

文章编号: 1671-6612 (2024) 03-399-07

# 某超高层建筑空调冷热源及水系统设计

张小怀<sup>1</sup> 刘猛<sup>1</sup> 孙洁<sup>1</sup> 周文波<sup>2</sup>

(1. 上海城建职业学院 上海 200438;

2. 上海柏承行建筑工程技术咨询有限公司 上海 200041)

**【摘要】** 该项目是集酒店、公寓、办公及商业于一体的超高层建筑综合体。主要从空调冷热源、空调水系统两方面介绍了该工程塔楼区域空调系统设计方案,并在总结梳理前人工作的基础上重点对空调水系统竖向分区进行了研究,指出熟悉设备及管道系统承压能力并对其充分利用是做好超高层空调水系统竖向压力分区的前提。

**【关键词】** 超高层建筑; 冷热源; 空调水系统; 竖向分区

中图分类号 TU831 文献标志码 A

## Scheme Design of Air Conditioning System for a Super High-rise Building

Zhang Xiaohuai<sup>1</sup> Liu Meng<sup>1</sup> Sun Jie<sup>1</sup> Zhou Wenbo<sup>2</sup>

(1. Shanghai Urban Construction Vocational College, Shanghai, 200438;

2. Shanghai Baichenghang Construction Engineering Technology Consulting Co., Shanghai, 200041)

**【Abstract】** This project is a super high-rise building complex that integrates hotels, apartments, offices, and commerce. This paper mainly introduces the scheme design of the air conditioning system in the tower area of the project from two aspects: air conditioning cold and heat sources and air conditioning water system. Based on the summary and sorting of previous work, the vertical zoning of the air conditioning water system is studied with emphasis. It points out the premise of being familiar with the pressure capacity of equipment and pipeline systems and fully utilizing them to do a good job in the vertical pressure zoning of the super high-rise air conditioning water system.

**【Keywords】** Super high-rise building; Cold and heat sources; Air conditioning water system; Vertical zoning

## 0 引言

《民用建筑设计统一标准》规定,民用建筑高度大于 100 米为超高层建筑<sup>[1]</sup>。进入 21 世纪,全国各地都开始兴建超高层建筑,根据世界高层建筑与都市人居学会(CTBUH)发布的相关数据显示,截至 2021 年,我国已拥有的 150 米以上的超高层建筑有 2581 座,其中 200 米以上的有 861 座,300 米以上的 99 座,三项数据均保持全球领先<sup>[2]</sup>。

随着超高层建筑的快速发展,也给勘察设计行业也带来了诸多挑战,其中空调水系统竖向分区一直是暖通专业公认的难点之一,也是诸多暖通设计

人员重点研究的对象<sup>[3-6]</sup>:张铁辉等认为空调水系统竖向分区是超高层建筑空调设计中一个非常关键和重要的环节,空调水系统竖向分区是否合理,将会对工程的安全性、节能性、经济性和运行管理等产生重大影响;王丽等认为在超高层建筑中,空调水系统分区要综合考虑设备承压、设备投资、冷源供冷效率、运行安全等几个方面;许穗民等认为空调水系统竖向分区是否合理,是暖通设计一个非常关键和重要的环节,对整个项目空调水系统方案确定,起着决定性的作用;满孝新认为空调水系统竖向分区是否合理,会严重影响超高层建筑的安全

性，也会影响项目的节能、投资和运行管理。本文全面介绍了案例项目空调系统的设计方案，并在总结前人工作经验的基础上，着重对该项目空调水系统的竖向分区进行了研究。

### 1 工程概况

该项目为温州市某拟建超高层建筑综合体，项目业态集酒店、公寓、办公、商业于一体，总建筑

面积约31万m<sup>2</sup>，建筑高度约380米。其中，塔楼79层，67~79F为高端酒店，16~65F为产权公寓，4~13F为办公楼，1~2层为酒店大堂及会议，其余楼层为避难（设备）层；裙房4层，主要为商业用房；地下3层，主要为停车库、设备用房及部分商业用房。本文仅对塔楼区域各业态空调系统设计方案进行介绍，塔楼竖向建筑功能分区如图1所示。

