

太阳能光热电站有关消防设计问题的探讨

张开军[✉]

(中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司, 乌鲁木齐 830002)

摘要: [目的] 为太阳能光热发电站不同于常规发电厂的系统, 制定安全可靠、经济合理的消防设施设计标准, 以保障电站的建设和安全运行。[方法] 利用现行的国家规范、标准, 对太阳能光热电站采用的熔融盐、导热油的特性及其系统设备、建(构)筑物耐火等级进行分析判别; 对电站采用的辅助燃料系统和消防给水的有关特殊消防设计问题进行分析探讨。[结果] 分析判别固态单体熔融盐火灾危险性为甲类、熔融态熔融盐火灾危险性为戊类, 导热油火灾危险性为丙类, 熔融盐、导热油系统建(构)筑物的火灾危险性为二级, 根据火灾危险性等级提出具体的消防防火措施。[结论] 对电站采用熔融盐、导热油的火灾危险性类别分析判别结果符合现行的国家规范、标准, 为太阳能光热电站工程的消防设计提供借鉴。

关键词: 光热电站; 熔融盐; 导热油; 消防给水

中图分类号: TK519; TM615

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)02-0075-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design Discussion on the Fire Fighting for Solar Power Plant

ZHANG Kaijun[✉]

(China Energy Engineering Group Xinjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Urumqi, 830002, China)

Abstract: [Introduction] For solar thermal power stations, which are different from conventional power plants, develop safe, reliable, economical and reasonable design standards for fire protection facilities to ensure the construction and safe operation of power stations. [Method] Utilize the current national codes and standards to analyze and judge the characteristics of molten salt and heat-conducting oil used in solar thermal power stations, their system equipment and the fire resistance rating of buildings (structures); Analysis and discussion on special fire protection design issues. [Result] Analysis and judgment: the fire hazard of solid monomer molten salt is Class A, the fire hazard of molten salt is E, the fire hazard of heat transfer oil is C, and the fire danger of molten salt and heat transfer oil system building is second-level, and specific fire prevention measures are proposed according to the fire danger level. [Conclusion] The analysis of the fire danger category of the power station using molten salt and heat-conducting oil is in accordance with the current national norms and standards, which provides a reference for the fire protection design of solar thermal power station projects.

Key words: solar power tower plant; molten salt; heat transfer oil; fire water supply

0 引言

太阳能热发电是指将太阳光聚集并将其转化为足够温度的热能, 然后通过常规的热机或其他发电技术将其转换成电能的技术。电站发生火灾, 直接损失和间接损失都很大, 直接影响了工业生产和人

民生活, 要确保电站的建设和安全运行, 防止或减少火灾危害, 保障人民生命财产的安全, 这些均要求有相应的消防技术同步适应。

近年来, 我国太阳能光热电站的建设蓬勃, 发展势头令世界瞩目, 2016年国家能源局公布首批20个光热发电示范项目, 其中9个采用塔式, 7个槽式, 4个菲涅尔式, 由此可见, 塔式、槽式太阳能光热发电无疑是未来光热电站的发展主流。本文针对目前采用熔融盐作为传热、储换热介质的

收稿日期: 2019-12-20 修回日期: 2020-04-07

基金项目: 中国能建工程研究院科技项目“国家标准《塔式太阳能光热发电站设计标准》”(GB/T 51307—2018)

塔式太阳能光热电站,以及采用导热油传热、熔融盐作为储换热介质的槽式太阳能光热电站^[1-3],重点对熔融盐、导热油的火灾危险性及其设备、建(构)筑物耐火等级进行分析,提出适当的消防设施设计方案,为工程设计提供借鉴,保障太阳能光热电站的安全运行。

1 熔融盐

储换热系统是光热发电核心技术之一,是发电设备高效、稳定、安全运行的关键,使用熔融盐作为储换热介质是目前光热电站技术最成熟、应用最广泛的储热方式。

熔融盐是盐的熔融态液体,通常说的熔融盐是指无机盐的熔融体。形成熔融态的无机盐其固态大部分为离子晶体,在高温下熔化后形成离子熔体,因此最常见的熔融盐是由碱金属或碱土金属与卤化物、硅酸盐、碳酸盐、硝酸盐以及磷酸盐组成。目前光热电站中的熔融盐普遍采用二元盐和三元盐,其中二元盐为60%的硝酸钠(NaNO_3)和40%的硝酸钾(KNO_3)混合物,三元盐为53%硝酸钾(KNO_3)+40%亚硝酸钠(NaNO_2)+7%硝酸钠(NaNO_3)组成的混合硝酸盐。

