

雷州半岛电厂项目地下水抽水试验研究

刘树锋, 黄健东

(广东省水利水电科学研究院; 广东省水动力学应用重点实验室, 广州, 510610)

摘要: 大唐雷州发电项目选址在雷州市西部沿海, 属雷州半岛西南部干旱地区, 地表水资源缺乏。为解决电厂水源问题, 在厂址区域开展了地下水抽水试验, 探讨项目地下水源的可行性。试验研究对雷州半岛干旱地区水资源挖潜开发利用, 解决该地区水资源短缺对工业经济发展的制约有一定的生产意义, 也可为相关实践提供一定的参考借鉴。

关键词: 雷州半岛; 地下水; 抽水试验

雷州半岛位于广东省西南部, 地处祖国大陆的最南端。由于地处低纬度, 地形平坦, 蒸散发能力大而造雨能力相对较低, 河流短小, 地表水奇缺, 是广东省的苦旱地区。为满足广东国民经济发展对电力的需求, 加快粤西经济发展, 拟在雷州市西岸沿海建设一座燃煤电厂。电厂规划先建设 $2 \times 1000\text{MW}$ 机组时年淡水用量为 520万 m^3 , 建设 $4 \times 1000\text{MW}$ 机组时年淡水用量为 950万 m^3 , 总规划装机容量 $6 \times 1000\text{MW}$ 时年淡水用量为 1381万 m^3 。

由于电厂供水保证率较高 ($P=97\%$) 且厂址处在水资源不丰富的雷州半岛西南干旱区, 为解决电厂水源问题, 在厂址区域开展了地下水抽水试验, 根据试验结果探讨项目地下水源的可行性, 可以丰富雷州半岛水资源开发利用实践。

1 区域地下水资源概况

1.1 地下水资源量

雷州半岛地下水资源较丰富, 分布较广, 是该地区的主要供水水源。据统计, 近几年雷州半岛地下水供水量占总供水量的 32% 左右, 而湛江市区的地下水供水量占市区总供水量的比例高达 62% 。根据《雷州半岛地下水资源分析》的计算成果, 地下水埋深小于 30m 的浅层地下水为 8.86亿 m^3 , 埋深 $30 \text{m} \sim 200 \text{m}$ 和 $200 \text{m} \sim 500 \text{m}$ 的中深层地下水为 4.04亿 m^3 , 雷州市地下水资源量为 12.9亿 m^3 。

电厂区域处于雷琼自流盆地西南部, 根据调查分析计算, 该区域 (主要统计了电厂附近雷州市乌石、覃斗镇) 地下水总补给量 $15858 \text{万 m}^3/\text{a}$, 其中地表水补给量 $13068 \text{万 m}^3/\text{a}$, 侧向补给量 $2790 \text{万 m}^3/\text{a}$; 中深层承压水允许开采量 $6260 \text{万 m}^3/\text{a}$, 其中中层承压水允许开采量为 $3481 \text{万 m}^3/\text{a}$, 深层承压水允许开采量为 $2779 \text{万 m}^3/\text{a}$ 。

1.2 地下水开采现状

根据野外调查, 现状电厂附近区域中深层开采深井有 45 口, 单井开采量为 $0 \sim 29 \text{万 m}^3/\text{a}$, 总开采量为 $268.7 \text{万 m}^3/\text{a}$ 。其中乌石镇有 23 口, 开采量为 $91.3 \text{万 m}^3/\text{a}$; 覃斗镇有 22 口, 开采量为 $169.4 \text{万 m}^3/\text{a}$ 。乌石镇自来水供水所有 4 口井, 开采量为 $23.2 \text{万 m}^3/\text{a}$, 抗旱井有 23 口, 开采量为 $134.1 \text{万 m}^3/\text{a}$, 其它生活用水井有 18 口, 开采量为 $111.4 \text{万 m}^3/\text{a}$ 。水位埋深 $3.0\text{m} \sim 50\text{m}$, 高程 $0.95\text{m} \sim 50\text{m}$ 。

