

# 大坡率边坡现浇混凝土护面施工工艺优化研究

胡日金<sup>1</sup> 黎远征<sup>2</sup>

1. 广西壮族自治区港航发展中心, 广西 南宁 530000

2. 中交广州航道局有限公司, 广东 广州 510000

**摘要:** 现浇混凝土护坡技术因其高强度、耐久性及经济性, 成为大坡率边坡防护的关键手段。本文以平陆运河 1:1.6 坡率护面工程为依托, 针对陡坡现浇混凝土施工中存在的流坠控制难、振捣密实度低及表观质量差等痛点, 提出模块化槽钢模板系统、动态配重滑升工艺及三维收面平台等创新解决方案。通过优化混凝土配合比(坍落度 100~140mm, 水胶比 0.52)与分层浇筑策略(每层 25~30cm), 显著提升了护面结构的表观平整度(偏差 $\leq 3$ mm)。工程实践表明, 该工艺可降低人工误差 32%, 缩短工期 17%, 为类似工程提供了可复用的技术指导。

**关键词:** 平陆运河; 大坡率; 混凝土护面; 施工

## 引言

现浇混凝土护坡作为一种成熟且有效的工程技术, 因其高强度、抗侵蚀性和耐久性, 在水利工程、公路水运工程及城市建设中得到了广泛应用。该技术不仅能有效保护坡面, 减少土壤侵蚀和滑坡风险, 还能提升工程美观性和生态环境的整体性。现有研究多聚焦于缓坡混凝土护面, 而针对坡率 $> 1:1.6$ 的陡坡现浇工艺研究仍存在空白, 尤其是模板抗滑移设计与大倾角振捣密实度控制等关键问题亟待解决。本文创新性提出抬升找平设备动态滑升技术、制作抹面平台辅助人工二次收面, 攻克了陡坡混凝土流坠与平整度不足的难题。

## 1 现浇混凝土护坡特点

现浇混凝土护面是一种常用的土石坡面保护措施, 具有多种优点, 被广泛应用于公路、铁路、水运、水利等工程中。其耐久性好, 能够长时间抵御外界环境的侵蚀, 保持护坡的稳定性和防护功能; 整体性好, 现浇的方式使其成为一个整体结构, 增强了坡面的抗风浪、防洪等能力; 强度高、抗冲刷能力强, 有效抵抗水流、风浪等的冲刷, 保护坡面; 施工成本较低, 相比于一些其他护坡方式, 由于采用陆地干施工作业, 成本相对较低。

对于大坡率边坡, 由于坡面陡峭、不规则和弯道护岸等地形地貌影响, 现浇混凝土护坡施工难度极大, 如果不按规范要求施工, 会造成混凝土强度低、外观质量差等问题。同时由于坡面长度达到 19m, 受场地限制不能依靠坡面摊铺

振捣一体机实行机械化施工, 只能依靠人工作业, 会出现平整度较差、振捣不到位以及厚度难以保证等质量问题, 虽然采用滑模工艺能够完成平仓, 但需人工辅助振捣及抹面, 以确保质量满足规范要求。

## 2 现浇混凝土护坡技术要求

现浇混凝土护坡的施工方法主要包括土方开挖、坡面修整、打设锚杆、铺设钢筋网、安装加强筋、安装缝板、浇筑混凝土面板、切缝、钻孔安装排水管等步骤。技术要求上, 需确保混凝土原材料质量满足规范要求, 设计的混凝土配合比要满足强度要求, 同时要便于现场浇筑施工。施工过程中, 模板要顺直并安装牢固, 确保在滑模上升浇筑过程中不发生胀模。护坡混凝土应质量均匀, 表面光洁无缺陷, 平整度满足规范要求。浇筑前坡面需进行锚杆钢筋打设和钢筋网安装工序, 以保证结构强度和平整度。施工过程中还应注意天气变化, 做好养护、切缝等工作, 以防止混凝土开裂。

