

浅谈现浇箱梁施工技术

马力/宁夏路桥工程股份有限公司

[摘要]近些年来，现浇箱梁桥由于其设计的优越性越来越多的进入我们施工现场，可是实际施工中的许多环节的控制困扰着我们施工人员，本文对现浇箱梁桥在施工过程中控制的关键环节进行分析，归纳总结了质量控制的难点和要点。

[关键词]现浇箱梁桥;施工过程;质量控制

本文结合国道 211 线高速公路（宁夏境）A14 合同段施工的 F 匝道桥及银川至巴彦浩特第一合同段 K3+485 现浇桥的施工，浅谈几点现浇箱梁的施工经验和注意事项。

1 工程概况

桥梁中心桩号 FK0+302.598 匝道桥，交角 90 度，位于 A=121 的左偏缓和曲线上，全长 85.06 米，跨径为 4-20 米。桥梁上部为 C40 普通钢筋混凝土现浇连续箱梁。

桥梁中心桩号 K3+485，交角 90 度，位于直线段上，全长 75 米，跨径为 3-25 米。桥梁上部为 C50 预应力现浇混凝土箱梁。

2 施工准备

2.1 机械设备（从略）

2.2 进场材料（从略）

2.3 砼配合比

现浇箱梁 C40 水泥砼配合比为水泥：砂：碎石：水=462：730：1096：162，水泥使用青铜峡牌 P.O42.5R，混凝土的骨料粒径为 5—10mm、10—20mm、10—30mm，掺配比例为 20%：50%：30%，设计坍落度为 160—200mm，山西黄河 UNF-3A 缓凝高效泵送剂（掺量：1.3%）。

现浇箱梁 C50 水泥砼配合比为水泥：砂：碎石：水=465：627：1218：140，水泥使用赛马 P.O42.5R，混凝土的骨料粒径为 5—10mm、10—20mm 掺配比例为 65:35，设计坍落度为 160—200mm，山西黄河 UNF-3A 缓凝高效泵送剂（掺量：1.0%）。（在此赘述：银巴一标关平路现浇桥使用的新型混凝土：采用粉煤灰 60kg、矿粉 100kg、水泥 370kg，使混凝土的粘性较好，泌水减小，不易离析。由于矿粉的物理构成，

在泵送过程中其阻力比传统混凝土小，可进行长距离泵送，也可提高其耐久性，和抗裂性能，亦可使其外观亮泽，产生δ镜面效应δ)。

3 现浇箱梁施工方案

3.1 施工准备

满堂式支架的地基处理是现浇箱梁施工的关键工序，地基承载力需经过验算满足所承受的全部荷载，保证不产生过大的沉降现象。

3.2 施工放样

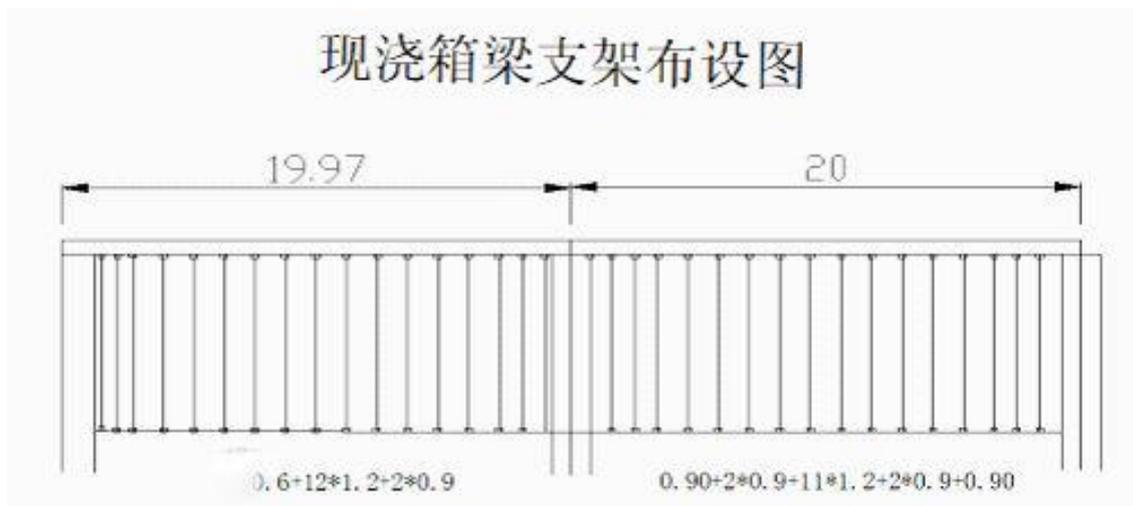
根据桥梁的形式、跨径及设计要求的施工精度，准确放出现浇桥的纵横轴线，并测量水泥稳定砂砾层的高程，计算支架高度，对过程加大控制，避免出现失误。

