

[苏联]M.F.盖尔青什钦著

# 压缩气体电力电缆



科学技术出版社

## 內 容 提 要

本書專講壓縮氣體電力電纜。研究這些電纜工作的物理基礎、結構和工藝，製造時所採用的材料，電纜的一般試驗和型式試驗，接頭盒和封端盒的結構，電纜的敷設與它運行的特點。

本書可供生產或使用電力電纜部門的工程師和技術員參考。並可供高等工業學校電氣絕緣與電纜技術專業教師和學生參考。

## 壓縮氣體電力電纜

СИЛОВЫЕ КАБЕЛИ СО СЖАТЫМ ГАЗОМ

原 著 者 [蘇聯] М. Г. ГЕРЦЕНШТЕЙН

原出版者 ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1947 年版

譯 者 李 彬 權

校閱者 徐 祥 銘 王 紹 先

\*

科學技術出版社出版

上海南京西路 2004 號

上海市書刊出版業營業許可証出 079 號

啓智印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

\*

統一書號：15119.623

開本 850×1168 毫米 1/32 · 印張 4 1/2 · 字數 107,000

1958 年 3 月 第 1 版

1958 年 3 月 第 1 次印刷 · 印數 1-1,800

定價：(10) 0.75 元

## 原 序

大約在十五年以前，在國外出現了第一批壓縮氣體電力電纜。這几年在試驗室和工業運行中研制并試驗了大量不同類型和不同結構的電纜。人們對壓縮氣體電力電纜的興趣逐漸增長起來了，并且，雖然在戰時的困難情形下，在最近的五六年中，不論在英國或者在美國，都在大大地加強研究和掌握壓縮氣體電力電纜的工作。無疑地，在這個時期電力電纜方面的改進工作，基本上是趨向於研制壓縮氣體電纜的合理結構。

目前在國外已有數十根工業用壓縮氣體電纜的綫路，並且數量一年比一年顯著地增加着。

這種電纜在蘇聯沒有製造過，也沒有使用過，因此擺在我國工業面前的就是掌握和運用這種電纜到我國動力事業上去的問題<sup>①</sup>。

應該指出，壓縮氣體作為絕緣也能有效地應用於其他類型的電纜中，例如，用在廣播電台的高頻電纜中，因為它的絕緣必須在相當高的電位梯度下僅具有最小的介質損耗來工作。

本書只研究壓縮氣體電力電纜。

作者對 A. M. 維爾尼克同志在選擇本書材料時所給予的幫助表示感謝。

作 者

---

① 目前蘇聯已經製造電壓 35 千伏以下的壓縮氣體電力電纜，並已開始運行——譯者注。

# 目 錄

## 原序

## 緒論 .....1

## 第一章 壓縮气体电纜工作的物理基礎 .....6

1. 电纜絕緣中气泡的作用..... 6 | 2. 壓縮气体电纜結構的种类.....15

## 第二章 結構和工藝 .....19

3. 压力电纜.....19 | 有特殊槽的电纜.....37  
4. 气套电纜.....24 | 10. 通用电纜公司的無鉛包皮电纜  
5. 卡蘭特尔公司的气套电纜.....25 | (SMD 电纜).....45  
6. 气室电纜.....27 | 11. 浸气电纜.....49  
7. 充气电纜.....31 | 12. 纜芯的結構.....52  
8. 葛洛佛尔工厂的預浸漬紙絕  
綠电纜.....31 | 13. 供含有气体間隙的絕緣用的  
紙厚度.....54  
9. 通用电器公司的除膠絕緣和  
14. 貧乏絕緣的工藝法.....55

## 第三章 材料 .....57

15. 气体.....57 | 19. 作为压力隔膜(薄膜)用的鉛  
包皮.....74  
16. 电纜紙.....68 | 20. 高抗腐性的合金鉛包皮.....79  
17. 浸漬剂.....69  
18. 鉛包皮.....74