## 3 大坡率现浇混凝土护面施工工艺实际案例

### 3.1 工程概况

平陆运河是我国自京杭大运河以来建设的第一条运河, 也是新中国成立以来第一条连通江海的大运河。始于西江干流西津库区南宁横州市平塘江口, 跨沙坪河与钦江支流旧州江分水岭, 经钦州市灵山县陆屋镇沿钦江干流南下进入北部湾钦州港海域, 全长 135km, 是一条通江达海的水运通道。项目建成后, 平陆运河将成为广西内陆及我国西南地区运距最短、最经济、最便捷的出海水运通道。

运河护岸结构型式有模袋混凝土护坡、抛石护岸、现浇混凝土护面、格构护坡、排桩护岸、挂网喷锚护坡等多种防护型式。混凝土护坡主要用于具备干地施工条件、正常蓄水位以下全、强风化岩或土质边坡，边坡坡率为 1:1.6~1:2.5。

### 3.2 现浇混凝土护面设计要求

现浇混凝土护面采用 250mm 厚 C25 混凝土，按每 9m 为一支护单元，C25 混凝土标准分块尺寸为 3m\*3m，非标准分块可根据实际情况调整确保美观。沿着航道方向混凝土护坡每 3m 设置一道横向半缝（缝宽 1cm，深 5cm），每 9m 设置一道横向通缝（缝宽 2cm），通缝中间用低发泡高压聚乙烯板充填；垂直航道方向混凝土护坡每 3m 设置一道纵向半缝（缝宽 1cm，深 5cm）。

对于坡率 1:1.6 的坡面，混凝土护坡结构层为挂网浇筑混凝土，混凝土厚度 25cm，混凝土结构内布置一层直径 6mm 钢筋网片，间距 20\*20cm。锚杆长度 3m，锚孔直径 70mm，锚杆采用直径 25mmHRB400 钢筋，按纵向间距 3m、横向间距 3m 矩形设置锚杆，纵向在锚杆打设位置布置直径 16mmHRB400 加强钢筋，间距 3m，锚杆弯折后与加强钢筋绑扎在一块。 $\Phi$ 50HDPE 排水管在坡面上设置 3 道，水平方向间距 3m，排水管包裹两层无纺土工布，断面形式如下图。

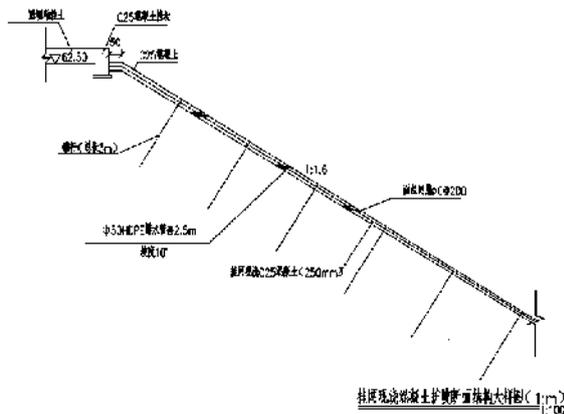


图 1 坡率 1:1.6 混凝土护岸断面图

### 3.3 现浇混凝土护面施工工艺流程

测量定位 → 边坡修整 → 锚杆施工 → 模板安装 → 钢筋网铺设 → 混凝土分层浇筑 → 振捣滑升 → 三维收面 → 养护切缝。

### 3.4 现浇混凝土护面施工方法

#### (1) 模板安装

侧模采用 25#B 槽钢加工而成，规则的单片模板长度 6m，为了确保模板安装时能可靠固定，在槽钢背面每间隔 1m 设置 1 处支撑装置。模板必须安装稳固、顺直、平整、无扭曲，相邻模板错台要满足规范要求且拼缝严密，必要时可在接缝处采用点焊的方式进行焊接固定，以确保浇筑过程中不发生错位和漏浆。混凝土浇筑前再一次检查模板的承载力、刚度和稳定性满足要求，脱模剂均匀有效。

