第1章 绪　论

1.1　水工建筑物和水利水电枢纽

1.1.1　水工建筑物的分类及其作用

水工建筑物按其功能可分为两大类：服务于多目标的通用性水工建筑物和服务于单一目标的专门性水工建筑物。在1992年国家技术监督局发布的学科分类中，前者称为一般水工建筑物，后者称为专门水工建筑物。

一般水工建筑物主要有以下五类：

(1) 挡水建筑物，如大坝、堤防、水闸、海塘、围堰等。其中有些建筑物用来拦蓄洪水或暂时不用的河水以备后用，提高上游水位，既可加大发电出力或自流灌溉高地，还可淹没急流险滩而大大地改善航运条件；河堤、海塘用来抵挡洪水或海潮的袭击。

(2) 泄水建筑物，如溢洪道、泄水孔、泄水隧洞、水闸、排水泵站等，用于宣泄水库、湖泊、涝区、河道、渠道等多余的水量或排放冰凌，增加防洪库容以防漫顶危及水工建筑物本身和下游的安全，还可放水降低上游水位，以便检修和排沙。

(3) 输水建筑物，是指为灌溉、发电和供水等用途需要从上游向下游输水的水工建筑物，如引水隧洞、引水涵管、坝内输水孔或输水管、渠道、渡槽、倒虹吸管等。

(4) 取水建筑物，是输水建筑物的首部结构，如坝身输水孔或引水隧洞的进口段(包括进水口、进水塔)、灌溉渠首、进水闸、扬水站等。

(5) 整治建筑物，是用来改善河道的水流条件，调整水流对河床及河岸的作用，避免或减少水流的冲刷和淘刷而做的结构，如丁坝、顺坝、导流堤、护坡、护岸等。

专门水工建筑物主要有以下四类：

(1) 水电站建筑物，如水电站厂房、压力管道、调压室等，专门用于水力发电。

(2) 通航建筑物，如船闸、升船机、码头、防波堤等，专门用于航运。

(3) 给排水建筑物，专用于城镇供水和排水，如沉淀池、污水处理厂等。

(4) 其他过坝建筑物，如用于运输木材的过木道、用于过鱼的鱼道等。

以上大部分建筑物是永久使用的，又称为永久性水工建筑物；有些是临时用的，如围堰、导流洞、导流明渠等，属于临时性水工建筑物。

以上有些水工建筑物是相互通用的,功能有多种,并非单一,难以严格区分其类型。例如:各种溢流坝既是挡水建筑物,又是泄水建筑物;水闸既能挡水,又能泄水,有时还可作为灌溉渠首或供水工程的取水建筑物;有些围堰还可设计成永久大坝的一部分;有些导流洞还可利用它的一部分或全部设计成永久用的泄水或输水隧洞;很多坝的底孔还可兼作导流底孔、排沙底孔;等等。

水工建筑物还可按不同的特点分类。例如挡水建筑物中的大坝,可从以下几方面来分类。

(1) 按筑坝材料分为土石坝、混凝土坝、浆砌石坝、钢筋混凝土支墩坝、橡胶坝、木坝等。

(2) 按结构受力特点分为重力坝、拱坝、支墩坝等。

(3) 按溢流与否分为溢流坝和非溢流坝等。

1.1.2 水利水电枢纽

为了综合利用水利水电资源,达到防洪、蓄水、发电、灌溉、给水、航运等目的,需要几种不同类型的建筑物,例如挡水、泄水、输水以及电站等其他专门建筑物,它们的综合体构成水利水电枢纽。

例如,举世瞩目的三峡水利水电枢纽主要任务和效益是防洪、发电和航运,所以,泄水坝段、水电站厂房和船闸是三峡水利水电枢纽不可缺少的三项主要建筑物(其平面位置如图 1-1 所示),泄水坝段有表孔、中孔和导流底孔,水电站有坝后式厂房和地下厂房、发电引水管及其进口取水建筑物等。