## 第四章 壓縮气体电纜的試驗、电特性及热特性 .....81

### 一、一般試驗 .....81

21. 电容和介电系数.....82 | 23. 高压試驗.....84  
22. 游离曲綫.....83 | 24. 鉛包皮的密封性試驗.....85

### 二、型式試驗 .....86

25. 浸漬剂的溢出試驗.....86 | 29. 穩定性試驗.....92  
26. 不同压力下的游离曲綫.....87 | 30. 游离所引起的过程的特征.....94  
27.  $\lg \delta$  和温度的关系.....88 | 31. 冲击試驗.....98  
28. 交流高压試驗.....89 | 32. 热阻..... 100

**第五章 接头盒 .....103**

- |                                        |                                    |
|----------------------------------------|------------------------------------|
| 33. 压力电缆的接头盒..... 103                  | 电缆的接头盒..... 111                    |
| 34. 葛洛佛尔工厂的預浸漬紙絕<br>緣充气电缆的接头盒..... 106 | 36. 通用电缆公司 SMD 电缆的<br>接头盒..... 113 |
| 35. 通用电器公司除膠絕緣充气                       | 37. 浸气电缆的接头盒..... 114              |

**第六章 敷設 .....115**

- |                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| 38. 輸送管..... 115  | 40. 由于溫度变化所產生的移<br>动..... 121 |
| 39. 拉放电缆..... 118 |                               |

**第七章 运行 .....124**

- |                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| 41. 發生漏气时防止击穿的設<br>备..... 124 | 件..... 127          |
| 42. 漏气时电缆絕緣工作的条               | 43. 漏气处的确定..... 133 |

**参考文献**

## 緒 論

1923 年年底在意大利的勃魯蓋利奧（米蘭附近），比雷爾利公司<sup>①</sup>曾敷設了第一條電壓為 132 千伏、纜芯截面為 50 平方公厘、長為 610 公尺的試驗性充油電纜綫路。而正式投入運行的是 1927 年的 6 月和 8 月里，通用電器公司<sup>②</sup>和比雷爾利公司所製造的敷設在芝加哥和紐約的最初二條工業用充油電纜綫路，其電壓為 132 千伏、功率為 95,000 千伏安、長度為 9.6 公里和 19.2 公里。

從這時起，關於高壓地下電力輸電綫路的問題是根本解決了；並且在美國、英國、意大利和法國都曾敷設了幾百公里長的充油電纜，其電壓為 14~27 到 220 千伏之間。

充油電纜的結構和工作原理有效地解決了許多困難，並能避免充膠電纜（粘滯浸漬電纜）那些不可避免的缺點，這些缺點在相當長的時期內曾妨礙了建立可靠的地下高壓（66 千伏和更高的電壓）綫路。

幾年之後，出現了用別種方法來避免充膠電纜缺點且獲得發展的高壓電力電纜，那就是採用壓縮氣體。

首先是各種經濟上的原因促進了壓縮氣體電纜的發展。許多細緻的工藝程序（油的特殊提淨和去氣，提高浸漬質量的特殊方法以及其他等等），和尤其是為了可靠運行所必需配備的輔助設備（壓力箱、供油箱及其他），都促使充油電纜綫路的成本提得相當的高。

除此以外，充油電纜在許多運行的情況下會發生下面的現象，

① Бругерно; Милан; Pirelli.

② General Electric Co.

