

水陆两用土工膜自动铺设机研制与应用研究

姚俊霞 孟令勇

濮阳黄河河务局第一黄河河务局, 河南 濮阳 457199

[摘要] 堤坝防汛抢险是水利工程的重要环节, 随着极端天气的增加, 堤坝的防洪压力也在加大。传统的土工膜铺设方法效率低, 特别是在水面或水下作业中, 施工难度较大。为此, 水陆两用土工膜自动铺设机应运而生, 它集水陆两用、自动铺设等功能于一体, 能够显著提高施工效率, 减少人工干预, 并增强作业安全性。本研究旨在分析自动铺设机在堤坝防汛抢险中的应用, 通过探讨其技术特点、应用效果及经济性, 评估其在提升堤坝加固作业效率和安全性方面的潜力。

[关键词] 堤坝防汛; 自动铺设机; 水陆两用; 土工膜

DOI: 10.33142/hst.v7i11.14289

中图分类号: TV441

文献标识码: A

Research on the Development and Application of an Automatic Laying Machine for Amphibious Geomembranes

YAO Junxia, MENG Lingyong

Yellow River Puyang Bureau, First Yellow River Bureau, Puyang, He'nan, 457199, China

Abstract: Flood control and emergency rescue of dams are important links in water conservancy engineering. With the increase of extreme weather, the flood control pressure of dams is also increasing. The traditional method of laying geomembranes has low efficiency, especially in water surface or underwater operations, and the construction difficulty is relatively high. Therefore, the amphibious geomembrane automatic laying machine has emerged, which integrates amphibious and automatic laying functions, can significantly improve construction efficiency, reduce manual intervention, and enhance operational safety. The purpose of this study is to analyze the application of automatic laying machines in flood prevention and rescue of dams, and to evaluate their potential in improving the efficiency and safety of dam reinforcement operations by exploring their technical characteristics, application effects, and economics.

Keywords: dam flood prevention; automatic laying machine; amphibious; geomembranes

1 研发背景

1.1 堤坝抢险是江河防汛工作的重要内容

堤坝抢险是江河防汛工作的重要内容之一, 是保护堤坝安全, 防止洪灾的一个重要环节。堤坝是一种挡水建筑物, 一般用土修筑, 容易发生渗水、管涌、流土、漏洞、裂缝、滑坡、跌窝、堤岸崩塌、漫溢等险情, 险情抢救基本原则就是“前截后导”、降低土体渗水量、延缓并制止土料流失, 防止险情扩大并择机恢复堤坝。

1.2 土工膜在防汛抢险中得到广泛应用

土工膜不仅具有较高的强度, 而且具有抗冲、耐磨、耐腐蚀、重量轻、整体性强、应用速度快、适应场地性强、运输方便、可重复利用和造价低廉等特点, 具有良好的排水、反滤、隔离和对土体加筋等功能, 在堤坝抢险中得到了广泛的应用并取得了良好的社会效益, 成为了越来越重要的抢险材料。

1.3 人工膜铺无法适应防汛形势发展需要

传统土工膜铺设多为人工操作, 不仅费人费力, 劳动强度大, 而且作业效率低下, 难以适应形势发展。

为了提高土工膜铺设和防汛抢险效率, 我们在广泛汲取已有研发成果经验的基础上, 自行开展了“水陆两用土

工膜自动铺设机研制与应用”——这一课题的研发工作, 并取得了良好的社会效益。

2 研发原理

本成果的研发主要运用了以下原理:

2.1 因果分析图原理

因果分析图(参见图1)又称特性要因图、鱼刺图或石川图, 是一种透过现象看本质、发现问题“根本原因”的分析方法, 它于1953年由日本质量管理专家石川馨最早发明使用。

