

钻孔桩桩头保护及防水施工关键技术

陆 鹏

(四川公路桥梁建设集团有限公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 桩头作为桩基础与承台(桩帽)连接的关键部位,其保护以及防水性能直接影响桥梁整体结构的耐久性。传统桩头截除技术容易造成桩头损伤,导致后续防水失效。提出了一种桩头保护和防水综合技术,通过使用细石混凝土对桩头进行修补,并结合双面自黏式聚合物防水膜和高强度抗收缩砂浆防护层,对承台底面进行防水处理。该技术施工简便、适应性强,桩头修补后平整规则,防水层密实抗渗,可以有效抵御盐碱腐蚀。通过科威特RA259项目的工程实践验证,该技术显著提升桩基质量与耐久性,具有广泛的推广价值。

关键词: 桩头;保护;防水;细石混凝土;抗收缩灌浆料;聚合物防水膜;盐碱腐蚀

中图分类号: TU753

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0387-04

Key Construction Technology for Pile Head Protection and Waterproofing of Bored Piles

LU Peng

(Sichuan Road and Bridge Group Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: The pile head, as the critical connection between the pile foundation and the base slab (pile cap), the protection and waterproofing characteristics directly affect the durability of the overall bridge structure. Traditional pile head cutting techniques will easily cause the damage to the pile head, leading to subsequent waterproofing failure. An integrated pile head protection and waterproofing technology is proposed. The pile head is repaired with fine stone concrete. And combined with double-sided self-adhesive polymeric waterproofing membrane and high-strength shrinkage compensating mortar protective layer, the waterproof treatment is conducted for the bottom surface of the base slab. This technology is characterized by its simplicity in construction and strong adaptability. After repaired, the pile head becomes smooth and regular, and the waterproof layer is dense and impermeable, which can effectively resist salt and alkali corrosion. Through the engineering practice verification of the Kuwait RA259 Project, this technology significantly enhances the quality and durability of pile foundations, and has the wide promotion value.

Keywords: pile head; protection; waterproofing; fine stone concrete; anti-shrinkage grouting materials; polymer waterproof membrane; salt and alkali corrosion

0 引 言

近年来,随着国际工程项目数量的不断增加,在复杂地质环境下,桥梁设施建设面临着诸多挑战。尤其是在沙漠及盐碱地区,桩基长期受到土壤中氯离子和盐碱质的侵蚀,极易引发混凝土碳化、钢筋锈蚀等问题^[1-7]。桩头作为桩基础与承台的过渡区域,其截除工艺及防水处理尤为关键。然而,传统的截桩方法往往容易造成桩头破损、裂缝等缺陷,进而导致防水层失效^[8-15]。

针对上述问题,结合科威特RA259项目,提出了

一套高效桩头保护与防水施工技术。通过采用高强细石混凝土对桩头进行修补,可以有效解决了桩头破损和裂缝等问题。同时,结合双面自黏式聚合物防水膜与高强度抗收缩砂浆防护层,实现了桩头及承台底面的双重防护。这种创新工艺不仅提高了桩头的结构完整性和耐久性,还显著增强了防水性能,成功克服了传统工艺的弊端。该工艺的成功应用为类似工程提供了宝贵的技术参考,具有广泛的推广价值。

1 工程概况与施工难点

1.1 工程概况

科威特RA259项目为科威特到沙特的连接线,项目位于科威特6环线以外70#公路附近,里程桩号

收稿日期: 2025-10-01

作者简介: 陆鹏(1990—),男,本科,工程师,从事道路与桥梁施工工作。

为K79+200—K101+170,全长21.97 km。公司负责里程桩号为K79+200—K87+200,全长8 km,主要结构物为1座3层互通式立交桥(见图1),桥梁基础为1 125根钻孔桩基础,其中桩径为1 200 mm的桩基共240根,桩径为1 050 mm的桩基885根。

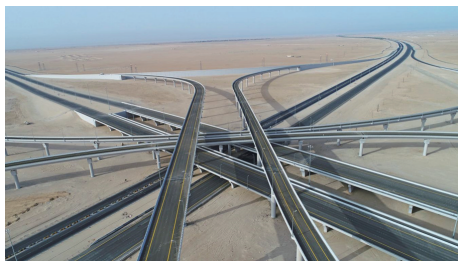


图1 三层互通式立交桥效果图

1.2 施工环境

本项目地处沙漠平原地貌,地势平坦,整体高差起伏不大;地表广泛覆盖着风沙沉积物,属于典型的热带沙漠气候,夏季漫长,常刮西风,干燥,气温通常高达45℃,极端最高气温可达52℃;冬季短暂,常刮南风,最低气温可低至0℃。冬季多为雨季,年降雨量约108 mm,春夏季多见沙尘暴。

