

城市道路排水系统优化设计与施工技术探讨

文 / 伍 讯 三亚崖州湾科技城开发有限公司

摘要：城市道路排水系统作为一项重要的基础设施，不仅关系着城市交通的正常运行，而且关系着城市生态环境与居民生活质量的提高。随着我国城市化进程的加快，城市道路排水面临着暴雨积水、排水设施老化、排水系统设计不合理等诸多问题。城市内涝不仅严重影响居民出行，而且可能引发城市内涝，给城市带来重大经济损失与安全隐患。因此，研究城市道路排水系统的优化设计和施工技术，也是当前相关行业的热议课题。

关键词：城市道路；排水系统；优化设计；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.102

引言

城市道路排水系统的优化设计和施工是多学科交叉和融合的复杂系统工程。在设计层面上，要充分考虑城市地形、降雨、土壤性质和城市规划等多种因素，才能保证排水系统的高效稳定运行。施工中除严格按设计图纸施工外，还应加强施工质量控制，保证排水设施的耐久性、可靠性。同时，随着科学技术的不断发展，新材料和新技术的应用，为城市道路排水系统的优化提供了新的途径。在此基础上，进一步探讨城市排水系统设计和施工工艺，为城市基础设施建设提供科学依据，促进城市的可持续发展（如图1）。



图1 城市道路排水系统

一、城市道路排水系统现状与挑战

（一）现状剖析

以三亚崖州湾科技城部分既有道路为例，在前期规划中，由于设计理念和施工条件的限制，管网管径普遍较小。比如生物谷周边的老管网，大多都在DN300-DN600之间。若是平时下小雨的时候，雨水还能勉强维持，但一旦遇到暴雨，比如短时间内降雨量超过50毫米，排水系统就会出现严重问题，大量雨水无法及时排出，导致路面大面积积水^[1]。同时，在规划初期，管网布局没有与城市的垂直规划深度融合。部分路段没有充分利用地形优势，本来可以利用自然地势高差顺势排出雨水，但因管网布局不当，造成雨水汇流路径受阻，形成局部积水点。这些积水点不仅影响了道路的正常通行，而且在积水的情况下，车辆在积水的情况下很容易发生故障，行人的通

行也会受到影响，同时也会威胁到周围的商业设施和住宅建筑的安全，雨水的倒灌可能会造成地下室积水，损坏电力设备等。

（二）挑战聚焦

以往排涝设计为1~2年一遇的洪峰流量标准，在现今3~5年一遇甚至更强降雨情景下，已不堪重负。另一方面，随着城市化进程的推进，大量不透水面（如水泥路面、沥青路面、建筑屋面等）不断增多，导致雨水自然下渗途径受阻，径流急剧增加，传统排水管网排水压力急剧增大。同时，生态环境建设的要求，也促使我国城市排水管网突破传统的单排水功能，结合“海绵城市”理念，实现雨水“渗-滞-蓄-净-用-排”一体化运行^[2]。然而，如何在保证高效排水、快速排水、避免积水的前提下，实现生态效益，实现雨水的合理生态利用，是设计和建设中亟待解决的问题。例如，在有限的道路空间内，如何合理布局“海绵”设施，使其既不影响交通，又能充分发挥其生态调蓄功能，这就需要精细的设计和精细的施工控制。

二、城市道路排水系统优化设计要点

（一）规划布局优化

结合三亚崖州湾科技城“全球生物谷”和周边道路建设项目，提出在城市整体规划体系中进行排水系统规划的思路和方法。应充分结合区域竖向设计，充分发挥地势高差的优势，建立科学的“分散集流，分层输流”的排水模式。生物谷外围道路一期工程为例，结合区域竖向设计，沿纵路布局管网，衔接生物谷污水处理与再生水管线工程，实现污水高效处理与再生水回流灌溉的协同。以新建提升泵站、铺设连通管道等方式，将各个区域内相对独立的排水系统进行整合，达到协同运行的目的^[3]。这样，可以通过连通管网，将一部分污水分流到其它排水能力不强污水处理能力富余的区域，从而大幅提升区域污水处理效率，提高排水系统应对极端天气的能力。

