

# 大型汽车工业厂区雨水利用系统的设计

寇伯村

(北京市工业设计研究院有限公司, 北京 100055)

**摘要:** 介绍了北京市某合资汽车工厂新建工程雨水利用系统的设计经验。该大型工业厂区占地面积大(145.41 hm<sup>2</sup>),雨水径流总量大,雨水系统设计需执行北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013),要满足规范中的雨水外排控制率>85%的要求。由于厂区雨水调蓄容积非常大,故采用下凹绿地、雨水入渗、景观水体、调蓄水池等多种组合方式对调蓄容积进行分解,有效降低了工程投资。

**关键词:** 大型工业厂区; 雨水利用系统; 调蓄容积; 下凹绿地

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)04-0037-06

## Design of Stormwater Utilization System in Large Auto Industrial Plant

KOU Bo-cun

(Beijing Industrial Design and Research Institute Co. Ltd., Beijing 100055, China)

**Abstract:** The design experience of stormwater utilization system in a new joint venture auto plant in Beijing City was introduced. The large industrial plant has a large area of 145.41 hm<sup>2</sup>, with large total rainwater runoff. The rainwater drainage control rate of more than 85% in the Beijing local standard *Code for Design Stormwater Management and Harvest Engineering* (DB 11/685 - 2013) should be satisfied during the design of rainwater system. Because of the large stormwater storage capacity in the plant, many combined measures such as sunken green space, rainfall infiltration, landscape water, storage tank and so on should be used to decompose the storage capacity in order to save the construction investment.

**Key words:** large industrial plant; stormwater utilization system; storage capacity; sunken green space

### 1 项目概况

某合资汽车工厂新建工程年产乘用车40万台,分二期建成,项目位于北京经济技术开发区,总建设用地面积为145.41 hm<sup>2</sup>,是北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013)实施后进行雨水控制与利用工程设计占地面积较大的工业厂区之一。

#### 1.1 项目用地内指标

厂区总建筑面积为86.45 hm<sup>2</sup>,其中建(构)筑物占地面积为67.88 hm<sup>2</sup>,道路、广场面积为28.83 hm<sup>2</sup>,绿化面积为29.20 hm<sup>2</sup>,员工及访客停车场(透水铺装)面积为10.06 hm<sup>2</sup>,人行道(透水铺装)面积

为2.24 hm<sup>2</sup>,货车停车场面积为7.20 hm<sup>2</sup>。

#### 1.2 市政现状

由于厂区所处位置是新建开发区,根据规划只能从厂区东侧排入宽×高=4 000 mm×1 600 mm、西侧宽×高=2 800 mm×1 800 mm市政雨水管渠及北侧DN100市政雨水管,厂区北、东、西方向市政雨水管共预留10个DN800雨水接口,最大可排水量约为5 912 L/s,但周边道路尚未修建完成,市政雨水管渠无法投入使用。

### 2 项目特点

本项目属于大型机械工厂,厂区建筑物多,功能复杂,占地面积大,由原城市规划的十六个地块调整

合并为一个厂区,原有地块间规划的市政路及市政管线均未建设,使得厂区内主要道路上的雨水管线担负着原市政道路雨水管线的作用,汇水面积大,径流总水量大,设计流量大,雨水管线长,管径大,埋深大;单体建筑占地面积大,硬化面积大,地下管线多,市政预留雨水接管位置少,由于上述原因导致厂区雨水调蓄量大,调蓄设施所需面积大,调蓄设施的设置还不能全由给排水专业根据需要确定,而是要在满足工艺专业的总平面要求后才能确定。

3 雨水控制与利用设计方案选择

3.1 雨水控制与利用设计依据

《建筑与小区雨水利用工程技术规范》(GB 50400—2006);北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013)。

3.2 雨水设计目标

根据北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013)第 4.13 条,本次雨水控制与利用工程的设计标准是:使新建厂区的外排雨水总量不大于开发前的水平,并满足新开发区域外排雨水流量径流系数不大于 0.4;外排雨水峰值流量不大于市政管网的接纳能力,并满足雨水外排控制率 >85%。

