



秦沈客运专线盘山制梁场T梁 制造及横向预应力联结施工

敖春明

【摘要】根据秦沈客运专线桥梁的特点,结合T梁制造实践,从制梁场的组建、T梁制造工序流程布置,工艺要求,以及T梁架设后的横向联结施工等方面,介绍T梁制造和T梁横向预应力联结施工。

【关键词】T形梁 制梁场 横向联结 施工

1. 概述

秦沈客运专线是我国第一条客运专用铁路,16mT梁为后张法预应力混凝土梁,在工地建制梁场制造。该梁的制造和横向预应力联结施工技术介绍如下。

秦沈客运专线盘山制梁场生产了16mT梁29孔、116片,其中内梁和边梁各58片。每片内梁梁体混凝土 23.8m^3 ,质量59.4t,边梁梁体混凝土 21.8m^3 ,质量54.4t,预应力筋采用公称直径15.2mm的 $7\Phi 5$ 高强度II级低松弛钢绞线,锚具采用OVM群锚,每片T梁设纵向预应力筋5束,其中2束 $7-7\Phi 5$,3束 $6-7\Phi 5$,每孔梁由4片T梁组

成。在桥面及横隔板下缘分别采用18束 $3-7\Phi 5$ 和2束 $7-7\Phi 5$ 、2束 $4-7\Phi 5$ 的预应力筋横向联结。梁截面如图1所示。

2. T梁制造

根据铁道部科教技[2000]31号文发布的《预制后张法预应力混凝土铁路简支梁生产许可证实施细则》的要求,对技术文件、工装设备及检验器具、质保体系、人员素质和安全文明生产5个方面进行必要充分的准备。同时编制出《制梁场的内控标准》、《施工工艺细则》以及模板、钢筋、混凝土、张拉、移梁、压浆等工序《作业指导书》,对技术工种进行专门培训,对

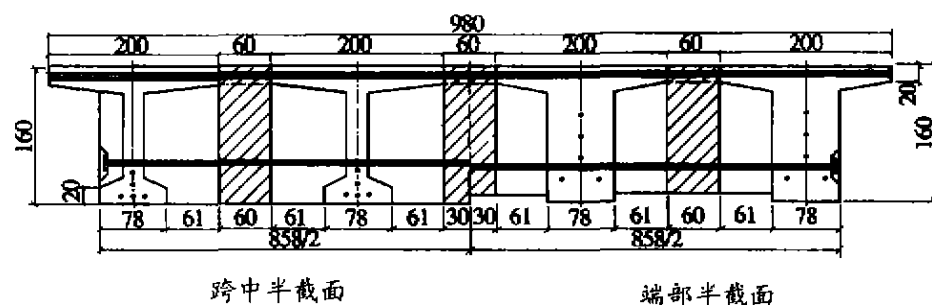


图1 4片式T梁横截面(单位:cm)

敖春明: 中铁五局集团公司四公司工程师



每个工序进行专门的技术交底和技术培训。分工序成立模板、钢筋、混凝土、张拉QC小组，随时开展攻关活动，对制梁场所用材料、工装、设备、器具按要求进行检验、配备、测试、维修、校检和标定，为梁场制梁奠定基础。

2.1 制梁场的布置

盘山制梁场经过建场论证和局级鉴定，在交通方便、桥梁相对集中之处建场，配置98人，于2000年6月开始组建，36d建成。梁场临时占地约2hm²，共设8个台座，4个存梁道、配置1个混

土搅拌楼，1台龙门吊，其临时设施和场地平面布置如图2所示。

2.2 制造工艺

盘山制梁场于2000年8月5日试产梁，制架时间110d。T梁制造时，将8个台座、4个存梁道、4套模具分成2个工序循环区，每个循环区按2套模具、4个台座、2个存梁道进行流水循环作业，每个循环区一个循环80h生产两批梁，每批一个小循环40h生产2片梁。按模板循环时间40h进行每批循环作业，按台座循环时间80h进行循环区的

