

上海光源工程给排水设计

汤福南 徐凤 鲁宏深

(上海建筑设计研究院有限公司, 上海 200041)

摘要 介绍了迄今为止国内最大的大科学工程——上海光源工程的给排水设计。针对该工程特殊的工艺要求及新颖的建筑形态,提出了给排水设计中较新的设计思路及设计方法,着重介绍了其中的防振动设计及“鹦鹉螺”型曲屋面的雨水排放型式等设计理念。

关键词 主体建筑 拱壳面 雨水排水 空间曲线

1 总体概况

1.1 工程概况

本项目建设用地位于上海浦东张江高科技园区的西南角,基地东西长 615 m,南北宽 333 m,总用地面积约 20 万 m^2 。一期拟建建筑总面积约 45 000 m^2 ,其中包括主体建筑(约 39 000 m^2 ,建筑高度约 17 m)、综合实验楼、综合办公楼、用户招待所,以及相关工艺设备所需的动力设备用房。上海光源装置投入运行后,将是当今世界上最先进的第三代同步辐射光源之一;将成为 21 世纪我国乃至世界多学科前沿研究中心和高新技术的开发应用研究基地,为我国的知识和技术创新提供实验平台。

上海光源工程主体建筑是一个直径约为 210 m 的环型建筑,由电子直线加速器、增强器、储存环隧道及实验大厅、实验辅助用房及设备辅助用房组成。其中,储存环隧道外沿周长约 452 m,近似一个外径 144 m、宽 7.5 m 的封闭圆环,主体建筑分为内环中心区建筑(包括直线加速器隧道、增强器隧道及辅助设备用房)和位于圆环外侧的同步辐射光实验应用区域(包括实验大厅及实验辅助用房),主体建筑的平面布局见图 1。

主体建筑屋顶为鹦鹉螺型曲面,屋顶最高点标高约为 19 m,内檐口的标高约为 17 m,实验大厅的室内净高约为 15.5 m,周边实验辅助用房为 2 层,1 层的地面标高为 ± 0.0 m,2 层的地面标高为 4.2 m。

(3) 采用抗震性较好的塑料管,如 PE 管或钢丝网骨架 PE 复合管等。如有必要,应计算在水平地震作用下,剪切波所引起的管道变位或应变,并采取补偿措施。

(4) 当输水埋地管道不能避开活动断裂带时,应采取以下措施:管道应尽量与断裂带正交;管道应敷设在套筒内,周围填充沙料;断裂带两侧的管道上(距断裂带一定距离)应设置闸阀。

5 结语

平时进行工程设计时,给排水专业较少考虑抗震设防措施,有了 5·12 汶川大地震的惨痛教训,设计时应查看工程所在地的抗震设防烈度,并严格遵循相关规范。

本专业先后参加映秀镇过渡房援建现场设计工作的还有徐智勇、郭进军、林海云、甘兆麟、李红岩,

另外,在文章写作过程中得到了本院赵力军副总工程师的悉心指导,在此一并表示诚挚感谢!

参考文献

- 1 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地震灾区过渡安置房建设技术导则. 2008
- 2 四川省建设厅. 四川省灾区过渡安置点消防技术措施和消防安全管理规定. 2008
- 3 GB 50016—2006 建筑设计防火规范
- 4 GB 50032—2003 室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范

