

体外预应力体系工程应用实例

关永宏 黄建勋 何锐波

摘要:体外预应力的概念和方法来源于法国,早期体外预应力体系由于尚不完善,并且存在耐腐蚀防护和构造等方面的缺陷。因此,体外预应力在工程中的应用不能显示其优越性,一度使得这项技术停滞不前。但随着无粘结预应力和斜拉索的迅速发展为体外预应力体系的应用带来了生机,特别是在最近二十年中,体外预应力体系在国外应用在大量工程中。下面就体外预应力体系发展过程中一些有代表性的工程进行举例说明,以便对体外预应力有进一步的了解。

关键词:体外预应力、转向装置、顶推法、组合结构桥

1. 前言:

体外预应力定义为:在结构混凝土构件的混凝土截面之外采用的无粘结预应力产生的预应力。也定义为:由布置于承载结构主跨本体之外的钢索产生的预应力,钢索仅在锚固区域设置于结构本体内,转向装置可在结构体内或体外。体外预应力自预应力混凝土的发展之初就已经被采用,70年代末期,体外预应力混凝土桥在法国和美国得到了较大规模的发展,几乎在世界各地形成了一种发展趋势。这一方面是由于体外力筋或无粘结力筋防腐措施的改进,结构形式和施工工艺的发展;另一方面是由于管道压浆的后张梁质量的可靠性受到怀疑。1985年,英国威尔士一座桥梁的破坏及其它一些后张桥梁的事故,导致英国运输部在1992年曾颁布命令:“在新标准颁布以前,不得再采用管道压浆的后张预应力混凝土桥梁。”其理由是这类桥梁中力筋腐蚀难以检查,也不易更换。英国运输部的指令在英国掀起了不小的冲击波,引导人们去更多地考虑先张法及无粘结体外筋的后张法混凝土结构。体外预应力技术近来更多被用于加固非预应力混凝土结构的方法。在最近的十年中,特别是在法国,体外预应力具有作为后张方式便于检测、可在不拆毁结构部件的情

况下更换体外索等优点越来越得到认可。在法国,从1982年起已有50多座体外预应力桥梁建成,这类桥梁的建设目前在其它国家正方兴未艾。

体外后张拉体系既可用于新建筑,也可用于旧建筑的加固。该体系的应用不局限于混凝土结构,任何有合理压缩特性的材料都可以用体外索联接起来。因此,在结构钢、钢筋混凝土、木材和石头建筑中的使用是显而易见的。体外后张拉体系主要用于桥梁,特别是连续拱桥结构、悬臂结构、连续箱梁结构及旧桥改造中成为这个阶段该技术的主要运用领域。此外,还可用于其它形式的结构,例如大跨度屋顶和建筑物以及筒仓、蓄水池的加固等。

2. 采用体外索设计的桥

2.1 德国萨克森州的奥尔桥

在1936年和1937年,在主跨度为25.20 - 69.00 - 23.40m的德国的萨克森州的奥尔桥(图1,2)上,应用屈服强度为520N/mm²直径Φ70mm的光面筋体外索。由于二次世界大战,最初的计划和准备工作直到1962年才得以实施。1983年原先的缆索被再次张拉。现在,这座桥已经工作50多年。曾作为德国桥梁技术里程碑中的杰出代表。

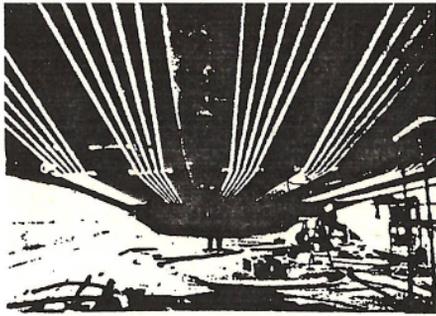


图1: 奥尔大桥: 吊跨中体外预应力钢筋

2.2 德国Weitingen的 Neckar Valley 桥

在桥梁上部结构中布置体外索并不是一个崭新的构思。这种想法已经运用实际工程中, 例如德国Weitingen 的 Neckar Valley 桥。该方法的采用是由于当地极端恶劣的土壤条件。Wittfoht提出使用体外索作为公路或铁路箱梁桥的标准解决方法, Menn 描述了用于板桥一个类似的作法。通过这种方法, 跨度可以增加至约40m(图3)。