（二）管网选型与设计

管网管径和材质的选择要综合考虑设计暴雨重现期、集水区面积和后期运行维护要求等多种因素。针对三亚

崖州湾科技城道路工程,针对生物谷周边道路承载能力强、寿命长、承载能力强的特点,选择了高强度 HDPE 双壁波纹管,并对其进行了优化。该类管环刚度 $\geq 8 \text{ kN/m}^2$,可有效承受路面车辆荷载长期碾压,保证管网结构稳定性,与重载交通场景相适应。而对于诸如崖州湾污水处理设施互联互通工程中的提升泵站连通管线等排水压力较大的路段,采用具有高强韧特性的 DN600-DN1600 球墨铸铁管,能够保证大流量排水过程中的稳定,降低管道变形和断裂的风险。在设计阶段,引入了不稳定流计算模型,精确计算不同降雨条件下管网水力参数。以生物谷为例,进行 5~10 年一遇暴雨的模拟计算,优化管网坡度和管径。通过仿真计算和实测验证,优化后的管网排水能力比优化前提高 30% 以上,可有效应对暴雨天气排水需求,降低道路积水几率。

(三) 海绵城市融合设计

积极贯彻“海绵城市”的理念,将低影响发展设施引入道路排水系统。三亚崖州湾科技城生物谷项目中,将下沉式绿地和绿化沟渠进行合理的设计。在道路红线以内,大力推广透水路面。在生物谷某典型路段,已有 40% 的透水铺装面积,实际监测表明,其年产流控制率由传统排水方式的 50% 左右提高到 75%。与雨水花园相结合,形成多级雨水滞蓄、净化体系。雨水降至路面,部分经透水铺装下渗,另一部分流入下沉式绿地和雨水花园,经过植物吸附和土壤过滤等自然净化过程,其中一小部分经过净化处理后,再回流到城市排水管网中作为补充水源。另外,还可以用于道路绿化和灌溉,实现雨水的资源化利用,有效地减轻管网的排水负荷,还可以增加城市的生态景观要素,提高城市的生态环境质量。

三、城市道路排水系统施工关键技术

(一) 管网施工精度控制

在实际施工中,为精确控制管网的线形和坡度,需要采用 GPS 和水准仪相结合的先进测量方法。结合海南省三亚崖州湾科技城排水管网建设项目,针对生物谷再生水管线 4 公里长的管网,施工团队按照 50 m 布设控制桩,制定精细的控制方案。这些控制桩就像是管网建设中的“精准坐标”,由施工人员在专业测量设备的帮助下,实时测量并动态调整桩点位置,严格控制在 ± 3 毫米以内。这种高精度控制,保证管网纵向坡度均匀合理,使雨水在管网中形成流畅的水力流态,有效地防止由于高程偏差而造成的局部积水和排水不畅,使管网像一条“通畅的水道”,将路面上的积水迅速排出。对于非开挖施工技术,如顶管、盾构法等,其精度要求更高。针对崖州湾段跨公路管网的施工场景,需要实时监测一系列关键参数,包括顶进速度、顶压力变化、纠偏角度等。快速顶进会引起前方土体的强烈扰动,引起地面沉降或管线偏移,顶压力的异常变化,可能预示着管线遇到了障碍或地质条件的突变,如果不能很好的控制纠偏角度,

将导致管线的走向与设计轴线偏离。当监测数据显示异常时,施工人员要及时做出反应,及时调整顶进速度和纠偏角度,最大限度地保证管线对接偏差在 5 毫米以内。由于在管网非开挖施工过程中,管线对接偏差过大,不仅破坏了管网的整体连通性,而且可能造成管网错位,在后续的排水过程中,会造成水流不畅、局部淤堵,严重的甚至会导致管网断裂等严重的排水问题。因此,对每个施工参数的精确控制,是打好管网建设质量基础,保证排水系统正常运行的关键。

