

设计经验

江门体育馆屋面虹吸雨水系统设计

杨静琨

(广东省建筑设计研究院, 广东 广州 510010)

摘要: 结合江门体育馆异型屋面的特点,探讨了雨水排水系统的比选、暴雨重现期及流量校正系数等设计参数的选取。大型异型屋面宜采用虹吸雨水排水系统,暴雨重现期宜取100年,重点区域屋面流量校正系数宜取1.2。对某已建体育馆的分析结果表明,焊接点处点状腐蚀是钢制天沟漏水的主要原因,因此该工程提出了雨水斗与天沟采用相同材质、设置下沉式集水井及挡水板、搭接处理天沟伸缩缝的组合优化方案。采用曼宁公式对屋面直立锁边系统排水安全性进行了校核,系统排水量满足重现期条件下的降雨量。在淤泥质土条件下设置管沟,提高了管线安全性及检修维护的便利性,为类似工程设计提供参考。

关键词: 体育馆; 大型异型屋面; 虹吸雨水排水系统; 不锈钢天沟; 直立锁边系统; 管沟

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0037-06

Design of Siphonic Drainage System for Jiangmen Gymnasium Roof

YANG Jing-kun

(Architectural Design and Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510010, China)

Abstract: According to the hetero-type roof of Jiangmen Gymnasium, this paper discussed the comparison of the rainwater drainage system, selection of design parameters such as the recurrence interval and flow correction coefficient. The siphonic drainage system was adopted in the large hetero-type roof. In addition, the recurrence interval was determined as 100 years, and the flow correction coefficient of key areas was decided as 1.2. Based on the analysis of a built gymnasium, pitting corrosion at the solder joints was considered as the main factor causing the leakage of steel gutter. The combined prioritization scheme such as the roof drain and the gutter adopting the same material, setting the sinking water-collecting well and the baffle, and connecting treatment of the expansion joint were proposed. Security check of the standing seam system with Manning Formula was conducted. The results indicated that the water discharge could meet the rainfall at recurrence interval condition. The measure that tunnel was set under the mucky soil could improve the security of pipes and convenience of maintenance. The results of this paper could present a reference for similar project.

Key words: gymnasium; large hetero-type roof; siphonic drainage system; stainless steel gutter; standing seam system; tunnel

1 工程概况

江门市体育馆与会展中心项目位于广东省江门市滨江新城启动区,新南路与天沙河路交汇处,总用地

面积为40 hm²。建设目标为承办2018年广东省第十五届运动会,满足国际单项赛事的需求,并能承办各项大型赛事及社会综合性活动。

建筑造型设计将体育馆与会展中心通过一条流畅的弧形采光连廊连成一体,由变形缝将项目分成体育馆与会展中心两个子项,在此仅介绍体育馆子项。江门体育馆建筑面积为 $51\,119.5\text{ m}^2$,单层建筑,内含局部3层夹层。建筑总高约为 39.69 m ,属甲级大型体育馆,共设坐席 $8\,754$ 个。建筑效果图及犀牛模型图分别如图1、2所示。

