

吉牛水电站水轮发电机碳刷、集电环的运行隐患分析与治理

李 政, 李 巍, 卿 启 维

(四川革什扎水电开发有限责任公司, 四川 丹巴 626302)

摘 要:冲击式大型发电机励磁电流大, 集电环直径大, 机组转速较高, 圆周线速度高, 机组摆渡、震动较其他机型相对较大, 这对发电机集电环和碳刷提出了较高的要求。本文主要对吉牛水电站 2 号机组集电环、导电环、碳刷、刷握的结构形式、运行异常状况进行了物理分析, 在机组最大运行方式下对碳刷励磁电流、集电环电流进行计算, 并依据分析结果对碳刷、集电环进行改造, 改造后机组碳刷、集电环的运行效果良好, 原有的设备隐患消除。

关键词:水轮发电机; 碳刷; 集电环; 隐患分析

中图分类号: TM312; TQ175.71+4; TM922.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2020)03-0133-04

Potential Operation Hazards Analysis and Treatment of Carbon Brush and Collector Ring of Hydro-generator in Jiniu Hydropower Station

LI Zheng, LI Wei, QING Qiwei

(Sichuan Geshiza Hydropower Development Co., LTD, Danba, Sichuan, 626302)

Abstract: Large impulse generator has large excitation current, large collector ring diameter, high rotate speed, high peripheral speed, and relatively large unit swing and vibration compared with other models, which puts forward higher requirements for collector ring and carbon brush of generator. In this paper, the structure and abnormal operation of the collector ring, conducting ring, carbon brush and brush holder of 2# generator unit of Jiniu Hydropower Station are analyzed. The excitation current and collector ring current of the carbon brush are calculated under the maximum operation mode of the generator, and the carbon brush and collector ring are modified according to the analysis results. The operation effect of the carbon brush and collector ring is good after the improvement, the potential hazards of the original equipment has been eliminated.

Key words: hydro-generator; carbon brush; collector ring; potential hazards analysis

1 设备概况

吉牛水电站安装有两台由哈尔滨电机厂生产的 120 MW 冲击式水轮发电机组, 额定转速 300 r/min, 其励磁系统是广州擎天 EXC9000 型静止整流柜励磁系统。额定励磁电压 227 V, 额定励磁电流 1 479 A。发电机集电环采用了耐磨性好的合金锻钢制造, 表面无螺旋沟, 集电环直径是 1 030 mm, 其圆周速度为 16.17 m/s, 截面尺寸为 75 mm×40 mm。发电机碳刷共 60 块, 正负极各 30 块, 采用压力为 180 cN/cm² 弹簧提供所需压力。使用 D172 型碳刷, 规格是 25 mm×32 mm

×60 mm。碳刷及集电环的冷却靠自然风冷却。

2 发电机碳刷、集电环的运行隐患分析

2.1 存在的问题

吉牛水电站两台机组均在 2014 年 1 月投产, 自投产以来发电机碳刷运行中存在的问题有:

(1) 碳刷发热严重, 尤其在夏天情况更甚, 环境温度升高使碳刷及集电环温度更高, 超过 120 °C, 而 D172 型碳刷允许运行温度为 120 °C^[1], 运行中为降低环境温度, 临时增添鼓风机加强通风冷却。

(2) 碳刷电流分配不均。经多次现场检测电流最大值达 200 A, 最小值仅为 10 A; 碳刷接触电阻不均, 在集电环高速运转中, 造成碳刷与集电环

收稿日期: 2020-02-06

接触处打火,经调整后,短时碳刷打火现象消除;约4h后会重复出现电流不均,温度升高物理现象,长期运行导致发电机集电环磨损严重。

(3)集电环摆度过大,集电环偏心,刷握固定不正,造成碳刷磨损过甚,碳刷磨损出现斜角。

(4)碳刷在刷握中过紧,适应不灵活,运行中刷握和压簧有损坏和变形现象。

(5)集电环表面因运行工况恶化。集电环表面磨损不均匀,产生凹凸不平的棱,出现整排碳刷跳动现象。

2.2 运行情况分析

(1)机组额定转速 300 r/min,其圆周速度为 16.17 m/s,易在碳刷与集电环之间产生气垫,造成碳刷接触不良,加之个别碳刷安装或自身质量问题与集电环接触不好,会加重碳刷与集电环打火现象,电火花会灼伤集电环,造成集电环表面不光滑。反之,不光滑的集电环又加速碳刷的磨损和发热,而发热的碳刷更加容易与集电环之间发生打火现象,如此恶性循环使集电环表面和碳刷磨损越发严重,碳刷温度越来越高,高温导致碳刷脆化,以及长期未经打扫的碳粉会导致各碳刷间的参数差异性越来越严重,导致负载严重失衡。

