

正断层错动下的输水隧洞动力响应分析

胡良明¹,李天晓¹,孙奔博¹,赵子楠¹,李 仟²,李姝钰³

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003; 3. 郑州市水利建筑勘测设计院, 河南 郑州 450007)

摘要:长距离调水工程中的输水隧洞通过潜在地震地区时,存在活动断层错动引发的重大工程安全隐患,揭示断层错动对输水隧洞稳定性影响的研究具有非常重要的工程意义。基于围岩、断层破裂带、衬砌和内水的动力相互作用特征,使用ABAQUS有限元分析软件,建立了围岩—断层破裂带—衬砌—内水三维数值模型,深入分析了各种断层错动量、宽度及粘聚力对输水隧洞稳定性的影响。结果表明,处于较小断层错动量、断层宽度及较大断层粘聚力情况下的输水隧洞衬砌结构竖向位移及损伤程度有所减小,结果对跨断层输水隧洞动力响应理论研究有一定的参考价值。

关键词:正断层;输水隧洞;数值模拟;衬砌损伤

中图分类号:TV554;TU45

文献标志码:A

文章编号:1000-7709(2023)04-0131-04

1 引言

我国西南地区隧道工程建设正在不断地持续推进,但该地区地质结构复杂多样,地壳运动较活跃,易发生地质灾害,工程实施难免遭遇断层活动带,因此研究断层错动对西南地区隧道工程稳定性的影响对解决跨活动断层的隧洞工程建设和安全运行具有重要的工程意义。目前针对穿越活动断层的隧道结构已展开部分研究。通过有限元数值模拟方法,熊炜等^[1,2]研究了断层错动对跨断层隧道衬砌结构位移及应力的影响;通过FLAC^{3D}有限差分法软件,邓通海等^[3,4]分析了隧洞穿越大型活动断层时的围岩力学行为及隧洞衬砌位移变化;耿萍等^[5]基于振动台模型试验方法,探讨了跨活动断层隧道衬砌的综合内力分布特征;ZHONG ZILAN等^[6]基于有限元方法确定了不同断层下的围岩位移、应力响应和塑性区范围及混凝土衬砌的应力分布情况。现有研究对跨活动断层下的山岭、铁路、地铁等结构稳定性研究具有重要的现实意义,但针对跨活动断层输水隧洞的研究仍较匮乏且结构倒塌失效机理尚不清晰。鉴于,本文在围岩—断层破碎带—衬砌—内水三维模型的基础上,通过模拟正断层错动过程,分析了不同断层错动量、断层宽度和断层粘聚力对输

水隧洞衬砌结构的变形及损伤影响,以期为跨活动断层输水隧洞的相关设计施工及运行管理提供参考。

2 研究方法

2.1 混凝土弹塑性损伤本构模型

混凝土弹塑性损伤本构模型(CDP)^[7]假设混凝土的损伤由其材料的受力所导致,使用损伤指标进行混凝土材料弹性刚度矩阵折减,进一步模拟混凝土的开裂过程,其应力—应变关系曲线见图1。

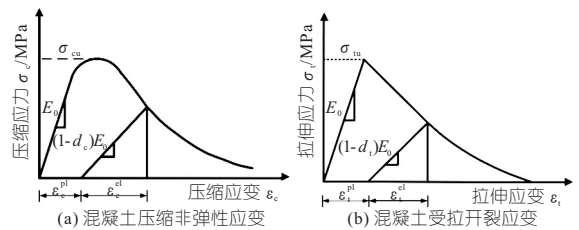


图1 混凝土损伤塑性应力—应变关系

Fig. 1 Damage plastic stress-strain relationship of concrete

CDP模型中,混凝土出现、未出现损伤时,其应力应变关系表达式分别为:

$$\sigma = \mathbf{D}^{el}(\epsilon - \epsilon^{el}) \quad (1)$$

$$\sigma = (1-d)\bar{\sigma} = (1-d)\mathbf{D}^{el}(\epsilon - \epsilon^{pl}) \quad (2)$$