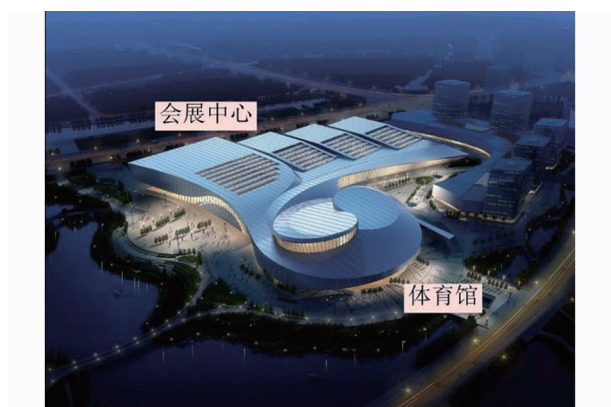


图1 体育馆-会展中心整体效果

Fig.1 Overall design sketch of conference center and gymnasium

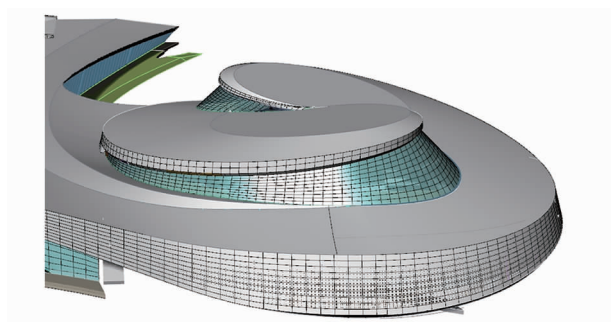


图2 体育馆 RHINO 模型

Fig.2 RHINO model graph of the gymnasium

2 屋面特点分析

该体育馆屋面跨度较大,造型复杂抽象,屋面片相叠,螺旋展开。总体上类似于椭圆球壳结构,直径约 120 m ,屋面总汇水面积(水平投影面积)约为 $15\,600\text{ m}^2$ 。屋面材质采用 1.0 mm 厚轻型铝镁锰合金板,该屋面板不仅质量轻(密度为 $2\,700\text{ kg/m}^3$),而且其中的铝成分可与大气形成氧化铝薄膜,防止被进一步腐蚀,具有良好的耐久性。

另外,本工程屋面属于异型屋面,标高关系极其复杂,最高点标高为 34.69 m ,最低点标高为 7.87 m ,倾斜度非常大,建筑剖面见图3。

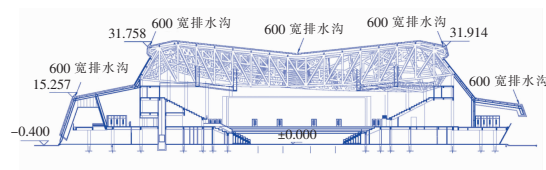


图3 体育馆剖面

Fig.3 Sectional view of the gymnasium

根据屋面标高关系,将体育馆屋面平面分成6个分区,共设置7条天沟,各个分区平均坡度及天沟位置见图4。

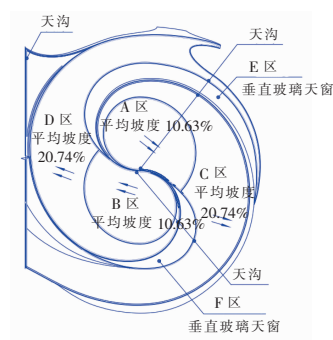


图4 屋面分区及天沟布置示意

Fig.4 Schematic diagram of roof partition and roof gutter

从图4可以看出,屋面分区较多,不同分区面积大小不等,坡度也相差较大。其中E区、F区为垂直玻璃天窗,相对于D区、C区相当于高出屋面的侧墙,计算D区、C区汇水面积时应附加E区、F区竖向投影面积的一半。

3 系统的选择及设计参数的选取

3.1 系统的选择

屋面雨水系统按流态可分成半有压流系统、压力流系统、重力流系统三类。

半有压流雨水排水系统特指我国传统的屋面雨水系统,管网设计流态为无压流和有压流之间的过渡流态,水流中掺有空气,为气水两相流。主要采用87型系列雨水斗。该系统适用于各种民用、工业建筑,在我国应用普遍,在多年的应用中积累了丰富的经验。但该系统在大型屋面系统的设计中,存在立管数量较多、管径较大、雨水悬吊管需设置坡度从而导致悬吊管占据室内空间等劣势。

压力流系统(虹吸雨水排水系统)当雨水量较小时,系统悬吊管内雨水以重力流方式流动。当雨水量逐渐增大,水深达到额定斗前水深时,雨水进入具有气水分离功能的虹吸雨水斗,悬吊管内依次出现波浪流、满管气泡流、满管气水乳化流、水一相流

等形态,最终完全转化为压力流状态^[1]。雨水自由下落时具有一定的势能,在排水悬吊管与立管相接处形成最大负压,屋面雨水在管道内负压的抽吸作用下,以较高流速排到室外。采用虹吸式雨水斗。该系统具有排水能力强、排水迅速、悬吊管少且无需坡度、立管数量少等优点,被广泛应用于机场、体育场馆、商业综合体等建筑,经受了多次降雨的考验,是解决大型屋面排水的有效途径。

重力流雨水排水系统的设计流态为无压流,雨水斗、横管、立管中水流均存在自由水面,水力计算中水面上的空气压力忽略不计。采用自由堰流式雨水斗。该系统不宜在屋面设置天沟,仅适用于檐沟外排水系统。

