

中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 组编

# 抽水蓄能电站工程 建设文集 2015

CHOUSHUI XUNENG  
DIANZHAN GONGCHENG  
JIANSHE WENJI 2015



 中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 组编

# 抽水蓄能电站工程 建设文集 2015

CHOUSHUI XUNENG  
DIANZHAN GONGCHENG  
JIANSHE WENJI 2015



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站工程建设文集. 2015 / 中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会组编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5123-8531-3

I. ①抽… II. ①中… III. ①抽水蓄能水电站-建设-文集 IV. ①TV743-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 263443 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 36.25 印张 1107 千字

定价 150.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



# 序

我国抽水蓄能电站建设已经取得了很大成绩。到 2014 年，全国已建成抽水蓄能电站 29 座，总装机容量 2210 万 kW。其中，装机容量大于 30 万 kW 的大型电站 18 座，安装有单机容量大于 15 万 kW 的大型抽水蓄能机组 80 台，单级可逆式水泵水轮机组最大扬程达到 700m。从抽水蓄能电站的规划选点、勘测设计，到装备制造、建设施工和运行管理等各个方面，建设水平整体上已经跻身于世界先进水平行列。这样的成绩来之不易，它至少经历了我国水电行业两代人的艰辛和努力，经历了近三十年的不断探索、学习、研究、实践到日臻成熟，积累了宝贵的经验，为我国抽水蓄能电站未来的发展打下了坚实的基础。

20 世纪 90 年代，以广蓄、十三陵、天荒坪抽水蓄能电站建设为标志，我国抽水蓄能电站建设开始进入较快的发展时期。与此同时，中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会应运而生。专委会 1995 年成立以来，为数以万计参与我国抽水蓄能电站建设的科技工作者和建设者搭建起了学术、技术交流以及联系沟通平台，在抽水蓄能电站的建设和管理实践中，传播科学方法、推广先进技术、促进技术交流合作。通过每年召开学术年会或技术交流会，每年出版《抽水蓄能电站工程建设文集》，引领大家努力研究探索，认真归纳总结，在规划、设计、施工、装备制造和运行管理等方面，都取得了丰硕的成果，促进了我国抽水蓄能电站建设和管理水平的不断提高和技术进步。即将出版的 2015 年《抽水蓄能电站工程建设文集》收录了有关论文 120 余篇，内容囊括了我国抽水蓄能电站建设和管理领域各个专业的研究探索与经验总结，其中不乏重要的理论成果和施工实践，对促进我国抽水蓄能电站建设和管理具有指导和借鉴意义。

当前，我国抽水蓄能电站建设已经进入一个前所未有的大好发展时期。由于节能减排和大力发展风电、太阳能等清洁能源发电，为满足电网安全和调峰

的需要，未来要建设数倍于目前体量的抽水蓄能电站。另外，科技进步日新月异，我国正在进入大众创业、万众创新的发展新时期，各种产业中的优胜劣汰正在发生，电力体制改革也在进行，对抽水蓄能电站的技术进步、建设和管理水平都提出了新的更高要求。其实，创新并不深奥，它每时每刻都发生在我们的身边，同时又是我们发展和前进的持续动力。它山之石，可以攻玉。我们在抽水蓄能电站的建设和管理过程中，总是会有新的技术问题或者困难不断出现。希望这本《抽水蓄能电站工程建设文集》有益于大家的学习、思考和借鉴，从中得到启迪、汲取营养，并激起我们创新的灵感和火花，用我们的勤勉和智慧，共同创造抽水蓄能电站美好的明天，谱写出中国抽水蓄能电站建设和管理的华美乐章。

中国水力发电工程学会常务副秘书长



2015年9月



## 编者的话

---

《抽水蓄能电站工程建设文集 2015》由中国水利发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会（以下简称专委会）组稿，是专委会出版的第 20 部抽水蓄能学术年会论文集，共收录 122 篇文章。

本文集分为抽水蓄能发展规划与建设管理、抽水蓄能电站工程设计、抽水蓄能电站机组装备试验与制造、抽水蓄能电站工程施工实践、抽水蓄能电站运行及维护五部分。内容涵盖了我国抽水蓄能电站建设和管理领域各个专业的研究探索与经验总结，其中不乏重要的理论成果和施工实践总结，内容广泛，资料翔实，希望对从事抽水蓄能工程规划、设计、科研、施工和运行管理人员具有指导和借鉴意义。

本次征文共收到文章 200 余篇，限于篇幅，同时为使内容精炼，在编辑过程中，对一些介绍相同工程、相同作者、相似内容的文章做了适当合并和删减，特在此向读者说明，如有不妥，敬请谅解。