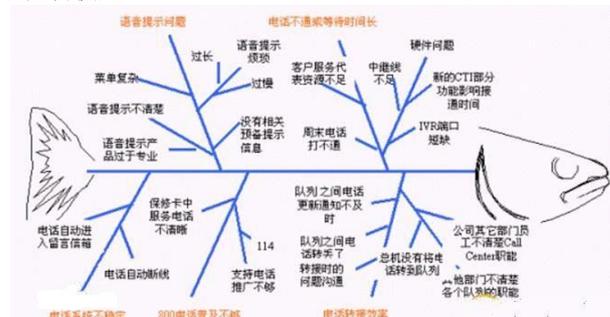


图1 因果分析图示例

因果分析图以结果作为特性, 以原因作为因素, 通过

集思广益、发挥团体智慧,从各种不同角度,逐步查找问题所有原因或构成要素。它要求遵循四大原则:严禁批评、自由奔放、多多益善、搭便车。

因果分析图不仅直观、醒目、条例分明、运用方便,而且能够反映不同原因间复杂的相互关系及动态变化,从而有助于着手解决问题,得到了学术界及实业界的广泛重视。

本成果研发过程中,我们组织机械专家、防汛专家、一线抢险骨干与管理人员,充分应用因果分析图,对堤坝土工膜铺设的需求、存在问题、制约因素、解决思路与对策、传统方法的优点与不足和水陆两用堤坝土工膜铺设机功能需求、研制原理、技术路线、结构组成、性能要求等进行了全面系统的分析讨论,得到了大量的合理化意见与建议,从而确保研发工作的高效率、高质量开展。

2.2 模块化设计理论

所谓模块是指由元件和零部件组合而成的、具有某种确定独立功能、可组成系统、可兼容互换、单独制造的标准子单元(单元)。不同模块可以通过接口与其他子系统发生联系而构成的更加复杂的系统,模块之间可分、可合、可互换;每个模块的研发和改进都独立于其他模块的研发和改进,每个模块所特有的信息处理过程都被包含在模块的内部,如同一个“黑箱”,相互之间通过通用接口相互连接。

机械设备模块化设计的一般步骤包括:①需求分析;②模块化策划;③模块划分;④模块的创建;⑤模块的组合。

模块化研发对提高研发质量与效率具有重大意义:第一,把一个系统分解成各个不同的子模块,不同的开发者专注于对其中某一模块的开发,一方面实现了劳动的分工,另一方面也提高了开发的效率。第二,对于开发者而言,基于模块化的开发具有更大的吸引力,其在参与开发过程中可以得到更高的期望收益。第三,模块化研发可有效抵制“搭便车”现象,更能调动开发者的积极性,促进整个系统的开发。第四,模块化研发有利于系统结构、性能的多样性,从而促进系统的优化,并可促进系列化,满足社会对产品的不同需求。

本成果研发过程中,我们在充分调研基础上,将堤坝铺膜机按功能分解成了主机模块、控制模块、铺设模块、电源模块4大模块;同时,我们研发团队也分成了4个与模块相应的研发小组和1个整合小组,每个小组专注于1个模块的研发,分工协作,从而有效地推动研发工作的开展,并在基础上,通过多种组合、反复优化、持续改进,以最有效率的方式研制出了水陆两用土工膜自动铺设机。

2.3 结构力学原理

结构力学是研究工程结构受力和传力的规律、进行结构优化的学科。结构力学研究的内容包括结构的组成规则,结构在各种效应作用下的响应等。结构力学通常有三种分析的方法:能量法,力法,位移法,由位移法衍生出的矩阵位移法后来发展出有限元法,成为利用计算机进行结构

计算的理论基础。

在本成果中,主要运用结构力学对水陆两用土工膜自动铺设机各组成结构的强度、刚度和稳定性,并对结构的优劣进行验算与评定。

2.4 价值工程原理

价值工程,也称价值分析,研究如何以最低寿命周期成本,来实现对象(产品、作业或服务等)的必要功能,并致力于功能分析的一种有组织的技术。

价值工程中所说的“价值”有其特定的含义,是一种“评价事物有益程度的尺度”。价值高说明该事物的有益程度高、效益大、好处多;价值低则说明有益程度低、效益差、好处少。价值工程把“价值”定义为:“对象所具有的功能与获得该功能的全部费用之比”,即

$$V=F/C$$

式中, V 为“价值”, F 为功能, C 为成本。功能(F)指产品或劳务的性能或用途,即所承担的职能,其实质是产品的使用价值。成本(C)是产品在全寿命周期内所花费的全部费用,是生产费用(C_1)与使用费用(C_2)之和。

