

## 附件 1:

# 城市排水管道健康评估及修复虚拟仿真实验教学指导书

## 一、实验简介

目前，我国城市排水管网总长度已接近百万公里，每年产值规模超 3500 亿元人民币。城市发生道路塌陷、道路渍水、地下水污染等灾害，多因地下排水管道出现堵塞、渗漏、开裂引起，排水管道的检测评估现已成为城市管道管理运营的一项重要工作。三江学院土木工程实验教学团队以“土木工程”省一流专业建设为契机，依托三江学院智能建造产业学院的产教融合育人平台，自主开发了《城市排水管道健康评估及修复虚拟仿真实验》。

课程实验坚持以学生为中心、以立德树人为根本的教学理念，利用虚拟仿真技术构建了城市排水管道及其附属设施的具有开放性、多元性等特点的实际工程场景。高度再现了城市排水管道检测评估与非开挖修复的全过程，使学生能够“身临其境”地开展检测规范及设备认知、缺陷检测训练、现场检测及评估三个环节实验，熟悉排水管道检测的基本方法与技术规程，主要缺陷类型与等级划分；熟悉雨水口、检查井、排水管道等检查项目的检测标准与基本流程；掌握常用的排水管道检测（操作）技术与评估报告撰写方法；熟悉常见的排水管道非开挖修复技术并能够针对管道健康评估结果拟定修复方案。结合知识角中热点资讯和科技前沿等拓展阅读，潜移默化地激发学生的专业责任感和为创造人民对美好生活向往条件的使命感。

本实验如能够被认定为省一流本科课程，可面向其他高校和社会开放。

所属课程：《土木工程开放性实验》《地下工程》等专业课程

实验类别：综合设计型课程实验；

实验授课课时：4 学时；

面向专业：土木相关专业。

## 二、教学目标

本实验坚持以学生为中心、以立德树人为根本的教学理念，通过虚拟仿真所营造的情景体验式的教学环境，使学生循序渐进地开展“管道检测规范及设备认知”、“缺陷检测训练”、“现场检测及评估”的学习实践过程，完成“基础认知、专项训练、综合应用”三个层次的训练，实现以下具体教学目标：

①在管道检测规范及设备认知环节：引导学生熟悉相关工程检测规范的核心内容，掌握主要检测设备的核心工作原理，使学生明确城市排水管道健康检测与修复的基本内容。

②在缺陷检测训练环节：通过丰富的仿真素材，帮助学生系统全面的了解排水管道的及其附属结构的病害与缺陷状况，并通过实操练习掌握不同检测工具的使用方法，使学生能够掌握定性判别与定量分析排水管道及其附属结构的病害与缺陷状况。

③在现场检测及评估的综合运用环节：通过设计多种不同的工程场景，让学生自主选择不同的工程场景进行综合运用训练，锻炼学生查找问题、发现问题、解决问题等全过程、全方位的综合应用能力。

④知识角中收录大量与本实验项目相关与时俱进的学习阅读材料，学生通过拓展学习，可以更为全面得了解城市排水管道健康评估与修复工作在保卫城市安全健康运行中的重要贡献及不可或缺的重要作用。同时了解此项工作在现实中存在面广量大，是基建强国的重要表现之一，而从事市政基础设施建设与运维管理工作是满足人们对美好生活向往的重要保障。在此，可以潜移默化的将思政元素

