

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.003

基于“分质分区处理”理念的工业厂房海绵改造策略

揭小锋, 郭迎新, 周丹, 马洪涛, 杨硕, 林韵婕
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100044)

摘要: 工业厂房受其下垫面布局特殊、地下管线复杂及场地径流污染较重、景观不佳等因素影响,区别于小区和公共建筑,在海绵城市改造中具有其自身特点和难点。基于此,有针对性地提出改造策略,打破常规海绵做法,提出“分质分区处理”等创新理念,制定更适宜工业厂房的海绵设施改造方案。以某厂房为例,介绍具体技术改造措施和实施效果,以供同类项目参考。

关键词: 分质分区处理; 工业厂房; 海绵改造; 低影响开发; 年径流总量控制; 径流污染控制

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0014-06

Sponge City Reconstruction Strategy of Industrial Plant Based on the Concept of Quality and Regional Division Treatment

JIE Xiao-feng, GUO Ying-xin, ZHOU Dan, MA Hong-tao, YANG Shuo,
LIN Yun-jie

(Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,
Beijing 100044, China)

Abstract: Due to the special layout of underlying surface, complex underground pipelines, heavy site runoff pollution, poor landscape and etc., the industrial plant is different from residential areas and public buildings, and has its own characteristics and difficulties in the sponge city reconstruction. Based on this, the article puts forward a targeted reconstruction strategy, breaks the general sponge practice, puts forward innovative ideas such as quality and regional division treatment, and formulates a more suitable sponge facility reconstruction scheme for industrial plant. Taking an industrial plant as an example, this article introduces the specific technical reconstruction measures and the implementation effect to provide reference for similar projects.

Key words: quality and regional division treatment; industrial plant; sponge city reconstruction; low impact development; volume capture ratio of annual rainfall; runoff pollution control

国务院办公厅于 2015 年发布《关于推进海绵城市建设的指导意见》(国办发〔2015〕75 号),提出“通过海绵城市建设,最大限度地减少城市开发建设对生态环境的影响,将 70% 的雨水就地消纳和利用。到 2020 年,城市建成区 20% 以上的面积达到目标要求;到 2030 年,城市建成区 80% 以上的面积

达到目标要求”。工业厂区作为城市建设用地的重要组成部分,是实现海绵城市建设目标的重要载体,而工业厂房作为工业厂区的主要建筑,不同于小区或公建,受其用地性质和自身特点限制,如厂房底盘面积大、周边绿化率低、场地硬化率高、面源污染重、地下管线复杂、景观较差等,使得工业厂房的海绵改

造十分困难。国内对工业厂房的海绵改造研究较少^[1-2],在各地编制的海绵城市建设标准、规范和图集集中,将工业厂房纳入建筑与小区类型,并未强调其差异和特殊性。大多数厂房海绵改造项目仍采用较为常规的方法,难以体现与其他类型建筑海绵城市建设方案的区别,在解决工业厂房海绵改造具体问题的过程中难免有所掣肘和不足。基于此,对工业厂房的特征进行详细分析,突破传统设计思路和框架限制,提出创新理念,制定更切合工业厂房实际、更行之有效的海绵设施改造方案,以求更好地解决工业厂房海绵改造中的各种常见问题。

1 工业厂房海绵改造前典型特征和问题

① 下垫面类型具有厂区典型性。首先,厂房建筑面积占比大。因生产或存储需要,主体厂房占地面积大,一些厂房的大屋面采用虹吸排水,雨水径流量大,对雨水管网的排放造成压力;且工业厂房建筑屋面多为不上人屋面,不宜布置绿色屋顶,对其屋面径流的削减造成困难。其次,工业厂房绿化率低,绿化分布不均。因用地性质关系,工业用地对绿化要求较低,可供海绵改造的绿色空间不足;且绿地分布不均,一些厂房将绿化集中设置于厂前或办公形象区,而厂房建筑周边绿化则相对有限,这不利于海绵设施的布局和径流组织。最后,厂房地面硬化率高,铺装面积较少,且内部道路需承载大量重型货车,荷载要求较高,能够敷设透水铺装或透水沥青的区域十分有限,难以降低径流系数。

