



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2020 — 2019

水斗式水轮机运行与检修规程

Code of operation and maintenance for Pelton turbine

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 水斗式水轮机的运行 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 正常运行及要求 2

 4.3 运行操作 3

 4.4 运行监视 5

 4.5 巡检 5

 4.6 不正常运行及事故处理 5

5 水斗式水轮机的检修 7

 5.1 一般规定 7

 5.2 水斗式转轮检修 8

 5.3 主轴检修 10

 5.4 水导轴承检修 11

 5.5 喷嘴检修 13

 5.6 折向器检修 14

 5.7 配水环管检修 15

 5.8 附属设备检修 15

 5.9 检修试验 15

附录 A（资料性附录） 水斗式水轮机运行技术文件和资料清单 19

附录 B（资料性附录） 水斗式水轮机巡检主要项目和要求 20

附录 C（资料性附录） 水斗式水轮机检修项目 21

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由电力行业水轮发电机及电气设备标准化技术委员会（DL/TC 10）提出并归口。

本标准主要起草单位：四川川投田湾河开发有限责任公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司。

本标准主要起草人：卢建奎、蒋登云、熊宇、伍超、何念民、陈宏川、马海军、孙文彬、王志勇、谢彬、杨钊、戴勇、刘丁、卢宝胜、程贤德、兰岗、杨洲、张继祥、王勇、王伟、王洪英、刘晋。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

水斗式水轮机运行与检修规程

1 范围

本标准规定了水斗式水轮机运行管理的一般规定、运行监视、操作、检查、故障与处理，以及水轮机检修管理的一般规定、转轮检修、主轴检修、水导轴承检修、喷嘴检修、折向器检修、配水环管检修、附属设备检修、检修试验等相关要求。

本标准适用于单机容量 10MW 及以上的立轴水斗式水轮机，卧式及单机容量 10MW 以下的立轴水斗式水轮机可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2900.45 电工术语 水电站水力机械设备
- GB/T 8564—2003 水轮发电机组安装技术规范
- GB/T 9652.1 水轮机控制系统技术条件
- GB/T 10969 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件
- GB 11120 涡轮机油
- GB/T 11805 水轮发电机组自动化元件（装置）及其系统基本技术条件
- GB/T 14478 大中型水轮机进水阀门基本技术条件
- GB/T 15468 水轮机基本技术条件
- GB 26164.1 电业安全工作规程 第 1 部分：热力和机械
- GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
- GB/T 32584—2016 水力发电厂和蓄能泵站机组机械振动的评定
- DL/T 563 水轮机电液调节系统及装置技术规程
- DL/T 792 水轮机调节系统及装置运行与检修规程
- DL/T 1066 水电站设备检修管理导则
- NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测

3 术语和定义

GB / T 2900.45 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

配水环管 intake pipe/flow shunt tube

在压力钢管末端（或进水球阀下游短管）与喷嘴装配连接的蜗形管路。

3.2

挡水筒 water retaining cone

避免水流冲击水轮机主轴的圆柱形筒体，也是水轮机机壳的补气通道。

3.3

稳水栅/平水栅 **flow leveling rake**

位于转轮下方的网格状的金属材料平台，用于消除泄水能量，并作为转轮、喷嘴等部件检修及更换用的工作平台。

3.4

折向器投入 **deflector working**

折向器处于折水状态或挡水板处于挡水状态，使喷嘴射流被偏转，未作用于水斗。

3.5

折向器退出 **deflector unworking**

折向器处于非折水状态或挡水板处于非挡水状态，使喷嘴射流可直接作用于水斗。

3.6

主喷嘴 **main nozzle**

水斗式水轮机启动时最先开启的，或机组正常运行时不随负荷变化而切换，始终保持在给定负荷下最优开启状态的喷嘴。

3.7

喷嘴切换点 **nozzle shift point**

为保证多喷嘴水斗式水轮机在高效率区运行，工作喷嘴将会在某一负荷变化值点进行开度增减和投退切换，此负荷变化值点称为喷嘴切换点。

4 水斗式水轮机的运行

4.1 一般规定

4.1.1 水斗式水轮机的技术条件和要求应符合 GB/T 15468 的有关规定；水轮机自动化元件及系统应满足 GB/T 11805 的有关要求；水轮机调节系统应满足 GB/T 9652.1、DL/T 563、DL/T 792 的有关要求；水轮机前端进水球阀应满足 GB/T 14478 的有关要求。

4.1.2 运行人员应进行技术培训，掌握水斗式水轮机运行的相关技能。

4.1.3 应制定有设备巡回检查、定期试验与轮换、缺陷管理等运行管理制度。

4.1.4 水轮机的运行安全管理应符合 GB 26164.1 和 GB 26860 中相关安全工作规定。

4.1.5 电站应根据自身特点编写现场运行规程，并建立必要的运行记录，根据收集的运行数据，定期对水轮机运行状态进行分析。

4.1.6 应有水轮机运行相应的技术资料，技术文件和资料清单参见附录 A。

4.2 正常运行及要求

4.2.1 正常运行的基本要求：

- a) 水斗式水轮机应在设计允许的工况范围内运行。
- b) 水轮机运行过程中，其保护、信号及自动装置应正常投入，各保护、信号及自动装置的整定值按规定的程序调整。

4.2.2 空载运行：

- a) 水斗式水轮机启动至空载过程中，不宜在低转速下长时间运行。调速器应按照规定的程序投入相应的喷嘴并调整其开度，使机组沿开机曲线达到并稳定在额定转速。
- b) 单喷嘴启动的水轮机，启动后空载运行时间较长时，应加强对水轮机振动、摆度以及水导轴承温度的监测。

4.2.3 负载运行：

- a) 水斗式水轮机负载运行时, 宜采取对称喷嘴工作模式。
- b) 水斗式水轮机负载运行时, 输出功率不宜停留在调速器程序设定的喷嘴切换点。运行中发生喷嘴来回切换的情况, 应及时调整机组的给定功率。
- c) 在满足电网调度要求的前提下, 水斗式水轮机宜按运转特性曲线, 尽量运行在高效率区。

4.3 运行操作

4.3.1 开、停机操作:

- a) 正常情况应采用自动开、停机。机组新投产、检修后首次启动宜采用现地手动开机方式。
- b) 启动条件:
 - 1) 进水球阀和下游尾水闸门全开。
 - 2) 机壳进入门封闭。
 - 3) 进水球阀及控制系统工作正常。
 - 4) 调速系统及油压装置正常。
 - 5) 各轴承油位正常、油质合格。
 - 6) 水轮机保护和自动装置正常投入。
 - 7) 机组具备开机条件。
- c) 自动开机:
 - 1) 检查机组在备用状态, 具备自动开机条件。
 - 2) 监控系统执行开机令。
 - 3) 监视自动开机流程动作正确。
 - 4) 给定开机目标完成后检查机组状态、参数正常。
- d) 自动停机:
 - 1) 机组负荷满足停机条件, 监控系统执行停机令。
 - 2) 监视机组停机流程执行正常, 达到相应转速时制动系统投入正常。
 - 3) 停机完成后, 检查机组各部恢复至备用状态。
- e) 手动开机:
 - 1) 检查机组在备用状态, 具备手动开机条件。
 - 2) 投入机组冷却水, 检查各部流量、水压正常。
 - 3) 手动操作开启主喷嘴及相应喷嘴, 使机组转动。
 - 4) 待机组转速上升至 80%~90% 额定转速时, 将喷嘴关至空载开度。
 - 5) 调整并保持机组转速在额定。
 - 6) 视需要投入机组励磁、并入系统。
 - 7) 检查机组状态、参数正常。
- f) 手动停机:
 - 1) 机组负荷满足停机条件, 解列、灭磁。
 - 2) 手动将喷嘴全关、折向器投入, 监视机组转速下降。
 - 3) 对设有制动喷嘴的机组, 转速降至制动允许值时, 手动开启制动喷嘴; 转速降至机械制动允许值时, 手动关闭制动喷嘴, 投入机械制动。
 - 4) 未设制动喷嘴的机组, 转速降至机械制动允许值时, 手动投入机械制动。
 - 5) 机组停稳后手动退出机械制动, 制动系统各阀门恢复至正常待命状态。
 - 6) 退出机组冷却水。
 - 7) 停机完成后检查机组各部恢复到备用状态正常。

