

【摘要】上海轨道交通 8 号线南延伸段高架上部结构采用的“U”形梁。“U”形梁设计新颖,外形美观,但钢筋绑扎、定位精度要求高,清水混凝土施工难度大;同时具有梁体抗扭刚度较差等特点,给预制施工带来了一定的困难。介绍了预应力薄壁 U 形梁现场预制的模具设计、钢筋骨架成型胎模、混凝土配比及预应力张拉等施工技术。

【关键词】高架轨道交通 U 形梁预制

1 工程介绍

上海市浦江镇公交配套工程 M8 线南延伸段高架轨道交通横跨浦东新区和闵行区,北起浦东新区成山路站,沿济阳路及浦星公路,途经杨思路、济阳路、凌兆路、芦恒路、陈行路、江月路、竹园路到航天公园,工程全长 14.23 km。

M8 线延伸段 VI 标自江月路站(不含)浦江世博家园站航天公园站两区间及两个高架车站的土建工程。其中江月路站至浦江世博家园站区间长 1.06 km,浦江世博家园至航天公园站区间长 1.287 km。线路最小平曲线半径为 300 m,最大坡度 35‰(图 1)。



图 1 M8 线南延伸段“U”形梁

本工程需现场预制“U”形梁共 211 根,“U”形梁为后张预应力结构,混凝土强度等级 C55(图 2)。

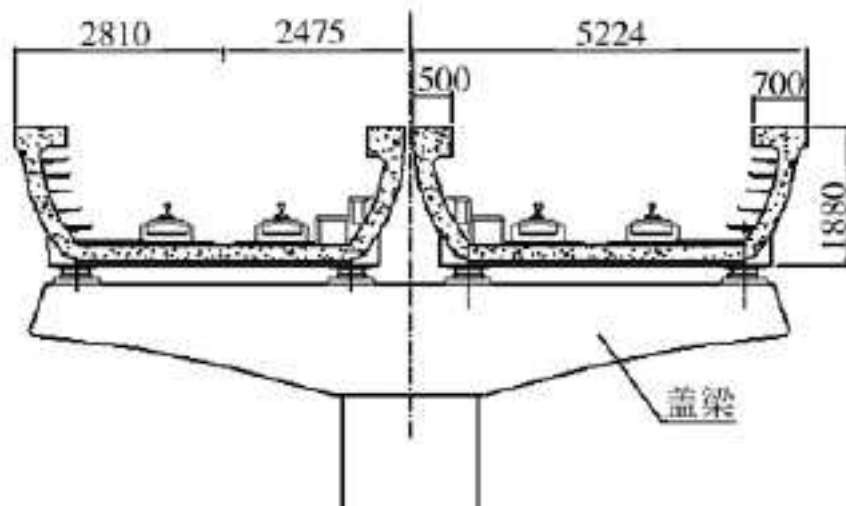


图2 区间标准U形梁布置断面图

2 U形梁预制施工特点及难点

现场预制的薄壁开口U形梁,外形美观。标准U形梁高1.86 m,宽5.224 m,长度30 m,重150 t。对U形梁的严格控制和精心施工将是工程成败的关键。

(1)U形梁种类繁多,标准梁长30 m,非标准梁长16.592~29.09 m,上行24种规格、下行28种规格,导致模具设计难度大;

(2)U形梁设计安全系数较低,钢筋绑扎、定位精度要求高,并且梁体钢筋连接只允许采用绑扎,施工要求高、难度大;

(3)U形梁设计为开口薄壁结构,梁体抗扭刚度较差;梁体腹板厚度24 cm、底板厚度23 cm。

(4)梁体外表面要求为清水混凝土效果,对混凝土色差、气泡的要求远高于常规箱梁混凝土施工,同时对混凝土耐久性要求为100年。

3 U形梁技术的优点

目前国内高架轨道交通上部结构大部采用箱梁形式(图3),此种形式技术成熟,工艺稳定,但同时也存在着外观不够美观、结构高度过大、建设费用较高等弊端;国内轨道交通高架土建通常采用满堂支架现浇施工,工艺较为落后,比如上海轨道交通3#线施工;也有部分高架结构开始采用节段梁拼装施工,但拼装较慢,约为3~4 d/跨,比如广州轨道交通4#线施工;而本工程采用的整跨U梁安装,工艺先进,安装速度可达1 d/跨;目前国内许多大城市正在积极规划未来轨道交通,对高架轨道交通上部结构通常采用的箱梁进行优化,成为高架轨道交通的一种未来发展的趋势。

