

# 通风面积对泄洪洞通气量及风场的影响

李美玲, 田忠\*

(四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川成都 610065)

**摘要:**采用三维紊流模型,计算并分析了通风洞通风面积对泄洪洞通气量及风场的影响,结果表明:当泄洪洞进口流速和闸门开度一定时,增大通风洞通风面积,通风洞平均风速减小,但减小趋势逐渐平缓;泄洪洞通气量随着通风洞通风面积的增大而增大,但当通风面积增大到一定值时,泄洪洞通气量没有较显著的变化;泄洪洞出口逆向补气随着通风面积的增大逐渐减小。

**关键词:**泄洪洞;通风面积;通风量;逆向补气;影响

**中图分类号:**TV13;TV651

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)01-0074-04

泄洪洞是水利水电工程常用的泄水建筑物,运行时,若通气量不足,洞内可能会出现较低的负压,从而降低了水流空化数,增加空蚀破坏的风险<sup>[1]</sup>。因此,在较长的管道内需设置通气设施,使闸后区域与大气相连,以便引入足够的空气来保证闸后压强处于安全范围之内<sup>[2]</sup>。其中,通风洞为泄洪洞通气设施中较为常见的一种,研究其通风面积对泄洪洞内通气量的影响对工程具有现实意义。

卡林斯基和罗伯逊最早研究了泄洪洞通气量,得到的经验式为 $\beta = m(F_r - 1)^n$ ,式中: $\beta$ 为气水比; $F_r$ 为跃前断面的弗劳德数;系数 $m = 0.0066$ ;  $n = 1.4$ <sup>[3]</sup>。之后,康拜尔和盖顿等沿着这一思路对需气量的规律进行了研究,对公式进行了相应的改进;陈肇和通过原型观测,提出了半经验、半理论公式。至今,需气量的模型规律尚未查明,模型试验还不能真实地模拟需气量的原型规律,而原型观测又受到众多客观条件的限制。笔者采用三维数值模拟的方法,研究了通风洞面积对泄洪洞通气量及风场的影响,旨在为通风洞的设计提供理论参考依据。

## 1 数学模型

### 1.1 基本方程

笔者采用了标准  $k-\varepsilon$  双方程紊流模型,其控制方程为:

$$\text{连续方程 } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

$$\begin{aligned} \text{动量方程 } & \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) \\ & = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \end{aligned}$$

$k$  方程

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G + \rho \varepsilon$$

$\varepsilon$  方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} \\ & = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned}$$

式中  $t$  为时间;  $u_i, x_i$  分别为速度分量和坐标分量;  $\rho$  和  $\mu$  分别为体积分平均密度和分子黏性系数;  $P$  为修正压力;  $\mu_t$  为紊流黏性系数,可由紊动能  $k$  和紊动耗散率  $\varepsilon$  求出;  $\sigma_k$  和  $\sigma_\varepsilon$  分别为  $k$  和  $\varepsilon$  的紊流普朗特数,  $\sigma_k = 1, \sigma_\varepsilon = 1.3$ ;  $C_{1\varepsilon}$  和  $C_{2\varepsilon}$  为  $\varepsilon$  方程常数,分别为 1.44 和 1.92;  $G$  为由平均速度梯度引起的紊动能产生项,由下式定义:

$$G = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

### 1.2 计算体型

泄洪洞由进口有压段、闸室段、闸室通风洞和无压洞段组成,整体布置情况见图1。有压段横断面为矩形,宽8m,高6.6m,长20m,通风洞横断面为矩形,长度为50m,断面尺寸见表1。笔者计算了通风洞面积分别为18m<sup>2</sup>、36m<sup>2</sup>、72m<sup>2</sup>、108m<sup>2</sup>及144m<sup>2</sup>5种情况下通风洞风量及泄洪洞内风场。闸室高20m,宽8m。闸后泄洪洞无压

