

上海虹桥综合交通枢纽的雨水收集与利用

张 辰¹, 陈 嫣¹, 张惠锋², 谭学军¹

(1. 上海市市政工程设计研究总院, 上海 200092; 2. 住房和城乡建设部 标准定额研究所, 北京 100835)

摘 要: 介绍了虹桥综合交通枢纽在雨水综合利用方面进行的有益尝试, 包括对雨水径流的收集、调蓄和净化后的直接利用以及通过设置低势绿地、景观性渗滤设施增加雨水入渗的间接利用。提出为推进上海市大型公共设施的雨水收集和利用, 除了传统理念的转变和技术进步外, 关键在于政府相关政策的扶持; 采取强制性和优惠性并举的措施, 有利于促进雨水综合利用工作的健康发展。

关键词: 虹桥综合交通枢纽; 雨水直接利用; 雨水间接利用

中图分类号: TU99 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2011)10-0088-05

Rainwater Harvesting and Utilization in Hongqiao Transportation Junction

ZHANG Chen¹, CHEN Yan¹, ZHANG Hui-feng², TAN Xue-jun¹

(1. Shanghai Municipal Engineering Design General Institute, Shanghai 200092, China;

2. Research Institute of Standards and Norms, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Beijing 100835, China)

Abstract: The beneficial attempts of rainwater multipurpose utilization in Hongqiao transportation junction are introduced, including the direct rainwater utilization after harvesting, storage and treatment, and the indirect rainwater utilization by setting sunken greenbelt and landscape infiltration devices to enhance rainwater infiltration. Besides the change of traditional conception and the technical advancement, the correlative policy support from government is the most important to promote the rainwater harvesting and utilization in large public establishments of Shanghai. Taking mandatory and favorable measures simultaneously can help to improve the sound development of rainwater multipurpose utilization.

Key words: Hongqiao transportation junction; direct rainwater utilization; rainwater indirect utilization

随着城市化进程的加快, 传统的雨水收集和快排管理方式显现出很多弊端, 如雨水径流系数提高、洪水流量过程线变陡、排涝灾害风险加大、初期雨水径流污染加重等, 相应的设施建设投资和运行费用也随之增加, 同时引发了地面沉降、水资源短缺等水生态环境问题。上海虹桥综合交通枢纽作为集轨、

路、空三位一体的超大型交通枢纽中心, 在区域建设过程中也遇到上述雨水问题。

上海虹桥综合交通枢纽为我国最大的综合交通枢纽, 规划面积约 26.26 km²。为满足枢纽建设的需要, 区域内土地规划和各分区用地性质都发生了根本性的变化, 不透水面积比例高达 80%, 区域内

河道水系调整后基本分布在外围,河道水面率不到 5%。可以预见的是,虹桥枢纽建成后,区域内雨水下渗量小、排水量大、面源污染威胁大、水体调蓄能力较弱、区域洪涝风险较大,其所属的淀北片区域排涝压力增大。另一方面,枢纽区域内用于绿地灌溉和道路、广场浇洒的杂用水量,将超过 $16\,000\text{ m}^3/\text{d}$;能源中心的冷却用水量预计达到 $13\,700\text{ m}^3/\text{d}$ 。市政自来水达到深度处理出水要求,而浇灌、喷洒、冷却水等杂用水的水质要求较低,大量采用自来水,从技术、经济等方面均不合理。

加强雨水收集利用,一方面开拓了非传统水源的利用,另一方面可削峰蓄谷,减轻排水系统压力和面源污染负荷,符合“节流优先,治污为本,多渠道开源”的城市水资源可持续开发利用战略及建设和谐社会与循环经济的发展战略。作为上海市重大建设工程,虹桥综合交通枢纽在雨水综合利用方面进行了有益尝试,主要包括对雨水径流的收集、调蓄和净化后的直接利用以及通过低势绿地、景观性蓄渗设施增加雨水入渗的间接利用。

表 1 月平均可收集径流雨水总量

Tab. 1 Monthly average runoff rainwater quantity

项 目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
降水量/mm	70.1	46.7	116.8	46.7	76.7	233.5	173.5	183.5	96.8	46.7	40	33.4
可收集雨水量/ 10^4 m^3	14.51	9.67	24.2	9.67	15.9	48.3	35.9	38.0	20.0	9.67	8.3	6.9