1.1 熔融盐的火灾危险性分析

1.1.1 单体固态熔融盐的火灾危险性分析

单体硝酸钠(NaNO_3)的物理性质:熔点 $306.8\text{ }^\circ\text{C}$,沸点 $380\text{ }^\circ\text{C}$ 分解,不可燃,密度为 2.257 g/cm^3 ($20\text{ }^\circ\text{C}$ 时),为无色透明或白微带黄色菱形晶体。在加热时,硝酸钠(NaNO_3)易分解成亚硝酸钠(NaNO_2)和氧气;与盐类能起复分解作用;硝酸钠(NaNO_3)可助燃,有氧化性,与木屑、布、油类等有机物摩擦或撞击能引起燃烧或爆炸;有刺激性,毒性很小,对人体有危害。

单体硝酸钾(KNO_3)的物理性质:熔点 $334\text{ }^\circ\text{C}$,沸点 $400\text{ }^\circ\text{C}$,密度为 2.109 g/cm^3 ,为无色透明棱柱状或白色颗粒或结晶性粉末。可参与氧化还原反应;酸性环境下具有氧化性;加热分解生成氧气;与有机物、磷、硫接触或撞击加热能引起燃烧和爆炸;具刺激性。

现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)“表3.1.1生产的火灾危险性类别甲6.受撞击、摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃

烧或爆炸的物质”、“表3.1.1储存物品的火灾危险性类别甲6.受撞击,摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质”;以及现行国家标准《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—2008)“3.0.3条文说明甲、乙、丙类固体火灾危险性分类举例表3中,硝酸钾、硝酸钠的火灾危险性类别为甲类”。

国家安全监管总局会同国务院相关部门制定的《危险化学品目录》(2015版),将硝酸钾(序号:2303,CAS号:7757-79-1)、硝酸钠(序号:2311,CAS号:7631-99-4)列为氧化物和有机过氧化物类别的氧化物项。

综上所述,当电站采用的熔融盐成分为硝酸钠(NaNO_3)、硝酸钾(KNO_3),且处于单成份固态时,其火灾危险性类别为甲类。

1.1.2 熔融态熔融盐的火灾危险性分析

熔融态的熔融盐其固态大部分为离子晶体,在高温下熔化后形成离子熔体,具有高温稳定性,在较宽范围内的低蒸气压、低粘度、高热稳定性、高对流传热系数、传热性能好。

如前所述,目前太阳能光热电站中的熔融盐普遍采用的二元盐是60%的硝酸钠(NaNO_3)和40%的硝酸钾(KNO_3)混合物;三元盐是53%硝酸钾(KNO_3)+40%亚硝酸钠(NaNO_2)+7%硝酸钠(NaNO_3)组成的混合硝酸盐。二元盐、三元盐的特性如表1所示。

表1 二元盐、三元盐特性表^[1]

Tab. 1 Characteristic table of binary salt and ternary salt		
内容	二元盐	三元盐
主要成分	40% KNO_3 , 60% NaNO_3	53% KNO_3 ,7% NaNO_3 , 40% NaNO_2
工作温度/ $^\circ\text{C}$	220~600	160~550
熔点/ $^\circ\text{C}$	220	160
运动粘度/ $(\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1})$ ($300\text{ }^\circ\text{C}$)	0.81~0.84	0.79~0.82
液态比热容/ $(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	1.46	1.55
密度/ $(\text{kg}\cdot\text{cm}^{-3})$	1.899($300\text{ }^\circ\text{C}$)	1.938($150\text{ }^\circ\text{C}$)
导热系数/ $(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	0.52	0.50

电站采用硝酸钠(NaNO_3)、硝酸钾(KNO_3)或其他盐类的混合体作为熔盐储换热介质,不论二元盐还是三元盐,其组成成份经高温加热成液态后,其成份都会发生变化,形成一种新型混合共晶

熔融盐物质。目前国内的部分专业人士和熔融盐厂家认为熔融态的熔融盐其物理和化学性质是稳定的，其熔点低，传热效率高、传热稳定；不燃烧，无爆炸危险；高温熔融盐溢出后，在正常大气环境中，很快就会凝固，基本上不存在火灾危险性。

