

浅谈电源滤波用电解电容

作者：台湾 ACDC 梁中锷

2005-7-19

容器(capacitor)在音响组件中被广泛运用,滤波、反交连、高频补偿、直流回授...随处可见。但若依功能及制造材料、制造方法细分,那可不是一朝一夕能说得明白。所以缩小范围,本文只谈电解电容,而且只谈电源平滑滤波用的铝质电解电容。每台音响机器都要吃电源—除了被动式前级,既然需要供电,那就少不了「滤波」这个动作。不要和我争,采用电池供电当然无必要电源平滑滤波。但电池充电电路也有整流及滤波,故滤波电容器还是会存在。我们现在习用的滤波电容,正式的名称应是:铝箔乾式电解电容器。就我的观察,除加拿大 Sonic Frontiers 真空管前级,曾在高压稳压线路中选用 PP 塑料电容做滤波外,其它机种一般都是采用铝箔乾式电解电容;因此网友有必要对它多做了解。面对电源稳压线路中担任电源平滑滤波的电容器,你首先想到的会是什麼?—容量?耐压?电容器的封装外皮上一定有容量标示,那是指静电容量;也一定有耐压标示,那是指工作电压或额定电压。

工作电压(working voltage)简称 WV,为绝对安全值;若是 surge voltage(简称 SV 或 Vs),就是涌浪电压或崩溃电压;超过这个电压值就保证此电容会被浪淹死—小心电容会爆!根据国际 IEC 384-4 规定,低於 315V 时, $V_s=1.15 \times V_r$,高於 315V 时, $V_s=1.1 \times V_r$ 。Vs 是涌浪电压, Vr 是额定电压(rated voltage)。电容器的电荷能量是以 $Q=CV$ 来表示, Q 是库伦, C 是静电容量, V 是电压;故当电压值不变时,加大静电容量就能增高电荷能量。请注意,电容器的容量单位应是 F(farad),可是因计量太高造成数值偏低,故多改用 μF , $1F=一百万 \mu F$ 。国外也有用 mF 表示 μF ,其实 mF 不十分贴切,但机械式打字机上没有 μ 键,故用 m 代表 micro。有了静电容量及工作耐压两个参数,若你正在选购电容,接下来你会考虑什麼?直觉上是价钱。嗯,这个参数很重要,而且数值愈低愈佳。也有人先想到品牌,并坚持日本货打死不用—还存著八年抗战情结?美国货也仅能排第二,瑞典或德国制造的才能排第一。嗯,这个参数也很重要。但既然谈到品牌,那就不能忽略系列型号;因为一个制造厂会生产许多不同系列的产品,系列不同,品质及价格就会不同。OK,我们先整理一下,有关电源平滑滤波电容器的参数已知有:静电容量、额定工作电压、涌浪崩溃电压、价格、品牌、型号系列。不应该只有小猫两三只,外型尺寸也应该很重要,因为它与它相关的有重量及接脚型态, snap-in 是插焊 PC 板式, screw 是锁螺丝式。至於重量,同容量同耐压,但品牌不同的两个电容做比较,重量一定不同;而外型尺寸更与机箱规划有关。有些电容不是全圆型,有点像是多角型, Philips、BHC 都有这种看起来似乎很高级的系列。现在我们再整理一下,加上重量、外型尺寸、接脚型态—已有九个参数。外皮颜色?这是谁提出来的?很妙。因白色、黑色、蓝色塑胶封装都有厂商在用,它有时也具有某些意义,例如日规黑底金字常代表高级 for audio 音响级电容。仅凭外观还能想到哪些?制造日期, 9627 就是 1996 年第 27 周出厂;近年来日制电容似乎逐渐有意省略制造日期的标示。但外皮颜色及文字印刷不直接与品质有关,故仅加上制造日期参数。还有,别忘了适用工作温度,因为 105 度 C 比 85 度 C 更适用於真空管机。若机器要摆在南极,最好选耐负 55 度 C 的品种。容量误差也别遗漏,当采多颗并联,为求得单只特性均匀,误差当然是愈低愈佳。现在再加上工作温度及容量误差,咱们手上已有 12 个参数,对电容器应有三成以上了解。请别会错意,电容的工作温度不是指环境或表面温度—不管几度,封装塑胶外皮都是一样,它是指铝箔工作温度,所以装管机选用 85 度 C 品种也绝对 OK,只要将电容器远离管仔就一定安全。