3.3 厂区设计参数

本次厂区雨水控制与利用设计,根据市政雨水接口位置,首先在满足厂区工艺布置并与总图专业协调后,确定雨水调蓄设施(湖)位置,然后确定雨水调蓄设施的功能(景观或非景观),再综合每个雨水调蓄湖汇水区域、硬化面积、雨水设计流量、雨水管管径、雨水管入湖前埋深等因素,将厂区雨水划分为 3 个汇水区域,对应建 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>三个雨水调蓄湖,

详见图 1。各区域的设计参数见表 1、表 2。

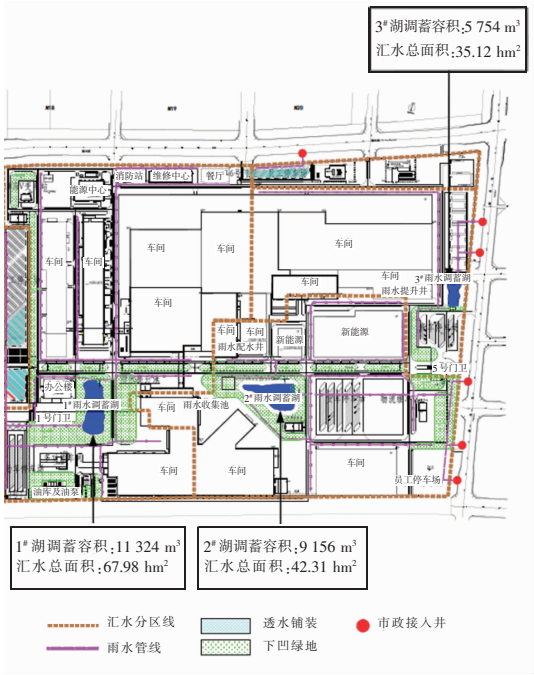


图 1 雨水汇水区域及厂区雨水主管设计示意

Fig. 1 Schematic diagram of rainwater catchment areas and the main rainwater pipes in the plant

表 1 厂区雨水调蓄设施(湖)参数

Tab. 1 Parameters of rainwater storage facilities (lake) in the plant

项 目	1 <sup>#</sup> 湖	2 <sup>#</sup> 湖	3 <sup>#</sup> 湖
设计调蓄湖容积/m <sup>3</sup>	11 324	9 156	5 754
汇水面积/hm <sup>2</sup>	67.98	42.31	35.12
硬化面积/hm <sup>2</sup>	46.98	33.46	23.47
绿化总面积/hm <sup>2</sup>	16.50	7.28	5.42
下凹绿地面积/hm <sup>2</sup>	8.25	3.64	2.71
透水铺装面积/hm <sup>2</sup>	4.5	1.57	6.23
厂区总占地面积/hm <sup>2</sup>	145.41		

表 2 厂区雨水调蓄设施(湖)设计参数

Tab. 2 Design parameters of rainwater storage facilities (lake) in the plant

项 目	1 <sup>#</sup> 湖			2 <sup>#</sup> 湖			3 <sup>#</sup> 湖		
	面积/hm <sup>2</sup>	流量径流系数	雨量径流系数	面积/hm <sup>2</sup>	流量径流系数	雨量径流系数	面积/hm <sup>2</sup>	流量径流系数	雨量径流系数
硬化屋面	28.25	0.8	1	21.7	0.8	1	17.93	0.8	1
硬化路面	18.73	0.8	0.9	11.76	0.8	0.9	5.54	0.8	0.9
非下凹绿化面积	8.25	0.15	0.3	3.64	0.15	0.3	2.71	0.15	0.3
下凹绿地面积	8.25	0	0	3.64	0	0	2.71	0	0
透水铺装面积	4.5	0.08	0.08	1.57	0.08	0.08	6.23	0.08	0.08
综合径流系数		0.58	0.74		0.65	0.82		0.56	0.71
汇水面积	67.98			42.31			35.11		