秘书处对各位委员支持论文集征稿工作，积极组稿、投稿表示感谢！希望今后能够收集到更多的、为抽水蓄能工程的健康发展提出真知灼见的优秀文章。

中国水力发电工程学会 秘书处  
电网调峰与抽水蓄能专业委员会

2015 年 9 月于北京

# 目 录

序  
编者的话

## 抽水蓄能发展规划与建设管理

南方电网抽水蓄能电站绿色指标(节能)体系初探 .....	李品清	李国强	辛 晟 (3)		
关于抽水蓄能电站工程建设期阶段划分的思考 .....	黄悦照	韩小鸣	王海琴 (9)		
分期建设抽水蓄能电站项目可研阶段部分专题研究范围的探讨 .....			刘 钢 (13)		
浅谈抽水蓄能机组设备国产化历程与发展方向 .....	张国良	靳国云	王 坤 (17)		
南方电网中长期抽水蓄能电站配置比例研究 .....	林 涛	李品清	李国强	卢宏振	刘国中 (21)
抽水蓄能电站能效分析 .....			李国强	辛 晟 (27)	
抽水蓄能电站工程建设过程稽查管理办法实践浅述 .....	徐剑飞	黄杨梁	吕阳勇 (32)		
抽水蓄能电站资产全生命周期管理信息化建设探索 .....			陈 伟 (36)		
抽水蓄能电站建设征地移民安置实施与管理 .....			渠守尚 (42)		
综合计划管理在调峰调频发电公司的深化应用研究 .....	李品清	李国强	陈 湘	张 驰 (47)	
基于BIM技术的抽水蓄能项目建设集成管理研究 .....	王胜军	刘富强	王宁波 (54)		
广东省抽水蓄能电站发展与特色 .....		郭建设	刘林军 (59)		
南方区域抽水蓄能电站项目前期管理实践 .....		杨跃斌	曹 路 (65)		
FSC可变速抽水蓄能在含大规模风光发电系统中的应用 .....	畅 欣	韩民晓	郑 超 (71)		
抽水蓄能电站附属道路工程设计方案建设单位审查要点研究 .....	温家华	马传宝	张 程 (77)		
溧阳抽水蓄能电站工程建设质量管理实践 .....	陈洪来	吕永航	胡育林 (81)		
响水涧抽水蓄能电站工程建设质量控制实践 .....			汪业林 (86)		
浅析溧阳抽水蓄能电站执行概算编制 .....	刘洋洋	高 斌	沈 雍	柳妹羽 (91)	
浅析电力工程造价管理审核 .....			李 丽 (96)		
浅谈发包人在工程施工过程中的变更索赔管理 .....			龚贵平 (99)		
综合计划管理在抽水蓄能电站的应用 .....	蒋明君	周文冬	秦晓宇	邓 斌 (105)	
电网公司进入天然气发电领域发展机会研究 .....		卢宏振	刘国中 (108)		

## 抽水蓄能电站工程设计

侧式进/出水口工程布置新进展 .....				张兰丁 (115)
----------------------	--	--	--	-----------

阜康抽水蓄能电站枢纽布置与建筑物设计 .....	崔博涛 孔德勇 贾 巍	鱼时玮 (120)
丰宁抽水蓄能电站上下水库枢纽布置及特点 .....	孔彩粉	王建华 (126)
浅谈抽水蓄能电站尾水事故闸门的设计 .....	胡 坤 殷苗苗	薛小兵 (130)
丰宁抽水蓄能电站一、二期地下厂房系统设计优化研究 .....	费万堂 张学清 马雨峰	王建华 (134)
抽水蓄能电站输水发电系统参数对水力过渡过程计算敏感性研究 .....	苏 浩	(138)
洪屏抽水蓄能电站机组状态监测系统设计 .....	蔡 龙	(143)
荒沟抽水蓄能电站电气一次设计主要特点简介 .....	王树生 朱中国 尹铁军	柳 瑞 (149)
抽水蓄能机组轴线调整工作探讨 .....	李 宁 马信武	李延丰 (153)
宜兴抽水蓄能电站中压空气压缩机容量计算 .....	张 政	(159)
蟠龙抽水蓄能电站变形监测设计 .....	刘岭梅	(162)
呼和浩特抽水蓄能电站上水库防渗方案沥青混凝土结构层单价编制 .....	徐爱香 周首喆	杜秀惠 (167)
浅析文登抽水蓄能电站招标设计及施工图设计阶段设计 优化 .....	夏 武 李永林 刘传军 周 源	郭霜天 (172)
抽水蓄能电站泥沙影响及处理措施 .....	赵 轶	(178)
超高水头抽水蓄能电站水泵水轮机水力特性研究 .....	刘德民	姚李超 (183)
东北地区闸门防冰冻方法研究 .....	王培杰 申美红 郭红永 赫岩松	胡云鹤 (189)

