

高压冷水机的启动柜选型设计要点

黄楚凡

(广州市设计院集团有限公司)

【摘要】10kV 冷水机组容量大，能效COP相对比0.4kV冷水机高。近年在大型公建使用比较多，其启动柜各个主机厂家有比较大的差异，文章在项目设计过程中对相关资料进行了整理，供电气设计人员参考。

【关键词】自耦变压器降压启动；变频控制；功率因数补偿

中图分类号：TB657

DOI：10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.128

Key Points for the Selection and Design of the Start-up Cabinet for High-pressure Water Chillers

HUANG Chu-fan

(Guangzhou Design Institute Group Co., Ltd.)

【Abstract】The 10kV chiller units have large capacity and a relatively higher energy efficiency COP compared to 0.4kV chillers. In recent years, they have been widely used in large public buildings. There are significant differences in the starting cabinets provided by various manufacturers. This article has sorted out the relevant materials during the project design process, offering reference for electrical designers.

【Keywords】autotransformer reduced-voltage starting; variable frequency control; power factor compensation

1 引言

10kV 冷水机的控制柜选型和电网接入的要求是电气设计比较关注的问题。本文就近期项目设计过程中关于高压冷水机启动柜选型要点、不同类型启动柜柜体尺寸和无功补偿等展开简要阐述。

2 高压冷水机组运行工况与启动

2.1 民用建筑的冷负荷变化特征

①民用建筑的主要热源包括室内照明、人员及电气设备。相关研究数据显示，围护结构传热引起的负荷占比4%~8%，日射得热引起的负荷占比14%~18%，室内发热（照明、设备、人员等）占比52%~61%，新风负荷占比17%~26%^[1]。

②依据国家标准《蓄冷空调工程技术规程》JGJ 158-2008，不同类型建筑冷负荷的时段变化取值如表1所示^[2]。

表1 逐时冷负荷系数取值表

时间	写字楼	宾馆	商场	餐厅	咖啡厅	夜总会	保龄球	时间	写字楼	宾馆	商场	餐厅	咖啡厅	夜总会	保龄球
1	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13	0.86	1.00	0.94	1.00	0.97	0.40	0.62
2	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14	0.89	1.00	0.96	0.98	1.00	0.40	0.76
3	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15	1.00	0.92	1.00	0.86	1.00	0.41	0.80
4	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16	1.00	0.84	0.96	0.72	0.96	0.47	0.84
5	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17	0.90	0.84	0.85	0.62	0.87	0.60	0.84
6	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18	0.57	0.74	0.80	0.61	0.81	0.76	0.86
7	0.31	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19	0.31	0.74	0.64	0.65	0.75	0.89	0.93
8	0.43	0.67	0.40	0.34	0.32	0.00	0.00	20	0.22	0.50	0.50	0.69	0.65	1.00	1.00
9	0.70	0.67	0.50	0.40	0.37	0.00	0.00	21	0.18	0.50	0.40	0.61	0.48	0.92	0.98
10	0.89	0.75	0.76	0.54	0.48	0.00	0.30	22	0.18	0.33	0.00	0.00	0.00	0.87	0.85
11	0.91	0.84	0.80	0.72	0.70	0.00	0.38	23	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.78	0.48
12	0.85	0.90	0.88	0.91	0.86	0.40	0.48	24	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.71	0.30

写字楼冷负荷突变上升节点为7时、9时、10时，

下降节点在18时后；商业建筑冷负荷在8时至10时持续上升。商业与办公综合楼的冷水机组负荷在8时至10时达到峰值，两类业态负荷占比均达80%（见图1）。此时线路负荷亦处于较高水平，高压冷水机组启动时，需核查其启动电流是否会引发高压开关意外跳闸。

