

ICS 27.100

F 20

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1988 — 2019

---

## 六氟化硫气体密度测定法 U 型管振荡法

Determination of density of sulphur hexafluoride oscillating U-tube method

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 方法概要	1
4 仪器与材料	1
5 准备工作	1
6 仪器标定	2
7 试验步骤	2
8 计算	3
9 报告结果	3
10 精密度	3
附录 A (资料性附录) 水的密度表	4
附录 B (资料性附录) 其他常用气体的密度表	6
附录 C (资料性附录) 空气的密度表	7
参考文献	9

## 前 言

本标准按照 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。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国电气化学标准化技术委员会（SAC/TC 322）归口。

本标准主要起草单位：国网福建省电力有限公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、西安热工研究院有限公司。

本标准主要起草人：连鸿松、郑东升、祁炯、朱洪斌、赖永华、龚尚昆、傅智为、刘旭、王娟、郭志斌、魏加强、徐霄筱、吴奇宝、余海泳、张晓琴、陈金祥、林一泓、陈敏维、刘慧鑫、阮莹、郭艳雪、施广宇、游骏标、张园园。

本标准为首次发布。

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）。

# 六氟化硫气体密度测定法 U 型管振荡法

## 1 范围

本标准规定了采用 U 型管振荡法测定六氟化硫气体密度的方法概要、仪器与材料、准备工作、仪器标定、试验步骤、计算、报告结果和精密度。

本标准适用于六氟化硫气体密度测定，其他气体或混合气体可参照执行。

## 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 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 8979 纯氮、高纯氮和超纯氮

## 3 方法概要

将气体样品通入精确控温的 U 型振荡管中，由于 U 型振荡管中气体质量的改变会导致管的振荡周期也改变，利用振荡周期与标定取得的 U 型振荡管常数计算出气体样品的密度。

## 4 仪器与材料

4.1 数字密度计：由 U 型振荡管、电子激发系统、频率计数器、温度控制单元和显示器等构成，密度分辨率为  $1 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$ ，控温精度为  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 。

4.2 连接管：硅胶、聚四氟乙烯或聚亚安酯管。

4.3 锥形烧瓶：150mL，磨口具塞。

4.4 浮子流量计（带调节阀）：100mL/min~1000mL/min。

4.5 湿度计：相对湿度的精度为  $\pm 1\%$ ，相对湿度的准确度为  $\pm 5\%$  或更高。

4.6 精密数字压力计：表压力为 0kPa~700kPa，精度为  $\pm 0.05\%$ ，分辨率为 0.01kPa。

4.7 精密大气压力计或内置大气压力传感器：绝对压力为 0kPa~130kPa，精度为  $\pm 0.05\%$ ，分辨率为 0.01kPa。

4.8 纯水：应符合 GB/T 6682 的二级或更高等级要求，使用前用具塞锥形烧瓶煮沸除去溶解的空气并冷却，用塞子塞住瓶口密封备用，不同温度下的水密度值参见附录 A。

4.9 高纯氮气：应符合 GB/T 8979 的要求，纯度不低于 99.999%，密度参见附录 B。

4.10 无水乙醇：分析纯。

4.11 丙酮：分析纯。

## 5 准备工作

5.1 测定环境相对湿度不应大于 85%，U 型振荡管表面不应出现凝露。

5.2 先用水清洗 U 型振荡管，再用无水乙醇或丙酮清洗，接着用干燥空气吹干（仪器可内置干燥管）。

5.3 设定 U 型振荡管温度至  $20.00^\circ\text{C}$ 。

5.4 日常核查：通入空气，若空气的密度读数与标准值之差超过  $1 \times 10^{-5} \text{g/cm}^3$ ，则用纯水继续核查，如仍然超差应查明原因，并重新清洗和干燥 U 型振荡管，空气密度参见附录 C。

