

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2020419

张大伟. 美国 Edenville 溃坝事件原因分析与启示[J]. 中国防汛抗旱, 2021, 31(2): 70-74. ZHANG Dawei. Cause analysis and enlightenment of Edenville Dam break event in the US [J]. China Flood & Drought Management, 2021, 31(2): 70-74. (in Chinese)

美国 Edenville 溃坝事件原因分析与启示

张大伟

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038)

摘要: 梳理了2020年5月发生在美国密歇根州(Michigan)的Edenville大坝溃坝事件的原因, 包括大坝的概况、溃坝的详细过程、溃坝的原因、溃坝造成的后果以及溃坝的后续事件等。同时, 结合我国水库现状, 提出了几点建议, 希望能对水库管理工作提供参考。

关键词: Edenville 大坝; 密歇根州; 溃坝; 美国

中图分类号: P444; TV877

文献标识码: B

文章编号: 1673-9264(2021)02-70-05

1 Edenville 大坝概况

Edenville 大坝是 1924 年建成的土坝, 集水面积 2 414 km², 坐落在美国密歇根州中部 Midland 市上游约 34 km 处 Tittabawassee 河和 Tobacco 河的交汇处(图 1, 图片来自 mapcarta.com), 行政区划上刚好位于 Midland 和 Gladwin 两郡之间。大坝总长度超过 2 000 m, 最大坝高 16 m。大坝由两座坝体组成, 一座横跨 Tobacco 河, 另一座横跨 Tittabawassee 河。



图 1 Edenville 大坝空间位置分布图

其中, Tobacco 河右坝长 622 m, 左坝长 158 m。Tittabawassee 河右坝长 969 m, 左坝长 259 m, M-30 公路穿库区而过, 具体位置如图 2 所示。两部分坝体各自拥有自己独立的混凝土溢洪道, Tobacco 河溢洪道宽度为 22 m 左右, Tittabawassee 河溢洪道宽度为 36 m 左右^[1], 两处溢洪道均布有 3 孔闸门(图 3)。大坝顶部高程为 208.00 m, 水库的正常蓄水位为 206.00 m, 对应水面面积约 9.3 km², 库容约 4 934 万 m³^[2]。为了纪念大坝建设者 Frank Wixom, 水库的库区被称为 Wixom 湖, 水库蓄水后, Wixom 湖成为当地很受欢迎的一个划船和钓鱼地点。

修建该大坝的最初目的是为了发电, 经营权最早属于 Wolverine 水电公司, 设计初期并未考虑其防洪功能。水库蓄水后, 由于环境优美, 娱乐方便, 该地区逐渐发展成居住区^[2]。2004 年该水电站的经营权转让给了私营企业 Boyce 水电公司, Boyce 水电公司同时还拥有该流域其他 3 座水库的经营权, 分别是 Sanford 水库(Edenville 大坝下游), Smallwood 水库和 Secord 水库(Edenville 大坝上游), 这批水库均在 1924 年建成^[3]。

收稿日期: 2020-12-16

作者信息: 张大伟, 男, 博士, 减灾中心主任助理、基础部主任, 正高级工程师, E-mail: zhangdw@iwhr.com。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC1502602); 中国水利水电科学研究院科研专项项目(JZ0145B772017)。

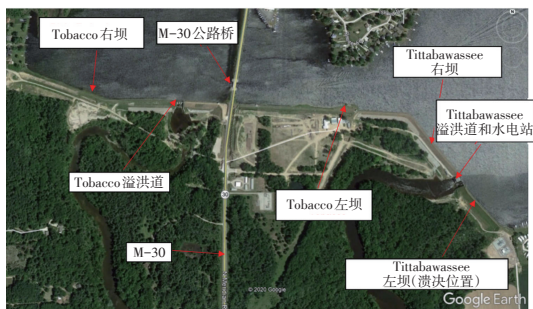


图2 Edenville大坝结构分布



(a)Tobacco溢洪道^[1]

(b)Tittabawassee溢洪道^[2]

