

国家标准《水电解制氢系统能效限定值及能效等级》

编 制 说 明

一、背景

1. 氢气拥有广阔的应用市场

氢气在大气中的含量是微乎其微的，氢元素都是以化合态的形式存在于自然界中，如水、石油、天然气、煤等。氢气因其独特的性能得到了广泛地应用：化工上作原料气；冶金及有色金属冶炼中作还原气和保护气；电子工业用高纯氢作保护气；电力工业作发电机组冷却剂；航天工程上作火箭推进剂，总之，氢气的用途不胜枚举。工业上生产氢气的方法很多，但水电解法最为简单：流程简单、设备简单、操作简便、投资节省，产品氢的纯度最高，几乎不含杂质，生产中又无三废产生。因此，用户通常将水电解法作为制氢的首选方案，美中不足是用电量较大，因此编制本行业的能效标准显得尤为重要。

2. 水电解制氢方法是解决“富余”电能的最好出路

随着国民经济的快速发展，能源的需求量与日俱增，能源短缺已严重地制约了我国经济的可持续发展，为此，国家不得不花巨资从国外进口石油和天然气，以满足生产生活所需。近年来，随着生产的不断发展，用电量节节攀升，为此，水能、风能及太阳能等自然能源的开发也加大了力度，如今，除兴建大型水电站外，小水电更是星罗棋布，数不胜数；沿海及广袤的西北地区，建立了世界上最大规模的风力发电站；太阳能发电作为新兴产业正在掘起。然而由于种种原因，这些电能并不都能并网，怎么办？只能采取弃水弃风的下策，造成了每年高达数百亿千瓦时的巨大损失。即便是火电，由于昼夜负荷的不均衡性，也只能采取限电生产，廉价的谷电未能真正得到利用。为了给这些“富余”电能寻找出路，有关方千方百计想尽了办法。我们认为水电解制氢就是最好的出路，用这些电能来制成氢气，可彻底化解这一难题。昔日阿斯旺高霸水电站，附近就建了一个大型氮肥厂，用了上百台水电解槽生产氢气。近年来，丹麦国家电力公司在欧洲考察水电解制氢设备，用以解决国内富余的风电和谷电的出路，生产的氢气与一氧化碳反应合成甲醇作为燃料或化工原料。不难理解，用这些电能来生产氢气，应是最佳的选择，氢气可储存又可输送，是一种极为理想的能源产品。

3. “氢能”时代一旦到来，氢气需量必定无限

由于化石资源贮量有限，开挖一点少一点，目前贮量已经日见衰竭，寻找可再生的新能源已经提上了日程，氢气作为一种可再生的清洁的新能源已成各方共识，“氢能”课题已成当今研究热点，政府各部、科技机构及大型企业都给予了高度关注，宝马公司已于日前首家推出氢能样车，还有著名厂商宣布 2015 年即可批量生产氢燃料电池汽车。为此，在城市中建设加

氢站也必须紧随其后，日本计划 2015 年建成 100 座加氢站，美国早已建有数量可观的加氢站。氢能汽车采用燃料电池作动力，或采用燃氢发动机，但排放产物都是水，它是真正的绿色环保汽车。

今年，我国的 HCNG 技术已经开发成功，HCNG 是在压缩天然气中加入 20% 左右的氢气，可作为车用或家用燃气，掺入氢气后天然气品质显著提升，燃烧更加充分，尾气排放完全达标，而发动机照样可用。目前我国各大城市天然气汽车拥有量正在持续上升，HCNG 前景十分看好，因此，车用 HCNG 燃气国家标准正在制定中，估计仅车用 HCNG 需量就高达数百亿立方米，因此经济效益和社会效益十分可观。

由此可见，“氢能”时代真正来到之时，也是氢气需量无限之日。目前，在氢气生产中，水电解制氢因电耗而受到了限制。其它生产方法，不论是天然气裂解，烃类转化还是水煤气法，消耗的都是化石资源。作为能源用的氢气当然不能使用化石资源，只能来自水电解，取之于水，用后还是水，从水到水，这样才可周而复始无限循环。所以，氢气才是真正取之不尽，用之不竭的绿色能源。

二、任务来源

改革开放以来，我国的水电解生产技术得到了长足的发展，自 90 年代至今，水电解设备生产总量达 2000 台以上，氢气年产量达 15 万吨左右。我国已经成为世界上大型水电解设备的主要生产国，单台容量已达 600m³/h，世界上最大的单台容量 1000m³/h 的制氢设备正在设计中，不久的将来便可面世。