## 6 仪器标定

- 6.1 标定 U 型振荡管至少需要两种标准物质，标准物质的密度应能溯源到国家标准或采用国际公认的数值。
- 6.2 将密度值低的第一种标准物质（常用高纯氮气）通入 U 型振荡管中，待它和 U 型振荡管达到设定温度并稳定后，记录振荡周期或密度读数以及 U 型振荡管的温度。
- 6.3 将密度值高的第二种标准物质（常用纯水）注入 U 型振荡管中，U 型振荡管内的水中应无气泡存在。待它和 U 型振荡管达到设定温度并稳定后，记录振荡周期或密度读数以及 U 型振荡管的温度。
- 6.4 利用检测到的高纯氮气和纯水的振荡周期值计算 U 型振荡管常数  $F$ ，计算公式见式 (1)。

$$F = \frac{\rho_w - \rho_N}{T_w^2 - T_N^2} \quad (1)$$

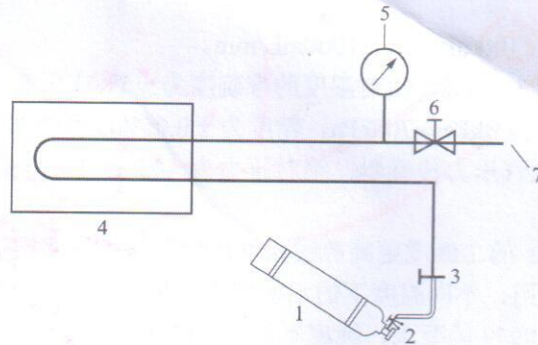
式中：

- $\rho_w$ ——测试温度下纯水的密度， $\text{g/cm}^3$ ；
- $\rho_N$ ——测试温度下高纯氮气的密度， $\text{g/cm}^3$ ；
- $T_w$ ——U 型振荡管内为纯水时检测到的振荡周期，s；
- $T_N$ ——U 型振荡管内为高纯氮气时检测到的振荡周期，s。

- 6.5 若仪器具有从常数  $F$  和样品测量的振荡周期  $T$  值自动计算密度的功能，则按照仪器制造厂的校正程序要求输入两种标准物质的密度值到仪器中，并先后通入两种标准物质进行标定和自动计算。
- 6.6 标定后，按 5.2 给出的步骤清洗和干燥 U 型振荡管。

## 7 试验步骤

7.1 将六氟化硫气瓶倒置，用连接管将浮子流量计出入气口两端分别与气瓶减压阀或电气设备的取样阀门、仪器进样口相连，仪器的出气口连接一段直径不大于 6mm 且长度不小于 2m 的管路引到下风口或六氟化硫尾气回收装置进气口。如需要进行带压测试，可按图 1 所示在仪器出气管路上 T 接一个精密数字压力计监测 U 型振荡管内部的测试气体绝对压力。



说明：

- 1——气瓶；
- 2——气瓶减压阀；
- 3——浮子流量计；
- 4——U 型振荡管密度计；
- 5——精密数字压力计；
- 6——阀门；
- 7——仪器出气口。

图 1 气体密度带压测试示意图

7.2 开启六氟化硫气瓶减压阀或设备取样阀门，调节气体流速约为 1000mL/min，用六氟化硫气体吹扫 U 型振荡管和测试管路 3min~5min 后，关闭浮子流量计调节阀。带压测试时应关闭图 1 中仪器出气管路的阀门，注意玻璃 U 型振荡管进样压力不应超过 1.0MPa。

7.3 启动仪器测试功能，待六氟化硫样品气和 U 型振荡管达到设定温度并稳定后，记录振荡周期或密度读数以及 U 型振荡管的温度、环境大气绝对压力值或 U 型振荡管内测试气体的绝对压力值。每次试验，从关闭浮子流量计调节阀开始至测试完毕所用的时间不宜超过 5min。

7.4 按 5.2 给出的步骤清洗和干燥 U 型振荡管。

## 8 计算

8.1 若仪器具有从常数  $F$  和样品测量的振荡周期  $T$  值自动计算密度的功能，当密度计显示的密度读数 15s 内波动不超过  $1 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$  时，则记录显示的密度值和 U 型振荡管的温度（精确至 0.01℃）。

