

直接冷却

汽轮发电机检修

天津杨柳青发电厂



前 言

随着国民经济的迅速发展，我国电力工业正在朝着高电压，大机组、大电网方向发展。目前我国发电量已由1949年的世界第25位越居世界第6位。1950年到1983年人均发电量平均年增长13.8%，居世界首位。就全国各大电网主力机组单机容量而言，已由七十年代的10万千瓦增加到20万30万千瓦机组，而且正在安装更大容量机组。这批大容量直接冷却汽轮发电机组采用了世界电机制造业中的某些新技术，新材料，新工艺，客观要求我们不但能够确保大容量机组安全经济运行，而且要求我们能够高质量地进行检修和维护，特别是大批青年加入电力工业大军，迅速提高检修人员水平是摆在我们面前重要任务。然而目前介绍直接冷却汽轮发电机检修方面的专用书尚不多见，为了适应电力工业发展的实际需要，根据自己的工作体会，并注意收集了兄弟单位检修经验，参考了有关资料，利用业余时间编写了这份材料，以期表达自己为祖国四化建设和电机检修工作尽微薄之力的愿望。

这份材料从一九七八年开始编写，历时三年，于一九八一年十月定稿。由于此次印刷时间仓促，未能更多地收入近三年来检修方面的新经验和新技术，深感欠意。

在编写过程中，曾得到原天津电业局刘兴宗付局长兼总工程师的热情支持，天津大港电厂潘世华高级工程师在百忙之中对原稿做了审阅，并提出了许多宝贵意见。此次印刷又得到我厂党政领导同志和几位总工程师积极支持，同时得到许多领导和同志们多方面指导和帮助，在此向这些领导和同志以及参阅资料中的作者和译者深致谢意！

拟意在编写过程中，力求多吸收各单位的好经验和新技术，但由于本人水平所限，书中一定有不妥和错误之处，欢迎各单位和读者批评指正。

作者 刘兆瑞

于1984年12月

目 录

第一章 概 述.....	(1)
第一节 直接冷却汽轮发电机.....	(1)
第二节 检修管理.....	(5)
第二章 发电机的拆装工艺.....	(8)
第一节 拆装程序和注意事项.....	(8)
第二节 抽装转子前后的拆装工作.....	(10)
2-2-1 油系统设备的拆装.....	(10)
2-2-2 冷却系统设备和励磁机的拆装.....	(11)
2-2-3 内外端盖的拆装.....	(12)
第三节 抽装发电机转子.....	(13)
2-3-1 小车法抽装转子.....	(13)
2-3-2 假轴法抽装转子.....	(17)
2-3-3 假轴小车法抽装转子.....	(18)
2-3-4 小车滑块法抽装转子.....	(18)
2-3-5 悬臂梁抽装转子.....	(19)
第三章 定子检修.....	(21)
第一节 定子铁芯检修.....	(21)
3-1-1 定子铁芯结构.....	(21)
3-1-2 定子铁芯的损坏和检查.....	(24)
3-1-3 定子铁芯修复.....	(25)
3-1-4 铁损试验.....	(28)
第二节 机座和定子其他部件检修.....	(29)
3-2-1 机座和端盖的结构与检修.....	(29)
3-2-2 隔振结构和检修.....	(32)
3-2-3 端部漏磁和屏蔽环检修.....	(36)
3-2-4 出线板出线套管的结构和检修.....	(40)
3-2-5 水冷发电机的照明灯改进.....	(44)
第三节 定子绕组结构.....	(45)
3-3-1 定子绕组种类.....	(45)
3-3-2 定子绕组及附件.....	(46)
3-3-3 定子绕组绝缘.....	(53)
3-3-4 电腐蚀和防晕处理.....	(56)

3-3-5 绕组固定结构.....	(58)
第四节 定子绕组的检查和一般检修.....	(65)
3-4-1 绕组端部的检查和修理.....	(66)
3-4-2 绕组槽部的检查和修理.....	(67)
3-4-3 定子绕组预防性试验.....	(69)
3-4-4 绕组水路冲洗.....	(71)
3-4-5 绕组漏水和堵塞处理.....	(73)
第四章 更换定子绕组.....	(78)
第一节 更换氢冷发电机定子绕组.....	(78)
4-1-1 取线修线和嵌线准备.....	(78)
4-1-2 嵌线.....	(85)
4-1-3 绑扎和打槽楔.....	(89)
4-1-4 焊接.....	(91)
4-1-5 包扎绝缘和端部加固.....	(94)
第二节 更换水内冷发电机定子绕组.....	(97)
4-2-1 故障形式.....	(97)
4-2-2 取线.....	(98)
4-2-3 嵌线前后的水压和流量试验.....	(99)
4-2-4 嵌线.....	(101)
4-2-5 绕组固定.....	(102)
4-2-6 接头焊接和包扎绝缘.....	(104)
第五章 转子检修.....	(105)
第一节 转子结构.....	(105)
5-1-1 转轴结构.....	(105)
5-1-2 转子环件结构.....	(110)
5-1-3 氢内冷转子绕组的结构和冷却.....	(120)
5-1-4 水内冷转子绕组的结构和冷却.....	(129)
第二节 转子一般检修.....	(134)
5-2-1 试验检查和清扫.....	(134)
5-2-2 转子环件的拆装.....	(137)
5-2-3 转子环件检修.....	(145)
5-2-4 转子绕组的绝缘故障处理.....	(148)
5-2-5 更换转子绝缘引水管.....	(157)
第三节 转子特殊检修.....	(163)
5-3-1 转子漏水处理和拐脚改进.....	(163)
5-3-2 氢内冷转子端部风路改进.....	(169)
5-3-3 更换氢内冷转子绕组绝缘.....	(171)
第六章 通风冷却系统设备检修.....	(179)