由于该体育馆屋面汇水面积较大,雨水量大,如采用传统半有压流系统约需 50 个 DN150 的雨水斗,雨水斗、立管、所需管井及出户管数量过多。另外,根据《建筑屋面雨水排水系统技术规程》(CJJ 142—2014)中第 5.1.2 条“多斗系统的雨水斗宜以立管为轴对称布置”,则 A、B 区域立管可能落在场馆中间,影响室内效果。

基于以上三种系统的优缺点比较,针对本体育馆屋面的特点,雨水系统最终设计采用压力流系统(虹吸雨水排水系统),解决了立管、管井等数量过多的问题,同时有效减少悬吊管坡度占用的室内净空。

3.2 设计重现期的选用

本项目雨水系统的设计采用江门市暴雨强度公式:

$$q = \frac{2\,424.17 \times (1 + 0.533 \lg P)}{(t + 11)^{0.668}} \quad (1)$$

由于本项目属于重要公共建筑,对屋面雨水安全性要求很高,按《建筑给水排水设计规范》4.9.5 条规定,设计重现期不宜小于 10 年;按 4.9.9 条规定,屋面雨水排水工程与溢流设施的总排水能力不应小于其 50 年重现期的雨水量。但本项目屋面构造较为特殊,以 A 区、B 区为例,两屋面大致呈中心对称形式,两区域屋面坡度高达 10%,并且金属屋面表面涂有涂层,面层较光滑,实际降雨历时可能小于 5 min,从而导致雨水量超过计算值^[2]。两区域天沟均位于比赛大厅上空,一旦漏水后果十分严重。再加上近年来出现极端天气状况较频繁,温室效应、厄尔尼诺现象也时常出现。短时暴雨强度突破 50

年或 100 年的情况时有发生。因此,本项目设计重现期将比规范要求值有所提高。

但重现期的选取也不能盲目取大,如果雨水量计算过大,形成虹吸的时间会因此推迟,甚至不能形成虹吸,造成系统安全性降低,排水效率降低,与增大重现期的初衷背道而驰。另外,管道内流速过小,管道无法得到有效冲刷,容易形成淤积,对系统的管理维护提出更高的要求。因此对该体育馆屋面分别采取三种方案计算雨水量,通过技术经济比较后确定方案。

方案一采用设计重现期 50 年计算雨水量,此种方案符合规范:“屋面雨水排水工程与溢流设施的总排水能力不应小于其 50 年重现期的雨水量”的要求。

方案二采用设计重现期 100 年计算雨水量,此种方案在实际大型屋面项目中已多次被采用,如北京南站、海南国际会议中心等^[3,4]。

方案三采用设计重现期 50 年计算,再乘以 1.5 的安全系数。

另外,由于本项目为金属屋面无渗水,计算雨水量时径流系数 Ψ 取值为 1.0。

以 A 区为例,对三种方案的雨水系统的雨水量计算值、悬吊管流速、系统水损、虹吸启动时间、虹吸形成时间等要素进行对比,具体对比结果如表 1 所示。

表 1 三种方案对比

Tab. 1 Comparison of the three schemes

A 区	方案一	方案二	方案三
屋面投影面积/m ²	1 909		
雨水量计算值/(L·s ⁻¹)	138.15	149.70	207.23
雨水斗数量/个	2	2	3
悬吊管流速/(m·s ⁻¹)	2.58	2.79	2.58
系统水损/m	21.62	16.85	27.32
虹吸启动时间(以悬吊管充满 60% 时间计)/s	11.47	12.52	16.67
虹吸形成时间(以悬吊管充满 95% 时间计)/s	18.16	19.82	26.4

从表 1 可以看出,三种方案中方案二的悬吊管流速最大,系统总水损最小,且虹吸启动时间、虹吸形成时间比方案一并无明显延长,仅相差不到 1 s,优势显著。

综上所述,本体育馆雨水系统设计重现期取 100 年,屋面雨水总量约为 1 223.32 L/s。

3.3 流量校正系数的选用

A区、B区处于高处,立管设置于场馆外围柱边等位置,悬吊管长达40 m,相对于其他区域而言形成虹吸时间较长,暴雨时可能造成上部集水井满溢,部分雨水自由流至下一汇水区域,即C、D两区,因此C、D两区计算雨水量时乘了1.2的流量校正系数,以提高整个屋面的安全性。

