a)



(b)



(c)



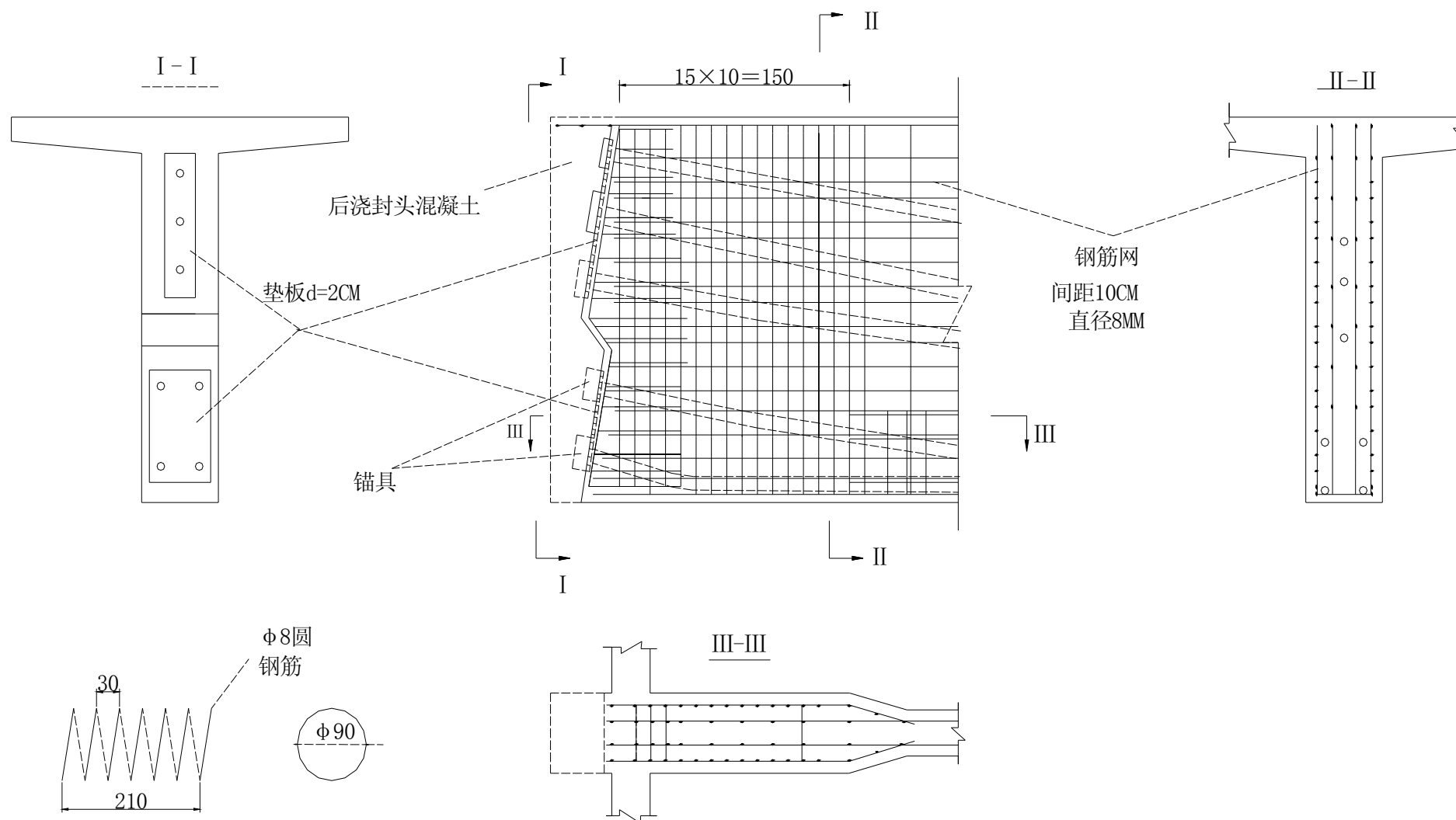
(d)



- 预应力筋的锚固
- 锚具在梁端的布置应遵循“分散、均匀”的原则
- 在先张法预应力混凝土梁（pre-tensioned Prestressed concrete girder）中，预应力筋靠混凝土的握裹力锚固在梁体内；
- 而在后张法预应力混凝土梁（post-tensioned Prestressed concrete girder）中，则通过各类锚具锚固在梁端或梁顶。



