

顺义奥林匹克水上公园灌溉系统设计

李 炜¹ 汪斌峰² 罗海燕² 张炳艳² 张宏伟¹

(1 北京天鸿圆方建筑设计有限责任公司, 北京 100062; 2 北京湖人天地灌溉工程有限公司, 北京 100070)

摘要 节水与科技是顺义奥林匹克水上公园灌溉系统的两大亮点,灌溉系统水源为井水,为减少日后灌溉设备的维护费用,在每个水源处均配备有灌溉专用的过滤设备;灌溉控制系统采用 Sitecontrol 中央电脑控制系统,并配有灌溉专用气象站,做到了真正意义上的自动化灌溉与精确灌溉。

关键词 喷灌 灌溉制度 恒压供水 中央电脑控制系统 顺义奥林匹克水上公园

顺义奥林匹克水上公园(以下简称“水上公园”)是为举办第 29 届北京奥运会而规划的一处以自然山水、植被为主的比赛场所,总占地面积 162.59 hm²,建设用地面积 140.49 hm²,是一座大型的开放式城市公园。水上公园概貌详见文献[1]。

水上公园总绿化面积约 52.5 万 m²,其中草地约 24.4 万 m²(树下草坪面积 8.4 万 m²),占总绿地面积的 40%;乔木约 21 万 m²,占 34%;灌木约 16 万 m²,占 26%。

园区灌溉以喷灌为主,根据植物的需要及降雨量计算出需补充的水量来控制灌溉系统的运行,达到精确、高效、节约用水的目的。灌溉水源为井水,水泵直接与灌溉中控系统连接,由中央控制系统根据灌溉程序启闭水泵,并根据末端的出水量自动调频,达到恒压供水的目的。图 1 为灌溉系统原理示意。

1 灌溉设计基本资料

1.1 气候资料

北京市多年平均降雨量为 595 mm,年内分配不均匀,其中 7 月是全年降水高峰期,6、7、8 三个月的降雨

量占全年的一多半。多年平均水面蒸发量为 1 120 mm,最大冻土层深度为 0.8 m,春、秋多风,风速平均为 2.7 m/s。植物多年平均日最大耗水量约 5 mm/d。

水上公园地被主要为草坪,返青时间一般为 3 月中旬,褪绿时间为 11 月下旬,全年灌溉时间约 8 个月。根据文献[2]可知,草坪月日平均最大需水量为 5.5 mm/d,出现在 6 月;月日平均最小需水量为 0.5 mm/d,出现在 1 月。6 月中旬以前,草坪日需水量上升迅速,6 月中旬以后,以缓慢速度下降。

1.2 水源资料

水源为井水,通过加压的方式送入灌溉管道。为了达到灌溉的水质要求,在井出水口处安装有过滤器,防止砂砾进入管道,堵塞喷头。

1.3 地形与土壤资料

水上公园位于北京市顺义区,面积较大,但地势较为平坦,有少量的微地形,土壤上层为种植土,下层为粉细砂土,具有良好的渗透性能。

2 灌溉系统设计

2.1 灌溉水量平衡分析

2.1.1 灌溉用水量分析

灌溉设计按最不利情况考虑,即连续高温的情况下,能够保证一天轮灌 1 次,日灌溉最大用水量计算公式如下:

$$Q_m = S \cdot ET / (\eta T) \quad (1)$$

式中 Q_m ——日灌溉用水量, m³/d;

S ——灌溉面积, m²;

ET ——植物实际日耗水量,取 $ET=5.5$ mm/d;

η ——灌溉水有效利用系数,喷灌 $\eta=0.85$;

