

大跨径桥梁

编者：董明

云南工学院建工系
一九八九年一月

编者说明

本教材系为我院公路与城市道路专业在学一般的桥梁（简支梁桥与拱桥）的基础上而开设的选修课教材。内容选了五种常用而较复杂的桥梁体系，着重从受力特点，构造要求，施工方法和主要设计计算原理进行阐述，以期用较少的课时达到扩大学生专业知识面的目的。

10. 董明 1989年元月

目 录

第一章 系杆拱桥

第一节 系杆拱桥的特点及主要构造..... 1

一、柔性系杆刚性拱桥的构造..... 3

二、刚性系杆柔性拱桥的构造..... 5

三、刚性系杆刚性拱桥的构造..... 7

第二节 刚性系杆柔性拱的计算..... 8

一、内力影响线的计算..... 10

二、活载内力的计算..... 16

三、恒载内力计算..... 17

四、温度的内力计算..... 21

第三节 柔性系杆刚性拱的计算..... 22

一、求内力影响线..... 22

二、求恒载内力..... 27

三、求温差内力..... 28

第四节 刚性系杆刚性拱桥的计算简介..... 29

一、计算图式..... 29

二、内力计算简介..... 29

第二章 悬索桥

第一节 悬索桥的受力特点及主要构造	33
一、桥跨布置	35
二、主索及主索矢高	35
三、吊杆及吊杆间距	36
四、锚及锚索的倾角	38
五、加劲梁及支座	40
六、桥塔及索鞍	41
第二节 柔性吊桥的计算	43
一、悬索的形状	44
二、悬索的内力计算	45
三、悬索的挠度计算	46
第三节 加劲吊桥的计算	49
一、弹性理论法的基本假定	50
二、求悬索中的水平拉力影响线	50
三、求内力影响线	53
四、求温差内力	54
五、加劲梁的挠度计算	55
六、悬索桥的风荷载静力计算	56
七、挠度理论法简介	59
八、动力计算简介	63

第三章 斜拉桥

第一节 斜拉桥的特点及主要组成部分	67
一、斜拉桥的特点	67
二、斜拉索的布置	70

三、主梁的选择	76
四、索塔的构造	80
第二节 斜拉索的工作性能	83
一、分析中的假定	83
二、斜缆索的计算公式	90
三、等代弹性模量	91
四、拉索在斜拉桥中的工作状态	95
第三节 初步设计	97
一、主要尺寸的拟定	97
二、参考资料	102
三、近似计算	103
第四节 其他几个问题的说明	118
一、徐变问题	119
二、温度影响	119
三、活载应力	120
四、索塔的计算	121
五、风动力稳定问题	121
第四章 T型刚构桥	
第一节 T型刚构桥的特点及其施工方法	123
一、桥型特点	123
二、悬臂施工法	127
第二节 T型刚构桥的构造和尺寸拟定	133
一、跨径布置	133
二、断面的确定	134

三、预应力钢束的布置	136
第三节 内力分析	139
一、内力计算特点	139
二、闭合箱梁的特性	141
三、箱梁受力分析	143
四、悬臂梁的挠度计算	147
五、牛腿的计算	152
第五章 预应力混凝土连续梁桥	
第一节 连续梁体系的特点	157
第二节 连续梁桥的构造及尺寸拟定	161
一、立面布置	161
二、横截面设计	164
三、预应力钢筋的布置	170
四、连续梁桥的支座	174
第三节 连续梁桥的施工方法	174
一、就地浇筑施工	175
二、简支(悬臂)——连续施工	177
三、在支架上逐孔现浇施工	179
四、悬臂施工	179
五、顶推施工	180
第四节 桥型实例	188
第五节 连续梁的内力计算	189
一、恒载内力计算	189
二、活载内力计算	200

第一章 系杆拱桥

系杆拱桥属无推力的组合体系拱桥，由于拱的推力已由系杆承受，故墩台不承受水平推力。根据拱肋和系杆的刚度大小以及吊杆的布置形式又可以分为：

具有竖直吊杆的柔性系杆刚性拱桥，又称系杆拱（图1—1 a）；具有竖直吊杆的刚性系杆柔性拱桥，又称兰格尔拱（图1—1 b）；具有斜吊杆的刚性系杆刚性拱桥，又称洛泽拱（图1—1 c）；具有斜吊杆的柔性系杆柔性拱桥，又称尼尔森拱（图1—1 d、e、f）。