区域地下水现状开采量合计为 $470 \text{万 m}^3/\text{a}$ 。

2 抽水试验方案

2.1 试验井布置

电厂厂址位于雷州市乌石镇沿海, 根据区域地下水汇流方向, 在厂址东北部布置一个抽水试验井和两个观测井, 井距 $50 \sim 100\text{m}$, 布置位置见图 1。

抽水试验井和观测井井深均为 220m。抽水主孔钻探口径均采用 380mm，孔深 0~100m 下 219mm 钢管，孔深 100~220m 下 159mm 钢管；观测孔钻探口径均采用 280mm，均下入 127mm 钢管。

2.2 抽水试验方案

本次抽水试验采用稳定流抽水试验方案。

(1) 进行三个落程抽水试验。其中最大下降值可接近孔内的设计动水位，其余次下降值宜分别为最大下降值的 1/3 和 2/3。各次下降的水泵吸水管口的安装深度应相同。

(2) 抽水试验的稳定标准，应符合在抽水稳定延续时间内，抽水孔出水量和动水位与时间关系曲线只在一定的范围内波动，且没有持续上升或下降的趋势。采用深井泵抽水，以水位波动范围不超过 10cm，出水量波动范围不大于正常出水量的 5%，最远的观测孔水位波动不超过 2~3cm 为稳定。

(3) 静止水位观测，每小时测定一次，三次所测数字相同或四小时内水位相差不超过 2cm。

(4) 动水位和出水量观测的时间，在抽水开始后的第 5、10、15、20、25、30 分钟各测一次，以后每隔 30 分钟或 60 分钟观测一次；水温、气温观测的时间，每隔 2~4h 同步测量一次。

(5) 抽水试验结束或中途因故停泵应立即进行恢复水位观测，观测时间间距为 1、3、5、10、15、30 分钟观测一次，以后每隔 30 分钟观测一次，直至完全恢复。

