高速公路通道下沉开裂治理实践

张锦灵[1]，豆敬峰[2]，李金刚[1]
(1.河南省地矿局第五地质勘查院，河南 郑州 450001；2.河南省地质环境监测院，河南 郑州 450000)

摘要：河南省省道 323 线登封市大冶镇一段公路软弱地基以及路面出现不均匀沉降，通道箱涵开裂，边坡为欠稳定边坡。将事故路段分为 4 个区域进行加固治理。通过采用注浆加固路基基础、设置坡面排水系统、提高地基的承载能力等治理措施，保证了道路的通行能力。

关键词：软弱地基；通道箱涵；欠稳定边坡；注浆加固；排水系统
中图分类号：U418.7　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1672－7428(2018)06－0075－06

Treatment Practice of Settlement and Cracking of Highway Channel/*ZHANG Jin-ling*[1], *DOU Jing-feng*[2], *LI Jin-gang*[1](1.No.5 Institute of Geo-exploration of Henan, Zhengzhou Henan 450001, China; 2.Institute of Geological Environment Monitoring of Henan, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: Uneven settlement happened in soft foundation and road surface in a highway section of provincial road of Henan Province with channel box culvert cracking and the side slope is unstable. The accident section is divided into 4 areas for reinforcement. By grouting reinforcement of roadbed foundation, setting up a slope drainage system and improving the bearing capacity of the foundation, the traffic capacity of the road is guaranteed.

Key words: soft ground; channel box culvert; unstable slope; grouting reinforcement; drainage system

1　工程概况

河南省省道 323 线地处郑州市南部，是联系郑州市南部城市之间的重要通道之一。采用双向四车道一级公路标准建设，路基宽 24.5 m，路面宽 23 m。

改建项目事故路段位于登封市大冶镇东 5 km、平陌镇南约 0.6 km 的桑家庄的桥板河村，整体地势呈东南高、西北低，属低山丘陵地貌。场地内及附近原有小煤矿的多个井口分布，均已被回填。场地内地形起伏较大，中部的桥板河位置相对较低。由于道路挖填方及露天采矿等人类工程活动，场地的原始地貌已被完全改变。

省道 323 线已经部分通车，由于场地处于丘陵坡地地貌，地形高差较大，通道处一侧地层为厚层的杂填土，填土主要成分为粘性土和碎石。2016 年 7－10 月受雨水冲刷，雨水沿开裂的沉降缝下渗，加之早期采空区影响，造成基底淘空(不密实)发生不均匀沉降，致使 K26＋228 处北侧 1～4 节通道箱涵下沉开裂，路面及边坡滑塌。严重威胁道路安全运营。路面开裂错台宽度 20～30 cm，下沉 35～60 cm，长度约 15 m，已影响至中间车道，见图 1 所示。经勘查该处位于采空区段，事故是受降水及不稳定地基影响而形成的次生地质灾害。

图 1　路基塌陷情况

近几个月的阴雨天气，沉降范围有明显扩大趋势，路面也出现新的明显错断沉降，受基底不均匀沉降影响，护坡断裂沉陷明显，局部裂缝宽度达 40 cm，坡面裂缝继续发育，垂直路段自北向南共 3 个箱节涵洞和八字墙出现明显下沉错台，由于路基水平和垂直位移造成箱涵变形，在一定程度上影响了通道和路基的安全。

收稿日期：2017－11－08；**修回日期**：2018－04－08

作者简介：张锦灵，男，汉族，1979 年生，高级工程师，探矿工程专业，主要从事探矿工程、地质灾害防治工程、桩基工程设计与施工等工作，河南省郑州市高新技术开发区莲花街 56 号，zjl20081011@126.com。

2 边坡工程地质条件

2.1 区域地形地貌

该道路通过地区为河南省西部山地与东部平原的过渡地带,整体地势西北高东南低,地形、地貌复杂,地势起伏大,丘谷交错,山丘破碎分散,坡度较陡。路线中部地段为低山丘陵区,海拔 180～300 m,地势起伏较大,坡谷相间,地形切割较为强烈,沟谷较深,局部低山丘陵间亦有剥蚀平地。属中等复杂建筑场地。

