

雨水模块收集系统应用研究

郑跃 赵爽

华北理工大学

摘要: PP模块雨水收集利用系统是实现建筑节能、缓解城市内涝、践行海绵城市理念的关键绿色技术之一。在阐述该系统构成与工作原理的基础上,以H职教中心项目为例深入研究了其关键施工技术及质量控制要点。通过对多个工程实践的综合分析,重点论述了基坑与基础处理、防渗系统(土工膜)施工、PP模块标准化组装、保护性回填等核心工序的标准化做法与注意事项。研究表明,相较于传统钢筋混凝土蓄水池,PP模块系统具有施工便捷(工期可缩短约50%)、布局灵活、可回收利用、全生命周期成本低等显著优势,并能产生良好的社会、生态与经济效益,在住宅小区、公共建筑及大型园区中具有广阔的应用前景。

关键词: PP模块;雨水收集利用;施工技术;质量控制;绿色建筑

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.01.003

随着我国城镇化进程的加速,不透水地表面积急剧增加,导致城市水资源短缺与暴雨内涝问题并存,对水生态环境构成严峻挑战。发展绿色建筑、建设海绵城市,已成为推动城乡建设绿色发展、实现“双碳”目标的必由之路。雨水作为一种污染轻、可再生的优质资源,对其进行科学收集与回用,是补充城市水源、削减径流污染、缓解排水系统压力的有效途径。

传统的雨水蓄水池多采用现浇钢筋混凝土结构,存在施工周期长、工艺复杂、对场地适应性差、不可拆移复用、混凝土养护耗水耗能等问题。近年来,一种以聚丙烯(PP)塑料模块为核心构件的模块化雨水收集回用系统得到了广泛应用。H职教中心作为区域重要的职业教育基地,其建设项目具有规模大、功能全、标准高等特点,为PP模块雨水收集系统的应用提供了理想的实践平台。文章以H职教中心建设项目为切入点,以工程实际施工过程中的实际应用为基础,对PP模块的应用进行论述,该系统通过标准化模块的拼装组合,形成地下贮水池,具有施工快捷、布局灵活、环保可回收、综合效益高等突出优点。本文旨在系统梳理PP模块雨水收集系统的关键技术,结合工程实践,对其施工工艺、质量控制要点及应用效益进行深入研究与分析,以期同类工程的推广与应用提供参考。

1 项目概况

H职教中心项目建设地点位于华北沿海地区。项目规划总占地面积约139892.11平方米,总建筑面积85479.14平方米。项目拟分三期建设,一期工程占地面积约39758.25平方米,建筑面积28729.14平方米,建设内容主要包括实训教学楼、主席台、运动场、消

防水池及泵房、门卫、综合报告厅、车棚、设备房等。二期工程占地面积约34912平方米,建筑面积18982平方米,建设内容主要包括食堂及宿舍楼、道路及管网等。三期工程占地面积65221.86平方米,建筑面积37768平方米,建设内容主要包括教学楼、实验楼、连廊等。学校办学规模约3800人。

本项目投资估算为49969.02万元。其中:工程建设投资37510.32万元,工程建设其他费用8810.34万元,预备费2848.36万元,建设期利息800万元。资金来源为政府财政资金。项目主要经济指标如表1所示。

表1 项目主要经济指标

名称	单位	数值
项目总占地面积	m ²	139892.11
项目总建筑面积	m ²	85479.14
(其中)地上建筑面积	m ²	83127.91
(其中)地下建筑面积	m ²	2351.23
容积率		0.594
建筑密度	%	16.11
绿化率	%	35.21
机动车停车位	个	183

H职教中心建设项目位于华北沿海的L河冲积扇前缘滨海平原区,该区域具有典型的暖温带季风气候特征,平均年降水量为616.8毫米,且降水高度集中于7、8两月,占全年总量的60%。这种降雨时空分布不均的特点,使得项目在汛期面临较大的内涝风险,而在非雨季则面临淡水资源紧缺的矛盾。项目总占地面积达13.99万平方米,总建筑面积约8.55万平方米,其中硬化屋面及道路广场面积占比高,导致汇水面积

大且产流快。作为一所办学规模约 3800 人的大型职教中心，校园内绿化灌溉、道路冲洗及景观补水等杂用水需求量巨大。在此背景下，建设 PP 模块雨水收集系统不仅是落实海绵城市建设理念、缓解市政排水管网压力的关键举措，更是通过回收利用雨水资源，有效削减校园对外部自来水的依赖，实现区域水资源循环利用的迫切需求。

