

水利电力部电力生产司

电气设备带电水冲洗导则

SD 129-84

(试 行)

编制说明

水利电力出版社

水利电力部电力生产司

电气设备带电水冲洗导则

SD 129-84

(试 行)

编 制 说 明

水利电力出版社

水利电力部电力生产司
电气设备带电水冲洗导则(试行)

SD129-84

编 制 说 明

•

水利电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号)
北京景山学校印刷厂印刷

•

787×1092毫米 32 开本 1.250 印张 27 千字

1985年5月第一版 1985年5月北京第一次印刷

印数00001—13000册 定价 0.30 元

书号15143·5789

中华人民共和国水利电力部

关于颁发 SD129-84 《电气设备带电水冲洗导则》（试行）的通知

（84）水电电生字第88号

经部组织有关单位新编的SD129-84《电气设备带电水冲洗导则》（试行），现正式颁布，自一九八五年一月开始试行。

各发供电单位，凡从事带电水冲洗工作的人员都必须遵守本导则，并据以制订现场规程。本导则如有不符合现场实际情况的地方，可在不降低安全水平的条件下，制订相应的规定，报主管局批准后执行。

本规程在执行中，如有新的意见和问题，可随时告部生产司。

一九八四年十二月十八日

序 言

解放以来，我国不少地区的发电厂、供电局相继开展了带电水冲洗作业，在防止电网发生污秽闪络事故及提高电网安全运行水平方面起了很大作用。但由于没有系统地研究过影响带电水冲洗安全的各种因素，也没有掌握带电水冲洗时绝缘变化的规律，在带电水冲洗作业中曾发生过多起闪络事故。《电业安全工作规程》中带电水冲洗一节是一九七三年根据部分地区的经验编写的，带有一定的局限性，有必要系统地研究带电水冲洗技术及其安全措施。

为了妥善解决上述问题，使带电水冲洗工作能正常开展，一九八〇年四月在水利电力部生产司主持下由电力科学研究院、天津电力局、上海供电局、北京供电局等二十个单位组成带电水冲洗试验小组针对带电水冲洗的绝缘强度及安全措施问题对水柱绝缘及水柱、水枪的组合绝缘进行了研究试验，并在一九八一年召开的第二次全国带电水冲洗工作会议上提出了“关于《电业安全工作规程》带电水冲洗部分的某些条文的修改意见”。随后又针对设备安全问题对带电水冲洗时设备绝缘变化的规律进行了系统的研究，提出了安全带电水冲洗的临界盐密法。为编制《电气设备带电水冲洗导则》（试行）提供了科学依据。

与此同时还收集和总结了近年来全国所发生的带电水冲洗事故教训及各地的运行经验，包括十个局、厂编制的“水冲洗安全措施”。

一九八四年三月由电科院提出《带电水冲洗暂行规定》的征求意见稿，天津电力局、上海供电局及北京供电局的同

志参加了讨论并对《带电水冲洗暂行规定》进行了修改。修改后立即发至各大区及各省电管局、电力局以及有关供电局、发电厂广泛征求意见。

一九八四年四月下旬，由水电部生产司主持召开了全国第三次带电水冲洗工作会议，进一步讨论和修订了《规定》，改名为《电气设备带电水冲洗导则》（试行）。

本《编制说明》对 SD129-84 的制定依据和条文的含义作了说明和解释。供使用时参考。

1 本导则适用于 220kV 及以下的发供电电气设备的带电水冲洗作业。

〔说明〕 本条提出了《导则》（试行）的使用范围。由于对更高的电压等级尚未进行试验，因此 330kV 及更高电压等级下的带电水冲洗作业不包括在本《导则》（试行）中。

2 带电水冲洗一般应在良好天气时进行，风力大于四级、气温低于零下三摄氏度、雨天及雾天不宜进行。

〔说明〕 本条规定了带电水冲洗的天气条件。对于风力的限制是考虑了沿海地区及多风地区的情况制定的。各地可根据本地的具体情况因地制宜地制订具体规定，如上海供电局和北京供电局等单位均将风力限制在 3 级以下。

关于气温的规定是考虑到辽宁南部的具体情况而制定的。气温零摄氏度左右正是那里的水冲洗旺季，如气温被限制在零摄氏度以上势必影响水冲洗作业的正常开展。考虑到当时水温比气温高，零下三摄氏度以上的天气还不至于使水在绝缘子上结冰。而对于华北以及南方各省根据过去运行经验可将气温限制在零摄氏度以上。

