

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.20.002

# 国内外排水管道状况评估系统对比分析研究

杜 预<sup>1</sup>, 郭 帅<sup>1</sup>, 潘 刚<sup>2</sup>, 吕耀志<sup>3</sup>

(1. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 天津大学 智能与计算学部, 天津 300350; 3. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300051)

**摘 要:** 根据英国的《排水管道状况分类手册》(第四版, SRM-4)、美国的《管道评估与认证程序》(PACP)、加拿大的《下水道物理条件分类手册》(SPCCM) 和中国的《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012), 对四国的排水管道状况评估系统的缺陷定义内容、缺陷代码编制方法和评估过程进行对比研究。结果表明, 造成缺陷定义差异的主要原因有适用地区的不同、管道修复技术的差异、缺陷研究的进展及结构性和功能性缺陷的定义不同。造成评估结果差异的主要原因是缺陷分数赋予和评估参数选取的不同。

**关键词:** 排水管道; 状况评估; 对比分析; 缺陷

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)20-0009-07

## Comparative Analysis of Pipelines Condition Assessment Protocols at Home and Abroad

DU Yu<sup>1</sup>, GUO Shuai<sup>1</sup>, PAN Gang<sup>2</sup>, LÜ Yao-zhi<sup>3</sup>

(1. College of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. College of Intelligence and Computing, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 3. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300051, China)

**Abstract:** Comparative studies were conducted on four different protocols in this work, including the fourth edition of *Sewer Rehabilitation Manual* (SRM-4) in Britain, *Pipeline Assessment and Certification Program* (PACP) in America, *Sewer Physical Condition Classification Manual* (SPCCM) in Canada and *Technical Specification for Inspection and Evaluation of Urban Sewer* (CJJ 181-2012) in China, which aim to find out their differences in defects definitions, the characteristics of defect code compilation and the assessment processes. Major reasons for the different assessment results from each protocol have been revealed. The results show that the main reasons for the differences on the defect definitions are different application areas, different pipeline repair technologies, new progress in pipeline defect research and different definitions of structural defects and functional defects. The main reason for the difference of assessment results is the difference of defect scores and assessment parameters.

**Key words:** sewer pipeline; condition assessment; comparative analysis; defect

管道状况检测和评估是指导管道修复工作的关键一步。20 世纪 50 年代, 欧洲开始研究和推广排

水管道检测技术,自 1980 年英国水研究中心(WRC)发行了世界上第一部排水管道状况分类手册之后,排水管道检测技术在欧洲迅猛发展。进入 21 世纪,我国的香港和上海分别于 2009 年发布了《管道状况评价(电视检测与评估)技术规程》(第 4 版)和《排水管道电视和声呐检测评估技术规程》(DB 31/T 444—2009)。2012 年,我国编制并发布了行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)。至此,全球已有数种来自不同国家和地区排水管道状况评估系统。然而,对于相同的管道,不同的评估系统往往会给出不同的评估等级<sup>[1]</sup>。

通过对英国的《排水管道状况分类手册》(第四版,SRM-4)、美国的《管道评估与认证程序》(PACP)、加拿大的《下水道物理条件分类手册》(SPCCM)和中国的《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)四国的排水管道状况评估系统进行对比分析,研究了四个评估系统间的共性和特性,分析了造成评估结果不相同的主要原因。

## 1 管道状况评估系统编制背景

SRM-4 是 WRC 于 2004 年针对 1980 年发行的第一版《排水管道状况分类手册》(SRM-1)进行第四次修订后发行的<sup>[2]</sup>。SRM 作为最先出现的排水管道状况评估系统,在其他国家地区编制下水道状况评估协议时起到了重要的参考作用<sup>[3]</sup>。

《管道评估与认证程序》(PACP)是美国全美不动产协会下水道服务公司(NASSCO)于 2001 年与 WRC 合作,在第三版《排水管道状况分类手册》(SRM-3)的基础上建立的美国排水管道状况评估系统<sup>[4]</sup>。PACP 系统是 SRM 系统的北美本土化,它从结构、功能和外部因素的角度制定缺陷等级<sup>[5]</sup>并设计了新的编码系统。

《下水道物理条件分类手册》(SPCCM)是加拿大埃德蒙顿市于 1996 年与 WRC 合作,以第二版《排水管道状况分类手册》(SRM-2)为基础,根据加拿大的具体情况,编制并发行的排水管道状况评估系统<sup>[6]</sup>。