注: 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>湖设计流量分别为 5 186、3 632、2 605 L/s,径流总量分别为 16 637、11 416、8 263 m<sup>3</sup>。

### 3.4 雨水调蓄设施计算

径流总量计算公式:

$$W = 10 \Psi_{ZC} h_y F \quad (1)$$

式中  $W$ ——径流总量,  $m^3$

$\Psi_{ZC}$ ——雨量综合径流系数

$h_y$ ——设计降雨量, mm

$F$ ——汇水面积,  $hm^2$

设计降雨量取 33 mm, 雨量综合径流系数取表 2 中的加权平均值 0.76, 汇水面积为 145.41  $hm^2$ 。则厂区雨水径流总量为 36 314  $m^3$ 。设计流量计算:

$$Q = \Psi_{Zm} q F \quad (2)$$

式中  $Q$ ——设计流量, L/s

$\Psi_{Zm}$ ——流量综合径流系数

$q$ ——设计暴雨强度, L/(s ·  $hm^2$ )

设计降雨历时取 20 min,  $q = 132.35$  L/(s ·  $hm^2$ ), 流量综合径流系数取表 2 中的加权平均值 0.6, 汇水面积为 145.41  $hm^2$ 。则厂区总雨水设计流量为 11 422 L/s。

根据北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013) 第 4.2.3 条第一款“新建工程硬化面积达 2 000 平方米以上的项目, 具体配建标准为: 每千平方米硬化面积配建调蓄容积不小于 30 立方米的雨水调蓄设施”, 本项目应设雨水调蓄设施容量为:

$$\begin{aligned} V &= F_{\text{硬化面积}} \times 30 \text{ m}^3 \\ &= (F_{\text{屋面}} + F_{\text{道路广场}} + F_{\text{硬化区}}) \times 30 \text{ m}^3 \\ &= (67.88 + 28.83 + 7.2) \times 10 \times 30 \text{ m}^3 \\ &= 31 173 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (3)$$

厂区总调蓄容积应为 31 173  $m^3$ , 将其分解为钢筋混凝土调蓄水池、景观湖、入渗湖、下凹绿地四个调蓄部分, 其中钢筋混凝土水池调蓄容积为 1 000  $m^3$ ; 下凹绿地面积为 146 000  $m^2$ , 下凹深度为 10 cm, 则下凹绿地理论上的调蓄容积为 14 600  $m^3$  (由于下凹绿地设置相对集中, 实际通过道路竖向组织能够引流进入下凹绿地的雨水量有限, 下凹绿地实际调蓄容积为 3 639  $m^3$ ); 景观湖及入渗湖调蓄容积为 26 234  $m^3$ , 也就是说在重现期为 3~5 年、日降雨量  $\leq 33$  mm 时, 年径流总量控制率达到 85.87%。

