

专 题 情 报 资 料

预应力混凝土斜张桥

交通部科学研究院重庆分院

一九七九年四月

国内外斜张桥的发展

一、前言

国外公路桥梁总的趋势是向轻型化和装配化方向发展。由于跨径不断趋向增大,桥梁自重的增加比起活荷载(汽车、行人)重量的增加要来得快。因此,上部结构如何轻型化,多年来一直是国外研究工作的一个主要方面。

斜张桥是利用高强缆索,通过桥塔将梁支承着的一种梁索组合结构。它具有经济、美观,跨越能力大,经济跨径为100~400米,甚至更大跨径也是经济合理的;可以悬臂施工,适宜于河宽、水深、地质条件差及建筑高度要求低的情况。

国外斜张桥的发展是在最近20年,尤以西德、日本修建多,发展快。在公路桥梁中,它已得到广泛应用。

二、国外斜张桥的发展

1. 概况

世界各国已经建成的斜张桥大约有75座,(至76年)其中钢斜张桥56座,钢筋混凝土斜张桥13座,人行斜张桥6座。

第一座现代化的钢斜张桥是1955年在瑞典建成的斯特勒姆桑德桥,主孔183米。第一座预应力钢筋混凝土斜张桥是1962年在委内瑞拉建成的马拉开波湖桥,共五孔,每孔235米,西德于1970年建成主孔350米的杜伊斯堡钢斜张桥。1975年法国建成主孔404米的新圣·纳泽尔钢斜张桥,是世界最大跨径。(见图1、2、3)美国于1976年建成哥伦比亚河的预应力混凝土斜张桥,苏联于1975年在基辅建成的钢斜张桥(桥面为钢筋混凝土预制版),两座桥的主孔都是300米,法国于1977年建成主孔320米的预应力混凝土斜张桥,为世界上最大跨径的此类桥。

有关斜张桥的发展历史、成功原因、与吊桥相比较的优点以及几何构造图式,已经作过报导(见交通部科学研究院重庆分院一九七四年十二月《国外斜张桥发展概况》;公路运输科学技术公路分册一九七四年四月《国外牵索桥概述》),下面着重介绍新近发展。

2. 大跨径斜张桥的发展

德国杜塞尔道夫莱茵河上的几座斜张桥对更大跨径斜张桥的发展起了很大推动作用。自1949年迪辛格首次再度提出的斜张桥,到杜塞尔道夫莱茵河几座斜张桥的发展过程是大家比较熟悉的。

(1)拉索的布置及间距:五十年代初期,人们喜欢只用少量的拉索支承主梁。在好几

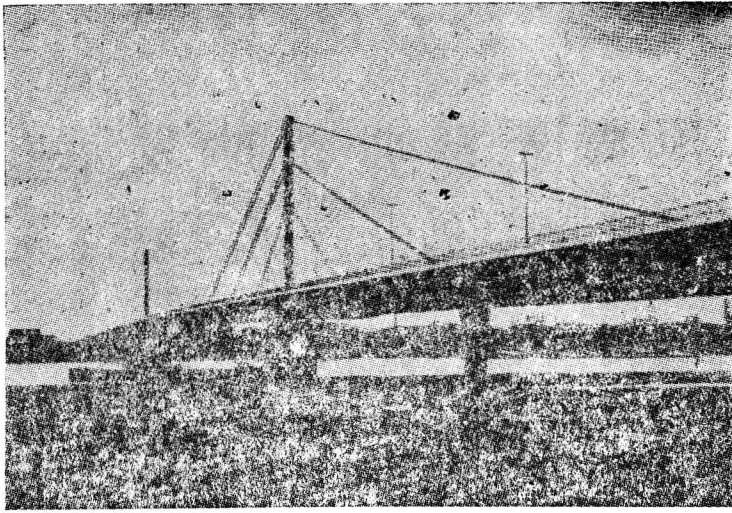


图 1 杜伊斯堡钢斜张桥（德）

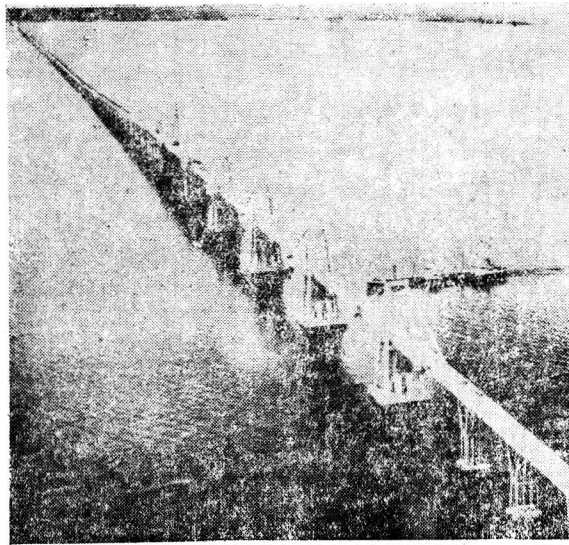


图 2 马拉开波湖桥（委内瑞拉）主孔 5×235 米

座桥梁中仍只用一组拉索来支承很大跨度的主梁。此时，也出现了扇形、平行线形索面。拉索少，支承间距大，因而要求主梁的建筑高度也大；拉索少，索力也大，钢索须在主梁锚碇点散开，锚碇的构造也相应地复杂。由于支承间距大，在安装主梁时，需要临时支承。因此，就有必要增加拉索数目，以便省去安装时的临时支承，简化锚碇。

试验表明：密布的扇形索，可使主梁弯矩保持最小，其前提条件是拉索为高强钢索，

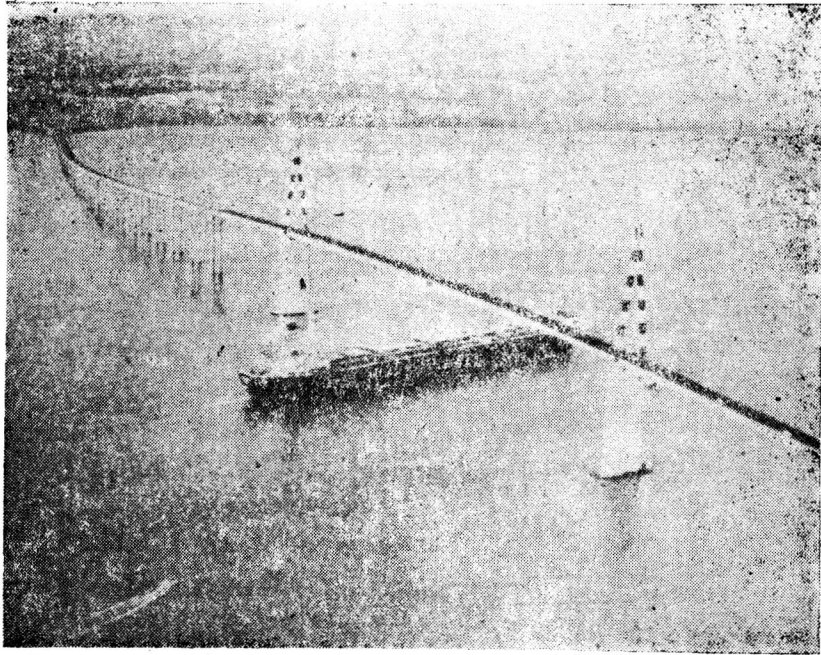


图 3 新圣·纳泽尔斜张桥（法）主孔404米

并可使主梁结构高度减到最小。

这里是谈的双索面问题。对于大跨度桥梁，采用单塔单索面时，为满足偏心负载时桥面抵抗横向倾斜的抗扭刚度，需要特别大的箱形断面。单塔的条件是在桥中央要有一宽的分车带以供拉索锚碇。

