

钢筋混凝土圆孔板下振动噪声控制的探讨

北京第二建筑工程公司郭朴三

1980年本人在北京第一建筑构件厂工作期间,曾参加预应力钢筋混凝土短向圆孔板下振动成型工艺噪声控制的设计与试验。本文拟简要介绍这一工艺噪声控制方法的设计、实施和试验效果,并进行分析,提出今后改进意见,为这一类型(下振动)工艺的噪声控制提供设计参考。

一、概 况

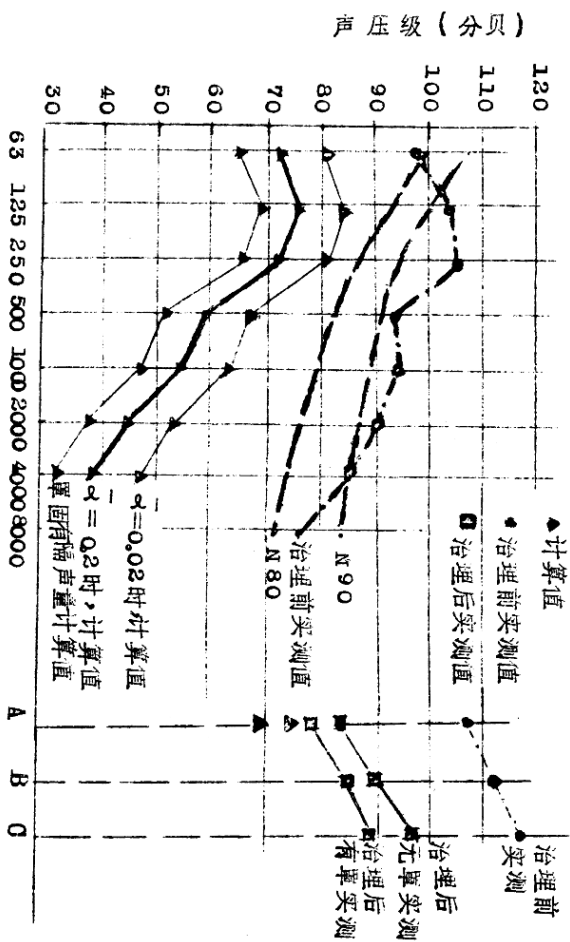
建筑预制构件工厂环境噪声污染十分严重。预应力钢筋混凝土圆孔板下振动成型工艺的机械噪声。在实振(即钢模内装满混凝土)时的声压级为109分贝(A),在空振(即钢模内无混凝土)时的声压级竟达118分贝(A)以上,其倍频程中心频率的声压级见图表1。

这一类型工艺的噪声控制是一项长期未能很好解决的问题。

在中国科学院声学所,北京市劳保所、建筑物理所、一机部设计总院、北京市橡胶九厂、橡胶制品研究所等单位的有关同志的帮助下,北京市第一建筑构件厂,经过多年的努力,特别是1980年以来的研究、试验、小批量中间生产,证明了采取抑制振动(指不需要的振动)、隔声、吸声等综合治理措施,可以做到对原工艺不作变动,而将噪声控制在86分贝(A)以内,现场主观评价良好(指噪声控制的听觉效果)。试验各阶段声学效果见图表2。

频谱表

圖表 1



试验各阶段测试声压级表 图表 2

分 项 目	治理前实振数级		试验车间各种不同条件下实振数据					
	第一车间 一跨 南台	试验车间 启动六台	无罩无圈 有吸声体 六台	无罩有圈 有吸声体 启动六台	无罩有圈 有吸声体 二台加垫	有罩有圈 有吸声体 启动六台	9月19日夜 全厂停产测试 有罩有吸 声体启动六台	
A 级	109	106	103	95	93 86	80	90 85	76
B 级	114	109	105	97	86 92	88	96 91	73
C 级	118	114	109	106	100 97	93	100 97	88

