

IMAX：这块银幕凭什么贵一倍

从蒙特利尔世博会的一台坏放映机，到诺兰的 70 毫米胶片——一次把巨幕讲透

王建硕

费曼式写法 · 由多个 AI 代理撰写与互相审校

导读

从蒙特利尔世博会的一台坏放映机，到诺兰的 70 毫米胶片——一次把巨幕讲透

先别管 70 毫米、氙灯、激光这些词。先做一道算术题。

同一部电影，同一个时段，普通厅卖 40 块，IMAX 厅卖 80 块。你多付的 40 块，买到了什么？

「银幕更大」是标准答案，但它经不起追问：把银幕做大不需要什么高科技，任何一家影院都可以把墙刷宽。那为什么全世界只有一个 IMAX？为什么导演诺兰愿意为一盘 270 公斤的胶片较劲？为什么这门生意能收半个世纪的溢价？

答案是：那块银幕只是浮出水面的部分。水面下是一整套被「一张更大的画面」倒逼着重新发明的系统——横着走的胶片、1.8 吨的放映机、1.5 万瓦的氙灯、会聚光的弯银幕、从地板下震出来的低音，以及一套把好莱坞大片「洗」进这套系统的数字放大术。每一件单看都是过度设计，合在一起才撑得起那 40 块差价。

这本书就做一件事：把这套系统一件一件拆开，让你看清每个零件在解决什么问题。读完之后，下次坐进 IMAX 影厅，灯光暗下来的时候，你会知道自己花的钱正流在哪盏灯、哪台机器、哪块银幕里。

故事从 1967 年蒙特利尔世博会上几台不听话的放映机开始。

第一章 · 世博会上那台不听话的放映机

1967 年，蒙特利尔办世博会，全世界都在秀肌肉。加拿大馆里放了一部片子，叫《极地人生》（[Polar Life](#)）：导演格拉汉姆·弗格森（Graeme Ferguson）不满足于一块银幕，他在展厅里摆了一排投影机，把影像铺满多面墙，观众站在中间，整个人被画面包住。

效果轰动，排队的人绕了好几圈。但技术人员想死的心都有了。

让九台机器「同时呼吸」有多难

问题出在同步——让多台放映机在时间上严丝合缝地一起跑。普通放映机靠一个抓爪机构，一秒钟把胶片往下拽 24 格，每拽一格，快门开一次，光打过去。两台放映机只要有一台快了或慢了零点几秒，画面就对不上；九台一起跑，就是九倍的麻烦。

更糟的是，麻烦不止「对不齐」这一种：

- **亮度对不齐**：每台放映机的灯泡新旧不同、电压有波动，九块画面拼在一起，这块亮一点，那块暗一点，像一件打了九块补丁的衣服。
- **颜色对不齐**：灯泡老化程度不同，色温就不同，左边偏黄，右边偏蓝。
- **接缝藏不住**：画面和画面的交界处，要么重一条亮边，要么漏一条黑缝。

演出期间，工作人员得全程守在那排机器旁边，像守着九个随时可能吵架的小孩。任何一台出了毛病，整场就得停。

大白话

大白话：不是工程师不努力，是「多台机器拼接」这条路本身就不讲道理——你要对齐的东西越多，出错的组合方式就越多。九台机器，每台只要各自靠谱 99%，整场靠谱的概率就只剩 0.99 的 9 次方，大约 91%。再要求它们亮度一致、颜色一致，概率还得往下掉。

反过来想：与其拼九块，不如拍一张大的

弗格森他们琢磨出来的解法，是一个典型的工程师式「反过来想」：**别费劲让九台机器对齐了，干脆只用一台机器，把单张画面拍得足够大、放得足够亮，让这一块银幕大到能把人包住。**

这话说起来轻巧，做起来等于把电影工业八十年的家底重新发明一遍。因为「一张更大的画面」不是把银幕做大就完事了——银幕放大十倍，胶片的每一帧也得跟着放大，不然投上去全是颗粒；胶片变大了，放映机的进片机构得重新设计，不然胶片会被拽碎；画面变大了，灯要亮好几倍，胶片会被烧穿；连摄影机都得重新造，因为市面上根本没有能拍这么大画幅的机器。

也就是说，一旦你决定「用一张超大的单画面解决问题」，你就欠下了一整套系统的债：摄影机、胶片规格、放映机、光源、银幕、音响，全都得重来。1967 年，弗格森、克罗伊托拉上高中同学罗伯特·科尔（Robert Kerr）——一个懂生意的印刷业老板——又找来了在多机放映上有实战经验的工程师比尔·肖（Bill Shaw），四个人成立了公司，开始还债。这家公司最早叫 Multiscreen（多银幕公司），名字还留着多机时代的印记；后来他们给自己起的正式名字，才是我们今天熟悉的那个词：IMAX，Image Maximum 的缩写——「最大的影像」。

第一次亮相：不是电影，是一场赌博

1970 年，大阪世博会，富士馆。IMAX 系统第一次公开亮相，放的片子叫《虎之子》（Tiger Child），克罗伊托执导。银幕巨大，画质惊人，观众看傻了——但当时没几个人相信这东西能活下来。

理由很现实：一套 IMAX 系统贵得离谱，还得专门给它盖一座影厅；而它能放的片子，只有用它自己的摄影机拍出来的那几部。这是一场标准的先有鸡还是先有蛋的赌博——没有影院愿意装设备，因为没有片子；没有导演愿意拍，因为没有影院。此后十几年，IMAX 基本只在科技馆、博物馆和世博会里打转，放的都是《大峡谷》《太空梦》这类风光科教片，活得不错，但离电影院线还很远。

这个「蛋」最后是 2002 年才孵出来的——那年他们发明了一项能把普通好莱坞电影「放大」成 IMAX 格式的技术，好莱坞大片这才涌进 IMAX 影厅。那是第七章的故事。

