

水轮机效率试验用流速仪支架结构的设计

李 科

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

摘 要: 苏布雷水电站水轮机效率试验所用的压力钢管内径为 7.1 m,最大流速为 6.56 m/s,试验过程机组振动明显。为保证支架的稳定性,避免支架失稳造成机组损坏,采用 PKPM 钢结构建模,对支架稳定性进行了验算。对计算采用的参数、计算结果、应用优化等过程进行了总结,可供同类型工程参考。

关键词: PKPM 钢结构;建模;计算;水流量;支架;苏布雷水电站

中图分类号: TV7;TV52;TV735

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2020)03-0021-03

Design of the Support Structure of the Current Meter for Efficiency Test of the Hydraulic Turbine

LI Ke

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: The inner diameter of the penstock used in the efficiency test of the hydraulic turbine of Soubre Hydropower Station is 7.1m, and the maximum flow rate is 6.56m/s. During the test, the vibration of the generator unit is obvious. In order to ensure the stability of the support and avoid the damage of the generator unit caused by the instability of the support, PKPM steel structure modeling is applied to check the stability of the support. The parameters, results and application optimization of the calculation are summarized, which can be used as reference for the similar engineering.

Key words: PKPM steel structure; modeling; calculation; flow force; support; Soubre Hydropower Station

1 概 述

水轮机流量测量是水轮机现场效率测试中最重要的环节之一,也是测试中难度最大的一项工作,其对整个测试精度起到重要影响。

水轮机效率试验对直径大于 5 m 的钢管内流速测量多采用超声波测速,但采用超声波测流速时要求钢管的直段长度大于、等于 $15D$ (D 为钢管直径)。苏布雷水电站压力钢管直段长度仅为 $2.4D$,不满足要求,因此,需要采用机械式流速仪测水速度。该电站流速仪支架安装在蜗壳入口处,直径为 7.1 m,理论流速为 6.2 m/s,同时要考虑机组振动的影响。技术人员采用 PKPM 钢结构计算软件对支架结构进行了计算,确保了试验安全受控。笔者对计算采用的参数、计算结果、应用优化等过程进行了总结,以供同类型工程参考。

2 设计依据

根据《测定水轮机、蓄能泵和水泵—水轮机水

力性能的现场验收试验》IEC60041^[1,2]要求,流速仪的测量时间应至少持续 2 min,流向偏角 $<5^{\circ}$,流速仪非对称性系数 <0.05 ,圆形断面压力钢管至少须有 13 个测点,其中需有一点布置在管道中心,每一半径上的测点数 Z 应满足 $4\sqrt{R}<Z<5\sqrt{R}$, $R=3.55$,求得 $Z\in(7.5,9.4)$, Z 取 8。

流速仪支架结构见图 1、2,主要杆件为外径 89 mm 的不锈钢管,支架所占迎水面积为 2.46 m^2 ,过流断面为 39.94 m^2 ,支架所占过流断面的比例为 0.61%。根据试验规程,支架所占过流断面的比例应不大于 0.6%,故其超出规范要求。后来经过对不锈钢管进行加工(加工为椭圆形),垂直水流方向宽度为 50 mm,调整后的占比为 0.34%,满足规范要求,同时改善了受力结构。

3 结构设计

流速仪支架安装在蜗壳进口段,直径 7 133 mm,支架采用外径 89 mm、壁厚 5 mm、材质为 304 不锈钢热轧无缝圆钢管,将钢管截面加工成椭圆形,迎水面方向宽度为 50 mm;局部连接件

采用 $\angle 70\text{ mm}\times 70\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 角钢;端部封堵板和连接板采用 18 mm 厚普通钢板;连接螺栓为直径 20 mm 的高强螺栓。

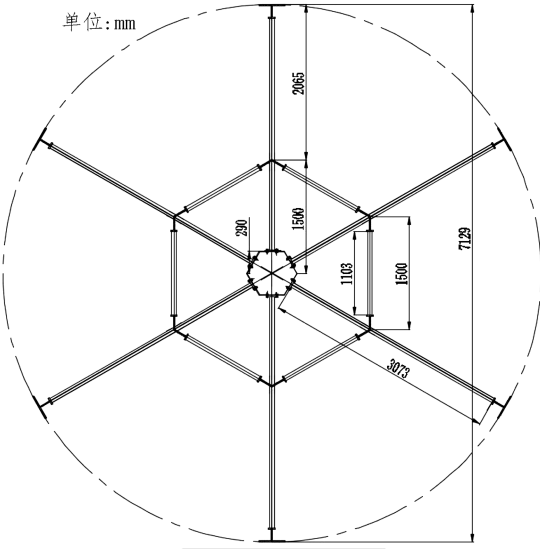


图 1 迎水面布置图

重复利用。根据规范要求^[3],流速仪测点位置 r_n 由下式求得:

$$r_n=R\sqrt{\frac{2n-1}{2N}}$$

式中 r_n 为 自圆心至第 n 号测点的距离, m; R 为钢管半径; N 为 除中心点外每个半径的测点数, 取 8。经计算, 流速仪的布置位置和间距见图 3。

