

高速公路桥梁桩基施工安全管理与 废水处理技术

袁倩茹

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司, 四川 成都 610200)

摘要 高速公路桥梁桩基是桥梁结构的主要承重基础, 其施工安全管控与现场废水处理直接关系到桥梁工程建设质量与沿线生态环境保护。本文结合高速公路桥梁桩基施工特点, 系统分析桩基施工过程中的主要安全风险源, 构建了覆盖施工全流程的安全管理体系与分级管控措施, 同时针对桩基施工废水的污染特征, 研究适配的废水处理技术与现场应用要点, 旨在为高速公路桥梁桩基施工安全管控与生态环境保护提供技术参考。

关键词 高速公路; 桥梁桩基; 施工安全管理; 废水处理技术

中图分类号: U445.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.034

0 引言

高速公路桥梁桩基施工多处于山区、河谷等复杂地形, 具有施工场地受限、地质条件复杂、高空作业与深基坑作业多、交叉施工频繁的特点, 安全风险防控难度显著高于常规土建工程。同时, 桩基施工过程中产生的大量泥浆废水, 若处置不当会造成周边水体、土壤污染, 违背公路工程绿色施工的发展要求。当前部分项目存在安全管理体系不健全、废水处理工艺简单、环保措施落实不到位等问题。因此, 本文系统研究高速公路桥梁桩基施工安全管理体系与废水处理关键技术, 对保障桥梁工程施工安全、保护沿线生态环境具有重要的意义。

1 高速公路桥梁桩基施工风险识别

1.1 施工主要安全风险识别

结合高速公路桥梁桩基施工工序与作业特点, 可将主要安全风险分为五大类, 也是安全管理重点管控对象。坍塌风险是桩基施工最主要的安全风险^[1], 包括桩基成孔过程中的孔壁坍塌、基坑坍塌, 多因地质条件复杂、泥浆护壁参数不当、空孔时间过长、周边荷载过大导致, 易造成人员掩埋、设备损毁等群死群伤事故。起重伤害是桩基施工高频发的事故类型, 钢筋笼吊装、钻机安拆过程中, 因吊装设备故障、吊点设置不当、违章作业、信号指挥失误, 易发生钢筋笼坠落、设备倾覆事故^[2]。

施工现场临时用电线路多、作业环境潮湿, 若线路敷设不规范、接地保护不到位、设备绝缘破损, 易

引发触电事故, 雨季施工时该风险会显著提升。桩孔口临边防护不到位、作业人员违章操作, 易造成人员高处坠落事故; 钻孔作业、钢筋笼焊接过程中, 工具、材料坠落易引发物体打击事故。钻机、电焊机、振捣器等设备操作过程中, 违章作业、安全防护装置缺失, 还易造成人员机械卷入、挤压等机械伤害。

1.2 施工主要环境影响识别

桩基施工对周边环境的影响, 主要来自施工废水与固体废弃物, 其中桩基施工废水是最主要的污染源。桩基施工废水主要来自钻孔泥浆循环系统、混凝土浇筑养护、场地冲洗等环节, 其中钻孔泥浆废水占总废水量的80%以上。废水中含有大量悬浮物、泥沙, 悬浮物浓度最高可达20 000 mg/L以上, 同时含有一定量的石油类、COD污染物, pH值呈弱碱性。

若废水未经处理直接排放, 会造成周边河道、水体悬浮物超标, 导致水体浑浊、水生生物栖息地破坏; 废水渗入土壤会造成土壤盐碱化、板结, 影响土壤肥力与植被生长; 若施工区域临近饮用水源保护区、生态敏感区, 废水直排会威胁饮用水源安全, 破坏区域生态平衡, 甚至引发环保违法事件。

2 高速公路桥梁桩基施工安全管理体系与管控措施

2.1 施工安全管理体系构建

建立以项目经理为第一责任人的安全生产管理体系, 形成“责任全覆盖、管理全流程、管控全要素”的安全管理框架, 是防范安全事故的根本保障。项目需明确项目经理、技术负责人、专职安全员、施工班