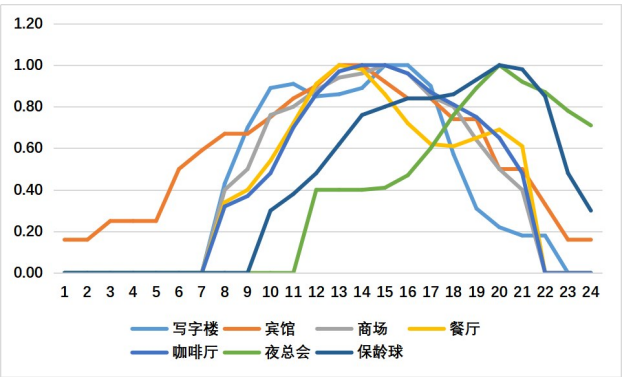


图1 建筑不同类型冷负荷变化表

2.2 制冷系统的控制策略

为使冷源系统的高效运行，通常采用多台大机组搭配多台小机组的搭配形式。

①冷负荷较小时（小于单台大机组容量），优先启动小机组（小机组选用变频控制提升节能效果）。

②冷负荷大于单台大机组容量时，启动第二台大机组与一台小机组满足负荷需求，以此类推。

③冷负荷降低时,则相应退出对应容量的制冷机组运行。

2.3 小结

冷水主机的启停与冷负荷变化直接相关。从节能控制策略出发,需通过制冷主机的动态启停实现负荷匹配,但主机启停产生的冲击电流,对变配电系统稳定性影响显著。

3 高压电动机各种启动方式分析

高压冷水机的运行方式分为变频运行与定频运行两类。其中,定频控制机组的启动方式包括直接启动、自耦变压器启动、串联电抗器启动、固态软启动降压启动等。

3.1 变频控制

原理:通过改变交流电频率调节电动机转速与功率,进而实现制冷量的精准调控,启动电流与额定电流相等。

优点:动态调速性能优异,实时匹配压缩机及冷却系统转速与负载,减少电能损耗,同时缓解设备频繁启停带来的机械磨损与电气冲击,延长设备使用寿命。

缺点:初始投资与维护成本相对较高,设备占用空间大,启动柜尺寸为 $3200\times 1500\times 2300$ 。

3.2 直接启动

原理:将电动机直接接入电网,采用全压方式启动,适用于小功率电动机(见图2)。

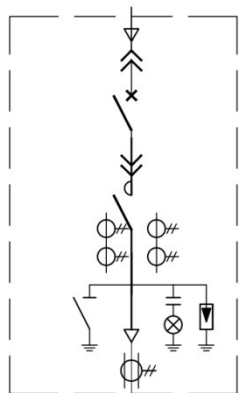


图2 直接启动柜

优点:设备体积小、投资成本低。

应用场景:适用于小型高压冷水机或低负载工况下的启动。

3.3 自耦变压器降压启动

原理:利用自耦变压器降低电动机定子绕组启动电压,待电动机启动后脱离自耦变压器,进而在全压下正常运行,降压启动电流为额定电流的2倍~3倍(见图3)。

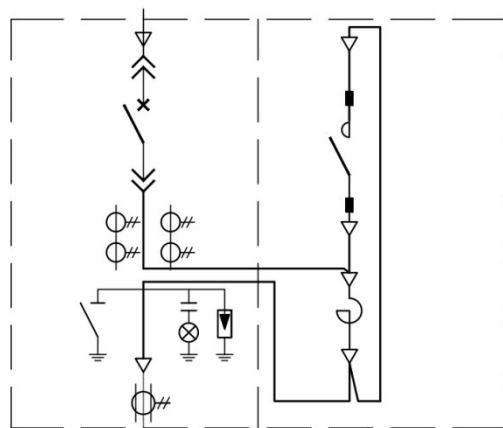


图3 高压自耦启动柜

优点:启动电流小,启动转矩适中。

缺点:设备体积大、安装不便、投资成本高。

3.4 一次侧串联电抗器

原理:通过在一次侧串联电抗器实现分压,电动机启动后,通过接触器短接电抗器,降压启动电流约为额定电流的2.5倍~3倍(见图4)。

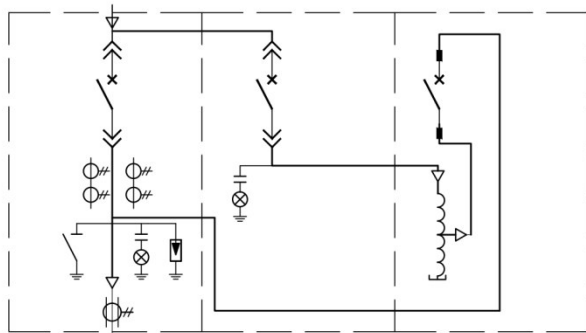


图4 一次侧串联电抗器启动柜

优点:造价低廉,控制柜体积小于自耦降压启动柜。

缺点:电抗器串入会产生一定能耗。

3.5 固态软启动降压启动

原理:通过MCU控制单元调节三相反并联闸管导通角,使被控电机输入电压按预设要求渐变,实现降压启动,启动电流不大于额定电流的2.5倍(见图5)。

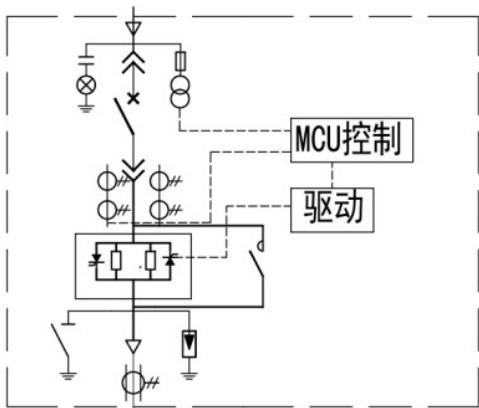


图5 高压固态软启动柜

优点:体积小、能耗低、效率高,具备多种完善的保护功能,可对短路、过流、限流、过压、欠压、过负载、缺相、三相电流不平衡、过热、通信故障等状态进行报警。