## 4 设计方案的比选

### 4.1 设计条件

由于市政雨水管网尚未建设, 雨水没有外排出

路。在小于或等于规范规定的降雨量时, 厂区形成的径流总量必须全部调蓄。

厂区雨水管网流量设计重现期为二年, 降雨历时为 20 min。

总计为 36 314  $m^3$  的调蓄水量采用何种雨水利用方式及调蓄设施, 既可以达到调蓄效果又可以节省投资, 是摆在设计人员面前的难题。

### 4.2 设计方案比选

设计中对三个方案进行比选。

#### 4.2.1 直排加溢流调蓄方案

该方案设计思路是厂区雨水分为两个系统, 即雨水排水系统和雨水溢流系统。雨水排水管网接纳屋面、道路及其他硬化区域的雨水, 管径按照与市政雨水管网规划相同的径流系数计算得出的雨水允许排水量设计, 在厂区不同的排水主干管上每隔一定距离设计一个溢流井, 将超过该汇水区域市政雨水管网能接纳的雨水收集到雨水调蓄池中, 作为绿化用水, 收集后的雨水采用潜污泵直接从分散的雨水调蓄池中取水, 通过临时管线浇洒附近绿地, 无需专用雨水绿化管网。该方案的优点是: 可以减小厂区各条道路雨水主干管的管径及投资, 并且可以将雨水调蓄池分散设置在不同区域的绿化带内, 不需要做专用绿化用水管线, 还能满足初期雨水弃流要求, 使收集到的雨水水质更好。缺点是: 每条雨水主干管侧都需要增加一条雨水溢流管网, 虽然可降低雨水主干管管径和投资, 但又增加了雨水溢流管道, 投资并不减少还需要占用室外更多的地下空间, 因此该方案没能实施。

#### 4.2.2 调蓄水池与绿化、浇洒道路相结合方案

本项目总绿化面积为 29.196 4  $hm^2$ , 按照《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013) 第 3.2.5 条, 绿化用水按一级养护定额取值, 为 0.50  $m^3/(m^2 \cdot a)$ , 则全厂区年绿化用水量  $Q_{\text{绿}} = 291 964 \text{ m}^2 \times 0.50 \text{ m}^3/(m^2 \cdot a) = 145 982 \text{ m}^3/a$ 。按照《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013) 第 3.2.6 条, 浇洒道路按照水泥及沥青路面用水定额为 0.30 L/( $m^2 \cdot \text{次}$ ), 全年用水天数为 90 天, 每天一次, 则全厂区年浇洒道路用水量  $Q_{\text{路}} = 309 600 \text{ m}^2 \times 0.3 \text{ L}/(m^2 \cdot \text{次}) \times 90 \text{ 次}/a = 834 \text{ m}^3/a$ 。也就是说绿化及浇洒道路年用水量为 146 816  $m^3$ , 该地区中水费为 5.16 元/ $m^3$ , 若将雨水用作浇洒道路和绿化用水, 年节约水费 = 146 816  $m^3/a \times 5.16 \text{ 元}/m^3 =$





方式,潜污泵吸水井设在湖内,调蓄湖只做块石及透水砖护坡,雨水进水量较小时,进入湖内的雨水利用方式是入渗和蒸发。厂区土质为细砂、黏质粉土及粉质黏土,其土壤渗透系数分别为:细砂  $1.0 \sim 5.0$  m/d,黏质粉土  $0.1 \sim 0.5$  m/d,粉质黏土  $0.005 \sim 0.1$  m/d,由于没有做土壤渗透系数试验,设计采用以上三种土壤渗透系数的中间值  $0.3$  m/d,渗透面积为  $4\,618\text{ m}^2$ ,渗透量按《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013)第 3.3.1 条公式计算如下:

$$W_s = \alpha K J A_s t_s \quad (4)$$

式中  $W_s$ ——渗透设施渗透量,  $\text{m}^3$

$\alpha$ ——综合安全系数,一般取  $0.5 \sim 0.6$

$K$ ——土壤渗透系数,  $\text{m/s}$

$J$ ——水力坡降,一般取  $1$

$A_s$ ——有效渗透面积,  $\text{m}^2$

$t_s$ ——渗透时间,当用于调蓄时应  $\leq 12\text{ h}$ ,渗透池(塘)、渗透井可取  $\leq 72\text{ h}$ ,其他  $\leq 24\text{ h}$

2#湖渗透时间:

$$\begin{aligned} t_s &= W_s / (\alpha K J A_s) \\ &= 9\,156 / (0.6 \times 3.47 \times 10^{-6} \times 1 \times 10\,423) \\ &= 421\,922\text{ s} = 117\text{ h} = 4.88\text{ d} \end{aligned} \quad (5)$$

