

王瑞陞 編著



分子端在电缆 充气维护中的应用

人民邮电出版社

分子筛在电缆充气 维护中的应用

王瑞璽 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

分子筛是一种新型高效能、高选择性的吸附剂，目前在许多工业部门中已得到广泛应用。本书对分子筛的组成及其吸附特性、非加热再生干燥空气供给设备的构成及其技术要求以及分子筛吸附器的设计等进行了较详细地叙述。对非加热再生干燥的一些常识、测定气体干燥度的方法等进行了概括地介绍。书后还列有国产和国外生产的分子筛产品的数据及在各种温度下（饱和湿度时）空气中水分的重度等技术资料，并附有充气设备的电路图供读者参考。

本书可供从事电信电缆充气维护工作人员使用，也可作为其他工业系统进行流体的干燥与净化处理的参考资料。

分子筛在电缆充气维护中的应用

王 瑞 璽 编 著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1981年10月第 一 版
印张：3 12/32 页数：54 1981年10月河北第一次印刷
字数：76 千字 印数：1 - 2,400 册

统一书号：15045·总2517 - 有5220

定价：0.29 元

前 言

近年来，分子筛作为一种新型高效能的干燥剂、分离剂及催化剂，在石油、化工、电子及国防等工业部门中得到了广泛的应用。在通信电缆的充气维护中，主要是应用分子筛作为高效能干燥剂的特点，对气体进行脱水，可以获得深度干燥的气体，对提高通信电缆的绝缘强度，保证通信质量，起着积极的作用。

非加热再生干燥空气供给设备，是使用分子筛作吸附剂，采用压强转换循环的办法对气体进行干燥的。目前在美国、日本、澳大利亚及西欧等国家的电缆充气维护中已广泛使用。为了加速实现我国通信现代化，进一步提高电缆充气的技术水平，我国于一九七四年开始对非加热再生干燥空气供给设备进行探索和试验。试验表明：这种设备不但能够大大提高气体的干燥度，而且还可以使滤气自动化，节省较多的人力和物力，因而深受电缆线路维护人员的欢迎。现在这种设备在国内正在逐步推广使用。不少单位都在进行试制，有的已经收到效益。为了及时地进行技术交流，总结经验，使这种充气设备的性能日趋完善和轻量化，更好地为通信的现代化服务，希望这本书能够起到抛砖引玉的作用。由于水平所限，恳切希望读者对书中不妥之处，予以批评指正。

本书在编审过程中，曾得到马正本、房振东同志的大力帮助，编者深表谢意。

作 者

一九八〇年三月于北京

目 录

前 言

第一章 电缆充气与干燥技术	(1)
第一节 电缆充气的干燥问题	(1)
第二节 电缆充气的干燥技术	(2)
第二章 有关非加热再生干燥技术的一些常识	(9)
第一节 吸附及其基本理论	(9)
第二节 饱和汽与未饱和汽、露点	(13)
第三节 绝对温标、大气压强、干燥空气的状态变化、湿度	(15)
第四节 电缆的气阻	(24)
第三章 分子筛的结构及其吸附性能	(27)
第一节 分子筛的发展概况	(27)
第二节 分子筛的组成及结构	(28)
第三节 分子筛的吸附性能	(30)
第四节 分子筛的选型及再生方法	(34)
第四章 分子筛吸附器的设计	(37)
第一节 压强转换再生的原理	(37)
第二节 吸附器的动作过程	(40)
第三节 吸附器的设计	(41)
第五章 非加热再生干燥空气供给设备	(51)
第一节 设备组成	(51)
第二节 设备的技术条件和性能	(55)

第三节 设备元件选用.....	(58)
第六章 气体水分含量的测定.....	(66)
第一节 气体的干燥标准.....	(66)
第二节 气体水分含量的测定方法.....	(67)
附录1. 单位换算.....	(86)
附录2. 在各种温度下的饱和湿度时, 空气中水分 的重量.....	(90)
附录3. 在不同温度下水蒸汽的压强.....	(92)
附录4. 大连红光化工厂分子筛产品介绍.....	(93)
附录5. 美国贝尔公司分子筛产品介绍.....	(95)
附录6. 非加热再生干燥空气供给设备电路图.....	(100)
附录7. 主要城市温度、湿度表.....	(103)

