

水平定向钻进中的钻进曲线和泥浆阻塞分析*

连 军, 蔡珍红

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:从理论上详细分析了水平定向钻进技术中的一些常见事故,并以国外某机场因使用水平定向钻进技术不当,造成机场跑道隆起,以至影响机场航班正常起降的事故为背景,并希望对我国的类似项目提供一定的借鉴、参考价值。

关键词:非开挖;水平定向钻进(HDD);机场跑道穿越;跑道隆起;泥浆阻塞

中图分类号:TU94⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)04-0133-04

Analysis of Bore Path and Hydralock in Horizontal Directional Drilling

LIAN Jun, CAI Zheng-hong

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: This dissertation theoretically makes a specific analysis on common accidents caused by the misuse of Horizontal Directional Drilling (HDD), and presents a lesson that the misuse of HDD leads to ups and downs on the lanes of some airports abroad, which stops the planes taking off and landing as scheduled, in hope that this dissertation can be of value to similar projects in China.

Keywords: trenchless technology; Horizontal Directional Drilling (HDD); pass through the airport runway; ridge; Hydralock

水平定向钻进(HDD)技术是机场跑到地下铺设通讯电缆和其他小口径管道时使用非常普遍的一种非开挖工艺,它具有施工工期短、对路面交通和其他社会生活的干扰少、施工成本低的特点,而且这种方法还可以不影响飞机的正常起降。因此,机场跑到下方铺设管道时,采用水平定向钻进技术无疑时非常可取的。

然而,同传统的开挖施工相比,水平定向钻进技术更加复杂、技术水平要求更高。如果工程的设计、规划与管理完善,并且由训练有素的工人来施工,非开挖技术的优点便能够得到充分的体现;否则,就会发生泥浆阻塞,甚至引起地面隆起,给业主和承包商带来损失。

1 水平定向钻进中的常见事故分析

在水平定向钻进作业中,由于孔道周围的土层发生垮塌或者孔道钻进曲线不稳定,经常容易发生一种称为泥浆阻塞(HydraLock)的物理现象,如果忽略或者不加以解决,将有可能引起地表引起地表隆起,甚至引起地表土层破裂。

1.1 泥浆阻塞

环道或孔道中出现泥浆阻塞的原因有很多,包括孔道轨迹过分偏离、周围土层的突起或坍塌、泥浆没有沿着孔道充分流动、没有选择适当类型的钻进泥浆等。

如果孔道偏离平滑曲线,并且沿行进方向发生突变,如图1、图2所示,孔道与管道之间将会发生抵

* 收稿日期:2005-04-08

作者简介:连 军(1980-),男,湖南人,硕士,主要从事安装及非开挖技术研究。

触。这种抵触可能使环道中的泥浆流动出现部分或完全阻塞。

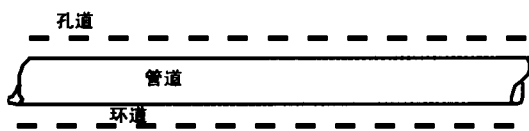


图1 平滑孔道——泥浆可沿环道自由流

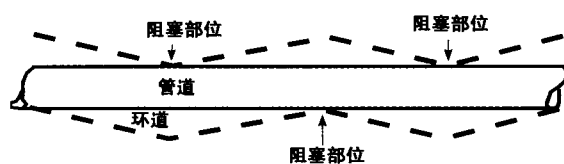


图2 孔道偏离——泥浆流动受阻

引发泥浆阻塞的另一个原因与钻进作业所遇到的土层条件有关。粘土遇水膨胀,这就意味着在粘土中钻出的孔道有封盖住管道的趋势,从而减少环道的尺寸;在粒状土层中,例如沙土和沙砾,由于具有较小的粘性,孔道容易跨塌而压住管道。上述两种情况都可能导致泥浆阻塞。钻进泥浆有助于孔道的稳定,选择适当的钻进泥浆是防止孔道跨塌的基础。钻进泥浆的另一个作用是悬浮和运送钻屑。如果泥浆选择不当,就可能导致钻屑不能沿孔道或环道排出,这些钻屑会沉积在管道周围,进而阻塞环道,阻碍泥浆流动,并最终导致泥浆阻塞。

钻进泥浆能够悬浮并运送固体颗粒的能力在一定程度上取决于钻进泥浆的流速。当流速较小时,固体颗粒容易从悬浮状态下沉并阻塞环道。因此,维持泥浆的一定流速也是十分重要的,具体办法是通过泥浆泵沿钻杆接入孔道来保证。

1.2 土层破裂

在正常情况下,钻进泥浆的流动方向如图3所示,从右至左,由钻杆进入扩孔头,然后通过孔道与管道间的环道流出。管道周围的泥浆压力只要稍比大气压力大,便足以克服液体泥浆流经环道因摩擦损失的压力。如果管道与孔道间出现阻塞,如图4所示,管道周围的泥浆压力将会增大。