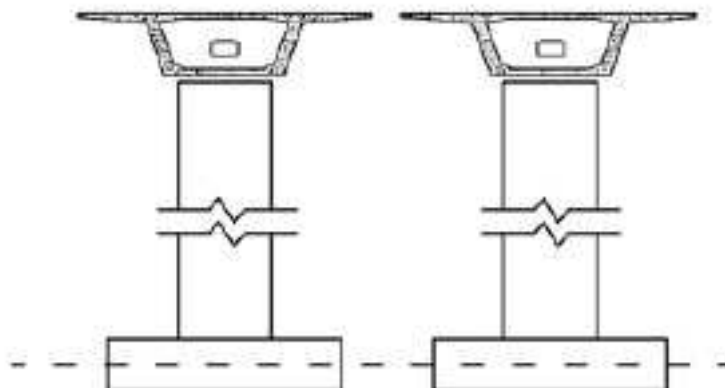


图3 常规箱梁断面



上海轨道交通 8 号线南延伸段高架上部结构采用了新型“U”形梁形式,引进国际先进的设计理念,将传统闭口箱梁设计为薄壁开口“U”形混凝土梁这一新型结构形式,列车行驶在开口 U 梁内部,此种 U 梁不仅外形美观,同时降低了轨道交通整体结构高度,而且结构混凝土薄,节省材料。因此,对 U 形梁的预制及安装均提出了很高的要求。

4 U 形梁预制施工技术

4.1 U 形梁预制场布置

此次 U 形梁预制同时有 16 条台座进行制梁施工,在浦江世博家园站至航天公园站区间 12#~23#墩现场线路两侧各设置 8 条,模具配备为侧、端模 4 套,底模 16 条。每一台座平均 14 d 周转一次,全面生产后每 14 d 可生产 16 根梁。半成品钢筋定型加工后运抵现场,在台座底模上绑扎骨架,使用商品混凝土浇灌成型。制梁总工期依据合同安排 6 个月。

预制场台座地基处理采用回填土分层压实,再铺 15~20 cm 道渣振动压实的方法,要求地耐力达到 8 t/m²。

每块台座地坪尺寸为 33 m×7.6 m,混凝土厚 15 cm。标准跨梁台座两端 3.5 m 区域作为 U 梁支座承力区;对于非标准跨梁,台座北端 3.5 m 区域作为 U 梁支座固定承力区,南端 12 m 区域作为 U 梁支座变化承力区,以适应 20 m~30 m 梁长变化。

台座地坪支座区配筋为:纵向 $\phi 16 \text{ mm}@250 \text{ mm}$,横向 $\phi 16 \text{ mm}@300 \text{ mm}$;台座地坪中间段配筋纵、横向均为 $\phi 8 @200 \text{ mm}$ 。

4.2 模具设计

M8 线“U”型梁模具主要由门架、内模、外模、端模和底模组成(图 4)。

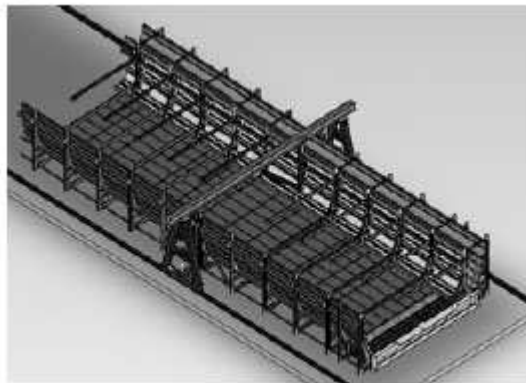


图 4 模具组装效果图

模具拆装采用了外模横向移动脱模,内模转动脱模,然后模具整体纵向移动至下一生产台座,尽量不占用龙门吊(图 5)



