珠三角水资源配置工程鲤鱼洲泵站投标阶段 水泵模型见证试验

乔中军

(工程总承包事业部)

[摘要] 鲤鱼洲是珠江三角洲水资源配置工程的取水泵站。水泵设备采购评标分为2个阶段,第1阶段投标人递交投标文件,第2阶段招标人派代表赴投标人处见证模型试验情况,见证试验在投标人具有的水泵模型试验台上进行。根据第1阶段的投标文件和第2阶段的见证试验数据,确定中标人。针对投标人A的试验室在国外,新冠疫情特殊时期,招标人决定水泵模型见证试验采用远程视频会议方式进行。

[关键词] 立式蜗壳离心泵 模型见证试验 性能试验 空化试验 压力脉动试验 远程视频会议

库总库容482万 m^3 。

1 珠江三角洲水资源配置工程概述

珠江三角洲水资源配置工程是全国172项节水供水重大水利工程之一,工程以打造新时代生态智慧水利工程为建设目标,解决城市生活生产缺水问题,提高供水保证程度。该工程由一条干线、两条分干线,一条支线,3座泵站和1座新建调节水库组成。工程从西江鲤鱼洲取水,经鲤鱼洲、高新沙、罗田3级泵站加压,输水至南沙区的高新沙水库、东莞市松木山水库和深圳市公明水库。工程设计引水流量 $80 m^3/s$,输水线路全长113.2 km,新建高新沙水

2 鲤鱼洲泵站设计参数

2.1 特征水位及特征扬程

鲤鱼洲泵站进水水位采用进水池水位,出水水位采用高位水池水位,高位水池内设有溢流堰,堰顶高程为22.0 m,高位水池~高新沙水库采用双线DN4800管重力自流供水,池内水位根据高新沙水库的水位和供水流量、输水管道糙率计算的管路损失推算得到,鲤鱼洲泵站进水池及出水池及特征扬程见表1。

表1 鲤鱼洲泵站特征水位及扬程表

项目	单位	数据	备注
设计流量	m^3/s	80	
进水池最高运行水位 m	7.78		
进水池设计运行水位 m	0.39		
进水池最低运行水位 m	-0.31		
出水池最高运行水位 m	44.6		
出水池设计运行水位 m	39.5		
出水池最低运行水位 m	22.4		
最高净扬程	m	44.91	
设计净扬程	m	39.11	
最低净扬程	m	14.62	
最高扬程	m	$44.91+3.09=48$	管道糙率0.015
设计扬程	m	$9.11+3.09=42.20$	管道糙率0.014
最低扬程	m	$14.62+1.64=16.26$	管道糙率0.010

注:南方供水工程输水管线随着运行时间的增加,管道内壁会附着有淡水壳菜(学名“沼哈”,俗称:螺仔),从而导致管道糙率增加,根据其他工程经验管道糙率在0.010~0.015之间;其中设计扬程对应输水管道糙率为0.014,其他工况点扬程对应输水管道糙率为0.015、0.013~0.010,这几种扬程下均应满足泵站设计抽水流量 $80 m^3/s$ 的要求。

作者简介:乔中军(1962—),河南省焦作人,教授级高工,从事水力机械设计、咨询工作。

2.2 泵站台数

鲤鱼洲泵站安装 8 台设计流量为 $Q=13.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、设计扬程为 $H_r=42.2 \text{ m}$ 的立式、单级、单吸蜗壳离心泵(6 台工作、2 台备用)水泵变频运行,变频范围 60~100%。变频电机额定转速 300~250 r/min,电机功率 8 MW。

2.3 过机含沙量

多年平均悬移质过机含沙量 $0.19 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2.4 水泵主要参数要求

效率:模型泵设计点的效率不低于 90%;原型水泵在设计扬程($H_r=42.2 \text{ m}$)、设计流量($Q=13.5 \text{ m}^3/\text{s}$)、额定转速 300 r/min 下的效率保证值不低于 91.5%。模型泵的最优效率不低于 90.5%,水泵设计点应接近最优点,模型水泵的加权平均效率保证值不低于 89.2%。在泵站规定的运行范围内应具有高的平均效率,且效率曲线变化应平缓。

流量:在额定转速下,水泵的设计扬程为 42.2 m 时,单泵设计流量应不小于 $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$,在其他工况点通过降速,单泵设计流量应不小于 $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$,6 台泵组运行,总流量不小于 $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

