

# “安全预评价”应用于巴贡工程竖井开挖之安全控制

王瑞峰

(中国水利水电第七工程局有限公司 海外事业部,四川 成都 610081)

**摘要:**马来西亚巴贡水利水电枢纽工程引水隧洞位于大坝左岸山体,由8条隧洞组成,采用单洞单机的方式向发电厂房供水。引水隧洞上平段与下平段洞轴线平均高差约为100 m,其间由 $\phi 9.9 \sim 10.1$  m垂直的“竖井”段衔接贯通,因此,共有8条“竖井”需要在狭小的地下空间(上/下平洞末/首端内)组织开挖施工。水电工程施工以“竖井”开挖的危险性、危害性尤甚,历来是安全生产的禁地。行业内向来谈“井”色变,视竖井施工为“火中取栗”,更何况8条且为“洞中井”的大型竖井群。应用“安全预评价”方法,指导“竖井”开挖项目编制安全技术措施及安全监管。

**关键词:**巴贡水电站;竖井开挖;安全评价;安全管理;马来西亚

**中图分类号:**

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2013)06-0056-04

## 1 概述

竖井开挖极具风险。地下工程竖井施工的客观条件使然,其中尤以“卷扬机牵引系统”危险、危害为甚。

如何规避风险。应用“安全预评价”(故障树分析法)找出引发事故的直接原因,有针对性地拟定施工技术措施,针对危险、危害因素拟定安全防范对策,认真组织、逐行逐项落实安全措施,安全部门认真施行全过程安全监控,努力形成“本质安全”生产条件,从而保障了安全生产的实施。

本质安全是安全生产管理预防为根本体现,也是安全生产管理的最高境界。实际上,由于技术、资金和人们对事故的认识等原因,到目前为止还很难做到本质安全,而只能将其作为我们为之一奋斗的目标,至少我们在努力。

巴贡工程8条竖井开挖施工历经11个月实现全面安全贯通,无一例生产安全事故发生,无一例轻重伤、死亡事故发生,业绩瞩目。

## 2 安全预评价及“故障树分析法”的应用

### 2.1 安全预评价的作用

安全预评价实际上就是在项目建设前应用安全评价的原理和方法对系统(工程、项目)的危险性、危害性进行预测性评价。安全预评价内容主要包括危险、有害因素识别、危险度评价和安全对策措施及建议。它是以拟建设项目作为研究对象,根据建设项目可行性研究报告提供的生产工

艺过程、使用和产出的物质、主要设备和操作条件等,研究系统固有的危险及有害因素,应用系统安全工程的方法,对系统的危险性和危害性进行定性、定量分析,确定系统的危险、有害因素及其危险、危害程度;针对主要危险、有害因素及其可能产生的危险、危害后果提出消除、预防和降低的对策措施,提出合理可行的安全技术设计和安全管理的建议。

### 2.2 安全预评价之“故障树分析法”概述

故障树分析法是安全评价中最常用的典型方法之一。故障树分析法是目前事故预防和危险分析中较为完善和实用的一种技术方法。它广泛应用于辨识、预测、评价及控制事故隐患。

故障树是一种从结果到原因描述事故的有向逻辑树图。首先确定事故结果,将要分析的事故作为顶上事件,然后层层追溯,上层事件是下层事件的必然结果,下层事件是直接原因,上下层之间用逻辑门连建,直到找出发生事故的最基本原因为止。

### 2.3 竖井开挖施工组织管理应用“安全预评价”的缘故

马来西亚巴贡水电站引水隧洞位于大坝左岸山体,由8条隧洞组成,采用单洞单机的方式向发电厂房供水。引水隧洞上平段与下平段洞轴线平均高度差约100 m,其间由 $\phi 9.9 \sim 10.1$  m垂直的“竖井”段衔接贯通,因此,共有8条“竖井”需要在狭小的地下空间(上/下平洞末/首端内)组