其中
$$d = 1 - \sqrt{\sigma / (E_0 \epsilon)} \quad (3)$$

收稿日期: 2022-06-13, 修回日期: 2022-07-12

作者简介: 胡良明(1963-),男,博士、教授,研究方向为水工结构数值模拟及抗震, E-mail: liangmingh@zzu.edu.cn

通讯作者: 孙奔博(1992-),男,博士、研究员,研究方向为高性能水工结构抗震及安全评估, E-mail: sunbenbo@zzu.edu.cn

式中, σ 为受拉或受压非弹性应力; \mathbf{D}^{el} 为弹性刚度矩阵; ϵ 为总应变张量; ϵ^{el} 为弹性应变率; d 为混凝土损伤因子^[8]; $\bar{\sigma}$ 为有效应力; ϵ^{pl} 为塑性应变率; E_0 为混凝土初始弹性模量。

2.2 隐式大涡模拟方法

在跨活动断层输水隧洞中, 由于断层错动的作用, 各层流的液体质点在流动过程中相互混掺紊乱, 形成湍流。在计算流体动力学(CFD)中, 影响其计算准确性和有效性的决定性因素之一在于对湍流的模拟, 故采用隐式大涡模拟(ILES)方法进行围岩—断层破碎带—衬砌—内水流固耦合。相较于其他湍流模拟方法, ILES 不依赖各类显式亚格子应力模式, 而是用数值格式提供的耗散来近似亚格子尺度湍流的行为^[9], 可进一步提高 CFD 模拟精度, 使其更贴近于真实情况。对于不可压缩液体, ILES 的控制方程表达式为:

$$\overline{\frac{\partial \mathbf{u}_m}{\partial x_m}} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d\overline{\mathbf{u}_l}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_l} + \nu \frac{\partial^2 \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m^2} + \overline{F_l} + \frac{\partial}{\partial x_m} (-\overline{u_l u_m}) \quad (5)$$

式中, $\overline{\mathbf{u}_l}$ 、 $\overline{\mathbf{u}_m}$ 分别为 l 、 m 方向上的速度矢量; t 为时间; ρ 为流体密度; p 为压力; $\overline{F_l}$ 为体积力; $-\overline{u_l u_m}$ 为粒子雷诺应力项; l 、 m 均代表方向。

与传统流体控制方程不同的是, ILES 多了粒子雷诺应力 ($-\overline{u_l u_m}$) 项, 则式(5)中的亚粒子雷诺应力项表达式为:

$$-\overline{u_l u_m} = \nu_l \left(\frac{\partial \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m} + \frac{\partial \overline{\mathbf{u}_m}}{\partial x_l} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{lm} \quad (6)$$

其中 $\nu_l = C_\nu k^{1/2} \Delta$ (7)

式中, ν_l 为亚粒子涡粘系数; C_ν 为湍流系数; k 为湍流脉动动能; Δ 为液体质点间的距离。

当湍流的产生和耗散达到平衡时, 式(5)可表示为:

$$-\overline{u_l u_m} \frac{\partial \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m} = \nu \left(\frac{\partial \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m} + \frac{\partial \overline{\mathbf{u}_m}}{\partial x_l} \right) \frac{\partial \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m} = \chi \quad (8)$$

其中 $\chi = C_\chi k^{3/2} / \Delta$ (9)

式中, χ 为湍流耗散项; C_χ 为涡粘系数。

C_χ 的亚粒子涡粘系数表达式为:

$$\nu_l = C_\chi \Delta \left[\frac{\partial \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m} \left(\frac{\partial \overline{\mathbf{u}_l}}{\partial x_m} + \frac{\partial \overline{\mathbf{u}_m}}{\partial x_l} \right) \right]^{1/2} \quad (10)$$