对于大跨径斜张桥，A形桥塔更为有利，两个索面在桥塔顶部相会。因此看起来拉索似从一点放射出来，这种缆索布置使得桥梁具有较大的刚度。同时，A型桥塔能较容易地将风力引入塔基中。

（2）桥梁上部结构横断面的演进：杜塞尔道夫北桥具有双箱肥梁的典型横断面。科伦的塞维林桥由于人行道只稍稍挑出，空箱梁宽而高，该桥的外貌受到影响，但高大的梁完全发挥了作用。上述断面型式的不足点是，拉索布置在车道和人行道之间，因此，在桥面的一定高度须设置防止车辆冲撞钢索及含有盐份的水腐蚀钢索的保护措施。克里桥避免了这种不足，索面及锚碇全部布置在行车道及人行道外，由此并没有使横梁跨度增加多少。主梁为单腹板，并很靠里，索数目少，索拉力大，因而需要设置强大的悬挂牛腿，这是克里桥的特点。（见图4）

莱昂哈德早在1953年就为1959年修建的里斯本特茹河桥设计了抗风断面，该桥桥面系只有1.2米高，并在边缘部分做成圆弧形。

克里桥的横断面进行过修改，以使它在强大的风流中能获得稳定，从风洞稳定试验确定了桥梁断面（见图5）。

温哥华跨海湾的一座桥，三角形的空箱有一尖的抗风鼻，桥梁断面型式也进行风洞试验，这种断面具有良好的抗风稳定性。三角形边箱在工场加工及安装中都有不足之处，而

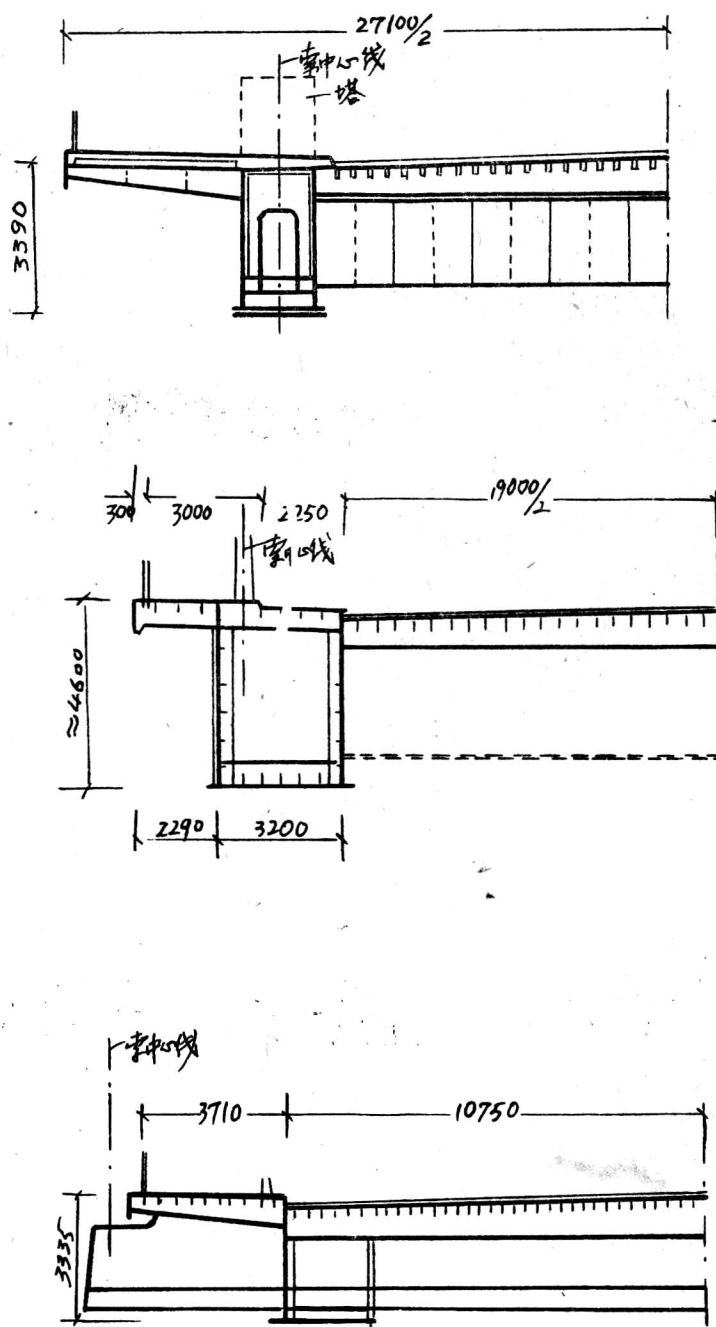


图 4 几座斜张桥的横断面 上) 杜塞尔道夫北桥 中) 科伦塞维林桥 下) 克里桥

且需要对主梁进行检查时，单通道主梁显得不够宽敞。在阿根廷修建两座大跨径斜张桥时又有了新认识。

这种类型的斜张桥不必担忧威胁交通的共振形成和甚至使桥梁垮塌的大振幅振动。鉴于这种认识，当必须承受较大的风荷载时，可降低对断面流线型要求。在大跨时，可不做成三角形空箱断面，而选用上开口箱梁，这样在工厂制作和安装时大为简化，并节约钢材。

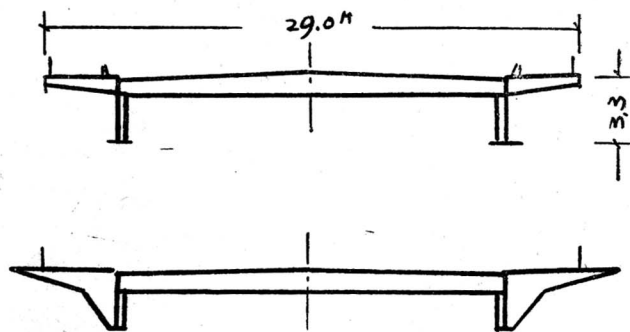


图 5 克里桥断面图 (上图无风鼻)