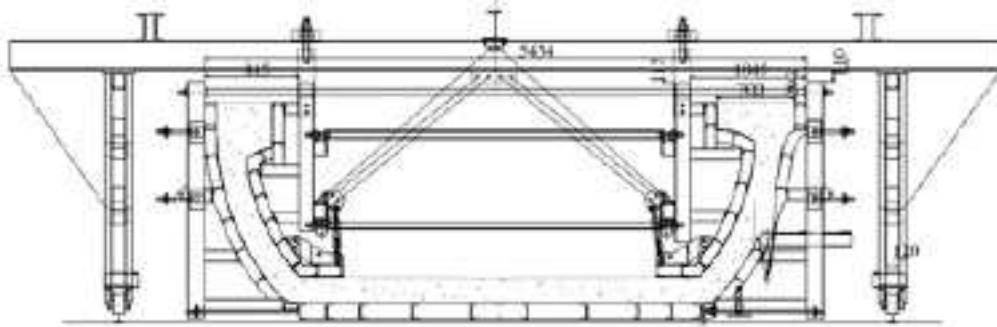


图 5 模具安装示意图

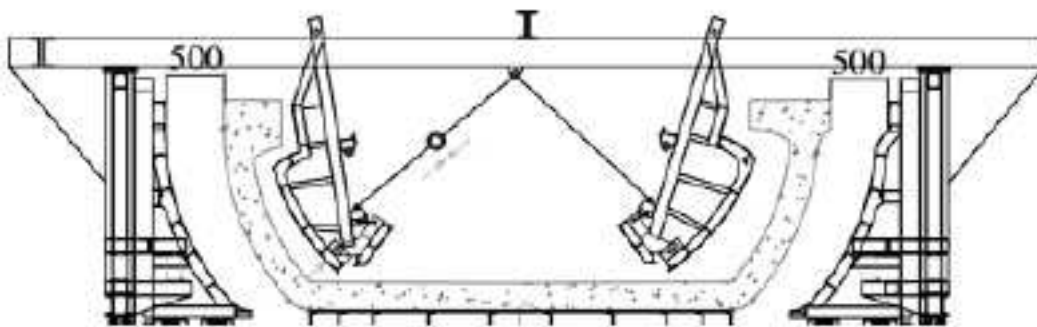


图 6 模具开模示意图

门架作模具整体纵向移动之用。每套模具配 4 个门架,4 门架通过上部 22# 双拼槽钢连接为一个整体,每门架脚下安装专用履带链轮以实现门架整体的移动。

内模竖直方向分两段,下部 400 mm 压板为一段,其余为内模主体段。另设 2 个绞支点,压板段与主体段连接处设一绞支点,内模主体段在门架横梁上的吊点处设一绞支点。拆模时,内模压板段先绕绞支点旋转收起,然后内模整体绕上部绞支点整体旋转与产品脱离(图 6)。

外模采用常规框架式结构,外模的架设采用专用调节支撑工装,外模的横向进出采用在外模下加装专用履带链轮的方式完成,外模的纵向移动采用在外模向外移动到位后用千斤顶将外模顶升到门架之上的方式,使外模随门架一起纵向移动。

端模采用分体式设计,针对“U”梁底板和两侧腹板分为三块,以便于端模的装拆及端面转角的制作。

底模采用钢结构,分 3 段,分别为 1 梁身段底模和 2 支座段底模,支座段和梁身段底模在梁底倒角处采用胶合漆板连接,以解决梁放张压缩的问题。

4.3 钢筋施工

U 梁配筋有 HRB335 ϕ 8 mm、 ϕ 10 mm、 ϕ 12 mm、 ϕ 14 mm 和 Q235 mm ϕ 8 mm、 ϕ 10 mm 钢筋,钢筋的成型质量和钢筋笼的绑扎质量要求都很高。