自然的融入教学内容中去，激发学生的专业认同感，社会责任感与使命感，愿意为将来投身“强国基建、大国管理”而积极努力拼搏。

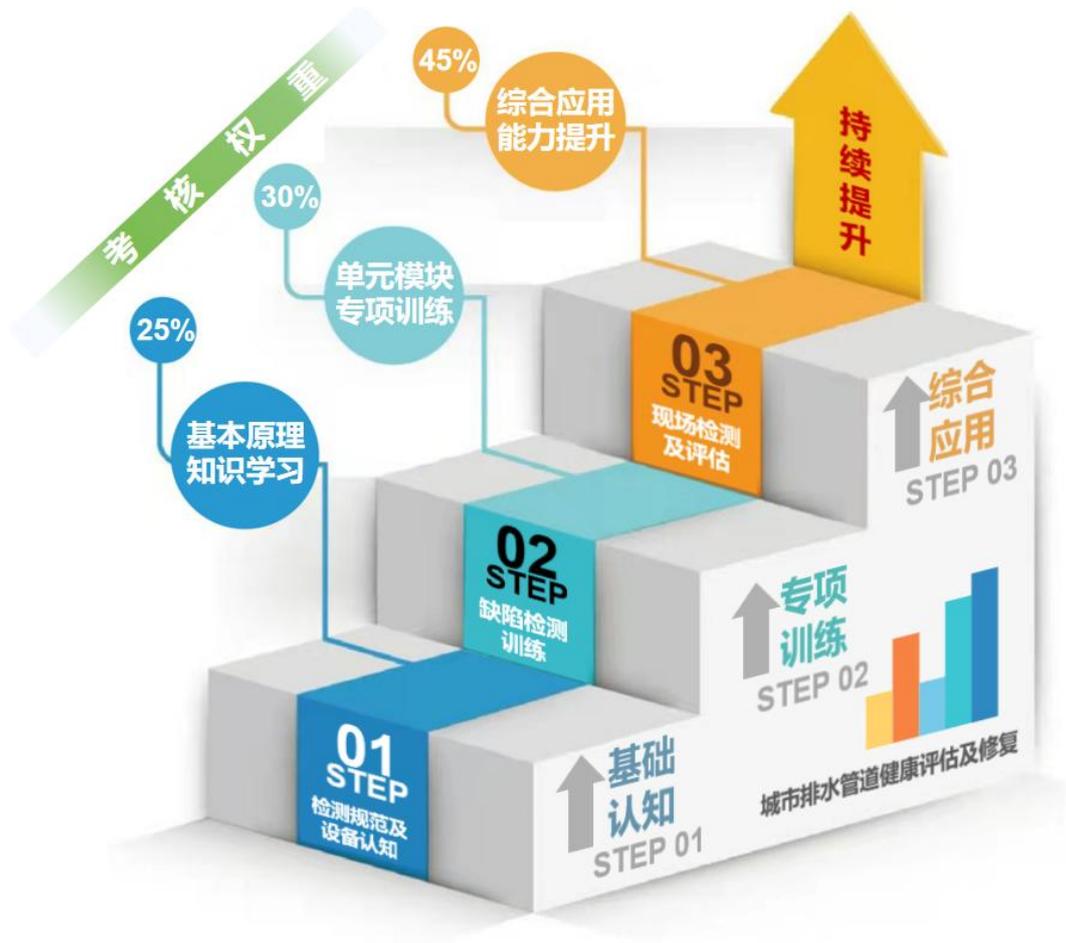


图1 排水管道健康检测及修复虚拟仿真实验学习实践过程图示

### 三、教学内容

本实验具备较强的应用性和普适性。所设置的三大实验环节及其对应的步骤既层层递进又各自独立。因此，在高校人才培养、相关行业培训等实际应用中，教师可根据专业要求、课程需求、教学目的以及教学对象的能力层次等实际情况，自主选择实验环节组合开展实验，灵活配置实验的难易程度，实现分层次教学。如：