作者简介: 袁倩茹(1994-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 公路工程安全管理。

组长、作业人员的安全生产职责,签订安全生产责任书,将安全责任落实到具体岗位与个人,做到“一岗双责、失职追责”,同时设置专职安全管理部门,按规定配齐注册安全工程师、专职安全员,负责施工现场日常安全管理工作^[3]。

在此基础上建立健全安全生产教育培训、安全技术交底、危大工程专项管理、安全检查与隐患排查治理、安全生产奖惩、应急管理等一系列制度,实现安全管理有章可循、有规可依,杜绝安全管理形式化。同时,严格按公路工程规定足额提取安全生产费用,专项用于安全防护设施、安全教育培训、应急物资配备、隐患整改等方面,建立安全生产费用使用台账,确保专款专用,严禁挪作他用。

2.2 施工前安全管控措施

施工前的前置管控是消除安全隐患、防范事故的第一道防线。开工前需针对桩基工程编制专项施工方案,对岩溶地区桩基施工、深水桩基施工、大直径超长桩基施工等危大工程,编制专项施工方案并组织专家论证,明确施工工艺、安全保障措施、应急处置方案,方案未经审批严禁开工。施工前需详细核查地质勘察资料,对复杂地质段进行补勘,明确各桩位的地层分布、不良地质情况,为施工方案优化提供依据。

开工前需对所有作业人员进行分级安全技术交底,交底内容涵盖施工工艺、安全风险、操作规程、应急处置措施,交底到每一位作业人员,签字确认后上岗。对进场作业人员开展三级安全教育培训,考核不合格人员严禁上岗作业,起重工、电工、焊工等特种作业人员必须 100% 持证上岗。钻机、吊车、电焊机等机械设备进场时,需进行验收与性能检测,核查设备合格证、检验报告,特种设备需经法定机构检验合格,验收合格后方可使用。同时完成施工现场临建设施布设,施工场地平整硬化,合理布置泥浆池、材料堆放区、作业区,设置封闭围挡;桩孔周边设置 1.2 m 高标准化临边防护栏杆与 18 cm 高踢脚板,闲置桩孔设置封闭盖板;作业区设置安全警示标识,临时用电严格执行“三级配电、二级保护”,落实一机一闸一漏一箱制度。

2.3 施工过程动态安全管控措施

施工过程的动态管控是安全管理的关键环节,需建立常态化隐患排查治理机制,实现风险的动态管控与闭环处置。项目需建立日常巡查、周检查、月综合检查的隐患排查机制,专职安全员每日对施工现场进行全覆盖巡查,重点排查钻孔作业、吊装作业、临时用电、临边防护等环节的安全隐患,对排查出的隐患建立台账,实行“定人、定时间、定措施”的闭环整改,整改完成后复检验收,未整改到位的严禁继续施工。

针对高危作业需落实专项管控要求,起重吊装作业设置警戒区域,安排持证专职信号司索工指挥,严禁超载吊装,6 级及以上大风天气严禁吊装作业;钻孔作业过程中,实时监测孔壁稳定情况,动态调整泥浆比重与黏度,防止塌孔,成孔后 48 h 内完成混凝土浇筑,空孔期间设置封闭防护;有限空间作业严格执行“先通风、再检测、后作业”的原则,作业前检测孔内有毒有害气体浓度,作业过程中持续通风,安排专人监护。同时需根据施工进度、地质条件变化、天气情况,动态调整施工方案与安全管控措施,雨季施工重点排查边坡稳定、排水系统,增设防汛设施,降低地下水位,防止塌孔;冬季施工做好防冻、防滑措施,及时清理作业面积冰积雪;夜间施工配备充足的照明设施,避免疲劳作业。