可是真正有关电容器品质的几个重要参数,却都只存在原厂规格书中,完全不会显露在成品封装外皮上,而这些重要参数才是本文谈论的重点。散逸因数—损失角 散逸因数 dissipation factor(DF)存在於所有电容器中,有时 DF 值会以损失角 $\tan \delta$ 表示。想想,损失角,既有损失,当然愈低愈好。塑料电容的损失角很低,但铝电解电容就相当高。DF 值是高还是低,就同一品牌、同一系列的电容器来说,与温度、容量、电压、频率.....都有关系;当容量相同时,耐压愈高的 DF 值就愈低。举实例做说明,同厂牌同系列的 10000 μF 电容,耐压 80V 的 DF 值一定比耐压 63V 的低。所本刊选用滤波电容常会找较高耐压者,不是没有道理。此外温度愈高 DF 值愈高,频率愈高 DF 值也会愈高。但许多电容器制造厂,在规格书上常不注明散逸因数 DF 值,因为数值甚高很难看。以瑞典 RIFA 为例,其蓝色 PHE-420 系列是 MKP 塑料电容,它的 DF 值最低是 0.00005/最高是 0.0008。但白色顶级 PEH 169 系列铝质电解电容,就未标示损失角规格。若真注明 DF 值,可能会是 1.0000,小数点是在 1 的後面。漏...漏电流 哇!漏