收稿日期:2014-09-11

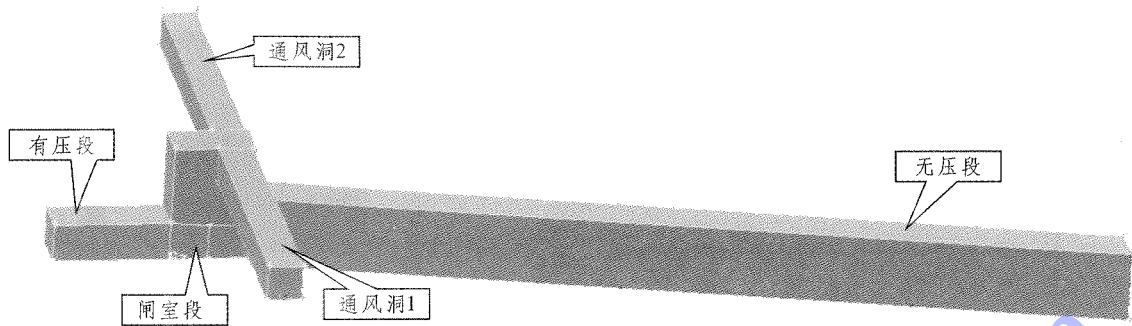


图1 泄洪洞整体布置图

表1 计算体型通风面积表

项 目	计算体型编号				
	1	2	3	4	5
总通风面积 /m <sup>2</sup>	18	36	72	108	144
通风洞1[宽(m)×高(m)]	6×3	6×6	6×6	6×6	12×6
通风洞2[宽(m)×高(m)]	无	无	6×6	12×6	12×6

段长150 m,断面为矩形,宽8 m,高12 m,底坡为9%。

### 1.3 边界条件与计算网格

泄洪洞进口条件设置为速度进口,速度为30 m/s,闸门均为全开情况。闸室通风洞进口设置为压力进口,闸后无压洞段出口设置为压力出口。计算体型较为规则,均为结构化网格;对水流和空气流动影响较大方向的网格进行了加密,最小网格尺寸长、宽、高均为0.3 m。

## 2 计算结果及分析

### 2.1 通风洞面积对通风洞平均风速和通风量的影响

所计算的泄洪洞除在闸室段设置了通风洞外,未设置任何其他通气设施,是一个相对较为封闭的体系<sup>[5]</sup>。可以认为:泄洪洞内通气量的来源为闸室处通风洞的通风量和泄洪洞出口可能存在的逆向补气量,且前者占主要部分。在计算通风洞通风量时,取通风洞中间断面的平均风速乘以通风洞断面面积,风速、风量计算结果见表2。

图2为通风洞面积与其平均风速的关系曲

表2 各计算体型风速风量表

项 目	计算体型编号				
	1	2	3	4	5
总通风面积 /m <sup>2</sup>	18	36	72	108	144
通风洞1平均风速 /m·s <sup>-1</sup>	16.15	11.63	6.50	5.53	4.18
通风洞2平均风速 /m·s <sup>-1</sup>			7.85	5.26	4.18
总通气量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	290.7	418.68	516.6	577.8	601.92

线。从图2中可以看出,当通风面积较小时,增大通风洞面积后平均风速明显降低。随着通风洞面积的继续增大,平均风速降低幅度变小,说明在通风洞面积较小时,面积对风速的影响较大。但随着通风面积的增大,其对通风洞内风速的影响逐渐变小,通风洞风速并不是随着通风面积的增大而无限减小。由此可知,对于在确保泄洪洞掺气充分的前提下要降低通风洞风速,采取增大通风面积的工程措施并不一定总是有效的。

