

新型预应力装配式桥墩在新澳内大桥中的应用

彭 放

一、工程概要

新澳内大桥是连接澳门与内仔岛的跨海公路大桥,该桥的兴建是澳门发展战略的一部分。随着九澳深水港、澳门国际机场等大型建设项目的相继落成,该桥在澳门未来的经济发展中将发挥至关重要的作用。该桥由葡萄牙某一公司设计,中国港湾工程公司下属的澳门振华海湾工程有限公司承建,交通部第四航务工程局负责施工。

新澳内大桥全长4402m,由12m跨引桥、35m跨主桥和112m跨通航孔桥组成(未包括两端匝道桥和立交桥),桥面宽19.3m。其中,12m跨引桥布置在大桥南北端两端较浅的海域上,共158跨,总长1896m。引桥采用桩排架基础,每组排架沉打60×60cm的预应力混凝土方桩6根。桩顶现浇横梁,梁上简支安装预制的预应力M型桥面板;35m跨主桥系4~9跨为一连的连续梁桥,分南北中三段,共53跨1855m;112m跨通航孔桥分内港航道和外港航道共三个通航孔,总长651m,采用双索面斜拉结构,形成颇为独特且简单的斜拉索桥。主桥和航道孔桥桩均采用直径为1.25m的钻孔灌注桩(七根一墩、四根一墩两种),桩顶安装预制挂箱,现浇桩帽。桩帽以上的桥墩部分,通航孔桥采用现浇立柱及变截面塔柱的形式而构成斜拉索体系,而主桥部分则采用独特的预应力装配式桥墩,设计新颖,施工方便。本文重点介绍和讨论这种新型桥墩的设计特点及施工方法。

二、装配式桥墩的结构设计及施工方法

跨海桥梁的特点决定了位于较深水域的主桥部分线路长、墩位多。新澳内大桥的主桥长(不

包括通航孔桥)占全桥的40%以上,桥墩多达54个,最高的桥墩墩顶至海面净高达33m。由于海上特别是较深水域的施工受风浪、气候、运输等多方面因素的制约,对于这样的跨海桥梁建筑,一个合理的设计构思及施工方法,不仅反映着建筑者的专业水准,更对施工进度及工程成本有着直接的影响。这方面,新澳内大桥主桥墩的设计及施工经验值得借鉴。

(一) 装配式桥墩的结构设计

新澳内大桥主桥桥墩采用多层横截面为工字型的钢筋混凝土预制块体为墩身主体,采用装配的方式,对穿过墩身及墩顶横梁的高强预应力钢筋进行张拉锚固,将墩身与桩基承台连成一体,如图1所示。

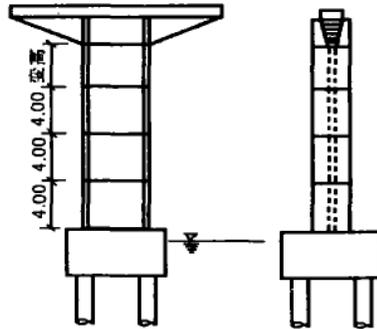


图1 主桥桥墩结构示意图

桥墩主体结构分三个部分:

1、桩基承台

主桥桥墩以一组四根钻孔灌注桩为桩基,采用预制的钢筋混凝土挂箱作为桩帽的永久模板,挂箱内现浇混凝土形成桩基承台。

这种桩基承台的最大特点在于预制挂箱的设计构思。挂箱分上下两部分(见图2),底板以上现浇混凝土形成桩帽,底板以下形成“裙围”式的空腔。这样,在保证桩帽混凝土合理尺寸的前提下,同时也满足了在潮汐变化过程中,既便