即处在較强的热電場中的輕礦物油發生老化(形成銅或鉛的皂化物),致使所有絕緣質量在某些主要電特性方面顯著的惡化。

許多壓縮氣體電纜的結構,由于它在垂直或特別傾斜的綫路中和絕緣溫度很高的情況下(綫芯溫度約為  $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ ) 工作時,其浸漬劑不流動,因此,它是敷設在任何高度或深度地方的最合適的一種電纜。

在通路和隧道中,對於安全防火問題有着重大意義,敷設壓縮氣體電纜比其他類型的電纜就來得優勝。如果由於電纜的击穿或任何其他原因發生了火災,那末電纜絕緣中的礦物油能促使火災蔓延開來。如果在壓縮氣體電纜中採用了既不自燃也不助燃的氮氣,那末,在火焰燒着這種電纜時,氮氣就會從燒壞處噴出來,把火焰熄滅。

例如,發電機用電纜乃屬於重要電纜之列,在運行時觀察其鉛包皮密封的情況是非常重要的。用充膠電纜就不能及時地防止由於水分浸入絕緣中而發生的事故。壓縮氣體電纜同充油電纜一樣,也能夠不斷地檢查它的鉛包皮的情況。

各種壓縮氣體電纜結構的製造已獲得最大的推廣,因為它不需要新的設備或特殊的工藝操作;而且完全可以在製造充膠電纜的電纜工廠里就現有的設備上來掌握這種製造。壓縮氣體電纜的製造及運行試驗和充油電纜相同,這在頗大的程度上促進了掌握壓縮氣體電纜。

用氣體壓力來消除電纜介質中游離的第一個專利權是 1925 年美國給予費歇爾和阿脫金生的。

然而事實上第一個研究並在工業上應用壓縮氣體電纜的,不容置辯地是屬於英國(葛洛佛爾公司、亨利公司、安菲爾特公司、卡蘭特爾公司<sup>①</sup>。1932 年英國就敷設了第一條電壓為 66 千伏工業

① Glover Co, W. T. Henley, The Enfield Cable Works, Callender Cable and Construction Co.

用的压力電纜綫路，而在 1937 年敷設了第一批电压为 33 和 132 千伏的充气電纜（預浸漬絕緣）。

1940 年年底在歐洲敷設了电压为 50~120 千伏，長約 90 公里的压力電纜，到 1942 年敷設了將近 40 公里長、电压为 33~132 千伏的充气電纜。

美國只在几年之前才对壓縮气体電纜發生了兴趣，可是目前美國壓縮气体電纜的制造和研究事業，如果不占首要地位，那末不管怎样，也可以与英國并駕齐驅。在战时的条件下，美國電纜工業（通用電纜公司<sup>①</sup>，以及通用电器公司）对于壓縮气体電纜非常重視。

美國最初几条工業用的充气電纜（除膠絕緣）綫路是在 1938 年夏天敷設好的（在紐約和伊恩凯尔斯）。这些是电压为 15 千伏的低压力電纜，其綫芯总長为 18.25 公里。从 1942 年 1 月起开始有了敷設在杰脫罗依脫的第一条工業用充气電纜（預浸漬紙；SMD 型）；其电压为 120 千伏，輸送功率为 95,000 千伏安；綫芯总長为 33.5 公里。美國在 1941~1942 年曾敷設了第一条电压为 120 千伏的压力電纜实验綫路，并已投入运行，其輸送功率为 95,000 千伏安，綫芯長 1.25 公里。

目前歐洲和美國所运行的各种結構不同的壓縮气体電纜，綫芯長共計約为 200~250 公里，它們的电压为 15~132 千伏。

远在 1932 年，苏联列寧格勒“北方電纜”<sup>②</sup>工厂就开始研究壓縮气体電纜（浸气型），可惜到現在为止，壓縮气体電纜在我們工業上还没有獲得应用。

壓縮气体電纜的各种結構有着不同的假定名称，有时也不完全恰当，并且也不是所有的結構都能得到一致的認識和应用的。

目前工業上应用的電纜，有各种結構的压力電纜和充气電纜；

① General Cable Corporation.

② “Севкабель”.

