

苏州体育中心体育场看台 斜梁预应力混凝土施工技术

冯良慈 蒋应龙 干兆和 刘咏声

【摘要】近年来,随着我国城乡居民文化生活水平的提高,一大批大型体育综合娱乐设施在各地兴建,而预应力技术以其独特的优点,在其中发挥着越来越重要的作用。本文将结合苏州市体育中心体育场工程,重点介绍预应力混凝土斜梁的结构特点与施工技术要求,其中包括预应力孔道钢管留设法、预应力斜向张拉操作工艺、孔道逆向灌浆工艺等。

【关键词】薄壁钢管 埋件 承压延长套筒 提升 看台

1、工程概况

苏州体育中心体育场工程建筑面积28548m²、建筑总标高为35.098m,平面尺寸为259.39×207.634m,共设置三万座次的观众席位,为一南北走向的椭圆形建筑。该工程顶部层盖为环形网架结构,下部看台采用混凝土框架结构。看台共分为两层:第一层看台位于+2.020~+6.230m标高之间,由于跨度较小,因而采用普通混凝土框架结构;第二层看台位于+9.950~20.140m标高之间,该层看台部分斜梁由于跨度大、荷载重、受力复杂,因而采用了预应力混凝土框架结构,以满足其承载力、刚度及抗裂性能的要求。预应力混凝土斜梁共计40榀,断面尺寸均为1500×600mm,上、下各配31根Φ25的普通钢筋,根据不同位置,每根梁内分别配置4-6Φ15.24、6-5Φ15.24、6-6Φ15.24三种不同数量的预应力筋(见图1)。预应力筋采用1860级低松弛钢绞线,预应力孔道采用薄壁钢管留设,构件混凝土设计强度为C40,下面将结合本工程看台的结构特点,介绍斜向预应力混凝土的施工技术。

冯良慈、蒋应龙:南京三建预应力工程公司

2、主体结构总施工步骤

本工程混凝土总量达25000m³,结构部件交替错位,根据施工总进度和可行性方案研究决定:

(1)沿环向看台设置21条施工后浇带(图1),将整个体育场平面划分为20块相对独立的施工段,从而便于整个工作面的展开及施工大流水的组织。

(2)混凝土看台按框架竖向部件划分为8个

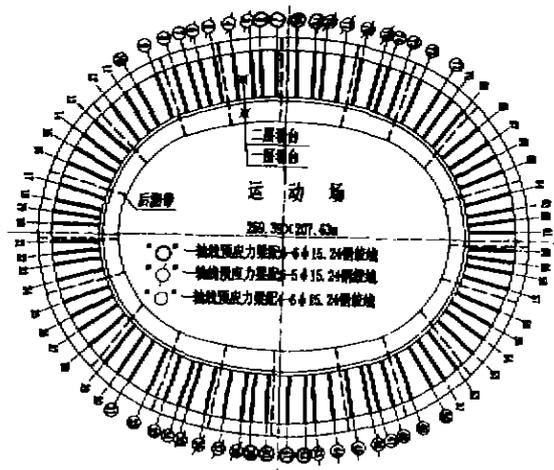


图1 体育场平面位置示意图

施工段(图2),从而保证竖向混凝土的浇筑及施工的正常进行。

本工程混凝土为商品混凝土并采用2~3台输送泵进行流水浇筑作业:第一阶段完成一层看台、斜梁和平台(即 $\pm 0.000 \sim +6.230\text{m}$ 标高);第二阶段完成二层看台、预应力斜梁和平台(即 $+6.230 \sim +20.140\text{m}$ 的标高);第三阶段完成柱帽及环向网架的安装。预应力施工穿插在第二阶段进行,从图2可以看出,预应力施工除受到第③、④段先行施工段的影响外,尚受到第⑧段后行施工段的影响,因而预应力施工必须精心组织、精心施工并协调好与各施工段之间的关系,才能保证预应力施工的正常进行。本工程经实际实施,主体混凝土施工工期仅180天即交付安装。