2.4 应急管理体系建设

完善的应急管理体系是应对突发事件、减少事故损失的关键保障,需覆盖应急预案、应急物资、应急演练、应急处置全流程。项目需结合桩基施工特点,编制坍塌、起重伤害、触电、高处坠落等生产安全事故专项应急预案,以及突发环境事件应急预案,明确应急组织机构、职责分工、处置程序、应急物资保障,应急预案报监理、建设单位备案。

施工现场需配备充足的应急物资,包括急救药品、担架、挖掘机、吊车、抽水泵、正压式呼吸器、消防器材、应急照明等,建立应急物资台账,定期检查补充,确保应急物资完好有效;同时组建专职应急救援队伍,定期开展应急培训,提升应急处置能力。开工后定期组织开展坍塌、触电、起重伤害等事故应急演练,检验应急预案的可行性与应急队伍的处置能力,针对演练暴露的问题优化应急预案;发生安全事故时,立即启动应急预案,组织人员疏散、抢险救援,同时按规定上报建设、监理单位与行业主管部门,严禁瞒报、迟报、谎报事故。

3 高速公路桥梁桩基施工废水处理技术

3.1 桩基施工废水水质特征与处理标准

高速公路桥梁桩基施工废水主要分为钻孔泥浆废水、混凝土养护废水、场地冲洗废水三类,核心污染特征为高悬浮物、低可生化性,废水中悬浮物(SS)浓度可达 20 000 mg/L 以上,同时含有一定量的石油类、COD、氨氮,pH 值在 8~11 之间,呈弱碱性,废水处理的关键难点为高浓度悬浮物的去除与泥浆固液分离^[4]。

桩基施工废水处理需严格遵循《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)与项目所在地的地方排放标准。若废水排入地表水体,需满足一级排放标准,即 $SS \leq 70 \text{ mg/L}$ 、

COD ≤ 100 mg/L、石油类 ≤ 5 mg/L、pH 值 6 ~ 9; 若废水回用于场地洒水、泥浆制备, 需满足回用水水质要求, SS ≤ 150 mg/L; 若施工区域临近饮用水源保护区、生态红线区, 需执行更严格的排放标准, 严禁废水排入敏感水体。

3.2 桩基施工废水主要处理技术

结合桩基施工废水高悬浮物、低可生化性的特征, 常用处理技术以物理化学法为主, 主要为泥浆固液分离, 现场需根据废水量、水质特征、场地条件、环保要求选用适配的处理工艺。

自然沉淀法是最基础的处理工艺, 通过三级沉淀池实现废水的自然沉降分离, 废水先进入一级沉淀池进行粗沉淀, 去除大颗粒泥沙, 再进入二级、三级沉淀池进行细沉淀, 添加混凝剂可提升沉淀效果。该工艺操作简单、处理成本低, 适用于施工场地充足、废水量小的项目, 但处理效率低, 对细颗粒悬浮物去除效果差, 单独使用难以满足排放标准。

混凝沉淀法是桩基施工废水最常用的处理工艺, 在沉淀池中投加聚合氯化铝 (PAC) 混凝剂、聚丙烯酰胺 (PAM) 絮凝剂, 使废水中的细小悬浮颗粒脱稳、凝聚, 形成大颗粒絮体后快速沉降, SS 去除率可达 95% 以上, 出水水质稳定, 适配绝大多数高速公路桥梁桩基施工项目。在此基础上, 可搭配机械脱水工艺, 采用泥浆分离器、板框压滤机等设备, 对废泥浆进行机械脱水, 实现固液快速分离, 滤液进入沉淀池进一步处理后回用, 泥饼外运合规处置, 该工艺处理效率高, 占地面积小, SS 去除率可达 99%, 适用于废水量大、高浓度泥浆废水、场地受限的大型桥梁桩基工程。对于线路长、工点分散、环保要求高的项目, 可采用集成化的桩基废水一体化处理设备, 集成了混凝、沉淀、过滤、污泥脱水等功能, 废水进入设备后, 经加药混凝、斜管沉淀、多介质过滤等工序处理后, 可直接达标排放或回用, 设备可移动、安装便捷, 处理效率高。

