

多结构层道路基层施工工艺研究 ——以多用途泊位工程陆域标段为例

王辉

上海园林（集团）有限公司，上海 200335

DOI:10.61369/ERA.2026070009

摘 要： 本文以嘉兴港独山港区B区21、22号多用途泊位工程陆域标段为例，针对其27.5万m²多结构层道路与堆场工程，系统研究了基层施工工艺与质量控制要点。结合工程软弱土层、地基承载力低、港口重载及施工分区复杂等特点，分析了不同区域采用排水板+堆载预压、强夯及分层振动碾压等差异化地基处理方案的适用条件与关键控制指标，并重点阐述了水泥稳定碎石基层、混凝土面层及沥青混凝土面层的施工技术参数、质量控制方法及养护措施。工程实践表明，科学的分区处理与全过程监测控制能够有效提高道路基层承载力、平整度及耐久性，为大型港口陆域多结构层道路施工提供可借鉴的技术经验与管理参考。

关 键 词： 道路基层；多结构层；施工工艺

Research on Construction Technology of Multi-Structural Layer Road Base — Taking the Land Section of Multi-Purpose Berth Project as an Example

Wang Hui

Shanghai Landscape (Group) Co., Ltd., Shanghai 200335

Abstract： Taking the land section of the multi-purpose berth project No. 21 and No. 22 in Zone B of Dushan Port Area, Jiaxing Port as an example, this paper systematically studies the base construction technology and quality control points for the 275,000 m² multi-structural layer road and yard project. Considering the characteristics of the project, such as weak soil layers, low foundation bearing capacity, heavy port loads, and complex construction zoning, this paper analyzes the applicable conditions and key control indicators of differentiated foundation treatment solutions, including drainage board + surcharge preloading, dynamic compaction, and layered vibration rolling, adopted in different areas. It also focuses on elaborating the construction technical parameters, quality control methods, and maintenance measures for cement-stabilized gravel base, concrete surface layer, and asphalt concrete surface layer. Engineering practice shows that scientific zoning treatment and whole-process monitoring control can effectively improve the bearing capacity, flatness, and durability of the road base, providing valuable technical experience and management references for the construction of multi-structural layer roads in large port land areas.

Keywords： road base; multi-structural layer; construction technology

引言

随着港口物流业的快速发展，港口陆域道路与堆场作为货物集散、设备运行的核心载体，其承载能力、平整度及耐久性要求日益提高^[1]。多结构层道路基层因其能有效分散荷载、适应不良地基、提升整体稳定性，在大型港口工程中广泛应用。嘉兴港独山港区B区21、22号多用途泊位工程陆域标段，道路与堆场结构复杂，包含水泥混凝土、沥青混凝土、预制联锁块等多种面层及相应的基层与垫层，且工程区地质条件软弱，对基层施工工艺与质量控制提出了严峻挑战。本文以该工程为实例，对其多结构层道路基层的施工技术进行深入剖析。

一、工程概况与项目难点分析

（一）工程概况

本项目位于嘉兴港独山港区通用与多用途作业区，陆域用地

面积265680m²。主要建设内容包括陆域形成、地基处理、道路与堆场铺面及相应配套设施。道路与堆场铺面结构多样，涉及水泥稳定碎石基层172578.39m²，水泥混凝土路面111596.56m²，沥青混凝土路面65329m²，预制联锁块铺面54449.83m²。

（二）项目难点分析

①地基软弱且厚度大，承载力不足，工程区淤泥质粘土厚度可达13 m，高压缩性、流塑性强，普通基础处理难以满足重载道路与堆场承载要求。

②道路结构层多样、面层类型复杂，道路及堆场铺面包括水泥石灰土、沥青混凝土及预制联锁块，多结构层组合增加施工顺序协调与层间结合质量控制难度。

③施工区域分区差异大，B区需长周期排水预压，A/D区适合强夯，C区邻近敏感构筑物，施工振动控制要求高，需制定多工艺组合方案。

④港口重载及环境因素叠加，港口机械荷载大、车辆频繁，施工中需严格控制基层密实度与强度；北亚热带季风气候导致降水集中，对排水与养护提出严格要求。地下水位高及雨季施工影响，工程区地下水位普遍较高，雨水季节易形成积水，需采取有效排水措施保障施工进度；强夯施工对邻近大堤存在振动影响风险，需制定专项隔震与监测方案。