记住一个判断标准

这一章你只需要带走一件事：IMAX 不是「更大的银幕」这么简单，它是为了消灭多机拼接的所有毛病，被迫重新发明的一整套系统。后面每一章讲的都是一个具体的技术问题——胶片为什么横着走、放映机为什么重一吨八、银幕为什么弯的、声音为什么从地板下出来——而每个问题的答案，都能追溯回 1967 年那间展厅里的同一个念头：

与其让九台机器假装是一台，不如造一台真正够大的。

下一章，我们从这台机器的「粮食」说起：它吃的胶片，和普通电影有什么不一样。

第二章 · 把胶片横过来

要造「一张够大的画面」，第一笔债是胶片。这一章我们回答一个很具体的问题：IMAX 的画幅，到底比普通电影大多少？答案会大得超出你的直觉。

普通胶片：邮票大小的一帧

好莱坞一百多年来的主力是 35 毫米胶片——宽 35 毫米的赛璐珞长条，沿着长度方向（竖直方向）往下走，每一帧画格高约 18 毫米、宽约 22 毫米。你可以把它想成一枚竖着排队的邮票：胶片像卷轴一样穿过放映机，一枚一枚邮票轮番停在镜头后面，被光打亮，投到银幕上。

一帧的画面面积大约是 400 平方毫米——不到半张名片。放映的时候，这点面积要被放大到 10 米宽的银幕上，相当于把一枚邮票放大成一面墙，放大倍数是几十万倍。

大白话

大白话：放大和复印不一样。复印一张模糊的原稿，放大后只会更模糊。胶片上的影像是由无数染料颗粒拼成的，画格越小，颗粒相对画面就越大，投到巨幕上，观众看到的就是一片「沙沙」的颗粒和软掉的细节。想让巨幕不糊，唯一的办法是从源头抓起：**让底片上的一帧本身就足够大。**

关键一步：不是加宽，是转个方向

在 IMAX 之前，也有人用大胶片，比如 70 毫米的宽银幕电影（《宾虚》《2001 太空漫游》就是 70 毫米拍的）。但这些系统的胶片仍然是**竖着走**的，一帧最多用到 5 个齿孔的高度，画格大约 52×23 毫米，面积是 35 毫米的三倍左右——大了，但还不够「把人包住」。

IMAX 工程师比尔·肖的决定简单粗暴：**把胶片横过来。**

竖走胶片，画格的高度被胶片宽度卡死，最多 5 个齿孔；横走之后，画格的「高度」方向没有限制，画格可以一直吃掉胶片两侧齿孔之间的全部宽度。于是 IMAX 的一帧变成了：横躺着的 70 毫米胶片，每一帧横跨 **15 个齿孔**，画格尺寸约 70×48 毫米。

算一笔账：

- 35 毫米一帧：约 400 平方毫米
- IMAX 一帧：约 3400 平方毫米

接近 10 倍。 同样投到 20 多米宽的银幕上，IMAX 的每一帧需要被放大的倍数只有普通电影的大约十分之一——颗粒被放大的倍数也只有十分之一。这就是 IMAX 画面又细又实的根本原因：不是放映机更厉害，是底片本身就富得流油。

横走的代价：胶片像疯了一样消耗

大画格不是白来的，代价写在胶片的长度上。电影一秒钟要过 24 帧，35 毫米胶片每秒走 45 厘米左右；IMAX 每帧横占 15 个齿孔，每秒要走过 **1.7 米**的胶片——差不多每秒从你手里抽走一个成年人的身高。

后果很壮观：一部两小时的普通 35 毫米拷贝，胶片总长 3 公里多，分装几本，一个人能拎走；而一部 IMAX 70 毫米拷贝，比如诺兰 2023 年的《奥本海默》，胶片总长超过 **17 公里**，重约 **270 公斤**——一辆小摩托那么重的一大盘胶片，得用小叉车运进放映间。

大白话

大白话：IMAX 的胶片哲学是「用原料换画质」。同样的故事，别人用 3 公里胶片讲完，IMAX 用 17 公里。多出来的 14 公里，就是你买票时多付的钱里，最实在的那一部分。

1.43:1——一个更「方」的画面

顺带说一个常被忽略的细节：IMAX 70 毫米的画幅比例约 1.43:1（宽是高的 1.43 倍），比今天的宽银幕电视（1.78:1）和普通院线电影（常见的 2.39:1）都要**方**得多。

别小看这个「方」。宽扁的画面像透过门缝看世界，而接近方形的画面更像透过一扇落地窗。当银幕大到超出你的视野边缘，这个更方的比例会让画面同时占满你的视野「上下」和「左右」——尤其是上下。坐在 IMAX 影厅里，你会觉得画面从地板一直顶到天花板，这就是 1.43:1 加上巨大银幕的效果：它针对的不是你的眼睛中心，而是你的整个视场。第五章讲银幕几何的时候，我们会回来把这件事算清楚。

下一章的问题

胶片定了：横走 70 毫米、每秒 1.7 米、一盘 270 公斤。新问题来了——普通放映机的抓爪是一格一格「蹦」着拽胶片的，每秒蹦 24 次。小胶片蹦得住，这么宽这么重的大胶片这么蹦，要么拽裂，要么画面晃成地震。IMAX 是怎么让这条「胶片洪流」既跑得快、又在镜头前停得纹丝不动的？答案是放映机史上最精巧的机构之一：**波动循环**。

第三章 · 一吨八的放映机

上一章结尾留了个问题：每秒 1.7 米的胶片洪流，怎么在镜头前「停」住？这章的答案是一台重达 1.8 吨、长得像恐龙骨架的机器，和一个买自澳大利亚车床工人的专利。

普通放映机怎么工作：一秒「刹车」24 次

先看普通 35 毫米放映机。电影放映的本质是幻灯片连播：每一帧必须在镜头前**完全静止**，快门打开放光，然后快门关上，胶片飞快前进一格，再停。一秒钟重复 24 次。

负责「前进一格」的部件叫抓爪——几根小钩子，插进胶片边上的齿孔，往下拽一格，拔出来，回去，再拽。配合一个叫马耳他十字的间歇机构（把连续转动变成「转一下、停一下」），胶片被一顿一顿地往下蹦。

