

宝泉抽水蓄能电站上水库库底防渗黏土铺盖关键施工技术

张利荣,严匡柠,刘 剑

(中国人民武装警察部队水电第二总队,江西 南昌 330096)

摘要:宝泉抽水蓄能电站上水库库底防渗采用黏土铺盖,为国内首次,没有相应的施工技术或经验。针对库底黏土铺盖抵御垂直渗流等技术特性,创新解决了库底黏土铺盖填筑施工的分期分区、进料布料、组合碾压、纵横接缝、库岸接头等一系列技术难题,不仅保障了施工质量,而且大幅提高了施工效率,填补了国内库底黏土铺盖填筑施工的技术空白。该工程自投产发电已安全运行近5年,监测结果表明其防渗效果非常好,为抽水蓄能电站库盆防渗提供了一个成功的新范例。

关键词:黏土铺盖;库盆防渗;上水库;施工技术;宝泉抽水蓄能电站

中图分类号:TV223.4⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)S1-0001-05

抽水蓄能电站库盆的防渗效果,是工程正常运行和保障效益的关键。库盆防渗有“库岸面板+垂直帷幕”和“库岸面板+库底铺盖”两种模式,库岸面板有沥青混凝土面板、钢筋混凝土面板,库底铺盖采用沥青混凝土或土工膜等。国外已建抽水蓄能电站中,近九成上水库库盆采用全沥青混凝土防渗,国内则是形式多样^[1-3]。

宝泉抽水蓄能电站上水库库盆采用“库底黏土铺盖+库岸沥青混凝土”联合防渗体系,为国内首次采用,特别是大面积库底防渗黏土铺盖填筑,在此之前无现成施工技术,无类似工程经验,也无相应技术规范。该工程建设中,创新解决了黏土铺盖施工的一系列技术难题,工程施工进展顺利,运行中库盆防渗效果良好,设计、施工和工法的相关成果已有报道^[4-8],本文主要对黏土铺盖施工采用的关键技术措施进行挖掘提炼,以为后续类似工程提供有益的借鉴。

1 上水库库盆防渗设计方案

1.1 工程简况

宝泉抽水蓄能电站位于河南省辉县市薄壁镇大王庙以上2.5 km的峪河上,安装4台单机容量为300 MW的立轴单级混流可逆式水泵水轮发电机组,总装机容量1 200 MW,年发电量20.10亿kW·h,年抽水耗电量26.42亿kW·h,综合效率0.76,属日调节纯抽水蓄能电站。

1.2 上水库库盆防渗方案

上水库建在东沟宝泉村上游,由主坝、副坝、排水洞及进出水口等建筑物组成,库盆主要利用东沟开挖规整而成,库盆表面面积约33万m²,正常蓄水位789.60 m,正常蓄水位以下库容758.2万m³;设计洪水位790.43 m,校核洪水位790.57 m,死水位758.00 m,最大库容782.5万m³。

库盆采用黏土铺盖护底、沥青混凝土护岸与沥青混凝土面板坝相结合的全库盆联合防渗形式。库岸边坡为1:1.7,面积约16.52万m²,沥青面板厚0.202 m;库底黏土防渗面积约15.5万m²,黏土铺盖厚4.5 m,如图1所示。

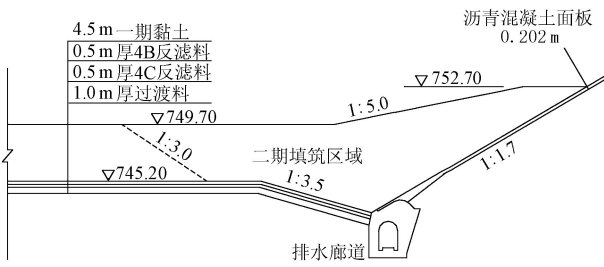


图1 库底黏土铺盖断面

2 黏土铺盖的防渗原理及施工难点

抽水蓄能电站的库盆防渗,特别是上水库,事关工程正常运行和效益保障,无天然径流补给的抽水蓄能电站,上水库日渗漏量一般控制在总库容的0.02%~0.05%范围内。

作者简介:张利荣(1964—),男,江西上饶人,高级工程师,主要从事水利水电工程技术管理工作。E-mail: wjzlr@qq.com

宝泉抽水蓄能电站上水库库底采用“库底黏土铺盖+库岸沥青混凝土”联合防渗体系,国内外均无成功经验,国外一例是 Ludington 抽水蓄能电站采用类似方案,但该工程在完工后 30 多年的运行中,经历过多次较大的漏水修补。故对大面积库底黏土铺盖填筑而言,施工技术上就更具挑战性。