《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)是我国于 2012 年编制并发布的行业标准<sup>[7]</sup>。该规程是根据《广州市公共排水管道电视和声呐检测评估技术规程》、上海《排水管道电视和声呐检测评估技术规程》(DB 31/T 444—2009)、《给

水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)、香港 HKCCEC2009(4th Edition),结合广州、上海、北京、武汉等城市近几年排水管道采用 CCTV 等仪器检测的经验和实际情况,参考丹麦、英国、日本等相关国外标准而制定的<sup>[8]</sup>。

## 2 管道状况评估系统对比

### 2.1 管道缺陷定义

对于所选的四种排水管道状况评估系统来说,SRM-4、PACP 和 SPCCM 三个系统之间的缺陷类型十分相似,因为 PACP 和 SPCCM 都是基于 SRM 的早期版本开发的。尽管如此,考虑到每种系统都是为特定的国家或地区设计的,它们都为适应自己服务的区域而开发了独特的功能。而 CJJ 181—2012 是我国在 2012 年发布的评估系统,鉴于制定时间晚以及我国市政建设与欧美地区市政建设存在一定差异这两个原因,该系统与另外三个系统之间存在显著的差异。

表 1、2 分别为四种排水管道状况评估系统的结构性和功能性缺陷定义。

表 1 排水管道状况评估系统结构性缺陷定义

Tab. 1 Structural defect definition of pipeline condition assessment systems

结构性缺陷	SRM-4	PACP	SPCCM	CJJ 181—2012
裂痕	√	√	√	
裂口	√	√	√	
破碎	√	√	√	
孔洞	√	√	√	
塌陷	√	√	√	
破裂				√
表面裂痕	√	√		
表面剥落	√	√		
表面磨损	√	√		
表面损伤			√	
腐蚀				√
变形	√	√	√	√
接口位移	√	√	√	
错口				√
脱节				√
焊接失效	√	√		
接口材料脱落	√			√
修复失效	√	√		
砖砌管道故障	√	√		
衬里故障		√	√	
起伏			√	√
支管暗接			√	√
异物穿入				√
渗漏				√

表 2 排水管道状况评估系统功能性缺陷定义

Tab.2 Operational defect definition of pipeline condition assessment systems

功能性缺陷	SRM - 4	PACP	SPCCM	CJJ 181—2012
树根	√	√	√	√
障碍物	√	√	√	√
结垢	√	√	√	√
沉积	√	√	√	√
浮渣	√	√	√	√
支管暗接	√	√		
密封材料渗入	√	√		
衬里变形		√		
渗漏	√	√	√	
接入点因素		√		
有害生物		√		
管身隆起			√	
残墙坝根				√

SRM - 4 系统将管道缺陷分为结构性缺陷和功能性缺陷两类,其中,结构性缺陷由 13 项管道下水道缺陷和 13 项砖砌下水道缺陷组成(由于砖砌下水道缺陷内容与管道缺陷大致相同,故在统计中将

表 3 排水管道状况评估系统的代码编制方法

Tab.3 Method of compiling defect code of pipeline condition assessment systems

管道状况评估系统	缺陷代码编制方法	缺陷代码实例
SRM - 4	SRM - 4 系统规定缺陷代码一般采用缺陷词组的首字母组合表示。这个代码一般描述缺陷种类和缺陷详细信息,但也有代码只描述缺陷种类	CC:Cracked Circumferential,该缺陷是周向的裂痕
		B:Broken,该缺陷是破碎
		H:Hole,该缺陷是孔洞,但没有说明孔洞的径向长度情况
PACP	PACP 系统规定缺陷代码由三个部分组成:第一部分描述缺陷所处的大组,由一个或两个字母组成;第二部分描述缺陷的程度或位置信息,由一个或两个字母组成;第三部分描述缺陷的位置或严重性等更详细的信息,这一部分不是代码的必要组成部分,通常由一个或两个字母组成	JSM:Joint Separated Medium,该缺陷是中等程度的接口错位
		SSSC:Surface Damage Chemical Surface Spalling,该缺陷是属于化学表面损伤的表面剥落,第一个 S 是 Surface Damage,SS 是 Surface Spalling,C 是 Chemical
		CC:Cracked Circumferential,该缺陷是周向的裂缝
SPCCM	SPCCM 系统规定缺陷代码一般采用缺陷词组的首字母组合表示,只有首字母重复时会使用其他字母编码。SPCCM 系统的缺陷代码编制方法基本与 SRM - 4 相同,但部分缺陷名称进行了本土化修改,进而导致代码改变	CM:Crack Moderate,该缺陷是中等程度的裂痕
		FX:Broken,该缺陷是破碎
		XP:Collapsed Pipe,表明该管段已经塌陷
CJJ 181—2012	CJJ 181—2012 系统规定缺陷代码采用两个汉字拼音的首字母组合表示。在 CJJ 181—2012 系统中缺陷代码只描述缺陷类别而不描述缺陷等级	AJ:暗接,该缺陷是支管暗接

