水电水利
Hydropower and Water Resources
第 8 卷◆第 6 期◆版本 1.0◆2024 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

罗布泊盐湖罗北内部断陷带（LBN）构造富水性研究

刘红超[1]　董连兵[2]　陈伟[1]　吴维民[1]
1 国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司　2 中化地质矿山总局地质研究院
DOI:10.12238/hwr.v8i6.5490

[摘　要] 罗布泊干盐湖地下存在多层含钾卤水,区内发育有多条延伸较远、规模较大的断陷带,并相应形成一系列的断陷凹地,大断裂凹陷形成断陷带导致地层沉降,浅部储卤层沉积厚度增大,因此断陷带在有利于卤水储集的同时,又具有良好的连通性,对卤水钾资源具有重要的控制作用,可作为下一步有利的开采生产靶区。本次通过钻探取芯、抽水试验等手段研究验证罗北内部断陷带(LBN)构造富水性情况。
[关键词] 罗布泊盐湖；断陷带；抽水试验；构造富水性
中图分类号：TV　文献标识码：A

Research on the Structural Water Abundance of the Luobei Internal Fault Zone (LBN) in the Luobupo Salt Lake

Hongchao Liu[1]　Lianbing Dong[2]　Wei Chen[1]　Weimin Wu[1]
1 Guotou Xinjiang Luobupo Potassium Salt Co., Ltd
2 Geological Research Institute of China National Chemical Geological and Mining Administration
[Abstract] There are multiple layers of potassium containing brine underground in the Luobupo Dry Salt Lake, and there are multiple extended and large-scale fault zones developed in the area, forming a series of corresponding fault depressions. The large fault depressions form fault zones, leading to geological subsidence. The sedimentary thickness of the shallow brine storage layer increases. Therefore, the fault zones not only facilitate brine storage, but also have good connectivity, which plays an important control role in brine potassium resources and can be used as the next favorable mining and production target area. This study verified the structural water richness of the Luobei internal fault zone (LBN) through drilling, core sampling, pumping tests, and other means.
[Key words] Lop Nur Salt Lake; Fault depression zone; Pumping test; Structural water richness

1 概况

罗布泊盐湖位于新疆塔里木盆地东部[1],罗布泊干盐湖钾盐矿床为现代内陆盐湖矿床,属固、液相并存共生,以液体钾盐为主的综合性大型—超大型矿床[2]。罗布泊干盐湖地下存在多层含钾卤水(已发现有7层含钾卤水),第一层为潜卤水,下部6层为承压卤水[3]。目前生产开采对象主要为罗北凹地采矿权范围内埋藏较浅且易于开采的潜卤水(W1)及承压卤水层(W2～W4)中的弹性释水,年均开采量约2.3亿m^3卤水,补给量约1.61×$10^7$$m^3$,开采量远大于补给量[4]。

罗布泊盐湖内发育的断陷带延伸较远、规模较大,并相应形成了一系列的断陷凹地,大断裂凹陷形成断陷带导致地层沉降,浅部储卤层沉积厚度增大,因此断陷带在有利于卤水储集的同时,又具有良好的连通性,对卤水钾资源具有重要的控制作用,可作为下一步有利的开采生产靶区。

2 地质条件

2.1地层

试验区已揭露的地层为第四系湖泊化学盐类和碎屑沉积,根据地层出露的先后、接触关系将试验区第四系地层(Q)分为上更新统、全新统,现由老至新分述如下：

上更新统罗北组(Q_3^{ch})：罗北矿区不连续零星分布于雅丹残丘的顶部,腾龙矿区分布在东部偏北地段以及中更新统龙城组雅丹残丘的顶部,属上更新世早期沉积。厚69～110m,分布较稳定,由南向北厚度增大。以钙芒硝、粘土沉积为主,上部夹有石膏、石盐和淤泥等沉积,其与上覆地层全新统新湖组为整合接触。

全新统新湖组(Q_4^{ch})：出露于地表,分布于整个罗北干盐湖区、腾龙台地南部及东部以及西部雅丹间部分地段,包括化学沉积层(Q_4^{ch})、风积层(Q_4^{eol})和洪积层(Q_{3-4}^{pl})三部分。该地层为矿区的标志层,上部为含粉砂的石盐层。

