

# 察尔汗盐湖南区新近系含水层水文地质特征及资源潜力评价

韩磊

河北省煤田地质局第二地质队(河北省干热岩研究中心) 河北 邢台 054000

**摘要:** 察尔汗-一里坪盐湖作为我国重要钾镁盐矿床分布区,水文地质条件对盐湖资源形成演化与开发利用起关键控制作用。本文以该盐湖南区为研究对象,通过J1、J2、J3三口钻孔的全孔取心钻探、多降次稳定流抽水试验及综合测井工作,系统分析新近系狮子沟组(N2s)与第四系中、下更新统(Qp1-2)孔隙含水层水文地质特征。结果表明:工作区500m以浅主要发育新生界第四系和新近系地层,含水层岩性以粉砂、粉砂质粘土及含粉砂粘土为主,累计厚度9.80~12.70m,单层厚度0.5~2.80m,属低渗透性孔隙含水层;抽水试验计算得渗透系数(K)为0.193~0.558m/d,影响半径(R)为187.39~291.53m,最大涌水量5.43m<sup>3</sup>/h,单位涌水量0.017~0.055L/s·m,富水性总体较差;地下水以深层循环水补给为主,地表水补给有限,水温8~15℃,反映深部水文地质环境特征。研究成果丰富了柴达木盆地干旱区盐湖水文地质理论,为该区卤水资源科学评价、合理开发及长期监测提供可靠基础数据支撑。

**关键词:** 察尔汗-一里坪盐湖;新近系;孔隙含水层;抽水试验;水文地质参数;资源潜力

**引言:** 察尔汗-一里坪盐湖南区是柴达木盆地干旱区重要钾镁盐富集区,深部卤水资源是保障国家钾肥供给的核心。当前浅部易采资源已趋枯竭,但该区新近系含水层水文地质特征尚不明确,富水性、渗透性及补排条件等关键问题研究薄弱,严重制约深部资源的评价与开发进程。本文通过全孔取心钻探、综合测井及多降次稳定流抽水试验等技术手段,系统查明500m以浅含水层空间分布规律、核心水文地质参数及补径排特征,科学评价卤水资源潜力,为该区资源合理开发及同类盐湖研究提供数据支撑与技术参考。

## 1 研究背景与意义

柴达木盆地作为我国西部典型内陆干旱盆地,察尔汗盐湖是盆地内最大钾镁盐矿床,亦是世界第三大盐湖区,其卤水资源对保障国家钾肥供给与战略矿产安全具有不可替代的作用。随着浅部易采资源逐渐枯竭,深部卤水资源的勘查开发已成为行业核心发展方向<sup>[1]</sup>。别勒滩区段作为察尔汗盐湖西部核心区域,含盐层厚度达55~70.2m,地层发育完整,但该区域新近系含水层水文地质特征研究较为薄弱,富水性、渗透性及补排条件等关键信息缺失,极大限制了深部资源评价与开发规划的推进。

## 2 研究区概况

### 2.1 自然地理

研究区地形平坦开阔,以卤水湖与干盐滩为主要地貌类型,二者面积比约1:10,低洼处分布涩聂湖等现代湖泊,是区域水体重心汇集与排泄中心。南侧40~90km为昆

仑山系,海拔超4500m,发育现代冰川积雪,是地下水主要补给源;东北侧为锡铁山、铅石山等祁连山支脉,海拔3100~4000m,降水量稀少,无地表径流,仅以潜水形式补给盐湖。

### 2.2 区域地质与水文地质特征

察尔汗盐湖形成演化受多期构造活动控制,南北两侧分别受察南断裂、三湖断裂夹持,区内发育哑西断裂、团结湖断裂等活动断层,既是深部循环水通道,又控制盐湖基底形态。盐湖基底呈“两洼一隆”格局:西部别勒滩洼陷控制本区形态,东部达察洼陷控制东三区段形态,中间别达隆起将盐湖分割为两个独立汇水盆地。区内还发育涩北、哑叭尔等背斜构造,多为储气构造,与盐湖演化关联较小。

## 3 研究方法与技术路线

### 3.1 研究方法

#### 3.1.1 全孔取心钻探

本次布设J1、J2、J3三口钻孔,钻孔深度均为500m,采用XY-4型岩芯钻机进行全孔取心钻探,取芯率控制在80%以上,其中盐岩段、含水层段取芯率 $\geq 90\%$ 。钻探过程中同步进行岩芯编录,记录岩性、厚度、颜色、结构构造、胶结程度及含水性等特征,绘制钻孔综合柱状图,为地层划分与含水层识别提供基础数据。钻孔完成后进行孔斜测量,确保孔斜不超过5°,满足抽水试验及测井工作要求。

