

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.11.031

“海绵机场”建设思路探索 ——以广州白云机场三期为例

冯兴学¹,吕永鹏²,凌语珍¹,申冠鹏¹,申延波³,齐 珺²,马 玉²,尹冠霖²,李 璇²

[1.广东省机场管理集团有限公司,广东 广州 510470; 2.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092;
3.民航机场规划设计研究总院有限公司,北京市 101318]

摘 要:如何科学有效地解决机场大面积硬化飞行区带来的内涝积水问题,提高机场的安全运行效率,是机场海绵城市建设过程中亟须解决的问题之一。以广州白云机场三期扩建工程为例,以“飞行区快排、工作区存蓄”的思路,分区落实年径流总量控制率和年径流污染削减率指标,通过新建绿色设施与既有排水设施结合,探索出了一套海绵型机场建设方案,可为其他城市机场建设融合海绵城市理念提供借鉴。

关键词:海绵城市;机场;水安全

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)11-0110-05

0 引言

自 2015 年 10 月国务院办公厅发布《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见(国办发〔2015〕75 号)》,要求到 2020 年城市建成区 20% 以上的面积达到海绵城市目标要求,到 2030 年城市建成区 80% 以上的面积达到目标要求^[1],标志着在全国范围广泛推行海绵城市建设的开始。海绵城市的本质是根据城市生态需求,以城市雨水综合管理理念加强城市规划建设和管理,促进雨水的吸纳、蓄渗和缓释,改善城市的水循环过程,建设“自然积存、自然渗透、自然净化”的“水弹性城市”。

传统机场建设大面积硬化飞行区带来内涝积水等水安全问题,影响机场安全运行效率,许多城市机场新改扩建引入海绵城市理念。例如北京新机场项目,一期不透水铺装占总用地面积的 69%,机场按照“源头滞蓄减排+过程绿色控制管理+末端生态调蓄入渗”的全体系统化绿色雨水管理系统,基本实现了削峰、蓄利、去害的目的^[2]。

白云机场是粤港澳大湾区经济发展的战略性基础设施,打造全球性综合航空枢纽,建设安全高效、便捷可靠、绿色环保的国际枢纽机场,是广东省广州市落实“粤港澳大湾区”“一带一路”国家战略的重

要举措。为践行将白云机场打造成“平安、绿色、智慧、人文”的“四型机场”的建设理念,研究将海绵城市的理念应用到机场建设中,引导机场建设成为具有吸水、蓄水、净水和释水功能的“海绵机场”,提高机场排水防涝能力,削减机场径流污染负荷,实现对场地开发影响最小化,并提高机场的雨水资源利用效率。

1 机场概况与存在问题

白云机场位于广州市北部,白云区人和镇和花都区新华街道交界处,距广州市中心直线距离约 28 km,于 2004 年 8 月 5 日正式启用,现状卫星影像图如图 1 所示。目前正在使用的为一期、二期。为满足持续增长的航空运输需求,白云机场计划实施三期扩建工程,拟新增建设用地 15.6 km²,包括飞行区、航站区、工作区、货运区等。本文以机场三期扩建工程为研究对象,开展“海绵机场”建设策略探索。

白云机场场区地形平坦,地势由西北向东南倾斜,拟建三期范围内现状主要为水田、菜地、果园、村庄、道路。场区内地下水位较高,埋藏较浅,为 0.50~5.20 m,多在 0.60~1.50 m 之间。

目前白云国际机场雨水管理主要依托围场排渠、排水沟和排水泵站等灰色雨水设施,形成了以“快排为主”的雨水管理体系。随着全球气候变暖,极端暴雨天气日益频发,“快排”模式下的白云国际机场在暴雨汛期,场区市政雨水管渠系统的排水压力巨大,场区

收稿日期: 2022-06-05

基金项目: 上海市水务局课题(沪水科 2021-03)