3. 缆索材料及防蚀

设计斜张桥时, 结构的经济合理性及结构的刚度, 主要取决于缆索的特性, 对缆索的基本要求如下:

- (1) 要具有尽可能高的静载、动载允许应力, 尽可能高的弹性模量及能满足于在实际中出现的拉力;
- (2) 在整个长度, 包括锚头段要具有良好的抗腐保护措施;
- (3) 在工地操作简单, 运输安装简便。

根据目前的技术水平是不可能完美无缺地达到这些要求的。目前, 斜张桥使用的缆索材料主要有封闭索 (L、L、R), 占 81%, 预制平行线钢索 (P、W、S), 占 15%, 螺旋形钢丝和H型钢等占 4%。

在德国目前主要是用极限强度为 150kp/mm^2 的细圆钢丝做成的封闭钢索, 最近在生产极限强度为 170kp/mm^2 的细圆钢丝制作的平行钢丝索; 此外还用强度较低的粗钢筋。从经济性来看, 目前还是上面两种较经济。

在日本, 1970年以前的斜张桥, 都使用封闭索, 1970年以后, 开始在丰里桥使用平行线钢丝索, 到目前为止所修建的八、九座斜张桥, 都是使用的平行线钢丝索, 其原因是它的机械性能较好, 近年来平行线钢丝索防蚀措施在改善, 又着手提高与钢材差不多的弹性系数, 今后大中跨斜张桥都将广泛采用。

开初为保护平行钢丝索采取了种种办法, 简便而经济的办法是用一种耐大气作用的塑料做成柔性的厚壁管套, 将钢丝索包裹起来。套管伸至锚头里面, 在锚头浇完后, 管同锚头形成一抗拉而密封的连接。

经过大量的试验, 用低压工艺生产的硬聚乙烯套管性能特别好。用这种塑料做成的套管壁比规定的 6~10毫米壁厚薄得多, 能完全做到防水、防水蒸气。由于它的烷烃结构具有良好的耐化学剂的作用, 它在所有的有机及无机溶剂中, 20°C 都不溶解。由于有炭黑填充剂, 紫外线对它也无损害。

屈服应力约为 240kp/cm^2 。这种材料即使在比较低的温度时也具有高的柔性, 裂断延伸超过 800%。

对于这种材料的抗大气腐蚀能力, 瑞士联邦材料研究所进行了耐大气腐蚀试验。将试件置于含有盐酸的气体中及紫外线下数个月, 如同期望的那样, 试件无任何变化。(图 6)

*KP为公斤力。

为了进行对比,按现行规范涂有四层保护层的裸露的镀锌封闭索,置于同样试验条件下,四五个月后,涂料已成块地脱落,镀锌层上布满了锈蚀物,并且严重受蚀。(图7)

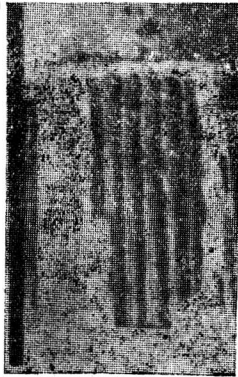


图6 聚乙烯套管耐腐试验,置于含有盐酸的气体中及紫外线下五个月,钢丝无任何锈蚀

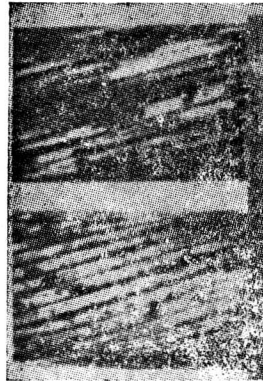


图7 镀锌封闭索,外表涂四层保护层,钢丝严重锈蚀,涂料只是部分保留着

斯图嘉特的国立建筑材料研究所进行试验也证实了聚乙烯套管具有保护对腐蚀性极敏感的拉力钢丝有良好的作用。在斯图嘉特跨席勒街的人行斜张桥的拉索外套就是这种塑料做成的。套管和钢丝束间的空隙压入水泥砂浆,钢丝束用 $\phi 2.5$ 毫米的螺旋线钢丝绕成,包裹着钢丝束的砂浆壳厚 ≥ 2.5 毫米。

聚乙烯还有一个最大优点是粘结性好。席勒街人行斜张桥拉索的切口可用新的套管块重新完全密封。

砂浆主要是起到一种填充套管及钢丝束之间的间隙作用。

由于平行钢丝束锚头及防腐措施的发展,大跨斜张桥对缆索提出的基本要求可大大地得到满足,它同目前大量使用的封闭索相比,可较高地利用其材料,不仅减少材料消耗,而且减少了由于钢丝延伸产生的变形量,在今后斜张桥修建中一定会发挥其作用。

4. 新近的大跨径钢斜张桥实例

(1) 法国的新圣·纳泽尔斜张桥

法国于1975年建成新圣·纳泽尔钢斜张桥,为目前世界上最大跨的斜张桥。河滩部分采用52孔50.6米的钢筋混凝土上部结构。(见图8)

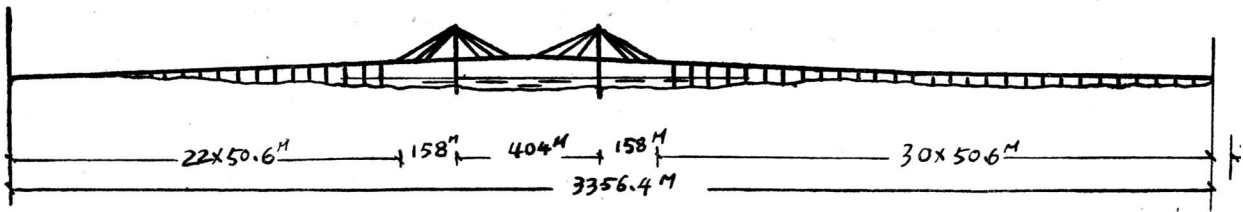


图8 新圣·纳泽尔斜张桥总体布置图

桥宽15米,四个车道和两个0.75米人行道。桥面以上两个索塔各高68米,索塔为八形,塔脚为箱形截面。每个塔顶向两边各有18根缆索。桥跨结构的钢梁在工厂预制成四个96米和廿

个16米长的焊接构件，然后花11~18天把预制好的构件装到浮船上，海运到安装位置。索塔安装后就着手装配连续桥跨结构。涨潮期间，梁的安装在浮船上进行。开始，用51台卷扬机安装预先由96米构件连接主梁的跨径，并形成各长34.3米的悬臂，悬臂端间由起重机安装16米构件布满。

斜张桥部分的刚性梁采用多种型号的钢制成，刚性梁总重4630吨，桥塔重500吨，牵索重410吨，其它构件和提升设备重2530吨，牵索由72~105毫米直径的封闭索组成。

