

编者按:卫生填埋工程是有控制地处理城市固体废弃物的一种方法。现代卫生填埋工程主要由复合衬垫系统、淋洗液收集和排放系统、气体收集系统、封顶系统等组成。本刊曾在1995年第5期刊出“美国的现代卫生填埋工程”一文,介绍了美国在卫生填埋工程方面的进展情况。为了让广大读者较全面、系统地了解现代卫生填埋工程的设计、施工技术,促进环境土工技术发展,本刊从1997年第1期起开设《现代卫生填埋工程专题讲座》。讲座共分5讲:第1讲 填埋场淋洗液收集和排放系统;第2讲 填埋场气体收集系统;第3讲 填埋场最终覆盖(封顶)系统;第4讲 填埋场粘土衬垫的设计和施工;第5讲 填埋场复合衬垫系统。本刊计划每期刊出一讲,在1997年全部刊完。

·现代卫生填埋工程专题讲座(1)·

填埋场淋洗液收集和排放系统

钱学德 郭志平

(河海大学岩土工程研究所 南京 210098)

填埋场淋洗液通常是由经过填埋场的降水渗流和对固体废弃物的挤压产生的。它是一种污染的液体,如未经处理直接排入土或地下水中,将会引起土和地下水的严重污染。影响淋洗液产生数量的因素有:降水量、地下水侵入、固体废弃物的性质及封顶设计等^[1,2]。

设计和建立淋洗液收集和排放系统的目的是为了将填埋场内产生的淋洗液收集起来,并通过污水管或积水池输送至污水处理站进行处理。为了尽量减少对地下水的污染,该系统应保证使复合衬垫以上淋洗液的累积不超过30cm。淋洗液收集系统由排水层、集水槽、多孔集水管、集水坑、提升管、潜水泵和积水池等组成,如果淋洗液能直接排入污水管,则积水池也可不要。所有这些组成部分都要按填埋场运用初期较大的淋洗液产出量设计,并保证该系统长期流通能力不发生障碍。

1 淋洗液排水层

带有双层复合衬垫系统的城市固体废弃物填埋场,必须既有首次淋洗液排水层,又有二次淋洗液排水层。这些排水层应具有足够的能力来排除填埋场使用期所产生的最大淋洗液流量。根据美国的有关资料,作用在排水层上的淋洗液水头通常不得大于30cm^[3]。

填埋场衬垫系统由一层或多层淋洗液排水层和低透水性的隔离物(即衬垫)复合组成。衬垫和排水层的功能可以互补。衬垫可以阻止淋洗液和气体从

填埋场中逸出和改善排水层覆盖条件;排水层则可以限制下伏衬垫上水头的增加,并可将渗入到排水层中的液体输送到多孔淋洗液收集管的网络中去。

当今广泛应用于美国城市固体废弃物填埋工程的双层复合衬垫系统都具有首次与二次两层淋洗液排水层,图1至图6表示带有两层淋洗液排水层的各类双层复合衬垫系统的构成。从顶到底各层情况分述如下。

a. 保护层。由至少60cm厚的砂或其它透水粒料组成(见图3和图4),它的功能是防止固体废弃物损害或阻塞淋洗液排水层。

b. 首次淋洗液排水层。由透水土料(砂或砾,见图1、图2、图5和图6)或土工合成排水材料(土工织物和土工网或土工复合材料,见图3和图4)组成。它的功能是限制第一层衬垫上淋洗液水头的增长和将固体废弃物中产生的淋洗液排至多孔淋洗液收集管内。

c. 第一层复合衬垫。由上部的土工膜和下部的低透水性土料组成。低透水性土料可用压实粘土或土工合成材料粘土衬垫(GCL),施工时应注意使土工膜与复合衬垫的土料保持紧密接触。

d. 二次淋洗液排水层。由透水土料(砂、砾,见图1和图2)或土工合成排水材料(土工织物和土工网或土工复合材料,见图3至图6)组成。它的功能是收集和监测流过第一层衬垫系统的淋洗液。

e. 第二层复合衬垫。仍由土工膜和低透水性土

作者简介:钱学德,男,博士,旅美学者,美国密歇根州环保署官员,河海大学兼职教授,从事环境土工研究。

郭志平,男,教授,原河海大学岩土工程研究所所长,从事岩土工程研究。

料组成。低透水性土层可由天然粘土、压实粘土或 GCL 构成。同样在施工时要使土工膜和复合衬垫的土料保持紧密接触。

在过去,砂和其它粗粒料经常被用作淋洗液排水层,首次淋洗液排水层 60 cm 厚,二次淋洗液排水层 30 cm(图 1)。用于淋洗液排水层的砂或其它粒料其透水率均应大于 10^{-2} cm/s,砂料应除去有机质,其中通过 200[#] 筛(美制)的颗粒不得超过总重量的 5%,而所有粒料均应通过 10 mm 的筛。

为防止第一层压实粘土衬垫中的粘土颗粒被挤入二次淋洗液排水层,使排水层中砂的透水率降低,可在第一层衬垫和二次排水层中间设置一层土工织物作隔离之用(见图 2)。

现今,在美国,土工织物和土工网已广泛用作填埋场淋洗液排水材料(见图 3)。土工网的透水率比砂要大,因此,很薄的土工网就可代替几十厘米厚的砂作为淋洗液排水层,可以减少衬垫系统总厚度,增大废弃物堆填容积。当土工织物和土工网用作首次淋洗液排水层时,其上应覆盖约 60 cm 厚的砂作为保护层,这层砂的透水率应大于 10^{-4} cm/s。

防止衬垫系统边坡产生滑动,这一点在填埋场设计中十分重要。在边坡上如用土工织物和土工网作为淋洗液排水系统,则土工膜和土工网之间接触面上的摩擦角太小。为了增加土工膜和淋洗液排水

层接触面上的摩擦,常在边坡改用土工复合材料来做淋洗液排水层(图 4)。这种土工复合材料由两层无纺土工织物中间夹一层高密聚乙烯(HDPE)土工网组成,通过不断加热使土工织物与土工网结合成一个牢固的、连续的整体。土工复合材料的透水率与土工网基本相同,但它与土工膜接触面上的摩擦角却比土工网和土工膜之间的摩擦角大得多,这就能使边坡衬垫系统的稳定状况得到很大改善。

图 5 和图 6 表示另两类淋洗液排水层的构造,它们近几年在美国填埋场设计中得到广泛应用。在这两个图中,用 60 cm 厚的砂作为首次淋洗液排水层和保护层,砂料的透水率必须大于 10^{-2} cm/s,土工织物和土工网或土工复合材料用作二次淋洗液排水层。图 5 表示的剖面适用于填埋场单元平坦的部位,图 6 表示的剖面则适用于边坡的位置。

2 淋洗液收集管的选择

淋洗液收集管可能由于堵塞、压碎或设计不当而造成失效。有关淋洗液收集管的详细说明应包括:①集水管材料类型;②管径和管壁厚度;③管壁孔、缝的大小与分布;④管身基底材料的类型和为支持管身所必要的压实度。

2.1 集水管尺寸的确定

多孔淋洗液收集管尺寸确定应考虑下列因素

a. 所需的流量。根据已知填埋场淋洗液渗出率,

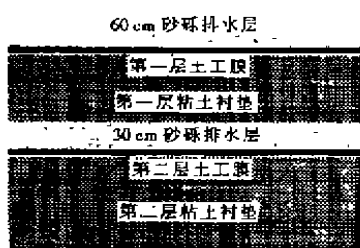


图 1 以砂作为首次与二次淋洗液排水层的双层复合衬垫系统

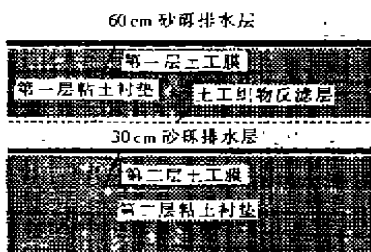


图 2 以砂作为首次淋洗液排水层和以土工织物及砂作为二次淋洗液排水层的双层复合衬垫系统

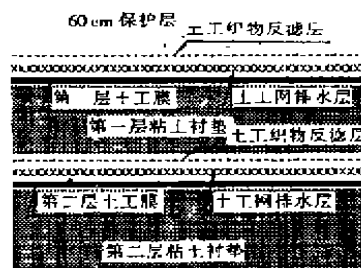


图 3 以土工织物和土工网作为首次与二次淋洗液排水层的双层复合衬垫系统

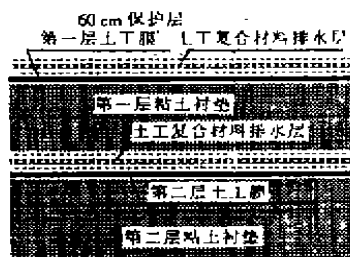


图 4 以土工复合材料作为首次与二次淋洗液排水层的双层复合衬垫系统

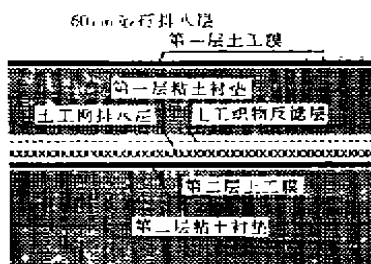


图 5 以砂作为首次淋洗液排水层和以土工织物及土工网作为二次淋洗液排水层的双层复合衬垫系统

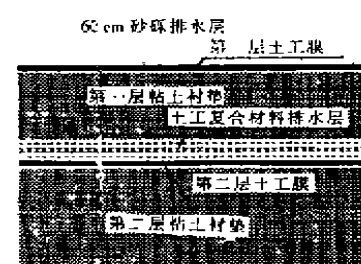


图 6 以砂作为首次淋洗液排水层和以土工复合材料作为二次淋洗液排水层的双层复合衬垫系统

填埋场最大排水坡度以及最大管距确定所需流量。

b. 管径大小。根据需要通过的流量和集水管最小纵坡确定管径大小。

c. 集水管本身的构造强度。

管距可用反映填埋场性能的水文计算模型(HELP模型)^[4]或麦肯纳(McEnroe)93法^[5]来确定。在应用HELP模型或McEnroe 93法计算管距时,两排平行多孔排水管之间流体的最大高度应小于30cm。

设计集水管尺寸所用的单位面积淋洗液产出量(或渗出量)可通过下列三个途径加以估算。

a. 根据HELP模型,使用淋洗液最大峰值日流量计算。

b. 根据25年一遇、24h暴雨进行计算^[6]。

c. 直接使用规范给出的渗出率^[7]。

当需通过的淋洗液流量、管子纵坡以及管壁材料均已已知时,可用曼宁(Manning)公式计算集水管尺寸。计算时可先假定一个管径,然后用曼宁公式计算流量,算出的流量应大于或等于需通过的淋洗液流量,否则,要重新假定管径再用公式计算,直至算出的流量大于或等于需通过的淋洗液流量为止。

2.2 管壁布孔

确定多孔淋洗液收集管上进水孔的大小和分布最重要的参数是集水管单位长度最大淋洗液流入量。而集水管单位长度的最大淋洗液流入量又主要取决于填埋单元单位面积淋洗液最大产出量和单位长度集水管所控制的最大单元面积。

若孔口尺寸及形状已知,可由伯诺里(Bernoulli)方程计算每一进水孔的集流能力。由Bernoulli方程可知,孔口的集流能力主要取决于孔口的大小尺寸和形状,还有淋洗液极限进口流速,该流速在计算集水管布孔时一般可假定为 3cm/s ^[8],管壁进水孔的直径通常取 6.25mm 。

当单位长度最大淋洗液集流量及每个孔口的集流能力均求得后,集水管单位长度所需布孔数就极易确定了。布孔方式如图7所示。为保持可能存在的最低淋洗液水头,放置集水管时,应使进水孔位于管子的下半部,不要让它翻过来。靠近起拱线的孔口会降低管壁强度,应尽量避免。

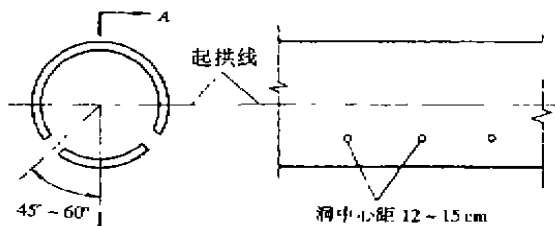


图7 淋洗液收集管上的布孔

3 淋洗液收集管的变形和稳定性

淋洗液收集系统的所有部分均应满足强度要求以承受其上固体废弃物和覆盖系统(封顶)的重量以及填埋场封闭后的附加荷载,还有由操作设备所产生的应力。系统各组成部分中最易因受压强度破坏而受损的是排水层管路系统,淋洗液收集系统中的管路有可能因过量变形被弯曲或压扁。因此,管路强度计算应包括管路变形的阻力计算和临界弯曲压力的计算。

3.1 管路变形

淋洗液收集管可能在填埋场施工期、运用期或封闭后因受荷而被压坏。为防止损坏,管子要仔细看管,在埋槽未开挖前不要带至现场,并尽量避免笨重设备在管上行走。管路可以采用上埋或下埋两种形式。通常总希望尽量采用下埋式(见图8),但有时采用上埋(见图9)也是必要的。管身强度应加以校核以确定能否经得起施工前后各种荷载的作用。管身通常使用两种材料,PVC(聚氯乙烯)或HDPE(高密度聚乙烯),均可按柔性管考虑。实际上集水管的设计几乎就是管路变形计算的综合,算出的变形值不应超过生产厂家所给的允许值。管路变形常用修正的爱荷华(Iowa)公式^[9]进行估算。

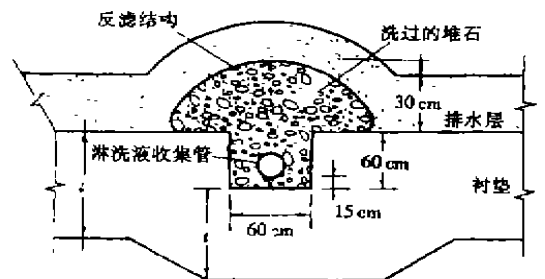


图8 淋洗液收集槽详图

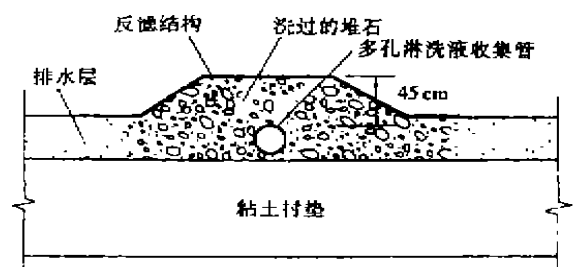


图9 上埋模式的淋洗液收集管

3.2 管壁弯曲

管壁弯曲并非其强度已达极限,但如管身刚度取用不当也可能发生管壁弯曲。在受到内部真空压力、外部静水压力和压实二层中高的土压力作用时,弯曲现象可能成为柔性管道设计的控制因素(见图10)。对防止弯曲来说,管道愈柔软,管壁结构的稳

定性也愈差。

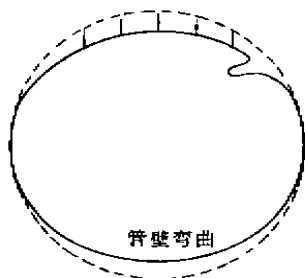


图 10 局部管壁弯曲

大多数管道被埋在土中,周围介质可提供相当大的剪切阻力。而弹性介质中圆柱体弯曲问题的严格精确解,需要比较高深的数学知识,而且由于土的性质十分复杂,精确解也未必可靠。因此,对于选定管道的临界弯曲压力可以用梅耶霍夫(Meyerhof)等人的公式进行估算^[10]。

4 淋洗液收集槽

淋洗液收集管通常均埋入砾石填起来的槽中,槽的四周包以土工织物以减少微小颗粒从衬垫进入槽内进而进入淋洗液收集管中,其详细布置可参见图 8 及图 11。实际上,由于收集槽下的衬垫很深,所以即使在槽下,衬垫也可用同样的最小设计厚度。

收集槽内的砾石应按碾压机械的荷载分布情况来填筑,这样可以保护集水管不被压坏,而作反滤用的土工织物则应包在砾石层的外面,也可以设计级配砂反滤层以减少废弃物中细颗粒渗入槽内^[11]。

5 淋洗液收集坑

淋洗液收集坑位于填埋场衬垫最低处,坑中填满砾石以承受上覆废弃物及封顶的重量和承受填埋场封闭后的附加荷载。通常在设置这些坑的地方,复合衬垫系统都是低下去的(见图 11)。设计淋洗液收集坑的关键是:①假定坑的尺寸;②计算坑的总体积;③计算坑中提升管所占体积;④计算坑的有效体积,这和所填砾石的孔隙率有关;⑤确定开启和关闭潜水泵的水位标高;⑥计算坑中需要抽取的蓄水体积;⑦计算提升管上应钻的孔并校核其强度。

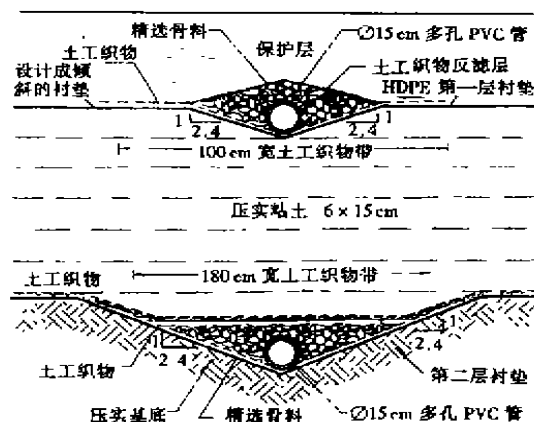


图 11 双层复合衬垫系统中的淋洗液收集管及槽

6 淋洗液抽取泵

必须仔细计算水泵功率以使其正常发挥作用,在选择水泵时既要考虑吸力也要考虑水头,还要注意淋洗液的密度比水略高。因此,用来从集水坑抽取淋洗液的水泵,其大小应保证在淋洗液产出量最大时能正常排放。这些水泵也应具有一定的有效工作扬程,以便将淋洗液从集水坑提升必要的高度直至出口。图 12 表示一个安装在提升管内并位于淋洗液收集坑底部的潜水泵。为能从集水坑内抽取淋洗液,通常都采用自动潜水泵,其开关定位应使水泵能运转一段时间,频繁的开机和停机机会使水泵受到损害。断开开关必须高出水泵顶部至少 15 cm,使水泵保持在水下工作,避免水泵烧毁。图 13 是边坡提升管内淋洗液抽取泵的装配简图。

如果保持连续运转,大多数型号的水泵均可使用,但因淋洗液产出率变化很大,水泵断续运转是无法避免的。可利用产品目录根据设计泄水流量和算出的总泄水水头选择合适的潜水泵型号和运行模式。水泵的总扬程等于静水头、摩擦水头损失和其它水头损失之和。图 14 表示一种边坡提水泵的类型,潜水泵用不锈钢或特氟隆(聚四氟乙烯塑料)制造。考虑到设备安装和在边坡提升管中运动的方

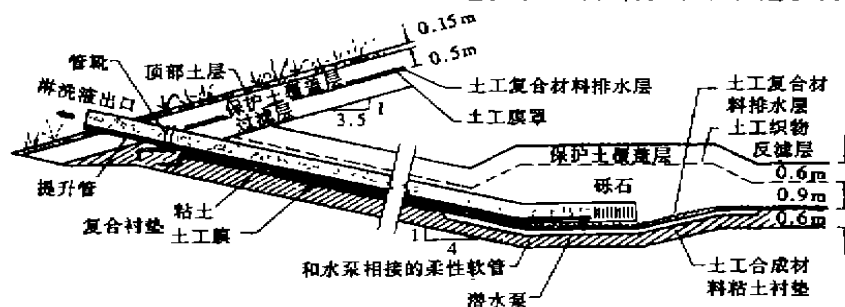


图 12 从淋洗液收集坑中输送液体的边坡提升管

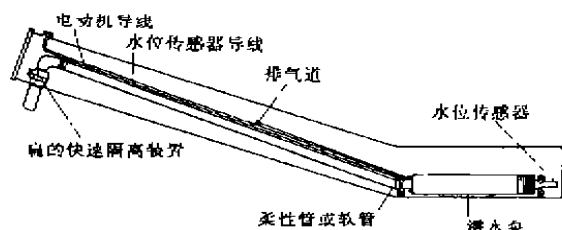


图 13 在边坡提升管内的淋洗液集水泵装备简图

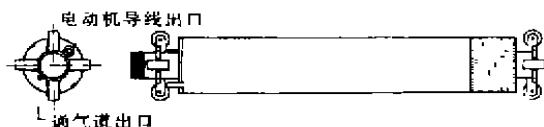


图 14 一种边坡提升泵

便,潜水泵上应配制轮子,反映水位标高的压力传感器贴在水泵上,以测定淋洗液收集坑中的水位。

参考文献

- 1 Qian Xuede. Sanitary landfill engineering—design and construction of landfills. Technical Manual, Michigan Department of Environmental Quality, Waste Management Division, Lansing, Michigan, USA, Dec, 1993
- 2 钱学德,郭志平. 美国的现代卫生填埋工程,水利水电科技进展,1995,15(5):8~12;15(6):27~31
- 3 Qian Xuede. Estimation of maximum saturated depth on landfill liner. Michigan Department of Environmental Quality, Waste Management Division, Lansing, Michigan, USA, Sept, 1994
- 4 Schroder P R, et al. The hydrological evaluation of landfill performance (HELP) model, Engineering Documentation for Version 3. EPA/600/R-94/168b. Risk Reduction Engineering Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, Sept, 1994
- 5 McEnroe B M. Maximum saturated depth over landfill liner, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 1993, 119(2): 262~270
- 6 USEPA. Federal register, part II, 40 CFR parts 257 and 258, solid waste disposal facility criteria; final rule. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, Oct, 1991
- 7 MDEQ. Act 641 rules. Michigan Department of Environmental Quality, Waste Management Division, Lansing, Michigan, USA, May, 1993
- 8 Driscoll F G. Groundwater and wells. Second Edition, Johnson Division, St. Paul, Minnesota, 1986. 997
- 9 Spangler M G, Handy R L. Soil engineering. Third Edition, New York: Intext Education Publishers, 1973
- 10 Meyerhof G G, Baize L D. Strength of steel culverts sheets bearing against compacted sand backfill. Highway Research Board Proceeding, Vol 30, 1963

11 Qian Xuede. Geotechnical aspects on landfill design. The University of Michigan, Department of Civil and Environmental Engineering, Ann Arbor, Michigan, USA May, 1995

(收稿日期:1996-08-26 编辑:马敏峰)

(上接第 64 页)

3 未来成功的关键

一般而言,小水电工程施工前预算不大可能大量增加,因此,必须寻求解决预算问题的方法。目前的解决方法有:设施与构件标准化;改善软件设计以利于可行性研究,如水文学、电机设备的选择与设计等;建立工程设计的计算机数据库。当今小水电工程的设计数天内即可完成,在寻求有效的方法,朝着这个方向继续努力的同时,还可以作进一步的开发研究,如互相协作、注重场址的选择、在工程开发重要阶段提供专业技术等。与其它有关机构合作或联营可以降低初期的投资成本,促进参与的积极性,合伙人可以包括设计者、土木工程和设备的承包人、地方社区的成员。通过把前两者召集在一起,可以获得较高水平的专业知识,施工中一旦需要即可随时介入;通过联合社区成员可以使征购土地、得到地方的支持变得容易些;利用可行方法,通过灵敏度分析,对成本与税收快速评估,进行站址确定。

失败往往带来一些有用的经验。然而,小水电的失败并不是一种普遍现象。事实上小水电的开发是成功的,重要的是不断总结,从小水电失败中吸取教训。

参考文献

- 1 Isambert F. Learning from failures at small hydro schemes. Hydropower and Dams, 1995, 12(5):44~46

(收稿日期:1996-03-08 编辑:马敏峰)

龙羊峡水电站

由中国水利水电第四工程局承建的黄河龙羊峡水电站(见封面照片),位于青海省共和县与贵南县交界处。电站由拦河大坝、泄水建筑、坝后厂房、开关站等部分组成。拦河大坝为混凝土重力拱坝,最大坝高 178 m,主坝长 396 m,正常蓄水位海拔 2600 m,库容 247 亿 m³。电站装机容量 128 万 kW,单机容量 32 万 kW,年发电量为 59.8 亿 kW·h。电站于 1976 年 4 月开工,1989 年 6 月最后一台机组发电。截止 1995 年底,已累计发电 350 亿 kW·h。

(宋毓新摄 李俊哲文)