1.3 施工难点分析

(1) 桩头截除及修补难度大

传统桩头截除技术容易造成桩头损伤,影响后续防水效果^[8-15]。采用细石混凝土修补桩头时,需要确保灌浆料与桩头的紧密结合,且修补后的桩头要平整规则。这对施工的精细度和操作技术要求较高,稍有差错就会导致修补效果不佳,影响桩头的整体耐久性。

(2) 防水层施工质量难以控制

使用双层沥青防水层进行承台底面防水时,需保证防水层的密实性和抗渗性,避免出现空鼓、褶皱、破损等质量问题。在施工过程中,受高温、多风的施工环境,难以确保防水层施工质量完全符合设计要求,可能导致防水效果不理想,影响桩基的防水性能。

2 工艺原理

桩头保护和防水综合技术工艺原理如下。

(1) 结构完整性恢复:利用高强度细石混凝土修补桩头,恢复因截桩而受损的桩头部分,确保桩基的完整性和结构稳定性。

(2) 多重防水屏障:通过高性能膨胀止水带、25 mm厚的高强抗缩灌浆料(密封桩基侧面)、1.6 mm厚的防水膜与20 mm厚的自由流动高强抗缩灌浆料

(密封桩基顶面和侧面)形成多重防水屏障,有效阻止水分渗透。

(3) 保护层增强耐久性:在铺设20 mm厚的自由流动高强抗缩灌浆料下方、防水膜上方覆盖50 mm厚的砂浆保护层,保护防水屏障免受外部环境的破坏,延长桩基的使用寿命。

(4) 应力分散:在桩基周围设置混凝土垫层和砂浆倒角,有助于分散应力,保护桩基不受直接冲击,提高桩基的稳定性。

该技术通过运用多种材料和技术,形成了一个多层次、多屏障的防水的保护系统(见图2),显著提高了桩基与承台连接部位的防水性能和耐久性,从而大大提高了桩基的使用寿命。

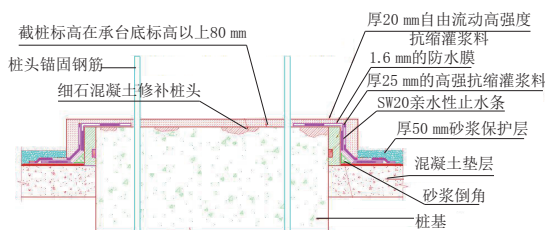


图2 承台桩头防水保护示意图

3 施工关键技术

3.1 施工流程

施工流程依次为:桩头清理、安装止水带、安装模板与桩头修补、移除模板和安装踢脚、沥青防水层施工、铺设防水膜、浇筑砂浆保护层、安装模板与浇筑桩头保护层、养生和现场清理,共计10道施工工序。

3.2 施工要点

3.2.1 桩头清理

步骤一,承台基坑开挖。

钻孔灌注桩养护:钻孔灌注桩施工完成7 d后,确保桩体混凝土强度达到一定要求,方可进行后续的承台基坑开挖作业。

基坑开挖:采用放坡方式进行基坑开挖,根据基坑深度和土质情况确定合理的坡度,确保基坑开挖过程中的边坡稳定,避免坍塌事故发生。

步骤二,桩头处理。

液压截桩机截除桩头:基坑开挖完成后,使用先进的液压截桩机,精准截除桩头的主要部分。

桩头环切与人工凿除:对于液压截桩机截除后剩余的桩头部分,采用桩头环切工艺进行处理,进一步缩小桩头尺寸,然后利用人工凿除的方式,彻底清

理剩余桩头。

清理桩头碎屑及松散石子: 桩头截除后, 使用工具或设备将桩头碎屑及松散石子彻底清除, 确保基坑内环境干净整洁。

冲洗基坑: 利用水或空压机对基坑内进行冲洗, 进一步清理残留杂物和碎屑。

步骤三, 桩间土处理。

人工整平桩间土: 桩头清理完成后, 人工对桩间土进行精细整平, 确保基坑底部平整, 为后续的碾压作业提供基础(见图 3)。



图 3 桩头清理施工效果示意图

小型压路机碾压: 使用小型压路机对整平后的桩间土进行碾压作业, 严格把控碾压质量, 确保实测压实度 $\geq 95\%$, 以满足承台施工对地基承载力的要求^[16-17]。