② 场地面源污染问题突出。工业厂房场地污染情况远比小区或公共建筑复杂,不同类型企业的污染物特征不同,如金属加工、机械制造与电子电器类企业,在生产过程中产生大量含有重金属、清洗液或油污的工业废水;而化学原料与化学制品类企业,在工艺生产过程中则产生有机废水、废渣及挥发性废气。这些污染物产生区域主要集中于工艺生产车间、设备管线清洗间、物料储存间等,难免对周边场地形成一定程度污染。此外,厂房的装卸区域、货运通道、货车停车场、废弃物堆置区,如处置不当,降雨时物品残渣、轮胎磨损、尾气沉降等随雨水排入管道,也会加重面源污染。

③ 相比小区或公建,地下管线类型布局更为复杂。工业厂房的地下管线种类繁多,除常见的给排水、中水、电力、通信、消防、照明外,还可能有生产所需的热力、油管、动力管线等,且地下管线多敷设

于绿地内,尤其在厂房建筑周边绿地内管线密度高,进一步压缩了海绵改造空间。地下管线涉及工厂生产,在海绵改造过程中对其进行保护十分重要。

④ 景观品质较差。工业厂房对景观要求一般不高,出于节约建设成本考虑,景观档次较低,另一方面为节约人工成本,厂房的绿化维护管养环节也显薄弱,以上因素导致许多工厂绿化品相单一,生态性、功能性较弱,部分厂区存在或裸土或杂草丛生现象,整体形象差。厂方对现状较差的厂房环境有追求良好品质的需求,而此类厂房景观有较大提升空间,较少投入即可取得明显的提升效果。在海绵改造过程中,需综合考虑工业厂房使用方的需求,提升景观的同时兼顾厂方经济要求和维护管养方便,寻找平衡点,力求性价比最优。

2 工业厂房海绵改造设计思路和策略

2.1 常规海绵改造方法和弊端

在常规的工业厂房海绵改造中,由于条件受限,首先尽可能对轻型道路、人行道、小型停车位等进行透水改造,将具备布置绿色屋面部位尽量设计成绿色屋面,降低下垫面径流系数。其次充分利用有限的绿地资源,设计成对场地污染物排放量及径流总量控制作用较大的生物滞留设施,并将屋面和地面径流组织进入生物滞留设施。最后结合回用需求和经济要求,考虑采用灰色雨水调蓄设施,以此实现场地海绵城市建设指标。

常规改造方案虽然简便可行,但对工业厂房来说存在一些弊端:第一,由于厂房可改造空间极其有限,在尽可能利用的前提下,指标可能仍难达到,而采用灰色雨水调蓄设施弥补指标不仅投资高,而且属于高碳排放措施,维护管理麻烦,不宜过多采用;第二,场地径流组织困难,尤其厂房建筑屋面径流量大而周边绿地少、生物滞留设施不足以消纳屋面雨水时,需考虑转输雨水,转输过路时需考虑破路和过车荷载,转距较远时影响下游受水高程,增加实施难度;第三,厂房地下管线众多,在开挖时使生物滞留设施难以实施或折减严重,且存在破管风险;第四,厂房绿地过多深挖坑后景观效果较差;最后,厂房屋面和地面雨水统一收集进入生物滞留设施,混合雨水水质较一般建筑差,增加设施处理负荷和难度,处理效率低,容易堵塞,维护管养困难。

2.2 分质分区处理设计理念

在对厂房的场地条件、下垫面分布、径流量和污

染特征等进行仔细分析和辨别后可以看出,工业厂房的屋面和地面径流存在明显的差异。工业厂房的屋面径流量大,水头高,相对洁净,应着重解决径流量控制和雨水资源再利用问题;而地面占比相对少,径流量小,水头低,污染物含量高,应把控制其径流污染作为首要目标。基于以上特征和考虑,可对厂房的下垫面径流进行“分区分质处理”,提出“高水高处理,低水低消纳”的设计思路。即通过划分海绵设施区块,对不同性质径流区分对待,收集处理屋面雨水的海绵区块地势高、面积大,设计时应优先考虑其调蓄能力。消纳地面水的区块地势低、面积小,设计时应突出其去污能力。因收水下垫面、水量、水质及水头不同,海绵设施的设计可以更加灵活,不仅针对性强,面源污染处理效率高、效果好,海绵设施分块便于维护,并且其优点在后面的问题解决策略中也将同时体现出来。