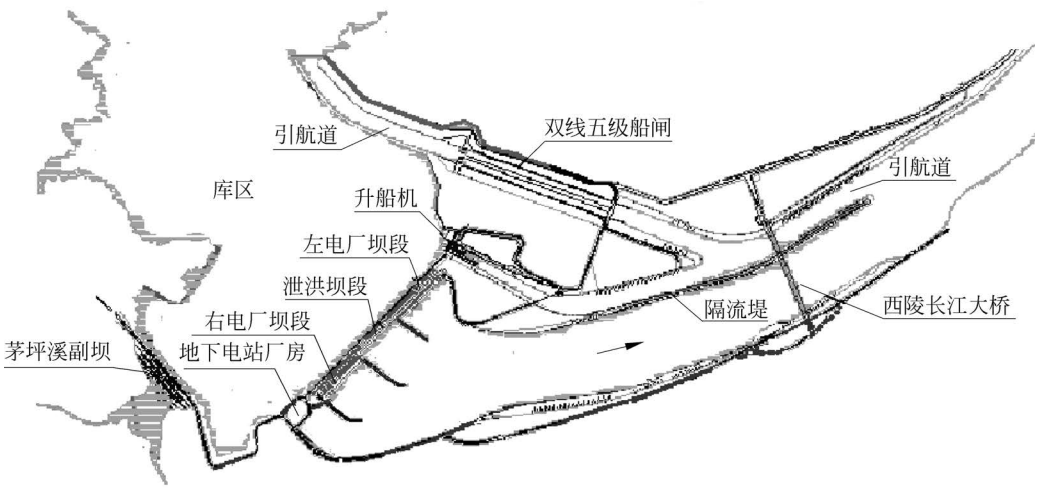

图 1-1 三峡水利水电枢纽平面布置简图

水利水电枢纽的布置应考虑建筑物运行的安全和管理方便、枢纽总造价低、工期短、便于施工等原则。这些原则大都与坝型的选择有关,而坝型的选择往往需要考虑水文、地形、地质和筑坝材料等条件。如果洪水流量大,导流工程较难或导流风险较大,两岸较高,建造岸边溢洪道较困难,坝址覆盖层较薄,而且岩基较好,那么宜选用混凝土坝型,溢洪道一般布置在大坝的中部,使洪水下泄至下游河床的中间部位,流向与下游主河道方向一致,避免回流和岸边淘刷;但如果上述条件相反,而坝址附近

土石料充足，那么宜选用土石坝，溢洪道则布置在岸边，使下泄洪水远离下游坝脚，并使其流向与下游主河道的夹角尽量减小，以避免下泄洪水回流对坝体淘刷。这些是水利水电枢纽布置的一般原则。

有些坝址选在河谷较窄、岩基较好、覆盖层较薄的位置，使建坝工程量较小，使造价较低、工期较短。但有些工程，如葛洲坝和三峡大坝，尽量选在河谷很宽的位置，以满足泄洪坝段、电站坝段和船闸的布置，而不是一般人们所选的狭窄河谷。因为长江洪峰流量很大，需要足够大的泄洪坝段，如果将大坝选在河谷窄而陡的位置，泄洪坝段较短，满足不了泄洪的要求，也难以布置船闸和电站厂房，效益将会很差；如果在峡谷两岸的高山上开凿建造船闸，把 32 台每台 700MW 的机组全都布置在地下是很困难的，工期也将延长很多，总造价反而贵很多，几乎是最差的方案。

二滩水电站枢纽则远在三峡上游的一条支流雅砻江上，其洪峰流量比三峡小得多，为了获得大的水能或电能，需要抬高上游水位，选择地质条件好的、河谷很窄的坝址来修建高拱坝。由于河谷很窄，两岸山体很高，又要在坝身泄洪，很难布置坝后式电站，只好在左岸岩基里布置地下厂房（见图 1-2）。这是二滩水电站与三峡水电站从坝型到厂房都很不相同的一些特点。