(2)碳刷电流分布不均,发热差异大,电流大、温度高的碳刷长时间运行后,造成碳刷与集电环

接触面的氧化膜损坏、刷辫过热,引起碳刷与集电环接触电阻增大。同时,压簧经高温后压力降低,碳刷接触电阻增加,最后导致碳刷电流减小,其结果又导致其它接触好的碳刷过流,进一步造成碳刷运行工况恶化。

(3)2017年7月31日,吉牛水电站2F机组发生集电环烧毁事故,导致事故停机。后经现场监测2F机组的集电环摆度为0.7 mm,1F机组的集电环摆度为0.5 mm。经分析认为:集电环的摆度过大导致碳刷与集电环之间的压力随摆动的周期增大或减小,更为严重的是,碳刷瞬间跳离集电环从而使碳刷与集电环之间产生火花,火花使接触点产生瞬间高温,严重时,在接触点造成集电环环面的灼伤。长时间运行灼伤点周围出现凸起,这种凸起再次导致集电环和碳刷接触面之间的尖端放电,从而再次引起火花,再次灼伤环面,如此往复导致环面蚀的恶性循环,严重时出现环火,烧毁集电环,发电机被迫事故停机。

3 发电机碳刷、集电环的改造

3.1 改造措施

3.1.1 降低集电环摆度

对2F机组进行盘车,盘车数据如表1所示。经盘车处理后集电环的摆度值由原0.7 mm降到0.4 mm。

表1 2F机组盘车数据

测点		1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号
上导(丝)	+X	3	1	-1	1	3	1	-1	0
	+Y	2	0	-2	0	2	1	-2	0
集电环(丝)	+X	4	1	1	-1	4	3	1	0
	+Y	3	0	3	0	4	2	1	0
下导(丝)	+X	-4	-8	-12	-12	-8	-7	0	-2
	+Y	4	0	-4	-4	1	7	10	8
水导(丝)	+X	-2	-6	-11	-16	-18	-15	-10	-4
	+Y	1	-2	-7	-11	-12	-8	2	3

3.1.2 增加集电环的导电截面积

集电环原截面尺寸为75 mm×40 mm,改为85 mm×40 mm,以降低集电环电密。集电环外圆周表面呈螺旋状沟槽结构,有利于集电环通风散热,并防止碳刷与集电环之间产生气垫效应^[2],增强碳刷与集电环的可靠接触,降低电刷与集电环的接触电阻。

3.1.3 增加绝缘环 防止放电

在上集电环下部、下集电环上部增加绝缘环,以防止上下环间产生火花放电。上、下集电环支撑绝缘子距离加大,绝缘加厚,结构形式采用凹弧形便于维护擦拭。

3.1.4 碳刷选型及数量

碳刷选用NCC634型,尺寸25 mm×32 mm×100 mm,额定电流密度0.1 A/mm²,为天然石

墨炭刷,适合高转速机组且耐磨性能高,减少碳粉污垢。选用25个碳刷,使电流密度达 0.07 A/mm^2 接近额定电流密度,有利于建立氧化膜^[3]。原机30个碳刷,电流密度为 0.058 A/mm^2 偏低,磨损量偏大,所以减少碳刷数量。当机组长期进相运行时,使电刷的电密在 0.85 A/mm^2 左右。电刷电密计算公式如式(1)所示^[4]。

$$\alpha = \frac{I_f}{n(A - \lambda L)B} \quad (1)$$

式中 I_f 为励磁电流; n 为每极碳刷个数; A 为碳刷接触面长度; B 为碳刷接触面宽度; λ 为碳刷跨越的槽数; L 为集电环表面螺旋槽的宽度。

3.1.5 降低电密

导电环由半环改为整环,减少出现电流不均匀现象,加大导电环的尺寸,原机组导电环截面尺寸是 $16\text{ mm} \times 80\text{ mm}$,改为 $20\text{ mm} \times 100\text{ mm}$,降低导电环电密。