图3 大坝溢洪道

2 Edenville大坝溃决过程及失事原因分析

2.1 Edenville大坝溃坝过程

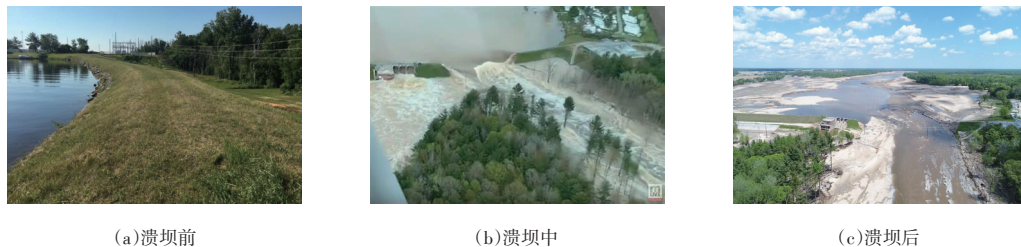
2020年5月17—19日,受到从美国中西部到阿巴

拉契亚缓慢移动的切断低压影响,导致密歇根州南部半岛中部地区暴雨倾泻,5月18日和19日的总降雨量为122 mm,这是近50年有纪录以来该地区第3高降雨量(按2日总降雨量统计),降雨导致Tittabawassee河洪水泛滥。

5月19日0时22分,Midland郡调度中心发出警报,通知Edenville镇的居民尽快撤离,因为大坝很可能发生溃决,同时大坝上游和下游沿岸的居民也被告知撤离家园,到避难所避难。

5月19日17时,Midland全郡发布洪水警报。随后,Edenville大坝溃决,Midland市发出紧急短信:由于大坝坍塌,伊斯曼以西的Midland市城市居民需要撤离。大约1 h后,位于Edenville大坝下游约16 km处的Sanford大坝发生了溢流漫坝。

5月19日20时,Wixom湖区的M-30公路桥坍塌,附近居民从家中撤离后开始抵达Midland市高中。随后,密歇根州州长宣布Midland郡因为严重洪灾进入紧急状态。图4为库区溃坝前、溃坝中和溃坝后的对比照片。



(a)溃坝前

(b)溃坝中

(c)溃坝后

图4 Edenville大坝溃坝前、溃坝中和溃坝后的照片(来自网络)

2.2 溃坝原因分析

2.2.1 气候变化带来的强降雨是大坝溃决的外在原因

据该地区降雨统计资料显示,该地区的总降水量呈明显的增加趋势,年平均降水量已从20世纪初的约710 mm增加到现在的889 mm,具体过程如图5所示(图片来自NOAA/NCEI)。全球气候变暖的趋势已是不争的事实,除了年平均降水量增加外,极端强降雨事件也频频发生。本次发生在密歇根州南部半岛中部地区的强降雨事件引发的洪水量级达到了500年一遇的标准,洪水短时间集中入库

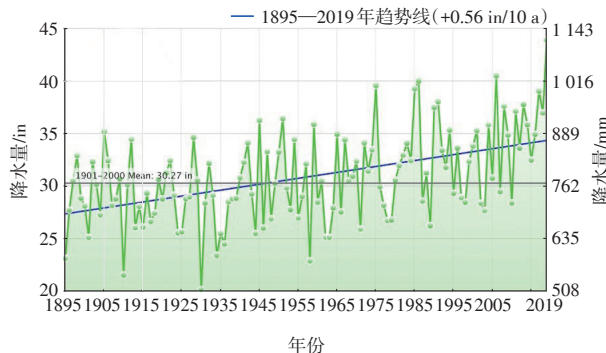


图5 密歇根州南部半岛中部年降水量变化过程

导致库水位急剧升高,诱发了坝体溃决。

2.2.2 Edenville大坝带病运行是导致其溃决的内在原因

2004年,Boyce水电公司接手Edenville水库的发电业务后,联邦能源管理委员会(FERC)与Boyce水电公司多次会面,制定各种维修计划,主要针对现在的溢洪道不具备可能最大洪水的过流能力。但是Boyce水电公司始终未对大坝进行维修,Boyce认为修缮大坝是受益于大坝的业主和企业的责任,不应该由水电公司出资维修。2017年11月20日,FERC责令Boyce水电公司停止运营,因为他们涉嫌违反了联邦电力法和6月15日由FERC下发的整改令。