浸氣電纜和氣室電纜由於各種原因還沒有得到廣泛的應用，但是它們的結構和工作的原理，以及它們的性能和特征在总的方面上是具有不可置辯的優點的，因此，很可能在將來會被有效地應用。

到目前為止，壓縮氣體電纜運行的經驗大體上是取得了很滿意的結果。這些電纜是牢靠的，並且具有良好的電、熱和機械的特性，同時也能應用在最高電壓的地下網絡中。

在文獻中會看到壓縮氣體電纜在工作綫路中發生一些故障的報導，然而這些故障是由於經驗不足所引起的，或者是一些容易被消除的小毛病。例如，大家知道的，敷設在英國的第一條壓力電纜的輸送管的保護層做得不好，發生了電解腐蝕；敷設在哥本哈根的壓力電纜中，發現靠近接頭處由於電纜縱向的相對移動，在輸送管上引起了機械上的損壞；英國在1940年1月已經開始運行的電壓為33千伏、輸送功率為27,175千伏安的充氣電纜中發現有不顯著的漏氣等等。

在每一個別情況下，選擇電纜類型主要以經濟觀點為主。應當考慮到綫路的特点，材料的價格，製造、附件及安裝的價格，運行費用，電纜的牢靠程度。在作全部估價時，則要對各種結構或各種類型的電纜作一個選擇。

關於充氣電纜（預浸漬絕緣），充油電纜和充膠電纜價格的數據列舉在表1中，從表中可以看到，在其他條件相同之下，充氣電纜用於中電壓和高電壓下最為經濟〔參考文獻1〕。

英國的某區用附加敷設一條電壓為33千伏的充氣電纜的方法來擴展同樣電壓的充膠電纜網絡，這種估價是具有很重要意義的。

由於這個原因，美國魏爾琴尼亞公司<sup>①</sup>從1943年起用輸送功率20,000千伏安的低壓力充氣電纜（除膠絕緣）來補充33千伏充膠電纜的地下網絡〔參考文獻2〕。

① Virginia Electric and Power Co.

表 1

| 序<br>号 | 網絡<br>电压<br>千伏 | 電 纜 类 型 | 纜 芯<br>截 面<br>公厘 <sup>2</sup> | 一公里的<br>价格(約)<br>英鎊 | 額 定<br>功 率<br>千伏安 | 每 公 里<br>1,000千伏安<br>的价格(約)<br>英鎊 |
|--------|----------------|---------|-------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1      | 33             | 充膠電纜    | 193.5                         | 3,292               | 20,800            | 162                               |
| 2      | 33             | 充气電纜    | 193.5                         | 3,292               | 23,000            | 143                               |
| 3      | 33             | 充气電纜    | 258                           | 3,609               | 27,500            | 131                               |
| 4      | 33             | 充油電纜    | 258                           | 4,375               | 27,500            | 159                               |
| 5      | 66             | 充气電纜    | 258                           | 4,823               | 54,000            | 89                                |
| 6      | 66             | 充油電纜    | 258                           | 5,687               | 55,000            | 103                               |
| 7      | 132            | 充气電纜    | 161                           | 5,905               | 77,000            | 76.5                              |

根据充气電纜事業研究和制造的先驅者，英國的權威工程師皮愛佛和大衛<sup>①</sup>的意見[參考文獻3]，認為一般應用相間電壓在264千伏以下的充气電纜是不會發生嚴重的技術上的困難的。如果沒有特殊的要求，應用電壓的最低限度應從經濟觀點來決定。他們認為，在某些情況下所有決定採用電壓為33千伏的充油電纜的原因，幾乎同樣可用在充气電纜上，而且充气電纜還具有許多附加的優點，那就是價格較低和不需要輔助設備，並且它的敷設與運行也比較簡單。

充膠電纜的最高電壓是66千伏，而這樣電壓的充气電纜在價格和尺寸方面都是相當經濟的。

電壓為66和132千伏的充气電纜較之充油電纜來得便宜，而且其運行也比較簡單。

① C. Y. Beaver & E. L. Davey.