## 抽水蓄能电站机组装备试验与制造

国产弹性油箱支撑推力轴承在大型发电电动机的应用 .....	徐立佳	(195)
抽水蓄能电站发电电动机的主力机型 .....	赵 政	(198)
抽水蓄能机组调试主要问题分析与处理 .....	林祖建	黄志泉 (202)
大型发电机定子线棒 VPI 用绝缘材料的国产化应用 研究(Ⅳ) .....	付 强 满宇光 黄程伟 郑 伟 冯 超, 等	(207)
可变速发电电动机的运算电抗 .....	孙玉田	(212)
大型抽水蓄能机组励磁控制器升级交接试验介绍与实践 .....	陈 刚	郑小刚 (218)
大型抽水蓄能机组启动及紧急关闭调速器控制策略研究及 实现 .....	蔡卫江 徐 伟 李雪锋	何林波 (225)
抽水蓄能机组功率测量回路运行分析及反措 .....	姜泽界	范建强 (230)
抽水蓄能机组绝缘系统的研制及开发 .....	张秋寒 冯 超	刘大庆 (234)
自动电压控制在抽水蓄能电站应用研究 .....	黄杨梁	(238)
抽水蓄能机组 S 特性判定方法的研究 .....	荣 红 宋旭峰 杨文道	蒲楠楠 (243)
抽水蓄能机组启动与停机工况下励磁控制策略研究 .....	余 振 葛东平	木 刚 (249)
抽水蓄能机组中球阀的加工制造和漏水试验的工艺探索 .....	梁立忠	李寅寅 (255)
基于高斯阈值法的水电机组状态评估方法研究 .....	许红义	(259)
水泵水轮机球阀全模型刚度有限元计算 .....	张恩佳	(263)
关于防止机组过速信号误动方案的探讨 .....	庄坚菱	林礼清 (267)
水轮机的空蚀及其危害 .....	张 政	薛小兵 (271)
蒲石河抽水蓄能电站采用机械程序锁防止误入带电间隔闭锁设计 .....	蒋春钢	(274)
溧阳抽水蓄能电站调相压水自动控制系统设计 .....	王书枫	房道明 (278)
从天荒坪抽水蓄能电站到仙居抽水蓄能电站看发电电动机结构设计问题 .....	何 铮	何永泉 (283)
SFC 逆变桥驱动电路设计 .....	赵 鑫	(290)
罗马尼亚 Tarnita 抽水蓄能电站机组主要参数选择 .....	孔凡瑞 张树邦 王 威	高海军 (294)



巨型水轮发电机磁极起吊变形分析 .....	周佳亮	(299)
仙游抽水蓄能电站双机甩负荷试验分析 .....	徐步超	李向阳 (302)
十三陵蓄能电厂发电机定子线棒防晕层破坏原因分析及处理 .....	和海顺	(306)
哈电混流式水泵水轮机长短叶片转轮水力研发及 进展 .....	王焕茂 覃大清 魏显著 赵 越	陈元林 (310)
仙游抽水蓄能机组热套推力头工艺介绍 .....	李向阳	谭 信 (316)
大雅河抽水蓄能电站水泵水轮机基本参数 选择 .....	李冬阳 何香凝 李 鹏 庄乾彪 徐志军 郑德湘 李 宁	许光远 (319)
溧阳抽水蓄能电站引水钢岔管水压试验分析与研究 .....	倪海梅 章存建 高从闯	陈忠宾 (323)
仙游抽水蓄能电站首台机的调试 .....	肖庆华	(327)
清远抽水蓄能电站水轮机座环蜗壳安装的控制 .....	吕志鹏	黄运福 (332)
潘家口蓄能电厂黑启动功能改造可行性研究 .....	李吉虎	陈泽升 (336)