4.3.2 进水球阀操作:

- a) 正常情况下应通过监控系统远方启闭；进水球阀检修后首次启闭，宜现地手动分步进行。
- b) 高水头或多泥沙河流的电站，进水球阀的启闭宜与机组启停联动。
- c) 进水球阀的开启条件：
 - 1) 调速系统正常，喷嘴全关、折向器投入。
 - 2) 配水环管排水阀全关。
 - 3) 进水球阀控制系统工作正常。
 - 4) 进水球阀在关闭位置，检修密封和机械锁锭（若有）退出。
- d) 下列情况下需关闭进水球阀：
 - 1) 机组转速至过速保护动作整定值。
 - 2) 调速系统故障，喷嘴、折向器失去控制。
 - 3) 喷嘴、折向器及其控制回路检修。
 - 4) 调速系统排油、失压。
 - 5) 配水环管漏水或排水阀关闭不严。
 - 6) 其他工作需要打开机壳进入门。

4.3.3 调速器操作：

- a) 正常情况下，调速器应在“远方”“自动”运行方式。调速器手动方式运行时，操作人员须在现地值守、监视。
- b) 调速器自动-手动相互切换时，对具备无扰动切换功能的调速器，可直接切换；对不具备该功能的调速器，切换前应注意调整开度限制、给定开度及实际开度三者一致，避免产生扰动。
- c) 手动方式下操作多喷嘴进行负荷增减时，宜保持对称喷嘴开度一致。
- d) 根据调速器设定程序，主喷嘴的选择切换有以下几种模式：
 - 1) 每次开机的主喷嘴可通过调速器电柜任意选择。
 - 2) 调速器自动-手动相互切换一次后主喷嘴自动顺序切换一次。
 - 3) 机组开停一次后主喷嘴自动顺序切换一次。
- e) 喷嘴排水操作：
 - 1) 当压力钢管（引水隧洞）需要排空检查时，可采用开启喷嘴排水操作。喷嘴排水宜避开汛期多泥沙时段。
 - 2) 检查机组停机，喷嘴全关、折向器投入。
 - 3) 手动开启相应喷嘴一定开度，并确保折向器仍在投入状态。
 - 4) 根据所需排水流量，调整喷嘴数量及开度。
 - 5) 排水完成后，关闭相应的喷嘴。

4.3.4 水轮机检修隔离：

- a) 机组解列停机并做好电气部分的检修隔离措施。
- b) 关闭进水球阀并投入检修密封和接力器机械锁锭。
- c) 配水环管排空，并保持排水阀全开。
- d) 视需要关闭尾水闸门。
- e) 调速器切现地，开关喷嘴、折向器完成有关试验数据测定后，断开交、直流电源。
- f) 关闭调速系统油压装置供油总阀，必要时卸压。
- g) 关闭水轮机检修有关的油、水、气系统阀门。
- h) 断开水轮机有关保护、自动装置电源。
- i) 设置检修警示牌，并设置围栏等明显的物理隔离措施。

4.3.5 隔离恢复：

- a) 检查轴承油槽油位符合规定，油色正常。

- b) 恢复水轮机有关保护、自动装置正常。
- c) 恢复水轮机有关的油、水、气系统正常。
- d) 调速系统油压装置复压，恢复工作正常。
- e) 接力器充油，调速器机电联动试验合格，并测定紧急关机时间符合要求。
- f) 检查水轮机喷嘴全关、折向器投入，机壳内无遗留物，将机壳进入门封闭。
- g) 全开机组尾水闸门并加锁锭。
- h) 全关配水环管排水阀。
- i) 退出进水球阀检修密封、接力器机械锁锭，开启进水球阀。
- j) 机组电气部分恢复备用后，按要求检查机组启动条件是否具备。

4.4 运行监视

4.4.1 监视要求：

- a) 现场规程应对水斗式水轮机运行监视项目、具体范围和要求，以及需记录信息、参数等进行明确规定。
- b) 监盘人员发现设备参数及其他异常，应及时调整、汇报、处理。

4.4.2 监视项目：

- a) 上游水位及配水环管压力、机组过机流量。
- b) 调速系统工作状况，水轮机喷嘴、折向器开度指示。
- c) 水轮机导轴承巴氏合金瓦最高温度不超过 70℃，油温最高不超过 55℃，最低不低于 10℃；采用弹性金属塑料瓦的瓦体最高温度不超过 55℃，油温最高不超过 50℃。
- d) 水导轴承盖振动值应不超过 GB/T 8564—2003 的相关规定，水导轴承处主轴的振动（摆度）应不超过 GB/T 32584—2016 附录 B 中限制值 1（A/B 分区界限）的规定，且主轴摆度不超过轴承冷态间隙的 70%。
- e) 油、水、气系统设备压力、流量。
- f) 自动化元件及系统、保护装置工作情况，水轮机各仪表指示。
- g) 停机状态下喷嘴漏水量、制动系统状态等。

4.5 巡检

4.5.1 常规巡检要求：

- a) 每班应按规定的时间进行巡检。
- b) 巡检应按规定的路线，并有明确的巡检内容。
- c) 巡检主要项目和要求参见附录 B。

4.5.2 水斗式水轮机遇下列情况应加强巡检和监视：

- a) 设备新投运或检修后恢复运行。
- b) 遇事故处理后投入运行。
- c) 水轮机及其附属设备有缺陷尚未消除。
- d) 运行参数超过规定值。
- e) 试验工作刚结束后的运行期内。
- f) 喷嘴在非对称方式下运行时。

4.6 不正常运行及事故处理

4.6.1 一般要求：

- a) 水轮机运行出现异常时，值班人员应根据监控报警信号和设备异常现象，准确判断发生异常的

部位及原因，并立即采取有效措施，解除对人身和设备的威胁，限制事故的扩大。

- b) 事故处理中，未经当值负责人同意，不得复归事故信号或改动现场设备状态，但危及人身安全等紧急情况除外。
- c) 应及时记录事故现象、处理情况，分析事故原因并制订相应的防范措施。
- d) 遇下列情况，值班人员可直接解列停机、关闭进水球阀，必要时关闭压力钢管前端蝶阀/闸门：
 - 1) 水轮机转速上升到超速保护整定值时进水球阀没有自动关闭。
 - 2) 调速器失灵，喷嘴失控不能关闭、折向器失控不能投入。
 - 3) 调速系统油压降至事故低油压以下但保护未启动。
 - 4) 水轮机振动、摆度异常增大，超过允许范围，无法消除，严重威胁设备安全。
 - 5) 水导轴承油位急剧下降，大量漏油、甩油、补充不及，且瓦温急剧上升。
 - 6) 机壳进入门破裂、严重漏水，球阀管路阀门或球阀轴密封损坏、大量漏水，有水淹厂房的危险。
 - 7) 配水环管、压力钢管破裂，大量漏水。