作者简介: 冯兴学(1971—),男,硕士,高级工程师,从事民用机场规划、建设工作。

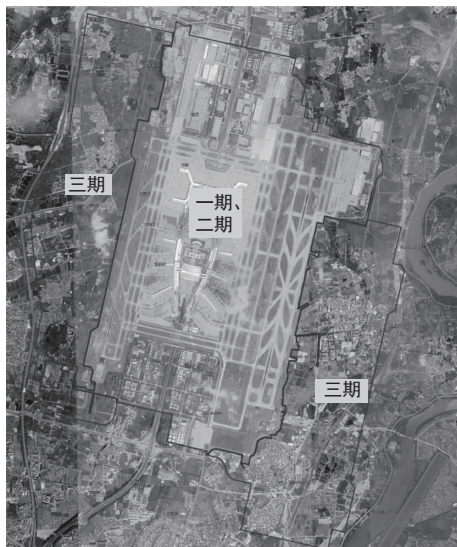


图1 白云机场现状卫星图

容易发生内涝灾害。

2 机场海绵建设目标和指标

白云机场海绵城市建设的目标是针对水安全、水环境等问题,通过源头减排、过程控制、末端调蓄等多种手段,采用渗、滞、蓄、净、用、排等多种技术,通过灰绿结合,以消除内涝风险为核心,实现机场三期扩建项目水安全保障、水环境改善、水生态修复、水资源优化配置的综合目标。

根据国务院《关于推进海绵城市建设的指导意见》(国办发〔2015〕75号文件),对照住建部2015年印发的《海绵城市建设绩效评价与考核指标》和水利部《关于推进海绵城市建设水利工作的指导意见》的要求,在充分衔接《广州市海绵城市专项规划》指标体系取值的基础上,结合广州白云国际机场的功能定位、区域特征等实际,确定广州白云国际机场三期扩建海绵机场建设指标体系,选取四大类共7项建设指标,具体内容见表1。

表1 白云机场三期扩建项目海绵机场建设指标体系

类别	序号	指标名称	指标值	指标性质
水环境	1	年径流污染削减率	≥50%(以SS计)	约束性
	2	地表水环境质量	Ⅳ类水	约束性
水生态	3	年径流总量控制率	≥74%	约束性
水资源	4	雨水资源利用率	≥3%	约束性
	5	内涝防治标准	100 a 一遇	约束性
水安全	6	排水系统标准	5 a 一遇	约束性
	7	防洪标准	100 a 一遇	约束性

3 海绵机场分区管控

根据机场不同场地使用功能的不同,分为工作区、飞行区、航站区、货运区等。工作区是保证运输或

飞行活动能持续安全进行而设置的各种地面设施区域,包括各类办公用房等。飞行区是用于飞机起飞、着陆和滑行的区域,包括跑道及升降带、滑行道、停机坪等。

科学合理进行指标分解及其后期管控落实是海绵城市规划建设的核心,直接关系到不同分区规划建设策略的可行性与经济性。以汇水分区为基础,结合机场功能分区,将白云机场三期工程划分为9个海绵机场建设汇水分区,以“飞行区快排、工作区存蓄”的思路,分区落实年径流总量控制率和年径流污染削减率指标。

首先针对各汇水分区特点进行年径流总量控制率和年径流污染削减率(以SS计)的初步确定,后续对各汇水分区进行海绵设施规划设计,通过计算海绵设施规划后的各汇水分区的年径流总量控制率和年径流污染削减率(以SS计),再与初步确定的分解指标值进行校验校对与合理调整,最终得出指标分解结果。

机场工作区主要为建筑、绿地等,海绵指标设置略高。飞行区为保证机场运行安全,以快排为主,海绵指标略低。根据各汇水分区下垫面初步分析,白云机场三期扩建工程年径流总量控制率为74%。其中,工作区年径流总量控制率为80%;飞行区年径流总量控制率为50%。白云机场三期扩建工程9个汇水分区年径流总量控制率指标分解结果见表2和图2,年径流污染削减率指标分解结果见表2和图3。