第一章 电缆充气与干燥技术

第一节 电缆充气的干燥问题

电信电缆的充气维护是在电缆内充入一定压强的干燥气体,使电缆内的气体压强大于电缆外面的大气压强,当电缆出现漏洞时,可以抵抗外界的潮气或水分浸入电缆,保持电缆内部处于干燥状态,使电缆回路的信号传输不受影响,保证通信正常运行。由此可见,在电缆的充气维护工作中要掌握好两项:一是要保持电缆内具有一定的压强;另一是充入电缆内的气体要有足够的干燥度(气体中水分的含量)。二者是同等重要的,不可偏废。如果电缆内的气压能够保持一定强度而气体的干燥度不够,则会引起信号传输的导体绝缘不良,影响其电气性能。反之,气体的干燥度够而气压的强度不能保持一定标准,则会引起潮浸或水浸,造成通信障碍。目前我国电信电缆的充气维护工作中,对充入电缆内气体的干燥度还缺乏必要的监测设备和制度。据调查在现行的干燥方法中,气体在充入电缆之前,虽然经过干燥处理,但是,干燥度难以保证达到干燥标准的要求。尤其是对于复用频率比较高的电缆,对气体干燥度的要求也越来越高,用现行的干燥方法是无法满足要求的。譬如,对同轴电缆充气,如果不提高气体的干燥度,当温度冷却到一定程度时,由于湿度较大就有可能在同轴管内发生结霜的问题,使传输特性变坏,降低通信质量,甚至影响正常通信。为了提高充气设备的自动化水平和滤气水平,进而满足同轴电

缆充气的需要，提高电缆的绝缘强度，改进原有的充气设备，采用新的干燥技术是势在必行的了。

非加热再生干燥空气供给设备就是利用分子筛的吸附特性向电缆供给高干燥度气体的充气设备。该设备是将人工倒换的滤气瓶改为非加热再生式吸附器，大大减小了储气罐的容量；用减压阀调整气体的压强，把气压降低到所需要的数值；改用无油润滑空气压缩机，避免气体被油污染，可以获得纯净的气体。同时还简化了流程提高设备的运转率。几年来的实践证明，分子筛在电缆充气维护工作中的应用，已经收到了良好的效果，在提高电缆充气维护技术工作中，发挥越来越大的作用。

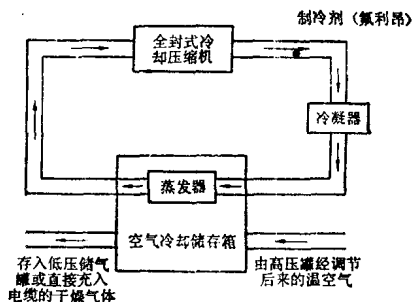
第二节 电缆充气的干燥技术

为了对电缆充气的干燥技术有较全面的了解，本节对国内外在电缆充气维护工作中曾使用过的几种干燥方法进行概括的介绍和比较，以便对采用分子筛滤气的优越性有进一步的认识。

在自然条件下的气体中，含有大量的水蒸汽。气体在充入电缆之前必须进行干燥处理。干燥处理的目的是为了把气体中所含的水分降低到规定的标准以下，并滤去其中的杂质，使电缆内部处于干燥和纯净状态，以提高通信质量。从气体中除去水蒸汽的方法概括起来有以下几种：

一、冷冻法

冷冻法是利用“压缩—冷却—膨胀”的原理，使气体中的水分冷凝而脱水。冷却干燥设备由冷却压缩机、冷凝器、蒸发器和空气冷却储存箱等各项设备组成，制冷剂采用氨或氟里昂气体。冷却干燥设备的连接图如图 1 所示。



注：全封式冷却压缩机的开启及停止由
空气冷却储存箱内的温度来控制

图 1. 冷却干燥设备的连接图

由冷却压缩机吸气阀门吸入低压氟里昂气体，经压缩为高压气体之后，再由冷却压缩机排气阀排入冷凝器，冷凝成液体，然后进入蒸发器，吸收热量制出冷气。然后又变为气体而由蒸发器排出后进入冷却压缩机吸气阀门，如此循环制冷。

进入电缆的压缩空气，先经压缩后输入装有蒸发器的冷却储存箱，使流经冷却储存箱内的气体冷却脱水后再排入低压储气罐储存。冷却储存箱内的温度以及制冷过程都可以自动控制。储存箱内的温度一般保持在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 左右，储存箱外面另用外壳封住，储存箱与外壳间垫有玻璃棉或其他隔热品。