通讯处: 510620 广州市天河区体育东路体育东横街 3 号 广州市设计院二室

电话: (020) 87513096

E-mail: jidengcai@gzdi.com

收稿日期: 2008-07-10

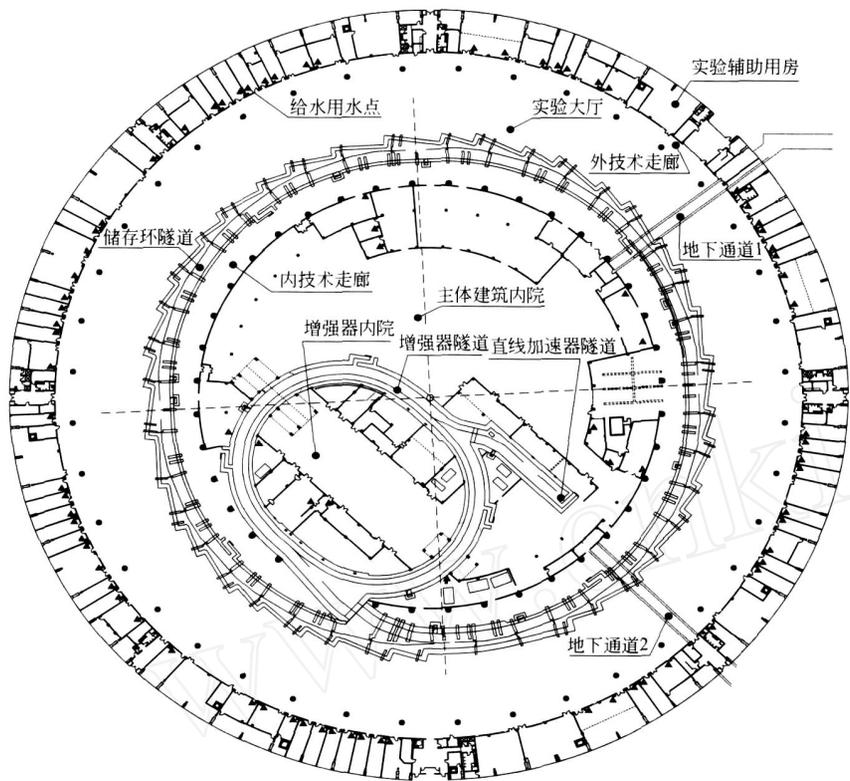


图1 主体建筑平面及用水点布置示意

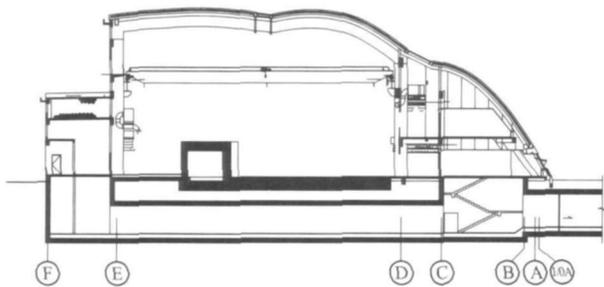


图2 主体建筑剖面(含地下通道)示意

另外,2层设有两座天桥跨越储存环隧道顶部从周边实验辅助用房2层至技术夹层。主体建筑剖面见图2。

1.2 功能简介

上海光源装置是一台高性能的中能第三代同步辐射光源,总功率为600 kW,是X光机的上万倍。上海光源装置的X射线能量仅次于世界上仅有的分布在美国、日本、欧洲的3台高能光源装置,居世界第四。它是目前世界上正在建造或设计中性能最好的中能光源之一,设计科学寿命超过30年,建成后将成为我国具有国际先进水平的基础研究、应用

研究科技创新的前沿基地。

上海光源装置将建设60条以上的光束线和上百个实验站。建成后可向用户供光机时每年超过5000 h,每天可容纳几百名来自海内外不同学科领域的科学家使用同步辐射光开展试验研究;可以用来开展材料科学、生命科学、环境科学、信息科学、物理学、化学、医药学、地质学等学科领域的基础研究和应用研究,是这些科研领域不可替代的先进科研工具。

2 工艺装置对给排水专业要求

2.1 对给水系统的要求

主体建筑的建筑平面均按照工艺设备的要求而布置,其内院布置有储存环电源厅、高频机房及为储存环工艺设备服务的空调机房;另设置有增强器的主、副电源厅,高频机房;直线加速器调制机房内有增强器调制机房、为直

线加速器服务的空调机房等。按照工艺及相关专业的要求,上述机房内均需供水。

2.2 对排水系统的要求

因为工艺设备要求的特殊性,主体建筑是一个圆环型建筑物,内有储存环隧道、实验大厅及周边实验室,环内又建造了一个增强器及直线加速器隧道,在主体建筑的内院分布着很多工艺设备机房(如电源机房、高频机房、调制机房等)及为工艺设备服务的空调机房,其中几乎所有的机房都要求设置排水系统。

储存环、增强器及直线加速器隧道内设置有大量的工艺设备(如各种类型的二极磁铁、四极磁铁、六极磁铁、弯转磁铁、真空盒等);内技术走廊上也连续设置有大量的工艺电源柜,这些工艺设备需要大量的一次冷却水来带走绝大部分的热量。工艺设备机房内敷设有大量的工艺电缆,这些电缆都是为工艺设备(电源柜、高频机)服务的,而且这些电缆均敷设在1 m以下深度的地沟内,这些地沟又都处在机房的最低点。