预应力混凝土梁（后张法）锚固区构造

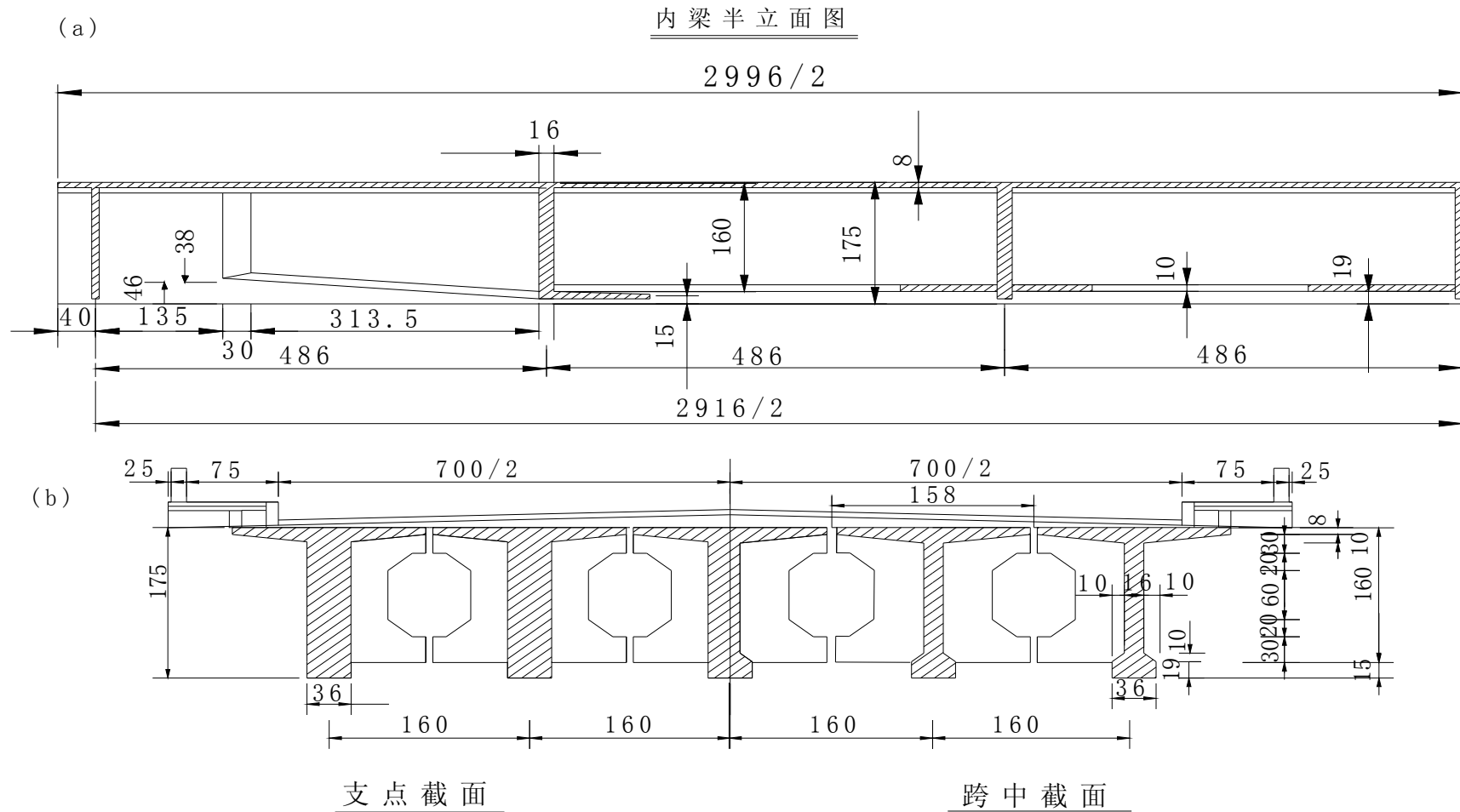


构造举例



Fuzhou University -
College of Civil Engineering

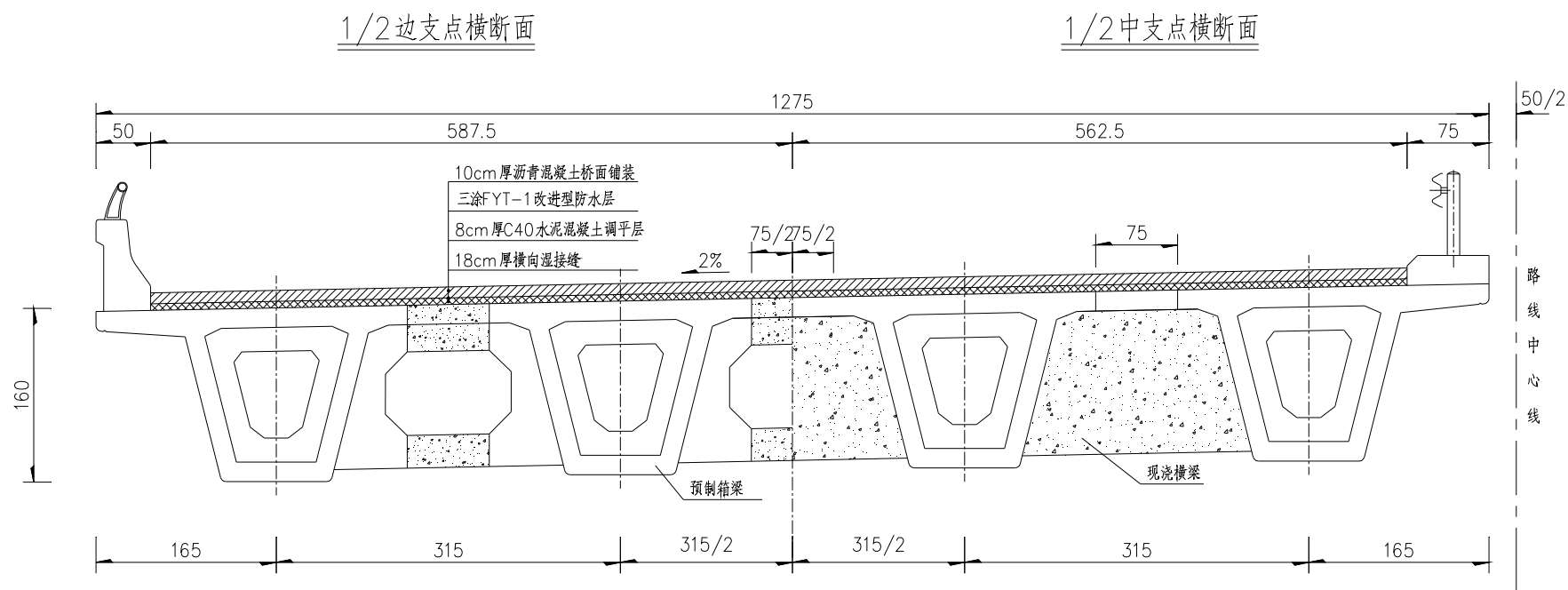
公路预应力混凝土T形梁（简支梁）桥构造图





跨径30 m 公路后张法预应力混凝土小箱梁（简支梁）构造图

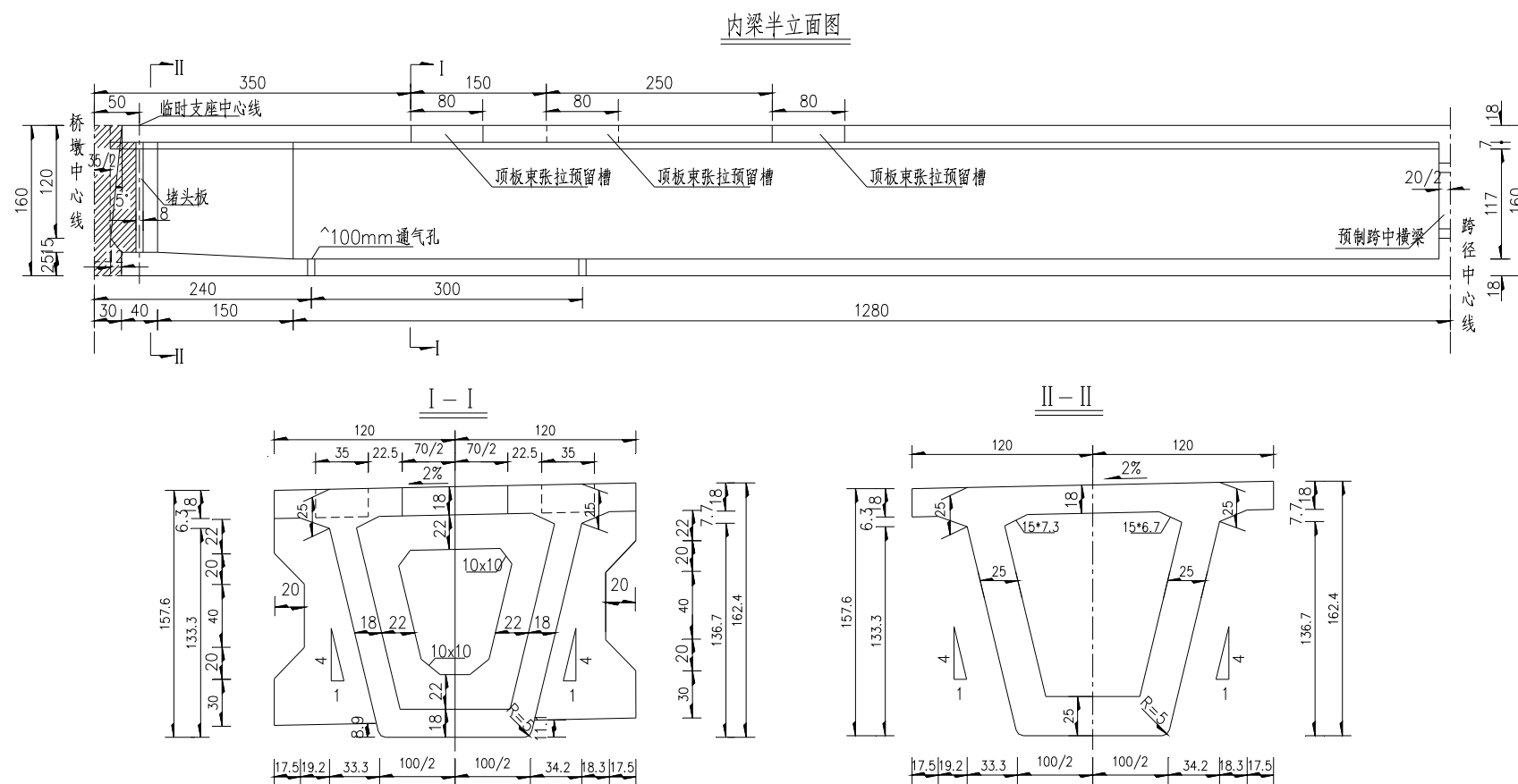
支点横断面图





跨径30 m 公路后张法预应力混凝土小箱梁（简支梁）构造图

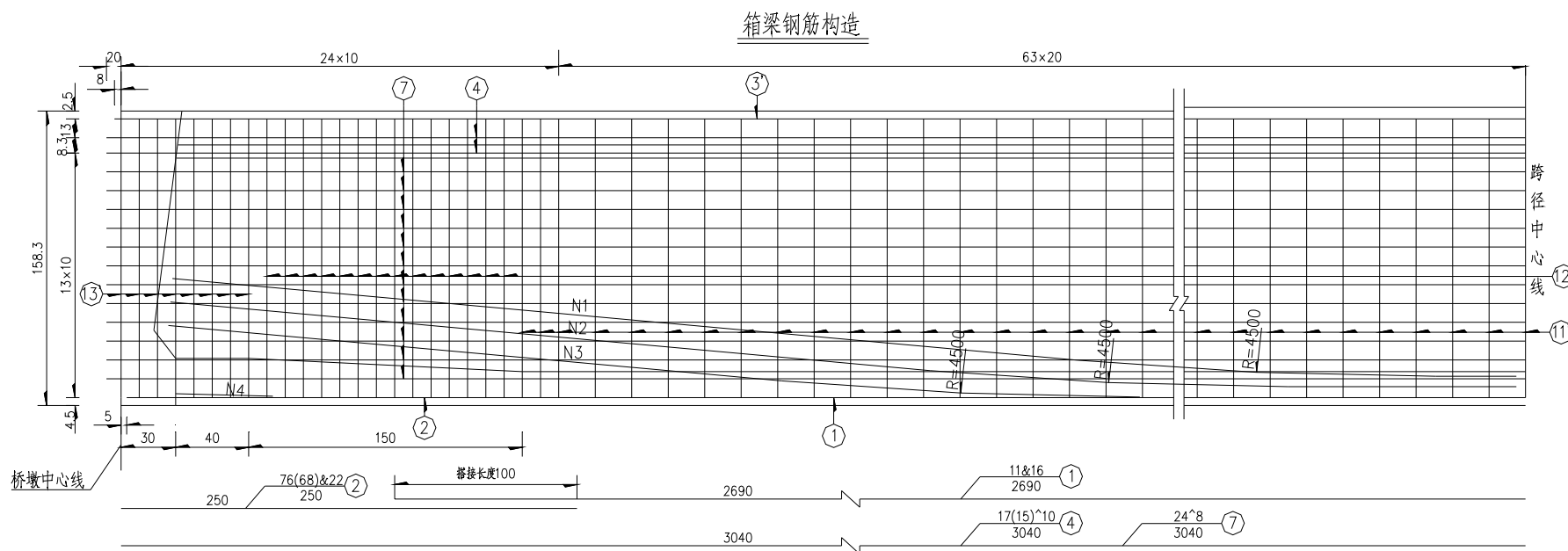
内梁半立面图





跨径30 m 公路后张法预应力混凝土小箱梁（简支梁）构造图

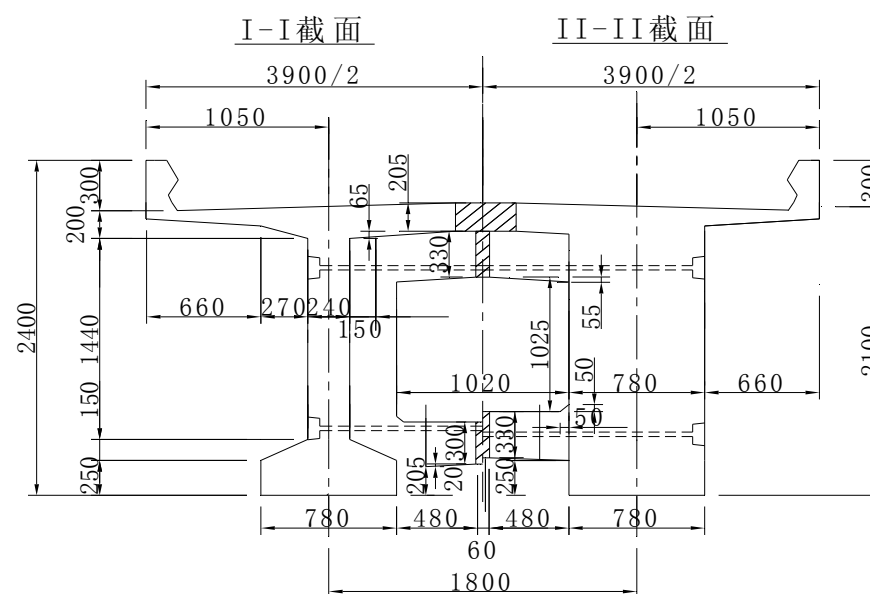
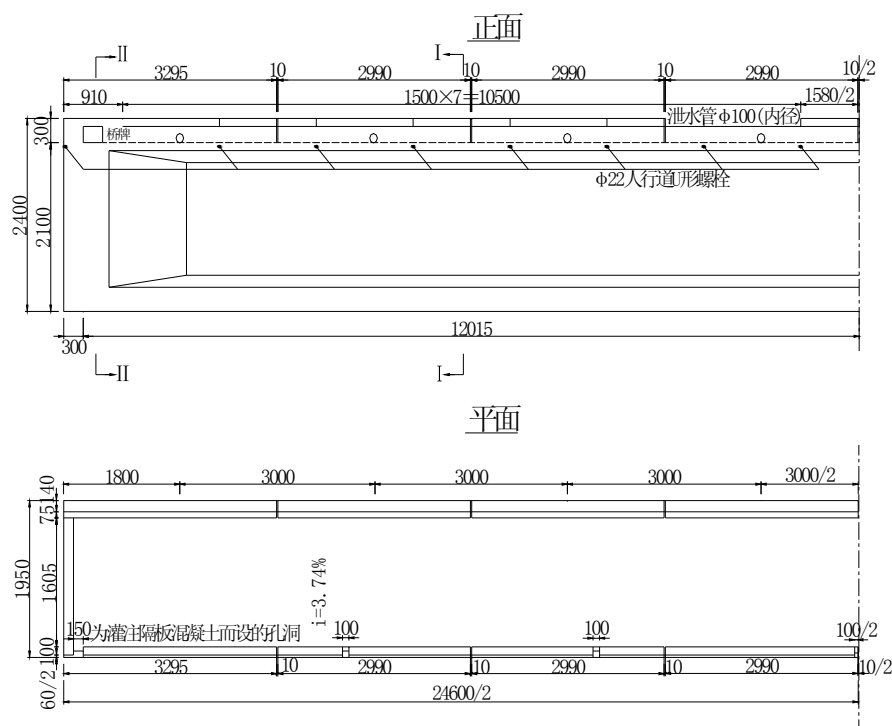
箱梁钢筋构造图