T ——灌水周期, d。

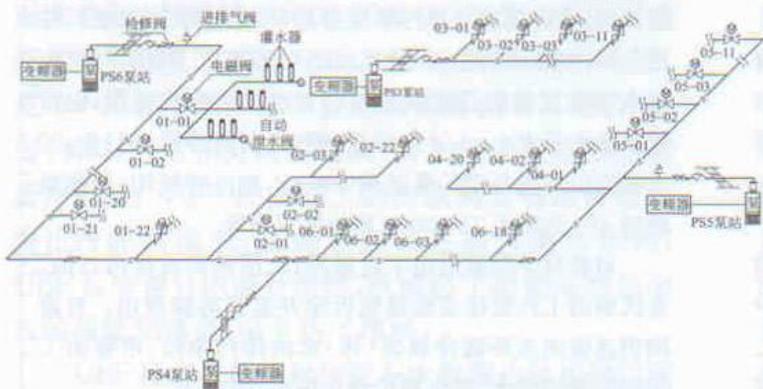


图 1 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统原理

经计算,水上公园实际日最大灌溉用水量为 3 397 m³/d。

按照《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003),绿化浇灌用水可按 3 L/(m²·d),计算出水上公园平均日灌溉用水量为 1 850 m³/d。

2.1.2 水量平衡分析

水上公园内现有水源井 7 口,其中灌溉用井为 6 口,单口井出水量为 50 m³/h,总出水量为 300 m³/h,按每天工作 8 h 计算,可供水量为 2 400 m³/d (此数大于平均日灌溉用水量 1 850 m³/d),完全满足植物灌溉要求。当出现最不利情况时,需延长灌溉作业时间,即每天工作 12 h,可出水 3 600 m³/d。

2.2 灌溉方式

水上公园草地约占 24.4 万 m²,设计中重点考虑草坪的自动灌溉。根据园区内各区域重要程度不同,采用了不同类型的灌溉方式:一些重要区域,如激流回旋赛道、终点区、公园南入口、主看台等,采用地埋升降式喷灌系统;其他区域则布置取水阀,采用移动式喷灌系统。

2.2.1 地埋升降式喷灌系统

喷头布置结合地块形状与种植范围,根据种植区域与绿地宽度的不同,选择不同类型的喷头,喷头的布置间距为喷头喷洒半径,采用正方形布置,喷头的射程即为喷头的布置间距。喷头的布置及性能参数见表 1,其中 SST 喷嘴喷洒的图形为长方形,在喷洒范围内喷灌强度是均匀的,故不需要重叠布置;喷头工作压力均为 0.2 MPa。

2.2.2 移动式喷灌系统

移动式喷灌系统主要由移动式摇臂喷头组成,灌

表 1 喷头布置及性能参数

喷头系列	喷嘴型号	布置方式 /m	喷头流量 /m ³ /h	喷洒半径 /m
1800	18VAN	5.5×5.5	1.21	5.4
1800	15VAN	4.5×4.5	0.84	4.5
1800	9SST	2.7×5.5	0.36	2.7×5.5*
1800	15SST	1.2×8.5	0.25	1.2×8.5*
3500	1.5	7.0×7.0	0.34	7.0
3500	2.0	8.2×8.2	0.34	8.2
3500	3.0	9.1×9.1	0.53	9.1
5000	4.0	11.6×11.6	0.55	11.6
5000	5.0	12.1×12.1	0.91	12.1
摇臂喷头	6.0	13×13	1.05	13.0

注: * 为矩形长×宽。

溉时从取水阀处取水,以喷头的射程为移动间距,喷头射程为 13 m,工作压力为 0.25 MPa,流量为 1.5 m³/h。

2.2.3 取水阀

整个园区布置有取水阀,主要用于以下四种情况的取水:①供移动式摇臂喷头取水;②供灌木与乔木的补充灌溉取水;③灌溉系统故障时,可临时人工取水浇灌,保证植物正常生长需水;④园区内喷药、施肥、道路清洗等临时取水。

采用 LAKERS-QCV-32 取水阀,接口尺寸为 1 in(1 in≈25.4 mm),人工补水管道长度为 30~40 m 较好操作,因此取水阀布置间距为 30~40 m。

