

龙门吊吊装作业的安全管理措施研究

李 毅 耿加波

江西理工大学资源与环境工程学院 江西赣州 341000

摘 要: 龙门吊是建筑工程常用大型设备,为了制定龙门吊吊装过程中的安全措施,完善吊装作业安全管理制度,首先对龙门吊吊装作业过程中发生的第一类和第二类危险源进行了分析和罗列。在此基础上,结合大量政府公开的事故调查报告以及个人经验建立起事故树,通过求取最小割集以确定每个基本事件的结构重要度,进而制定了相应的防范措施、提出了需要完善的安全管理制度。研究结果解决了龙门吊吊装作业安全措施制定问题,可为其它作业过程的安全措施的制定提供一定的参考和借鉴依据,有实际应用价值。

关键词: 龙门吊; 吊装作业; 安全管理; 事故树

Study on safety measures during hoisting operation of gantry crane

Li Yi, Geng Jiabo

School of resources and environmental engineering, Jiangxi University of technology, Ganzhou, Jiangxi 341000

Abstract: Gantry crane is a large equipment commonly used in construction engineering. In order to formulate safety measures in the process of gantry crane hoisting and improve the safety management system of hoisting operation, the first and second types of hazard sources in the process of gantry crane hoisting operation are analyzed and listed. On this basis, combined with a large number of accident investigation reports published by the government and personal experience, the accident tree is established, and the structural importance of each basic event is determined by obtaining the minimum cut set. Then the corresponding preventive measures are formulated and the safety management system that needs to be improved is put forward. The research results solve the problem of formulating safety measures for gantry crane hoisting operation, and can provide a certain reference for the formulation of safety measures in other operation processes, which has practical application value.

Keywords: gantry crane; Hoisting operation; Safety management; Fault tree

吊装作业在我国大宗金属物流、建筑施工、冶金以及机械制造等行业中十分常见。在建筑工程行业中,龙门吊广泛应用于地铁工程、道路桥梁工程施工^[1-2]。特别是在桥梁预制安装施工过程中,龙门吊是不可或缺的重要设备,能够很大程度上减少施工难度和成本。龙门吊吊装作业是在相应的施工过程中必不可少的环节,必须针对龙门吊吊装作业制定相应的安全措施。吊物通

常具有高质量、大体积以及多件数的特点,使得吊物在吊装过程中成为了具有高重力势能的危险源,再加上吊装过程中的人为因素、环境因素的影响,可造成严重的物体打击事故、机械伤害事故、高处坠落事故以及触电事故等。

郑树国、李山山等^[3-4]详细列举了吊装作业过程中应当注意的事项及安全措施。但在实际的安全生产管理中,不同生产经营单位所处的环境,人员状况以及管理情况有着很大区别,针对单位内的相应情况应当制定适宜的安全措施、制度。事故树分析法(FTA)以事故为出发点,逐层分析出可能导致事故发生的根本原因,找到降低事故发生可能性的措施。因此,本文针对龙门吊吊装

资助项目: 江西理工大学资源与环境工程学院本科生物科研团队项目。

作者简介: 李毅(2002—),男,江西理工大学资源与环境工程学院本科在读,邮箱:L779794331@163.com。

作业的实际工作环境，利用FTA法以分析出龙门吊吊装作业过程的安全措施，为其他作业流程的安全措施制定提供了一个完整的方法论。

1 龙门吊吊装作业危险源分析

根据安全系统工程的理论，危险源可分为第一类危险源和第二类危险源，第二类危险源是第一类危险源的必要条件。危险源、事故以及隐患之间存在明显的逻辑联系，第二类危险源若失控则其成为隐患。隐患若失控则会成为事故，即造成第一类危险源失控，而利用好事故案例可以进一步分析出危险源^[5]。可以用图1表示危险源、隐患以及事故之间的逻辑关系。

因此，对作业流程进行危险源分析是事故树建立的重要一步：在建立事故树之前，作业流程危险源分析实际上起到了了解和熟悉作业流程的作用，还能使事故树建立者能够尽可能得去预想到所有已发生和可能发生的故事原因。