流速仪的安装位置、水平度等精度要求高, 现场安装调试困难, 为提高安装效率, 项目部创新采用整条钢板, 在车间内将孔位加工好, 现场只需调整好两端位置即可将单个支架的流速仪位置全部确定。

4 荷载录入及计算

蜗壳入口位置的钢管直径为 7 133 mm, 试验过程中最大流量预计为 262 m³/s, 求得水流平均速度 v :

$$v=Q/S=262/\pi\times 7.133^2/4=6.56(\text{m/s})$$

水力 F 计算公式:

$$F=C\times\rho\times v^2\times A$$

式中 常数 C 取较大值, 1; ρ 为水密度, 1 000 kg/m³; 水流速度 $v=6.56\text{ m/s}$; 每延米钢管受力面积 $A=0.05\times 1=0.05(\text{m}^2)$ 。求得 $F=2.15\text{ kN}$ 。因此, 在 PKPM 建模中, 迎水面杆件恒载取值为 3 kN/m。

由于蜗壳入口位置临近水轮机组, 在 40%~60% 的工况下机组振动明显^[4], 在 PKPM 计算过程中利用地震作用模拟机组振动, 计算水平与竖向地震作用; 地震烈度选 9; 地震效应增大系数取 1.2。PKPM 钢结构支架建模计算结果见图 4, 支架杆件最大应力为 174.15 N/mm², 小于设计允许应力 215 N/mm², 因此, 该支架经计算其稳定性满足规范要求^[5]。

5 注意事项

支架主材钢管为圆管, 加工成椭圆形钢管可以减少水流的冲击力, 减少对流速仪的影响。但将圆管加工成椭圆形比较麻烦, 需提前做好准备; 如要避免加工的麻烦, 也可在市场上采购其它异形钢材代替, 但必须按照钢材参数进行力学计算, 并需满足受力要求。

由于水库内的漂浮物可能对支架造成冲击, 因

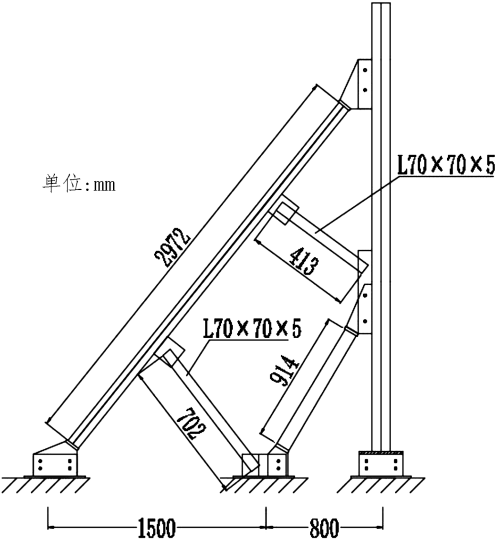


图 2 支撑系统结构图(单个半径下游侧支撑)

由于采用的钢管材质为不锈钢, 坡口不能采用气割而只能用机械切割打磨。若采用钢管与钢管直接焊接, 坡口加工难度大、时间长, 焊接应力无法释放。项目部结合现场实际, 采用垂直切口, 端部焊封堵钢板后再焊接立板, 在立板上打孔, 采用高强螺栓连接。大部分焊缝可以在加工车间完成, 可使施工速度大大加快, 即解决了焊接应力问题, 又满足了强度要求, 而且方便安装拆卸, 可以

