

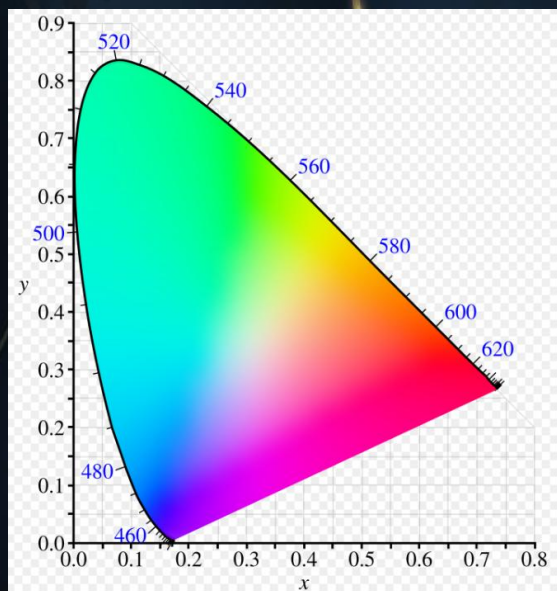
中国范式的PCG色域框架探讨

汇报人：张锦

从sRGB到BT.2020……我们是否需要一个“中国式色彩标准”

?

色彩科学的基石：CIE 1931色度图



CIE 1931 马蹄形色度图

现代色度学基准，以马蹄形光谱轨迹标定人眼全部可见光范围，是全球各类色域标准的统一参照坐标系

CIE 1931色度图的意义

从主观到客观的跨越

它首次将每一种颜色标定在精确的二维坐标上，终结了“只可意会”的模糊描述

直观定义设备色域边界

图形覆盖的面积大小，就是对设备色彩表现力最直观的量化评估

跨领域的统一

奠定了印刷、摄影、显示等全色彩工业的标准基石，是色彩交流的通用“世界语”

主流色域标准概览：从sRGB到BT.2020

sRGB

CIE1931 色域面积占比为 35.9%，是最基础、普及率最高的“基准色域”