⑤施工监测与质量控制复杂，地表沉降、孔隙水压力、振动、压实度等指标需多点监测并实时调整施工方案，施工管理难度高，易影响工期与工程质量。

二、自然条件与工程地质深度剖析

工程区属北亚热带季风气候，年均降水量1250.4mm，降水集中，对施工排水要求高。场地地质土层自上而下主要为：①层填土（厚0.90~4.50m，松软不均）；②层砂质粉土（厚0.70~3.90m，松散）；③层淤泥质粉质粘土（厚5.00~10.35m，流塑，高压缩性）；④层淤泥质粘土（厚5.00~13.00m，流塑，高压缩性）；以下为⑤层粘土及粉质粘土。场区软弱土层深厚，地基承载力低，且为IV类建筑场地，抗震不利。因此，地基处理是本项目基层施工的前提和关键^[3]。

三、分区地基处理关键施工工艺与技术

针对不同区域的荷载要求、工期及对周边环境的影响，制定了差异化的地基处理方案，其核心是“排水、固结、密实”。

（一）分区地基处理方案

B区面积约8.5×10⁴m²，采用竖向排水体（塑料排水板）—水平排水垫层（碎石）—超载预压—表层普夯的复合工艺。塑料排水板选用C型，按1.15 m正方形间距布置，长度23.2 m，需进入下层粉土层，施工总量约1.49×10⁶延米；施工采用专用插板机，控制平面位置偏差≤50 mm、垂直度偏差≤1.5%，并确保穿透淤泥质土层，出现回带超过500 mm时须在旁边补打。排水板顶端外露200 mm，埋入400 mm厚碎石垫层，形成竖向排水通道。堆载预压优先利用工程开挖料，外购宕渣补充，设计荷载80 kPa，通过控制堆载料容重≥17.1 kN/m³、堆载高度至标高+9.0 m实现；加载采用分级分区方式，标高+6.0 m以下分层厚度1.0 m、以上0.5 m，加载速率依据监测控制^[4]；地表日沉降量<15

mm，边桩日水平位移<5 mm，孔隙水压力增量与荷载增量比ΣΔu/ΔP≤0.5。加载至预定标高后恒载时间≥130 d。预压达标后卸载至设计标高+3.6 m，随即采用1000 kN·m能级进行普夯，每点2击，夯印搭接1/3，以密实表层1.5~2.0 m范围土体，提高承载力与均匀性；卸载料约2.72×10⁵ m³循环用于相邻区域堆载，体现绿色施工理念。

（二）A区、D区强夯地基处理工艺

对于荷载要求相对较低或工期敏感的区域—A区与D区，总面积约15.3×10⁴m²—采用强夯法处理。施工采用2000 kN·m能级进行两遍点夯，夯点按3.0 m间距正方形布置并跳打施工；夯锤重12.7 t，底面积4.34 m²；收锤标准为每点夯击不少于14击且最后两击平均夯沉量小于50 mm。两遍点夯间隔时间不少于14 d以消散超孔隙水压力，点夯后采用1000 kN·m能级满夯一遍。关键控制包括：大面积施工前选取不少于900 m²区域进行试夯以确定最佳参数；临近海堤、风机基础等既有结构处开挖顶宽1.0 m、深不小于2.0 m的隔震沟并加强振动监测；施工期间通过降水将地下水位控制在起夯面以下2.0 m；夯坑深度超过1.2 m时须及时回填宕渣，且回填深度不大于夯坑深度一半^[5]。排水采用开沟明排系统，沿施工区域周边及内部设置主排水沟（宽0.8m×深1.0m）和支排水沟（宽0.5m×深0.6m），排水坡度3‰，沟内铺设100mm厚碎石滤层以加速排水。强夯隔震在既有结构与强夯区之间增设双道隔震沟，第一道为减震沟（宽1.2m×深2.5m，内填级配碎石），第二道为缓冲沟（宽0.5m×深1.5m，内填泡沫混凝土）；沿隔震沟外侧每50m设置振动监测点，控制振速≤2.5cm/s，同步监测大堤沉降与位移，日变化量超3mm时暂停施工。

（三）C区（邻近敏感构筑物区域）分层振动碾压工艺

对于紧邻大堤、风机基础等振动敏感区域的C区，采用分层振动碾压工艺以确保安全。施工中回填宕渣分层厚度控制在0.3 m以内，采用自重不小于20 t、激振力不小于150 kN的振动压路机进行碾压，碾压6~8遍，轮迹搭接0.4~0.5 m。施工前通过试验段确定最佳含水量、碾压速度与遍数等参数；边角部位则使用小型夯机或人工夯实予以补强。此工艺虽工期相对较长，但能有效规避强夯振动对周边敏感结构的潜在影响。具体参数见表1：