2.1 库底黏土铺盖防渗原理及特点

库底防渗黏土铺盖与坝体黏土防渗体(心墙或斜墙)相比,两者防渗的机理基本相同,但结构和工作原理有较大差异。

坝体防渗体(心墙或斜墙)结构是平面上长宽比大,其运行工况是垂直防渗体,抵御水平方向的渗流,因此其层间结合面要求较高;而库底黏土铺盖结构则是平面面积大,纵横长宽比例不规则,其运行工况是水平防渗体,抵御垂直方向的渗流,故其层间结合面状况对防渗的影响与坝体防渗体有一定的区别。在施工中如何理解这一区别并高效、优质地进行施工,是解决施工技术的关键。两者防渗工作原理如图 2 所示。

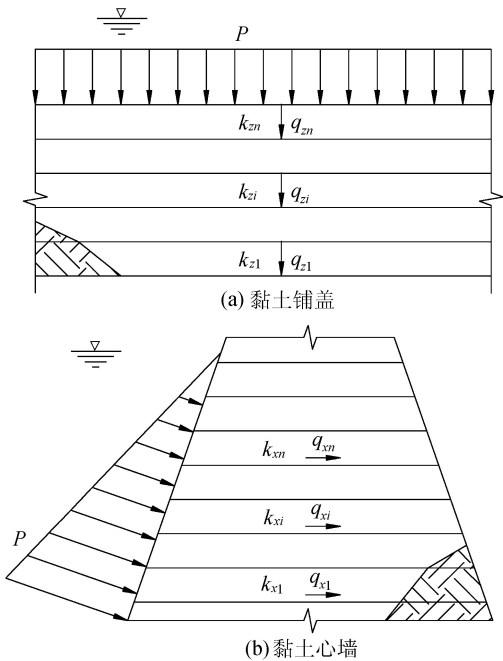


图 2 黏土铺盖与黏土心墙防渗原理示意图

从工作原理和结构设计来分析,库底防渗黏土铺盖的主要特点是:①水平防渗体,抵御垂直方向的渗流;②平面尺寸大,长宽不规则;③与岸坡防渗体结合部位极为重要;④黏土铺盖填筑施工技术要求高。

库底防渗黏土铺盖的设计及施工合同技术条款均引用 DL/T5129—2001《碾压式土石坝施工规范》的相关规定,但该规范中相关条款主要是针对坝体黏土心墙和斜墙的,并未对库底防渗黏土铺盖有专门的规定。其他规范也没有适用于库底黏土铺盖的

规定和条款。为了优质、高效地完成好该工程建设,就必须突破 DL/T5129—2001《碾压式土石坝施工规范》限制,针对库底防渗黏土铺盖的特点,创新或改进相关施工技术。

2.2 施工技术难点

根据上水库库盆联合防渗体系的总体施工安排,以及库底防渗黏土铺盖的特点,其主要施工技术难点是:

a. 由于库底面积较大(约 15.5 万 m^2),黏土铺盖施工工期安排与库岸面板施工须较长时间搭接,为此库底黏土铺盖必须分期分区进行填筑。库底平面长宽尺寸比例较接近,按工序安排必然先填中部,后填周边,如何对铺盖施工进行科学合理分区,既能保证施工质量,又能使整个库底施工道路利用率最高,减少动态布置道路数量,以高效均衡地进行生产,是施工规划的一大技术难点。

b. 黏土铺盖施工区所有干道和支道都必须布置在黏土面上,采用怎样的上料方式和设备配置,既能保证黏土运输车在工作面正常行驶,又不会破坏已填筑好的防渗体,从而保证机械化施工的高效生产,也是本工程的一大难点。

c. 与土石坝黏土防渗体施工相比,库底铺盖施工平面面积较大,若按常规凸块碾压施工工艺,层间结合面的处理时间较长,不仅降低了工效,而且延长了已压层表面水分的蒸发时间和覆盖时间,对施工质量将产生不利影响,采用怎样的施工工艺来解决这个问题,是铺盖施工的首要技术难点。

d. 由于库岸采用沥青混凝土面板防渗,为延长黏土铺盖与沥青混凝土面板的接触渗径,本工程在库底周边设有高约 10 m、沿面板斜长约 20 m 的黏土贴坡带,且库岸边坡坡比为 1 : 1.7,结合部不宜使用重型机械施工,如何保证贴坡黏土填筑质量,又不会对其下部的沥青面板造成损害,是整个防渗体系施工技术关键点。