3 草坪灌溉制度

水上公园属奥运会重点比赛区,各类植被应按特级养护标准养护,水上公园种植的草坪为冷季型草,根据《北京城市园林绿化养护管理标准》,冷季型草一年的绿色期应不小于 300 d。

3.1 草坪灌水周期

草坪的灌水周期为两次灌水之间的时间间隔。根据《草坪节水灌溉技术规定》(DB 11T349—2006),冷季型草灌水周期 T 应取一年中最不利的情况,表 2 为正常情况下的灌水周期,即 $T=3$ d,实际灌溉系统设计时,应考虑最不利情况,即在连续干热的天气情况下,能实现每天轮灌 1 次。

表 2 冷季型草坪平水年份灌水定额、次数和周期

时间 /月	灌水定额		特级养护		一级养护		二级养护	
	/m ³ /m ²	/mm	灌水次数 /次	灌水周期 /d	灌水次数 /次	灌水周期 /d	灌水次数 /次	灌水周期 /d
3	0.015~	15~	2	10~15	1	15~20	1	15~
	0.025	25						
4	0.015~	15~	4	6~8	4	6~8	2	10~
	0.025	25						
5	0.015~	15~	8	3~4	6	4~5	4	6~8
	0.025	25						
6	0.015~	15~	6	4~5	5	5~6	2	10~
	0.025	25						
7	0.015~	15~	3	8~10	2	10~15	1	15~
	0.025	25						
8	0.015~	15~	3	8~10	2	10~15	1	15~
	0.025	25						
9	0.015~	15~	3	8~10	3	8~10	1	15~
	0.025	25						
10	0.015~	15~	2	10~15	1	15~20	1	15~
	0.025	25						
11	0.015~	15~	2	10~15	1	15~20	1	15~
	0.025	25						

3.2 草坪设计灌水定额

灌水定额为完成一次灌溉所需要的水量:

$$m = T \cdot ET / \eta \quad (2)$$

式中 m ——灌水定额, mm。

由表 2 可知, 正常情况一次灌水定额为 15 mm, 若按最不利情况, 即在 6 月期间, 日平均最大需水量 ET 为 5.5 mm/d 时, 应实现每天轮灌 1 次, 按式(2) 可得每次灌水定额为 6.5 mm。

3.3 一次灌水延续时间

一次灌水延续时间为每组喷头一次灌溉需要的时间, 由灌水定额与灌水器的灌溉强度确定。

草坪区为灌溉最为频繁的种植区域, 计算时应根据喷头的组合喷灌强度、灌水定额, 计算出单只喷头的工作时间, 其计算公式如下:

$$t = 60 m / \rho \quad (3)$$

式中 t ——灌水时间, min;

ρ ——灌水器组合喷灌强度, mm/h。

灌水器组合喷灌强度可从设备参数中查取, 根据式(3), 可计算出不同灌水器的一次灌水时间, 见表 3。

3.4 灌溉轮灌方案

轮灌可提高管道的利用率, 降低设备投资费用。本工程采用了中央电脑自动控制系统, 并配备有气象站, 电脑能根据天气情况, 结合管道参数, 自动分配流量, 并自动划分轮灌组。确定轮灌方案时, 主要考虑以下几点:

(1) 轮灌的编组应有一定的规律, 以方便运行管理。

表 3 不同灌水器的一次灌水时间

灌水器型号	喷灌强度 ρ /mm/h	灌水定额 m /mm	布置方式 /m	喷头设计流量 q /m ³ /h	一次灌水时间 t /min
1804-18VAN	41	6.5	5.5×5.5	1.21	9.5
1804-15VAN	41	6.5	4.5×4.5	0.84	9.5
1804-15SST	25	6.5	1.2×8.5	0.25	15.6
1804-9SST	24	6.5	2.7×5.5	0.36	16.3
3504-1.5	5.5	6.5	7.7	0.26	71
3504-2.0	5	6.5	8.2×8.2	0.34	78
3504-3.0	6.5	6.5	9.1×9.1	0.53	60
500-4.0	5.5	6.5	11.6×11.6	0.71	71
500-5.0	5	6.5	12.1×12.1	0.91	65
移动式摇臂喷头	11	5.6	13×13	1.50	36

