

浅谈隧洞衬砌质量通病控制施工技术

闫亚军 柳颖瑞

榆林市黄河东线引水工程有限公司 陕西 榆林 719000

摘要：水利工程作为国民经济的组成部分，在我国具有特殊而重要的地位，近年来水利行业的发展速度不断加快，但是由于混凝土原材料、配合比、施工工艺及后期养护等方法不当，使得通水隧洞衬砌混凝土实体完成面形成较多的漏筋、蜂窝、麻面、裂缝、涨模等质量缺陷，为了最大限度地减少或避免隧洞衬砌混凝土质量问题的发生，榆林市黄河东线引水工程有限公司在衬砌施工过程中及时开展了衬砌混凝土实体质量检查，深入分析了衬砌混凝土质量问题产生的原因，改进了施工工艺，提出了合适的施工方法和技术要求，实现了施工作业的标准化和规范化。

关键词：原材料；施工工艺；施工方法；质量通病

引言：为了进一步提升水工隧洞现场质量，有效降低与减少质量通病和使用功能缺陷，同时共享水利行业优秀施工方法和先进工艺，因此，榆林市黄河东线引水工程有限公司以实体质量通病为抓手，坚持“策划先行、过程管控、一次成优”的理念，特编写隧洞衬砌质量通病控制施工技术，从混凝土原材料开始到混凝土养护结束为止，经过现场管理人员的层层把关和共同努力，本公司隧洞衬砌混凝土质量通病得到了有效的控制。

1 混凝土原材料及配合比要求

原材料宜通过试验选定，如水泥、掺合料、引气剂等外加剂等生产厂家要相对固定；水泥、掺合料、引气剂等外加剂任意一种材料更换厂家时，必须进行混凝土相容性试验，确保质量符合要求，混凝土原材料技术参数如下：

水泥：要选用中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。

砂：要选用质地坚硬，干净、级配良好的中粗砂，且表观密度不小于 $2500\text{kg}/\text{m}^3$ ，细度模数为控制在 $2.3-3.0$ 之间，表面含水率要小于 6% ，当设计龄期强度等级不小于 30Mpa 或有抗冻要求的混凝土时，其含泥量要控制在 3% 之内，当设计龄期强度等级小于 30Mpa 时，其含泥量要小于 5% ，有抗冻或抗侵蚀要求的混凝土时，其坚固性要小于 8% ，硫化物或硫酸盐含量要小于 1% ，云母海含量不得超过 2% ，轻物质含量不得超过 1% ，泥块含量禁止出现^[1]。

石子：应选用质地坚硬，清洁、级配良好，如有裹粉、裹泥或污染物应清除，超径 $\leq 5\%$ ，逊径 $\leq 10\%$ ，表观密度 $\geq 2550\text{kg}/\text{m}^3$ ，吸水率宜 $\leq 1.5\%$ ，含泥量 $\leq 0.5\%$ ，坚固性 $\leq 5\%$ ，软弱颗粒含量 $\leq 5\%$ ，针片状颗粒含量 $\leq 15\%$ ，硫化物及硫酸盐含量 $\leq 1\%$ ，泥块含量禁

止出现^[1]。

水：混凝土拌和用水与饮用水样进行水泥凝结时间对比试验。对比试验的水泥初凝时间差及终凝时间差均 $\leq 30\text{min}$ ，且初凝和终凝时间应符合GB175的规定^[3]，PH值 ≥ 4.5 ，氯化物含量 $\leq 1200\text{mg}/\text{L}$ ，硫酸盐含量 $\leq 2700\text{mg}/\text{L}$ ，碱含量 $\leq 1500\text{mg}/\text{L}$ 。

混凝土配合比设计要求；

(1) 混凝土的入泵坍落度为 $140-220\text{mm}$ ；防水混凝土坍落度控制在 $120-160\text{mm}$ 。

(2) 粗骨料针片状颗粒不应大于 10% ，粒径与管径之比 $\leq 1; 3-1; 4;$

(3) 水胶比的要求：普通混凝土的要小于 0.6 ；有防水要求混凝土的要小于 0.5 。

(4) 普通混凝土的凝胶材料总量要大于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ；有防水的混凝土要大于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ ，其中水泥用量要大于 $260\text{kg}/\text{m}^3$ ，粉煤灰掺量要控制在凝胶材料总量的 $25\%-30\%$ 之间，硅粉掺量要控制在凝胶材料总量的 $3\%-5\%$ 之间。