3 关键施工技术

黏土铺盖填筑施工方法、工艺流程、质量控制等已有报道^[6-8],不复赘述,下面主要介绍填筑施工分期分区、进料布料方式、组合碾压方案、纵横向接缝和与库岸防渗体结合部等关键施工技术。

3.1 填筑施工分期分区

由于环库四周的黏土铺盖填筑必须待沥青混凝土面板施工结束后才能施工,所以黏土铺盖填筑拟分成两期施工。第一期为库底黏土铺盖施工区,二期为环库四周的黏土铺盖区(含坝脚水平段及库底斜坡段黏土铺盖),同时由于各期黏土填筑面积太

大,不利于施工组织和质量管理,施工时再根据实际情况进行了分区,分区按照大小基本一致、填筑工作面移交先后顺序和减小相互干扰的原则进行,最终将一期黏土和二期黏土分为6个施工区流水作业。

施工道路布置。由于一期黏土填筑面积大,二期黏土填筑战线长,总共需要进行黏土铺盖的面积达到15.5万m²,为了避免土料运输车辆大面积在填筑作业面上行走,施工时在施工区规划了4条施工主干道,主干道的布置结合黏土填筑分期分区情况合理布设。

3.2 进料布料方式

a. 一期黏土料运输。料源开采使用1.6m³反铲挖装,15t/20t自卸车运输至库盆作业面。运输车辆进入库盆前需清洁车厢、轮胎,以防止残留污泥带入黏土铺盖填筑区。

b. 动态道路投影不重合的填筑面后退法布料。自卸车直接在已验收的填筑面上行驶,运至作业面上采用后退法布料。为防止汽车轮胎反复碾压对已填土体产生剪切破坏,采的技术措施是:①选用15t/20t宽胎型自卸车(普通车后轮换为宽型胎,增加轮胎与地面接触面积以减小车辆对碾压面的压强)运料;②填筑区进料道路采用分层动态布置,要求平面不交叉、上下层投影不重合,如图3所示;③后退法布料,推土机及时摊铺推平,人工配合找平,施工过程中采用定点测量方式控制铺层厚度。

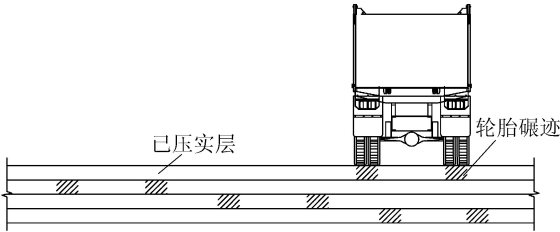


图3 填筑区进料道路分层动态布置

c. 二期黏土土料运输及卸料摊铺。黏土运输主要通过环库二期黏土填筑道路运输至填筑摊铺区作业面,与一期黏土结合部位铺料采用D85推土机摊铺,与混凝土结合处采用Z85装载机集中布料,0.7m³反铲摊铺整平,人工辅助配合,防止机械对沥青面板造成损坏。

3.3 组合碾压方案

施工前,经试验确定施工技术参数为:黏土料松铺厚度35cm,15t凸块振动碾(碾压激振频率25.4Hz)振动碾压10遍。在实施时,该方案表现出明显的不足:①振动碾凸块带起大量松散体分散在压实面上,在铺料前清理工作量大;②凸块振动碾大面积作业效率低;③填筑循环时间长导致已压层表面水分蒸发更多,不利施工质量。

为了有效解决初选方案存在的问题,根据黏土铺盖抵御垂直方向渗流的特点,大胆突破规范只能用凸块碾的限制,提出采用同吨位振动平碾与凸块碾的组合碾压技术。经试验优选方案为:黏土料松铺厚度35cm不变,采用振动平碾和凸块碾组合碾压,先用15t振动平碾(碾压激振频率25.4Hz)全振法碾压8遍,再同吨位凸块碾碾压2遍;碾压时垂直碾压方向搭接带宽度0.3~0.5m,顺碾压方向搭接带宽度1.0~1.5m,振动碾行走速度控制在2km/h以内。该方案有效解决了初选方案存在的问题,进度快、质量保证率高。

