

富水砂卵石层渣土改良试验研究

林富志

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610081)

摘要:渣土改良是盾构在富水砂卵石层中掘进改善渣土特性行之有效的办法,可以使盾构切削下来的渣土具有好的流塑性、合适的稠度、较低的透水性和较小的摩阻力,进而减少盾构机的过度磨损,且其良好的渣土改良效果可以使扭矩保持在一个正常范围,能够提高掘进效率,有效控制出土量,尽量避免因超方导致的沉降超限和塌方事故。以成都富水砂卵石层为基础,采用膨润土基泥浆和高分子聚合物对现场施工开挖土体进行改良试验,并对采用膨润土和不同种类、不同比例的高分子聚合物效果进行了分析和评价,研究出比较合理的膨润土和高分子聚合物的种类及配比。

关键词:富水砂卵石层;渣土改良;聚合物;试验

中图分类号:TV7;TV41;TV42;TV523

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)06-0015-05

1 概述

随着中国地铁建设的迅速发展,土压平衡盾构机在隧道掘进中被普遍运用,是目前地铁建设中最常用的机械化技术,其良好机械性能的发挥离不开效果良好的渣土改良技术。鉴于不同城市地铁隧道建设中地层条件的多样性,在某一地层中渣土改良的效果至关重要。

魏康林^[1]阐述了盾构施工中采用泡沫和膨润土改良的微观机理,为后续添加剂的研究提供了理论依据。姜厚停等^[2]研究了以砂卵石地层为对象,采用泡沫和膨润土对砂卵石进行改良,分析得出添加剂的配比并给出了坍落度的范围。Jancsecz等^[3]和 Williamson等^[4]对砂土进行了改良,也给出了坍落度的范围。

在盾构施工中采用添加剂对渣土进行改良的时间较短,基本上所有的经验都来自于具体施工中的摸索,对添加剂的种类和用量缺少系统性和深入性的研究。地层的不同,添加剂种类的选取和用量亦会不同,适应不同地层的方案配比也会有很大差异。

成都砂卵石地层抗剪能力差,摩擦角大,具有塑流性差的特点,根据这些特性,在盾构掘进范围地层内取同种砂卵石进行室内试验,对添加不同配比添加剂的改良土进行了坍落度试验和黏度试验,笔者对改良效果进行了对比评价,分析了各种方案具有的优缺点并不断优化了配比方案。

收稿日期:2016-10-28

2 渣土改良试验方案的设计

(1) 试验砂卵石的特性。

该地层主要为中密砂卵石地层,大粒径卵石含量较高,粒径3 cm以上的卵石含量在50%左右。为保证坍落度试验效果,将粒径3 cm以上的砂卵石去除,对剩余砂卵石土的级配进行了分析,砂卵石土颗粒级配见图1。

试验所用的砂卵石土为原状土,由卵石和砂构成,每次试验取原状土9 L,含水率为5%。

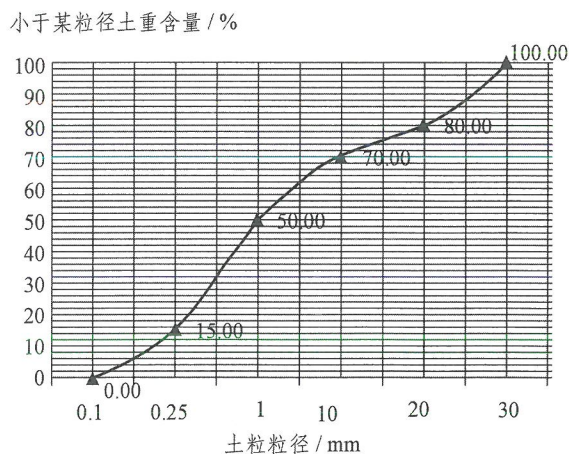


图1 试验砂卵石土颗粒级配曲线图

(2) 试验方案的设计。

试验方案的设计目的是采用低浓度膨润土基泥浆,通过添加高分子聚合物的方法增加泥浆的黏度和保水性,在保证改良效果的情况下降低施工成本。

试验采用施工中比较常用的两种高分子聚合

物 PAM(聚丙烯酰胺)和 CMC(羧甲基纤维素),并与单独使用膨润土基泥浆进行了试验对比,设计方案分为 4 种:

方案一:膨润土基泥浆;

方案二:膨润土基泥浆 + PAM(聚丙烯酰胺);
方案三:膨润土基泥浆 + CMC(羧甲基纤维素);
方案四:泡沫添加剂。

试验内容见表 1。

表 1 试验内容表

试验方案	试验项目	目的	评价指标	试验设备
膨润土基泥浆	搅拌试验	反映搅拌难易程度、内摩擦角和粘聚力大小	搅拌电流(A)	转速为 42 rpm 的 30 L 搅拌机,数字电流计
膨润土基泥浆 + PAM 膨润土基泥浆 + CMC 泡沫	坍塌度试验 观察	反映土的和易性、塑流性状态 是否离析、析浆、失水或泡沫析出	坍塌度(mm)	坍塌度筒
膨润土基泥浆 膨润土基泥浆 + PAM 膨润土基泥浆 + CMC	粘度试验	对泥浆性能进行评价	表观粘度和塑性粘度(MPa·s)	ZNN-D6 型六速旋转粘度计

(3)具体的实施方法。

试验采用钠基膨润土。泡沫采用盾构施工专用泡沫剂,在实验室中发泡制得,泡沫剂的性能指标是发泡倍率和半衰期,效果理想的发泡浓度为 3%~4%。本次试验选用的发泡剂浓度为 3%,发泡倍率为 18,半衰期为 8 min。

4 种试验方案如下:

方案一:泥浆浓度分别取 10%、11%、12.5%、14.3%、16.7%、20%(即土水质量比分别为 1:10、1:9、1:8、1:7、1:6、1:5),注入率分别取 15%、20%、25%(即分别为 1.35 L、1.8 L、2.25 L),进行配对试验,共 18 组。

方案二:预配浓度为 1‰的 PAM 溶液,添加量取 0.2 L、0.3 L、0.4 L、0.5 L,膨润土溶液注入量取 20%,即 1.8 L,浓度取 12.5%、14.3%、16.7%、20%,进行配对试验,共 16 组。

方案三:分别取 CMC 0.1 g、0.2 g、0.3 g、0.4 g,膨润土溶液注入量取 20%,即 1.8 L,浓度取 12.5%、14.3%、16.7%、20%,进行配对试验,共 16 组。

方案四:土体含水率分别选取 3%、5%、7.5%和 10%,泡沫注入 10%,每次增加 5%,至达到满意的改良效果为止。

(4)渣土改良试验评价标准。

坍塌度试验主要是为了评价改良土体的塑流性、坍塌形状及析水情况。具体评价标准如下:①坍塌度值范围为 160~240 mm;②坍塌形状呈圆锥形对称;③无明显析水。

搅拌试验评价标准:搅拌电流较小,搅拌叶片上附着土体较少。

3 土体改良试验结果分析

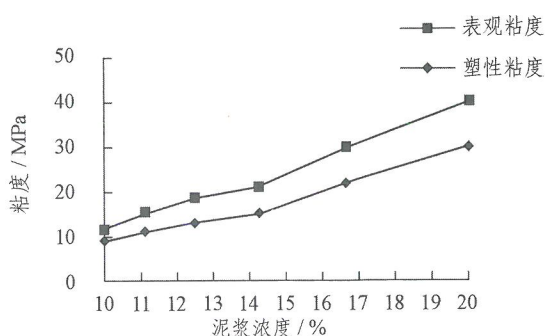
(1)膨润土基泥浆改良试验结果。

通过试验得到的不同泥浆浓度的粘度值如图 2 中(a)所示,泥浆的表观粘度和塑性粘度均随泥浆浓度的增大而增大。泥浆浓度在超过 14.3%后,其表观粘度开始迅速增长。泥浆黏度过大,不利于泵送,增加了施工难度。从试验数据分析得知泥浆黏度在 12.5~22.5 pa·s 之间,即泥浆浓度在 10%~14.3%之间比价合理。保水性与泥浆中的黏土颗粒含量有关,塑性黏度低会出现析水现象。