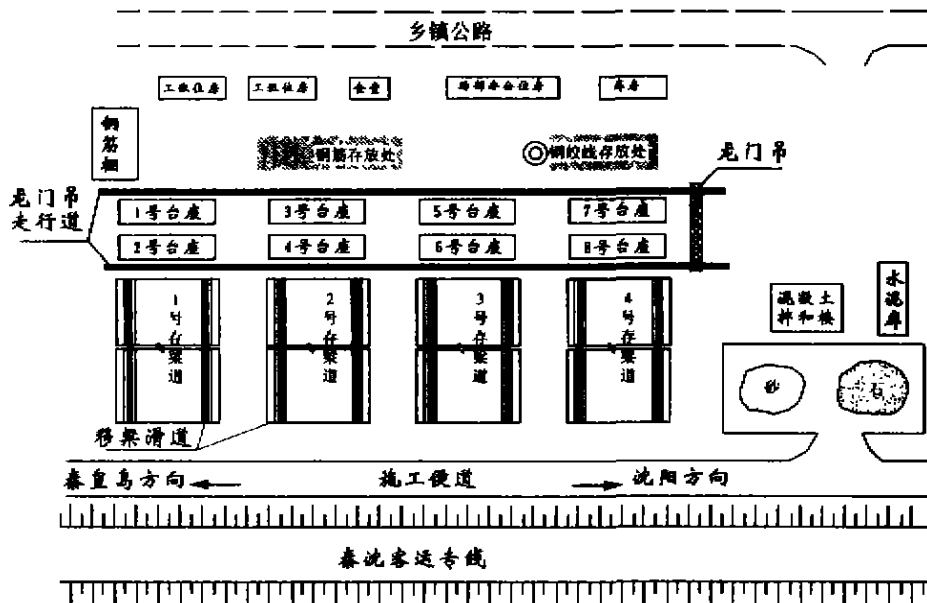


图2 制梁场平面布置

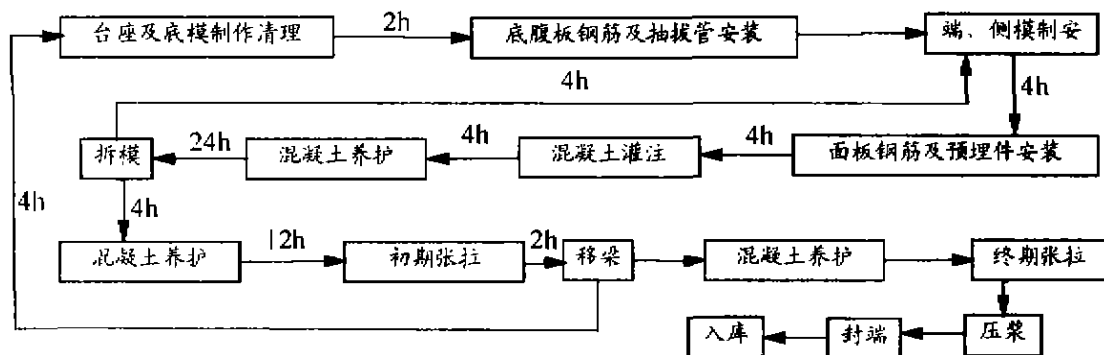


图3 制造工艺流程

工序作业 其工序流程如图3所示。

2.2.1制梁台座及底模设置

根据制梁工期的需要,共设置8个台座及底模。考虑到制梁作业、起移梁和存梁的因素,将其分成4组布置。每组2个台座,其中内梁、边梁底模各1个,每组台座所生产的梁,均存于一个存梁道,台座布置如图2所示。

台座均置于砂土地层上,经过对地层碾压处理,其容许承载力达到0.15MPa。台座受力的最不利状态是在梁体初期张拉后的起拱、起梁和移梁之时,梁体与台座的接触面均集中在其两端。此时,应力集中在台座两端,为保证其整体性和经济性,基础采用C13混凝土,且两端设置成扩大基础,台座和底模设置成整体,采用C15混凝土,其表面设置厚6mm的钢板以确保梁体底面的平整度,考虑到梁体混凝土压缩,台座长度比设计梁长增大10mm。台座高出地面30cm,在台座两端设置起梁孔,并每隔1m左右设置Φ20mm的拉杆预留孔,在底模顶面设置反拱,跨中反拱度设置为10mm,以二次抛物线往两端过渡,台座及底模设计如图4所示。

承载力检算:

$$\sigma = \frac{(T_1 + T_2)/2}{100A} \cdot K = 0.01 \text{ MPa}$$

$$< \sigma_{\text{容}} = 0.15 \text{ MPa}$$

式中: σ ——计算应力;

T_1 ——梁体自重, 594kN;