# 第一章 壓縮气体电纜工作的物理基礎

## 1. 电纜絕緣中气泡的作用

由于工藝的不完善和在运行中温度的改变，在充膠电纜的絕緣中常会含有一定数量的气泡。

如果气体中的电場强度低于开始游离的电位梯度，气体便是一种很好的电气絕緣材料。在气体中不会產生剩余电荷，气体的介質損耗角等于零，电阻系数比浸漬剂高，而其击穿电压不随時間而减小，这就是說，气体和固体、液体介質的不同，就是它不会老化。

可是，如果电位梯度超过某一数值，則在气体中就开始發生撞击游离过程，以致部分或全部气体就不再是电气絕緣材料了。气泡中的游离不僅把气体变成导体状态，并且使电纜絕緣的固体和液体部分（用各种浸漬剂浸漬过的紙）遭到破坏；因此，即使电場强度在足夠地降低后气体能完全恢复其絕緣性能，而浸漬紙上的损坏处却有不可恢复的特征。气泡逐漸地擴大，最后可能導致电纜介質完全击穿。

因此，由于气泡的存在，不能使电纜絕緣中的电位梯度超出某个極限，这个極限是如此的小，以致在制造高压充膠电纜时絕緣部分需变得粗大，而事实上过分增大电纜尺寸和重量是不行的。

这个原因在当时就成为制造高压电纜的一个阻碍，因而使得絕緣电纜大大地落后于發电机和变压器等设备的發展。

高压电纜的制造問題就趨向于：制造时能將气泡从介質中完全去除，以及在屏蔽电場的導电包皮（帶子）上放一層很坚硬而有

彈性的材料(這種材料在浸漬劑、或者製造或運行時所發生的任何原因的影響下都不會引起老化和損壞)，可以預防外面密封的包皮膨脹，以及在電纜冷卻時使浸漬劑能立即恢復到原來在介質中的狀態。這種彈性層要能防止介質在其中形成氣泡；而且這種電纜的敷設與運行要和現代的充膠電纜一樣的簡單。

可惜，這種電纜的製造問題沒有能得到解決，目前高壓電纜技術已改用其他方法來去除氣泡的游離。

第一個方法，就是在製造電纜時去除絕緣中的氣泡，在運行中用輕礦物油浸漬的方法來防止氣泡的形成（這種輕礦物油在受熱時能離開電纜，而在冷卻時又能漸漸地回到介質中去）。在這個理論基礎上製造了所謂充油電纜及其變態制品靜油電纜。

第二個方法，是在電纜運行時不致引起絕緣中的氣泡游離的情況下，把氣泡按置得使工作電位梯度能提高得相當大。按這個原理製造了許多電纜的結構，它們的通用名稱就是壓縮氣體電纜。

壓縮氣體電纜技術所應用的基本規律，就是開始游離的電位梯度與氣體密度的關係，因而也是和氣體壓力的關係。設計許多這些類型電纜的結構時，另一條物理電學規律也起着很大的作用，這就是開始游離的電位梯度與電場方向中氣體間隙大小的關係。

很明顯地，氣體分子間自由路程的平均長度是隨着氣體密度的增加而減小的，並且為了達到用撞擊法來使它們分裂，運動着的離子和電子必須在較短的路程中儲藏有足夠的動能，這樣就需要增加電場強度，即增加其電位梯度。

因此，若絕緣中的氣泡或間隙中的壓力有了增加，那末開始游離電位梯度和相應的開始游離電壓也就隨着增長了。

這從圖 1 和圖 2 的曲綫中可以明顯地看出來。

圖 1 的曲綫是取自放在輸送管中的  $3 \times 95$  平方公厘，絕緣厚度為 7 公厘的 H-SO 電纜；實綫表示在加熱以前的關係，虛綫則表示在加熱到  $50^{\circ}\text{C}$  以後的關係 [參考文獻 4]。