3 数值模拟

3.1 数值建模

采用 ABAQUS 进行数值模拟, 其中输水隧

洞内水部分采用 ABAQUS 自带 CFD 模型, 通过衬砌内壁—内水接触面耦合实现衬砌—内水流固耦合。输水隧洞衬砌采用 C30 钢筋混凝土结构, 为城门洞类型, 埋深 60 m, 地下水位 4 m。其外部尺寸宽 15.3 m, 高 17.15 m, 内衬厚 1 m, 其 CDP 模型在 ABAQUS 中输入的 C30 对应参数分别为膨胀角 38° 、偏心率 0.1、抗压强度比值 1.16、 K 系数 0.666 7、粘性系数 0.000 01, 其他参数见表 1^[10]。围岩和断层破碎带使用 Mohr-Coulomb 弹塑性本构模型, 参数见表 2。为能模拟衬砌—围岩、断层—围岩的接触行为, 衬砌—断层—围岩的接触面法向采用“硬接触”, 切向采用库伦接触定律, 摩擦系数为 0.4^[11]。数值模拟中, 围岩—断层破碎带—衬砌模型边界条件为: 下盘、断层破碎带及其部位衬砌结构底部全约束, 侧面法向约束; 上盘及其部位衬砌结构施加沿断面方向向下的边界位移。衬砌管内流体边界条件为: 流速进口、压力出口, 隧洞内水流速为 0.2 m/s, 自由出流, 衬砌外水压力折减系数取 0.5^[12], 流体充满整个输水隧洞, 其物理力学参数分别为密度 $1\ 000\ \text{kg/m}^3$ 、动力粘性系数 $0.001\ \text{Ns/m}^3$ 、状态方程参数 1 400^[13]。三维数值模型见图 2。

表 1 CDP 模型参数

Tab. 1 CDP model parameters

拉应力/MPa	拉应变/MPa	受拉损伤因子	压应力/MPa	压应变/MPa	受压损伤因子
2.434 580	0.000 000 0	0.000 000	14.814 528	0.000 00	0.000 000
2.107 870	0.000 056 1	0.251 830	21.183 420	0.000 72	0.293 609
1.587 950	0.000 125 0	0.451 168	18.444 716	0.001 67	0.477 825
1.037 299	0.000 245 0	0.646 137	14.781 707	0.002 64	0.600 930
0.785 255	0.000 356 0	0.736 336	11.993 966	0.003 59	0.681 139
0.364 079	0.000 982 0	0.888 642	9.983 714	0.004 51	0.735 860
0.148 772	0.003 430 0	0.961 716	8.508 974	0.005 41	0.775 083
0.093 592	0.006 680 0	0.918 227	7.395 406	0.006 29	0.804 396

表 2 材料力学参数

Tab. 2 Mechanical parameters of materials

类 型	变形模量/GPa	泊松比	粘聚力 /MPa	内摩擦角/(°)	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	抗拉强度/MPa
围岩	5.00	0.29	0.6	35.0	2.7	1.3
断层	0.33	0.33	0.1	24.2	2.0	0.5

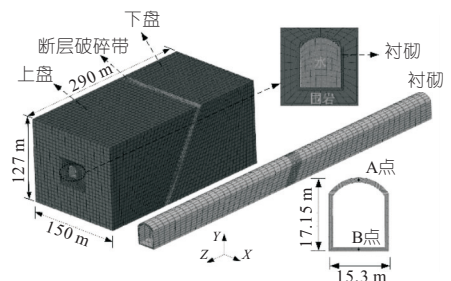


图 2 三维数值模型

Fig. 2 Three-dimensional numerical model

3.2 计算工况

为研究断层错动量、断层宽度及断层粘聚力对跨断层输水隧洞位移及损伤的影响, 设置如表

3 所示计算工况,研究衬砌特征节点竖向位移和衬砌整体结构损伤,选取衬砌拱顶 A 点及拱底 B 点为特征节点,见图 2。依据隧洞损伤破坏等级的划分标准^[14],评价衬砌结构损伤程度。一般认为:①无损伤(DS1), $O_{LDT}=0$,隧洞结构处于弹性阶段,未发生损伤;②中等破坏(DS2), $0 < O_{LDT} \leq 0.4$,隧洞出现轻微受拉破坏;③严重破坏(DS3), $0.4 < O_{LDT} < 1.0$,隧洞出现严重受拉破坏,衬砌结构出现大量裂缝且沿裂缝或软弱结构面有大量滴水或喷水现象,需对衬砌整体进行修复;④完全破坏(DS4), $O_{LDT}=1.0$,衬砌完全破坏,失去其功能性。