(2) 各轮灌组的分配流量应尽量接近, 从而使系统的流量保持在较小的变动范围内。

(3) 轮灌编组应有利于提高管道设备利用率。

(4) 轮灌编组时, 应使地势较高或路程较远的组别喷头数略少; 地势较低或路程较近的组别喷头数略多, 以利于保持增压水泵始终工作在高效区。

(5) 制定轮灌顺序时, 应将流量分散到各配水管道, 避免流量集中于某一条干管配水。

根据以上几点, 编制水上公园的灌溉轮灌制度, 具体见表 4~9。

表 4 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统 01 号控制器轮灌制度

组号	第一次灌水		第二次灌水		A 程序		B 程序		C 程序		D 程序		PS6 轮灌组总流量 /L/s	PS4 轮灌组总流量 /L/s
	开始	结束	开始	结束	站点号	阀流量 /L/s								
1	0:00	0:35	16:00	16:35	01-04	12.00	01-08	13.20					25.20	
2	0:35	1:10	16:35	17:10	01-05	7.20	01-11	11.34					18.54	
3	1:10	1:45	17:10	17:45	01-06	10.20	01-13	17.01					27.21	
4	1:45	2:20	17:45	18:20	01-09	12.60	01-14	9.60	01-01	4.80			27.00	
5	2:20	2:55	18:20	18:55	01-10	10.53	01-16	9.24	01-02	6.00			25.77	
6	2:55	3:30	18:55	19:30	01-12	11.34	01-17	11.34	01-03	7.20			29.88	
7	3:30	4:05	19:30	20:05	01-15	6.00	01-18	13.20	01-07	6.60			25.80	
8	4:05	4:40	20:05	20:40	01-21	12.96	01-19	15.60					28.56	
9	4:40	5:15	20:40	21:15			01-20	17.01					17.01	
10	5:15	5:50	21:15	21:50							01-22	19.44		49.56

表5 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统02号控制器轮灌制度

组号	第一次灌水		第二次灌水		A程序		B程序		C程序		D程序		流量 /L/s	PS4轮灌 组总流量 /L/s
	开始	结束	开始	结束	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s		
1	0:00	0:35	16:00	16:35	02-01	13.80							13.80	40.77
2	0:35	1:10	16:35	17:10	02-02	14.40							14.40	39.96
3	1:10	1:45	17:10	17:45	02-04	11.40							11.40	37.98
4	1:45	2:20	17:45	18:20	02-05	10.20							10.20	38.40
5	2:20	2:55	18:20	18:55	02-06	12.15							12.15	37.35
6	2:55	3:30	18:55	19:30	02-07	13.77							13.77	39.57
7	3:30	4:05	19:30	20:05	02-08	11.34	02-03	12.60					23.94	42.57
8	4:05	4:40	20:05	20:40	02-09	10.53	02-13	13.20					23.73	42.36
9	4:40	5:15	20:40	21:15	02-10	11.40	02-14	12.60					24.00	41.01
10	5:15	5:50	21:15	21:50	02-18	9.72	02-15	9.60					19.32	49.56
11	5:50	6:25	21:50	22:25	02-19	12.96	02-16	15.39					28.35	40.95
12	6:25	7:00	22:25	23:00	02-20	16.20	02-17	17.01					33.21	45.81
13	7:00	7:35	23:00	23:35	02-21	14.28	02-22	16.17	02-11	6.30	02-12	7.34	44.09	44.09