图3 正常钻进时的泥浆流动



图4 阻塞妨碍泥浆流出

泥浆压力的上升将导致管道和扩孔头前进时所需的牵引力增大,如果不消除,将最终会使管道无法继续铺设而被卡在孔道中。然而,如果泥浆能够通过裂缝渗入周围的土层中,泥浆压力将会减小,或者至少也可以临时减小;如果管道周围没有泥浆能够渗入的裂缝,增加的压力将会最终引起土层的破裂,如图5所示。通常,泥浆会寻找阻力最小的路径向地面渗透。

如果地表封盖的是混凝土或沥青公路、街道和人行道,由于地表整体性较好,泥浆将无法继续渗出。此时,被封盖地表下的泥浆压力将持续增大,直到足以顶起地表或导致地表开裂。

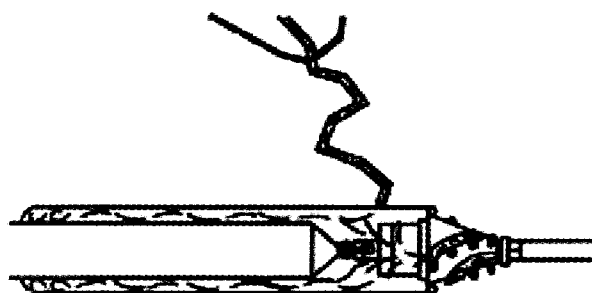


图5 土层破裂

2 实例分析

2.1 实例背景

承包商 ABC 承接了一机场建设任务,其中包括在跑道下方铺设若干段长度为 100 m、直径为 225 mm 的水管。在管道作业时,业主要求不能够影响飞机的正常起降。为此,ABC 拟采用水平定向钻进技术(HDD)来进行施工,但由于缺乏专业的设备和技术,ABC 公司将任务分包给了 SUB 公司。

当 SUB 成功的完成多次机场跑道穿越后,在接下来的一次施工中发生了事故:在这次穿越中,第一

天完成了导向钻进和部分回拖扩孔;紧跟着的第二天由于下大雨,回拖扩孔和随后的管道的铺设都是在十分潮湿的环境下完成的;第三天早上,发现新铺设管道正上方的跑道上出现了一道比较大的隆起,大约高出原位置 80 mm,其延伸方向与所铺设的管道垂直,这个跑道隆起足以影响飞机的正常起降。

2.2 事后现场勘查

事故发生后,技术顾问对现场进行了勘查——挖掘多个探坑,并取出土壤样本进行测试。当隆起区域被挖开,露出新铺设的管道时,在跑道下方、新铺管道的正上方发现有大量的膨润土泥浆;此外,在管道的正上方,垂直于管道方向还有一条用杂石填充的旧水沟,旧水沟中杂石之间的间隙也充满了膨润土泥浆。

勘察还发现:管道顶部距离地表 1.65 m,旧水沟的底部距离地表 1.45 m,管道穿越的土层主要是掺杂有软石灰石碎块的黏土。

技术顾问勘查结论:

- 1) 在钻进作业时,泥浆从孔道中渗出。
- 2) 泥浆渗进了旧水沟,并在水平方向沿着跑道流动,然后垂直向上直达跑道路基下方。
- 3) 跑道路面结构的厚度为 800 mm。
- 4) 作用于跑道路基的泥浆压力为 20 kN/m^2 ,足够引起跑道的变形。

2.3 分包商与承包商提供的资料

事故发生后,分包商 SUB 公司向承包商 ABC 公司提供了导向孔设计轨迹图和完工后的实际孔道侧面图,如图 6,图 7 所示。

SUB 声称跑道隆起的主要原因是钻头穿过了用杂石填充的旧水沟,使得膨润土渗漏到跑道路基下方的土层中。由于并不知道旧水沟的存在,因此是一种不可预见的地质条件,如果事先知道旧水沟的存在,就能够避免事故的发生。虽然实际钻进的深度并不是设计轨迹的 2.5 m,但是 SUB 公司认为它们符合正常标准所规定的保持钻进深度为扩孔后孔径的六到十倍。在这个项目中,可接受的钻进深度应该为 1.8 m 到 3.0 m,因此,SUB 公司声称事故的原因并不在于钻进的深度,而在于旧水沟的存在。

在钻进作业期间,SUB 公司通常会要求 ABC 公司为其清除工作井和接收井中的泥浆以及其它钻进副产品,每天大约有两垃圾车(每车大约有 5 t)。然而,在跑道被发现隆起的前一天,SUB 公司并没有要求 ABC 公司进行清理。ABC 公司还指出 SUB 公司钻进日志上面的深度数据没有大于设计数据而仅仅是低于地面。由于从跑道的一边到另外一边存在轻微的倾斜,因此,孔道在有些地方的实际深度会比 1.8 m 稍小,这种违背惯例的做法只有在地质条件良好的条件下才允许。