(二) 海绵设施施工要点

“海绵设施”建设追求材料和工艺的深度融合,从基层到面层,每一个施工步骤都有严格的标准和要求。作为路面承载基础的基层,其压实度要达到 $\geq 95\%$,是保证基层具有充分承载力的关键,它可以有效地抵抗路面车辆长期碾压产生的荷载,避免基层发生沉降和变形,从而影响透水路面结构的稳定性。同时,渗透层的孔隙率必须精确控制在 15%-25% 之间,如果孔隙率太小,则会导致雨水的下渗通道变窄,从而降低渗透率。过高的孔隙率将导致路面结构的强度降低。生物谷道透水铺装材料选用 C30 透水混凝土,骨料粒径控制为 5~10 mm,这一选材和参数设置都经过了大量的实验验证。一方面,可以保证透水路面良好的透水性能,使落在路面上的雨水能够迅速渗入路面,补充地下水。另一方面,透水路面能够满足日常道路交通的承载要求,能够承载车辆移动荷载,实现透水路面的“透水”和“耐用”。在沉陷式绿化工程中,回填土比例是影响其功能发挥的一个重要因素。施工人员将腐殖土和沙土的比例控制在 3:7,腐殖土中含有丰富的有机质,能给植物提供营养,而沙土则能保证土壤的透气性和透水性,这两种物质共同作用,就是给植物提供了一个良好的生长环境。同时,合理设置泄水孔和泄水孔,使之成为“安全阀”,应对极端降雨事件。当降雨过多,超出了下沉式绿地本身的调蓄能力时,可以通过溢流口和排水管等方式将雨水排出,保证雨水的滞蓄和排泄过程顺利有序,避免因积水过多而导致绿地积水,影响植物生长和设施功能。在建设过程中,也同时营造植被群落,如生物谷的下沉式绿地选择再丽花、菖蒲等植物,这些植物具有很强的耐涝性,能够在有积水的环境下生长,并且能够很好地净化和吸收雨水中的悬浮物、有机质等污染物,使海绵设施既能发挥排水的作用,又能发挥生态修复的作用,为改善城市水环境做出贡献。

(三) 施工协同与质量管控

市政道路排水工程建设涉及管网、海绵设施、道路等多个专业领域,这些专业相互交叉,相互影响,其协同工作的重要性不言而喻。为此,三亚崖州湾科技城项目专门成立一套施工协调机制,在规划阶段就下足功夫,同时规划管网建设和路面基层建设。项目管理小组将对

管网建设的时间节点进行细化，如道路基层施工进行到哪个标段哪个阶段时，管网建设应该进行到相应的位置；同时划定明确的施工分区，使管网施工和路面基层施工在空间上进行合理划分和有序衔接。这样可以有效地避免道路基层施工结束后，由于管网施工开槽作业而损坏已有路面基层结构，极大降低了后期交叉作业对管网造成损伤的风险，使得整个排水系统的施工像“流水线”一样流畅。在质量控制上，严格执行施工班组自检、工序交接互检和专业质检人员专检等“三检”制度。每一道工序完工后，均需进行“三重检查”，以确保工程质量达到标准。对于关键部位，如管网接口、防渗层等，采用闭水试验、渗透试验等专业测试方法，严格把关。通过对崖州湾污水处理设施互联互通工程的实例分析，发现该系统的闭水试验合格率可达 100%。在这种严格的质量控制过程中，可以对施工过程中出现的质量问题进行及时的检测，保证排水系统建成之后的运行可靠性，降低漏水、渗水等问题的发生，从而延长排水系统的使用寿命，使城市的道路排水系统能够长期稳定地守护着“不看海”的城市，为城市的正常运行和居民的生活提供可靠的保障。

四、工程案例

(一) 三亚崖州湾科技城生物谷再生水管网及连接管施工案例

三亚崖州湾科技城生物谷再生水管网及管网工程主要是以污水的净化和再利用为主，不涉及雨水系统的问题。针对区域山地地形复杂，坡度较大的特点，提出了“精确布管，高效连通”的原则。