3.1.6 增加可靠性

采用带电可拆卸刷握,具有在带电运行状态下可方便更换的功能,且具有锁定电刷和指示电刷磨损情况的功能,增加机组运行可靠性。

3.2 改造结果

革什扎公司在2018年3月,2019年3月大修期间分别对2F机组、1F机组进行了集电环及刷架的整体改造。改造后运行效果较好,运行中存在的问题全部解决。现对2F机组改造及改造后的运行情况进行分析。

改造后集电环的工作环境得到改善,油雾现象消除,环境相对干燥,集电环的摆度值由改造前的 0.7 mm 降到 0.4 mm ,略高于标准^[5]要求的 0.3 mm ,碳刷与集电环之间无火花产生。丰水期带 120 MW ,机组进相运行励磁电流小于 $1\ 100\text{ A}$ 工况下和励磁电流大于 $1\ 100\text{ A}$ 工况下,碳刷温度在 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 附近波动,集电环温度在 $72\text{ }^\circ\text{C}$ 附近波动;枯水期带 70 MW 有功滞相运行励磁电流约 900 A 工况下,碳刷温度在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 附近波动,集电环温度在 $66\text{ }^\circ\text{C}$ 附近波动,碳刷温度受运行方式和负荷大小影响较小。

4 安装与维护

碳刷在安装之前不能有明显卡滞现象,如有需要进行打磨,打磨过程中严禁使用金相砂纸,以防止金刚砂嵌入碳刷中。安装时确保刷握与集电

环表面的间隙为 $2\sim 3\text{ mm}$,各碳刷与集电环表面的间隙尽量一致,可以使用工具垫块控制碳刷与集电环之间的距离。

碳刷磨损余量为原长度 $1/3$ 时进行更换,也可根据机组实际运行情况做适当调整,如机组振动、摆度大,造成碳刷与刷握之间的磨损比较严重,两者之间的间隙变大,碳刷摇摆度大,与集电环接触不好易发生打火现象,那么可以尽早更换。每次更换数量不能大于总数的 $1/10$,且碳刷新旧牌号须一致。待新换碳刷经过一段时间磨合,测量通过的电流与其他未更换的电刷电流差异不大之后,再更换其他碳刷。如果在大修时一次更换的碳刷较多,应当在投运冲转时,为碳刷表面形成氧化膜留够充足的时间。更换电刷之前,需对新电刷端面进行打磨,使电刷端面形状与集电环外圆形状一致,保证碳刷与集电环有不小于 75% 碳块截面积的接触面。

及时消除碳刷打火现象。零星打火影响集电环环面的粗糙度,因此,发现集电环碳刷打火应及时处理,尽量减少集电环环面受到电火花腐蚀。

定期测量碳刷、刷辫、集电环的温度,对温度较高的碳刷及时查找原因并处理;使用钳形电流表测量单只碳刷的流通电流,及时调整和更换电流过大或过小的碳刷,使得每个碳刷的电流分担差别不要过大;定期清扫,不要使碳粉堆积太多。

5 结语

吉牛水电站水能发电机组运行中碳刷、集电环温度过高,碳刷打火,集电环灼伤产生凹凸不平的棱,粉尘、油污较重,碳刷、集电环运行温度较高,运行工况较差,出现整排碳刷跳动等异常现象。笔者对集电环结构、布局方式、集电环的导电截面积进行了科学剖析;依据机组最大运行方式下的励磁电流,对机组碳刷电流密度进行科学计算,并按计算结果对碳刷进行了重新选型;依据机组震动、摆渡大小选择合理的刷握及安装间距,保证运行中每个碳刷电流的均衡。通过多次现场监测、电气物理量的分析计算,对吉牛1F、2F机组集电环、导电环、发电机碳刷、刷握进行了改造,改造后机组碳刷、集电环的运行效果较好,改造前存在的异常现象彻底解决。

参考文献:

[1] 张文元,刘怀亮.发电机碳刷及滑环的运行维护[J].山西电

力,2002,106(4):60-62.

[2] 冯强.海里水力发电厂综合自动化技术改造[J].中国水轮及电化,2007,2(1):86-88.

[3] 舒正祥.125MW发电机滑环运行故障的分析与处理[J].大电机技术,2007,5(1):13-16.

[4] 王 阳,陈燕玲.导电滑环检测方法研究[J].宇航计测技术,2012,32(6):72-76.

[5] 水能发电机安装技术规范[S].GBT8564-2003.