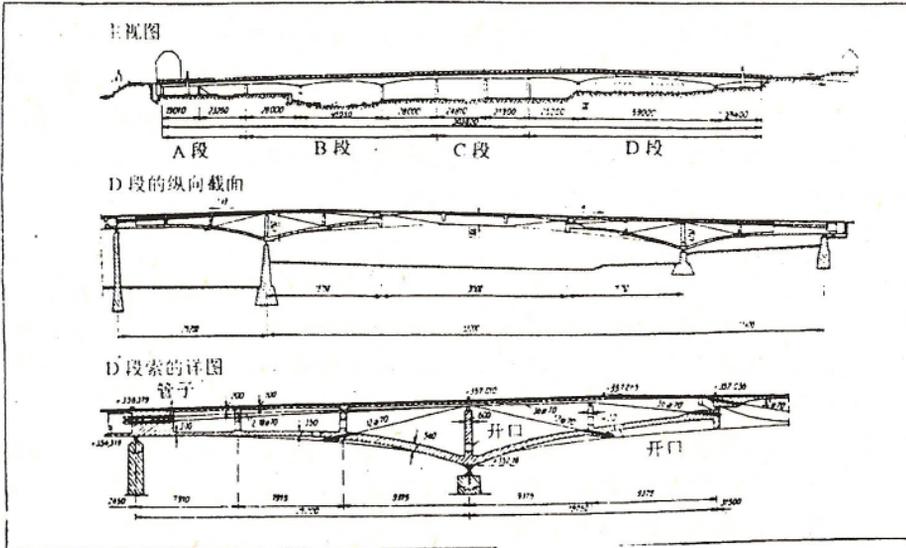


图2: 德国萨克森州跨越盆地和铁路的第一座预应力混凝土桥 (Dischinger 设计) (奥尔)

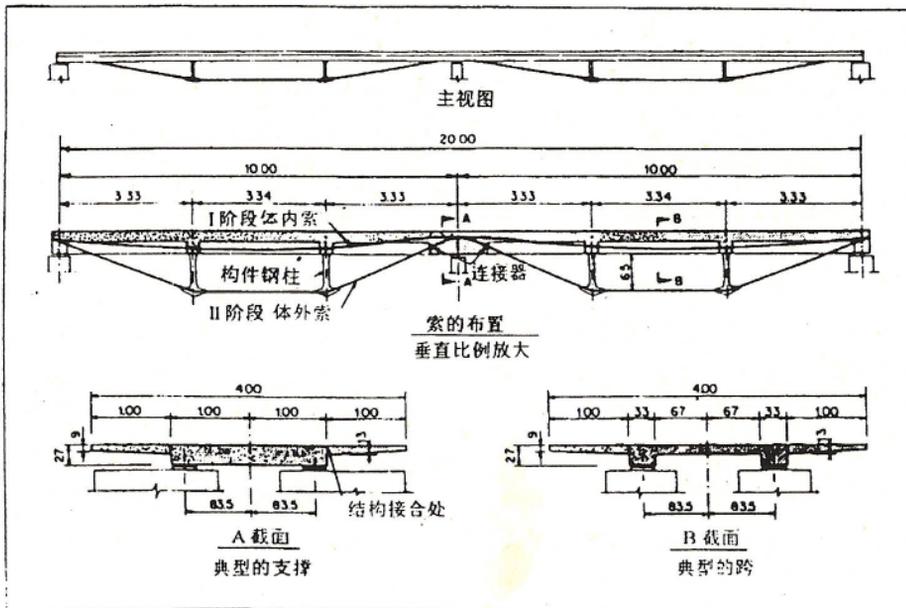


图3: 下部有体外索的板桥的细节

2.3 美国佛罗里达的七里桥

七里桥连接Marathon的南部和Little Duck Key,是连接Florida大陆和Key West岛之间所有公路桥当中最长的。它全长10931m,是世界上最长的混凝土箱梁桥。它有266个跨,其中大多数是采用标准跨距(41.15m)。上部结构是单室箱梁结构,宽11.89m,高2.13m。

设计针对建设速度和经济效益。因此一些概念和耐久性方面的结构细节大胆地突破常规。这些细节如下:

- 在浇注部分的接头处没有胶合物粘结或密封。多个“键”(在预制块的端部的沟槽)用来传递剪切力。

- 在箱梁内的体外索把各部分连在一起,同时把隔板和转向块也连在一起。

- 在路面不铺耐磨层;交通工具可在预制混凝土上直接行驶。

上部结构的这些部分是在工地以北约400km的Floria Tampa的一个工场预先浇注好的。有五种型号是以平均每周3跨的速度进行的。经过适当的修整之后就可以运到工地。在那里一跨的预制部分被放在一艘船上,然后用绞车提升,按要求排成一排,然后用四根临时预应力钢绞线连接。与装好的跨同时进行,墩的部分用驳船运到安装桁架下(图4)。

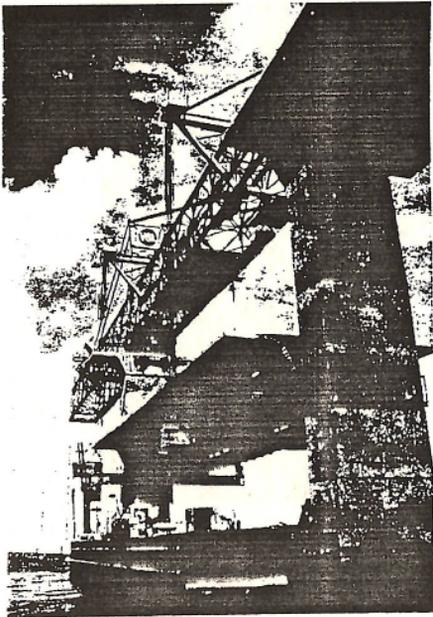


图 4: 建造过程图

结合创新的工程,这个桁架是一个非常成熟的吊车架,它包含了实践的经验和已被证实了的技术。预应力施工单位提出,在给定的承包契约中,作为不同的建筑方案,运用这个桁架。下面是预应力施工单位修改方案的主要原因:

- 这个顺序是执行关键线路,因此提高了修速度,增加了操作的灵活性。

- 更加明确了预应力施工和总承包商的分工。

- 预应力施工单位能够预先支配它的所有操作。

这个桁架是由预应力施工单位设计并操作的。它的典型操作过程是提升墩的部分并安装,然后把悬臂中间位置对好新安装的桥墩,最后是从驳船上提升事先安装好的框架。把这些混凝土块填入空隙中并且把后张拉预应力缆索张拉到极限张力的15%。在混凝土强度达到 $17.5\text{N}/\text{mm}^2$ 的前一天晚上,缆索张拉达到要求。

1980年5月30日始建第一跨。平均每周建成三跨,单个轮换周期内最快达到每天一跨。这项工作于1982年5月完成。

每一跨包括6根缆索,其中4根缆索,每根缆索由27股 $\Phi 13$ 的钢绞线组成,破断载荷约4960 KN,另2根缆索,每根缆索由19股 $\Phi 13$ 的钢绞线组成(图5)。

通过锚具把缆索锚固在桥墩的隔板上。在每一跨的中间部分有五个转向装置,它使缆索转向。在桥墩部分,埋置一段半刚性管是为了使缆索与锚具接起来,而有一段电镀导管是为了让缆索通过转向装置。在这些当中,缆索的周围包有塑料管。塑料管、套用橡胶套管软管箍连接(图6)。所有缆索经过预制和用液压拉伸;并进行防腐灌浆。

