

高海拔地区的中低压开关柜研制导则

随着中国经济的快速发展，高海拔地区的中低压开关柜的用量与日俱增。按国家标准，普通开关柜安装位置的海拔高度，低压不应超过 2000m，而中压不应超过 1000m。如何使中低压开关柜突破上述海拔高度的限制，这是摆在各电气成套厂家及元件制造商家需要解决的问题。

目前尚无中低压开关柜高海拔板型的“3C”认证，也无高海拔地区开关柜强制要求的有关规定。目前解决的办法一般有两种：

一种是对原有的普通柜子在海拔不超过上述高度地区的出厂试验参数进行修正，这样为满足试验要求，柜内元件及安装布置要为之相适应，如爬电距离、空气间隙，导体截面及有关保护整定也要随之调整，并作与之相应的出厂试验。

另一种办法是在国家指定的电气科学研究所进行高海拔类型开关柜型式试验，取得相应的合格证及许可证后方可进行生产。

一、 中压开关柜的电气元件及安装位置：

(1) 载流导体

散热有三种方式，即传导对流与辐射。高海拔地区用的开关柜，柜内载流导体的散热，电厂空气稀薄，对流作用差，散热条件恶化，这样在同样允许温升的条件下，载流量减少，海拔超过1000m时，导体温升每超过100m增加0.5° C，由此可知，由于环境温度的降低能够足以补偿因海拔高度的增加，而空气稀薄影响导体散热而造成的温升的增加。上述两种因素的综合考虑，导体的载流能力不受安装所在地海拔高度的影响。

(2) 电器元件

海拔高度越高，空气越稀薄，按照帕邢定律，均匀电场中，空气中电气间隙的击穿电压正比间隙长度与所在大气压的乘积，这样，在同一电气间隙下，气压越低，击穿电压就越小。

由于高海拔地区，因空气稀薄造成空气绝缘强度降低，从而使电气的外绝缘水平降低。对于中压电压元器件，如：断路器，隔离开关，互感器等，外绝缘强度留有一定的裕度。对于1000-2000m 海拔高度，可采用普通元件。但电气间隙、爬电距离、绝缘强度应进行校验。对于海拔 2000m 以上的高度，应选取高原型的专用元器件，或对额定电压的元器件进行降压使用。例如：额定电压为 12Kv 的中压柜，采用 24Kv 的支持绝缘子及导管。互感器采用加强绝缘型的，避雷器选用无空气间隙的氧化锌低残压避雷器。

(3) 绝缘水平的要求

根据国家规范 GB311.1-1997《高压输变设备的绝缘配合》第 3.4 条要求，对于海拔高于 1000m，但不超过 4000m 处的设备外绝缘及干式变压器的绝缘，海拔高度每升高 1000m，绝缘强度约降低 1%，在海拔高度不超过 1000m 的地点试验时，其试验电压应按本标准规定的试验电压乘以海拔校正系数 K_a ，

$$K_a = \frac{1}{1.1 - H/10000} \dots\dots\dots (1)$$

式中 H——设备安装地点的海拔高度，单位为 m

不难计算：当海拔高度分别为 1000m，2000m，2500m，3000m，3500m，4000m 时，相对应的 K_a 分别为 1.000，1.111，1.176，1.333，1.408，1.639。这样额定电为 7.2KV、12 KV 及 40.5 KV 的中压柜在海拔高度 1000 m 以下地方做耐压试验时，其值不应低于表 1 所示（电力系统为中性点，不直接接地系统）。

表 1：不同海拔高度下中压柜外绝缘强度

额定电压 KV (有效值)	额定短时工频耐压 KV (有效值)						额定雷电冲击耐压 KV (峰值)					
	海拔高度 m											
	1000	2000	2500	3000	3500	4000	1000	2000	2500	3000	3500	4000
7.2	23	25.6	27.1	28.8	30.7	32.9	60	66.7	70.6	75	80	85.7
12	42	28.9	49.4	52.5	56	60	75	88.2	88.2	93.8	100	107.1
40.5	95	105.6	111.7	118.8	126.7	135.7	185	205.6	217.6	231.2	246.7	264.2