### 抽水蓄能电站工程施工实践

大型抽水蓄能电站渗控工程施工关键技术 .....	张利荣 严匡柠	张孟军 (345)
安全生产风险管理体系在清远抽水蓄能电站引水竖井上弯段 混凝土衬砌过程中的应用研究 .....	刘学山	万 晟 (350)
浅谈抽水蓄能电站引水系统斜井开挖施工技术 .....	胡紫航	何少云 (356)
钢结构排架支撑模板施工技术在引水隧洞空间弯段混凝土衬砌施工中的应用 .....	仲启波	(362)
敦化抽水蓄能电站冬季施工影响分析 .....	李长实 郑德湘 温学军	解永泽 (365)
洪屏抽水蓄能电站钢岔管水压试验 .....	王康生 杨 雄 熊 涛 张 华	洪云来 (369)
洪屏抽水蓄能电站高强钢岔管焊接残余应力检测分析和研究 .....	张忠和 熊 涛	杨 雄 (375)
响水涧抽水蓄能电站施工支洞封堵施工技术 .....	齐 宇	(379)
溧阳抽水蓄能电站锚喷支护质量控制 .....	潘福营	(383)
呼和浩特抽水蓄能电站压力钢管质量控制 .....	彭建国 余 健	刘 蕊 (385)
溧阳抽水蓄能电站主厂房下游拱肩附近喷混凝土层开裂、掉块情况 分析与处理 .....	邢 磊 陈洪来 祁 舵	单海年 (390)
溧阳抽水蓄能电站 2 号引水竖井在复杂地质条件下的开挖与支护 .....	邢 磊 史永方	李国权 (396)
敦化抽水蓄能电站竖井导井深孔爆破开挖技术的应用 .....	马春程 王辉伟 王 勇	马松涛 (400)
手刮聚脲在抽水蓄能电站混凝土面板接缝的修补应用 .....	朱德康	孙志恒 (404)
溧阳抽水蓄能电站下水库进/出水口边坡开挖防护方案研究 .....	陈 宁	苏军安 (407)
溧阳抽水蓄能电站面板堆石坝料压实质量实时控制研究 .....	李子龙 刘东海	陈 宁 (413)

### 抽水蓄能电站运行及维护

广州抽水蓄能电站 20 年运行评析及借鉴 .....	李品清 卢宏振	刘国中 (421)
预警系统在蒲石河抽水蓄能电站水库调度中的 应用 .....	郭红永 张重远 潘立刚 赫岩松 王培杰	李明凯 (427)
调速器导叶开度同步监视系统在泰山抽水蓄能电站的应用 .....	王洪博	陈 鑫 (431)
抽水蓄能电站调速器控制系统故障研讨分析及解决 .....	张 旭 霍献东 秦鸿哲	陈小冲 (434)
抽水蓄能机组导叶开启故障分析及处理 .....	权 强	(439)
抽水蓄能机组运行工况判别及校验方法研究 .....	王 凯 王 光 季遥遥 陈 俊	李华忠 (442)

抽水蓄能机组常见机械制动系统故障分析及应对措施 .....	李海波	仇 岚	(446)		
抽水蓄能电站安全监测三维可视化系统研究 .....	渠守尚	陈照阳	(452)		
抽水蓄能电站技术供排水运行方式调整及改造 .....		叶 爽	(457)		
现代化抽水蓄能电站进水阀密封失灵原因分析及处理 .....	龙庆亮	胡 栋	陈 侠 (460)		
抽水蓄能机组调相压水时尾水水位测量与技术改造 .....		候录江	(467)		
十三陵蓄能电厂气相色谱仪故障原因分析 .....		王立新	(470)		
张河湾抽水蓄能电站下水库拦排沙系统工程运行效果分析 .....	路 建	马保东	(473)		
浅析大型抽水蓄能电站水淹厂房防护措施 .....	杨众杰	李振魁	(477)		
一起因电焊引起的机组跳闸事件原因分析及接地方式探讨 .....		彭煜民	(481)		
投入式智能液位变送器在水泵水轮机顶盖排水系统中的应用 .....	栗庆龙	陈小冲	李隆飞 (484)		
白莲河抽水蓄能电站 2 号尾水事故闸门油缸渗油原因分析及处理 .....	郑庭华	杨绍爱	(487)		
某抽水蓄能电站 500kV 变压器油色谱异常分析及故障查找 .....		柳艳红	(491)		
发电电动机定子线棒表面异常分析及处理方法 .....	张礼平	李 伟	张 辽	宁如平	王景莹 (494)
直接接触式测量转子磁极温升方法研究 .....		曹 波	杨 斌 (497)		
张河湾抽水蓄能电站中压空气压缩机振动分析及处理方法研究 .....	徐 桅	郭旭东	(503)		
桐柏抽水蓄能电站 1 号发电机下部组合轴承瓦温过高原因分析及 处理 .....	颜广文	胡 栋	龙庆亮	陈 侠 (506)	
宝泉抽水蓄能电站尾水事故闸门系统电源供电可靠性浅析 .....	倪 冉	常东亮	霍献东 (511)		
浅析宜兴抽水蓄能电站 GCB 电寿命评估现场应用 .....	宋晋红	周文冬	秦晓宇	邓 斌	蒋明君 (514)
张河湾抽水蓄能电站高压厂用电负荷开关改造及应用 .....	任 刚	王国柱	黄 嘉	刘璐茜 (518)	
白莲河抽水蓄能电站 1 号机组温度巡检装置改造 .....	郑庭华	祁威威	蔡碧琛	陈 佳	高 园 (523)
宝泉抽水蓄能电站机组电气制动时励磁电压超限跳机问题浅析 .....	霍献东	李 刚	常东亮 (525)		
一次励磁发电机电压故障引起的发电开机不成功的分析 .....	章 亮	潘菊芳	(528)		
蒲石河抽水蓄能电站 1 号机球阀抽水启动过程开启失败原因分析及处理 .....		陶迎新	(532)		
十三陵蓄能电厂转子磁极绕组故障处理 .....		和海顺	(537)		
继电保护整定软件在桐柏抽水蓄能电站的应用 .....		王 斌	(540)		
利用氢氧同位素分析蒲石河抽水蓄能电站地下厂房渗漏 来源 .....	韩宏韬	刘 学	都 放	李胜亮	刘明华, 等 (544)
蒲石河抽水蓄能电站下水库坝蓄水渗流监测资料 分析 .....	王培杰	刘 枫	赫岩松	郭红永	韩宏韬 (549)
水轮发电机组轴承甩油治理 .....	张 雷	王大强	秦晓康 (553)		
响水涧抽水蓄能电站一次调频应用与实践 .....	谢加荣	魏 李	初云鹏 (557)		
关于泰山抽水蓄能电站 4 号机组机械制动无法退出问题的分析处理 .....	王洪博	夏 鑫	(563)		
国产 500kV 交联电缆的设计制造及应用 .....		陈沛云	(566)		

