

公路隧道使用钢模板台车混凝土衬砌施工工法

摘 要 本文针对公路隧道使用大块钢模板台车模筑衬砌存在的常见问题，如环接缝错台和漏浆，混凝土表面存在冷缝、颜色不一致等问题；从施工方法、施工工艺和措施方面进行了剖析，并针对性地提出改进措施。

关键词 公路隧道 大块钢模板台车 衬砌 施工

由于公路隧道断面大，模筑混凝土衬砌质量要求高，特别是福建省公路隧道取消了二衬表面的防火涂料、水泥漆等二次处理，模筑混凝土衬砌存在的常见外观质量问题如：环形接缝错台、漏浆；工作窗处错台；冷缝多；混凝土表面存在花斑、颜色不一致；渗漏水；矮边墙不顺直等表现尤为突出，处理不好直接影响隧道二衬外观质量。出现上述问题原因是多方面的，但主要是衬砌台车刚度不足，施工方法和工艺不当所致。经过施工中不断研究摸索，以上问题在京福高速公路福州段美荪林隧道施工中得到了较好的解决。下面就大模板台车模筑衬砌施工技术和质量控制的一些做法作一介绍，为今后类似工程施工提供参考。

1 衬砌台车的结构、制造、拼装调试及定位

1.1 台车结构

台车结构一般分为车体、模板、液压或丝杠支拆模系统，工厂制造后运至现场拼装。其结构简图见图 1。

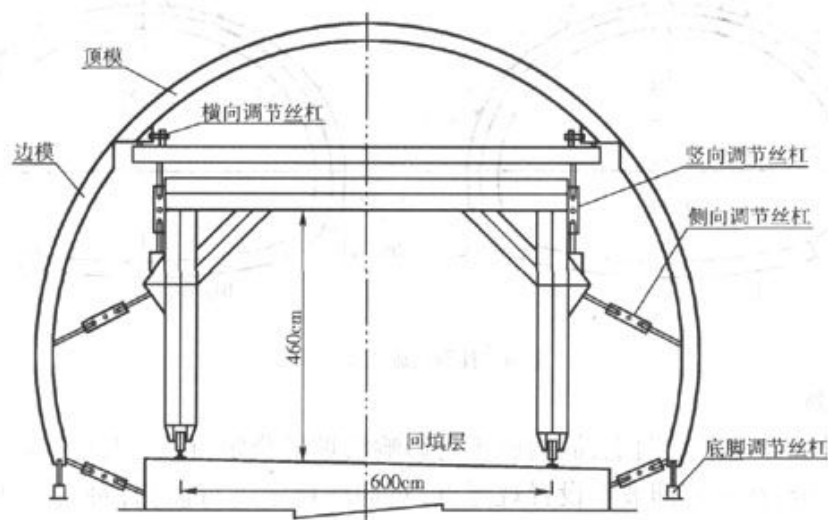


图 1 衬砌台车结构示意图

1.1.1 车体

车体采用桁架结构，纵梁采用 40C 槽钢相对拼焊而成，上下各 2 根；立柱采用 HK450 型钢，间距为每 3m 设 1 根，并在立柱间设“米”字撑；横梁采用 56C 工字钢，间距为每 1.5m 设 1 根；其他辅助构件采用 HK160c 型钢，采用上述结构可以较好地满足刚度和稳定性要求。

1.1.2 模板及拼装

由于公路隧道断面大，实践证明钢板 $\leq 6\text{mm}$ 时其刚度不足，使用一段时间后，易发生变形。鉴于此，模板宜采用厚度为 8mm 或 10mm 宽 150cm 冷轧钢板。模板加工时卷制半径应较隧道设计净空断面半径大 5cm，以抵消施工误差；模板底端应低于隧道侧沟顶面 5—10cm，以保证二衬与矮边墙接缝不外露。现场拼装完成并检查校正后，对模板板块拼缝进行焊联并将焊缝打磨平整，模板拼装完后形成三大块(拱部一块，左右边墙各一块)，大块模板可以有效抑制翘曲变形。

