

钢桥施工技术 (一)

邱式中

钢桥施工技术应包括下部结构施工、上部结构施工两部份, 这里下部结构施工从略, 上部结构施工指梁、拱圈、索等钢结构施工技术。

总体讲在大跨度桥梁施工中, 钢桥施工要比预应力钢筋混凝土桥轻盈和方便, 这主要得利于构件轻, 而构件轻又是高强度、高弹性模量所致。

一、钢梁拱圈的施工

一般对于梁、拱圈的施工可归纳为以下几种方法: a) 支架法; b) 顶推法(对于钢桥可为伸臂法、钓鱼法、浮运法); c) 旋转法; d) 悬臂法; e) 大型设备施工法等诸方法。

1、支架法

1) 支架法多用在无交通要求, 且离地面较低情况。对于钢梁, 由于是拼装后一次就位, 或逐次拼装向前延伸, 一般情况只需两端搭设支架, 不像预应力钢筋混凝土梁, 需满堂排架(或鹰架)现浇或拼装。

2) 支(排)架构造

支(排)架由基础、受力柱、卸架装置(如砂筒等)、纵横梁和满足纵横向稳定的剪刀撑等组成, 见图1。

3) 预留拱度考虑

支(排)架预留拱度需考虑下列因素:

- a、控制支(排)架基础沉降;
- b、控制支(排)架竖杆接头数, 减少非弹性变形;
- c、增大受力柱刚度, 减少弹性变形;
- d、考虑卸拱装置的变形值。

4) 卸荷

卸荷目的, 一是使梁(拱)逐步受荷至全部受荷, 二是通过卸荷使支(排)架成为无受力状态, 便于拆除。

5) 当然对于大跨度钢拱桥, 例如上海卢浦大桥主桥100米岸跨段70米水上段, 采用预制钢筋混凝土打入桩作基础。其上为现浇钢筋混凝土承台, 大型钢排架承受双块。每块100多吨的箱型

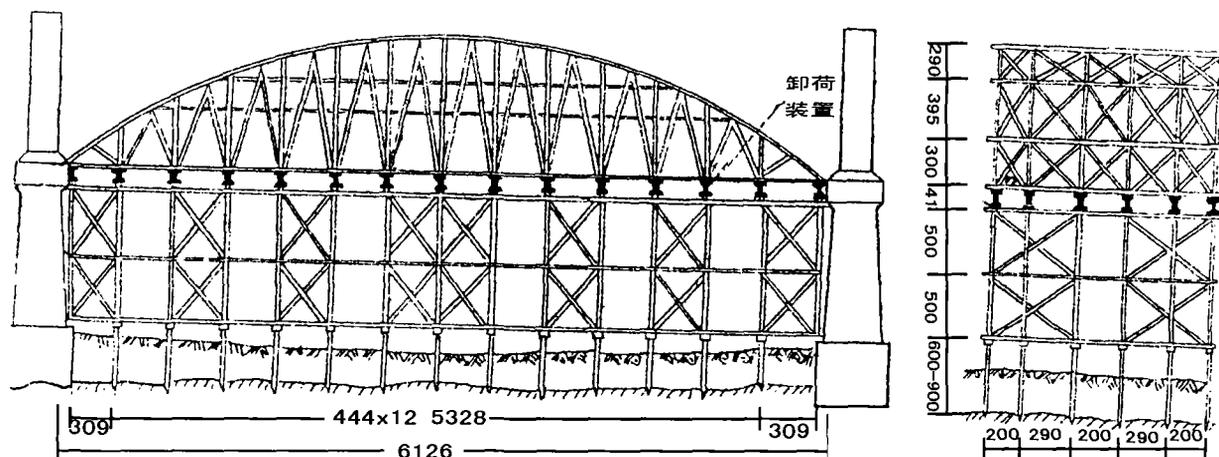


图1 典型排架图

邱式中: 上海市基础工程公司 教授级高工

栏块及K型横向联系,拱块上受力钢柱和箱型系梁等重量见图2。

2、伸臂、钓鱼、浮运法

伸臂法、钓鱼法等应用用在等截面的预应力钢筋混凝土连续梁上,与顶推法相比较简捷、轻便。不象顶推法利用大量千斤顶(后座千斤顶和每只墩上千斤顶)和四氟乙烯板对预制好的梁逐次顶进,而是借助平衡重逐渐伸臂架设或一般的牵引设备象钓鱼似的牵引过江就位。

1) 伸臂法架梁

在桥位于不用临时脚手支撑,而是先装靠岸的两孔,从这两孔将杆件用“伸臂”原理,一节一节向江心挑出,做成桁架梁、搭上桥墩,然后再伸臂挑出,直到桁架梁合拢为止,称为伸臂法。例如武汉长江大桥九座钢梁都是用“伸臂法”安装的。靠岸的两孔先用“平衡法”进行伸臂架设,就是在引桥上利用正桥钢梁先装一段“平衡梁”,例如武昌岸长128m,然后借着平衡梁的牵挽,

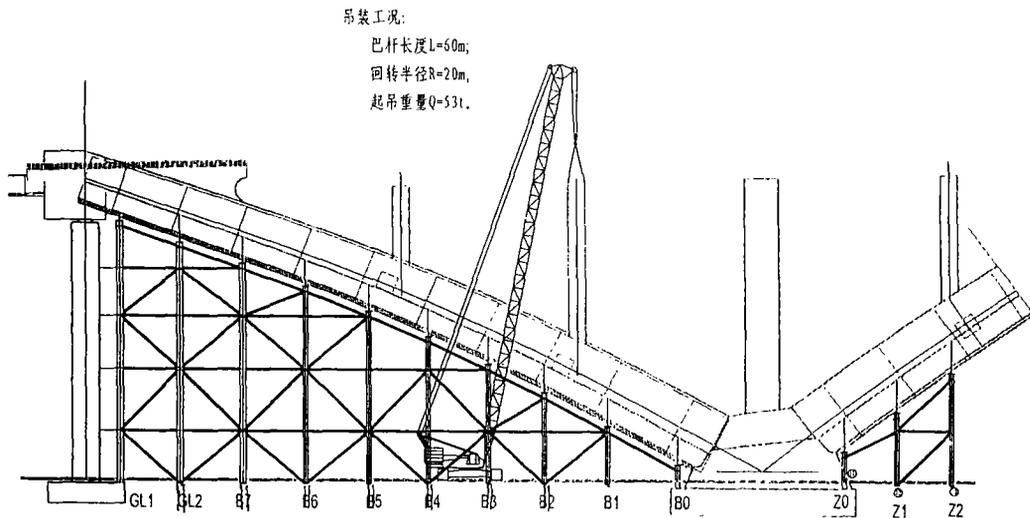


图2 上海卢浦大桥100m岸跨段70米水上段钢排架图

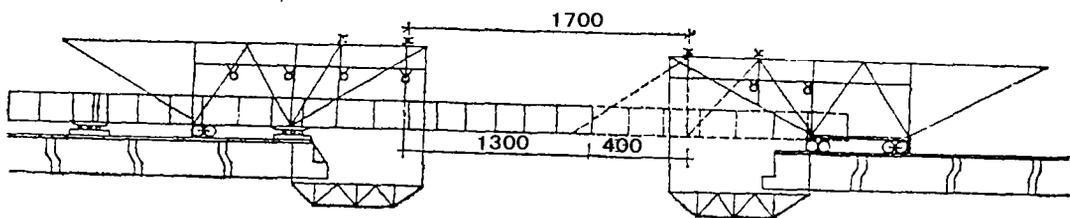


图3 钓鱼法吊梁示意图

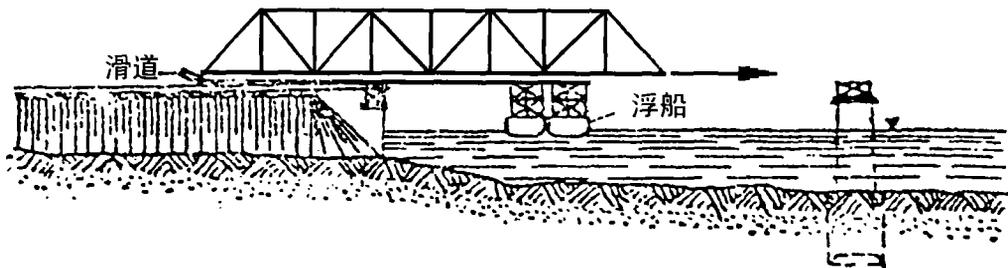


图4 纵向浮运架梁

将正桥构件一节一节地从岸上挑出，最大的构件重35吨，直到对面桥墩上的“托架”。然后将平衡梁拆除，再用作正桥钢梁。第一孔安装后，第二孔就以第一孔为平衡梁，仍用上法逐节挑出架设，象这样由两岸向江心推进，最后在距武昌岸第三个桥墩处合拢。安装钢梁时，使用了“双动臂吊机”和“单动臂吊机”，在联结各杆件结点板时，在工地上打了1百多万个铆钉。