冷却压缩机的作用是吸取蒸发器中的低压制冷剂，将其压缩成高压、高温的气体，以便排入冷凝器后冷凝成液体。冷凝器的作用是将制冷剂在蒸发器和压缩机中吸收的热量传递给周围介质（水或空气）的热交换器。自压缩机出来的制冷剂过热蒸汽进入冷凝器，因受冷却而变为液体，将其在蒸发器和压缩机中以及在低压管道内所吸收的热量一起放出。蒸发器的作用是将被冷却介质的热量传递给制冷剂的热交换器。液体制冷剂进入蒸发器后因吸热而蒸发变为蒸汽。

制冷剂一般多采用氟利昂—12 (CF_2Cl_2)。它是无色、无臭、不燃烧、无爆炸性的气体，对人体的危害最小，当它不含水分时，对充气设备的部件无腐蚀作用。

采用冷冻法进行气体干燥处理，需要增加一套冷冻设备。设备的体积较大而且管路连接也很复杂，有时还存在管路内结霜的问题，干燥效果一般，故这种干燥方法在电缆充气维护中用的不多，有的已被淘汰了。

二、高压充气法

高压充气法是用压缩机将气体（氮气或空气）压缩到具有足够高的压强，使气体的体积减小，降低单位体积气体中所含的饱和水蒸汽量，从而达到干燥气体的目的。压缩气体中所含的饱和水蒸汽量与温度、压强有一定的关系。一般来说，如果温度保持不变，压强越高则气体所含的饱和水蒸汽量就越低，气体就越干燥。通常是将氮气压缩到120~150公斤/厘米²，然后灌入高压储气瓶内，作为电缆充气的气源。充气时将储气瓶内的气体经过减压阀减压到电缆充气气压范围（1~1.5公斤/厘米²），再通过输气导管充入电缆。采用高压氮气充气，可以防止电缆心线接续点和绝缘介质的氧化，延长电缆的使用寿命。使用高压氮气瓶供气，设备简单，操作方便，但需要有气源供给的条件，当充气点设在交通不方便的地方，运输储气瓶是件比较麻烦的事。

三、活性固体干燥剂吸附法

活性固体干燥剂吸附法是利用活性固体干燥剂吸附气体中的水分而进行干燥的。这是电缆充气维护中常用的干燥方法。使用的活性固体干燥剂有氯化钙、硅胶、分子筛等。在使用活

性固体干燥剂的吸附中，由于被吸的水分子数量与可供吸附的表面积有直接关系，一般来说，干燥剂的表面积越大，其吸附能力就越强。所以，工业上用的干燥剂通常都是制成单位重量具有很大表面积的物料。电缆充气用的干燥剂，如氯化钙、硅胶、分子筛等都具有较大的表面积。其中以分子筛的表面积为最大（比硅胶约大一倍），所以，分子筛吸附水分的能力比其他干燥剂要强得多。为了便于比较，并说明分子筛用于空气脱水的优越性，现将电缆充气中常用的几种活性固体干燥剂的性能分别介绍如下：

1. 氯化钙是目前国内电缆充气维护中使用最多的一种干燥剂。它是白色块状的结晶体，分子式为 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，分子量为219.09，作为干燥剂用的氯化钙，含 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的纯度应不小于95%。使用时需要敲碎，装在滤气瓶中。当发现有水滴出现时，说明氯化钙吸水已经达到饱和状态，失去吸湿效能，应该立即更换。

氯化钙在吸湿过程中，水与氯化钙进行化学反应生成一种胶状的水合物。这种胶状水合物掩盖在氯化钙颗粒的表面，从而影响了它的吸附速度和吸附能力。所以，采用氯化钙作干燥剂进行气体的干燥处理时，其干燥过程是比较长的，尤其是在吸湿过程的后期接近饱和时，它的吸湿能力大为降低，因而气体的干燥度也比较差。另外，由于它在吸湿过程中与水进行了化学反应（化学吸附），生成了另一种物质，所以不能够再生，使用一次就作废，在经济上也是不合算的。

2. 硅胶也是国内电缆充气维护中常用的一种干燥剂。硅胶有蓝胶和白胶两种，电缆充气多采用蓝胶。蓝胶吸水后颜色逐渐变成淡紫色，最后变成淡红色。所以硅胶又常作为指示剂。根据颜色的变化可以定性的辨别其吸湿程度。