本工点地貌单元属黄土台地丘陵,通道箱涵两侧地面高程 244.14～300.00 m,路面中部高程 267.30 m。通过现场调查,场地通道箱涵一侧存在大量填土,且填土较厚(2～12 m),路基锥坡高度约 12 m,两级放坡,坡度分别为 1∶1.5、1∶1.75。

2.2 地层岩性

场区区域上位于华北台地南带,地层沉积显示了"华北型"的地质特征。区域内地层有寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、第三系及第四系,对场区有影响的地层主要为第四系和二叠系地层。边坡地质剖面如图 2 所示。

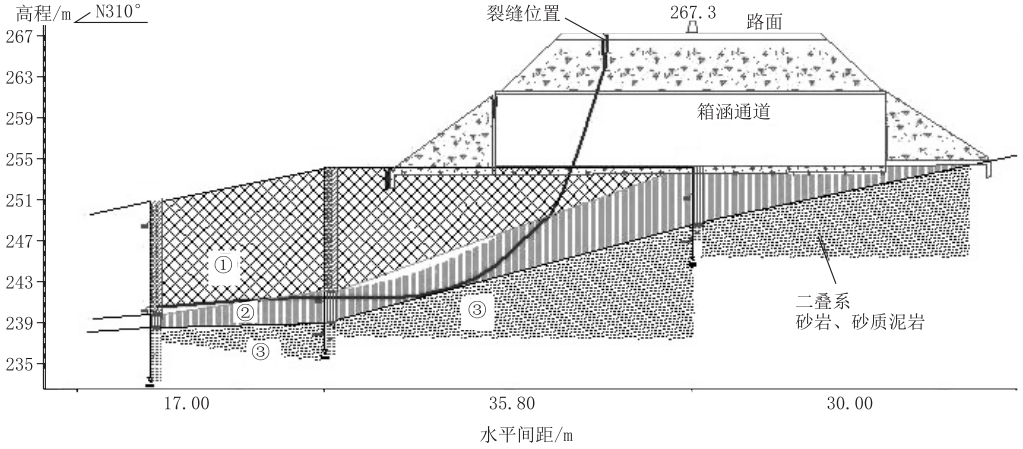

图 2 边坡地质剖面

2.2.1 第四系全新统(Q_4^{ml})

①杂填土:杂色,稍湿,稍密－中密,以粉土、粉质粘土为主,含大量碎石,碎石含量 10%～40%,粒径为 1～6 cm 不等,成分以砂质泥岩及砂岩为主。该层为路基填筑土,密实度相对较好,沟底路基外侧密实度差,厚度 1.0～4.5 m。

①$_1$ 杂填土:杂色,稍湿,可塑,稍密,以粉质粘土为主,碎石含量 10%,粒径为 1～3 cm 不等,成分以泥岩及砂岩为主,从该层开始钻探不回水。该层土密实度相对较差,动探击数较小。分布于通道箱涵北侧场地,厚度 2.2～12.0 m。

①$_2$ 素填土:灰黄－灰红色,稍湿－湿,稍密,以粉土为主含少量碎石,粉质粘土呈硬塑状态。该层均有分布,厚度 3.1～5.1 m。

①$_3$ 素填土:灰黄、灰红色,稍湿－干,稍密,以粉质粘土为主,偶见碎石,含部分粉土。该层分布在相对大里程方向,厚度 5.1～12.5 m。

2.2.2 第四系中更新统(Q_2^{al+pl})

②粉质粘土/粉土:灰黄、红褐色,硬塑－可塑,稍湿－干,中密,含钙质斑点,偶见姜石,姜石粒径 1～2 cm,干强度中等。该层多分布在相对小里程方向,厚度 1.3～14.0 m。

2.2.3 下二叠系山西组(P_2sh^{pl})

③$_1$ 强风化砂岩、砂质泥岩:灰黄、灰绿色,湿,密实,岩心较碎裂,粒径一般为 5～10 cm,最大粒径约 22 cm,局部见风化砂。场区局部分布,厚度 0.7～1.5 m。