抽水蓄能电站工程建设文集 2015



# 抽水蓄能发展规划 与建设管理



# 南方电网抽水蓄能电站绿色指标（节能）体系初探

李品清 李国强 辛 晟

（中国南方电网有限责任公司调峰调频发电公司，广东省广州市 510630）

**【摘要】** 通过适当的规划设计、建设管理与运行管理，达到节约资源、保护生态环境、减少污染效果，减轻工程对生态系统的不良影响，针对南方电网抽水蓄能电站工程，提出了由目标层、一级指标层、二级指标层和三级指标层构成的绿色指标体系框架。按照规划设计期、建设期和运行期，考虑南方电网抽水蓄能电站工程节能环保管理现状，把指标体系分为节能、节材、节水、节地和环保五个方面，进而提出了相应的可以定量或定性的指标。最后，着重详细介绍了抽水蓄能电站绿色指标体系中的节能指标体系。

**【关键词】** 抽水蓄能电站 绿色指标体系 节能指标体系

## 1 引言

近年来，随着生态文明理念深入人心，推进绿色、循环、低碳发展越来越得到电网的关注，电站和变电站绿色、节能等综合评价问题也越来越受人们的重视。常见被评价对象主要为水电站、建筑工程、常规电站或变电站，目前国内外对抽水蓄能电站的评价研究则主要集中在抽水蓄能电站的效益评价等方面上。文献[1, 2]从经济效益、社会效益、电网效益与环境效益来分析建立抽水蓄能电站的综合评价指标体系，文献[3, 4]从抽水蓄能电站静态效益、动态效益及环境效益三方面构建了全面的综合评价指标体系。这些文献的研究主要体现了抽水蓄能电站对电网、社会或环境等外部效益上，而对于抽水蓄能电站本身的绿色评价尚处于初期阶段。抽水蓄能电站是具有特殊功能的电站，承担着电网调峰填谷、调频调相和事故备用等特殊功能，其绿色与否，关系到电网能否安全、稳定和绿色运行，同时也关系到社会对抽水蓄能电站建设必要性和是否节能绿色的认识，所以对抽水蓄能电站进行全生命周期的绿色指标体系综合评价是十分必要的。

## 2 绿色体系研究综述

目前国内外对于各种工程的绿色体系评价的研究已经相当成熟，但主要是集中于绿色水电、绿色建筑等领域，对抽水蓄能电站绿色指标体系评价的研究较少，南方电网抽水蓄能电站绿色指标体系研究是一个创新性的研究。

在绿色水电评价方面，瑞士的绿色水电认证和美国的低影响水电认证，是为降低水电工程的负面影响而提出的解决方案，是目前国外水电环境认证体系中比较典型的代表，核心内容是确立对水电工程的生态环境保护状况进行评估的技术标准。通过建立客观、科学、公正的生态环境认证标准和市场激励机制，鼓励水电站运行单位采取有效措施，最大限度地减少水电站大坝对生态环境的不利影响。

LEED 全称为 Leadership in Energy and Environmental Design，是美国绿色建筑委员会（USGBC）为满足美国建筑市场对节能与生态环境建筑评定的要求，提高建筑环境和经济特性而制定的一套评估标准。LEED 主要通过 6 个方面对绿色建筑进行考察，包括可持续发展场地、水资源利用效率、能源与大气、材料与资源、室内环境质量、创新与设计。

