

# 光热电站主厂房通风空调气流组织形式探讨

李丽霞

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:**光热发电是太阳光利用定日镜反射到集热塔的聚热效应,将熔盐罐内的熔盐加热,加热后的熔盐再加热水蒸气,被加热的水蒸气推动汽轮发电机组发电。光热电站的核心建筑是主厂房,本文通过对主厂房各种送排风气流组织形式的探讨,总结出适合主厂房的通风系统形式,为同类型建筑的送排风气流组织提供设计上的参考。

**关键词:**光热电站;气流组织;高大空间;送风;回风;排风

中图分类号:TV741

文献标志码:A

文章编号:1001-2184(2023)增 1-0036-05

## Discussion on the Air Distribution Form of Ventilation and Air Conditioning in the Powerhouse of Photothermal Power Station

LI Lixia

(PowerChina Chengdu Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072)

**Abstract:** Photothermal power generation refers to the thermal effect of sunlight reflected by a heliostat onto a collector tower, which heats the molten salt inside the molten salt tank. The heated molten salt is then heated with water vapor, which drives the steam turbine generator set to generate electricity. The core building of the photothermal power plant is the powerhouse. This article discusses various forms of air supply and exhaust organization in the powerhouse, summarizes the suitable ventilation system forms for the powerhouse, and provides design reference for the air supply and exhaust organization of similar buildings.

**Keywords:** Photothermal power plant; Air distribution; Tall and big space; Air supply; Air return; Air exhaust

### 0 引言

国家能源局《“十四五”现代能源体系规划》中提到,加快推动能源绿色低碳转型,在太阳能资源禀赋较好,建设条件优越,具备持续整装开发条件的、符合区域生态环境保护等要求的地区,有序推进光伏发电集中式开发和高质量发展。如今,越来越多的光伏电站和光热电站应运而生,我国的光热电站主要集中于甘肃、青海、新疆、西藏等太阳能资源丰富的地区,这些地区夏季炎热,冬季严寒,全年干燥少雨,在冬春季节,易出现风沙天气,而光热电站由于其主厂房空间跨度大,厂房内汽轮发电机组、蒸汽管路、凝结水管路、排气管路交错排布,合理的气流组织形式不仅影响着室内空气的品质,也对系统的投资维护及经济性甚至设备的寿命产生深远的影响。

### 1 主厂房通风空调形式

收稿日期:2023-07-06

#### 1.1 主厂房建筑布局

典型的光热电站主厂房主要由汽机房、除氧间、变频器室、集中控制室、蓄电池室、值班室等房间组成,其中,汽机房由于内部设置汽轮发电机,上部设置轨顶,对于垂直向下排汽式汽轮机,均采用高位布置,故层高一般较高,汽轮发电机两侧分别设置阀门平台、断路器平台、水泵平台及加热器平台等。汽机房旁为配电室、蓄电池室、集中控制室、除氧间等多层辅助用房和办公用房,剖面图见图 1。

#### 1.2 主要房间室内设计参数

光热电站主厂房主要房间室内设计参数如表 1 所列。

### 2 主厂房通风空调气流组织形式

气流组织设计的任务是合理的规划室内空气的流动,使室内空气的温度、湿度、洁净度能满足工艺要求和人员的舒适度要求。主厂房在符合自

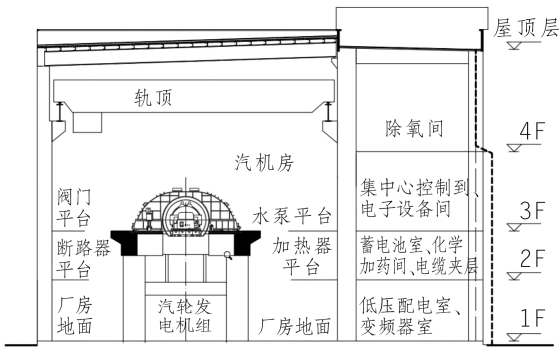


图1 主厂房及其辅助用房剖面图

表1 主要房间室内设计参数

建筑物或房间名称	冬季		夏季	
	温度 /℃	相对湿度 /%	温度 /℃	相对湿度 /%
汽机房	5	—	工作地≤33	—
集中控制室	18~24	40~65	22~28	40~65
电子设备间	20±1	50±10	26±1	50±10
控制设备间	18	—	26~28	—
蓄电池室	18	—	≤30	—
各类就地值班室	18	—	26~28	—
化学各实验室	18	—	26~28	—
办公室、休息室等	18	—	26~28	—
配电装置室	—	—	≤35	—