③$_2$ 中风化砂岩:灰白色,中风化,隐晶质结构,层状构造,岩心较完整,多呈短柱状,一般长度 12～20 cm,最长约 25 cm,节理裂隙发育。该层分布于整个场地,所有钻孔均未揭穿该层,最大揭露深度 3.8 m。

2.3 水文地质条件

场区地下水为第四系上层滞水,主要受大气降水补给,受降水影响较大,本次勘察期间,未见明显的稳定水位,但钻探过程中发现钻孔中 5～14 m 范围内杂填土、素填土含水量明显增加,且钻探过程中返水情况很差,通道口附近钻孔钻探至①$_1$ 层杂填土后均漏水严重,ZK04 孔－10 m 深见不稳定水位。

在经受连续大量降水后,填方路基使原天然排

水沟壑通道排水受阻,上游来水在此处将大量下渗,岩土体饱和度及渗流量会急剧增加,沿路基下倾斜基岩面及上部杂填土造成抗剪强度降低,对工程边坡的稳定性产生极不利影响。

2.4　岩土体物理力学参数指标

根据土工试验结果、现场钻探技术成果,结合本地工程经验,各层参数建议值见表 1。

表 1　场区各层岩土体物理力学参数

层号	岩　性	重度/(kN·m^{-3})	c/kPa	φ/(°)	饱和抗压强度/kPa
①	杂填土	21.0	20.0	15.0	
①$_1$	杂填土	19.0	23.2	12.3	
①$_2$	素填土	19.0	9.0	19.0	
①$_3$	素填土	20.0	15.0	10.0	
②	粉质粘土	18.9	25.0	13.9	
③$_1$	强风化砂岩	24.0			16～30
③$_2$	微风化砂岩	26.0			30～50

3　稳定性评价

3.1　已有的变形情况

根据现场勘察,塌陷岩土体主要为上部杂填土,经过堆积加荷、降水、车辆等动荷载等因素扰动,①、②层土发生沉陷错动现象。锥坡发生多处剪切破坏,锥坡坡底浆砌片石也明显向上鼓胀。路面 30 m 左右发生 2 处贯通裂缝,且该裂缝在道路右侧箱涵及通道路面也明显发生;通道箱涵下沉>20 cm,滑移推力直接作用至通道小路并自路基下向西北沿小路传导至 30 m 远并使裂缝右侧路面及土体明显隆起。

K26+228 箱通于 2013 年 10 月份开始施工,2013 年 12 月底施工完成。2014 年 6 月发生不均匀沉降并在沉降缝处出现宽度 2～5 cm 的裂缝及错台,至 2015 年 5 月 24 日最大错台达 13 cm,右侧洞口八字墙沉降缝最大达 15 cm。2016 年 7 月份遇暴雨箱通裂缝和错台变化速度加快,不但呈现不均匀沉降,而且纵向和横向位移也有加快的趋势,2016 年 8 月 12 日最大错台达 20 cm,八字墙处沉降缝裂缝达 21 cm。变形沉降最大期间在 2016 年 7－10 月份,后期因雨水减少变形沉降趋于平稳。

锥坡高度约 12 m,一级放坡,坡度分别为 1∶1.5～1∶1.75。采用简化毕肖普法、简化简布法、斯本森法、蒙格斯坦-普林斯法及简称 M－P 法以场区已经产生滑动的锥坡进行了现状工况、暴雨工况及地震工况边坡的稳定性估算,现状自然状况下稳定安全系数 F_s=0.93,为欠稳定边坡。

3.2　滑坡塌陷形成原因初步分析

通过现场的勘察及钻探综合判断该边坡体的滑动破坏,与地形地貌、地层岩性和水文地质条件等各种内在因素和外在因素的影响有关,分述如下。

3.2.1　地形地貌

该场区处于黄土丘陵地带,地面坡向西,公路修通后改变了原有地貌,致使此处地势较低,另排水沟将大量雨水排至此处,填方路基使原天然排水沟壑通道排水受阻,使上游来水在此处大量下渗,沿路基下倾斜基岩面及上部杂填土造成抗剪强度降低,从而加大了滑动风险。