1.1.3 丝杠支拆模系统

丝杠支拆模系统，杠体直径 90mm，纵向间距 150cm(与板块宽度相同)，台

车两端侧向调节丝杠每侧增设 2 根(图 1)。

1.1.4 工作窗设置

工作窗尺寸为 $50 \times 50\text{cm}$ ，共设置 5 排 19 个，即拱顶部 1 排设 3 个，与 3 个封顶孔交替布置。两侧起拱线以上部位各设 1 排，每排 4 个，高度以高出预埋的照明电缆管和接线盒位置约 20cm 为宜，以便在混凝土灌注过程中检查和校正预埋件位置。两侧边墙部位的窗口各设 1 排，每排 4 个，高度为模板底边往上 3.0m 处为宜。

1.1.5 台车长度确定

台车实际长度以 1210cm 为宜，其有效长度 1200cm，每环间搭接长度 10cm。实践证明线路半径大于等于 500m 时均适用，其弦矢差可通过丝杠调节抵消，台车长度过短会造成衬砌环形接缝过多，既影响混凝土外观质量，又影响进度。台车模板与上一环混凝土表面的搭接长度以 10-15cm 为宜，搭接长度过小，易将上一环搭接部位的混凝土顶裂；过大则搭接处不易密贴，易造成环形接缝处漏浆。

1.2 台车拼装后的调试

台车车体桁架、模板局部变形、加工尺寸偏差等是造成衬砌错台等衬砌外观质量问题的主要原因。台车拼装后调试对二衬混凝土外观质量十分重要，调试过程中应注意以下几个方面：

a. 衬砌台车现场拼装完成后，必须在轨道上往返走行 3-5 次后，再次紧固螺栓，并对部分连接部位加强焊接以提高其整体性。

b. 检查台车模板尺寸是否准确，其两端的结构尺寸相对偏差宜不大于 3mm，否则需进行整修。

c. 衬砌前对钢模板表面采用抛光机进行彻底打磨，清除锈斑，涂油防锈。

d. 每施做衬砌 500-800m，台车应全面校验一次，校验一般在隧道加宽带进行。

1.3 台车就位

1.3.1 轨道布设

轨道宜采用铁路 P38 以上钢轨，短枕采用木枕，钢轨和短枕间使用轨垫板，轨道置于已铺底的混凝土地面上，以保证台车平稳。轨道中心线尽可能与隧道中心线重合，偏差应控制在 $\pm 1\text{cm}$ 以内。

1.3.2 台车准确定位

台车定位采用五点定位法，即以衬砌圆心为原点建立平面坐标系，通过控制拱部模板中心点、拱部模板同墙部模板的两个铰接点、两墙部模板的底脚点来精确控制台车就位。台车走行至立模位置后，先利用竖向丝杠调整其标高，再利用横向和侧向丝杠调整其平面位置，使模板中心线与隧道中心线重合，并用五点定位法复测台车模板两端断面，拉线检查中部模板是否翘曲或扭动，直至准确为止。

在曲线段施工时还应考虑内外弧长差引起的左右侧搭接长度的变化，调整过程中尽量保证弧线圆顺。

为避免混凝土浇注过程中台车上浮(一般可达 15mm 左右)，采用三个 30t 的千斤顶在台车前端端部拱顶增设支撑，以防台车上浮造成拱部错台。

2 模筑混凝土关键工艺控制

2.1 原材料及混凝土品质控制

2.1.1 原材料

原材料经检验合格后使用，特别是地材和特种材料更要把好检验关。碎石宜采用反击破碎石，碎石生产过程中应严格控制筛孔尺寸，保证碎石的形状和

级配。

2.1.2 混凝土坍落度控制

混凝土坍落度一般选 14-17cm，根据灌注部位的不同，墙部混凝土坍落度宜小，拱部的宜偏大。在保证混凝土可泵性的情况下，宜尽量减小混凝土的坍落度，并提高混凝土的和易性、保水性，避免混凝土泌水。