价值工程的基本特点是:①以使用者的功能需求为出发点。②对功能进行分析。③系统研究功能与成本之间的关系。④努力方向是提高价值。⑤需要由多方协作,有组织、有计划、按程序地进行。

价值工程活动的全过程,实际上是技术经济决策的过程,其基本程序是:①选择价值工程对象。②收集有关情报。③进行功能分析。④提出改进设想,拟订改进方案。⑤分析与评价方案。⑥可行性试验。⑦价值工程成果评价。

本成果研发过程中,我们主要通过以下价值工程途径提高了水陆两用土工膜自动铺设机的价值:①在不改变产品功能的情况下降低寿命周期费用;②在保持产品原有寿命周期费用的情况下提高产品功能;③既提高产品功能,又降低产品寿命周期费用。

3 成果简介

3.1 结构

水陆两用土工膜自动铺设机由主机、铺设架、控制台、蓄电池、连接电缆及辅助用具用料等部分组成(参见图2)。



图2 水陆两用土工膜自动铺设机示意图

3.1.1 主机

主机是水陆两用土工膜自动铺设机的核心,既可在水上铺设土工膜,也可在水下铺设土工膜;安装相关辅导装置后,还可用于水下探漏、水下探测等作业。它又由履带底盘总成和低压潜水直流电机两部分下构成:

(1) 履带底盘总成。它是主机的行走与承载结构,又由以下部分组成:①驱动轴和驱动轮(后轮)。位于履带底盘总成尾端两侧,由潜水低压直流电机驱动,起减速、传导动能、驱动行走式铺设机行走的作用;②前导轮(前轮)。位于履带底盘总成的前端两侧,起拉紧履带、前行引导作用;③支撑轮(中轮)。位于前后轮之间,起支撑履带、分担压力、降低地面压强的作用;④履带。位于履带底盘总成两侧,安装在驱动轮、前导轮、支撑轮之上,由驱动轮提供动力,走承载压力、抓地和行走作用。

(2) 低压潜水直流电机。位于履带底盘总成尾端的上部,由低压直流电源供电,为行走式铺设机提供行走动力,同时起平衡、配重作用;

3.1.2 铺设架

铺设架是由金属管焊制而成的支架,安装行走式铺设机前端,用以支撑土工膜铺放绳(见图3)。



图3 铺设架形状与结构示意图

3.1.3 控制台

控制柜是水陆两用土工膜自动铺设机的电气控制部分,由蓄电池供电,经连接电缆与行走式铺设机的潜水低压直流电机相连。它的控制面板上,设有电源指示灯、电压显示屏、电流显示屏、电源开关和前进、后退、停止等控制按钮,能够监视电源状态并控制行走式铺设机的运动。

3.1.4 蓄电池

蓄电池由两组串联的铅酸蓄电池构成,在控制柜的控制下为行走式铺设机提供直流电(24V)动力。

3.1.5 连接电缆

连接电缆用于连接蓄电池——控制柜——主机,宜选用优质三相防水电缆,长度视土工膜铺设工作需要而定。

3.1.6 辅助用具用料

辅助用具用料包括:①钢管。用于卷放土工膜或土工膜软体排,并以其自重为铺放提供下行动力。②绳索。用于土工膜或土工膜软体排铺放和控制,可选用优质麻绳或尼龙绳等。

3.2 工作原理

水陆两用土工膜自动铺设机工作的电气原理(参见图4)是:蓄电池通过电缆向控制柜供电;在控制柜内,直流电经到过熔断器到达指示灯和电源总开关(SB总)前端,指示灯亮表示电源正常;闭合电源总开关(SB总)