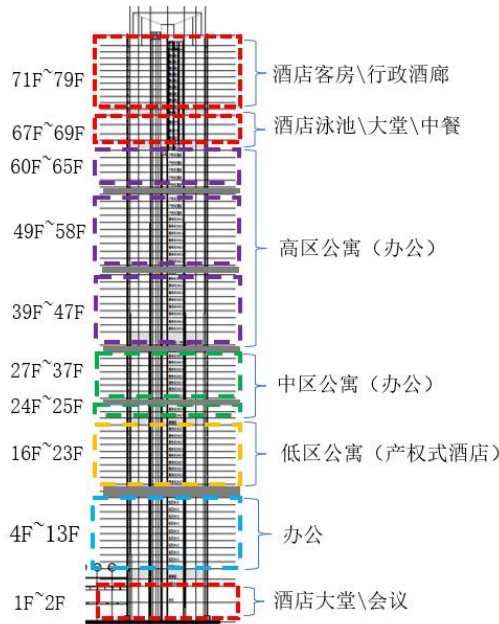


图1 塔楼竖向建筑功能分区

Fig.1 Vertical building functional zoning of the tower

### 2 设计参数及空调冷、热负荷

空调室内外主要设计参数如表1、表2所示。

#### 2.1 空调室内、外设计参数

表1 空调室外气象参数

Table 1 Outdoor meteorological parameters of air conditioning

	干球温度/℃	湿球温度/℃	相对湿度/%	风速/(m/s)	主导风向	大气压力/Pa
夏季	32.8	28.7	—	2.1	SE	100550
冬季	1	—	75	2.2	NW	102350

表2 空调室内主要设计参数

Table 2 Indoor design parameters for air conditioning

房间区域	室内温度/℃		相对湿度/%		新风量	人员密度	噪声声级
	夏季	冬季	夏季	冬季	m <sup>3</sup> /h·p	m <sup>2</sup> /p	dB(A)
客房	23	22	50	40	100CMH/间	2人/间	40
酒店走道	24	21	50	—	2次/h换气	—	45
酒店电梯厅	24	21	50	—	2次/h换气	—	45
宴会厅	23	21	50	—	16	1	45

续表 2 空调室内主要设计参数

Table 2 Indoor design parameters for air conditioning

房间区域	室内温度/°C		相对湿度/%		新风量 m <sup>3</sup> /h·p	人员密度 m <sup>2</sup> /p	噪声声级 dB(A)	
	夏季	冬季	夏季	冬季				
酒店	大堂	24	21	50	—	17	3	45
	会议	23	21	50	—	11	2	45
	健身房	23	21	50	—	40	4	45
公寓	大堂	24	21	50	—	10	10	45
	电梯厅	26	18	60	—	10	3	45
	卧室	24	22	50	—	50	2 人	40
办公	起居室	24	20	55	—	30	6 人	45
	办公室	25	20	55	—	30	8	45
	电梯厅	26	18	60	—	10	3	45
	大堂	26	18	60	—	10	5	45

注: 酒店及公寓室内设计参数根据业主要求设定。

### 2.2 空调冷热负荷

由于本文主要研究方案阶段的空调系统设计, 除空调面积是按建筑平面图中各功能区域分布进

行实际量取外, 空调冷、热负荷计算均采用估算法, 塔楼各业态的空调面积、冷热指标及冷热负荷估算值详见表 3。

表 3 塔楼空调冷\热负荷估算表

Table 3 Estimation Table for Cooling/Heating Load of Tower Air Conditioning

业态	房间名称	空调面积 m <sup>2</sup>	冷负荷		热负荷	
			负荷指标 (W/m <sup>2</sup> )	总负荷 (kW)	负荷指标 (W/m <sup>2</sup> )	总负荷 (kW)
酒店	客房	11520	180	2100	150	1750
	客房走道	2000	120	240	100	200
	客房电梯厅	350	150	52	120	42
	餐厅/宴会	3761	350	1300	250	950
	大堂/前厅	578	300	180	200	120
	会议	1511	250	375	170	255
	健身中心	1821	250	450	150	270
公寓	公寓	62000	200	12400	150	930
办公	办公(含大堂)	13500	200	2700	100	1350