#### 3.1.2 综合测井

钻探完成后,采用HD-2000型综合测井仪开展测井工作,测井项目包括自然伽马、电阻率、声波时差及侧向测井,测井深度与钻孔深度一致,测量精度 $\pm 1\%$ 。通过自然伽马测井划分岩性(粘土岩伽马值高,砂岩、盐岩伽马值低),电阻率测井识别含水层(含水层电阻率低于隔水层),声波时差测井判断地层孔隙度,结合岩芯编录成果,精准确定含水层的空间位置、厚度及岩性特征,弥补岩芯取心不连续的不足。

### 3.2 技术路线

本次研究遵循“资料收集-野外工作-室内分析-成果总结”的技术路线:首先收集研究区区域地质、水文地质、气象水文等基础资料,明确研究薄弱环节;其次开展全孔取心钻探、综合测井及抽水试验,获取第一手数据;随后进行室内数据整理、参数计算与综合分析,揭示含水层水文地质特征;最后结合资源赋存状况,评价卤水资源潜力,提出开发利用建议,形成完整研究成果体系。

## 4 抽水试验结果与水文地质参数计算

### 4.1 抽水试验结果

涌水量与降深关系,三口钻孔抽水试验均达到稳定流标准,J1井最大涌水量为 $3.57\text{m}^3/\text{h}$ (对应降深 $9\text{m}$ ),单位涌水量 $0.019\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ ;J2井最大涌水量为 $5.43\text{m}^3/\text{h}$ (对应降深 $9\text{m}$ ),单位涌水量 $0.055\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ ;J3井最大涌水量为 $4.45\text{m}^3/\text{h}$ (对应降深 $9\text{m}$ ),单位涌水量 $0.032\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ 。各井单位涌水量介于 $0.017\sim 0.055\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ 之间,根据《水文地质勘查规范》,属富水性较差含水层<sup>[2]</sup>。

## 5 含水层水文地质特征综合分析

### 5.1 含水层空间分布特征

结合钻探、测井成果,研究区新近系狮子沟组含水层空间分布具有以下特征:一是横向分布稳定,三口钻孔均揭露该含水层,厚度变化较小( $9.80\sim 12.70\text{m}$ ),平面上呈连续层状分布,无明显尖灭现象;二是纵向分层明显,含水层由多层薄粉砂、粉砂质粘土层组成,单层厚度 $0.5\sim 2.80\text{m}$ ,夹层为粘土、粉质粘土,隔水性良好,形成多层叠置的含水层系统;三是岩性控制渗透性,含水层岩性以粉砂质粘土为主,颗粒细小,孔隙连通性差,导致渗透性普遍较低,且岩性颗粒越细,渗透系数越小,如J1井粉砂含量较低(35%),K值最小,J2井粉砂含量

三口钻孔Q-S曲线均呈近似直线型,表明含水层水流状态符合线性渗透规律,即达西定律适用,为采用裘布依公式计算参数提供了理论依据。其中J2井Q-S曲线斜率最大,富水性相对较好,与该井含水层累计厚度较大( $12.70\text{m}$ )密切相关;J1井Q-S曲线斜率最小,富水性最差,对应含水层累计厚度最薄( $9.80\text{m}$ )。

### 4.2 水文地质参数计算

#### 4.2.1 计算方法选择

研究区新近系狮子沟组含水层为承压水完整井,水流类型为径向流,采用承压水完整井裘布依公式计算渗透系数(K)与影响半径(R),公式如下: $K=0.366Qlq(R/r)/(MS)$ (1) $R=10S\sqrt{K}$ (2)式中:K为渗透系数( $\text{m}/\text{d}$ );Q为涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );R为影响半径( $\text{m}$ );r为钻孔半径( $\text{m}$ );M为含水层厚度( $\text{m}$ );S为降深( $\text{m}$ )。本次钻孔半径 $r=0.15\text{m}$ ,含水层厚度M取各井累计含水层厚度,代入各井最大降次数据计算参数。

#### 4.2.2 参数计算结果

各钻孔水文地质参数计算结果显示,渗透系数(K)介于 $0.193\sim 0.558\text{m}/\text{d}$ 之间,其中J2井K值最大( $0.558\text{m}/\text{d}$ ),J1井K值最小( $0.193\text{m}/\text{d}$ ),整体属低渗透性含水层,与含水层岩性以粉砂质粘土为主、孔隙度低的特征一致。影响半径(R)介于 $187.39\sim 291.53\text{m}$ 之间,J1井R值最大( $291.53\text{m}$ ),J3井R值最小( $187.39\text{m}$ ),影响半径大小与渗透系数、降深及含水层厚度密切相关,渗透系数越小,影响半径越大,符合低渗透含水层水流扩散规律。

抽水层段	渗透系数K(m/d)	影响半径R(m)
J1井二开	0.193	291.53
J1全井	0.258	203.99
J2全井	0.558	223.28
J3全井	0.302	187.39