(5) 当掺用引气型外加剂时，其含气量不宜大于 4% 。

(6) 砂率要控制在 $35\%-45\%$ 之间；试配要求的抗渗水压值要比设计值大于 0.2MPa 。

(7) 有防水要求的混凝土的灰砂比要控制在 $1; 0.5-1; 2.4$ 之间。

2 施工工艺（如下图图一所示）

3 施工方法

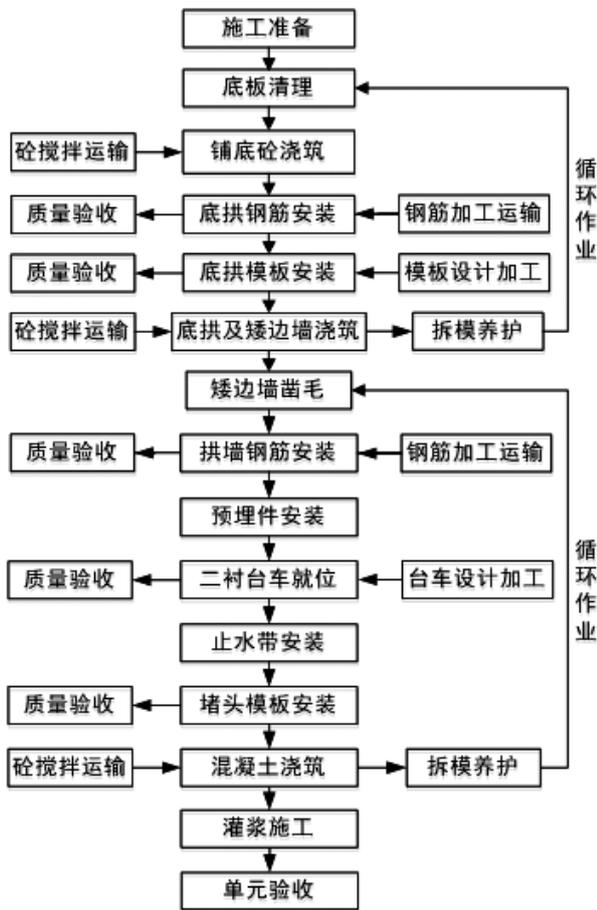
3.1 施工准备

(1) 接通风、水、电路，人员、材料、机械设备进场就位。

(2) 根据设计图纸提前对接模板厂家，二衬台车加工验收合格后进场。

(3) 二衬混凝土配合比设计完成, 经报验审批后方可投入使用。

(4) 对隧洞初支断面净空进行测量, 提前对侵限部分进行处理。



图一

3.2 底板清理

铺底混凝土浇筑前应将底板开挖面的浮渣、杂物等清除干净, 并用高压风机吹干净, 直至漏出新鲜基岩面, 仓面检查合格并经批准后, 应及时开仓浇筑混凝土^[3]。局部地下水渗透导致基岩软化段落, 报请监理、设计及与业主单位现场确认换填厚度, 换填材料采用铺底混凝土。

3.3 铺底混凝土浇筑

基岩面浇筑第一层混凝土前, 宜先铺一层 2-3cm 厚的水泥砂浆, 或同等强度的小级配混凝土^[3]。全线隧洞铺底采用 C30 混凝土浇筑 20cm, 采用自卸结合溜槽方式, 端模采用槽钢, 开挖有地下水渗透, 及时施做铺底混凝土; 无地下水则待洞通后统一浇筑。