2) 钓鱼法

钓鱼法是利用钢梁刚度大特点，一端伸臂向前延伸。在达到一定变形后，由对岸或墩上的吊机、挂篮等起吊设备，象钓鱼一样，吊住梁的前端，成为一个弹性支座，一端逐渐向前伸，另一端相应逐渐收紧，一点一点地达到彼岸，见图3。

该图为泖港桥为吊装跨中30m大梁时，用的穿心式 $2 \times 2\text{m}$ 双拼34m长万能杆件承重梁采用钓鱼法就位时情景。先利用卷扬机将34m、 $2 \times 2\text{m}$ 万能杆件承重梁先伸出14m，然后再用挂篮将承重梁送出去至25m，再利用另一端挂篮将吊点挂在梁前端，这端逐渐用卷扬机送出，同时另一端钓鱼似的相应收紧，至到对岸为止。

3) 浮运法架梁

在可以航行的河、湖中，可采用浮运法架设钢梁。

①纵向拖拉浮运法。拼装好的钢梁，沿码头

或桥墩延伸一段距离，然后船体介入托住钢梁，再向前移动至预定岸墩，落梁就位或趁潮水降落就位，见图4。

②横向拖拉浮运法。钢梁摆放在有支承墩的两艘平驳船上(可以是拼接的)，使之梁比岸高出，待拖至预定桥位时再趁潮水或抽水落梁(备降落水箱或可落架之设备，见图5。

3、旋转法架梁(桥梁水平转体法)

此法与桥下空间无关，是跨越深谷、急流、铁路、公路等特殊条件下的有效方法。该法国外多用在PC连续梁和小跨径斜拉桥上，见表1，为数不多。西德多瑙河上的维英(wien)桥曾成功地应用于此法，我国应用的较国外为多，据不完全统计到2000年为此有近45座，其中大部分为桁架

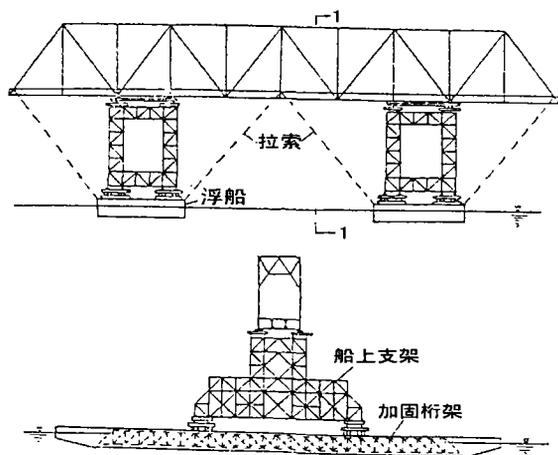


图5 横向拖运梁

表1 国外部分平转法施工桥梁

序号	桥名	桥型	国名	跨径(m)	平转重量 t	年份
1	威悉河桥	PC连续梁	德国	46.5+87+46.5		1975
2	多瑙河运河桥	斜拉桥	奥地利	56+119+56	4000	1976
3	运河桥	T型钢构	原东德	53+52		1976
4	梅兰桥	人行斜拉桥	法国	23.4+79+23.4		1982
5	伊尔霍夫桥	斜拉桥	法国	20+79+20		1982
6	东海道支线桥	钢梁桥(铁路)	日本	62.4	280	1982
7	拉夫雷舍卢瓦河桥	PC连续桥	法国	26+64+26		1984
8	丰特纳尔桥	连续梁	法国	29+68.3+29		1984
9	梦之岛桥	钢梁/铁路	日本	96+93+80	1200	1988
10	本-艾因桥	斜拉桥	比利时	3-42+168	19500	1991
11	Tgv铁路桥	PC连续桥	法国	60+100+60	4000	1999

表2 国内部分平转法施工桥梁

序号	桥名	桥型	桥跨(m)	转体重 t	转体角度	转体历时(min)	铰的形式	建成时间	备注
1	建设桥(四川遂宁)	箱肋拱	70	1200	143	240~270	钢板、四氟板	1977.3	有轴心
2	小金桥(四川)	桁架拱	46.8	365	90	90	钢球铰平衡轮	1978.10	
3	宗科桥(四川)	桁架拱	50	526	98~112	150	钢球铰平衡轮	1979.11	
4	松树坳渡槽(四川健为)	桁架拱	51.73	347			钢球铰平衡轮	1979.11	
5	曾达桥(四川金川)	独塔斜拉	71+40	1344	90	150	混凝土球铰平衡轮	1980.9	
6	枣科桥(四川壤塘)	桁架拱	50	526	87~92	250	钢球铰平衡轮	1989.11	
7	鲁班水库桥(四川三台)	钢桁架	35	50	90	30	混凝土球铰平衡轮	1980	
8	鲤鱼塘桥	箱肋双曲拱	80	1630	100~180	360~480	钢板、四氟板	1981.4	贵州翁安县
9	穿洞子桥	双曲拱	36	260		120	钢球铰平衡轮	1981.11	四川黑水县
10	渔巴渡桥	双曲拱	30	274	95	120	钢球铰平衡轮	1981.11	四川黑水县
11	核桃坪桥	桁架拱	40	292	124	90	钢球铰平衡轮	1982.11	四川卧龙区
12	洪溪桥(湖南洞口)	刚架拱	40	322	119~135	90~110	混凝土球铰平衡轮	1983.8	
13	安定桥(四川木里)	桁架拱	45	460	130	59	混凝土球铰平衡轮	1983.12	
14	绕腊桥(四川南平)	刚架拱	30	192		61		1983.12	
15	镇江关桥	桁架拱	35	382	30~90	60		1984	四川
16	杨村流槽桥(江西庆平)	钢架拱	67	440	100	15	钢球铰平衡轮	1984	
17	前进桥(山东济南)	刚架拱	40	836	90~180		混凝土球铰平衡轮	1985.5	
18	跨线桥(江西贵溪)	斜腿刚构	30	1100	46	70	混凝土球铰平衡轮	1985.8	
19	石背桥(湖南洞口)	箱拱	90	1666	93~105	150~255	混凝土球铰平衡轮	1986	
20	幸福桥(四川壤塘)	桁架拱	21				混凝土球铰	1986.9	
21	友谊桥(四川壤塘)	桁架拱	29				混凝土球铰	1986.9	
22	团结桥(四川壤塘)	桁架拱	44				混凝土球铰	1986.9	
23	龙门桥(四川巫山)	箱拱	122	424	29~103	1440	上下转轴, 锚桩	1987.6	
24	游垄桥	双曲拱	60	38	110~133	45~90		1987	湖南资兴
25	抚边桥(四川小金)	斜腿刚构	31	750				1987	
26	涪江桥	箱拱	65	1800	101~127	210	钢板四氟板	1987	广西崇左
27	水厂人行桥	肋拱	50					1987	江西
28	古揽桥(广东罗定)	刚架拱	60	640	110~111	2~180	混凝土球铰平衡轮	1987.12	
29	仙人桥(湖南保靖)	刚架拱	80	1570			混凝土球铰平衡轮	1988	
30	乌江桥	箱拱	200	750	180~200			1988	
31	四川绵阳桥	T型刚构	70	2350	49	48	混凝土球铰	1990.5	采用砗码车
32	三道沟桥(湖北巴东)	刚架拱	35	850	80		混凝土球铰平衡轮	1990	
33	红水河桥	箱肋拱	120					1990.6	广西
34	清水河桥	独塔斜拉	95+60					1991	湖南江华
35	漠沙桥	双曲拱	65+65	3000				1992	云南
36	西安亭桥(广东)	T型刚构	128	3000				1992	
37	景阳桥	箱拱	14	830				1992	湖北
38	铜川立交桥(陕西)	T型刚构	20+20	1200	25		混凝土球铰	1993	
39	黄柏河桥(三峡)	钢管混凝土拱	160	3600	180~110	150	球铰上下盖钢板, 有转轴	1996.1	转体动力为100t连续千斤顶
40	下牢溪桥(三峡)	钢管混凝土拱	160	3600	180~111	150	同上	1996.2	同上
41	云里桥(江苏苏州)	连续梁(空腹)	35+75+35	1970	90	160	混凝土球铰和不锈钢板四氟板平面铰, 有转轴	1998	转体动力为4台YCW100千斤顶4-3Φ15钢绞线束
42	都拉营桥(贵阳环城高速公路跨越川黔铁路立交桥)	T型刚构, 两个T构平转, 每端悬臂44m	55+90+55	7100(6940)	773	2#-403#-平转阻力5000KN为设计值5倍	平面钢板铰, 8个混凝土支腿, 间隙50-80mm	1998.8	6台2TD200连续千斤顶配9-Φ15钢绞线束
43	大里营铁路立交桥	刚索斜拉	主跨50m, 边跨40.75m	3040	49	105	混凝土球铰, 硅脂四氟粉	1997.8有副滑道	2-2台70t千斤顶串联, 配钢绞线束
44	北盘江桥(水柏铁路桥)	钢管混凝土拱	主跨236m	8100	113		凹形钢板球铰有转轴	1997.8	施工中单点平转200t连续千斤顶
45	丫髻沙桥(广州)	钢管混凝土拱	76+360+76中承式	两半拱先竖转再平转	两边拱为钢筋混凝土	肋拱	平转重量13600t	1999.10	合龙