GB/T 50378—2014《绿色建筑评价标准》于 2015 年 1 月 1 日起正式实施，其目的是更好地贯彻国家技术经济政策，节约资源，保护环境，规范绿色建筑的评价，推进社会的可持续发展。《绿色建筑评价标准》将评价分为设计评价和运行评价。设计评价内容为节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用、室内环境质量，运行评价内容为施工管理、运营管理。评价方法为逐条评分后分别计算各类指标得分和加分项附加得分，然后对各类指标得分加权求和并累加上附加得分计算出总

得分。

为了运用先进的计算机技术、通信技术、控制技术,建设一个覆盖城乡的智能、高效、可靠的绿色电网(简称3C绿色电网),中国南方电网公司在2011年提出了3C绿色电网评价体系,将智能、绿色、节能等理念逐步融入到电网工程建设中,不断提高公司基建工程的建设管理水平。3C绿色电网建设评价标准(变电站绿色部分)主要按照以下几个方面展开:①节地与土地利用;②节能与能源利用;③节水与水资源利用;④节材与材料利用;⑤站内外环境质量与环境保护。

美国LEED评价系统和我国的绿色建筑评价标准以及3C绿色电网评价体系仍有很多不同之处,尤其体现在细节上。在节地方面,我国的绿色评价标准侧重于人均用地效率的提高,而美国在可持续场地得分中侧重于按建筑密度来评价;在节能与能源利用方面,LEED从采暖、通风、空调系统,建筑围护结构、热水供应,照明等多方面的评价来控制,而且还从能源使用对外部环境的破坏方面来评价,禁止使用含氢代氟氯烃类化合物和盐卤产品,并鼓励使用绿色电能等其他方面。

文献[8]分析了高速铁路对生态环境影响的特点,建立了高速铁路绿色生态评价指标体系。文献[9]分析和制定机电产品绿色度评价系统的评价原则,分析绿色设计的评价标准及评价方法,制定面向设计阶段的机电产品绿色度评价系统指标体系结构。文献[10]针对港口工程的生态环境问题日益突出的现状,对港口工程绿色评价开展了研究,建立了可用于评价港口工程绿色度的指标体系。

上述的绿色体系研究和应用主要集中于绿色水电、绿色建筑等领域,对抽水蓄能电站绿色指标体系评价的研究较少。而随着生态文明理念深入人心以及抽水蓄能电站的快速发展,对抽水蓄能电站的绿色评价也应该得到大力研究,指导电站规划和建设,推动抽水蓄能电站的绿色设计、施工和运行,鼓励使用创新的绿色技术,促进抽水蓄能电站绿色技术的发展,为建设绿色抽水蓄能电站提供技术方向。

### 3 抽水蓄能电站绿色指标体系

抽水蓄能电站绿色指标体系借鉴了瑞士绿色水电的“绿色”思想和美国低影响水电的“低影响”思想,是在3C绿色电网建设评价标准的大框架内和基础上,根据南方电网抽水蓄能电站的实际情况,参考最新版的中国绿色建筑评价标准以及美国绿色建筑认证标准,探索建立一套完善的抽水蓄能电站绿色指标体系和评价标准,以此为依据,规范指导电站规划设计、建设和运行,以提高其绿色程度,有利于建立绿色抽水蓄能电站。

#### 3.1 绿色抽水蓄能电站的内涵

绿色抽水蓄能电站的内涵可定义为:在保证工程效益、工程安全与质量的前提下,在抽水蓄能电站的全生命周期内运用各种绿色技术手段,在节约资源、保护生态环境、减少污染方面,在为运行人员提供健康、适用、高效的使用条件方面,在与周围环境的和谐协调方面,均达到较高的水平。

#### 3.2 指标体系框架与结构

抽水蓄能电站绿色指标体系是由多层次递阶结构构成的庞大且复杂的指标体系,纵向上涵盖了规划期、设计期、建设期和运行期等时期在内的绝大部分主要绿色指标,体现了基于全寿命周期理论的研究特点;横向上包含了节能、节材、节水、节地及环保等“四节一环保”指标,从不同的角度构建抽水蓄能电站绿色指标体系。

规划设计期是水电工程建设的龙头,设计方案的优劣,决定着电站建成后的质量、安全状况,也影响着电站的绿色水平。从电站建设的规划设计阶段开始,采用先进的绿色设计理念和绿色技术手段,确保工程设计方案满足绿色电站要求,为绿色施工提供基础条件,指导后期运行管理工作。建设阶段既是规划、设计的实现过程,同时又是大规模地改变自然生态环境、消耗自然资源的过程。它的周期虽然相对较短,但对自然形态的影响却往往是突发性的,对于资源和能源的消耗也是非常集中的。在工程建设过程中,在保证安全、健康、质量的前提下,通过科学管理和技术进步,最大限度地减少对环境的负面影响、节约资源(节材、节水、节能、节地)和提高施工效率。电站运行期时间长,是电站整个生命周期中最主要的时期。抽水蓄能电站绿色运行与否,关系到电网能否安全、稳定和绿色运行,同时也关系到社会对抽水蓄能

