

UniOptics 光学薄膜设计模块 用户手册

2025.05 V0.5.7

罗迅科技

资源库

1	用户界面总览	1
1.1	功能区	1
1.2	工作区	2
1.3	侧边栏	3
1.4	状态栏	4
2	光学薄膜项目编辑窗口	4
2.1	膜层设计	5
2.2	项目评价函数	13
2.2.1	子评价函数	14
2.2.2	子评价函数分量	15
2.3	版本	22
2.3.1	界面布局	22
2.3.2	版本管理机制	25
3	文件选项卡	26
3.1	全局设置	28
3.1.1	语言	29
3.1.2	文件存储与管理	29
3.1.3	数值显示	30
3.1.4	材料	31
3.1.5	快捷键	32
3.1.6	可视化配置	33
3.1.7	通知设置	35
4	开始选项卡	36
5	资源库选项卡	37
5.1	资源库界面布局	38
5.2	材料资源库	41
5.2.1	新建材料	42
5.2.2	导入材料	43
5.2.3	采样数据导入	44
5.3	光学薄膜资源库	47
6	分析选项卡	49

6.1	通用布局与设置	49
6.2	光谱图	53
6.2.1	计算标签栏	57
6.2.2	多项目光谱展示	59
6.2.3	膜系合并预览(创建项目图片替换)	61
6.3	颜色	63
6.4	导纳	65
6.5	折射率分布	66
6.6	厚度分布	67
6.7	反射系数	68
6.8	吸收速率	69
6.9	电场	70
6.10	误差分析	72
6.11	敏感度	75
6.11.1	独立敏感度分析	75
6.11.2	分布敏感度分析	78
6.11.3	拐点敏感度分析	79
6.12	良率规范	80
7	工具选项卡	81
7.1	膜层工具	82
7.1.1	重复添加层序列	82
7.1.2	公式	82
7.1.3	膜层替换	85
7.1.4	全局编辑	85
7.1.5	缩放厚度	86
7.1.6	替换材料	87
7.2	设计工具	88
7.2.1	对称周期	88
7.2.2	赫平图	90
7.2.3	膜系减薄	91
7.3	优化	94
7.3.1	优化界面	94
7.3.2	算法配置	96
7.3.3	参数配置	97

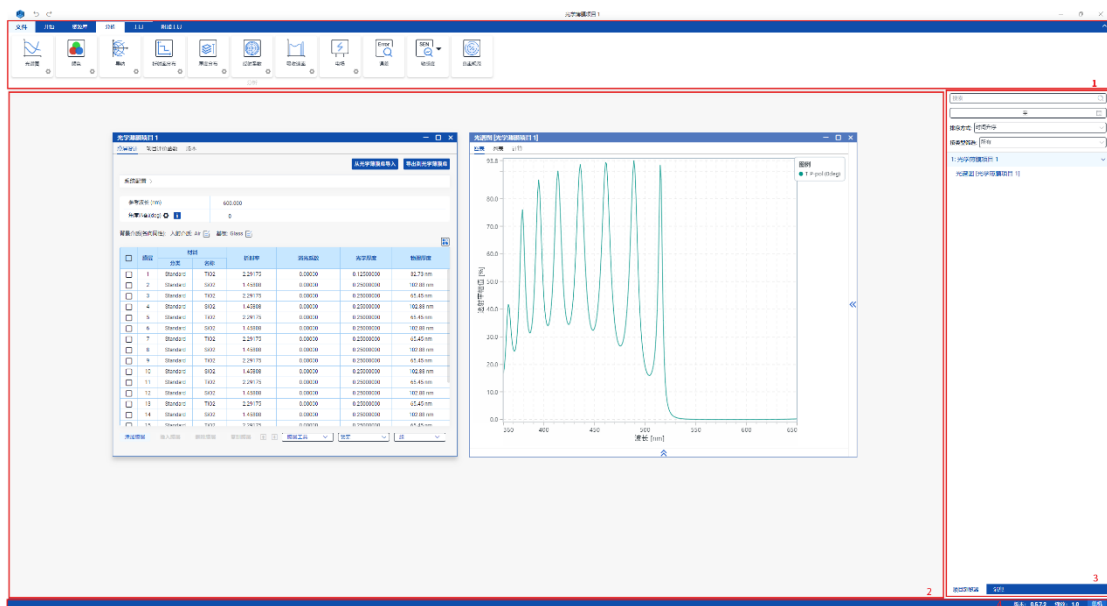
7.3.4	评价函数配置	99
7.3.5	优化执行与过程展示	100
7.3.6	优化结果生成新版本	107
8	附加工具选项卡	108
8.1	关闭窗口	108
8.2	光学常数提取	108
8.2.1	光谱数据导入及处理	110
8.2.2	光谱数据极值点标注	115
8.2.3	光学常数提取执行	117
8.2.4	根据计算结果创建材料	119
8.3	关于 UniOptics	121
8.4	许可证	121
8.5	视图	123
9	理论与算法	123
9.1	材料	123
9.1.1	折射率	123
9.1.2	吸收	125
9.1.3	温度数据	127

1 用户界面总览

UniOptics 软件主界面由 4 部分组成：

1. 功能区
2. 工作区
3. 侧边栏
4. 软件状态栏

整体布局如下图所示：



1.1 功能区



主窗口顶部的功能区是访问 UniOptics 各种功能和项目的主要控制区域。如上图所示，它由“文件”菜单和三个常驻功能区选项卡组成（详见下表）。每个功能区选项卡包含若干功能组，每个功能组内包含多个功能项。

选项卡	描述
-----	----

文件	文件菜单是软件的配置中心，涵盖全局设置与各模块专属配置。用户可在此调整语言、默认存储路径、快捷键等全局属性，同时也可访问不同模块（如数值显示精度、曲线颜色样式设置等）的参数设置，统一管理软件的系统行为和模块化特性。关于文件菜单的更详细介绍，请参阅【 文件选项卡 】章节。
开始	允许用户创建、加载、导入以及导出项目。关于开始选项卡的更详细介绍，请参阅【 开始选项卡 】章节。
资源库	资源库选项卡用于集中管理软件中的各类资源，包括材料库、膜系库。用户可以在此界面中浏览、添加、编辑和删除已有资源，也可以将当前设计成果保存到对应资源库中，便于后续调用和复用。关于资源库的详细介绍，请参阅【 资源库选项卡 】章节。
附加工具	附加工具功能区提供了一些辅助性功能，支持用户更高效地管理和使用软件界面资源。该功能区主要包括以下内容：窗口管理、许可证管理、关于 UniOptics 、视图缩放。关于附加工具功能区的详细介绍，请参阅【 附加工具选项卡 】章节。

不同类型的窗口会在功能区中添加对应的选项卡组。



如上图所示，当选中项目窗口时，会添加额外的[分析](#)和[工具](#)功能区(详见下表)。

选项卡	描述
分析	分析 选项卡用于对当前设计的光学薄膜进行多维度的性能分析与可视化展示，帮助用户从不同角度理解与评估膜系的光学行为。该选项卡包含光谱分析、电场、误差分析等功能。关于分析功能区的详细介绍，请参阅【 分析选项卡 】章节。
工具	工具 选项卡汇集了光学薄膜设计过程中常用的操作工具，涵盖膜系优化、自动减薄、膜层调整等功能。关于工具功能区的详细介绍，请参阅【 工具选项卡 】章节。

1.2 工作区

工作区是软件的核心操作区域，承载了用户进行项目编辑、分析操作及结果查看的主要界面内容。在工作区中，用户可以直接查看、编辑和交互各类文档与图形窗口，实现对项目的全流程管理与操作。其主要包含以下元素：

- **项目窗口**：显示当前打开的光学项目，包括膜系设计、系统结构配置、材料设置等。支持多窗口并行显示，便于不同子模块之间的对比与联动。
- **分析窗口**：用于展示反射率、透射率、群延迟、颜色、导纳图等分析结果，支持曲线交互、图表导出及结果比对等功能。
- **弹窗消息**：如优化完成提示、波长外推警告等重要系统消息会在工作区内以弹窗形式出现，提醒用户及时响应或处理。
- **图形交互界面**：工作区中的所有窗口（包括项目窗口、分析窗口、工具窗口等）均支持自由拖动、缩放、分屏排列等交互操作。用户可根据需要自定义窗口布局，灵活调整各类信息展示方式，以提高设计与分析的效率 and 便捷性。
- **多文档视图支持**：工作区支持同时打开多个设计或分析窗口，用户可自由切换、平铺或分屏排列，提升工作效率。

工作区作为整个软件操作的主体界面，承载了从项目构建、性能分析到结果查看的全过程交互，是用户进行光学设计与仿真的主要区域。

1.3 侧边栏




侧边栏位于主界面的右侧，用于集中展示和管理项目结构、属性信息及系统消息等内容。该区域

通过标签页的形式进行模块化组织，主要包含三个部分（见下表）：

标签页	描述
项目浏览器	用于展示当前保存的所有项目，支持搜索、重命名、复制、删除等常见管理操作，方便用户快速定位和切换设计对象。
属性浏览器	当用户选中工作区中的某个图形窗口（如光谱、电场）时，该区域会实时显示其对应的详细参数，以及曲线样式等参数并支持在线编辑和调整。
消息中心	用于实时显示系统运行过程中的提示信息、警告、报错或计算日志，帮助用户及时了解仿真或操作状态，便于问题追踪与处理。

侧边栏可根据用户偏好进行显示区域大小调整，以适应不同的工作习惯和屏幕布局。

1.4 状态栏



如上图所示，状态栏位于软件界面底部，从左到右依次显示软件当前的版本号，软件整体界面的缩放比例和当前软件的安装方式。

2 光学薄膜项目编辑窗口

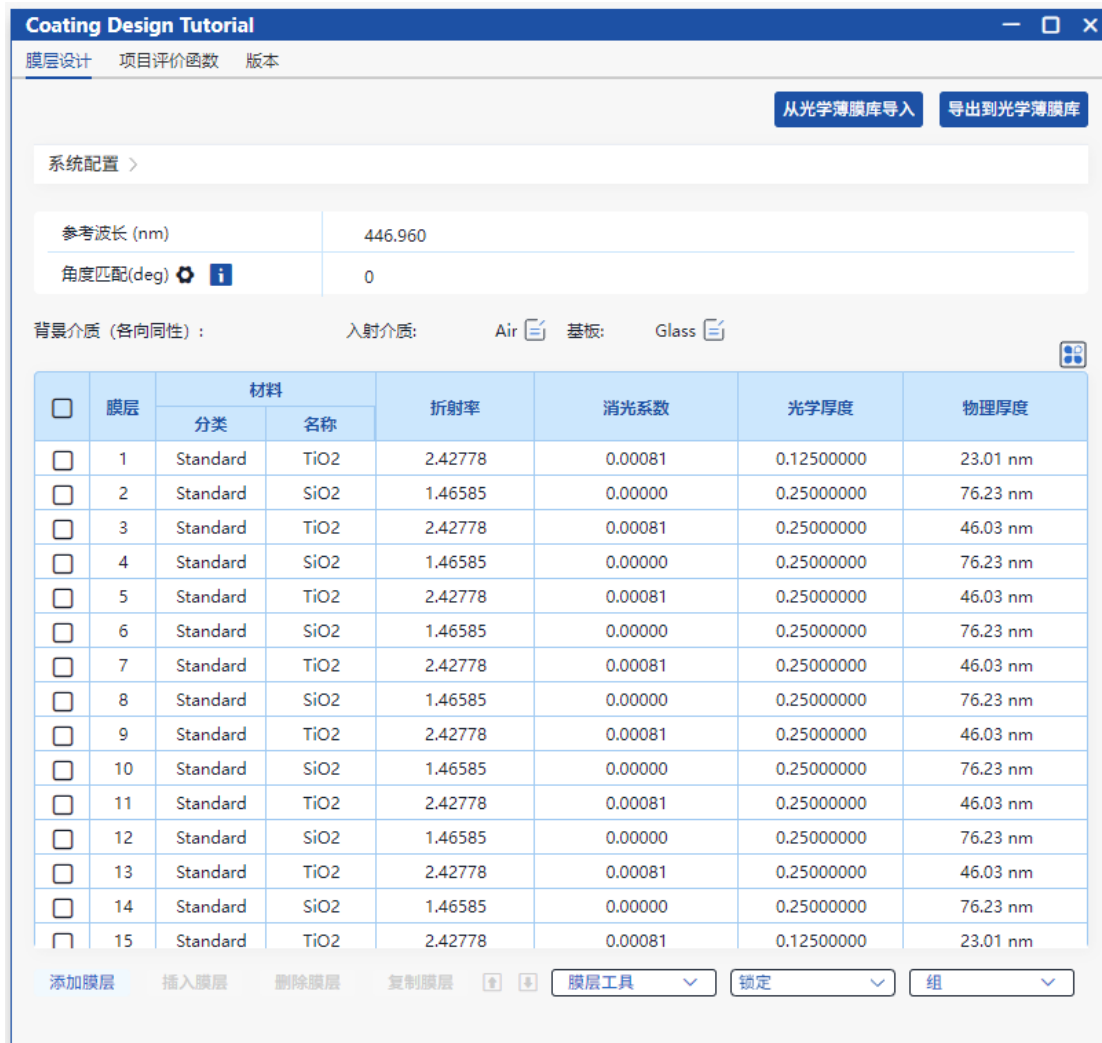
新建/打开一个光学薄膜项目，在工作区会出现如下图所示的光学薄膜项目编辑窗口。



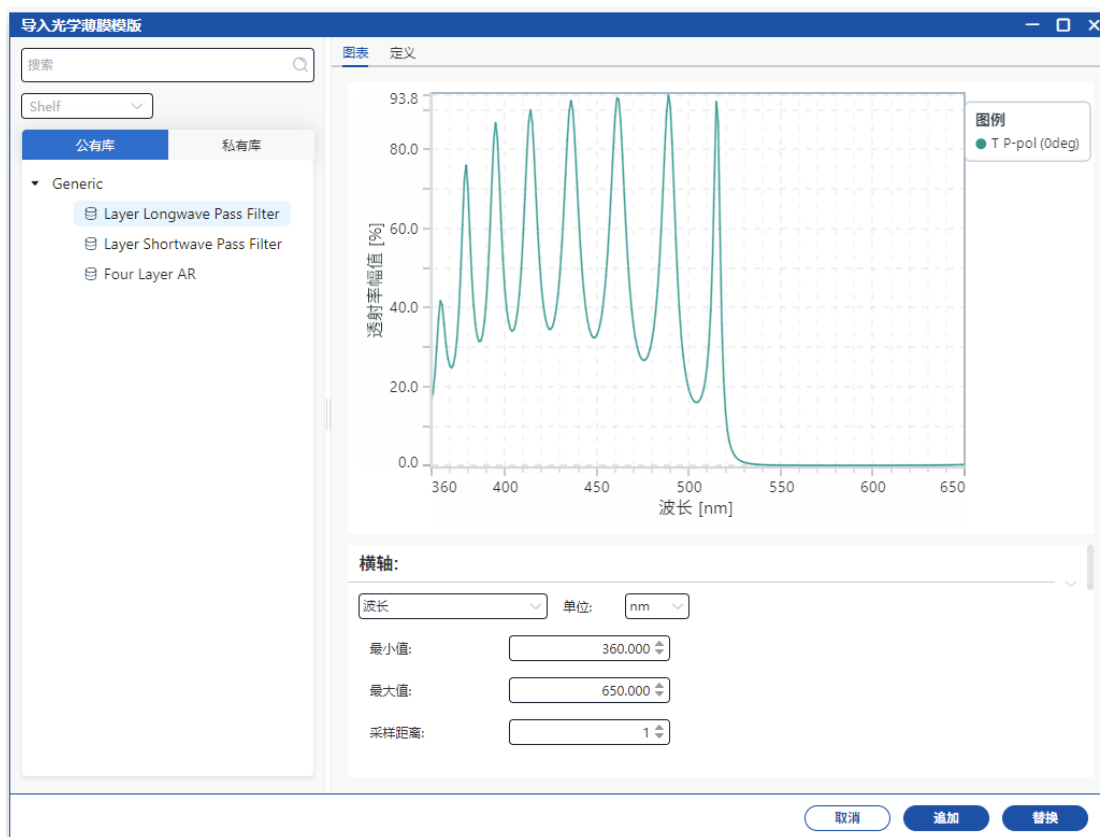
该窗口包含三个标签页：**【膜层设计】**、**【项目评价函数】**与**【版本】**。各标签页分别用于膜系结构的定义与参数编辑、项目评价函数的配置，以及薄膜项目的版本管理。以下将分别对这三部分功能进行说明。

2.1 膜层设计

【膜层设计】标签页用于膜系的定义与膜层参数的编辑，页面中集成了多种常用的膜层编辑工具。页面布局如下图所示：



- 从光学薄膜库导入** : **从光学薄膜库导入**按钮用于从光学薄膜资源库中加载已保存的设计至当前项目。用鼠标点击此按钮将打开【**导入光学薄膜模板**】窗口，在此窗口中，用户可以选择从公有库或私有库中导入所需的膜系作为设计的初始结构。关于膜系资源库的更详细介绍，请参阅【**光学薄膜资源库**】章节。



- 导出到光学薄膜库 : **导出到光学薄膜库**按钮用于将当前设计的膜系保存到私有光学薄膜资源库中。点击该按钮后，将弹出【**导出到光学薄膜库**】窗口，用户可在此窗口中为该膜系命名，并选择一个私有资源库中的目标列表进行保存。关于光学薄膜资源库的详细介绍，请参阅【**光学薄膜资源库**】章节。



- 【系统配置】**功能用于设置与仿真系统整体相关的参数，当前包括两个部分：**【设计顺序】**和**【环境】**



- **【设计顺序】**子标签页用于配置膜系中膜层的方向和顺序，选项的下方示意图可以看出当前膜层的方向和顺序：

[设计方向]用于设置膜层的方向：


- ✓ [正向]：默认方向。
- ✓ [反向]：该选项可将整个设计翻转，包括膜层顺序以及入射介质与基底介质的定义，用于支持从基底侧入射的光学设计。

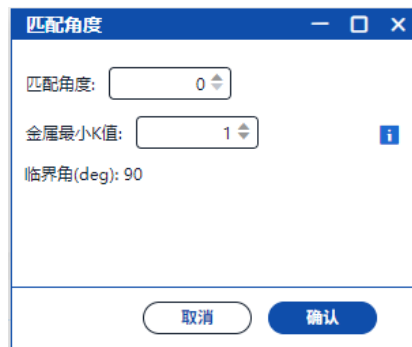
[膜层顺序（从入射介质开始）]用于设置膜层的顺序：

- ✓ [顺序]：膜层方向从入射介质一侧开始定义，最靠近入射介质为第一层，依次排列至出射介质。
- ✓ [倒序]：膜层方向从基板一侧开始定义，最靠近基板为第一层，依次排列至入射介质。

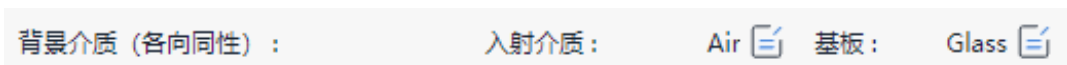
➤ 【环境】子标签页用于设置膜系仿真环境的温度和压强。




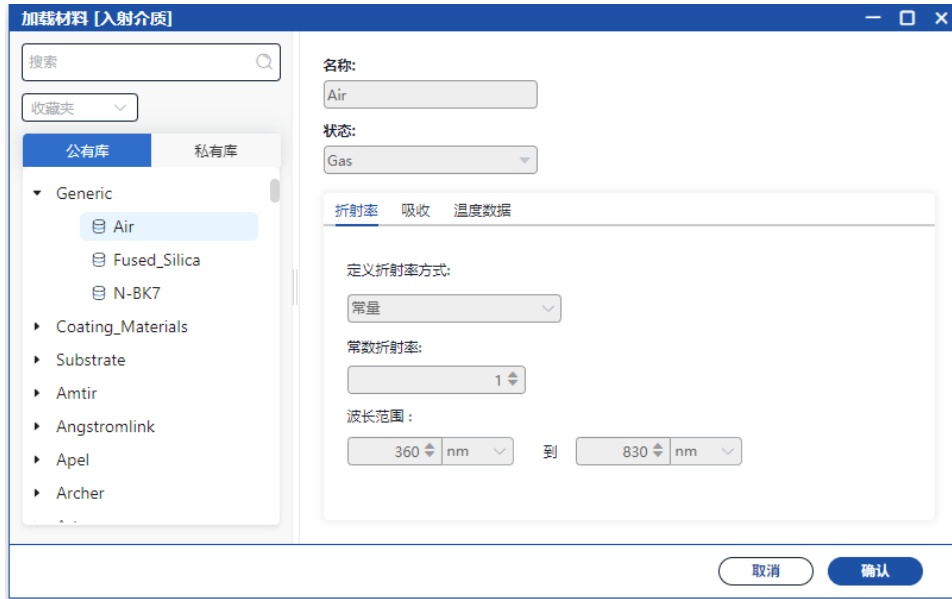
- [参考波长 (nm)] 输入框用于设置膜系的参考波长，该波长会影响光学厚度的计算。
- [角度匹配 (deg)] 用于在入射角不为 0° 时，自动调整膜层厚度，以使光学性能与正入射 (0°) 时保持一致。点击  图标，将会弹出下图所示的【匹配角度】窗口。




- [匹配角度]输入框用于输入匹配的角度值，限制入射的角度范围为 0-90°
- [金属最小 k 值]输入框用于配置消光系数限定值，默认填充为 1，高于此消光系数的材料划分为金属，不进行角度匹配。
- 【背景介质（各向同性）】用于膜系背景介质配置，两个选项分别可以配置入射介质和基板介质。如下图所示，默认入射介质为 Air，基板为 Glass。



- 点击  图标对材料进行修改。鼠标点击该按钮，【加载材料】窗口弹出，在此窗口中用户可以查看材料参数信息并更换膜层材料。



- : 该图标用于控制膜层设计表格中各列的显隐。点击图标后将弹出一个下拉菜单，用户可通过勾选对应选项，自定义所需列的显隐状态。





- 下图所示为膜系设计表格，用户可以通过该表格定义膜系。

膜层	材料		折射率	消光系数	光学厚度	物理厚度	
	分类	名称					
<input type="checkbox"/>	1	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.15071179	32.73 nm
<input type="checkbox"/>	2	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm
<input type="checkbox"/>	3	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.30142358	65.45 nm
<input type="checkbox"/>	4	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm
<input type="checkbox"/>	5	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.30142358	65.45 nm
<input type="checkbox"/>	6	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm
<input type="checkbox"/>	7	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.30142358	65.45 nm
<input type="checkbox"/>	8	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm
<input type="checkbox"/>	9	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.30142358	65.45 nm
<input type="checkbox"/>	10	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm
<input type="checkbox"/>	11	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.30142358	65.45 nm
<input type="checkbox"/>	12	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm
<input type="checkbox"/>	13	Standard	TiO2	2.34868	0.00037	0.30142358	65.45 nm
<input type="checkbox"/>	14	Standard	SiO2	1.46180	0.00000	0.29486937	102.88 nm

表格中的参数如下表所示:

参数名	描述
介质类型	介质类型提供三个选项：无、平行和楔形。 [无] : 该层为普通膜层，不作为介质层参与处理，光束在该层中将 以相干方式叠加。

	<p>[平行]: 表示该层为介质层, 且其前后反射的光束均处于系统孔径范围内, 因而以非相干方式叠加。</p> <p>[楔形]: 表示该介质层的两个表面存在一定楔角, 使介质内部反射的光束偏离系统孔径, 从而不参与干涉。</p>
膜层	层序号
堆积密度	<p>通过堆积密度参数来模拟堆积密度变化所带来的影响——这种变化在实际中可能由沉积条件的改变引起; 同时, 堆积密度也被用作引入可变折射率的一种便捷方式。</p> $n = (1 - pd) \times ((1 - vd) + vd \times nv) + pd \times ns$ <p>pd: 膜层材料的堆积密度 ns: 膜层材料的折射率 vd: 空隙材料的堆积密度 nv: 空隙材料的折射率</p>
材料: 分类	材料在资源库中的分类
材料: 名称	<p>具体材料名称, 支持两种选择材料的方式:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 点击  按钮打开材料资源库, 从中选择一个材料。 ● 在输入框中输入材料名称可进行搜索, 默认仅在当前选中的材料分类中查找。点击“”按钮后, 将清除当前分类限制, 搜索范围扩展至整个材料资源库的所有类别。
折射率	膜层的折射率
消光系数	膜层消光系数
光学厚度	光学厚度: 物理厚度×膜层折射率/参考波长
物理厚度	物理厚度(默认单位 nm)
介质厚度	介质层厚度(默认单位 mm), 不显示非介质层的厚度。
距离	当前膜层与膜系起始端 (即入射面) 之间的物理距离
锁定	<p>膜层锁定功能会影响优化中膜层的处理方式, 提供四个选项:</p> <p>No: 不锁定 n: 锁定厚度 d: 锁定堆积密度 n&d: 锁定堆积密度和厚度</p>
组	在优化过程中, 同一组膜层的厚度会以相同比例一起变化。一个项目中可以包含多个组, 不同的组通过不同的编号进行区分。
空隙材料	空隙材料可用于模拟混合膜料或者部分水饱和效应。
空隙密度	空隙材料的密度

非均匀系数	<p>非均匀性系数用于计算膜层折射率的变化。由于缺乏通用的解析解, 精确计算非均匀性影响通常需要将变化过程表示为一系列具有不同属性的薄层来进行建模。</p> <p>膜层内折射率的变化由以下公式表示:</p> <p>折射率变化范围 = 非均匀系数 × 层折射率</p> <p>靠近入射介质一端的折射率 = 层折射率 × (1 - 非均匀系数 / 2)</p> <p>靠近基底一端的折射率 = 层折射率 × (1 + 非均匀系数 / 2)</p>
--------------	---

- 下图所示为膜层定义列表的操作按钮, 用户可通过这些按钮执行新增、删除、复制等基本操作。



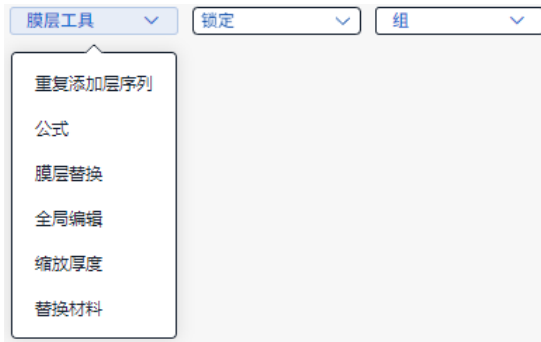
按钮名	描述
	添加膜层 按钮用于在膜系设计表格的末尾追加一个新的膜层。点击该按钮时, 会在表格的最后一行新增一行数据。
	插入膜层 按钮用于在膜系设计表格中选中的膜层后面插入一个新的膜层。此按钮仅在选中某一行数据时生效, 点击后会在选中行的后面新增一行数据。
	删除膜层 按钮用于删除膜系设计表格中选中的膜层。此按钮仅在选中某几行数据时生效, 点击后会将选中的数据行删除。
	箭头 按钮用于在膜系设计表格中移动选中的膜层。此按钮仅在选中某几行数据时生效, 点击后可以将选中的数据行向上或向下移动, 调整其在列表中的位置。

- 膜层设计表格下方设有一组快速编辑按钮, 支持对膜层列表进行批量或全局操作, 分别为膜层工具锁定和分组, 有助于提升设计效率。



以下将逐一说明这三个按钮的具体用途和操作方式。

- **【膜层工具】**: 点击该按钮后, 将弹出如图所示的下拉菜单, 内含所有可用的膜层调整工具, 供用户进行膜层参数的快速编辑与操作。

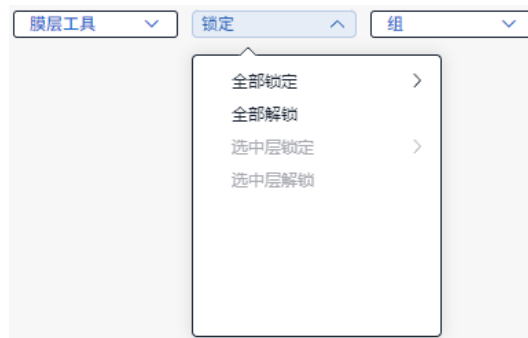


该下拉菜单中的膜层调整工具简要介绍见下表：

工具	描述
重复添加层序列	重复追加膜层序列，可用于快速生成周期性的膜系。
公式	使用公式生成膜系，尤其适用于周期性或规则性强的设计，便于参数化和快速迭代。
膜层替换	膜层替换
全局编辑	全局编辑
缩放厚度	按比例调整膜层厚度
替换材料	将膜系中指定材料统一替换为另一种材料，用于材料调整或批量替换操作。

以上功能的详细介绍以及操作逻辑请参阅【[工具选项卡](#)】模块中对应的工具说明。

- **【锁定】**：用于快速锁定膜系中选中层堆积密度和厚度。点击该按钮后，将弹出如下图所示的下拉菜单。



该菜单中下拉选项介绍见下表：

选项	描述
全部锁定	用于将所有膜层进行参数锁定。左键点击该按钮将展开子下拉菜单，用户可根据需要灵活选择要锁定的参数类型。(如折射率、厚度、折射率&厚度等)
全部解锁	用于将所有膜层解除锁定。
选中层锁定	用于锁定用户已勾选的膜层参数。若未勾选任何膜层，该下拉选项将

	呈灰色，表示当前不可用。当至少选择一个膜层后，该选项变为可用状态。此时，左键点击 锁定 按钮将展开子下拉菜单，用户可选择需锁定的参数类型（如折射率、厚度等）。
选中层解锁	用于解锁用户已勾选的膜层。与 锁定 类似，该功能在至少勾选一个膜层后生效。

- **【组】**：用于快速对膜层进行分组，便于批量操作与参数设置。点击该按钮后，将弹出如下图所示的下拉菜单。



该菜单中下拉选项介绍见下表：

选项	描述
对选中材料分组	将膜层按照材料进行分组，相同材料设置为一组。
取消所有编组	取消膜层分组。
将选中的层编为一组	将用户选中的膜层分为一组。未勾选膜层时，该下拉选项将呈灰色，表示当前不可用。当至少选中一个膜层后，该选项才会生效。
取消选中层的编组	取消用户以勾选的膜层分组，与[将选中的层编为一组]类似，该功能在至少勾选一个膜层后生效。

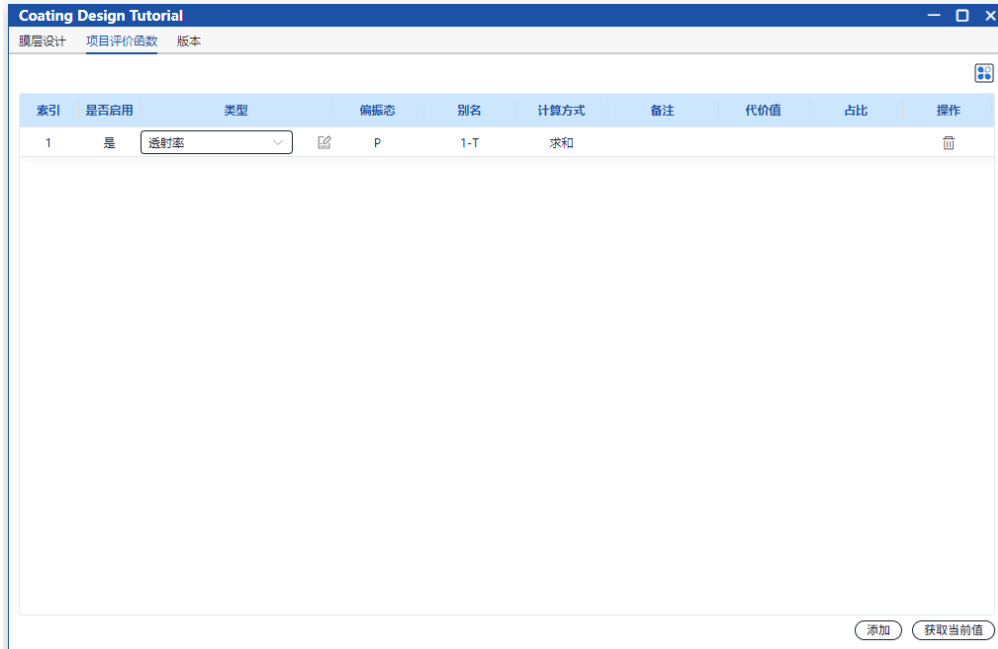
2.2 项目评价函数

【项目评价函数】标签页用于统一定义属于项目的评价函数。用户在此处设置的评价函数可一键复制并应用于项目中的其他模块，例如优化、敏感度分析及膜系减薄等操作。此设计实现了“一处定义，多处复用”的便捷模式，既避免了在不同模块中重复配置相同函数的繁琐流程，也保留了灵活性，支持在特定模块中定义并使用不同的评价函数。

在光学薄膜设计项目中，评价函数由子评价函数组成，而子评价函数又由子评价函数分量组成。接下来将介绍子评价函数和子评价函数分量的定义以及配置方法。

2.2.1 子评价函数

子评价函数按照指标不同进行分类，当前有六种类型的子评价函数：[透射率]、[反射率]、[透射率幅值的一阶导数]、[反射率幅值的一阶导数]、[颜色]、[厚度]。




索引	是否启用	类型	偏振态	别名	计算方式	备注	代价值	占比	操作
1	是	透射率	P	1-T	求和				

如上图所示，子评价函数通过列表进行定义，列表中每一列的具体含义见下表：

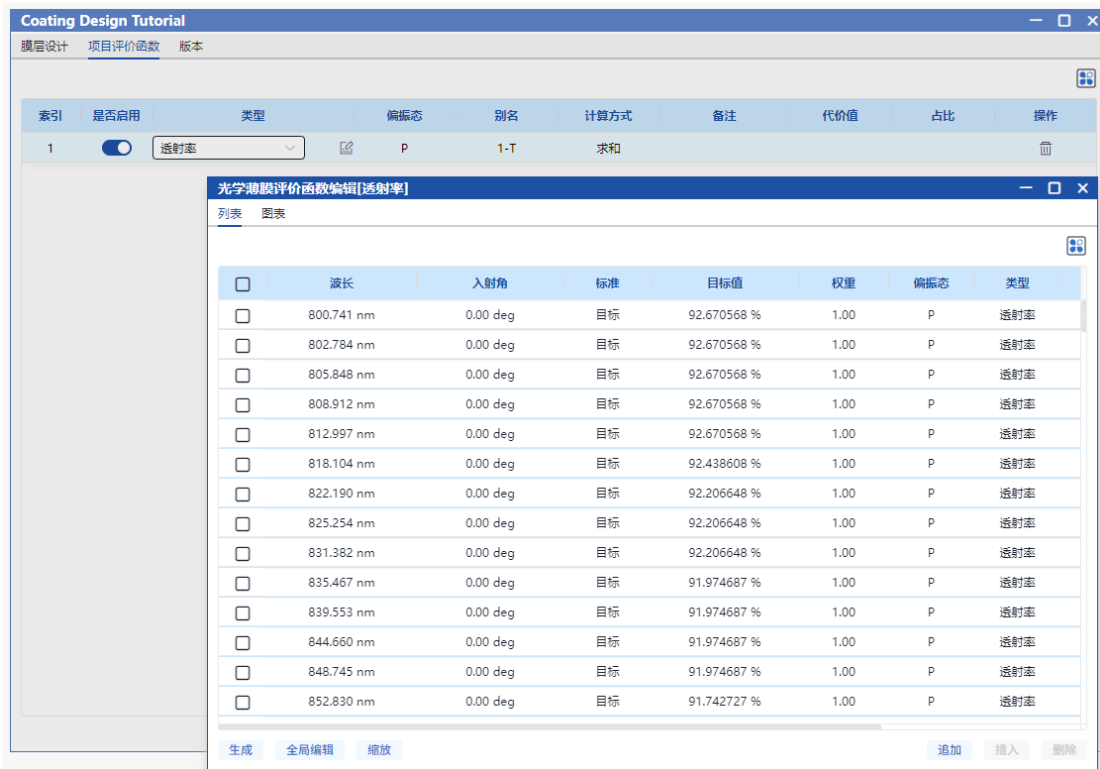
列名	描述
索引	显示当前子评价函数的序号
是否启用	每个子评价函数可以设置为“启用”或“不启用”状态，表示该分量是否参与整个优化过程。
类型	显示子评价函数的类型，当前共有六种类型的子评价函数：透射率、反射率、透射率幅值的一阶导数、反射率幅值的一阶导数、颜色、厚度。
偏振态	偏振态,有三个选项：P、S、平均
别名	显示子评价函数的别名，在优化过程中将以别名代替原始表达，以避免分量名称过长影响显示。软件会根据分量的序号及其类型自动生成默认别名，用户也可根据需要自行修改。
计算方式	该子评价函数代价值的计算方式，当前有两种：求和与最大。 求和：将包含的所有子评价函数分量的代价值求和。

	平均：将所包含的所有子评价函数分量取最大值
备注	用于备注额外信息
代价值	子评价函数的代价值，计算方式由汇总方式选项决定
占比	子评价函数所占的比例
操作	对子评价函数可以采取的操作，当前只有删除。

2.2.2 子评价函数分量

当添加了所需类型的子评价函数，再点击  进入子评价函数内部设置子评价函数分量，子评价函数分量精确对应于在特定波长、入射角和偏振态下所期望达到的目标值。根据子评价函数类型不同，子评价函数分量的配置也不相同。

- 下图所示为[透射率]、[反射率]、[透射率幅值的一阶导数]和[反射率幅值的一阶导数]类型的子评价函数分量的配置界面。



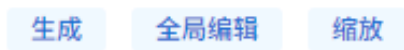
子评价函数分量可通过两个标签页进行定义：列表和图表。一个以列表方式呈现，另一个通过图表方式呈现。两个标签页的数据保持同步，在任意标签页中定义的分量将在另一标签页中自动更新显示。

- 列表标签页中，每一列的具体含义见下表：

列名	描述
----	----

波长	目标波长
入射角	目标入射角，默认为 0°。
标准	和目标值的关系，分为大于，等于，小于。
目标值	目标值
权重	权重
偏振态	偏振态,有三个选项：P、S、平均
类型	类型显示。在子评价函数分量中，该选项仅用于显示，具体类型已由其所属的子评价函数确定。
当前值	当前值
代价值	代价值
贡献	该条评价函数分量所占比重

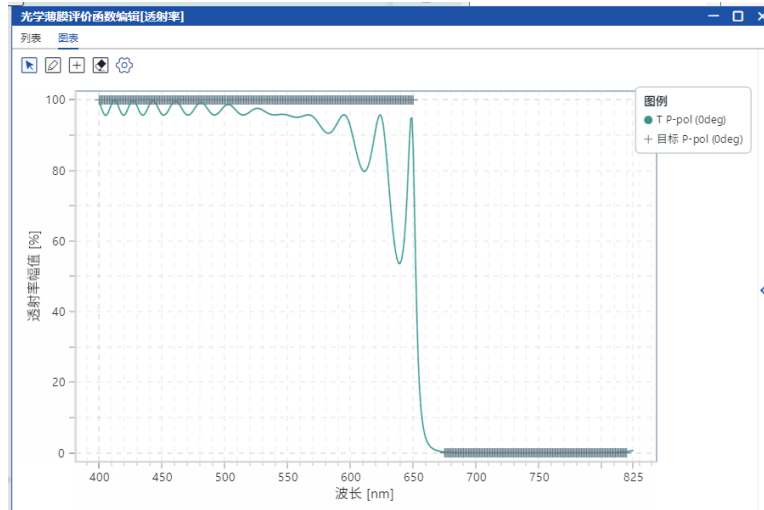
列表左下方的快捷操作按钮可以快速生成或调整选中的子评价函数分量



按钮	描述
生成	<p>生成按钮用于快速批量生成[透射率]、[反射率]、[透射率幅值的一阶导数]和[反射率幅值的一阶导数]类型的子评价函数分量，具体配置见下图：</p>  <p>用户可在该窗口中设置以下参数，快速生成覆盖指定波长范围和入射角度的多条评价函数分量：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 波长范围及步长/步数 • 入射角度范围及步长/步数 • 目标值与权重等 <p>设置完成后点击新建按钮将清除当前子评价函数中的所有分量，并重新</p>