8.2 若密度计显示的是振荡周期，则按式（2）计算样品的密度。

$$\rho_s = \rho_w + F \times (T_s^2 - T_w^2) \quad (2)$$

式中：

$\rho_s$  ——测试温度下样品的密度， $\text{g/cm}^3$ ；

$\rho_w$  ——测试温度下纯水的密度， $\text{g/cm}^3$ ；

$F$  ——U 型振荡管常数；

$T_s$  ——U 型振荡管内充满样品时检测到的振荡周期，s；

$T_w$  ——U 型振荡管内为纯水时检测到的振荡周期，s。

8.3 按式（3）将密度值换算为 20℃、101.325kPa 标准状态下的密度。

$$\rho_2 = \rho_1 \left( \frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \quad (3)$$

式中：

$\rho_2$  ——20℃、101.325kPa 标准状态下的密度， $\text{g/cm}^3$ ；

$\rho_1$  ——测试环境下的密度读数， $\text{g/cm}^3$ ；

$T_1$  ——U 型振荡管温度，K；

$P_2$  ——标准压力，为 101.325kPa；

$T_2$  ——标准温度，为 293.15K；

$P_1$  ——测试环境大气绝对压力值或 U 型振荡管内测试气体的绝对压力值，kPa。

## 9 报告结果

9.1 平行测试两次，取平行测试结果的平均值作为报告结果。

9.2 密度报告结果必须包含测试温度和单位、环境大气绝对压力。

9.3 密度报告结果需保留四位有效数字。

## 10 精密度

### 10.1 重复性

在 95% 的置信水平下，同一实验室同一操作者，同一仪器与材料，对同一试样的两个测定结果之差不应大于  $6 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$ 。

### 10.2 再现性

在 95% 的置信水平下，两个实验室对同一试样的两个测定结果之差不应大于  $1.6 \times 10^{-5} \text{g/cm}^3$ 。

附 录 A  
(资料性附录)  
水的密度表

不同温度水的密度见表 A.1。

表 A.1 水的密度表

单位:  $\text{kg/m}^3$ 

$t_{90}, ^\circ\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	990.840	999.846	999.853	999.859	999.865	999.871	999.877	999.883	999.888	999.893
1	999.898	999.904	999.908	999.913	999.917	999.921	999.925	999.929	999.933	999.937
2	999.940	999.943	999.946	999.949	999.952	999.954	999.956	999.959	999.961	999.962
3	999.964	999.966	999.967	999.968	999.969	999.970	999.971	999.971	999.972	999.972
4	999.972	999.972	999.972	999.971	999.971	999.970	999.969	999.968	999.967	999.965
5	999.964	999.962	999.960	999.958	999.956	999.954	999.951	999.949	999.946	999.943
6	999.940	999.937	999.934	999.930	999.926	999.923	999.919	999.915	999.910	999.906
7	999.901	999.897	999.892	999.887	999.882	999.877	999.871	999.866	999.860	999.854
8	999.848	999.842	999.836	999.829	999.823	999.816	999.809	999.802	999.795	999.788
9	999.781	999.773	999.765	999.758	999.750	999.742	999.734	999.725	999.717	999.708
10	999.699	999.691	999.682	999.672	999.663	999.654	999.644	999.634	999.625	999.615
11	999.605	999.595	999.584	999.574	999.563	999.553	999.542	999.531	999.520	999.508
12	999.497	999.486	999.474	999.462	999.450	999.439	999.426	999.414	999.402	999.389
13	999.377	999.364	999.351	999.338	999.325	999.312	999.299	999.285	999.271	999.258
14	999.244	999.230	999.216	999.202	999.187	999.173	999.158	999.144	999.129	999.114
15	999.099	999.084	999.069	999.053	999.038	999.022	999.006	998.991	998.975	998.959
16	998.943	998.926	998.910	998.893	998.876	998.860	998.843	998.826	998.809	998.792
17	998.774	998.757	998.739	998.722	998.704	998.686	998.668	998.650	998.632	998.613
18	998.595	998.576	998.557	998.539	998.520	998.501	998.482	998.463	998.443	998.424
19	998.404	998.385	998.365	998.345	998.325	998.305	998.285	998.265	998.244	998.224
20	998.203	998.182	998.162	998.141	998.120	998.099	998.077	998.056	998.035	998.013
21	997.991	997.970	997.948	997.926	997.904	997.882	997.859	997.837	997.815	997.792
22	997.769	997.747	997.724	997.701	997.678	997.655	997.631	997.608	997.584	997.561
23	997.537	997.513	997.490	997.466	997.442	997.417	997.393	997.369	997.344	997.320
24	997.295	997.270	997.246	997.221	997.195	997.170	997.145	997.120	997.094	997.069
25	997.043	997.018	996.992	996.966	996.940	996.914	996.888	996.861	996.835	996.809
26	996.782	996.755	996.729	996.702	996.675	996.648	996.621	996.594	996.566	996.539
27	996.511	996.484	996.456	996.428	996.401	996.373	996.344	996.316	996.288	996.260
28	996.231	996.203	996.174	996.146	996.117	996.088	996.059	996.030	996.001	995.972
29	995.943	995.913	995.884	995.854	995.825	995.795	995.765	995.735	995.705	995.675
30	995.645	995.615	995.584	995.554	995.523	995.493	995.462	995.431	995.401	995.370