电站建设必要性和是否节能绿色的认识。在电站运行期，需要以行业先进水平为标杆，以未来发展趋势为追求，采用先进的绿色技术手段，推行精细化管理，提高电厂节能环保绿色环保意识，建设高效低耗，环境友好，运行安全、舒适、健康，与自然和谐共存的抽水蓄能电站。

抽水蓄能电站绿色指标体系框架如图 1 所示。

抽水蓄能电站绿色指标体系的框架包括四个递阶的层次，即目标层（总目标层、子目标层）、一级指标层、二级指标层和三级指标层。抽水蓄能电站绿色指标体系总体目标是通过适当的规划设计、建设管理与运行管理，达到节约资源、保护生态环境、减少污染效果，减轻工程对生态系统的不利影响。子目标层规定了南方抽水蓄能电站绿色水平评价的分类目标，节能、节材、节水、节地和环保五个方面。对于每个分类可以进一步确定相应定量或者定性描述的各种指标，构成一级指标层。二级指标层为对应一级指标层具体化和细致化的支撑指标，三级指标层为对应二级指标层具体化和细致化的支撑指标。如图 2 所示。

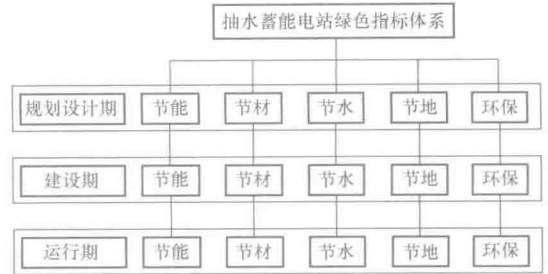


图 1 绿色指标体系框架图



图 2 绿色指标体系结构

适当的规划设计、建设管理与运行管理，达到节约资源、保护生态环境、减少污染效果，减轻工程对生态系统的不利影响

节能、节材、节水、节地、环保

相应定量或者定性描述的各种指标构成一级指标层

为相应一级指标层的具体化和细致化的支撑指标

为相应二级指标层的具体化和细致化的支撑指标

#### 4 抽水蓄能电站节能指标体系

建筑或工程用能在我国的能耗总消费量中占有非常大的比例。抽水蓄能电站全生命周期历时长，尤其是生产阶段可长达 50 年，在整个过程中能量消耗巨大，做好节能工作意义重大，本文探讨建立的抽水蓄能电站绿色指标体系中予以了

节能指标最高的权重，下面将对抽水蓄能电站规划设计期、建设期和运行期的节能指标体系进行详细探讨，节材、节水、节地和环保指标体系另文再述。

规划设计期、建设期和运行期贯穿了抽水蓄能电站工程的全生命周期，每个时期电站的节能的关注点不同，规划设计期主要关注于电站选址、设备选型、施工设计方案、管理方案是否节能合理；建设期节能的关注点为施工节能管理水平、施工油耗电耗控制等方面；运行期节能关注点为节能运行、节能管理。

表 1~表 3 分别是抽水蓄能电站规划设计期、建设期和运行期三个时期的节能指标体系。由于节能指标的三级指标数量众多，每个表中只列举出了目标层、一级指标层和二级指标层的详细指标，三级指标层的具体指标不再详细列举说明。

表 1 规划设计期节能体系

目标层	一级指标层	二级指标层
规划设计期节能指标	综合效率	天然径流发电量
		新能源利用程度
		综合水道水头损失比率
		水泵水轮机效率
		发电/电动机效率
	综合厂用电率	水量损失比率
		直接厂用电率
		人均办公生活用电量
		主变压器能耗水平

续表

目标层	一级指标层	二级指标层
规划设计期节能指标	施工组织节能设计方案合理性	施工总布置设计方案合理性
		工程施工方案合理性
		施工工厂设施设计方案合理性
	用电管理节能设计方案合理性	电能计量层级
		自动采集率
		测量仪表数字化率
	工程综合能耗指标	

表 2 建设期节能体系

目标层	一级指标层	二级指标层
建设期节能指标	施工节能管理水平	施工方案节能降耗专项措施
		节能降耗管理制度
		节能降耗宣传培训工作
		施工设备管理措施
	油耗控制	自卸汽车耗油水平
	电耗控制	施工用电控制管理水平
		配电变压器能效水平
		通风系统能效水平
搅拌机配套电机能效水平		

表 3 运行期节能体系

目标层	一级指标层	二级指标层
运行期节能指标	综合效率	天然来水发电量
		综合水道水头损失比率
		水量损失比率
	综合厂用电率	直接厂用电率
		人均办公生活用电量
		主变压器能耗水平
	用能管理指标	厂用电量精细化程度
		用能管理考核力度

