

文章编号: 0258-7106(2014)05-1069-12

四川盆地南充盐盆下、中三叠统测井响应特征及成钾条件分析*

陈科贵¹, 李利^{1*}, 王刚², 王林³, 陈愿愿⁴, 林新³, 常浩⁵

(1 西南石油大学地球科学技术学院, 四川 成都 610500; 2 中石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000;

3 中国石油集团测井有限公司国际事业部, 北京 102200; 4 中石油川庆钻探地球物理勘探公司, 四川 成都 610213;

5 中国石油测井集团有限公司长庆事业部, 陕西 西安 710200)

摘要 通过野外地质调查及钻井资料复查, 探明了雷口坡组及嘉陵江组顶、底界面特征。根据岩性组合、电性特征、旋回特征及地层厚度特征, 对南充盐盆雷口坡组及嘉陵江组地层进行对比分析。在此基础上, 对南充盐盆嘉陵江组及雷口坡组地层进行了重新梳理, 得到南充盐盆盐岩层位的空间展布, 及3个主要成盐段: 嘉四段、嘉五²—雷一¹亚段和雷三²亚段。通过大量单井分析, 统计各成盐段石盐岩的层厚度, 结合各段岩性组合特征及放射性测井分析各成盐段的成钾条件; 绘制各段石盐岩等厚图, 得出各段盐岩分布范围及成盐中心, 从而确定有利的成钾区。在广安构造的雷三²亚段, 首次发现了杂卤石, 否定了以往认为的雷三²亚段原始沉积石盐岩的海水中钾含量异常偏低的推测。

关键词 地质学; 盐岩; 三叠系; 地层对比; 成钾条件; 南充盐盆

中图分类号: P627; P619.211

文献标志码: A

Analysis of logging response characteristics and potassium-forming conditions of Early and Middle Triassic strata in Nanchong Basin

CHEN KeGui¹, LI Li¹, WANG Gang², WANG Lin³, CHEN YuanYuan⁴, LIN Xin³ and CHANG Hao⁵

(1 School of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 2 Research

Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, Xinjiang, China; 3 International

Division, China Petroleum Logging Co., Ltd., Beijing 102200, China; 4 Geophysical Prospecting Company, Changqing

Drilling Engineering Co., Ltd., Chengdu 610213, Sichuan, China; 5 Changqing Division, China Petroleum

Logging Co., Ltd., Xi'an 710200, Shaanxi, China)

Abstract

Based on a review of the geological survey and drilling data, the authors investigated the top and bottom interface features of the Middle Triassic Leikoupo Formation and the Lower Triassic Jialingjiang Formation in the Nanchong Salt Basin. A comparative analysis was also made for these two formations according to their lithologic compositions, electrical characteristics, cycle characteristics and stratigraphic thicknesses with the purpose of

* 本文得到国家“973”规划项目“四川三叠纪古特提斯海盆钾分布、评价研究(编号: 2011CB403002)”和国家自然科学基金“四川盆地油钾兼探的地球物理评价方法研究(编号: 41372103)”的联合资助

第一作者简介 陈科贵, 男, 1959年生, 教授, 主要从事石油地质、测井储层评价技术、测井地质与工程测井应用研究和四川钾盐普查研究。Email: chenkegui@21cn.com

* * 通讯作者 李利, 女, 1990年生, 硕士研究生, 主要从事石油地质和钾盐矿床研究。Email: swpulili@163.com

收稿日期 2014-05-11; 改回日期 2014-08-25。秦思婷编辑。

restudying these two formations. Through the study, the spatial distribution of these two formations in the Nanchong Salt Basin and the major salt segments T_1j^4 , T_1j^{5-2} - T_2l^{1-1} , T_2l^{3-2} were determined. Based on a large number of single well analyses and statistics of salt rock thickness in each formation in combination with the lithologic composition characteristics and radioactive logging display characteristics, the authors analyzed the potash layer formation conditions. With the isopach map of potash layer, the potash distribution in each formation and the potash center as well as the favorable potash zones can be seen. The first discovery of polyhalite in T_2l^{3-2} in the Guang'an structure excludes the previous opinion that the potash content was abnormally low in the seawater where the original salt rock was deposited.

Key word: geology, salt rock, Triassic, stratigraphic correlation, potash-forming condition, Nanchong Salt Basin

嘉陵江组和雷口坡组是四川盆地主要的含盐层位。针对其成盐、成钾条件,前人做了大量工作(林耀庭等,2002;郑绵平等,2010),并先后发现了盐岩、杂卤石岩及富钾卤水等(林耀庭等,1982;林耀庭,1994),为找钾工作提供了重要线索。但由于早期的实际资料有限,未确定有利的成钾区。因此,结合新资料对盆地的成钾条件逐一分析就显得尤为重要,只有在掌握成钾条件的基础上,才能根据各项条件逐步筛选,最后确定较有利的钾盐沉积区。

对盐盆的探析存在以下问题:①早年的分层和现在的分层有差别;②地质部第二地质大队与石油单位对地层的划分不同(林耀庭等,1982);③石油单位将川东区块绿豆岩划分在嘉四层位中(李德星,2010;黄东等,2010);④对雷口坡组的地层划分存有争议(田景春等,2000;黄东等,2010)。不论是海(湖)平面和沉积基准面的周期性变化、构造升降活动,还是古气候、海水咸度的周期性变化,在连续沉积的情况下,都会在沉积体的物性及电性响应上形成一定的旋回性(谭秀成等,2008)。本文以此为基础,对地层进行重新梳理。在统一的地层划分方案下,分析各区块成盐期成钾条件。

1 区域地质背景

构造上四川盆地位于东西向的秦岭褶皱带以南,康滇古陆和龙门山褶皱带之东,江南古陆以北,即上扬子地台的西北隅。台缘古隆起主要有江南古隆起、龙门山古隆起、康滇古隆起和大巴山古隆起,分别构成四川盆地的东、西和北部边缘。盆地内部分布有3个北东向的隆起/坳陷带。由北西南东为川西坳陷带、川东隆起带和鄂黔坳陷带,它们构成了盆地的构造主体。在隆起及坳陷带内,进一步分