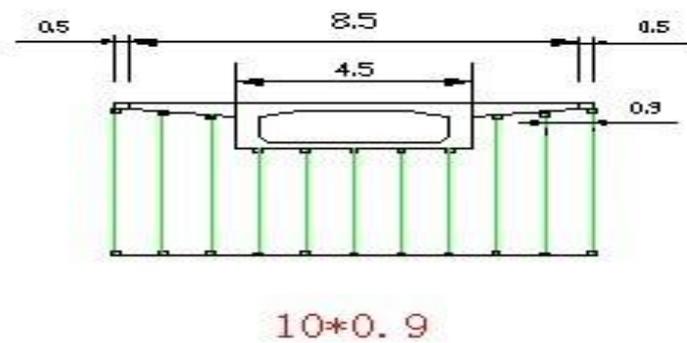
3.3 支架搭设

支架搭设时，每根立杆底托下水平放置长×宽为 25 cm×25cm，厚度为 10cm 的 C30 混凝土预制块，增大立杆底托下的受力面积。

支架在各孔沿纵向按 1.2m 的间距布设，靠近桥墩及桥台处因箱梁端头混凝土为实体结构，荷载较大，所以每联中间桥墩及桥台部分的 4 排立杆纵向按 0.9m 的间距布设进行加强。支架在横断面方向，箱梁箱室底板处荷载较大，立柱间距按 0.9m 布设进行加强；翼板部分立柱间距按 0.9m 布设。横杆在垂直方向按 0.9m 的间距进行布设，顶层高度不足 1.2m 时，按 0.6m 布设一层横杆进行加强，且在腹板位置对支架进行加密，转换为纵向 0.9m、横向 0.6 米的组合支架。

支架搭设简图如下所示（以 A14 合同段的 F 匝道桥为例）：





3.4 支架预压

现浇箱梁采用满堂支架就地浇筑。模板及支架在施工时保证有足够的强度及刚度。设计图中箱梁每孔设置了向上 1.8cm 的预拱度，为消除支架地基在全部施工荷载下可能引起的非弹性变形，施工前要在底模上对支架进行预压，预压重量按设计文件要求为箱梁重量的 120% 计算，加载及卸载顺序为 0-50%-80%-120%-80%-50% $\hat{=}$ 0。