注: 酒店部分按照酒店管理公司要求预留 20% 负荷。

### 3 空调冷、热源

结合项目定位、产权形式、业主需求等综合因素, 该项目各业态均考虑独立设置空调冷热源。

#### 3.1 酒店空调冷热源

夏季空调冷源采用中央冷水机组制冷, 冷水机组设置 2 台 650RT 离心式机组和 1 台 350RT 螺杆式机组, 冷冻机房位于地下 3 层; 冬季空调冷源采用冷却塔进行“免费”制冷, 设置 1 台 1100kW 板

式热交换器间接供能。夏季制冷机组所需冷却水及冬季空调冷源均由放置于裙房商业屋面的 3 台冷却塔提供。

冬季空调热源及生活热水热源采用锅炉集中制热, 设置 3 台 1750 承压热水锅炉(其中两台为油气两用), 锅炉房位于地下 1 层。另外, 为有效利用不同季节空调冷凝废热, 考虑设置 1 台 250kW 水源热泵机组用于酒店生活热水补水预热, 水源热

泵机组放置于地下 3 层冷冻机房内。

### 3.2 公寓空调冷热源

考虑到公寓的产权特点以及“独立使用、分户计量”的空调使用要求，公寓每户独立设置水环式 VRF 空调系统，并采用“室外机在上、室内机在下”的原则将室外主机就近、集中放置于相邻设备层。同时，采用 5 台循环量 400m<sup>3</sup>/h 闭式冷却塔、3 台 2100kW 真空热水锅炉作为水环侧的冷却水源和辅助热源。其中，冷却塔放置于裙房商业屋面；锅炉放置于 B1 层公寓专用锅炉房；冷却水循环泵及辅助设施、锅炉辅助加热循环泵及辅助设施均放置于 B1 层公寓专用锅炉房内。

### 3.3 办公空调冷热源

夏季空调冷源采用中央冷水机组制冷，选用 2 台制冷量为 400RT 水冷螺杆式制冷机组（其中 1 台变频），专用冷冻机房位于 B3 层。冬季空调热源及生活热水热源采用 2 台 700kW 真空热水锅炉提供，锅炉房位于 B1 层。

## 4 空调水系统

### 4.1 空调水系统竖向分区原则

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》规定：空调冷（热）水和冷却水系统中的冷水机组、水泵、末端装置等设备和管路及部件的工作压力不应大于其额定工作压力<sup>[7]</sup>。然而，随着建筑高度的不断增加，空调水系统底部承压会逐渐加大，甚至超过上述设备管道及部件的额定承压能力。尽管有些厂家能够定做超高压设备，但定制特殊设备除了成本高外，会进一步加大系统泄露的风险<sup>[8]</sup>。因此，在充分熟悉设备及管道系统承压能力的基础上对超高层建筑空调水系统进行合理的竖向分区将尤为重要。

目前，尽管国内的相关设计规范未对超高层建筑空调水系统的竖向分区原则进行明确规定，但相关产品标准对上述空调冷热源设备、末端设备、管路及相关部件等的承压或压力试验要求等均有规定，文献[3]对此已有详细研究。本文根据上述产品标准的最新版本对文献[3]中相关研究成果内容进行更新、补充后梳理汇总成表 4 和表 5<sup>[9-15]</sup>。

表 4 空调设备及管道系统承压或压力试验规定值

Table 4 Pressure or pressure test specified values for air conditioning equipment and piping systems