注：1、测试仪：加拿大308 M型振动和噪声测量仪。

2、测点：距地1米，距板边0.8米（即为操作人员经常所处位置。）

3、本底噪声：车间A级经常在75 dB、80 dB以上，9月19日夜测试

本底噪声A级为59 dB。

二、噪声控制的分析与判断

为便于介绍，现将原工艺操作过程简述如下：（括号内表示治理后新工艺的补充说明）

先是将钢模①吊至振动台上就位（钢模底部四周即与接灰槽上的弹性封闭圈②紧密接触），接着开动抽芯机③向模内穿芯（穿芯完毕时，芯管根部的隔声箱④即与振动抗外侧一端的隔声墙⑤达到弹性封闭）。在向模内注满混凝土，人工平灰后，启动振动梁进行初振（治理后的工艺是启动两个“加垫”振动梁⑥进行无罩振动，由于设有减振基础⑦，坑内有吸声构造⑧以及弹性圈与“加垫”振动梁，使无罩初振噪声得到控制。之后，加压板就位，实行两次加压振动（治理后工艺是兼作加压板的隔声罩就位，使加压板自由压在模内混凝土上，罩与坑壁紧密接触。实行两次有罩加压、“无垫”振动梁⑩的振动）。混凝土被振实后，抽芯机将芯管抽出，制品则已成型，随钢模吊离振动台。至此，一块板生产周期即告完成。

首先，我们认为采取简易振动台和不加固定的钢模下振动成型所产生的机械噪声是由振动梁撞击钢模底梁引起的，并主要从整个钢模辐射出来的。混凝土成型是靠钢模被激励的振动，其中包括钢模惯性底板被激励的颤振。成型的密实性决定于振动参数：如振动强度、频率、加速度以及振动方向和时间。任何减弱这种撞击引起的机械噪声，必然影响钢模的振动参数，影响混凝土成型的密实，或增加成型的时间。成型需要振动，声源上减噪需要减振，这是矛盾的，是难题所在。因此，除进行降低噪声源的试验外，振动台抗及治理措施要立足于强烈的机械噪声已经产生这一条件进行设计。

其次, 根据大批量生产车间的特点, 在整个车间大面积采取吸声降噪措施, 不仅难以控制到 90 分贝 (A) 以下。而且从经济和工作量的观点看, 也是不合算的。要采取吸声措施应该尽量优先放在最近声场封闭的小空间中, 才较合理。

再次, 采取隔声为主的治理方案, 容易见效, 根据粗略的计算, 能有 30 分贝以上的降噪效果, (见图表 1)。但是, 构造与工艺矛盾解决不好会影响操作。特别初振无罩时, 我们初步设想了将大部份声源辐射面积进行适当封闭隔声的方案, 甚至合理地改进设备和改变工序, 以期达到控制无罩初振时噪声的目的。

最后, 考虑各种复杂因素, 也不排除 其它辅助措施。

三、噪声控制的主要措施

1、减振和抑制振动

1) 振动台基础减振。为了防止振动波经基础向地坪传播和减少声能, 经基础、地坪向空间辐射, 按一般构造要求, 希望振动台混凝土基础单独设置, 此基础与坑壁带形基础在结构上完全分开。基础的自身重量为上部荷重的 3 倍。并使上部荷载的中心尽量通过基础的重心, 并增大基础底面积, 降低重心。基础底标高为 -1.6 米至 -2.6 米, 基础本身高度 0.6 米以上。坑内留有充裕的小空间。地下水位较高时, 设置橡胶止水带 (详见总图)。

2) 振动梁的改革。振动梁与钢模底梁的撞击, 彼此都会激发出强烈的机械噪声。钢模内装有混凝土时, 钢模颤振受到模内混凝土的阻尼, 声能量受到消耗和转化。而振动梁是由角钢和 12 毫米厚的钢板焊成的一个“空箱”, 它没有受到任何阻尼的限制, 在撞

击下无约束地产生强烈的噪声。因此，将击振点内移，振动梁缩小（长度从1.3米缩小至0.81米，宽度从0.4米缩到0.32米）其目的之一就为抑制振动。结合生产车间振动梁的改造，我们用总厚90—120毫米的三块钢板焊成一体的实心振动梁（见图1）。代替“箱形”结构的振动梁，只能降低噪声1—2分贝，这是由于钢模辐射声能占绝对的优势的缘故。这种实心振动梁的耐久性，击振力均有提高。我们认为，增加一点点的重量不会影响振实效率。

