

## 杜邦™ Nomex® 410纸

### 技术数据表

杜邦™ Nomex® 410纸是一种经过轧光的绝缘纸，具有较高的固有介电强度、机械韧性、柔性和回弹性。Nomex® 410纸是Nomex® 纸的最早期的产品，广泛应用于大多数的电气设备中。它有12种厚度 (0.05-0.76mm) (2-30mil)，几乎用于所有已知需要片型电气绝缘材料的场合。

### 电气性能

表I所示为Nomex® 410纸的典型电气性能值。表I中的介电强度值反映的是在60Hz交流快速升压条件下，能够承受10至20秒时的电场强度，而非长期耐电压水平。

杜邦公司建议，在有可能出现局部放电的场合，尤其是在温度较高的情况下，建议在50/60Hz的连续工作场强不超过1.6kV/mm(40V/mil)。针对存在频繁的线电

压冲击或其它不正常情况以致危险性较高的场合，连续工作场强应保持在1.2kV/mm (30V/mil)以下。表I中的全波冲击介电强度值是在诸如层间和围屏之类的平板材料上所产生的数据。系统结构的几何形状会影

响材料实际冲击强度值。这些介电强度数据是典型值，并非作为设计用的推荐值。如有需要，可以提供设计参考值。如图1所示，温度对介电强度和介电常数的影响较小。

**表I：典型的电气性能**

标称厚度 (mil) (mm)	2 0.05	3 0.08	5 0.13	7 0.18	10 0.25	12 0.30	15 0.38	20 0.51	24 0.61	25.5 0.65	29 0.73	30 0.76
介电强度												
- 交流快速升压 <sup>1)</sup> (V/mil) (kV/mm)	430 17	550 22	680 27	840 33	815 32	820 32	830 33	810 32	800 31	730 29	750 30	680 27
- 全波冲 <sup>2)</sup> (V/mil) (kV/mm)	1000 39	1000 39	1400 55	1400 55	1600 63	N/A N/A	1400 55	1400 55	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	1250 49
介电常数 <sup>3)</sup> 60Hz	1.6	1.6	2.4	2.7	2.7	2.9	3.2	3/4	3.7	N/A	3.7	3.7
介质损耗因数 <sup>3)</sup> 60Hz (x10 <sup>-3</sup> )	4	5	6	6	6	7	7	7	7	N/A	7	7

<sup>1)</sup> ASTM D-149，使用50mm (2英寸) 电极，快速升压；与 IEC 243-1项9.1相符，只是将电极设置为50mm (2英寸)

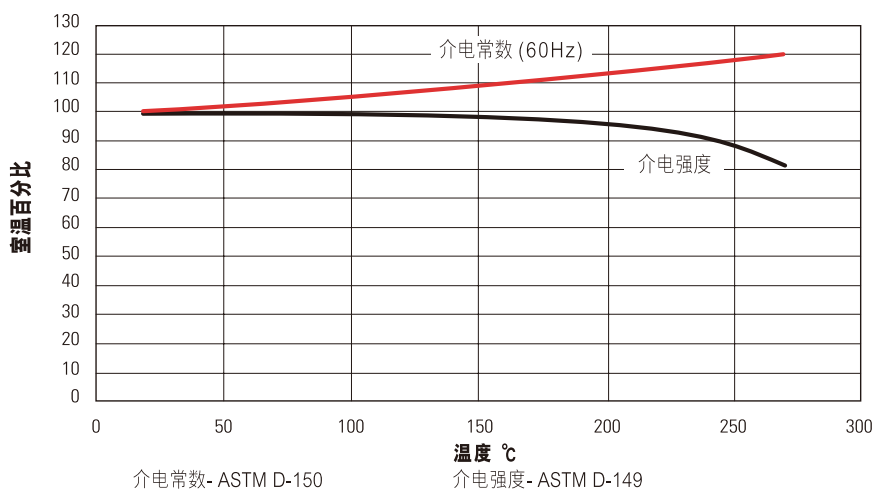
<sup>2)</sup> ASTM D-3426

<sup>3)</sup> ASTM D-150

### 请注意：

数据表中的数据均属典型或平均值，不可用作技术规范。除非另有说明，所有数据都是在“标准条件”下测得的（温度为23℃，相对湿度为50%）。注意：如同其它纸类产品一样，Nomex® 纸在纵向上的性能 (MD) 与横向 (XD) 性能相比有些差别。在某些应用场合，可通过调整纸的方向，以发挥其最佳性能。