产品类别	参考标准规范名称	相关承压要求或压力试验规定
冷热源设备	《蒸气压缩循环冷水(热泵)机组 第 1 部分：工业或商业用及类似用途的冷水(热泵)机组》GB/T 18430.1-2007	机组水侧在 1.25 倍设计压力(液压)下，按照 JB/T 4750 中的液压试验方法进行检验
	《热水锅炉参数系列》GB/T 3166-2004	额定出水压力（允许工作压力）可分为 0.4、0.7、1.0、1.25、1.6、2.5MPa，共 6 档
末端设备	《板式热交换器 第 1 部分：可拆卸板式热交换器》NB/T 47004.1-2017	机组水侧不小于 1.3 倍设计压力下进行压力试验
	《组合式空调机组》GB/T 14294-2008 《风机盘管机组》GB/T 19232-2019	机组水侧在 1.5 倍设计压力下下进行压力试验 机组盘管在 1.6MPa 压力下应无破损，机组应运行正常 试验压力至少是在 20°C 时允许最大工作压力的 1.5 倍。
阀门	《工业阀门压力试验》GBT 13927-2008	20°C 时允许最大工作压力因阀门材质不同分为：0.25，0.6，1.0，1.6，2.0，2.5，4.0Mpa 及以上种类
管道系统	《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091-2015	液压最大试验压力为 5.0MPa
	《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771-2019	液压最大试验压力为 10.0MPa
	《流体输送用不锈钢无缝钢管标准》GBT 14976-2012	当钢管外径≤88.9mm 时，最大试验压力为 17MPa；当钢管外径>88.9mm 时，最大试验压力为 19.0MPa
	《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163-2018	液压最大试验压力不超过 19.0MPa
	《薄壁不锈钢钢管》CJT 151-2016	液压试验压力应不小于 2.5MPa
	《不锈钢卡压式管件组件第 1 部分：卡压式管件》GBT 19228.1-2011	水压试验压力不低于 2.5MPa
	《不锈钢卡压式管件组件第 2 部分：连接用薄壁不锈钢管》GBT 19228.2-2011	水压试验压力不低于 2.5MPa

表 5 常用空调设备及管道承压能力等级  
Table 5 Pressure bearing capacity levels of air conditioning equipment and pipelines

类别	承压能力等级 (MPa)	
电制冷冷水机组	1.0, 1.6, 2.0, 2.5 <sup>(1)</sup>	
热水锅炉	1.0, 1.6, 2.0, 2.5	
板式换热器	1.0, 1.6, 2.0, 2.5	
空调循环水泵	1.0, 1.6, 2.5	
组合式空调机组	1.6 (1.75) <sup>(2)</sup>	
风机盘管	1.6 (1.75) <sup>(2)</sup>	
管道类型	薄壁不锈钢管	1.6
	焊接钢管	1.6
	无缝钢管	2.5
管道连接方式	螺纹	1.6
	卡压、卡套	1.6
管道附件	沟槽	1.6 (2.5) <sup>(3)</sup>
	法兰	1.6 (2.5, 4.0) <sup>(4)</sup>
管道附件	按管道连接方式选取	

注: (1) 前两者为普通型, 后两者为增强型; (2) 个别品牌空调机组、风机盘管最大承压可达 1.75MPa; (3) 沟槽连接采用螺纹三通 1.6MPa, 非螺纹三通 2.5MPa; (4) 螺纹法兰 1.6MPa, 焊接法兰 2.5MPa, 特殊工艺法兰 4.0MPa。

基于表 4 和表 5 相关数据或结论, 在综合考虑系统安全性、节能性、性价比等因素, 并采用功能分区与压力分区相结合方式, 制定该项目空调水系统竖向分区原则如下:

(1) 按建筑功能不同, 空调水系统竖向整体分为酒店、公寓、办公三个功能分区, 各功能分区间空调水系统均相互独立设置。

(2) 同一功能分区内, 空调水系统再按照以下原则进行压力分区:

① 优先考虑用足设备及管道系统承压能力, 尽量减少竖向压力分区数量。

② 各功能分区所需冷、热源主机均考虑设置于地下, 通过设置板式换热器方式进行空调水系统竖向压力分区, 换热次数优先采用 1 次换热, 最多不超过 2 次换热。

③ 主要设备承压要求: 冷水机组、热水锅炉最大承压不超过 2.0MPa, 板式换热器、循环水泵最大承压不超过 2.5MPa, 风机盘管、新风机组等末端设备最大承压不超过 1.6MPa。

## 4.2 空调水系统设计

### 4.2.1 酒店空调水系统设计

酒店空调水系统竖向分为高 (67F~79F)、低 (B3~2F) 两个区, 其中高区主要功能为客房及餐厅, 低区主要功能为大堂及会议。根据酒店管理公司需求, 空调水管路采用四管制、闭式循环系统, 所需冷水机组、热水锅炉分别设置于地下 3 层 (标高-16.3m)、地下 1 层 (标高-8.5m) 酒店专用设备机房内, 其中冷水机组承压 2.0MPa, 热水锅炉承压 1.6MPa, 高、低区空调冷、热水均通过设置板式换热器换热后间接供能, 系统组成及工作原理如图 2 所示。