Adobe RGB

CIE1931 色域面积占比为 52.1%，相比sRGB标准拥有更宽广的绿色与青色表现，但蓝红色方向与sRGB基本保持一致

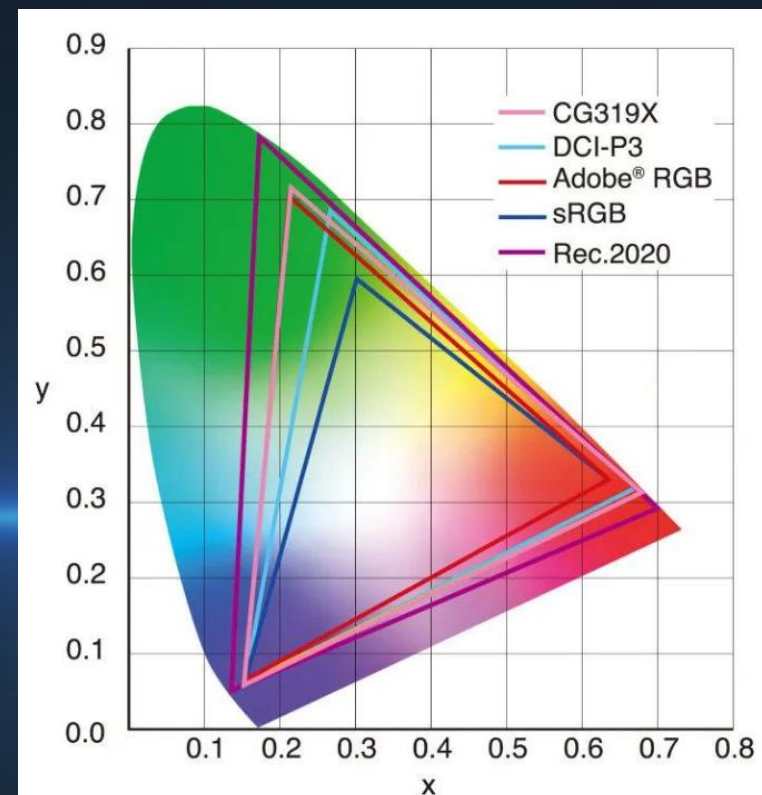
DCI-P3

CIE1931 色域面积占比为 53.6%，相比于sRGB和Adobe RGB，红色大幅外扩，但蓝绿色方向进步不大

BT.2020/Rec.2020

CIE 1931色域面积占比突破 75%，但全色系最丰富的蓝绿色区间仍然无法用三角形框架完美展示出来，目前尚未有消费级设备能完全覆盖此标准

从基础的sRGB到极致的BT.2020，展现了人类对色彩还原能力的不断突破。



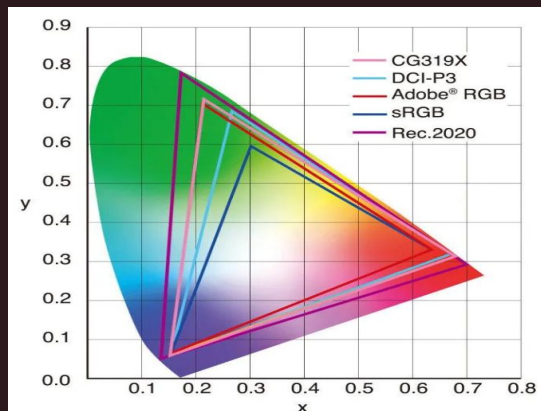
现有标准的致命缺陷：被“切掉”的色彩

面积缺陷：三角总面积有限

受三点几何架构约束，单纯延展顶点只能有限扩充面积，整体覆盖面积远小于人眼可见光全域。即便三角形三顶点拉到极限，也固定缺失约24%的人眼可见色。

观感缺陷：不符合人眼千万年进化的生理特征

人眼适配自然光连续光谱，三原色依靠同色异谱混色、光谱不连续，长期观看易产生视觉疲劳，违背人眼感光生理规律。



传统色域标准的“三角形”边界，在CIE 1931色度图上，其蓝绿边是一条直线，粗暴地切割了色彩最丰富的蓝绿色区域

青蓝色的缺失，限制了我们与自然之美和文化之美的完整表达：



完整色域下的真实色彩表现，青绿色鲜活通透



现有三角形色域标准下的显示效果，青蓝色被系统性“切掉”，饱和度大幅降低

产生致命缺陷的原因：传统硬件的制约

色彩的丢失，理论上可以通过把三原色的色域空间逻辑，修改为多原色来实现，但是大多数传统显示硬件仅能支撑三色成像

CRT显示技术：

增加原色电子枪会降低画面分辨率，硬件空间受限。

CRT投影技术：

多增加单色显像管会大幅增大设备体积，多色光路调校难度极高。

LCD技术：

滤光片随原色增多，透光效率会持续下降，带来巨大能量损耗。

3LCD技术：

X-Cube 合光棱镜的光学结构仅支持三色合光，物理架构无法拓展更多原色。

DLP技术：

虽原理可做多原色，但多色色轮会降低光效，能效表现差。

大多数过往技术，都不支持多原色，因此所有既有标准均假设"三原色为固定物理实体"