桥墩的上承板需进行横向后张拉。所用的索是体内索,它由4股 $\Phi 13$ 的钢绞线组成,并且用锚具锚固。

2.4 法国马塞的O. A. 33大桥

O. A. 33大桥的位于马赛市以北,远离市中

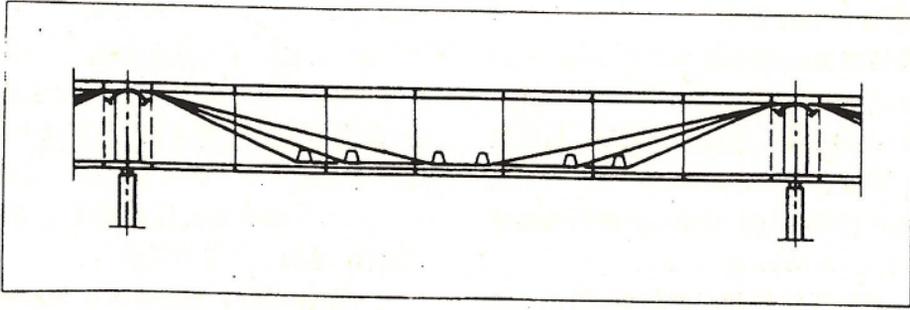


图5: 索的布置

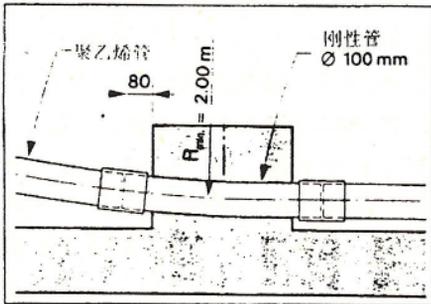


图6: 转向装置的细节图

心。该桥包括两个上部结构,每一上部结构有三条车道。这两结构分别有跨度23 - 29 - 43 - 2x40 - 43 - 38 - 20m和31.69 - 2x40.01 - 38.61 - 2x43.02 - 33.01 - 27.01m。它们在垂直方向和水平方向都要弯曲。单室箱梁厚2.85m,桥面板宽14.42 m。

这两座桥的上部结构均采用顶推法 (incremental launching method) (图7),作这样变动可节约开支。在最低点的桥墩的后面进行装配工作。桥墩和内部的隔板中的体外索同时分别安装。

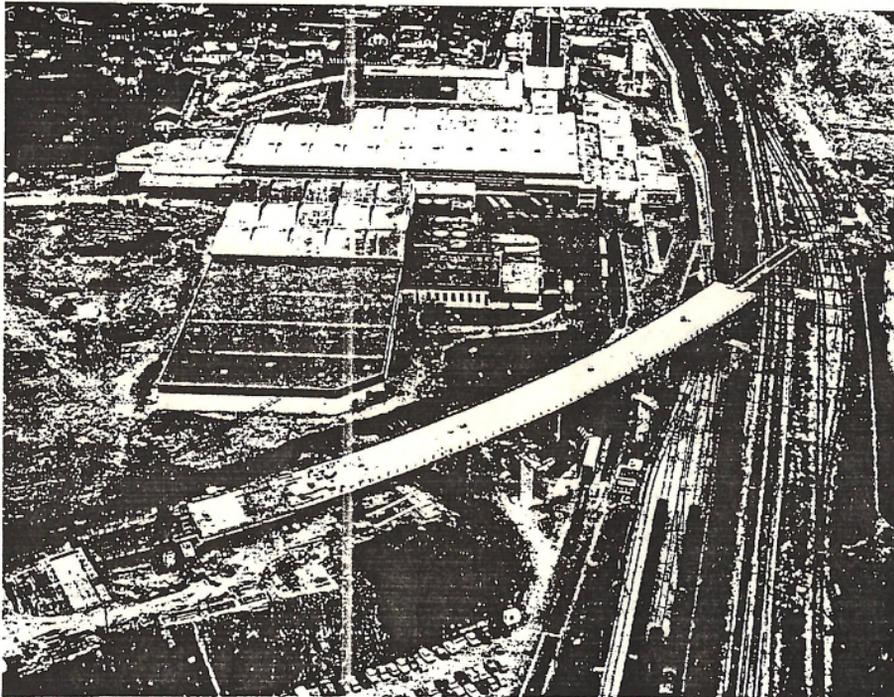


图7: 正在建造中的O. A. 33桥

在投标时提出了部分或全部采用体外索的后张拉设计。选择下列三组缆索进行说明(图8):