为了顺应当前的水电解制氢即将面临井喷式增长的大好形势，为贯彻国家节能减排的调控政策，2011 年 12 月，全国氢能标准化委员会将国家标准《水电解制氢系统能效限定值及能效等级》列入了编制计划，并提出由苏州竞立制氢设备有限公司作为此标准编制的牵头单位，并于 2012 年 8 月初成立了编制工作组，由苏州竞立制氢设备有限公司，中船重工第七一八研究所，天津大陆制氢设备有限公司共同组成起草小组，着手编制这一重要标准。

三、标准制定的依据与编制原则

1. 本标准按照 GB/T24489-2009《用能产品能效指标编制通则》的格式进行编写，包括目录章节及相关条文内容；

2. 本标准必须与已颁布的相关标准，尤其与 GB/T19774《水电解制氢系统技术要求》的有关内容相衔接，使标准的内容与之相统一；

3. 本标准尽量与国际上同类产品的先进能效指标相接轨，同时也充分考虑我国制氢设备的生产现状，制定出符合国情的能效标准，使标准具有科学性、先进性和可操作性，真正起到激励我国水电解行业技术进步，增强产品在国内、国际市场上的竞争力的作用；

4. 本标准的主要内容是国家能源政策在本行业内实施的技术依据，所以标准中的技术要求应充分反映出行业内部可实现公平竞争、良性循环这一宗旨。

四、本标准的适用范围、相关术语及标准

1. 适用范围

(1) 水电解制氢系统的组成

水电解制氢系统包括水电解槽和后处理工艺及辅助设备两部分。前者使用直流电，后者的碱液循环泵、补水泵及控制单元使用交流电。

(2) 标准的适用范围

水电解制氢技术历史久远，经历了不同的发展阶段，电解槽结构不断改进，如电极从单极性到双极性；型式从箱式到压滤式；电解质从碱性到固体聚合物等。根据目前水电解槽的生产现状，本标准确定的适用范围为：工业用、商业用碱性电解槽；双极性、压滤型结构；压力下运行；固定式或移动式。

(3) 标准不适用的范围

下列几种水电解制氢设备，因下述原因，不纳入本标准的考核范围。

- ①常压电解槽，因其体积庞大、耗材量大，已被市场淘汰；
- ②容量 $\leq 1\text{m}^3/\text{h}$ 实验室用小型设备，用电量有限；
- ③固体聚合物电解质电解槽，此技术还处于研发阶段；
- ④氢氧发生器，因其结构及使用的特殊性。

2. 气体体积状态的设定

采用物理标准状态： 0°C ， 101.325kPa （绝压），单位为 m^3 。这一设定与国外产品气体状态的表示方法是一致的。

3. 定义与术语

本标准列出的术语与定义按据 GB/T24489，此外还增加了单位能耗这一术语，定义为制氢系统运行在额定工况条件下，生产 1m^3 标准状态下的氢气需要消耗的能量值。引入这一术语，目的是使能效大小得以量化。

4. 规范性引用文件

本标准规范性引用文件为 GB/T19774，在引用时不注日期，这意味着此标准的最新修订版仍适用于本标准。

五、主要技术内容的说明和确定主要内容的论据

1. 容量大小进行划分

由于水电解槽的能耗与容量大小相关，考虑到大型水电解槽将不断涌现，本标准应具有前

瞻性，小容量设备设置范围应拓宽些，现设定容量 $\leq 60\text{m}^3/\text{h}$ 电解槽为小型设备， $> 60\text{m}^3/\text{h}$ 电解槽为大中型设备。

2. 单位能耗与能效的定义

在本标准中，引入了单位能耗这一术语，定义如上。单位能耗分直流与交流能耗，直流能耗是主体。能效则定义为理论单位能耗与实际单位能耗之比，用百分数表示，理论单位能耗是小室电压为 1.48V（热中性电压）时的单位能耗，其值为 $1.48 \times 2.39 = 3.54 \text{ kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，此时能效设定为 100%，这一设定与美国能源部对水电解槽能效的设定也是相吻合的。

3. 三项主要能效指标的含义

(1) 能效限定值：是本标准实施的强制性指标，目的是限制高能耗产品的生产与销售。能效限定值是设置产品准入市场的门槛、是淘汰高能耗产品的技术依据。

(2) 节能评价值：是节能产品认证的技术依据，目的是引导和激励生产企业不断创新，产品不断升级换代，不断提升能效等级。一旦达标，就可以向国家节能产品认证中心申请节能产品认证，并获得节能产品标志和证书。

(3) 能效目标值：这是标准更新后的能效限定值。设置能效目标值，势必使生产企业感到一种危机感、一种急迫感，势必要限时改变生产现状，提升产品能效等级，上一个新台阶。