2.2水文地质

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

试验区100米深度以浅可划分4个含水层，分别为W1潜水含水层、W2～W4承压含水层组，含、隔水层划分详见表1。

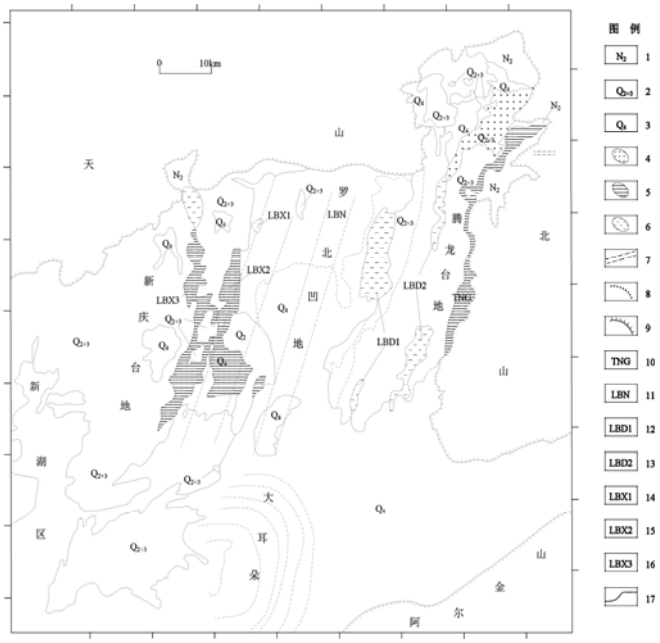
表1 试验区含、隔水层划分表

统	组	埋深(m)	平均厚度(m)	岩性描述	含、隔水层	备注
全新统(Q_4)	新湖组	17.45～28.91	9.40	含粘土杂卤石、钙芒硝、石盐质白钠镁矾	含水层	W_1
		23.40～35.42	6.72	含钙芒硝粘土、含石膏粘土	第一隔水层	
上更新统(Q_3)	罗北组	31.80～45.59	7.77	含粘土钙芒硝	含水层	W_2
		41.15～53.38	6.62	含钙芒硝粘土	第二隔水层	
		45.60～58.55	2.70	含粘土钙芒硝	含水层	W_3
		52.00～68.40	11.79	含石膏粘土	第三隔水层	
		64.89～96.47	17.72	含粘土钙芒硝、钙芒硝	含水层	W_4
		/	未揭穿	含钙芒硝粘土	第四隔水层	

W1潜水含水层含水介质主要为含粘土杂卤石、钙芒硝、石盐质白钠镁矾，细-中晶结构，块状构造，钙芒硝含量75%～80%，粘土含量10%～15%，孔隙率一般为22.77%～37.95%。

W2～W4承压含水层含水介质主要为含粘土钙芒硝、粘土质钙芒硝，钙芒硝以细-中粗晶为主，呈菱板状、片状，块状构造，钙芒硝含量70%～95%，孔隙率一般为5.5%～17.3%，其中W3承压含水层孔隙发育较好。

2.3构造特征



1.上新统；2.中上更新统；3.全新统；4.冲洪积；5.断陷带；6.推测地表断陷带；7.推测地下断陷带；8.古湖岸线；9.山区；10.铁南凹陷带；11罗北内部断陷带；12罗北东1号断陷带；13.罗北东2号断陷带；14.罗北西1号断陷带；15.罗北西2号断陷带；16.罗北西3号断陷带；17.地质界线

图1 罗布泊盐湖地质构造图(顾新鲁等2006,有修改)

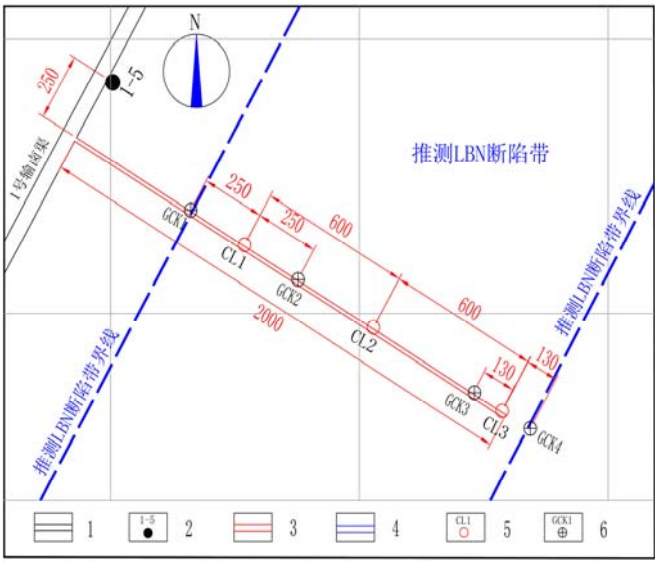
罗布泊位于塔里木盆地东段，属满加尔坳陷与东南坳陷的交汇区，新构造活动非常强烈。断裂构造发育，根据其展布方向，可大致分为3组：北北东向断裂组、近东西向断裂组和北东东向断裂组。其中又以北东东向断裂最发育，性质为张性，主要发育于罗布泊干盐湖的北部，造成了新庆、腾龙台地的抬升和罗北凹地的沉降，为本区的主要控矿构造。在罗北凹地及东西台地形成后，本区继续受到北北西—南南东向主压应力作用，产生了一系列北北东向地堑式断陷带；此类断陷带共有7条，自东向西分为铁南凹陷带、罗北内部(LBN)断陷带、罗北东1号断陷带、罗北东2号断陷带、罗北西1号断陷带、罗北西2号断陷带、罗北西3号断陷带。断陷带间隔5～10km，构成罗布泊地堑式断裂构造系[5]。