功率:在规定的运行扬程范围内(48 m~16.3 m),水泵最大输入轴功率不应大于 8 MW。

3 模型见证试验

3.1 试验形式

共有 3 个投标人(A、B、C)参与了鲤鱼洲泵站水泵的投标工作。根据招标人安排,2020 年 7 月 13~17 日开始同时对投标人 A、投标人 B、投标人 C 进行模型见证试验,其中投标人 A 的试验室在国外,根据新冠疫情防控要求,招标人不能到国外试验室去参加见证试验,只能在国内采用远程视频方式进行,下面详细介绍投标人 A 的试验内容。

3.2 试验内容

投标人 A 经过 4 个月的研发,优选出 2 个转轮,均为 7 叶片、18 个导叶,采用铜合金材料。其中 LYZ1 转轮直径(进口) $D_1=272.23 \text{ mm}$,真机转轮直径 $D_1=1.436 \text{ m}$,比例 5.271,模型最高效率比招标文件要求的近 2%左右,且高效区宽,考虑到莫工况压力脉动不理想,又在 LYZ1 的基础上开发 LYZ2,是在 ZL1 转轮基础上减小叶轮直径 2.5% ($D_1=265.59 \text{ mm}$),蜗壳尺寸不变,其压力脉动明显减小。

按照试验大纲的内容,将进行性能试验、空化试验、压力脉动、驼峰试验、零流量试验、四象限特性和飞逸等试验和仪器及仪表率定工作,考虑到为见证

试验,主要目的是为选定中标人,现场决定(等确定中标厂家后进行的模型试验再进行)。

模型试验台的电机转速范围 0~2000 r/min,电机为变频电机,模型泵额定试验转速 1350 r/min,试验台的雷诺数不小于 4.0×10^6 ,试验按照 IEC60193:1999 标准进行,仪器及仪表的率定将在试验结束后进行。

3.2.1 性能试验

1) 额定转速(对应模型泵转速 1350 r/min)工况:水泵运行区域的水泵特性测量将在高空化系数的试验转速下进行,测试范围从零流量到零扬程,首先进行性能及效率试验,测试结果显示模型效率最高为 93.02%,对应的真机最高效率为 94%;额定点模型效率 92.8%,对应的真机效率为 93.65%,均高于招标文件的要求;其他工况的流量与扬程、效率的见证试验点与投标曲线对比基本吻合。

2) 降速工况:现场进行了降速 60%(对应模型泵转速 960 r/min)及 40%(对应模型泵转速 640 r/min)工况的能量及空化试验,降速试验的前提是雷诺数基本一样。首先进行 960 r/min、640 r/min 的扬程与流量、效率曲线试验,其次是 1350 r/min 的扬程与流量、效率曲线、空化曲线试验,最后进行 960 r/min 工况点下的空化试验。

a) 960 r/min 转速下的流量与扬程、效率试验结果 Q-H 曲线基本吻合。降速后效率基本没有变化,但驼峰区左移,有利于水泵运行(招标文件要求运行区域大于驼峰 2%,实测值为 3.5%),这时的雷诺数下降到 3.85×10^6 ,与要求的 4×10^6 接近。

b) 640 r/min 转速下的流量与扬程、效率试验试验结果显示效率有所下降 0.2%,但 Q-H 曲线基本吻合;驼峰区相比 960 r/min 转速稍差,这时的雷诺数下降到 2.6×10^6 ,说明水流条件已不相似了。

3.2.2 空化试验

厂家 A 的投标文件提供有 5 种工况下的空化曲线:初生工况(2 个叶片同时出现气泡)、叶片气泡直径 1 cm^2 、效率下降拐点开始、效率下降 1%(设计规定的临界值)、扬程下降 3%工况,本次仅对 100% 转速及 60% 转速的初生工况、效率下降 1%、扬程下降 3%等 3 个工况下的特征扬程(设计扬程 42.2 m,最大扬程 48 m、最小扬程 16.5 m)进行见证试验。

空化试验表明:扬程下降 3%的空化气泡比效率下降 1%严重;降速后的空化工况好于不降速工况。

3.2.3 压力脉动试验

招标文件要求进水管至叶轮吸入口处管壁压力脉动值,在设计工况下运行时不大于3%;其他工况下最大不超过5%;固定导叶进水边与叶轮之间压力脉动值在设计工况运行时不大于4%;在整个运行扬程区域内(包括调速运行)不大于7%。

