

海外核电厂区回填施工管理研究

程振国

中国中原对外工程有限公司 北京 100032

【摘要】：厂区回填作为核电土建工程中具备隐蔽性的关键基础工序，回填体密实度、均匀性与排水防护水平直接决定上部各类厂房、管廊、储罐等构筑物的长期沉降稳定性与运行安全。与国内核电建设环境相比，海外核电项目普遍存在雨季持续时间长、本土建材性能波动大、中外施工标准存在适配差异、多方参建单位协调链条冗长等现实难点，回填施工产生的质量隐患具备滞后显现、整改成本高昂的特点。本文以某海外核电项目完整厂区回填工程作为研究实例，全面梳理项目土石方调配工程量，分类阐述四类回填材料的设计技术指标、现场标准化施工流程与原位试验检测结果，深度剖析现场施工阶段出现的廊道大幅沉降、储罐倾斜、围栏基础变形、刚性混凝土回填造价超标等典型质量病害，结合海外项目多雨、地质起伏大的场地特征，提出覆盖施工筹备、原材料进场验收、分层碾压作业、雨季防水防护、沉降预控的全流程精细化管理措施。本次研究总结的管控要点可给国内外同类型海外核电厂区土石方回填项目提供实操参考，有效减少地基不均匀沉降类质量风险。

【关键词】：海外核电；厂区回填；土建施工；压实管控；沉降病害；全过程质量管理

DOI:10.12417/3083-5526.25.11.007

1 回填概况

本海外核电项目厂址地处滨海丘陵地带，场地内部分布大量天然冲沟、高低起伏坡地，全场场地整平、各类构筑物基底垫层施工均依托大规模土石方开挖与回填作业完成。结合项目正式设计工程量清单、现场多次实地收方复测双重核算数据，全场土石方总开挖体量约 258.11 万 m^3 ，厂区内分区域回填总量合计 44.53 万 m^3 。项目按照构筑物荷载等级、沉降控制限值差异化要求，将回填材料划分为四类，各类物料实际使用规模差距明显：承担主体结构承重功能的 A 类级配砂石回填总量 34.41 万 m^3 ；取自场内开挖合格粉质土、风化山皮土的 B 类回填土用量 3.22 万 m^3 ；用于高刚度加固敏感区域的 C15 素混凝土回填量 6.84 万 m^3 ；仅用于边坡局部挡护加固的浆砌毛石回填量仅 0.067 万 m^3 。从工程量占比能够直观判断，A 类砂石料与素混凝土两类材料合计占厂区回填总量九成以上，是现场技术管理人员、质检班组全过程重点监督管控的核心对象，两类材料施工质量直接决定整个厂区地基长期稳定性能。

2 回填技术要求

2.1 回填土类型

结合厂区不同区域构筑物受力工况、变形控制标准，项目设计文件明确划定四类合规回填物料，同步规定每类材料原材料筛选标准、压实控制参数与专属适用范围，各类材料不可随意替换混用，避免出现地基承载力不足、不均匀滑移等隐患。

（1）A 类料 A 类料为核岛周边、综合管廊、大型储罐、关键设备基础等高荷载结构专用回填材料，主材选用颗粒连续级配碎石，严格控制碎石单粒最大粒径不超过 50mm，施工进场前同步筛查含泥量、片状颗粒、有机质杂质含量。分层碾压成型后压实系数需要稳定维持在 0.94~0.97 区间，压实完成后地基承载力特征值可达 150kPa~300kPa，能够长期承受重型构筑物荷载，有效控制微小压缩变形。（2）B 类料 B 类料仅允许应

用在厂区次要道路路基、绿化场地、临时施工便道等无重载非承重区域，物料来源包含场内开挖黏土、粉土、风化开山土以及天然砂石混合料，施工过程中严格禁止混入腐殖土、淤泥、冻土块、生活垃圾等有害杂质。设计文件规定压实系数区间为 0.90~0.93，分层压实后地基承载力特征值为 100kPa~150kPa，该材料明确禁止用于任何重要厂房、大型设备主体基础下方回填作业。（3）素混凝土素混凝土由项目现场集中搅拌站统一拌合生产，型号为 C15，内部无钢筋配筋，无额外抗渗、抗冻、耐腐蚀特殊性能指标。该材料整体刚度大、压缩变形量极小，主要布置在上部构筑物安全等级高、沉降控制标准严苛的区域，多用于深基坑底部、廊道顶板、循环水管道基底等极易产生不均匀沉降的关键敏感位置。（4）浆砌毛石砌筑原料选用强度等级 MU40 的完整硬质毛石，搭配 M7.5 标号水泥砂浆分层人工砌筑，施工阶段要求灰缝饱满无空隙、无空洞缝隙，砌体成型后整体自重必须满足 22kN/ m^3 硬性设计要求，多用于回填边坡加固、回填分区边界刚性挡护等局部特殊施工部位。