	<p>生成新的分量。点击添加按钮将在现有子评价函数分量的基础上，追加新生成的分量，保留原有数据。</p>
<p>全局编辑</p>	<p>全局编辑按钮用于对选中的子评价函数分量进行批量编辑，此按钮仅在子评价函数分量被选中时生效，点击后会有如下所示窗口弹出：</p> <div data-bbox="587 461 1203 931" data-label="Image"> </div> <p>输入参数后，点击确认按钮，系统将自动更新当前选中的子评价函数分量的所有对应参数。</p>
<p>缩放</p>	<p>缩放按钮用于对选中的子评价函数分量中的参数进行按比例缩放，此按钮仅在子评价函数被选中时生效，点击此按钮后会有如下所示窗口弹出：</p> <div data-bbox="639 1258 1153 1637" data-label="Image"> </div> <p>在输入框中输入比例系数，点击确认按钮，便可以对选中的子评价函数分量的对应参数进行放缩。</p>

➤ 图表标签页如下图所示：

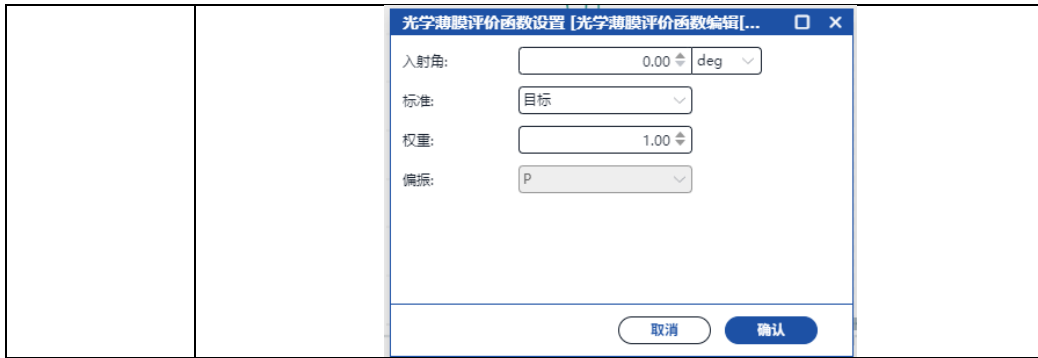


此标签页可以通过图表直观的显示出当前子评价函数中所有的分量。右侧是关于坐标轴的设置，具体的内容和光谱图处相同。

用户可通过左上角的工具，拖拽所需元素到图表区域，从而添加评价函数分量。



按钮	描述
	指针工具表示当前不进行评价函数点的添加，仅查看图表中的曲线信息。将鼠标移动至光谱图时，系统仍会以虚线形式显示当前位置对应的曲线数值，便于用户进行数据读取与分析。
	画笔工具支持用户通过鼠标左键在图表中直接绘制目标曲线。按住左键并拖动，即可在图中绘制一条评价函数分量线，松开鼠标后自动完成分量添加。绘制过程中，拖动速度越慢，绘制的点越密集，拖动越快，点越稀疏。
	点工具支持用户通过鼠标左键在图表中逐点添加评价函数分量。每点击一次，即在对应位置添加一个分量点，
	清除工具支持用户按住鼠标左键在图表区域框选一个矩形范围，松开鼠标后，矩形范围内的所有评价函数分量将被清除
	参数设置工具用于配置在使用画笔工具或点添加工具向图表中添加评价函数分量时的相关参数。可设置的参数包括入射角、评价标准、权重和偏振态。默认配置为：入射角 0° ，评价标准为“目标”，权重为 1，偏振态为 p 偏振。用户可根据具体设计需求灵活调整这些参数，以实现更精确的目标设定。



- 对于[颜色]类型的子评价函数，分量配置界面如下图所示：



列表中每一列的具体含义见下表：

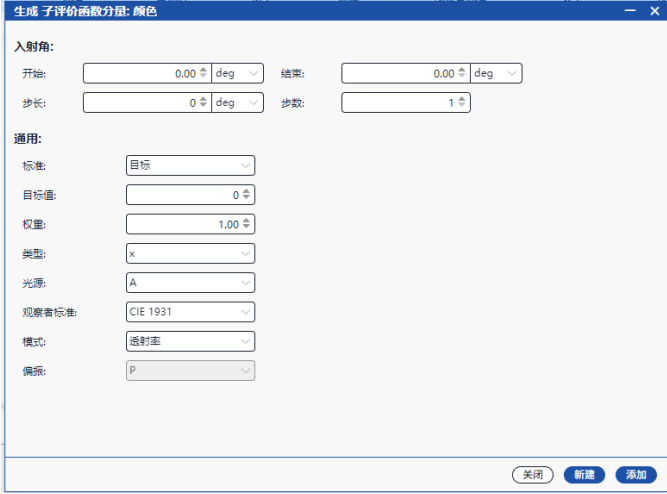
列名	描述
光源	光源类型
入射角	目标入射角，默认为 0°。
标准	和目标值的关系，分为大于，等于，小于。
目标值	目标值
权重	权重
观察者标准	观察者标准，有 CIE 1931 标准和 CIE 1964 两个标准
类型	评价函数类型，x、y、z 与 X、Y、Z 分别对应色品图坐标和三刺激值。
模式	可以选择反射或透射
当前值	当前值
代价值	代价值
贡献	该条评价函数分量所占比重

关于颜色相关参数请参考【颜色】章节，如标准照明体、观察者等概念。

- 在[颜色]类型的子评价函数中，列表左下方同样提供了快捷操作按钮，用户可通过这些按钮快速生成或批量调整所选的子评价函数分量。

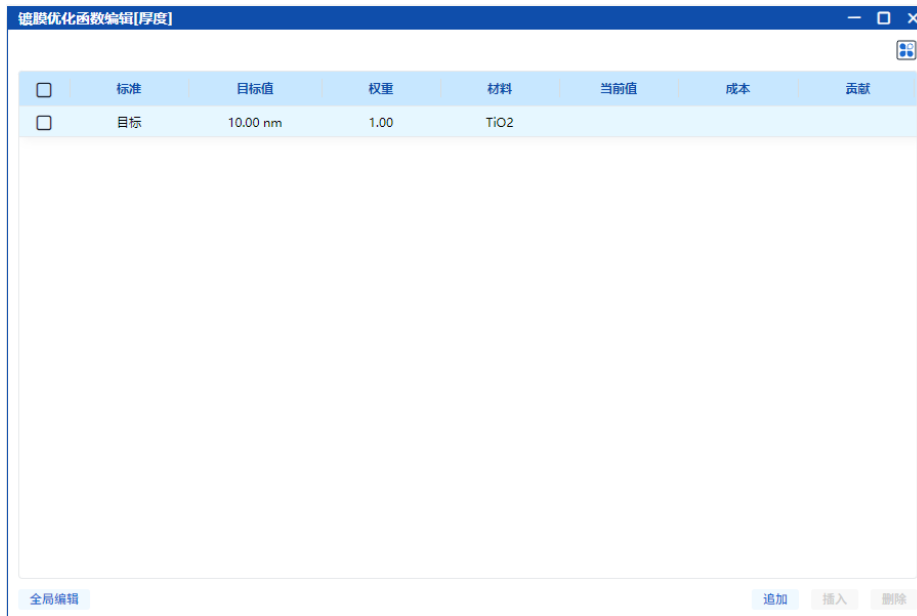


不同按钮的介绍见下表：

按钮	描述
<p>生成</p>	<p>生成按钮用于快速批量生成[颜色]类型的子评价函数分量，具体配置见下图：</p>  <p>用户可在该窗口中设置以下参数，快速生成覆盖指定入射角范围的多条评价函数分量：</p> <ul style="list-style-type: none"> 入射角度范围及步长/步数 光源，观察者标准等 目标值与权重等 <p>设置完成后点击新建按钮将清除当前子评价函数中的所有分量，并重新生成新的分量。点击添加按钮将在现有子评价函数分量的基础上，追加新生成的分量，保留原有数据。</p>
<p>全局编辑</p>	<p>全局编辑按钮用于对选中的子评价函数分量进行批量编辑，此按钮仅在子评价函数分量被选中时生效，点击后会有如下所示窗口弹出：</p>

	 <p>输入参数后，点击确认按钮，系统将自动更新当前选中的子评价函数分量的所有对应参数。</p>
<p>缩放</p>	<p>缩放按钮用于对选中的子评价函数分量中的参数进行按比例缩放，此按钮仅在评价函数被选中时生效，点击此按钮后会有如下所示窗口弹出：</p>  <p>在输入框中输入比例系数，点击确认按钮，便可以对选中的子评价函数分量的对应参数进行放缩。</p>

- 对于[厚度]类型的子评价函数，分量配置界面如下图所示：



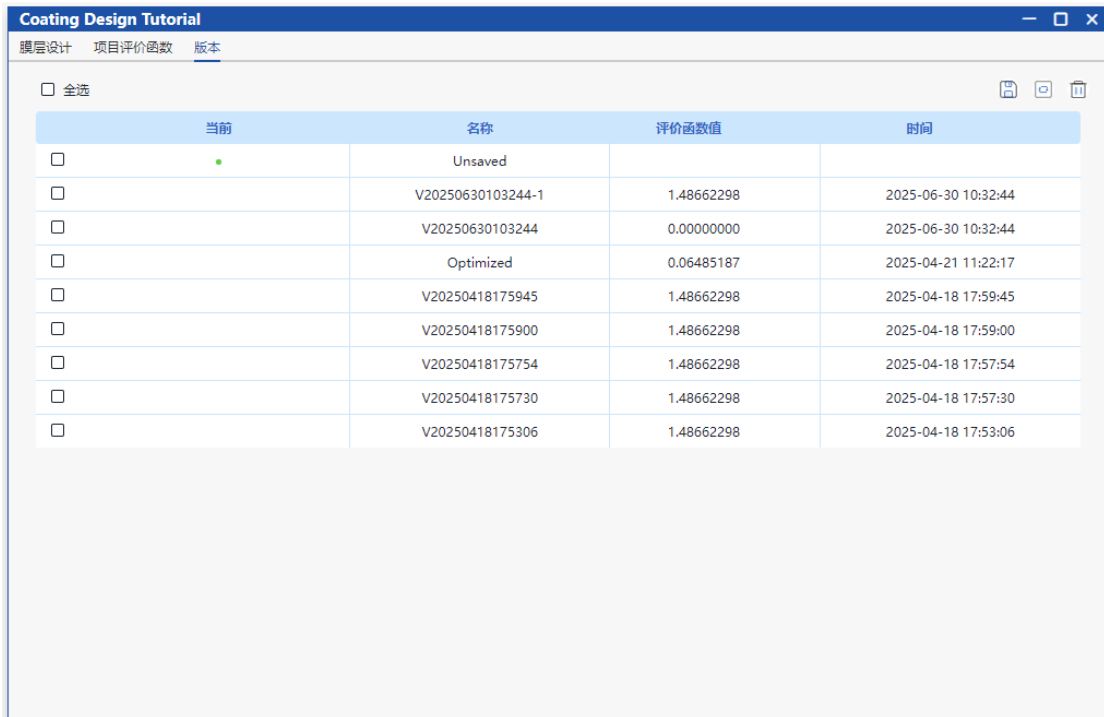
列表中每一列的具体含义见下表：




列名	描述
标准	和目标值的关系，分为大于、等于、小于
目标值	目标值
权重	权重
材料	材料，可选择当前项目中有的材料
当前值	当前
代价值	代价值
贡献	该条评价函数分量所占比重

2.3 版本

2.3.1 界面布局

【版本】标签页用于对项目进行版本管理。通过此功能，用户可以方便地进行历史版本的回溯和管理，让用户可以记录完整的设计流程中的每个重要版本，并且随时能够访问项目的历史版本进行查看和对比。页面整体布局如下图所示：



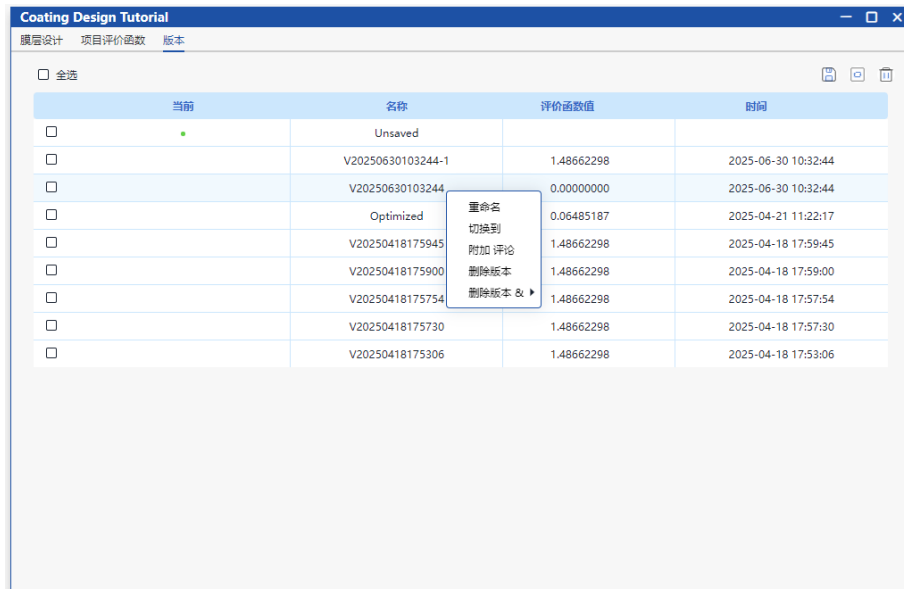
- [全选]复选项用于选中所有版本，勾选后，方便用户对所有历史版本进行统一操作。
- ：此按钮允许用户手动保存当前处于 Unsaved 状态的版本。保存后，下一次对膜系参数的修改将保存到基于此版本自动创建一个新的版本上。此外，如果用户选择了一个或多个已保存的版本，该保存按钮将变为不可用状态，因为已保存的版本无法再次保存。
- ：此按钮用于切换到选定的历史版本，用户首先需要选择想要切换到的特定版本，然后再点击此按钮，便可以完成版本切换。请注意，未勾选要切换到的版本，或者勾选多个版本，则版本切换按钮将失效，此外，还提供了两种快捷方式来实现版本切换：点击要切换到的版本那一行，通过双击鼠标左键快速完成版本切换，或者点击鼠标右键，在弹出的选项框中选择[切换到]功能选项进行版本切换。
- ：此按钮用于删除所选的历史版本，需要注意的是，如果选中的版本处于当前状态或未指定具体要删除的版本，版本删除按钮将失效。此外还可以通过点击列表中要删除的那一行，单击鼠标右键，在弹出选项框中选择[删除版本]功能选项进行当前版本的删除。

在版本管理标签页中，各列的功能说明见下表：

列	描述
当前	用于标识当前项目所处的版本，用小绿点标记。若某个版本显示此标记，表示项目当前处于该版本状态。
名称	版本名称用于标识和区分不同的项目版本。当触发版本保存操作时，系统将按照“V+年月日+时分秒”的规则自动生成版本名称，确保唯一性和可追溯性。用户可以手动修改此名称

评价函数值	该列用于展示各版本的项目评价函数数值，用于衡量版本性能优劣，便于用户进行横向对比。若某版本未配置项目评价函数，则该列为空。
时间	用于记录版本的保存时间，帮助用户了解版本的历史顺序。

- 鼠标选中未处于当前状态的版本列，单击右键会弹出如下所示的功能菜单：

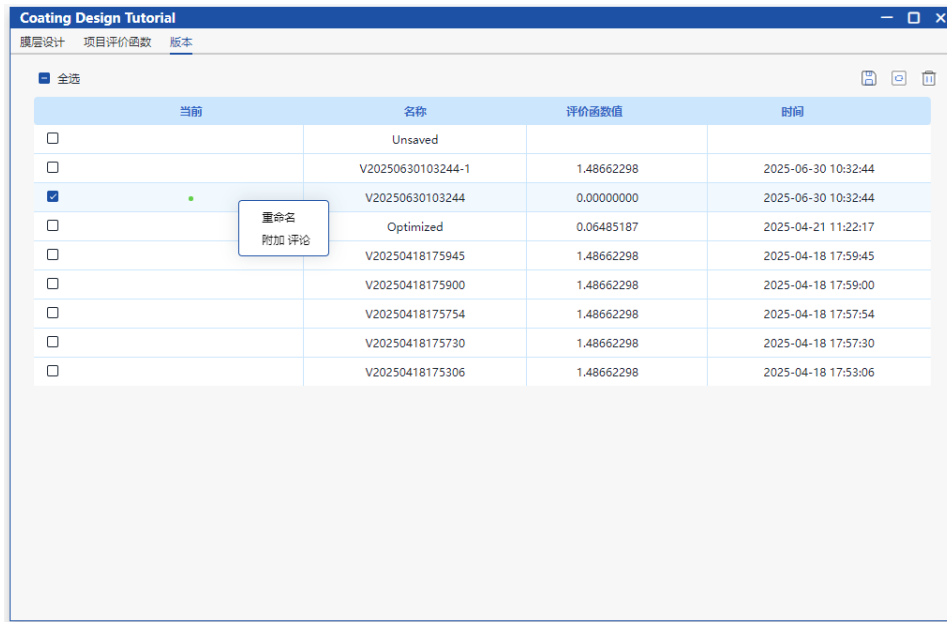


菜单中的各选项功能说明请参见下表：

选项	描述
重命名	用于对当前版本的名称进行重命名，方便用户更直观地标识该版本。
附加评论	该功能用于为当前版本添加附加说明信息，帮助用户补充记录相关内容。点击后将弹出【附加版本评论】窗口，供用户输入说明文本。 
切换到	用于切换到所选版本，将项目状态恢复到该版本的配置。
删除版本	用于删除当前选中的版本。请注意，处于当前状态的版本无法被删除。
删除版本 &	用于删除当前版本以及其前后相关版本，具体删除方式分为两种情况： 情况 1 ：若当前版本（当前）位于所选删除版本的上方（即更新顺序中较新，列表中更靠前），点击该功能后，系统将弹出确认窗口，提示用户是否删除当前版本及其之后的所有旧版本。点击  按钮后，系统将执行相应的删除操作。

情况 2: 若当前版本（当前）位于所选删除版本之后（即版本较旧，列表中靠下），点击该功能后，系统将弹出确认窗口，提示用户是否删除当前版本及其之后创建的所有新版本。点击 **是** 按钮后，系统将执行删除操作。

- 鼠标悬浮在当前版本行时，单击右键会弹出如下所示的功能菜单，此时只有重命名和附加评论功能。



2.3.2 版本管理机制

在软件中，每当新建一个膜系设计项目时，系统会针对当前项目自动生成一个状态为 **Unsaved** 的版本。所有对该膜系数据的更改都会自动保存到这个 **Unsaved** 版本中。需要注意的是，尽管处于 **Unsaved** 状态，这并不意味着用户的项目数据没有被保存下来；实际上，所有对膜系结构参数的更改都以自动保存的方式存储到了本地。因此，即使用户对当前处于 **Unsaved** 状态的版本中的数据进行了修改，关闭该项目再重新打开后，原先的更改依然存在。这种状态主要是指当前项目的当前版本尚未纳入正式的版本管理流程，并不影响数据的实际膜系项目数据的保存和恢复，这种机制为用户提供了一个灵活且强大的版本管理工具，便于追踪和管理不同阶段的设计成果。

当前软件触发版本保存有两种方式：

- 手动保存：**若用户希望将当前版本作为历史版本留档，可通过手动保存方式完成。保存后，系统将在项目数据发生变更时，自动生成一个名为 **Unsaved** 的新版本，用于保存修改内容，便于后续持续编辑。
- 敏感度分析后自动保存：**用户在执行完敏感度分析后，当前处于 **Unsaved** 的版本会被

系统自动保存下来。

- **优化前自动保存：**在用户点击**优化**按钮准备执行优化操作时，系统会弹出提示窗口，要求用户先保存当前版本。仅在保存完成后，才能继续进行优化。优化完成后，当用户将优化结果更新到项目中时，系统将自动生成一个名为 **Unsaved** 的新版本，并将优化后的膜系数数据存入其中。用户无需手动保存，即可确保优化前后都有清晰的版本记录，便于追踪设计过程和比对优化效果。

值得注意的是：当项目中已经存在一个 Unsaved 版本时，若用户此时切换至某个已保存的版本并对膜系参数进行修改，系统将弹出提示窗口，询问用户是否保存现有的 Unsaved 版本并创建一个新的 Unsaved 版本。

- 若点击**是**按钮，系统将先保存当前存在的 Unsaved 版本，并基于当前所选的已保存版本创建一个新的 Unsaved 版本，同时将本次修改的数据同步至新版本中。
- 若点击**否**按钮，本次修改的数据将不会被保存。

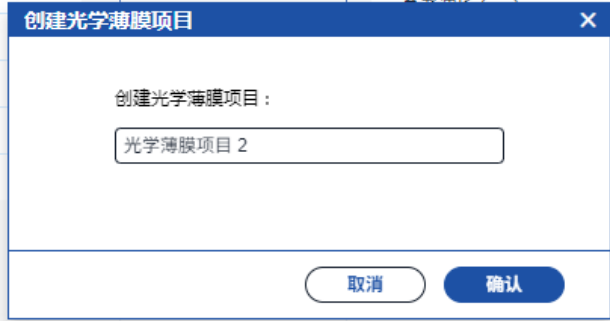
此机制用于防止多个未保存版本间的混乱，确保每一次版本切换与修改都有明确的记录和追踪路径。

3 文件选项卡

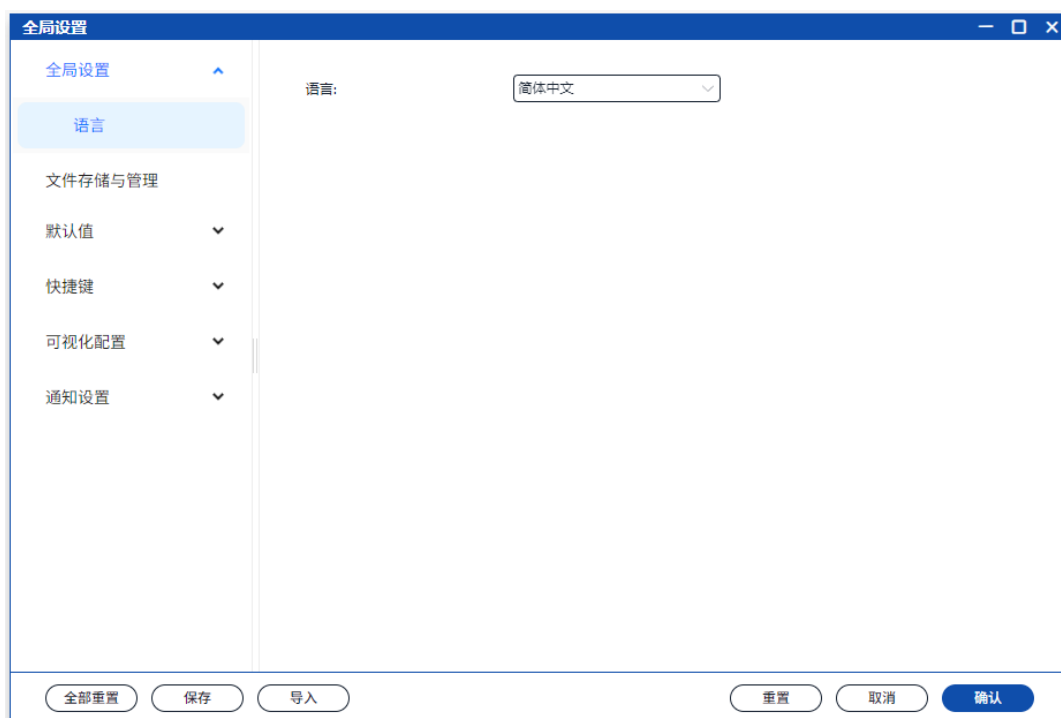


【文件】菜单提供与项目文件管理相关的基本操作，用户可通过该菜单完成项目的创建、打开、保存、导入导出等常用操作。菜单包含以下选项：

功能	描述
新建	用于新建一个设计项目，鼠标点击此按钮，会弹出 【创建光学薄膜项目】 窗口。

	 <p>输入项目名称然后点击确认按钮，便可以完成一个光学薄膜设计项目的创建。</p>
打开	<p>用于打开一个已有的本地设计项目。点击此按钮会打开【文件】选择窗口，在该窗口支持打开.UNIOP 格式的文件，选定文件后，点击打开按钮，便可以在软件中加载该项目文件。</p>
另存为	<p>用于将当前项目另存为一个新文件。该功能适用于薄膜设计项目和光学常数提取项目，便于用户在保留原始设计的同时，创建一个独立的备份或新版本文件。</p>
导入	<p>从外部文件导入设计项目，当前支持两种格式的文件： 选择[VLF 项目]选项，可导入格式为.CALC 的 VLF 光学膜系设计文件； 选择[Macleod 项目]选项，可导入格式为.DDS 的 Macleod 光学薄膜设计文件；</p>
导出	<p>用于将当前项目导出为指定格式的文件，便于备份或分享。当未打开任何项目时，【导出】选项将显示为灰色，暂不可用，需先打开一个项目后才能启用此功能。支持以下导出类型： 将薄膜设计项目导出为.CALC 格式的 VLF 文件； 将光学常数提取项目导出为对应的文件格式。 选择导出格式后，用户需指定保存路径并完成导出操作。</p>
全局设置	<p>进入全局设置界面，可配置软件的通用参数和默认选项。详细介绍请参阅【全局设置】章节</p>

3.1 全局设置

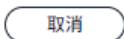



点击软件功能区的**文件**按钮，在下拉菜单中选择[全局设置]选项，将弹出如上图所示的【全局设置】窗口。在该窗口中，用户可以对软件进行全局参数配置，支持配置的内容包括：

- 软件界面的显示语言
- 软件项目的默认存储位置
- 项目中数值的小数点显示位数
- 软件的快捷键自定义设置
- 软件的可视化显示效果设置

【全局设置】窗口底部操作栏配备了一组通用操作按钮，用于执行设置相关的基本操作，如保存当前设置、恢复默认值等。各按钮功能说明如下：

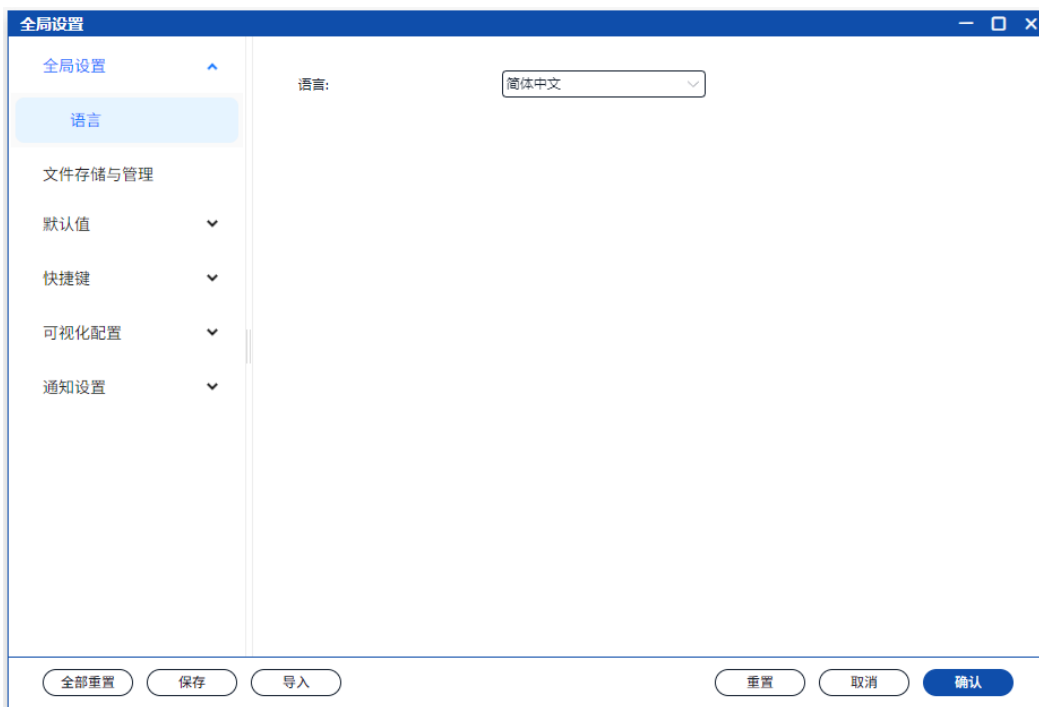
	点击 保存 按钮，将会把当前配置以.CFG 文件保存：文件>全局设置>文件存储与管理>用户配置的地址下
	点击 导入 按钮后将弹出文件选择窗口，允许用户加载.CFG 格式的配置文件，并覆盖当前的设置内容。.CFG 文件中保存了用户的通用配置信息，加载后可以快速恢复之前保存的配置状态，便于在不同环境中复用设置。
	点击 重置 按钮后，当前标签页的所有未保存的设置项恢复为上一次保存时的状态。
	点击 全部重置 按钮后，全局设置中所有未保存的配置恢复为上一次保存时的

	状态。
	点击 取消 按钮，放弃所有未保存的设置并关闭【 全局设置 】窗口。
	点击 确认 按钮后，当前【 全局设置 】窗口中的所有设置将被保存并立即生效，同时窗口将自动关闭。


通过【**全局设置**】，用户可以根据个人偏好或使用需求，灵活调整软件的各项全局设置，提升使用体验，下面分别进行介绍。

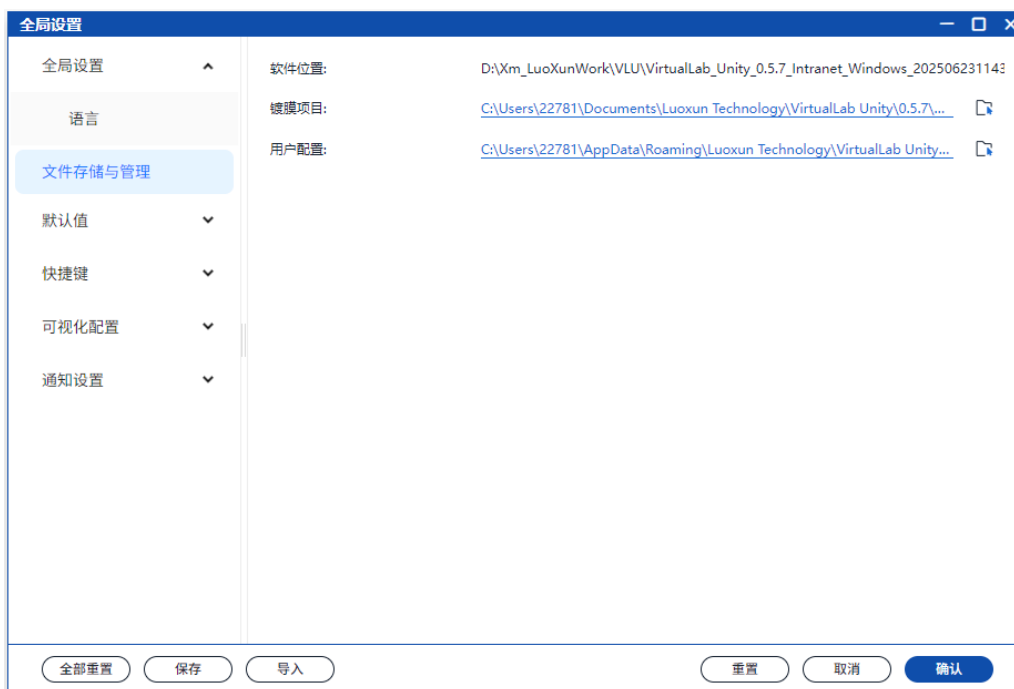
3.1.1 语言

点击[**全局设置**]下拉菜单中的[**语言**]选项，可配置软件界面的显示语言。目前支持中文和英文两种语言，默认语言为英文。



3.1.2 文件存储与管理

点击[**文件存储与管理**]选项，可进入项目文件默认存储路径的配置页面，用于设置软件保存设计项目时的默认资源库。点击  按钮，可以设置新的存储路径。



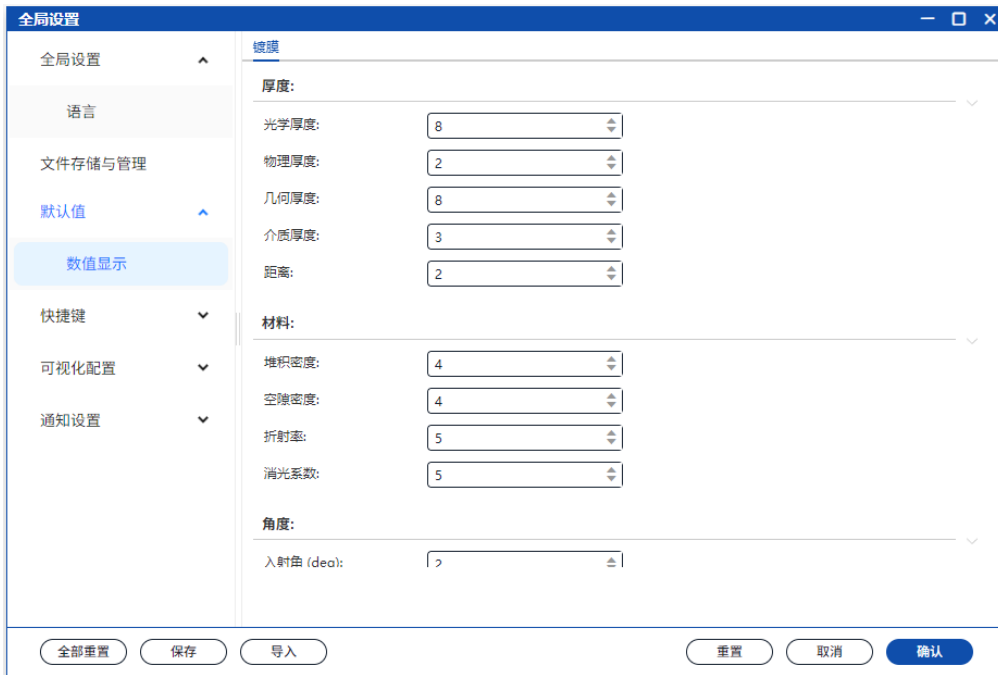
项目	描述
软件位置	用于显示软件的安装资源库。该路径为系统固定位置，无法在本页面进行修改。
光学薄膜项目	用于设置光学薄膜项目的本地默认存储位置
用户配置	用于设置【全局设置】窗口内的所有配置信息默认存储位置。

3.1.3 数值显示

点击[默认值]下拉菜单中的[数值显示]选项，可设置项目中数值的显示精度。

需要特别说明的是：该设置仅影响数值的显示精度，不影响实际计算所使用的数值精度。

对于以输入框形式呈现的数值，当输入框处于编辑状态时，将显示完整数值（即小数点后最多 15 位）。

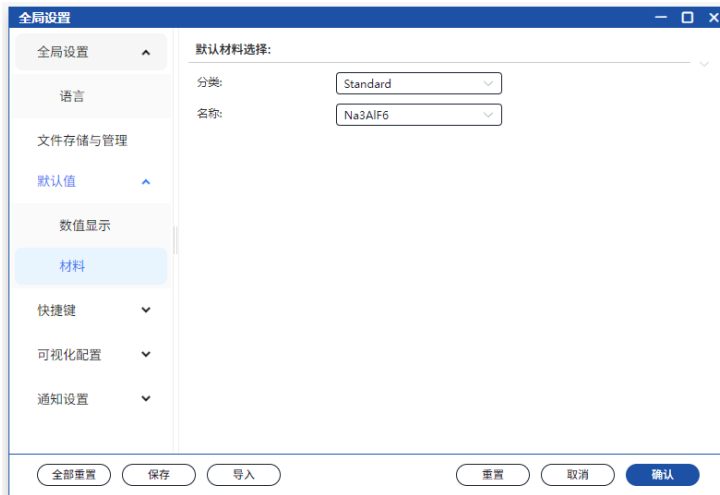


用户可以对薄膜设计项目中的以下几个类型的参数进行数值显示精度设置：

- 不同类型的厚度值
- 膜层材料参数
- 角度
- 评价函数相关参数、
- 光学属性参数
- 其他参数

3.1.4 材料

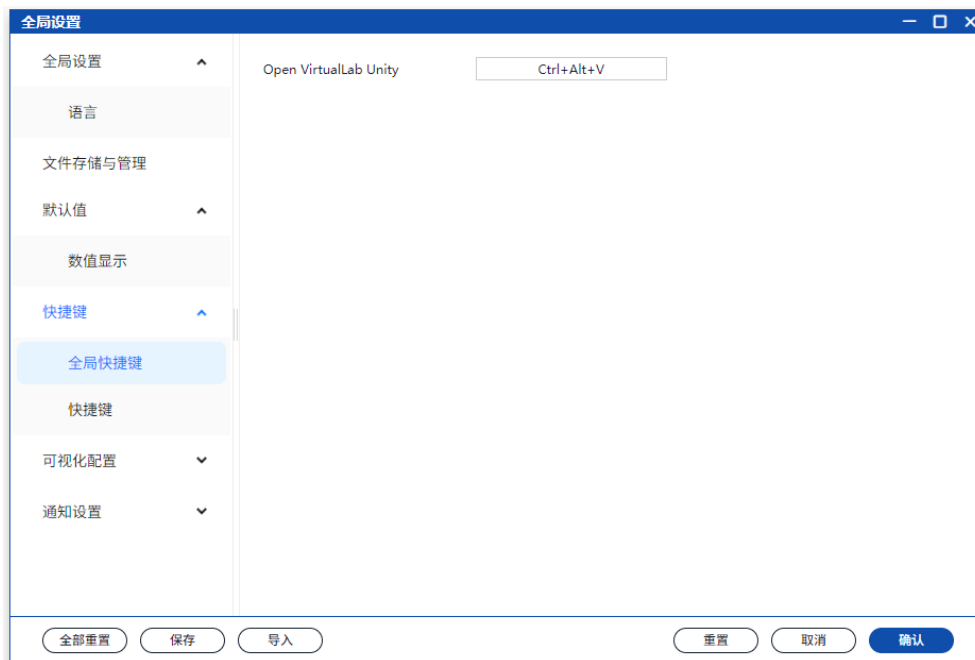
点击 [默认值] 下拉菜单中的 [材料] 选项，可设置项目中新添加膜层的默认材料。设置时需分别选择材料所属的分类及具体的材料名称。