的通风空调气流组织形式有顶送下回式系统、中送下回式系统、中送下回加顶部排风式系统、下送上侧回式系统、下送顶回式系统等。

### 2.1 顶送风下回风式送风系统

顶送风下回风式送风系统,送风口位于厂房顶部,回风口位于厂房下部,整个厂房空间均处于送风区域,送风高度较高,送风体积大,所需要的送风量,需满足一定的送风温差才能使工作区达到所需要的送风温度。送风从极点送出后,如图2所示,经过起始段,与周围的空气进行混合,然后进入主体段,主体段的气流通过工作区进入回风口,在进入工作区前,已处理的空气就与室内空气充分混合,形成均匀的温度场和速度场,送风气流效果示意图见图3。

送风射流轴心速度计算公式如下:

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{0.48}{\frac{a_x}{d_0} + 0.145} \quad (1)$$

横断面直径计算公式如下:

$$\frac{d_x}{d_0} = 6.8 \left( \frac{a_x}{d_0} + 0.145 \right) \quad (2)$$

式中  $V_x$  为射程  $x(m)$  处射流的轴心速度,  $m/s$ ;

然通风的条件下宜采用自然通风,当不符合自然通风时,需采用机械通风,考虑到光热电站的特性和所处区域的气候特点,进风口尽量远离熔盐罐,若光热发电设备采用湿式冷却,则进风口还需尽量远离冷却塔,在风沙较大的地区,室外进风口一般需配置过滤除尘,在系统排风口处设置防止倒灌措施,对于有吊顶的辅助用房,气流组织形式多采用散流器上送下回式系统,无吊顶的辅助用房,多采用侧送下回式系统,汽机房由于层高较高,一般可达20多米,宽度介于20~30m,典型

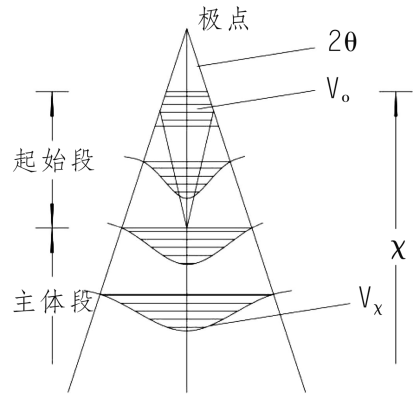


图2 顶送风射流示意图

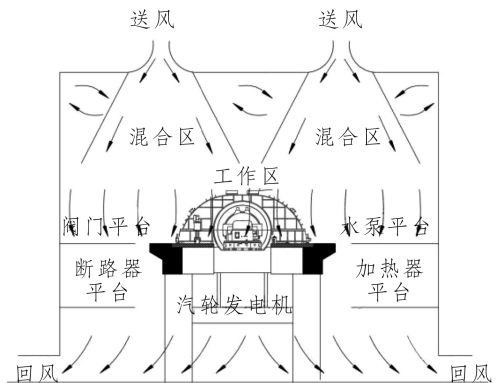


图3 顶送风下回风

$V_0$  为射流出口速度  $m/s$ ;  $d_0$  为送风口直径或当量直径,  $m$ ;  $a$  为送风口紊流系数, 与喷嘴形式及射流出口截面上速度分布情况有关的系数;  $d_x$  为射程  $X(m)$  处射流的直径,  $m$ 。

此种送风方式送风气流从机房顶部覆盖到机房下部, 不占用侧墙空间, 工作区气流品质高, 但此种送风方式将厂房全部空间纳入送风区, 存在着设备风量, 顶部结构荷载大的缺点, 此外, 由于工作区阀门平台、水泵平台与断路器平台、加热器平台上下排列, 管道错综复杂, 气流易受设备平台及管道阻挡而产生局部绕流现象。

### 2.2 中送风下回风式送风系统

主厂房汽机房区, 由于其层高较高, 可采用分层空调送风的形式, 中部送风下侧回风。将主厂房高大空间通过中部的空气幕一分为二, 空气幕上部为非送风区域, 下部为送风区域, 利用风压的作用, 阻挡厂房上部空间的热辐射向工作区转移, 使工作区的空气达到需要的条件, 如图 4 所示。