表6 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统03号控制器轮灌制度

组号	第一次灌水		第二次灌水		A程序		B程序		C程序		PS3轮灌组 总流量 /L/s
	开始	结束	开始	结束	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	
1	0:00	0:35	16:00	16:35	03-01	18.63					18.63
2	0:35	1:10	16:35	17:10	03-02	16.20					16.20
3	1:10	1:45	17:10	17:45	03-09	16.80					16.80
4	2:00	2:06	18:00	18:06			03-03	10.29	03-05	16.50	26.79
5	2:06	2:12	18:06	18:12			03-04	12.00	03-06	15.60	27.60
6	2:12	2:18	18:12	18:18			03-07	11.34	03-08	17.37	28.71
7	2:18	2:24	18:18	18:24			03-11	6.72	03-10	22.68	29.40

表7 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统04号控制器轮灌制度

组号	第一次灌水		第二次灌水		A程序		B程序		C程序		流量 /L/s	PS5轮灌 组总流量 /L/s
	开始	结束	开始	结束	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s		
1	0:00	0:35	16:00	16:35	04-01	14.58	04-05	15.39			29.97	46.17
2	0:35	1:10	16:35	17:10	04-02	18.63	04-06	16.20			34.83	49.41
3	1:10	1:45	17:10	17:45	04-03	17.01	04-09	16.20			33.21	47.79
4	1:45	2:20	17:45	18:20	04-04	17.01	04-11	17.01			34.02	44.82
5	2:20	2:55	18:20	18:55	04-07	17.01	04-12	17.01			34.02	49.02
6	2:55	3:30	18:55	19:30	04-08	17.82	04-13	13.80			31.62	47.01
7	3:30	4:05	19:30	20:05	04-10	18.63	04-17	14.58			33.21	48.60
8	4:05	4:40	20:05	20:40	04-15	17.82	04-18	16.20			34.02	47.79
9	4:40	5:15	20:40	21:15	04-16	17.82	04-20	14.58			32.40	48.60
10	5:15	5:50	21:15	21:50					04-14	12.60	12.60	49.05
11	5:50	6:25	21:50	22:25					04-19	19.44	19.44	35.64



表 8 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统 05 号控制器轮灌制度

组号	第一次灌水		第二次灌水		A 程序		B 程序		C 程序		D 程序		流量 /L/s	PS5 轮灌组流量 /L/s
	开始	结束	开始	结束	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s	站点号	阀流量 /L/s		
1	0:00	0:35	16:00	16:35	05-02	16.20							16.20	46.17
2	0:35	1:10	16:35	17:10	05-03	14.58							14.58	49.41
3	1:10	1:45	17:10	17:45	05-04	14.58							14.58	47.79
4	1:45	2:20	17:45	18:20	05-05	10.80							10.80	44.82
5	2:20	2:55	18:20	18:55	05-06	15.00							15.00	49.02
6	2:55	3:30	18:55	19:30	05-07	15.39							15.39	47.01
7	3:30	4:05	19:30	20:05	05-08	15.39							15.39	48.60
8	4:05	4:40	20:05	20:40	05-09	13.77							13.77	47.79
9	4:40	5:15	20:40	21:15	05-10	16.20							16.20	48.60
10	5:15	5:50	21:15	21:50	05-11	16.20	05-01	20.25					36.45	49.05
11	5:50	6:25	21:50	22:25			05-12	16.20					16.20	35.64