### 2.3 管道状况评估过程

管道评估系统的评估过程包括赋予缺陷分值、选取评估参数和评估状态等级。SRM - 4、PACP、SPCCM、CJJ 181—2012 四个管道状况评估系统的评估过程如图 1 所示。

在缺陷分值方面,除了 PACP 系统直接赋予缺

砖砌下水道缺陷算作一项缺陷),功能性缺陷共计 8 项;PACP 系统将管道缺陷分为结构性缺陷、功能性缺陷、建筑性缺陷和特殊原因造成的缺陷,其中功能性缺陷、建筑性缺陷和特殊原因造成的缺陷可以共同视作是功能性缺陷,该系统结构性缺陷共计 14 项,功能性缺陷共计 11 项;SPCCM 系统的结构性缺陷共计 11 项,功能性缺陷共计 7 项;CJJ 181—2012 系统的结构性缺陷共计 10 项,功能性缺陷共计 6 项。

如表 1、表 2 所示,每个系统都定义了一些在其他系统中没有出现的缺陷或者对同一缺陷进行了不同的分类。

### 2.2 管道缺陷代码编制方法

在实际管道状况评估时,为了快速记录和查询缺陷类别,各评估系统通常会编制与使用特定的缺陷代码。

表 3 所示为四种排水管道状况评估系统的代码编制方法之异同。

陷等级之外,另外三个系统都采用了打分法。在评估参数方面,SRM - 4 系统采用最高分数作为评估参数;PACP 系统采用平均等级作为评估参数;SPCCM 系统采用最高分数、平均分数和总分数作为评估参数;CJJ 181—2012 采用最高分数和平均分数中的较高值作为评估参数。

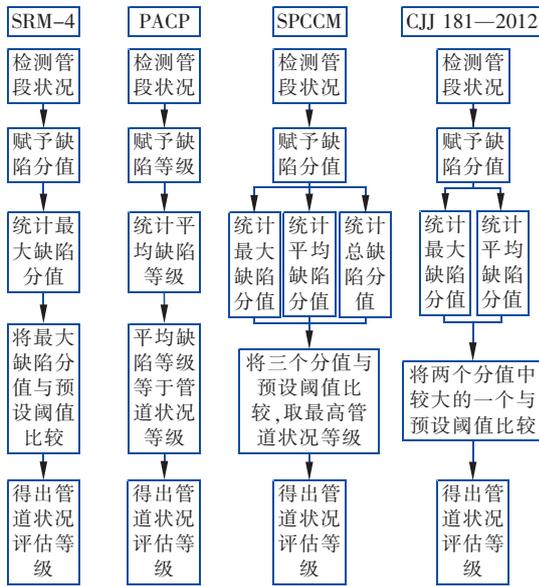


图 1 管道状况评估过程

Fig. 1 Pipeline condition assessment process

① SRM-4 系统

SRM-4 系统赋予的每个结构性缺陷分值为

1 ~ 165, 缺陷分值越高说明该缺陷对管道的结构影响越严重。该系统规定以两个检查井之间的管道作为一个评估管段进行评估。检测时,对于每一个观测到的缺陷,记录它的缺陷类别、缺陷代码、缺陷位置、缺陷长度和对应的缺陷分值;若在 0.1 m 范围内出现两个或者多个缺陷,则将它们视为是一个组合缺陷,这个组合缺陷的分值是该范围内所有缺陷分值的总和。检测完毕后,统计该区域的最高结构缺陷分值,将最高结构缺陷分值与 SRM-4 系统的预设阈值进行比较,可以得到评估管段的管道等级和状况评估信息。SRM-4 系统赋予的每个功能性缺陷分值为 1 ~ 10, 缺陷的分值越高说明该缺陷对管道的功能影响越严重。检测方法与结构性缺陷相同,检测完毕后,计算该区域的最高功能缺陷分值,将最高功能缺陷分值与 SRM-4 系统的预设阈值进行比较,可以得到评估管道的管道等级和状况信息。