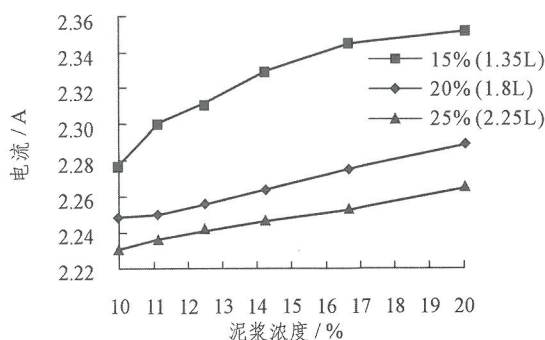
图 2 中(b)和(c)是不同注入率下泥浆浓度与电流和坍塌度的关系。①搅拌电流随泥浆浓度的增加而增加,增幅在变小,随注入量的增加而减小。注入率为 15%时,搅拌电流远大于 20%和 25%时的电流,而注入率为 20%和 25%时却相差不大。②注入率为 20%和 25%时,两者低泥浆浓度时坍塌度值相差较小,高泥浆浓度时差别明显,坍塌度随泥浆浓度呈先缓慢增大后迅速减小的趋势,在泥浆浓度为 14.3%时达到最大。注入率为 15%时改良效果不理想,坍塌度值不符合标准。

由分析可知,高浓度低注入量的泥浆黏度大,流动性差,改良效果不理想;低浓度高注入量的泥浆保水性差,容易析水,改良效果同样不理想;泥浆浓度和注入量匹配时,会如同图 3 中的形状,改良效果理想,具有良好的塑流性。

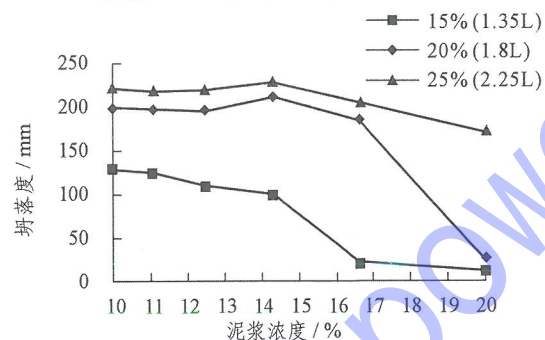
综上所述,泥浆浓度为 14.3%时坍塌度值与浓度 12.5%时的值相差不大,改良效果比较理想。从成本上考虑,泥浆浓度为 12.5%(土:水质量比为 1:8),泥浆注入量取 20%,为膨润土泥浆



(a) 膨润土泥浆粘度指标示意图



(b) 膨润土泥浆浓度与搅拌电流关系图



(c) 膨润土泥浆浓度与坍落度关系图

图 2 试验指标和参数关系图(膨润土基泥浆)

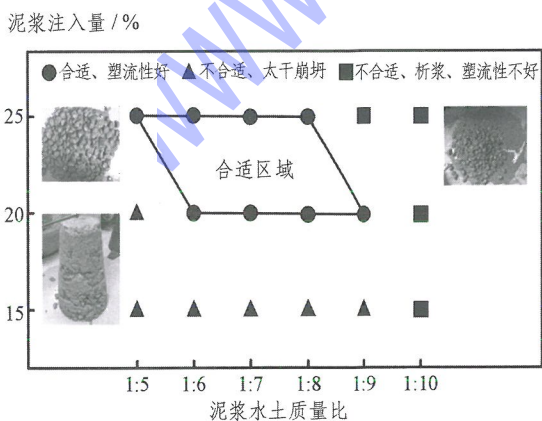


图 3 膨润土泥浆改良效果图

改良的理想配比。

(2) 膨润土基泥浆 + PAM 改良试验结果。

如图 4 所示,分析图 4 中(a)和(b)可知:对于同一泥浆浓度,搅拌电流随 PAM 溶液添量的增加而减少,趋势减弱,添加量为 0.5 L 时,电流趋于平稳,这是因为溶液中的水分对泥浆的稀释;对于同一添加量,搅拌电流随泥浆浓度的变大呈先减小后增大的趋势,泥浆浓度为 12.5% 时达到低点。由图 4(c)和(d)可知:对于同一泥浆浓度,坍落度随 PAM 溶液添加量的增加呈先增大后减小的趋势,在添加量为 0.4 L 时最大;对于同一 PAM 溶液添加量,坍落度随泥浆浓度的增加而变小。以上分析说明,PAM 的添加量存在一个限值,超过限值则改良效果会变差。

