

汽轮机排汽缸的结构设计分析

夏斌胜, 陈哲彬, 刘煜

(杭州汽轮机股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 随着经济的不断发展, 各个企业对电能的需求日趋增加, 汽轮机作为发电厂的重要设备之一, 直接决定着人们的生产生活水平。在汽轮机运转过程中, 通常会出现预热速率过高等问题, 这就要求设计人员应考虑实际运作要求, 科学合理地展开设计措施, 从根本上优化整个汽轮机的运行速率。文章主要介绍了汽轮机排汽缸的结构设计, 以期能对行业的发展进步有所帮助。

关键词: 汽轮机; 排汽缸; 结构设计

中图分类号: TK262

文献标识码: A

文章编号: 1674-1064 (2022) 01-064-03

DOI: 10.12310/j.issn.1674-1064.2022.01.022

目前, 提供可持续能源是电力生产部门面临的关键挑战之一。使用汽轮机进行发电, 已成为可靠和可持续能源生产系统最可行的来源之一。汽轮机中最重要的结构之一是排汽缸, 排汽缸的运行状态直接决定整个汽轮机的稳定性。为了确保汽轮机可以实现恒定功率生产, 排汽缸的设计人员应认真研究排汽缸内部的结构, 通过一定的原理计算、实验推测等确定各结构元件的数值。

1 汽轮机排汽缸的设计要点分析以及部件构成

汽轮机排汽缸的主要作用是通过一定的倾斜设计, 将排汽引导到凝气器。科学合理的排汽缸设计, 不仅可以提高工作效率, 还能最大程度减少能量损耗。因此, 设计人员在设计排汽缸时, 应重视排汽缸的气动性能以及刚性, 这两点属于设计的主要参考因素。

通常情况下, 首先要保证排汽缸的刚性, 其次再考虑气动性。但二者在具体设计过程中都应充分考虑, 不能单一考虑, 因为每一种性能都会对整个排汽缸的运行产生巨大的影响。

因此, 设计人员应紧密结合企业生产的需要以及加工能力、投资成本等因素, 设计出既安全又有效、既美观又节能的排汽缸。

汽轮机排汽缸主要由大气阀、扩压器、撑脚、轴承箱、喷水装置、蜗壳等关键部件构成^[1], 具体如图1所示。

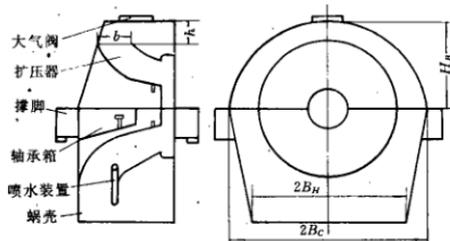


图1 排汽缸部件分布图

2 汽轮机排汽缸的常见类型

通常情况下, 排汽缸的形式主要有两种, 分别是未安装轴承箱的排汽缸和安装轴承箱的排汽缸。

2.1 未安装轴承箱的排汽缸

在低压双层缸和较高背压的低压单层缸中, 会装有未安装轴承箱的排汽缸, 因为低压外缸内部的轴向尺寸比较小, 如果安装轴承箱, 有可能会暴露在外, 甚至由于安装不稳定导致掉落, 因此就省去了轴承箱。

2.2 安装轴承箱的排汽缸

由于受到低压转子的影响, 排汽缸的气动性能不能太小, 因此排汽缸中就要装上轴承箱, 这样才能为排汽缸留出最大的空间。安装轴承箱的排汽缸, 在汽轮机的结构中比较常见。