拱、箱型拱、钢管拱、双曲拱、刚架拱桥，还有连续梁桥、独塔斜拉桥等，其跨径远大于国外，像转体重 8100 吨的主跨 236 m 的北盘江钢管混凝土拱桥，又像四川金川曾达独塔斜拉桥等。见表 2。

1) 平转法原理

平转法将梁式桥、斜拉桥或拱圈分为两个半跨，在桥位两侧利用地形作简单支架。预制钢梁拱圈或混凝土浇注，如用扣索锚固桥台尾端等措施，预加应力使之拱圈或使梁脱架，借助台身预先设置四氟乙烯 (C_2F_2) 环形滑道，用卷扬机或千斤顶系列牵引，转体一定角度使之合拢，然后将桥架成。此法关键为转动体系。

2) 平转过程的支撑方式

我国一般情况下多采用单点支撑，利用结构的对称性或附加平衡重方式，实现对转铰承重的平转，对于跨度较大，纵横向稳定要求高时，可采用多点支撑。

3) 副滑道

对于跨度大、转体结构高和纵横向稳定要求严的大型工程，可采用副滑道。例如大里营钢性索斜拉桥就是如此。

4) 秤重千斤顶

这是一种辅助措施，在单点支撑平转时，可

在平衡盘上下布置秤重千斤顶，保证平转顺利实施。

5) 转动设备

70~80 年代初期，采用卷扬机滑轮组牵挽，90 年代后，采用钢绞线束、群锚、穿心式千斤顶和拉锚式千斤顶新技术，为准确就位奠定了可靠基础。

6) 实例

①维英桥为双塔三孔连续体系，主跨 119m，边跨 55m，主桥 229m，斜交于运河 45°。此桥两岸各 111m，在岸边路堤上用支架法现浇混凝土，待达到一定强度的进行梁内预应力束张拉，再穿斜拉索，张拉大索、脱架，完毕后可将塔下的三角形塔墩在基础上转动，就位。

此法的关键为支座处转盘及梁后端圆弧滑道。维英桥的转盘是由橡胶层、四氟乙烯板 (C_2F_2) 钢板、混凝土垫和石英砂盘组成，见图 6。旋转时，在梁后端设一圆弧滑道以供施力旋转，均稳定后方用，须验算滑道支点反力对梁的弯距与剪力、整体稳定性与主梁的受扭。

②我国四川省金川桥是主跨 70m、4m 单车道加 2×0.75m 人行道的公路独塔斜拉桥。其支座转盘用球面轴的转盘，是用土法上马的，施工方便成本低。

金川桥施工流程为：搭设支架 → 浇注主梁混凝土 → 塔架并吊装就位 → 穿索张拉 → 轻动就位，见图 7、图 8、图 9。

转动支座构造与施工：转动支座分为上盘、下盘二部分，下盘与桥墩相连。上盘与箱梁相连，安全平稳地转动。要求上盘转动重量的合力成为下盘轴心的中心线相重合，如图所示，完全重合是瞬间的，轻动过程是在平衡、不平衡中实现的，只是因为偏心矩很小，为使荷载均布由上转盘传至下转盘和满足顺利水平转动要求，必须将下盘轴从顶面做成球面。

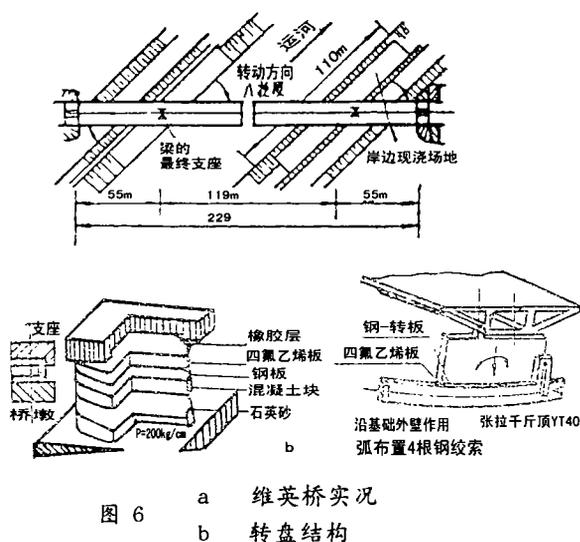


图 6

a 维英桥实况
b 转盘结构

4、悬臂施工法

悬臂施工法是梁施工中应用最广泛的一种方法，这的优点是施工与桥下交通不干扰，在高桥位时，可以避免繁重的脚手搭设。在深山峡谷及交通繁忙的河道，往往采用此法。

预应力钢筋混凝土桥，多采用挂兰悬臂现浇和挂兰悬臂拼装方法。由于挂兰承受梁重，其挂兰重常为梁重的 1/3 多，例如济南黄河桥挂兰重约 150t、承重 4m 现浇梁段，而斜拉索间距为 8m，其中为维持施工，加了许多纵向预应力索；再者柳港桥为预制拼装，挂兰要承受近 100t 梁重，同

时又要满足挂兰装备起重和运输预制块件的设备，挂兰总重得 40t，为了克服挂兰在施工中的重量引起的内力，常不得不布置相当数量预应力束。而钢桥，其挂兰仅负责施工中的施工荷载（设备和人荷），固而常设计成轻盈的安全平台，并固定在已安装好的梁底轨道上，这样就实现了安全平台加桥面吊机的施工方案。南浦大桥、杨浦大桥均为如此，见图 10、图 11、图 12、图 13、图 14。