3 带电水冲洗的水电阻率一般不低于 $1500\Omega\cdot\text{cm}$ 。如水电阻率在 1000 到 $1500\Omega\cdot\text{cm}$ 之间，水柱距离应比表 1 中规定值增大 10%；如水电阻率大于 $10000\Omega\cdot\text{cm}$ 时可根据情况适当减小水柱距离。

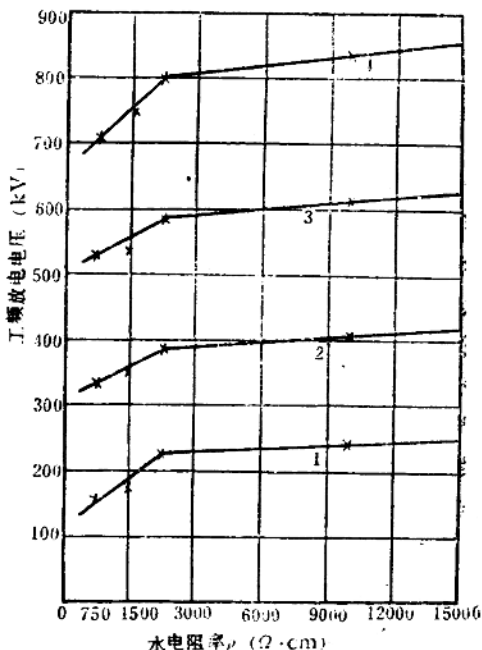
应在水枪出口处取水样，测量其水电阻率。如用水车等容器盛水，每车水都应测量水电阻率。

〔说明〕 本条给出了带电水冲洗用水的电阻率的范围。

水电阻率对保证冲洗人员的人身安全及设备安全关系极大。据东北技改局统计的近十二年来所发生的四十八次带电水冲洗事故中多次是由于水电阻率低而造成的。

水电阻率的数值直接影响水柱绝缘。

水柱工频放电电压与水电阻率的关系见图一。由图一可知，随着水电阻率的增加，水柱工频放电电压有增高的趋势。



图一* 水柱工频放电电压与水电阻率关系

1—水柱长度0.6m；2—水柱长度1.0m；

3—水柱长度1.4m；4—水柱长度1.8m

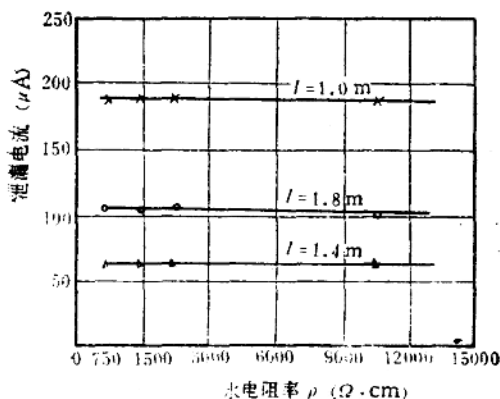
* 《导则》（试行）条文本身图、表序号为图1、图2、……表1、表2、……等；

《编制说明》的[说明]中图、表序号为图一、图二、……表一、表二……等，下同。

势。但是当水电阻率大于 $2500\Omega\cdot\text{cm}$ 之后，水柱放电电压增长陡度变小。因此根据此图，规定当水电阻率小于 $1500\Omega\cdot\text{cm}$ 时应将水柱距离增大以补偿由于水电阻率降低而使放电电压降低的影响；发电厂多采用除盐水进行冲洗，水电阻率高达几万至十几万欧·厘米。由于如此高的水电阻率会较大地提高水柱的放电电压值，因此也可适当减小水柱的距离。

对水柱的操作波闪络电压与水电阻率的关系也进行了试验。但水电阻率的值只选择了 $750\Omega\cdot\text{cm}$ 及 $2300\Omega\cdot\text{cm}$ 两种。得出的结论是操作波下水柱的放电电压随着水电阻率增大而提高。

水柱的工频泄漏电流与水电阻率的关系见图二。



图二 泄漏电流与水电阻率的关系
 l —水柱长度

由图二可知水电阻率对泄漏电流虽有影响，但影响不大。这是由于水柱达到一定长度后，内部有很多空气间隙，使水柱电阻增加。空气间隙成为限制泄漏电流的主要因素，因此水电阻率的影响相对地可以忽略而不予考虑。

