

# 大型 U 型梁的预制施工及工艺

## 在新加坡 PIE 高速公路阿裕尼桥的应用

王小勇 姚永湖

**【摘要】** 本文全面介绍了 U 型梁的预制工艺及施工控制要点在新加坡 PIE 高速公路阿裕尼桥的应用, 文中详细阐述了预制场的布置、管理及施工人员的配置, 并对该项目采用的先进的现代化设备和传统的施工工艺相结合的施工方法进行了分析。

**【关键词】** 预制混凝土构件 预制床 张拉台座 移梁 标定 补张

### 一、前言

新加坡是一个约 640 平方公里的热带岛国, 该国绿树成荫, 四季飘香, 生态环境好, 常年气温在 24—33℃ 之间。这个岛国非常洁净, 对于建筑工程, 有明确的条例禁止现场搅拌混凝土, 全部使用车送混凝土, 再加上要减少工地噪音, 提高施工质量和效率, 从而促进了建筑预制混凝土构件的发展。

在新加坡有许许多多的专业预制混凝土构件厂, 如 Coleco、PohChang、L&M 等等。在新加坡 QVM (欧维姆) 作为分包商于 1993 年进入新加坡建筑行业, 并于 1998 年在那里建成了 OVM 预制场。

### 二、工程概况

PIE 泛岛快速公路是贯穿新加坡东西的主干道, 全长约 40 公里, 东至著名的樟宜国际机场, 西至新马大桥 (新加坡至马来西亚的第二通道), 其中阿裕尼桥建造于 20 世纪 80 年代初, 为双向六车道简支梁结构形式。90 年代, 随着经济的快速发展, 该桥已不能满足交通需要。新加坡陆路交通管理局 (LTA) 决定对其进行拓宽为双向十车道, 并在至樟宜机场方向增加一条紧急通道。维宝控

股集团中标建设, 中标价为 4600 万新元 (人民币 2.162 亿元)。OVM 作为维宝集团的分包商得 U 型梁的预制及吊装工程, 中标价近 1500 万元人民币。

该项目包括 75 条 U 梁, 最长的为 35.7 米。梁的横截面如图 1 所示。高 1.7 米, 上端宽 1.6 米, 下端 1 米。该梁由 LTA 按 BS 标准设计, 混凝土标号为 55N/mm<sup>2</sup>, 预应力布置方式为: 下部为 32 根  $\Phi 15.24\text{mm}$  先张拉钢绞线, 上部是 2 束分别为 19 孔至 27 孔的后张预应力索, 如图 2 所示。

该项目主要包括预制场的设置、U 梁的制作

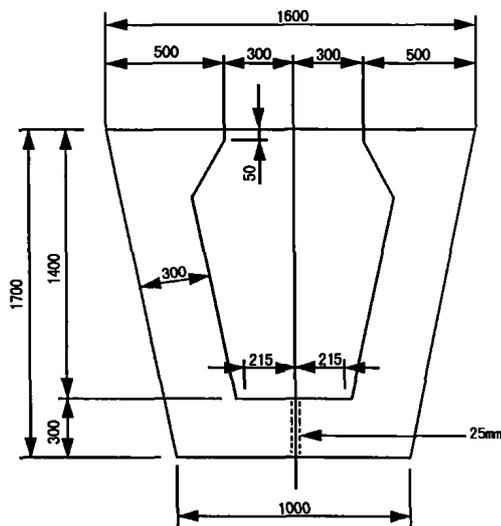


图 1 U 梁截面图

王小勇: 柳州欧维姆机械有限责任公司

和吊装三部分。

### 三、预制场的设置

按照工程的进度，要求月产梁 8 片。根据场地条件和施工需要，预制场平面布置图如图 3 所示。

预制场长 54 米，宽 47 米，共有 4 条预制床，4 个张拉台座。两个各 12 米长的存梁区，可存梁 12 片，两个各 8 米宽的履带式吊车活动区。两条贯穿预制床的导轨及 4 个牵引台座。预制床用 T 型地梁式，梁面平地面，梁端采用 2 个牛腿式凸台作为先张拉台座，先张拉钢绞线通过两牛腿之间的预留位置到达钢制的张拉台座。

