

大型水电机组蜗壳排水管异常振动分析及治理

杨升文 黄鑫 左文 刘天雄 唐泽
中国长江电力股份有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：本文介绍了某大型水电机组蜗壳排水管在运行中出现的异常振动及引起的排水管漏水问题，通过分析原因，指出了该蜗壳排水管在设计上存在的不足，并结合实际对蜗壳排水管进行了治理，通过治理前后的数据分析，确认治理效果良好，消除了蜗壳排水管存在的问题，可为后续相关水电机组设计安装提供参考经验。

关键词：大型水电机组；蜗壳排水管；异常振动；问题处理

大型水轮发电机组年度检修中，蜗壳排水是检修中一项必不可少的流程，直接影响检修直线工期，是检修过程中一项十分重要的工作。某电站左岸机组蜗壳排水管进水段为明敷外露式设计，排水管与蜗壳通过盘形阀启闭实现连通或隔断。机组检修时，打开盘形阀，通过排水管将蜗壳内余水排空；机组运行时，盘形阀关闭，排水管与蜗壳隔断，与尾水管相通，管内压力接近尾水管压力，因此，机组运行期间蜗壳排水管安全稳定运行至关重要。蜗壳排水管进水段布置见图1所示。

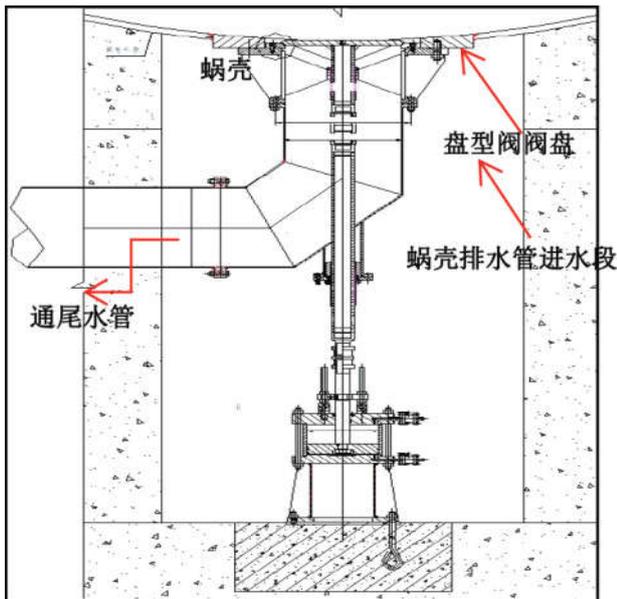


图1 蜗壳排水管进水段布置示意图

1 蜗壳排水管异常振动及原因分析

1.1 现象描述

该电站某机组运行过程中蜗壳排水管明敷段突然发生漏水缺陷，同时蜗壳盘形阀及排水管伴有强烈的周期性异常振动，严重影响机组安全运行。检查发现蜗壳排水管靠墙体侧焊缝存在一道开放性裂纹，机组蜗壳、转轮、尾水管、盘形阀及其操作机构等部件均无异常。