2 PP 模块雨水收集利用系统构成与工作原理

工程领域中，PP 雨水模块收集系统经历了从简易贮存向集成化、智能化利用的演进历程。早期受材料与工艺水平限制，系统多依赖传统混凝土蓄水池，存在施工周期长、占地面积大、布局灵活性差等局限。随着高分子材料技术的突破性进展，PP 模块凭借其标准化预制、模块化组装及轻质高强的特点，显著提升了雨水蓄水设施的施工效率与空间适应性。当前，该系统的演进主要聚焦于与海绵城市建设的深度融合，通过优化水力学流态、集成自动控制与实时水质监测单元，进一步强化了对雨水径流的调蓄能力与回用效能。在实际应用中，该系统已广泛覆盖建筑小区、市政道路、工业园区等场景。典型工程案例表明，该系统能够有效削减洪峰流量、缓解城市内涝压力，并为绿化灌溉、道路冲洗等用途提供稳定的替代水源，从而推动水资源实现梯级利用，促进水文效益与生态效益的协同提升。

在 H 职教中心建设项目中，PP 模块雨水收集系统设计严格遵循“源头减排、过程控制、末端治理”的海绵城市理念，确保系统与校园整体规划高度协调。设计坚持技术先进性、运行经济性及维护便利性原则，针对项目年均降雨量特征，结合建筑面积及硬化汇水面积进行水文计算，确定系统设计日均雨水收集能力为 120m³/d，有效蓄水容积设定为 300m³，以满足非雨季绿化灌溉及景观补水需求。选型方面，综合考量地基承载力与埋深要求，选用 500kN/m² 承压等级的 PP 模块，搭配高密度聚乙烯防渗膜与耐候型土工布，形成结构稳定、抗压耐腐的地下蓄水综合体，确保系统在校园高密度使用环境下安全运行。

2.1 系统构成

PP 模块化雨水收集回用系统是一个集成化的水处理单元，主要由以下几部分构成：

(1) 初期雨水弃流装置：通常采用溢流堰式分流井或雨量型弃流装置，用于分离并排弃降雨初期污染物浓度较高的雨水，保障入池水质。

(2) PP 模块蓄水池：系统的核心储水单元，由若干单体 PP 模块通过专用连接件拼装而成，外部包

裹防渗层，构成地下贮水空间。

(3) 雨水处理装置：包括全自动自清洗过滤器、紫外线消毒器等，对收集的雨水进行过滤与杀菌处理，使其达到回用水质标准。

(4) 雨水提升与回用系统：由潜水泵、控制系统及回用水管网组成，将处理后的雨水输送至绿化浇灌、道路冲洗、景观补水、车库冲洗等用水点。模块化雨水收集池模块主要由模块、连接卡及连接杆组成，如图 1 所示。

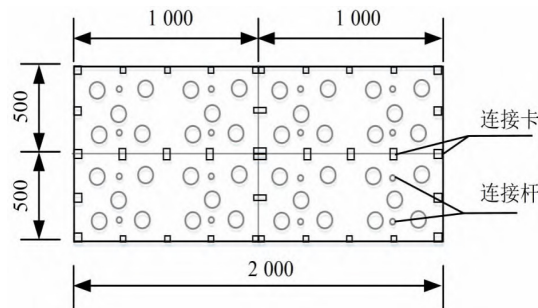


图 1 PP 模块示意图 (单位: mm)

2.2 工作原理

系统工作原理遵循“弃流 - 收集 - 处理 - 回用”的流程。建筑屋面、广场、道路等汇水面的雨水径流经管道汇集后，首先进入初期雨水弃流装置。装置将初期污染较重的雨水（通常为前 2—5mm 降雨）排入市政污水管或渗透设施，后续相对洁净的雨水则越过弃流堰或通过转换开关进入 PP 模块蓄水池暂存。池内雨水经水泵提升，通过过滤器去除悬浮颗粒物，再经紫外线消毒器杀灭微生物。处理达标的清水存储于清水箱，或直接由回用泵组加压，供给至各非传统水源用水单元。蓄水池满后，多余雨水通过溢流管排入市政雨水管网。其流程如图 2 所示。