### 四、U 型梁的制作

当预制场地第 1、2 号床竣工后，就开始了 U 型梁的预制工作。预制梁的制作工序如图 4。

施工人员编制：预应力施工组 (A)、钢筋混

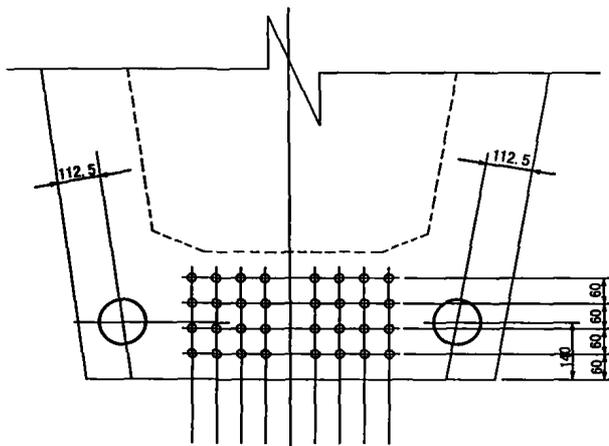


图 2 预应力筋布置

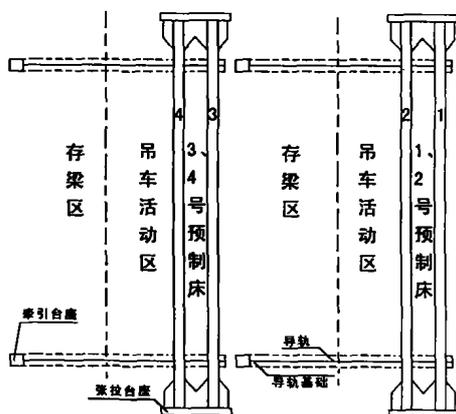


图 3 预制场平面设置

凝土施工组 (B)、质量检验组 (C)。

下面，就该预制工艺流程的要点做以下描述：

#### 1、钢筋在预制床上的就位

##### 1.1 工序

在预制床上划线→放置混凝土保护块→吊入已扎制好的端部钢筋→吊入箍筋→装入受拉钢筋。由 A 组施工人员在 1 号床上放置预先弯制好的钢筋并就位。

##### 1.2 施工要点

① 首先，在制作梁下部的矩型箍筋的时候，一定要按照波纹管的设计中心线改制成凹或凸的形状，以预留出波纹管的位置，免得到时无法定位，不能满足偏差小于  $\pm 5\text{mm}$  的技术要求。并把改制矩型钢筋的图纸和资料提前一个月提交给 LTA，LTA 一般要两周后才能答复。

② 为了保证在最短的时间内把钢筋在预制床上就位，对于该梁的复杂部分，即梁的两端，应预先扎制好，一旦床位有空，马上就可以吊装钢筋就位。

③ 梁的两端一定要按照图纸和技术要求预留出盆式桥梁支座的 2 个插销孔，并装置销孔灌浆管。这个位置一定要保证准确，否则，在吊装时就会发生因支座销装不进销孔的尴尬局面。不仅如此，两台 500 吨的大吊车也会因此而延长工作