结构金属用镀锌涂料、环氧树脂和丙烯酸化合物层防蚀，这种保护装置的寿命估计为10年。引桥上部构造分成9跨段，段间设置有允许15毫米位移的伸缩缝，在斜张桥刚性梁和引桥钢筋混凝土上部结构的联接处设有500毫米位移的伸缩缝。

(2) 苏联的莫斯科斜张桥

基辅第聂伯河莫斯科斜张桥，建于1975年，主跨为300米。

桥全长783米，按非对称图式修建，通航孔左岸将用单塔牵索体系，而桥的右岸部分引桥采用63米跨越。桥梁布置图式为6+15+84+300+5×63+42+15+6米，敷设有五个大型管线。桥梁采用两个跨间：连续牵索84+300+63米和连续梁式4×63+42米（图9）

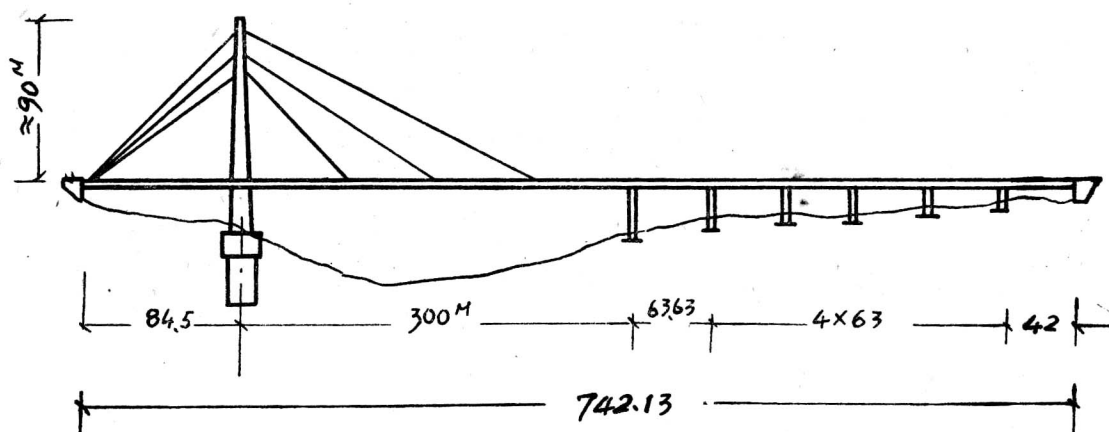


图9 基辅的莫斯科斜张桥桥式布置图

桥全宽31.4米，两个11.25米行车道部分为六车道，两边各2.6米人行道。300米主孔的通航净高为16米，引桥为五跨钢筋混凝土桥面版与钢梁组合梁。

钢梁腹板高度为3.1米。引桥钢梁是工厂焊接组合而成的。

第一次采用氮—钒钢，屈服极限为40公斤/毫米²，费用低，某些指标胜过铬镍钢。№5墩为固定支座，其余为活动支座，橡胶氟板支座允许出现角变形和线变形。

钢筋混凝土桥面版尺寸为7.5×2.4米和7.9×2.4米，厚16公分，重8.5吨。边跨上部结构由24段梁装配成，梁长从4.2~7.5米，块件重5.4~19.8吨，采用顶推架设，在路堤上拼装一个长98米的滑道，不用滑曳导梁和中间临时支墩。

金属结构采用自动焊接，用超声波探伤仪检查，性能较好。

A型塔，桥面以上塔高约90米，为装配式预应力钢筋混凝土，矩形尺寸为2×2.4米，壁厚75公分。用自升塔式起重机安装。

5. 新近的大跨径钢筋混凝土斜张桥实例

1) 法国的布鲁托恩斜张桥

在法国，于1974年动工，1977年建成一座预应力混凝土斜张桥。它是目前世界上最大跨径的此类桥，主孔320米。该桥全长1278.4米，斜张部分 $143.5 + 320 + 143.5$ 米。(图10)

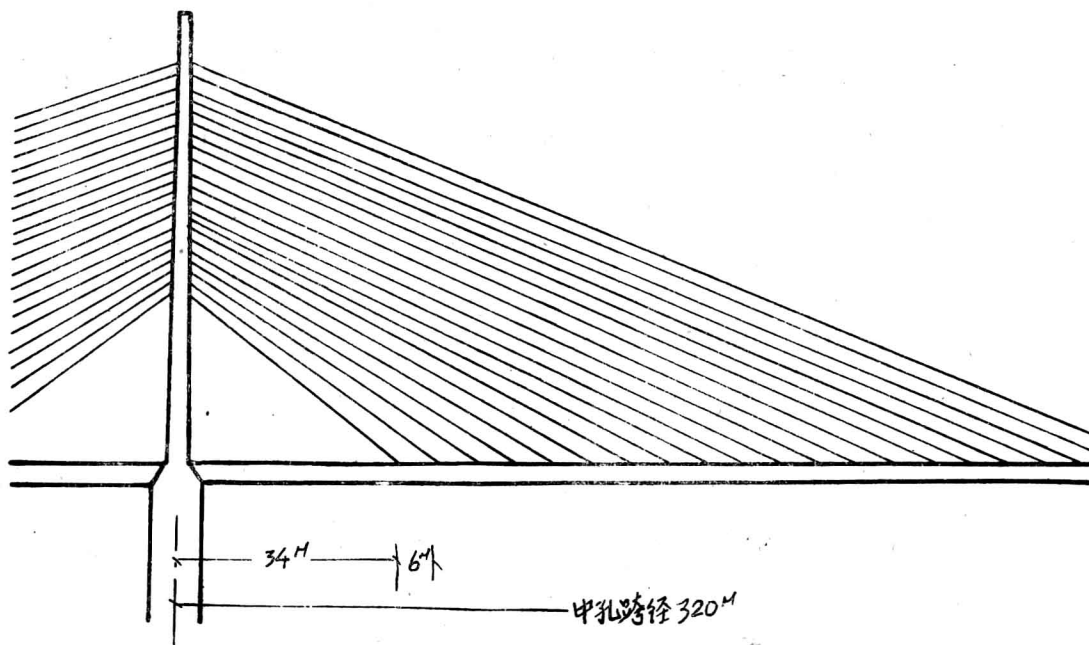


图10 布鲁托恩桥立面图(部分)

另有两个平衡部分跨段。中央分车带3.2米，两边各6.5米的车道与1.5米的人行道，单箱主梁，外侧呈 45° 倾斜，梁高3.8米，壁厚20公分。(图11)