按施工图设计尺寸和规定的误差要求,成型允许偏差范围为:弯起点移位 \pm 20 mm,箍筋尺寸 \pm 5 mm,弯钩平直部分长度符合要求。

U 梁钢筋的成型质量、绑扎质量要求都很高,钢筋采用的是工厂加工成型,现场胎架绑扎的形式,确保了钢筋成型的精度;

钢筋骨架成型胎模参考原沪闵高架节断梁钢筋骨架成型胎模的形式。制作可拆卸的门架式结构,门架利用底模两侧面下拉杆孔用螺栓进行定位固定,门架间距 2.8 m。纵向按 U 梁断面外框钢筋形状放置 ϕ 35 mm 无缝钢管,钢管用螺栓或销钉固定在门架上,钢管即可保证钢筋绑扎形状,又可以保证钢筋保护层厚度。钢筋骨架成型胎模如(图 7)。



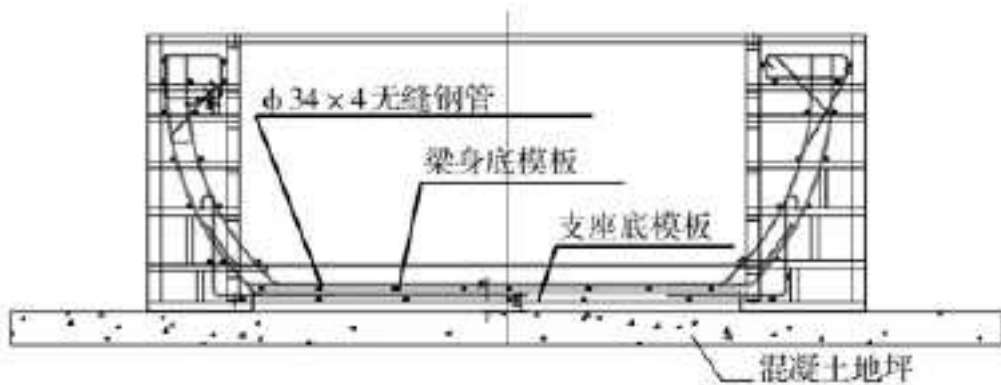


图 7 U 形钢筋骨架成型胎模



图 8 绑扎完毕的钢筋笼

在利用底模上定位靠模,先绑扎底板钢筋,再腹板钢筋的绑扎,然后进行顶板钢筋的绑扎,定位网钢筋位置准确,以确保预应力管道的平顺,当梁体钢筋与预应力管道相碰时,

适当移动梁体构造钢筋或进行适当弯折。预应力筋竖弯及平弯处的箍筋绑扎牢固,在钢筋较密处,必要时将相邻钢筋成束绑扎,确保混凝土的灌注通路(图 8)。

4.4 混凝土配合比设计

U 形梁梁体混凝土设计为 C55,普通混凝土的性能主要是控制强度指标,U 形梁混凝土的特殊要求。外表达到清水混凝土效果;低收缩、低徐变,高强度(C55);有明确的耐久性指标;混凝土的 56 d 电通量(C)<1 000;满足泵送施工要求,满足大流动性、易密实、和易性好等特点;48 h 达到拆模的强度要求。早期强度:3 d 达到设计强度的 50%,7 d 达到设计强度的 100%,弹性模量达到《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》规定的 3.6×10^4 MPa 的 80%(2.88×10^4 MPa)。

混凝土配合比设计:水泥应选用同一厂家生产、同一品种、同强度等级、颜色均匀的水泥;采用低含气量、聚羧酸系高效减水剂;降低水胶比、增大胶凝材料掺量;对粉煤灰用量严格控制;坍落度控制在 $180 \text{ mm} \pm 30 \text{ mm}$ 。最终确定的混凝土配合比见表 1。

表 1 C55 混凝土配比 kg/m^3

水泥 P II 52.5	矿粉 S95	粉灰	砂	石子 5~20	水	外加剂
282	70	88	688	1122	150	4.84



4.5 现场混凝土施工

混凝土泵车从竹园路进入施工现场,在现场龙门吊条基东侧施工便道上由泵车泵送混凝土进行浇捣。

混凝土浇捣之前应对模板,绑扎好的钢筋和已固定的锚垫板、埋件,预应力筋波纹管预留孔道等隐蔽工程进行检查验收。同时还应对电箱、电线、振动机、起重设备等进行检查,要确保机器、电源在正常情况下,申请浇捣令,避免因故障造成混凝土拌合物间隔时间过长。