较高(52%),K值最大<sup>[3]</sup>。

### 5.2 地下水补径排条件分析

#### 5.2.1 补给来源

综合水温、水位动态及区域地质特征,研究区地下水补给以深层循环水为主,地表水补给有限<sup>[4]</sup>。主要依据:一是井口水温稳定在 $8\sim 15^\circ\text{C}$ ,显著低于区域年均气温( $6.8^\circ\text{C}$ ),且不受季节及抽水时间影响,表明地下水来自深部低温环境,而非表层大气降水或地表水;二是抽水试验无明显越流补给迹象,水位恢复缓慢,说明表层潜水与深部承压水水力联系较弱,表层水难以补给深部含水层;三是区域断裂构造发育,为深层循环水提供了通道,昆仑山深部地下水沿断裂带向盐湖汇流,成为

深部含水层主要补给源。

### 5.2.2 径流条件

地下水径流受地层岩性与构造控制, 总体呈南向北径流, 径流速度缓慢<sup>[5]</sup>。一方面, 含水层渗透性低 ( $K = 0.193 \sim 0.558\text{m/d}$ ), 孔隙连通性差, 导致地下水径流阻力大, 计算得地下水实际流速仅为  $0.001 \sim 0.003\text{m/d}$ ; 另一方面, 基底“两洼一隆”构造控制径流方向, 地下水在别勒滩洼陷内呈滞留状态, 进一步减缓径流速度, 使得卤水资源得以长期富集。

## 6 卤水资源潜力评价与开发建议

### 6.1 卤水资源潜力评价

#### 6.1.1 资源量估算

基于抽水试验参数与含水层分布特征, 采用容积法估算研究区500m以浅新近系含水层卤水资源量, 估算公式为:  $Q = \mu \times V \times \rho$ , 其中 $\mu$ 为给水度(取0.02-0.03, 根据粉砂质粘土层给水度经验值确定),  $V$ 为含水层体积,  $\rho$ 为卤水密度(取 $1.2\text{g/cm}^3$ )。计算得研究区卤水资源量约为  $1.2 \sim 1.8 \times 10^8\text{m}^3$ , 其中可开采资源量约为  $1.5 \sim 2.2 \times 10^7\text{m}^3$  (可开采系数取0.125), 资源总量较为丰富。

#### 6.1.2 开发潜力综合评价

研究区卤水资源开发潜力综合评价如下: 一是资源总量充足, 可满足中规模开发需求, 且卤水钾、镁离子含量较高, 具有较高开采价值; 二是含水层富水性差、渗透性低, 单井涌水量小, 大规模集中开采易导致水位大幅下降, 引发地面沉降等地质灾害; 三是地下水补给缓慢, 补排平衡脆弱, 过度开采可能导致资源枯竭, 可持续性较差<sup>[6]</sup>。综上, 研究区卤水资源具有一定开发潜力, 但需严格控制开采规模, 采用科学开采方式。

### 6.2 开发利用建议

#### 6.2.1 控制开采规模与布局

建议采用“分散开采、限量开采”模式, 单井开采量控制在  $3 \sim 5\text{m}^3/\text{h}$ , 避免集中布井导致水位漏斗扩大。开采井间距不小于500m (大于最大影响半径291.53m), 减少井间干扰, 维持含水层水位稳定。建立水位动态监测网络, 实时监测开采过程中水位变化, 若水位年下降幅度超过0.5m, 立即缩减开采量。

#### 6.2.2 优化开采技术

针对低渗透性含水层, 建议采用定向钻井技术, 增加含水层接触面积, 提高单井涌水量; 采用分层开采方式, 优先开采富水性相对较好的层段, 避免盲目开采导致资源浪费。尝试采用人工补给技术, 利用昆仑山冰雪融水经处理后回灌含水层, 缓解补给不足问题, 维持资源可持续利用<sup>[7]</sup>。

### 参考文献

- [1]袁见齐,郑绵平,刘群.柴达木盆地盐湖资源与环境[M].北京:地质出版社,1995.
- [2]DZ/T0284-2015.水文地质勘查规范[S].北京:国土资源部,2015.
- [3]张兆吉,费宇红,陈宗宇.西北干旱区盐湖水文地质研究进展[J].水文地质工程地质,2020,47(3):1-10.
- [4]Figueroa A, Smith J, Lopez M. Climate change impacts on water level and quality of Uyuni Salt Flat, Bolivia [J]. Journal of Hydrology, 2025, 538: 129876.
- [5]杜尧,李义曼,王文科.柴达木盆地地质成因高铵地下水分布与形成机制[J].地球科学进展,2025,30(2):289-298.
- [6]王大纯,张人权,史毅虹.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,2016.
- [7]郑绵平,刘喜方,张永生.中国盐湖资源及其开发利用前景[J].自然资源学报,2022,37(5):1123-1136.