

上海光源工程一次冷却水系统设计

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——上海光源工程的一次冷却水系统设计, 针对该工程工艺装置冷却水系统的特殊性, 提出了一次冷却水系统设计中关于系统分类、管道敷设及高精度水温控制的设计思路及设计方法。

关键词 工艺装置 一次冷却水系统 温控 精度

Design of primary cooling water system of Shanghai Guangyuan project

Tang Funan, Xu Feng, Lu Hongshen

(Shanghai Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200041, China)

Abstract: Introduced the biggest science engineering in China till now—the primary cooling water system of Shanghai Guangyuan project design. According to the speciality of this cooling water system of process equipments, the design thought and method about the system classification, pipe installment and highly accurate water temperature control in the primary cooling water system were brought forward.

Keywords: Process equipment; Primary cooling water; Temperature control; Accuracy

1 一次冷却水系统设计概述

1.1 冷却水系统的任务和目的

工艺装置运行过程中, 各种工艺设备所消耗电能中的大部分都转化为了热能, 约为 7 500 kW, 需用冷却水加以消能。维持恒定的冷却水温度可以避免工艺装置中磁铁位置的变化和长期的热负荷对工艺装置的影响, 并减小相关工艺部件的热变形, 同时也可以有效避免工艺装置电源设备的超温和过流。而且一些工艺设备必须在严格的冷却水温度条件下才能正常工作, 这样就需要调节、控制冷却水的温度, 以达到其温度控制精度的要求。因此, 冷却水系统的主要任务是冷却工艺装置中所有热耗能较大的电子设备, 并作为对某些温度变化敏感部件的恒温调节手段。

工艺冷却水系统分为一次冷却水系统和二次冷却水系统及监控系统, 一次冷却水系统直接冷却工艺装置的各系统设备, 在有的系统设备中一次冷却水

管路同时也是通电电路, 譬如储存环二极、四极及六极磁铁的线圈也是内径通一次冷却水的通电线圈。

为此, 工艺冷却水系统需采用双循环冷却方式, 即: 采用低电导率循环水(称为一次水, 封闭式回路)作为传热介质与冷却对象直接接触带走用水设备的热功耗, 并通过板式换热器将热量传递给冷却塔循环水(称为二次水, 敞开式回路), 冷却塔将热量散发于外界大气中或用制冷机提供的冷冻水带走热量。当冷却塔冷却还不能满足一次水散热的温度要求时, 则再通过板式换热器将热量传递到由制冷机提供的冷冻水系统, 作进一步的冷却。

1.2 一次冷却水系统工艺流程的选择和组成

一次冷却水系统为封闭式机械循环回路, 由循环水泵、板式换热器、电加热器、过滤器、电动调节阀、离子交换柱、膨胀水箱、稳压装置、供回水干管及配水管、检测控制设备、相应的动力设施等组成。一般情况下换热器二次侧水压应高于一次侧, 以防止

一次水在工艺装置运行的环境下长期循环使用可能产生的少量活化杂质(含辐射成分),因换热器故障泄漏而通过一次水系统对外界环境造成污染。由于去离子纯水运行时的电阻率会逐渐降低,在一次水系统回路上设置旁流离子交换柱以维持一定的水质指标(电阻率不低于 $1 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, 25 $^{\circ}\text{C}$),以满足用水设备在不间断运行时的电气绝缘要求,同时也保证了较低的腐蚀率及防止结垢。

一次冷却水系统平时在运行时需补充少量的去离子水,同时考虑系统初次补水的要求,因此设置了纯水机房提供去离子水,为各个一次冷却水系统补水。

2 一次冷却水系统的总体布置及系统设计

2.1 总体布置

2.1.1 冷却水机房

在一次冷却水系统的设计过程中,冷却水机房位置的选择至关重要,同时也是一个多专业、多方案的综合协调过程。

为适应上海光源工程特殊的工艺及地质条件,满足光源装置主体建筑、结构防振和防地基变形的严格要求,设计中将冷却水机房设置在远离主体建筑 85 m 外的动力机房中,并贴邻冷冻机房和纯水处理站,冷却塔设于动力机房的屋顶上。机房内所有如水泵等运动机械设备均设置减振、隔振设施,具体措施是:在每台水泵及其他有振动设备的基座下设置高性能弹簧减振器,进出设备的管道均设有减振支架或吊架。一次冷却水管道(共 12 个系统,每个系统有供水及回水 2 根管道,总共有 24 根管道)通过 2 条地下通道接至主体建筑内各用水点。