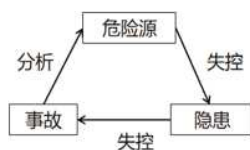


图1 事故、危险源及隐患关系图

1.1 第一类危险源

第一类危险源指得是在生产经营活动过程中，可能意外释放的能量、危险物质，其决定了事故的危险程度。因此，针对龙门吊吊装作业过程，第一类危险源包括：吊物、吊具、龙门吊导轮及其电气设备等。

1.2 第二类危险源

第二类危险源指得是使得限制、控制第一类危险源失控的各种不安全因素。第二类危险源包括：物的不安全状态、人的失误以及环境影响因素。针对龙门吊吊装过程的各种第二类危险源罗列如下：

(1) 物的不安全状态：钢丝绳发生断裂；吊钩发生断裂；钢丝绳从吊钩中滑出；钢丝绳破损严重；吊装方式错误；电气设备漏电、保护装置失效；安全装置断裂、破损；机械保护装置失效；司机室玻璃破损。

(2) 人的失误：起重吊装涉及到了龙门吊驾驶人员、指挥人员以及吊装人员。人员在作业时可能处于起重危险区域；注意力不集中，未注意吊钩、吊具的运动情况；起重司机与指挥人员配合不当、业务水平低；吊装无人指挥；靠近电器设备；随意穿越龙门吊导轨；缺少安全监管；安全三级教育落实不到位；缺失安全文化氛围；缺乏应急管理预案；领导层对安全生产重视程度不高等。

(3) 环境影响因素：噪音大；天气恶劣，如大风、大雪以及大雨等；视野受阻；温度不适宜；照明条件差；货物阻碍行动路线等。

2 事故树分析法的定性及定量指标

在建立完事故树以后，可以求解出事故树的最小径集和最小割集。最小径集是预防顶上事件发生的基本事件的集合，通过求解最小径集可知控制住哪些基本事件不同时发生就可以防止顶上事件的发生。求解所得的最小径集越多，则说明系统的安全性越高。最小割集是导致顶上事件发生的基本事件的合集，最小割集数量越多意味着整个系统的安全性越差。

通过最小割集可以求得基本事件的结构重要度，通过该指标可以了解每个基本事件对顶上事件的重要程度，从而为安全防范措施以及安全检查表的制定提供相应的依据。

若能知道每一个基本事件发生概率，还可以计算得到每个基本事件的概率重要度以及临界重要度系数。

概率重要度系数衡量着每一个基本事件发生概率变化后对顶上事件发生概率的影响程度，其反映了顶上事件发生概率对某一个基本事件发生概率的敏感程度；临界重要度系数从基本事件相对顶上事件的敏感度及其自身的发生概率两个角度出发，衡量着每一个指标单位重要程度^[6]。

然而，虽然这两个指标能够得出定量的结论，所得出的基本事件重要程度排序也更加合理，但是实际操作起来确非常困难，在实际的安全管理中很难去统计每一个基本事件的发生概率，花费大量人力物力去统计每一个基本事件的发生概率是不现实的，因此这两个指标也很难求得。另外，割集中的任何一个基本事件都应当仔细检查。因此，利用结构重要度分析法制定安全检查表仍然是实际安全管理中最实际且有效的方法。

3 龙门吊吊装作业事故树分析

3.1 物体打击事故分析

物体打击是吊装作业过程中常见的事故，具有极大的危险性。起重作业过程中无论是吊物、吊具、钢丝绳以及龙门吊支腿都具有高重力势能、大动能的特点，若与人体发生碰撞将造成严重的物体打击事故。针对该类型事故，由于吊物打击危险性和后果严重性都是最大的，在物体打击事故分析中主要针对吊物打击事故进行分析。