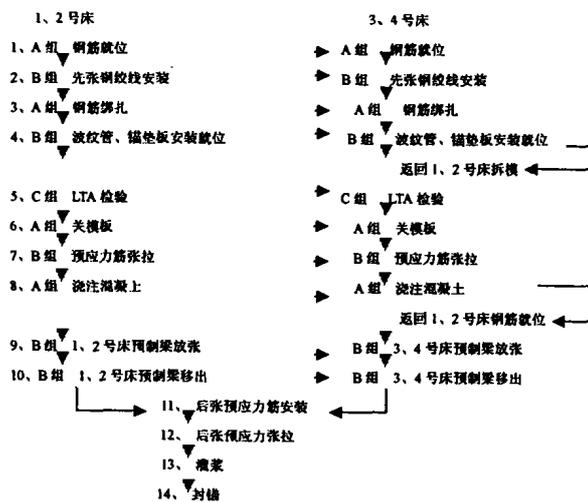


图 4 预制梁制作工序

时间(吊车台班费 6000 新币/台班)。

## 2、先张钢绞线的安装

### 2.1 工序

准备工作→安装钢绞线→安装单孔工具锚板和工具夹片→预张拉钢绞线至 26.5KN。由 B 组施工人员进行施工。

### 2.2 施工要点

施工中钢绞线必须穿入已经放置好的矩型钢筋中,由于钢绞线自重下垂,使钢绞线头总是往钢筋下方空隙中钻而穿不过,需要工人时常把钢绞线头挑起来,这种安装既费时又费力。于是,对此进行了改进。制作一个可拆卸的导向套,先穿上最上层的一根绞线,并预张以抵消其部分自重,使其脱离床面而稍微绷紧,将下一根钢绞线插入导向套,用螺栓使其悬挂于已预紧的钢绞线上,这样,钢绞线头就再也不会再在床面的钢筋下乱窜。省力省工,极有效率。

## 3、钢筋的扎制

### 3.1 工序

固定箍筋→固定受拉钢筋→联接梁的端部钢筋→安装预埋钢筋。由 A 组施工人员进行组织施工。

### 3.2 要求

在新加坡,质量控制极为严格。钢筋的间距及搭接长度必须严格按图纸及技术要求操作。在同一个横截面不能搭接所有的剪力钢筋,必须交错搭接。一般不允许焊接,若确实需要,必须事

先提交书面报告及材料说明并经 LTA 批准后才能焊接。

## 4、波纹管、锚垫板安装就位

### 4.1 工序

安装波纹管托架→安装波纹管→安装排气口→安装并固定锚垫板→固定波纹管。由 B 组施工人员进行组织施工。

### 4.2 施工要点

波纹管的安装按图纸以坐标点来控制,根据英国标准其允许误差为  $\pm 5\text{mm}$ ,比国内  $-5\text{mm}$  至  $+10\text{mm}$  的要求要高。如果在制作钢筋的时候不做充分的准备,就很难达到这一要求。每间隔 15m 要求设置一排排气口(出浆口),一般在最高点和最低点都要设置一出浆口。相邻的最高点和最低点间距若大于 15 米,则要求在中间再设置一个出浆口。

### 4.3 锚垫板的安装

锚垫板的安装要注意两点:首先,其角度一定要保证其端面与波纹管中心线垂直;其次,端部的预留空间一定要满足在封锚时能够将锚端钢绞线全部封住,至少要有 50mm 厚的保护层。

## 5、LTA 的检测

LTA 作为业主,按英国标准和 ISO9000 的要求,有一套极为严格的质量控制和监测系统,包括对材料、设备、技术要求、工艺、管理等的监测,甚至人员配置也在其监测范围内。



图5 钢筋就位、扎制及先张钢绞线安装

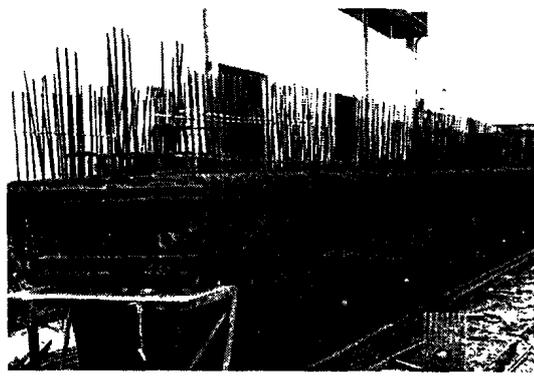


图6 波纹管、锚垫板安装

LTA对上述四道工序的工作做全面的检测。这也是施工进度极为关键的一环，它关系到前面所做的工作是否需要返工，接下来的工序是否能够进行。接下来的每一道工序 LTA 都要检测。对于浇注混凝土、张拉、移梁、灌浆、吊装等重要工序，他们全天候形影不离的盯着。