#### 4.1 抽水蓄能电站规划设计期指标

##### 4.1.1 综合效率

综合效率，又称循环效率，是抽水蓄能电站机组在发电工况效率与抽水工况效率的乘积。其中发电工况效率为变压器效率、发电机-水轮机效率、输水系统效率的乘积，抽水工况效率为变压器效率、输水系统效率、水泵-电动机效率的乘积，单位为%。综合效率反映整个电站发电抽水系统的水能循环利用程度，指标越高，说明电站在能量转换的中间环节损耗越小。

##### 4.1.2 综合厂用电率

规划设计期的综合厂用电率指电站生产过程中设备设施、主变压器损耗、办公生活用电等电厂耗电量的年设计值占年设计下网电量之和的比率，对运行期的综合厂用电率大小和电站绿色节能水平有着重要影响。

规划设计期的综合厂用电率着重关注的是在此阶段电站耗电设备选型和设备能耗水平的合理性，绿色设计理念和节能设计水平的先进性。



#### 4.1.3 施工组织节能设计方案合理性

抽水蓄能电站的施工组织设计在施工总布置、工程施工及施工工厂设施等方面,按照节能设计的要求,其整体设计方案合理、科学可行。评价该指标以及其下级指标时对照 GB/T 50649—2011《水利水电工程节能设计规范》、DL/T 5208—2005《抽水蓄能电站设计导则》及 DL/T 5397—2007《水电工程施工组织设计规范》等现行规程规范的要求,根据工程施工组织设计在施工总布置、工程施工及施工工厂设施等方面合理化程度将定性指标转化为定量指标。

#### 4.1.4 用电管理节能设计方案合理性

用电管理节能设计是电站在运行期用电节能管理的基础。合理先进的用电管理节能设计能够为电站运行时的节能管理和节能改造提供准确的数据。在规划设计期用电管理节能设计方案合理性将从电能计量层级、自动采集率、测量仪表数字化率等三方面进行评价。

#### 4.1.5 工程综合能耗指标

工程综合能耗指项目计算期内能耗总量与计算期内工程产生的国民经济净效益的比值,单位为 t 标准煤/万元。工程综合能耗指标按 GB/T 50649—2011《水利水电工程节能设计规范》相关规定和要求进行计算。

### 4.2 抽水蓄能电站建设期指标

#### 4.2.1 施工节能管理水平

施工单位施工节能管理水平的高低会明显影响电站施工能耗大小。建设绿色抽水蓄能电站,在电站施工节能管理中,需要以行业先进水平为标杆,通过在施工方案节能降耗专项措施、节能降耗管理制度、节能降耗宣传培训、施工设备管理措施等各个方面对标,推行精细化管理,提高工程建设节能水平。

#### 4.2.2 油耗控制

建设期消耗汽油和柴油量是巨大的,建设绿色电站需要对施工单位的油耗水平进行控制和评价。由于不同的电站工程施工规模和难度有很大的差异,对建设期的耗油总量进行比较评价是不合理的,但对自卸汽车等主要施工耗油设备的耗油水平进行评价能够合理科学地反映电站在建设期耗油方面的节能水平。

#### 4.2.3 电耗控制

建设期施工用电量巨大,建设绿色电站需要对施工单位的电耗水平进行控制和评价。由于不同的电站工程施工规模和难度有很大的差异,对建设期的耗电总量进行比较评价是不合理的,但对施工用电控制管理水平和配电变压器、通风系统、搅拌机配套电机等主要施工用电设备的能效水平进行评价能够合理科学地反映电站在建设期耗电方面的节能水平。

### 4.3 抽水蓄能电站运行期指标

#### 4.3.1 综合效率

抽水蓄能电站的综合效率可定义为在一个循环周期内抽水效率与发电效率的乘积,反映了从抽水时下网电量通过各环节的能量消耗最终实现发电上网时总体效率的过程,故可以用上网电量占下网电量的百分比进行计算。

运行期的综合效率的影响因素主要有三个,即水能损失、电能损失和能量转换损失。电能损失主要体现在综合厂用电率上,而综合厂用电率作为电厂运行期的重要指标,在本体系里单独作为与综合效率平级的一级指标,因此不作为综合效率的下属指标。

水能损失与天然来水发电量、综合水道水头损失比率、水量损失比率有关,因此这三项指标作为运行期综合效率的下属指标。

能量转换损失与机组性能有关,在电站规划设计时已确定,在电站运行期可视为固定因素,因此在此阶段不作重复评价。

#### 4.3.2 综合厂用电率

运行期的综合厂用电率指抽水蓄能电站生产过程中设备设施、主变压器损耗、办公生活用电等电厂消耗的总电量占发电量与下网电量之和的比率。运行期的综合厂用电率关注的是电厂实际生产运行过程的能