在机房选址时有以下三种方案:

方案一,将机房设置在储存环的内院。因为一次冷却水机房离被冷却的对象相对较近,一次冷却水系统管道能以较短的距离布置到位,此时也能相应节省管道材料(全不锈钢管道及配件)及保温材料等辅料;减小管道内的水头损失、循环水泵的扬程及水泵投资;还能在施工时节约管道安装费用及施工周期。但其缺点也比较明显,机房离储存环隧道较近,而工程所在的地区又是典型的软土地基,因此机房内一次冷却水循环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。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 $\Delta z < 1 \mu\text{m}$ 。一般普通工程不控制此项指标。而且储存环内院的占地面积有限,也会给机房的布置带来很多局限。

方案二,将机房贴近设置在储存环外围。此方案给建筑总平面布置带来了较大难度,因为主体建筑内的周边辅助实验用房需要采光且周围又需要设置道路,该方案不可取。

方案三,将机房设置在远离储存环外围的地方。该方法最大的优点是将机房内水泵运行时的振动对储存环隧道光束线的影响降到最低程度,且在建筑总平面的布置上也游刃有余,其机房内设备机组的布置局限相对最小。但其供回水管道较长,热损失较大,管道材料及保温材料等辅料的用量增多,并且增加了循环水泵的投资和管道安装的费用及施工周期。

经过多次分析、比较和讨论,最终决定采用方案三。认为确保储存环隧道内光束线不偏移是第一位,其他相对不利因素可以通过各种方式、方法加以克服。结合建筑总平面的布置,将一次冷却水机房的位置布置在基地最东面,如图 1 所示。

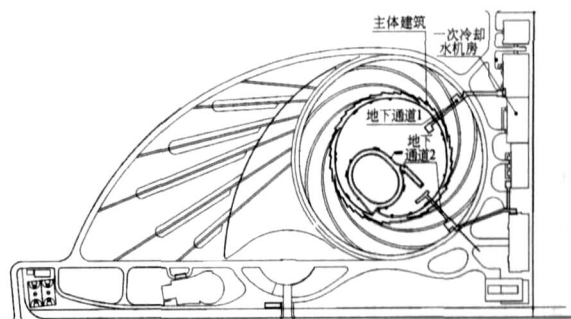


图 1 一次冷却水机房总体布置示意图

2.1.2 工艺冷却水系统的技术要求与划分

根据工程总体布局及工艺要求,一次冷却水系统主要根据用水设备对冷却水的温度和精度、供水压力和冷却对象材质的要求进行划分。主体建筑一次冷却水系统共划分为 12 个系统,其中的一个系统在二期工程中实施,目前设计仅预留管道与设备位置。

为满足各个系统对水温精度的控制要求,在 12 个系统的管路布置上均分别采用同程布置循环管道的方式,并加强了管道的保温措施。为了满足主体建筑的防振动要求,一次冷却水主管道流速严格控

表 1 一次冷却水系统技术参数及要求

系统编号	系统分类(供水温度及控制精度)/	一次水需带走的热量/ kW	一次水回水温度/	一次水流量 / m ³ / h	冷却对象最大水阻/ MPa	冷却对象最小承压能力/ MPa	冷却对象材料
1	35 ±0.5	78.8	39.2	16.18	0.3	0.6	铜
2	45 ±0.5	3.01	45.5	5.25	0.2	0.6	铜
3	45 ±0.1	3.22	45.6	15.33	0.1	0.6	铜
4	30 ±1	351.63	41.4	26.62	0.6	0.6	铜
5	30 ±1	89	36.4	12	0.3	0.6	铜
6	30 ±1	400	36.7	51.15	0.45	0.6	铜
7	30 ±0.2	2 561.1	38.7	251.89	0.6	1.2	铜
8	30 ±1	743	39.8	65.4	0.2	0.6	铜
9	30 ±0.2	152	32.2	58.44	0.2	0.5	铝
10	30 ±1	1 800	41.2	137.88	0.55	0.6	铜
11	30 ±2	89.3	30.6	120	0.4	0.8	铜
12	30 ±2	163.7	30.6	220	0.4	0.8	铜