2.3 分质分区原则和技巧

在设计时应根据具体情况划分处理模块,根据屋面、地面、绿地分布位置和面积可在同一生物滞留设施内分区,也可将高区和低区处理模块单独分开设置。对工业厂房而言,其屋面径流量大,周边绿地少,厂房四周的生物滞留设施应优先用于收集屋面雨水,调蓄量不足时考虑径流量强化控制措施,调蓄量富余时再分配区域处理地面雨水。在解决屋面的大径流量控制问题后,地面雨水的指标负荷大为降低,仍采用较为传统的做法,就近引入附近海绵设施进行单独处理。

当厂方有雨水回用需求时,采用分质分区处理理念和技巧,优先回收较为干净且产流量大的屋面雨水,宜将雨水调蓄池设置于大屋面厂房附近,并将雨水立管串联引入调蓄池,而非常规的设置于雨水管网末端收集。如此可大大减小调蓄池埋深,也降低了末端混合雨水处理的难度,节约造价。

2.4 屋面径流量强化控制策略

由于屋面雨水水头高,接收高水的生物滞留设施下凹面可整体抬高,其蓄水下凹面并不一定在原绿地上开挖形成,也可在原绿地面上堆砌壁垒塑造,由此其蓄水深度可根据计算所需调蓄容量灵活调整和加强,增强针对厂房大屋面大径流量的控制率。

2.5 地面径流污染针对性削减策略

基于对工业厂房雨水进行“分区分质处理”理念,如何削减地面径流污染十分关键。根据工业厂

房场地污染特点,需进行精细化的识别分析,通过径流污染风险区域划分,对雨水资源进行精细化管理,合理组织地表径流,有针对性地进行处理。

对重度污染特殊企业,在进行海绵改造方案设计时,应研究厂区内土壤污染物(尤其重金属)含量与分布情况,结合生产工艺流程和建筑物布局,识别污染风险高的区域,避免在易受污染区域布置或将污染区域径流引入生物滞留设施,以防地表污染物随雨水进入绿地,造成土壤和水体二次污染。这类污染物应依托环保等相关部门对工业企业的监督管控为主,避免重度污染物泄漏于地表,在雨天冲刷进入排水系统。

对中度污染企业,应对其生产工艺、交通组织和运输货物特性等进行分析,识别存在环境污染风险的区域。污染较重区域的径流雨水不宜引入生物滞留设施,可在路面设置除污雨水口对地表径流进行净化,并在雨水管网的适当位置设置初期雨水弃流装置,将污染程度高的初期雨水排入污水管道。

对轻污染企业或区域,一般地表径流污染主要来自货运和小车,可设置沉砂井、卵石坑等对轻污染地表径流进行预处理,再引入复杂性生物滞留设施进一步净化。无条件设置生物滞留设施时也可通过除污雨水口对径流污染进行削减。

在厂房植物配置上,污染较重区域的绿化可适当选择对污染物有富集或固化作用的植物,降低生态风险。对废气排放物较多的企业或区域,可适当配置能净化空气的植物,改善空气质量。对削减轻污染径流的生物滞留设施,则应选择种植去污吸附能力强的植物。同时在后期的设施管养方面,针对削减地面径流污染的海绵设施的维护和管理应当加强。

2.6 地下管线保护策略

首先,应做好厂房管线物探工作,摸清厂房现状地下管线类型、位置、高程等,布置海绵设施时应尽量避让现状管线,尤其是重要危险管线。

其次,将用于收纳屋面雨水的生物滞留设施区块整体抬高,可减少海绵改造对绿地的开挖,最大限度地降低海绵改造对地下管线的影响。这在厂房建筑周边区域绿地少且管线密集的情况下尤其适用。

2.7 景观提升策略

常见厂房现状绿地比路面高15~20 cm,在进行海绵改造时,生物滞留设施为收集消纳路面径流

而将就路面最低点高程,下凹面需比路面低 10~20 cm,如此导致生物滞留设施与现状绿地高差过大,地形突兀,景观效果不佳。对此,采用分区设计理念,用于收集屋面雨水的生物滞留设施可整体抬高,避免深挖坑。其次,参考地产项目景观堆坡的设计理念,将开挖生物滞留设施生成的土方就地用于堆坡塑造微地形,增加种植土厚度,便于种植乔灌木,不仅塑造景观层次感,而且降低土方外运量,节约造价。最后需重视海绵景观设计,尽量按园林标准来配置植物,做到景观与功能协调统一。