结合公开的相关事故调查报告和个人经验，利用中国矿业大学孟现飞开发的免费软件FreeFta建立了图2所

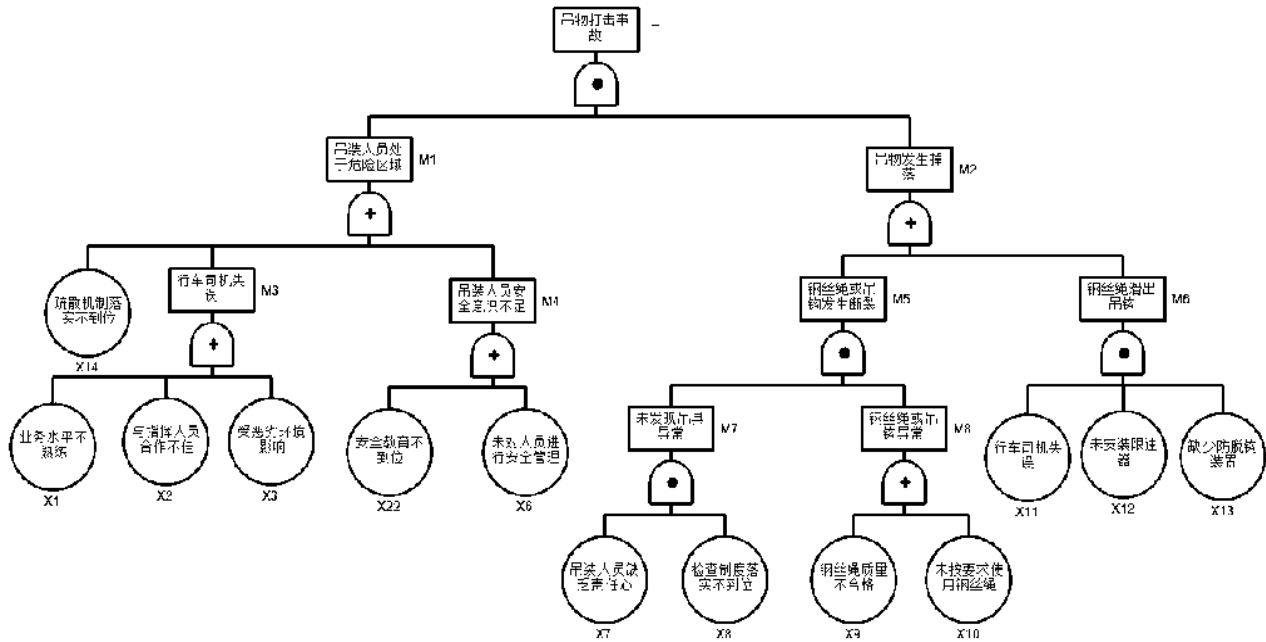


图2 吊物打击事故树分析图

示的事故树，图中明确了事件名称和事件编号。共求得了18个最小割集如下：

{X1, X11, X12, X13}; {X1, X7, X8, X9}; {X11, X12, X13, X14}; {X11, X12, X13, X22}; {X2, X11, X12, X13}; {X2, X7, X8, X10}; {X2, X7, X8, X9}; {X3, X11, X12, X13}; {X3, X7, X8, X10}; {X3, X7, X8, X9}; {X6, X11, X12, X13}; {X6, X7, X8, X10}; {X6, X7, X8, X9}; {X7, X8, X10, X14}; {X7, X8, X10, X22}; {X7, X8, X9, X14}; {X7, X8, X9, X22}; {X8, X10, X12, X22}。

随后进一步计算得到割集中基本事件的结构重要度排序为：

$$I_{(X8)} = I_{(X7)} > I_{(X13)} = I_{(X12)} = I_{(X11)} > I_{(X10)} = I_{(X9)} > I_{(X22)} = I_{(X14)} = I_{(X6)} = I_{(X3)} = I_{(X2)} = I_{(X1)} \quad (1)$$

根据计算所得的结构重要度排序，需要进一步制定安全管理措施、完善安全管理制度。由于吊装作业事故不仅是只有吊物打击这一种可能发生的事故，具体的措施制定应在其他事故的事故树分析完成之后再行，在分析完所有的事故后再制定要采取的相关措施。

3.2 触电事故分析

龙门吊的工作电压通常为380V，一旦触电有致命危险。发生触电事故的基本原理是两样存在电势差的物体进行了接触，两物体之间瞬间产生电流。若物体持续漏电还可能导致局部区域产生电压，极易导致“跨步电压”事故发生。基于触电事故的基本原理，事故树从人