3) “加垫”振动梁的设计。根据橡胶受压形状可变，体积不变的性能，设想在振动梁上安装一组侧向被约束的橡胶垫，代替3号钢板直接撞击钢模底梁。为此进行了单项试验，将四个振动梁全部安装上橡胶垫，并与原来焊有钢板垫的振动梁进行比较，其结果是“加垫”振动梁可降低声压级13分贝，即从104分贝（Δ）降到91分贝（Δ）。但振实效果减弱了，这是由于橡胶变形，消耗了能量，改变了振动参数的缘故。根据这一试验结果，在振动台组合设计中，特增加两台“加垫”振动梁，供无罩初振等之用。

“加垫”振动梁所用的材料，后来采用了工厂定制的耐磨、耐热橡胶，邵氏硬度80度，尺寸为100×55×60毫米³，四块一组固定在振动梁“U”形夹紧器上。（见图2）

4) 抽芯管防振减噪的设计。还是为了控制初振无罩的噪声，特别是启动2台“加垫”振动梁的时候，抽芯管与堵头板的松散接触的碰击而产生的噪声上升为主要的噪声源，我们设想在抽芯管与堵头板接触的位置，设置3毫米厚的套管，套在邵氏硬度45度橡胶圈外，橡胶圈起到阻尼减振的作用（详见图3）。这种芯管只做了一根。由于参数复杂，估计不出其降噪效果，加工又比较麻烦，

这一试验没有进行下去。但是，用槌子敲击，声音发哑。说明了这种构造可以在声源上降低噪声。

2、隔声处理

1) 兼作加压板隔声罩的设计。将加压板与隔声罩组合在一起，形成一个兼作加压板的隔声罩，安装在加压车上，使加压振动的过程，也就是隔声处理的过程，从而做到不增加新的操作工序，即可加罩隔声的目的。

加压板采用全钢结构，其厚度由原来的240毫米减至110毫米，以便放在罩内。考虑到加压时有六个振动梁24个弹簧（原为16个）支承，假定原弹簧所受的力处于较佳状态，为使改进后每一个弹簧所受的力基本上与原来相同，而将原加压板的重量从2.5—3吨增至3.9吨。与此同时，钢模内混凝土所受的压强比原有的有所增加。试验证明：适当加重加压板，缩短无罩初振时间，延长加压振时间，不仅有利于提高产品质量和工效。充分发挥加压板的积极作用，而且有助于噪声控制。

隔声罩是根据隔声原理、结构强度、钢模外包尺寸及生产工艺条件而设计的，它采用了混凝土内包钢的特殊结构形式（见图4），（即用3毫米厚的钢板做内模，纵横 $\Phi 10$ 钢筋网片、由梅花点布置的 $\Phi 10$ 短筋与钢板牢牢焊接，适当起拱，浇上300号混凝土见图4）。这种结构的隔声罩与以往采用的钢板加沥青阻尼的隔声罩相比较，具有以下一些优点：罩的隔声量大，（3厚钢板固有隔声量33 dB）固有频率低，施工方便，质量保证以及耐久经用等。缺点是增加了隔声罩的重量，但对短向板原加压车上设备来说，还是允许的，不必更换新设备。

隔声罩是根据隔声质量定律公式：

$$TL_0 = 13.5 L_g M + 13 \quad (\text{面密度 } M < 200 \text{ kg/M}^2)$$

$$TL_0 = 18 L_g M + 12 L_g f - 25$$

计算的 式中： TL_0 ——固有隔声量 (dB)

M ——罩的面密度 (kg/M^2)

f ——声音的频率 (赫兹)

偏安全计算结果，其固有隔声量均在 40、42 分贝以上。

为检验隔声罩的隔声效果，我们选择振动噪声最强烈的空振进行对比测试。结果是：无罩时为 118 分贝 (A)，有罩时为 85 分贝 (A)，相差 33 分贝。这与计算并无矛盾，因为加罩后，罩内声能密度增加，罩内声压级提高了。另外，还有漏声存在。根据人在坑内实测，实测时，有无隔声罩，罩内同一测点声压级相差 9 分贝 (A)。

隔声罩外形尺寸设法做到最小：高 0.26 米，宽 1.9 米，考虑到能生产 YB—39 板，长 4.9 米。罩与加压板之间留有不小于 50 毫米上下活动空间，以满足生产工艺及声学处理的要求。加压板与隔声罩由四个支点连接，既可活动，又不漏声。支杆加橡胶套管，以防碰撞。