- ① 以了解或掌握检测规范及设备认知教学，可选择第一环节开展实验；
- ② 以培养工程实践能力为目标的行业培训或工程训练教学，可选择第一、三环节开展实验；

③ 以建立“从认知到综合应用实践”整体思维为目标的能力提升教学，可完整利用第一、二、三环节开展实验。各实验环节教学内容具体如图 2 所示。

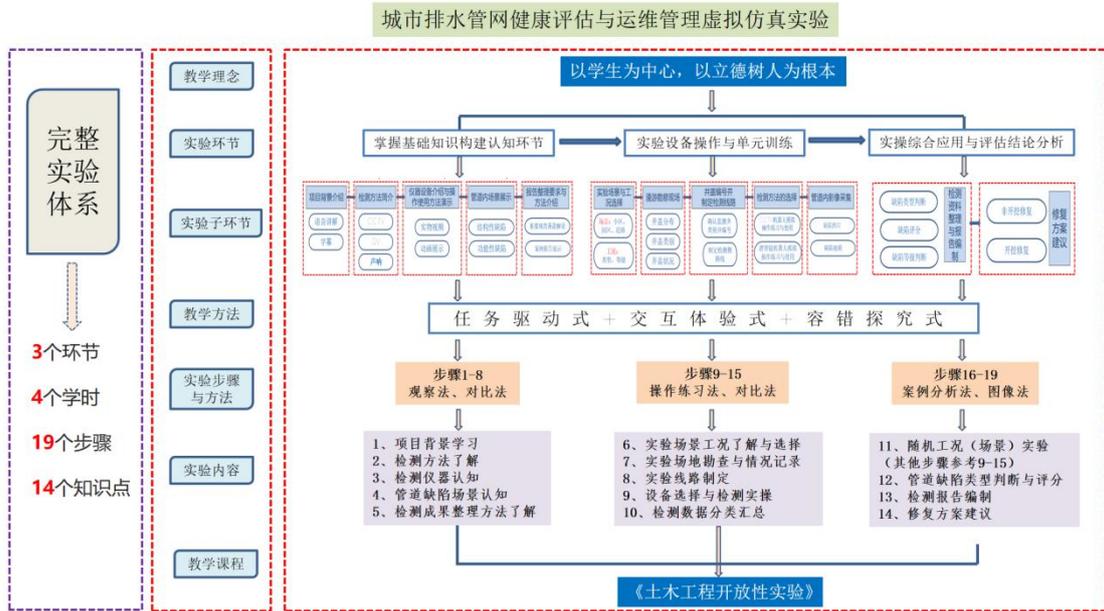


图 2 排水管道健康检测及修复虚拟仿真实验教学设计脉络图

### 环节一：检测规范及设备认知

在虚拟的城市地下排水管网环境中，采用交互体验式的教学方式引导学生认真观察对比城市排水管道中可能预见到的缺陷场景，主要检测设备类型及其基本功能，熟悉《城市排水管道检测与评估技术规程》和《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》。本环节涉及 4 个知识点，7 个交互步骤，共需 1 学时。

#### 1、知识点：

- (1) 排水管道检测流程
- (2) 检测依据与方法
- (3) 管道检测设备及其功能特点
- (4) 管道缺陷场景认知

#### 2、教学重难点：管道缺陷识别与定量评判。

3、教学过程：学生根据步骤引导，逐个点击并观察“管道检测标准”、“检测设备认知”、“管道缺陷类型”的主要知识结构，并结合针对功能的详细说明开展对比分析和认知学习。本环节主要根据学生的点击操作和少量测试题计算分

数。学生必须按照步骤引导和任务要求逐项点击观察对象，方能获取全部分数，如有遗漏将扣除相应分数。因此，学生对管道检测规范、检测设备及缺陷类型的点击学习情况决定了本环节的实验成绩。

## **环节二：缺陷检测训练**

根据预设好的各种城市排水管道及其附属设施的缺陷元素与常用的检测设备进行单元训练任务编排，学生通过自主选择检测设备与实验模块完成既定任务。学生可以在容错的条件下进行探究训练，完成本环节的训练后，可以达到能够对排水管道及其附属设施的缺陷与病害进行定性判别与定量分析，熟练掌握主流检测设备操作方法的能力。此训练环节将为学生完成现场综合性项目训练打下基础。

### **1、知识点：**

- (1) 雨水口常见病害形貌
- (2) 检查井常见病害形貌
- (3) 缺陷评估
- (4) 管道检测设备实操要点
- (5) 管道封堵措施
- (6) 检测成果整理的基本方法