表 9 顺义奥林匹克水上公园灌溉系统 06 号控制器轮灌制度

组号	第一次灌水		第二次灌水		A 程序		B 程序		C 程序		D 程序		流量 /L/s	PS4 轮灌组流量 /L/s
	开始	结束	开始	结束	站点号	阀流量 /L/s								
1	0:00	0:35	16:00	16:35	06-01	13.77	06-11	13.20					26.97	40.77
2	0:35	1:10	16:35	17:10	06-02	12.96	06-16	12.60					25.56	39.96
3	1:10	1:45	17:10	17:45	06-04	14.58	06-17	12.00					26.58	37.98
4	1:45	2:20	17:45	18:20	06-05	16.20			06-08	12.00			28.20	38.40
5	2:20	2:55	18:20	18:55	06-07	12.60			06-12	12.60			25.20	37.35
6	2:55	3:30	18:55	19:30	06-09	14.40			06-13	11.40			25.80	39.57
7	3:30	4:05	19:30	20:05							06-03	18.63	18.63	42.57
8	4:05	4:40	20:05	20:40							06-06	18.63	18.63	42.36
9	4:40	5:15	20:40	21:15							06-10	17.01	17.01	41.01
10	5:15	5:50	21:15	21:50							06-14	10.80	10.80	49.56
11	5:50	6:25	21:50	22:25							06-15	12.60	12.60	40.95
12	6:25	7:00	22:25	23:00							06-18	12.60	12.60	45.81

4 灌溉管道系统计算

4.1 管道经济过流量计算

水上公园灌溉系统供水管道均为 PVC-U 管, 根据管道管径计算出管道经济过流量, 经济流速 v 取 1.5 m/s, 计算公式如下:

$$Q = \pi d^2 v / 4 \quad (4)$$

式中 Q ——管道经济过流量, m^3/s ;

d ——管道管径, m。

不同管径 PVC-U 管道经济过流量见表 10。

表 10 PVC-U 管道经济过流量计算结果

标称管径/mm	过流量/ m^3/h	标称管径/mm	过流量/ m^3/h
160(144)	87.90	63(57)	13.77
110(98)	40.71	50(44)	8.21
90(80)	27.13	32(27)	3.09
75(67)	19.03		

注: 括号内数值为管内径。

4.2 灌溉管道水力计算

水上公园灌溉系统管道主管以 $dn160$ 、 $dn110$ 、 $dn90$ 、 $dn75$ 、 $dn63$ 为主, 支管以 $dn63$ 、 $dn50$ 、 $dn32$ 为主。

灌溉系统设计时,已考虑了管道系统经济过流量,并将管道实际过流量严格控制在经济过流量以内。

取水阀灌溉区域内取水阀与移动喷头的数量较少,灌溉作业方式相对简单。自动喷灌区域,控制阀与喷头数量很多,本文仅列出自动喷灌区域的管道水力计算结果。

以 PS5 为例,该泵站同时开启的电磁阀有 3 组,经过多组校核比较,图 2 所示路径为最不利情况。图 2 中 A 点表示泵站出口,流量为所有同时作业的灌溉电磁阀流量之和;B 点为分流点,即有一组电磁阀在此处分流;C 点也为分流点,表示此处又有一组电磁阀分流;D 点为最不利点,此处为最远端工作的一组电磁阀。PS5 泵站水泵出口处至最不利点 D 干管水头损失计算结果见表 11。其他泵站干管最不利点水头损失计算结果略。