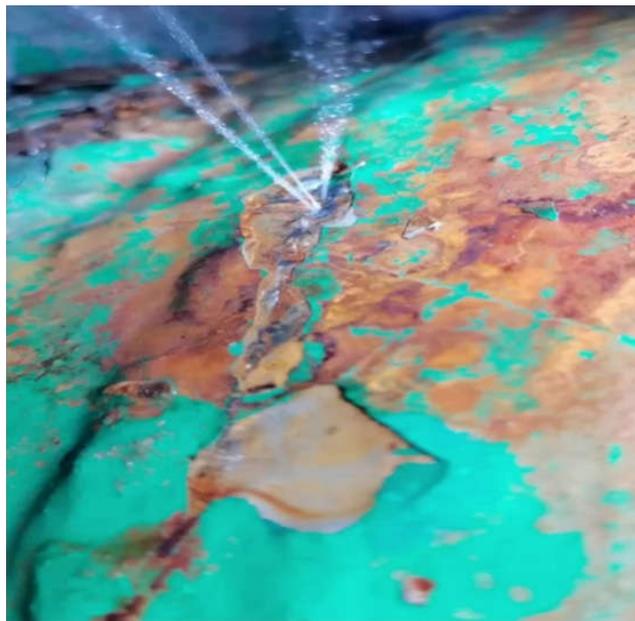


图2 蜗壳排水管裂纹

1.2 原因分析

1.2.1 蜗壳压力脉动可能带来异常振动

蜗壳盘形阀室顶部在机组运行期间受到来自蜗壳内压力脉动的影响，根据公式：

$$F = P \cdot S$$

F—截面所受压力；P—截面压强；S—截面面积。

蜗壳盘形阀室顶部截面尺寸2m×2m，蜗壳内水压1.0MPa，计算可知盘形阀室顶部所承受的水压力约为392t。机组运行过程中，蜗壳内压力脉动会引起蜗壳同步微量膨胀或收缩。如图3所示：盘形阀排水管直接从蜗壳底部引出，蜗壳底部随压力脉动产生的振动会引起排水管明管部分产生同频率的有害振动。为了进行验证，对左岸机组盘形阀室顶部进行监测，机组运行过程中蜗壳压力脉动引起的振动十分微弱，固判断蜗壳压力脉动不是引起本次问题的主要诱因。

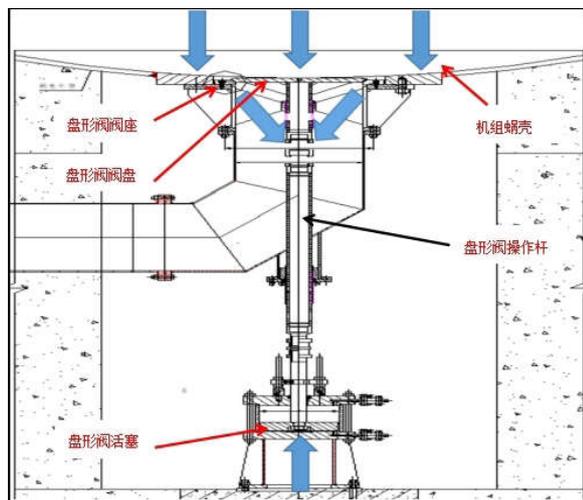


图3 盘形阀操作杆受力示意图

1.2.2 盘形阀漏水可能带来异常振动

根据检查结果，盘形阀各部件无损坏，盘形阀操作杆亦无松动现象，故初步判断盘形阀操作杆可能过长。在此情况下，蜗壳无压状态下即使盘形阀关闭后无间隙，蜗壳充水后本应带着盘形阀阀盘同步向下移动，但由于操作杆过长导致活塞与缸体底部间隙不足，盘形阀阀盘向下移动的距离小于蜗壳下移的距离，从而使得阀盘与阀座之间出现间隙，进而出现间隙漏水，引发水力激振，致使管路及盘形阀产生异常振动。

1.2.3 蜗壳下沉带来的有害变形

在蜗壳充水过程中对蜗壳盘形阀及其排水管位移变形量进行了监测，如图4所示：在标记处架百分表进行位移监测，标记点3和5监测蜗壳底部下沉，标记点1和4监测阀杆下沉，标记点2监测排水管水平段下沉。结果显示，蜗壳充水平压后，蜗壳底部下沉变形为1.5mm，盘形阀操作杆下降2.0mm，排水管水平段下挠0.4mm。

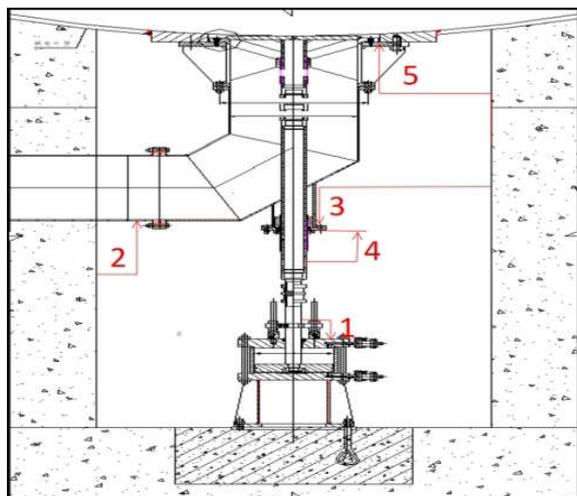


图4 蜗壳排水管下沉量监测

蜗壳充水后产生向下位移量，导致蜗壳排水管进水段产生有害形变。蜗壳盘形阀阀座及排水管进水段在蜗壳充水后发生较大向下位移，而排水管出口端固定在混凝土中无法同步移动，致使蜗壳排水管水平段受到下弯力。