异有次一级的凸起和凹陷(刘德良等,2000;童崇光,1992)。

南充凹陷为四川盆地川西坳陷内的次一级凹陷,位于泸州、华蓥山凸起的西侧,梓潼凸起的东侧,北东侧为平昌凸起,西南边为资威凸起(图1)。三叠纪时期,随着扬子板块向下俯冲,中国南方海域范围缩小,海水也相应变浅,扬子区由开阔的陆表海环境逐渐演化成受局限的陆表海环境(冯增昭,1997)。至中三叠世雷口坡期,中-下扬子北部大陆边缘已基本消减,仅局部地区保存残余海盆,其沿江南古陆北部已演化为海陆过渡区:上扬子地区由于西北部的滇青藏古大洋和西南部的越北海-古特提斯海均未关闭,其西北部和西南部仍与开阔海相连(冯增昭,1997;董兆雄等,1994;胡明毅等,2010)。但由于南充凹陷西南部黔南堤礁的障壁作用及泸州隆起的遮挡作用,西北有龙门山岛链,使得南充凹陷处于该受限的陆表海环境中(林耀庭等,1982)。而且南充凹陷与四川盆地其他的三叠纪凹陷相比较,面积最大,相应的聚卤面积也较大,对成盐有利。虽然该时期南充凹陷内部构造、地形分异不大,但其紧邻的泸州-华蓥山凸起不断抬升,使南充凹陷保持着持续稳定的沉降,因而成盐作用得到稳定的发展。泸州开江古隆起更是为造成南充凹陷提供了较好的封闭条件,进而形成了三叠纪四川盆地规模最大的含盐盆地,即南充盐盆。

2 层序地层的划分与展布

2.1 地层的重新梳理

对比地质部第二地质大队的划分及近年的地层划分标准,结合油气井实际资料,以找钾为目的,根据岩性突变法和测井识别法,对地层进行统一划分。

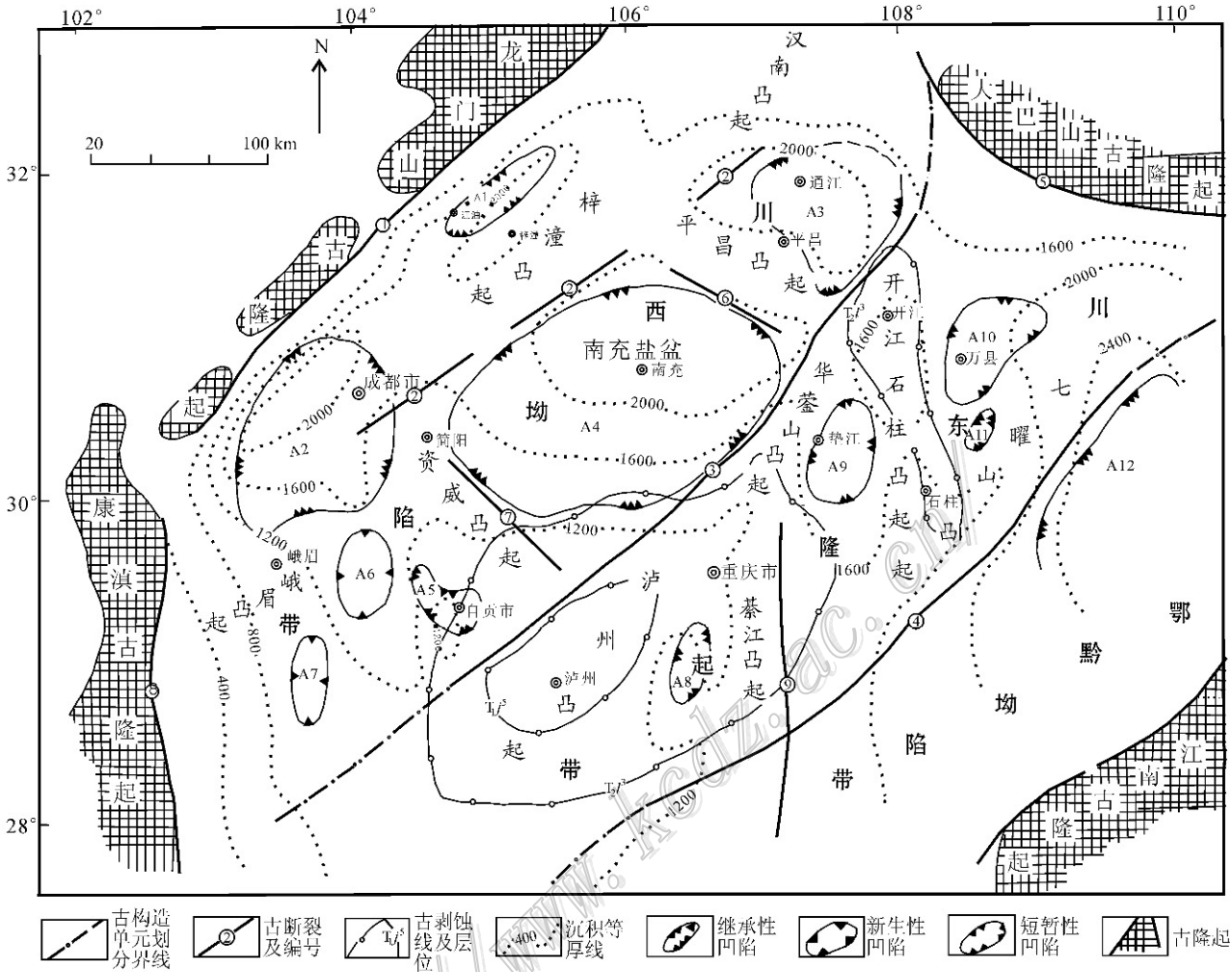


图 1 四川盆地早、中三叠世古构造图

Fig. 1 Early and Middle Triassic palaeostructure map of the Sichuan Basin

前人对嘉陵江组和雷口坡组地层划分观点不一致，主要包括：雷一段有三分和两分的不同；嘉陵江四段也有两分和四分；对绿豆岩认识的分歧。本文利用岩性组合和电性特征，对南充凹陷地层进行了梳理（图 2）。