表 3 计算工况

Tab. 3 Calculation plan

工况	断层错动量/ m	断层宽度/ m	断层粘聚力/ MPa
1	0.15/0.20/0.25/0.30/0.35	10	0.1
2	0.20	10/15/20/25/30	0.1
3	0.20	10	0.1/0.3/0.5/0.7/0.9

4 计算结果与分析

4.1 衬砌竖向位移

图 3 为不同断层错动量、断层宽度、断层粘聚力下隧道衬砌竖向位移。由图 3(a)、(b)可看出,上盘衬砌的拱顶和拱底竖向位移随着断层错动量的增加而增大,且趋势递增。衬砌的位移突变主要集中在断层破碎带,且在上盘和断层接触面间

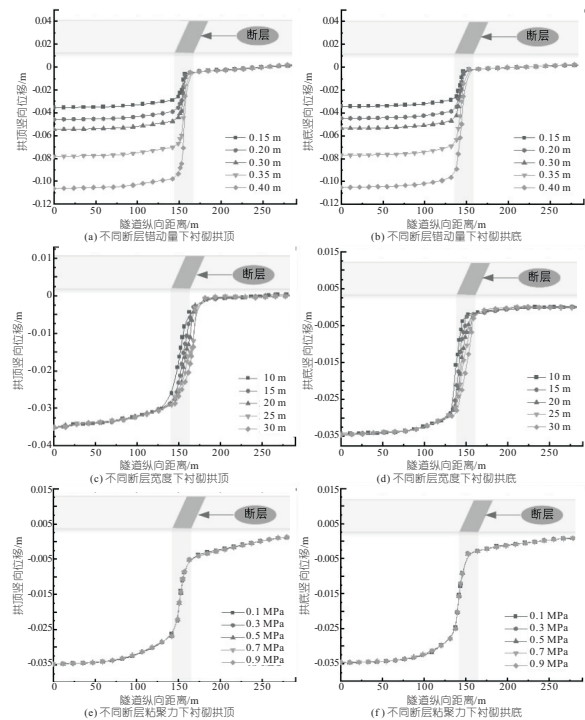


图 3 不同工况下隧洞衬砌竖向位移

Fig. 3 Vertical displacement of tunnel lining under different condition

的位移变形也较强烈,这是由于上盘围岩沿断层错动面相对滑动时,衬砌受围岩控制,在断层破碎带附近区域产生较大的不可恢复变形。由图 3(c)、(d)可看出,断层宽度对衬砌竖向位移的影响主要集中在断层破碎带处的衬砌。随断层宽度的减小,断层破碎带处的衬砌竖向位移亦减小,这主要是由于随断层破碎带宽度的增加,围岩软弱区域范围增大,隧道衬砌有了较充分的变形空间。上盘衬砌拱顶和拱底的竖向位移不受断层宽度的影响,且竖直向下的位移变化较平缓,大致在 0.028~0.035 m 之间。由图 3(e)、(f)可看出,衬砌竖向位移不受断层粘聚力的影响,上盘衬砌竖直向下的位移在 0.028~0.035 m 之间,断层破碎带衬砌竖向位移突变较大,在 0.005~0.028 m 之间。

4.2 衬砌破坏特征

图 4 为不同断层错动量、断层宽度、断层粘聚力下衬砌的损伤破坏特征分布。由图 4(a)、(b)可看出,不同错动量下断层破碎带处的衬砌破坏均较严重,且随断层错动量的增大,衬砌整体损伤程度会进一步加剧。衬砌受拉损伤较受压损伤明显,随上盘围岩的逐步沉降,断层破碎带衬砌出现局部张拉裂缝,从而导致衬砌结构破坏失效。由图 4(c)、(d)可看出,随断层宽度的增大,断层破碎带中间部分的衬砌结构损伤程度逐渐减小,但断层破碎带与上、下盘接触面部位的衬砌结构损伤程度逐步增大。衬砌的受拉损伤主要出现在拱