步骤四, 垫层混凝土浇筑。

准备垫层混凝土: 垫层混凝土采用高性能的抗硫酸盐腐蚀水泥, 强度达到 K250, 确保垫层混凝土具有良好的抗硫酸盐腐蚀性能, 为承台施工提供可靠的防护。

浇筑垫层混凝土: 经检验验收合格后, 随即在承台基坑内浇筑垫层混凝土, 按照施工规范进行混凝土的布料、振捣等操作, 确保垫层混凝土施工质量。

3.2.2 止水带和模板安装与桩头修补

止水带安装: 垫层混凝土浇筑后, 安装高性能膨胀止水带, 高性能膨胀止水带适用于与饮用水接触的环境, 已通过英国水务法规认证(见表 1)。

表 1 高性能膨胀止水带性能指标

项目	性能
外观	红色矩形弹性条带
尺寸	10 mm×20 mm
无约束体积膨胀	最高 300 %
施工温度范围	- 20 ~ 50 °C
使用温度范围	- 30 ~ 70 °C
抗静水压力	60 m(6 bar)
水密性	可密封 ≤ 2 mm 缝隙

模板安装: 模板采用 2 mm 钢板卷制而成, 模板内直径较设计桩基直径大 5 cm, 高度为 20 cm。在模板安装前, 必须对钢板表面进行打磨处理, 确保其表面干净、无锈蚀及杂质, 并均匀涂刷脱模剂^[18]。

桩头修补: 模板安装完毕后, 即可从垫层混凝土底部开始, 沿着桩头侧面逐步向上浇筑 25 cm 厚的高强抗缩灌浆料, 直至桩基顶部。待浇筑到桩基顶部时, 再浇筑高强度细石混凝土对桩头进行修补。

高强抗缩灌浆料[符合美国《预拌水泥基灌浆材料规范》(CRD-C621)和《包装的干水凝水泥灰浆(非收缩型)用标准规格》(ASTM C1107-14)标准]为袋装粉末, 每袋 25 kg, 现场使用时每袋灌浆料需加水 4.5 ~ 5 kg, 水温控制在 10 ~ 30 °C 之间, 搅拌 3 min 以上即可使用。高强抗缩灌浆料具有无收缩、耐水性强、流动性好、早期强度高、耐高温、与钢筋黏结性好等特点, 高强抗缩灌浆料性能如下(见表 2)。

表 2 高强抗缩灌浆料性能(25 °C, 4.5 L 水/25 kg)

项目	性能
强度	24 h 强度约 20 MPa, 3 d 强度约 35 MPa, 7 d 强度约 45 MPa)
湿密度	约 2 220 kg/m ³
抗渗性	在 20 大气压下仍不渗水, 渗透系数 $<1\times 10^{-12}$ cm/s
抗化学侵蚀	密实结构, 抵御环境侵蚀
抗冻性	300 次冻融循环后弹性模量仅下降 5%

高强度细石混凝土[符合英国《混凝土试验》(B.S 1881)、《水泥基混合物圆柱形试样早期高度变化的标准试验方法》(ASTMC—827)]采用袋装混合料现场拌制, 加水搅拌后倒入模板修补桩头, 施工时需控制入模温度(5~ 35 °C), 因科威特常年高温, 在施工过程中常采用拌和用水加冰降低水温, 浇筑高强度细石混凝土前采用洒水降温, 降低桩头混凝土表面温度, 浇筑后需养护至少 12 h 后方可进行下道工序; 该混凝土流动性强(初始 >800 mm)、早期强度高(24 h 强度约 35 MPa, 3 d 强度约 50 MPa, 7 d 强度约 58 MPa), 且具有优异的抗渗透性、抗氯离子扩散和抗冻融等特点。

3.2.3 踢脚与沥青防水层施工

安装踢脚: 在桩头养护 24 h 后拆除模板, 随后在混凝土垫层与桩头的交叉处施工踢脚, 材料采用水洗砂与抗硫酸盐腐蚀水泥按 1:1 比例拌和而成。

沥青防水层施工: 待踢脚初凝后, 方可施工沥青防水层。施工前必须清除垫层上的灰尘、油污, 确保表面清洁、干燥。沥青防水层需涂刷 2 层, 底层厚度 ≥ 0.03 mm, 面层厚度 ≥ 0.02 mm, 涂刷必须均匀且厚