根据收集到目前国外运行的熔融盐太阳能光热电站的资料，其熔融盐换热器、熔融盐罐、管道及支撑设施没有采取特殊的防火设计。

综上所述，电站所用的熔融盐不是硝酸钾（ KNO_3 ）单体、也不是硝酸钠（ NaNO_3 ）单体，而是二者按照一定比例配制后形成的混合共晶盐，具有高温稳定性，不存在火灾危险性，根据现行国家标准《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014），判别其火灾危险性类别为戊类。

1.2 熔融盐系统建（构）筑物的火灾危险性分析

根据电站熔融盐传、储换热系统的操作条件、工艺性质，其火灾危险性很小，高温熔融盐少量溢出或泄露后，冷却过程中会产生一定辐射热，存在一定的火灾危险性，但依据现行国家标准《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）中“表3.1.1生产的火灾危险性分类戊常温下使用和加工不燃烧物质的生产”、“表3.1.2储存物品的火灾危险性分类戊不燃烧物品”，以及上节熔融态熔融盐的火灾危险性分类进行判别，采用熔融盐系统的建（构）筑物、熔融盐储罐、换热器设备及管道火灾危险性为戊类，耐火等级为二级。

电站的熔融盐事故泄放池作为熔融盐事故应急措施，泄放量较大，会产生强辐射热，释放大量的热量，可能会引燃本体及周边建筑内的可燃、易燃物，且考虑到态单体熔融盐的火灾危险性，对于冷却后的熔融盐处置也存在较大的火灾危险性，依据现行国家标准《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）有关条文，根据存储物品的性质、火灾危险性及其数量，相应提高该建（构）筑物的火灾危险性，建议其火灾危险性类别为丙类，耐火等级为二级。

对于电站运行初期固态单体熔融盐的卸料、仓储和熔融盐熔化装置相关的建（构）筑物，按照前节所述以及现行国家标准《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）有关条文，判别其火灾危险性为甲类，耐火等级不低于二级。

1.3 熔融盐系统的消防防火措施

1.3.1 熔融盐的消防防火措施

硝酸钠（ NaNO_3 ）、硝酸钾（ KNO_3 ）存在的主要危险性：对皮肤、粘膜有刺激性；具有强氧化性，遇可燃物着火时，能助长火势；与有机物或磷、硫接触，摩擦或撞击能引起燃烧和爆炸。因此在固态单体熔融盐储存、运输及生产运行的全过程中，严禁与还原性物质、有机化合物等接触；由于熔融盐遇水存在蒸汽爆炸的危险性，不应使用水作为熔融盐火灾的灭火剂，泡沫属于有机化合物也不适合用于熔融盐系统的灭火剂。

根据《石油化工企业设计防火规范》（GB 50160—2008），对于化工产品类的火灾推荐使用干粉灭火剂。灭火时，消防人员应佩戴防毒面具、穿全身消防服，在上风向灭火，采用干粉灭火剂及沙土。不可将水流直接射至熔融物，以免引起严重的流淌火灾或引起剧烈的沸溅。

1.3.2 熔融盐储罐区的消防防火措施

由于储换热系统操作的不确定性以及熔融盐的特性等问题，熔融盐储罐在运行中可能会出现罐内温度分布不均引起熔融盐局部凝结和大的应力集中，破坏储罐罐体结构，发生熔融盐溢流泄露，影响电站安全运行。因此，熔融盐储罐区应布置在独立区域，并作为重点防火区域；在熔融盐储罐区四周应设置不燃性实体防护堤，防护堤高度不小于1m，防护堤内有效容积不应小于堤内最大单罐容量，以采取防止高温液体溢流泄漏。

储罐的基础要考虑保温隔热措施；熔融盐溢出后，在正常大气环境中很快就会凝固，但考虑到熔融盐火灾危险性的不确定性以及高温热辐射的影响，储罐及周边区域应保持干燥，不布置给排水管道、电气电缆以及其他可燃材料。

1.3.3 熔融盐区域的其他消防防火措施

对于采用阶梯式布置的电站，储换热区应尽量布置在较低的同台阶上，台阶间应采取防止高温液体漫流泄漏的措施；在加强防护堤或另外增设其他可靠的防火措施后，储换热区也可布置在较高的台阶上。

对于存储固态单体熔融盐的建筑，考虑到其火灾危险性，建筑门窗采用不发火材料，门窗面积应满足防爆要求；建筑内不布置给排水管道、电气电缆、木屑、布、油类等有机物以及其他易燃可燃材料。