嘉一段：为开阔台地环境，发育大套灰岩，自然伽马偏高且较平缓。

嘉二段：处于海退沉积阶段，根据普遍存在的 3 个咸化旋回划分为 3 个亚段。其中，嘉二² 的底部存在一层标志层——蓝灰色泥岩。嘉二¹ 和嘉二² 亚段界面特征为：界面之上为泥岩，界面之下为深灰色膏岩。电性响应特征为：界面之上为高伽马、低电阻；界面之下为低电阻、高伽马。嘉二² 亚段和嘉二³ 亚段界面之上为灰色泥晶灰岩或白云岩，具有较高的伽马、较高电阻特征；界面之下为膏岩，具有低伽马特征。

嘉三段：区域上同样发育大套的灰岩。嘉二³ 亚段和嘉三段的分界特征为：界面之上为区域性分布的泥晶灰岩、泥灰岩，具有较高伽马、高电阻特征；界面之下为灰色膏质云岩、膏岩，具有低伽马、低电阻的特征。

嘉四段共分为 2 个亚段：嘉四¹ 亚段以白云岩为主夹硬石膏岩；嘉四² 亚段以硬石膏岩及盐岩为主，偶夹杂卤石岩。嘉四¹ 和嘉四² 亚段的分界特征为：界面之上自然伽马降低。嘉四段与嘉三段的分界特征为：界面之上伽马值明显减少，呈锯齿状。

嘉五段分为 2 个亚段：嘉五¹ 亚段为一淡化层，以灰岩为主；嘉五² 亚段主要为石膏岩夹盐岩，杂卤石岩及白云岩。嘉四段和嘉五¹ 亚段的分界特征为：界面之上自然伽马较高。自然伽马高值结束的地方就是嘉五¹ 和嘉五² 亚段的分界处。

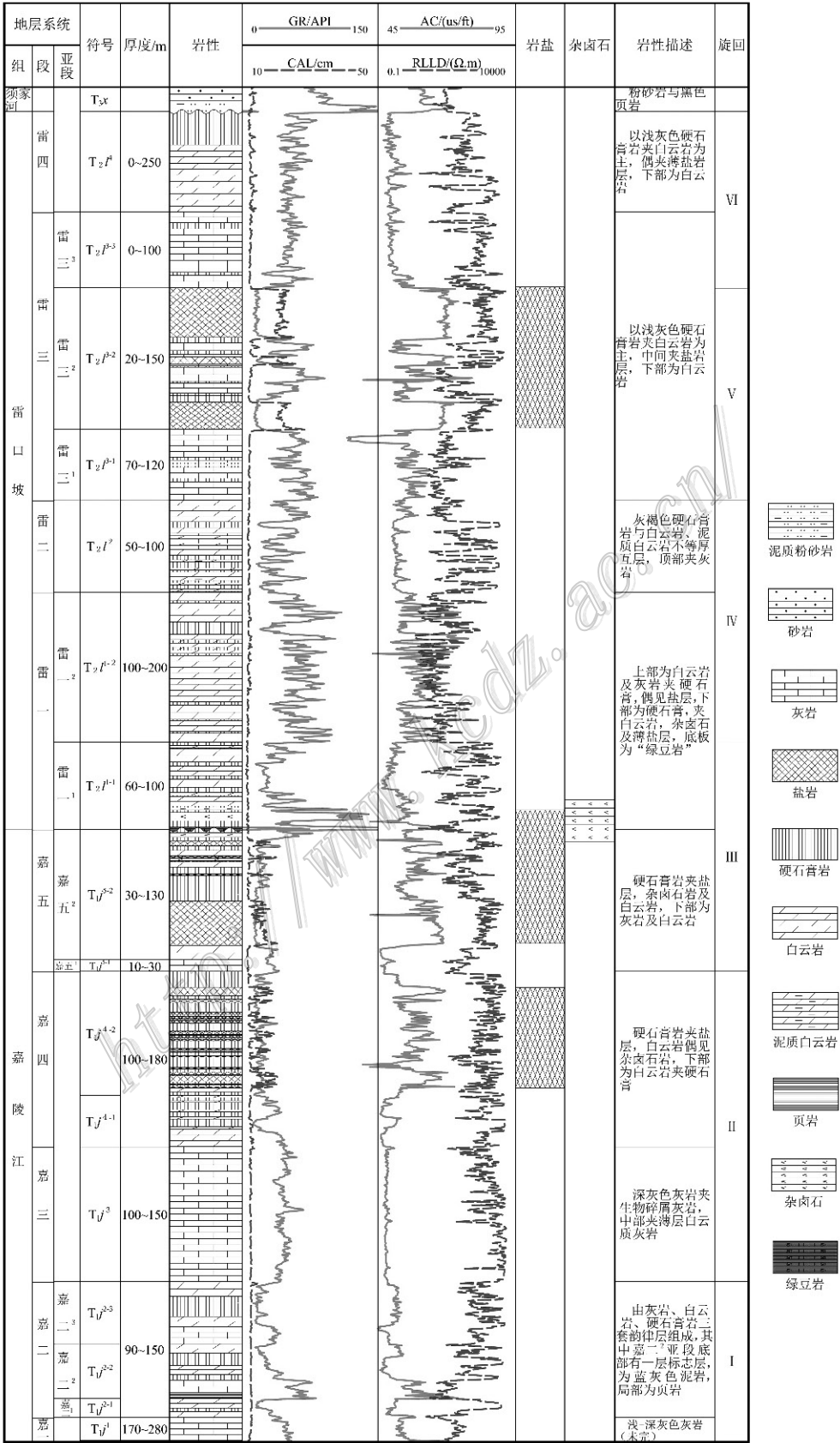


图 2 南充盐盆嘉陵江组和雷口坡组地层图

Fig. 2 Stratigraphic map of Jialing River Formation and Leikoupo Formation in the Nanchong salt basin

雷一段共分为2个亚段:雷一¹亚段以硬石膏为主夹白云岩、杂卤石及薄盐岩层,底板为“绿豆岩”,雷一¹亚段上部以灰岩和白云岩为主;雷一²亚段以白云岩或泥质白云岩夹硬石膏为主。嘉五²和雷一¹亚段的分界特征为:界面之上是区域上较稳定的一层绿豆岩,具有极高的伽马峰值。雷一¹和雷一²亚段的界面特征表现为:界面之上泥质含量增多,自然伽马整体较高。