1) 临时固结技术

对于大跨径斜拉桥，当连接型式除塔梁墩全固结型式外，均需采用临时固结措施来消除由于

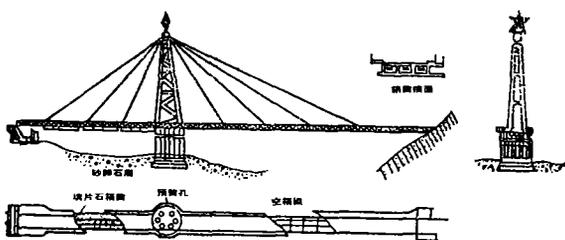


图 7 金川桥结构图

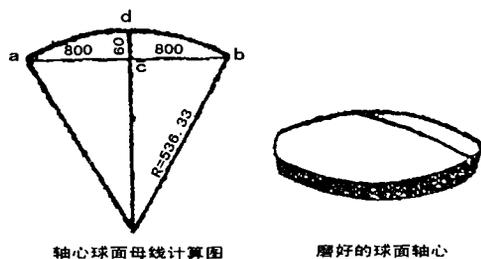


图 9 金川桥球面结构

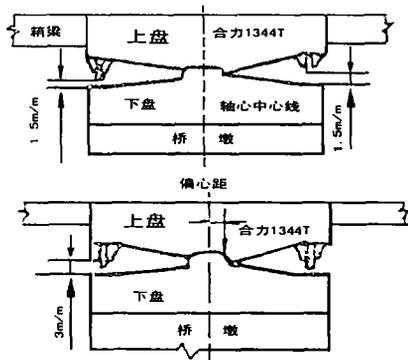


图 8 金川桥转盘结构

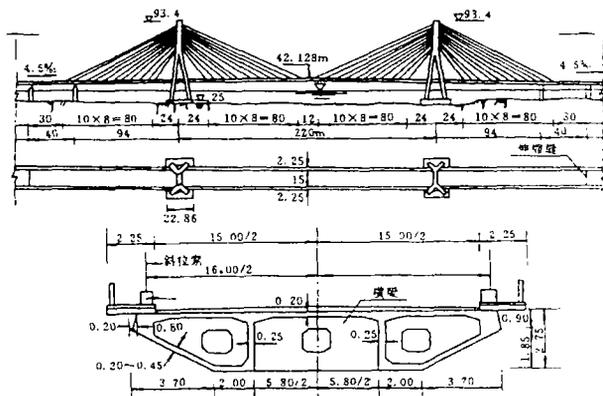


图 10 山东济南黄河桥

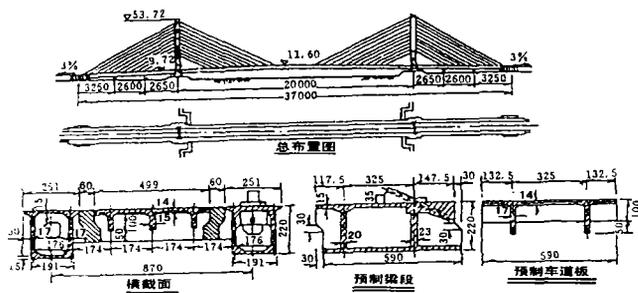


图 11 柳港桥结构图

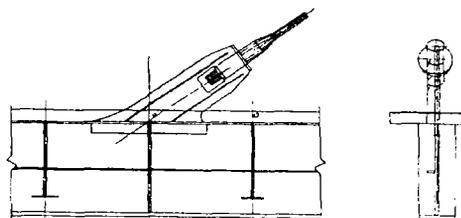


图 12 金川桥球面结构

不平衡弯矩和 10000KN 纵向水平剪力的临时措施图。

2) 悬臂施工顺序

大跨度桥梁在 0# 段完成后, 将挂兰或桥面吊机安置好, 便进行悬臂施工。于南浦桥或杨浦桥为安全平台、桥面吊机对称桥墩的双悬臂施工。

图 17 a.b.c.d 为主跨 602m 杨浦大桥岸跨 23 施工段, 河跨 31 个施工段施工顺序图。

3) 合拢段施工

合拢段施工有强制法合拢和自然合拢两种, 强制合拢多用在预应力钢筋混凝土桥上, 对于南浦桥、杨浦桥采用了自然合拢法。

① 合拢温度确定

合拢温度持续时间, 应能满足钢梁安装就位

及高强螺栓定位所需时间。例如南浦大桥合拢温度根据 1981~1990 年 6 月 5 日 ~15 日气象档案有关资料确定降温合拢。最高温在 14 时, 最低温在 5 时, 2~6 时气温变化不大, 确定 22°C 为合拢钢梁的下料气温和合拢气温。

② 合拢段长度确定

合拢段长度应当是在实测全桥温度变形基础上确定, 特别是接近合拢段的中孔段的钢梁随温度的规律。例如南浦桥曾 24 小时连续实测浦东 11# 段, 浦西 10# 段钢梁之间距离 (即浦西 11# 加 12# 合拢段长度), 同时考虑已拼好钢梁桥面长度随气温变化, 而留下适当余量, 以及斜拉索纵向水平分力对钢梁的作用因素, 最后确定为 12.20 米。而杨浦桥确定为 5.5 米。

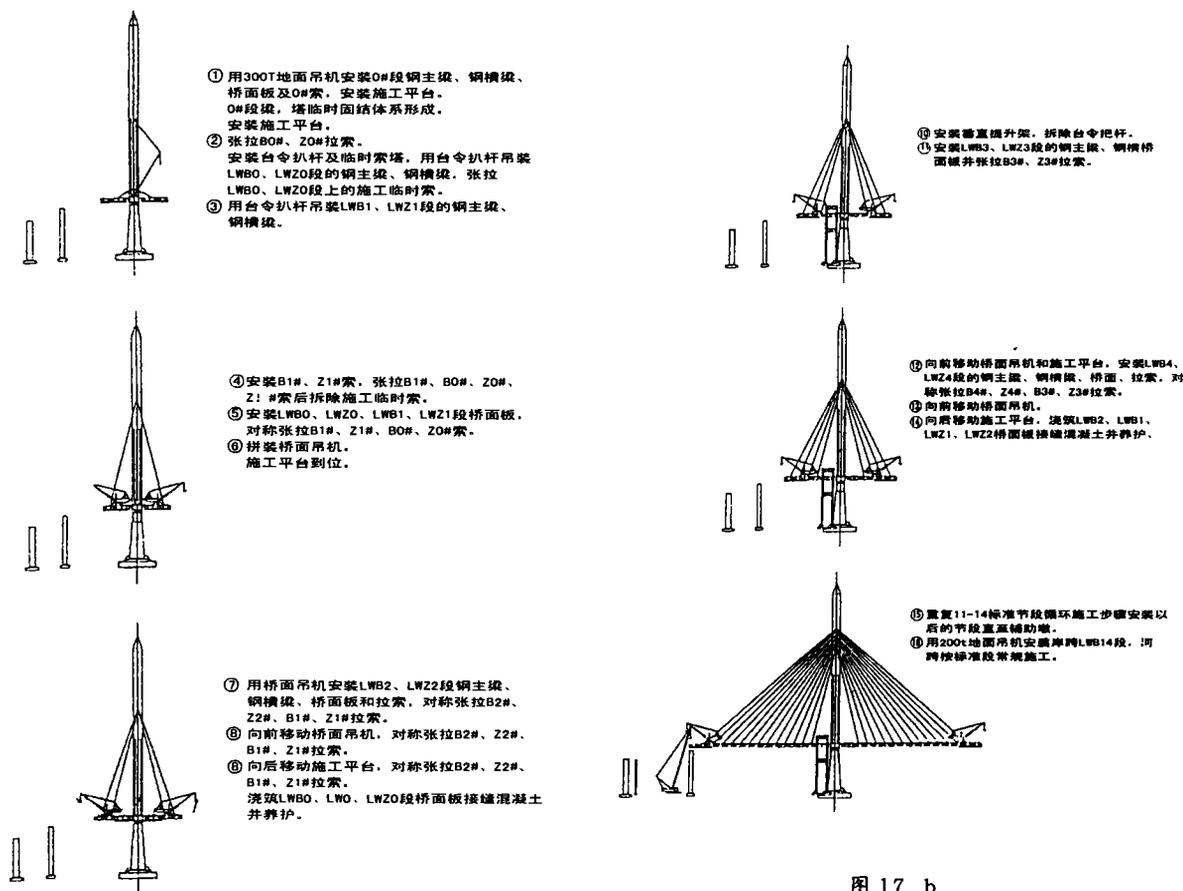


图 17 a

图 17 b

③合拢段安装

合拢段钢梁安装是一个抢时间、争速度的施工过程，必须在规定时间内完成。因此必须作好充分准备，钢梁应预先吊装就位，一旦螺孔位置平齐，即打入冲钉，施拧高强螺栓，确保合拢一次完成。

