



## 路面塌陷的原因分析与防治措施

文\_丘科胜（广西建设职业技术学院，专任教师，高级工程师）

范 媛（通讯作者）（南宁学院，高级建筑师）

随着道路建设日益增多，道路安全隐患也越来越突出，其中路面塌陷是极为关键且常见的问题，给人民生命财产安全带来巨大的危害。2020年1月13日，青海省西宁市发生了一起严重的路面塌陷事故，造成多人伤亡，引起社会强烈关注。党中央和国务院对此高度重视，要求当地相关部门及负责人认真排查城市公共设施安全隐患，解决好历史问题，并确保新建工程的质量。根据统计数据显示，我国路面塌陷事故呈逐年增长、多发频发的态势，年平均增长率达81%，其中由管道渗漏引起的路面塌陷事故占据绝大部分比例。由此可见，防治路面塌陷灾害已成为保障道路安全的关键方向，本文将对地下管线破坏引起的路面塌陷进行分析和研究，以期更好地保障道路安全。（见图1）

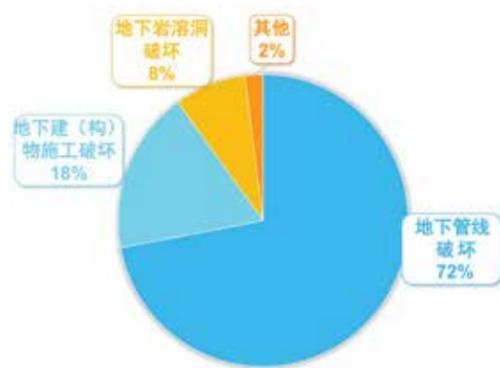


图1 2021年度各地路面塌陷事故占比图

## 一、路面塌陷的原因分析

### （一）路面塌陷的根本原因

根据研究表明，如同时存在以下三个因素，路基水土流失会引起路面塌陷。一是存在丰富的地下水或渗漏的管道水；二是管道地基原状土或管沟槽回填土为砂质土；三是存在砂质土流失通道，如从管节渗漏至管内流失，从管沟薄弱部位或孔洞、岩溶洞等地方流失。

如果是重力流管道，当管节发生渗漏时，管周砂质土通常会从管节渗漏处流入管内，加剧了管节的变形和位移，砂质土从管内流失并掏空管周的回填材料，最终导致路面塌陷。如果是压力流管道，管内的水在水压下会迅速从渗漏处流动到管外的砂质土中，随着水量的增加，砂砾石的细小颗粒会沿着沟槽薄弱部位或孔洞、岩溶洞等地方流失，也会导致管周回填土被掏空和路面塌陷问题。因此，需要在设计、施工和监理中采取科学措施，从根本上解决路面塌陷问题。

### （二）路面塌陷的设计原因

第一，在设计管沟槽时，中粗砂常被作为回填材料，其中一个原因是方便施工，另外一个原因是更容易满足路基压实的要求。然而，中粗砂的流失问题容易使路基被掏空，从而引发路面塌陷。如果改用黏土等渗透系数低材料作为回填材料，就不会出现回填土流失的问题，也能有效避免路面塌陷的发生。但黏土在分层压实时相对中粗砂难以压实，尤其在管沟槽开挖宽度较小、深度较深时，施工较为困难和缓慢。

第二，对于管道基础（以下简称管基）和检查井基础（以下简称井基）的沉降问题，目前设计人员在满足地基承载力要求的前提下，较少进行沉降计算。然而，在车辆荷载作用下，不同土层的沉降量不同，相邻管节出现较大沉降差也可能导致管节渗漏。此外，还应注意管基和井基范围内对地基承载力的要求不同。井基需要承受检查井的刚性荷载，对地基要求较高，而管基范围内的车辆荷载则作用在路面、路基上，对地基要求的敏感度不同。因此，应针对不同情况采取不同措施，避免地面塌陷的发生。

第三，对于管道需要穿过砂质土层的情况，若该地区砂质土地基的承载力满足相应的管基和井基要求，设计人员通常不对地基进行其他固化或改良等特别处理。然而，若管节未密封严密，则容易出现渗漏，导致砂质土流失，埋下致使未来路面塌陷的安全隐患。因此，在设计和建设中，应该尽可能做好每个细节的处理，确保管道的质量和稳定性。

### （三）路面塌陷的施工原因

一是施工过程中可能存在不严格执行施工质量要求的问题。虽然设计图纸符合规范和规程，但实际施工中保障每个管道与管道的接口、管道与检查井的接口不渗漏仍面临着困难。为解决这些问题，要求管沟槽地基的

承载力要满足设计要求，且管沟槽回填压实需要严格执行分层压实和验收制度。然而，在实际施工中管道工程的管沟槽有时未严格实行验槽程序，地基承载力缺乏验收和保证。此外，由于管沟槽开挖较狭窄，难以使用大型的压实设备，通常采用小型机械压实或人工夯实，施工速度缓慢。在赶工期间，容易出现超厚回填和未按要求回填的现象，从而导致管基下沉、管节变形渗漏，最终造成路面塌陷。此外，管道中线位移超标和抹带砂浆质量不稳定等也是造成路面塌陷的因素。因此，在管沟槽地基承载力验收和管沟槽回填压实等方面，应采取专业严格的评估、验收和施工措施。

二是施工过程中的降水。降水会影响地层孔隙中的水位，最终导致土层压缩，引起地面沉降。因此，在设计降水方案时需要充分考虑不同因素，如降水含水层特性、地下水水位、基坑的大小和深度，以及周边建筑物的距离、高度和基础深度等。需要针对地基土层的不同岩性采用对应措施，避免出现出水含砂泥过量的情况，否则会破坏地层结构，导致路面塌陷。

三是顶管、盾构等管道施工方式也容易对地层造成扰动，甚至导致超挖现象，这在砂质土区域尤为常见。大量的地下水渗出也会带走大量的砂土，最终导致路面塌陷。因此，在管道施工中需要注意对地层的影响，应采取相应的措施，确保路面的安全和稳定。

### （四）路面塌陷的监理原因

从监理角度来看，管道施工监理的工作重点主要放在管材质量、管道放线安装和管沟槽回填等方面，却忽略了管道地基和检查井地基的验收，没有严格执行验槽程序，导致管基和井基的地基承载力无法保证。此外，由于接口的施工质量参差不齐，无法严格执行旁站监理，加上管道与管道、井壁的接口数量较多，故接口问题也成为主要因素之一。在管沟槽的分层回填和压实方面，施工难度大，且难以严格执行分层验收制度，也增加了路面塌陷的风险。

另外，监理的工作重点过于注重基本要素，对其他重要参数的监控不足，如管沟槽开挖宽度和深度、材料使用情况、施工中的环境保护等，也是造成路面塌陷潜在因素之一。因此，在施工中应加强对施工人员的指导和管理，及时发现问题并采取合适的解决方案。监理人员要认真对待所有施工环节，严格执行相关规定和验收制度，以确保管沟槽的质量和施工可靠性，从而减少路面塌陷等事故的发生。

## 二、路面塌陷的防治措施

针对路面塌陷的原因，本文以南宁市某污水管工程为例，进行设计、施工和监理等方面的改良和优化。具体如下。

### （一）工程概况、工程水文地质条件

工程概况：本工程污水管管径为1500mm，采用钢筋混凝土平口管，管道埋深4m~6.50m。管道穿越土层大部为粉砂④层，局部为卵石⑤层。

工程地质条件：粉砂④层层厚3m~4.50m，层面埋深2m~3.30m。冲洪积成因，灰黄、浅灰色，松散，稍湿—湿，主要由石英等矿物组成，含云母片。粒径0.07mm~0.50mm的颗粒含量50%~58%，少量颗粒粒径大于0.50mm，棱角状。地基承载力特征值 $f_{ak}$ 为120kPa。卵石⑤层层厚3.20m~5m，层面埋深3.50m~6m。冲洪积成因，灰黄色，稍湿—湿，稍密—密实，主要由石英、砂岩等矿物组成，呈中等—微风化，亚圆—圆形，一般粒径20mm~100mm，径大者达150mm，粒径大于20mm的卵石含量约占60%~70%，孔隙中充填砂土。地基承载力特征值 $f_{ak}$ 为350kPa。

水文地质条件：在本次勘探过程中，场地揭露一层地下水，属孔隙型潜水，主要赋存于粉土③、粉砂

④层及卵石⑤层。场地附近无地表径流，地下水主要受大气降水、地表水入渗补给，其水位、水质、水量变化主要受日常气候及地形、岩土介质影响。钻探期间揭露初见水位埋深为3.50m~6.80m，稳定水位埋深在3m~4.50m。地下水位动态受季节变化影响较大，据了解，场地内水位常年变幅一般在3m~5m。

综合评价，本工程属于路面塌陷易发路段。

## (二) 管道防渗漏加固、管沟回填土的改良

路面塌陷的主要原因之一是砂质土流失，从而导致路基被掏空。因此，对管道进行防渗漏处理和对管沟回填土的改良是解决路面塌陷的重要措施之一。

传统的管沟槽回填做法：管沟槽底至管顶500mm处范围内采用中粗砂进行分层压实回填；管顶500mm处至路基顶范围的分两种情况，道路范围内的按道路要求进行回填，非道路范围内的可采用路基外的非膨胀性土进行回填，但压实度要大于等于93%。（见图2）

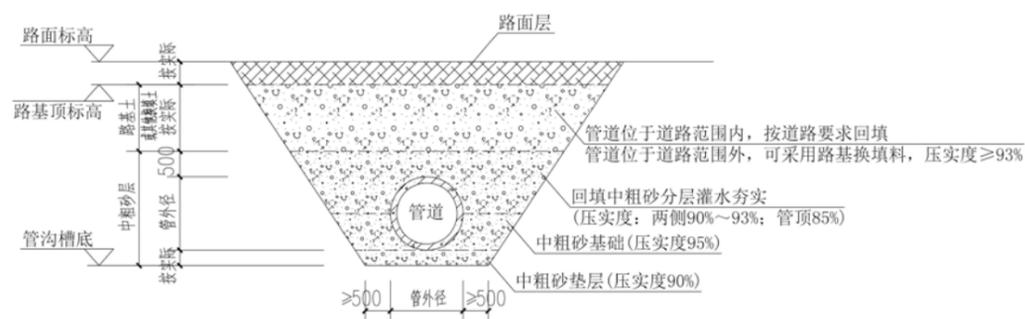


图2 传统管沟槽回填剖面示意图

以传统管沟槽的方法进行建设，一旦管节发生渗漏，管沟槽的中粗砂便容易出现流失现象。为了有效防止回填土的流失，可采用适当厚度的土工布等防渗漏材料对管道进行包裹，同时，回填土也应改为不易流失的黏土或水泥含量为4%~7%的水泥稳定砂砾。虽然黏土抗渗能力较强，但压实施工比较困难，易导致工期延误，因此可选择水泥含量为4%~7%的水泥稳定砂砾来进行压实施工。水泥稳定砂砾属于水泥稳定土的一种，它具有以下特点：（1）具有良好的力学性能和板体性。（2）具有较好的水稳性和抗冻性。（3）初期强度高并且强度随龄期增加。（4）对于不易压实的管沟槽和肥槽等位置的施工，采用水泥稳定砂砾更为方便，能够更有效地保证施工质量。（5）由于水泥用量不大，一般为4%~7%，且又都是低强度等级的水泥，故成本比较低，在富产砂石的地区大量采用该做法，是降低工程造价的有效途径。（见图3）

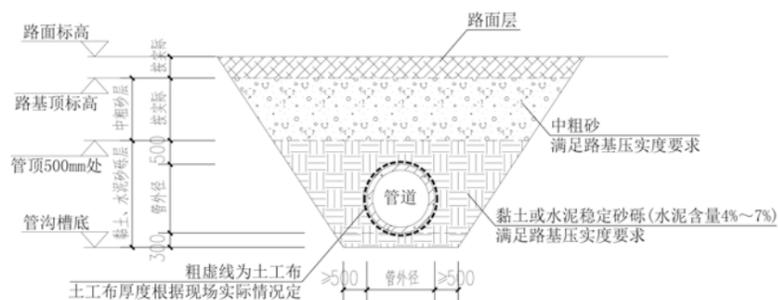


图3 改良后管沟槽回填剖面图（黏土、水泥稳定砂砾）

另外，为了确保工程的质量，我们还对宽出检查井基础500mm范围内的砂质土地基进行固化处理。具体来说，是采用分层劈裂注浆方式进行固化，对基础底板下1000mm范围内进行注浆处理。注浆孔的孔径为100mm，平面布置为500mm×500mm，采用水泥浆液，水灰比为1:1，并根据实际土质情况加入适量外加剂。通过对地基注浆固化后，不仅可以有效防止在车辆荷载作用下出现土壤液化现象，还可以大大降低层间位移，减小管节与井壁变形的风险，从而在一定程度上保障道路的稳定性和安全性。

上述做法能有效地防止管道渗漏，还能使施工过程更加便捷，施工速度得到显著提升，也获得业主和施工方的高度认可。

## (三) 减少管基与管基、管基与井基间的沉降差

管基与管基、管基与井基间的沉降差也是导致路面塌陷的关键因素之一。在本工程中，由于局部管段穿越粉砂层④层，其地基承载力特征值 $f_{ak}$ 为120kPa，小于150kPa，承载力偏低，容易发生突沉现象。因此，如何减少沉降差，让管道平缓过度，就显得尤为重要。

通过采用PKPM基础CAD模块对管基、井基沉降进行模拟计算可以发现，在地基不均匀处和管道接入检查井处容易发生突沉现象。因此，对于地基不均匀的管基，可以采用混凝土基础，差异较大者甚至可以采用钢筋混凝土基础来增强管道基础的整体性；对于管道接入检查井处，由于检查井为刚性构筑物，在车辆荷载作用下，沉降量一般偏大，需要采用加大检查井底板面积，或者对井基范围内的地基进行加固、提高其地基承载力等方式来减少沉降差。这些措施可以有效避免突沉现象的发生，保障道路安全性。

## (四) 严格执行基槽验收和回填土分层验收制度

严格执行基槽验收和回填土分层验收制度是为了防止路面塌陷而采取的重要措施。管道施工过程中，基槽的承载力和回填土的压实程度是路面塌陷发生的关键影响因素。因此，在技术交底时，应对施工和监理两方相关技术负责人进行技术培训，充分强调本工程易发生路面塌陷的特殊情况。同时，施工必须严格按照操作要求进行，加强质量管理，严格控制管道接口的质量，在施工单位自检的基础上，监理单位应严格抽检，并进行必要的全数检查，对有意偷工减料者要予以惩戒，以确保管道接口施工的质量。这不仅可以提高管道的稳定性，还能有效防止管道渗漏。

## (五) 加强巡查检测

长期加强巡查检测，定期维护和处理问题是解决路面塌陷的有效手段。在工程建成后，应进行必要的养护和维护。一是对管道进行定期检修和巡查，及时发现并排除缺陷和故障，确保排水系统的正常运行，避免渗漏和结垢等现象的发生。二是加强对周边环境的监控和调查，定期对路面沉降情况、路边建筑、路基状态等方面进行全面检测和分析。三是根据监测结果，及时进行管护工程或采取应急措施，以应对可能出现的安全隐患，并保障周边环境的安全。

## 三、结语

通过本文所提出的改良和优化措施，南宁市某污水管工程成功避免了路面塌陷，提高了工程质量，并在业主和政府部门的认可下顺利完成工程任务。同时，通过正视管道渗漏和砂质土流失这两个原因所造成的道路安全隐患分析，本文提出几个有效的对策，如管道防渗漏加固、改进管道回填土、减少管基与井基沉降、严格执行基槽验收和回填土分层验收制度、加强巡查检测等，这些措施的落实有助于保障道路安全，为今后的管道工程施工提供宝贵的经验和启示。C