**图1：温度对Nomex® 410 — 0.25MM (10MIL) 绝缘纸的电气性能的影响**



介电常数- ASTM D-150

介电强度- ASTM D-149

10<sup>4</sup> Hz以下的频率变化对Nomex® 410纸的介电常数基本上没有影响。温度和频率对干燥的Nomex® 410纸-0.25mm(10mil) 型纸的介质损耗因素的影响曲线如图2所示。在温度低于200℃时较薄纸与0.25mm (10mil) 纸的60Hz介质损耗因数基本相同。在较高的湿度和频率下，较厚纸的介质损耗因数要比0.25mm (10mil) 纸的略高一些。

图3所示为干燥的Nomex® 410纸-0.25mm (10mil) 纸的表面及体积电阻率与湿度之间的关系。其它厚度的Nomex® 410纸的相应值都非常相似。从表II可以看出，潮气（湿度）对Nomex® 410纸-0.25mm (10mil) 纸的电气性能的影响相对较小。

**表 II：湿度对Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的电气性能的影响**

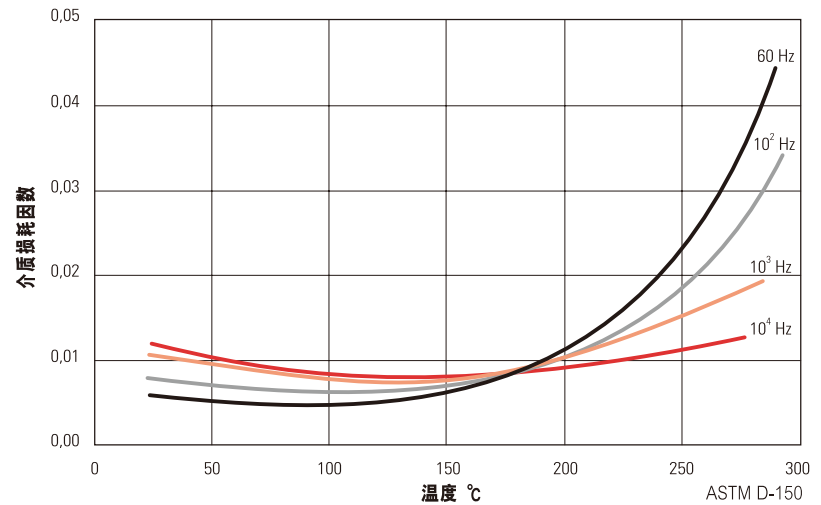
相对湿度(%)	烘干	50	96
介电强度 <sup>1)</sup> (V/mil)	850	815	780
(kV/mm)	33.5	32.1	30.7
介电常数 <sup>2)</sup> 60Hz	2.5	2.7	3.2
1kHz	2.3	2.6	3.1
介质损耗因数 <sup>2)</sup> 60Hz (x10 <sup>-3</sup> )	6	6	11
1Hz (x10 <sup>3</sup> )	13	14	25
体积电阻率 <sup>3)</sup> (Ohm.cm)	6x10 <sup>16</sup>	2x10 <sup>16</sup>	2x10 <sup>14</sup>

<sup>1)</sup> ASTM D-149使用50mm (2英寸) 电极，快速升压：与 IEC 243-1项9.1相符，只是将电极设置为50mm (2英寸)