该研究选定的汽轮机空燃比范围为1.79~1.97, 温度范围为580℃~650℃, 出口处的温度为420℃~460℃, 所用燃料的成分主要是97.97%的CH₄、1.5%的N₂、0.25%的C₂H₆和0.16%的CO₂, 其与空气的混合物在1.152 bar~1.211 bar, 未校正的体积比为110 L/s~140 L/s, 以获得最佳的可燃气体—空气混合物。研究以该汽轮机为例, 采用creo parametric 2.0软件建立实体模型, 考虑到所有可能对计算结果产生重要影响的参数, 选择最适合有限元计算的设计模型几何形状。由于穷尽包裹体的左右两半是相同的(仅在管连接上有差别, 不影响计算), 为了节省计算资源, 只进行了排汽缸结构的计算。此外, 笔者还详细说明了排汽缸的一些物理特性。

3 设计汽轮机排汽缸的相关要求

从概念上讲, 汽轮机排汽缸的设计过程很复杂, 需要不同的工程学科。这个设计过程包括: 考虑热力学原理、空气

动力学方法、传热、材料科学、部件设计和结构分析等。

由于设计的复杂性，在不影响最佳性能的情况下，选择简化的选项非常重要。优化设计需要遵循独特的过程，其中包括考虑环境标准；部件设计分析和循环评估；流动路径和重量估计；安装过程；影响汽轮机排汽缸设计过程性能的任何因素。

尽管存在这些因素，但汽轮机排汽缸设计过程是非线性的，因为各步骤是相互依赖的。通常需要多次迭代，才能选择最终的发动机配置。

3.1 保持较强的稳定性

设计排汽缸时采用的所有部件都应具有较高密度，这样不仅提高设备的稳定性，同时也能保证作业人员的安全。汽轮机排汽缸的整个设计过程中，保持稳定性是核心内容，这样也能进一步贯彻国家节能减排的环保方针，确保排出的气体更好地回收利用。

3.2 保持结构的规则性

排汽缸在设计过程中，所有元件都要保证一定的规则，这样才能最大程度扩大运转面积，提高整个汽轮机的运转效率。如排汽缸需要设计成一定的特殊形状，才能为设备运行提供必要的动力。形状的结构一定要规则稳定，设计人员应充分考虑摩擦和磨损的因素，尽量使排汽缸在运行过程中减少磨损。

另外，形状的设定也要满足汽轮机的体积要求，既不能过大也不能过小，否则都会对汽轮机产生一定的损害，影响汽轮机的工作性能。企业在采购排汽缸时，也应严格按照形状要求购买相应的排汽缸，或者购买可以调节形状的排汽缸，在后期使用中方便调节。

3.3 保持较强的经济性

排汽缸是汽轮机的主要构成部件之一，在运行过程中，如果不断压缩成本，不仅能够节约企业投资、节约能源，而且能够减少不必要的检测工作，促使设备稳定运行。因此，排汽缸应具有较好的经济性。经济性既包括企业的生产运行效益，也包含社会效益，如是否造福人类，改善人们的生活水平等。而提高经济性应从各方面入手，不仅要考虑排汽缸的本身设计，还应考虑排汽缸对汽轮机的作用效果，只有从细节入手，才能不断优化整个排汽缸的设计过程。

3.4 保持较强的实用性

实用性是企业在设计以及采购各种部件的过程中需要考虑的主要问题之一。汽轮机能否为发电厂提供持续动力，主要依赖于排汽缸的实用性。在整个汽轮机运行过程中，排汽缸具有重要作用，不仅能对排出的气体做相应的处理，同时也能减少动能消耗。可以说，实用性较强的排汽缸，可以较大程度节约运行成本。设计人员在设计排汽缸时也会发现，如果只追求美观，不追求效率，则不会有更好的市场。如果只追求效率，不重视形状等外在条件，也很难保证排汽缸的使用范围。

因此，在设计过程中应兼顾实用性、美观性、节约性等各种性能。没有最好的，只有最适合的，设计人员应从扩压器的设计、蜗壳的设计角度详细分析是否最大程度节约人力物力，是否最大程度获取了经济效益，满足了社会效益。