图3为通风洞面积与其通风量的关系曲线。从图3中可以看出:增大通风面积,通风量随之增

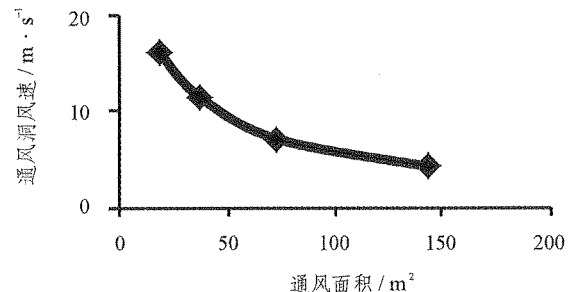


图2 通风洞风速随通风面积变化曲线图

加,但随着通风面积的继续增大,通风量的增加幅度明显减小,最后趋于一个稳定的值。这是因为通风面积较小时,要达到一定的通气量,通风洞内

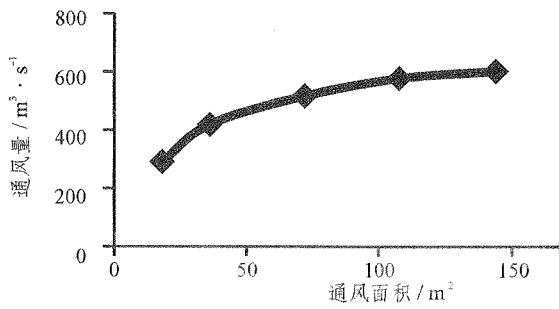


图 3 通风洞的通风量随通风面积变化曲线图

平均风速相对较高,而随着通风面积的增大,泄洪洞内的通气量逐渐达到最大值。一定的流量流速条件下泄洪洞的最大所需通气量是一定的,由此可知:通风洞的通风量并不会随着通风面积的增大而无限增大。

从图 2、3 中还可以看出:通风洞面积为 72 m<sup>2</sup> 时,曲线趋于平缓。设通风洞平均风速为  $V_1$ ,面积为  $a$ ,泄洪洞水流平均流速为  $V_2$ ,洞顶余幅面积为  $A$ ,定义通风系数  $\delta = \frac{aV_1}{AV_2}$ 。A 以闸室出口处进行计算,则  $a = 72 \text{ m}^2$  时有  $\delta = 0.448$ 。可以认为:当通风系数为 0.448 时,继续增大通风洞面积对降低通风洞风速、增加泄洪洞通气量已没有较显著的影响。

### 2.2 通风洞面积对泄洪洞横断面风场的影响

笔者所计算的体型在整个闸室后无压段长度为 150 m。以计算体型 1 为例分析无压段在靠近闸室、中间和泄洪洞出口三个横断面的风速场情况见图 4、5、6。从图中可以看出:水流流速沿程增大,在靠近闸室处由于受到闸室一侧不对称布置的通风洞的影响,风速在整个横断面上呈现不均匀分布;而随着水流的流动,洞顶空气分布逐渐趋于均匀,最终沿横断面中轴呈对称分布,洞顶没有明显的水气交界面,随着水流的流动,泄洪洞出口处水气交界面变得较为清晰。泄洪洞洞顶空气流速存在负值,说明在出口处存在逆向补气现象。

所分析的不同计算体型闸后无压段速度场见图 7、8、9、10、11。在闸室两侧对称设置通风洞以及通风洞面积较小时,无压段洞顶风速分布较快调整为对称分布,其原因是通风洞为对称布置,空气原本就为对称进入,通风面积较小则通风量较小,并容易随着水流的带动而调整分布,最终沿横断面中轴线呈对称分布形式。从图 7 中可以看