电！最好没有。可是没办法，铝电解电容在工作时一定会产生漏电流。漏电流(leakage current)当然越低，它的计算公式大致是： $I=K \times CV$ 。漏电流 I 的单位是 μA ， K 是常数，例如是 0.01 或 0.03，每家制造厂会选择不同的常数。但无论如何，电容器容量愈高，漏电流就愈大。如果你有容量愈大平滑效果愈好的想法，这个「漏电流」也请考虑在内。从计算式可得知额定电压愈高，漏电流也愈大，因此降低工作电压亦可降低漏电流。但降低电容器的漏电流并不容易，低漏电流 low leakage current-LL 系列价格高昂，我曾向国内厂商订制一批低漏电流 LL 系列电容，价格比许多进口电容还贵。漏电流规格，铝电解电容就比钽电解电容差许多，钽质电容也有乾式及湿式两种，不过它的容量及耐压都较低。除特别定制外，面对一般品，想要降低它的漏电流可设法提高 V_s 对 V_r 的比值。 V_s 是涌浪电压，其值当然比 V_r 额定电压高，但施加电压(真正的工作电压)还应该比 V_r 低，例如取 V_r 的 90%；找高耐压品种可说是完全正确。等效串联电阻 ESR 一只电容器会因其构造而产生各种阻抗、感抗，比较重要的就是 ESR 等效串联电阻及 ESL 等效串联电感—这就是容抗的基础。电容器提供电容量，要电阻干嘛？故 ESR 及 ESL 也要求低...低；但 low ESR/low ESL 通常都是高级系列。ESR 的高低，与电容器的容量、电压、频率及温度...都有关，当额定电压固定时，容量愈大 ESR 愈低。有人习用将多颗小电容并接成一颗大电容以降低阻抗，其理论是电阻并联阻值降低。但若考虑电容接脚焊点的阻抗，以小并大，不见得一定会有收获。反过来说，当容量固定时，选用高 WV 额定电压的品种也能降低 ESR；故耐压高确实好处多多。频率的影响：低频时 ESR 高，高频时 ESR 低；当然，高温也会造成 ESR 的提升。串联等效电阻 ESR 的单位是 $m\Omega$ ，高级系列电容常是 low ESR 及 low ESL。若比较低内阻及低漏电流两种特性，则低内阻容易达成，故标示 low ESR 的电容倒很常见。ESR 与损失角有关联， $ESR = \tan\delta / (\omega \times Cs)$ ， Cs 是电容量。有时电容器规格上会有 Z ，它与 ESR 的意义不同，但 Z 的计算示与 ESR 有关，同时也考虑到容抗及感抗，是真正的内阻。刚才提到电容的 ESR 单位是 $m\Omega$ ，那是指大电容，若是 $220\mu F$ 小容量电容，其 ESR 单位就不是 $m\Omega$ 而是 Ω 。何种电容器的 ESR 最低？答案只有一个：Sanyo 的 OS 有机半导体电容！涟波电流 I_{rac} 前面谈到的散逸因数 DF-损失角 $\tan\delta$ 、漏电流、ESR-串联等效电阻...等，其值都是愈低愈好，但现在要提的涟波电流 ripple current 却是愈高愈好。特别是现在都特别讲究後级扩大机要有大电流输出，电源平滑滤波电容器的涟波电流 I_{rac} (或 I_{ac})就显得格外突出。涟波电流 I_{rac} 的标示至少应有低频及高频工作时两种规格数字，低频大约是以 120Hz 做标准，高频大概是以 10KHz 做标准，但不同制造厂商可能会有略微的差别。涟波电流与频率刚好成正比，因此低频时涟波电流也比较低。可是对我们音响迷来说，低频段的 I_{rac} 值才是重要。所以在采购电容器时，涟波电流数字高低是极为重要的依据。在一般状况下，同品牌时，锁螺丝式电容的涟波电流通常比 snap-in 插 PC 板式来得高。曾经有一种说法：RIFA 的 $10000\mu F$ 相当于其它厂牌 $15000\mu F$ ，因为大部份日制电容的涟波电流都不高，而 RIFA 又特别高，故好像可以一个当两个用。德国 Siemens、英国 BHC 电容，在 I_{rac} 这项特性上也常优于日制产品。就笔者所知， I_{rac} 最大的电容，是 Siemens SIKOREL 系列电容为最高， $6800\mu F/63V$ 就高达 20A！若是小容量电容， I_{rac} 最大的是 Sanyo OS 电容。就後级扩大机的动作来说，很多人会认定低频时吃电流。有个方法可以试：以电表直流电压-DCV 最低档量任一只射极电阻压降，最好是指针电表，播放唱片，将前级音量转大，注意电表指针的摆动，你就会发现低频固然会吃电流，四把吉它连弹也会猛吃电流！什麼音乐最适合 run-in 後级扩大机？Holst 的《行星组曲》第一曲 MARS。现在你应该已经明了六成以上，或许你想问：有没有体型不大，漏电低、ESR 低、 $\tan\delta$ 低、误差低、价格低，但涟波电流高、适用温度范围高的铝电解电容？嗯...，没有！关于容量误差，近年来铝质电解电容颇有进步，以往是 -20%~+40%，现在大多是 +/-20%。但其容量常偏+而不是偏-，故 $10000\mu F$ 测量起来有可能会接近 $12000\mu F$ 。精确量取大容量电容器的静电容量，是我多年来一直想做的事。不要怀疑，这种测试仪器很难买到，美国曾制造过，可量至 $99999\mu F$ ，并能同时显示 DF 值及 ESR 值；而且电容量是 100Hz、1KHz、10KHz 三段（不是两段）频率测试的平均值。这种仪器国内市场曾出现过，小卖新台币十万元—只差漏电流的测试。额定工作电压的安全度，在我的标准是：至少理让 15%。例如某电容的额定电压是 50V，虽然涌浪电压可能高至 63V，但我最高只会施加 42V 电压。让电容器的额定电压具有较多的余裕，能降低内阻、降低漏电流、降低损失角、增加寿命，一举数得何乐不为？以前曾看过日制扩大机， $\pm 48V$ 工作电压配上 $10000\mu F/50V$ 滤波电容；短时间内当然不会烧坏，但时日长久，寿命有可能降低，那就得更换新品或另购新机。所以日制品常有「时间到了，该走了」的宿命，你也不能指责它是偷工减料，毕竟做生意总要图利，若一辈子只能卖你一次，如何赚钱？容量愈高哼声愈低？自己装，最讨厌的就是哼声除不掉。有人将滤波电容加大，哼声就没了。我是不十分相信，因扩大机的哼声常是因地回路不当引起，来自电容器微乎其微。但是理论上，容量愈高，电源平滑