这套机构工作了一百多年，可靠极了——前提是胶片够小、够轻。35 毫米胶片每秒走 45 厘米，抓爪温柔一点就行。

换成 IMAX 胶片，抓爪就是凶手

IMAX 胶片每秒走 1.7 米，是普通的近 4 倍，而且每一帧横跨 15 个齿孔、宽 70 毫米。如果还用抓爪硬拽，等于每秒让这条又宽又重的胶片「全速冲刺—急刹车」24 次：

- **胶片会被拽裂**：刹车时的冲击力全集中在齿孔边缘的塑料上，孔边会被拉变形、撕裂。一条价值几十万美元的拷贝，可能放几场就报废。
- **画面会抖**：巨幕会把每一丝抖动放大成地震。观众花钱来看细腻画面，结果看了一场晕动症体验课。

大白话

大白话：这不是「把抓爪做大点」能解决的问题。原理上就有矛盾——既要胶片跑得快，又要它在镜头前瞬间静止，加速减速全靠几个小孔传力，胶片必死。要救胶片，就不能再让胶片「蹦」。

波动循环：让胶片「躺平」着走

比尔·肖找到的出路，是一个叫波动循环（rolling loop）的机构。核心专利不属于 IMAX，属于一个叫彼得·琼斯（Peter Ronald Wright Jones）的澳大利亚车床工人——肖把专利买了过来，在此基础上做出了能用的机器。

波动循环的思路，一句话：**让胶片基本保持匀速前进，同时用一个「滚动的波」把每一帧依次按到镜头前。**

具体一点：胶片横着穿过机器时，被塑造成一连串缓缓向前滚动的「环」，像晾衣绳上被风吹着往前跑的一道道波浪。波滚到片门（胶片被光打亮的位置）时，那一帧胶片正好减速贴上去，被两根定位销（registration pin）插进齿孔钉死，快门开，放光，然后波滚走，下一帧跟上。整个过程里，胶片大部队始终在匀速前进，真正「停下」的只有片门前那一帧，而且是被温柔地「放」停的，不是被「拽」停的。

还有第二个机关。70 毫米宽的一帧胶片，面积大、刚性差，在片门前会像软纸一样微微起伏——而放映镜头的景深（能清晰成像的前后范围）只有零点几毫米，胶片弯一点，画面就虚一片。IMAX 的解法是用真空吸：片门背后抽气，把胶片平平地吸在一块光学玻璃（叫场平器）上，整帧被吸成一块绷紧的鼓皮，平整度控制在发丝级别。放映机里那个「嘶嘶」的气泵声，就是在干这件事。

为什么这台机器重 1.8 吨

把这些要求加在一起——匀速的胶片流、微米级的定位销、真空吸附、水冷（后面讲灯你就知道为什么需要）、防震——结果就是一台精密得像机床、又大得像冰柜的机器。一台 IMAX 70 毫米放映机重约 **1.8 吨**，开机前要预热、校准，片盘大到能躺进一个成年人。

但它回报的东西也很直接：放《奥本海默》时，那盘 17 公里长、270 公斤的胶片从头到尾全速跑完三个多小时，每一帧在镜头前静止时，位置误差不超过一根头发丝，全程不撕裂、不打滑。1.8 吨的重量，买的就是这个「纹丝不动」。

下一章的问题

胶片够大了，也停得够稳了。但还有一件事没解决：要把这么大一帧画面投到二十多米宽的银幕上，光从哪儿来？普通放映机的灯泡放到这个尺度，就像拿手电筒照足球场。下一章讲

讲 IMAX 放映间里那盏「比太阳还费电」的灯。

第四章 · 一盏比太阳还费电的灯

走进一家 IMAX 影厅的放映间，你会先听到声音：不是机器的嗡鸣，是**水声**。放映机的片门和灯，都在用循环水冷。原因很简单——这里面点着一盏 1.5 万瓦的灯。

把亮度这件事量化一下

先建立一个直觉。家里一盏 LED 吸顶灯大约 20 瓦；一辆汽车的氙气大灯，单边 35 瓦；普通电影院的放映机氙灯，2000 到 7000 瓦。而 IMAX 70 毫米放映机用的短弧氙灯 (xenon short-arc lamp)，功率最高到 **15000 瓦**——一盏灯，抵得上 750 盏家用吸顶灯同时开。

为什么要这么亮？因为光的账是面积说了算。光从灯里出来，穿过胶片，被镜头摊开铺满银幕。银幕越大，同样的光就被摊得越薄——银幕面积变成普通影厅的十倍，每平方米的亮度就只剩十分之一，除非你一开始就有十倍的光。IMAX 银幕常见宽度二十多米，面积是普通厅的好几倍，再加上 70 毫米画幅本身透光面积大、光路损耗也不小，答案只能是：造一盏狠灯。

大白话

大白话：一盏台灯能照亮你的书桌，照亮整个操场就得用体育场灯塔。亮度没有魔法，银幕大多少倍，灯就得强多少倍，物理定律不还价。

为什么偏偏是氙灯

选择氙气不是偶然，是两个苛刻条件筛出来的：

- **颜色要对**：日光型的白光。白炽灯偏黄，观众看到的蓝天会发绿；氙弧灯的色温接近正午阳光（约 6000K），胶片上的颜色投出来不偏色。
- **光要够「点」**：光学系统最理想的状况是光从一个无限小的点发出来，这样镜头才能精确地收集、聚焦。短弧氙灯的电弧被压在几毫米长的间隙里，几乎是个人造的「光点」——这就是为什么全世界的电影放映机，从普通厅到 IMAX，几十年来都是氙灯的天下。

灯亮到什么程度？行业里流传一个说法：把这盏 1.5 万瓦的氙灯放到月球上，在地球上用肉眼可以看见。真假不必较真，但它确实亮到危险的程度——灯内气压是大气压的很多倍，灯壁温度极高，本质上是一颗受控的小炸弹。放映员换灯时要穿防护服、戴面罩，像排爆一样换灯泡。一只灯要价几千美元，寿命只有几百到一千小时，烧掉的全是钱。