南浦桥合拢段主梁与东西 11# 段钢梁空隙为 4.5mm 和 20mm，共 24mm。6 月 8 日下午 3 时开始，将合拢段主梁吊入空挡，先将浦东 11# 段梁打入

冲钉、拧紧高强螺栓，等待气温下降，到晚 8 点 30 分，合拢一次成功。

4) 临时固结介除

中孔梁一旦合拢，必须马上介除临时固结，否则由于温度变化所产生的结构变形和内力，合拢结构难以承受。因此在合拢段钢梁高强螺栓施拧完毕后，立即拆除临时固结。南浦桥在晚 8 点 30 分完成一次合拢后，当夜将临时固结拆除了。杨浦大桥也皆是如此。

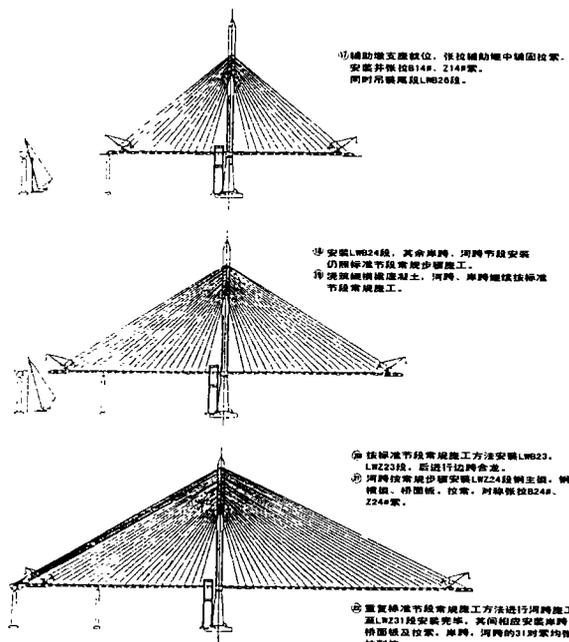


图 17 c

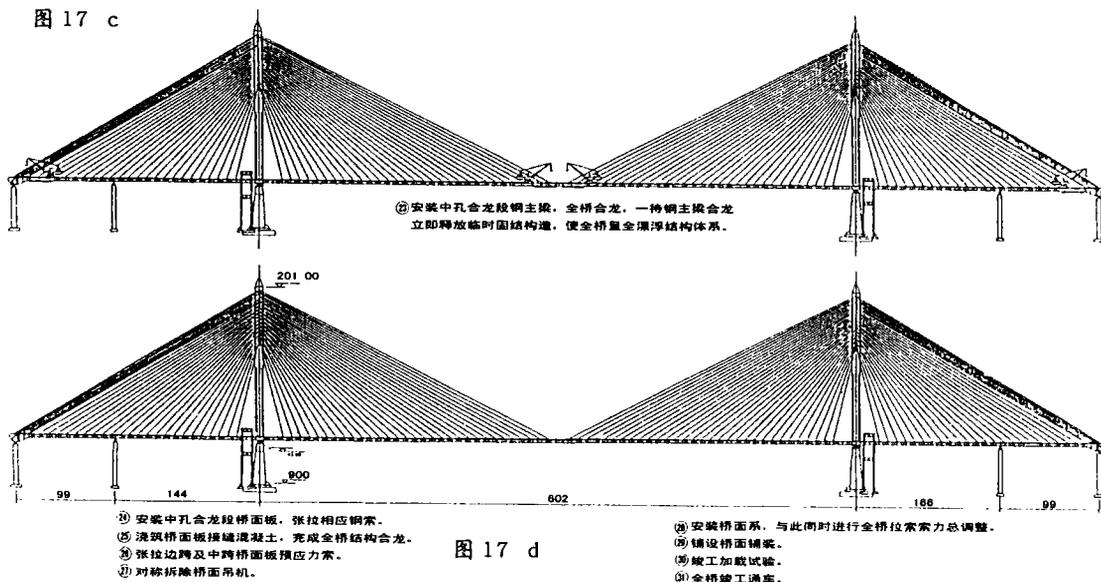


图 17 d

图 17 a、b、c、d 杨浦大桥斜拉桥架梁施工顺序图

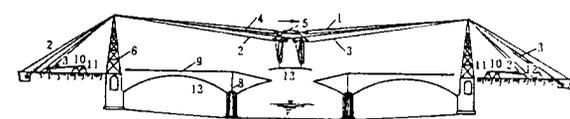


图 18 施工索道拼装桥跨示意

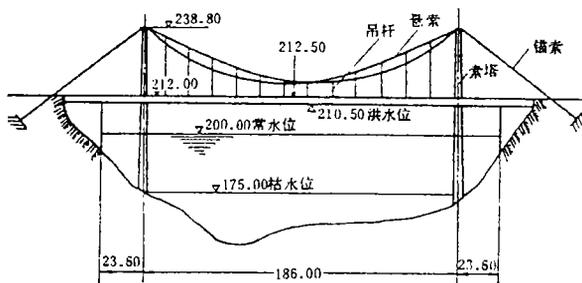


图 19 主跨 186 米重庆市朝阳悬索桥

5、大型设备吊装法

大型设备吊装法，包括悬索吊（施工索道）、大型汽车吊履带吊和水上的大型浮吊等设备。

1) 悬索吊（施工索道）是架设各种拱桥、吊桥和斜拉桥较为理想的施工设备。它可以一次完成梁及拱块等构件垂直、水运运输和安装任务。但它需要大型临时性高塔和一定的开阔场地，当构件较重时，索垂直波动较大，准确就位有一定难度，常配有其他准确就位措施。悬索吊是由缆索系统、索塔、动力机具和锚固系统组成，见图 18、图 19、图 20、图 21。

2) 汽车吊履带吊安装

大型汽车吊、履带吊运行方便、安装准确是简支梁桥、拱桥和斜拉桥悬索桥常用设备，但它的吊重有一定的限度。例如在繁华市区常利用夜间，一次性将钢箱梁安装就位。在南浦大桥、杨浦大桥，均有岸跨钢梁采用 300 吨大型履带或汽车吊一次吊装就位实例；再有上海卢浦大桥采用 2 台 300 吨履带吊抬吊将 290t 钢拱座安装就位。采用 300 吨履带吊将岸跨段箱型肋拱块（100t~129t）吊装在钢排架上，将 K 型钢撑、钢立柱、钢系梁安装就位等，见图 22、图 23、图 24、图 25。