3.1.5 快捷键

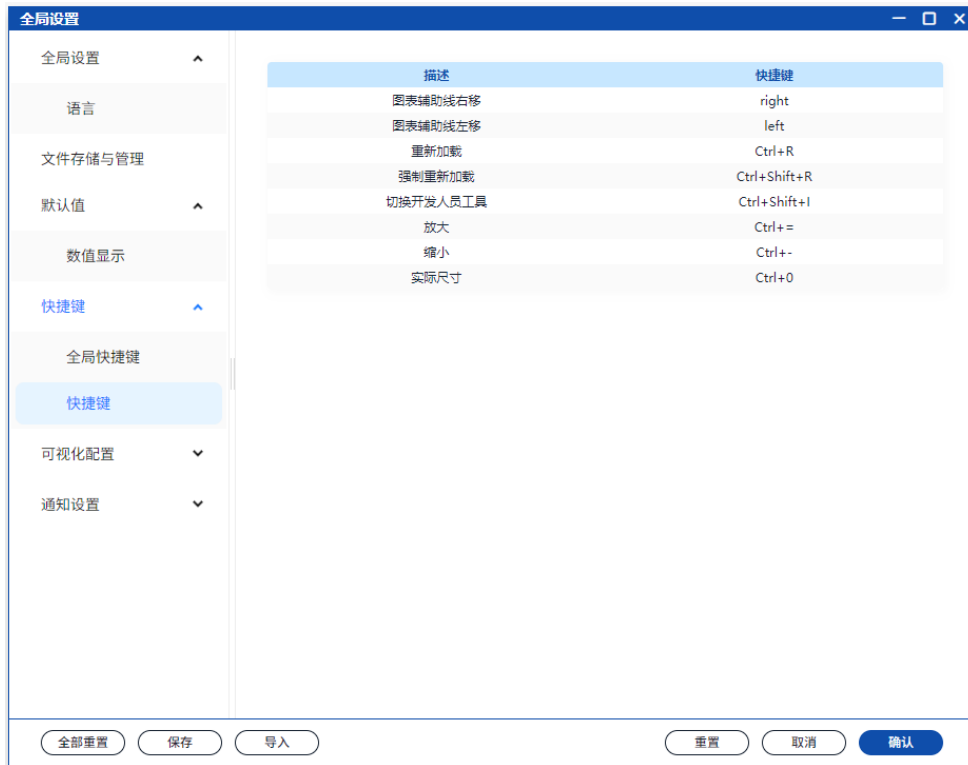
[快捷键] 下拉菜单用于设置软件的快捷键。下拉菜单中包含两个选项:[全局快捷键]和[快捷键], 分别对应以下两类快捷键:

- [全局快捷键]: 在软件运行时即使当前界面不处于 UNIO, 也可以使用;



目前仅支持一个全局快捷键, 用于打开 UniOptics 窗口。

- [快捷键]: 仅在当前窗口为 UNIO 时才可使用:

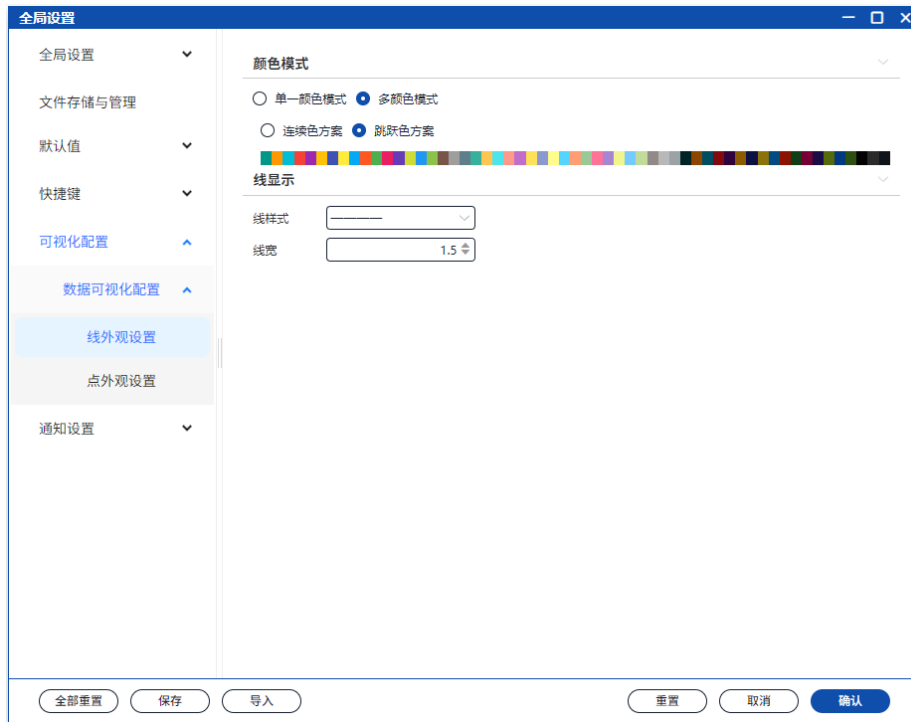


快捷键名称	描述
图表辅助线右移	光标向右移动一格
图表辅助线左移	光标向左移动一格
重新加载	刷新当前软件数据
强制重新加载	刷新软件数据并清除软件产生的缓存数据
切换开发人员工具	打开开发人员工具窗口，帮助开发人员定位软件问题
放大	放大当前视图
缩小	缩小当前视图
实际尺寸	视图比例恢复到默认

3.1.6 可视化配置

点击[可视化配置]下拉菜单中的子下拉菜单[数据可视化配置]，再点击展开后有[线外观设置]和[点外观设置]两项，分别用于调整线条和散点图的外观设置。

- 线外观设置配置如下：



支持配置线条的配色方案和样式：

- 【颜色模式】标题提供两种方案：单一色系和多种色系。
 - ✓ [单一颜色模式]：所有线条使用同一色调下的不同深浅。

颜色模式

单一颜色模式 多颜色模式



- ✓ [多颜色模式]：所有线条使用不同颜色。
- ◆ 多种色系下还有两种方案，第一种是使用[连续色方案]：

颜色模式

单一颜色模式 多颜色模式

连续色方案 跳跃色方案



这意味着多条曲线所使用的颜色不是彼此离散或跳变的，而是从一个颜色平滑过渡到另一个颜色，形成一个颜色渐变序列。每条曲线的颜色在这个渐变中占据一个连续的位置。

- ◆ 第二种是使用[跳跃色方案]：

颜色模式

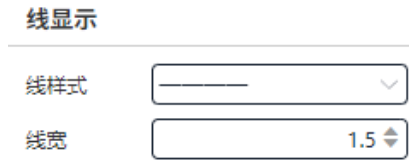
单一颜色模式 多颜色模式

连续色方案 跳跃色方案

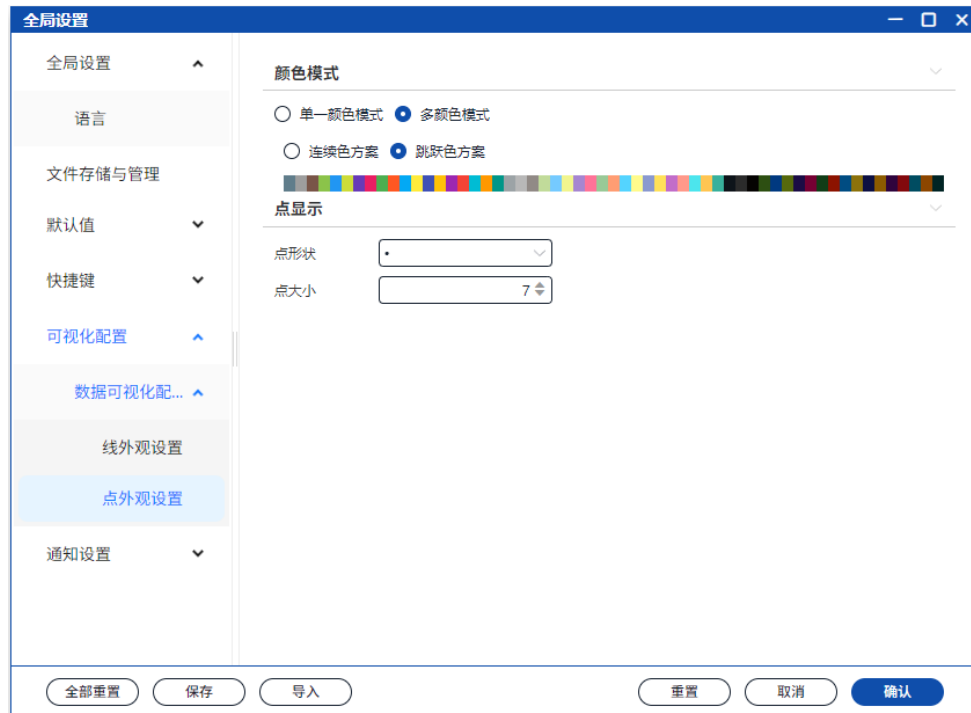


这意味着每条曲线使用彼此独立、不连续的颜色，颜色之间没有渐变或过渡关系，而是从一种颜色直接跳到另一种完全不同的颜色。软件默认使用多种色系下的跳变色方案，来增强数据间的对比。

- 【**线显示**】标题可以设置曲线的样式和宽度



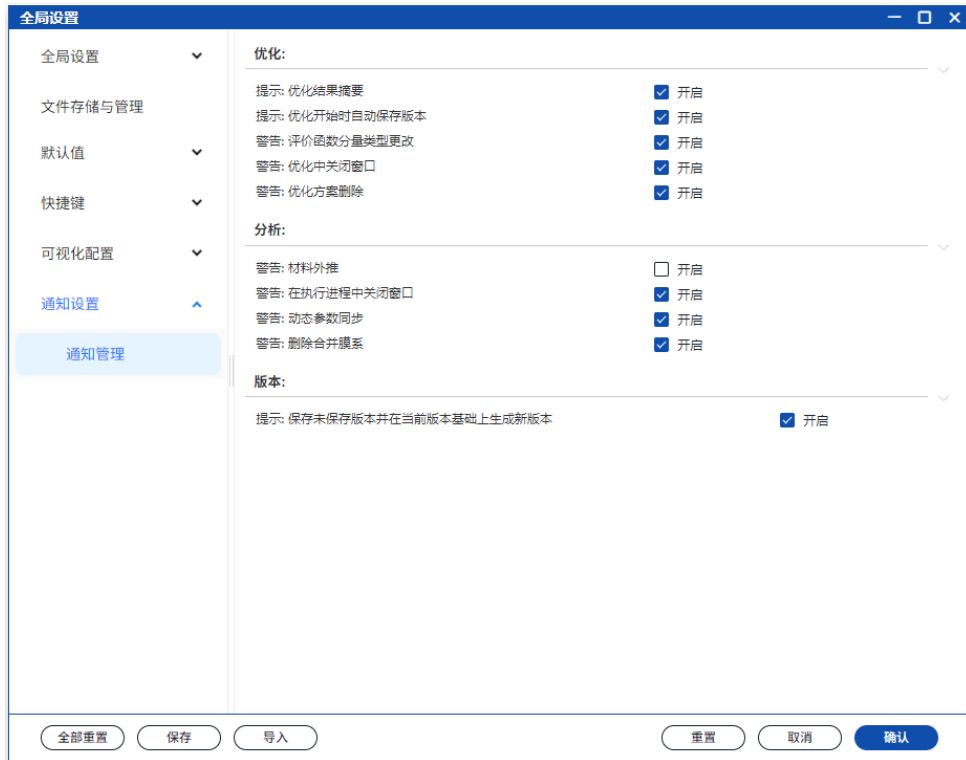
- 点外观设置配置如下：



与线条外观设置相同，散点图同样支持配色方案和样式的配置。由于配置方式类似，此处不再赘述。

3.1.7 通知设置


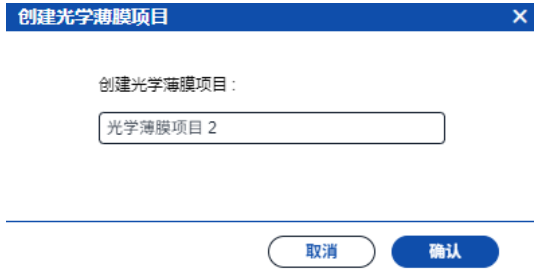
通过点击[通知设置] > [通知管理]选项，用户可进入通知管理界面，对软件运行过程中出现的系统通知进行集中管理。在进行保存操作、中途退出任务，或当前计算超出材料定义范围等关键场景下，系统会自动弹出提示窗口，以确保用户及时获知相关信息。用户可根据需求，在通知管理器中选择是否启用或关闭这些通知弹窗，以提升操作的灵活性与使用体验。



4 开始选项卡



【开始】选项卡用于仿真项目的创建、打开、导入和导出。具体功能的介绍见下表：

功能	描述
	<p>用于新建一个光学薄膜设计项目，点击此按钮，会弹出【创建光学薄膜项目】窗口。</p>  <p>输入项目名称然后点击确认按钮，便可以完成一个光学薄膜设计仿真项目的创建。</p>

 <p>打开</p>	<p>用于打开一个已有的设计项目。点击此按钮会打开【文件】选择窗口，在该窗口支持打开.UNIOP 格式的文件，选定文件后，点击打开按钮，便可以在软件中加载该项目文件。</p>
 <p>另存为</p>	<p>用于将当前项目以新名称或新位置保存为一个副本，原项目保持不变。适用于需要创建分支版本、备份当前状态或在不覆盖原项目的前提下进行修改时使用。</p>
 <p>导入</p>	<p>用于项目的导入，点击此按钮有如下所示下拉菜单出现。</p>  <p>选择[VLF 项目]选项，可导入格式为.CALC 的 VLF 光学膜系设计文件； 选择[Macleod 项目]选项，可导入格式为.DDS 的 Macleod 光学薄膜设计文件； 选择[光学常数提取]选项，可导入格式为.OCE 的光学常数提取文件。</p>
 <p>导出</p>	<p>用于软件项目的导出，点击此按钮会有如下所示下拉选项出现。</p>  <p>在未打开任何项目时，软件界面上所有的导出选项均显示为灰色且不可使用。这意味着用户需要首先打开一个项目，才能进行文件的导出操作。本软件支持项目导出为 VLF 文件也支持将光学常数提取项目导出。选择具体的导出格式后，用户需要选择导出路径</p>

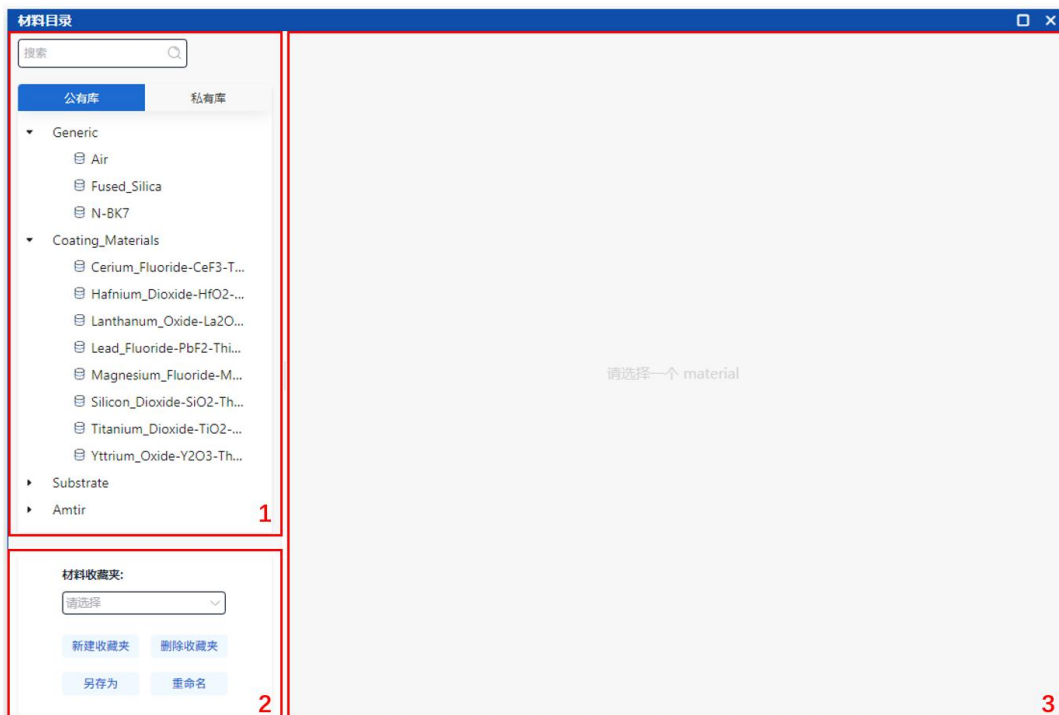
5 资源库选项卡

资源库选项卡用于集中管理和复用资源。通过资源库用户可以预先定义并保存各种常用的模板，在需要时便捷地调用，提升设计效率和一致性。资源库不仅支持添加、查看、编辑、删除条目，还可以在 design 过程中快速选择已有条目进行引用，实现“建一次，用多次”的复用设计理念。通过资源库管理，用户可以更系统地组织资源，降低重复配置的工作量，同时保持项目参数的一致性和规范性。

如下图所示，光学薄膜设计模块提供两个资源库，分别是：材料资源库和光学薄膜资源库。



5.1 资源库界面布局



资源库的主界面如上图所示，包含以下几个区域：







分区	描述
资源列表	<p>如图中区域 1 所示，资源列表用于集中展示并管理所有可用的资源，分为公有库和私有库。列表上方提供了搜索栏和过滤器功能，方便用户快速查找和筛选特定资源。</p> <p>在【公有库】标签页中，列表展示的是软件预置的资源。这些资源具有一定的行业通用性，例如常见的设计方案或材料类型。用户可以查看其参数或直接在项目中引用使用，但为保障数据的完整性与一致性，这些资源不可被修改或删除。</p> <p>在【私有库】标签页中，列表中展示的是用户的私有资源。这些资源可以是来自公有库导入的也可以由用户从外部添加。私有库为用户提供了资</p>

	源的个性化管理功能，用户可以使用、查看和编辑其中的资源。
资源收藏夹	<p>如图中区域 2 所示，资源收藏夹功能用于帮助用户管理常用资源，从而提升项目配置的效率。用户可创建一个或多个资源收藏夹，并在配置项目时调用，根据实际需求快速访问所需资源。</p> <p>当选中某个收藏夹后，上方资源列表中属于该收藏夹的资源将显示为已勾选状态，表示其已包含在该收藏夹中。如下图所示：</p>  <p>新建收藏夹：新建一个资源收藏夹，点击此按钮后会出现如下图所示【新建收藏夹】窗口</p>  <p>[新建收藏夹名称]输入框用于输入新收藏夹的名称。</p> <p>[从中创建收藏夹]下拉选项框用于进行便捷选择，有三种下拉选项可供用户选择：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ [全选]下拉选项用于全选当前列表中的资源，并将其添加到当前收藏夹中。 ✓ [全不选]下拉选项用于创建一个收藏夹但不包含任何资源 ✓ [已有收藏夹]下拉选项用于创建一个包含其他已有收藏夹中资源

	<p>的新收藏夹。选择此选项后，将显示一个名为[选择收藏夹]的下拉菜单，用户可从中选择已有的收藏夹，并将其资源导入到当前收藏夹中。</p> <p>删除收藏夹：用于删除当前已选中的收藏夹，该按钮仅在已选中某个收藏夹时才可用。</p> <p>另存为：用于将当前选中的收藏夹另存为一个新的收藏夹，该按钮仅在已选中某个收藏夹时才可用。</p> <p>重命名：用于对当前选中的收藏夹进行重命名，该按钮仅在已选中某个收藏夹时才可用。</p>
资源展示区	<p>如图中区域 3 所示，当用户选中某一资源时，右侧区域将显示该资源的详细参数信息。由于不同资源库展示的参数内容不同，具体展示内容将在各资源库对应章节中分别介绍。</p>

资源窗口包含以下几种控件：

控件	描述
搜索栏	<p>如果在此文本框中输入文本，则只显示名称包含该文本的资源库条目。</p>  <p>该筛选不区分大小写，例如“glass”、“Glass”和“GLASS”会得到相同结果。</p>
添加到私有库	<p>将公有库列表中的某个条目添加到私有库。</p>

	 <p>选择[添加到私有库]后，系统将提示用户输入存入私有库的名称，默认名称为该条目在公有库中的名称。</p>  
<p>私有库中类的新建、重命名、和删除</p>	<p>在私有库中，用户可以对资源类进行如下操作：</p> <ul style="list-style-type: none"> ：创建一个新的分类，用于组织资源条目。新建时需指定类名，类名不可重复。 ：修改现有资源类的名称。修改后，属于该类的所有资源条目的归属将自动更新。 ：移除当前选中的资源类。若该类下仍包含资源条目，系统会弹出确认提示，防止误删。

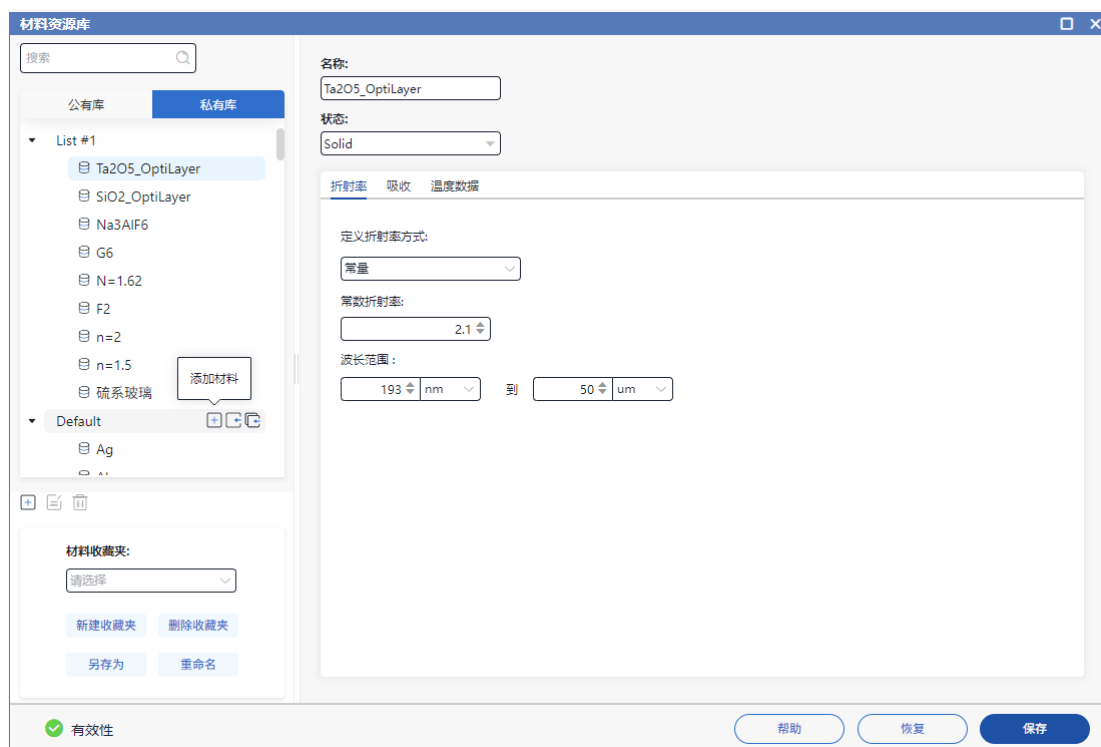
5.2 材料资源库


点击资源库中的 **材料** 按钮后将打开如下图所示【**材料资源库**】窗口，用户可在此浏览并管理材料库中的所有材料条目。

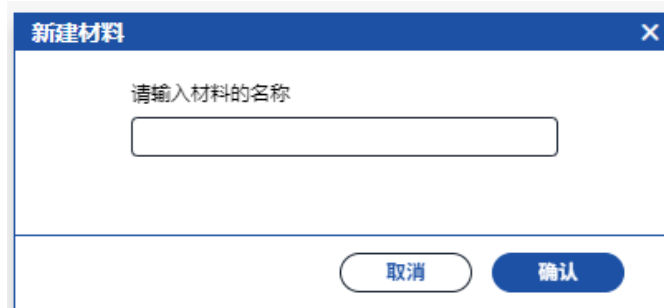


在材料列表中选中任意一项后，其详细信息将展示于资源展示区。软件通过【[折射率](#)】、【[吸收](#)】以及【[温度数据](#)】三个标签页进行材料的定义和展示，详细信息请参阅第9章【[理论与算法](#)】中的第9.1节【[材料](#)】。

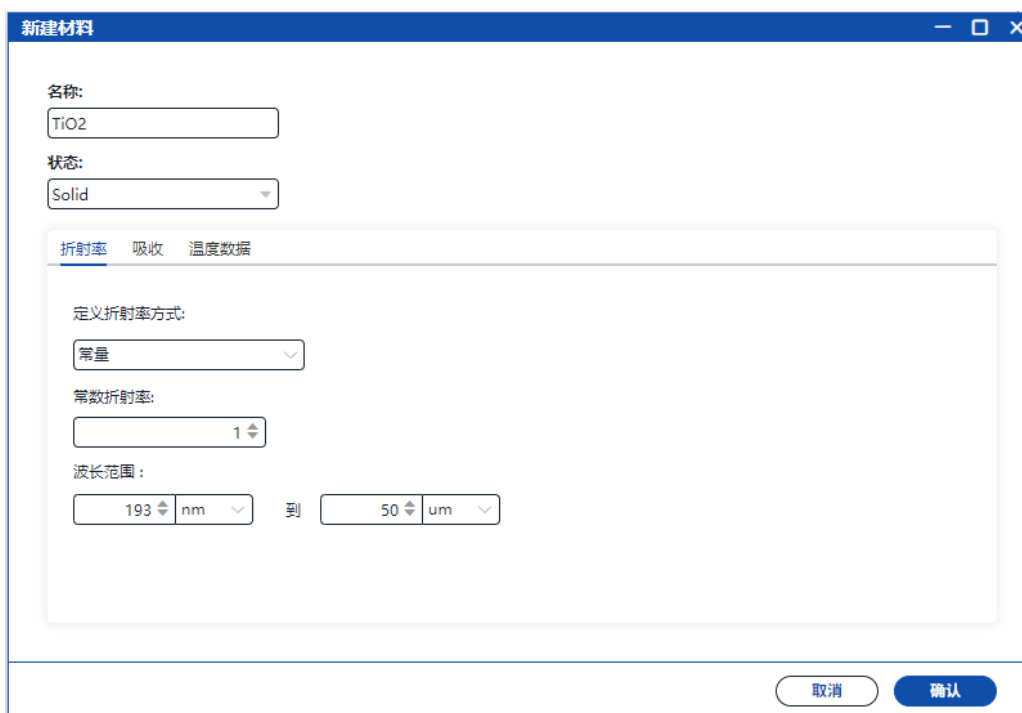
5.2.1 新建材料



在私有库中，点击材料类右侧的  按钮进行材料的新建，点击后会出现弹出如下所示【新建材料】窗口：



在输入框中输入材料名称后，点击 **确认** 按钮将弹出材料参数配置窗口：

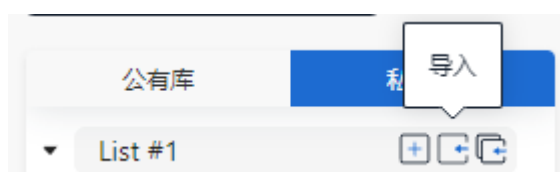



在该窗口用户可以配置材料的折射率、吸收率以及温度相关参数。配置完成后点击 **确认** 按钮完成材料的新建。详细信息请参阅第 9 章【理论与算法】中的第 9.1 节【材料】。

5.2.2 导入材料

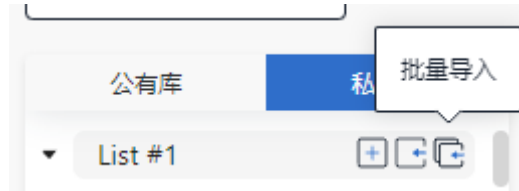
在私有库中，有两种方式进行材料的导入：


- 单个材料的导入：



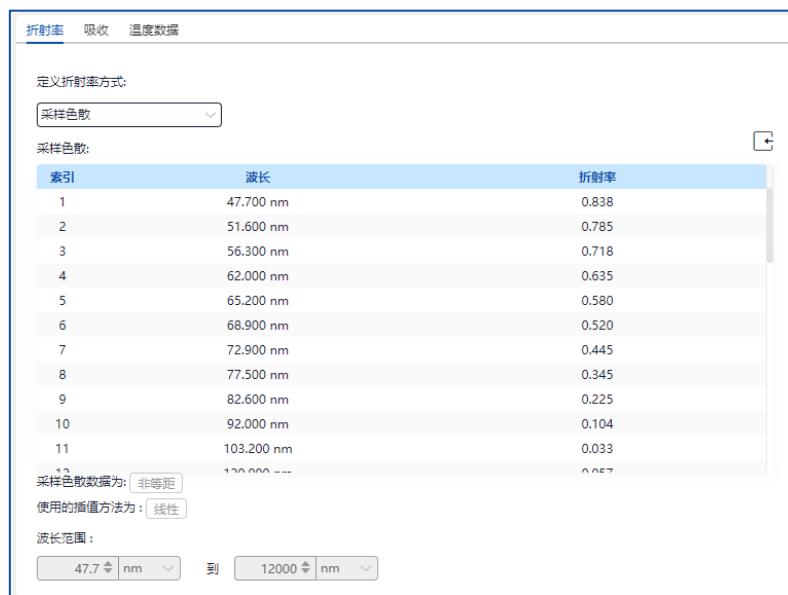
点击  按钮后，可在本地选择材料文件导入。当前支持的文件格式包括：.CSV、.XLSX、.TXT 和 .LDD。选择文件后将自动打开材料导入窗口，用户可按照提示流程完成导入操作

- 多个材料的批量导入：



点击  按钮后，可在本地多选材料文件进行导入。当前支持的文件格式包括：.CSV、.XLSX、.TXT 和 .LDD。批量导入的文件必须遵循固定格式，第一列是波长，第二列是折射率，第三列是吸收系数。

5.2.3 采样数据导入



折射率 吸收 温度数据


定义折射率方式：
采样色散

采样色散：

索引	波长	折射率
1	47.700 nm	0.838
2	51.600 nm	0.785
3	56.300 nm	0.718
4	62.000 nm	0.635
5	65.200 nm	0.580
6	68.900 nm	0.520
7	72.900 nm	0.445
8	77.500 nm	0.345
9	82.600 nm	0.225
10	92.000 nm	0.104
11	103.200 nm	0.033
12	120.000 nm	0.007

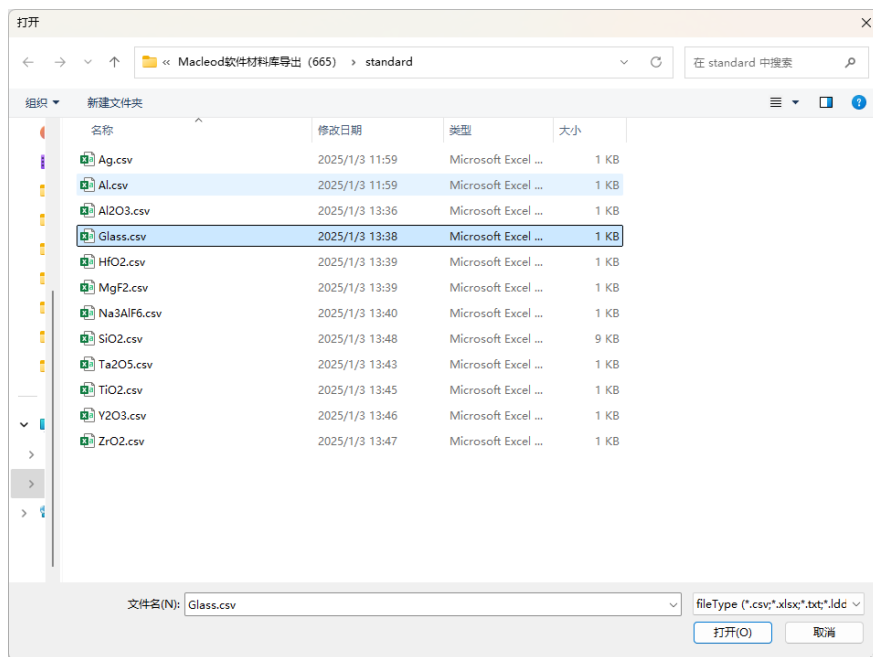
采样色散数据为：非等距
使用的插值方法为：线性

波长范围：
47.7 nm 到 12000 nm

以采样方式定义折射率或吸收率数据可从本地导入，当前支持的文件格式包括.CSV、.XLSX、.TXT 和.LDD。点击列表右上方的  按钮进行导入：

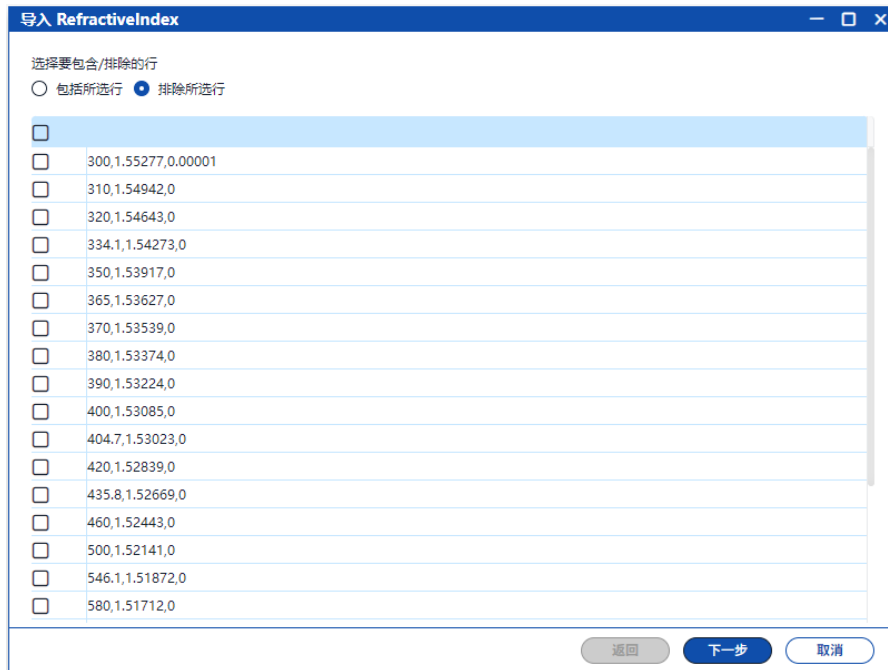


点击 **选择文件** 按钮在本地选择材料的路径。通过勾选或取消左下方[覆盖现有采样数据]复选框来决定当前导入的数据是覆盖原有数据，还是追加添加。

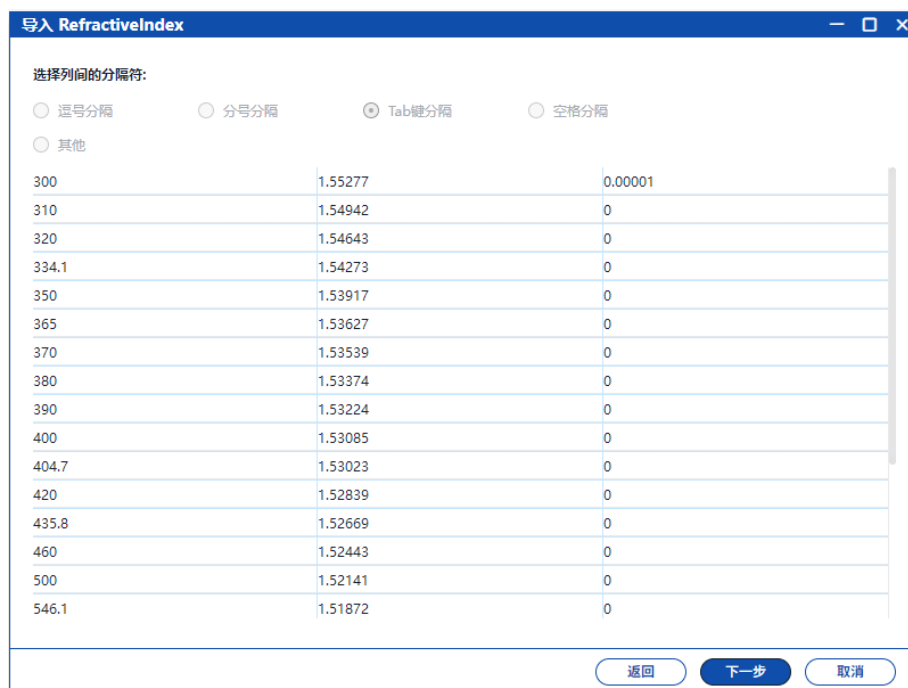


选择材料文件后，将打开后续的一个导入流程：

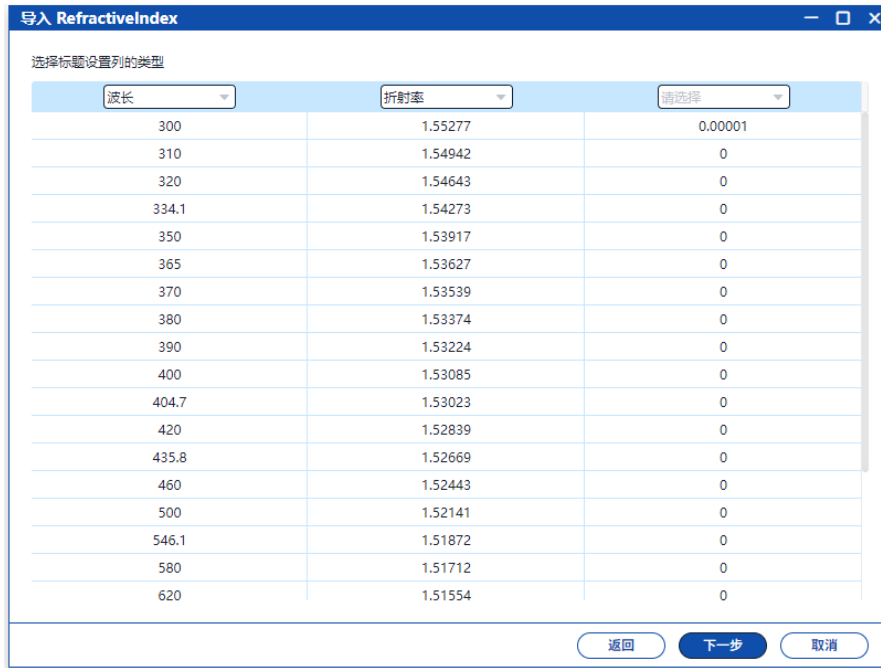
- 步骤 1：选择需要导入的行，可指定包含或排除哪些行，通常用于去除表头等非数据内容。选择完成后点击 **下一步** 按钮进行下一步



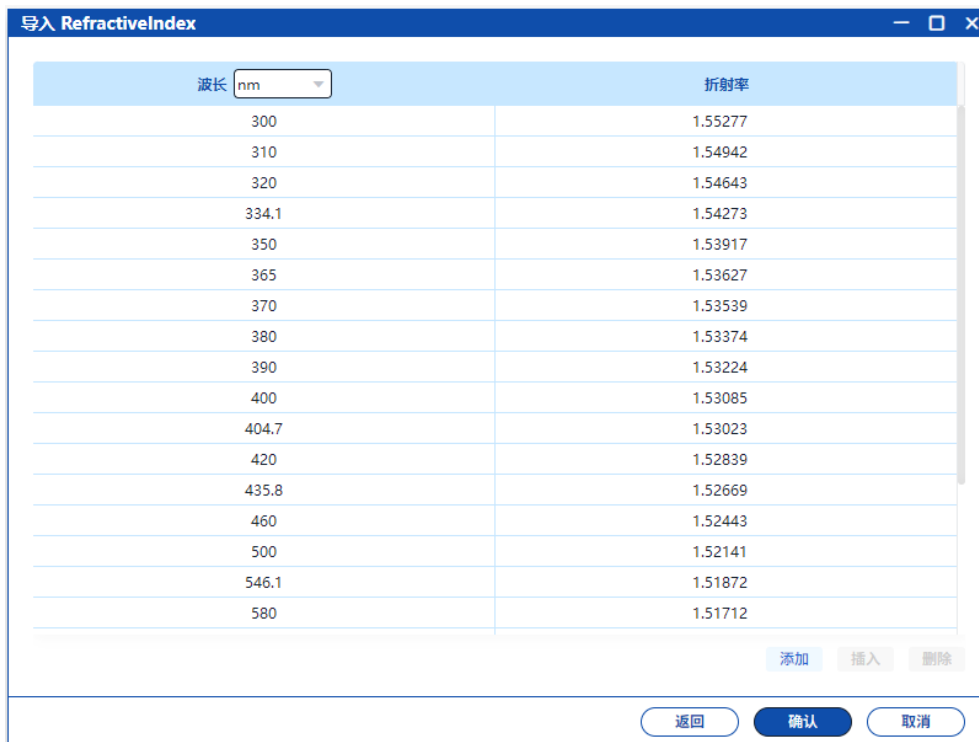
- 步骤 2: 用于分隔文件中数据列的方式有五种可选: 逗号、分号、Tab、空格以及自定义分隔符。默认选择为 Tab 分隔。选择完成后点击 **下一步** 按钮进行下一步。