追求中国范式的新色域框架

技术发展和时代进步呼唤色域标准更新

传统标准跟不上时代进步

经过时代的发展和技术的创新，已经有过多色域的尝试

TI

6色轮“极致色彩”技术

在色轮上新增黄、青、品红，给新原色建立独立通道，使得中间色的饱和度大幅提升

夏普

四色LCD面板技术

在传统RGB液晶面板中额外增加了一颗独立的黄色次像素，NTSC色域覆盖率从75%提升至约85%

海信

天青色独立发光芯片

精准填补了光谱空白。配合四芯背光与超高精度控色，实现了110% BT.2020的色域覆盖率

这些技术探索路径不同，但都指向同一个方向：CIE 1931的三原色模型只是起点，人类终究要用更完整的物理光谱去逼近人眼所能感知的真实色彩世界。

传统标准不适配东方文化

现有色彩标准中的许多参数，并非基于全球普适的视觉特征，而是带有明显的西方文化烙印

D65的白平衡点以北欧平均日光为基准进行设置

DCI-P3的肤色还原优先考虑的是白人肤色

Gamma曲线取2.2数值，也是为了符合西方人眼睛的感知特性

传统显示色温标准诞生于欧美，无法兼顾国人观看体验

这两张图展示的是同一色温画面下，因视觉适应与生理差异产生的主观观感对比：



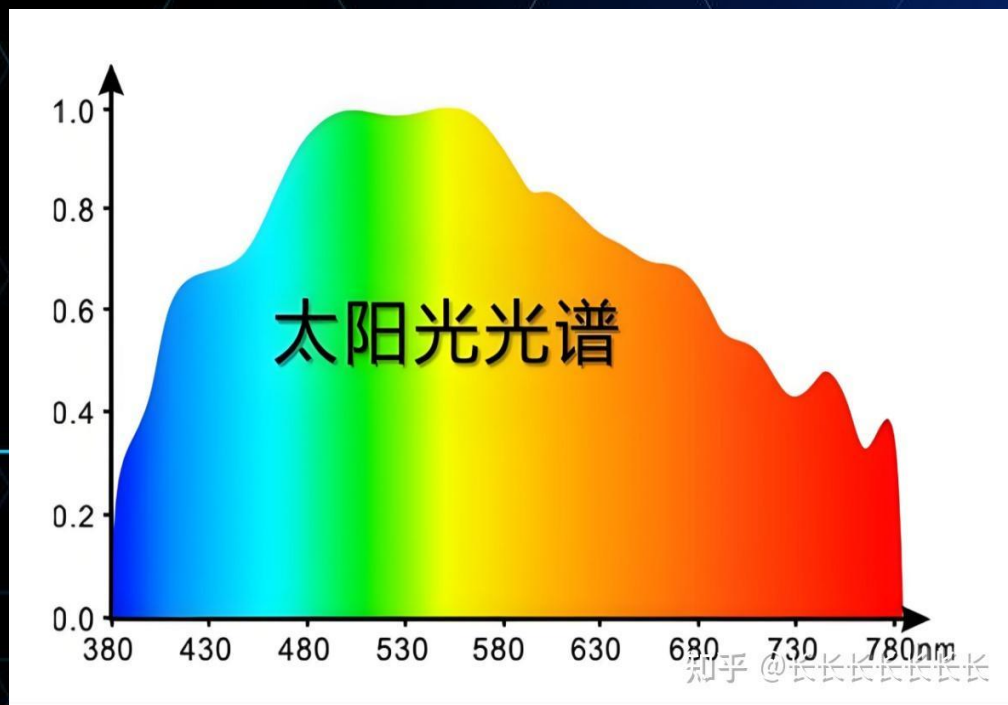