效果也就愈佳，所以大容量的做法，是许多设计者及 DIY 迷亦深信不疑。因此不少後级扩大机，特别是美国产品 Krell、Mark Levinson，最爱采用大水塘—大电容；丹麦的 Dynaudio，连前级扩大机都用到十数万 μF 之容量。至於 AC & DC 交直流，也比较倾向於「大容量」派，但尚适可而止。可是也有不少名厂走低容量路子，例如美国 Amcron 有台 250W×2 专业後级扩大机，两声道合计 500W，只用了 2 只 8200 μF 小滤波电容器(好像是小了点)。瑞士 Goldmund 算是 Hi-End 品牌，产品送到各杂志社试听，没有一个评论员胆敢说它坏，它的大後级就是采用小电容。瑞士 FM Acoustics 更是贵到毙，一台立体声後级後级可换一部 Benz 车。它的 220W×2 专业後级，号称数十 A 电流输出，本人亲眼得见，全机只使用 2 只 10000 $\mu\text{F}/100\text{V}$ 滤波电容。大容量滤波与低容量滤波两种理论基本上是对立的，但却同时存在於音响圈。以低容量论点设计扩大机，也可以完全没有哼声，而且低频表现也不比「大水塘」机差。重点是什麼？Irac 滤波电流。如果你如今还是满脑子的大容量，那你还不了解电解电容！给大家一个建议：组装後级若采用低容量滤波电容时，千万要配用高功率电源变压器。也就是「瘦了电容器、肥了变压器」，这可能就是扩大机好声的秘诀。以这几年详细之观察，後级扩大机若要好声，采用大功率电源变压器比采用大容量滤波电容有效多了。一颗大的？多颗小的？OK，有人放心不下，滤波电容坚持要大 μF —那是找一个大的，还是用十来个小个的并接？又有人说用小颗并，不但内阻可以降低，反应速度也会也快，透明度及解析度都比较好。Mark Levinson 及 Krell 的後级不是以小并大，但有谁认为它反应速度慢、不透明有雾？面对此问题，我自己都长期陷入迷阵中。就机箱规划来说，用多颗小电容并联似乎比较理想，而且进货量大价格也便宜，甚至前级、後级、综合机，都可采用同一种电容。进口机与国产机的命运有些不同，当消费者面对数十万元进口机采用多颗小电容时，他会自我解释：这个很有道理；但面对国产品时，他可能会有另一套恶毒的说法：偷工减料！就音质表现，大水塘 or 小水塘、一颗大的 or 多颗小的，应该没有绝对关系。邓小平说得好：管它黑猫、白猫，会捉老鼠的就是好猫。制造厂牌也关乎品质特性，前述有人终其一生不用日制品。美国原本有两大电容器品牌 Mallory 及 Sprague，现在 Sprague 已成绝响，因为它被日本 Nippon Chemi-con 收购，且公司名称注册 United Chemi-Con/简称 UCC。但只要是仍在美国制造，外皮印有 made in USA，商标更改与制造品质应无关联。不过外界已有耳语：UCC 比 Sprague 差，可能性如何？日本商社一旦接手，行销政策自然会大幅改变，为了提高出货量必得降低售价；但假若下滑也会导致品质下滑。询问本地代理商瑞普公司，UCC 电容销售量比 Sprague 低，显示国内厂商有排斥 UCC 的反映。若比较 UCC 及 Sprague 的规格特性，果然是一付 Japanese 样—体型大为缩水，原本 40mm×80mm 的改成 40mm×50mm，价格可能较低廉，但 ESR 增加、Irac 减小—怎不令人掷笔三叹？你对日制品有疑虑？没办法，非但美国如此，德国也需要日本资金进入来个德日合作，Siemens 就和松下 Matsushita 共同生产 S+M 电容器。这是未来趋势，几乎不可避免。RIFA 也早就被 EVOX 吃下，EVOX 是大集团，到处设厂，本刊 SigEnd 单端前级有用到 1 μF 电容，就是 EVOX 品牌，虽然自美国进口，但一付台制品模样。储存及工作寿命 比起电阻、IC、电晶体、塑料电容这些半永久性元件，铝电解电容的寿命就值得重视。一是储存年限，自然与寿命有关，10~20 年应无问题。存放过久的电容不宜立刻使用，利用 power supply 先将它 aging(活化)；夹上端子，缓慢调整 power supply 电压，由低至高，最高可调至此电容的额定电压。工作寿命就很难说得明白，所谓长寿 LL-long life 电容，通常是表示滤波电流 Irac 稳定。前面曾谈到电容的 Irac 与工作温度及频率都有关，例如同是 10KHz，40 度 C 时是 15A，85 度 C 时是 9A；15A/9A=1.67。此数字就是电容的寿命因数（本人临时想出来的），数字愈高寿命愈低，数字愈接近 1 寿命愈长。如果没记错，1.93 表示 10 万小时，1.85 表示 20 万小时，故 1.67 至少 50 万小时！但电容器的主要功用是充、放电特性，因此不宜经常快速充、放电。有两个方法可有效延长电容器寿命：一是减少开机、关机次数，二是设法降低开机时的瞬间充电电流—你听懂了吗？本刊也注意到此问题，故多年来都是这样做。即令是如此，若问：到底是哪一种电容的音质较好？这也实在难以回答。基本上，不同品牌、系列的电容，它的声音表现自然也是不同。我个人不会「日制品打死不用」，只要处理得当，日制品也不输欧美货。多年前曾用过 ELNA 高级 Cerafine 音响级电容，它的 ESR 虽然低，但 Irac 也不高，装在 amp.上，低频很厚实，但雾气较重，不够透明。可是并上 speed-up 小电容後，就豁然开朗。故实际装配时，记得一定要在主滤波电容上加并 speed-up 小电容，此举「至少」会改善高频响应。数值是多少？最好是一大一小，大的 1 μF 、小的 0.1 μF ，MKP 是最低要求。有时并上小电容会发现助益不大，这可能是小电容未选对。RIFA 的电解及塑料电容，若想加并 speed-up，奉劝你不要找 WIMA，建议各位试试 MIT 的 PPFx-S 锡箔或 RTX 系列 0.1 μF 。写这篇文章的同时，也留意各杂志的广告，美国 Krell 及加拿大 Class'e Audio 的 Hi-End 後级新机种竟然都采用日本 Nichicon 电容做主电源平滑滤波！但杂志评论员有谁敢