- 步骤 3: 通过下拉列表选择表头。选择完成后点击 **下一步** 按钮进行后续操作

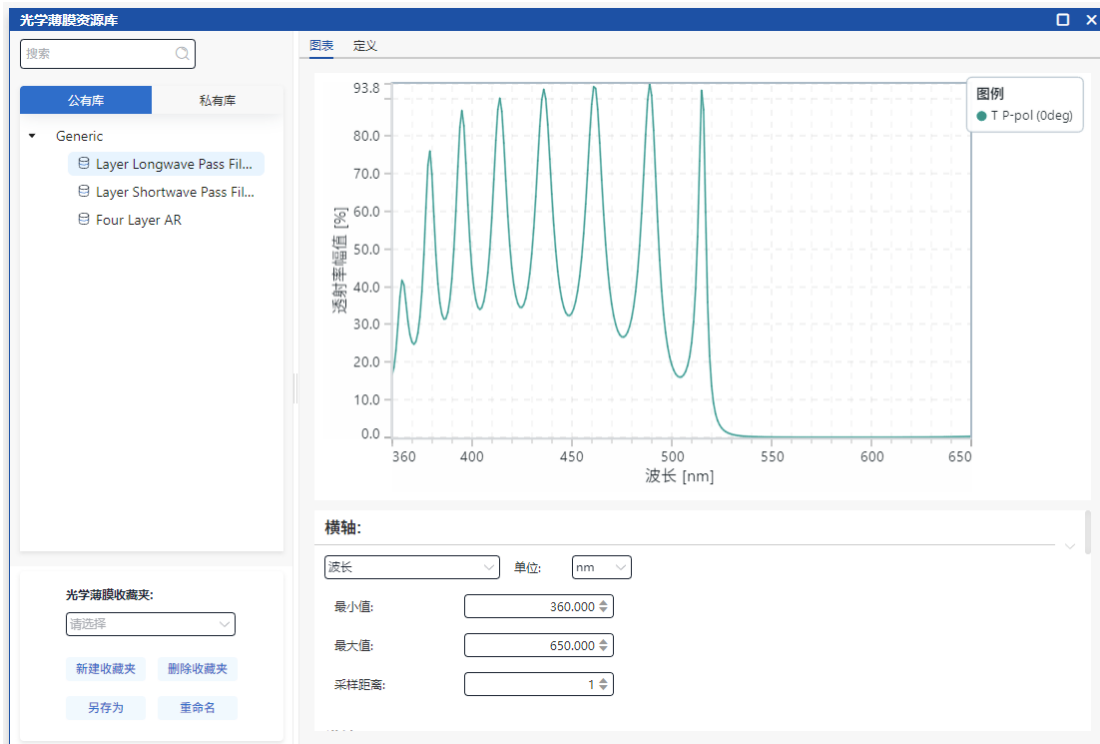


- 步骤 4: 通过下拉列表选择波长列的单位, 默认为 nm。选择完成后点击**确认**按钮完成导入



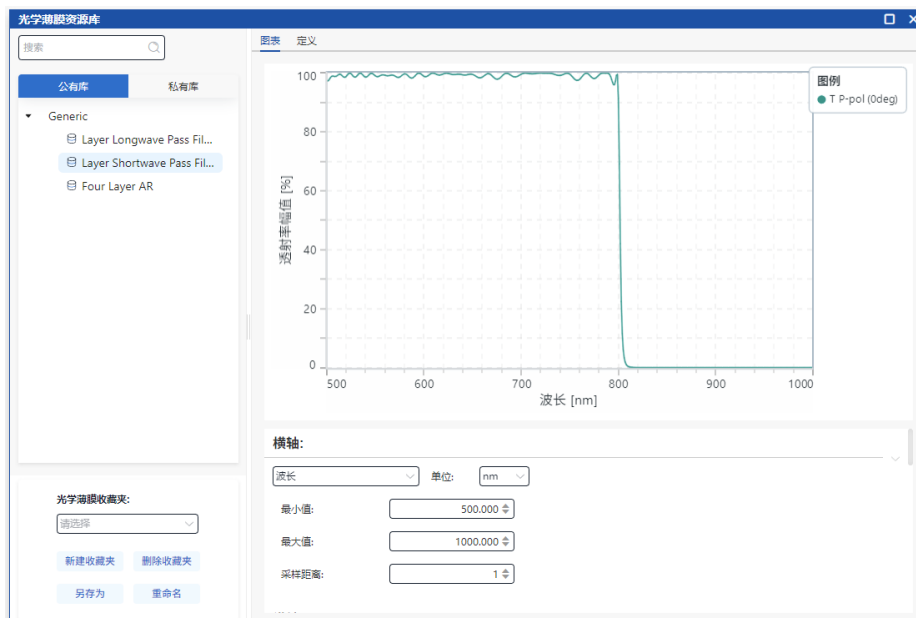
5.3 光学薄膜资源库

点击**光学薄膜**按钮, 会有【**光学薄膜资源库**】窗口出现, 在此窗口可以对光学薄膜资源库中的膜系进行查看与管理。

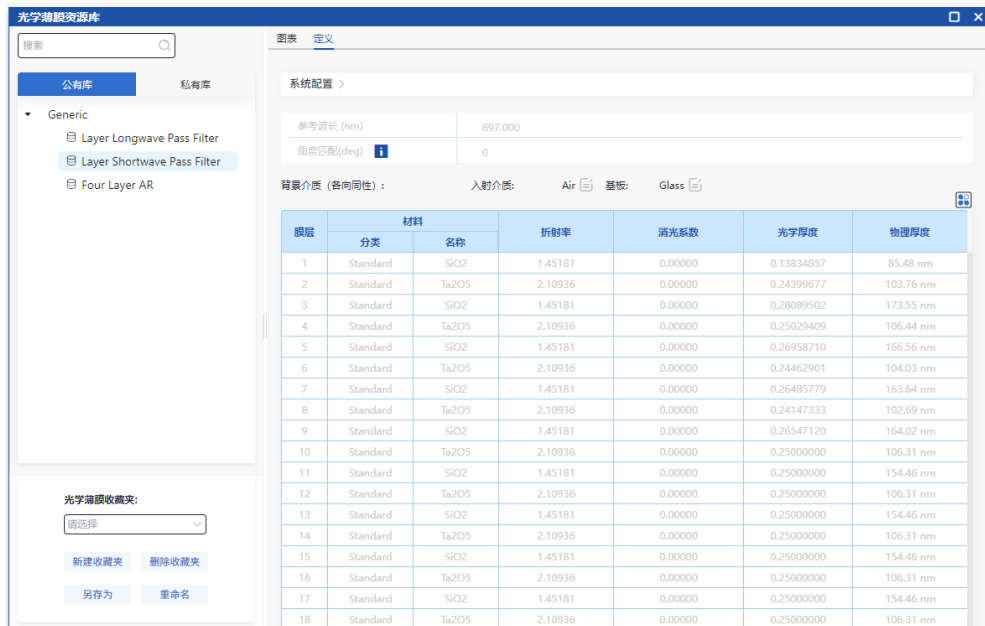


在膜系列表中选中任意一项后，该膜系的光谱信息和结构定义将显示在资源展示区。软件通过【图表】和【定义】两个标签页分别展示相关内容，具体说明如下：

- 【图表】标签页用于展示所选膜系的光谱图，页面上方为图形显示区域，下方为参数设置区域。



- 【定义】标签页用于展示所选光学薄膜的详细定义，包含层厚度，材料等，如下图所示。具体定义方式与项目编辑窗口内容相同，更多详细信息请参阅第二章【光学薄膜项目编辑窗口】中的第 2.1 节【膜层设计】。



6 分析选项卡




【分析】选项卡用于对光学薄膜项目进行分析，包括光谱图、颜色、导纳图、折射率分布、厚度分布、反射系数、吸收速率、电场这些用于帮助用户深入理解设计的分析工具，还包括误差分析、敏感度分析、良率分析等稳定性分析工具，需要注意的是，此选项卡只有在选中一个光学薄膜项目后才会出现。

6.1 通用布局与设置

首先将介绍与本功能模块的一些通用设置，包括齿轮工具的使用方式和通用布局。这些设置有助于用户根据实际需求自定义参数与显示效果，从而提高操作效率与可视化表达的灵活性

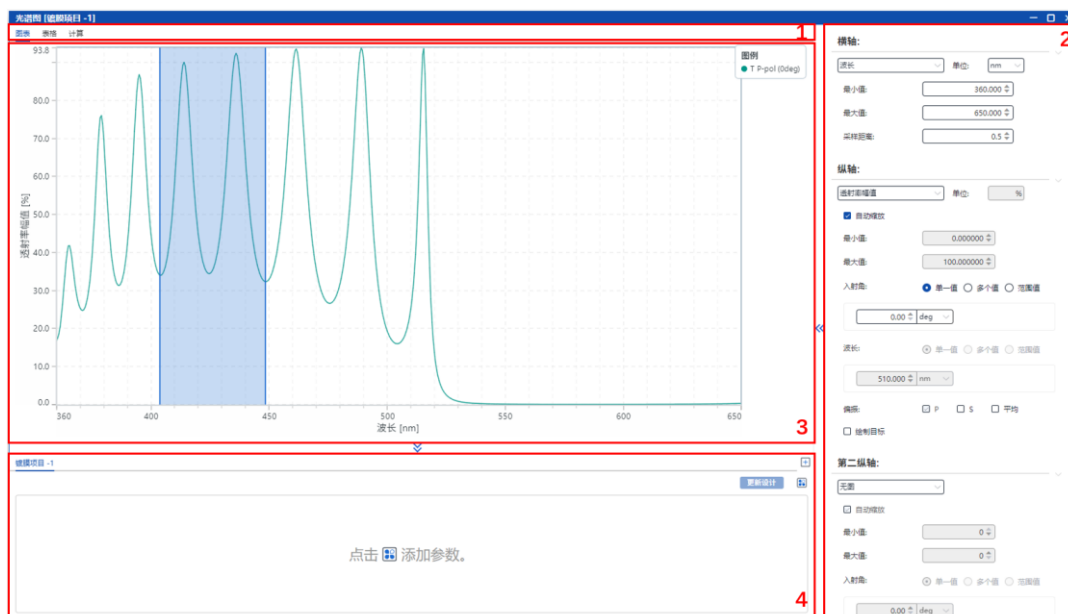
- 齿轮工具：每个分析工具右下方均配有一个齿轮图标按钮，用于管理默认参数设置。



点击  按钮后，会弹出对应分析功能的设置窗口，如下图所示。



用户在保存当前配置后，点击**确认**将当前设置保存为默认值。此后，每次打开对应分析功能时，系统将自动加载已保存的默认参数，避免用户重复配置，提升操作效率。值得注意的是，该默认设置仅在当前软件运行期间有效。一旦关闭或刷新软件，设置将失效，用户需重新进行参数调整。分析窗口的通用布局如下图所示：

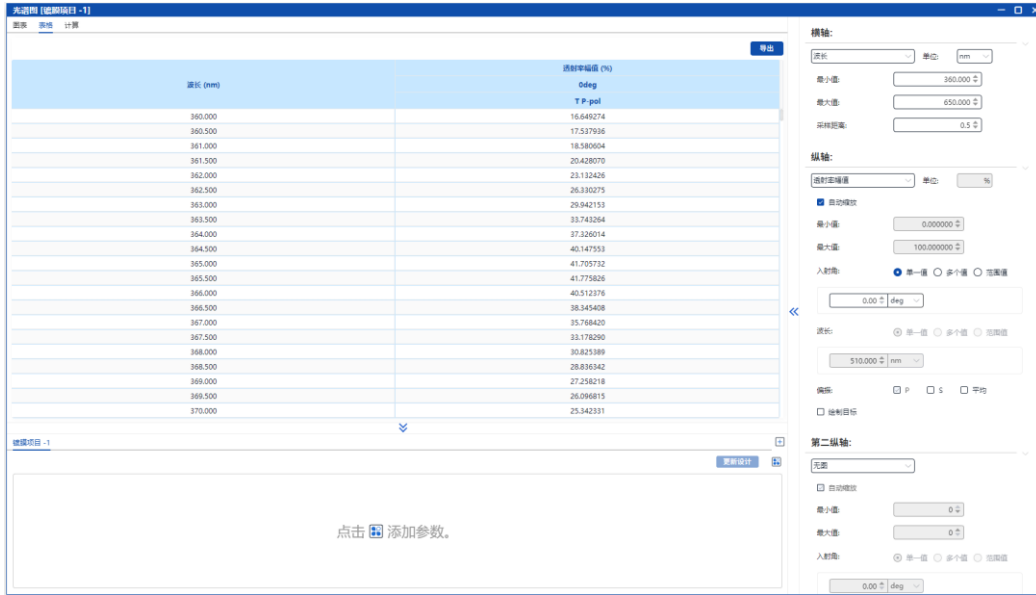


分析功能窗口由 4 个主要部分组成，包括标签栏、参数设置区、结果展示区、动态参数设置区，下面分别对这 4 部分进行介绍：

- 标签栏：如图中区域 1 所示，用于快速切换不同的功能选项卡，位置位于窗口顶部，大部分功能都有两个标签栏：**【图表】**、**【表格】**，用户可以通过点击这些标签快速切换

到不同的视图或功能区，以满足查看图形化数据、表格数据或执行特定计算的需求。

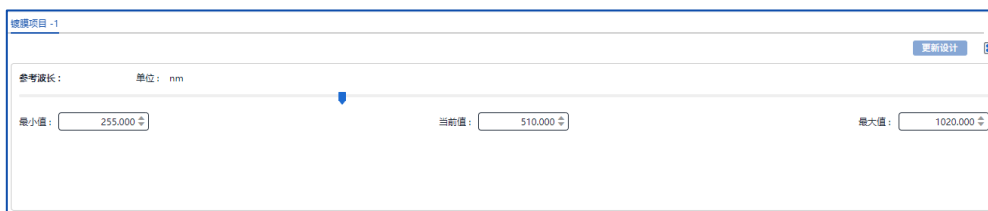
- ✓ **【图表】** 标签页用于以图形化的方式展示数据，页面分布情况如上图所示。在此页面中，用户可以直观查看当前膜系的图形化性能参数。
- ✓ **【表格】** 标签页用于以表格的形式展示详细的数据，页面分布情况如下图所示，结果展示区域中的表格显示了对应配置参数的数值计算结果。表格数据可以通过右上角的 **导出** 按钮进行导出，支持导出的格式有 .XLSX、.CSV、.TXT。




- **参数设置区：**分析窗口右侧为该功能的参数设置区域，用于配置所需的各类参数。窗口打开后，用户在此区域实时修改参数时，图表将同步更新，直观反映参数变化对结果的影响。分析窗口打开时，参数设置区域默认处于收起状态，用户可通过抽屉式菜单随时展开或收起该区域，便于灵活调整界面布局。




- 结果展示区域：如图中区域 3 所示，用于展示不同标签页中的结果，当位于【**图表**】标签页时，会展示图形化数据，当位于【**表格**】标签页时，会展示详细的数据表格。
- 动态参数区域：如图中区域 4 所示，该部分用于添加动态参数并实时调整，使得用户能够即时看到这些变化对膜系性能的影响。初始状态下处于收起状态以节省窗口空间，用户可通过抽屉式菜单随时展开或收起该区域。在该区域，用户可添加需动态调整的变量并修改其参数。参数调整后，系统会自动计算结果并更新数据，实时反映最新参数设置下的表现。



- ✓ ：点击该图标后，会弹出如下图所示的下拉菜单，其中包含多个可添加为动态变量的选项。

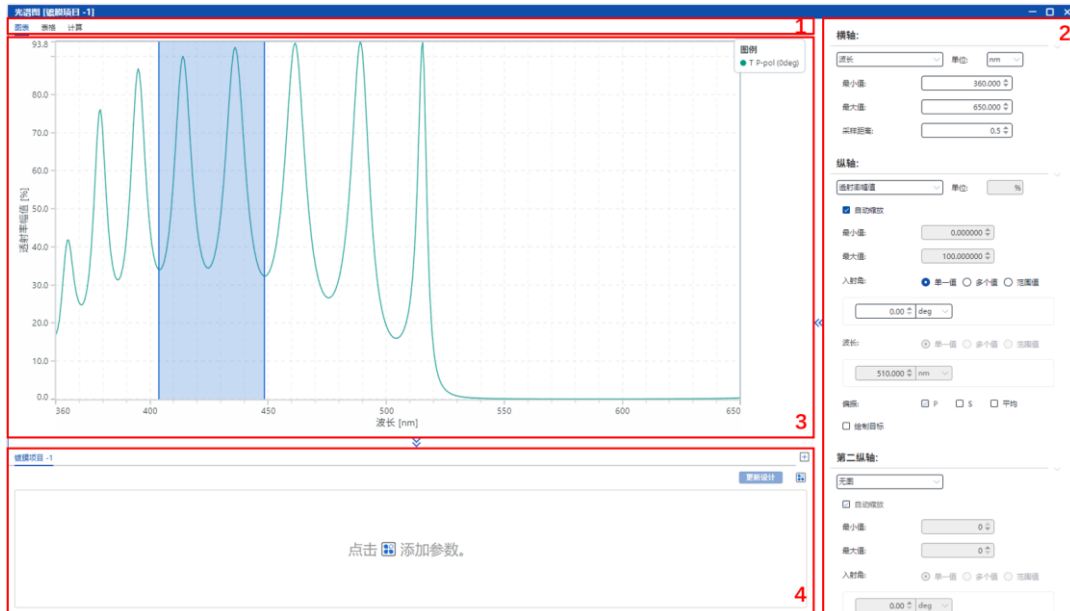


该下拉菜单中一共有六种可添加的下拉动态变量选项：[参考波长]、[膜层厚度]、[堆积密度]、[空隙密度]、[组]、[根据材料划分的沉积密度]，被选中的动态变量会显示在下方的动态参数设置区域。用户可通过以下方式调整参数：按住鼠标左键或右键滑动滑块调整，或直接在下方输入框中输入数值进行精确调整。

- ✓ 动态变量清除方式：点击  后，鼠标左键点击已添加的选项，取消其选中状态，即可从动态参数调整区移除该动态变量。
- ✓ **更新设计**： **更新设计** 按钮用于将当前在动态参数设置区域中调整的参数同步到当前的膜系设计中。

6.2 光谱图

点击上方功能区中**光谱图**按钮后，将弹出如下所示【光谱图】窗口：

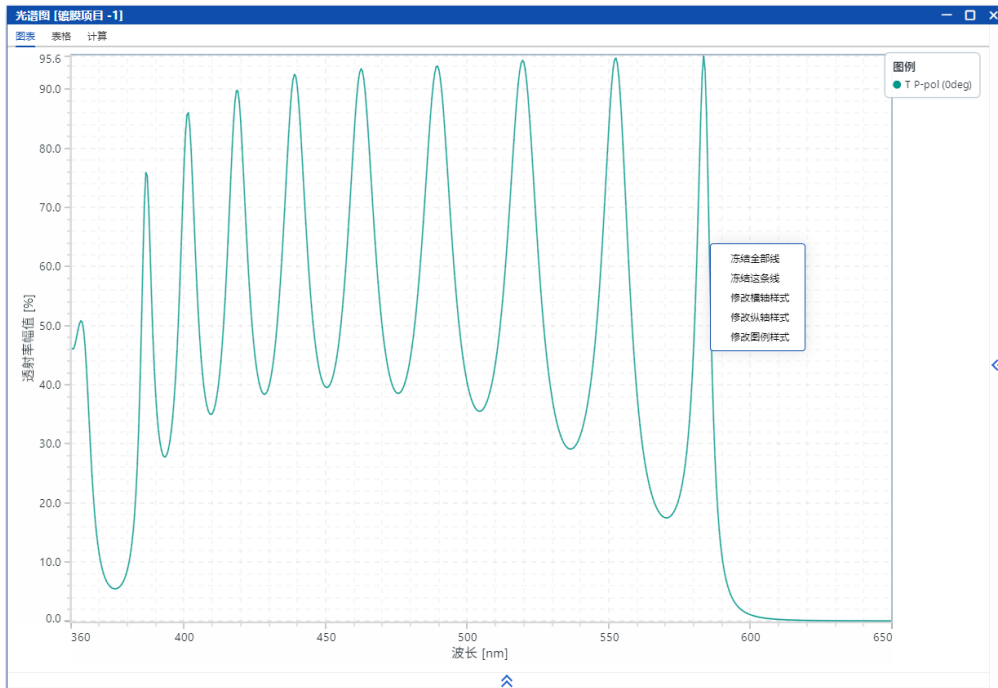


- 【光谱图】参数设置区域中各参数的说明见下表：

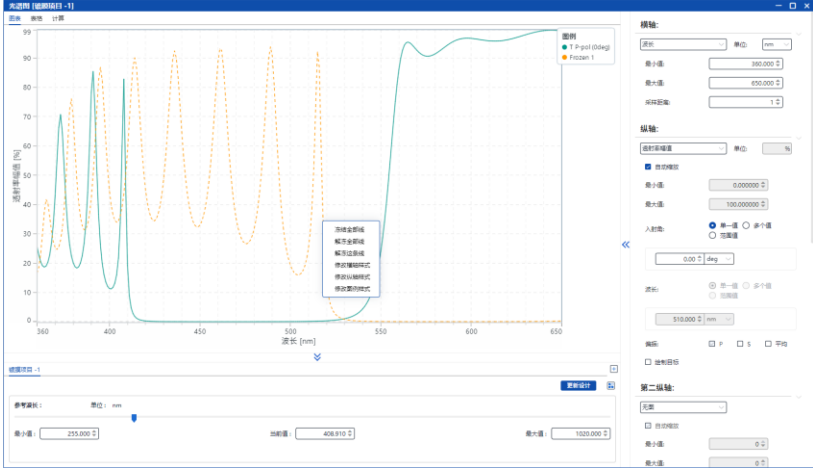
参数	描述
横轴	<p>横坐标变量设置，用户可以选择[波长]或[入射角]作为横坐标变量。</p> <p>横轴：</p> <p>波长 <input type="text" value="360.000"/> 单位: <input type="text" value="nm"/></p> <p>最小值: <input type="text" value="360.000"/></p> <p>最大值: <input type="text" value="650.000"/></p> <p>采样距离: <input type="text" value="0.5"/></p> <p>[最小值]输入框用于设置横坐标的最小值。</p> <p>[最大值]输入框用于设置横坐标的最大值。</p>

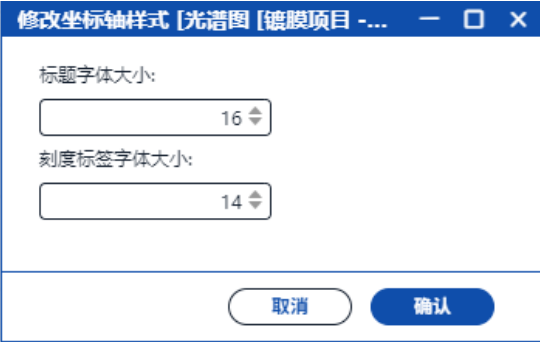
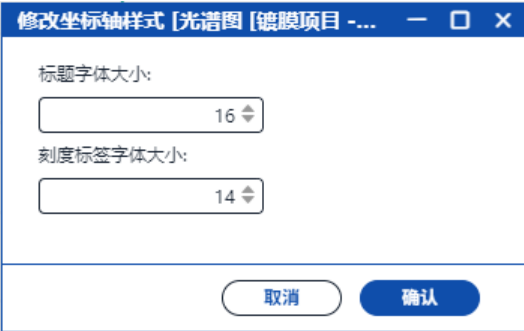
	<p>[单位]配置项用于横坐标单位设置。</p> <p>[采样距离]输入框用于设置横坐标的采样间距大小。</p>
纵轴	<p>纵坐标变量设置，用户可以选择[透射率幅值]、[反射率幅值]、[透射相位]、[反射相位]、[背向反射率]、[吸收率]、[透射率幅值的一阶导数]、[反射率幅值的一阶导数]中任意一个下拉选项作为纵坐标变量。</p> <p>纵轴:</p>  <p>[自动缩放]复选框用于设置是否启用纵坐标的自动缩放功能。当勾选此选项时，系统会根据光谱数据的范围自动调整纵坐标的刻度，以确保所有数据都能清晰展示，此时下侧的最大值与最小值输入框变为灰色，无法进行输入；若未勾选此复选项，则用户可以手动输入数值进行纵坐标范围的调控。</p> <p>[最小值]输入框用于设置纵坐标的最小值。</p> <p>[最大值]输入框用于设置纵坐标的最大值。</p> <p>[入射角]选项用于设置入射角的大小，是分析光谱特性或相关数据表现的重要参数。当横坐标为入射角时，此选项不可用；而在其他情况下，用户可以通过该选项指定入射角的数值，并且系统支持同时绘制多个不同入射角度的结果，便于对比分析不同角度下的光谱特性或相关数据表现。具体来说，系统提供了三种方式供用户选择：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 选择[单一值]单选项可以查看特定入射角下光谱特性或相关数据表现，适合深入分析某个特定角度； ● 选择[多个值]单选项则允许手动添加多个角度，查看这些角度下的光谱特性或数据表现，适合需要灵活比较多个离散角度的情况； ● 选择[范围值]单选项后，用户可以设定一个角度范围与步长值，系统会自动在这个范围内按照步长生成多个角度并绘制结果，这种方

	<p>式适合连续分析角度变化对光谱特性的影响。</p> <p>[波长]选项用于设置波长大小，是分析光谱特性或相关数据表现的重要参数。当横坐标设定为波长时，此选项不可用。在其他情况下，用户可以使用该选项来指定具体的波长值，也可绘制多波长下的结果，设置方式同上。</p> <p>[偏振]选项用于设置参考波长的偏振态。</p> <p>[绘制目标]复选框用于在光谱图上画出项目评价函数</p>
<p>第二纵轴</p>	<p>设置第二纵坐标相关配置，设置完成后会在结果展示区图表右侧新加一条纵坐标轴，并且根据新加纵坐标轴新绘制一条曲线，内容同上。</p>
<p>误差分析</p>	<p>膜系误差分析的参数配置，便于用户在查看光谱的同时直接进行误差分析。详细说明请参见误差分析模块</p> <p>误差分析:</p>  <p>禁用：控制当前是否开启误差分析。</p> <p>刷新：当更改误差分析参数后，点击该按钮进行重新分析。</p>



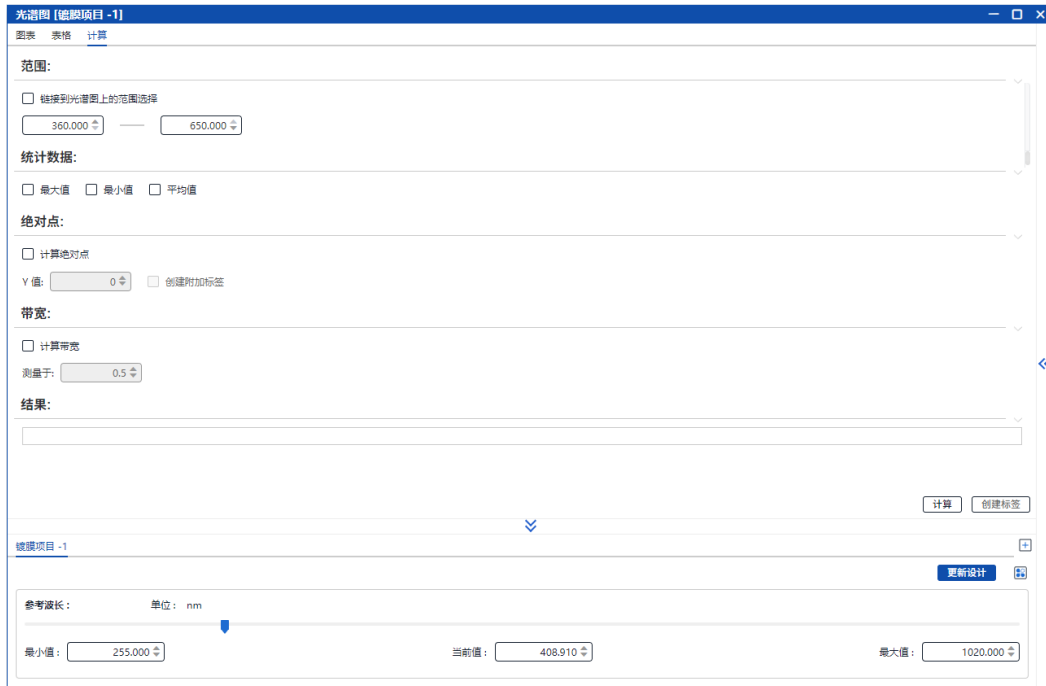
- 如上图所示，当在光谱图中点击鼠标右键时，会出现以下曲线冻结与解冻工具：

选项	描述
<p>冻结全部线</p>	<p>为便于用户对比动态参数调整前后的变化，软件提供了曲线冻结功能。当选择[冻结全部线]选项时，当前图中的所有曲线将被冻结。冻结后原曲线会以一条固定不动的虚线形式保留在原位置，且颜色与变化后的曲线有所区别。同时，在图例区的右上方会生成一个名为“Frozen 1”的新图例，其颜色与冻结曲线对应。通过这种方式，用户可以方便地对对比动态参数调整前后的结果。</p>  <p>当窗口中存在已冻结的曲线时，功能菜单会有新选项出现：[解冻全部线]，从而实现对所有曲线的解冻。这一功能让用户能够更直观地分析和比较不同参数设置对光谱特性的影响。</p> <p>当选中光谱图中的某条曲线时，界面将显示[冻结这条线]选项，用于仅冻结当前选中的曲线。相应地，还会显示[解冻这条线]选项，用于对该</p>

	曲线进行解冻。
修改横轴样式	<p>横轴的显示支持修改标题，以及轴上刻度值的字体大小。</p> 
修改纵轴样式	<p>纵轴的显示支持修改标题，以及轴上刻度值的字体大小。</p> 
修改图例样式	<p>图例显示支持标题，以及图例项的字体大小。</p> 

6.2.1 计算标签栏

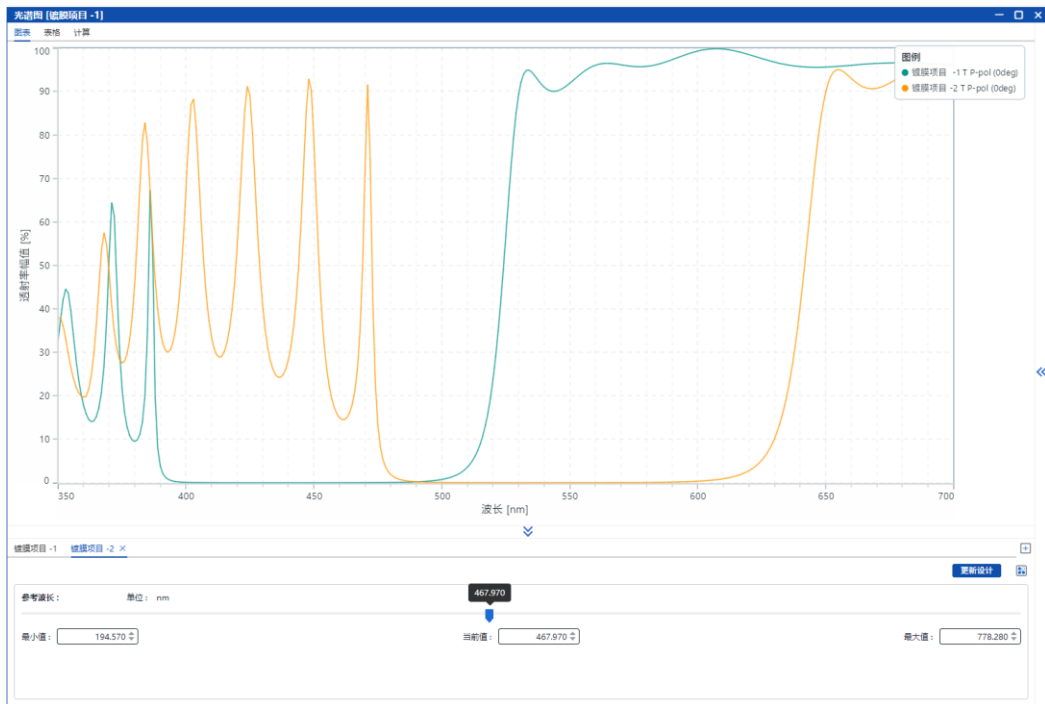
【计算】 标签页用于计算光谱图中的统计数据，页面如下图所示：



详细介绍见下表：


选项	描述
范围	设置需要计算的横坐标范围（例如波长范围）。当勾选 [链接到光谱图上的范围选择] 复选项后，波长范围的设置将与图中的范围标记同步联动，调整其中任一项都会相应更新另一项。
统计数据	该多选项用于选择需要计算的统计值类型。目前支持三种统计类型：最大值、最小值和平均值。
绝对点	用于计算当 y 值等于某一特定数值时所对应的横坐标。只有在勾选 [计算绝对点] 复选项后，才能启用该功能并进行相关计算。此外，如果同时勾选了 [创建附加标签] 复选项，则可以在光谱图中将选定范围内满足条件的点标注出来，便于更直观地查看和分析结果。
带宽	功能用于计算带宽大小，只有在勾选 [计算带宽] 复选项后，才能启用该功能并进行相关计算。
结果	显示计算结果。初始状态下，该区域为空。只有当用户点击下方的计算按钮后，系统才会根据当前配置的参数进行计算，并生成相应的结果展示在该区域中。
计算	执行计算操作，系统会根据当前设置的参数计算出相关的统计值。
创建标签	用于将计算结果以标签的形式标注在光谱图上，方便用户直观查看和分析。

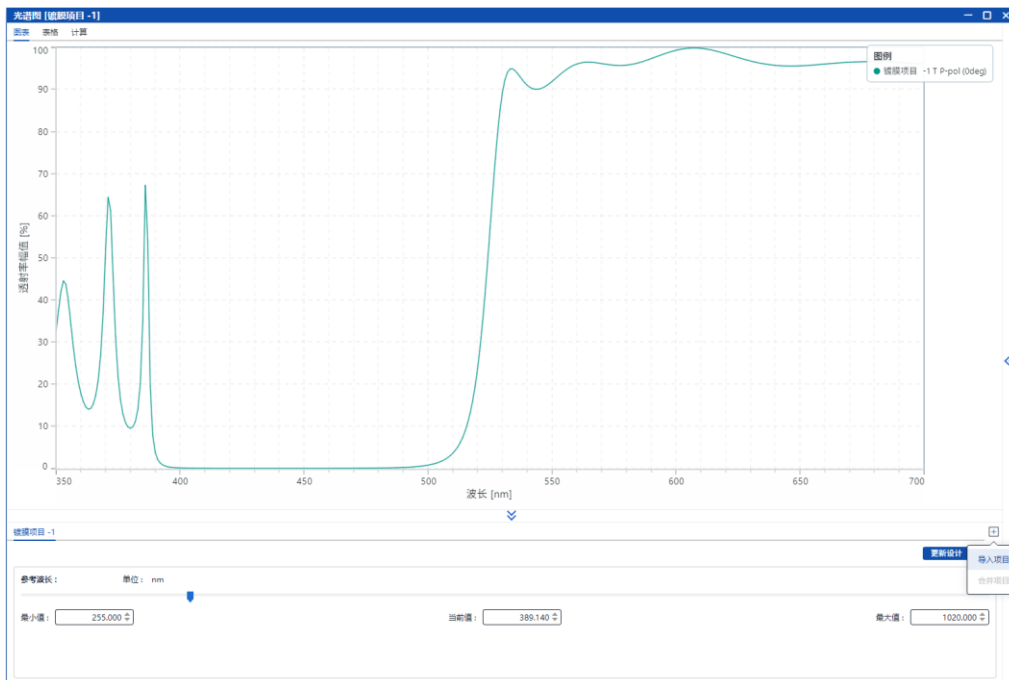
6.2.2 多项目光谱展示



UniOptics 支持将多个不同项目的光谱放在同一张图上进行对比，动态参数区域上方的标签显示当前项目名称，当存在多个项目时，用户可通过切换标签选择不同的项目进行动态参数设置，每个项目均可独立调整其动态参数。

用户可通过以下两种方式，将多个项目的光谱添加至同一张图中进行对比：

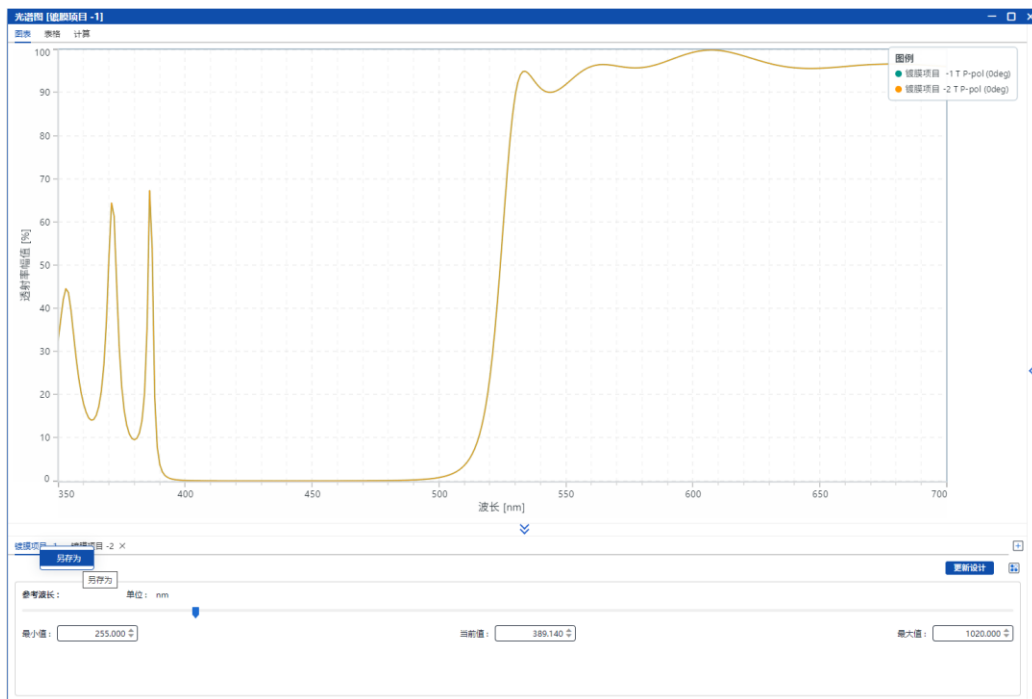
- 点击  按钮选择[导入项目]下拉选项。



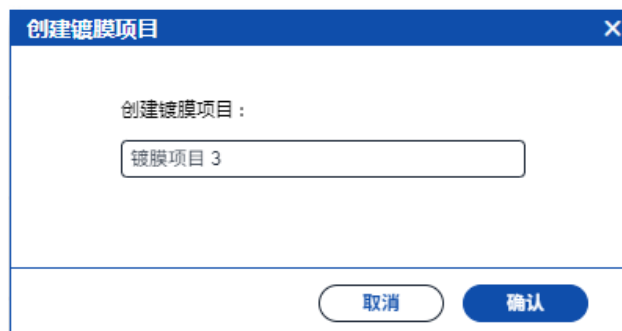
点击该选项后，将弹出【选择项目】窗口，用户可从项目浏览器中选择一个或多个项目，被选择的项目将展示在同一个光谱图中。