此外,大量货车增加了坡体荷载,且为动荷载,对原有土体的稳定性造成了不利影响。

3.2.2　地层岩性

现路基位于填方沟壑处,北侧表层及原沟内为厚层松散堆积的杂填土,以黄土状粉质粘土为主,含大量碎石,该杂填土孔隙较大,堆积松散,不均匀,自身稳定性较差,透水性极强,当存在大量降水或地表水情况下,会造成大量水体下渗,当水遇到隔水粘土层及倾斜基岩界面后,导致路基上部土体饱和,抗剪强度降低,土体松动变形。

3.2.3　水文地质

该场区地下水主要受降雨补给,在勘察期间场区未发现地下水位,但从钻探揭示地层来看,地表下 5～14 m 含水量有突变式增加。另路北处排水为散排,路南侧大量积水沿通道汇集,降雨时,大量的雨水汇集此处,沿着松散体孔隙和地面裂缝下渗,由于坡体下覆②、③$_1$、③$_2$ 层主要岩性均为粉质粘土和基岩,渗透性较差,为良好的隔水层,容易造成地下水在粉质粘土顶面附近积聚,软化路基上部杂填土层。在重力和水渗流作用下,变形松动,引发路面路堤沉陷滑塌。可见水文因素是该坡体变形失稳的重要因素。

3.2.4　煤矿采空区影响

根据《省道 323 线新密关口至登封张庄段改建工程煤矿采空区稳定性评价》,该场区地下煤层埋深在 250 m,煤层厚度 4.5 m 左右,为先期煤矿采空区,老戈湾煤矿(已闭坑)和大平煤矿 1999－2010 年停采,采空区稳定性评价结论为基本稳定,但前期形成的地表裂缝和岩土地层结构松动给路基地层稳定

带来一定影响。

4 治理工程设计

根据地勘资料,场地 K26+228 通道箱涵沉陷开裂及路堤地基下沉位移,由于地处环境为沟壑,第四系全新统填方不实且过厚,加之排水不畅沿裂隙下渗土体强度降低,形成填方路基荷载下沿岩土层顺坡倾斜沉陷滑移,因此考虑设计地基北侧注浆加固现有土体,增强其抗剪强度,处理至岩土滑动界面实现自稳。右幅路基外侧土体锥坡进行基地注浆加固,增强抗滑段被动土压力,在沟壑堆积坡脚进行圈砌护臂挡墙,防止滑坡进一步发育。另考虑在左幅路堤锥坡外侧修复加强路面防水和防排水措施工程,进一步阻止侧向积水沿路基裂隙下渗危害。

4.1 治理工程分区

根据现场地层情况,将场地分为 4 个区域,分别为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ,如图 3 所示。