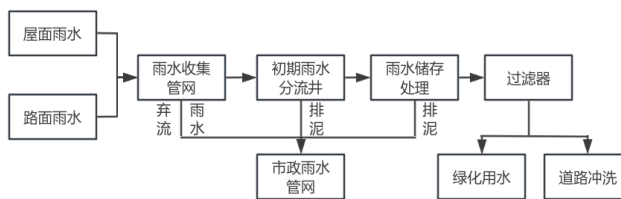


图 2 雨水综合利用设计原理

3 PP 模块雨水收集利用系统关键施工技术应用

PP 模块雨水收集系统的施工质量是其长期稳定运行的根本保障，其中关键工序须进行严格控制。施工过程中，地基承载力的均匀性与平整度是避免模块因受力不均而产生变形的关键因素，必须严格依据设计要求进行压实度检测等相关工序。在模块拼装环节，需确保连接件精确锁扣到位，严禁出现错位或悬空等不良现象，以维持整体结构的稳定性。回填作业应严

格遵循对称、分层夯实的施工原则,避免因机械直接碾压而导致模块结构破裂。此外,防渗土工布的搭接与收口处理直接关系到系统的密闭性能,需重点监控其焊接质量与保护层完整性,从源头上规避潜在的渗漏风险,从而确保系统的服役寿命与运行效能。

3.1 基坑开挖与基础处理

基坑开挖前需精确测量放线。开挖应遵循“分层开挖,严禁超挖”的原则,根据土质情况采取自然放坡、钢板桩等支护措施确保边坡稳定。机械挖至设计基底标高以上 200—300mm 时,应转为人工清槽,避免扰动原状土层。基底需整平压实,平整度偏差宜控制在 10mm/10m 以内,并清除所有尖石、树根等坚硬凸起物,防止刺破底部防渗层。基础通常采用级配碎石垫层 +C25 及以上强度等级的素混凝土或钢筋混凝土底板,浇筑完成后需抹平养护,为后续防渗层铺设提供坚实、平整的基底。

3.2 防渗系统(土工膜)铺设施工

防渗系统是保证水池不渗漏的关键,一般采用“两布一膜”(两层无纺土工布夹一层 HDPE 防渗膜)结构。

(1) 材料与焊接:对于无纺布防水土工膜材料,应尽量选用宽幅面的材料,以减少搭设和黏接的工作量^[1],在施工现场预先热熔焊接成一张整体,大幅减少池底搭接缝,降低渗漏风险。焊接必须由专业人员进行,焊后需进行充气加压或真空检测,确保焊缝严密无漏点。

(2) 铺设作业:将焊接好的复合土工膜水平展开,自基坑顶口缓慢、均匀地放入坑底。铺设时,应使土工膜的中心线与基础底板中心线重合,偏差不宜大于 0.2m。膜体应自然舒展,与基础面贴实,避免人为褶皱和硬物刮划。铺设过程中及后续工序必须对土工膜进行有效保护,防止破损。

3.3 PP 模块的标准化组装

模块组装是体现工业化施工优势的核心环节。

(1) 模块检验与定位:模块进场后,应核查其抗压强度等质量证明文件,必要时应抽样复试。组装前,需在基础防渗层上按设计尺寸弹线定位。组装工人应经过培训,熟悉安装流程。

(2) 组装原则与连接:组装必须自下而上,沿同一方向(横向或竖向)依次平行码放,严禁从外向中心或采用梯形方式组装。连接需遵循两点:第一,同层相邻模块之间,通过专用连接卡(固定卡)进行连接,标准模块长边侧使用 4 个,短边侧使用 2 个;第二,上下层模块之间,必须通过连接杆(固定杆)进行垂直固定,每个模块单体上下连接杆不少于 2 根。上下

层模块应错开连接,呈“楼梯型”排列,避免垂直通缝,以优化结构受力。

(3) 管道预埋与注意事项:在铺设第一层模块时,应同步安装池内反冲洗管道,其端头需封堵,支管引至池顶汇入总管。组装过程中,操作人员严禁穿带钉子的鞋,严禁在土工膜上直接拖拽模块,池顶作业动作应轻缓。所有进出水管、溢流管、通气管的预留接口位置需准确。

3.4 整体包裹与顶部封闭

模块骨架组装成型并经检验合格后,需立即进行整体防渗包裹。使用预先焊接好的大型复合土工膜,将其紧密包裹在模块池的四周及顶部。包裹时,应按预定折痕折叠,确保服帖。顶面膜的搭接宽度不应小于 0.5m。所有管道穿透防渗膜的部位必须使用专用 HDPE 预制件或密封胶进行二次密封防水处理,这是防渗的薄弱点控制关键^[2]。