1.5 万瓦的电，大部分变成了热

这里有个反直觉的事实：这盏灯耗电 1.5 万瓦，但真正变成银幕上的光的，只有一小部分。剩下的大头全是热——红外辐射。这股热直扑胶片，如果不处理，每秒在片门前停留的胶片会被烤变形甚至烧穿。

所以 IMAX 放映机里有一整套「救火系统」：光路上加热滤片，把红外线尽量挡掉；片门用水冷；快门在光被挡住时全关，不让热积累。第三章说的真空吸附，也顺手帮了忙——胶片被吸平贴紧，受热更均匀。你听到的那片水声，就是 1.5 万瓦的代价在哗哗流走。

亮度军备竞赛的终点

氙灯统治了电影放映半个多世纪，但它有个绕不过去的宿命：效率低、寿命短、还危险。这恰恰是后来激光放映要革命的靶子——激光光源效率更高、寿命两万小时、颜色更纯。不过激光登场要解决的是另一类问题，我们留到第八章「从胶片到激光」再讲。

这一章记住一件事就行：你在 IMAX 影厅里看到的每一格画面，背后都有一盏受控的小炸弹和一条循环水河在伺候它。巨幕的浪漫，账单是物理开的。

下一章的问题

光够了，画面够大够亮了。但 IMAX 影厅里那块银幕，跟普通影厅的银幕长得不一样——它是弯的，有时候还是倾斜的，座位排布也陡得像体育馆。为什么？下一章讲银幕的几何学：沉浸感不是玄学，是视角的工程。

第五章 · 银幕为什么是个曲面

普通影厅的银幕是墙上的一块矩形布，IMAX 影厅的银幕却常常是弯的、朝观众微微前倾的，座位还陡得像体育馆看台。这些都不是审美选择，而是同一道几何题的不同解法。这道题的题干是：**怎么让画面「包住」观众？**

沉浸感的物理学：视场角

先引进一个概念：视场角——画面在你的视野里占多大的角度。人眼的中央清晰视野只有几十度，但加上余光，水平方向能感知到接近 180 度。心理学家早就发现：让一个人「感觉身临其境」的关键，不是画面多清晰，而是画面有没有侵入周边视觉——你眼角余光扫到的区域。

周边视觉分辨率很低，看不了细节，但它专门负责两件事：感知运动、判断「我是不是在一个大场景里」。VR 晕动症、赛车模拟器的代入感，都是靠刺激周边视觉实现的。IMAX 的第一性原理和它们一模一样：**把银幕做大到超出你的中央视野，让余光也被画面填满。**

普通影厅的银幕占你的视场角大约三四十度，你能清楚地看到画面的「边框」，边框外面是黑墙——你的大脑随时知道「我在看一块屏幕」。IMAX 影厅的设计目标是把视场角推到六七十度以上：银幕从地板附近一直顶到天花板，左右超出你正视的范围。边框从视野里消失了，大脑失去「这是一块屏幕」的参照物，于是开始把画面当现实处理。纪录片里直升机俯冲的镜头让你手心出汗，就是这个机制。

大白话

大白话：所谓沉浸感，说穿了就是「让你看不见边框」。看清细节靠眼睛中心，感到「被包围」靠眼角余光。IMAX 把银幕做到余光的领地去了，这是它和「大一点的普通厅」最本质的区别。

银幕为什么是弯的

银幕做大了，新问题立刻出现：**边缘比中间暗。**

原因很简单——距离。放映机在影厅后方，光打到银幕中心走的是直线，打到银幕边缘走的是斜线。银幕宽二十多米时，斜线比直线长出好几米，而光的强度随距离衰减；同时光斜着打到银幕上，同样的光斑被摊得更开、更暗。结果是：画面中心亮、四角暗，像手电筒照墙。

解法是初等几何：把银幕做成以放映镜头为圆心的一段圆弧（实际上还带一点前倾）。这样一来，从镜头到银幕任何一点的距离都大致相等，边缘和中心收到几乎同样的光。弯银幕不是造型，是在给光「找平」。

银幕本身也在帮忙：增益

还有一层机关藏在银幕材料里。普通白墙把光均匀地散射向四面八方，物理上最「诚实」，但效率最低——大部分光散到观众席的空位和墙上去了。IMAX 用的银幕涂了金属微粒涂层，像无数个微型反光镜，把光集中反射回观众席的方向。这个「聚光」能力用增益（gain）衡量：增益 1.0 是均匀散射的白墙，IMAX 银幕的增益可以做到 2 以上，意味着观众方向收到的亮度翻倍。

第四章那盏 1.5 万瓦的灯，加上这块会「聚光」的银幕，才让二十多米宽的画面亮得起来。灯的账，银幕帮着还了一半。

整个影厅是一起设计的

最后一块拼图是座位。普通影厅座位平缓，前排观众的脑袋会挡住后排的视线和视野下缘；IMAX 影厅把座位坡度做得很陡，让每一排的视线都越过前一排的头顶，银幕的下沿也能被所有人看到——否则「从地板到天花板」的画面就被前排的脑袋砍掉一截了。有些 IMAX 影厅干脆做成穹顶（最早的 OMNIMAX 系统，科技馆里那种躺看星空的球幕），把「无边框」推到极端：画面直接盖过你整个头顶。

所以一座 IMAX 影厅里没有一样东西是孤立的：胶片尺寸决定亮度需求，亮度需求决定银幕涂层，银幕尺寸决定弯曲几何，几何决定座位坡度。它是一整套解同一个方程的系统工程——这正是第一章说的「一整套系统的债」，到这里我们快还完画面的一半了。

下一章的问题

画面讲完了，轮到耳朵。IMAX 的爆炸声为什么能震得裤腿发麻，而普通影厅只是「听个响」？下一章钻进音响系统和那个著名的「地板下的低音炮」。

第六章 · 声音从地板下钻出来

IMAX 影厅里有个经典体验：火箭升空或者爆炸的瞬间，你胸口发紧，裤腿在抖。这不是「音量大」三个字能解释的——普通影厅把音量开到同样大，你只会觉得吵。差别在于声音的**结构**。这一章拆这套结构。