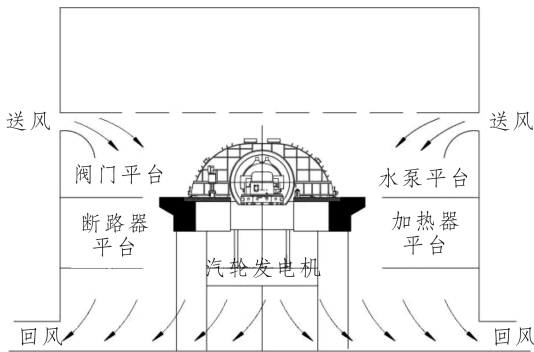


图 4 中部送风下侧回风

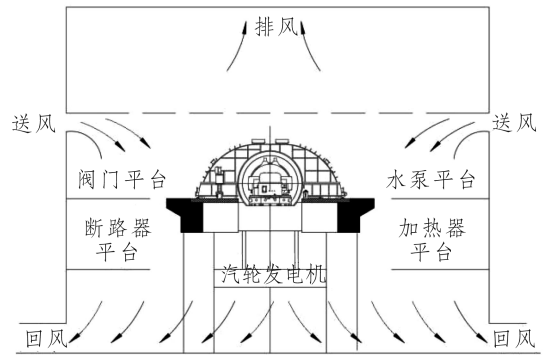


图 5 中部送风下侧回风+顶部排风

当厂房宽度  $L > 18$  米时, 采用中部双侧送风, 送风射流一般采用平行送风射流。

平行送风射流当送风口高度  $h \geq 0.7H$  房间高度时, 射流的有效作用长度公式如下:

$$l_x = \frac{X}{a} \sqrt{A_h} \tag{3}$$

当送风口高度  $h = 0.5H$  房间高度时, 射流的有效作用长度公式如下:

$$l_x = \frac{0.7X}{a} \sqrt{A_h} \tag{4}$$

式中  $l_x$  为射流的有效作用长度,  $m$ ;  $a$  为送风口的紊流系数;  $X$  为射流作用距离的无因次数;  $A_h$  为射流作用房间的横截面积,  $m^2$ 。

工作地带最大平均回流速度与射流末端最小平均回流速度的关系如表 2 所列, 常用送风口的类型与对应的紊流系数  $a$  如表 3 所列。

中部送风下部回风送风系统相比顶送风下回风系统, 需要占用局部侧墙空间, 但送风区域体积

表 2 平行送风射流作用距离的无因次数  $X$

$v_1$ $/m \cdot s^{-1}$	$v_2/m \cdot s^{-1}$					
	0.07	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
0.30	0.385	0.36	0.33	0.30	0.20	—
0.40	0.40	0.38	0.35	0.33	0.29	0.20
0.50	0.42	0.40	0.37	0.35	0.31	0.28
0.60	0.43	0.41	0.38	0.37	0.33	0.30
0.75	0.44	0.42	0.40	0.38	0.35	0.33
1.00	0.46	0.44	0.42	0.40	0.37	0.35
1.25	0.47	0.46	0.43	0.41	0.39	0.37
1.50	0.48	0.47	0.44	0.43	0.40	0.38

注:  $v_1$  为工作地带最大平均回流速度,  $v_2$  为射流末端最小平均回流速度。

减小, 系统负荷可减小 25%~45% (具体数值与中部送风口的安装高度有关), 从而减小送风系统

风量, 减小系统投资造价。此外, 送风气流方向与水平方向呈一定角度向下送风, 在一定程度上可

使断路器平台和加热器平台接收到来自对侧送风口的风量,减轻设备及管道对气流的阻挡。

由于中部送风下回风系统顶部为非送风区域,在机房散热量散湿量较大时,热量及蒸汽湿量易突破中部空气幕而进入厂房顶部,顶部空气与空气幕下方工作区的空气进行热传递,影响送风系统能效,此时为排除突破中部空气幕的热量和湿量,可在顶部设置排风系统,如图5所示,设备可采用屋顶风机或屋顶自然通风器,但此种送风系统若不严格控制排风设备的风压及排风风速,送风气流将可能直接被抽吸到顶部排出而造成系统短路,中部送风下侧回风+顶部排风系统相较于中部送风下侧回风系统,增加了排风设备,从而增加了系统投资,但能即时排除顶部多余的热量和湿量,在排风风速及排风风压设置合理的条件下,可增加整个系统的能效。

表3 常用送风口的紊流系数  $a$

喷嘴类型	紊流系数 $a$
普通圆喷嘴	0.08
收缩的圆喷嘴	0.07
支管上的圆喷嘴	0.10
带导流板的轴流风机	0.12
带导流板的弧弯管	0.10
带导流板的直角弯管	0.20