说它差?! 前级扩大机吃不了数百 mA 电流, 故滤波电容较易选择。高瓦数、高输出电流扩大机就很难伺候, 此时滤波电容的 I_rac 特性就要考虑在内。对于滤波用电解电容, 有几点值得网友注意: 一、大致上来说, 日制品的 I_rac 比欧美品低; 二、低漏电流比低 ESR 更重要; 三、大滤波电容宜并接小电容; 四、尽量选高耐压电容; 五、最顶级的电容, 容量及耐压都不高, 故数百瓦的大 power 通常声音粗糙, 不是没有道理。笔者不建议哪种电容最好, 因为只要用得恰当, 每种电容都可发出好声。至于刻意强调电容、电阻、焊锡、保险丝非 xxx 品牌不用的人, 绝对是不懂线路结构的外行人! 关于铝质电解电容的构造 电容器依其元件构造大致可分成: 一、卷绕型, 二、积层型, 三、电解型。而电解型又分铝质及钽质两类, 铝质再分成液态电解质及固态电解质。若说液态电解质是铝箔湿式、固态电解质是铝箔乾式, 那就错了, 因铝箔乾式及铝箔湿式都是液态电解质电容。铝质电解电容是以经过蚀刻的高纯度铝箔做为阳极, 以其表面经阳极氧化处理之化成薄膜做为电介质, 再以浸有电解液的薄纸或布做阴极。由于电解液是用吸浸式, 故称铝箔乾式电解电容。何谓铝箔湿式? 在电容器内直接加电解液—例如硼酸胺+乙二醇混合液, 这种用手电容摇一摇还会发出流水声, 瑞典 RIFA 的 PEH169 系列就是这种电容。即使是欧洲名厂, 做为阳极的铝箔也非自行生产, 而是统一由某公司供应, 就好像瑞士表厂甚多, 但只有少数几家会做油心。大约 10 年前义大利某公司无法正常供应阳极铝箔时, 全球各名厂如 Mallory/RIFA/Sprague 或 Rubycon/Philips...就只得拖延交货时间, 没原料怎么生产交货? 至于吸浸电解液的纸, 也绝非在一般文具店即可购得, 最大供应商是在马来西亚。