缝板采用低发泡聚乙烯泡沫板，在拆模后外贴安装，安装可采用强力胶粘贴，不得采用钢钉方式。当浇筑间隔块时，为了保护已浇筑的混凝土面不被污染，在已浇筑的混凝土面铺设一层塑料薄膜并用透明胶带粘牢。

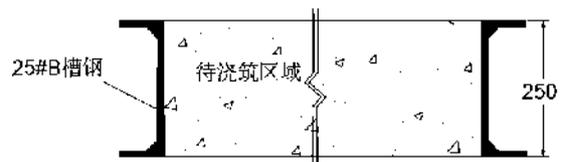


图 2 侧模安装示意图（单位：mm）

#### (2) 振动设备就位

抬升找平设备设计尺寸为 10m × 1.5m，底部钢面板厚度不小于 6mm，重约 3.8t。抬升找平设备上下侧用 32#a 槽钢，中间用 32#a 槽钢加固，底部用 6mm 钢板，槽钢与槽钢，槽钢与钢板全部采用满焊。

侧模验收合格后，抬升找平设备（滑模）采用 25t 吊车吊装至坡脚就位，并根据实际情况加配重，提升设备用 2 台 5t 卷扬机牵引，牵引点在抬升找平设备两侧。需注意的是，抬升找平设备安装前，底面必须清洗干净，不得粘有已凝固的混凝土，以保证出仓混凝土表面的平整度。该抬升设备同时作为作业人员操作振捣棒平台使用。

在坡顶布置 5t 卷扬机，卷扬机底座为钢结构，钢结构后加载配重约 4t，每台牵引钢丝绳直径为 21.5mm，长度 40m。遇到坡顶空间不足，也可以在坡顶混凝土挡坎上安装滑轮，在坡脚布置卷扬机。

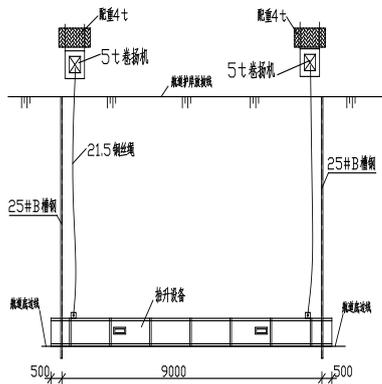


图3 振动设备位置图(单位: mm)

### (3) 混凝土配合比

在保证质量和便于施工的前提下,混凝土配合比应尽量节约水泥,合理使用原材料,降低工程成本。由于1:1.6护面坡度陡,在满足强度、耐久性前提下,需重点控制混凝土塌落度,塌落度过小无法进行泵送,同时振捣困难影响混凝土表观质量,若塌落度过大则容易流坠坡面不易成型。

该混凝土护面设计强度等级为C25,为了满足陡边坡混凝土浇筑施工要求,塌落度控制在100~140mm,采用42.5级普通硅酸盐水泥、中砂、5~25mm碎石及自来水,水胶比0.52,砂率45%,确定胶凝材料用量337kg,砂851kg,碎石1069kg,减水剂6.74kg,水175kg。

### (4) 混凝土生产、运输及入仓

混凝土采用自建的HZS180搅拌站进行拌合,12m<sup>3</sup>混凝土罐车运输至施工现场,运距在5km以内,罐车在运输过程中持续慢速运转,以保证混凝土的和易性不发生较大变化。