此外,常见海绵设施如雨水立管断接出口、溢流口造型较为普通,尤其溢流口比生物滞留设施下凹面高,突出于地形,而厂房海绵改造中此类设施数量众多,依托植物遮掩或放坡修饰难以自然融入四周环境中。因此,在对常见海绵设施进行景观设计时,可采用涌泉式、水车式出水口和溢流球等,打造园林小品,提升品质,使海绵设施与景观有机结合。未来还可考虑引入 3D 打印技术,结合企业文化和周边环境进行定制设计和生产,使海绵设施产品更加丰富实用。

3 工业厂房海绵城市改造案例

3.1 厂房概况

某厂房为大型卷烟生产基地,属市骨干企业,占地面积 160 500 m²,其中建筑 76 105 m²,硬化地面 38 113 m²,绿化 46 282 m²。厂内主要建筑为联合厂房、动力中心、生产车间、仓库和食堂等,1~3 层高,基本为不上人混凝土屋面。该厂规模体量大,不透水面积大,对市政管网造成巨大的起端排放压力;据了解,周边现状市政雨水管网仍按旧规采用 1 年重现期标准设计,厂房存在一定内涝风险;同时厂内也存在较大区域的面源污染。因而决定对该厂进行海绵改造,旨在解决积涝隐患和径流污染问题。

3.2 场地改造条件分析

厂房下垫面分布见图 1。就下垫面而言,该项目不透水硬化率高达 71.2%,尤其联合厂房面积过大,约占地总面积 40%,绿化率为 28.8%,虽然绿化率不低但大部分布置于厂房东侧。就场地污染物而言,该厂为环保示范企业,生产过程产生的废水、废气、废渣,均经过相关环保设备处理,达到零排放标准,除日常有重型车辆出入,总体上污染程度较轻,且该厂已建成较完善的中水回用系统,生产废水经厂内中水站处理后再生回用于绿化浇灌。就地下

管线而言,厂内现状地下管线众多,包含给水、消防、中水、热力、动力、输油、高低压电力、电信、综合缆线沟等,联合厂房四周绿地内布置尤为密集,且厂方对管线保护高度重视,严禁影响工厂生产任务。就景观而言,该厂现状景观经过专业设计,品质较好,在保证原来景观效果的基础上进行海绵改造和提升反而是一个难点。

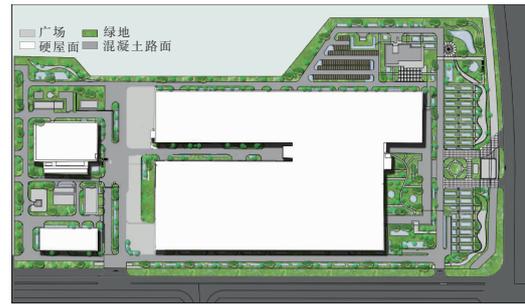


图 1 厂房下垫面分布

Fig. 1 Distribution of ground surface types within the industrial plant

3.3 海绵改造方案

该厂属于典型的常见工业厂房形态,传统的海绵城市改造措施难以适用。该厂屋面面积大,在雨水资源利用方面,厂内已有中水回用系统,暂不考虑对屋面雨水进行回收利用,而优先解决其径流总量控制问题;地面径流污染程度较轻,可考虑引入生物滞留设施进行针对性强化处理。总体上拟运用雨水“分质分区处理”理念,统筹解决该厂海绵改造中的难题。

以联合厂房西侧某汇水分区为例(见图 2),该分区有联合厂房的一根虹吸排水立管直排入雨水井,立管对应屋面汇水面积 1 034 m²,拟将其截断引至生物滞留设施高区;而地面水引至外围管线较少的生物滞留设施低区,两分区用堆坡绿地和植草土坎进行分隔。

高区侧重控制大型屋面的径流量,其蓄水完成面由开挖低区生成的土方堆砌形成,最低点标高不受来水高程限制,因而蓄水层深度可灵活调整,即使在高区面积受限情况下,蓄水深度仍可通过堆砌壁垒地形来增加,从而达到控制大径流总量的目的。高区的蓄水层深 25 cm,考虑植被、放坡等因素,其计算蓄水深度折减为 20 cm,加之生物滞留设施下部结构的蓄水能力,生物滞留设施的总体有效调蓄深度可达 25 cm。