作者简介:

李 政(1975-),男,重庆忠县人,工程师,硕士,四川革什扎水电开发有限责任公司从事电力生产管理工作;

李 巍(1972-),男,四川峨眉人,技师,四川革什扎水电开发有限责任公司从事电力生产工作;

卿启维(1988-),男,四川荣县人,工程师,硕士,四川革什扎水电开发有限责任公司从事电力生产管理工作.

(责任编辑:卓政昌、吴永红)



(上接第 115 页)

4 结 语

笔者结合数值模拟和模型试验对牙根二级水电站下游河段流场分布进行了研究,研究表明:尾水洞下游河道右岸水流较为平顺,主流方向明确,存在较大范围的 0.8~1.2 m/s 流速区,适宜布置进鱼口。分析不同工况下河道右岸流场分布,未发现各种工况下能同时满足 0.8~1.2 m/s 流速范围的区域。为保证集鱼效果,建议布置两个进鱼口。3 台以下机组运行时,在桩号 0+690 m~0+740 m 区域布置 1 号进鱼口过鱼;3 台及以上机组运行时,在桩号 0+550 m~0+590 m 区域布置 2 号进鱼口过鱼。笔者采用的进鱼口位置选择方法及 180°转弯线路布置可为其他类似工程提供参考。

参考文献:

[1] 南京水利科学研究院. 鱼道[M]. 北京:电力工业出版社,1982.

[2] 郑铁刚,孙双科,柳海涛等.基于生态学与水力学的水电站鱼道进口位置优化研究[J].水利水电技术,2018,49(2):105-111.

[3] 王兴勇,郭 军.国内外鱼道研究与建设[J].中国水利水电科学研究院学报,2005,3(3):222-228.

[4] 郑铁刚,孙双科,柳海涛,等.基于鱼类行为学与水力学的水电站鱼道进口位置选择[J].农业工程学报,2016,32(24):164-170.

[5] 汪亚超,陈小虎,张 婷,等.鱼道进口布置方案研究[J].水生态学杂志,2013,34(4):30-34.

[6] 段鸿峰,叶 茂,吕海艳,等.迂回型鱼道回旋上升段休息池[P].中国. ZL201610162694.8,2018-07-20.

作者简介:

潘 露(1984-),女,重庆人,讲师,硕士,从事水工水力学方面工作;

吕海艳(1979-),女,四川成都人,高级工程师,硕士,从事水工水力学方面工作;

刘艺平(1984-),女,四川成都人,讲师,硕士,从事水工水力学方面工作.

(责任编辑:吴永红、卓政昌)

(上接第 129 页)

[4] 国电大渡河流域水电开发有限公司龚嘴水力发电总厂.一种单活塞三腔气动复位式制动器及其实现方法:201110048266.X[P].2011-03-01.

[5] 国电大渡河流域水电开发有限公司龚嘴水力发电总厂.一种新型气动复位制动器:201720937876.8[P].2017-07-28.

[6] 全国大型发电机标准化技术委员会.水轮发电机用制动器:第 1 部分 水轮发电机用立式制动器:JB/T 3334.1-2013 [M].北京:机械工业出版社,2014.

作者简介:

张泽彬(1967-),男,四川仁寿人,工程师,从事水力发电厂生产经营管理工作;

邓林森(1982-),男,重庆梁平人,高级工程师,,从事水力发电厂生产、技术管理工作;

易旭涛(1983-),男,四川成都人,高级工程师,从事水力发电厂生产、技术管理工作;

曾 伟(1988-),男,四川成都人,工程师,从事水力发电厂运行、维护管理工作.

(责任编辑:吴永红、卓政昌)

(上接第 132 页)

[2] 郝临景.水锤撞击渗漏泵的原因分析和故障处理[J].科技资讯,2010,26:70.

[3] 泵控阀安装、运行、维护说明书 JP1G[R].西昌:某水力发电厂,2013.

[4] 李天智.溪洛渡水电站厂房排水系统设计及经验借鉴[J].水电站机电技术,2013,36(6):45-46.

[5] 陈江天.三峡左岸电站机组检修排水控制系统的设计[J].电气自动化,2016,1(38):84-86.

刘江红(1987-),男,四川自贡人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

杨自聪(1989-),男,四川宜宾人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

梅沈锋(1994-),男,湖北黄冈人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

梁成刚(1996-),男,甘肃天水人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

杨泽鹏(1995-),男,山西运城人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作.

(责任编辑:吴永红、卓政昌)

作者简介: