

水轮发电机组集电环温度过高原因分析及技改措施

向春见 顾 轩 李友安

(四川圣达水电开发有限公司 四川 乐山 614900)

摘 要:针对大渡河沙湾电站水轮发电机组集电环及碳刷温度过高的具体原因展开分析,提出技改方案,对改善集电环的运行环境、保障机组的安全运行具有重要意义。

关键词:水轮发电机;集电环;碳刷;发热;改进

Abstract: The specific reasons on overheating of collecting rings and carbon brush for water-turbine generator set of Shawan Station in Dadu River are analyzed, and the technical transformation measures are proposed, which plays an important role in improving the operating environment of collecting ring and ensuring the safe operation of water-turbine generator set.

Key words: water turbo-generator; collecting ring; carbon brush; heating; modification

中图分类号:TM307 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2012)01-0089-03

0 引 言

大渡河沙湾水电站水轮发电机组是东方电机有限公司生产的立轴半伞型结构的轴流转桨式机组,混凝土蜗壳,总装机容量为 4×120 MW。机组定子额定电压为10.75 kV,定子额定电流为5 027 A,励磁额定电压为400 V,励磁额定电流为1 385 A。集电环正、负极各18个横截面尺寸为25 mm \times 32 mm的摩根NCC634碳刷。运行中经常出现集电环过热、碳刷打火等现象,1号发电机组曾出现过集电环正负极短路烧毁集电环和碳刷的事故。因此,为了保障供电的可靠性、安全性对集电环进行技改势在必行。

1 集电环碳刷过热的原因分析

1.1 碳刷的发热量计算

碳刷的发热量由4部分组成:碳刷自身电阻发热 Q_1 、碳刷接触压降发热 Q_2 、磨擦发热 Q_3 、刷辫与碳刷接触电阻和散流电阻发热 Q_4 。

碳刷自身电阻发热: $Q_1 = I_2 R$ (I 为流过碳刷的电流, R 为碳刷电阻)

碳刷接触压降发热: $Q_2 = I \Delta U$ (ΔU 为接触压降)

磨擦发热: $Q_3 = F v$ (F 为碳刷压紧力, v 为碳刷与集电环的相对运动速度)

接触电阻和散流电阻发热: $Q_4 = I_2 r$ (I 为流过碳刷的电流, r 为接触电阻和散流电阻等效值)

碳刷总体发热量为: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$

1.2 集电环的发热量计算

集电环的发热由3部分组成:集电环自身电阻发热 Q_{11} 、碳刷接触压降发热 Q_{22} 、碳刷热传导热量 Q_{33} 。

集电环的总体发热量为: $Q' = Q_{11} + Q_{22} + Q_{33}$

在集电环发热总量中,集电环自身电阻发热 Q_{11} 所占比例甚小,可以忽略;所以集电环的发热由碳刷的发热量决定。随着碳刷温度的整体变化,集电环温度随之将有不同程度的变化。

1.3 集电环碳刷过热的原因

1.3.1 集电环室通风不良

沙湾水电站水轮发电机组集电环室闭塞,风道不畅。集电环室在 $-X$ 方向开设了一个60 cm \times 80 cm的检修进入门,5个60 cm \times 22 cm的观察窗平均分布在四周。由于观察窗面积太小,且窗门皆在关闭状态,没有风扇等辅助散热设备,室内外空气流道狭小,空气流通不畅,集电环室内温度较高,严重影响集电环、碳刷散热。

1.3.2 接触电阻过大或分布不均产生的发热

集电环和碳刷是通过相互滑动接触导通励磁电流的,每个集电环上分布着18只碳刷,由于接触电阻的不同,电流分配的差异,会导致发热不均匀,其原因有:①碳刷与集电环表面接触电阻、碳刷与刷辫接触电阻、刷辫与刷架引线接触电阻过大,集电环与转子

引线接触电阻过大。由于机组的振动,集电环与转子的引线固定螺栓,刷握固定螺栓容易松动,接触电阻变大。②碳刷压力不均或不符合要求,弹簧由于过热变软、老化失去弹性等原因。集电环环面不同心,也会造成碳刷压力不均。③个别碳刷材质不良、导电性能差。④集电环及刷架表面附着有大量的碳粉。⑤油雾的影响。油雾对因碳刷磨损而产生的碳粉的吸附作用较大,容易产生油性碳粉污垢。有实验表明,在松散干燥的状态下,石墨碳粉的绝缘电阻可达到100 MΩ以上,但是在油雾作用下绝缘电阻迅速减小为零。