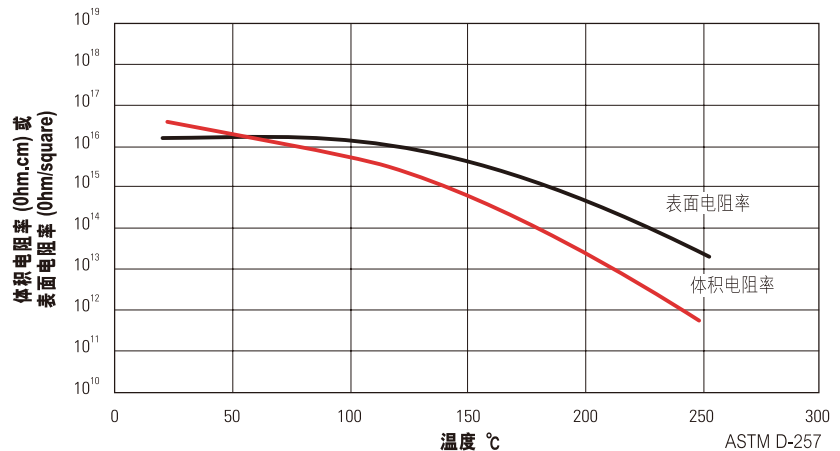
<sup>2)</sup> ASTM D-150

<sup>3)</sup> ASTM D-257

**图 2：Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 绝缘纸的介质损耗因数与温度和频率的关系**



**图 3：Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的电阻率与温度的关系**



同其它有机绝缘材料一样，Nomex® 纸会被电晕放电逐渐侵蚀。电晕强度为电场强度的函数，而电场强度又几乎完全取决于诸如电路元件之间的间隔、平滑与尖锐的外形等设计参数。尽管经过适当设计的设备在正常运行过程中不会产生电晕，但是任何设备都有可能承受突然的过电压，产生瞬时的电晕放电；而绝缘材料在这些情况下不会失效非常重要。从图4可以看出，Nomex® 410纸的耐受电压强度（在电晕冲击下的失效时间）优于其它常用的有机绝缘材料，甚至可以与某些无机合成物质相媲美。这些数据都是在室温、50%相对湿度和360Hz频率的条件下的单层0.25mm (10mil) 材料上获得的。在50-60Hz下材料的失效时间约为图示的6-7倍。Nomex® 410纸的老化曲线如图5所示。这些值是按照ASTMD-2275进行了长期电气老化测试后确定的。如果需要，可提供关于特殊设计的建议。

图4：各种绝缘材料和单层Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的耐电压强度

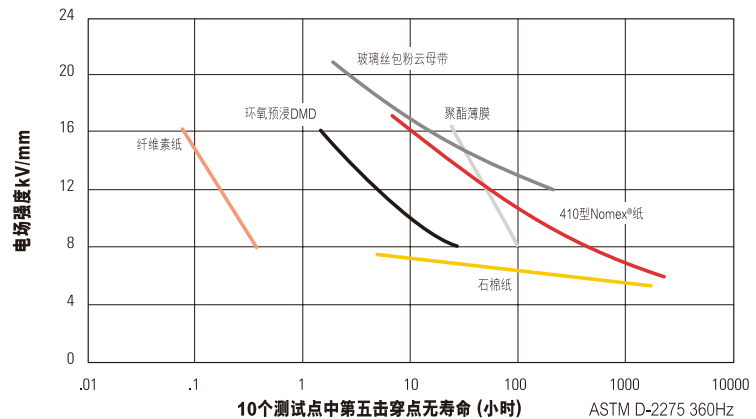
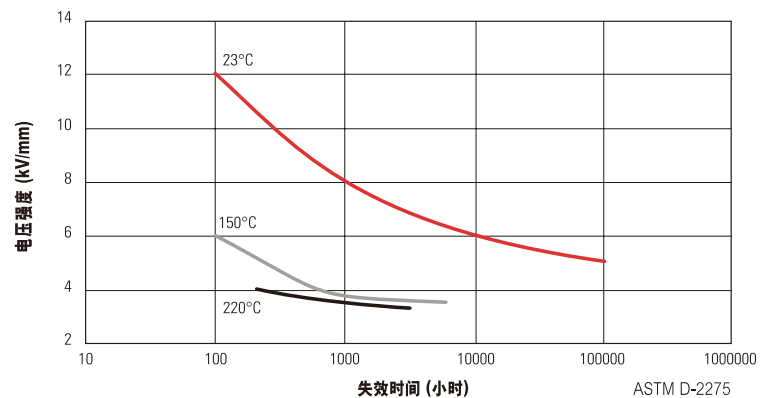