泥浆浓度为 11.1% 和 10% 时,泥浆的保水性差,加入 PAM 溶液后的泥浆体系的粘度值如图 4(e)和(f)所示,泥浆体系的表观粘度呈先减小后增大的趋势;塑性粘度变化不大,达到 0.4 L 时有变大的趋势,保水性有所提高。

通过试验分析得知:泥浆低浓度时,加入 PAM 改良效果比较明显,改良土体达到比较理想的状态。

综上所述,泥浆浓度为 10%,注入率为 20% (即 1.8 L) 时,PAM 溶液 (1‰) 添加比为 22% (0.4 L),为 PAM 最优配比。

(3) 膨润土基泥浆 + CMC 改良试验结果。

如图 5 所示,分析图 5 中(a)和(b)可知:对于同一泥浆浓度,搅拌电流随 CMC 添加量的增加而增大;对于同一 CMC 添加量,搅拌电流随泥浆浓度的增加呈先缓慢增加后迅速增大的趋势,泥浆浓度低,搅拌电流值增幅小。分析图 5 中(c)和(d)可知:泥浆浓度高时,坍落度随 CMC 添加量呈递减的趋势;浓度低时,坍落度呈先大后小趋势;对于同一 CMC 添加量,坍落度随泥浆浓度的增加而递减,表明 CMC 在泥浆浓度较高时对土体的粘度和摩擦系数敏感性高,CMC 的添加量亦存在一个限值,超过限值,改良效果会变差。

泥浆浓度为 11.1% 和 10% 时,泥浆体系的粘度值见图 5(e)和(f),泥浆体系的表观粘度和塑性粘度基本不变,但当其添加量达到一定数值时有变大的趋势,保水性提高。

通过试验分析得知,泥浆低浓度时,加入 CMC 改良效果比较明显,改良土体达到比较理想

的状态。

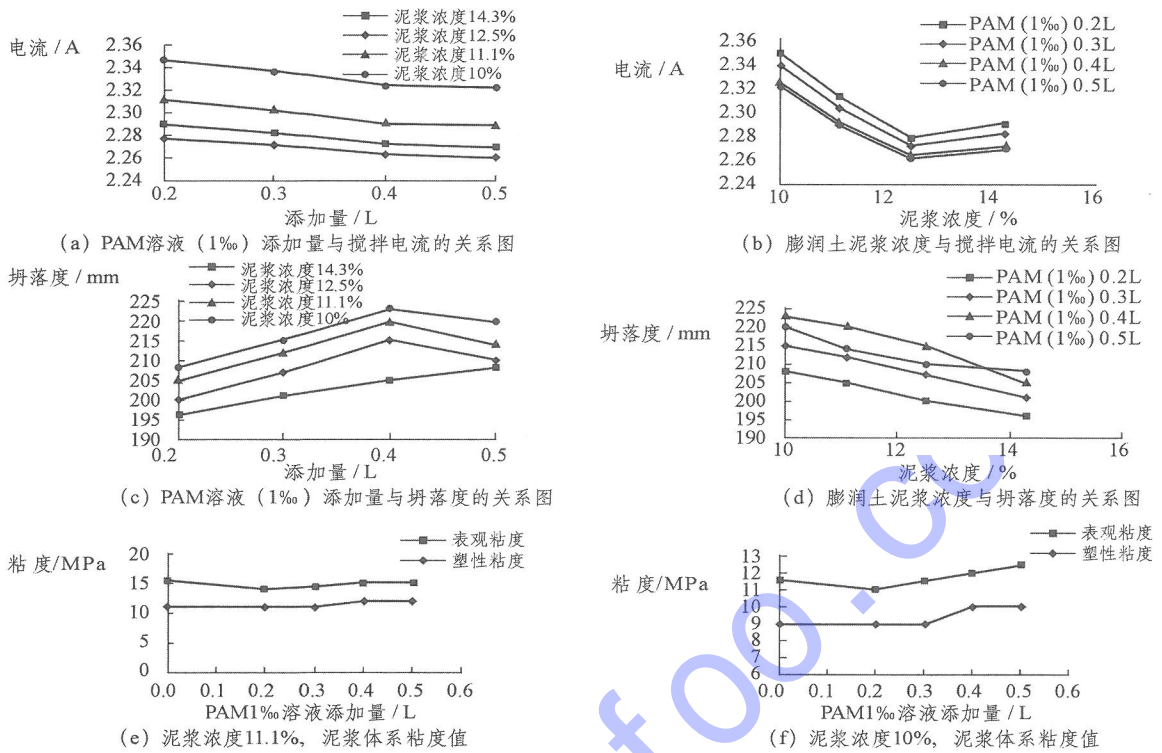


图4 试验指标和参数关系图(膨润土基泥浆 + PAM)