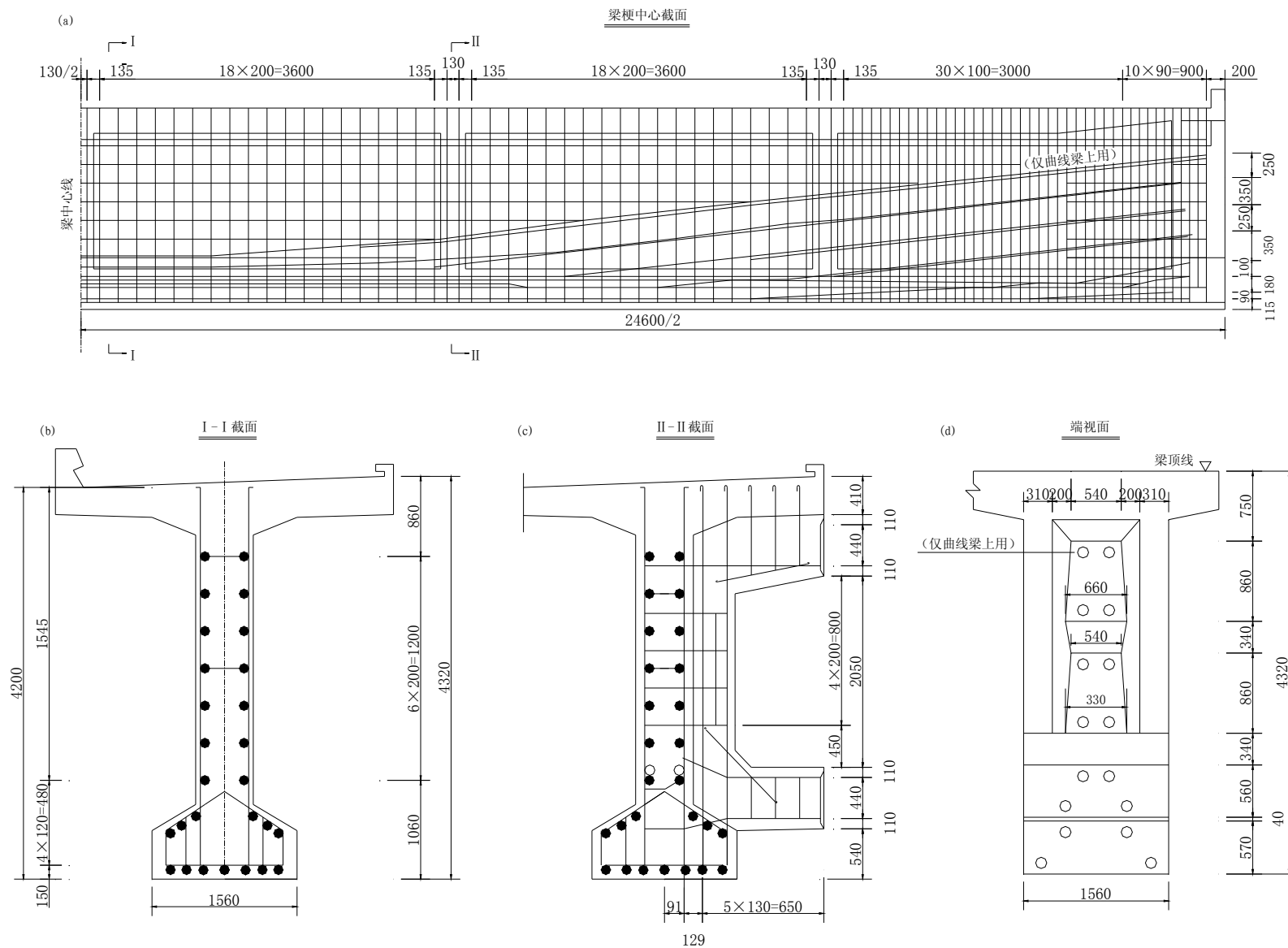
跨径24 m 铁路后张法预应力混凝土简支梁构造图

铁路后张法预应力混凝土梁构造图





铁路后张法预应力混凝土简支梁钢筋构造图



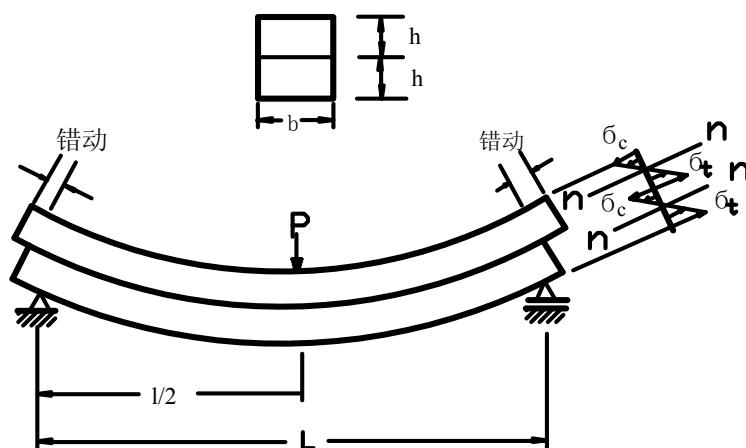


§ 3.2 钢-混凝土组合梁桥

- 一、概述
- 钢-混组合梁桥是指由外露的钢梁或钢桁梁通过连接件（剪力键， shear connector ）与钢筋混凝土桥面板组合而成的梁式桥，简称组合梁桥。

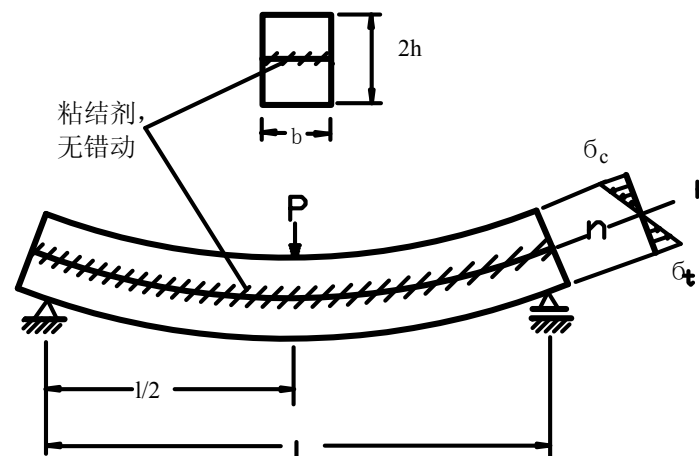


重合梁与组合梁的受力原理



(a) 重合梁

$$\sigma_{c,t} = \frac{\frac{PL}{4}}{2 \times \frac{bh^3}{12}} \frac{h}{2} = \frac{3}{4} \frac{PL}{bh^2}$$



(b) 组合梁

$$\sigma_{c,t} = \frac{\frac{PL}{4}}{\frac{b(2h)^3}{12}} h = \frac{3}{8} \frac{PL}{bh^2}$$



- 组合连续梁桥的在设计中需要认真考虑以下几个因素：
 - 中支点负弯矩区段，混凝土翼板受拉；
 - 中支点截面弯矩、剪力都最大，受力复杂；
 - 中支点梁段的钢梁受压存在着稳定问题

