

对俄罗斯水工建筑物安全生产及监管现状的思考

臧小为¹, YURTOV E. V.²

(1. 南京工业大学安全科学与工程学院, 江苏 南京 211816;
2. Institute of Modern Energetics and Nanomaterials, D. Mendeleev University of
Chemical Technology of Russia, Moscow 125047, Russia)

摘要:分析了2009—2019年俄罗斯水工建筑物事故的触发因素及其规律,研究了安全监察监管现状及其主要特点。结果表明:与2009年相比较,2019年水工建筑物总数、无主的水资源类水工程数量分别下降了37.8%和50%。水资源类水工程数量在水工建筑物总数量中的占比,由2009年的78.9%上升为2019年的94.2%。事故随时间变化呈零星偶发态势。漫顶和管涌导致的溃坝事故在总事故的占比为80%,2017年溃坝率为0.0143%。约40%的水工建筑物事故发生在南部联邦管区,约80%的事故发生在中小型水库大坝。导致事故发生的最主要因素是“人的不安全行为”和“管理上的漏洞”。

关键词:水工建筑物;安全监督;事故数据;统计分析;俄罗斯
中图分类号:TV633;X928 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)04-0021-08

Reflections on status quo of safety production and supervision for Russian hydraulic structures//ZANG Xiaowei¹, YURTOV E. V.² (1. College of Safety Science and Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China; 2. Institute of Modern Energetics and Nanomaterials, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow 125047, Russia)

Abstract:The trigger factors and rules of safety accidents of Russia's hydraulic structures from 2009 to 2019 were analyzed, and the current situation and main characteristics of safety supervision were also studied. Compared with 2009, the total number of hydraulic engineering constructions and the number of ownerless water resources constructions decreased by 37.8% and 50%, respectively in 2019. The proportion of water resources constructions in the total number of hydraulic engineering constructions increased from 78.9% in 2009 to 94.2% in 2019. The accident occurred sporadically with time. Dam break accidents caused by overtopping and piping accounted for 80% of the total accidents, and the dam break rate was 0.0143% in 2017. About 40% of the accidents occurred in the Southern Federal District. About 80% of the hydraulic engineering constructions in accidents were small and medium-sized reservoir dams. The main factors leading to the accidents were human unsafe behavior and management loopholes.

Key words: hydraulic structures; safety supervision; accident statistics; statistical analysis; Russia

水工建筑物是关系国计民生的重要基础设施,对人类社会的发展起到了重要保障作用。但是水工建筑物渐趋老化,客观上存在发生事故的风险。与一般构筑物不同,高坝大库等水工建筑物一旦失事,对下游将造成巨大灾难。据不完全统计,由于设计缺陷、运营不当等原因,全世界每年发生约3 000起水工建筑物事故^[1],造成巨大生命和财产损失。因此,如何分析和揭示水工建筑物事故的可能原因和内在规律,预防和减少水工建筑物事故发生,对水工建筑物安全生产和安全监察监管具有重要的指导意义。

在水工建筑物安全立法和安全监察监管等领域,美国和其他发达经济体的经验对中国具有借鉴意义。目前,国内学者的相关研究主要关注于美国、瑞士等发达国家的水工建筑物安全生产、安全监察监管体系^[2-3]。然而,关于俄罗斯水工建筑物安全生产及监察监管的相关研究鲜有报道。俄罗斯水资源总量和人均占有水资源量分别居世界第二和第三位^[4],大库类水工建筑物数量居世界第一位^[5]。中华人民共和国成立初期,水工建筑物建设借鉴了苏联相应标准规范,并邀请了苏联专家参与了部分的

水利工程建设,相关设计理念对中国后续的水工建筑物的建设具有一定的影响。王正旭等人^[6-7]首次围绕俄罗斯《水工建筑物安全法》和安全管理现状开展相关研究,介绍了《水工建筑物安全法》以及俄罗斯水工建筑物安全报告制度和安全监察监管体系,其中立法、监督管理体制、管理手段值得中国借鉴参考。20世纪90年代俄罗斯曾多次发生严重的水工建筑物事故^[7]。近年来俄罗斯水工建筑物事故时有发生报道,俄罗斯水工建筑物安全在其工业技术类安全生产领域中属于值得关注的部分。因此,通过对最新的统计数据进行研判,分析俄罗斯水工建筑物事故发生情况及可能原因,对中国水工建筑物安全生产和监察监管具有一定的参考价值。

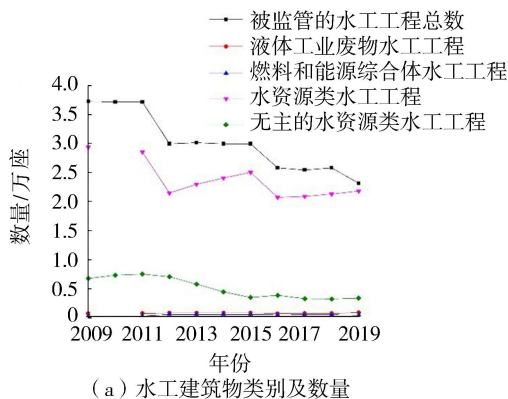
本文主要基于俄罗斯国家统计局统计年鉴、俄罗斯环境、技术与原子能监察署和俄罗斯紧急情况部年度报告等官方统计数据^[8-10]和俄文原始文献,统计分析2009—2019年俄罗斯水工建筑物安全生产及安全监察监管相关数据,了解和掌握俄罗斯水工建筑物现阶段安全生产特点及安全监察监管现状,思考其对中国水工建筑物安全生产和监察监管的可借鉴之处。