### **2、教学重难点：**检测设备的操作要领与检测数据整理要求。

**3、教学过程：**学生根据“雨水口检测”、“检查井检测”、“管道检测”三个子环节的任务驱动开展逐项训练，每个子环节均设计了详细的任务内容，学生根据完成各环节任务内容的多少与正确合理程度获得相应的分数。学生可以在容错的条件下进行探究训练，练习次数与正确率均与本环节成绩相关。

## **环节三：现场检测及评估**

本环节要求学生根据仿真系统中提供的各具特点的项目案例进行操作训练与分析评估，同时能够科学地选择城市排水管道非开挖修复方案。

本环节中案例设计依据排水管道的使用环境、功能要求、管材类别、管径大小等诸多方面因素进行了综合考虑。另外，提供了从不同维度（可靠性、合理性、经济性等）考虑的管道非开挖修复方案供学生灵活选用。使学生在解决城市排水管道方面的工程问题时，能够具备“会诊会治”的综合能力。

### 1、知识点：

- (1) 随机项目工况特点与选择
- (2) 管道缺陷的定性判断与定量评价
- (3) 检测报告的编制要求与方法
- (4) 非开挖修复方案的类型与适用条件

**2、教学重难点：**管道检测技术的综合应用；管道病害原因分析修复治理技术应用。

**3、教学过程：**本环节中，设计了不同的工程场景，各场景条件下的具体操作流程相似，工况条件与缺陷类型存在差异。学生须分别对“园区道路管道”、“市政道路管道”、“住宅小区管道”这三个环节进行综合训练，根据实验项目完成度和实验结论正确度获得相应的分数。本环节的第四个子环节为“排水管道非开挖修复”模块，学生根据前三个子环节的检测评估结论选择适合的非开挖修复方案，方案选择的合理程度决定本子环节的得分。最后，综合本环节的全部分项得分确定总分。

## 四、教学和实验方法

### 4.1 教学方法

在教学过程中，教师需巧妙地运用本实验设计的“任务驱动式”、“交互体验式”、“容错探究式”的教学方式，帮助学生循序渐进地开展各环节的自主操作和探究。以下分别阐述上述实验教学方法的使用目的、实施过程与实施效果。