在底模上布设观测点进行沉降观测，支架日沉降量不得大于 2.0 毫米（不含测量误差），方可撤除荷载。预压时间为 7 $\hat{=}$ 10 天。

3.5 模板安装（从略）

3.6 钢筋加工及安装（从略）

3.7 砼浇筑

浇筑速度控制在每小时 30 \sim 35m³ 为宜。砼浇筑完成后，即整平，抹面收浆拉毛，砼振捣采用插入式振捣棒。箱梁砼浇筑施工顺序为：

- 1) 浇筑底板、腹板混凝土。
- 2) 支内顶模和翼板模板。
- 3) 绑扎顶板钢筋。
- 4) 浇注顶板砼。

3.8 检查验收（从略）

4 受力验算

4.1 以 F 匝道桥为例，箱室部分立杆承载力验算如下：

扣件式钢筋截面特征：外径为 $d=48\text{mm}$ ，壁厚 $t=3.5\text{mm}$ ，惯性矩为 $1.215 \times 10^5 \text{mm}^4$ ，钢材强度极限值为 $2.15 \times 10^5 \text{KPa}$ ，抵抗矩 $W=5.078 \times 10^3 \text{mm}^3$ ，回转半径 $r=15.78\text{mm}$ 。

风荷载：当支架高度小于 6m 时，可不计风载（参考路桥施工计算手册表 8-3）。

混凝土浇注振捣及模板产生荷载按 2.5KN/M^2 计算。

箱室部分立杆纵向间距 1.2 米，横向间距为 0.9 米，因此小横杆的计算跨径为 0.9 米；箱梁顶板及底板砼厚度分别为 0.2 米和 0.18 米。

顺桥向单位长度内混凝土重量为： $g_1 = (0.2+0.18) \times 26 = 9.88\text{KN/M}^3$ 。

人群荷载及动荷载取 2.5KN/M^2 。

横桥向作用在小横杆上的荷载为： $g = g_1 + 2.5 = 12\text{KN/M}^2$ 。

抗弯刚度： $f = gl^4/150EI = 12 \times 900^4 / (150 \times 2.1 \times 10^5 \times 1.215 \times 10^5) = 2.06\text{mm} < 3\text{mm}$ 。

立杆纵向间距为 1.2 米，因此大横杆的计算跨径为 1.2 米，按三跨连续梁计算：有小横杆传递的集中力 $F = 12 \times 0.9 = 10.8\text{KN}$ ；挠度 $f = 1.883 \times FL^2/100EI = 1.883 \times 10800 \times 1200^2 / (100 \times 2.1 \times 10^5 \times 1.078 \times 10^5) = 0.01\text{mm} < 3\text{mm}$ 。

立杆计算：立杆承受有大横杆传递来的荷载，因此 $N = 10.8\text{KN}$ ，由于大横杆步距为 1.2 米，长细比 $\lambda = L/r = 1200/15.78 = 76$ ，则纵向弯曲系数 $\mu = 0.68$ ，则：

$$[N] = A [\sigma] = 0.68 \times 424 \times 215 = 61988\text{N} = 62\text{KN}。$$

$N < [N]$ ，满足要求。

4.2 C30 混凝土预制块承载力验算

根据立杆承载力验算可知，单根立杆承受的最大压力为 $F = 15.939\text{KN}$ ，立杆底托在 C30 混凝土预制块上的作用面积（托底截面尺寸）为 $A = 14\text{cm} \times 14\text{cm} = 196\text{cm}^2$ ，则立杆作用在预制块上的压应力： $P = 15.939\text{KN} / 196\text{cm}^2 = 0.08\text{Mpa} < 30\text{Mpa}$ 。经过验算，C30 混凝土预制块承载力满足要求。

4.3 地基承载力验算

因为 F 匝道桥桥位处为川区水稻田，K3+485 现浇桥位跨河道，地下水位较高，所以碗扣支架的地基处理为：填筑厚度为 50cm 砂砾，分层填筑碾压至压实度达到 95% 以上，再铺筑 30cm 水泥稳定砂砾，压实度要求为 95% 以上，以提高基地整体承载力。

支架地基的承载力验算按照 $[] = f_k * K_b \leq 500 \text{ KPa}$ 计算，每根立杆底托下放置的 C30 混凝土预制块长 \times 宽 $=25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ，立杆通过混凝土预制块作用在地基上的最大压力 $F=15.939 \text{ KN}$ ，则地基承受的最大压应力： $P=15.939 \text{ KN} / (25 \times 25) \text{ cm}^2 = 255 \text{ KPa} < 500 \text{ KPa}$ 。