罗北内部断陷带(LBN)是罗北凹地中最深的断陷带，结合遥感解译的断裂宏观分布、以及氡气异常值揭示的断裂带地表出露位置，初步揭示富水区位于罗北内部断陷带(LBN)中南部[6]。

3 断层富水性分析

在罗北内部断陷带(LBN)中南部布置3口采卤井(编号CL1、CL2、CL3)及4口观测井(编号GCK1、GCK2、GCK3、GCK4)进行多孔抽水试验、群孔抽水试验以研究验证断陷带(LBN)构造富水性情况。

GCK1和GCK2以CL1为中心呈对称布置，其中GCK1位于推断LBN断陷带外侧，GCK2位于断陷带内，CL1抽水时，GCK1、GCK2作其观测孔。CL1和CL3以CL2为中心呈对称布置，作为CL2抽水试验的观测孔。GCK3和GCK4以CL3为中心呈对称布置，其中GCK4位于推断LBN断陷带外侧，GCK3位于断陷带内，CL3抽水时，GCK3、GCK4作为其观测孔(图2)。



1.原有输卤渠；2.原有采卤井；3.新增输卤渠；4.推测LBN断陷带；5.新增采卤井；6.新增观测孔

图2 采卤井与观测孔平面布置图

3.1多孔抽水试验分析

分别对CL1、CL2、CL3进行多孔抽水试验，并对其抽水试验数据进行整理分析(表2)，从渗透系数、单位涌水量、观测孔水位等三方面对断层富水性进行分析。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

表 2　抽水试验综合数据表

项目	单位	CL1 抽水试验			CL2 抽水试验			CL3 抽水试验		
		大落程	中落程	小落程	大落程	中落程	小落程	大落程	中落程	小落程
静水位埋深	m	17.45	17.45	17.45	17.49	17.49	17.49	17.80	17.80	17.80
动水位埋深	m	32.65	28.25	23.05	66.44	53.82	34.30	40.88	32.35	27.86
降深(S)	m	15.20	10.80	5.60	48.95	36.33	16.81	23.08	14.55	10.06
流量(Q)	m^3/h	503	393	261	417	374	270	600	473	379
单位涌水量	$m^3/d.m$	794.2	873.3	1118.6	204.5	247.1	385.5	623.9	780.2	904.2
观测孔 A 降深	m	0.41	0.34	0.24	0.27	0.20	0.12	1.62	1.38	1.08
观测孔 B 降深	m	1.41	1.11	0.74	0.32	0.26	0.18	1.67	1.38	1.07
W1 平均渗透系数(K)	m/d	68.37			32.42			71.98		
W2～W4 平均渗透系数(K)	m/d	19.51			9.32			20.63		

注：①表中单位涌水量非标准孔径,孔径为 1000mm。

②观测孔 A 分别代指 GCK1、CL1、GCK3,观测孔 B 分别代指 GCK2、CL3、GCK4。

表 3　群孔抽水试验干扰系数表

项目	单位	CL1 抽水试验		CL2 抽水试验		CL3 抽水试验	
		多孔	群孔	多孔	群孔	多孔	群孔
静水位埋深	m	17.45	17.09	17.49	17.04	17.80	17.30
动水位埋深	m	32.65	32.83	66.44	68.23	40.88	40.93
降深(S)	m	15.20	15.74	48.95	51.19	23.08	23.63
流量(Q)	m^3/h	503	485	417	415	600	600
单位涌水量	$m^3/d.m$	794.2	739.5	204.5	194.6	623.9	609.4
干扰系数	%	6.89		4.84		2.32	

3.1.1渗透系数分析

根据抽水试验数据可知,CL1、CL3采卤井区域卤水层渗透系数相当,CL2采卤井区域卤水层渗透系数相对最小。

3.1.2单位涌水量分析

试验同期,罗北矿区内卤水层平均静水位埋深16.30m,平均动水位埋深35.24m,平均流量为342m^3/h,即罗北矿区平均单位涌水量为433$m^3/d.m$(1000mm口径)。由试验数据可知,试验区断陷带内卤水层同降深条件下平均单位涌水量约为罗北矿区平均单位涌水量的1.51倍,单井最大单位涌水量约为罗北矿区平均单位涌水量的2.58倍,试验区卤水层富水性远好于罗北矿区卤水层平均富水性。