制在 1.5 ~ 2 m/s,总管敷设均设置减振支吊架。各个系统的工艺要求见表 1。

2.1.3 一次冷却水总分管材的选用及敷设

一次冷却水系统采用了去离子水作为冷却介质,为了保证较低的腐蚀率及防止结垢等,该系统管材可选用塑料管或不锈钢管。

一次冷却水管道的敷设之处要经过一些圆形甚至是弧形的建筑通道,为了管线的美观及协调,在这些地方敷设的管道也要弯曲成圆形或弧形。在这种情形下,因为塑料管不能适应弯曲的施工方法,且所有国际上类似的工程都采用不锈钢管,故本设计采用 304 不锈钢管作为一次冷却水管道的材料,采用焊接方式连接,根据系统压力及管径选择壁厚为 2 ~ 5 mm。

主体建筑的核心部位是储存环、增强器及直线加速器隧道(隧道内有大量的一次冷却水系统用水点),是一组对振动及位移有严格要求的建筑物,且其建筑形式又是一个封闭的圆环,从主体建筑外围进入其内部的所有管线都必须穿越此圆环(该部位的建筑功能是内技术走廊、

储存环隧道、实验大厅、外技术走廊及周边实验辅助用房),从图 2 的剖面示意可以看出,管线要敷设至隧道只有架空敷设与地下敷设两种。

主体建筑的形态是螺旋上升的“鹦鹉螺”形状,除工艺必须要求外,应避免横向穿越该“鹦鹉螺”的肋部。经与建筑、结构专业协商后决定在主体建筑结构底板下结合两条消防疏散通道的布置将其适当扩大成为管道穿越主体建筑的地下通道。一次冷却水 12 个系统的管道从动力机房通过地下通道 1 和地下通道 2 穿越主体建筑实验大厅进入内院。

供储存环及实验大厅的一次冷却水管道从机房通过地下通道 1 穿越主体建筑进入建筑内院

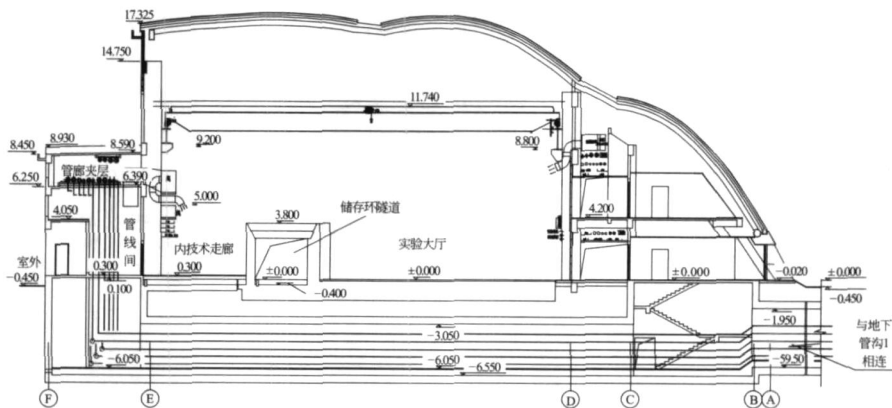


图 2 一次冷却水管道通过地下通道 1 穿越主体建筑剖面示意

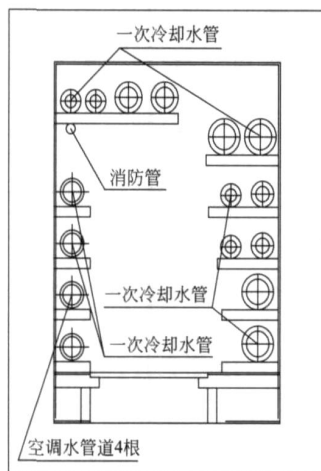


图3 一次冷却水管道通过地下通道1穿越主体建筑剖面示意

6.25 m标高的管廊夹层再进入内技术走廊,经过地沟敷设至储存环隧道内及实验大厅,如图2所示。地下通道1内的管线布置剖面如图3所示。

供综合实验楼、直线加速器和增强器的一次冷却水管道从动力机房通过地下通道2穿越主体建筑进入建筑内院4.25 m标高的增强器及直线加速器技术夹层再供至各用水点,如图4所示。地下通道2内的管线布置剖面如图5所示。