4.4 支架纵梁受力验算

现浇箱梁支架纵梁采用 14a 槽钢，计算选取荷载最大处即桥墩支点实心段，沿纵向布设的跨距 90cm，计算跨距 76cm，横向布设为 90cm，计算跨径 76cm。箱梁高度 1.3m 时，验算如下：

箱梁最大自重： $1.3 \times 26 = 33.8 \text{ KN/m}^2$ ；

施工活载标准值： 2.5 KN/m^2 ；

分布在每根槽钢上的荷载 $q = (33.8 + 2.5) * 0.76 = 27.588 \text{ KN/m}$ ；

槽钢弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；

槽钢挠度变形 $f_{允} = L/400 = 760/400 = 1.9 \text{ mm}$ ；

槽钢抗弯强度 $F_m = 215 \text{ N/mm}^2$ ；

槽钢计算挠度 $f = 5qL^4 / (384EI) = 5 * 26.6 * 760^4 / (2.06 \times 10^5 * 53.2 \times 10^4) = 0.64 \text{ mm} < f_{允} = 1.9 \text{ mm}$ ；

槽钢承受的最大弯矩 $M = 1/8 qL^2 = 1/8 * 16.1 \times 10^3 * 0.76^2 = 1162.4 \text{ N} \cdot \text{m}$ ；

槽钢的截面抵抗矩 $W = 13 \times 10^6 \text{ m}^3$ ；

槽钢最大弯拉应力： $\sigma = M/W = 89.4 \text{ N/mm}^2 < F_m = 215 \text{ N/mm}^2$ ；

经验算，14a 槽钢纵梁的受力满足要求。

5 预应力施工工艺

5.1 K3+485 现浇箱梁桥纵向预应力钢束每束分别使用 $\phi 15.2$ 的钢绞线 12 根、19 根，钢绞线采用 $f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$ 钢绞线，弹性模量 $E_p = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$ ，锚下控制应力为 $\sigma_k = 0.7 f_{pk} = 1305 \text{ MPa}$ 。钢绞线按规定做力学性能抽样检验，检验结果符合规范要求，具体张拉计算书：

设计钢绞线为 $\phi 15.24 \text{ mm}$ ，截面积 $A_p = 140 \text{ mm}^2$ ，标准强度 $R_{by} = 1860 \text{ MPa}$ ，设计弹

性模量 $E_p=1.987 \times 10^5 \text{MPa}$,

钢绞线检测报告单弹性模量 $E_p=1.987 \times 10^5 \text{MPa}$, 设计张拉锚下控制应力为 $\sigma_{con}=0.75f_{pk}=1395 \text{MPa}$ 。

$$P = \sigma_{con} A_p = 1395 \times 140 = 195.3 \text{KN}。$$

根据桥涵技术规范, 预应力筋平均张拉力计算式为:

$$P_p = P(1 - e^{-(kx + \theta)}) / (kx + \theta) ;$$

$$P_z = P e^{-(kx + \theta)}。$$

P 预应力筋张拉端的张拉力 (N);

P_p 预应力筋平均张拉力 (N);

P_z 一段预应力筋终点端的张拉应力 (N);

P_q 一段预应力筋起点处的张拉应力, 等于前一段预应力筋终点端的应力(N);

P 预应力筋张拉端的张拉力 (N);

X 从张拉端至计算截面的孔道长度 (m);

θ 从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和 (rad);

k 孔道每米局部偏差对磨擦的影响系数, 塑料波纹孔道为 0.0015;

μ 预应力筋与孔道壁的磨擦系数, 塑料波纹孔道为 0.17;

5.2 预应力钢束的预留孔道采用塑料波纹管成孔, 内径为 75mm 和 100mm, 锚具使用 15-19 和 15-12 型张拉端锚具, 锚具夹片采用 2 片式按 180 均分开缝的锥形锚具, 锚固稳固可靠, 工具锚片采用 3 片 60 均分开的锥形锚具, 利于拆卸。