② 用水量计算

虹桥机场扩建区域内的雨水回用水主要将用作工作区内的绿化、场地浇洒、能源中心补给水以及航站楼卫生洁具冲洗用水。

根据能源中心、航站楼的最终设计方案,能源中心冷却补给水量(仅炎热季节使用,每年的 5 月—9 月)为 $4\,300\text{ m}^3/\text{d}$,航站楼(远期)卫生洁具冲洗用水量为 $1\,650\text{ m}^3/\text{d}$,两者的高峰小时用水量分别为 180 、 $190\text{ m}^3/\text{h}$ 。考虑到夏季多雨,机场内绿化、场地浇洒可直接利用降水,其他季节由于降雨较少,需利用中水进行浇洒作业,而此时能源中心基本无需补给水。为此处理站的规模确定为航站楼卫生洁具冲洗用水量与能源中心冷却补给水量之和,约为 $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

根据供水规划,机场内道路广场用地约 7.2 hm^2 ,仓储用地约 15 hm^2 ,绿化面积约 1.99 hm^2 ,地面冲洗用水量为 $2\sim3\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{次})$,绿化浇洒用水量为 $2\sim3\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{次})$,按每天冲洗浇洒 2 次计,场

1 虹桥机场雨水的直接利用

1.1 概况

虹桥机场在扩建工程中建立了雨水回用系统,将机场 2 号航站楼和新建机场跑道上收集的雨水,经过混凝、沉淀、过滤处理后作为绿化浇灌、道路浇洒、能源中心冷却水和航站楼公厕用水。

虹桥机场扩建区域总面积约 5.6 km^2 ,包括 2 号航站楼、停机坪、跑道、工作区等,分为南北两个雨水分区,雨水系统由排水明渠、调节水池和泵站组成。此次雨水回用工程中,采用的雨水收集调蓄设施为北部雨水分区的调节池,汇水面积约为 2.3 km^2 。

1.2 水量和水质

1.2.1 水量平衡分析

① 可利用雨水量计算

汇水区域内主要下垫面为屋面、停机坪、跑道等硬质材料,综合径流系数以 0.9 计算。虹桥机场位于上海市闵行区,根据该区多年月平均降水量、综合径流系数和汇水面积,计算汇水区域月平均可收集径流雨水总量,结果如表 1 所示。

内道路、绿化用水量约为 $1\,452\text{ m}^3/\text{d}$ 。为此,非夏季用水量为 $3\,105\text{ m}^3/\text{d}$ 。

未预见用水量均以 10% 计,则炎热季节(5 月—9 月)设计用水量为 $6\,600\text{ m}^3/\text{d}$,非炎热季节(10 月—4 月)设计用水量为 $3\,400\text{ m}^3/\text{d}$ 。

③ 水量平衡分析

工程中可利用雨水量和用水量的比较见图 1。

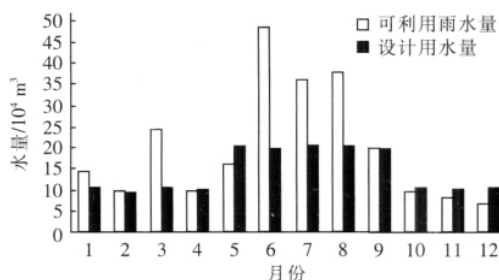


图 1 虹桥机场扩建工程中水回用系统可利用雨水量和设计用水量比较

Fig. 1 Comparison of available and design rainwater quantity of water reuse system in Hongqiao Airport expansion project

由图 1 可知,在 5 月、10 月—12 月期间,可利用雨水量略少于设计用水量,而降雨本身具有时空分布差异和不确定性,因此,为保障用水安全应选择备用水源。通过对备用水源位置、水质、水量等综合因素的考虑,选择扩建区域北侧的张正浦作为备用水源。

④ 调蓄水量分析

水源水量除了与降水条件有关外,还与雨水调蓄池的容积密切相关。该工程中雨水调蓄池采用北区雨水系统中的调节池,调节池有效水深为 2.8 m,池容约 $18.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,如考虑调蓄容积占有有效容积