收稿日期:2013-10-25

织开挖施工。

鉴于此,我们在巴贡竖井开挖施工编拟“施工技术措施”之前应用安全预评价之“故障树分析法”对巴贡工程竖井开挖施工最重要、最关键且最具危险、危害的“卷扬机牵引(起重)系统”的危险性和危害性进行了定性分析,确定了该系统的危险、有害因素及其危险、危害程度,从而引导“施工技术措施”有针对性地组织编制,针对预测需要应对的主要危险、有害因素及其可能产生的危险、危害后果提出了消除、预防和降低的对策措施,得出了竖井开挖施工“卷扬机牵引(起重)系统”应如何设计、管理才能达到安全指标要求的意见。

### 3 工程概述

#### 3.1 竖井

巴贡水电站引水隧洞竖井开挖断面为圆形,高程130 m以上开挖直径为9.9 m,高程130 m以下开挖直径为10.1 m,垂直段开挖高度为84.12 m(1#)~89.5 m(8#)。竖井开挖关联竖井上口相接的9.9 m部分上弯段和竖井下口相接的9.9 m下弯段部分,须事先将上、下弯段挖除,继

而组织竖井垂直段的开挖。因此,合并垂直段与上、下弯段开挖高度,“竖井”的实际最大开挖高度为110 m,单井开挖量为9 000 m<sup>3</sup>。

#### 3.2 地质条件

(1)引水隧洞的围岩分类。其中Ⅰ类围岩约占6.96%,Ⅱ类围岩约占19.41%,Ⅲ类围岩约占56.54%,Ⅳ类围岩约占16.67%。

(2)巴贡水电站地属热带雨林地区,降水极其丰沛。年内降水300 d左右,年平均降水量4 700 mm,日均约13 mm;最大年降雨量达6 000 mm。由于巴贡地区地表覆盖层均为风化沙壤土,覆盖厚度仅2~3 m左右,降水入渗地下迅速;加之地质结构多呈层状且节理、裂隙十分发育,因此地下水极其丰富,其主要成因为“裂隙水”,以致洞、井内地下水出露稍稍严重的地段围岩出水状似“水帘洞”。