5.3 钢绞线制作

钢绞线的下料长度等于孔道净长加两端的工作长度。工作长度充分的考虑了锚垫板及千斤顶的工作所需长度。钢绞线的切割采用砂轮切割机, 以保证切口平整, 丝头不散, 禁止使用电焊或气焊切割, 以免损伤钢绞线或影响钢绞线的力学性能。

6 预应力钢束张拉

对预应力筋施加预应力时, 宜对千斤顶张拉时的同步性、持荷时间、锚下的有效预应力及其均匀度等进行质量控制, 并应符合下列规定: 1) 在采用两台千斤顶实施对

称和两端张拉时，各千斤顶之间同步张拉力的允许误差宜为 $\pm 2\%$ ；2) 张拉至控制力时，按新桥规第 7.7 节和 7.8 节的规定，保证千斤顶具有足够的持续荷载，张拉控制应力的精度宜为 $\pm 1.5\%$ ；3) 张拉锚固后，预应力筋在锚下的有效预应力应符合设计张拉控制应力，两者的相对偏差应不超过 $\pm 5\%$ ，且同一断面中的预应力束其有效应力的不均匀度应不超过 $\pm 2\%$ 。梁体砼强度达到 90%设计强度后进行张拉作业。预应力钢束张拉采用控制应力和伸长值（应变）双控制法，互相校核，预应力钢索的张拉按对称原则从中间向两边张拉，使桥梁整体受力。当实际伸长值与理论伸长值之差大于 $\pm 6\%$ 时，立即停止张拉，查明原因并采取措施调整后再继续张拉，发生滑丝或断丝超过规范要求时，进行整束更换后重新张拉。

张拉时间：0 15% k(初应力,开始测伸长量) 100% k 持荷 2 分钟 k (锚固)，张拉顺序要严格按照图纸要求进行。

预应力钢束张拉完成后测量夹片回缩量,检查是否有断丝,滑丝现象。检查合格后割断露头，露头余留长度按不小于 3cm 进行控制，不能影响封锚。

7 孔道压浆

所有钢束张拉锚固完成后,在 48 小时内进行孔道压浆，避免预应力筋锈蚀。采用真空辅助压浆工艺时，在压浆前应对孔道进行抽真空，真空度宜稳定在 $-0.6\sim-0.10\text{MPa}$ 范围内，真空度稳定后，应立即开启孔道压浆端的阀门，同时启动压浆泵进行连续压浆，在压浆后应通过检查孔抽查压浆的密实情况，如有不实，应及时进行补压浆处理，压浆完成后，应及时对锚固端按设计要求进行封闭保护或防腐处理，需要封锚的锚具，应在压浆完成后对梁端混凝土凿毛并将其周围冲洗干净，设置钢筋网浇注封端混凝土。压浆采用的水泥、外加剂、矿物掺合料、膨胀剂和水等原材料的质量，以及所配合浆液的性能应符合新桥规第 7.9 节的规定。按批复配合比要求进行配浆，可适量加入硅灰，硅灰的平均粒径在 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ ，比表面积为： $20\sim 28\text{m}^2/\text{g}$ ，其细度和表面积约为水泥的 80~100 倍，粉煤灰的 50~70 倍，具有如下优点：

1) 显著提高硬浆的抗压、抗折、抗渗、防腐、抗冲击性能、耐磨性能、减少凝结时间。

2)具有保水、防止离析、泌水、大幅降低泵送阻力的作用。

3)显著延长硬浆的使用寿命。

4)具有约 5 倍水泥的功效，在普通混凝土及硬浆中使用可降低成本。水泥浆按要求制作试件,养生至期后送检。

结语：综上，在现浇箱梁的施工中，只要加强对关键环节的控制，就一定能保证其质量，避免出现质量和安全问题。