2018年,美国土木工程师协会(ASCE)对密歇根州的水库进行了整体评定,给出了“C”级。评定报告认为,共需要2.25亿美元来维修该州的2521座大坝,其中271座大坝的历史超过了100年,67%的大坝超过了50年的设计寿命,12%的大坝具有“高(high)”或者“重大(significant)”风险,其中就包括Edenville大坝。另外,美国陆军工程兵师团(U.S.Army Corps of Engineers)的数据库《国家大坝目录》(National Inventory of Dams)显示,Edenville大坝标注为“高危”等级,意味着水库溃坝的可能性很大并且可能带来大量的人员伤亡。

由于Edenville一直存在安全问题,2018年9月10日,FERC撤销了Edenville水库的水力发电设施许可证,这意味着Boyce水电公司不能再继续利用这座水库发电。FERC认为Edenville现场仍然不符合维修要求,也不符合安全标准,发电许可证撤销后,Edenville大坝的管辖权现在就落到了密歇根州环境、大湖和能源部(EGLE)身上。

按照FERC的要求,病险水库的泄洪必须保证能够通过可能最大洪水(PMF)。但是,根据EGLE的要求,病险水库仅需要安全通过1/2 PMF事件,同时保持有足够的蓄洪空间。据EGLE数据,1/2 PMF对应洪峰大致为733 m³/s,但是,直到溃坝事件发生,Edenville大坝的泄流能力也没达到相关要求,当时的泄流能力为597 m³/s。正是由于该水库一直带病运行,泄流能力始终没有得到提高,进入5月后,降雨较多,前期土壤湿度处于一个相对饱和的状态。暴雨发生时,水库泄流能力有限,库水位迅速上涨,坝前水压力较大,导致Tittabawassee左坝一薄弱位置坝体滑动,引起漫顶溃决。

2.2.3 美国大坝管理机构权责不清是造成溃坝事件的催化剂

根据美国联邦应急管理局(FEMA)的数据,美国共有91500座水库,大约56%的水坝属于私人拥有。一般来说,只有非常大的水库是由联邦政府拥有和直接管理的。由于美国水库的所有权与监管权的分离,因此,美国水库大坝的安全问题通常不仅仅是联邦、州或地方的问题。根据斯坦福大学的国家大坝绩效评估研究结果,在过去40年里,美国有1000座大坝溃决,造成了34人死亡^[4],溃坝率略高于世界平均水平。Edenville大坝的溃决在水库管理方面暴露了很多问题,非常有代表性,简述一下几个关键环节^[5]。

2018年9月,FERC吊销了Boyce公司的经营许可证,大坝的管辖权移交给州EGLE。10月,EGLE对Edenville大坝的评价等级为“正常(fair)”,与联邦政府的评价有明显出入。2019年1月4日,Boyce公司向州政府提交了一份工程师联合签名的报告,证明Edenville大坝的溢洪道泄洪容量满足要求。

Boyce水电公司与库区附近居民也是矛盾重重,Boyce水电公司出于安全和发电需求要降低湖区水位,但居民代表要求保证相对平静的水位以满足其生活和娱乐需求。2019年4月24日,由地区业主代表组成的四湖特别工作组(FLTF)与Boyce水电公司达成了初步协议,以940万美元收购Boyce水电公司在该流域经营的4座水库,2022年起生效。

2019年6月,Spicer公司代表FLTF对Edenville大坝进行检查。2019年9月25日,Boyce公司向EGLE申请降低Wixom湖的水位8 in(约2.44 m),11月12日,在未得到EGLE同意的情况下,Boyce公司开始降低湖水位。11月25日,EGLE下属的水资源委员会以维护生态环境为由驳回了Boyce公司降低水位的申请。