北欧环境下，此色温呈现出纯净、通透的标准白色



对于东亚人，同一画面会因虹膜蓝光过滤特性，被大脑感知为偏黄、发闷的画面

健康与生理的双重需求

社会的进步，科学的发展，人类对于健康与舒适生活的追求，在显示领域有了更明确的标准需求



被传统三角形标准切掉的最大区域集中在蓝色和绿色之间，而这片区域，恰恰正是太阳光谱最丰富那些波段

从人体视觉生理与健康角度看，人眼长期适应太阳光完整连续的光谱。传统三角色域丢失最丰富的蓝绿色波段，人眼长期观看易产生不适

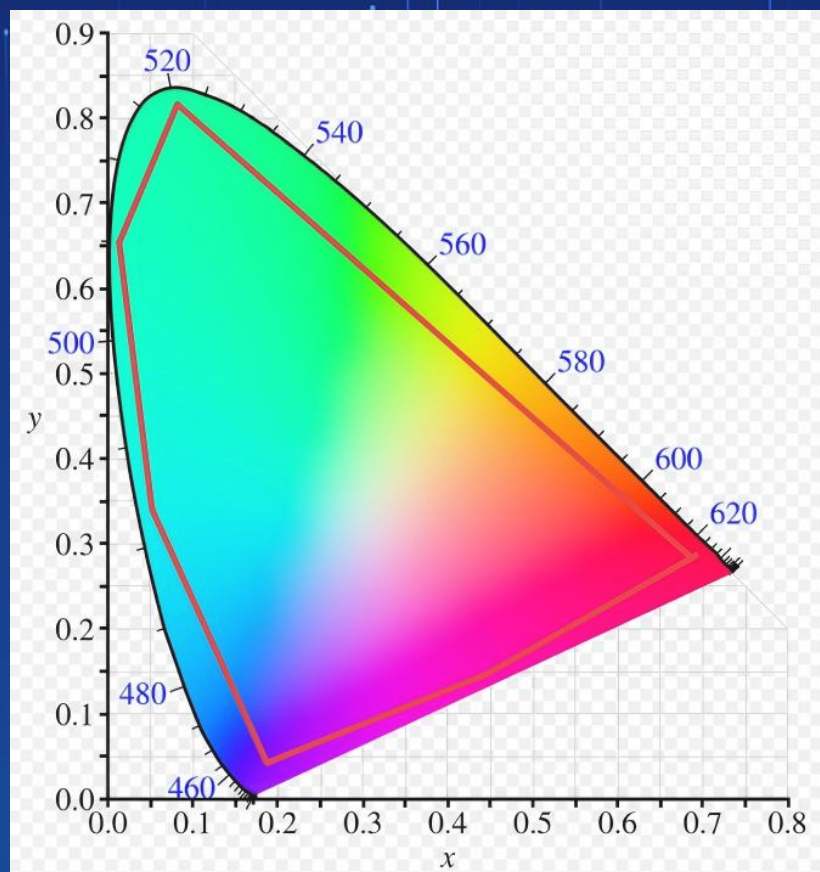
科技以人为本，连续光谱才是最舒适的色域标准

东方的眼睛、华夏的文
化、世界的视界，都在呼
唤新的标准——PCG色域
框架

什么是PCG色域框架？

人类需求的进阶，高刷新率场序显示技术，以及大尺寸MLED技术的进步，多基色色域标准可以提上日程。

Polygonal Color Gamut (多边形色域框架)



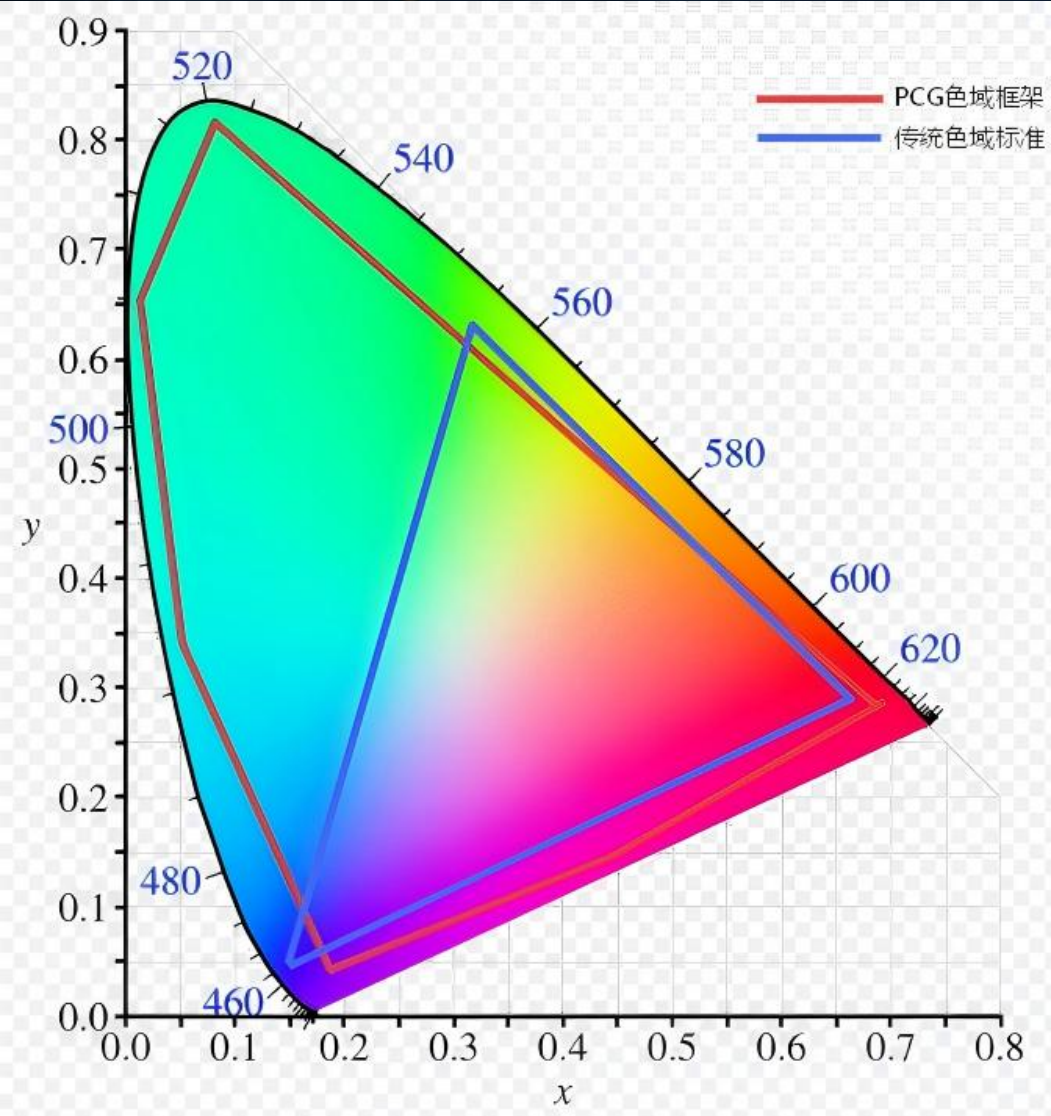
多边形色域标准，在CIE 1931马蹄图上选择了多个锚点（原色点），创造了一个由多原色构成的，光谱更连续，色彩更丰富、生理更健康，观感更舒适，体验更自然的新型色域标准。