3) 大型浮吊架梁

大型浮吊在水上吊装钢梁是完成大跨度桥中水上段施工的有力方法，像日本四州—四国连洛桥中或远海施工桥梁，又像南浦桥 0# 段施工时，

曾利用向阳号 500 吨浮吊一次安装就位，像卢浦大桥主跨拦肋施工时，利用 1000 吨浮吊安装系梁上下的箱梁拱块，见图 26。

二、拱桥的两种施工技术

拱桥施工技术可采用支架法、旋转法（平面）、悬臂法和大型设备施工法外，本节针对钢管拱的转体施工技术和临时索塔的背索、扣索施工技术介绍如下。

1、钢管混凝土拱桥转体施工技术

钢管混凝土拱桥轻体施工技术，属于竖向轻体施工方法，该方法据有关资料介绍在 50 年代末意大利曾用该方法修建了多姆斯河混凝土拱桥。后来在 90 年代初，在德国巴伐利亚的阿乐根河上修建了一座上承式钢筋混凝土单孔拱桥，单见跨 150m。其施工步骤为：a) 浇注两个混凝土半拱，b) 将两个半拱同时下落合拢并临时固定，c) 用设在拱顶和拱脚的千斤顶调整拱圈，d) 拱上建筑。该法在国外少见，在国内为数也不多，均用在钢管混凝土拦桥上。像位于广西桂江的鸳江大桥（桂江三桥）、广东丫髻沙大桥属于竖转法施工技术。

该方法多用在桥址场地狭窄没有架设缆索吊的条件和实施水平旋转法。像桂江三桥其施工步骤为：a. 先将主拱分为两半拱在驳船上的胎架上焊接完成；b. 载拱肋驳船运至桥位；c. 利用 4 台 ZLD100 提升千斤顶（柳州市建筑机械总厂提供）将本拱拱脚提升至拱脚标高，横移至拱铰座上；

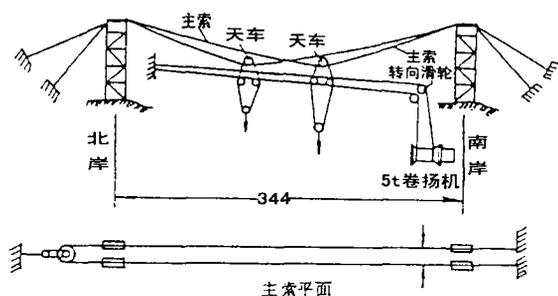


图 20 朝阳大桥悬索吊图

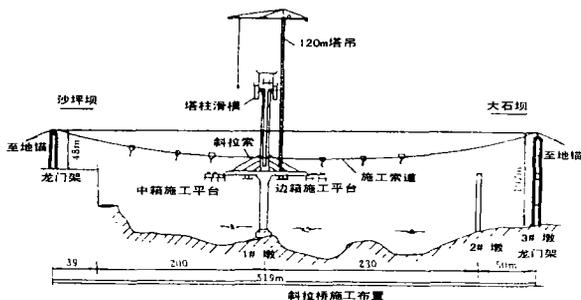


图 21 石门桥悬索吊布置图

d.再分别设置于两边拱六台液压连续提升千斤顶，通过钢绞线、吊具将左右两半拱肋分别竖向转体到位；e.空中对焊合拢。图 27 为桂江三桥竖向转体装置。

(1) 竖向转体装置

① 临时铰

同平面旋转一样，竖向转动需要临时铰。图 28 是桂江三桥临时铰结构，是由铰座和铰轴组成，它由钢板卷制而成，半径 50 厘米，横向 100 厘米，

横向两端设钢板限位，铰轴也由钢板卷制，它的内部有加劲板，还充填了 C₅₀ 混凝土。为满足竖向转体需要，轴和座表面涂滑润剂，如黄油等。

② 临时塔与索鞍

在两岸拱铰上设临时塔，桂江三桥塔高 50m，由钢结构组成，需满足纵横向变力稳定要求（由背索及两侧向地锚索组成），塔顶设索鞍，需满足竖转要求。桂江三桥有三道承重轮，其轮中心连线的半径大于 150 厘米。

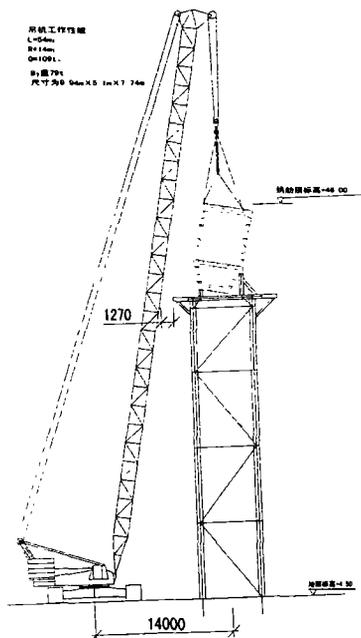


图 22 大吊履带吊吊装箱型拱肋

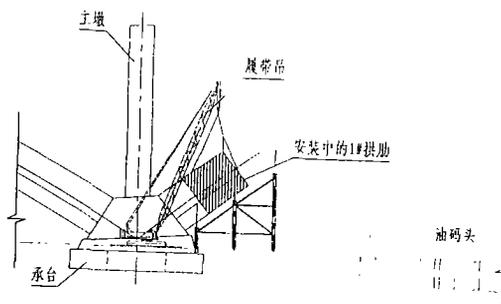


图 23 大型履带吊安装主跨 1# 拱肋

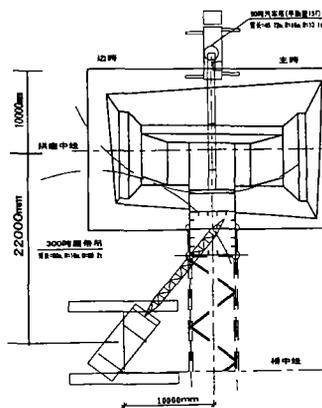


图 24 大型履带吊吊装主跨钢柱

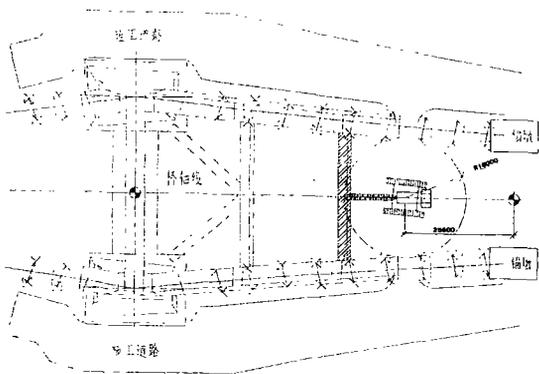


图 25 大型履带吊安装 K 撑

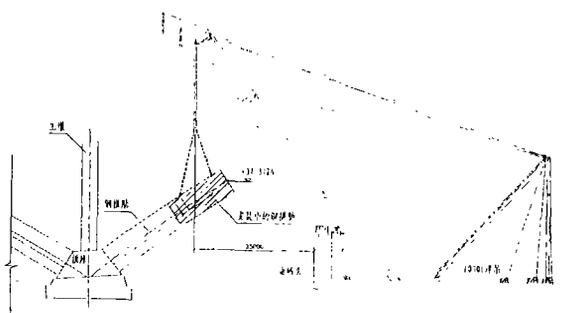


图 26 1000 吨大型浮吊吊装图

③牵动装置

桂江三桥由于半拱重500t,最大牵动力700t,故采用200t连续千斤顶作为牵动力装置,安置在边拱后端,每半拱6台,配置液压泵站和主控台。

④扣锚索

和锚索采用过塔连续式的Φ15-19-1860MPa级钢绞线束与千斤顶相连。

⑤提升架见图29。

由于水位低于拱铰座,拱铰必须垂直提升、平移,使铰轴与铰座吻合。为此设置钢结构提升架,在拱脚墩的纵向相应位置预埋支架。其上拼接成钢结构支架,上设滑道,并安装100t连续千斤顶和Φ15-6钢绞线束。