罩的下缘周边装有条硬度不同的“L”形橡胶带，软的是海绵橡胶，硬的是邵氏硬度 45 度至 55 度的普通天然橡胶，软的比硬的超 3 毫米为妥。依靠此胶带可以避免碰撞和实现软搭接，并起到良好的封闭作用。

经比较，采用一条橡胶带与两条带的隔声效果是一样的。即使

A

坑周边有点小石子来不及清理,也不影响隔声。只有在罩与坑之间的缝隙提升到10、20、30毫米时,声压级才相应提高5、7、10分贝。在缝30毫米时,实振时的声压级从有罩时的80分贝(A)上升到90分贝(A)。

2) 芯管根部隔声箱设计。隔声处理的另一个问题,是对经常作往复运动的抽芯设备采取隔声措施。我们设想了在芯管根部设置一个小型的隔声箱,抽芯管根部与隔声箱用防振橡胶圈连接,箱与抽芯机小车通过弹簧和链条连接(见图5)。同样不必增加新的工序即可在完成穿芯的过程时,实现对振动坑壁芯管预留孔的封闭,从而无需设置大型的固定隔声罩。

隔声箱采用不小于10毫米厚的钢板,内部框架加强的结构形式。箱盖是装配式的,以便于安装和维修。上、下两块钢板和隔声罩一样采用混凝土阻尼结构,以防止振动时,钢箱又成为新的声源。

隔声箱与坑壁的封闭和罩与坑壁封闭相似,采取单根的“1”形橡胶带,加贴一矩形断面(40×50 毫米²)的乳胶海绵带,作为弹性封闭构造措施,以保证芯管根部隔声箱与坑壁隔声小墙在位移和回弹时的软封闭。

坑壁抽芯管预留洞口,设有狭缝消声构造,箱内放置聚胺脂泡沫塑料,用来保证封闭不良时的降噪效果。当箱与坑壁之间缝隙为50毫米时,即实振有罩“无箱”时,测得声压级为94分贝(A),与有箱有罩比较相差12分贝。

3) 接灰槽及弹性封闭圈的设置。由于目前工艺还需要无罩初振,在这种条件下,我们设法将钢模辐射面积的大部份(约三分之二以上的面积)进行了适当的封闭处理,即在接灰槽内周边内缘处

安装弹性封闭圈。使钢模就位后，在实振的条件下，对其大部份噪声辐射面积实行弹性封闭，在振动台坑内有吸声构造时，有圈与无圈相比，声压级相差6—8分贝。这一点下面还将谈到。

封闭圈采用了断面为50×100—120毫米²的通长乳胶海绵，外包0.5毫米厚的耐油橡胶（见图6）。安装时防止转角处的漏声，此外还要防止钢模直接撞击接灰槽上的钢板。

3、振动台坑的吸声处理

为了控制初振无罩的噪声，我们已经改造了振动梁、钢模、增设了2台“加垫”振动梁，接灰槽上安置了弹性封闭圈。虽然，这种弹性圈的传声损失，根据计算，其固有隔声量达20分贝，但实际隔声量要真正接近20分贝，还有赖于坑内总平均吸声系数的提高。弹性圈的实际隔声量要借助于坑内吸声构造；反之，坑内吸声材料的有效吸声降噪也有助弹性圈的隔声效果，二者是相辅相成的。在振动台基础和坑设计时，我们就考虑到留有充裕的空间，以便必要时进行吸声处理。