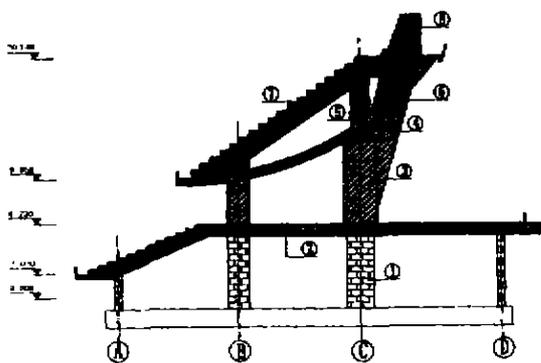


图2 框架混凝土施工分段示意图

3、斜梁预应力孔道成型工艺

3.1 薄壁钢管预留孔道

本工程预应力斜梁由于与诸多构件(梁、板、柱)相交,造成预应力梁的局部钢筋密集,特别是预应力筋张拉端处,最多的有4~5个方向的钢筋在此密集,从而造成预应力孔道的成型、保护及混凝土浇筑极度困难。同时预应力孔道成型还要受到下部先浇筑施工段及上部后浇筑施工段的影响,因而施工周期较长,容易造成预留孔

道材料的锈蚀、损坏。为确保孔道轴线位置的准确,连接的可靠以及斜梁混凝土浇筑后的孔道通畅,因而采用预埋薄壁钢管预留孔道的方法。

3.1.1 钢管选材

本工程采用壁厚为2.8~3.0mm,外径为 $\Phi 75.5\text{mm}$ 和 $\Phi 60\text{mm}$ 两种规格的薄壁钢管,并经现场端头套丝后,用束接连结。外径 $\Phi 75.5\text{mm}$ 的钢管用于穿导 $6\Phi 15.24$ 钢绞线,外径 $\Phi 60\text{mm}$ 的钢管用于穿导 $5\Phi 15.24$ 钢绞线。钢管质量将直接关系到孔道留设的好坏,钢管表面不得有油污和能引起锈蚀的附着物、孔洞、弯瘪等现象。对施工周期长的工程宜采用镀锌钢管。钢管进场后应严格进行检验和保护,堆放地点应干燥、通风,无腐蚀气体和介质,并有防潮避雨措施。

3.1.2 钢管的铺放定位

由于斜梁结构的特殊性,张拉端及固定端承压埋件喇叭管应提前与一长约100mm的短钢管焊接(钢管的另一端应套丝),并提前安装定位。钢管的铺放应在张拉端及固定端承压埋件安装结束,斜梁底模、钢筋基本成型后进行,具体的安装方法是:按照图纸标定的预应力孔道底标高在箍筋上焊 $\Phi 12$ 的水平支架筋,由张拉端及固定端承压埋件喇叭管拉出钢管定位轴线,然后由张拉端向固定端逐根安装薄壁钢管,两根钢管之间通过束接连结,安装时采用链条管子钳将其拧紧,并确保连结质量,当安装至孔道最后一节钢管时,应丈量与固定端的连结距离,准确下料并端头套丝后,该节钢管先与下部束接连接,后通过旋转固定端承压埋件喇叭管完成上端连接,也可在下部束接连接后,上部与埋件喇叭口采用焊接的连接方法,但这种方法费工费时,跟下上总进度要求且焊接质量不容易保证,因而本工程采用了前者。安装后的钢管经校正后点焊在水平支架筋上。

3.2 承压埋件喇叭管的制作与安装

3.2.1 埋件喇叭管的制作

根据钢管预留孔道的特点,本工程端部埋件通过混凝土局部承压验算,采用了自行设计制作的钢板铁皮喇叭管,并在喇叭管上加焊一节约100mm长,与预埋钢管同规格并经套丝处理的钢管,这样便于与预留孔道钢管连接。由于该种喇叭管和铸铁喇叭管相比有较好的可焊性,安装时可根据施工图位置用短钢筋架立并与梁的钢筋骨架焊接固定。经使用效果十分理想,本工程采用的端部承压埋件喇叭管如下图3所示:

3.2.2 张拉端埋件的安装

3.2.2.1 预应力筋张拉端施工深化设计

原预应力看台斜梁张拉锚固节点设计在B轴柱、梁交汇点(图2)外侧部位,属预应力框架梁柱节点的常规做法。由于体育场二层看台悬挑结构的特性,使预应力张拉端节点深藏于该梁板节点部位内,随之带来了施工复杂和操作张拉的难度。为此,在审阅图纸进行设计交底时,提出了将张拉端节点延伸下移到看台悬挑圆弧梁底

部,这样使预应力张拉、锚固端的设置位置更趋合理,且便于施工。改变张拉锚固位置后的优点是:

(1) 避开了在梁、柱节点配筋密集的部位增设端节点锚板、螺旋筋的施工难度;

(2) 排除了因预应力张拉工艺需要该部位混凝土需进行二次浇灌,导致悬挑结构被割断而不能进行整体施工的弊端;

