石油化工建筑物抗爆设计探讨

石油化工工程设计中建筑物需要进行抗爆、爆炸安全性评估、人员集中建筑物抗爆设计——石油化工装置具有易燃、易爆、高温、高压、有毒和有害的特点，对安全提出了很高的要求，控制室和其他建筑物是否需要抗爆一直是大家关心的问题，也是安全检查重点关注的问题。本文介绍了建筑物何时需要抗爆、爆炸安全性评估、人员集中建筑物抗爆设计等方面的内容，并介绍了 GB/T 50779—2022《石油化工建筑物抗爆设计标准》的主要内容。

文 / 范咏峰 徐世林 王云

建筑物抗爆的基本目标

根据 GB/T 50779—2022，为建筑物（包括控制室）提供抗爆的基本目标如下：

1. 保护人员安全。

2. 保障设施正常运行或有序停车。

3. 减少经济损失。

抗爆设计应为在建筑物内人员提供一定级别的安全防护，该级别不应低于当发生爆炸时在建筑物外人员的防护等级。以往的事故表明许多情况下设施损坏及人员严重伤亡都是由于建筑物坍塌或建筑物碎片飞溅造成的。抗爆设计的首要目标就是降低建筑物本身在爆炸中成为危险因素的可能性。

抗爆设计的第 2 个目标是保障事故发生时设施的正常运行或有序停车，防止设备失控导致级联事故，使得其影响扩散。比如在石油化工企业中，应保证中心控制室内控制系统等设施的正常运行或有序停车，当在一个装置发生事故时，不应影响其他装置继续安全运行或有序停车。

抗爆设计的第 3 个目标是避免造成重大经济损失或尽可能减少经济损失，该目标与前两个目标的实现密切相关，也是设计工作中争议较多的情况。

从以上说明可以看出建筑物是否需要抗爆应从人员安全、设施正常运行或有序停车和经济等方面综合考虑，合理确定。

建筑物何时需要抗爆

实际工程中，可以按照以下原则确定建筑物是否需要抗爆：

1. 有管辖权的部门根据所邀专家的经验经过行文并确定。比如：安委 [2020]3 号《全国安全生产专项整治三年行动计划》规定涉及甲乙类火灾危险性的生产装置控制室、交接班室布置在装置区内时，应按照 GB/T 50779 进行抗爆设计、建设和加固。此时，不论爆炸安全性评估如何，都应符合 GB/T 50779 的要求。

2. 根据标准规范的规定、安全要求确定。根据现行标准规范的要求，建筑物是否需要抗爆通常基于爆炸安全性评估，结合标准规范的要求确定。

不论采用哪种原则，都以满足法律法规、标准规范为最低要求。

爆炸安全性评估

建筑物是否需要抗爆以及爆炸冲击波超压和正压作用时间应由爆炸安全性评估确定。

以下从爆炸安全性评估的方式、可信事故场景确定方法和爆

本文作者范咏峰供职于中科合成油工程有限公司；徐世林供职于上海爵格工业工程有限公司；王云供职于山东济炼石化工程有限公司。

炸冲击波参数的确定 3 个方面介绍爆炸安全性评估。

爆炸安全性评估的方式

SH/T 3047—2021《石油化工企业职业安全卫生设计规范》在 7.2.1 条文说明中给出了 3 种爆炸安全性评估的方式。

根据 API RP 752—2009 第 4.1 条规定，对人员集中建筑物应进行位置评估，第 5.2.1 条规定可选择下列 3 种方式中的一种或两种作为建筑物位置设置的依据：

1. 基于最大可信事件的事故后果基准方式。

2. 结合事故后果和发生频率的风险基准方式。

3. 间距表模式，企业可根据行业协会、保险协会、法律法规以及工程经验等编制危险设备与人员集中建筑物的间距表。

SH/T 3047—2021 推荐采用事故后果基准方式。可接受的最大事故后果影响的原则为：建筑物的主要梁、柱、框架的最大承受能力是在设计基准事故的爆炸波超压作用下不会被破坏。设计基准事故一般指预计运行事故、稀有事故和极限事故的统称。