### 2.3 下送风上(侧)回风式送风系统

下送风上侧回风式送风系统分为同侧下送风上回风、异侧下送风上回风、下送风顶回风,下送风射流由于有地面的阻挡,故为受限射流,可视为完整射流的一半,送风示意图如图6所示,其送风射流轴心速度、横断面直径计算只需将式(1)、式(2)中送风口直径或当量直径  $d_0$  换为  $\sqrt{2}d_0$ ,将风口宽度  $b$  换为  $2b$ 。其中,同侧下送风上回风系统,工作区竖向中部断路器平台和加热器平台将形成大回旋形涡流,如图7所示;下送风顶部回风系统,工作区竖向中部往上阀门平台和水泵平台将形成大回旋涡流,如图8所示,大回旋形涡流与送风气流将产生一定的热质交换,上部区域的空气不会再返回下部区域,室内形成垂直方向的温度梯度;而异侧下送风上回风系统,在机房角落将形成小的涡流,如图9所示,小涡流与送风射流的热质交换将小于大涡流,送风对侧下方、送风上部将成为气流死角,工作区易出现温度不均匀现象。

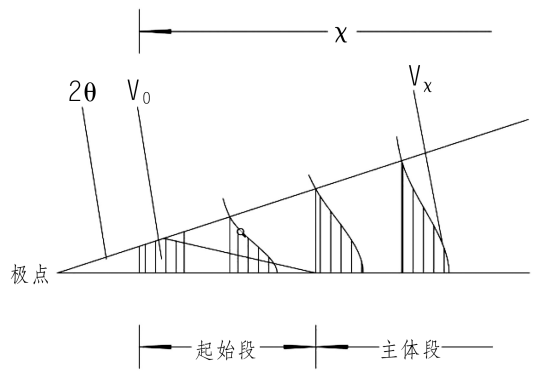


图6 顶送风射流示意图

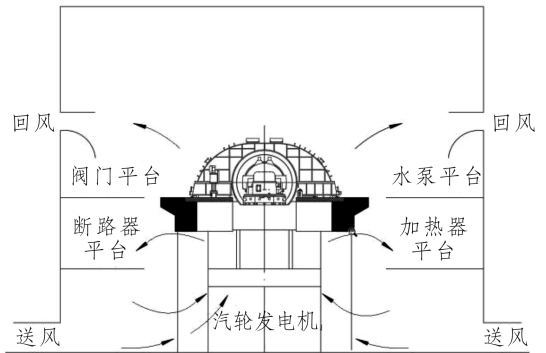


图7 同侧下送风上回风

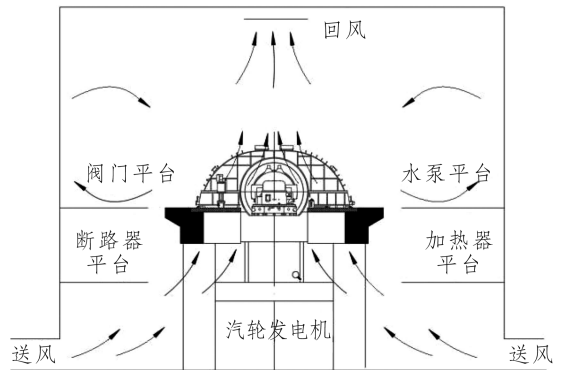


图8 下送风顶部回风

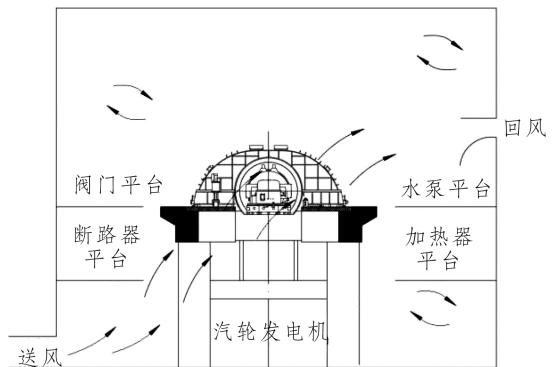


图9 异侧下送风上回风

回风口的风速计算公式适用于本文各类型的送风系统,按下式计算:

$$\frac{v}{v_x} = 0.75 \frac{10\chi^2 + F}{F} \quad (5)$$

式中  $v$  回风口的风速,  $\text{m/s}$ ;  $v_x$  为距回风口  $\chi$  米处的气流中心速度,  $\text{m/s}$ ;  $\chi$  为距回风口的距离,  $\text{m}$ ;  $F$  为回风口有效截面积,  $\text{m}^2$ ; 回风口的风速宜按表 4 选择。