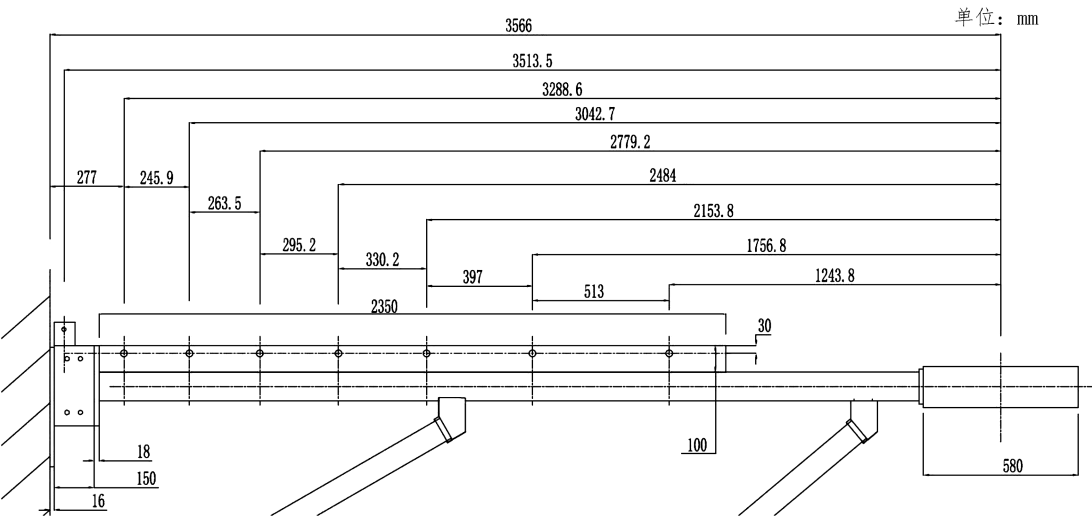


图 3 根据规范计算的流速仪位置图

6 结 语

经实践检验得知:苏布雷水电站 1# 机组水轮机试验结束后,对蜗壳实施排水并检查了流速仪支架,支架各处正常,无变形或裂缝,证明上述建模和受力分析正确且合理,证明支架受水流冲击力的计算合理,水力计算的常数取值亦合理。在计算过程中,利用计算软件的地震荷载模拟机组振动的方式是可取的。

参考文献:

[1] IEC 60034-2-2. Rotating electrical machines—Part 2-2: Specific methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests - Supplement to IEC60034-2-1[S], 2010.

[2] IEC 60034-2-1. Rotating electrical machines—Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (Excluding machines for traction vehicles)[S].

[3] 量热法测定电机的损耗和效率,GB/T 5321-2005[S].

[4] 闫 迎,郝剑波. 基于量热法的大型水轮发电机损耗测量和效率计算[J]. 湖南电力,2014,34(3): 8-11.

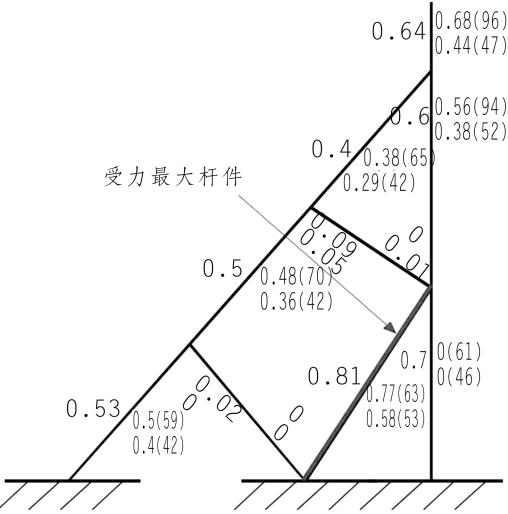
[5] 梁朝晖.贵港水电站灯泡贯流式水轮发电机效率试验论证[J].广西电力工程,2001,24(2):38-42.

[6] 刘孝甫. 广蓄二期 300MW 电动发电机效率试验[J]. 水力发电,2001,48(11):57-60.

作者简介:

李 科(1984-),男,河南济源人,高级工程师,从事水利工程项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)



说明:图中杆件左侧数值为钢结构应力比,即杆件最大应力与设计允许应力的比值。

图 4 钢结构应力比图

此,待试验的机组在闸门开启前应将上下游水位调整合格,避免用待试验的机组调整水位而耽误时间,亦增加了支架被漂浮物冲击的概率。整个试验过程应连续,建议试验持续时间不超过 2 h^[6]。

机组在额定功率 40%~60% 的工况下运转时振动非常明显,为支架最不利的受力工况,因此,试验过程应尽快完成,不应在此区间耽误太长时间。

流速仪的间距和水平度精度要求高,需要采用仪器进行检查,待验收合格后再进行布线、拆脚手架,避免造成二次返工。