2020年4月29日,Boyce公司向密歇根州西南部的大急流城联邦法院起诉密歇根州政府,认为降低湖区水位并不会对该州濒危物种构成威胁,州政府的担忧缺乏科学依据,应允许水电公司降低湖区水位。

2020年5月1日,密歇根州总检察长办公室在英厄姆郡巡回法院对Boyce水电公司提起诉讼,指责Boyce水电公司在2018年和2019年大幅降低湖区水位后,导致了数

千只淡水贻贝死亡,同时破坏了湿地资源。

2020年5月15日,Boyce水电公司声称要降低4座水库的水位以应对即将到来的强降雨。2020年5月17日,密歇根州南部半岛的中北部和东北部遭遇强降雨过程,最终导致Edenville大坝溃决。

从上面介绍看出,从联邦政府到州政府再到水电公司,大家都知道大坝不安全,可能无法抵御重大洪水事件。州政府并不认可联邦政府的评价结果,联邦政府只是将责任转嫁给了州政府,并未强制要求水库方整改。水电公司不愿意为安全所需的升级付费,临近暴雨来临季节,着急降低坝前水位以降低风险,但州政府和当地居民又以生态和娱乐等原因为由,不允许水电公司降低坝前水位。州政府和Boyce公司互相起诉对方,大坝的管理始终处于一个混乱的状态。由于混乱的管理,没有及时对水库维修升级,以至于洪水到来时,水库仍处于高水位运行状态,管理混乱成为大坝最终溃决的催化剂。

3 Edenville 溃坝事件的后果及后续

3.1 溃坝事件造成的后果

Edenville 大坝溃决后,10 000多人被迫撤离家园,2 000多所房屋遭到破坏,多条道路、桥梁和企业也遭到破坏,溃坝洪水造成下游 Sanford 大坝洪水漫顶,下游 Poseyville 堤防溃决,形成了洪灾的链式连锁反应,洪灾共造成直接经济损失1.9亿美元,同时花费了5 500万美元的应急费用。图6为该次溃坝洪水淹没图(图片来自 Gregory Shamus)。

另外,由于Edenville大坝溃决,Wixom湖区及下游生态遭到了严重的破坏,无法直接衡量经济损失。图7为生态保护人员将库区残留的鱼转移到安全区域(图片来自 Jake

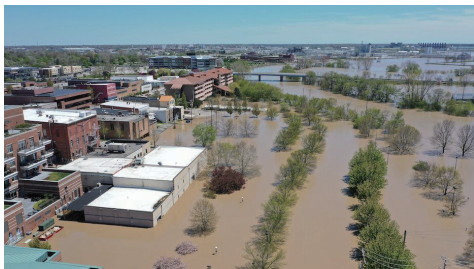


图6 溃坝洪水淹没下游社区



图7 生态保护人员用水桶转移库区鱼

May | MLive.com)。

3.2 溃坝事件后续

应急抢险结束后,溃坝事件持续发酵。2020年6月1日,国会能源与商业委员会(CCEC)致信EGLE的负责人,要求其就Edenville的溃坝原因做出回应。6月2日,针对Boyce水电公司的起诉开始增加,居民们要求对个人情感伤害以及财产和经济损失进行惩罚性赔偿。6月9日,密歇根州政府起诉Boyce水电公司,要求其赔偿大坝溃决带来的损失。而Boyce水电公司则声称,大坝溃决是由于州政府不允许公司降低湖区水位造成的。

6月11日,州政府公布了Spicer公司的大坝检查报告,该公司受FLTF委托,在2019年6月到2020年3月对Edenville大坝进行了检查。检查结果认为,大坝坍塌时未满足州政府关于水库的泄流标准,水库被评定为“正常到差(fair to poor)”的等级。