(3) 提高了看台悬挑节点的整体受力性能,从而保证了悬挑看台设计的整体功能要求。

3.2.2.2 由于第④施工段的环梁与预应力斜梁相交,而环梁、斜梁的混凝土在施工工艺上不能同时浇捣,这就带来两个问题:

(1) 环梁伸入预应力混凝土斜梁内,影响预应力张拉端埋件喇叭管和钢管的安装,因此必须在环梁混凝土浇捣前预埋好埋件和有影响的孔道钢管节,并确保其预埋位置的可靠、准确。

(2) 环梁和斜梁相交后组合成水平面,其端面和斜梁孔道不垂直,为确保张拉和封固锚具需要,把环梁和斜梁相交处做成锯齿形,以保证

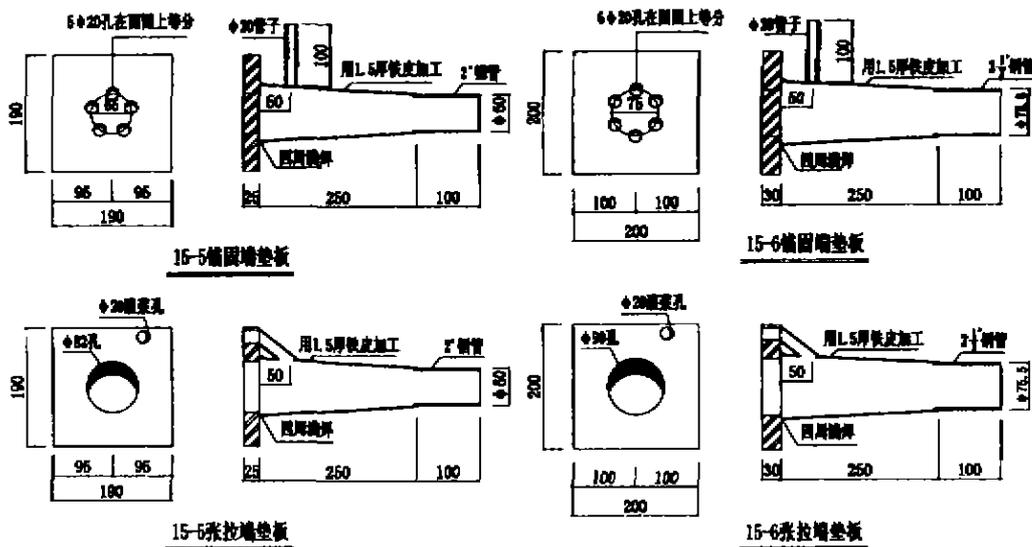


图3 承压埋件喇叭管示意图

张拉方向和孔道方向一致，并便于埋件封裹。本工程主要几种端部承压埋件喇叭管的安装方式如图4。

3.3 预应力钢绞线束

本工程预应力钢绞线采用一端张拉，固定端采用中国建研院结构所研制的QMJ型挤压锚具。张拉端采用OVM15型夹片式锚具。钢绞线的下料、制束在加工厂完成，预应力钢绞线穿束采取由固定端遂根穿入的方法。由于钢绞线有斜向自重加速度，因而穿束时需特别注意安全，可采用系绳束等缓冲办法。

4、预应力筋张拉工艺

4.1 锚具与张拉机具

采用柳州建筑机械总厂生产的OVM15-5、15-6两夹片锚具和YCW100、YCW150穿心式千斤顶以及ZB3/630型高压油泵作为张拉机具，同时根据斜梁张拉需要加工了承压延长套筒和三角倒链提升架作为辅助工具，分述如下：

4.1.1 承压延长套筒

斜梁端部承压埋件安装方式呈锯齿形布置后，承压面宽度仅为125~210mm，而千斤顶缸体外径达250~310mm，满足不了最小工作面要求，为此加工了专用的承压延长套筒（图5），使千斤顶在锯齿槽外张拉，承压延长套筒两端必须和限位板相匹配，张拉时两端均须加垫相应的限位板，且两块限位之间钢绞线须对应，防止剪扭切断钢绞线，不同的千斤顶使用不同的承压延长套筒。需要注意的是：钢绞线下料制束时应考虑承压延长套筒所增加的张拉工作长度，否则将导致无法进行张拉。

4.1.2 三角倒链提升架

千斤顶自重达200kg左右，张拉时靠人力很难完成倒挂的张拉设备的组装和对中，为此本工程设计了三角倒链提升架，经使用效果甚佳，解决了倒挂的张拉设备的组装和对中难题。三角倒链提升架张拉工序见示意图6，操作工艺如下：