建议在传、储换热区设置火灾报警系统及必要的视频监控探头,并纳入全厂火灾报警系统;设置与运行相适应的消防设施,配备防毒面罩、正压式空气呼吸器、隔热服、防护眼镜、手套等个人防护用品,供专职消防人员和岗位操作人员使用。

2 导热油

导热油是一种热量的传递介质,由于其具有加热均匀,调温控制温准确,能在低蒸汽压下产生高温,传热效果好,节能,输送和操作方便等特点,目前在槽式太阳能光热电站领域得到广泛应用。

2.1 导热油的火灾危险性分析

导热油的选择应根据使用条件,既要考虑导热油的使用温度,又要考虑导热油的特性和热稳定性。导热油的品种和类型有多种,目前在国内外太阳能光热电站广泛使用的主要是联苯和联苯醚低熔混合物型导热油。联苯和联苯醚低熔混合物型导热油是由26.5%的联苯(熔点71℃)和73.5%的联苯醚(熔点28℃)二者的混合物,其使用温度范围为15~400℃。由于其苯环上未连接烷基侧链,因而其耐热性好;其熔点为12℃,在气温较低时对配管、储罐、仪器、仪表等应采取防冻措施。

本文摘取了两种比较常用知名品牌联苯和联苯醚低熔混合物型导热油的特性参数如表2所示。

表2 导热油特性表

Tab. 2 Characteristic table of heat transfer oil

导热油品牌	Dowtherm A	VP-1
凝固点/℃	12	12
沸点(常压)/℃	257	257
闪点/℃	113	124
着火点/℃	118	127
自燃点/℃	599	621
密度/(kg·cm ⁻³)	1 056	1 060
准临界温度/℃	497	499
准临界压力/ar	31.34	33.1

注:表中的数据均来自导热油品牌网站,而非品牌厂家提供的正式资料。

依据现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016—2018)表3.1.1、3.1.3条、《石油库设计规范》(GB 50074—2014)表3.0.3、《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—2008)3.0.3条文说明液化烃、可燃液体的火灾危险性分类举例表2中,明

确联苯-联苯醚混合物的火灾危险性类别为丙B类,以及导热油的特性和使用过程中可能存在的危险性,判别其火灾危险性类别为丙类。

2.2 导热油系统建(构)筑物的火灾危险性分析

根据现行国家标准《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—2008)3.0.4条“设备的火灾危险类别应按其处理、储存或输送介质的火灾危险性类别确定。”3.0.5条“房间的火灾危险性类别应按房间内设备的火灾危险性类别确定。”的要求,判别电站中导热油膨胀罐、溢流罐、导热油泵房等设备、管道及建构筑物的火灾危险性类别为丙类,耐火等级为二级。

2.3 导热油系统的消防防火措施

导热油在使用过程中有潜在的危险性:(1)导热油在使用过程中由于加热系统的局部过热,易发生热裂解反应,生成易挥发及较低闪点的低聚物,低聚物间发生聚合反应生成不熔不溶的高聚物,不仅阻碍油品的流动,降低形同的热传导效率,同时会造成管道局部过热变形炸裂的可能;(2)导热油与溶解其中的空气及热载体系统填充使残留的空气在受热情况下发生氧化反应,生成有机酸及胶质物粘附输油管,不仅影响传热介质的使用寿命堵塞管路,同时易造成管路的酸性腐蚀,增加系统运行泄漏的风险;(3)导热油在低温环境下会出现流动性差,甚至凝结、结晶而无法流动的情况。

由于联苯和联苯醚低熔混合物型导热油属于丙B类可燃液体,其闪点为113~124℃,具有低熔点12℃,易氧化,易燃有毒;其主要火灾隐患是导热油发生泄露后的燃烧。根据目前太阳能光热电站的机组容量、导热油系统的规模,依据现行国家标准《石油库设计规范》(GB 50074—2014)、《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—2008)有关条文的规定,对于电站导热油膨胀罐区、导热油回收区、导热油泵区、蒸汽发生器区等设置移动式泡沫灭火系统和移动式消防冷却水系统。

3 辅助燃料系统

光热发电站的熔融盐初始熔化设备、机组启动及寒冷地区冬季站区采暖等需要设置辅助加热系统;在恶劣条件集热场长期不运行时,也需要辅助燃料锅炉投运进行防凝。根据《太阳能热发电示范