1 水工建筑物现状

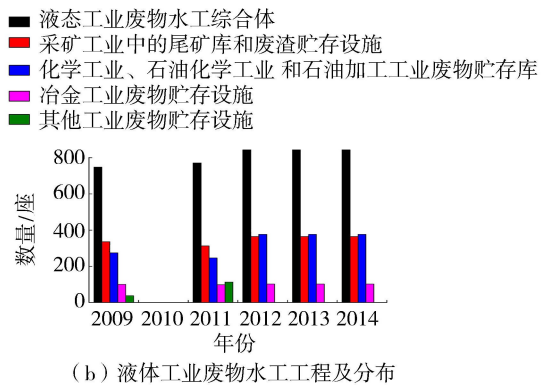
水工建筑物种类繁多,其功能也各不相同。俄罗斯水工建筑物的发展一定程度上影响了其水资源的合理利用。俄罗斯的水资源总量很大,其河流、湖泊、沼泽、冰川、雪山和地下水体等集中了全球淡水资源的20%以上^[11]。但是俄罗斯的水资源具有时空分布不均的特点。例如,俄罗斯的欧洲部分集中了70%以上的全国人口和工业生产能力,而水资源占比不到10%;俄罗斯部分联邦主体属于水资源稀缺和水资源匮乏地区,例如卡尔梅克共和国,别尔哥罗德州,库尔斯克州,斯塔夫罗波尔边疆区,南乌拉尔和南西伯利亚部分地区;俄罗斯境内面临洪水威胁的总面积超过40万km²,主要地区包括:滨海边疆区、哈巴罗夫斯克边疆区、萨哈林州、阿穆尔州等^[11]。跟欧美发达国家相比,俄罗斯水资源利用率不高,但是水工建筑物仍为俄罗斯水资源利用和管理,克服水资源时空分布不均做出了贡献。

20 世纪 70 年代是俄罗斯水工建筑物建设的鼎盛时期^[5]。俄罗斯当前水工建筑物地域分布情况如下:中央联邦管区 9 541 座(占比 25.7%),伏尔加沿岸联邦管区 8 298 座(占比 22.3%),南部联邦管区 7 105 座(占比 19.1%),北高加索联邦管区 4 961 座(占比 13.3%),西伯利亚联邦管区 3 101 座(占比 8.3%),乌拉尔联邦管区 1 469 座(占比

4.0%)，西北联邦管区 1364 座(占比 3.7%)，远东联邦管区 1337 座(占比 3.6%)^[9]。在俄罗斯南部，南部联邦管区和北高加索联邦管区内的水工建筑物主要分布在如下联邦主体，即克拉斯诺达尔边疆区、阿迪格共和国、达吉斯坦共和国、斯塔夫罗波尔边疆区。俄罗斯南部地区面积仅占俄罗斯领土面积的 3.45% (58.92 万 km²)，但居住在俄罗斯南部地区的人口(2 300 万人)在俄罗斯总人口中的占比是 16.4%^[8,12]。相关数据显示，俄罗斯南部地区水工建筑物密度最高^[12]。由于水资源时空分布在俄罗斯南部极为不均匀，因此，从 20 世纪后半期开始，该地区修建了大量的灌溉系统、运河、水库等水工建筑物^[12]。并且，此地区大多数水工建筑物多位于高烈度地震区^[1]。图 1 为 2009—2019 年俄罗斯水工建筑物类别及数量^[9]。



(a) 水工建筑物类别及数量



(b) 液体工业废物水工工程及分布

图 1 2009—2019 年俄罗斯水工建筑物分类及数量

俄罗斯水工建筑物主要包括液体工业废水水工程、燃料与能源综合体水工工程、水资源类水工工程及无主的水资源类水工工程。值得注意的是,相当数量的俄罗斯水资源类水工工程所有权归属未知,属于无主工程。在俄罗斯水工建筑物总数量中,水资源类水工工程数量占比最大。2009 年的占比为 78.9%,2019 年高达 94.2%。而液体工业废水水工程和燃料与能源综合体水工工程数量占比很小。此外,俄罗斯水工建筑物总数量呈逐年下降趋势;液体工业废水水工程、燃料与能源综合体水工

工程数量基本保持不变;水资源类水工工程数量,包括无主的水资源类水工工程数量明显减少。与2009 年相比较,2019 年水工建筑物总数量、水资源类水工工程数量和无主的水资源类水工工程数量分别下降了 37.8%、25.8% 和 50%。俄罗斯水资源类水工工程数量的持续减少与俄罗斯无主水工和老旧水工工程的被清理整顿有关。同时,其减少趋势与俄罗斯整体的工农业发展现状和体量呈正相关。例如,俄罗斯远东和西伯利亚地区人口不断萎缩,土地利用率先不断下降,客观上导致对水资源和水利工程的需求不断降低。

俄罗斯燃料与能源综合体水工工程主要由各类电站组成,其中包括水电站,热电站,水力循环式发电站,抽水蓄能电站,核电站。在俄罗斯液体工业废物水工工程中,采矿工业中的尾矿库和废渣储存设施占比较大,其余依次为石油化工行业、冶金行业等。由于俄罗斯是全球金属和非金属矿产品及制成品主要的生产和出口国,其采矿工业的尾矿库和废渣储存设施数量较多。