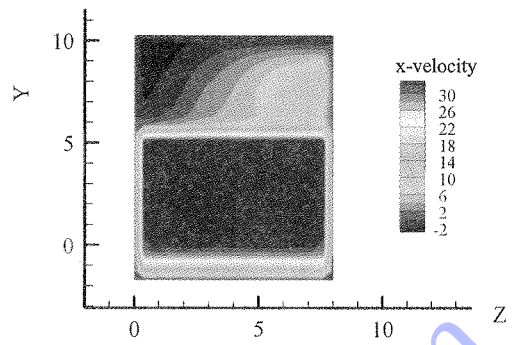


图 4 无压段闸室处断面速度分布图

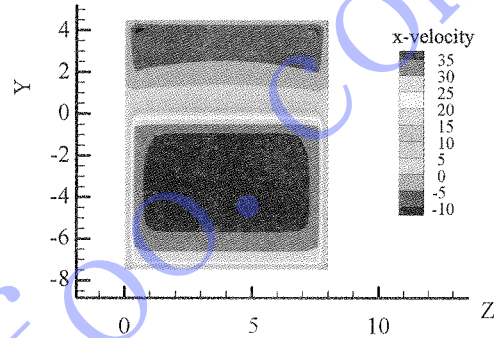


图 5 无压段中间断面速度分布图

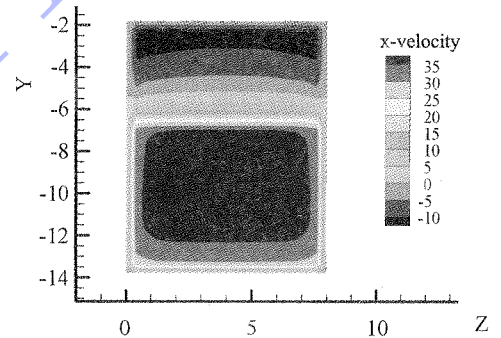


图 6 无压段出口断面速度分布图

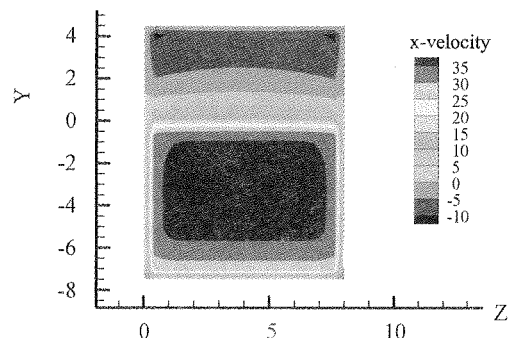


图 7 通风面积为 18 m<sup>2</sup> 时无压段速度分布图  
出:当通风洞面积为 18 m<sup>2</sup> 时,洞顶空气流速负值为 -10 m/s;通风洞面积增大到 36 m<sup>2</sup> 时,洞顶空气流速负值变为 -5 m/s;通风洞面积为 72 m<sup>2</sup>、