4 汽轮机排汽缸的具体结构设计

4.1 确定排汽缸损失系数

汽轮机在运行过程中会不断排出气体，而气体形成的气流在经过排汽缸时会产生一定的能量损耗，排汽缸的设计人员应充分考虑排汽缸的损失系数，在此基础上，提高动能的转化率。

通常情况下，一些气流在经过末级动叶时就会损失掉，而此时如果增加末级动叶的功率，就能降低气流的损失效率。笔者通过不断研究和计算，最终得出结论，对于较大功率的汽轮机，排汽缸的损失系数应在0.8以下，或者不得超过1，此时气动性能是最好的^[2]。

4.2 扩压器的具体设计

4.2.1 长度和外径

现阶段，国内使用的排汽缸中，扩压器主要有直线型、折线型和直曲线型三种形式。由于受到一定的尺寸限制，在扩压器内部会形成漩涡区。因此，确定扩压器的长度和外径至关重要。设计人员应充分考虑重量较轻、通用性较好的扩压器，然后根据设备的运行参数设计扩压器的长度，再确定扩压器的外径，因为气流要转弯，所以外径不能太小。

4.2.2 导流环

扩压器中的导流环是否安装，取决于末级动叶出口气流的径向偏斜角。笔者通过研究发现，如果偏斜角在22°或22°以上时，内部的导流装置并没有实现导流效果，同时还会增加设备的运行压力，此时就要安装导流环，避免由于气流与设备之间形成撞击而损失设备。但是，如果安装导流环，整个设备的重量就会增加，结构也会变得更加复杂。

4.2.3 扩散角度

在轴向扩压段起始会有两个角度称为扩散角，气流在运动过程中应保持通畅，因此在扩压器的进口中尽量不要出现扩张。但是在设计环节，由于设备自身的原因，气流一定会出现一定的转折而后形成一个锥角。此时，设计人员就可以设置最小的扩压器内弧扩散角，然后根据该角度选择背弧扩散角，将两个角度配合扩压器的长度，就能保证设备运行的性能。

4.2.4 出口宽度

扩压器的出口宽度，对扩压器整体的运行效率也有重要影响。如果出口宽度较小，扩压效果则会受到影响；如果出口宽度较大，则很容易形成背弧脱离区。因此，设计人员应考虑出口尺寸以及长度，从而设计出最佳的出口宽度。

需要注意的是，如果扩压器内没有安装导流环，则要经过不断试验，最终得出最好的出口宽度。

4.2.5 转弯段形状

在扩压器的设计过程中，转弯段的形状也是非常重要的。因为合理的转弯形状可以产生比较开放的分离区，从而确保气体的流畅性。因此，设计要求是部分负载到全负载特性的整个运行条件范围内的性能。为此，需要先进的建模技术，以在运行之前以高精度实现。

通常情况下，对于大功率汽轮机排汽缸扩压器来讲，此过程使用基于能量转换效率和网络比率的布雷顿循环原理。在设计内弧的半径时，应根据轴承箱以及排汽缸的具体结构情况，以及内弧成型压膜等各种因素，再参考一定的数值曲线，设置出半径，如图2所示。

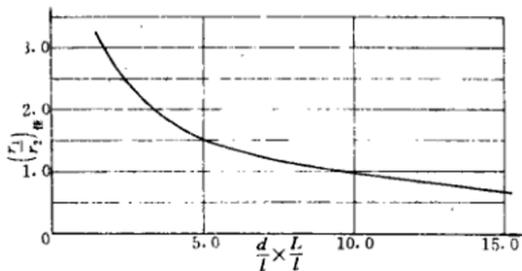


图2 数值曲线

4.3 排汽缸的蜗壳设计

4.3.1 蜗壳水平中分面宽度

蜗壳水平中分面宽度，对于汽轮机中的以下四项内容会产生重要影响：第一是蜗壳的损失系数，第二是排汽缸进口静压分布的均匀性，第三是排汽缸体积重量，第四是凝汽器的安装和结构^[3]。