图5：单层Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 在60Hz下的耐电压强度



表III：典型的机械性能

标称厚度 (mil)	2	3	5	7	10	12	15	20	24	25.5	29	30	测试方法
(mm)	0.05	0.08	0.13	0.18	0.25	0.30	0.38	0.51	0.61	0.65	0.73	0.76	
典型厚度 <sup>1)</sup> (mil)	2.2	3.1	5.2	7.2	10.2	12.2	15.2	20.3	24.1	25.4	28.7	30.4	ASTM D-374
(mm)	0.06	0.08	0.13	0.18	0.26	0.31	0.39	0.52	0.61	0.65	0.73	0.77	
基准重量 <sup>2)</sup> g/m <sup>2</sup>	41	63	116	175	249	309	397	547	693	696	854	847	ASTM D-646
密度 (g/cc)	0.72	0.80	0.87	0.95	0.96	1.00	1.03	1.06	1.13	1.08	1.17	1.10	
抗拉强度 (N/cm)													
MD	39	65	137	219	285	378	459	606	741	758	860	841	ASTM D-828
XD	18	32	66	111	152	196	252	354	497	524	630	595	
延伸率(%)													
MD	9	11	15	18	19	22	19	20	18	19	16	17	ASTM D-828
XD	6	8	12	14	15	17	14	16	14	16	12	13	
埃尔门多夫抗撕强度 <sup>3)</sup> (N)													
MD	0.8	1.2	3.4	3.9	6.0	7.4	9.5	14.2	N/A	N/A	N/A	N/A	TAPPI-414
XD	1.6	2.3	5.2	7.4	10.8	14.2	17.2	23.7	N/A	N/A	N/A	N/A	
初始抗撕强度 <sup>3)</sup> (ITR)(N)													
MD	11	16	33	50	71	93	116	163	201	209	252	251	ASTM D-1004
XD	6	8	17	27	42	55	74	113	157	159	199	200	
300℃时的收缩率 (%)													
MD	2.2	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.0	N/A	0.0	0.2	
XD	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

<sup>1)</sup> 方法D：17N/cm<sup>2</sup>

<sup>2)</sup> 表中列数据反映的是按照ASTM D-1004规定方向的样品的初始抗撕强度。该方向与样板方向成90度角。因此，对于具有较高的MDITR报告值的纸，其横向将具有更高的抗撕强度。

MD = 纸的纵向  
XD = 纸的横向

## 机械性能

Nomex® 410纸的典型机械性能值如表III所示。图6反映的是高温对抗拉强度及延伸率的影响。Nomex® 片形材料在极低温度下仍保持着良好机械性能。在液氮沸点(负196℃或77K)下, Nomex® 410纸-0.25mm (10mil) 纸的抗拉强度超过其室温值的30至60% (与方向有关), 而断裂延伸率仍然大于3% (优于大多数室温下的无机材料)。这使得Nomex® 410纸在低温环境下仍能正常地工作。水是Nomex® 410纸的一种软性增塑剂。潮气(湿度)对抗拉强度及延伸率的影响如图7所示。同延伸率一样, Nomex® 410纸的抗撕强度及韧性在湿度较高情况下也会有所提高。暴露于相对湿度为95%的环境中时相较于完全干燥的状态Nomex® 410纸的尺寸在纵向上至多增多1%, 在横向至多增多2% (由于吸收潮气)。对纸再次干燥, 其尺寸基本上是可以恢复的。