2.2 厂区回填施工情况

本项目采用分区流水施工组织方案，将厂区划分为核岛核心区、辅助厂房区、地下综合管廊区、室外储罐区、道路围栏区五大独立作业板块，各施工区域错峰开展回填作业，有效规避多工作面同步施工带来的大型机械、施工人员交叉干扰、工序冲突等问题。整体回填作业统一执行标准化闭环流程：基底杂物清理验收→分层均匀铺筑回填料→大型设备静压与振动碾压结合→现场取样检测压实指标→验收合格后方开展上一层铺筑。大面积开阔场地选用重型振动压路机完成碾压作业，墙体根部、管道间隙、基坑狭小边角等大型机械碾压盲区，配备小型手扶夯机分层补压，消除局部漏压隐患。正式回填开工前，技术班组提前开展现场土工击实试验，精准测定各类土料最优含水率、标准碾压遍数，将试验数据作为现场班组施工管

控硬性依据。

2.3 厂区回填区试验情况

2.3.1 压实系数检测情况

项目严格依据《建筑地基工程施工质量验收标准》规范要求，每完成一层填筑施工，随机选取多点位开展检测，统一采用灌砂法测定分层压实系数。多批次现场实测汇总数据显示，全场 A 类级配砂石回填层压实系数均稳定保持在 0.96 以上，完全覆盖设计文件 0.94~0.97 标准区间；B 类素土回填层实测压实系数普遍达到 0.94 以上，显著高于设计下限 0.90，两类主体回填材料分层压实质量全部满足设计与国家规范双重标准。

2.3.2 回填区载荷试验情况

针对核岛周边、大型储罐基底、综合管廊底部等有明确承载力硬性指标要求的关键回填区域，统一组织实施原位平板载荷试验，通过逐级分级持续加载观测沉降变形曲线。全部试验观测测点均未出现突变陡降变形段，实测地基承载力数值全部达到设计规定标准，充分证明整体回填体密实均匀，地基长期承载性能稳定可靠。

2.4 厂区回填经验反馈

尽管各分层压实检测指标全部达标，但受工序排布紧凑、当地雨季持续性强降雨、软硬地基交接处理措施缺失等多重因素叠加影响，施工推进阶段出现多起回填相关沉降变形病害，直接造成项目工期延误、建设成本额外增加，形成具备极高参考价值的施工教训：（1）部分子项布置在深基坑廊道上部，增加了混凝土回填成本厂区多处小型附属子项坐落于深基坑廊道、循环水管道顶部位置，为规避构筑物长期运行阶段产生大幅度不均匀沉降，原有设计方案要求基础底部整体浇筑素混凝土替代级配砂石回填。混凝土主材采购单价、现场支模浇筑人工成本远高于砂石分层碾压回填，大范围刚性回填方案直接抬高该片区土建工程造价，暴露出前期设计阶段多方案技术经济对比论证缺失的问题。（2）部分廊道回填区沉降严重核岛南侧两段综合管廊施工工序排布紧凑，回填作业施工至廊道设计基底标高之后，施工班组即刻开展上部钢筋混凝土结构浇筑施工，并未预留充足的回填土体自然沉降稳定周期。主体结构浇筑施工中途遭遇当地持续性强降雨天气，雨水持续向下渗透冲刷带走廊道底部回填细骨料，土体内部密实度大幅衰减，管廊整体累计沉降最大值达到 20cm。受现场作业空间狭窄限制，注浆加固、局部换填等原位修复手段均无法落地实施，项目只能紧急启动线路设计变更、重新现场测绘改道施工，大幅拉长土建总工期，额外产生设计变更服务费、回填材料二次采购、人工返工等多项附加成本。（3）围栏部分区域基础沉降厂区永久围栏分段浇筑施工完成之后，现场施工班组未同步对围栏周边场地统一回填整平处理，地面留存多处深度不一的低洼积水坑洼。进入当地持续雨季之后，雨水长期积聚浸泡软化