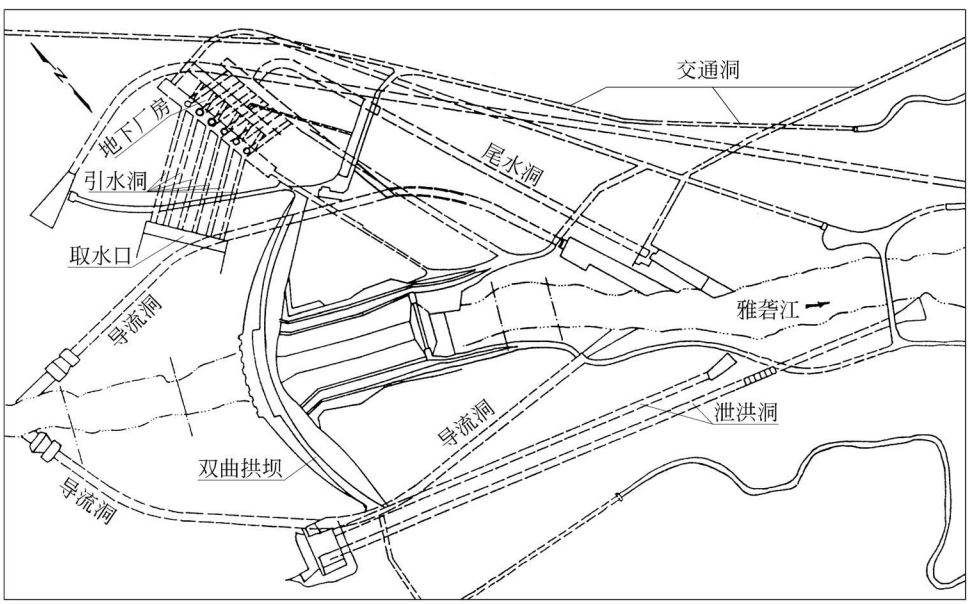

图 1-2　二滩水电站枢纽平面布置简图

黄河小浪底水利水电枢纽则由于地形地质条件和当地材料特点，挡水建筑物采用黏土斜心墙堆石坝。从安全运行考虑，土石坝本身不该布置泄洪建筑物和输水建筑物。对比两岸的地形地质条件，选择在左岸布置导流洞以及泄洪、输水和水电站地下厂房等建筑物。

水工建筑物不同于房屋结构，它受水文、地形、地质等条件的制约。对于各项枢纽工程来说，各建筑物的种类、数量、大小以及它们的布置等都是千差万别的，须将枢纽布置的一般原则与每项枢纽工程的具体条件结合起来，做大量的综合分析和研究，不能生搬硬套。

1.2 水利水电工程的重要作用、意义和对周围环境的影响

1.2.1 水利水电工程的重要作用和意义

水既是自然界一切生命赖以生存的不可缺少的物质,又是人类社会向前发展的非常重要的资源。但是大自然并非按照人类的意愿降雨,无论时间还是空间降雨量都很不均匀,甚至相差很大。人们需要某一地区在某一时间下雨,但却偏偏不下,致使土地干裂、颗粒不收;而有些地区却雨水过多,暴雨成灾,洪水泛滥,造成很大的灾难和损失。目前人类的科学技术还未完全达到自动控制降雨的水平,大力兴建水利工程是解决这类问题、避免或尽量减小这些损失的主要途径之一。人们通过修筑大坝水库,拦蓄洪水,避免或减轻其下游地区的洪水灾害,保护下游生态;然后在需要用水的时候,放水发电、灌溉或给城市和工业供水,改善下游生态环境,做到除害兴利、一举多得。

建造大坝蓄水,可以抬高水头、增加发电量,这是水利水电工程又一个很重要的效益。虽然建造水电站比建造同样出力的火电站工期长、投资大,有时发电受水量和灌溉用水等因素制约,但水电比火电具有以下两个明显的优点。

第一,水力发电是可再生重复利用和取之不尽的廉价能源。太阳把地球表面上的水蒸发飘流至高处降落,只要在合适位置建造一些水电站,水的落差势能变成电能,水流经梯级电站多次发电流到低处或海洋,又被蒸发到高处再降落,流经水电站发电,不断反复循环。而火力发电所烧的煤、石油和天然气等燃料其开采速度远远超过生成速度,总有一天会开采完尽。相比之下,只要地球上的水不飞到其他星球,只要太阳的作用不减退,可以说水电是可再生的、取之不尽、一本万利的廉价能源。

第二,水力发电是高质量的清洁能源,主要体现在以下三点:(1)水电是清洁能源,是对环境保护的一大贡献,不像燃煤发电那样有污染问题,2020年年底我国水电总装机容量达 3.7×10^8kW,2020年发电 $13\,552\times10^8$kW·h,可减少 4.33×10^8t 标准煤燃烧排放的二氧化碳 11.32×10^8t 和二氧化硫 3.68×10^6t;(2)从打开进水阀门到并网供电或在低谷用电时关机所用时间约需一至几分钟,很少超过6分钟,远远短于火力发电所用的时间,损失水能甚小,所以水力发电调峰调频的能力、灵活方便性能也远远高于火力发电和其他类型的电能;(3)水力发电损耗少,一般可将85%以上的水能转变为电能,效率远高于火力发电,在正常运行发电时,水电站的损耗和维修费用也远低于火电站。

正因为水力发电具有上述优越性,发达国家早就把注意力放在开发水力发电方面,至今基本上完成了开发任务。我国随着现代化建设和生活用电需要,水力资源非常丰富的西南部正在和将要兴建更多高坝和大型水电站,可望将节省下来的煤和石油等燃料,去生产价值高得多的化工产品。