表 4 回风口风速选择表

回风口位置	最大吸风速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
房间上部	$\leq 4.0$
无经常停留	$\leq 3.0$
房间下部	$\leq 1.5$
有人员经常停留	$\leq 1.5$

下送风上(侧)回风式,气流直接进入工作区,相较于顶送风而言,送风气流无须经过混合区,可减小送风温差,但也由于送风温差的减小,在排除同样多的热量下,将需要更多的风量,此外,由于送风气流到回风口的流线与厂房散热的流线相近,设备散热、管道散热、围护结构传热等更容易被回风带走。但下送风方式易扬起灰尘,送风的洁净度易受到影响,此外同样存在送风射流被设备和管廊阻挡而改变气流方向的影响,在我国已建成的各类电站中使用较少。

### 3 结 语

影响工作区空气分布的因素有送风口的形式、送风口的的位置、送风的风量风速、回风口设置位置、室内设备及管道的排布等,合理的气流组织形式影响着工作区的空气品质,能改善工作区设

(上接第 12 页)

- [6] 刘晓波,张毅. 智能化水电站监控系统结构探讨[J]. 水电站机电技术, 2012, 35(3):3.
- [7] 许志宏,王志宏,刘晔,等. 新一轮电改模式下水力发电企业提高发电效益方法——以湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司为例[J]. 人民江, 2021, 52(S2):242-246. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2021.S2.058.
- [8] 陈红兵. 新一轮电力体制改革背景下的电网企业发展分析

备及管路的外部运行环境,本文主要通过通过对顶送风下回风式送风系统、中部送风下回风系统(含中部送风下回风+顶部排风)、下送风上(侧)回风式送风系统的比较,得出顶送风下回风式送风系统工作区可形成均匀的温度场和速度场,但送风量大,投资高;中部送风下回风送风系统送风量比顶送风式系统低,但需占用侧墙空间,在散热量及散湿量较大时,宜搭配顶部排风系统;下送风上(侧)回风式送风系统,送风气流流向与厂房内散热量的流向相似,更容易排除室内的余热和余湿量,且同侧下送风上回风式送风系统比异侧下送风上回风系统气流换热效果好,但下送风式系统易扬起灰尘,对气流的洁净度将产生影响。在做光热电厂主厂房气流组织设计时,应根据房间的设备及管道布局、房间所需洁净度,综合考虑投资造价来选择合适的送风系统。

#### 参考文献:

- [1] 电力规划总院. DL/T 发电厂供暖通风与空气调节设计规范[S]. 中国计划出版社,2016.
- [2] 赵荣义,范存养,薛殿华,等. 空气调节[M]. 中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 贺平,孙刚,王飞,等. 供热工程[M]. 中国建筑工业出版社,2009.
- [4] 李安桂,李光华. 水电工程地下高大厂房通风空调气流组织及缩尺模型试验进展[J]. 暖通空调,2015,45(02):1-9.

#### 作者简介:

李丽霞(1991-),女,四川眉山人,注册公用设备工程师,工学学士,从事暖通设计工作。

(责任编辑:史心雨)

[J]. 中国市场, 2017(10):2.

#### 作者简介:

刘奥兵(1995-),男,河南禹州人,助理工程师,本科,从事大型水电站计算机综合自动化、通信、网络与信息安全等工作;

张 印(1992-),男,河南邓州人,中级工程师,本科,从事大型水电站继电保护、计算机综合自动化、通信、网络与信息安全等工作。

(责任编辑:吴永红)

## 四川省水力发电工程学会组织开展科技成果鉴定

2023 年 5 月 8 日,四川省水力发电工程学会在成都市组织召开了由西藏开发投资集团有限公司、中国电建集团水利水电第七工程局有限公司、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司、清华四川能源互联网研究院、中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、清华大学、西藏开投果多水电有限公司等单位研究完成的“高寒高海拔碾压混凝土高效筑坝关键技术应用”项目成果鉴定会。特邀中国工程院张宗亮院士、全国工程勘察设计大师王仁坤等业内知名权威专家出席,鉴定专家组通过查阅材料、听取汇报、质询和讨论,认为项目成果达到国际先进水平,其中部分成果达到国际领先水平。相关成果社会经济和生态环境效益显著,应用前景广阔。

(学会秘书处 供稿)