4 天沟的设计

4.1 天沟漏水原因分析及解决方案

某已建体育馆虹吸雨水排水系统在使用过程中出现漏水现象,经调查研究,除天沟尺寸不足等因素外,还有一个重要原因是虹吸式不锈钢雨水斗与钢板天沟焊接点出现点状腐蚀,造成了渗漏。这是因为不锈钢和碳钢具有不同的电势,当两种材质采用焊接连接后,在潮湿环境下碳钢和不锈钢之间会形成原电池反应,碳钢作为负极被腐蚀。另一方面,两者连接后,碳钢可能出现铁离子污染不锈钢的情况,使不锈钢表面的氧化铬层受到破坏,形成晶间腐蚀。特别是南方地区雨量充沛,雨水吸收并溶解了空气中的二氧化硫、氮氧化物等物质后易形成酸雨,更加速了焊接部位的腐蚀速度。

综上所述,本项目虹吸式雨水斗及天沟均采用不锈钢材质,不锈钢焊丝氩弧焊焊接,最大限度地降低雨水斗及天沟被腐蚀的可能性。

4.2 下沉式集水井及挡水板

考虑到本项目中屋面坡度极大,依屋面造型而设计的天沟沟内坡度也随之变大,雨水在天沟内流速很快,难以瞬时被天沟中间部位的雨水斗截流并汇集排出。而且屋面面积较大,设计雨量也大,仅在天沟最低点设计雨水斗的方案极不合理。因此在设置雨水斗的部位增设了小型下沉式集水井,从而达到对雨水进行整流和汇集的目的。

下沉式集水井的尺寸除满足雨水斗的安装空间、斗前水深等条件以外,至少满足5 s重现期为50年的降雨。对所有汇水面积进行校核计算后确定下沉式集水井尺寸,井内布置两个雨水斗的井尺寸为1 500 mm×600 mm×300 mm,井内布置三个雨水斗的井尺寸为2 100 mm×600 mm×300 mm。不锈钢天沟及集水井采用氩弧焊接,焊接中要求满焊,焊接完后对其进行打磨,使其平整、光滑,并且做防腐处理。

针对天沟沟内坡度大的问题,在天沟内每5 m

左右设置挡水板,不仅起到控制水流速度的作用,还能有效阻止异物进入排水口。挡水板高度为高出雨水斗100 mm,长度按天沟宽度的60%布置。

下沉式集水井及挡板的具体设计示意如图5所示。

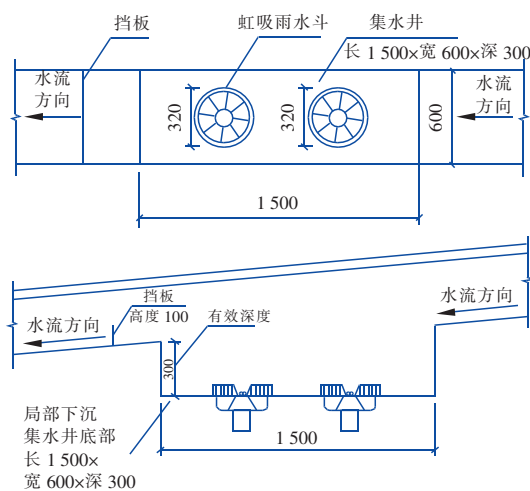


图5 下沉式集水井及挡板

Fig. 5 The sinking water-collecting well and the baffle

4.3 天沟伸缩缝的优化处理

传统的天沟布置是以伸缩缝、沉降缝、变形缝为分界,伸缩缝两边需分别设置雨水斗。根据《屋面工程技术规范》(GB 50345—2012)中第4.9.8条要求,考虑到金属板材的热胀冷缩,金属檐沟、天沟的伸缩缝间距不宜大于30 m,以确保天沟在工作状态时,由于环境温度的变化引起的天沟纵向长度尺寸变形在可控范围内,这对雨水排水系统而言非常不利。

本体育馆屋面面积较大,共设有7条天沟,天沟长度最短为32 m,最长为358 m。如按照每30 m设置一个伸缩缝的要求,最长的天沟需要设置11个伸缩缝,长天沟被分成12段短天沟,每段天沟标高不同需设置不同的雨水系统,则一条天沟需要12个系统,不仅失去了虹吸雨水系统立管少的优势,对虹吸系统的形成也存在不利影响。为了避免天沟伸缩缝对虹吸系统的影响,本项目对天沟进行局部优化,在天沟伸缩缝处采用I、II型两种天沟搭接处理,且II型天沟搭接处设置C字型挡板,防止雨水从伸缩缝处下渗,搭接处采用丁基胶带三道密封(具体做法如图6所示)。搭接处理后,伸缩缝不再成为改变雨水路径的因素,保证了虹吸雨水系统的完整性和安全性。