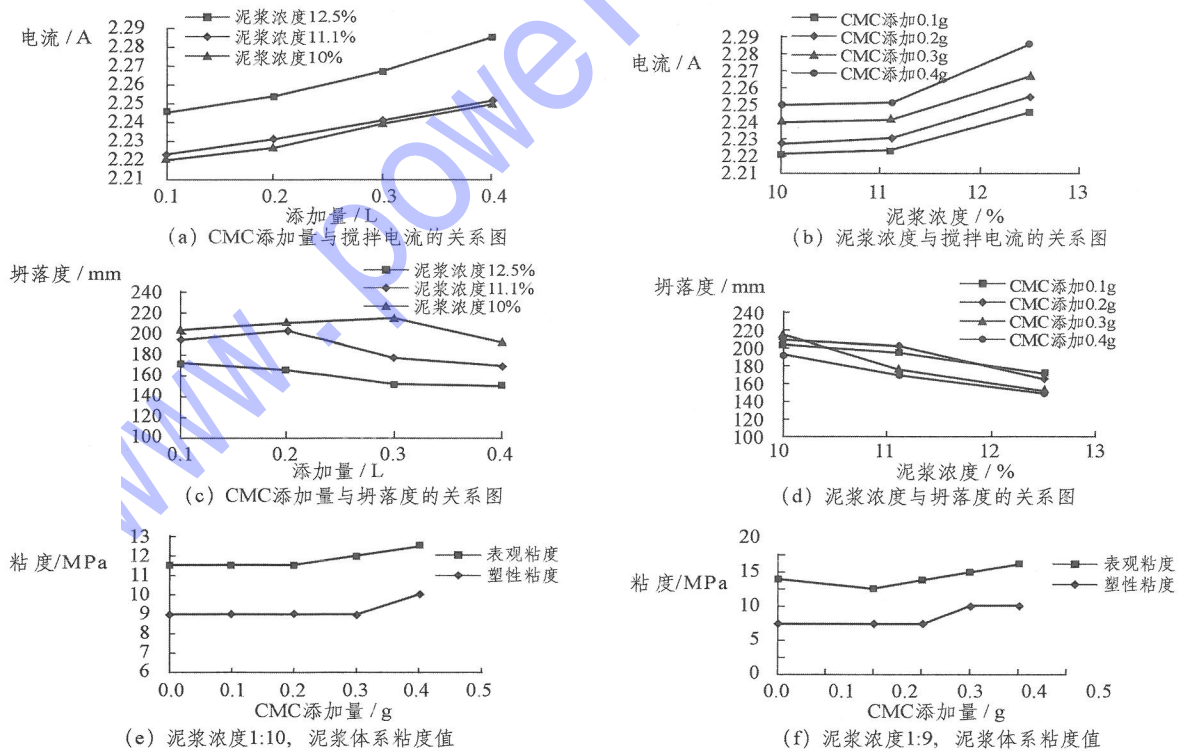


图5 试验指标和参数关系图(膨润土基泥浆 + CMC)

综上所述,当泥浆浓度为10%,注入率为20% (即1.8 L)时,CMC添加量为0.3 g,为CMC

最优配比。
(4)泡沫剂改良试验结果。

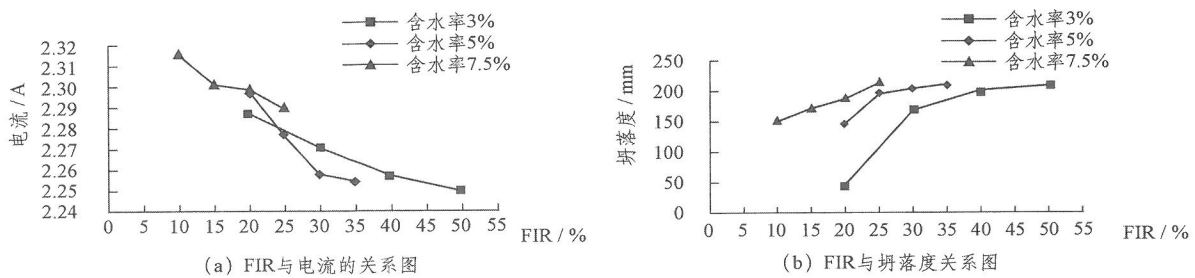


图6 试验指标和参数关系图(泡沫)