先纠正一个直觉：震撼来自低频，不来自响度

声音是空气的振动，振动的快慢用频率衡量：高频率是哨声，低频率是鼓声。人耳对中高频敏感，对低频迟钝——但你的身体不迟钝。20 到 100 赫兹的次低频（sub-bass，比大鼓还低的那段），耳朵听不太清，胸腔、内脏、皮肤却能直接感觉到压力。坦克开过、火箭点火，现实世界里伴随着大量低频振动，你的身体记得这种感觉。

IMAX 音响的第一招就是把低频这条路修得又宽又直：独立的低音炮阵列，藏在银幕后面和地板下，专门负责 100 赫兹以下的频段。普通影厅的低音炮受预算和邻居投诉限制，往往点到为止；IMAX 影厅从建筑阶段就按这套音响设计，低音炮的功率和数量不设上限式地堆。你的裤腿会抖，是因为声波真的在推动空气撞击你的裤腿。

银幕为什么是「穿孔」的

第二招在定位。你有没有注意过，IMAX 银幕上布满了小孔？那叫微孔透声幕——银幕上打出数以万计的微孔，让声音穿过去。为什么需要穿孔？因为主音箱摆在银幕**正后方**。

普通影厅空间紧张，左中右三个主音箱挤在银幕下方的角落里，「人物在银幕中央说话、声音却从左下角出来」是常态，大脑得自己原谅这个错位。IMAX 把中置声道放在银幕正后方的中心位置，对白听起来就是从演员嘴里出来的。声音和画面的空间对齐，这种「没毛病」的感觉，观众说不出原因，但身体很诚实。

胶片上没有声带

第三招你可能想不到：IMAX 70 毫米胶片上**没有音轨**。普通 35 毫米拷贝在胶片边上留了窄窄一条给光学或数字声轨；IMAX 把整条胶片的宽度全给了画面（第二章说过，一帧横跨 15

个齿孔，寸土寸金），声音另起炉灶——由独立的数字音频系统播放，靠时间码（每帧画面配一个时间戳）和画面严格对表。

音画分离带来一个实打实的好处：声音不用再迁就胶片上那点小地方。IMAX 用无压缩的多声道数字音频，动态范围（最轻到最响的跨度）可以做得极大——安静时一根针落地，爆炸时天花板在抖，两个极端在同一部片子里共存。压缩过的音轨做不到这个，它得把两头都削掉。

每天一次的「激光调音」

最后一招是维护。音响系统有个宿命：音箱会老化，功放着会漂移，今天调好的平衡，三个月后就不是那个味儿了。多数影院对此的对策是「听不出来就算没问题」。IMAX 的对策是制度化校准：影厅里装有监测麦克风，系统定期自动跑一遍测试信号，逐声道测量、校正，让每一场放映的声场都回到出厂状态。这套日常校准加上声道对准的扬声器布局，就是 IMAX 宣传里「激光校准音响」的实质——激光不激光是修辞，真正的意思是：**它把「每场声音都一样准」当成系统工程来管，而不是依赖放映员的耳朵。**

大白话

大白话：IMAX 音响的秘密不是「更响」，而是三件事——低频给身体、声画对齐给大脑、天天校准给一致性。音量谁都会开，结构不是谁都舍得建。

下一章的问题

到这里，「怎么造一座 IMAX 影厅」讲完了：大胶片、大机器、大灯、弯银幕、猛低音。但 1990 年代的 IMAX 有个致命尴尬：全世界只有几十部科教纪录片能放。它是怎么让《阿凡达》《蝙蝠侠》这些好莱坞大片涌进来的？靠一项叫 DMR 的「放大术」。下一章见。

第七章·把普通电影「放大」

第一章留了个伏笔：IMAX 出生后的三十年里，全世界能放的片子只有几十部科教纪录片——没有片子就没有影院，没有影院就没有片子。砸开这个死循环的，是 2002 年的一项技术，叫 DMR（Digital Media Remastering，数字原底翻版）。

问题：胶片格式是座围城

先看清死结在哪。好莱坞用 35 毫米胶片（后来是数字摄影机）拍片，IMAX 用 70 毫米 15 齿孔的格式放映。两种格式之间隔着第二章算过的那笔账：画面面积差将近十倍。把 35 毫米的画面直接放大投到 IMAX 银幕上，等于把邮票放大成壁画——颗粒、划痕、瑕疵全部原形毕露。让好莱坞改用 IMAX 摄影机拍？一部片子的成本要翻着倍往上涨，摄影机又大又吵，没有导演愿意干。

所以三十年来，IMAX 影厅只能放自己圈子里的科教片。技术在神坛上，生意在墙角里。

DMR 的思路：先「洗净」，再放大

DMR 的洞察在于：35 毫米画面放大到 IMAX 尺寸会露馅，但「露馅」的元凶不是分辨率不够，而是**噪声**——胶片颗粒、灰尘、划痕这些随机瑕疵，在放大后比影像本身更显眼。如果先把这些噪声从数字域里抹掉，再放大的画面就能干净得多。

流程大致是四步：

- **扫描**：把 35 毫米底片用超高分辨率扫描仪数字化，一帧变成一张巨大的数字图像。
- **洗澡**：用算法逐帧降噪——胶片颗粒是随机分布的，算法把它和真实的影像细节区分开，抹掉颗粒、保留细节，同时修复划痕和脏点。
- **强化**：锐化边缘、调整色彩和对比度，按 IMAX 影厅的亮度和银幕特性重新调色。
- **输出**：用激光胶片记录仪把处理过的数字画面一帧一帧「打印」回 70 毫米胶片上，做成 IMAX 拷贝。声音同步重混成 IMAX 的多声道格式。

大白话：DMR 干的事和修照片一样——先把老照片扫描进电脑，去掉噪点和划痕，调干净，再放大打印。只不过它的「照片」是每秒 24 张、一部片子十几万帧，当年的算力跑一部片子要几个月。