另据国家规范 GB/T11022-1999《高压开关设备和控制设备标准的共同技术要求》第 2.2.1 条，对安装在海拔高度 1000m 以上的电气设备，其绝缘水平要乘以系数 K_a ， K_a 由图 1 中的曲线查得。

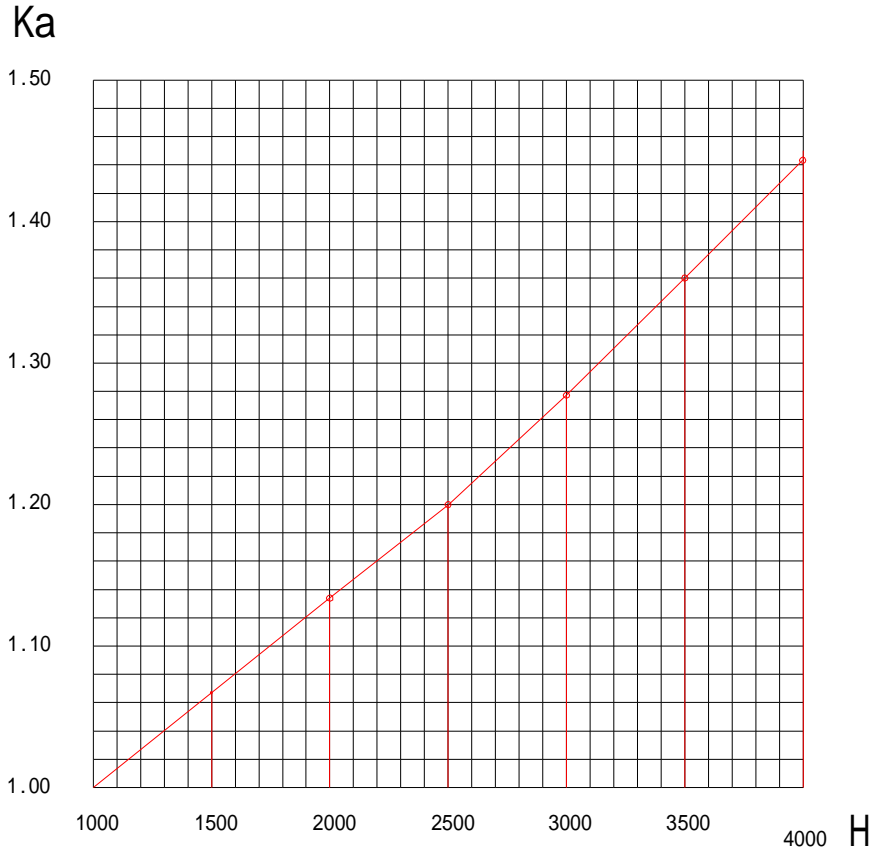


图 1： 工频，雷电冲击和相间操作冲击电压海拔修正因数曲线

注：

式中：H——海拔，用 m 表示；

由曲线查得海拔高度为 2000m，2500 m，3000 m，3500 m 及 4000 m 时 Ka 的值，Ka 分别为 1.13，1.20，1.28，1.36，1.44

表 2： 不同海拔高度下，中压柜外绝缘水平（系统中性点不接地）

额定电压 KV（有效 值）	额定短时工频耐压 KV（有效值）						额定雷电冲击耐压 KV（峰值）					
	海拔高度 m											
	1000	2000	2500	3000	3500	4000	1000	2000	2500	3000	3500	4000
7.2	23	26	27.6	29.4	31.3	33.1	60	67.8	72	76.8	81.6	86.4
12	42	47.5	50.4	53.8	57.1	60.5	75	84.8	90	96	97.5	108
40.5	95	107.3	114	121.6	129.2	136.8	185	209.1	222	236.8	251.6	266.4

用公式（1）计算与查曲线表，两者误差不超过 5%，数据皆可使用，若从严要求，按曲线所得数据为准。

(4) 绝缘电气间隙及爬电距离

由于冲击耐压与电气间隙成正比, 不难得出不同海拔高度下的电气间隙距离, 如表 3 所示。

表 3: 中压柜相间及相对地电气间隙 (mm)