当然, 尺寸的变化率与纸的厚度及形状有关 (例如: 单张片材与紧密缠绕的纸卷进行比较就不同)。环境湿度的变化通常只会引起1%以下的尺寸变化。但是, 即使是小的尺寸变化, 特别是这些变化不均匀时, 也会引起或加重片材的不平整 (凹陷、起皱等), 从而可能使在诸如复合、起皱等关键处理过程中出现问题。因此, 用于此种场合的Nomex® 410纸在使用之前应一直密封在其聚乙烯保护包装之中, 以保持均匀的潮气含量。

图6 : 温度对Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的机械性能影响

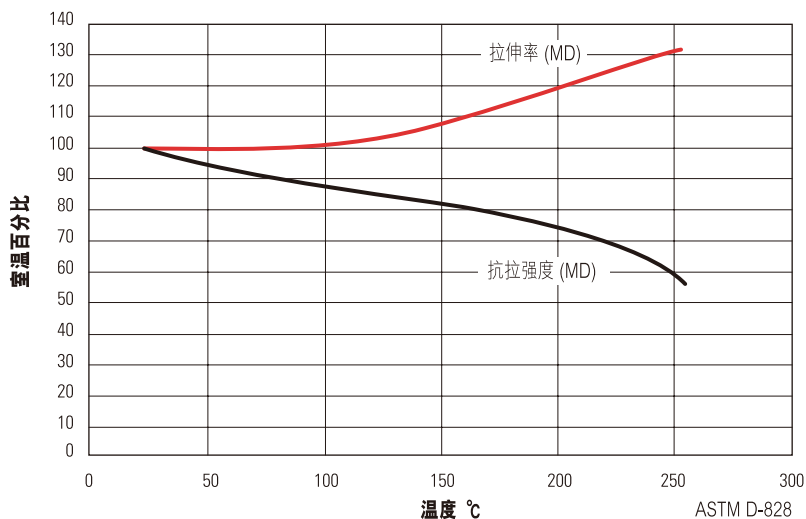
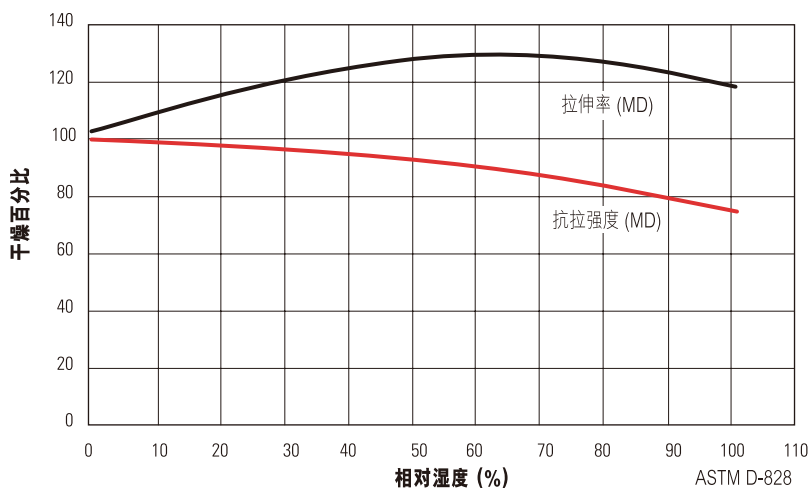


图7 : 潮气对Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的机械性能的影响



## 热性能

长期暴露于高温下对Nomex® 410纸-0.25mm (10mil) 的重要电气及机械性能的影响如图8、9、10所示。这些阿仑尼乌斯老化性能曲线是Nomex® 410纸被保险商实验所(UL)、美国海军以及其它机构确认为220℃绝缘材料的基础，而且在超过40年的商业实践中也得到证实。这些曲线还可被延伸至更高的温度。例如，测量结果表明，在400℃下，Nomex® 410纸能保持12kV/mm (300V/mil) 的介电强度达几小时之久。这与0k曲线所推测的性能相同。