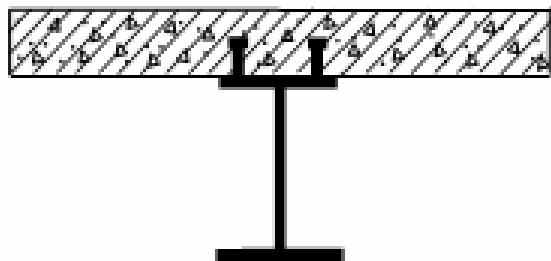


二、组合梁构造

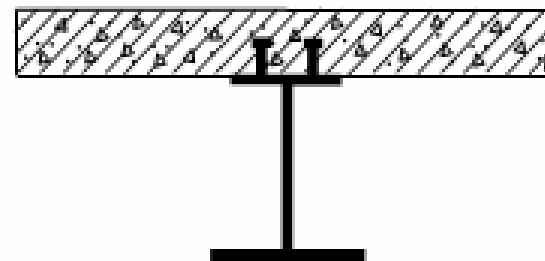
- 钢梁：工字形和箱形
- 混凝土桥面板
- 剪力键（亦称为连接件）



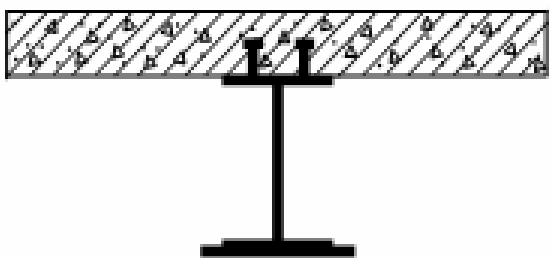
1. 钢梁



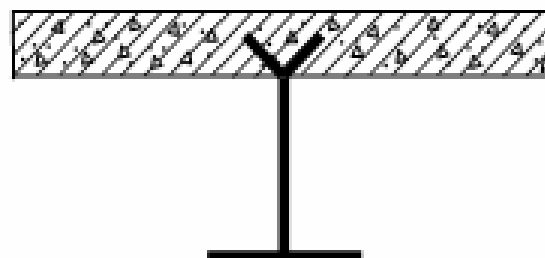
(a) 工字钢梁



(b) 宽下翼缘钢板梁



(c) 下翼缘加盖板的钢板梁

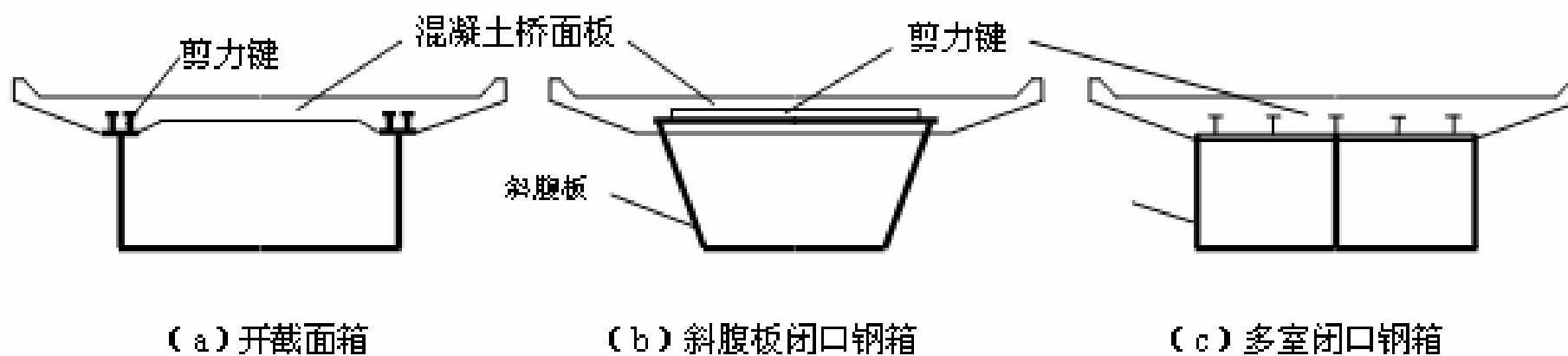


(d) 倒 T 形钢梁

工字形钢梁与钢板梁组合梁



■ (3) 钢箱梁



组合箱梁 截面形式



Fuzhou University -
College of Civil Engineering

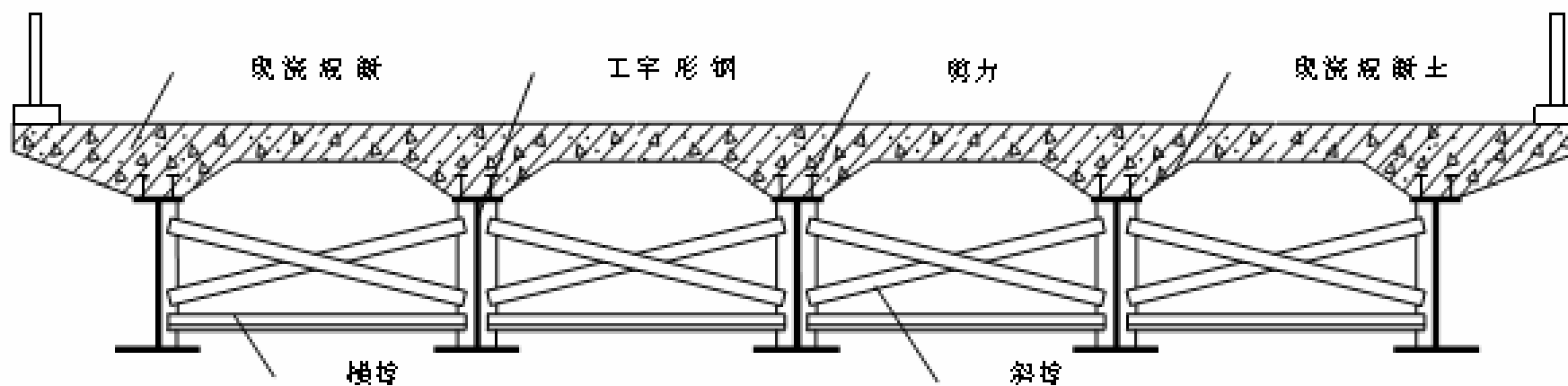


福州大学《桥梁工程》—福建省精品课程
<http://civil.fzu.edu.cn/BridgeCourse/>



2. 混凝土桥面板

■ (1) 现浇混凝土板

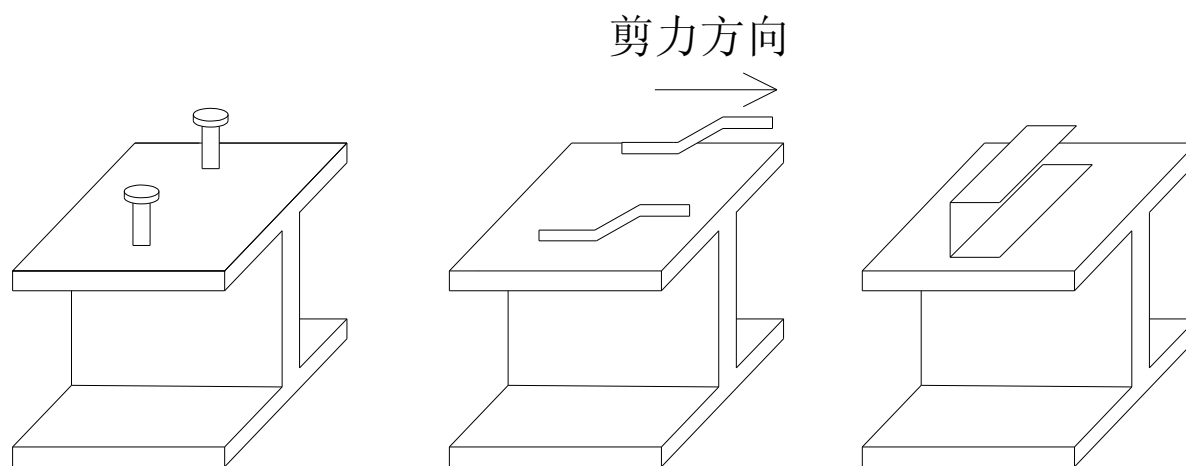


现浇混凝土板组合



3. 剪力键

- 剪力键又称为连接键，设在钢梁上翼缘的顶面，其主要作用是承受钢梁和混凝土翼缘板之间界面上的纵向剪力，抵抗两者之间的相对滑移，保证混凝土桥面板与钢梁共同作用。
- 桥梁工程中常用的有栓钉剪力键、弯筋剪力键和槽钢剪力键

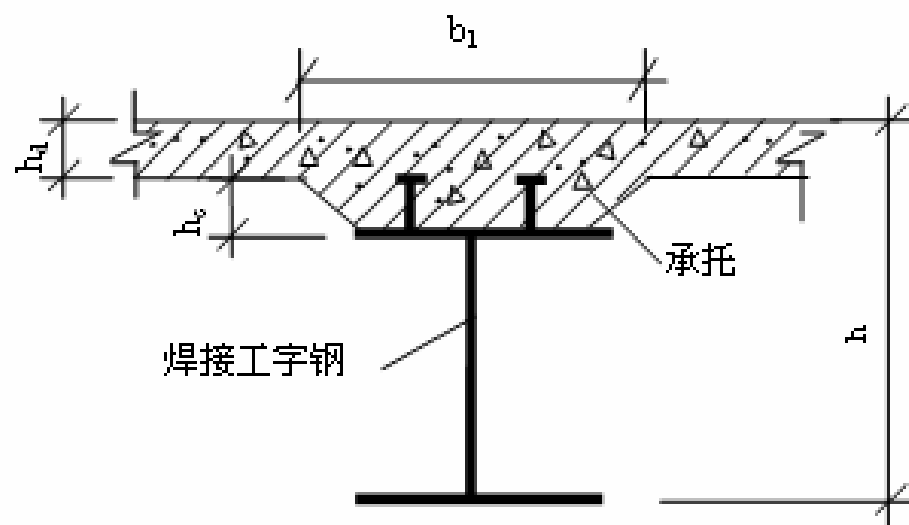


(a) 栓钉剪力键 (b) 弯筋剪力键 (c) 槽钢剪力键
桥梁工程中常用的连接件的形式



三、设计要点

- **1. 组合梁的主要尺寸拟定**
- **(1) 截面选择及梁高估算**
- 钢—混凝土组合梁桥的断面形式和结构高度应根据桥梁的跨径、承担的荷载大小及支承条件进行选择。
- 对于跨径在**10 m**以内的简支梁，当承担的荷载等级较低时，可以采用轧制的工字型钢做钢梁，
- 当荷载稍大时，可在轧制工字钢下翼板上加焊一块钢板，以增加钢梁的承载力
- 对于跨径较大或承担的荷载等级较高的组合梁桥，可以采用焊接工字形钢板梁作为组合梁的钢梁
- 桥面板还可以带承托，以增加梁的高度



带承托的组合梁



(2) 组合梁其它部分的尺寸估算

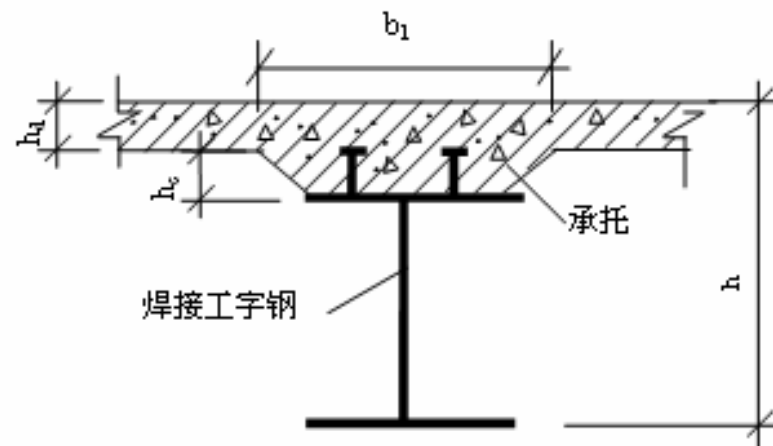
- 1) 钢梁腹板高度 h_f 估算

$$h_f = h - h_d - t$$

- 2) 钢梁腹板厚度 t_f 估算

$$t_f \geq \frac{1.2Q_{\max}}{h_f[\tau]}$$

$$t_f \approx \sqrt{h_f} / 10$$



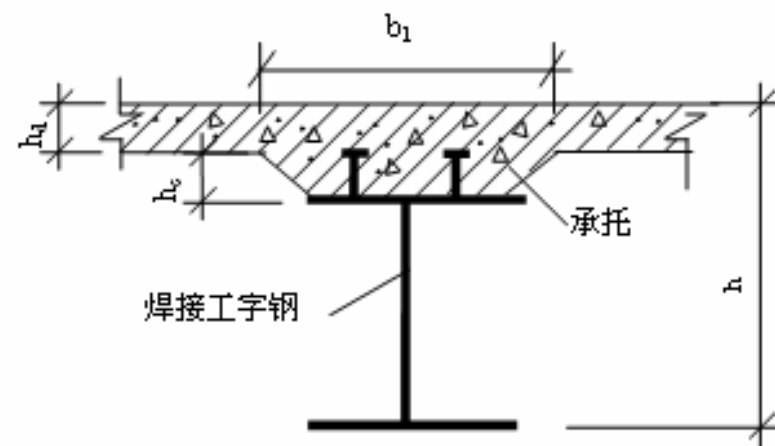


■ 3) 钢梁的翼缘板尺寸

$$A_d = \frac{M_{\max}}{[\sigma_w]h} - \frac{t_f h}{6}$$

取 $h-h_d/2$ 代替上式中的 h

$$A_d = \frac{M_{\max}}{[\sigma_w](h - \frac{h_d}{2})} - \frac{1}{6} t_f (h - \frac{h_d}{2})$$



实际设计中，建议将下翼板的面积 A_d 值放大 **1.05~1.2** 倍，而上缘板的面积可取 (**1/2~2/3**) A_d 或按照构造要求确定。



- 初步拟定的组合梁截面尺寸，须通过正常使用极限状态及承载能力极限状态的各项验算（包括混凝土桥面板和钢梁的应力、组合梁的挠度和极限承载力等），根据计算结果进行必要的修改。
- 在正常使用极限状态的验算中除需考虑结构的自重、恒载和设计活载外，还需考虑可能出现的分阶段受力特点、混凝土收缩、徐变的影响以及温度的作用等。