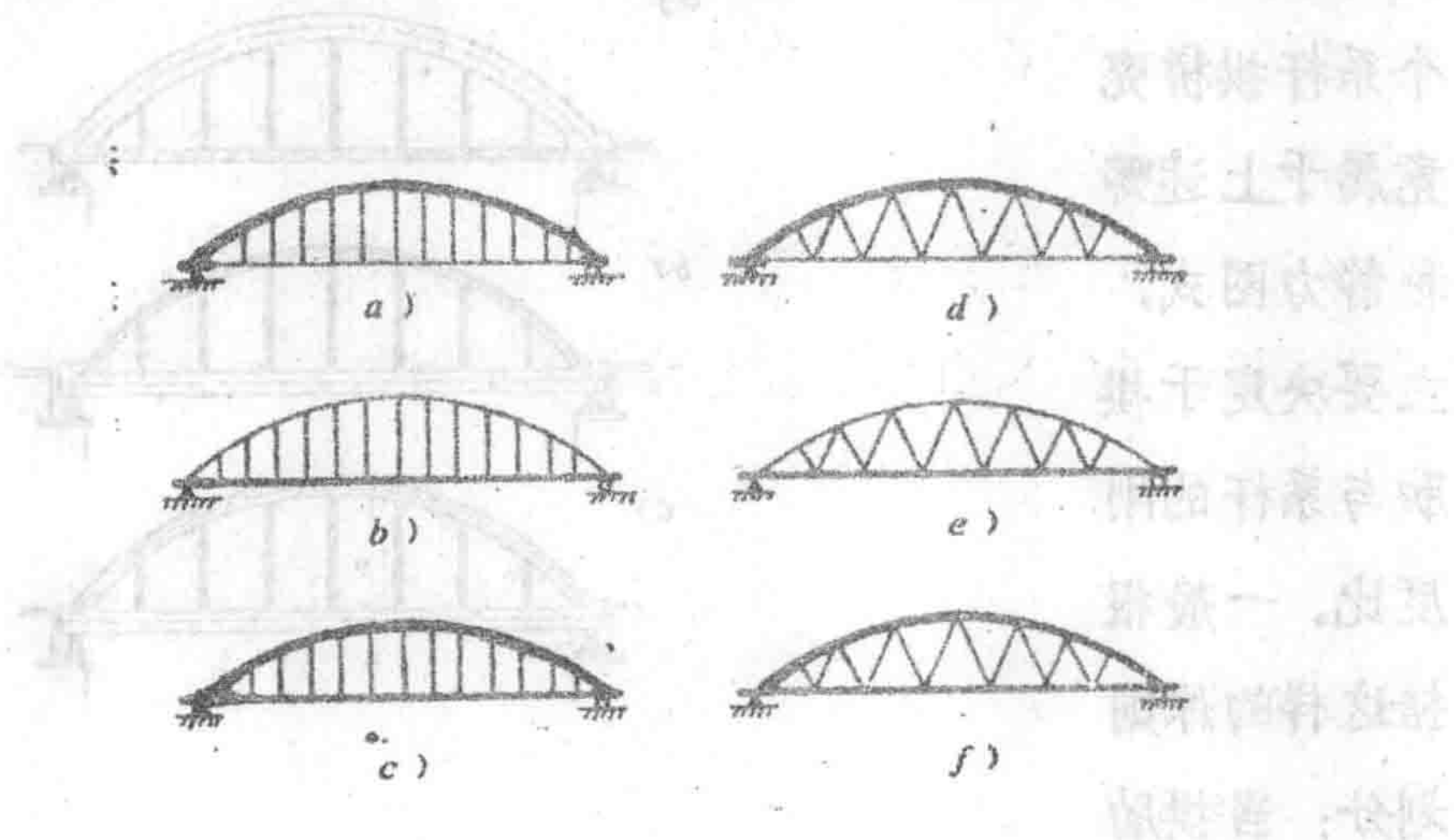


图1—1 无推力的组合体系拱—1 b)；具有竖直吊杆的刚性系杆刚性拱桥，又称洛泽拱（图1—1 c）。

以上三种系杆拱，当用斜吊杆来代替竖直吊杆时，又统称为尼尔森拱（图1—1 d、e、f）。

第一节 系杆拱桥的特点及主要构造

系杆拱桥是梁和拱的组合体系桥，是利用梁的受弯与拱的受压特点组成的联合结构。根据静力图式，系杆拱桥可划分成三种：

柔性系杆刚性拱、刚性系杆柔性拱以及刚性系杆刚性拱（图 1—2）系杆拱的竖直吊杆的作用是将桥面上的荷载传递给拱肋，它只承受拉力，不承受弯矩，不是桥跨结构的主要承重构件。系杆拱桥的主要承重构件是拱肋和系杆，荷载产生的弯矩是按拱肋和系杆（即梁）的刚度大小进行分配的。一个