工艺装置对一次冷却水系统温度的温控精度有不同要求,温控精度最高要求为 ± 0.1 ,故为满足温控精度的要求,冷却水系统管道布置形式设计为循环管道同程布置的方式,通过支管负荷计算调整支管管径以确保每根支管的负荷均相同,避免了冷却水回水管道短路,以致造成冷却水供水温度的不

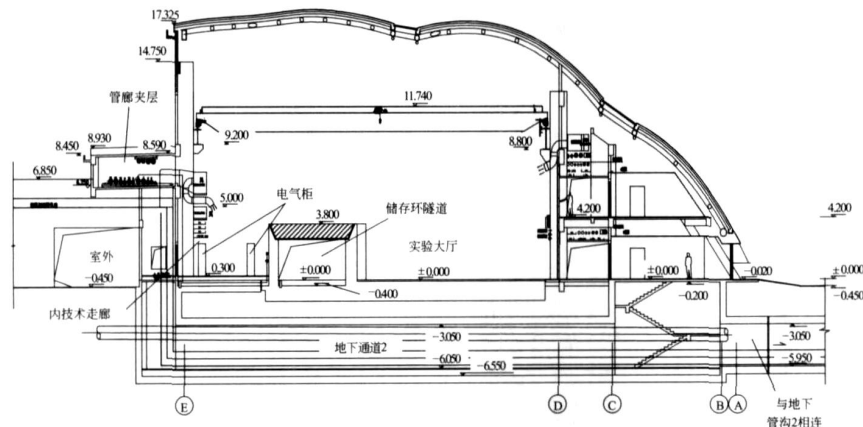


图4 一次冷却水管道通过地下通道2穿越主体建筑剖面示意

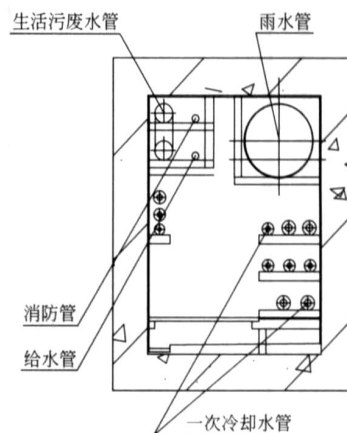


图5 一次冷却水管道通过地下通道2穿越主体建筑剖面示意
稳定与不平衡。

同时一次冷却水管道保温材料的选用综合考虑了保温效果好、材料价格适中、施工及维修方便等诸多因素,经综合比较决定采用高强度夹筋铝箔复合复面的离心玻璃棉管瓦保温,玻璃棉的密度为 64 kg/m^3 。

保温厚度: 工艺冷却水机房至主环建筑内的主干管采用50 mm厚度; 主干管上的支管采用30 mm厚度; 管式加热器的管道保温与主干管相同。

2.2 系统设计

系统1~6、8、10分别供直线加速器、增强器、储存环磁铁及储存环磁铁电源,系统的供、回水管路布置形式为枝状管网;系统7、9、11、12分别供储存环铝真空盒、储存环高频机及同步辐射线站,系统的供、回水管路布置形式为环状管网,循环管道均采用同程布置的形式。

2.3 一次冷却水水温的控制

整个水温控制系统可分为一次水温度控制和二次水温度控制。根据冷却水供水温度精度的不同,各一次水系统采用的方法有所不同,基本上采用以下两种方法:

(1) 对于控制精度在 ± 0.1 、 ± 0.2 和 ± 0.5 的一次循环水,采用三级控制方法:首先,一次循环回水经过一次板式换热器时,通过调节进入板式

式换热器的二次水流量以控制板式换热器一次水出口温度;然后,一次水通过管式电加热器进行一级加热,控制出水温度的精度,为克服一次水输送时管道与周围环境热交换产生的水温变化,在一次水进入工艺设备前,设置二级管式电加热器补偿能量,进一步控制供水温度的精度。具体原理见图 6。