表 4 为 SRM-4 系统预设阈值以及相关管道等级信息。

表 4 SRM-4 管道分级阈值

Tab. 4 SRM-4 grading thresholds of pipeline

管道状况等级	最高结构性缺陷分值	最高功能性缺陷分值	管道状况
1	< 10	< 1	管道状况符合要求
2	10 ~ 39	1.0 ~ 1.9	短期内几乎不可能发生崩塌,但是管道状况有可能进一步恶化
3	40 ~ 79	2.0 ~ 4.9	近期内不太可能发生崩塌,但是管道状况会进一步恶化
4	80 ~ 164	5.0 ~ 9.9	近期内管道大概率发生崩塌
5	≥ 165	≥ 10	管道即将崩塌或者已经崩塌

② PACP 系统

PACP 系统赋予每个结构性缺陷和功能性缺陷 1 ~ 5 的缺陷等级,表 5 为缺陷等级及其含义,等级越高说明该缺陷对管道的影响越严重。

表 5 PACP 缺陷等级

Tab. 5 PACP defect grades

缺陷等级	缺陷状况
1	几乎可忽略不计的缺陷
2	有恶化迹象出现的小规模缺陷
3	持续恶化的中等缺陷
4	在预期内会造成最坏结果的严重缺陷
5	必须立即进行修复的严重缺陷

系统规定以两个检查井之间的管道作为一个评估管段进行评估。检测时,对每一个观测到的缺陷,记录它的缺陷类别、缺陷代码、缺陷位置、缺陷长度和对应的缺陷分值;将长度 ≤ 1 m 的缺陷视为一个缺陷;当缺陷管道较长时,应通过将缺陷长度除以 5

来获得相应的缺陷当量用于状况评估,例如一个 6 m 长的三级缺陷应当视作是四个三级缺陷。检测完毕后,按照式(1)和式(2)计算管道平均缺陷等级和管道状况等级。各等级的管道状况信息见表 6。

$$S = \sum_{i=1}^5 n_i P_i \quad (1)$$

$$F = [S] \quad (2)$$

式中: S 为管道平均缺陷等级; n<sub>i</sub> 为第 i 级的缺陷数量; P<sub>i</sub> 为第 i 级的缺陷等级; F 为管道状况等级。

表 6 PACP 管道状况等级

Tab. 6 PACP pipe condition grades

管道状况等级	管道状况
1	管道在未来都不太可能出现故障
2	管道至少在 20 年不会出现故障
3	管道可能会在 10 ~ 20 年内出现故障
4	管道很有可能在 5 ~ 10 年内出现故障
5	管道在 5 年内会出现故障或者已经出现故障

③ SPCCM 系统

SPCCM 系统赋予单位长度每个结构性缺陷分值为 1~115,缺陷分值越高说明该缺陷对管道的结构损害越严重。系统规定以两个检查井之间的管道作为一个评估管段进行评估。检测时,对每一个观测到的缺陷,记录它的缺陷类别、缺陷代码、缺陷位置、缺陷长度和对应的单位长度缺陷分值,再根据下式计算缺陷分值:

$$P = pl \quad (3)$$

式中: $P$  为缺陷分值; $p$  为单位长度缺陷分值; $l$  为缺陷长度。

检测完毕后,SPCCM 系统会分别统计三个不同

的参数:最高缺陷分值、平均缺陷分值和总缺陷分值。平均缺陷分值和总缺陷分值计算如下:

$$S_m = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

式中: $S_m$  为平均缺陷分值; $S_t$  为总缺陷分值; $n$  为缺陷数量; $L$  为评估管段长度。

计算三个参考值后,将它们与预设阈值进行比较,可以得到评估管段的三个管道等级,将最高的等级作为管道状况等级,表 7 为 SPCCM 系统预设阈值以及相关管道等级信息。

表 7 SPCCM 管道分级阈值

Tab. 7 SPCCM grading thresholds of pipeline

管道结构状况等级	总缺陷分值	平均缺陷分值	最高缺陷分值	管道状况
1	<100	<0.5	<1.0	管道状况符合要求
2	100~149	0.50~0.99	1.00~2.00	短期内几乎不可能发生崩塌,但是管道状况有可能进一步恶化
3	150~199	1.00~1.49	2.10~3.00	近期内不太可能发生崩塌,但是管道状况会进一步恶化
4	200~249	1.50~2.49	3.10~5.00	近期内管道大概率发生崩塌
5	$\geq 250$	$\geq 2.5$	$\geq 5.0$	管道即将崩塌或者已经崩塌