2.1.3 外掺剂(料)的选用

适量掺加高效缓凝型减水剂，可以改善混凝土的和易性，增加其流动性；在衬砌混凝土中可掺加粉煤灰有利于提高混凝土的和易性、保水性和密实度。

2.2 混凝土灌注

2.2.1 灌注顺序

混凝土采用分层、左右侧交替对称浇注，每层浇筑厚度不大于 1m。两侧高差控制在 50cm

以内。浇注过程要连续，避免停歇造成“冷缝”，间歇时间超过 1.5h 则按施工缝处理。

2.2.2 两侧对称灌注更替时间控制

采取混凝土灌注时间和灌注高度两个指标进行双控，即单侧混凝土灌注高度达 1m 时，必须换管；单侧混凝土灌注间歇时间不超过混凝土的初凝时间，美荪林隧道施工中规定每侧连续灌注时间达 70min 时，必须换管。

2.2.3 保证混凝土灌注连续性的措施

a. 合理配置机械设备，储备充足的易损件，做到设备有用有备；加强机械设备操作手现场培训和设备检修保养。

b. 建立衬砌作业前的设备检查制度，设备有故障或能力不匹配不开盘。

c. 对工程量较大的衬砌段落可采用两套设备分左右侧同时工作，但宜适当

放慢混凝土灌注速度，以避免台车上浮。

2.3 混凝土捣固

专职捣固手定人定位用插入式振动器捣固，以保证混凝土密实；起拱线以下辅以木锤模外敲振和捣固铲抽插捣固，以抑制混凝土表面的气泡产生。灌注过程中严禁用振动棒拖拉混凝土。

2.4 衬砌混凝土封顶

封顶采用顶模中心封顶铝接输送管，逐渐压注混凝土封顶。当挡头板上观察孔有浆溢出，即标志封顶完成。

2.5 拆模

按施工规范采用最后一盘封顶混凝土试件现场试压达到的强度来控制，模筑衬砌混凝土强度不小于 2.5MPa 时拆模。

2.6 混凝土表面缺陷整修

拆模后，若发现缺陷，经监理工程师批准后及时处理。

a. 气泡：采用白水泥和普通水泥按衬砌表面颜色对比试验确定的比例掺拌后，局部填补抹平。

b. 环形接缝处理：采用弧度尺画线，切割机切缝，缝深约 2cm，不整齐处进行局部修凿或经砂轮机打磨后，用高标号水泥砂浆修饰，用钢钎刀抹平，使接缝圆顺整齐。

c. 表面颜色不一致：采用砂纸反复擦拭数次。

d. 预留洞室周边处理：预留洞室周边还应先行清理干净，然后喷水湿润，采用高标号与模筑衬砌颜色相统一的砂浆，抹平压光。

2.7 衬砌混凝土灌注作业中的几个工艺细节

2.7.1 混凝土输送管路布置

接头管箍应连接牢靠避免爆脱，管路用方木支垫高出地面，穿过台车时管箍不与台车构件直接接触。混凝土输送管路端部设置一根软管，软管管口至浇筑面垂距控制在 1.5m 以内，以避免混凝土产生离析。

2.7.2 钢筋保护层厚度保证措施

由于采用泵送混凝土，灌注速度较快，钢筋变形较显著，容易造成拱部钢筋保护层减小，甚至造成露筋。因此要保证拱部混凝土垫块有足够的强度并在灌注过程中注意混凝土灌注速度。

2.7.3 边墙反弧段混凝土表面气泡的控制

在反弧段施工中为控制混凝土表面气泡，主要采取以下三种措施：a. 掺加高效缓凝型减水剂(一般为水泥重量的 1%)和粉煤灰(一般为水泥重量的 20% 左右)，以改善混凝土性能；b. 控制混凝土坍落度(一般取 14cm)；c. 捣固方法要得当，综合运用，可以减少反弧段气泡，有效改善衬砌混凝土表面质量。