梁体混凝土的灌注从两端开始,沿梁长向中间交汇,循序渐进。首先浇筑底板,然后分层浇筑腹板(图9)。在腹板新浇筑混凝土压力下可能导致底板混凝土变形,为了避免这种情况的发生,底板混凝土浇筑完成后1h再浇筑腹板混凝土。

混凝土灌注须下料均匀,腹板混凝土每层的灌注厚度不大于500mm。

混凝土灌注时应采用插入式振捣器,并辅以附着式侧振工艺(见图10)。混凝土浇捣振动时采用多只插入式振动器沿梁的一端朝另一方向移动。

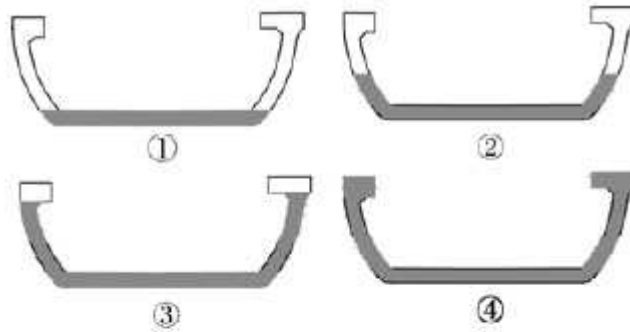


图9 混凝土布料成型图

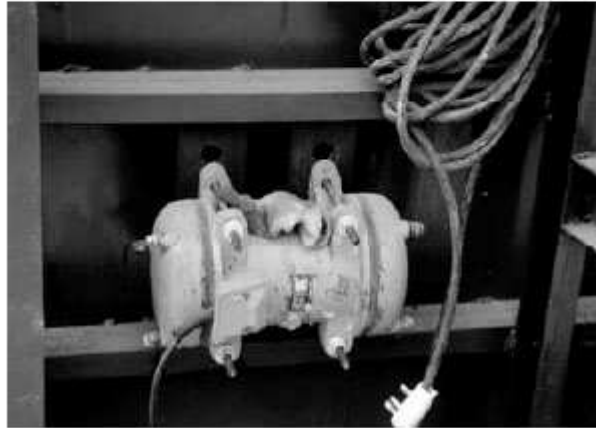


图10 附着式侧振

混凝土必须振动到该部位混凝土密实为止,混凝土密实的标志是:混凝土停止下沉,不再冒出大量气泡,表面呈现平坦、泛浆。

4.6 U梁养护

混凝土浇筑完成,收浆工作结束后,尽快用无纺布、塑料薄膜或其他无污染的保水材料覆盖底板和腹板顶面,开始洒水养护。

待梁体混凝土强度达到规范及设计对拆除侧模的强度要求后,侧模予以拆除,此时,将两侧腹板洒水充分湿润后,用塑料薄膜进行包裹养护,底板顶面仍可采取洒水养护方式。同时保持薄膜内有凝结水,应经常检查薄膜的完整情况和混凝土的保湿效果。

4.7 U形梁的预应力后张及管道压浆、封锚

预应力孔道的规格、数量位置和形状符合设计要求,且线形平顺、安装牢固、密封良好和接头严密,对于曲线孔道,应严格控制弯起点位置和弯起角度。



波纹管安装时,避免反复受弯曲变形,波纹管安装后应检查管道有无破裂,接头是否松动,两根波纹管对接时节套纹理一致,接头长度不少于 20 cm,用胶布包裹牢固,以免混凝土浆进入管内。

波纹管定位筋和曲线段防崩钢筋严格按照设计要求设置,孔道成型调整至符合设计要求后,应及时穿入塑料管,防止管道变形。

4.7.1 施加预应力

施加预应力所用的机具设备及仪表应由专人使用和管理,并定期进行维护和校验。千斤顶与压力表应配套校验,以确定张拉力与压力表之间的关系曲线,校验应在经主管部门授权的法定计量技术机构定期进行。