## 6、关模板

### 6.1 工序

清理模板并上油→先端模→再外模→后内模→安装震模器。由 A 组施工人员进行完成该项工作。

### 6.2 施工要点

该项目全为钢制的模板，分为内、外模。其中外模板标准块长为 6m，宽为 2m。模面是两块厚 6mm 的钢板，在下端稍微错开以便与预制床边的密封带咬合。最下面焊有与对面模板一起绑紧的紧固槽；两边接头处为角钢；横向以槽钢为加强筋，间距为 400mm；纵向在槽钢上焊接工字钢，间距为 600mm，每一根工字钢上都有支模脚，以连接支模杆；支模杆为套筒螺杆式（可调整可拆卸）。内模板因 U 梁上端的开口小，整体无法拆除，故做成两半，中间连接处用螺栓联接，中部为套筒螺杆式支模杆，方便支模和拆模。

## 7、先张预应力筋的张拉

### 7.1 工序

准备工作→预紧→张拉并记录→测量伸长值→计算伸长值并提交给 LTA。当封模工作由 LTA 检查完毕后，就由 B 组施工人员进行先张钢绞线张拉。

### 7.2 施工要点

① 根据设计要求及 BS 标准，张拉前需对张拉机具配套标定，标定有效期为 6 个月，由新加坡 DNV 检测标定，并把标定书提前一个月提交给 LTA。

② 张拉设备采用 ZB4-500 油泵和 YDC240Q-200 前卡式千斤顶。 $\phi 15.24\text{mm}$  钢绞线强度为 1860MPa 破断力为 265kN，预紧力为破断力的 18%，

即 47.7kN，张拉力为破断力的 75%，即 198.75kN。用传统方法进行张拉控制，即以压力表读数控制张拉力，以钢绞线的伸长量作校核。

## 8、浇注混凝土

### 8.1 工序

准备工作→检测混凝土→浇注、震捣混凝土→养护混凝土。从 U 梁的一端开始浇注到另一端，A 组施工人员进行施工。

### 8.2 施工要点

① 该预制梁使用强度为  $55\text{kN/m}^2$  的高标号混凝土，由混凝土泵车从专业搅拌站送至工地浇注。按技术要求对混凝土的坍落度进行检测，并取样制作试块。

② 因为 U 梁的壁极薄，加上钢筋布筋极密，许多地方无法使用插入式震捣器，极易因震捣不密实而产生蜂窝。为了防止这种现象的出现，在内外模板上分别挂上一对风动震模器，并随混凝土的浇注而移动，同时，用直径为 30mm 的小型插入式震捣器震捣。这样，浇注的混凝土质量非常好。

## 9、预制力的放张

### 9.1 工艺

拆除内、外模板→准备工作→切割钢绞线。一般浇注混凝土后两天就可拆模。待试块达到设计强度的 75% 即可放张。由 B 组施工人员进行施工。

### 9.2 施工要点

① 一定要等试块抗压强度达到设计的 75% 并报请 LTA 同意后才能放张。

② 放张前一定先要拆除内、外模板，防止预制梁因放张受到压缩而挤压内模；外模不拆除会影响混凝土因压缩而产生的徐变。

③ 放张顺序一定要对称，并在预制梁两端同时放张。

## 10、预制梁的移出

### 10.1 工序

顶举 U 梁→放置小拖车→牵引小拖车→存放

预制梁。这是关系到工作进度极为重要的一环,如果不能及时将预制好的梁移出,将无法预制下一片梁。由B组施工人员实施。

### 10.2 施工要点

① U梁的顶举:在U型梁两端各放置2台YDG60千斤顶和1台ZB4-5油泵。千斤顶的位置一定要准确,确保在两端同时顶举的时候保证梁的平稳。顶举速度不宜过快。

② 小拖车的放置:在顶举高度达到100mm时,抽掉预制床上盖住铁轨的小铁板,在导轨上涂上黄油,把小拖车放在导轨上并推入预制梁下,在小拖车最上方放置较宽的木板。注意要使导轨两边与小拖车的间隙保持一致。这时,两端的油泵同时回油,千斤顶回程,整片梁就架在两部小拖车上。