更健康

更灵活

面向未来

PCG 色域框架：基于数据的科学架构解析



对比维度 \ 色域标准	PCG 色域框架	传统色域标准
原色数量	5种，或者6种，或者更多种	3种
色域面积	超越85%CIE1931的面积	最高75%
加强区域	青色、青绿色、金色、紫色，深红、	\

基础技术层面

多原色定义层面

不再固定 RGB 三色光源，支持 5~6 种独立原色光源，重点将蓝色-绿色空间扩张满足自然界更多色彩重生

颜色产生与再现层面

可生产可推广的标准型原色光源；摄录阶段可实现的技术手段和标准；视频解码与播放阶段也支持足够的带宽和速率

产业覆盖与适用层面

电影产业；液晶型显示产业；Micro-LED显示产业（尤其是大与超大尺寸规格）……

为什么PCG是中国显示产业的创新必然

中国的产业发展以及技术进步带来的机遇

PCG 色域框架——理论已备

从“三原色妥协”到“全光谱还原”，理论已经成熟，工程可行，未来将至

理论就绪：

色域映射、白场匹配、亮度控制、色彩重现等核心算法理论已完全成熟，需要的仅仅是算力支持和在物理世界中进行实际重构

核心方法：

建立“光谱-色度-感知”三层映射模型。输入信号经色彩管理模块解析，动态计算最优原色组合与强度配比，输出匹配人眼视觉敏感度曲线（ $V(\lambda)$ ）的光谱功率分布