T_2 ——台座及底模自重, 332kN;

A ——扩大基础承载面积, 5.5m²;

K ——保证系数, 取1.3;

$\sigma_{\text{容}}$ ——试验室测定的台座基底容许承载应力, 0.15MPa。

因此台座及底模满足承载力要求。

2.2.2模板制作和安装

制梁模板由底模、端模、侧模3部分组成。底模与台座设成整体,端模和侧模在充分考虑强度、刚度、稳定性的情况下,按T梁结构尺寸和制梁的需要进行设计,端模由梁体两端各1块整体钢模板组成,在端模上设置有安装和固定锚垫板的孔位和固定螺栓孔,端模和侧模采用20个Φ16mm螺栓联结。侧模分两侧,每侧从两个中隔板处分界,共设置3大块整体钢模板,内梁两侧完全对称,边梁分内侧和外侧,均用6mm厚的钢板做面板,10号槽钢作骨架和支架,采用∠100

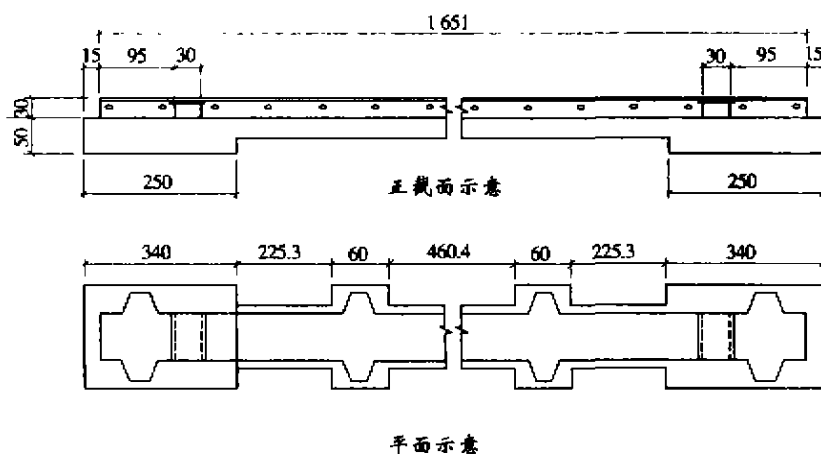


图4 台座及底模示意(单位:cm)

×75×8的角钢作加强肋，1175×8的钢板作筋板，并在侧模上设置横向钢筋槽，张拉筋孔道定位孔和振捣器定位件，每侧的3块侧模之间用Φ16mm螺栓联结，两侧之间采用14根Φ20mm的上下拉杆联结，如图5所示。

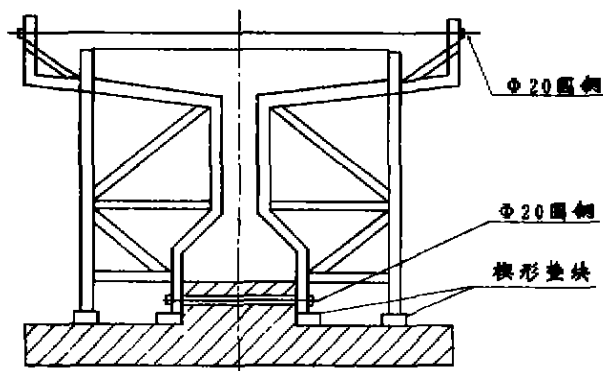


图5 侧模联结示意(单位: mm)

为了保证模板制作质量，模板在工厂采用整体折弯成型，胎型预紧组装焊接工艺制作，经整体拼装检验合格，非工作面喷防锈漆后，编号进场使用。

T梁底腹板钢筋绑扎完成后，安装端模，之后安装预应力孔道的抽拔胶管，再利用龙门吊安装侧模就位，最后将模型进行调整固定，用上下拉杆联结加固，底模与端模、侧模以及侧模与侧模之间的接缝，采用夹5mm厚的橡胶条处理。

2.2.3 钢筋和管道的制作与安装

按设计图的要求编制施工图，施工图中增设了管道定位网钢筋，并制定了各种钢筋、管道下料制作要求和绑扎安装顺序。作业时，按施工图对各种型号的钢筋进行下料，在工作台上弯制成型，主筋须接长的，采用对焊机焊接，各种钢筋均在台座和侧模上绑扎。