水库防洪作用以所知为例,三峡大坝自建成以来,每当长江中下游因降雨多发生大洪水时,三峡大坝都控制下泄流量,使坝下游免受更大的洪水灾害,效益显著,起码减少千军万马护堤所用的人力和物力。此外还可以使库区和下游河道保持一定的水位和较小的流速,在汛期不断航;在枯水期可调节库水位至正常蓄水位175m,使过去川江航道的陡坡急流和139处险滩全部被淹没,航道增宽加深,大型客轮可昼夜安全舒适地航行,冬季发电还可使宜昌下游的长江航道即使在枯水季节也平均加深0.5~0.7m,再结合少量的疏浚整治,即可保持3.5m以上的水深,供万吨级船队由上海直达重庆,每年长江航运能力将从建坝前的1 000万t增至5 000万t,航运成本降低35%~37%。由此可见,三

峡水电站枢纽对拦洪、发电和改善河道航运、发展交通都起重要作用。

利用水库这些人工湖泊发展养殖业，可以弥补水库占用耕地带来的损失。水库养鱼比平原池塘养鱼有很多优越性：集雨面积大，水量充沛；随径流带入溶氧和外源性营养物质多，不断补充天然饵料，养鱼成本低；随着水库的调度运用，水体经常作垂直的和水平方向运动，各层水温、溶氧和营养物质分布较为稳定，有利于鱼类增殖、提高鱼货质量，商品鱼可集中上市。一般情况下，每投放 1kg 鱼种，3～4 年即可产成鱼 5～7kg，养殖资金的投入产出比为 1∶(1.3～1.7)。我国已建水库 9.8 万余座，水产养殖的潜力很大，将对我国水产养殖业和人民的身体健康发挥巨大的作用。

由于库水与空气的热量交换对周围气温有调节作用，水库周围冬暖夏凉，再加上植树造林，形成优美的环境，可发展旅游业，建疗养院，等等。

总之，水利水电工程的效益有防洪、灌溉、发电、向城市和工业供水、航运、养殖、建疗养院和旅游景点等，一般是多种作用综合在一起的。

1.2.2　水利水电工程对周围环境的影响

前面已叙述了水利水电工程对国民经济的发展和人类的生活和健康起到重要的作用、发挥显著的效益，水力发电减少烧煤排放的污染，本身就是对环境的一大保护。一般说来，水库拦蓄洪水，保护下游两岸人民的生命以及房屋、耕地、作物、树木和周围的动物，免受洪水灾害；在枯水季节从水库放水使下游山清水秀、生机勃勃，有利于生态发展；水库蓄水形成面积很大的水面有利于水上生物的活动和生长；我们可利用这些有利的影响大力开发水产养殖业，在水库周围建造疗养院和旅游景点。这些都是水利枢纽对保护环境的正面影响。我们还要分析水利枢纽的负面影响并加以解决。

(1) 淹没村庄、耕地和树木等，需要移民造地。若新的库水面周围树木很少，很多动物尤其是鸟和两栖动物只好迁移或死去，这就可能破坏该地区及其周围的生态平衡。

(2) 建坝拦截河流，可能阻挡有些鱼类游向上游产卵繁殖后代。

(3) 由于大坝地基做了防渗处理，下游河道水流及其周围的地下水位受到水库放水的控制。在不放水时，下游河床及其附近地下水位可能降低很多，导致用水紧缺。

(4) 个别地区因库水面扩大，周围土地容易盐碱化，疟蚊、钉螺和血吸虫等容易滋长。

(5) 提高了库区两岸的地下水位，山体被水浸泡，覆盖层、断层、破碎带的摩擦系数都大为降低，山体容易滑坡，引起巨大的水浪冲击力，库水可能漫坝，危及大坝和下游人民生命财产安全。

(6) 库水渗流到深处大断层，大大地降低断层的摩擦系数，再加上水的重力作用，尤其是高坝库水压力大，容易诱发地震使坝体及周围建筑物遭受破坏、造成损失。

(7) 泥沙粗颗粒容易沉积在库区上游末端附近，在排洪排沙时下泄泥沙浑水，冬春季节下泄清水，改变了原河床泥沙分布规律，尤其是河流泥沙较多的水库，泥沙淤积造成的问题更为严重。

(8) 有些水库蓄水淹没古迹文物和峡谷奇观。

一般说来，水利水电工程如果设计和运用得当，给国民经济的发展和人类生活和健康带来的好处将远远超过它对周围环境不利的影响。当然，我们要认真地研究和解决这些负面问题，使它们带来的损失降至最低。例如：尽快地在正常蓄水位以上的山坡上植树造林，使原来河道两岸的动物尽快有栖息之地；在水库修建鱼道或在其下游修建养殖场，让鱼游到上游或养殖场产卵；增建输水管道或渠道给下游因地下水位降低而缺水的村庄供水；对于滑坡体或容易诱发地震的断层要采取措施或加强观

测和预报,让人们提前撤离到安全地带;对于泥沙淤积问题,可以采用多种办法,如在上游植树造林、修整梯田、水土保持,防止泥沙流入河流和水库,在洪水或含泥沙多的浑水入库时,尽量降低库水位,使它们顺利地排放到下游,减少在库区的淤积,待入库河水变清时才下闸蓄水,一旦库区淤积了,可采用挖泥船、气力泵、虹吸管等装置清淤;把库区将要被淹没的文物古迹迁移到高处;对于疟蚊、钉螺和血吸虫较多的个别地区,可采取措施预防和阻止它们的生长。多年来,我国为解决这些问题做了很多工作,并在某些方面已积累了很多成功的经验。我们还需继续努力,认真对待、解决各种难题,使水利水电工程更好、更快地发展,为子孙后代造福消灾。

1.3 水利水电工程面临的艰巨任务

1.3.1 我国跨流域调水工程

我国人口多,全国人均水资源占有量仅为世界人均水资源占有量的1/4。尤其是我国北方地区干旱少雨,需要从南方向北方引水,兴建南水北调跨流域引水工程。

长江多年平均年径流量 $9\ 600\times10^8\ m^3$,仅次于亚马逊河与刚果河,居世界第三。长江之水相当丰富,即使在特枯年也有 $7\ 600\times10^8\ m^3$ 流入大海,从长江调水至华北、西北干旱地区,水量是充足的,但难度很大。南水北调工程总体分三条线路。东线工程从江都扬水,基本上沿京杭运河逐级提水北送,向山东、河北和天津供水。中线工程自丹江口枢纽沿伏牛山南麓北上自流至北京,以供京、津、冀、豫、鄂五省市的城市生活和工农业用水。西线工程规划从长江上游的几条支流筑坝、通过很长的隧洞引水入黄河,解决我国西北地区严重干旱缺水的问题,还可增加黄河各梯级水电站的发电用水量,特殊情况下还可供北京、天津应急用水。

南水北调工程是实现我国水资源优化配置的战略举措,是中国跨流域调水工程中最大的、最艰巨的工程,也是中国在21世纪规模浩大的水利工程之一。因受地理位置、调出区水资源量、沿途地形和地质等条件限制,三条调水线路各有其合理的供水范围,相互不能替代,但也不太可能一下全部同时兴建。东线工程量、难度和投资都比其他两线小,但耗电量大;中线水质好,自流,但工程量、难度和投资都比东线大;西线工程量、难度和投资最大。国家根据工程的难易程度和国家的经济技术条件,依次分期兴建东线、中线和西线工程,先易后难,逐步实施。东线和中线主体工程已先后基本完成和部分通水,其余配套工程正在进行;西线工程尚未开始,有待于进一步规划、设计和方案研究对比。

1.3.2 建造大中型水电站,拦蓄洪水,西电东送

我国大陆水电的理论蕴藏装机容量为 6.94×10^8 kW,远居世界第一位。但在1949年以前,我国只有 14.3×10^4 kW 的水力发电机组投入运行。新中国成立后至今尽管已大力开发兴建水力发电站,有些水电站装机容量是世界前几名,至2023年年底我国水电总装机容量达 4.22×10^8 kW,居世界第一,但还有 2.72×10^8 kW 的理论水电能源仍未开发利用,其中绝大部分在我国西南。那里雨量充沛,河流落差大,是我国得天独厚的水电资源。如果将其开发向东送电,以每天调峰发电时间10h计算,并增加先前已建造的下游梯级水电站年发电量,每年还可再减少燃烧标准煤 3.17×10^8 t 及其排放的

有害气体。否则，若白白扔掉很多宝贵的水和清洁电能，多烧煤排放有害气体，而且若缺少大坝拦蓄洪水，还将威胁下游的生命和财产安全，破坏生态平衡。2023 年我国火力发电 6.2657×10^{12}kW·h，水力发电 1.2859×10^{12}kW·h，约为火电的 1/5，仍须大力开发便于调峰的水电清洁能源。我国长期大量开采煤炭，剩余蕴藏量很有限，开采深度和难度越来越大，且运距大多很远，燃煤发电费用越来越高，而且发电排放大量有害气体，严重影响地球生态，急需大力开发可再生清洁能源。水电便于储存、调峰和调度控制，在高峰用电时可应急快速提供稳定频率和功率的优质清洁电能，应急有效供电时数占总发电时数的比例远高于风电和光电，还兼有拦洪、灌溉、供水等效益，更应大力发展。