U 形梁预应力筋张拉时,当梁体混凝土抗压强度及相应的弹性模量达到设计要求后,方可施工预应力。

预应力施加前,应对梁体进行检验,外观和尺寸应符合质量标准 and 设计要求。

锚具安放前,应除去孔道口多余的波纹管,锚环各孔中预应力筋应保持平行,不得有交叉,塞放夹片时,夹片间隙及留出长度应均匀,并用钢管及小锤敲紧,不得脱落。预应力筋的张拉顺序:

(1)当混凝土达到 50%设计强度,张拉第一批 4 根钢束,张拉控制应力为至 700 MPa。

(2)混凝土强度达到 100%设计强度,弹性模量达到 80%设计值,二次张拉全部钢束到设计值。

预应力筋在张拉控制力达到稳定后方可锚固,锚固后的外露长度不宜小于 30 mm,锚固完毕后预应力筋工作长度暂时保留,待压浆完毕后将多余的工作长度用砂轮机切割,严禁用电弧切割。

4.7.2 管道压浆及封锚

孔道压浆工艺必须符合设计要求。压浆采用真空辅助压浆,水泥浆的抗压强度必须符合设计规定,水泥浆抗压强度应大于梁体设计强度的 80%。

在压浆前,必须试抽真空,真空泵抽成的真空度控制在 $-0.06\sim-0.1$ MPa,当孔道内的真空度保持稳定时,停 1 min,若压力维持不变,即可认为孔道能基本达到并维持真空。

水泥浆采取现场拌制,应采用 52.5 普通硅酸盐水泥,水灰比宜为 0.3~0.4;掺入适量减水剂时,水灰比可减小到 0.35;拌和后流动度为 30~50 s,泌水率不得超过水泥浆初始体积的 2%,拌和后 24 h 水泥浆的泌水应能被吸收;浆体的体积收缩率 $<2\%$ 。

当真空度达到并维持在 -0.08 MPa 左右时,启动真空泵,使灌浆压力达到 0.5~0.7 MPa,出浆与入浆颜色一致后,关闭出浆阀门,对浆体施加正压,将浆体内游离状态的水尽量多压出,且从排气孔排出的水泥浆无气泡,无微沫浆,其颜色与入浆的颜色相同,压浆泵压力达到 0.7 MPa 左右,持压 1~2 min,关闭灌浆泵。

4.8 成品保护及修补

在工程交工前,对构件外层宜用塑料薄膜进行保护,防止混凝土表面受到污染,对于施工人员可以直接接触到的部位以及预留洞口、特别是预留筋处的混凝土要加以特殊保护,以防水侵蚀混凝土。阳角等部位拆模后需注意保护。

已浇筑混凝土要加以保护,必须严格控制拆模时间,严格按照要求来拆内外模,当混凝土强度达到 18 MPa 时可拆除内模,混凝土强度达到 24 MPa 时可拆除外模,拆模时按支撑的反顺序进行,要保护板面,严禁强行砸撬模板。

对工程混凝土成品的缺陷部位修补,采用与本工程所用的同品种普通水泥与白色普通水泥调制的水泥浆(或砂浆)进行修补。待修补部位的水泥浆(或砂浆)硬化之后,用细砂纸打磨光洁,并用水冲洗干净,修补后的部位应无明显可见的修补痕迹。

5 结语

预应力薄壁自重轻、U 梁外形美观、造价节省、本工程成功应用取得了巨大经济效益和社会效益,是今后城市轨道交通高架结构的一种推广形式。

参考文献

- [1]《铁路桥涵工程施工质量验收标准》(TB10415-2003)
- [2]《铁路桥涵施工规范》TB10203-2002;
- [3]《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2002;



- [4] 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370);
- [5] 《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB13013);
- [6] 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB1499);
- [7] 《冷轧带肋钢筋》(GB13788);
- [8] 《低碳钢热轧圆盘条》(GB201)。

