

略谈王二溪电站增容效益

龚鑫森

(重庆水轮机厂)

提 要

王二溪水电站位于资阳县沱江之畔,终年水量充足。该电站装机2台,已于1985年5月及10月分别投入运行。运行后发现,电站设计原规划装机3台(单机3200千瓦),后因多方原因,改装两台机。电站建成发电后,两台机同时满发,多余水量,均从拦河坝溢出。洪水期,由于下游水位涨高,水头相应降低,但此时流量大,机组可超出力多发;枯水期,沱江流量虽然减少,但下游水位下降较大,发电利用水头可能达到最大值(9米左右),机组亦能满发并超过额定出力。丰富的水力资源,若按机组额定值运行,不能充分利用其水能,使过剩水量白白流掉。有鉴于此,对该电站实行增容措施,使机组发挥最大效益,将会为国家、为四化作出较大贡献。

一、原机组运行情况

(一) 水轮机

水轮机为立轴转桨式,型号ZZ600-LH-330。当水头为7.4 m时,发电机容量可达3200 kW,电站运行中最大出力曾达到4000 kW,此时机组机械强度及刚度均无问题,运行亦比较平稳,水导轴承温度仅30℃左右。故此,原动机对增强出力无任何障碍。

(二) 发电机

1. 发电机技术数据

型号: SF3200—48/4250

额定励磁电压: 157 V

额定容量: 4000 kVA

额定励磁电流: 374 A

额定有功: 3200 kW

功率因数: 0.8

额定无功: 2400 kVar

定子允许最高温度: 120℃

额定电压: 6300 V

转子允许最高温度: 130℃

额定电流: 367 A

2. 运行情况

两台机安装时,均发现定、转子气隙值偏大。该机设计气隙值为5 mm,安装完后检测,1、2号机平均气隙值分别为5.7 mm和6 mm。机组运行后,两台机满载励磁电流均超过设计值。1、2号机分别比设计值大26 A与36 A左右。致使转子温升较高,超过了允许值。特别当电网电压较高时(6600 V),转子电流还会增大,对转子磁极线圈温升带来更恶劣的影响。

为了控制转子温度,运行时只好控制转子电流,使其温度不超过允许值,这样机组就不能按额定容量、额定功率因数运行,无功功率不足。

发电机出力不足,成了该电站增容的主要障碍。要达到增容的目的,必须针对电机存在的问题,寻找解决途径。

二、发电机增容措施

(一) 原机组通风散热结构

该机采用封闭循环双面进风的通风系统。转子上、下两端各装有48个弧形斗式风扇，并装有上、下挡风板。挡风板呈喇叭形，挡风板内径小于风扇内径，将风扇径向全部遮挡。转子支架为圆盘形，上、下圆盘之间用8块立筋连接并组焊成一体。

定子机座外壁设置有8个空气冷却器，均匀分布在机座外壁圆周上。机座上、下端部壁面均开有通向空冷器的长方形孔，每个空冷器装有5排绕簧式冷却管。机座为盒形筋结构，在铁心段均匀布置了16个盒形筋，空冷器则布置在两盒形筋之间(见图1)。

此种风路结构，使空冷器流出的冷风经上、下两条通路进入电机。一条是沿空冷器上方经上机架支腿间进入定、转子上端部及转子支架；另一条是沿空冷器下方经下机架支腿间进入定、转子下端部及转子支架。冷风冷却发电机定、转子之后，将热量带入空冷器，并在空冷器内进行热交换。上、下挡风板的作用在于引导冷风顺利地进入电机内部，避免涡流及冷热风混乱。