表1 地基处理主要工程量与控制参数

处理分区	处理面积 (m ²)	核心工艺	关键控制参数
B区	85000	塑料排水板+堆载预压+普夯	排水板间距1.15m，堆载80kPa，恒载≥130d，普夯能级1000kN·m
A区、D区	153000	强夯	点夯能级2000kN·m，间距3m，击数≥14击，普夯能级1000kN·m
C区	按设计	分层振动碾压	分层厚≤0.3m，碾压6~8遍，轮迹搭接0.4~0.5m

（四）施工监测与效果检验体系

本项目建立了完整的信息化施工监测与效果检验体系，以支持动态设计与施工控制。施工过程监测内容包括地表沉降板、分

层沉降观测孔、孔隙水压力计、测斜孔及边桩位移观测点；监测点按每2500 m²布置一点地表沉降板的密度设置。监测数据用于实时指导加载或夯击速率与间歇时间，堆载预压卸载需同时满足三项标准：推算固结度大于90%、连续7天沉降速率不大于1 mm/d 以及最后一级恒载时间不小于130 d。处理后效果检验主要采用钻孔取样土工试验与现场载荷板试验；载荷板面积为2.0 m×2.0 m，最大加载至3倍设计荷载，依据p-s 曲线确定地基承载力特征值，从而验证处理效果是否满足设计要求，例如轨道梁基底承载力不低于150 kPa。

四、道路基层与面层精细化施工工艺

（一）水泥稳定碎石基层施工

基层质量直接决定面层的耐久性与平整度。针对嘉兴港独山港区B 区软弱土层厚、淤泥质土流塑性强的特点，施工采用厂拌法，水泥选用42.5级普通硅酸盐水泥，确保初凝>3h、终凝6-10h，以适应港口大型机械摊铺时间要求；碎石压碎值≤22%，最大粒径≤31.5 mm，混合料配合比通过击实试验和无侧限抗压强度试验确定，保证7d 抗压强度3.5-4.5 MPa。施工中，摊铺采用WLT12500型摊铺机一次性全幅摊铺，减少纵向接缝，结合港口重载特点，碾压流程采用静压1遍+ 振压4-6遍+ 静压收光1-2遍，局部压实度通过灌砂法实时检测，确保≥98%，同时兼顾软弱土体下沉的控制。施工养护阶段，覆盖透水土工布并洒水保湿，养生≥7天，以抵抗港口高强降水影响。

本工程采用分区处理策略：B 区采用排水板+ 堆载预压+ 普夯的组合工艺，结合沉降和孔隙水压力监测实时调控施工参数，确保软弱淤泥质土在港口重载条件下形成高均匀承载力基层。此工艺针对港口陆域大型堆场与道路高荷载特点进行优化，是本项目技术亮点之一。

（二）水泥混凝土面层施工

针对港口重载特点，混凝土面层施工需重点控制强度、平整度与接缝质量。施工采用刚度足够的槽钢模板，其顶面标高精确控制面层设计标高；传力杆与拉杆钢筋采用钢筋支架法固定，确保在摊铺与振捣过程中不发生移位或变形。混凝土采用商品混凝土经搅拌车运输，由混凝土摊铺机进行摊铺，并配备插入式与平板式振捣器组确保密实，特别加强边角及钢筋密集区域的振捣；同时采用真空脱水工艺以提高表层混凝土密实度与早期强度。考虑港口重载车辆及高强降雨冲刷，混凝土表面采用机械抹面+35 mm 拉毛刻槽，抗滑系数测定≥0.6，表层缩缝按强度2530% 精准切割并采用可滑动胀缝装置。缩缝在混凝土强度达到25%~30% 时用切缝机切割，深度不小于40 mm；胀缝按设计要求设置，传力杆一端涂抹黄油等隔离剂并套活动套管以保证其滑动功能。表面作业完成后立即覆盖保水土工布等材料，并保持湿润养护至少14 d，养护期间严禁任何车辆通行。