根据吸声降噪的公式：（假定振动坑内表面积=外表面积）

$$TL = TL_0 + 10 \lg \bar{\alpha}$$

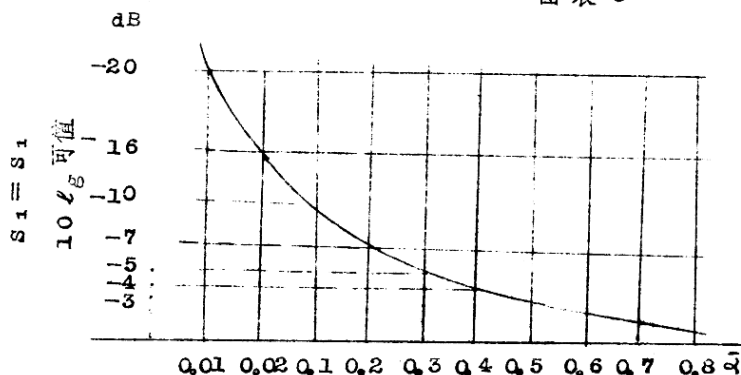
式中：TL——实际隔声量（dB）

TL₀——弹性圈固有隔声量（dB）

$\bar{\alpha}$ ——坑内总平均吸声系数

为设计方便特将 $\bar{\alpha}$ 与 $10 \lg \bar{\alpha}$ 关系列图表3如下：

图表 3



坑内总平均吸声系数

从公式中可以看出，在弹性圈固有隔声量 TL_0 不变的情况下，坑内总平均吸声系数 $\bar{\alpha}$ 值越大，则实际隔声量 TL 值越接近固有隔声量 TL_0 值。若 $\bar{\alpha} = 0.2$ ， $TL_0 = 20$ 分贝时， $TL = 13$ 分贝。坑内平均吸声系数从 $0.01 \sim 0.02$ 提高到 0.2 ，是可以做到的。这与整个车间做吸声降处理相比，要经济得多，见效也快，尤其对近场操作的工人受益更大。因此，我们将坑内总平均吸声系数提高到 $0.2 \sim 0.4$ 作为坑内吸声处理的技术指标。

坑内吸声构造，按照可能的条件，如材料来源、加工安装方便以及防水、防火要求等，我们采取在坑壁左右两侧距壁面 200 毫米

处设置 100 毫米厚的聚胺脂泡沫塑料；坑壁前后设置了若干块超细玻璃棉的尖劈吸声体；振动台下设置了三块活动的外包玻璃布的超细玻璃棉的尖劈吸声体，以提高坑内的平均吸声系数，进而增加封闭圈的隔声效果。

根据声压级对数和推理，只要实际隔声量 $TL > 10$ 分贝，就可以忽略弹性封闭圈内三分之二面积辐射的声压级对封闭圈外三分之一辐射面积的声压级的影响。这样分析，设置弹性封闭圈最少能降低声压级 5 分贝（估算）。而实测是 6—8 分贝。

总之，有元钢筋混凝土内包钢结构的隔声罩和芯管根部的隔声箱，噪声声压级相差 33 分贝（A）。在本底噪声 A 级为 59 分贝时，测得有“罩”有“箱”时的声压级为 76 分贝（A）。通过振动台基础和坑的构造处理；振动梁缩小尺寸和加橡胶垫处理；接灰槽弹性封闭圈的设置；钢模底骨架两端相应位置采取槽钢封闭构造；以及振动台坑内提高平均吸声系数的措施等等，可以将无罩实振时的噪声控制到 86 分贝（A）。

噪声控制的方法是多方面的。圆孔板下振动成型工艺，按照本文叙述的类似措施，不仅将得到同样的噪声控制效果。而且对产品质量，现场文明生产和长远经济效益等起一定的促进作用。

由于这些措施在技术上并不复杂。除橡胶条需要由橡胶厂定制外（每米约 10—15 元），其余一般建筑构件厂均可自行设计、加工与安装。

四、存在的问题与改进建议

对于噪声控制的措施如何选择，几乎永远是依靠不断摸索和反复试验的手段，来求得生产率、和减噪的效果、以及所需费用这三者之间的平衡，而总结出最佳的折衷方案。

关于工效问题。我们认为应该全面看待治理前后有利和不利的因素。为了节约混凝土和保持现场整洁文明生产而设计的接灰槽，要求在生产中每打 2—3 块板，利用钢模吊离台位后，新钢模就位

前，抽空及时清理接灰槽上的落灰，对整个生产周期并没有增加新的时间。另外，工艺没变，三次成型的总时间也没有增加，相反，这次试验用的抽芯机行速却比目前车间用的行速要慢。因此，我们认为，治理前后的生产周期留待正式生产线上回答。至于，能否提高生产每一块板的时间，我们认为，通过设计、试验，将目前比较好的弹簧直径、圈数、振动器和加压后的上部的荷重调整到最佳的状态。即调整振动参数到最佳状态，以再缩短成型的总时间约30—40秒，达到提高工效的目的。就这30秒，我们认为还是有意义的。