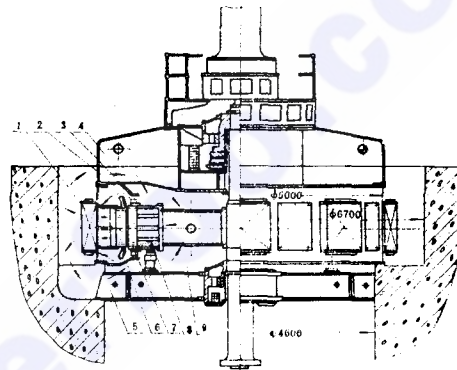


图1

注：1—空冷气，2—上风，扇3—上挡风板，
4—上机架，5—下机架，6—下挡风板，
7—下风扇，8—转子磁轭，9—转子支架。

(二) 对原机组风路系统进行的改进措施

原设计虽注意到了国内同种机型的运行性能，对电机通风与散热作了些改进，但经过实践考验，目的并未达到。

考虑到1、2号机运行后，转子发热严重，尤以2号机温升较高，解决转子散热问题是关键。但发电机容量由4000 kVA（有功3200 kW）增至4375 kVA（有功3500 kW），定子发热量增大。定子温升也不能忽视，它给机组增容带来了较大困难，但机组已投入运行，不可能对其结构进行大的改动。在受约束的条件下，共提出5项改进措施，并首先在2号机上实施。

1. 在转子磁极铁心与磁轭之间垫1~1.2mm铁皮，使发电机定、转子气隙符合原设计值；

2. 将原转子上、下端各48个风扇改为风扇外径处加焊挡板；

3. 将上、下挡风板更换。挡风板形状不变，但挡风板内径缩小；

4. 在转子支架圆盘上、下入风口处加装扇形导风板，并在支架内腔增加8块离心风叶；

5. 在定子机座外壁空冷器之间的盖板上开出风孔。

以上措施在于增大转子支架的扇风作用，增大机组总风量；同时将电机上、下端部的风量引入铁心段，改善铁心段的散热，从而降低发电机定、转子温度。改进后的风路系统见图2。

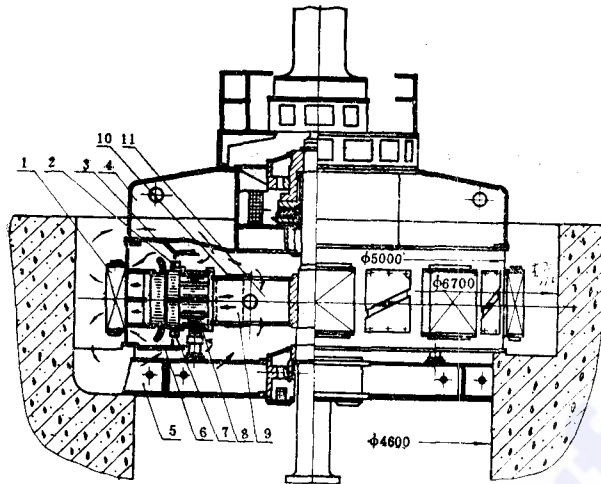


图2

注：1—空冷气，2—上风扇，3—上挡风板，4—上机架，
5—下机架，6—下挡风板，7—下风扇，8—转子磁
轭，9—离心风叶，10—扇形板，11—转子支架。

三、增容试验

为了使增容有可靠的基础，增容试验进行了如下测试及监视：

1. 利用发电机定子出厂前埋设的测温电阻，用单臂电桥测量其绕组温度及铁心温度；

2. 用电压、电流表法测量励磁绕组电阻，并推算转子温升；

3. 用半导体点温计测量定子铁心背部各铁心段温度；

4. 在定子线圈上、下端部背风面包扎测温电阻，测量绕组端部温度；

5. 在定子、下端部热风区

放置测量电阻，测量电机端部热风温度；

6. 用半导体点温计及水银温度计测量电机冷风（进风）及热风（出风）温度；

7. 在空冷器外侧加装导风筒，测量电机风量。

（一）增容前原结构电机风量及发热情况

1. 风量测试——由于发电机定、转子结构均呈轴对称分布，通过各个空冷器上的风量基本相同，故只在一个空冷器上测试，然后算出总风量。测试结果如下：

1.2	1	1.15	1.2
0.8	0.8	0.7	1
0.8	0.8	0.8	0.8
1.1	0.8	0.8	1

（表中数字的单位均为m/s）

平均风速=0.92m/s

一个空冷器出风面积=0.74m×0.75m=0.555m²

一个空冷器出风量=0.92×0.555=0.51m³/s

电机总风量=0.51×8=4.08m³/s

2. 温度测试——进行测试时机组运行工况为：

有功功率=3200kW

无功功率=2500kVar

额定电压=6300V

定子电流=370A

励磁电流=400A

额定容量=4060kVA

定子线圈温升℃： 53°， 60°， 57° } (A、B、C三相)