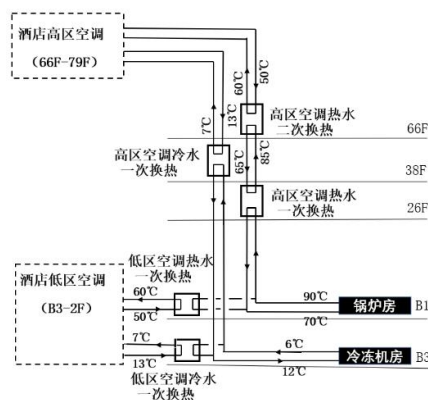


图 2 酒店空调水系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of hotel air conditioning water system

#### (1) 空调冷水系统

酒店低区、高区空调冷水均为一次换热, 其中: 低区用板式换热器设在地下 3 层 (标高-16.3m) 换热机房内, 板式换热器承压 2.5MPa, 末端设备承压 1.0MPa; 高区板式换热器设置在地上 38 层 (标高 162m) 换热机房, 板式换热器承压 2.5MPa, 末端设备承压 1.0MPa。低区、高区用各冷水板换两侧供回水温度详见图 2。

#### (2) 空调热水系统

酒店空调热水低区为一次换热, 高区为二次换热:

低区用板式换热器位于地下 1 层 (标高-8.5m) 换热机房, 板式换热器承压 1.6MPa, 末端设备承压 1.0MPa。

高区一次换热机房位于 26F (标高 113.6m), 板式换热器承压 1.6 MPa; 高区二次换热机房位于 66F (标高 288.8m), 板式换热器承压 2.5MPa,

末端设备承压 1.0 MPa。

低区、高区用各热水板换两侧供回水温度详见图 2。

### 4.2.2 公寓空调水系统设计

公寓 VRF 空调系统水环侧管路为两管制、闭式循环系统，以 38F（标高 162m）设备层为界竖向分为高（39-65F）、低（16-37F）两个分区，其中低区水环路冷、热水由冷却塔及锅炉循环水直接提供，高区水环路冷、热水由冷却塔及锅炉循环水经一次换热后间接提供，换热机房位于 38F。冷却塔位于裙楼屋面（标高 18.0m），工作压力为 1.6MPa，锅炉位于地下 1 层（标高-8.5m）锅炉房内，工作压力为 2.0MPa，高、低区水环式 VRF 机组工作压力及一次换热板换工作压力均为 1.6MPa，系统组成及工作原理如图 3 所示。

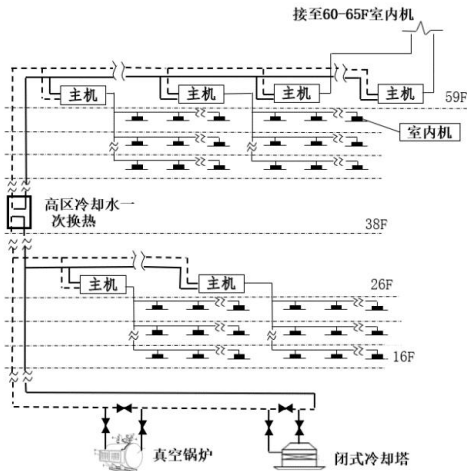


图 3 公寓空调水系统原理图

Fig.3 Schematic diagram of apartment air conditioning water system

### 4.2.3 办公空调水系统设计

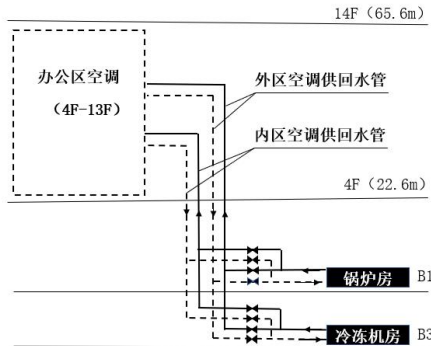


图 4 办公空调水系统原理图

Fig.4 Schematic diagram of offices air conditioning water system

办公空调水系统采用水平分区（内、外区）独立冷/热切换的两管制闭式循环系统（见图 4），其中过度季节内区空调考虑制冷；冬季内区空调制冷/制热切换，切换与否视内区环境温度需要；竖向不做分区，空调冷热水由分别设置于地下 3 层（标高-16.3m）、地下 1 层（标高-8.5m）的办公专用冷水机组、锅炉直接提供，冷水机组承压 2.0MPa，锅炉承压 2.0MPa，末端设备承压 1.6MPa。