**任务驱动式：**依据教学目标和重/难点，设置明确的任务目标，引导学生围绕任务展开自主学习和探究，激发实验兴趣，并体验完成任务的满足感。

**交互体验式**：不仅使学生“身临其境”地体验高度仿真的城市排水管道多元化场景，还可通过社交平台开展在线互动和交流，有效激发学生的自主学习兴趣和实验积极性。

**容错探究式**：当学生实验结果不理想时，系统提供评价意见引导学生反思，针对自己训练环节中存在的问题与不足，可再次加强训练，直至真正掌握相关内容。

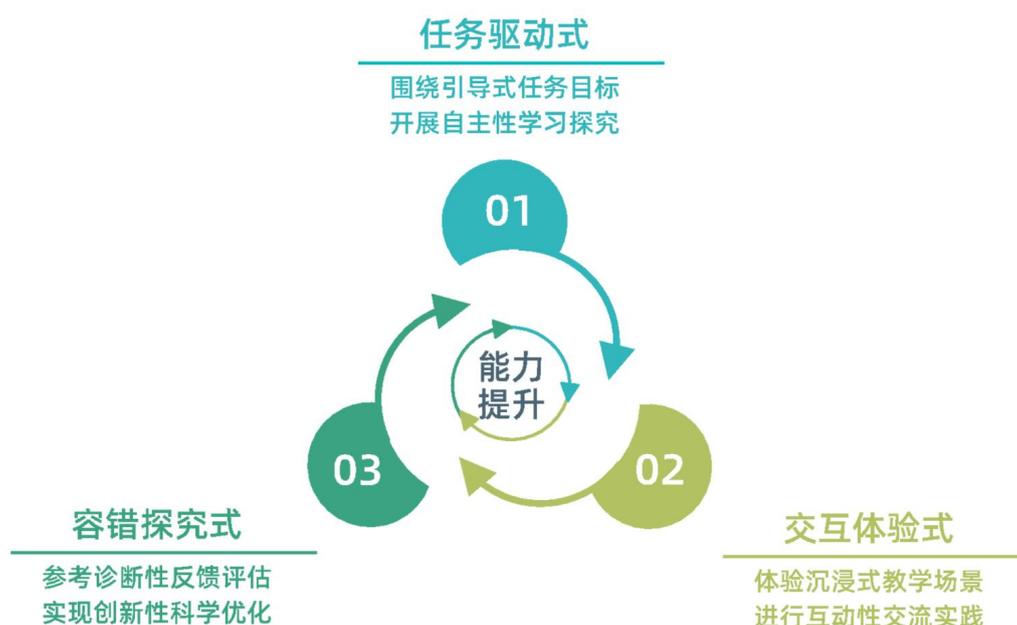


图 3 教学方法

## 4.2 实验方法

在虚拟仿真实验教学过程中，为加强学生对于知识的理解和掌握，综合应用了科学观察法、对比法、操作练习法、案例分析法、图像法等实验方法。举例说明如下。

**科学观察法**：在“管道检测规范及设备认知”的教学环节中，工程环境、管道内景、检查井、检测设备模型均具有很高仿真度。学生可以借助于鼠标键盘进行漫游，从多个角度对实验对象进行观察，并结合相关理论规范的学习，可以对管道健康评估工作的基本流程、设备工具、检测对象有全面的认知。

**对比法**：在“缺陷检测训练”与“现场检测及评估”的教学环节中，学生

通过对比管道不同缺陷的特点及其损坏程度，全面掌握管道健康评估的标准；通过对比不同检测设备的功能特点，有针对性的选择合适的设备开展检测工作；通过在不同的实验场景中进行训练，可以了解到管道缺陷问题出现的影响因素等。

**操作练习法**：在“缺陷检测训练”与“现场检测及评估”的教学环节中，学生通过使用高仿真度仪器设备的操作界面进行实操练习，可以达到类似于通过驾驶模拟车掌握汽车主要功能特点的效果。

**案例分析法**：在“现场检测及评估”的教学环节中，学生通过在不同的实验工况场景下实操训练，得到各不相同的实验结果，可以启发学生思考实验结果产生差异化的原因。学生在选择非开挖修复方案的过程中，同样需要对案例中给定的相关条件进行分析，方能科学合理得解决管道非开挖修复问题。案例分析法是对学生进行综合训练与测评的重要方法，同样也是学生综合应用能力提升的重要途径。

**图像法**：在本实验系统的各个环节中均涉及图像法的应用。例如：在“管道检测规范及设备认知”环节中，实验场景、设备展示、管道缺陷等多个方面均存在借助图像法的表达；在“缺陷检测训练”与“现场检测及评估”的教学环节中，可视化的仪器设备操作界面，非开挖修复方案的展示与介绍，系统中自动生成的可视化图表文件等等。图像法作为虚拟仿真实验项目可视化表达的重要途径，能够让学生更为直观的观察本实验系统中的关键内容，为全面理解学习实验内容提供了重要前提。

## 五、教学过程

本实验设计了“基础认知、专项训练、综合应用”三个层次的实验环节，运用“任务驱动式”、“交互体验式”、“容错探究式”的教学方法开展教学：通过设置明确的任务要求和科学目标，引导学生应用科学观测法、对比法、图像法、案例分析法和操作练习法等认真开展实验操作以及互动讨论，使学生“身临其境”地开展“沉浸式”交互操作和容错式探究，循序渐进地开展“基本原理知识学习、单元模块专项训练、综合应用能力提升”的学习实践过程，如图 8 所示。