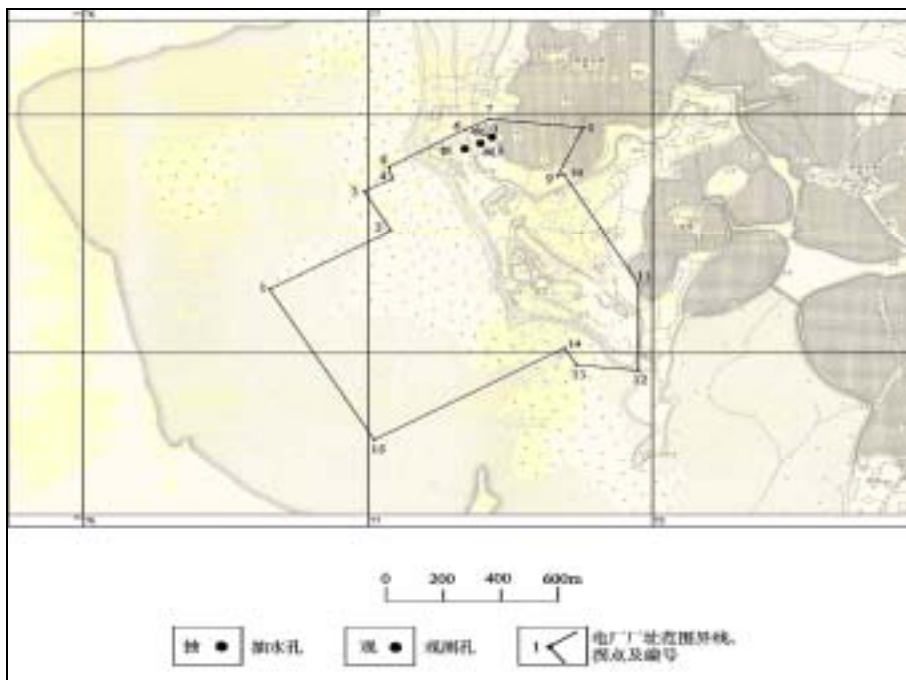


图 1 地下水抽水试验井布置

3 抽水试验成果与分析计算

3.1 抽水试验成果

试验施工水井 3 眼，包括一眼抽水试验井 (SK5) 和二眼观测井 (观 9、观 10)，按三次降深分别进行了抽水试验。第一次降深为 7.84m，抽水延续时间为 10 小时，稳定时间为 8 小时，停泵后水位恢复至抽水前的水位时间为 8 小时 34 分；第二次降深为 15.20m，抽水延续时间为 10 小时，稳定时间 8 小时，停泵后水位恢复至抽水前水位时间为 2 小时 34 分；第三次降深为 21.30m，抽水延续时间 11 小时，稳定时间 8 小时，停泵后水位恢复至抽水前的水位时间为 5 小时 04 分。抽水试验成果详见表 1。

表 1 抽水试验成果表

落程编号	试段深度 (m)	抽水时间 (h:min)	稳定时间 (h:min)	含水层厚度 (m)	滤水管直径 (mm)	滤水管长度 (m)	静止水位 (m)	
1	79.61 ~ 220.61	10:00	8:00	85.51	165	36	1.2	
2	79.61 ~ 220.61	10:00	8:00	85.51	165	36	1.2	
3	79.61 ~ 220.61	11:00	8:00	85.51	165	36	1.2	
落程编号	静止水位 (m)			降深 (m)	出水量(L/s)	单位出水量 [L / (s · m)]	井口水温 ()	成井深度 (m)
	SK5	观 9	观 10					
1	1.2	0.9	0.21	7.84	10.278	1.311	—	218
2	1.2	1.4	0.32	15.20	16.944	1.115	—	218
3	1.2	1.8	0.48	21.30	22.222	1.043	—	218

3.2 试验成果分析

根据抽水试验成果，绘制了 $Q=f(s)$ 、 $q=f(s)$ 、 $Q-t$ 、 $S-t$ 曲线，见图 2~图 4。 $q=f(s)$ 曲线为一条由右往左倾斜的曲线，表明抽水过程中随着井内水位降深增大，单位涌水量逐渐变小。 $Q=f(s)$ 曲线呈指数曲线，曲线形状符合承压水曲线特征。抽水试验 $Q-t$ 、 $S-t$ 及水位恢复曲线显示抽水过程中起始阶段水量大、水位下降快的特征。