#### ④ CJJ 181—2012

CJJ 181—2012 系统赋予每个结构性缺陷和功能性缺陷分值为 0~10,分值越高说明该缺陷对管道的影响越严重。系统规定以管段作为最小评估单位,检测时对每一个观测到的缺陷,记录它的缺陷类别、缺陷代码、缺陷位置、缺陷长度和对应的缺陷分值;当缺陷沿管道纵向尺寸不大于 1 m 时,长度应按 1 m 计算,当管道纵向 1 m 范围内有两个以上缺陷同时出现时,分值应叠加计算,当叠加计算的结果超过 10 分时,应按 10 分计。检测完毕后,计算缺陷参数和缺陷密度。以结构性缺陷为例,管道结构性缺陷( $f$ )应按下式计算:

$$S = \frac{1}{n} \left( \sum_{i_1=1}^{n_1} P_{i_1} + \alpha \sum_{i_2=1}^{n_2} P_{i_2} \right), n = n_1 + n_2 \quad (6)$$

式中: $n_1$  为纵向净距大于 1.5 m 的缺陷数量; $n_2$  为纵向净距大于 1.0 m 且不大于 1.5 m 的缺陷数量; $P_{i_1}$  为纵向净距大于 1.5 m 的缺陷分值; $P_{i_2}$  为纵向净距大于 1.0 m 且不大于 1.5 m 的缺陷分值; $\alpha$  为结构性缺陷影响系数,当缺陷的纵向净距大于 1.0 m 且不大于 1.5 m 时, $\alpha = 1.1$ 。

当  $S_{\max} \geq S$  时, $f = S_{\max}$ ,  $S_{\max} = \max \{ P_i \}$ , 当  $S_{\max} < S$  时, $f = S$ 。

缺陷密度( $S_M$ )应按下列式计算:

$$S_M = \frac{1}{SL} \left( \sum_{i_1=1}^{n_1} P_{i_1} L_{i_1} + \alpha \sum_{i_2=1}^{n_2} P_{i_2} L_{i_2} \right) \quad (7)$$

式中: $L_{i_1}$  为纵向净距大于 1.5 m 的结构性缺陷长度, $m$ ;  $L_{i_2}$  为纵向净距大于 1.0 m 且不大于 1.5 m 的结构性缺陷长度, $m$ 。

管道结构性缺陷等级按表 8 确定,管道结构性缺陷类型评估按表 9 确定。

表 8 管道结构性缺陷评估等级

Tab. 8 Assessment grade of structural defects for pipeline

等级	缺陷参数 $f$	损坏状况描述
I	$f \leq 1$	无或有轻微缺陷,结构状况基本不受影响,但具有潜在变坏的可能
II	$1 < f \leq 3$	管段缺陷明显超过 I 级,具有变坏趋势
III	$3 < f \leq 6$	管道缺陷严重,结构状况受到影响
IV	$f > 6$	管段存在重大缺陷,损坏严重或即将损坏

表 9 管道结构性缺陷类型

Tab. 9 Types of structural defects for pipeline

缺陷密度 $S_M$	<0.1	0.1~0.5	>0.5
结构性缺陷类型	局部缺陷	部分或整体缺陷	整体缺陷

## 3 管道状况评估系统对比结果分析

### 3.1 管道缺陷定义

管道状况评估系统中的管道缺陷定义由制定者通过收集过往管道破损及检测情况的工程资料,再

结合 CCTV 检测的大量录像资料进行研究统计后确定。造成上述四种评估系统缺陷定义差别的原因有以下几点:

① 评估系统适用区域的不同。SRM-4 系统和 PACP 系统都定义了砖砌下水道缺陷类别,但 SPCCM 系统对此没有定义,因为加拿大几乎没有砖砌管道<sup>[9]</sup>。同理,适用于我国的 CJJ 181—2012 系统也没有定义砖砌下水道缺陷。