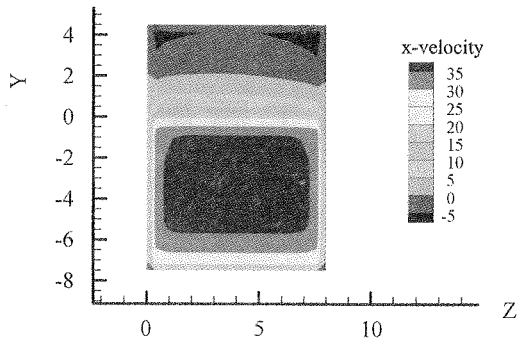


图8 通风面积为 36 m<sup>2</sup> 时无压段速度分布图

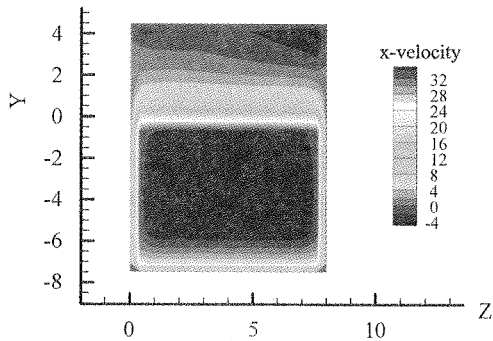


图9 通风面积为 72 m<sup>2</sup> 时无压段速度分布图

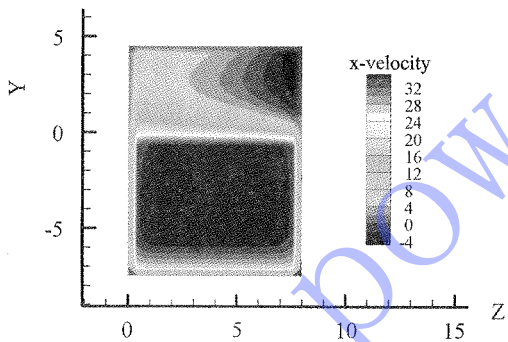


图10 通风面积为 108 m<sup>2</sup> 时无压段速度分布图

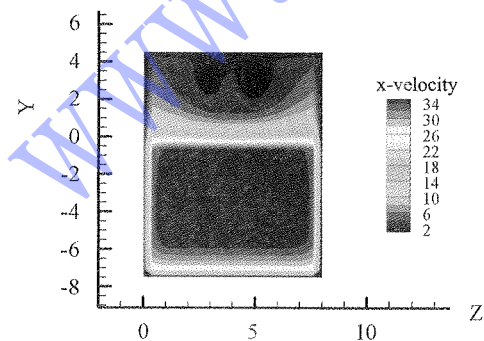


图11 通风面积为 144 m<sup>2</sup> 时无压段速度分布图  
108 m<sup>2</sup> 时,空气流速负值最大值均为 -4 m/s,最后不存在负值流速,说明通风洞面积增大,泄洪洞出口逆向补气量逐渐减少。

### 2.3 通风洞面积对泄洪洞纵断面风场的影响

由横断面流速分布图 7、8、9、10 得知:各计算体型泄洪洞出口均存在逆向补气现象,这是因为水流流动掺气,而闸室处通风洞进气量较小,水流需从出口卷进一部分空气以满足自身需气量,此时泄洪洞出口充当了一个补气洞的作用。由泄洪洞纵断面速度场可以看出出口逆向补气的范围。以计算体型3(即总通风面积为 72 m<sup>2</sup>)为例,从图 12 中可以看出补气长度为 83 m。

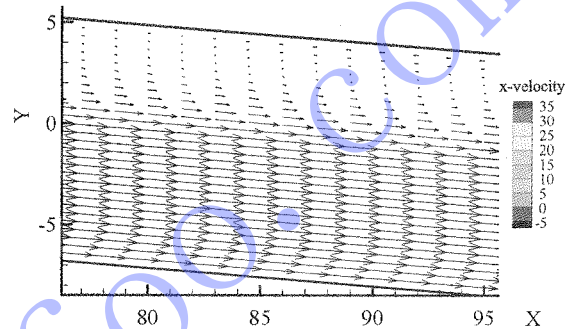


图12 纵断面速度场图

笔者采用同样的方法观察了五种计算体型泄洪洞纵断面速度场,从中可以得到从泄洪洞出口开始往上游的补气长度。由图 13 可知:逆向补气长度随通风面积的增大而减少。同时可以看出,随着通风面积的增加,逆向补气在泄洪洞整个横断面所占空间逐渐减小,即逆向补气量逐渐减少,由此可以得知:当通风面积足够大、通风洞通风量足以满足整个泄洪洞的通气量时,泄洪洞出口将不存在逆向补气,整个泄洪洞通气量全部由闸室处通风洞通风量提供。

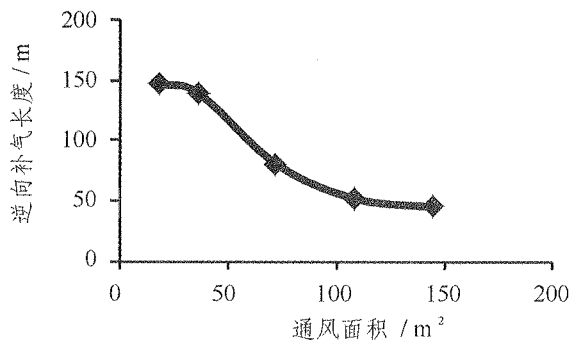


图13 逆向补气长度与通风面积关系图

### 3 结语

- (1) 在泄洪洞有压段进口流速和闸门开度不
- (下转第 98 页)

将磁极键更换为新键。

(10)在打紧磁极键前,应用木板盖住检修的磁极以及相邻的磁极,以防打键过程中伤及磁极。

(11)磁极键打紧后,再次对磁极绝缘进行测量,待测量结果满足要求后,恢复磁极间的磁极引线,利用直流短路法对磁极引线进行焊接。焊接过程中要加强对磁极的保护,防止焊接过程中温度过高损伤磁极线圈。

(12)再次对转子绝缘进行检查,待其满足要求后恢复上风洞盖板及发电机层上盖板。

(上接第 77 页)

变的情况下,增加通风洞的通风面积,通风洞内的平均风速有所降低,变化斜率趋于平缓,通风洞面积对通风洞内风速的影响逐渐变小。由此可知:通风洞风速并不是随着通风面积的增大而无限减小,泄洪洞内的通气量随着通风面积的增大而增大,但其增大幅度是随通风面积的增大而减小的。