2 水工建筑物安全生产与安全监察监管

随着时间的累积,得不到及时解决的安全隐患可能会导致突发性的水工建筑物事故。因此,水工建筑物安全生产及监察监管的目标,即有效地抑制这种突然的变化,确保在设计使用年限内水工建筑物安全可靠地运行。

2.1 水工建筑物事故统计及分析

水工建筑物在发挥效益的同时,存在潜在的安全风险。2009—2019 年俄罗斯水工建筑物事故情况如表 1 所示^[9]。

表 1 2009—2019 年俄罗斯水工建筑物事故情况

时间	事故起数
2009 年	1
2010—2012 年	0
2013 年	4
2014—2015 年	0
2016 年	1
2017 年	3
2018—2019 年	0

由表 1 可知,2009—2019 年间,俄罗斯水工建筑物事故呈现零星偶发态势。但是极少数事故造成大量人员伤亡和财产损失。例如,2009 年 8 月 17 日,俄罗斯水力发电公司下属的位于西伯利亚联邦管区哈卡斯共和国的萨杨-舒申斯克水电站,发生了世界水电史上罕见的重大事故。事故主要经过如下:水轮发电机机罩的螺栓疲劳断裂引发发电机内部的转子向上运动并被破坏;由于电厂断电且无备

用电源,紧急闸门未能及时关闭,洪水进入电厂,造成设备短路,电厂内发生严重破坏。事故共造成 75 名运营人员死亡,经济损失近 75 亿卢布。事故调查后,25 人被追究相应责任。通过跟踪检测,水电站大坝主体状况良好,未受到事故影响。经过紧急抢修和重建工作,水电站机组于 2015 年前被陆续安装并投入运行。

2013 年春汛和洪水期间,俄罗斯共发生了 4 起与水工建筑物损坏有关的事故,但是具体事故原因不详。根据俄罗斯环境、技术与原子能监察署 2013 年度报告,导致上述四起事故的共性要素包括:高素质技能型人才短缺;应急救援队伍建设暂未启动,应急物资和应急装备未储备和配备,应急演练未定期开展;日常运营和维保所需要的资金不足;未配备技术手段和组织专家对水工建筑物及其附属设备设施进行定期安全检查。

2016 年,西北联邦管区诺夫哥罗德州发生一起漫顶事故,导致 14.5 m 长的土坝损毁,所幸未造成人员伤亡。事故经过如下:泄洪期间,泄洪闸门未能及时开启并一直处于关闭状态,导致河水上升至临界水位并从土坝的坝顶溢出。事故调查结果表明:相关人员违反操作规程,未能及时对大坝水位实行有效监测;泄洪闸启闭值班人员缺乏专业技能;大坝安全管护人员未经培训并无证上岗;事故发生时,泄洪闸门未能及时打开并保持关闭状态。

2017 年,雪水和强降雨等引起了 3 起水工建筑物事故。其中,2017 年 2 月,由于积雪融化后的大量雪水无法及时通过引水渠排出,南部联邦管区罗斯托夫州某大坝发生漫顶事故,在大坝上造成了 10~15 m 的缺口而溃决。事故调查结果表明:在事故发生之前,该大坝的安全状况较差,大坝管理方未做好大坝及附属设施的维修养护工作,累积诸多安全隐患。例如,大坝上下游坝坡护坡侵蚀开裂;坝身断面低矮,坝体单薄,大坝未经加高培厚;泄洪道由于芦苇和木本植物过度生长而被堵塞。

2017 年 5 月 11 日,乌拉尔联邦管区秋明州伊希姆市防洪大坝因洪水冲刷坝基出现管涌,发生溃坝事故。该大坝类型为土石坝,主要由壤土、黏土构成。坝长 2 242 m,最大坝高为 6.56 m。该防洪大坝的业主是伊希姆市政府,大坝运营单位为伊希姆市住房和公共服务部。事故发生前,该防洪大坝已投入使用 32 a。事故调查结果表明:该大坝规模小,安全风险值低,为俄罗斯第Ⅳ类水工建筑物。大坝运营单位疏忽管理,未做好大坝及附属设施的日常维修养护工作。事故调查后,伊希姆市住房和公共服务部承担该事故的行政责任。

2017 年 5 月 26 日,南部联邦管区阿迪格共和国舍夫格诺夫斯基区法尔斯河大坝,因暴雨引发洪涝,导致法尔斯河顿杜科夫斯卡娅水文站水位升至 605 cm,超警戒水位 55 cm。法尔斯河右岸大坝被洪水冲开,导致溃坝,出现近 20 m 的缺口。洪水淹没了大量住宅、公寓和教育机构,共造成 1 584 人受伤,经济损失达 15 340.7 万卢布。事故的主要原因是业主/运营单位未对法尔斯河采取定期的河道清淤疏浚,导致河道的行洪能力下降。

由于 2013 年度事故数据不详,该年度数据不纳入统计分析。2009—2019 年间,俄罗斯水工建筑物事故主要发生地区包括:西伯利亚联邦管区,西北联邦管区,乌拉尔联邦管区和南部联邦管区。40% 的事故发生在俄罗斯南部联邦管区。水资源类水工工程事故在水工建筑物事故中的占比高达 80%。水资源类水工工程事故主要是由于漫顶和管涌等导致的溃坝引起的。燃料与能源综合体水工工程事故占比为 20% (2009 年水电站事故),液体工业废物水工事故发生率为 0。