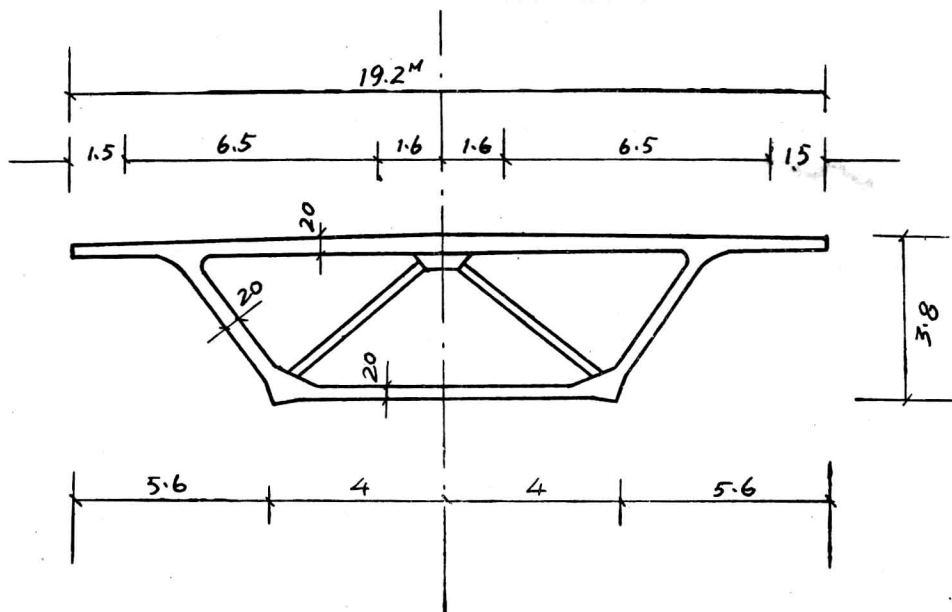


图11 布鲁托恩桥主梁横断面

开始桥面用支架修筑，再悬臂拼装。腹板预制，箱梁是在预先安装腹板的3米长模板内浇混凝土。采用桥面纵向、横向和腹板竖向的三向预应力。

塔高124.5米，桥面以上部分高70.5米，预应力混凝土塔，内有 $\phi 56$ 钢筋，700号混凝土，应力为90公斤/厘米²，考虑风荷载时是它的两倍应力。

缆索单面布置，呈扇形，每边21根，每根由39~60 T15索组成，长度从84~340米，外有内径160毫米的钢管，内压水泥砂浆防蚀。经过3米半径圆弧的索鞍，穿过桥塔。

本桥不论在构造、使用材料和施工方法上都是比较新颖的，对今后修建大跨预应力斜张桥广开了思路，起了很好的推进作用。列举其中主要的几点新方法：



图12 胶板预制现场组装的施工方法

(1) 把塔和主梁作为一体，在塔和桥脚顶部之间设置橡胶支座。所以，正因为主梁构造是连续梁，因而使塔和桥脚间不产生很大的应力。

(2) 主梁是一个宽19.2米的箱形断面。腹板倾角很大，把腹板做得只有20公分那样薄。横向是采用中央设置一根塔，呈单面钢索的扇形布置，横断面的中央由斜张钢索吊住，但为使这个力传递到腹板，通过桥面板的中心在腹板下端设桁架。现浇倾角大，且厚度仅20公分的腹板是非常困难的，所以腹板将用预制。(图12)

(3) 由于塔的混凝土产生90公斤/厘米²的应力，受到风荷载时达到这个值的两倍。所以规定塔的混凝土强度为700公斤/厘米²，钢筋采用 $\phi 56$ 的，联接处用环氧树脂填塞。

(4) 缆索的张拉不需设脚手架，利用已经绷紧的垂直向下的钢索，首先把包裹钢索的钢管架设在所定位置上，然后再把索穿入。

2) 美国的哥伦比亚河斜张桥

在美国，于一九七六年建成一座北美最长的钢筋混凝土斜张桥，四车道，两个人行道。

主跨长300米，边跨各长124米，采用的是装配式钢筋混凝土刚性梁。(图13)刚性梁的安装是由两个中间墩来实现的。开始在一岸的塔柱间现浇长20米、宽24.3米的起始梁段，然后在75.7米塔高的每个塔柱上部设置尺寸3.65×7.30米的钢塔顶，每个塔顶重54.36吨，由三节组成，塔柱间是用2.13×2.43米的矩形截面的预应力钢筋混凝土横隔板连接的。塔顶的安装是用高85.1米的200吨浮式起重机进行作业。每个塔支承着144根长度为

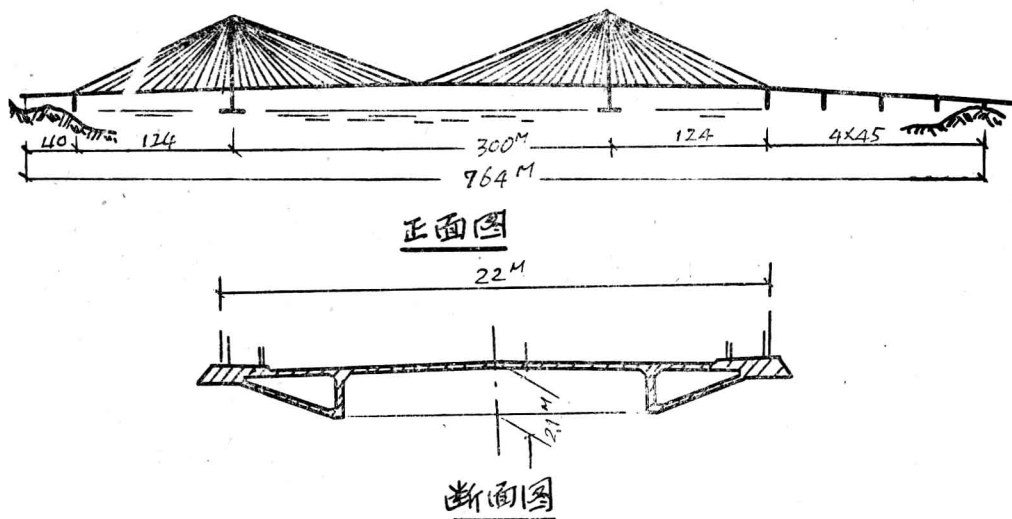


图13 哥伦比亚河斜张桥桥式布置图

54.1~152.6米的钢索，由83~283根高强钢丝组成，钢索由聚乙烯套管防护。刚性梁每个安装块件尺寸为长8.21米，高2.1米，重300吨。块件安装是用各重32吨的移动式吊机从两边同时进行。装运构件的驳船从桥墩的各个方向直接搁置于吊机下面。（图14）