1.3.3 机械及摩擦等原因造成的过热

沙湾电站机组由于碳刷经常打火,进行了一些技改,主要是将正、负极碳刷数量增加一倍,即单极碳刷个数为36个。据东方电气集团的技术规范得知,沙湾电站选用碳刷的额定电流密度为10 A/cm²,碳刷的电流密度为

$$j = 1\ 385\text{ A} / (18 \times 25 \times 32) = 0.096\ 18\ \text{ A/mm}^2 = 9.618\ \text{ A/cm}^2$$

如果将碳刷数量增加一倍,则碳刷的实际电流密度减小为额定电流密度的一半,这将导致氧化膜无法形成,碳刷与集电环间是机械摩擦,会表现出碳刷磨损大、温度高的现象。技改后的运行情况证明,此种技改并没有解决碳刷温度高的问题,反而增加了碳刷和集电环的摩擦。

1.3.4 氧化膜无法形成

正常情况下,碳刷在集电环上运行时,在其接触面上形成一层均匀、适度、稳定的氧化膜,因为这层氧化膜的存在,改变了碳刷与集电环的接触特性,减少了摩擦,降低磨损,延长使用寿命。影响氧化膜形成的原因:①温度过高。碳刷的氧化膜一般在70℃左右较易形成,沙湾电站个别碳刷温度高达120℃以上,氧化膜不易形成,无法起到润滑作用,碳刷磨损将加剧,导致温度继续升高,形成恶性循环。②冷却空气中有污染性杂质。由于碳刷摩擦大,碳粉多,且没有碳粉收集装置,大量的碳粉附着在集电环表面,会影响氧化膜的形成。③空气湿度太低或含氧量太低。碳刷表面氧化膜的形成需要空气中有一定的水分含量,即空气湿度不能太低,也不能太高。氧化膜的形成主要与空气中的氧气发生氧化作用而产生,当含氧量过低时也不利于氧化膜的形成。

2 改进方案

通过对沙湾电站水轮发电机组集电环、碳刷发热原因的分析,根据现有的不足,提出如下整改方案。

2.1 集电环的改造

集电环的改造包括:①加宽集电环宽度。现有集电环宽度为40 mm,将集电环宽度增加为80 mm。增大集电环的宽度可以提高集电环的散热性能,且有利于碳刷和刷握安装方式的改造。②改集电环环面为螺旋沟槽环面。现有集电环环面均为平面结构,容易导致碳刷表面形成微小的气膜,不利于碳刷和集电环环面的充分接触。集电环环面采用螺旋沟槽环面,增加了集电环环面和碳刷之间的透气性,有利于碳刷与集电环环面的充分接触。这种结构已经在三峡机组和葛洲坝增容机组上得到成功应用。③增加上下集电环的间距。现有集电环间距为55 mm,将集电环间距增加到100 mm。增加集电环间距的主要目的在于防止机组突然抬机和机组振动导致上下集电环之间短路,减小集电环环面烧蚀的概率。

2.2 合理配置碳刷数量

由于沙湾电站机组励磁电流长期运行在1 000 A左右,远小于额定励磁电流1 385 A,碳刷密度 $j = 1\ 000 / (18 \times 25 \times 32) = 6.94\ \text{ A/cm}^2$,比正常值偏小,可能会影响氧化膜的形成,建议正负极各拔掉5个碳刷(由18支变为13支),此时碳刷密度 $j = 1\ 000 / (13 \times 25 \times 32) = 9.615\ \text{ A/cm}^2$,接近额定电流密度10 A/cm²。

2.3 减少发热源

集电环室除了集电环、碳刷会产生大量热量外,集电环室内还布置了两台吸排油雾泵,吸排油雾泵长期运行时,泵体温度可达60~70℃,有时甚至高达80℃,提高了集电环室内的温度,增加了散热难度。可将吸排油雾泵电机布置在集电环室外,减少室内的发热量。

2.4 改善通风条件

在集电环室四周增设通风窗口。沙湾电站机组在集电环室的-X方向布置有一个宽60 cm、高80 cm的检修进入门,集电环室四周平均分布有五个宽60 cm、高22 cm的观察窗口。可将5个观察窗口的高度都扩展到60 cm,同时可考虑安装风扇辅助散热,这将很好地改善集电环室内外的通风条件,提高