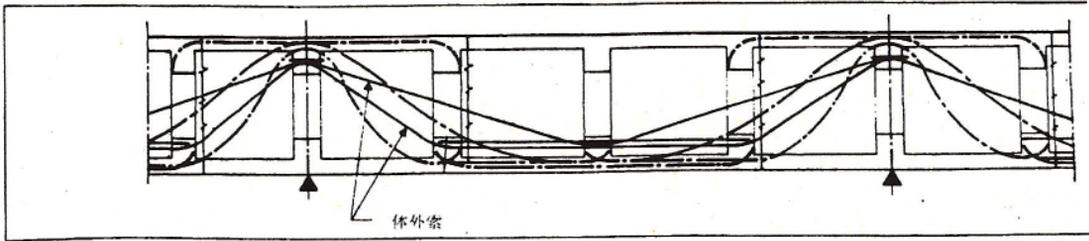


图8: 索的方案

在新的顶推装置向前顶之前张拉好的永久性缆索。这些缆索有多边形的、有抛物线形的，它们在混凝土块当中。

在顶之前张拉临时索，以后它们还可以放松和更换。在完成第一个上部结构的安装，临时索可在第二个上部结构的安装上继续使用。所有这些索都是体外索。一些是直的，而另一些是多边形，在第一组相连接处，得一个中心预应力。

在顶推装置向前顶之后张拉好永久性缆索。它们有的是直的，有的是多边形的。

所有缆索都是由12股 $\Phi 15$ 钢绞线组成(破断力3024KN)并且在其两端采用锚具。临时索和终了体外索都是置于聚乙烯管内，而钢管用于终了体内索。所有终了体内索均灌水泥浆。

体外索被放置在混凝土框中的弯状钢管所弯曲。在钢管的两端有短的PE管连接起来。通过焊接将这截PE管和两头的PE管连接起来。

2.5 科威特巴比延桥

巴比延桥位于阿拉伯海湾，将科威特本土与巴比延岛连成一体，采用预应力混凝土组合空间桁架结构。该桥总长2503.05m，共59跨，通航孔跨径53.80m，其余标准孔跨径40.16m，结

构型式为5跨或6跨一联的预应力混凝土连续桥梁。桥宽18.2m，两条6.1m行车通道和两条1.5m人行道。

该桥的上部结构采用组合桁架预制节段拼装，标准工段的桁杆由16个三角形预制件组成。预制节段时，先在模架上放16个三角形构件，然后浇筑底板和顶板混凝土。采用这种方法，将空间结构平面化，使复杂结构能够实现。

组合结构桥包括预应力混凝土组合空间桁架桥和钢-预应力混凝土组合桥，采用组合桁架或钢腹板代替传统的箱梁混凝土腹板，以减轻结构自重，其顶板和底板仍为钢筋混凝土结构。

采用组合桁架结构来代替箱梁可节省混凝土20%、预应力钢材30%，减轻了上部结构重量。节段制作在架桥机的模架上完成，节段间采用干接缝，设多重组合缝。

巴比延桥的外预应力筋布置台如图9所示，标准跨使用8束 $24\Phi 15$ 钢绞线，极限强度1814MPa，通航主跨使用12束 $24\Phi 15$ 钢绞线。外预应力孔道采用聚乙烯套管，折角点处套管衬金属丝加强。一联预应力施工完成后，即进行孔道内灌浆。(待续)

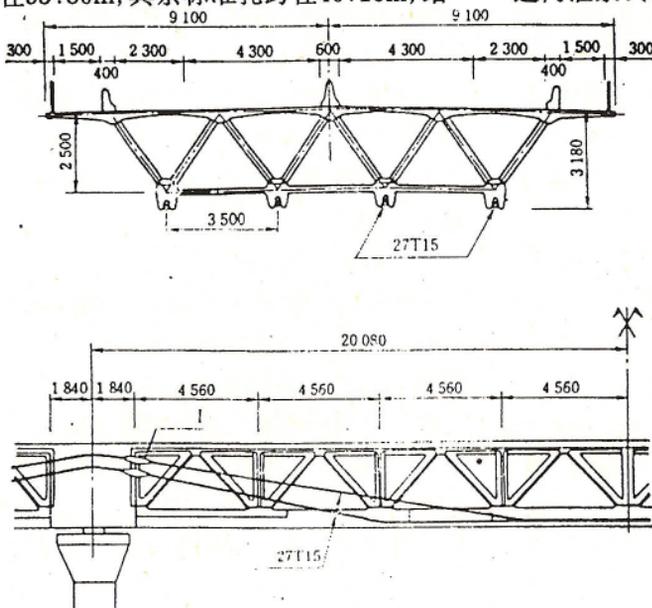


图9: 巴比延桥

1—连接器: 27L15—预应力束