的 30%,则可调蓄水量为 $5.52 \times 10^4 \text{ m}^3$,即炎热季节可储存 8 d 的用水量,非炎热季节可储存 16 d 的用水量,基本能保障汇水区域内可利用雨水量得到最充分的调蓄回用。

1.2.2 水质

① 用户对水质的要求

本工程潜在再生水用户为航站楼卫生洁具的冲洗用水、园林绿化用水、道路浇洒等市政用水和能源中心冷却水补水等。根据以上用水方向,按照《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)的要求,确定再生水水质指标(见表 2)。

表 2 再生水水质指标

Tab. 2 Quality standard of reclaimed water

项目	pH 值	浊度/ NTU	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	溶解氧/ (mg · L ⁻¹)	硬度/ (mg · L ⁻¹)	总磷/ (mg · L ⁻¹)	总余氯 (出站)/ (mg · L ⁻¹)	总大肠菌群 (个 · L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg · L ⁻¹)
数值	6.5 ~ 8.5	5	< 10	< 60	—	< 10	> 5.0	< 450	< 1.0	> 1.0	≤ 3	< 250

② 水源水质

在设计过程中,机场雨水调节池尚未建成,因此以浦东机场调节水池作为替代。由于两座机场采用相同的排水体制(均为由排水明渠、调节水池、泵站组成的独立排水系统),同时两座机场周边均无大

型工业企业外排污水,因而不存在污水通过土地渗流影响周边水体的情况,两者水质差异不大。

通过取样分析,机场飞行区调节水池雨水水质如表 3 所示。

备用水源张正浦的水质如表 4 所示。

表 3 浦东机场调节水池水质

Tab. 3 Water quality of equalization tank in Pudong Airport

项目	浊度/ NTU	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	pH 值	溶解氧/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	总磷/ (mg · L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg · L ⁻¹)	硬度(以 CaCO ₃ 计) (mg · L ⁻¹)
数值	6.61	未检出	3.1	20.8	8.1	9.8	7.3	0.16	145	223

表 4 张正浦水源水质

Tab. 4 Water quality of Zhangzhengpu River

项目	浊度/ NTU	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	pH 值	SS/ (mg · L ⁻¹)	总磷/ (mg · L ⁻¹)	硬度(以 CaCO ₃ 计) (mg · L ⁻¹)	碱度(以 CaCO ₃ 计) (mg · L ⁻¹)
数值	8.40	1.1	36.9	8.4	未检出	0.32	311	102

对表 2、表 3 和表 4 中水质指标进行比较可知,雨水利用工程中净化处理的主要控制指标为浊度和总大肠菌群。

1.3 效益分析

在雨水直接利用工程中,雨水调蓄池和雨水处理设施是主要工程构筑物^[1]。本工程利用机场雨水系统中原有的调节池作为雨水调蓄池,大大降低了雨水收集调蓄的投资成本,工程投资主要集中在雨水处理设施方面,约为 1 000 万元。

处理装置产水率按 90% 计,则产水量为 $170.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,雨水处理费用成本按 0.7 元/ m^3 计(不

包括折旧),自来水费用按 2.5 元/ m^3 计,每年节省自来水费用 276 万元,按静态投资计算,4 年可回收成本,若同时考虑今后几年水价上涨因素,可以给雨水利用留下更广泛的空间。

2 青虹路高架桥的雨水间接利用

2.1 概况

在枢纽青虹路高架(SN1 路~SN3 路)排水工程中,以削峰减排为设计理念,采用雨水浅层蓄渗技术,在近 600 m 的高架道路下景观隔离带内设置有效容积为 $1\,290 \text{ m}^3$ 的蓄渗装置,可对 $13\,200 \text{ m}^2$ 高架道路全年 80% 的雨水径流进行就地蓄渗处理,实

现了雨水资源化、处理就地化、系统生态化、成本最小化的雨水间接利用工程设计原则。

2.2 蓄渗设施设计

浅层蓄渗^[4]是结合城区的功能规划要求,在人行道和广场的铺装层或绿化种植土以下、地下水位以上用多孔材料堆砌成可供短暂贮存的雨水连通空间,在多孔材料底部使用渗水材料以提高下渗速率。当暴雨来临时,雨水径流经初期弃流后,通过管道或沟渠方式进入多孔材料空间内短暂储存,暴雨过后雨水继续下渗,超过调蓄容量的雨水外排。