2.4 事故原因分析

现场调查时,在离跑道路面 1.65 m 深处发现了新铺设的管道,位置正好在隆起的正下方。从跑道边沿出现的隆起大约长 8 m,根据钻孔数据表,孔道在此位置的深度应该为 2.27 m。假设这个深度代表的是管道中心线的位置,管顶应高于这个深度 0.11 m,即离地面 2.16 m。这就表示偏差有 0.51 m 或者占记录深度的 31%。

根据记录的钻头倾角来计算出每根钻杆的深度,这些计算深度如图 8 所示。从工作井开始的钻进前半段进程中,实测深度与计算深度基本一致,而后半段则存在明显的偏差。在孔道受损变形的区段,

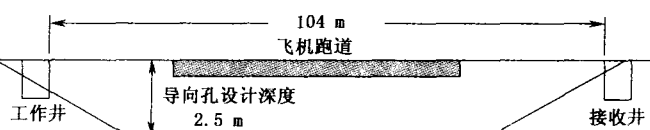


图6 导向孔空设计轨迹图

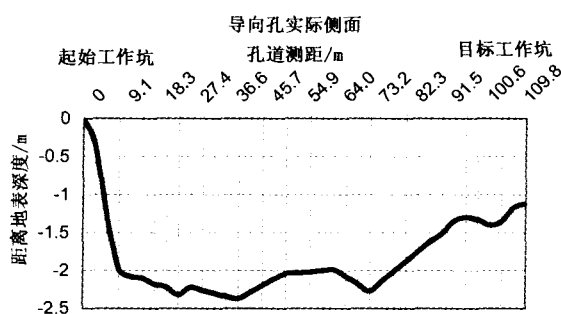


图7 导向孔实际侧面图

偏差尤其突出。

从图 7、图 8 可以清楚的看出,本案例中孔道的实际轨迹并不是平滑的,而是存在相当大的偏离,这就增加了泥浆阻塞的风险,从而可能引发泥浆阻塞。

在本案例中,很显然,旧水沟充当了钻进泥浆从孔道渗出的通道。由于孔道离旧水沟很近,增加了土层破裂的风险。然而,如果没有这条旧水沟,泥浆阻塞仍然可能发生,但是引起地表破裂所需的压力可能要更大,具体取决于管道上方土层的自然条件。土层中的任何缝隙都能为泥浆渗出提供通道,从而能减小地表破裂所需的压力。然而,地表也可能根本不会破裂,因为孔道中增加的压力将引起回拖拉力的增大,并可能导致管道在地表出现破裂之前被卡住。因此旧水沟的存在对液阻的形成并没有影响,只是增加了出现地表破裂的风险。

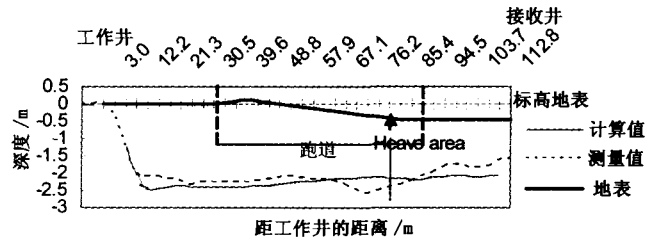


图 8 相对地表变化的实际与计算孔道轨迹走势图

3 结论

- 1) 在水平定向钻进的回拖作业中容易出现液阻现象;
- 2) 液阻引起环道中的压力增大,并作用在跑道下方的某个区域,引起跑道的隆起和破裂;
- 3) 液阻发生的敏感时期,没有多少钻进泥浆流达接收井;
- 4) 太浅的孔道深度增加了土层破裂的可能性。

参考文献:

- [1] 颜纯文, D. Stein. 非开挖地下管线施工技术及其应用[M]. 北京:地震出版社,1999.
- [2] Erez N. Allouche, Samuel T. Ariaratnam, Kevin W. Bigar, Judd Mah. Horizontal sampling: A new direction in site characterization[J]. Trenchless Technol. Res, 1998, (1-2): 17-25.
- [3] Maria Anna Polak, Afdal Lasheen. Mechanical modelling for pipes in horizontal directional drilling[J]. Tunnelling and Underground Technology, 2002, (16): 47-55.
- [4] Erez N. Allouche. Implementing quality control in HDD projects - a North American prospective[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2002, (16): 3-12.
- [5] Maria Anna Polak, Glenn Duyvestyn, Mark Knigt. Experimental strain analysis for polyethylene pipes installed by horizontal directional drilling[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2004(19): 205-216.