我国未来要建造的这些水电站，技术难度和投资都很大，开发任务很艰巨。它们的特点是：①大坝很高、工程量很大(包括输电线路很长)；②洪水流量和下泄单宽流量很大，施工导流、高水头泄洪雾化和消能都存在很大的难题；③施工难度大，要求有高度机械化和现代化的施工设备；④高水头蓄水容易诱发地震，高坝对坝体和地基的强度和稳定都要求很高，地下厂房或其他地下结构的围岩地应力很大，还有高边坡稳定问题等；⑤科研、设计、施工和运行管理需要更高的科学技术力量。我国虽然在上述几个方面已积累了一些理论和实践经验，有些甚至达到世界先进或领先水平，但还有很多新问题，包括很多已建工程在运行、管理和维修过程中出现许多新问题，有待研究解决。

近些年来有些地区遭受严重的洪水灾害，说明其上游还应兴建拦洪水库。过去没有兴建，有些是因为地形地质较差，工程量和投资较大，资金缺乏等原因。今后随着经济发展，需要清洁能源和需要防洪保护的对象越来越重要，兴建这些水库水电站将可能逐渐提到议事日程上来。

随着生产用电增加，高峰与低谷用电之差加大，若清洁能源不多，需大量煤电，但在低谷用电时若关停部分煤电机组，锅炉慢慢烧煤，在高峰用电前 1～2 小时需要大火燃烧，直到发电功率和周波正常才能并网，这会浪费很多煤，并排放很多有害气体；核电机组若关机，从关到开至并网约经 20 小时操作，损失很多能量；因缺少大容量储能设备，很多风机在很多刮大风的黑夜即使发电也用不了。抽水蓄能电站可吸纳低谷用电时不便关停的多余煤电、核电和风电从下水库抽水到上水库，在高峰用电时利用上库水的势能应急发电(从开机到并网约 1 分钟)，其储能效率约 75%，是目前效率较高、容量最大、最可靠的储能设备。国家能源局 2021 年 8 月 6 日印发征求意见稿，提出 2035 年我国抽水蓄能装机增加到 3×10^{8}kW，远超过原计划 2060 年的 1.8×10^{8}kW。我国抽水蓄能电站自 2022 年开始爆发式增长，装机从 2020 年年底的 3149×10^{4}kW 增至 2023 年年底的 5094×10^{4}kW。要完成《征求意见稿》的目标或正式《规划》至 2030 年年底投产 1.2×10^{8}kW 的任务还很艰巨。

1.3.3　水利水电工程保护生态环境的任务

水利水电工程拦蓄洪水、提供灌溉和城市用水，在水库周边植树造林，设置旅游景点，水力发电减少燃烧煤炭发电所排放的有害气体。这些都表明，水利水电工程本身自运行一开始就具备保护生态环境的作用。至于其淹没损失和不利于鱼类游向上游产卵繁殖等局部副作用，需要采用一些行之有效的措施来保持生态平衡，例如：在库水位以上的山坡植树造林，使原来两岸的动物有栖息之地；修建鱼道或在其下游修建养殖场，让鱼游到上游或养殖场产卵，等等。总之，要把河流的综合开发利用与保护生态环境结合统一考虑，在合理开发利用水资源的同时担负起相应的生态环境保护责任，做到经济效益与生态环境效益并重，在工程规划、设计、施工和运行的各阶段采取措施，减轻对生态环境的负面影响，努力实现资源开发的经济效益和生态环境效益两个目标的最优化。

随着工业和旅游业发展,工厂废水、游客扔的废物可能排放到河流,漂流到水库,严重地影响水库的水质,影响发电和下游用水安全,须在上游各个水文测站和库区上游河水入库处增设水质监测站,不要只限于坝前监测,因为库水体积很大,污水浓度很小,等到坝前测出水质指标有问题已为时太晚;需要健全水库库长或河流河长责任制,甚至行政第一把手在必要时兼任库长或河长,对于排污单位应下令建造可靠的污水处理设施或严令停产,防止污水排放到河流;为了保障水电站正常发电,在水库建造可靠的拦污设施,防止污物流入电站进水口和输水管;等等。

设计单位、施工单位和水库运行管理单位,应对已建和在建的大坝等水工建筑物加强安全监测设计、认真安装和及时观测。如果两岸有容易滑动的滑坡体,也应设置足够的监测点,并加强观测分析,及时发出预报,尤其是在雨季或在河水位、库水位上升时,由于水的侵蚀,断层、破碎带等结构面的摩擦系数变小,山体比在干燥情况下更容易发生滑坡,容易激发河水涌浪漫坝,下游生态环境和财产将可能遭到严重破坏。在施工完成后,管理单位应继续认真观测、整理各测点的位移和山体变形的规律,供有关研究部门分析,及时发出预报。对于高坝,还应上报有关部门核查库区是否存在高水位诱发地震的活断层,是否应设置地震监测台站,及时对高水位诱发地震发出预报,为防止某些结构破坏或山体滑坡对生态环境带来的次生灾害,提前做好工作。