根据现场施工条件,采用臂长48m泵车并布置在坡脚外侧,泵车将混凝土均匀输送至滑模上方约1m长度范围内,布料均匀、厚度控制在30~40cm。

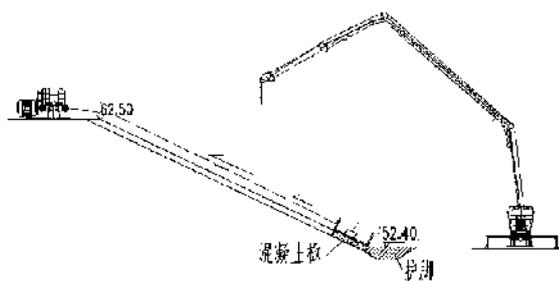


图4 现浇混凝土护面施工示意图

### (5) 混凝土平仓及振捣

每一段混凝土送入仓后停止泵送,抬升设备上工人启动振捣棒,在抬升找平设备前垂直坡面进行振捣,让混凝土充分流动至滑模底部,振捣过程中严禁靠模板和将振捣棒顺坡面伸入滑模底部进行振捣,以防作业平台发生偏移、跑模,从而影响混凝土质量。振捣间距控制在25~30cm,振捣时间以滑模后沿出现均匀冒浆、前沿混凝土表面不再显著下沉时停止振捣。

混凝土浇筑时要及时清除振动设备前沿超填混凝土及模板的干结混凝土。

### (6) 振动滑升

当滑模前沿混凝土已经全部振捣完成后,启动卷扬机抬升找平设备,抬升距离控制在1.4m左右,保证滑模与已浇筑的混凝土存在10cm搭接。卷扬机设专人操作,控制滑升速度在0.5~1.0m/min,要做到滑模平稳、两侧均衡上升。

采用抬升找平设备后,混凝土表面平整度偏差 $\leq 3\text{mm}$ (原人工施工为8mm),振捣密实度达95%以上。

### (7) 收面

由于坡面太陡,工人无法在坡面上操作磨光机进行抹面压光等工作,且磨光机不能完全贴合混凝土面进而影响混凝土的表观质量,采用小型手持式磨光机也达不到质量要求。

现场焊制了三角平台挂于抬升找平设备下方,混凝土振捣完成后工人在三角平台上跟随抬升找平设备立即进行第一次收面工作。



图5 第一次收面照片

利用钢筋焊制三角形平台,两端下部安装滚轮,并在两侧采用绳索间隔1m设置绳扣,通过平台两侧的挂钩连接,以保证平台稳定。作业人员通过穿戴五点式安全带在平台上

根据情况进行第二次、第三次收面，以确保面层平整度和光滑度。通过滚轮与绳索固定，实现 60° 坡面安全作业，效率提升 40%。



图 6 第二次收面照片

#### (8) 养护

脱模后的混凝土及时进行养护，采用塑料薄膜 + 土工布覆盖保湿养护。养护过程中，安排专职人员进行检查，当混凝土表面水分不足时及时采用洒水车补充水分，养护时间不少于 14 天。

#### (9) 砼切缝

##### 1) 清理混凝土板面

通过试压同条件试块、混凝土强度达到 10mpa 时进行混凝土面板切缝。掀开养护薄膜和土工布、清理杂物，保证表面干净整洁。

##### 2) 划线定位、

根据设计图纸半缝纵横向间距 3m\*3m，弹墨线确定切缝的位置。工人在三角架平台上，按照划线定位的位置和长度使用手持电动切割机进行切缝作业。切割时要注意保持切缝的直线和平整，控制切缝的深度 5cm，缝宽 1cm。