3.4 底拱钢筋加工及安装

(1) 钢筋按照设计图纸要求, 统一下料, 集中在钢筋加工场制作半成品后转运至工作面, 安装采用焊接或

绑扎形式固定。

(2) 钢筋应该顺直, 不得有裂纹、断伤、刻痕, 钢筋表面的油渍, 铁锈等应清除干净; 钢筋调直, 弯钩, 弯折, 弯曲应采用冷加工。

(3) 钢筋安装顺序: 下层环向钢筋→底层纵向钢筋→架立钢筋→上层环向钢筋→上层纵向钢筋→拉筋。

(4) 钢筋架立筋选用 $\phi 20\text{mm}$, 环向主筋根据架立钢筋标记的 20cm 间距刻度线安装, 相邻钢筋接头要相互错开 $35d$ (d 为纵向受力钢筋的较大直径), 或至少 500mm 以上。环向主筋安装后, 在主筋上用粉笔定点, 间距 20cm, 安装纵向连接筋, 保证与定位点重合。

(5) ①与③钢筋交叉点全部绑扎、②与④钢筋搭接采用绑扎形式, 绑点间距不大于 40cm。③与⑤ (除 J4 型)、④与⑥ (J1 与 J2 型) 钢筋搭接采用绑扎或焊接形式, 单面焊为 $10d$, 双面焊为 $5d$, d 按较小直径算; 采用绑扎时, 使用 20 绑丝在钢筋搭接中心和两端扎牢, 绑扎不少于 3 道, 绑丝绑扎钢筋的绑丝端头折向里侧。

(6) 环向钢筋与纵向水平钢筋的绑扎, 其钢筋交叉点的连接要按不大于 50% 的错头率进行绑扎。

3.5 底拱模板加工及安装

(1) 底拱模板采用钢模板, 由专业厂家进行深化设计制作。

(2) 在安装模板前, 为了防止粘模, 故钢模的表面要均匀涂刷一道脱模剂, 防止在涂刷过程中脱模剂污染钢筋和混凝土, 故脱模剂禁止使用废机油。模板安装后要先临时固定, 在采用全站仪校正模板位置, 并用线锤或水平尺校正模板垂直度。

(3) 模板立好后检查保护层厚度和水泥垫块是否符合要求, 钢筋保护层过流侧为 80mm, 围岩侧为 50mm。

(4) 模板缝隙如果大于 2mm, 应调整模板或采用海绵胶带措施密封减少缝隙的宽度。

(5) 待模板安装完成后要及时组织验收, 经验收组成员验收通过后方可进入下一道施工工序。

3.6 底拱及矮边墙混凝土浇筑

(1) 混凝土浇筑前, 使用高压风将模板内杂物等进行清理。

(2) 混凝土浇筑分层厚度控制在 30cm 左右, 入模温度控制在 $5 \sim 28^\circ\text{C}$ 。当使用振动棒时, 操作工人在振捣过程中要采用“快插慢拔”的方式, 插点要布置合理, 逐点进行, 为了确保混凝土振捣密实, 在振捣过程中要防止漏振或欠振。为了使得上、下层混凝土密实结合^[3], 振捣上一层混凝土时, 振捣器要插入下一层混凝土深度至少 5cm 以上, 混凝土密实标准为: 混凝土不在下沉、

不出现气泡、表面浮出薄水泥浆。

(3) 浇筑混凝土时要由低到高、由远到近且不宜中断,如间歇时间超过2小时,应对原浇筑层进行凿毛处理后方可继续作业。

(4) 在混凝土浇筑过程中,作业面必须要有足够的亮度,在浇筑混凝土时,为了防止模板、钢筋移位、变形,故要有专人进行留守,当发现问题时,要应立即停止作业且应混凝土初凝前整改完成。

(5) 在混凝土初凝时(手摁不软,但有指印),立即开始收面二遍,待平整压光后立即在其表面覆盖塑料薄膜,防止其水分散发,并洒水及时养护,确保混凝土表面处于湿润状态,待混凝土强度达到5MPa前,禁止上人行走,直至强度达到100%设计强度后才准车辆行走。

3.7 矮边墙凿毛

矮边墙顶部要进行凿毛处理:当混凝土强度达到2.5-10MPa时,采用人工凿毛即可;当混凝土强度高于10MPa时,最好采用机械凿毛,要将混凝土表面乳皮剔凿干净直至露出小石子或半石子,待凿毛后要用高压水枪冲洗净混凝土表面且不得有积水^[3]。