4. 能效等级的含义

1 级能效是国际先进水平，是生产企业努力赶超的目标；

2 级能效是国内先进水平，是节能型产品的门槛，达到此值便可享受到国家制定的优惠政策的相关待遇；

3 级能效是代表国内平均能效水平；

4 级能效是能效目标值；

5 级能效是能效限定值，是目前产品准入市场的门槛，是未来被淘汰的产品能效值。

六、国外同类产品能效简况

为了使制定的能效标准具有先进性，1 级能效指标能与国外同类产品相等或接近，为此，对国外产品的能效指标进行调研是编制前的一项重要工作，诚然我们不可能去国外进行实地考察，唯一能做的是进行文献检索，通过各种途径收集相关资料，获取能效信息，以确定本标准的 1 级能效指标，使其与国际指标相接轨。通过数月的收集，获取了部分产品的信息，现简介如下：

国外水电解制氢设备制造商，欧洲有五家：大型水电解设备制造商首推挪威 Hydro 公司，该公司生产历史悠久，从 1927 年生产至今已有 80 多年，共生产了 400 多台设备，自诩为行业领袖，生产的常压电解槽的单位直流能耗为 $4.1\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，这一指标处于世界领先水平。

另一家企业是瑞士的 IHT，该公司由两家著名电解槽生产厂商合并而成，即生产常压电解槽的 Bamag 公司和生产加压电解槽的 Lurgi 公司，Bamag 电解槽单位直流能耗 $4.2\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，Lurgi 公司是生产加压电解槽的鼻祖，产品已有 500 多台，单位直流能耗 $4.3\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ 。其余三家产品都是集装箱式的压滤型加压电解槽，比利时 Hydrogenics 公司，生产的是无机离子膜电解槽 (IMET)，其特点是电流密度高，能耗较低，单位直流能耗 $4.2\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ 。美国 Telydyne 公司的 HM 氢气发生器，容量较小，能耗较高，但制作精良、操作简便。俄罗斯是传统的电化学产业大国，但其产品相对比较粗放，单位直流能耗较高。国外产品的单位直流能耗值见表 1。

表 1 国外产品单位直流能耗值

序号	产地	名称	容量 ($\text{m}^3\text{H}_2/\text{h}$)	工作压力 Bar	单位直流能耗 ($\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$)
1	挪威	Hydro 常压电解槽	50-377	1	4.1
2	挪威	Hydro 加压电解槽	10-65	12	4.8
3	瑞士	Bamag 常压电解槽	3-330	1	4.2
4	瑞士	Lurgi 加压电解槽	110-760	32	4.3
5	比利时	Hydrogenics 电解槽	15-200	10/25	4.2
6	瑞士	AccaGen SA 电解槽	1-100	6/30	4.8-4.4
7	丹麦	Erre Due 电解槽	32/64	4	5.1/5.0
8	俄罗斯	Uralkhimmash 电解槽	4-250	10	5.3-5
9	美国	HM 氢气发生器	2.8-11.2	10	~5.5

由上表可见，上述产品中与本标准相近的电解槽是 Lurgi 压力型电解槽，其直流能耗值为 $4.3\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，本标准 1 级能效的指标值应以此为依据。

七、在用产品现场测试介绍

为了使制定的能效标符合国内大多企业的生产现状，对其产品的能效情况进行调查是一项重要的工作内容，去在用产品现场进行实地考察也是必不可少的工作程序，下面简要地介绍这次现场测试情况。

1. 测试小组的组成

符合本标准适用范围的国内生产企业主要有三家，即苏州竞立制氢设备有限公司、中船重工第七一八研究所和天津大陆制氢设备有限公司。我们实施的现场测试工作分两个阶段进行，第一个阶段是生产厂对自家产品自行测试；第二阶段是成立联合测试小组，由第三方专业测试单位—苏州电器科学研究院（简称电科院）负责进行测试，该院也是标准起草工作组成员

之一，三生产厂家与电科院共赴在用产品现场，进行能效测试工作。

2.三生产厂自家产品的能效测试结果及分析

三家产品，其槽体结构及额定工况大体相同，采用的都是双极性压滤型结构，电解槽电流密度均为 $2000\text{A}/\text{m}^2$ ，工作温度和工作压力相差不大。但由于在用产品投运时间长短不一，用户的管理及维护水平不同，以及采用的生产工艺有差异，所以测试结果相差较大，说明运行多年的设备，测试结果已很难说明问题，为此，能效测试只能定在调试结束后进行，否则运行时间一长，情况复杂，能效与产品质量之间很难等同起来。表 2 表示了三生产厂自家产品的测试结果。