图8：Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的有效寿命与温度的关系

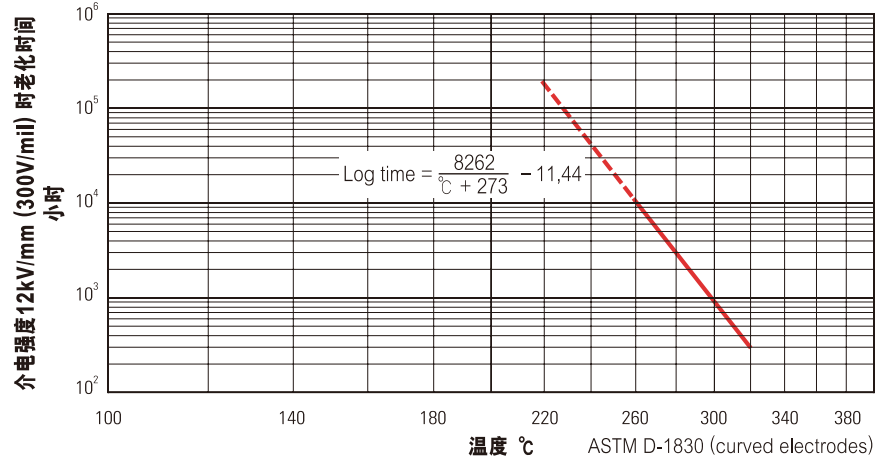
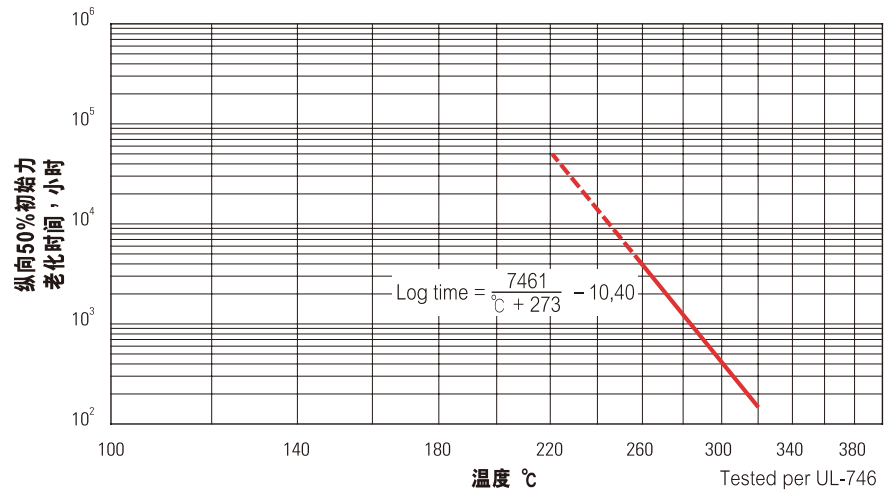


图9：Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的有效寿命与温度的关系



Nomex® 410纸-0.25mm (10mil) 纸的导热率如图11所示。这些值与纤维纸的导热率相近，并同多数材料一样，主要由比重 (密度) 决定。因此，由表IV可见，不太密的较薄的Nomex® 410纸导热率略低，而较密的且较厚的Nomex® 410纸的导热率较高。整个系统的构成可能会对总导热率产生影响，因此，将各个表中的数据应用到实际场合时应加以注意。例如，导热率不同的两层绝缘材料对同一线圈的传热效果完全不同，由于刚性或线圈张力不同，会影响绝缘层之间的间距。