度一致,沥青防水层施工效果如下(见图4)。本项目采用的沥青防水层是一种沥青底漆,符合美国《屋面、防潮和防水用沥青底漆的标准规范》(ASTM D41),适合屋面防水、防潮以及所有地下防水工程,能提高各种沥青材料的黏性。



图4 沥青防水层施工效果示意图

3.2.4 铺设防水膜和浇筑砂浆保护层

铺设防水膜:在涂刷完沥青防水层后,需铺设1.6 mm厚的防水膜。防水膜以卷为单位(宽1 m,长10 m),需要对承台底面满铺,并对桩头进行包裹,防止风沙污染沥青防水层。本项目使用的防水膜是在两层沥青饱和玻璃纤维之间,采用细骨料与氧化沥青拌合后进行填充,形成的一种半刚性材料,具有耐磨、轻便、密实、抗压强度高等特点。

浇筑砂浆保护层:由于持续的高温容易引起防水膜起拱变形,防水膜铺设完毕后需及时浇筑砂浆保护层。施工现场通常选择在晚上铺设防水膜,按照规范要求,薄膜与薄膜之间有10 cm的连接层。沥青薄膜铺设完毕后,需在日出前完成5 cm砂浆保护层的浇筑,浇筑过程中必须铺设均匀、水平,以便承台钢筋绑扎。其中,砂浆保护层是按水泥:砂=1:4比例拌和而成,水泥采用抗硫酸盐腐蚀水泥。

3.2.5 浇筑桩头防水保护层

浇筑桩头防水保护层:待砂浆保护层终凝后,即可对桩头重新安装模板,模板安装完毕,开始浇筑桩头表面20 mm厚的高强抗缩灌浆料(高强抗缩灌浆料与前文用料一致),高强抗缩灌浆料浇筑24 h后即可拆除模板。模板采用2 mm钢板卷制而成,此时模板内直径比设计桩基直径大8 cm,高20 cm。桩头防水保护层施工效果如下(见图5)。

4 结 语

针对在科威特RA259项目中钻孔桩桩头保护及防水施工的关键技术问题,本项目提出了一种综合性的桩头保护和防水施工技术方案。通过采用高强



图5 桩头防水保护层施工效果示意图

度细石混凝土对桩头进行修补,并结合高性能膨胀止水带、20 mm与25 mm厚的高强抗缩灌浆料、1.6 mm厚的双面自黏式聚合物防水膜,形成了一个多层次、多屏障的防水和保护系统,显著提高了桩头及承台底面的防水性和结构稳定性。

(1)在施工过程中,通过严格的施工流程控制,确保了桩头修补的平整规则以及防水层的密实抗渗。特别是在高温、多风的沙漠施工环境中,通过优化施工时间(选择在晚上铺设防水膜)和采用拌和用水加冰等措施,有效解决了防水膜起拱变形等问题,保证了施工质量。

(2)该综合技术不仅有效解决了传统桩头截除技术易损伤桩头、防水失效的问题,还显著提升了桩基的整体质量与耐久性,能够有效抵御盐碱腐蚀,适用于各类复杂工况,尤其适用于高腐蚀环境下的项目,具备良好的推广价值。

(3)从经济性角度分析,该综合技术虽在初期投入上略高于传统截桩与防水方式,但通过减少桩头破损返工、降低后期维护频率、延长结构使用寿命,显著降低了全生命周期成本。以本项目为例,采用该综合技术后,桩基修复率下降约30%,防水层返工率减少近一半,节省后期维护费用约15%,经济效益显著。

参考文献:

- [1] 宋家满.强冲刷腐蚀环境下桥梁桩基耐久性设计研究[J].铁道建筑技术,2024(01):105-109;175.
- [2] 袁奎.氯盐-硫酸盐侵蚀下氯离子在混凝土中的扩散规律研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2023.
- [3] 刘晨曦.氯离子侵蚀下混凝土中钢筋锈蚀规律及钢筋混凝土结构时变可靠度分析[D].天津:天津大学,2020.
- [4] 付飞.桥梁桩基高性能混凝土的抗氯离子侵入性研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [5] 张冲冲.岩溶地区桥梁工程桩基施工常见问题及处理措施分析[J].交通科技与管理,2025,6(11):122-124.
- [6] 白雪岭.荒漠化地区桥梁旋挖钻桩基施工技术研究[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(12):240-241.
- [7] 杨松松,李吉阳,章定文.沙漠地区钻孔灌注桩后注浆提升竖向承

(下转第422页)