接触带电物体以及形成回路出发，制定了如图3所示的事故树。计算最小割集为：

{X1, X3, X10}; {X1, X4, X5, X6, X10}; {X1, X4, X5, X7, X10}; {X1, X4, X5, X7, X10}; {X1, X8, X9, X10}; {X2, X3, X10}; {X2, X4, X5, X6, X10}; {X2, X4, X5, X7, X10}; {X2, X8, X9, X10}。

随后进一步计算得到割集中基本事件的结构重要度排序为：

$$I_{(X10)} > I_{(X3)} = I_{(X2)} = I_{(X1)} > I_{(X9)} = I_{(X8)} = I_{(X5)} = I_{(X4)} > I_{(X7)} = I_{(X6)} \quad (2)$$

3.3 高处坠落事故分析

如图4为高处坠落事故树分析图。发生高处坠落的情况主要为随行车掉落以及检修人员在检修时意外掉落。针对事故树求得的最小割集如下：

{X1, X7}; {X2, X7}; {X3, X7}; {X5, X6, X7, X8, X9};

随后进一步计算得到割集中基本事件的结构重要度排序为：

$$I_{(X7)} > I_{(X3)} = I_{(X2)} = I_{(X1)} > I_{(X9)} = I_{(X8)} = I_{(X6)} = I_{(X5)} \quad (3)$$

4 龙门吊吊装作业的安全管理对策

通过吊装作业基本事件的结构重要度分析可以发现，吊装人员的责任心以及吊具的检查制度的落实情况很重要，其次是防脱钩保险装置的可靠性和钢丝绳的质量问题，最后才是与吊装人员是否出现在危险区域有关的基