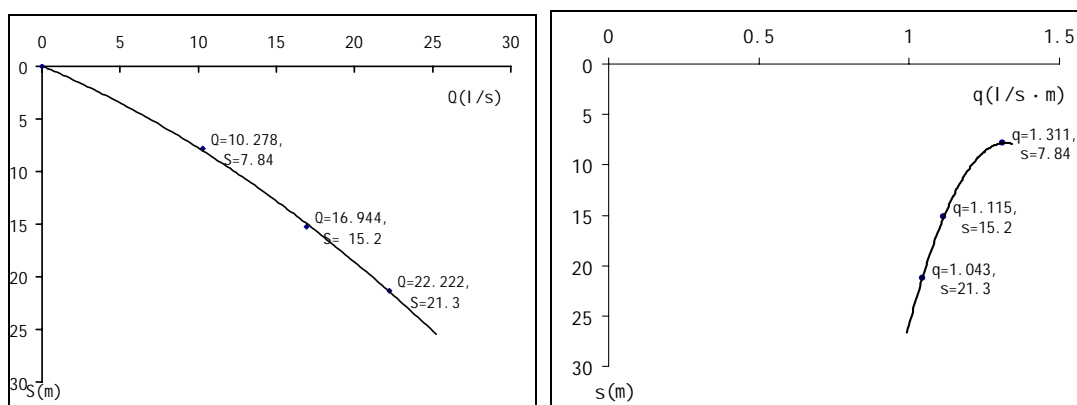


图 2 抽水试验 Q-s、q-s 曲线图

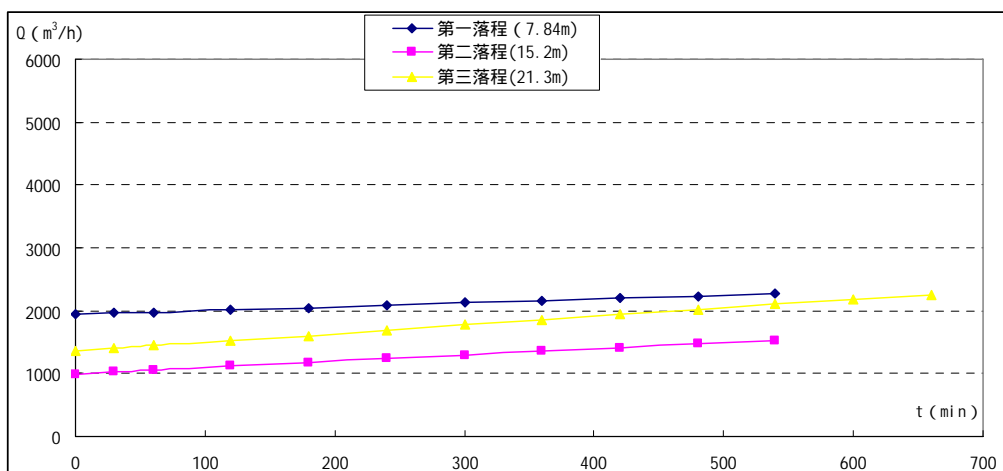


图 3 抽水试验 Q-t 曲线

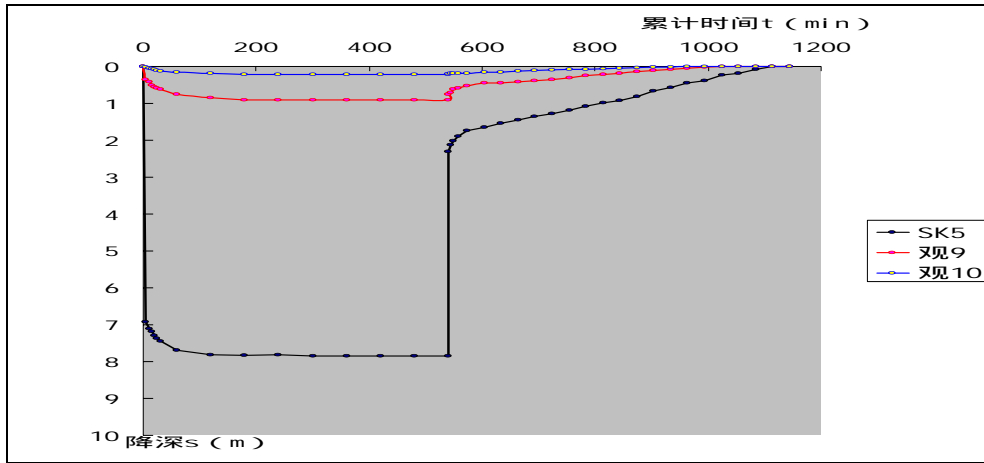


图 4a 抽水试验 S-t 曲线（第一落程）

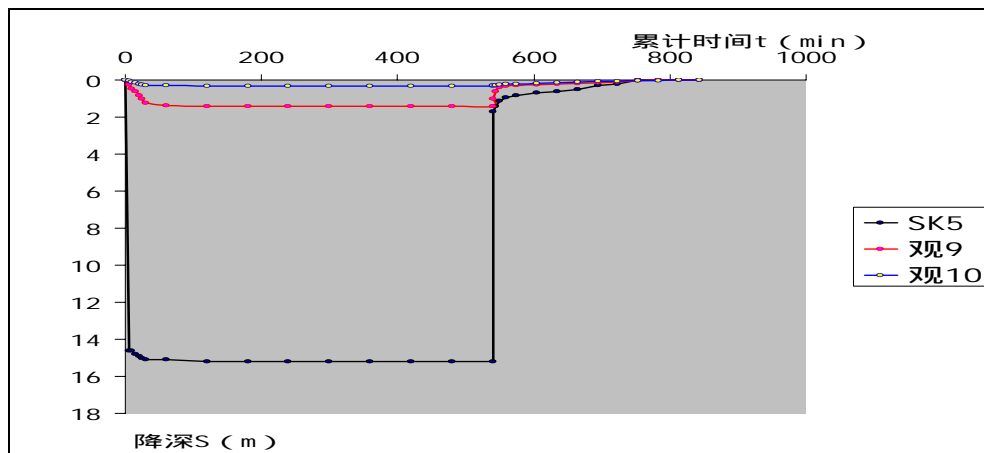


图 4b 抽水试验 S-t 曲线（第二落程）

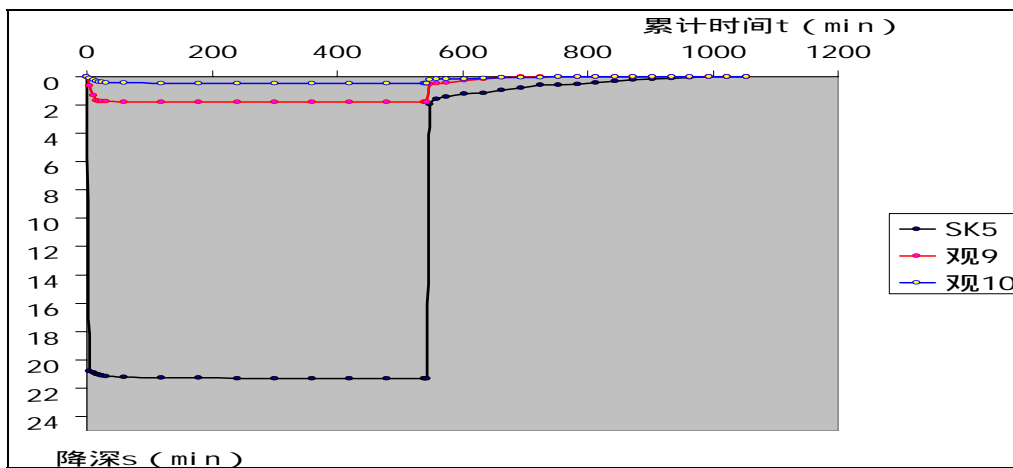


图 4c 抽水试验 S-t 曲线（第三落程）

3.3 水文地质参数计算

(1) 计算公式

根据区域地质勘查结果，将抽水试验井视作承压完整井。渗透系数 K 值采用裘布依二个观测孔的公式、影响半径 R 值选择有二个观测孔承压完整井条件下 R 值的计算公式以及吉哈尔特经验

公式进行计算。

i) 渗透系数 K

$$K = \frac{0.366Q}{M(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2}{r_1}, \text{ 式中: } K \text{ 为渗透系数 (m/d); } Q \text{ 为涌水量 (m}^3/\text{d); } M \text{ 为含水层厚度 (m);}$$

S_1 、 S_2 为观测孔的水位降深 (m); S_w 为抽水井的水位降深 (m); r_1 、 r_2 为观测孔至抽水井中心距离 (m)。

ii) 影响半径 R

带观测孔的有关计算公式:

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2}, \text{ 式中: } R \text{ 为影响半径 (m); } S_1、S_2 \text{ 为观测孔的水位降深 (m); } r_1、$$

r_2 为观测孔至抽水井中心距离 (m)。

吉哈尔特经验公式:

$$R = 10S \sqrt{K}, \text{ 式中: } R \text{ 为影响半径 (m); } S \text{ 为抽水孔降深 (m); } K \text{ 为渗透系数 (m/d)}。$$