本条给出的水电阻率的范围还考虑到各地水质的实际情况。

过去曾发生过由于喷水管不干净造成水冲洗闪络事故，也曾不止一次地发生过由于误开水门，把碱水放入水车而造成事故。因此本条规定了取水样的具体部位，并作了每车水都必须测量水电阻率的规定。

4 保持一定的水柱长度是保证带电水冲洗时人身安全的必要条件。以水柱为主要绝缘的小水冲、中水冲及大水冲，其水枪喷口与带电体之间安全距离推荐值列于表1。

(喷口直径在3mm及以下的称小水冲，直径在4~8mm的称中水冲，直径在9mm以上的称大水冲)。

表 1 喷口与带电体之间安全距离 (m)

喷口直径 (mm)	3及以下		4~8		9~12		15~18	
	接地或不接地		接地	不接地	接地	不接地	接地	不接地
35~30kV	0.8		2	3	4	5	6	8
110kV	1.2		3	4	5	6	7	9
220kV	1.3		4	5	6	7	8	10

在变电站进行带电水冲洗作业时，水枪接地线应与主接地网相连。在电力线路上进行带电水冲洗作业时，水枪接地线的接地电阻不应大于 10Ω 。如接地电阻大于 10Ω 时，表1所给数值应增大1~2m。

大水冲洗用水枪喷口一般应接地。

〔说明〕 本条所推荐的以水柱为主要绝缘的小水量冲洗及中、大水量冲洗时，水枪喷口与带电体之间的安全距离，是根据带电水冲洗试验小组一九八〇年在电科院进行的试验结果^{〔1〕}以及总结了全国多年来的运行经验提出来的。表 I 给出的安全距离，其相应的水电阻率是 $1500\Omega\cdot\text{cm}$ 。

目前在国内使用的小水量冲洗工具有两种型式。一种是短水枪，另一种是长水枪。短水枪即本条所指以水柱为主要绝缘的小水冲工具，长水枪是以水柱、绝缘杆、引水管构成的组合绝缘的小水冲工具。

水柱绝缘主要取决于水柱长度。水枪喷口直径也有较大影响，而水电阻率的影响相对较小。试验小组针对不同喷口直径测量了不同水柱长度时的50%操作波放电电压值(U_{50})及标准偏差(σ)。根据 U_{50} 及 σ 可推算出操作波耐受电压 $U_{\text{耐}}$ 。

$$U_{\text{耐}} = U_{50}(1 - 3\sigma)$$

表一 根据操作过电压提出的 S_{min} 值 (m)

水电阻率($\Omega\cdot\text{cm}$) 电压等级 (kV) 水冲型式 喷口直径 (mm)		2000		750	
		220	110	220	110
小水冲	1.5	1.5	0.8	1.6	1.0
	2.0	1.65	1.0	1.9	1.25
	2.8	1.7	1.1	/	/
中水冲	4.5	2.5	/	4.5	/
	6.5	3.0	/	/	/
大水冲	13	3.5	/	5	/

其中 U_{50} 取正、负极性操作波试验得到的 U_{50} 数据中偏低者， σ 取不同水柱长度所得标准偏差的平均值。

这样，得出了操作波耐受电压与水柱长度的关系曲线。

此外，根据系统中可能出现的操作过电压值（中性点直接接地系统按3倍最大运行相电压考虑，中性点非直接接地系统按4倍最大运行相电压考虑）确定水柱的最小允许距离 $S_{\min 1}$ （简称“最小水柱距离”），并列于表一。

试验小组还对不同喷口直径时，不同水柱长度的泄漏电流进行了实际测量。根据通过人体的泄漏电流小于1mA这一要求提出了水柱的最小距离 $S_{\min}$ 。由于水枪喷口不接地或接地时流过人体的泄漏电流大小不同，现分别将喷口不接地或接地两种情况下最小水柱距离 $S_{\min 2}$ 及 $S_{\min 3}$ 列于表二及表三。