表2 白云机场三期扩建项目分区管控指标 单位:%

汇水分区编号	功能区	年径流总量控制率	年径流污染削减率(以SS计)
1#	工作区、飞行区	78	50
2#	飞行区、航站区	45	30
3#	航站区、货运区、飞行区	81	55
4#	飞行区、航站区	58	40
5-1#	货运区、航站区、飞行区	78	50
5-2#	货运区	78	50
6#	工作区、航站区、飞行区	85	60
7#	飞行区	86	55
8-1#	航站区	55	40
8-2#	航站区	55	40
9#	工作区	90	60

在各汇水分区海绵设施布局方案确定的基础上,校核设计方案是否符合年径流总量控制率要求。

以3#汇水分区为例,3#汇水分区总面积为221.7万m²,其中绿化面积为202.5万m²,建筑和道路面积为19.2万m²。该区域共包含飞行区和货运区

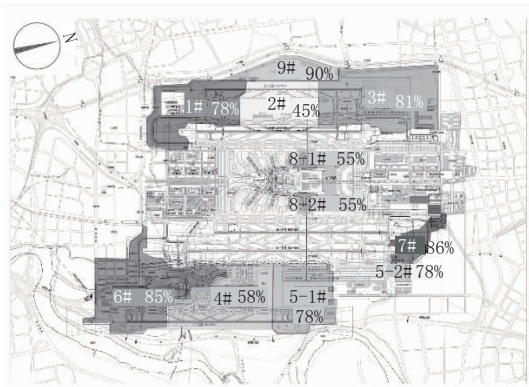


图2 白云机场三期扩建工程年径流总量控制率分解结果

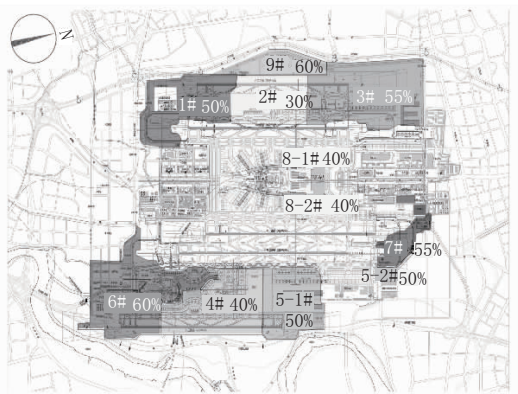


图3 白云机场三期扩建工程年径流污染削减率分解结果

两种用地性质。根据地形地势,在3#汇水分区内的停机坪的西侧和货运区北侧设计下沉式绿地,下沉深度均为15 cm,面积为8.7万 m²,绿地植物种植选取不易招惹虫鸟的种类单一的植物。飞行区由于其工程的特殊性,不宜采取常规海绵措施对雨水进行处理,在跑道与滑行道、滑行道之间设置潜流净化带,规模共计2 718 m²,潜流净化带设计宽度为1.5 m,位置设置在跑道雨水渠靠近跑道的一侧。在潜流净化带靠近跑道一侧设置等长的卵石带,用来减少雨水冲击并引导水流。3#汇水分区海绵设施布局见图4。