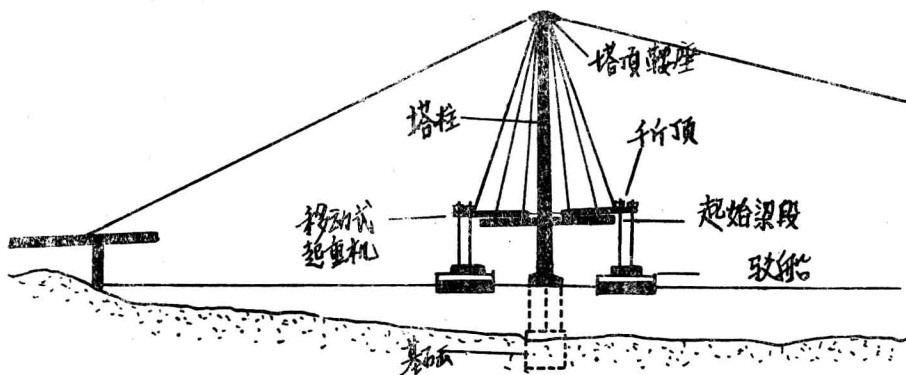


图14 哥伦比亚河桥主梁安装图

然后用 $D=62.5$ 毫米的起重拉杆铰接系紧块件，这些起重拉杆是和起重千斤顶相连接的。

对永久斜索张拉达到600吨后锚定之，去掉块件的安装缆索，这样便形成了纵向预应力，再把吊机移到新的位置，反复操作直至上部构造对称均衡的悬臂拼装工作结束。通过现浇混凝土在边跨与引桥连接，然后在主跨一端继续悬臂拼装五块梁段。这以后，把两个移动式吊机转到另一侧墩塔上。上部构造全部安装完成后，铺筑5厘米厚的地沥青混凝土桥面。

块件在钢模内预制，混凝土平均强度为539公斤/厘米²，最小强度为475公斤/厘米²，模板内块件的养护在一周内完成。

6. 奥地利的钢筋混凝土斜张桥转体施工

奥地利维也纳多脑运河桥的跨径为 55+119+55 米，它连接东部快车道，同多脑运河成 45° 的斜交。（图15）由于斜度大，要求保持自由通航及考虑到两岸的人行道和与运河平行的行车道，施工时不能搭脚手。由于地形及高度限制，桥墩占地面积要很小。为了充

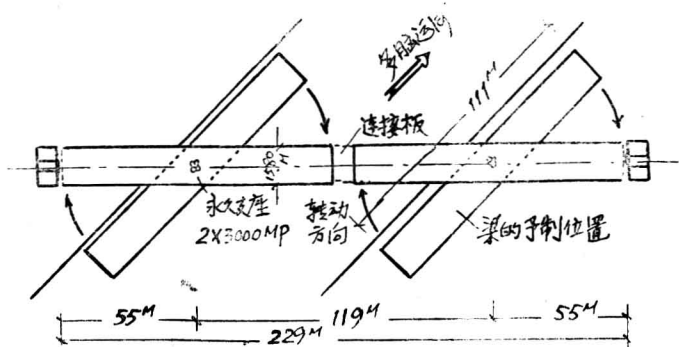


图15 转体施工过程平面图

分利用施工期桥头的空地，决定采用转体施工。

根据坡度，主梁可以做成 2.8 米同一结构高度。

差不多同一时间在民主德国也进行一座梁桥转体。这座桥就位后，支承于 1 米直径的圆形支座上。为在顶推过程中获得侧向稳定性，需用张拉的支承板将负荷高的支承面 A 加大，（图16）通过它，将分布在滑道较大长度上的荷载传至 40 厘米宽且抛光的镀锌钢板和摩擦系数小的四氟板上。平均压力为 100kp/cm^2 ，起动静摩擦系数为 9%，动摩擦系数为 5%，最大线速度为 2.7 米/小时，为使在移动时梁具有承载能力，必须设置临时拉索。

维也纳多脑运河桥转动时有以下几点不同：

（1）转动过程中悬臂的临时拉索就是作为永久性拉索；（2）省去了转移主荷载那些复杂的预备结构，而对纯转动选择了面接触的构造简单的钢安装转动支座。（图17）由

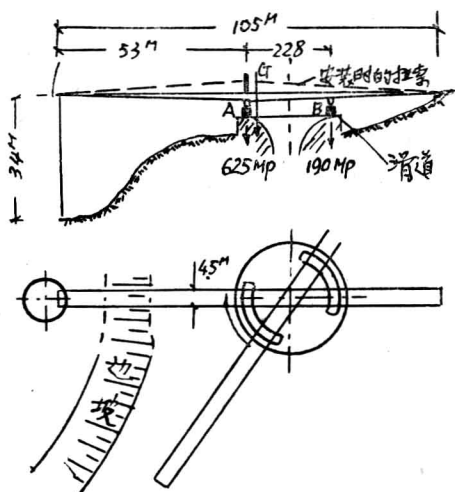


图16 德意志民主共和国梁桥转体过程图

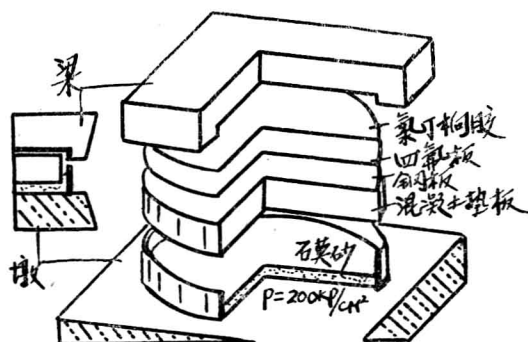


图17 承受400Mp荷载的安装支座

此省去了大荷载要求的庞大的滑道基础。

转动时，93%的荷载集中在中心支座上，只有较少荷载分布在岸边43米长的弧形滑道上。110米的结构长度上产生的扭矩可以用一固定在主梁上的钢筋混凝土托梁来传递，该托梁同时将荷载传至下面的滑道平面上。转动过程借助于按鲍尔—莱昂哈德顶推法的辅助手段来实现。它的区别在于利用了支座的连续性：固定在托梁上的滑动小腿装有滑雪撬式的铬镍钢滑板。滑板在四氟板——氯丁橡胶组合板上滑动，四氟板铺放在平整的混凝土弧形滑道上。在克服启动静摩擦后，千斤顶的压力只为10MP。因此可以使用VT40L系列的千斤顶，千斤顶对着托梁牛腿安放——它通过沿着滑道基础外缘拉着的四根1/2吋的钢索来施加力，（图18）转动工作在三小时内完成。