项目技术规范(试行)》中对辅助燃料的要求,光热项目的辅助燃料应选择天然气或燃油作为燃料,若示范工程附近有其他热源,可就近引接。通常可选的辅助燃料主要有天然气、液化天然气、液化石油气及燃油,综合考虑燃料来源、运行成本及大气排放标准等因素,本文仅对采用天然气、液化天然气作为辅助燃料的光热发电站消防设计进行分析。天然气、液化天然气作为优质、洁净的燃料,燃烧仅会产生少量的 NO_x ,满足直接排放的要求,对大气环境的影响很小,环境效益明显;天然气通常采用管道输送、液化天然气采用LNG罐车运送储备的模式服务于光热发电站。

光热发电站的辅助加热系统主要包括辅助燃料锅炉、辅助加热燃料储存设施(天然气调压站或液化天然气储罐)及输送设施,依据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2018)表3.1.1判别辅助燃料锅炉的火灾危险性为丁类,耐火等级二级;依据《石油天然气工程设计防火规范》(GB 50183—2004)附录A规定,天然气的火灾危险性为甲B类,液化天然气(LNG)的火灾危险性为甲A类,因此辅助加热燃料储存设施的火灾危险性为甲类。

辅助燃料锅炉、天然气调压站的消防设计应满足《火力发电厂与变电站设计防火标准》(GB 50029—2019)的有关内容;液化天然气储罐区的消防设计应满足《石油天然气工程设计防火规范》(GB 50183—2004)及《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)的有关内容。

4 消防给水的有关问题

4.1 厂区同一时间内的火灾次数

4.1.1 塔式太阳能热发电站

《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)3.3.1条规定“工厂、仓库、堆场、储罐区或民用建筑的室外消防用水量,应按同一时间内的火灾起数和一起火灾灭火所需室外消防用水量确定同一时间内的火灾起数应符合下列规定:……2工厂、堆场和储罐区等,当占地面积大于 100hm^2 ,同一时间内的火灾起数应按2起确定,工厂、堆场和储罐区应按需水量最大的两座建筑(或堆场、储罐)各计1起;……”,目前国内塔式太阳能热发电站单机 50MW 的厂区面积不小于 200hm^2 ,厂区所

属居民区的人口在1.5万人以下,按照上述规范的要求,电站同一时间内的火灾起数应按2起确定。

按照目前塔式太阳能热电站总体布置,定日镜场面积占厂区总面积的95%以上,但定日镜场可能发生火灾的主要部位在于定日镜驱动装置的电缆、润滑油以及场区电缆沟内的电缆等,其火灾危险性很小;可能发生火灾的发电区仅占厂区总面积的5%左右,一旦全厂同一时间火灾次数达到2次,室外消防用水量将增大,会造成投资、运维过大,如按此配置消防给水系统是不合理的;而且塔式太阳能热电站的建设按以每台机组为1个建设单元,目前国内在建的单机最大容量为 100MW 级,考虑到定日镜场的占地规模和火灾危险性,以及配置消防设施的经济性,建议每台机组厂区内同一时间内的火灾次数按1次计。

对于装机数量2台及以上塔式太阳能热电站的消防救援设施,当消防车在 5min 内不能到达其任一机组火场时,建议按每台机组至少配置1辆消防车及配套消防车库。

4.1.2 槽式太阳能热发电站

按照目前槽式太阳能热电站总体布置,单机 50MW 的厂区面积不小于 200hm^2 ,面积约占厂区总面积的95%以上,而作为传热介质的导热油贯穿于整个集热场。

导热油属于丙B类可燃液体,主要火灾隐患是发生泄露后的燃烧,根据其火灾危险性以及《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)3.3.1条规定,槽式太阳能热电站厂区内同一时间内的火灾次数应按2次计。

为满足电站消防要求,避免投资过大,电站消防设施的规模与系统的布置型式,消防给水系统按机组台数分开设置或合并设置,应经技术经济比较确定。当电站装机2台及以上时,总消防供水能力应能满足电站两个发电区内最大建筑(包括设备)同时着火需要的室内外用水量之和。