额定电压 (KV)	海拔高度 m					
	1000	2000	2500	3000	3500	4000
7.2	100	113	120	128	136	144
12	125	141.3	150	160	170	180
40.5	300	339	360	384	408	432

爬电距离与环境条件有关, 也就是与污染及凝露有关, 根据污染与凝露的严重情况, 把使用环境条件分为 0 级, 1 级, 2 级, 与此相应的金属封闭式开关设备分为 0 类设计, 1 类设计及 2 类设计。

对额定电压为 12KV 的开关柜, 爬电比距如表 4 所示

表 4: 12KV 金属封闭式开关柜爬电比距 (mm/KV)

设计类别	瓷绝缘	有机绝缘
0 类设计	12	14
1 类设计	14	16
2 类设计	16	20

尽管高海拔地区昼夜温差大, 易结凝露, 但只要柜内放置自控加热通风装置, 室内安装环境可视为 0 级, 而与此相应的可采用 0 类设计, 由于目前成套开关柜所用绝缘器件中, 瓷绝缘基本上已绝迹, 考虑海拔高度对外绝缘减弱的影响, 爬电距离也应随高度的增加而增加, 这样 12KV 开关柜在不同海拔高度下爬电距离表 5 所示

表 5: 中压金属成套开关设备爬电距离 (mm)

额定电压 (KV) 有效值	海拔高度 m					
	1000	2000	2500	3000	3500	4000
7.2	100.8	113.9	121	129	137.1	145.2
12	168	189.8	201.6	215	228.5	241.9
40.5	567	640.7	680.4	725.8	771.1	816.5

说明：7.2 KV 及 40.5 KV 的爬电比距，目前尚无国家标准。本表所采用的爬电比距，是按 12 KV，0 类设计的爬电比距为 14 mm / KV。

二、 额定电压 12KV 的柜体，用于 6KV 系统中最大海拔高度

在 6KV 电力系统中，开关柜额定电压为 7.2KV。目前很多电气成套厂家把 7.2KV 与 12KV 开关柜合用柜体，用于海拔高度 1000m 及以下的额定电压为 12KV 的柜体。当用于 6KV 电网，额定电压选 7.2KV 时，最大海拔高度为多少呢，为解决此问题，首先要考虑其外绝缘能力，即：耐冲击电压及耐工频短时电压的能力。由表 1 可以看出，额定电压 12KV 中压柜，在海拔高度不超过 1000m 时，短时工频电压为 42KV，雷电冲击耐压为 75KV，很容易看出，当作为 7.2KV 柜子用于高海拔地区时，虽然短时工频耐压能力用于海拔 4000 米都有充足余量，但按雷电冲击耐压水平，最高是达到 3000 米，结合两种因素，用于 3000 米是可行的。

三、 其他注意问题

- 1、中压柜二次回路要求，与低压柜要求相同；
- 2、SF6 及真空开关设备、控制设备，由于是密封结构，其内绝缘、开断能力等不受环境条件的影 响，也就是说与所在工作位置的海拔高度无关。因此，对开关的断口工频耐压及雷电冲击耐压参数没有列出。

四、 高海拔中压柜加工成套要点

如果采用全充气式金属密封开关柜，就不受环境及海拔高度的影响，因为高海拔对内绝缘无任何影响，但价格太高，而高海拔地区在我国又是多为贫困地区，无法接受此种设备。

我国虽有百分之七十左右的面积为山地与高原，但超过 2000m 的地区并不算多，主要集中于青藏高原及云贵高原的西部，这些地区又是人口稀少的欠发达地区。以往这些地区高海拔地区电气设备用量不大，无专门用于高海拔地区电气成套开关柜的技术标准，只对柜体内的电气间隙及爬电距离进行修正而已，由于需量小，对移动式金属铠装封闭开关柜也难以再另开新的柜型，只是对原柜型进行针对性改造。为适应高海拔地区的应用，如何对普通开关柜进行改造，现简述要点如下