##### 4) 清理切割缝

切缝完成后，使用钢刷或高压水枪清理切割缝内的碎石和灰尘，确保切缝干净。清理完成后覆盖塑料薄膜和土工布继续进行养护。

#### 3.5 质量保证措施

##### (1) 模板安装措施

1) 在模板安装前，需将坡面进行清理，拉线确定模板安装位置和高度，局部凸起会导致模板安装不平整度的点采用人工清理。

2) 避免使用破损、变形或不符合规格要求的模板。

3) 模板支立过程中，应按测量拉线的位置和高程进行安装，模板安装位置、高程要准确，模板之间拼缝严密、加固安全可靠。

4) 模板采用汽车吊辅助安装，安装到位后及时进行加固，防止坡面模板下滑威胁作业工人人身安全。

5) 模板安装完成后，测量再一次对模板位置和高程进行校核，对模板的加固进行检查，确保混凝土浇筑过程中模板滑动或松动。

##### (2) 原材料质量保障措施

1) 混凝土原材料等按规范要求及相关规定及时取样检测，合格后方可使用。

2) 水泥、粉煤灰和外加剂的存放务必保持干燥，严禁使用已结块或失效的外加剂和粉煤灰，外加剂水溶液配制浓度务必准确、适宜，搅拌均匀，严禁表面结块。

3) 每天应对砂、碎石含水量行检测，并根据含水量及时调整混凝土施工配比。

##### (3) 混凝土运输质量保证措施

1) 罐车进场前进行综合检查，确保车辆各项性能良好。

2) 根据运距、混凝土生产速度、现场浇筑速度合理配备罐车数量，合理调度、科学组织，确保现场浇筑连续。

3) 装料前，对罐体进行检查，确保罐体内没有其余混凝土残渣、水等。

4) 罐车运输过程中，罐体持续慢速运转来保证混凝土和易性不发生较大变化。

##### (4) 混凝土浇筑质量保证措施

1) 混凝土到场后由试验人员进行坍落度试验，确保坍落度在要求的 100~140mm 的范围内，当坍落度发生较大变化，由现场实验员通过增加减水剂进行调整，严禁工人随意加水。

2) 倒料要求：由工人手扶泵车下料管由一侧向另外一侧进行布料，布料口不得正对滑模冲击模板。混凝土由于供应不及时导致混凝土已经初凝、无法和下一车混凝土有效结合，在中断部位按照施工缝进行留置。

3) 振捣要求：振捣必须按顺序由外到内（先模板边再中间）依次振捣，振捣间距控制在 25~30cm，每一位置的振捣以滑模后沿出现冒浆、前沿混凝土不再显著下沉为准。

4) 混凝土收面要求：由于坡度大，工人在浇筑后跟随

浇筑立即进行第一次收面,根据混凝土凝固时间及时开展第二次、第三次收面工作,以确保外观质量满足要求。

5) 混凝土养护要求:混凝土拆模后,要加强表面养护,养护时间不少于14d。根据不同季节可采取不同的养护措施,冬季采取覆盖塑料薄膜+土工布进行保温保湿养护,夏季采取覆盖节水保湿膜+洒水进行保湿养护。

#### 4 结论

本文根据实际案例针对大坡率边坡现浇混凝土护面工艺进行研究,从模板体系、混凝土浇筑工艺、振捣抹面收光、养护、切缝等验证了陡边坡现浇混凝土护面施工工艺的可行。坍落度-滑升速度匹配模型(推荐值:坍落度120mm对应滑速0.8m/min)、浇筑作业平台及抹面作业平台是保证浇筑质量的关键所在。未来可结合无人机三维扫描技术,实现坡面平整度的实时监测与反馈控制。

#### 参考文献:

- [1] 张孝文,孟庆峰,王焕等.水利工程中护坡工程的施工技术[J].城市建设理论研究,2012(8).
- [2] 隋险峰.混凝土护坡的施工方法[J].科技创新导报,2015(2).
- [3] 李斌.水利水电工程大坝混凝土护坡现浇施工工艺探究[J].黑龙江科技信息,2016(08):227.

**作者简介:**胡日金(1972-),男,大学本科,高级工程师,工作单位广西壮族自治区港航发展中心,主要从事水运规划计划与建设管理工作。

黎远征(1984-),男,南省岳阳市,汉族,大学本科,学士学位,工作单位:中交广州航道局有限公司,职称:高级职称,研究方向为港口航道工程。