3.4 纵横向接缝处置

两个相邻填区搭接部位设置接坡,先填区留置不陡于1:3斜坡;后填区铺料前,对先填区留置的坡面进行削坡处理,并进行密度检测,保证坡面压实度符合要求;对先填区已检查合格的坡面进行刨毛和适当洒水,保持坡面湿润(施工允许含水率上限);后填区填筑时,要进行骑缝碾压,保证接坡处碾压到位、搭接密实。

上下填筑层间结合面处置,上一填筑层铺料前,必须清除已填面上的松土、砂砾及其他杂物;当表土干燥时,应洒水保持层间结合面湿润;当层间结合面为光面时,对光面部位进行刨毛处理;当填筑局局部出现粗粒富集、剪切破坏或“弹簧”现象时,对该部位进行换填处理。

黏土填筑要求连续作业,如需暂停施工,其表面土层应洒水湿润,保持含水率在控制范围之内。如停工时间较长,应铺设保护层,复工时将保护层清除,必要时重新刨毛和洒水湿润,验收合格后方可铺料填筑下一层。

3.5 与库岸结合部施工技术措施

3.5.1 施工特点

与沥青混凝土库岸结合部的黏土铺盖,是整个上水库防渗体系完工的最后一道工序。该部位施工程序是:先完成库岸沥青混凝土施工,再填筑该部位的黏土铺盖。

结合部黏土铺盖沿库周约20m宽范围设贴坡,黏土顶高程由749.70m升高至752.70m,坡比1:5.0,顶宽3.0m,以延长黏土与库岸沥青混凝土面板的接触渗径;黏土与沥青混凝土面板接触段设0.5m厚高塑性黏土,利用黏土的高塑性适应变形,防止黏土开裂渗水。

如何施工才既不损坏库岸防渗体,又能保证结合部黏土填筑达到设计要求,以及采用什么样比例的泥浆能达到最佳结合效果,是该部位施工的技术关键,也是库盆防渗的重点。

3.5.2 铺料及碾压

为有效保护已经完工沥青混凝土库岸,摊铺机械铺料作业时,必须保持距沥青混凝土面 50~70 cm 以上,靠近库岸边缘部分采用人工与小型工器具进行铺料。

碾压采用 10 t 振动碾静压 8 遍,压实度达到 93% 以上,振动碾行走速度控制在 2 km/h 以内;每层碾压时靠库岸侧预留 20 cm 采用小型夯机预夯实,待上一层填筑时,该部位进行隔层补压(隔层碾压区压实度达到 90% 以上)。铺盖与库岸结合部隔层补压如图 4 所示。

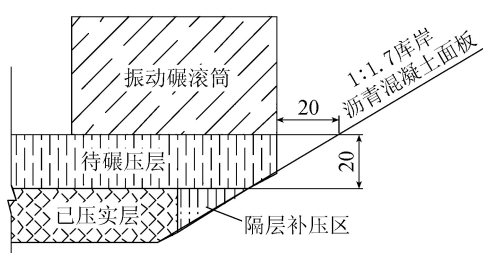


图 4 黏土铺盖与库岸结合部隔层补压示意图(单位:cm)

在上一层填筑铺料前,必须人工清除边缘局部壅土,以保证振动碾滚筒距离沥青混凝土 20 cm 可控。上一层填筑料覆盖前,需对层间结合面进行洒水湿润处理。

3.5.3 结合面涂刷泥浆

DL/T 5129—2001《碾压式土石坝施工规范》中明确防渗土料与混凝土或岩石结合部填筑,应在混凝土或岩石面涂刷 1:2.5~1:3.0(土与水质量比)的浓泥浆,但未对拌制泥浆的土质及含水量进行说明,且 1:2.5~1:3.0 浓泥浆机械无法拌制。

我们分析认为,决定泥浆黏合特性的主要因素是土料黏粒含量,故应根据土料黏粒含量并经试验确定最佳泥浆配比。本工程所用黏土黏粒质量分数约为 23%,试验研制泥浆配合比为 1:1.1~1:1.5(土为脱水净重)。施工采用新鲜高塑性黏土,0.2 m³ 搅拌机集中拌制。