因为上海光源是一个科学装置,所以工艺设备的运行过程实际上是一个不断调试、不断研究、不断完善的过程,科学家在做试验时为了获得最佳的试验数据,会不断的调整试验方案,同时会调整一次冷却水系统与工艺设备的接口,而这些管道接口的调整有时会发生接口脱落的现象,脱落接口泄漏的冷却水就会流至机房的最低点即电缆地沟内,这样就必须在地沟内设置排水地漏将事故时泄漏的冷却水排出。

2.3 对振动的要求

振动将会使储存环中的磁铁也发生机械振动,从而引起束流闭合轨道随时间而变化。振动源有外部源和内部源二种,外部源是指离储存环较远的振动源,如交通运输工具,其他设备如水泵和压缩机等;内部源是指一些十分靠近储存环磁铁的振动源,如相关设备的振动和磁铁冷却水的湍流。外部振动源的能量以平面波的形式沿储存环直径方向,通过磁铁支架传递给磁铁,而内部振动源将通过磁铁支架致使储存环的四极磁铁产生准随机分布的位置偏差。储存环隧道基础底板的振动控制要求为,垂直和水平方向在频率 $1 \sim 100 \text{ Hz}$ 时, RMS(均方根值) 振幅 $Z < 1.0 \mu\text{m}$ 。而一般普通的工程是不控制此项指标的。

3 给水设计

3.1 给水系统的设计

绿化用水由市政给水管网直接供水,空调补充水(包括生活用空调及工艺装置用空调)和建筑物的生活用水由水池、变频泵联合供水,水池和水泵均设于动力设备用房内。

工艺要求及相关专业提出的用水量均为检修场地的洗手盆用水;用水点相当分散,如图 1 所示,且因为储存环内院布置有大量的各个专业的管线(如密集的电纜沟、生活排水管、工艺废水排水管、雨水管),而内院的场地面积又非常小,所以除了必须要埋地敷设的管线外其他管道尽量避免埋地敷设,这样既可减少将来管道维修时开挖地面的工作量,又可避免与其他管线的矛盾。

根据建筑平面布置的特点,将供内院的给水总管敷设在标高 6.25 m 的技术夹层内,在沿途经过有机房的地方引出给水支管供机房使用。在给水干管

引入处均设置倒流防止器以避免回流污染。管道敷设之处特别注意要避免让电器设备及电器用房。

3.2 给水系统的防振动设计

为避免水泵运行时可能产生的振动,供水泵均设置于远离主体建筑 85 m 以上的专用机房内,同时供水泵至工艺用水点的管线均通过专用的地下通道穿越主体建筑。为了防止管道内的水流因流速过高而产生湍流,从而对工艺装置可能产生的影响,控制管道流速 $< 1.8 \text{ m/s}$ 在系统管路中加强管线排气措施,以防止因管道积气而产生的管道振动。

4 排水设计

4.1 排水系统分类

在储存环、增强器及直线加速器隧道及内技术走廊上都设置有排水地沟及排水地漏,通过地沟将事故泄漏水汇集到地漏再排至室外的排水管网。根据防辐射工艺提出的要求,这部分冷却水系统的事故排水有可能会含有活化颗粒,需单独成为一个系统,故排水系统分为普通排水系统及含辐射工艺废水排水系统。

4.2 接入普通排水系统的排水器具

- (1) 空调机房的地漏;
- (2) 直线加速器调制机房内的洗涤盆及地面普通地漏;
- (3) 增强器主、副电源厅及高频机房内的洗涤盆及地面普通地漏;
- (4) 储存环电源厅及高频机房内的洗涤盆及地面普通地漏。

4.3 接入含辐射工艺废水排水系统的排水器具

- (1) 直线加速器调制机房内电纜地沟排水;
- (2) 直线加速器、增强器及储存环隧道内地沟排水;
- (3) 储存环内技术走廊的地沟排水;
- (4) 增强器主、副电源厅及高频机房内的电纜地沟排水;
- (5) 储存环电源厅及高频机房内的电纜地沟排水。