了解到这一特点之后，设计人员在设计蜗壳水平中分面宽度时，就应根据不同的扩压器做出不同的实验，选择最佳数值。

4.3.2 蜗壳上半缸高度

当扩压器的尺寸确定之后，蜗壳的上半部分的高度也要确定。主要通过顶部出口截面到蜗壳上半顶壁之间的距离决定。通过理论计算，该距离与扩压器顶部出口宽度相同时，扩压器的性能为最佳状态。如果距离与宽度难以保持相同，则尽量使出口截面到上半顶之间的间隙略小于扩压器顶部的出口宽度。

4.3.3 蜗壳上半缸的横断面形状

随之而来的是确定蜗壳上半缸横断面的形状，通常情况下有三种：第一种为顶部中央是平线，而两侧则是圆弧；第二种为整个横断面是椭圆弧；第三种是边线由一段圆弧构成。在具体设计过程中，应充分考虑排汽缸结构的整体布局以及运行要求，选取最佳性能状态的形状。

4.3.4 排汽缸出口宽度

排汽缸的出口宽度一般会根据扩压器的长度和运输条件决定，首先出口宽度应小于水平中分面宽度，这样方便安装。其次要考虑排汽缸的尺寸，凝汽器的气阻损失等，合理

设计排汽缸出口宽度。

4.4 整体性能设计分析

在设计汽轮机排汽缸时，设计人员不仅要关注局部某一结构的具体性能，同时也要使用整体思路关注排汽缸整体结构的性能。尤其是在综合分析输入数据、输出数据、反馈数据时，要关注整个排汽缸的具体运行状态，借助准确的曲线图，分析和预测可能出现的各种问题，从而保障排汽缸的稳定运行。

在整体性能分析过程中，设计人员通常会采用经验法和传感器测量法互相结合的形式，再借助信息技术设备，准确分析所有产生的数据和图形，快速锁定问题，及时排除问题^[4]。

5 优化汽轮机排汽缸结构设计的具体系统

5.1 网格剖分程序

这种程序一般适用于带轴向或者径向扩压管的汽轮机排汽缸设计，用户可以按照自己的行车习惯，提前输入相应的数据，然后根据该系统自动生成具有真实性较高的网格，并且该网格可以准确适应排汽缸结构的各种变化。

5.2 核心计算程序

该程序是建立在排汽缸数值模拟软件平台上的，具有模拟特点。对于汽轮机中气流的流动，一般会忽略质量力，通过处理形成定常、可压、三维、湍流流动等各种物理坐标，当外界满足一定条件时，就可以产生模拟软件。

5.3 后处理程序

该程序用于处理核心计算程序结果，能够快速得出截面平均参数的性能指标。通常情况下，会采用质量平均法进行处理，依据压力损失系数，从而判断出排汽缸性能的优劣。

6 结语

综上所述，设计人员在设计排汽缸时，首先要明确排汽缸应达成何种目的，采用何种设计思路以及采购何种设计元件，这些都应重点列入考虑内容中。汽轮机在发电厂中属于主力设备，如果运行出现问题，严重的会造成安全事故。

因此，设计排汽缸时应注意既要满足设备的运行参数，同时也要大力创新，使设备的运行年限更长，运行效率更高。

参考文献

- [1] 任相宁. 汽轮机排汽缸的结构设计[J]. 科学技术创新, 2019(25):188-189.
- [2] 郑兰琴. 汽轮机单层排汽缸的结构设计[J]. 科学技术创新, 2018(15):192-193.
- [3] 刘文奇, 梁秀珍. 排汽缸的结构设计[J]. 汽轮机技术, 1996(4):229-235.
- [4] 王红涛, 竺晓程, 阳虹, 等. 汽轮机低压排汽缸的数值优化设计[J]. 动力工程, 2009, 29(1):40-45.