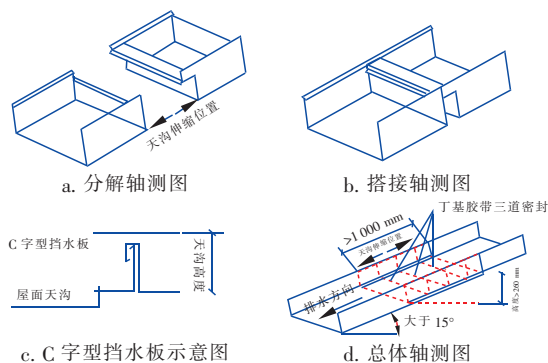


图6 天沟伸缩缝示意图

Fig. 6 Schematic diagram of gutter expansion joint

5 直立锁边系统及管沟

5.1 直立锁边系统

本项目屋面金属外板采用铝镁锰合金直立锁边系统,该系统通过专用设备或手工咬合工艺,将直立锁边板和T型支座咬合并连接到屋面支撑结构,其特点是屋面板和支座之间能够滑动,一旦屋面积水淹没直立锁边顶部,屋面可能漏水。因此需要对汇水区域进行安全性校核。即校核每一道雨水沟汇水区域内每一块锁边板是否有足够排水能力将降落在该块板上的雨水全部导入雨水沟内。根据锁边板的构造形式(见图7),每块锁边板相当于一个小型集水槽,雨水在槽内的水流状态类似于明渠均匀流,可采用曼宁公式计算其排水能力。

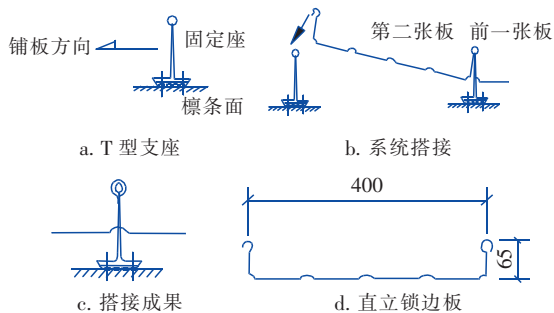


图7 直立锁边板示意图

Fig. 7 Schematic diagram of board of standing seam system

根据曼宁公式可知,每块锁边板的排水能力与板的宽度、直边高度、板粗糙系数、坡度有关,与板长无关,当锁边板尺寸材质确定后,同一坡度下每块锁边板的排水能力相同。而板的最大降雨量根据暴雨强度及板水平投影面积可计算得出。综上所述,同一坡度下,板长最长的板为最不利情况;不同坡度时,取坡度最小的板及板长最长的板为最不利情况进行校核。只要板的排水能力大于最不利板的最大

降雨量,则直立锁边系统为安全系统^[5]。

以坡度相同的A区及坡度不同的C区为例,校核直立锁边系统,结果见表2。从表2可以看出,该工程典型区域直立锁边板排水能力均大于100年重现期降落在锁边板的雨水量,且排水能力为雨水量的至少63倍,系统安全可靠。

表2 虹吸系统安全性校核

Tab. 2 Security checking results of siphonic drainage system

项 目	A区屋面	C区屋面	
	最长板	最长板	坡度最小板
板宽/m	0.4	0.4	0.4
板高/m	0.065	0.065	0.065
板长/m	49.689	38.180	17.600
板水平投影长度/m	49.41	37.20	17.52
湿周/m	0.53	0.53	0.53
水力半径/m	0.049	0.049	0.049
n	0.012	0.012	0.012
$I/\%$	10.63	22.56	9.53
$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	0.095	0.138	0.090
降雨量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	0.001 5	0.001 2	0.000 6

注: 曼宁公式 $Q = \frac{1}{n} \times w \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$, n 为板的粗糙系数, w 为过水断面面积, R 为水力半径, I 为水力坡度。