后,电压表显示电源电压情况;前进按钮开关(SB正)、后退按钮开关(SB倒)和停止按钮开关(电路图中不显示)为互斥组合开关,前进按钮开关按下时后退按钮开关弹起,潜水直流电机正转,带动主机前进,进行水工膜铺设作业;后退按钮开关按下闭合时前进按钮开关弹起断开,潜水直流电机反转,带动主机后退,退出水工膜铺设作业;停止按钮开关按下三个同时复原,主机停止于所在位置。

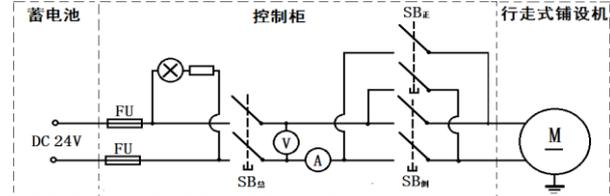


图4 水陆两用土工膜自动铺设机电气原理图

水陆两用土工膜自动铺设机行走原理是:当前进按钮开关闭合时,主机在潜水低压直流电机的驱动下,向前行进,通过铺设架架起被卷入土工膜内的绳索并不断前行,以力矩作用(包括绳索力矩和土工膜重力力矩)推动土工膜卷体以向前下方滚动,完成铺设作业;作业完成后,按下后退按钮开关,主机退回;随后,土工膜卷体钢管由绳索拉回。

3.3 主要技术参数

水陆两用土工膜自动铺设机的主要技术参数如下:

- (1) 电源电压: DC 24V
- (2) 作业最大深度: 可达水面以下 6m
- (3) 铺设作业宽度: 4m
- (4) 铺设作业长度: 20m
- (5) 最大作业坡度角: 50°

3.4 使用操作

3.4.1 准备工作

准备工作包括:

(1) 设备的安装与检查。由于该设备体积小,重量轻,携带方便,可用小卡运送,人工装卸。按照铺设作业需要,调好设备位置。安装方法参照“(一)结构”介绍进行;检查内容主要有:电源工作状态的电压、电流;电缆有无破损,是否断路;控制柜操作是否正常;行走式铺设机运行是否正常。

(2) 土工膜或土工膜软体排卷体制作。按照防汛抢险或工程设计要求进行制作,先将土工膜或土工膜软体排展开平铺于平整地面,用一适合长度和直径的钢管作轴,将两条优质绳索系于钢管合适位置并沿土工膜或土工膜软体长度方向放好、拉直,然后从一端开始依次卷起,便成为卷体。需要说明的是,水上铺设作业部分宜制作成土工膜,水上铺设作业部分宜制作成土工膜软体排卷体,以确保土工膜或土工膜软体能够较好地贴附于堤面。

(3) 土工膜或土工膜软体排卷体摆放。将制作好土工膜或土工膜软体排卷体放置在行走式铺设机前方适合

位置，并调整好方向。

(4) 绳索安放。将卷内两根绳索的游离端穿过铺设架两端的穿绳环，并固定于合适的位置；同时，在卷体钢管两端各系一条绳索，用于控制或调整铺放方向。

3.4.2 铺设作业

(1) 启动。准备好之后，先按下控制柜电源总开关，接通电源，检查电源是否正常；按下前进按钮开关，启动铺膜工作。

(2) 铺膜。启动之后，行走式铺设机将平衡向行进，不断提升卷体内绳索，产生力矩作用，并与卷体自身重力矩共同推动卷体向前下方移动，完成铺膜作业（参见图5）。此时，如果发现方向偏差，可用4根绳索进行调整，以保证铺设方向正确。如果出现意外情况，可按下控制柜的停止开关，暂停作业，待具备作业条件时再恢复作业。