图10：Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的有效寿命与温度的关系

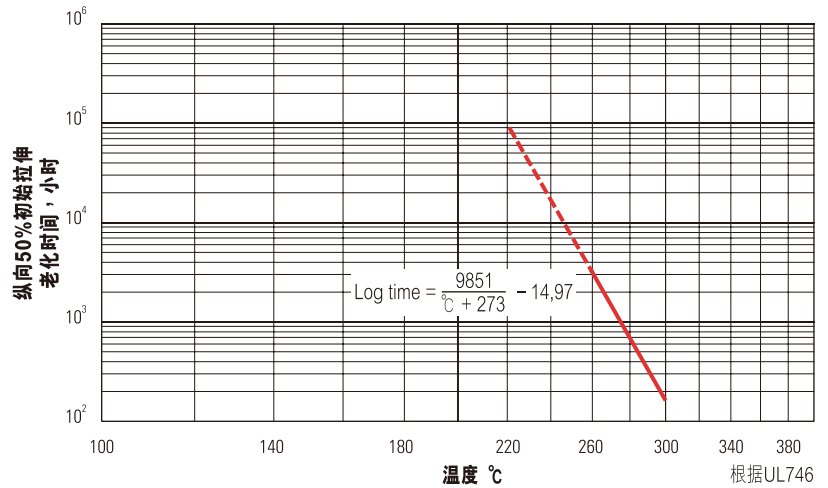
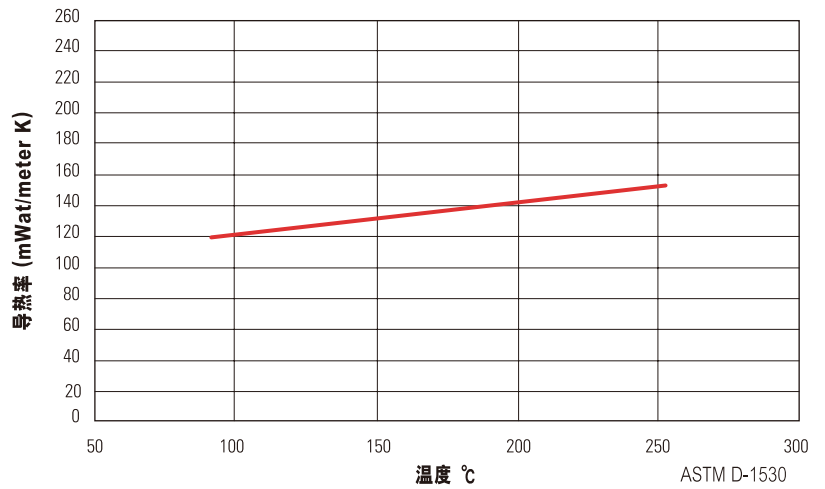


图11：Nomex® 410纸-0.25MM (10MIL) 纸的导热率与温度的关系



表IV：导热率

标称厚度 (mil) (mm)	2 0.05	3 0.08	5 0.13	7 0.18	10 0.25	15 0.38	25 0.51	30 0.76
密度 g/cc	0.72	0.88	0.87	0.95	0.96	1.03	1.06	1.10
热导率 <sup>1)</sup> (mWatt/meter K)	103	114	123	143	139	149	157	175