硅胶是硅酸凝胶脱水所得的产物。硅酸凝胶是硫酸或盐酸与硅酸钠（水玻璃）溶液相作用，使混合物凝结成水化胶，然后用水洗涤除去硫酸钠，并将水化胶在温度 $115\sim 130^{\circ}\text{C}$ 下干燥到含水量在 $5\sim 7\%$ 为止。此时硅胶具有最大的吸附能力。干燥后的硅胶为硬的玻璃状的外表，具有较高的孔隙率。它的分子式为 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。硅胶的特点是其孔隙大小一致，分布均匀，具有较好地亲水性。在温度为 20°C 、相对湿度为 60% 的空气中，堆比重*约为 0.7 公斤/升。硅胶吸水达到饱和后，可吸附本身重量 24% 的水分，有时可达到本身重量 50% 的水分。

硅胶的主要优点是：能耐高温，有再生性能（属于物理吸附），具有化学中性对电缆无腐蚀作用。其缺点是：机械强度不够大，易变形，再生几次后颗粒变碎并散开，增加气流通过时的阻力。使用时由于颗粒碎裂需要进行挑选，给维护工作带来麻烦。

电缆充气使用的硅胶，其直径一般为 $0.2\sim 7$ 毫米，硅胶的物理性能如下：

SiO_2 含量	99.5%
堆比重	约 0.7 公斤/升
真比重(1)	$2.1\sim 2.3$ 克/厘米 ³
视比重(2)	$1.2\sim 1.3$ 克/厘米 ³
单位表面积	约 $6\cdot 10^5$ 米 ² /公斤
热容	0.22 仟卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$
导热度(30°C)	0.17 仟卡/米 $\cdot$ 时 $\cdot^{\circ}\text{C}$
表面积	450 米 ² /克

• 堆比重(也叫松密度)一包括孔隙及粒间空处体积在内的单位体积的重量。

注(1)真比重(也叫实心比重)一不计粒内孔隙的单位体积的重量。

注(2)视比重一包括粒内空隙的单位体积的重量。

3. 分子筛是一种多性能的吸附剂。它具有选择吸附、催化活性及离子交换等特性。二十多年来，它在工业生产上的应用相当广泛。其中应用最广的是作为各种气体的脱水干燥剂。它与普通的干燥剂相比具有突出的优点，对水分含量极低、温度高、流速大的气体，都具有很高的干燥能力；同时在一定条件下，还可以吸附水分以外的杂质，使气体更加纯净。

在电缆充气维护中应用分子筛做干燥剂，在国外已有十多年的历史了。实践表明，采用分子筛作干燥剂比用氯化钙或硅胶，不但在干燥效果上要好得多，而且在经济上也要省得多。分子筛是由铝硅酸盐的晶体所组成，其化学性质与粘土形长石相似，它对水分子具有特别高的亲和力^{*}，所以分子筛的吸附效率远比一般的干燥剂为佳。分子筛的另一个特点是机械强度高，把它长时间泡在水里不会被损坏，所以它的使用寿命是相当长的，这是普通的干燥剂所不能比拟的。

分子筛吸湿饱和后，可以通过减压或加温等办法，使它释放出水分而获得再生。当再生后的分子筛再次使用时，其吸附效率损失是很小的，而且能够再生的次数在目前所有干燥剂中是最多的。因此，在电缆充气维护工作中，采用活性固体干燥剂吸附法进行气体干燥时，分子筛是比较理想的活性固体干燥剂。

根据不同的使用场合，分子筛可加工成各种形状，如球形、片形、条形、微球形以及粉末等。电缆充气用的分子筛采用5A型（也就是钙A型，在它的化学组成中含有70%左右的氧化钙）条形或球形的比较多，也有采用片形的。A型条形分子筛

^{*}亲和力—对某些分子具有优先吸附的能力。如对带异性电荷的分子（水等）极易进行吸附。

的物理性能见表 1。

表 1 A型条形分子筛(直径为3~7毫米)的物理性能

平均孔隙率(%)	比热(卡/克·度)	导热率(卡/米·度)	表面积(米 ² /克)
55~60	0.2~0.25	0.5	700~900

第二章 有关非加热再生干燥 技术的一些常识

采用活性固体干燥剂吸附法进行气体干燥处理时，过去，对干燥剂的再生大多采用加热的办法，使它吸附的水分子释放出来，从而获得再生。如硅胶吸湿饱和后，一般要加热到 130°C 左右，才能再生完全重新使用。现在，采用的干燥剂是分子筛而且再生的方法是在常温下用减压的办法来进行脱水的。这两种办法是截然不同的，其原理也是完全不一样的。为什么用分子筛通过大气压强的转换（加压和减压）就可以对气体进行干燥呢？这就需要对吸附的概念及其基本理论有比较清楚的了解。