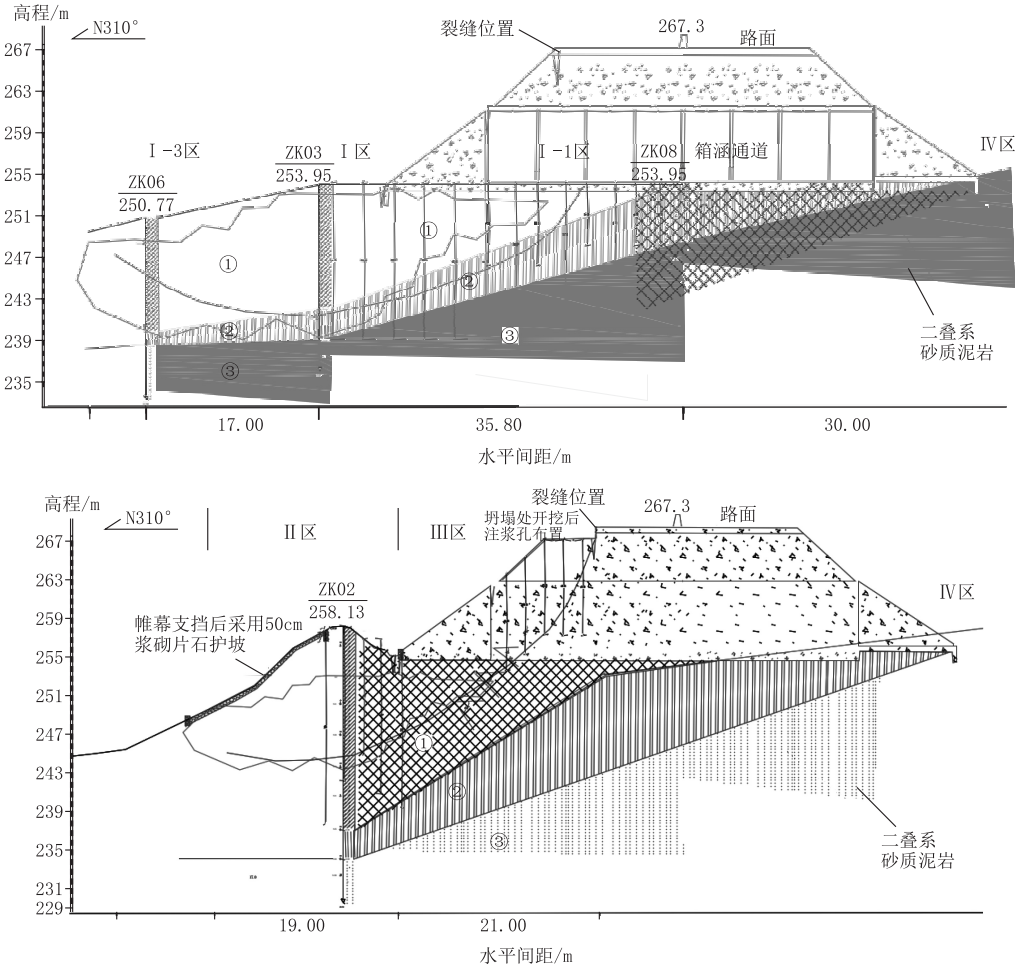

图 3 场地分区

Ⅰ号主区域位于右幅箱涵通道及出口附近,设计注浆管长度由基岩面标高确定。主要对路基下及以下松散杂填土范围予以注浆加固,管底控制按基岩面,按设计深度或进入基岩 0.5 m 控制。先进行本区外围北侧 1 排注浆孔注浆,起到帷幕作用,后进行区内加固注浆。

箱涵区域(Ⅰ-1 区)箱体内底面布孔间距 3 m×5 m,设计平均孔深 9 m;箱体内沿 1～3 箱节裂缝处孔间距 1 m,设计平均孔深 7 m;路面右幅箱顶两侧布孔间距 1.5 m,设计平均孔深 20 m。

北通道口区域(Ⅰ区)出口设计布孔间距 3 m×3 m,孔深 16 m;两个八字墙注浆孔间距 1.5 m,设计孔深 16～20 m。主要目的是处理加固岩土界面及松软填土层。

Ⅰ-2 和Ⅰ-3 区均为原状土受浅部排水不畅影响形成沉陷,此区域做好修复破坏路面和加强防排

水措施工程。

Ⅱ区设计布孔间距 2 m×2 m,设计成孔深度 16～20 m 间隔,主要目的是处理加固松软填土层。

Ⅲ区北路基边坡右幅路面弧形裂缝开挖充填加固,设计竖向注浆孔,布孔间距 2 m×2 m,设计孔深 10 m,主要目的是处理加固路堤滑塌边坡。

Ⅳ区主要目的是处理修复路堤下左侧表层积水,将雨水散排方式改为集中式排水,防止雨水下渗对边坡产生不利影响。并采取一定的防渗措施。在边坡监测稳定后恢复通道箱涵伸缩缝。

4.2　路堤、路基注浆措施

根据设计要求和土层条件,注浆孔成孔可采用普通地质勘察钻机或潜孔钻风压冲击成孔,水平向孔位误差≯200 mm,垂直方向孔位误差≯300 mm,孔斜不大于注浆孔深的 5%。路基沟壑填土加固采用垂直成孔,路堤边坡采用 25°～55°斜孔,该区注浆孔孔径为 70～80 mm;箱涵内成孔孔径为 50～60 mm,涵内两侧采用 45°～55°斜孔。采用钻孔测斜仪控制钻孔方向。