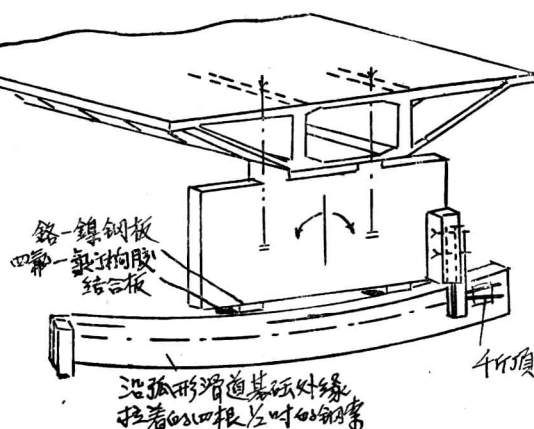


图18 滑移构造图

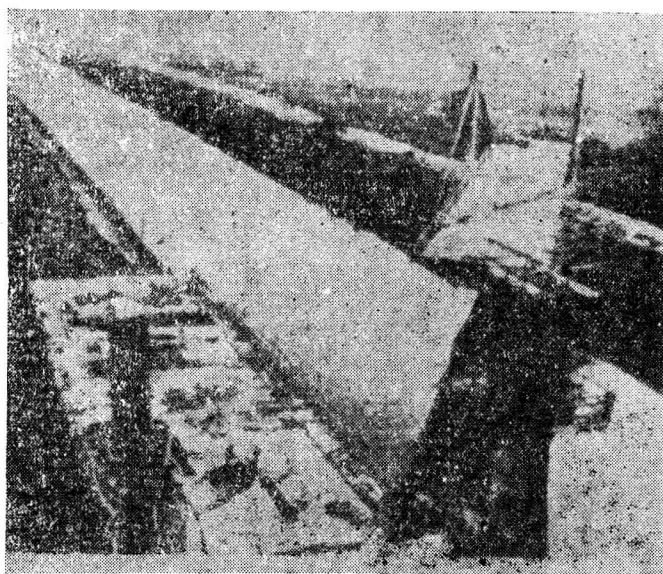


图19 转体中的奥地利斜张桥

以上证明，桥梁最终就位花费的时间大大减少。

7. 已成斜张桥情况分析

据所收集到的资料统计, 世界各国修建的斜张桥共约75座, 西德和日本就有42座, 占世界各国的56%, (见表1) 最近十年来, 主跨超过200米的约占一半左右, 超过250米的22座, 占30%, 超过300米的6座, 占8.1%。

表 1 各国修建的斜张桥座数

国 名	至73年	73~76年间 钢斜张桥	至76年 混凝土斜张桥	至76年 人行斜张桥
西 德	18	3	1	3
日 本	10	5		2
英 国	3	1		
加 拿 大	2			
奥 地 利	2		1	
澳大利亚	2	1		
瑞 典	1			
比 利 时	1			
捷 克	1			
阿 根 廷	1		2	
荷 兰	1		1	
法 国	1	1	1	
美 国	1		1	
赞比亚	1			
苏 联			2	1
委内瑞拉			1	
意 大 利			1	
利 比 亚			1	
丹 麦			1	
共 19 国				

共19国75座, 未计入我国的。

此外, 美国正在施工中的Mississippi River钢斜张桥, 中孔跨径372.4米, 边孔154.8米, 全长836米, 双箱倒梯形断面主梁, 桥宽27.4米; 计划中的钢筋混凝土斜张桥有Dames Point桥和Ruck-a-Chucky桥, 中孔跨径都是396米我们可以看出:

(1) 近年来国外斜张桥修建的数量有增多的趋势, 跨径也有增大的趋势。这是由于斜张桥结构在大跨径桥梁中的经济合理性, 还由于近年来设计分析技术的发展, 制作架设

技术的提高, 高强钢丝强度性能的改善, 可以推断, 今后还会继续发展。(图20)

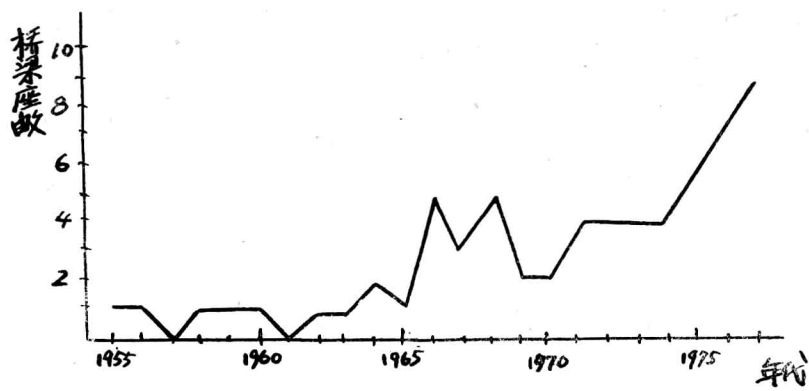


图20 各年修建的斜张桥数

(2) 从斜张桥用钢量看, 如跨径 200 米, 钢斜张桥钢材消耗约 400 公斤/平米, 而混凝土斜张桥钢消耗约 75~120 公斤/平米, 前者为后者的四倍。而斜张桥又远较其它类型桥用料省(见表 2), 故近年来钢筋混凝土斜张桥数量和跨径都有发展。

表 2 一些桥型的材料消耗

结 构 体 系	每平方米桥面材料消耗	
	混凝土 (M³)	钢材 (公斤)
钢筋混凝土斜张桥 68.95+144+68.95M	0.57	157
钢斜张桥 69+139M	—	451
拱式悬臂桥 49.2+123.6+49.2M	0.67	237
梁式悬臂桥 36+148+36M	1.18	288

(3) 钢斜张桥已完成主孔 404 米, 混凝土斜张桥已完成主孔 320 米。在国外桥梁方案比较中, 对于 200 米左右的桥跨, 有些国家优先考虑斜张桥。

(4) 国外斜张桥主梁形式以整体箱采用较多; 拉索立面布置以扇形或辐射形布置较多; 并向多根密布缆索发展; 缆索材料多用预制平行线股索及封闭索。

(5) 目前特别注意研究高强缆索与锚头型式、主梁与塔的合理型式, 架设方法、各种模型及风洞试验等。

三、国内斜张桥的发展

1. 概况

随着桥梁事业的发展, 交通部下达了探讨钢筋混凝土大跨径合理桥型结构的研究任务, 我们开始引进了斜张桥这一新桥型结构。一九七三年八月, 交通部科学研究院重庆分院完成了一座斜张桥的模型试验; 一九七五年初在四川省云阳县修建了一座中间阶段试验桥; 随后, 上海又建成新五斜张桥; 一九七七年底山东省又建成青岛大沽河斜张桥, 此外, 还

有几座斜张桥在设计施工中。别的部门已建成管线斜张桥，铁道部正准备修建铁路斜张试验桥等。下面分别作一些介绍。

2. 斜张桥模型试验

对斜张桥的线性分析，采用力法和平面杆系的有限单元法两种。为了验证设计计算理论的正确性和可靠性，制作了一个钢斜张桥模型，通过测定模型的内力、挠度影响线，初步了解斜张桥的力学性能，从而对斜张桥这种结构有一个客观的认识，为设计和施工提供一定的参考依据。