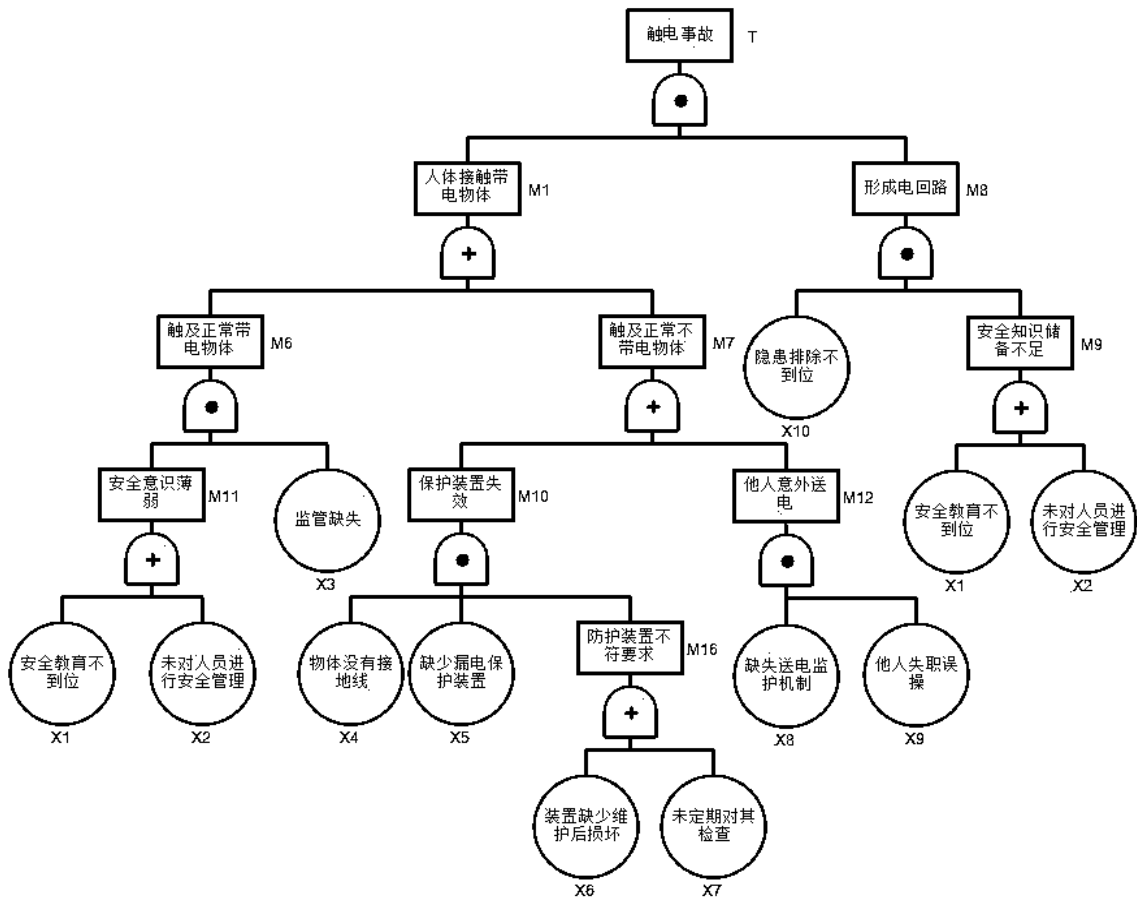


图3 触电事故树分析图

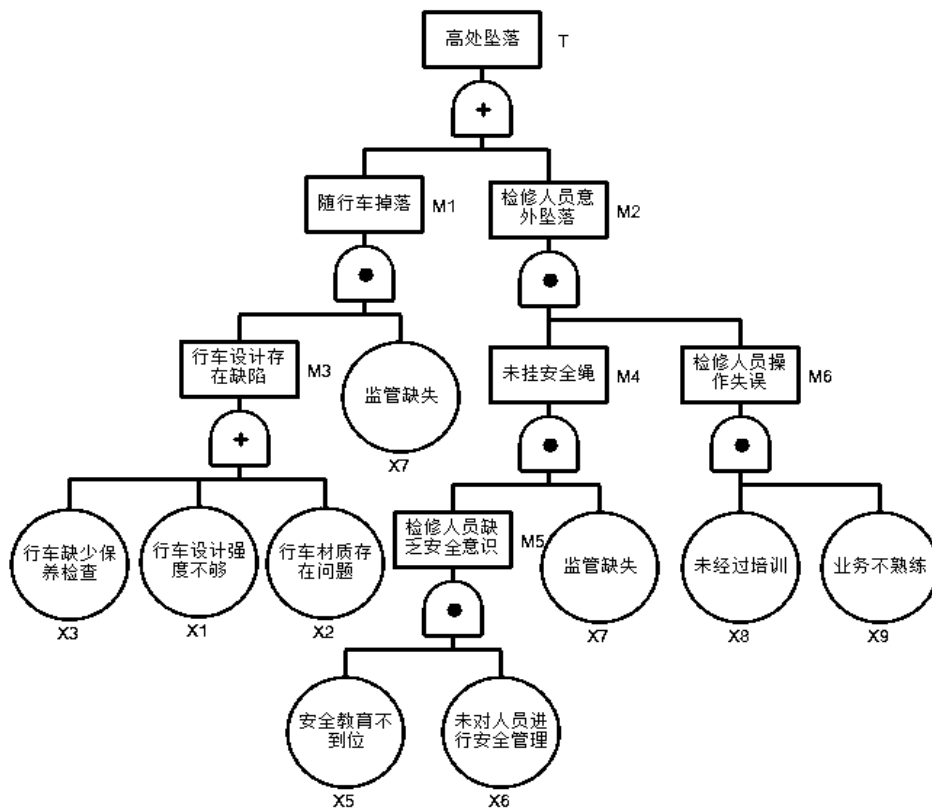


图4 高处坠落事故树分析图

本事件，这意味着预防吊物发生掉落的优先级是最高的，这本质上是预防了第一类危险源能量的释放。吊装作业人员的责任心、落实良好的检查制度以及防脱钩保险装置的正常运行将保证第一类危险源不释放，从本质上保证这吊装作业的安全。

在触电事故中，形成电路的隐患排查不到位，作业人员受安全教育不到位更容易使得人体与低电势物体产生电回路。虽然事故树分析结果表明了防触电保险装置、和他人监管的作用没那么重要。但是，隐患排查对安全管理人员的要求较高，需要安全管理人员有丰富的知识储备以及责任心，就实际安全管理可行性来说，完善保险装置仍然是最可能实现的必要措施。