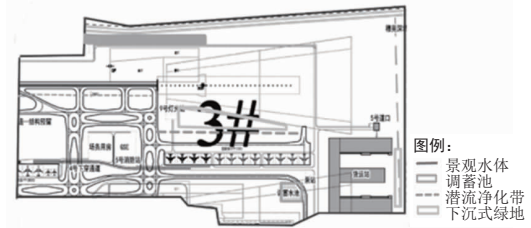


图4 3#汇水分区海绵设施布局图

根据海绵设施布局方案,按照如下方法校核径流控制指标。

理论调蓄量

$$V = 10 \varphi FH$$

式中: V 为理论调蓄量,m³; φ 为径流系数; F 为汇水面积,hm²; H 为设计降雨量,mm。

根据广州白云国际机场年径流总量控制率与设计降雨量关系统计表,其中81%年径流总量控制率下对应的设计降雨量为38.7mm。

$$H_{\text{可控}} = \frac{V_1}{10 \varphi F}$$

式中: $H_{\text{可控}}$ 为实际条件下可控制的降雨量,mm; V_1 为实际调蓄量,m³; φ 为径流系数; F 为汇水面积,hm²。

经计算,按规划实施后,3#汇水分区实际调蓄量18 572 m³,可控制降雨量39 mm,实际年径流总量控制率81%。

通过各汇水分区海绵设施实际年径流总量控制率校核,白云机场三期海绵设施布局总体可满足年径流总量控制率74%的目标,可控制降雨量29.4 mm。各汇水分区年径流总量控制率校核情况见表3。

4 机场海绵系统建设方案

4.1 机场排水防涝安全保障

水安全保障是白云机场安全运行的关键,统筹

表3 白云机场三期扩建项目年径流总量控制率核算表

汇水分区编号	区域总面积/hm ²	理论调蓄量/m ³	设施名称	实际调蓄量 V ₁ /m ³	H _{可控} /mm	年径流总量控制率/%
1#	207.7	28 808	下沉式绿地 + 调蓄池	32 775(源头调蓄量:8 549;调蓄池:24 226)	33.2	78
2#	157.9	25 960	—	—	—	45
3#	221.7	13 905	下沉式绿地	18 572(源头调蓄量:13 122;调蓄池:5 450)	39	81
4#	261.1	52 113	下沉式绿地	31 768	17.8	58
5#	220.2	44 759	下沉式绿地 + 调蓄池	50 890(源头调蓄量:23 728;调蓄池:27 162)	33.2	78
6#	347.4	75 161	高架海绵 + 雨水花园 + 下沉式绿地 + 调蓄池	114 544(源头调蓄量:34 561;调蓄池:79 983)	44.5	85
7#	49.1	4 692	下沉式绿地	8 146(源头调蓄量:4 869;调蓄池:3 277)	50.7	86
8#	10.1	2 305	下沉式绿地 + 透水铺装 + 调蓄池	1 200(源头调蓄量:400;调蓄池:800)	16	55
9#	88.6	20 854	下沉式绿地 + 景观水体	41 422(源头调蓄量:611;景观水体:40 811)	58	90

考虑包括一期、二期在内的整个机场的排水需求,结合现状已有管网、排水设施,提高机场排水防洪能力。按照机场相关规划和《民用机场排水设计规范》要求,机场排水系统标准应达到5 a一遇,内涝防治标准采用100 a一遇,防洪标准采用100 a一遇。主要建设思路是通过新建绿色设施与既有给排水设施结合,提高区域调蓄能力,削减排水峰值,降低区域内涝风险。

竖向规划是海绵城市建设的重要内容,也是充分利用地形条件合理组织雨水径流的重要手段。白云机场三期已建成区基本维持现状道路及地块高程,未建成区在保证飞行安全并兼顾雨水管道覆土要求、防洪防涝要求级道路衔接要求的基础上综合确定。

防洪方面,对机场可能产生洪水危害的场外河道有流溪河和兔岗坑。规划对流溪河按照100 a一遇标准加固,同时将机场东侧红线外右干子渠渠堤加宽2 m、加高1 m并加设1 m高的防浪墙。在场外排水系统50 a一遇和100 a一遇洪水顶托时确保机场能正常运行。

场内排水防涝方面,航站区暴雨重现期按照10 a计算,下凹及下穿通道区域暴雨重现期按照30 a计算,其他区域暴雨重现期按照5 a计算。与机场三期扩建排水设计方案相衔接,增设包括调蓄池、景观湖和排水明渠在内共计180万m³的调蓄容积,蓄排结合,保障机场排水安全。机场三期各汇水分区排水去向和调蓄设施布局见图5和表4。