第一节 通风冷却系统.....	(179)
第二节 氢冷系统设备检修.....	(181)
6-2-1 氢气供气系统.....	(181)
6-2-2 制氢站设备检修.....	(185)
6-2-3 盘式密封瓦真空静态倒氢和改进措施.....	(189)
6-2-4 氢气供气系统设备检修.....	(193)
6-2-5 氢气冷却器检修.....	(196)
第三节 水冷系统设备检修.....	(199)
6-3-1 冷却水和水冷系统.....	(199)
6-3-2 提高冷却水水质措施.....	(204)
6-3-3 转子进出水装置和检修.....	(206)
6-3-4 冷水器和水箱检修.....	(208)
第七章 试验和保护.....	(210)
第一节 氢冷发电机严密性试验和漏点消除.....	(210)
7-1-1 严密性试验标准.....	(210)
7-1-2 严密性试验方法.....	(213)
7-1-3 找漏方法.....	(214)
7-1-4 消除漏点.....	(217)
第二节 氢内冷转子通风试验.....	(217)
7-2-1 压力法.....	(217)
7-2-2 流量法.....	(220)
7-2-3 风速法.....	(220)
7-2-4 通风试验标准的探讨.....	(223)
7-2-5 通风孔堵塞及处理.....	(227)
第三节 金属探伤试验.....	(228)
第四节 发电机冷却介质保护装置.....	(233)
7-4-1 断水保护.....	(233)
7-4-2 漏水保护.....	(235)
第八章 气隙隔板.....	(239)
第一节 气隙隔板原理和结构.....	(239)
8-1-1 径向气隙隔板.....	(239)
8-1-2 轴向气隙隔板.....	(241)
第二节 我国气隙隔板的研究与实践.....	(244)
8-2-1 径向气隙隔板.....	(244)
8-2-2 轴向气隙隔板.....	(250)
8-2-3 径一轴向混合式气隙隔板.....	(251)
第三节 温升试验和气隙隔板展望.....	(259)
第九章 励磁系统设备检修.....	(267)

第一节 直流励磁机检修.....	(267)
9-1-1 换向和滑动接触导电.....	(267)
9-1-2 电刷和氧化层.....	(269)
9-1-3 产生换向火花原因.....	(270)
9-1-4 改善换向措施.....	(273)
9-1-5 环火及消除.....	(289)
第二节 交流励磁机和检修.....	(291)
9-2-1 感应子中频发电机结构.....	(292)
9-2-2 感应子中频发电机工作原理.....	(293)
9-2-3 感应子中频发电机特性.....	(296)
9-2-4 感应子中频发电机检修.....	(299)
第三节 灭磁开关与检修.....	(300)
9-3-1 DM ₂ 型灭磁开关灭磁原理和结构.....	(301)
9-3-2 DM ₂ 灭型磁开关检修和改进.....	(307)

第一章 概 述

第一节 直接冷却汽轮发电机

一、分类

发电机是把机械能转换成电能的机械。

在近代历史上，发电机的出现极大地促进了社会生产力的迅速发展。随着社会的实际需要，出现了各种型式的发电机，按原动力供给方式可分为汽轮发电机、水轮发电机、原子能发电机以及柴油发电机等等。

发电机冷却方式，通常分为空气冷却、氢气冷却、水氢冷却、水空冷却、油冷却、蒸发冷却等许多型式。发电机按冷却方式分类如下表所示：

按冷却方式分类	空气冷却	空气外冷：定转子绕组和铁芯均为空气表面冷却。
		空气内冷：定子绕组、定子铁芯为空气表面冷却，转子绕组为空气内部冷却。
	氢气冷却	氢气外冷：定转子绕组、铁芯均为氢气表面冷却。
		氢气内冷 { 转子绕组为氢气内冷，定子绕组、定子铁芯为氢气表面冷却。
		定转子绕组均为氢气内冷，铁芯为氢气表面冷却。
	水冷却	双水内冷：定转子绕组水内冷，铁芯为空气表面冷却。或称水水空冷却。
		全水冷：定转子绕组及铁芯均为水内冷。
	水氢冷却	水氢氢冷：定子绕组水内冷，转子绕组氢内冷，铁芯为氢气表面冷却。
		水水氢冷：定转子绕组均为水内冷，铁芯为氢气表面冷却。
	油冷却：定子绕组油内冷，铁芯和压圈为油浸冷，转子绕组水内冷。	
	蒸发冷却：在发电机内部充有低沸点，高绝缘，不燃烧的液体氟里昂，依靠氟里昂的低沸点气化蒸发特点进行热交换。	

发电机的冷却方式，直接关系到发电机单机容量和各项技术经济指标，特别在大型电机的设计中更显得突出和重要。冷却方式一般系指定子绕组、转子绕组、定子铁芯等发热体是以什么冷却介质、通过什么途径进行热交换型式。