基于最大可信事件的事故后果基准方式，通常需要确定一个爆炸冲击波超压值作为判断建筑物是否需要抗爆的判断值，当爆炸冲击波超压低于这个判断值时，符合现行标准规范的新建的非抗爆建筑物不会出现较严重的损伤而对人身安全造成威胁；当爆炸冲击波超压大于等于这个判断值时，符合现行标准规范的新建的非抗爆建筑物会出现较严重的损伤而对人身安全造成威胁。当最大可信事件的事故后果对应的爆炸冲击波超压值大于上述判断值时，新建的建筑物应采用抗爆设计。SH/T 3047—2021 和 SH/T《石油化工过程风险定量分析标准》报批稿提出以 6.9 kPa 作为判断值。既有建筑物不同于新建建筑物，对于既有建筑物，即使爆炸冲击波超压值小于上述判断值，仍然建议具体分析既有建筑物在经爆炸安全性评估得到的爆炸冲击波超压值和相应的正压作用时间下是否会损坏，对于可能出现较严重的损伤而对人身安全造成威胁的既有建筑物建议实施符合标准要求的加固。

SH/T 3047—2021 在条文说明中提出可根据企业的风险管理水平选择 6.9 kPa 以下的冲击波超压值作为可接受标准。冲击波超压不可接受的人员集中建筑物应进行抗爆设计，抗爆设计要满足 GB/T 50779 的要求。

SH/T《石油化工过程风险定量分析标准》报批稿提出如下要求：

（1）建筑物受到的爆炸冲击波超压 ≥ 6.9 kPa 或者爆炸冲量 ≥ 207 kPa · ms 时，建筑物主体结构应采用抗爆设计，建筑物其他部分的抗爆要求参见 GB/T 50779。

（2）建筑物抗爆设防荷载宜为累计频率≤ 1×10^{-4}/ 年的爆炸冲击波参数，或者根据可信事故场景确定的爆炸冲击波参数。

结合事故后果和发生频率的风险基准方式，除了要考虑爆炸冲击波超压值以外，还需要考虑事件发生的频率和事件后果。

可信事故场景确定方法

一般有 2 种方法，一种是模拟筛选法，另一种是工程简化法。

1.模拟筛选法

SH/T《石油化工过程风险定量分析标准》报批稿在附录 C 给出了可信事故场景确定方法如下：

（1）识别出潜在的主要危险场景（例如爆炸、毒性和火灾等），然后判断该场景是否为“真实”的。

（2）根据场景事件发生频率，筛选出事故后果的发生频率不低于 1E-5/ 年的事件。

（3）模拟和评估事故后果，确定满足以上要求的最严重事故后果场景。

（4）确定可信事故场景，即具有合理发生概率的所有真实场景事件中，后果最严重的事故。

可信事故场景确定流程如图 1 所示。

2.工程简化法

有些工程公司采用通过确定泄漏孔径来进行后果评估的方法，具体泄漏孔径的选择是基于历史的工程经验和模拟计算的数据，考虑了基于企业风险标准而确定的最大可信事故发生的频率和不同泄漏孔径发生的频率，而给出的工程简化方法。比如有些工程公司采用 50 mm 特征孔径作为最大可信事故场景进行事故后果分析，选取其最大事故后果的荷载作为建筑的结构安全评估的荷载

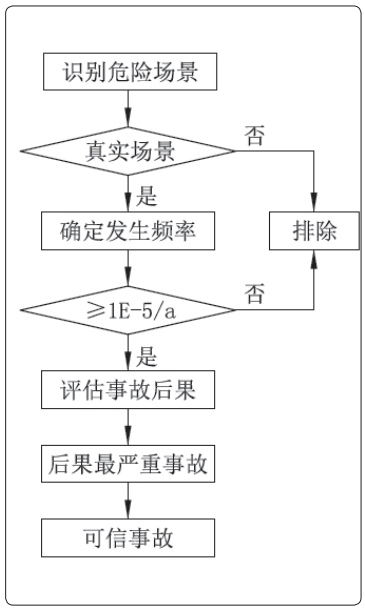

图 1 可信事故场景确定流程

输入条件。

爆炸冲击波参数的确定

GB 50779—2012《石油化工控制室抗爆设计规范》提出，控制室抗爆设计采用的峰值入射超压及相应的正压作用时间，应根据石油化工装置性质以及平面布置等因素进行安全分析综合评估确定；当未进行评估时，也可按下列规定确定，并应在设计文件中说明：