雷二段:主要为灰褐色硬石膏岩与白云岩及泥质白云岩不等厚互层。雷二段泥质含量较雷一段少,雷一²亚段和雷二段的分界特征为:界面之上为硬石膏岩,低伽马、高电阻;界面之下为泥质白云岩,高伽马、低电阻值。

雷三段共分为3个亚段:雷三¹亚段和雷三³亚段以灰岩为主夹薄层硬石膏岩,雷三²亚段为灰岩夹厚层盐岩。雷二段进入雷三¹亚段表现为区域的广泛海侵,灰岩发育且含泥质;伽马值较高,但电阻率明显降低。而雷三²亚段发育膏岩和盐岩,电阻率明显升高。雷三³亚段同雷三¹亚段。

2.2 地层展布

纵观整个南充盐盆的地层展布可以看出,研究区地层可对比性强,地层厚度较稳定,盐岩沉积的层位厚度有所增加。其他区域的层位厚度较一致,而广参2井位于有利的成盐区,成盐层位厚度有所增加(图3)。嘉陵江组地层发育完整,在雷口坡组地层沉积末期,南充盐盆遭受剥蚀,与上覆须家河组呈不整合接触,由图3可以看出,剥蚀程度由北向南逐渐增强,南充盐盆雷三²亚段的盐岩层向南逐渐尖灭。地层对比发现3个主要成盐段分布较广泛,但整个磨溪构造在各成盐期几乎未沉积石盐岩,这是由于磨溪构造位于乐山-龙女寺古隆起轴部,具有隆起早、继承性强、构造显著的特点,并以水下高地形式出现,不适合聚卤。

3 各成盐期成钾条件分析

3.1 嘉四段成盐期

从地层对比图可见,嘉四段共分为2个亚段,嘉四段底部以白云岩与石膏岩互层为主,潮间带蒸发环境;向上过渡为潮上带蒸发环境,以石膏岩夹薄的石盐岩为主,多处石膏岩和石盐岩为薄的,不等厚互层状。地层对比发现,从蓬莱-遂宁-磨溪-龙女-华西-广安一带,成盐作用逐渐加强,无论是成盐期次及石

盐单层厚度都逐渐增加。蓬莱、遂宁、磨溪一带为嘉四²段上部,岩性组合以白云岩夹硬石膏为主,偶夹薄层盐岩。龙女、华西、广安一带以硬石膏与盐岩不等厚互层为主,偶夹杂卤石岩。靠近华蓥山的西北边广安构造等处较利于成盐(图4)。

南充盐盆嘉四段蒸发岩比高达80%~90%,以硬石膏岩为主,约占50%,盐岩比约占30%。其中,盐岩单层厚度最大为20m左右,薄的不到1m,多为薄夹层。随着成盐作用的加强,在整个南充盐盆的凹陷都有薄的盐岩夹层存在。最后的海退蒸发阶段,嘉四段顶部杂卤石与硬石膏互层出现。嘉四段成盐末期进入嘉五¹亚段时,发生了全区域的海侵,沉积了一层稳定的泥质灰岩。总的来说,嘉四段的盐岩层发育层数较多,但由于单层厚度较小,以及成盐后期淡水的侵入,使得嘉四段不利于成钾。

3.2 嘉五²-雷一¹亚段成盐期

岩石中的自然放射性主要由铀、钍2个放射系和钾的放射性同位素⁴⁰K决定(楚泽涵等,2007)。因此,可利用伽马测井检测岩层的放射性强度,并根据自然伽马幅度差的高低,间接得到含钾岩层的厚度和品位。从伽马测井可知,嘉五²和雷一¹亚段是整个三叠系含钾量最高的层位。在嘉五²进入雷一¹亚段时,有火山活动,盆地广泛沉积了一层“绿豆岩”,厚1~3m。嘉五²亚段结束时,发育一层杂卤石岩,雷一¹亚段底部也发育几层杂卤石岩。雷一¹亚段的白云岩储层经流体识别为含水层,钾含量也较高(图5)。

嘉五²亚段盐岩单层最大厚度达到50m左右,岩性组合显示其以石膏与盐岩不等厚互层为主,说明当时处于连续的蒸发环境。嘉五²亚段的成盐环境为嘉四段的继承性发展,成盐有利区没有大的变化,不同的是嘉五²亚段在整个南充盐盆都有盐岩的形成(图3、图6),成盐范围最广,利于成钾。

其中,雷一¹亚段仅局部发育厚2m左右的盐岩夹层,盐层较薄。雷一¹亚段底部杂卤石较发育,说明有淡水的掺杂。在雷一¹亚段的白云岩储层中聚集了一层浓卤水。水样分析数据见表1。

其矿化度的平均值为200~300g/L,属浓卤水;按舒卡列夫分类(潘宏宇等,2009),则属于CaCl₂型水。从离子含量数据可知,雷一¹亚段各构造的地层卤水成分较相似,表明其卤水的层控性较强。溶滤卤水的溴含量或溴氯系数通常较低,系数值一般小于1。镁氯系数一般小于0.16,表明雷一¹亚段的