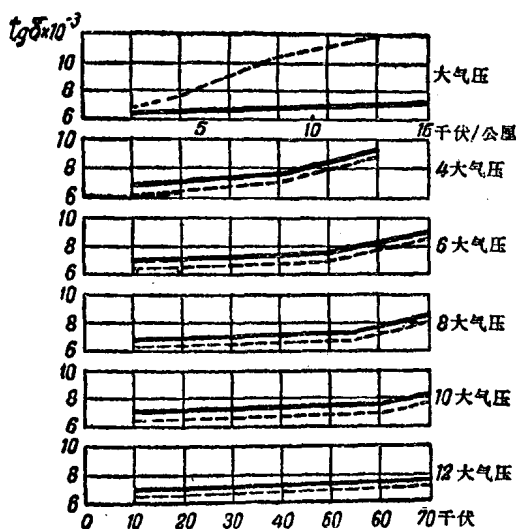


圖 1 在不同压力下 H-SO 电缆的  $\text{tg } \delta$  与电压的关系。

从曲线中可以看到：电缆在加热以前如过剩压力为 4 大气压时，其开始游离的电压是 40 千伏，在 6 大气压时则为 48 千伏；在 8 大气压时为 55 千伏，在 10 大气压时为 66 千伏，在 12 大气压时则超过 70 千伏。当加上压力时电缆的稳定性也极其显著地改善着。

圖 2 表示线芯截面约为 300 平方公厘的单芯电缆的曲线，这种电缆用预浸渍纸来绝缘，而且放在输送管中不用铅包皮；绝缘的厚度为 14.9 公厘。这种电缆的结构在第二章第十节中将作详细的叙述。

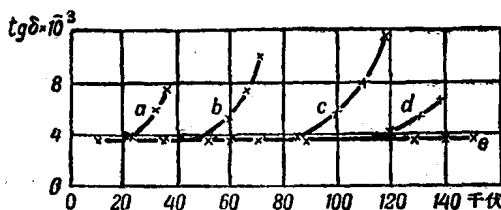


圖 2 在不同压力下 SMD 电缆的  $\text{tg } \delta$  与电压的关系。

氮气压力用大气压表示：a—1.0；b—3.5；c—7.0；d—10.5；e—15.75。

在試驗一批这些电缆时,曾得到下列数据:氮气在1大气压时,开始游离的电压约为23千伏,在3.5大气压时约为50千伏,在7大气压时,约为75~90千伏,在10.5大气压时,约为100~120千伏,在14大气压时,约为120~140千伏,在15.75大气压时,则为140千伏或更高。