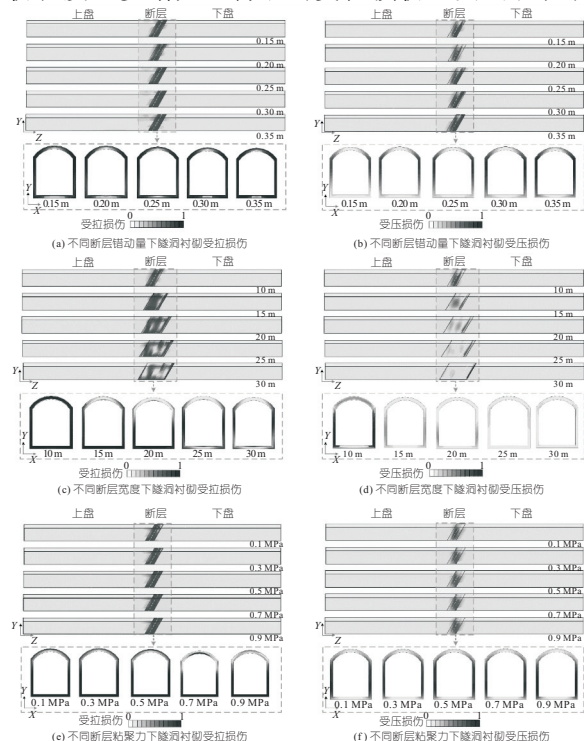


图 4 不同工况下隧洞衬砌损伤图

Fig. 4 Tunnel lining damage under different condition

肩,在断层错动过程中会先在断层破碎带部分衬砌结构的拱肩部位出现张拉裂缝,导致衬砌结构功能失效。由图 4(e)、(f)可看出,断层破碎带部分衬砌结构的受拉损伤严重,随断层粘聚力的增大,衬砌结构损伤程度减小,尤其在上盘与断层破碎带接触部位的衬砌结构损伤程度减小较明显。

4.3 衬砌安全评估

图 5 为不同断层错动量、断层宽度、断层粘聚力下沿衬砌轴向的 O_{LDT} 变化规律。由图 5(a)可看出,受损衬砌段主要集中在断层破碎带及两侧 40 m 范围内。断层错动量在 0.15~0.35 m 情况下,断层破碎带部分衬砌结构损伤程度均达到了 DS3 严重破坏状态,且随断层错动量的增大,衬砌

结构损伤程度在断层破碎带区域接近 DS4 完全破坏状态。由图 5(b)可看出,受损衬砌段主要集中在断层破碎带及两侧 32 m 范围内,在断层破碎带和上、下盘接触部位的衬砌 O_{LDT} 出现突变,且衬砌结构损伤程度均达到了 DS3。随断层宽度的增大,断层破碎带处的衬砌部位达到 DS3 损伤程度的面积增多。同时,断层破碎带中间部分的衬砌结构损伤程度随断层宽度的增大而减小,断层破碎带与上、下盘接触面则反之。由图 5(c)可看出,上、下盘与断层破碎带接触部分衬砌结构的 O_{LDT} 值随断层粘聚力的增大而减小。衬砌在断层破碎带处的损伤均达到了 DS3 程度,且随断层粘聚力增大,损伤程度略有减小。

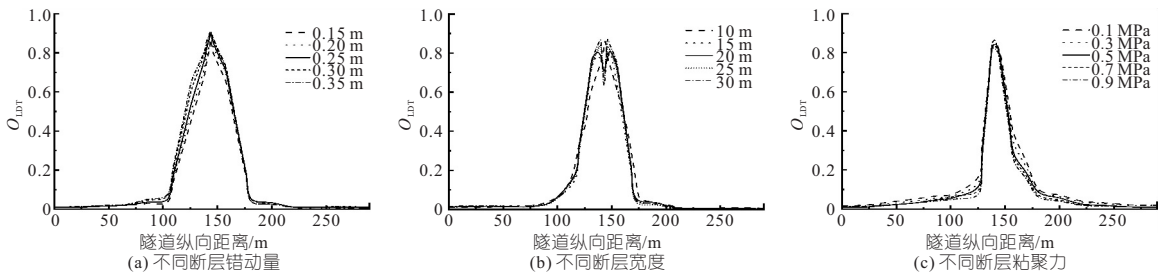


图 5 不同工况下隧洞衬砌沿轴向 O_{LDT}

Fig. 5 O_{LDT} of tunnel lining along axial direction under different condition

5 结论

a. 隧洞衬砌拱顶和拱底竖向位移在断层错动施加下,不同断层错动量、断层宽度和断层粘聚力对隧洞衬砌拱顶和拱底竖向位移影响基本相同。断层破碎带部分衬砌竖向位移发生突变,上盘部分衬砌竖向位移变化缓慢,下盘部分衬砌位移较小,几乎未变形。