6月17日,密歇根州和联邦监管机构同意成立了由6个工程师组成的调查小组,对Edenville溃坝事件进行调查。6月23日,州议员与FERC的官员举行了联合委员会会议。州参议员批评联邦监管机构说,由于Boyce水电公司声称无力承担维修费用,所以他没有对Boyce水电公司采取进一步行动。

7月28日,州参议院能源和技术委员会和参议院环境质量委员会会见了FLTF的负责人和Spice公司的首席工程师。两家单位认为,修复大坝基础设施和周边地区需要大约3.4亿美元。7月31日,由于无法承担过多的诉讼赔偿,Boyce水电公司申请破产保护。

12月8日,EGLE组织开展Edenville大坝残余坝体的修复以及下游沿河两岸的应急施工作业,以保护居民、基础设施和自然资源不受未来洪水事件的影响。本次工程总造价230万美元,其中美国农业部自然资源保护局提供

75%的经费,剩余25%来自立法机构为大坝工程拨款的专项资金^[6]。溃坝事件的调查工作由密歇根州大坝安全工作组承担,该工作组最终将向州长和州立法机关报告其调查结果,并就监管、财务和工程改进提出建议,该工作组预计将于2021年初发布调查报告。

4 Edenville 溃坝事件的启示

(1)我国水库总量与美国相当,但95%以上为小型水库。这些水库大多建于20世纪50~70年代,很多水库大坝质量先天存在问题。在当前气候变化的大背景下,极端强降雨频发,这些水库的过流能力是否达标需要认真复核。另外,美国联邦政府要求病险水库能够安全通过PMF的洪水过程,而我国小型水库的设计标准偏低,是否有必要提升小型水库的设计标准以应对复杂的气候形势是一个亟须进行论证的科学问题。

(2)经过多轮病险水库除险加固工作,我国水库的年平均溃坝率维持在一个较低的水平,但病险水库的存量依然很大。水库带病运行的风险非常大,因此,病险水库的除险加固工作非常重要和急迫,争取做到早发现、早整治;当病险水库存量清零后,做到随时发现、随时整治。美国Edenville大坝的安全问题存在了十几年,由于管理机构权责不清,迟迟没有开展除险加固工作,导致了惨剧的发生。

(3)开展溃坝洪水风险科普和应急演练工作非常必要。溃坝洪水属于一种高风险、低概率事件,相比常规洪水,溃坝洪水的应急防御难度更大。美国Edenville大坝溃决,虽然损失惨重,但所幸并未造成人员伤亡,究其原因:

一是密歇根州相关部门发送预警非常及时,让群众有了充分的反应时间;二是美国民众的洪水风险意识普遍很高,通过网络上的洪水风险图等手段,居民可方便了解其居住地附近相关的洪水风险信息。相比较而言,我国民众在应对溃坝洪水风险方面的意识还比较薄弱,亟待加强。

参考文献

- [1] TRC Engineers Michigan Inc. Edenville Dam Emergency Inspection Report[R]. 2020.
- [2] Spicer Group, Inc. Edenville dam inspection report (Project No.1 26234SG2018) [R]. 2020.
- [3] Gladwin County. DAM INFORMATION[EB/OL].[s.n.].<https://gladwin-county-mi.gov/dam-information/#1526913247175-cd896cb8-1c97>.
- [4] Bob Henson. Aging dams, changing climate: a dangerous mix[EB/OL]. [2020-05-21].https://www.wunderground.com/cat6/aging-dams-changing-climate-a-dangerous-mix?cm_ven=hp-slot-5 May, 21, 2020.
- [5] Timeline: The Edenville Dam saga, before, during and after the break[EB/OL]. [2020-09-01].<https://www.mlive.com/news/2020/09/timeline-the-edenville-dam-saga-before-during-and-after-the-break.html>.
- [6] EGLE. Emergency work begins at Edenville Dam spillway, Tobacco River channel FOR IMMEDIATE RELEASE[EB/OL]. [2020-10-08].<https://www.michigan.gov/egle/0,9429,7-135--546864--,00.html>.

责任编辑 马 啸