由图6可以看出:含水率不变,搅拌电流随FIR(泡沫注入比)的增大呈先迅速递减后减缓的趋势,坍塌度随FIR的增加呈先迅速增加后减缓的趋势,说明泡沫的添加可以降低土体的摩擦系数。

通过数据分析可知:泡沫注入量不够时,土体流动性差,易坍塌;泡沫注入量过多时,泡沫会析出;增大土体含水率,泡沫最佳注入比变小,利用率有所提高;土体含水率超过一定值后,泡沫改良土体效果不明显。

综上所述,使用泡沫对土体进行改良受含水率的影响大;含水率为3%时,最佳FIR为30%~40%;含水率为5%时,最佳FIR为25%~30%;含水率为7.5%时,最佳FIR为15%~20%。

4 添加不同改良剂取得的改良效果

通过对以上4种方案进行比较分析得知:仅使用膨润土泥浆进行改良,泥浆浓度为12.5%,注入量为20%时为理想配比。泥浆浓度过大,黏度会增大,将造成泵送困难,也不利于螺旋输送机出土。相对而言,单独使用膨润土改良用量大且效果不佳。

膨润土泥浆浓度低时,可以通过添加高分子聚合物改善土体的保水性和粘度。PAM试验的最优配比为:泥浆浓度为10%(注入率为20%,即1.8L)、PAM溶液(1‰)添加量为0.4L;CMC试验的最优配比为:泥浆浓度为10%(注入率为20%,即1.8L)、CMC添加量为0.3g。在膨润土泥浆中添加高分子聚合物溶液,土体特性发生明显变化,渗透性减小,保水性明显提高,塑流性好。通过计算得出PAM、CMC在泥浆中的质量体积比分别为0.18g/L和0.17g/L,消耗量几乎相同,但购买PAM的价格要高于CMC。因此,考虑成本因素,CMC作为添加剂的方案成为渣土改良的最优方案。

泡沫剂的使用能减少土体摩擦系数,改善土体保水性,但泡沫剂的使用与土体的含水率有较大的关系,含水率越低,泡沫注入比会增大。

由此可知:每种改良材料的使用均有利弊,针对砂卵石这种特殊地层,找出两者之间的最优配比,在工程施工中具有重要的意义,能够在低成本的情况下达到渣土改良的理想效果。

5 结语

通过对上述4种试验进行对比分析,得到以下几点结论:

(1)仅使用膨润土基泥浆,在其浓度较低时,土体保水性差;加入高分子聚合物后,土体保水性明显提高。

(2)在低浓度膨润土泥浆中添加CMC,改良后的土体塑流性好且成本低。

(3)膨润土和高分子聚合物的使用都要适量,过量会增加改良土体的摩擦系数和粘聚力。

(4)添加泡沫剂可减小土体的摩擦系数,提高其保水性,泡沫剂的添加与土体的含水率关系明显,含水率增加,注入率变小。当含水率超过限值时,改良效果不明显,有析水现象出现。

参考文献:

- [1] 魏康林. 土压平衡盾构施工中泡沫和膨润土改良土体的微观机理分析[J]. 现代隧道技术, 2007, 29(1): 73-77.
- [2] 姜厚停, 龚秋明, 杜修力. 卵石地层土压平衡盾构施工土体改良试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(2): 284-292.
- [3] JANCSEK S, KRAUSE R, LANGMAACK L. Advantages of soil conditioning in shield tunnelling: experiences of LRTS Izmir[C]// Proceedings of International Congress on Challenges for the 21st Century. Balkema, 1999: 865-875.
- [4] WILLIAMSON G E, TRAYLOR M T, HIGUCHI M. Soil conditioning for EPB shield tunneling on the south bay ocean outfall[C]// Proceedings of RETC Rapid Excavation and Tunneling Conference, 1999: 897-925.

作者简介:

林富志(1983-),男,山东栖霞人,主任,工程师,硕士,从事地铁施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)