1. 冲击波峰值入射超压最大值可取 21 kPa，正压作用时间可为 100 ms；也可冲击波峰值入射超压最大值取 69 kPa，正压作用时间取 20 ms。

2. 爆炸冲击波形取时间为零至正压作用时间，峰值入射超压从最大到零的三角形分布。

GB/T 50779—2022 取消了 GB 50779—2012 中规定的上述爆炸冲击波峰值入射超压及相应的正压作用时间，明确了抗爆建筑物的抗爆要求、爆炸冲击波峰值入射超压及正压作用时间应通过爆炸安全性评估确定。

GB/T 50779—2022 给出的爆炸荷载计算主要是基于评估确定的峰值入射超压和正压作用时间。爆炸冲击波参数中的波速、峰值动压和冲击波波长可以按照 GB/T 50779—2022 中的公式 4.1.2-1、4.1.2-2 和 4.1.2-3 分别计算得到。

人员集中建筑物的定义

根据 SH/T 3047—2021，人员集中建筑物是指人员有固定岗位或具有人员聚集功能的建筑物。例如，办公楼、会议中心、员工倒班宿舍、食堂、中央控制室、中心化验室、消防站、气体防护站、外操间以及门卫室等大部分的辅助生产建筑物，参见 SH/T 3196—2017。

平时无人只是偶尔有人员进入的建筑物可以不按照人员集中建筑物考虑，这类建筑物包括但不限于：厂房、泵房、设备房、加药间、无人值守的仓库、变配电室、现场机柜间以及现场卫生间等。

人员集中建筑物应该根据具体情况而定，主要考虑使用人员的数量及使用频率，以及所有使用人员的累积数量，例如：设置外操间的现场机柜间、设置操作台的现场化验室、设置办公室的厂房 / 泵房等均属于人员集中建筑物。

对于人员集中建筑物，不同标准有不同的具体定义，举例如下：

GB 50984—2014

GB 50984—2014《石油化工工厂布置设计规范》中人员集中场所是指固定操作岗位上的人员工作时间为 40 人 •h/ 天以上的场所。条文说明中进一步解释，建筑物内人员数量是指每天操作人员在其停留时间的总和数量。如果每天工作 8 h，5 人值守，则为 40 人 •h/ 天。

SH/T 标准和中石化文件

SH/T《石油化工过程风险定量分析标准》报批稿和《中国石化既有建筑物抗爆治理指导意见（试行）》[2020]41 号对于人员集中建筑物的定义是一致的，是指有固定工资人员在内或者经常有人存在的建筑物，且满足以下两个条件之一：

（1）固定工作岗位上的人员工作时间为 40 人 • h/ 天以上的场所。

（2）高峰期内，在建筑物内工作 1h 及以上的人员数量不少于 10 人（出现频率≥ 1 次 / 月）

SH/T 3047—2021

人员集中建筑物是指人员有固定岗位或具有人员聚集功能的建筑物。本着安全设计基于风险评估的原则，使用者可按照标准的定性要求执行，SH/T 3047—2021 未采用关于人员停留时间 40 人 •h/ 天或 300 人 •h/ 周的定量要求。

人员集中建筑物抗爆设计

根据 SH/T 3047—2021，人员集中建筑物抗爆设计要求如下：

1. 人员集中建筑物的位置和设计宜根据爆炸评估计算结果确定。

2. 爆炸危险源附近应最大限度减少人员集中建筑物数量和面积。对于不适合采用抗爆设计的建筑物，例如：多层办公楼、中心化验室、食堂、消防站以及气体防护站等建筑物，工程上无法满足 GB/T 50779 的人员集中建筑物，要布置在爆炸冲击波超压可接受范围内。

3. 抗爆建筑物的设计，应满足 GB/T 50779—2022 的要求。

在爆炸环境下，当建筑物内工作人员的伤亡风险高于项目风险可接受标准时，需要调整其总图位置或采取相应的建筑物抗爆措施。

根据 GB/T 50779—2022，对于新建有人值守建筑物不宜布置在爆炸冲击波峰值入射超压大于 48 kPa 的区域。

根据 GB 50160—2008（2018 年版）《石油化工企业设计防火标准》，中央控制室应根据爆炸风险评估确定是否需要抗爆设计。布置在装置区的控制室、有人值守的机柜间宜进行抗爆设计，抗爆设计应按现行 GB/T 50779 的规定执行。