图 4 教学过程示意图

在“管道检测规范及设备认知”的教学环节中，通过设置“管道检测标准”、“检测设备认知”以及“缺陷类型”三个子环节，旨在引导学生在正式开展实验学习训练之前，充分了解规范标准、选用设备以及主要检测内容等。学生根据任务要求和步骤引导，通过交互式操作和多角度科学观察，结合各环节的知识提示和知识角的拓展介绍，实现对管道检测规范、主要设备以及缺陷类型的认知。学生通过该环节的学习为专项操作训练与综合应用奠定了重要基础。

在“缺陷检测训练”的教学环节中，通过提供雨水口、以及排水管道的多元化缺陷模型。引导学生根据任务要求选择合适的检测设备对各模块的缺陷情况采用操作练习法与科学观测法展开实操检测与识别训练，并采用任务驱动式与容错探究式教学方法，允许学生多次尝试以获取最优结果，培养学生掌握管道检测的实操要领与缺陷分析能力。学生通过此环节的训练能够具备开展城市排水管道健康评估的基本能力。

“雨水口”子环节：学生通过对雨水口的对比观察，对观察结果进行拍照记录并填写各雨水口的详细检查信息，从而掌握雨水口的检测方法与缺陷评判标准以及检查数据的记录要求。

“检查井”子环节：学生通过对检查井周边与内部情况进行对比观察，对观察结果进行拍照留存并详细记录观察结果。从而掌握雨水井的检测方法与缺陷评

判标准以及检查数据的记录要求。

“管道检测”子环节：学生借助于合适检测设备预先观察了解被测管道内的大致情况，判断是否需要管道进行封堵、抽水或冲洗等预清理工作，如有必要则选择合适的清理措施进行清理。待满足检测条件时进行管道检测并及时存储检测照片与影像视频，同时填写管道检测现场记录表、管道缺陷统计表、管段状况评估表等相关表格。

在“现场检测及评估”的教学环节中，以市政道路排水管道、工业园区排水管道、住宅小区排水管道为背景，设计了不同环境背景与管道工况的应用案例，同时结合不同材质、不同管径、不同缺陷类型与缺陷程度的管道，设置了多种排水管道非开挖的修复方案。

学生在认真学习相关知识内容与实操应用后，可以熟练掌握 QV 潜望镜与 CCTV 机器人的操作要领，并且能够定性判别管道缺陷类型及定量分析管道缺陷程度，给出分析报告。另外，熟悉各类非开挖修复技术在不同管道类型、不同缺陷形式与程度等多元化情况下的适用场景，针对项目评估结果给出科学化修复方案的建议。

## 六、成绩评定参考

本实验将“任务驱动式”、“交互体验式”、“容错探究式”的教学方法综合应用于各个实验环节，使学生由浅入深、循序渐进地开展学习实践过程。系统会完整记录学生的实验过程，及其在每个实验环节产生的实验结果，并根据学生在 3 个实验环节中的完成情况，自动依据成绩评价模型（图 31）对各环节操作及结果进行单独打分，每环节按 100 分计算。在此基础上，系统按照 25%、30% 和 45% 的权重（图 32）计算学生的实验总成绩，合并生成最终的实验报告（表 1）。学生可查看实验报告，通过总结提高综合分析和解决问题的能力。每个环节学生完成实验的结果是本实验成绩评定的主要依据。