总体来说,2009—2019 年俄罗斯水工建筑物事故较少,如 2013 年和 2017 年事故仅分别为 4 起和 3 起。以溃坝事故最多的 2017 年为例,俄罗斯发生溃坝失事的大坝 3 座,年溃坝率为 0.014 3%,低于世界公认的 0.02% 的低溃坝率水平^[13-14]。据不完全统计,2009 年中国未发生水库溃坝,2010 年发生溃坝的水库有 11 座^[13]。美国在 2010—2020 年期间年均溃坝约 25 座,年均溃坝率约为 0.027%^[15]。因此,较其他国家溃坝事故发生率,俄罗斯水工建筑物,在过去的 10 多年中,包括大坝运营的安全生产形势相对平稳有序。

2.2 水工建筑物安全监察监管

2.2.1 安全监察监管的主要法律依据

苏联最早于 1972 年起开始施行《电站安全监督暂行条例》^[16],对水工建筑物进行安全监察监管。在苏联解体之初,社会动荡和经济困难使得俄罗斯水工建筑物安全未能得到足够重视。20 世纪 90 年代,乌拉尔地区一连串的溃坝事故引起了公众对俄罗斯水工建筑物安全的强烈关注。1997 年 7 月 21 日俄罗斯法律第 117-Φ3 号《水工建筑物安全法》正式生效,标志着俄罗斯水工建筑物的安全生产和监察监管工作得到全面加强^[17]。

目前,俄罗斯以《水工建筑物安全法》《危险生产设施工业安全法》等联邦法律为基础,以行政法规《水工建筑物安全联邦监督管理条例》《水工建筑物分类管理办法》《水工建筑物安全申报注册办法》等为核心,以部门规章、规范性文件和技术监督为配

套,形成了一套适合俄罗斯国情的法规标准体系。同时,俄罗斯持续推进包括《水工建筑物安全法》在内的法规标准修订与修正工作。例如,《水工建筑物安全法》(2020 年 12 月 8 日修订)要求所有可能导致紧急情况的水工建筑物必须进行风险等级评估和注册登记。《危险生产设施工业安全法》(2020 年 12 月 8 日修订)^[18]规定自 2014 年开始建立并施行风险导向型监察监管机制。例如,对第 I、II 类水工建筑物,实施强制安全监察监管制度(频率为 1 a⁻¹);第 III 类危险源的监察监管频率为 1 (3 a)⁻¹,对第 IV 类危险源的安全监察监管不做强制要求。根据俄罗斯政府第 401 号政府令(2020 年 12 月 28 日修订)^[19],俄罗斯环境、技术与原子能监察署承担水工建筑物(除港口和航运设施外)的全方位安全监察监管职责,是水工建筑物安全生产的监察监管主体。

2.2.2 水工建筑物安全管理

俄罗斯《水工建筑物安全法》第 9 条规定,运营单位和业主是水工建筑物安全生产的责任主体^[17]。严格落实水工建筑物安全生产的主体责任,需要运营单位和业主对水工建筑物的建设、运行及维护承担相应的责任和义务。

水工建筑物遵循自然老化规律,根据失效率可以划分出 3 个不同的时期:起始、正常运行和老化^[20]。目前,相当数量的俄罗斯中小型水库和大坝在没有维修和重建的情况下已持续运行了 30 a 或更长时间^[20]。甚至,在俄罗斯南部地区,大量水工建筑物使用寿命已超过 55 a 或更长^[1]。根据俄罗斯《水工建筑物安全申报注册办法》,按照水工建筑物安全状况,分为正常、降等、不合格和危险 4 个等级。基于俄罗斯环境、技术与原子能监察署官方数据,以 2018—2019 年为例,俄罗斯不同安全状况的水工建筑物分布情况如表 2 所示^[9]。

表 2 2018—2019 年俄罗斯不同安全状况的水工建筑物分布

时间	正常/%	降等/%	不合格/%	危险/%
2018 年	39.4	43.4	12.5	4.7
2019 年	20.0	37.0	31.0	12.0

由表 2 可知,2019 年水工建筑物安全状况为不合格和危险级的占比大幅上升。以俄罗斯南部地区为例,33.6% (10 709 座)的水工建筑物安全状况为危险级。另一方面,中央联邦管区内 31.4% (9 730 座)的水工建筑物安全状况为危险级,伏尔加河沿岸联邦管区的上述数据为 28.5% (8 844 座)^[12]。安全状况为不合格和危险级的水工建筑物发生事故的概率较大,一旦事故发生,将会导致重大人员伤亡

或者其他灾难性后果。因此,近年来,为了改善状况堪忧的水工建筑物安全生产问题,俄罗斯对 2 400 多处水利工程加强了监管和维护^[21]。

另一方面,历史上遗留下来的俄罗斯无主水工建筑物数目众多且分布广泛。例如,截至 2014 年初,俄罗斯仍有 6 092 座无主水工建筑物,其中 929 座为安全状况为不合格的水工建筑物。在俄罗斯南部地区,也有近 1 091 座无主水工建筑物^[12]。目前,俄罗斯在联邦层面上正致力于不断减少无主水工建筑物的数量。如图 2 显示了 2010—2019 年俄罗斯无主水工建筑物数量及分布情况^[9]。