⑥拼装船

半拱肋需在拼装船上拼装好并拖运至现场。

(2) 施工工艺

①准备工作

a、设备就位及调试

将拱脚提升用4台ZLD100提升千斤顶就位于提升支架上,进行调试,同样对6台QDCL2000-200

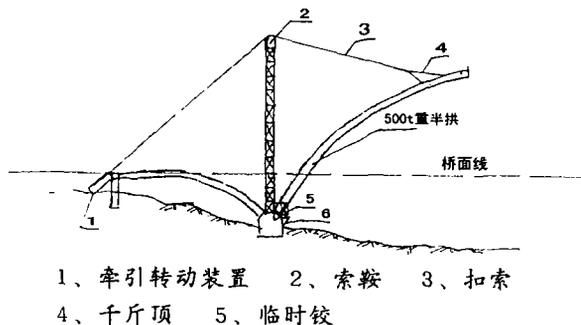


图 27 桂江三桥竖向转体装置

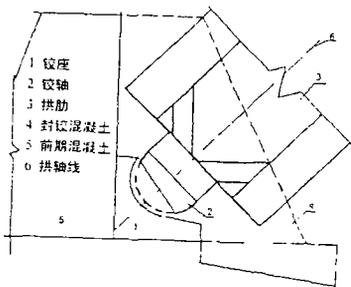


图 28 临时铰示意图

连续同步提升千斤顶进行调试。将钢绞线穿入千斤顶内(Φ15.24、186MPa高强度低松弛预应力钢绞线)。

b、提升拱脚

载拱肋船体就位后,将捆绑于拱脚的Φ43钢丝绳与提升钢绞线吊具铰接,操纵连续同步提供控制系统将拱脚提升至设计标高。

c、拱脚就位

利用4台20t手拉神仙葫芦,将主拱肋平稳沿提升架上滑道横移至拱铰内。

d、竖转吊具连接

用卷扬机牵引竖转用钢绞线至扣索位置,将扣索钢丝绳与钢绞线吊具铰接。

e、转体索预紧

用YDC240千斤顶对转体用钢绞线逐根预紧。

f、主拱竖转

操纵QDCL2000-200连续同步提升系统进行主拱竖向转体施工,边施工边监测、调整。

g、半拱就位、全桥合拢

将第一段半拱竖转至超标高,第二段半拱竖转至标高,然后将第一段下落至合拢标高,两半拱合拢并焊接。

2、临时索塔、扣、背索施工技术

本节主要针对大跨径钢拱桥。例如上海主跨550m一卢浦大桥中承式箱型系杆肋拱桥,河跨段箱型肋拱块就是采用该法施工的。

卢浦大桥为一跨过江的中承式拱桥,全桥长

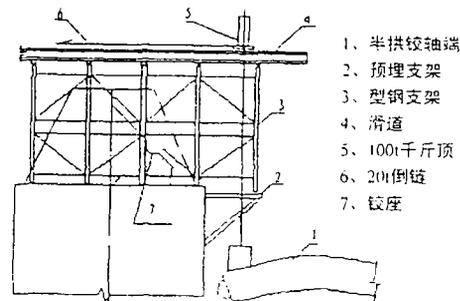


图 29 半拱铰轴端就位系统示意图

750m, 主跨 550m (投影), 岸跨 100m, 由系杆下面三角平衡区 (是指桥面箱梁及其以下部分的拱肋和锚墩所形成的稳定的三角形体系, 其水平投影长度为 170m, 其中岸跨 100m, 河跨 70m) 和系杆以上以箱型拱肋为变化杆件 (承受由竖杆将箱梁桥面恒载、动载传至拱肋的力), 其水平推力由抗拉强度高的钢绞线束作为系杆来承受, 水平投影 410 米。岸跨平衡区部分拱肋为搭设排架, 大型履带吊安装, K 型撑、中立柱、箱型梁也均由大型履带吊安装; 水上部分利用 1000t 浮吊安装, 而锚墩处锚箱、横梁及边跨桥面系梁由于过重, 则采用千斤顶液压系统提升, 并通过平面滑移落架法安装。系杆以上水上部分则采用临时索塔、背索、扣索束保持施工时力的平衡。施工过程为由 1000t 浮吊 (少部分) 爬行吊机 (大部分) 起吊拱拱块, 由扣索固定位置, 背索固定在锚墩上, 保持力平衡, 索塔在满足稳定条件下, 将力传至大立柱, 再传至桥墩基础。半面桥 40 多块肋拱拱块则需相应的扣索和背索保持平衡, 如同斜拉桥一样。只是河一侧为扇形索, 而岸跨部分却只锚固在锚墩上。

图 30 为拱段由水上运输至桥上, 由缆索吊垂直运输。安装 (伴有千斤顶准确就位)、扣索定位、背索平衡图。图 31 为桥上吊机起吊安装、扣索定位、背索平衡图。

三、悬索桥施工技术

本节主要指悬索桥上部结构中的主索、锚索, 竖向索和钢梁安装和为上述结构施工用的空中脚手“猫道”搭设等内容。这一切都是在索塔和锚碇结构施工完毕后进行的。

(1) 施工顺序 (见图 32)

牵引索架设 → 猫道搭设 → 主缆索股拽拉系统安装 → 索股架设 → 主缆 (索) 紧缆成型 → 索夹安装 → 吊索安装 → 钢箱梁安装合拢 → 桥面铺张 → 主缆缠丝 → 主缆防护

(2) 牵引索架设

牵引索包括导索, 是悬索桥第一根架空索, 通常采用提升法, 须封航后进行架设。如江阴长江大桥为 $\Phi 38\text{mm}$ 导索与 $\Phi 16\text{mm}$ 牵引索, 由北塔向南塔放索, 于 98 年 4 月 4 日及 6 日共封航四次, 每

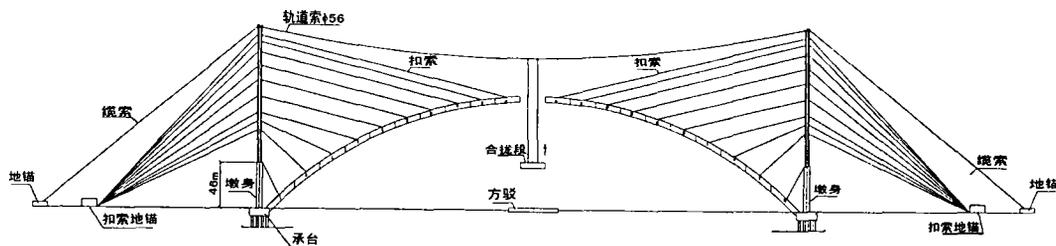


图 30 缆索吊起吊、扣索、背索图

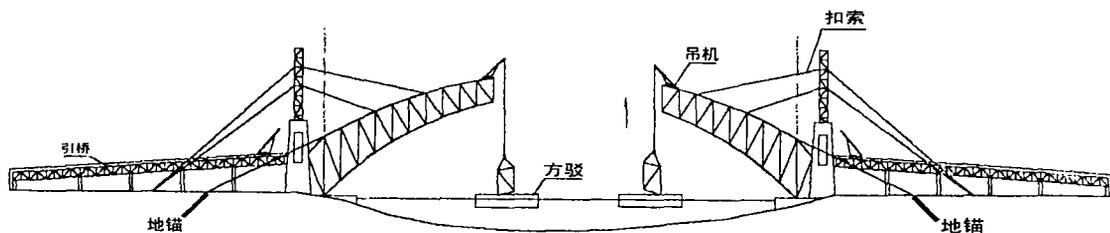


图 31 桥上吊机起吊、扣索、背索图

天上下午各一次，每次约 2 小时。架设所需设备有：施工驳船、安装于南北塔底的 4 台 3t 卷扬机、安装于锚碇东西两侧的 4 台 15t 卷扬机和中间的 2 台双滚筒卷扬机和各类吊车等。