③ 预制梁的牵引:用同样的方法使另一片梁的小拖车就位。这时,在小拖车上层的预留孔内穿入一根 $\Phi 15.24\text{mm}$ 的钢绞线,端部装上OVM15-1单孔锚板,再装上三片式工具夹片并打紧。钢绞线的另一头接到牵引台座,在两个牵引台座各设置一台YDC240Q-400千斤顶及一台ZB4-500油泵,同时操作油泵使YDC240Q千斤顶运作,钢绞线随即绷紧并拖动小拖车移动。若2片各120吨的U梁同时拖动,所需的牵引力在20~24吨左右。单根钢绞线受力约为10~12吨。小拖车与导轨的摩擦系数在0.09~0.1之间。



图7 顶举U梁及放置小拖车

④ 预制梁的存放:当预制梁被移至存梁区所在位置后,同步骤①一样,再顶起预制梁,并在梁下放置比小拖车稍高的枕木,使梁架在枕木上。这时,拆卸下小拖车并用于下一次的移梁。

### 11、后张预应力筋的安装和张拉

#### 11.1 工序

钢绞线→工作锚板→工作夹片→限位板→垫环→YCW650A千斤顶→垫环→工具锚板→工具夹片。由B组施工人员组织施工。

#### 11.2 施工要点

① 穿入钢绞线时,两端一定要预留不短于850mm的钢绞线,以满足YCW650A千斤顶的张拉所需长度。另外,在切割钢绞线时,最好按锚板的孔位排列把钢绞线上排列成梯形,最下一排钢绞线最长,最上一排钢绞线最短,以方便安装工作锚板和工具锚板。

② 与先张拉机具一样,后张拉机具也需要DNV的标定。YCW650A型千斤顶配用ZB10/320-4/800B电动油泵。这次预紧力为钢绞线破断力265kN的15%,即39.75kN。张拉力为破断力的75%,即每根198.75kN。以27孔锚具为例,则总张拉力为 $198.75 \times 27 = 5366.25\text{kN}$ ,总张拉力由压力表读数控制。但在用伸长值作校核时,则以单根钢绞线的伸长值,即千斤顶活塞的张拉行程为准。为了精减张拉机具和施工人员,该预制梁采用一端张拉,另一端补张的方法。对于第一次张拉时的伸



图8 牵引U梁

长值,由回归方程  $y = Ax + b$  求解所得。对于补张拉的伸长值由两条回归方程  $y_1 = A_1 x_1 + b_1$  和  $y_2 = A_2 x_2 + b_2$  求解所得。因此钢绞线的总伸长值为第一次张拉和补张拉的伸长值之和。

## 12、灌浆

### 12.1 工序

灌浆可分为试验和实际灌浆两部分。即试验 → 确定水灰比和膨胀剂量 → 现场准备 → 波纹管内存水 → 用高压风吹洗管道 → 拌水泥浆 → 作流动度检测 → 灌浆 → 取样做试块。

### 12.2 施工要点

① 对于任何一个项目,都要做灌浆试验。按设计的水灰比和膨胀剂及减水剂量配置水泥浆。检测其流动度,检查其24小时后的泌水率和膨胀率。并取  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$  三组试块测定其不同龄期的抗压强度,根据 BS5400 试块在7天要达到  $17\text{N/mm}^2$ ,28天达到  $30\text{N/mm}^2$ 。使各项检测指标都能满足技术要求及BS标准后,才能在实际灌浆中使用该配比。

② 根据技术要求所拌制的水泥浆必须要在2小时之内灌注。所以,要先清洗好所有的孔道并做好准备,之后才开始搅拌水泥浆。灌注过程中要随时检查水泥浆的流动度,防止水泥浆过稠或过稀。因为新加坡地处赤道位置,气温极高,水泥浆的水份极易蒸发;如果能满足强度要求,尽量取用较大的水灰比。否则,极易造成堵浆。该

项目的水灰比取用0.44。另外,一定要记得取样做  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$  的试块。