5.2 管沟

该项目管沟中管线大样图见图8。

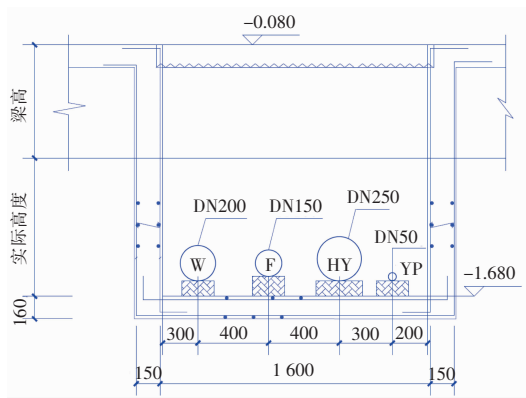


图8 管沟中管线大样图

Fig. 8 Detail drawing of pipes in the tunnel

管沟适用于湿陷性黄土地区及其他地质条件较差地区的管线保护,一般分为砖砌管沟及钢筋混凝土管沟。由于江门市位于珠江入海口西岸,广泛分布软土地基,并且项目所在地征地之前为水塘、农田、湖泊等形式,依据场地地质勘察报告,项目所在地为淤泥质土,其特点为压缩性高、含水率大、透水性强,导致建筑地基及埋地管线易造成不均匀沉降。为了防止沉降对管线的破坏,设计时将给水系统、消

防系统的接入管及排水系统的出户管设置在钢筋混凝土管沟中敷设(见图8),管沟内管道采用砖砌支墩支撑,支墩宽度 $=D$ (管外径)+200 mm。采用管沟后不仅增加了管线的安全性,同时解决了埋地管线的检修和维护管理的难题。

6 结语

① 对于造型复杂的异型屋面,其雨水排水系统的设计首先应分析屋面特点,对计算雨水量时各个参数的选取,应在规范规定的基础上,根据实际情况,通过水力计算进行比选确定。

② 对于沟内坡度较大的钢制天沟,可采用设置下沉式集水槽、挡水板及氩弧焊焊接等方式,提高天沟排水安全性。

③ 针对直立锁边屋面板的构造特点,设计时需对锁边板的排水安全性进行水力校核,不满足排水要求时应应对锁边板的高度或宽度进行调整。

④ 对于淤泥质土土质地区的项目,可通过设置管沟及沟内管线支墩的方式,防止不均匀沉降对管线的破坏。

参考文献:

- [1] 刘鹏,赵昕. 国家体育场屋面雨水排水系统的选择[J]. 给水排水,2007,33(S1):96-97.
Liu Peng,Zhao Xin. Selection of rainwater drainage system for National Stadium[J]. Water & Wastewater Engineering,2007,33(S1):96-97(in Chinese).
- [2] 朱建荣,徐凤. 屋面雨水排水量计算参数取值探讨[J]. 给水排水,2006,32(11):70-72.
Zhu Jianrong,Xu Feng. Discussion on spanning of parameters for roof rainwater discharge calculation[J]. Water & Wastewater Engineering,2006,32(11):70-72(in Chinese).
- [3] 王任戌,王甫. 北京南站压力流(虹吸式)雨水排放系统设计简介[J]. 给水排水,2012,38(8):78-81.

Wang Renxu,Wang Fu. Design of the pressure flow (siphonic) rainwater drainage system for Beijing South Railway Station[J]. Water & Wastewater Engineering,2012,38(8):78-81(in Chinese).

- [4] 高东茂,吴连荣,郭汝艳,等. 海南国际会议中心雨水及消防系统设计[J]. 中国给水排水,2015,31(4):45-49.

Gao Dongmao,Wu Lianrong,Guo Ruyan,et al. Design of rainwater and fire protection system for Hainan International Conference Center [J]. China Water & Wastewater,2015,31(4):45-49(in Chinese).

- [5] 张慧东,刘赣英. 机场类超大型建筑屋面雨水收集区域划分及路径研究[J]. 给水排水,2015,41(8):86-90.

Zhang Huidong,Liu Ganying. Study on the division of the water-collection district and runoff routine on the super-large building roof (airport) [J]. Water & Wastewater Engineering,2015,41(8):86-90(in Chinese).



作者简介:杨静琨(1987-),女,黑龙江大庆人,硕士,工程师,主要从事建筑给排水工程设计及水污染控制技术研究。

E-mail:490222489@qq.com

收稿日期:2017-12-29

治理水土流失 建设美丽中国