架设好的索道，形成一个可吊装猫道装置的缆索吊。

(3) 猫道架设

猫道是为缆架作业准备的施工便道，按上下游分别设置，均在主缆的下下方，成主缆形状，见图 33。

1) 猫道组成

猫道由承重索、猫道面、栏杆 (V 型夹)、扶手索、横向天桥、抗风索和天吊索组成。表 3 为有关几座桥的猫道资料，图 34 为江阴大桥猫道的三部分组成。

①猫道走道：每个猫道由 6 根 $\Phi 38\text{mm}$ 的承重

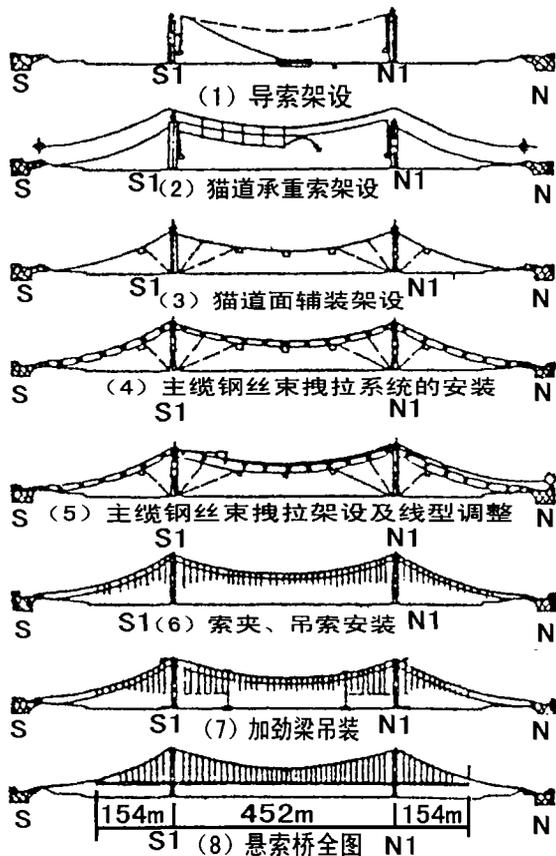


图 32 悬索桥上部结构安装流程图

索和 2 根 $\Phi 32$ 的扶手索及每隔 30m 一道的 V 型框架和相应的钢丝网组成，上下游猫道间设有横向通道，其中主跨 5 道，两边跨各一道，构成空中脚手架，有利于整体稳定。

②天吊：猫道上方设 4 根 $\Phi 38\text{mm}$ 天吊索，其上设置若干横梁，并通过 $\Phi 16\text{mm}$ 垂直吊索与走道 V 型架相连，形成一整体。

③抗风索：由于桥处长江入海口，风力极强，故在每个猫道下方设置 2 根倒悬链状的抗风索。其中主跨为 $\Phi 32\text{mm}$ ，边跨为 $\Phi 19\text{mm}$ 。并用短索将其与两侧拉紧，以增加整体抗风性能。

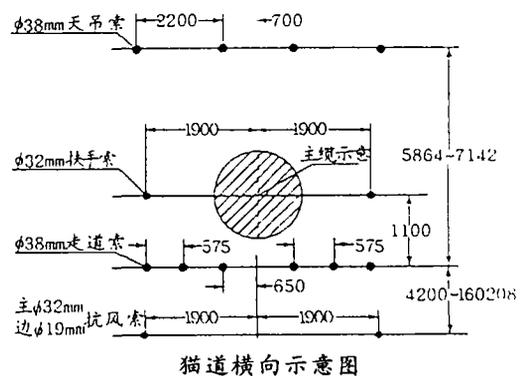
江阴大桥猫道索和天吊索均采用三跨连续式，两边跨和主跨在架设后连用一根整索，在塔顶，猫道经过偏转绕过塔鞍并固定在塔顶钢结构上。

2) 猫道架设

猫道架设有两种方法，一是提升法，台前述过的牵引索的方法，由于需要长时间封江面常不被采用；第一种方法，是高空架设法。是利用已



图 33 江阴大桥猫道形状



猫道横向示意图

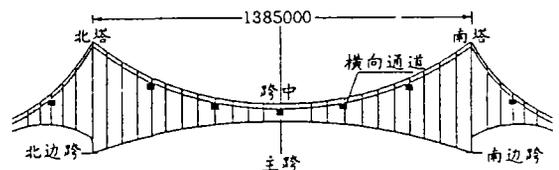


图 34 猫道纵向示意图

架好的空中索道(导索及牵引索),架设猫道各类索具。像江阴大桥、虎门大桥、海湾大桥均为如此方法。下面是江阴大桥猫道索架设。

①边跨猫道索架设

先将边跨猫道索的索盘放置于桥面近塔柱处,抽出一端通过吊机提升到塔顶,纳入安装滚轮并用短索临时固定,然后将索盘上的索沿桥全部拖出,并与锚碇处的 15t 卷扬机钢丝绳相连。

②主跨猫道索的架设

主跨部分的猫道索是通过宽中牵引法进行,因牵引索较细。故通过单头及双头滑轮将牵引索及猫道索的重量转移到轨道索上。

③猫道索的测量和调整

3) 偏转架安装

猫道索在鞍槽内就位后,鉴于 6 根重索 2 根扶手索均位于塔顶主鞍两侧,要使猫道横断面达到设计要求,在南北塔顶上下游主边跨两侧各需安装一个偏转架,总共 8 个,将各承重索向主缆中心方向拉。偏转架由安装于桥塔顶的吊机整体吊装就位,用手拉葫芦将承重索置于所需鞍槽内。

4) 横向走道及网层铺装

横向走道及网片均采用在塔顶转架处预拼装,然后利用牵引索系统束安行到位。

5) 天吊索安装

天吊索分三段,销接点在主跨,它的安装与猫道承重索类似,具体如下:

①利用主跨牵引系统将主跨天吊索搁置于主跨猫道上。

②由两边塔顶往锚碇方向放出边跨天吊索至少 20m 左右时停止。装好临时保险短索,抽出该 20m 短索翻过塔顶钢结构,放在相应的塔顶天吊索支撑鞍座内,并将头放到主跨。

③分别销接主边跨天吊索,同时将边跨天吊索与锚碇 15t 卷扬机在距索头一定距离处连接。

④放松并拆除两边塔顶保险短索,同时启动南北锚碇卷扬机,慢慢地将天吊索从猫道上浮升起来。

⑤连接滑轮组并根据索上标志将天吊索初步调整到位。

⑥以先主跨后边跨的顺序精确调整天吊索与猫道承重索的间距,使上下游 8 根索处于同一标高。

6) 抗风系统安装

抗风系统在安装天吊索与猫道走道之间不连接吊杆前进行,见图 35。

①主跨抗风索安装

a. 沿主跨走道将抗风索由南向北放置在走道 (未完待续)

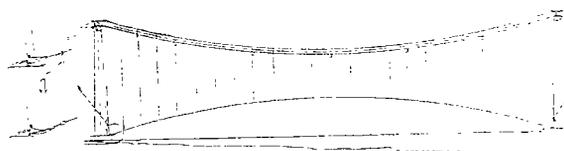


图 35 抗风索

表 3 国内外部分悬索桥有关资料

名称	单位	关门桥	大鸣门桥	奥克兰桥	青马桥	汕头桥	江阴桥
中跨跨度	m	712	876	704	1377	452	1385
猫道面宽度	m	4.0	4.0	10ft	3.6	4.0	3.8
距中缆中心距	m	1.5	1.5		1.4	1.5	1.1
猫道承重索	中边 根 mm	8 Φ 40.8	6 Φ 66	4 Φ 2 "	6 Φ 36	6 Φ 45	6 Φ 38
	边 根 mm	Φ 40	8 Φ 66	4 Φ 2 "	6 Φ 36	6 Φ 45	6 Φ 38
扶手索	中边 根 mm	1 Φ 28.2	1 Φ 28	2 Φ 1/2 "		2 Φ 15	2 Φ 32
	边 根 mm	Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 1/2 "		2 Φ 15	2 Φ 32
横向天桥	中边 道	3	5	3	5	3	5
	边 道	0	1	1	1	1	2
抗风索	中边 根 mm	2 Φ 31.5	4 Φ 66	2 Φ 1 "	2 Φ 32	2 Φ 25	Φ 32
	边 根 mm	2 Φ 31.5	2 Φ 58	2 Φ 1 "	2 Φ 32	2 Φ 25	Φ 19