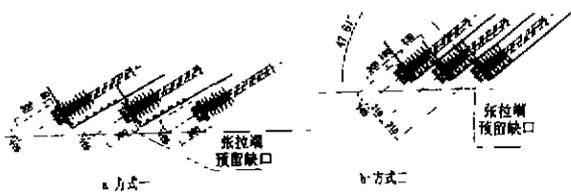


图4 预应力筋张拉端埋件安装图

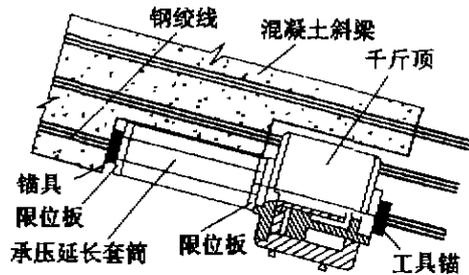


图5 千斤顶、承压延长套筒组装图

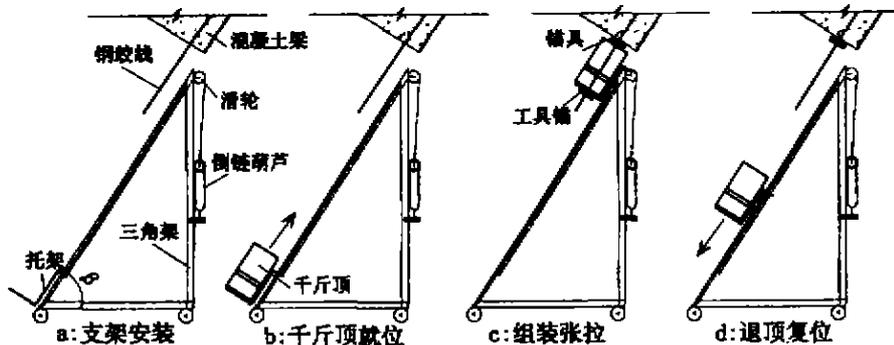


图6 三角倒链提升架张拉工序示意图

(a) 支架安装

三角倒链提升架是采用角钢、槽钢、提升葫芦、滑轮等组装成的可调式提升架。施工时可根据斜梁的倾斜角度，灵活调节提升架的倾斜角 β ，使托架平面与梁底平行，从而保证千斤顶提升至张拉端时与梁端垂直。提升架的倾斜角 β 调节到位后，应对提升架进行固定处理，以防提升时发生倒塌、倾覆情况。固定可采用钢管使提升架与周围脚手牢固相连；

(b) 千斤顶就位

将千斤顶搬至托架上并进行临时固定，拉动葫芦使千斤顶缓慢靠近预应力筋张拉端，当靠近钢绞线时，应暂停提升，并调整千斤顶位置，使其较为精确地对准张拉端，然后将千斤顶穿套钢绞线并继续提升就位；

(c) 组装、张拉

千斤顶工具锚安装完毕并对中后即可进行张拉，张拉应缓慢进行，在张拉的同时应同步放松托架，直至张拉完毕；

(d) 退顶复位

张拉完毕，应及时使托架承托千斤顶，然后方可回油使千斤顶缸体回缩。在回油的同时，同样应同步提升托架，使其一直支撑住千斤顶直至回油结束。拆除工具锚后，即可缓慢放下托架，卸除千斤顶。

4.2 预应力筋张拉

预应力筋张拉是通过张拉机械将力作用于预应力筋上，然后通过预应力筋最终作用于梁上，从而在梁中建立起预加应力。因此，预应力筋张拉是预应力施工的关键，它将最终决定梁中预应力值的大小，因而施工中务必严格确保各项指标的实现不确保张拉质量。

4.2.1 预应力筋张拉力

本工程预应力筋采用直径15.24mm、1860级高强低松弛钢绞线。设计要求张拉控制应力 σ_{con}

$=0.70f_{pk}$ ，施工中为减少预应力筋的松弛损失，采用超张3%的张拉方法，实际的张拉控制应力： $\sigma_{con}=1860\text{N/mm}^2 \times 0.70 \times 1.03=1341\text{MPa}$ 。

4.2.2 张拉顺序及方式

由于张拉时，各分段后浇带混凝土尚未浇筑，某一施工段内预应力筋张拉，不会影响相邻施工段的预应力梁，因而各施工段可分别依次张拉不必考虑其它施工段的影响；同一施工段内的框架梁采用对称顺序张拉；同一榀梁内预应力筋的张拉也应对称进行；