1.3.4 做好援外水利水电工程建设,共同保护地球家园

从时间和空间来看,雨水是很不均匀分布的,世界上还有很多国家、地区,常常遭受干旱或洪涝灾害。全球技术可开发的水电能源开发后将可每年发电 14.37×10^{12}kW·h,其中发展中国家约为 9.56×10^{12}kW·h,但目前很多河流水力发电资源开发利用的比例很低。按国际能源署 2021 年制定的规划,到 2050 年全球水电装机容量需要再翻一番才可能实现碳中和。

地球是全人类共同的家园,只靠少数几个国家低碳措施,仍然不能改变整个地球的温室效应。由于地球自转和气流的影响,多数国家排放的有害气体随着白天的上升和夜间的下降,迟早要波及排放有害气体较少的国家,所以低碳经济发展是全球所有国家和地区共同的紧迫任务。

我国自 20 世纪 90 年代以来,建造了一批大型水电站,如:三峡水电站总装机容量 $2\ 250\times10^4$kW,居世界第一;溪洛渡水电站(双曲拱坝高 285.5m)单机容量 77×10^4kW,共 18 台机组,总装机容量 $1\ 386\times10^4$kW,居世界第四;后来刚刚建成不久的白鹤滩水电站(双曲拱坝高 289m)总装机容量 $1\ 600\times10^4$kW,居世界第二,单机容量 100×10^4kW,居世界第一,是我国设计、制造和安装的。我国 250m 以上高度的各种类型大坝的设计、施工技术、70×10^4kW 以上的大型水轮发电机组的设计、制造和安装技术等都处于国际领先水平,有很好的声誉。当今中国水电企业遍及全球 140 多个国家和地区,占据海外 70%以上的水电建设市场,中国企业参与海外已建和在建的水电工程约 320 座、总装机容量达 0.81×10^8kW。全球规划在 2035 年以前建设 100m 以上高坝 200 余座,200m 以上特高坝 20 余座,中国有望参与其中的设计和施工。

上述情况说明现在和未来几十年时间里国内外水电开发建设的任务仍然很繁重。国际上很多水电工程采用招投标制度,带有竞争性,想要中标,就必须使设计和施工满足安全、经济、合理、工期短、收效快、便于运用、保护环境等要求。我国水利水电工程科技人员应不断从实践和理论中学习、补充和积累丰富的知识,应有足够的实际工程经验和结构设计理论水平,才能做好这些工作,更好更快地开发全球可再生的最好用的水电清洁能源,更好更快地发展全球的抽水蓄能电站,使核电和风电等清洁电能更有效地储存和利用,使我国和全球尽快实现碳达峰和碳中和,保护人类共同的地球家园。

1.4　水利水电工程分等、水工建筑物分级与洪水标准

水利水电工程及其建筑物应根据其规模、效益和重要性，定出工程等别和建筑物级别，按这些等级标准设计，做到安全、经济和合理。根据水利部 2017 年发布的《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2017)[1]，水利水电工程等别、永久性和临时性水工建筑物级别依次如表 1-1～表 1-3 所示。

表 1-1　水利水电工程分等指标

工程等别	工程规模	水库总库容/10^8 m^3	防洪			治涝	灌溉	供水		水力发电
			保护人口/10^4 人	保护农田面积/10^4 亩	保护区当量经济规模/10^4 人	治涝面积/10^4 亩	灌溉面积/10^4 亩	供水对象重要性	年引水量/10^8 m^3	装机容量/10^4 kW
Ⅰ	大(1)型	≥10	≥150	≥500	≥300	≥200	≥150	特别重要	≥10	≥120
Ⅱ	大(2)型	[1.0,10)	[50,150)	[100,500)	[100,300)	[60,200)	[50,150)	重要	[3,10)	[30,120)
Ⅲ	中型	[0.1,1.0)	[20,50)	[30,100)	[40,100)	[15,60)	[5,50)	比较重要	[1,3)	[5,30)
Ⅳ	小(1)型	[0.01,0.1)	[5,20)	[5,30)	[10,40)	[3,15)	[0.5,5)	一般	[0.3,1)	[1,5)
Ⅴ	小(2)型	[0.001,0.01)	<5	<5	<10	<3	<0.5	一般	<0.3	<1