(2) 计算结果

根据上述公式及相关参数, 计算出本区段的平均渗透系数 K 为 12.93m/d, 影响半径 R 为 769.8m, 计算结果如表 2 所示。

表 2 水文地质参数计算结果一览表

井号	抽 水 井				观 测 孔			水文地质参数	
	含水层厚度 M(m)	井径 r_w (m)	降深 S_w (m)	涌水量 Q(m ³ /d)	孔号	抽水孔至 观测孔距 离 r(m)	降深 S(m)	渗透 系数 K(m/d)	影响半 径(R) (m)
SK5	36.00	0.165	7.80	888.02	观 9	50	0.90	10.82	615.8
					观 10	85	0.71		
SK5	36.00	0.165	15.20	1463.96	观 9	50	1.4	12.10	707.9
					观 10	85	1.02		
SK5	36.00	0.165	21.30	1919.98	观 9	50	1.8	15.87	985.7
					观 10	85	1.48		
平 均 值								12.93	769.8

4 地下水源取水可靠性分析

4.1 水量可靠性

区域中深层地下水可开采量为 6260 万 m³/a, 现状开采量合计为 470 万 m³/a, 占中深层地下水可开采量的 7.5%, 具有较大的开采潜力。电厂首期设计新增开采总量 520 万 m³/a, 占中深层地下水可开采量的 8.3%, 新增电厂开采量后总开采量占中深层地下水可开采量的 15.8%。而且区内地下水补给较充足, 该区域处于地下水排泄区, 增大地下水开采量后, 含水层能很快得到补充, 项目的设计开采量能够得到保证。

4.2 地下水水位影响分析

中层承压水的水位动态主要受控于开采量, 区域补给区和大部分未开采的地段地下水位动态变化不大, 水位年变化幅度在 0.5m ~ 10m, 枯水年相对变化大, 与上世纪 90 年代相比水位降低 4m 左右。

若开采 100m 以下的中层承压水, 增加开采量 520 万 m³/a, 开采后抽水影响范围地下水位将普遍存在不同程度的下降, 但由于补给量较大, 开采后水源含水层能很快得到补充, 地下水位一般不会大幅持续下降。且区内有 19 口上世纪 90 年代的井, 现已报废, 本次新增加水量开采后, 实际增加开采量不会太大, 其地下水位仍将趋于稳定。

4.3 成井工艺

电厂项目取水规模为 $690\text{m}^3/\text{h}$ (1.66 万 m^3/d)，根据抽水试验成果，开井深度 218m 单井出水量为 $1919.98\text{ m}^3/\text{d}$ 。可设计 3 组井组共 9 眼深井开采中深层地下水作为补充水源，每井组为三口井，深度分别为 220m 、 300m 、 360m ，开采不同深度的地下水（即分层开采），井距大于 6m ；井组之间以及与现有开采井距离 $800\text{m} \sim 1000\text{m}$ 以上（抽水试验影响半径为 769.8m ）。在该井距内干扰抽水影响微小，对其他用水户影响不大。井管可采用 DG325 铸铁管，滤水管直径 300mm ，滤水管外缠铜丝，管材质量可靠。

按上述设置井位、层位、成井工艺和成井技术，电厂的取水则是可靠的。

5 结语

大唐雷州发电项目选址在雷州市西部沿海，属雷州半岛西南部干旱地区，地表水资源缺乏。为解决电厂水源问题，在厂址区域开展了地下水抽水试验，试验结果表明项目取用地下水在水量上是可靠的。试验研究对雷州半岛干旱地区水资源挖潜开发利用，解决该地区水资源短缺对工业经济发展的制约有一定的生产意义，也可为相关实践提供一定的参考借鉴。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国水利部，中华人民共和国国家发展计划委员会令第 15 号，建设项目水资源论证管理办法，2002.5；
- [2] 中华人民共和国水利部，建设项目水资源论证导则（试行），[M]北京：中国水利水电出版社，2005；
- [3] 水利部水资源司，建设项目水资源论证培训教材[M].北京：中国水利水电出版社，2003；
- [4] 广东省水利水电科学研究院，广东大唐国际雷州发电厂地下水抽水试验报告[M]，2010。