管道主要是纵向和横向的预应力管道孔，纵向采用Φ70mm抽拔胶管成孔，横向采用波纹管，纵向每个孔道采用2根长9.5m的抽拔胶管，

白铁皮套接，用胶带封闭接缝，波纹管采用铁皮机制。

钢筋和管道的绑扎、安装顺序是：绑扎底腹板钢筋和定位网→安装端模→安装抽拔胶管→安装侧模→绑扎桥面板横向钢筋和定位网筋→安装横向波纹管→绑扎纵向钢筋。在作业时，应确保定位网位置准确、定位牢固，从而使梁体管道位置满足设计要求。

2.2.4 混凝土的灌注、捣固、养护及抽拔胶管成孔和拆模

T梁混凝土的强度为C48级，弹性模量为35GPa。混凝土拌制采用42.5R普硅水泥，粒径5~20mm的碎石、粗砂，掺水泥用量1%的WP(B)高效减水剂。混凝土拌制配料采用数字显示、微机控制、电子计量的PL1600型自动配料机。采用JS1000型双卧轴强制式拌和机拌制混凝土。从拌和楼到台座中部用2台6m³的混凝土搅拌车运输(运距30~150m)，采用活底吊斗从搅拌车卸混凝土，用龙门吊移动和提升混凝土入模。采用从一端向另一端水平分层、斜向分段的浇筑方法。每次灌注2片梁，44.6m³混凝土，4h完成。

(1) 混凝土捣固：采用ZKF150型高频附着式振动器为主，辅以ZN50型插入式振动器捣固的方法。在侧模下部马蹄处每1.2m左右安设1台附着式振动器，两侧梅花形错开布置，每次开启3~5台，持续振捣时间30s左右，插入式振动器要快插慢拔，移动距离为0.2m左右。

(2) 混凝土养护：混凝土灌注完毕，尽快用篷布覆盖，并进行洒水养护。为确保混凝土表面湿润，应经常补充养护水，每片梁洒水养护14d，浇水次数以使混凝土表面充分湿润为准，视天气情况而定，一般白天每小时1遍，夜间2~4h1遍。

梁体混凝土强度达到4~8MPa时,及时抽拔胶管成孔。按先上后下、先曲后直的顺序,用卷扬机抽拔胶管。成孔后,及时用检孔器进行孔道检查。

梁体混凝土强度达到设计强度的50%,且梁体与环境温差下大于15℃,无大风时,即可拆模。拆模前先将锚垫板螺栓、模板连结螺栓、拉杆螺栓全部拧下,使模板与梁体分离,再开始拆除。先拆端模,再拆侧模。采用上顶下拉的方法拆除。

2.2.5 张拉及移梁

张拉采用YCQ150型千斤顶和ZB3-630型油泵,采用1.0级精度、表盘最大读数60MPa的防振型油表。张拉分2期进行。为了加快台座周转和防止梁体出现早期纵向裂纹,当梁体混凝土强度达到终张拉强度的60%,即32MPa时,进行初期张拉。初期张拉后,将T梁移到存梁道上继续养护。当梁体混凝土强度达到52.8MPa时,弹性模量达到35GPa,且混凝土龄期10d以上时进行终张拉作业。

(1) 张拉前的准备

(1) 钢绞线下料穿束:钢绞线下料长度按孔道长加1.4m计算,孔道长度以最长孔16.4m确定,以17.8m的等长进行下料。钢绞线下料后按设计根数编束,确认孔道束号后,对相应的孔道进行整体人工穿束就位。

(2) 对张拉设备进行检查校验,首先对张拉设备进行经常性的自行检查。在正常情况下,7d对油表进行一次校验,对千斤顶和油表每30d进行一次配套标定校验。

(3) 对首片梁孔道和锚口摩擦阻损失以及锚塞回缩预应力损失进行检测,采用已标定校验的张拉设备和2台测力传感器,检测孔道摩擦阻损失值。试验前先安装传感器压力筒,再锚固具,最后安

千斤顶,两端对称进行安装。试验时,一端为张拉端,另一端为被动端。通过试验测得的张拉端千斤顶拉力和压力筒压力值的差为锚口摩擦阻损失值;张拉端锚固前后压力筒压力值的差为锚塞回缩预应力损失值;两端压力筒压力值的差为钢束沿孔道全长的摩擦阻损失值,即孔道摩擦阻力。孔道摩擦阻力由孔道曲率效应和偏差效应两部分组成,可按下式计算:

$$P_2 = P_1 \times e^{-(\mu \theta + K L)}$$

式中, P_1 、 P_2 分别为张拉端和被动端孔道口钢束拉力; L 、 θ 分别为孔道总长度(m)和孔道总弯起角度(rad); K 、 μ 分别为孔道偏差系数和钢束与孔道壁间的摩擦因数。