## 13、封锚

### 13.1 工序

清理锚端 → 制作钢筋 → 装模 → 浇注混凝土。

### 13.2 施工要点

等灌注的水泥浆凝固之后即可进行封锚工作。施工过程中要注意端部一定要按照技术要求保留50mm厚的保护层。另外,在装模时,必须测量整片梁的长度,不能超出允许误差范围。

## 五、运输和吊装

### 1、工序

吊车就位 → 起吊 → 放置于吊车上 → 等交警引路 → 运至阿裕尼桥 → 到晚上12:00整 → 封路 → 吊车就位 → 起吊 → 预制梁安装就位。

### 2、施工要点

2.1 由于在当时的位置起吊120吨重的预制梁,需要2台300多吨至500吨的大型吊车。

2.2 对于这一部分的工作,最为重要的是在起吊和运输过程中保证预制梁的质量和外观不受损坏。

另外,吊车的停放位置也很重要。在新加坡,就曾因停放位置不当而发生吊车翻倒的严重事故。

2.3 另外要注意的是必须提前一个月向新加坡LTA和交警局提交预制梁运输的具体路线和时间,并在当地广播和报纸上提前两天广播和刊登



图9 存梁示意图



图10 封锚示意图

将要封闭的路段和具体时间。

## 六、预制工艺分析

### 1、选择预制场方案

在新加坡,土地的使用是相当昂贵的,当时,地租每个月就要新币 16391.42。如何让整个预制工作循环运作,以提高工作效率,预制场的布置就显得十分关键。

1.1 首先,要确定的是如何将已预制好的预制梁移出预制床。有三种方法,其一就是简单、方便的吊出法,即用 300 吨以上的大型吊车吊出。但此方法所耗的时间长,工作空间太大,这样的大型吊车配备极高,每台吊车的配件就有两大车,支脚板、垫板一车,安装一辆吊车要一整天,而真正吊出来的时间只有十几分钟。另外,它的费用相当昂贵,一个台班 6000 新币,两台工作,一天就要 12000 新币;而且,在这一天内,场地全部停满了大大小小的车子,预制工作就无法进行。

1.2 第二,在该预制场安装龙门吊车。但要吊起重达 120 吨的 U 梁,该龙门吊的造价也非常昂贵。况且,还需要一笔不少的维护费用。

1.3 第三就是该项目所采用的顶起、牵引法移梁,该方法要增加一些基础设施和设备,基础设施为导轨及其钢筋混凝土基座(龙门吊车也需要),完成该工作包括人工和材料所需费用不过 1 万新币。设备方面需增加 4 台 YDG60 千斤顶,2 台 ZB4-500 油泵,2 台 YDC240Q 千斤顶,数辆小拖车(自制),共约 2 万新币。增加施工人员费用,按当地劳工人均工资 23 元/天计算,8 人工作半天计

92 元,75 片梁共计  $75/2 \times 92=3450$  元新币,采用第三种方法总计费用 33450 新币。两种方法之差为  $75/2 \times 12000-33450=416550$  元(新币),可见方案的经济性。

### 2、设置预制床

我们用现有的单孔张拉的设备 YDC240Q 来工作,单根  $\Phi 15.24$ mm 钢绞线的牵引力可使用到  $265\text{KN} \times 80\%=212\text{KN}$ ,2 台千斤顶 2 根钢绞线共计 414KN 的牵引力。钢绞线的静摩擦系数为 0.11—0.12,取最大位 0.12 计算,单根梁重 120 吨,其最大摩擦力为  $0.12 \times 120=144\text{KN}$ ,以  $414\text{KN}/144=2.86$  根,取整数,则每次可以同时牵引两片梁。另外,在该预制工作中,由 2 组施工人员;即钢筋混凝土组,预应力施工组共同组织施工,为了彼此间协调配合,以两条预制床为一个单位,穿插交错施工是非常合理的。如工序图所示,先由 A 组施工人员用半天时间在 1 号床放置钢筋;之后, B 组施工人员再用半天时间安装先张拉钢绞线,在同一时间, A 组施工人员转去 2 号床放置钢筋;第二天上午 A 组施工人员转去 1 号床绑扎钢筋, B 组施工人员转去 2 号床安装先张拉钢绞线。这样交叉进行施工,使 A、B 组施工人员都不至于在工序的交换过程中无事可做。而且,分工明确,专业性强,能更好地保证施工质量。