<sup>1)</sup> 所有数据都是在150°C下测得的

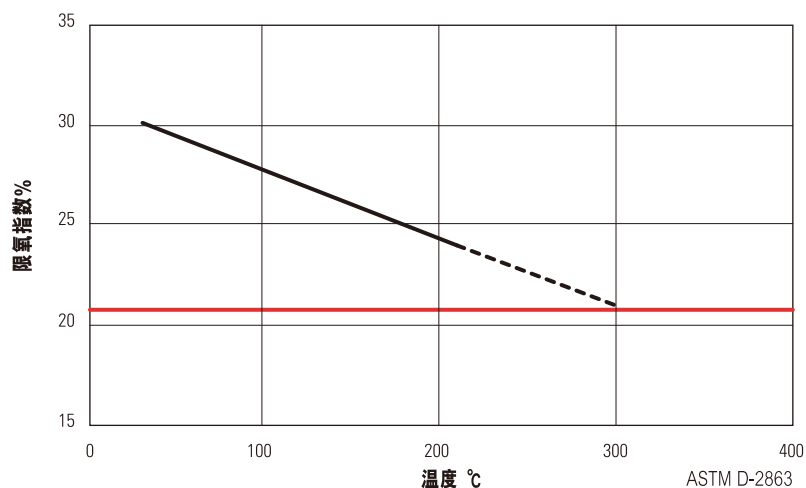
## 化学稳定性

Nomex® 纸和层压板几乎与全部的电气清漆和粘剂 (聚酰亚胺、聚硅氧烷、环氧物、聚酯、丙烯酸、酚类物质、合成橡胶等) 以及电气设备上的其它元件兼容, 许多包含Nomex® 产品的绝缘系统, 已经UL认可, 并有长期的商业实践。Nomex® 纸还与变压器油 (矿物油、硅油及其它合成物质) 以及密封系统中所用的润滑油和冷冻剂完全兼容。常用的工业溶剂 (酒精、甲酮、丙酮、甲苯、二甲苯) 会对Nomex® 410纸产生轻微的软化和膨胀影响, 但是去除溶剂后, 这些影响大部份可以清除。

在室温下Nomex® 410纸的限氧指数 (LOI) 在27%至32%之间 (取决于纸的厚度及密度), 在220℃时该指数变化为22%至25%。LOI大于20.8%的材料在空气中不会燃烧, 只有在加热到240℃至350℃ (仍取决于厚度) 时, Nomex® 410纸的LOI值才能降到可燃点。Nomex® 410纸-0.13mm (5mil) 纸的限氧指数 (LOI) 的大小如图12所示。

表V所示为6400兆拉德 (64Mgy) 的2MeV的β射线辐射对Nomex® 410纸的机械和电气性能的影响。(作为比较, 浸渍了100%环氧物的相同厚度的聚酯薄膜和聚脂板的复合板经800兆拉德或8Mgy的β射线辐射后破碎), 暴露在γ射线时获得了相似的结果。Nomex® 纸优异的抗辐射性能使之已应用于核能装置的关键控制设备之中。

图12: Nomex® 410纸-0.13MM (5MIL) 纸的限氧指数 (LOI)



表V: Nomex® 410纸-0.25mm (10MIL) 纸抗2MEV电子 (β射线) 辐射能力

(Mgy) 测量	0	1	2	4	8	16	32	64
抗拉撕度 <sup>1)</sup> MD	100	96	100	100	94	87	81	65
(原有值的%) XD	100	89	99	99	97	86	81	69
延伸率 <sup>1)</sup> MD	100	100	92	96	76	60	36	18
(原有值的%) XD	100	92	91	88	82	47	27	16
介电强度 <sup>2)</sup> kV/mm	34	34	33	33	33	34	35	31
介电常数 <sup>3)</sup> 60Hz	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	2.3	2.5
1Hz	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	3.1	2.3	2.5
10Hz	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3.0	2.2	2.4
介电因数 <sup>3)</sup> 60Hz	8	14	10	12	9	14	7	10
(x10 <sup>2</sup> ) 1kHz	13	16	15	16	13	16	11	13
10kHz	18	21	20	20	19	20	15	17

<sup>1)</sup> ASTM D-828

<sup>2)</sup> ASTM D-149, 使用直径为6.4mm (1.4英寸) 的电极

<sup>3)</sup> ASTM D-150

杜邦中国集团有限公司上海分公司

客户服务热线：400 8851 888

总机：86 21 3862 2888

传真：86 21 3862 2879

邮编：201203

上海浦东新区张江高科技园区科苑路399号11号楼

[www.nomex.com/paper/cn](http://www.nomex.com/paper/cn)

#### 免责条款

有关产品的安全资料，承索即寄

本资料反映了本公司在这一方面的现有认识。仅用于对您自己的实践工作提供可能的建议。但是，它并不旨在取代您根据特定的用途而可能需要进行的任何用于确定本公司制品的适用性的实验。在本公司获得了新的认识和经验后，可能会对本资料进行修改。由于我们无法预料最终用户的实际条件的各种变化，故杜邦公司不承担和承担与本资料的使用有关的任何责任。本资料中的任何内容均不应被作为使用任何专利或商标的许可或侵犯任何专利权或商标权的建议。

©2015杜邦公司版权所有，并保留一切权利。杜邦椭圆形标识，杜邦™和Nomex®是美国杜邦公司及其关联机构的商标或注册商标。

DPT-N075 03/2015 SH



  
**Nomex**®