P_1 、 P_2 可由传感器测出, L 、 θ 按设计值取用,因此按二元线性回归即可求得 K 和 μ 。

其损失值测定后,将结果及时上报设计单位,以便设计单位根据实测结果对张拉控制应力作出适当调整,确保张拉有效应力值。

(1) 根据设计张拉控制应力计算张拉力、张拉油表读数和张拉理论伸长量。

(2) 张拉作业要求

初期张拉在台座上进行,张拉控制应力为1116MPa。终张拉在存梁道上进行,张拉控制应力为1395MPa。

张拉采用两端对称同步进行的张拉工艺,采取油表读数控制张拉力和测量钢束伸长值的双控方式保证预应力的准确性。以千斤顶油表读数控张拉力为主,测量钢束伸长值校核。张拉程序是: $0 \rightarrow \sigma_{11}$ (作伸长量标记) $\rightarrow \sigma_{1k}$ (测伸长值、持荷5min) \rightarrow 锚固。即:当张拉到初始控制应力 σ_{11} 时,保压持荷,测量工具锚夹片和千斤顶活塞外露值,并在活塞上作伸长量标记。然后两端千斤顶同时加压张拉到设计控制应力 σ_{1k} 时,保压待荷5min,同时测量千斤顶活塞标记后的伸长



量和工具锚夹片外露值。两端千斤顶的活塞伸长量之和减去两端各自的工具锚夹片外露值差，即为钢绞线的伸长量。如实测的钢束伸长量与理论计算值的误差在±6%以内，且每片梁的断丝、滑丝总数不超过1丝，同束夹片外露相差不超过2mm，张拉符合要求，否则需要查清原因，另行处理。

1.3.1 移梁

当张拉完成后，采用QW100型手动油压千斤顶起落梁，千斤顶支于梁端1.1m之重心线上起落梁。起落梁时，两端分别进行，一端起落梁作业完毕并支垫牢固后，才进行另一端起落梁作业。梁体起于台座，落于距梁端2.5m的钢轨滑道上，在钢轨滑道上涂黄油，采用卷扬机牵引，专人指挥，梁体两端均匀缓慢平移至存梁道。移梁到位后，采用方木支撑牢固，再进行养护。

2.2.6 T梁孔道压浆、梁体封端和成品梁入库

每片T梁终张拉完24h，且经检查无滑丝后，进行端头钢绞线切割。切割处距锚具30~40mm，切割后用881-1型防水涂料处理锚具和端头钢绞线，之后在孔道两端分别安装压浆和出浆龙头，并用环氧树脂砂浆封锚。封锚24h后进行孔道压浆作业，采用活塞式泥浆泵压浆，压力控制在0.7MPa左右，使用42.5R普通水泥，水灰比为0.4，掺入0.5%的WP(B)减水剂。压浆前先检查压浆泵和压浆管，确认正常且达到所需压力值时，进行压浆作业。压浆顺序是先下后上，每个孔道一次完成。由一端的压浆龙头压入浆，另一端的出浆龙头喷出的浆液由稀变浓后，关闭出浆龙头阀门，保持0.7~0.9MPa压力2min，无漏浆现象，关闭压浆龙头阀门。浆体初凝后，拆除压浆和出浆龙头。

压浆完成后，绑扎封端钢筋，安装封端模板，灌注C48混凝土封端。混凝土灌注完24h后

拆模养护。当封端混凝土强度达到35MPa时，对T梁进行入库检验。入库检验包括梁的上拱度、长度、跨度、高度及各部位的宽度、厚度等外观外形尺寸检验。检验后填写制造证明书，最后安装标有跨度、荷载等级、设计图号、梁号、梁体质量、制造工厂及制造时间的桥梁牌，之后可进行桥梁入库或出场架设。