注：1. 总库容系指水库最高水位以下的静库容；表中“[1.0,10)”表示此数的范围是“大于等于 1.0、小于 10”，其余类推。

2. 治涝面积和灌溉面积系指设计数值；年引水量指供水工程渠首设计年均引(取)水量。

3. 保护区当量经济规模指标仅限于城市保护区；防洪、供水中的多项指标满足一项即可。

4. 按供水对象的重要性确定工程等别时，该工程应为供水对象的主要水源。

5. 对综合利用的水利水电工程，其工程等别应按其中最高等别确定。

表 1-2　永久性水工建筑物的级别

工程等别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
主要建筑物	1	2	3	4	5
次要建筑物	3	3	4	5	5

注：永久性建筑物系指工程运行期间使用的建筑物，根据其重要性分为主要建筑物和次要建筑物：

主要建筑物系指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物，如：堤坝、水闸、溢洪道、电站厂房及泵站等。

次要建筑物系指失事后不致造成下游灾害或对工程效益影响不大，并易于修复的建筑物，如：挡土墙、导流墙及护岸等。

表 1-3　临时性水工建筑物的级别

级别	保护对象	失事后果	使用年限/年	临时性挡水建筑物规模	
				围堰高度/m	库容/10^8 m^3
3	有特殊要求的 1 级永久性水工建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟总工期及第一台(批)机组发电，推迟发挥效益，造成重大灾害或损失	>3	>50	>1.0

续表

级别	保护对象	失事后果	使用年限/年	临时性挡水建筑物规模	
				围堰高度/m	库容/10^8 m^3
4	1级、2级永久性水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业或影响总工期及第一台(批)机组发电,推迟发挥效益,造成较大经济损失	[1.5,3]	[15,50]	[0.1,1.0]
5	3级、4级永久性水工建筑物	淹没基坑,但对总工期及第一台(批)机组发电等效益影响不大,经济损失较小	<1.5	<15	<0.1

注:临时性建筑物是指施工期使用而运行期不使用的建筑物,如导流明渠、导流洞和施工围堰等。若指标分属不同级别,则按最高级别确定,但符合3级临时性水工建筑物规定的指标不得少于两项。

永久性水工建筑物的洪水标准,如表1-4所示[1]。表内的重现期是概率问题,并非经过重现期的长时间之后才发生,可能在短时间之内就发生,须按此洪水标准设计和校核,确保安全。

表1-4 永久性主要水工建筑物洪水标准[重现期] 年

项目				永久性水工建筑物级别				
				1	2	3	4	5
山区、丘陵区	土石坝、混凝土坝、浆砌石坝	设计洪水		1 000～500	500～100	100～50	50～30	30～20
		校核洪水	土石坝	可能最大洪水(PMF)或10 000～5 000	5 000～2 000	2 000～1 000	1 000～300	300～200
			非土石坝	5 000～2 000	2 000～1 000	1 000～500	500～200	200～100
	水电站厂房	设计洪水		200	200～100	100～50	50～30	30～20
		校核洪水		1 000	500	200	100	50
	水库消能防冲建筑物设计洪水			100	50	30	20	10
平原区、滨海区	水库工程水电站厂房	设计洪水		300～100	100～50	50～20	20～10	10
		校核洪水		2 000～1 000	1 000～300	300～100	100～50	50～20
	拦河水闸、渠道、河堤	设计洪水		100～50	50～30	30～20	20～10	10
		校核洪水		300～200	200～100	100～50	50～30	30～20
	挡潮闸	潮水标准		≥100	100～50	50～30	30～20	20～10
	堤防	防洪标准		≥100	[50,100)	[30,50)	[20,30)	[10,20)

注:1. 土石坝若失事后造成特别重大灾害,混凝土坝、浆砌石坝若洪水漫顶造成极严重的损失,经专门论证并报主管部门批准,1级建筑物的校核洪水标准取可能最大洪水(PMF)或重现期10 000年标准。

2. 当山区、丘陵区永久性水工建筑物的挡水高度低于15m,且上下游最大水位差小于10m时,其洪水标准宜按平原、滨海区的标准确定;当平原、滨海区永久性水工建筑物的挡水高度高于15m,且上下游最大水位差大于10m时,其洪水标准宜按山区、丘陵区的标准确定。

3. 平原、滨海区水库消能防冲建筑物设计洪水标准应与相应级别泄水建筑物的洪水标准一致。

在下述情况,经论证可提高或降低水工建筑物的级别[1]:

(1) 工程位置特别重要,失事后将造成重大灾害或影响十分严重的2～5级永久性主要水工建筑物,经论证并报主管部门批准,可提高1级。若失事后将造成损失不大,1～4级永久性主要水工建筑