表 A.1 (续)

$t_{90}, ^\circ\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
31	995.339	995.307	995.276	995.245	995.214	995.182	995.151	995.119	995.087	995.055
32	995.024	994.992	994.960	994.927	994.895	994.863	994.831	994.798	994.766	994.733
33	994.700	994.667	994.635	994.602	994.569	994.535	994.502	994.469	994.436	994.402
34	994.369	994.335	994.301	994.267	994.234	994.200	994.166	994.132	994.098	994.063
35	994.029	993.994	993.960	993.925	993.891	993.856	993.821	993.786	993.751	993.716
36	993.681	993.646	993.610	993.575	993.540	993.504	993.469	993.433	993.397	993.361
37	993.325	993.289	993.253	993.217	993.181	993.144	993.108	993.072	993.035	992.999
38	992.962	992.925	992.888	992.851	992.814	992.777	992.740	992.703	992.665	992.628
39	992.591	992.553	992.516	992.478	992.440	992.402	992.364	992.326	992.288	992.250
40	992.212	992.174	992.135	992.097	992.058	992.020	991.981	991.942	991.904	991.865

注 1: 水密度表引自英国石油学会 (LP) 《石油和相关产品分析和试验方法标准汇编》(1999) 附录 G。  
注 2:  $t_{90}$  是基于 1990 年的国际温标。



附 录 B  
(资料性附录)  
其他常用气体的密度表

其他常用气体的密度见表 B.1。

表 B.1 其他常用气体的密度表

气体种类	压力 kPa	温度 ℃	气体密度 kg/m <sup>3</sup>
氮气 (N <sub>2</sub> )	101.325	20	1.165
氢气 (H <sub>2</sub> )	101.325	20	0.0838
氦气 (He)	101.325	20	0.1663 (0.1648)
氧气 (O <sub>2</sub> )	101.325	20	1.331
氩气 (Ar)	101.325	20	1.662
丙烷 (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	101.325	20	1.865
六氟化硫 (SF <sub>6</sub> )	101.325	20	6.146
	100.000	20	6.064
	90.000	20	5.451
	80.000	20	4.840
	70.000	20	4.230
	60.000	20	3.621
	50.000	20	3.014

注：数据引自美国国家标准与技术研究院数据库资料：<https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>，氦气密度括号中的值来源于 GB/T 4844—2011。

附录 C  
(资料性附录)  
空气的密度表

环境空气密度(相对湿度为 60%, CO<sub>2</sub> 体积含量为 0.04%)见表 C.1。当相对湿度不是 60%时, 环境空气相对湿度修正的密度见表 C.2。