散热能力。

2.5 安装碳粉收集系统

有实验表明碳粉在油雾的影响下,绝缘电阻可以由100 MΩ迅速降低到零。因此油性碳粉污垢是造成集电环室内各绝缘件绝缘性能下降的主要原因之一,所以有必要安装碳粉收集系统,及时带走碳粉,使之与油雾隔离,提高集电环以及碳刷之间的绝缘。

2.6 安装红外线测温系统

在集电环室内安装红外线测温系统,将信号接入监控系统,运行人员可随时监测机组集电环及每个碳刷温度的变化情况,能及时准确地找出温度异常的碳刷,消除缺陷。

3 沙湾电站集电环技改项目及结果分析

3.1 技改项目

根据沙湾水电站碳刷温度过高的原因,在年度检修过程中对集电环及碳刷进行了技改:①扩大集电环室通风窗口尺寸,通风窗口高度由原来的22 cm增加到60 cm,宽度不变;②集电环宽度由原来的4 cm增加到6 cm;③集电环返厂重新校圆打磨,表面更光滑;④使用质量更好的碳刷。

3.2 技改效果

(上接第60页)

[24] 周永灿,李扬. 基于层次分析法的可中断负荷模型参与备用市场的研究[J]. 电力需求侧管理,2010,13(1): 17-20.

[25] 常向伟,张有兵,曹一家,等. 计及风险因素的事故备用容量购买决策模型研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(23): 82-86.

[26] 李海英,李渝曾,张少华. 具有分布式发电和可中断负荷选择的配电公司能量获取模型[J]. 中国电机工程学报,2008,28(10): 88-93.

[27] 潘雄,罗春雷,徐国禹. 双侧开放市场中能量与备用容量的联合优化[J]. 电力系统自动化,2005,29(5): 10-15.

[28] 刘国春,张少华,王晔. 考虑用户可靠性的可中断负荷管理[J]. 上海大学学报:自然科学版,2009,15(1): 81-86.

[29] J. Bai, H. B. Gooi, L. M. Xia, G. Strbac. A Probabilistic Reserve Market Incorporating Interruptible Load[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(3): 1079-1087.

[30] Gedra Thomas W, Varaiya Pravin P. Markets and Pricing for Interruptible Electric Power[J]. IEEE Trans on Power Sys-

技改后经过长期运行,集电环和碳刷的温度较技改前明显降低,见表1。

4 结 语

发电机励磁碳刷及集电环发热现象运行中时有发生,严重威胁发电机的安全运行。因此,对集电环和碳刷的监视、维护并及时处理其发生的故障和损伤,改善集电环运行环境,是保证发电机长期稳定运行的重要工作之一。所提出的改造方案中的集电环部分,在葛洲坝125 MW机组已有相似的改造应用,效果明显,具有一定的借鉴作用。

表1 技改前后温度对比 单位:℃

		1 F	2 F	3 F	4 F
技改前	集电环	98	105	110	100
	碳刷	100	108	112	105
技改后	集电环	68	72	75	70
	碳刷	70	75	78	73

参考文献

[1] 国家技术监督局. 电炭材料及产品专用名词术语[M]. 北京: 国家技术监督局出版, 1997.

[2] 张广溢, 郭前岗. 电机学[M]. 重庆: 重庆大学出版社出版, 2002. (收稿日期:2011-07-26)

[31] Majumdar S, Chattopadhyay D, Parikh Jyoti. Interruptible Load Management Using Optimal Power Flow Analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(2): 715-720.

[32] Tuan Anh Le, Bhattacharya Kankar. Competitive Framework for Procurement of Interruptible Load Services[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 889-897.

[33] 陈建军, 杨娜. 基于用户意愿的可中断负荷合同模型研究[J]. 现代电力, 2007, 24(6): 85-89.

[34] 罗运虎, 薛禹胜, Zhangyang DONG, 等. 发电容量充裕性的混合优化[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(12): 30-35.

[35] 贾德香, 程浩忠, 严健勇, 等. 基于博弈论的发电公司检修决策[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1): 27-32.

[36] 刘文许, 林礼清, 温步瀛. 可中断负荷参与系统频率调节的研究[J]. 福建电力与电工, 2008, 28(3): 17-20, 23.

[37] 都亮, 刘俊勇, 田立峰, 等. 电力市场环境下的秒级可中断负荷研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16): 90-95.

(收稿日期:2011-11-30)