3.3 废水处理现场应用措施

根据桩基施工规模、废水量设计适配的废水处理系统, 沉淀池、泥浆池采用防渗混凝土浇筑, 底部与侧壁做防水防渗处理, 渗透系数不大于 10^{-7} cm/s, 避免废水渗漏污染土壤与地下水; 施工区域设置截水沟、排水沟, 实现雨污分流, 避免雨水进入废水处理系统增加处理负荷, 同时设置应急事故池, 容积不小于单日最大废水量, 防止废水泄漏。

在废水处理过程中, 需根据废水水质变化动态调整混凝剂、絮凝剂投加量, 定期监测出水水质, 确保出水指标满足排放标准或回用水要求; 沉淀池内的底

泥定期清理, 采用板框压滤机脱水处理, 泥饼含水率控制在 60% 以下, 运至合规的弃土场处置, 严禁随意丢弃。处理后的上清液优先回用于泥浆制备、场地洒水降尘、混凝土养护、车辆冲洗, 最大限度提高废水回用率, 减少新鲜水取用与废水外排, 实现水资源的循环利用, 尤其在缺水地区的高速公路项目, 可大幅降低施工用水成本, 实现绿色施工^[5]。

3.4 桩基施工绿色环保优化措施

推广使用旋挖钻成孔工艺, 替代传统冲击钻、回旋钻, 旋挖钻施工泥浆用量仅为传统工艺的 1/10, 可大幅降低废泥浆产生量与废水处理负荷; 采用可重复使用的钢护筒、封闭式泥浆循环系统, 实现泥浆的循环利用, 减少废泥浆产生量。桩基施工产生的废弃泥浆经脱水干化后, 可用于路基回填、场地平整, 经改性处理后可作为路基填料, 实现固废的资源化利用, 减少弃土占用土地, 降低工程弃渣处置成本。施工区域临近生态敏感区、水源保护区时, 采用全封闭泥浆循环系统, 严禁在河道、滩涂区域设置泥浆池、沉淀池; 施工过程中配备应急物资, 制定突发环境事件应急预案, 防止废水泄漏污染敏感水体, 保护沿线生态环境。

4 结束语

本文结合高速公路桥梁桩基施工的工程特点, 系统分析了施工过程中的主要安全风险与生态环境影响, 构建了覆盖施工全流程的安全管理体系, 提出了分等级的安全风险管控措施与应急管理方案, 同时针对桩基施工废水的污染特征, 对比分析了各类废水处理技术的适用场景与应用要点, 明确了现场应用管控要求。结果表明, 健全的安全管理体系与适配的废水处理技术, 可有效防范桩基施工安全事故, 降低施工对周边生态环境的影响。未来可进一步推动智能化安全监测技术与绿色废水处理工艺的融合应用, 助力高速公路桥梁工程平安百年品质工程与绿色公路建设。

参考文献:

- [1] 刘冠宁. 公路桥梁施工安全控制技术与安全管理研究[J]. 交通世界, 2023(08):234-236.
- [2] 王博, 荣海生, 王杰. 高速公路桥梁下穿高压线路施工安全关键技术研究[J]. 建筑安全, 2024, 39(02):15-18.
- [3] 杨建. 基于山区陡坡地段公路桥梁桩基施工的安全隐患控制[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2023, 22(02):67-70.
- [4] 吕国平. 旋挖钻机在铁路桥梁桩基施工中的应用[J]. 中国设备工程, 2024(07):89-91.
- [5] 刘家民, 伍潘, 张原嘉, 等. 高速公路施工废水特征及处理对策[J]. 工程建设与设计, 2023(12):78-81.