库岸沥青混凝土结合面在铺料前涂刷泥浆,泥浆拌制后用桶提至作业面,人工边搅拌边涂刷,涂刷不少于两遍,厚度为 2~5 mm,涂刷高度高出当层铺料高度 5 cm 左右,施工时边涂刷边用黏土进行覆盖,以避免涂刷的泥浆出现干裂减效现象。

通过采取上述技术措施,现场质量检查表明,黏土铺盖与沥青混凝土岸坡结合部接触面的结合情况良好,沥青混凝土库岸表面无损坏现象。

4 工程应用情况及评价

4.1 工程施工及运行期渗漏情况

宝泉抽水蓄能电站上水库库盆黏土防渗铺盖工

程于 2006 年 11 月 5 日开始填筑,2007 年 11 月 20 日填筑完成,期间因 2006 年 12 月至 2007 年 2 月为当地负温季节,2007 年 6 月至 9 月为雨季均暂停填筑,实际施工时间为 6.5 个月,完成填筑量 65.56 万 m³,月平均强度约 10.1 万 m³,高峰月强度达 16 万 m³。

由于解决了黏土防渗铺盖的关键施工技术问题,施工效率大幅提高,直接缩短工期约半年,各单元工程质量优良。

宝泉抽水蓄能电站上水库自 2008 年 2 月 20 日开始蓄水,其渗漏量-时间关系曲线呈单峰形态,初期随水位上升而增加,峰值出现在 2009 年 6 月上旬,实测最大渗漏量为 9.117 L/s,再随水位下降而减少,之后收敛趋于稳定在 3.0 L/s 以下,如图 5 所示。2008 年 10 月因其他原因放空上水库,检查总体情况良好,发现的少量渗漏深槽、贯穿性裂缝和重要部位表面裂缝都进行了封闭处理。设计渗漏量为 14.91 L/s(1288 m³/d),投产发电后的实测渗漏量在 1.0~3.0 L/s 之间波动,远低于设计渗漏标准。

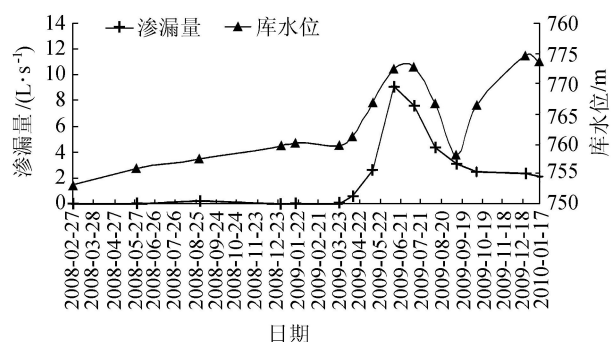


图 5 水位、渗漏量与时间关系曲线

4.2 效果评价

a. 效益良好。上水库采用黏土铺盖防渗总工程量为 65.56 万 m³,总投资额为 1235 万元,如果采用沥青混凝土防渗,由于基础为软土地基,沥青混凝土须采用复式结构,厚度按照 0.3 m 计,总方量为 4.65 万 m³,总投资额约为 6975 万元,直接节约投资 5740 万元。

b. 结构先进。黏土铺盖防渗结构适应基础变形能力强,运行期间具有一定的自愈合能力。黏土防渗材料就地取材,且无任何污染。

c. 施工快捷。创新和改进的施工技术措施,不仅保障了施工质量,而且大幅提高了施工效率,黏土铺盖实际施工时间约 6.5 个月,比预计工期缩短半年。

d. 技术先进。宝泉抽水蓄能电站上水库库底采用黏土铺盖防渗技术为国内首次,也是世界上第一个成功的工程实例,填补了此类工程的空白;获得多个科技奖项,其施工工法被评为 2007—2008 年度国家级施工工法。

4.3 主要技术创新成果

- a. 填筑区合理进行分期、分区,施工道路采用平面不交叉、上下层投影不重合的布置方式,并使用“后退法”布料,保证了施工质量,实现了大面积黏土铺盖快速施工。
- b. 黏土铺盖施工分区纵横结合部预留斜坡面,坡面不陡于1:3.0,在相邻区段填筑时,坡面需进行取样检测,各项指标合格后,边打毛、边洒水、边铺料,并进行骑缝碾压。
- c. 针对黏土铺盖水平防渗及工作面较大的特点,采用振动平碾碾压、振动凸块碾刨毛的组合碾压和层间结合面处理技术,提高了施工效率。
- d. 黏土铺盖与库岸防渗体结合部施工采用振动平碾薄层(库底部位松铺35 cm,结合部松铺25 cm)静压,与库岸防渗体接触部分(接触线以内20 cm范围)黏土采用薄层摊铺、隔层补压的施工技术,确保了施工质量。
- e. 黏土铺盖与沥青混凝土面板结合部填筑前,先在沥青混凝土面板上涂刷1:1.1~1:1.5的浓泥浆,且泥浆涂刷高度与铺土厚度、涂刷进度与铺土强度基本一致,保证在黏土覆盖前泥浆保持黏性。