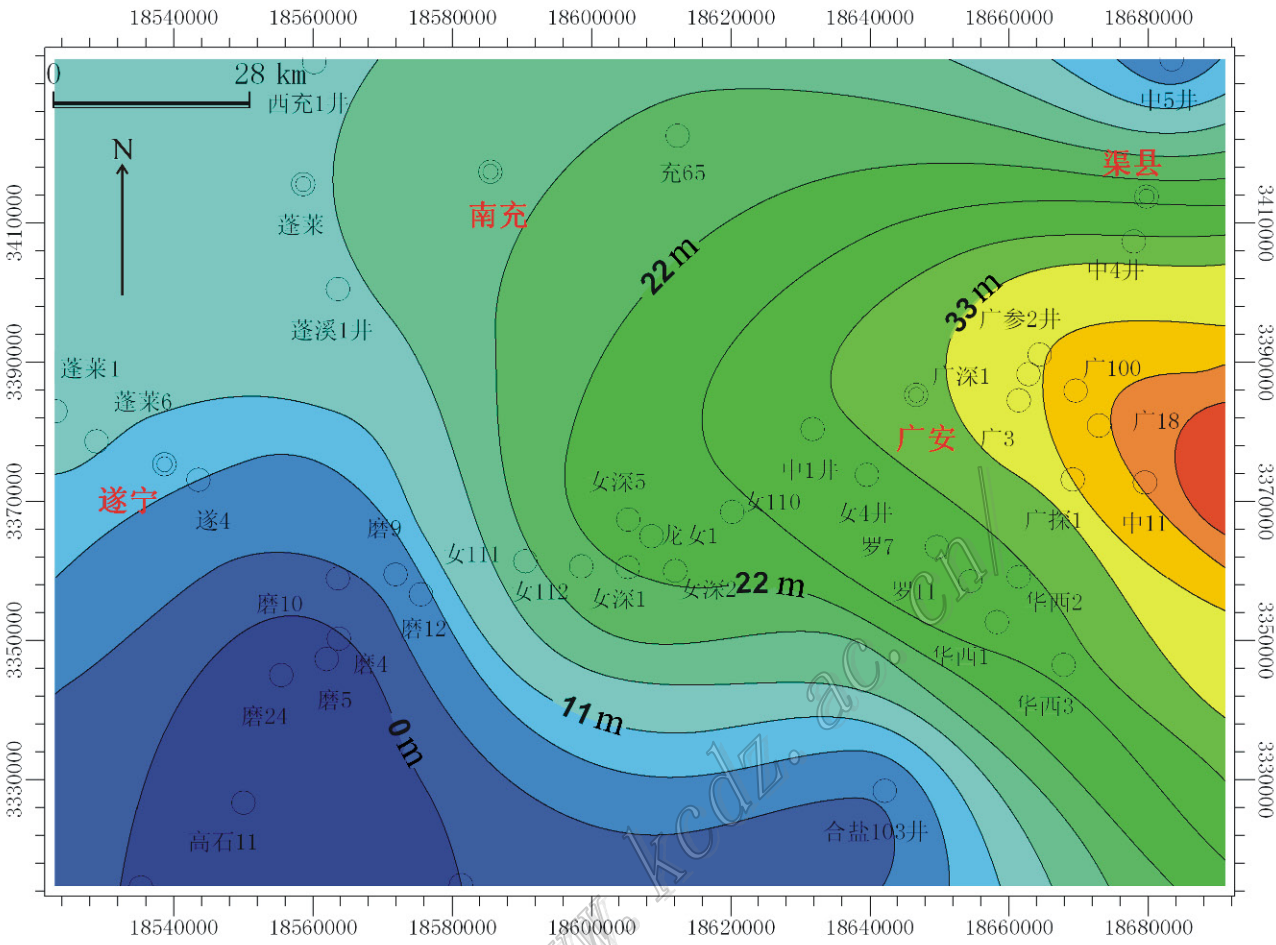


图 4 嘉四段石盐岩等厚图

Fig. 4 Isopach map of T_{1j}^4 halite layer

地层水以沉积卤水为主。陈郁华等(1983)的黄海海水蒸发实验发现,随着海水的浓缩,镁氯系数不断增加,到钾盐开始沉积时,镁氯系数为 0.75;沉积钾盐阶段的溴氯系数值为 22.94。从离子特征系数来看,作为沉积卤水,雷一¹亚段层的卤水未达到沉积钾盐标准。

3.3 雷三²亚段

该时期,泸州-开江凸起进一步抬升,形成了南充盐盆差异明显的成盐环境。磨溪构造以南,地层剥蚀严重,且盐层几乎不发育,以灰岩为主。磨溪构造以北,由于抬升使得凹陷北部持续沉降,为卤水的聚集创造了有利条件。岩性以盐岩夹灰岩为主,盐岩具有层数少、单层厚度大的特征,共发育 3 层盐层,最大单层厚度达 100 m 以上。沉积中心位于广安-渠县一带(图 7)。与其他含盐层系不同的是,雷三²亚段时期灰岩比远远大于硬石膏比。且盐岩层顶底的硬石膏岩较薄,几乎不发育。说明当时的古

气候气温较利于卤水浓缩,但不时有较大面积的海侵,使得蒸发并不能持续进行,浓缩卤水被不时冲淡。根据地质部第二地质大队取芯显示,雷三²亚段盐岩结晶粗大,可达 5~9 cm,可能正是因为不时的海侵使得盐岩遭受淡水淋滤重结晶而形成的。

雷三²亚段底部岩层的自然伽马值较高,为 100~170 API,井径无扩径,密度值平均为 2.6~2.8 g/cm³,声波值为 55~75 us/ft。通过测井曲线形态和幅度,结合四川盆地杂卤石测井响应一般特征及上下层位的对比确定其为杂卤石岩。首次在雷三²亚段发现杂卤石岩,厚度达到 15 m 左右,杂卤石岩所在层位正是雷三²亚段第一个沉积石盐的旋回之处,杂卤石岩中间夹了两层薄的盐岩层(图 8),区别于嘉五²-雷一¹亚段中杂卤石与石膏不等厚互层的现象。说明雷三²亚段的杂卤石岩为石盐沉积早期产物,并非卤水掺杂造成。雷三²亚段内首次发现杂卤石岩的存在,否定了以往认为的该亚段原始沉积