第一部试验品：《阿波罗 13 号》

2002 年，IMAX 把已经上映七年的《阿波罗 13 号》做成第一个 DMR 版本，投放进 IMAX 影厅。结果超出预期：观众愿意为重映的老片排队，票房相当可观——因为在大银幕上看火箭升空，是家庭电视给不了的体验。紧接着《星球大战前传 II》《黑客帝国》续集陆续 DMR 化，好莱坞猛然发现：**IMAX 影厅是一台印钞机的放大器**——同样的片子，在 IMAX 厅能收更高的票价，观众还觉得值。

死循环就此反转：有片子，影院就愿意装 IMAX；影院多了，片方就愿意出 IMAX 版。到《阿凡达》（2009）和诺兰的《蝙蝠侠：黑暗骑士》（2008，第一部用 IMAX 摄影机实拍部分场景的好莱坞剧情片）之后，「大片必出 IMAX 版」成了行业惯例。

一个诚实的注脚：放大出来的，终究不是原生

不过要留个心眼：DMR 是把 35 毫米（或普通数字）素材「放大」到 IMAX 规格，画面再干净，信息量的天花板还是原始素材定的。用 IMAX 摄影机实拍的画面——底片本身就是 3400 平方毫米——和 DMR 放大出来的画面，在胶片原教旨主义者眼里是两个物种。这个区别，正是第九章诺兰坚持直接用 70 毫米摄影机拍《奥本海默》的原因。

DMR 的历史意义不在画质，在商业：**它把 IMAX 从「一种放映格式」变成了「一个发行渠道」**。从此好莱坞的每一部大片，IMAX 都能分一杯羹。至于这一杯羹具体怎么分，第十章讲商业模式时细说。

下一章的问题

DMR 是数字技术，可 2002 年的 IMAX 放映机还是胶片的。胶片拷贝 270 公斤一盘、氙灯一千小时一换，整个行业都在往数字放映跑，IMAX 怎么办？它花了十几年、押上激光，才完成这次转身。下一章讲「从胶片到激光」。

第八章 · 从胶片到激光

2008 年前后，整个电影行业完成了一次大搬家：放映从胶片换成数字。拷贝从 270 公斤的铁盘变成一块硬盘，氙灯短则几百小时一换的烧钱日子眼看要结束。问题轮到 IMAX 头上了：数字放映机的画质，撑得起 IMAX 这块银幕吗？

数字放映的第一道坎：分辨率

先看敌人有多强。数字放映机的画面由微小的镜片阵列拼成，一台机器的分辨率由芯片决定。行业普及的第一代数字放映标准是 2K（画面宽约 2048 个像素点）。普通影厅的银幕十来米宽，2K 勉强够用——观众坐得远，看不出像素。但 IMAX 银幕二十多米宽，2K 投上去，每个像素有指甲盖大，画面会像隔着纱窗看风景。

IMAX 胶片版的分辨率相当于多少呢？粗略折算，70 毫米 15 齿孔的画幅，等效分辨率远超 4K，有说法认为接近 12K 级别——胶片当然不是完美的，但从「信息量」看，它是个巨人。数字放映要接 IMAX 的班，得先追上这个巨人。

IMAX 的第一代数字系统（2008 年起装机）做了个折中：用**两台 2K 放映机叠投**，两束光打在同一块银幕上，画面叠加后亮度和细节都有提升。这套方案让 IMAX 影院数从一百多家快速扩张到上千家——装机成本比胶片系统低太多了——但画质上，它打不赢胶片。

大白话

大白话：那几年有个公开的秘密——数字 IMAX 的「数字」含金量主要在账本上（拷贝成本、维护成本暴降），而不是画面上。胶片党管这叫「LiteMAX」：票还是那个价，画面却小了、虚了。

激光：终于换掉了那盏「小炸弹」

真正的翻身仗是激光放映。2014 年前后，IMAX 开始部署激光系统，核心是把第四章那盏 1.5 万瓦、一千小时报废的氙灯，换成红绿蓝三色激光光源。这一换，连锁反应全是好事：

- **更亮**：激光的光效远超氙灯，大银幕亮度轻松翻倍，3D（要分一半光给两只眼）终于不再昏暗。
- **颜色更纯**：氙灯是「一团白光里什么颜色都有」，激光是三个纯净的单色光，能混出的颜色范围（色域）大得多，红色更红，绿色更绿。
- **对比度更高**：黑的地方能真正黑下去。氙灯机里「黑」其实是「深灰」，因为光机关不严；激光可以精确熄灭像素。
- **寿命两万小时**：是氙灯的几十倍，还没有爆炸风险，放映员不用再穿防护服换灯了。

配着激光光源，分辨率也升级了：高端激光 IMAX 用 4K 芯片双机叠投。分辨率仍然追平不了 70 毫米胶片的理论上限，但叠加亮度、对比度、色域的全面提升，多数观众和影评人的结论变成了：激光 IMAX 在综合观感上追上了胶片，在 3D 和亮度上还反超了。

一个时代的收尾

这场转身花了 IMAX 十几年和巨额研发费，但它守住了那条底线：**巨幕体验不能打折**。数字时代的 IMAX 影院数量爆发式增长（从一百多家到一千七百家），靠的正是数字和激光系统把单厅成本打了下来。

胶片呢？并没有死绝。全世界还留着大约三十来家能放 70 毫米 IMAX 胶片的影厅——它们的唯一大客户，是一个叫克里斯托弗·诺兰的导演。他为什么宁可全美国只有几十家影厅能放，也要用 70 毫米胶片拍《奥本海默》？下一章，讲这场数字时代最昂贵的坚持。

第九章·诺兰为什么还要胶片

2023 年夏天，《奥本海默》上映。全美国只有几十家影厅能放它「真正的版本」——70 毫米 IMAX 胶片版，拷贝一盘 17 公里长、270 公斤重，有的影厅为此重新启封了封存多年的胶片放映机。观众驱车几百公里去赶一场。在数字放映早已一统天下的年代，这场面近乎行为艺术。