#### 3.3 竖井段开挖生产工艺流程及生产规模

##### 3.3.1 工艺流程

(1)竖井第一次扩挖工序流程图见图1。

(2)竖井第二次扩挖支护工序流程图见图2。

##### 3.3.2 生产规模

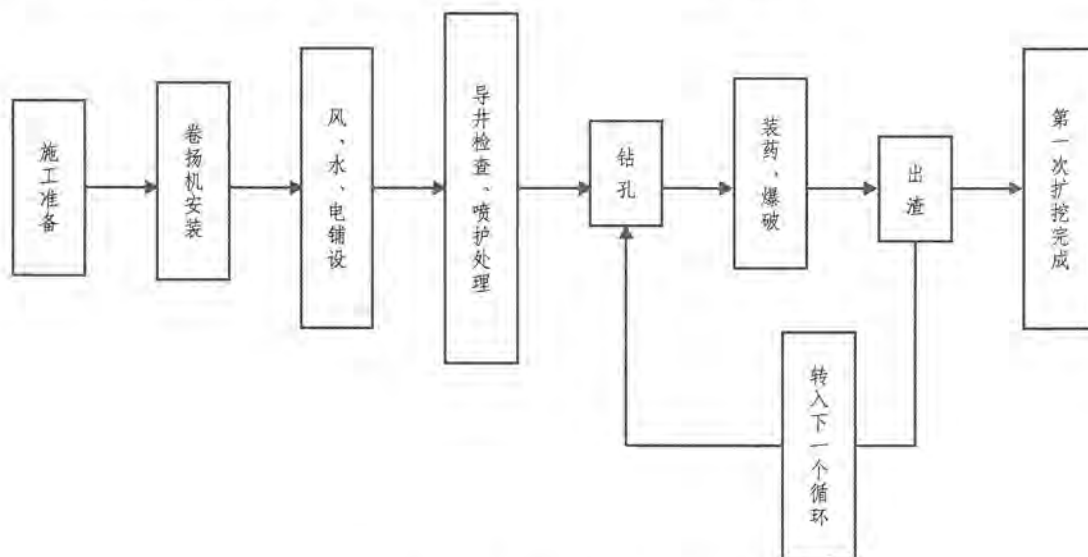


图1 竖井第一次扩挖支护工序流程图

鉴于竖井开挖爆破振动等原因,竖井开挖部署实行间隔组织,因此,至多同时可以开工4条井,而实际部署则为同时开工2~3条。

#### 3.4 相关竖井施工“事故案例”调查

(1)事故发生概率颇高。凡是利用人工深入

地下掘进形成竖井,其组织生产模式和施工工艺基本相同。无法避免地下工程固有的恶劣条件和环境所导致的高风险安全情势,尤其难以避免的是某些偶然性因素。根据调查统计,规模类似于巴贡工程的单条竖井开挖及相关施工,几乎条条

存在或多或少的生产安全事故,甚至包括一些重大恶性事故。

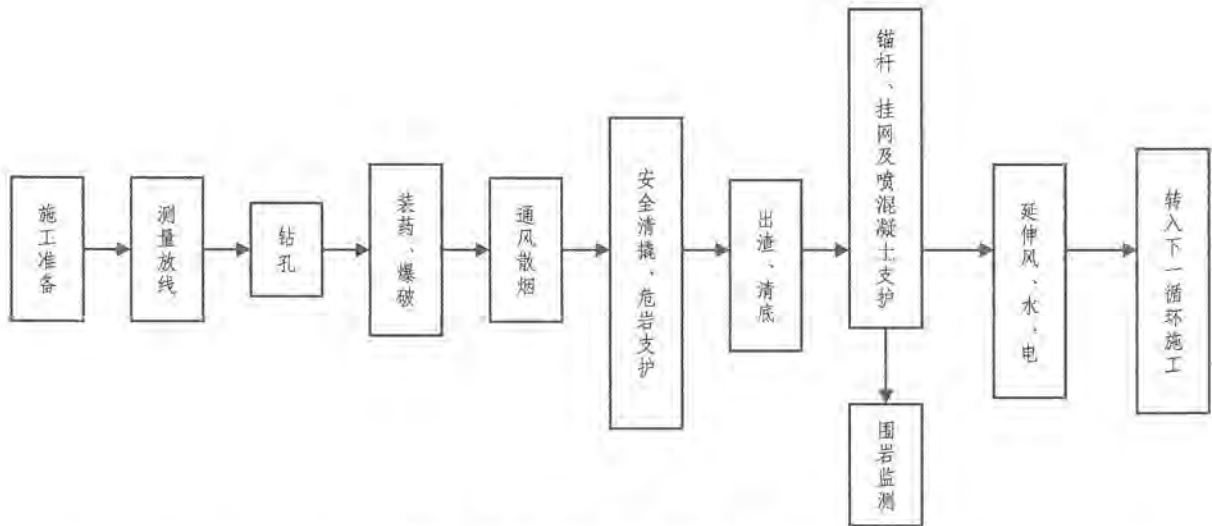


图2 竖井第二次扩挖支护工序流程图

(2)事故原因。事故的原因通常是设备、设施存在缺陷;安全保护、防护装置不当甚至缺失。除此之外主要还有“三违”现象(违章作业、违章指挥、违反劳动纪律)存在。

(3)事故类别。多为高处坠落类,其它类主要有物体打击、冒顶片帮、卷扬机系统意外导致的机械伤害(卷入、绞、剪切、夹击、碰撞等)和起重伤害(挤压、吊具和吊重坠落打击等)。