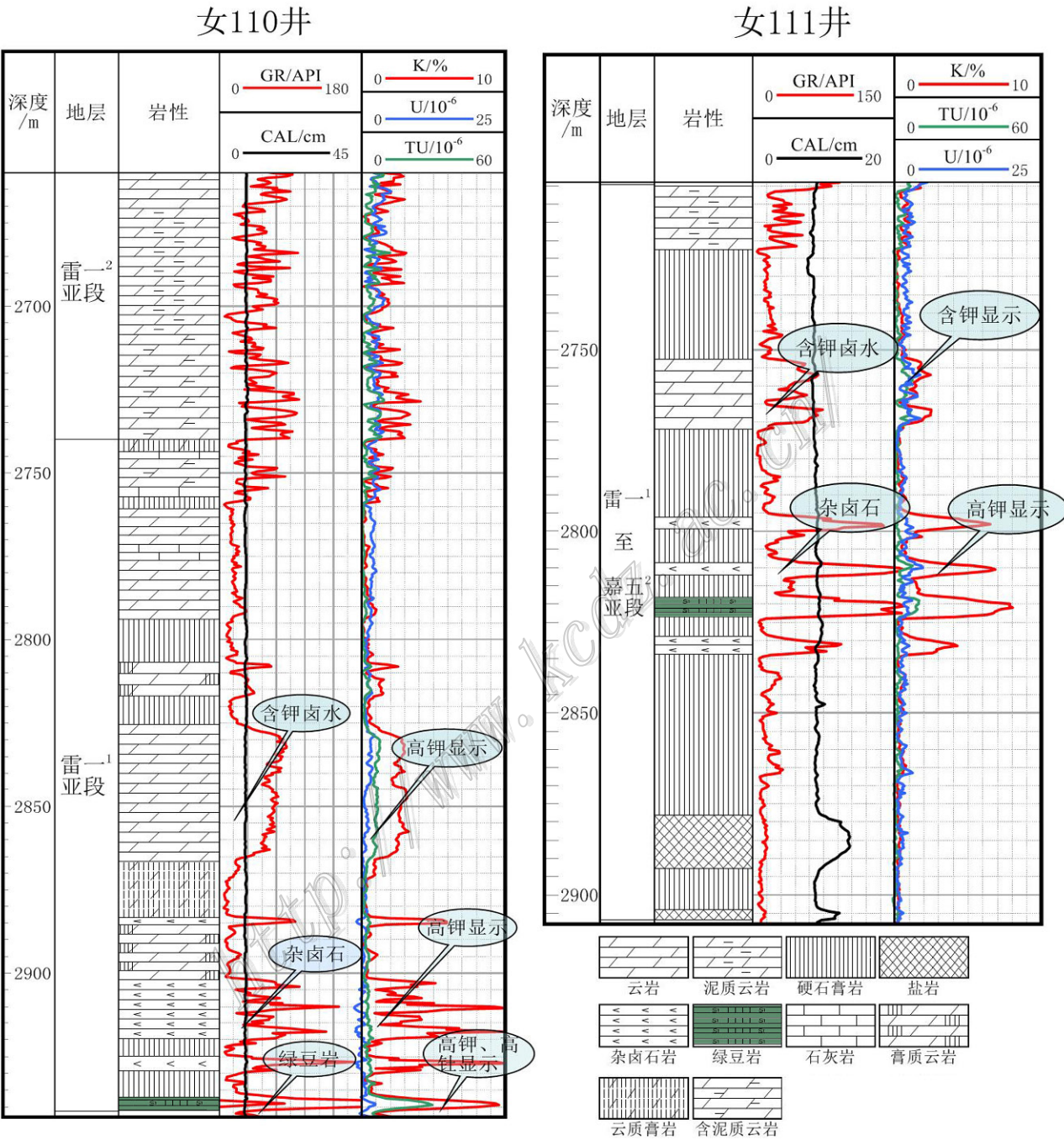


图 5 嘉五²—雷一¹亚段放射性测井含钾显示

Fig. 5 $T_{1j}^{5.2}$ and $T_{2l}^{1.1}$ potash display based on radioactive logging data

石盐岩的海水中钾含量异常偏低的推测(林耀庭等, 1982),表明当时卤水中的 K^+ 、 Mg^{2+} 相对富集。巨厚盐岩及杂卤石岩的出现,说明该时期具有潜在成钾的可能性,对今后其他区域的研究具有启示意义。