4.2 机场雨水径流污染控制

水环境径流污染控制是低影响开发(海绵)雨水系统的控制目标之一,SS往往与其他污染物指标具

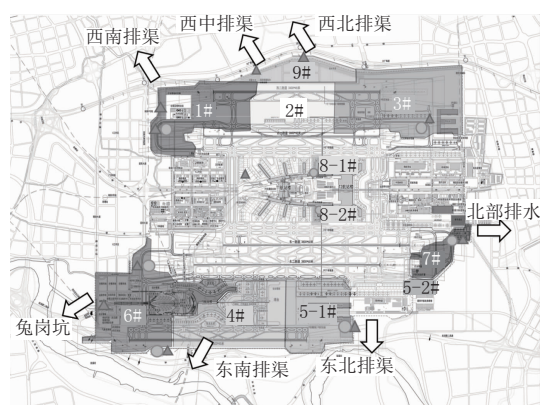


图5 机场排水去向及调蓄设施示意图

有一定的相关性,因此采用SS作为径流污染物控制指标。

根据不同片区下垫面条件和功能布局,在保障飞行安全的前提下合理布局低影响开发设施,年径流污染削减率根据年径流总量控制率和低影响开发设施对SS的平均去除率计算:

$$\text{年径流污染削减率} = \text{年径流总量控制率} \times \text{低影响开发设施对SS的平均去除率}$$

以1#汇水分区为例,总面积为207.7万m²,该区域共包含绿化区和飞行区两种用地性质,其中绿化面积117.7万m²,飞行区面积90万m²。

对于南侧绿化区,根据地形地势在东南角远离跑道区域设计下沉式绿地面积5.7万m²,下沉深度15 cm。对于北侧飞行区,考虑到飞行安全,仅设置具有雨水净化功能的低影响开发设施,不设置调蓄设施。规划沿跑道在绿地内设置规模为3150m²的潜流净化带作为源头净化设施,潜流净化带设计宽度1.5 m。1#汇水分区海绵设施布局见图6。

按规划实施后1#汇水分区年径流污染削减率

表4 白云机场三期扩建调蓄容积

汇水分区	汇水面积 /hm ²	雨水流量 /(m ³ ·s ⁻¹)	有效调蓄容积 /万m ³	泵站(预留) /(m ³ ·s ⁻¹)	备注
1#	417	68.2	1.2	2.4	R1# 泵站及西南绕滑调蓄水池
			16.3	24(32)	W1# 泵站及西南排水明渠
2#	383	66.9	18.2	24	W2# 泵站及西中景观湖
3#	736	83.9	1.8	3.6	R2# 泵站及西北绕滑调蓄水池(一批初设已完成)
			32.5	36	W3# 泵站及西北排水明渠
4#	284	42.7	13.1	14	E2# 泵站及东南调蓄水池
5#	674	86.1	34.2	30	E1# 泵站及东北调蓄水池
6#	884	91.7	10.9	14	R4# 泵站及东南绕滑调蓄水池
			38	36(41)	E3# 泵站及东南景观河道
			2.1	12	R3# 泵站及东北绕滑调蓄水池(北远机位二期工程)
7#	120	30	2.1	12	
	本期建设		168.3	196(209)	
	现状工作区河道:5 km		12		
总计	3 510	469.5	180.3	196(209)	

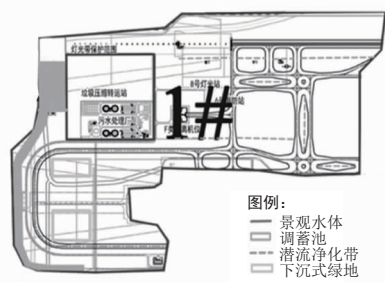


图6 1#汇水分区海绵设施布置图

(以SS计)为55%。

综合各分区的年径流污染削减率(以SS计),白云机场三期工程年径流污染削减率(以SS计)为54.28%,满足50%的要求。经过海绵设施净化及调蓄后的雨水将分别通过机场内部的排渠最终排向场外河道,海绵设施的建设对机场排入场外河道的雨水的水量 and 水质均具有一定保障作用。