2. 剪力键的设计计算

- 1、圆头焊钉连接件（即栓钉剪力键）

- 2、弯起钢筋连接件 $N_{cv} = 0.43 A_s \sqrt{E_c f_{cc}} \leq 0.7 A_s f$

- 3、槽钢连接件 $N_{cv} = A_1 f_{st}$

$$N_{cv} = 0.26(t + 0.5t_w)l_c \sqrt{E_c f_{cc}}$$



§ 3.3 简支梁（板）桥的桥墩和桥台

3.3.1 桥墩的类型与构造

3.3.2 桥台的类型与构造

3.3.3 墩台的设计与计算



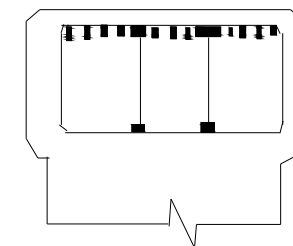
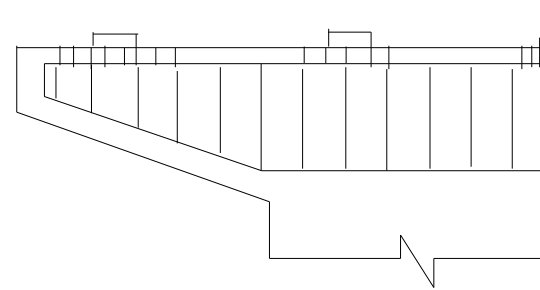
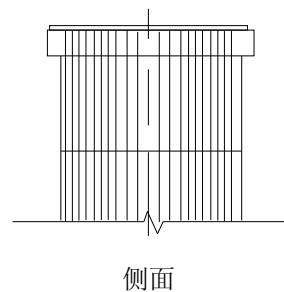
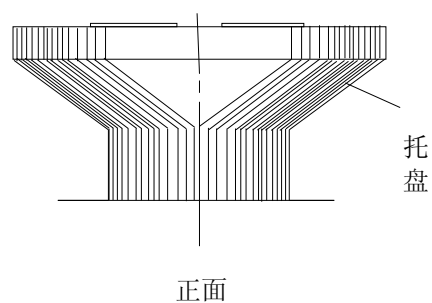
3.3.1 桥墩的类型与构造

1、重力式桥墩

- ❖ 实体式桥墩，靠自身的重量来平衡外力而保持其稳定。
- ❖ 墩身比较厚实，可以不用钢筋，而用天然石材或片石混凝土砌筑。
- ❖ 工程量大、自重大。
- 类型：矩形墩、圆端形墩、圆形墩



- 作用：承受上部结构传来的荷载，并将它及本身自重传给地基。
- 要求：具有足够的强度、刚度和稳定性，对地基的承载能力、沉降量、地基与基础之间的摩阻力等也都提出一定的要求。
- 组成：墩（台）帽，墩（台）身，基础。



铁路圆形墩墩帽构造

挑臂式墩帽

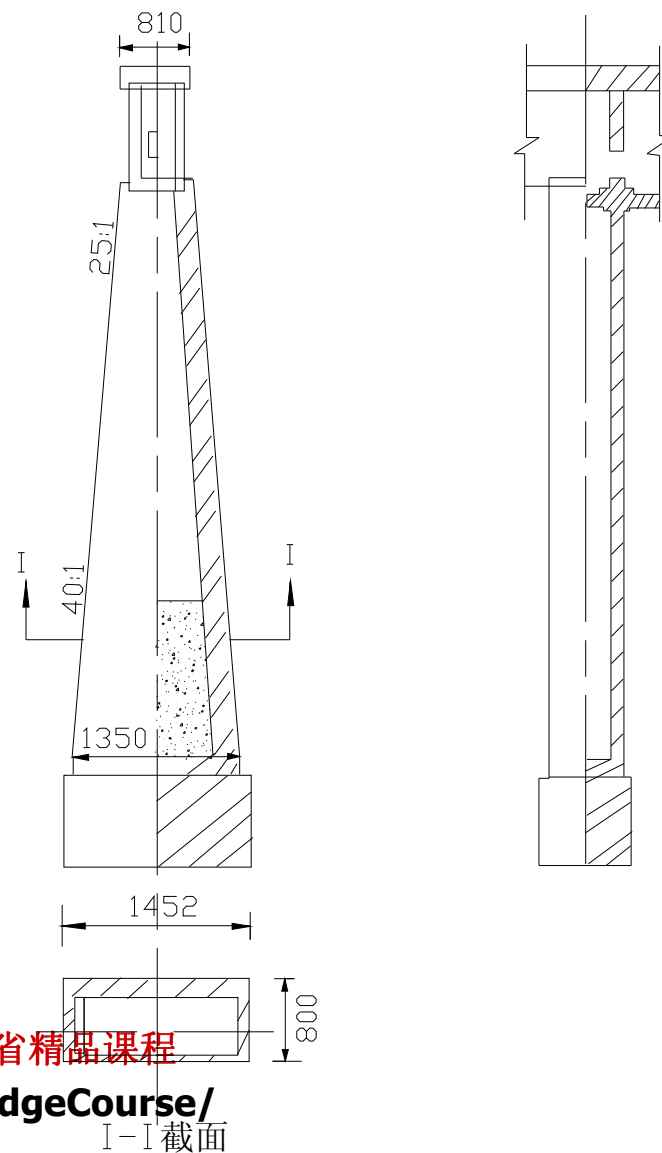


2. 轻型桥墩

- (1) 空心式桥墩 (hollow pier)
- 适用于高桥墩
- 节省材料，减轻桥墩自重，进而也能减少基础工程量。
- 空心式桥墩可分为混凝土空心墩和钢筋混凝土空心墩两类。



南昆线清水河桥空心高墩构造图





(2) 柔性墩 (flexible pier)

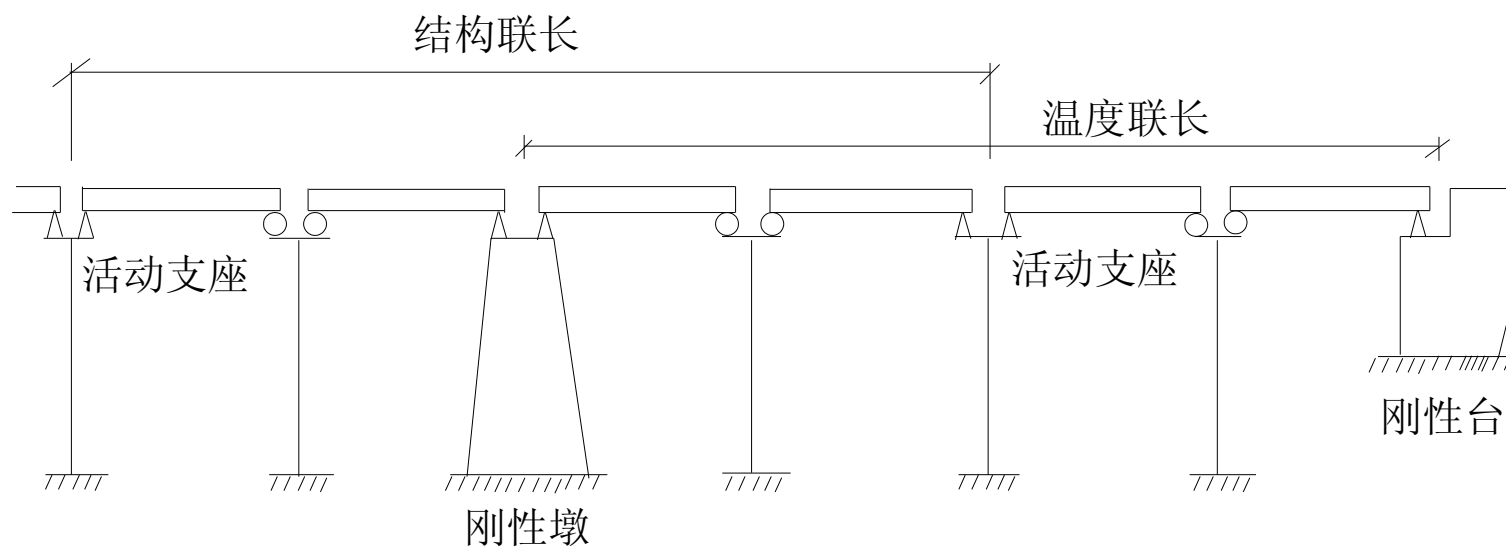
- 充分发挥桥墩的承载（受压）能力，各墩（台）具有不同的抗剪刚度，用梁使其连接在一起。
- 多跨桥：两端设置刚性较大的桥台，中间墩均采用柔性墩（其顺桥方向的墩身尺寸很小）；同时全桥除在一个中墩上设置活动支座外，其余墩台均采用固定支座。



- 作用在桥梁上的水平力将按各墩台的抗剪刚度进行分配。
- 作用在每个柔性墩上的水平力极小，绝大部分水平力由桥台承担。
- 桥墩可采用柔性的单排桩墩、柱式墩或其它薄壁式桥墩，达到节省材料、使桥墩轻型化的目的。



多跨柔性墩的布置



△—固定支座 ○—活动支座



(3) 桩（柱）式墩

- ①排架桩墩（pile bent pier）
 - 桩式桥墩是将钻孔桩基础向上延伸作为桥墩的墩身，在桩顶浇注盖梁。
 - 桩式墩在墩位的横向可以是一根、两根或数根桩。在一个墩台纵向设置一排桩时，称为单排桩墩。如设置两排时称为双排桩。



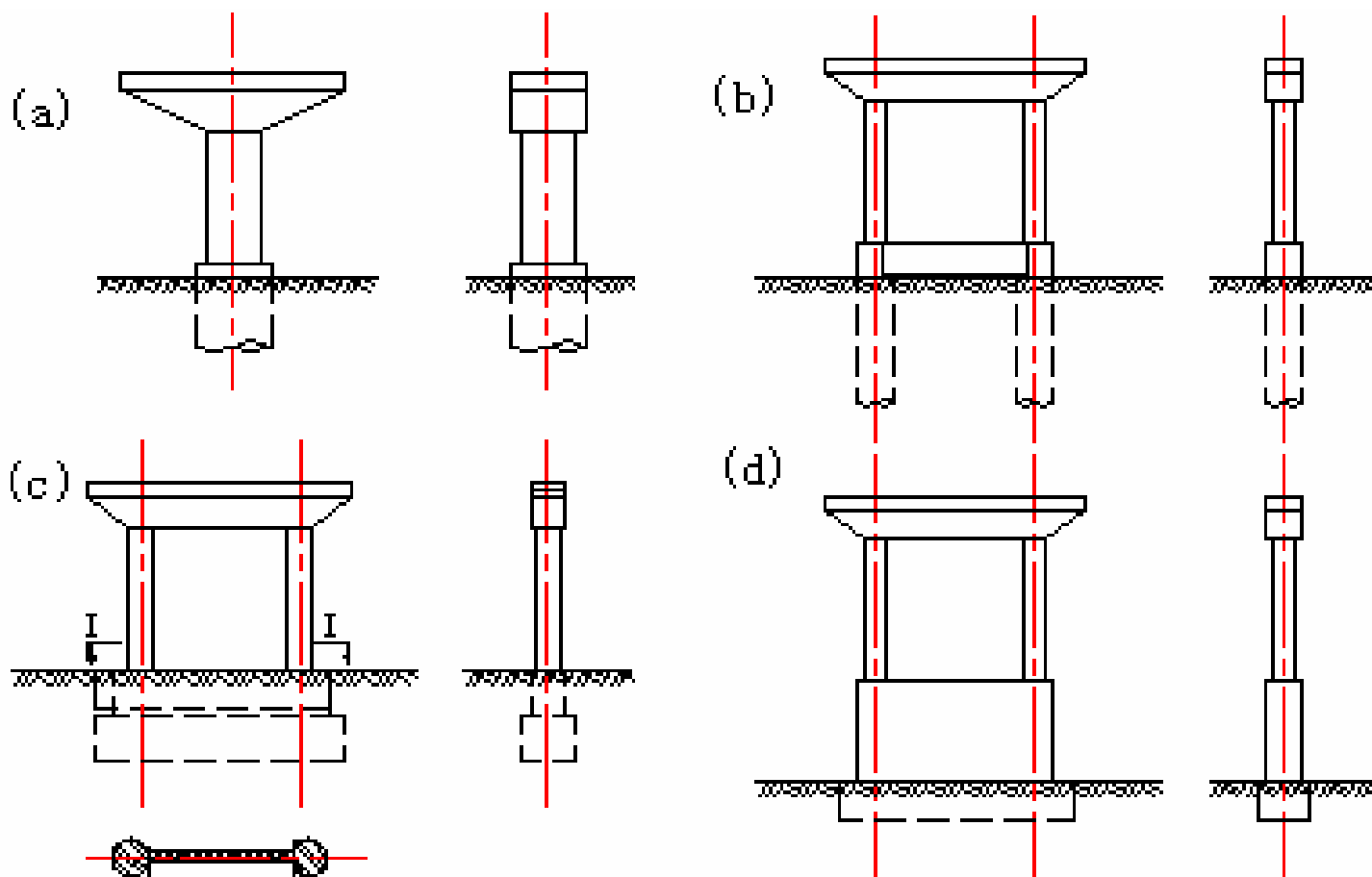
② 柱式墩 (column pier)