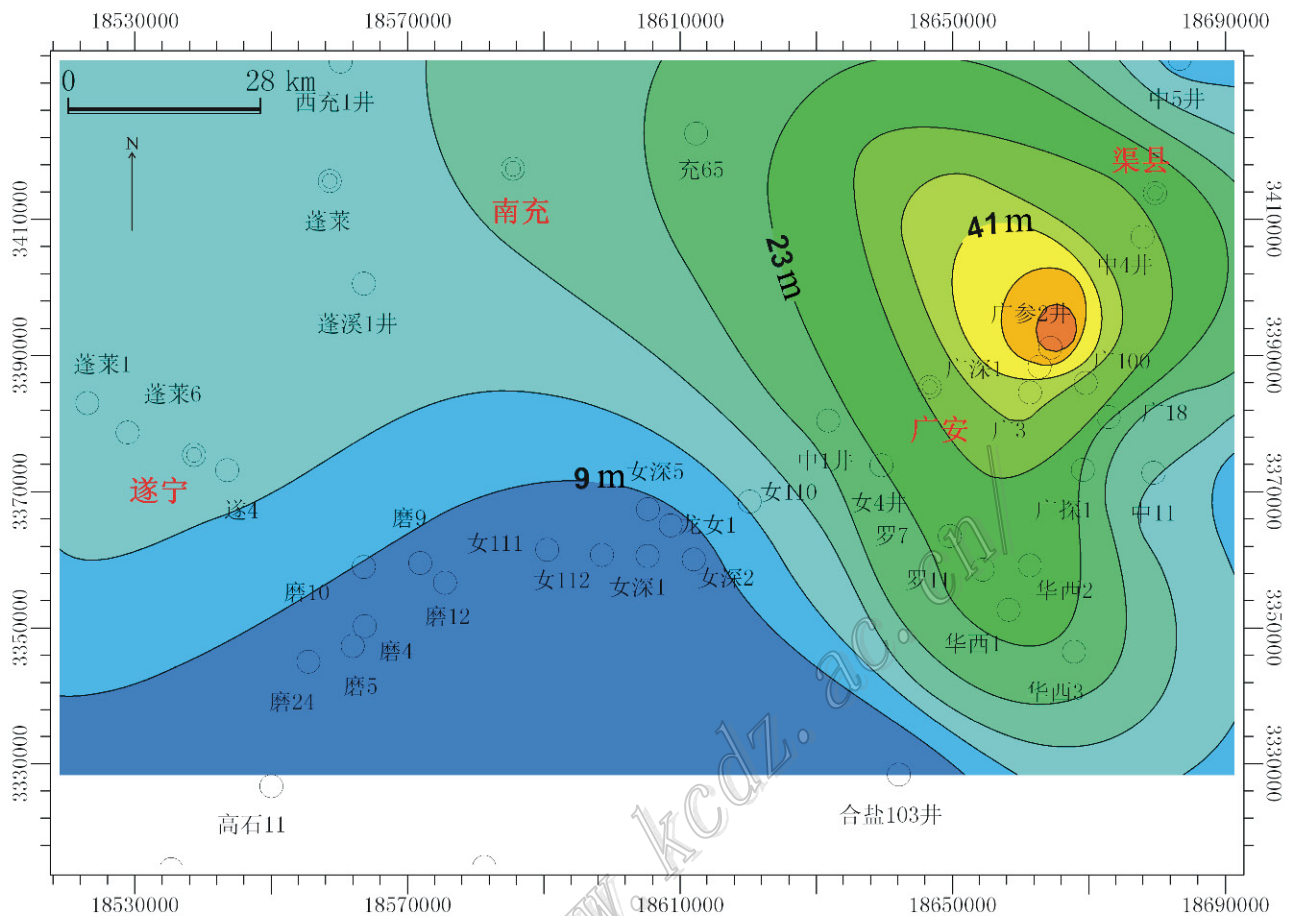


图 6 嘉五²亚段石盐岩等厚图
Fig. 6 Isopach map of T₁J⁵⁻² halite layer

表 1 南充盐盆雷—¹亚段水分析资料
Table 1 Water analyses of T₂I¹⁻¹ from the Nanchong salt basin

测井 名称	w(B)/(mg/L)												总矿化度 /(g/L)	水型	Br×10 ³ / Cl 系数	ΣMg/ ΣCl
	Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ba ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	OH ⁻	I	Br	Be				
HX	52041	19720	3231	0	124138	288	369	0	0	22	1278	768	199.79	CaCl ₂	10.29499	0.355521
LDX1	89201	25419	5138	0	195525	2348	416	0	0	30	208	265	318.05	CaCl ₂	1.063803	0.298376
LDX2	66894	28932	5077	0	168459	482	556	0	0	3	1136	1105	270.40	CaCl ₂	6.743481	0.389969
MX1	55268	25760	8907	0	155444	866	1214	0	0	—	1022	1088	247.46	CaCl ₂	6.574715	0.454999
MX2	32528	42727	18137	0	178130	724	1136	0	0	6	724	1157	272.25	CaCl ₂	4.064447	0.720373
MX3	50709	25782	8603	0	148498	473	103	0	0	30	1006	896	234.17	CaCl ₂	6.774502	0.476800
MX3	56757	22247	7369	0	147960	502	93	0	0	35	1214	912	234.93	CaCl ₂	8.20492	0.411348
MX3	66047	18882	6019	0	152341	494	191	0	0	40	1368	1040	243.97	CaCl ₂	8.979854	0.333759