电缆应在对地电压为70千伏时工作,因而,为了在这电压下不致发生游离现象,用7大气压是足够的了;以14大气压作为工作压力时,开始游离的电压约超出工作电压一倍。

图3表示电缆线芯处开始游离的电位梯度与在铅包皮下氮气压力的关系。

曲线取自在15°C时的单芯电缆,其线芯截面为161平方公厘,介质径向厚度是3.8公厘;电缆绝缘是用厚约为0.06公厘的预浸渍纸制成的[参考文献3]。

有时常用开始游离的平均电位梯度,即用开始游离电压除以介质厚度而

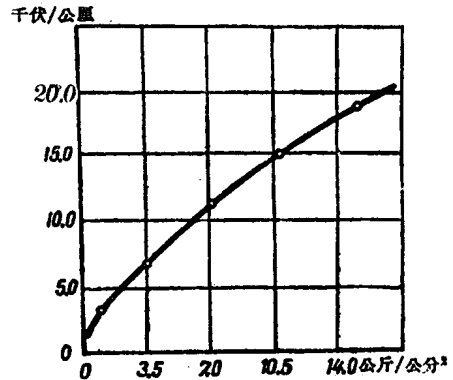


图3 充气电缆(预浸渍绝缘)开始游离的电位梯度与压力的关系。

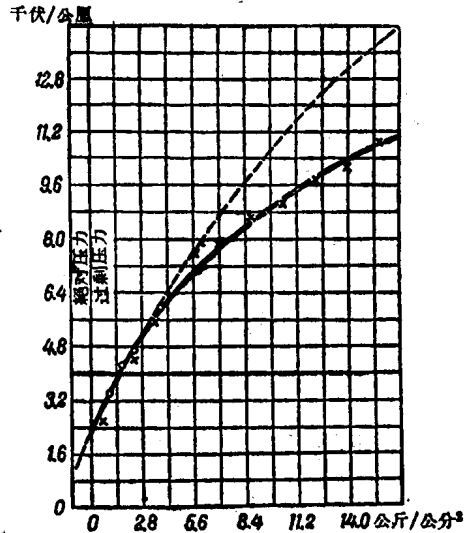


图4 充气电缆(除胶绝缘)开始游离的平均电位梯度和压力的关系。

---理论曲线; —实验曲线。

○—中压力的三芯电缆; ×—高压力的单芯电缆。

得的电位梯度。

圖4是表示用厚為0.12公厘的紙制成的浸漬后再除膠的絕緣電纜的平均游离电位梯度与氣體压力的关系；压力是由在鉛包皮下充入氮氣的方法形成的[参考文献6]。

这种電纜的結構在第二章第九節中將要詳細敘述。

目前電力電纜的技術只利用游离的电位梯度和压力的关系，也就是使氣泡的压力提高到大氣压力以上的方法。游离电位梯度是随着低于大氣压力的压力减少而降低的，但是在非常稀薄的压力下却又重新开始增高。

每一种氣體都以一定的最小击穿电压作为其特征，这就是說，無論是改变压力或者是改变電極間的距離，当电压低于上值时，氣體間隙是不会發生击穿的。如果氣體間隙中的压力已使击穿电压達到最小值，那末在進一步提高氣體稀度时，击穿电压又重新开始增高。因此，这种氣體在二極間一定距离中是有一定压力的，比这种压力高或低时，氣體間隙的击穿电压都將會增大。二極間的距離越短，那末臨界压力就越大，例如，从圖5的曲線中可看出，該圖表示二極間在不同距离和在各种不同压力下空氣的抗電

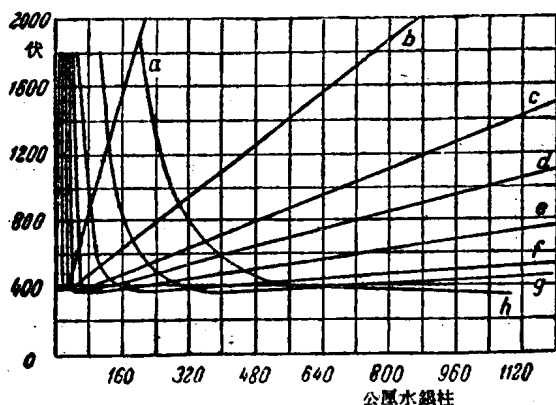


圖5 在不同間隙和压力时，空氣的抗電強度。

空氣間隙厚度，公厘：a—1.0；b—0.250；c—0.125；d—0.08；  
e—0.05；f—0.025；g—0.01；h—0.005。

強度的關係。

在距離為 0.01 公厘時，臨界壓力約等於 400 公厘水銀柱，在 0.025 公厘時約為 220<sup>①</sup> 公厘水銀柱，在 0.05 公厘時則為 80 公厘水銀柱，等等。

在間隙為 0.05 公厘時，氮氣的臨界壓力約為 150 公厘水銀柱，而壓力為 20 公厘水銀柱時，這個間隙的击穿電壓約與在 14 大氣壓時一樣。

很可能為了滿足電纜工作的需要要求更高的稀度，因為上面所引用的數據是在平面金屬電極上所取得的，而電纜絕緣中的氣體間隙是受紙的表面所限制，沿間隙邊的弧絡電壓可能比氣體的击穿電壓小，因為它是與紙的表面情況和紙表面上存在的毛細等等有關。