- 在项目名称标签栏上右键点击，将弹出菜单，其中有一个[另存为]选项。



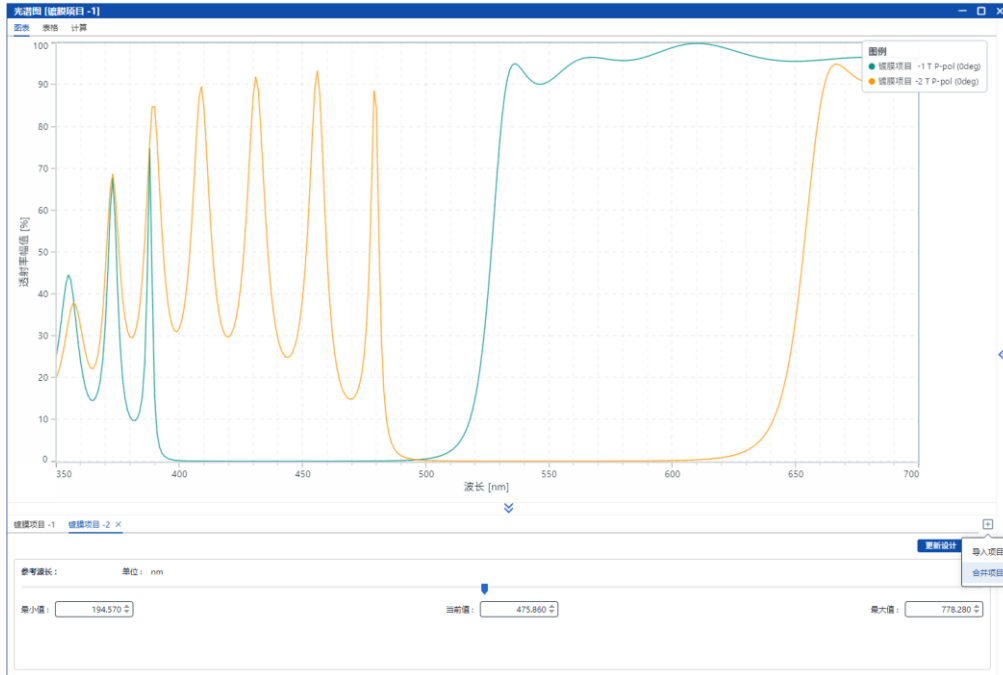
点击该选项后，将弹出【创建光学薄膜项目】窗口。点击**确认**按钮后，系统将在生成一个新项目的同时，将该项目的光谱添加至当前图中。该功能便于在进行截止带拓宽操作时快速创建多个中心波长不同、其余参数相同的膜系进行堆叠，从而实现项目复制与光谱叠加展示的同步操作。



6.2.3 膜系合并预览(创建项目图片替换)

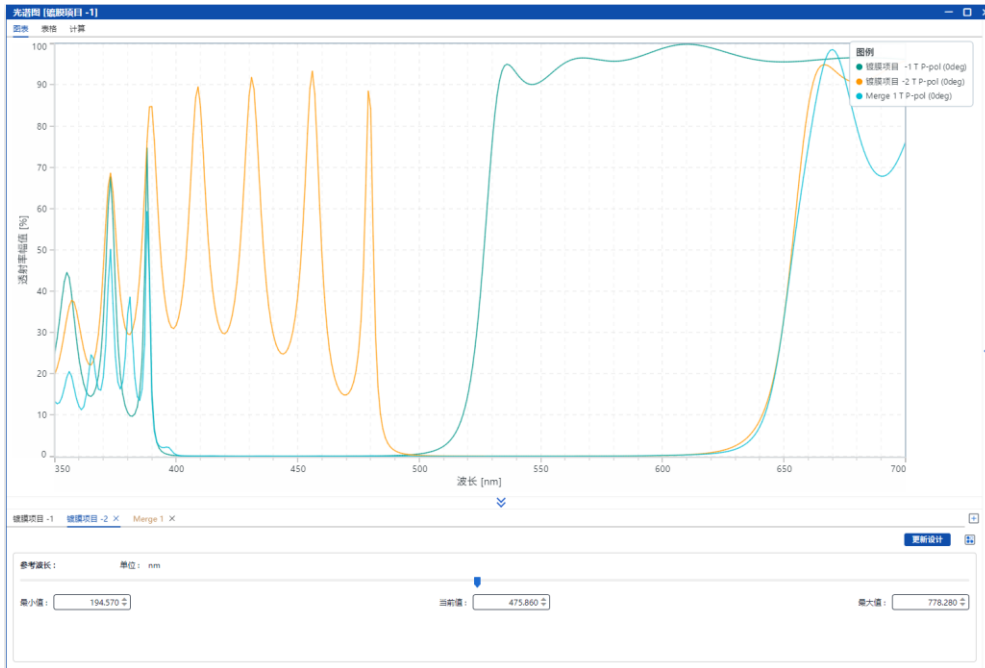
在设计截止滤波器时，常用的一种拓宽截止带的方法是将截止区域不同的膜系进行叠加。虽然在截止区内的叠加效果通常较易预测，但在其他波段的叠加行为则较难预估。

为此，软件提供膜系合并预览功能：在多个膜系堆叠的同时，自动将合并后的整体光谱绘制在图中，并保持其与各独立膜系的联动关系。用户可通过调整各子膜系的中心波长，实时观察合并后光谱的变化，从而达到最优的效果。

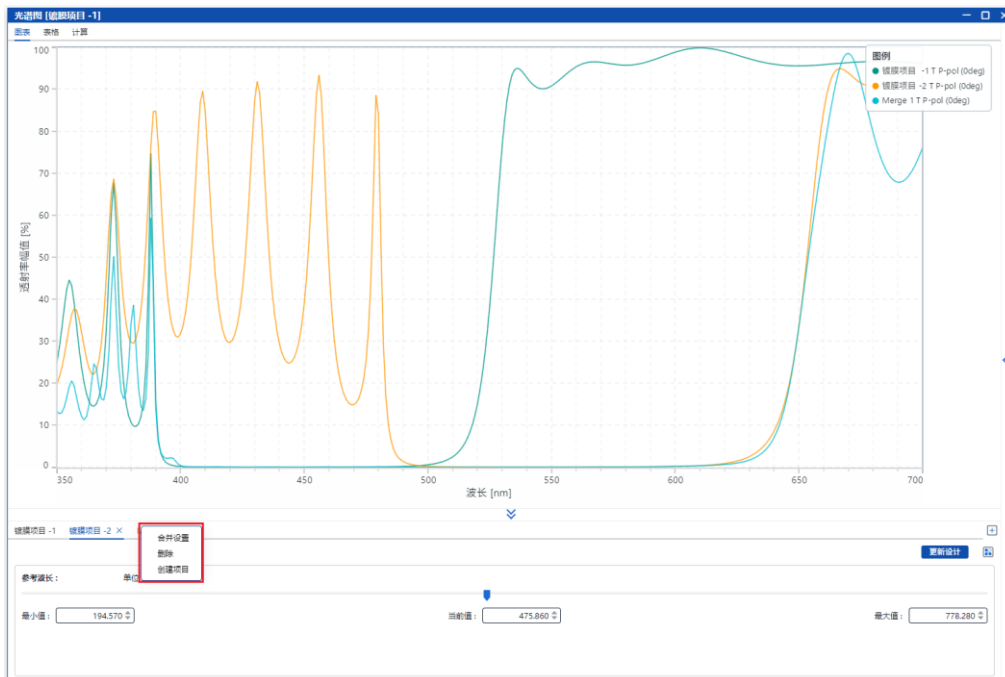


当光谱图中有两个以上的膜系时，点击 **+** 选择[合并项目]选项后，会弹出【合并设置】窗口。

在该窗口中，用户可以设置合并的顺序，并配置合并后膜系的方向以及基底与入射介质。这些设置允许用户灵活调整合并方案，以满足特定的设计需求。通过名称列下的下拉菜单，用户可选择参与合并的项目。列表中默认包含两个膜系，如需增加合并项，可点击列表下方的**追加**按钮添加更多膜系。完成配置后，点击**确认**按钮，系统将在光谱图中显示合并后的膜系光谱以供预览。





如上图所示，合并后的膜系实现了截止带的拓宽效果。合并膜系的标题以黄色高亮显示，表示该膜系当前处于合并状态，尚未保存。在该状态下，合并膜系与其子膜系保持联动，用户可通过调整子膜系的动态参数，实时观察其对合并光谱结果的影响



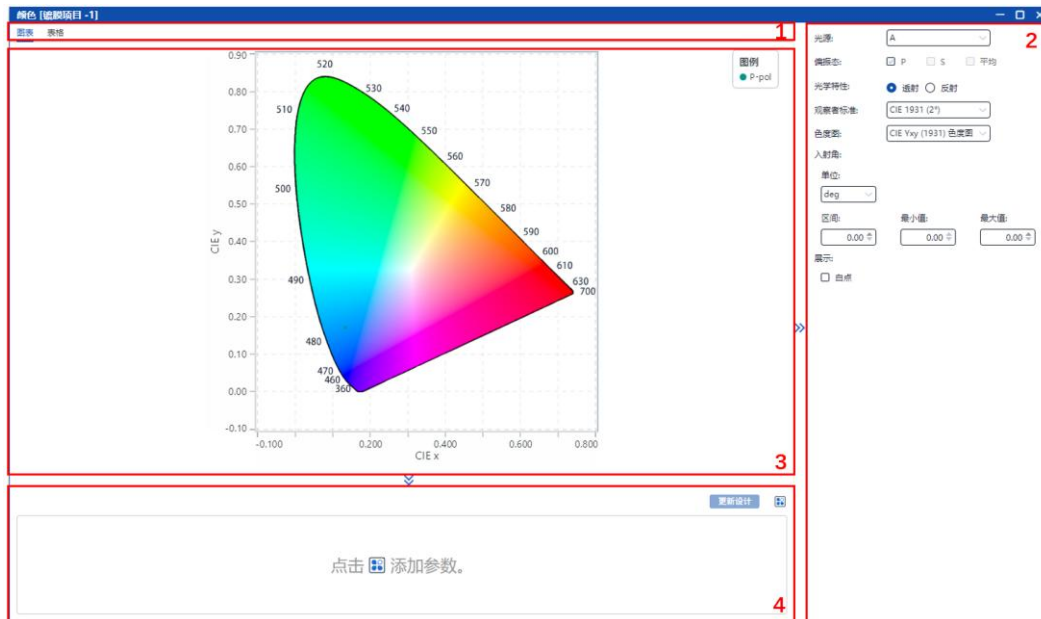
鼠标右键处于合并状态的膜系标题，会弹出功能菜单，包括[合并设置]、[删除]、[创建项目]三个选项。

选项	描述
合并设置	该选项用于再次打开【合并设置】窗口。通过此窗口可以调整当前合并

	<p>膜系的配置。</p> 
<p>删除</p>	<p>删除当前的合并膜系，效果等同于点击膜系标题后×号。</p>
<p>创建项目</p>	<p>该选项用于将当前合并后的膜系以项目的形式保存下来。点击该选项后，会弹出【创建光学薄膜项目】窗口。</p>  <p>在该窗口中，用户可输入要保存的项目名称，并点击确认按钮完成保存操作。保存成功后，合并膜系将被存储至本地，并在右侧的项目管理窗口中显示为独立项目。与此同时，该膜系的标题颜色将变为黑色，表示其已脱离合并状态。此后，该合并膜系的光谱曲线将不再受到子膜系动态参数调整的影响。</p>

6.3 颜色

点击**颜色**按钮后，将弹出【颜色】窗口，如下图所示：



【颜色】用于展示光学薄膜的反射光或透射光颜色。由于任何物体的颜色都是一种主观感受，会因个体而异。在这里我们采用国际上广泛采用的两个标准观察者模型，并根据反射光或透射光的情况，可以分别计算相应的三刺激值。光学薄膜颜色的计算首先需要得到该膜层结构和光源组合下的三刺激值 X 、 Y 、 Z 。然后，可以根据不同定义的颜色空间，将这些原始三刺激值进一步转换成各种色度坐标。窗口主要由 4 个部分组成，包括标签栏、参数设置区、结果展示区、动态参数设置区。具体说明请参阅第六章【分析选项卡】下的 6.1 节【通用布局与设置】。

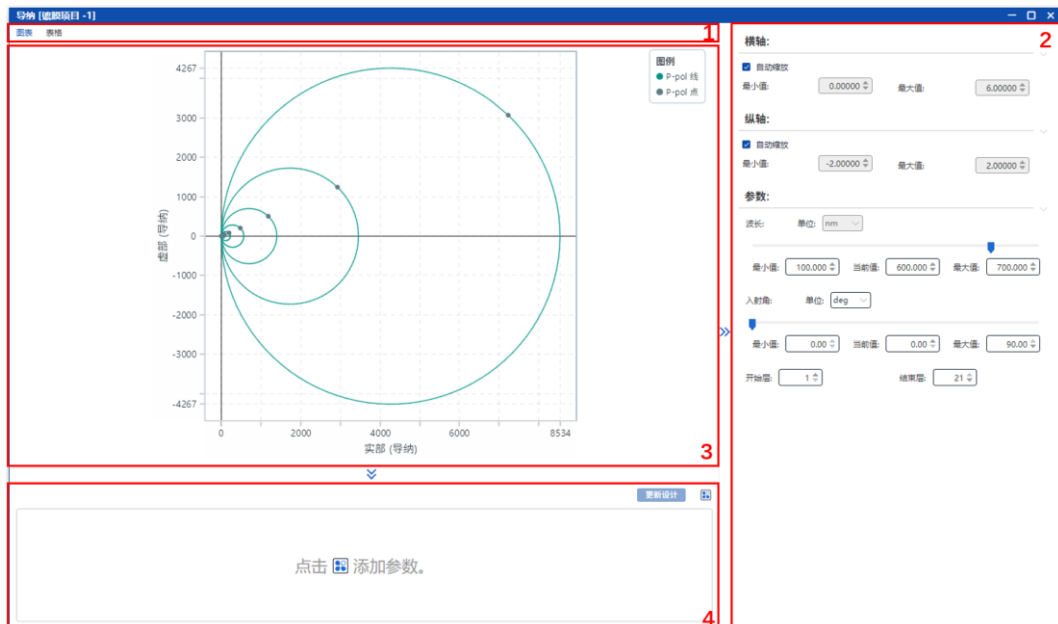
【颜色】参数设置区域中各参数的说明见下表

参数	描述																																
光源	由于薄膜本身不发光，因此必须在外部光源照射下才能进行颜色计算。 该选项用于光源类型的选择，点击下拉箭头可选择不同的 CIE 标准光源。 各类光源的定义可参考下表：																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>标准光源</th> <th>定义</th> <th>色温/K</th> <th>色度 (x, y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>白炽光</td> <td>2856</td> <td>(0.4476, 0.4074)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>模拟中午日光</td> <td>4874</td> <td>(0.3484, 0.3516)</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>模拟平均昼光、阴天日光</td> <td>6774</td> <td>(0.3101, 0.3162)</td> </tr> <tr> <td>D65</td> <td>模拟平均日光</td> <td>6504</td> <td>(0.3127, 0.3290)</td> </tr> <tr> <td>D55</td> <td>模拟早晨日光</td> <td>5503</td> <td>(0.3324, 0.3476)</td> </tr> <tr> <td>D75</td> <td>模拟傍晚日光</td> <td>7504</td> <td>(0.2990, 0.3150)</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>强度不随波长变化</td> <td>—</td> <td>(0.3333, 0.3333)</td> </tr> </tbody> </table>	标准光源	定义	色温/K	色度 (x, y)	A	白炽光	2856	(0.4476, 0.4074)	B	模拟中午日光	4874	(0.3484, 0.3516)	C	模拟平均昼光、阴天日光	6774	(0.3101, 0.3162)	D65	模拟平均日光	6504	(0.3127, 0.3290)	D55	模拟早晨日光	5503	(0.3324, 0.3476)	D75	模拟傍晚日光	7504	(0.2990, 0.3150)	E	强度不随波长变化	—	(0.3333, 0.3333)
	标准光源	定义	色温/K	色度 (x, y)																													
	A	白炽光	2856	(0.4476, 0.4074)																													
	B	模拟中午日光	4874	(0.3484, 0.3516)																													
	C	模拟平均昼光、阴天日光	6774	(0.3101, 0.3162)																													
	D65	模拟平均日光	6504	(0.3127, 0.3290)																													
	D55	模拟早晨日光	5503	(0.3324, 0.3476)																													
	D75	模拟傍晚日光	7504	(0.2990, 0.3150)																													
E	强度不随波长变化	—	(0.3333, 0.3333)																														
偏振态	用于设置光源入射时的偏振状态。用户可以选择不同的偏振模式，以模拟不同偏振光对膜系颜色特性影响，需要注意的是，此功能仅在入射角度为																																

	非零时可用。
光学特性	用于指定当前查看的是反射光还是透射光下的颜色效果。
观察者标准	用于设置观察者标准，提供了两种国际通用的标准，用户可根据实际需求选择合适的观察者标准： 1931(2°)：适用于小视场角的观察条件。 1964(10°)：适用于大视场角的观察条件。
色度图	用于设置颜色空间种类，目前仅支持 CIE 1931 Yxy 颜色空间。该颜色空间通过亮度 (Y) 和色度坐标 (x, y) 描述颜色，便于分析和可视化光学系统中的颜色表现。
入射角	输入框用于定义光源的入射角大小，支持绘制指定入射角范围并显示随角度变化时的颜色变化，可设置最小入射角，最大入射角，以及入射角步长等参数。
白点	该复选框用于控制是否在图中显示白点位置。白点是颜色空间中的参考点，通常表示光源在特定条件下的色温或颜色平衡。

6.4 导纳

点击**导纳**按钮，将弹出【导纳】窗口，如下图所示：



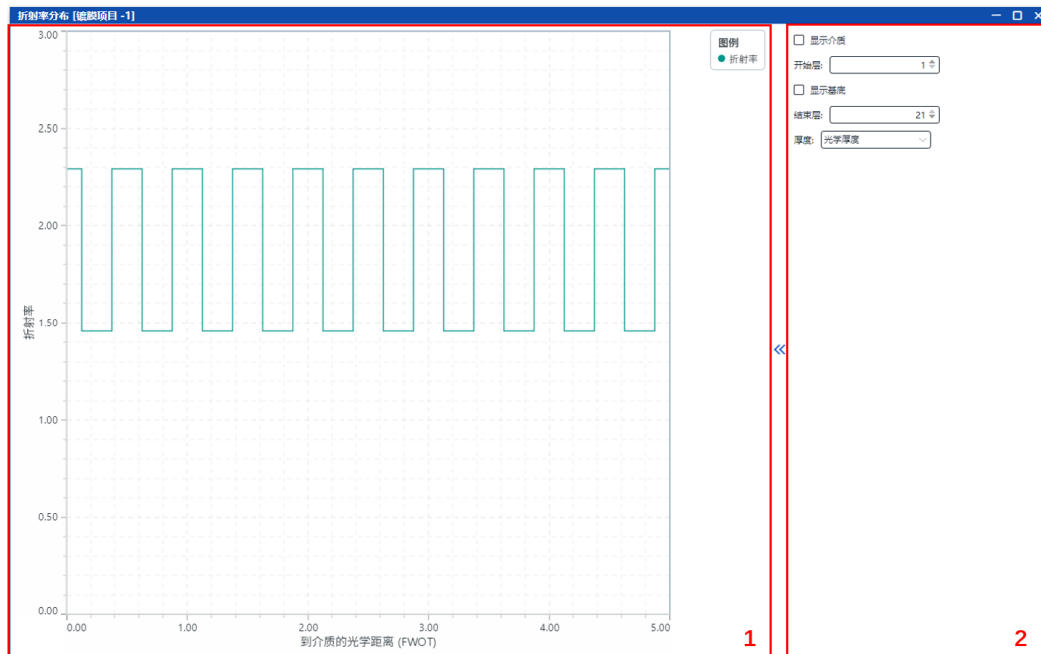
【导纳】用于展示光学导纳在各个膜层间的变化情况。计算结果将以图形方式展示为复平面中的导纳轨迹图。窗口主要由 4 个部分组成，包括标签栏、参数设置区、结果展示区、动态参数设置区。具体说明请参阅第六章【分析选项卡】下的 6.1 节【通用布局与设置】。

【**导纳**】参数设置区中的各参数说明见下表：

参数	描述
横轴	用于设置导纳图横坐标范围。当勾选[自动缩放]复选框时，将根据当前图中数据大小自动确定导纳图横坐标范围，手动输入方式失效。
纵轴	用于设置导纳图纵坐标范围。勾选[自动缩放]复选框，将根据当前图中数据大小自动确定导纳图纵坐标范围，手动输入方式失效。
参数	用于设置导纳图的绘制参数，用户可以通过滑动条或直接输入数值来配置计算波长和入射角度。特别地，当入射角度不为零时，用户还可以进一步选择光源的偏振方向（S-偏振态或P-偏振态），以满足更精确的分析需求。 此外，用户还可以指定绘图的起始膜层与终点膜层，从而聚焦于特定的膜层范围。这主要是考虑到对于结构复杂的光学薄膜，其导纳图中的轨迹可能会大量重叠，导致难以辨认。为此，使用“层范围限制”功能，用于只绘制指定范围内膜层的导纳轨迹。

6.5 折射率分布

点击**折射率分布**按钮，将弹出【**折射率分布**】窗口：



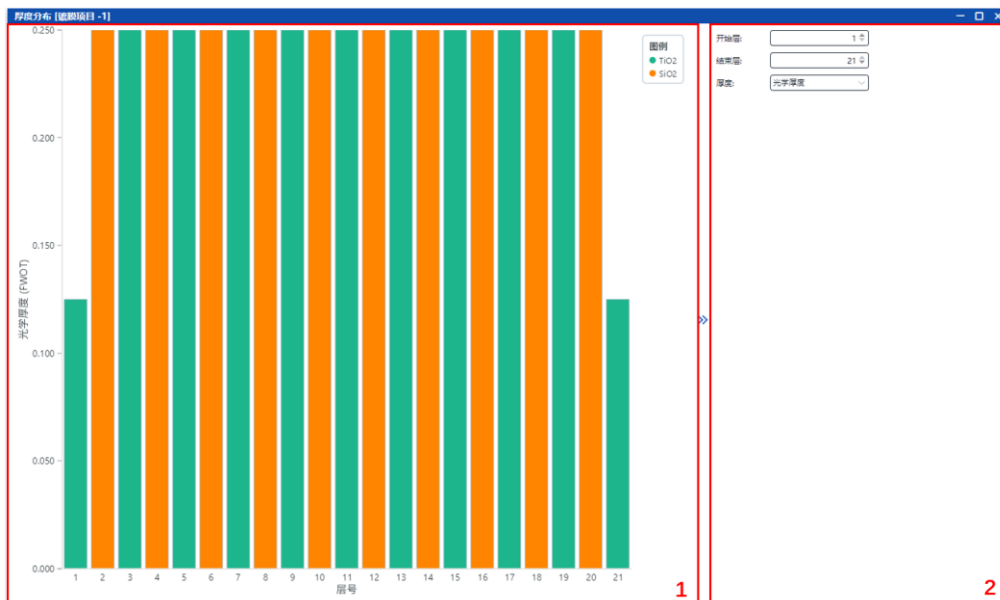
【**折射率分布**】是一个以厚度为横轴（单位为所选的厚度单位）、折射率为纵轴的图表，用于展示膜层折射率随着膜层厚度的变化。窗口由两部分组成，包括结果展示区、参数设置区。具体说明请参阅第六章【**分析选项卡**】下的6.1节【**通用布局与设置**】。

【**折射率分布**】参数设置区中的各参数的说明见下表：

参数	描述
显示介质	该复选项用于指定是否从入射介质开始进行分析。勾选后，图表将从入射介质开始显示折射率分布，此时“开始层”输入框将被禁用，因为起始层已固定为入射介质。
开始层	用于设置折射率分布图的起始膜层。用户可以通过调整该参数来指定从哪一层膜开始绘制折射率分布图，从而聚焦于感兴趣的膜层范围。
显示基板	该复选项用于指定是否分析到基板结束。勾选后，图表将从起始层一直分析到基板，此时[结束层]输入框将被禁用，因为结束层已固定为基板。
结束层	用于设置折射率分布图的结束层。通过调整该参数，用户可灵活控制图表绘制的终止位置，从而定义折射率分布的显示范围。
厚度	用于配置横轴的单位类型，支持以下三种选项： [光学厚度]：以光学厚度为单位。 [物理厚度]：以实际物理厚度为单位，直接反映膜层的真实尺寸。 [几何厚度]：以几何尺寸为单位。

6.6 厚度分布

点击**厚度分布**按钮，将弹出【**厚度分布**】窗口，如下图所示：



【**厚度分布**】是一个以膜层编号为横轴、厚度为纵轴的图表（单位为所选的厚度单位），用于展示膜层厚度随着膜层编号的变化。窗口由两部分组成，结果展示区和参数设置区，具体说明请参

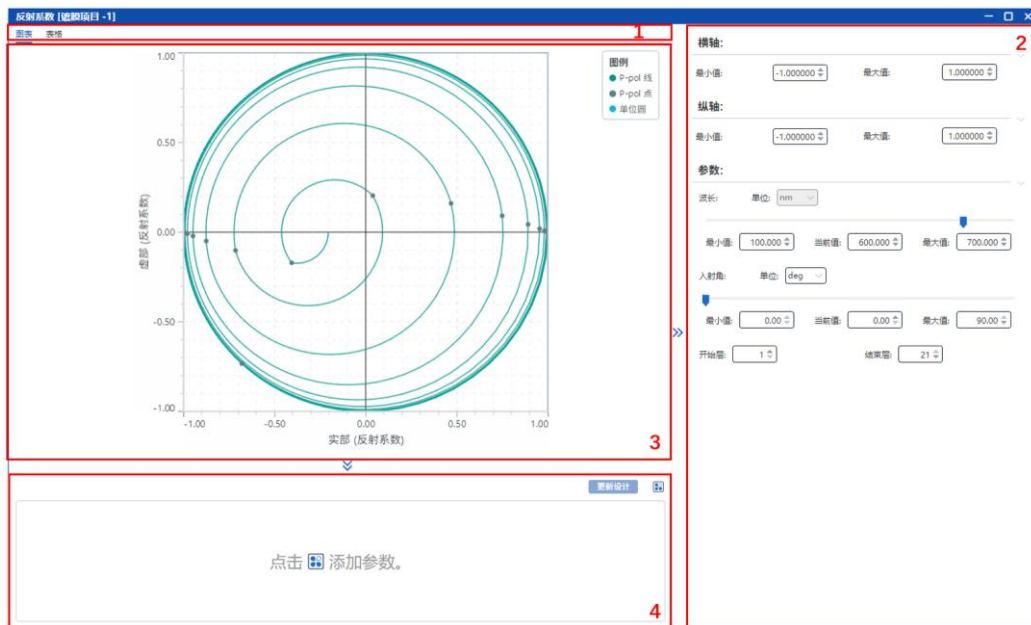
阅第六章【分析选项卡】下的 6.1 节【通用布局与设置】。

【厚度分布】参数设置区中的各参数的说明见下表：

参数	描述
开始层	用于设置厚度分布图的起始膜层。用户可以通过调整该参数来指定从哪一层膜开始绘制厚度分布图，从而聚焦于感兴趣的膜层范围。
结束层	用于设置厚度分布图的结束层。通过调整该参数，用户可灵活控制图表绘制的终止位置，从而定义厚度分布的显示范围。
厚度	[厚度]下拉选项框用于配置厚度分布图的纵轴单位，支持三种厚度类型： [光学厚度]：以光学厚度为单位， [物理厚度]：以实际物理厚度为单位，直接反映膜层的真实尺寸。 [几何厚度]：以几何尺寸为单位。

6.7 反射系数

点击[反射系数](#)按钮，将弹出【反射系数】窗口，如下图所示：



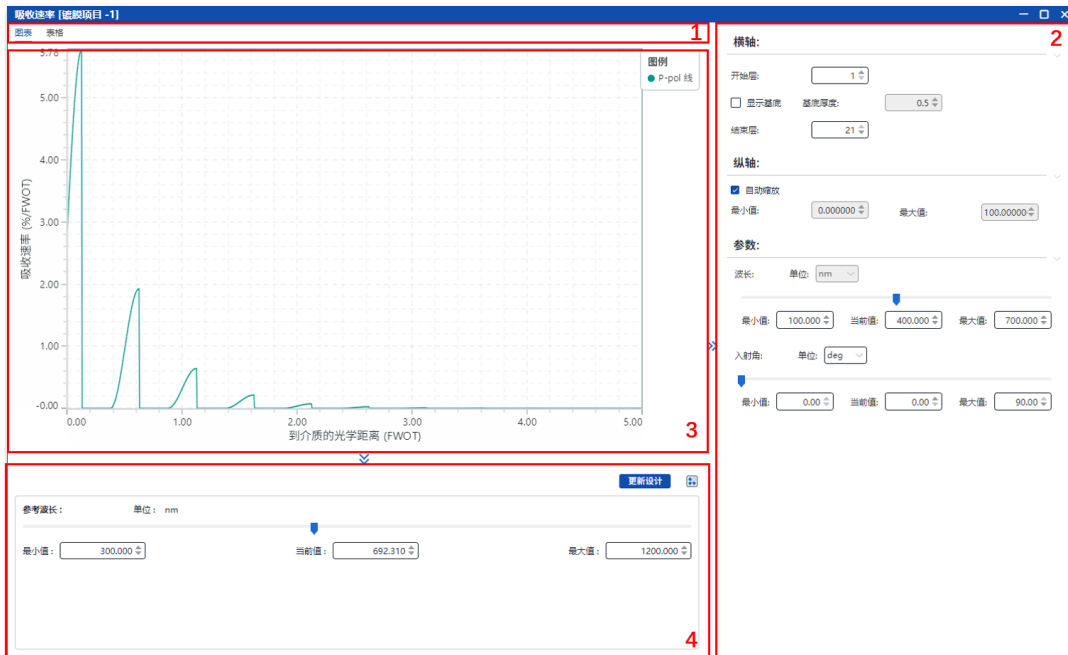
【反射系数】显示复振幅反射系数的变化，在计算过程中其入射介质始终与膜系的入射介质保持一致，这种变化会在复平面上形成一个轨迹图，其形式在某些方面类似于导纳轨迹图。窗口由 4 个主要部分组成，包括标签栏、参数设置区、结果展示区、动态参数设置区。具体说明请参阅第六章【分析选项卡】下的 6.1 节【通用布局与设置】。

【[反射系数](#)】参数设置区中的各参数的说明见下表：

参数	描述
横轴	用于设置反射系数图的横坐标范围，默认是[-1,1]
纵轴	用于设置反射系数图的纵坐标范围，默认是[-1,1]
参数	用于设置反射系数图的绘制参数，用户可以通过滑动条或直接输入数值来配置计算波长和入射角度。特别地，当入射角度不为零时，用户还可以进一步选择光源的偏振方向（S-偏振态或 P-偏振态）。 此外，用户还可以指定绘图的起始膜层与终点膜层，从而聚焦于特定的膜层范围。

6.8 吸收速率

点击[吸收速率](#)按钮，将弹出【[吸收速率](#)】窗口，如下图所示：



【[吸收速率](#)】计算膜系的吸收率。吸收率以当前厚度单位下的“每单位厚度的吸收百分比”表示。窗口由 4 个主要部分组成，包括标签栏、参数设置区、结果展示区、动态参数设置区。具体说明请参阅第六章【[分析选项卡](#)】下的 6.1 节【[通用布局与设置](#)】。

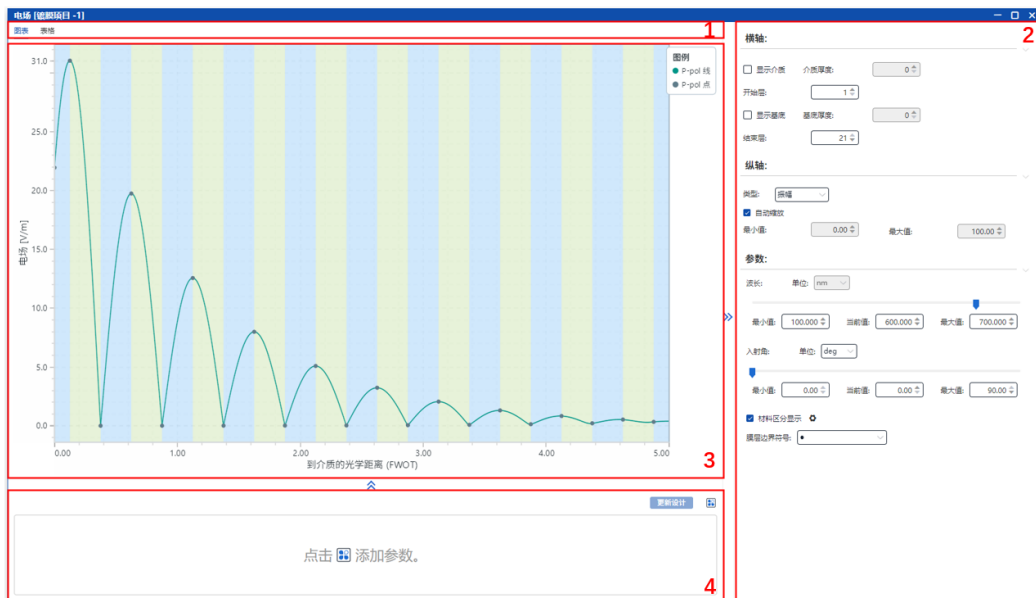
【[吸收速率](#)】参数设置区中的各参数的说明见下表：

参数	描述
横轴	用于吸收率图的横坐标设置，单位是一个全波光学厚度。通过输入起始膜层序号以及结束膜层序号进行范围的设定。用户可以选择在基板中显示吸收率。如果需

	要，勾选显示基板后，在[基底厚度]输入框中可指定进入基板的深度范围，单位为当前所使用的厚度单位，系统将根据该设置计算该范围内的吸收率。
纵轴	用于吸收率图的纵坐标设置，提供自动缩放选项，勾选后将根据图中数据来决定显示范围
参数	用于设置吸收图的绘制参数，用户可以通过滑动条或直接输入数值来配置计算波长和入射角度。特别地，当入射角度不为零时，用户还可以进一步选择光源的偏振方向（S-偏振态或 P-偏振态）。

6.9 电场

点击**电场**按钮，将弹出【**电场**】窗口，如下图所示：











【**电场**】显示在多层膜系统中的电场变化。该功能假设入射辐照度为 1 W/m^2 ，且以垂直于光束方向放置的探测器进行测量。在此条件下，可计算多层膜系统中任意位置的电场幅值（单位为 V/m ），并支持对 s 偏振和 p 偏振的光分别进行分析。

- 对于 s 偏振，电场矢量始终平行于膜层界面；
- 对于 p 偏振，电场包括平行和垂直于界面的分量。这些分量之间不一定具有简单的相位关系，因此系统还提供了总电场的计算选项。

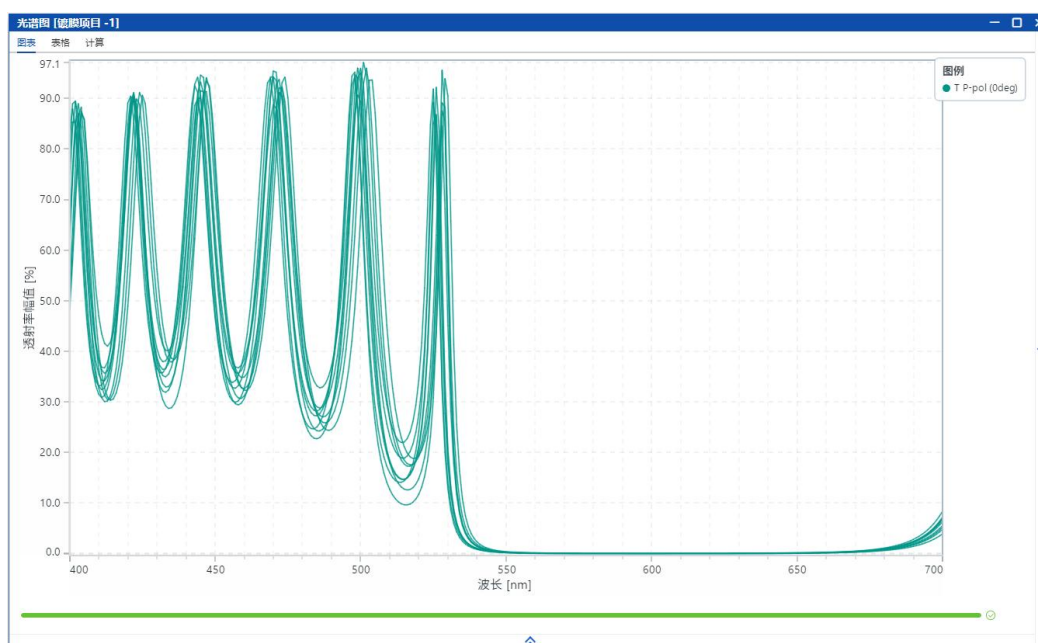
在入射角不为 0° 时，用户可以选择查看平行电场分量、垂直电场分量或总电场。此外还可计算电场强度，其定义为：电场幅值的平方除以空气中归一化输入电场幅值（约为 27 V/m ）平方的结果。

该窗口由 4 个部分组成，包括标签栏、参数设置区、结果展示区、动态参数设置区。具体说明请参阅第六章【**分析选项卡**】下的 6.1 节【**通用布局与设置**】。

【电场】参数设置区中的各参数的说明见下表：

参数	描述						
横轴	<p>电场图的横轴范围可通过设置起始膜层和结束膜层来定义，默认显示所有膜层的电场分布。</p> <p>用户还可选择在入射介质或基板中显示电场。若需启用此功能，可勾选 [显示介质]或 [显示基板]复选框，并在相应的[介质厚度]或[基板厚度]输入框中指定电场进入介质或基板的深度范围。</p>						
纵轴	<p>用于电场图纵轴配置，可选择纵轴显示的为电场强度还是电场振幅，还可以设置纵轴的显示范围，当勾选[自动缩放]复选框时，将根据当前图中数据自动确定电场图的纵坐标范围。</p> <p>当有一定的入射角度时，可以选择平行于膜层的电场、垂直于膜层的电场或总电场。</p>						
参数	<p>用于配置计算电场图时所需的物理参数以及结果展示效果。用户可以通过滑动条或直接输入数值来配置计算波长和入射角度。特别地，当入射角度不为零时，用户还可以进一步选择光源的偏振方向（S-偏振态或 P-偏振态）。</p> <p>[材料区分显示] 复选项用于控制电场图中是否启用材料区分显示，以更清晰地呈现不同材料之间的边界。该选项默认处于勾选状态。勾选该项后，可点击右侧的  图标，弹出【材料区分显示】窗口，在该窗口中可配置显示效果，包括颜色和透明度等参数。若取消勾选，则  图标不可点击，电场图中不同材料的区分渲染效果也将被关闭</p> <div data-bbox="403 1279 951 1688" data-label="Image"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>颜色</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TiO2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SiO2</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>[膜层边界符号]下拉选项框用于配置在膜层边界标记的样式，用户可以选择以圆点或竖线的样式来标记膜层边界。</p>	材料	颜色	TiO2		SiO2	
材料	颜色						
TiO2							
SiO2							

6.10 误差分析



在光学薄膜设计中,评估光学薄膜误差的影响至关重要。当前最有效的方法是基于蒙特卡洛模拟,对沉积过程中的随机误差进行建模。通过从适当的无限总体中抽取误差样本,并进行大量仿真,系统能够评估误差对膜系性能的影响。这正是误差分析模块所采用的技术基础,误差可以针对设计中的膜层厚度和折射率进行指定。

点击[误差分析](#)按钮,将弹出【[误差分析](#)】窗口,如下图所示:

评估质量

测试次数: 10

厚度:

- 包含厚度误差
- 材料 独立

材料	平均误差	标准差
TiO2	0.05	0.02
SiO2	0	0

折射率:

- 包含折射率误差
- 材料 独立
- 堆积密度 Re&Im

材料	平均误差	标准差
TiO2	0	0
SiO2	0	0

取消 确认 分析

该窗口用于误差参数的配置, 详见下表:

项目	描述																																																									
测试次数	用于设定在蒙特卡洛分析过程中生成误差结构的次数。这个数值决定了在进行误差分析和良率分析时，模拟计算的迭代次数。设置值的大小将直接影响分析结果的精确性和可靠性——数值越大，结果越准确，但计算时间也会相应增加。																																																									
评估良率	该复选项用于配置是否启用良率分析。该选项帮助用户评估生产过程中的产品合格率。良率规范具体的设置方法可参阅【良率规范】部分的内容。																																																									
厚度	<p>[厚度]配置区用于设置厚度误差相关参数，勾选了[包含厚度误差]复选框，则代表在误差分析时考虑厚度误差。</p> <p>厚度误差的设置有两种方式：[材料]和[独立]</p> <p>[材料]：软件将根据材料类型对当前光学薄膜项目中的膜层进行分类，并为每种材料统一设置厚度误差的平均值和标准差。即，所有采用相同材料的膜层将共享同一组误差参数。</p> <p><input checked="" type="radio"/> 材料 <input type="radio"/> 独立 <input type="checkbox"/></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>平均误差</th> <th>标准差</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TiO2</td> <td>0.05</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>SiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>[独立]：用户可以根据膜层而不是材料来独立设置每个膜层的厚度误差参数。这个选项包含两个子标签页，两者的设置会共同作用于分析过程中：</p> <p><input type="radio"/> 材料 <input checked="" type="radio"/> 独立 <input type="checkbox"/></p> <p>独立 分组</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>索引</th> <th>物理厚度</th> <th>材料</th> <th>平均误差</th> <th>标准差</th> <th>组</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>32.73 nm</td> <td>TiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>102.88 nm</td> <td>SiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>65.45 nm</td> <td>TiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>102.88 nm</td> <td>SiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>65.45 nm</td> <td>TiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>102.88 nm</td> <td>SiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>65.45 nm</td> <td>TiO2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>【独立】子标签页用于单独设置每一层膜的厚度误差平均值和标准差，适用于需要针对特定膜层进行详细误差分析的情况。</p> <p>【分组】子标签页用于按组划分膜层并设置每组膜层的厚度误差平均值和标准差。这种方式适合于那些希望以膜层组合为单位来进行误差分析的场景。</p>	材料	平均误差	标准差	TiO2	0.05	0.02	SiO2	0	0	索引	物理厚度	材料	平均误差	标准差	组	1	32.73 nm	TiO2	0	0		2	102.88 nm	SiO2	0	0		3	65.45 nm	TiO2	0	0		4	102.88 nm	SiO2	0	0		5	65.45 nm	TiO2	0	0		6	102.88 nm	SiO2	0	0		7	65.45 nm	TiO2	0	0	
材料	平均误差	标准差																																																								
TiO2	0.05	0.02																																																								
SiO2	0	0																																																								
索引	物理厚度	材料	平均误差	标准差	组																																																					
1	32.73 nm	TiO2	0	0																																																						
2	102.88 nm	SiO2	0	0																																																						
3	65.45 nm	TiO2	0	0																																																						
4	102.88 nm	SiO2	0	0																																																						
5	65.45 nm	TiO2	0	0																																																						
6	102.88 nm	SiO2	0	0																																																						
7	65.45 nm	TiO2	0	0																																																						
折射率	<p>[折射率]配置区用于设置与折射率误差相关的参数。勾选了[包含折射率误差]复选框，则代表在误差分析时考虑厚度误差。</p> <p>[材料]用于设置将光学薄膜膜层按照材料划分后的误差参数，在此模式下，光学薄膜膜层会按照材料类型进行划分，并为每种相同材料的堆积密度或复数折射率设置相同的误差平均值和标准差。这种方式适用于统一处理同种材料的所有膜层。</p>																																																									

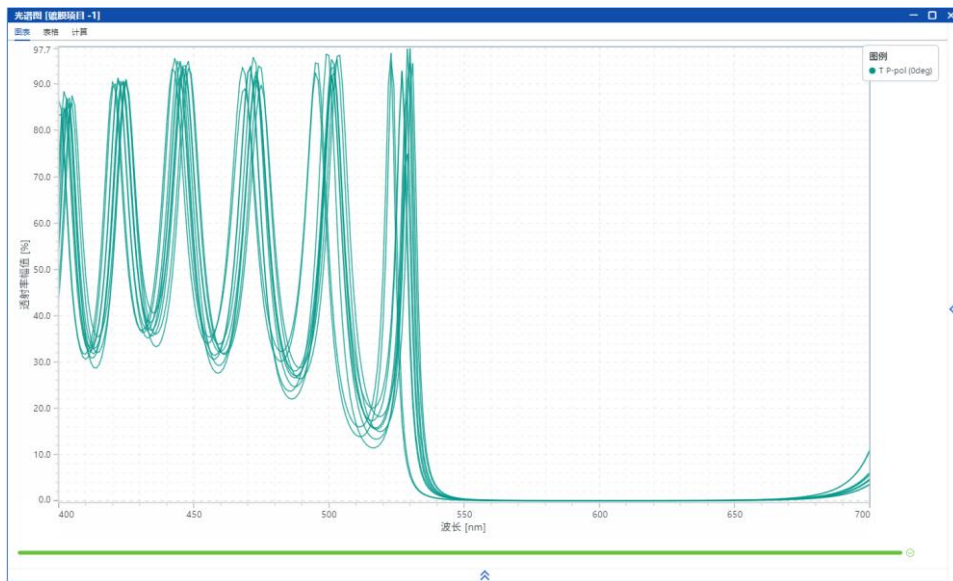
[独立]允许用户根据膜层本身而非材料类型独立设置每一层的折射率误差参数。

[堆积密度]可设置膜层堆积密度的平均值和标准差

[Re&Im]用于配置复数折射率的实部 (Re) 和虚部 (Im) 的平均值和标准差，

误差参数配置完成后，点击**分析**按钮执行误差分析，当前仅能对膜系的光谱进行分析。分析过程中，图表下方会显示一个实时进度条，动态反馈计算的进展情况，当进度条完成后，用户将获得以下两部分内容：

- 可视化图表：以图形化的方式展示误差分析的结果，直观呈现数据分布和趋势。



关于该图表参数配置区的设置，可参考【光谱图】窗口介绍内容。

- 详细表格数据：提供包含具体数值的详细结果，将同一个波长下的误差数据做了统计分析，便于用户进一步深入分析。

波长 (nm)	透射率均值 (%)				
	T P-pol 的平均值	T P-pol 的标准差	T P-pol 的中位数	T P-pol 的最大值	T P-pol 的最小值
400.000	63.329118	14.040174	63.270694	86.716028	43.179924
401.000	71.224397	11.688645	74.033825	84.518210	50.600695
402.000	76.744615	8.361985	76.621388	88.372008	60.196132
403.000	78.635874	8.426466	82.897804	86.967129	63.926037
404.000	76.110621	11.696151	80.136180	86.958457	53.568958
405.000	69.785493	14.246934	72.021061	87.457208	45.478545
406.000	61.405204	14.494239	61.236672	85.417449	39.631210
407.000	52.991214	12.743369	51.690234	77.134566	35.542699
408.000	45.828594	10.115524	44.227325	66.599277	32.692175
409.000	40.383901	7.494732	38.801515	56.691923	31.098732
410.000	36.612719	5.252728	34.975726	48.820676	30.589286
411.000	34.307557	3.492279	32.949860	43.042661	31.096356
412.000	33.277626	2.418679	32.840319	39.138320	29.803606
413.000	33.369679	2.495261	33.036016	37.550079	28.790038
414.000	34.566208	3.669003	34.189366	42.070739	28.676895
415.000	36.940028	5.495265	35.024132	48.289595	29.437076
416.000	40.625822	7.695234	37.064817	56.419099	31.122246
417.000	45.763703	10.252969	41.259720	66.324414	33.863054
418.000	52.373533	12.762684	47.082993	77.001906	37.870372
419.000	60.159877	14.417323	54.895140	86.105562	43.423030
420.000	68.370622	14.148781	64.545387	90.503995	50.593347
421.000	75.728379	11.509159	75.004607	90.039040	58.994340
422.000	81.175125	7.610414	83.090332	91.297479	66.790283
423.000	83.788885	6.335453	85.638843	90.586887	72.107005
424.000	82.866125	9.619601	87.662926	90.668746	62.838746
425.000	78.459721	12.796317	84.426841	90.985006	54.865557
426.000	71.563299	13.854519	75.632476	87.910147	48.539802

6.11 敏感度

该工具用于在膜系有误差时进行敏感度分析，鼠标点击按钮，会有如下所示的下拉菜单出现。

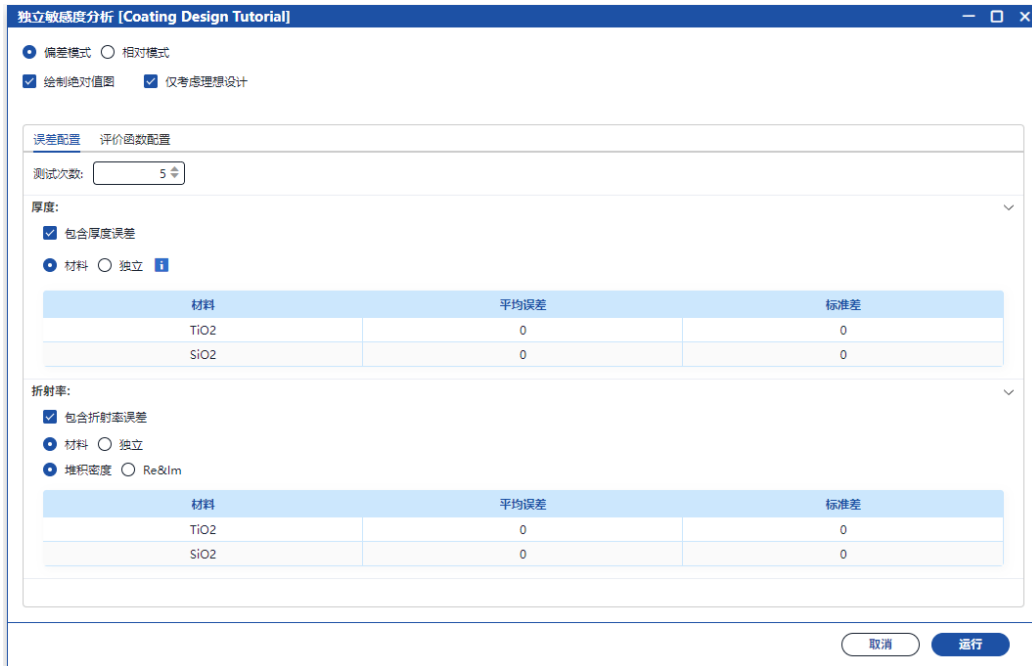


其中有三种不同的敏感度分析模式，用户可以按需选择对应的敏感度分析方法，三种敏感度分析模式介绍内容如下所示：

- **【独立敏感度分析】** 基于蒙特卡洛方法，用于评估每一层薄膜的厚度或折射率在发生微小变化时，对整体膜系性能（如反射率、透射率等）的影响程度。通过该分析，可以识别出哪些关键层对系统性能影响最大——这些层即使发生微小误差，也可能导致整体性能出现显著波动，从而为优化设计和工艺控制提供指导。
- **【分布敏感度分析】** 主要用于评估当各膜层的厚度与折射率在其允许范围内随机变化时，系统的评价值（如目标波长下的反射率或透射率）的变化情况。此方法有助于了解参数波动对最终性能的整体影响，适用于评估膜系在实际制造过程中的稳定性与鲁棒性。
- **【拐点敏感度分析】** 用于评估特定膜层在实现指定透射率和反射率目标时的敏感程度。数值越高，表示该层的误差对最终性能的影响越显著。在此分析工具中，默认入射角为 0° ，并忽略材料的吸收效应。为了确保分析结果的准确性，要求所有膜层的光学厚度必须为四分之一波长的整数倍。

6.11.1 独立敏感度分析

【独立敏感度分析】 配置界面如下图所示：



【独立敏感度分析】配置可分为三部分：敏感度分析策略，误差设置和评价函数。

- 敏感度评估策略包括以下三个配置项：选择敏感度指标、是否展示绝对值，以及是否基于理想设计条件进行评估。
 - 敏感度指标计算有两种方式：[偏差模式]和[相对模式]

偏差模式 相对模式

- ✓ [偏差模式]单选项用于启用偏差敏感度分析模式。在此模式下，每层的敏感度指标定义为含有误差设计的评价函数的标准差：

$$\text{每一层的敏感度指标} = \sqrt{\text{MF}(d_1, d_2, \dots, d_{(j+\Delta d_j)}, \dots, d_N)}$$

这种分析方法有助于识别各膜层在误差条件下的稳定性。

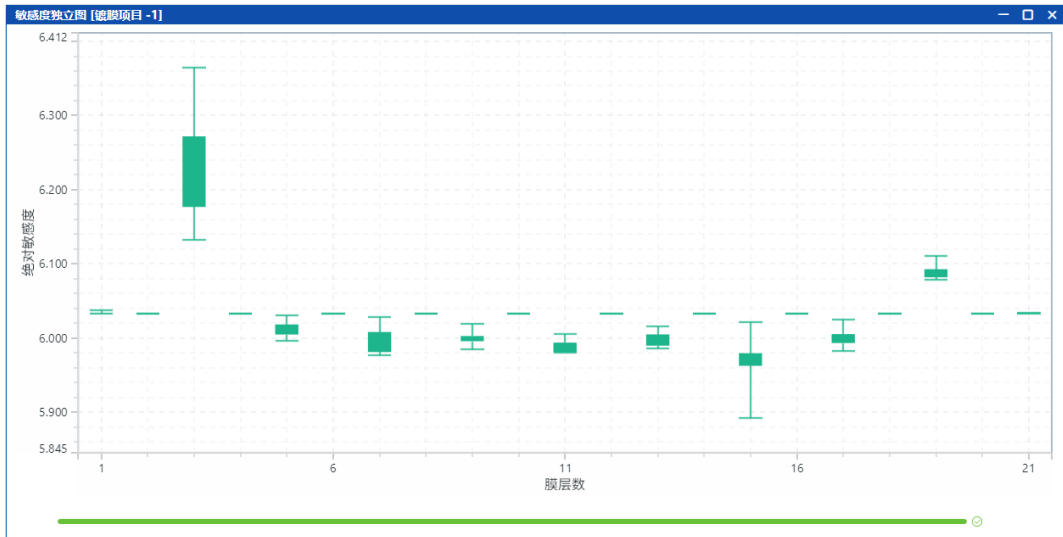
- ✓ [相对模式]单选项用于启用相对敏感度分析模式。在此模式下，每层的敏感度指标通过含有误差设计的评价函数与原始设计的评价函数之比除以最大评价函数差值来确定：

$$\Delta \text{MF} = \sqrt{\text{MF}(d_1, d_2, \dots, d_{(j+\Delta d_j)}, \dots, d_N)} - \sqrt{\text{MF}(d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_N)}$$

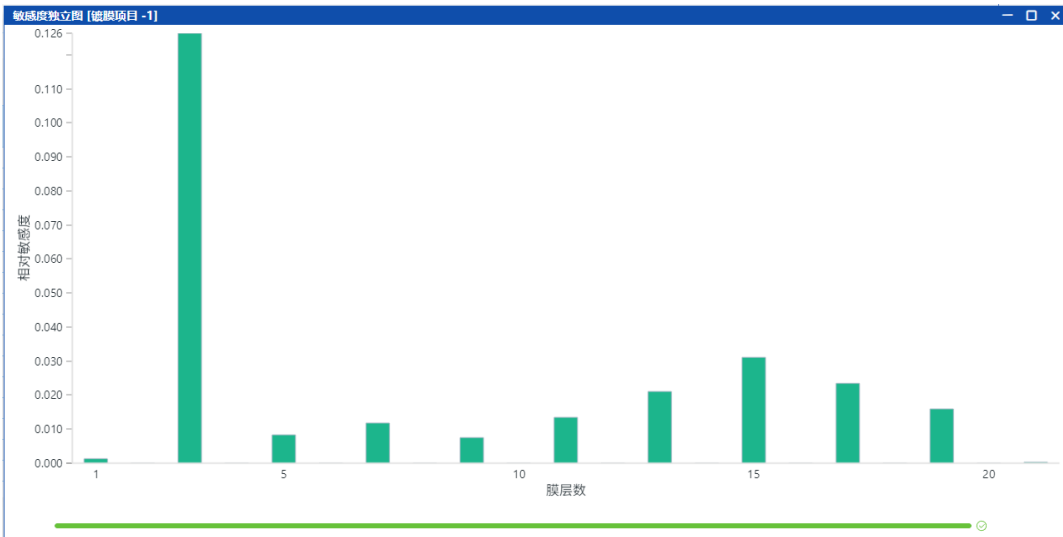
$$\text{每一层的敏感度指标} = \frac{\Delta \text{MF}}{\Delta \text{MF}_{max}}$$

这种方法能够量化每层误差对整体性能的影响程度，相对于理想状态的变化比例。

- [绘制绝对值图]复选项用于决定敏感度图像的类型，若勾选则计算每一层的敏感度指标的最大值，最小值，上四分位数，下四分位数。运行结果如下图所示，其中竖线上端为最大值，竖线下端为最小值，方块上端为上四分位数，方块下端为下四分位数。



若不勾选，则计算每一层的敏感度指标的上四分位数和下四分位数的差值，如下图所示

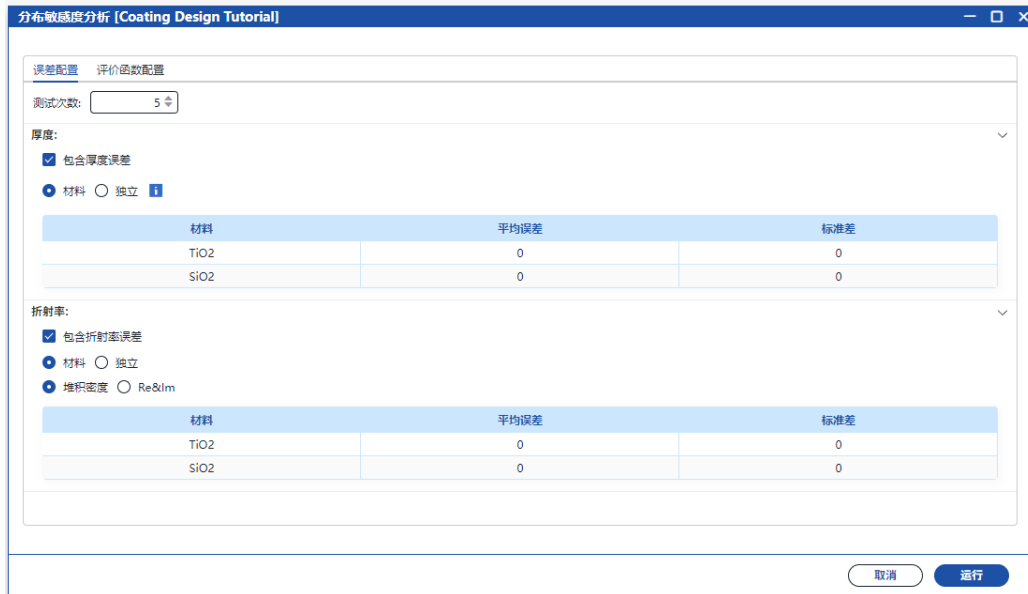


- **【仅考虑理想设计】**复选项用于决定如何生成带有误差的膜系，勾选此选项后，带有误差的膜系计算基于原始设计进行，即当某一层发生扰动时，其余层保持原始设计不变。若未勾选，则首先会生成指定数量（测试次数）的整体膜系误差结构，随后针对每个带有误差的设计再生成指定数量的单层误差设计。
- **【误差配置】**子标签页用于配置误差分析相关参数，供敏感度分析功能使用。敏感度分析采用与误差分析相同的误差设置方式。详细说明参见第 6.10 节 **【误差分析】**
- **【评价函数配置】**子标签页用于配置评价函数。关于评价函数的说明，请参阅第 2.2 节 **【项目评价函数】**。

参数配置完成后，点击**运行**按钮执行分析，并查看最后的运行结果。

6.11.2 分布敏感度分析

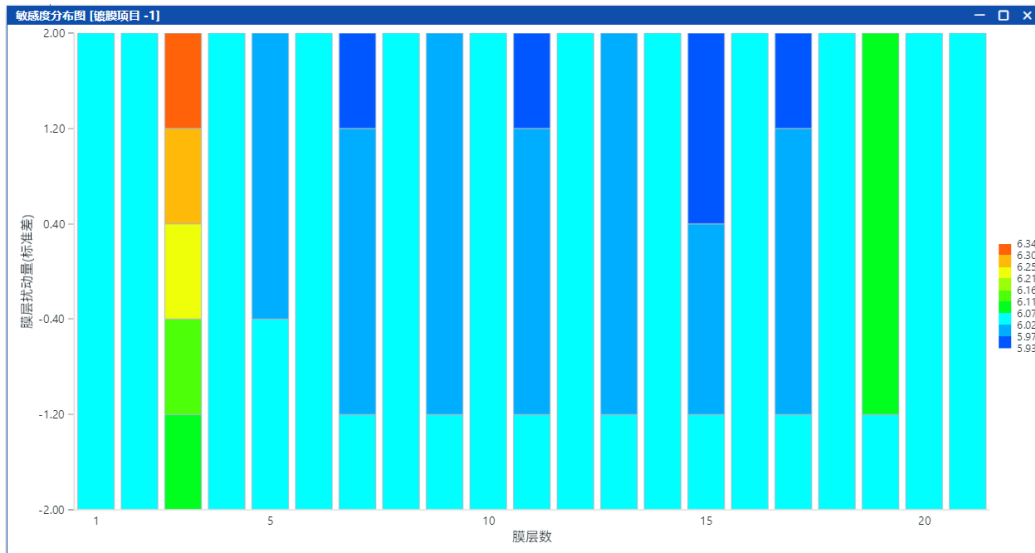
【分布分析】配置界面如下图所示：



- [测试次数]输入框用于设置【分布分析】敏感度分析区间个数。
- 【误差配置】和【评价函数配置】子标签页配置内容介绍见【独立分析】标签页敏感度分析配置介绍。

参数配置完成后，点击**运行**按钮即可开始执行分析。分析结果如下图所示：

对于每一层，在计算得到其评价函数值后，系统会将所有评价函数值进行排序，并划分为九个区间，并对应显示为九种颜色，按从低到高的顺序排列。在窗口右侧，会显示每一层在不同误差扰动下所对应的评价函数值的标准差区间，并将其映射到对应的评价函数区间中。图中使用相应颜色表示该标准差区间落在哪一个评价函数区间内。若相邻两个区间的颜色相同，则系统会自动将这两个区间合并，以提高图形展示的清晰度和可读性。



6.11.3 拐点敏感度分析

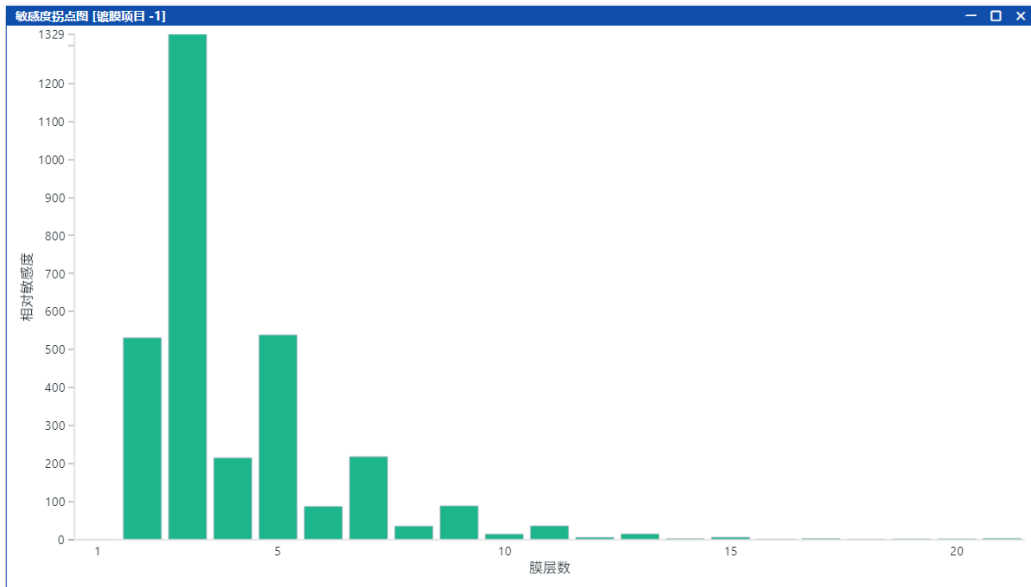
拐点敏感度分析提供了一种度量设计中各膜层在制造过程中难易程度的方法。该分析会生成一张图表，展示在参考波长下，每一层对最终透射率或反射率幅值的影响程度。数值越大，表明该层在实际生产中越难控制。

【拐点分析】配置界面如下图所示：



【拐点分析】敏感度分析模式无需配置参数，点击**运行**按钮即可执行分析。需要注意的是，拐点敏感度分析仅对光学厚度为四分之一波长整数倍的膜层有效。例如，一个设计中前几层可能是抗反射膜（非四分之一波长层），接着是多个四分之一波长层，最后可能还有非四分之一波长层。在这种情况下，敏感度结果仅对中间的四分之一波长层有效。

分析结果如下所示：



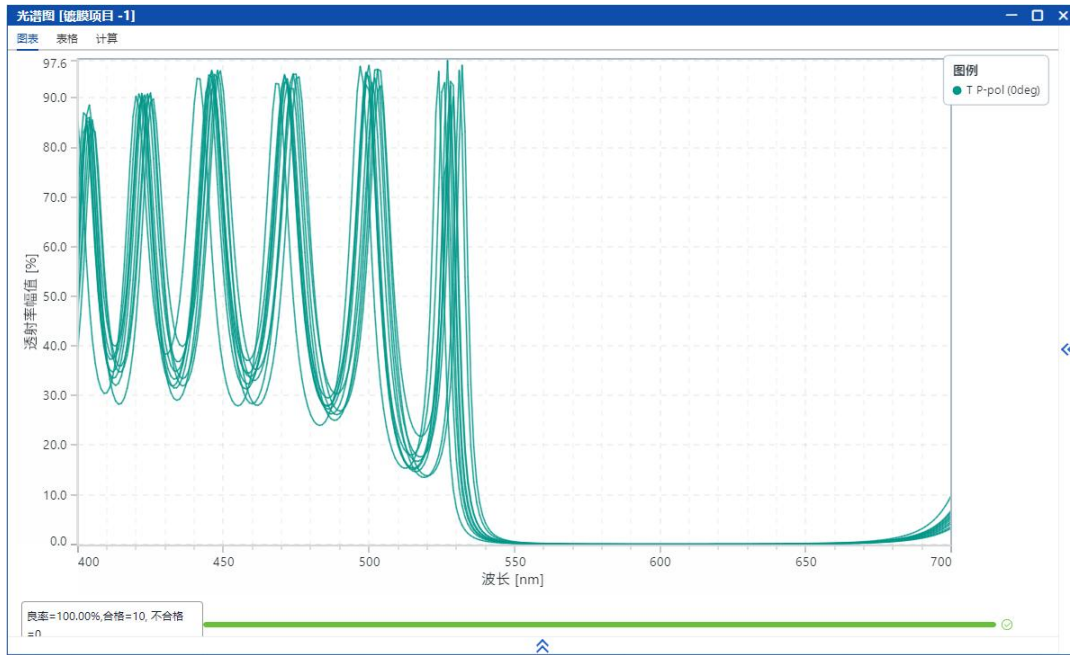
6.12 良率规范

【良率规范】需要和【误差分析】结合使用，用于计算在有误差的情况下，仍然满足良率规范的比例。该比例可用于估算实际生产中能获得合格器件的制造比例。

点击[良率规范](#)按钮，会弹出【良率规范】参数配置窗口，用于良率规范的设定。



良率规范的设置方式与评价函数设置的方式非常相似，但在处理上有所不同：良率规范针对的是一个波长范围，而非单个波长。同时，其可用的逻辑运算符仅包括大于和小于。这种设置方式允许用户定义一个性能参数必须落在某一数值范围内的测试条件，其中一行表示上限，另一行表示下限。只有当某一扰动设计满足良率规范中所有条件时，才被视为合格。当前可以设定[\[透射率\]](#)、[\[反射率\]](#)、[\[平均透射率\]](#)、[\[平均反射率\]](#)四种类型的良率规范。



良率会在误差分析时，实时显示在图表左下方。

7 工具选项卡



该功能区提供若干用于辅助薄膜设计的工具，主要包括以下两类：

- 膜层工具：
 - 【重复添加层序列】：用于重复添加膜层序列。
 - 【公式】：用于通过公式定义膜层结构。
 - 【膜层替换】：允许用户替换特定膜层。
 - 【全局编辑】：用于提供全局编辑功能，方便对膜系中膜层参数大规模修改。
 - 【缩放厚度】：用于调整膜层厚度比例。
 - 【替换材料】：用于更换膜层材料。
- 设计工具：
 - 【对称周期】：用于帮助创建对称周期性膜系结构。
 - 【赫平图】：利用赫平方法进行膜系设计。
 - 【膜系减薄】：用于移除薄层膜层。
 - 【光学薄膜优化】：用于优化膜系结构，以达到最佳光学性能。

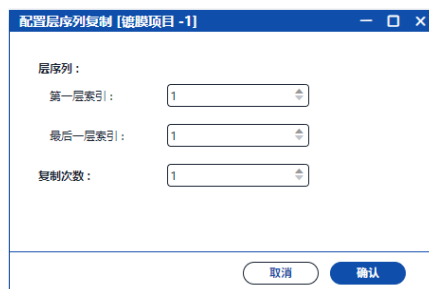
通过这些工具，用户能够更加高效地进行光学薄膜设计，调整和优化膜层结构。

7.1 膜层工具

膜层工具是为提高薄膜结构设计效率而提供的一组实用功能，主要用于批量处理膜层结构、快速构建膜系、调整现有设计。该工具集涵盖了膜层的重复、替换、移除、缩放等常见操作，能够显著减少用户在设计过程中的重复性工作。

7.1.1 重复添加层序列

点击**重复添加层序列**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：

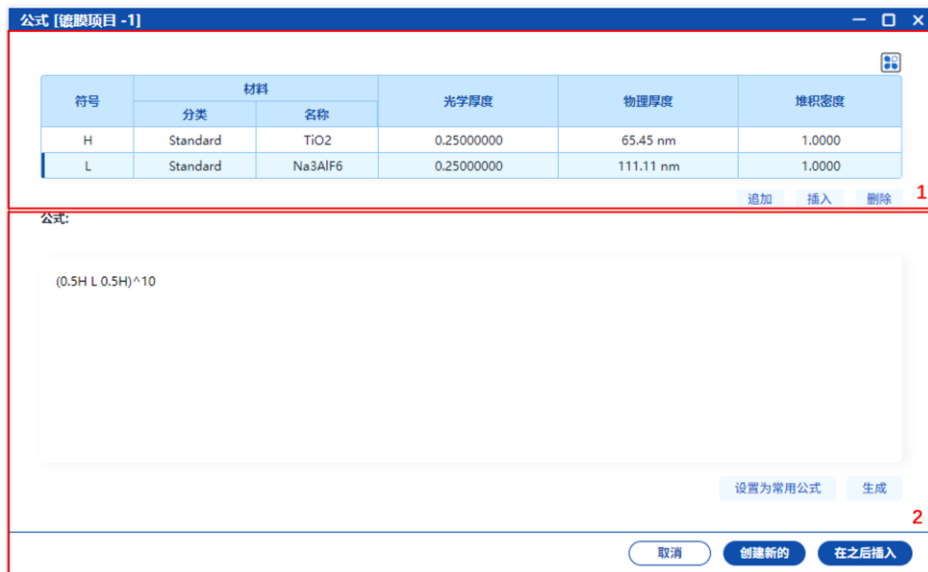


配置层序列复制 [镀膜项目-1]	
层序列：	
第一层索引：	1
最后一层索引：	1
复制次数：	1
取消 确认	

该工具用于快速生成多个周期的膜层序列，适合构建具有重复单元的膜系。用户只需指定周期开始层和结束层的膜层编号及重复次数，点击**确认**按钮后，系统将在当前膜系末尾自动添加对应的周期膜层，从而快速完成周期性膜系的构建。

7.1.2 公式

点击**公式**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



[公式]功能允许用户通过简写符号建立或编辑设计，并管理符号定义。简写符号提供了一种便捷的膜层数据输入方式。设计由不同材料的基本膜层组成，这些膜层用符号（如 H、L、A、B、c、d 等）表示，且符号不区分大小写。

窗口由两个主要部分组成，包括符号设定区、公式编辑区、下面分别对这两部分进行介绍：

• 符号参数配置区

如图中区域 1 所示，用于设置字符与基本膜层属性之间的对应关系。基本膜层的定义包括材料、膜层厚度（物理厚度或光学厚度）、填充密度、用于精细调节的锁定和链接规范、空隙材料及其密度、非均匀因子，默认情况下，列表中包含两行，分别是 H 和 L，这通常代表高折射率层和低折射率层。用户可以通过列表右下方的功能按钮来添加更多字符或删除不需要的字符。

- **追加**：追加按钮用于在符号参数配置表格的末尾追加一个新的行。点击该按钮时，会在表格末尾新增一行数据。
- **插入**：插入按钮用于在选中的膜层后面插入一行。此按钮仅在选中某一行数据时生效。
- **删除**：删除按钮用于删除符号参数配置表格中选中的行。此按钮仅在选中一行或多行数据时生效。

• 公式编辑配置区

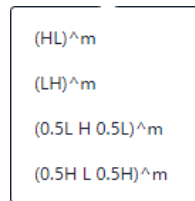
如图中区域 2 所示，根据上面定义的符号，在该输入框中，用户可以通过输入公式的方式定义膜系结构。除基本厚度外的膜层厚度通过基本厚度的倍数表示。例如，设定基本厚度为 0.25 倍光学波长（即四分之一波长厚度），则：2.5H 表示：2.5×0.25=0.625 倍光学波长厚度，0.4L 表示：0.4×0.25=0.1 倍光学波长厚度。

- ✓ 通过简单的顺序组合成公式，会按照符号顺序生成膜层，最左边为膜系第一层。
- ✓ 如果两个相同的符号连着，则会合并为一层：
例如：公式 HLLH，最终生成的是一个三层膜的结构，中间两个 L 会合并为一层。

- ✓ 将两个相同符号用英文分号隔开时不进行合并：
例如：公式 HL;LH，最终生成的是一个四层膜结构，中间两个 L 不合并。
- ✓ 使用指数的形式表达膜层的重复次数：
例如：(HL)^3 等效于 HLHLHL,会生成一个 6 层膜系。
- ✓ 指数后面必须加一个空格才能在后面接后续膜层符号：
例如：(HL)^3H0.5L 是不合法的，(HL)^3 H0.5L 才可以正常根据公式生成膜系。

我们还提供了一种快捷生成并保存常用公式的方法，方便用户快速调用和复用：

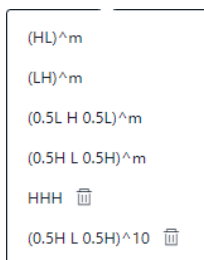
- ✓ **生成**：点击此按钮后会弹出一个如下图所示的下拉选项框，里面存放了 4 种膜系设计常用的模板公式。



这些模板公式不支持被删除，用户选择其中某一个模板便可以快捷的生成公式。添加完成后，只需将指数部分替换为当前所需的具体数字即可。



- ✓ **设置为常用公式**：**设置为常用公式**按钮允许用户将当前输入框中的公式存储到公式模板中。最多可以保存 6 个自定义公式到模板库中，并且这些公式在不同的项目中都可以使用。用户可以随时删除自定义公式，通过点击公式后面的删除按钮，可以从公式模板中移除该自定义公式。



配置完成后有两种不同的操作来添加当前设定的膜系：

创建新的：用当前生成的膜系覆盖当前项目中的膜系。这适用于需要完全替换现有膜系的情况。

在之后插入：在当前项目中膜系的末尾添加新生成的膜系。


7.1.3 膜层替换

点击**膜层替换**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



该工具用于将选定范围内的膜层进行替换，默认作用范围为全部膜层。用户可通过以下两种方式指定替换范围：

- 在输入框中手动输入起始和结束的膜层序号；
- 在膜层列表中选中一个连续的膜层范围。当打开该窗口时，系统会自动将所选范围填入输入框中。若选中的膜层不连续，则此方式无法生效。

指定膜层范围后，点击  按钮可打开膜系资源库，从中选择一个模板项目，用于替换该范围内的膜层。

7.1.4 全局编辑

选择完需要修改的膜层，然后点击**全局编辑**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



全局编辑(全局编辑)工具用于对项目中的选定的膜层参数进行批量修改,包括但不限于膜层材料、膜层沉积密度、三种不同的膜层厚度(具体取决于应用需求)、膜层加锁状态、膜层分组信息、介质层材料与厚度以及膜层非均匀系数等参数。用户只需在相应字段中输入新值,对应参数将在所有选中膜层中被统一替换;若某字段留空,则对应参数保持不变。

当用户完成对应参数的填写后,只需点击**确认**按钮,即可对选中的膜层参数进行批量修改。注意:必须在膜系中至少选中一层才能使用此工具。如果没有选中任何一层,则无法使用该工具。

7.1.5 缩放厚度

点击**缩放厚度**按钮,将弹出参数配置窗口,如下图所示:



厚度缩放工具用于按比例调整膜系中膜层的厚度。用户可以根据设计需求,通过以下两种方式对膜层厚度进行缩放:按材料类型缩放和按分组缩放

- **【材料】**用于按照膜层材料类型进行缩放,界面分布如上图所示,对相同膜料的膜层厚度进行统一的比例缩放。

- [参考厚度类型]下拉选项框用于选择基准厚度类型，提供三种选项：物理厚度、光学厚度和几何厚度。
- [比例因子]输入框用于填写比例缩放因子，默认值为1。用户需要根据实际需求调整这个因子。

需要注意的是，完成上述参数配置后，用户需要勾选需要进行缩放的材料，并点击**确认**按钮完成缩放。

- **【组】**用于对不同的分组进行缩放，如下图所示，用户可以按照不同的分组对膜层厚度进行缩放。需要注意的是：如果膜系中尚未对膜层设置分组，该界面会显示没有膜层分组。



具体的缩放方式与之前介绍的相同。

7.1.6 替换材料

点击**替换材料**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



替换材料工具提供了一种便捷方式，可将膜系设计项目中的某一材料统一替换为另一材料。适用

于大规模修改材料构成的设计需求。打开此工具后，窗口将自动列出当前项目中所使用的所有材料类型，包括：基底、入射介质、膜层、介质层。用户可选择要替换的原材料及目标材料，系统将对所有使用该材料的结构部分进行批量替换。完成配置后，点击**确认**按钮进行替换。

7.2 设计工具

设计工具包含一组用于辅助光学膜系结构设计与优化的实用工具，旨在提升设计效率与效果。当前包含以下四种工具：

- 对称周期：用于快速计算单层膜在光学性能上等效于哪种对称排列的周期性膜系。
- 赫平图：用于计算一组对称排列的膜层的等效导纳和等效相位厚度。
- 膜系减薄：自动识别并移除对性能影响较小或厚度小于设定阈值的膜层，从而简化膜系并提高制造可行性。
- 优化：使用优化算法，通过设定目标函数和约束条件，对膜层结构进行自动优化，提升性能指标。