b. 衬砌受压和受拉损伤能直接反映结构体系的破坏程度。衬砌极易在断层破碎带部位及其与上、下盘接触部位出现损伤,且衬砌的拱肩和拱腰为衬砌结构的薄弱部位,极易出现张拉裂缝导致衬砌整体功能失效。

c. 在不同断层错动量、断层宽度及断层粘聚力下随正断层错动,衬砌在断层破碎带部位出现 DS3 严重破坏行为,极个别部位出现 DS4 完全损伤破坏,在同类隧洞工程的施工管理运行中要引起重视。

参考文献:

[1] 熊炜,范文,彭建兵,等. 正断层活动对公路山岭隧道工程影响的数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增刊 1): 2845-2852.
 [2] 赵旭,程鼎甲,代志杰,等. 断层错动形式对输水隧洞的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2021, 41(5): 96-106.

[3] 邓通海,邓辉,张咪,等. 引水隧洞穿越大型断裂带围岩力学响应[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3): 108-112.
 [4] 焦鹏飞,来弘鹏. 不同倾角逆断层错动对隧道结构影响理论分析[J]. 土木工程学报, 2019, 52(2): 106-117.
 [5] 耿萍,吴川,唐金良,等. 穿越断层破碎带隧道动力响应特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(7): 1406-1413.
 [6] ZHONG ZILAN, WANG ZHEN, ZHAO MI, et al. Structural damage assessment of mountain tunnels in fault fracture zone subjected to multiple strike-slip fault movement [J]. Tunnelling and underground space technology, 2020, 104: 103527. 1-103527. 15.
 [7] LEE J, FENVES G L. A plastic-damage concrete model for earthquake analysis of dams[J]. Earthquake engineering and structural dynamics, 1998, 27: 937-956.
 [8] SIDOROFF F. Description of anisotropic damage application to elasticity[M]. Berlin: Springer, 1981.
 [9] GRINSTEIN F F, MARGOLIN L G, RIDER W J. Implicit large eddy simulation: computing turbulent fluid dynamics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
 [10] 熊进刚,丁利,田钦. 混凝土损伤塑性模型参数计算方法及试验验证[J]. 南昌大学学报(工科版), 2019, 41(1): 21-26.

[3] 章茹,李艳根,刘志超,等. 植物及存水区对南方生物滞留池去污效果的影响[J]. 环境工程,2017,35(8):29-33,45.

[4] 荆和平,马克生. 山西黄土的分布特征与滑坡(崩塌)灾害[C]//第三届全国边坡工程学术研讨会论文集. 2011:169-176.

[5] 唐双成,罗纨,贾忠华,等. 西安市雨水花园蓄渗雨水径流的试验研究[J]. 水土保持学报,2012,26(6):75-79,84.

[6] 增超,李家科,蒋春博,等. 4种生物滞留填料对径流污染净化效果对比[J]. 水资源保护,2018,34(4):71-79.

[7] 唐双成,罗纨,贾忠华,等. 雨水花园对不同赋存形态氮磷的去除效果及土壤中优先流的影响[J]. 水利学报,2015,46(8):943-950.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.

[9] 王方. 太原市海绵城市建设的探讨[J]. 山西建筑,2017,43(23):131-132.

[10] 来雪慧,赵金安,李丹,等. 太原市工业区不同下垫面降雨径流污染特征[J]. 水土保持通报,2015,35(6):97-100,105.

[11] BRATIERES K, FLETCHER T D, DELETIC A, et al. Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study [J]. Water research, 2008, 42(14): 3930-3940.

[12] 王哲,夏辉,袁浩. 白洋淀周边地下水浅埋区农田土壤硝态氮剖面分布规律研究[J]. 水电能源科学, 2019, 37(9): 36-39.