## 5 总结与体会

一直以来，超高层建筑在集约利用土地资源、推动建筑工程技术进步、促进城市经济社会发展等方面发挥积极作用。尽管在 2021 年 10 月住房城乡建设部与应急管理部发布《关于加强超高层建筑规划建设管理的通知》中明确提出各地要严格控制新建超高层建筑，但此“限高令”主要是针对近年来一些城市出现的“脱离实际需求，攀比建设超高层建筑，盲目追求建筑高度第一”等现象和问题提出的，而对另一些有实际需求且具备一定科学规划建设管理超高层建筑能力的城市，并不会受此令限制。所以，从某种意义上讲，“限高令”不但不是阻碍超高层建筑持续发展的限停令，反而是推进超高层建筑良性发展的护身符。因此，如何有效解决超高层建筑技术难点并进一步提升超高层建筑整体建设水平仍将是每一位工程技术人员今后工作的重点和目标。

本文重点对案例工程空调冷热源配置和空调水系统竖向分区方案设计进行了研究，并结合国家对建设领域节能减排的相关要求及超高层建筑的设计难点，提出了相应的节能措施和解决方案，主要包括：

(1) 根据不同业态分设冷热源系统，并辅助采用冷却塔“免费”供冷系统，满足过渡季、冬季的供冷需求，从而减少冷水机组运行时间，降低运行能耗。

(2) 空调水系统竖向分区是超高层建筑工程设计公认的难点之一，而熟悉设备和管道系统承压能力并对其充分利用是做好超高层建筑空调水系统竖向分区的重要前提。通过系统分析空调设备及管道承压能力，并综合考虑系统安全性、节能性、性价比等因素制定本项目空调水系统竖向分区原则。

(3) 酒店高区空调水系统改变了传统冷、热水均需二次换热的做法,通过适当提高冷水机组承压、合理设置板式换热器位置等方式,仅利用一次换热便实现了酒店高区空调冷水系统的压力分区,在提升换热效率、减小换热温差的同时,也最大程度保证了高区末端的除湿能力。

上述设计方案是在综合考虑项目自身特点、业主实际需求、当地能源政策等多方面因素并经初步经济技术比选后完成的方案阶段设计成果,后期深化设计中还需要结合主管部门审批意见、施工工艺和条件、运营管理水平等做进一步深化和优化,以期真正实现安全、节能、经济、合理的设计目标。

#### 参考文献:

- [1] GB 50352-2019,民用建筑设计统一标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2] 黄琼.中国超高层建筑全球第一部委再发“限高令”:新建不得超过500米[N].第一财经日报,2021-11-21(A06).
- [3] 张铁辉,赵伟.超高层建筑空调水系统竖向分区研究[J].暖通空调,2014,44(5):2-9.
- [4] 王丽,张伟东,周全,等.烟台某超高层建筑空调设计[J].制冷与空调,2015,29(3):283-285.
- [5] 许穗民,刘坡军,张斯雅.浅谈广州某超高层建筑空调水系统分区设计[J].制冷,2021,40(1):85-89.
- [6] 满孝新.千米级摩天大楼暖通空调系统设计与优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021:84-88.
- [7] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 刘东亮,胡居传.超高层建筑的中央空调水系统设计与分析[J].制冷与空调,2012,12(5):94-96.
- [9] GB/T 3166-2004,热水锅炉参数系列[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [10] NB/T 47004.1-2017,板式热交换器第1部分:可拆卸板式热交换器[S].北京:新华出版社,2017.
- [11] GB/T 19232-2019,风机盘管机组[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [12] GB/T 3091-2015,低压流体输送用焊接钢管[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [13] GB/T 12771-2019,流体输送用不锈钢焊接钢管[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [14] GB/T 8163-2018,输送流体用无缝钢管[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [15] CJ/T 151-2016,薄壁不锈钢钢管[S].北京:中国标准出版社,2016.