目前公路桥梁中广泛采用的桥墩形式，特别是在桥宽较大的城市桥和立交桥中，采用这种桥墩既能减轻墩身重量，节约圬工材料，又较美观。

- 柱式桥墩一般由基础之上的承台、柱式墩身和盖梁组成。



柱式桥墩的类型



桩柱式墩



- 属轻型桥墩
- 桩柱式墩
- 柱、桩采用普通钢筋混凝土，盖梁采用**RC**或**PC**结构



桩柱式墩

盖梁
立柱
桩
系梁





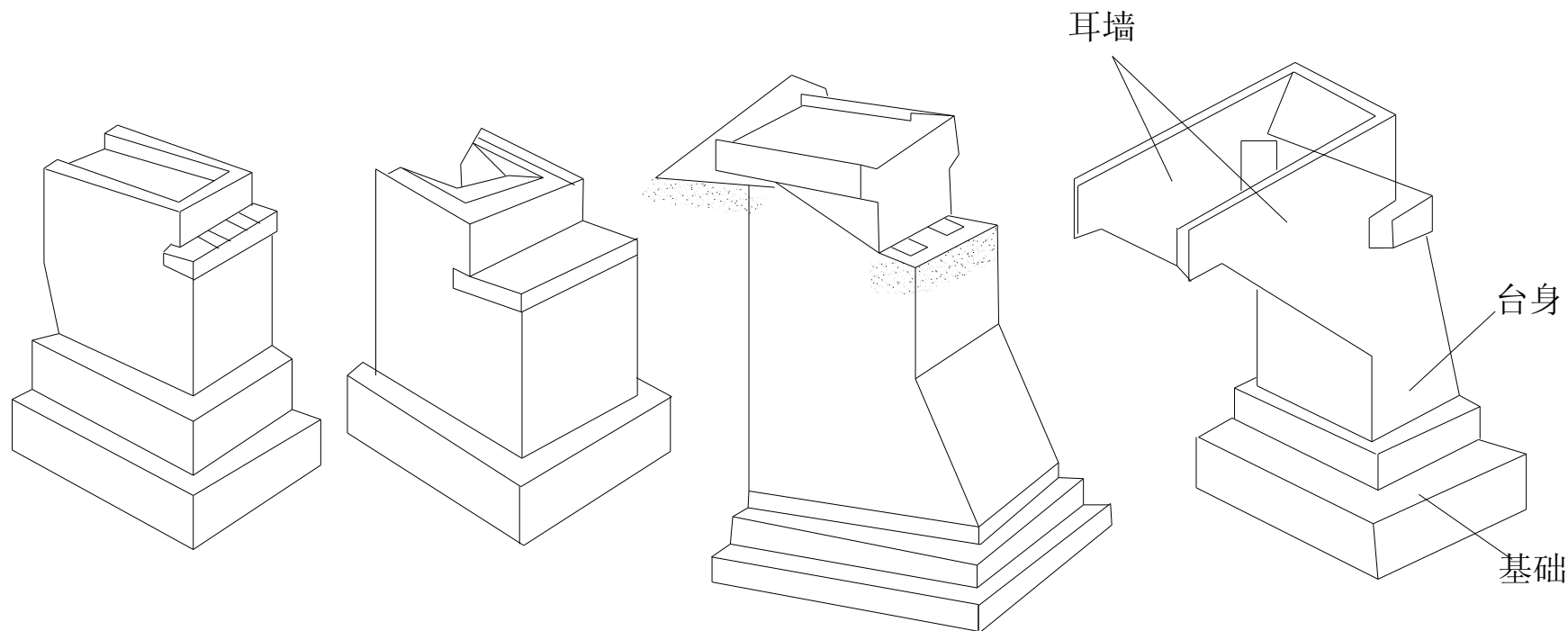
3.3.2 桥台的类型与构造

- 重力式桥台
- 轻型桥台
- 框架式桥台
- 组合式桥台



1、重力式桥台（gravity abutment）

- 实体式桥台，靠自重来平衡台后的土压力。
- 台身多用石砌、片石混凝土或混凝土等圬工材料建造，并采用就地建造施工方法，适合于砂石料来源丰富的桥梁工点选用。
- 常用类型：**T**形桥台、矩形桥台、**U**形桥台、埋式桥台、耳墙式桥台等

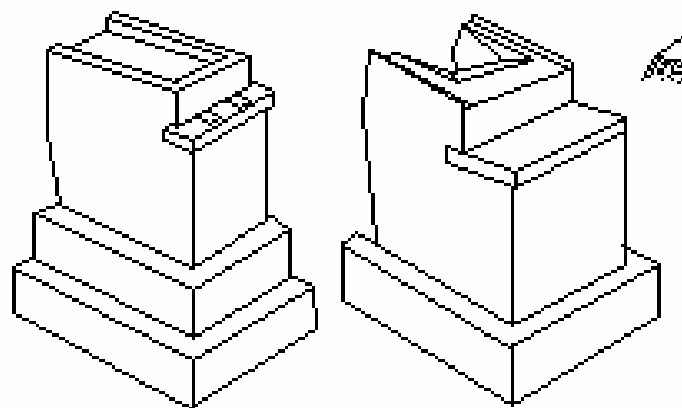


(a)矩形桥台 (b)U形桥台 (c)埋式桥台 (d)耳墙式桥台

重力式桥台一般构造

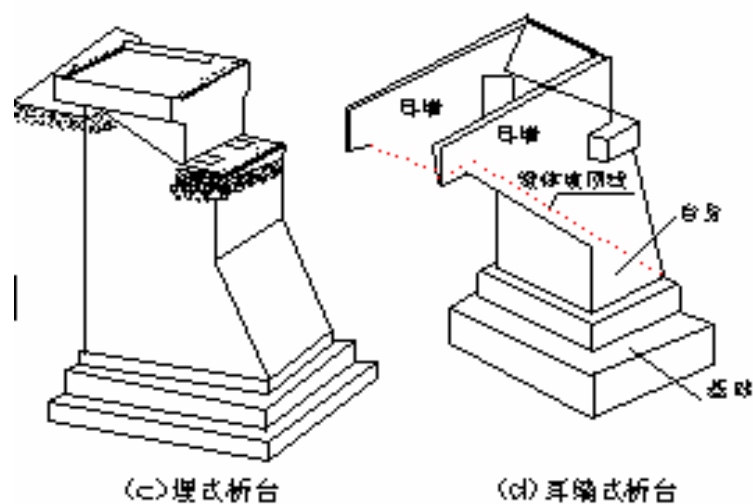


- **矩形桥台** ——形状简单，施工方便，但工程最大，已较少采用。当填土不高、桥跨较小且桥面不宽时可考虑采用。
- **U形桥台** ——当桥面较宽或桥跨较小，填土较低时，采用U形桥台较为节省。为公路桥常用形式。



(a) 矩形桥台

(b) U形桥台



- 埋式桥台——当填土较高时，为减少桥台长度节省圬工，可将桥台前缘后退，使桥台埋入锥体填土中而成的一种桥台形式。
- 耳墙式桥台——在台尾上部用两片钢筋混凝土耳墙代替实体台身并与路堤连接，借以节省圬工。也可设计成埋入式。