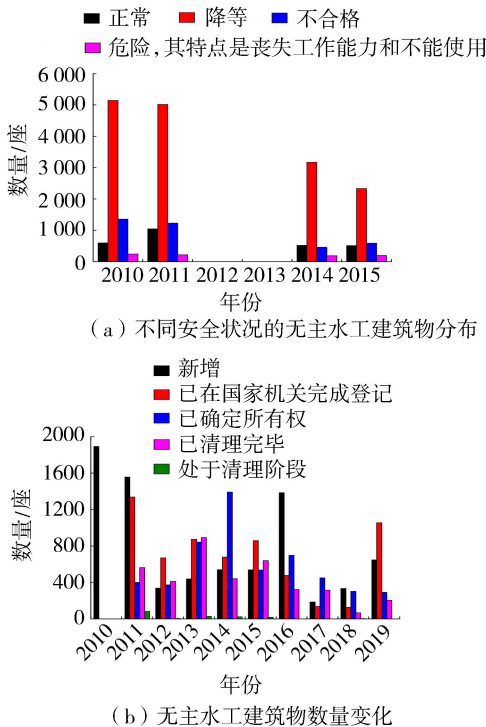


图 2 2010—2019 年俄罗斯无主水工建筑物数量及分布

由图 2(a)可以看出,无主水工建筑物由于缺乏运营单位和业主进行日常维护和管理,绝大部分安全状况堪忧,亟待清理和治理。无主水工建筑物属于俄罗斯水工建筑物工程体系的薄弱环节。近年来俄罗斯在联邦层面上对无主水工建筑物的重视程度、投资力度、整治规模都是前所未有的。由图 2(b)可以看出,2010—2019 年俄罗斯无主水工建筑物数量总体呈逐年减少趋势,这其中包括大量的无主水工建筑物得到了确认和清理,部分无主水工建筑物完成了国家登记并重新确定了所有权关系,从而一定程度上减轻了俄罗斯水工建筑物体系的安全监察监管压力。以 2017 年为例,俄罗斯车臣共和国、布良斯克州、沃洛格达州和特维尔州的无主水工建筑物全部清理结束。截至 2017 年底,俄罗斯 28 个联邦主体内的无主水工建筑物得到了完全清理,其中部分无主水工建筑物完成国家登记注册程序,重新确定了安全责

任主体。然而,基于俄罗斯环境、技术与原子能监察署 2017 年报告,俄罗斯南部地区北高加索联邦管区的斯塔夫罗波尔边疆区的无主水工建筑物状况较为严峻。主要体现在:一方面,无主水工建筑物数量多达 1 318 座,占俄罗斯无主水工建筑物总数的 40.2%。另一方面,对无主水工建筑物安全生产不重视,2017 年无任何一处无主水工建筑物开展清理、登记注册和确定所有权程序^[9]。

自 2014 年开始,俄罗斯国内开始建立并施行风险导向型监察监管机制,该机制运转的前提与基础是水工建筑物风险辨识、分级和登记。2009—2019 年俄罗斯水工建筑物分级及行业分布情况如图 3 所示^[9]。

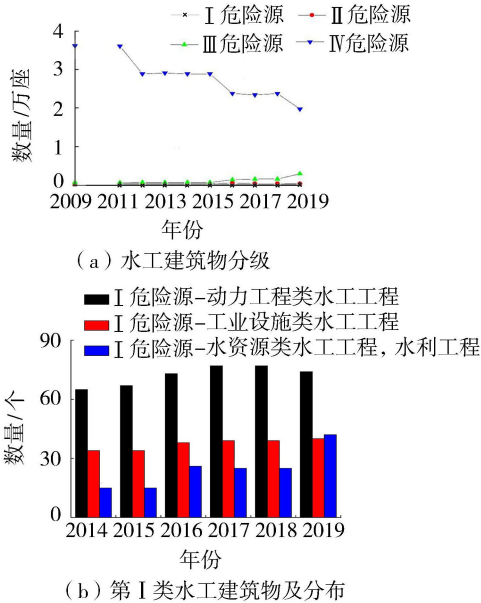
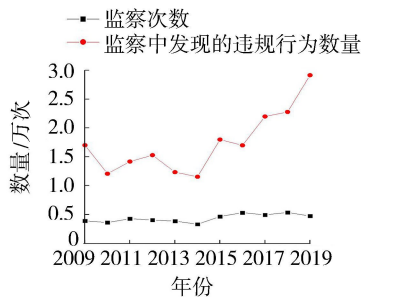