3.5 保护性回填施工

回填施工直接影响水池结构安全和防渗层保护。

(1) 及时性与对称性:包裹完成后应尽快组织回填,防止地下水位上涨对空池产生浮力破坏。回填必须沿水池四周对称、分层进行,均衡施加侧向压力。

(2) 材料与工艺:靠近池壁 0.2m 范围内,宜采用中砂或石粉等松散、无棱角的材料回填。回填土应为优质素土,不得含淤泥、垃圾及大石块。每层虚铺厚度严格控制在 200—300mm。

(3) 夯实与保护:采用蛙式打夯机等小型机具人工分层夯实,严禁使用大型推土机或碾压机械靠近池体作业。夯实度需满足设计要求,并按规定进行环刀取样检验。回填全过程应持续抽排基坑内可能出现的积水。

3.6 施工质量控制要点

(1) 材料控制:PP 模块的长期抗压强度是核心指标,设计时应根据覆土深度、地面荷载等确定,进场后需对关键性能进行抽样复验^[3]。优先选用全新 PP 原料生产的模块,慎用再生料产品,以确保其耐老化性能和承载力(使用寿命可达 50 年以上)。防渗膜的厚度、物理性能必须符合规范要求。

(2) 过程质量控制:设立关键工序验收点,如基坑验槽、土工膜焊接检测、模块组装验收、包裹密封检查等,执行“三检制”,上道工序不合格不得进入下道工序。

(3) 成品保护:全程贯彻成品保护意识。设置警示标识,严禁在未完成规定回填厚度的池顶行驶或停放重型施工机械。

4 应用效益分析

相比传统现浇混凝土雨水池, PP 模块系统展现出多维度优势:

(1) 工期效益显著: 施工工艺简化, 省去了支模、绑筋、浇筑、养护、拆模等复杂环节。工程实践表明, 其施工周期可比传统工艺缩短约 50%^[4], H 职教中心建设项目工期从原计划的 60 天缩短至 30 天。

(2) 经济效益突出: 一方面, 快捷的施工节约了人工、管理成本; 另一方面, 模块化拼装减少了材料损耗。通过方案优化, PP 模块水池总造价比混凝土水池降低了 5.88%。加之其后期维护简单、可回收迁移, 全生命周期成本更低。

(3) 生态与社会效益: 系统深度契合海绵城市“渗、滞、蓄、净、用、排”理念, 有效补充地下水、削减面源污染、减轻城市管网峰值排水压力^[5]。模块由环保材料制成, 可回收再利用, 降低了建筑垃圾排放, 体现了循环经济理念。

5 结语

PP 模块雨水收集系统凭借其高度灵活的模块化设计、施工便捷性及卓越的承载力, 不仅有效解决了职业教育类项目功能复杂、建设标准高的难题, 更完美契合了 H 职教中心这类大型公共建筑对土地集约利用

与结构安全的双重需求, 有效降低了项目的雨水收集处理风险。本项目的成功实施, 不仅为同类教育工程提供了宝贵的经验积累与可复制的参考模式, 更通过雨水资源的高效回收利用, 显著提升了校园的生态环境质量并带来了可观的经济效益, 充分彰显了职业教育项目在生态文明建设中的示范引领作用。建议在后续的职业教育基础设施建设中进一步推广并持续完善 PP 模块雨水收集技术的应用体系, 为打造绿色低碳校园、实现区域可持续发展作出更大贡献。

参考文献:

- [1] 李成志, 王东杰, 王天宇, 等. 模块化雨水调蓄池的应用研究 [J]. 山西建筑, 2022, 48(24): 123-126.
- [2] 黄宏林, 刘根荣, 肖光耀, 等. PP 模块化雨水收集回用系统的关键施工技术及管理要点研究 [J]. 工程建设与设计, 2023(12): 192-194.
- [3] 杨红庆, 肖杰. PP 模块雨水收集利用系统施工技术的研发与应用 [J]. 青岛理工大学学报, 2016, 37(6): 113-117, 122.
- [4] 张浩亮, 刘雷, 张建峰, 等. 城市 PP 模块雨水调蓄系统的工程应用与分析 [J]. 安装, 2023(3): 39-41.
- [5] 王卫宏. 住宅小区 PP 模块雨水收集系统施工技术探析 [J]. 工程与建设, 2021, 35(7): 66-93.