② 管道修复技术的差异。欧美国家使用非开挖修复方式较早,能够较早地检测到由非开挖修复失效导致的衬里缺陷。

③ 管道缺陷研究的发展。在对管道缺陷的早期研究中,起伏只被认为是由裂痕、裂缝、塌陷和接口错位等原因造成的。后续研究表明,由于管道竖向位置发生偏移的起伏会使得低处形成注水,可能会使管道发生结构性问题,导致路面塌陷<sup>[2]</sup>。

④ 结构性缺陷和功能性缺陷定义的不同。国内一般认为结构性缺陷是指管道还未投入使用或投入运行后因管材质量或外部压力、外部影响和人为改变等原因导致的缺陷,功能性缺陷是指管道在运行过程中由于内部介质产生物理的或化学的变化,外部物质侵入等而导致的缺陷<sup>[10]</sup>。欧美国家认为结构性缺陷是管道结构的物理缺陷,功能性缺陷是由于维护不足导致的管道缺陷。国内排水管道检测的结果显示渗漏缺陷所占的比例往往很高,主要原因是早期排水管道在管材、接口方式、施工工艺方面相对落后,导致管道接口问题较多,在地下水位较高的地区管道经常发生地下水入渗的情况<sup>[11]</sup>。因此 CJJ 181—2012 系统将渗漏定义为结构性缺陷。

### 3.2 管道缺陷代码编制

分析四种管道状况评估系统的代码编制方式,可以得出缺陷代码的制定要求:①缺陷代码要尽可能简短,便于工程人员记忆;②缺陷代码要保留足够的辨识度,便于工程人员快速准确识别缺陷类别;③缺陷代码的编制规则应便于管道评估系统的更新维护,代码不得重复,允许在不改动原有代码的情况下加入新的不重复代码。

### 3.3 管道状况评估过程

根据 Khazraeializadeh 等<sup>[1]</sup>的研究,使用不同的管道状况评估系统对同一区域的管道进行评估,会得到有明显差异的结果。他们提取加拿大管道信息数据库中已经进行过检测的管道缺陷信息,采用

SRM-4 系统、PACP 系统和 SPCCM 系统的评估方法,分别对提取的管道重新进行状况分析评级并比较。对比结果显示,PACP 系统的评估方法得出的评估结果最为乐观,管道状况等级基本集中在 1 级和 2 级,而 SRM-4 系统和 SPCCM 系统得出的评估结果显示管道状况等级基本集中在 3 级和 4 级。

从评估指标上进行分析,PACP 系统选择平均等级作为评估指标,这种计算方式使得一个高等级的高危缺陷会被多个低等级的低危缺陷“稀释”。然而排水管道是线性运输管道,只要管路有一处严重的缺陷,就足以使整条管路瘫痪,这种线性管道受“控制缺陷”影响明显,某些局部的重大缺陷往往成为管道系统运行的控制点,PACP 系统稀释了这种控制点的影响,让结果偏向乐观<sup>[8,12]</sup>。SRM-4 系统选择最高缺陷分值作为评估指标,充分考虑局部严重缺陷的影响,但在统计缺陷分值时,没有考虑缺陷长度。对于一些沿程性缺陷来说,如腐蚀、沉积、结垢等,考虑缺陷长度则具有实际意义<sup>[13]</sup>。SPCCM 系统计算缺陷分值时,考虑到了缺陷长度的影响,选择最大缺陷分值、平均缺陷分值和总缺陷分值作为评估指标,并以最高状态等级作为最终评估结果,会得出较为严格的评估结果。

从缺陷分值上进行分析,PACP 系统把缺陷分为 1~5 级,其最低等级与最高等级的比值是 1/5;SRM-4 系统的缺陷最低分值是 1,最高分值是 165,最低分值与最高分值的比为 1/165;SPCCM 系统单位长的缺陷最低分值是 1,最高分值是 115,最低分值与最高分值的比为 1/115。可见,PACP 系统中低危缺陷仍占有较高的等级比重,在采用平均值进行评估时,低危缺陷对最终结果会有较大的影响,而实际情况中,严重缺陷对管道状况起决定性作用,影响远大于低危缺陷。这也是导致 PACP 系统的评估结果偏向乐观的原因。

CJJ 181—2012 系统在评估指标选择上采用缺陷最大值法和缺陷密度并用的双指标法。最大值法是将管道缺陷按缺陷计算的平均值和最大值进行比较后,按较大值作为缺陷参数。最大值法同时考虑了管道中存在的总的大缺陷和数量多的细小缺陷,符合实际工程情况。引入缺陷密度的概念,可直观地反映管道的整体缺陷情况。制定修复计划时可以将缺陷密度作为参考,判断使用局部修复办法还是整体修复方法。在缺陷分值上,CJJ 181—2012 系统