定子铁心温升℃： 47°， 54°， 44° }

转子温升℃:	81.9°
定子铁心背部温度℃:	57°, 60°, 61°, 61°, 61°, 61.5°, 62°, 63°, 64°, 65°, 66°, 67°, (从上到下共12段)
冷风温度℃:	26°
热风温度℃:	56.5°(铁心背部), 38°(上端部) 41°(下端部)

(二) 增容时测试情况

电机风路结构的5项改进措施中,除第5项暂未采用外,其余4项均已实施。

1. 风量测试

1.3	1	1.2	1.1
1.2	1	1	0.9
1.4	1	1	1
1.3	1	1	1.1

(表中数字的单位均为m/s)

平均风速=1.08m/s;

一个空冷器出风量=1.09×0.555=0.605m/s;

电机总风量=8×0.605=4.84m³/s。

2. 温度测试——测试时机组运行工况为:

额定容量: 4470kVA

有功功率=3528kW

无功功率: 2744kVar

额定电压=6400V

定子电流: 402A

励磁电流=410A

功率因数: 0.79

定子线圈温升℃: 65.7°, 58.9°, 65.5° } (A、B、C三相)

定子铁心温升℃: 53.4°, 52°, 55.9° }

转子温升℃: 82.5°

定子铁心背部温度℃: 58.5°, 60.5°, 61°, 61°, 60°, 59°, 59.5°, 62°, 63°, 63°, 64°, 66.5°

冷风温度℃: 24°

热风温度℃: 56.5°(铁心背部), 42°(上端部)

42°(下端部)

定子线圈上端部温度℃: 63°, 54°, 60° } (圆周均布三点)

定子线圈下端部温度℃: 64°, 60°, 66° }

(注: 由于电网电压昼夜变化大, 测试时很难碰上额定工况, 以上测试数据均在测试时所处工况下取得。)

四、增容前后对比

风量温度比较: (表1.2)

从以上对比数据可明显看出, 发电机风路系统作了改进后, 总风量增加了18.6%,

铁心段风量增加了 30.8%，这对发电机定、转子散热都带来好处，特别是铁风段风量增加较多，对转子冷却特别有利。故当发电

表1

	总风量(m ³ /s)	总风量比例	端部风量比例	铁心段风量比例
增容前	4.08	100%	100%	100%
增容后	4.84	118.6%	107.9%	130.8%
增加量	0.76	18.6%	7.9%	30.8%

机容量由 4060kVA 增加到 4470kVA 时，定子线圈平均温度的升高增加了 6.8℃，而转子温度只增加了 0.6℃。

表2

	容量(kVA)	定子线圈温升(平均)				铁心背部温度 最低 最高	转子温升
		温升(平均)	温升(最高)	最低	最高		
增容前	4060	56.6	60	57	67	81.9	
增容后	4470	63.4	65.7	58.5	66.5	82.5	

五、结 语

(一) 王二溪水电站发电机组由原设计 4000kVA 增容至 4470kVA，有功功率由 3200kW 增至 3528kW，通过一系列测试，定、转子温升均在允许范围内，并有一定的裕度。说明对该机增容是成功的。

(二) 对原机组通风系统改进后，总风量增大，铁心段风量增加更大，风量分配更加合理。转子冷却状况变好，克服了原机组散热不良的毛病，为增容创造了条件。

(三) 原机组设计风量为 8m³/s，实测只有 4.08m³/s，增加改进措施后，总风量也只达到 4.84m³/s。此现象说明该机风路系统及压头元件的设计有待进一步研究及改进。

(四) 王二溪水电站一台机增加容量 300 kW，两台机可增加 600 kW。若全年运行时数以 7200 小时(十个月)计，则两台机组可增发 432 万度电。一年将增加收入 21.6 万元(每度电按 0.05 元计)，其经济效益相当显著。

(五) 王二溪电站水能资源丰富，其潜能远远超过机组现有发电能力，为进一步提高机组出力提供了可靠保证。笔者认为，在增容的基础上，如对该机通风系统作进一步的改进，还可望增大容量，提高出力。