系杆拱桥究竟属于上述哪种静力图式，主要决定于拱肋与系杆的刚度比。一般根据这样的原则划分：当拱肋

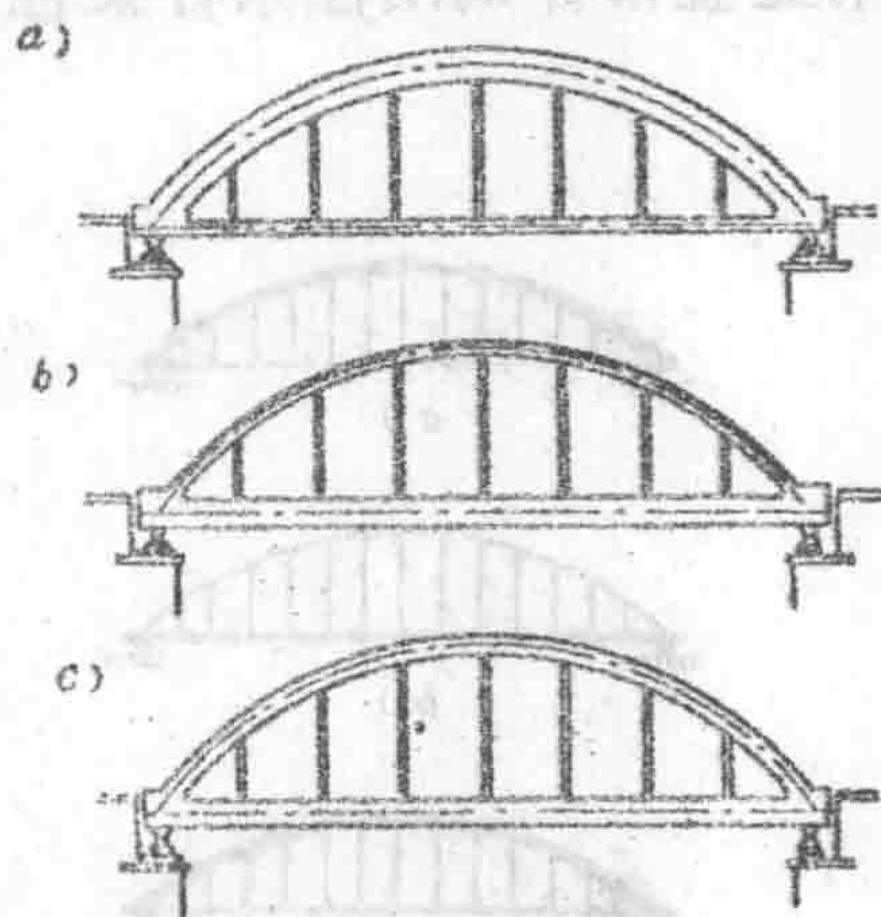


图 1—2 系杆拱桥的静力图式

的截面刚度（ $E_{拱} I_{拱}$ ）与系杆的截面刚度（ $E_{系} I_{系}$ ）之比大于 80 时，认为系杆很柔，系杆只承受轴向拉力，不承受弯矩，全部荷载弯矩均由拱肋承受，拱肋为压弯构件，此时系杆拱为柔性系杆刚性拱的图式（图 1—2 a）；当 $E_{拱} I_{拱} / E_{系} I_{系} < \frac{1}{80}$ 时，认为拱肋很柔，只承受轴向压力，不承受弯矩。全部弯矩由系杆承受，系杆为拉弯构件，此时的系杆拱为刚性系杆柔性拱的图式（图 1—2 b）；当 $E_{拱} I_{拱} / E_{系} I_{系}$ 的比值在 $1/80 \sim 80$ 之间时，系杆拱应按刚性系杆刚性拱的图式计算（图 1—2 c），荷载弯矩在拱肋和系杆之间进行分配，拱肋和系杆都承受纵向力和弯矩。

由于拱肋上的恒载分布沿跨度是大致均匀的（拱脚与拱顶处的恒载之比约在 $0.95 \sim 1.1$ 之间，变化范围较小），故拱轴线常用二次抛物线。拱的矢跨比常在 $1:4 \sim 1:6$ 之间选用。矢跨比过小，系杆承受拉力很大，端节点难于设计；拱的矢跨比过大，吊杆太细长，不仅施工困难，且在运营时可能产生剧裂振动。同时，选择拱的矢高还要注意在满足桥上净空的前提下能够布置桥门架和上平纵联。

一、柔性系杆刚性拱桥的构造

柔性系杆刚性拱的拱肋高度一般采用跨径的 $1/30 \sim 1/50$ 。拱肋截面一般采用工字形和箱形。在两片拱肋之间设横撑或交叉撑架以形成一个空间结构。

桥面系由横梁和纵梁等组成。横梁悬挂于吊杆上，吊杆将桥面系所承受的荷载传给拱肋。吊杆的间距常为纵梁的长度。纵梁长度则由桥面系的合理构造和经济条件决定。为了保证系杆的柔

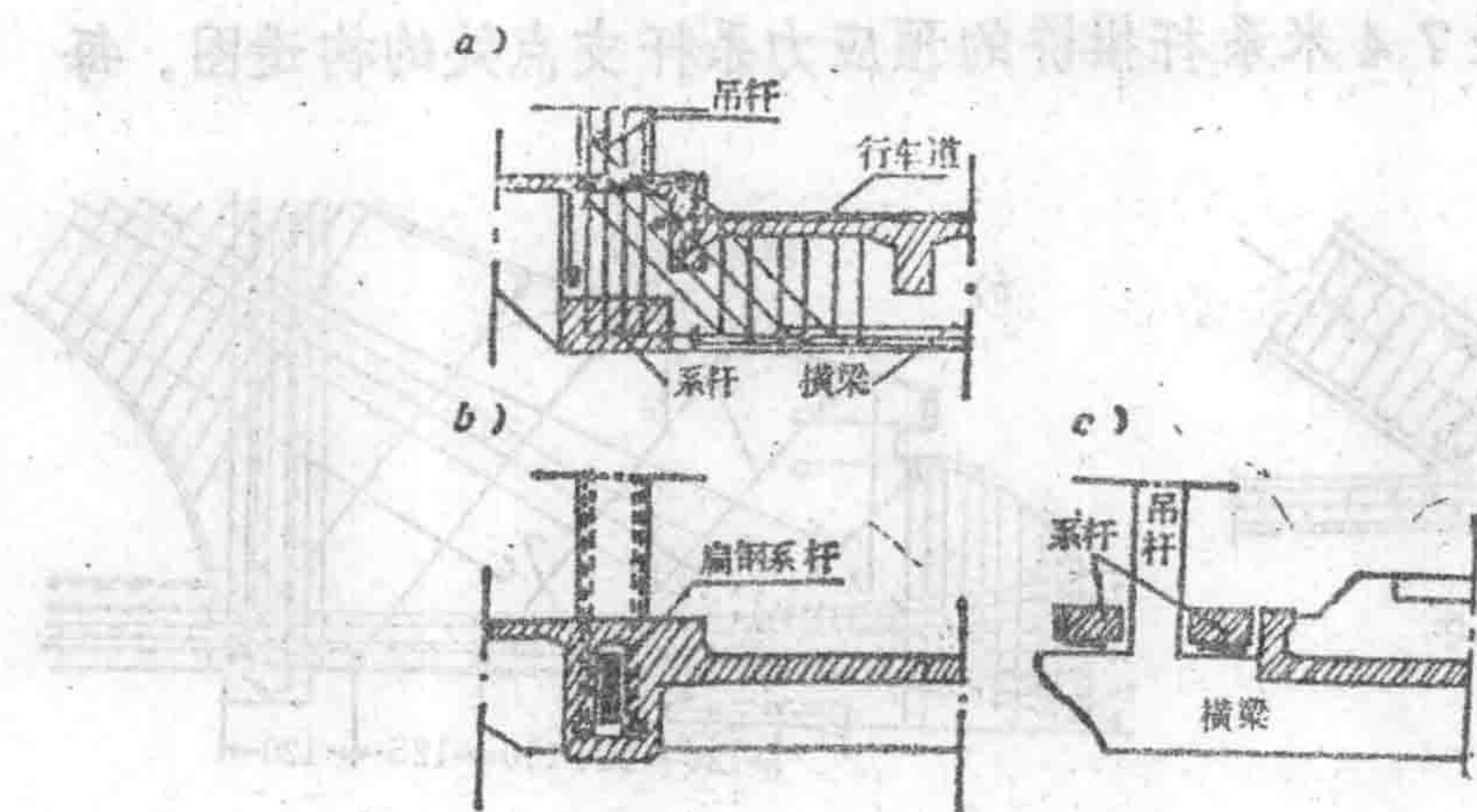


图 1—3 柔性系杆与行车道的联结

性（不承受弯矩），系杆应和桥面系分开，使桥面系不参与系杆共同受力。在节点构造上系杆可以放在横梁端头之上（图 1—3 c）或把行车道板简支在横梁上（图 1—3 a）或在行车道内设横向断缝（图 1—3 b）。

为防止当活载进桥时因节点下沉使系杆和横梁脱离，以致在活载离桥时系杆和横梁相撞击，设计时应使系杆的自重挠度大于系杆拱各节点在计算荷载下的弹性下沉量。因此，系杆的截面高度一般只取跨度的 $1/120 \sim 1/200$ 。

系杆可用钢筋混凝土或预应力混凝土制造，也可用型钢制造。钢筋混凝土系杆在使用中会出现裂缝，影响耐久性。金属系杆易于锈蚀。使用预应力混凝土系杆可避免混凝土出现裂缝，维修养护费用低，较为理想。

系杆与拱肋的连接构造，如图 1—4 所示。图 1—4 a 是钢筋混凝土系杆与拱肋的连接构造图，系杆内的钢筋用螺帽和钢垫板锚住。也有把系杆中的钢筋末端分散开锚定在混凝土中。图 1—4 b 为跨径 74 米系杆拱桥的预应力系杆支点处的构造图。每

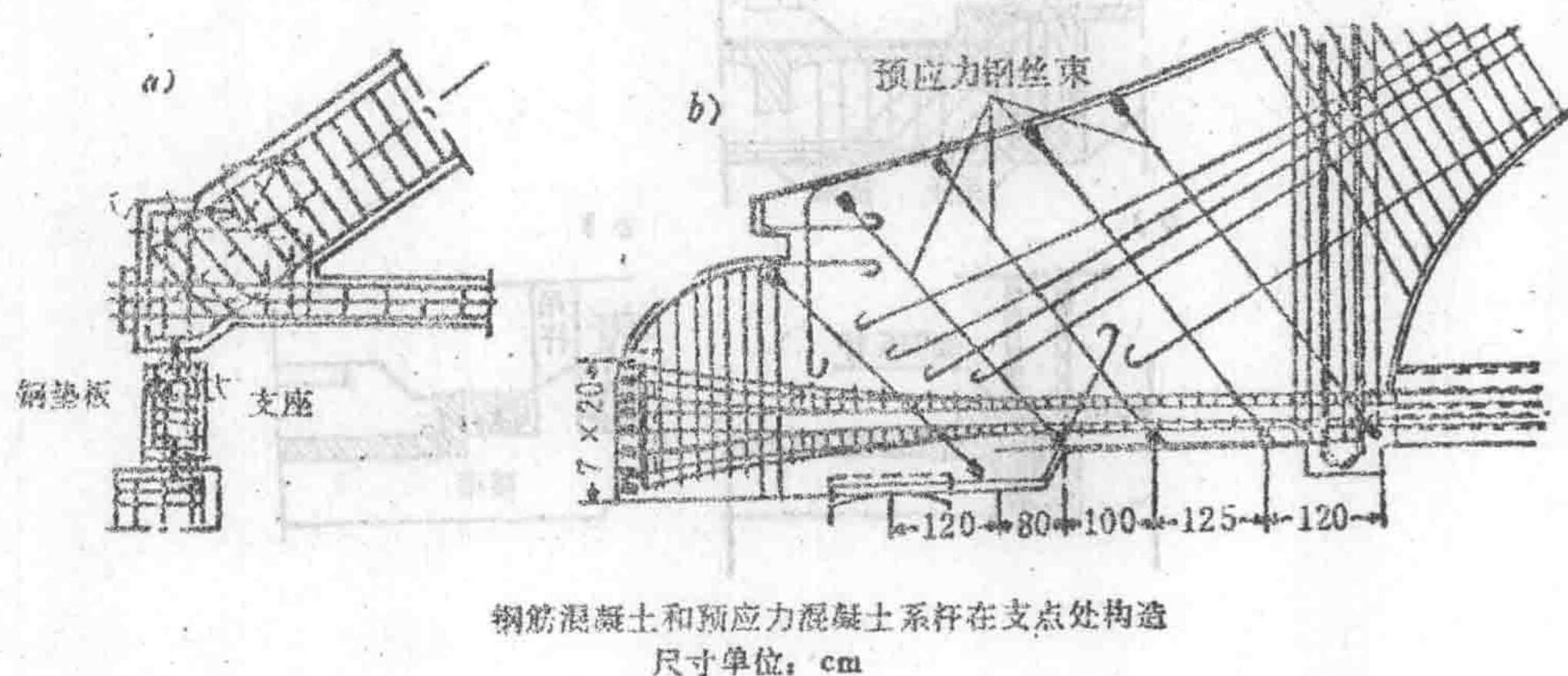


图 1—4 钢筋混凝土和预应力混凝土系杆在支点处构造
尺寸单位: cm

根系杆使用4~8束每束由10~12根 $\phi 7$ 的高强钢丝所组成。

吊杆是细长杆件，一般用钢筋混凝土或预应力混凝土制造，截面为矩形，且在顺桥方向为短边，横桥向用长边，以加强拱肋的横向稳定性。也可采用钢吊杆。

二、刚性系杆柔性拱桥的构造

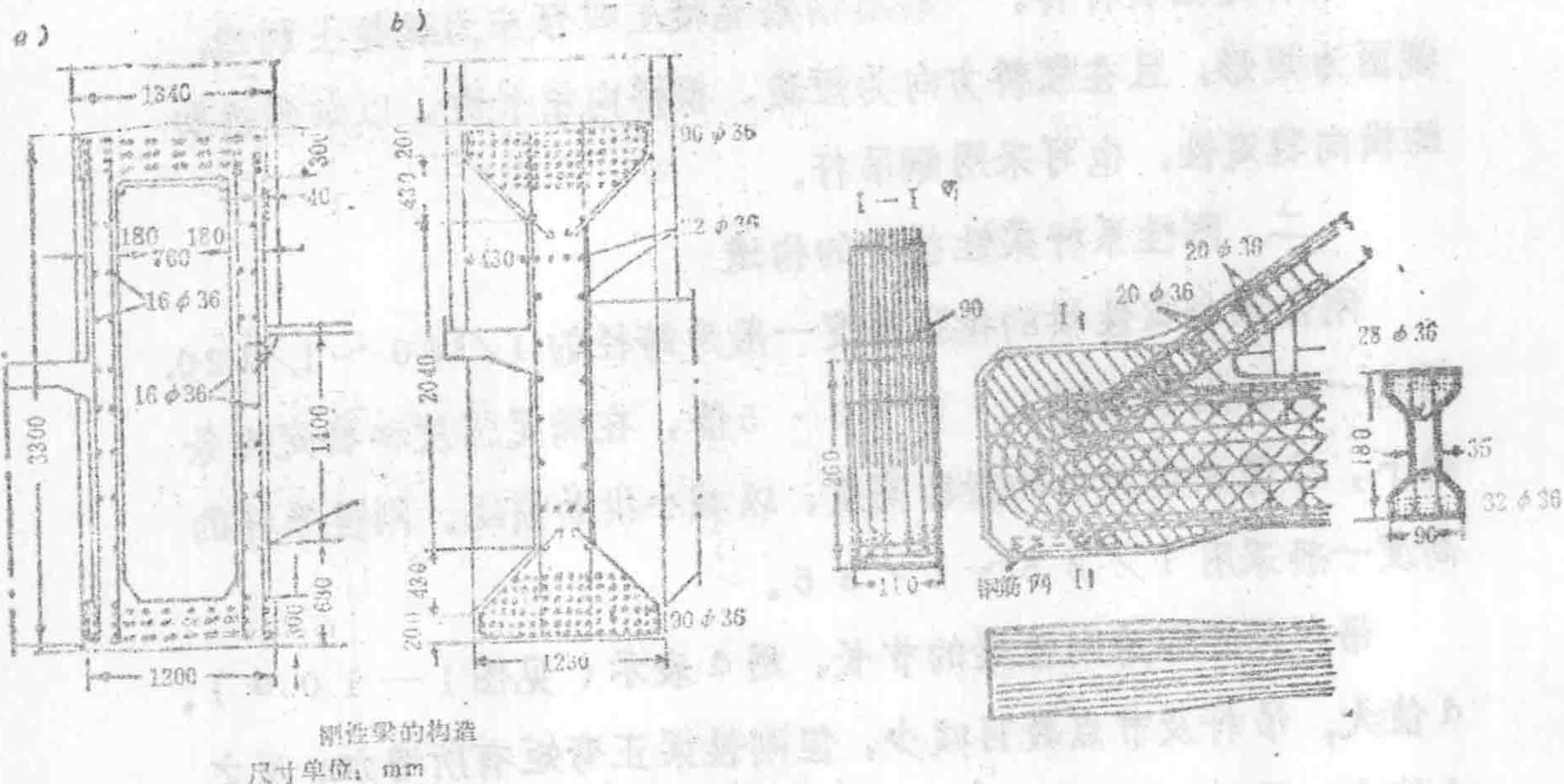
刚性系杆柔性拱的拱肋高度一般为跨径的 $1/100 \sim 1/120$ ，肋宽一般采用肋高的 $1.5 \sim 2.5$ 倍，在满足强度和稳定的条件下，尽量采用较小的拱肋高度，以减小拱肋惯性矩。刚性系杆的高度一般采用 $1/25 \sim 1/35$ 。

吊杆间距即为刚性梁的节长，用 d 表示（见图1—10a）。 d 值大，吊杆及节点数目减少，但刚性梁正弯矩有所增加；反之 d 值小，吊杆数目增加，但刚性梁的正弯矩有所减少。两者相抵，对技术经济指标的影响不大。沿刚性梁一般采用相等的 d 值，有时为了美观或构造上的要求，可使端节间的 d 值稍大。

由于拱肋本身的横向刚度较大，加上吊杆和横梁组成半框架，在一般情况，拱肋之间可不设横撑就足以保证侧向稳定。因此，刚性系杆柔性拱桥可设计成敞口桥，视野开阔，桥型美观。

刚性系杆是偏心受拉构件，一般设计成工字形或箱形截面。由于正负弯矩的绝对值一般相差较小，钢筋可尽量靠近上下缘对称布置。沿梁高布置防裂钢筋（图1—5）。刚性梁可用预应力混凝土或钢筋混凝土制造。

刚性系杆和柔性拱肋的连接，应保证系杆钢筋的末端可靠地扣结，能将拱肋的内力均匀地传递给系杆钢筋。图1—6中，由于刚性梁中受力钢筋是上下对称布置，可将上下钢筋末端连续形



刚性梁的构造

尺寸单位: mm

图 1—6 刚性系杆与柔性拱肋的连接

图 1—5 刚性梁的构造

尺寸单位: mm

构造 (尺寸单位: cm)

成半环, 它传给环内混凝土以辐向的压力。为了更好地把这个力传给混凝土, 在环内布置横向分布钢筋。拱肋钢筋伸至位于系杆钢筋环内部的受压混凝土核心中。在钢筋环下即支座承压部分布置有分布钢筋。此外, 节点范围布置有斜向箍筋承受主拉应力。这种构造可以用于高度较大的刚性系杆中, 支承节点中的钢筋环可以采用较大半径 (不小于钢筋直径的 10 倍) 弯转, 以保证可靠锚固。

吊杆与拱肋的连接形式, 可将吊杆内的钢筋环绕浇筑在拱肋混凝土中的管子弯转扣结, 并将钢筋末端锚固 (图 1—7 a) 或将钢筋末端环绕拱肋内粗钢筋弯转, 然后焊牢, 以形成环扣。当采用钢吊杆时, 可把吊杆直接悬挂在埋入拱肋中的槽钢或其他劲性钢筋上 (图 1—7 b)。在设吊杆处, 为了加强吊杆与拱肋的联结, 在该

处应设吊筋加强。

刚性系杆与吊杆的连接，由于刚性梁的高度较大，能把吊杆钢筋末端伸进混凝土很长，扣结是没有困难的。

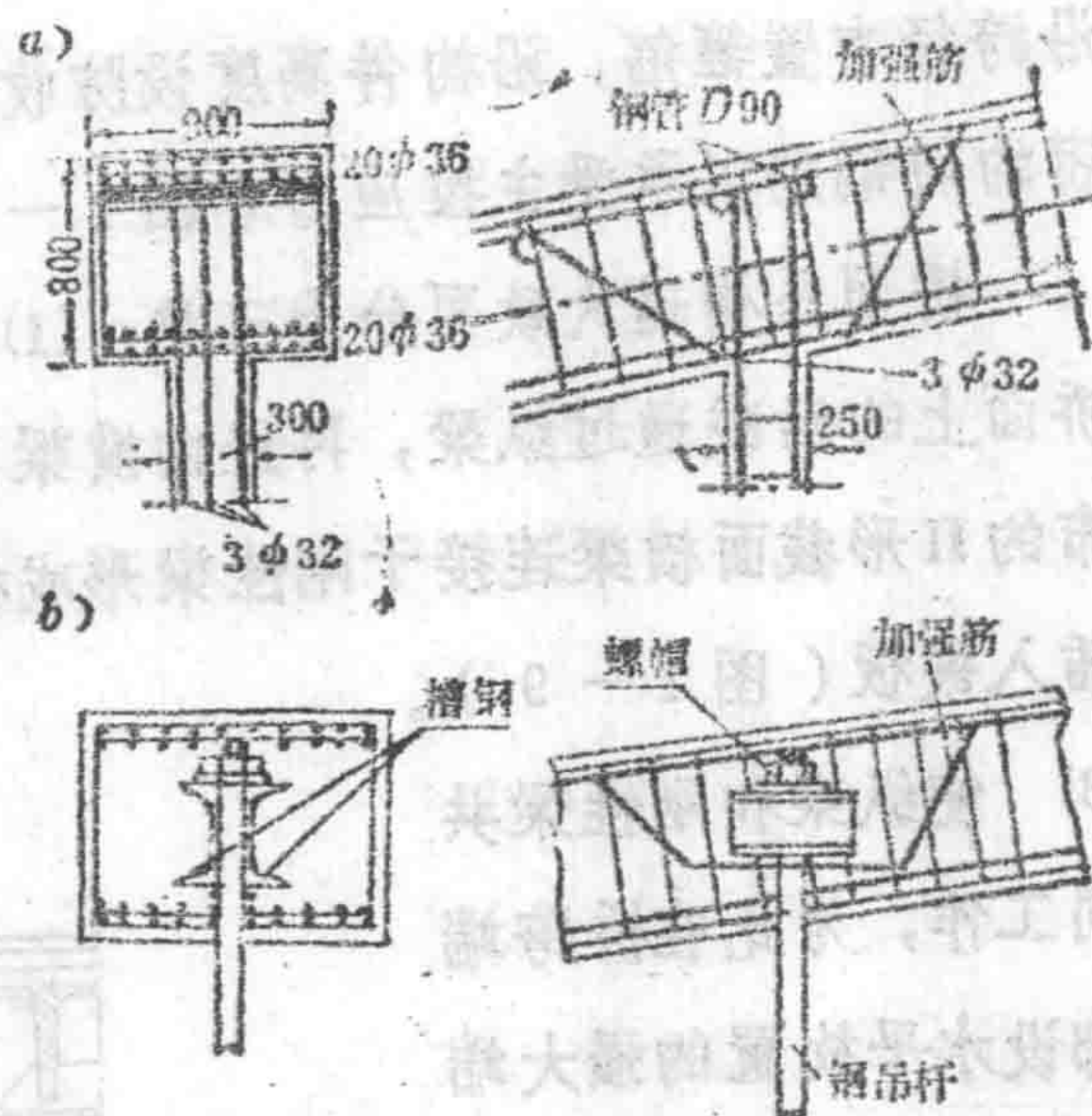


图 1—7 吊杆与拱肋的连接 (尺寸单位: mm)

三、刚性系杆刚性拱桥的构造

拱肋和系杆的截面常设计成相同的形式，一般可用工字形或箱形截面。采用工字形截面时，系杆和拱肋常采用相同的宽度，但系杆的高度常为拱肋高度的 1.4 倍。钢筋靠近上、下缘对称布置以满足正负弯矩的需要。

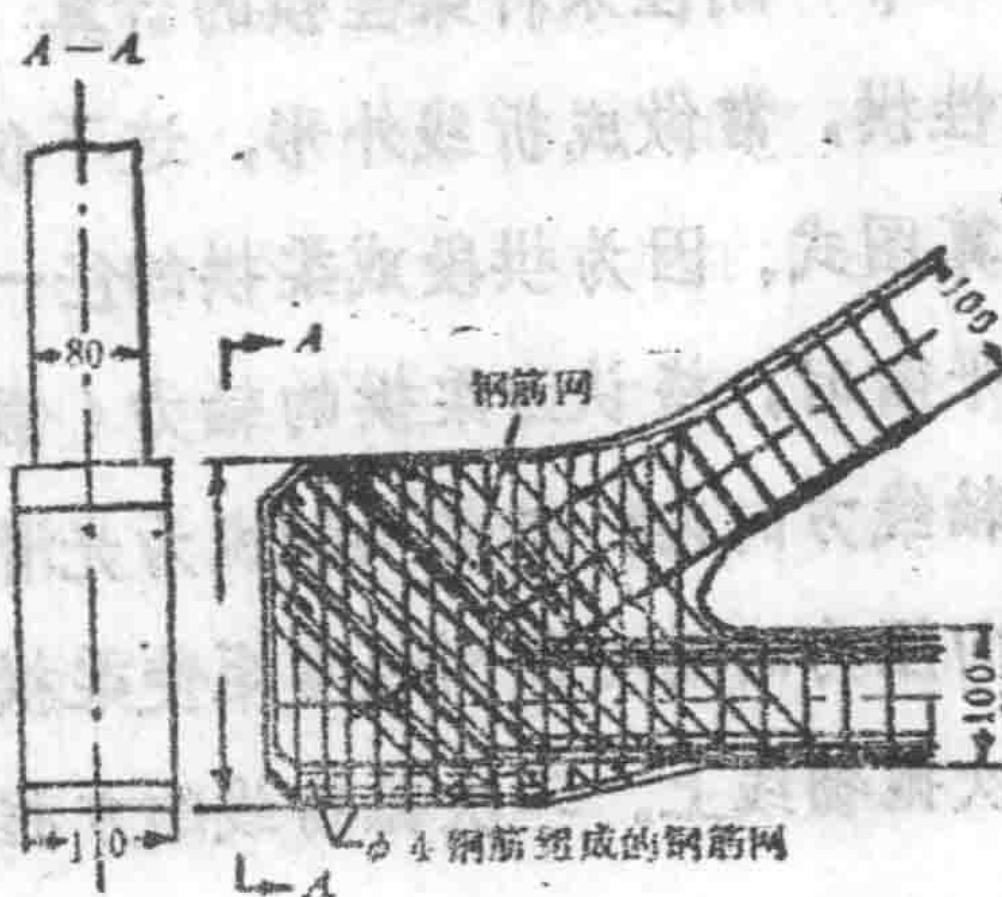


图 1—8 刚性系杆与刚性拱肋的连接 (尺寸单位: cm)