3. T梁横向联结施工

T梁经出库检验标识后进行支座安装和架设作业。采用汽车吊装车，拖车运输，汽车吊或桁吊架设，经过对每座桥的梁架后检查，确认合格后，对每孔4片T梁进行横向连接施工。

4片梁的横向联接施工包括：隔板和桥面板的湿接缝混凝土灌注、横向预应力张拉、孔道压浆及封锚等工序。其施工工序流程是：湿接缝混凝土灌注及养护→横向联结张拉→孔道压浆→封锚。

3.1 湿接缝混凝土灌注及养护

首先进行隔板湿接缝的模板、钢筋、波纹管、穿束工序作业，再进行桥面板湿接缝的模板、钢筋、波纹管、穿束工序作业，最后进行混凝土灌注及养护作业。

隔板湿接缝的模板采用小钢模拼装。底模用钢丝绳悬挂在支撑于T梁面的抬梁上，调正加固好后，绑扎接缝联结钢筋、安装管道定位网和波纹管，同时进行钢绞线穿束和波纹管的接头缝密封作业。之后将隔板接缝的两块侧模卡在底模和T梁的隔板上，用Φ20mm拉杆联接加固。

桥面板湿接缝的模板采用组合钢模拼装。用钢丝绳悬挂在支撑于T梁面的抬梁上，模板加固后，绑扎接缝联结钢筋、安装波纹管、钢绞线穿束、密封波纹管接头缝。全面检查后灌注混凝土。

当设计强度等级相同时，湿接缝混凝土采用



与T梁混凝土相同的配合比、材料、设备进行拌制和运输，采用人力手推车送混凝土入模，插入式振捣器捣固。以先隔板后面板的顺序进行灌注。灌注完后，及时覆盖麻袋洒水养护14d。

3.2 横向联结张拉、压浆及封锚

每孔梁共有横向联结预应力筋22束。桥面板上18束，采用3-7 Φ 5钢绞线和OVM15B-3型扁锚，使用YBC240Q型千斤顶、ZB4-500型油泵和1.0级精度的防振型油表，采用两端对称同步的单根张拉工艺，按先中后边的顺序单根张拉；端隔板上2束，采用7-7 Φ 5钢绞线和OVM15-7型锚具；中隔板上2束，采用4-7 Φ 5钢绞线和OVM15-4型锚具；隔板上的4束钢绞线张拉均采用T梁制造的张拉设备，采用两端对称同步整束张拉工艺。

当湿接缝混凝土强度达到52.8MPa，弹性模量达到35GPa，混凝土龄期10d以上时（一般14d），进行张拉作业。张拉顺序是从跨中开始，两端对称逐束向梁端进行，横向联结张拉控制应力 $\sigma_k=1023\text{MPa}$ 。其张拉前的准备、张拉作业程序及要求均与T梁制造张拉作业相同。

每孔梁22束预应力筋张拉完后，即进行孔道压浆。压浆作业除应保证施工质量外，还应做到文明施工，防止浆液污染桥梁墩台和周围环境。其压浆作业与T梁制造孔道压浆作业工艺要求相同。

4. 几点体会

预应力混凝土T梁制造，质量要求高，经过制梁实践，体会如下。

(1) 建立健全质量体系，是确保产品质量的必要条件。制梁场必须从技术文件编制、工装设备及检验器具配备、质保体系建立、质量管理制度、人员配置及素质提高、安全文明生产管理6个方面，建立健全质量体系，才具有保证质量

的前提。

(2) 总结制梁经验，调整工艺参数、提高工序质量，是控制梁体外形尺寸的有效途径。梁场在制梁初期，虽均是按照设计和规范等要求制定工艺参数，但因控制不严，曾出现桥梁长度、上拱度和预埋件位置等个别尺寸误差超标现象。因此，必须对首批成品梁的制造过程进行认真总结。通过成品梁的外形尺寸检验，找出尺寸误差，分析因素，制定对策，调整了模具尺寸和工艺参数，加强工序质量控制，确保梁体外形尺寸符合检验要求。

(3) T梁制造，保证混凝土的质量是关键

混凝土的质量直接体现在梁体的强度、弹性模量。表面收缩裂纹和张拉后的上拱度、梁体压缩量等方面，决定着制梁的成败。因此，混凝土配合比的选定、拌制、灌注、养护尤为重要。混凝土配合比的选定不但要满足混凝土强度、弹性模量的要求，还应保证早期强度高、收缩徐变小，并具有良好的和易性、较大的流动性、充分的保水性；混凝土灌注不仅要采用优质材料、准确计量，严格按照配合比拌制，并按要求进行浇筑和捣固；加强混凝土的养护，做到保湿保温；并控制拆模温差，防止混凝土表面发生裂纹。