高海拔地区意味着低气压，低气压意味着空气耐压强度的下降，这样造成开关柜外绝缘强度降低。而对外绝缘来说，电气间隙的大小决定了耐冲击电压的能力，爬电距离的长短又影响工频耐压的大小。这样为适应高海拔地区，开关柜的核心改造要点是在原柜型基础上如何增加电气间隙及爬电距离，为此可采用以下措施：

- 1：加长静触头盒的长度，从而增大触头盒爬电距离及电气间隙。
- 2：缩小定触头长度，且相应增加动触臂的长度，这样增加了对金属安装隔板及金属活门的电气间隙，但活门传动机构应做相应调整。
- 3：金属活门改成绝缘材料的，这样电气间隙指带电体对金属安装隔板的最短空气距离，此距离要大于距活门的距离。
- 4：不论静触头盒，还是穿墙导管或支持绝缘子，一律采用增强绝缘的，亦称大爬距绝缘件。加大爬距的简单方法是绝缘子裙边采用特殊处理。

5: 由于母线式电流互感器爬距小, 尽量不用, 如果使用, 主回路导体穿绝缘套管, 以便增加爬距。

6: 由于电气间隙的要求, 支柱式绝缘的高度不得小于对电气间隙的要求。

7: 手车隔间要加绝缘隔板, 对于 40.5KV 手车柜, 在 1000m 以下应用时, 相间及相对外壳都加有绝缘隔板, 若原柜体用于高海拔地区, 更应加绝缘隔板了, 隔板的绝缘强度及厚度要满足所在海拔高度耐压要求。

8: 断路器动触臂间加绝缘隔板, 或动触臂绝缘套管采用加强绝缘型的。

9: 由于柜内空间狭小, 电气间隙无法满足要求, 因此主回路导体要套绝缘套管, 其绝缘套管的绝缘强度、耐老化性能应与柜内环氧树脂绝缘件相一致。

10: 减少导电排的宽度, 可采用二根宽度窄的并起来使用, 以便增加相间及电对地电气间隙。

11: 在必要情况下, 某些隔板或盖板换成绝缘板。

12: 真空断路器的真空灭弧室采用固封绝缘, 使之不受海拔高度影响。

五、 低压开关柜如何满足高海拔地区适用要求

(1) 加大电气间隙及爬电距离

由于高海拔地区空气稀薄, 击穿电压随之变小, 根据国家规范 GB/T16935.1---1997《低压系统内设备绝缘配合》中表 A 2 的海拔修正系数表, 对所在海拔高度的低压柜内电气间隙进行验证。相应的电气间隙与爬电距离见表 6

表 6: 电气间隙及爬电距离

海拔高度 (m)	电气间隙倍增系数	电气间隙 (mm)	爬电距离 (mm)
2000	1.00	10	12
3000	1.14	11.4	13.7
4000	1.29	12.9	15.5
5000	1.48	14.8	17.8

注: 本表适用系统电压 660V 及以下等级

由表中看出, 低压系统中普通开关柜只要不超过 3000m 海拔高度, 不必作改造, 电气间隙与爬电距离皆可适用。

(2) 电线与电缆

由于电线电缆靠固体绝缘, 导体不与大气接触, 不受海拔高度的影响。

(3) 高海拔对温升的要求应随环境温度设定值而定

无论是低压还是高压, 由于海拔高度越高, 环境温度越低, 因此有人认为允许的温升应当相应地增加, 例如: 低压柜的某部件允许的温升是 55K, 是在环境温度为 40° C 而言, 也就是该部件最高温度为 40+55=95 (° C)

当海拔 3000m 时, 比标准海拔高度 2000m 高出 1000m。按 1000m 以上每高 100m 温度降 0.5° C 计, 环境温度比海拔 2000 m 低 5° C, 有人认为当该部件同样允许运行在 95° C 时, 温升应为 60K。笔者认为这种认识不对的, 温升是在指某设定标准环境下升高的度数。允许的实际温度