(4)性质恶劣。竖井开挖施工时施工人员位于深井下,可供作业人员活动的平面范围极为狭小,立足之地即是挖掘目标,面临上下左右全方位威胁,无法采取措施对个人形成有效的安全屏障,一旦隧洞发生顶拱冒顶和井壁片帮即威胁洞内和井下人员的生命安全;一旦发生井上人员坠落或井下人员从石渣溜井坠落则性命难保;一旦发生卷扬机牵引(起重)系统方面的事故,往往直接造成吊斗坠落致害井底作业人员甚至衍生形成十分恶劣的重大事故。

#### 4 采用安全预评价之“故障树分析法”应用于巴贡竖井开挖施工“卷扬机牵引(起重)系统”危险、有害因素识别、分析和评估

(1)编制故障树是分析的基础。定性(定量)分析是核心,制定预防事故措施是最终目的。

(2)“故障树分析法”之分析准备。一般是将易于发生且后果严重、频率不大但后果非常严重以及后果虽不会太严重但发生非常频繁的事故列为故障树分析的对象——顶上事件。笔者在文中

所以选择将“卷扬机载物吊斗坠落致伤亡事故”列为顶上事件,是考虑其属于“易于发生且后果严重”且其它工程曾有发生类似重大事故的典型案例。

当确定顶上事件之后,随之应当开展的事务是调查与顶上事件有关的所有事件原因,主要包括人为失误、设备仪器缺陷、材料质量、作业环境状况、指挥管理等方面。

(3)编制故障树。在前述工作基础上,按照演绎分析原则,从顶上事件(卷扬机载物吊斗坠落致伤亡事故)开始,一级一级往下分析各自的直接原因事件,根据彼此的逻辑关系,用逻辑门将上下层事件进行连接直至所要求的分析深度,最后形成一棵倒置的逻辑树形图(图3)。

(4)拟定巴贡工程竖井《施工技术措施》,并据此施行生产组织和安全监控管理。

工程技术系统参考安全预评价之成果,拟定了严谨的“竖井开挖施工技术措施”。

(5)评价采取措施后的系统是否能满足规定的安全要求。依据“竖井开挖施工技术措施”,施行竖井开挖施工生产组织和安全监控,在竖井开挖施工的每个阶段和全过程施工活动中,安全监管部均随时随地评价采取措施后的系统是否能够满足规定的安全生产要求。实践证明:该系统完全满足安全要求,保障并实现了安全生产。