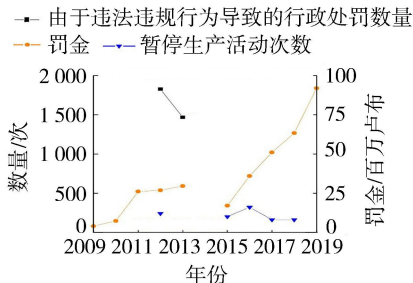
图 3 2009—2019 年俄罗斯水工建筑物分级及行业分布

由图 3(a)可以看出,俄罗斯第 I ~ III 类水工建筑物数量占比小,第 IV 类水工建筑物占比最大。以 2018—2019 年为例,第 IV 类水工建筑物占比分别为 92% 和 85.2%。由图 3(b)可知,在第 I 类水工建筑物的构成中,动力工程类水工工程占比大,其余依次为工业设施类和水资源类。动力工程类水工建筑物主要由各类电站设施构成,安全风险值较高。2009 年 8 月 17 日发生事故的萨杨-舒申斯克水电站即属于动力工程类水工工程。俄罗斯第 IV 类水工建筑物虽然安全风险值低,但是其数量大,服役寿命长,绝大部分属于中小水工建筑物甚至无主水工建筑物,硬件和安全管理上的落后易引起各类事故发生。2009—2019 年间,约 80% 的事故发生在俄罗斯第 IV 类水工建筑物。因此第 IV 类水工建筑物实际上属于高度危险的生产对象。针对不同风险类别的水工建筑物,2009—2019 年俄罗斯水工建筑物安全监察监管情况如图 4 所示^[9]。

基于俄罗斯《危险生产设施工业安全法》,针对



(a) 监察情况



(b) 被处罚情况

图4 2009—2019年俄罗斯水工建筑物安全监察监管情况

第Ⅳ类危险源的安全监察监管不做强制要求,安全监察监管工作的重点主要针对第Ⅰ~Ⅲ类水工建筑物。因此,从图4(a)可以看出,2009—2019年间,尤其是2014年以后,安全监察监管次数略有下降,如2019年较2018年下降了11.4%,监察监管效率得以提高;但是监察监管中被发现的违法违规数量呈显著增长态势,如2019年较2018年增加了27.9%。如图4(b)所示,针对水工建筑物安全生产的违法违规行为,监察监管主体主要通过罚款、暂停生产活动等经济和行政手段进行处罚。2009—2019年,罚金数额呈逐年增加趋势。2019年罚金达9190万卢布,较2009年增加了约22.3倍。表3为2018年度在水工建筑物安全监察监管过程中发现的典型违法违规行为^[9]。

表3 被发现的典型违法违规行为

编号	违法违规行为	占比/%
1	规章制度、操作规程缺失	18.9
2	设备设施存在各种故障,淤积,溢洪道和排水结构的通行能力下降	10
3	未基于标准规范制定和批准水工建筑物安全标准,安全声明,规程和安全监测要求	19.7
4	违章操作	7
5	应急预案缺失或未定期演练	6.7
6	安全监测设备缺失或不符合要求	1.6

除了设备设施老化、故障等硬件因素外,水工建筑物运营管理等软件要素也至关重要。先前的研究表明,大坝安全事故是外部因素、自身因素(大坝结构或地质条件)和人为因素(管理不当及人为失误)综合作用下的后果^[22]。因此,高素质的管理队伍以及针对水工建筑物开展定期或不定期的安全监测和

安全风险评估是水工建筑物安全生产的必要条件。鉴于当前俄罗斯水工建筑物面临的问题和挑战,2012年俄罗斯政府出台了《2012—2020年俄罗斯水资源综合开发》的政府法规^[11]。以《2012—2020年俄罗斯水资源综合开发》为重点,俄罗斯财政投入了5230亿卢布,并主要围绕以下任务开展了相关工作。

a. 恢复和保护各类水资源设施。俄罗斯每万美元GDP用水量较高,远超欧美资本主义发达国家的平均水平。这跟俄罗斯水资源类水工设施的磨损老化和工农业粗放式的经营方式等因素有关。此外,俄罗斯水资源污染的问题较为严重,约70%的河流和湖泊为非饮用水水源地。因此,为了合理利用水资源,需要水工建筑物进行干预调节。目前伏尔加河下游和阿穆尔河流域是俄罗斯恢复和保护各类水资源设施的重点地区。

伏尔加河的广泛开发曾对俄罗斯的经济做出过重大贡献,但也产生了不利的生态后果。目前,伏尔加河下游最重要的水管理任务就是通过对伏尔加格勒水电站下游的水管理综合体进行系统改造,保护伏尔加-阿赫图巴泛滥平原和三角洲的独特生态系统。例如,梯级水库的建立对伏尔加河珍贵洄游鱼类有很大影响,为鲟鱼等鱼类的产卵和返回创造合适条件,并补偿了因水工建筑物建设带来的渔业损失。

阿穆尔河流域一直属于俄罗斯最易发生洪灾的地区之一。目前,来自工业、公共和农业设施的废水已导致阿穆尔河流域水质恶化,这对阿穆尔河流域渔业和旅游观光业产生了较大的影响。此外,阿穆尔河流域河岸侵蚀现象严重,增加河道的不稳定性,并导致河道强烈变形。河道强烈变形将大大增加洪灾风险,因此需要采取适当的工程技术措施进行防护。

b. 开发并利用新一代可长期使用、紧凑、可靠、移动式水工建筑物安全检测和监测设备,该设备可以自动发送各种类型的信息,预防各类水工建筑物(包括无主水工建筑物)事故发生。