主谋是导演克里斯托弗·诺兰。他不是怀旧，他有一套很硬的理由。

诺兰的账本：分辨率只是入场券

第一层理由是第二章算过的账：IMAX 70 毫米一帧的画面面积是普通 35 毫米的十倍，等效分辨率碾压所有数字摄影机。诺兰要拍的场景——新墨西哥州的荒原、原子弹试爆的火球、人脸毛孔级的特写——都需要这种「信息富余」：画面投到二十多米宽的银幕上，依然细得没有颗粒感。

但第二层理由更要紧：**1.43:1 的画幅**。第二章说过，IMAX 胶片的比例比宽银幕「方」得多。诺兰把这个方画幅当叙事工具用——拍《黑暗骑士》时，他把摩天大楼的戏留给 IMAX 摄影机，城市竖着占满整个银幕，观众仰头看的时候脖子真的会酸；拍《敦刻尔克》，飞机缠斗的画面从地板顶到天花板，观众被「摁」进驾驶舱里。他说过一句大实话：IMAX 胶片是「有史以来最好的成像格式」，用它拍，是为了让观众「消失进电影里」。

大白话

大白话：数字摄影机的画质一直在进步，但 IMAX 胶片给的不是「更好一点」，而是「多一个维度」——别人在争夺画面的清晰度，诺兰在争夺你的整个视野。这是第五章视场角那套几何在拍摄端的应用。

用 IMAX 摄影机拍电影有多折磨

这台摄影机不是为剧情片设计的。它是为科教片造的：假设三脚架一架，对着大峡谷拍半小时。拿它拍对话戏，全是麻烦：

- **吵**：胶片每秒狂奔 1.7 米，机器运转像台小型拖拉机，现场对白根本没法同期录音。诺兰的解法是干脆接受后期配音，或者把对白戏交给安静的普通 65 毫米摄影机。
- **重**：机身几十公斤，手持跟拍近乎举铁，斯坦尼康摄影师拍一天得歇三天。
- **贵**：一盒胶片只能拍几分钟，每一次开机都是钱在燃烧，全剧组的压力都写在脸上。

《奥本海默》还逼出了一项新发明。片中有大段黑白戏份，诺兰不愿意用「彩色拍完转黑白」的数码路子，直接找到柯达：**给我们造 65 毫米的黑白胶片**。这种规格的黑白底片此前从未存在过，柯达专门研发了生产线，才让他如愿——这是电影史上第一次用 IMAX 规格的黑白胶片拍摄。

这到底值不值

可以算一笔账：70 毫米 IMAX 版的制作、洗印、运输成本巨大，全世界能放的影厅只有几十家，票房占比撑死几个百分点。纯从投入产出看，不划算。

但诺兰拿到的是别的东西。第一，是作品的一部分「原生」于最强格式，几十年后它依然是画质的天花板参照物；第二，也是更实际的——「只有几十家影厅能放真版」本身就是营销事件，观众为它排队、跨城、二刷，《奥本海默》的 IMAX 票房占比远高于行业惯例。昂贵的坚持，最后由观众的溢价买了单。

更有意思的是行业的反应：《奥本海默》之后，越来越多导演重新掂量大画幅，IMAX 公司甚至开始研发新一代更安静、更轻的胶片摄影机。一个 1967 年为了世博会发明的老格式，在 2023 年反而成了「画质军备竞赛」的裁判。

下一章的问题

技术的故事讲完了。最后一道大题留给生意：IMAX 不收电影票钱，也不拍电影，它到底靠什么赚钱？为什么中国的 IMAX 影厅比整个北美还多？下一章拆开 IMAX 的商业模式。

第十章 · 不只是一块银幕的生意

前九章讲的是 IMAX 怎么花钱：1.8 吨的机器、1.5 万瓦的灯、270 公斤的拷贝。这一章讲它怎么收钱。答案有点反直觉：**IMAX 几乎不靠卖设备赚钱，它把自己做成了电影票房的一个「收费站」。**

三张钞票，各分一刀

你买一张 80 块的 IMAX 电影票，这 80 块大致被三方分掉：

- **制片方**（好莱坞片厂）拿走票房的最大头，大约一半上下，和普通厅一样。
- **影院**拿走剩下的大部分，用来付房租人工。
- **IMAX 公司**从两头各抽一小刀：向制片方收 DMR 转制费外加票房的一小截（行业口径大约十分之一左右），向影院收系统使用费和票房分成。

注意 IMAX 抽的是**比例**，不是固定费用。这意味着它的收入和电影好不好看、观众多不多直接挂钩——《阿凡达》爆了，IMAX 跟着爆；《奥本海默》的 IMAX 场次排长队，IMAX 公司躺着分钱。它把自己从「设备商」变成了「每部大片的微型股东」。

大白话

大白话：卖放映机是一锤子买卖，卖完就没了；抽票房是永续生意，只要巨幕电影还在拍，收费站就一直有进账。IMAX 用五十年时间，把生意从前一种做成了后一种。

影院的账：为什么要花几百万改造一间厅

收费站模式能成立，前提是影院愿意入局。影院的账是这么算的：把一间普通厅改造成 IMAX 厅（银幕、座位坡度、放映系统、音响），成本数百万人民币级别。但改造完之后，同一部电影在这个厅能卖出贵一倍的票价，上座率还更高——IMAX 厅长期是影城里最赚钱的厅。

IMAX 公司还给了一个降低门槛的方案：合资分成模式——设备的钱 IMAX 先垫上，影院少付甚至不付 upfront 的大头，作为交换，IMAX 从这个厅未来的票房里长期抽成。影院用「未来的收入」换「现在的设备」，IMAX 用「现在的设备」换「未来的现金流」。2008 年之后 IMAX 影厅数量的爆发（第八章说过，从一百多家到一千七百家），主要就是靠这个模式撬动的。