#### 5 结语

高风险施工活动应用“安全预评价”是有益

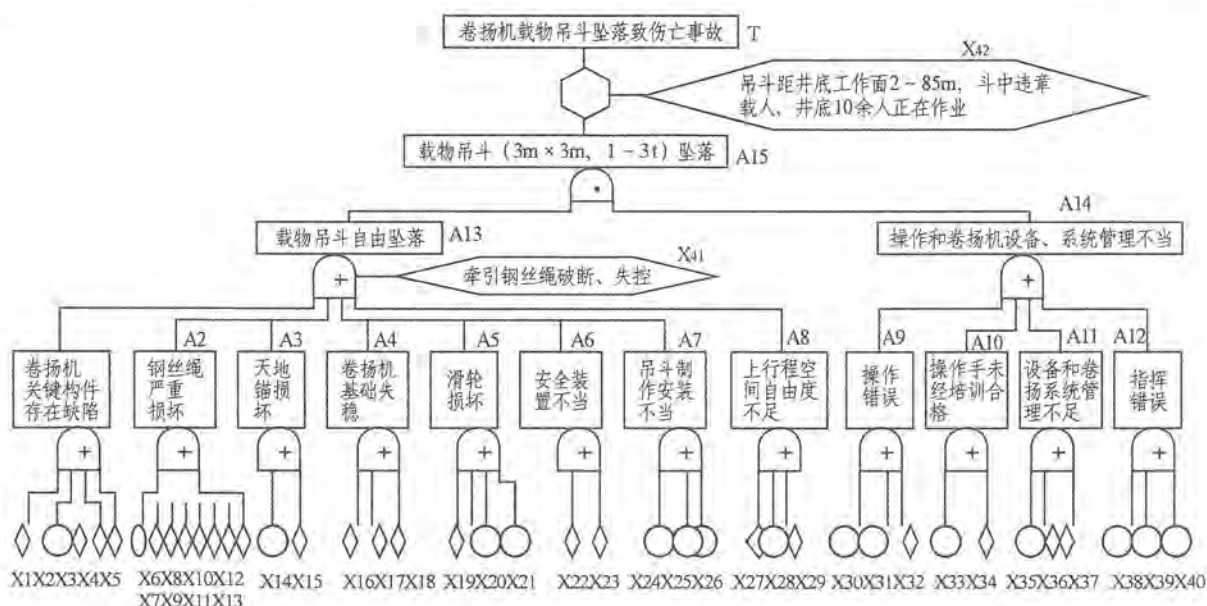


图3 卷扬机载物吊斗坠落致伤亡事故故障树图

的这一点毋庸置疑,竖井开挖施工确实过于危险,尤其是如此规模的竖井群施工。但是,巴贡项目部生产组织、安全管理是十分成功的,最终实现了安全生产并且未发生一例人身轻重伤害事故。

作为安全生产管理工作人员,我们期待企业所有的生产经营项目和活动都具备“本质安全”的条件,实现我们“珍爱生命,呵护健康,创建和谐社会”的美好愿望。

(上接第21页)

缝和施工缝处无错台、掉边和挂帘现象,棱角方正、线条顺直,表面局部有少量气泡存在。

(2) 混凝土性能质量评价。

岩锚梁混凝土浇筑 2 100 m<sup>3</sup>, 抽检 7 d 抗压强度试件 64 组; 28 d 抗压强度试件 70 组, 抗压强度标准差 < 4, 离差系数 < 0. 14, 抗压强度均满足设计要求, 混凝土综合评价为优良。

7 结 语

(1) 笔者以大岗山水电站地下厂房岩锚梁施工为例, 通过对岩锚梁精细化施工控制要点进行

参考文献:

- [1] 李海东. 建筑工程安全生产强制性标准与施工现场安全事故防范实务全书[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2002.
- [2] 丁圻垵, 等. 安全生产管理知识[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.

作者简介:

王瑞峰(1980-), 女, 山西大同人, 工程师, 学士, 从事质量安全管理工

(责任编辑: 李燕辉)

分析, 从技术方案、质量控制和施工组织三个方面对岩锚梁施工采取精细化管理措施, 使岩锚梁施工质量得到了有效的控制, 取得了良好的效果。

(2) 面对越来越大型的水电工程, 实施精细化管理, 规范生产过程和生产活动, 合理配置资源, 进一步挖掘管理的潜力、人的潜力已成为提高水电建设管理水平和建设质量的必然途径。

作者简介:

雷 宏(1979-), 男, 湖南衡阳人, 工程师, 从事水电工程施工管理及技术工

(责任编辑: 李燕辉)

全国水利水电施工技术信息网、中国水力发电工程学会施工专委会年会在成都召开

9月24~27日, 全国水利水电施工技术信息网、中国水力发电工程学会施工专委会2013年年会、土石坝工程施工专题技术交流会在成都召开。会议由全国水利水电施工技术信息网和中国水力发电工程学会施工专委会联合主办, 由中国水电五局承办。中国工程院院士钟登华、马洪琪, 施工专委会副主任阮光华, 中国水电股份公司副总经理宗敦峰, 中水五局总经理贺鹏程、党委书记刘光以及各大水利水电施工、设计、业主等单位的领导及代表110余人参加了会议。会上, 贺鹏程致欢迎词, 简要介绍了公司的情况, 重点对公司已建和在建的“十三陵上池、天荒坪上库、碧口大坝、岳城水库、长河坝大坝”等一大批在全国土石坝工程施工领域具有重要影响力的工程做了介绍。最后, 贺鹏程代表承办方对各位专家的到来表示热烈的欢迎。会议进行了学术交流并参观考察了长河坝水电站。