路基注浆管采用 Ø50 mm×2.0 mm 焊接钢管加工,涵内注浆管采用 Ø30 mm×2.0 mm 套丝钢管,在钢管注浆段范围内钻孔,孔径 8 mm,孔间距 30 cm,梅花形布置;管底端锤扁焊尖,顶端车丝。注浆管顶端应有单向阀稳定注浆压力。

浆液选用普通硅酸盐水泥(PO 42.5)浆粉(充填注浆段可添加煤灰)及添加剂配制,随搅随用,浆液应在初凝前完成,并严防石块、杂物混入浆液。注浆浆液应搅拌均匀,一次注浆水灰比为 1;二次注浆水灰比为 0.5。

采用二次注浆,在一次注浆水泥浆液初凝前进行二次注浆。注浆前孔口封堵段长度≮1.0 m。注浆压力控制在 1.5 MPa,注浆量为 200 kg/m,进行压力注浆时,Ⅰ、Ⅱ区应采用隔一注一的施工方法,Ⅲ区应采用隔二注一的施工方法,相邻两孔施工间隔时间≮7 h。注浆作业开始和中途停止较长时间,再作业时宜用水或稀释水泥浆润滑注浆管道。注浆有跑浆现象时可采用间歇注浆法。制定成孔注浆施工工程中控制次生沉降的措施。

注浆结束标准:注浆压力≮1.5 MPa,按设计要求,该处地面隆起、冒浆或注浆时出现窜孔现象时。

4.3　防排水及边坡稳定性措施

由于边坡沉降及涵洞位移造成目前排水系统损坏,对边坡稳定产生极其不利影响。因此,在注浆治理后检测变形区域稳定后应对原有排水及防护系统进行恢复。

对Ⅲ区边坡原有浆砌片石护砌破损的部分进行拆除,待路基注浆后重新砌筑;对涵洞进水口洞口进行硬化处理,采用 20 cm 水泥混凝土硬化,洞口外边坡采用 1 m 高护脚矮墙护砌。

对箱涵内破损排水挡墙拆除后重新浇筑,排水沟底铺设一层防渗土工布并浇筑 20 cm 混凝土,以利于雨水顺利排出。对道路两侧破损的排水沟进行恢复,并完善排水系统,保障雨水顺利排泄。对右侧路堤坡脚外自然边沟边坡,为防止其注浆后雨水下渗弱化注浆效果,待边坡注浆处理后,采用 50 cm 浆砌片石铺砌。

4.4　通道箱涵沉降缝恢复

右幅通道最外侧 3 道沉降缝因地基沉降,出现了较大位移,设计拟采用填塞微膨胀混凝土。通道顶板处的沉降缝可采用砖块砌筑和抹面,砂浆采用 M10。表面抹平后采用 40 cm 宽、4 mm 厚的钢遮板封闭。并参考桥梁伸缩缝处的钢遮板做法。要求钢遮板与伸缩缝两边的墙体结合顺畅并采用螺栓固定。

4.5　路面恢复

因通道右幅下沉致使 K26＋232～258 段右幅路基开裂滑移且已经损坏影响行车安全,结合现场情况,拟将开裂的路面和路基边坡开挖后重新回填。开挖高度为自路面设计标高至通道顶面标高,即 262.3 m 处和 263.3 m 处,开挖顶面宽度为 3.5～5 m,开挖深度 123 cm,开挖后增加间距 2 m×2 m 注浆管施工,注浆施工完成并达到设计要求后则回填 8%石灰土至路床顶面,回填时应在破坏路基顶部各铺设一层钢塑土工格栅,并与原路基固定衔接,最后重新铺筑原路面结构至设计标高。开挖时应在老路路面结构及路床部分预留台阶,以便于新填筑粒料与老路搭接紧密。