表 C.1 环境空气密度表(相对湿度为 60%, CO<sub>2</sub> 体积含量为 0.04%) 单位: kg/m<sup>3</sup>

空气压力 mbar	空气温度 ℃											
	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	26
900	1.121	1.113	1.104	1.096	1.088	1.084	1.080	1.072	1.064	1.055	1.047	1.039
910	1.133	1.125	1.117	1.108	1.100	1.096	1.092	1.084	1.075	1.067	1.059	1.051
920	1.146	1.137	1.129	1.120	1.112	1.108	1.104	1.096	1.087	1.079	1.071	1.063
930	1.158	1.150	1.141	1.133	1.124	1.120	1.116	1.107	1.099	1.091	1.083	1.074
940	1.171	1.162	1.154	1.145	1.136	1.132	1.128	1.119	1.111	1.103	1.094	1.086
950	1.183	1.175	1.166	1.157	1.149	1.144	1.140	1.131	1.123	1.115	1.106	1.098
960	1.196	1.187	1.178	1.169	1.161	1.156	1.152	1.143	1.135	1.126	1.118	1.109
970	1.208	1.199	1.190	1.182	1.173	1.168	1.164	1.155	1.147	1.138	1.130	1.121
980	1.221	1.212	1.203	1.194	1.185	1.181	1.176	1.167	1.159	1.150	1.141	1.133
990	1.233	1.224	1.215	1.206	1.197	1.193	1.188	1.179	1.171	1.162	1.153	1.144
1000	1.246	1.237	1.227	1.218	1.209	1.205	1.200	1.191	1.182	1.174	1.165	1.156
1010	1.258	1.249	1.240	1.231	1.221	1.217	1.212	1.203	1.194	1.185	1.176	1.168
1020	1.271	1.261	1.252	1.243	1.234	1.229	1.224	1.215	1.206	1.197	1.188	1.179
1030	1.283	1.274	1.264	1.255	1.246	1.241	1.236	1.227	1.218	1.209	1.200	1.191
1040	1.296	1.286	1.277	1.267	1.258	1.253	1.248	1.239	1.230	1.221	1.212	1.203
1050	1.308	1.299	1.289	1.279	1.270	1.265	1.261	1.251	1.242	1.233	1.223	1.214
1060	1.321	1.311	1.301	1.292	1.282	1.277	1.273	1.263	1.254	1.244	1.235	1.226

注 1: 空气密度表引自英国石油学会(LP)《石油和相关产品分析和试验方法标准汇编》(1999)附录 H。  
注 2: CO<sub>2</sub> 体积含量改变±0.01%, 空气密度改变±0.005%。  
注 3: 1mbar=100Pa。

表 C.2 当相对湿度不是 60%时, 环境空气对相对湿度修正的密度表 单位: kg/m<sup>3</sup>

相对湿度 %	空气温度 ℃					
	5	10	15	20	25	30
30	+0.001	+0.002	+0.002	+0.003	+0.004	+0.006
35	+0.001	+0.001	+0.002	+0.003	+0.004	+0.005
40	+0.001	+0.001	+0.002	+0.002	+0.003	+0.004
45	+0.001	+0.001	+0.001	+0.002	+0.002	+0.003

表 C.2 (续)

相对湿度 %	空气温度 °C					
	5	10	15	20	25	30
50	0	+0.001	+0.001	+0.001	+0.001	+0.002
55	0	0	0	+0.001	+0.001	+0.001
60	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	-0.001	-0.001	-0.001
70	0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002
75	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003
80	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.004
85	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
90	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005

参 考 文 献

- [1] GB/T 4844—2011 纯氮、高纯氮和超纯氮



中华人民共和国  
电力行业标准  
六氟化硫气体密度测定法 U型管振荡法  
DL/T 1988—2019

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)  
北京天泽润科贸有限公司印刷

\*

2019年11月第一版 2019年11月北京第一次印刷  
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 27千字  
印数 001—300册

\*

统一书号 155198·1664 定价 15.00元

版权专有 侵权必究  
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1664