[13] 金雪莲,姚槐应,樊昊心. 土壤硝化作用的温度响应综述[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(20): 8-16.

[14] 陈韬,邹子介,李剑洋. 生物滞留系统中 $^{15}\text{NO}_3^-$ 的迁移转化及丹麦草对此过程的影响研究[J]. 环境工程, 2017, 35(4): 60-64.

Effects of Plants on Nitrogen Migration and Accumulation in Bioretention System

WANG Hong-hao, ZHAO Fan, LI Jing-ling, YAO Yao, XUE Tian-xin

(College of Water Resources Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to study the effects of plants on the migration and accumulation of nitrogen in the biological retention system, and promote the vegetation construction of rainwater biological retention system in loess distribution area, 5 groups of biological retention system simulation devices were constructed by selecting Iris, Hemerocallis, Sedum, Ophiopogon and non-plants. The migration of nitrogen in fillers and the accumulation of nitrogen in each medium under different plant treatments were investigated. The results show that there was a close relationship between plant nitrogen accumulation and plant biomass increase during the experiment, which was as follows: Sedum > Iris > Hemerocallis > Ophiopogon. The nitrogen absorbed by plants was mainly accumulated in the upper structure of plants. The distribution difference of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in the five groups of biological retention system fillers is not significant and the content of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ is low. $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ is mainly removed in the upper part of the packing layer by adsorption, and each system has a good removal effect on $\text{NH}_4^+ \text{-N}$. Plants have a significant effect on the distribution of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in the packing and the migration of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in the system. Compared with the non-plant group, the system with plants can reduce $\text{NO}_3^- \text{-N}$ content in the filler, and the lower the $\text{NO}_3^- \text{-N}$ content in the filler before influent, the lower the $\text{NO}_3^- \text{-N}$ effluent concentration. The average TN removal rates of 5 treatments were as follows: Iris (50.59%) > Sedum (43.99%) > Hemerocallis (37.85%) > Ophiopogon (30.51%) > non-plant (26.09%).

Key words: bioretention system; plant; migration; accumulation; nitrogen

(上接第 134 页)

[11] 祁彬溪,王凡,陈捷翎. 粘滑断层错动作用下穿越断层隧道结构响应数值模拟[J]. 建筑结构, 2020, 50(增刊 2): 753-758.

[12] 刘立鹏,汪小刚,贾志欣,等. 水岩分算隧道衬砌外水压力折减系数取值方法[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(3): 495-500.

[13] SUN BENBO, DENG MINJIANG, ZHANG SHER-ONG, et al. Inelastic dynamic analysis and damage assessment of a hydraulic arched tunnel under near-fault SV waves with arbitrary incoming angles[J]. Tunnelling and underground space technology, 2020, 104: 103523. 1-103523. 18.

[14] CHEN Z, WEI J. Correlation between ground motion parameters and lining damage indices for mountain tunnels[J]. Natural hazards, 2013, 65(3): 1683-1702.

Dynamic Response Analysis of Water Conveyance Tunnel Under Normal Fault Dislocation

HU Liang-ming¹, LI Tian-xiao¹, SUN Ben-bo¹, ZHAO Zi-nan¹, LI Qian², LI Shu-yu³

(1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China; 3. Zhengzhou Water Construction Reconnaissance Design Institute, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: When the water conveyance tunnel in long-distance water diversion project passes through the potential earthquake area, there is a major engineering safety hazard caused by active fault dislocation. It is of great engineering significance to reveal the influence of fault dislocation on the stability of water conveyance tunnel. Based on ABAQUS finite element analysis software, considering the complex dynamic interaction characteristics of surrounding rock, fault, lining and internal water, the three-dimensional numerical simulation of surrounding rock-fault fracture zone-lining-internal water system was carried out, and the influence of different fault dislocation momentum, width and cohesion on the stability of water conveyance tunnel was analyzed in depth. The results show that the vertical displacement and damage degree of the lining structure of the water conveyance tunnel decrease under the conditions of small fault dislocation, fault width and large fault cohesion, which has a certain reference value for the theoretical study of the dynamic response of the water conveyance tunnel across faults.

Key words: normal fault; water conveyance tunnel; numerical simulation; lining damage