### 3、预制工艺不足之处

3.1 设计预制台座时,对预制台座上部受到压应力时所产生的向下的挠度估计不足,以至于先张钢绞线张拉时造成较大的应力损失。需要做第

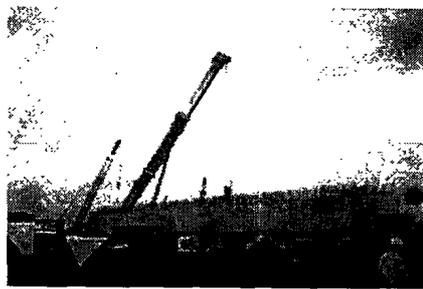
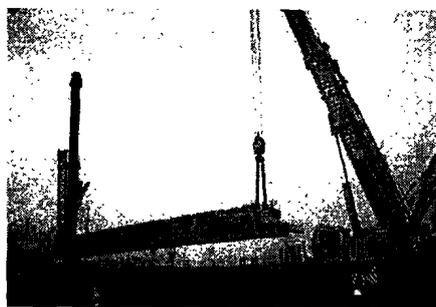


图 11 吊运 U 梁示意图

二次补张拉才能满足设计所要求的有效预应力,这样就造成施工程序和时间的增加,从而影响到整个施工进度。为了综合考虑到整个预制工作的成本,根据先张钢绞线的张拉力,较为合理的设计应该在地梁中配置适当的预应力筋。

3.2 由于 YDC240Q-400 千斤顶的价格远小于 ZLD100 自动连续千斤顶,公司为了节约成本,在牵引工序中利用现有设备 YDC240Q-400 千斤顶,虽然能把梁移出,但牵引速度较慢,操作复杂,梁作间歇性运动。从经济效益方面看是取得了较好的成果,但若采用 OVM 公司的 ZLD 系列自动连续千斤顶,整个施工程序就会显得更加具有先进性、可看性。

### 七、结束语

总的来说,该预制工艺是相当成功的,虽然存在一些不足,但从经济效益来看是非常满意的,尤其是移梁工艺,放弃传统的龙门吊车和先进的

大吨位轮式吊车而采用预应力工艺,在新加坡这个地租高、人力成本高的地方应用很有创意。该项目是 OVM 公司在新加坡所做工程中较大的一个项目,也是经济效益较好的一个项目。笔者能作为该项目的项目经理和其中一员而感到自豪,同时也非常感激彭放博士的支持和帮助,也希望此文能为有志气到新加坡参加工程的人员提供一些经验帮助。

### 参考文献

- 1、桥梁施工工程师手册,扬文渊、徐彝主编,人民交通出版社,1998年7月。
- 2、BS5400 标准第二、四、七部分。

### ●信息窗●

## 亚洲转体重量最大的 北京石景山高架斜拉桥转体成功

8月6日下午3时50分,由柳州欧维姆工程有限公司具体实施的亚洲转体重量最大的转体斜拉桥位于北京市五环路上的石景山高架桥开始转体施工。转体施工采用液压自动控制和手动调整,68分钟后,主桥就实现了平稳与引桥对接,比预计时间缩短了2分钟,误差为零。

石景山高架斜拉桥是北京五环路的控制性工程,桥重达1.4万吨,桥长165米,宽25米,双向六车道,设计最高时速为100公里,距地最大高度为50米。由于该斜拉桥要横跨

铁路石景山编组站的七条铁路线,每3分钟就有一辆火车通过,常规办法无法进行施工,经多次论证,决定采用转体法施工。工程于今年2月15日正式开工建设。此次转体角度为49度,需要运行约70米。此次转体施工在桥梁史上填补了北京市的一项空白,因为北京转体法施工,斜拉桥这是第一座。转体的成功,也标志着北京五环路主体结构的全线贯通。

(编辑部)