安全监测和实时的风险评估是保障水工建筑物安全的重要手段。智能化安全监控体系是安全监测的发展趋势。当前特高坝、高寒区水工建筑物的运营对安全检测和监测设备提出了更高的要求,为实现对体表面位移和内部温度状态的在线监测和监控,积极尝试运用无人机、物联网技术,扩大在线安全监测系统的覆盖范围。同时,运营单位仍然需要重视全面、规范的人工观测和巡查。依靠现场检查 and 在线安全监测系统,实现对水工建筑物安全状态的准确评估和健康诊断。

c. 重点关注坐落于高烈度地震区域的水工建筑物安全问题。在高烈度地震区建设和运营水工建筑物,抗震防灾减灾设计已成为解决该问题的关键^[23]。俄罗斯水工建筑物抗震安全性计算主要基于抗震设计反应谱理论。近几十年来,在水工建筑物抗震安全性的计算中,越来越多地使用概率分析计算方法,该方法考虑了介质的弹塑性变形。根据最新的理论进展和工程实践,俄罗斯定期或不定期地修订相应的标准规范,为地震区水工建筑物的建设和运营提供理论指导。如俄罗斯最新版本的规范《地震区的建设》(СП 14. 13330. 2018《Строительство в сейсмических районах》)已于2018年正式公布。

d. 重视传统爆炸载荷和非传统威胁(如恐怖袭击)环境下各类水工建筑物的生存性问题。

近10多年来,俄罗斯境内恐怖袭击事件时有发生。爆炸载荷与水工建筑物之间的相互作用属于随机的、非线性的、瞬态的物理化学过程。针对该科学问题,宜结合类比实验数据和数值模拟结果,逐步建立可靠的数学模型。此外,关于爆炸区域附近的爆炸力学参数计算,有必要使用概率统计方法,允许以合理的概率预测水工建筑物受撞击和损坏的程度。

3 讨论

通过对俄罗斯水工建筑物相关数据的统计,分析了事故的触发因素、分布规律和安全监察监管特点。对中国水工建筑物,尤其是水库大坝安全有借鉴的经验或教训如下。

a. 与苏联刚解体之初相比,2009—2019年间,俄罗斯水工建筑物安全生产形势相对平稳有序。近10多年来,俄罗斯水工建筑物事故主要是由于漫顶和管涌等导致的溃坝事故。首先,绝大部分的漫顶事故是由于洪水超标准和工程泄洪能力不足而造成的。这要求水库大坝等水工建筑物设计者必须慎重对待洪水分析。工程投入使用后,洪水复核应是运营单位常规且重要的工作。运营单位须做好洪水预报和高水位时水库大坝的安全监测工作,严格执行水库大坝调度规则,必要时对水库大坝进行扩建改造,尤其是对于土石坝工程而言。其次,管涌较大概率上可以归因于施工作业、施工材料质量以及水工建筑物结构等不符合标准规范要求,如土石坝的施工材料、施工顺序等对土石坝的可靠服役产生一定的影响^[24]。

b. 立法工作是确保水工建筑物安全的重要举措,法规标准体系是水工建筑物安全生产的依据和监察监管的标尺。近10多年来,俄罗斯不断完善水

工建筑物法规标准体系,这为俄罗斯水工建筑物安全生产和监察监管提供了坚实的法制保障和技术支撑。目前中国一些法律法规和技术标准颁布的时间比较久远,有必要进一步加强水工建筑物相关立法和修订工作,提高相关安全标准,构建适应当下实际形势的安全法规与技术标准体系。此外,经济处罚情况与俄罗斯水工建筑物安全生产环境改善呈正相关性。通过经济手段和行政手段,可以促使责任主体加大对安全生产的投入,重视水工建筑物的安全生产问题。

c. 近10多年来,约80%的俄罗斯水工建筑物事故发生中小型水库大坝。一般来说,高坝大库类工程都有规范的管理、充足的维护资金和可靠性高的安全监测措施。例如,在风险值最高的第Ⅰ类水工建筑物的构成中,俄罗斯各类电站等动力工程类水工建筑物总体安全状况良好。相反,从安全管理角度看,中小型、老旧水库大坝较多地存在管理和维护资金不到位的问题。因此,从某种意义上来说,“中小型水库大坝事故多发”的现象同样也须引起中国政府及安全监察监管机构的注意。此外,对年代比较久远的老旧水工建筑物和无主水工建筑物的维护工作与监察监管力度应加强重视。值得注意的是,俄罗斯水工建筑物安全监察监管的主要思路是提前辨识事故风险,采取有针对性的管控措施,预防和控制水工建筑物重特大事故发生,但是,其对第Ⅳ类水工建筑物安全监察监管不做强制规定的规定值得商榷。

d. 安全监测和及时准确的风险评估是保障水工建筑物安全的重要手段。例如,在安全监测和风险分析的基础之上,根据无主和老旧水工建筑物安全状况,有针对性地提出处置措施。部分安全状况较好的上述水工建筑物可以继续运行,发挥其特定的功能。目前,俄罗斯针对水工建筑物安全的风险分析方法得到了较好的发展。安全监测和风险辨识评价,是为了更好地实现针对不同危险源的分级管控和隐患排查治理。中国亟须改变传统的工程安全管理模式,从工程安全管理向工程风险管理方向发展^[25]。

4 结论

a. 在俄罗斯水工建筑物的构成中,水资源类水工工程占比最大。近10多年来,俄罗斯大量的无主水工和老旧水工工程被清理整顿。无主的水资源类水工工程数量明显减少,俄罗斯水工建筑物总数量呈逐年下降趋势。俄罗斯水资源类水工工程事故在水工建筑物事故中占比最大。水资源类水工工程事故主要是由于漫顶和管涌等导致的溃坝引起的。导