2.7.4 克服混凝土接缝错台的措施

混凝土接缝错台是模筑衬砌外观质量的通病之一，但通过采取一些具体措施是可以克服的，墙面平整度偏差值完全可以控制在 3mm 之内，远小于规范 20mm 的允许值。

a. 克服环形接缝处错台措施

为克服环形接缝处错台应采取以下方面的措施：一是在台车就位前，将混凝土搭接部位及台车搭接部分表面彻底清理干净，使台车与混凝土表面尽量紧贴；二是加强台车支撑，应将所有的支撑全部支撑到位，保证台车整体受力，台车两端边墙部位宜增加丝杠支撑；三是在台车前端端部拱顶增设竖向支撑(采用三个 30t 的千斤顶)，以防台车上浮造成拱部错台；四是放慢边墙 0-3m 高部位混凝土的灌注速度(一般在约 4 小时)和严格控制混凝土坍落度(一般在

14cm)；五是及时检查和消除台车两端断面尺寸误差；六是中线和标高要控制准确；七是保证台车模板与上一环混凝土的搭接长度为 10—15cm。

b. 克服台车模板板块拼缝处错台措施

对模板板块拼缝进行焊联并将焊缝打磨平整，形成三块大模板(拱部一块，左右边墙各一块)，以抑制使用过程中模板局部翘曲变形，避免了板块拼缝处错台。

c. 控制台车作业窗处错台

作业窗关闭前，必须将窗口边框混凝土浆液残渣清理干净，并用湿抹布擦拭后锁紧压紧卡，并将关闭支点用楔形木塞紧，防止由于作业窗口关闭不严，使窗口部位混凝土表面凹凸不平。

2.7.5 克服漏浆措施

环形接缝处漏浆处置措施：一是挡头板要厚实，可选用 5cm 厚木板制作，木模径向安装以适应端部尺寸的不规则性，在台车端部模板板肋处钻眼用槽钢和螺栓固定；二是台车钢模板与上一环混凝土表面的搭接长度以 10-15cm 为宜，不宜过大，否则搭接处不易密贴造成漏浆；三是在搭接处混凝土表面粘贴海绵条止浆。

b. 矮边墙顶面处混凝土接缝浆处置措施：一是矮边墙顶面与台车模板底边间的空隙用梯形木封堵密贴；二是混凝土开盘前先泵送同级砂浆，砂浆量以矮边墙上平铺 2cm 为宜，既可保证矮边墙同拱墙混凝土的连接，又可防止模板缝隙漏浆造成混凝土泛砂或暴露骨料。

2.7.6 克服混凝土表面花纹、颜色不一致的措施

a. 消除冷缝和减少不必要的施工缝。如上所述，混凝土要分层、左右侧交替对称浇注，浇注过程要连续，避免停歇造成“冷缝”，并控制好两侧对称灌

注更替时间控制，避免形成不必要的施工缝。

b. 采用适宜的脱模剂。经反复进行对比实验，采用机油和柴油的混合物按 4: 6 的比例掺 兑，作脱模剂使用，效果较好。涂刷要薄而匀，一次涂刷后，二次刷子不蘸油再均匀刷一遍。切凝土的流动范围。

3 矮边墙施工方法和工艺

大模板台车衬砌前必须采用定型钢模板先施工矮边墙。矮边墙施工高度的选择一般有两种方案：即较衬砌台车模板底部略高或略低。第一种方案对矮边墙的标高及平直度要求很高，否则不易控制台车模板准确就位或接茬处容易出现漏浆，但脱模容易。第二种方案容易实现台车的准确定位，缺点是高差留小了脱模困难，经常性将矮边墙棱角打破，高差过大，缝隙不易封堵，灌注混凝土时容易漏浆。

经过对比分析并结合多条公路隧道的施工经验，我们选用第二种方案，矮边墙顶面比衬砌台车模板底边低约 8cm 为宜，此部分在混凝土灌注前用梯形木封堵密贴，以防漏浆。