（三）沥青混凝土面层施工

沥青面层施工的核心在于温度控制、防止离析与确保压实度。混合料生产阶段派驻专人监控拌合站，严格控制集料级配与

温度：改性沥青加热温度为165~175° C，混合料出厂温度控制在170~185° C，每盘拌合时间为45~50 s。运输过程采用覆盖保温，运抵现场温度不低于160° C。摊铺采用履带式摊铺机，速度控制在2~4 m/min；中下面层采用钢丝绳基准线控制标高与厚度，上面层采用非接触式平衡梁控制平整度；螺旋布料器转速与料位高度需匹配以减少离析。碾压遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”策略：初压温度不低于150° C，采用双钢轮压路机静压2遍；复压温度不低于140° C，采用同型压路机振动碾压4~6遍；终压温度不低于120° C，静压2~3遍以消除轮迹；碾压时轮迹重叠宽度为1/3~1/2轮宽。接缝处理中，纵向接缝采用热接缝并重叠碾压；横向接缝采用平接缝，使用3 m 直尺定位切缝，切割后经清洗、涂粘层油、预热后进行摊铺，并依次实施横向与纵向碾压。具体见表2：

表2 道路结构层施工质量控制方法			
结构层	关键质量控制项目	控制标准或允许偏差	检测方法 with 频率
水泥稳定碎石基层	压实度	≥ 98% (代表值)	灌砂法，每2000m ² 测6点
	7d 无侧限抗压强度	3.5-4.5 MPa	室内试验，每2000m ² 一组
	厚度	-10mm	钻孔取芯，每1000m ² 测1点
	平整度	8mm (3m 直尺)	3m 直尺，每200m测2处 × 10尺
水泥混凝土面层	抗折强度	≥ 5.0 MPa	标养试件，每班/100m ³ /500m ² 一组
	板厚度	+5mm, -5mm	钻孔取芯，每500m ² 测1点
	平整度	3mm (3m 直尺)	3m 直尺，每100m测2处 × 10尺
	相邻板高差	≤ 2mm	直尺测量，每条胀缝测2点
沥青混凝土面层	压实度	≥ 96% (马歇尔密度)	钻孔取芯，每1000m ² 测1点
	厚度	-5mm	钻孔取芯，每1000m ² 测1点
	平整度 (σ)	≤ 1.2mm	连续式平整度仪，全线检测

五、经验总结

在嘉兴港独山港区陆域工程的施工过程中，我深刻体会到软弱地基条件下多结构层道路施工的复杂性和挑战性。通过对不同区域采用差异化地基处理方案，结分层振动碾压等差异化工艺组合，针对B 区长周期排水预压需求、A/D 区强夯加固条件及C 区振动控制要求，形成了适配不同地质条件的施工技术体系，发现只有根据地基条件和荷载需求灵活调整施工方法，才能兼顾施工效率与安全性。同时，在基层和面层施工中，我始终坚持严格控制施工参数和材料质量，利用灌砂法、现场取芯、压实度检测等方法对施工效果进行实时监控，确保承载力、平整度和耐久性达到设计要求。港口重载和高降水环境要求我们在施工工艺和养

护措施上进行优化，例如混凝土面层和沥青面层施工时，严格控制摊铺速度、温度及压实流程，结合透水土工布和湿润养护等措施，有效降低了沉降和裂缝风险。通过本项目的实践，我深刻认识到精细施工与实时监控结合，才能在复杂环境下保证道路结构质量，这些经验不仅解决了本项目的实际问题，也为未来类似港口陆域工程提供了可参考的施工策略和技术方法。

六、结语

本文以嘉兴港独山港区陆域工程为依托，系统论述了多结构

层道路基层在软弱地基条件下的施工工艺与质量控制要点。通过分区实施差异化的地基处理方案，并严格控制水泥稳定碎石基层、混凝土面层等关键工序的技术参数与施工流程，形成了从地基加固到面层成型的全过程质量控制体系。工程实践表明，科学的工艺设计与严格的过程管理是保障道路基层承载力、平整度与耐久性的关键。本文总结的技术措施与管理经验，可为类似港口陆域工程的道路基层施工提供参考，对推动港口基础设施建设质量的提升具有积极意义。

参考文献

- [1] 陕志强. 城市道路水稳基层施工中的质量控制技术探讨 [J]. 建筑·建材·装饰, 2025(11):97-99.
- [2] 张龙. 某市政道路大粒径级配碎石基层配合比设计与施工质量控制 [J]. 四川水泥, 2025(10):181-183.
- [3] 张源. 城市道路水稳基层施工中的质量控制技术探讨 [J]. 冶金管理, 2023(17):79-81.
- [4] 彭伟. 浅析新旧道路接缝部位施工质量控制技术 [J]. 陕西建筑, 2025(3):122-126.
- [5] 石飞, 沈文超, 王永胜. LSPM 透水性沥青混合料施工工艺及质量控制 [J]. 交通科技与管理, 2023(22):0110-0112.