4.3 机场排渠生态岸线修复

白云机场三期工程场地内共规划3条排渠。排渠布置见图7。排渠水生态系统修复遵循回归自然的理念,充分考虑机场的特殊性,以及每条场内排渠所处的分区环境、功能定位等因素,在满足排水安全、结构稳定的前提下,因地制宜修复水生态岸线。

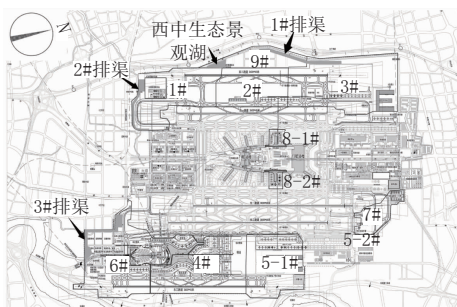


图7 白云机场三期排渠布置图

排渠生态岸线主要采用筒式生态排渠和生态景观排渠两种形式。

其中,2#排渠位置偏僻,对景观要求不高,且靠近飞行区,不宜设置过多绿化,以免吸引小动物和鸟类栖息觅食,采用筒式生态排渠。沟渠边坡采用混凝土预制空心砖护岸,此种护岸模式的透水、透气性较好,可在其中种植狗牙根等不易结种的草种至空隙内,以形成近自然的生态护岸,从而达到净化水质和保护堤岸不受侵蚀的目标。

新建3#排渠邻近工作区和航站楼,设置为生态景观排渠,可同时满足航站区游客的亲水景观需求和雨水回用需求。生态景观排渠可有效控制雨水中

固体悬浮物等污染物,缓解流溪河水源地水质压力,同时截留的污染物也可作为植物养分,实现排渠生态的正反馈机制。

机场三期经过海绵设施净化及调蓄后溢流的雨水,将再经过机场生态排渠的进一步净化,通过人工湿地、生态浮岛等净化措施的深度净化后的雨水最终排入机场场外河道中。生态排渠的设计使得机场三期排出水水质得到进一步的保障。

4.4 机场水资源优化利用

白云机场三期非常规水资源利用包括雨水利用和再生水利用两部分。非常规水资源可用于补充景观水体、绿地浇灌、道路浇洒等,促进节约用水、环境改善的同时,体现水生态系统的自然修复、恢复与循环流动,达到改善微气候和水生态循环的目的。

在无降雨情况下,将雨水和中水储存在系统中,构成场内生态水系。在降雨情况下,雨水首先进入海绵设施等雨水净化系统,经净化后储存于雨水调蓄池中。当水位高于设计安全水位时或降雨前期,不定期将系统内储水排放至场外河道,以达到泄洪或更新水体的目的。

5 结语

白云机场是中国国际枢纽机场之一,更是亚洲乃至世界最为繁忙的机场之一,是粤港澳大湾区经济发展的战略性基础设施。传统以排水沟、排水泵站为主的“快排”雨水管理体系,在极端暴雨天气频发的当下面临着极大压力。

为践行绿色机场建设理念,缓解机场排水防涝压力,将海绵城市理念融入机场三期扩建工程。根据机场不同功能区组成和使用要求,按照“飞行区快排、工作区存蓄”的思路,分片区明确海绵城市建设目标并落实绿色设施。将海绵城市的建设理念应用到部分场区建设中,引导机场建设成为具有吸水、蓄水、净水和释水功能的“海绵机场”,提高机场排水防涝能力,削减机场径流污染负荷,实现对场地开发影响最小化,并提高机场的雨水资源利用效率。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅.关于推进海绵城市建设的指导意见(国办发〔2015〕75号)[Z].北京:国务院办公厅,2015.
- [2] 葛惟江,宋肖肖,路海峰.海绵机场建设的实践——以北京新机场为例[J].中国勘察设计,2015(7):56-59.