在转轮进口布置有4个测点、固定导叶进水边与叶轮之间1个测点、转轮出口1个测点,压力脉动见证试验结果显示:在100%nr转速设计工况下,固定导叶进水边与叶轮之间的压力脉动稍有超标(发生在叶片出口边缘处),其他工况下测点(扬程40.5m左右的工况)不大于7%,均满足要求。零流量极端工况时压力脉动值试验结果:转轮进口为10.2-10.9%之间,固定导叶与叶轮之间43.814%,泵出口7.868%,明显比其他工况大的多,不在考核范围内。

3.2.4 飞逸转速试验

飞逸试验是在水轮机工况下完成,模型泵试验发生飞逸转速:扬程13.6m,流量 $0.161\text{ m}^3/\text{s}$,模型泵的飞逸转速为1101.5 r/min(不是单位飞逸转速),对应真泵在100%nr工况下的飞逸转速为 $n_{rf}=379\text{ r/min}$,水泵扬程为(水轮机工况) $H=44.8\text{ m}$;真泵105%nr工况下的飞逸转速 $n_{rf}=398\text{ r/min}$,水泵扬程为(水轮机工况) $H=44.8\text{ m}$ 。

3.2.5 仪器、仪表率定及尺寸检查

最后进行仪器、仪表率定工作,率定均按照IEC60193有关要求,满足IEC有关规定及招标文件误差的要求。

最后对模型泵进行了几何尺寸检查,包括蜗壳、进水管、转轮等等在内的整个流道。实测尺寸与设计值相比,均在允许偏差范围内,满足IEC有关规定及招标文件误差的要求。

4 结论

(1)本次模型见证试验是在新冠疫情特殊时期,招标人不能到试验室进行见证,采取了远程视频会议方式进行的水泵模型见证试验,为其他工程的模型见证试验提供了示范作用。

(2)模型泵效率最高为93.02%,对应的真机最高效率为94%;额定点模型效率92.8%,对应的真机效率为93.65%,均高于招标文件的要求,说明研发的水泵转轮性能指标较好,除个别工况压力脉动稍微超标外,其空化试验、驼峰试验、零流量试验、四象限特性等做试验了? 试验等均满足招标文件的要求。

(3)进行了降速60%(对应模型泵转速960 r/min)及40%(对应模型泵转速640 r/min)工况的能量及空化试验,当降速到960 r/min时,效率几乎没有发生变化,但驼峰区左移,有利于水泵运行;但降速到640 r/min时,效率下降0.2%,说明雷诺数已不相似,驼峰区已不利于水泵运行。

(4)空化试验表明,扬程下降3%的空化气泡现象比效率下降1%要严重,降速后的空化工况优于不降速工况。

鄂北水资源配置工程获评“大地河源杯”2020 有影响力十大水利工程

近日,由水利部办公厅指导参与,中国水利报社主办的“中国水利记忆·TOP10”评选活动通过网络投票和专家审议落下帷幕,公司参与建设的鄂北水资源配置工程荣登“大地河源杯”2020有影响力十大水利工程榜单。这不仅是湖北省唯一入选的水利工程,更标志着水利部领导、有关专家及广大网友群众对工程建设取得成绩的肯定与认可。

鄂北地区是湖北有名的“旱包子”,面临着十年九旱的困局。“十三五”期间,鄂北水资源配置工程作为湖北水利“一号工程”开工建设,以丹江口水库为水源,自西北向东南横穿鄂北岗地,输水线路总长269.67公里。由公司总承包建设的2015年第I标段工程是整个输水线路的起点,被形象的称为“龙头”,对全线顺利贯通输水的意义不言而喻。工程建设以来,鄂北大地的黄河设计人临难不惧、履险不惧,合力共为克服不良地质、跨省征地、多方协调等诸多困难。目前,我方标段主体工程已完成98%,各项工作均获得业主、监理及相关方的一致认可,为公司总承包事业进军楚地打好了“第一枪”。

此次获评“大地河源杯”2020有影响力十大水利工程极大鼓舞了同志们的士气与斗志,项目部将以此为契机再攻险滩,再破坚冰,继续承梦前行,誓要改写鄂北焦渴的历史,让480万老百姓喝上清澈的丹江水,让公司的旗帜屹立在鄂北大地。

摘自《黄河设计院内部信息网》