表 2 三生产厂家自制产品测试值

生产厂	容量 ($\text{m}^3\text{H}_2/\text{h}$)	测量工况			平均小室 电压 (V)	单位能耗 ($\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$)	直流 能效 (%)
		氧槽温 ($^{\circ}\text{C}$)	工作压力 (MPa)	DC 电 流 (A)			
A	5	80-90	3.20	820	2.06	4.92	72.0
	10	80-90	3.20	820	2.04	4.88	72.5
	60	80-90	1.60	1650	2.01	4.80	73.7
	250	80-90	1.60	6360	2.06	4.92	72.0
	300	80-90	1.65	10500	2.00	4.78	74.0
	350	80-90	1.60	6560	2.01	4.80	73.7
B	5	79	3	479	2.05	4.90	72.2
	6.5	82	3.0	508	2.06	4.92	71.9
	10	60.7	2.81	964	2.11	5.04	70.2
	60	83.1	1.46	2295	1.92	4.59	77.1
	80	85.7	1.6	4670	2.08	4.97	71.2
	110	82.8	1.31	4380	1.96	4.68	75.6
	150	86.9	1.5	4599	2.02	4.83	73.2
	200	91.3	1.6	6697	2.05	4.90	72.2
	5	90	2.8	550	2.10	5.02	70.5
	10	90	3.2	920	2.10	5.02	70.5
	50	90	5	2480	1.98	4.73	74.8
	60	89	1.6	2480	1.96	4.68	75.6

C	80	90	1.6	4600	1.97	4.70	75.3
	100	90	1.6	4600	1.98	4.73	74.8
	150	87.8	1.6	4659	1.97	4.70	75.3
	200	89	1.8	6600	1.96	4.68	75.6
	200	90	2.5	6600	1.94	4.64	76.2
	250	90	2.5	6600	1.95	4.66	75.9
	300	90	1.6	6600	1.93	4.61	76.7
	400	90	1.6	6600	1.92	4.59	77.1

从以上结果不难看出，能效情况与产品容量间存在一定的关系：大容量产品能效较高，小容量产品，能效较低。但由上述数据可见，规律性不是很强，原因是错综复杂的。

3.联合测试小组的能效测试结果及分析

今年6月份，联合测试小组一行若干人，奔赴浙江、广东及山东等地对筛选的若干台不同规格的设备进行现场测试，具体操作、测试仪表均由苏州电科院技术人员负责。在测试前，四方共同起草了实施细则，表3是联合测试小组对在用产品的测试结果。

表3 联合测试小组对在用产品的测试值

生产厂	容量 ($\text{m}^3\text{H}_2/\text{h}$)	测量工况			平均小室 电压 (V)	单位能耗 ($\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$)	直流 能效 (%)
		氧槽温 ($^{\circ}\text{C}$)	工作压力 (MPa)	DC电 流 (A)			
A	5	82-90	3.15	825.2	2.0	4.78 (恒益)	74.0
	500	83-91	1.50	5304	1.9	4.54 (禾元)	77.9
B	10	76-85	1.60	922	1.96	4.68 (黄台)	75.6
	200	85-87	1.6	6653	2.02	4.83 (福莱特)	73.2
C	60	85-88	2.75	2493	2.07	4.95 (赛瑞)	71.5
	80	82-87	1.59	4665	1.94	4.64 (三圆)	76.2

从测试结果上看，能效最好的是容量为 $500 \text{ m}^3\text{H}_2/\text{h}$ 的电解槽，单位能耗达到 $4.54 \text{ kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，能效达 78%，达到了国内领先的水平，说明大容量电解槽的能效相对较高。同生产厂家的小容量的 $60 \text{ m}^3\text{H}_2/\text{h}$ 设备，单位能耗为 $4.8 \text{ kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，说明小容量设备单位能耗较高，能效较低，这确实是水电解制氢能耗的一条客观规律。

4.能效限定值及能效等级制定依据

本标准的能效限定值是根据国内本行业生产现状确定的，这一指标，对于正规企业，应该不难，而对于技术水平低下、生产管理不善的企业，要达到也不是容易的事，必须不断努力

才行。目前，水电解槽生产企业良莠不齐，最低限定值门槛的设置可逼着这些落后企业改变现状，步入正规行列。

本标准 1 级单位能耗设定为 $4.4\text{kWh}/\text{m}^3\text{H}_2$ ，如上所述，是参照 Lurgi 压力电解槽的指标设定的，我国电解槽的结构及运行条件与之都极为相似，具有可比性，所不同的是 Lurgi 压力电解槽的能耗仅是直流能耗，而本标准则包含了交、直流两部分能耗，所以两者的能耗指标应不在上下，属同一档次，也就是说本指标与国外先进产品的指标是完全接轨的。