3.8 拱墙钢筋安装

(1) 拱墙钢筋安设工序:安装定位筋或支撑钢筋→外层横向钢筋→外层纵向钢筋→内层纵向钢筋→内层横向钢筋→拉结钢筋。

(2) 定位钢筋要每间隔2m安设一道且采用纵向钢筋,支撑钢筋直径同环向钢筋,间距2m。定位钢筋安装后,环向主筋根据定位钢筋标记的20cm间距刻度线安装,环向主筋安装后,在主筋上用粉笔定点,间距20cm,安装纵向连接筋,保证与定位点重合。纵向连接筋在两层环向主筋的内侧。

(3) ③与⑤、④与⑥(J1与J2型)钢筋搭接采用绑扎或焊接形式,单面焊为10d,双面焊为5d,d按较小直径算;

采用绑扎时,使用20扎丝在钢筋搭接中心和两端扎牢^[2],绑扎不少于3道,绑丝绑扎钢筋的绑丝端头折向里侧。

(4) 环向钢筋与纵向水平钢筋的绑扎,其钢筋交叉点的连接按50%的间隔绑扎。

(5) 待双层主筋安装完成后,拱墙两层钢筋外侧均要设置同混凝土强度等级相同的混凝土垫块,垫块数量要控制在5个/m²以上,梅花形布置,保护层厚度过流侧为8cm,围岩侧为5cm。

3.9 预埋件安装

衬砌混凝土浇筑前,根据安全监测设计图纸将钢筋计、两点位移计、锚杆测力计、渗压计、应变计、无应力计、测缝计等安全监测仪器器设完毕,同时将光缆保护镀锌管、环向光缆保护PE管、灌浆孔PVC管等预埋件,采用钢筋及扎丝与二衬钢筋绑扎牢固。

3.10 二衬台车就位

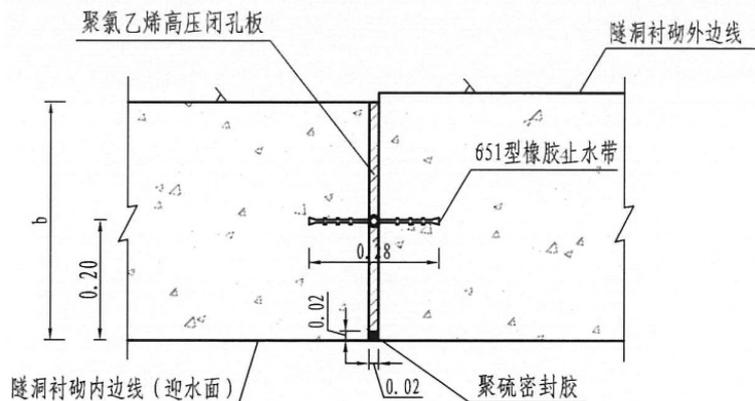
(1) 二衬台车采用钢模板,由专业厂家进行深化设计制作,审核通过后,由专业厂家组织对项目进行交底,明确钢板的拼装、安装及加固方式。

(2) 模板使用前应先进行试拼,端模要延伸至下层混凝土长度5-10cm,且在新旧混凝土接茬处粘贴海绵胶带,消除拼装错台和螺孔加工误差,保证接缝平整严密,并检查模板的各部分尺寸是否与图纸设计相符。