致俄罗斯水工建筑物事故发生的最主要因素是“人的不安全行为”和“管理上的漏洞”。

b. 较世界其他国家溃坝事故发生率相比,近10多年来,俄罗斯水工建筑物包括大坝运营的安全生产形势相对平稳有序,2017年溃坝率为0.0143%。这得益于不断完善的俄罗斯水工建筑物法规标准体系等安全管理软件要素。此外,监察监管主体采取的行政手段和经济手段等强监管措施,有助于水工建筑物安全责任主体加大安全生产投入,重视安全生产问题。

c. 俄罗斯南部地区现存大量安全状况堪忧的老旧水工建筑物和无主水工建筑物。近10多年来,约40%的水工建筑物事故发生在俄罗斯南部地区南部联邦管区,该地区属于俄罗斯水工建筑物事故高发地。此外,约80%的俄罗斯水工建筑物事故发生在中小型水库大坝,而此类水工工程又属于安全风险值低的第Ⅳ类水工建筑物。俄罗斯“中小型水库大坝事故多发”的现象须引起中国政府及安全监察监管机构的重视,不能够放松对老旧水工建筑物和无主水工建筑物的维护工作与监察监管力度。

d. 近年来,俄罗斯不断重视水资源的综合开发和管理。例如,通过恢复和保护俄罗斯各类水资源设施,合理利用水资源;开发水工建筑物安全监测技术和设备,完善水工建筑物风险评估方法;关注俄罗斯国内高烈度地震区域的水工建筑物安全问题;重视传统爆炸载荷和非传统威胁(如恐怖袭击)环境下俄罗斯各类水工建筑物的生存性问题。

参考文献:

[1] ВОЛОСУХИН В. А. Сейсмобезопасность напорных гидротехнических сооружений[J]. Научный Журнал Кубгг, 2012, 78(4):1-11. (VOLOSUKHIN V. A. Seism safety of pressure head hydraulic engineering constructions[J]. Scientific Journal of Kubsau, 2012, 78(4):1-11. (in Russian))

[2] 梁书民, LUND Jay, HUI Rui, 等. 基于中美比较视角的中国水资源开发进展[J]. 水利水电科技进步, 2016, 36(5):13-19. (LIANG Shumin, LUND Jay, HUI Rui, et al. Advances of China's water resources exploitation based on comparison between China and USA [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2016, 36(5): 13-19. (in Chinese))

[3] 马福恒, 胡江, 叶伟. 中国与瑞士大坝安全监控机制比较及启示[J]. 水利水电科技进步, 2018, 38(5): 32-37. (MA Fuheng, HU Jiang, YE Wei. Comparison and enlightenment of Sino-Swiss dam safety monitoring and controlling mechanisms [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018, 38(5): 32-37.

(in Chinese))

[4] 马静, 陈涛, 申碧峰, 等. 水资源利用国内外比较与发展趋势[J]. 水利水电科技进步, 2007, 27(1):6-13. (MA Jing, CHEN Tao, SHEN Bifeng, et al. Comparison of water resources utilization and its development at home and abroad[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(1): 6-13. (in Chinese))

[5] 庞琼, 王士军, 倪小荣, 等. 世界已建高坝大库统计分析[J]. 水利水电科技进步, 2012, 32(6):34-37, 59. (PANG Qiong, WANG Shijun, NI Xiaorong, et al. Statistical analysis of world existed high dams and large reservoir[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(6):34-37, 59. (in Chinese))

[6] 王正旭, 周端庄. 俄罗斯联邦水工建筑物安全法[J]. 水利水电快报, 1999, 20(9):14-18. (WANG Zhengxu, ZHOU Duanzhuang. The Russian Federation Federal Law On Safety of Hydraulic Structures [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 1999, 20(9):14-18. (in Chinese))

[7] 王正旭. 俄罗斯水工建筑物安全管理现状[J]. 水利水电科技进步, 2001, 21(1):58-61. (WANG Zhengxu. Safety management of hydraulic structures in Russia[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2001, 21(1): 58-61. (in Chinese))

[8] Federal State Statistic Service (Росстат). Russia in figures in the period from 2009 to 2019[R/OL]. [2020-10-01]. <https://www.gks.ru/folder/210/document/12993>.

[9] Ростехнадзор. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в период 2009-2019 годы [R/OL]. [2020-10-01]. http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/.

[10] МЧС России. Итоги деятельности МЧС России в период 2009-2019 годы [R/OL]. [2020-10-01]. <https://www.mchs.gov.ru/activities/results>.

[11] Концепция Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 – 2020 годах», утвержденная распоряжением правительства Российской Федерации от 28 июля 2011 г. № 1316. [R/OL]. [2020-10-01]. http://old.roscomsys.ru/data/content/content_files/laws_comm/rasporiyazhenie_o_vodohoz.pdf.

[12] Волосухин В. А., Бондаренко В. Л. Факторы, определяющие безопасность гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения [J]. Наука и Безопасность, 2014, 3(12):7-8.

[13] 郑守仁. 我国水库大坝安全问题探讨[J]. 人民长江, 2012, 43(21): 1-5. (ZHENG Shouren. Discussion of safety issues of reservoir dam in China [J]. Yangtze River, 2012, 43(21): 1-5. (in Chinese))

(下转第45页)