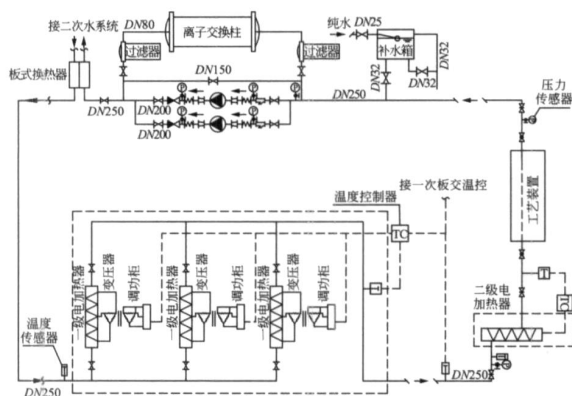


图 6 工艺冷却水原理(控制精度为 ± 0.1 、 ± 0.2 和 ± 0.5)

(2) 对于控制精度在 ± 1 、 ± 2 的一次循环水,采用二级控制方法:首先,一次循环回水经过一次板式换热器时,通过调节进入板式换热器的二次水流量以控制板式换热器一次水出口温度;然后,一次水通过管式电加热器进行一级加热,控制供水温度的精度。具体原理见图 7。

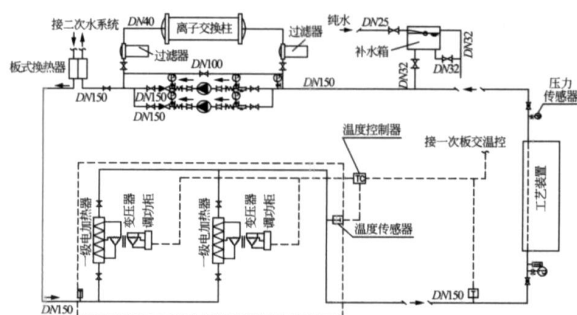


图 7 工艺冷却水原理(控制精度为 ± 1 、 ± 2)

3 一次循环冷却水的自动控制要求

(1) 系统设置:根据有关工艺要求对各个一次冷却水系统实施监控,其中高精度恒温水系统 5 个(精度为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5),低精度恒温水系统 7 个(精度为 ± 1 、 ± 2),主要被控对象有电加热器、板式换热器、电动调节阀、循环水泵等,主要仪表有温度计、压力表、电导率计。选用高性能的控制系统以确保系统的可靠性和安全性。

(2) 控制功能要求:按照工艺要求对被控设备及元件进行温度控制、压力及液位显示报警、保护和连锁等。

(3) 操作显示:在操作站上能显示系统的流程控制状态及相关设备的运行状态以及各参数细目表格画面;能动态显示温度、压力、流量、液位、电机电流、电导率及阀门的开启状态;操作人员可进行各种操作,包括系统投入运行、参数设定、泵及设备的开停、手动操作、自动—手动切换、设定值的调整、报警设定等。

(4) 报警功能:当发生流程故障、设备故障以及各参数超限时能放出声光报警、报警打印及报警确认。

(5) 数据记录和报表:对各种参数进行实时和历史的曲线记录,以备事故分析,能打印各种报表(包括班报表、日报表及月报表)。

(6) 系统诊断:当控制系统发生故障时,能对系统进行在线诊断,显示故障原因和故障位置。

4 结语

上海光源工程是迄今为止我国最大的大科学工程,其建筑型式和工艺装置的要求均较特殊,一次冷却水设计有着与普通民用及工业建筑很多的不同之处,其中的系统分类及温控设计对我们有很大的启迪,对开拓今后的设计思路有很大的帮助。另外,该工程的辐射防护设计及去离子水处理系统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
- 4 汤福南,徐凤,鲁宏深. 上海光源工程给排水设计. 给水排水, 2008, 34(9): 75~80
- 5 汤福南,徐凤,鲁宏深. 上海光源工程消防系统设计. 给水排水, 2008, 34(10): 75~78

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:2008-11-03

修回日期:2008-11-07