蒸气云爆炸

石油化工爆炸类型包括：蒸气云爆炸（VCE）、压力容器爆裂（PVB）、沸腾液体膨胀蒸气爆炸（BLEVE）、粉尘爆炸和爆炸物爆炸等。

蒸气云爆炸是指由于气体或易挥发的液体可燃物泄漏、积聚，与空气预混合，在一定受限的区域形成蒸气云，当浓度达到爆炸极限范围时，遇点燃源而引发的爆炸。

GB/T 50779—2022 的设计假设和要求是基于蒸气云爆炸模型，不适用于其他爆炸类型和模型。GB/T 50779—2022 在条文说明中指出，尽管爆炸形式各种各样，但是蒸气云爆炸在石油化工行业中是需要首要关注的，对于压力设备爆炸、液体爆炸等可通过定期开展设备的检测、维护、加强安全管控等措施降低事故风险，在工程中一般不予考虑。

GB/T 50779—2022 的使用条件

采用 GB/T 50779—2022 进行建筑物抗爆设计时，应注意以下假设或者使用前提条件：（括号内的序号为 GB/T 50779—2022 的相关条款号）

1.GB/T 50779—2022 不规定建筑物是否需要抗爆，而是在已经明确建筑物需要抗爆设计，并且已经确定设计输入条件（爆炸冲击波峰值入射超压及相应的正压作用时间）时，规定如何开展该建筑物的抗爆设计。

2. 基于蒸气云爆炸模型（4.1.1 条文说明、6.4.1 条文说明）。

3. 抵御一次外部爆炸载荷，不适用于连续抵御二次或者以上爆炸场景（3.0.4）。

4. 适用于外部爆炸，不适用于内部爆炸（2.1.1 正文、1.0.1 条文说明、4.2 条文说明）。

5. 不考虑爆炸源飞溅物对建筑物的影响（4.1.1 条文说明）。

6. 基于性能要求（3.0.4）。

GB/T 50779-2022 修订的主要内容

GB/T 50779—2022 前言中给出了 GB/T 50779—2022 相对于 GB 50779—2012 的主要修订内容，具体包括 11 项内容。

抗爆建筑物的概念设计

建筑物抗爆设计主要包括概念设计、结构计算和构造处理 3 个方面。概念设计的要求结合了大量的工程实践，是基于工程安全可靠性、可行性和经济合理性的综合考虑而提出的要求。GB/T 50779—2022 在 3.0.10 条文说明中提出，相对于普通建筑物而言，抗爆建筑物更加强调概念设计的重要性，并要求采取必要的构造措施，使结构具有一定的延性和冗余度，从而保证其在设计爆炸荷载情况下具有较好的整体性和较大的变形耗能能力。

抗爆建筑物概念设计的主要内容举例如下：（括号内为相关内容的部分举例，括号内的序号为 GB/T 50779—2022 的相关条款号）

1. 建筑物抗爆设计的目的、目标、性能要求（1.0.1、3.0.4）。

2. 抗爆建筑物设计的基本原则（结构体系的选择，3.0.10）。

3. 抗爆建筑物选址原则、独立性、朝向等（3.0.2、3.0.3）。

4. 根据爆炸冲击波峰值入射超压值合理选择抗爆建筑物结构形式（3.0.11）。

5. 建筑物层数和高度控制（3.0.8）。

6. 抗爆建筑物横墙之间的楼盖、屋盖长宽比要求（3.0.13）。

7. 外墙开洞尺寸、洞口间净距、洞口密封要求（3.0.18）。

8. 外形特征（3.0.7）。

9. 附属构件的设置（3.0.15、3.0.16）。

抗爆建筑物性能要求

GB/T 50779—2022 的抗爆设计为基于性能的设计。抗爆建筑物遭受一次设计爆炸荷载作用后，建筑物和结构构件的性能应符合下列规定：

1. 建筑物可产生局部构件破坏，但不应影响结构的整体稳固性。

2. 建筑物可继续使用．进行一般性修理或更换应恢复其完整性。

3. 主要结构构件不应产生较严重的损伤。

4. 次要结构构件可产生永久性变形，可经一般性修理恢复或更换。

抗爆建筑物的独立性、朝向和开门

在抗爆建筑物的独立性、朝向和开门的要求方面，GB/T 50779—2022 相对于 GB 50779—2012 有如下主要变化：

1. 抗爆控制室应独立设置，修改为了：当爆炸冲击波峰值入射超压大于 6.9 kPa 时，抗爆建筑物应独立设置。

2. 取消了“抗爆控制室四周不应同时布置甲、乙类装置”的要求。

3. 取消了“抗爆控制室应至少在两个方向设置人员的安全出口”的要求。

4.“抗爆控制室的安全出口不得直接面向甲、乙类工艺装置”的要求，修改为了：当爆炸冲击波峰值入射超压大于 6.9 kPa 时，抗爆建筑物安全出口不应直接面向有爆炸危险性的装置或设备，设置多个出口时，宜在不同的方向设置。