7.2.1 对称周期

任何对称排列的薄膜组合都可以表示为一个具有等效光学导纳和等效相位厚度的单层膜。【**对称周期**】工具的作用是：根据所配置的参数，计算一个多层对称周期结构中各层的厚度，使其在光学性能上等效于目标单层膜。计算完成后，可以使用该对称周期结构替换原有的单层膜。这个工具在设计薄膜滤光片时非常有用，能够计算出一个单层膜如何被对称周期多层膜结构等效替换。点击**对称周期**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



任何薄膜组合，只要他的一半是另一半的镜像，就可以认为这种组合是对称的。如果一个多层膜是对称的，那么可以证明，在性能上这个膜系等效于一个厚度与之相近而光学导纳可以计算的单层膜。以下是该工具界面及其功能的详细说明：

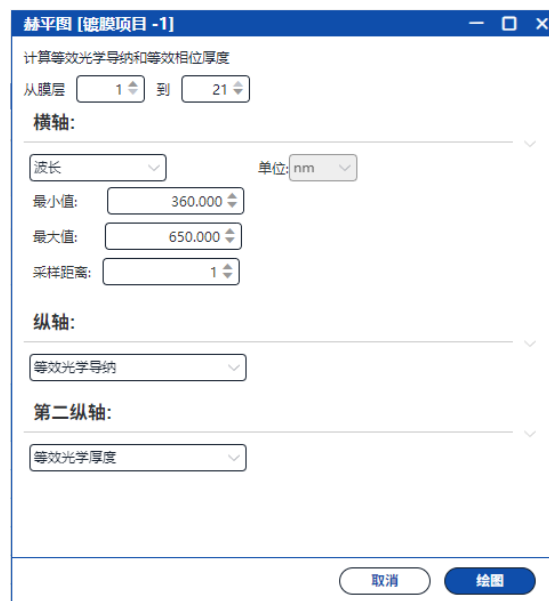
- **[替换膜层]**输入框用于设置需要替换的单层膜的序号。用户可以通过指定目标膜层，为其计算等效的多层膜结构。
- **[参考波长]**输入框用于设置参考波长。参考波长用于定义结构的厚度，是计算等效多层膜时的重要参数，直接影响膜系设计的光学性能。
- **[入射角]**输入框用于设置入射角。
- **[偏振态]**单选项用于设置偏振状态。用户可以选择特定偏振模式（s 偏振或 p 偏振）
- **[对称膜堆状态]**单选项用于设置多层膜的结构形式，例如“低-高-低”或“高-低-高”折射率分布。这种设置决定了多层膜的周期性折射率排列方式。
- **[P]**输入框用于设置多层膜的周期数。
- **[H]**标题用于选择高折射率材料。用户可以根据实际需求从材料库中选取适合的高折射率介质。
- **[L]**标题用于选择低折射率材料。与高折射率材料类似，低折射率材料的选择也需根据具体应用来确定。
- **计算**： **计算**按钮用于执行计算操作，并生成计算结果。点击后，系统会根据当前的参数设置（如参考波长、入射角、偏振状态等）进行运算，得出可替换的等效多层膜结构。
- **【结果】**区域用于显示计算出的可替换等效多层膜方案。系统会列出多种可能的多层膜设计供用户选择。

- **替换**： **替换**按钮用于执行膜层等效替换，用户在【结果】方框中选定一个合适的多层膜方案后，点击此按钮即可将项目中的单层膜替换为所选的等效多层膜。

7.2.2 赫平图

一个对称层序的乘积矩阵可以表示为某一单层膜的特征矩阵形式。这个等效单层膜具有与该对称系统相对应的等效光学导纳和等效相位厚度。这些属性有时也被称为赫平图等效参数，以纪念该理论的早期研究者赫平图。【赫平图】工具可用于计算任意一组对称排列的介电膜层的等效导纳 E 和等效相位厚度 γ 。

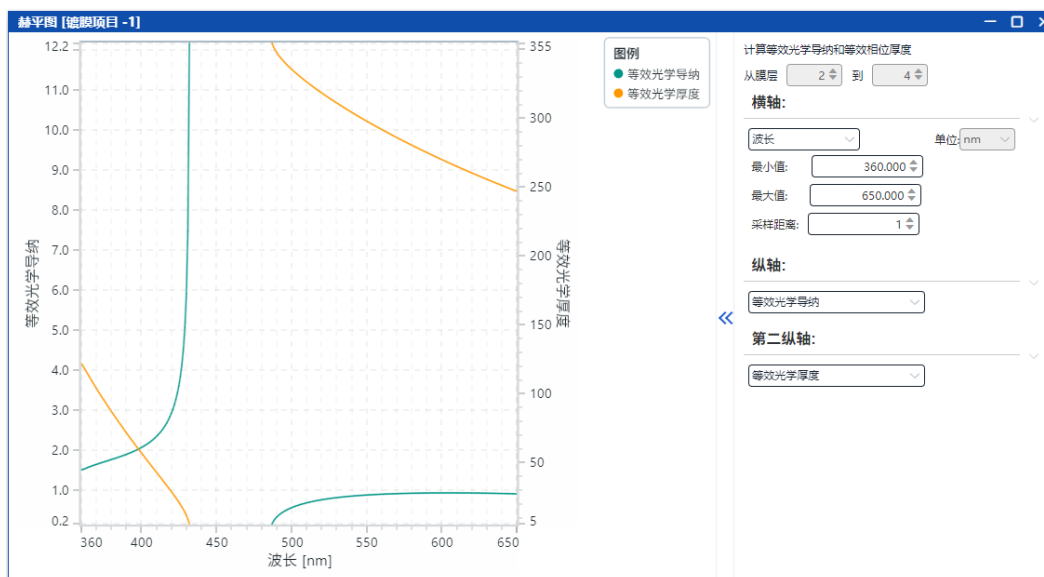
点击**赫平图**按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



用户需要输入起始膜层序号和结束序号来指定一个膜层范围，范围内的膜层必须是对称的，即对应位置的膜层必须拥有相同的厚度和材料。

其他可配置项说明如下：

- [横轴]用于设置横轴参数，可选项包括波长、波数或 g 值，并支持自定义范围与步长设置，用于控制绘图的输入变量。
- [纵轴]和[第二纵轴]分别用于设定主纵轴和第二纵轴显示的参数内容，可选择显示等效光学导纳或等效相位，便于在同一图表中对比多个参数的变化趋势。
- **绘图**： **绘图**按钮用于执行赫平图绘制。需要注意的是，该按钮只有在选择的膜层满足对称条件时才可用。点击后系统根据当前设置的参数绘制赫平图，其中[E]表示等效光学导纳，[Gamma]表示等效相位。通过图像用户可以直观分析对称膜系在不同波长或波数下的等效特性。
- **取消**： **取消**按钮用于关闭当前窗口并返回上一级界面，不保存当前操作。



7.2.3 膜系减薄

膜系减薄工具用于优化膜层结构，通过删除厚度小于设定阈值的膜层，或移除对性能指标影响较小的膜层，从而简化膜系结构、降低总厚度。该工具在确保光学性能基本不变的前提下，有助于提升设计的可制造性与成本效率。

点击 **膜系减薄** 按钮，将弹出参数配置窗口，如下图所示：



膜系减薄的参数配置窗口主要分为【参数】和【评价函数】两个标签页，分别用于配置膜系减薄的规则以及配置评价函数，下面分别对这两个标签页进行介绍：

- 【参数】标签页用于设置膜系减薄的规则：
 - [评价函数值]和[膜层数]分别显示当前评价函数的值，以及膜系的总层数。

➤ 膜层删除的顺序依据上图中的列表排列，相关说明详见下表。

参数	描述
移除顺序	用于标识移除膜层的顺序，主要分为两种可选的排序方式： 按照膜层物理厚度从小到大排序 依据膜层移除后评价函数增长值从小到大排序。通过这两种方式。
膜层	该膜层在膜系中的层序位置。
物理厚度	膜层的物理厚度。
评价函数增长值	展示当某一层膜被移除后评价函数的增长值，表明移除特定膜层对整体系统性能的影响程度。

➤ 关于移除膜层的方式，有自动和手动两种选择：

■ 选择[自动]为自动减薄模式，配置如下图所示：

自动 手动
 评价函数停止标准
 评价函数值上升: %
 厚度停止标准
 最薄的层厚度大于: nm

在这种模式下，程序会按照当前设定的顺序自动移除膜层，直到达到设定的停止标准。停止标准有两种：

- ✓ [评价函数停止标准]复选项用于启用评价函数的停止标准设置。勾选该复选项后，用户可在下方输入框中指定评价函数的停止条件。例如，当输入 5% 时，系统会在评价函数上升幅度达到 5% 时停止自动膜系减薄操作。
- ✓ [厚度停止标准]复选项用于启用膜层物理厚度的停止标准设置。勾选该复选项后，用户可在下方输入框中指定膜层物理厚度的停止条件。例如，当输入 20nm 时，系统会在最薄膜层的厚度大于 20 时停止自动膜系减薄操作。

配置完参数后，点击下方的 **预览** 按钮便可以预览待删除的膜层，上方表格中满足删除条件的膜层会以灰色显示，再点击 **移除** 按钮便可以执行当前膜系减薄的操作。

➤ 选择[手动]为手动减模式。选择此项后，页面布局如下图所示，用户可在上方列表中手动勾选需要删除的目标膜层。



下方灰色方框区域用于显示与待删除膜层相关的关键信息。具体内容包括：即将被删除的膜层编号、删除该层后评价函数的预计上升值，以及当前评价函数的数值，后两个数值计算将在用户点击下方的**预览**按钮后进行。

- 【**评价函数**】标签页为评价函数的配置页面，页面布局如下图所示，主要用于设置和调整评价函数的相关参数。评价函数的配置方式与项目评价函数中的相同，详情请参阅【**项目评价函数**】章节。



7.3 优化

优化功能可自动调整膜层结构参数，以获得更优的设计结果。常规的优化流程包括三个步骤：

1) 选择优化算法；2) 设定可调变量；3) 定义评价函数。

在光学薄膜设计中，优化功能支持两类算法：细化与合成。优化算法通常基于已有初始结构，通过调节膜层的厚度或折射率来提升性能。而合成算法则具有结构构建能力，即便在没有初始设计的情况下，也能生成满足目标的结构。

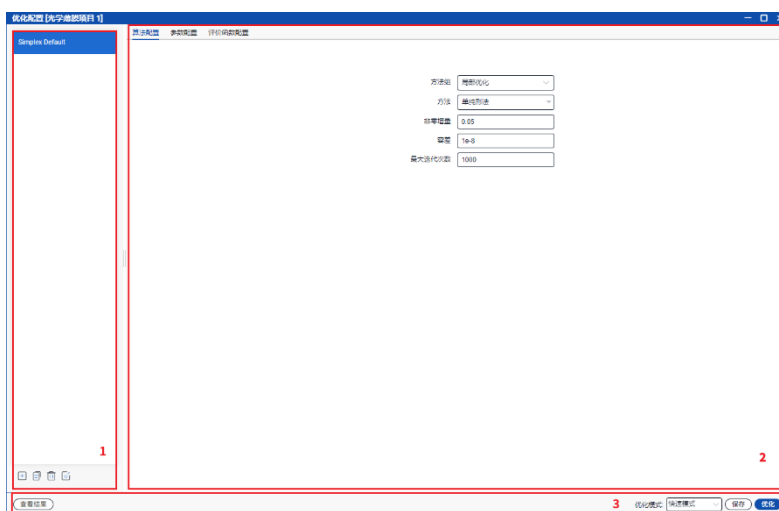
用户可根据设计需求设定评价函数，涵盖反射率、透射率、色度坐标等光学性能指标，并可为每一指标指定目标值与权重。除了通过列表形式定义评价函数外，软件还提供了【绘制】模式，允许用户直接在光谱图上绘制目标曲线，从而快速设定评价函数。

为满足不同使用需求，软件提供详细模式与快速模式两种优化流程。详细模式在优化过程中可实时显示评价价值变化曲线和性能变化图，适用于过程分析与调试；而快速模式则专注于提升效率，仅记录当前最优的评价结果。

优化结束后，用户也可以随时返回优化窗口查看之前的优化结果。

7.3.1 优化界面

点击**优化**按钮后，将弹出【优化配置】窗口，如下图所示：



优化配置窗口主要分为 3 个区域：方案列表区、优化参数配置区以及优化控制台，下面分别对这 3 部分进行介绍。

- **方案列表区**

如图中区域 1 所示，在 **VirtuaLab unity** 的优化功能中，用户可以配置多种优化方案，每个

方案可包含独立的优化目标和配置参数。通过多方案配置，用户能够灵活的选用不同的优化方案与策略。

在方案列表区下方，提供了四个功能图标：



- ： **添加**按钮用于创建一个新的方案。
- ： **复制**按钮用于复制当前选中的方案。复制操作会生成一个与原方案完全相同的副本，用户可以在副本基础上进行修改，避免重复配置相同参数，提高工作效率。
- ： **删除**按钮用于删除选中的方案。
- ： **重命名**按钮用于对选中的方案进行重命名。

• 优化参数配置区

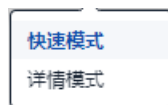
如图中区域 2 所示，用于设置当前方案下优化过程中的具体参数，优化参数的配置分为以下三个步骤：

- 算法配置：选择某个优化算法并设置对应的参数。
- 参数配置：定义优化过程中涉及的变量和约束条件，如膜层厚度、折射率等，确保优化在一个合理的范围内进行。
- 评价函数配置：设计评价函数的形式和权重，明确优化的目标方向，例如反射率最小化、透射率最大化或其他性能指标。

• 优化控制台

如图中区域 3 所示，优化控制台是集成了优化流程中关键的控制与管理功能。通过该面板，用户可以便捷地选择优化模式、保存优化配置、启动优化任务，并查看优化结果。

- ： **查看结果**按钮用于查看上次优化完成后的结果。点击该按钮可打开上一次优化的结果展示窗口，查看优化过程。
- **[优化模式]**用于选择不同的优化模式以适应不同的需求，点击该下拉选项框，会出现如下图所示下拉菜单，当前包括两种优化模式：**[详情模式]**模式与**[快速模式]**模式。



- ✓ **[详情模式]**模式会在优化过程中实时展示评价值变化曲表以及光学性能的变化曲线。它适用于需要深入分析优化过程的场景，用户可以直观地观察每一次迭代的优化结果及其对应的膜系性能变化趋势，从而更好地理解优化路径与性能改进之间的关系。
- ✓ **[快速模式]**模式仅展示优化过程中必要的参数，例如初始评价值、当前最好的评价值、优化迭代次数等。使用**[快速模式]**模式可以显著减少优化所需的总时长，使得用户能够更快地得到优化结果。
- ： **保存**按钮用于保存当前方案下的优化配置参数。点击后，系统会将当前的算

法配置、参数设置以及评价函数配置等信息保存下来。

- **优化**： **优化**按钮用于执行当前方案下的优化流程。在完成算法配置、参数配置以及评价函数配置后， 点击该按钮即可启动优化。

7.3.2 算法配置

点击优化参数配置区域中的【**算法配置**】标签页， 即可进入如下所示的算法配置页面：



- **[方法组]**用于选择不同的优化算法组， 当前有三种算法组可供选择：
 - **[局部优化]**为局部优化算法组， 局部优化算法专注于寻找最近邻域内的最优解， 适用于那些目标函数具有明确梯度信息且期望快速收敛到局部最优解的情况。这类算法通常包括单纯型法、共轭梯度法、牛顿法及其变种等方法， 它们适合于问题规模较小或已知解空间较为平滑的情形。
 - **[进化算法]**为进化优化算法组， 进化类优化算法模仿自然界中的进化过程， 如遗传算法 (GA)、差分进化 (DE)、粒子群优化 (PSO) 等。这些算法通过模拟生物进化中的选择、交叉、变异等机制， 在较大的解空间内搜索全局最优解， 特别适用于处理非线性、多峰分布的问题以及当精确的梯度信息难以获取时的情况。
 - **[合成]**为合成类优化算法， 当前合成类优化算法只有针式合成一种。它不同于传统的优化方法， 主要针对如何有效地构建多层膜结构以达到特定的光学性能。
- **[方法]**用于选择具体的优化算法。软件当前提供的算法， 详见下表：

方法组	方法	描述
局部优化	信赖域反射法	结合了信赖域和反射操作处理边界的非线性最小二乘算法， 比 dogbox 更擅长处理病态雅各比矩阵， 收

		敛速度较快。
	单纯形法	无导数局部搜索算法，无需梯度信息，适用于低维优化，可能陷入局部最优，对于高维问题收敛速度较慢。
	狗箱算法	结合了信赖域和矩形边界约束的非线性最小二乘算法，实用于中等维度的优化，收敛速度较快。
	鲍威尔算法	无导数局部搜索算法，通过共轭方向法迭代更新搜索方向，收敛速度优于 nelder-mead，适合复杂函数，对于高维问题收敛速度较慢。
进化算法	差分进化	进化类全局优化算法，对初始解不敏感，适合复杂评价函数优化，计算成本较高。
	遗传算法	进化类全局优化算法，对初始解不敏感，可以处理离散和连续变量，适合复杂评价函数优化，计算成本较高。
综合	针插算法	针插法通过在原有折射率分布中通过不断插入较薄膜层，针插操作可以有效地跳出局部最优解，之后使用局部优化算法进行优化。

7.3.3 参数配置

点击【参数配置】标签页进入参数配置页面，如下图所示：



参数配置参数会根据所选的优化算法类型而有所不同：

- 当选择局部优化算法或全局优化算法时，参数配置窗口的布局如上图所示。参数配置分为两个部分：[\[厚度\]](#)和[\[折射率\]](#)，均采用列表形式进行设置。通过勾选[\[细化厚度\]](#)或[\[细化膜层\]](#)，用户可控制优化过程中是否包含对应变量。至少需要勾选其中一项，也可以同时勾选两项。

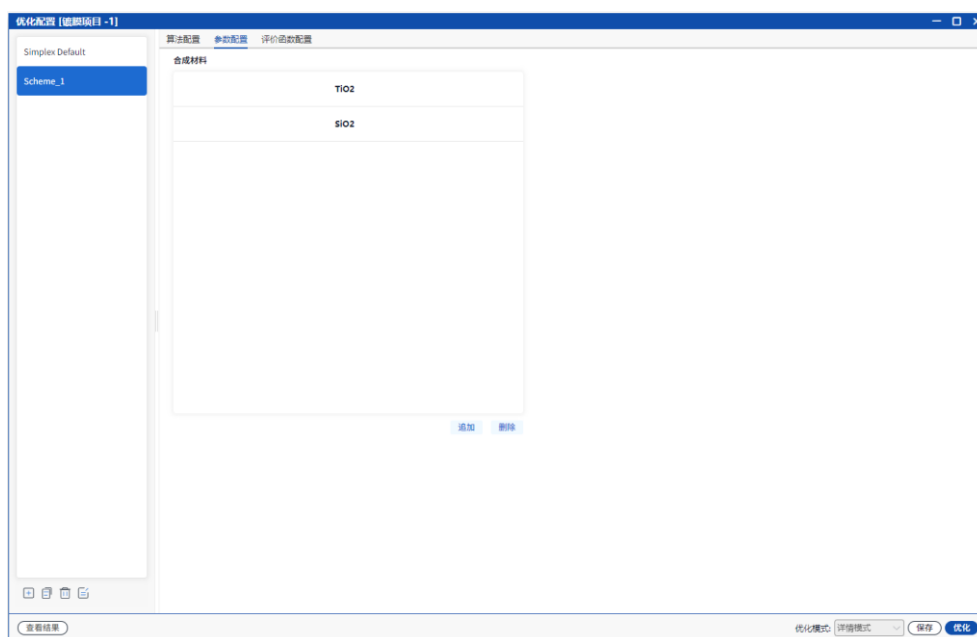
➢ [\[厚度\]](#)参数列表有 6 列：

项目	描述
索引	层序号
物理厚度	当前层的物理厚度
下限	优化过程中允许的最小厚度
上限	优化过程中允许的最大厚度
锁定	该层的锁定状态
组	标记该层属于哪一组，属于同一组的在优化过程中会保持同样的比例进行变化。

➢ [\[堆积密度\]](#)参数列表有 6 列：

项目	描述
索引	层序号
堆积密度	当前层的堆积密度
材料	当前层的材料名
下限	优化过程中允许的最小堆积密度
上限	优化过程中允许的最大堆积密度
锁定	该层的锁定状态

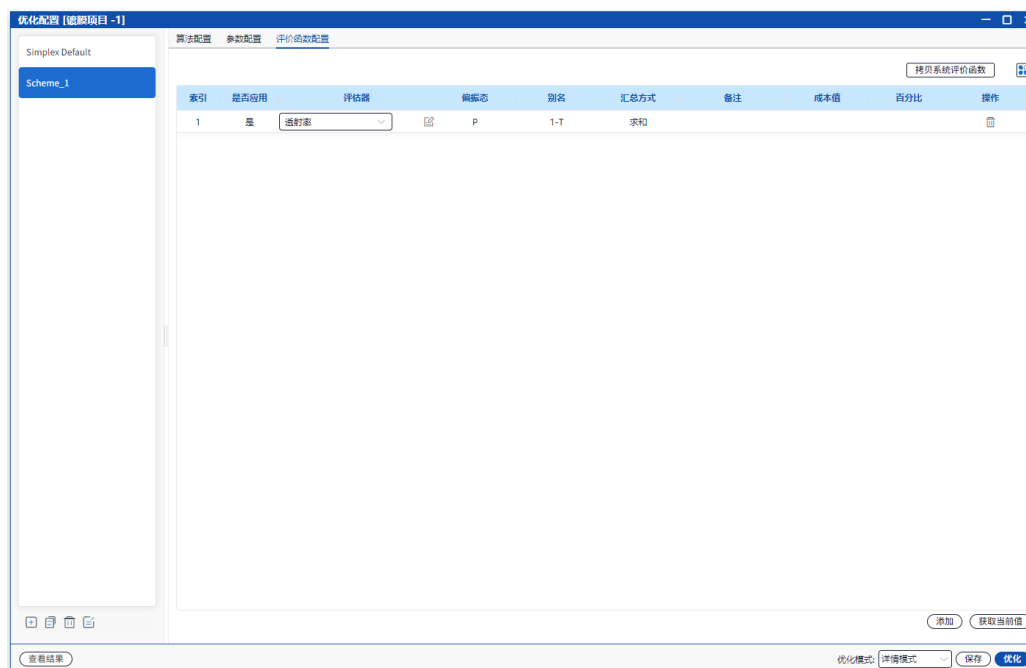
- 当选择[\[合成\]](#)时，该窗口的参数配置页面如下图所示：



- 在针式合成的参数配置中，用户只需选择合成过程中可用的材料。
- **追加**按钮用于从材料库中选择材料，并将其添加到可用材料列表，以用于合成过程。
- **删除**按钮用于从上方列表中删除材料。

7.3.4 评价函数配置

点击【**评价函数配置**】标签页可以进入评价函数的配置页面：

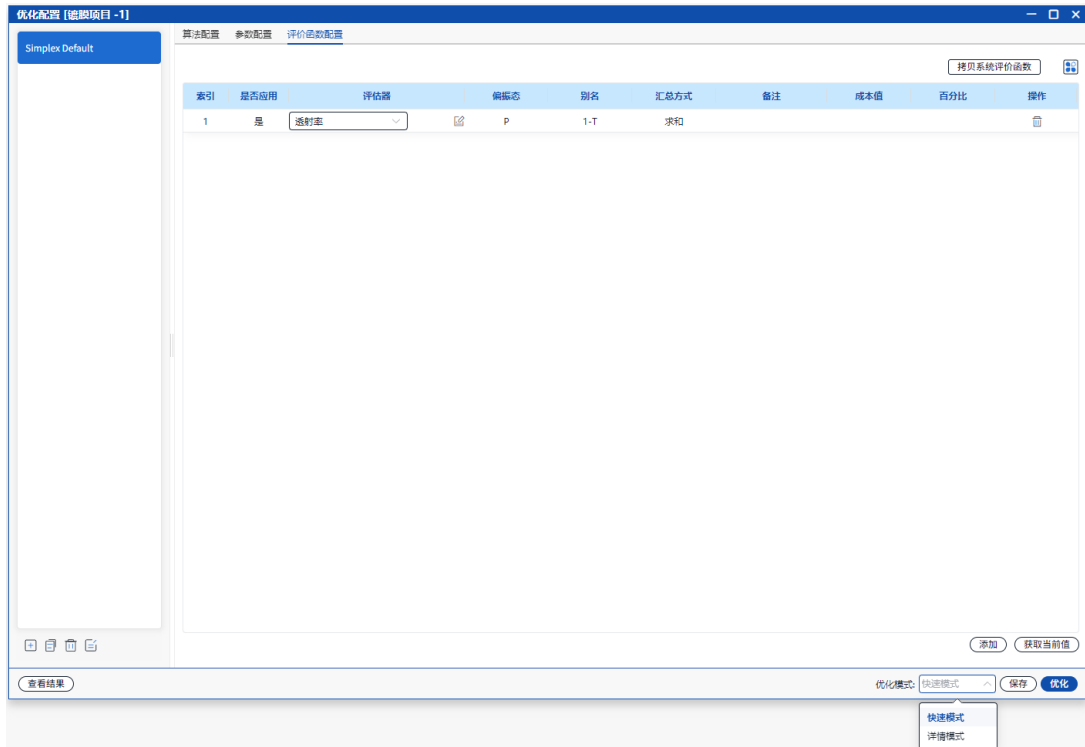


评价函数的配置方式与 2.2【**项目评价函数**】章节中所述一致，详细说明请参阅该章节内容。

如果在项目中已预先配置了评价函数，可点击右上角的**拷贝项目评价函数**按钮，将项目中的评价

函数一键复制到当前设置中，避免重复配置，提高效率。

7.3.5 优化执行与过程展示



在完成参数配置后，在优化控制台中可以选择优化模式，当前有两种选择：

- **[快速模式]**：在该模式下，优化过程仅显示关键信息，包括初始评价值、当前最优评价值、迭代次数以及优化用时。该模式不展示完整的优化过程曲线，用户只能查看当前最优解对应的设计信息，适用于对优化过程可视化要求较低、追求快速结果的场景。之后介绍优化过程中还会详细说明。
- **[详情模式]**：在该模式下，优化过程将实时展示评价值的变化曲线，以及各个已设定的评价函数在当前迭代下的图表。用户不仅可以直观观察优化过程中的收敛趋势，还可以查看每一次迭代对应的项目参数，并对其进行详细分析，从而更深入地理解优化行为与参数变化之间的关系。

选择优化模式后，点击**优化**按钮即可启动优化过程。优化开始后，系统将自动打开对应的优化过程展示窗口，在该窗口中用户可以观察优化的进行并通过窗口下方的**停止**和**暂停**按钮来停止或暂停当前优化：

- **停止**：**停止**按钮用于终止当前的优化进程，停止后，系统将不再继续执行剩余的迭代计算。
- **暂停**：**暂停**按钮允许暂时中断优化过程而不丢失当前进度。暂停之后，该按钮变为**恢复**。

用户可以点击**恢复**按钮继续进行优化。

不同的优化模式对应的优化过程展示内容也各不相同，接下来将分别进行介绍：

- **[详情模式]**下的优化过程展示窗口如下图所示：



详情模式下的**【优化过程展示】**窗口包含了两个标签页：**【优化值进度】**、**【光学表现变化】**。分别用于展示优化过程中的评价函数值随迭代的变化和评价函数的当前值。评价函数的当前值反映了系统的光学表现。系统会展示满足特定条件的评价函数值随迭代次数的变化趋势，使用户能够直观地观察光学性能的改进过程，从而更好地理解优化的进展和效果。下面将分别对这两个标签页进行介绍：

- **【优化值进度】** 该标签页用于展示评价函数值随迭代次数的变化情况。通过观察曲线变化，用户可以直观了解当前优化过程的收敛趋势和优化效果。



- ✓ 当优化开始时，上方的图表默认绘制当前评价值与迭代的关系。用户可以通过图表下方的表格选择要在图表中显示的变量。表格由以下列组成：

列	描述
变量	此列用于控制上方图表中绘制的曲线。用户可以根据需要选择包含或排除特定的子评价函数。默认情况下，图表显示总评价值随迭代次数的变化，用户也可以选择将某个子评价函数的变化曲线添加到图表中进行展示。
颜色	此列用于控制图表中曲线的颜色，为用户提供自定义不同参数或数据系列视觉表示的能力。通过调整此列中的选项，用户可以个性化每条曲线的颜色，便于更清晰地区分和识别各种数据趋势或特征。
轴	在同一张图表上使用左右两个垂直坐标轴，可以同时展示不同类型的数据。这样设计的优点包括： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 支持不同维度的数据对比：当图表中包含两个或以上不同量纲的变量时，将它们分别映射到左侧和右侧坐标轴，可以使每个变量的数值范围都得到合理展现，避免由于某个变量的数值过大而导致另一个变量难以辨识。 ✓ 提升数据可读性：对于数值差异显著的变量，分别使用左右坐标轴显示，有助于清晰展现每组数据的变化趋势。若强行共用同一坐标轴，数值较小的变量可能会因比例被压缩，趋势变化难以察觉。

在图表上方，会实时显示初始评价函数值和最后一次迭代的评价值。此外，图表左下方提供了三个单选按钮，用于选择标记线的模式：

标记线: 手动 最佳值 最终值

按钮介绍见下表：

列	描述
手动	[手动]单选项允许用户自行选择标记线的位置，提供最大的灵活性，让用户可以关注到特定迭代点的评价函数值。
最终值	[最终值]单选项用于自动标记优化过程中的最终结果。选择此单选项后，标记线将自动定位到最后一次迭代的数据点上，便于用户直接查看最终优化效果。
最佳值	[最佳值]单选项用于标记优化过程中评价函数值最优的结果。通过选择此单选项，用户可以迅速定位到在整个优化过程中表现最佳的迭代点。

- ✓ 下方的优化结果表将显示当前标记线所对应迭代步数下，所有子评价函数的数值。该表包含以下列：

列	描述
别名	当前子评价函数的别名。为了防止参数名称过长，软件中的子评价函数都有一个默认的别名，方便后续在图表中显示参。
代价值	当前迭代步数下该子评价函数的代价值。
百分比	当前迭代步数下该子评价函数的代价值所占的比例。

表格右下方的[查看参数](#)按钮用于查看当前迭代步数下对应的具体膜系结构与参数信息。点击此按钮后，会弹出如下所示【[当前优化项目概况](#)】窗口。



该窗口显示了当前迭代步数下膜系的结构，包括每层膜的材料、厚度及其他相关设计细节。需要注意的是，此窗口为只读状态，用户无法对其进行参数修改。这一设计确保了优化结果的完整性，避免误操作对数据的影响。

在该窗口中，用户可以使用上方的【分析】选项卡的所有分析工具，对当前优化结果进行全面评估和分析。例如，可以通过模拟反射率、透射率或其他光学性能指标，判断优化结果是否满足设计需求。

- 【光学性能变化】标签页用于在优化过程中，根据设定的筛选条件，展示所有满足条件的迭代点中，某一类型子评价函数分量的当前值。该类子评价函数通常对应膜系的具体光学性能，如反射率、透射率等。通过观察这些数值在迭代过程中的变化，用户可以直观了解膜系光学表现随优化进程的演变趋势，从而更有效地评估优化结果的实际意义。



- ✓ 当优化开始后，上方图表将绘制出整个优化过程中所有满足筛选条件的迭代点所对应的子评价函数分量的当前值。也就是说，系统并非仅展示某一时刻的值，而是从全部迭代记录中筛选出符合条件的部分，用于展现光学表现变化趋势。用户可通过图表右下方的 **性能设置** 按钮，选择想要展示的子评价函数类型（例如反射率、透射率等）。

性能设置

类型: 透射率

偏振: P

入射角: 0.00 deg

水平轴

波长 单位: nm

最小值 400.000 最大值 700.000

垂直轴

透射率 单位: null

最小值 0 最大值 1

绘图

用户可选择在图中展示的曲线类型、偏振态以及入射角度。可选范围仅限于当前设定的评价函数中所包含的类型。目前暂不支持将“颜色”类评价函数作为展示曲线。此外，用户还可以自定义图表的横轴和纵轴范围，以便更灵活地观察数据变化。

配置完成后，点击 **绘图** 按钮使当前的配置参数生效。

同时，用户可在下方的【**Display Settings**】区域中配置显示细节，例如设置曲线颜色，以及定义“满足何种条件时绘制新曲线”（评价值变化阈值），以控制图表的展示节奏和信息密度。详细介绍见下表：

列	描述
百分比	用于控制“满足何种条件时绘制新曲线”的逻辑。当评价函数值相比上一条已绘制的曲线下降超过该输入框中设定的数值时，系统将绘制一条新的曲线。
显示目标	勾选后将在图中绘制出目标点
目标符号	用于设置图表中目标点的显示符号。用户可根据需要选择不同的符号样式（如圆点、方块、三角形等）。
符号颜色	用于设置目标点的颜色
启用渐变线条颜色	勾选此项后，曲线将以渐变颜色进行绘制。最新绘制的曲线颜色最深，较早的曲线颜色逐渐变浅，从而突出显示当前表现最优的结果。
线条颜色	用于设置曲线的颜色
线条宽度	用于设置曲线的宽度

- ✓ 与【**优化值进度**】标签页相似，下方的优化结果表将显示当前选中曲线对应的所有子评价函数的数值。选中的曲线用不同的颜色显示，并且此时若切换至【**优化值进度**】标签页，系统会自动标记出该曲线所对应的迭代步，便于用户在不同视图中进行关联分析。
- 【快速模式】模式下的优化过程展示窗口如下图所示：



在快速模式下，【优化过程展示】窗口仅展示基础的优化过程信息，包括初始评价值、当前最优评价值、迭代次数和用时等。与【详情模式】模式类似，【快速模式】模式也支持查看优化结果，但仅限于查看当前最优结果所对应的膜系结构，无法查看所有迭代过程中的中间结果。

7.3.6 优化结果生成新版本

上一节介绍了，在两种优化模式下均可查看优化过程中对应的膜系结构。两者的主要区别在于：详情模式 模式支持查看任意一次迭代的结果，而 快速模式 模式仅支持查看当前最优迭代对应的结果。下图所示为查看优化结果的窗口界面：



点击 **同步到项目** 按钮，可将当前优化结果回写至项目中，并生成一个新的未保存版本。

8 附加工具选项卡



【**附加工具**】选项卡用于访问一系列辅助功能，帮助用户更高效地使用软件。该选项卡主要包含以下功能：

- 关闭窗口：查看并快速切换当前已打开的各个软件窗口。
- 光学常数提取：通过实验测量数据（如透射率、反射率光谱等）来反推出材料的折射率
- 关于 UniOptics：打开软件官方网站，获取最新资讯与下载资源。
- 许可证管理：查看当前软件许可证状态，并进行激活或更新。
- 视图：调整界面字体大小，以提升阅读舒适度。
- 打开用户手册：快速访问本地用户手册，便于查阅使用说明。

8.1 关闭窗口



用户可以通过点击这三个按钮，可以对工作区中打开的窗口进行统一管理，包括关闭全部窗口、关闭除当前选中窗口外的全部窗口、关闭全部仿真结果窗口。

8.2 光学常数提取

光学常数提取是光学薄膜工程中的一个关键过程，它涉及到从材料的光谱数据中推导出材料的折射率。折射率由实部 n （折射率）和虚部 k （消光系数）组成，这两个参数共同描述了材料对光的响应特性，包括反射、透射和吸收。我们软件使用包络法进行光学常数的提取，具体提取流程分为以下几个步骤：

1. 导入膜料的 T/R 光谱数据。
2. 对导入的光谱进行三次样条插值和降噪，得到一组新的加工后的 T/R 光谱数据。

- 3.在插值降噪后的数据基础上得到包络法计算所需的极值点数据。
- 4.配置计算材料 nk 值所需的相关参数。
- 5.使用包络法计算得到待提取膜料的 nk 结果。
- 6.将得到的结果存储到私有材料库中，方便下次使用。

用户点击该按钮会弹出如下所示【**光学常数提取**】窗口。同时上方工具栏出现【**光学常数提取**】操作工具，可以对当前的光学常数提取进行操作。



【**光学常数提取**】完整窗口由 3 个主要部分组成，包括标签栏、图表数据展示区、表格数据展示区，下面分别对这 3 部分进行介绍：

- **标签栏**

如图中区域 1 所示，用于快速切换不同的功能选项卡，位置位于窗口顶部，其中有四个标签：【**透射率**】、【**反射率**】、【**基板透射率**】、【**基板反射率**】，用户可以通过点击这些标签快速切换到不同的标签页来进行对应的操作。

- **图表数据展示区**

当处于不同得标签页时，会以图表的方式可视化展示对应数据。

- 【**透射率**】标签页用于上传待提取物质的波长-反射率光谱数据，并以图表方式展示光

谱数据。

- 【**反射率**】标签页用于上传待提取物质的波长-透射率光谱数据，并以图表方式展示光谱数据。
- 【**基板透射率**】标签页用于上传基底的波长-透射率光谱数据，并以图表方式展示光谱数据。
- 【**基板透射率**】标签页用于上传基底的波长-透射率光谱数据，并以图表方式展示光谱数据。

• 表格数据展示区

当处于不同的标签页时，会以表格方式展示对应的数据，表格中的类型列符号说明如下：

- T-QW，代表该点位透射率 1/4 极值点
- T-HW，代表该点位透射率 1/2 极值点
- R-QW，代表该点位反射率 1/4 极值点
- R-HW，代表该点位反射率 1/2 极值点
- T-SUB，代表该点位基底的透射率点
- R-SUB，代表该点位基底的反射率点

追加： **追加**按钮用于在表格的末尾追加一行新数据，该按钮仅在导入光谱数据后可用。

插入： **插入**按钮用于在表格中选中数据行后面插入一行新数据。此按钮仅在选中某一行数据时生效。

删除： **删除**按钮用于删除表格中选中数据行。此按钮仅在选中某几行数据时生效，点击后会将选中的数据行删除。

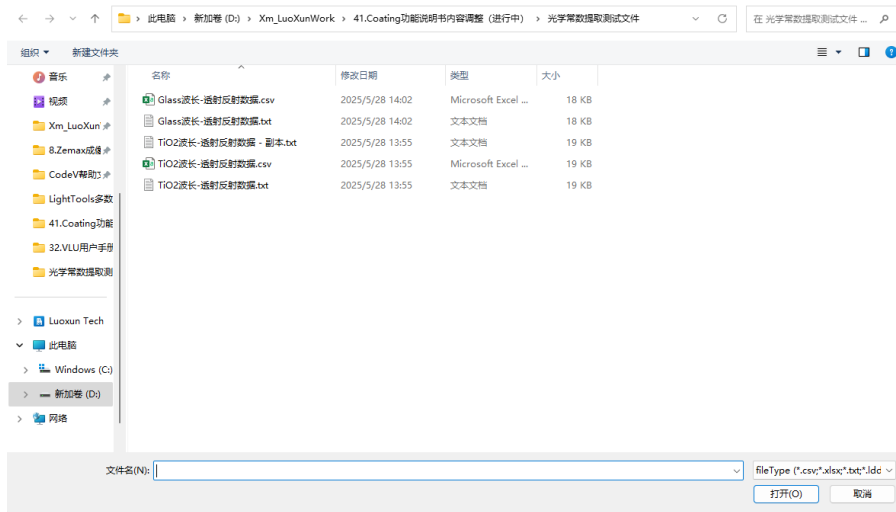
下面将按照光学常数提取的流程，对相应界面及操作进行介绍：

8.2.1 光谱数据导入及处理

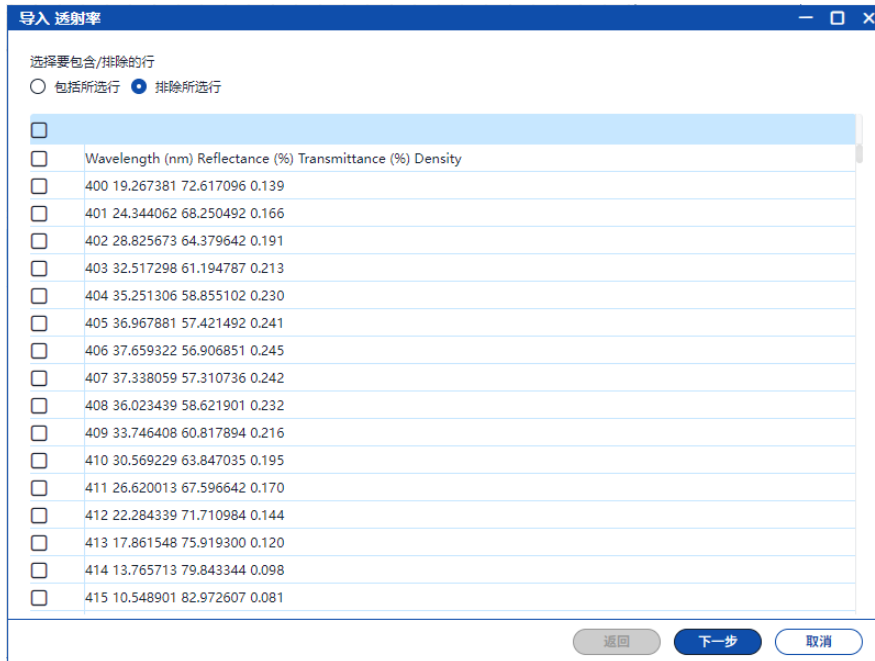
导入光谱： **导入光谱**按钮用于上传对应标签页下的光谱数据，对于光学常数提取，膜料的光谱数据是必须要有的，否则无法计算；基底的光谱数据不是必须的，只有在希望使用实测的基底透射/反射数据时才会使用。用户在对应的标签页下点击此按钮，会弹出如下所示【**导入数据**】窗口：