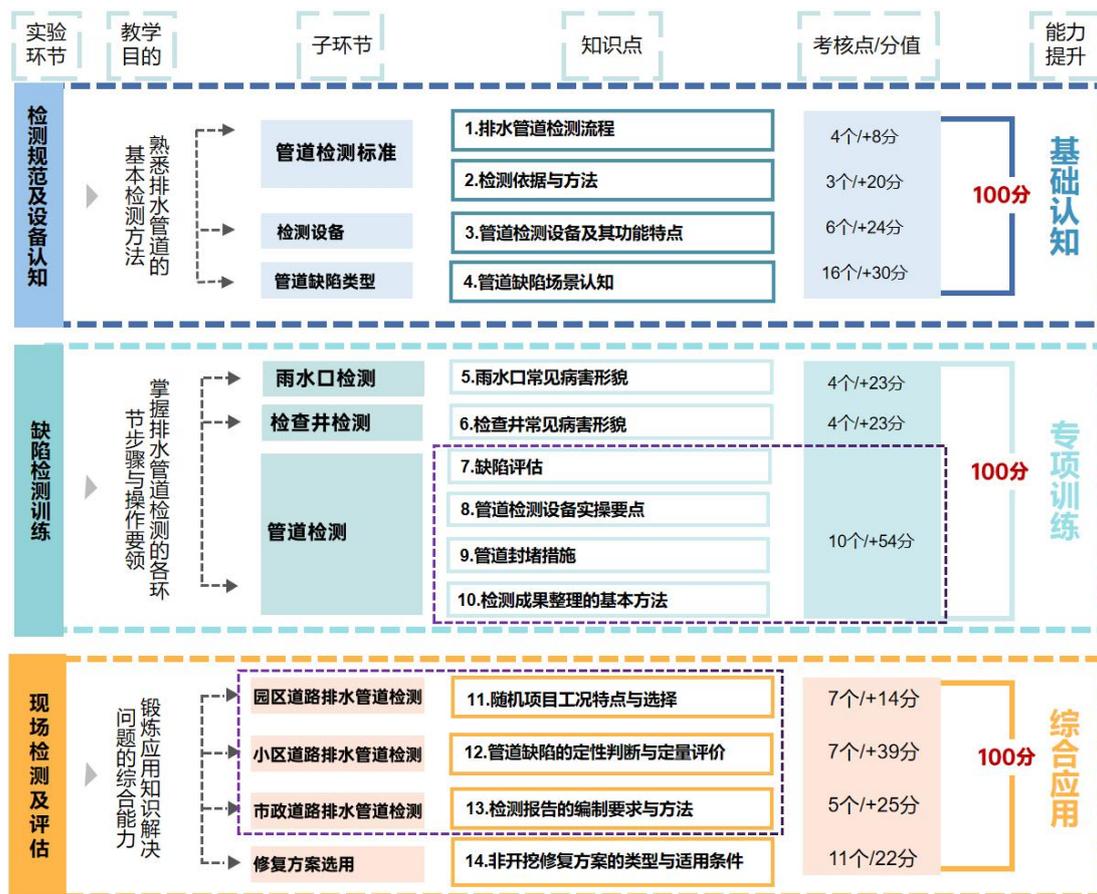


图 5 实验原理及成绩评价模型

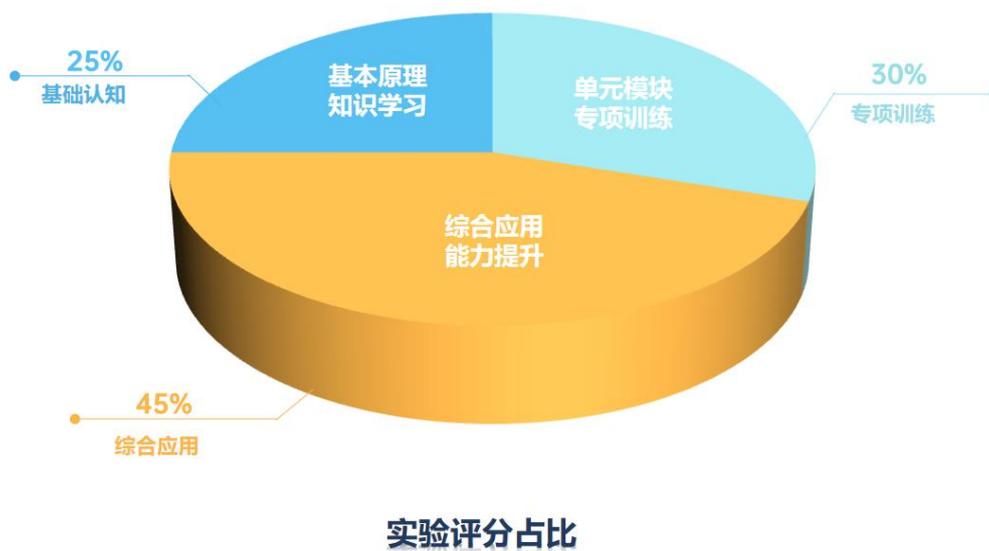


图 6 实验操作评分权重图示

各高校和行业培训单位在进行实验分层次教学的时候,可以根据所选的实验环节从系统自动获取成绩,同时还可结合学生课堂表现、互动情况等对学生的学习情况进行综合评定。

表 1 《城市排水管道健康评估及修复虚拟仿真实验》实验报告

城市排水管道健康评估及修复实验报告				
实验：虚拟仿真实验		班级：	姓名：	学号：
环节	子环节	操作	完成度	得分
检测规范及设备认知	管道检测标准（30分）	排水管道检测流程认知；检测依据与方法认知		
		-----		
	检测设备（30分）	管道检测设备及其功能特点认知		
		-----		
	管道缺陷类型（40分）	管道缺陷场景认知		
		-----		
实验小结				
环节	子环节	操作	完成度	得分
缺陷检测训练	雨水口检测（30分）	雨水口检测操作及数据记录		
		-----		
	检查井检测（30分）	检查井检测操作及数据记录		
		-----		
	管道检测（40分）	管道检测前预处理措施选择操作，管道检测操作及其数据记录		
		-----		
实验小结				
环节	子环节	操作	完成度	得分
现场检测及评估	园区道路排水管道检测	选择园区道路线路，正确使用 QV 或 CCTV 检测设备对管道进行检		

		测，规范填写实验记录表。		
		-----		
	小区道路排水管道检测	选择小区道路线路，正确使用 QV 或 CCTV 检测设备对管道进行检测，规范填写实验记录表。		
		-----		
	市政道路排水管道检测	选择市政道路线路，正确使用 QV 或 CCTV 检测设备对管道进行检测，规范填写实验记录表。		
		-----		