5 结 语

截至2014年10月,宝泉抽水蓄能电站上水库自投产发电以来运行正常,渗漏量稳定在1.0~3.0 L/s,远低于14.91 L/s设计指标。

宝泉抽水蓄能电站上水库库底防渗黏土铺盖在工程建设中,针对库底黏土铺盖抵御垂直方向渗流等技术特性,大胆进行技术创新,解决了分期分区、进料布料、组合碾压、纵横接缝、库岸接头等一系列施工技术

难题,不仅保障了施工质量,而且大幅提高了施工效率,填补了国内库底黏土铺盖填筑施工的技术空白,能为修订或编制该领域规范提供技术支持与工程实例。

黏土铺盖具有较好的柔变性,能与其他填筑体、岸坡沥青混凝土和其他结构混凝土结合一体,适应地基变形能力强,在防渗漏上具有一定的自愈合功能,防渗效果好,且工程造价低。宝泉抽水蓄能电站上水库库底采用黏土铺盖防渗的成功实践,为抽水蓄能电站库盆防渗方式提供了一个新的可选方式,具有较好的工程运用前景。

参考文献:

[1] 丁学琦. 抽水蓄能电站库盆防渗技术的探讨[J]. 水力发电, 2002,28(6):32-34.

[2] 贾金生,杜振坤,袁玉兰. 十三陵抽水蓄能电站上池防渗效果与止水总结[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2003,1(2):98-103.

[3] 方光达. 土工膜库盆防渗及混合坝技术应用的有关问题[J]. 水电站设计,2004,20(1):1-4.

[4] 王惠芹,杨维九,闵舒. 宝泉抽水蓄能电站上水库防渗设计[J]. 人民黄河,2002,24(6):26-27.

[5] 谢遵党,邵颖,杨顺群. 宝泉抽水蓄能电站上水库防渗体系设计[J]. 水力发电,2008,34(10):27-30.

[6] 刘耀华,潘翔. 宝泉抽水蓄能电站黏土铺盖防渗施工技术[J]. 施工技术,2010,39(6):19-21.

[7] EJGF 199—2008 高水头防渗土料填筑施工工法[S].

[8] 郝巨涛,刘增宏,瞿扬. 沥青混凝土防渗面板与黏土铺盖之间接触渗透性能的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2007,29(12):1800-1803.

[9] DL/T 5129 —2001 碾压式土石坝施工规范[S].

(收稿日期:2014-10-09 编辑:熊水斌)



· 简讯 ·

《2014 年联合国世界水资源开发报告》简介

2014年3月,联合国教科文组织出版了《2014年联合国世界水资源开发报告》(The United Nations World Water Development Report 2014),由联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、联合国人类住区规划署、联合国工业发展组织和世界银行分别负责论证和起草该报告的不同分支主题,同时该报告还受益于联合国水机制众多正式成员及合作伙伴的相关工作成果。《2014年联合国世界水资源开发报告》分为两卷:第1卷是“水资源和能源”,宏观探讨目前及今后一段时期人类在水资源开发、利用和管理中存在的一些问题及其与能源之间的复杂关系;第2卷是“直面挑战”,提供来自全球的13个案例,介绍各地在应对水资源和能源问题中的一些典型做法。编者致力于提供一个以基本事实为依据,以均衡中立为价值导向的综合报告,期望其能够代表当前人类对水资源和能源认识的最新水平,呼吁加强水资源和能源的综合管理,弱化经济增长对水资源的依赖,改善经济发展的可持续性。这是联合国推出的第15份《联合国世界水资源开发报告》,也是首次以年度报告的形式编撰,同时《联合国世界水资源开发报告》的年度主题将与世界水日的主题相一致,以扩大宣传活动的影响力。

(楚行军供稿)