(4) 增加孔道摩阻测试次数，控制预施应力

后张法预应力混凝土梁，孔道摩阻力计算的准确程度，直接影响桥梁的使用安全和耐久性。因此，各制梁场在终张拉前，均对首片梁的部分孔道进行了摩阻测试，并将实测摩阻值报设计单位调整张拉控制应力。终张拉时，根据调整后的张拉控制应力按“双控”进行张拉作业。以控制张拉应力为主，钢绞线伸长量作校核。然而，在张拉中难免会出现伸长量偏大或偏小的现象。

（下转第28页）



向槽钢办法。即在路基面支座混凝土浇筑时，按钢梁宽度（7.2m）两侧各加宽3cm预埋1组[20，槽钢高出混凝土面30cm，以控制钢梁横向偏移。

(2)手动链条葫芦纠偏。由于桥梁墩台支承垫石宽度及高度限制，如采用预埋槽钢方法，则一方面槽钢距支承垫石边缘不足10cm，易导致支承垫石混凝土破裂受损；另一方面要求槽钢高出混凝土面150cm左右，槽钢根部受弯矩作用较大。因此，桥梁墩台顶面不宜采用预埋角钢控制钢梁横向偏移。当钢梁拖拉至桥梁墩台支承垫石，出现横向偏移时，采用500kN手动链条葫芦调整偏移。链条葫芦固定于桥墩台托盘，并采用橡胶皮包裹混凝土边缘，防止混凝土局部受力过大，导致混凝土受损。

(3)连续作用千斤顶行程控制钢梁偏移。钢梁拖拉前进过程中，采用J₂经纬仪随时监控钢梁中线偏位情况，并通报千斤顶总控制台，及时调整左右2台千斤顶的运行，使钢梁恢复正确前进方向。

5.3 钢梁落梁

钢梁拖拉到位后，校核、调整钢梁中线及里程准确无误后，起顶钢梁，拆除滑道、墩顶枕木垛及预埋角钢等临时设施，并按设计埋设“

JHPZ”盆式橡胶支座。

落梁时采用2台2000kN千斤顶同时起顶，每次落梁高度5cm，先顶8号墩处梁体，落梁5cm，然后9号墩落梁5cm，再顶7号墩落梁5cm，最后10号墩落梁5cm。重复上述顺序直至落梁到设计高程。

6. 施工体会

(1)跨锦大公路大桥设计纵坡0%，各支座滑道顶高程也应固定为同一高程，而事实上，滑道顶高程可根据计算理论下挠度值减低，使钢梁直接上墩，钢梁上墩后，采用千斤顶起顶钢梁，加高滑道，使各滑道形成同一坡度，滑道坡度一般设为1.5%，可不设制动设施，这样可减少钢梁滑动阻力，加快施工进度。

(2)钢梁拖拉前，检查各组钢绞线是否正确，保证钢绞线没有交叉、扭转；同时采用拉紧器预紧各钢绞线，使钢绞线松紧一致；或在钢绞线安装前，准确丈量钢绞线使用长度，确保各组钢绞线长度一致。否则，由于钢绞线松紧不均，极易出现单根受力情况，造成安全隐患，尤其是左右两组长短不一，造成拖拉过程中钢梁受力不均，出现斜向行驶，偏移中线。

注：本文原载与《铁道标准设计》2002年第1期

（上接第35页）

多数梁场对伸长量偏大不予处理，对伸长量偏小，采用增大张拉力补足理论伸长量的方法进行处理，这是一个有待探讨解决的问题。笔者认为，影响钢绞线张拉伸长量的主要因素有三点：一是张拉力；二是钢绞线的弹性模量，三是孔道摩阻力。但张拉力是通过定期校验标定的油表和千斤顶进行控制，钢绞线的弹性模量是通过每个

卷号进行实验测定，只有孔道摩阻力，仅通过首片梁的部分孔道测试而定，代表性不强，但其准确程度又直接影响钢绞线的张拉伸长量。所以，应增加孔道摩阻力的测试数量，提高孔道摩阻力在理论伸长量计算中的准确程度，保证预施应力准确。

注：本文原载于《铁道标准设计》2002年第1期