该工程中,浅层蓄渗设施设置在高架景观隔离带下,分为截流池和蓄渗池两部分。截流池采用小孔弃流原理,在 DN200 的蓄渗装置进水管管底设 $\phi 100$ mm 的弃流孔,将初期水质较差的雨水截流于池中。截流池有效高度为 0.4 m,底部设粗砂垫层。雨水渗透至地下,颗粒等杂质则被截留。

浅层蓄渗装置由上至下分别由植被层(草皮)、基质层、隔离过滤层、贮水层、渗滤层等组成。单元浅层蓄渗设施的平面布置和竖向布置分别如图 2、3 所示。

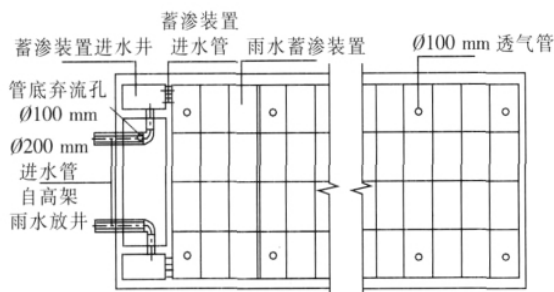


图 2 单元浅层蓄渗设施平面布置

Fig. 2 Plan drawing of shallow infiltration equipment

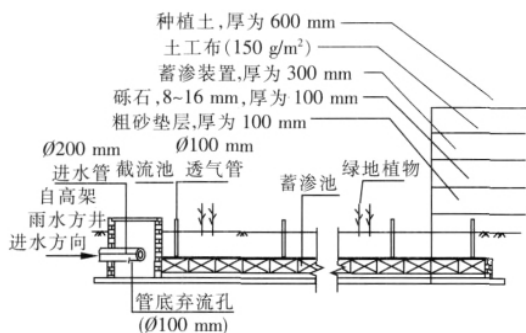


图 3 单元浅层蓄渗竖向布置

Fig. 3 Vertical drawing of shallow infiltration equipment

① 植被层。主要考虑草皮、草坪、地被植物、

攀援植物等,不包括小型乔木、灌木等,其下不考虑设置贮水设施。

② 基质层。选择满足植物生长条件,具有一定渗透性能、蓄水能力和空间稳定性好的材料。基质改良土主要由田园土、排水材料、轻质骨料和肥料混合而成,厚度为 30 ~ 60 cm。

③ 隔离过滤层。一般采用既能透水又能过滤的聚酯纤维无纺布等材料,用于阻止基质进入排水层。隔离过滤层铺设在基质层下,搭接缝的有效宽度应达到 10 ~ 20 cm。

④ 蓄水层。一般有混凝土、块石、PE(聚乙烯)和 HDPE(高密度聚乙烯)等材料类型,利用材料之间的空隙在暴雨时短暂贮存雨水,暴雨过后再次下渗,多余的雨水通过溢流外排。

⑤ 渗滤层。为促进雨水的下渗,在蓄水层下设置级配下渗层,厚度约 100 mm,采用砾石,粒径为 8 ~ 16 mm,以促进雨水下渗,同时作为蓄水结构的基础。

2.3 蓄渗装置计算

降雨过程中,蓄渗设施容纳高架道路产生的雨水径流,径流经集蓄、蒸发、下渗、溢流外排等多种水流运动,形成较为复杂的水量平衡体系,延缓高架道路径流外排时间,增加雨水入渗补充地下水。