从这次现场测试结果来看，多数产品能效在 2 级与 4 级之间。在制定本标准能效等级时，除了参考这次现场测试结果外，还参考了各生产厂家的调试报告，此能效指标值是权衡各方因素的结果。

八、测试方法说明

水电解系统的能效如何测试，必须要有一套科学的实施方法，才能做到有章可循。由于本行业标准 GB19774 中并没涉及这一内容，所以在本标准实验方法一节中列出了若干条测试规定，作为进行测试工作的依据，现分别加以说明：

1.测试机构

能效测试工作专业性很强，测试单位必须具有一定的专业知识，拥有专门的测试设施，具有丰富的测试经验，方可承担此项工作，同时满足这些条件的只有专业测试机构。为了做到测试结果客观、公正，具有权威性，理应选择第三方测试机构来进行运作，除此以外，上级相关机构的批准及授权也是必不可少的。水电解制氢设备都是非标产品，各台产品情况各不相同，技术含量较高，所以测试时一定要慎重，要制定实施细则，把工作程序、数据记录、归纳计算，结果显示都实现表格化，最后出具一份具有法律效力的能效测试报告。

2.测试工况

本标准中规定，能效测试必须要在额定工况下进行，额定工况定义为：电解槽运行时，直流电流密度为 $2000\text{A}/\text{m}^2$ ；工作温度为 90°C ；工作压力 $0.8\text{--}5.0\text{MPa}$ 。

计算电流密度应以极框内圆面积为准，对于非圆形极框则以内腔面积为准。在本标准生效之日起，电解槽铭牌上必须要标注这一尺寸，以便实施能效测试工作。

除了电流密度外，工作温度和压力对能效也有一定的影响。工作温度设定以氧槽温为准，工作压力所以设置一个范围，是因为压力对能效的影响较小，这一点可见上述国外产品能效数据。此处设定这样一个标准工况，也就设定了能效测试值的比较平台，不同产品的能效如何，根据这一平台一比较就清楚了。

3.测试仪表

本标准测试仪表目的是测量能耗，水电解制氢消耗的是电能，所以测试电表的精度要求更

高些，特别是直流电表，本标准规定采用 0.5 级。而交流功率表、温度表、压力表规定采用 1 级精度。至于其它参数测试仪表精度，可在实施细则中作进一步规定。

4.测试间隔与次数

在进行能效测试时，为了使测试数据更加真实可靠，减少偶然性带来的误差，标准中规定测试次数不应少于 6 次，间隔为 10 分，取算术平均值作为计算依据。

5.单位能耗及能效的计算

根据标准中设定的电流密度及用户提供的极框内面积，在进行能效测试时，电解槽电流强度应调整到额定状态，在额定工况下测出电解槽相应的直流电压值，按照附录 A，由电解槽小室数和电流强度，算出电解槽标准状态下的氢气产量。

从测得的直流电压值，根据附录 B，得出电解槽平均小室电压，直流单位能耗。

根据碱液泵、补水泵和控制用电功率表，得出的氢产量，算出交流单位能耗。

最后，根据附录 C，算出水电解制氢系统的单位能耗及能效值。

6.测试规则

不同容量的制氢设备，用电量相差悬殊，小容量设备的电容量较小，一般可安排在生产厂调试，也可到现场调试，在调试过程中测试单位能耗及能效；对于大容量设备，通常在用户现场调试及测试。

本标准要求能效测试在设备调试结束后随即进行。对于能效达不到能效限定值的产品，应责令其整改，如仍不合格，则判为不合格产品。

对于同型号同规格批量生产的产品，抽样进行能效测试，如不合格，再抽一台，再不合格，则采取能效等级降级等处理方法。

7.能效标识

根据能效测试的结果，按本标准确定的能效等级，由测试单位出具能效测试报告，报上级机构审批，批准后可在电解槽的铭牌旁，贴上本产品的能效等级标签。

九、结束语

在本标准的制定过程中，起草小组得到了全国氢能标委会领导的大力支持，提供了许多宝贵的意见，在此表示由衷的感谢！另外苏州市及吴中区质监局领导也非常重视，给予了不少帮助，在此一并致谢。

鉴于我们经验不足，业务水平所限，错误、不妥之处在所难免，恳请各界朋友及同行批评指正！

国标《水电解制氢系统能效限定值及能效等级》起草小组

2014 年 12 月