工程包括纵八路、纵一路等路段，输水管网总长约 7 km，采用 DN100 型球墨铸铁管沿路单边敷设，管顶深度严格控制在 1.4 m 以上，跨段采用外接钢管桥架加强抗荷能力。连接段为 DN400 污水连通管 122 m，DN100 再生水 90 m，6 m 深沟采用 9 m 拉森桩支撑，保证施工安全（如表 1）。

施工过程中，采用 GPS 和水准测量相结合的方法，每隔 50 m 布设一根控制桩，其轴线偏差小于 ±3 mm，保证了管网的铺设精度。同时配套安装 121 口电闸闸阀，严格执行“三检”制度，闭水试验合格率 100%；项目建成后，可满足生物谷生态绿地的灌溉和道路冲洗用水的需要，达到污水资源化利用的目的。

表 1 管网施工表

项目维度	具体数据	说明
管网规模	总长约 7km，含 DN400 管 122m、DN100 管 90m	采用球墨铸铁管，跨段设钢管桥架
施工精度	轴线偏差 < ±3mm，每 50m 设控制桩	用 GPS 和水准测量保障精度
项目成效	闭水试验合格率 100%，配套 121 口闸阀	满足灌溉、冲洗需求，实现污水资源化

(二) 三亚崖州湾科技城生物谷外围道路一期工程排水系统案例

三亚崖州湾科技城生物谷外围道路一期工程的排水系统，雨水排放以边沟排水和桥涵箱涵排水为核心方式。工程充分结合区域地形特征，创新采用“分散集流，分层输流”模式，科学布局 HDPE 双壁波纹管等管网，同时深度融入海绵城市理念，合理设置下沉式绿地、透水铺装等设施，形成了高效协同的排水体系。施工过程中，借助 GPS 和水准仪精准控制管网铺设精度，确保排水路径顺畅；对海绵设施的材料配比与施工工艺进行严格把控，保障其生态调蓄功能的有效发挥。

该项目的建成，显著提升了区域排水能力，能够高效应对暴雨天气，大幅降低路面积水风险，在满足交通通行需求的同时，也充分兼顾了生态效益，为区域的可持续发展提供了有力支撑。

(三) 崖州湾污水处理设施互联互通工程案例

崖州湾污水处理设施互联互通工程聚焦污水排放两个区域的互联互通。崖州湾存在污水系统分散、资源浪费问题：崖城水质净化厂满负荷运行，创意新城污水处理一厂低负荷闲置，大学城板块无处理设施。工程通过新建 2.0 万 m³/d 一体化提升泵站收集大学城污水，敷设 DN600 连通管 7900m 连接水南泵站与两座污水厂，

实现两区域污水排放互联互通。管网协同调度下，暴雨时可分流积水，均衡处理负荷，区域排水效率提升 30% 以上，既解决大学城污水处理难题，又盘活闲置设施，保障雨季排水安全。

结语

随着我国城镇化进程的不断推进，科学技术的不断创新，城市道路排水系统的设计和建设也面临着前所未有的机遇和挑战。我们要积极探索更加科学合理的设计思路，不断引进先进的施工工艺，使之更好地满足城市的发展需要，为建设更加宜居和可持续的城市做出自己的贡献。

参考文献

- [1] 李奇仁. 城市道路水泥混凝土路面改造工程设计 [J]. 江苏建材, 2024, (05): 75-76.
- [2] 赵阳, 程喆, 徐淑颂, 辛蕾, 孙晓玉. 道路排水系统对城市内涝防治的影响及优化措施 [J]. 水上安全, 2024, (08): 95-97.
- [3] 徐灵华, 曾云辉, 胡腾宇, 申屠华斌, 郭帅. 连续道路上多雨水口径流特性数值模拟研究 [J]. 天津建设科技, 2023, 33(05): 7-13.

作者简介：伍讯，（1990.04-），男，海南三亚人，学历本科。现阶段，持有中级工程师职称，主要从事建筑工程项目管理工作。