4.4 排水系统的设计

普通排水管道直接排至主体建筑内院的室外排水系统。含辐射工艺废水排水管道先排至设置在主

体建筑内院的衰减池,经检测达标后再排至室外排水系统。因为主体建筑是一个封闭的建筑物,内院的排水管道如何敷设至建筑物外是一个较大的难题。

上海光源工程所在的浦东张江地区是典型的软土地基,内院机房内的排水潜水泵运行时所产生的振动对储存环隧道的影响也较大,可能会造成隧道内光束线的偏移。为了满足防振动的要求,显然用排水潜水泵提升排至主体建筑外围排水管网的方法不可取;而在主体建筑的径向设置 1 条排水地沟用以敷设内院排出的排水管及雨水管的方法其所带来的建筑及结构专业的难题太大。

从图 1 可以看出,如果要在径向设置排水沟则要穿越内技术走廊、储存环隧道、实验大厅及周边实验室,而这几部分的结构基础都是各自独立的,穿越几个独立基础的排水地沟,在各基础的结合部因建筑物沉降量的不同可能会发生断裂;而将排水管及雨水管直接敷设于建筑物的结构底板内排至室外,又不够安全,以后无法检修。经过综合比较,在建筑物的结构底板下再另行设置地下通道,将需要穿越主体建筑内院和外围的所有管线都敷设在此地下通道内。增强器内院的排水管及雨水管在穿越增强器 6 m 宽的隧道时,预先在隧道结构基础的底板下预埋钢套管,排水管及雨水管均在钢套管内穿越。

5 雨水排放系统设计

5.1 主体建筑的屋面特点

主体建筑的屋面造型独特,由 8 组螺旋上升的拱壳面共同组成,形成一个酷似“鹦鹉螺”的建筑物,见图 3、图 4 平面、立面示意。

从图 3 中可以看出,屋面的外边缘与地面相连,而屋面的中央部位因为“鹦鹉螺”的造型缘故有 8 条曲面型的凹肋,凹肋处布置有采光窗。

5.2 屋面雨水排水系统的比较

针对主体建筑的重要性,设计采用了 100 年重现期的设计参数,为了快速排除屋面雨水,尽量减少雨水管道数量和减小管径及管道对钢屋架的荷载,并减少雨水管道对实验大厅的影响,经过经济技术比较,屋面雨水排水采用虹吸式和重力式组合的排水系统。据国外相关资料介绍,当降雨强度达到设

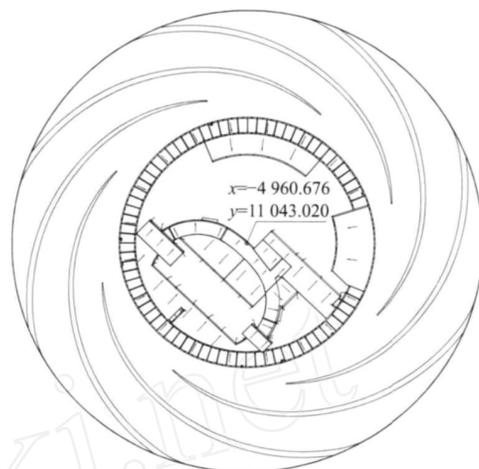


图 3 屋面平面示意

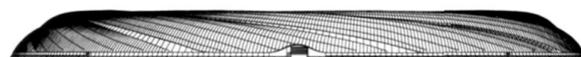


图 4 立面示意

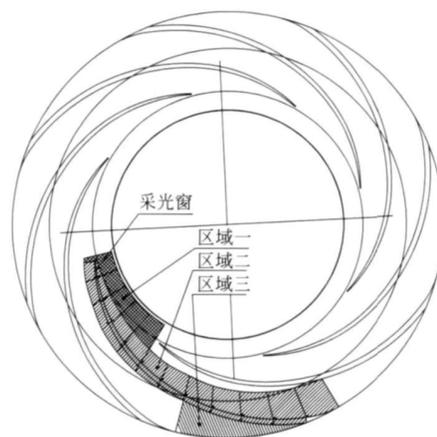


图 5 屋面雨水分析示意

计值的 50% 时,虹吸式雨水排水系统就能产生虹吸作用使系统排水能力加大。主体建筑屋面可以分成面积相等的 8 块,每块分成 3 个区域,主体建筑屋面雨水分析见图 5。

结合图 2、图 5,分析如下:

(1) 如区域一、二、三全部采用重力流,因屋面面积太大,且因屋架钢结构荷载安全及施工难度大等因素,室内空间也不允许敷设很多的雨水管道。而如全部采用虹吸雨水排水系统,则又会使造价上升,且在储存环上方布置太多的虹吸雨水管会因管