空气冷却是最古老的冷却方式，它的特点是经济、设备简单，工艺要求不高。缺点是冷却效果差、损耗大。空冷方式只在25000瓩以下机组采用。

自从1945年水被用于冷却定子绕组以后，使电机冷却技术有了大幅度发展。它之所以能够得到大幅度发展是因为水冷却具有很多优点，如水冷电机重量轻，无油密封和制氢设备，金属材料利用率高，还由于水的散热系数大，所以它的出力潜力很大。但是由于转子的高速

旋转,使大型水冷转子的水的供给装置,冷却水路方式、水路元件结构、制造工艺,以及水腐蚀等问题构成了世界各国面临的重大技术课题。因此,目前大部分国家在80~100万千瓦以上的转子才考虑水内冷方式。

氢冷在各种冷却方式中占有十分重要位置,而且氢冷技术发展成熟,制造工艺良好,氢气冷却效果虽然不及水冷,但远远超过空冷,所以它被应用在80~100万千瓦以下电机上。但是氢气和空气混合遇有明火可能产生氢气爆炸,同时它还需要配装制氢和密封油系统,所以氢冷电机重量重,消耗钢材多。

水氢冷却方式是在不同发热体上采用不同冷却介质的组合冷却方式。它兼有水冷和氢冷的优缺点,是目前大型电机广为采用的冷却方式。

从冷却途径来看,主要分为直接冷却和表面冷却两大类。直接冷却,是冷却介质进入发热体内部,直接和发热体接触,带走发热体所发热量,因此它具有十分优越的冷却效能。如空气表面冷却的转子绕组电流密度 3.5 A/mm^2 左右,而空气内冷的电流密度可达 5 A/mm^2 ,氢气表面冷却转子绕组电流密度 5.5 A/mm^2 ,氢内冷电流密度 8 A/mm^2 ,由于通风结构的不断改进,目前西德、英国、苏联、瑞士等国氢内冷转子绕组电流密度已达 12 A/mm^2 。就目前技术条件来说,定子绕组电流密度达到 12 A/mm^2 是不成问题的,由于定子绕组可以占有较大空间和从选择合理的电机效率考虑,所以定子电流密度大都选择在 $6\sim 8\text{ A/mm}^2$ 。直接冷却方式包括空气内冷、氢气内冷,双水内冷,全水冷、水氢氢冷、水水氢冷及油冷却等方式。根据我国直接冷却汽轮发电机特点,本文主要介绍氢内冷、双水内冷,同时适当介绍水氢冷的有关部分。

我国生产的汽轮发电机都采用汉语拼音字母来表示电机型号。其中第一和第二个字母代表汽轮发电机,第三和第四个字母表示发电机冷却方式。型号后的第一组数字代表电机容量的兆瓦数,第二组数字代表磁极数。如Q(T)F、QFC、QFG等代表空冷汽轮发电机;Q(T)FQ为氢气表面冷却汽轮发电机;Q(T)FN代表定子绕组、铁芯氢表面冷却;转子绕组氢内冷汽轮发电机;QFSS、QFS为定子绕组水内冷,铁芯空气冷却的双水内冷汽轮发电机;QFNS、QFQS为定子绕组水内冷,转子绕组氢内冷;铁芯氢气表面冷却的水氢氢汽轮发电机。如QFS—125—2型表示125000千瓦两极的双水内冷汽轮发电机,QFN—100—2型为10万千瓦两极定子绕组、铁芯氢气表面冷却,转子绕组氢内冷汽轮发电机等等。

二、特点

直接冷却汽轮发电机具有以下特点:

1. 重型

大型汽轮发电机均采用直接冷却方式,它的单机容量很大,因此它具有体积大、重量重,消耗金属材料多等特点。目前日本已生产出可供原子能发电站配套的185万千瓦四极汽轮发电机用的转子整体锻件,其锻件重280吨,长18米,由500吨钢锭锻出。我国1971年制造的QFS—300—2型双水内冷发电机,定子重157吨,转子重60吨,哈尔滨电机厂正在设计的60万千瓦水氢两极汽轮发电机其定子重270吨,转子重74吨。

2. 高速

现在设计的大型汽轮发电机绝大部分设计为两极(3000转/分)或四极(1500转/分),

高速旋转的转子部件给材料强度和电机的动平衡等很多方面带来许多难以解决的问题。大型转子每公斤铜线产生的离心力已达5000—8000公斤。由于转轴和护环机械强度的提高受到当前锻造水平限制，其转子直径被限制在1200毫米左右。为了提高转子容量，只得使转子向细长方面发展。有关统计数字表明，发电机容量从1.2万千瓦发展到120万千瓦，容量增长100倍，转子长度增长4.5倍，而转子直径只增长75%，所以说细而长的转子又是直接冷却汽轮发电机的另一特征。当然，转子的有效长度不能任意加长，它将受到转子挠度和临界转数等方面的制约。

3. 强电磁负荷

大型电机的磁密已达材料的磁密极限，定子线负荷已由空冷电机的650安培/厘米提高到直接冷却发电机的2500安培/厘米。强大的电磁负荷把电机的冷却、绝缘的抗拉抗磨，转子的平衡、定子隔振、铁芯和绕组的相对膨胀等置于设计和制造机组的主导因素。