中国：第二增长曲线

IMAX 全球约 1700 家影厅，中国是第二大市场、影厅数与北美不相上下——高峰期中国有七八百家 IMAX 厅。这是怎么发生的？

时间点掐得准。2010 年前后，中国电影市场开始爆炸式增长，商业地产疯狂盖购物中心，每个购物中心都要一座电影院作为客流发动机，而 IMAX 厅是影院招商时最响的招牌。IMAX 与万达等大院线签下大批量订单，又专门成立 IMAX China（2015 年在香港上市）独立运营中国市场，本地团队决定排片、谈合作、推国产大片的 IMAX 版——《流浪地球》《长津湖》这些国产重工业大片，都有 IMAX 版本。

这一步棋的关键不只是「多卖了几百台设备」，而是 IMAX 在中国复制了同一套收费站模式：国产大片的票房里，也有它的一刀。

护城河的真相

回头看，IMAX 的护城河不是某一项技术——氙灯谁都能买，弯银幕谁都能造，杜比影院、中国巨幕都在学。真正的护城河是三样东西拧在一起的结：

导演愿意用它的摄影机（创作端）+ 片厂愿意出它的版本（内容端）+ 观众认它的牌子（消费端）。

竞争者可以复制任何一件设备，但复制不了这个三角。诺兰们用 IMAX 摄影机拍片，是因为观众认 IMAX；观众认 IMAX，是因为大片都有 IMAX 版；片厂出 IMAX 版，是因为导演和观众都在那头等着。任何一环单看都不牢靠，拧起来就是半个世纪的生意。

下一章的问题

但收费站也有怕的东西：如果未来大家不去电影院了呢？流媒体、家庭巨幕电视、LED 影厅，都在从不同方向挖墙脚。最后一章，看看巨幕的对手们，和 IMAX 的下半场。

第十一章 · 巨幕的对手们

最后一章，把镜头从 IMAX 身上移开，看看它的周围。半个世纪前它没有对手——因为没有第二家公司会疯到重建一整套系统。今天，对手从三个方向围了上来。

对手一：杜比影院——用对比度打差异化

杜比影院（Dolby Cinema）的思路是：不跟你拼银幕大小，拼画质参数。它的双机激光放映系统主打极高的对比度——最亮和最暗的比值，黑能黑到真正的伸手不见五指，这是 IMAX 激光机都追不上的指标；配上杜比全景声（Atmos，天花板都装音箱、声音能在三维空间里精确定位）和头等舱式的座椅，卖的是「精致」而不是「巨大」。

这场竞争很说明问题：巨幕体验原来可以被拆解。观众以为自己在为「IMAX」三个字付费，实际上是在为亮度、对比度、低频、视野这一组参数付费——谁能提供更好的参数组合，谁就能分走那 40 块差价。

对手二：LED 影厅——干脆不要放映机

更激进的颠覆来自屏幕本身。三星等公司推出了 LED 电影屏（如 Onyx 系列）：整面墙就是一块巨型 LED 显示器，没有放映机、没有灯泡、没有放映间，画面自发光。这意味着：

- **黑是真的黑**：像素可以直接熄灭，对比度理论上无穷大。
- **亮是真的亮**：LED 的亮度余量远超投影，白天开着灯都能看。
- **影厅变多功能**：不放电影时，这面墙能开电竞比赛、演唱会直播、发布会——影院的收入来源翻了几倍。

目前的障碍是成本和尺寸：LED 屏做到 20 米宽的价格还是天文数字，维护也麻烦（坏点要整块换模组）。但沿着「成本逐年下降」这条曲线往前看，投影这条路在物理上是有天花板的，LED 没有。巨幕的终极形态，可能根本没有「幕」。

对手三：你家客厅

最难对付的对手不在影城里。流媒体 + 98 寸电视 + 回音壁音响，家庭观影的底线每年都在抬高。电影院对手从来不是别的电影院，而是沙发。

IMAX 的对策是把品牌延伸进客厅：[IMAX Enhanced](#) 认证——符合标准的电视、音响和流媒体内容（更高规格的画面和 DTS 多声道音轨）可以挂 IMAX 的标。它还收购了视频质量分析公司 SSIMWAVE，帮流媒体平台优化画质；2024 年又和 AI 翻译公司合作，用 AI 把 IMAX 内容配上几十种语言。

坦率地说，客厅里的 IMAX 体验缩水是必然的——视场角那套几何在家里复现不了。IMAX Enhanced 更像品牌授权生意：反正客厅这场仗打不赢，不如收点过路费。

IMAX 的下半场：卖「事件」

真正的主线在别处。看看 IMAX 这几年在干什么：把演唱会（泰勒·斯威夫特巡演电影）放上巨幕、直播 NBA 和电竞、发行只给 IMAX 的版本。它在把自己从「放映格式」再往前推一步，变成「[线下事件](#)」的承办方。

逻辑很清楚：流媒体的对手是「内容」，但流媒体给不了「事件」——几百个陌生人一起在黑暗里屏住呼吸，这种体验没法下载。只要人类还需要集体做梦的场所，巨幕就有生意。IMAX 赌的是：电影会搬家，仪式不会。

回到那 40 块钱

这本书从一道算术题开始：同一部电影，你多付的 40 块买到了什么？现在可以回答了——买到了一帧面积大十倍的底片（或者等效的激光系统），买到了一台让胶片纹丝不动的 1.8 吨机器，买到了一盏用水冷伺候的灯、一块替灯省一半钱的聚光弯银幕、一组从地板下震你胸腔的低音炮，买到了影厅几何把你眼角余光也填满的设计，还买到了一个让导演、片厂、观众互相锁死半个世纪的三角。

所有这些目标只有一个，就是第五章那句话：[让你的大脑看不见边框](#)。当边框消失，银幕就变成窗，你就从「看电影的人」变成「在场的人」。这 40 块，买的是一次「在场」。

下次灯光暗下来，片头的倒计时在巨幕上亮起时，你可以环顾一下四周——那片黑暗里藏着一整套 1967 年从蒙特利尔出发的系统工程，正在为你一个人加班。

IMAX：这块银幕凭什么贵一倍 · 王建硕