该模型为对称的三跨连续斜张桥，全桥长6630毫米，边跨与中跨之比为0.428:1，塔跨比为1/13，主梁采用两个5号槽钢焊接成箱形断面梁。拉索采用直径3毫米的钢琴钢丝，每侧平面有12根，等间距地支承着主梁。采用辐射形布索，每个桥墩上设有两个塔柱，分别由两个3号角钢焊接成箱形截面柱。相当于桥台，桥墩的砌体均由片石混凝土制成。

拉索与主梁连结的锚头为灌锌锚头，并附有可调节拉索长度的螺帽，拉索与塔柱的连结采用灌锌将其固结起来，塔柱的支承形式分为铰接、固接两种（图21）。

试验结果表明，实测点和计算曲线相当吻合，实测值与计算值相对误差大都在10%以内。可以认为，利用力法和刚度矩阵法来进行斜张桥的线性分析均是可行的。但采用刚度矩阵法并利用电子计算机计算，不但可以大大减轻计算工作量，便于进行大量的方案比较工作，而且还能考虑到主梁实际设置的予拱度以及斜张桥的非线性因素来进行更为精确的分析。因此，有条件的活，还是宜于采用刚度矩阵法。

该试验完成于1973年8月。

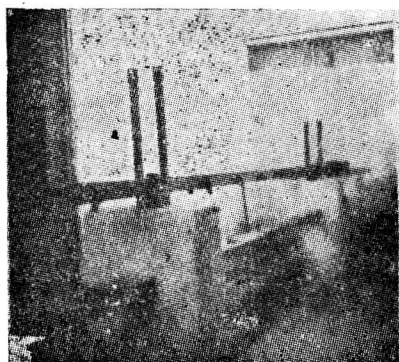


图21 模型试验桥

3. 两个中间试验桥

（1）云阳斜张桥：由交通部科学研究院重庆分院、四川省交通局设计院、重庆市桥工处、万县地区和云阳县交通局参加设计施工的，于1975年3月建成的云阳斜张桥，是我国第一座公路斜张桥，它是为探讨大跨径钢筋混凝土合理桥型结构而修建的试验桥。该桥为三跨连续组合箱梁，全长153米，桥跨为34.91+75.84+34.91米，行车道净宽为3.1米，设计荷载为汽—10级。（图22）

在立面上拉索布置成辐射形，分为外拉索、中拉索和内拉索三组，全部固结于塔顶索鞍处。拉索将中跨主梁分成七段，将边跨主梁分成三段，横向为双面排列。（图23）

为了减轻桥面系结构自重，采用钢丝网水泥板做桥面板，主梁为钢丝网水泥网格状单向板与钢筋混凝土倒Ⅱ型开口箱组成。组合箱梁全高1米，高跨比为1/75。

边跨主梁整体现浇，中跨主梁分成七段预制。为便于悬拼时调整标高，预制块件在安装过程中采用完全铰形式的临时铰连接，吊装合拢后再现浇接缝混凝土。

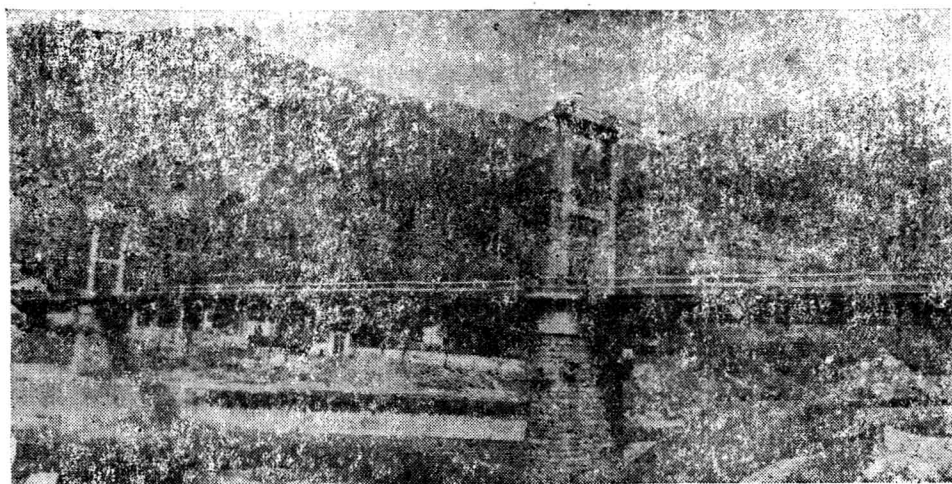


图22 云阳斜张桥全貌

索塔为嵌固于实体砌石桥墩上的钢筋混凝土门式框架。主梁以上塔高 11.18 米，塔跨比为 1/6.8。

拉索为鞍钢出品的 $\Phi 42-7 \times 19$ 丝钢绳，钢丝极限强度不小于 15,000 公斤/厘米²，破

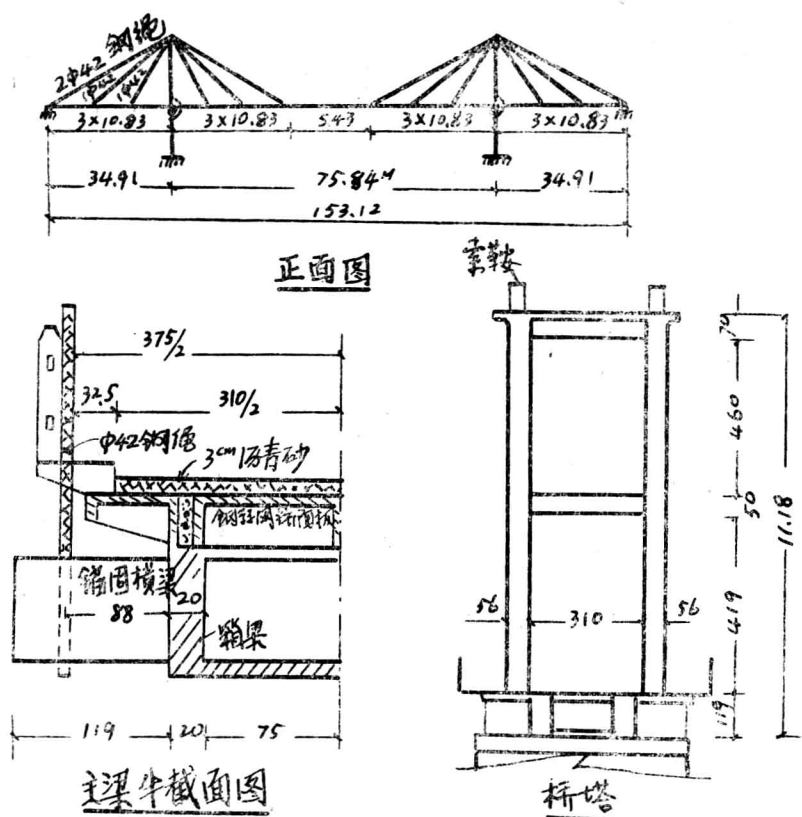


图23 云阳斜张桥桥式布置图