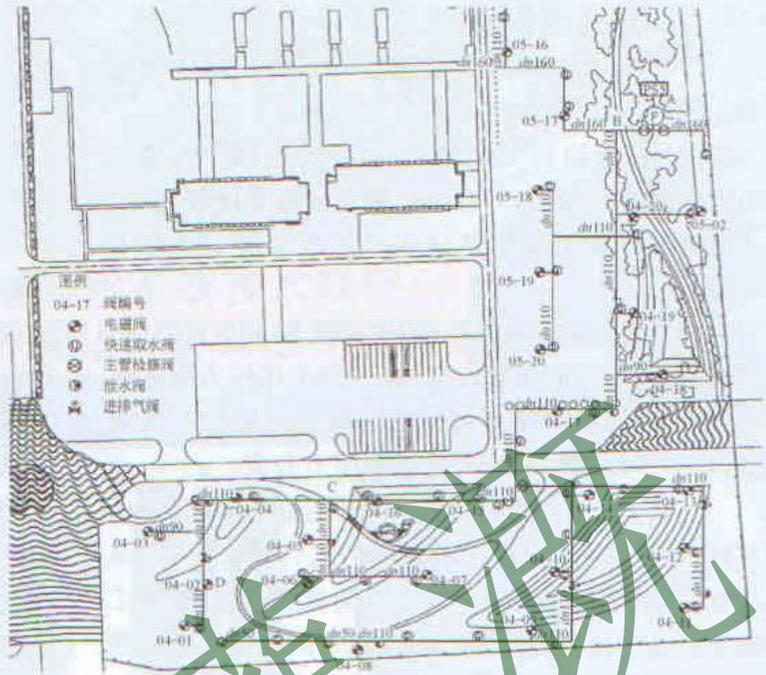


图 2 PS5 泵站灌溉管网分布示意图

电磁阀后灌水器灌溉的是哪种植物等,电脑根据这些工程数据,并结合气象站返回的气象数据,自动编写灌溉程序,完成植物灌溉。

6.1 控制系统工作原理

灌溉自控系统工作原理(见图 3)为通过自动高精度气象站收集与植物需水相关的气象数据并反馈给电脑,通过灌溉管理软件,以修正彭曼(Penman)蒸散模型(2000 年)理论为核心,计算出植物前一天损耗的水量 ET 值,在植物、土壤、地形、系统压力、灌水器流量等数据库的支持下,自动决策哪些部位的哪些植物今天需要补充水分及补充多少水分。中央电脑向各卫星控制器发送指令并由中间转换器 TWI 传递给各卫星控制器,由卫星控制器完成电磁阀的启闭,按照电脑智能决策的灌溉时间和顺序自动完成园林绿地的灌溉。

表 11 PS5 泵站干管最不利点水头损失计算

管段	长度/m	流量/m ³ /h	管内径/mm	水头损失/m
AB	33	49.41	144	0.17
BC	378	34.83	98	6.76
CD	123	18.63	98	1.73
合计				7.66

5 灌溉系统水泵压力计算

灌溉系统水泵压力计算公式如下:

$$H = h_{干} + h_{阀} + h_{支} + h_{设} + h_{滤} + \Delta H \quad (5)$$

式中 H ——灌溉系统水泵压力, m;

$h_{干}$ ——干管最不利点水头损失, m;

$h_{阀}$ ——电磁阀水头损失, 取 $h_{阀} = 2$ m;

$h_{支}$ ——支管水头损失, 取 $h_{支} = 0.2 h_{干}$;

$h_{设}$ ——灌水器设计工作压力, m;

$h_{滤}$ ——过滤器水头损失, 取 $h_{滤} = 5$ m;

ΔH ——最不利点与泵站入水口处高程差, m。

根据各干管水头损失,可计算出自动喷灌区域内各泵站出口处所需压力,PS3 泵站 $H = 53.49$ m, PS4 泵站 $H = 40.37$ m, PS5 泵站 $H = 39.66$ m, PS6 泵站 $H = 42.96$ m。

6 灌溉控制系统

灌溉控制采用 Sitecontrol 中央电脑控制系统,施工完成后,在电脑中输入灌溉系统基本的工程数据并建立数据库,如电磁阀与控制器的所属关系,电

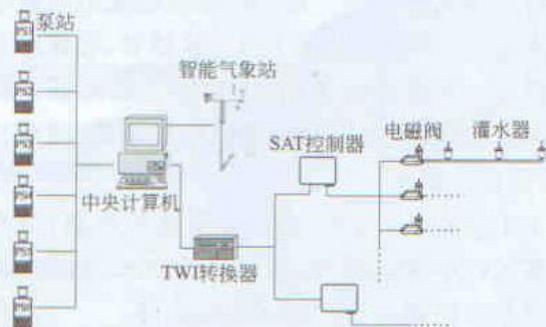


图 3 灌溉自控系统工作原理