(2)在本文的计算条件下,当通风系数达到 0.448 时,继续增大通风洞面积对泄洪洞通气量已没有较明显的影响。

(3)当通风洞通风面积较小、通风量满足不了泄洪洞水流所需通气量时,在泄洪洞出口会存在逆向补气现象。随着通风面积的增大,通风洞通风量增大,逆向补气长度由闸室处减小到无压段中部,逆向补气量随之减小;当通风洞通风量足以满足泄洪洞所需通气量时,逆向补气现象将很

### 5 结 语

通过采取以上方法,我们在极短的时间内对故障磁极进行了处理,节约了大量的时间,缓解了汛期的发电压力。在故障处理的同时也提醒我们在检修时要做好每一个细节,提高检修质量,避免造成一些不必要的损失。今后,转子磁极如遇到类似故障,以上处理方法可作参考。

#### 作者简介:

张 华(1975-),男,重庆涪陵人,工程师,从事水电厂技术与管理  
工作。 (责任编辑:李燕辉)

微弱甚至不存在。

#### 参考文献:

- [1] 李建中,宁利中.高速水力学[M].西安:西北工业大学出版社,1994.
- [2] 陈肇和,黄文杰,叶寿忠.泄洪管道需气量原型规律的研究[J].水利水运科学研究,1986,8(1):1~18.
- [3] 陈肇和,黄文杰,叶寿忠.泄洪管道需气量研究述评[J].水利水运科学研究,1987,9(1):83~96.
- [4] 罗惠远.泄水管道进气问题的研究[J].水利学报,1984,28(8):64~70.
- [5] 岳书波,刁明军,赵 静.高速明流泄洪洞的通气量分析与研究[J].四川大学学报(工程科学版),2013,45(4):7~12.

#### 作者简介:

李美玲(1990-),女,河南安阳人,在读硕士研究生,研究方向:水工水力学;  
田 忠(1977-),男,四川成都人,副研究员,博士后,研究方向:水工水力学。 (责任编辑:李燕辉)

## “水利水电工程征地移民政策改革思路研究”课题通过验收

2014年3月,四川省扶贫和移民工作局委托成都院开展“水利水电工程征地移民政策改革思路研究”工作。立项后,成立了以成都院和四川省扶贫和移民工作局为主,省国土资源厅、人社厅(社保局)等单位参与的课题组。4月~5月,课题组先后到四川省自贡、巴中等典型市(州)以及贵州、湖北和浙江等地进行外业调研和资料收集工作;6月~10月,课题组编制完成研究报告初稿及相关政策文件,并多次组织征求各方意见,反复讨论、修改和完善;11月8日,四川省扶贫和移民工作局邀请了水电总院、水利总院以及水电移民行业内的知名专家,对课题研究成果进行了咨询。本课题在系统梳理目前水利水电征地移民工作面临问题的基础上,对比分析了水利水电征地移民政策面临的挑战和发展趋势,具体阐述了水利水电征地移民改革思路研究,并就土地“两费”政策、地面附着物补偿政策、移民养老保障与社会养老保险并轨政策等九个专题进行了深入的研究和分析,提出了政策调整措施和改革建议。2014年12月12日,四川省扶贫和移民工作局在成都召开了“水利水电工程征地移民政策改革思路研究”课题成果的验收会。四川省扶贫和移民工作局副局长刘兵、何智彬、邹积玉、向伟益、张学勤以及规划处、法规处、后扶处等部门领导,成都院院长助理李亚农、副总工郭万侦、征地移民处处长刘焕永及课题组其他成员参加了本次验收会。成都院征地移民处副专总徐静对研究成果进行了详细汇报,并进行了认真讨论。参会领导对课题成果给予了高度评价,会议认为研究成果紧密结合国家全面推进深化改革的新形势,指明了我国水利水电工程征地补偿政策改革方向和发展趋势,具有极强的前瞻性和实践性,对未来水利水电工程征地移民工作具有重要的指导意义,一致同意通过验收!