选择文件： **选择文件**按钮用于进行文件的选择，点击该按钮后会弹出【**打开**】窗口



用户在完成文件的选择后，通过点击**打开**按钮，将会弹出【**导入透射率**】窗口，该窗口提供了一步步引导用户进行数据处理的功能。



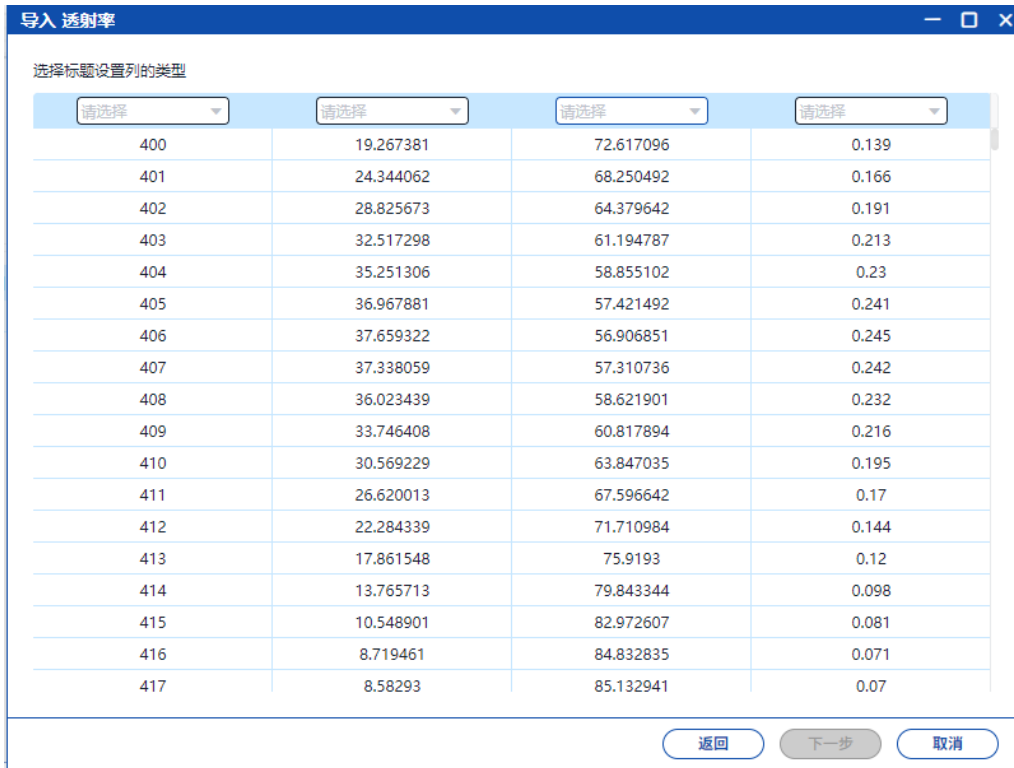
在【导入透射率】这一窗口中，用户可以根据需要去除导入数据中的某些行，具体有两种方式：

- 勾选[包含所选行]单选项，这种情况下，只有用户明确勾选的那些行会被保留下来，其余未被勾选的行的数据将被删除。
- 勾选[排除所选行]单选项，则是删除用户所勾选的行，而未被勾选的行的数据则会被保留。

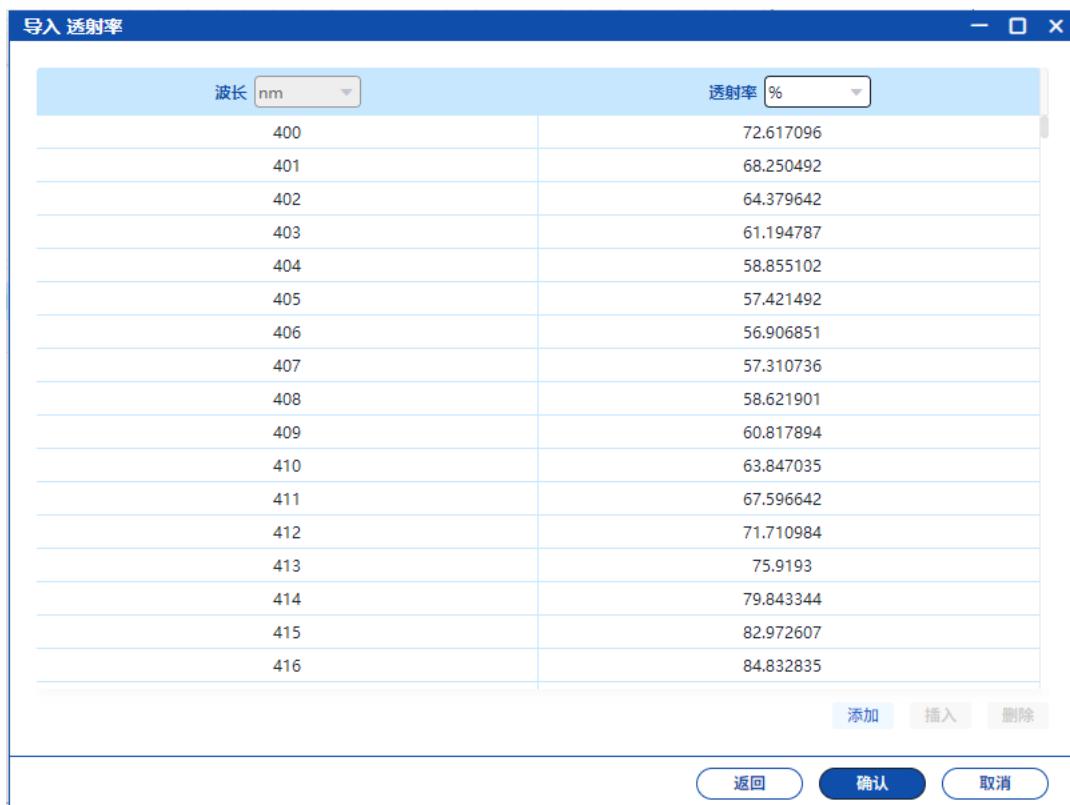
下一步： **下一步**按钮用于进行下一步数据处理，点击此按钮后会有如下所示窗口出现：



在该窗口中，用户需要选择列之间的分隔符，对数据进行划分，支持以下几种划分方式：逗号分隔、分号分隔、制表符分隔、空格分隔、其他。选择正确的列划分符号后，点击**下一步**按钮进行后续数据处理，会有如下所示窗口出现：



在该窗口中，用户需要选择对应列的表头，正确的表头选择是光学常数成功提取的关键。在不同的标签页点击文件导入，此处的表头会有所不同，在【透射率】标签页导入数据，此处必须有两列表头分别被选择为波长与透射率，在【反射率】标签页导入数据，此处必须有两列表头分别被选择为波长与反射率。其他标签页同理。只有对应的两列数据均存在对应的表头，才可以点击**下一步**按钮进行下一步的数据处理，会有如下所示窗口出现：



在该窗口中，用户需要选择光谱数据的单位，当前仅支持光谱数据为百分制，后续还会支持更多单位的选择。并且还支持对表格中数据进行手动添加、插入与删除。

添加： **添加**按钮用于在列表末尾新增一行数据。

插入： **插入**按钮用于在表中选中某一行的后面增加一行数据。

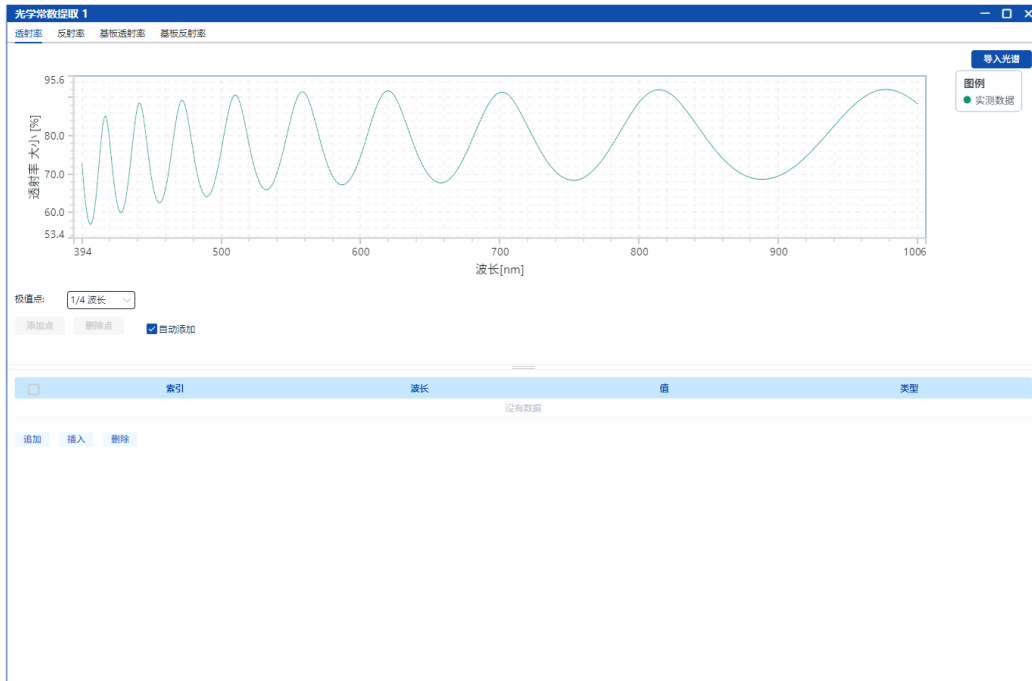
删除： **删除**按钮用于删除表格中选中的数据。

返回： **返回**按钮用于回到上一步数据处理，在第一步处理时不可用。

确认： **确认**按钮用于完成数据的处理。

取消： **取消**按钮用于取消当前数据的处理。

点击**确认**按钮后，图表数据展示区会将导入的数据绘制出来，如下图所示：



8.2.2 光谱数据极值点标注

将膜料的光谱数据导入之后，便可以继续进行极值点标注了，需要注意的是，极值点标准准确与否以及极值点类型正确与否直接关系到后面光学常数提取结果的准确性。极值点类型默认为 1/4 波长，可以在下面的[极值点]下拉选项框中更改对应的极值点类型，支持两种类型极值点：1/4 波长与 1/2 波长。

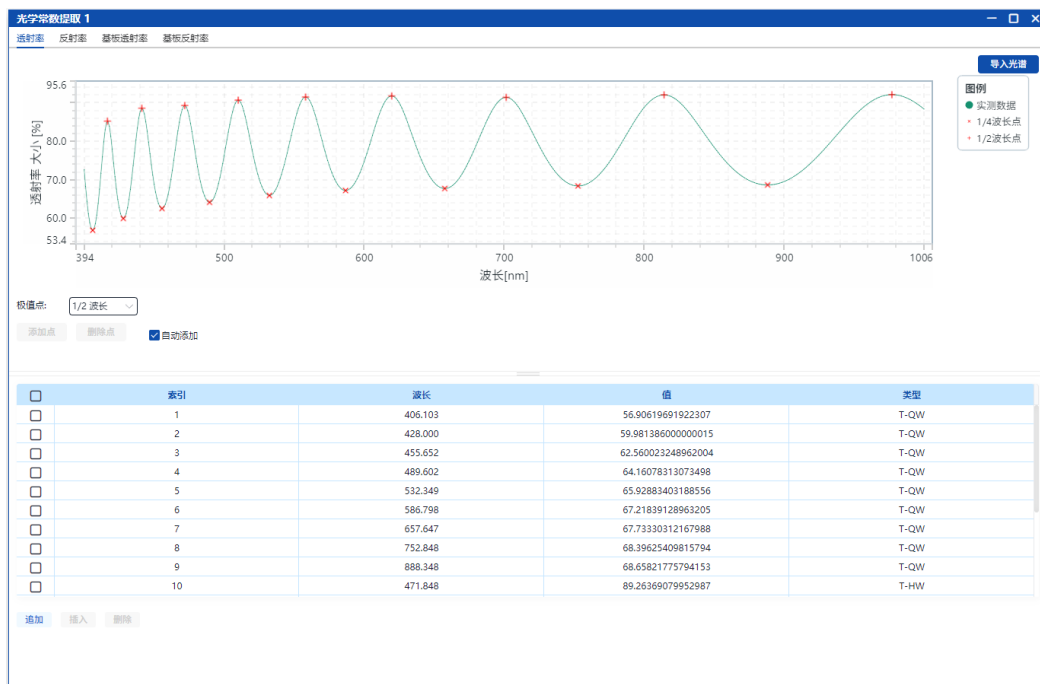
极值点的选择当前有两种方式，一种为纯手动，一种为划定一片区域，通过算法判断该区域内的极值点并自动标记出来：

- 手动勾选：一种方式是使用鼠标左键直接点击曲线上极值点的位置，然后手动点击 **添加点** 按钮，完成一个极值点标注；另一种方式是按住鼠标左键使用方框工具选取曲线的波峰或者波谷，算法会自动计算出框选范围内的极值点并标出，然后再手动点击 **添加点** 按钮完成当前极值点标注。标注的极值点数值会同步在下方的表格数据展示区显示，框选效果如下图所示：



- 自动勾选：使用该方法的前提是需要选中[自动添加]复选框，勾选此复选框后，按住鼠标左键使用方框工具选取曲线的波峰或者波谷，算法会自动计算出框选范围内的极值点并按照当前[极值点]复选框中极值点类型进行自动标记，无需额外再去点击**添加点**按钮添加标记点，
- 标注点的删除方式：使用鼠标左键点击一下已经标注的点，此时**删除点**按钮会变为可用状态，再点击一下**删除点**按钮，便可以删除当前选中的标注点。

完成所有极值点标注后，界面如下图所示：



8.2.3 光学常数提取执行

当完成了前期的待测膜料的光谱数据的导入处理以及极值点标注后，便可以进行光学常数提取了。需要注意的是，前期操作正常与否直接关系到光学常数提取结果的准确性。用户可以点击上方【光学常数提取】工具栏中**计算**按钮，进行光学常数提取参数的配置。



点击此按钮后，会有如下图所示的【计算】窗口弹出



计算参数配置分为两个部分，【膜层】标题用于设置膜料的计算参数，【基板】标题用于设置基底的计算参数。

- [近似折射率]输入框用于填写膜料大致折射率。
- [薄膜模型]下拉菜单用于选择待测膜料计算模型，其中包含四个下拉选项[均匀-吸收]、[均匀-不吸收]、[非均匀-吸收]、[非均匀-不吸收]：
 - ✓ 当导入数据只有膜料透射光谱数据，则支持选择[均匀-吸收]或[非均匀-不吸收]；
 - ✓ 当导入数据只有膜料反射光谱数据，则支持选择[非均匀-不吸收]；
 - ✓ 当同时导入膜料透射光谱数据与反射光谱数据时，则支持选择[非均匀-吸收]；
- [入射角]输入框用于填写入射光在被测薄膜上的入射角。所有测量必须以相同的入射角进行。这样可以在使用反射率测量时提高测量结果的准确性。

- **[偏振态]**下拉菜单用于选择入射光的偏振状态。
- **[单面反射]**复选框用于设定是否考虑来自膜层的背面的反射光, 勾选此复选框会从忽略膜层来自背面的反射光束。
- **[使用光谱]**复选框用于设定是否使用导入的基底光谱数据, 此复选框仅在基底光谱数据被导入时可用, 勾选此复选框后将使用导入的基底光谱数据参与计算。
- **[材料]**选择框用于基底材料的选择, 并且, 如果勾选了**[使用光谱]**复选框, 则此选择框变为灰色不可用。
- **[厚度]**输入框用于设定基底的厚度大小。
- **[单面反射]**复选框用于设定是否考虑来自基底的背面的反射光, 勾选此复选框会从忽略膜层来自基底的反射光束。

提取 n&k : **提取 n&k** 按钮用于执行光学常数提取计算

取消 : **取消**按钮用于取消光学常数计算。

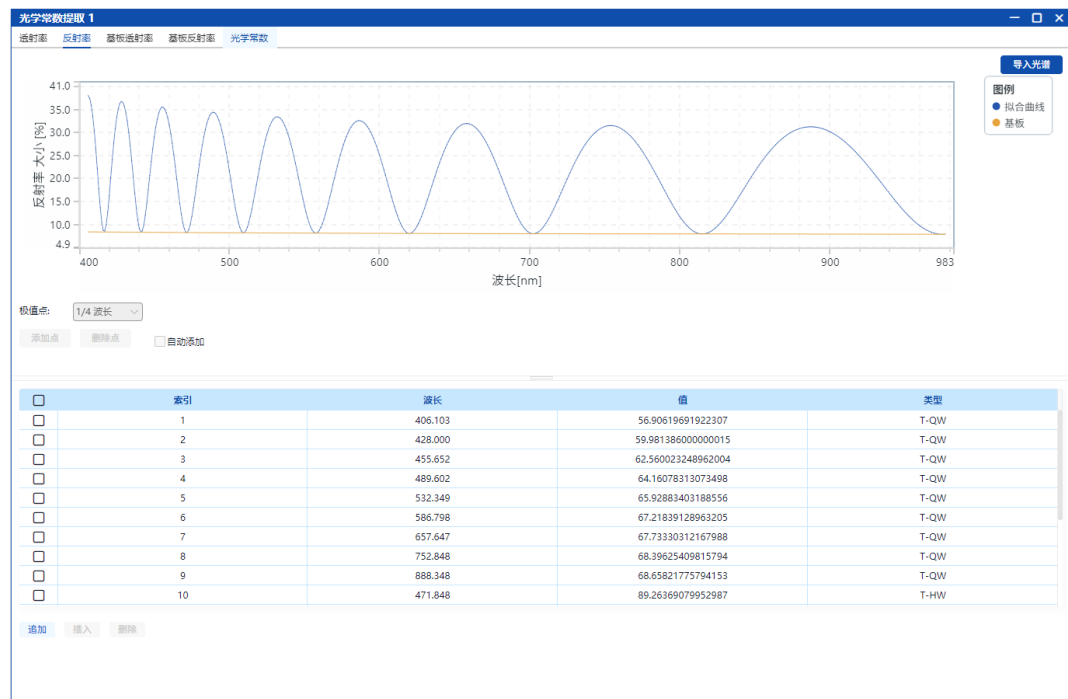
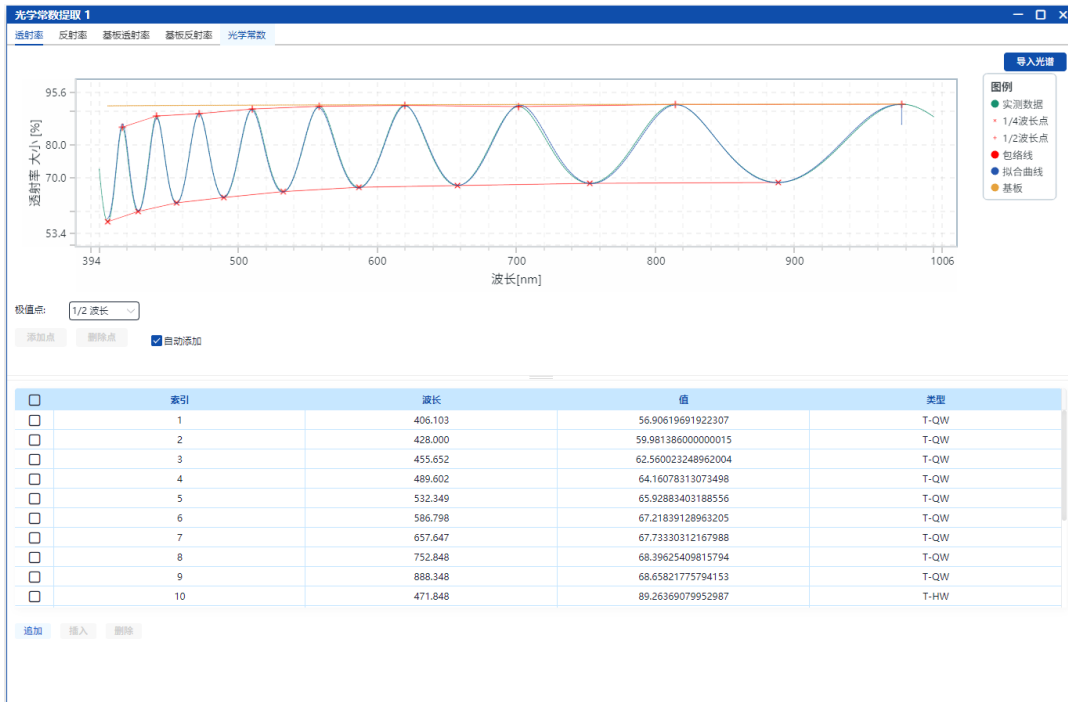
保存 : **保存**按钮用于将当前配置参数保存。

确认 : **确认**按钮用于将当前配置参数保存并关闭当前界面

配置完参数, 点击**提取 n&k** 按钮, 便会得到如下界面所示的提取结果, 在**【光学常数提取】**窗口中, 会多出一个名为**【光学常数】**的标签页, 页面布局如下图所示, 页面里面会以图表与表格的方式展示当前光学常数提取的结果。



同时在**【透射率】**与**【反射率】**标签页会展示当前计算出的材料数据对应的光谱性能, 计算出的数据光谱性能曲线与导入膜料光谱数据曲线重合度越高, 代表计算出的结果越接近材料参数。



8.2.4 根据计算结果创建材料

完成上述光学常数提取过程后，用户可以点击上方【光学常数提取】工具栏中**创建材料**按钮，将提取出光学常数的膜层材料加入私有材料库，点击此按钮会弹出如下图所示的【创建材料】窗口，在该窗口中，用户可以选择数据来源，一共有三种数据来源可供选择：[平均折射率]、[内部折射率]、[外部折射率]，需要注意的是，只有待测膜料计算模型为非均匀时，才可以选择[内部折射率]或[外部折射率]。



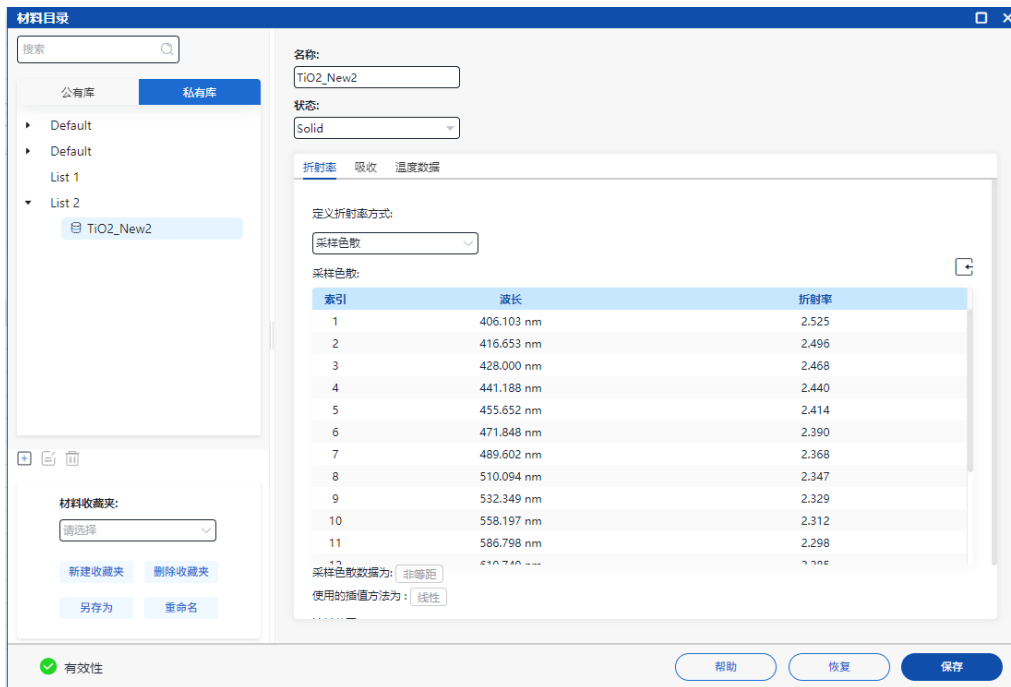
选择完数据来源后点击**确认**按钮，会弹出如下所示【保存至私有资源库】窗口，进行材料名称输入



完成材料名称输入后点击**确认**按钮，会弹出如下所示【添加到材料资源库私有库列表】窗口，用户可以选择其中某一种材料列表将新建材料存储到该列表中，或者点击 **+** 按钮，新建一个材料列表，将材料存储到该列表中。



用户可以点击上方【资源库】工具栏中**材料**按钮，打开【材料资源库】窗口，点击右侧【私有库】标签页，查看刚才保存到私有材料库中的材料参数，也可以在后续的光学薄膜设计中使用该材料作为膜料参与仿真与优化。



8.3 关于 UniOptics



关于VirtualLab Unity

用户点击[关于 UniOptics](#) 按钮，会跳转到浏览器并自动打开公司官网。

8.4 许可证



许可证

[许可证管理](#)按钮用于进行软件许可证管理，点击此按钮会打开如下图所示【配置】窗口。



在该窗口中，用户可以看到当前产品模块以及对应的软件维护服务期限和许可证期限。

列	描述
工具包	为方便用户根据不同仿真需求高效使用软件功能, 软件内置多个按仿真类型划分的工具包。每个工具包聚焦于特定类型的光学模拟任务, 集成了相关设计、分析与可视化工具。
维护服务期限	在维护服务有效期内, 用户有权获取本工具包的所有版本更新, 包括功能增强、安全修复及性能优化等内容, 确保使用的软件始终保持在当前最新版本状态。
许可证期限	在许可证有效期内, 用户拥有合法使用本软件中该工具包的权利。许可证期限由购买协议或激活信息中明确规定。在许可证有效期内, 用户可正常使用软件交付版本对应工具包的全部功能。许可证到期后, 用户需续订许可证以继续使用软件及相关服务。
是否可用	通过图标直观的展示当前工具包是否可用

激活新许可 : **激活新许可**按钮用于上传新的许可证文件, 适用于软件许可证过期后上传新的可用许可证文件, 对软件进行重新激活。

8.5 视图



放大、**缩小**和**实际尺寸**这三个按钮是用来控制软件界面字体大小的工具。具体来说：

- **放大**按钮：点击时整个软件界面的字体将会变大。
- **缩小**按钮：点击时整个软件界面的字体将会变小。
- **实际尺寸**按钮：点击时软件界面将恢复到默认大小。

9 理论与算法

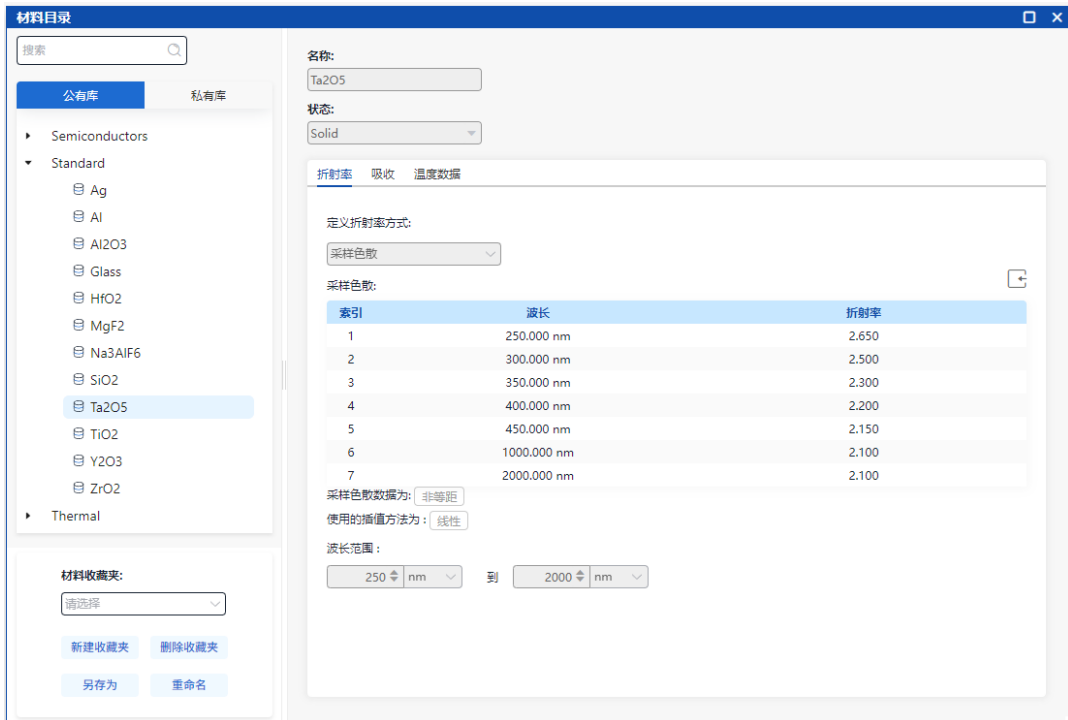
本手册的这一部分提供了前几部分所涉及主题的物理和数学背景信息。


9.1 材料

UniOptics 中，材料通过折射率、吸收率、温度相关三个标签页来进行定义。

9.1.1 折射率

【**折射率**】标签页用于定义材料的折射率参数，页面布局如下图所示：

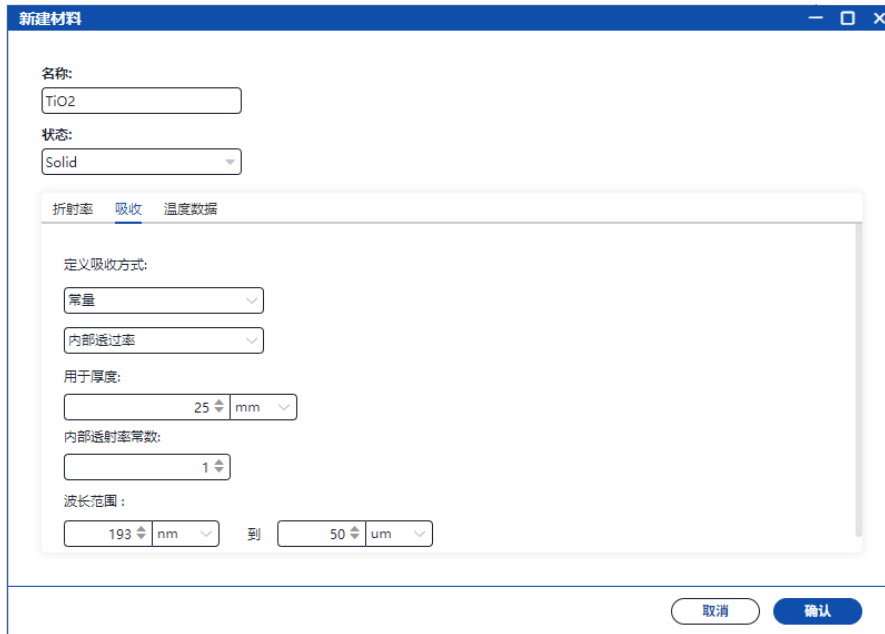


项目	描述
名称	材料名
状态	材料的物理状态，包含固态、液态、气态三种状态
定义折射率方式	<p>定义折射率的具体方式，有三种方式：</p> <p>[常量]：以常数方式定义材料折射率，在不同波长下材料具有相同的折射率。</p>  <p>[采样色散]：如果勾选此选项，面板下方将显示一个表格控件，用于输入实测数据，即波长与对应折射率的配对值。</p>

	<p>折射率 吸收 温度数据</p> <p>定义折射率方式: <input type="text" value="采样色散"/></p> <p>采样色散:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>索引</th> <th>波长</th> <th>折射率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>326.010 nm</td><td>1.876</td></tr> <tr><td>2</td><td>340.240 nm</td><td>1.865</td></tr> <tr><td>3</td><td>351.510 nm</td><td>1.857</td></tr> <tr><td>4</td><td>362.660 nm</td><td>1.850</td></tr> <tr><td>5</td><td>375.070 nm</td><td>1.843</td></tr> <tr><td>6</td><td>387.160 nm</td><td>1.837</td></tr> <tr><td>7</td><td>394.680 nm</td><td>1.833</td></tr> <tr><td>8</td><td>402.690 nm</td><td>1.829</td></tr> <tr><td>9</td><td>415.780 nm</td><td>1.824</td></tr> <tr><td>10</td><td>425.300 nm</td><td>1.820</td></tr> <tr><td>11</td><td>427.800 nm</td><td>1.819</td></tr> <tr><td>12</td><td>445.700 nm</td><td>1.813</td></tr> </tbody> </table> <p>采样色散数据为: <input type="text" value="非等距"/> 使用的插值方法为: <input type="text" value="线性"/></p> <p>定义折射率方式: <input type="text" value="色散公式"/></p> <p><input type="text" value="Sellmeier 1"/></p> <p>Sellmeier方程1:</p> <p>K1 <input type="text" value="1"/></p> <p>L1 <input type="text" value="0"/></p> <p>K2 <input type="text" value="0"/></p> <p>L2 <input type="text" value="0"/></p> <p>K3 <input type="text" value="0"/></p> <p>L3 <input type="text" value="0"/></p> <p>波长范围: <input type="text" value="326.01"/> nm 到 <input type="text" value="800"/> nm</p>	索引	波长	折射率	1	326.010 nm	1.876	2	340.240 nm	1.865	3	351.510 nm	1.857	4	362.660 nm	1.850	5	375.070 nm	1.843	6	387.160 nm	1.837	7	394.680 nm	1.833	8	402.690 nm	1.829	9	415.780 nm	1.824	10	425.300 nm	1.820	11	427.800 nm	1.819	12	445.700 nm	1.813
索引	波长	折射率																																						
1	326.010 nm	1.876																																						
2	340.240 nm	1.865																																						
3	351.510 nm	1.857																																						
4	362.660 nm	1.850																																						
5	375.070 nm	1.843																																						
6	387.160 nm	1.837																																						
7	394.680 nm	1.833																																						
8	402.690 nm	1.829																																						
9	415.780 nm	1.824																																						
10	425.300 nm	1.820																																						
11	427.800 nm	1.819																																						
12	445.700 nm	1.813																																						
波长范围	折射率数据有效的最小波长和最大波长。在采用采样色散（采样色散）的情况下，这些数值会根据采样数据自动确定。																																							

9.1.2 吸收

【吸收】标签页用于定义材料的吸收率参数，页面布局如下图所示：



有三种不同的量描述吸收，可以通过两种不同的模式输入。

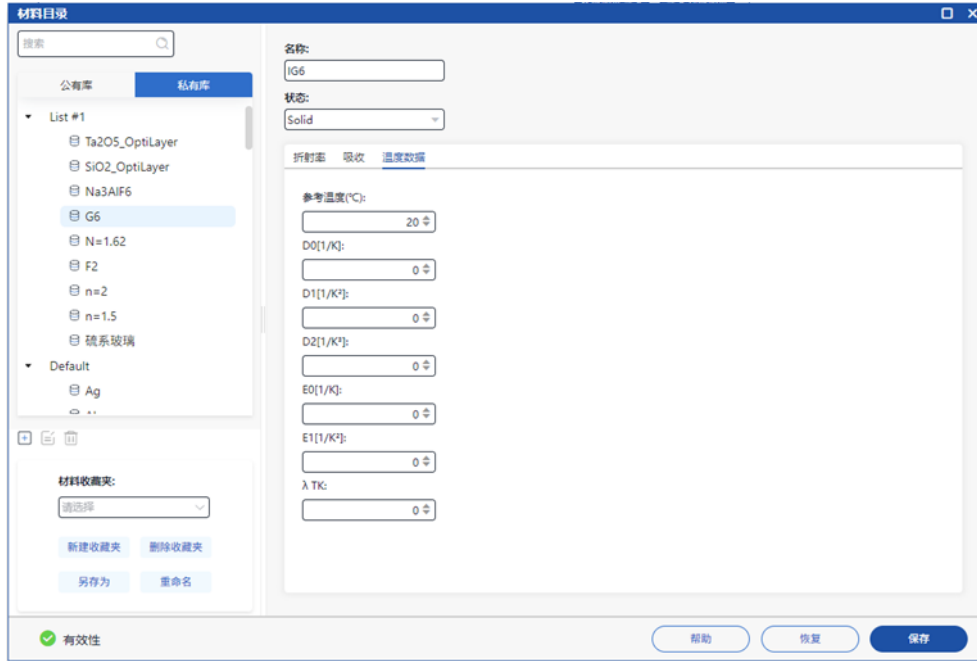
模式	吸收 Coefficient	Internal 透射率	吸收 索引
采样	✓	✓	✓
常量	✓	✓	×

这三个量分别是吸收系数、吸收指数和内部透射率。详细介绍见下表：

项目	描述
吸收系数	<p>材料的复折射率可表示为：</p> $n = n + ik$ <p>其中 n 是折射率（复数的实部），而 k 是吸收系数。</p>
吸收指数	<p>吸收指数不能与材料中存储的吸收系数混淆，后者与其之间存在如下关系。</p> $\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda_0}$ <p>λ_0是真空波长</p>
内部透射率	<p>当吸收系数出现在比尔定律（Beer's Law）中，其表达式为：</p> $I = I_0 e^{-\alpha \Delta z}$ <p>其中 I 表示光在吸收性材料中传播距离为 z 后的强度。内部透射率定义为：</p> $\frac{I}{I_0}$

9.1.3 温度数据

【温度数据】标签页用于定义决定材料折射率实部温度依赖性的参数，页面布局如下图所示：



温度依赖性引起的折射率实部变化通过以下公式计算：

$$\Delta n(\lambda, T) = \frac{n^2(\lambda, T)}{2 * n(\lambda, T_0)} * (D_0 * \Delta T + D_1 * \Delta T^2 + D_2 * \Delta T^3 + \frac{E_0 * \Delta T + E_1 * \Delta T^2}{\lambda^2 - \lambda_{TK}^2})$$

项目	描述
参考温度	这是折射率测量所采用的温度 T ₀ (单位: °C)。
D0[1/K]	上述公式中的参数
D1[1/K ²]	上述公式中的参数
D2[1/K ³]	上述公式中的参数
E0[1/K]	上述公式中的参数
E1[1/K ²]	上述公式中的参数
λ _{TK}	上述公式中的参数