**表二 当喷口不接地时，根据泄漏电流小于1mA
提出的 $S_{\min 2}$ 值 (m)**

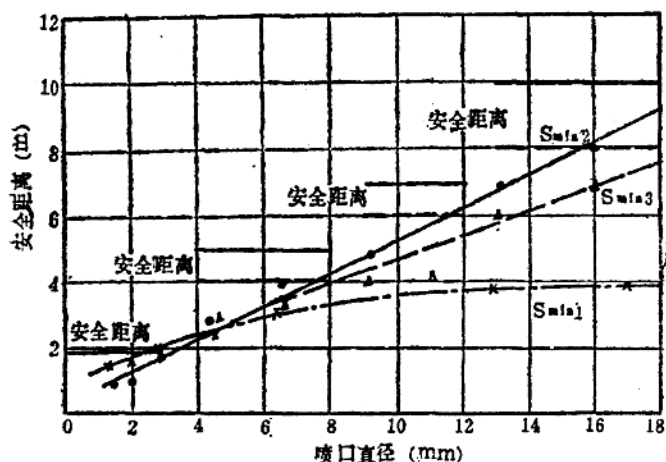
水 冲 型 式	电压等级(kV) 喷口直径 (mm)	水电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)					
		2500			750		
		220	110	66	220	110	66
小水冲	1.5	1.0	0.6	/	1.0	0.6	/
	2.0	1.0	0.6	/	1.0	0.6	/
中水冲	4.5	3	2	/	4	3	2
	6.5	4	3	2	4	4	2
大水冲	9.2	5	4	3	5	4	4
	11	5	4	4	5	4	4
	13	7	7	6	8	8	7
	16	8	8	7	8	8	8

表三 当喷口接地时流过人体电流小于 1mA
时的 S_{min} 值 (m)

水 冲 型 式	水电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)	2500		750		
	电压等级(kV)					
	喷口直径(mm)	220	110	220	110	66
中水冲	4.5	3	2	3	2	2
	6.5	3	2	3	2	2
大水冲	9.2	4	2	4	3	2
	11	4	3	4	4	3
	13	6	5	7	5	5
	15	7	6	8	7	6

本条给出的安全距离既满足按操作过电压提出的水柱距离又满足按泄漏电流提出的水柱距离。

例如, 图三表示了220kV电压等级水电阻率为2500 $\Omega \cdot \text{cm}$ 时喷口直径与最小水柱距离的关系曲线。可以看出对于喷口直径小于3mm的小水冲, 由操作过电压提出的最小水柱距离起了主要作用, 无论喷口是否接地, 测得的泄漏电流均小于1mA; 对于喷口直径大于4mm的中水冲以及喷口直径更大的大水冲, 则由泄漏电流提出的最小水柱距离起了决定性作用。为便于现场执行, 将喷口直径分段, 并以每段中最大喷口直径对应的最小水柱距离再适当放大(考虑到试验时水电阻率 $>1500\Omega \cdot \text{cm}$)作为此段的安全距离, 列于表一并画于图三。虚线代表喷口接地的情况, 实线代表喷口不接地的情况。



图三 喷嘴直径与安全距离的关系

5 组合绝缘的小水冲工具，水柱长度可以适当减小，但由水柱、绝缘杆和引水管的有效绝缘部分组成的组合绝缘应满足第6条的要求。在冲洗的全过程中冲洗工具严禁触及带电体。操作杆的引水管在有效绝缘范围内严禁触及接地体。冲洗用水泵必须良好接地。

〔说明〕 组合绝缘的小水冲工具系指长水枪的小水冲工具而言。是由水柱、绝缘杆和引水管有效绝缘三部分组成的组合绝缘。它必须满足操作过电压下不闪络及流过人体泄漏电流不超过1mA的要求(详见下述第6条)。虽然喷嘴到带电体的距离未作规定，但必须有一段水柱距离，并突出强调冲洗工具要严禁接触带电体。

引水管的有效绝缘部分系指引水管的地上部分，这部分水管是组合绝缘的一个组成部分。

6 组合绝缘的小水冲工具应满足下述要求:

6.1 中性点直接接地系统使用的冲洗工具在工作状态下应能耐受相当于3倍最大运行相电压峰值的操作波电压;中性点非直接接地系统使用的冲洗工具在工作状态下应能耐受相当于4倍最大运行相电压峰值的操作波电压,操作波波形为250/2500 μ s。

6.2 在最高工作相电压下(中性点非直接接地系统用线电压)流经操作人员人体的电流应不超过1mA,试验时间不小于5min。

操作杆的使用及保管均应按带电作业工具的有关规定执行,试验周期每半年一次。

[说明] 本条要求组合绝缘的小水冲工具在系统发生暂态过电压时绝缘不致闪络,在运行中流过人体的泄漏电流不得超过1mA。并据此提出了在工作状态下对组合绝缘的小水冲工具进行操作波及泄漏电流试验的要求。