例如，按照圖 3 的曲線，在壓力從 1 大氣壓增加到 14 大氣壓時，游離的電位梯度約增加四倍半，而在金屬電極間距離和增加壓力都相同的情況下，氮氣的游離（击穿）電壓約增高六倍半。這些理由也就說明了圖 4 中理論曲線與實驗曲線間的差別。

用於真空下工作的電力電纜最嚴重的缺點，就是這種電纜應當有絕對牢靠的密封包皮，因為在密封受到破壞時，水分和空氣就可能滲入到絕緣里，這些水分和空氣很快沿着電纜整個長度擴散開去，而使其變成完全無用。

當壓縮氣體電纜的包皮損壞時，氣體卻相反地會跑到外面來防止水分和空氣進入絕緣。在電壓尚未除去以及漏氣還未消除前，氣體不斷地由特殊的設備供給電纜。

游離電位梯度與間隙厚度（氣體間隙沿電場方向很小時）的關係是如此解釋的：為了使中性分子發生有效的撞擊而引起它的分裂，運動着的電子或離子應在路程中積聚足夠的動能，間隙越短，路程也越短。為了積聚足夠的動能，路程的長度越短電場中電子

① 原書為 160 公厘水銀柱，但根據圖中應為 220 公厘水銀柱——譯者注。

或离子运动的速度就应越快,这样,就需要适当地增加电位梯度。

电力電纜的綫芯是用繞成有間隙的紙帶來做絕緣的。这种絕緣形成二种間隙。第一种間隙的側边是由相鄰紙圈边所形成,而徑向边則由放在上面或下面的紙帶所形成(圖 14)。如包扎得緊密,間隙的徑向大小(間隙的厚度)差不多等于絕緣紙的厚度;而寬度則由相鄰紙圈边間的間隙所决定。另一种間隙是由相鄰紙帶的表面間形成的,它們的徑向大小与包扎的緊密程度有关。

圖 13 表明二种气体間隙。

在充膠電纜中,这些紙絕緣中的間隙是充以浸漬剂的;在充油電纜中用輕礦物油,而在壓縮气体電纜中(除压力電纜和气套電纜外)則充以比大气压力高的壓縮气体。

圖 6 是表示預浸漬紙絕緣電纜中游离电位梯度和气体間隙厚度的关系[参考文献 3]。

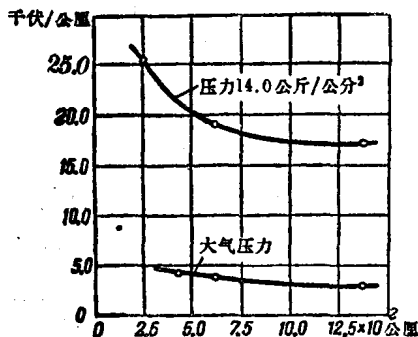


圖 6 在不同压力下,游离电位梯度和气体間隙厚度的关系。間隙寬度为 3.2 公厘。

实际上,在充膠電纜(以及压力電纜,它是一种放在充以壓縮气体的輸送管中的充膠電纜)的絕緣中是有气泡的,它的数量、大小和位置不詳,而且也不能控制。充膠電纜在不同的工作状态时,電纜中的气泡压力同样也不知道,且不能控制。

充膠電纜一般工作状态有变化时,所有气泡参数就不断地改变着,这是由多次的實驗工作和运行时的观察所确定的。

因而,在充膠電纜中气泡成为絕緣不可避免的特殊的污点,这种污点能使絕緣的电气性能惡化;而且由于它有上面所指出的不确定性,不能够較正确地來計算絕緣电气特征所受到影响的程度。

紙絕緣間隙充以壓縮气体的電纜中可以正确地知道間隙的位