注:单位比值为1,“-”为未检测。

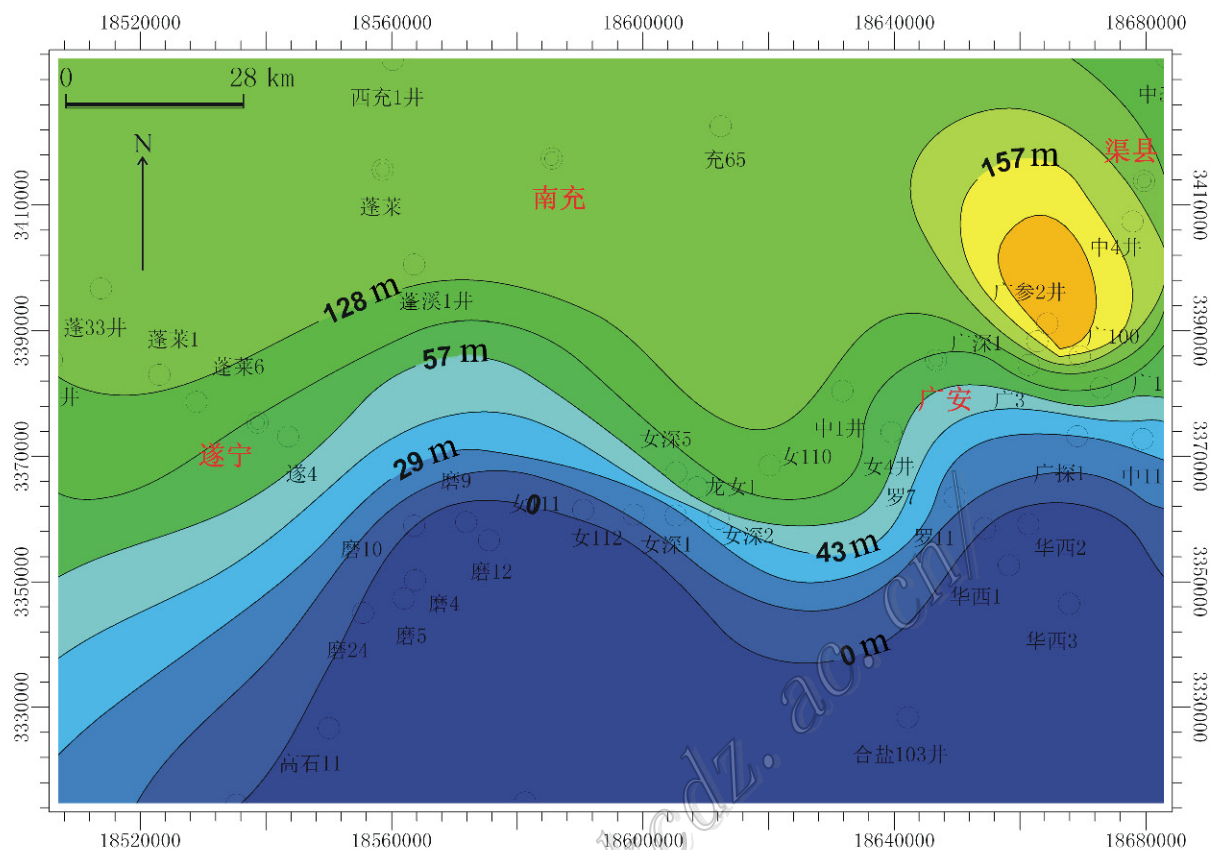
图 7 雷三²亚段石盐岩等厚图

Fig. 7 Isopach map of T_2l^{3-2} halite layer

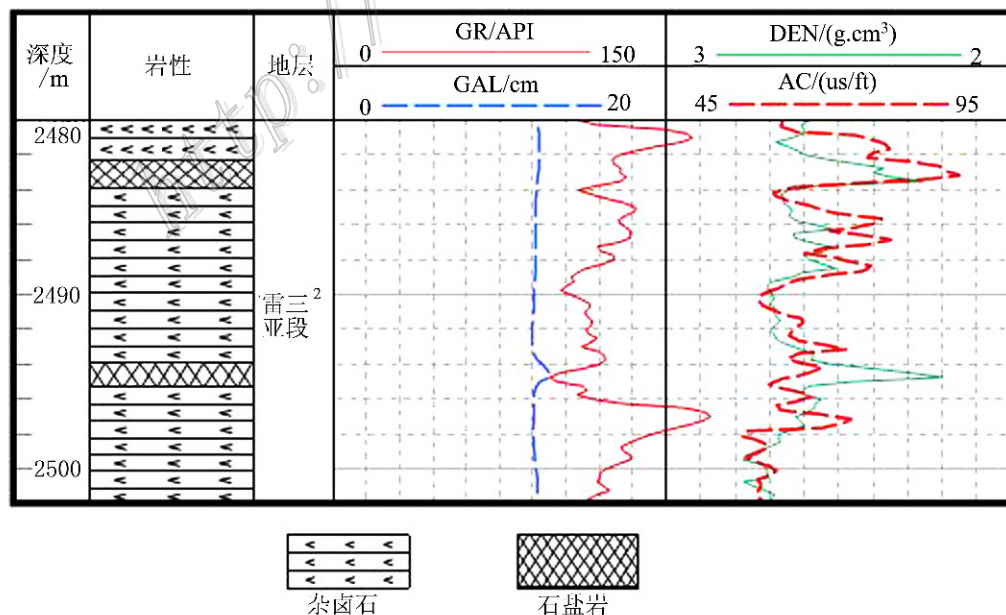


图 8 广 3 井雷三² 亚段杂卤石分析图

Fig. 8 Polyhalite analyses of T_2l^{3-2} from Guang 3 well

4 结 论

(1) 根据岩性组合特征、电性特征、旋回特征及地层厚度对全南充凹陷雷口坡组和嘉陵江组地层进行了地层对比,南充凹陷的主要含盐层位为嘉四段、嘉五²和雷一¹亚段、雷三²亚段。对3个成盐期的岩性组合、韵律、盐岩单层厚度及总厚度等进行分析对比,得出嘉四段成盐期由于单层厚度较小及成盐后期淡水的侵入,使得该时期不利于成钾;嘉五²—雷一¹亚段成盐期,成盐范围最广,钾含量较高,后期无大范围淡水的侵入,有利于成钾;雷三²亚段成盐期不时有较大面积的海侵,使得蒸发不能持续进行,不利于成钾。

(2) 通过对南充盐盆的单井分析及测井解释,发现了位于广安构造雷三²时期的杂卤石,第一次在这个层位发现杂卤石,表明当时沉积卤水中的 K^+ 、 Mg^{2+} 是相对富集。

(3) 在嘉四段至雷一¹亚段成盐期,聚盐中心大致沿华蓥山西缘分布,广安一带为石盐和杂卤石的沉积中心,具有较好的成盐、成钾条件。雷三²亚段成盐期,成盐中心主要在广安至渠县一带。

参考文献/References

- 陈郁华,黄海水. 1983. 黄海水25℃恒温蒸发时的析盐序列及某些微量元素分布规律[J]. 地质学报, 88(4): 379-390.
- 楚泽涵,黄隆基,高杰,肖立志. 2007. 地球物理测井方法与原理[M]. 北京:石油工业出版社, 282页.
- 董兆雄,邓明. 1994. 川西地区中三叠统雷口坡组岩相古地理[J]. 矿物岩石, 14(4): 46-63.
- 冯增昭,鲍志东,吴胜和,李永铁,王国力. 1997. 中国南方早中三叠

- 世岩相古地理[J]. 地质科学, 32(2): 212-220.
- 胡明毅,魏国齐,李思田,杨威,朱露,杨运海. 2010. 四川盆地嘉陵江组层序——岩相古地理特征和储层预测[J]. 沉积学报, 28(6): 1145-1152.
- 黄东,张健,杨光,石学文,汪华. 2010. 四川盆地中三叠统雷口坡组地层划分探讨[J]. 西南石油大学学报, 33(3): 89-95.
- 李德星. 2010. 川中龙女寺-磨溪地区雷口坡组雷四—雷三段古岩溶储层研究(硕士论文)[D]. 导师:刘树根,张长俊. 成都:成都理工大学. 95页.
- 林耀庭,宋正平,张榕根. 1982. 四川盆地早中三叠世成盐条件研究及找钾远景评价[R].
- 林耀庭. 1994. 论四川盆地海相三叠系含钾性及找钾方向[J]. 四川地质学报, 2(14): 111-121.
- 林耀庭,何金权,王田丁,叶茂才. 2002. 四川盆地中三叠统成都盐盆富钾卤水地球化学特征及其勘查开发前景研究[J]. 化工矿产地质, 24(2): 72-84.
- 刘德良,宋岩,薛爱民,李一平,罗志立,沈修志,杨晓勇,张正伟,陶士振. 2000. 四川盆地构造与天然气聚集区带综合研究[M]. 北京:石油工业出版社. 107页.
- 潘宏雨,马锁柱. 2009. 水文地质学概论[M]. 北京:地质出版社. 164页.
- 谭秀成,罗冰,李凌,罗玉宏,杨金利,姚晏波,李俊良,邹娟,何秀琼. 2008. 碳酸盐岩台地多旋回沉积小层精细划分对比方法研究——以川中磨溪构造嘉二段为例[J]. 地层学杂志, 32(1): 207-212.
- 田景春,陈洪德,彭军,覃建雄,侯中健,寿建峰,杨晓宁,沈安江,陈子焯. 2000. 川滇黔桂地区下、中三叠统层序划分、对比及层序地层格架[J]. 沉积学报, 18(2): 198-204.
- 童崇光. 1992. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京:地质出版社. 128页.
- 郑绵平,袁鹤然,张永生,刘喜方,陈文西,李金锁. 2010. 中国钾盐区域分布与找钾远景[J]. 地质学报, 84(11): 1523-1553.