对于装机数量2台及以上槽式太阳能热电站的消防救援设施,应按每台机组配置2辆消防车及配套消防车库,其中至少1辆消防车为泡沫-干粉联用。

4.2 吸热塔的消防给水

吸热塔是塔式太阳能电站集热场的组成部分,用于将吸热器承载在一定高度的构筑物,其结构型

式主要有钢、混凝土或钢-混凝土，高度从几十米至上百米不等。

根据工艺系统要求，吸热塔主要布置吸热器、熔融盐循环泵、熔融盐输送管道、阀门及其他设备；可燃物较少，火灾危险性较小；正常运行时无人值守，其火灾危险性为丁类，耐火等级二级；运行过程中可能会出现熔融盐泄露，释放一定热量，但熔融盐遇水存在蒸汽爆炸的危险性，不宜采用水扑灭火灾；吸热塔内无生产、生活给水管道，塔外消防用水取自储水池；因此依据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)，吸热塔可不设室内消防栓给水系统。

但当封闭的吸热塔内设置消防电梯，且设置前室时，根据《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)有关要求，吸热塔应设室内消防栓给水系统。

根据电站中吸热塔的重要性、工艺布置情况、火灾危险性、人员疏散及扑救难度等，在吸热塔内应设置相应的消防设施，在熔融盐输送阀门、管道接头部位、电缆交叉、密集及中间接头部位等处安装悬挂式超细干粉灭火装置；在重要部位设置火灾报警探测器，在重要区域设置工业电视监视系统，增强火灾探测的可靠性，并纳入到全厂火灾报警系统；在塔内工作层、电气设备间等处配置干粉或二氧化碳灭火器；在疏散通道和楼梯间设置事故照明，疏散通道和安全出口设疏散指示标志。

5 结论

目前国内太阳能光热电站投运较少，缺少电站设计、运行及维护等相关方面的资料，尤其对于电站机组容量、传/储/换热技术路线、辅助燃料方式等关键技术问题还有待研究；对熔融盐、导热油的特性尚未进行深入研究，需要科学合理地判别电站各系统建(构)筑物的火灾危险性类别，并根据消防规范制定出相应的消防防火措施；对于太阳能光热电站中特殊的建(构)筑物及设备的消防设计，目前的标准、规范未涉及或未明确部分，应与国内消防部门、专家进行技术交流，必要时进行特殊消防设计方案的论证和评审。

本文针对采用熔融盐作为传热、储换热介质的塔式太阳能光热电站，以及采用导热油传热、熔融

盐作为储换热介质的槽式太阳能光热电站，重点对熔融盐、导热油的火灾危险性及其设备、建(构)筑物耐火等级进行探讨，仅供同行设计借鉴，欢迎批评指正。

参考文献：

- [1] 汪琦,俞红啸,张慧芬. 熔盐和导热油蓄热储能技术在光热发电中的应用研究[J]. 工业炉, 2016, 38(3):34-38+48.
WANG Q, YU H X, ZHANG H F. Application research of molten salt and heat conduction oil regenerative energy storage technology in solar-thermal power generation [J]. Industrial Furnace, 2016, 38(3):34-38+48.
- [2] 何军. 熔盐和导热油蓄热储能技术在光热发电中的应用研究[J]. 节能与环保, 2019(2):100-101.
HE J. Application of molten salt and heat conducting oil thermal storage technology in photothermal power generation [J]. Energy Conservation & Environmental Protection, 2019(2): 100-101.
- [3] 刘宏民,罗旭堃. 塔式光热电站设计标准建筑部分编制思路[J]. 电力勘测设计, 2018(12):70-74.
LIU H M, LUO X K. Writing thoughts for building provisions in code for design of solar tower thermal power plant [J]. Electric Power Survey & Design, 2018(12):70-74.

作者简介：



张开军

张开军(通信作者)

1972-, 男, 甘肃武威人, 教授级高级工程师, 水工专业工学学士, 主要从事电厂给水排水及消防方面的设计 (e-mail) 382029735@qq.com。

项目简介：

项目名称 《塔式太阳能光热发电站设计标准》(GB/T 51307—2018)

承担单位 中国能源建设集团有限公司工程研究院

项目概述 项目主要为规范塔式太阳能光热发电站的设计；研究塔式太阳能光热发电站的关键技术，认真总结实践经验，参考有关国际标准，满足安全可靠、技术先进、经济合理的要求，制定标准用以规范塔式太阳能光热发电站的设计工作。

主要创新点 填补了国内外太阳能热发电设计标准的空白，有助于规范和提高我国塔式光热发电站工程研究、设计、制造和建设的技术水平，对推动我国太阳能热发电产业的技术进步有着积极的作用，将对我国乃至全世界太阳能热发电行业的技术发展产生重要影响。

(责任编辑 李辉)