也就是说 2#湖  $9\,156\text{ m}^3$  调蓄容积在  $117\text{ h}$  就可以全部渗透完,每小时的渗透量为  $78.26\text{ m}^3$ ,2#湖内设有潜污泵吸水井,二用一备,潜污泵流量  $Q = 320\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 100\text{ kPa}$ ,  $N = 11\text{ kW}$ 。潜污泵提升量与渗透量之和满足  $12\text{ h}$  湖水排空的要求。

湖体及雨水提升井做法详见图 3。

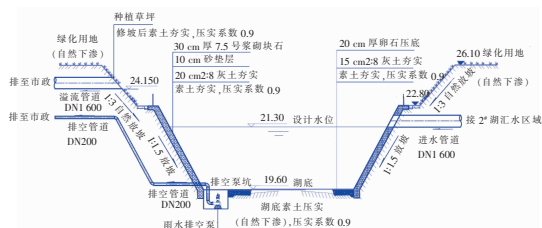


图 3 2#调蓄湖断面

Fig. 3 Sectional view of 2# storage lake

3#湖在厂区主干道西侧,主要作用是接纳 3#汇水区域内的调蓄雨水,3#湖蓄水容积为  $5\,754\text{ m}^3$ ,占地面积为  $2\,877\text{ m}^2$ ,平均水深为  $2\text{ m}$ ,汇水面积为  $35.12\text{ hm}^2$ ,硬化面积为  $23.47\text{ hm}^2$ ,绿化面积为  $5.42$

$\text{hm}^2$ ,下凹绿地面积为  $2.71\text{ hm}^2$ ,透水铺装面积为  $6.23\text{ hm}^2$ ,流量径流系数为  $0.56$ ,雨水主干管长为  $1\,050\text{ m}$ ,设计重现期为一年,入湖前设计流量为  $2\,605\text{ L/s}$ ,雨水干管管径为  $\text{DN}1\,300$ ,埋深为  $4.00\text{ m}$ ,采用湖前提升方式,调蓄湖做法详见图 3。

本工程 1#、2#湖在 2014 年建成后已投入使用,通过现场观察,二个湖的雨水入渗效果非常好,2#湖在一次暴雨收集水量达到溢流水位时,湖水水深为  $1.70\text{ m}$ ,在无防渗措施的情况下,  $5 \sim 6$  天湖水就可以全部入渗完,由此认为,在土壤渗透系数达到  $0.1 \sim 0.3\text{ m/d}$  时,雨水利用的诸多方法中,雨水入渗是既节约投资又能保持雨水自然循环方式的最佳方法,同时提醒设计人员,在初期雨水利用方案确定后,应及时提出土壤渗透系数要求,以便与结构专业提地勘报告要求同时提出,这样才能使雨水入渗设计参数更加准确。

当降雨超出设计标准  $33\text{ mm}$  时,在保证室内雨水出户管能正常排水的情况下,利用 2#调蓄湖内溢流液位  $24.10\text{ m}$  与雨水出户管设计标高  $21.33\text{ m}$  之间的  $2.77\text{ m}$  高差形成管道蓄水容积,湖体上部容积  $22\,026\text{ m}^3$  及室外雨水管道蓄水容积为  $1\,945\text{ m}^3$ ,二项之和为  $26\,366\text{ m}^3$ ,加上设计调蓄容积  $9\,156\text{ m}^3$ ,则 2#湖的极限调蓄容积为  $31\,182\text{ m}^3$ ,根据径流总量计算公式:  $W = 10\Psi_{\text{ZC}} h F$ ,在径流系数  $\Psi_{\text{ZC}}$ 、汇水面积  $F$  不变的情况下,2#湖极限收集降雨量为  $89.90\text{ mm}$ ,大于北京地区二年一遇最大  $24\text{ h}$  降雨量  $81\text{ mm}$ ,即在 2#湖可控制汇水区域内二年一遇最大  $24\text{ h}$  降雨量(见图 4)。