最终愿景：

突破三角形限制，形成贴合CIE马蹄图轮廓的凸多边形，覆盖sRGB、DCI-P3、BT.2020的全部区域，并延伸至三角形标准无法触及的饱和黄绿、深紫红等区域。

PCG不是对旧标准的修补，而是从“人眼适应标准”到“标准回归人眼”的范式革命

全球命运共同体，不能没有东方色彩美学

新一代色域标准，理应由中国来定义

传统色域标准都没有考虑到中国特色，国画的天青、宋瓷的粉青，江南的碧绿，故宫红墙的朱砂等，这些承载千年文化记忆的色彩，因传统标准的局限性而无法呈现

近年来，国内企业已经认识到积极参与标准建设的价值：

目前中国企业在优势产业里，已经牵头制定的国际标准超千项，涉及新能源、无人机等领域。

显示领域，正在奋起直追……

全球性产业，全球性市场，全球性需求，全球性责任，全球性新标准

中国已经有充分的理由，代表全球更广泛的群体，升级一个更优的色域标准

PCG色域框架落地的可能性：Micro-LED和LCD两大技术体系最有可能

Micro-LED的优势：

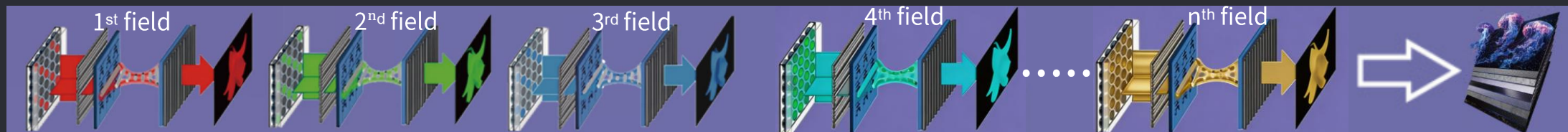
超大屏幕适合多子像素独立发光
像素独立发光天然适配多原色光源的自由组合
超高画质、电影画质，天然呼唤PCG色域框架

Micro-LED实现PCG色域框架很容易，但传统LCD液晶屏呢？

传统LCD液晶屏实现PCG的新路径——FSHD 场序显示技术

传统RGB彩色TFT液晶屏，若采用PCG色域框架，将是能效比灾难！
时间混色逻辑下的场序显示技术，提供了新的视角和产业可行性！

FSHD (Field Sequential High Definition) 场序时间混色方案



九天画芯开发的FSHD 场序显示技术，采用时间混色原理，刷新率可达400Hz以上，可大大拓展原色数量，完美匹配PCG色域框架的核心思想

光源

采用多基色分时背光，补齐传统 RGB 缺失的青绿光谱，实现 PCG 分段连续多原色光谱架构

面板

去除 LCD 像素 RGB 滤光片，改用高速单色液晶做时序快门，靠时间混色避免多色滤片带来的能效崩盘

基于传统场序显示原理，像素充电、液晶翻转与亮灯时间相互制约制约；
FSHD技术，将上述三个因素解耦，在LCD领域为多原色显示开辟了新的物理实现路径！

产业优势 + 市场基础 = 标准话语权的必然性

全球最完整的供应链和最丰富的应用场景，使得中国在推行自主标准时具备天然的优势和不可替代的议价能力

我国产业优势

LCD液晶屏产能全球主导地位；
Mini/Micro-LED、LED产能全球主导；
显示产业的上下游企业，从光源，到控制芯片，
均有全球产能优势。

我国市场基础

全球最大新能源车市场，具有最多的车载显示；
全球最大的单一TV市场；
全球最多电影屏幕的单一市场；
更多的中国品牌出海成为全球优势品牌。

PCG色域框架的建立，随着中国的产业发展，以及市场基础，已经不再是技术伪命题，而是产业可能和产业必然

PCG的未来：从“定义”到“普及”

打造国产色彩规范，抢占全球显示行业标准话语权，为中国显示产业建立一套属于自己的“色域语言”

1、制定标准

组建联合工作组，完成基础调研与底层参数标定

联合显示行业龙头，定制适配国人视觉的基准参数，确定原色方案

分析技术标准，形成 PCG 核心算法规范

统一多原色光源的光谱带宽、发光波段与量产规格；定制多原色动态配比算法，搭建 PCG 与主流色域双向转换标准，兼容存量画面内容；依托东亚人视觉曲线制定自适应调色规则，区分东西方白点、Gamma 参数，优化实景与国风色彩表现

2、普及

全产业链协同，共建开放生态

标准化机构牵头制定分级 PCG 国标与跨色域转换规范；高校主攻光学实测、人眼色彩数据库与学科人才培养，夯实理论根基；芯片厂商优化 CMOS 感光与驱动 IC，从软硬件底层适配 PCG；面板企业依托 FSHD 场序显示技术改造背光与液晶结构，量产消费级 PCG 终端，MicroLED 企业凭借多色自发光优势落地高端广色域 PCG 产品；影视、摄像、平台端从拍摄编码、剪辑、流媒体全链路搭载 PCG 格式。全链条协同完成新标准普及落地。

“让色彩也讲普通话”

谢谢

张锦

九天画芯

国家“万人计划”领军人才

FSHD显示技术

联系方式：13320988615

个人微信



官方公众号