沿跨径布置箍筋，沿构件高度设防收缩钢筋，在支点附近布置较密的斜钢筋以承受主拉应力（图 1—8）。

桥面系构造大致可分为三类：(1) 由纵横梁组成的梁格形成，桥面上的活载通过纵梁，再经由横梁而作用于刚性梁；(2) 用密布的 II 形截面横梁连接于刚性梁形成桥面，也可在 II 形横梁之间插入嵌板（图 1—9）。

(3) 使纵梁和刚性梁共同工作，为此在桥跨端部设水平放置的强大端横梁，将纵梁和刚性梁连在一起使它们共同承受轴向力，并在纵梁和

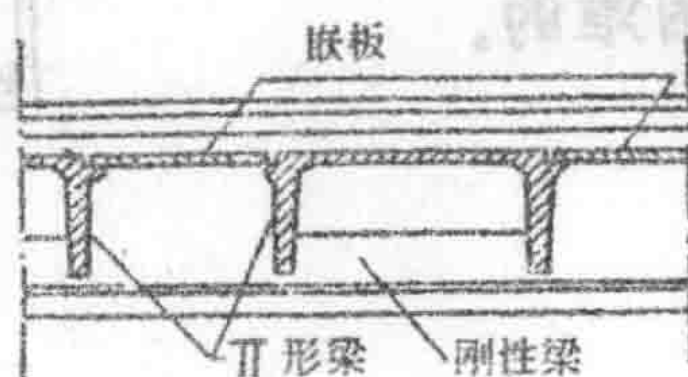


图 1—9 II 形横梁和嵌板

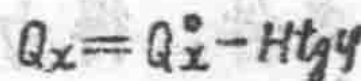
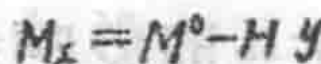
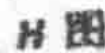
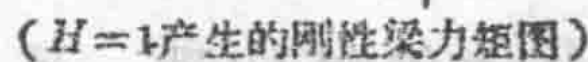
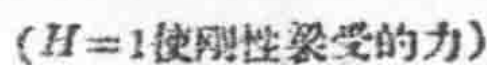
刚性梁之间设竖向布置的刚劲横隔梁使它们共同承受弯矩。

系杆拱的支座可用钢筋混凝土或钢支座。

第二节 刚性系杆柔性拱的计算

对于柔性拱，常做成折线外形，这不仅施工方便，而且比较符合受力计算图式。因为拱段或柔拱的任一节点分别作为脱离体而研究力的平衡时，将认为柔拱的轴力（假定无弯矩）是作用在折线拱段的轴线方向内。若柔拱轴线为光滑曲线的话，柔拱拱段中部将因轴向压力的偏心而引起弯矩使柔拱工作恶化。柔拱的各节点位于二次抛物线上。二次抛物线的方程式为（图 1—10）

$$y = \frac{4fx(l-x)}{l^2} \quad (1-1)$$



- 29 -

或

$$y_1 = \frac{4f x_1^2}{l^2} (1 - 1 a)$$

式 1-1 以左拱脚为坐标原点，式 1-1 a 以拱顶为坐标原点。这里 f 表示矢高，从拱顶到拱脚之间的垂直距离，并以拱轴和竖直支承反力的交点称为拱脚，拱脚和刚性梁重心轴之间的竖直距离称为偏心距，用 e 表示。让结构具有一定的 e 值，端节点的构造可以布置得较为紧凑，且沿刚性梁的最大正弯矩有所减少而最大负弯矩有所增加，使沿刚性梁的正负弯矩值趋于相等，刚性梁有可能采用上下对称的截面形式。当然，布置上也可使 e 值为零。 l 表示跨度。见图 1-10 a。

一、内力影响线的计算

由于假定拱肋和吊杆是柔性的，不能承担挠曲，因此吊杆上端与拱肋的节点作为铰链处理。吊杆下端与刚性梁的连接则视为铰接。这样，刚性系杆柔性拱为内部一次超静定结构，其计算图式如图 1-10 b。

1. 求赘余力 H 的影响线

为了求赘余力，一般在拱顶将柔拱切开，取拱的推力 H 为赘余力，得基本体系（图 1-10 b₁）。根据拱顶处相对水平变位为零的连续条件，得力法正则方程式：

$$H \delta_{HH} + \delta_{HP} = 0$$

因而

$$H = - \frac{\delta_{HP}}{\delta_{HH}} \quad (1-2)$$

式中： δ_{HH} —— 在一对 $H=1$ 作用于切口时使基本体系的切口