4.2.3 张拉操作要点

(1) 张拉前安装锚具时必须把梁端埋件清理干净，先装好锚板后装夹片；

(2) 组装张拉设备顺序是先装限位板、承压延长套筒，后装第二块限位板。限位板必须和承压延长套筒、千斤顶相匹配，从而确保张拉力的作用线和预应力筋末端中心线一致；

(3) 张拉时，要严格控制进油速度，要求缓慢、均匀、平稳；

(4) 张拉过程中，应认真测量预应力筋的伸长值和张拉力，进行“双控”，并作好记录；

5、孔道逆向压力灌浆

孔道灌浆在张拉完成后及时进行。预应力孔道采用由下而上逆向压力灌浆的方法。为了满足灌浆及二次补浆的需要，本工程在张拉端埋件上特殊加工了灌浆孔，在固定端埋件上设置泌水孔（排气孔），并用塑料管引出构件外。灌浆时由于水泥浆凝固前在重力作用下会沿灌浆孔喷射流泻，难以阻塞，为此在灌浆孔上设置阀门开关。

5.1 灌浆阀门的制作

本工程每一施工段（4榀梁）灌浆一次，施工时配0.6寸规格阀门开关24个，用以周转。阀门在孔道水泥浆初凝失去流动性后卸除，当气温在15℃时，约7小时即可卸除。阀门卸下后应及时清洗干净，否则水泥残浆固化后影响二次使

用。灌浆设备连结如图7；

5.2孔道灌浆

原孔道灌浆方案是将灌浆操作平台设置于±0.000标高处，当试灌第一个孔道时，发现灌浆机压力不足以将水泥浆压至+20.140m标高处，后将灌浆操作平台移至+20.140m标高处，灌浆仍自+9.950m处张拉端灌浆孔灌入，这样即可消除孔道内水泥浆自重的影响，从而保证孔道灌浆的顺利进行。

5.3高效减水剂的使用

预应力结构支撑拆除应在张拉完毕，孔道内净浆强度达到15MPa后进行。本工程由于单层面积大，一次性投入了大量的钢管及模板，其周转

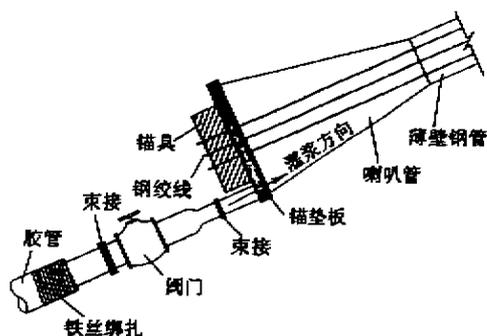


图7 灌浆孔组装置示意图

情况将直接影响投资成本。为此，本工程在灌浆净浆中掺加了JC型高效减水剂，掺量为水泥用量的0.5~0.7%，这种减水剂减水率大，早强和增强效果显著，减水率为15~25%，20°C时1~3天强度提高50~80%，本工程使用的配合比如表1。

经测定，掺加JC减水剂的净浆稠度在120~190mm之间，能满足可灌性要求，灌浆后3~5天可拆除支撑。

5.4补浆技术

逆向灌浆受自重影响，加上二次补浆时净浆在凝固过程中变厚，孔道阻力增大，因而从原灌浆孔二次补浆很难达到预定效果。为此本工程采用了连续二次补浆的方法，即在上部每个泌水孔上加接一个塑料补浆桶（容积在2~3公升），孔道灌浆完毕，连续在桶中加浆，净浆在重力作用下通过泌水孔不断的向孔道补充净浆，以补充水泥浆凝固过程中下沉所产生的孔隙，直至稳定为止。补浆委派专人负责，从而确保孔道密实性。

表1 掺加JC减水剂的水泥净浆配合比

水灰比	水泥	水	JC型外加剂
0.35	1.00	0.35	0.007~0.100

✓我厂多项先进工艺、工装成果获奖

日前，接广西区机械工业行业管理办公室（桂机办字[2001]48号）文通知，2001年度广西机械工业先进工艺、工装及优秀设备改造成果评审结束。我厂多项先进工艺、工装成果获奖，其中《开发建立化学镀Mi-P合金生产线》获二等奖；《镢头器夹片工艺的改进》、《YZ85.2分丝头设计和加工工艺改进》、《挤压簧生产制造技术改造》和《数控车床刀部分的工装夹具的改

造》分别获三等奖。

这是广西机械工业行管办为调动企业广大从事工艺、设备工作人员的积极性，推动企业的工艺、设备技术进步，促进行业技术的创新工作而组织的一年一度的评比。在这次评比中，我厂共申报先进工艺、工装成果五项，全部获奖。

（罗艺红）