	修复方案选用	根据评估结果合理选择非开挖修复方案。		
		-----		
实验小结				
环节一：检测规范及设备认知（百分制）				
环节二：缺陷检测训练（百分制）				
环节三：现场检测及评估（百分制）				
实验总分数（百分制）				

## 七、教学注意事项

本实验为综合设计型课程实验，具有较强的高阶性、创新性和挑战度。为确保教学质量，提出以下教学注意事项。

1、不同高校和行业的教师可根据专业要求、课程需求、教学目的以及教学对象的能力层次等实际情况，自主选择实验环节组合开展实验，灵活配置实验的难易程度，实现分层次教学。如，① 以了解或掌握检测规范及设备认知教学，可选择第一环节开展实验；② 以培养工程实践能力为目标的行业培训或工程训练教学，可选择第一、三环节开展实验；③ 以建立“从认知到综合应用实践”

整体思维为目标的能力提升教学，可完整利用第一、二、三环节开展实验。2、实验前，教师需提前阅读教学指导书、电子教材、课程教案，观看简介视频、教学引导视频、教学视频，熟悉知识点课件库；并指导学生阅读实验指导书，观看教学引导视频和操作视频，帮助学生明确实验目的及各环节的知识点和重难点。

3、教师选择符合“实验教学相关网络”条件要求的软硬件实验环境，以便集体安排学生开展实验，或确保学生在符合网络条件要求的环境中完成实验，以保证实验操作的流畅性。

4、教学过程中，教师应引导学生充分利用实验指导书、知识提示及知识点课件库、在线服务等课程服务体系，自主开展组网观测设计创新和工程实践，并鼓励学生根据系统提示不断修正实验结果和优化设计，同时通过微信群、论坛、服务热线等方式为学生提供在线指导。

5、实验结束后，请提醒学生点击“完成并提交”以生成实验报告，并在关闭实验界面前，点击界面右下角的“实验报告”链接进入课程平台查看报告并回顾实验过程。同时，教师可根据专业及课程的实际教学需求，结合系统自动给出的实验报告，为学生提供有针对性的课后指导。