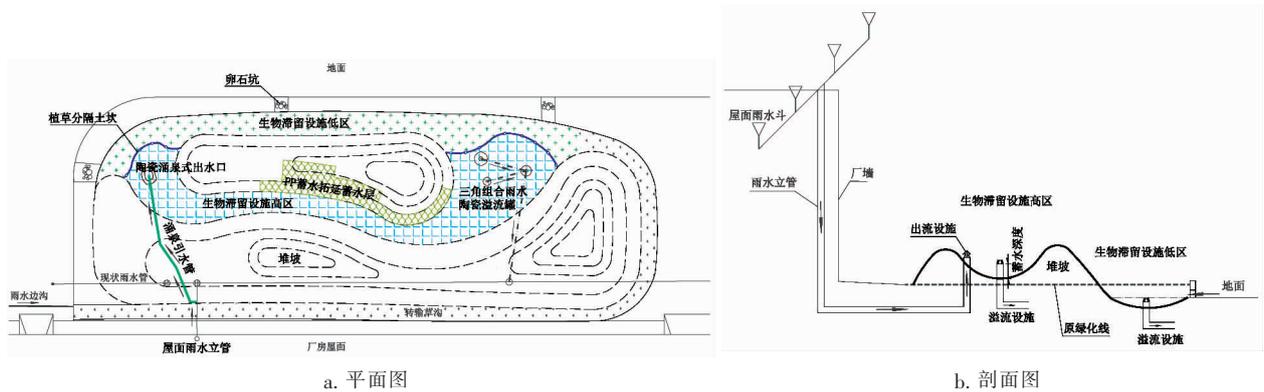


图 2 “分质分区处理”平剖面图

Fig. 2 Plan and section diagram of distinguish water quality and regional division treatment

经计算,因屋面径流量过大,堆坡占用绿地在一定程度上压缩了高区生物滞留设施面积,使其调蓄量略显不足,虽然可通过竖向增高蓄水深度来补充,但为体现分区设计的灵活和示范性,拟在堆坡绿地下埋设表层蓄水模块来横向延伸下凹蓄水层,实现在“下凹面”上堆坡绿化、在堆坡绿化下拓展“下凹面”,增加蓄水空间。表层蓄水模块采用 25 cm 成品 PP 模块,孔隙率约 90%,采用透水土工布包裹,由侧面进水,并设置卵石层过滤,模块内的雨水可下渗或蒸发,被堆坡绿地利用(见图 3)。

生物滞留设施的低区除尽量满足调蓄量要求外,更侧重对地面径流污染的削减,因而在低区设置

卵石坑,起到对地表初期雨水沉淀过滤的作用,同时在低区种植旱伞草、石菖蒲等除污能力强的植物对地表雨水进一步净化。该分区总体调蓄量计算见表 1。

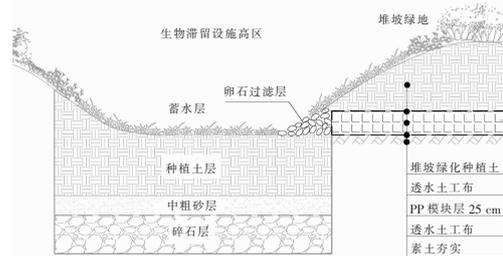


图 3 PP 模块拓延蓄水层空间

Fig. 3 PP module expansion aquifer space

表 1 生物滞留设施调蓄量计算

Tab. 1 Calculation of storage capacity of bio-retention facilities

| 分区 | 下垫面类型 | 雨量径流系数 | 下垫面实际面积/m ² | 计算径流面积/m ² | 综合径流系数 | 70% 径流总量控制率 (对应降雨量 26.8 mm) 所需调蓄量/m ³ | 海绵设施有效调蓄深度/m | 海绵设施调蓄容积/m ³ |
|----|------------|--------|------------------------|-----------------------|--------|--|--------------|-------------------------|
| 高区 | 硬屋面 | 0.90 | 1 034.0 | 930.6 | | | | |
| | 绿地 | 0.15 | 544.6 | 81.7 | | | | |
| | 生物滞留设施(高区) | 0.15 | 92.0 | 13.8 | | | 0.25 | 23.0 |
| | 表层蓄水模块 | | 21.3 | | | | 0.23 | 4.8 |
| | 总计 | | 1 691.9 | 1 026.1 | 0.61 | 27.5 | | 27.8 |
| 低区 | 硬地面 | 0.90 | 460.6 | 414.5 | | | | |
| | 绿地 | 0.15 | 155.4 | 23.3 | | | | |
| | 生物滞留设施(低区) | 0.15 | 61.2 | 9.2 | | | 0.20 | 12.2 |
| | 总计 | | 677.2 | 447.0 | 0.66 | 12.0 | | 12.2 |