彭 放 柳州欧维姆建筑机械有限公司副总经理
新加坡OVM预应力私人有限公司总经理
原交通部第四航务工程局高级工程师
新澳内大桥预应力工程项目经理

是最低潮位也不露出帽底桩身的外观要求。

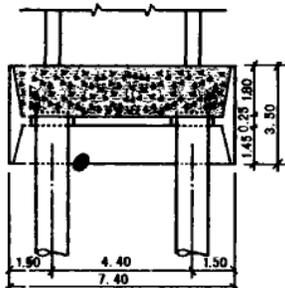


图2 桩基承台示意图

2、组合T字块体

主桥墩身通过图3所示的T字块体装配而成。这种预制的混凝土T字块体按尺寸的不同分为两类：一类是定高为4m的标准块，用作基本尺寸的拼合；另一类是变高度的调整块。由于每个桥墩的设计高程不同，由标准块体拼合后的剩余高度用变高块体来调整。因此，不同的墩位，调整块体的高度不同。

所有T字块体具有图3所示的相同截面。每个T字块的上下表面设有榫槽及榫头，保证相互接合稳固，定位方便。每个T字块体均有10条相同的预应力预留孔，锚固在桩帽承台内的高强钢筋穿过这些孔将所有的组合块体连成整体。

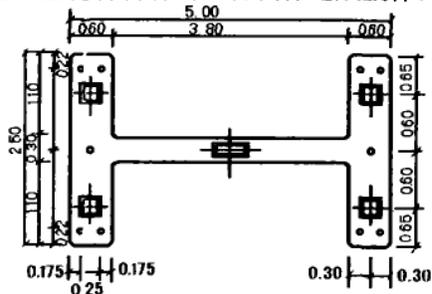


图3 预制T字块体横截面图

3、墩顶横梁

墩顶预制横梁具有与T字块体完全吻合的两翼及相应的预留孔道，整个桥墩的预应力通过梁顶张拉而得到实现。

(二) 装配式桥墩的施工方法

装配式桥墩的最大特点是避免了现场现浇混凝土的施工程序，有利于大面积的流水作业，从而大大缩短了施工工期。这对于墩位多，混凝土方量需求大的跨海桥梁而言是十分必要的。

装配式结构施工主要包括构件预制及构件装配两方面内容。对于主桥桥墩这样重要的结构部位，技术要求严，难度大，要顺利地完装配式施工，从预制构件开始就要有相应的技术措施加以保证。

1、构件的预制

新澳内大桥主桥桥墩采用多层T字块体装配的形式，最高墩由七层预制T字块组成（6个4m高的标准块体、1个2.58m高的调整块体）。施工中需要解决的一个技术问题是如何保证T字块体与T字块体之间的接缝吻合良好，从而避免安装过程造成的桥墩垂直度及高程上的累积误差。

为了解决这个问题，预制T字块时，对于每个桥墩，严格按照由底至上的预制顺序。并且，上层T字块的预制必须以相邻下层T字块的顶面为底模。同一套侧模滑上，也保证了相邻T字块体侧面连接上的光滑。

具体施工时，只需在下层T字块的顶面涂上一层专门的分隔剂(Cormix分隔剂86/21C型)。这种分隔剂适用于各种混凝土，它可以很容易地将新浇筑的混凝土与早期硬化的混凝土分隔开来。

新澳内大桥所有的预制构件都是在交通部第四航务工程局在广州的两个预制厂预制的，根据工程进度，用驳船分别运往澳门工地安装。

2、构件的安装

墩身主体安装的前期工作是在钻孔灌注桩顶安装预制的挂箱，用以浇筑桩基承台混凝土。预制的挂箱以事先焊接在灌注桩钢套管上的牛腿为支点。在浇筑承台混凝土之前，用定位架准确定位将穿过T字块体的10条高强预应力钢筋。

在桩基承台平面上逐层拼装预制的T字块，这样形成的墩身能否满足设计的精度要求，在很大程度上取决于最底层T字块能否精确对位。特别是垂直度，底层T字块的微小偏差，都可能由于误差的累积造成墩顶偏位超过允许值。而事实上，施工现场现浇的桩基承台表面与预制厂预制的底层T字块底面是很难吻合良好的。为此，我