在高空坠落事故中，作业人员的作业监管的缺失、行车状态监管的缺失以及行车的缺陷，比作业人员自身受到的安全教育水平的结构重要度更高。这并不是说明了安全教育的不重要，而是又一次强调了通过保险装置和完善的检查制度能够有效约束住第一类危险源能量的释放。

生产经营单位安全措施的制定应当尽量具有可行性，需要的人力物力小的特点。作业人员自身的状态是难以保持稳定的，保险装置、制度的存在正式为了规避人员的不确定性。

结合以上分析，本文认为龙门吊吊装作业的安全措施制定首先应当从以下几项措施着手：（1）增强作业人员责任感，落实人员监督制度。确保龙门吊作业人员充分履行岗位职责，严格落实公司安全生产教育培训等制度。尤其是龙门吊行车司机的人选、培训以及后续上岗，其是控制第一类危险源能量不释放（吊物的重力势能）的主要人员，因此建议由其担任班组安全员，这有利于落实“谁主管，谁担责”制度；上岗后需有老师负责监督带教，可以返聘退休师傅做新人培训指导员，这有助于减少成本。吊装指挥和作业人员至少配置两名，这有助于互相观察对方的安全站位和落实人员监督制度职责。这实际上是将监督责任压到了每个班组成员中，能够无形中在企业中推动“安全文化”的建设。（2）做好事故隐患排查，完善保险设备配置。事故调查报告显示事故往往发生在像临时用电的临时作业等相似事件的过程中，因此临时作业的事故隐患排查也不能省略，针对危险隐患应当尽可能配备保险设施以提升设备的本质安全，提

升设备的可靠性，能够使得人员在犯错的情况下依旧能够得到保障。（3）定期检修检查设备，落实设备管理制度。定期检修设备是保证设备正常运行的重要措施，这是确保保险装置持续处于正常运行的最好方法。需要定期对供电系统接地、接零保护和漏电饱和设备的情况进行安全隐患排查。高处作业时应配备两名人员，起到互相监督的作用。

以上措施是提升本质安全的最有利措施，但以下措施仍然是需要重要解决的。（1）落实安全培训制度，加强训后考核检查。目前，大部分企业安全培训制度已经落实完善，考核检查也十分完善。但是，仍有部分人员较难管理，应当严肃查处违规违章行为，严格检查安全管理、危险作业管理等安全制度的执行情况，实行互相监督制度，压实每个人的安全管理职责。（2）开展全员安全检查，增强企业员工遵纪守法的自觉性。

5 结语

事故树分析法是安全管理工作常用的理论方法，结合实际工作经验以及以往的事故资料建立出的事故树，能帮助安全管理人员分析出造成事故的深层次原因。本研究针对龙门吊吊装作业过程可能出现的事故进行了危险源分析，随后基于网上公开的事故案例以及个人工作经验对事故树进行了建立，通过求解最小割集以明确各基本事件的结构重要度，提出所需采取的安全管理措施、改进的安全管理制度等，并且还能为安全管理人员的日常管理工作提供一定的借鉴和参考依据。

参考文献：

- [1]熊占鳌.地铁项目施工龙门吊应用研究[J].中国设备工程, 2020(01): 192-193.
- [2]黄志猛.85t龙门吊在拆除新建水中桥施工中的应用[J].中国新技术新产品, 2021(16): 106-110.
- [3]郑树国,尹胜.起重吊装过程中的安全管控[J].水利水电技术(中英文), 2021, 52(S2): 81-83.
- [4]李山山,高森,黄忠威.大型起重机械安全吊装技术分析[J].中国设备工程, 2022(08): 183-184.
- [5]孟现飞,乔国厚,王文良,李中超,段道明,高晓东,陈守义,李新春.义煤集团安全文化建设[M].中国矿业大学.2013.
- [6]薛永平.事故树中基本事件的重要度及重要度分析[J].山西冶金, 2006(04): 55-56.