内流速过高可能产生湍流而引起振动,影响工艺装置的安全运行。

(2) 区域一屋面形状较平坦,屋面的坡度向内院的外墙倾斜,且靠近内院,有利于在主体建筑内院的外墙上敷设雨水管,从经济性及有利于施工安装考虑,该区域设计为重力与虹吸式相结合的雨水排水区域,即在外墙设置有重力雨水排水管,在该区域另一侧设置有虹吸雨水排水天沟及虹吸雨水斗。雨水量较少时靠重力流排水;雨水量大时虹吸式雨水排水与重力流雨水排水系统共同排水。

(3) 区域二的屋面位于螺旋上升的拱壳面即“鹦鹉螺”的核心部位,该区域远离主体建筑的外墙,普通的重力雨水管道很难布置,故该区域设计为虹吸式雨水排水区域。但该区域屋面形状是沿“鹦鹉螺”的下螺旋方向逐渐变得越来越陡,位于螺旋下降的拱壳面即“鹦鹉螺”的末端靠近主体建筑的外墙,有利于重力流的设计,因此设计为重力雨水排水区域。综合考虑后,将区域二靠近圆心的部位设计为虹吸式雨水排水区域,而靠近外围的末端则设计为重力流雨水排水区域。

(4) 为安全起见,在区域三的外圈落地处设置一条环向的室外雨水排水明沟,以解决屋面雨水来不及进入屋面虹吸式雨水排水天沟而顺屋面流下,影响室外场地。

5.3 屋面雨水系统的设计

5.3.1 雨水天沟的布置

3个雨水排水区域的雨水天沟布置如图6所示。图6中天沟三为重力流雨水排水的汇水天沟;天沟一、二为虹吸式雨水排水的汇水天沟;天沟四为重力流雨水排水的汇水天沟,同时作为天沟一、二的

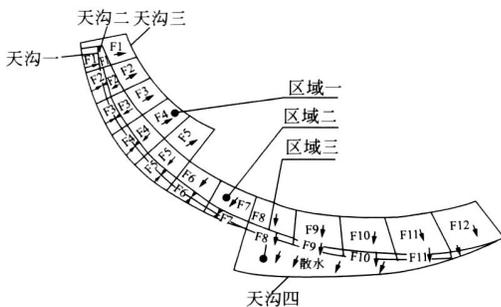
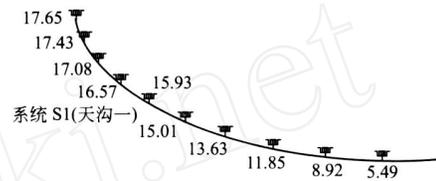


图6 屋面雨水天沟布置示意

备用,因为天沟一、二的形状是螺旋下降的空间曲线,在雨水量很大的时候其末端的雨水将会越过虹吸雨水斗而流入下游,天沟四此时的部分作用就是拦截此部分雨水,并作为溢流设施。

5.3.2 雨水量的分析与计算

虹吸式排水的屋面雨水天沟一、二的简图及计算结果分别见图7图8。



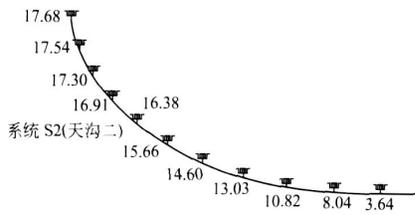
分区编号	汇水面积 /m ²	50年暴雨流量 /L/s	100年暴雨流量 /L/s	雨水斗标高 /m
(1)- F1	52	3.69	4.05	17.65
(1)- F2	67	4.75	5.21	17.43
(1)- F3	70	4.96	5.45	17.08
(1)- F4	74	5.25	5.76	16.57
(1)- F5	70	4.96	5.45	15.93
(1)- F6	62	4.40	4.82	15.01
(1)- F7	48	3.12	3.42	13.63
(1)- F8	38	2.69	3.11	11.85
(1)- F9	41	2.91	3.19	8.92
(1)- F10	44	3.12	3.42	5.49
(1)- F11	43	3.05	3.35	无法收集
小计	609			

注:降雨重现期 $P=50$ a,设计降雨强度 $q_j=7.09$ L/(s·100 m²); $P=100$ a, $q_j=7.78$ L/(s·100 m²);图8同。