是标准环境温度加温升值。不论当地环境温度如何低，只要取设定的基准值不变（如取 40° C 作基准），温升值亦不变。这样各部件允许承受的最高温度也不变，即在海拔 1000m 处承受 95° C，在海拔 5000m 处也是能承受 95° C。

当然环境温度的设定应与实际情况相等，如果海拔 4000m 处最高持续环境温度为 25° C，则上述元件允许温升为 70K，总之，温升离开环境温度的设定值无意义。

(4) 导体及低压电器元件

1: 导电回路，虽然海拔高、空气稀薄，造成散热不良而影响载流能力。与中压电器同样道理，高海拔环境温度低，由此对载流能力又进行补偿，综合两种因素后，可认为海拔高度对载流没有影响。

对于断路器及其它控制电器，其内部带电主回路是有空气绝缘部分，因此耐受电压的能力是受海拔高度影响的。至于对载流量的影响，不同的厂家给出不同的参数，不能一概而论。ABB 公司所产空气断路器，海拔高度对其影响见表 7

表 7: 海拔高度对空气断路器的影响

海拔高度 (m)	<=2000	3000	4000	5000
额定工作电压 (V)	690	600	500	440
额定电流 (In)	In	0.98 In	0.93 In	0.9 In

对于 Schneider 公司生产的塑壳断路器 NS100---NS630 型受海拔高度影响见表 8

表 8: 海拔高度对 NS 系列塑壳断路器的影响

海拔高度 (m)	<=2000		3000		4000		5000	
额定电流 (A)	100--630	800--1250	100--630	800--1250	100--630	800--1250	100--630	800--1250
额定工作电压 (V)	690	690	550	590	480	520	420	460
电流降低系数 K	1	1	0.96	0.99	0.93	0.96	0.9	0.94

由于高海拔空气稀薄，断路器的触头系统是与大气相通的，这样断流能力肯定受到影响，但厂家许诺是断流能力保持不变，笔者的理解是在相应的工作电压下这一条件作前提的。例如：在 2000m 处，工作电压为 690V 能分断 50KA。同一台这种断路器在 5000m 处，在工作电压降为 420V 情况下，也能分断 50KA。

2: 熔断器及热继电器。在高海拔地区也会受到影响，但高度在 4000m 及以下范围内，受影响的范围还是在它们允许范围之内。也就是动作特性曲线允许误差带的范围内。

对于密封式熔断器，若与大气不联系，对特性曲线应无影响，若封闭不严，就受海拔高度影响，对全范围保护的熔断器，由于高海拔环境气温低，过载动作时间偏大。对于短路保护，动作时间不受影响。

对于过载保护的热继电器，即使受到轻微影响，由于动作值是在现场整定，因此可根据现场实际运行情况，随时进行整定的更改。

3: 绝缘强度的影响，要区分不同情况。如果全固体绝缘，不靠空气附加绝缘，则海拔高度对绝缘强度无任何影响。如果采取空气绝缘或固体绝缘与空气附加绝缘的话，则受海拔高度影响了。例如 NS100 断路器在海拔不超过 2000m 时，介电强度为 3000V，而在海拔 4000m 处，介电强度只有 2100V 了。

4: 对继电器及转换开关等二次元器件，有人测试且实际运行表明在 4000m 及以下可不作任何处理。

由于在高海拔地区常用的电气设备尚有发电机及变压器，虽然已超过本文所谈低压开关柜的范围，由于属于低压柜配套设备，现略谈高海拔地区对其影响情况：

柴油发电机：由于高海拔空气相对稀薄，燃油燃烧不够充分，造成输出功率的减少。有人调研指出在 4000m 处柴油发电机功率输出最大只有其额定值的 70%；在 2000m 处，大气压为 80KPa，4000m 处，大气压为 62KPa，4000m 处大气压只相当 2000m 处的 77.5%。由此可见，柴油发电机最大输出功率基本上与所在地大气压成正比的。

干式变压器：根据 GB6450《干式变压器》中规定，对于在超过 1000m 海拔处运行，其温升限值应相应递减，超过 1000m 海拔部分，以 500m 为一级，自冷变压器减 2.5%，强迫风冷变压器减 5%。