第一节 吸附及其基本理论

一、吸附的概念

吸附的概念一般解释为一种稀疏的物质被吸附剂（多半为固体的物质）所吸取的现象称为吸附。吸附他物的物质称为吸附剂，而被吸附的物质称为吸附质。吸附与吸收不同，吸收是一种被吸物质向吸收剂的内部扩散而生成溶液的吸收现象。

固体物质的表面原子和内部原子处于不同的状态，内部原

子的吸引力均匀地分布到周围原子上，使力场^{*}成为饱和的平衡状态，而表面原子则得不到这种力场的饱和，即表面有吸附力场存在，有表面能。当气体分子或液体分子进入该力场作用范围时，就会被吸附，从而降低体系的表面自由能。这种不饱和力场的作用范围，大约相当于分子直径的大小，即几个埃（ $A=10^{-8}$ 厘米）左右。

广而言之，一切固体物质的表面都有吸附作用。实际上，只有多孔物质，由于具有很大的表面积，才有明显的吸附效应，才是良好的吸附剂。

根据吸附力的大小，一般将吸附现象分为物理吸附和化学吸附两类。物理吸附是由于分子间的相互引力所引起的。在物理吸附中，吸附质与吸附剂之间不发生化学反应。其特点是：吸附是可逆的（即吸附剂吸附饱和后，通过加温或减压等手段，使吸附质释出，恢复到原来的状况）、吸附速度快、吸附热不大（小于1/10千卡/克分子）。如硅胶、分子筛等吸附剂的吸附，属于此类。另一类是化学吸附，在吸附质与吸附剂之间发生化学作用的吸附过程。其特点是：吸附是不可逆的，而且必须先有较高的活化能克服表面的阻力才能进行，吸附热大（大于10千卡/克分子）。如氯化钙等吸附剂的吸附属于此类。

吸附剂本身是带电的，由于电荷的存在，在其表面形成一个电场。带电的离子很容易为带有异性电的吸附剂所吸附，这种吸附称为极性吸附。吸附质的分子可以是极性的，也可以是非极性的。如水是极性分子，分子筛对水分子的吸附是极性吸附。所以，它们之间有很高的亲和力。由于分子筛的吸附面积比其他吸附剂都大得多（硅胶为450米²/克，分子筛为700~900

* 力场——传递原子与原子间相互吸引的物理场。原子周围总有力场存在，力场对其他原子也发生力的作用。

米²/克)，同时，分子筛的吸附不仅在其表面，而且还深入到分子筛晶体结构的内部，故分子筛用作电缆充气的干燥剂，其干燥能力比其他所有的吸附剂都要好得多，（分子筛可以达到露点-50℃以下，硅胶和氯化钙一般达到露点-14℃左右），如果设备设计得合理，其干燥效果还可以进一步提高。

二、吸附量与压强的关系

为了解释吸附过程的实质，各国曾提出了各式各样的理论。这些理论对吸附过程的解释虽有不同，但都认为吸附质的数量是随被吸附气体的压强及吸附过程的温度而变化的，即：

$$a=f(P, t)$$

式中： a —吸附量，即被单位重量或单位体积吸附剂所吸附的物质质量；

P —被吸附气体的压强；

t —吸附过程的温度。

当恒温时：

$$a=f(P)$$

上述的函数关系式可以用曲线表示。在一定温度下，把吸附量作为压强的函数来作图，以表示压强或浓度对吸附量的影响。表示达到平衡状态后的这种函数关系曲线称为吸附等温线。吸附等温线有各种类型，如图2所示。

第(1)种类型是单分子吸附，其余四类是多分子吸附。

(1)类等温线常称为朗格缪尔型吸附等温线。分子筛对水分子的吸附属于第(1)种类型。

朗格缪尔型吸附等温线可用公式表示如下：

$$a = \frac{ABP}{1+AP}$$