4.6.2 不正常运行：

- a) 水导轴承温度高：
 - 1) 密切监视水导轴承瓦温、油温。
 - 2) 检查水导轴承油槽油位、油色，必要时进行油质化验。
 - 3) 检查水导轴承冷却水压力、流量，必要时进行调整。
 - 4) 检查水轮机振动（轴摆度）情况，必要时调整负荷工况。
 - 5) 水导轴承温度继续上升，应停机处理。
- b) 水导轴承油位异常：
 - 1) 密切监视水导轴承瓦温、油温。
 - 2) 油槽油位过高，检查是否因进水引起，如进水则应停机处理。如油质合格，则调整油位至正常范围。
 - 3) 油槽油位过低，检查是否有渗漏或溢出，若有则设法消除并补油，必要时停机处理。
- c) 水导轴承冷却水中断或水压降低：
 - 1) 密切监视水导轴承瓦温、油温。
 - 2) 检查冷却水进、出阀门位置是否正确，管路有无渗漏，并进行相应的调整、处理。
 - 3) 检查冷却水过滤器堵塞情况，必要时进行清理。
 - 4) 检查技术供水泵工作状态，必要时投入备用冷却水。
 - 5) 冷却水中断后，水轮机继续运行时间不应超过规定，如中断一时不能恢复，则应停机处理。
- d) 水轮机振动（轴摆度）超过规定值：
 - 1) 调整机组运行工况，检查振动（轴摆度）值是否下降。
 - 2) 检查水导轴承运行情况，监视轴承温度，发现异常及时处理。
 - 3) 检查水机室、机壳有无严重的异音，必要时停机检查处理。
 - 4) 如振动（轴摆度）值持续上升，危及机组安全运行，则停机处理。
- e) 喷嘴、折向器液压控制管路渗漏：
 - 1) 根据调速器控制方式，若喷嘴、折向器能独立控制，则该组喷嘴退出工作并投入折向器，隔离漏油管路。
 - 2) 若喷嘴、折向器不能实现独立控制，则停机处理。
 - 3) 对渗漏点进行处理并清理漏油。
- f) 喷嘴、折向器反馈装置故障：
 - 1) 检查故障喷嘴和折向器位置指示，确认故障喷嘴已退出运行、折向器已投入，否则调速器

切手动退出故障喷嘴、投入折向器。

- 2) 若单组喷嘴、折向器能独立控制,可调整喷嘴运行方式,待停机时处理。
- 3) 若单组喷嘴、折向器不能独立控制,则立即停机处理。

4.6.3 事故处理:

- a) 水导瓦温度过高动作:
 - 1) 监视机组事故停机流程启动、执行是否正确,否则手动干预。
 - 2) 记录瓦温过高时冷却水压力、流量、温度及轴承油位、油温等。
 - 3) 做好相应的隔离措施,全面检查处理。
- b) 调速器控制严重故障:
 - 1) 机组运行过程中,调速器发生主喷嘴控制故障、两个及以上喷嘴折向器控制故障、控制器硬件严重故障、电柜交/直流全部中断等情况时,根据设定程序的不同,启动机组事故停机流程。
 - 2) 监视机组停机流程执行正确,喷嘴全关、折向器投入,进水球阀关闭。
 - 3) 做好相应的隔离措施,全面检查处理。
- c) 调速系统压力油罐低油压:
 - 1) 检查机组是否启动紧急停机流程,若未启动,则手动启动。
 - 2) 监视机组停机流程执行是否正常,若不正常,则手动干预。
 - 3) 检查调速系统压力油罐及管路是否存在大量漏油,若存在大量漏油,及时切断油源。
 - 4) 检查是否因油泵故障停运引起,及时恢复油泵运行。
 - 5) 若判断存在大量漏油,但找不到明显漏油点,则可能为机壳内喷嘴、折向器管路漏油,应立即到尾水处查看,如有浮油,应切断供油总阀并及时清理。
 - 6) 当油压低至不能关闭喷嘴时,应直接关闭进水球阀。
- d) 机组过速:
 - 1) 监视机组停机过程和进水球阀关闭情况,如机组转速上升至过速保护动作整定值但紧急停机流程未自动启动,应手动紧急停机,关闭进水球阀。
 - 2) 在事故停机过程中,如因喷嘴不能关闭、折向器不能投入引起机组过速,应手动紧急关闭进水球阀。
 - 3) 机组过速停机后,应查明原因并相应处理,对机组进行全面检查无异常后,方可恢复机组。
- e) 压力钢管、配水环管、机壳进人门大量漏水:
 - 1) 立即停机,关闭进水球阀。
 - 2) 若压力钢管大量漏水,还应关闭前端蝶阀/闸门。
 - 3) 可能过水设备应立即停电。
 - 4) 监视漏水情况,启动排水泵。
 - 5) 漏水量不可控时,应立即启动应急响应。

5 水斗式水轮机的检修

5.1 一般规定

5.1.1 检修项目、间隔和停用时间:

- a) 水斗式水轮机检修有 B、C、D 三个等级,各等级检修项目参见附录 C。
- b) 水斗式水轮机的检修间隔和停用时间通常取决于机组的技术和运行状态,宜结合发电机的检修间隔确定。一般情况下水轮机的检修间隔和停用时间可参照表 1 的规定执行。

表 1 水轮机检修间隔、停用时间

检修类别	检修间隔	检修停用时间 d
B 级检修	3 年~10 年	35~50
C 级检修	每年一次	8
D 级检修	每年一次	4

注：过机泥沙含量小的电站 B 级检修时间间隔宜取上限，过机泥沙含量大的电站 B 级检修时间间隔宜取下限。

- c) 当水轮机效率下降 1%~2%，或额定水头下额定输出功率下降 2%~4%时，应立即停机检修。
- d) 在执行表 1 规定时，应根据以下情况区别对待：
 - 1) 新投产机组运行一年后，宜根据运行状况安排一次检查性 B 级检修。
 - 2) 对运行状况良好的水轮机，经过技术鉴定确认后，可逐步延长检修间隔。
 - 3) 转轮发生贯穿性裂纹、断斗等重大设备缺陷时，应立即停机检修。
 - 4) 水轮机主要运行参数，如振动、摆度、瓦温及噪声严重超标，应提前安排机组 B 级检修。

5.1.2 检修前准备：

- a) 机组的 B 级检修，应成立安全、环保、质量监督组织机构。
- b) 检修前应做好废油、废物的回收及处理准备。
- c) 检修前，应统计设备缺陷、确定检修级别、核定检修标准项目和特殊项目。
- d) 编制检修作业指导书、三级验收单，对重大检修项目，应编写施工组织方案和进度计划表。
- e) 检修前，应清点并准备专用工器具、备品备件、材料及图纸等。
- f) 检修前，应对作业人员进行现场安全技术交底。
- g) 检修作业区域应对地面进行有效防护，在机壳内检修时应照明充足。
- h) 拆出部件应定置摆放，并核算放置楼板的承载能力。
- i) 在零部件拆卸前，应在结合面做上明显的标记。

5.2 水斗式转轮检修

5.2.1 一般规定：

- a) 转轮焊接修复应遵照设备厂家的技术、工艺规定，主要工艺步骤有转轮的预热、焊接、转轮修复后的无损检测、热处理、铲磨抛光及转轮的静平衡试验。
- b) 转轮焊接修复后的实际尺寸和型线偏差应满足 GB/T 10969 的要求和设备技术文件的规定。
- c) 焊接材料应采用焊接工艺评定认可的、与转轮母材相近的焊丝，修复后的表面硬度应不低于设备技术文件的要求。
- d) 水斗型线根据模板进行研磨，应无空穴、压痕、凹凸或其他可以引起局部空蚀的不良缺陷。
- e) 转轮抛光后的过流表面粗糙度应不低于设备技术文件的要求。
- f) 若转轮在运行过程中，斗叶出现浅表层空蚀，可对其进行打磨抛光处理，以降低空蚀的扩散率。
- g) 若转轮在运行过程中，斗叶出现凹凸不平磨损，可对凸出部分进行适当打磨，平滑过渡，保持水斗型线要求。
- h) 若转轮个别水斗出现非斗叶根部裂纹，则可按照“缺陷去除—探伤—焊接修复—粗打磨—无损探伤—局部热处理—UT 探伤—精磨抛光—PT、MT 探伤”的工艺步骤进行现场修复。
- i) 每年应至少对转轮进行一次磨损、空蚀、裂纹检查测量；初期投运的转轮，运行 1000h 和 3000h 后应分别进行一次检查。

5.2.2 水斗式转轮检修判断依据：

- a) 局部磨蚀深度达原始厚度 1/4 时，建议修补处理。

- b) 穿透性裂纹, 立即修理; 斗叶表面 1mm~3mm 的浅表性裂纹, 将裂纹处打磨光滑后, 可观察运行。
- c) 平均磨损深度达斗叶节圆处过流表面原始厚度的 1/10 时, 建议返厂焊接修复; 当缺失厚度超过 1/8 时, 不得继续使用。
- d) 当磨损金属失重量达转轮重量的 8% 时, 建议返厂焊接修复; 超过 10% 时, 不得继续使用。