们采取了如下的解决办法,实践证明,这种处理方法是有有效的。

首先,在底层工字块翼缘端部适当高度对称安装4个钢牛腿,使得工字块在承台上就位后,4个手动千斤顶可以放置在钢牛腿底下对工字块进行垂直调位。通过这样的调整使垂直度符合要求后,势必造成承台表面与工字块底面之间存在缝隙。对于这样的缝隙,不适宜采用通常水泥灌浆封缝的方法。这主要是因为要保证水泥浆固化后具有要求的强度,灌浆时水泥浆要有相当的稠度,而稠度过高又很难使浆体充满较小的缝隙。为此,我们采用Sikadur 752注入剂进行灌浆。这是一种以环氧树脂为基质的自由溶液,具有良好的流动性,固化后的强度可达70MPa,其强度曲线见图4。

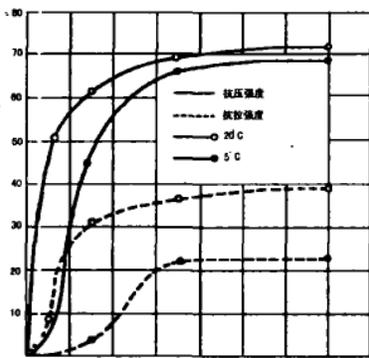


图4 Sikadur 752树脂抗压抗拉强度

为防止灌浆过程中这种流动性极强的液态环氧流入桥墩竖向预留孔,造成日后预应力灌浆堵孔,安装底层工字块前,在每条预留孔道周围安装数层具有一定弹性的止浆纸垫,工字块安装后压实纸垫从而起到止浆作用。

底层接缝灌浆前,先沿工字型结合面的周线用Sikadur 741型环氧灰浆封缝,同时均匀布置几条细小的进浆、出浆管。待周边封缝环氧灰浆固化后,再用专门的树脂注入机(英国ELE国际公司的CD₃-A型机)进行灌浆,直到所有出浆管都有理想的出浆,封闭出浆孔,继续灌浆至规定压力。待注入的液态环氧树脂固结后(一般需几

个小时)即可安装上层工字块。

底层以上的工字块以及顶层工字块以上的墩顶横梁,由于在预制时采取了特殊的措施,相邻预制块体之间的结合面吻合极好。因此,施工时只需在装好的下层工字块体顶面均匀地涂上一层Sikadur 732型环氧树脂粘合剂(涂层厚约3mm)即可安装上层工字块,直到墩顶横梁安装完毕。

正是由于采用了树脂注入调正法解决了底层工字块现场安装后的垂直度问题,采用了互为底模的办法解决了工字块与工字块之间以及工字块与墩顶横梁之间结合面的吻合问题,从而保证了多层预制块体装配后整个桥墩的垂直度。

上述新澳内大桥主桥桥墩的预制构件安装工作由起重荷载为2000kN的起重船完成。

三、装配式桥墩的预应力施工

装配式桥墩的最后一道工序是在墩顶横梁上对预留的10条预应力钢筋进行预应力施工,从而将墩顶横梁、墩身多层工字块体与桩基承台固结在一起。

新澳内大桥装配式桥墩采用德国DYWIDAG预应力体系的单根螺纹高强度钢筋,其材料特性见表1。

表1 主桥墩DYWIDAG预应力钢筋特性

| 公称直径 (mm) | 最大直径 (mm) | 钢等级 (Y _s /U _s) (N/mm ²) | 单位重量 (kg/m) | 螺距 (mm) | 截面积 (mm ²) | 弹模 (N/mm ²) | 伸长率 (≥%) |
|-----------|-----------|--|-------------|---------|------------------------|-------------------------|----------|
| 32 | 37 | 1080/1230 | 6.53 | 16 | 804 | 205000 | 6 |
| 36 | 41 | 1080/1230 | 8.27 | 18 | 1018 | 205000 | 6 |

(一) 预应力钢筋的安装

DYWIDAG单根螺纹钢筋的一个特点是其设计独特的螺纹,可以通过一个直接旋入的螺母连接器将两根钢筋连接起来。此外,预应力钢筋的锚固及锁定也是通过锚板及相应可旋入的螺帽来完成的。这给装配式桥墩竖向预应力筋的安装带来了方便。

工字块安装前,预埋在桩基承台内的10条DYWIDAG钢筋在承台面以上留有足够穿过首层工字块(高4m),并能露出工字块上表面15cm的长度。首层工字块安装完毕后,在每根钢筋上