图7 屋面雨水天沟一简图及计算结果

5.3.3 虹吸式雨水排水系统设计

整个屋面的虹吸式雨水排水系统分成8组,每组设置2套管道系统,每套管道系统均对应天沟一及天沟二的雨水排水,每条天沟上每隔一定距离设置虹吸雨水斗。具体做法是在天沟一及天沟二下面与天沟的空间曲线平行设置雨水排水悬吊管,虹吸雨水斗尾管与悬吊管连接,通过立管及埋地排出管将雨水排至室外雨水系统。虹吸雨水排水系统的管材采用HDPE管,重力流雨水排水系统按常规做法设计,即根据雨水量计算汇水面积及确定管道



分区编号	汇水面积 /m ²	50年暴雨流量 /L/s	100年暴雨流量 /L/s	雨水斗标高 /m
(2)- F1	15	1.06	1.17	17.68
(2)- F2	38	2.69	2.96	17.54
(2)- F3	59	4.18	4.59	17.30
(2)- F4	76	5.39	5.91	16.91
(2)- F5	90	6.38	7.00	16.38
(2)- F6	100	7.09	7.78	15.66
(2)- F7	118	8.37	9.18	14.60
(2)- F8	136	9.64	10.58	13.03
(2)- F9	157	11.13	12.21	10.82
(2)- F10	186	13.19	14.47	8.04
(2)- F11	220	15.60	17.12	3.64
(2)- F12	248	17.58	19.29	无法收集
小计	1 443			

图 8 屋面雨水天沟二简图及计算结果

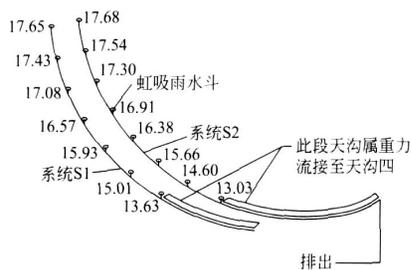


图 9 屋面虹吸式雨水排水系统

直径。虹吸式雨水排水系统见图 9。

6 总平面设计

当工艺设备运行时,克服由于外部振动对工艺装置的影响至关重要。仔细分析了在室外总体上有可能会产生振动的地方,是通常都设置在总体道路上的雨、污水检查井。因为检查井的井盖与井座之间通常都有缝隙而不会特别密封,这样当汽车行驶压到井盖上就有可能使井盖与井座产生撞击,从而会引起振动,可能会影响储存环隧道内电子束流的稳定。设计中定下了一个设计原则:在所有的园区车行道上均不

敷设任何重力流管道,以避免检查井所引起的振动,同时泵房内的水泵都经隔振处理。

主体建筑内院的直线加速器隧道和技术走廊、增强器隧道和技术走廊、主体建筑的储存环隧道、内技术走廊的一次冷却水事故排水均含有辐射废水,这些废水均需排至内院室外的衰减池,即室内的含辐射废水通过管道排至室外检查井,再通过室外排水管网排至衰减池。

传统的室外污水检查井都是砖砌或是钢筋混凝土制作的,检查井的本体及检查井与管道的连接处可能会产生漏水或渗水现象,如果含辐射废水渗漏到地下,会污染地下水。设计中慎重地采用了塑料检查井这一新产品。经过与建筑给排水规范组、有关专家、制造厂商及现场施工单位共同研究、攻关,克服了尚无设计规范也无其他工程使用经验可循等诸多困难,顺利地将这一新技术应用于主体建筑内院室外含辐射废水的管道系统中,有效避免了含辐射废水的渗漏,同时缩短了施工周期,为塑料检查井在国内建筑小区内的推广应用积累了有效的实际经验。

7 结语

上海光源工程是迄今为止我国最大的大科学工程,其建筑型式和工艺要求均较为特殊,给排水设计有着与普通民用及工业建筑很多的不同之处,其中的排水及雨水系统设计对开拓今后的设计思路有很大的帮助。另外,该工程的消防设计、工艺冷却水系统设计、去离子水处理系统设计及防辐射设计将另行撰文介绍。

参考文献

- 1 上海光源工程总体布局及工艺要求(2.0版)
- 2 国家上海同步辐射中心. SSRF上海同步辐射装置工程初步设计. 2001
- 3 中国科学院,上海市人民政府. 上海光源工程项目建议书. 2003

通讯处: 200041 上海市石门二路 258号
 电话: (021) 52524567
 E-mail: TangFN@siadr.com.cn
 收稿日期: 2007- 11- 06
 修回日期: 2008- 06- 30