5.2.3 转轮拆卸和安装:

- a) 转轮与主轴连接螺栓拆卸:
 - 1) 连接螺栓清理、编号。
 - 2) 连接螺栓应对称拆卸。
 - 3) 拆卸时应安装螺栓拉伸值测量工具, 并测量记录。
 - 4) 松动螺母时, 应按照设备技术文件的要求进行。
- b) 转轮提升工器具安装:
 - 1) 清理联轴法兰, 应符合安装要求。
 - 2) 用转轮运输小车将转轮提升工器具运输至转轮正下方。
 - 3) 安装转轮提升工器具。
- c) 转轮拆卸:
 - 1) 用转轮提升工器具将转轮下放至转轮运输小车上。
 - 2) 将转轮运送至机壳外, 并进行翻身起吊转移。
- d) 转轮安装:
 - 1) 用转轮运输小车将转轮运送到主轴正下方。
 - 2) 检查转轮与主轴法兰面应符合安装要求。
 - 3) 如转轮为摩擦传递扭矩, 则应按照设备技术文件的要求对法兰面进行处理。
 - 4) 提升转轮, 按照设备技术文件的工艺、质量要求回装所有螺栓及螺母。
 - 5) 拆除转轮提升工器具, 回装连接螺栓保护罩。

5.2.4 水斗式转轮探伤:

- a) 磨蚀修复, 应进行斗叶表面及内部探伤, 探伤按照设备技术文件的要求执行。
- b) 裂纹修复, 应进行裂纹水斗整体的表面及内部探伤, 探伤按照设备技术文件的要求执行。

5.2.5 水斗型线修复:

- a) 水斗发生异物冲击、局部轻微空蚀和磨损等表面缺陷时, 可采取局部型线打磨修复。
- b) 局部型线修复以打磨抛光为主, 已有抗磨涂层的转轮不宜做型线打磨修复。
- c) 打磨修复需保持斗叶表面水力型线的连续性。

5.2.6 水斗抗磨涂层修复:

- a) 抗磨涂层的修复, 分为现场局部修复和工厂整体修复。
- b) 抗磨涂层修复后光洁度应符合设备技术文件的要求。

5.2.7 水斗裂纹修复:

- a) 非穿透性局部裂纹修复:
 - 1) 从裂纹两端向中心打磨, 去除裂纹缺陷。
 - 2) 打磨裂纹后, 其表面应做 PT 及 MT 探伤, 确保裂纹被彻底清除。
 - 3) 采用等同于母材的焊丝, 将其裂纹坑填满。
 - 4) 对补焊区域进行打磨, 焊缝比母材高 1mm 左右, 焊缝与四周应平滑过渡。
 - 5) 对焊接区域及其邻近范围按 UT-MT-PT 的顺序实施无损探伤。
 - 6) 对焊接区域及其邻近范围加热消除热应力。
 - 7) 对焊接区域及其邻近范围做 UT 探伤。

8) 对补焊区域再次打磨, 焊缝比母材高 0.5mm 左右, MT 探伤确认无缺陷后, 将补焊区域打磨、抛光至设计值要求。

b) 穿透性局部裂纹修复:

- 1) 对裂纹区域先预热至修复工艺文件规定值。
- 2) 从裂纹两端反向清理裂纹, 坡口深度符合修复工艺文件要求。
- 3) 打磨、清理氧化物, 直至坡口见金属光泽, 并按照修复工艺文件要求, 预制适宜焊接的坡口。
- 4) 对裂纹坡口做 PT 和 MT 探伤, 以确认裂纹完全清除。
- 5) 水斗整体预热至修复工艺文件规定值, 采用多层窄道手工焊进行焊接。
- 6) 所有焊层应清除焊渣和释放焊接应力。
- 7) 清理叶片背面裂纹并施焊, 工艺与本列项中步骤 1) ~ 6) 相同。
- 8) 焊后水斗应按照修复工艺文件中热处理曲线整体去应力处理, 最高加热温度不高于修复工艺文件规定值。
- 9) 对焊接区域进行铲磨, 焊缝比母材高 1mm 左右, 要求焊缝与四周平滑过渡。
- 10) 对焊接区域及其邻近范围做 UT 和 PT 探伤, 出现缺陷则按照要求进行返修。
- 11) 对补焊区域再次打磨, 焊缝比母材高 0.5mm 左右, MT 探伤确认无缺陷, 将补焊区域打磨、抛光至设计值要求。

5.2.8 转轮泥沙磨损和空蚀修复:

- a) 焊前将转轮安装在转动支撑架上, 便于焊接修复操作。
- b) 修复前打磨表面和局部的空蚀坑, 并做 PT、MT 探伤。
- c) 焊接前将转轮预热至修复工艺文件规定值。
- d) 堆焊空蚀坑内部直至填满, 焊丝材质等同于母材。
- e) 对斗叶背部、水平横向堆焊 2 层~3 层, 以增强抗变应力和补偿收缩变形值。
- f) 堆焊斗叶内部过流面 2 层~3 层, 经打磨平滑后再进行下一次堆焊; 焊丝材质等同于母材, 斗叶根部高应力区应避免施焊。
- g) 堆焊时应监测精加工面的变形值。
- h) 对焊接修补区域进行粗打磨, 按照粗磨样板控制尺寸, 与设计尺寸偏差控制在 $-1\text{mm} \sim +2\text{mm}$ 范围内, 做 UT 和 PT 探伤。
- i) 对焊接修复区域按照精磨样板打磨至比设计值高 0.5mm 左右, MT 探伤确认无缺陷后, 打磨、抛光至设计要求尺寸。
- j) 对转轮打磨、焊接修复表面进行整体 MT 和 PT 探伤。
- k) 对探伤合格的转轮按设备修复工艺文件要求进行整体热处理。
- l) 热处理后, 检查联轴法兰面配合尺寸应符合设备技术文件的要求。
- m) 对转轮进行静平衡试验。

5.3 主轴检修

5.3.1 主轴的检修:

- a) 测量轴颈磨损量和偏磨方位。
- b) 在轴颈根部、法兰根部等厚度急剧变化的地方进行 PT 探伤检查, 检查是否存在裂纹缺陷。
- c) 轴颈磨损超量或主轴产生裂纹应进行修复。
- d) 轴颈局部划痕或毛刺可进行研磨抛光处理。
- e) 主轴上、下法兰面检查应符合要求。
- f) 主轴轴颈、油口和法兰面研磨后应清洗干净。

g) 在轴颈、油口和法兰面应采取防锈措施和防误碰措施。

5.3.2 主轴安装:

- a) 主轴在安装前, 检查组合法兰的平面度、光洁度等应符合要求。
- b) 安装主轴支撑, 调整各支撑高度应一致。
- c) 起吊主轴, 将其放置在支撑上, 主轴上法兰面应比安装高程低 20mm~30mm。
- d) 调整主轴中心, 偏差应不大于 1.0mm, 且下法兰与挡水筒之间的间隙偏差不应超过设计间隙的 $\pm 10\%$ 。
- e) 调整主轴水平度应不大于 0.02mm/m。
- f) 调整主轴垂直度应不大于 0.20mm/m。
- g) 主轴法兰带有定位销设计的应清理销钉槽, 并将定位销点焊牢固。
- h) 测量轴颈与轴承支架的距离偏差应符合要求。
- i) 调整主轴与发电机轴中心与方位, 对正连接。
- j) 主轴与发电机轴连接后法兰组合面应无间隙, 用 0.03mm 的塞尺检查, 不能塞入。
- k) 盘车打受力后, 主轴上法兰安装高程, 允许偏差不超过设计高程 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- l) 调整轴线, 水导轴颈盘车摆度值应符合 GB/T 8564—2003 中表 33 的要求。

5.4 水导轴承检修

5.4.1 导轴瓦的研刮:

- a) 导轴瓦最常见的损坏是巴氏合金磨损、烧损和脱落, 以及裂纹和密集气孔等缺陷。
- b) 当瓦面损坏面积超过 5% 时, 应更换导轴瓦并返厂维修。
- c) 瓦面轻微磨损的划痕、硬点可现场修复。
- d) 瓦面局部磨平处应增补刮花。刮花应均匀错开排列, 瓦面接触点应不少于每平方米 1 点~2 点, 且瓦的接触点分布面积应达到整个瓦面积的 85% 以上。
- e) 分块瓦修刮进油边, 一般可在 10mm~15mm 范围内刮成 0.5mm~1mm 的倒圆斜坡。
- f) 筒式瓦修刮应以修整圆度和扩大接触面积为主, 修刮之后的筒式瓦 75% 以上的面积应有接触点。接触点仍应均匀分布, 每平方米范围有 2 个~3 个接触点。
- g) 对偏心结构不用研刮的分块瓦和筒式瓦, 其瓦面应无碰伤。
- h) 研刮合格的导轴瓦, 应均匀涂抹一层工业凡士林或汽轮机油, 并进行防护。

筒式轴承瓦的刮削应先修整油沟, 再进行瓦面的粗刮、细刮、精刮, 单油沟的边沿应修圆, 或者在油沟两侧修刮出下凹的楔形过渡带。

5.4.2 水导轴承回装应符合下列要求:

- a) 机组轴线及推力瓦受力调整合格。
- b) 主轴下法兰与挡水筒间隙及发电机空气间隙合格, 转动部分固定。
- c) 主轴处于中心位置时, 测量轴颈与轴承支架对称四周的距离, 应满足设计要求。
- d) 导轴瓦应根据盘车的摆度方向和大小进行间隙调整, 安装总间隙应符合设计要求。
- e) 分块式导轴瓦调整间隙, 其允许偏差不应大于 $\pm 0.02\text{mm}$, 间隙调整后, 应可靠锁定。
- f) 筒式瓦与主轴调整间隙允许偏差应符合 GB/T 8564—2003 的要求。

5.4.3 水导轴承间隙调整:

- a) 分块瓦间隙调整:
 - 1) 分块瓦安装之前应在瓦面涂抹一层汽轮机油, 对应轴瓦支架号进行安装。
 - 2) 支柱式抗重螺栓分块瓦, 可用一对小螺旋千斤顶使所有轴瓦紧贴轴颈。
 - 3) 楔子板式分块瓦, 直接用楔子板使所有轴瓦紧贴轴颈。
 - 4) 在抱瓦过程中, 应在对称方向上同时操作, 并架设两只互成 90° 的百分表来监视是否位移。

- 5) 支柱式抗重螺栓分块瓦可转动调节螺栓以调整导轴瓦间隙, 按计算值用塞尺检查瓦背与球头间隙大小。
- 6) 楔子板式分块瓦可通过楔子板斜率和计算间隙, 计算楔子板提升高度, 最后用顶轴的方法复测轴颈与瓦面间隙, 再进行精调。
- 7) 瓦面间隙调整好后将调节螺栓锁紧, 防止瓦面间隙变化。

b) 筒式瓦间隙调整:

- 1) 筒式瓦组合缝不应错位。
- 2) 筒式瓦水平偏差应不大于 0.05mm/m。
- 3) 测量瓦面间隙的塞尺, 其长度不应小于筒式瓦面高度的 2/3。
- 4) 测量所有盘车点的瓦面间隙, 各测点应达到计算间隙值。
- 5) 用两只互成 90°的百分表监视位移, 固定筒式瓦, 然后对称拧紧筒式瓦法兰螺栓。
- 6) 钻、铰筒式瓦法兰定位销钉。
- 7) 复测各测点瓦间隙值应无变化。

5.4.4 导轴瓦的研刮:

- a) 导轴瓦最常见的损坏是巴氏合金磨损、烧损和脱落, 以及裂纹和密集气孔等缺陷。
- b) 当瓦面损坏面积超过 5% 时, 应更换导轴瓦并返厂维修。
- c) 瓦面轻微磨损的划痕、硬点可现场修复。
- d) 瓦面局部磨平处应增补刮花。刮花应均匀错开排列, 瓦面接触点应不少于每平方厘米 1 点~2 点, 且瓦的接触点分布面积应达到整个瓦面积的 85% 以上。
- e) 分块瓦修刮进油边, 一般可在 10mm~15mm 范围内刮成 0.5mm~1mm 的倒圆斜坡。
- f) 筒式瓦修刮应以修整圆度和扩大接触面积为主, 修刮之后的筒式瓦 75% 以上的面积应有接触点。接触点仍应均匀分布, 每平方厘米范围有 2 个~3 个接触点。
- g) 对偏心结构不用研刮的分块瓦和筒式瓦, 其瓦面应无碰伤。
- h) 研刮合格的导轴瓦, 应均匀涂抹一层工业凡士林或汽轮机油, 并进行防护。
- i) 筒式轴承瓦的刮削应先修整油沟, 再进行瓦面的粗刮、细刮、精刮; 单油沟的边沿应修圆, 或者在油沟两侧修刮出下凹的楔形过渡带。

5.4.5 油冷却器检修:

- a) 油冷却器分解时, 应检查承管板、铜管管口、焊缝等的锈蚀情况, 并做除锈、刷防腐漆处理, 更换水箱密封垫。
- b) 冲洗、吹扫铜管内壁污泥、杂质。
- c) 清扫铜管外壁油污。
- d) 安装油冷却器耐压试验管路、阀门。
- e) 从油冷却器低进水口注水, 直到高出水口冒水时, 关闭进出水阀门。
- f) 单个冷却器应按设计要求的试验压力进行耐水压试验, 设计无规定时, 试验压力一般为工作压力的 2 倍, 但不低于 0.4MPa, 保持 30min, 无渗漏现象。
- g) 复装后冷却器应进行严密性试验, 试验压力为 1.25 倍最大工作压力, 保持 30min, 无渗漏现象。

5.4.6 水导油槽回装要求:

- a) 油槽应做煤油渗漏试验, 保持不少于 4h, 应无渗漏现象。
- b) 油槽冷却器安装前应按设计要求进行耐水压试验, 安装后按要求进行严密性试验。
- c) 油槽内挡油筒的轴向间隙、径向间隙应符合设计规定, 油槽底板压有密封毛毡的法兰, 密封毛毡与转轴不应紧密接触。
- d) 油槽内应清洁, 并按设计要求保证油循环回路流畅。
- e) 油槽油面高度应满足机组稳定运行的要求, 偏差一般不大于 $\pm 10\text{mm}$ 。

- f) 润滑油的牌号应符合设计要求, 注油前检查油质, 应符合 GB 11120 的规定。
- g) 在油槽内进行电焊作业时, 应把地线直接连接到需要焊接的零件上。
- h) 瓦温、油温、油位、油混水、振动、摆度等自动化元件信号、数字显示正确。

5.5 喷嘴检修

5.5.1 液压控制系统检修:

- a) 控制阀组及油管路检修:
 - 1) 液压控制阀组分解前应做好标记; 清洗过程中应有防阀芯及各精密部件损伤的措施。
 - 2) 更换油管路接头及阀组密封件, 应检查新的密封件尺寸规格正确, 无缺陷、伤痕。
 - 3) 阀组回装后应进行动作试验, 阀组动作应灵活、正确, 无渗漏。
 - 4) 液压控制系统检修完成后应进行严密性试验, 试验压力为 1.25 倍额定工作油压, 耐压 30min, 阀组及管路接头应无渗漏。
- b) 反馈装置检修:
 - 1) 检查校验喷针位置反馈传感器, 校核喷针全关与全开实际位置, 应与反馈传感器显示值一致。
 - 2) 测量喷针开关时间, 应符合水轮机调节保证设计要求。

5.5.2 喷嘴分解和组装:

- a) 喷嘴分解前各部位应做好标记, 先外后内, 先拆销钉后拆螺栓。
- b) 分解过程中应有防喷针头、口环、活塞杆、活塞等精密部件碰伤的措施。
- c) 分解完成后, 喷嘴头部磨损及空蚀部位应补焊打磨, 补焊部位打磨后型线应符合设计要求。
- d) 检查喷针头磨损及空蚀部位, 应用金属修补剂或补焊打磨方式修复喷针头型线, 无法修复时应更换喷针头。
- e) 检查口环磨损空蚀及漏水情况, 应符合设计要求, 严重时应更换口环。
- f) 检查喷嘴挡水板磨损及空蚀部位, 应进行补焊打磨修复, 修复后型线应符合设计要求。
- g) 检查喷嘴内部各过流部件表面, 对于产生空蚀或磨损的部位, 应进行打磨或焊接修复, 修复后型线应符合设计要求。
- h) 检查喷针活塞杆、活塞及缸体, 应无毛刺、高点及磨损; 对活塞杆、活塞及缸体上的轻微划痕, 可用金属修补剂修补打磨, 打磨后其外形尺寸应无变化; 若存在较大的磨损缺陷, 可进行焊接加工修复。
- i) 对于有缓冲弹簧或碟簧的喷针, 还应检查缓冲弹簧或碟簧。弹簧或碟簧应无锈蚀裂纹, 无疲劳变形。
- j) 更换喷嘴各部位密封, 按标记顺序回装喷嘴各部件。

5.5.3 喷嘴严密性试验:

- a) 喷嘴回装完成后, 应对喷针进行动作试验, 在 16% 额定工作压力下, 喷针应动作灵活; 对于装有缓冲弹簧或碟簧的喷针, 初始动作压力可适当增大。
- b) 对喷针开启腔、关闭腔分别进行严密性试验, 试验压力为 1.25 倍额定工作压力, 耐压时间 30min, 应无渗漏; 在严密性试验进行时, 检查测量喷针全开与全关实际行程, 应与设计值一致。
- c) 在额定工作油压下关闭喷针, 检查喷针头与口环密封情况, 用 0.02mm 的塞尺检查不能通过。
- d) 在额定工作水压下关闭喷针, 检查喷针头与口环密封处应无漏水。

5.5.4 喷嘴吊装:

- a) 喷嘴拆卸前应具备以下条件:
 - 1) 喷嘴及折向器控制油管路、保护套管已拆除。

- 2) 喷嘴开、关腔及折向器接力器缸内油已排尽。
- 3) 喷嘴及折向器反馈传感器、线缆、保护套管已拆除。
- 4) 喷嘴调整法兰已固定牢固。
- b) 喷嘴吊装要求:
 - 1) 喷嘴吊装设备及器具应符合吊装安全要求。
 - 2) 喷嘴吊装作业平台应满足现场安全要求。
 - 3) 喷嘴下落及起吊过程中应有专人指挥,防止与转轮及调整法兰发生碰撞。
 - 4) 喷嘴下落至稳水栅后,应固定可靠,防止滚动移位。
- c) 喷嘴组装完毕安装前应具备以下条件:
 - 1) 喷嘴各部件回装完毕,喷嘴、折向器开、关腔严密性试验合格。
 - 2) 喷针头与口环密封情况合格。
 - 3) 喷嘴各部位磨损、空蚀已修复。
 - 4) 喷嘴调整法兰已检修完毕并已安装。

5.6 折向器检修

5.6.1 液压控制系统检修:

- a) 控制阀组及油管路检修:
 - 1) 液压控制阀组分解前应做好标记,清洗过程中应有防阀芯及各精密部件损伤的措施。
 - 2) 更换油管路接头及阀组密封件前,应检查新的密封件尺寸规格,确保正确,无缺陷、伤痕。
 - 3) 阀组回装后应进行动作试验,阀组动作应灵活、可靠。
 - 4) 液压控制系统检修完成后应进行严密性试验,试验压力为 1.25 倍额定工作油压,耐压 30min,阀组及管路接头应无渗漏。
- b) 反馈装置检修:
 - 1) 检查校验折向器位置反馈传感器,校核折向器投入与退出实际位置,并与反馈传感器显示值应一致。
 - 2) 测量折向器活塞杆实际行程应无变化。
 - 3) 测量折向器投退时间应符合水轮机调节保证设计要求。

5.6.2 折向器分解和组装:

- a) 折向器分解前各部位应做好标记,先外后内,先拆销钉后拆螺栓。
- b) 分解过程中,活塞、缸体应有防碰伤措施。
- c) 分解完成后,检查折向器接力器活塞及缸体,应无毛刺、高点及磨损;对活塞及缸体上轻微划痕,可用金属修补剂修补打磨,打磨后其外形尺寸应无变化;若存在较大的磨损缺陷,可进行焊接加工修复。
- d) 检查折向器偏流器磨损及空蚀部位,应用补焊打磨方式修复折向器偏流板型线,无法修复时应更换。
- e) 对于由弹簧或碟簧关闭的折向器,还应检查弹簧或碟簧。弹簧或碟簧应无锈蚀裂纹,无疲劳变形。
- f) 更换折向器各部位密封,按标记顺序回装折向器各部件。

5.6.3 折向器严密性试验:

- a) 折向器接力器回装完成后,应对接力器进行动作试验,在额定工作压力下,折向器应动作灵活。
- b) 对折向器投入腔、退出腔分别进行严密性试验,油压退出、弹簧投入的接力器,仅对退出腔进行严密性试验。试验压力为 1.25 倍额定工作油压,耐压时间 30min,应无渗漏。
- c) 在额定工作油压下退出折向器,检查折向器接力器行程应符合设计值。

5.7 配水环管检修

5.7.1 空蚀和磨损检查:

- a) 检查测量并记录空蚀部位的面积与深度。
- b) 对空蚀部位进行补焊修复并打磨光滑。

5.7.2 焊缝探伤检查:

- a) 对于配水环管纵缝、环缝,宜进行探伤检查,并达到 NB/T 47013.1~NB/T 47013.4 规定的要求。
- b) 配水环管探伤检查重点部位应在 T 形、十字形接头等易产生焊接缺陷的地方。

5.7.3 调整法兰检修:

- a) 调整法兰吊装前,应在组合面做好位置标记。
- b) 检查调整法兰面,应符合安装要求。
- c) 密封槽应符合安装要求。
- d) 对空蚀部位进行修复并打磨光滑。

5.8 附属设备检修

5.8.1 挡水筒检修:

- a) 检查挡水筒各部连接螺栓应紧固。
- b) 检查挡水筒各部焊缝应无裂纹,表面无空蚀现象,必要时可做 UT 探伤和 MT 探伤。
- c) 安装时挡水筒与主轴的间隙值应符合设计要求。
- d) 机组检修时在水导轴承恢复前,挡水筒与主轴之间不应有异物残留。
- e) 挡水筒表面应做防腐处理。

5.8.2 稳水栅检修:

- a) 稳水栅的主梁、次梁焊缝应无裂纹、脱焊现象。
- b) 稳水栅的主梁支柱与主梁焊缝应无裂纹、脱焊现象。
- c) 稳水栅主梁与次梁连接螺栓应无松动,螺母应点焊牢固。
- d) 稳水栅主梁与转轮运输轨道焊缝应无裂纹、脱焊现象。
- e) 稳水栅栅格应连接牢固,无脱落,若存在栅格脱落现象,应及时采用相应厚度的钢板进行补焊恢复。

5.9 检修试验

5.9.1 水导轴承试验:

- a) 水导轴承各部位回装完成后,应对水导轴承冷却器及外部管路进行通水试验,试验压力为水导轴承冷却水 1.25 倍额定工作压力,耐压时间 30min,各连接面应无渗漏。
- b) 轴承内加油后,应校核液位传感器,其显示值与实际油位应一致。

5.9.2 喷嘴试验:

- a) 喷嘴试验前应具备的条件:
 - 1) 喷嘴及其油管路、反馈装置已安装完成。
 - 2) 进水球阀关闭,配水环管无压。
 - 3) 调速器控制阀组回装完成,回油箱中油位正常、压力油罐压力正常、油泵处于自动控制模式。
 - 4) 调速器电气控制柜检修完成,运行正常。
- b) 喷嘴试验项目:
 - 1) 开关喷嘴接力器应动作正常、平滑。