对CL1大落程抽水、CL2小落程抽水、CL3中落程抽水进行等降深单位涌水量对比,CL1与CL3采卤井区域卤水层富水性相当,而CL2采卤井区域卤水层富水性相对较差。

3.2观测孔水位分析

3.2.1 CL1采卤井观测孔水位分析

CL1采卤井抽水试验时,GCK1、GCK2作为观测孔,两观测孔与CL1呈对称布置,距CL1采卤井均为250m。当CL1抽水时,两观测孔水位差较大,GCK2降深为GCK1降深的3.08～3.44倍,表明CL1采卤井两侧卤水层的富水性存在非均质特征。且两侧对称的GCK1、GCK2观测孔水位能在24小时内恢复至原始水位,即该区域断层构造导水性良好。观测孔GCK2水位降深大,说明该侧影响半径大,降落漏斗大,其富水性相对较差。

3.2.2 CL2采卤井观测孔水位分析

CL2采卤井抽水试验时,CL1、CL3作为观测孔呈对称布置,距CL2采卤井均为600m。当CL2抽水时,两观测孔水位降深相差不大,CL3降深为CL1降深的1.19～1.50倍,该结果表明CL2采卤井两侧卤水层富水性相对均质,且两侧对称的CL1、CL3观测孔水位

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

24小时内能恢复至原始水位,即该区域断层构造导水性良好。

3.2.3 CL3采卤井观测孔水位分析

CL3采卤井抽水试验时,GCK3、GCK4作为其观测孔对称布置,距CL3采卤井均为130m。当CL3抽水时,两观测孔水位降深基本相等,GCK4降深为GCK3降深的0.99～1.03倍,该结果表明CL3采卤井两侧卤水层富水性相对均质,且两侧对称的GCK3、GCK4观测孔水位24小时内能恢复至原始水位,即该区域断层构造导水性良好。

3.3群孔抽水试验分析

CL1、CL2、CL3采卤井单井抽水试验完成后,三口采卤井同时开展群孔抽水试验,同步观测GCK1、GCK2、GCK3、GCK4的水位降深。各采卤井的干扰系数见表3。

根据各采卤井的干扰系数可知,3口采卤井群孔抽水试验条件下,CL1采卤井等降深时单位涌水量衰减6.89%,CL2采卤井等降深时单位涌水量衰减4.84%,CL3采卤井等降深时单位涌水量衰减2.32%。

4 结语

通过岩心钻探、抽水试验等手段宏观上确定了断陷带内的富水性远强于罗北矿区内卤水层平均富水性。但断陷带内卤水层富水性非均质特征显著,受限于采卤井及观测孔数量,尚未详细查明断陷带内富水性分区的明确边界。根据现有数据成果可得出以下结论：

(1)岩心钻探资料分析表明,试验区W4卤水层埋深大、厚度普遍偏厚,达17m～18m,远大于罗北矿区W4卤水层平均厚度7.12m,符合断陷带内地层沉降、储卤层厚度大的特征。

(2)通过分析抽水试验数据可知,试验区断层构造含水性及导水性良好,卤水层富水性非均质特征明显。受断层构造影响,试验区卤水层富水性远好于罗北矿区卤水层平均富水性,试验区断层构造发育带可作为下一步有利的开采生产靶区。

(3)采卤井CL1、CL2、CL3的群孔抽水试验数据表明,各采卤井的单位涌水量仅衰减2.32%～6.89%。即在试验区断层构造发育地段以600m间距加密布置采卤工程时,井组之间干扰系数较小,可大幅提高单井采卤能力。

[参考文献]

[1]刘成林,焦鹏程,王弭力,等.罗布泊盐湖巨量钙芒硝沉积及其成钾效应分析[J].矿床地质,2007,26(3):322-329.

[2]赵振宏,侯光才,蔡青勤,等.罗布泊钾卤水矿床成矿地质背景[J].新疆地质,2002,20(3):210-213.

[3]李文学,赵亮亮,马宝成.罗布泊盐湖地下含钾卤水动态特征及其影响因素研究[J].化工矿产地质,2017,39(3):163-167.

[4]李博昀,耿浩,韩绪,等.新疆若羌县罗北凹地钾盐矿生产勘探报告[R].北京:中化地质矿山总局地质研究院,2022.

[5]刘成林,焦鹏程.罗布泊盐湖钾盐矿床形成条件与规律[M].北京:地质出版社,2020:21-24.

[6]张华,刘成林,姚佛军,等.罗布泊盐湖罗北矿区断层构造富水性研究子项物探研究报告[R].北京:中国地质科学院矿产资源研究所,2021.

作者简介：

刘红超(1995--),男,汉族,河北保定人,本科,地质矿产助理工程师,研究方向：水文地质。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.