4. 冷却方式多样化

冷却方式的种类在上表已有说明，之所以这么多分类，就是因为发电机的单机容量 $P \propto CD^2 L_n A_s B_d$ ，如前所述，由于锻造水平的限制，不可能无限的增大电机体积（ $D^2 L_n$ ），而如果增加电机电磁负荷（ $A_s B_d$ ），将会使电机损耗大幅度增加，电机平均温升和局部温升也会相应提高，以致影响电机安全运行。为了保证电机有效部分的温升长期限制在绝缘材料允许范围内，所以出现了各种各样冷却方式，以适应大型发电机的通风冷却需要。实践表明，先进合理的冷却方式，是发展大型电机的重要途径，所以从某种意义上说，大型汽轮发电机的发展，是冷却技术不断发展的过程。

5. 较多的附属设备和复杂的保护装置

直接冷却汽轮发电机不但具有重型高速等特点，而且它具有庞大的附属设备和复杂的保护装置。例如，为了提供发电机合格的冷却介质，水冷电机需要配置水冷系统和净化装置。氢冷电机需要配置氢冷系统，氢气密封装置以及油冷却电机的绝缘油系统等。为了保证发电机安全运行，除配装各种电磁保护之外，还设有冷却介质保护和监视装置。

三、结构

直接冷却汽轮发电机的上述特点，决定了它结构上的许多特点。

我国目前生产的直接冷却汽轮发电机，定子均设计为整体式。氢冷发电机的氢气冷却器安装在机座内，并有立式、卧式两种布置方式。双水内冷发电机的空气冷却器放在机座下面的冷风室，均采用卧式装置。大部分发电机采用座式轴承，少部分采用端盖轴承。大型电机采用端盖轴承是为了控制转子临界转速，而我国30万千瓦双水内冷发电机采用座式轴承的目的是为了把出水箱布置在轴承内侧，否则将会给结构设计带来许多困难。

通常水冷电机选用短机座，氢冷电机选用长机座。为了减少铁芯双倍频率椭圆振动，大型发电机均设计隔振（弹性）机座。国产部分20万千瓦和30万千瓦发电机已采用隔振结构。

定子线棒在运行中要承受强大的电动力，电动力来自两方面：一个是定子线棒中的电流和线槽漏磁场作用产生的电动力；另一个是运行中铁芯双倍频率椭圆振动。为了减少振动磨损，定子线棒槽部除采用贯用的平板槽楔固定以外，在我国30万千瓦电机中采用对头斜槽楔，扩槽侧面斜槽楔以及底层线棒浇注等措施。而国外大机组都采用侧面波形弹簧板和槽内适形材

料作为抗振的主要对策。绕组端部除承受槽部两种电动力外，主要是受到端部漏磁场和线棒中电流相互作用产生方向复杂的电动力。目前绕组端部固定方式有绑扎式和压板式两种，在国内前者多为氢冷发电机采用，后者多为水冷发电机采用。美国、日本、意大利都采用绑扎式，而英国、德国、法国则采用压板式，但从技术发展来看压板式将被绑扎式淘汰。

为了减少定子端部附加损耗，铁芯端部设计多级阶梯，在第一、二道边段铁芯开轴向沟，采用无磁性压圈和压指以及采用无磁性支承和加强绑扎等措施。大型发电机多配有电屏蔽、磁屏蔽或电磁屏蔽等结构。

当电机有效长度达到5—6米时，为了保证电机能承受快速加载而避免绕组绝缘损坏时，故在绕组端部支承处留有5毫米左右的轴向滑动量。

定子绕组均有防晕处理措施，一般采用一级和二级外屏蔽防晕处理。静子电压超过20000 V时，还采用内屏蔽措施。

国产直接冷却发电机转轴均由整体锻件加工而成，大型转子设计有半阻尼结构或全阻尼绕组结构，以增加转子承受 I^2t 的能力，国产氢内冷转子绕组，槽部均采用气隙取气系统，主要形式是斜流侧面风沟，现在逐步过渡到斜流内部风道型式。转子端部有单路和双路两种通风方式。气隙取气系统是建立在自通风原理基础上的，所以不需要按装高压风扇，因而通风损耗较小，并且不受转子长度限制，所以具有广泛发展前途。需要指出，冷却方式设计得是否合理，不能单看结构，而主要看转子温度不均匀系数，有些国家设计的电机的温度不均匀系数达到1.123，而我国生产的转子温度不均匀系数大都在1.3左右。

水冷定子的水系统有两种：一种是单流串联水路，即进出水均设计在一端（大都设计在汽端），冷却水历经整个线圈。另一种是双流并联水路，即冷却水由一根线棒一端流入，由另一端流出。因为此种水路较单流串联水路路径缩短一半，线圈温度较低，所以国产12.5万瓩，20万瓩、30万瓩定子水冷发电机均采用此种结构。

水冷转子绕组的水路和定子绕组相似，线圈水路也可以分为串联和并联两种。国产12.5万瓩及以上的发电机转子水路均采用励侧进水汽侧出水结构。有些电机亦将进出水均设计在励侧，这种设计可以缩短轴承跨距，有利于改善临界转速，所以得到巨型电机采用。国产水冷转子主要特点是，充分利用转子甩水作用，使水系统和水冷结构简单，对外施水泵压头要求小，因而降低了对转子密封要求。但是它的最大缺点是冷却水直接和空气接触（如冷却水箱表面和空气接触），使二氧化碳及尘埃污染冷却水，因而需要设置离子交换净化装置。

水冷电机的外部水冷系统一般分为开式和闭式两种，目前国产机组均采用闭式系统，但由于水处理措施不够完善，所以水质问题逐渐暴露出来。电机制造厂正在考虑采用引进国外的冷却水净化装置。

转子绝缘引水管多采用丁腈橡胶管和丁腈橡胶聚四氟乙烯复合管。而定子绕组绝缘引水管均采用聚四氟乙烯管。

氢冷发电机密封瓦有盘式和环式两种。我国早期生产的氢冷电机多采用盘式密封瓦，虽然在10万千瓦发电机上采用，但是由于密封油膜是径向的，对于转子轴向振动或位移很敏感，容易烧瓦，同时正常运行瓦的温度较高，制造和检修工艺要求都比较高，因而逐渐被环式密封瓦取代。环式密封瓦主要有单流和双流两种型式。双流环式密封瓦的氢侧和空侧油路各自构成独立循环系统，如果这种密封瓦的差压伐和平衡伐具有较高精度，将具有很高气密

性,这种密封瓦还具有调整方便、便于维护等特点,因而获得大型氢冷和水氢冷发电机采用。另一种是单流环式全浮动密封瓦,它的构造更简单、拆装更方便,并且已经用在5.2公斤/cm²的极限氢压的发电机上。

四、励磁方式

1. 同轴直流励磁方式

同轴直流励磁是一种古老的励磁方式。由于它换向困难,所以3000转/分的同轴直流励磁机容量已限制在550~600千瓦。目前国产5万和部分12.5万千瓦发电机采用此型励磁方式。

2. 静态半导体励磁方式

这种励磁方式有交流发电机式和整流变压器式两种型式,目前采用较多的是前者。它由交流主励磁机、交流励磁机、静止硅整流装置以及电压调节器组成。因为这种励磁方式不需要换向器整流,所以可靠性较高,便于维护,可为大型发电机提供励磁,目前国产十万千瓦及以上发电机广泛采用这种励磁方式。

3. 半导体旋转励磁方式

这种励磁方式不但没有换向器,而且取消了静态励磁方式的滑环和电刷,因而它具有可靠性高、维护量小等特点。因为整流装置跟随转子一块旋转,所以对整流元件的质量要求很高。在我国,旋转励磁方式已在部分小型机组上试验。

第二节 检修管理

安全、经济地提供质量合格的电能是电力工业生产的显著特点。为了保证实现这个要求,除了正确的运行管理以外,还必须定期地进行检修和预防性试验,因此,搞好发电机检修是保证安全、满发、经济运行的重要措施。

一、检修分类和检修周期

发电机检修,通常划分为大修和小修。大修是大规模的检修活动,它要对发电机进行全面的检查、修理,按规程规定做预防性试验,同时进行必要的设备改进;而小修只对发电机做一般性的检查、维修和试验。

检修周期主要是根据设备的技术状况决定的。它主要包括设备的新旧程度、健康水平、以及燃料、运行、维护诸方面综合平衡予以确定。检修规程规定,大修周期为2—4年,小修周期6—8个月。从目前条件来看,检修周期通常控制在下限。随着设备健康水平的提高,检修周期不断延长。

二、检修项目和检修计划

大修项目,一般分为一般检修项目和特殊检修项目。检修项目主要来自运行中发现的设备缺陷,上次检修遗留的检修项目、必须做的检修清扫工作,技术改进措施,以及预防性试验项目等。

根据上级主管部门批准的检修计划,需要编制具体的检修项目计划。特殊检修项目还要编

制检修措施和工艺要求，並报厂部审批。编制计划应从实际出发，积极可靠而又留有余地。既充分估量检修工作量和技術条件，又要客观估计人的因素。

检修项目可以交班组讨论，上级批准，然后按着检修项目由检修车间〈分场〉编排检修进度表，进度表的中心环节是合理的确定抽装转子日期。这个时间确定后，可以按着检修项目工作量大小、技术复杂程度、检修先后次序，以及能否影响抽装转子等方面来全面编排检修进度。同时，确定了抽装转子时间即能划分出检修和回装阶段，使检修人员胸中有数，自觉地落实各项检修任务。在工期短、任务重的条件下，还可以安排立体交叉检修进度表，安排这种进度时需要考虑几种工作交叉的可能性以及相互联系，条件不具备时不能列入此种计划。将最后确定的检修进度表划成表格或图表形式张贴到检修现场。

三、施工管理

检修期间是检修活动高度集中阶段，必须做好各项施工管理工作。其中包括：贯彻安全作业规程，以确保人身和设备安全；严格执行检修工艺规程和岗位责任制，保证检修质量；随时掌握检修进度，保证按期竣工，做到不漏项、不甩项；做好材料备品备件管理工作，防止浪费；做好检修记录和技术记录等。

施工管理工作中关键是制度和人的两个因素。在制度中要特别抓好安全规程和检修规程的贯彻执行，据了解，有些电厂还没有检修规程，这样就会导致出现无章可循现象。应该根据本厂设备编制切实可行的检修规程或检修工艺标准。人的因素，在保证检修质量中起着决定性作用，检修人员必须具有主人翁责任感，严格执行检修工艺规程或检修技术措施，正确使用工器具，合理用料，确保质量，做到谁修谁保，修必修好。需要特别指出的是，要抓好技术培训，大力提倡智力开发，为了适应四化需要，工作者不但会干，而且要教育他们懂得为什么这样做，从而自觉的改革不合理的检修工艺，不断提高检修水平。

需要加强检修技术资料管理工作。技术资料是检修经验的总结，反过来它又能指导检修工作。所以，为了加强技术管理和提高检修工艺水平，要不断地健全和健全技术资料管理制度。要做到每台发电机有设备台帐、检修和试验记录、技术总结、设备图纸（包括备品备件图纸）、检修质量标准或检修工艺规程，以及贮备必要数量的备品备件等等。

四、验收和检修总结

验收应贯彻自检和验收人员检查相结合的原则。检修人员严肃认真的工作态度和良好的工艺是确保检修质量的关键，他们按着质量标准自检合格后才能交工。在验收工作中，通常采取班组、车间〈分场〉、厂部三级验收制度。要根据检修设备复杂程度和重要性来划分各级验收范围。在验收中除检查检修设备外，还要检查技术记录，以及材料、工时使用情况等，验收合格后填写验收单。

需要指出，在检修管理中许多电厂摸索出很多行之有效的办法。如推行检修定额制度，检修责任制、检修计划任务书、以及全面质量管理等方法。这些办法促进了检修工作，在很多单位收到良好成效。当前在电力工作中试行的全面质量管理（P、D、C、A），它是一整套科学管理方法。其核心是以最少的代价来换取最大的经济效果。目的是把“质量第一”的思想落实到质量管理上。全面质量管理通常划分为计划（P）、实施（D）、检查（C）、处

理(A)、四个阶段的循环方式、通过四个阶段周而复始螺旋上升,从而实现全面的、全过程的、全员的质量管理。太原第二热电厂、石景山发电厂等单位曾进行了几年尝试,它们的实践表明,全面质量管理在电力工业中是可行的和必要的。

五、开工前的试验和测量

发电机检修,开工前的准备工作很多。除做好检修工器具、材料、备品备件、检修项目、检修进度、劳动力组织、规程学习和考核、进行技术交底等各种技术准备工作以外,还要做好停机前试验和有关测量工作。通过试验和测量可以暴露发电机存在的问题,为最后确定检修项目提供依据。试验和测量工作一般包括以下内容:

1. 停机前,在不同负载下测量转子的垂直、水平、轴向振动值,以评定发电机振动水平。
2. 必要时,停机前做发电机满出力试验,观察各部件温度变化,从而暴露出各部件的缺陷。
3. 维持发电机额定电压,测量转子轴电压。当发电机解列,拉开灭磁开关以后,在不同转速下测量转子直流电阻。发电机停止转动后,按要求分别测量热态和冷态直流电阻。
4. 同轴直流励磁机有严重冒火缺陷,必要时,可在停机前安排无火花区域试验或进行刷架几何中心的调整工作。
5. 为检查转子匝间短路或是根据定转子绕组试验需要,可以在停机前安排短路和空载试验。
6. 发电机排氢前做漏点检查,为检修提供依据。
7. 停机后,校核汽轮机、发电机、励磁机轴系中心,同时测量换向器摆度等。

第二章 发电机的拆装工艺

第一节 拆装程序和注意事项

发电机大修，通常可划分解体、检修、回装三个阶段，拆装是解体和回装两个阶段的总称，它是发电机检修工作中的重要组成部分，这项工作不但具有较强技术性，而且还关系到检修质量和人身设备安全。

在进行拆装工作以前应做好以下准备工作：

1. 工器具准备：拆装用的工具（包括一般和专用工具）器材，应进行认真检查或通过必要的试验，试验合格后运抵现场，所有运抵现场的工具器材，要清点造册，并设专人保管。

2. 场地整理和划分：开工前，检修现场应做到整洁，干净，无杂物，并具有一定的检修活动范围。预先划分好较大部件存放和检修场地。必要时设置围栏。如转子周围要设有围栏，无关人员不得入内。同时备有较小零部件箱，以便分门别类进行存放。

3. 做好标记：零部件标记可以在拆前或解体过程中进行，一定使用醒目色漆标记，字样亦应工整，条件许可应在零部件背面、侧面标记或使用标签做记。

4. 做好安全措施：根据电气安全作业规程要求，做好电气安全措施，并经检查措施无误时，方可进入检修现场。

5. 组织检修人员学习检修规程，拆装工艺、安全规程等。

6. 排氢和停水：氢冷电机要彻底排掉氢气并经化验合格，（当用 CO_2 置换氢气时 CO_2 含量大于95%时，则认为化验合格），水冷电机停盘车后，要关闭进出水阀门并加锁或加装死堵，使用干燥清洁压缩空气将余水吹净，打开汇水环死堵，放掉余水。

解体工作包括以下内容：

1. 拆开定子引线伸缩节，按规定标准做预防性试验，对设备绝缘进行鉴定。通常包括测量绝缘电阻，吸收比、交流耐压、直流耐压等项电气试验。特殊试验项目须根据具体情况予以确定。