最低分值与最高分值的比为1/20,突出了严重缺陷的影响。此外,与另外三个系统不同的是,CJJ 181—2012系统只将管道状况分为四级。

#### 4 结论

不同国家的排水管道状况评估系统在缺陷定义、缺陷代码和评估过程上各有异同,造成缺陷定义有差异的主要原因有:①适用地区的不同;②管道修复技术的差异;③管道缺陷研究的新进展;④结构性缺陷和功能性缺陷的定义不同。缺陷代码的编制方式虽然不同,但在足够辨识度的前提下都能实现尽量简便并便于记忆;而评估过程的差异是造成评估结果不同的主要原因,其差异主要体现在缺陷分值或等级的赋予和评估参数的选取上。

#### 参考文献:

- [1] KHAZRAEIALIZADEH S. A Comparative Analysis on Sewer Structural Condition Grading Systems Using Four Sewer Condition Assessment Protocols [D]. Albert: University of Alberta, 2012: 89 - 100.
- [2] Water Research Centre. Manual of Sewer Condition Classification [M]. 4th ed. UK: Water Research Centre, 2004.
- [3] CHUGHTAI F, ZAYED T, ASCE M. Integrating WRc and CERIU condition assessment models and classification protocols for sewer pipelines [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2011. DOI:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000052.
- [4] GEMORA I. Pipeline Assessment and Certification Program [C] // NAJAFI M. Proceedings of New Pipeline Technologies, Security, and Safety. USA: ASCE, 2003: 822 - 825.
- [5] VLADEANU G, MATTHEWS J. Wastewater pipe condition rating model using multicriteria decision analysis [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2019, 145: 040190581 - 0401905810.
- [6] Edmonton. Sewer Physical Condition Classification Manual [M]. City of Edmonton, Canada: Transportation Department, Drainage Engineering Section, 1996.
- [7] 住房和城乡建设部. 城镇排水管道检测与评估技术规程: CJJ 181—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical Specification for Inspection and Evaluation of

Urban Sewer: CJJ 181 - 2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012 (in Chinese).

- [8] 王和平, 安关峰, 谢广永. 《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012) 解读 [J]. 给水排水, 2014, 40(2): 124 - 127.
- WANG Heping, AN Guanfeng, XIE Guangyong. Brief introduction of principal content on *Technical Specification for Inspection and Evaluation of Urban Sewer* (CJJ 181 - 2012) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(2): 124 - 127 (in Chinese).
- [9] KHAZRAEIALIZADEH S, GAY L F, BAYAT A. Comparative analysis of sewer physical condition grading protocols for the City of Edmonton [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2014, 41(9): 811 - 818.
- [10] 邓志凌, 夏金儒, 唐勇. CCTV技术在排水管道状态检测中的应用 [J]. 城市勘测, 2009(5): 130 - 133.
- DENG Zhiling, XIA Jinru, TANG Yong. CCTV application in drainage pipe condition inspection [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2009(5): 130 - 133 (in Chinese).
- [11] 肖倩, 王俊然, 陈辉, 等. 深圳市某片区排水管道CCTV检测评估与修复方案 [J]. 给水排水, 2019, 45(9): 109 - 114.
- XIAO Qian, WANG Junran, CHEN Hui, et al. The detection and evaluation by CCTV and rehabilitation analysis of sewer pipeline in an area of Shenzhen City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(9): 109 - 114 (in Chinese).
- [12] ALTARABSHEH A, VENTRESCA M, KANDIL A. New approach for critical pipe prioritization in wastewater asset management planning [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2018, 32: 040180441 - 0401804418.
- [13] 王和平. 排水管道健康状况评估方法的研究 [J]. 给水排水, 2011, 37(8): 112 - 116.
- WANG Heping. Study on evaluation of the drainage pipe condition [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(8): 112 - 116 (in Chinese).

**作者简介:**杜预(1997 - ),男,广东广州人,硕士研究生,主要研究方向为由排水管道入流入渗等外来水及管道破损引起的土体侵蚀与路面塌陷问题。

**E-mail:**646622527@qq.com

**收稿日期:**2020-03-04

**修回日期:**2020-11-16

(编辑:丁彩娟)