拧入连接器,接上上一段钢筋(其长度仍以穿过上层工字块并留有15cm高度为准)。工字块安装时,先用吊机将工字块吊在空中合适位置,将10条竖向DYWIDAG钢筋对齐送入预留孔内即可放下工字块。这样逐层安装,直至横梁顶。预应力钢筋的安装与桥墩预制块体的装配同时进行。

(二) 预应力张拉

主桥桥墩竖向预应力张拉的控制应力采用DYWIDAG钢筋屈服应力的85%,即 $\sigma_k=918\text{N}/\text{mm}^2$ 。单根最大张拉力达934.5kN。张拉时采用在国内柳州市建筑机械总厂定做的YCL-200型穿心式千斤顶,配以该厂的ZB4-500型电动油泵来完成。这种千斤顶额定张拉力为1200kN,其特点是在张拉进行的同时可以手动上紧锁固螺帽。

预应力张拉的结果采用应力及伸长量双控制的方法。应力通过电动油泵上的油压表读取,伸长量通过量取张拉端锁定螺帽以外钢筋露头的长度在张拉前后的差值获得。

主桥桥墩的预应力张拉施工是在墩顶横梁上进行的。张拉用的千斤顶及油泵等设备通过固定在张拉工作船上的卷扬机由船舱吊到墩顶,张拉完毕后用同样的方法将设备吊回工作船。这种方法不受桥墩高度的限制,不单独占用大型起重船,施工起来灵活方便。

(三) 预应力管道灌浆

张拉施工完成后,随即对预应力管道进行水泥灌浆。浆体采用澳门产金鲤牌硅酸盐525号水泥,外掺CONBE×100型膨胀剂,水灰比为0.44。外加剂掺量与水泥用量之比为0.00454。施工时水泥浆的稠度通过标准锥型漏斗的泥浆流速来控制。试验结果表明,水灰比为0.44时,泥浆流出时间为17~18秒,此时泥浆试块的7天抗压强度均在 $30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上。

主桥桥墩采用至下向上的灌浆方式。在桩基承台面事先留有灌浆孔,墩顶横梁处留有出浆孔。此外,在张拉端锁定螺帽上尚留有3个排气

孔,以保证锚板底下的位置灌浆充实。

DYWIDAG系统有其配套的灌浆设备,包括泥浆泵、预留灌浆管等。但所有这些系统设备,对于垂直管道的灌浆,最大的高度只能达到10m。超过这个高度,只能将拌和机及泥浆泵升高到相当的位置进行分段灌浆,这对于高墩的桥梁施工是极其不便的。为此,我们施工中选择国产N3-250型拌浆机,S-2DN3/15型泥浆泵,改用预埋铁管灌浆头进行垂直一次灌浆。用这种方法,我们成功地进行了垂直高度达33m的高桥墩灌浆施工,灌浆压力控制在 $1\text{N}/\text{mm}^2$ 。

与张拉工作船一样,所有的灌浆设备,包括水泥材料及发电机系统等全部集中在灌浆工作船上。这样,张拉、灌浆各成体系,调动灵活,形成流水作业线,大大加快了施工进度。

四、结束语

通过对新澳内大桥主桥墩的施工,我们有以下体会:

1、预应力装配式桥墩设计新颖,施工方便。特别是对于桥墩较多的跨海桥梁工程,易于形成流水作业线,加快施工进度,这种设计构思及施工方法值得借鉴。

2、国外先进的预应力体系,特别是预应力材料,确有可取之处,但往往造价昂贵,有些在使用上亦存在明显的局限和不足。这使得我们一方面在采用这些国外技术和设备时要有所选择,有所改造。另一方面,有些配套产品完全可以用我们自己的设备和技术加以取代而大大降低工程造价;我们希望和期待着国内厂家在借鉴国外技术的基础上,尽快生产出更多的国产的过硬产品,这在国内市场上都将有广阔的发展前景。

注:本文原载于《高效预应力混凝土工程实践》,中国建筑工业出版社。