- 2) 喷嘴控制油管路接头、法兰无渗漏, 喷嘴本体渗漏油管无渗漏。
- 3) 检查各喷嘴开关动作的同步性, 各喷嘴开关速率应符合调节保证设计要求, 喷针行程的同步偏差应不大于设计行程的 2%。
- 4) 喷嘴模拟事故情况下关闭正常, 关闭时间符合设计值。

5.9.3 折向器试验:

- a) 折向器试验前应具备的条件:
 - 1) 折向器及其油管路、反馈装置已安装完成。
 - 2) 进水球阀关闭, 配水环管无压。
 - 3) 调速器控制阀组回装完成, 回油箱中油位正常、压力油罐压力正常、油泵处于自动控制模式。
 - 4) 调速器电气控制柜检修完成, 运行正常。
- b) 折向器试验项目:
 - 1) 投入和退出折向器, 接力器应动作正常、平滑。
 - 2) 折向器控制油管路接头、法兰无渗漏, 折向器本体渗漏油管无渗漏。
 - 3) 折向器模拟事故情况下投入正常, 投入时间符合设计值。
 - 4) 对于与喷嘴非协联动作的折向器, 应检查各折向器动作的同步性, 偏差应不超过设计值的 2%。

5.9.4 启动试验:

- a) 启动试验前条件:
 - 1) 水轮机及其附件已安装完工, 验收合格。
 - 2) 主轴法兰与挡水筒间隙、喷针头与口环间隙已检查, 无遗留杂物。
 - 3) 机组进水球阀及其控制设备已检修调试完毕, 无水试验合格, 处于关闭状态。
 - 4) 水导轴承润滑、冷却系统已安装完工, 检查合格, 油槽油位开关、油位变送器、温度传感器及冷却水压已调试合格, 各整定值符合设计要求。
 - 5) 喷嘴已安装完工, 无水调试完成, 开启和关闭时间已整定, 喷嘴处于关闭状态, 折向器处于投入状态。
 - 6) 模拟事故情况下, 喷嘴与折向器均能同时可靠动作。
 - 7) 机组各测压表计、示流计、压力开关、流量计、摆度、振动传感器及各种变送器均已安装完工, 调试合格, 整定值已调整至设计要求, 管道管路连接良好。
 - 8) 技术供水泵、中低压气机已投入自动运行, 技术供水水位、水压和流量正常。
 - 9) 机组测温系统已投入, 并记录好机组各部位原始温度。转速信号装置各转速信号已按设计要求整定完毕, 投入运行。
 - 10) 调速器处于现地“手动”工作状态。
 - 11) 调速器及进水球阀系统漏油装置处于自动位置。
 - 12) 机组机壳进人门封闭完成。
 - 13) 检修结束后已进行三级验收, 机组检修措施已恢复。
- b) 手动开停机和动平衡试验:
 - 1) 手动开启机组进水球阀。
 - 2) 手动操作调速器, 折向器退出, 缓慢开启喷针, 当机组开始转动后立刻关闭喷针停机, 并记录对应的喷针开度(启动开度), 由各部观察人员检查和确认在机组转动过程中机组转动部件和静止部件之间有无机械摩擦、碰撞及异音情况。
 - 3) 确认机组各部位正常后, 手动启动机组, 开启喷针使机组转速升至 50%额定转速, 检查机组的振动、摆度无异常后, 继续开启喷针, 使机组转速升至额定转速, 机组进入空转运

行, 测量机组的振动、摆度、轴承温度等应无异常。

- 4) 机组达到额定转速时, 校验电气表计的指示应正确, 并记录当前水头下的空转开度。
- 5) 监视机组在额定转速时各部位水温、水压应正常, 记录各部水力量测系统表计读数和机组监测装置的表计读数。
- 6) 检查转速的稳定性, 观察轴承油面的变化, 油位应处于正常位置。待温度稳定后标记各部油槽的运行油位线, 记录稳定的温度值, 此值不应超过设计规定值。
- 7) 机组稳定时间视轴承温度稳定而定, 并记录稳定运行的温度值, 此值不应超过设计值, 当温度稳定后手动停机。
- 8) 动平衡试验。

c) 自动开停机试验:

- 1) 计算机监控系统自动开机条件具备, 确认制动闸等实际位置与自动回路信号相符。
- 2) 将调速器切至“远方自动”运行位置。
- 3) 发电机灭磁开关断开, 励磁装置退出备用。
- 4) 机组计算机监控系统、继电保护系统、水机保护等控制和保护设备运行正常。
- 5) 在计算机监控系统上位机和下位机分别执行“停机—空转”操作, 机组按自动控制流程开机。
- 6) 自动开机时应记录和检查以下内容:
 - 检查自动开机流程是否正确, 以及各执行元件的动作情况。
 - 记录自发出开机脉冲至机组开始转动所需的时间。
 - 记录自发出开机脉冲至机组达到额定转速的时间。
 - 检查调速器的工作情况。
 - 检查测速装置的转速接点动作是否正确。

d) 空转试验:

- 1) 机组进入空转运行, 测量机组的振动、摆度、轴承温度等应无异常。
- 2) 测量发电机一次残压及相序, 相序应正确。
- 3) 检查调速器电气部分和机械部分各部件工作正常。
- 4) 检查调速器测频信号, 应波形正确, 幅值及其摆动值符合设计要求。
- 5) “现地手动”“现地自动”切换试验, 喷针应无明显摆动, 机组转速摆动值应符合设计要求。
- 6) 空转扰动试验应达到如下要求:
 - 扰动量取 $\pm 8\%$, 转速最大超调量不应超过转速扰动量的 30%。
 - 超调次数不超过 2 次。
 - 从扰动开始到不超过机组转速摆动规定值为止的调节时间应符合设计要求。
 - 选取最优一组调节参数, 提供空转运行使用。在该组参数下, 机组转速相对摆动值不超过 $\pm 0.25\%$ 。

- 7) 记录调速器油压装置油泵的运转时间及工作周期。

e) 过速试验及检查:

- 1) 在进行过速试验时, 应在进水球阀及机组重要位置安排专业人员监视, 并通过对讲机保持通信畅通, 如有异常情况, 立即联系, 进行紧急停机, 投入折向器、关闭喷嘴和进水球阀。
- 2) 检查过速试验各项准备工作已完成, 各部位监测人员已就位。
- 3) 将各过速保护接点从保护回路中断开。
- 4) 以手动开机方式使机组达到额定转速, 待机组运转正常后, 继续缓慢开启喷针开度, 使机组转速上升到额定转速的 115%, 观察测速装置接点的动作情况; 如机组运行无异常, 继续将转速升至设计规定的过速保护整定值后立即停机, 校验电气过速保护装置及机械过速

保护装置的动作情况。

5) 测量并记录喷针关闭时间、折向器投入时间,应符合设计要求。

6) 测量并记录机组各部振动和摆度。

7) 记录各部轴承的温升情况。

8) 监视是否有异常响声。

9) 停机后应做如下检查:

——全面检查水轮机转动部分,如转轮斗叶是否有裂纹或损伤、水导轴承瓦是否有磨损等。

——全面检查喷嘴折向器动作情况是否正常,折向器偏流板及其连接件是否存在裂纹。

——检查稳水栅是否有断裂现象。

f) 甩负荷试验:

1) 甩负荷试验前应具备如下条件:

——将调速器的稳定参数选择在空载扰动所确定的最佳值。

——已调整好测量机组振动、摆度、配水环管压力、喷针行程等电量和非电量的监测仪表。

——所有保护和自动装置均已投入。

——自动励磁调节器的参数已选择在最佳值。

2) 分别甩 25%、50%、75%、100%额定功率。测量并记录机组各部位振动、摆度、配水环管压力、机组转速上升等参数,并应符合制造厂及设计要求。

3) 校核喷针紧急关闭时间、折向器紧急投入时间,以及配水环管水压和机组转速上升率等参数是否符合设计规定。

4) 机组甩负荷后调速器的动态品质应达到如下要求:

——甩 100%负荷后,机组转速上升应低于电气二级过速保护整定值。

——甩 100%负荷后,在转速变化过程中超过额定转速 3%以上的波峰不应超过 2 次。

——校核喷嘴与折向器的协联关系是否符合设备技术要求。

——折向器不动时间不大于 0.2s。

5.9.5 检修工程最终验收:

a) 完成以上试验后,根据情况进行缺陷处理,机组即具备带额定负荷连续 24h 运行的条件。

b) 在 24h 连续试运行中,由于机组及相关机电设备的检修、安装质量或者其他原因引起运行中断,经检查处理合格后,重新开始 24h 连续试运行,中断前后的时间不得累加计算。

c) 机组 24h 试运行完成后,停机进行全面检查。

d) 处理并消除 24h 试运行中所发现的所有缺陷。

e) 机组通过 24h 试运行及停机检查和缺陷处理后,已经具备了向电厂生产管理部门移交的条件,有关各方应签署机组检修工程的验收证书,并及时进行机组设备及相关机电设备的移交,同时开始正式运行并计算机组检修的质保期。

附 录 A
(资料性附录)

水斗式水轮机运行技术文件和资料清单

水斗式水轮机运行技术文件和资料清单见表 A.1。

表 A.1 水斗式水轮机运行技术文件和资料清单

序 号	内 容
1	水轮机及其油、水、气系统等附属设备的布置图、结构图、原理图、接线图，安装维护使用技术说明书和随机供应的产品图纸，各种盘柜和自动化设备的安装布置图
2	进水口、引水隧洞、蝶阀/闸门、压力钢管、进水球阀、配水环管、尾水道等水轮机流道及部件的安装布置图、结构图、操作原理图等
3	水轮机运转特性曲线、调节保证计算结果、安全稳定经济运行资料、并网许可资料以及其他重要计算资料
4	水轮机及其附属设备的安装、检修过程记录、试验记录、验收记录、投运许可记录，安装、运行的影像资料
5	水轮机及其附属设备改进部分的方案、图纸和技术资料及历年运行记录总结，缺陷记录，异常和事故记录，油、水、气系统运行记录，各部轴承运行温度记录，各充油设备加、排油记录，各部振动（轴摆度）记录
6	运行所需的备品备件目录、特殊工具目录及存放要求
7	现场运行规程、运行图册、检修规程、试验规程、应急处置方案等

附 录 B
(资料性附录)

水斗式水轮机巡检主要项目和要求

水斗式水轮机巡检主要项目和要求见表 B.1。

表 B.1 水斗式水轮机巡检主要项目和要求

位置或部件名称	检查项目、要求
调速系统	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调速器运行稳定，负荷无异常波动。 2. 电柜指示、运行参数显示正确，数据刷新正常，无故障报警。 3. 交、直流电源正常，各部接线端子无松动、过热及脱落现象。 4. 机械液压系统中喷嘴、折向器控制阀组无渗漏、无异常。 5. 液压系统各阀门状态位置正确，各连接接头、油管路法兰无渗漏油。 6. 油压装置油压、油位在正常范围，油泵及补气装置、蓄能器胶囊工作正常
水轮机监测、控制、保护装置	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各监测、控制、保护装置指示正常。 2. 装置各电源开关、熔丝接线紧固无松动，各元件完好，各端子无松动脱落。 3. 测温系统完好，各温度值在正常范围。 4. 机组振摆监测装置工作正常，各部振动、摆度值在正常范围。 5. 水力监测装置工作正常，显示测量数据正确。 6. 制动系统各阀门状态位置正确，气压正常，各电磁阀和压力表正常
水机室	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水轮机运行时无异常振动和异音。 2. 喷嘴、折向器控制油管路无渗漏，反馈机构工作正常，无松动和发卡。 3. 机械液压过速保护装置完好，管路无渗漏。 4. 水导轴承油位、油色正常，油盆无渗漏、甩油，冷却水流畅通，水压正常，管路无漏水。 5. 水导轴承油位变送器、测温探头接线完好，振动、摆度测量探头安装牢固，工作正常。 6. 机壳补气管路畅通，机组运行时补气正常
机壳	<ol style="list-style-type: none"> 1. 机壳进入门封闭严密，螺栓齐全、紧固，无漏水。 2. 机壳无异常振动和异音。 3. 压力钢管、配水环管、机壳等处压力表计的压力正常。 4. 配水环管排水阀全关，无漏水。 5. 机壳外地面排水畅通。 6. 喷嘴、折向器渗漏油管路无异常渗漏油、水
进水球阀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 进水球阀控制柜指示正常，柜内各继电器完好，接线端子无松动，液压阀组无渗漏油，各电磁阀、液压阀状态正确。 2. 球阀应在全关或全开，开度指示与接力器行程位置一致，锁锭销在相应位置。 3. 旁通阀、空气阀、工作密封、检修密封等设备位置应与实际运行状态相符。 4. 各油、水管路无渗漏，管路安装稳固，进水球阀操作时无异常抖动。 5. 上下游差压信号装置接线完好、无松脱，各压力表指示正确。 6. 油压装置油压、油位在正常范围，油泵及补气装置、蓄能器胶囊工作正常。 7. 球阀启闭过程中，监视阀组有无串油、空气阀的动作是否正常

附 录 C
(资料性附录)
水斗式水轮机检修项目

水斗式水轮机检修项目见表 C.1。

表 C.1 水斗式水轮机检修项目

名 称	项 目
D 级检修	<ol style="list-style-type: none"> 1. 油槽油位、油质检查。 2. 油槽盖密封油挡检查、处理。 3. 瓦温、油温、油位、油混水、振动、摆度等自动化元件检查、消缺。 4. 转轮磨损、空蚀测量，裂纹检查。 5. 喷嘴、折向器反馈装置检查、处理。 6. 喷嘴、折向器油管路渗漏及紧固检查、处理。 7. 稳水栅牢固性检查、处理。
C 级检修	<ol style="list-style-type: none"> 1. 油槽取油样化验、换油。 2. 油槽盖密封油挡清洗、检查或更换。 3. 轴颈磨损情况检查，分块导轴瓦的抽检、修复或更换；筒式瓦磨损情况检查，总间隙测量。 4. 油冷却器渗漏检查、处理。 5. 瓦温、油温、油位、油混水、振动、摆度等自动化元件检查、消缺。 6. 转轮磨损、空蚀、裂纹检查测量或转轮更换。 7. 喷嘴口环、喷针头等过流部件的磨损、空蚀测量或更换。 8. 喷嘴、折向器反馈装置检查、处理。 9. 喷嘴、折向器动作试验。 10. 喷嘴、折向器油管路渗漏及紧固检查、处理。 11. 稳水栅牢固性检查、处理。 12. 机壳进入门密封检查、处理。
B 级检修	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主轴拆装，中心、高程测量、调整。 2. 主轴和联轴螺栓无损探伤试验。 3. 油槽的分解、清洗、密封件更换及煤油渗漏试验。 4. 油冷却器的分解、清扫、密封件更换、耐压试验。 5. 轴颈、瓦面磨损检查和修复，瓦间隙测量与调整。 6. 油槽盖密封油挡清洗、检查或更换。 7. 瓦温、油温、油位、油混水、振动、摆度等自动化元件和回路检查、处理。 8. 转轮磨损、空蚀、裂纹检查测量或转轮更换。 9. 喷嘴及折向器的分解、清洗、密封件更换及耐压试验。 10. 喷嘴口环和喷针头等过流部件的空蚀检查、焊接修复或更换。 11. 喷嘴、折向器反馈装置检查、处理。 12. 喷嘴、折向器油管路渗漏及紧固检查、处理。 13. 喷嘴、折向器动作试验。 14. 配水环管无损探伤试验及裂纹修复。 15. 稳水栅牢固性检查、处理。 16. 机壳进入门密封更换。 17. 水导轴承与机壳各部件防腐涂漆。 18. 其他缺陷及技改工作。