图5 水陆两用土工膜自动铺设机作业现场图

(3) 退回。当土工膜或土工膜软体排铺设完毕后，按下控制柜的停止开关让主机停止，然后再按下后退开关，让主机平稳后退，直到退回到水面以上或起始处。

(4) 移位。根据作业设计，将水陆两用土工膜自动铺设机移到下一个作业位置，重复以上三步操作，直到所有铺设作业完成。

3.4.3 收工

(1) 保养。作业结束后，要清洁设备、检查设备是否有损毁情况，并进行针对性的保养维护，确保设备状态良好。

(2) 拆卸。按照安装的反程序，拆卸水陆两用土工膜自动铺设机并整理后，装车运回。

注意事项：①认真读懂使用说明书，掌握结构和性能，切忌囫圇吞枣、自以为是，不能充当“百事通”；②要遵循操作规程，维护保养要讲究方法，切忌马马虎虎，不能盲目操作；③设备一旦出现问题，应立即停止作业，及时进行维护和保养，不得带病作业。

4 创新点

本成果的主要创新点主要表现在以下方面：

4.1 机械代替人工，实现堤坝铺膜作业机械化

本成果成功实现了以机械作业代替传统人工作业，实

现了堤坝抢险中的铺膜作业的机械化。这不仅极大地降低了铺膜作业的劳动强度和施工成本、改善了施工作业条件、降低了人工作业的危險，而且显著地增强了铺膜质量的可控性、提高了铺膜的效率和质量，对提升防汛抢险效能具有重大意义。

4.2 兼具陆上和水上两栖作业，提高了铺膜作业的适应性

传统土工膜人工铺设对水面以上的陆地作业比较适应，作业效率和作业质量都较高，但一牵涉到水下铺设，不仅危險，而且难以保证质量，更别说效率。本成果成功地突破了这一限制，不仅适应水面以上的陆地作业，也适合水面以下作业，而且作业效率与作业质量都比较好，对提高堤坝抢险效能具有重大意义。另外，本铺膜机加装相关辅导装置后，还可用于水下探漏、水下探测等作业。

4.3 采用分体设计，有效提高了项目研发的价值

本成果研发过程中，科学运用价值工程原理，采用分体设计方案——将水陆两用土工膜自动铺设机主体和控制柜分开，不仅有效地降低了设计开发难度和设备开发与制造的成本，而且有效规避一体化设计必然导致的能效降低、安全系数降低、重心上移、稳度和爬坡能力下降、故障率升高等一系列问题，从而在大大降低成本的情况下有效地提高设备性能，显著地提高项目研发的价值。另外，分体设计也便于运输和装卸。

4.4 模块化设计，性能可靠，成本低廉，利于社会化生产与迅速普及应用

本成果采用模块化设计，履带底盘总成、潜水直流电机、控制台、蓄电池等主要部件都采用通用型标准件，可直接由相关专业厂家生产供货，不仅质量性能有保证，而且部件成本低廉，从而有效地降低了整体生产的条件要求、技术难度和成本费用，便于社会化生产与迅速普及应用。

4.5 蓄电池供电，有效增大了施工环境的适应性

本成果采用蓄电池供电，有效地规避了对电源的依赖，从而确保了无供电环境下的施工要求。特别是，既使在无专用蓄电池或蓄电池出现故障的情况，也可从运输车辆上直接取电，不至于造成停工。

[参考文献]

- [1]侯小波. 沥青防水卷材自动铺设机的研发[D]. 北京: 北京工业大学, 2010.
 - [2]王金钢, 刘昌盛, 罗颖, 等. SWE400F-SL 型防汛抢险救援水陆两用多功能智能装备[J]. 工程机械, 2024, 55(5): 216-220.
 - [3]王功富. 水库施工中土工膜防渗技术及质量控制研究[J]. 水利科技与经济, 2024, 30(7): 133-137.
- 作者简介: 姚俊霞(1974. 11—), 女, 毕业于中央广播电视大学, 专业: 水利水电, 大专学历, 就职于濮阳黄河河务局第一黄河河务局, 职称: 工程师。