缺点:价格较高,占用体积大于直接启动柜。

4 启动方式选择分析

以下结合某工程实例,分析高压冷水机启动电流与供电部门线路继电保护整定的匹配性,为启动方式选择提供依据。

条件 1:1600RT 10kV 高压冷水主机,中标厂家提供参数为:运行电流约 58A,直接启动电流约 330A~337A,降压启动电流约 152A~176A。

条件 2:南方电网广州地区供电部门进线断路器整定电流为 545A,动作时间 0.2s;该整定电流对应线路连接的变压器容量为 8500kVA (功率因数按 0.9 计)。

10kV 冷水机启动。直接启动:启动过程中线路基础电流不大于 225A,对应线路负载率 41.3%,线路总开关不会触发跳闸。降压启动:启动过程中线路基础电流不大于 393A,对应线路负载率 72.1%,线路总开关不会触发跳闸。

结合上述分析,若线路连接的变压器容量较大(如本案例中超过 8500kVA),且需在线路负载高于 40% 时启动高压冷水机组,建议选择降压启动方式。从工程实施安全性角度考虑,建议 10kV 冷水机组统一采用降压启动。

5 功率因数补偿

问题:当高压冷水机组负载率为 40% 时,运行功率因数约为 0.6,单台设备考核指标不满足电网

要求。

对策:①有条件时,在高压机组启动柜旁增设功率因数补偿装置;②优化变压器低压柜补偿系数设定,通过整体补偿满足供电部门考核要求。

6 高压冷水机控制室配置

6.1 启动柜尺寸对土建的影响(见表 2)

表 2 各品牌启动柜尺寸

	厂家 1(约克) ^[3] (长×宽×高)	厂家 2(三菱) (长×宽×高)	厂家 3(开利)
直接启动	1000×1650× 2400	1600×1650× 2130	1600×1660× 2300
自耦变压	2400×1650× 2400	2200×1660× 2300	2200×1660× 2300
一次侧电抗	2000×1650× 2400	-	2200×1660× 2300
固态软启动	-	1600×1660× 2300	2000×1500× 2300

启动柜选型最不利工况为采用降压启动柜,其尺寸按 2.4m×1.65m 预留。柜列前后间距及通道设置,需严格遵循 10kV 中置柜相关标准执行。

7 结语

高压冷水机启动柜选型涉及空调专业选型与设备厂家配套衔接,电气专业对应的应对策略建议如下:①与空调专业协调确定选型意向,收集相关设备样本开展比选,并与业主方共同商讨最终选型方案;②冷水机房控制室应分设高压与低压两个区域,高压控制室按最不利工况预留土建空间;③尽早与供电部门对接,明确当地高压机组供电政策,包括线路补偿要求、高压接入界面等关键事项。

参考文献

[1] 赵志安, 杨纯华. 现代化办公楼建筑的空调冷负荷分析及设备选择[C]. 广西: 全国暖通空调制冷 2000 年学术年会论文集, 2020: 517-520.
[2] JFJ 158-2008. 蓄冷空调工程技术规程[S].
[3] 约克公司. SC-E11-IOM.WX(0107). 高压启动开关设备安装使用说明书.