如图5所示：蜗壳排水管出口方向混凝土内排水管外壁施加径向约束，排水管进口处施加轴向约束，钢管上端面施加向下的位移，经建模计算得出下沉1.5mm时，开裂焊缝处应力值为76.9MPa。在这种情况下，靠墙体侧的第一道焊缝顶部是整根排水管受力最大的地方，超出应力将可能产生裂纹。

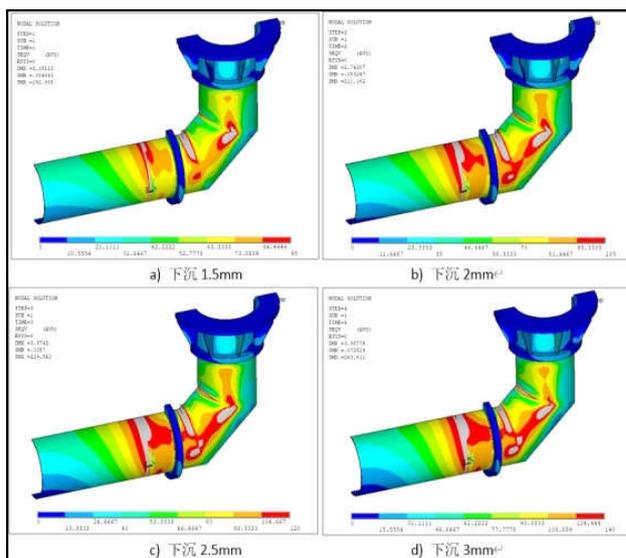


图5 排水管受力分析

1.2.4 排水管结构及焊缝质量

密封形式上，盘形阀阀座与蜗壳间采用“O”形圈密封，若密封失效，则可能导致盘形阀内漏，同样会引起排水管产生有害振动；连接方式上，盘形阀明管采用法兰连接方式，如2.2.3所述，排水管在发生有害形变后将产生巨大应力，有可能导致法兰连接方式产生破坏导致漏水；焊接质量上，对排水管全部焊缝进行了超声波检测，开裂处焊缝存在未焊透现象，所以在机组长期运行后，第一道焊缝顶部焊缝出现裂纹。

综上所述，本次机组蜗壳排水管产生剧烈异常振动的原因如下：

(1) 蜗壳充水后产生向下位移，阀盘操作杆过长导致盘形阀阀盘密封不严产生轻微的间隙漏水；

(2) 蜗壳盘形阀阀座及排水管进水端在蜗壳充水后发生较大位移，而排水管出口端固定在混凝土中无法消除形变影响，致使蜗壳排水管水平段环形焊缝受到过大应力，同时该焊缝存在轻微缺陷，在长期受力状态下出现裂纹，产生外漏；

(3) 当该焊缝出现裂纹及漏水后, 排水管整体状态发生轻微变化, 当蜗壳盘形阀漏水产生的激振频率与管路固有频率一致时, 诱发了管路共振, 一方面使得焊缝裂纹进一步扩大, 另一方面导致蜗壳排水管剧烈振动。

2 蜗壳排水管问题治理

2.1 蜗壳盘形阀室加固

通过浇筑外包混凝土, 将蜗壳排水管进水段完全封闭, 使之与厂房混凝土结构形成一个整体, 减少蜗壳排水管在工况改变时的下沉量及有害振动, 消除设备隐患, 确保蜗壳排水管运行安全。浇筑方案如下: 在蜗壳盘形阀室上部(从排水管水平段中心线往上)整体浇筑钢筋混凝土(按25@200双向配筋), 将排水阀及排水管封闭在混凝土内, 为方便后期检查维护, 浇筑时下部阀轴部位预留检查孔口, 孔口范围混凝土增加两层沿体型布置的钢筋, 下部浇筑4根承重柱及剪力墙, 如图6所示:

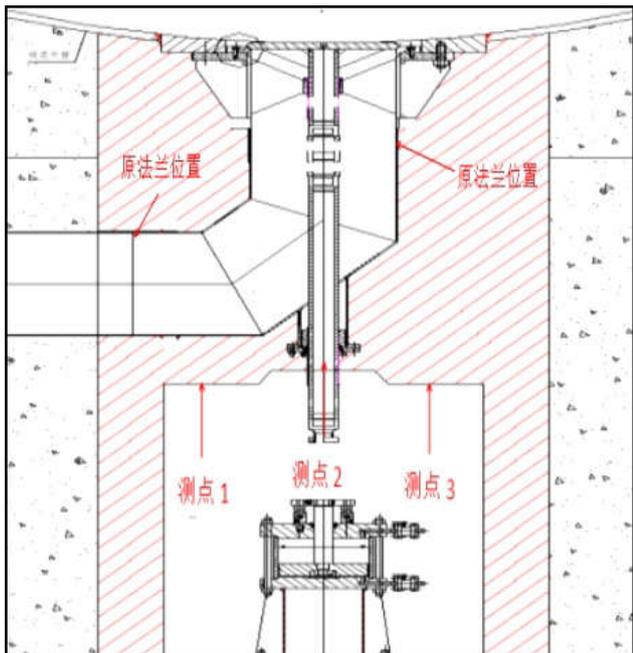


图6 蜗壳盘形阀外包混凝土浇筑方案示意图

2.2 蜗壳盘形阀杆调整

操作盘形阀全关到全开动作一次, 测量盘形阀动作位移与盘形阀接力器活塞缸的设计行程正好相等。该结果验证了2.2.2的分析: 即盘形阀关闭后, 活塞缸底部已无足够余量来容纳蜗壳充水后的下移变形。为消除该问题, 将盘形阀操作杆调整缩短了2.0mm(足以抵消蜗壳下沉带来的影响)。重新复测盘形阀全开全关位移, 其变

化量与操作杆调整量一致。

2.3 盘形阀结构优化

盘形阀阀座密封部位优化, 降低盘形阀内漏风险: 在原盘形阀阀座密封位置打磨封焊点作为焊接位置, 打磨槽深约3mm, 在焊接部位进行整圈焊接; 蜗壳排水管结构优化: 将法兰连接方式改为直接焊接方式, 加强排水管强度, 如图5所示: 将蜗壳排水管明管部位的两处法兰全部切除, 更换为短管直接焊接, 且焊接完成后对所有焊缝进行超声波探伤处理, 确保焊缝质量合格。

2.4 治理前后效果对比

为了验证以上治理措施是否有效, 在机组充水平压过程对蜗壳盘形阀及原排水管所在位置混凝土位移变形量进行了监测。如表1所示, 蜗壳充水平压后, 3处测点下沉量均在0.3mm左右, 三处测点下沉量基本一致, 表明蜗壳排水管自身在混凝土内几乎无有害形变, 只是随着混凝土基础有少许下沉, 较治理前有了极大改善;

表1 治理前后盘形阀室各部位下沉量对比

测量点	排水管水平段下沉 (mm)	阀杆下沉 (mm)	蜗壳底部下沉 (mm)
处理前	0.4	2.0	1.5
处理后	0.3	0.3	0.3

同时在机组运行过程中对蜗壳盘形阀外露部分及混凝土包裹处进行了振动监测, 监测显示盘形阀室各部位在机组运行过程中均未出现异常振动, 证明治理措施取得了切实有效的成果, 消除了因盘形阀阀杆过长及排水管有害变形带来的设备隐患。

3 结语

本文通过介绍某大型水电机组蜗壳排水阀运行中出现的问题, 探讨了该类问题的处理方法及过程, 并对排水管运行中存在的安全隐患进行了分析, 找出了治理隐患的有效方法, 并在实际应用中进行了验证。通过治理前后的数据分析, 确认治理效果良好, 消除了蜗壳排水管存在的问题, 可为后续相关水电机组设计安装提供参考经验。本文所述案例可供相关电站参考, 希望对保障水力发电机组的安全稳定运行有所助益。

参考文献

- [1]唐扬文. 龙滩电站蜗壳排水阀阀座焊接裂纹产生原因及处理[J]. 广西电力, 2009, (3).
- [2]付康. 向家坝水电站蜗壳排水阀在安装过程中出现的问题及处理方案[J]. 黑龙江科技信息, 2012, (7)56-56.