工作状态即指与现场进行带电水冲洗作业相同的状态。

本条规定用操作波试验代替工频试验,这样与实际情况更为接近,如运行部门暂时缺少操作波发生器可委托省或大区电力试验研究所进行试验。

《电力安全工作规程》对护环接地的操作杆未提出试验要求。实际上,组合绝缘的小水冲工具即使护环接地,护环前面的那部分操作杆也是组合绝缘的一部分,故本条要求凡在组合绝缘中起绝缘作用的操作杆都应进行该项试验。

泄漏电流数值限制在1mA以下,是因为1mA是使人的手及指有轻微刺痛感觉的临界电流值^[2]。

7 水枪喷口直径可根据需要自行选择。但应注意随着

喷嘴直径的变化相应地调整水泵压强，还应注意提高喷嘴的加工精度，才能使水柱射程远且水流密集。当水压不足时不得将水枪对准被冲带电设备。

〔说明〕 为提高带电水冲洗时的闪络电压并获得满意的冲洗效果，应使水柱调整到射程远而水流密集的最佳状态。密集的水柱冲到设备上溅射的范围较小，可以提高水冲洗闪络电压，该电压简称冲闪电压，且密集的水柱到达被冲设备上有一定的压强，从而有较好的去污能力。

目前现场使用的工具按喷嘴直径可分为三种类型，对这三类喷嘴直径可根据需要自行选择。大、中、小水冲各有利弊。小水冲用水量小，冲到绝缘子上溅射不太严重，对周围设备影响较小，但冲洗时间相对长些，冲洗距离相对近些；而大水冲正好与此相反。

选定喷嘴直径后必须相应地调整水泵压强，用肉眼观察水柱呈最佳状态。

水冲洗试验小组为此进行了试验，其结果列于表四，证实了上述结论。

表四 喷嘴直径对冲闪电压的影响

小水冲：喷嘴直径2.5mm；水泵压强 $17\sim 20\text{kgf/cm}^2$ [即 $17\sim 20\times 9.80665\times 10^4\text{Pa}$]

中水冲：喷嘴直径4mm；水泵压强 8kgf/cm^2 [即 $8\times 9.80665\times 10^4\text{Pa}$]

水电阻率： $2300\Omega\cdot\text{cm}$

绝缘子型式	普 通 支 柱						防污支柱	
电压等级(kV)	110			220			220	
盐密(mg/mm^2)	0.05		0.1		0.1		0.1	
水冲洗型式	小	中	小	中	小	中	小	中
U_{50} (kV)	93.2	92.6	88	88.4	170	175.3	195	190.5
σ (%)	1.7	4.4	5.4	4.6	3.7	2.3	4.6	4.4

对应不同的喷口直径, 建议采用表五给出的水泵压强。

表五 不同喷口直径对应的水泵压强参考值

类 型	小 水 冲	中 水 冲	大 水 冲
喷口直径(mm)	3 及以下	4 ~ 8	9 及以上
压强(kgf/cm ²)	15~18	8~10	8 以上

注: $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.80665 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

水柱冲到绝缘子表面上的压强直接关系到污秽能否被迅速冲掉, 绝缘能否迅速恢复, 也影响水流碰到绝缘子表面的溅射状况, 因此影响冲闪电压及标准偏差。但压强在小范围内变化对冲闪电压的影响并不大, 见表六。

表六 水柱压强对冲闪电压的影响

试品: ZS-110 支柱绝缘子

水枪喷口: 4mm

盐密: 0.1 mg/cm^2

水电阻率: $2300 \Omega \cdot \text{cm}$

水泵压强 kgf/cm ²	6	8	10
U_{50} (kV)	79.2	84	82.2
σ (%)	6.7	4.2	5.1
ΔU (%)	5.7	0	2.1

注: $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.80665 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

由上表可知, 对于喷口直径 4 mm 的水枪, 泵的出口压强以 8 kgf/cm^2 [即 $8 \times 9.80665 \times 10^4 \text{ Pa}$] 最好, 但在 $6 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ [即 $6 \sim 10 \times 9.80665 \times 10^4 \text{ Pa}$] 内变化时引起的误差并不大, 即冲闪电压降低不多。

喷口的形状, 特别是加工精度对水柱的状态影响很大, 如加工粗糙则水柱散花严重, 因而冲闪电压降低, 且标准偏差增大, 见表七。