对于两侧洞口因地基沉降造成破损的路面进行拆除,重新铺筑 20 cm 混凝土并与原有道路衔接顺畅。

5　工程监测方案

治理施工过程中及治理工程完成后 1 年,应全程对项目进行监测。在施工过程中,施工单位与设

计单位相互配合,获取及时反馈的变形信息,做到信息化施工设计,即当变形信息有突变量或超过变形标准时,将设计置于时间和空间的动态过程中可及时组织人员进行研讨,做出动态应急分析,采取有效的应变措施,控制边坡的变形,并且对下一阶段的施工做出预报和指导,从而有效地避免事故的发生,确保施工过程安全。治理工程完成后 1 年内或一个雨季周期内进行后期监测,确保工程达到稳定运行。

5.1 治理工程安全监控内容

根据治理工程的环境条件,监测采用仪器监测与巡视检查相结合的方法,监控内容包括:(1)锥坡沉降、水平位移;(2)箱涵通道的沉降、水平位移;(3)沟壑填方处沉降、水平位移及深层水平位移;(4)周边地表竖向位移;(5)巡视建(构)筑物及地表变形、开裂缝和地表地下水变化。

5.2 变形控制要求

(1)监测点布置及测量除满足本设计要求外,还应严格按照国家相应规范、规程执行。

(2)在注浆施工前,须测得初读数。

(3)监测频率严格按规范要求。

(4)根据工程的具体情况和实际监测数据对照垂直和水平位移允许变形标准对加固工程做出险情预报,及时做出报警判断,形成决策。

5.3 报警界限

(1)锥坡水平位移、竖向位移变化速率 3.0 mm/d 或连续 3 天达到 2.0 mm/d,水平位移变化累计值 10 mm,竖向位移变化累计值 10 mm;

(2)路基及周边地表沉降变化速率 3 mm/d 或连续 3 天达到 2.1 mm/d,累计 15 mm;

(3)深层水平位移变化速率 3 mm/d 或连续 3 天达到 2 mm/d,累计 10 mm。

5.4 监测频率及终止要求

施工期间:1 次/d;施工结束 7 d 内,1 次/2 d;施工结束 7～14 d,1 次/3 d;施工结束 14～28 d,1 次/7 d。以后可逐渐减少。监测周期应大于 12 个月(暂定 2 年)或一个雨季后 3 次观测达到稳定且最后 2 次观测沉降差<3 mm。

当出现下列情况之一时,应加强监测,提高监测频率,并及时向相关单位报告监测结果:

(1)监测数据达到报警的累计值;

(2)周边建(构)筑物、路基的构结部分、周边地面出现较严重的突发裂缝或危害结构的变形裂缝;

(3)周边大量积水、长时间连续降雨、水道出现泄漏;

(4)根据当地工程经验判断,出现其他必须进行危险报警的情况;

(5)箱涵内注浆时段要实时监测。

6 结语

注浆技术在路基沉降控制得到了广泛应用,注浆体与路基基础形成复合基础,提高地基承载能力,控制路基沉降起到加固路基的目的。在施工过程中监测工作应提前进行,做到信息化工程施工。根据监测结果和现场实际情况,及时反馈信息,合理安排施工,做好信息化设计施工,防止施工过程中发生次生变形沉降。

参考文献:

[1] DLT 5200－2004,高压喷射灌浆技术规范[S].
[2] 张永成.注浆技术[M].北京:煤炭工业出版社,2012.
[3] JTG/T J23－2008,公路桥梁加固施工技术规范[M].
[4] 温继伟,裴向军,王文臣,等.高压喷射注浆防渗加固若干问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):56－62.
[5] 韩富强,张锦灵,庞磊.兰州徐家湾不稳定边坡的综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):78－84.
[6] 耿丽英、张德贤.高速公路路基工程中注浆技术的应用[J].交通标准化,2010,(S1):156－159.
[7] 黎良奎.锚固与注浆技术手册[M].北京:中国电力出版社,1999.
[8] 夏志香.试论高等级公路桥头跳车的成因及防治措施[J].山西建筑,2009,39(33):302－303.
[9] 罗恒.注浆理论研究及其在公路工程中的应用[D].湖南长沙:中南大学,2010.