5. 条文说明中对“直接面向”作了补充说明。

GB/T 50779—2022 所述“直接面向”指安全出口开门后直接面对有爆炸危险性的装置或设备。当在出口外侧设置一字形有顶抗爆钢筋混凝土挡墙，且挡墙两侧每边宽出洞口不小于 1.0 m 时，不属于直接面向。有顶抗爆挡墙应经过抗爆验算确保在爆炸力的作用下不被破坏或产生碎块，将建筑安全出口设置在不同方向也是提高人员疏散通道可靠性的措施。有顶抗爆挡墙的布置示意如图 2 所示。

电缆进线要求

GB 50779—2022 取消了 GB 50779—2012 第 4.1.6 条款中的活动地板下地面以上的外墙上不得开设电缆进线洞口的要求。

根据 GB 50779—2022 要求，除门窗洞口外，抗爆建筑物外墙的开洞尺寸不应大于 1.0 m，洞口间净距应大于洞口宽度。所有外墙、屋面的开洞均应采取整体抗爆密封措施，并能抵抗相应的爆炸荷载。

根据 SH/T 3006—2012《石油化工控制室设计规范》中 4.7.1 条款要求，控制室宜采用架空进线方式。电缆穿墙入口处宜采用专用的电缆穿墙密封模块，并满足抗爆、防火、防水、防尘要求。控制室室内活动地板下地面和室外地面之间有一个高度差，SH/T 3006—2012 推荐的架空进线就是利用这个高度差，在室外地面以上进线。

GB 50779—2022 取消了室内活动地板下地面以上的外墙上不得开设电缆进线洞口的要求，使得架空进线更易于实现。SH/T 3006—2012 在条文说明中指出，架空进线与地下进线相比利大于弊。架空进线有利于防水、防污和防鼠，费用低。

隔离前室

隔离前室是指人员通道上阻隔爆炸冲击波超压进入室内的内置式隔间。

爆炸冲击波峰值入射超压不小于 21 kPa 时，有人值守建筑物应在人员通道上设置隔离前室并配置人员通道抗爆门，门扇应向外开启且净宽度应符合消防疏散的规定。

无人值守的抗爆建筑物可以不设置隔离前室，只有当爆炸冲击波峰值入射超压不小于 21 kPa 且为有人值守建筑物时才应按规定设置隔离前室。

抗爆建筑物隔离前室的使用面积不宜小于 6 m^2。隔离前室内门的爆炸冲击波超压取外门爆炸冲击波超压的 50%。隔离前室内门、外门应具备不同时开启联锁功能，火灾状态下应自动解除联锁。其中，火灾状态下应自动解除联锁，为 GB/T 50779—2022 的新增要求，目的是在建筑物内部发生火灾时应可自动解锁以便于人员的快速疏散。

隔离前室的内门和外门既可以错开布置，也可以正对布置。

既有建筑物抗爆设计及加固

GB/T 50779—2022 的第 8 章既有建筑物抗爆设计为新增章节，明确了既有建筑物的抗爆设计应符合的标准和具体要求，并提出不同情况下的改造措施、加固方法以及要求，包括如下 3 种改造措施：