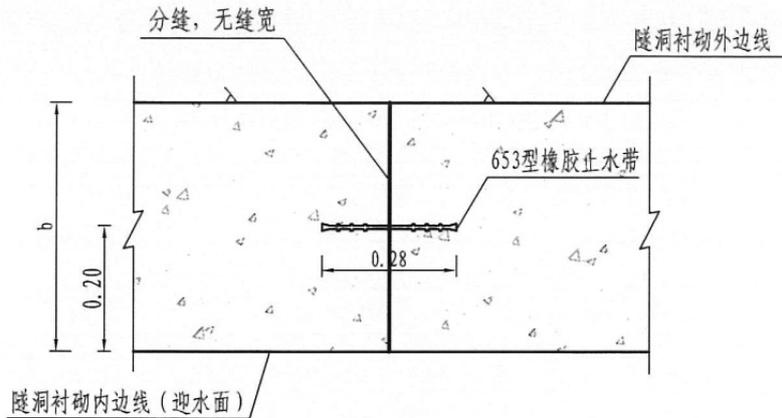
(3) 模板面涂专用脱模剂,不得使用废机油,施工中不能污染钢筋和混凝土。

3.11 止水带安装

A型缝:缝宽2cm,分缝处设651型橡胶止水带;B型缝:不设缝宽,分缝内设653型橡胶止水带,距迎水面0.2m。因隧洞进口为黄土洞,矮边墙纵向设一道653型橡胶止水,距迎水面0.4m,设止水支撑笼与二衬钢筋固定,止水带应与混凝土接缝面垂直,其中心线与接缝中心线允许偏差为±5mm;止水带接头采用硫化热粘接^[3]。



A型结构缝止水详图



B型结构缝止水详图

3.12 堵头模板安装

堵头板可采用木板或抽插式钢板, 并排紧密安装, 二衬端头焊接安装小导管固定端头木模。

3.13 混凝土浇筑

(1) 混凝土浇筑采用“水平分层、由低到高、连续浇筑”的施工方法。浇筑自下而上, 先墙后拱, 对称分层浇筑, 分层厚度30~50cm, 入模温度控制在5~35℃^[2]。

(2) 拱墙浇筑第一环混凝土前, 宜先铺一层2~3cm厚的水泥砂浆或同等强度的小级配混凝土, 通过模板上预留的窗口进行浇筑, 混凝土浇筑时的自由倾落高度不得超过2米, 出料口距混凝土作业面的高度不得超过0.5m, 当混凝土浇筑高度超过预留窗口高度时, 要立即关闭窗口, 改从台车拱顶浇筑口泵送入模, 为了将模内空气赶出, 浇筑方向要从顶部开始浇筑, 确保拱顶混凝土浇筑的厚度和密实性。

(3) 为了防止混凝土内部浇筑不实, 振捣器采用高频式+附着式, 振捣时, 振捣器顶端距离模板的高度要大于振捣器有效半径的一半以上。振捣器不得直接碰触模板、钢筋及预埋件等^[3]。

(4) 成品混凝土到场(输送泵)后, 应检测坍落度使其控制在160~200mm范围内, 若与要求不符, 应立刻调整配合比, 试块留置数量同底拱及矮边墙混凝土浇筑的取样批次。

(5) 在浇筑混凝土时若发现钢筋有变形、松动、移位时应及时处理。

3.14 拆模养护

(1) 待二衬混凝土强度达到设计要求的75%以上时方可脱模, 若初期支护不稳定时, 二次衬砌必须提前施工且混凝土强度要达到100%设计强度值。若遇其他特殊情况, 模板拆除要结合设计、试验、监测结果等综合判定

拆模的时间。

(2) 混凝土养护应连续进行, 待混凝土浇筑后达到10h时, 要立即进行养护, 养护期间混凝土表面及所有侧面要处于湿润^[3]状态, 且养护龄期要达到28天以上方可拆模。

3.15 灌浆施工

回填灌浆施工要待衬砌混凝土强度达到75%设计强度值后方可进行, 固结灌浆要等该部位回填灌浆结束14天后方可开始。

4 结束语

通过在榆林黄河东线马镇引水工程项目的施工实践, 经过管理人员的不断跟踪和改进, 有效降低了混凝土表面出现的质量通病, 避免了后期修补打磨的时间及费用, 保证了混凝土实体施工质量, 具有较好的推广应用价值。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构工程施工质量验收规范:GB50204-2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 33
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构工程施工规范:GB50666-2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 56
- [3] 中华人民共和国水利部. 水工混凝土施工规范:SL677-2014[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 58
- [4] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程施工质量通病防治导则:SL/Z 690-2013[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土质量控制标准:GB 50164-2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011