围栏基底回填土体，地基承载能力持续衰减，出现立柱不均匀下沉、围栏整体歪斜等外观缺陷与厂区安防安全隐患。（4）除盐水储水罐基础不均匀沉降除盐水泵房配套室外储水罐基础横跨两种不同地基界面，罐体一侧坐落于后期施工的回填混凝土层，另一侧依托原始天然原状土层，两类地基刚度差异十分显著。雨季降水顺着边坡缝隙持续渗入回填体内部，回填层产生小幅顺坡滑移变形，罐体受力平衡被打破，发生明显倾斜，直接威胁设备后期稳定运行安全。（5）AG2 罐体基础沉降 AG2 罐体布置于厂区出渣坡道位置，基底采用控制标准偏低的素土回填，边坡位置未按照规范开挖台阶做防滑搭接处理。持续暴雨反复冲刷、雨水饱和软化素土回填层，回填土体整体抗滑稳定性丧失，最终罐体出现肉眼可见的倾斜病害。

3 结语

综合上文梳理的现场各类沉降、滑移、造价超支问题，在后续厂区回填施工全过程中，参建各方必须强化八大维度精细化管理工作：（1）回填作业正式开工前，依托现场土工击实试验结合同类海外项目工程经验，精准测定各类回填物料最优含水率数值，施工全过程动态管控土料实时含水量、规定碾压遍数、机械碾压全覆盖范围；大型压路机无法抵达的狭小边角位置，必须使用小型夯实设备分层补压到位，严禁出现漏压管控盲区。（2）建立回填原料进场逐批次联合验收制度，针对砂石、素土、砌筑毛石、搅拌混凝土全部原料分批取样送检，检测指标不达标的劣质物料全部做清场退场处理，坚决杜绝不合格原料进场填筑施工。（3）严格执行分层填筑硬性规定，任何施工班组不得为追赶节点工期擅自加厚单层铺填厚度，分层厚度、碾压操作工艺必须完全遵循专项施工方案内容。（4）坚持分层检测闭环管理要求，每一层碾压施工结束后第一时间开展压实度取样检测，检测结果不达标的填筑区段必须整体重新碾压，验收合格后方可开展上一层回填施工。（5）结合现场施工经验，构筑物跨不同地基土层是产生不均匀倾斜的核心诱因，场地边坡坡度陡于 1:5 时，必须提前开挖台阶状搭接面再分层回填，有效削弱回填土体顺坡滑移的安全风险。（6）构筑物主体结构施工完成之后，现场班组第一时间完成构筑物周边回填整平作业，不得在墙体、设备基座周边留存低洼积水区域，从根源阻断雨水长期浸泡软化地基的外部条件。（7）科学统筹回填施工整体工期排布，尽量规避大面积局部回填工作面跨雨季长期裸露放置，防止雨水持续冲刷流失细颗粒骨料，造成回填层内部密实度衰减下降。（8）若项目总工期存在富余空间，大型设备基础、地下管廊等关键区域回填完工之后，可采取洒水静置晾干或者完整经历一个当地雨季的处置方式，让回填土体提前完成大部分自然沉降变形，待现场沉降观测数据完全稳定之后再开展上部构筑物施工，从根源降低后期运行阶段出现大幅度沉降的概率。

厂区回填工序虽然归属于基础配套施工环节，却直接决定

上部所有构筑物数十年长期使用安全性能。各类沉降病害后期整改实施难度极大，缺陷严重时甚至需要整体拆除重建；沉降属于缓慢累积逐步发展的隐蔽工程问题，多数构筑物出现超标变形时往往已经投入全场系统运行，现场停机整改、拆除修复将带来数额巨大的时间成本与经济损失。海外核电项目当地地质、降雨、施工资源配套条件相比国内项目更为复杂严苛，参

建各方绝对不能产生“重主体、轻回填”的松懈管理思维。项目建设全过程需要同步从设计方案多维度比选、现场碾压工艺标准化管控、原料进场联合验收、分层试验检测闭环、完工场地防护养护、场区整体防排水体系搭建六大维度同步落实管控措施，全方位保障厂区回填整体施工质量稳定达标，满足核电工程长期安全稳定运行的硬性建设需求。

参考文献：

- [1] GB 50202-2018,《建筑地基工程施工质量验收标准》[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [2] 中华人民共和国国家标准.GB 50202-2018 建筑地基工程施工质量验收标准北京:中国计划出版社,2018.
- [3] 电力建设施工技术规范第 1 部分:土建结构工程.DL/T 5190.1-2019[S].北京:中国电力出版社,2019.
- [4] 中国核工业集团有限公司.核电厂土建工程施工质量验收规范[Z].企业标准,2020.