■ 重力式桥台的组成

——由台帽、台身（前墙、胸墙和后墙）及基础等组成。

台帽：支承桥跨，设有支承垫石和排水坡，一般用钢筋混凝土做成；

台身：承托着台帽，并支挡路堤填土，它一般用石材或片石混凝土做成。



桥台上部：应伸入路堤一定深度，以保证桥台和路堤的可靠连接。

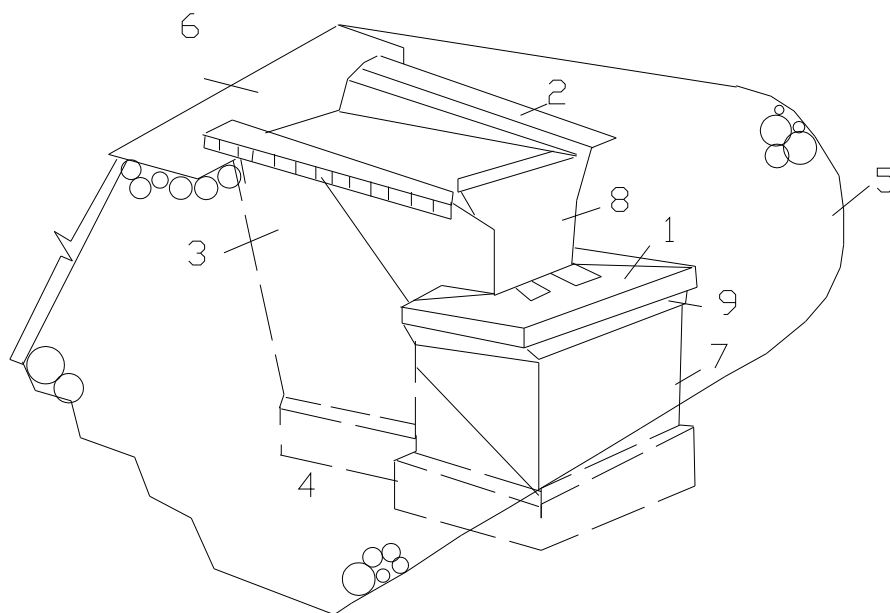
锥体填土：在路堤前端的填土应按一定坡度做成锥形，称。

- 主要尺寸——桥台全长、填土高度、埋置浓度及台身平面尺寸等。台帽的主要尺寸要求与桥墩类似。



铁路桥梁

- 矩形桥台
- T型桥台：工程量较小，使用广泛，尤其适用于较大的桥跨和较高的路堤。



- 1—台帽；2—道渣槽；
3—后墙；4—基础；
5—桩体；6—路堤；
7—前墙；
8—胸墙；9—托盘

T形桥台及锥体填土示意图



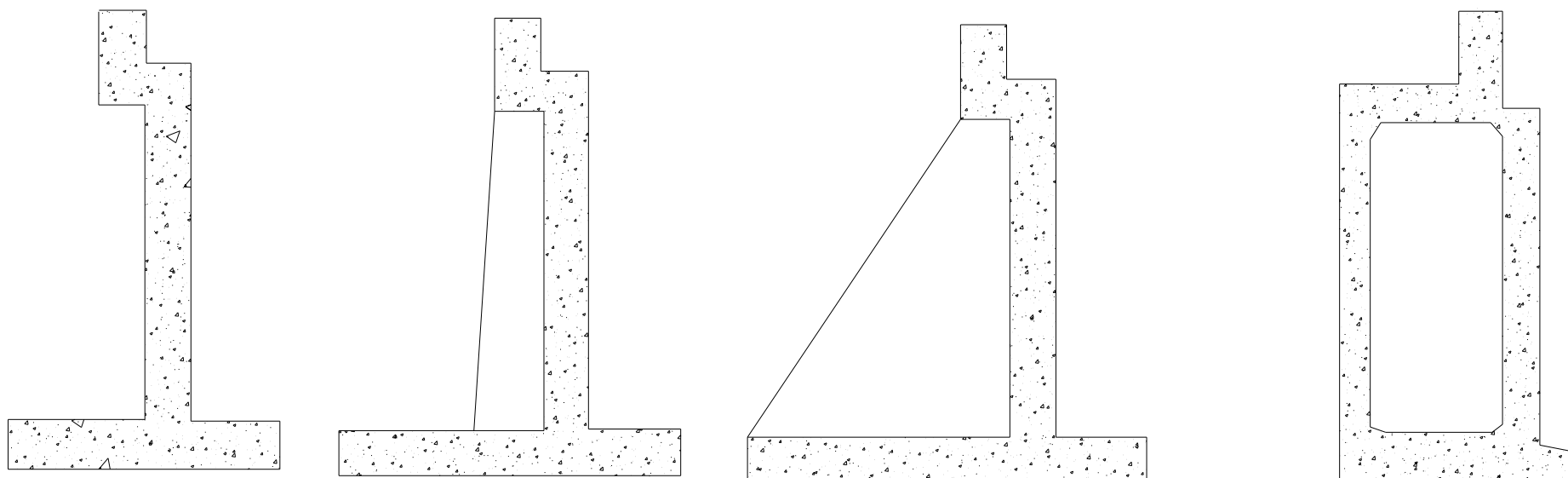
2、轻型桥台

- 主要特点：利用结构本身的抗弯能力来减少圬工体积而使桥台轻型化。
- 所用材料：钢筋混凝土或少量配筋的混凝土。
- 主要用于公路桥梁。



■ (1) 薄壁轻型桥台

- ▶ 常用的形式：悬臂式、扶壁式、撑墙式及箱式等。
- ▶ 悬臂轻型桥台的优点与薄壁墩类同，可依据桥台高度，地基强度和土质等因素选定。



(a) 悬臂式桥台 (b) 扶壁式桥台 (c) 撑墙式桥台 (d) 箱式桥台

薄壁轻型桥台



(2) 支撑梁轻型桥台 (supported type abutment)

- 单跨或孔跨不多的小跨径桥，在条件许可的情况下，可在轻型桥台之间或台与墩间，设置3~5根支撑梁。
- 支撑梁设在冲刷线或河床辅砌线以下。梁与桥台设置锚固栓钉，使上部结构与支撑梁共同支撑桥台承受台后土压力。
- 此时桥台与支撑梁及上部结构形成四铰受力框架。
- 轻型桥台可采用八字式和一字式翼墙挡土，如地形许可，可做成耳墙，形成埋置式轻型桥台并设置溜坡。

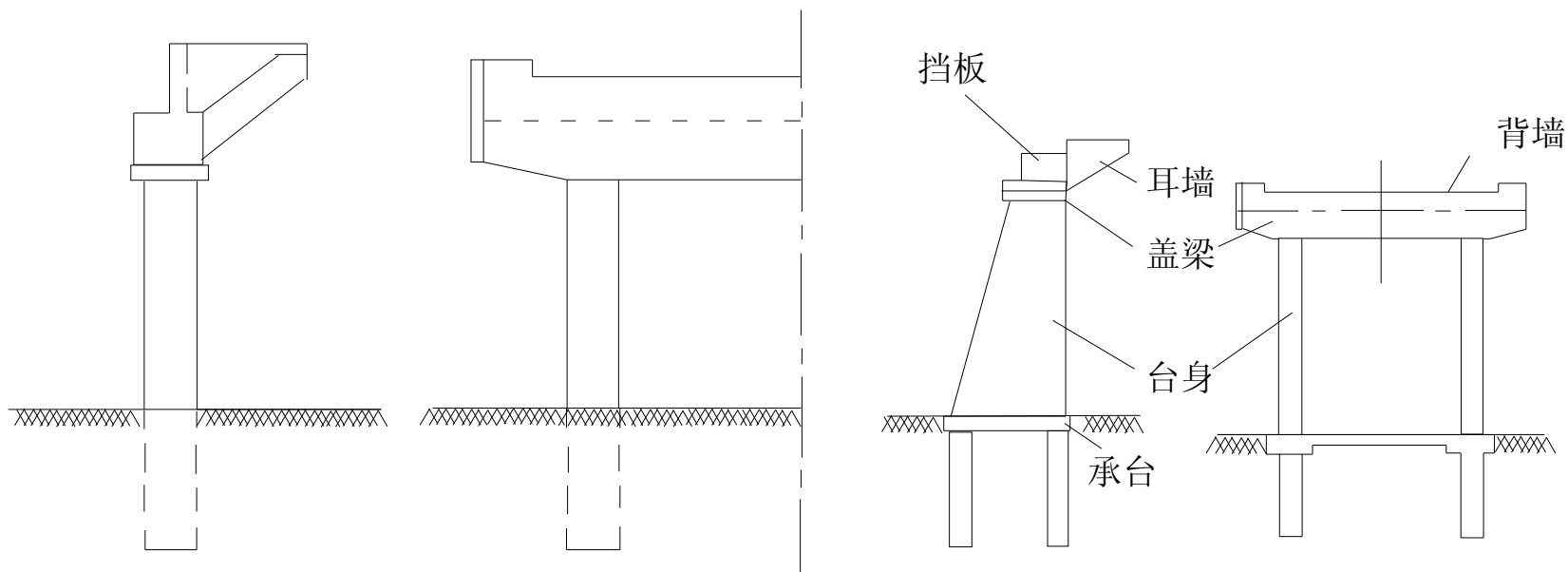


(3) 框架式桥台 (frame type abutment)

- 一种在横桥向呈框架式结构的桩基础轻型桥台，
- 所受的土压力较小，适用于地基承载力较低、台身较高、跨径较大的梁桥。
- 构造形式：双柱式、墙式、半重力式和双排架式、板凳式等。
- 框架式桥台均采用埋置式，台前设置溜坡。
- 为满足桥台与路堤的连接，在台帽上部设置耳墙，必要时在台帽上方两侧设置挡板。

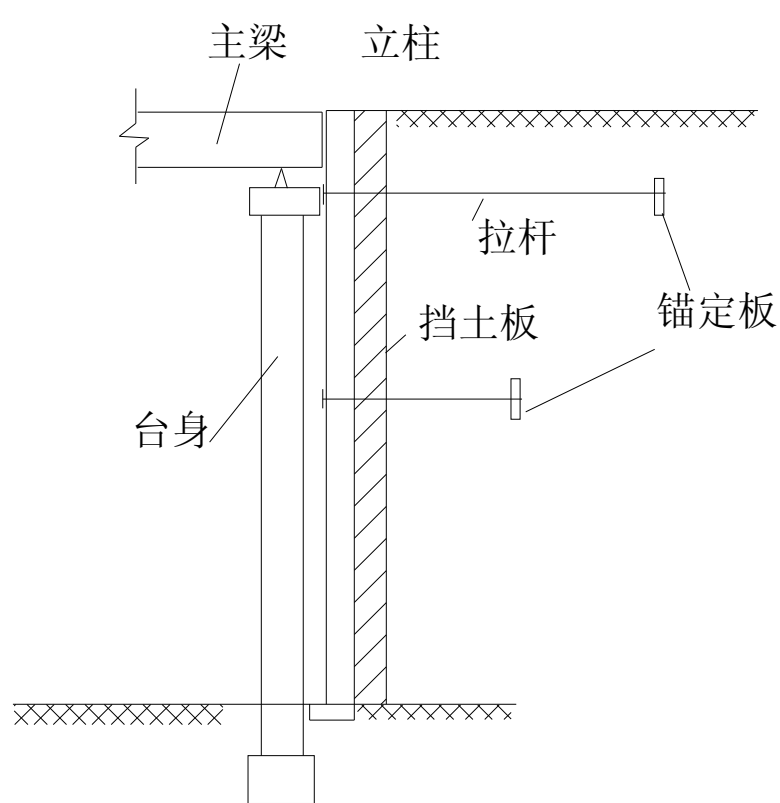


双柱式桥台与墙式桥台

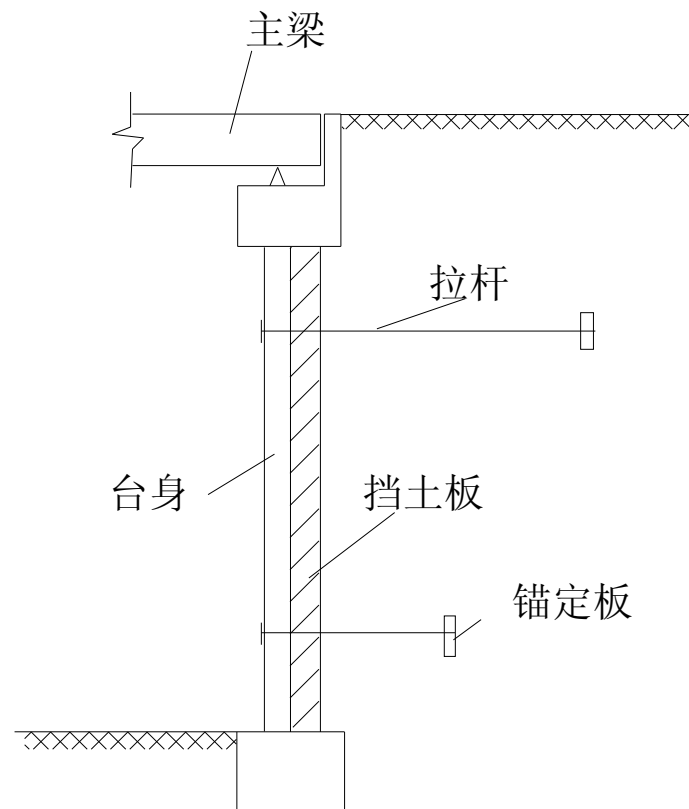




(4) 组合式桥台 (composite abutment)