2. 氢冷发电机应拆除氢气冷却器引水管。水冷发电机拆掉进水支座和出水装置。解开发电机和励磁机联轴器，取出励磁机底脚螺钉和稳钉，拆开励磁机引出线和轴瓦油管，吊走励磁机。注意在调走励磁机前应请汽机专业人员校核发电机励磁机中心。

3. 拆下滑环引线和刷架底脚螺丝，并将电缆抽下，取出全部电刷，检查电刷接触面磨损情况，同时测量电刷在刷盒中活动间隙，测量刷盒对滑环距离，吊走滑环刷架。

4. 拆除发电机润滑油、密封油系统有碍检修的油管和表计。

5. 拆发电机外端盖。氢冷发电机应先拆下两侧密封瓦。

6. 测量风挡和风扇叶片间隙，通常使用塞尺测量出最大和最小间隙值，供回装时参考。然后拆下风挡和内端盖。

7. 测量发电机定转子空气间隙。测量不应少于三点，最好测取垂直，水平四点数值。
8. 解开发电机与汽轮机联轴器。
9. 拆掉转子风扇叶片。有的单位为了减少检修工作量和避免拆装时损坏叶片，而只拆掉汽侧风扇叶片，但抽装转子时，要做好安全措施，如使用象胶布或烫布进行包扎等。
10. 安装抽转子工具。要防止损坏铁芯和线圈。
11. 取出汽励两侧轴瓦。吊走励侧轴瓦座，吊轴瓦座前应使用500伏摇表测量瓦座对地绝缘。
12. 抽发电机转子。
13. 抽气体冷却器。
14. 拆氢气或水冷系统设备。

检修工作包括以下内容：

1. 检修定子线圈。
2. 检修定子机座和定子铁芯。
3. 检修转子。
4. 检修水冷系统设备或氢冷系统设备。
5. 对各部件或整体进行电气、水压、气密、流量等项试验。
6. 检修励磁机。
7. 检修灭磁系统设备。
8. 检修盘车系统设备。
9. 检修发电机轴瓦、密封瓦及润滑、密封系统设备。
10. 检修水冷发电机照明，检漏装置等。
11. 氢冷发电机整体气密试验。
12. 水冷发电机定转子水路正反冲洗及整体流量和压力试验。

发电机回装和解体工序相反（同时在下介绍中均叙述解体工艺、回装工艺从略）。

发电机拆装工作注意事项：

1. 检修氢冷发电机前必须由化验单位正式化验合格后，方可进行解体工作。水冷发电机解体前停止冷却水，并将所有冷却水系统阀门关闭或加装死堵。
2. 拆下的每个零部件均应做好标记，并妥善地保存在零部件箱中。
3. 电气接线头应有明显标记。具有极性和相序的接头应按规定刷相色或极性色。
4. 起吊零部件时应严格执行起重规程要求，天车需由专人指挥。
5. 进入定子膛内工作人员，不得带入与检验无关的东西，必须带入的工器具等物要登记造册。工作结束后，要清点核对，发现遗失，必须设法找回。进入定子膛工作人员须穿绝缘鞋，或布鞋，不得穿硬底鞋，更不允许穿带钉子的鞋。
6. 严禁在发电机附近和检修现场吸烟。明火作业应严格执行明火作业规程。发电机周围要备有消防器材，检修人员会使用。
7. 认真作好拆装记录，必要时可以绘制草图，以便回装时对号入座。

第二节 抽装转子前后的拆装工作

2—2—1 油系统设备的拆装

停下盘车后，即可停下润滑油泵（润滑油泵供密封油系统时，待排氢后方可停下润滑油泵）氢冷发电机要在转子静态下排掉氢气，化验合格后，密封油泵或润滑油泵即可相继停下。然后开关有关阀门放掉余油。

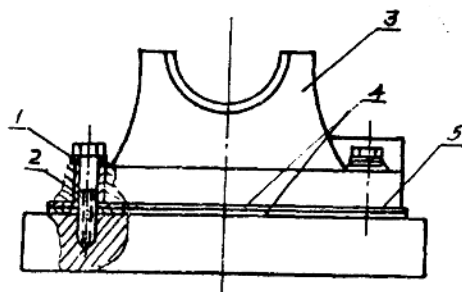
解开发电机和励磁机轴承进油和回油法兰，氢冷发电机还须解开密封油进油和回油法兰。同时拆下影响抽装转子和影响拆装端盖的油管道和水管道。拆下的管道和未拆下的管道的开口处均应加铁皮堵，以免落入杂物。

拆除轴瓦是在拆除盘车装置，解开汽轮机、发电机、励磁机联轴器和拆下内外端盖后进行的，当吊完轴瓦盖和上轴瓦时，用天车稍稍吊起转子，然后在转子下方垫上横钢梁或在定转子气隙塞入弧形垫块，使转子轴颈上升1毫米左右，再使用紫铜棒或铅锤敲打下轴瓦，並配以撬棍撬动，慢慢将励侧下轴瓦移至轴颈上方，然后用天车将下轴瓦吊走。取汽侧下轴瓦时，可使用天车大勾，将转子吊起一毫米左右，然后在定转子气隙中塞入弧形垫块，可使用铅锤和撬棍把下轴瓦翻至轴颈上方，再使用天车小勾把下轴瓦吊走。QFS—125—2型汽轮发电机（以下简称国产125机）和汽轮机采用波形联轴器连接。发电机转子轴端插入波形联轴器内。所以在拆汽侧下轴瓦吊动发电机转子前，可在发电机转子上，安装一块百分表，来控制转子起吊高度，以避免损坏汽轮机部件。