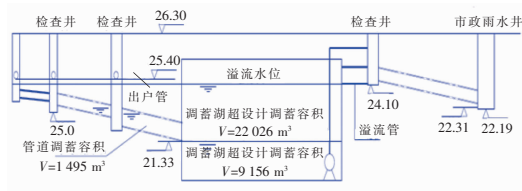


图 4 2#湖调蓄原理

Fig. 4 Schematic diagram of storage of 2# lake

## 5 运行效果及分析

本工程建成后,经历了 2015 年及 2016 年夏季年最大降雨强度及降雨历时,厂区路面无雨水积存,而老厂区则发生了雨水回灌部分建筑内的情况。雨水蓄水池及  $250\text{ mm}$  下凹绿地入渗效果良好,达到了设计要求(见表 4)。

表4 厂区2<sup>#</sup>湖及250 mm 下凹绿地雨水入渗效果  
Tab.4 Infiltration of 2<sup>#</sup> lake and 250 mm sunken green  
space in the plant m

测试时间	2 <sup>#</sup> 调蓄池 实测水深	测试时间	2 <sup>#</sup> 调蓄池 实测水深
2015年8月3日	1.50	2016年6月24日	1.50
2015年8月4日	1.37	2016年6月25日	1.35
2015年8月5日	1.20	2016年6月26日	1.20
2015年8月6日	1.03	2016年6月27日	1.03
2015年8月7日	0.83	2016年6月28日	0.88
2015年8月8日	0.61	2016年6月29日	0.63
2015年8月9日	0.31	2016年6月30日	0.38
2015年8月10日	0.05	2016年7月1日	0.10

注: 2016年6月24日、25日、26日下凹绿地水深分别为0.25、0.15、0.05 m。

从表4可以看到,在土壤渗透系数达到0.1~0.3 m/d时,雨水土壤入渗效果非常好。

## 6 设计中的不足

① 在1<sup>#</sup>景观湖进水前设计了无动力雨水分离器,该设备采用物理方法将雨水中的物理性杂质分离,分离后的净水经潜污泵提升后进入景观水池,但由于该设备造价高,采购困难未安装,使得景观湖的水质无法保证。

② 由于市政雨水管网未能与厂区雨水管网同步使用,雨水调蓄湖设置过于集中又无法采用底部流槽式,使得厂区雨水主干管管径特大且埋深大。

③ 在北京地区景观水体夏天能体现景观效果,冬季水池放空是一个大坑,不放空是一池冰,反倒影响用地内景观,因此在北京地区雨水利用设施作为大面积景观水体时应慎用。

## 7 结论

① 对于占地面积较大的大型工业厂区,由于植被浅沟较浅,只能收集附近硬化面积的地面排水,无法收集通过管道接入的雨水,因此不适宜在大型区域使用。

② 在入渗系数大的地区,雨水入渗是投资最小的雨水调蓄方式。

③ 大型工业厂区占地面积大、径流总水量大,

设计流量大,雨水管线长、管径大、埋深大;单体建筑占地面积大,硬化面积大,雨水控制与利用投资大,设计一定要进行多方案经济比较,使设计合理、投资低。

④ 对于与本工程入渗系数相近的地区,雨水控制与利用工程最实用、经济的做法是大面积地采用下凹绿地、植被浅沟和自然渗水沟渠等能直接入渗的方式,既可最大程度地补给地下水又最节省投资。

⑤ 利用景观湖做雨水调蓄时,应配套做雨水储水池,用以补充景观湖蒸发水量,以免景观湖在雨后变成耗水设施。

⑥ 雨水调蓄设施宜分散设置,以降低厂区雨水管道管径及埋深。

⑦ 调节水池宜采用底部流槽式。

## 参考文献:

- [1] GB 50400—2006,建筑与小区雨水利用工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] DB 11/685—2013,雨水控制与利用工程设计规范[S]. 北京:北京市规划委员会,北京市质量技术监督局,2013.



作者简介:寇伯村(1962—),女,河北深县人,大学本科,高级工程师,专业总工,主要从事工业及民用建筑给排水设计工作。

E-mail: koubocun@bidri.com.cn

收稿日期:2016-11-15