分离式



结合式



- 桥台本身主要承受桥跨结构传来的竖向力和水平力，而台后土压力由其它结构来承受，形成组合式桥台。
- 组合方式：桥台与锚定板组合，桥台与挡土墙组合，桥台与梁及挡土墙组合，框架式的组合，桥台与重力式后座组合等。



3.3.3 墩台的设计与计算

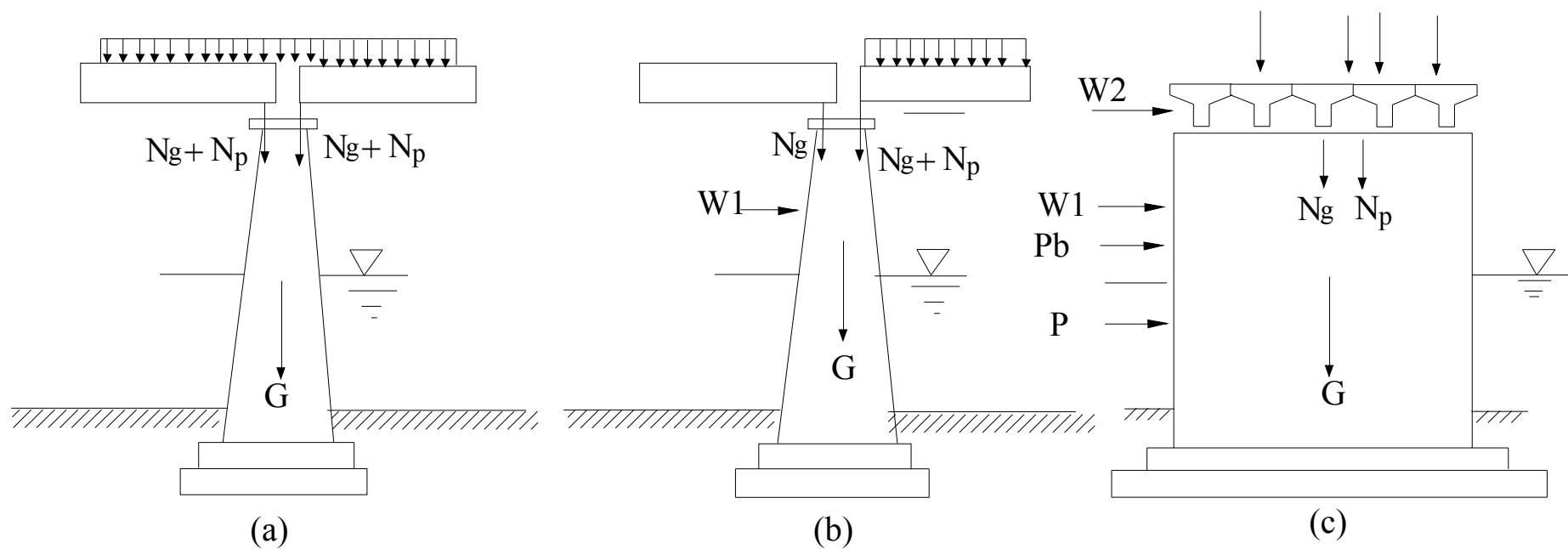
一、墩台的设计荷载及其组合

1、重力式桥墩

- 按在桥墩各截面上可能产生的最大竖向力的情况进行组合。(双孔重载)
- 验算墩身强度和基底最大应力。
- 在相邻两跨满布活载的一种或几种，必要时还可布置附加荷载（如制动力等）以产生墩身或基底最大压应力。

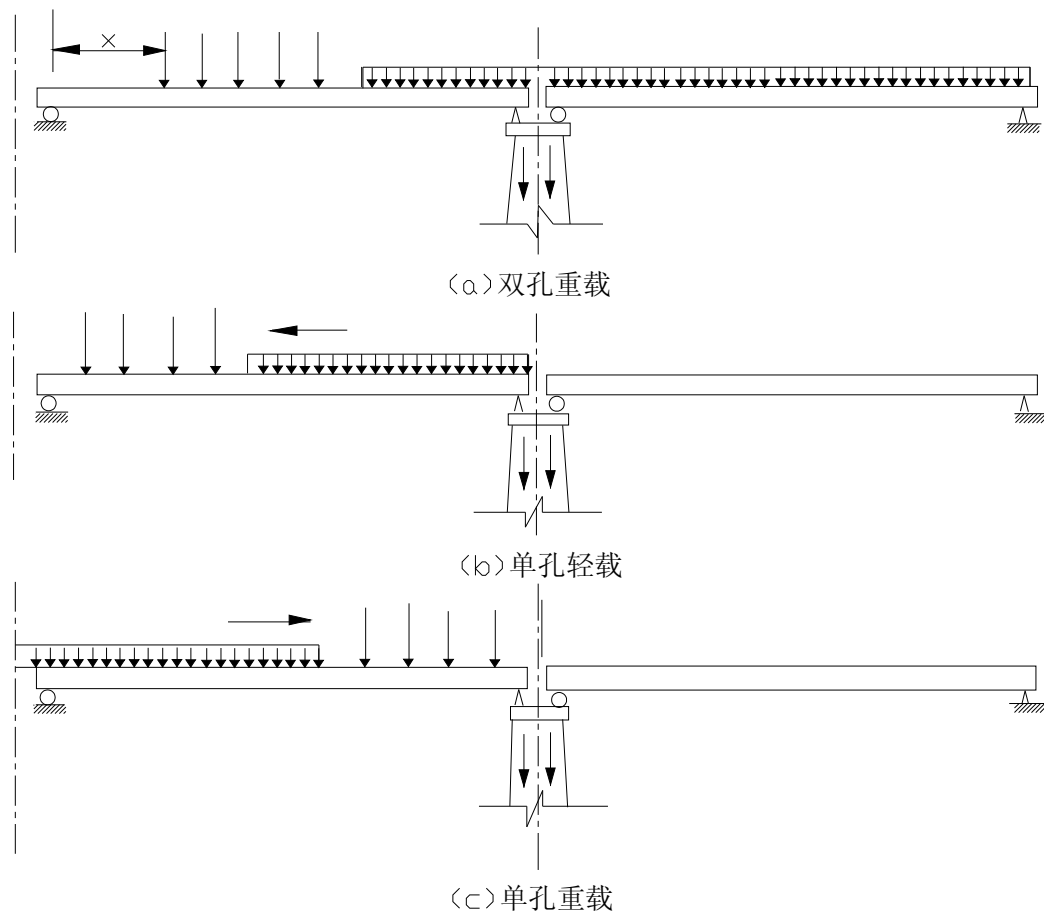


公路桥墩活载布置图式





铁路桥墩活载布置图式





- ② 按顺桥向上可能产生的最大偏心和最大弯矩的情况进行组合。
- ▶ 验算墩身强度，基底应力、偏心及桥墩的稳定性。
 - ▶ 在跨径较大的一孔上布置活载的一种或者几种，及附加荷载（制动力、纵向风力、支座摩阻力）。



- ③ 按横桥向可能产生最大偏心和最大弯矩的情况 进行组合。
- ▶ 验算横桥向的墩身强度、基底应力、偏心及桥墩的稳定性。
 - ▶ 将活载偏于桥面的一侧布置，还应考虑其它可变荷载（横向风力、流水压力）。

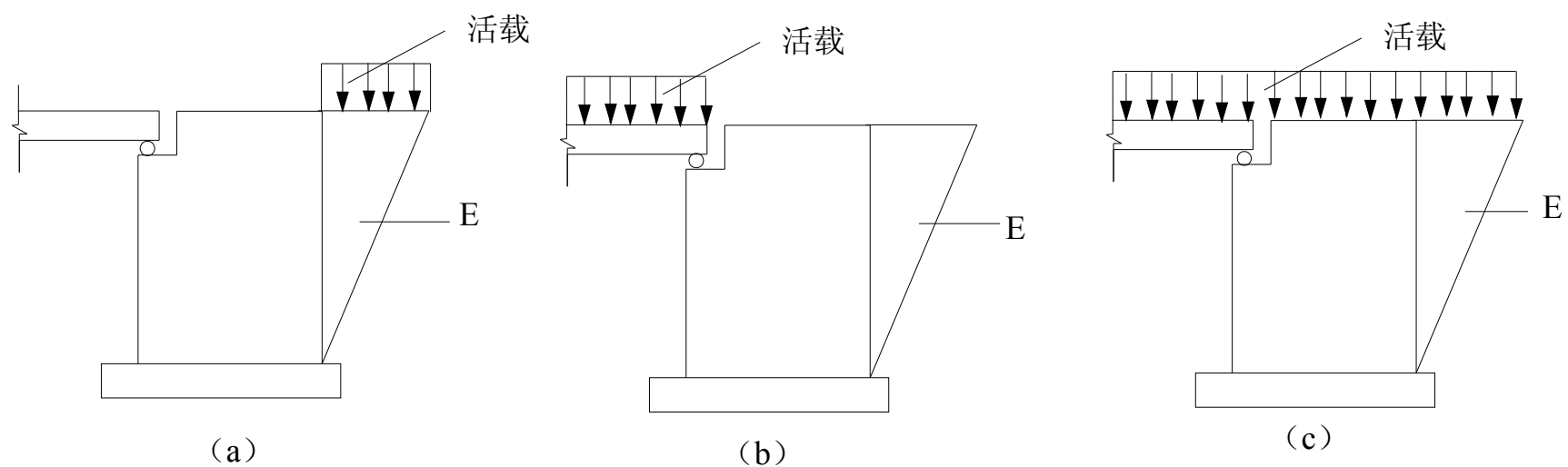


2、桥台的荷载组合

- ▶ 依据不同的验算项目进行荷载组合。
- ▶ 不利情况组合与验算：
 - ✓ 台后布置活载而桥上无活载（最大水平力和量大后端弯矩组合），
 - ✓ 桥上满布活载（最大前端弯矩），
 - ✓ 桥上、台后同时布置活载（最大竖向力组合）



桥台活载布置图式





二、墩台的验算内容

- 选定墩台形式、拟定各部分尺寸；
 - 确定各项外力并进行最不利荷载组合，选取验算截面和验算内容；
 - 计算各截面的内力，进行配筋和验算。
-
- 墩台验算的目的在于确定经济合理的尺寸，并保证其在施工和使用阶段的安全。



重力式墩台

- 有足够的强度和稳定性，并且不出现过大的开裂和其它变形。
- 强度验算、稳定性验算及偏心验算。
- 作为一个整体，不致发生不容许的变位。
- 扩大基础：基底应力验算、整体性验算（包括倾覆稳定性和滑动稳定性）。
- 对于较高的桥墩，须验算墩顶弹性水平位移；
- 对超静定桥梁结构，应验算基底沉降量；对钢筋混凝土墩台，要进行配筋设计和验算。



1、截面强度验算

$$\gamma_0 S \leq R(f_d, a_d)$$

受压偏心距小于规范规定

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi A f_{cd}$$



2、截面合力偏心距验算

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi \frac{Af_{\text{tmd}}}{\frac{Ae}{W} - 1}$$

3、纵向挠曲稳定性验算

4、墩台顶弹性水平位移验算

$$\Delta \leq 5 \cdot \sqrt{L}$$