关于耐久性问题。其中主要是弹性封闭圈和橡胶垫的耐久性，还有待通过生产实践进一步改进，我们初步设想如下：

1、照旧使用“圈”和“垫”。对“圈”的位置，是否可以将纵向两侧的弹性圈内移50毫米，钢模两侧加焊50毫米宽的钢板条，使灰浆落在离“圈”远一点这样，除保护“圈”。提高圈的耐久性以外。还有圈高一致，施工方便，封闭性更好，清理方便等优点。对“垫”是否可以将钢模底梁橡胶垫的位置处，设法加宽至150毫米，以增加与橡胶垫的接触面，提高“垫”的耐久性。

2、“圈”和“垫”选留一种。是否可以将四个无橡胶垫的振动梁，设计成能自动升降30毫米，这样就可以取消“圈”，反过来，能否更好选择封闭圈的材料及其构造方式，提高“圈”的隔声效果……，直到可以取消橡胶垫振动梁。这也需要声学方面的探讨。

关于方便操作问题。建议钢模的合页、顶丝、吊环重新设计，缩小钢模外包宽度100毫米，这样罩宽可相应缩小100毫米，和上述弹性“圈”各内移50毫米后，坑壁可以缩小100毫米，

以达到操作方便的目的。在全新建的生产线建议浇捣车、和加压车地轨间距2810毫米改为3300毫米（甚至取消地轨）。

关于“最佳”方案的设想。最理想的和方便的还是“圈”和“垫”都不设置，无罩初振工序，（即将无罩初振时间减少到零）。直接两次有箱有罩加压振动成型。在机械快速定量下灰尚未解决之前，依靠工人实施经验实现“定量下灰”。事实上，我们的工人已经用这样的方式生产过若干块，（质量信的过，效率也不低，噪声不超过82分贝（A）），初步证明取消无罩初振的工序不是绝对不行的。对圆孔板来说，初振占多少时间，加压振占多少时间，还是值得探讨的。我们认为那种为了“快”，一下灰，还没下完，没平好灰。就无罩初振，不仅违反操作规程，多用电，人为增加劳动强度，多受噪声危害。而且，是否真正节省时间值得研究，因为要保证最后落下的混凝土的最下限的振动时间。因此，我们建议：完全平好灰后，直接两次（有罩、有箱）加压下振动成型。这样噪声治理将大大简化，更有利于生产应用推广。

这次试验尚有一些不足之处，由于篇幅所限在此不再赘述。上述建议也仅供参考。

参 考 文 献

北京市第一建筑构件厂 《用隔声罩控制混凝土空心板振动成型的噪声》

《预应力钢筋混凝土短向圆孔板下振动成型工艺的噪声控制》及其《技术鉴定书》

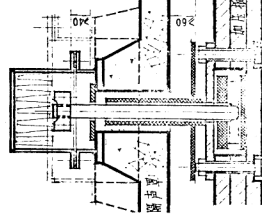
北京市劳保所 《噪声控制基本知识》《噪声控制三十七例》

陈绎勤编著 《噪声与振动的控制》

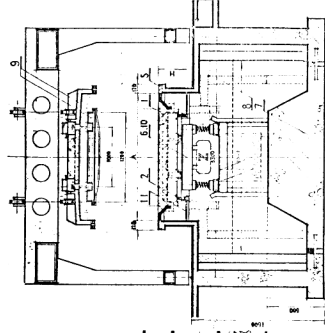
А. Е. 杰索夫 (苏) 《振实混凝土》

同济大学 《起重机械及混凝土制品机械》下册

1982年9月



加压板与隔声罩联结



- 1、钢板；2、弹性密封圈；3、抽芯机；4、芯管振捣器；5、坑壁吸声衬；6、加垫振捣器；7、振动台基础；8、吸声构造；9、减压吸声罩；10、振捣器；11、接反槽；12、YB39、36、33吸振定值卡口；13、聚苯乙烯带；14、排水（灰）坑。
A—钢板宽+100；B—YB39钢板长+150；C—抽芯管长+2500；H—钢板高+100。



加压板与隔声罩联结