1. 抗爆涂层等加固法（见 GB/T 50779—2022 中的 8.3.6 ~ 8.3.9，附录 D）。

2. 抗爆保护罩加固法（见 GB/T 50779—2022 中的 8.3.10、8.3.11 条文说明）。

3. 抗爆庇护所（见 GB/T 50779—2022 中的 8.3.11 条文说明）。

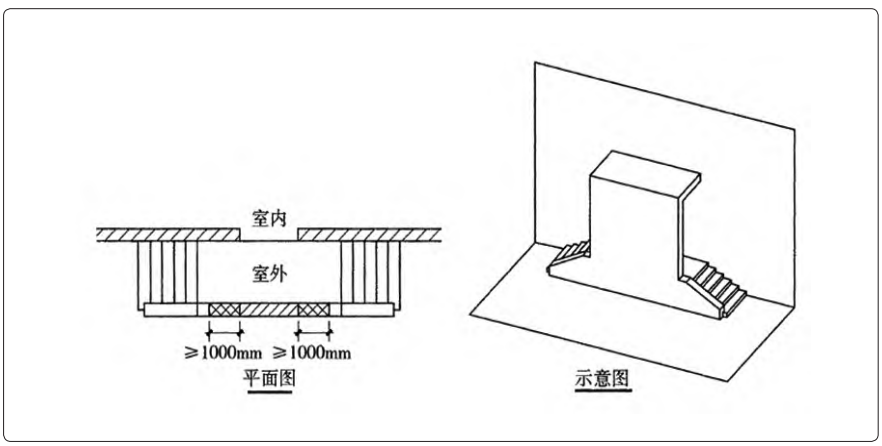

图 2 有顶抗爆挡墙的布置示意

现场机柜室是否需要抗爆

现场机柜室包括有人值守的现场机柜室和无人值守的现场机柜室，有人值守的现场机柜室可以参考《全国安全生产专项整治三年行动计划》对控制室抗爆的要求和相关标准规范对控制室抗爆的要求。无人值守的现场机柜室在《全国安全生产专项整治三年行动计划》文件中没有相关要求，应满足其他标准规范的要求，比如：SH/T 3006—2012《石油化工控制室设计规范》、HG/T 20508—2014《控制室设计规范》等。

SH/T 3006—2012 要求：对于有爆炸危险的石油化工装置，现场机柜室建筑物的建筑、结构应根据抗爆强度计算、分析结果设计。

HG/T 20508—2014 要求：对于有爆炸危险的化工装置，现场机柜室应采用抗爆结构设计。

实际工程建议：现场机柜室应根据生产装置的特性进行爆炸风险安全评估，建筑、结构设计应根据抗爆强度计算、分析结果设计。

抗爆设计范围

GB/T 50779—2022 相对于 GB 50779—2012 有一项重要的修订内容，扩大了抗爆设计范围，由石油化工控制室抗爆设计修改为石油化工建筑物抗爆设计。

人员集中建筑物、具有重要设备以及功能的建筑物（比如无人值守现场机柜室）等都需要按照本文介绍的内容进行综合评估来确定建筑物是否需要进行抗爆设计。

这在一些文件和标准中已经有所体现，比如《全国安全生产专项整治三年行动计划》中不仅提及了控制室，也提及了交接班室等人员集中建筑物。

再比如，GB 51428—2021《煤化工工程设计防火标准》在 5.3.5 条文说明中提出，生产装置的变配电室面向爆炸危险区域范围侧的外墙要采用耐火极限不低于 3.00 h 的不燃烧实体墙，其构造应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定，且宜考虑抗爆构造如采用配筋砌块、钢筋混凝土实体墙等。

总结

如何确定哪些建筑物需要进行抗爆设计，以及对于确定需要实施抗爆设计的建筑物如何开展抗爆设计，是石油化工工程设计的重要内容，本文梳理了相关文件标准要求，进行了介绍和讨论。

建议充分考虑 GB/T 50779—2022 在 1.0.1 条文说明中给出的建筑物抗爆设计的 3 个基本目标，基于爆炸安全性评估，结合建筑物的属性和作用，以满足文件标准规范要求为基本原则，综合评估确定建筑物是否需要进行抗爆设计，对于需要进行抗爆的设计的建筑物，工程设计应满足 GB/T 50779—2022 的要求。

VEOLIA

扫二维码
关注 Sievers分析仪 官方微信
查看行业应用文集

Sievers InnovOx 总有机碳TOC分析仪

用于冷凝水、地表水、废水中 BOD*/COD*/TOC 含量监测

- 革新性的超临界氧化-NDIR检测技术；
- 水质监测实时准确；
- 过饱和食盐水、高温含油、纤维素等苛刻样品可直接进样；
- 标定有效期长，免除频繁标定的困难；
- 无复杂结构部件，维护更少更简便，提高仪器“真正”可用时间。

联系我们，了解更多
400 887 8280 | sievers.china@veolia.com | cn.sieversinstruments.com

*BOD或COD值的计算基于TOC测量。

广告