假设蓄渗设施及其服务区域是一个封闭区域,高架径流通过渗透、蒸发、蓄集等途径被处理,超出蓄渗能力的雨水排入市政管道。因此,计算时段内,存在如下的水量平衡关系式:

$$P_0 + U_0 = D + E + S + U_1 + Q \quad (1)$$

式中 P_0 ——降雨总量

U_0 ——初始蓄水量,在计算中取零

D ——径流损失量,按 1 mm 计

E ——蒸发量,较小,可忽略

S ——下渗量

U_1 ——结束时绿地蓄水量,即蓄渗设施的调蓄容量

Q ——溢流外排量

下渗量 S 计算可通过下式计算:

$$S = 60K \cdot J \cdot T \quad (2)$$

式中 K ——土壤稳定入渗速率,本工程中取 1×10^{-6} m/s

J ——水力坡度,垂直下渗,取 $J = 1$

T ——计算时段,min

青虹路(SN1路~SN3路)高架全长为600 m,道路面积为13 200 m²,设计80%的高架道路雨水进行蓄渗处理,根据上海市降雨特性,采用式(1)和式(2),计算得到调蓄雨水量 U_1 为30 mm,蓄水层有效高度取0.4 m,孔隙率为0.8,所需蓄渗装置面积为1 238 m²。

2.4 效益分析

本工程采用在高架道路地面景观隔离带下设置蓄渗装置的方式,就地处理了5倍于装置面积的高架道路全年80%的路面径流。若扩大雨水蓄渗的收集面积,可有效削减该区域的径流量,提高排水标准,减轻排水系统的运行负荷。

3 结语

雨水综合利用的推广,除了传统理念的转变和技术进步外,关键在于政府相关政策的扶持,采取强制性和优惠性并举的措施,有利于雨水综合利用工作的健康发展。上海市政府目前尚未出台有关雨水回用的政策,建议虹桥综合交通枢纽等大型公共设施的管理部門可以先参考国内外的一些做法,结合区域建设的实际情况,推陈出新、因地制宜。具体可包括:

- ① 区域内新开发建设的基建项目,在报建时,

必须同时上报使用回用水的设计内容,大型公共设施中可同时设置饮用水管和回用水冲厕水管,未提交以上内容的基本建设规划不予审查。

- ② 大型公共设施周边的园林绿化浇灌、景观水池水体置换、能源中心冷却补充水、市政道路除尘降温用水等低水质用户必须使用回用水。

- ③ 在广泛宣传再生水的基础上,利用经济杠杆,合理调整区域内部自来水价格,给回用水的推广留有价格竞争的空间。

- ④ 成立回用水运作机构,在政策的指导下,以市场经济模式开展回用水的运作。

- ⑤ 加大对回用水的宣传力度,增强全民节水意识,有利于回用工作的开展和建设生态城市。

参考文献:

- [1] 赵昕,刘鹏. 国家体育场雨水收集池设计[J]. 给水排水,2006,32(9):73-76.
- [2] 邹伟国,张辰,陈嫣. 城市雨水浅层地下蓄渗技术及其应用研究[J]. 给水排水,2008,34(增刊):145-148.

E-mail:franktan@163.com

收稿日期:2010-12-29

(上接第87页)

1 000 m²的板式换热器,设备一次性投资费用为40万元,补水量节省近45 m³/h,按照当地工业用水价格为1.7元/m³计算,该钢铁企业年节省费用为60.588万元,一年内即可收回设备投资成本。

3 结论

该工程通过两年多的运行,系统的节能性、经济性及安全性在一定程度上有所体现。通过循环冷却水系统节水改造实施方案,可以得到如下启示:

- ① 设计质量直接关系到系统运行的合理与否,进而影响到工程全面。在设计的全过程中,对设备工艺的了解以及与业主方技术人员不断进行系统方案的交流及设计细节的探讨,对于系统的精确计算和完善设计是十分重要的。

- ② 日常运行中需要与用水单位密切联系,掌握动态用水情况,避免和减少循环水任意外排造成的补充水和药剂浪费,做到充分利用水资源、节省药耗、降低运行成本。

- ③ 日常运行中,管理是关键。建立健全规章制度,提高岗位人员的技术水平,严格工艺纪律,是做到安全、平稳运行的基础保证。

参考文献:

- [1] 华东建筑设计研究院有限公司. 给水排水手册:第4册工业水处理(第2版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] GB 50050—2007,工业循环冷却水处理设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [3] GB/T 50102—2003,工业循环冷却水设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
- [4] GB 50505—2009,钢铁企业节水设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009.

E-mail:tanliguo@ippr.net

收稿日期:2011-03-20