3.4 景观提升方案

现状绿地为普通平绿地,将海绵改造与景观相结合,对绿化进行整体提升。在微地形塑造时,将开挖生物滞留设施生成的土方堆坡形成岛屿造型,增加景观层次感。在植物选用上,堆坡绿地不受植物

耐淹耐旱要求限制,采用三角梅、鸡蛋花、黄金绒球、细叶萼距花、亮叶朱蕉、沿阶草等乔灌木和地被进行搭配,并保留了现状小叶榄仁,使整体品相色彩丰富,高低错落有致。在高区生物滞留设施带内种植马尼拉草为主的地被植物,在低区生物滞留设施带

内则以旱伞草、石菖蒲等去污能力强的小型灌木和草本植被为主。

同时设置景观置石加以点缀,并对海绵设施进行专项设计,采用取材容易、加工方便且较为经济的陶罐涌泉式出水口和雨水陶瓷溢流罐,既实用又美观,在保障海绵设施功能的同时,提升景观品质。

表2 雨水陶瓷溢流罐溢流量计算

Tab.2 Calculation of rainwater ceramic overflow pot

| 项目 | $P=5\text{ a}$ 暴雨强度/ ($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$) | 屋面汇 水面积/ m^2 | 暴雨设计流 量/($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$) | 溢流罐最底排 打孔计算堰长/m | 计算堰上 水头/m | 单罐溢流量/ ($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$) | 需设 罐数/个 |
|----|---|--------------------------|---|--------------------|--------------|--|------------|
| 数值 | 419.972 | 1 034.5 | 39.1 | 0.50 | 0.10 | 13.5 | 3 |

3.5 实施效果

本项目面积大,基于“分质分区处理”的理念,通过增强高区生物滞留设施的调蓄能力,完成了70%的年径流总量控制率,实现雨水错峰削峰排放,有效降低雨水管网排水压力;通过强化对地面径流污染的削减,达到42.1%的径流污染物控制率要求,有利于下游水体水质的保护,降低水污染治理的成本。

项目完工后历经数次强降雨,排水及时,无内涝发生。在满足年径流总量和径流污染控制率目标的同时,也改善和提升了厂房环境和景观效果,缓解热岛效应。该工程提出了海绵城市建设创新设计理念和思路,将海绵建设先进建设理念进行推广,可为构建低影响开发雨水系统,有效解决城市洪涝灾害及雨水污染等问题提供参考。

4 结语

工业厂房作为城市化建设进程中的重要组成部分,以工业厂房为基础研究海绵城市技术方案具有较强的现实意义。

在对工业厂房进行海绵城市改造时,需结合厂房特点有针对性地制定和优化海绵方案,对场地精细化管理,实现雨水径流分类有序组织,从源头上控制径流量和径流污染。特别是采用“分质分区处理”的海绵城市设计理念后,可综合解决工业厂房屋面径流量强化控制、场地径流污染针对性削减、地下管线有效保护、景观品质大幅提升等多种问题,取得一举多得的效果,在工业厂房的海绵城市改造中值得推广和借鉴。

溢流罐下设置小型暗井连接至室外雨水井,为保障雨水溢流罐的功能,需对其溢流量进行核算。采用堰上水头溢流公式,以高区溢流罐为例,其溢流量需满足屋面设计重现期(5年)的暴雨设计流量,经计算需设置3个溢流罐,布置成三角组合形式,计算如表2所示。

参考文献:

- [1] 孟军. 海绵型工业园区关键技术与设计方案研究[D]. 南京:东南大学,2015.
Meng Jun. Study on Key Technology and Design of the Sponge Industrial Park [D]. Nanjing: Southeast University, 2015 (in Chinese).
- [2] 黄黛诗,王宁,吴连丰,等. 海绵城市理念下既有工业厂区建设方案研究[J]. 给水排水,2019,45(11):63-66,73.
Huang Daishi, Wang Ning, Wu Lianfeng, et al. Research on the construction scheme of industrial factories based on sponge city concept [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(11): 63-66, 73 (in Chinese).



作者简介:揭小锋(1984-),男,福建龙岩人,本科,高级工程师,从事海绵城市建设、黑臭水体整治、污水系统提质增效相关的规划、设计和咨询工作。

E-mail:280495619@qq.com

收稿日期:2020-04-08