近年来国产和进口氢冷（包括水氢冷电机）电机采用端盖轴承结构。其轴承直接安装在外端盖上，这不但省掉轴瓦座，而且缩短了转子长度（主要可改变临界转速）对于这种结构的轴承需要拆下密封瓦和上端盖，而后再取下轴瓦。

目前氢冷发电机使用较多的是盘式密封瓦和双流环式密封瓦，两种密封瓦的密封原理和具体结构不同，所以拆装时要严格按着检修工艺进行工作，要严防损坏密封瓦面，转轴和推力盘等处的密封面。

轴瓦座是固定轴瓦用的，通常用铸铁铸成。大型气轮发电机的轴瓦座均有十来吨重，所以对它的拆装应该小心谨慎。励侧轴瓦座底面和台板间垫有绝缘板，一般使用环氧酚醛玻璃布板材料的绝缘垫，其厚度是根据转子找中心要求确定的。其地脚螺钉外套有绝缘筒，螺帽下垫有绝缘垫如图2—2—1所示。同时轴瓦座定位肖也有绝缘层。从而保证轴瓦座和台板具有一定绝缘水平。采用端盖轴承的发电机，其绝缘垫放在轴瓦座和轴承之间。目的也是为了切断轴电流通路，避免轴颈和轴瓦遭受电腐蚀。所以当转子吊起后，应测量轴瓦座绝缘。使用500伏表测量绝缘电阻其值应不低于0.5兆欧。如果绝缘电阻低于要求数值，要查明原因，在检修过程消除之。吊轴瓦座前应将地脚螺钉和定位肖取下，然后用千斤顶，刚性横梁或在定转子气隙塞入弧形垫块将转子顶起，再用天车大勾以四吊点方式把轴瓦座吊走，为使轴瓦座水平移出，可在轴瓦座外侧两吊点上各挂一个5吨倒链，用以调整瓦座水平位置。有的电厂还使用这样的方法，当转子被顶起后，取出轴瓦，吊起轴瓦座，一般吊起10—15毫米即可满足要求，然后，在轴瓦座下插入两条涂有黄油的8×50或10×60毫米的扁铁，以手搬葫芦或倒链将其拉出。通常，选用两个1.5—2.0吨手搬葫芦即可完成这项工作。



1. 绝缘垫 2. 绝缘管 3. 轴承座 4. 绝缘垫 5. 薄铁片

图 2—2—1 轴承绝缘

2—2—2 冷却系统设备和励磁机的拆装

氢冷发电机的氢气冷却器的进出水管均布置在汽侧，这些进出水管影响发电机外盖的拆装，同时考虑检修冷却器的方便，所以拆发电机外端盖前先拆下冷却器进出水管。在拆进出水管前，先在接口法兰处做好标记，以便对号复位。拆开的法兰口和水箱口均用铁皮封死。

为了抽出氢气冷却器，需要予先将冷却器与机壁的连接件和密封垫取下，立式冷却器用天车直接吊出。卧式冷却器均从励侧抽出，用1—1.5吨倒链或手搬葫芦系住冷却器励侧水箱外盖吊环将其徐徐拉出，当冷却器拉出一米左右时，用天车将冷却器吊至水平，在倒链，手搬葫芦和天车密切配合下，逐渐把冷却器移出。当冷却器重心移出机壁后，上好冷却器托板，用天车将冷却器吊出。使用托板可以防止冷却器变形和避免造成机械损伤。托板大都使用较大截面的角钢制成，放置在冷却器两个下边角处，连同冷却器一块吊出。

水水空冷却器方式的发电机的冷却器，均装在机腹下，其拆装方法视现场条件而定。水冷电机转子进水支座需在吊励磁机前拆除，拆前应测量进水支座和进水管对地绝缘，500伏摇表其绝缘电阻应在0.5兆欧以上。出水装置在抽转子前拆掉。拆开的进出水管管口要用铁皮封堵，以防落入杂物。

水冷转子线圈的冷却水是通过励磁机转子中心孔引入的。由于通水和密封的需要，在发电机励磁机联轴器内嵌装一个铜套筒，如图2—2—2所示。其套筒和发电机、励磁机中心孔的装配间隙仅有0.2~0.3毫米。所以当吊励磁机时，要恰当地掌握励磁机起吊高度，假如起吊高度过大，不但有可能引起黄铜套筒变形，而且很难将励磁机吊走；若起高度太小，因为励磁机离不开台板而无法吊离。为此在励磁机一侧吊环处各挂一支倒链，通过调整倒链使联轴器侧翘起，而台进水侧吊起3—5毫米，然后缓慢向外移动天车，同时使用两支撬棍从左右两侧插入台板底部，配合天车向外轻轻撬动。这样便可以顺利地吊走励磁机，如果不能吊移时，不要急躁，更不准硬性拉出，此时需要详细查找不能吊动的原因。通常只要适当调整起吊高度，保持天车吊点在转子轴线上方，即可顺利吊出。